

RTCA Incorporated
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036 USA

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

RTCA/DO—160G
代替RTCA/DO—160F
2010年12月8日

起草：SC—135
© 2010 RTCA Inc.

前 言

本文件由美国航空无线电技术委员会(RTCA)135 特别委员会(SC-135)制定, RTCA 项目管理委员会(PMC)于 2010 年 12 月 8 日批准。代替 2007 年 12 月 6 日颁布的 RTCA DO-160F。

RTCA 是一个致力于促进航空技术和航空电子系统更好地为公众服务的非赢利性协会。该组织的职能是作为联邦顾问委员会, 就当前航空领域中的问题提出建议。RTCA 的目标包括但不限于:

- 以协助政府及工业部门实现共同目标和责任的方式, 融合航空系统用户和供应商的技术要求;
- 分析航空领域在不断追求提高安全性、系统能力和效率过程中所遇到的技术问题, 并推荐解决方案;
- 促进那些满足用户和供应商要求的相关技术应用的一致性, 包括制定航空设备和航空电子系统的最低工作性能标准;
- 协助国际民航组织和国际电信联盟以及其他相应的国际组织在制定相应的技术文件方面提供依据。

本组织所提出的建议经常被用作政府和民营部门决策的依据, 也是联邦航空局(FAA)许多技术标准指令的基础。

RTCA 不是美国政府的官方机构, 除非美国政府强制执行, RTCA 的建议不应作为正式政府官方文件。政府机关或部门对是否采用 RTCA 所提出建议有最终的决定权。

这些标准已由 RTCA SC-135 特别委员会与欧洲民用航空设备组织(EUROCAE)进行了协商。EUROCAE 与 RTCA 就本文以下制定的环境条件和试验程序取得了一致意见。经 EUROCAE 批准, 本文件被联合命名为 RTCA DO-160G/EUROCAE ED-14G。

目 录

第 1 章	目的和适用范围
第 2 章	通用术语定义
第 3 章	试验条件
第 4 章	温度—高度
第 5 章	温度变化
第 6 章	湿热
第 7 章	工作冲击和坠撞安全
第 8 章	振动
第 9 章	爆炸大气
第 10 章	防水性
第 11 章	流体敏感性
第 12 章	砂尘
第 13 章	霉菌
第 14 章	盐雾
第 15 章	磁影响
第 16 章	电源输入
第 17 章	电压尖峰
第 18 章	音频传导敏感度—电源输入
第 19 章	感应信号敏感度
第 20 章	射频敏感度(辐射和传导)
第 21 章	射频能量发射
第 22 章	雷电感应瞬态敏感度
第 23 章	雷电直接效应
第 24 章	结冰
第 25 章	静电放电(ESD)
第 26 章	防火, 可燃性
附录 A	环境试验标识
附录 B	成员
附录 C	变更协调人员

注: 详细的目录在相应各章中。

RTCA Inc.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验程序

第 1 章

目的和适用范围

第 2 章

通用术语定义

第 3 章

试验条件

重要提示

这三章中所包含的信息适用于本文件其它各章中阐述的所有试验程序。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO-160F
起 草：SC-135

目 录

1.0	目的和适用范围	1-1
1.1	历史记录和用户通用指南	1-1
1.2	DO-160 用户手册	1-2
2.0	通用术语定义	2-1
2.1	设备温度稳定	2-1
2.2	最大负荷周期	2-1
2.3	不工作	2-1
2.4	温度控制或温度部分控制部位	2-1
2.5	总偏差	2-1
2.6	设备	2-1
2.7	高度	2-1
2.8	试验分类和说明	2-1
2.9	试验结果适用性	2-1
3.0	试验条件	3-1
3.1	设备的连接和定向	3-1
3.2	多件试验产品的试验顺序	3-1
3.3	组合试验	3-1
3.4	试验箱内空气温度测量	3-1
3.5	实验室环境条件	3-1
3.6	环境试验条件容差	3-1
3.7	试验设备	3-2
3.8	多单元设备	3-2
3.9	敏感性试验的 EUT 配置	3-2

1.0 目的和适用范围

本文件规定了机载设备一系列最低标准环境试验条件(类别)和相应的试验程序。这些试验的目的是用实验室试验的方法确定机载设备在其机载使用过程中遇到的典型环境条件下的性能特性。

本文件中的标准环境试验条件和试验程序,可结合有关设备性能标准一起使用,作为在这些环境条件下的最低规范,这样能够保证设备工作期间性能方面有足够的可信度。

注: 本文件包含的每个试验方法中,下列说法会经常出现:

确定是否符合有关设备性能标准。

“有关设备性能标准”可以查阅下列任意文献:

- a. 欧洲民用航空设备组织 (EUROCAE) 最低工作性能规范 (以前的最低工作性能要求) (MOPS/MOPR)
- b. RTCA 最低性能标准 (MPS) 和/或 RTCA 最低工作性能标准 (MOPS)。
- c. 相应的制造商设备规范。

本文件中有些环境条件和试验程序并不一定适用于所有的机载设备,由具体机载设备性能标准的编写者负责选择适当的和/或附加的环境条件和试验程序。

注:

1. 本文件没有列入特殊机载设备会遇到的一些其它环境条件(类别),它们包括但不限于:冰雹,加速度和声振;
2. 对那些通常仅与特殊种类机载设备有关的,在特定环境条件下对机载设备试验的程序,一般由该特定设备性能标准的编写者负责制定;
3. 本文中的初始数据值全部采用国际单位制(SI)。某些情况下,若初始数据是由英制单位导出的,则这些初始数据值采用这些英制单位;
4. 按照 3.2 条内容的规定,允许使用多个试验样品。

本文中使用的“机载设备”一词,适用于绝大部分机载设备。凡要采用本文件的试验条件和试验程序者,负责确定这些试验条件和试验程序是否适用于预定安装在特殊的或一般种类各类飞机上或飞机内的某一具体设备。

RTCA 为机载设备所制定的最低工作性能标准 (MOPS),有以下要求:必须确保该机载设备在航空器上安装后能够可靠工作。对机载设备的这些要求必须在周围环境条件和施加应力的环境条件下得到验证。最低工作性能标准 (MOPS) 一般包括推荐的周围环境条件下的台架试验方法,而施加应力的环境试验引用了 RTCA DO-160(《机载设备的环境条件和试验程序》)。DO-160 中规定的试验类别涉及到机载设备可能遇到的所有环境条件范围,从一般情况到极端恶劣环境。

这里规定的环境条件和试验程序,仅用来确定机载设备在这些环境条件下的性能,不打算用作确定承受这些试验的机载设备的使用寿命的手段。

对本文件的强制使用仅是有关政府(管理)部门的职责。

1.1 历史记录和用户通用指南

DO-160 及其前身 DO-138 从 1958 年开始就用作环境鉴定试验的标准。在具体设备设计的最低工作性能规范 (MOPS) 中一直引用本文件,联邦航空局咨询公告中也引用本文件作为技术标准指令 (TSO) 审定的环境鉴定方法。随着航空界不断提出更新的要求,以及试验技术的快速发展和对机载设备在实际环境条件下工作情况的深入了解,DO-160 一直在不断地更新和修订。

环境应力来源于自然应力或人为影响,利用设备安装的细节可降低这些影响。过去制定的那些试验种类,反映了人们对环境应力的严酷程度以及安装设计在降低环境应力影响方面的效果了解的越来越多,人们认识到机载设备设计时必须考虑使设备足够健壮,以保证其在各种综合环境应力作用下能够正常工作。本文件较为成熟,为了充分利用本文件,安装的设备的设计师和主安装设计师,有必要在他们项目中尽可能早的考虑本文规定的试验类别。每一环境试验方法中规定的类别已被证明为代表了实际安装要求和安装设备性能之间一组适用的边界条件。飞机总体设计师和机载设备设计师必须进行有效的沟通,以保证选用合适的环境试验。

1.2 DO-160 用户指南

本文件不同章节其实均包含用户指南材料,这些材料均出现在各自章节的后面。用户指南给出了 DO-160 主要正文部分中相关试验程序和要求的背景信息。这些信息包含各要求的合理性、使用这些要求的指导、评注、可能的技术问题的解答以及来此于以前实验室的经验。这些信息打算用于帮助使用者理解这些要求,并让使用者在本文件规定的通用试验程序的基础上理解各分试验程序。为指导使用给出这些指南,但这些指南不包括要求。应用于 EUT 的仅为每部分正文中的试验程序。

在每部分主要正文中，用户指南均具有相同的通用格式，用户指南中重复的为正文文章节号。

2.0 通用术语定义

本章列出了本文件使用的所有通用术语的定义。针对特殊章节的专用术语定义见相关章节。

2.1 设备温度稳定

a. 不工作

当受试产品具有最大热惯性的功能部件的温度与达到规定试验温度相差在 3℃以内时,则认为设备达到温度稳定。当无法测量内部最大质量处的温度时,最低可接受的温度稳定时间宜为 3h。

b. 工作

当受试产品具有最大热惯性的功能部件的温度变化 $\leq 2^{\circ}\text{C/h}$ 时,则认为设备达到了温度稳定。当无法测量内部最大质量处的温度时,最低可接受温度稳定时间宜为 2h。

2.2 最大负荷周期

周期性工作的机载设备,其最大负荷周期是设备进行设计最大额定容量下工作的最长时间和设备不工作(或处于最低工作容量)时间之间的关系。最大负荷周期应在设备规范中规定。

2.3 不工作

除非设备专用规范另有规定,否则不工作是指不给设备提供动力源。

2.4 温度控制或部分温度控制部位

温度控制或温度部分控制部位是指其空气温度依靠环境控制系统保持的飞机内部空间(见表 4-1 相关类别)。

2.5 总偏差

总偏差是指从正的最大值到负的最大值的总偏移量。

2.6 设备

术语“设备”包括使设备正确执行预定功能所必需的试验件和所有的零部件或单元件,具体由制造方确定。该设备应能代表使用中所用产品的水平。

2.7 高度

高度指设备在试验期间暴露于其中的相对于海平面的环境压力。

2.8 试验类别和说明

对于本文件中所叙述的每一项环境条件,设备供应商应从具体章节规定的类别中选择最能够代表设备使用寿命期间预期将经常遇到的最严酷环境。除试验类别 X 的使用在下面作了解释外,所选定的类别,应按照附录 A 中的指南,以环境合格鉴定表的形式表示出来。

环境合格鉴定表中所列的每种类别,可用于推断当设备暴露于被评估为不是足够严酷类别中设备也将能执行其预定的功能。

环境合格鉴定表中试验类别 X,与本文件中的任一环境试验程序一起使用,表示了一种保留备用情况,即,设备供应商希望表明在该具体程序所表述的试验条件下是否符合设备性能标准没有进行验证。

对某一特定的飞机的认证,如果环境合格鉴定表中所列的类别不能完全覆盖,可以要求增加其它试验。

在试验程序结束时或试验程序期间,凡是有“确定是否符合有关设备性能标准”这句话时,应理解为要将性能符合性和验证作为一项要求,用以证明设备能够在某一具体试验类别期间和/或之后执行其预定的功能。

2.9 试验结果的适用性

使用这些程序的试验结果仅对合格鉴定试验期间的试验配置(试验安装,外部配置和内部配置)有效。相对于这一配置的任何变更,无论是外部还是内部的(例如:PCB 的布局,单元件内部部件变更,安装布线,等等)必须进行评估,以确保试验结果仍然适用。如果评估没有表明结果仍然适用,则要求重新进行试验。

3.0 试验条件

3.1 设备的连接和定向

除非另有说明,否则应按设备制造方推荐的正常使用安装方式对设备进行连接和定向(例如机械的和电气的),包括任何冷却措施(完成试验需要时),它与试验实施和确定是否符合有关设备性能标准一样重要。若未规定,连接电缆长度至少应为 1.5m,若捆扎成束后至少也应有 1.2m。受试设备与其它相关设备的任何输入和输出应予以连接,或用适当方法进行模拟。

注:若适用,19.3 和 20.3 中要求的连接电缆长度要大于以上规定的最小值。

3.2 多件试验产品的试验顺序

设备制造方负责在设备规范和试验计划中确定进行累积和组合试验的任何要求。在任何这类要求不

能实现的情况下,可以使用多件试验产品,可以按任意顺序进行试验,可以用不同的试验件验证不同试验的符合性。

注:若要求累积试验,或将对单个试验件进行多项试验时,应按如下原则进行:

- a. 盐雾试验不应在霉菌试验之前进行;
- b. 砂尘试验不应在霉菌、盐雾或湿热试验前进行;
- c. 爆炸大气试验不应在 DO-160 的任何其他试验之前进行;
- d. 可燃性试验不应在 DO-160 的任何其他试验之前进行。

3.3 组合试验

允许采用将本文件描述的方法组合在一起而形成的替代试验方法,但要能够证明组合试验方法复现或超过了原来那些试验方法中规定的所有有关环境条件。若使用了替代试验方法,则有关的信息应随环境合格鉴定表一起提供(参见附录 A)。

3.4 试验箱内空气温度的测量

应在能直接代表设备周围空气状态的测量点测量试验箱的空气温度。由于温度滞后和试验箱壁的热传导,测量试验箱壁的温度是不合适的。

可以采用空气循环的方式来确保试验箱内空气温度分布均匀。若采用这一方式,应注意气流不能直接吹向受试设备,试验时,应保持气流流速最小且使箱内温度分布均匀。对不要求有辅助冷却的设备,其周围的空气流速应保持与自然通风中的空气流速一致。

对于那些设备安装说明书中规定需辅助冷却保证正常工作的设备,遵循以下原则:

a. 若冷却介质是空气,除非设备制造商另有规定,所提供的冷却空气特性应与规定的试验箱空气特性相同;

b. 若冷却介质不是空气,则设备制造方应规定介质及其温度。

注:对于安装位置已知,且与其他设备相对位置确定的设备,在试验中应该模拟热辐射源和/或正常对流阻碍状态。

3.5 实验室环境条件

除非另有规定,所有试验应在下列环境条件下进行:

- a. 温度: $+15^{\circ}\text{C}$ 到 $+35^{\circ}\text{C}$;
- b. 相对湿度: 不大于 85%;
- c. 大气压力: $84\text{kPa}\sim 107\text{kPa}$ (相当于 $+5000$ 英尺 ~ -1500 英尺)($+1525\text{m}\sim -460\text{m}$)。

当在不同于上述环境条件下进行试验时,应记录实际条件。

3.6 环境试验条件容差

除非另有规定,在除上述规定环境条件外的其它环境条件下进行试验时,试验条件容差规定如下:

- a. 温度: $\pm 3^{\circ}\text{C}$;
- b. 高度: 规定压力的 $\pm 5\%$ 。

3.7 试验设备

试验时用的所有激励和测量设备都应标有牌号、型号、编号和最新检定日期和/或相应的检定有效期。凡适用时,所有试验设备的检定标准应能追溯到国家和/或国际标准。

3.8 多单元件设备

如果受试设备由几个独立的单元件组成,这些单元件可以分别进行试验,但要保证按照相关设备规范中的规定保持其功能状况。

3.9 敏感性试验的 EUT 配置

按本文件,在电气和电子设备进行任何环境试验(如敏感性试验)期间,受试设备(EUT)应按在外场正常工作期间可能会遇到的最敏感功能模式进行配置。当设备嵌入了基本和/或应用软件时,必须对软件的功能运行(或激励)进行测试,以便显示出设备对测试环境的最大敏感度。对功能配置的描述和理由,包括软件,应在试验报告中提及或报告。

除非在相应的最低性能标准中另有规定。如果硬件和界面非常复杂,并且在已确认的要求基础上能很好地覆盖试验范围并且配置可控,特定目的的硬件/软件试验是可接受的。若使用,特定目的的硬件/软件试验将能完整地验证硬件功能。

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验程序

第 4 章

温度—高度

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期: 2010 年 12 月 8 日

代 替: RTCA/DO-160F
起 草: RTCA SC-135

目 录

4.0	温度—高度	4—1
4.1	试验目的	4—1
4.2	概述	4—1
4.3	设备分类	4—1
4.4	术语定义	4—2
4.5	温度试验	4—3
4.5.1	地面低温耐受试验和低温短时工作试验	4—3
4.5.2	低温工作试验	4—3
4.5.3	地面高温耐受试验和高温短时工作试验	4—3
4.5.4	高温工作试验	4—3
4.5.5	飞行中冷却能力损失试验	4—3
4.6	高度、减压和过压试验	4—4
4.6.1	高度试验	4—4
4.6.2	减压试验	4—4
4.6.3	过压试验	4—4
表 4—1	温度和高度标准	4—5
表 4—2	不同压力高度等效的压力值	4—6
图 4—1	地面低温耐受试验和低温短时工作试验	4—6
图 4—2	低温工作试验	4—7
图 4—3	地面高温耐受试验和高温短时工作试验	4—7
图 4—4	高温工作试验	4—8
图 4—5	飞行中冷却能力损失试验	4—8
图 4—6	高度试验	4—9
图 4—7	减压试验	4—9
图 4—8	过压试验	4—10

4.0 温度—高度

4.1 试验目的

这些试验用于确定设备在表 4—1 中规定的温度和高度的相应类别和表 4—2 规定的压力下的性能特性。

4.2 概述

本章规定了几种温度和高度试验程序,每个程序均按照设备设计安装在飞机上使用时的类别(见 4.3 和表 4—1)进行选择。

注: 温度/高度类别的选择取决于设备在飞机内或飞机上的位置、飞机最高飞行高度和设备是否安装在温度和/或压力控制区内。设备设计人员在评估设备最终应用和使用所确定的这些要求时,必须考虑上述条件。

4.3 设备分类

以下类别包括了大多数种类飞机和安装部位上出现的多种环境。应该承认,这些设备类别并不能包括所有可能的温度和高度组合。4.5.5 规定了飞行中冷却能力失效的类别。

A1 类

预期安装在飞机上控温且增压区域内、而飞机的增压压力通常不低于海拔 15000 英尺(4600m)等效高度压力的设备定义为 A1 类。这一类别也适用于安装在飞行高度不高于海拔 15000 英尺(4600m)飞机上控温但非增压区内的设备。

A2 类

预期安装在飞机上部分控温且增压区域内、而飞机的增压压力通常不低于海拔 15000 英尺(4600m)等效高度压力的设备定义为 A2 类。这一类别也适用于安装在飞行高度不高于海拔 15000 英尺(4600m)飞机上部分控温但非增压区内的设备。

A3 类

预期安装在飞机上控温或部分控温且增压区域内、而飞机的增压压力通常不低于海拔 15000 英尺(4600m)高度等效压力,但该区域内温度比 A1 和 A2 类更严酷的设备定义为 A3 类。

A4 类

预期安装在飞机上控温且增压区域内、而飞机的增压的压力通常不低于海拔 15000 英尺(4600m)高度等效压力,但设备制造商规定的温度要求又不同于 A1 类的设备定义为 A4 类。这一类别也适用于安装在飞行高度不超过海拔 15000 英尺(4600m)飞机上控温但非增压区域内、而设备制造商规定的温度要求不同于 A1 类的设备。

B1 类

预期安装在飞行高度达海拔 25000 英尺(7620m)飞机上非增压、控温区内的设备定义为 B1 类。

B2 类

预期安装在飞行高度达海拔 25000 英尺(7620m)飞机上非增压、不控温区内的设备定义为 B2 类。

B3 类

预期安装在飞行高度达海拔 25000 英尺(7620m)飞机动力舱内的设备定义为 B3 类。

B4 类

预期安装在飞行高度达海拔 25000 英尺(7620m)飞机上非增压舱内,其温度要求不同于 B1 和 B2 类的设备定义为 B4 类。

C1 类

预期安装在飞行高度达海拔 35000 英尺(10700m)飞机上非增压、控温区内的设备定义为 C1 类。

C2 类

预期安装在飞行高度达海拔 35000 英尺(10700m)飞机上非增压、不控温区内的设备定义为 C2 类。

C3 类

预期安装在飞行高度达海拔 35000 英尺(10700m)飞机上动力舱内的设备定义为 C3 类。

C4 类

预期安装在飞行高度达海拔 35000 英尺(10700m)飞机上非增压舱内,其温度要求不同于 C1 和 C2 类的设备定义为 C4 类。

D1 类

预期安装在飞行高度达海拔 50000 英尺(15200m)飞机上非增压、控温区内的设备定义为 D1 类。

D2 类

预期安装在飞行高度达海拔 50000 英尺(15200m)飞机上非增压、不控温区内的设备定义为 D2 类。

D3 类

预期安装在飞行高度达海拔 50000 英尺(15200m)飞机上动力舱内的设备定义为 D3 类。

E1 类

预期安装在飞行高度达海拔 70000 英尺 (21300m) 飞机上非增压、不控温区内的设备定义为 E1 类。

E2 类

预期安装在飞行高度达海拔 70000 英尺 (21300m) 飞机上动力舱内的设备定义为 E2 类。

F1 类

预期安装在飞行高度达海拔 55000 英尺 (16800m) 飞机上非增压、控温区内的设备定义为 F1 类。

F2 类

预期安装在飞行高度达海拔 55000 英尺 (16800m) 飞机上非增压、不控温区内的设备定义为 F2 类。

F3 类

预期安装在飞行高度达海拔 55000 英尺 (16800m) 飞机上动力舱内的设备定义为 F3 类。

4.4 术语定义

低温工作温度

低温工作温度是设备正常暴露于其中并要求工作的最低温度。

高温工作温度

表 4—1 中给出的高温工作温度是在特殊安装区内, 如仪表板后面的密闭空间、设备支架、动力舱区等的设备在正常工作条件下暴露于其中的最高温度值。

短时工作温度

这是设备在地面长时间放置后开始工作时的条件。由于在设备工作的同时会启动冷(热)空气循环或其它控温方式, 可以预料, 这些温度条件不常出现并且持续时间很短。

地面耐受温度

指飞机贮存或暴露于气候极值期间, 设备预期通常会暴露于其中的最低和最高的地面温度。在这些规定的温度极值下, 不要求设备工作, 但要求设备能耐受这些温度而不被损坏。

飞行中冷却能力损失

这一条件表示通常给设备提供专用冷却的内部或外部系统失效后的情况。某些设备在没有冷却的情况下必须在某一限定的时间内不受损坏。这类设备的试验要求应在设备性能规范中规定。

4.5 温度试验

4.5.1 地面低温耐受试验和低温短时工作试验

在环境大气压力下, 设备不工作, 使其温度稳定在表 4—1 中规定的相应地面耐受低温, 并保持这一温度至少 3h。然后在设备不工作状态下以最低为 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率将温度升至表 4—1 中规定的短时工作低温温度。一旦达到此温度, 保持 $30^{\pm 5}\text{min}$ 或直至设备内部温度达到稳定。使设备进入工作状态, 并保持试验箱内空气温度在表 4—1 中规定的相应短时工作低温, 设备至少工作 30min, 工作期间按注 1) 检测设备性能。试验剖面见图 4—1。

- 注: 1) 该试验模拟飞机在地面时设备可能遇到的温度条件。为确定此试验期间的性能要求水平, 必须在试验程序和报告或设备专用性能规范中说明具体设备或系统的工作要求;
- 2) 如果短时工作低温和工作低温相同, 则不需要进行短时低温工作试验。即使短时工作低温与工作低温相同, 地面低温耐受试验也不可以取消。在不通电情况下经受 4.5.1 规定的低温浸泡后, 低温工作时应通电。

4.5.2 低温工作试验

在环境大气压力下, 使设备处于工作状态, 调节试验箱内空气温度到表 4—1 中规定的相应的工作低温。在设备达到温度稳定后, 保持试验箱内空气温度在工作低温条件下使设备工作至少 2h。工作期间, 确定是否符合有关设备性能标准。试验剖面见图 4—2。

4.5.3 地面高温耐受试验和高温短时工作试验

在环境大气压力下, 设备不工作, 使其温度稳定在表 4—1 中相应的地面耐受高温, 并保持这一温度至少 3h。然后在设备不工作状态下以最低为 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率将温度升至表 4—1 中规定的短时工作高温。一旦达到此温度, 保持 $30^{\pm 5}\text{min}$ 或直至设备内部温度达到稳定。使设备进入工作状态, 并保持试验箱内空气温度在表 4—1 中规定的相应的短时工作高温, 设备工作至少 30min, 工作期间按注 1) 检测设备性能。试验剖面见图 4—3。

- 注: 1) 该试验模拟飞机在地面时设备可能会遇到的温度条件。为确定此试验期间的性能要求水平, 必须在试验程序和报告或设备专用性能规范中说明具体设备或系统的工作要求;
- 2) 如果短时工作高温和高温工作温度相同, 则不需要进行短时高温工作试验。即使短时工作高温与高温工作温度相同, 地面高温耐受试验也不可以取消。在不通电情况下经受 4.5.3 规定的高温浸泡后, 高温工作时应通电。

4.5.4 高温工作试验

在环境大气压力下，使设备处于工作状态，调节试验箱内空气温度到表 4—1 中规定的相应高温工作温度。在设备达到温度稳定后，保持试验箱内空气温度在高温工作温度条件下使设备工作至少 2h。工作期间，确定是否符合有关设备性能标准。试验剖面见图 4—4。

4.5.5 飞行中冷却能力损失试验

飞行中冷却能力损失试验时间分类，由撤除冷却的时间确定：

V 类——最少 30min

W 类——最少 90min

P 类——最少 180min

Y 类——最少 300min

Z 类——按设备规范规定

使设备在试验室环境大气压力下工作，并按 3.4 规定的条件提供冷却空气，调节试验箱内空气温度到表 4—1 中冷却能力损失试验规定的值，并使设备达到温度稳定。关闭设备冷却空气源，保持试验箱内空气温度为表 4—1 中规定的值，使设备工作相应类别规定的时间。此期间，确定是否符合有关设备性能标准。试验剖面见图 4—5。

注：此试验适用于 4.5.4 高温工作试验期间为保证正常工作需要冷却的设备，飞行冷却能力损失后造成的设备功能失效将构成或引起妨碍飞机继续安全飞行和着陆等故障状态，设备的冷却由外部提供或供电。

4.6 高度、减压和过压试验

高度见表 4—1，压力见表 4—2。

4.6.1 高度试验

在环境温度下进行这一试验，使设备以最大负荷周期工作，将试验箱内的压力降至表 4—1 规定的相应最高工作高度。使设备达到温度稳定。保持此压力至少 2h。在 2h 或最大负荷周期工作期间（以长者为准），确定是否符合有关设备性能标准。试验剖面见图 4—6。

注：当设备制造商要求设备在高度上进行瞬间放电试验，可按 9.6a 和 9.6b 进行。如果这样的话，应在最大试验高度上进行 9.7 程序，而 3.3（组合试验）可能也适用。

4.6.2 减压试验

在环境温度下进行此试验，使设备工作，调节绝对压力至等效于海拔 8000 英尺（2400m）的高度，并使设备达到温度稳定。降低绝对压力至等效于设备将要安装飞机的最大飞行高度（见表 4—1）。减压在 15s 内完成。保持此降低了的压力至少 10min 或设备规范中规定的时间。在最大飞行高度期间，确定是否符合有关设备性能标准。试验剖面见图 4—7。

注：预期进行减压试验的设备如下：

- 1) 安装在飞机增压区内要求在压力紧急下降期间和之后工作的设备；
- 2) 安装有高压电气/电子电路的设备，如显示器等。

预期安装在部分增压区内的设备应按上述 4.6.1 进行试验。

4.6.3 过压试验

除非设备规范另有规定，在设备不工作状态下，使设备经受等效于一 15000 英尺高度的绝对压力（170kPa）。保持这一条件至少 10min。使设备恢复至环境大气压力，确定是否符合有关设备性能标准。试验剖面见图 4—8。

- 注：**
- 1) 此试验适用于安装在增压区内设备，用于确定设备是否能经受住例行的飞机增压系统试验引起的舱内过压；
 - 2) 设备安装在增压区内，且其内部与外部增压区相通，过压试验期间应使其内部暴露于设备规范规定的压力下。

表 4—1 温度和高度标准

环境试验	设备类别 (4.3)																			
	A				B				C				D			E		F		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	1	2	3
低温工作温度(℃)	—15	—15	—15	—15	—20	—45	—45	注(4)	—20	—55	—55	注(4)	—20	—55	—55	—55	—55	—20	—55	—55
4.5.2																				
高温工作温度(℃)	+55	+70	+70	注(3)	+55	+70	注(3)	注(4)	+55	+70	注(3)	注(4)	+55	+70	注(3)	注(3)	注(3)	+55	+70	注(3)
4.5.4																				
低温短时工作温度(℃)	—40	—40	—40	注(3)	—40	—45	注(3)	注(4)	—40	—55	注(3)	注(4)	—40	—55	—55	—55	—55	—40	—55	—55
4.5.1																				
高温短时工作温度(℃)	+70	+70	+85	注(3)	+70	+70	注(3)	注(4)	+70	+70	注(3)	注(4)	+70	+70	注(3)	注(3)	注(3)	+70	+70	注(3)
4.5.3																				
冷却能力损失试验(℃)	+30	+40	+45	注(3)	+30	+40	注(3)	注(3)	+30	+40	注(3)	注(3)	+30	+40	注(3)	注(3)	注(3)	+30	+40	注(3)
4.5.5																				
地面耐受低温(℃)	—55	—55	—55	注(3)	—55	—55	注(3)	—55	—55	—55	注(3)	—55	—55	—55	—55	—55	—55	—55	—55	—55
4.5.1																				
地面耐受高温(℃)	+85	+85	+85	注(3)	+85	+85	注(3)	+85	+85	+85	注(3)	+85	+85	+85	注(3)	+85	注(3)	+85	+85	注(3)
4.5.3																				
高度																				
千英尺	15	15	15	15	25	25	25	25	35	35	35	35	50	50	50	70	70	55	55	55
千米	4.6	4.6	4.6	4.6	7.6	7.6	7.6	7.6	10.7	10.7	10.7	10.7	15.2	15.2	15.2	21.3	21.3	16.8	16.8	16.8
4.6.1																				
减压试验	注(1)	注(1)	注(1)	注	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4.6.2	(4)	(4)	(4)	(1)																
				(4)																
过压试验	注(2)	注(2)	注(2)	注	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4.6.3				(2)																

注：1) 减压试验所用的最低压力为设备将安装飞机的最大飞行高度压力；

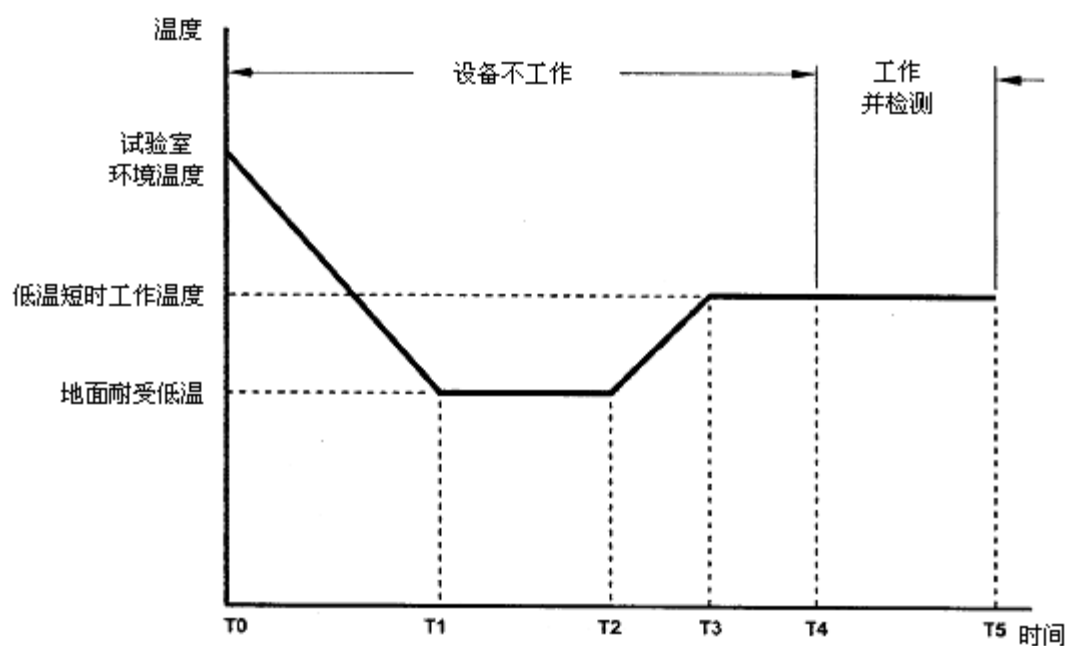
2) 绝对压力为 170kPa(—15000 英尺或—4600m)；

3) 温度极值由设备制造厂说明；

4) 由设备制造厂说明，若有特殊的关键性准则时应在制造厂安装说明书中规定。

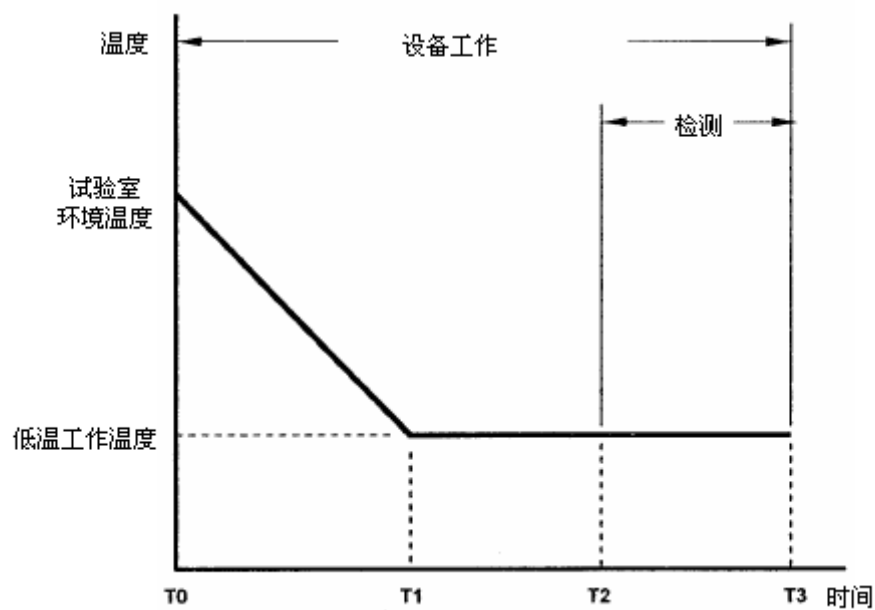
表 4—2 不同压力高度等效的压力值

压力高度	绝对压力			
	kPa	(mbars)	(in Hg)	mm Hg
—15, 000ft(—4, 572m)	169.73	1697.3	50.12	1273.0
—1, 500ft(—457m)	106.94	1069.4	31.58	802.1
0ft(0m)	101.32	1013.2	29.92	760.0
+8, 000ft(+2, 438m)	75.26	752.6	22.22	564.4
+15, 000ft(+4, 572m)	57.18	571.8	16.89	429.0
+25, 000ft(+7, 620m)	37.60	376.0	11.10	282.0
+35, 000ft(+10, 668m)	23.84	238.4	7.04	178.8
+50, 000ft(+15, 240m)	11.60	116.0	3.42	87.0
+55, 000ft(+16, 764m)	9.12	91.2	2.69	68.3
+70, 000ft(+21, 336m)	4.44	44.4	1.31	33.3



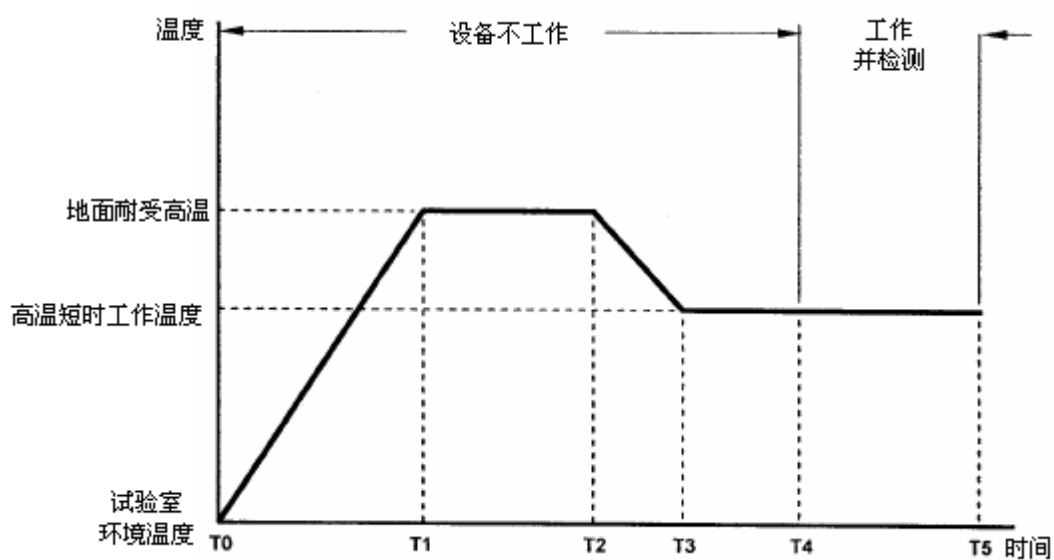
- 注：1) 从 T0 到 T1 温度变化速率不作规定；
 2) T1 到 T2 为设备达到温度稳定时间加上至少 3h；
 3) T2 到 T3 最小温度变化速率为 2℃/min；
 4) T3 到 T4 为 30^{±5}min 或内部达到温度稳定时间；
 5) T4 到 T5 至少 0.5h；
 6) 如果地面耐受低温和短时低温相同，T2 到 T4 时间为零；
 7) 如果低温短时工作温度与低温工作温度相同，试验程序见 4.5.1 注(2)。

图 4—1 地面低温耐受试验和低温短时工作试验



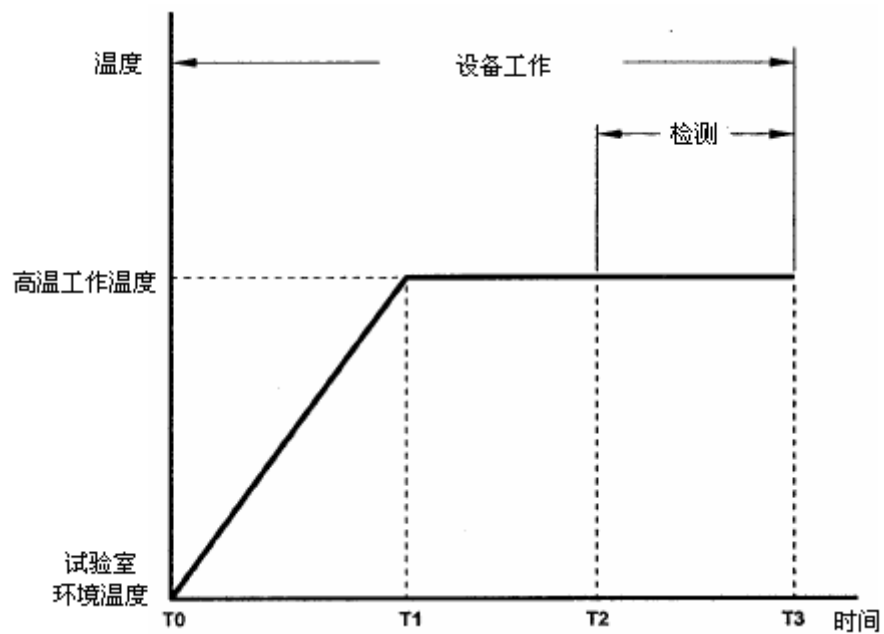
- 注：1) 从 T0 到 T1 温度变化速率不作规定；
 2) T1 到 T2 为设备达到温度稳定时间；
 3) T2 到 T3 至少 2h。

图 4—2 低温工作试验



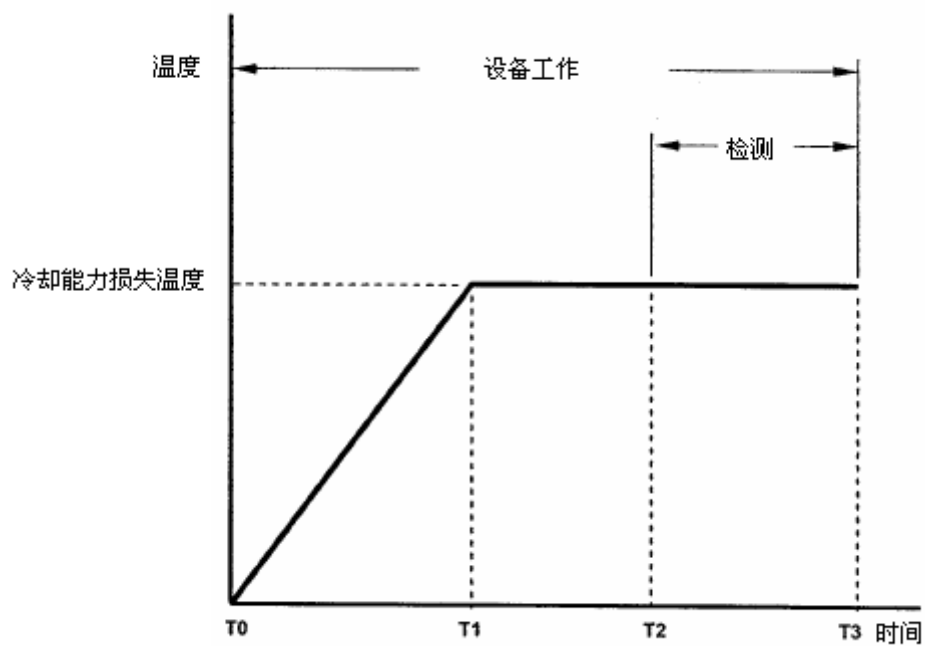
- 注：1) 从 T0 到 T1 温度变化速率不作规定；
 2) T1 到 T2 为设备达到温度稳定时间加上至少 3h；
 3) T2 到 T3 最小温度变化速率为 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；
 4) T3 到 T4 为 30^{+5}_{-0}min 或内部达到温度稳定时间；
 5) T4 到 T5 至少 0.5h；
 6) 如果地面耐受高温和短时高温相同，T2 到 T4 时间为零；
 7) 如果高温短时工作温度与高温工作温度相同，试验程序见 4.5.3 注(2)。

图 4—3 地面高温耐受试验和高温短时工作试验



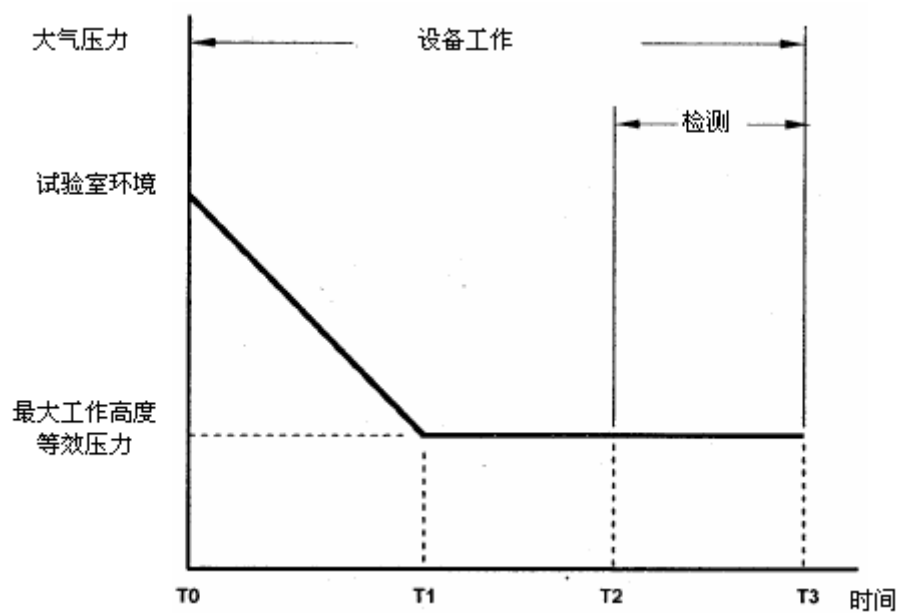
- 注：1) 从 T_0 到 T_1 温度变化速率不作规定；
 2) T_1 到 T_2 为设备达到温度稳定时间；
 3) T_2 到 T_3 至少 2h。

图 4—4 高温工作试验



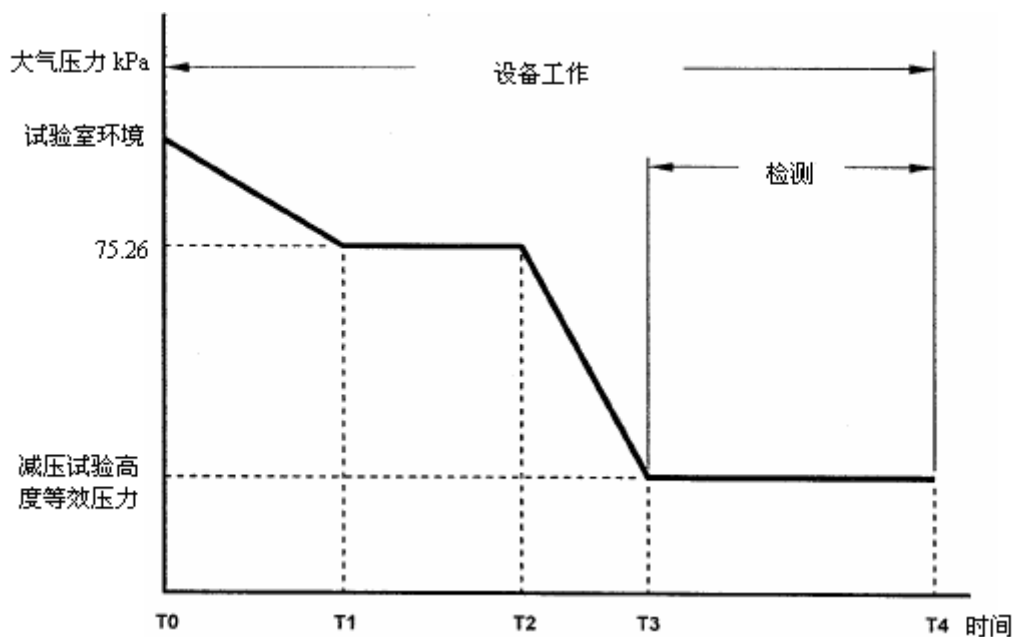
- 注：1) 从 T_0 到 T_1 温度变化速率不作规定；
 2) T_1 到 T_2 为设备达到温度稳定时间；
 3) T_2 到 T_3 持续时间见 4.5.4。

图 4—5 飞行中冷却能力损失试验



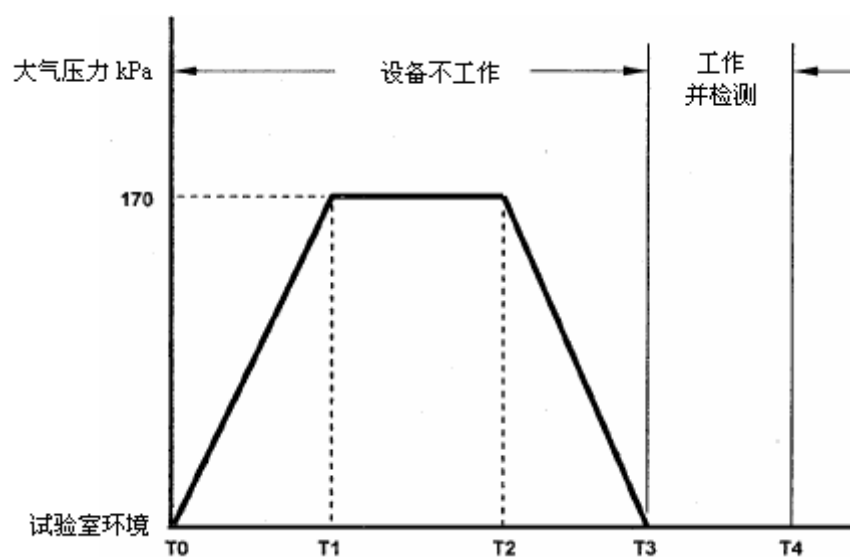
- 注：1) 从 T0 到 T1 压力变化速率不作规定；
 2) T1 到 T2 为设备达到温度稳定时间；
 3) T2 到 T3 至少 2h。

图 4—6 高度试验



- 注：1) 从 T0 到 T1 压力变化速率不作规定；
 2) T1 到 T2 为设备达到温度稳定时间；
 3) T2 到 T3 最大为 15s；
 4) T3 到 T4 至少 10min。

图 4—7 减压试验



- 注：1) T0 到 T1、T2 到 T3 压力变化速率不作规定；
 2) T1 到 T2 至少 10min；
 3) T3 到 T4 为设备工作和检测所需的最小时间。

图 4—8 过压试验

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验程序

第 5 章

温度变化

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO-160F
起 草：SC-135

目 录

5.0 温度变化·····	5—1
5.1 试验目的·····	5—1
5.2 温度变化速率·····	5—1
5.3 试验程序·····	5—1
5.3.1 A、B 和 C 类试验程序·····	5—1
5.3.2 S1 类试验程序·····	5—2
5.3.3 S2 类试验程序·····	5—3
图 5—1 温度变化试验·····	5—2

5.0 温度变化

5.1 试验目的

本试验用于确定设备在高、低温工作温度极值之间变化过程中的性能特性。表 4—1 给出了相应的飞行工作类别。对 A、B 和 C 类，当这些设备按 4.5.1、4.5.2、4.5.3 和 4.5.4 规定的方法进行试验时，还要进行 5.3.1 规定的温度变化试验。对 S1 和 S2 类，设备要按 5.3.2 或 5.3.3 进行温度冲击试验。

注：本试验不用于验证设备在潮湿或结冰环境中的表现。在进行本试验时，试验箱应具备将湿度控制或调节在一定范围内的能力，从而使冷凝降低到最小或不发生。

5.2 温度变化速率

5.3 中的温度变化程序相应的温度变化速率如下：

A 类：飞机外部或内部设备：最小 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

B 类：飞机内部温度不控制或部分控制区内的设备：最小 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

C 类：飞机内部温度控制区内设备：最小 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

S1 类：飞机外部或内部设备：已知温度变化速率大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。应在合格鉴定表中注明温度变化速率具体值。

S2 类：飞机外部或内部设备：未知温度变化速率是否大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

注：1) 满足 B 类的设备也可以认为满足 C 类；

2) 最小温度变化速率大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 被认为是温度冲击。S1 和 S2 类预定用于评估温度突变或快速变化对设备产生的影响。设备的外表面、外部区域或连接面可能是温度冲击期间主要考核对象，而内部区域要达到温度稳定需要相对长的时间。

3) 对 S1 和 S2 类温度冲击，在温度变化速率已知的情况下，使用 S1 类，否则使用 S2 类。

5.3 试验程序

5.3.1 A、B 和 C 类试验程序

温度变化试验(S1 和 S2 类除外)能与 4.5.1 地面低温耐受试验和低温短时工作试验、4.5.2 低温工作试验、4.5.3 地面高温耐受试验和高温短时工作试验、以及 4.5.4 高温工作试验等试验程序组合进行。应使用以下试验程序：

a. 如果试验是组合试验，首先进行 4.5.1“地面低温耐受试验和低温短时工作试验”，并且不需要恢复到环境温度接着进行 4.5.2“低温工作试验”。在 4.5.1 和 4.5.2 规定的试验完成后，从 c 开始进行余下的试验。如果试验不是组合试验，在环境温度下使设备工作，按 5.2 规定的相应变化速率将试验箱内温度降至低温工作温度；

b. 将处于工作状态设备的温度稳定在低温工作温度；

c. 按 5.2 规定的相应变化速率将试验箱内温度升至高温工作温度。在此温度变化期间，确定是否符合有关设备性能标准；

d. 使设备在高温工作温度下达到温度稳定。如果是组合试验，首先进行 4.5.3“地面高温耐受试验和高温短时工作试验”，并且不需要恢复到环境温度接着进行 4.5.4“高温工作试验”。而后保持设备在不工作状态下至少 2min；

e. 启动设备，按 5.2 规定的相应变化速率将试验箱内温度降至低温工作温度。在此温度变化期间，确定是否符合有关设备性能标准；

f. 使设备和试验箱温度稳定在低温工作温度，使设备至少工作 1h。而后使设备断电 30min，在试验箱内温度保持在低温工作温度下，重新启动设备；

g. 按 5.2 规定的相应变化速率将试验箱内温度升至试验室环境温度；

h. 使试验箱和设备在环境温度下达到温度稳定，立即、最终或在循环期间的适当时间确定是否符合有关设备性能标准。

至少应完成两个循环(上述的 a~h)。如果在一次循环的每一温度变化段期间能完成确定与相应的设备性能标准的符合性，则仅需在第二个循环期间进行测试。如果温度变化段期间的时间不足以完成确定与相应设备性能标准的符合性，则应进行足够次数的循环，以便确定其全面符合性。试验期间当温度升高引起设备上出现凝露的潜在危险时，应控制试验箱内空气湿度以便消除这种凝露。试验剖面见图 5—1。

要求试验设备应是一个双室的试验箱，或由两个独立的试验箱组成，在试验箱中能稳定并保持试验条件。试验箱 1 应设定为低温工作温度，试验箱 2 应设定为高温工作温度。在试验箱中放入设备可能会改变试验箱内环境条件，在此情况下，在试验样品转入后 5min 内温度应达到稳定。

应使用以下试验程序：

- a. 在试验箱 1 中放入设备，并使设备运行；
- b. 若设备工作，使其在低温工作温度下达到温度稳定；
- c. 尽可能快地将设备从试验箱 1 中转入试验箱 2 中，但最长不超过 5min。当使用两个分离的试验箱时，允许在设备转入后立即使设备运行。若转换过程要求大于 5min，则应在合格鉴定表中注明；
- d. 若设备工作，让设备在高温工作温度下达到温度稳定。温度稳定过程中，确定是否符合有关设备性能标准；
- e. 关闭设备，使设备在不工作状态下保持至少 2min；
- f. 启动设备，尽可能快地将设备从试验箱 2 中转入试验箱 1 中(从高温转入低温)，但最长不超过 5min。当使用两个分离的试验箱时，允许在设备转入后立即使设备运行。若转换过程要求大于 5min，则应在合格鉴定表中注明；
- g. 若设备工作，让设备在低温工作温度下达到温度稳定，而后使设备继续工作至少 1h。温度稳定过程中，确定是否符合有关设备性能标准；
- h. 关闭设备 30min，在试验箱 1 保持在低温工作温度下重新启动设备；
- i. 使设备恢复至环境温度，在设备达温度稳定后，按相应的循环，再次或最终确定是否符合有关设备性能标准。

至少应完成两个循环(上述的 a~h)。如果在一次循环的每一温度变化段期间能完成确定与相应的设备性能标准的符合性，则仅需在第二个循环期间进行测试。如果温度变化段期间的时间不足以完成确定与相应设备性能标准的符合性，则应进行足够次数的循环，以便确定其全面符合性。试验期间当温度升高引起设备上出现凝露的潜在危险时，应控制试验箱内空气湿度以便消除这种凝露。

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验程序

第 6 章

湿热

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO-160F
起 草：SC-135

目 录

6.0	湿热	6-1
6.1	试验目的	6-1
6.2	设备分类	6-1
6.3	试验程序	6-1
6.3.1	A 类—标准湿热环境	6-1
6.3.2	B 类—严酷湿热环境	6-1
6.3.3	C 类—外部湿热环境	6-2
6.3.4	抽检	6-2
6.3.5	其它规定的检查	6-2
图 6-1	A 类 标准湿热环境试验	6-3
图 6-2	B 类 严酷湿热环境试验	6-3
图 6-3	C 类 外部湿热环境试验	6-4

6.0 湿热

6.1 试验目的

本试验确定设备耐受自然的或诱发的潮湿大气的能力。预期的主要有害影响是：

- a. 腐蚀。
- b. 吸收湿气而引起设备性能的改变。例如：
 - 机械性能(金属)；
 - 电气性能(导体和绝缘体)；
 - 化学性能(吸湿的元件)；
 - 热性能(隔热体)。

6.2 设备分类

A类——标准湿热环境

标准湿热环境常作为准备安装在民用飞机、非民用运输机和其他种类飞机的环境控制舱内设备的相应试验环境。在这些飞机的环境控制舱内通常不会遇到严酷的湿热环境。

B类——严酷的湿热环境

要求安装在环境非控制区内的设备可在更为严酷的大气潮湿环境条件下工作，且工作时间超过标准湿热环境规定的时间。

C类——外部湿热环境

要求设备可在直接接触外界空气的条件下工作，其工作时间超过标准湿热环境中规定的时间。

6.3 试验程序

在下列步骤中，除非另有说明，受试设备均应置于相对湿度(RH)为 $95 \pm 4\%$ 的大气中。应通过蒸汽或水的蒸发提供湿气，所用的水在 25°C 条件下测得的 pH 值在 $6.5 \sim 7.5$ 之间或电阻率不低于 $250,000$ 欧姆·厘米。流过暴露区的空气速度应在 $0.5 \sim 1.7\text{m/s}$ 之间。试验箱应设有排气孔，以防气压升高，并应采取措施防止水滴到设备上。

6.3.1 A类—标准湿热环境

试验剖面如图 6—1 所示。试验程序应按下列步骤进行：

步骤 1：将受试样品按实际使用状态安装在试验箱内。

步骤 2：受试样品在 $38 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $85 \pm 4\%$ 条件下保持稳定。

步骤 3：在 $2\text{h} \pm 10\text{min}$ 内，将试验箱温度升到 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度升到 $95 \pm 4\%$ 。

步骤 4：保持试验箱温度 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 和相对湿度 $95 \pm 4\%$ ，时间至少为 6h。

步骤 5：在以后的 $16\text{h} \pm 15\text{min}$ 内，将温度逐渐降到 $38 \pm 2^\circ\text{C}$ 或更低。在此期间，保持尽可能高的相对湿度，且不允许低于 85% 。

步骤 6：步骤 3，4 和 5 构成一个循环，重复这些步骤直到共完成 2 个循环(暴露 48h)。

步骤 7：暴露期结束后，从试验箱中取出设备并排除冷凝水(不能擦干)。在 2 个循环完成后的 1h 内，给设备施加正常供电，并启动设备工作。设备施加主电源后预热时间最多允许 15min。对于不依靠电力工作的设备，用不超过相应设备类别要求的高温短时工作试验时的热量，使设备预热最多 15min。预热阶段一结束，立即进行必要的试验和测试，确定是否符合有关设备性能标准。

6.3.2 B类—严酷湿热环境

试验剖面如图 6—2 所示。试验程序应按下列步骤进行：

步骤 1：将受试样品按实际使用状态安装在试验箱内。

步骤 2：受试样品在 $38 \pm 2^\circ\text{C}$ 和相对湿度 $85 \pm 4\%$ 条件下保持稳定。

步骤 3：在 $2\text{h} \pm 10\text{min}$ 内，将试验箱温度升到 65°C ，相对湿度升到 $95 \pm 4\%$ 。

步骤 4：保持试验箱温度 65°C 和相对湿度 $95 \pm 4\%$ ，时间至少为 6h。

步骤 5：在以后的 $16\text{h} \pm 15\text{min}$ 内，将温度逐渐降到 $38 \pm 2^\circ\text{C}$ 。在此期间，保持尽可能高的相对湿度，且不允许其低于 85% 。

步骤 6：步骤 3，4 和 5 构成一个循环，重复这些步骤直到共完成 10 个循环(暴露 240h)。

步骤 7：暴露期结束时，从试验箱中取出设备并排除冷凝水(不能擦干)。在 10 个循环完成以后的 1h 内，施加正常供电，并启动设备工作。设备施加主电源后预热时间最多允许 15min。对于不依靠电力工作的设备，用不超过相应设备类别要求的高温短时工作试验时的热量，使设备预热最多 15min。预热阶段一结束，立即进行必要的试验和测试，确定是否符合有关设备性能标准。

6.3.3 C类—外部湿热环境

试验剖面如图 6—3 所示。试验程序应按下列步骤进行：

步骤 1：将受试样品按实际使用状态安装在试验箱内。

步骤 2：受试样品在 $38\pm 2^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $85\pm 4\%$ 条件下保持稳定。

步骤 3：在 $2\text{h}\pm 10\text{min}$ 内，将试验箱温度升到 $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度升到 $95\pm 4\%$ 。

步骤 4：保持试验箱温度 55°C 和相对湿度 $95\pm 4\%$ ，时间至少为 6h。

步骤 5：在以后的 $16\text{h}\pm 15\text{min}$ 内，将温度逐渐降到 $38\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。在此期间，保持尽可能高的相对湿度，且不允许其低于 85%。

步骤 6：步骤 3，4 和 5 构成一个循环，重复这些步骤直到共完成 6 个循环(暴露 144h)。

步骤 7：暴露期结束时，从试验箱中取出设备并排除冷凝水(不能擦干)。在 6 个循环完成以后的 1h 内，施加正常供电，并启动设备工作。设备施加主电源后预热时间最多允许 15min。对于不依靠电力工作的设备，用不超过相应设备类别要求的高温短时工作试验时的热量，使设备预热最多 15min。预热阶段一结束，立即进行必要的试验和测试，确定是否符合有关设备性能标准。

6.3.4 抽检

为了抽查受试设备在试验应力下的性能，可在外部湿热环境试验程序的第 6 循环、严酷湿热环境试验程序的第 10 循环快结束时使受试设备工作，工作时间不能超过 15min。

6.3.5 其它规定的检查

如果有关性能标准要求进行其它的检查来确定其是否符合要求，这些检查也应在湿热试验期间完成。

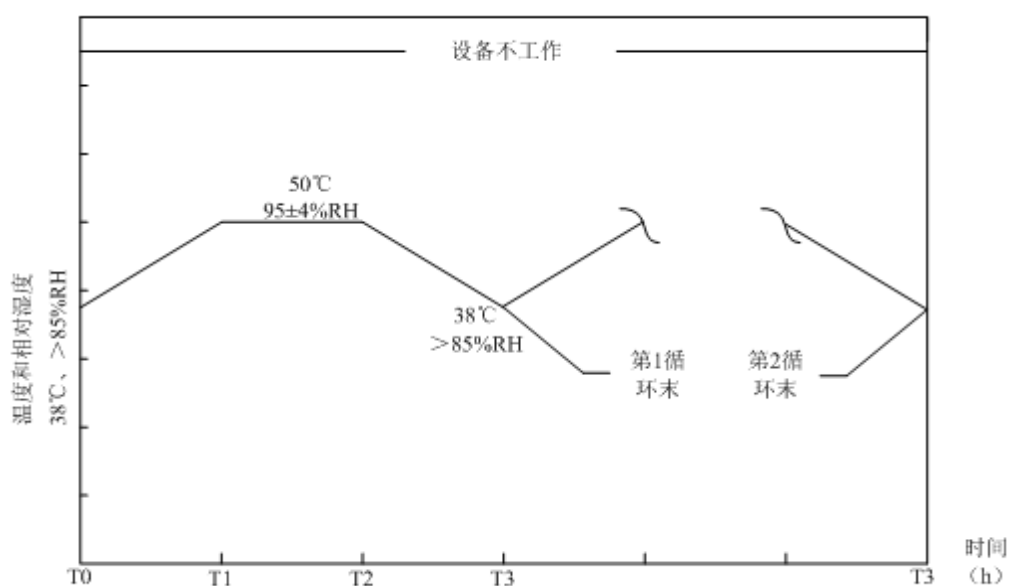


图 6—1 A 类—标准湿热环境试验试验

- 注：1) T0 ~ T1 为 2h±10min。
 2) T1 ~ T2 至少为 6h。
 3) T2 ~ T3 为 16h±15min，在此期间，保持相对湿度宜不低于 85%。
 4) 第 2 循环结束后继续进行的试验，见 6.3.1 步骤 7。
 5) T0 表示下一个循环的开始，而不是试验的起始点。

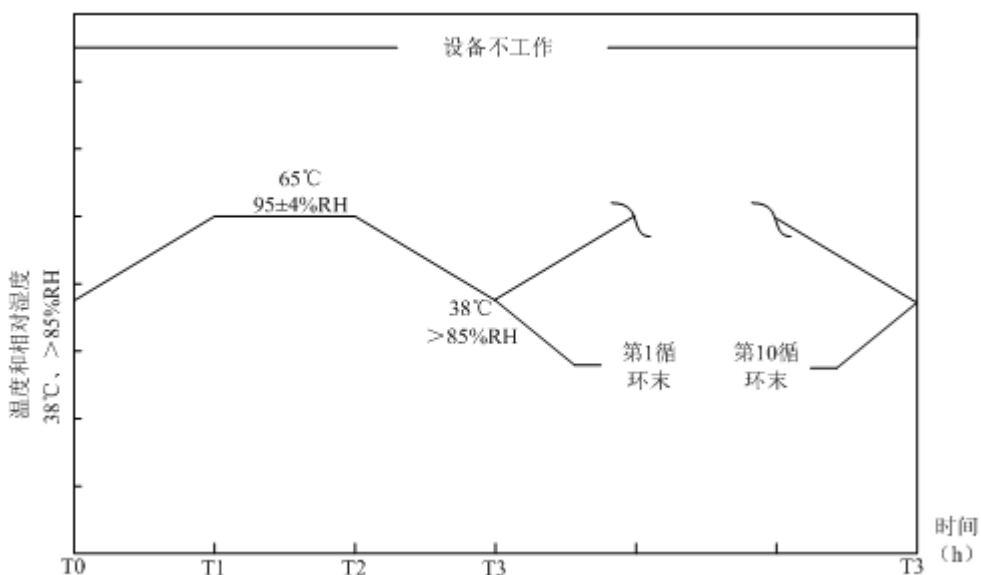


图 6—2 B 类—严酷湿热环境试验试验

- 注：1) T0 ~ T1 为 2h±10min。
 2) T1 ~ T2 至少为 6h。
 3) T2 ~ T3 为 16h±15min，在此期间，保持相对湿度不低于 85%。
 4) 第 10 循环结束后继续进行的试验，见 6.3.2 步骤 7。
 5) T0 表示下一个循环的开始，而不是试验的起始点。

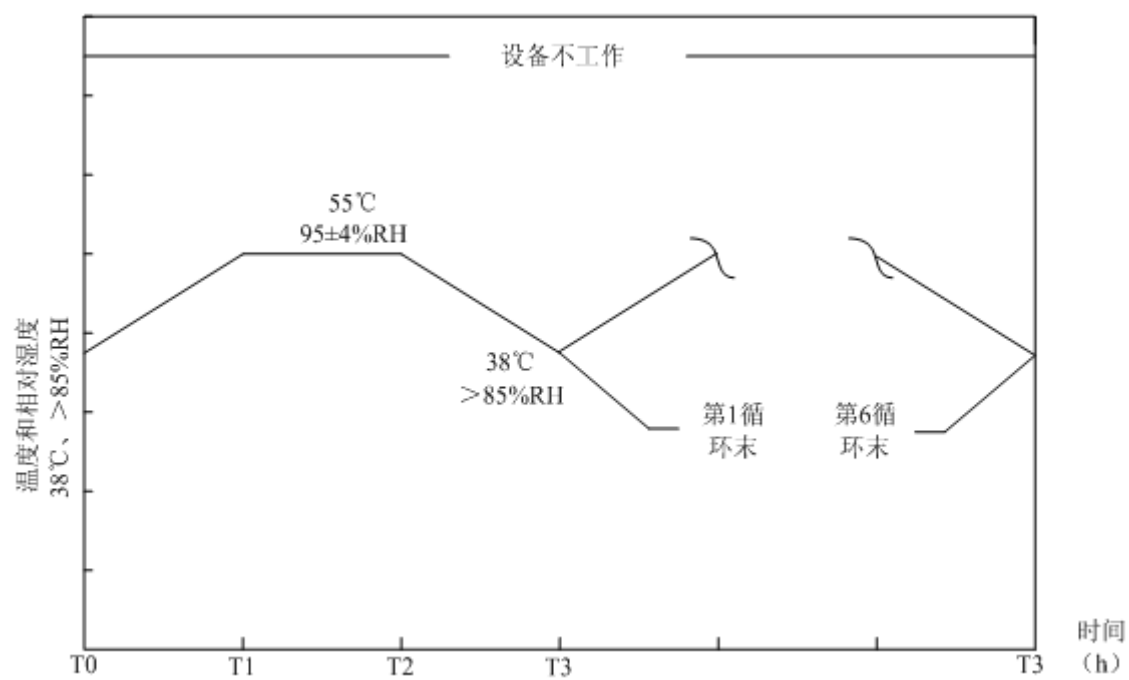


图6—3 C类—外部湿热环境试验试验

- 注：1) T0 ~ T1 为 $2h \pm 10min$.
- 2) T1 ~ T2 至少为 6h.
- 3) T2 ~ T3 为 $16h \pm 15min$ ，在此期间，保持相对湿度不低于 85%.
- 4) 第 6 循环结束后继续进行的试验，见 6.3.3 步骤 7。
- 5) T0 表示下一个循环的开始，而不是试验的起始点。

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验程序

第 7 章

工作冲击和坠撞安全

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2007 年 12 月 6 日

代 替：RTCA/DO-160E
起 草：SC-135

目 录

7.0 工作冲击和坠撞安全	7-1
7.1 试验目的	7-1
7.1.1 设备分类	7-1
7.2 工作冲击	7-1
7.2.1 试验程序	7-1
7.2.2 替代试验程序	7-2
7.3 坠撞安全	7-2
7.3.1 试验程序 1(冲击)	7-2
7.3.2 替代试验程序(冲击)	7-2
7.3.3 试验程序 2(持续载荷)	7-2
表 7-1 坠撞安全持续载荷试验量值	7-3
图 7-1 冲击测量系统的频率响应	7-3
图 7-2 后峰锯齿冲击脉冲的形状及其容差极限	7-4
图 7-3 坠撞安全持续载荷试验定义	7-5

7.0 工作冲击和坠撞安全

7.1 试验目的

工作冲击试验用于验证设备在承受飞机正常工作所遇到的冲击后是否将继续工作在其性能标准范围内。飞机在滑行、着陆期间,或者飞机在飞行中突然遇到阵风时,可能出现这样的冲击。本试验适用于所有安装在固定翼飞机和直升机上的设备。本标准将提供两种工作冲击试验曲线:一个为标准 11ms 脉冲,另一个为低频 20ms 的脉冲。对于最低共振频率(按第 8 章的规定)低于 100Hz 的设备,20ms 的脉宽可能不足以考核其对更长持续时间冲击的效应,对于这类设备,宜考虑用持续时间为 100ms 的脉宽。

坠撞安全试验用于验证特定设备在应急着陆期间不会与安装支架分离,或者不会以一种危险的方式脱开。它适用于安装在座舱和飞机其他区域内的、在紧急着陆期间发生分离时会危及到乘员、燃油系统或者紧急逃生设备安全的设备。本试验并不能满足 FAR 对所有设备提出的要求,例如座椅与座椅限制器。

注:对于固定翼飞机:可以通过使用“持续载荷”试验程序中的“未知或随机”方向规定的试验条件来完成完整的安装验证,即,包括除坠撞安全载荷外的飞机加速度载荷(如飞行机动、阵风和着陆)。

为了确保记录的冲击脉冲在图 7-2 规定的容差范围内,在冲击试验装置上使用模拟负载可能是必要的。

7.1.1 设备分类

类别 A

仅进行标准工作冲击试验的设备。

类别 B

既进行标准工作冲击又进行坠撞安全试验的设备。

类别 D

仅进行低频工作冲击试验的设备。

类别 E

既进行低频工作冲击又进行低频坠撞安全试验的设备。

7.2 工作冲击

一般情况下在进行工作冲击试验后要求满足性能要求。如果要求在施加冲击脉冲期间对设备进行监测,则必须在相关设备规范中提出监测要求。

7.2.1 试验程序

用刚性试验夹具和实际安装所使用的安装方法将设备固定在冲击台面上。设备的安装宜包括正常安装所用的非结构连接件。用于测量或控制输入冲击脉冲的加速度计,应安装在尽可能靠近设备固定点的位置。测量加速度的试验系统的精度,应在标准读数的 $\pm 10\%$ 范围内。除非在 EUT 细则中另作说明,在设备处于工作状态,并且其温度达到稳定后,对试件每个方向进行 3 次冲击,冲击波形采用后峰锯齿波,冲击加速度峰值为 6g。对于标准冲击试验,其标称脉冲持续时间为 11ms,而对于低频冲击试验,其脉冲持续时间为 20ms。用于验证性能符合性的测量系统的特性见图 7-1,冲击脉冲的容差极限见图 7-2。可使用等效冲击响应谱取代后峰锯齿波形。

在冲击完成后,确定是否符合有关设备性能标准。

当使用常规的跌落冲击机时,设备应在如下方向进行冲击试验:

- 正常直立位置;
- 悬挂倒置;
- 在设备的第一主正交轴依次与冲击机台面构成+90 度角和-90 度角(两种取向)的位置;
- 在设备的第二主正交轴依次与冲击机台面构成+90 度角和-90 度角(两种取向)的位置。

7.2.2 替代试验程序

允许将设备按正常工作方向(即以其在飞机上的安装方向作为空间取向)安装,施加 7.2.1 规定的冲击,在三个正交轴的两个方向上都施加三次冲击。

7.3 坠撞安全

如果要进行坠撞安全试验,那么冲击试验程序和持续载荷试验程序都应进行。

在 7.3.1、7.3.2 或 7.3.3 规定的冲击试验期间,可以使用等效质量(模拟负载)来代替正常情况下安装在设备机箱内或者机架上的电气-机械部件。这种等效质量应接近替代部件的质量,其放置位置应使设备的重心基本不变。等效质量与被替代部件相比,不应显著增加设备机箱或其安装连接装置的强度。

7.3.1 试验程序 1(冲击)

用刚性试验夹具和实际安装所使用的安装方法将设备或模拟负载固定在冲击台面上。

对 7.2.1 列出的六个设备方向的每一方向，施加 1 次 20g 冲击，冲击波形与图 7-1 和图 7-2 规定的波形相同。在进行六次冲击后，允许有弯曲和变形，但安装连接件不应出现破坏，设备或模拟负载仍应保持在原位。

7.3.2 替代试验程序(冲击)

允许将设备按正常工作方向安装，进行 7.3.1 规定的冲击，在三个正交轴的两个方向上施加冲击。

7.3.3 试验程序 2(持续载荷)

下面所列的持续载荷试验程序一般使用离心机或火箭撬来进行。但是，在有些情况下，如果能确定设备中的其他部件在脱落时仍能保持在设备机箱内部，那么利用通过受试设备的重心施加静态力来模拟惯性效应是可以接受的。

用刚性试验夹具和实际安装所使用的安装方法将设备或模拟负载固定在试验设施上。对每个载荷方向至少施加 3s 适当的试验载荷。表 7-1 中的“载荷方向”为飞机的主正交轴向。表 7-1 还给出了试验量值要求*。凡已知设备相对于飞机轴向的方位时，就能够确定所需的载荷量值和载荷相对于设备的方向。飞机方向和有关离心机试验的定义见图 7-3。如果受试设备的方向是未知的，或者其相对于飞机轴向不固定，那么需要按表 7-1 规定的设备三个正交轴向的每一方向随机选取方向。在完成六个方向载荷施加后，应允许出现弯曲与变形，但安装连接件不应出现破坏，设备或模拟负载应保持在原位。

坠撞安全载荷要求代表了惯性载荷要求，载荷方向与加速度 g 方向相同。如果使用静态力试验来证明其符合性，载荷方向宜与 g 方向一致。如果使用离心机进行试验，载荷方向与加速度的方向相反。为了通过离心机试验来模拟惯性载荷，设备的朝向必须确保载荷处于正确的方向，而不是使加速度处于规定方向。例如，要进行 9g 的前向试验，设备的前端应朝向背离离心机中心的方向。那样将模拟设备受到 9g 前向加速度条件下的惯性载荷。

*小心：这些试验量值可能不满足 FAR 的安装要求。

表 7-1 坠撞安全持续载荷试验量级

飞机类型	试验类型 ⁵	持续载荷试验加速度(g 最低要求) 载荷方向(飞机方向)				
		上	下	前	后	侧向 ⁴
1. 直升机 ¹	F R	4.0 20.0	20.0 20.0	16.0 20.0	NA 20.0	8.0 20.0
2. 固定翼运输机 ²	F R	3.0 9.0	6.0 9.0	9.0 9.0	1.5 9.0	4.0 9.0
3. 固定翼非运输机 ³	F R	3.0 18.0	NA 18.0	18.0 18.0	NA 18.0	4.5 18.0
4. 所有固定翼飞机	F R	3.0 18.0	6.0 18.0	18.0 18.0	1.5 18.0	4.5 18.0
5. 直升机和所有固定翼飞机	F R	4.0 20.0	20.0 20.0	18.0 20.0	1.5 20.0	8.0 20.0

注：1、参见 FAR27.561

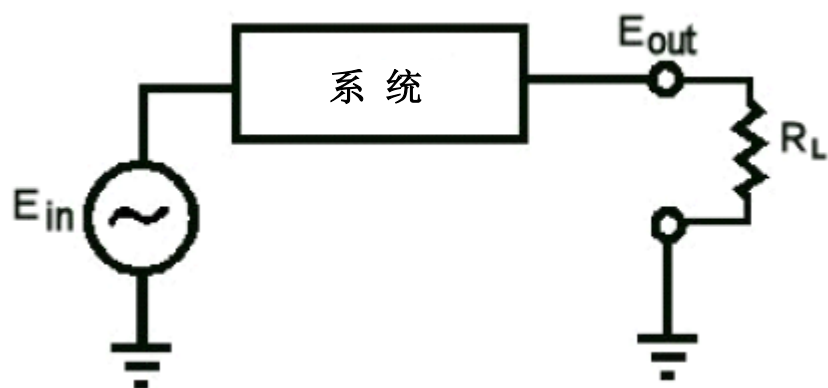
2、参见 FAR25.561

3、参见 FAR23.561

4、侧向包括左右两个方向

5、“F”为安装方向已知且固定的设备，“R”为安装方向未知或任意的设备

*小心：这些试验量级可能不满足 FAR 的安装要求。



R_L = 典型输出端

E_{in} = 输入电压

E_{out} = 输出电压

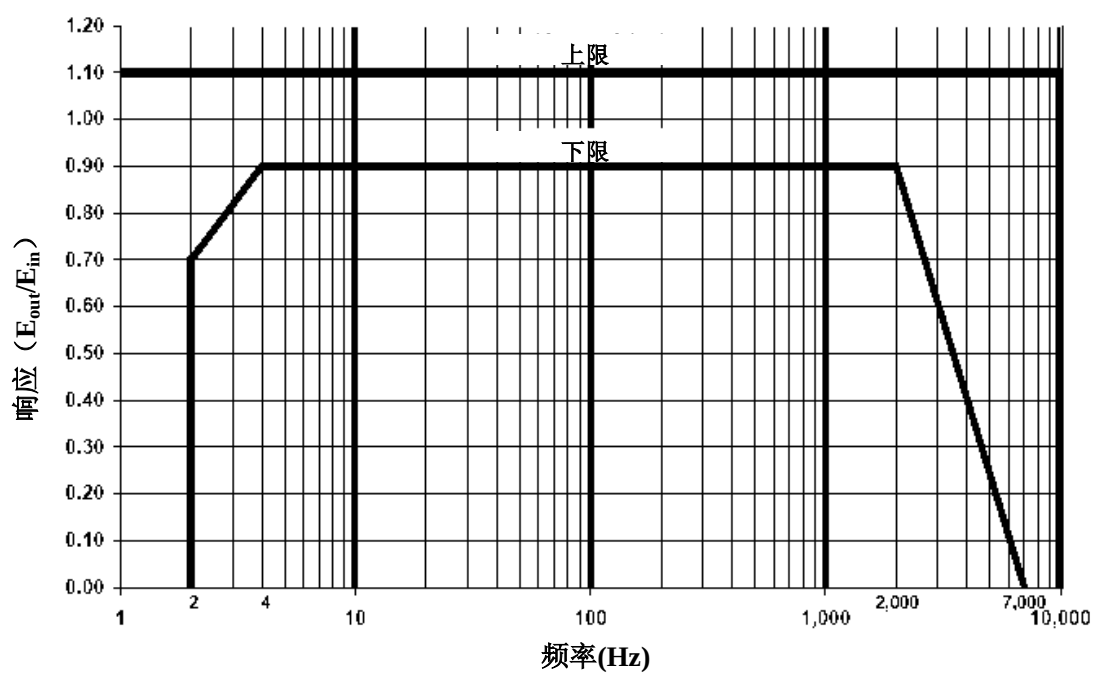
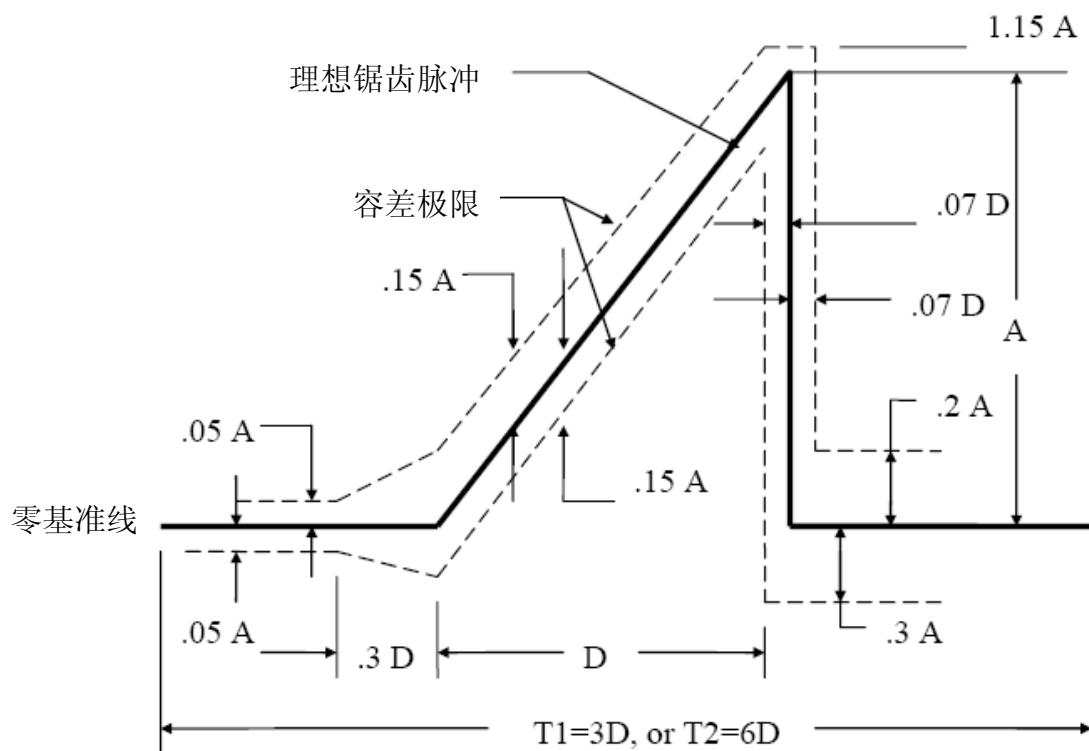


图 7-1 冲击测量系统的频率响应



D = 标称脉冲持续时间。

A = 标称脉冲峰值加速度。

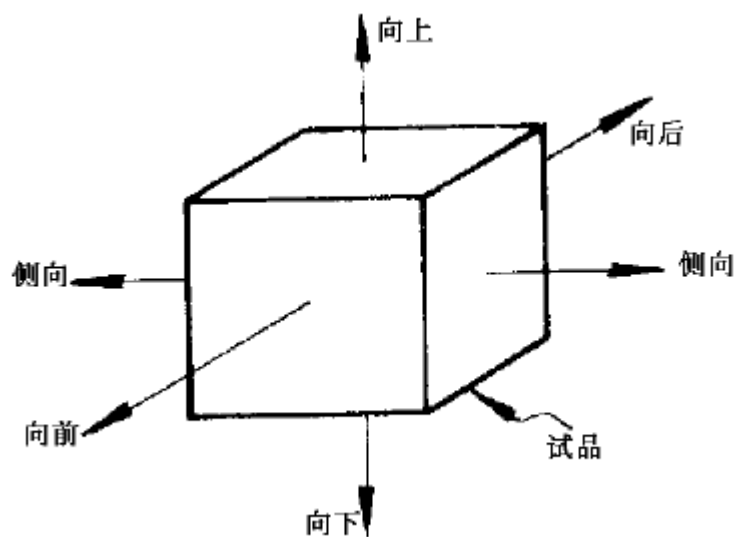
T1 = 对于用普通冲击试验机产生的冲击，应监测脉冲的最短时间。

T2 = 对于用振动台产生的冲击，应监测脉冲的最短时间。

试验(冲击)	峰值(A) (g)	标称持续时间(D) (ms)
标准工作冲击	6	11
低频工作冲击	6	20
坠撞安全冲击	20	11
低频坠撞安全冲击	20	20

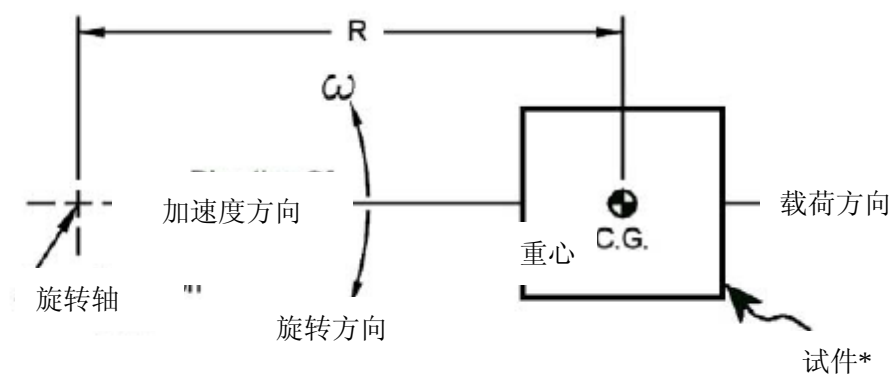
注：波形图包括持续时间 T_1 或 T_2 ，脉冲近似位于波形中心。后峰锯齿脉冲的加速度幅值为 A，持续时间为 D。实测的加速度脉冲应包含在虚线以内，实测的速度变化(可通过加速度脉冲积分得到)应在 $V_i \pm 0.1V_i$ 范围内，这里 V_i 为与理想脉冲对应的速度变化，其值等于 $0.5DA$ 。确定速度变化的积分应从脉冲前 $0.4D$ 开始到脉冲后 $0.1D$ 结束。

图 7-2 后峰锯齿冲击脉冲的形状及其容差极限



飞机方向

注：如果使用离心机，宜考虑试件受到旋转加速度与加速度加速速率的影响。



旋转平面俯视

* 调整试件使飞机方向与“载荷方向”一致，然后在该飞机方向上施加规定的加速度。

$$\text{加速度 } G = \frac{\omega^2 R}{9.81} = 0.001118 * R * (RPM)^2$$

R=半径，米；

ω =角速度，Rad/s

RPM=每分钟转数

离心机定义

图 7-3 坠撞安全持续载荷试验定义

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

第 8 章 振动

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO—160F
起 草：SC—135

目 录

8.0	振动	8-1
8.1	试验目的	8-1
8.2	适用范围	8-1
8.2.1	振动试验类别定义	8-1
8.2.1.1	标准振动试验(类别 S)	8-1
8.2.1.2	强化振动试验(类别 R, U, U2)	8-1
8.2.1.3	短时高量级振动试验(类别 H, Z)	8-1
8.2.2	试验曲线/试验量级选择	8-1
8.2.2.1	试验描述	8-1
8.2.2.2	试验曲线	8-2
8.3	振动试验要求	8-2
8.4	振动试验量级要求	8-3
8.4.1	量级控制容差要求	8-3
8.4.1.1	正弦输入控制	8-3
8.4.1.2	随机输入控制	8-3
8.4.2	加速度功率谱密度的测量	8-3
8.4.2.1	模拟式分析仪要求	8-3
8.4.2.2	数字式分析仪要求	8-3
8.5	标准振动试验程序——固定翼飞机	8-3
8.5.1	正弦试验程序	8-4
8.5.2	随机试验程序	8-4
8.6	短时高量级振动试验程序	8-4
8.7	强化振动试验程序——固定翼飞机	8-4
8.7.1	正弦试验程序	8-4
8.7.2	随机试验程序	8-5
8.8	直升机的振动试验	8-5
8.8.1	正弦叠加随机试验程序——已知直升机频率	8-5
8.8.1.1	试验频率	8-5
8.8.1.2	正弦叠加随机试验量级	8-6
8.8.1.3	程序	8-6
8.8.2	正弦叠加随机试验程序——类别 U, 未知直升机频率	8-6
8.8.3	随机试验程序——类别 U2, 未知直升机频率	8-7
表 8-0	试验描述	8-2
表 8-1	按飞机类型和设备所在位置进行区分的试验类别与振动试验要求	8-8
表 8-2a	直升机的正弦叠加随机振动试验频率	8-9
表 8-2b	直升机的正弦叠加随机振动试验量级	8-9
图 8-1	安装在固定翼涡轮喷气或涡轮风扇发动机飞机上设备的标准随机振动试验曲线	8-10
图 8-2	安装在固定翼涡轮喷气或涡轮风扇以及无涵道风扇发动机飞机上有关区域设备的 标准和强化正弦振动试验曲线	8-11
图 8-3	安装在固定翼活塞式发动机或涡轮螺旋桨发动机飞机上设备的标准正弦振动试验曲线	8-11
图 8-4	安装在固定翼涡轮喷气式或涡轮风扇发动机飞机上设备的强化随机振动试验曲线	8-12
图 8-5	安装在固定翼涡轮喷气式或涡轮风扇发动机飞机上设备的短时高量级正弦振动试验 曲线	8-13
图 8-6	直升机正弦叠加随机振动试验曲线	8-13
图 8-7	直升机机身、仪表板和尾梁的随机振动试验曲线(未知桨叶频率)	8-14

8.0 振动

8.1 试验目的

本试验用于验证设备在承受其安装位置规定的振动量级时是否符合其性能标准要求（包括耐久性要求）。

8.2 应用

下面所述的振动试验适用于安装在固定翼螺旋桨飞机，固定翼涡轮、涡扇及桨扇喷气式飞机和直升机上的设备。

为表明设备符合性能标准要求，应对其进行规定的振动试验，该试验根据本节内容确定，其取决于三个方面：(1)飞机类型，(2)试验类别和(3)飞机分区位置。完成本试验的要求和程序在后续各条中规定。

8.2.1 振动试验类别定义

应根据设备性能验证所需的保证级别从下面定义的振动试验类别中选择一个适当的类别（或多个类别）。对于固定翼飞机上的设备，既可以进行标准振动试验，也可以进行强化振动试验，是否需要进行短时高量级试验取决于设备性能要求。对于直升机上的设备，只可进行强化试验。

8.2.1.1 标准振动试验（类别 S）

固定翼飞机的标准振动试验用于验证设备在经受飞机正常工作状态遇到的振动环境时能否满足其功能性能要求。

8.2.1.2 强化振动试验（类别 R, U, U2）

强化振动试验用于验证设备在经受振动作用时将满意地工作，并且在经受持续的振动量级后将继续满意地工作。它综合验证了设备的功能性能以及结构完整性。对于长期暴露在振动环境作用下，并且必须验证其对这种环境的耐振能力的所有设备，均应进行本试验。是否需要使用本试验来代替标准振动试验应根据有关设备规范确定。类别 U 和 U2 对应于安装在直升机上的并且未知螺旋桨频率的设备。强化试验可以用于代替工作寿命试验，也可以不用于代替工作寿命试验。工作寿命试验取决于设备经受的振动环境与试验量级之间的关系。如果振动环境已知，并且相应的设备规范要求工作进行工作寿命试验，那么可进行强化试验来代替工作寿命试验，这时应通过使用可接受的疲劳比例关系来调整强化试验的试验量值和/或试验时间。

8.2.1.3 短时高量级振动试验（类别 H, Z）

在发动机风扇叶片受损期间，固定翼飞机将发生异常振动情况，这时设备将遇到短时高量级瞬态振动。本试验适用于其某一功能的丧失将危及到飞机性能的设备。类别 H 试验为通用试验，它覆盖了所有应用。类别 Z 试验限于低风扇频率应用情况。本试验不能代替标准试验或强化试验。同时应注意下面警告事项。

警告：由于对某些特定发动机不平衡状态相关的振动量级进行的全面分析中，未对本文规定的极限与这些量级之间的关系进行评估，因此对某些应用仅单独进行本试验、而不增加额外的试验或分析可能是不充分的。

8.2.2 试验曲线/试验量级选择

8.2.2.1 试验描述

下面表 8-0 中的数据给出了每一试验类别的简要描述。更详细的描述参见试验程序部分。

表 8-0 试验描述

类别	飞机类型	标准振动	短时高量级振动	强化振动
S	固定翼	在性能量级上进行每轴向 1h 的正弦或随机振动	NA	NA
H 或 Z	固定翼	NA	每轴向进行高 g 值低频正弦扫描	NA
R	固定翼	NA	NA	正弦振动：3h/轴，每一驻留频率(最多 4 个驻留频率)驻留时间小于 30min； 或随机振动：性能量级最低 10min，耐久量级 3h(三轴向重复)。
R 或 U	直升机	NA	NA	正弦叠加随机：耐久量级 2h，加上驻留试验(最多 4 个驻留频率，总试验时间最多 3h)，在试验的开始和

				结束点进行最低 10min 的性能试验(三轴向重复)。试验类别 U 重复 3 次。
U2	直升机	NA	NA	随机：在试验的开始和结束点进行最低 10min 的性能试验，耐久量级 3h(三轴向重复)。

8.2.2.2 试验曲线

表 8-1 规定了每类机型各飞机区域不同试验类别所用的试验曲线。表 8-1 各试验类别对应于固定翼飞机的试验量级见图 8-1~图 8-5，对应于直升机的试验量级见表 8-2a 和表 8-2b。

注意飞机区域“仪表板、控制台和机架”包括连接在飞机厨房内部隔板和机舱地板上的内部设备，它是从“机身”区域上分离出来的。“机身”区不适用于所有安装在具有多个插槽的设备架上的设备，而只适用于安装在的飞机结构框架、大梁、机体表面和其它机身结构或托架上的设备。

质量衰减——对于质量大于 22.7kg (50 磅) 的设备，允许将 60Hz 以上频带的标准和强化试验量级进行降低，量级降低程序如下：当质量超过 22.7kg (50 磅) 时，每增加质量 0.454kg (1 磅)，其随机与正弦标准试验量级和强化试验量级减少 0.1dB，最大减少量为 6dB。(注意 6dB 的衰减为将加速度功率谱密度值减为初始值的 1/4，将正弦量值减为初始值的 1/2)。

8.3 振动试验要求

下列通用要求适用于所有振动试验：

- 在试验期间设备的安装应确保其输入振动运动的方向平行于三个主正交轴向之一。所用的任何试验夹具其刚性和对称性均应和实际情况一样。设备应通过设备规范规定的方式连接在夹具或振动台台面上。对外部装有减振器/缓冲器的设备，应装上减振器/缓冲器进行试验。
- 当适用时，应在经受振动试验的设备上安装加速度计，以测量和记录设备在规定振动轴向的振动响应，确定其共振频率和放大系数。选定的安装位置可以包括主要的结构、印制电路板、大的元件和模块等任何可行的位置。
- 对于每一试验轴向，控制加速度计均应安装在试验夹具上尽可能靠近设备安装点的位置。当使用超过一个加速度计进行试验量级控制时，对于正弦试验，应使用各个加速度计控制信号的平均值作为试验量级的控制值，而对于随机试验，应使用各个加速度功率谱密度 (APSD) 信号的平均值作为试验量级的控制值。对于所有振动输入类型，应使用适当的谱图或加速度功率谱密度 (APSD) 图来验证控制量级满足试验量级要求。
- 随机振动信号应具有高斯分布，控制信号的瞬时振动加速度峰值可限制在 3 倍的均方根 (g_{rms}) 加速度量值以内。
- 测量正弦加速度的仪器系统的精度应为：加速度 $\pm 10\%$ ，频率 $\pm 2\%$ 。
- 如果随机振动试验要求超出了振动试验系统的功率能力，试验可以分别在 10~600Hz 和 600~2000Hz 分频带进行。规定的试验时间将用于每个分频带。

8.4 振动试验量级要求

8.4.1 控制量级的容差要求

8.4.1.1 正弦控制输入

对于任意正弦输入曲线，在规定的频率范围内，其加速度试验量级的控制值 (8.3c 条规定) 应限制在规定量值的 $\pm 10\%$ 范围内。

8.4.1.2 随机控制输入

试验控制信号的加速度功率谱密度 (APSD) (8.3c 条规定)，在 500Hz 以下偏离规定要求不应超过 +3dB 或者 -1.5dB，500Hz 到 2000Hz 范围内不应超过 $\pm 3dB$ 。控制信号的总均方根 (g_{rms}) 量值应控制在规加速度功率谱密度曲线的总均方根值的 +20% 和 -5% 范围内。

8.4.2 加速度功率谱密度的测量

分析和控制系统其使用的带宽-时间乘积 (BT) 应大于等于 50。特定的分析仪特性或其等效特性应规定如下。加速度功率谱密度的测量优选离散 FFT 分析方法。

8.4.2.1 模拟式分析仪要求

- 具有带宽 B 小于或等于 50Hz 的在线连续滤波器的均衡/分析系统；
- 扫频分析系统特性如下：
 - 恒定带宽分析仪：
 - 滤波器带宽
 - 频率 10~200Hz，带宽最大 B=10Hz；
 - 频率 200~2000Hz，带宽最大 B=50Hz；

- (b) 最低分析仪平均时间 $T=2\tau=1s$ ，其中 T 为真实的平均时间， τ 为分析仪时间常数。
- (c) 最大分析线性扫描率 $R=B/4\tau$ 或 $B^2/8 \text{ Hz/s}$ ，取其中较小者。

(2) 恒定百分比带宽分析仪

- (a) 最大滤波器带宽 $Pf_c=1/3 \text{ oct}$ 。(其中 P 为百分比 ≤ 0.23 ， f_c 为分析仪中心频率)
- (b) 最低分析仪平均时间 $T=50/Pf_c$ 。
- (c) 最大分析对数扫频速率 R

$$R = \frac{Pf_c}{4\tau} \text{ 或者 } R = \frac{(Pf_c)^2}{8} \text{ Hz/s, 取其中较小者。}$$

8.4.2.2 数字式分析仪要求

使用离散频率分析技术的数字式功率谱密度分析系统应具有最低 400 谱线数的频率分辨率（亦即 Δf 小于等于 5Hz）。带宽-时间的乘积等于用来获取单个加速度功率谱密度（APSD）的数据记录块数（亦即在测量 APSD 时，总体平均次数应该大于等于 50）。

8.5 标准振动试验程序——固定翼飞机

表 8-1 中规定类别与规定区域所用的标准振动试验曲线由图 8-1 到图 8-3 给出。对于大多数飞机类型/区域，要么规定了正弦振动试验曲线，要么规定了随机振动试验曲线。对于飞机类型 6 的第 7 个区域，用户可以在正弦振动试验和随机振动试验之间进行选择。正弦试验程序和随机试验程序确定如下。（注意：仅需进行适用的正弦试验或随机试验）

在标准振动试验期间和试验结论中均应确定其是否符合设备性能标准要求。

8.5.1 正弦试验程序

使用图 8-2 或图 8-3 中的适当曲线，在设备三个正交轴向的每一轴向进行下面试验。

使设备处于工作状态，然后进行正弦扫频循环，扫频时在整个频率范围中改变振动频率，使其从最低频率到最高频率（上扫），再到最低频率（下扫），扫频使用的对数扫描速率不得超过 1oct/min。在进行第一次上扫时，记下定响应位置的加速度曲线，确定关键频率。关键频率确定为如下频率：(1) 具有峰值加速度幅值大于 2 倍的输入加速度幅值的机械振动共振频率，或者(2) 使产品性能或行为产生明显变化的频率（不管该变化是否超出性能标准要求）。

继续使产品处于工作状态，进行正弦振动扫频循环，持续时间最低 1h，确定其是否符合有关设备性能标准要求。在试验期间发生的任何关键频率变化均应记录在环境合格鉴定表（见附录 A）中。试验完成后，应对设备进行目视检查，其任何内部或外部部件均不应出现明显的结构损坏。

当所输入振动的总位移超出 0.5mm 时，任何试件显示部件读数上的困难均不应作为试验失败的原因。

8.5.2 随机试验程序

在设备三个正交轴向的每一轴向按下面试验次序进行试验：

- a. 使设备处于非工作状态，然后对设备进行频率从 10Hz 到 2000Hz，扫描速率不超出 1oct/min、加速度峰值为 0.5g-PK 的正弦扫描。记下设备上选定位置的加速度响应曲线，确定共振频率和放大系数。共振频率确定为比输入加速度幅值大两倍的响应峰值。
- b. 使设备处于工作状态，按图 8-1 中性能试验量值和加速度功率谱密度（APSD）谱形对设备进行试验，每轴向最低进行 1h，确定其是否符合设备性能标准要求。在振动期间，应同时对设备上的振动响应测量数据进行 APSD 分析。
- c. 重复 8.5.2a 条的正弦扫描，振动共振频率的任何变化均应记录在环境合格鉴定表（见附录 A）中。

试验完成后，应对设备进行目视检查，其任何内部或外部部件均不应出现明显的结构损坏。

8.6 短时高量级振动试验程序

使设备处于工作状态，按图 8-5 对应设备安装区域所示的试验量级进行正弦振动。对于通用类别 H，在设备三个正交轴向的每一轴向以扫描速率不超过 0.167Hz/sec，频率从 10Hz 到 250Hz 进行 1 次正弦线性扫频。对于限定类别 Z，可以降低最高频率。在这种情况下，最高频率应大于等于 2 倍的最大风扇转子速率。对于类别 Z，最高试验频率应正式记录在环境合格鉴定表（见附录 A）中。应确定产品是否符合有关设备性能标准要求。在试验期间与试验后的工作性能要求应根据设备规范确定。

8.7 强化振动试验程序——固定翼飞机

表 8-1 中规定类别和规定区域所用的强化振动试验曲线由图 8-1 到图 8-4 给出。对于大多数飞机类型/区域，要么确定了正弦振动试验曲线，要么确定了随机振动试验曲线。对于飞机类型 6 的第 7 个区域，用户可以在正弦振动试验和随机振动试验之间进行选择。正弦试验程序和随机试验程序确定如下。

(注意：仅需进行正弦试验或随机试验)。

8.7.1 正弦试验程序

使用图 8-2 中的适当正弦试验量级，在设备三个正交轴向的每一轴向进行以下试验。

在振动试验期间和试验结论中，应确定其是否符合有关设备性能标准要求。

- a. 除非设备规范另有规定，否则使设备处于工作状态，然后进行正弦扫频循环，扫频时在整个频率范围中改变振动频率，使其从最低频率到最高频率（上扫），再到最低频率（下扫），扫频使用的对数扫描速率不得超过 1oct/min。扫描消耗的时间可包括在 8.7.1c 条的总扫描时间中。在进行第一次上扫时，记下选定响应位置的加速度曲线，确定关键频率。关键频率确定为如下频率：(1) 具有峰值加速度幅值大于 2 倍的输入加速度幅值的机械振动的共振频率，或者(2) 使产品性能或行为产生明显变化的频率（不管该变化是否超出性能标准要求）。
- b. 从 8.7.1a 确定的关键频率中选择 4 个最严酷的频率。在每个选定频率上驻留 30min。必要时在每个共振驻留期间，调节试验频率值，以使所驻留的振动共振峰上能保持最大加速度响应。如果所确定的关键频率少于 4 个，在每个频率上驻留 30min。如果经确定没有关键频率，那么无需进行驻留试验。
- c. 在结束振动驻留试验后，继续进行正弦扫频循环，完成振动试验。频率循环所用的时间为 3h 减去 8.7.1b 条共振驻留试验所用的时间。

在试验期间发生的任何关键频率的变化均应记录在环境合格鉴定表（见附录 A）中。如果未发生变化，应在试验公告中包括该结果的声明。当施加的输入振动的总位移超出 0.5mm 时，任何试件显示部件读数上的困难均不应作为试验失败的原因。

- d. 试验完成后，应对设备进行目视检查，其任何内部或外部部件均不应出现明显的结构损坏。

8.7.2 随机试验程序

在设备三个正交轴向的每一轴向按以下试验次序进行试验：

- a. 使设备处于非工作状态，对设备进行频率从 10Hz 到 2000Hz、扫描速率不超出 1oct/min、加速度峰值为 0.5g-PK 的正弦扫描。记下设备上选定位置的加速度响应曲线，确定共振频率和放大系数。共振频率确定为比输入加速度幅值大两倍的响应峰值。
- b. 使设备处于工作状态，按图 8-1 中相应性能试验量值的加速度功率谱密度对设备进行试验，试验应持续必要的时间（最低 10min），确定其是否符合有关设备性能标准要求。在振动期间，应同时对设备上的振动响应测量数据进行 APSD 分析。
- c. 按图 8-4 中相应的耐久试验 APSD 量级进行 3h 试验。除非在设备规范中另有规定，否则在振动期间试件应处于工作状态。在振动的开始时刻和接近结束的时刻，对设备上的振动响应测量数据进行 APSD 分析，**并确定其是否符合有关设备性能标准要求**。如果试件在振动耐久试验期间不工作，应在耐久振动试验结束后按上面 8.7.2b 条进行试验，以表明其能符合设备性能标准要求。
- d. 重复 8.7.2a 条的正弦扫描，任何振动共振频率的变化均应记录在环境合格鉴定表（见附录 A）中。
- e. 试验完成后，应对设备进行目视检查，其任何内部或外部部件均不应出现明显的结构损坏。

8.8 直升机的振动试验

本条描述的试验是在无振动实测数据可用时，对安装在直升机上的设备所进行的默认试验。对于已有实测数据的直升机，可以利用直升机试验标准中认可的标准程序进行“剪裁”试验。本试验程序覆盖了已知与未知直升机频率两种情况。对于未知直升机频率情况，标准中提供了两个可选程序。

8.8.1 正弦叠加随机试验程序—已知直升机频率

进行正弦叠加随机振动试验的试验频率、试验量值和试验程序规定如下。对于安装在任意直升机上的设备，只要其试验频率按表 8-2a 确定，并包括在 8.8.1.3 条确定的正弦频率范围 $0.90f_n \sim 1.1f_n$ 内，就认为通过试验的设备是合格的。

8.8.1.1 试验频率

四个主要旋转源的旋转频率（one-per-revolution frequencies）定义如下：

FM = 主旋翼旋转频率，Hz

FT = 尾桨旋转频率，Hz

FE = 发动机旋转频率，Hz

FG = 主减速箱旋转频率，Hz

主旋翼与尾桨的桨叶通过频率，根据主旋翼与尾桨的桨叶数来确定：

NM = 主旋翼的桨叶数

NM*FM = 一阶主旋翼桨叶通过频率, Hz

NT = 尾桨的桨叶数

NT*FT = 一阶尾桨桨叶通过频率, Hz

每个直升机区域所用的试验频率可以使用表 8-2a 提供的公式确定。

8.8.1.2 正弦叠加随机试验量级

根据表 8-2b 给出的公式, 使用 8.8.1.1 条确定的正弦试验频率来计算每个频率下的正弦试验量值 A_n 。在表 8-2b 中同样给出了随机量级。将正弦和随机曲线综合在一起, (通常) 就得到了总的试验曲线, 如图 8-6 所示。

8.8.1.3 程序

施加的控制输入振动量级应具有上面确定的正弦频率和宽带随机试验量级叠加后的频率内容。

正弦频率应以不超过 1oct/min 的对数扫描速率从 $0.9f_n$ 到 $1.1f_n$ 之间变化, 这里 f_n 为试验谱的正弦频率。

在设备三个正交轴向的每一轴向上, 使用下面试验程序进行性能和耐久振动试验。

- 使设备处于非工作状态, 然后对设备进行频率从 10Hz 到 2000Hz, 扫描速率不超出 1oct/min、加速度峰值为 0.5g-PK 的正弦扫描。记下设备上选定位置的加速度响应曲线, 确定共振频率和放大系数。共振频率确定为比输入加速度幅值大两倍的响应峰值。
- 使设备处于工作状态, 按表 8-2a 和表 8-2b 规定, 对设备施加表 8-1 相应的性能试验量级曲线, 试验应持续必要的时间 (最低 10min), 确定其在振动期间是否符合有关的设备性能标准。
- 除非有关设备规范中另有规定, 否则使设备处于工作状态, 然后按表 8-2a、表 8-2b 规定, 对设备施加表 8-1 相应的耐久试验量级曲线, 试验时间最低持续 2h。如果 8.8.1.3a 条所确定的设备的一个或几个共振频率在正弦试验频率的 $\pm 10\%$ 带宽范围之内, 选择最严酷的频率 (最多 4 个), 在每一选定频率上进行 30min 的正弦驻留。驻留试验可以包括多个频率。如果必要的话, 在每个共振驻留期间, 调节试验频率, 以使驻留的振动共振峰上能保持最大加速度响应。在耐久量值上所需的试验时间最多 3h。如果发现超过两个共振峰, 可以减少标准的 2h 最低试验时间, 以防止总耐久试验时间超出 3h。
- 在完成 8.8.1.3c 条后, 重复 8.8.1.3b 条试验, 任何性能的变化均应记录在环境合格鉴定表 (见附录 A) 中。
- 重复 8.8.1.3a 条的正弦扫描, 任何振动共振频率的变化均应记录在环境合格鉴定表 (见附录 A) 中。如果未发生变化, 应在试验公告中包括该结果的声明。当施加的输入振动的总位移超出 0.5mm 时, 任何试件显示部件读数上的困难均不应作为试验失败的原因。
- 试验完成后, 应对设备进行目视检查, 其任何内部或外部部件均不应出现明显的结构损坏。

8.8.2 正弦叠加随机试验程序—类别 U, 未知直升机频率

该项未知直升机频率的试验程序, 采用 8.8.1 条给出的已知直升机频率的正弦叠加随机试验程序, 其试验频率规定如下。下面试验次序只适用于表 8-2a 区域 1a 和区域 2 中的设备。这包括机身、仪表板、控制台和设备机架。

使用下列正弦试验频率, 按 8.8.1.3 条进行三个试验 (试验可以使用 1 个, 2 个或 3 个试件进行)。

试验 1: $f_1=11\text{Hz}$, $f_2=19.9\text{Hz}$, $f_3=35.5\text{Hz}$, $f_4=63.9\text{Hz}$

试验 2: $f_1=13.4\text{Hz}$, $f_2=24\text{Hz}$, $f_3=43.4\text{Hz}$, $f_4=77.8\text{Hz}$

试验 3: $f_1=16.3\text{Hz}$, $f_2=29.2\text{Hz}$, $f_3=52.5\text{Hz}$, $f_4=94.9\text{Hz}$

设备正弦共振驻留试验可以在任一试验/试件上进行。

8.8.3 随机试验程序——类别 U2, 未知直升机频率

对于表 8-2a 区域 1a 和区域 2 中的设备, 可以用下面随机试验程序来代替 8.8.2 条的正弦叠加随机试验程序, 该程序还可用于区域 1b (尾梁) 中的设备。

在设备三个正交轴向的每一轴向上, 使用图 8-7 中的试验曲线和试验量级进行下列试验。

- 使设备处于工作状态, 然后按性能试验量级的加速度功率谱密度 (APSD) 对设备进行试验, 试验应持续必要的时间 (最低 10min), 确定其在振动期间是否符合有关设备性能标准。
在振动期间, 应同时对设备选定点的振动加速度响应进行 APSD 分析。
- 除非有关设备规范中另有规定, 否则使设备处于工作状态, 然后按照耐久试验量级的加速度功率谱密度 (APSD) 进行 3h 试验。
- 完成 3h 试验后, 重复 8.3.3 a 条试验, 任何性能或振动共振频率的变化均应记录在环境合格鉴定表 (见附录 A) 中。
- 试验完成后, 应对设备进行目视检查, 其任何内部或外部部件均不应出现明显的结构损坏。

表 8-1 按飞机类型和设备所在位置进行区分的试验类别与振动试验要求

飞机类型	试验类别	飞机区域						
		1	2	3	4	5	6	7
		机身	仪表板、控制台 与设备机架	发动机舱 及吊舱	发动机及 齿轮箱	机翼及 轮舱	起落架	尾翼及 翼尖整流罩
1. 直升机 (活塞式发动机及涡轮喷气发动机)	R 或 U(1)	振动试验曲线(2)						
		G	G	H	I			J
	U2(1)	F&F1	F&F1					
2. 固定翼涡轮喷气发动机 或涡扇发动机飞机（亚 音速与超音速）	S	C(3)	B, B2 或 B3(4)	D	W	E	W	E
	H 或 Z	R	R	P	P	P	P	P
	R	C&C1(3)	B&B1 或 B2&B12, 或 B3&B4(4)	D&D1	W	E&E1	W	E&E1
3. 固定翼活塞式或涡轮螺 桨发动机飞机，多发， 推 力 超 过 5700kgf (12500 磅)	S	L(3)	M	T	U	T		
4. 多发，推力小于 5700kgf (12500 磅)	S	M(3)	M	L	L	L		
5. 单发，推力小于 5700kgf (12500 磅)	S	M	M	M	L	M		
6. 固定翼无内外涵涡轮风扇 (桨扇) 发动机飞机	S	Y(3)	B, B2 或 B3(4)	D	W	E	W	E 或 Z
	H 或 Z	R	R	P	P	P	P	P
	R	Y(3)	B&B1 或 B2&B12 或 B4(4)	D&D1	W	E&E1	W	E&E1 或 Z

注：1. U 仅适用于区域 1a 和 2: (1a 为机身，1b 为尾梁)，U2 是 U 的代替类别，仅适用于区域 1a、1b 和 2。

2. 曲线 B~E 为随机曲线；曲线 G~J 为正弦叠加随机曲线；其他所有曲线均为正弦曲线。

3. 不包括安装在喷流直接作用的结构上的设备。

4. 曲线 B2 和 B12 分别与 EUROCAE ED-14C/RTCA DO-160C 中的曲线 B 和 B'相同，它们代表了许多固定翼飞机预期的量级，但不足以代表许多其他飞机。曲线 B 和 B1 包含了更高的量级，它反映了所有情况下的预期环境。曲线 B3 和 B4 代表了大型飞机。

表 8—2a 直升机的正弦叠加随机振动试验频率

直升机各区域振动试验频率						
区域/试验曲线	1a/G	1b/G	2/G	3/H	4/I	7/J
(1) 试验频率 f_n	机身	尾梁	仪表板, 控制台与 设备机架	发动机舱与 吊舱	发动机与 齿轮箱	尾翼与翼尖 整流罩
f_1	NM×FM	NM×FM	NM×FM	NM×FM	NM×FM	NM×FM
f_2	2×NM×FM	2×NM×FM	2×NM×FM	2×NM×FM	2×NM×FM	2×NM×FM
f_3		NT×FT		FE	FE	NT×FT
f_4		2×NT×FT		FG	FG	2×NT×FT

(1) 注: FM, FT, FE, FG, NM 和 NT 定义见 8.8.1。

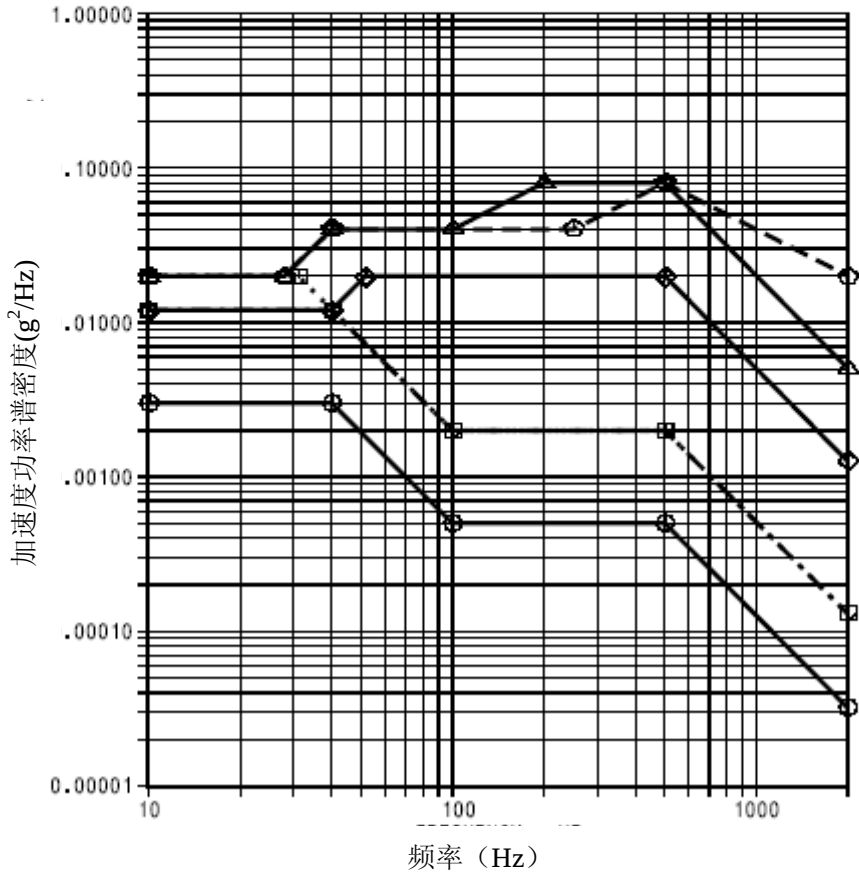
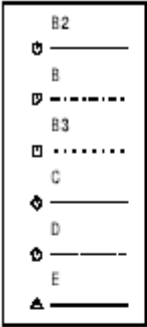
表 8—2b 直升机的正弦叠加随机振动试验量级

直升机振动试验曲线的试验量级(性能试验)				
试验 ⁽¹⁾ 频率范围 Hz	正弦试验量级, A_n , (g—PK) ⁽²⁾			
	G	H	I	J
$3 < f_n < 10$	$0.04 \times f_n$	$0.05 \times f_n$	$0.08 \times f_n$	$0.17 \times f_n$
$10 < f_n < 20$	$0.04 \times f_n$	$0.05 \times f_n$	$0.08 \times f_n$	4.2
$20 < f_n < 40$	$0.04 \times f_n$	$0.05 \times f_n$	$0.08 \times f_n$	4.2
$40 < f_n < 200$	1.6	2.5	$0.08 \times f_n$	4.2
$200 < f_n < 2000$			16.7	
PSD	随机试验量级 (g^2/Hz (Grms))			
W_0	0.01 (2.75)	0.01 (2.75)	0.01 (2.75)	0.01 (2.75)
直升机振动试验曲线的试验量级(耐久试验)				
试验 ⁽¹⁾ 频率范围 Hz	正弦试验量级, A_n , (g—PK) ⁽²⁾			
	G	H	I	J
$3 < f_n < 10$	$0.05 \times f_n$	$0.07 \times f_n$	$0.1 \times f_n$	$0.2 \times f_n$
$10 < f_n < 20$	$(0.2 \times f_n) - 1.5$	$(0.28 \times f_n) - 2.1$	$(0.3 \times f_n) - 2$	$(0.3 \times f_n) - 1$
$20 < f_n < 40$	2.5	3.5	4.00	5.00
$40 < f_n < 200$	2.5	3.5	$(0.1 \times f_n)$	5.00
$200 < f_n < 2000$			20.00	
PSD	随机试验量级 (g^2/Hz (Grms))			
W_0	0.02 (3.89)	0.02 (3.89)	0.02 (3.89)	0.02 (3.89)

注 1: 每个区域的四个正弦频率 f_1 , f_2 , f_3 和 f_4 根据表 8.2a 确定。正弦叠加随机试验曲线如图 8-6 所示。

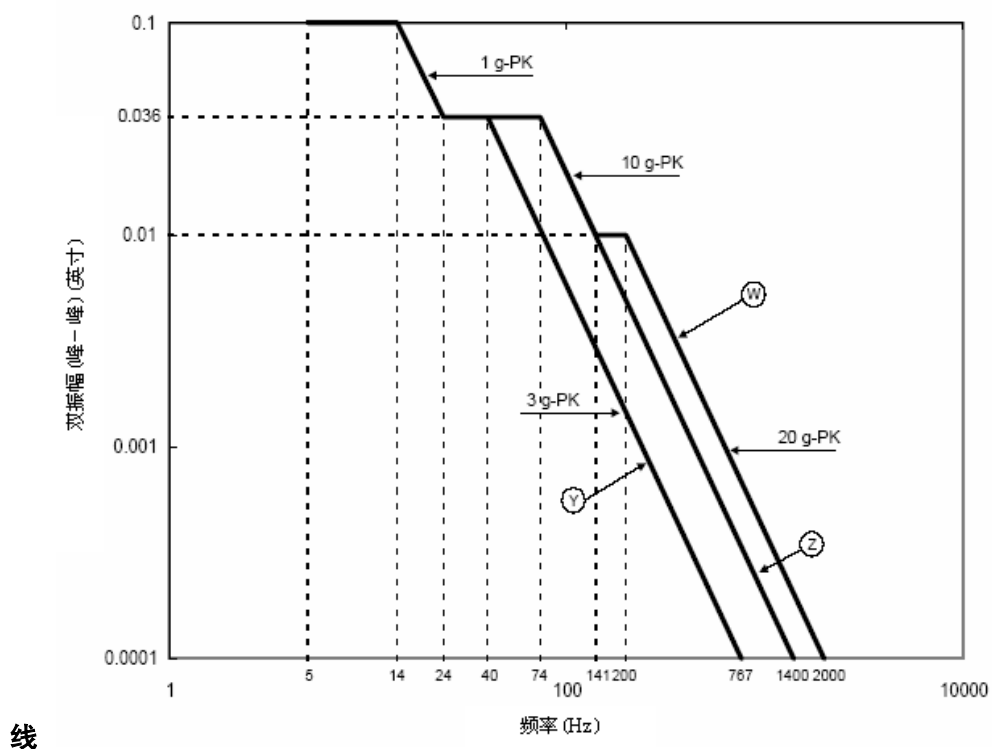
注 2: 对于位于机身外部的和暴露在外部气流中的设备, 正弦量级应增加 1.5 倍。

曲线	Grms
B2	0.74
B	1.48
B3	1.55
C	4.12
D	8.92
E	7.94



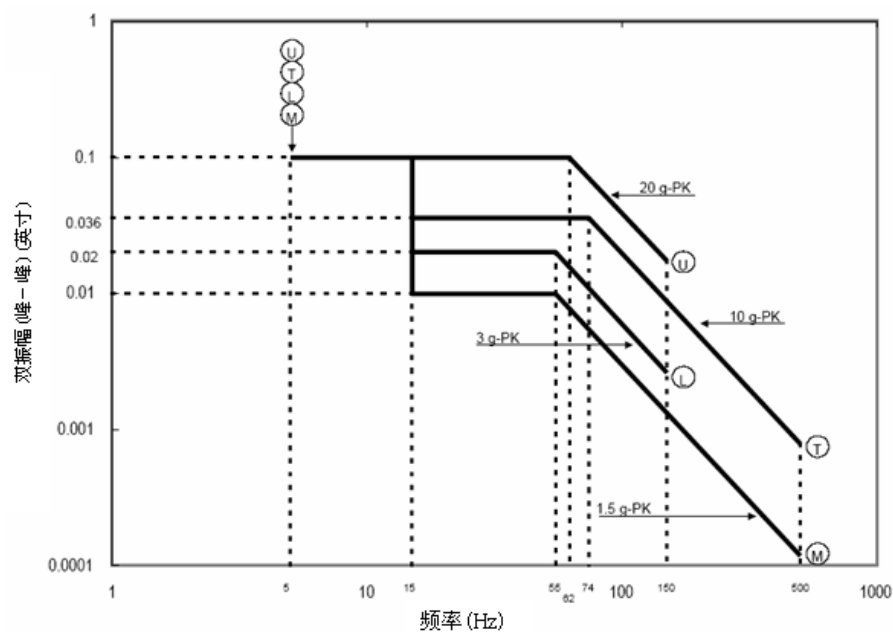
试验曲线频率拐点上的试验量值										
	10	28	31	40	51.7	100	200	250	500	2000
B2	0.003			0.003		0.0005			0.0005	0.000032
B	0.012			0.012		0.002			0.002	0.00013
B3	0.020		0.020			0.002			0.002	0.00013
C	0.012			0.012	0.020				0.020	0.00126
D	0.020	0.020		0.040				0.040	0.080	0.020
E	0.020	0.020		0.040		0.040	0.080		0.080	0.00505

图 8-1 安装在固定翼涡轮喷气或涡轮风扇发动机飞机上的设备的标准随机振动试验曲



注：由于该图最初是从英制单位导出的，因此图中保留使用英制单位。

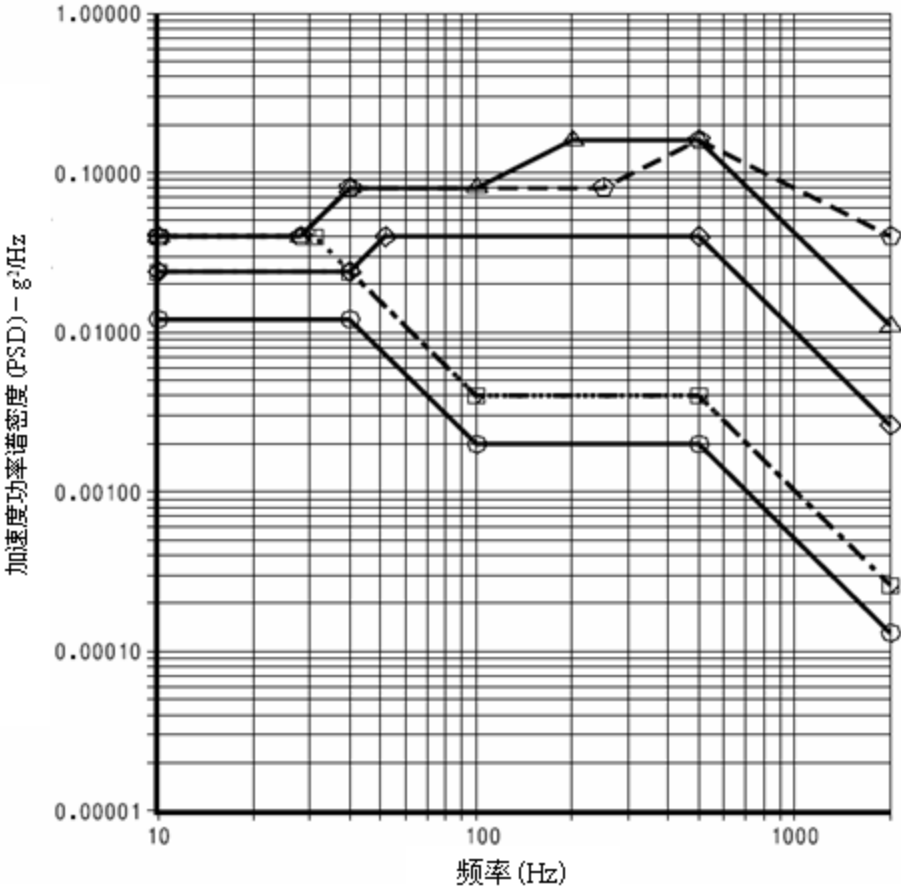
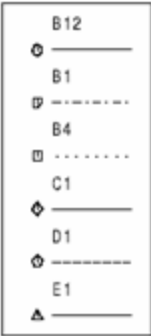
图 8—2 安装在固定翼涡轮喷气或涡轮扇以及无涵道风扇发动机飞机上的设备的标准和强化正弦振动试验曲线



注：由于该图最初是从英制单位导出的，因此图中保留使用英制单位。

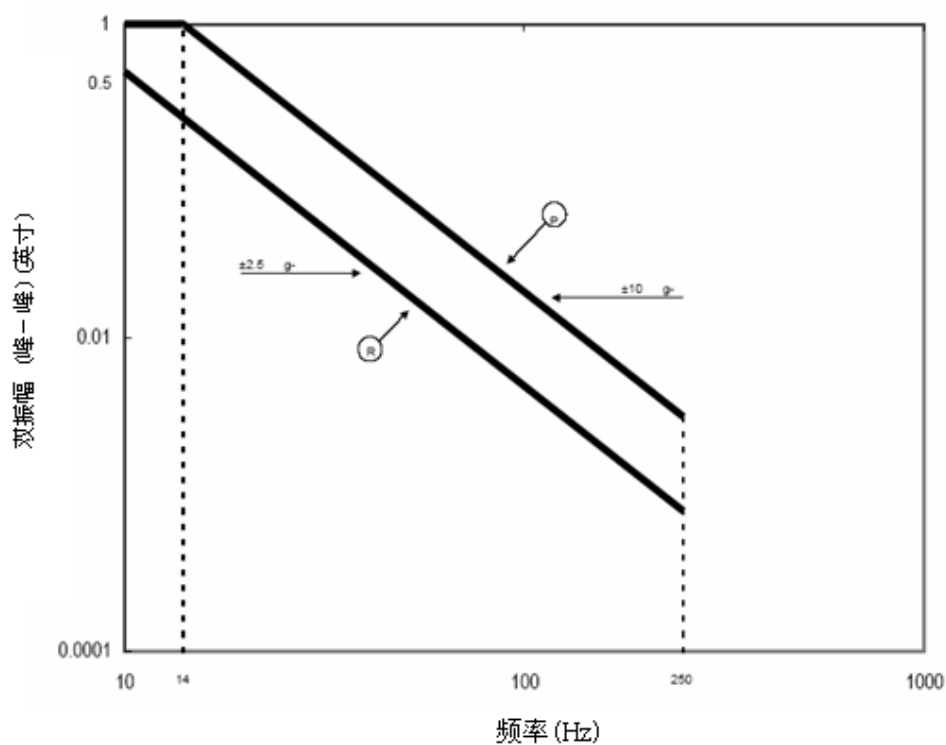
图 8—3 安装在固定翼活塞式发动机或涡轮螺旋桨发动机飞机上的设备的标准正弦振动试验曲线

曲线	Grms
B12	1.48
B1	2.10
B4	2.20
C1	5.85
D1	12.61
E1	11.33



试验曲线频率拐点上的试验量级										
	10	28	31	40	51.7	100	200	250	500	2000
B12	0.012			0.012		0.002			0.002	0.00013
B1	0.024			0.024		0.004			0.004	0.00026
B4	0.040		0.040			0.004			0.004	0.00026
C1	0.024			0.024	0.040				0.040	0.0026
D1	0.040	0.040		0.080				0.080	0.160	0.040
E1	0.040	0.040		0.080		0.080	0.160		0.160	0.011

图 8—4 安装在固定翼涡轮喷气式或涡轮风扇发动机飞机上的设备的强化随机振动试验曲线



注：由于该图最初是从英制单位导出的，因此图中保留使用英制单位。

图 8—5 安装在固定翼涡轮喷气式或涡轮风扇发动机飞机上的设备的短时高量级正弦振动试验曲线

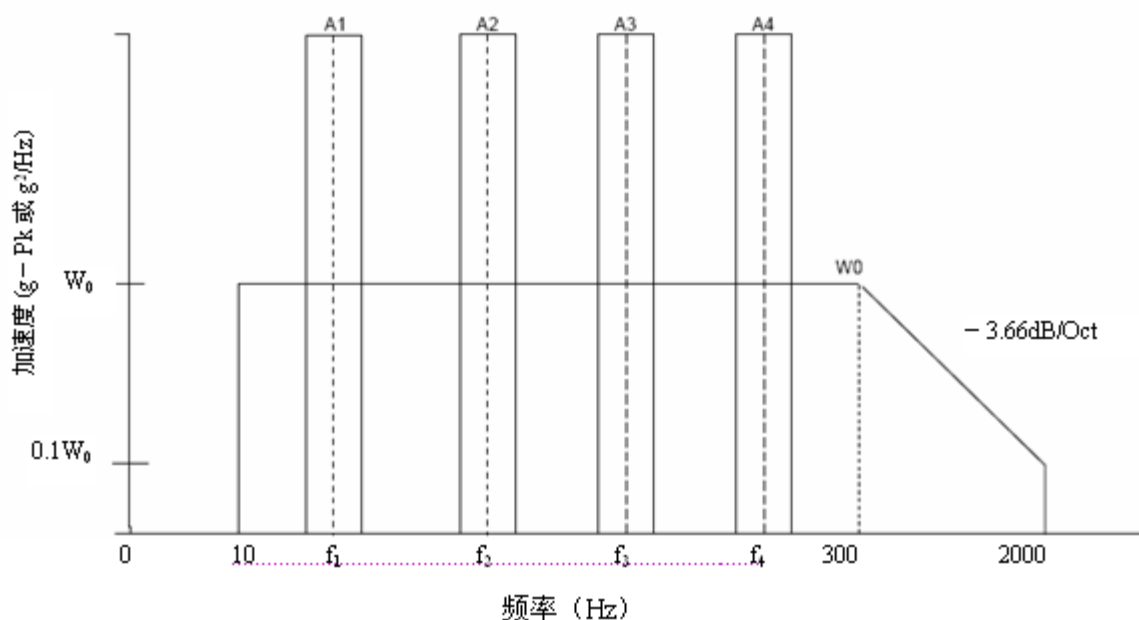


图 8—6 直升机正弦叠加随机振动试验曲线

注：W₀为随机 PSD 曲线，单位 g²/Hz；A1~A4 为正弦曲线，单位为 g-pk；振动频率利用表 8-2a 公式确定；将这些频率和表 8-2b 中的公式一起使用来确定振动量级。

试验	试验曲线	W_0	Grms
性能试验	F	0.05	3.37
耐久试验	F1	0.10	4.76

拐点	
频率	W/W_0
5	0.126
40	1
200	1
300	0.199

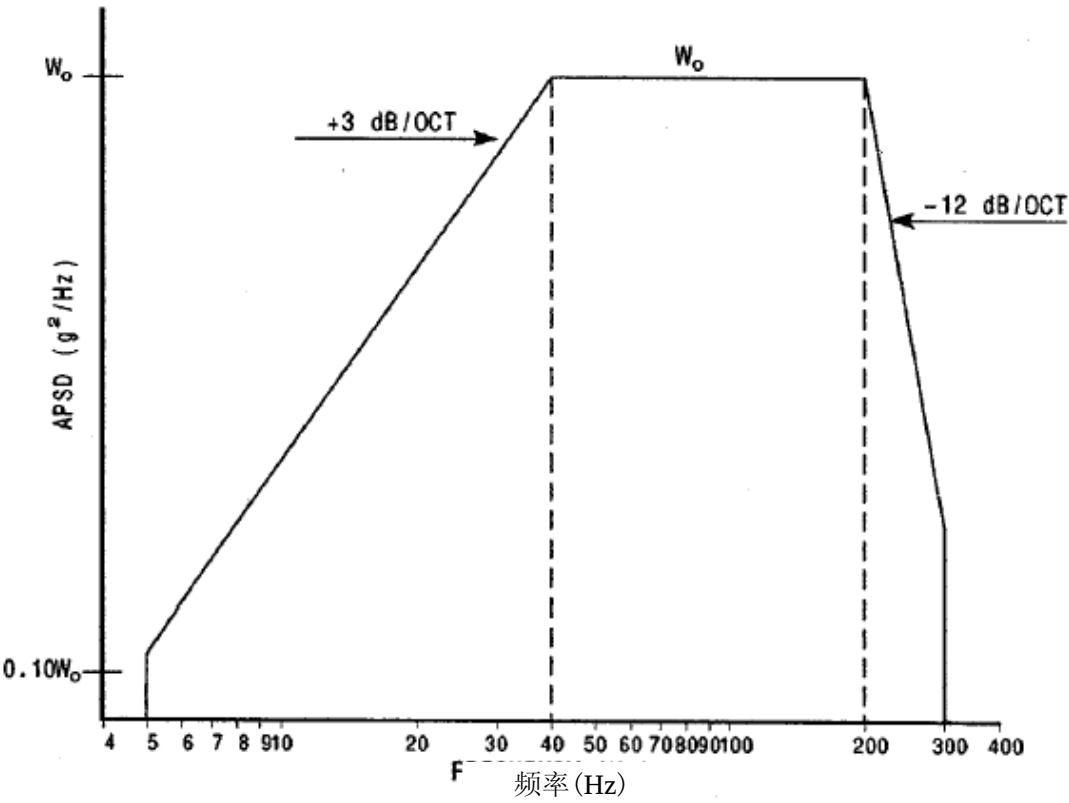


图 8—7 直升机机身、仪表板和尾梁的随机振动试验曲线(未知频率)

TCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

第 9 章

爆炸大气

重要提示

第 1、2、3 章中包含了与本试验程序相关的信息。
此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期: 2010 年 12 月 8 日

代 替: RTCA/DO—160F
起 草: SC—135

目 录

9.0 爆炸大气	9—1
9.1 试验目的	9—1
9.2 防爆	9—1
9.3 设备分类	9—1
9.4.1 A 类设备	9—1
9.4.2 E 类设备	9—1
9.4.3 H 类设备	9—2
9.4 一般试验要求	9—2
9.4.1 概述	9—2
9.4.2 试验样品	9—2
9.4.3 燃料	9—2
9.4.4 燃料混合物	9—2
9.5 设备设计和安装信息	9—3
9.6 试验程序	9—4
9.6.1 阻爆试验	9—4
9.6.1.1 试验准备	9—4
9.6.1.2 试验实施	9—4
9.6.1.3 失效判据	9—4
9.6.2 防爆试验	9—5
9.7.2.1 试验准备	9—5
9.7.2.2 试验实施	9—6
9.7.2.2 失效判据	9—6
9.6.3 器件表面温度试验	9—6
9.7.3.1 试验准备	9—6
9.7.3.2 试验实施	9—6
9.7.3.3 失效判据	9—7
表 9-1 环境定义和设备要求	9—7
图 9-1 爆炸大气试验装置示例	9—8
图 9-2 正己烷的比重	9—9
图 9-3 充入气体的重量与温度的关系	9—10

9.0 爆炸大气

9.1 试验目的

本试验规定了可能接触到本文规定的易燃液体和蒸汽的机载设备的要求和程序。它还给出了飞机飞行工作时经受或可能经受易燃液体和蒸汽区域内可能发生的正常和失效条件。

本部分所涉及的易燃试验液体、蒸汽或气体模拟了那些在传统飞行器中常用的并且需要氧气才能燃烧的物质(例如：不包括单元燃料)。

本标准不适用于由于飞机携带物品(如行李或货物等)的泄漏而产生的潜在危险环境。

注：爆炸大气试验应在试件经受了本文件所列的其他环境试验之后进行(见 3.2 “试验顺序”)。

9.2 防爆

如果已确定在指定环境中设备引起易燃气体或蒸汽产生爆炸的危险性可以忽略，则认为设备是防爆的。

9.3 设备分类

9.3.1 A类设备

A类设备设计成：

- 在正常使用条件下，任何表面的温度不应升高到引燃周围易燃气体的程度，任何工作部分也不应引起燃烧，，因此，满足 9.6.2 规定的防爆试验。
- 设备内部爆炸混合物的燃烧不会引燃引起其周围的爆炸大气，因此，满足 9.6.1 规定的隔爆试验。

满足 9.3.1b 要求的密封设备应归为 A 类设备。

9.3.2 E类设备

E 类设备是非密封的，且不安装在具有防止火焰和爆炸蔓延设计的外壳中的设备。

此类设备的设计应满足在正常使用下，任何外表面的温度不应升高到能够引起燃烧的程度，任何工作部分也不应引起燃烧。因此，满足 9.6.1 规定的 A 类试验。

9.3.3 H类设备

H 类设备，包含有热点表面(内部或外部)，并且在正常工作条件下不产生电火花 (见 4.6.1)。

此类设备的设计应满足在正常使用条件下，任何外表面的温度不会升高到能够引起燃烧的程度，以便满足 9.6.3 规定的器件表面温度试验。

9.4 一般试验要求

9.4.1 概述

当按有关的试验程序进行试验时，为了保证设备满足 9.3 规定的标准，以下规定的试验要求是必要的。

9.4.2 试验样品

选择的试验样品应能代表生产的设备。

9.4.3 燃料

除非另有规定，使用的燃料可以是丙烷、正己烷或与此相当的燃料。

9.4.4 燃料混合物

- 对于丙烷，使用由 3.85%~4.25% 体积的丙烷和 96.15%~95.75% 体积的空气混合而成的、化学当量为 1.05 的混合物。试验装置示意图见图 9-1；
- 对于正己烷，使用化学当量为 1.80 的混合物，其正己烷的含量按照下式计算：

$$1. \text{ 95\% 正己烷体积 (ml) (公制) } = 4.27 \times 10^{-4} \times \frac{[\text{试验箱有效容积 (升)}][\text{试验箱压力 (Pa)}]}{[\text{试验箱温度 (K)}][\text{正己烷比重}]}$$

$$2. \text{ 95\% 正己烷体积 (ml) (英制) } = 150.41 \times \frac{[\text{试验箱有效容积 (英尺}^3\text{)}][\text{试验箱压力 (psia)}]}{[\text{试验箱温度 (R)}][\text{正己烷比重}]}$$

注：K = 热力学温度，即 °C + 273.15

R = 热力学温度，即 °F + 459.67

正己烷比重由图 9-2 确定。

爆炸大气试验所用的燃料蒸发装置宜能把少量空气和燃料蒸汽一起加热到使燃料蒸汽从蒸发装置导入试验箱时不会发生凝结的温度。

当试验设备要求燃料在爆炸试验箱内汽化时，则燃料可在试验现场环境温度下导入。

9.5 设备设计和安装信息

设备规范应详细说明用于具体类别设备外壳设计的任何限制条件，如适用，这些设计限制宜包括以

下内容:

- a. 对于可能会接触到易燃液体或蒸汽,且在正常使用中可能会产生电弧、电火花或热表面的设备,在设计时应考虑到它自身可能的安装方式,并进行防爆设计;
- b. 对于可能会接触到易燃液体或蒸汽,且在故障条件下可能产生电弧、电火花、摩擦火花或热表面的设备,在设计和安装时应将产生引燃易燃蒸汽的所有故障风险降到可接受的最低程度;
- c. 在为强迫通风设备设计空气供给系统时,应考虑易燃蒸汽污染空气的可能性。如果设备及其管道(包括接头)位于能受到这种污染的区域中,这些设备应能满足相应的环境条件;
- d. 9.4.1 中 A 类设备的规范,宜考虑凸缘和孔洞尺寸或其他等效措施(如阻焰罩等)的设计要求,以保证设备在火焰蔓延中足够安全。这些信息包含在国家文件中。

9.6 试验程序

9.6.1 A 类试验

9.6.1.1 试验准备

- a. 试验外壳或罩子准备:本步骤的目的是为了有意地使受试外壳或罩子充满挥发性气体混合物然后点燃它。可以要求在外壳或罩子上钻孔或开孔,用于软管与燃料蒸汽空气混合物循环系统的进出连接,以及安装一个火花隙装置。为便于引入爆炸气体而做的任何改动,造成的外壳体积变化不应大于 $\pm 5\%$;
- b. 软管安装:当插入来自风机的软管时,应特别小心,防止因回火或供气软管压力泄漏而引燃周围的混合气体;
- c. 火花隙装置:应提供一个火花隙装置,用来点燃外壳或罩子内的爆炸混合气体。可以在外壳或罩子上钻孔或开孔安装火花隙装置,也可以在内部安装火花隙装置;
- d. 壳体安装:壳体或罩子,与装入其内部的试件或与试件体积和位置构形相同的模型一起,应依照制造方推荐的正常使用安装方式,在爆炸试验箱内进行机械和电气连接与定位。如果试验需要,这一步骤还应包括必要的冷却措施;
- e. 试验装置:所需的装置包括试验箱或试验舱及其辅助仪器,用来提供、保持和监控规定的试验条件。采用的试验箱要具有引燃燃油-空气混合物的装置(如火花隙装置),以及能引起混合气体样品爆炸的装置(如火花隙或电热塞引爆源)。另一种可用的确定蒸汽爆炸特性的方法是使用校准过的爆炸气体仪,这种仪表能够测量燃料-空气混合物的爆炸程度和浓度。

9.6.1.2 试验实施

试验按以下步骤进行三次:

步骤 1: 将试验箱密封并将箱内压力保持在试验所在地的大气压力。试验箱内环境温度应不低于 25°C 。箱内爆炸混合物应利用 9.5.3 和 9.5.4 规定的混合物产生。使燃料/空气混合物在试验件间循环流动(采用风机或泵),以保证爆炸性混合物进入试验件内。

步骤 2: 为了使壳体内气体发生爆炸,应给壳体内的引燃源通电。可以使用插入壳体内部并与试验箱外温度记录仪相连接的热电偶检测壳体内发生的爆炸。如果混合物的引燃没有立即发生爆炸,则认为试验无效,并应装入新的爆炸混合物重新进行试验。

步骤 3: 壳内爆炸至少要进行 5 次。如果试验壳体较小(不超过试验箱体积的 1/50),并且当混合物循环进入到壳内时,壳体内引燃的反应是爆炸性的,而不是使爆炸混合物连续地燃烧,那么,在不向箱内充入新的爆炸混合物的情况下,可以使壳体内产生多于 1 次的爆炸,但不超过 5 次。如果试验壳体容积大于试验箱体积的 1/50,每个试件爆炸后需清理试验箱,因为可能已经改变试验混合气体。壳体内爆炸之间要留有足够的时间,以使新的爆炸混合物进入壳体内,替换燃烧过的废气。如果壳体内的爆炸没有引起主试验箱的爆炸,则应使用火花塞或电热塞点燃混合物样品来检验主试验箱内的燃料-空气混合物的爆炸性。如果主试验箱内的空气-蒸汽混合物不具有爆炸性,则认为试验无效,重新进行全部程序。

9.7.1.3 失效判据

如果壳体内爆炸引起了主试验箱爆炸,则认为试件未通过此试验,无需再进行试验。

9.7.1.4 外表面温度测试

如有必要,应在专用设备规范中规定试验程序(9.4.1.b)。

9.7.2 E类试验

9.7.2.1 试验准备

- a. 试件应按制造方推荐的正常使用安装方式进行机械和电气连接与定位。这应包括在进行本标准所述试验有需要时提供的任何冷却措施,以便能进行正常的电气工作,允许通过压力密封装置在试验箱外进行机械控制。应拆去或松开试件的外罩,以利于爆炸混合物进入。对于多单元件

组成的大型试件，允许一次试验一个或几个单元件，通过电缆孔将电连接延长到放置在试验箱外的其余相关设备；

- b. 使试件运行以确定其功能是否正常；
- c. 只要能采取适当措施来复现扭矩、电压、电流和感抗等正常负荷，就可模拟驱动部件上的机械负荷以及开关和继电器上的伺服机构负荷和电负荷。在所有情况下，最好按照安装环境中正常工作模式使试件运行。

9.7.2.2 试验实施

试验应在当地气压下进行：

步骤 1：应密封试验箱，并将箱内的环境温度升高到表 4-1 中给定的高温工作温度，即设备设计的最高工作温度。但在爆炸混合气体进入试验箱前，应使试验箱和试验箱壁的温度上升与试验箱周围空气的差值不超过 11℃，以防止爆炸气体凝露。

步骤 2：向试验箱内注入 9.5.4 中要求的燃料量，使试验大气循环流通至少 3min，以便于燃料完全汽化并产生均匀的混合气体。

步骤 3：此时，试件的所有电接触器都应动作。在这一期间内试件应连续工作，且所有电接触器的开合频率应尽量和实际使用情况相同。

步骤 4：如果试件工作时没有发生爆炸，应以使用火花隙或电热塞引燃混合气体样品的方法来检验空气—燃料蒸汽混合气体的潜在爆炸性。如果空气—燃料蒸汽混合气体不具有爆炸性，则应认为此试验无效，应重新进行全部试验程序。

9.7.2.3 失效判据

如果试件引起爆炸，则试件应未通过此试验，无需再进行试验。

9.7.3 H类试验

9.7.3.1 试验准备

按 9.7.2.1 的要求将试件装在试验箱内。对有可能引发热引燃的受试部件和受试表面，应安装工作温度范围为 65℃～260℃的热电偶。

9.7.3.2 试验实施

按以下步骤进行试验：

步骤 1：试验箱应密封，将箱内环境温度升到表 4-1 给定的高温工作温度，即设备设计的最高工作温度。试验箱和箱壁的温度与试验箱周围空气温度的差值不得超过 11℃。

步骤 2：设备应通电并按正常模式工作，直到其达到热稳定。应记录可疑部件或表面达到的最高温度。如果温度超过 204℃，则试验应终止。

9.7.3.3 失效判据

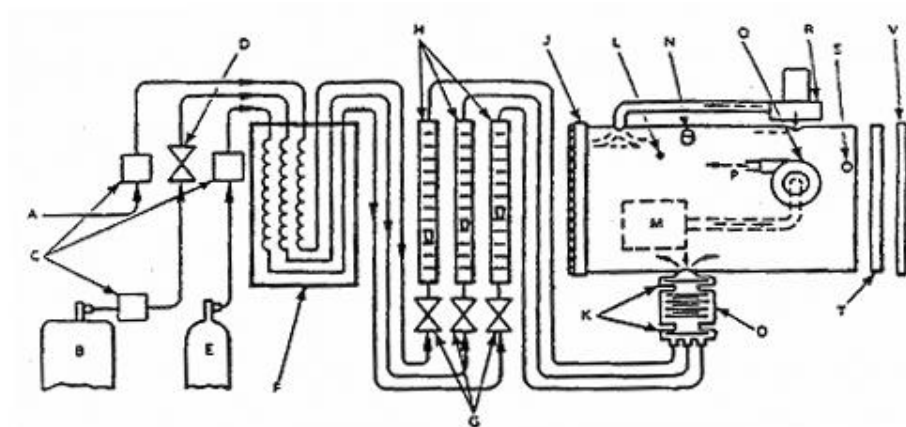
在步骤 2 中，如果试件温度超过 204℃，则试件未通过该试验，无需再进行试验。

表 9—1 设备分类和试验要求

设备分类	要求和试验	注
A A(气密密封)	见 9.7.1 见 9.7.1.2	1
A E H	见 9.7.1 见 9.7.2 见 9.7.3	2
A E H	与 II 类环境相同，但失效情况不适用	3

注：

1. 适用于 9.3.1
2. 适用于 9.3.2
3. 适用于 9.3.3



图例

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| A 空气 | L 圆筒形爆炸试验箱 |
| B 丙烷气瓶 | M 受试设备 |
| C 减压阀 | N 排烟孔 |
| D 由爆炸试验箱上的微型开关控制的气体截止阀 | O 混气室 |
| E 氧气瓶 | P 排向大气的废气 |
| F 使气体达到标准温度的热交换器 | Q 用于试验样品换气的抽气机 |
| G 针状阀 | R 搅拌鼓风机 |
| H 流量计 | S 胶带因爆炸而位移时可以释放的微动开关(每端一个) |
| J 两端用隔板覆盖(如纸板或聚乙烯板)用胶带固定 | T 薄板 |
| K 薄膜止回阀 | V 胶带 |

图 9-1 爆炸大气试验装置示意图

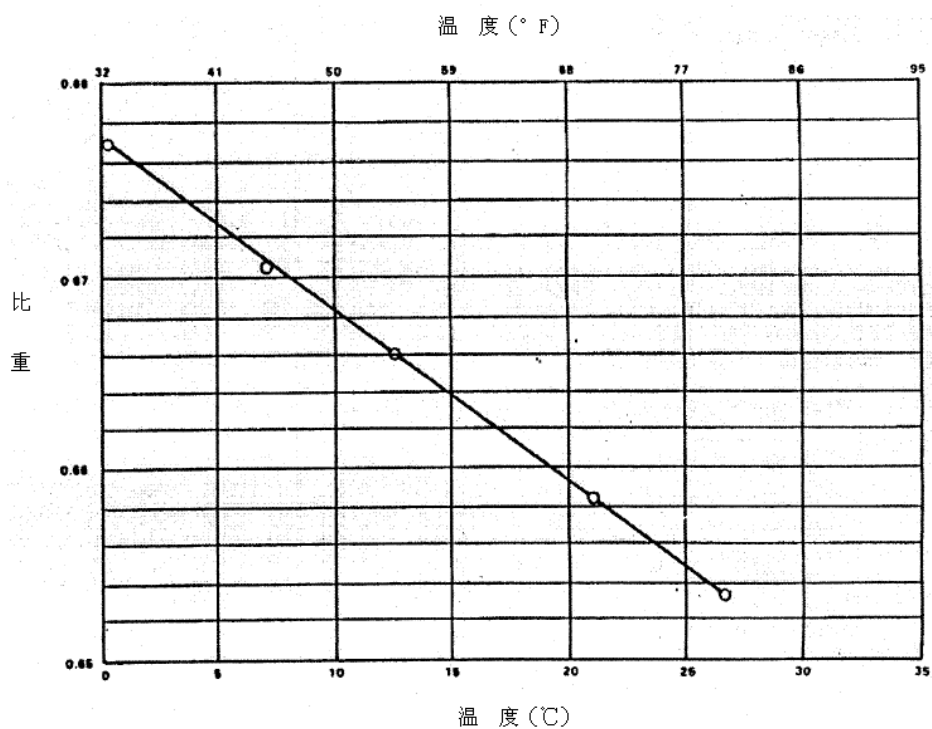


图 9-2 正己烷的比重

空气质量 -1b

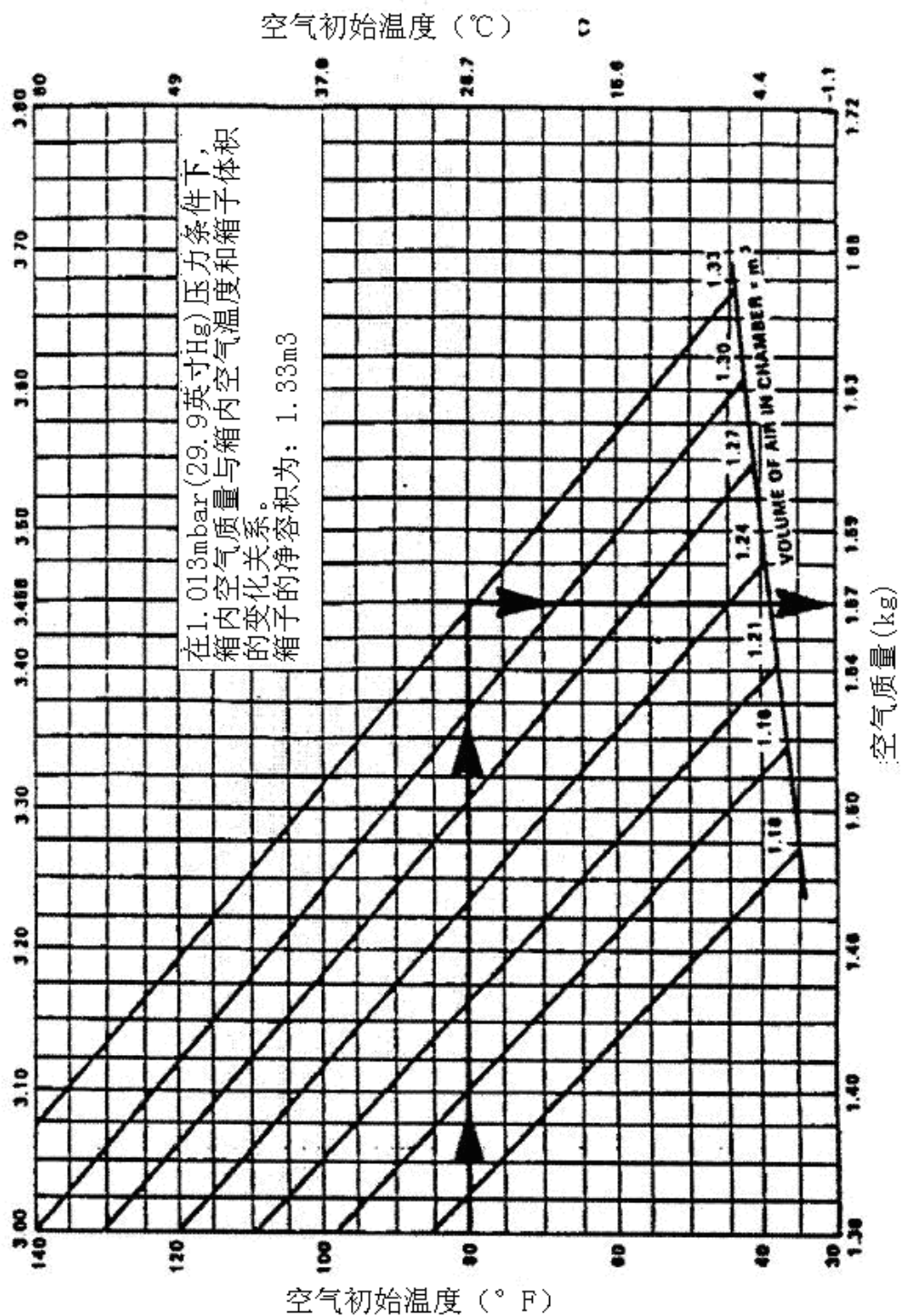


图 9-3 充入的空气重量与温度的关系

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

第 10 章

防水性

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

目 录

10.0	防水性	10—1
10.1	试验目的	10—1
10.2	设备分类	10—1
10.3	试验程序	10—1
10.3.1	防冷凝水试验	10—1
10.3.2	防滴水试验	10—1
10.3.3	防喷水试验	10—1
10.3.4	防连续水流试验	10—2
图 10—1	滴水试验装置详图	10—2
图 10—2	喷头详图	10—3

10.0 防水性

10.1 试验目的

本试验用于确定设备是否能经受住喷洒或滴落到其上面的液体水的影响或水凝结的影响。

本试验不用于验证气密密封设备的性能。因此，可以认为气密设备已经满足了所有防水要求，无需再做试验。如果设备是永久密封且不透气的，则应认为设备是气密密封的。

10.2 设备分类

Y 类

在飞机正常工作期间，其安装位置会经受冷凝水的设备归为 Y 类。预期安装于这些位置的设备，适用于防冷凝水试验程序。

W 类

飞机正常工作期间，其安装位置会经受滴水(通常由冷凝引起)的设备归为 W 类。预期安装于这些位置的设备，适用于防滴水试验程序。

R 类

安装于可能受到大风雨或会从任何角度受到水喷洒的位置的设备归为 R 类。预期安装于这些位置的设备，适用于防喷水试验程序。通过 R 类设备要求的设备可以认为满足 W 类的要求，无需再做试验。

S 类

安装于可能受到液体强大流动力作用(如在飞机的除冰、冲洗或清洗操作中可能会遇到)位置的设备归为 S 类。预期安装于这些位置的设备，适用于防连续流动水试验程序。试验中用水来模拟实际的流体作用力。通过 S 类设备要求的设备可以认为满足 W 类的要求，无需再做试验。

10.3 试验程序

10.3.1 防冷凝水试验

本试验应使用两个温度试验箱，试验箱 1 应设置为 -10°C ，而试验箱 2 应设置为 40°C 和相对湿度为 85%。按照制造方的规范把受试设备及其所有连接件和装配附件安装到试验箱 1 中。使设备处于不工作状态，稳定至少 3 个小时。与此同时，试验箱 2 应稳定在 40°C 和相对湿度 85%。经过 3 小时的稳定后，在 5min 转换时间内，将受试设备转移到试验箱 2 中。然后，再在最长 5min 内，按照制造方的规范将受试设备及其连接件和装配附件(包括通风装置)安装在试验箱 2 中。给受试设备通电并让其工作 $10\frac{1}{2}\text{min}$ 。在这 10min 工作期间之后，确定是否符合有关设备性能标准。

10.3.2 防滴水试验

防滴水试验开始之前，将受试设备置于不工作状态，使设备的温度稳定在滴水试验用水温度的至少 10°C 以上。按照制造方的规范安装受试设备及其所有连接件和装配附件。试验中设备不工作，经受匀速滴水的作用，滴水的位置距受试设备上表面至少 1m 高，滴水的时间不少于 15min。试验箱将通过滴水孔标称直径为 0.33mm、孔间距为 25mm 的格型分配器滴出大于 $140\text{l/m}^2\text{h}$ 的水量，分配器的构造见图 10-1。注：满足 $140\text{l/m}^2\text{h}$ 或更高的水量。从水滴分配器中滴出的水量校准前及校准后应被控制并且应注意水滴分配器中水位。水滴分配器应足够大，等于或大于受试设备在其正常位置安装时的水平横截面积。试验结束时，确定是否符合有关设备性能标准。

10.3.3 防喷水试验

按照制造方的规范安装设备及其所有连接件和装配附件。使设备处于工作状态，经受来自图 10-2 所示喷头中水的喷淋，水应垂直喷向在设备性能标准中说明的设备的最薄弱面。

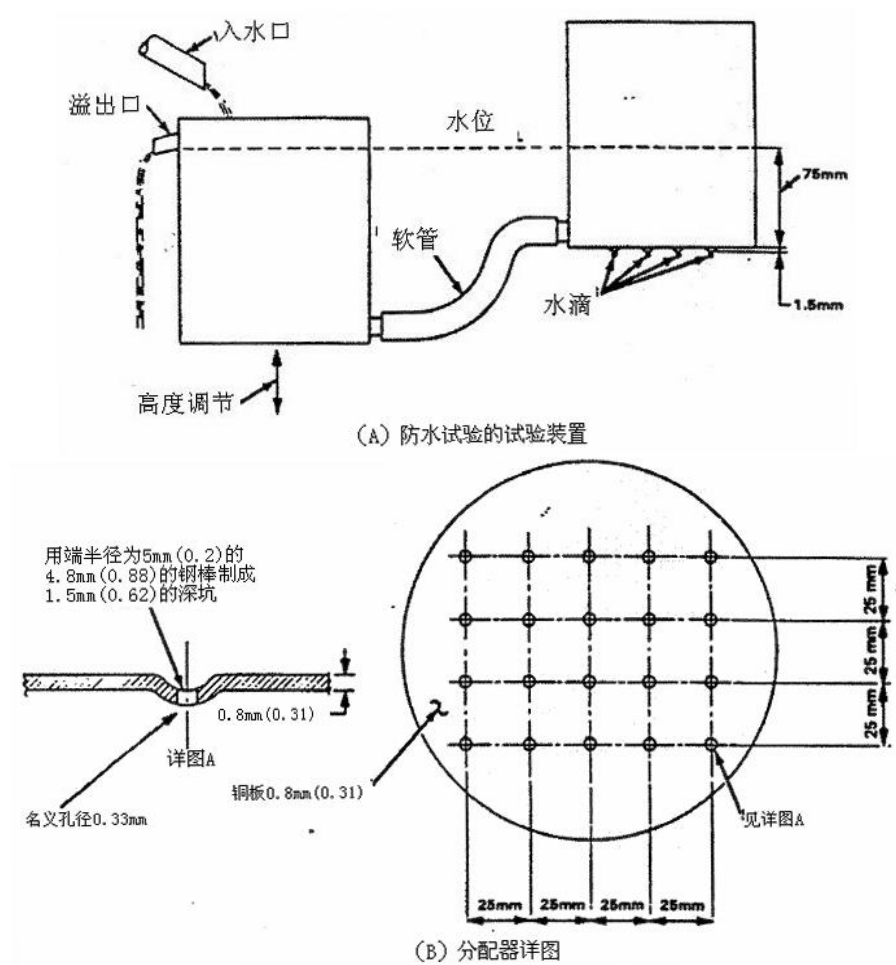
受试的每一个面应经受不少于 15min 的喷淋。如有要求，可使用适当数量的喷头同时对几个面进行该项试验。喷头距受试面的距离不小于 2.5m，喷水量应大于 450L/h 。试验结束时，确定是否符合有关设备性能标准。

10.3.4 防连续水流试验

本试验用于补充 11 章流体敏感性试验。敏感材料(如密封垫)在进行本试验之前应经受 11 章中适当的试验。进行本试验应使用温度为 50°C 的水。

按制造方的安装说明书，以模拟其在飞机上的安装方式安装设备，应按正常使用状态连接连接件和其他装配附件。试验期间设备不工作。

使受试设备所有侧面都经受连续水流的冲击，特别是带有用弹性垫片连接的零件的部位，每一个侧面不能少于 5min，水流要有足够的压力，以通过直径为 6.4mm 的喷嘴后能产生至少 6m 扬程的水流。设备应在距水出口 1~2m 处进行此试验。试验结束时，确定是否符合有关设备性能标准。



注：容器尺寸和孔的数量要满足 10.3.2 中流量的要求。

图 10—1 滴水试验装置详图

注：满足 $140\text{l/m}^2\text{h}$ 或更高的水量。从水滴分配器中滴出的水量校准前及校准后应被控制并且应注意水滴分配器中水位。

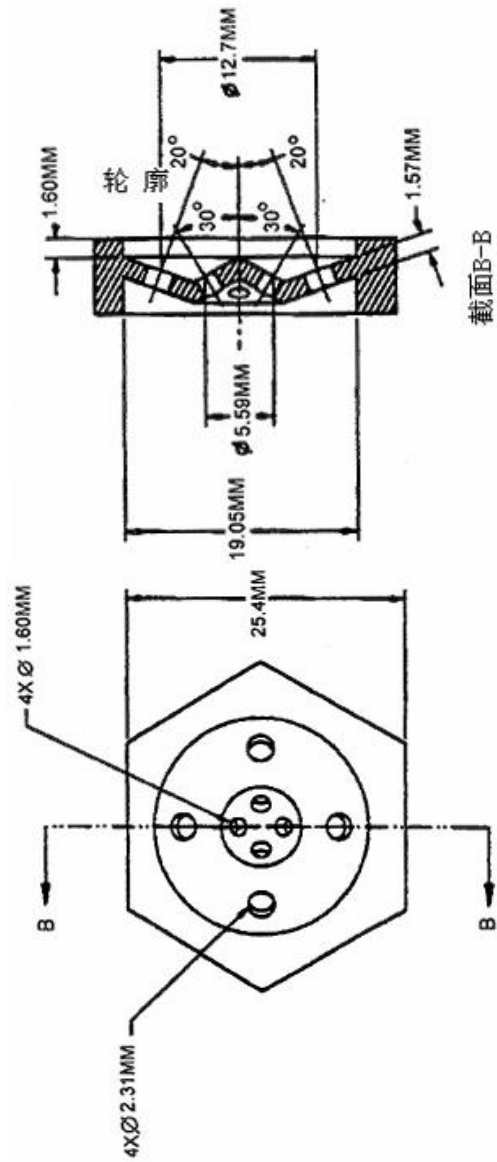


图 10—2 喷头详图

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验程序

第 11 章

流体敏感性

重要提示

第 1、2、3 章中包含了与本试验程序相关的信息。
此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

目 录

11.0	流体敏感性.....	11-1
11.1	试验目的.....	11-1
11.2	注意事项.....	11-1
11.3	设备分类.....	11-1
11.4	试验程序.....	11-1
11.4.1	喷淋试验.....	11-1
11.4.2	浸渍试验.....	11-1
11.5	材料试样的使用.....	11-2
表 11-1	试验流体种类和流体温度.....	11-2

11.0 流体敏感性

11.1 试验目的

这些试验的目的在于确定在设备结构中使用的材料是否能经受住流体污染的有害作用。流体敏感性试验只对那些安装位置上会经常遇到流体污染的设备才进行。流体是飞机上或地面工作时所遇到的通常使用的典型流体。在这里没有列出而试验又需要的流体应包括在设备有关的规范中。

11.2 注意事项

因为许多污染物的闪点在试验温度的范围之内，所以要特别小心。要采取充分的安全措施限制爆炸和燃烧的可能性。

某些污染物自身或其他污染物或试件结合后是有毒的，因此在开始试验前，要给予充分的注意。

11.3 设备分类

F类设备

通过了这一标准中所述试验的设备划为 F 类，试验中使用的流体以及所用的试验方法的详细资料应在环境合格证书（见附录 A）中规定。

注：本文件的 10.0 和 14.0 部份分别为防水试验和盐雾试验。第 11 部份包括了 7 种普通流体。另外还有 25 种专用流体用于这些类别的试验。表 11-1 包含了流体的类别、试验中要求的专用流体和温度。所有试验用的 25 种流体或所有 7 种普通流体并不要求 F 类设备。所使用的专用流体、试验方法和暴露的温度应详细列入到试验程序和环境合格证书中。

11.4 试验程序

11.4.1 喷淋试验

按有关的设备规范对设备进行机械和电气的连接，在试验期间设备不要求工作，试验在实验室环境下进行。

(a) 喷淋所规定流体到试验样品所有的可能暴露的表面。喷淋呈细雾状，保持表 11-1 规定的温度并喷向设备的每一个主要表面、密封接头。保持表面湿润时间 8h，然后在 65℃条件下干燥 16h。如果保持产品润湿条件有困难，而且产品规范要求必须做喷淋试验而不做浸渍试验，那么最多每隔 4h 就充分喷淋一次的方法是可取的，并且允许产品在标准的环境温度条件下稳定。

(b) 设备的材料、防护层出现可视的退化和物理变化时。重复步骤 a) 直到 3 个 24h 的循环周期结束。在第 3 个喷淋周期临近结束时，应使设备至少工作 10min。最后一个周期结束后，将试验箱内温度降至试验标准大气温度（避免温度冲击）并使设备工作直至稳定或不低于 30min，确定是否符合有关设备性能标准。

(c) 用其它流体重复步骤 (a) 和 (b)。

(d) 直至完成所有的流体试验，确定是否符合有关设备性能标准。

注：如果设备要求用多种级别的污染流体做试验，通常应分别进行。然而，如果流体是相同的基质（如：油类流体试验后不应进行水性流体试验），也可以用多种流体同时进行试验。喷淋前流体不能预先混合，使用顺序由设备规范规定。除非在设备规范中另有说明，流体同时使用的全部暴露时间应和单一流体的暴露时间相同。应该遵守本部份的注意事项。

试验结束后，应该检查受试设备，且受试设备内部或外部的任何部件不应出现破坏现象。

11.4.2 浸渍试验

按有关的设备规范规定对设备进行机械和电气的连接。试验期间设备不工作，试验在环境温度下进行，不要预先混合任何溶液。

把设备浸入适当的流体中至少 24h，流体的温度保持在表 11-1 中的规定值，流体要完全覆盖试件。

在 24h 结束时，设备至少工作 10min，此时设备仍全部浸在流体中。

此周期之后，取出试件，放入试验箱，在 65℃恒定温度下至少保持 160h，之后将试件恢复常温并至少工作 2h。

工作 2h 后，确定是否符合有关设备性能标准。

试验结束后，应该检查受试设备，且受试设备内部或外部的任何部件不应出现破坏现象。

11.5 材料试样的使用

材料试样试验也可用于设备试验的场合。这种试验结果将保证设备以 11.4 节设备试验程序规定的方式暴露于有关的流体中后不受到有害的影响。

注：如果设备接着要进行防连续流水试验（见 10.3.3 节），则材料试样试验不适用。

表 11-1 试验流体分类和流体温度

污染流体类别	试验流体	流体温度
--------	------	------

燃油	航空喷气机 A 级燃油 航空活塞发动机燃油	40 <u>1</u> / 40 <u>1</u> /
液压油	矿物基 非矿物基 磷酸盐脂类基（合成）IV 类 <u>2</u> / 硅酸盐脂类（合成） 硅基（合成） 合成碳氢化合物基	80 50 70 70 70 70
润滑油	矿物基 脂类基（合成） 内燃机 15W40	70 150 70
溶剂和清洗用流体	异丙基乙醇 变性酒精 1-2 异二氯乙烯（替代 1.1.1 三氯乙烷）	50 <u>1</u> / 23 <u>1</u> / 23
防冰流体	乙（撑）二醇 丙二醇 AEA1 型 <u>3</u> / AEA2 型 <u>3</u> / SAE1 型 SAE2 型 SAE4 型	50 50 50 50 23 23 23
杀虫剂	敌敌畏（DDVP）（可购买到的最小体积百分比浓度为 0.92%） 合成除虫菊酯（除虫药基，可购买到的最小体积百分比浓度为 0.92%）	23 23
污水	由设备规范规定	23
消毒剂（重型酚醛树脂酯）	澄清、可溶解的酚类化合物，如苯酚及其衍生物溶于表面活性剂并用水稀释以形成澄清溶液。 黑色液体，如：精炼的焦油产品溶于溶剂油并与洗涤剂一同乳化。 白色液体，如：精炼的焦煤产品乳化胶体水溶液，通常包含少量的表面活性剂	23 23 23
绝缘冷却液流体	PAO 绝缘体（聚 α 烯烃）	70
灭火剂	蛋白质 氟化蛋白质 水溶性合成泡沫（ATTF）	23 23

注：

1/ 这个温度超过了危险的闪点温度，试验应该总是在适当的压力器皿中进行。

2/ 这些流体是导电体，设备暴露于流体后并开始工作前，要特别小心。

3/ 全欧航空协会

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

第 12 章

砂尘

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节阐述的所有试验程序相关。
此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO—160F
起 草：SC—135

目 录

12.0	砂尘	12-1
12.1	试验目的	12-1
12.2	设备分类	12-1
12.3	介质	12-1
12.3.1	尘	12-1
12.3.2	砂	12-1
12.4	吹尘试验程序	12-2
12.4.1	第一阶段	12-2
12.4.2	第二阶段	12-2
12.5	吹砂试验程序	12-2
12.5.1	第一阶段	12-2
12.5.2	第二阶段	12-2

12.0 砂尘

12.1 试验目的

本试验用于确定设备对以适中速度运动的空气所携带的吹砂吹尘影响的抗力。预期的主要有害影响有：

- 渗入裂缝、孔隙、轴承和接头，引起活动部件、继电器、过滤器等的受阻和/或堵塞；
- 形成导电电桥；
- 成为收集水汽的核心，包括引起可能发生的二次腐蚀效应；
- 污染流体。

注：必须考虑本试验在系列环境试验中的顺序。因为经过该试验程序后，尘的残留物与其他环境的协同效应相结合会产生腐蚀或导致试验样件长霉，并且会对后续试验的结果产生不利的影响；砂的磨蚀效应也会影响盐雾、霉菌和湿热试验的结果。

12.2 设备分类

D类设备

安装在飞机正常工作过程中经受吹尘的位置的设备为 D 类，这类设备应进行下面章节中推荐的尘试验。

S类设备

安装在飞机正常飞行情况下会经受吹砂和吹尘的位置的设备划为 S 类，这类设备应进行下面章节推荐的吹砂和吹尘试验。这些位置包括座舱或其他的没有专门防砂尘措施的位置。

12.3 介质

12.3.1 尘

吹入试验箱内尘的浓度应达到并保持在 $3.5 \sim 8.8 \text{g/m}^3$ ，二氧化硅的含量应为 97%~99%。

试验用尘能用红高岭土或石英粉，其尺寸分布必须满足：质量分数 100% 的尘小于 $150 \mu\text{m}$ ，其中直径为 $20 \pm 5 \mu\text{m}$ (质量分数 $50 \pm 2\%$)。试验用尘可用 140 目的石英粉 (约有 2% 通不过 140 目 ($108 \mu\text{m}$) 的筛网)，并宜提供与以前试验要求具有可比性的结果。国家文件可能包含其他更多的具体分布。

12.3.2 砂

- 如果可以得到设备预期正常工作最坏外场环境下的砂浓度数据，则以该砂浓度进行试验；
- 对于可能工作在未铺砌地面上方的直升机附近使用的装备，吹砂浓度为 $2.2 \pm 0.5 \text{g/m}^3$ ($0.06 \pm 0.15 \text{g/ft}^3$)；
- 对于根本不会在工作中的飞机附近使用或暴露、但是可能在地面工作中的车辆附近使用或无防护储存的装备，吹砂浓度为 $1.1 \pm 0.3 \text{g/m}^3$ ($0.033 \pm 0.0075 \text{g/ft}^3$)；
- 对于只暴露在自然条件下的装备，吹砂浓度为 $0.18^{+0.2}_{-0.0} \text{g/m}^3$ (0.005g/ft^3)。(由于在较低浓度量值下测量砂浓度存在一定困难，所以允许较大公差)。

除非另有规定，对于吹砂试验使用二氧化硅 (含有 SiO_2 的重量百分比至少为 95%)。使用带有棱角结构的砂，平均 Krumbein 数范围在 0.5 到 0.7。由于试验过程中砂的棱角被磨掉或者成分被污染，试验用砂通常不允许重复使用。推荐的颗粒尺寸分布对于大颗粒的试验用砂尺寸分布从 $150 \mu\text{m}$ 到 $850 \mu\text{m}$ ，其中尺寸大于等于 $150 \mu\text{m}$ 且小于 $600 \mu\text{m}$ 砂粒的重量占总重量的 $(90 \pm 5)\%$ ；尺寸大于等于 $600 \mu\text{m}$ 的砂粒重量至少占总重量的 5%。

12.4 吹尘试验程序

受试设备应依次沿各个主正交轴的每一方向进行吹尘试验。吹尘气流速度保持在 $0.5 \sim 2.4 \text{m/s}$ 。

注 1：除非有关规范中另有要求，设备在暴露期间不要求工作。

注 2：宜遵守有关尘使用的健康与安全条例。

12.4.1 第一阶段

试验箱内温度保持在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 30%，使设备依次沿每一正交轴的每一方向经受至少 1h 的暴露周期。

12.4.2 第二阶段

试验箱内温度升到并稳定在 $55 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 30%。使设备依次沿每一正交轴的每一方向经受至少 1h 的暴露周期。

在此暴露周期结束后，设备应从试验箱中取出，并冷却到室温。如果要求检查设备是否正常工作，应用刷、擦或摇晃的方法去除积聚在受试设备 (如显示器、连接器、键盘和测试端口等) 外表面的尘，注意避免多余尘粒进入设备内部。决不能用吹风或真空吸尘的方法清除设备上的尘粒。去除多余的尘粒后，

操作设备的机械活动部件 10 次，检查活动部件是否堵塞或卡死，确定是否符合有关设备性能标准。

12.5 吹砂试验程序

吹砂试验的气流速度为 18—29m/s，试件的暴露表面与砂粒喷射口的距离为 3m，以便使砂粒在碰撞到试验样件前达到预期的风速。如果试验样件(如座舱显示器屏幕)在实际服役寿命内不会直接遭遇这种量级的风速，则其经受的吹砂气流速度应为 0.5~2.4m/s。可以使用立式试验箱来保持砂的均匀分布。

注 1: 除非有关规范中另有要求，设备在暴露期间不要求工作。

12.5.1 第一阶段

试验箱内温度保持在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 30%，使设备依次沿每个主正交轴的每一方向经受至少 1h 的暴露周期。

12.5.2 第二阶段

试验箱内温度升到并稳定在 $55 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 30%。使设备依次沿每一正交轴的每一方向经受至少 1h 的暴露周期。

在此暴露周期完成后，将设备从试验箱中取出，并冷却到室温。如果要求检查设备是否正常工作，应用刷、擦或摇晃的方法去除积聚在受试设备(如显示器、连接器、键盘和测试端口等)外表面的砂，注意避免多余砂粒进入设备内部。决不能用吹风或真空吸尘的方法清除设备上的砂粒。去除多余的砂粒后，操作设备的机械活动部件 10 次，检查活动部件是否堵塞或卡死，确定是否符合有关设备性能标准。

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

第 13 章

霉菌

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节阐述的所有试验程序相关。
此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO—160F
起 草：SC—135

目 录

13.0	霉菌	13-1
13.1	试验目的	13-1
13.2	一般影响	13-1
13.3	设备分类	13-1
13.4	试验设备	13-2
13.5	试验程序	13-2
13.5.1	无机盐溶液的制备	13-2
13.5.1.1	试剂纯度	13-2
13.5.1.2	水的纯度	13-2
13.5.2	混合孢子悬浮液的制备	13-2
13.5.3	菌种的活力检查	13-3
13.5.4	对照样品	13-3
13.5.5	试验样品及对照样品的接种	13-3
13.5.6	培养	13-3
13.5.7	检查	13-3
13.5.7.1	结果分析	13-4
13.5.8	注意事项	13-4

13.0 霉菌

13.1 试验目的

本试验用于确定设备材料在有利于霉菌生长的条件下，即在高湿温暖大气中及无机盐存在的条件下，是否受到霉菌的有害影响。

注：

- A. 接近其它材料的霉菌，暴露在日常的敏感污染物中，诸如平常使用或维修过程中的液体，或者，设备暴露在太阳的光化学效应下，而引起分子链断裂并分解次级产物，它们可为霉菌的生长提供营养。
- B. 本试验不应在盐雾或砂尘试验之后进行。高浓度的盐会影响霉菌生长，砂和尘能够提供营养物质，因而损害到霉菌试验的真实性(见 3.2 “试验顺序”)。

13.2 一般影响

设备长霉引起的典型问题是：

- a. 微生物在正常新陈代谢过程中消化有机材料，从而降解基质、降低表面张力并增加湿气的渗透；
- b. 新陈代谢过程中产生的酶和有机酸，从细胞中逸出并附着在基底材料表面，引起金属腐蚀、玻璃蚀刻、油脂硬化和基质材料的其他物理和化学变化；
- c. 微生物体在元件之间构成生物电桥，可导致电气故障；
- d. 霉菌的存在能引起健康问题和产生不愉快的审美情绪，致使使用者拒绝使用这些设备。

长霉的有害影响概括如下：

- a. 直接侵蚀材料——不抗霉材料容易受霉菌的直接侵蚀，分解这些材料并当作营养利用。劣化的结果影响材料的物理特性。不抗霉材料的例子有：

(1) 天然材料 天然有机材料制品(碳基)最容易受到直接侵蚀。

- (a) 纤维材料(如：木材、纸张、天然纤维纺织品和绳索)；
- (b) 动物基和植物基粘合剂；
- (c) 润滑脂、油类和许多碳氢化合物；
- (d) 皮革。

(2) 合成材料

- (a) 含聚氯乙烯的组分(如含脂肪酸酯的增塑剂)；
- (b) 某些聚氨酯类(如聚酯和某些聚醚)；
- (c) 含层压材料有机填料的塑料制品；
- (d) 含易长霉组份的油漆和清漆。

- b. 间接侵蚀材料。当出现下列情况时，抗霉材料会受到间接侵蚀而破坏：

- (1) 霉菌生长在积有灰尘、油脂、汗迹和其他污染物的表面(人们发现这些污染物是在设备制造期间或使用期间堆积在设备上的)引起底材的破坏，即使材料能够抵制霉菌的直接侵蚀；
- (2) 霉菌分泌的新陈代谢产物(如有机酸)引起金属腐蚀、玻璃蚀刻、或塑料及其他材料发暗或降解；
- (3) 霉菌在易感霉材料上生长产生的酸性排泄物与毗邻的抗霉材料接触而产生的直接侵蚀。

13.3 设备分类

F 类

安装在受严重霉菌污染环境中的设备，划为 F 类，这类设备应做霉菌试验。如果通过材料的组成成分或以前的试验，能够证明用于构成设备的所有材料均是霉菌生长的非营养材料，则不要求霉菌试验。如果用非营养材料鉴定证书作为证明，则应在环境合格鉴定书中加以说明。(见附录 A)

13.4 试验设备及仪器

进行本试验所需要的设备由试验箱(室)和能使保持在规定条件下的辅助仪器组成。应采取措施防止冷凝水滴落到试验样品上。试验样品周围的空气应能自由循环，并且试验样品安装架与试验样品的接触面积应保持最小。当采用强制空气循环时，流过试验样品表面的风速宜不超过 1m/s。

13.5 试验程序

13.5.1 无机盐溶液的制备

无机盐溶液应含有以下成分：

磷酸二氢钾 (KH ₂ PO ₄)	0.7g
磷酸氢二钾 (K ₂ HPO ₄)	0.7g
七水硫酸镁 (MgSO ₄ ·7H ₂ O)	0.7g
硝酸铵 (NH ₄ NO ₃)	1.0g
氯化钠 (NaCl)	0.005g
七水硫酸亚铁 (FeSO ₄ ·7H ₂ O)	0.002g
七水硫酸锌 (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	0.002g
单水硫酸锰 (MnSO ₄ ·H ₂ O)	0.001g
蒸馏水	1000ml

无机盐溶液用 121℃ 高压蒸汽灭菌 20min。加入 0.01N 的氢氧化钠溶液，调节无机盐溶液的 pH 值，使其灭菌后的 pH 值在 6.0~6.5 之间。制备的无机盐溶液要足以满足试验的需要。

13.5.1.1 试剂的纯度

整个试验均使用化学纯的试剂。除非另有规定，所有的化学试剂均应符合美国化学协会分析试剂委员会规范，他们那里可获得这些规范。

13.5.1.2 水的纯度

除非另有规定，所用的水应该是蒸馏水或相同纯度的水。

13.5.2 混合孢子悬浮液的制备

应使用以下试验菌种：

菌种	ATCC ¹⁾
黑曲霉 (<i>Aspergillus niger</i>)	9642
黄曲霉 (<i>Aspergillus flavus</i>)	9643
杂色曲霉 (<i>Aspergillus versicolor</i>)	11730
绳状青霉 (<i>Penicillium funiculosum</i>)	11797
球毛壳霉 (<i>Chaetomium globosum</i>)	6205

注 1) ATCC——美国标准菌库 (American Type Culture Collection, 12301 Parklawn Drive, Rockville, Maryland, 20853.)

各菌种分别接种到适当的培养基上进行培养，如马铃薯葡萄糖琼脂培养基。但是，球毛壳霉应在无机盐琼脂表面铺的滤纸条上培养。(无机盐琼脂培养基与 13.5.1 叙述的无机盐溶液组成是一样的，只是每升中添加了 15.0g 琼脂)。保藏菌种可在 6±4℃ 下保存不超过 4 个月，到 4 个月时需要再次培养，并从再次培养菌种中选出新的保藏菌种。如果菌种出现了遗传或生理的变化，则按上述规定进行重新培养。用来准备新的保藏菌种或孢子悬浮液的次生培养菌应放置在 30℃ 条件下培养 7~10 天。5 个菌种的每一种都制备一份孢子悬浮液，即向每一菌种的次生培养菌中分别注入每升含 0.05g 无毒润湿剂(如二辛基硫代丁二酸钠或十二烷基硫酸钠)的无菌溶液 10ml。用一支无菌的白金或镍铬合金接种针轻刮长霉的培养基表面。将孢子液倒入一个无菌的装有 45ml 蒸馏水和 10~15 粒直径为 5mm 实心玻璃球的带玻璃塞的 125ml 锥形烧瓶中。用力摇动烧瓶，使孢子从结孢体上释放出来，并打散孢子团。用装有 6mm 厚层压玻璃棉的玻璃漏斗，将打散的霉菌孢子悬浮液过滤到无菌烧瓶中。此步骤可以除掉干扰喷菌过程的大块菌丝体和琼脂块。用离心机无菌分离过滤过的孢子悬浮液，并倒掉上层清液。对沉淀物用 50ml 无菌水再次悬浮，并离心分离。将从每一菌种获得的孢子如此洗涤三次。用灭菌的无机盐溶液稀释最后洗涤的沉淀物，制得孢子悬浮液，用计数器计数使每毫升孢子悬浮液中应含有 $1.0 \times 10^6 \pm 2 \times 10^5$ 个孢子。对试验用的每一菌种都重复上述操作，并将制得的单个菌种孢子悬浮液等体积混合。孢子悬浮液可以是每天新制备的，也可以是 6±4℃ 下保存不多于 14 天的。

13.5.3 培养液活力的检查

对于每一个日常试验组，都需要将三块 (2.54cm×2.54cm) 大小的无菌滤纸条分别放在不同的培养皿中凝固的无机盐琼脂上。用无菌喷雾器 ¹⁾ 将孢子悬浮液接种在滤纸条上直至液滴开始凝聚为止。将接种的滤纸条置于 30℃、相对湿度不低于 85% 的条件下培养，7 天后进行检查。三块滤纸监查样件上均应大量长霉，若无大量长霉则要求重新试验。

注 1): 喷头应具有 15,000.3,000 个孢子/平方厘米的喷洒能力。

13.5.4 对照样品

除培养液活力检查外，为促进霉菌生长，确保培养箱具有适宜的条件，还应将已知易长霉的基质与试验样品一起接种。对照样品是宽 3.2cm 重 234g 的易吸水棉条(未漂白)，棉条在含有 10%甘油、0.1%的正磷酸二氢钾、0.1%的硝酸铵、0.025%的硫酸镁和 0.05%的酵母萃膏的溶液(pH 值 5.3)中浸过，并除去多余液体。棉条在接种并放入试验箱之前应悬挂在空气中晾干。

13.5.5 试验样品和对照样品的接种

- a. 将试验样品和对照样品安装在适当的样品架或悬挂到挂钩上；
- b. 将试验箱及箱内样品在 30℃和 97%±2%的相对湿度条件下预处理至少 4h；
- c. 用预先灭菌的喷雾器或雾化器以雾化的形式将混合霉菌孢子悬浮液喷到试验样品和对照样品上，对试验样品和对照样品接种。在向试验样品和对照样品喷菌时，注意将孢子悬浮液布满整个表面。如表面不润湿，则一直喷到液滴凝聚为止。接种后应立即开始培养。

13.5.6 培养

- a. 在整个试验期间，保持试验箱温度在 30℃和相对湿度为 97%±2%的(最小值)。除检查期间或装入其他试验样品外，在培养期间都应关闭试验箱；
- b. 7 天后，检查对照样品上霉菌的生长情况，以确定环境条件是否适宜霉菌生长。如果检查表明环境条件不适宜霉菌生长，则整个试验应重做；
- c. 如果对照样品上霉菌生长良好，则继续试验，试验时间从接种时算起 28 天，或按设备规范的规定。

13.5.7 检查

培养期结束后，立即对试验样品进行检查。如有可能，在试验箱内对样品进行检查。如果在 8h 内没有完成检查，则将试验样品放回湿热环境条件下最少 12h。除了密封设备外，应打开设备外壳检查其内外部的劣化迹象。之后应对设备进行检测，确定是否符合有关设备性能标准。

13.5.7.1 结果分析

提供以下信息以帮助评价试验结果：

- a. 必须分析生长在试验样品上的任何一种霉菌，确定其菌种类型，以及确定是生长在试验样品的材料上还是污染物上；
- b. 生长在试验样品材料上的任何霉菌，无论是来自接种物本身还是其它来源，必须由有资质的人员来进行评价：
 - (1) 易感部件或材料上的霉菌生长程度。任何生长都必须进行完整地描述；
 - (2) 霉菌生长对材料物理特性的直接影响；
 - (3) 霉菌生长可能对材料造成的长期影响；
 - (4) 支持霉菌生长的具体材料(营养基质)。
- c. 评价对人体因素的影响(包括健康风险)。

13.5.8 注意事项

本试验中规定的菌种，通常对操作人员没有严重危害。对个别人来说，可能会对霉菌中的某一菌种过敏，因此，进行本试验时应谨慎为好。带上医用手套保护手，注意不要将悬浮液溅到皮肤或衣服上。此外，在进行霉菌接种前宜发布公告，告知可能进入正在进行霉菌喷孢子培养或试验准备区域附近的人员，带上医用口罩和手套，谨防霉菌暴露造成不良的健康反应。

在试验箱(室)培养期间，还可能有偶然闯入的外来孢子得到培养，这些霉菌可能也会对人体造成伤害。因此，暴露后的试验样品有可能成为有害物，操作时宜格外小心。

最危险的是，如果一些有害的外来孢子存在于暴露过霉菌的试验样品上，它们以细小、干燥、分散的微粒在空气中传播并吸入人体肺内。但这种情况一般只发生在试验样品干燥之后。如果把试验样品在其干燥之前很快从试验箱中转入到常用的化学通风橱中，那么流动的空气也就接触不到操作者，分散的菌丝片断就不会进入人的鼻腔。

分散的片断非常小，以至于带纱布口罩也起不到防护作用，而只有可防护超微粒的专用防毒面具才有效。因此，在进行本试验时，使用上述建议的通风橱是一种适当的预防措施。

在试验场所可能含有一些有害的霉菌，残留在试验箱里，当清理试验箱时仍存在类似的危险。高温蒸汽作为一种优先选用的清理方法，可以保证试验箱完全无害。但是，凡采用环氧丙烷熏蒸的地方，应注意，冲洗之前进行熏蒸才能保证从箱体内冲洗出的所有残余物完全无害。

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

第 14 章

盐雾

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。
此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO—160F
起 草：SC—135

目 录

14.0	盐雾	14-1
14.1	试验目的	14-1
14.2	设备分类	14-1
14.3	试验设备	14-1
14.3.1	试验箱	14-1
14.3.2	雾化器	14-1
14.3.3	空气源	14-1
14.3.4	盐溶液的制备	14-2
14.3.4.1	pH 的调整	14-2
14.3.5	过滤器	14-2
14.3.6	试验程序	14-2
14.3.6.1	温度	14-2
14.3.6.2	喷雾	14-2
14.3.6.3	盐雾收集器的放置	14-2
14.3.6.4	盐溶液的测量	14-2
14.3.6.4.1	氯化钠含量的测量	14-2
14.3.6.4.2	pH 值测量	14-2
14.3.6.4.3	测量时间	14-2
14.3.6.5	试验样品的准备	14-3
14.3.6.6	常规盐雾试验的实施(S类)	14-3
14.3.6.7	严酷盐雾试验的实施(T类)	14-3
14.3.6.8	失效考虑	14-3
图 14-1	盐溶液相对密度随温度变化曲线	14-4
图 14-2	盐溶液过滤器的位置	14-4

14.0 盐雾试验

14.1 试验目的

本试验用于确定长期暴露在盐雾大气中或正常使用中经受的盐雾对设备的影响。

预期的主要有害影响是：

- a. 金属的腐蚀；
- b. 由于盐的沉积引起活动部件的阻塞或卡死；
- c. 绝缘失效；
- d. 接触器和无涂覆导线的损坏。

注：盐雾试验不应在霉菌试验之前进行(见 3.2 “试验顺序”)。

14.2 设备分类

S 类

安装在飞机正常使用过程中遭受腐蚀大气影响部位的设备划为 S 类。该类设备要做盐雾试验。

T 类

设备安装在能遭受严酷盐雾大气环境的位置时，例如，在海边停放或使用的飞机上直接暴露于未经过滤的外界空气中的设备，此类设备划为 T 类，该类设备要做严酷的盐雾试验。

14.3 试验设备

盐雾试验使用的设备应包括：

- a. 带有支撑试验样品架的暴露试验箱；
- b. 带有能保持适当液位装置的盐溶液槽；
- c. 盐溶液的雾化装置，包括合适的喷嘴和压缩空气源；
- d. 加热和控制箱温的装置；
- e. 在箱温以上的温度下加湿空气的装置。

14.3.1 试验箱

试验箱和所有附件都应使用不受盐雾腐蚀影响的材料制造，例如玻璃、硬橡胶、塑料和除胶合板之外的其他烘干木材。此外，与试验样品接触的所有部件应使用不引起电解腐蚀的材料制造。试验箱及其附件的构造和布置应做到：盐雾不直接喷射在试验样品上，冷凝水不滴到试验样品上，盐雾能在所有试验样品周围均匀自由循环，与试验样品接触过的盐溶液不流回到盐液槽中。试验箱应设有合适的排气孔，以防箱内压力升高，并使盐雾均匀分布。排气孔的排气端应能防止强力通风，以避免在试验箱内产生强大的空气流动。

14.3.2 雾化器

设计和制造的雾化器应能产生细微分散、潮湿、浓密的盐雾。雾化器喷嘴应使用不与盐溶液发生反应的材料制造。

14.3.3 空气源

进入雾化器的压缩空气应基本上没有杂质，如油和污物。应按满足工作条件的要求配备加湿和加热压缩空气的装置。空气的压力应适当，以使雾化器能产生分散浓密的细雾。为避免由于盐沉积堵塞雾化器，喷嘴处的空气相对湿度应不低于 85%。一种满意的方法是使压缩空气以细小气泡的形式经过一个装有热水且能自动保持恒定水位的塔，水的温度宜不低于 35℃。允许水温随着空气体积的增加和试验箱与其周围环境隔热能力的降低而增高，但水温不宜超过某一极限温度，超过这一温度会使过量的湿气引入箱中(例如，气压为 84kPa 时温度为 43℃)，或者水温不能超过满足不了工作温度要求的值。

14.3.4 盐溶液的制备

盐为氯化钠，折干计算，其碘化钠含量应不多于 0.1%，总杂质不多于 0.5%。除非另有规定，按重量把 5 份盐溶解在 95 份蒸馏水或去离子水中，制备成 5±1% 的溶液。应通过测量盐溶液的温度和浓度，把溶液的相对密度调整并保持在图 14—1 的范围内。

14.3.4.1 pH 值的调整

每天应保持和测量盐溶液的 pH 值，使在 35℃ 下喷雾的盐溶液和按 14.3.6.3 规定的方法收集到的盐溶液的 pH 值应在 6.5~7.2 的范围内。应仅用稀释的化学纯的盐酸或化学纯的氢氧化钠来调节 pH 值。应使用电测量法测量 pH 值，即用一个带饱和氯化钾盐桥的玻璃电极，通过比色法(如用溴百里酚蓝)测量，或用其他测量仪器或石蕊试纸测量，其测量结果应与电测量法测量的结果相同。新配制的每一批溶液均应按 14.3.6.4 的规定测量 pH 值。

14.3.5 过滤器

在盐溶液管道中应装有用耐腐蚀材料制造的过滤器，其结构类似于图 14—2，并按图 14—2 所示的方式浸在盐液槽中。

14.3.6 试验程序

14.3.6.1 温度

试验应在暴露区温度保持在 35℃ 条件下进行。精确控制温度的最好方法是把试验设备放在一个控制良好的恒温室内，使试验设备完全隔热，在喷雾前预热空气到适当的温度，或者，给试验设备包上护套，控制护套中使用的水或空气的温度。禁止在试验箱内采用浸入式加热器来保持暴露区的温度。

14.3.6.2 喷雾

容积小于 0.34m³ 的试验箱利用以下条件能喷出合适的喷雾：

- a. 喷嘴压力应按实际可能尽量低，以产生要求速率的雾；
- b. 孔径应在 0.5mm~0.8mm 之间；
- c. 试验箱每 0.28m³ 的容积内、每 24h 时喷出的盐溶液约为 3L。

当使用容积远大于 0.34m³ 的大试验箱时，可以要求修改规定的条件，以满足工作条件的要求。

14.3.6.3 盐雾收集器的放置

暴露区各部位的盐雾条件应保持为，使放置在暴露区中任一点上洁净的盐雾收集器在至少 16h 的喷雾时间内，每 80cm² 的水平收集面上（直径为 10cm）平均每小时可收集到 1~3ml 的盐溶液。至少应使用 2 个收集器，一个放在试验样品周围距离喷嘴最近点，另一个在该试验样品周围距离喷嘴最远点。收集器应放置在不被试验样品所遮盖的位置，以及不会收集到来自试验样品或其他表面滴落液滴的位置。

14.3.6.4 盐溶液的测量

用 14.3.6.3 规定的方法收集的溶液，在 35℃ 温度下测量时，应符合 14.3.4 规定的氯化钠含量和 pH 值。可将所有收集器中的盐溶液合并在一起，以提供规定测量所要求的盐溶液量。

14.3.6.4.1 氯化钠含量的测量

盐溶液保持在规定温度下，用内径约为 2.5cm 的量筒进行测量。在这种体积范围内进行的测量，只需用一小型的实验室比重计。

14.3.6.4.2 pH 值测量

pH 值应按 14.3.4.1 规定测量。

14.3.6.4.3 测量时间

氯化钠和 pH 值的测量应在下列时间进行：

- a. 对于连续使用的盐雾试验箱，即，5 天之内使用过的试验箱，每次试验后应进行测量；
- b. 对于很少使用的盐雾试验箱，使用时间间隔多于 5 天或喷嘴被堵塞，应在完成 24h 运行之后测量，运行试验中不应放置试验样品。

14.3.6.5 试验样品的准备

试验样品的处理应尽量少，特别是重要表面，并应在试验准备工作完成后立即进行暴露。除非另有规定，应彻底清除无保护层金属或涂有金属保护层设备的表面油污和油脂，直到表面不再形成水珠为止。清洗方法应不包括使用腐蚀剂或保护膜，除纯氧化镁软膏以外也不应使用其他研磨剂。带有机涂层的试验样品不能用溶剂清洗。试验样品与支架接触部位和不要求涂覆的切削加工过的边缘和表面，除非对涂保护层装置或试验样品另有规定，均应用蜡或不透湿气的类似物质加以保护。

14.3.6.6 常规盐雾试验的实施(S 类)

步骤 1：将 4.4.1.1b 规定的盐溶液连续 24h 或按试验计划规定的时间，喷入试验箱内。在整个暴露周期内，至少每间隔 24h 测量一次盐雾沉降率和沉降溶液的 pH 值，以保证沉降率在 1~3ml/80cm²/h。¹⁾

步骤 2：试验样品在标准大气环境温度和相对湿度不大于 50% 条件下干燥 24h。在干燥期间不要触动试验样品或对其机械特性进行任何调整。

步骤 3：干燥结束后，除非另有规定，应将样品放回盐雾箱内并重复进行一次步骤 1 和步骤 2。

步骤 4：干燥结束后，启动试验样品工作，确定是否符合有关设备性能标准。

之后，应检查试验样品的腐蚀情况。必要时，可用温度不高于 28℃ 的流动水轻轻冲洗。必须分析任何腐蚀对试验样品正常功能造成的直接或潜在影响。

注 1)：建议间隔更频繁一些。如果没有满足沉降量要求，则重复该间隔。

14.3.6.7 严酷盐雾试验的实施(T 类)

步骤 1 将 14.3.4 条规定的盐溶液连续 48h 或试验计划规定的时间喷入试验箱，在整个暴露周期内，至少每间隔 24h 测量一次盐雾沉降率和沉降溶液的 pH 值，以保证沉降率在 (1~3) ml/80cm²/hr。

步骤 2 将试验样品在标准大气温度和相对湿度不大于 50% 的条件下干燥 24h，在干燥期间不要触动试验样品或对其机械特性进行任何调整。

步骤 3 干燥结束后，除非另有规定，应将试验样品放回盐雾试验箱内，并重复步骤 1~步骤 2 一次。

步骤 4 从试验箱内拿出 1h 内, 给试验样品通电并允许干燥 24h, 然后确定是否符合有关设备性能标准。

应检查试验样品的腐蚀情况, 在拆卸和清洗之前, 按设备规范规定的方法测量并记录绝缘电阻或搭接电阻。然后, 若有必要, 可用温度不高于 28℃ 的流动水轻轻冲洗试验样品。必须分析腐蚀会对试验样品正常功能产生的直接或潜在影响。

14.3.6.8 失效考虑

a. 物理。盐的沉积能引起机械部件和组装件的阻塞或卡死。本试验产生的任何沉积程度可以代表预期环境产生的沉积程度;

b. 电性能。24h 干燥期后, 残留的湿气可能引起电性能故障。如果这样, 尝试将这些故障与使用过程中可能出现的故障联系起来;

c. 腐蚀。分析任何腐蚀对试验样品正常功能和结构完整性造成直接或潜在的长期影响。

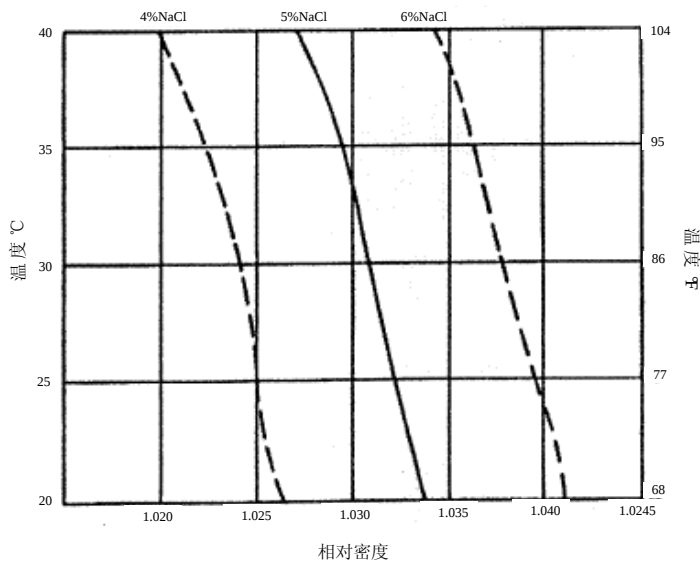


图 14—1 盐溶液相对密度随温度变化曲线

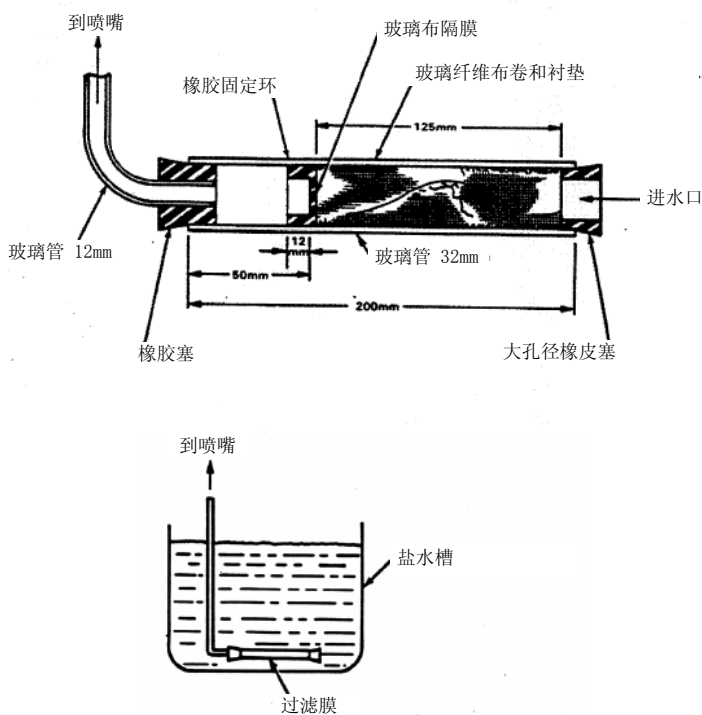


图 14—2 盐溶液过滤器的位置

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 15 部分 磁影响

重要提示

本部分信息与本标准其它部分的所有试验方法有关。
此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.08

替代：RTCA/DO-160F
起草：SC-135

目 次

15 磁影响	15-1
15.1 试验目的	15-1
15.2 试验描述	15-1
15.3 试验程序	15-1
图 15-1 试验布置和方法	15-2

15 磁影响

15.1 试验目的

本试验确定机载设备的**磁影响**，主要用于测定或验证允许安装的设备与罗盘或罗盘传感器（磁通门）的最近距离。本试验确保设备能够正常工作并对临近设备不产生干扰，确定设备与适用设备性能规范的符合性，或协助安装者选择设备在飞机上的适当安装位置。

设备的类别定义如下，其中 D 表示观察到罗盘偏转 1° 时罗盘与设备的距离：

Y 类：D=0.0m。当直接靠近设备测量时罗盘偏转不大于 1°。该类别适用于安装在距离磁罗盘或磁通门 0.0m~0.3m 处的设备。

Z 类：0<D≤0.3m。当罗盘偏转等于 1° 时，罗盘与设备的测量距离大于 0.0m 而小于等于 0.3m。该类别适用于安装在距离磁罗盘或磁通门大于 0.3m 处的设备。

A 类：0.3m<D≤1m。当罗盘偏转等于 1° 时，罗盘与设备的测量距离大于 0.3m 而小于等于 1m。该类别适用于安装在距离磁罗盘或磁通门大于 1m 处的设备。

B 类：1m<D≤3m。当罗盘偏转等于 1° 时，罗盘与设备的测量距离大于 1m 而小于等于 3m。该类别适用于安装在距离磁罗盘或磁通门大于 3m 处的设备。

C 类：当罗盘偏转等于 1° 时，罗盘与设备的测量距离大于 3m。该类别适用于安装在离磁罗盘或磁通门大于 3m 处的设备。试验表格中应有偏转 1° 时的最小距离，并据此选择设备在飞机上的安装位置。

15.2 试验描述

受试设备的磁影响通过利用一个自由磁体在水平强度为 $14.4\text{A/m} \pm 10\%$ 的均匀磁场中（如地磁场）的等效偏转来确定。试验时将受试设备放置在通过磁体中心的东—西轴线上，用非补偿罗盘或等效的磁传感器测量偏转角。

注 1：如果试验室所处位置的地磁场水平分量在上述容差范围内，则 15.3 中用来确定设备类别时的偏转角应该是 1° ($D_c = 1$)。

注 2：如果试验室所处位置的地磁场水平分量超过上述容差范围，则 15.3 中用来确定设备类别的偏转角应使用下式进行修正：

$$D_c = \frac{14.4\text{A/m}}{\text{环境场强的水平分量}}$$

其中， D_c 表示确定设备类别的等效偏转角。

15.3 试验程序

EUT 通电并使用与第 20 部分试验时相同或等同的电缆线。试验时将 EUT 的所有电缆和可延伸的电源电缆捆成一束，并使该电缆束沿着罗盘的东-西轴线放置。

- 1) 如果没有 EUT 时试验室所处位置的 HCAFS ($\text{HCAFS} = \text{地球产生的环境磁场强度的水平分量}$) 未知，应首先测量 HCAFS 值（例如用磁力计）。
- 2) 如果 HCAFS 在 15.2 所述容差范围内，根据 15.2 注 1， $D_c = 1^\circ$ 。
如果 HCAFS 不在 15.2 所述容差范围内，将测到的 HCAFS 代入 15.2 注 2 的公式，得到修正的偏转角。
- 3) 将 EUT 电缆放置在通过磁体中心的东—西轴线上，如图 15-1 所示。

- 4) 启动 EUT，选择能产生最大磁偏转角的 EUT 稳态工作模式。
- 5) 保持 EUT 电缆在通过磁体中心的东—西轴线上不变，选择产生最大磁偏转的 EUT 朝向。
- 6) 减小 EUT 和磁体之间的距离以得到 D_c 。试验时如果是罗盘移向 EUT 而不是 EUT 移向罗盘，必须进行磁场均匀性试验。试验按如下要求进行：
将 EUT 移出试验区域，当罗盘按照计划路径沿直线移动至 EUT 位置的过程中，罗盘的偏转应不超过 $\pm 0.5^\circ$ 。
- 7) 测量并记录磁体偏转 D_c 时，其轴心与 EUT 部件之间的最小距离。
- 8) 利用步骤 7) 中偏转 D_c 时对应的测量距离 D ，根据以下条件选择设备类别。

设备类别	偏转 D_c 对应的测量距离
Y	$D = 0.0\text{m}$
Z	$0.0\text{m} < D \leq 0.3\text{m}$
A	$0.3\text{m} < D \leq 1.0\text{m}$
B	$1.0\text{m} < D \leq 3.0\text{m}$
C	$D > 3.0\text{m}$

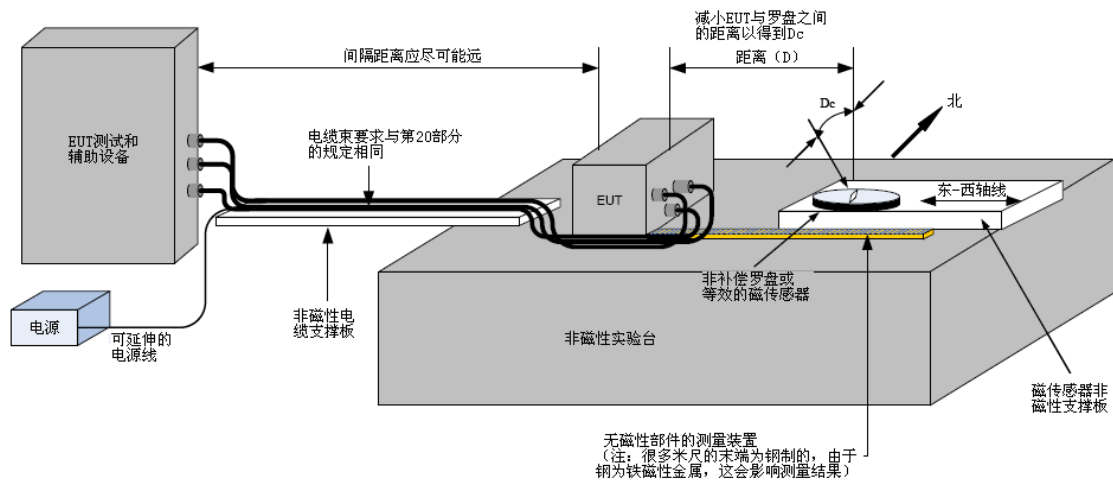


图 15-1 试验布置和方法

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 16 部分 电源输入

重要提示

本部分所包含的信息与本文其它章节所描述的所有试验方法相关。此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.08

替代：RTCA/DO-160F
起草：SC-135

目 次

16 电源输入.....	16-1
16.1 试验目的.....	16-1
16.2 设备类别和试验标识.....	16-1
16.3 应急供电系统工作	16-3
16.4 标准电源输入参数（交流）	16-3
16.5 电源输入参数限值（交流）	16-3
16.5.1 正常工作条件（交流）	16-4
16.5.1.1 电压和频率（交流）	16-4
16.5.1.2 电压调制（交流）	16-6
16.5.1.3 频率调制（交流）	16-7
16.5.1.4 瞬时电源中断（交流）	16-7
16.5.1.5 正常瞬态（交流）	16-8
16.5.1.6 正常频率变化（只对 A（NF）和 A（WF）类设备）	16-9
16.5.1.7 电压直流含量（交流）	16-9
16.5.1.8 电压畸变（交流）	16-10
16.5.2 非正常工作条件（交流）	16-11
16.5.2.1 非正常工作条件下的稳态（交流）电压和频率	16-11
16.5.2.2 瞬时欠压工作（交流）	16-12
16.5.2.3 非正常瞬态（交流）	16-13
16.5.2.4 缺相（只对三相交流输入设备）	16-14
16.6 电源输入参数限值（直流）	16-15
16.6.1 正常工作条件（直流）	16-15
16.6.1.1 电压（直流平均值）	16-15
16.6.1.2 脉动电压（直流）	16-16
16.6.1.3 瞬时电源中断（直流）	16-16
16.6.1.4 正常浪涌电压（直流）	16-18
16.6.1.5 发动机启动欠压（直流）	16-18
16.6.1.6 裸露电压衰减时间（只对 D 类直流设备）	16-19
16.6.2 非正常工作条件（直流）	16-19
16.6.2.1 电压稳态（直流）	16-19
16.6.2.2 低电压条件（直流，只对 B 类设备）	16-20
16.6.2.3 瞬时欠压（直流）	16-20
16.6.2.4 非正常浪涌电压（直流）	16-20
16.7 机上加载设备对飞机供电系统的影响（交流和直流）	16-21
16.7.1 负载（交流）的电流谐波发射，标识 H	16-21
16.7.1.1 定义	16-21
16.7.1.2 电流畸变	16-21

16.7.1.3 电流畸变验证要求	16-22
16.7.2 允许的相位不平衡（只对三相交流输入）	16-23
16.7.2.1 定义	16-23
16.7.2.2 要求	16-23
16.7.3 稳态工作时的直流电流含量（所有交流设备）	16-24
16.7.3.1 定义	16-24
16.7.3.2 要求	16-24
16.7.4 反馈的能量（只对 D 类直流设备）	16-24
16.7.4.1 定义	16-24
16.7.4.2 要求	16-24
16.7.5 冲击电流的要求（交流和直流设备），标记 I	16-25
16.7.5.1 定义	16-25
16.7.5.2 要求	16-25
16.7.6 稳态工作中的电流调制（交流），标识 L	16-26
16.7.6.1 定义	16-26
16.7.6.2 要求	16-26
16.7.7 直流电流脉动试验（直流设备），标识 R	16-27
16.7.7.1 定义	16-27
16.7.7.2 要求	16-27
16.7.8 功率因数（全部交流设备）标识 P	16-28
16.7.8.1 定义	16-28
16.7.8.2 要求	16-28
表 16-1 所有交流设备的试验条件	16-30
表 16-2 A（NF）和 A（WF）类设备增加的试验条件	16-31
表 16-3 有数字电路直流设备的试验条件	16-32
表 16-4 单相电气设备的电流谐波限值	16-33
表 16-5 三相平衡电气设备的电流谐波限值	16-33
表 16-6 试验标识 H 的试验条件 2 符合性	16-34
表 16-7 有数字和存储电路直流设备的试验条件	16-35
图 16-1 交流电压调制包络的频率特性	16-36
图 16-2 交流频率调制特性	16-37
图 16-3 交流设备电压浪涌试验	16-38
图 16-4 直流设备电压浪涌试验	16-39
图 16-5 交流非正常电压浪涌包络	16-40
图 16-6 典型的非正常直流电压浪涌特性	16-40
图 16-7 典型的电流谐波测量图	16-41
图 16-8 谐波试验时典型的电压畸变电路	16-42
图 16-9 单相交流设备直流偏置试验	16-43

图 16-10 三相交流设备直流偏置试验	16-44
图 16-11 三相交流负载允许的相位不平衡	16-45
图 16-12 270V 直流反馈的能量试验配置	16-45

16 电源输入

16.1 试验目的

本部分规定了施加于受试设备端交流和直流供电电源的试验条件及试验程序。包括下列供电电源：

- 14V、28V 和 270V 直流电源
- 额定频率为 400Hz 或包含 400Hz 并在一定范围内频率可变的 115Vrms 和 230Vrms 交流电源。

使用其它电源供电的受试设备，其设备类别和频率分类、试验条件和试验程序都必须在设备的性能规范中规定。

16.2 设备类别和试验标识

设备标识组成如下：

首先，基本类别：

- 对于交流设备：A（CF），A（NF）或 A（WF）；
- 对于直流设备：A，B，D 或 Z。

其次，对于所有交流设备，在基本类别后附加标识字母，以表明该设备是否进行以下试验：

- 交流谐波试验，附加字母 H；不需要，附加字母 X。
- 交流电流调制试验，附加字母 L；可用其它试验替代，附加字母 Z。
- 交流功率因数试验，附加字母 P；可用其它试验替代，附加字母 Z。
- 交流冲击电流试验，附加字母 I；可用其它试验替代，附加字母 Z；不需要，附加字母 X。

再次，对于所有直流设备，在基本类别后附加标识字母，以表明该设备是否进行以下试验：

- 直流电流脉动试验，附加字母 R；不需要，附加字母 X。
- 直流冲击电流试验，附加字母 I；可用其它试验替代，附加字母 Z；不需要，附加字母 X。

仅用于交流设备的试验字母（如 H），不标识在直流设备类别后（如 A，B，D 或 Z）。仅用于直流设备的试验字母（如 R），不标识在交流设备类别后（如 A（CF），A（NF）或 A（WF））。

如果受试设备使用交流和直流两种电源，设备标识中应先列出交流设备的类别，并在其后列出所有交流电源试验的标识，然后再列出直流设备的类别及所有直流电源试验的标识。

A（CF）、A（NF）、A（WF）和 A 类

预期使用在飞机恒频或变频交流主电源系统，或由整流变压器提供的直流电源系统中的设备，其标识如下：

- 对于交流设备：A（CF），A（NF）或 A（WF）类，
- 对于直流设备：A 类。

A（CF）类指预期使用在飞机恒频（400Hz）交流主电源系统中的交流用电设备。

注：A（CF）类设备的定义与 DO-160/ED14 的 A 至 D 版本中交流 A 类设备的定义相同。

A（NF）类指预期使用在飞机窄变频（360Hz~650Hz）交流主电源系统中的交流用电设备。

A（WF）类指预期使用在飞机宽变频（360Hz~800Hz）交流主电源系统中的交流用电设备。

“A”类指预期使用在由飞机恒频或变频交流主电源产生的直流电源系统中的 28V 直流用电设备。

A 类直流设备可以在直流汇流条上浮置蓄电池。

B 类

预期使用在由飞机发动机驱动的交流发电机/整流器或直流发电机提供，同时在直流汇流条上始终浮置一个有足够容量蓄电池的直流电源系统中的 14V 或 28V 直流用电设备。

D 类

预期使用在由飞机恒频或变频交流主电源产生的直流电源系统中的 270V 直流用电设备。

Z 类

可使用在适用于这些标准的所有其它类型的飞机供电系统的 28V 直流用电设备。Z 类设备可代替 A 类或 B 类设备使用。例如由变速发电机供电的直流系统，其中

- a. 直流电源的直流汇流条上没有浮置蓄电池，或
- b. 控制或保护装置可使蓄电池从直流汇流条上断开，或
- c. 蓄电池容量比直流发电机容量小。

交流畸变试验：标识 H

该试验适用于单台功耗大于 35VA 的交流设备，或由多台设备（设备类型相同）组成，总功耗大于 150VA 的整套交流装置。如果设备的性能规范有要求，此类设备必须按 16.7.1 的要求进行电流畸变试验。

交流电流调制试验：标识 L

该试验适用于 EUT 产生的电流脉动（或电流调制）可控的交流设备。符合该项试验要求的交流设备标记为 L。不符合标识 L 要求仍要进行该试验（只报告试验电平），标记为 Z（其它试验准则）。

交流功率因数试验：标识 P

该试验适用于 EUT 的功率因数可控的交流设备。符合该项试验要求的交流设备标记为 P。不符合标识 P 要求的设备仍要进行该试验（只报告试验电平），标记为 Z（其它试验准则）。

直流电流脉动试验，标识 R

该试验适用于单台功耗大于 400W 的 28V 直流设备或单台功耗大于 35W 的 270V 直流设备，或由多台设备（设备类型相同）组成的功耗大于 400W 的 28V 或功耗大于 150W 的 270V 整套直流装置。如果设备性能规范有要求，此类设备必须按 16.7.7 的要求进行电流脉动试验。

交流或直流冲击电流试验：标识 I

该试验标识适用于需要满足规定的冲击电流要求的交流或直流设备，其标识为 I。如果设备性能规范有要求，此类设备必须进行 16.7.5 的冲击电流试验。

标准试验容差：

除非在受控的设备规范中另有说明，否则在 DO-160 的试验程序中应满足以下要求：

- 对于额定电压大于或等于 100V 的交流或直流设备，设备所有的电源输入电压应保持在 $\pm 1.0\%$ 的试验电压或 $\pm 1.0\%$ 的额定工作电压的范围内，（即 115V 交流系统中的 0V 交流电压，容差为 $0V \pm 1.15V$ ）。
- 对于额定电压小于 100V 的交流或直流设备，设备所有的电源输入电压应保持在 $\pm 2.0\%$ 的试验电压或 $\pm 2.0\%$ 的额定工作电压的范围内，（即 28V 直流系统中的 0V 直流电压，容差为 $0V \pm 0.56V$ ）。
- 在整个试验时间，所有容差总量应保持在额定数值的 $\pm 10\%$ 范围内。
- 试验中实际电压瞬态的幅值在 10%~90% 点间的所有上升和下降时间都应小于 1.5ms。
- 所有试验频率均应保持在规定值的 $\pm 1.0\%$ 范围内。

注：这些容差是为对受试设备实施标准的试验程序而定，并不反映飞机电源系统实际的容差。

人工复位：

人工复位是将 EUT 的所有电源从开到关，再返回到开的周期中清除 EUT 故障状态或 EUT 闩锁动作的行为。除非设备性能规范中另有规定，试验（如电源中断试验）后给 EUT 输入数据不认为是人工复位。

16.3 应急供电系统工作

应急供电系统工作定义为在飞行期间当主供电系统不能提供足够的或正常的电源，因而需要使用一个功率容量有限、独立的应急电源时的供电系统状态。

16.4 标准电源输入参数（交流）

某些电参数可认为是标准参数，即它们的变化不超出本部分要求的额定范围，所有试验均应在满足以下标准参数的情况下进行：

注意：标准中所提到的电压值是 115Vrms 交流设备的，这些电压值乘 2 就是 230Vrms 交流设备的电压值。

a. 相序

三相电源的各相电压之间的相位角为 120°，三相分别标识为 A、B、C，并按此顺序依次达到其峰值。

b. 相移

指三相波形上各零电压点之间的相对位移，相移应在以下范围内：

- A (CF) 和 A (NF) 类设备：120°±4°。
- A (WF) 类设备：120°±6°。

c. 相电压不平衡

c.1. A (CF) 和 A (NF) 类设备

供电系统正常工作时，对所有的飞机工作状态，系统最高相电压与最低相电压之间的最大差值不应超过 6Vrms。当由应急电源系统供电时，该差值不应超过 8Vrms。

c.2. A (WF) 类设备

供电系统正常工作时，对所有的飞机工作状态，系统最高相电压与最低相电压之间的最大差值不应超过 8Vrms。当由应急电源系统供电时，该差值不应超过 10Vrms。

d. 电压波形峰值系数和谐波含量

电压波形的峰值系数应是 1.41±0.15，其谐波含量应符合下表的规定：

设备类别	最大电压总谐波畸变 (*)	最大电压单次谐波含量 (*)
A (CF) 和 A (NF)	8 %	6 %
A (WF)	10 %	8 %

(*) 有关定义参见第 16.5.1.8.1

e. 电压波形中的直流含量

供电系统正常工作时，电压波形的直流含量应小于 0±0.20Vdc。

f. 要求

符合本部分中下面的要求，意味着满足这些标准条件。

16.5 电源输入参数限值（交流）

下面定量地规定了可变的供电电源输入参数和适用的有关试验条件，并分为供电系统正常和非正常工作两种情况。

A (WF) 类试验的输入电源可用于 A (WF)，A (NF) 和 A (CF) 类。

A (NF) 类试验的输入电源可用于 A (NF) 和 A (CF) 类。

A (CF) 类试验的输入电源可用于 A (CF) 类。

注：1. 所用的电源应能提供 EUT 需要的最大电流。

2. 当飞机的同一汇流条提供多个电源输入时，所有连接这些输入的设备应同时进行试验。

16.5.1 正常工作条件（交流）

以下条件和试验适用于 A（CF），A（NF）和 A（WF）类设备。

注意：文中所提到的电压值是 115Vrms 交流设备的，这些电压值乘 2 就是 230Vrms 交流设备的电压值。

16.5.1.1 电压和频率（交流）

a. 定义

	设备类别		A（CF）	A（NF）	A（WF）
最大	电压（Vrms）	最高相位	122	122	122
		三相平均	120.5	120.5	120.5
	频率（Hz）	正常	410	650	800
		应急	440	650	800
最小	电压（Vrms）	最低相位	100	100	100
		三相平均	101.5	101.5	101.5
	频率（Hz）	正常	390	360	360
		应急	360	360	360

注：1. 上述电压均为设备端电压。

2. 交流（ac）网络：

- 额定电压为 115Vrms；
- 额定频率为 400Hz[仅对 A（CF）类设备]。

b. 单相设备的要求

- (1) 对于每项试验，受试设备应在最大工作周期下至少工作 30min。在每个 30min 试验周期内，确定与适用的设备性能规范的符合性。

施加在受试设备端的频率和电压：

试验	电压（Vrms）	频率（Hz）		
		A（CF）	A（NF）	A（WF）
1	122	410	650	800
2	100	410	650	800
3	122	390	360	360
4	100	390	360	360

- (2) 对于被指定为在应急供电系统状态下工作的 A（CF）类设备，对每项试验，受试设备应在最大工作周期下至少工作 30min。在每个 30min 试验周期内，确定与适用的设备性能规范的符合性。

施加在 A（CF）类设备端的频率和电压：

试验	电压（Vrms）	频率（Hz）
1	122	440
2	100	440
3	122	360
4	100	360

c. 三相设备的要求

c.1. A（CF）和 A（NF）类三相设备的要求

- (1) 对于每项试验，应先将主电源调节到三相平衡，使受试设备在最大工作周期下至少工作 30min，然后在三相不平衡状态下重复该试验。在每个 30min 试验周期内，确定与适用的设备性能规范的符合性。

对于 A (CF) 类设备，为同时满足正常和应急工作条件，试验可在应急电压和频率条件下进行。对于 A (NF) 类设备，试验 1~4 应按下表进行，为同时满足正常工作条件 5~8 和应急工作条件，试验 5~8 可在应急电压和频率条件下进行。

施加在受试设备端的频率和电压：

试验	A/B/C 相电压 (Vrms)			频率 (Hz)	
	A 相	B 相	C 相	A (CF)	A (NF)
1	120.5	120.5	120.5	410	650
2	101.5	101.5	101.5	410	650
3	120.5	120.5	120.5	390	360
4	101.5	101.5	101.5	390	360
5	122	122	116	410	650
6	100	100	106	410	650
7	122	122	116	390	360
8	100	100	106	390	360

- (2) 对于被指定为在应急供电系统状态下工作的设备，对每项试验，应先将主电源调节到三相平衡，使受试设备在最大工作周期下至少工作 30min，然后在三相不平衡状态下重复该试验。在每个 30min 试验周期内，确定与适用的设备性能规范的符合性。

施加在受试设备端的频率和电压：

试验	A/B/C 相电压 (Vrms)			频率 (Hz)	
	A 相	B 相	C 相	A (CF)	A (NF)
1	120.5	120.5	120.5	440	N/A
2	101.5	101.5	101.5	440	N/A
3	120.5	120.5	120.5	360	N/A
4	101.5	101.5	101.5	360	N/A
5	122	122	114	440	650
6	100	100	108	440	650
7	122	122	114	360	360
8	100	100	108	360	360

c.2. A (WF) 类三相设备

- (1) 对于每项试验，应先将主电源调节到三相平衡，使受试设备在最大工作周期下至少工作 30min，然后在三相不平衡状态下重复该试验。在每个 30min 试验周期内，确定与适用的设备性能规范的符合性。

施加在受试设备端的频率和电压：

试验	A/B/C 相电压 (Vrms)			频率 (Hz)
	A 相	B 相	C 相	
1	120.5	120.5	120.5	800
2	101.5	101.5	101.5	800
3	120.5	120.5	120.5	360
4	101.5	101.5	101.5	360
5	122	122	114	800
6	100	100	108	800
7	122	122	114	360
8	100	100	108	360

- (2) 对于被指定为在应急电气系统状态下工作的设备，对每项试验，将主电源调节到三相不平衡，使受试设备在最大工作周期循环下至少工作 30min。在每个 30min 试验周期内，确定与适用的设备性能规范的符合性。

施加在受试设备端的电压和频率：

试验	A/B/C 相电压 (Vrms)			频率 (Hz)
	A 相	B 相	C 相	
1	122	122	112	800
2	100	100	100	800
3	122	122	112	360
4	100	100	110	360

16.5.1.2 电压调制（交流）

a. 定义

电压调制是指在供电系统稳态工作期间由电压调节和速度变化引起的交流峰值电压均值周期性、随机性的或两者皆有的变化。对于 115V 交流系统，电压调制包络的最低电压和最高电压间的最大峰谷差为 5.0V，或者为设备规范中给出的更高差值。对于 230V 交流系统，电压调制包络的最低电压和最高电压间的最大峰谷差是 115V 交流系统的两倍。

115V 交流电压调制包络波形的频率分量不应超过图 16-1 的规定。

b. 要求

当设备经受该试验条件时，应工作在适用的设备性能规范范围内。如适用，所有试验要求均应在单独的设备性能规范中规定。本试验实施时，应对 EUT 施加额定电压，并在以下频率进行：

- A (CF) 类设备为 400Hz；
- 对于变频设备，先 360Hz，然后 A (NF) 类设备在 650Hz 频率上重复该试验；A (WF) 类设备在 800Hz 频率上重复该试验。

将电压调制调节至图 16-1 中所列的最小试验电压后，在每个步进频率点上最少停留 120s 或按设备规范规定的时间停留。试验频率步进应为每十倍频程至少 4 个对数间隔，再加上每个转折点的试验频率。

$$f_{n+1} = f_n * 10^{(1/4)}$$

式中：

f_n 为试验频率， $n=1\sim4$ ；

f_1 为起始频率；

f_4 为一个十倍频程的终止频率。

16.5.1.3 频率调制（交流）

a. 定义

频率调制是指在供电系统稳态工作期间，瞬态频率平均值周期性、随机性的或两者皆有的变化。频率调制通常在较窄的频率范围内由发电机耦合和/或传动速度调节中速度调节所引起。频率调制引起的主系统频率的变化应在图 16-2 所规定的平均频率的频段内。

b. 要求

当设备经受该条件时，应工作在适用的设备性能规范范围内。本试验实施时，应对 EUT 施加额定电压，并在以下频率进行：

- A（CF）类设备为 400Hz；
- 对于变频设备，先 360Hz，然后 A（NF）类设备在 650Hz 频率上重复该试验；A（WF）类设备在 800Hz 频率上重复该试验。

将频率偏移宽度调节至图 16-2 所列的每个重复率试验点上的最小试验值后，停留至少 5 个重复率周期 30s，或按设备规范中规定的时间。

试验点的最少组合应依据图 16-2 中列表。

如果施加的频率偏移是离散的频率阶跃而不是正弦波或三角波频率偏移，重复率停留时间应在上述持续时间的 $\pm 10\%$ 之内，且最大频率偏移小于或等于 2.0Hz。交流频率调制的峰-峰值应小于或等于 2.0Hz，也可施加方波频率偏移。

16.5.1.4 瞬时电源中断（交流）

a. 定义

电源转换时可导致长达 200ms 的电源中断。

对于有多个电源的设备，在某一指定的电源输入端进行电源中断试验时，剩余电源的输入端状态应参考适用的设备性能规范。实际安装时，预期并联连接到受试设备外部多个主电源的输入连接点的电源，可认为是同一电源。

b. 对所有交流用电设备的要求

用电设备对能够导致设备性能失常的瞬时电源中断很敏感。这样的瞬时电源中断是瞬态电压 V_t 和瞬态时间 T_t 的函数，其中 V_t 可能为稳态电压 V 和零之间的任何值， T_t 可能为 0~200ms 之间的任何值。由于这样的组合有很多种，因此本试验程序选择那些可有效决定设备性能的离散值。

试验程序：

设备应满负荷工作。

在施加每个试验条件试验之前，应给受试设备提供额定电压。

试验频率：

- A（CF）类设备：在施加每个试验条件试验之前应给受试设备提供额定频率。
- A（NF）类设备和 A（WF）类设备：首先，在 360Hz+5/-0Hz 频率上进行全部试验；然后，A（NF）类设备，在 650Hz +0/-5Hz 频率上重复全部试验；A（WF）类设备，在 800Hz +0/-5Hz 频率上重复全部试验。

在施加每个试验条件前，用手动或自动的方式输入数据和所有有关的显示功能。

对于受试设备的所有典型工作模式，或设备性能规范规定的工作模式，施加大表 16-1 中所列的每个试验条件至少 2 次。如果受试设备的最大与最小稳态电流之差小于最大稳态电流的 25%，则只需在设备最大稳态电流工作模式下试验。

在系统完全稳定后，接着进行第二次试验。在试验中和试验后，监测设备（包括要同时正常工作

的所有设备/系统)的性能。除非设备的规范中单独有规定,否则不可人工复位。

对于 A (CF) 类设备,施加所有试验条件后,确定与适用的设备性能规范的符合性。对于 A (NF) 和 A (CF) 类设备,施加 16.4.1.4b 和 16.4.1.4c 所有条件后, 确定与适用的设备性能规范的符合性。

注: 试验期间对设备性能的任何要求均应在设备性能规范中规定。

c. 附加要求(只对 A (NF) 类和 A (WF) 类设备)

设备应满负荷工作。

在施加每个试验条件试验之前,应给受试设备提供额定电压。

对于受试设备的所有典型工作模式,或设备性能规范规定的工作模式,施加表 16-2 中所列的每个试验条件至少 2 次。如果受试设备的最大稳态电流与最小稳态电流的差小于其最大稳态电流的 25%,则只需在设备最大稳态电流工作模式下试验。

在系统完全稳定后,接着进行第二次试验。在试验中和试验后,监测设备(包括要同时正常工作的所有设备/系统)的性能。除非设备的规范中单独有规定,否则不可人工复位。

施加所有试验条件后, 确定与适用的设备性能规范的符合性。

注: 试验期间对设备性能的任何要求均应在设备性能规范中规定。

16.5.1.5 正常瞬态(交流)

16.5.1.5.1 正常浪涌电压(交流)

a. 定义

正常浪涌是供电系统的固有调节所引起的可控的稳态电压变化,该固有调节是供电系统对正常运行(如负载切换、调节器校正动作)所形成扰动的响应。

b. 要求

(1) 受试设备在设备端电压 $115V_{rms}$ 情况下工作 5min, 然后按以下要求循环电压三次:

● 增大电压至:

◆ A (CF) 类和 A (NF) 类设备: $160V-0/+6V$ (有效值), 保持 30ms;

◆ A (WF) 类设备: $170V-0/+7V$ (有效值), 保持 30ms;

● 返回到 $115V \pm 5V$ (有效值), 保持 5s;

● 再将电压降低到 $70V-3/+0V$ (有效值), 保持 30ms;

● 返回到 $115V \pm 5V$ (有效值), 保持 5s。

在 EUT 输入端的测量值应达到要求的浪涌电压,可不考虑浪涌电流。

(2) 电源的频率如下:

● A (CF) 类设备: $400Hz \pm 5Hz$;

● A (NF) 类设备: 首先在 $360Hz+5/-0Hz$ 频率上进行试验,然后在 $650Hz+0/-5Hz$ 频率上重复试验;

● A (WF) 类设备: 首先在 $360Hz+5/-0Hz$ 频率上进行试验,然后在 $800Hz+0/-5Hz$ 频率上重复试验;

应按类似于图 16-3 中的方法施加和监测浪涌电压。

(3) 在正常供电系统浪涌期间, 确定与适用的设备性能规范的符合性。

注: 除非在设备性能规范中有规定,在浪涌期间允许设备性能降低,当恢复到正常电压和频率时,设备必须满足规定的性能。

(4) 施加电压浪涌后, 确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：如果设备在 16.5.2.3.1 非正常电压浪涌试验和 16.5.2.2 瞬时欠压试验期间能满足设备性能规范要求，则不必进行上述试验。

16.5.1.5.2 正常频率瞬态（全部交流设备）

a. 定义

正常频率瞬态是供电系统的固有调节所引起的可控稳态频率值的瞬时变化，该固有调节是供电系统对正常系统运行（如发动机的速度变化、调节器校正动作）所形成扰动的响应。对变频设备也应进行本试验，以确保其与恒频设备的兼容性。

b. 要求

(1) 受试设备在 **115Vrms** 设备端电压和 **400Hz** 频率下工作 **5min**。然后按以下频率，循环三次：

- 将频率增加到 $440\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ ，保持 150ms；
- 然后将频率降低到 $420\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ ，保持 1.5s；
- 再把频率返回 $400\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ ，保持 5s。
- 将频率减低到 $350\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ ，保持 150ms；
- 然后降频率增加到 380Hz ，保持 1.5s；
- 再把频率返回 $400\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ ，保持 5s。

两个试验频率点之间的转换时间应小于 1ms。

(2) 在正常频率瞬态期间，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：除非在设备性能规范中有规定，在施加正常频率瞬态期间允许设备性能降低，当恢复到正常电压和频率时，设备必须满足规定的性能。

(3) 施加正常频率瞬态后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：如果设备在 16.5.2.3.2 非正常频率瞬态试验期间能满足设备性能规范要求，则不必进行上述试验。

16.5.1.6 正常频率变化（只对 A（NF）和 A（WF）类设备）

a. 定义

除非设备性能规范中另有规定，在正常工作状态下，特别是在飞机起飞和发动机关闭时，由发动机转速的迅速变化引起的频率变化可高达 200Hz/s。

b. 要求

(1) 受试设备在 115Vrms 设备端电压和 $360\text{Hz}+5/-0\text{Hz}$ 频率下工作 5min。然后，按以下频率循环三次：

以 100Hz/s 的频率变化率增大频率至：

- A（NF）类设备， $650\text{Hz}+0/-5\text{Hz}$ ；
- A（WF）类设备， $800\text{Hz}+0/-5\text{Hz}$ ；

然后以 200Hz/s 的频率变化率频率，返回到 $360\text{Hz}+5/-0\text{Hz}$ ，并保持 5s。

(2) 在正常频率变化期间，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：除非在设备性能规范中有规定，在正常频率变化期间设备性能不应降低。

16.5.1.7 电压直流含量（交流）

a. 定义

供电系统正常稳态工作时，交流电压的直流含量最大可达 $\pm 0.20\text{V}$ 。115V 和 230V 交流系统的直流电压含量是相同的。

b. 要求

使受试设备在 115V_{rms} 设备端电压和下面标注中所规定的频率下以最大工作循环运行，并对每一个主电源输入线施加-0.200V+0/-0.040V 的直流偏置电压。

受试设备在该状态下工作至少 30min。在 30min 试验期间，确定与适用的设备性能规范的符合性。

如果是三相设备，则首先单独对每一相电源输入线进行试验，再对三相电源输入线同时试验。

然后，施加 0.200V+0.040/-0V 的直流偏置电压，重复上述试验。

单相设备的直流偏置电压可用图 16-9 所示方法产生，三相设备的直流偏置电压可用图 16-10 所示方法产生。

注：应在以下频率上进行试验：

- A (CF) 类设备：400Hz。
- 变频设备：先 360Hz，然后 A (NF) 类设备 650Hz 重复试验，A (WF) 类设备 800Hz 重复试验。

16.5.1.8 电压畸变（交流）

正常工作条件下，来自非线性交流负载上的电流可导致交流电压波形畸变（详细的定义参照 16.5.1.8.1）。所有的交流设备均应在该电压畸变条件下正常工作。

16.5.1.8.1 定义

16.5.1.8.1.1 总谐波畸变（THD）

交流电压波形总谐波畸变是指谐波电压有效值与基波电压有效值之比。电压波形总谐波畸变（THD）的公式定义如下，其中变量“X”可以代表电压或电流的有效值或峰值。

$$THD_X = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} X_n^2}}{X_1}$$

X_1 =基波的电压或电流值；

X_n =n 次谐波的电压或电流值。

注：n 次谐波（ F_n ）的频率是基波频率 F_1 的整数倍，即 $F_1 : F_n = nF_1$ 。

16.5.1.8.1.2 单次谐波分量

单次谐波的含量是指某一给定谐波频率上的电压或电流，表示为基波电流或电压的百分比。单次谐波含量（ IHC_n ）的计算公式如下，其中变量“X”可以代表电压或电流的有效值或峰值。百分数表示第 n 次谐波的畸变量。

$$IHC_n = 100 \cdot \frac{X_n}{X_1}$$

X_1 =基波的电压或电流值；

X_n =第 n 次谐波的电压或电流值。

16.5.1.8.2 要求

使受试设备在设备端最小电压（按 16.5.1.1a 中的每一个表的规定）和下面规定的频率下，以最大工作周期运行。电压畸变可用图 16-8 所示的全波整流电桥产生。电压畸变的电平可通过改变整流电

桥的负载和在供电线路中插入源阻抗来进行控制。另一种方法是通过对 EUT 的供电电压进行限幅产生畸变电压。设备在这些条件下至少工作 30min。

在 30min 试验期间，确定与适用的设备性能规范的符合性。

应在以下频率上进行试验：

- A（CF）类设备：400Hz；
- A（NF）类设备，先 360Hz，然后变化到 650Hz 重复试验；A（WF）类设备，先 360Hz，然后变化到 800Hz 重复试验。

本试验应在以下电压总谐波畸变电平（THD_v）条件下进行：

- A（CF）类和 A（NF）类设备：8%+2/-0%；
- A（WF）类设备：10%+2/-0%。

16.5.2 非正常工作条件（交流）

以下条件和试验适用于所有的交流设备。

注意：文中所提到的电压值是 115V_{rms} 交流设备的，这些数值乘 2 就是 230V 交流设备的电压值。

16.5.2.1 非正常工作条件下的稳态（交流）电压和频率

a. 定义

设备类型			A（CF）	A（NF）	A（WF）
最大	电压（V _{rms} ）	最高相位	134	134	134
		三相平均相位	132.5	132.5	132.5
	频率（Hz）		430	N/A	N/A
最小	电压（V _{rms} ）	最低相位	97	97	97
		三相平均相位	98.5	98.5	98.5
	频率（Hz）		370	N/A	N/A

注：（1）上述电压均为设备端电压。

此后（包括 b 和 c 部分）的要求，试验应施加的电源频率为：

- A（CF）类设备：400Hz；
- A（NF）类设备，首先 360Hz，然后 650Hz 重复试验；
- A（WF）类设备，首先 360Hz，然后 800Hz 重复试验。

（2）设备在施加非正常电压和频率条件工作期间（见下面的 b~e），设备性能的所有要求均应在设备性能规范中规定。

b. 单相设备的要求

按下表的电压调节受试设备输入端电压，对于每项试验，受试设备应在最大工作周期下工作至少 5min。每项试验结束且受试设备仍处于通电状态时，调节输入电压至 115V_{rms}，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

试验	电压（V _{rms} ）
1	134
2	97

c. 三相设备的要求

对于每项试验，先将主电源调节到三相平衡，使受试设备在最大工作周期下至少工作 5min，然后再调节到三相不平衡重复该试验。每项试验结束且受试设备仍处于通电状态时，调节输入电压至 115V_{rms}，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

施加到受试设备端的电压：

试验	设备类型	A/B/C 相电压 (Vrms)		
		A 相	B 相	C 相
1	全部类型	132.5	132.5	132.5
2	全部类型	98.5	98.5	98.5
3	A (CF)、A (NF) 类	134	134	128
3	A (WF) 类	134	134	126
4	A (CF)、A (NF) 类	97	97	103
4	A (WF) 类	97	97	105

d. 单相设备的附加要求（只对 A (CF) 类设备）

对于每项试验，受试设备应在最大工作周期下至少工作 5min。在每个 5min 试验周期内，确定与适用的设备性能规范的符合性。

施加到受试设备端的电压和频率：

试验	电压 (Vrms)	频率 (Hz)
1	122	430
2	100	430
3	122	370
4	100	370

e. 三相设备的附加要求（仅对 A (CF) 类设备）

对于每项试验，应先将主电源调节到三相平衡，使受试设备在最大工作周期下至少工作 5min，然后在三相不平衡状态下重复该试验。在每个 5min 试验周期内，确定与适用的设备性能规范的符合性。

施加到受试设备端的电压和频率：

试验	A/B/C 相电压 (Vrms)			频率 (Hz)
	A 相	B 相	C 相	
1	120.5	120.5	120.5	430
2	101.5	101.5	101.5	430
3	120.5	120.5	120.5	370
4	101.5	101.5	101.5	370
5	122	122	116	430
6	100	100	106	430
7	122	122	116	370
8	100	100	106	370

16.5.2.2 瞬时欠压工作（交流）

a. 定义

供电系统可能出现 0 到 97Vrms，持续时间可达 7s 的瞬时欠压。

b. 要求

当恢复到正常工作电压范围时，经受此条件的设备应工作在有关设备性能规范范围内。

使受试设备在 115Vrms 输入端电压和下面标注中所规定的频率下工作。将输入端电压降到 60Vrms，或设备规范中规定的其它电压值，并持续时间 7s。当受试设备仍处于通电状态时，调节输入交流电压至 115Vrms，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

使用 10Vrms 代替 60Vrms，重复该试验。

注：试验电压的频率为：

- A（CF）类设备：400Hz；
- 变频设备：先 360Hz，然后 A（NF）类 650Hz 重复试验，A（WF）类 800Hz 重复试验。

16.5.2.3 非正常瞬态（交流）

16.5.2.3.1 非正常浪涌电压（交流）

a. 定义

非正常浪涌是指由供电系统的固有调节和调节器矫正动作（如在清除故障期间）引起的可控的稳态电压变化。非正常交流浪涌电压的特性应在图 16-5 规定的极限范围内。

b. 要求

使受试设备在 115V_{rms} 输入端电压和下面标注中所规定的频率下正常工作，对设备的每个主电源输入线施加 180V_{rms} 浪涌电压，持续 100ms；然后将电压降至 148V_{rms}，持续 1s。从一个电压值变化到另一个电压值的时间应小于 1ms。在第一个浪涌电压和第二个浪涌电压之间，受试设备输入端的电压不返回到额定电压。应按类似于图 16-3 中的方法施加与监测所施加的电压浪涌。

在 EUT 输入端的测量值应达到要求的浪涌电压，可不考虑浪涌电流。

对单相设备，以 10s 的间隔时间施加浪涌电压三次。

对三相设备，按照下表施加每个浪涌一次，每项试验的间隔时间为 10s。

试验	A/B/C 相浪涌模式		
	A 相	B 相	C 相
1	浪涌	无浪涌	无浪涌
2	无浪涌	浪涌	无浪涌
3	无浪涌	无浪涌	浪涌
4	浪涌	浪涌	浪涌

每次试验中和试验后，监测受试设备的性能（包括同时工作的设备和系统）。试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：试验电压的频率为：

- A（CF）类设备：400Hz；
- 变频设备：先 360Hz，然后 A（NF）类设备 650Hz 重复试验，A（WF）类设备 800Hz 重复试验。

16.5.2.3.2 非正常频率瞬态（交流）

a. 定义

非正常频率瞬态是供电系统的固有调节和调节器对故障条件（如发动机的速度非正常变化）的响应采取校正动作引起的可控稳态频率值的瞬时变化。对变频设备也应进行试验 1、试验 2，以确保其与恒频设备的兼容性。

b. 要求

试验 1，所有的交流设备：

使受试设备在 115V_{rms} 输入端电压和 400Hz 频率下工作 5min，然后进行以下试验。

以下试验程序应重复试验三次，每次试验之间应使受试设备完全稳定。

- 在小于 1ms 时间内将频率降到 350Hz±5Hz，设备工作 5s；
- 在小于 1ms 时间内将频率降到 320Hz±5Hz，设备工作 200ms；

- 在小于 1ms 时间内将电压降到 0Vrms，保持 200ms-0/+20ms；
- 在小于 1ms 时间内，将电压恢复到 115Vrms 和 400Hz 频率，设备工作 10s。

试验 2，所有的交流设备：

使受试设备在 115Vrms 输入端电压和 400Hz 频率下工作 5min，然后进行以下试验。

以下试验程序应重复试验三次，每次试验之间应使受试设备完全稳定。

按以下要求进行 3 次频率循环：

- 将频率升到 480Hz $\pm$ 5Hz，保持 200ms；
- 在小于 1ms 时间内将频率降到 440Hz $\pm$ 5Hz，设备工作 5s；
- 在小于 1ms 时间内将电压降到 0Vrms，保持 200ms-0/+20ms；
- 在小于 1ms 时间内将电压恢复到 115Vrms 和 400Hz 频率，设备工作 10s。

试验 3，只对 A（NF）和 A（WF）类交流设备：

使受试设备在 115Vrms 输入端电压和 400Hz 频率下工作 5min，然后进行以下试验。

以下试验程序应重复试验三次，每次试验之间应使受试设备完全稳定。

- 在小于 1ms 内将频率升到：
 - ◆ A（NF）类设备，680Hz $\pm$ 5Hz，保持 200ms；
 - ◆ A（WF）类设备，900Hz $\pm$ 5Hz，保持 200ms；
- 在小于 1ms 时间内将电压降到 0Vrms，保持 200ms-0/+20ms；
- 在小于 1ms 时间内将电压恢复到 115Vrms 和 400Hz 频率，设备工作 10s。

上述试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

16.5.2.3.3 非正常频率变化（只对 A（NF）和 A（WF）类交流设备）

a. 定义

除非设备性能规范中另有规定，在非正常工作状态下，特别是在飞机发动机失去控制和故障模式情况下，由发动机转速的迅速变化引起的频率变化可达 400Hz/s（下降）和 120Hz/s（上升）。

b. 要求

(1) 使受试设备在 115Vrms 输入端电压，360Hz+5/-0Hz 频率下工作 5min。然后按以下的频率循环三次：

以 120Hz/s 频率变化率增大频率至：

- A（NF）类设备，650Hz+0/-5Hz；
- A（WF）类设备，800Hz+0/-5Hz；

然后以 400Hz/s 的频率变化率返回到 360Hz+5/-0Hz，并保持 5s。

(2) 试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：试验期间对设备性能的所有要求均应在设备性能规范中规定。

16.5.2.4 缺相（只对三相交流输入设备）

a. 定义

所有的三相交流负载均应设计为在失去单个或多个输入相时，不会出现危险和不安全的状态。

b. 要求

受试设备应使用 115Vrms 电压和如下频率的电源供电：

- A (CF) 类设备：频率 400Hz；
- 变频设备：先 360Hz；然后 A (NF) 类设备在 650Hz 重复试验，A (WF) 类设备在 800Hz 重复试验。

a. 受试设备在三相供电状态下工作 5min，然后在三相供电时去掉 X 相，保留其它二相，继续施加正常供电电压，并持续至少 30min；

b. 开始就断开 EUT 输入电源的 X 相，然后对其它二相施加正常供电电压，并持续至少 30min；

c. 受试设备在三相供电状态下工作 5min，然后在三相供电时去掉 Y 相和 Z 相，保留一相，继续施加正常供电电压，并持续至少 30min；

d. 开始就断开 EUT 的输入电源的 Y 相和 Z 相，然后对保留一相施加正常供电电压，并持续至少 30min；

按下列准则确认选择的相位，并记录在试验报告中。

- 失去一相，最易导致损坏的是 X 相。
- 失去两相，最易导致损坏的是 Y 相和 Z 相。

除非设备的性能规范中另有规定，可将允许的最大电路断路器与 EUT 串接。

试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。除非有单独规定，允许实施人工复位。

注：试验期间对设备性能的所有要求均应在设备性能规范中规定。

16.6 电源输入参数限值（直流）

下面定量地规定可变的供电电源输入参数和适用的有关试验条件，并分为供电系统正常和非正常工作两种情况。

除非设备的性能规范中另有规定，否则：

在所有设备试验期间，设备的外壳与大地是同一直流电位。本标准中所列的试验限值均针对负端接地的系统。

在所有设备试验期间，14V 和 28V 直流设备的回线（负线）与大地是同一直流电位。

270V 直流设备可以是正端接地、负端接地或浮地。如果没有注明，在所有设备试验期间，270Vdc 试验的电源的负线应与大地电位为同一直流电位。

注：1. 试验用的电源应能提供 EUT 所需的最大电流。

2. 当飞机的同一汇流条提供多个电源输入时，所有连接这些输入的设备应同时进行试验。

16.6.1 正常工作条件（直流）

以下条件和试验适用于 A 类、B 类、D 类和 Z 类设备。

注意：文中所有提到的电压值为 28V 直流设备的，这些数值除以 2 就是 14V 直流设备的电压值。

16.6.1.1 电压（直流平均值）

a. 定义

设备端的电压	28Vdc	270Vdc
最高	30.3V	285V
最低	22.0V	235V
应急条件	18.0V	235V

注：直流电网标称电压为：

- A 类设备：28V；
- B 类设备：28V 或 14V；

- Z 类设备: 28V;
- D 类设备: 270V。

b. 要求

(1) 将受试设备的输入端电压调节至最高电压, 使设备在最大工作周期下工作至少 30min。在 30min 试验期间, 确定与适用的设备性能规范的符合性。为同时满足正常与非正常两种工作状态, 试验可在非正常电压下进行。

(2) 使设备在额定电压下工作至少 1min, 然后将受试设备的输入端电压调节至最低电压的 +0/-1%, 并使设备在最大工作周期下工作至少 30min。在 30min 试验期间, 确定与适用的设备性能规范的符合性。为同时满足正常与非正常两种工作状态, 试验可在非正常电压下进行。对 A、B 和 Z 类设备, 为同时满足正常、非正常和应急最低限度工作状态, 试验可在应急电压下进行。

(3) 对设计在应急供电状态下工作的设备, 使设备在额定电压下工作至少 1min, 然后将设备输入端电压调节至应急电压的 +0/-1%, 使设备在最大工作周期下工作至少 30min。在 30min 试验期间, 确定与适用的设备性能规范的符合性。

(4) 只对 D 类设备: 以电源的正线为参考大地, 将受试设备的输入端电压调节至最高电压, 使设备在最大工作周期下工作至少 30min。在 30min 试验期间, 确定与适用的设备性能规范的符合性。

在确定已符合有关设备的性能规范后, 切断 270V 电源, 确认电压是否已跌落到安全电压, 然后以它的负线为参考大地, 恢复到 270V 电源。

16.6.1.2 脉动电压 (直流)

a. 定义和最大脉动电压

脉动是指在直流系统稳态工作期间围绕平均直流电流或电压的交替性变化。

- 在 28V 直流电网中, 如受试设备端的电压大于或等于 22V, 周期性脉动电压的峰-峰值应小于 4V; 如受试设备端的电压小于 22V, 周期性脉动电压的峰-峰值应小于 2V。
- 在 270V 直流电网中, 周期性脉动电压的峰-峰值应小于 16V。

b. 脉动频率分量要求

参见 18.3 的 18.3.1。

注: 第 18 部分中 R、B、Z 和 Z 类设备的定义分别对应于第 16 部分中 A、B、D 和 Z 类设备的定义。

16.6.1.3 瞬时电源中断 (直流)

a. 定义

供电电源转换导致的电源中断, A 类设备的中断时间可达 200ms, B 类设备的中断时间可达 50ms, D 类和 Z 类设备的中断时间可达 1s。

对于具有多个电源的设备, 在对指定的输入电源进行电源中断试验时, 其余输入电源的状态应根据符合性能规范来确定。实际安装时, 预期并联连接到受试设备外部多个主电源的输入连接点的电源, 可认为是同一电源。

b. 对含有数字电路设备的要求

本试验仅适用于带有数字电路和/或存储装置, 以及带有延迟电路的用电设备。

这类设备对瞬时电源断电很敏感, 可能导致性能失常。这种瞬时电源中断既可能是瞬时电压 V_t 的函数, 也可能是瞬时时间 T_t 的函数, 其中 V_t 可能为稳态电压与零电压之间的任何值, T_t 可能为 0~1s 之间的任何值。由于这样的组合有许多种, 因此本试验程序选择那些可有效决定设备性能的离散值。

试验程序

设备应满负荷工作。

在施加每个试验条件试验之前，应给受试设备提供额定电压。

应在施加每个试验条件试验之前，对受试设备手动或自动输入相关数据，并且所有相关的显示功能应工作正常。

对于设备每个典型的或设备性能规范规定的工作模式，施加表 16-3 的试验条件至少 2 次。如果受试设备的最大与最小稳态电流之差小于最大稳态电流的 25%，则只需在最大稳态电流工作模式进行试验。

在系统完全稳定后，接着进行第二次试验。在每次试验的试验中和试验后，对受试设备（包括所有同时工作的设备/系统）的性能进行监测。

试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。除非设备性能规范中有规定，否则不允许人工复位。

注：试验期间设备性能的所有要求均应在设备性能标准中规定。

c. 所有设备的要求

该试验适用于所有的直流用电设备。

试验方法

使设备在其设计电压下工作，对于所有类别的设备，中断电源至少 5 次，每次中断时间为 50ms。对于 A 类和 D 类设备，使用 200ms 中断时间重复该试验。对于 Z 类设备，使用 1s 中断时间重复该试验。

在系统完全稳定后，接着进行第 2 次试验。在每次试验的试验中和试验后，对受试设备（包括所有同时工作的设备/系统）的性能进行监测。

确定与适用的设备性能规范的符合性。除非设备性能规范中有规定，否则不允许人工复位。

注：试验期间设备性能的所有要求均应在设备性能标准中规定。

d. 对含有数字电路或存储装置的直流设备两次电源中断的要求

本试验适用于带有数字电路/或存储装置，以及带有电子或机械延迟装置的直流用电设备。

本试验适用于所有可能经受两次电源切换现象的直流设备。

试验方法

设备应满负荷工作。

在施加每个试验条件试验之前，应给受试设备提供额定电压。

应在施加每个试验条件试验之前，对受试设备手动或自动输入相关数据，并且所有相关的显示功能应工作正常。

对于设备每个典型的或设备性能规范规定的工作模式，施加表 16-7 的试验条件，首次中断时间 $T_1=10\text{ms}$ ，再次中断时间 $T_2=50\text{ms}$ 。如果受试设备的最大与最小稳态电流之差小于最大稳态电流的 25%，则只需在最大稳态电流工作模式进行试验。

在每次试验的试验中和试验后，对受试设备（包括所有同时工作的设备/系统）的性能进行监测。完成每个试验条件的试验后，按设备制造商提供的性能要求，验证设备工作情况。试验条件的施加顺序可以是任意的。在系统完全稳定后，接着进行第二次试验。除非设备性能规范中有规定，否则不允许人工复位。

在完成所有试验条件的试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：试验期间设备性能的所有要求均应在设备性能标准中规定。

16.6.1.4 正常浪涌电压（直流）

a. 定义

正常浪涌是供电系统的固有调节所引起的可控的稳态电压变化，该固有调节是供电系统对正常运行（如负载切换、调节器校正动作）所形成扰动的响应。

b. 要求（只对 A、B 和 Z 类设备）

(1) 使受试设备在设备端直流 28V 电压下工作 5min，然后按以下的电压要求循环三次：

对于 A 类设备和 B 类设备，将直流电压增大至 $47V-0/+2V$ ，保持 5ms；再降低至 $40V-0/+2V$ ，保持 30ms。对于 Z 类设备，将直流电压增大至 $50V-0/+2V$ ，保持 50ms。恢复直流电压至 28V，保持 5s。从一个电平上升至另一电平的时间应在 1ms 内，从一个电平下降至另一电平的时间应在 5ms 内。对于 A 类和 B 类设备，在第一次和第二次浪涌电压之间不返回到额定电压。

对于 A 类设备和 B 类设备，将电压减小至 $17V-0.7/+0V$ ，保持 30ms；对于 Z 类设备，将电压减小至 $12V-0.7/+0V$ ，保持 30ms；恢复直流电压至 28V，保持 5s。从一个电平变化至另一电平的时间应在 1ms 内。

(2) 应按图 16-4 所示或类似的方法施加和监测电压浪涌。

(3) 在正常供电系统浪涌期间，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：除非在设备性能规范中有说明规定，在施加浪涌期间，允许设备性能降低，但当恢复到正常额定电压时，设备必须满足规定的性能要求。

(4) 在施加电压浪涌后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：如果设备在 16.6.2.4 的非正常电压浪涌试验和 16.6.2.3 瞬时欠压试验期间满足其性能规范的要求，则不必进行上述试验。

c. 270V 直流设备的要求（只对 D 类设备）

(1) 受试设备在设备端直流 270V 电压下工作 5min，然后按以下的电压要求循环三次：

将直流电压增大至 $400V-0/+16V$ ，保持 $30ms-0/+3ms$ ；恢复到直流 $270V \pm 11V$ ，至少保持 5s；一个电压调到另一个电压，上升时间应在 1ms 内，下降时间应在 5ms 内。

将直流电压减小至 $160V-7/+0V$ ，保持 $30ms-0/+3ms$ ；恢复到直流 $270V \pm 11V$ ，至少保持 5s；从一个电平上升至另一电平的时间应在 1ms 内，从一个电平下降至另一电平的时间应在 5ms 内。

在 EUT 的电源输入端测量到的浪涌电压应符合要求，对浪涌电流不作要求。

(2) 应按图 16-4 所示或类似的方法施加和监测电压浪涌。

(3) 在正常供电系统浪涌期间，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：除非在设备性能规范中有说明规定，在施加浪涌期间，允许设备性能降低，但当恢复到正常额定电压时，设备必须满足规定的性能要求。

(4) 在施加电压浪涌后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：如果设备在 16.6.2.4 的非正常电压浪涌试验和 16.6.2.3 瞬时欠压试验期间满足其性能规范的要求，则不必进行上述试验。

16.6.1.5 发动机启动欠压（直流）

a. 定义

本要求适用于 Z 类和 28V B 类设备。当发动机启动时，可能出现 10.0V~20.5V 的瞬时电压，其持续时间可达 35s 或设备规范指定的时间。

b. 要求

使受试设备在额定电压下工作，降低输入电压至 10.0V，然后用 35s 时间以 0.30V/s 的速率增加输入电压；然后恢复到额定电压或设备规范规定的电压。在此期间允许设备性能下降到设备规范限定的水平。恢复至额定电压，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

16.6.1.6 裸露电压衰减时间（只对 D 类直流设备）

a. 定义

正常工作期间，EUT 裸露外表面上的电压应保持在安全电压范围内。当断开 EUT 电源后，EUT 各裸露外表面上的电压应在合理的时间内衰减到安全电压范围内。

b. 要求

(1) 使用能够代表 EUT 在飞机上实际安装状态的方式安装 EUT。使受试设备额定电压下工作至少 1min。在这种状态下，除了连接器阴极引脚，EUT 裸露表面与机架间的电压峰值应小于 50V，EUT 之间的裸露电压峰值也应小于 50V。

(2) 用 $10M\Omega \pm 20\%$ ，电容小于 30pF 的探头监测 EUT 上 270V 电源正线和回线的所有连接点（包括连接器的阳极和阴极引脚）对机架地的电压。使受试设备额定电压下工作至少 1min，然后突然断开 EUT 上 270V 电源的正线和回线。

270V 正线与机架间的电压，270V 回线与机架间的电压以及 270V 正线与回线之间电压应在下列的时间内衰减至 50V 峰值电压以下。

a) 对于去掉 EUT 上的连接器，但 EUT 仍装在飞机机架上的情况，在断开 EUT 的电源后，对 EUT 上裸露的 270V 连接点的测试时间为 $1s+0/-0.1s$ 。

b) 对于 EUT 从飞机机架上卸下的情况，在断开 EUT 的电源后，对 EUT 上裸露的 270V 连接点的测试时间为 $10s+0/-1.0s$ 。

(3) 如果 EUT 在供电状态下可以处于非工作模式，则应在 EUT 上电后的非工作模式下重复步骤 (2) 的试验。

16.6.2 非正常工作条件（直流）

以下的条件和试验适用于 A 类、B 类、D 类和 Z 类直流用电设备。

注意：文中所有提到的电压值为 28V 直流设备的，这些数值除以 2 就是 14V 直流设备的电压值。

16.6.2.1 电压稳态（直流）

a. 定义

可能遇到的非正常电压极限值为：

设备端电压（V）	28Vdc	270Vdc
最高	32.2V	320V
最低	20.5V	220V

注：直流电网标称电压为：

- A 类设备：28V；
- B 类设备：28V 或 14V；
- Z 类设备：28V；
- D 类设备：270V。

b. 要求

(1) 将受试设备的输入端电压调节至最高电压，使设备工作至少 5min。使受试设备处于工作状态，将输入电压降至额定电压，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

(2) 使设备在额定电压下工作至少 1min，然后将受试设备的输入端电压调节至最低电压的 +0/-1%，并使设备工作至少 5min。使受试设备处于工作状态，将输入电压降至额定电压，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

注：设备性能规范中应规定施加非正常电压期间，设备性能的所有要求。

16.6.2.2 低电压条件（直流，只对 B 类设备）

a. 定义

非正常条件下可能会出现 0 到适当的最小电压的电压值，持续时间可达 10min。

b. 要求

使设备在额定电压下工作至少 1min，然后调节输入电源电压至正常工作电压的最小值，使设备工作至少 1min。使受试设备处于工作状态，用至少 10min 的时间，线性地降低输入电源电压至 0V。在受试设备连接状态下，调节设备的输入电源电压至额定电压，确定与适用的设备性能规范的符合性。

如果使用离散的步进线性地将输入端电压降至 0V，则每个步进应小于 0.25V，且每一步的最小驻留时间应为 600s 除以步进数。

16.6.2.3 瞬时欠压（直流）

a. 定义

供电电压可能会出现低于正常电压的瞬时变化，持续时间可达 7s。

b. 要求（只对 A 类、B 类和 Z 类设备）

设备经受此条件试验后，当电压恢复至正常工作电压范围时，应工作在适用的设备性能规范要求之内。

使设备在额定电压下工作，将直流输入电压降至 $12.0V \pm 0.24V$ ，持续 7s。设备保持通电状态，调节输入直流电压至额定电压，确定与适用的设备性能规范的符合性。

c. 270V 直流设备的要求（只对 D 类设备）

设备经受此条件试验后，当电压恢复至正常工作电压范围时，应工作在适用的设备性能规范要求之内。

使设备在 270V 直流电压下工作，将输入电压降至 $140V \pm 2V$ 或设备规范中规定的其它电压值，持续至少 7s；设备保持通电状态，调节输入电压至 270V，确定与适用的设备性能规范的符合性。

用 $20V \pm 1V$ 替代 140V 电压，重复试验。

16.6.2.4 非正常浪涌电压（直流）

a. 定义

非正常浪涌是指由供电系统的固有调节和调节器矫正动作（如在清除故障期间）引起的可控的稳态电压变化，可能遇到的瞬态浪涌电压见图 16-6。

b. Z 类设备的要求

使受试设备在适用的正常电压下工作，对电源输入端正极施加 $80V-0/+4V$ 直流浪涌电压，持续 100ms；然后再将电压降至 $48V-0/+4V$ ，持续 1s。从一个电平上升至另一电平的时间应在 1ms 内，从一个电平下降至另一电平的时间应在 5ms 内。在第一次和第二次浪涌电压之间不返回到正常工作电压。应按图 16-4 所示或类似的方法施加和监测电压浪涌。施加浪涌电压三次，每次时间间隔为 10s。试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

在 EUT 的电源输入端测量到的浪涌电压应符合要求，对浪涌电流不作要求。

c. A 类设备的要求

使受试设备在适用的正常电压下工作，对电源输入端正极施加 46.3V-0/+2V 直流浪涌电压，持续 100ms；除非设备规范另有规定，然后再将直流电压降至 37.8V-0/+2V，持续 1s。从一个电平上升至另一电平的时间应在 1ms 内，从一个电平下降至另一电平的时间应在 5ms 内。在第一次和第二次浪涌电压之间不返回到正常工作电压。应按图 16-4 所示或类似的方法施加和监测电压浪涌。施加浪涌电压三次，每次时间间隔为 10s。试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

在 EUT 的电源输入端测量到的浪涌电压应符合要求，对浪涌电流不作要求。

d. B 类设备的要求

使受试设备在适用的正常电压下工作，对电源输入端正极施加 60V-0/+3V 直流浪涌电压，持续 100ms；除非设备规范另有规定，然后将直流电压降到 40V-0/+2V，持续 1s。从一个电平上升至另一电平的时间应在 1ms 内，从一个电平下降至另一电平的时间应在 5ms 内。在第一次和第二次浪涌电压之间不返回到正常工作电压。应按图 16-4 所示或类似的方法施加和监测电压浪涌。施加浪涌电压三次，每次时间间隔为 10s。试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

在 EUT 的电源输入端测量到的浪涌电压应符合要求，对浪涌电流不作要求。

e. D 类设备的要求

使受试设备在适用的正常电压下工作，对电源输入端正极施加 425V-0/+17V 直流电压浪涌，持续 100ms-0/+10ms；然后施加 345V-0/+14V 直流电压浪涌，持续至少 1s。从一个电平上升至另一电平的时间应在 1ms 内，从一个电平下降至另一电平的时间应在 5ms 内。在第一次和第二次浪涌电压之间不返回到正常工作电压。应按图 16-4 所示或类似的方法施加和监测电压浪涌。施加浪涌电压三次，每次时间间隔为 10s。试验后，确定与适用的设备性能规范的符合性。

在 EUT 的电源输入端测量到的浪涌电压应符合要求，对浪涌电流不作要求。

16.7 机上加载设备对飞机供电系统的影响（交流和直流）

16.7.1 负载（交流）的电流谐波发射，标识 H

16.7.1.1 定义

带有试验标识 H（定义见 16.2）的交流用电设备应满足以下要求。不需要进行电流谐波发射试验的设备标识为 X。

详细定义参见 16.5.1.8.1

16.7.1.2 电流畸变

交流用电设备电流畸变试验使用以下两个电压输入条件。

1. 当使用总谐波畸变较小的电压波形为设备供电时（按照 16.7.1.3 试验条件 1 的验证要求，EUT 输入端的 THD_V 小于 1.25%，），设备的电流谐波含量超出表 16-4 和表 16-5 中规定限值的量值不应大于与其相对应的每 1% 单个电压谐波畸变值的 1.25%。

注：a. 如果 EUT 的功率大于 2kVA，其 THD_V 可以大于 1.25%，但不能超过 4%；

b. 谐波电流分量限值的计算实例参见表 16-6。

2. 当使用畸变的电压波形为设备供电时（按照 16.7.1.3 试验条件 2 的验证要求），设备的电流谐波含量超出表 16-4 和表 16-5 中规定限值的量值不应大于与其相对应的每 1% 单个电压谐波畸变值的 1.25%。

注：电流谐波含量限值的计算实例参见表 16-6。

注释：当设备接入到实际使用的电源系统时，要求畸变的电源电压波形应能保证设备稳定工作。（参见第 16.5.1.8）。

16.7.1.3 电流畸变验证要求

注意：文中所提到的电压值是 115V_{rms} 交流设备的，这些电压值乘 2 就是 230V_{rms} 交流设备的电压值。

作为鉴定试验程序的一部份，应提供以下的数据，以验证受试设备所有工作模式下与设计要求的畸变要求的符合性。

1. 测量时受试设备的工作模式。
2. 试验配置、试验程序记录，以及使用的试验设备及其设置。
3. 每个相位电流和电压波形图及其量值。
4. 对于 A (CF) 类设备
 - 用表列出设备每一相在 400Hz~16kHz 频率之间整数频率上的输入电流和电压的谐波分量大小和相位（可选）。
 - 设备每一相输入电流的频谱分析图（仅幅度），分辨率小于 20Hz。
5. 对于 A (NF) 类设备
 - 用表列出设备每一相在 360Hz~14.4kHz 和 650Hz~26kHz 频率之间整数频率上的输入电流和电压的谐波分量大小和相位（可选）。
 - 设备每一相输入电流的频谱分析图（仅幅度），分辨率小于 20Hz。
6. 对于 A (WF) 类设备
 - 用表列出设备每一相在 360Hz~14.4kHz 和 800Hz~32kHz 频率之间整数频率上的输入电流和电压的谐波分量大小和相位（可选）。
 - 设备每一相输入电流的频谱分析图（仅要求幅度），分辨率小于 20Hz。
7. 设备每一相输入电流的真有效值。
8. 设备每一相输入电流和电压的总谐波畸变。

应在受试设备最大稳态电流和最小稳态电流的工作模式下进行试验。如果最大与最小稳态电流之差小于最大稳态电流的 25%，则只需在最大稳态电流工作模式下进行试验。

应按图 16-7 所示的方法进行谐波电流的测量。在所有 50kHz 及以下频率，电流测量设备的幅度误差应小于 3%，相位误差应小于 5 度。

如果电流谐波分量小于 10mA 或小于基波的 0.25%，只要符合其中一个条件，则可忽略谐波的影响。

应选用频谱分析仪或其它谐波测量设备，以便谐波电流的测量误差小于允许极限的 5%，频谱分辨率应小于或等于 20Hz。谐波分析设备应具有高的采样率，足够长的时窗，适用的窗函数和抗混叠滤波器。应考虑的设备测量特性如下：

- a. 采样率 100kHz 或更高；
- b. 时窗 0.05s 或更长；
- c. 抗混叠滤波器的拐点频率应在 25kHz~50kHz 之内；
- d. 具有矩形 (Rectangular) 窗，汉宁 (Hanning) 窗，汉明 (Hamming) 窗或布兰克曼-哈里斯 (Blackman-Harris) 窗函数功能。

如果使用频谱分析仪或 EMI 接收机进行谐波测量，应采用下表规定的带宽、检波方式、驻留时间和最小测量时间。

频率范围	6dB 带宽	每个谐波的驻留时间 ⁽¹⁾	最小测量时间 ⁽²⁾	检波设置 ⁽³⁾
基波至 10 th 谐波	10Hz	1s	0.1s/ Hz	平均值
11 th 至 40 th 谐波	100Hz	1s	0.1s/ Hz	平均值

(1)用于离散频率的测量

(2)用于模拟的测量接收机

(3)将频谱分析仪设置为最大值保持模式

电源线频率的谐波应测量至第 40 次谐波。

本试验的目的是测量电源线的谐波发射，因此非谐波发射在此不作要求。谐波幅度和频率的测量结果为基波电源频率精度的函数，因此应确保基波测量的准确性，并以此测量结果计算谐波参数。

试验中所采用的驻留时间和测量时间应能有效地测量所有谐波幅度的变化。也可采用更长的驻留时间和测量时间。模拟扫描至少要从试验频率以下 1/2 带宽的频率开始，至试验频率以上 1/2 带宽的频率结束。

试验条件

设备在两种输入电压畸变条件下进行试验，在这两种条件下，应使用具有 115V_{rms} 电压和以下频率的电源为设备供电：

- A (CF) 类设备：400Hz±1%；
- A (NF) 类设备：360Hz，400Hz，500Hz，600Hz 和 650Hz±1Hz；
- A (WF) 类设备：360Hz，400Hz，500Hz，600Hz，650Hz，700Hz 和 800±1Hz。

试验期间，设备的供电电压和频率应保持在其限值范围内。

试验条件 1

对第一种试验条件，在整个试验期间，设备输入端电压的总谐波畸变（THD_v）应小于 1.25%。

注：如果 EUT 电源的功率大于 2kVA，而 EUT 供电电源的输出阻抗不够低，以致不能保证 EUT 输入端的 THD_v 小于 1.25%。这种情况下，THD_v 可以大于 1.25%，但不能超过 4%。

试验条件 2

对第二种试验条件，在整个试验期间，设备输入端电压总谐波畸变（THD_v）应为：

- A (CF) 和 A (NF) 类设备：8%+2/-0%；
- A (WF) 类设备：10%+2/-0%；

电压畸变可通过图 16-8 所示的全波整流电桥产生。可通过改变全波整流电桥的负载，以及在电源线中插入源阻抗的方法控制电压畸变的电平。另一种方法为通过钳制供电电压使 EUT 输入电压产生电压畸变。

16.7.2 允许的相位不平衡（只对三相交流输入）

16.7.2.1 定义

所有的三相交流设备都应满足以下要求。在设备的任何正常工作模式，三相负载中任何一相的视在功率（VA），有功功率（W）和无功功率（VAR）要求应与其它相的功率要求相同，不应超过图 16-11 规定的限值。

16.7.2.2 要求

使设备在三相平衡的额定输入电压及以下频率下工作。

- A (CF) 类设备: 400Hz $\pm$ 1%;
- A (NF) 类设备: 先 400Hz $\pm$ 1%, 然后 360Hz $\pm$ 1%, 再 650Hz $\pm$ 1%;
- A (WF) 类设备: 先 400Hz $\pm$ 1%, 然后 360Hz $\pm$ 1%, 再 800Hz $\pm$ 1%。

在测量期间, 供电电压和频率应保持在以上限值范围内。

应在设备最大和最小功率工作模式下测量三相输入的每一相负载的有功功率(W), 视在功率(VA)和无功功率(VAR)。如果设备最大与最小功率工作模式的功率之差小于最大功率的 25%, 则只需在最大功率工作模式下进行测量。

对于功率需求小于或等于 1kVA 的负载设备, 其相位不平衡应小于 200VA, W 或 VAR; 对于功率需求大于 20kVA 的负载设备, 其相位不平衡应小于 800VA, W 或 VAR; 对于功率需求在 1kVA 与 20kVA 之间的负载设备, 其相位不平衡应在图 16-11 所示极限内。

16.7.3 稳态工作时的直流电流含量(所有交流设备)

16.7.3.1 定义

直流电流含量是指由 EUT 引起的交流电源线上电流的直流分量。

16.7.3.2 要求

此要求适用于功率大于 10VA 的所有交流设备。功率小于或等于 10VA 的设备不作要求。

(1) 使设备在从试验用的电源上获得最大稳态电流的模式下工作, 其电源输入端的电压为 115V_{rms}, 电流的直流分量为 0.00 $\pm$ 0.10V, 频率见下面注释中的要求。

设备稳定后, 测量设备线电流中的直流分量。直流分量不应超过 5mA 或设备最大电流有效值的 2%中的较高者。

(2) 使设备在从试验用的电源上获得最小稳态电流的模式下工作, 其电源输入端的电压为 115V_{rms}, 电流的直流分量为 0.00 $\pm$ 0.10V, 频率见下面注释中的要求。

设备稳定后, 测量设备线电流中的直流分量。直流分量不应超过 5mA 或设备最大电流有效值的 2%中的较高者。

如果设备的最大与最小稳态电流之差小于最大稳态电流的 25%, 则只需在最大稳态电流工作模式下进行试验。

注: 应在以下频率上进行试验:

- 对于 A (CF) 类设备: 400Hz;
- 对于变频设备, A (NF) 类: 先 360Hz, 然后 650Hz; A (WF) 类: 先 360Hz, 然后 800Hz。

16.7.4 反馈的能量(只对 D 类直流设备)

16.7.4.1 定义

反馈的能量指从负载流出并返回至供电电源的能量。该能量通常来自电动机制动以及负载的突然变化。本试验通过监测 10 μ F 电容两端电压的变化来测量反馈的能量。

16.7.4.2 要求

将 EUT 电源输入端接入 270V 电压, 使其工作在从试验用的 270V 电源中获得最大和最小稳态电流的工作模式。如果最大与最小稳态电流之差小于最大稳态电流的 25%, 则只需在最大稳态电流工作模式下试验。

设备工作时, 在 10 μ F $\pm$ 10%电容(见图 16-12)两端产生的电压应小于 8V (0V 到正峰值)。试

验期间，监测 270V 电源上串联的二极管两端的电压。试验期间，在二极管的正端测量到的 270V 电源脉动电压应小于 1.0V（0V 到正峰值）。电源与 EUT 之间二极管的反向恢复时间应小于 1 μ s。

注意：

1. 在二极管和 10 μ F 电容两端可能存在致命的电压。
2. 若 EUT 在试验中失效会引起试验装置爆炸。在进行该试验前，应安装和使用适当的电气和机械安全防护装置。
3. 为通过该试验，在准备进行 EUT 反馈的能量试验之前，应同 EUT 的制造商核实 EUT 的设计。

16.7.5 冲击电流的要求（交流和直流设备），标记 I

16.7.5.1 定义

带有 I 标识的设备应满足以下要求。满足交流冲击电流试验的设备标识为 Z。不需要进行冲击电流试验的设备标识为 X。

16.7.5.2 要求

当正常输入电压突然施加到 EUT 时，冲击电流的峰值应小于：

在开始的 3.0ms，9 倍的最大稳态负载电流；

3.0ms 到 500ms，4 倍的最大稳态负载电流；和

500ms 到 2s，2 倍的最大稳态负载电流，此后为额定值。

试验条件：

交流电压的上升时间和下降时间应小于 1/4 个周期，直流电压的上升时间和下降时间应小于 300 μ s。

对于直流试验，最大稳态负载定义为最大稳态工作状态下额定电流的平均值。

对于交流试验，最大稳态负载定义为最大稳态工作状态下额定电流有效值的 1.41 倍。

注释：最大稳态负载电流通常出现在 EUT 的输入线电压较低时。

不加载试验时应提供的电压为：

交流 115V $\pm$ 1Vrms，

交流 230V $\pm$ 2Vrms，

直流 14V $\pm$ 0.13V，

直流 28.0V $\pm$ 0.25V 或，

直流 270V $\pm$ 2.7V。

使 EUT 工作在最大稳态负载电流模式下，并使电源处于不加载电压容差范围内。在电源与 EUT 的每个电源正输入线之间串连一个电阻，以调节电源与 EUT 之间的电压降至以下值：

对于 115V 交流设备：交流 4.0V $\pm$ 0.3Vrms；

对于 230V 交流设备：交流 8.0V $\pm$ 0.6Vrms；

对于 14V 直流设备：直流 0.5V $\pm$ 0.1V；

对于 28V 直流设备：直流 1.0V $\pm$ 0.1V；

对于 270V 直流设备：直流 9.0V $\pm$ 0.9V。

应在电源调节点 7 英寸（0.18m）内和 EUT 电源输入端 7 英寸（0.18m）内测量电源线到 EUT 的电压降。

在冲击电流试验期间，并且 EUT 已串联合适电阻状态下，实验室电源应提供的电压为：

交流 105.5V~122Vrms；

交流 221V~244Vrms；

直流 11.5V~15.2V;

直流 23.0V~30.3V;

直流 244V~285V。

以上电压为实验室电源电压调节点上的测量值。

试验条件 1:

使设备静止且不加电, 保持至少 5min。对设备施加正常输入电压, 并验证设备是否符合本节要求。

试验条件 2:

使设备稳定并使其工作在最大输入电流模式。在 200ms+20/-0ms 时间内, 将输入电压减少至额定电压的 5%以下, 然后再施加额定电压并验证设备是否符合本节要求。

注:

1. 应在以下频率上进行试验:

- A (CF) 类设备: 400Hz±5Hz;
- 对于变频设备, A (NF) 类: 先 360Hz+5/-0Hz; 然后在 650Hz+0/-5Hz 频率上重复试验;
A (WF) 类: 先 360Hz+0/-5Hz; 然后在 800Hz+0/-5Hz 频率上重复试验。

2. 在交流电压波形零点突然施加或去掉交流电源, 可认为满足上升时间要求。

16.7.6 稳态工作中的电流调制 (交流), 标识 L

16.7.6.1 定义

带有 L 标识 (定义见 16.2) 的交流用电设备应满足以下要求, 满足交流试验条件的交流用电设备标识为 Z 类。

电流调制指在设备稳态工作期间可能产生的, 围绕交流峰值电流均值周期性、随机性或两者皆有的变化。任何存在负载电流调制的设备都可能造成交流电压调制的产生。试验标识 L 用于单台功耗大于 35VA 的设备或飞机上所有同类型设备的总功耗大于 150VA 的设备。

16.7.6.2 要求

使受试设备工作在设备制造商给定的最大输入电流调制模式 (即 500ms 内测量到的输入电流峰-谷值的最大变化量), 同时电源输入端的电压为 115Vrms (见下面注 1), 频率按下面注 2 的规定。如果设备输入电流调制不随工作模式变化, 则使设备工作在最大稳态电流模式。

在设备稳定后, 对于小于 1kVA 的同类型设备, 其线电流的调制在任何时间都不应超过设备最大稳态电流峰-谷有效值的 0.28 倍。对于大于或等于 1kVA 的同类型设备, 其线电流的调制在任何时间都不应超过设备最大稳态电流峰-谷有效值的 0.14 倍。负载电流的测试应至少在 3 个 500ms 的长扫描时间上进行。

注:

1. 对于为 EUT 供电的交流电源, 当其为电阻性负载供电, 输出电流等于 EUT 最大稳态工作电流时, 无论是在 1Hz 和较高的 200Hz 之间的电压调制频率还是在电源基波频率一半的调制频率, 调制电压的峰-谷有效值均应小于或等于 420mV。

2. 本试验应在以下频率上进行:

- A (CF) 类设备: 400Hz±5Hz;
- 对于变频设备, A (NF) 类, 先 360Hz+5/-0Hz, 然后, 650Hz+0/-5Hz 频率上重复试验;
A (WF) 类, 先 360Hz+5/-0Hz, 然后, 800Hz+0/-5Hz 频率上重复试验。

3. 以下负载变化不作要求:

- 开始启动;
- 工作模式间的转换;
- 对输入电压和频率变化的响应;
- 最后关机。

4. 本试验不要求对基波频率电流的变化进行监测。

5. 电流探头应为直流耦合型。

6. 若受试设备连接其它负载, 则试验时应连接后端负载, 或对具有代表性的相似调制特性进行模拟。

16.7.7 直流电流脉动试验(直流设备), 标识 R

16.7.7.1 定义

电流脉动指在设备稳态工作期间可能产生的, 围绕直流电流均值周期性、随机性或两者皆有的变化。任何存在负载电流调制的设备都可能造成交流电压脉动的产生。带有标识 R (定义见 16.2) 的直流用电设备应满足以下要求。不进行直流电流脉动试验的设备标识为 X。

16.7.7.2 要求

使设备工作在最大稳态电流和最小稳态电流的模式, 同时 28V 电网的电压为 28Vdc, 270V 电网的电压为 270Vdc (见下面注 1)。受试设备稳定后, 至少应在 3 个 500ms 长扫描的时间上进行负载电流测试。如果最大与最小稳态电流之差小于最大稳态电流的 25%, 则只需在最大稳态电流工作模式下进行试验。

28V 直流设备

对于混合总功耗在 400W 到 1kW 之间的同类型设备, 单个设备线电流脉动的峰-峰值不应超过其最大负载直流电流的 0.140 倍。

对于混合总功耗大于 1kW 同类型设备, 单个设备线电流脉动的峰-峰值不应超过其最大负载直流电流的 0.070 倍。

270V 直流设备

对于混合总功耗小于 1kW 同类型设备, 单个设备线电流脉动的峰-峰值不应超过其最大负载直流电流的 0.280 倍。

对于混合总功耗在 1kW 到 10kW 之间同类型设备, 单个设备线电流脉动的峰-峰值不应超过其最大负载直流电流的 0.140 倍。

对于混合总功耗大于 10kW 同类型设备, 单个设备线电流脉动的峰-峰值不应超过其最大负载直流电流的 0.070 倍。

注:

1. 对于为 EUT 供电的直流电源, 当其为电阻性负载供电, 输出电流等于 EUT 最大稳态工作电流时, 所有 1Hz 和 200Hz 之间的电压脉动频率上, 28V 电网的脉动电压峰-峰值应小于或等于 100mV, 270V 电网的脉动电压峰-峰值应小于或等于 1.00V。

2. 下列负载变化不要求该试验:

- 开始启动;
- 工作模式间的转换;
- 对输入电压和频率变化的响应;

- 最后关机。
3. 本试验不要求监测 150kHz（-3dB 点）以上频率的电流变化。
 4. 电流探头应为直流耦合型。

16.7.8 功率因数（全部交流设备）标识 P

16.7.8.1 定义

带有标识 P（定义见 16.2）的交流用电设备应满足以下要求。不满足 P 类要求的交流用电设备仍需要进行该项试验（只报告试验结果），并标识为 Z 类（其它试验准则）。

功率因数（RF）为有功功率 P（W）与视在功率 S（VA）之比，用下式表示：

$$PF = \frac{P}{S}$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) * I(t) dt$$

$$S = V_{rms} * I_{rms}$$

该功率因数的定义包括输入电流和电压波形的位移和畸变两个方面的影响，有时称之为真功率因数。

16.7.8.2 要求

当在以下每个频率和 2 个试验电压条件下进行设备的功率因数测量时，EUT 应满足功率因数要求。

A（CF）类设备：400Hz±1Hz；

A（NF）类设备：360Hz，400Hz，500Hz，600Hz，650Hz ±1Hz。

A（WF）类设备：360Hz，400Hz，500Hz，600Hz，650Hz，700 Hz，800Hz ±1Hz。

试验电压	供电电压（单相）		供电电压（三相）	
	115Vrms	230Vrms	115Vrms	230Vrms
1	100	200	101.5	203
2	122	244	120.5	241

a) 电机负载的稳态满负荷功率因数应在以下给定的范围内：

- 超前功率因数应大于 0.980；
- 500Hz 以上频率的滞后功率因数应大于 0.700；
- 360Hz 到 500Hz 之间频率的滞后功率因数应大于以下公式的计算值：

$$PF = 2.8571 E-3 * Hz - 0.72857$$

- 360Hz 及 360Hz 以下频率的滞后功率因数应大于 0.300。

b) 所有其它交流负载设备的功率因数应等于或大于下表所列值。当飞机上所有同类设备的最大总功耗大于 150VA 时，每个负载的稳态满载功率因数应在 0.800（滞后）与 0.968（超前）之间。

负载 (kVA)	功率因数 (超前)	功率因数 (滞后)
≤ 0.02	0.200	0.200
0.03	0.355	0.321
0.04	0.464	0.406
0.06	0.619	0.527
0.08	0.728	0.613
0.10	0.813	0.679
0.15	0.968	0.800
> 0.15	0.968	0.800

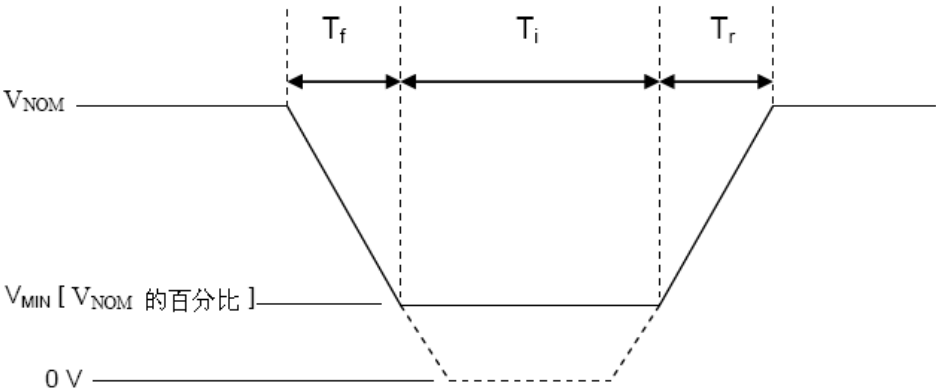
- 0.02kVA 和 0.15kVA 之间的超前功率因数由下式给出：

$$PF = 0.87765 \cdot \log(kVA) + 1.69110$$

- 0.02kVA 和 0.15kVA 之间的滞后功率因数由下式给出：

$$PF = 0.68567 \cdot \log(kVA) + 1.36493$$

表 16-1 所有交流设备的试验条件



注：

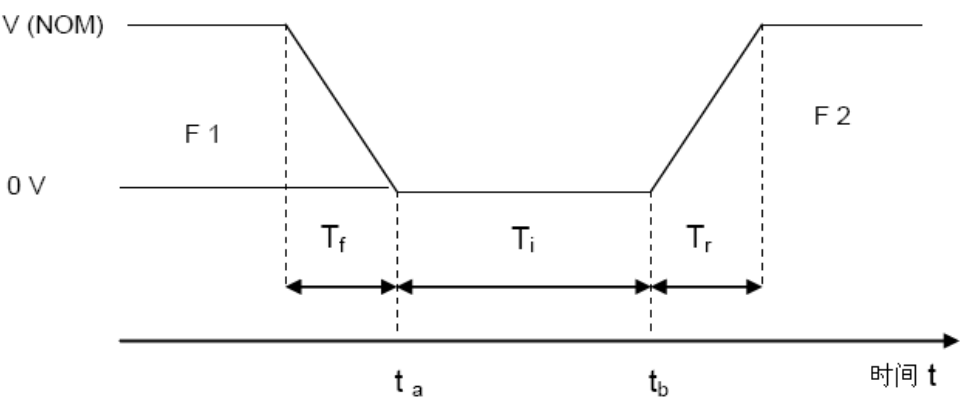
1 定义

- T_i--电源中断时间
- T_f--将所施加的电压从 V_{NOM} 降到 V_{MIN} 需要的时间；
- T_r--将所施加的电压从 V_{MIN} 上升到 V_{NOM} 需要的时间；
- V_{MIN}--施加电压允许下降到的最低电压（用 V_{NOM} 的百分比表示）；

2 时间（T_i、T_f、T_r）的大于 1ms 或直线电压截面±10%。

试验条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
T _f (ms)	<1	10	17	18	19	20	20	10	25	50	43	48	50	18	20	13	5	<1	<1
T _i (ms)	2	0	8	32	56	80	180	0	0	0	33	53	150	13	15	27	20	50	200
T _r (ms)	<1	3	4	5	5	5	5	4	10	20	17	19	20	7	2	13	5	<1	<1
额定电压% (V _{min})	0	50	15	10	5	0	0	80	50	0	15	5	0	65	60	35	0	0	0

表 16-2 A（NF）和 A（WF）类设备增加的试验条件



注: T_i —时间;

$T_f=20\text{ms}$;

$T_r=5\text{ms}$;

时间 (T_i 、 T_f 、 T_r) 大于 1ms 或直线电压截面 $\pm 10\%$;

F_1 是在 $t \leq t_a$ 时, 设备供电电压的频率;

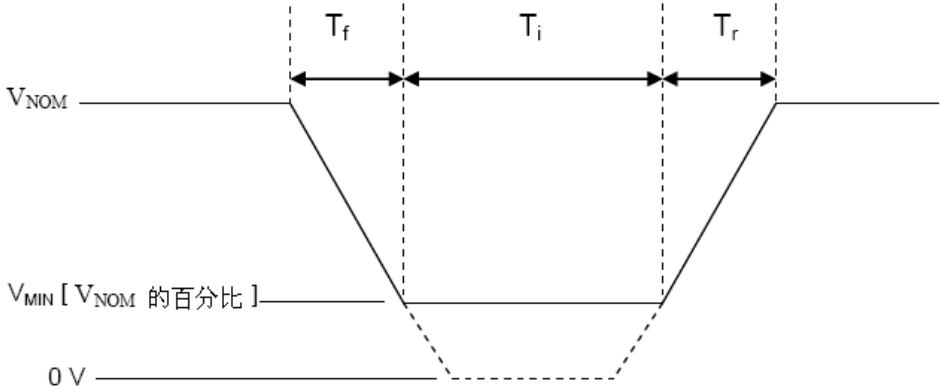
F_2 是在 $t \geq t_b$ 时, 设备供电电压的频率。

试验条件	I	II	III	IV	V	VI
T_i (ms)	30	30	80	80	180	180
F_1 (Hz)	360	F_{MAX}	360	F_{MAX}	360	F_{MAX}
F_2 (Hz)	F_{MAX}	360	F_{MAX}	360	F_{MAX}	360

A (NF) 类设备, $F_{\text{MAX}}= 650 \text{ Hz}$;

A (WF) 类设备, $F_{\text{MAX}}= 800 \text{ Hz}$ 。

表 16-3 有数字电路直流设备的试验条件



注：1. 定义

T_i --电源中断时间

T_f --将所施加的电压从 V_{NOM} 降到 V_{MIN} 需要的时间；

T_r --将所施加的电压从 V_{MIN} 上升到 V_{NOM} 需要的时间；

V_{MIN} —施加电压允许下降到的最低电压（用 V_{NOM} 的百分比表示）；

2. 时间（ T_i 、 T_f 、 T_r ）大于 1ms 或直线电压截面 $\pm 10\%$ 。

设备类型	A, B, D, Z				A, Z, D			D, Z	A, B, D, Z		A, D, Z				D, Z	A, B, D, Z			
试验条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
T_f (ms)	<1	10	17	18	19	20	20	20	10	25	50	43	48	50	50	18	20	13	5
T_i (ms)	<1	0*	8	32	56	80	180	980	0*	0	0	33	53	150	950	13*	15	27	20
T_r (ms)	2	3	4	5	5	5	5	5	4	10	20	17	19	20	20	7	2	13	5
额定电压% (Vmin)	0	50	15	10	5	0	0	0	80	50	0	15	5	0	0	65	60	35	0

表 16-4 单相电气设备的电流谐波限值

谐波次数	限值
非三倍数的奇次谐波 (h=5、7、11、13...37)	$I_h = 0.3 I_I / h$
三倍数的奇次谐波 (h=3、9、15、21...39)	$I_h = 0.15 I_I / h$
2 和 4 次偶次谐波	$I_h = 0.01 I_I / h$
>4 次的偶次谐波 (h=6,8,10...40)	$I_h = 0.0025 I_I$

表 16-5 三相平衡电气设备的电流谐波限值

谐波次数	限值
第 3、5、7 次谐波	$I_3 = I_5 = I_7 = 0.02 I_I$
三倍数的奇次谐波 (h=9、15、21...39)	$I_h = 0.1 I_I / h$
第 11 次谐波	$I_{11} = 0.1 I_I$
第 13 次谐波	$I_{13} = 0.08 I_I$
非三倍数的奇次谐波 (h=17、19)	$I_{17} = I_{19} = 0.04 I_I$
非三倍数的奇次谐波 (h=23、25)	$I_{23} = I_{25} = 0.03 I_I$
非三倍数的奇次谐波 (h=29、31、35、37)	$I_h = 0.3 I_I / h$
2 和 4 次谐波	$I_h = 0.01 I_I / h$
>4 次的偶次谐波 (h=6、8、10...40)	$I_h = 0.0025 I_I$

I_I = 设备按要求在最大稳态电源条件下工作时在单次试验频率(*), 测到的设备最大基波电流。可用此最大电流来计算设备在全部工作模式下工作时该试验频率(*)的谐波电流。

(*) 试验频率见 16.7.1.3

h = 谐波次数。

I_h = 设备全部正常稳态工作模式的第 h 次最大谐波电流。

表 16-6 试验标识 H 的试验条件 2 符合性

A 谐波 次数	B 电流谐波要 求 (%)	C 电压波形中的 谐波 (%)	D= (B+C*1.25) 用 10mA 电流限值修 正的谐波 (%)	E 受试设备试验时发射 的电流谐波 (%)	F 试验 结果
2	0.50	0.04	0.55	0.51	P
3	5.00	3.49	9.36	11.72	F
4	0.25	0.03	0.29->0.40	0.35	P
5	6.00	2.99	9.73	7.53	P
6	0.25	0.12	0.40	0.15	P
7	4.29	1.67	6.37	13.20	F
8	0.25	0.02	0.28->0.40	0.10	P
9	1.67	0.21	1.93	0.98	P
10	0.25	0.01	0.26->0.40	0.05	P
11	2.73	0.72	3.63	3.00	P
12	0.25	0.03	0.28->0.40	0.12	P
13	2.31	0.64	3.11	5.20	F
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
40	0.25	0.0017	0.252->0.40	0.0065	P

A 列为谐波次数。例如第一行，A (CF) 类设备，与 800Hz 的电压和电流分量 (2*400Hz) 有关。

(按符合谐波要求的负载实际情况确定，该表应包括直到 40 次 (含第 40 次) 谐波的数据)

B 列为由表 16-4 确定的单相负载电流谐波的要求。

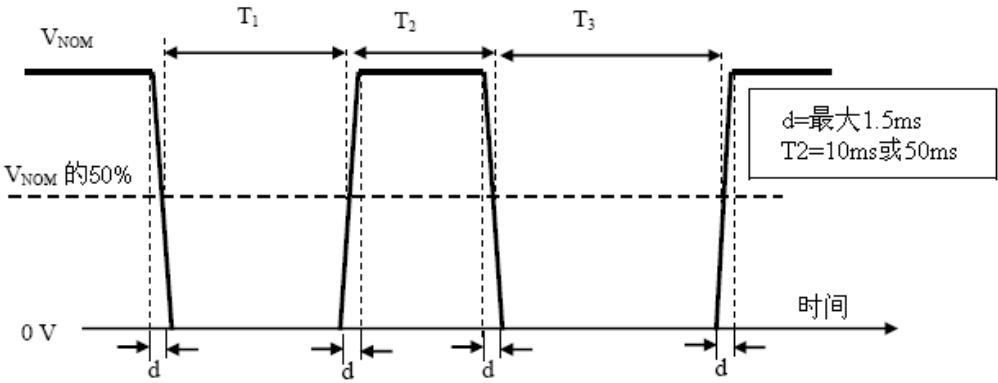
C 列为一个例子，为施加电压的总谐波畸变大于 5% 时的电压谐波 (按试验条件 2 规定)。要强调的是 C 列的举例仅仅是数字，在实际中，这一列还应包括实际施加电压的谐波分量。

D 列为 EUT 允许的电流谐波。此处允许用 10mA 的限值，4，8，10，12 和 40 次谐波的限值可放宽。在本例中，基波的 0.40% 是 10mA，第 4 次谐波试验结果认为符合要求。

E 列为一个例子，提供了在畸变电压条件下，一项的受试设备电流谐波数据。

F 列表示的是设备的某次谐波是否符合要求。它是由在设备输入端 (E 列) 测量的电流谐波和在畸变电压输入条件下 (D 列) 允许的电流谐波二者之间的关系确定。

表 16-7 有数字和存储电路直流设备的试验条件



注：1. 定义

V_{nom} —额定电压。

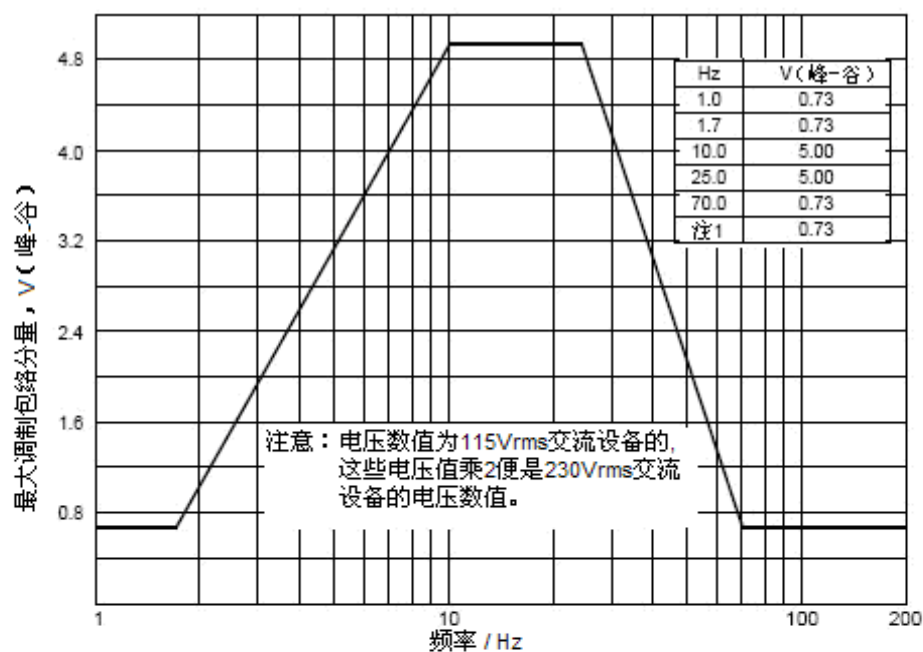
T_1 —第一次中断的持续时间（在电压等于正常电压 50%时测量）。

T_3 —2nd 次中断的持续时间（在电压等于正常电压 50%时测量）。

2. T_1 , T_2 , T_3 的容差为 $\pm 10\%$ 。除试验条件 1 和 2, 9000ms 是最小值。

3. 在波形的 10%和 90%之间测量的上升时间和下降时间“d”。

试验	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A, D, Z 类	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
B 类	Y	Y	Y	Y	N/A	Y	N/A	N/A	N/A	Y	Y	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
T1 (ms)	9000	9000	10	10	10	20	20	20	20	50	50	50	50	100	100	150	150
T3 (ms)	20	50	10	50	100	10	50	100	170	10	50	100	140	50	90	10	40



注：A(CF)类系统最高试验频率为200Hz；A(NF)和A(WF)类系统的最高试验频率在200Hz到设备所施加的线频率1/2以上的频率上变化。

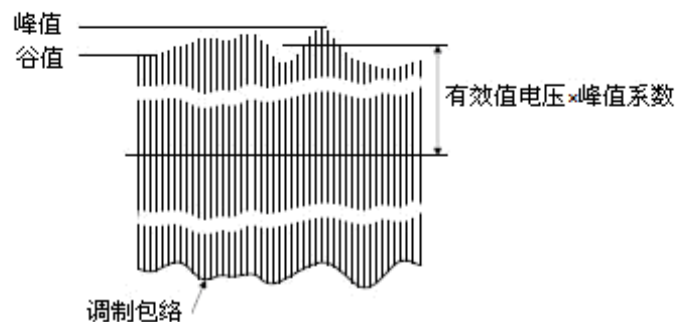


图 16-1 交流电压调制包络的频率特性

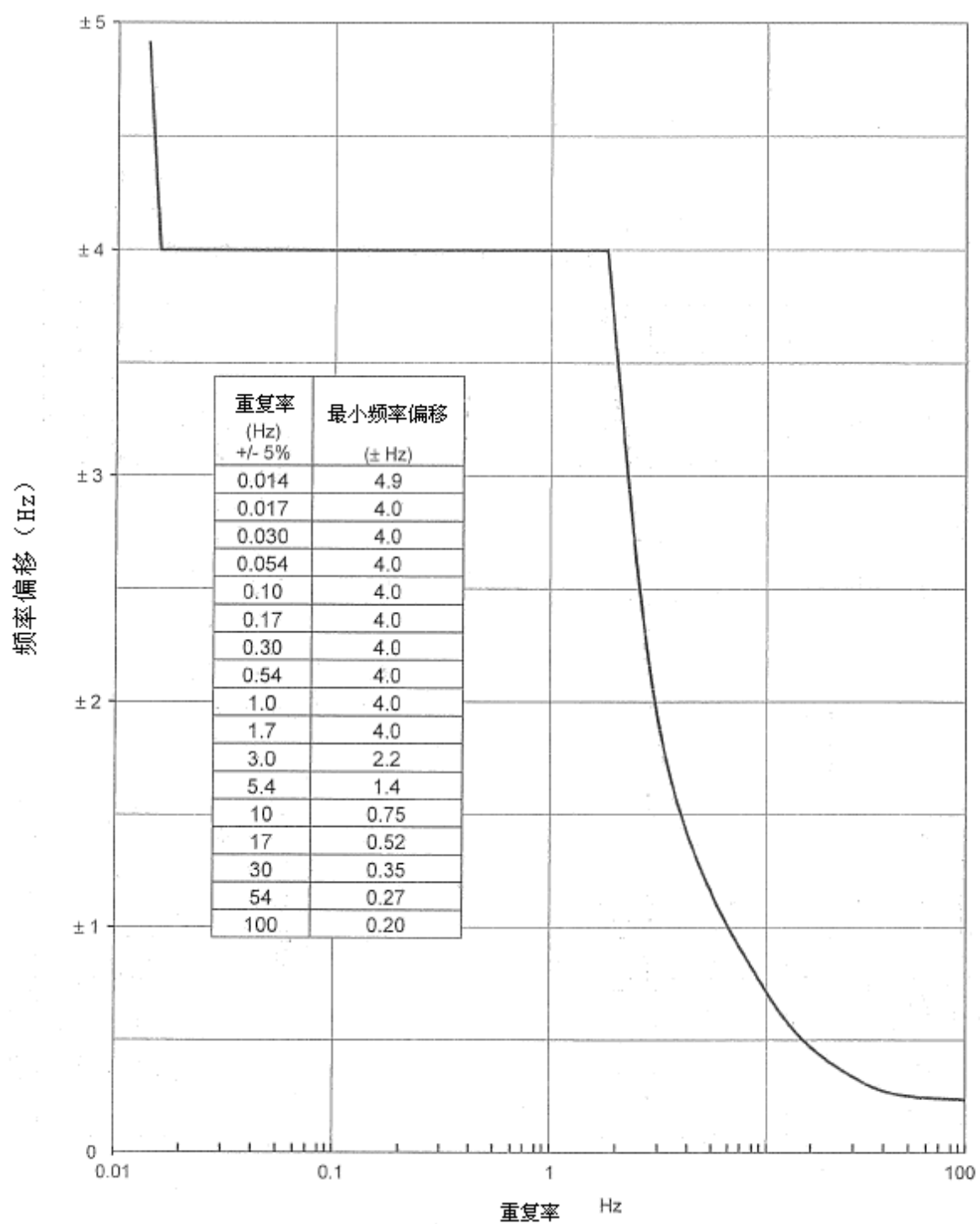
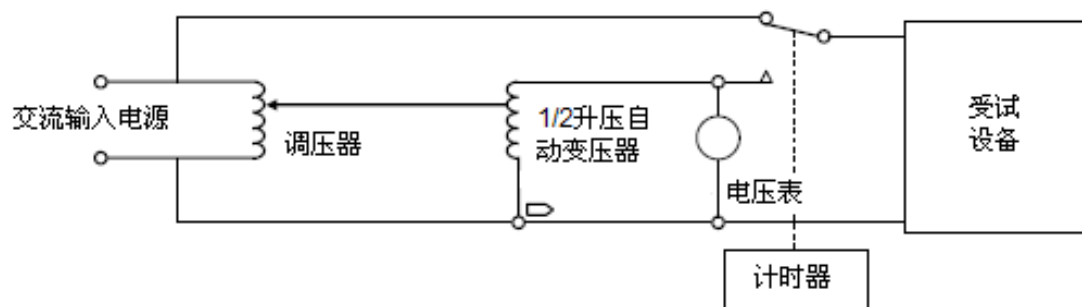


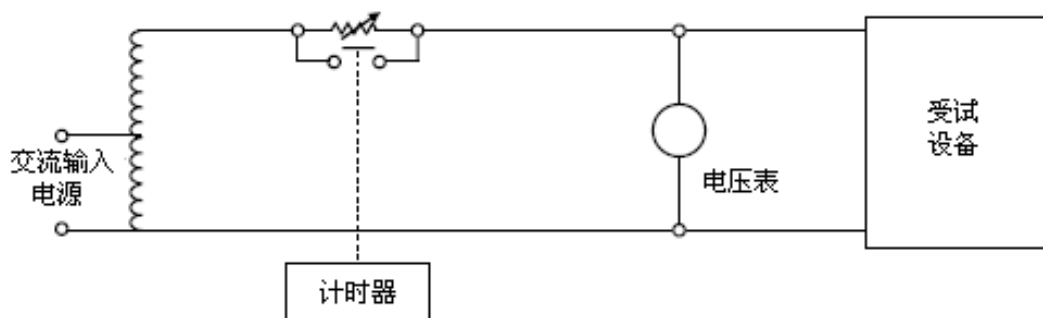
图 16-2 交流频率调制特性



▷ 受试设备必须有足够的伏-安容量

电路 A

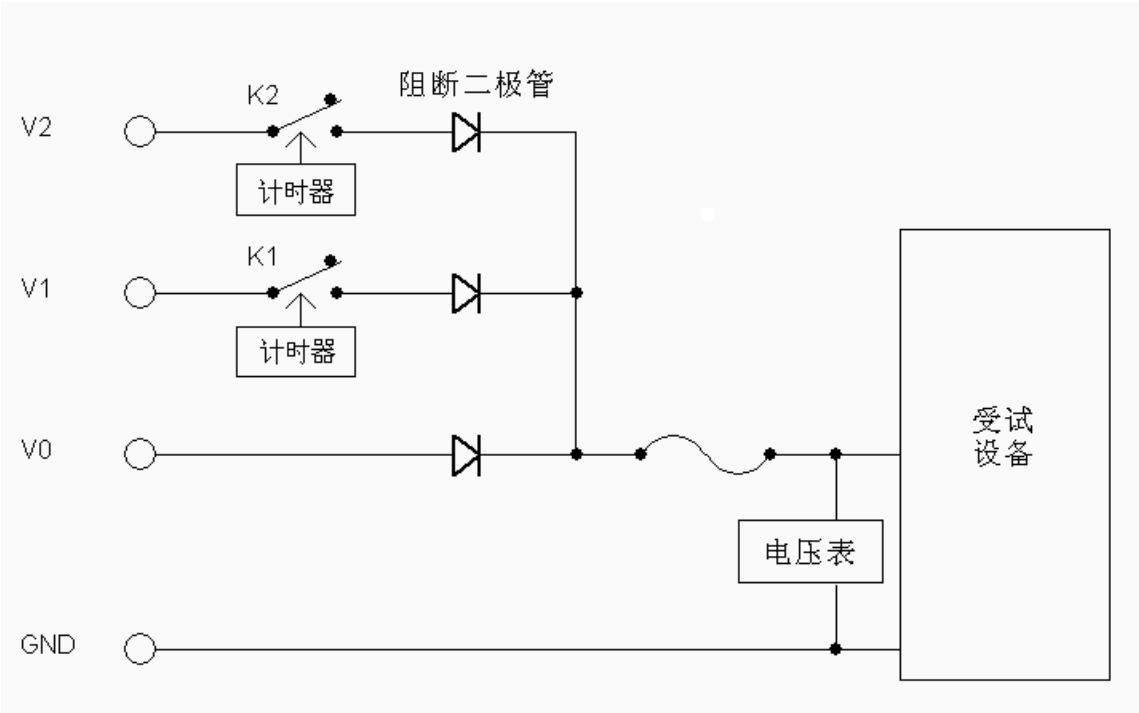
注：计时器转换级期间，受试设备接收到的功率为零



电路 B

注：电路B为备选电路，仅当电源阻抗对设备性能不产生关键性影响时使用。

图 16-3 交流设备电压浪涌试验



		施加在 EUT 上的电压		
		电压 V_0	电压 V_1	电压 V_2
K1 和 K2 状态	K1	断开	闭合	断开
	K2	断开	断开	闭合

注：

- 1 调节 K1/K2 的计时状态，使其符合 16.6.1.4（正常浪涌电压）或 16.6.2.4（非正常浪涌电压）电压浪涌持续时间的要求。
- 2 驱动 K1 和 K2，使其在电压 V_1 与 V_2 之间的瞬态开始时都闭合。
- 3 电压源应能给 EUT 提供足够的电流，使其在 EUT 输入端测量时能达到所需的试验电压。
- 4 电压 V_0 、 V_1 和 V_2 分别对应于试验章节中的电压值， V_0 始终低于 V_1 和 V_2 。
- 5 在二极管的阴极与地之间可能存在的电阻或有源器件会使试验降低步级间的电压。
- 6 可使用能够提供规定波形的替代试验设备。

图 16-4 直流设备电压浪涌试验

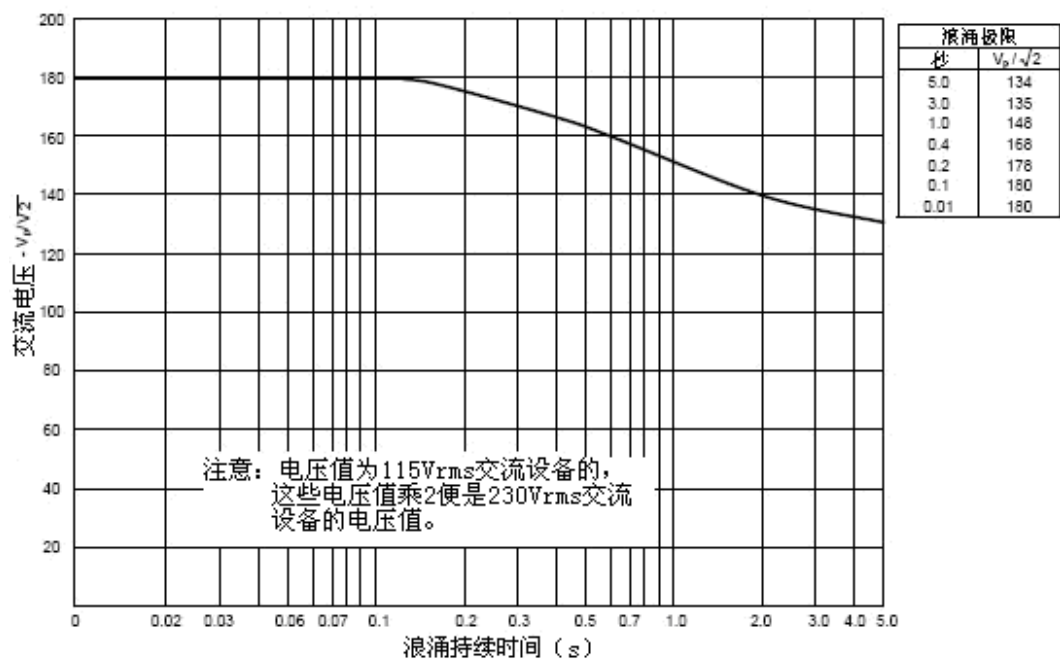
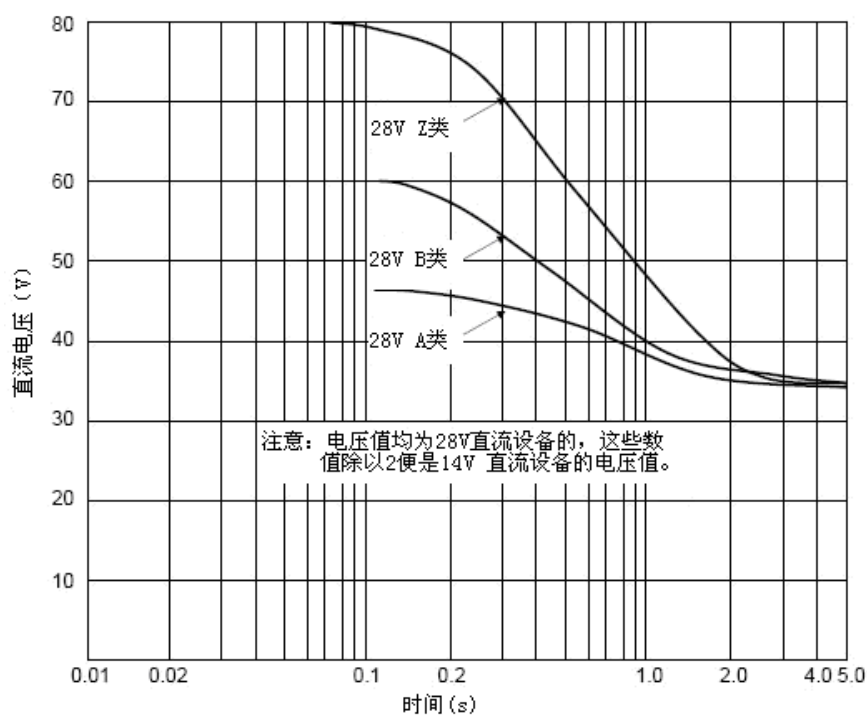


图 16-5 交流非正常电压浪涌包络



注：D类的基本波形与A类相同。

秒	A类	B类	Z类	D类
5.0	32.2	32.2	32.2	315
1	37.8	40	48	345
0.5	42.5	47	60	385
0.1	46.3	60	80	425

图 16-6 典型的非正常直流电压浪涌特性

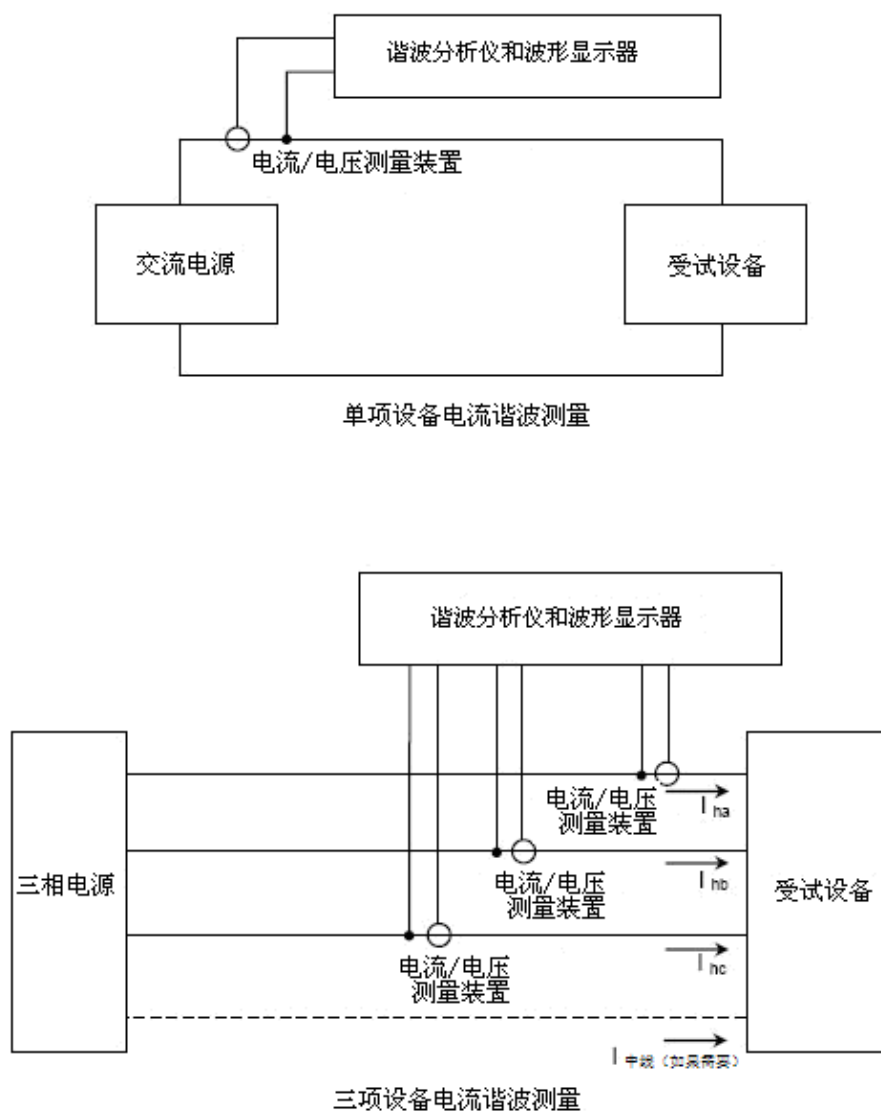


图 16-7 典型的电流谐波测量图

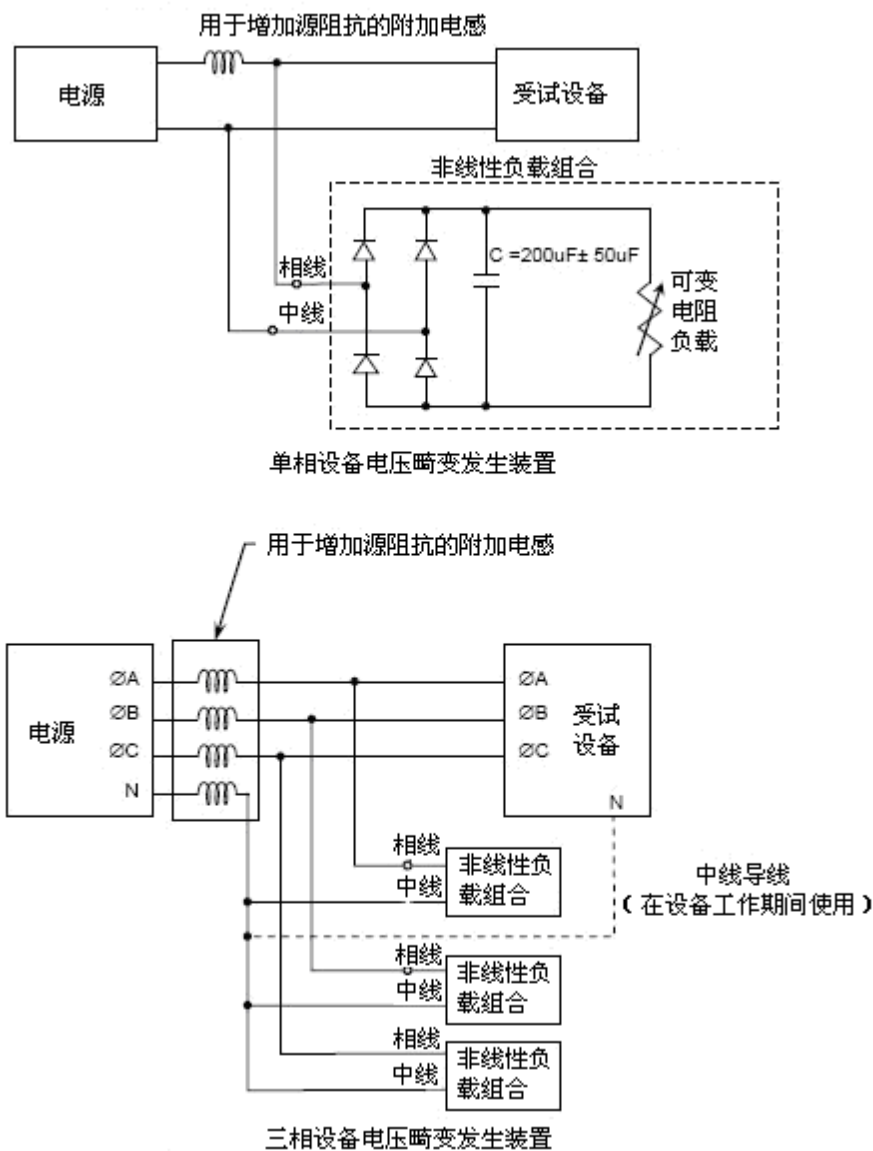
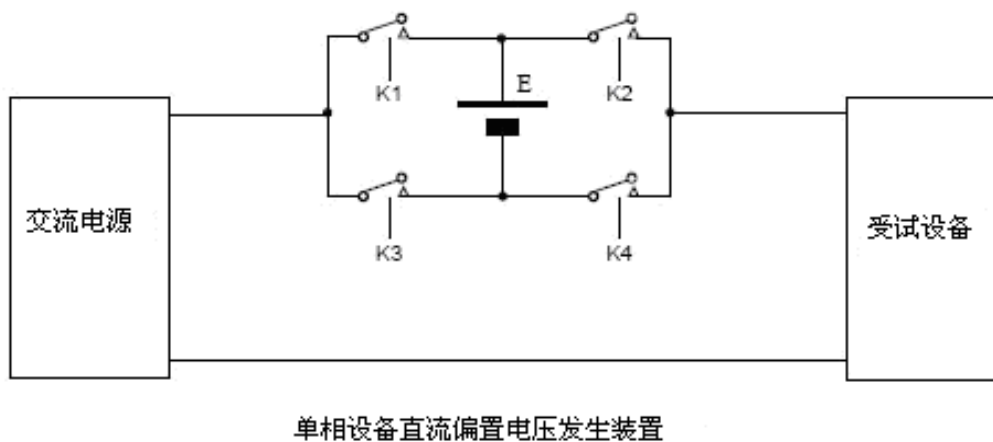


图 16-8 谐波试验时典型的电压畸变电路



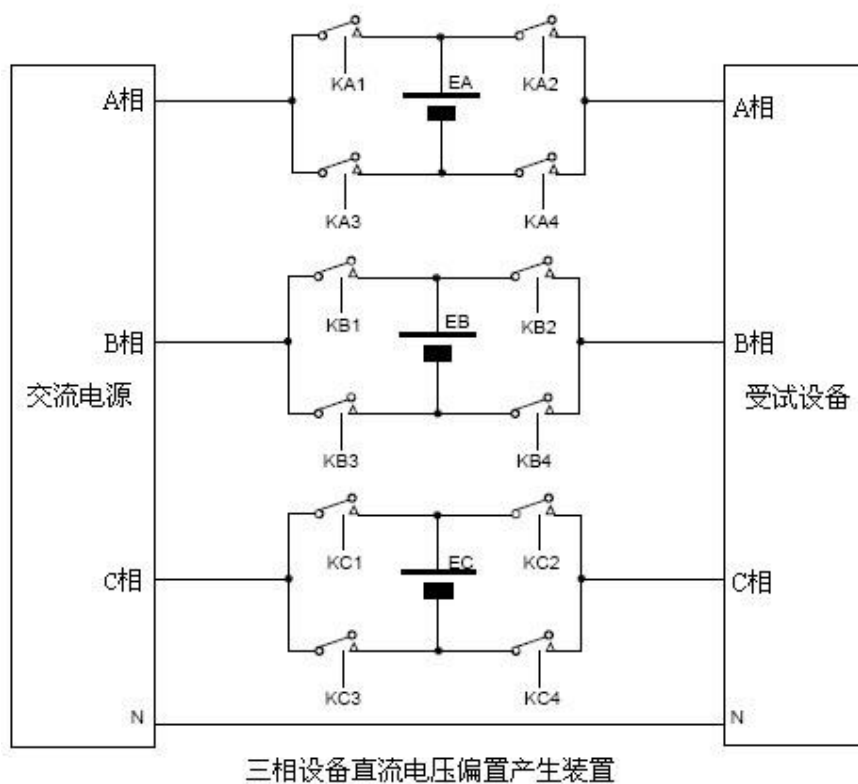
“E”对应一个可调节的直流电压源，该电压源：

- 应使 EUT 在所有正常工作模式下都能获得最大稳态有效值电流
- 在交流电源上能产生下面的直流偏置电压
 - ◆ 115V 交流设备， $-0.200\text{V}+0-0.040\text{V}$ 和 $+0.200\text{V}+0.040/-0\text{V}$ 直流电压
 - ◆ 230V 交流设备， $-0.200\text{V}+0-0.040\text{V}$ 和 $+0.200\text{V}+0.040/-0\text{V}$ 直流电压

开关 K1~K4 状态

- EUT 初始上电
 - ◆ K1 和 K2（或 K3 和 K4）闭合，以使 E 不对 EUT 产生冲击电流
- 试验条件：交流电源上施加负的直流电压分量
 - ◆ K1 和 K4 闭合
 - ◆ K2 和 K3 断开
- 试验条件：交流电源上施加正的直流电压分量
 - ◆ K1 和 K4 断开
 - ◆ K2 和 K3 闭合

图 16-9 单相交流设备直流偏置试验



“EA”，“EB”和“EC”对应可调直流电压源，这些电压源：

- 应能使 EUT 在所有正常工作模式下都能获得最大稳态有效值电流
- 在交流电源上能产生下面的直流偏置电压：
 - ◆ 115V 交流设备：-0.200V+0/-0.040V 和+0.200V+0.040/-0V 直流电压
 - ◆ 230V 交流设备：-0.200V+0/-0.040V 和+0.200V+0.040/-0V 直流电压

开关 KA1~KA4，KB1~KB4 和 KC1~KC4 状态

- EUT 初始上电
 - ◆ KA1，KB1，KC1 和 KA2，KB2，KC2（或 KA3，KB3，KC3 和 KA4，KB4，KC4）闭合，以使 EA，EB 和 EC 不对 EUT 产生冲击电流。
- 试验条件：在交流电源上施加负直流电压分量
 - ◆ KA1，KB1，KC1 和 KA4，KB4，KC4 闭合
 - ◆ KA2，KB2，KC2 和 KA3，KB3，KC3 断开
- 试验条件：在交流电源上施加正直流电压分量
 - ◆ KA1，KB1，KC1 和 KA4，KB4，KC4 断开
 - ◆ KA2，KB2，KC2 和 KA3，KB3，KC3 闭合

图 16-10 三相交流设备直流偏置试验

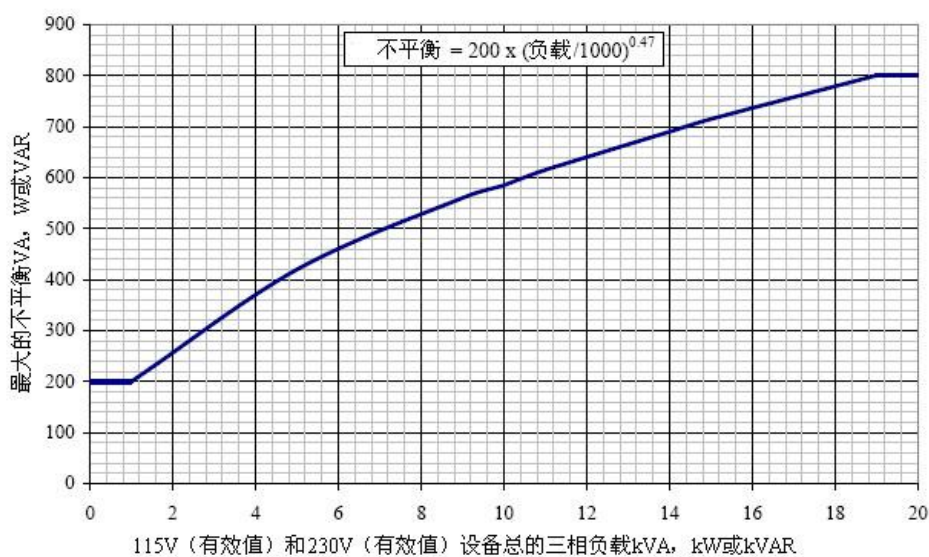
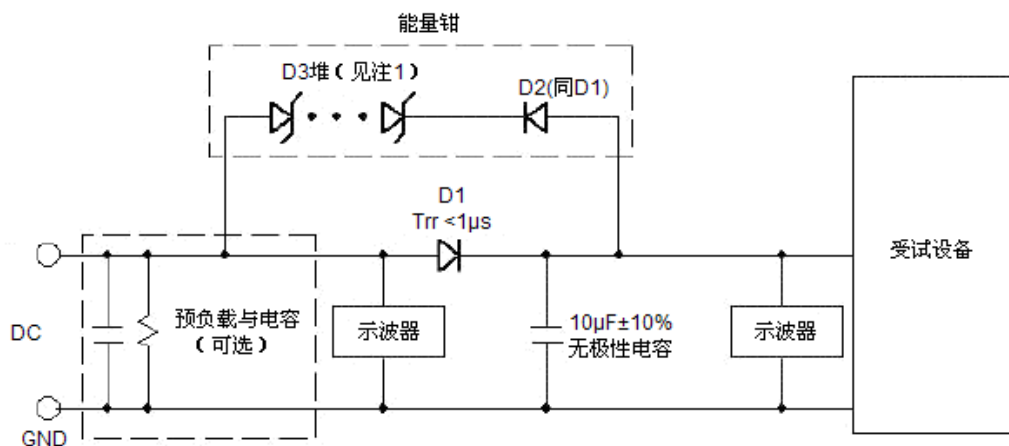


图 16-11 三相交流负载允许的相位不平衡



注：

1. EUT 试验前和试验后，在 $24V \pm 1V$ 直流电压下测量 D3 齐纳/瞬态吸收二极管堆的反向击穿漏电流应小于 $24mA$ 。D3 齐纳/瞬态吸收二极管堆内可用单向和/或双向能量钳位装置
2. D1 和 D2 的额定电流应大于 EUT 的最大电流，它们的反向恢复时间小于 $1.0\mu s$ 。
3. D3 齐纳/瞬态吸收二极管堆的额定 $1ms$ 脉冲电流应大于 EUT 的最大电流。
4. 检查示波器的可能接地环路，使其不引起读数误差和/或对示波器造成损害。

注意：

1. 在二极管和 $10\mu F$ 电容两端可能存在致命的电压。
2. 若 EUT 在试验中失效会引起试验装置爆炸。在进行该试验前，应安装和使用适当的电气和机械安全防护装置。
3. 为通过该试验，在准备进行 EUT 反馈的能量试验之前，应同 EUT 的制造商核实 EUT 的设计。

图 16-12 270V 直流反馈的能量试验配置

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 17 部分

电压尖峰

重要提示

本部分试验方法与第 1、2 和 3 部分有关。
此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.08

替代：RTCA/DO-160F
起草：SC-135

目 次

17 电压尖峰	17-1
17.1 试验目的	17-1
17.2 设备分类	17-1
17.3 试验装置和仪器	17-1
17.4 试验程序	17-1
图 17-1 电压尖峰试验波形	17-2
图 17-2 直流或单相交流供电设备电压尖峰试验布置	17-2
图 17-3 三相交流供电设备电压尖峰试验布置	17-3

17 电压尖峰

17.1 试验目的

本试验的目的是确定设备是否能够承受来自其交流或直流电源线上电压尖峰的影响。
预期产生的主要有害影响有：

- a. 永久性损坏，元器件失效，绝缘击穿；
- b. 敏感度下降或设备性能改变。

17.2 设备分类

A 类

预期主要安装在为防止电压尖峰的破坏必需进行严格保护场合的设备，标识为 A 类。

B 类

预期主要安装在为防止电压尖峰的破坏允许较低程度保护场合的设备，标识为 B 类。

17.3 试验配置和仪器

瞬态信号发生器应能够产生如图 17-1 所示的波形，典型的试验配置如图 17-2 所示。
可使用其它产生尖峰信号的方法，但波形需满足如图 17-1 的要求。

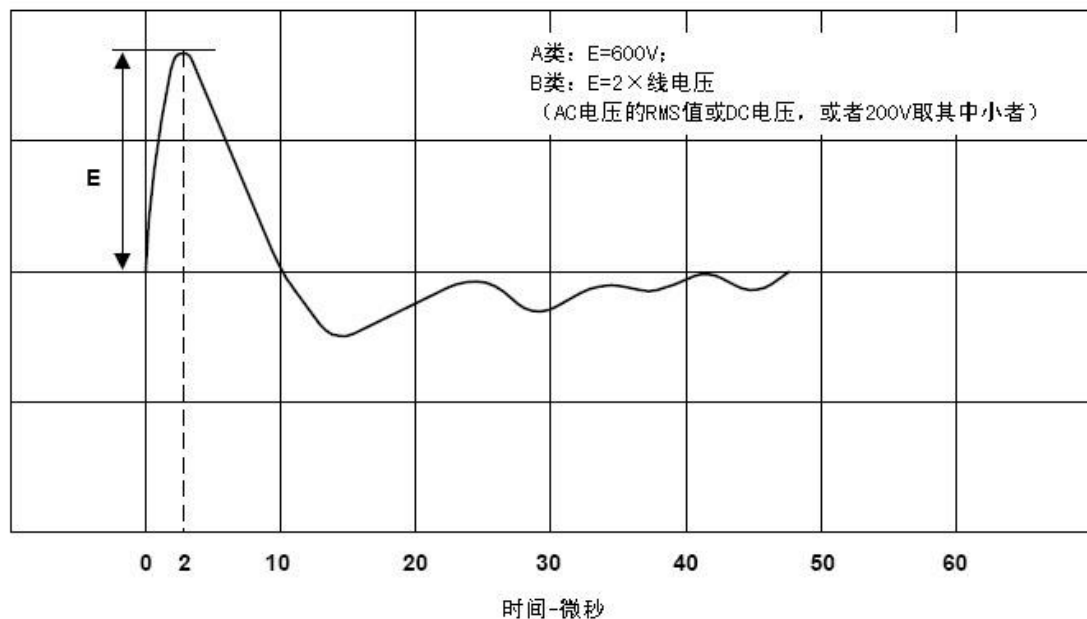
17.4 试验程序

断开受试设备，并按照图 17-1 的要求验证瞬态波形。

使受试设备在其设计电压下工作，向每个主电源的输入端施加一系列如图 17-1 所示的正、负尖峰信号。对于由同一汇流条提供多种电源供电的情况，所有连接的电源线试验应同时进行。在 1min 内施加至少 50 次正极性瞬态信号，然后在 1min 内施加至少 50 次负极性瞬态信号。施加正极性和负极性瞬态的间隔时间与试验目无关，可由试验人员决定。对受试设备的每个工作模式或功能重复上述试验。

施加电压尖峰后，确定是否符合相应设备性能规范的要求。

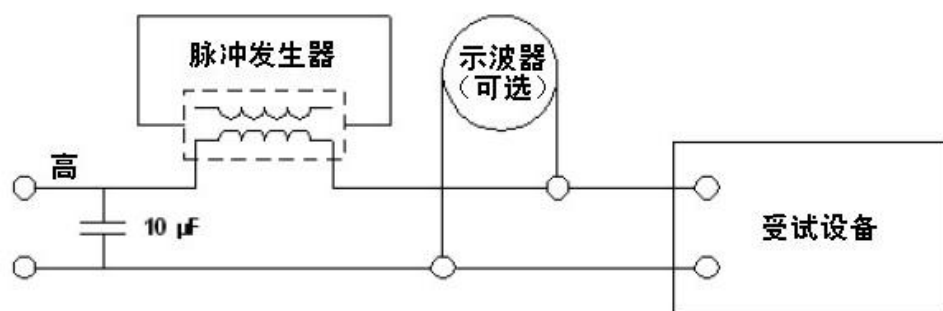
注：如果在试验期间要检查受试设备的性能，则要采用相关设备性能规范中规定的要求。



信号源的标称阻抗应为 50Ω ，且额定的电压和持续时间仅适用于开路状态，与受试设备连接后，峰值电压可能会降低。试验装置的源阻抗可用一个 $50\Omega \pm 10\%$ 的负载电阻试验验证，且负载电阻上应产生规定电压一半 $\pm 10\%$ 的电压。

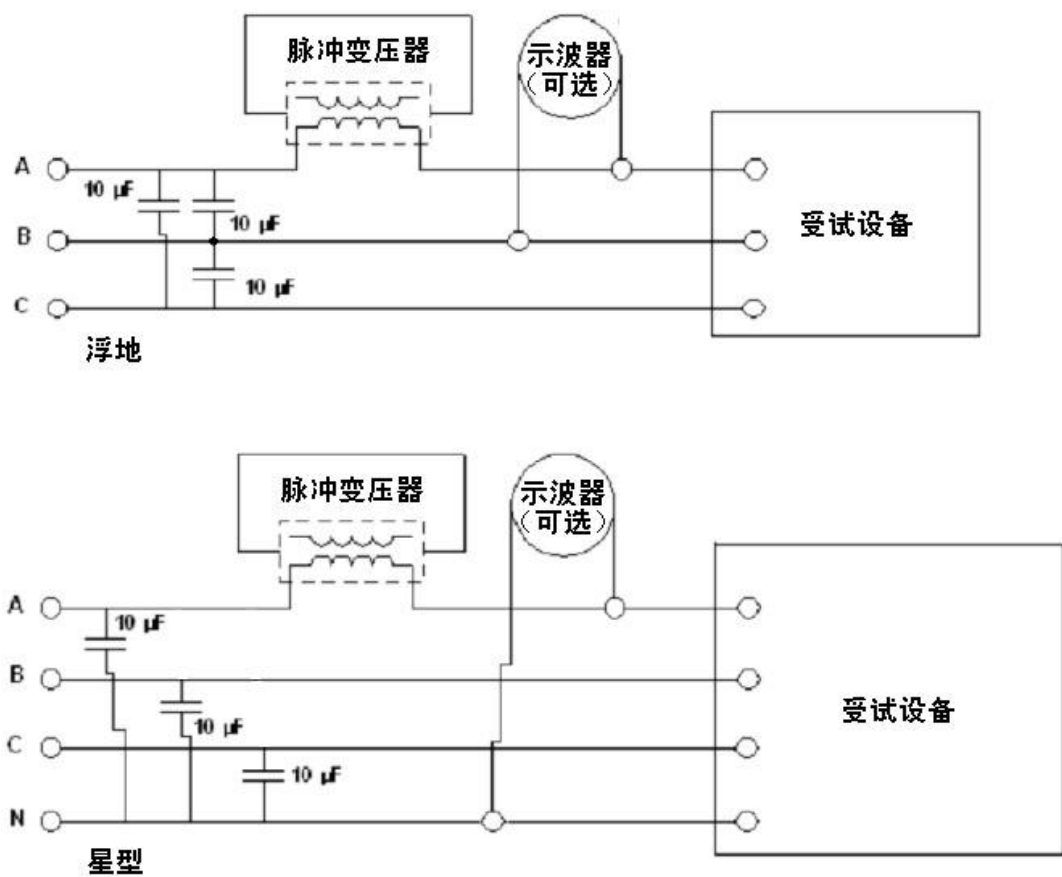
注：上面所示为典型的波形。如果波形的脉冲上升时间小于或等于 $2\mu s$ ，且总的脉冲持续时间至少为 $10\mu s$ ，则认为该波形满足试验要求。

图 17-1 电压尖峰试验波形



注：对于大电流设备，可采用其它试验方法（避免变压器饱和）

图 17-2 直流或单相交流供电设备电压尖峰试验布置



注：对于大电流设备，可采用其它试验方法（避免变压器饱和）

图 17-3 三相交流供电设备电压尖峰试验布置

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 18 部分 音频传导敏感度

重要提示

本部分信息与本标准其它部分的所有试验方法有关。
此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.08

替代：RTCA/DO-160F
起草：RTCA SC-135

目 次

18.0 电源线音频传导敏感度试验(闭环试验).....	18-1
18.1 试验目的	18-1
18.2 设备类别和频率分类	18-1
18.2.1 设备类别.....	18-1
18.3 试验程序	18-1
18.3.1 直流输入电源线.....	18-1
18.3.2 交流输入电源线.....	18-2
18.3.3 扫频速率.....	18-3
18.4 一般注意事项	18-3
图 18-1 音频传导敏感性试验配置（交流和直流电源线差模试验）	18-4
图 18-2 音频传导敏感度试验配置（270V 直流电源线共模试验）	18-4
图 18-3 28V 和 270V 直流电气系统脉动频率特性—R，K 及 Z 类.....	18-5

18.0 电源线音频传导敏感度试验(闭环试验)

18.1 试验目的

本试验用于确定设备安装在飞机上时，能否耐受通常与电源基波频率相关的预期幅度的谐波频率分量。

18.2 设备类别和频率分类

18.2.1 设备类别

设备的试验标识符组成如下：

参考类别：

- 交流设备：R（CF），R（NF）或 R（WF）
- 直流设备：R，B 或 Z

R（CF），R（NF），R（WF）和 R 类

预期使用在飞机恒频或变频交流主电源系统，或由整流变压器提供的直流电源系统中的设备，标识为：

- 交流设备：R（CF），R（NF）或 R（WF）类
- 直流设备：R 类

B 类

预期使用在由飞机发动机驱动的交流发电机/整流器或直流发电机提供，同时在直流汇流条上始终浮置一个有足够容量蓄电池的直流电源系统中的直流用电设备，将这类设备标识为 B 类。除非另有规定，14V 直流用电设备试验电平为 28V 直流用电设备的一半。

Z 类

指可使用在适用于这些标准的所有其它类型的飞机供电系统中的直流设备，将类设备标识为 Z 类。Z 类设备可以代替 R 类或 B 类设备。例如由变速发电机供电的直流系统，其中：

- a. 直流电源供电的汇流条上无浮置蓄电池，或
- b. 控制或保护设备可使蓄电池从直流汇流条上断开，或
- c. 蓄电池容量小于直流发电机容量。

K 类

指预期使用在飞机恒频或变频交流主电源系统，并且主电源电压失真度大于向 R 类设备供电的交流电源电压失真度的用电设备。

K 类设备可以代替 R 类设备。

18.3 试验程序

除非另有规定，进行以下试验期间时，应向 EUT 提供额定输入电压。

18.3.1 直流输入电源线

a. 对于 R，B 和 Z 类设备，按图 18-1 连接受试设备。受试设备工作时，在每一根不接地的直流电源输入线上依次串连施加一个正弦音频信号。保持图 18-3 或图 18-4(适用的)

中规定的信号峰-峰值，同时改变施加音频信号频率，并按 18.3.3 规定的速率进行扫频，确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式，重复该试验。

b. 对于 270V 的 Z 类设备，按图 18-1 连接受试设备，并将其负线接地。受试设备工作时，在每一根不接地的正极性直流电源输入线上依次地串连施加一个正弦音频信号。除非设备性能规范另有规定，试验中应将负线接大地。保持图 18-3 中规定的信号峰-峰值，同时改变施加音频信号频率，并按 18.3.3 规定的速率进行扫频，确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式，重复该试验。

c. 对于 270V 的 Z 类设备，按图 18-2 所示连接受试设备，对所有 270V 直流设备在所要求频段上施加共模脉动电压。（注：负线通过耦合变压器接大地）。共模测试电平为图 18-3 所示差模测试电平的两倍。按 18.3.3 规定的速率进行扫频，并确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式，重复该试验。

18.3.2 交流输入电源线

a. 对于 R (CF) 和 K 类设备

按图 18-1 连接受试设备。受试设备工作时，在每一根不接地的交流电源输入线上依次串连施加一个正弦音频信号。在 700Hz~16kHz 频率间改变施加信号的频率，同时确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式，重复该试验。

对于 **R (CF)** 类设备，保持施加正弦音频信号的有效值幅度不小于最高正常交流输入电压的 6%，并按 18.3.3 规定的速率进行扫频，同时确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式，重复该试验。

对于 **K** 类设备，在 7.6kHz 及以下频率时，保持施加信号的有效值幅度不小于最高正常输入交流电压的 8%；频率高于 7.6kHz 时，保持施加信号幅度的有效值不小于最高正常输入交流电压的 6%，并按 18.3.3 规定的速率进行扫频，同时确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式，重复该试验。

b. 对于 R (NF) 和 K 类设备

(1) 按图 18-1 所示连接受试设备，当受试设备在 360Hz+5/-0 Hz 电源频率下工作时，在每根不接地的交流电源输入线上依次串连施加一个正弦音频信号，并在 700Hz~26kHz 频率间改变施加信号的频率。

对于 **R (NF)** 类设备，保持施加正弦音频信号的有效值幅度不小于最高正常交流输入电压的 6%，并按 18.3.3 规定的速率进行扫频，同时确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式，重复该试验。

对于 **K** 类设备，在 12.4kHz 及以下频率时，保持施加信号的有效值幅度不小于最高正常输入交流电压的 8%，频率高于 12.4kHz 时，保持施加信号幅度的有效值不小于最高正常输入交流电压的 6%，并按 18.3.3 规定的速率进行扫频，同时确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式，重复该试验。

(2) 当供电电源频率为 650Hz+0/-5 Hz 时重复试验 (1)，并在 1100Hz~32kHz 频率间改变施加信号频率。

c. 对于 R (WF) 和 K 类设备

(1) 按图 18-1 所示连接受试设备, 当受试设备在 360Hz+5/-0 Hz 电源频率下工作时, 在每根不接地的交流电源输入线上依次串连施加一个正弦音频信号, 并在 700Hz~32kHz 频率间改变施加音频信号的频率。

对于 R (WF) 和 K 类设备, 在 15.2kHz 及以下频率时, 保持施加信号的有效值幅度不小于最高正常输入交流电压的 8%, 频率高于 15.2kHz 时, 保持施加信号的有效值幅度不小于最高正常输入交流电压的 6%, 并按 18.3.3 规定的速率进行扫频, 同时确定与适用的设备性能规范的符合性。按照 18.3.3 规定的受试设备所有工作模式, 重复该试验。

(2) 当供电电源频率为 800Hz+0/-5Hz 时重复试验(1), 并在 1400Hz~32kHz 频率间改变施加信号频率。

18.3.3 扫频速率

对于产生离散频率的试验设备, 每十倍频程的试验频率点数至少 30 个。试验频率点应按对数排列。例如, 用来按升序计算每十倍频程 30 个频率点的公式是:

$$f_{n+1} = f_1 * 10^{(n/30)} \pm 1\%$$

其中,

f_n 为试验频率, $n = 1 \sim m$;

f_1 为起始频率;

f_m 为终止频率;

$m = 1 + 30 * \log (f_m / f_1)$ 。

不包括试验设备设置所占用的时间, 每个试验频率点的驻留时间应至少 1min。如果最后一步计算所得的试验频率 f_{n+1} 高于 f_m , 则最大试验频率取 f_m 。

对于产生连续线性频率扫描的试验设备, 最小扫频速率 (即最快) 应为每十倍频程的离散频率点数乘以 2 倍的驻留时间。即每十倍频程 30 个离散频率点乘 2 再乘 1min 驻留时间, 等于每十倍频程 60min 的扫频速率。

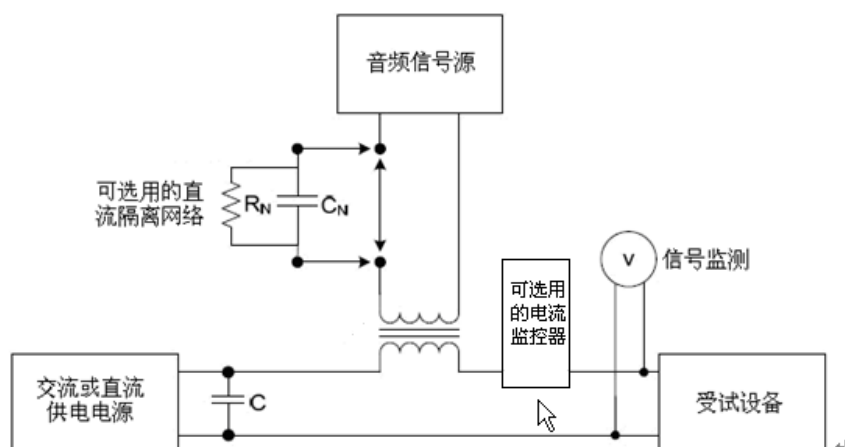
应对受试设备从主电源上获得最大稳态电流和最小稳态电流时的工作模式进行试验。如果最大稳态电流与最小稳态电流之比是 2: 1 或更小, 则只需对受试设备获得最大稳态电流时的工作模式进行试验。

18.4 一般注意事项

a. 如果试验电源线的阻抗致使需要额外的感应电流才能产生规定的音频信号电压, 如果感应电流峰-峰值达到 36A, 则充分满足试验条件。该峰-峰值电流是指除电源正常提供给 EUT 以外的电流。

b. 对于 18.3.1 所述的直流输入电源线, 需要在直流电源输出端跨接一个大电容 (100μF 或更大)。对于交流输入电源线, 需要在交流电源输出端跨接一个 10μF 电容。

c. 实际安装时并联连接至受试设备单元外部多路电源输入端的电源线应同时进行试验。



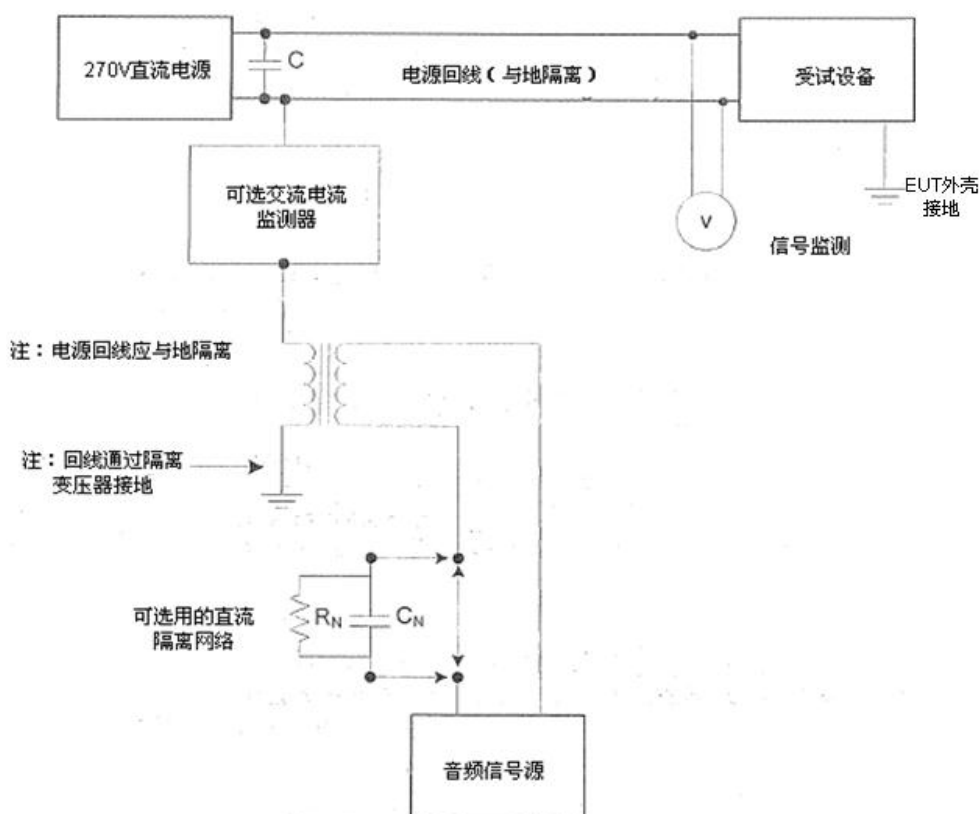
注：对于直流电源： $C \geq 100\mu\text{F}$ ；

对于交流电源： $C \geq 8\mu\text{F}$ ；

选用的直流隔离网络（ C_N 和 R_N ）应不影响需要的试验电平。

可选用的电流监控器测量音频电流的交流分量，不是 EUT 的电流。

图 18-1 音频传导敏感性试验配置（交流和直流电源线差模试验）



注：对于直流电源： $C \geq 100\mu\text{F}$ ；

选用的直流隔离网络（ C_N 和 R_N ）应不影响要求的试验电平。

图 18-2 音频传导敏感度试验配置（270V 直流电源线共模试验）

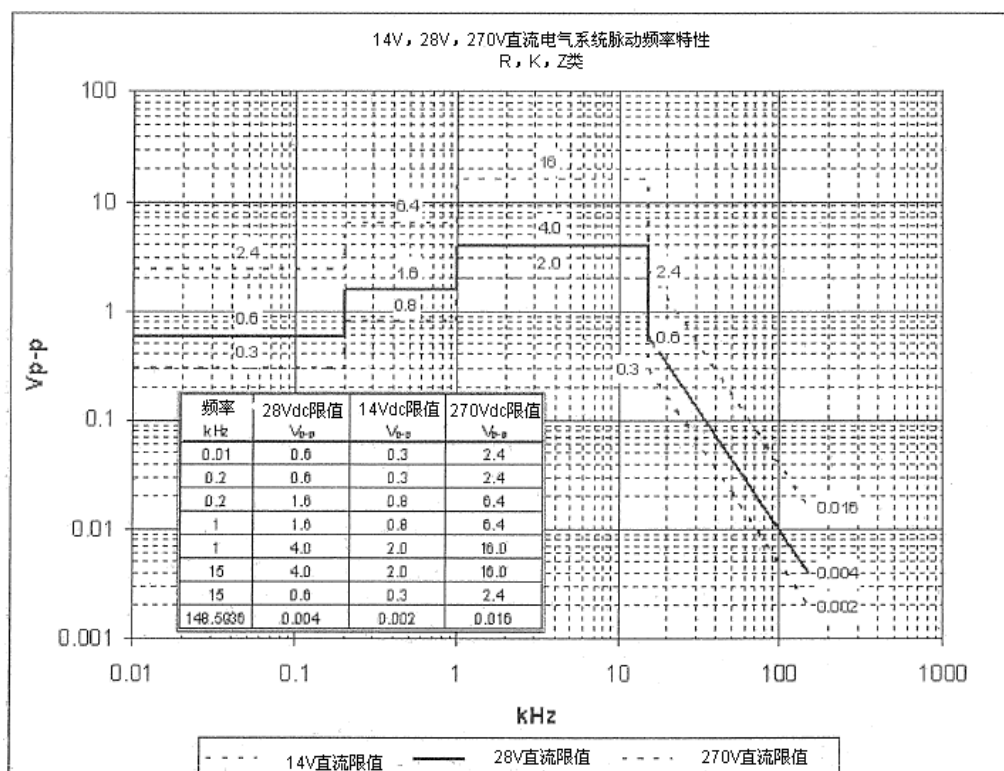


图 18-3 28V 和 270V 直流电气系统脉动频率特性—R, K 及 Z 类

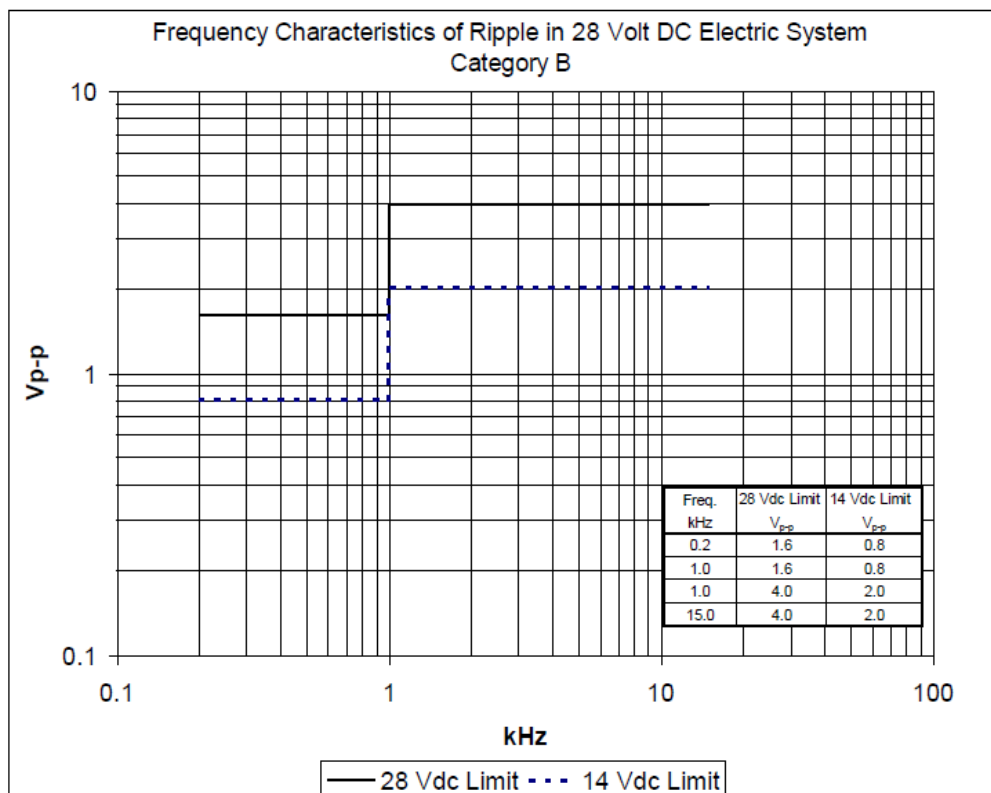


图 18-4 28V 直流电气系统脉动频率特性—B 类

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 19 部分 感应信号敏感度

重要提示

本部分所包含的信息与本文其它部分描述的所有试验方法有关。
此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.08

替代：RTCA/DO-160F
起草：RTCA SC-135

目 次

19.0 感应信号敏感度	19-1
19.1 试验目的	19-1
19.2 设备类别	19-1
19.3 试验程序	19-1
19.3.1 对设备的感应磁场	19-1
19.3.2 对设备的感应电场	19-2
19.3.3 对互连电缆的感应磁场	19-2
19.3.4 对互连电缆的感应电场	19-2
19.3.5 对互连电缆的感应尖峰	19-2
19.3.6 扫频速率	19-3
 表 19-1 不同类别设备适用的感应信号敏感度试验极限	19-4
图 19-1 (a) 音频磁场敏感度试验电平—恒频	19-5
图 19-1 (b) 音频磁场敏感度试验电平—窄频	19-6
图 19-1 (c) 音频磁场敏感度试验电平—宽频	19-6
图 19-1 (d) 音频电场敏感度试验电平—恒频	19-7
图 19-1 (e) 音频电场敏感度试验电平—窄频	19-7
图 19-1 (f) 音频电场敏感度试验电平—宽频	19-8
图 19-2 对设备的音频电场敏感度试验配置	19-8
图 19-3 音频磁场敏感度试验配置	19-9
图 19-4 音频电场敏感度试验配置	19-9
图 19-5 互连电缆尖峰试验配置	19-10
图 19-6 感应开关瞬态	19-10

19.0 感应信号敏感度

19.1 试验目的

本试验主要用于确定设备互连电路能否承受安装环境所产生的感应电压电平。本部分主要涉及的干扰信号包括由机上其它设备或系统产生并通过互连线路耦合到 EUT 内部敏感电路的电源频率及其谐波、音频信号以及电瞬态信号。在第 18 部分中已完成试验的电源线不需要进行本试验。

19.2 设备类别

感应信号敏感度试验设备类别用三个字母定义，第一个字母（C、Z、A、B）表示试验级别，第二个字母（C、N、W）表示主电源类型。第三个字母（E 或 X）表示是否做对设备的感应电场试验（19.3.2），做用 E 表示，不做用 X 表示。

C_类:

预期主要工作在干扰不可控的系统中，以及由于长的导线回路或极小的导线间距而引起严重耦合的系统中的设备为 C_类。

CC 类: 安装在飞机上，其主电源为恒频（例如：400Hz）或直流的设备。

CN 类: 安装在飞机上，其主电源频率为窄变频（例如：350Hz~650Hz）的设备。

CW 类: 安装在飞机上，其主电源频率为宽变频（例如：350Hz~800Hz）的设备。

Z_类:

预期主要工作在干扰不可控的系统中的设备为 Z_类。

ZC 类: 安装在飞机上，其主电源为恒频（例如：400Hz）或直流的设备。

ZN 类: 安装在飞机上，其主电源频率为窄变频（例如：350Hz~650Hz）的设备。

ZW 类: 安装在飞机上，其主电源频率为宽变频（例如：350Hz~800Hz）的设备。

A_类:

预期主要工作在干扰可接受的系统中的设备为 A_类。

AC 类: 安装在飞机上，其主电源为恒频（例如：400Hz）或直流的设备。

AN 类: 安装在飞机上，其主电源频率为窄变频（例如：350Hz~650Hz）的设备。

AW 类: 安装在飞机上，其主电源频率为宽变频（例如：350Hz~800Hz）的设备。

B_类:

预期主要工作在干扰电平能够控制在允许范围内的系统中的设备为 B_类。

BC 类: 安装在飞机上，其主电源为恒频（例如：400Hz）或直流的设备。

BN 类: 安装在飞机上，其主电源频率为窄变频（例如：350Hz~650Hz）的设备。

BW 类: 安装在飞机上，其主电源频率为宽变频（例如：350Hz~800Hz）的设备。

19.3 试验程序

19.3.1 对设备的感应磁场

将受试设备置于表 19-1 中规定电流产生的音频磁场中，直导线辐射器位于受试设备部件周围 0.15m 范围内。确定与适用的设备性能规范的符合性。

试验期间，辐射器应根据每个受试部件的各个外表面来定位，以产生最大干扰。辐射器

的长度应保证超出每个受试部件两端至少 0.6m。向辐射器提供电流的引线应放置在距离受试设备的任何部分和辐射器本身至少 0.6m 处。受试设备的所有单元均应单独进行试验。磁场源的供电电源不应与设备的供电电源同步。试验期间，水平放置导线，并扫描 EUT 的前面，跨过顶部和底部到 EUT 的后面。旋转辐射导线或 EUT 90 度，并扫描 EUT 的左面（或右面），跨过顶部和底部到 EUT 的右面（或左面）。允许增加辐射导线/EUT 的方向。目标是试验涵盖设备壳体的四个侧面和顶部。扫描速率应低于系统响应时间。

19.3.2 对设备的感应电场

将受试设备置于 170Vrms、0.20m 长的直导线辐射器产生的音频电场中，直导线辐射器位于受试设备单元边缘 0.01m 范围内。适用的试验频率和电平见表 19-1。确定与适用的设备性能规范的符合性。

试验期间，辐射器应根据每个受试部件的各个外表面来定位，以产生最大干扰，试验配置见图 19-2。向辐射器提供电压信号的引线应放置在距离受试设备的任何部分和辐射器本身至少 0.6m 处。受试设备的所有单元均应单独进行试验。电场源的供电电源不应与设备的供电电源同步。

试验期间，水平放置导线，并扫描 EUT 的前面，跨过顶部和底部到 EUT 的后面。旋转辐射导线或 EUT 90 度，并扫描 EUT 的左面（或右面），跨过顶部和底部到 EUT 的右面（或左面）。目标是试验涵盖设备壳体的四个侧面和顶部。扫描速率应低于系统响应时间。

辐射电线应安装人员防护电阻。

注：电场试验仅适用于预期安装中无外部金属壳体的设备，或由非导电材料覆盖的设备。

19.3.3 对互连电缆的感应磁场

按图 19-3 所示，将受试设备的互连电缆束置于音频磁场中。当场强达到表 19-1 规定的值时，确定与适用的设备性能规范的符合性。

试验期间，所有设备互连电缆束均应按适用的安装和接口控制图进行布置。应充分模拟与受试设备有关的其它设备的所有输入输出情况。磁场源的供电电源不应与设备的供电电源同步。扫频速率和驻留时间应与 19.3.6 所述一致。

19.3.4 对互连电缆的感应电场

按图 19-4 所示，将受试设备的互连电缆束置于音频电场中。当场强达到表 19-1 规定的值时，确定与适用的设备性能规范的符合性。

试验期间，所有设备的互连电缆束均应按使用的安装和接口控制图进行布置。只有在设备制造厂商规定的位置才可使用屏蔽线或双绞线。应充分模拟与受试设备有关的其它设备的所有输入输出情况。电场源的供电电源不应与设备的供电电源同步。扫频速率和驻留时间应与 19.3.6 所述一致。

注：本试验要求将辐射导线螺旋缠绕在试验线束上。辐射导线应按试验线束每 m 线束缠绕 3 匝，缠满图 19-4 规定的整个长度 L。

19.3.5 对互连电缆的感应尖峰

试验期间，所有设备的互连电缆束均应按适用的安装和接口控制图进行布置。只有在设备制造厂商规定的位置才能采用屏蔽线或双绞线。应充分模拟与受试设备有关的其它设备的

所有输入输出情况。

将受试设备的互连电缆束置于能产生正极和负极的瞬态场中,使用的试验设置如图 19-5。表 19-1 规定了 19.2 中各种类别设备试验电缆长度。图 19-5 中的计时器应调整至使其产生 8~10 次/秒的脉冲重复率。图 19-5 中 A 点产生的波形应与图 19-6 中规定的类似。施加的正负极性的瞬变脉冲信号每一极性一个周期的持续时间均应不少于 2min, 如果相应的设备规范中有规定, 时间可以更长。

注: 本试验要求将辐射导线螺旋缠绕在试验线束上。辐射导线应按试验线束每 m 线束缠绕 3 匝, 缠满图 19-5 规定的整个长度 L。

试验结束后, 确定与适用的设备性能规范的符合性。试验中设备的性能要求应在产品性能规范中予以规定。

监测图 19-5 中的 A 点时, 触点断开时产生的开关瞬态感应信号应与图 19-6 所示的波形近似。当触点断开时, A 点的电压大约在 2μs 的时间从+28V/DC 突变到最大负极性电压。

(在这段时间线圈绕组之间的电容, 典型情况下为 250pF~3000pF, 被反向充电)。当电压达到电离电位时, 触点处出现电弧放电, 触点处的电压会通过电离通道很快升向+28V(直流)。由于 A 点与线圈之间的导线电感, A 点的电压往往会超过+28V(直流)。此时电弧放电消失, 该循环继续重复。一般情况下, 重复周期为 0.2μs~10μs, 重复次数一般为 5~1000 次, 直到感性负载的能量 ($E = 1/2 LI^2$) 完全消耗。

19.3.6 扫频速率

对于产生离散频率的试验设备, 试验频率的数量每十倍程应至少有 30 个, 试验频率应是对数分布的。例如, 用来按升序计算每十倍频程 30 个频率点的公式为:

$$f_{n+1}=f_n \times 10^{(1/30)}$$

其中:

f_n 为试验频率, $n=1\sim m$;

f_1 为起始试验频率;

f_m 为终止试验频率;

$m=1+30 \times \log (f_m/f_1)$

不包括测试设备设置时间, 每个试验频率的驻留时间至少为 10s, 如果最后一步 f_{n+1} 产生的频率大于 f_m , 则设置为 f_m 。

对于产生连续频率扫描的试验设备, 最小(最快)的扫频时间应为每十倍程的离散频率数乘以驻留时间, 即每十倍程里的 30 个离散频率乘以 10s 的驻留时间等于 5min。

表 19-1 不同类别设备适用的感应信号敏感度试验极限

章节	试验	ZC 类	AC 类	BC 类	CC 类
19.3.1	对设备的感应磁场	20A _{rms} (400Hz)	20A _{rms} (400Hz)	20A _{rms} (400Hz)	20A _{rms} (400Hz)
19.3.2	对设备的感应电场	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)
19.3.3	对互连电缆的感应磁场	I×L=30 A•m (400Hz) 降至 0.8 A•m (15kHz)	I×L=18A•m (380Hz~420Hz)	不适用	I×L=120A•m (380Hz~420Hz) ; 60A•m (400Hz) 降至 1.6 A•m (15kHz)
19.3.4	对互连电缆的感应电场	V×L=1800V•m (380Hz~420Hz)	V×L=360V•m (380Hz~420Hz)	不适用	V×L=5400V•m (380Hz~420Hz) ; 5400V•m (400Hz) 降至 135V•m (15kHz)
19.3.5	对互连电缆的感应尖峰	图 19-4 L=3.0m	图 19-4 L=3.0m	图 19-4 L=1.2m	图 19-4 L=3.0m

表 19-1 不同类别设备适用的感应信号敏感度试验极限 (续)

章节	试验	ZN 类	AN 类	BN 类	CN 类
19.3.1	对设备的感应磁场	20A _{rms} (350Hz、650Hz)	20A _{rms} (350Hz、650Hz)	20A _{rms} (350Hz、650Hz)	20A _{rms} (350Hz、650Hz)
19.3.2	对设备的感应电场	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)
19.3.3	对互连电缆的感应磁场	I×L=30A•m (350Hz~650Hz) 降至 0.8A•m (26kHz)	I×L=18A•m (350Hz~650Hz)	不适用	I×L=120A•m (350Hz~650Hz) 降至 1.6A•m (26kHz)
19.3.4	对互连电缆的感应电场	V×L=1800V•m (350Hz~650Hz)	V×L=360V•m (350Hz~650Hz)	不适用	V×L=5400V•m (350Hz~650Hz) 降至 135V•m (26kHz)
19.3.5	对互连电缆的感应尖峰	图 19-4 L=3.0m	图 19-4 L=3.0m	图 19-4 L=1.2m	图 19-4 L=3.0m

表 19-1 不同类别设备适用的感应信号敏感度试验极限（续）

章节	试验	ZW 类	AW 类	BW 类	CW 类
19.3.1	对设备的感应磁场	20A _{rms} (350Hz、800Hz)	20A _{rms} (350Hz、800Hz)	20A _{rms} (350Hz、800Hz)	20A _{rms} (350Hz、800Hz)
19.3.2	对设备的感应电场	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)	170V _{rms} (400Hz)
19.3.3	对互连电缆的感应磁场	I×L=30A·m (350Hz~800Hz) 降至 0.8A·m (32kHz)	I×L=18A·m (350Hz~800Hz)	不适用	I×L=120A·m (350Hz~800Hz) 降至 1.6A·m (32kHz)
19.3.4	对互连电缆的感应电场	V×L=1800V·m (350Hz~800Hz)	V×L=360V·m (350Hz~800Hz)	不适用	V×L=5400V·m (350Hz~800Hz) 降至 135V·m (32kHz)
19.3.5	对互连电缆的感应尖峰	图 19-4 L=3.0m	图 19-4 L=3.0m	图 19-4 L=1.2m	图 19-4 L=3.0m

注：当安装手册和接口控制图或方案中规定电缆的长度小于 3.3m 时，相应的场源线耦合长度（L）应减少至保持两端至少 0.15m 的间隔距离。试验的级别可相应调整为缩减长度与指定长度（L=3.3-（2×0.15）=3.0m）的比值。例如，规定电缆最长为 1.8m，则 L=1.5m。调整级别为（1.5/3.0）=0.5 倍的以上所示电压或电流。当规定电缆的长度小于 1.5m（L 小于 1.2m）时，本试验不做要求。

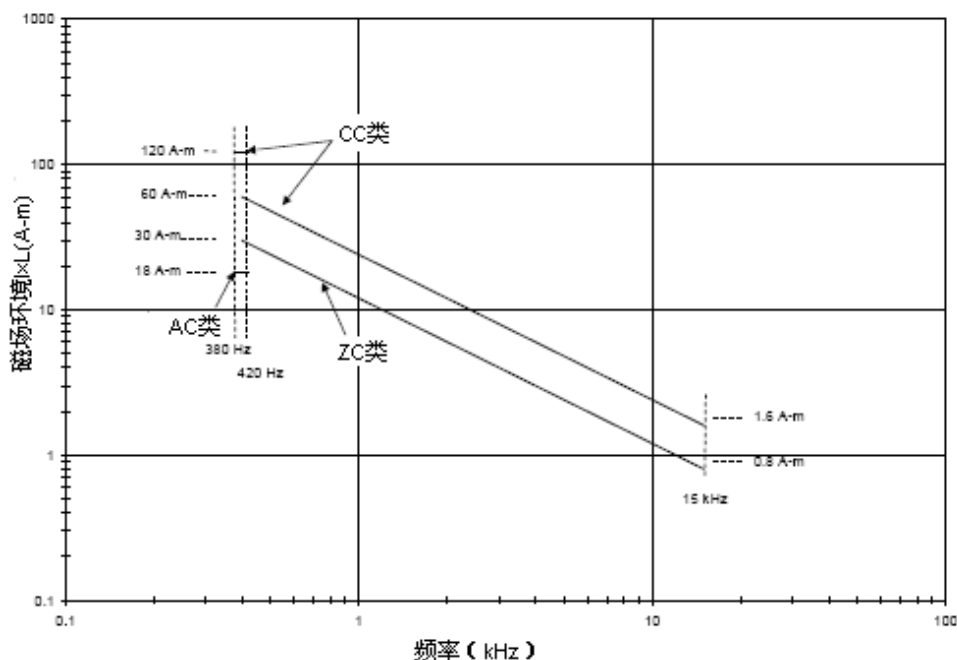


图 19-1 (a) 音频磁场敏感度试验电平—恒频

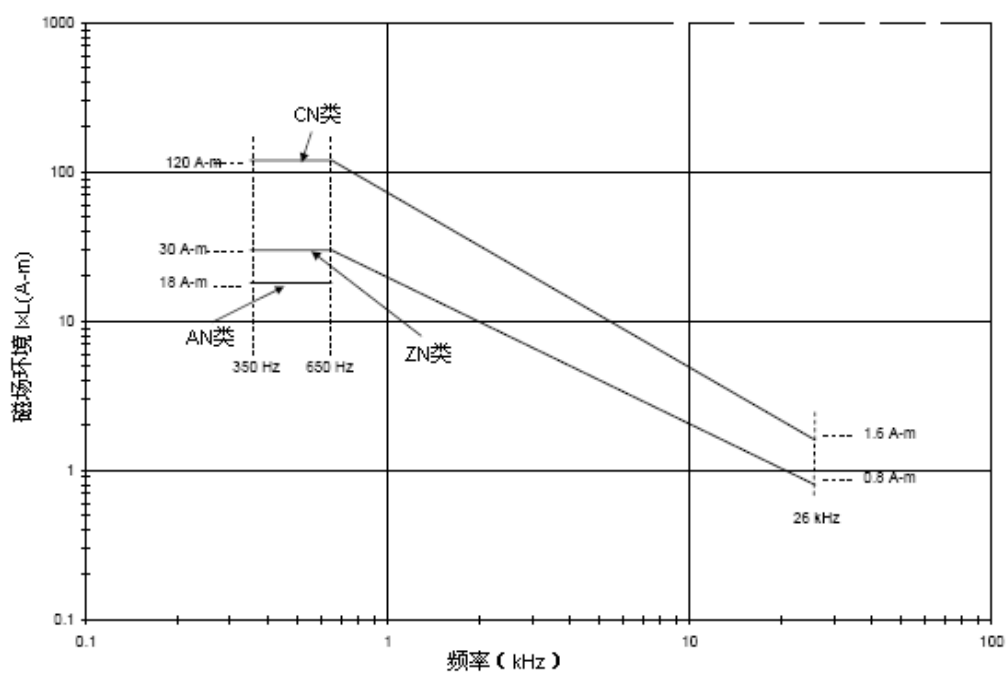


图 19-1 (b) 音频磁场敏感度试验电平—窄频

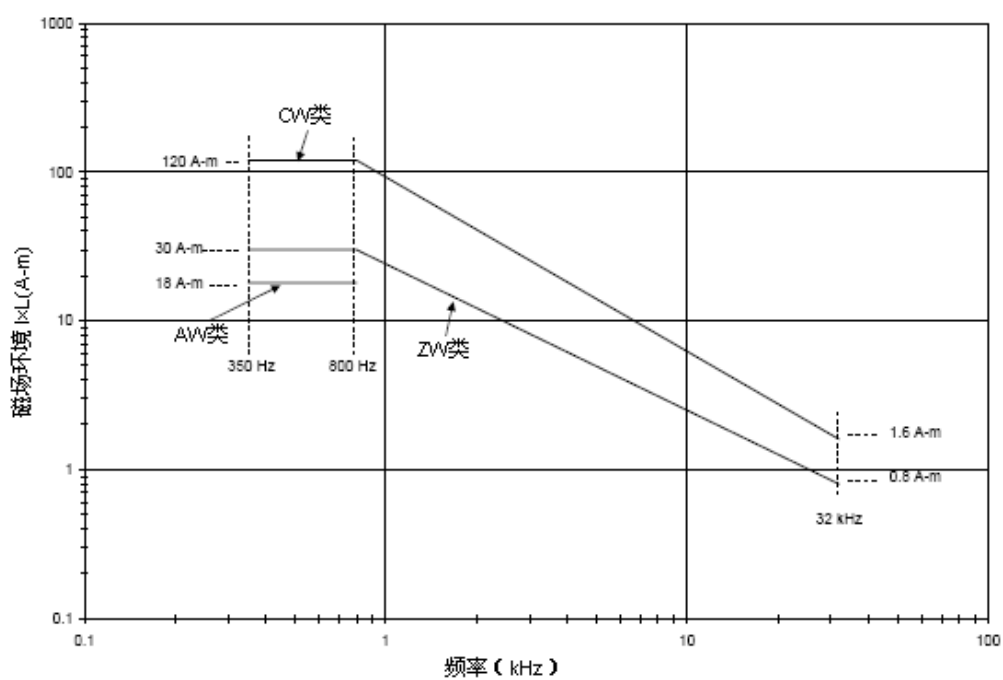


图 19-1 (c) 音频磁场敏感度试验电平—宽频

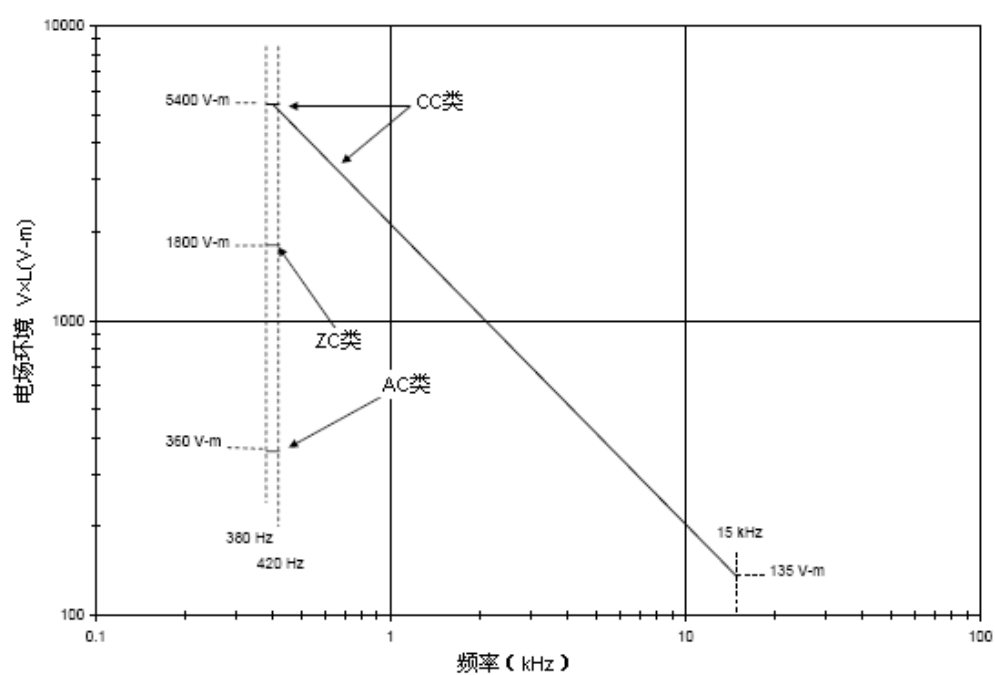


图 19-1 (d) 音频电场敏感度试验电平—恒频

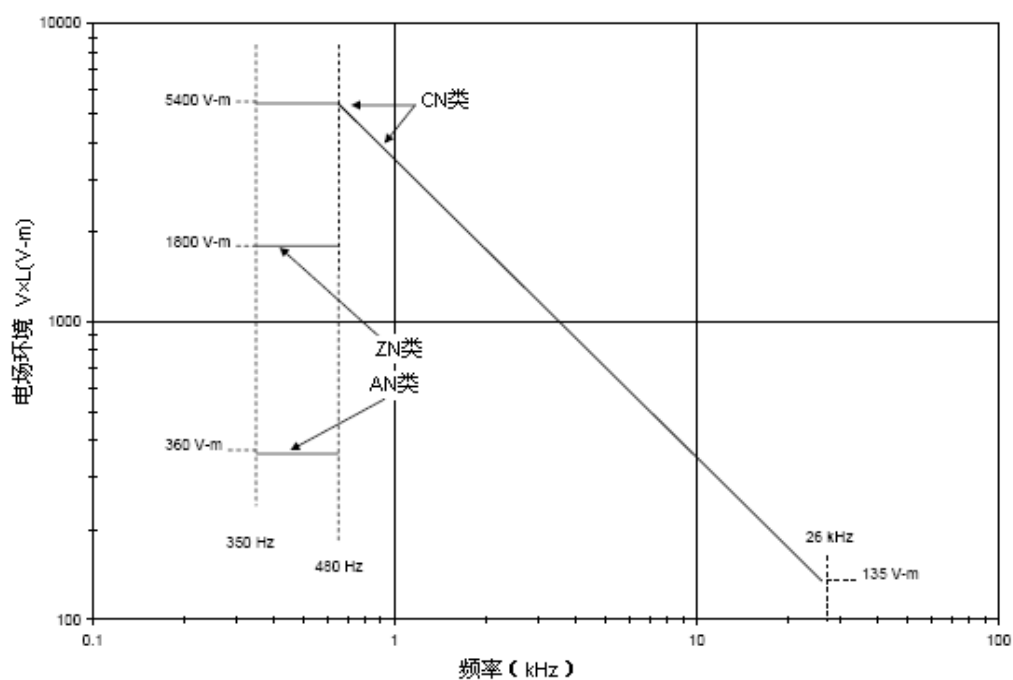


图 19-1 (e) 音频电场敏感度试验电平—窄频

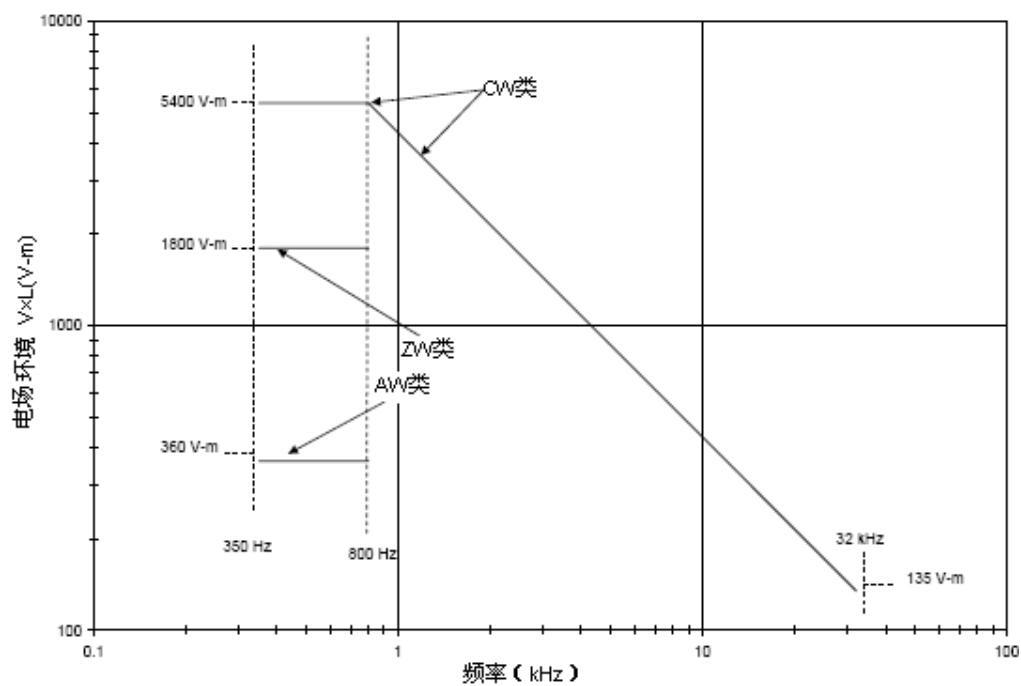


图 19-1 (f) 音频电场敏感度试验电平—宽频

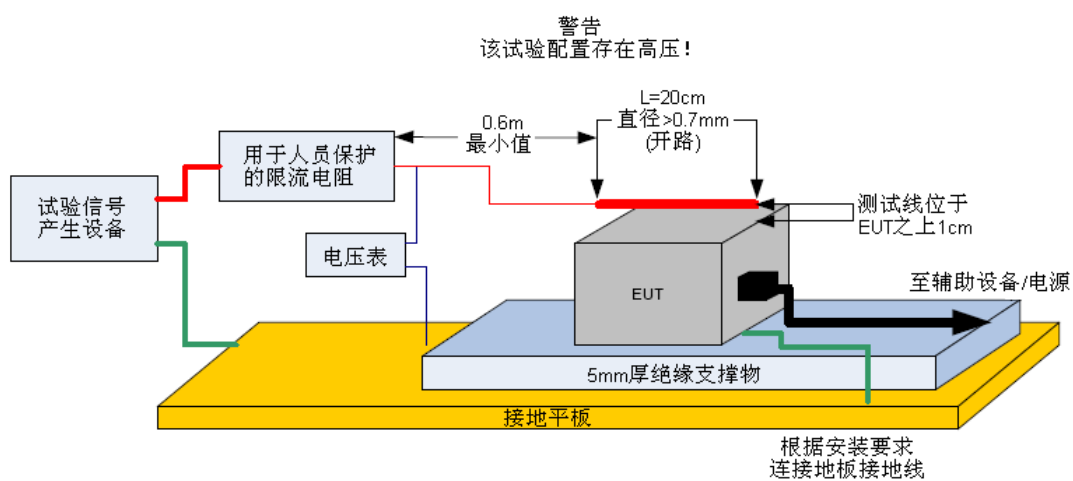
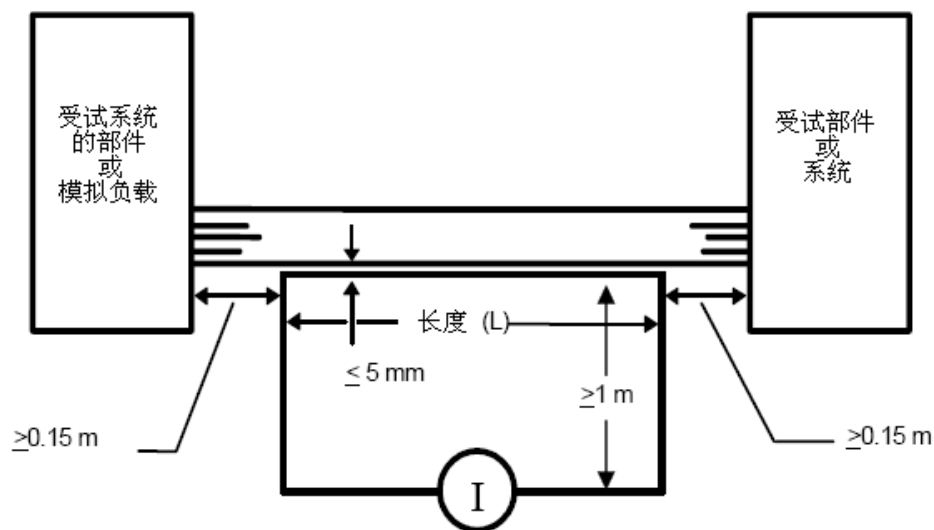


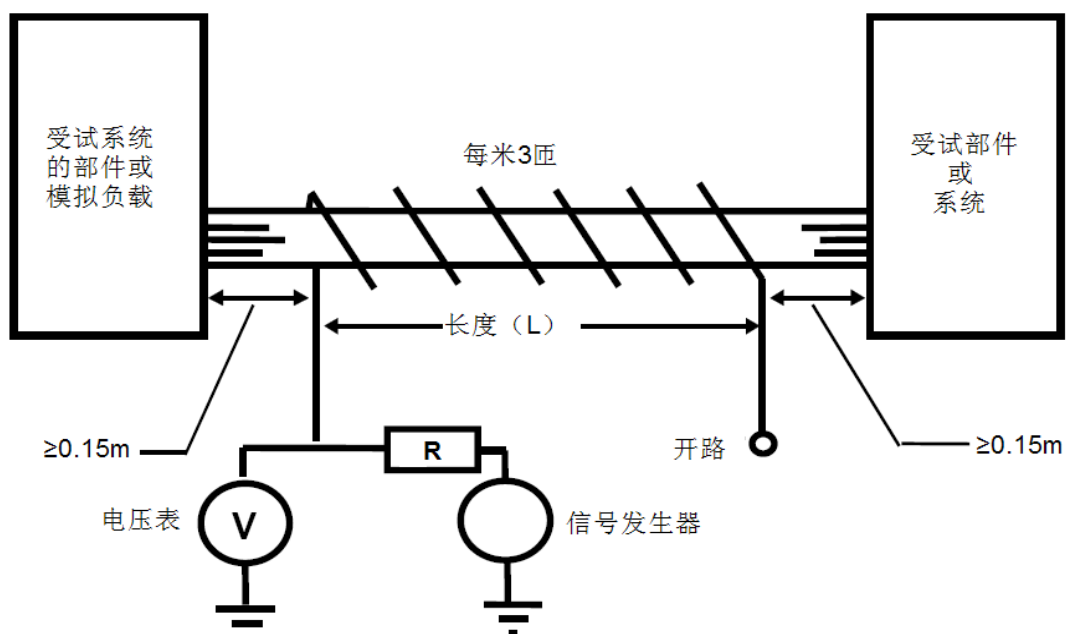
图 19-2 对设备的音频电场敏感度试验配置



注 1: 互连电缆束应放置在接地平板上方至少 50mm;

注 2: 磁场环境=电流 (I) $\times$ 长度 (L) ($A_{\text{rms}} \times \text{m}$)。

图 19-3 音频磁场敏感度试验配置

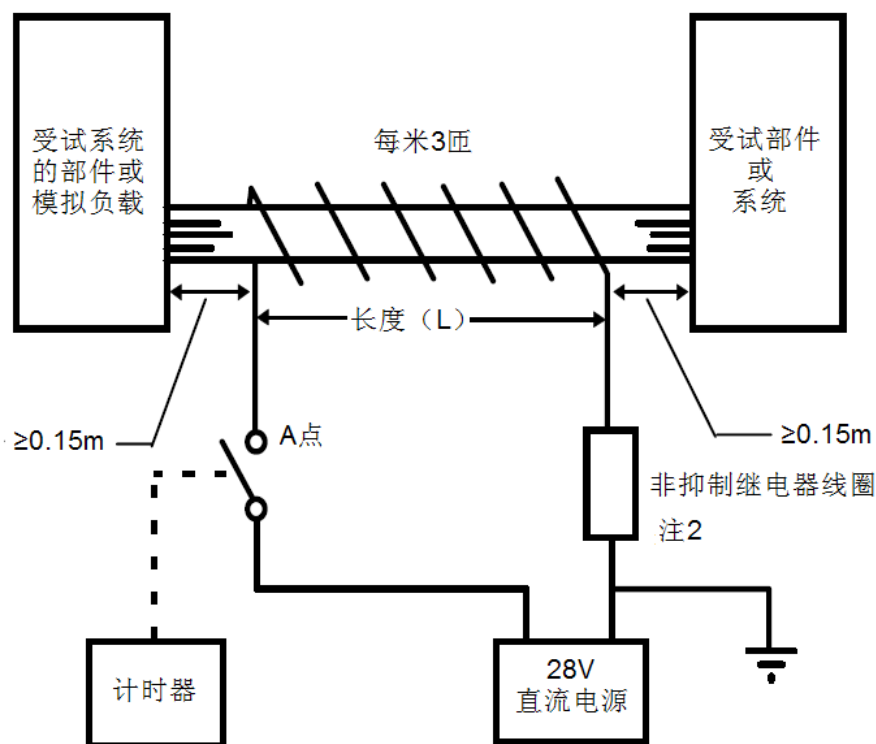


注 1: 互连电缆束应放置在接地平板上方至少 50mm 处;

注 2: 电场强度=电压 (V) $\times$ 长度 (L) ($V_{\text{rms}} \times \text{m}$);

注 3: 电阻 R 用于人员的高压保护。

图 19-4 音频电场敏感度试验配置



注 1: 互连电缆束应放置在接地平板上方至少 50mm 处。

注 2: 非抑制继电器线圈特性如下:

电压 $V = 28\text{Vdc}$

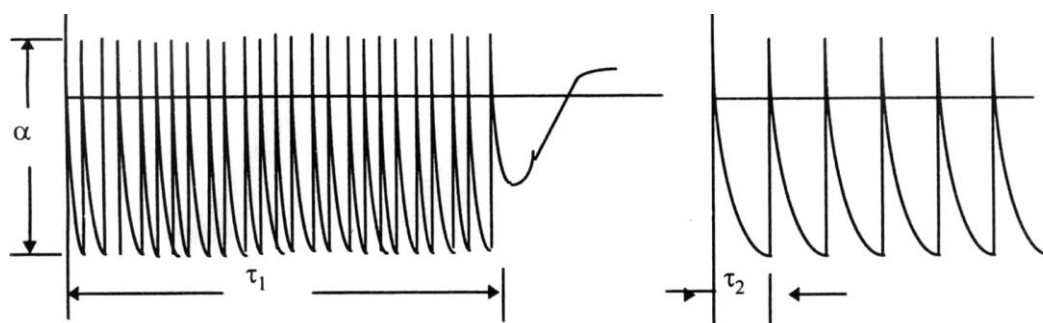
电流 $I = 160\text{mA}$

电阻 $R = 175\ \Omega \pm 10\%$

电感 $L = 1.5\text{H} \pm 10\%$ (在施压状态下)

注 3: 带极性转换开关的不接地 28V 直流电源。

图 19-5 互连电缆尖峰试验配置



α 幅度 $\geq 600\text{Vp-p}$

τ_1 总持续时间为 $50\mu\text{s} \sim 1000\mu\text{s}$

τ_2 重复周期为 $0.2\mu\text{s} \sim 10\mu\text{s}$

注: 电压波形的测量应在图 19-4 中的 A 点和接地平板之间。试验会产生脉冲幅度可变的尖峰。有些尖峰可能低于 600Vp-p 电平。

图 19-6 感应开关瞬态

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 20 部分 射频敏感度 (辐射和传导)

重要提示

本部分信息与本标准其它部分的所有试验程序有关。
此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.08

替代：RTCA/DO-160F
起草：RTCA SC-135

目 次

20.0 射频敏感度（辐射和传导）	20-1
20.1 试验目的.....	20-1
20.2 设备分类.....	20-1
20.3 一般试验要求.....	20-2
20.4 传导敏感度（CS）试验.....	20-5
20.5 辐射敏感度（RS）试验—暗室法.....	20-6
20.6 辐射敏感度（RS）试验，替代方法—混响室法.....	20-8
20.6.1 适用范围/目的.....	20-8
20.6.2 程序.....	20-8
20.6.3 校准：混响室场均匀性和负载确认.....	20-10
20.6.3.1 场均匀性确认	20-10
20.6.3.2 混响室时间常数校准.....	20-13
 表 20-1 垂直入射的射频吸收性能	20-14
表 20-2 传导敏感度试验电平和分类	20-14
表 20-3 辐射敏感度试验电平和分类	20-14
表 20-4 混响室试验准则	20-15
图 20-1 线路阻抗稳定网络（LISN）输入阻抗.....	20-15
图 20-2 辐射敏感度试验设置	20-16
图 20-3 注入探头插入损耗极限	20-17
图 20-4 注入探头插入损耗测试配置	20-17
图 20-5 幅度测量	20-18
图 20-6 传导敏感度试验电平	20-19
图 20-7 传导敏感度校准配置	20-19
图 20-9 传导敏感度试验布置	20-20
图 20-10(a 和 b) 辐射敏感度试验电平.....	20-21
图 20-10(c 和 d) 辐射敏感度试验电平.....	20-22
图 20-11 场均匀性测试允许的标准偏差	20-23
图 20-12 混响室校准的探头位置	20-24
图 20-13 混响室试验装置配置实例	20-25

20.0 射频敏感度（辐射和传导）

20.1 试验目的

本试验用于确定设备及其互连线缆暴露于由射频场辐射或通过注入探头感应到电源线和接口电路引线所形成的射频调制功率电平时，是否可以在其性能规范内正常工作。

该试验采用两种试验方法：1）10kHz~400MHz，使受试设备（EUT）承受耦合的射频信号，射频信号通过探头注入的方法耦合到其电缆束；2）100MHz 至上限频率极限，使受试设备（EUT）承受射频辐射场。100MHz~400MHz 为有意重叠试验频段。

100MHz~18GHz 辐射敏感度试验可按 20.5（暗室法）或 20.6（混响室法）中描述的方法和内容进行。两种方法可任选。

对于有特殊信号、频率、调制或带通特性的设备可按照适用的性能规范的要求对试验进行调整。

试验结果可用于：

- a) 确定设备对不同射频威胁（如 HIRF，T-PEDs）和已安装系统发射的响应；
- b) 允许按规定分类，以确定设备射频传导和辐射试验电平。

这些试验足以获得设备的射频敏感度环境资质认证。为了验证系统在飞机上的安装情况，可能需要按照系统要完成的功能进行一些附加试验。

20.2 设备分类

设备类别指定射频试验的电平，并确定 EUT 的最小射频敏感度电平。设备的类别可在相应的设备性能规范中给定。

系统或设备类别的选择常常须在飞机内部射频环境未知的情况下进行，而且很多系统或设备的设计目的是要安装在不同类型的飞机上，因此如果设备规范中未标明设备的类别，设备制造商应按照与设备的安装位置、暴露状态和使用情况一致的设备类别进行设计、试验和鉴定。

设备类别标识由两个符号组成，第一个类别符号表示传导敏感度试验电平，第二个类别符号表示辐射敏感度试验电平。

为帮助设备制造商选择设备及其互连电缆的试验极限，设备类别定义如下。相关的描述仅作为指导，应根据设备的安装位置、互连电缆预期的暴露状态/安装位置，以及飞机的尺寸和结构来确定其试验电平。

B、D、F、G、L、M 和 O 类规定的试验电平适用于与外部高强辐射场（HIRF）环境直接相关，且 HIRF 规章中规定的最高关键等级的系统。

R 类规定的试验电平适用于：

- a) 试验台试验可以满足系统 HIRF 要求，且 HIRF 规章中规定的高关键等级的系统。
- b) 验证具有发射功能的便携式电子设备（T-PED）的耐受性。

S 类规定的最小试验电平适用于飞机上受外部电磁环境影响较小的区域，以及希望但不要求没有干扰的区域。该类别也可代表由飞机设备产生的内部 EMI 环境。

T 类规定的设备试验电平适用于试验台试验可以满足系统 HIRF 规章中规定的中等关键等级的 HIRF 要求。该类别也可代表由飞机设备产生的内部 EMI 环境。

W 类和 Y 类规定的试验电平适用于：

- a) 试验台试验能够符合 HIRF 特殊条件。

b) 验证具有发射功能的便携式电子设备的耐受性。

Q 类表示试验不以本部分规定的试验极限或调制方式进行。

20.3 一般试验要求

a. 受试设备 (EUT)

EUT 应布置在接地平板上（试验台），配置应符合以下准则：

(1) 接地平板—应采用紫铜、黄铜或铝制的接地平板。紫铜和铝制接地平板厚度至少 0.25mm，黄铜接地平板厚度至少 0.5mm。接地平板深度（前后）最小为 0.75m，面积不小于 2.5m²。当使用屏蔽室时，应将接地平板与屏蔽室壳体进行搭接，搭接点的间隔应不大于 1m，接地平板的两端也要进行搭接。推荐的直流搭接电阻应不超过 2.5mΩ。

(2) 冲击和振动隔离装置—如果设备制造商有规定，应将 EUT 紧固在带有冲击振动隔离装置的安装基座上，并将安装基座上的搭接条连接到接地平板。当安装基座无搭接条时，试验配置中不应使用搭接条。

(3) 电搭接—仅在 EUT 设计和安装说明中有规定（如屏蔽体、安装基座和接地平板的搭接）时才能使用电搭接。

设备、连接器和电缆束的电搭接应能够代表相关安装和接口控制图规定的飞机上的实际安装状态。试验报告中应描述所采用的搭接方法。

(4) 外部接地端子—当 EUT 外部有接地端子时，应将外部接地端子连接到接地平板，以确保试验期间的安全操作条件。应采用安装说明中规定的接地线长度，如果没有规定长度，可使用约 30cm 长的典型导线。

(5) 互连线/电缆—EUT 所有互连导线（如屏蔽导线、双绞线等）、电缆束和射频传输线应与相关的安装和接口控制图状态一致。

电缆束应以类似于飞机上安装的方式捆扎，除非飞机安装要求中规定了更高的高度（需记录在试验报告中），应将电缆束最低点支撑在接地平板上方 50mm 处，支撑材料必须是非吸收性、非导电性和非反射性的。对于复杂电缆束的布置，所有电缆束和互连负载应尽可能按实际状态相互分开，以使电缆之间的耦合效应降到最低。除非飞机安装规范中另有规定，互连电缆可按与电源线相同的方向沿试验台边缘布设，并尽可能保持相互分开，以减小电缆间的耦合和阴影效应。

除非另有规定，电缆长度至少应为 3.3m。当互连电缆束的长度大于试验台的长度时，多余长度的互连电缆束应按 Z 字形布置在试验台的后方，并支撑在接地平板上方约 50mm 高处。EUT 的引出电缆应至少有 1m 的长度布置在距离试验台前方边缘 10cm 处，并平行于试验台前沿，如图 20-2 和图 20-9 所示。对复杂的电缆束，第一根分离的电缆束边缘应距离试验台前沿 10cm。靠近 EUT 的电缆弯曲部位不应超出接地平板边缘。可通过移动 EUT 与试验台边缘的距离以适应电缆最小弯曲半径。天线与 EUT 之间应保持图 20-2 所示的距离。

某些特殊设备可能需要使用试验台无法容纳的非常长的电缆束，这种情况下，推荐使用的互连电缆束最大长度为 15m。当电缆束长度用于匹配或为相位匹配或类似原因规定的特殊长度时不受此限制。

EUT 与相关的其它设备或负载之间任何用于输入或输出的电缆应采用设备在实际使用中的电缆类型或模拟实际的状态，并考虑与频率相关的线-线和线-地阻抗。

(6) 电源线—对于电缆束试验，通常与控制线/信号线绑扎在一起的电源线及回线应保留在电缆束中，直到电缆束出了测试区域后方可将电源线和回线分离出来，然后将其连接到线路阻抗

稳定网络（LISN）。

当飞机电缆束的实际配置不详，或当电源线和/或回线与控制线/信号线分开走线时，应在靠近 EUT 连接器处将电源线和/或回线从电缆束中分离出来，然后分别接至 LISN。在这种情况下，除非在设备说明书中另有规定，电源线到 LISN 的长度应为 $1\text{m} \pm 10\text{cm}$ 。除非飞机安装说明中另有规定，电源线应按与互连电缆相同的方向沿试验台边缘布设，并尽可能相互分开，以尽量减小电缆间的耦合和阴影效应。

当电源回线为本地地时（长度小于 1m），可将其直接接至试验台的地，并应符合相关的安装和接口控制图表的要求。

（7）假天线或负载—为了进行试验，天线电缆可端接与电缆特性阻抗等效的负载或仿真天线。如果使用仿真天线，应对其进行屏蔽，并使仿真天线能充分模拟实际使用的天线电特性。仿真天线还应包括实际天线中通常使用的电器部件，例如滤波器、晶体二极管、同步器和电动机。

b. 屏蔽室和试验设备

屏蔽室、试验设备和仪器应按以下准则设置和运行：

（1）试验设备的搭接—应对试验设备进行接地和搭接，以减小地环路，确保人员安全。

（2）线路阻抗稳定网络（LISN）—EUT 的每一根主电源线均应接入 LISN，在飞机安装中就近接地的电源回线不要求接入 LISN。LISN 的外壳应搭接到接地平板上。当使用自谐振频率 10kHz 以上的 LISN（例如标准 $5\mu\text{H}$ 的 LISN）时，试验时应在 LISN 的每个电源输入端与接地平板之间应接入 $10\mu\text{F}$ 电容。在所有试验中，LISN 的射频测量端口应端接 50Ω 电阻。LISN 的输入阻抗特性见图 20-1。

（3）屏蔽室中天线的方位—偶极子天线、双锥天线和喇叭天线的中心位置应比接地板平面高出 0.3m，并且平行于接地平板，如图 20-2 所示。如果使用的发射天线为锥形喇叭天线（如标准增益喇叭或类似的辐射器）当天线尺寸较小且关注频率较高时，允许天线靠近 EUT，使其小于图 20-2 所示的 1m 距离。但是，仅当天线的远场边界在 1m 距离以内时才可以这样做。发射天线相对于 EUT 的位置必须保持等于或大于发射喇叭天线的远场边界。允许移动天线使其与 EUT 的距离大于 1m。

如果发射天线远场边界小于或等于 1m，也允许移动天线使其与 EUT 的距离大于 1m，但必需保持 EUT 上的场强不变。使发射天线远离 EUT 可增大照射区域，减少大型 EUT 配置所需要的天线位置的数量。

注：天线的远场边界用以下公式计算：

$$x = \frac{2D^2}{\lambda}$$

式中：

x=远场边界距离，m；

D=天线最大发射口径的尺寸，m；

λ =关注频率的波长，m。

注：天线远场边界小于 1m 的很少，仅当使用很小的天线，频率在 8GHz 以上时才可能存在。

当天线的波束宽度不能完全覆盖受试系统时，应进行多区域扫描。试验期间要求系统中的每个 EUT 及其至少半个波长长度的线缆应作为一个整体暴露在辐射波束内。在屏蔽室中进行试验时，天线距离屏蔽室墙或吸波材料至少 0.3m。如果能够获得要求的场强，可使用其它替代天线。

注：若采用 20.6 节所述的辐射敏感度试验替代方法，上述要求不适用。

(4) 注入探头—探头应具有必要的功率容量和频率范围。注入探头插入损耗极限见图 20-3。建议按图 20-4 所示试验布置测量注入探头的插入损耗，测量时应将探头支撑固定在试验夹具中央。

(5) 屏蔽室—应最大限度地减小屏蔽室对设备和试验装置的影响。进行辐射试验时，屏蔽室内侧应使用射频吸波材料，以减小电磁能量的反射，并提高试验的精度和可重复性。吸波材料至少应敷设在 EUT 的上面、后面和两侧，以及发射天线的后面，如图 20-2 所示。吸波材料的最低性能要求见表 20-1，可以接受制造商提供的射频吸波材料（仅指未安装时的基础材料）的性能指标。

注：若采用 20.6 节所述的辐射敏感度试验替代方法，上述要求不适用。

测试设备和传感器可使用光纤接口，以使监测免受干扰。测试辅助设备、监视器和负载模拟单元的设计和防护应确保测试设备接口电路对射频电流的模拟，隔离和抗扰性。

(6) 放大器系统谐波—由功率放大器非线性作用引起的正弦敏感度信号失真可能会导致错误的试验结果。当出现失真时，EUT 实际上可能是对预期敏感频率谐波产生的响应，这样可能会使要求的极限降低。当使用选频接收机来监测注入电平时，失真本身不会影响对预期频率点敏感信号电平有效性的确认。但当出现敏感现象时应对谐波电平进行检查，以确定其是否影响了试验结果。当使用宽带传感器监测时，失真可能导致传感器不能正确显示预期频率上要求的信号电平。在这种情况下，为了测量到正确的信号电平，需对失真加以控制。

c. 幅度测量

如图 20-5 所示，与类别相关的幅度应为整个调制周期上有效值（rms）包络的峰值。幅度测量应能清晰地建立调制波形的峰值幅度。测量仪器的响应时间必需足够快，特别是对 20.6，以便能对信号幅度的变化作出响应。可使用频谱分析仪进行测量。测量仪器的检波、分辨率和视频带宽必需大于调制频率。增加测量带宽，直到带宽增大 3 倍时测量信号的幅度变化不大于 1dB，设置该带宽为试验带宽。当设置合适时，应分辨不出单独的调制边带。对 20.4 节的传导敏感度试验，可使用示波器作为幅度测量仪器。示波器必需具有与试验上限频率相适应的模拟带宽，以及 50Ω 输入端口。

d. 试验频率的剔除

在敏感度试验期间，射频接收设备可能表现出对带内接收频率的敏感。根据接收机的 MOPS 要求，对于灵敏度要求较高的设备，出现敏感现象属于正常。因此，试验期间可能需要排除这些频率，或者降低这些频率的电平。

除非相关的接收机最低性能标准另有规定，以下排除的频带适用于无线电接收机。对 S 类电平，试验频率范围应从带内最低工作频率以下 10%到最高工作频率以上 10%。规定的接收机性能应在试验程序和试验报告，或在特定的接收机性能标准中加以说明。若仅对 S 类进行故障评估，试验频率范围应从无线电接收机调谐频率以下 1%到调谐频率以上 1%。

该试验不是评估接收机标称的 MOPS 射频性能特性，也不是评估干扰信号感应或耦合至接收机射频输入端口情况下的接收机性能。该试验是对通过电源线和/或控制/信号线的耦合，或通过接收机外壳直接耦合产生的其它响应进行评估，并依据具体的接收机规范或性能要求来确定其合格判据。

e. 扫频速率

扫描速率或步进速率的选择应考虑受试设备（EUT）的响应时间、EUT 敏感度带宽和监测

设备的响应时间。应依据本准则来证明选择的扫描速率的合理性，并记录于试验报告中。

对于可产生离散频率的试验设备，在 100kHz 以上，试验频点数至少应为每十倍频程 100 个频率点；在 100kHz 以下，至少应为每十倍频程 10 个频率点。试验频率点间隔应按对数关系分布。例如在 100kHz 以上，可用以下公式计算按升序排列的频率点：

$$f_{n+1} = f_n * 10^{(1/100)}$$

式中：

f_n 为试验频率， $n = 1 \sim m$ ；

f_1 为起始频率；

f_m 为终止频率， $m = 1 + 100 * \log(f_m / f_1)$ ，取最接近的整数。

如果 f_{n+1} 最后一个步进生成的频率大于 f_m ，则将最后一个试验频率设置为 f_m 。

除去测试设备的设置时间，每个试验频率点的驻留时间至少应为 1s。在低频调制期间，为使 EUT 可以按适当的工作方式运行，以及“休止时间”的存在，有必要增加每个测试频率点的驻留时间。驻留的时间必需至少可施加两个完整的调制周期，例如，如果进行 1Hz 方波调制 (SW)，则驻留时间不应小于 2s。应当依据 EUT 和测试设备的响应时间以及所施加的调制来证明所选驻留时间的合理性，并记录于试验报告中。本要求不适用于 20.6 节。

对于可产生连续频率扫描的测试设备，最小（最快）扫描速率应等于每十倍频程离散频率的数量乘上驻留时间，即每十倍频程 100 个离散频率点乘上 1s 的驻留时间等于每十倍频程 100s 的扫速。仅在 EUT 及其相关测试设备能够充分响应试验激励时才能用最快的扫速。一般情况要求使用上述中的较慢扫速。

注：试验还应包括已知的设备响应频率在内的附加试验频率点，例如镜像频率 ($nLO \pm IF$ ；其中 n 包括 2~10 的所有整数，LO 为本振频率，IF 为中频)、IFs、时钟频率等。

f. 试验报告中的数据要求

试验报告应包括（或直接，或作为参考）以下试验布置和试验数据：

1. 电缆配置—每根电缆束的长度，线的类型，屏蔽和屏蔽终端（包括独立的和整体的屏蔽）以及试验线缆的接线图。
2. 试验布置—每个试验布置的原理框图或图片，包括电缆束的布局，注入探头和测量探头的位置，以及 EUT 的搭接。
3. EUT 工作模式—试验期间 EUT 的工作模式。
4. 负载—描述所有的负载，包括实际的或模拟的。模拟负载应标识线-线、线-机箱的阻抗模拟范围。
5. 合格判据—合格判据的描述。
6. 试验结果。

20.4 传导敏感度 (CS) 试验

a. 适用范围/目的

对 EUT 及其互连电缆或电路施加图 20-6 中适用类别的试验电平，同时监测电缆束上的感应到电缆束中的电流。所有 EUT 连接 EUT 到与飞机系统中其它设备或接口单元的所有电缆束和相应的及相关电缆分支均应能够承受进行该项试验。

对所有类别，用受试线束上的感应电流来确定试验电平，试验极限由注入探头的输入功率确定。

互连线可整体或单独进行试验。对具有内部冗余电缆的设备，可采用多个探头同时注入到不同电缆束的方法。根据 20.3.a.(6)的要求，受试电缆束中不应包括直接连接至试验台上的电源回线或地线，并且对其不作试验要求。

b. 探头校准

按照图 20-7 配置信号发生器、功率放大器、定向耦合器、衰减器、幅度测量仪器，在校准装置中安装注入探头。将探头支撑并使其置中于校准装置中心。调节信号发生器至 10kHz，不加调制。增大放大器功率，通过定向耦合器将 10kHz 信号馈入注入探头，直到幅度测量仪器 1#测得的进入校准装置的电流或功率达到图 20-6 中所选类别的要求。

注意：由于校准装置的再辐射产生的射频场可能具有危险性，应对相关射频暴露极限进行监测。

记录幅度测量仪器 2#上测量到的信号源/功率放大器注入到探头的输入功率。

保持幅度测量仪器 1#上的功率幅度符合表 20-2 和/或图 20-6 的要求，同时在 10kHz~400MHz 频带内进行扫频（非调制），并记录幅度测量仪器 2#上的输入功率。使用输入功率的曲线图确定 20.4.d 中规定的传导敏感度试验极限。

衰减器和负载的驻波比（VSWR）应小于 1.2:1，校准装置在没安装探头时的驻波比应不超过图 20-8 中规定的量值。

c. CS 试验布置

按照图 20-9 布置 EUT、线缆、相关的接口电路和试验设备。试验配置中的屏蔽电缆以及与之相连的连接器（例如飞机安装支柱或舱壁隔离端）、屏蔽接线端子，必须抬高离开接地平板，以使 CS 电流在屏蔽层上至少流动 3m 距离。将感应电流监测探头安装在距离 EUT 5cm 处。如果 EUT 连接器和基座的总长度超过 5cm，监测探头应该尽量靠近机箱连接器的基座，并记录探头位置。支撑并使探头置中。将注入探头安装在距离监测探头表面 5cm 处。

d. CS 试验程序

确定适当的探头位置、软件安装、EUT 的工作模式和稳定性、试验设备和所有监测电路和负载。

注意：由校准装置的再辐射产生的射频场可能具有危险性，应对相关射频暴露极限进行监测。

将信号发生器设置到 10kHz，调整并控制输入功率，以在电缆束上获得表 20-2 和/或图 20-6 中所选类别的感应电流电平。必要时需对输入功率加以限制，使其不超过 20.4.b 探头校准程序中确定的校准值 6dB。在电线束电流电平符合要求，且输入功率不超过极限的情况下进行频率扫描。将感应电流和施加的输入功率记录于试验报告中。

根据需要可在内部调制、数据、时钟频率和其它关键频率进行驻留。施加调制时应确保峰值幅度符合 20.3.c 和图 20-5 中的要求。

扫描期间对 EUT 的工作情况进行评估，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

e. CS 调制

采用连续波和方波两种调制。用 1kHz 方波以大于 90%的调制深度对射频载波进行调制。

也可以考虑施加与 EUT 相关的其它调制波形，例如时钟、数据、中频、内部处理或调制频率。特别要考虑 EUT 所有可能的低频响应特性，例如在 2MHz~30MHz 高频（HF）范围，飞行控制设备对 1Hz 调制波的响应。作为一种选择，试验可以仅以 EUT 最敏感的调制波进行。

20.5 辐射敏感度（RS）试验—暗室法

a. 适用范围/目的

使 EUT 及其互连电缆暴露于表 20-3 和图 20-10 中适用类别的射频场。

b. 辐射场校准

在将 EUT 放置于试验暗室内之前，必须在试验暗室内进行场的校准，以建立所选类别正确的校准场强。

注意：射频场可能具有危险性，应对相关射频暴露极限进行监测。

使用三轴全向电场天线（各向同性探头）或具有适当频率响应的等效天线进行基准的连续波（CW）场校准。各向同性探头应置于 EUT 在接地平板上摆放位置中心上方 30cm 处。也可以将探头置于屏蔽室内其它有类似接地板和吸波材料配置的接地板上方 30cm 处。在要求的试验频率范围（不加调制）照射各向同性探头。调节发射天线的输入功率，使各向同性探头的示值达到所选类别的总场强。总场强定义为正交分量量值的方和根（RSS）值。记录输入功率，并在进行 EUT 辐射场试验时使用该功率设置。在要求的整个频率范围重复该校准。

注：该校准必需在每一次试验之前完成。本次试验不允许使用另一次试验的校准数据，除非校准后的试验设备没有断开过。如果校准回路中的任一设备断开过，包括同轴电缆、天线、波导等，则在进行或继续进行试验之前需验证该校准是否仍然有效。

利用连续波（CW）信号在各向同性探头上产生不同类别要求的场强所需要的输入功率即为基准输入功率。产生方波（SW）和脉冲调制（PM）信号的方法是将与校准电平相同的输入功率注入发射天线（注，按照 20.3.c 和图 20-5 中的定义，所有电平均为“峰值有效值”）。如果进行的基准连续波（CW）校准使用的电平与要求的方波或脉冲类场强不同，可使用适当的比例因子。

应使用满足 20.3.c 要求的幅度测量仪器对发射天线的输入功率进行监测和记录。

辐射场应采用水平和垂直两种极化方式，不允许使用圆极化发射天线。

c. RS 试验布置

按图 20-2 布置 EUT、线缆、相关接口电路和试验设备。

信号发生器、放大器、天线和探头应保持要求的射频场电平，以对 EUT 及其互联电缆进行适当的照射。调整天线的位置和方向，使其在 EUT 及其互连电缆上形成射频场强。利用天线波束宽度的说明，或通过绘制 EUT 放置区域的图来确定辐射场的 3dB 点。试验报告中应描述测试使用的天线波束宽度。当天线的 3dB 波束宽度不能完全覆盖 EUT 及其线缆时，需进行多区域扫描。应将 EUT 上的开口（例如显示器、CRT、连接器等）直接暴露于发射天线，为此可能需要增加 LRU 和天线的方向。试验要求使用发射天线的垂直和水平两个极化方向。没有暴露在发射天线下的设备表面必须在试验表格中说明理由。试验采用的天线距离必须与校准采用的天线距离相同。

d. RS 试验程序

确认合适的天线和各相同性探头位置、软件安装、EUT 的工作和稳定性模式、试验设备和所有监视电路及负载。利用各向同性探头来验证发射通道功能的正常。由 20.5.b 校准的输入功率产生施加的场强。

注意：射频场可能具有危险性，应对相关射频暴露极限进行监测。

使用辐射场校准时确定的输入功率设置。当施加调制时，需确保峰值幅度符合 20.3.c 和图 20-5 的要求。

使用适当的调制，并扫描至频率范围的频率上限。根据需要可在内部调制、数据、时钟频率

进行驻留。扫描过程中对 EUT 的工作情况进行评估，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

e. RS 调制

对 R 类设备，采用以下电平和调制：

100MHz~400MHz 频段采用 20V/m 连续波（CW）。也可采用 20V/m，1kHz 的方波调制，调制深度至少 90%。

400MHz~8GHz 频段采用 150V/m，4% 占空比，1kHz 重复频率的脉冲调制。以 1Hz 速率和 50% 占空比切换信号的通断，以模拟旋转雷达效应。

对 S、T、W 和 Y 类设备，采用以下调制：

100MHz 到频率上限，按图 20-10，采用连续波（CW）以及至少 90% 深度的 1kHz 方波调制。也可以考虑施加与 EUT 相关联的附加调制，例如时钟、数据、中频（IF）、内部处理或调制频率。

对 B、D、F、G 和 L 类设备，采用以下调制：

当进行表 20-3 中适用的 SW/CW 电平的试验时，100MHz~18GHz 频段采用连续波（CW）和至少 90% 深度的 1kHz 方波调制。也可以考虑施加与 EUT 相关联的附加调制，例如时钟、数据、中频（IF）、内部处理或调制频率。

400MHz~4GHz 频段采用脉宽为 4μs（或更大），重复频率为 1kHz 的脉冲调制（PM）试验电平。4GHz~18GHz 频段采用脉宽为 1μs（或更大），重复频率为 1kHz 的脉冲调制（PM）试验电平。对可能有低频响应的 EUT（例如飞行控制设备），特别要考虑以 1Hz 的速率和 50% 的占空比来切换信号的通断。

对所有类别：

在 1GHz 以上允许采用方波（SW）调制，幅度为 1.42 乘连续波（CW）场强，需同时满足 CW 和 SW 的要求（例如，142V/m 的 SW, 50% 占空比可看作为 100 V/m 的 CW 和 SW）。

20.6 辐射敏感度（RS）试验，替代方法—混响室法

20.6.1 适用范围/目的

使 EUT 及其互连电缆暴露于表 20-3 和图 20-10 中适用类别的射频场。

20.6.2 程序

该方法规定了使用混响室进行辐射敏感度试验的替代方法。在混响室试验中，通过金属搅拌器的旋转来改变 EUT 上射频场的极化和照射角度。在每个频点，要求金属搅拌器充分旋转。对 EUT 使用预定的功率电平产生要求的场强（在确定的统计数据范围内）。

该试验程序由以下基本步骤组成：

a. 在安装试验台和/或 EUT 之前：

为证明混响室的初始构造或在较大调整之后满足混响室的性能要求，应进行基于场均匀性校准技术的性能测试。试验程序中通过混响室校准技术来证实混响室满足本方法中定义的场均匀性要求。此外，确定所使用的混响室最低可用频率（LUF）十分重要。混响室场均匀性校准需在包括混响室内导电试验台放置位置在内的整个试验/工作区域进行。由于点场探头的限值，混响室校准必须采用混响室调谐工作模式（搅拌器步进旋转），不允许工作在搅拌模式（搅拌器连续旋转）。进行场均匀性测量时，应将导电试验台移出混响室。对于每个试验位置，分别在 3 个坐标轴（x、y、z）上的 9 个位置进行测试，即总共有 27 个测量点（20.6.3.1）。如果 400MHz 以上

频率的标准偏差在 3dB 以内,100MHz~400MHz 频率范围从 6dB 线性下降到 3dB(半对数曲线),则应认为混响室内的场是均匀的。

b. 在试验台和 EUT 安装在混响室内, 试验开始前:

典型的试验配置如图 20-13 所示。设备的布置应能够代表 20.3.a (5) 规定的实际安装状态。EUT 应位于 20.6.3.1 规定的工作区域内。

发射和接收天线应与 20.6.3.1 中使用的天线相同。

接收天线应在工作区域内(见 20.6.3.1)。确定 EUT 软件安装、EUT 工作模式和稳定性、试验设备以及所有监测电路和负载。

i. 用发射天线注入连续波信号到混响室。使用定向耦合器和适当测量设备(如功率探头或频谱分析仪)监测在一个搅拌器旋转周期上的最大输入功率。

ii. 在一个搅拌器旋转周期上监测位于混响室工作区域内接收天线的接收功率。如使用多个旋转搅拌器, 测量时间应与最低的搅拌速度相对应。

iii. 使用下面公式, 确定混响室内峰值场强。

$$E_{\max} = \sqrt{\frac{377 * 8 * \pi * (P_{rcv \max})}{\lambda^2}}$$

式中:

$E_{\max}$ =混响室的最大场强 (V/m);

$P_{rcv \max}$ =一个搅拌器旋转周期上测量记录到的最大功率 (W);

λ =试验频率的波长 (m)。

iv. 记录一个搅拌器旋转周期上的最大输入功率和最大场强。

v. 调整至下一试验频率。

vi. 重复步骤 (i) 至 (v)。

注: 校准获得的输入功率和接收功率应保持线性关系(例如, 若输入功率增长 6dB, 接收功率也应增长 6dB。)该线性关系也适用于脉冲试验。

c. EUT 测试:

i. 使用从混响室校准程序(20.6.3.1)获得的信息, 用以下公式计算目标输入功率:

$$P_{Target} = 20 * \log\left(\frac{E_{desired}}{E_{\max}}\right) + P_{Fwd}$$

式中:

P_{Target} =目标输入功率 (dBm);

$E_{desired}$ =混响室内期望的场强 (V/m);

$E_{\max}$ = 20.6.2.b 中测量到的场强 (V/m);

P_{Fwd} = 20.6.2.b 中测量到的输入功率 (dBm)。

ii. 搅拌器旋转速率为 1GHz 以下每分钟 4 转, 1GHz 以上每分钟 2 转, 当施加连续功率时可降低搅拌器转速。对于选通调制(例如, R 类为 1Hz 选通), 必须根据选通占空因数适当降低搅拌器旋转速率(例如, 选通占空因数为 50%时, 降低旋转速率至每分钟 2 转)。如果施加功率是连续的, 允许搅拌器转动停止, 停止之间的搅拌器旋转速率不超过每分钟 4 转。

iii. 在适当的试验频率, 使输入功率达到 P_{Target} , 利用定向耦合器和相应的测量设备, 通过测

量一个完整旋转周期内的输入功率峰值来验证输入功率的读数。

iv. 确保接收天线连接至监测设备上，以监测一个完整旋转周期内接收天线上的功率。如果监测设备存在底噪声，则不需要对接收天线进行进一步调整。如果天线检测不到功率，则必须进行进一步检查以确保混响室内确实存在电磁场。如果没有对接收天线接收到的功率进行验证，则试验无效。

v. 调整至下一试验频率。

vi. 重复步骤（i）至（v）。

使用适当的调制，在整个频带至频率上限进行步进试验。调制载波应符合 20.5 的规定。使用调制时，保证峰值幅度符合图 20-5 的规定。根据需要试验可在内部调制、数据和时钟频率下进行。

在每个测试频率处评估 EUT 的工作情况，确定在搅拌器整个旋转周期内其是否符合设备性能规范。

20.6.3 校准：混响室场均匀性和负载验证

按 20.6.3.1 的方法对混响室进行“一次”空室校准（无 EUT），作为混响室性能和输入功率要求的初始指导。建议空室校准每年进行一次，或在较大调整后进行。

对正常运行状态，最低试验频率（ f_s ）为 100MHz，这时需在运行的第一个十倍频程的频率范围验证场的均匀性。如果选择的起始频率不是 100MHz，例如用来产生高场强的小混响室，混响室场的均匀性仍旧必需在运行的第一个十倍频程频率范围进行验证。混响室可用来进行试验的频率范围为能够满足图 20-11 场均匀性要求的频率范围。

20.6.3.1 场均匀性验证

清理工作区域（即移出试验台），并将接收天线置于图 20-12 及注释描述的混响室工作区域内。将监测接收天线的幅度测量仪器设置到适当的频率。

i. 将电场探头置于图 20-12 所示的混响室工作区域的边缘位置，。

ii. 从最低测试频率（ f_s ）开始，调节射频信号源，并将适当的输入功率 P_{input} 注入发射天线。发射天线不应直接对工作区域或接收天线和探头进行照射。最佳的布置是将源天线对准混响室的一个角落。测试频率应在发射天线和接收天线的频带内，且天线均应为线极化天线。

iii. 以不连续的步进方式使搅拌器转动 360 度（调谐工作模式），并确保每一步必须要有充足的驻留时间，以使幅度测量仪器和电场探头有足够的响应时间。每一步应有相同的角位移。搅拌器的最小位置数必需满足混响室场的均匀性要求。最大位置数应使得每一步均可改变混响室内场的模式，以使独立的样本具有统计学的意义。

iv. 在搅拌器旋转的整个周期，记录电场探头测量到的每个轴向上的最大场强（ $E_{Max\ x,y,z}$ ），最大总矢量场强（ E_{Total} ），和输入功率（ P_{Input} ）的平均值。

注：输入功率 P_{Input} 值是搅拌器一个旋转周期的输入功率平均值，最大总电场是搅拌器在某个位置上正交分量的方和根（RSS）值。所有的校准均与天线特性有关，更换天线会使校准失效。所有的功率测量都与天线终端有关。该方法提供了对数周期天线和喇叭天线效率的一般数值。也可使用其它类型的天线，只要已知其天线效率。天线效率是天线接收的功率与测量位置上总功率的比值。该测量要求天线进行球面扫描。由天线制造商提供的典型增益和天线系数不能用来导出天线效率。

v. 按表 20-4 的要求以对数间隔重复以上程序，频率至少到 $10f_s$ 。

vi. 对图 20-12 中的 9 个探头位置和 9 个接收天线位置（一个位置必需在工作区域中心）重复以上程序，频率到 $10f_s$ 。

注：对探头位置的每一次变化，接收天线都应移至混响室工作区域内的新位置。在每一个位置上，天线放置还应考虑以混响室轴向为基准的其它方位（每个轴至少 20° ）。为了确定基准， x 为混响室长度（最长尺寸）， y 为混响室宽度， z 为混响室高度。在校准过程，探头的方位没必要一定沿着混响室轴向。

应注意确保天线和探头之间保持适当的间隔。每个位置与前面任何位置之间应至少有 $0.75m$ （或最低测试频率的 $\lambda/4$ ）的距离。如果在试验期间接收天线安装在某个固定位置，建议将该位置定为接收天线的固定位置。

vii. 使用第（v.）步的数据将电场探头每个最大测量值归一化到平均输入功率的平方根：

$$\vec{E}_{x,y,z} = \frac{E_{Max,x,y,z}}{\sqrt{P_{Input-empty}}}$$

式中，

$E_{Max,x,y,z}$ = 探头在每个轴向上的最大测量值(即 $10f_s$ 以下的 27 个测量值);

$\vec{E}_{x,y,z}$ = 每个轴向归一化化的最大测量值;

$P_{Input-empty}$ = 在搅拌器旋转期间，记录 $E_{Max,x,y,z}$ 时混响室平均输入功率。

$$\vec{E}_{Total} = \frac{E_{MaxTotal}}{\sqrt{P_{Input-empty}}}$$

式中，

$E_{MaxTotal}$ = 探头在每个位置测量到的总电场的最大值(即 $10f_s$ 以下的 9 个测量值);

$\vec{E}_{Total}$ = 每个探头位置的归一化的最大总场强值;

P_{Input} = 在搅拌器旋转期间，记录 $E_{MaxTotal}$ 时混响室的平均输入功率。

viii. 对每个校准频率点，计算每个轴向上归一化最大测量值的平均值 $\langle \vec{E}_{x,y,z} \rangle$

对低于 $10f_s$ 的每个频率点：

$$\langle \vec{E}_x \rangle_9 = \left(\sum \vec{E}_x \right) / 9$$

$$\langle \vec{E}_y \rangle_9 = \left(\sum \vec{E}_y \right) / 9$$

$$\langle \vec{E}_z \rangle_9 = \left(\sum \vec{E}_z \right) / 9$$

还要计算每个轴向上所有相同权重的归一化最大测量值的平均值 $\langle \vec{E} \rangle_{27}$ ，（即每个正交分量）。

$$\langle \vec{E} \rangle_{27} = \left(\sum \vec{E}_{x,y,z} \right) / 27$$

注： $\langle \rangle$ 表示算术平均值，即：

$$\langle \vec{E} \rangle_{27} = \left(\sum \vec{E}_{x,y,z} \right) / 27$$

表示 27 个正交电场归一化最大值的和除以测量数。

ix. 对于小于 $10f_s$ 的每个频率，按以下方法确定混响室是否满足场均匀性要求：

(a) 场的均匀性规定为，在一个搅拌器旋转周期上，9 个位置中每个位置得到的最大值的平均标准偏差。利用探头单个轴向的数据（例如 σ_x ）和总数据集（例如 σ_{27} ）来计算标准偏差。（注意：不要将“总数据集”与总电场混淆）。

标准偏差由以下公式给出：

$$\sigma = \alpha * \sqrt{\frac{\sum (\vec{E}_i - \langle \vec{E} \rangle)^2}{n-1}}$$

式中，

n =测量数；

$\vec{E}_i$ =单个归一化电场测量值；

$\langle \vec{E} \rangle$ =归一化电场测量值的算术平均值；

$\alpha = 1.06$ ($n \leq 20$)； $=1$ ($n > 20$)。

例如，对 x 向量：

$$\sigma_x = 1.06 * \sqrt{\frac{\sum (\vec{E}_{ix} - \langle \vec{E}_{ix} \rangle_9)^2}{9-1}}$$

式中，

$\vec{E}_{ix}$ =单个 x 向量测量值；

$\langle \vec{E}_x \rangle$ =由所有 9 个测量位置得到的 $E_{Max\ x}$ 的归一化的算术平均值。

对所有的向量：

$$\sigma_{27} = \sqrt{\frac{\sum (\vec{E}_{ix,y,z} - \langle \vec{E} \rangle_{27})^2}{27-1}}$$

式中，

$\vec{E}_{ix,y,z}$ =单个所有向量 (x, y, z) 各自的测量值；

$\langle \vec{E} \rangle_{27}$ =所有 27 个测量值归一化 $E_{Max\ x,y,z}$ 向量的算术平均值；

σ_{27} =所有向量 (x, y, z) 的标准偏差。

用 dB 表示与平均值相关的标准偏差：

$$\sigma(\text{dB}) = 20 * \log \left(\frac{\sigma + \langle \vec{E} \rangle}{\langle \vec{E} \rangle} \right)$$

(b) 如果一个频程内单个场分量的标准偏差（例如 $\sigma_{x, y, z}$ ）超出图 20-11 规定的标准偏差的频率点数不多于 2 个，且所有向量的标准偏差（即 σ_{27} ）不超过规定的标准偏差，则混响室满足场均匀性要求。如果混响室不满足场均匀性要求，则可能不适合在预期的较低频段工作。如果混响室场均匀性与规定的要求差距较小，则可尝试通过以下方法获得期望的场均匀性：

- 1) 将样本数（即搅拌器的步数）增加 10%到 50%；
- 2) 将空混响室输入功率数据进行归一化处理 ($P_{Net} = P_{Input} - P_{Reflected}$) ；
- 3) 减小工作区域尺寸。

如果混响室超过了要求的场均匀性，则可减少样本数，但搅拌器步数最小不能少于 12 步。这可以优选每个混响室最小样本量，进而可以减少测试时间。

注：如果搅拌器不能提供要求的场均匀性，那么可通过增加搅拌器数量、增大搅拌器尺寸或通过加吸波材料以降低 Q 值的方法来改善混响室的场均匀性。还应对混响室特性（尺寸、建造方法、墙面材料）进行评估，以确定其是否可能满足要求。对于在最低测试频率的模式不超过 60~100 个，或 Q 值非常高（例如在焊接的铝制混响室所遇到的）的混响室可能难以满足要求的场均匀性。

重要提示：一旦为了获得期望的特性对混响室进行过改造（例如增加了吸波材料等）或改变了校准程序（例如搅拌器步数的改变等），则其配置和/或校准方法必需与试验期间保持一致。

20.6.3.2 混响室时间常数确定

用以下公式计算每个频率的混响室校准因子（CCF）：

$$CCF = \frac{P_{Ave Rec}}{P_{Ave Input}}$$

式中，

CCF=混响室内存在 EUT 及辅助设备时，一个搅拌器旋转周期上的归一化平均接收功率；

$P_{Ave Rec}$ =混响室内存在 EUT 及辅助设备时，一个搅拌器旋转周期上的平均接收功率；

$P_{Ave Input}$ =混响室内存在 EUT 及辅助设备时，一个搅拌器旋转周期上的平均输入功率。

为确保混响室有足够快的响应时间，以适应脉冲波形测试，应采用以下程序确定混响室的时间常数：

- i. 对高于 400MHz 的每个测试频率点，利用 CCF 计算品质因数 Q：

$$Q = \left(\frac{16\pi^2 V}{\eta_{Tx} \eta_{Rx} \lambda^3} \right) (CCF)$$

式中，

$\eta_{Tx} \eta_{Rx}$ =发射天线和接收天线的天线效率因子，可分别将对数周期天线和喇叭天线的

天线效率保守的因子分别可分别保守地设分别为 0.75 和 0.9；

V=混响室的容积（m³）；

λ =特定频率的自由空间波长（m）；

CCF=为混响室校准因子。

- ii. 对高于 400MHz 的每个测试频率点计算混响室的时间常数 τ ：

$$\tau = \frac{Q}{2\pi f}$$

式中，

τ =时间常数（s）；

Q=上面第（i）步的计算值；

f=测试频率（Hz）。

进行脉冲调制试验时，应将要求的脉冲宽度加上混响室的时间常数（例如，脉冲调制试验时，如果混响室时间常数为 6μs，而要求的脉冲宽度为 4μs，则进行试验时脉冲宽度应为 10μs。）

注：允许使用要求的脉冲宽度加上空混响室时间常数来代替上述脉冲宽度。

表 20-1 垂直入射的射频吸收性能

频率	最小吸收量
100MHz~250MHz	6dB
>250MHz	10dB

表 20-2 传导敏感度试验电平和分类

频率 (MHz)	分类电平 (mA)						
	M	O	R	S	T	W	Y
0.01	0.6	3	0.6	0.03	0.15	3	300
0.5	30	150	30	1.5	7.5	150	300
1	70	250	30	1.5	7.5	150	300
30	70	250	30	1.5	7.5	150	300
40	*	*	30	1.5	7.5	150	300
100	*	*	*	*	*	*	300
400	32	50	3	0.15	0.75	32	100

*依据图 20-6 内推。

表 20-3 辐射敏感度试验电平和分类

环境	B 类 (V/m)		D 类 (V/m)		F 类 (V/m)		G 类 (V/m)		L 类 (V/m)		R 类 (V/m)		S 类 (V/m)	T 类 (V/m)	W 类 (V/m)	Y 类 (V/m)
频率		PM		PM	SW/CW	PM	SW/C W	PM		PM	SW/CW	PM	SW/C W	SW/C W	SW/C W	SW/CW
100MHz~200MHz	20		25		50		100		200		20		1	5	100	200
200MHz~400MHz	20		25		50		100		200		20		1	5	100	200
400MHz~700MHz	20	150	20	175	25	350	50	700	200	730		150	1	5	100	200
700MHz~1GHz	20	150	25	175	50	350	100	700	240	1400		150	1	5	100	200
1GHz ~2GHz	25	250	50	500	100	1000	200	2000	250	5000		150	1	5	100	200
2GHz ~4GHz	25	375	50	750	100	1500	200	3000	490	6000		150		5	100	200
4GHz ~6GHz	25	375	50	750	100	1500	200	3000	400	7200		150		5	100	200
6GHz ~8GHz	25	150	50	250	100	500	200	1000	200	1100		150		5	100	200
8GHz ~12GHz	38	375	75	750	150	1500	300	3000	330	5000					100	200
12GHz ~18GHz	25	250	50	500	100	1000	200	2000	330	2000					100	200

表 20-4 混响室试验准则

频率范围 ¹	建立场均匀性要求的频率数 ²
$f_s \sim 4f_s$	50 / 十倍频程
$4f_s \sim 8f_s$	50 / 十倍频程
$8f_s$ 以上	50 / 十倍频程

1. f_s 为起始频率
2. 对数间隔

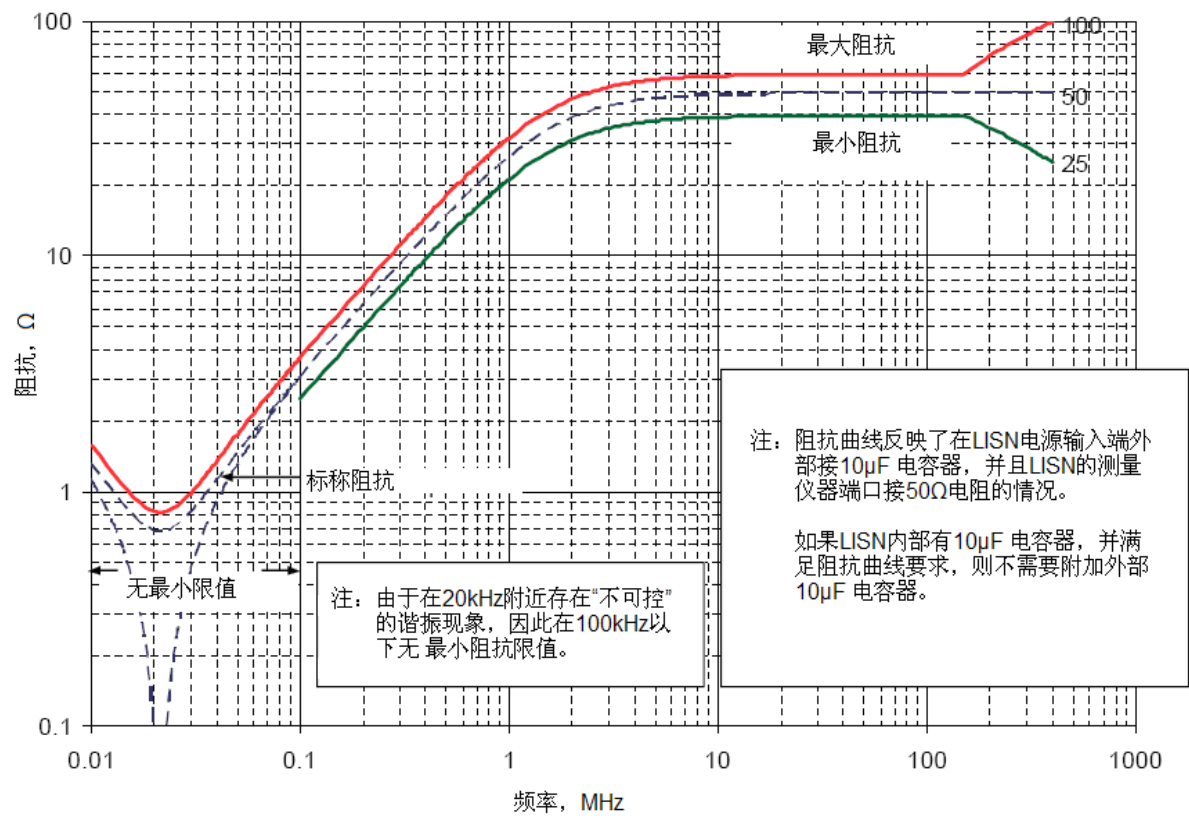


图 20-1 线路阻抗稳定网络 (LISN) 输入阻抗

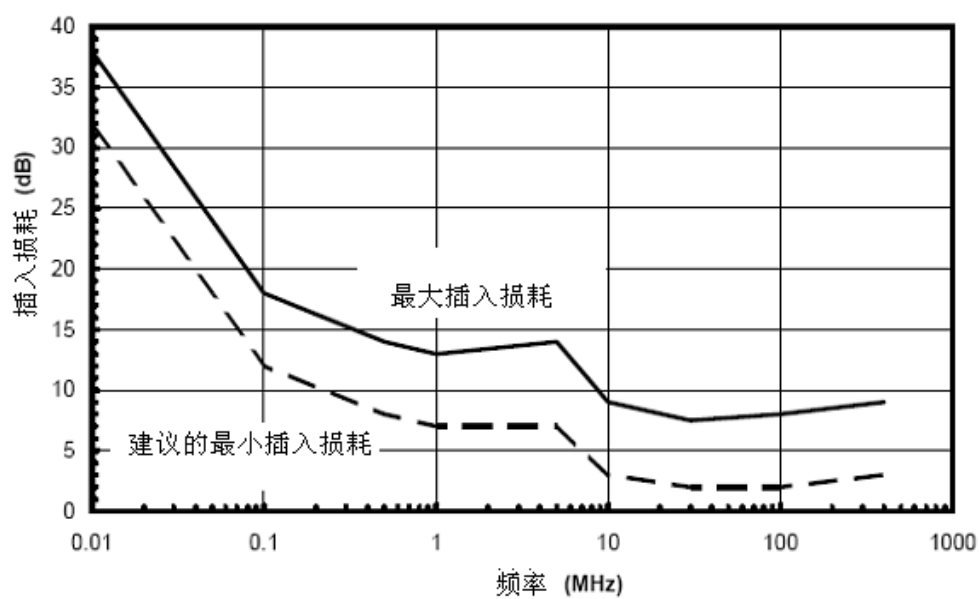


图 20-3 注入探头插入损耗极限

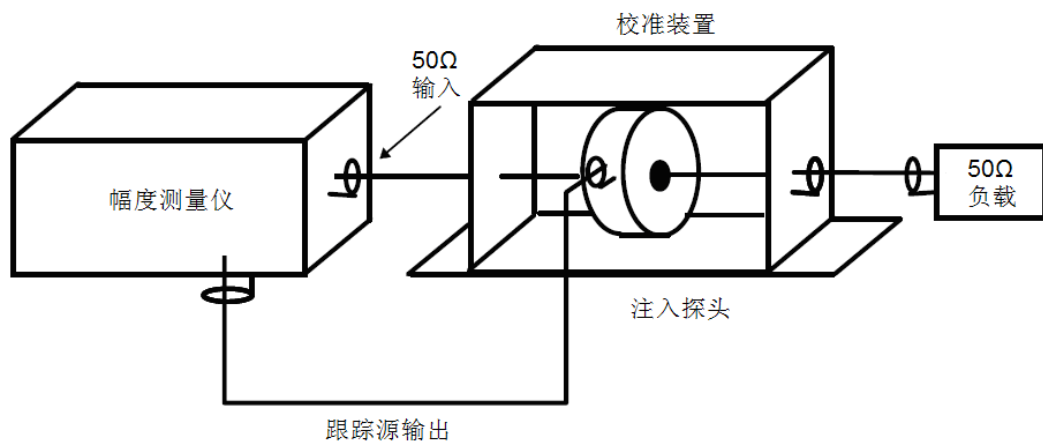


图 20-4 注入探头插入损耗测试配置

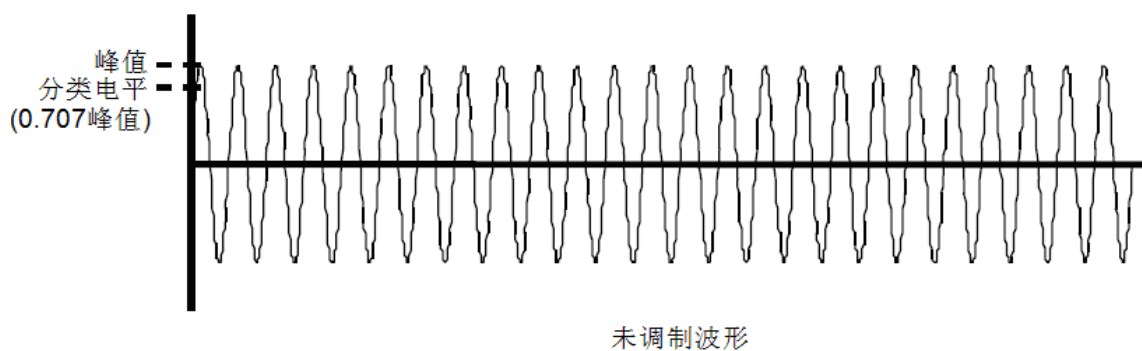
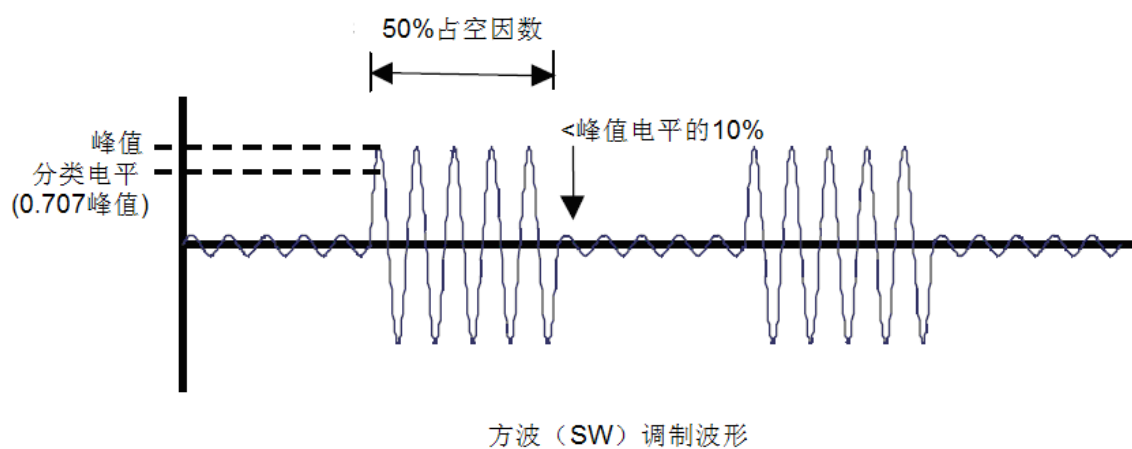
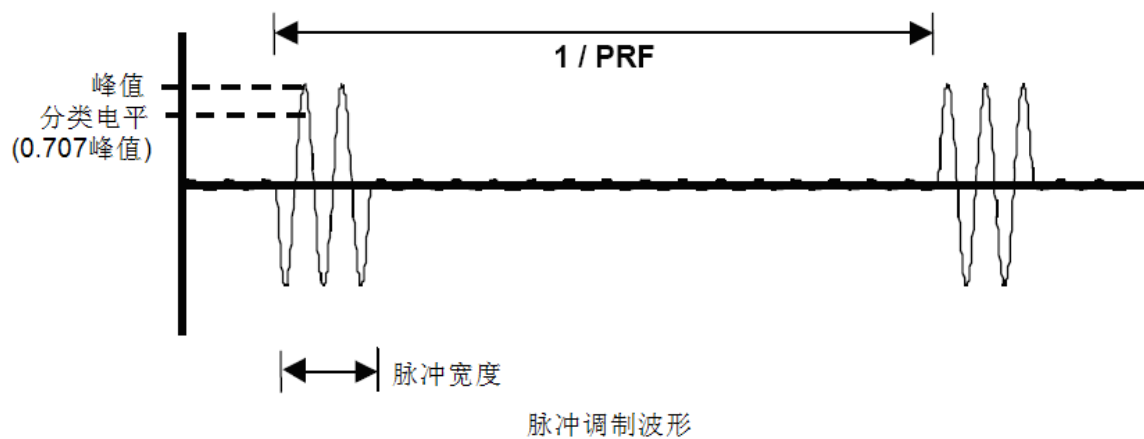


图 20-5 幅度测量

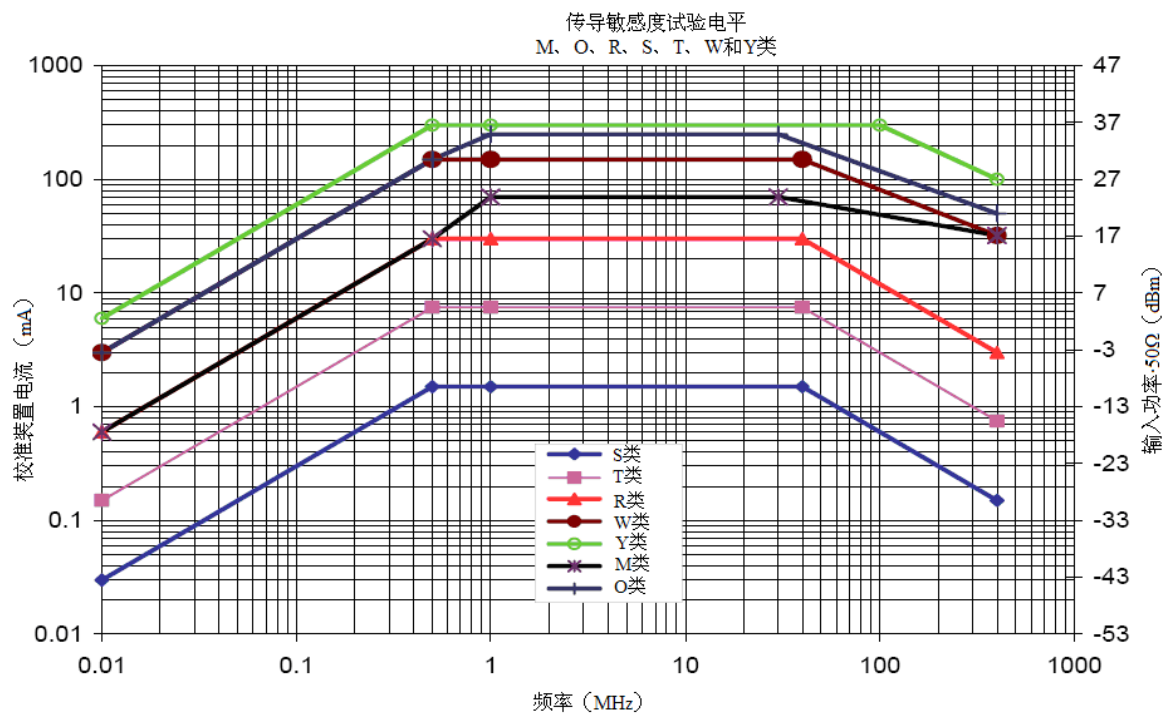


图 20-6 传导敏感度试验电平

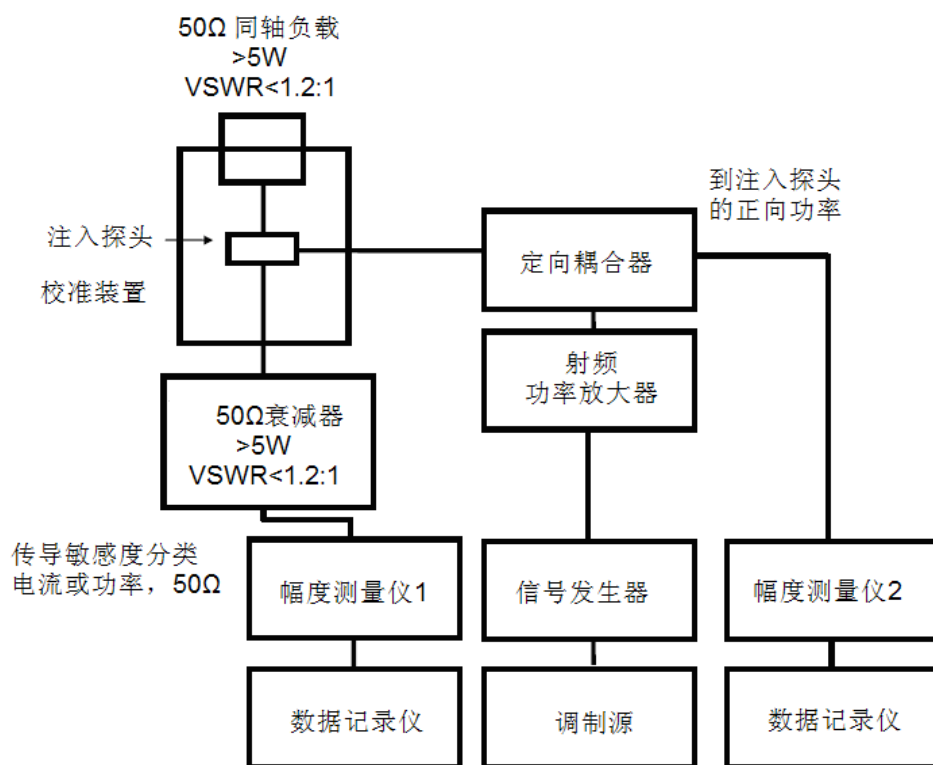


图 20-7 传导敏感度校准配置

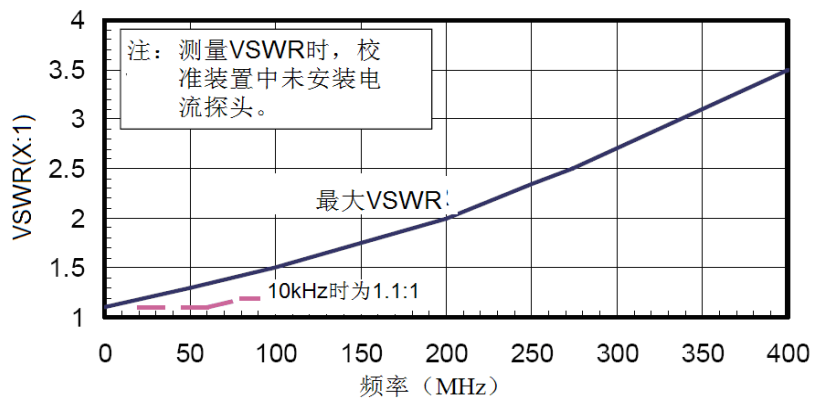
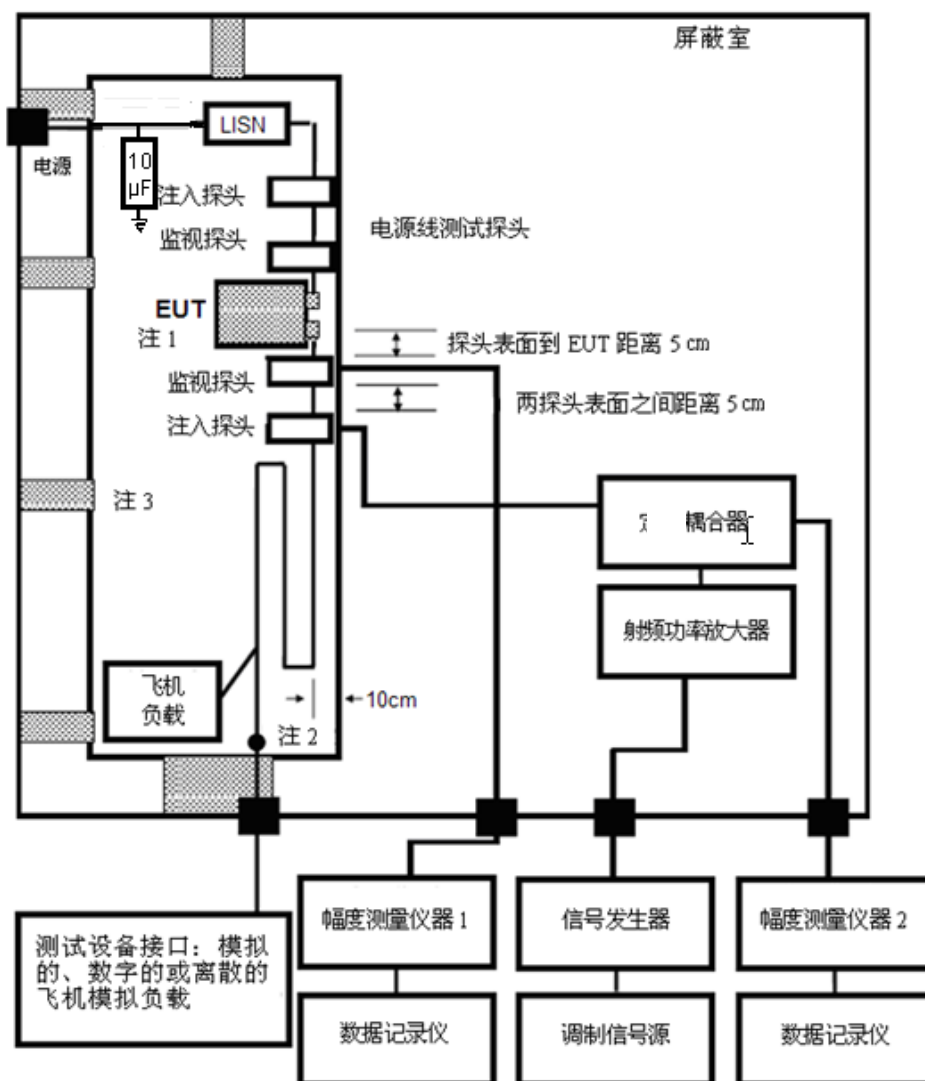


图 20-8 校准装置最大电压驻波比（VSWR）极限



注 1：EUT 一般要求见 20.3

注 2：暴露的电缆端。非屏蔽电缆可以从此处屏蔽到墙

注 3：搭接条

图 20-9 传导敏感度试验布置

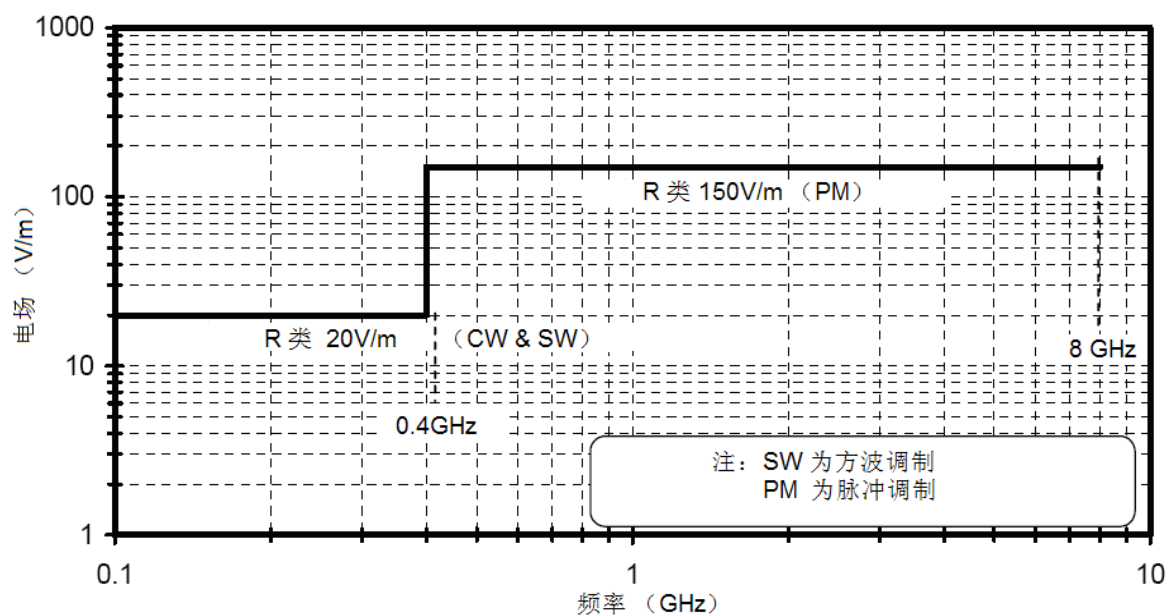
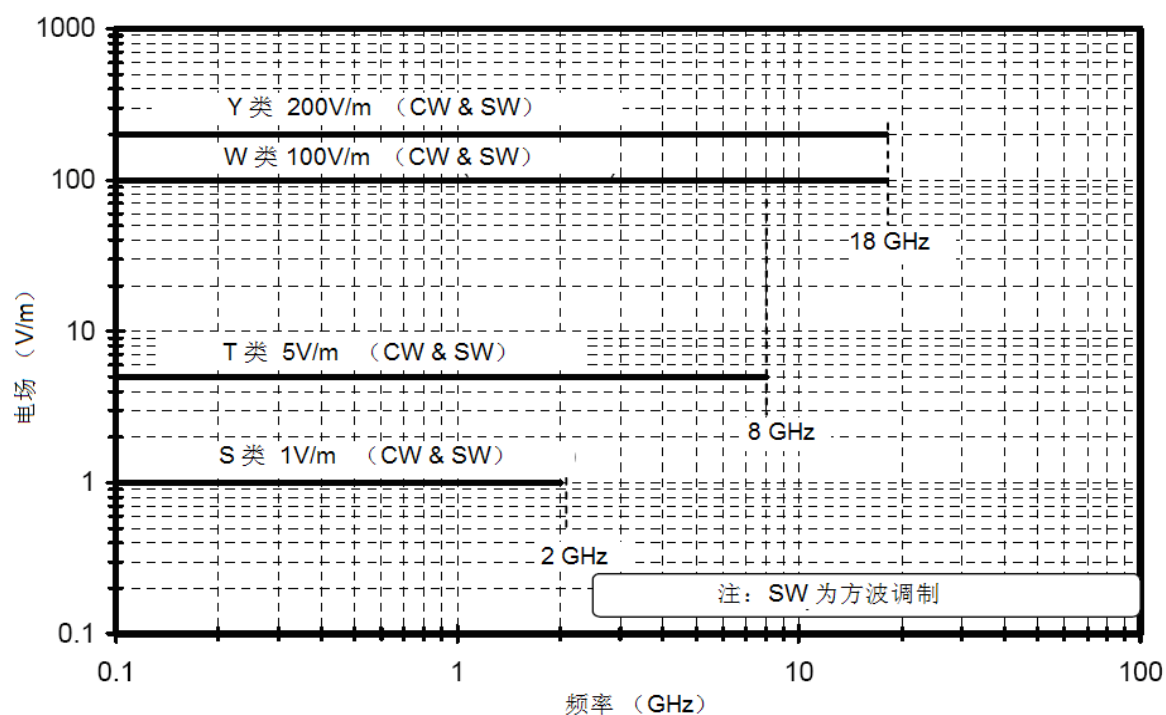


图 20-10(a 和 b) 辐射敏感度试验电平

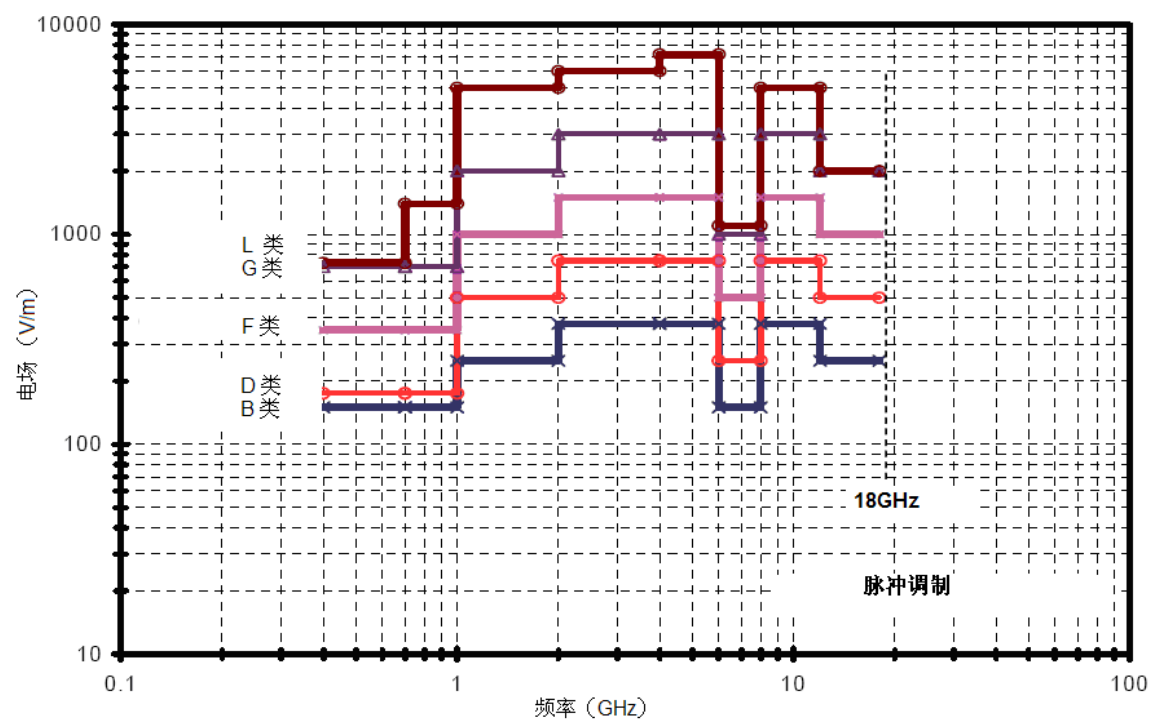
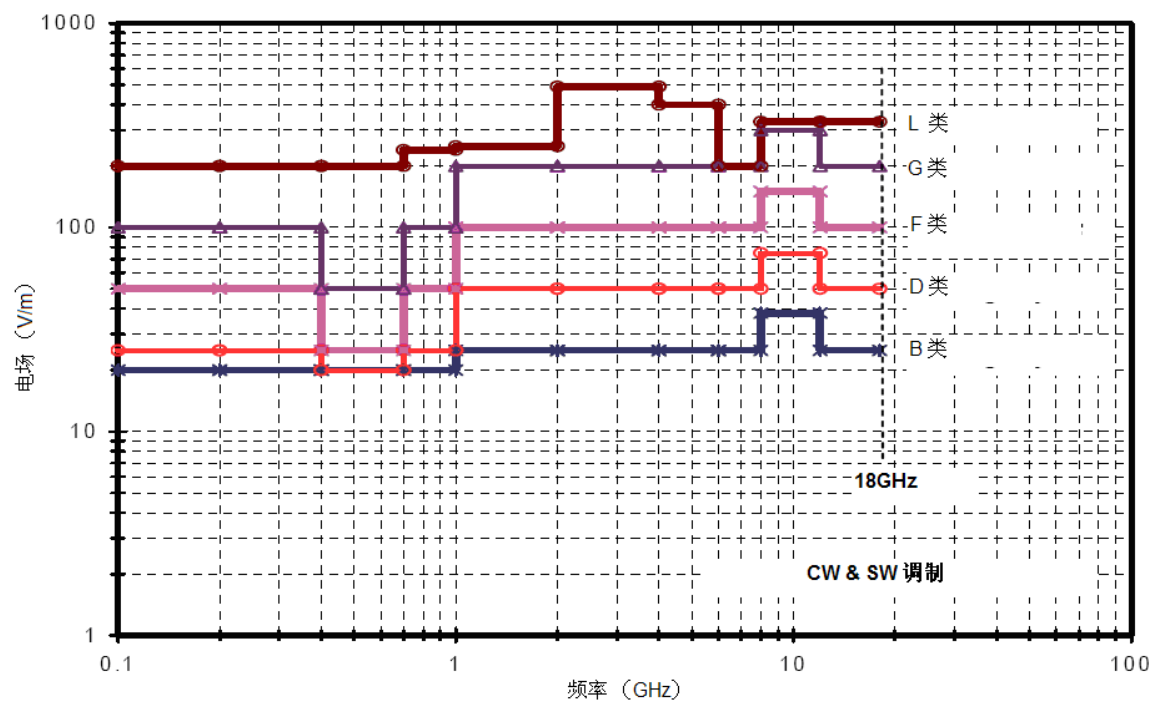


图 20-10(c 和 d) 辐射敏感度试验电平

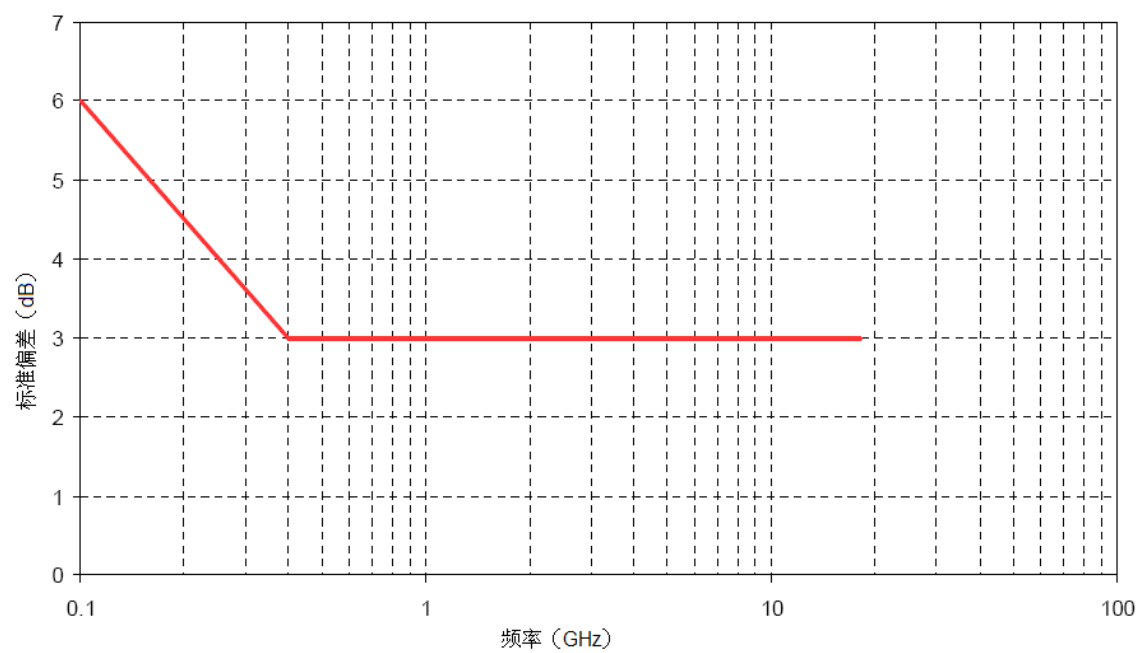
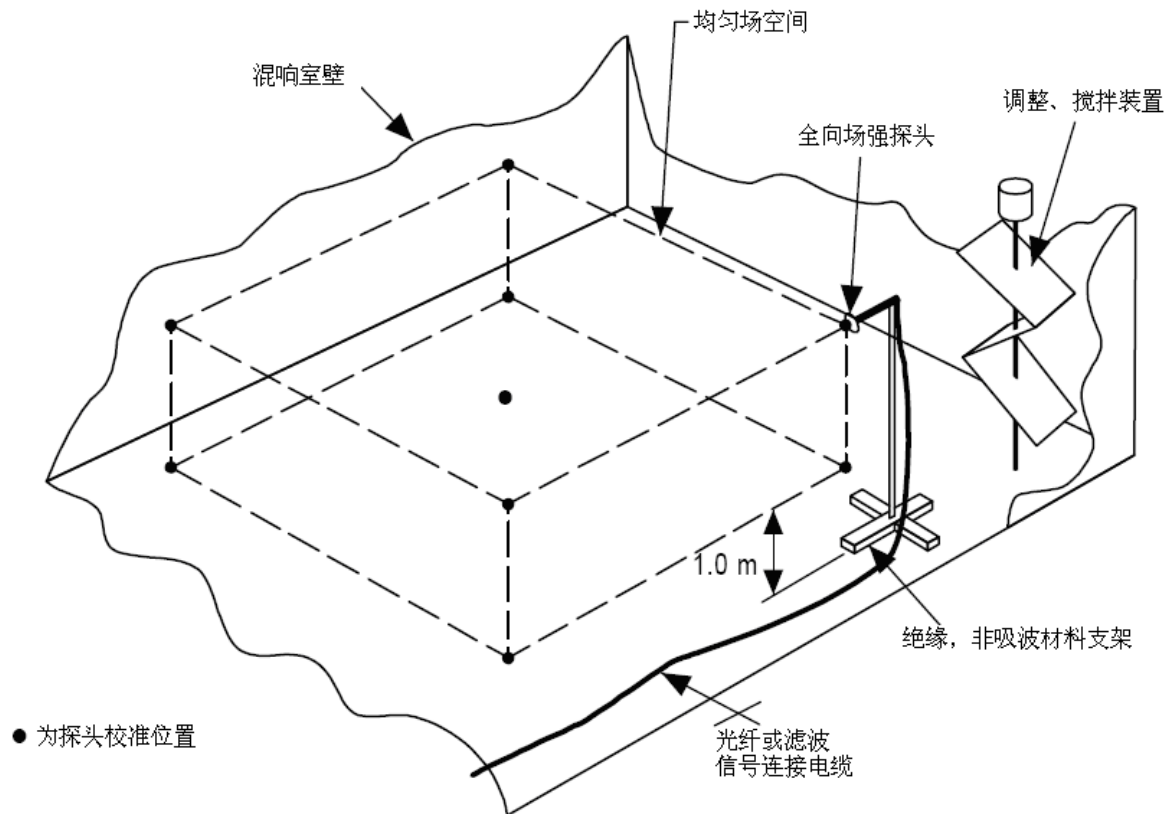


图 20-11 场均匀性测试允许的标准偏差



注 1: 混响室内部的场校准应由 9 个探头位置组成。

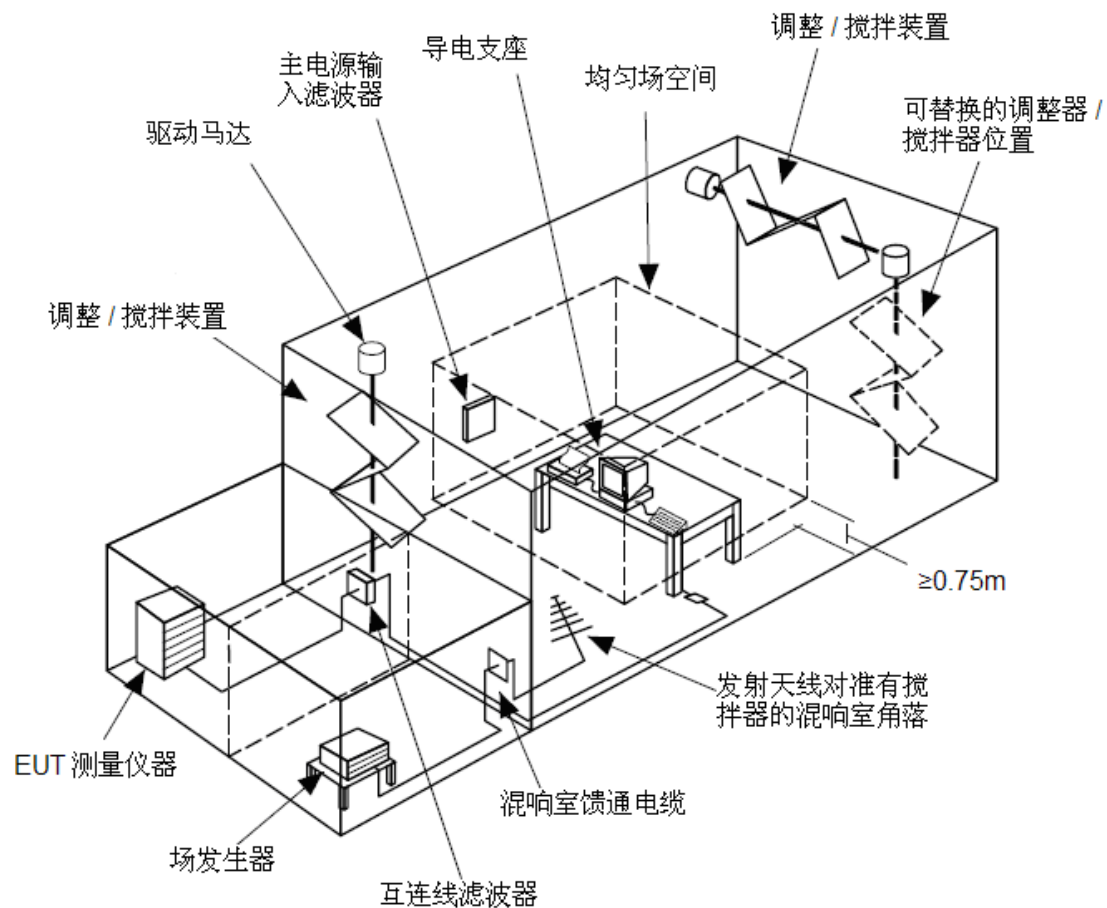
注 2: 探头位置应包含如图所示的空间, 该空间是混响室的“工作区域”。工作区域边界的表面到混响室的任何表面、产生场的天线或搅拌器装置的距离应 $\geq 0.75\text{m}$ (或最低测试频率的 $\lambda/4$)。对用于校准和监视的接收天线可放置在工作区域的任何位置。如果可能的话, 发射天线应对准混响室的墙角, 也可对准搅拌器。在校准和测试过程中, 发射天线应保持在固定位置。在校准和测试时, 发射天线的位置应该相同。

注 3: 工作区域的大小可根据混响室最大工作区域来确定, 或根据要进行的测试设备来确定。建议将混响室最大工作区域作为工作区域的大小, 否则要测试较大的设备时还需进行第二次校准。

注 4: 应使用三轴, 各向同性探头进行校准。可用校准过的电短偶极子天线 (即小于 0.1m) 替代各向同性探头, 但偶极子天线在每个测量位置上都应按三个互相正交的方向放置。应注意确保偶极子天线不受其连接电缆的影响, 建议使用光隔离测量系统 (各向同性探头或偶极天线)。

注 5: 当间隔距离大于最低测试频率的 $\lambda/4$ 波长时, 可将最小间隔距离减小到小于为 0.75m , 但在任何情况下不建议使用小于 $\lambda/4$ 波长的距离。

图 20-12 混响室校准的探头位置



注：

- (1) 工作区域距离混响室的所有表面、场发生天线、或搅拌器装置至少 0.75m（或 $\lambda/4$ ）距离。
- (2) 混响室内应保持没有不必要的吸波材料，比如木桌、地毯、地板覆盖物、墙面覆盖物、天花板贴瓦等均不应使用。暴露的照明装置也是潜在的负载源。对新的混响室，建议除了门、通风口和接口板之外，在其它辅助设备尚未安装时对其进行评估。

图 20-13 混响室试验装置配置实例

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 21 部分 射频能量发射

重要提示

本部分信息与本文其它部分所述的所有试验程序相关。此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.8

替代：RTCA/DO-160F
起草：SC-135

目 次

21.0 射频能量发射	21-1
21.1 试验目的	21-1
21.2 设备分类	21-1
21.3 一般要求	21-1
21.4 射频传导发射	21-2
21.5 射频辐射发射	21-3
21.6 射频辐射发射--混响室法.....	21-3
21.6.1 混响室要求	21-3
21.6.2 混响室插入损耗	21-3
21.6.3 射频辐射发射测试	21-4
表 1 带宽和测量时间	21-2
图 21-1 最大射频传导干扰电平—电源线.....	21-6
图 21-2 最大射频传导干扰电平—互连电缆束	21-7
图 21-3 最大射频传导干扰电平—P 类互联电缆束和电源线	21-8
图 21-4 最大射频传导干扰电平—Q 类电源线	21-9
图 21-5 最大射频传导干扰电平—Q 类互连电缆束	21-10
图 21-6 射频传导干扰测试配置	21-11
图 21-7 最大射频辐射干扰电平—B 类和 L 类	21-12
图 21-8 最大射频辐射干扰电平—M 类.....	21-13
图 21-9 最大射频辐射干扰电平—H 类	21-14
图 21-10 最大射频辐射干扰电平—P 和 Q 类	21-15
图 21-11 辐射发射测试配置	21-16
图 21-12 混响室辐射发射插入损耗测量配置	21-17
图 21-13 混响室辐射发射测试配置	21-18

21.0 射频能量发射

21.1 试验目的

本试验用于确定设备发射的射频干扰噪声不超过本部分规定的电平。辐射发射极限上的凹口是为了保护飞机上该工作频率的射频敏感器件。

21.2 设备分类

设备类别根据设备与飞机无线电天线之间的相对位置和间隔距离来确定。当这些参数与飞机类型和尺寸密切相关时，则给出了每种类别的一些实例。

B 类

该类别主要指预期工作在干扰应被控制在可承受电平范围内的设备。

L 类

该类别指位于远离飞机开口（例如窗口）和无线电接收机天线区域的设备和互连电缆。该类别可适用于飞机电子舱内的设备及相关互连电缆。

M 类

该类别指位于存在明显电磁环境的开口处，但不直接暴露于无线电接收机天线区域的设备和互连电缆。该类别适用于运输类飞机客舱或座舱内的设备及相关互连电缆。

H 类

该类别指直接暴露于无线电接收机天线区域的设备。该类别典型地适用于位于飞机外部的设备。

P 类

该类别指位于靠近高频，甚高频（VHF），或全球定位系统（GPS）的无线电接收机天线的区域，或飞机结构几乎不能提供屏蔽的设备和互连电缆。

Q 类

该类别指位于靠近甚高频（VHF），或全球定位系统（GPS）的无线电接收机天线的区域，或飞机结构几乎不能提供屏蔽的设备和互连电缆。

21.3 一般要求

本部分不对由接收机或发射机天线端子传导出的乱真信号进行测量或抑制，对该信号的抑制应在接收机或发射机设备性能规范中规定。当无线电发射机或接收/发射机处于非发射或接收模式时，必须满足规定的发射要求（包括相邻通道之间频带的 $\pm 50\%$ 选择频率）。

注：对于发射机，不测量来自天线的辐射发射或当发射机为键控发射且射频能量施加到负载上时，来自任何相邻通道之间频带 $\pm 50\%$ 选择频率的辐射发射。

受试设备应布置在接地平板上，并按照 20.3 中段落 a 和段落 b 的 1、2、5 部分以及以下限制和附加条件进行操作：

a. 对于 21.5 中的辐射发射测试，应保持图 21-11 中所示的天线与接地平板边缘的间距和 EUT 与接地平板边缘的间距。

b. 应使用干扰测量设备的峰值检波功能进行干扰测量。可使用具有中频带宽（BW）可选功能的干扰测量仪器，但选择的中频带宽（BW）必需是表 1 中规定的值。

c. 按图 21-6 所示方法使用线路阻抗稳定网络（LISNs）。图 20-1 提供了 LISN 的技术数

据。

- d. 根据 20.3.a (6) 中的说明, 就近固定在接地平板上的电源线回线不要求测试。
- e. 峰值检波器的时间常数必需小于或等于 $1/BW$ 。若使用视频带宽, 选择的视频带宽应大于或等于分辨率带宽。
- f. 为检测随时变化的发射, 必需采用比表 1 中的要求更长的驻留、扫描和测量时间。表 1 中的驻留时间与 60Hz 处的变化率相关。
- g. 对发射测量, 应对每个适用的试验在整个频率范围内进行扫描。在进行发射测试时, 模拟式测量接收机的最小测量时间应遵循表 1 的规定。综合测量接收机的步长应为 $1/2$ 带宽, 且驻留时间应符合表 1 的规定。可使用更大的接收机带宽, 但测量到的发射电平值可能会变高。
对采用较大带宽得到的测量数据不应加带宽修正因子。
- h. 记录的数据应提供的最小频率分辨率为 1%或两倍测量接收机带宽 (取较宽者), 最小幅度分辨率为 1dB。
- i. 发射数据的幅度与频率曲线图应自动生成, 并且应是连续的。
- j. 测试报告中数据要求—测试报告中应包括以下试验配置和数据。
 - 1. 电缆配置—每个电缆束的长度, 线缆类型, 屏蔽和屏蔽端接 (包括单独和整体屏蔽) 以及试验用线的接线图。
 - 2. 试验配置—每个试验配置的示意图、框图或图片, 包括电缆束的布置, 瞬态注入探头和测量探头的布置, 以及 EUT 的搭接方法。
 - 3. EUT 工作方式模式—EUT 在发射测试测量期间 EUT 的工作方式模式。
 - 4. 负载—描述所有的负载, 包括实际的或模拟的。模拟负载应标识线-线、线-机箱 (地) 的阻抗模拟范围。

表 1 带宽和测量时间

频带	6dB 带宽 (BW)	21.4 节和 21.5 节的最小驻留时间 (s)	21.6 节频带的最小扫描时间 (s)	模拟式测量接收机的最小测量时间 (s)
0.15MHz~30MHz	1 kHz	0.015	N/A	0.015s/kHz
30MHz~100MHz	10 kHz	0.015	N/A	1.5s/MHz
100MHz~400MHz	10 kHz	0.015	9	1.5s/MHz
0.40GHz~0.96GHz	100 kHz	0.015	1	0.15s/MHz
0.96GHz~6GHz	1 MHz	0.015	1	15s/GHz

注 1: 为对 M, H, P 和 Q 类中规定的 960MHz 以上凹口频段进行正确的测量, 需要在检测天线输出端与测量接收机之间串联一个线性低噪声前置放大器, 以降低测量底噪声。

注 2: 对于具有“最大保持”功能 (即在给定的整个频率范围进行多次扫描后可保持最大检波电平) 的测量接收机或频谱分析仪, 允许按表 1 中规定的最小测量时间进行多次快速扫描。

21.4 射频传导发射

传导发射测量频率范围为 150kHz~152MHz。应使用卡钳式干扰测量装置来测量设备产生的干扰电流。

- a. 在该频率范围内, 任何与飞机汇流条连接的 EUT 电源线上的发射电平不应超出图 21-1 或图 21-3 或图 21-4 中规定的限值。

b. 在该频率范围内，EUT 任何互连电缆束上的发射电平不应超出图 21-2 或图 21-3 或图 21-5 中规定的限值。主电源线不视为互连电缆束。处于非发射或接收工作模式的天线馈电电缆可视为互连电缆。

c. 电流探头的测试布置见图 21-6。

d. 电流探头安装在距离 EUT 5cm 处。如果 EUT 连接器和基座的总长度超过 5cm，监测探头应该尽量靠近机箱连接器的基座，并记录探头位置。

e. 测量并记录 EUT 的发射电平，并使用图 21-1、图 21-2、图 21-3、图 21-4 或图 21-5 中所选类别的适用限值。

21.5 射频辐射发射

辐射发射测量频率范围为 100MHz~6000MHz。

a. 在该频率范围内，从设备的任何装置、电缆或互连线中辐射出的辐射干扰场不应超出图 21-7、图 21-8、图 21-9 和图 21-10 中适用类别的限值。

b. 射频辐射发射试验设备的典型布置见图 21-11。

c. 通过使用适当的天线，并将相应的天线系数与测量电压（dB μ v）相加，从而得到测量场强。同时，还必须加上电缆损耗和匹配网络的校准系数。

d. 辐射测试必须使用线极化天线。辐射发射测量应使用垂直和水平两个极化方向。

e. 直接将 EUT 的开口（例如显示器、CRT、连接器）暴露于接收天线前，这可能需要增加 EUT 方向或接收天线的位置。如果未将 EUT 的所有开口暴露于接收天线之前，必需在试验报告中给出合理的理由。

f. 应考虑 EUT 产生最大发射的实际工作模式。

g. 如果 EUT 的发射值大于所选类别限值以下 3dB 的值，则需提供辐射环境电平数据（EUT“关机”，试验辅助设备“开机”）。

h. 应在进行辐射发射测试前检查环境辐射发射电平，要求环境发射电平至少应比所选限值低 6dB。

i. 测量并记录 EUT 的发射电平，并使用图 21-7、图 21-8、图 21-9 或图 21-10 中所选类别的适用限值。

21.6 射频辐射发射—混响室法

本节规定的混响室射频辐射发射测量可用于替代 21.5 节的射频辐射发射测量。

21.6.1 混响室要求

混响室必需采用搅拌器的连续旋转的工作方式（搅拌模式）。在 100MHz 及以上频段混响室必需满足 20.6.3 规定的场均匀性要求。

21.6.2 混响室插入损耗

a. 在混响室中布置试验台、EUT 和线缆。EUT 和辅助设备均不上电。设备和线缆的布置应符合 20.3.a.(5)规定的要求。EUT 及其相关线缆应位于图 20-13 所示的工作区域内，试验配置简图见图 21-12。

b. 接收天线的频带应在 EUT 测试频率范围内，其位置必须满足 20.6.3 节规定的场均匀性要求。如果日常测试时接收天线被安装在某一固定位置，则在进行场均匀性校验时使用的位置

中必需有一个为接收天线的固定位置。

注：关键是将接收天线和 EUT 之间的直接耦合效应降至最小。

c. 使用频谱分析仪或 EMI 接收机的峰值检波方式，并将显示数据设置为峰值保持。

d. 设置信号发生器，使其按表 1 中规定的频率范围进行扫描。将信号发生器的扫描时间除以 100 所得的值作为频谱分析仪 1MHz 中频带宽时的扫描时间。信号发生器的扫描速度乘以 100 可得搅拌器旋转一周的最小时间。

e. 使射频信号发生器在 21.6.2(d.)所选频率范围进行扫描，同时调节射频信号源使其将已知的输入功率 P_{Input} 注入发射天线。发射天线不应直接照射工作区域或接收天线。扫描的频率范围应在线极化发射天线的频带内。应确保测量是在测量仪器底噪声之上进行的。

f. 以 dBm 为单位记录射频信号发生器输出功率(P_{Input})。

g. 使搅拌器完成一个完整旋转周期，以使频谱分析仪或 EMI 接收机在所选频率范围内捕获来自接收天线的峰值功率。使频谱分析仪按 21.6.3(e.)的规定完成所要求的扫描。

h. 用以下公式计算混响室的插入损耗：

$$IL = (P_{Input} - L_{loss}) + (10 \log(\eta)) - P_{rec}$$

式中：

IL = 给定频率上加载的插入损耗，dB；

P_{Input} = 射频信号发生器的输出功率，dBm；

L_{loss} = 发射天线的线路损耗，dB；

η = 发射天线效率。对数周期天线为 0.75，喇叭天线为 0.9；

P_{rec} = 接收到的功率，dBm。

注：插入损耗和射频辐射发射测量必需使用相同的接收天线和接收天线传输线。

21.6.3 射频辐射发射测试

混响室射频发射测试是测量 EUT 发射的功率。总的 EUT 射频发射功率为每个测量频率上测得的 EUT 射频发射功率（dBm）与混响室的插入损耗（dB）之和。

给 EUT 上电，并确定其处于正常工作状态。给所有需要的辅助设备上电，并使其工作在稳定状态。设备和电缆的布置应满足 20.3.a(5)中规定的要求。将 EUT 和相关电缆置于图 20-13 规定的工作区域内。

a. 选择 EUT 产生最大发射的工作方式。

b. 在屏蔽室外断开发射天线与信号源之间的传输电缆线，并用 50Ω 的负载端接该传输电缆线，如图 21-13 所示。

c. 接收天线必须满足 21.6.2(b)中规定的要求。

d. 按 21.3 中表 1 规定的带宽设置频谱分析仪或 EMI 接收机，使其监测接收天线。

e. 使用频谱分析仪或 EMI 接收机的峰值检波方式，并将显示数据设置为峰值保持。

f. 按 21.3 中表 1 的规定选择频谱分析仪或 EMI 接收机的扫描时间。将频谱分析仪或 EMI 接收机的扫描时间乘以 200 即为搅拌器一个旋转周期的时间。

g. 使搅拌器完成一个完整旋转周期，以使频谱分析仪或 EMI 接收机在所选频率范围内捕获来自接收天线的峰值功率。在一个搅拌器旋转周期内至少应有 200 次扫描。

h. 用以下公式计算 EUT 的射频发射功率：

$$P_t = \frac{\left(10^{(P_{re}+IL)/10}\right)}{1000}$$

式中:

P_t =给定频率上 EUT 发射的总功率, W;

P_{rec} =接收天线接收到的最大功率, dBm;

IL =21.6.2(h)计算出的插入损耗值, dB。

i. 计算电场强度 E :

$$E = \sqrt{\frac{D * P_t * 377}{4 * \pi}}$$

式中:

E =场强, V/m;

P_t =21.6.3(h)得到的最大功率, W;

D =1.64, 为 EUT 的等效方向性。

注: EUT 的方向性是将其等效为一个半波偶极子天线。

j. 计算电场发射 (dB μ V/m) .

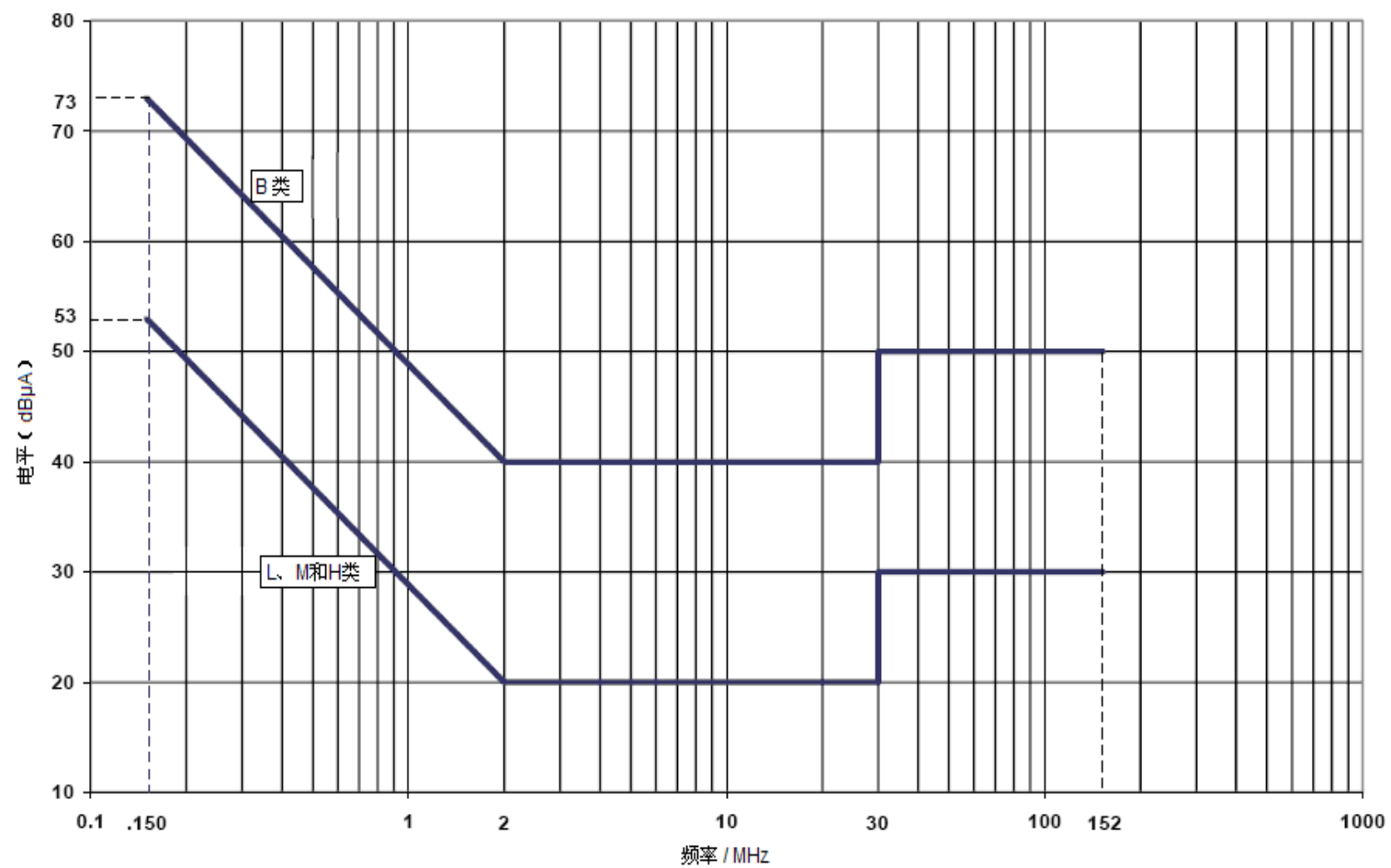
$$\text{dB}\mu\text{V/m}=(20\log(E))+120$$

式中:

E =21.6.3(i)中得到的电场强度, V/m。

k. 记录 EUT 的电场发射, 并使用图 21-7、图 21-8、图 21-9 或图 21-10 中所选类别的适用限值。

l. 如果 EUT 的发射值大于所选类别限值以下 3dB 的值, 则需进行环境射频辐射电平测量 (EUT“关机”, 测试辅助设备“开机”)。应在进行辐射发射测试前检查环境辐射发射电平, 要求环境发射电平至少应比所选限值低 6dB。

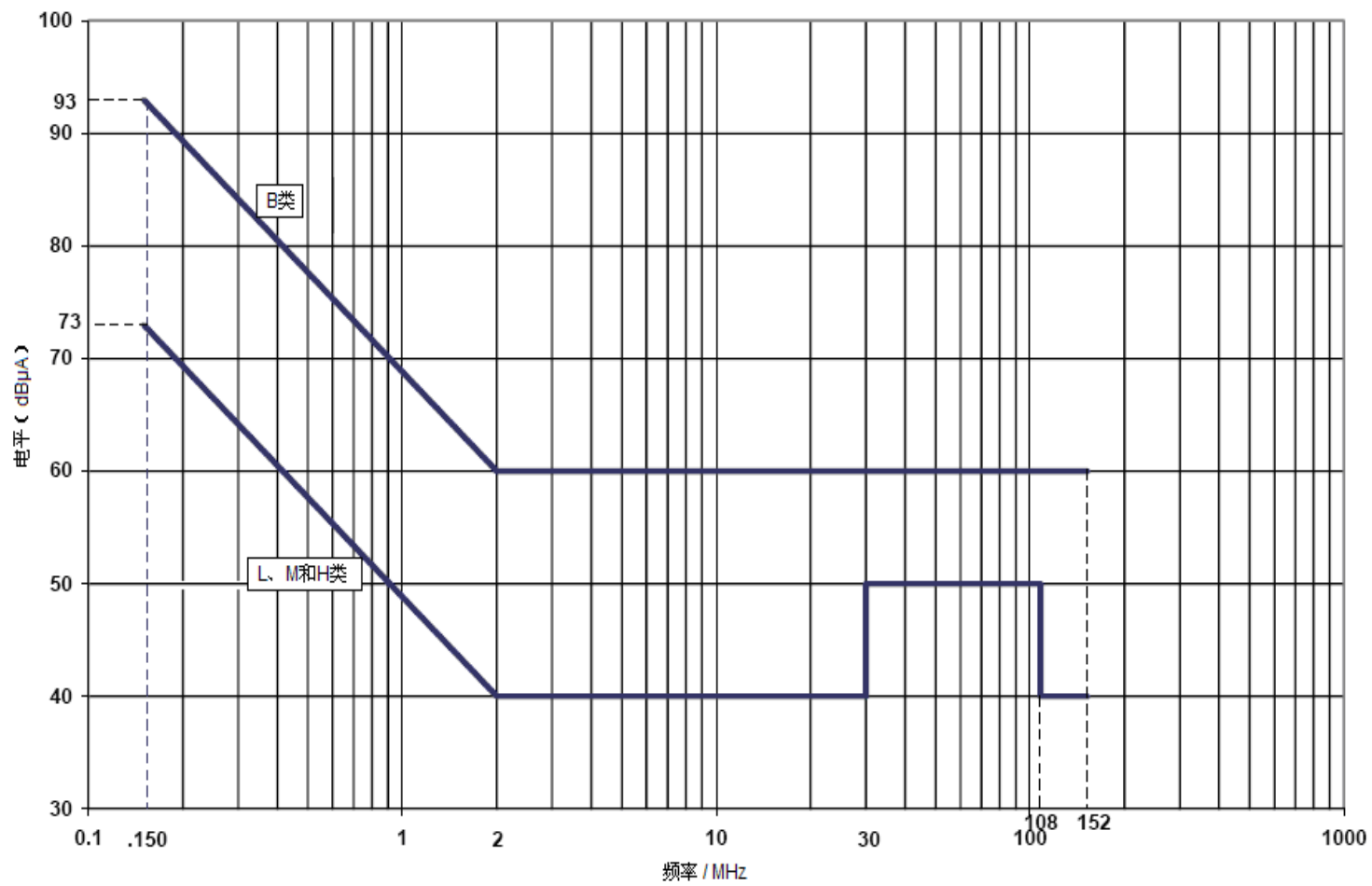


曲线定义：极限电平 = 斜率 × 频率 (MHz) + 截距

B 类：F < 2MHz 斜率 = -29.335，截距 = 48.83

L、M 和 H 类：F < 2MHz 斜率 = -29.335，截距 = 28.83

图 21-1 最大射频传导干扰电平—电源线

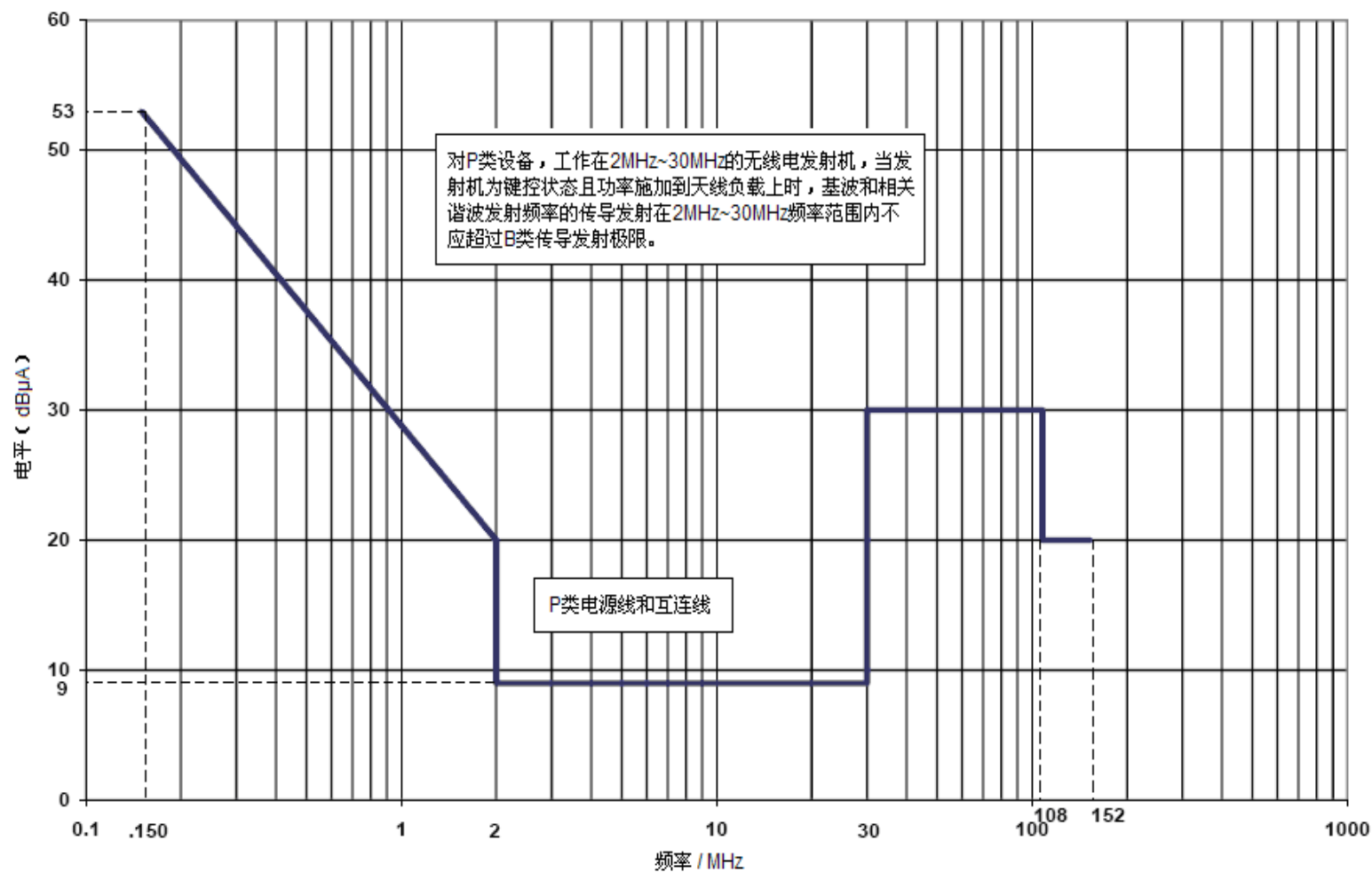


曲线定义：极限电平 = 斜率 × 频率 + 截距

B 类：F < 2MHz 斜率 = -29.335，截距 = 68.83

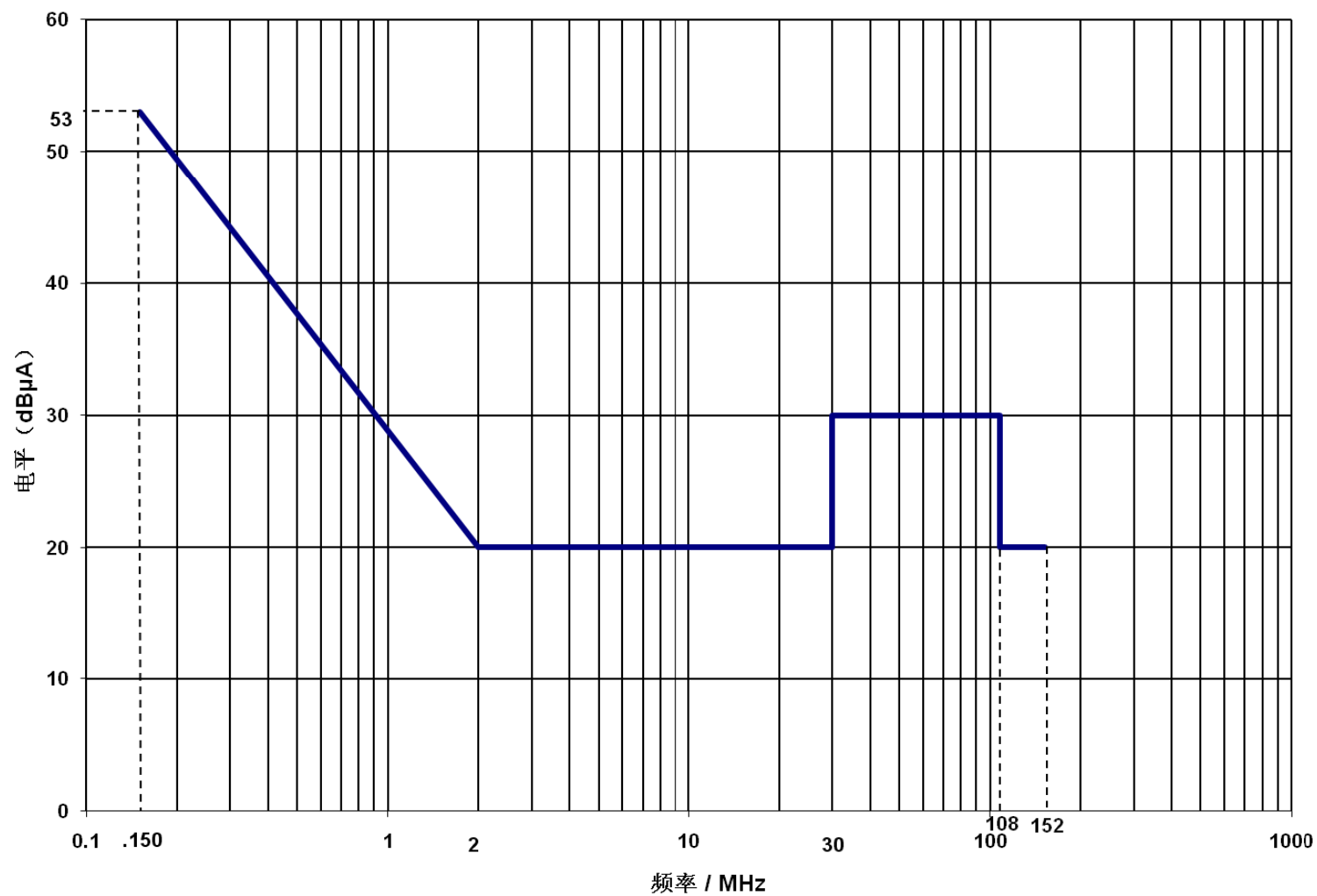
L、M 和 H 类：F < 2MHz 斜率 = -29.335，截距 = 48.83

图 21-2 最大射频传导干扰电平—互连电缆束



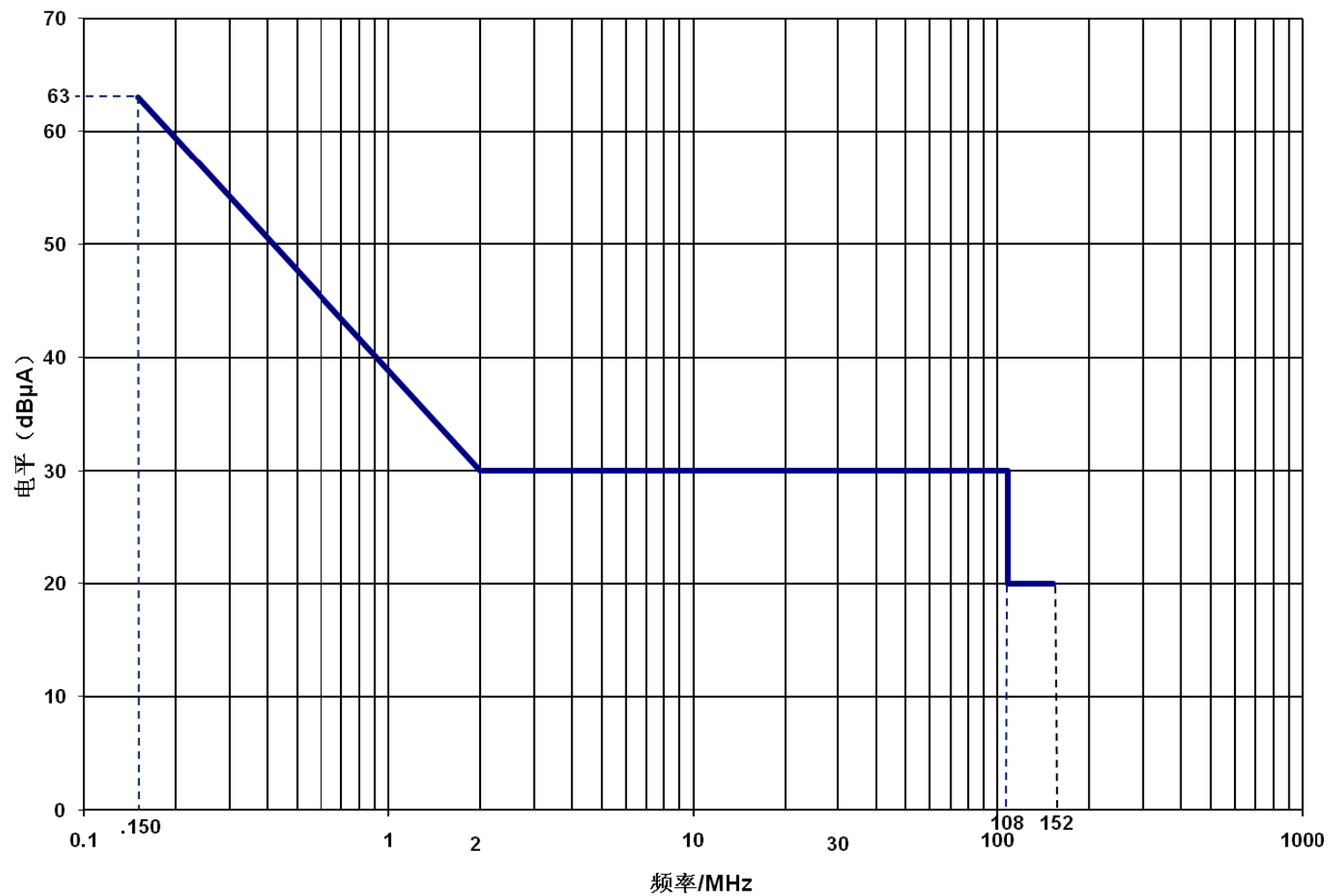
曲线定义：极限电平 = 斜率 × 率 × 义：极频率, MHz) + 截距
P 类：F < 2MHz 斜率 = -29.335，截距 = 48.83

图 21-3 最大射频传导干扰电平—P 类互联电缆束和电源线



曲线定义：极限电平 = 斜率 × 频率 × 10 + 截距
P 类：F < 2MHz 斜率 = -29.335，截距 = 28.83

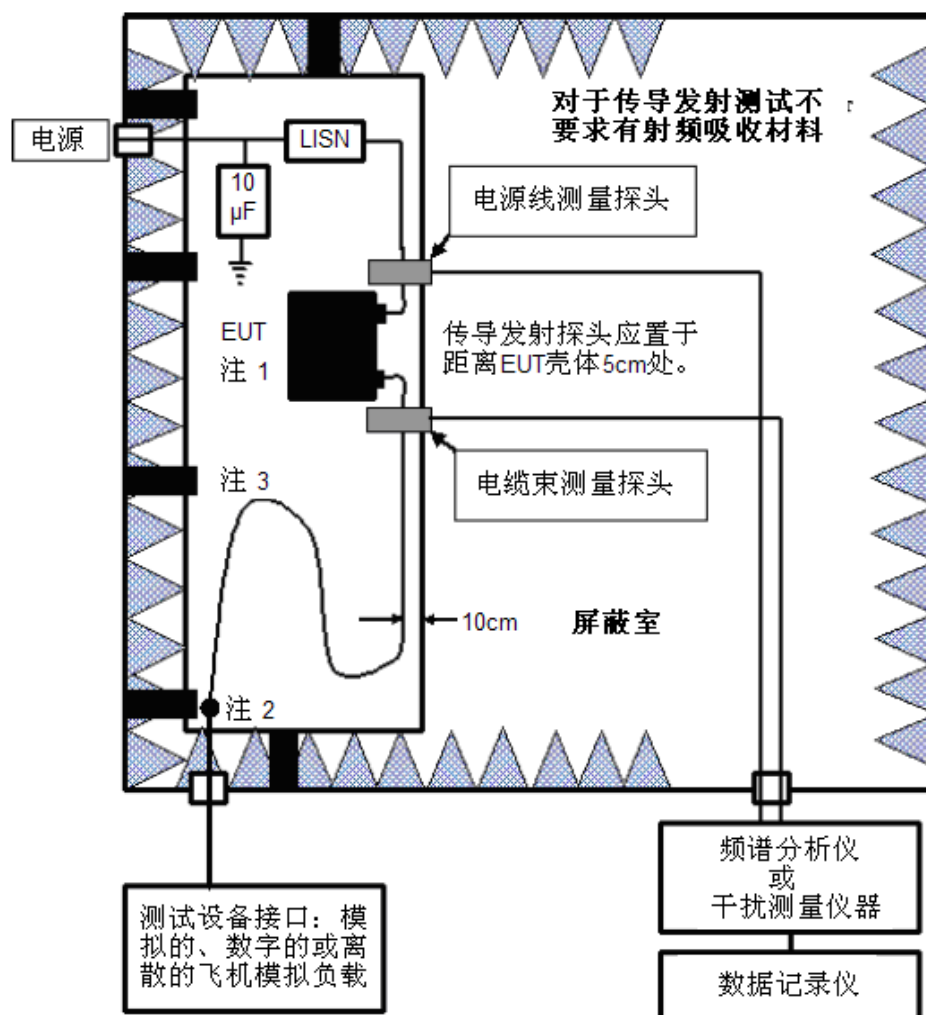
图 21-4 最大射频传导干扰电平—Q 类电源线



曲线定义: 极限电平 = 斜率 $\times \log(\text{频率, MHz}) + \text{截距}$

P 类: $F < 2\text{MHz}$ 斜率 = -29.335, 截距 = 38.83

图 21-5 最大射频传导干扰电平—Q 类互连电缆束

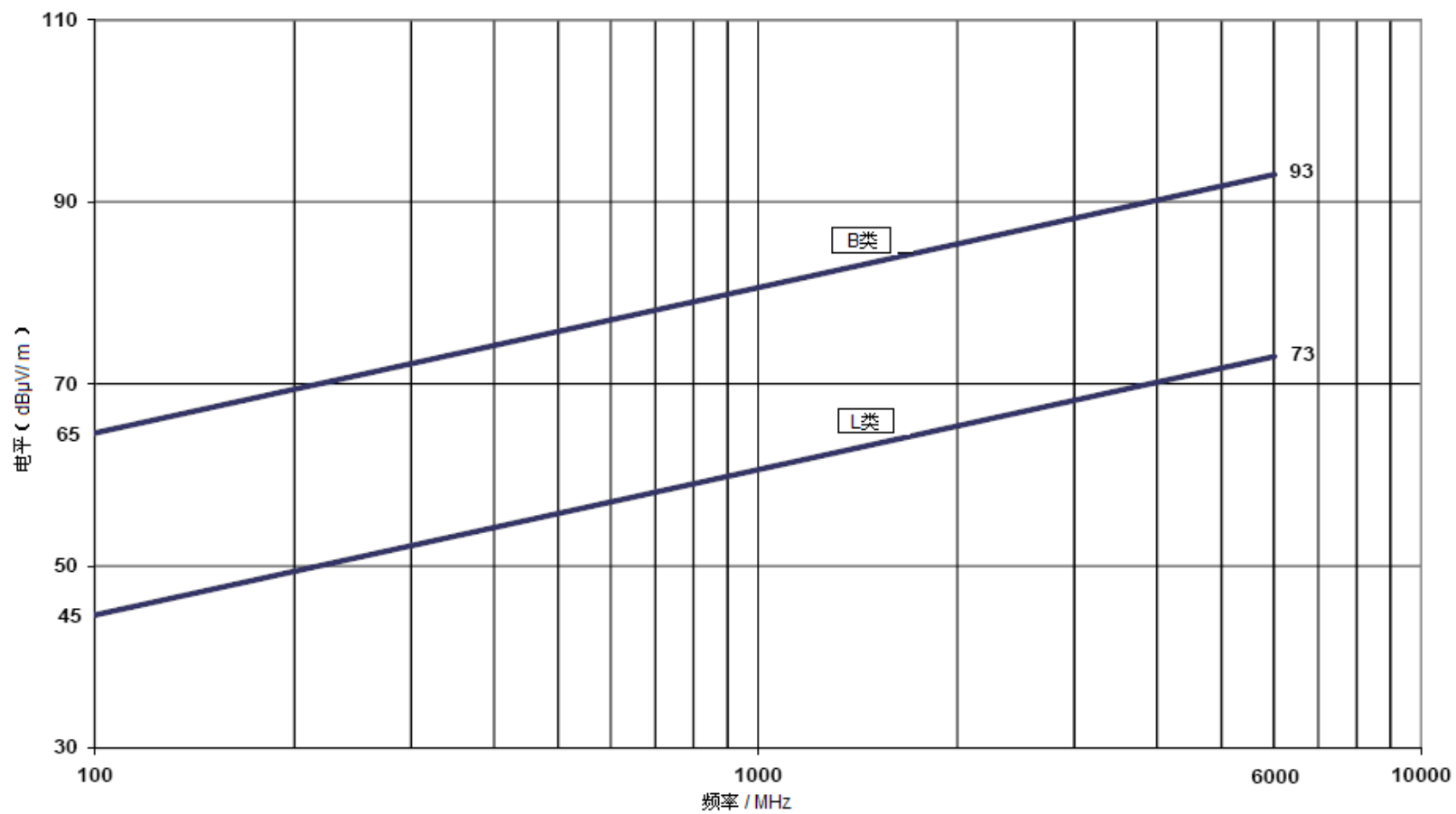


注 1: EUT 一般要求见 20.3。

注 2: 暴露的电缆端，非屏蔽电缆可从此处屏蔽到墙。

注 3: 搭接条。

图 21-6 射频传导干扰测试配置

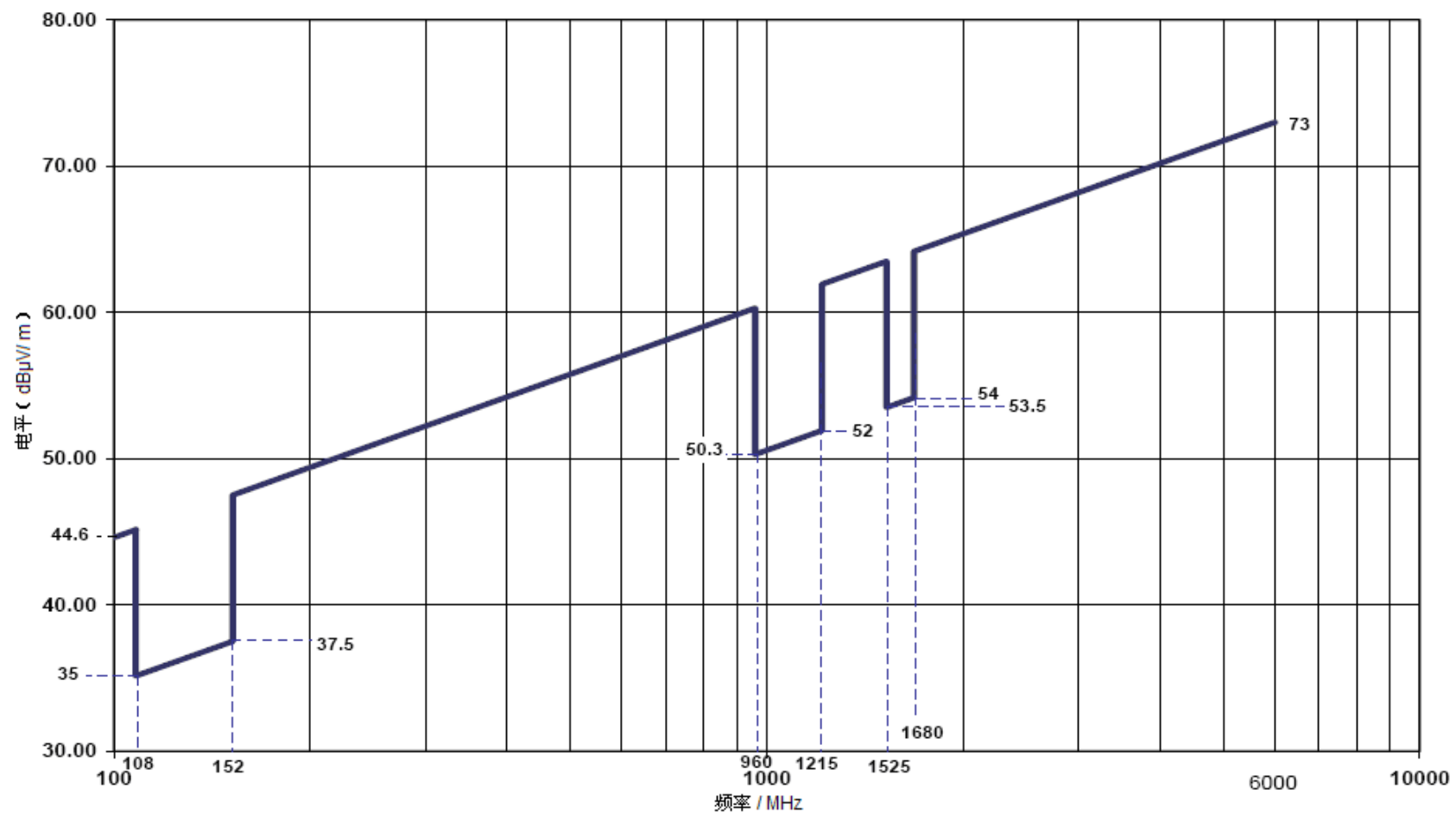


曲线定义：极限电平 = 斜率 $\times \log(\text{频率, MHz})$ + 截距

B 类：F > 100MHz 斜率 = 15.965，截距 = 32.682

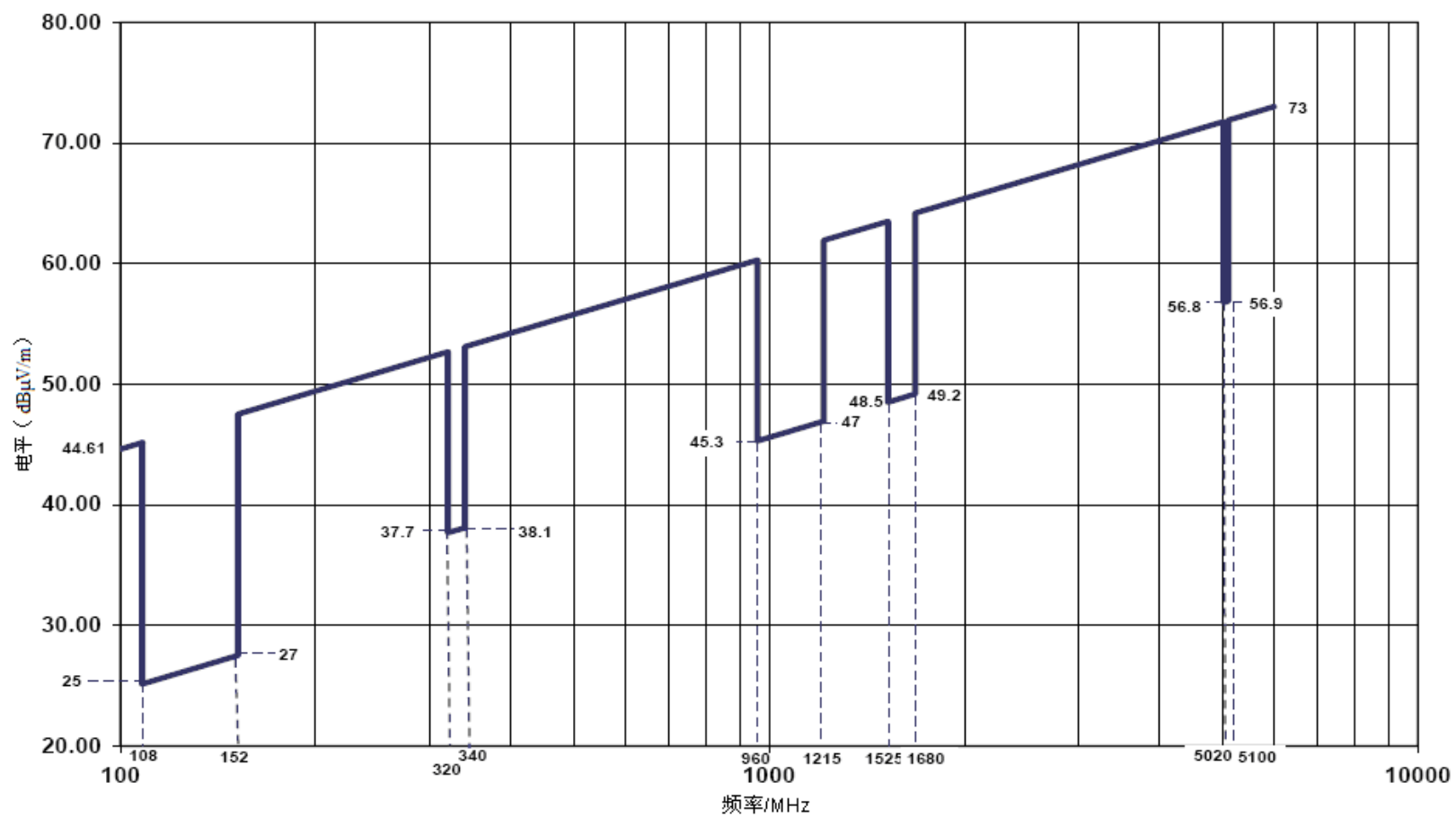
L 类：F > 100MHz 斜率 = 15.965，截距 = 12.682

图 21-7 最大射频辐射干扰电平—B 类和 L 类



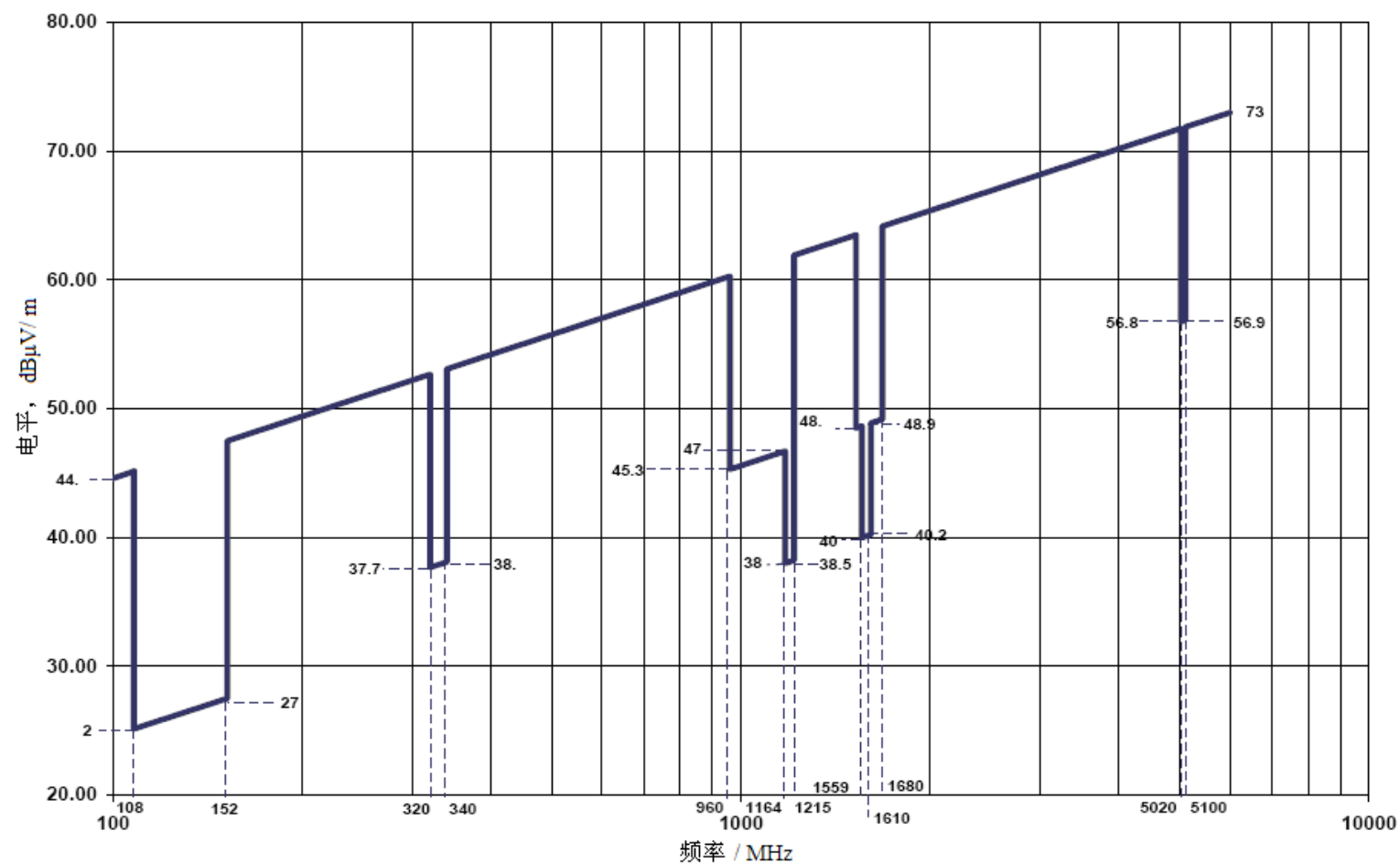
曲线定义：极限电平 = 斜率 × log (频率, MHz) + 截距
M 类：F > 100MHz 斜率 = 15.965，截距 = 12.682

图 21-8 最大射频辐射干扰电平—M 类



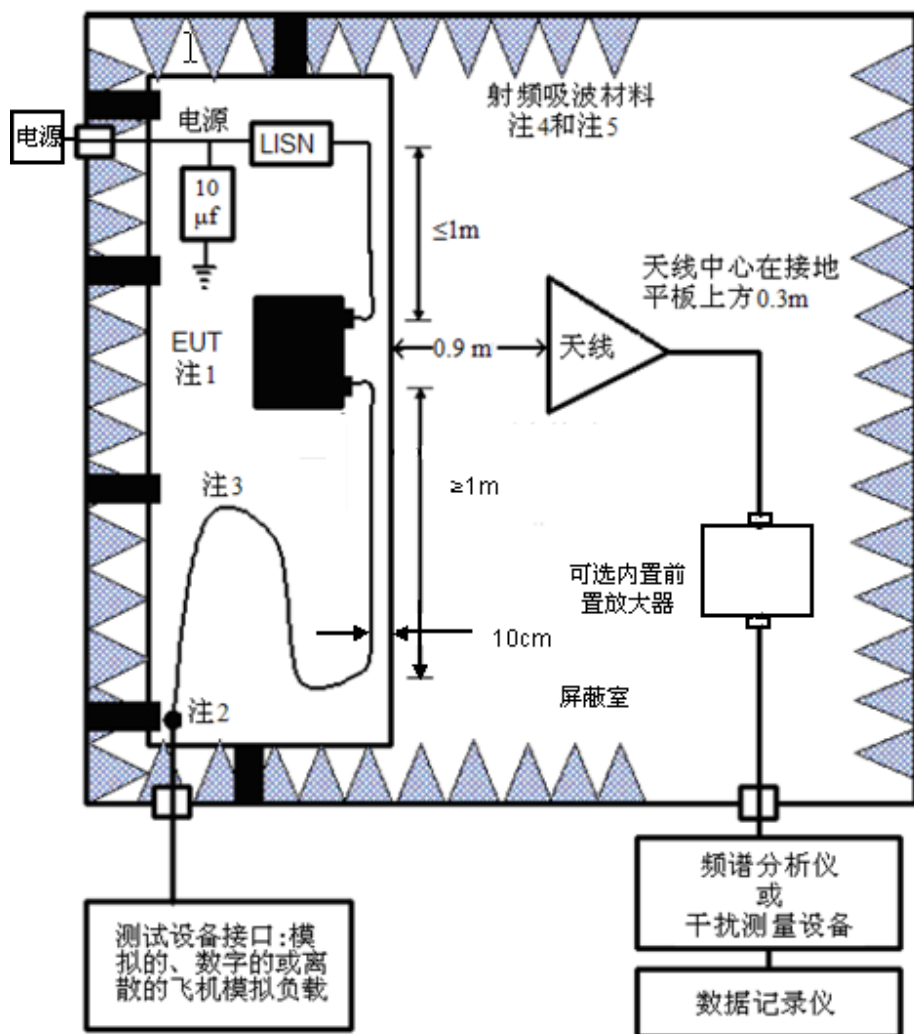
曲线定义：极限电平 = 斜率 × log(频率, MHz) + 截距
H 类：F > 100MHz 斜率 = 15.965，截距 = 12.682

图 21-9 最大射频辐射干扰电平—H 类



曲线定义：极限电平 = 斜率 × log(频率, MHz) + 截距
P 和 Q 类：F > 100MHz 斜率 = 15.965，截距 = 12.682

图 21-10 最大射频辐射干扰电平—P 和 Q 类



注 1: EUT 一般要求见 20.3。

注 2: 暴露的电缆端，非屏蔽电缆可以从此处屏蔽到墙。

注 3: 搭接条。

注 4: 从天花板到接地平板，射频吸波材料应放置在测试配置边界的上面、后面和两边。在接地平板前面，吸波材料应延伸 $\geq 50\text{ cm}$ 。

注 5: 从天花板到地板，射频吸波材料应放置在测试天线后面。吸波材料与天线之间的距离应 $\geq 30\text{ cm}$ 。

图 21-11 辐射发射测试配置

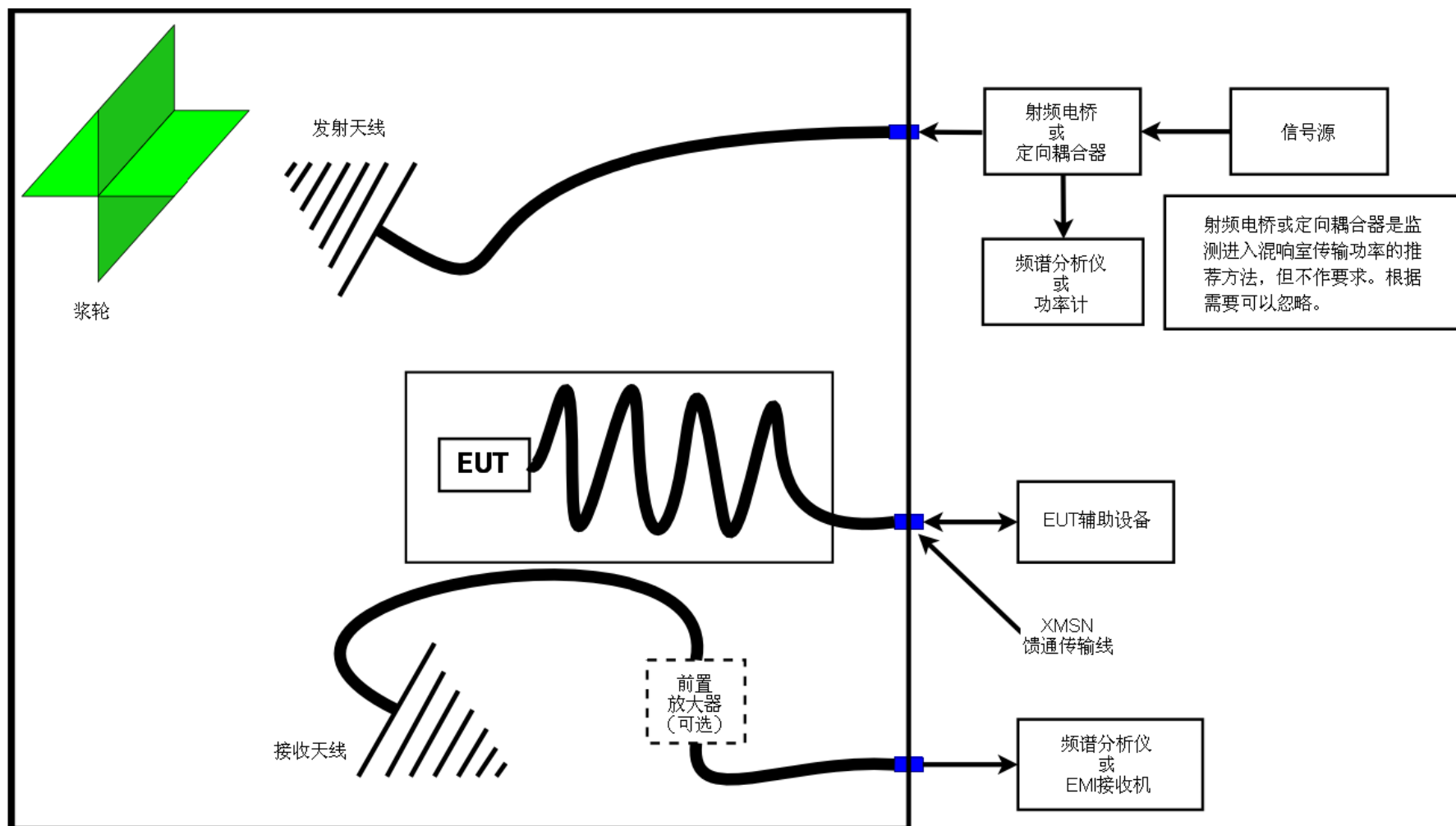


图 21-12 混响室辐射发射插入损耗测量配置

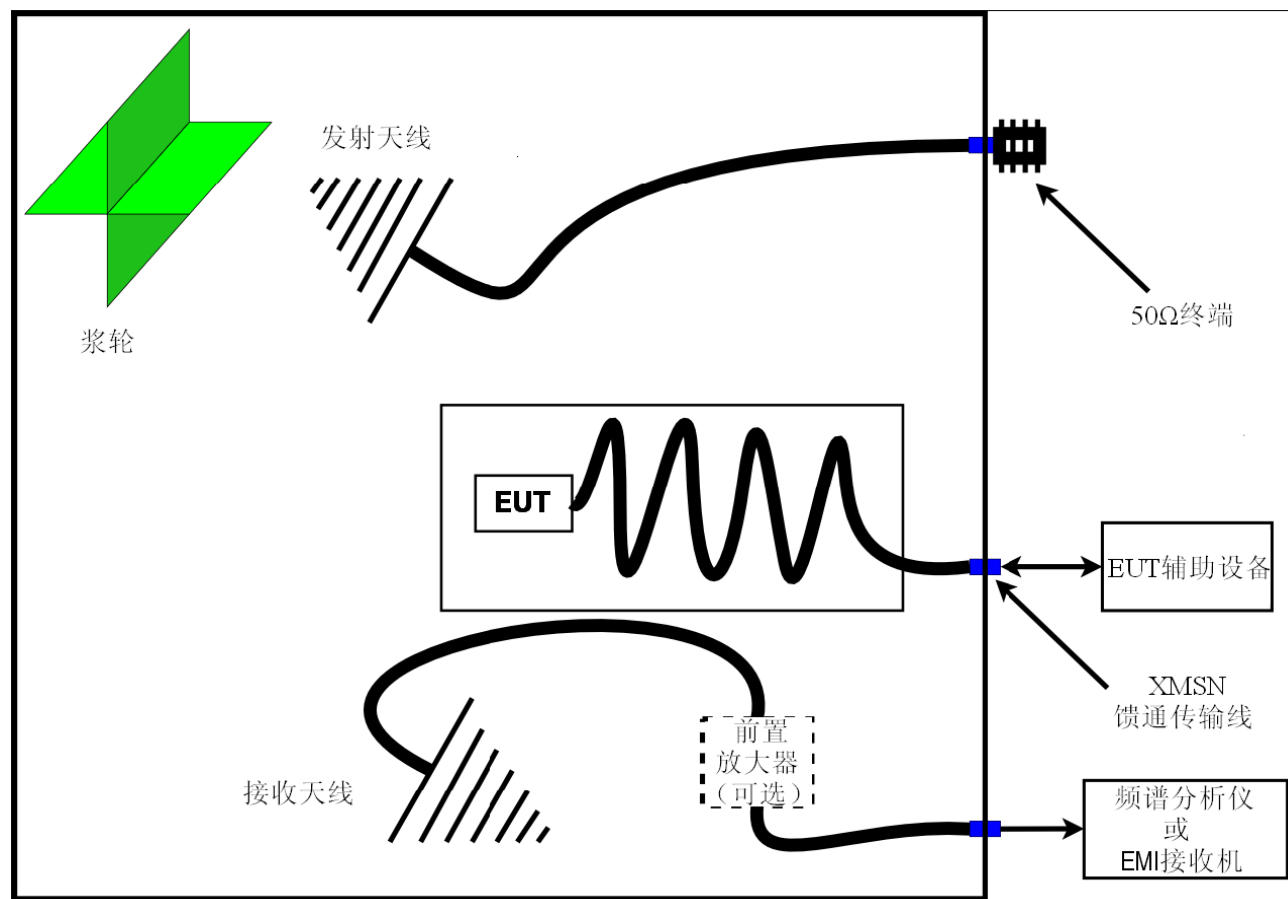


图 21-13 混响室辐射发射测试配置

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 22 部分

雷电感应瞬态敏感度

重要提示

本部分试验方法与第 1、2 和 3 部分有关。
此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.08

替代：RTCA/DO-160F
起草：SC-135

目 次

22.0 雷电感应瞬态敏感度	22-1
22.1 试验目的.....	22-1
22.2 定义	22-1
22.3 类别	22-2
22.3.1 波形组标识（第 1、第 3 和第 5 个字符）	22-3
22.3.2 试验等级标识（第 2、第 4 和第 6 个字符）	22-3
22.4 一般试验要求	22-4
22.5 试验程序.....	22-6
22.5.1 针脚注入试验	22-6
22.5.1.1 程序-信号发生器校准	22-7
22.5.1.2 程序-试验步骤.....	22-7
22.5.2 电缆束试验	22-8
22.5.2.1 电缆感应试验	22-10
22.5.2.1.1 程序-信号发生器性能验证.....	22-10
22.5.2.1.2 程序-试验步骤	22-10
22.5.2.2 对地注入试验	22-11
22.5.2.2.1 程序-信号发生器性能验证.....	22-11
22.5.2.2.2 程序-试验步骤	22-11
表 22-1.1 针脚注入试验要求.....	22-13
表 22-1.2 电缆束试验要求.....	22-13
表 22-2 针脚注入试验的信号发生器设置电平	22-14
表 22-3 电缆束单次回击试验的试验电平和极限电平	22-14
表 22-4 电缆束多次回击试验的试验电平和极限电平	22-15
表 22-5 电缆束多重脉冲组试验的试验电平	22-16
图 22-1 电流波形 1.....	22-17
图 22-2 电压波形 2.....	22-17
图 22-3 电压/电流波形 3.....	22-18
图 22-4 电压波形 4.....	22-18
图 22-5 电流/电压波形 5.....	22-19
图 22-6 电流波形 6.....	22-19
图 22-7 多次回击	22-20
图 22-8 多重脉冲组.....	22-20
图 22-9 LISN 输入阻抗特性	22-21
图 22-10 针脚注入校准配置，信号和电源针脚-直接注入方法.....	22-22
图 22-11 针脚注入校准配置，电源针脚-电缆感应方法	22-23
图 22-12 针脚注入校准配置，电源针脚-对地注入法	22-25
图 22-13 针脚注入试验配置，信号和电源针脚-直接注入方法.....	22-25

图 22-14 针脚注入试验配置，电源针脚-电缆感应法	22-26
图 22-15 针脚注入试验配置，电源针脚-对地注入法	22-27
图 22-16 电缆感应试验时确认瞬态信号发生器性能的典型配置	22-28
图 22-17 电缆感应试验典型配置	22-28
图 22-18 对地注入试验时确认瞬态信号发生器性能的典型配置	22-29
图 22-19 对地注入试验典型配置	22-29

22.0 雷电感应瞬态敏感度

22.1 试验目的

本部分规定的试验方法和程序用于验证设备耐受一组经选择的瞬态试验信号的能力，本部分定义的瞬态试验信号用于表示雷电感应效应。试验所需的波形和电平以及设备性能合格判据应在相关的设备规范中列出。

设备认证可能用到两类试验。第一类为 22.5.1 中所述的采用针脚注入的破坏性容差试验。第二类为 22.5.2 中所述的用于评价瞬态信号施加到互连电缆束时，设备功能失效性容差试验。电缆束试验包括单次回击、多次回击、多重脉冲组以及响应试验（以下称作单次回击、多次回击和多重脉冲组）。电缆束试验也可提供一种损坏性容差的评价。

注：这些试验或不能涵盖雷电对设备产生的所有感应作用和影响。根据设备执行的功能，可能需要进行附加的试验（例如，使设备处于一个完整系统中的试验），以获得某种具体安装状态下的认证。对于安装在飞机外部的设备，可能还需要进行雷电直接效应试验，有关内容见本标准第 23 部分。

22.2 定义

电缆束

一组捆绑或敷设在一起的导线或电缆，它们把组成受试系统的一个设备与另一个或多个设备连接起来。

校准环

一个穿过注入探头后形成绝缘次级绕组的大容量、低自感、低电阻的单匝导线环。该校准环的阻抗应足够低，以获得试验电平和波形。

芯线

屏蔽层内部的单根导线。由于存在屏蔽层（即屏蔽层转移阻抗），单根导线上的感应电压/电流会小于激励环上的电压/电流。

发生器

通过直接或间接的方式将电压或电流波形耦合到 EUT 上的一套设备（如波形合成器、放大器、耦合器等）。

本地接地

任何长度小于 1m 的接地带或导体，它们把设备与设备安装处飞机结构的相同部位连接起来。雷电回击试验期间，应将接地带或导体搭接到安装设备的同一个接地平面，这样它们就会处在与设备相同的结构电位上。

监测环

一个紧凑合适的单匝导线环，把它绕在注入探头上形成一个绝缘次级绕组。该环用来监测电缆束或校准环的感应电压。

多重脉冲组

用以表示飞机导线上出现的外部雷击多重脉冲组波形感应效应的一组瞬态波形。多重脉冲组包括对外部环境中每一个电流脉冲响应的感应瞬态波形。每一个感应瞬态波形是对外部环境的响应。多重脉冲组有 3 组共 20 个瞬态波形。

多次回击

用以表示飞机导线上出现的外部雷击多次回击波形感应效应的一组瞬态波形。多次回击波形包括对外部多次回击环境中每一个回击响应的感应瞬态波形。多次回击有 14 个瞬态波形。第 1 个感应瞬态波形是对外部环境中第一个回击的响应，紧随其后的 13 个瞬态波形是对外部雷击环境中紧随其后的回击或多次回击的响应。

屏蔽

就本部分用途而言，屏蔽指的是一个导体，它的两端与设备外壳或飞机结构搭接接地，它与电缆束平行敷设并束缚在电缆束内部。它通常是包裹电缆束中一些导线或电缆的导线编织物，或者是电缆束内部两端接地的金属导管、金属通道或金属导线。屏蔽效果提供了被连设备之间的低阻抗通路。

屏蔽电缆束

含有一根或多根屏蔽导体的电缆束。这些电缆束可能包含一些非屏蔽导线。

单次回击响应

导线对于作用在飞机外部的最严酷雷击分量的典型响应。

转移阻抗

芯线上开路电压与屏蔽层上电流的比值。

非屏蔽电缆束

不含屏蔽层的电缆束。

22.3 类别

设备制造厂商必须按照与设备预期用途及在飞机上安装要求一致的试验等级和波形对设备进行试验。

设备类别符号由 6 个字符组成：

- a. 针脚试验波形组用表 22-1.1 中的字母（A 或 B）表示，或用字母 Z 或 X 表示。
 - b. 针脚试验等级用表 22-2 中的数字（1~5）表示，或用字母 Z 或 X 表示。
 - c. 电缆束单次和多次回击试验波形组用表 22-1.2 中的字母（C~K）表示，或用字母 Z 或 X 表示。
 - d. 电缆束单次和多次回击试验等级用表 22-3 和表 22-4 中的数字（1~5）表示，或用字母 Z 或 X 表示。
 - e. 电缆束多重脉冲组试验波形组用表 22-1.2 中字母（L~M）表示，或用字母 Z 或 X 表示。
 - f. 电缆束多重脉冲组试验等级用表 22-5 中的数字（1~5）表示，或用字母 Z 或 X 表示。
- 因此，类别符号可表示如下：

<u>B</u>	<u>3</u>	<u>G</u>	<u>4</u>	<u>L</u>	<u>3</u>
针脚	针脚	电缆束单	电缆束单	电缆束多	电缆束多
试验波形	试验等级	次或多次	次和多次	重脉冲组	重脉冲组
		回击试验	回击试验	试验波形	试验等级
		波形	等级		

以上示例中，类别符号 B3G4L3 表示该设备进行针脚注入试验选用波形组 B 和表 22-2 中的试验等级 3，电缆束单次或多次回击试验选用波形组 G 和表 22-3 中的单次回击试验等

级 4 以及表 22-4 中的多次回击试验等级 4，多重脉冲组试验选用波形 L 和表 22-5 中试验等级 3。另一个例子 B3XXXX 表示对设备针脚注入试验时选用波形组 B 和表 22-2 中的试验等级 3。当设备不需要试验时，类别用 XXXXXX 表示。以上示例表明，针脚对外壳的试验等级可能与电缆束试验等级不同。

图 22-1~图 22-8 定义了与波形组 A~L 有关的单个波形。

波形组符号位置上的字母 Z 表示波形组或试验配置（如屏蔽、接地）与表 22-1.1 或表 22-1.2 不同。与此相似，试验等级符号位置上的字母 Z 表示采用的试验等级与表 22-2~表 22-5 中的规定等级不同。例如，AZZ3Z3 表示针脚试验采用的等级与规定的等级不同，而单次回击、多次回击和多重脉冲组试验采用试验等级为 3 的另一种波形组或另一种试验配置。试验报告中应描述具体的试验条件和试验等级。

22.3.1 波形组标识（第 1、第 3 和第 5 个字符）

波形组 A、C、E、G 和 J 适用于全金属机身情况下，由安装在主要感应瞬态源为孔径而非结构电阻的机身或机身部件内部线缆互连的设备。同理，这些波形组也适用于由金属框架和复合材料蒙皮构成的机身内部的设备，以及表面区域用金属网或金属箔保护的碳纤维复合材料(CFC)机身内部的设备。

波形组 B、D、F、H 和 K 适用于，当机身的结构电阻也为重要的感应瞬态源时（例如碳纤维复合材料结构），安装在机身或机身部件内部线缆互连的设备。这种情况下，线缆暴露于波形 5A 表示的高结构电压和再分布雷电电流环境中。

电缆束试验波形组 E、F、J 和 K 适用于所有电缆束中由屏蔽线缆互连的设备。例外情况是所有电缆束中除非屏蔽电源线外均由屏蔽线缆互连的设备，波形组 E、F、J 和 K 仍适用。

电缆束试验波形组 C、D、G 和 H 适用于所有电缆束中由非屏蔽线缆互连的设备。

波形组 A 和 B 用于针脚注入试验。

波形组 C~F 用于电缆束单次回击试验。

波形组 G~K 用于电缆束单次回击、多次回击试验。

波形组 L~M 用于电缆束多重脉冲组试验。

Z 表示实施的试验与表 22-1.1 或表 22-1.2 中规定的要求不同，如对屏蔽电缆使用波形 C、D、G 或 H。例如，既有屏蔽也有非屏蔽电缆束的设备，波形组 E、F、J 和 K 适用于屏蔽电缆束，波形组 C、D、G 和 H 适用于非屏蔽电缆束（非屏蔽电源线除外）。Z 波形组适用的其它例子见 22.5.1 和 22.5.2。

22.3.2 试验等级标识（第 2、第 4 和第 6 个字符）

适用于飞机内部环境的试验等级规定如下，表 22-2~表 22-5 中列出了每一种试验波形具体的电平。以下叙述仅作参考，为保护受试设备，允许灵活选用等级 1~5。互连电缆和设备安装位置的预期暴露情况决定试验电平。

等级 1 适用于安装在较好保护环境中的设备和互连导线。

等级 2 适用于安装在局部保护环境中的设备和互连导线。

等级 3 适用于安装在适度暴露环境中的设备和互连导线。

等级 4 和 5 适用于安装在严酷电磁环境中的设备和互连导线。

Z 表示试验的电压和（或）电流等级与表 22-2~表 22-5 中的规定不同。

22.4 一般试验要求

a. 受试设备-EUT 须放置在接地平面上，除非个别设备规范另有规定，试验应按下列要求进行配置。

(1) 接地平面-应采用紫铜、黄铜或铝制的接地平板。紫铜和铝制接地平板厚度至少 0.25mm，黄铜接地平板厚度至少 0.5mm。接地平板深度（前后）最小为 0.75m，面积不小于 2.5m²。当使用屏蔽室时，应将接地平板与屏蔽室壳体进行搭接，搭接点的间隔应不大于 1m，接地平板的两端也要进行搭接。推荐的直流搭接电阻应不超过 2.5mΩ。

(2) 冲击和振动隔离装置-如果设备制造商有规定，应将 EUT 紧固在带有冲击振动隔离装置的安装基座上，并将安装基座上的搭接条连接到接地平板。当安装基座无搭接条时，试验配置中不应使用搭接条。

(3) 电搭接-仅在 EUT 设计和安装说明中有规定（如屏蔽体、安装基座和接地平板的搭接）时才能使用电搭接。设备、连接器和电缆束的电搭接应能够代表相关安装和接口控制图规定的飞机上的实际安装状态，并符合设备制造商的最低性能需求。

对于采用不同于安装方法中提供的搭接方式进行接地的设备，应置于绝缘垫上。试验报告中应描述所采用的搭接方法。

(4) 外部接地端子-当 EUT 外部有接地端子时，除非对试验另有规定，应将外部接地端子连接到接地平板，以确保试验期间的安全操作条件。应采用安装说明中规定的接地线长度，如果没有规定长度，可使用约 30cm 长的典型导线。

除非安装说明中另有规定，接地线不应与受试电缆束形成并联的电流通路。如果对地注入试验时受试设备上有接地线，应将接地线连接至 EUT 底架，或在远端施加注入。

(5) 互连导线/电缆束-对于电缆束试验，EUT 所有互连导线（如屏蔽导线、双绞线等）、电缆束和射频传输线应与相关的安装和接口控制图状态一致。

电缆束应以类似于飞机上安装的方式捆扎，除非飞机安装要求中规定了更高的高度（需记录在试验报告中），应将电缆束最低点支撑在接地平板上方 50mm 处，支撑材料必须是非吸收性、非导电性和非反射性的。对于复杂电缆束的布置，所有电缆束和互连负载应尽可能按实际状态相互分开，以使电缆之间的耦合效应降到最低。

除非另有规定，电缆长度至少应为 3.3m。当互连电缆束的长度大于试验台的长度时，多余长度的互连电缆束应按 Z 字形布置在试验台的后方，并支撑在接地平板上方约 50mm 高处。

某些特殊设备可能需要使用试验台无法容纳的非常长的电缆束，这种情况下，推荐使用的互连电缆束最大长度为 15m。当电缆束长度用于匹配或为相位匹配或类似原因规定的特殊长度时不受此限制。

(6) 电源线-对于电缆束试验，通常与控制线/信号线绑扎在一起的电源线及回线应保留在电缆束中，直到电缆束出了测试区域后方可将电源线和回线分离出来，然后将其连接到线路阻抗稳定网络（LISN）。见 22.4b（2）。

当飞机电缆束的实际配置不详，或当电源线和/或回线与控制线/信号线分开走线时，应

在靠近 EUT 连接器处将电源线和/或回线从电缆束中分离出来，然后分别接至 LISN。在这种情况下，除非在设备说明书中另有规定，电源线到 LISN 的长度应不超过 1m。

当电源回线为本地地时（长度小于 1m），可将其直接接至试验台的地，并应符合相关的安装和接口控制图表的要求。

(7) 接口负载和辅助设备-理想的电缆束试验应在设备处于全功能工作状态下进行。EUT 应使用实际的接口设备适当加载。

对于接口设备必须被模拟的场合，模拟负载的电气、电子和/或机电特性应能代表实际的装机状态。为避免改变电缆束中电压和电流分布，电气/电子负载应模拟雷击条件下实际负载的线-线和线-地的阻抗（包括分布电容和非线性器件）。

应注意，任何试验配置、模拟负载或监测设备都不应改变 EUT 的敏感度或抗扰性。为避免辅助设备的失效和损坏，需对其实施保护使其免受所施加瞬态信号的影响。

(8) 假天线或负载-为了进行试验，天线电缆可端接与电缆特性阻抗等效的负载或仿真天线。如果使用仿真天线，应对其进行屏蔽，并使仿真天线能充分模拟实际使用的天线电特性。仿真天线还应包括实际天线中通常使用的电器部件，例如滤波器、晶体二极管、同步器和电动机。

b. 测试设备-测试设备应按下列要求配置和布局：

(1) 搭接-应对试验设备进行接地和搭接，以减小地环路，确保人员安全。将大电流施加到电缆束时应小心谨慎，确保电流能够安全地由屏蔽层转移到屏蔽室墙壁，或在屏蔽室外提供适当的搭接和屏蔽设备，以最大限度地降低对人体的危险。

(2) 线路阻抗稳定网络-EUT 的每一根主电源线均应接入 LISN，在飞机安装中就近接地的电源回线不要求接入 LISN。LISN 的外壳应搭接到接地平板上。当使用自谐振频率 10kHz 以上的 LISN（例如标准 5μH 的 LISN）时，试验时应在 LISN 的每个电源输入端与接地平板之间应接入 10μF 电容，见图 22-17 或 22-19。在所有试验中，LISN 的射频测量端口应端接 50Ω 电阻。LISN 的输入阻抗特性见图 22-9。

(3) 监测和注入探头-探头应具有必要的功率容量、带宽和动态范围，以能够复现试验波形。波形 3 试验应使用静电屏蔽探头。

c. 试验报告中需要的数据-试验报告应包括下列试验配置和数据项目。

(1) 电缆配置-每根电缆束的长度、导线类型、屏蔽和屏蔽端接（包括单根电缆以及全部电缆束的屏蔽）以及试验线缆的接线图。

(2) 试验布置-每个试验布置的示意图或连接框图或照片，包括电缆束的布局、瞬态注入和监测探头的位置以及 EUT 搭接方法。

(3) EUT 工作模式-电缆束试验时 EUT 的工作模式。

(4) 负载-描述所有的负载，包括实际的或模拟的。模拟负载应标识线-线、线-机箱（地）的阻抗模拟范围。

(5) 试验波形和电平-每一种试验波形和电平的校准/验证波形图。

(6) 施加的瞬态信号-对于施加在注入点的每一种带极性的波形，应记录一个电压和电流样本波形。

(7) 合格判据-合格判据的描述。

(8) 试验结果-试验结果以及任何不满足合格判据的响应。

22.5 试验程序

针脚注入试验是将瞬态信号直接注入到 EUT 的接口电路，主要用于破坏性评价。

电缆束试验用于确定当设备及其互连电缆暴露于施加的瞬态信号时，设备是否出现功能失效或部件损坏。试验方法和步骤适用于由 EUT、互连电缆束和负载构成的配置。

对于复杂系统中的 EUT，由于系统中各种不同的电缆束会暴露在差别很大的环境中，因此不同的电缆束可能需要不同的试验电平，并需要使用 Z 类标识（见 22.3）。

警告

用于试验的瞬态信号发生器会产生致命的电压和电流。采取一切操作安全措施以防止试验和辅助人员的伤亡。

22.5.1 针脚注入试验

针脚注入试验是将选定的瞬态波形直接施加到 EUT 连接器指定针脚上的试验技术，通常施加在针脚和设备外壳地之间。该试验方法用于评价设备接口电路的绝缘耐压或破坏性容差。

a. EUT 一般使用针脚注入试验，但当 EUT 为与机箱和机身地绝缘的简单电气或机电设备时，也可使用绝缘耐压（Hi-pot）试验法。对于含有电子元件的 EUT，Hi-pot 试验不适用。绝缘耐压试验电平应至少达到表 22-2 峰值电平。当试验的针脚具有偏置电压时，如电源线输入端或其它电源，必须将偏置电压加到表 22-2 中的峰值试验电压上。这样可满足针脚试验的目的，但类别必须标识为 Z。应在试验报告中提供简单设备的证明和试验描述。

b. 除了当 EUT 只含有无源部件（如机电装置、温度传感器、液压阀等）以及存在的工作电压和相关电流不为部件失效的因素外，均应给 EUT 上电。

c. 对上电的设备进行试验时，必须采用适当的方法，以确保瞬态信号发生器不对供电电源或信号线产生过高的负荷。另外，对上电设备的电源线进行试验时，可能需要使用某些形式的隔离装置，以确保将瞬态信号直接施加到设备接口，而不会施加到供电电源或其它任何负载。

d. 对于针脚注入试验，施加的波形 3 的频率应为 1.0MHz（ $\pm 20\%$ ）。不允许使用一个极性的设置进行波形 3 两个极性的测试。波形的施加必须采用半个周期的正极性，然后翻转施加半个周期的负极性。

e. 为了降低可能试验难度，输入电源激励下的针脚试验也可通过电缆感应试验来完成，试验使用适当的针脚试验波形和电平（按图 22-11 校准，按图 22-14 进行试验）。采用这种方法时，应除去受试电源线上的所有屏蔽。

f. 对具有相同保护和工作电路设计的 EUT 电路组（4 个或更多）进行鉴定时，可通过对每组电路中 3 个代表性的针脚试验来实现。电路组中剩余的针脚可通过相似性进行鉴定。

g. 对于多个针脚的试验，如果施加的试验电压幅度和波形仍然在校准时开路电压和波形的容差内，多个针脚试验可同时进行。该方法也仅适用于在雷电环境条件下（试验时）输入/输出端口为高阻抗的情况。

h. 当设备安装规范中规定了远端针脚与机身地之间的远端负载阻抗特性时（包括远端

负载的绝缘强度所能承受的瞬态发生器开路电压)，只要该负载不使用负载阻抗短路保护装置，则可将远端负载阻抗串连在信号发生器和 EUT 之间。信号源校准时，不应包含远端负载。考虑到电缆的特性阻抗的影响，波形 3 试验时插入的串连阻抗最大不应超过 75Ω 。当试验电路中插入对机身地的远端负载阻抗时，负载应由引线长度尽可能短的无感电阻组成。如果插入了负载电阻，设备类别符号应为 Z。应在鉴定试验表格和试验报告中记录试验方法、远端负载阻抗和绝缘强度。

i. 当实际安装中设备信号地需连接到外部结构时，实验室试验期间也应将信号地接地，见图 22-13 的注 4。**警告：**某些设计可能采用单个保护装置来保护多个接口。在这样的设计中，单个针脚对外壳的试验可能不能说明多个接口上同时出现的瞬态现象，这时需要对保护装置的额定值和/或试验方法进行评估。

22.5.1.1 程序-信号发生器校准

校准配置如图 22-10 所示。对上电设备进行针脚注入试验时，为避免信号发生器小的源阻抗短路 EUT 电流，应在针脚试验的信号发生器输出端配置一个电流阻断器件，该电流阻断器件应为校准配置的一部分，如图 22-10 所示。

当对外部电源供电的电源针脚进行试验时，可使用图 22-11 或图 22-12 所示的校准配置。这些配置中必须提供一种旁路供电电源阻抗的途径，以确保在校准点上能够获得瞬态信号波形。同时，该旁路电路也用于保护供电电源。注意：实施下列校准程序时不能上电。

a. 调节瞬态信号发生器输出，直到在图 22-10、图 22-11 或图 22-12 所示的校准点上获得图 22-4、图 22-5、图 22-6 所示的开路电压 (V_{OC}) 波形参数和表 22-2 所示的电平达到规定的容差。

b. 试验期间，记录 V_{OC} 波形参数和电平，波形极性和信号发生器的设置，以使试验时测试电平能够复现。

c. 在相同的信号发生器设置状态下，测量图 22-10、图 22-11 或图 22-12 中所示的短路电流 (I_{SC})，验证 I_{SC} 电平达到表 22-2 规定的容差，并保留波形。

d. 记录 I_{SC} 波形参数，电平和波形极性。

22.5.1.2 程序-试验步骤

a. 按图 22-13 或用于电源针脚试验的图 22-14 或图 22-15 所示，使用短的低电感导线将校准点连接到指定的 EUT 针脚。

b. 如果适用，给 EUT 上电。

c. 按上面 22.5.1.1 确定的瞬态信号发生器设置，对选定的针脚施加 10 个单独的瞬态信号。监测每个施加的瞬态信号波形，以记录波形的意外变化。施加的每个瞬态信号之间的最大时间间隔不应超过 1min。

d. 对 EUT 每个连接器的每个指定针脚重复步骤 c。

e. 改变瞬态信号发生器的输出极性，重新校准瞬态信号发生器，并重复步骤 a~d。

f. 对每一个试验波形，重新校准瞬态信号发生器并重复上述试验步骤。

g. 确定与适用的设备性能规范的符合性。

22.5.2 电缆束试验

电缆束试验是一种通过电缆感应或对地注入施加瞬态信号的试验技术。这些方法用于验证飞机设备能够承受由外部雷电环境引起的内部电磁效应，且不导致功能失效或部件损坏。不管采用哪种方法，试验必须在受试设备配置（包括互连电缆束和接口负载）和功能完整的状态下进行。通过将规定的波形和限值单独或同时施加到互连电缆束来达到试验的目的。

a. 为了提出特定类别，来自单个连接器的一个线束中的所有导线应一起试验，或波形组标识是 Z。唯一的例外是电源线。如电源线是与电缆束分开铺设，就必须分开试验。这种情况下，芯线上的试验电流不必超过表 22-2 中所对应的针脚试验的短路电流。所谓“对应的针脚试验的短路电流”应与选用的电缆束试验电平相同。对于波形 1 和波形 2，应选用波形 4/1 的短路电流值。例如：A2J3L3 类设备芯线上波形 1 的短路电流是 60A（不是 25A）。如果根据导线的铺设和试验电平不同，电缆束要分开试验，标识必须是 Z。

b. 为了达到多次回击和多重脉冲组试验的目的，通过设置瞬态信号组中单个脉冲和脉冲组间的时间间隔来获得随机的间隔效果。见图 22-7 和图 22-8。

c. 通常电缆束试验时，电缆束所有屏蔽均应按照飞机上实际装机状态安装。如果采用去掉屏蔽的试验方法，电缆束试验波形组的类别标识应为 Z。试验电平标识应反映注入到芯线上的实际电平。

d. 电缆束单次回击试验可与多次回击试验结合起来进行。在这种情况下，用表 22-3 中的单次回击试验电平替代多次回击试验中的第一个瞬态信号试验电平。

e. 对于电缆束试验，施加的波形 3 的频率应分别为 1.0MHz(±20%)和 10MHz(±20%)。不允许使用一个极性的设置进行波形 3 两个极性的测试。波形的施加必须采用半个周期的正极性，然后翻转施加半个周期的负极性。

f. 波形 1 既可使用 22.5.2.1（电缆感应试验）的方法施加，也可使用 22.5.2.2（对地注入试验）的方法施加。

g. 对于每一个波形， V_T 表示以伏特为单位的试验电压， I_T 表示以安培为单位的试验电流。 V_L (V) 和 I_L (A) 表示极限电平，以防止对 EUT 施加的电平超过规定的要求。如果试验电平先于极限电平达到，试验结果总是可以接受。下列准则适用于当极限电平先于试验电平达到时的情况：

h. 波形 2、波形 3 和波形 4 定义为电压波形。如果试验电压 V_T 规定为波形 2、波形 3 或波形 4，则这些波形应理想地出现在电缆束上，并且按图 22-16 或图 22-18 所示的方法进行信号发生器性能验证时，瞬态信号发生器必须能产生这些波形。如果试验时可得到规定的试验电压波形并在图 22-2、图 22-3 或图 22-4 所示的容差内，则不需要验证信号发生器的性能。应在图 22-17 或图 22-19 所示的电缆束上测量峰值电压电平。当监测与波形 2、波形 3 或波形 4 的试验电平 (V_T) 相关的极限电流 (I_L) 时，电流波形应满足以下要求：

(1) 对于电压波形 2 试验：

如果试验电流极限先于电压试验电平达到，并且在进行信号发生器性能验证时能够产生波形 1，则试验结果可以接受。这是期望出现的波形 1 和波形 2 之间的关系。如果验证信号发生器性能时不能产生符合要求的波形 1，则需要波形 1 电流试验。这种情况下，波形组标识应为 Z。

(2) 对于电压波形 3 试验:

电压波形与电流波形相同, 因此不论是达到试验电平还是试验极限, 试验结果均可接受。

(3) 对于电压波形 4 试验:

如果试验电流极限先于电压试验电平达到, 并且信号发生器产生的电流波形与性能验证时的电压试验波形相比具有相同或更长的上升时间 (T_1) 和下降时间 (T_2), 则试验结果可以接受。信号发生器性能验证时更短的电流波形持续时间的是不能接受的。如果信号发生器验证性能时不能产生符合要求的电流波形, 则需要波形 5A 电流试验。这种情况下, 波形组标识应为 Z。

(4) 可将波形 5A 定义为电压波形。

虽然波形 5A 被定义为电流波形, 但当试验方法中规定将线缆的屏蔽层剥离后直接对芯线进行脉冲试验时, 该波形也可用作电压波形, 并将波形 5A 的幅度定义为电压试验电平。当按图 22-16 或图 22-18 进行信号发生器性能验证时, 必须能够产生该波形。应在图 22-17 或图 22-19 所示的电缆束上测量其峰值电平。对于这种情况, 应使用波形 5A 的波形和表 22-3 中波形 4 适当的试验电平 (V_T), 其类别符号应为 Z。

i. 波形 1、波形 5A、波形 5B 和波形 6 定义为电流波形。如果电流试验电平 (I_T) 规定为波形 1、波形 5A、波形 5B 或波形 6, 则这些波形应理想地出现在电缆束上, 并且按照图 22-16 或图 22-18 所示方法进行信号发生器性能验证时, 瞬态信号发生器必须能产生这些波形。如果试验时可得到规定的试验电压波形并在图 22-3 或图 22-4 所示的容差内, 则不需要验证信号发生器的性能。应在图 22-17 或图 22-19 所示的电缆束上测量峰值电流电平。当监测与波形 1、波形 5A、波形 5B 或波形 6 电流试验电平 (I_T) 相关的电压极限 (V_L) 时, 电压波形应满足以下要求:

(1) 对于电流波形 1 试验:

如果电压极限先于试验电流电平达到, 并且在信号发生器性能验证时信号发生器所产生电压波形的上升时间 (T_1) 比波形 1 的 T_1 短, 持续时间 (T_2) 比波形 2 的 T_2 长, 则试验结果可以接受。如果信号发生器性能验证时不能产生符合要求的电压波形, 则需要波形 2 电压试验。这种情况下, 波形组标识应为 Z。

(2) 对于电流波形 5A 或波形 5B 试验:

如果电压极限先于试验电流电平达到, 并且在信号发生器性能验证时信号发生器所产生电压波形的上升时间 (T_1) 比波形 5 的 T_1 短, 但不小于波形 4 的 T_1 , 则试验结果可以接受。如果验证瞬态信号发生器性能时不能产生符合要求的电压波形, 则需要波形 4 电压试验。这种情况下, 波形组标识应为 Z。在某些与飞机机身设计和线缆敷设有关系的场合, 设备可能暴露在像波形 5B (见图 22-5) 一样, 持续时间较长的波形条件下。在该条件下进行的试验应标识为 Z。

(3) 对于电流波形 6 试验:

波形 6 用于描述使用低阻抗电缆束安装的 EUT 多重脉冲组要求。波形 6 应理想地出现在电缆束上, 并且当按图 22-6 所示方法进行信号发生器性能验证时, 信号发

生器必须能产生该波形。如果试验时可得到规定的试验电流波形并在图 22-6 所示的容差内，则不需要验证信号发生器性能。应在图 22-17 或图 22-19 所示的电缆束上测量峰值电流电平。监控与波形 6 试验电平 (I_T) 相关的电压极限 (V_L)，如果电压极限先于电流试验电平达到，且信号发生器的开路电压与短路电流之比小于 15Ω ，则试验结果可以接受。

如果信号发生器不满足这些准则，则需要进行波形 3 多重脉冲组试验。

22.5.2.1 电缆感应试验

下述试验程序适用于单次回击、多次回击和多重脉冲组试验。电缆感应试验是脉冲波形 1、波形 2 和波形 3 的推荐试验方法。如果按 22.5.2.1.1 (b) 所述的波形校准方法能够在注入探头校准环得到相应的波形，这种施加技术也可用于其它波形。电缆束试验中不包括本地接地线，不需要对本地接地线进行试验。

22.5.2.1.1 程序-信号发生器性能验证

- a. 将瞬态信号发生器连接至注入探头的初级输入端（见图 22-16）。
- b. 对于每个瞬态信号发生器，以规定的试验电平，记录校准环开路时的电压波形和短路时的电流波形。验证图 22-1、图 22-2、图 22-3 或图 22-6 所示的有关试验电平 (V_T 或 I_T) 和波形。不需要试验用的瞬态信号发生器产生相应的电压或电流极限电平和波形。
- c. 对于多次回击和多重脉冲组试验，还要验证图 22-7 和图 22-8 要求的相关脉冲图形和时间间隔。

22.5.2.1.2 程序-试验步骤

a. 按图 22-17 配置 EUT、辅助设备和互连电缆束，并将注入探头夹在受试电缆束上。如果选用 22.5.2 所述的屏蔽层断开的试验方法，则断开屏蔽层的连接。

b. 将电压和电流监测探头连接至示波器。为了试验结果的一致性，探头位置应尽可能靠近图示位置。

c. 给 EUT 上电，并将 EUT 设置在所选工作模式。按照适用的设备规范描述，验证正确的系统工作状态。

d. 施加瞬态信号时，逐渐增加信号发生器输出，直到达到指定的试验电平 (V_T 或 I_T) 或极限电平 (V_L 或 I_L)。必要时调整信号发生器的设置和/或注入探头的配置，使受试电缆上能够得到所需的测试电压 (V_T) 或电流 (I_T)，除非对应的电流 (I_L) 或电压 (V_L) 极限电平先达到。如果改变了注入探头的配置，应重新验证信号发生器性能。记录波形。如果 V_L 或 I_L 先于 V_T 或 I_T 达到，应重新进行评估以确定是否需要另外的信号发生器和/或波形组。当测量电压或电流波形的电平时，应忽略由仪器噪声、开关瞬态或负载影响产生的短时尖峰或高频噪声。

e. 对于单次回击试验，按步骤 d 确定的信号发生器设置，至少施加 10 个瞬态信号，同时监测 EUT 工作状态。施加的单次回击瞬态信号之间的最长时间间隔应不超过 1 分钟。

f. 对于多次回击试验，以步骤 d 确立的信号发生器设置，至少施加 10 个多次回击瞬态信号，同时监测 EUT 工作状态。施加的多次回击瞬态信号之间的最长时间间隔应不超过 5min。

g. 对于多重脉冲组试验，以步骤 d 确定的信号发生器设置，每隔 3s 施加一组多重脉冲

组（每组三个脉冲组的起始时间为相隔 3s），至少连续施加 5min。在适用的设备规范中可能规定更长的持续时间。

- h. 对 EUT 的每个工作模式，重复步骤 d~g。
- i. 颠倒瞬态信号发生器输出极性，重新验证信号发生器性能，并重复步骤 b~h。
- j. 对于每一根受试电缆，重复步骤 b~i。
- k. 对于每个需要施加的波形，重新验证信号发生器性能，并重复步骤 b~j。
- l. 确定与适用的设备性能规范的符合性。

22.5.2.2 对地注入试验

下述方法适用于单次回击和多次回击试验。对地注入试验是对于脉冲波形 4 和波形 5A 推荐的试验方法。如果按照 22.5.2.2.1 所述的波形校准方法在注入点上能够得到相应的波形，这种施加技术也可用于波形 1 和波形 2 的试验。

按照使用安装/接口控制图要求而连接到本地接地平面的设备外部接地端子、机架接地线和电源线回线，在进行本试验时必须与接地平面绝缘。另外，如果电源线与主要信号线分开敷设，那么电源线上需要插入一个 AC 串联阻抗（除 LISN 外），以确保信号线上能够得到合适的试验电平。

本项试验目的是为了在每一根电缆束上（见图 22-19）得到适用的试验电平，因此试验可能需要在多个注入点上进行。对于某一电压或电流的试验，其试验方法可能不同。

当在 EUT 和接地平面之间得到电压试验电平时，电压试验有效。对于电压试验，如果任何一根电缆束上的电流试验极限先于电压试验电平达到，那么有两种选择：（1）增加信号发生器的输出幅度，使每一根电缆束上都达到电压试验电平或电流试验极限，但这存在着单个电缆束上的电流试验电平超出电流试验极限的风险，或（2）对每一根电缆束单独进行试验。

当每根电缆束上均达到电流试验电平（应注意单根线缆束上的电流试验电平可能超过了电流试验极限）或者在 EUT 和接地平面之间达到电压试验极限时，电流试验有效。

22.5.2.2.1 程序-信号发生器性能验证

a. 对于每一个瞬态信号发生器，以规定的试验电平，记录图 22-18 所示校准环开路时的电压波形和短路时的电流波形。验证图 22-4 或图 22-5 所示有关的试验电平和波形（ V_T 或 I_T ）。不需要试验用的瞬态信号发生器产生相应的电压或电流极限电平和波形。

b. 对于多次回击和多重脉冲组试验，还要验证图 22-7 和图 22-8 中所示的适用的脉冲图形和时间间隔。

22.5.2.2.2 程序-试验步骤

a. 除了外壳和瞬态信号注入点处（EUT 或负载）的所有本地接地线或电源线回线应与接地平面绝缘并与试验设备外壳连接以外，22.4 的一般要求均适用于本项试验配置。在外壳和接地平面之间所用的绝缘体必须能耐受施加的最大试验电压。

b. 按图 22-19 配置 EUT、辅助设备和互连电缆束，并将瞬态信号发生器连接在 EUT 外壳和接地平面之间。如果选用 22.5.2 所述的屏蔽层断开的试验方法，则断开屏蔽层的连接。

c. 将适用的电流或电压监测探头连接到示波器。

d. 给 EUT 上电并设置合适的工作模式。按照适用的设备规范描述，验证正确的系统工作状态。

e. 施加瞬态信号时，增加信号发生器输出，直到规定的试验电平（ V_T 或 I_T ）或极限电平（ V_L 或 I_L ）达到为止。必要时调整信号发生器的设置和/或注入探头的配置，使受试电缆上能够达到需要的试验电压（ V_T ）或试验电流（ I_T ）电平，除非对应的极限电流（ I_L ）或极限电压（ V_L ）电平先达到。如果改变了注入探头的配置，应重新确认信号发生器性能。记录波形。如果 V_L 或 I_L 先于 V_T 或 I_T 达到，应重新进行评估以确定是否需要另外的信号发生器和/或波形组。当测量电压或电流波形的电平时，应忽略由仪器噪声、开关瞬态或负载影响产生的短时尖峰或高频噪声。

f. 单次回击试验时，以步骤 e 确定的信号发生器设置，至少施加 10 个瞬态信号，同时监测 EUT 工作状态。施加的每一个单次回击瞬态信号之间的最长时间间隔应不超过 1 分钟。

g. 多次回击试验时，以步骤 e 确立的信号发生器设置，至少施加 10 个多次瞬态信号，同时监测 EUT 工作。施加的每一个多次回击瞬态信号之间的最长时间间隔应不超过 5 分钟。

h. 对 EUT 的每个工作模式，重复步骤 e~g。

i. 颠倒瞬态信号发生器输出极性，重新确认信号发生器性能，并重复步骤 b~h。

j. 在每个指定的注入位置，重复步骤 b~i。

k. 对于每一个指定的波形，重新确认信号发生器性能，并重复步骤 b~j。

l. 确定与适用的设备性能规范的符合性。

表 22-1.1 针脚注入试验要求

波形类别	试验形式	试验电平	试验波形编号 (V_{OC}/I_{SC})
A (孔径耦合)	针脚	表 22-2	3/3, 4/1
B (孔径和电阻耦合)	针脚	表 22-2	3/3, 5A/5A

表 22-1.2 电缆束试验要求

波形类别	试验形式	试验电平	试验波形编号
C (非屏蔽, 孔径耦合)	单次回击	表 22-3	2, 3
D (非屏蔽, 孔径和电阻耦合)	单次回击	表 22-3	2, 3, 4
E (屏蔽, 孔径耦合)	单次回击	表 22-3	1, 3
F (屏蔽, 孔径和电阻耦合)	单次回击	表 22-3	3, 5A
G (非屏蔽, 孔径耦合)	单次回击	表 22-3	2, 3
	多次回击	表 22-4	2, 3
H (非屏蔽, 孔径和电阻耦合)	单次回击	表 22-3	2, 3, 4
	多次回击	表 22-4	2, 3, 4
J (屏蔽, 孔径耦合)	单次回击	表 22-3	1, 3
	多次回击	表 22-4	1, 3
K (屏蔽, 孔径和电阻耦合)	单次回击	表 22-3	3, 5A
	多次回击	表 22-4	3, 5A
L	多重脉冲组	表 22-5	3
M	多重脉冲组	表 22-5	6

表 22-2 针脚注入试验的信号发生器设置电平

等级	波形		
	3/3	4/1	5A/5A
	V_{OC}/I_{SC}	V_{OC}/I_{SC}	V_{OC}/I_{SC}
1	100/4	50/10	50/50
2	250/10	125/25	125/125
3	600/24	300/60	300/300
4	1500/60	750/150	750/750
5	3200/128	1600/320	1600/1600

注：

1. V_{OC} = 峰值开路电压（伏），可在图 22-10、图 22-11、或图 22-12 所示的校准点上得到。
2. I_{SC} = 峰值短路电流（安培），可在图 22-10、图 22-11、或图 22-12 所示的校准点上得到。
3. 幅度容差：-0 % ~ + 10 %。
4. V_{OC} 与 I_{SC} 的比值是校准程序中所使用的信号发生器的源阻抗。
5. 波形 3, 4 和 5A 分别如图 22-3, 图 22-4 和图 22-5 所示。

表 22-3 电缆束单次回击试验的试验电平和极限电平

等级	波形				
	2/1	2/1	3/3	4/1 ^{注3}	4/5A
	V_L/I_T	V_T/I_L	V_T/I_L	V_T/I_L	V_L/I_T
1	50/100	50/100	100/20	50/100	50/150
2	125/250	125/250	250/50	125/250	125/400
3	300/600	300/600	600/120	300/600	300/1000
4	750/1500	750/1500	1500/300	750/1500	750/2000
5	1600/3200	1600/3200	3200/640	1600/3200	1600/5000

注：

1. 幅度容差：-0 % ~ + 20 %。
2. 波形 1, 2, 3, 4 和 5A 分别如图 22-1, 22-2, 22-3, 22-4 和 22-5 所示。
3. 当选用电压波形 4 试验时，电流波形取决于电缆阻抗。

表 22-4 电缆束多次回击试验的试验电平和极限电平

等级		波形				
		2/1	2/1	3/3	4/1 ^{注4}	4/5A
		V _L /I _T	V _T /I _L	V _T /I _L	V _T /I _L	V _L /I _T
1	首次回击	50/50	50/50	100/20	25/50	20/60
	紧随其后的回击	25/25	25/25	50/10	12.5/25	10/30
2	首次回击	125/125	125/125	250/50	62.5/125	50/160
	紧随其后的回击	62.5/62.5	62.5/62.5	125/25	31.25/62.5	25/80
3	首次回击	300/300	300/300	600/120	150/300	120/400
	紧随其后的回击	150/150	150/150	300/60	75/150	60/200
4	首次回击	750/750	750/750	1500/300	375/750	300/800
	紧随其后的回击	375/375	375/375	750/150	187.5/375	150/400
5	首次回击	1600/1600	1600/1600	3200/640	800/1600	640/2000
	紧随其后的回击	800/800	800/800	1600/320	400/800	320/1000

注：

1. 第一次回击的幅度容差：-0%~+20%，紧随其后回击的幅度容差：-0%~+50%。
2. 波形 1，2，3，4 和 5A 分别如图 22-1，图 22-2，图 22-3，图 22-4 和图 22-5 所示。
3. 多次回击波形描绘在图 22-7 中。
4. 当选用电压波形 4 试验时，电流波形取决于电缆阻抗。

表 22-5 电缆束多重脉冲组试验的试验电平

等级	波形	波形
	3	6
	V_T/I_L	V_L/I_T
1	60/1	100/5
2	150/2.5	250/12.5
3	360/6	600/30
4	900/15	1500/75
5	1920/32	3200/160

注：

1. 幅度容差：-0 % ~ + 20 %。
2. 波形 3 如图 22-3 所示，波形 6 如图 22-6 所示。
3. 多重脉冲组波形如图 22-8 所示。
4. 每一种波形试验时， V_T 表示以伏为单位的试验电压电平， I_T 表示以安培为单位的试验电流电平。 V_L （伏）和 I_L （安培）表示极限电平，以防止对 EUT 过度施加超过要求的电平。
5. 当 EUT 安装满足 22.5.2.i（3）规定的准则时，波形 6 可代替波形 3。

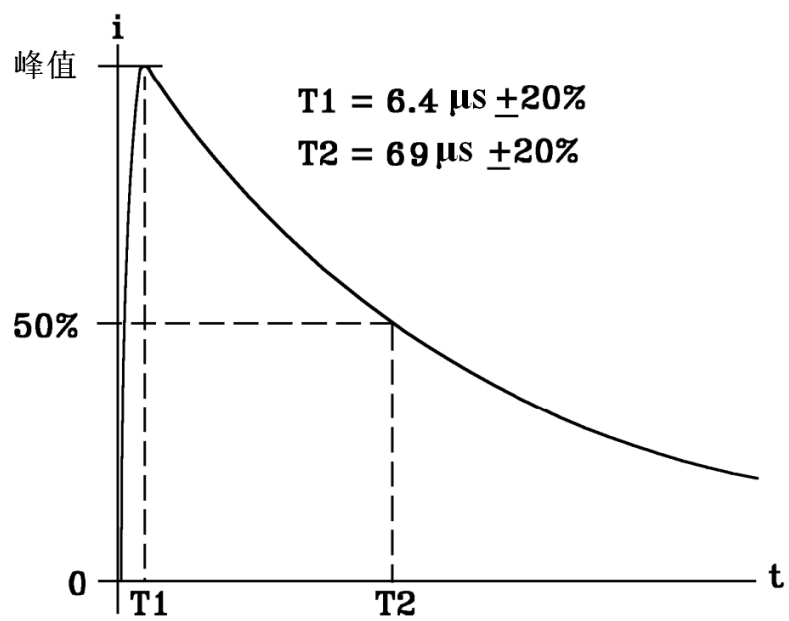


图 22-1 电流波形 1

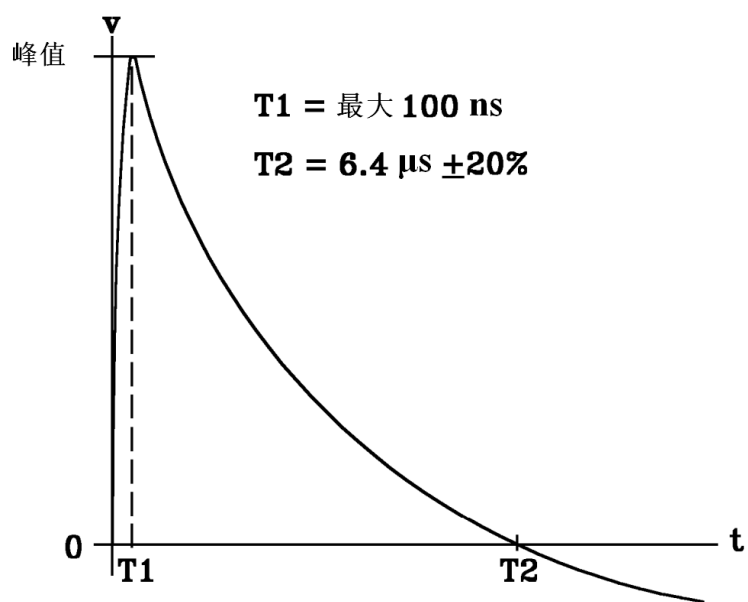
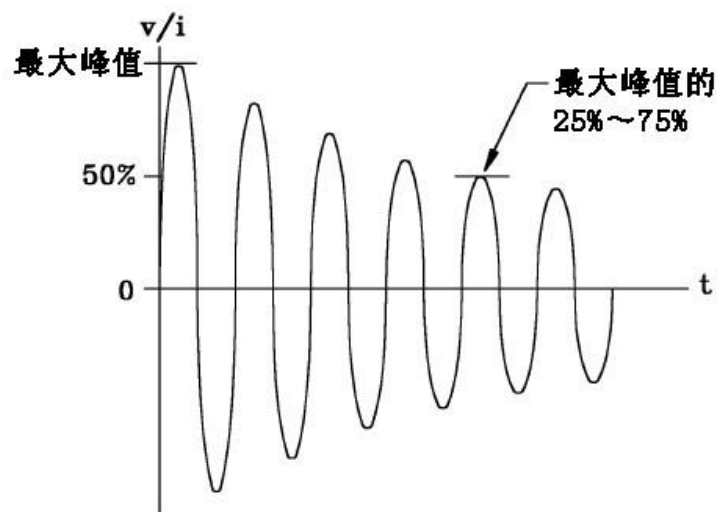


图 22-2 电压波形 2



注：

1. 电压和电流不需要同相。
2. 波形既可以是正弦衰减波也可以是余弦衰减波。

图 22-3 电压/电流波形 3

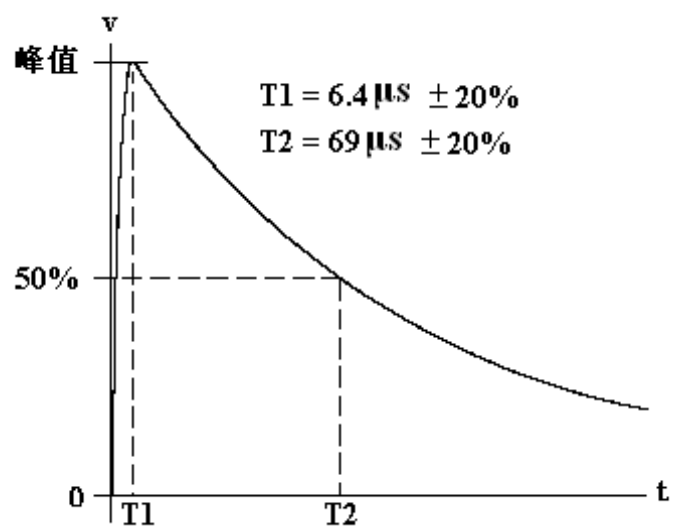


图 22-4 电压波形 4

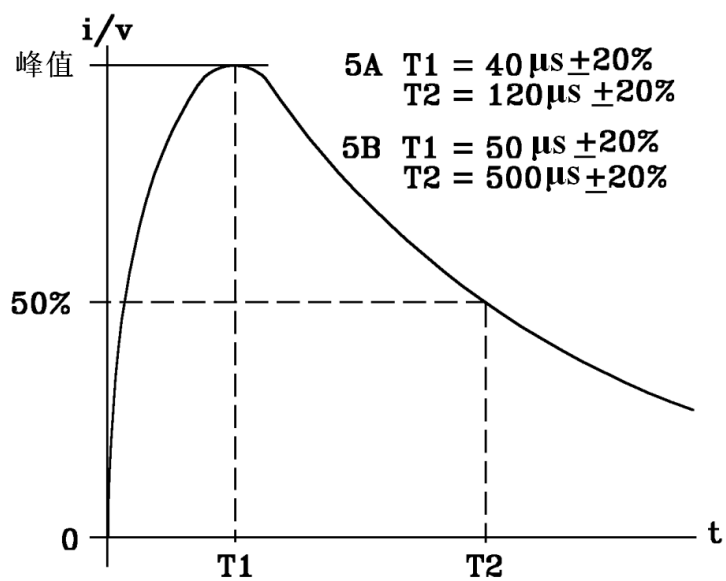


图 22-5 电流/电压波形 5

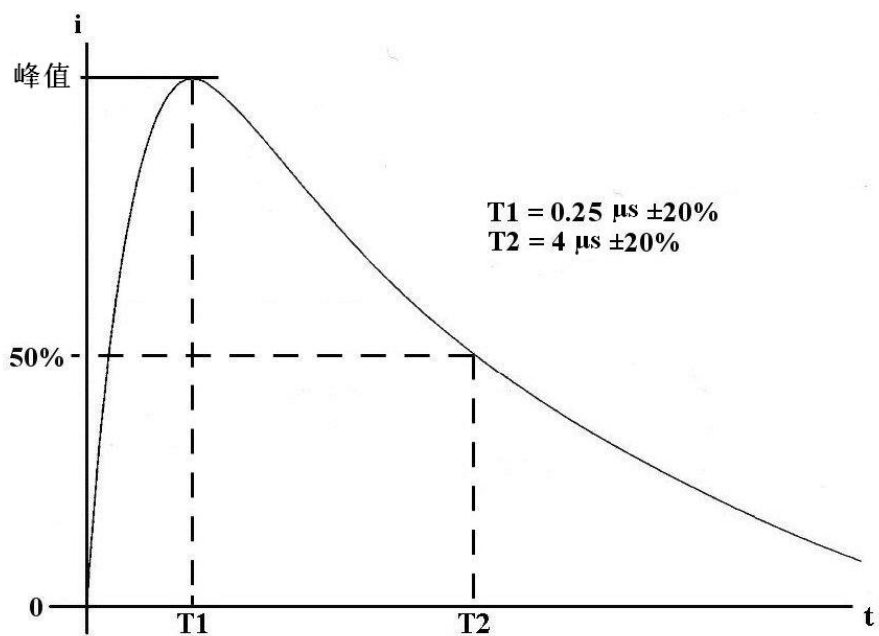
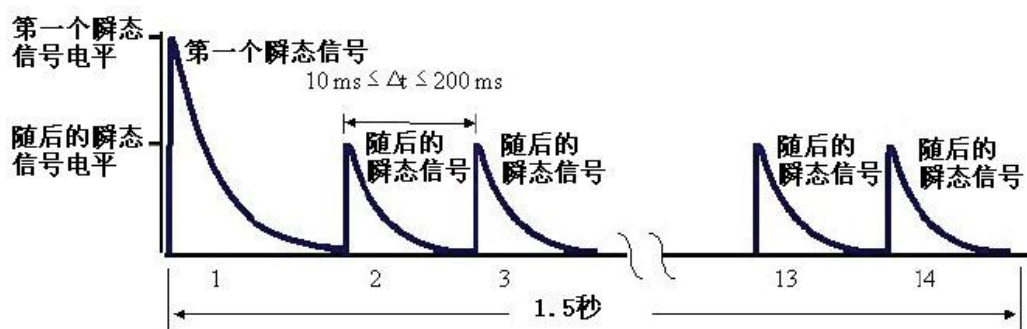
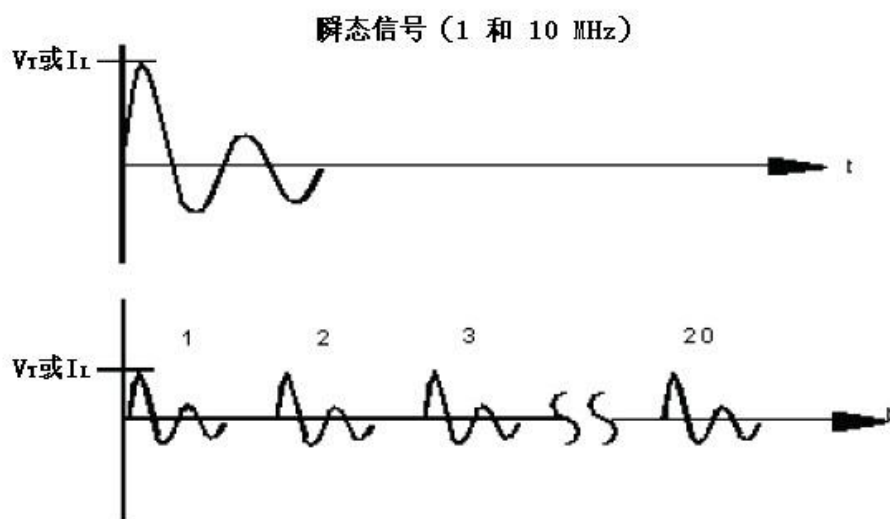


图 22-6 电流波形 6



1 个周期第 1 次瞬态 13 个后续瞬态分布时间为 1.5 秒

图 22-7 多次回击



一个脉冲群是 20 个互相间隔 50~1000 μs 的瞬态信号串

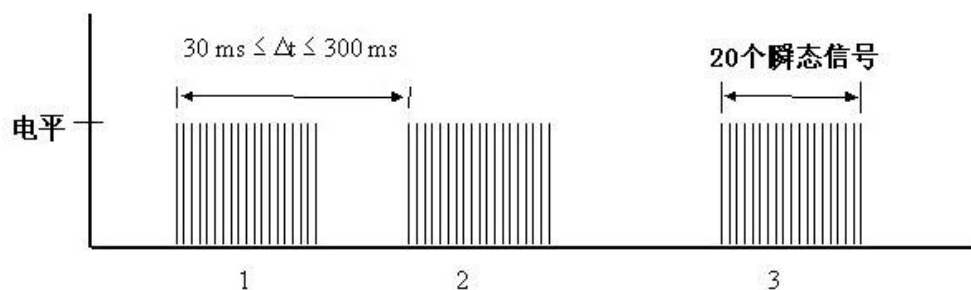


图 22-8 多重脉冲组

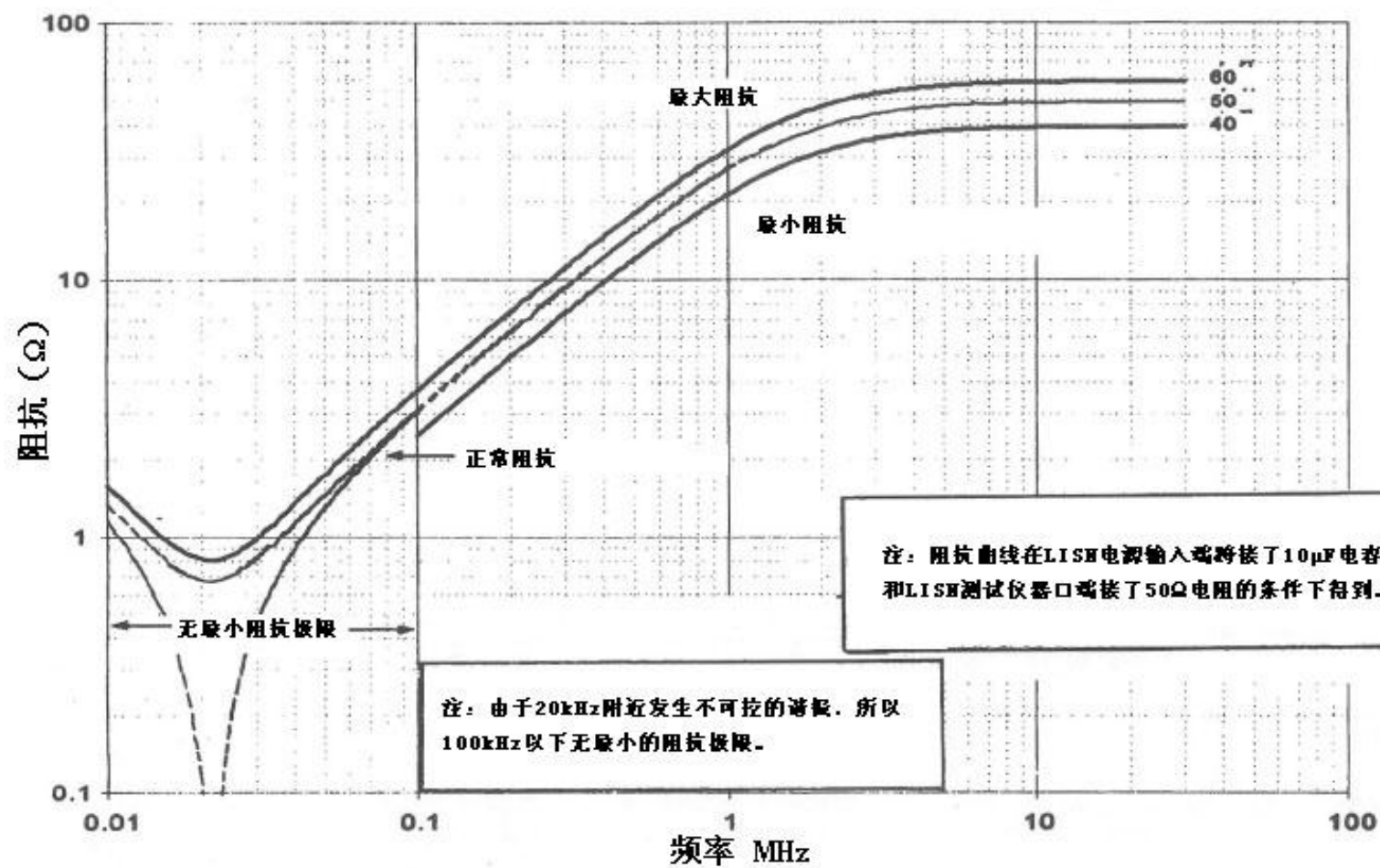
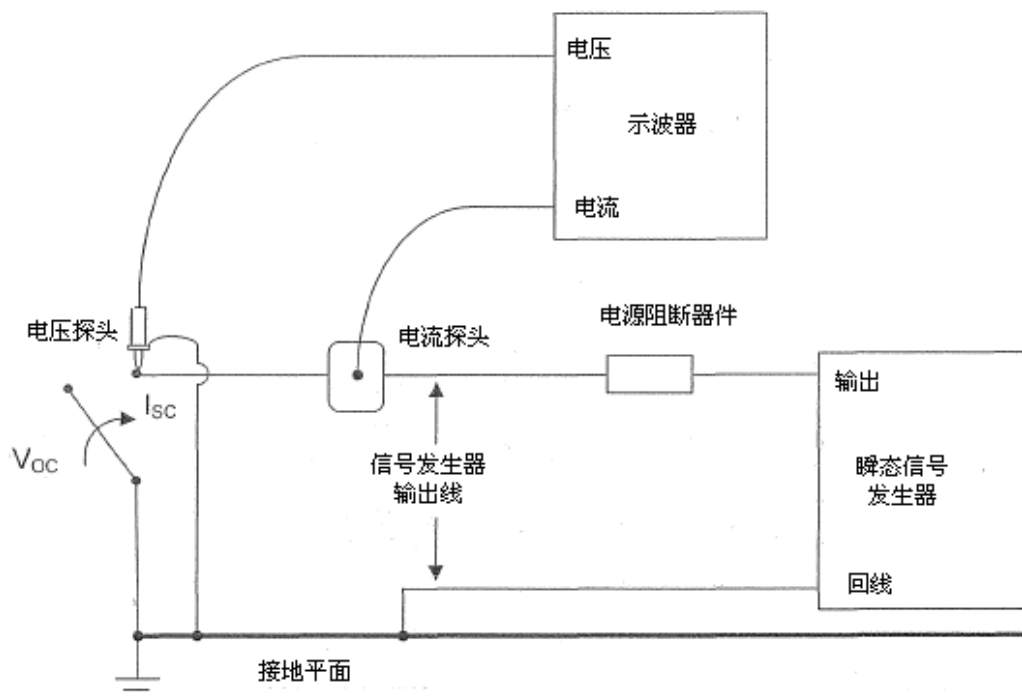


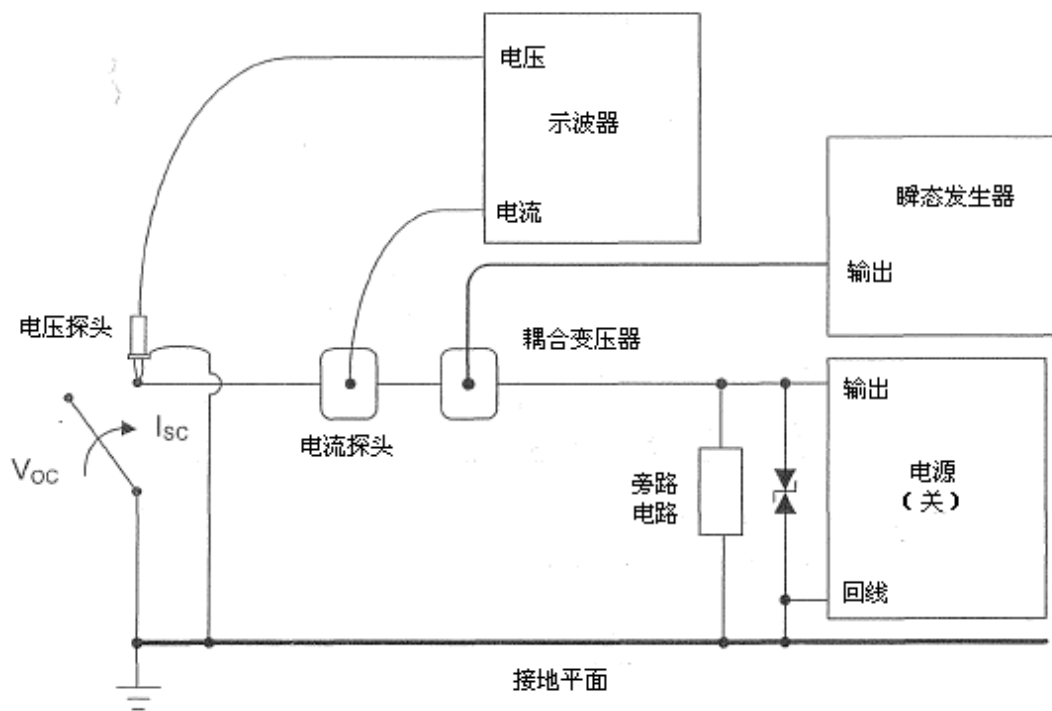
图 22-9 LISN 输入阻抗特性



注：

1. 对有源交流电源电路试验，可能需要耦合变压器将瞬态信号施加到电源线上，并使瞬态信号与交流波形的峰值同步。
2. 可用一个电源阻断器件将 EUT 针脚上的电压与信号发生器的低源阻抗隔离开来，校准时必须使用该阻断器件，因为 EUT 针脚上的电压反过来可以影响到波形校准。典型的电源阻断器件是用于波形 4 和 5 的双极抑制器件或用于波形 3 的串连电容器。根据额定电压接近于 EUT 的预期工作电压来选择双极抑制器件，但可以使使之拥有一个标称电压，以允许利用同一种校准配置进行试验。占施加瞬态信号幅度显著百分比的额定电压影响波形校准。选择电容器是为了获得校准电流，但试验时容值太大可能产生不希望有的谐振。
3. 不需供电的设备试验时不需要电源阻断器件。

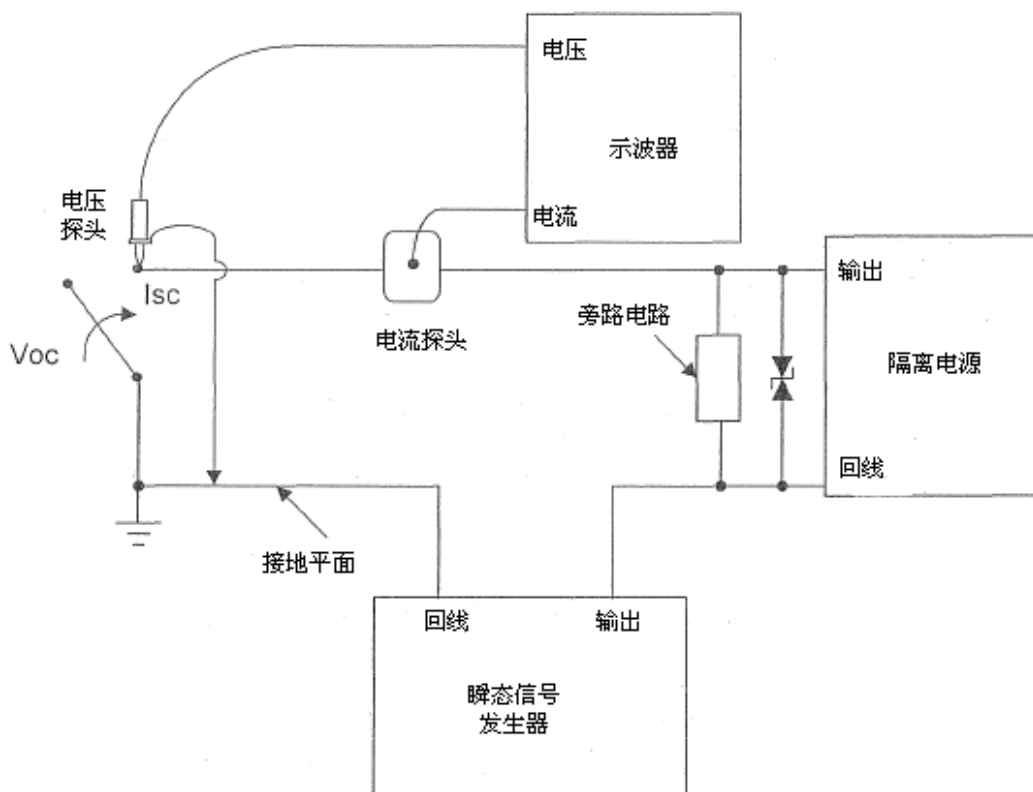
图 22-10 针脚注入校准配置，信号和电源针脚-直接注入方法



注：

1. 只要耦合探头足以维持开路电压波形和有关的短路电流波形，该校准配置能用于任何波形。校准时所有标明的辅助设备必须配齐。在校准点上必须获得规定的波形。校准时旁路电路和电源（关）必须存在。
2. 电流旁路电路用来限制校准环的尺寸并确保短路电流的流动。对于直流电源针脚，该旁路电路可以仅由一个合适尺寸和额定功率容量的电容器组成。对交流电源针脚，旁路电路可以由一个电容和/或一个低阻隔离变压器组成。校准配置要达到的目标是在校准点上获得希望的开路电压和短路电流幅度，并且具有正确的波形和源阻抗。
3. 在多相用电设备中，必须对每相针脚配置旁路电路重复校准，每相单独测试。不需要对所有相同时使用。

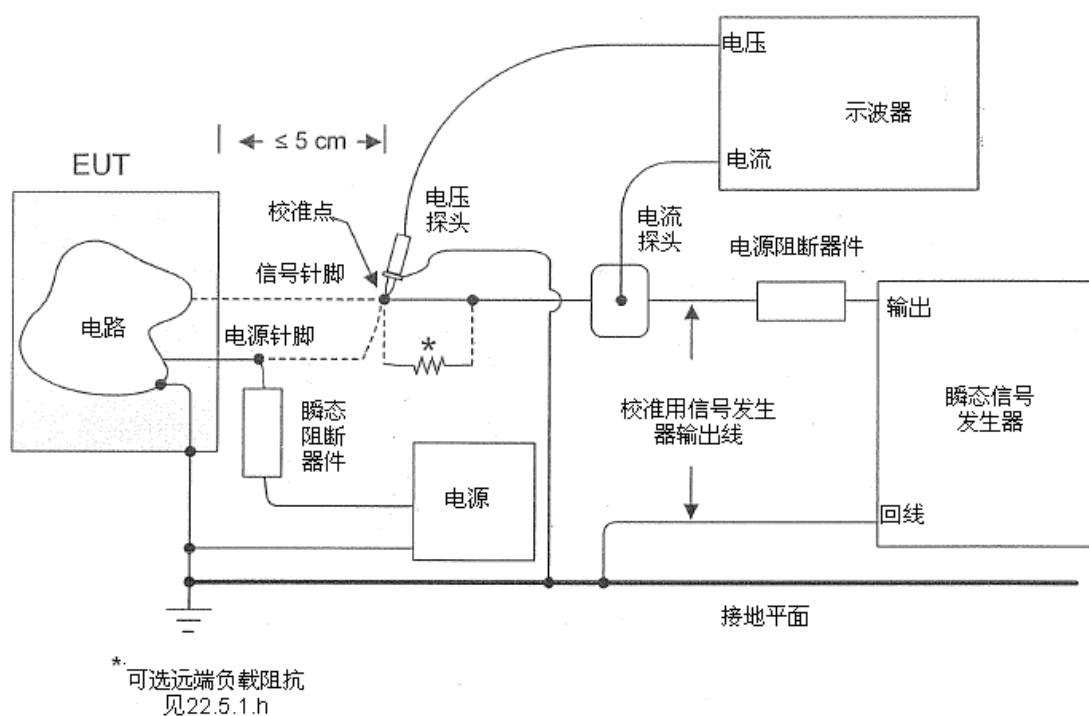
图 22-11 针脚注入校准配置，电源针脚-电缆感应方法



注：

1. 只要在校准点到达规定波形，该配置用于任何波形。瞬态信号发生器输出阻抗应该低，以免电源线产生过多的电压降。瞬态信号发生器必须具有允许电源电流流动的低阻直流通路。校准时所有标明的辅助设备必须配齐。
2. 电流旁路电路用来限制校准环的尺寸并确保短路电流的流动。对于直流电源针脚，该旁路电路可以仅由一个合适尺寸和额定功率容量的电容器组成。对交流电源针脚，旁路电路可以由一个电容和/或一个低阻隔离变压器组成。校准配置要达到的目标是在校准点上获得希望的开路电压和短路电流幅度，并且具有正确的波形和源阻抗。
4. 在多相用电设备中，必须对每相针脚配置旁路电路重复校准，每相单独测试。不需要对所有相同时使用。

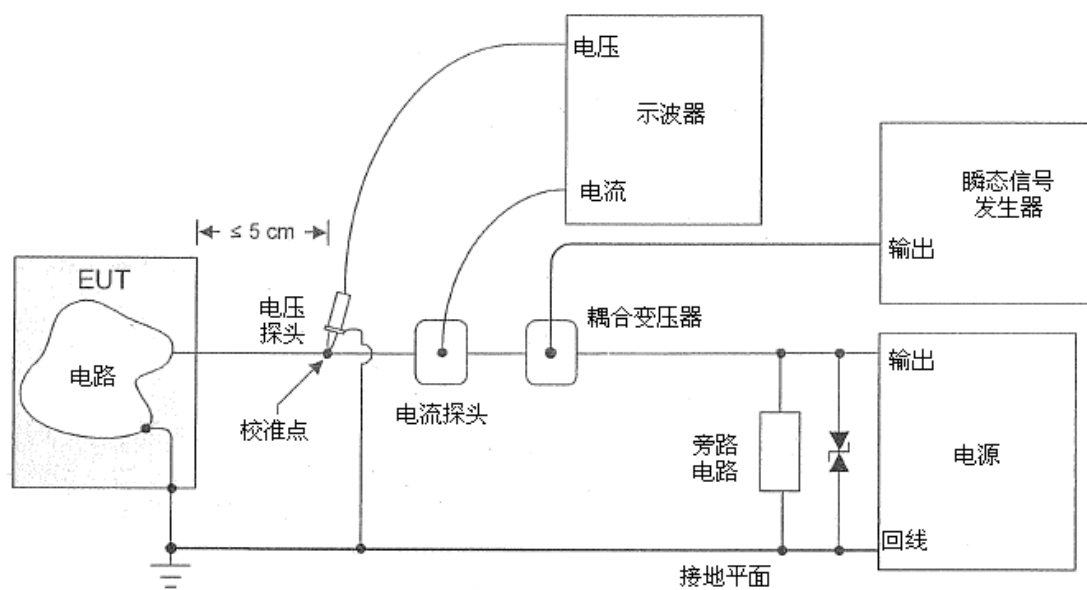
图 22-12 针脚注入校准配置，电源针脚-对地注入法



注：

1. 图 22-10 校准配置的注适用于此。
2. 试验配置和试验程序应使需要的雷电瞬态信号以差模形式出现在飞机电源线和回线/中线之间。如果电源线和回线/中线来自于远端的 LRU，并与信号线处在相同的电缆束中，试验配置中应使用分开的电源回线，以确保共模评估正确。
3. 不上电的设备试验时不需要供电。
4. 试验程序假定雷电瞬态信号以共模形式出现在所有针脚和外壳之间。如果预期的安装要利用在设备内部或外部被连接到外壳或飞机结构的本地电源回线和/或信号回线，应把这些回线连接到外壳后进行试验。

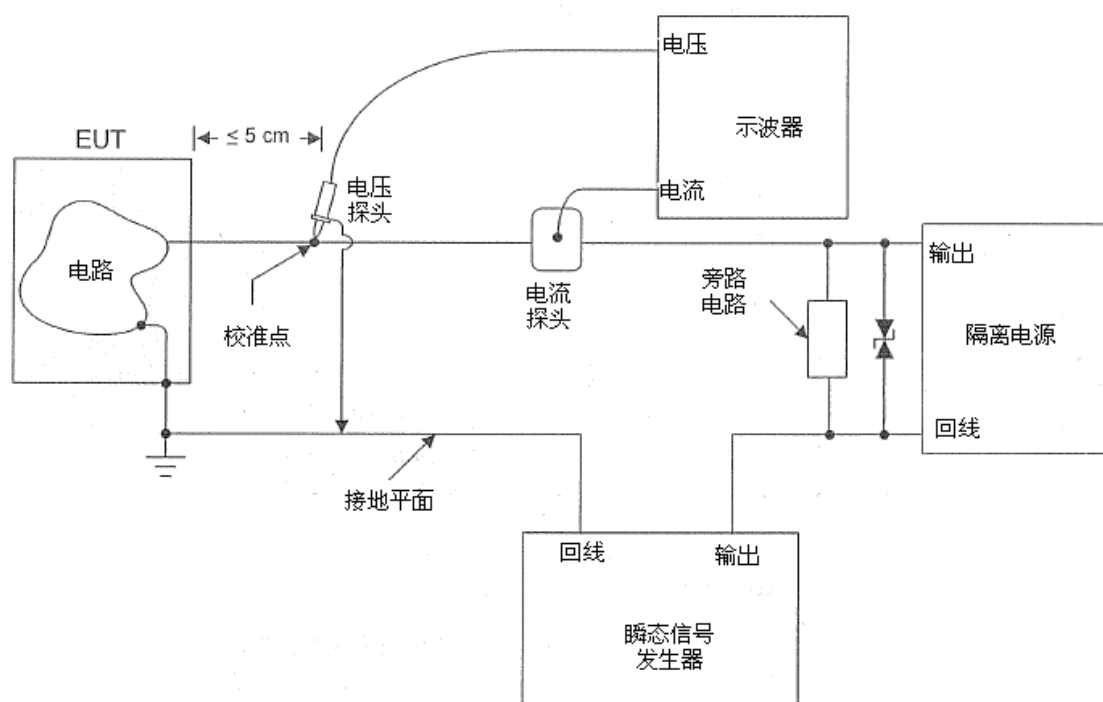
图 22-13 针脚注入试验配置，信号和电源针脚-直接注入方法



注：

1. 图 22-11 校准配置的注适用于此。
2. 试验配置和试验程序应使需要的雷电瞬态信号以差模形式出现在飞机电源线和回线/中线之间。如果电源线和回线/中线来自于远端的负载，并与信号线处在相同的电缆束中，试验配置中应使用分开的电源回线，以确保共模评估正确。
3. 电源回线/中线也要进行注入试验，除非这些线被直接连接到连接器处的外壳上。
4. 回线长度应尽可能短。

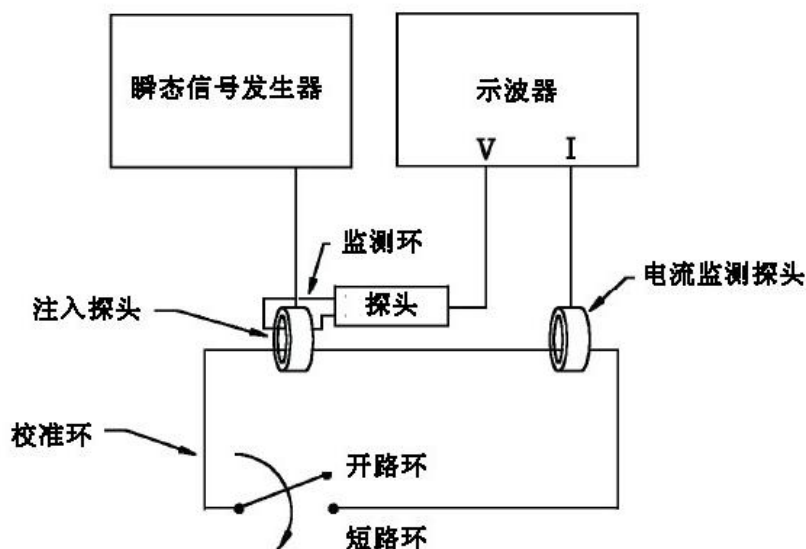
图 22-14 针脚注入试验配置，电源针脚-电缆感应法



注：

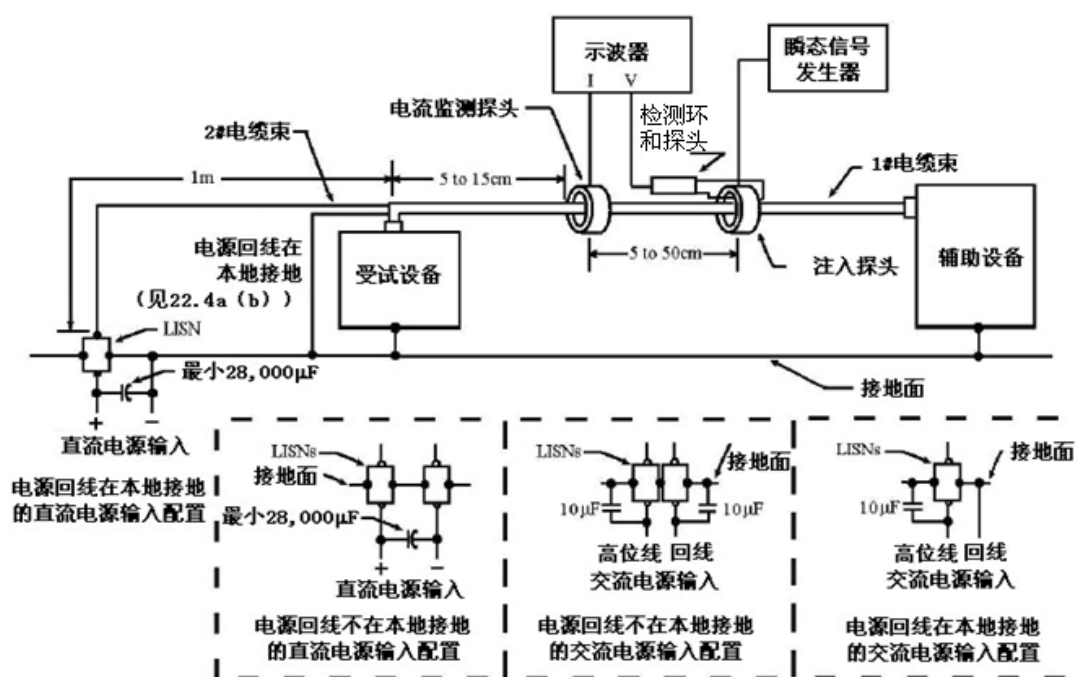
1. 图 22-12 校准配置的注适用于此。
2. 试验配置和试验程序应使需要的雷电瞬态信号以差模形式出现在飞机电源线和回线/中线之间。如果电源线和回线/中线来自于远端的负载，并与信号线处在相同的电缆束中，试验配置中应该使用分开的电源回线，以确保共模评估正确。
3. 电源回线/中线也要进行注入试验，除非这些线被直接连接到连接器处的外壳上。
4. EUT 回线长度应尽可能短。

图 22-15 针脚注入试验配置，电源针脚-对地注入法



注：一个串连电流监测电阻可以代替电流监测探头。

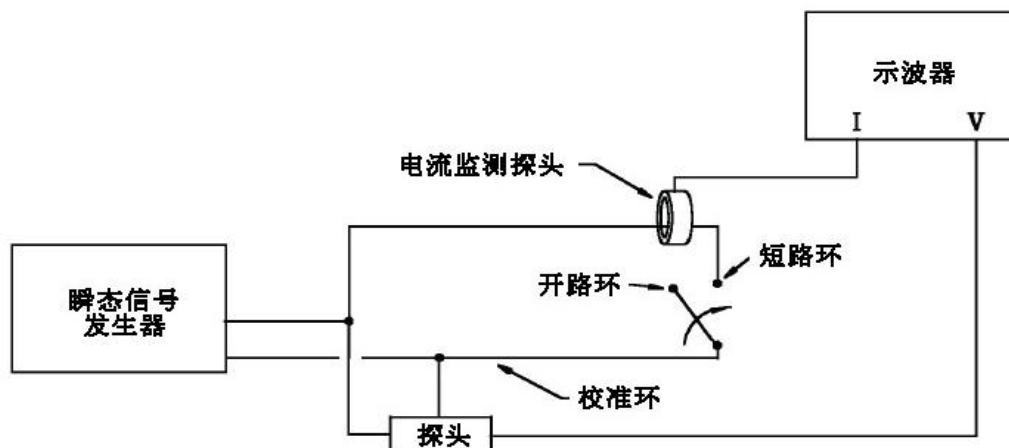
图 22-16 电缆感应试验时确认瞬态信号发生器性能的典型配置



注：

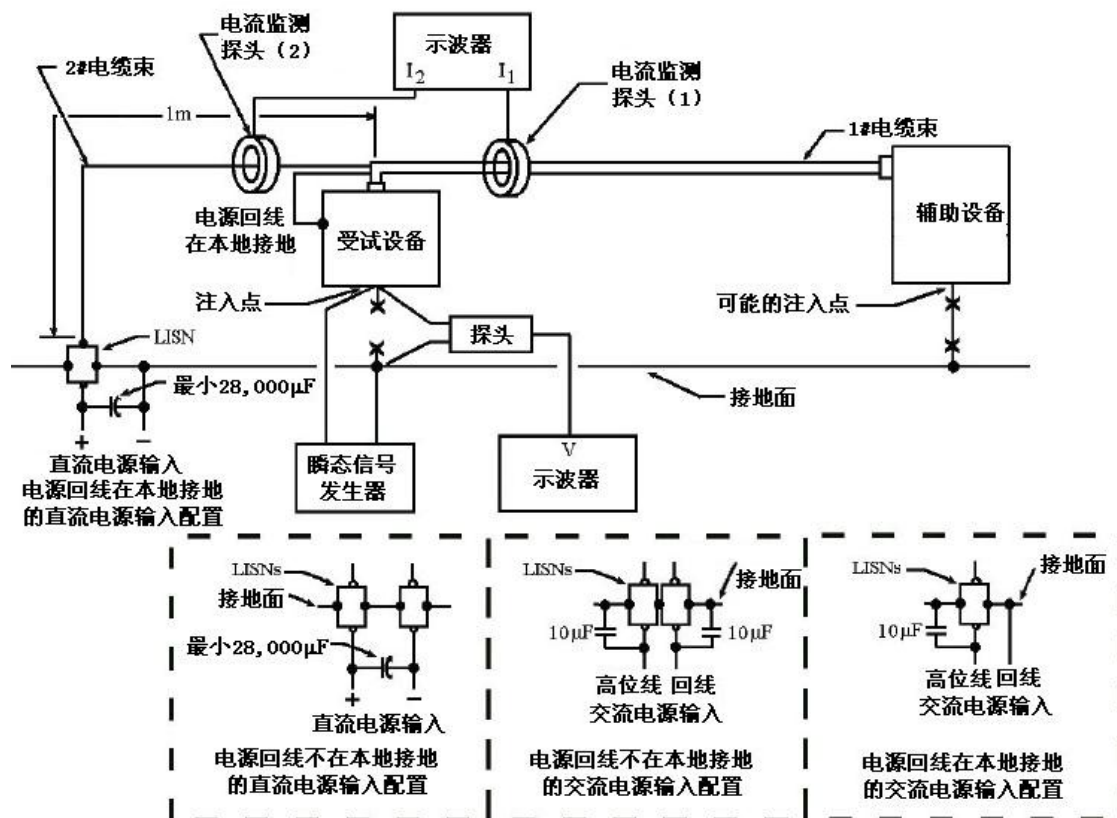
1. 电源输入端应使用如图所示的电容器，以提供对地的低阻抗。
2. 一个串连电流监测电阻可以代替电流监测探头。

图 22-17 电缆感应试验典型配置



注：一个串连电流监测电阻可以代替电流监测探头。

图 22-18 对地注入试验时确认瞬态信号发生器性能的典型配置



注：

1. 电源输入端应使用如图所示的电容器，以提供对地的低阻抗。
2. 瞬态信号发生器的输出阻抗应该低，以免电源线产生过多的电压降。瞬态信号发生器必须具有允许电源电流流动的低阻通路。
3. 一个串连电流监测电阻可以代替电流监测探头。

图 22-19 对地注入试验典型配置

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验方法

第 23 部分 雷电直接效应

重要提示

第 1、2 和 3 部分中含有与本部分试验程序相关的信息。
此外，附录 A 可用于标识实施的环境试验。

发布日期：
2010.12.08

替代：RTCA/DO-160F
起草：SC-135

目 次

23.0 雷电直接效应.....	23-1
23.1 试验目的.....	23-1
23.2 定义.....	23-2
23.3 设备类别.....	23-3
23.4 通用试验程序.....	23-4
23.4.1 高压雷击附着试验.....	23-4
23.4.1.1 高压试验波形.....	23-5
23.4.1.2 初始先导附着试验.....	23-5
23.4.1.2.1 试验目的.....	23-5
23.4.1.2.2 试验件.....	23-5
23.4.1.2.3 试验夹具.....	23-5
23.4.1.2.4 试验配置.....	23-5
23.4.1.2.5 试验波形.....	23-6
23.4.1.2.6 测量和数据记录.....	23-6
23.4.1.2.7 试验程序.....	23-6
23.4.1.2.8 数据分析.....	23-7
23.4.1.3 扫掠通道附着试验.....	23-7
23.4.1.3.1 试验目的.....	23-7
23.4.1.3.2 试验件.....	23-7
23.4.1.3.3 试验夹具.....	23-8
23.4.1.3.4 试验配置.....	23-8
23.4.1.3.5 试验波形.....	23-8
23.4.1.3.6 测量和数据记录.....	23-8
23.4.1.3.7 试验程序.....	23-8
23.4.1.3.8 数据分析.....	23-9
23.4.2 大电流物理破坏试验.....	23-9
23.4.2.1 大电流试验波形.....	23-9
23.4.2.2 电弧引入试验.....	23-11
23.4.2.2.1 试验目的.....	23-11
23.4.2.2.2 试验件.....	23-11
23.4.2.2.3 试验夹具.....	23-11
23.4.2.2.4 试验配置.....	23-11
23.4.2.2.5 试验波形.....	23-11
23.4.2.2.6 测量和数据记录.....	23-11
23.4.2.2.7 试验程序.....	23-12
23.4.2.2.8 数据分析.....	23-12

23.4.3 附加试验要求.....	23-12
23.4.3.1 外部安装的燃油设备	23-12
23.4.3.2 引燃源检测方法.....	23-12
23.4.3.2.1 照相法	23-12
23.4.3.2.1.1 试验目的.....	23-13
23.4.3.2.1.2 试验设备.....	23-13
23.4.3.2.1.3 试验程序.....	23-13
23.4.3.2.1.4 数据要求.....	23-13
23.4.3.2.2 可燃混合物（可燃气体）试验方法.....	23-14
23.4.3.2.2.1 试验目的.....	23-14
23.4.3.2.2.2 试验设备.....	23-14
23.4.3.2.2.3 试验程序.....	23-15
23.4.3.2.2.4 数据要求.....	23-16
23.4.3.3 外部构件上感应电压的测量	23-16
23.4.3.3.1 试验目的	23-16
23.4.3.3.2 试验件	23-17
23.4.3.3.3 试验夹具	23-17
23.4.3.3.4 试验配置	23-17
23.4.3.3.5 测量和数据记录	23-17
23.4.3.3.6 试验程序	23-17
23.4.3.3.7 数据分析	23-18
 表 23-1 高压试验类型和试验波形	23-6
图 23-1 高压和大电流试验流程图	23-19
图 23-2 电压波形 A	23-20
图 23-3 电压波形 D	23-20
图 23-4 初始先导附着试验配置	23-21
图 23-5 小件试验件的扫掠通道附着试验配置.....	23-21
图 23-6 大件试验件的扫掠通道附着试验配置.....	23-22
图 23-7 扫掠通道附着试验用的电极	23-22
图 23-8 典型的试验电极	23-23
图 23-9 能量可控的电压引燃火花源	23-23
图 23-10 测量注入瞬态信号的典型配置	23-23

23.0 雷电直接效应

23.1 试验目的

本部分所述的试验用于确定外部安装设备耐受雷击直接效应的能力。术语“外部安装设备”指所有安装在飞机主体蒙皮外部的设备，包括所有被作为设备组成一部分的绝缘蒙皮或整流罩覆盖的设备，还包括由设备制造商提供的作为设备一部分的连接电缆及相关终端设备。

本部分所述的试验不包括通过磁场或电场耦合在外部安装设备及相关电路中感应的电压和电流对受试设备产生的影响。这些间接效应见第 22 部分。

本部分涉及的设备实例包括：天线，外部灯，空气数据探头，外部传感器，以及安装在外部结构上的防冰和除冰设备（如电加热的防冰保护罩），磁流体液位指示器，油箱加油口和放油阀。

本部分不涉及的典型设备包括：作为飞机结构一部分的设备（即加热或不加热的风挡玻璃；属于机翼前缘结构整体的一部分或被机翼前缘结构包围的除冰系统的加电除冰机翼前缘），以及飞机结构所特有的而不是设备整体一部分的雷达罩或绝缘覆盖物保护的外部安装设备。这些典型部件将作为飞机制造商规定的整机雷电试验验证程序的一部分进行试验，或采用其它适用于这些部件的试验方法进行鉴定。

本部分涉及的两类直接效应试验是：高压雷击附着试验和大电流物理破坏试验。高压雷击附着试验用于确定试验件上可能出现的雷电附着位置。大电流物理破坏试验用于确定在雷电通道附着于或接近于试验件时可能对试验件产生的损坏。大电流物理破坏试验可用于评估：

- 电弧根部破坏情况；
- 形成的热蚀点；
- 融穿作用；
- 防护的充分性；
- 接合点作用（火花和损坏）；
- 与试验件接口相连的导体上的感应电压和电流电平。

典型情形下，首先进行高压雷击附着试验来确定试验件上可能的雷电附着位置，然后对高压试验期间确定的附着位置进行大电流破坏试验。如果能够确定可能的雷电放电附着点，无绝缘覆盖物的试验件不需要在大电流破坏试验前进行高压雷击附着试验。在这种情况下，试验计划中应规定试验件上施加大电流的位置。

通常，在进行文中所述试验时，受试设备不上电或不工作。在上电条件可能改变受试设备对雷电直接效应敏感度的情况下，应当给受试设备上电，或使用另外的方法来模拟上电条件。需要上电还是模拟上电应在试验计划中规定。

某些情况下，必须评估雷电附着试验期间试验件与飞机其它系统之间潜在的互相作用。通常需要评估的两类互相作用是：

- 直接注入到试验件导线并沿导线传导到飞机其它电气/电子系统的电压特性。
- 位于燃油蒸汽区域的试验件引发的电弧/火花的电位。

本部分提供了检测可以引燃敏感度为 $200\mu\text{J}$ 燃料混合物的电弧和火花的程序以及测量直接注入到试验件导线上电压的程序。试验计划中应规定这些程序的需求。

外部安装的燃油设备需要用另外的检测技术来确保它们不会产生能量大于或等于 $200\mu\text{J}$

的引燃源。24.3.4.1 介绍了如何将本部分的试验方法用于外部安装的燃油部件。对外部安装的燃油部件进行该试验的目的是确定对这些部件的雷击是否会产生引燃源。本部分试验不适用于由燃烧引起的燃烧抑制、火焰蔓延或压力冲击问题。因此本部分所述的引燃源检测方法不适用于像火焰阻断器这样的火焰蔓延防护部件。对于像 NACA 出口这样的需要评估火焰蔓延或火焰过压情况的部件试验，使用氢氩混合物是不合适的，应使用碳氢混合物。

试验步骤流程图见图 23-1。

23.2 定义

作用积分

随时间变化的电流平方在其持续时间上的积分。通常用安培平方秒（A²s）表示。

电弧根部

大电流流过时导电物体表面上雷电通道附着的位置。

附着点

雷电闪光与飞机的接触点。

持续电流

大电流放电期间或放电以后出现的低电平长持续时间的雷电电流。

电晕

由飞机和周围大气之间的电位差产生的辉光放电。

直接效应

由雷电通道的直接附着和/或雷电电流的传导对飞机和/或设备产生的物理效应。包括飞机或设备表面和结构的绝缘击穿、爆炸、弯曲、融化、燃烧和汽化。也包括直接注入到相关导线和管道以及其它导电部件的电压和电流。

放电

由高压或大电流脉冲源产生的电荷转移。

首次回击

当先导完全连接两个电荷中心时产生的大电流浪涌。电流浪涌具有高峰值电流、高的电流对时间的变化率（di/dt）和大的作用积分。

闪络

由间隙击穿产生的电弧通过或接近介质表面但不产生击穿的状态。

间隙击穿

与信号源输出端连接的电极之间间隙的电击穿。这种击穿由高压或大电流脉冲信号源的电容放电引起。

热斑点

与被雷电电流传导时加热到将要引燃温度的燃料/空气混合物接触的物体表面。

中间电流

持续时间为几毫秒，其幅度（即几个 kA）大于连续电流范围但小于回击电流范围的电流。

先导

伴随强电场产生的低亮度、低电流的雷电回击的初期形式。

雷电放电

整个雷电现象。它可能发生在云内、云间，或云和大地之间。它由一个或多个回击组成，伴有中间电流或持续电流。

雷击

雷电放电对飞机的附着现象。

雷击区域

根据雷电附着、驻留时间和电流传导的可能性进行分类的飞机表面区域和结构。参见 ARP5414/ED-91。

雷电回击（回击）

当雷电先导接触到大地或接触到另一个电荷聚集点时发生的雷电电流浪涌。

击穿

固体介质材料上局部不可逆的绝缘性能损坏。

流光

直接回击出现或雷电回击即将发生条件下存在的类似分支形的电离通道。

扫掠通道

相对于飞机的雷电通道，它对飞机产生了一系列相继的附着，这是由于飞机运动时闪电扫过飞机引起的。

扫掠先导

相对于飞机移动了其位置的雷电先导，它发生在首次先导附着之后，但先于第一次回击到达之前，这是由于在先导传播时飞机的运动所致。

热火花

当载流通过接触点时导电材料快速融化和汽化发出的燃烧粒子。

电压火花

两个分开的导体之间气体电介质的电气击穿。

23.3 设备类别

施加于外部安装设备的试验类型和严酷等级取决于设备被指定的类别。指定的设备试验类别应与设备所在的雷击区域一致。设备的类别符号由 4 个字符组成：

- 前 2 个字符表示高压雷击附着试验类别。
- 第 3 和第 4 个字符表示大电流物理破坏试验类别。

因此，类别符号以如下形式出现：

<u>2A</u>	<u>2A</u>
高压	大电流
放电附	物理破
着试验	坏试验

如果不进行高压雷击附着试验，前 2 个字符应为 **XX**。如果不进行大电流物理破坏试验，第 3 和第 4 个字符应为 **XX**。如果不进行任何试验，设备类别符号应为 **XXXX**。

如果高压或大电流试验所用的波形或试验配置与本部分的规定不同，则使用类别符号

ZZ。例如，使用非标准波形进行高压雷击附着试验后接着进行 1A 类的大电流物理破坏试验，设备类别符号应为 ZZ1A。当使用类别符号 ZZ 时，试验报告中应描述具体的试验条件和试验电平。

每个标准试验类别的描述如下：

1A 类

用于位于雷击区域 1A 内的外部安装设备。区域 1A 指飞机表面上首次回击可能发生在雷电通道附着时并伴有低预期闪光拖延的所有区域。

1B 类

用于位于雷击区域 1B 内的外部安装设备。区域 1B 指飞机表面上首次回击可能发生在雷电通道附着时并伴有高预期闪光拖延的所有区域。

1C 类

用于位于雷击区域 1C 内的外部安装设备。区域 1C 指飞机表面上幅度降低以后的首次回击可能发生在雷电通道附着时并伴有低预期闪光拖延的所有区域。

2A 类

用于位于雷击区域 2A 内的外部安装设备。区域 2A 指飞机表面上连续回击以低预期闪光拖延进行扫掠的所有区域。

2B 类

用于位于雷击区域 2B 内的外部安装设备。区域 2B 指飞机表面上连续回击的雷电通道以高预期闪光拖延进行扫掠的所有区域。

3N 类

用于位于雷击区域 3 内的外部安装设备。区域 3 具有能明显降低由传统设计得到的防护等级的新的设计特点，或者区域 3 还没有任何被证实的维修史。

23.4 通用试验程序

本节描述高压雷击附着试验和大电流破坏试验的程序。高压试验用于确定雷电在设备上可能的附着位置，并验证非导电材料保护措施充分性。大电流破坏试验用于验证设备耐受雷电电流的能力。

警告

雷电模拟试验需要高能量的电气设备，这些设备工作期间可能会充电至很高的电压。因此，应该遵守与这类测试仪器有关的所有安全措施。所有试验应在受控区域并由具备高压/大电流试验经验的人员实施。

23.4.1 高压雷击附着试验

本部分描述两类高压试验。对试验件进行的高压试验类型取决于它的试验类别要求。初始先导附着试验用于确定接近的雷电先导在设备的某块区域可能产生的雷电附着位置。扫掠通道附着试验用于确定雷电通道掠过设备时对设备的某块区域可能产生的雷电附着位置。表 23-1 列出了试验类型以及对每一种试验类别所施加的有关高压试验波形的概要。

表 23-1 高压试验类型和试验波形

高压雷击 附着试验类别	试验类型	高压波形	
		A	D
1A	初始先导附着试验（23.4.1.2）		X
1B	初始先导附着试验（23.4.1.2）		X
1C	扫掠通道附着试验（23.4.1.3）	X	
2A	扫掠通道附着试验（23.4.1.3）	X	
2B	扫掠通道附着试验（23.4.1.3）	X	
3N	扫掠通道附着试验（23.4.1.3）	X	

23.4.1.1 高压试验波形

高压雷击附着试验使用以下一个或几个波形进行：

电压波形 A

电压波形 A 指以 $1000\text{kV}/\mu\text{s}\pm 50\%$ 变化率上升的电压。见图 23-2。应在峰值电压的 30% 至 90% 范围内测量上升率。

电压波形 D

电压波形 D 指电压在 $50\mu\text{s}\sim 250\mu\text{s}$ 内上升至峰值，并在大约 $2000\mu\text{s}$ 时下降至峰值一半。见图 23-3。

23.4.1.2 初始先导附着试验

23.4.1.2.1 试验目的

本试验适用于指定为高压雷击附着试验类别 1A 和 1B 的设备。试验用于确定设备上可能产生的雷电附着位置，例如在设备被绝缘体覆盖的情况下，确定跨过或穿透绝缘覆盖物的击穿路径。

23.4.1.2.2 试验件

试验件应为全尺寸生产线产品或为典型的产品原型。试验件应在试验计划中规定。

23.4.1.2.3 试验夹具

试验件应安装在代表实际或预期安装状态的试验夹具上。试验夹具应在试验计划中规定。

23.4.1.2.4 试验配置

应按试验计划将试验件和试验夹具安装到如图 23-4 所示的导电接地平板上。通常搭接到飞机机架的试验件所有导电部件都应搭接到与高压发生器的一个端子连接的接地平板上。高压发生器的另一个端子应连接到如图 23-4 所示的大型平板电极。接地平板和电极需有足够尺寸的圆弧形棱边（用于电应力的释放）。从平面图上看，它们可以是方形的或是圆形的。试验布局预期能够产生活动的电气激发状态，例如在试验件上而不是在电极上产生弧光和流光现象。

应按下列步骤配置初始先导附着试验：

a. 将试验件安装到试验夹具上。确保试验件与夹具的电搭接能够代表实际或期望的安装状态。

b. 将试验件和试验夹具安装到接地平板上。

c. 将通常接地到飞机机身的试验件上或试验件内部的所有导电部件与试验计划中规定的接地平板进行电气连接。

d. 将高压发生器的一个输出端子连接到电极。

e. 将高压发生器的回线端子连接到接地平板。

f. 确保高压发生器与试验件之间所有被抬起的连接点离接地平板的距离远大于它们离试验件的距离。

g. 注意，尽管试验配置中需要包括试验件与飞机之间通常所出现的全部电连接点，但对于高压雷击附着试验而言，不需要这些连接点必须满足任何规定的电搭接电阻。虽然电连续性是重要的，但是通过低电阻搭接的这些连接点并不重要。

h. 配置传感和记录设备。其中包括高压分路器，记录示波器，拍摄闪络的照相机。另外，还应包括测量放电电流和拍摄试验件内部和背后流光的其它设备。

23.4.1.2.5 试验波形

应使用图 23-3 规定的波形 D。如果高压发生器的放电电流超过了高达数千安培的典型先导电流范围，可能会产生超出本试验范围的非实际效应。

23.4.1.2.6 测量和数据记录

初始先导附着试验时应记录下列测量和数据：

- 每一个试验配置的照片和描述。
- 试验电压波形和电流波形图。
- 所有高压放电的照片记录。这些照片应覆盖所有受试表面。附加试验前，应对照相机拍摄的试验照片立即进行初步分析，以便立即确认任何击穿。
- 每一个电极外形的照片。
- 击穿位置或其它显著效应的照片。
- 试验室环境数据（如温度、压力和湿度）、试验数据、试验人员和监测人员以及试验地点的记录。
- 任何偏离试验程序的记录。
- 记录每一次的试验结果，并给出电压极性、幅度和波形。

23.4.1.2.7 试验程序

应按以下程序进行初始先导附着试验：

- a. 测量试验室的环境条件。
- b. 检查并执行安全程序，并关注下列事项：
 - 对试验设备充电前，试验区域必须是安全的，并撤离人员。

-
- 试验后以及人员重新进入试验区域前，必须短接电容器组。
 - 必须对眼睛和耳朵进行适当保护。
- c. 按下列要求校准高压发生器和仪器：
1. 仔细检查试验件上可能与以后的试验效应相混淆的任何瑕疵，并作标记。
 2. 用金属箔将试验件覆盖，并将金属箔与接地平板连接。
 3. 选择初始极性并对金属箔进行试验，同时测量施加的电压。对试验件施加的初始极性最好选择正极（+）。
 4. 如果波形不符合要求，必要时调节信号发生器参数或电极间距，以获得规定的波形。
 5. 必要时重复校准步骤，以获得规定的条件。
 6. 移走试验件上的金属箔。
- d. 用适当的方法清洁试验件，去掉可能影响试验结果的灰尘、残留物和其它污染物。
- e. 对试验件放电，同时测量放电电压并拍摄闪络路径痕迹照片。确保放电发生在电压波形达到峰值前的电压上升段。为使试验有效，另需 3 个条件：
- 外部电极离最近的导体（试验件内部或外部）距离至少 1m。
 - 流光的连接点应发生在远离试验件的空气中（由闪络的照片确认）。
 - 来自外部电极的连接先导绝不能起始于电极边缘。
- f. 用接地棒释放掉试验件上的电荷。
- g. 检查试验件并记录试验结果。用特斯拉线圈确定肉眼可能难以观察到的小击穿位置。如果击穿已经发生，应进行评估，确定与适用的设备性能规范的符合性。如果认为试验结果不满足设备性能使用规范，可能需要终止试验程序。
- h. 重复步骤（e）～（g），对试验件至少进行 2 次高压放电。
- 注：由于试验件的绝缘性能可能逐渐降低，所以对于高压电极与试验件位置的任何特殊组合，总的放电次数应限制在 2 次。
- i. 切换高压发生器的输出极性。
- j. 重复步骤（e）～（h）。
- k. 根据试验计划需要，重新定位高压电极和试验件。
- l. 根据试验计划需要，重复步骤（e）～（k）。

23.4.1.2.8 数据分析

应对试验件进行全面的试验后鉴定，确定与适用的设备性能规范的符合性。

23.4.1.3 扫掠通道附着试验

23.4.1.3.1 试验目的

本试验适用于指定为高压雷击附着试验类别 1C，2A，2B 或 3N 的设备。试验用于确定受试设备上可能产生的雷电附着位置，例如在设备被绝缘体覆盖的情况下，确定跨过或穿透绝缘覆盖物的击穿路径。

23.4.1.3.2 试验件

试验件应为全尺寸生产线产品或为典型的产品原型。试验件应在试验计划中规定。

23.4.1.3.3 试验夹具

试验件应安装在代表实际或预期安装状态的试验夹具上。试验夹具应在试验计划中规定。

23.4.1.3.4 试验配置

试验件和试验电极位置的典型试验布置见图 23-5。如图 23-6 所示，0.25m 量级或更大尺寸的大件试验件通常需要从若干电极位置进行试验。

应按下列步骤配置扫掠通道附着试验：

- a) 将试验件安装到试验夹具上。确保试验件与试验夹具的电搭接能够代表实际的安装状态。
- b) 将试验件和试验夹具安装在接地平板上。
- c) 将通常接地到飞机机身的试验件上或试验件内部的所有导电部件与试验计划中规定的接地平板进行电气连接。
- d) 将高压发生器输出端子连接到高压电极。电极形状如图 23-7 所示。
- e) 配置传感和记录设备。包括高压分压器、记录示波器和拍摄闪络的照相机。另外，还应包括测量放电电流和拍摄试验件内部或背后流光现象的其它仪器。

23.4.1.3.5 试验波形

应使用图 23-2 中规定的波形 A。

23.4.1.3.6 测量和数据记录

扫掠通道附着试验时应记录下列测量和数据：

- 每个试验配置和电极位置的照片和描述。
- 所有试验的照片记录。照相机应提供试验件 360 度的照片。应立即对照相机拍摄的试验照片进行初步分析，以便立即确认所有击穿。
- 击穿位置或其它显著效应的照片。
- 记录实验室环境数据（如温度、压力和湿度），试验数据、操作人员和监测人员以及试验地点。
- 任何偏离试验程序的记录。
- 记录每一次的试验结果，并给出电压极性、幅度和波形。

23.4.1.3.7 试验程序

应按以下程序进行扫掠通道附着试验：

- a. 记录实验室环境条件。
- b. 检查并执行安全程序，并关注下列事项：
 - 对试验设备充电前，试验区域必须是安全的，并撤离人员。
 - 试验后以及人员重新进入试验区域前，必须短接电容器组。
 - 对眼睛和耳朵可进行适当保护。
- c. 仔细观察试验件上可能与以后的试验效应引起混淆的任何瑕疵，并作标记。
- d. 按下列要求校准信号发生器和仪器：

1. 根据 140kV/m 与扫掠距离的乘积确定需要的试验电压。扫掠距离应在试验计划中规定（参照图 23-5 和图 23-6）。如果扫掠距离为 0.5m 或更小，则需要的电压应为 70kV。调节高压发生器，使之产生电压波形 A。
2. 按图 23-5 所示设置球体间的间隙，并将球体间的间隙调整为电压高于所需电压的 120%~130%时放电。调节高压发生器，使在球体间隙中产生闪络。球体间的火花放电应发生在波形 A 的上升段。记录球体间隙的击穿电压。必要时调节球体间隙，使电压达到所需电压的 120%~130%时球体间隙发生击穿，并重复验证球体间隙的击穿电压值。如果得到的波形不符合要求，必要时调节发生器参数或电极间隔，以获得规定的波形。
3. 将高压发生器的输出端连接至高压试验电极。电极形状见图 23-7。
4. 将试验件安装在试验电极下面，使电极处于某一试验位置的上方。试验计划中应规定试验件上方的所有电极位置。将试验件接地到高压发生器回线端。用金属箔将试验件覆盖，并将金属箔接地至高压发生器回线端。电极应放置在离试验件表面（d）不超过 50mm 处。
5. 开启高压发生器，记录试验电极的击穿电压。当所需试验电压低于 140kV 时，可以减少间距（d），使电极在所需的电压（-0~+10%）击穿空气。需要时，重新验证电极击穿电压。试验电极最大间隔为 50mm。
6. 移走试验件上的金属箔膜。
 - e. 用适当的方法清洁试验件，去掉可能影响试验结果的灰尘、残留物和其它污染物。
 - f. 将试验电压施加到电极，同时测量施加的电压并拍摄出现的所有闪络的照片。

注：如果试验电压已成功施加，而试验件上不发生任何闪络，说明试验件的绝缘表面能够成功耐受雷电通道电压。
 - g. 检查试验件并记录试验结果。标记并拍摄试验件上的任何击穿或其它效应。如果击穿已经发生，应进行评估，确定与适用的设备性能规范的符合性。如果确定不符合设备性能规范的要求，可能需要终止试验程序。
 - h. 重复步骤（e）~（g），至少进行 2 次高压放电试验。

注：由于试验件的绝缘性能可能逐渐降低，所以对于高压电极与试验件位置的任何特殊组合，总的放电次数应该限制在 2 次。
 - i. 切换高压发生器的输出极性。
 - j. 重复步骤（d）~（h）。
 - k. 根据试验计划需要，重新定位高压电极和试验件。
 - l. 根据试验计划需要，重复步骤（d）~（k）。

23.4.1.3.8 数据分析

应对试验件进行全面的试验后鉴定，确定与适用的设备性能规范的符合性。

23.4.2 大电流物理破坏试验

23.4.2.1 大电流试验波形

适用于各个类别的电流分量见表 23-2。

表 23-2 大电流分量

大电流 物理破坏 试验类别	试验类型	大电流波形						
		A	A _h	A/5	B	C*	C	D
1A	电弧引入试验 (23.4.2.2)	X			X	X		
1B	电弧引入试验 (23.4.2.2)	X			X		X	X
1C	电弧引入试验 (23.4.2.2)		X		X	X		
2A	电弧引入试验 (23.4.2.2)				X	X		X ¹
2B	电弧引入试验 (23.4.2.2)				X		X	X ¹
3N	电弧引入试验 (23.4.2.2)			X	X	X		

注 1: 首先施加分量 D。

出于对验证的考虑, 分别用电流试验分量 A, A_h, A/5, B, C*, C 和 D 表示自然的雷电环境。每个分量分别模拟一个雷电放电电流的不同特性。进行试验时, 从表 23-2 中选用适于试验类别的可用波形分量。一次试验中可以单独施加 1 个分量或将 2 个或更多个分量组合后一起施加。

分量 A-首次回击电流

分量 A 具有 200kA ±10% 的峰值, 以及在电流幅度下降到峰值的 1% 时所需总时间不超过 500μs 上的作用积分为 2×10⁶A²s ±20%。试验电流波形可能是无方向性的或振荡的。从峰值的 1% 上升至 90% 的时间不超过 50μs。

分量 A_h-过渡区域电流

分量 A_h 具有 150kA ±10% 的峰值, 以及在电流幅度下降到峰值的 1% 时所需总时间不超过 500μs 上的作用积分为 0.8×10⁶A²s ±20%。试验电流波形可能是无方向性的或振荡的。从峰值的 1% 上升至 90% 的时间不超过 50μs。

分量 A/5-区域 3 的电弧引入电流

分量 A/5 具有 40kA ±10% 的峰值, 以及在电流幅度下降到峰值的 1% 时所需总时间不超过 500μs 上的作用积分为 0.08×10⁶A²s ±20%。试验电流波形可能是无方向性的或振荡的。从峰值的 1% 上升至 90% 的时间不超过 50μs。

分量 B-中间电流

分量 B 具有 2kA ±20% 的平均幅值度并在 5ms ±10% 的时间里转移 10 ±10% 库仑的电荷。该波形是无方向性的, 也可能是矩形的、指数形的或者线性衰减的。

分量 C-持续电流

分量 C 在 0.25s~1.0s 的时间里转移 200 ±20% 库仑的电荷。波形是无方向性的, 也可能是矩形的、指数形的或者线性衰减的, 它的平均幅度在 200A 和 800A 之间。

分量 C*-扫掠附着区域上短时间的持续电流

分量 C* 在 45ms ±20% 的时间里转移 18 ±20% 库仑的电荷。波形是无方向性的, 也可能是矩形的、指数形的或者线性衰减的, 并具有不小于 400A 的平均电流幅值。

分量 D-再次放电电流

分量 D 具有 $100\text{kA} \pm 10\%$ 的峰值以及 $0.25 \times 10^6 \text{A}^2\text{s} \pm 20\%$ 的作用积分。在下降到峰值的 1% 所需的不超过 $500\mu\text{s}$ 的总持续时间里,该分量可能是无方向性的或振荡的。从峰值电流的 1% 上升至 90% 的时间不超过 $25\mu\text{s}$ 。

23.4.2.2 电弧引入试验

23.4.2.2.1 试验目的

本试验适用于指定为大电流物理破坏试验类别为 1A、1B、1C、2A、2B、2C 和 3N 的设备。试验用于评价对可能遭受雷电电流直接注入设备造成的损坏。对于燃油系统部件,应使用 23.4.3.2 附加程序来检测引燃源。在进行直接雷电附着试验时,瞬态电压可能注入到其电路中的设备,应使用 23.4.3.3 附加程序来测量这些瞬态电压。

23.4.2.2.2 试验件

试验件应为全尺寸生产线产品或为典型的产品原型。试验件应在试验计划中规定。

23.4.2.2.3 试验夹具

试验件应安装在能够代表实际或期望安装状态的试验夹具上。试验夹具应在试验计划中规定。

23.4.2.2.4 试验配置

应按以下步骤配置电弧引入试验:

- a. 将试验件安装到试验夹具上。
- b. 按试验计划规定,将信号发生器的回线连接到试验夹具。按照飞机遭受雷电放电的典型方式,应使雷电电流从试验件上流出。
- c. 调整试验电极,使电极暴露的导电部分处在要评价的试验件所在区域上方不小于 50mm 处。如图 23-8 所示,对于大多数电弧引入试验,电极应为喷射分流式。在喷射分流式电极正对着试验件的所有表面上覆盖绝缘材料,这样就迫使电弧从不对着试验件的电极表面上发出。试验件与喷射分流式电极上非导电部分的最近距离至少是 25mm。如果不关注爆炸或冲击波效应,可以使用直径不小于 50mm、顶端为球形的棒状电极。该电极应能传导需要的试验电流。
- d. 如果希望将电弧引导到试验件上关注的特殊点,可使用直径不超过 0.1mm 的细金属导线。这种方法适用于输出电压较低的发生器。
- e. 配置传感和记录设备。

23.4.2.2.5 试验波形

根据试验类别(见表 23-2),选用电流波形 A、A_h、A/5、B、C、C*和 D 的一个组合用于本试验。

23.4.2.2.6 测量和数据记录

电弧引入试验需要如下测量和数据:

- 试验配置的照片和描述。
- 每次放电前后试验件的照片。

-
- 试验件受损坏的照片和描述。
 - 实验室环境数据（如温度、压力和湿度），试验数据、操作人员和监测人员以及试验地点。
 - 任何偏离试验程序的记录。
 - 记录每次放电的结果，并给出受试点的极性、电流幅度、波形、作用积分和转移电荷。
 - 记录与试验件有关联的导电体上的瞬态电压和/或瞬态电流（按试验计划要求）。

23.4.2.2.7 试验程序

应按以下程序进行电弧引入试验：

- a. 记录实验室环境条件。
- b. 检查并执行试验室安全程序。
- c. 按下列要求验证大电流信号发生器、放电电路、传感和记录设备：
 1. 将一个模拟试验件放在电极下方的试验夹具上或将一个导电棒放在试验件上方，以使波形的校验不损坏试验件。模拟的试验件或导电棒应具有与试验件大体相同的尺寸和导电率。
 2. 将试验夹具或导电棒连接到信号发生器的回线。
 3. 对模拟试验件/导电棒开始放电，同时测量施加的电流波形。
 4. 如果电流电平或波形不符合要求，则调节发生器的参数。
 5. 必要时重复步骤 3 和 4，以获得需要的电流电平和波形。
 6. 移走模拟试验件或导电棒，将试验件安装到试验夹具上。
- d. 对试验件放电。
- e. 检查试验件并记录试验结果。
- f. 如果需要，在一个新的位置上调整电极，并重复步骤（d）～（e）。

23.4.2.2.8 数据分析

应对试验件进行全面的试验后鉴定，确定与适用的设备性能规范的符合性。

23.4.3 附加试验要求

23.4.3.1 外部安装的燃油设备

外部安装的燃油设备，例如油箱口盖、磁流体液位指示器，需要用另外的检测技术来确保它们不产生任何能量大于或等于 200 μ J 的引燃源。下述方法适用于所有大电流物理破坏试验类别。

23.4.3.2 引燃源检测方法

能量大于或等于 200 μ J 的引燃源可用照相法或用敏感易燃的燃料混合物来检测。需要进行引燃源检测的大电流物理破坏试验应按 23.4.2.2 中描述的程序实施，并另加上如下所述的一种或两种引燃源检测方法。

23.4.3.2.1 照相法

23.4.3.2.1.1 试验目的

本方法使用照相机来检测在进行燃油系统部件大电流试验时电火花（电压火花）或热火花（电弧）产生的引燃源。该方法仅当试验件的所有角度都能被观察到时才可使用。如果不能观察到试验件的所有角度或试验件存在复杂结构的遮挡，则应采用照相和可燃混合物组合试验。所用的照相法必须能够检测到 200 μ J 的电火花。具有同等危险程度的热火花通常会发出更多的光并且比 200 μ J 的电压火花更容易检测。

照相法具有若干优点，包括容易配置试验装置，可长久保留用于辨别引燃源起源的试验记录，并有助于进行失效分析。

23.4.3.2.1.2 试验设备

a. 照相机和胶片

35mm 和 Polaroid 胶片均可用于该方法。照相机和胶片的组合应具有足够的敏感性，以鉴别 200 μ J 的电压火花。感光度为 3000ASA 的高速（617）Polaroid 黑白胶片通过 F4.7 的镜头（无滤光片），在距离潜在引燃源 1.5m（包括反光镜反射距离）以内曝光即可满足此要求。35mm 的胶片应对 200 μ J 的电压火花具有足够的敏感性以及良好的颗粒度，以得到清晰的火花图像。应采用制造商推荐的冲洗时间-温度组合。不应使用过期胶片。

b. 反光镜

试验期间可能需要多角度观察试验件，这时可通过使用前表面反光镜来实现，但应注意要把可能改变照相机敏感性的反射损耗降到最低。通常，一次表面反射是可以接受的。如果使用一个或多个反光镜，那么总的反射损耗应小于 15%。

c. 暗室

考虑到雷电试验电流放电期间照相机光圈是打开的，照相法需要一个暗室。应使用 LED 或其它小光源作为参照，以助于辨别引燃源的位置并验证试验期间照相机的快门是打开的。

23.4.3.2.1.3 试验程序

- a. 设置照相机。确保所有照相机对焦，并对所有潜在光源都有足够的能见度。
- b. 试验前拍照。对灯光下试验件拍照，以帮助辨别试验期间要观察的火花位置。
- c. 验证整个配置足够暗，并且试验装置连接处的任何火花将不会干扰对试验件上危险火花的检测。
- d. 打开照相机快门，然后按照 23.4.2.2 要求实施大电流放电试验。
- e. 照相机快门关闭前，点亮试验箱内的小光源以验证快门在试验期间是打开的。关闭快门。
- f. 检查胶片以确认引燃源的存在。对于 Polaroid 胶片，底片的影迹最灵敏，应先进行研究。任何亮点都有可能是燃料引燃源标记。使用 2 个或 3 个照相机将有助于消除可能出现的胶片缺陷，否则这些缺陷可能被误认为是光源。

23.4.3.2.1.4 数据要求

如果采用照相法，需要记录的附加数据包括：

- 试验时照相机的设置，胶片类型和胶片制造商。
- 照相机与试验件间的距离。

- 反光镜的反射损耗。
- 如果照相法偏离了上述给出的指导原则，那么应使用 200μJ 能量可控的电压引燃火花源来验证所用方法对 200μJ 电压火花的灵敏度，以校准胶片速度、光圈设置、反射表面和反射表面到照相机胶片面的距离。

23.4.3.2.2 可燃混合物（可燃气体）试验法

23.4.3.2.2.1 试验目的

警告：利用可燃气体混合物进行试验有危险，应采取适当的防护措施。

本方法可以代替照相法或与照相法相结合来检测潜在的引燃源。在可能发生瞬态热斑点的情况下，应优先采用可燃混合物方法。该方法用于试验配置内部所有可能存在的引燃源不能用照相机满意查看的情况。

氢/氧/氩混合物（5%氢，12%氧，83%氩）是可燃混合物试验优先选用的气体。已经证明，该混合气体暴露于 200μJ 能量的电压火花源时，被引燃的概率大于 90%。另外，该混合气体燃烧时释放的能量非常少，从而提高了试验的安全性，降低了试验箱压力释放要求。氢在燃烧时不发出可见光，从而允许同时使用照相法并提高试验结果的置信度。

试验期间如果使用了可燃混合物但没有发生引燃，那么混合物的可燃性应使用一种不大于 200μJ 的能量可控的电压引燃火花源来验证，该电压引燃火花源应在雷电试验后立即被引入试验箱。如果可燃的混合物没有被能量可控的电压引燃火花源引燃，那么雷电试验被认为无效，并且要用新的混合物重新进行试验直到雷电试验或能量可控的电压引燃火花源引燃该混合物为止。

如果用 200μJ 的电压火花源引燃时难以满足 10 次中有 9 次引燃的气体校准程序要求（23.4.3.2.2.3a），那么应按程序对能量可控的电压火花源进行评估，以建立对 200μJ 的置信度。需要注意的是，引燃本身对温度、湿度、间隙距离和电极清洁度可能存在着敏感性。

如果对能量可控的电压火花源有信心，那么氢/氧/氩混合物中的氢浓度可以按照 0.5% 增加量递增（维持 1.2 的化学计量浓度），直到 10 次中有 9 次引燃的要求满足为止。氢的浓度不应超过 7%。

	氢	氧	氩
初始混合物	5%	12%	83%
氢增加 0.5%	5.5%	13.2%	81.3%
氢增加 1.0%	6.0%	14.4%	79.6%
氢增加 1.5%	6.5%	15.6%	77.9%
氢增加 2.0%	7.0%	16.8%	76.2%

注意：为达到用 200μJ 的电压火花源 10 次中有 9 次引燃的气体校准要求，需要使用氢浓度最低的混合物。氢浓度为 5% 时，最小的引燃能量（MIE）的指标为 200μJ。氢浓度增加到超过该量级，可能导致一个保守的试验灵敏度。

23.4.3.2.2.2 试验设备

a. 试验箱和流量控制系统

试验箱的容积应该与实际的一样小，使气体混合物的体积降到最小，以使发生引燃时释放最少的能量。试验箱上还应具有一个出气孔/部件，以防止压力聚增并用于验证混合物的引燃。利用气体混合物的流动对试验箱内部空间进行 5 次换气，便可获得试验箱内部所需混合物的置信度。为了控制输入到试验箱的气体混合物，需要有一个流量控制系统。通常，压缩气体的流动由质量控制流量计控制，以便设置需要流入试验箱的流速。计算流速的实例如下：

对于 5% 的氢，12% 的氧和 83% 的氩

试验箱的容积=1 立方英尺=28.3 升。

5 分钟内输入 5 倍容积的混合物，需要的流速为 28.3 升/分钟（SLPM）。具体比例为：氢 1.4SLPM，氧 3.4SLPM，氩 23.5SLPM。

b. 能量可控的电压引燃火花源

在雷电试验放电前后，需要用能量可控的电压引燃火花源来验证和量化气体混合物的引燃特性。这种可控的电压火花源应在两个直径为 3.2mm、间隔为 1.5mm~2.0mm 的铝电极之间产生电压火花。电压火花的能量应不大于 200μJ。

一种产生电压火花的方法是使跨接在间隙两端的小电容器放电。利用电容值（C）和充电电压（V）就能计算间隙之间的放电能量。计算时假设在系统中储存的全部电位能（ $1/2CV^2$ ）将以跨越两个电极之间空间的电压火花的形式耗散掉。为了确保这种假设是有效的，在电容器和电压火花间隙之间的引线应短而粗并且连接牢固。作为空气放电的一个例子是 2mm 的间隙将在 7.95kV+/-5% 时发出火花。依据该电压，大约需要 6pF 的电容量来储存验证气体混合物可燃性所需的 200μJ 的能量。实际氢-氧-氩混合物的击穿电压要低于空气击穿电压。所以需要更大的电容量才能确保产生 200μJ 的火花。

图 23-9 表示一个能量可控引燃源的示意图。为防止多次放电，充电时间常数需要达到秒级，并需要一个大约 150GΩ 的电阻。这种量值的电阻要求其支撑结构具有非常高的电阻，否则系统将不会充电到击穿电平。火花间隙电压用静电电压表测量。间隙与地面之间 50MΩ 的绝缘电阻确保只有存储在真空电容器里的能量才能传输到间隙上。另外，电晕放电电源被用来确保产生符合要求的间隙击穿电压。

23.4.3.2.2.3 试验程序

a. 气体混合物校准程序

在进行雷电试验前，必须验证并记录 200μJ 最小能量的电压火花电平引燃气体混合物/试验容积的概率。为了确定雷电试验结果的置信度，该信息是必需的。将试验样品安装到试验箱前，先要进行校准试验。

1. 设置气体流速。
2. 视觉观察电极顶部。清洁并抛光电极顶部，设置/确认所需的间隙间距。以上工作每个试验过程只需做一次。
3. 封闭试验箱上的出气孔。
4. 调节能量可控的电压引燃火花源至 200μJ。

5. 开始校准试验，用气体混合物填充试验箱，以置换 5 倍试验箱容积的气体。
6. 使能量可控的电压引燃火花源放电并记录击穿电压、引燃与否、试验时间和注入能量值。
7. 如果不发生引燃，等待 2 分钟后重新放电。5 次尝试后用更高能量的火花源引燃。
8. 重复步骤 5~7 至少达 9 次，记录引燃的次数，以确认气体混合物在连续的 10 次试验中至少引燃 9 次。每个放电试验过程应检查间隙距离并抛光/清洁电极顶部。应在每个放电试验过程开始和结束时验证电容量。

b. 雷电试验程序

1. 设置气体流速。
2. 封闭试验箱上的出气孔。
3. 调节可控的引燃源至 200 μ J。
4. 开始校准试验，用气体混合物填充试验箱，以置换 5 倍试验箱容积的气体。
5. 进行大电流电弧引入（23.4.2.2）试验配置和放电试验程序。
6. 如果在大电流放电试验时发生了引燃，确定与适用的设备性能规范的符合性。
7. 如果在雷电放电试验时没有发生引燃，使用能量可控的电压引燃火花源点火，以确认所用的混合物是可燃的。
8. 如果能量可控的电压引燃火花源不能引燃混合物，等待 2 分钟后再重新试验。用能量可控的电压引燃火花源进行 5 次尝试后，换用更高能量的电压火花源引燃。如果用能量可控的电压引燃火花源不能引燃混合物，则试验无效。
9. 重复步骤 1~8 继续试验。每个放电试验过程应检查间隙距离并抛光/清洁电极顶部。应在每个放电试验过程开始和结束时验证电容量。

注：如果计划对同一个试验件进行其它附加试验，则这些试验可以在使用能量可控的电压引燃火花源点火前进行。如果按照步骤 7 和 8，用能量可控的电压引燃火花源不能成功引燃混合物，则认为施加于试验件上的所有试验都是无效的。整个试验期间应保持试验室内部混合物的适用性。

23.4.3.2.2.4 数据要求

如果进行可燃混合物试验，需要记录的数据有：

- 气体的类型、等级和浓度。
- 流速值。
- 由可控的电压火花源引燃的概率值（即 10 次校准引燃的结果）。
- 确认能量可控的电压引燃火花源所含的能量。

23.4.3.3 外部构件上感应电压的测量

23.4.3.3.1 试验目的

本试验方法适用于指定为大电流物理破坏试验类别为 1A、1B、1C、2A、2B、2C 和 3N 的设备。该方法用于测量当设备遭受雷电电流时直接出现在 EUT 电连接器上的电压。设备的这种特性可用来选择连接器的类型以及确定用于保护与外部安装设备相连的内部设备保

护器件的等级。

23.4.3.3.2 试验件

试验件应是生产线上的批量产品或是具有代表性的样机，其结构、布线和设备安装在电磁特性上应与预期的产品配置相似。试验件应包括如衬垫、搭接跨接线、油漆和密封胶这样的安装用品。试验件应在试验计划中规定。

23.4.3.3.3 试验夹具

试验件应安装在代表实际或预期安装状态的试验夹具上。试验夹具应在试验计划中规定。

23.4.3.3.4 试验配置

应按下列步骤进行配置，以测量注入的瞬态信号：

- a. 将试验件安装到试验夹具上。试验计划中应规定试验夹具上试验件的安装情况。图 23-10 给出了一个简易的试验夹具。
- b. 按照电弧引入试验的配置要求（23.4.2.2）设置大电流发生器。
- c. 设置电压测量探头和记录设备。记录仪器应具有至少 30MHz 的带宽。
- d. 为了最大限度降低测量噪声，应对测量探头和记录设备进行屏蔽。在测量探头和记录设备之间应使用相配的屏蔽电缆或光缆进行连接。

23.4.3.3.5 测量和数据记录

注入瞬态信号的测量需要下列测量和数据：

- 试验配置的照片和描述。
- 用于电气电路的仪器探头和夹具布置的照片和描述。
- 每次放电试验前后的试验件照片。
- 试验件损坏的照片和描述。
- 试验室环境数据（如温度、压力和湿度）、试验数据、试验人员和监测人员以及试验地点。
- 任何偏离试验程序的记录。
- 记录每次放电的结果，并给出受试点的极性、电流幅度、波形、作用积分和转移电荷。
- 电压幅度和波形的记录。

23.4.3.3.6 试验程序

- a. 测量试验室的环境条件。
- b. 检查并执行安全程序。要关注下列事项：
 - 试验设备充电前，试验区域必须是安全的，并撤离人员。试验人员进入试验区域前，必须短接电容器组。
 - 对眼睛和耳朵进行适当保护。
- c. 按下列要求校准发生器和仪器：
 1. 将大电流发生器的高电位端从试验件上拆下，并将其连接到一根与试验件和发生器回线连接点连接的导电棒上。导电棒的材料特性应与试验件相似。
 2. 对导电棒放电，同时测量施加的电流波形以及仪器电路中的感应电平。

-
3. 如果电流电平和波形不符合要求，应调节发生器参数。
 4. 如果在仪器电路中感应的噪声电平高于预期值，应调整仪器配置，以降低感应的噪声电平。
 5. 必要时重复步骤 2~5，以获得所需的条件。
- d. 移开导电棒，并将发生器与试验件重新连接起来。
 - e. 按 23.4.2.2（电弧引入）要求对试验件进行放电，同时测量试验件导线上施加的电流波形和瞬态电压。
 - f. 检查试验件并记录试验结果。

23.4.3.3.7 数据分析

应对测量的电压响应进行评估，并确定与适用的设备性能规范的符合性。

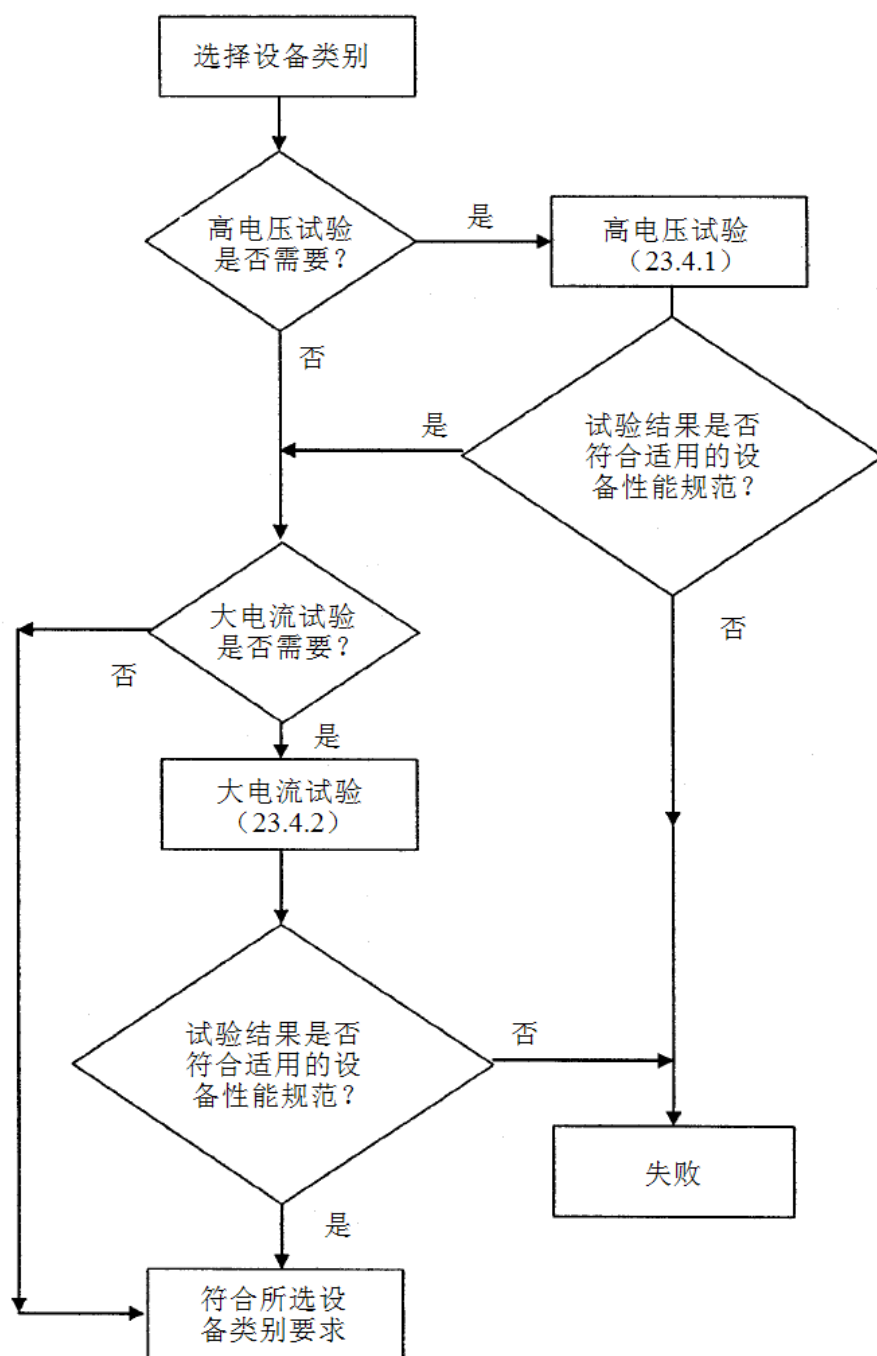


图 23-1 高压和大电流试验流程图

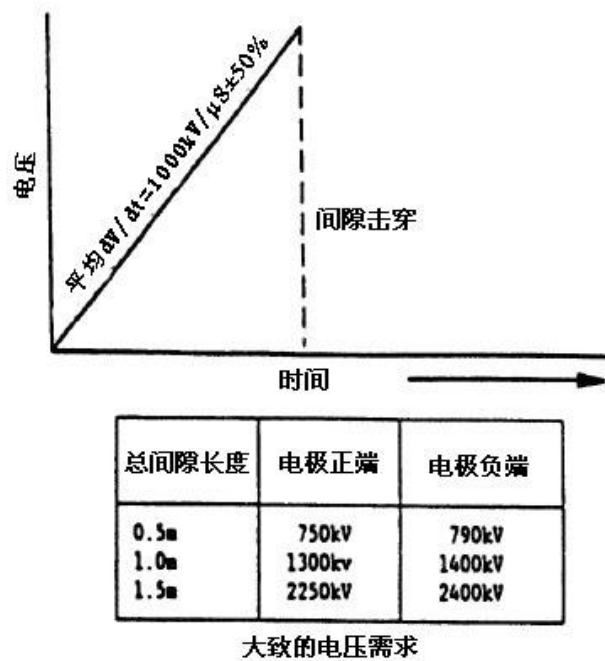


图 23-2 电压波形 A

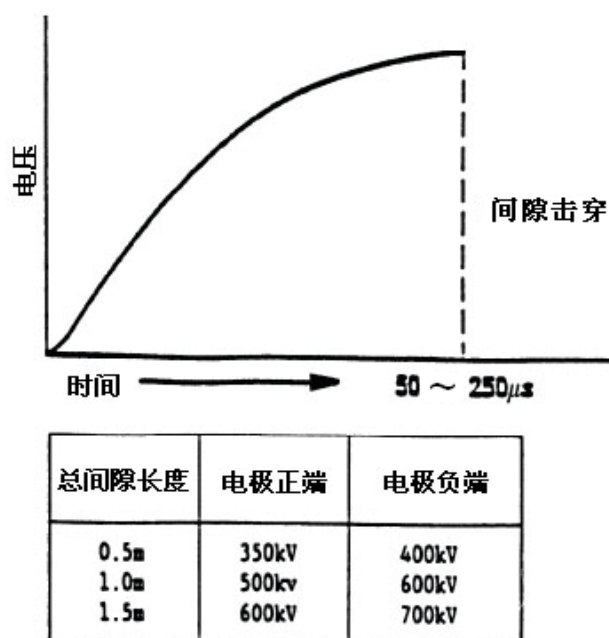


图 23-3 电压波形 D

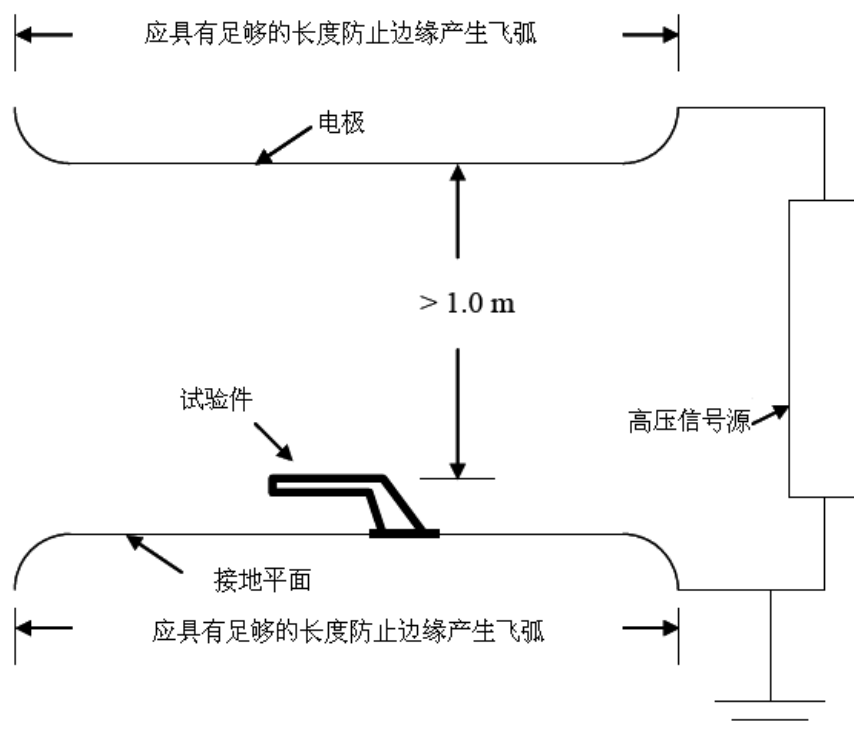
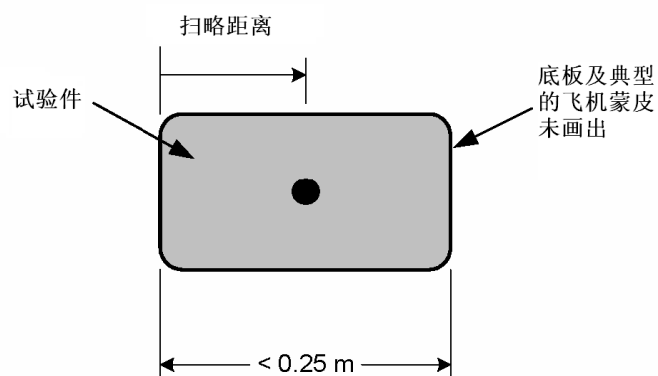
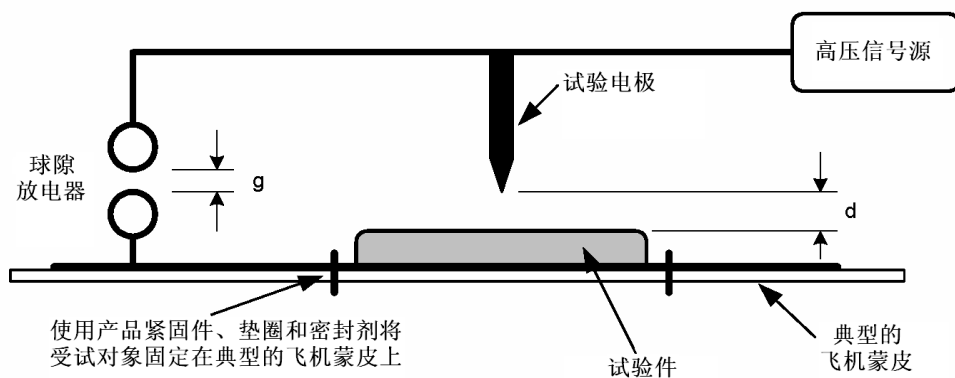


图 23-4 初始先导附着试验配置



俯视图



侧视图

图 23-5 小件试验件的扫掠通道附着试验配置

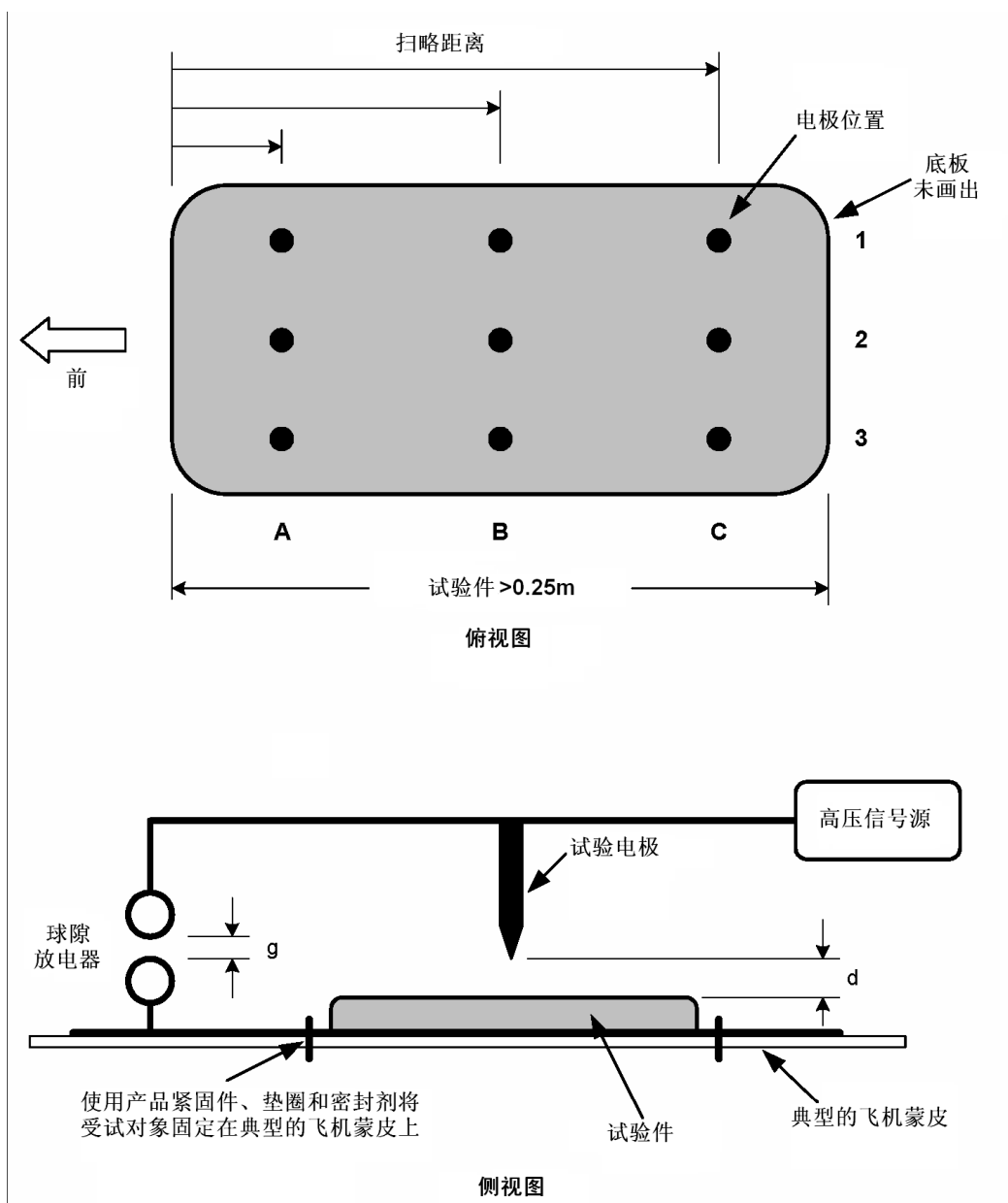


图 23-6 大件试验件的扫掠通道附着试验配置

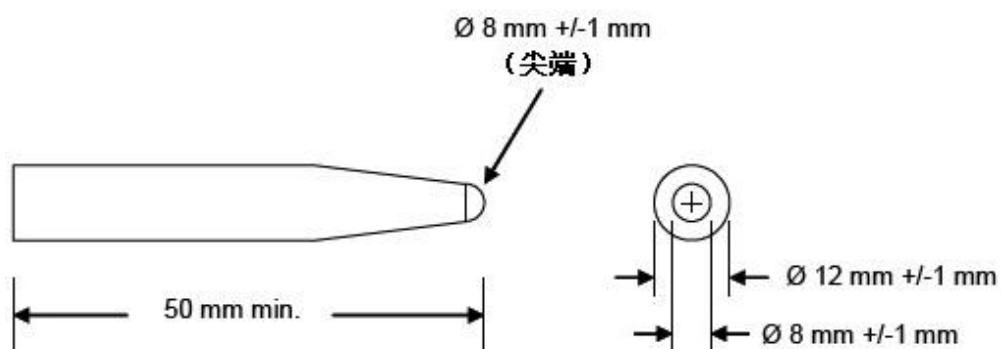


图 23-7 扫掠通道附着试验用的电极

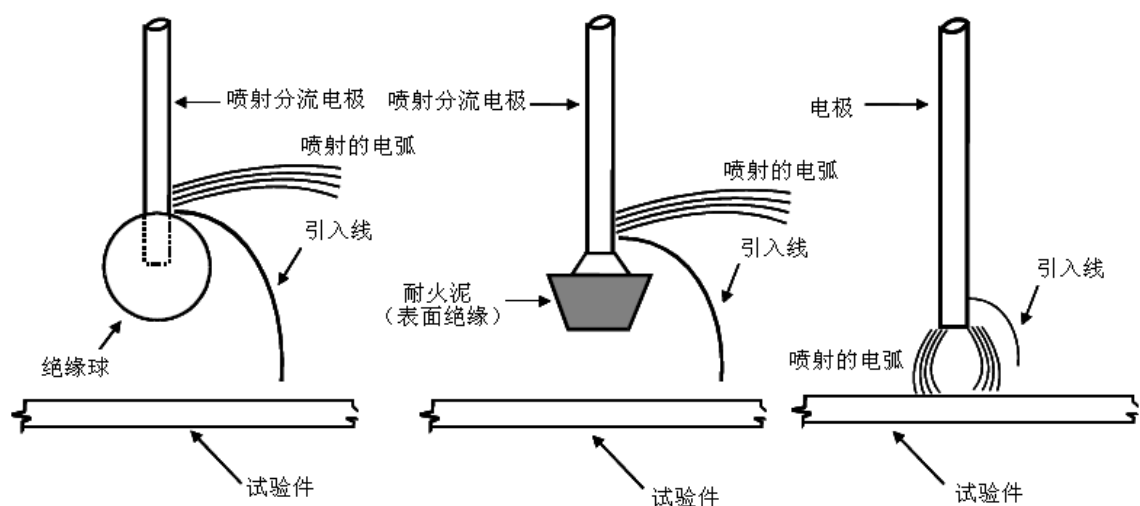


图 23-8 典型的试验电极

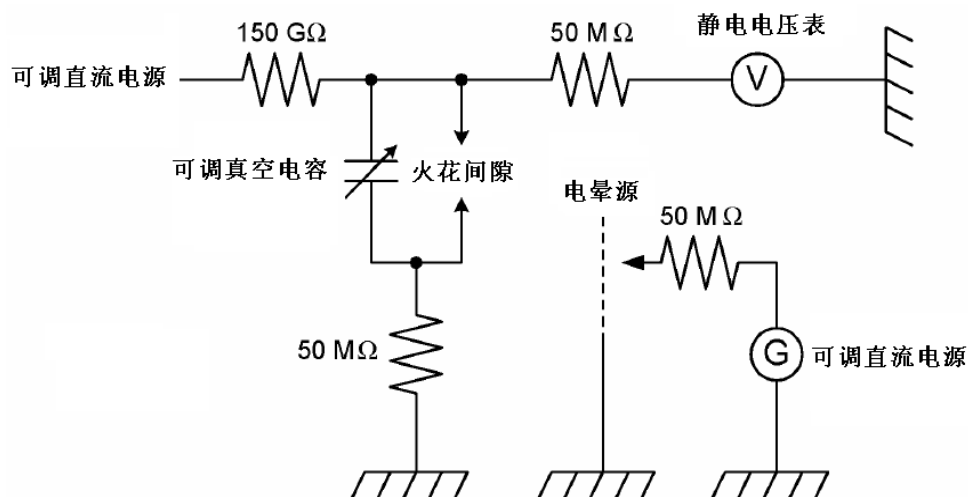


图 23-9 能量可控的电压引燃火花源

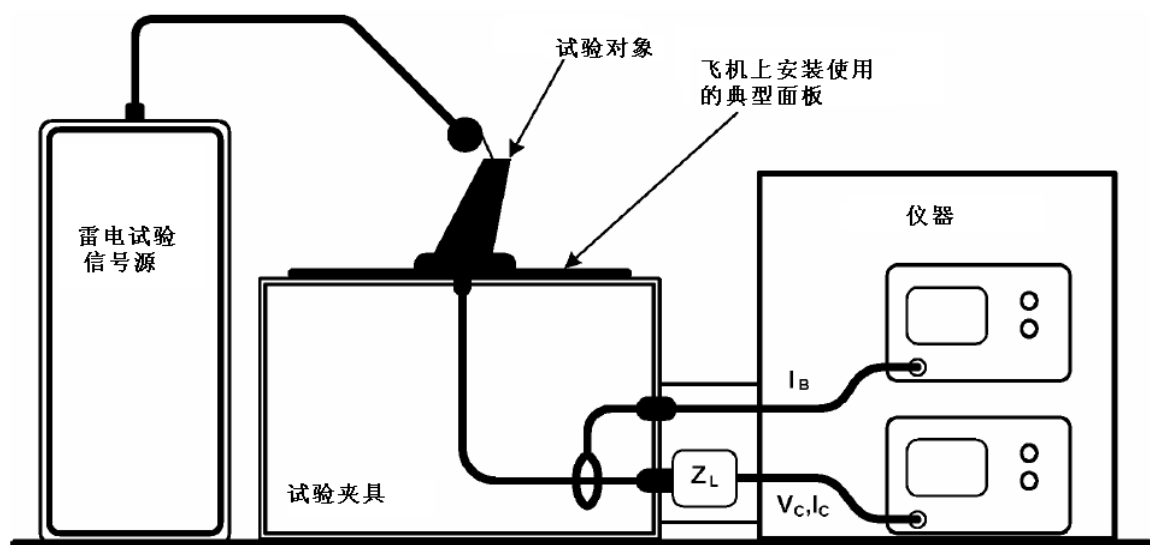


图 23-10 测量注入瞬态信号的典型配置

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036,

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

第 24 章

结冰

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

目 录

24.0	结冰	24—1
24.1	试验目的	24—1
24.2	概述	24—1
24.3	设备分类	24—1
24.4	试验方法	24—1
24.4.1	概述	24—1
24.4.2	A 类	24—1
24.4.3	B 类	24—2
24.4.4	C 类	24—2
图 24—1	A 类 结冰试验	24—3
图 24—2	B 类 结冰试验	24—3

24.0 结冰

24.1 试验目的

本试验用于确定设备暴露于结冰环境中必须工作的性能特性，温度、高度和湿度快速变化时会出现这种环境。

24.2 概述

根据设备设计在飞机上使用和安装分类(见 24.3)，规定了三种结冰试验程序。

注：结冰类别的选择取决于设备在飞机内(或飞机上)的位置和预期的结冰条件类型。设备设计者在评估这些由设备最终应用和使用决定的要求时必须考虑这些条件。这些试验一般适用于安装在飞机的外表面上或不控温区域内的设备，这些地方通常会遇到温度、高度和湿度的快速变化。

这些程序规定了评价各种结冰条件对性能或机载设备影响的试验方法，即：

- 粘附于设备外部的冰或霜的影响；
- 由冷凝水冻结或融化的冰重新冻结产生的冰的影响；
- 由直接暴露的水引起的积冰的影响。

24.3 设备分类

以下类别包括飞机上通常遇到的预期的冰形成条件。

A 类

这类试验适用于安装在飞机外部或非控温区内的设备，安装在该处的设备由于冷浸在极端低温下后接着又遇到温度高于冰点的潮湿空气产生冷凝，可形成冰或霜。

B 类

这类试验适用于装有活动部件的设备，而它们的活动可能受冰的形成所影响或阻碍，或由于冰膨胀产生的力而使其结构或功能部件受到损坏。设备内部和外部形成的冰是由于冷凝、冻结、融化和(或)再冻结形成的，而且这种冰可能会在非密封壳体内部逐渐积水或冰。

C 类

这类试验适用于安装在飞机外部或非控温区内的设备，在这些地方，有积累自由水的危险，这些自由水随后会在设备冷表面结冰。本试验用来检验典型厚度的冰对设备性能的影响，或用来确定必须采取除冰措施前允许冰达到的最大厚度。要求的冰的厚度和分布，以及有关冰的逐渐形成的任何要求，应在有关设备性能标准中规定。

24.4 试验程序

24.4.1 概述

按能代表飞机上正常安装的方式安装受试设备。开始相应试验前，去除所有非典型污染物，例如油、油脂和污垢，这些污染物会影响冰与受试设备表面间的附着作用。发热设备的工作时间应仅限于确定符合性所需的时间内。A 类和 B 类程序的步骤如图 24—1 和图 24—2 所示。

24.4.2 A 类

- 设备不工作，在试验室压力和湿度条件下将设备温度稳定在表 4—1 中规定的地面低温耐受温度；
- 尽快将设备暴露于温度为 30℃、相对湿度至少为 95%的环境中。监测设备表面温度；
- 在设备表面温度达到 5℃前，保持箱内温度为 30℃和至少 95%的相对湿度。然后在试验室压力和湿度条件下，尽快将箱内温度降到相应的地面低温耐受温度；
- 再重复步骤 a~步骤 c 两个循环(总计 3 个循环)；
- 在第三个循环结束时，将设备温度稳定在地面低温耐受温度。升高并保持试验箱温度到 -10℃，并允许设备表面温度升高。当表面温度达到 -10±5℃时，使设备进入工作状态，确定其是否符合有关设备性能标准。

注：本试验设计是为使设备交替暴露于干冷和暖湿环境。建议使用模拟这两种不同环境的两个不同的试验箱。

24.4.3 B 类

- 设备不工作，在试验室压力条件下将设备温度稳定在 -20℃。保持此温度并降低试验箱压力到表 4—1 中规定的相应的最高工作高度。保持此条件至少 10 分钟；
- 以不超过 3℃/min 的速率升高试验箱温度，同时升高并保持试验箱内相对湿度到不小于 95%。保持此条件足够的时间，以使所有的霜和冰融化或直到设备表面温度达到 0℃~5℃之间。此步骤期间的任何时间内试验箱温度不允许超过 30℃；
- 在 15—30min 时间内，以均匀速率将试验箱压力升高到室内环境压力。压力恢复完成后，将试验箱的相对湿度降到室内正常环境；

d. 重复步骤 a~步骤 c, 总共完成 25 个循环或按有关设备规范的规定, 以少者为准;

注: 如果有必要中断试验程序, 应在设备处于低温条件时中断试验。

e. 在最后一个试验循环结束时, 设备温度已稳定在 -20°C 之后, 确定其是否符合有关设备性能标准。

24.4.4 C 类

a. 设备不工作, 将设备温度稳定在喷水时能在设备上结成透明、坚硬的冰的温度;

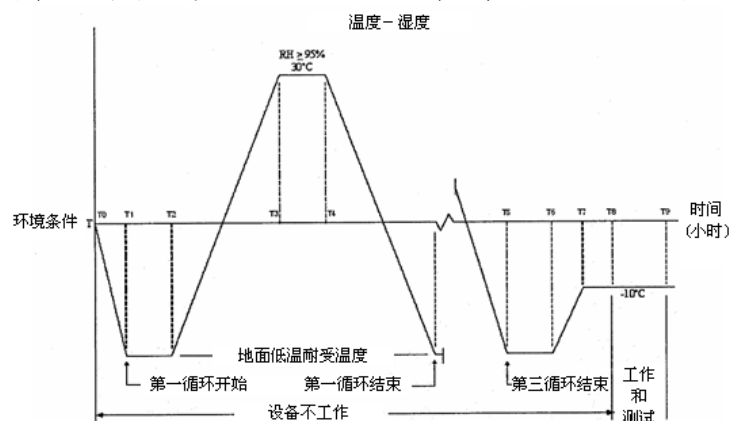
注 1: 对于这一试验, 形成的冰应为透明而坚硬的 (光亮的冰)。“白色”或带气穴的冰 (霜冰) 是不认可的。

注 2: 最佳温度可能在 -1°C 和 -10°C 之间, 具体取决于设备的热质量。此温度最好通过试验确定。

b. 人工喷洒接近于冻结温度的细雾状水, 以积累起有关设备性能标准规定厚度的透明坚硬的均匀冰层;

c. 冰层达到所要求的厚度时, 停止喷洒。使设备进入工作状态, 并将设备温度稳定在 -20°C 。确定其是否符合有关设备性能标准。

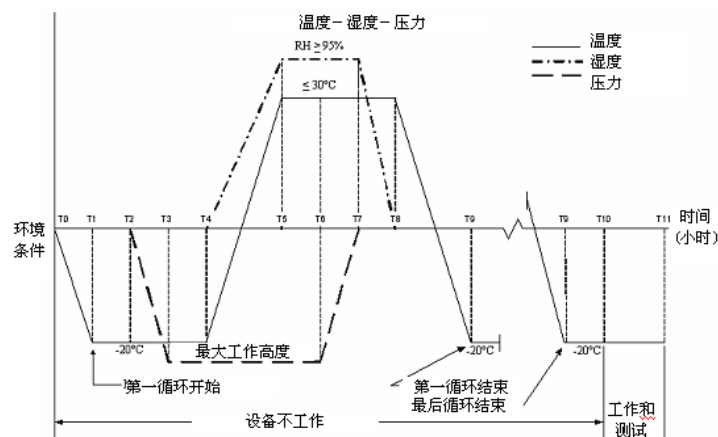
注: 如果为了增加冰的厚度而需要进行多次试验时, 则应以使每一厚度量级连续形成的方式进行一系列的单独试验。



注:

1. 除非另有规定, 温度和湿度变化速率可任选
2. T1 到 T2 和 T5 到 T6 为设备温度达到稳定的时间
3. T2 到 T3 和 T4 到 T5 应按实际可能尽快完成
4. T3 到 T4 为设备表面温度达到 5°C 的时间
5. T7 到 T8 为设备表面温度达到 -10°C 的时间

图 24-1 A 类结冰试验



注:

1. 除非另有规定, 温度、湿度和压力变化速率可任选
2. T1 到 T2 和 T9 到 T10 为设备温度达到稳定的时间
3. T3 到 T4 最小为 10min
4. T4 到 T5 温度变化速率最大为 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$
5. T5 到 T6 是冰和霜融化的最少时间
6. T5 到 T8 试验箱应不超过 30°C
7. T6 到 T7 为 15~30min

图 24-2 B 类结冰试验

RTCA 公司

1828 L Street, NW Suite 805

Washington, DC 20036

RTCA/D0-160G

机载设备的环境条件和测试程序

第 25 节

静电放电（ESD）

重要须知

有关本测试程序的信息包含在第 1、2、第 3 节和第 20 节中。另外，附录 A 适用于鉴定执行的环境测试。

25.0 静电放电（ESD）

25.1 适用范围

静电放电测试与由于人类接触可能释放静电的机载设备相关。一些导致 ESD 事件发生的因素如下：低相对湿度、温度、使用低导电率（人造纤维）地毯、乙烯基座位以及可能存在于飞机内部任何位置上的塑料结构。测试适用于在正常运行和/或飞机维护期间会接触到的所有设备及表面。

25.2 测试目的

在设计上，静电放电测试可以在没有因为空气释放静电脉冲所造成的性能永久性退化的情况下来确定设备执行其功能的能力。

25.3 测试说明

对静电放电的避免应该由在测试下的设备（EUT）在 15000 伏测试级别下承受一系列静电放电脉冲的能力来决定，该静电放电脉冲的位置为 EUT 上指定的人类接触位置。在每个选择位置上以及正极和负极电压极性（10 个正极和 10 个负极）上，脉冲的数量应为 10，图 25-1 描述了测试配置。

25.4 设备类型

A 类-在航空环境下安装、修复或运行的电子设备。

25.5 测试程序

当测试在要求的模式下充电并运行，应在下列条件下执行静电放电测试。

25.5.1 测试配置

EUT 应按照 20.3a 节（一般测试要求）的要求来设置。按照适用安装和接口控制图或示意图的规定来对设备进行安装和定位。在对于 ESD 发电机相联系的配线进行安装和接地时应格外小心，从而最大限度地降低配线辐射范围发生次级影响的可能性。该测试用来测量主要影响，该影响是 ESD 发电机释放在测试下设备附件的放电现象。该测试包括设备安装、连接和接地的普通方法。

25.5.2 ESD 发电机

ESD 发电机应有一个图 25-2 所显示的一般原理图，放电由 330 欧姆（ $\pm 20\%$ ）和 150pf（ $\pm 20\%$ ）能量

储存电容器所组成，并且放电在正极和负极上能够产生 15000 伏的电压。ESD 发电机应有一个图 25-3 所显示的空气释放头。ESD 应予以校准，从而产生一个正极和负极 15000 伏（+10%，-0%）峰值输出脉冲。要求产生这一输出的发电机设置应予以记录。

25.5.3 EUT 测试模式

EUT 测试模式应包括选择用来执行 EUT 运行的所有正常模式的软件。

注：如果要求有监测设备，应对该设备进行解耦，从而减少错误故障指示的可能性。

25.5.4 测试点选择

考虑的测试点应包括适用于下列地点：在控制或键盘的任何点，以及人类接触的任何点，诸如，开关、把手、指示器、LEDs、狭槽、格栅、连接器配壳以及其他操作员可能接近的区域。

25.5.5 脉冲应用

应该将 ESD 放电用于在正常运行期间（包括在飞机维护中的安装）人员可以接近的 EUT 的点以及表面上。

在校准期间，ESD 发电机设置在记录值上，ESD 发电机应与放电所接触的表面呈正交。发电机释放回流电缆应与地平面接地，并且将该电缆的距离保持在离 EUT 和配线至少 0.2m 上。

25.5.6 测试技术

将 ESD 发电机的头以人手能够接触到的物体的速度来移向 EUT（大约 0.3 米/s），直到发电机发电或触头与 EUT 相接触。在每次放电后，ESD 发电机（释放电极）应从 EUT 上移除。对于单一的放电，可以重新激活发电机。应重复该程序，直到完成每个极性和每个方位上的 10 个放电。

25.6 测试结果评估

遵照脉冲应用的要求，确定是否与适用的设备性能标准相符合。

屏蔽围护墙（可选的）

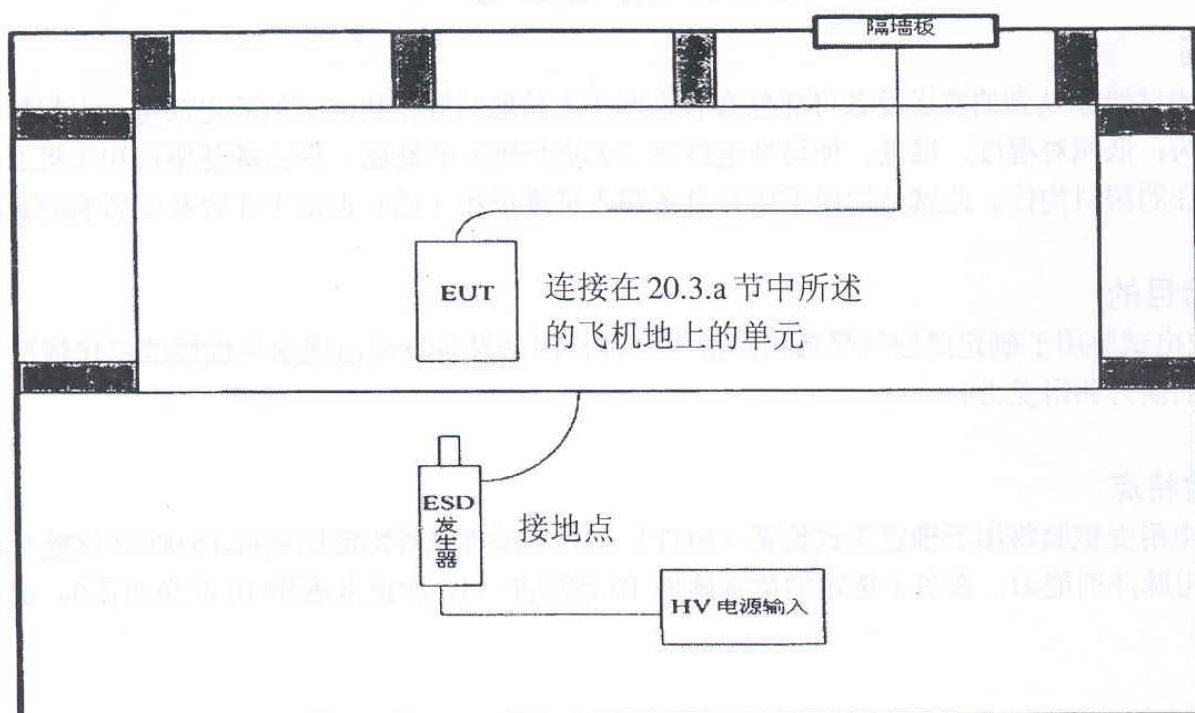


图 25-1 静电放电典型试验安装

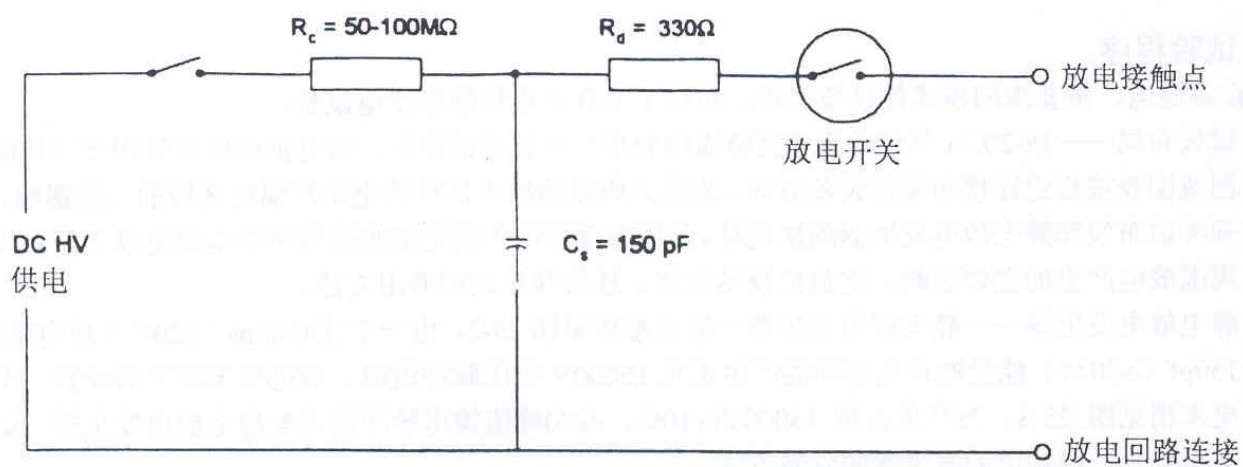
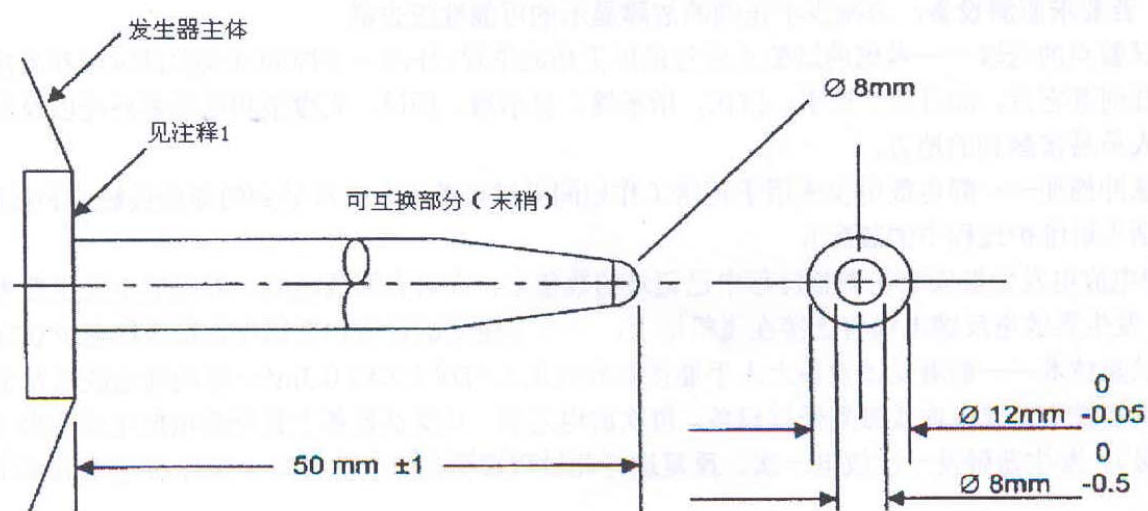


图 25-2 ESD 发生器简图



注：放电开关（如真空继电器）应安装在距放电电极末梢尽可能近的位置

图 25-3 ESD 发生器放电电极

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington, DC 20036

RTCA/DO-160G

机载设备环境条件和试验程序

第 26 章

防火，可燃性

重要提示

本章包含的内容与本文中其它章节描述的所有试验程序相关。此外，附录 A 用于标识完成的环境试验。

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO-160F
起 草：SC-135

目 录

26.0	防火,可燃性.....	26
26.1	试验目的.....	2
26.2	适用范围.....	26
26.3	设备分类.....	26
26.3.1	A类:防火.....	26
26.3.2	B类:耐火.....	26
26.3.3	C类:可燃性.....	26
26.4	防火/耐火试验程序.....	26
26.4.1	试验装置.....	26
26.4.2	燃烧器校准.....	26
26.4.3	火焰温度.....	26
26.4.4	火焰强度.....	26
26.4.5	稳态工作条件.....	26
26.4.6	火焰方向和位置确定.....	26
26.4.7	防火试验.....	26
26.5	耐火试验.....	26
26.5.1	数据记录.....	26
26.6	可燃性试验.....	26
26.6.1	试验类型的确定.....	26
26.6.2	座舱和货仓材料的垂直本生灯试验.....	26
26.6.3	混合材料水平本生灯试验.....	26
26.6.4	60 °电线本生灯试验.....	26
表 26-1	免除试验的零件/材料定义.....	26-1
表 26-2	试验类型的确定.....	26-3
图 26-1	垂直本生灯试验箱.....	26-11
图 26-2	垂直本生灯试验箱正视图和俯视图.....	26-11
图 26-3	垂直本生灯试验试验样品夹具.....	26-12
图 26-4	燃烧器管道和火焰监视器.....	26-12
图 26-5	火焰作用于垂直试验样品的位置.....	26-13
图 26-6	水平本生灯试验箱.....	26-13
图 26-7	水平本生灯试验箱正视图和俯视图.....	26-14
图 26-8	水平本生灯试验箱侧视图.....	26-14
图 26-9	水平本生灯试验试验样品夹具.....	26-14
图 26-10	燃烧器管道和火焰监视器.....	26-15
图 26-11	燃烧器与试验样品的典型位置.....	26-15
图 26-12	60 °电线本生灯试验设置.....	26-15
图 26-13	燃烧器管道和火焰监视器.....	26-16
图 26-14	热电偶详细说明.....	26-16
图 26-15	液体燃料燃烧器-热电偶位置.....	26-17
图 26-16	标准热流量密度测量装置的安装.....	26-17
图 26-17	液体燃料燃烧器喷嘴.....	26-17
图 26-18	热流量密度测量管安装图.....	26-17

26.0 防火，可燃性

26.1 试验目的

本章规定了可燃性和耐火性试验条件和方法。

26.2 适用范围

可燃性和防火试验适用于安装在固定翼螺旋桨飞机、固定翼涡轮喷气飞机、涡扇飞机、桨扇飞机和直升机上的设备。

本试验适用于安装在以下区域的设备：

- 安装在增压区
- 安装在防火区
- 安装在非增压区，非防火区

26.3 设备分类

26.3.1 A 类：防火

安装在防火区的设备，在起火的前 5 分钟期间必须能够工作，并且必须至少保持安全运行 15 分钟。对于装有液体的组件，当燃烧器移开后不应有助燃的液体泄露(可以自己熄灭的浸湿或液滴是可以接受的)。对于空气调节组件不应有可助燃的气体泄露。设备应保持牢固地安装在底座上。

应采用防火试验程序。

试验应在设备处于工作状态下进行。

26.3.2 B 类：耐火

安装在防火区的设备，在起火的 5 分钟期间必须运行或不出现危险情况，无结构性损坏。对于装有液体的组件，当燃烧器移开后不应有助燃的液体泄露(可以自熄的浸湿或液滴是可以接受的)。对于空气调节组件不应有可助燃的气体泄露。总之，在 5 分钟结束时，试验件的任何持续燃烧的泄露都会被认作试验失败，除非能证明整体着火危险没有明显增加。例如，灭火设备能够扑灭残余火焰。

应采用耐火试验程序。

试验应在设备处于工作状态下进行。

26.3.3 C 类：可燃性

适用于安装在增压或非增压区和非防火区的带封闭外壳电子器件和非金属材料、零部件和分组件。试验应在设备处于非工作状态下进行。本试验的目的是检查在设备内部或外部出现引燃情况下火焰的非蔓延性。应采用材料样件进行试验。

应采用可燃性试验程序。

注：如果通过成分分析或先前的试验能够证明构成设备的所有材料符合本文相应的垂直和水平可燃性试验要求，则不需进行本试验。

如果下列条款适用，封闭外壳电子器件或非金属材料不需进行本试验：

1. 在所有侧面含有金属外壳（金属抛光是非易燃的），且没有排气孔。
2. 在五个侧面含有金属外壳（金属抛光是非易燃的），一个侧面含有玻璃多面体（显示器）已经受 12 秒垂直试验，且没有排气孔。

小零部件免除：

尺寸小且数量少的零部件/材料可以考虑免除本项试验，一般认为它们对于火焰蔓延没有显著影响。免除试验的小零部件一般包括：按钮、把手、转子、夹头、垫圈、摩擦条、滑轮等。更明确的定义如下表：

表 26-1 免除试验的零件/材料定义

尺寸关系（典型用法）
无需弯曲即可放入 76.2mm×76.2mm×12.7mm(3in×3in×.5in)或 50.8mm×50.8mm×50.8mm（2 in×2 in×2in）的盒子中
尺寸小于 50.8mm×76.2mm×1.178mm（标签和/或其粘合剂）（2in×3in×0.7in）
直径小于 6.35mm(0.25in)的球（粘合剂液滴或耐烤涂（Nycote））

必须考虑：对于数量多于一个小零件处在与之相同或不同小零件中且位置较为接近的情况（一个小零件可能会引燃其他小零件），这相当于混合燃料载荷，可能会引起火焰的蔓延，上述表 26-1 中定义下的小零件不能免除试验。小零件的免除试验不适用于电线和电缆。

26.4 防火/耐火试验程序

26.4.1 试验装置

防火/耐火测试：具有 1100℃ ±80℃ 标准火焰的燃烧器。应使用一种经过改进的带有延伸管的枪式煤油燃烧器（见图 26-16）。仅允许在试验前的校准过程中调节燃油和气体的流量，以达到要求的火焰特性。

26.4.2 燃烧器校准

先预热 5 分钟，然后应采取下列燃烧器校准步骤。预热期间，不要将热转换铜管暴露于火焰上，以免管上积碳。

26.4.3 火焰温度

火焰温度应可调节，从而提供 1100℃ ±80℃ 的温度，该温度用放置在距燃烧器 100mm(标称值)处的热电偶金属丝束测量。试验期间受试设备必须放在距燃烧器 100mm(标称值)处。金属丝束由 7 个热电偶组成，其中心集中在距离喷嘴 100mm(标称值)的火舌处（见图 26-15）。在试验前火焰温度校准和试验后火焰温度校准的各 3 分钟期间，至少每 30 秒记录一次温度数据，以确保稳态条件。

26.4.4 火焰强度

要求提供的火焰含热量最小值为 4500Btu/h，输入到一个截面为 127mm×0.81mm(0.5"×0.032")、暴露长度为 380mm 的冷却铜管，冷却水的流速为 1gal/min(500 lb/h)。在与火焰温度满足要求的同一位置处进行该项测量。 $\Delta\text{温度} \times \text{通过管子} \text{的水流速率} (500 \text{ lb/h}) = \text{输入到该管的热流量 Btu/h}$ 。

- 1——在试验前校准之前用细钢丝绒清洁铜管；
- 2——提供的水温应在 10℃~21℃ 之间；
- 3——管内水流量应调节到最小为 500 lb/h；
- 4——将燃烧器移到热传输管，开始 3 分钟预热以确保测量条件稳定；
- 5——在 3 分钟期间，至少每隔 30 秒记录一次入口和出口水温；
- 6——进行计算以确保达到最低要求。热流量测量装置的其它细节参见图 26-17 和图 26-18。

26.4.5 稳态工作条件

宜选择代表受试验样品可能遇到的较恶劣环境作为稳态工作条件。考虑的事项应包括产品可能经历的最小冷却、最高压力和工作流体最高温度。不要求试验箱模拟设备周围最高环境温度，室温环境就足够了。通常选择地面停放条件来代表较恶劣环境。

26.4.6 火焰方向和位置确定

根据火源最关键位置和试验样品最易受损部位的分析(考虑到关键电路、流体流动、壁厚、密封，等等)，确定试验火焰在试验样品上的作用位置。在作用位置分析中也可以考虑最有可能的火焰方向(即试验样品的底部)，但这可能导致限制了试验样品未来使用状态的改变。火焰必须作用于试验样品上由火焰作用分析确定的关键位置。该位置应当与校准时的距离和高度一致。对于确定有多个关键位置的设备，如果不能认定单一典型的作用位置能充分地代表所有位置，也可要求增加试验。如果需要多个位置进行试验，可以使用多个试验样品，但这不是必需的。

26.4.7 防火试验

首先根据上面章节的详细说明调整火焰，然后进行下列试验。

连接设备使其通电和工作。所有对试验件的连接(电气的、流体的、气体的等)必须是典型的设计结构。在不与试验件直接接合的部位，允许使用非典型设计的电缆、线束、连接器。只要提供的保护不妨碍试验件暴露在火焰中，试验期间可以保护所有非典型设计的硬件。建议使用高温陶瓷绝缘材料来保护非典型设计电缆和管道。

在设备工作的状态下，施加标准火焰 15min。

仅在试验的前 5min 期间，确定试验样品是否符合有关设备性能标准。
试验完成但火焰没有熄灭前，应进行试验后火焰温度校准。试验结束后(最后 10min 之后)应检查设备，不应有继续燃烧或火焰蔓延的迹象且应自行熄灭。

注意：在特定情况下(如：流体系统)，飞机制造商可以规定特殊的程序。

26.5 耐火试验

采用第 26.4 节中相应的试验火焰进行下列试验。

连接设备使其通电和工作。允许使用非典型设计的电缆、线束、连接器。只要提供的保护不干扰试验件暴露在火焰中，试验期间可以保护所有非典型设计的硬件。建议使用高温陶瓷绝缘材料来保护非典型设计电缆和管道。

试验前火焰校准后，设备工作，施加火焰 5min。

在试验期间确定试验样品是否符合有关设备性能标准，或证明在这 5min 内保持了非危险状态。

试验结束后，火焰没有熄灭时，应进行试验后火焰温度校准。另外，应检查设备，不应有结构损坏或继续燃烧或火焰蔓延的迹象且应自行熄灭。通常在 5min 结束时试验件的任何泄漏或继续燃烧应认为试验失败，除非能证明整体着火危险没有明显增加。例如，灭火设备能够扑灭残余火焰。

注意：在特定情况下(如：流体系统)，飞机或发动机的制造商可以规定特殊的程序。

26.5.1 数据记录

- a) 试验自始至终都要求记录关键参数(T/C's、流量、压力等)的数据，包括校准确定的关键参数；
- b) 整个试验要录像记录。建议多视角录像，也需要试验后的照片。

26.6 可燃性试验

26.6.1 试验类型的确定

下表规定了试验样品的尺寸以及应用哪项试验用来证明设备满足可燃性要求。所需材料样件尺寸在各自的测试方法章节中列出。

表 26-2 试验类型的确定

零部件	方法	对应章节
除了橡胶、弹性部件，电线、 电缆之外的所有材料	垂直 12 秒本生灯试验	26.6.2
橡胶、弹性部件	水平本生灯试验	26.6.3
电线、电缆	60 °本生灯试验	26.6.4

26.6.2 座舱和货仓材料的垂直本生灯试验

26.6.2.1 定义

26.6.2.1.1 点火时间

点火时间是指燃烧器的火焰作用于试验样品的时间。

26.6.2.1.2 燃烧时间

燃烧时间是指燃烧器的火焰从试验样品的底部移开后试验样品继续燃烧的时间。表面燃烧造成灼热但未燃起火焰的时间不包括。

26.6.2.1.3 坠落燃烧时间

坠落燃烧时间是指任何燃烧的材料从试验样品上掉落到试验箱底板的过程中持续燃烧的时间。如无任何材料从试验样品上掉落，则坠落燃烧时间记为 0 s，同时也要注明“无坠落物”。如坠落物多于一个，则记录最长的坠落燃烧时间。如后续的坠落物重新引燃了已经燃烧过的坠落物，则坠落燃烧时间为所有坠落燃烧物的总和。

26.6.2.1.4 燃烧长度

燃烧长度是指从试验样品最初的边缘算起到由于区域性燃烧引起的距离最远的、对试验样品有显著损坏处的长度。区域性燃烧的区域包括：不完全燃烧、碳化或脆化的区域，不包括熏黑、污损、翘曲或褪色区域，也不包括材料受热后收缩或熔化的区域。

26.6.2.2 试验设备

26.6.2.2.1 试验箱

试验应在满足图 26-1、26-2 和 26-3 所示装配要求的密闭（或与之相同）箱体中进行，其他密闭试验箱含有足够的空气能完全燃烧的要求时也可以使用。建议试验箱放置在排气罩内，以便每次试验之后能排清试验箱中的烟雾。在试验箱内，底部应放置一块厚度为 1 mm 的不锈钢板或其他抗腐蚀金属板。

26.6.2.2.2 试验样品夹具

试验样品夹具应为抗腐蚀金属，与图 26-3 所示装配一致或满足同等条件。夹具应能夹住厚 25 mm 的试验样品。

26.6.2.2.3 燃烧器

燃烧器可以是本生灯或梯利尔（Tirill）类型燃烧器，喷管内径为 3/8in（10 mm），在喷管底部装有针式调节阀，通过控制燃气流动速率来调整火焰的高度。试验箱门关闭时应有提供控制燃烧器移到和移出试验位置的方法。

26.6.2.2.3.1 燃烧器燃气

应使用纯度不低于 99% 的甲烷气体。它不必通过燃烧器喷管底部抽气口添加空气就能使用，比如纯净的扩散火焰可以使用

26.6.2.2.3.2 燃气供给管路

如图 26-4 所示，必要的气体连接和合适的管路是必备的。供给燃烧器入口的燃气压力为 $2\frac{1}{2} \pm 1/4$ psi（ 17 ± 2 kPa），由控制阀系统按规定的给料速率供给燃烧器燃气，控制阀系统应安装在燃气供给设备和燃烧器之间。

26.6.2.2.3.3 火焰高度指示器

火焰高度指示器可用作辅助设置火焰的高度。指示器连接在喷管上，与喷管相距 1in（25 mm），比较适宜的显示形式是在喷管顶端的上方延伸出一个 1.5in（38 mm）的尖形物，如图 26-4 所示。如使用甲烷作为燃烧器燃料，推荐使用两个叉形物测量火焰的高度，一个指示内焰锥体的高度，另一个指示火焰顶端的高度。对于甲烷，当内焰高度达到 7/8in（22 mm）、火焰顶端达到 1.5in（38 mm）时可以认定火焰的外形轮廓达到了适宜范围。

26.6.2.2.4 计时器

使用精确到 0.1s 的秒表或其他设备测量燃烧器火焰作用的时间、燃烧时间和坠落燃烧时间。

26.6.2.2.5 测量尺

使用精确到 0.1in（2.5 mm）的尺子测量燃烧长度。

26.6.2.3 试验样品

26.6.2.3.1 试验样品选择

试验所用的试验样品既可以从安装在飞行器上的装配零部件上裁剪下的，也可以是从模拟部件上裁剪下的，例如从平板材料上或装配零部件的模型上裁剪。试验样品可从装配的零部件的任何位置裁剪，但是燃烧器作用的边缘不能包含试验样品经光饰处理或加防护处理的边缘。对于组合单元，例如夹层式面板，不能把各层拆分成单独的部分进行试验。

26.6.2.3.2 试验样品数量

试验样品不少于 3 个（多个部位），大多数情况下每一个单独的试验应准备不少于 3 个的样本。

26.6.2.3.3 试验样品尺寸

使用矩形试验样品,尺寸不小于 3in×12in (75 mm ×305 mm),除非飞行器上实际应用的部件小于此处规定的尺寸并且不能用同种材料制作更大尺寸的样品。既然允许的燃烧长度是 8in,长度小于 8in 样本燃烧完后尚不能满足达标要求。

26.6.2.3.4 试验样品厚度

试验样品的厚度与所测试部分在飞机上使用的厚度一致,下列情况除外:

1. 如果所用部件构造有几个厚度时,对最小厚度处进行测试。
2. 泡沫部件厚度大于 1/2in (13 mm) 时,用厚 1/2in (13 mm) 的材料进行测试。
3. 部件尺寸小于规定的试验样品尺寸且不能从部件上裁剪下,应使用与配装部件材料相同的平板进行试验,平板厚度与部件在飞机上使用的实际厚度一致。

26.6.2.4 预处理

试验样品应被存放在温度为 $70\pm5^{\circ}\text{F}$ ($21^{\circ}\text{C}\pm3^{\circ}\text{C}$)、相对湿度为 $50\%\pm5\%$ 的条件下至少放置 24 h。试验前迅速地从存放环境中取出,每次只能取一个试验样品。

26.6.2.5 准备步骤

26.6.2.5.1 燃烧器调节

1. 如果使用甲烷气体作为燃烧器的燃料,务必确保向燃烧器供给空气的阀门处于关闭状态。
2. 燃气供给开关完全打开,点燃燃烧器。
3. 调节燃烧器上针状阀门,使火焰高度达到 1.5in (38 mm),并与 26.6.2.2.3.3 节要求一致。

26.6.2.6 试验步骤

1. 把燃烧器放置在距离试验样品试验期间将要安装的位置至少 3in (76 mm) 处。
2. 安装试验样品,使试验样品下边缘高出燃烧器顶端 3/4in (19 mm)。
3. 关闭试验箱门,试验期间不得打开。
4. 从移动燃烧器开始计时,移动燃烧器使火焰喷射到试验样品正面前下边缘的中点,试验样品整个厚度的火焰作用位置相同(见图 26-5)。
5. 施加火焰 12 s,然后移动燃烧器至距离试验样品至少 3in (76 mm) 处或关闭燃气阀门。
6. 如果有燃烧的材料从试验样品上掉落,测量试验样品的坠落燃烧时间。
7. 测量试验样品的燃烧时间。
8. 等所有的燃烧停止后,缓慢打开试验箱门,打开排气扇清除箱内烟雾。
9. 取出试验样品,测量燃烧长度。为方便测量燃烧长度可用一块干软的布或薄纱,或者用浸有甲醇、乙醇或异丙醇(酒精不会溶解或侵蚀试验样品材料)的布或薄纱,去除试验样品表面的烟灰和污染颗粒。
10. 清除掉落在箱底的材料。如有必要,在进行下一次试验前还应擦净试验箱玻璃和/或背面的镜子。

26.6.2.7 试验报告

26.6.2.7.1 材料检查

彻底检查做完试验的材料,包括厚度。如果试验样品长度不足 12in 时还要检查试验样品长度。

26.6.2.7.2 试验结果

点火时间—报告记录的点火时间应为 12 s。

燃烧时间—报告应记录每个试验样品的燃烧时间,燃烧时间为试验样品的平均燃烧时间(见 26.6.2.1.2 节)。

坠落燃烧时间—报告应记录每个试验样品的坠落燃烧时间,测量并记录坠落燃烧时间的平均值(见 26.6.2.1.3 节)。试验样品无掉落物则坠落燃烧时间为 0s,并注明“无掉落物”。

燃烧长度—报告应记录每个试验样品的燃烧长度(精确到 0.1in),测量并记录燃烧长度的平均值。

26.6.2.8 达标要求

26.6.2.8.1 燃烧时间

12 s 试验，所有试验样品的平均燃烧时间不应超过 15 s。

26.6.2.8.2 坠落燃烧时间

12 s 垂直试验，所有试验样品的平均坠落燃烧时间不应超过 5 s。

26.6.2.8.3 燃烧长度

12 s 垂直试验，所有试验样品的平均燃烧长度不应超过 8in (203 mm)。

26.6.3 混合材料水平本生灯试验

26.6.3.1 定义

26.6.3.1.1 点火时间

点火时间是指燃烧器的火焰作用于试验样品的时间。本试验的点火时间为 15 s。

26.6.3.1.2 燃烧速度

燃烧速度是指在规定的试验条件下，火焰在试验样品上向前移动规定距离时的速度。本试验的燃烧速度是指火焰向前移动通过水平安装试验样品时的速度。

26.6.3.2 试验设备

26.6.3.2.1 试验箱

试验应在满足图 26-6、图 26-7 和图 26-8 所示装配要求的密闭（或与之相同）箱体中进行，其他密闭试验箱含有足够的空气能完全燃烧的要求时也可以使用。建议试验箱放置在排气罩内，以便每次试验之后能排清试验箱中的烟雾。在试验箱内，底部应放置一块厚度为 0.04in (1 mm) 的不锈钢板或其他抗腐蚀金属板。

26.6.3.2.2 试验样品夹具

试验样品夹具应为抗腐蚀金属，与图 26-9 所示装配一致。进行试验时，用外框架的两个长边固定试验样品，试验样品的外露尺寸为 2in (51 mm) × 12in (305 mm)。

26.6.3.2.3 燃烧器

燃烧器可以是本生灯或 Tirrill 型燃烧器，喷管内径为 3/8in (10 mm)，在喷管底部装有针式调节阀，通过控制燃气流动速率来调整火焰的高度。试验箱门关闭时应有提供控制燃烧器移到和移出试验位置的方法。

26.6.3.2.4 燃烧器燃料

组件应使用纯度不低于 99% 的甲烷气体。这种燃料不必通过燃烧器喷管底部抽气口添加空气就能使用，比如纯净的扩散火焰可以使用。

26.6.3.2.5 燃气供给管路

如图 26-10 所示，必要的气体连接和合适的管路是必备的。供给燃烧器入口的燃气压力为 $2\frac{1}{2} \pm 1/4$ psi (17 ± 2 kPa)，由控制阀系统按规定的给料速率供给燃烧器燃气，控制阀系统应安装在燃气供给设备和燃烧器之间。

26.6.3.2.6 火焰高度指示器

火焰高度指示器可用作辅助设置火焰的高度。指示器连接在喷管上，与喷管相距 1in (25 mm)，比较适宜的显示形式是在喷管顶端的上方延伸出一个 1.5in (38 mm) 的尖形物，如图 26-10 所示。如使用甲烷作为燃烧器燃料，推荐使用两个尖形物测量火焰的高度，一个指示焰内锥体的高度，另一个指示火焰顶端的高度。对于甲烷，当内焰高度达到 7/8in (22 mm)、火焰顶端达到 1.5in (38 mm) 时可以认定火焰的外形轮廓达到了适宜范围。

26.6.3.3 计时器

使用精确到 0.1s 的秒表或其他设备测量燃烧器火焰作用的时间、燃烧时间和坠落燃烧时间。

26.6.3.4 测量尺

使用精确到 0.1in (2.5mm) 的尺子测量燃烧长度。

26.6.3.5 试验样品

26.6.3.5.1 试验样品选择

试验所用的试验样品既可以从安装在飞行器上的零部件裁剪下的,也可以是从模拟部件上裁剪下的,例如从平坦的薄板上或装配模型上裁剪。试验样品可从零部件的任何位置裁剪,但是燃烧器作用的边缘不能包含试验样品经过光饰加工或保护处理的边缘。对于组合单元,例如夹层式面板,不能把各层拆分成单独的部分进行试验。

26.6.3.5.2 试验样品编号

试验样品不少于 3 个(如可能选多个部位的),大多数情况下每一个单独的试验应准备不少于 3 个的样本。

26.6.3.5.3 试验样品尺寸

使用矩形试验样品,尺寸不小于 3in×12in (75 mm×305 mm)。

26.6.3.5.4 试验样品厚度

试验样品的厚度与所测试部分在飞机上使用的厚度一致,下列情况除外:

- 1) 试验样品厚度不能超过实际应用在飞机上的厚度试验样品厚度不能超过 1/8in (3 mm)。
- 2) 部件尺寸小于规定的试验样品尺寸且不能从部件上裁剪下,应使用相同材料的平直薄板进行试验,厚度与部件在飞机上使用的厚度一致。试验时火焰水平移动速度是 4in/min 时薄板厚度不能超过 1/8in(3 mm)。

26.6.3.5.5 试验样品准备

在距试验样品背面(与暴露的火焰作用面相对)将要承受火焰作用的试验样品的末端起做一个 1.5in (38 mm)×11.5in (292 mm) 的计量标记线。

- 1) 试验期间会严重下垂的试验样品,用有大网眼的金属丝网支撑该试验样品,以便精确计量火焰的蔓延。

26.6.3.6 预处理

试验样品应被存放在温度为 70° F±5° F (21°C ±3°C)、相对湿度为 50±5%的条件下至少放置 24 h。试验前迅速地从存放环境中取出,每次只能取一个试验样品。

26.6.3.7 试验步骤

26.6.3.7.1 燃烧器调节

- 1) 如果使用甲烷气体作为燃烧器的燃料,务必确保向燃烧器供给空气的阀门处于关闭状态。
- 2) 燃气供给开关完全打开,点燃燃烧器。
- 3) 调节燃烧器上针状阀门,使火焰高度达到 1.5in (38 mm),并与 26.6.3.2.6 节要求一致。
- 4) 关闭试验箱门,试验期间不得打开。
- 5) 从移动燃烧器开始计时,移动燃烧器使喷管轴线位于试验样品被夹具长边缘夹出的宽度的中心线上(见图 26-11)。
- 6) 施加火焰 15 s,然后移动燃烧器至距离试验样品至少 3in (76 mm) 处或关闭燃气阀门。
- 7) 下列情况发生时,记录试验样品出现掉落物的时间和位置
 - a. 如果火焰到达 1.5in (38 mm) 标记线,记录经过时的时间 $t_e(1.5)$ 和位置。
 - b. 如果火焰到达 11.5in (292 mm) 标记线,记录经过时的时间 $t_e(11.5)$ 和位置。
 - c. 如果试验样品燃烧的非常慢,火焰到达 1.5in (38 mm) 标记线后在 4 min 内未到达 11.5in (292 mm) 标记线,停止试验,记录此时的时间 $t_e(f)$ 和位置 d_f 。

- 8) 所有的燃烧停止后,缓慢打开试验箱门,打开排气扇清除箱内烟雾。清除试验箱底部的从试验样品上掉下的材料。
- 9) 如有必要,在进行下一次试验前还应擦净试验箱玻璃和/或背面的镜子。

26.6.3.8 试验结果—燃烧速度

按下列条款确定燃烧速度:

- 1) 如果火焰在到达 11.5in (292 mm) 标记线前自行熄灭,燃烧速度记为 0.
- 2) 如果火焰到达 11.5in (292 mm) 标记线,燃烧速度为:
燃烧速度 (in/min) = $600 / t_e(10)$, 其中 $t_e(10) = t_e(11.5) - t_e(1.5)$ = 火焰从 1.5in (38 mm) 标记线到 11.5in (292mm) 标记线所用时间。
- 3) 如果试验样品燃烧非常慢 (见 26.6.3.7.1 节, 步骤 7), 可用以下公式估算燃烧速度:
燃烧速度 (in/min) = $60 \times (d_f - 1.5) / (t_e(f) - t_e(1.5))$ 。

26.6.3.9 试验报告

26.6.3.9.1 材料检查

彻底检查做完试验的材料,包括厚度。

26.6.3.9.2 试验结果

根据 26.6.3.1.2 节计算每个试验样品的燃烧速度,确定并记录试验样品燃烧速度的平均值。

26.6.3.10 达标要求

26.6.3.10.1 燃烧速度

试验样品的平均燃烧速度不应超过 4in/min。

26.6.4 60° 电线本生灯试验

26.6.4.1 定义

26.6.4.1.1 点火时间

点火时间是指燃烧器的火焰作用于试验样品的时间。本试验的点火时间为 30 s。

26.6.4.1.2 燃烧时间

燃烧时间是指燃烧器的火焰从试验样品的底部移开后试验样品继续燃烧的时间。表面燃烧造成灼热但未燃起火焰的时间不包括。

26.6.4.1.3 坠落燃烧时间

坠落燃烧时间是指任何燃烧的材料从试验样品上掉落到试验箱底板的过程中持续燃烧的时间。如果有多于一个的坠落物,在报告中记录时间最长的坠落燃烧时间。如后续的燃烧坠落物重新引燃了之前已经燃烧过的坠落物,则坠落燃烧时间为所有坠落燃烧物的总和。

26.6.4.1.4 燃烧长度

燃烧长度是指从试验样品最初的边缘算起到由于区域性燃烧引起距离最远的、对试验样品有显著损坏长度。区域性燃烧的区域包括:不完全燃烧、碳化或脆化的区域,不包括熏黑、污损、翘曲或褪色区域,也不包括材料受热后收缩或熔化的区域。

26.6.4.2 试验设备

26.6.4.2.1 试验箱及其安装

本项验的实验箱体由金属制成,尺寸大约为 24in (610 mm(高)) × 12in (305 mm(长)) × 12in (305 mm(宽)),在箱体的正面和顶部有开口。试验箱空间宽敞,试验时应能满足完全燃烧的要求。建议试验箱放置在排气罩内,以便每次试验之后能排清试验箱中的烟雾。

26.6.4.2.2 试验样品夹具

试验样品夹具应为抗腐蚀金属，与图 26-12 所示装配一致。夹具应能使试验样品与水平线保持 60° 夹角，且与箱体正面平行相距 6in（152 mm）。

26.6.4.2.2.1 固定支架与滑轮

试验样品夹具固定在底部固头部有滑轮的支架上，支架底部固定端与滑轮相距 24in（610 mm）。

26.6.4.2.2.2 重物

在试验样品自由端系一块重物，使试验样品在试验时处于紧绷状态（见图 26-12）。不同类型电线推荐使用的重物如表 26-3 所示。

表 26-3 电线规格和推荐重物。

AWG	Pounds	Kg
20	0.8	0.4
14	2.0	0.9
8	3.0	1.4
1/0	11.0	5.0

26.6.4.2.3 燃烧器

燃烧器可以是本生灯或 Tirrill 型燃烧器，喷管内径为 3/8in（10 mm），在喷管底部装有针式调节阀，通过控制燃气流动速率来调整火焰的高度（见图 26-13）。试验箱门关闭时应有提供控制燃烧器移到和移出试验位置的方法。建议将燃烧器安装在能旋转的底座上。

26.6.4.2.3.1 燃烧器燃料

应使用纯度不低于 99% 的甲烷气体。从燃烧器喷管底部抽气口添加空气就能使用，比如纯净的扩散火焰可以使用。

26.6.4.2.3.2 燃气管路

如图 26-13 所示，必要的气体连接和合适的管路是必备的。供给燃烧器的燃气压力为 $2\frac{1}{2} \pm \frac{1}{4}$ lb（ 17 ± 2 kPa），由阀门控制供给速率，阀门应安装在燃气供给设备和燃烧器之间。

26.6.4.2.3.3 火焰高度指示器

火焰高度指示器可用作辅助设置火焰的高度。指示器连接在喷管上，和喷管相距 1in（25 mm），比较适宜的形式是在喷管顶端的上方向外伸出一个 3in（76 mm）的尖形物,如图 26-2 所示。如使用甲烷作为燃料，推荐使用两个尖形物测量火焰的高度，一个指示内焰锥体的高度，另一个指示火焰顶端的高度。对于甲烷，当内焰高度达到 1in（25 mm）、火焰顶端达到 3in（76 mm）时可以认定火焰的外形轮廓达到了适宜范围。

26.6.4.2.4 计时器

使用精确到 0.1s 的秒表或其他设备测量燃烧器火焰作用的时间、燃烧时间和坠落燃烧时间。

26.6.4.2.4 测量尺

使用精确到 0.1in（2.5mm）的尺子测量燃烧长度。

26.6.4.3 试验试验样品

26.6.4.3.1 试验样品编号

试验样品不少于 3 个（多个部位的），大多数情况下每一个单独的试验应准备不少于 3 个的样本。

26.6.4.3.2 试验样品长度

试验样品长度应为 30in（762 mm），试验样品从支架底部固定处到滑轮的长度为 24in（610 mm）。

26.6.4.3.3 试验样品准备

在距支架底部固定处 8in (203 mm) 的位置做一个标记线。

26.6.4.4 预处理

试验样品应被存放在温度为 $70 \pm 5^{\circ}\text{F}$ ($21 \pm 3^{\circ}\text{C}$)、相对湿度为 $50 \pm 5\%$ 的条件下至少放置 24 h (另有规定的除外)。试验前迅速地从存放环境中取出, 每次只能取一个试验样品。

26.6.4.5 试验步骤

26.6.4.5.1 燃烧器调节

- 1) 如果使用甲烷气体作为燃烧器的燃料, 务必确保向燃烧器供给空气的阀门处于关闭状态。
- 2) 燃气供给开关完全打开, 点燃燃烧器。
- 3) 调节燃烧器火焰, 使火焰外焰高度达到 3in (76 mm), 内焰高度约达 1in (25 mm)。用燃烧器上控制燃气流量的针状调节阀调节获得适宜的火焰高度。
- 4) 燃烧器的放置
试验时, 把燃烧器喷管顶端放置在距离试验样品标记 1in 处, 喷管轴线垂直于试验样品, 在试验样品标记处相交 (见图 26-12)。

26.6.4.5.2 试验步骤

- 1) 把燃烧器放置在离试验样品试验期间将要安装的位置至少 3in (76 mm) 处。
- 2) 从移动燃烧器开始计时, 调节燃烧器使得火焰满足 26.6.4.2.3.3 节要求, 移动燃烧器使内焰接触电线上的标记线。
- 3) 施加火焰 30 s, 然后撤回燃烧器。
- 4) 如有燃烧的材料从试验样品上掉落, 记录试验样品坠落燃烧时间 (见 26.6.4.1.3 节)。
- 5) 测量试验样品的燃烧时间 (见 26.6.4.1.2 节)。
- 6) 所有燃烧终止后, 取出试验样品, 测量燃烧长度 (见 26.6.4.1.4 节)。为方便测量燃烧长度可用一块干软的布或薄纱, 或者用浸有甲醇、乙醇或异丙醇的布或薄纱, 去除试验样品表面的烟灰和污染颗粒。
- 7) 清除掉从试验样品上落在箱底部的材料。

26.6.4.6 试验报告

26.6.4.6.1 材料检查

彻底检查做完试验的电线。

26.6.4.6.2 试验结果

- 1) 报告应记录每个试验样品的燃烧时间, 燃烧时间为试验样品的平均燃烧时间。
- 2) 报告应记录每个试验样品的平均坠落燃烧时间。无掉落物则坠落燃烧时间为 0s, 并注明“无掉落物”。
- 3) 报告应记录每个试验样品的平均燃烧长度。

26.6.4.7 达标要求

26.6.4.7.1 熄灭时间

试验样品的平均熄灭时间不应超过 30 s。

26.6.4.7.2 坠落熄灭时间

试验样品的平均坠落熄灭时间不应超过 3 s。

26.6.4.7.3 燃烧长度

试验样品的平均燃烧长度不应超过 3in (76 mm)。

26.6.4.7.4 电线断裂

试验过程中电线断裂不认为试验样品失效。

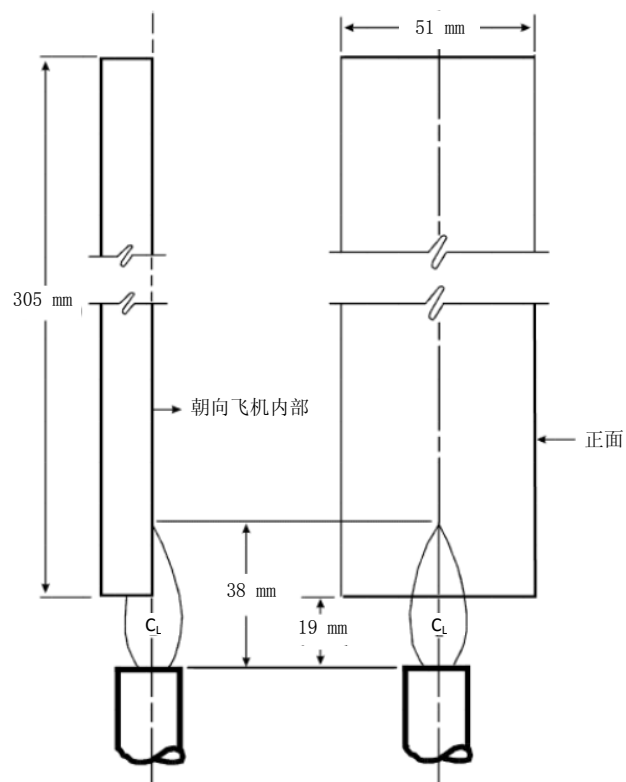


图 26-5 火焰作用于垂直试验样品的位置

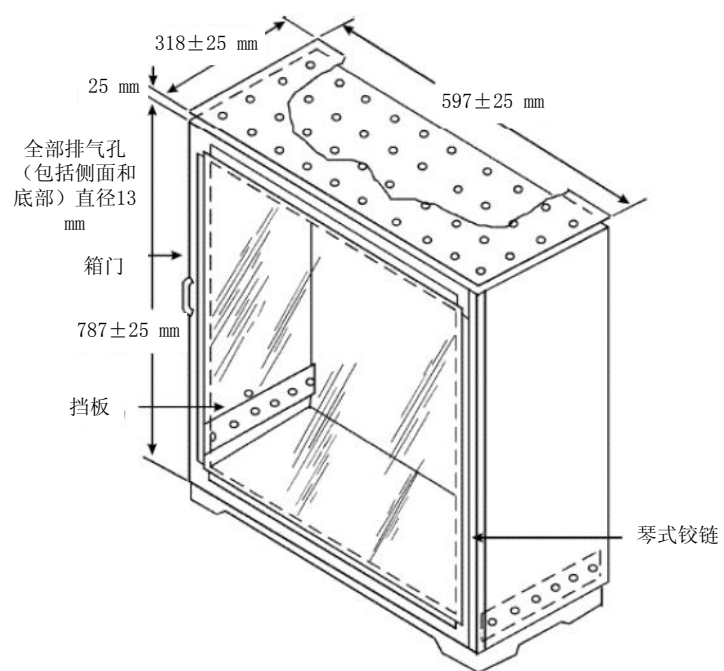


图 26-6 水平本生灯试验箱

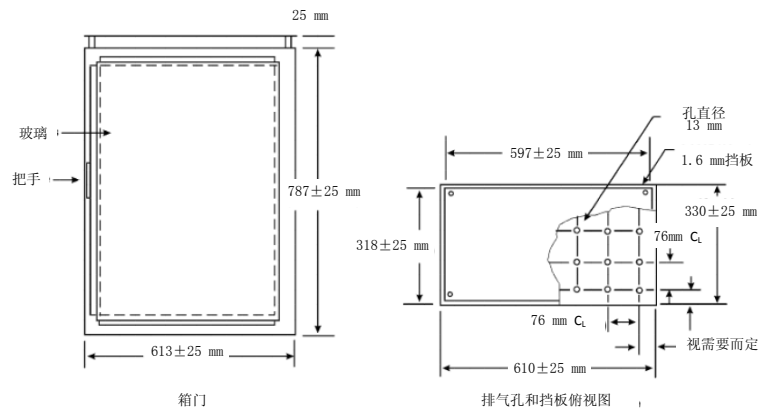


图 26-7 水平本生灯试验箱正视图和俯视图

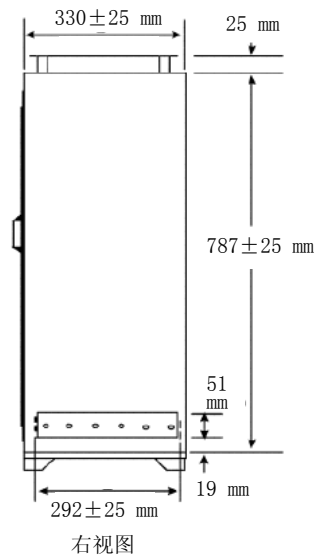


图 26-8 水平本生灯试验箱侧视图

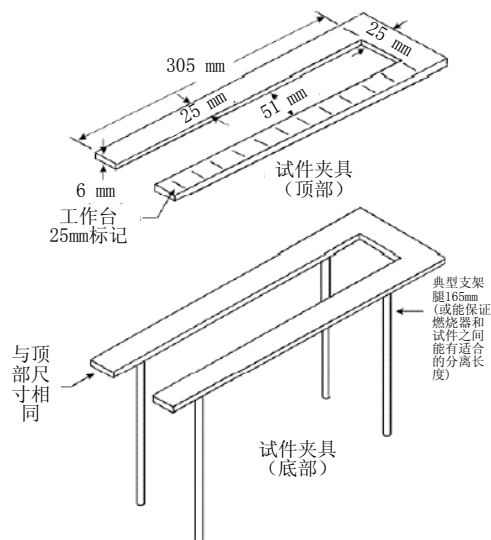


图 26-9 水平本生灯试验试验样品夹具

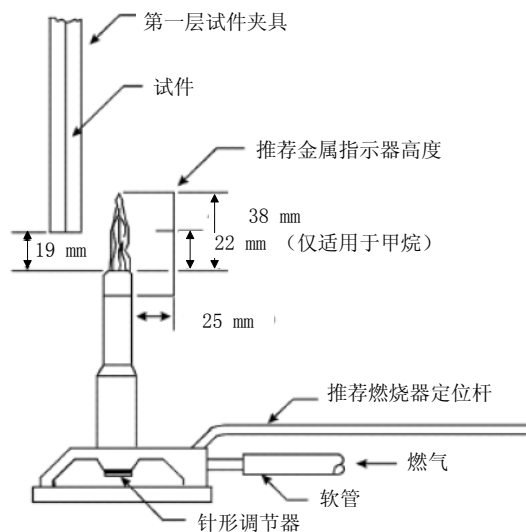


图 26-10 燃烧器管道和火焰监视器

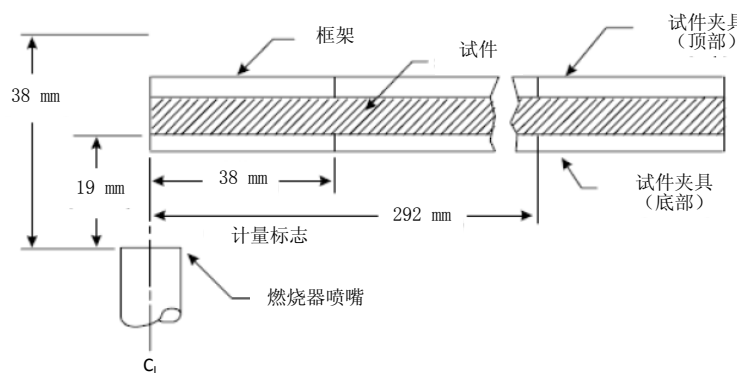


图 26-11 燃烧器与试验样品的典型位置

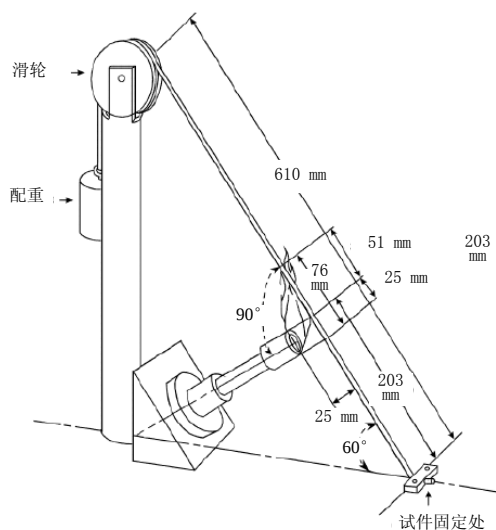


图 26-12 60° 电线本生灯试验设置

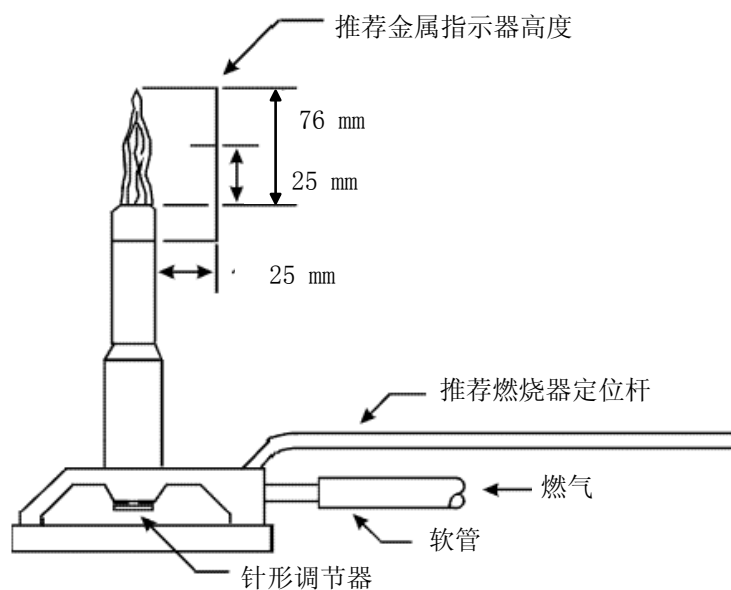
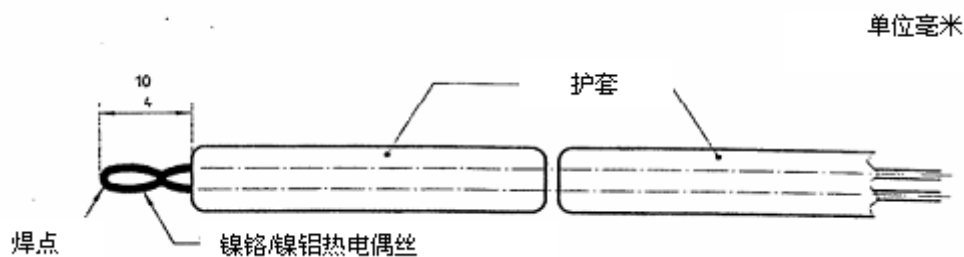


图 26-13 燃烧器管道和火焰监视器



注意:

1. 热电偶丝直径在 0.6mm~1mm 之间。
2. 如果采用金属护套，最大直径应不超过 3mm。
3. 热电偶不应有屏蔽，未被抽出。

图 26-14 热电偶详细说明

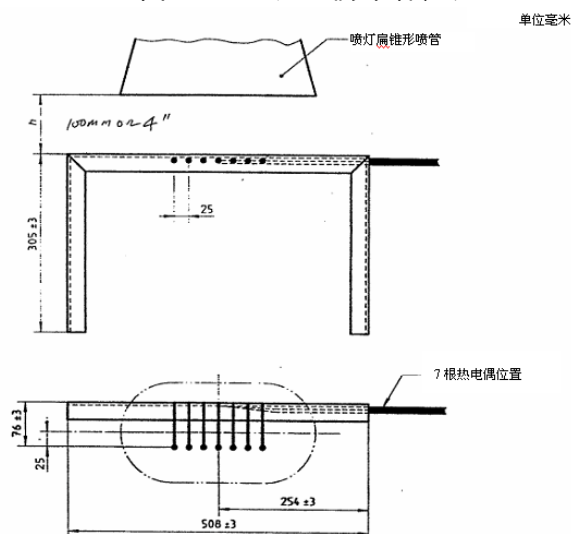


图 26-15 液体燃料燃烧器-热电偶位置
(燃烧器为水平方向)

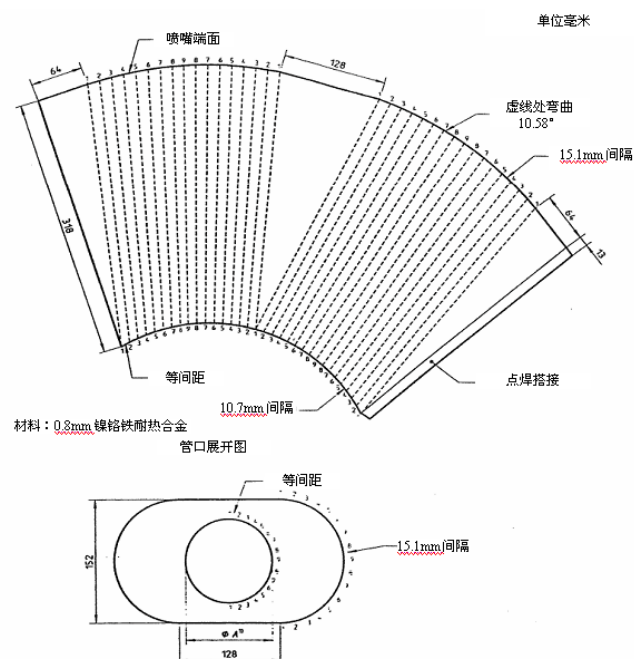


图 26-16 液体燃料燃烧器喷管

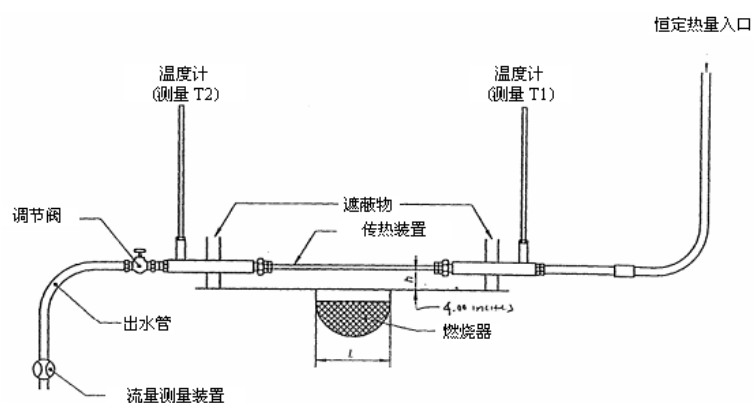


图 26-17 标准热流量密度测量装置的安装

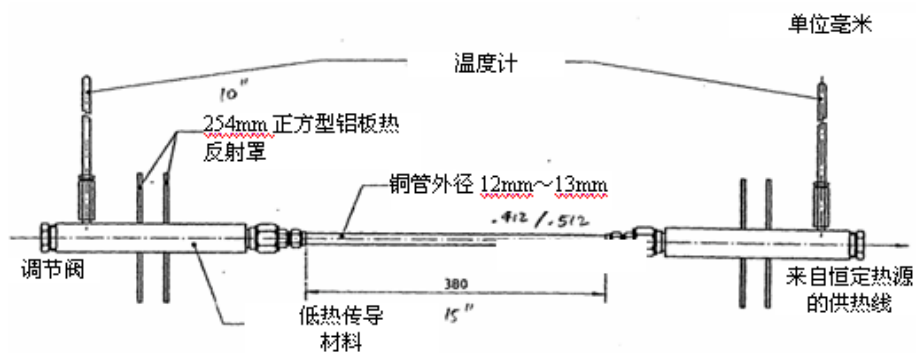


图 26-18 热流量密度测量管安装图

RTCA INC.
1828 L Street, NW, Suite 805
Washington,DC 20036

RTCA/DO—160G

机载设备环境条件和试验程序

指导手册 第 26 章

防火，可燃性

基于 160G 第 26 章

发行日期：2010 年 12 月 8 日

代 替：RTCA/DO—160F
起 草：SC—135

G26.4, G26.5 有多个被广泛认可的防火试验规范和咨询通告来管理在指定防火区内零部件的防火试验。其中一些规范对于特殊零部件的试验,比如传输可燃性液体的软管(当火焰作用在产品上时在着火区域的软管会发生弯曲或抖动),有十分详细的说明。其他说明的对象则更普遍,面向指定火区所有的零部件,例如齿轮箱附件、防火墙、阀门等。由于规范(被认可的方法)数量众多,相互之间又有一定差异,因此本节所提出的方法作为指导性文件,可根据代理商的要求对其中的项目进行删减。

G26.4.3 咨询通告 AC, 33.17-1 节规定:“零部件部分或全部必须能够承受不低于钢的温度,即 2000° F (±150° F 的热电偶温度误差)的火焰温度”。这意味着校准期间获得的平均温度的最低读数为 2000° F。

图 26-15 说明了燃烧器水平结构布局的情况。热电偶金属丝放置在距燃烧器外锥底部 4in、中心线上方 1in 处。热电偶应被放在外锥的中心线上,与在冷却管(火焰强度调节器)上的安装位置一致。

G26.6 可燃性

G26.6.2 垂直燃烧器

本节补充文件包含了涉及章节中的相关材料。本试验方法主要按照 FAR25.853 和 FAR25.855 的规定测量材料的耐火性。另外有 60 s 垂直试验用来检验飞机内部的顶部壁板、防火墙、隔墙、厨房结构、大厨墙体、结构性地板和装载物舱体结构材料性能。26.6.2.3 节描述的方法主要适用于安装在增压区或非增压区或非防火区,有密封外壳的电子元器件、非金属材料、零部件、分部装配件(C类设备)。

G26.6.2.1.1 点火时间必须在火焰充分稳定并且被放在试验样品合适的测试位置之后开始计时。

G26.6.2.1.4 燃烧长度的定义引用了 FAR25 附录 F 第一部分的定义,即:燃烧长度是指从试验样品最初的边缘算起到由于火焰蔓延引起距离最远的、对试验样品有显著损坏长度。区域性燃烧的区域包括:不完全燃烧、碳化或脆化的区域,不包括熏黑、污损、翘曲或褪色区域,也不包括材料受热后收缩或熔化的区域。主要的区别在于把“由火焰蔓延对试验样品造成的损坏”变为“由区域燃烧对试验样品造成的损坏”。因为这样的表达能更好地说明规范的目的性,也包含了通用的试验惯例。

FAR25 附录 F 中定义的燃烧长度,适用于 FAR25.853 和 FAR25.855 所列的全部材料。由于众多种类的材料需要进行垂直燃烧试验,在一些标准中会明显地被包括燃烧长度的区域在其他一些场合不会有明确定义。

大多数材料可以被划分为 4 大类,分别是:聚合物(如仪表板、隔墙、幻灯片等混合塑料和单一塑料产品)、纺织物、铺饰用布料和泡沫。

建议使用下列方法测量燃烧长度:

- a. 聚合物。火焰作用在试验样品表面的位置由于区域燃烧损坏试验样品,即试验样品会弯向发生燃烧的区域和它上方发生燃烧的区域,为了固定上述边界必须持续观察受试的试验样品。火焰作用在试验样品产生热量扩散导致放出气体。当这些气体燃烧时,其辐射热量使位于火焰前端上方区试验样品处褪色、烟熏、表面污染和熔化等,这种形式的损坏并不是由于燃烧而是由热量传播造成的,因此不能包括在燃烧长度之内。
- b. 聚氨酯泡沫。聚氨酯泡沫多孔因此热传导率较低。火焰外焰产生极高的温度几乎瞬间传给了燃烧的气体,这样火焰接触的泡沫立即会完全燃烧,火焰在泡沫表面迅速蔓延。由定义可知,区域性的完全燃烧是燃烧长度的一部分,应该包含在燃烧长度之内。

G26.6.2.2.1 以下设备商能提供适合的试验箱：美国测试公司，地址：新泽西州，霍博肯市，花园大道 1415 号。阿特拉斯电气设备公司，地址：芝加哥，雷文斯伍德北街 4114 号。哥马克阻燃实验室有限公司，纽约市贝尔贸区 807 信箱。

密闭容器的内部不会有气体流动。测试试验箱是否密封方法之一是：在箱中放置一些阴燃物和燃烧物，比如点燃的香烟，关闭箱门，然后观察烟雾。经 FAA 审查的试验箱可以接受，与图 26-1、26-2 装配一致的形式除外。

整个箱室的内外壁应涂成哑黑色，并装上一面镜子用来观察试验样品背部的情况。

G26.6.2.2.3 以下供货商可提供适合燃烧器：Rascher & Betzold 有限公司，地址：芝加哥达曼北街 5410 号。

G26.6.2.2.3.3 甲烷火焰的顶端蓝色、透明且不易被肉眼看到。在无光源的环境中容易辨识，例如暗室中。内焰更容易被肉眼看到，可用作监测火焰高度。当火焰高度（蓝色、透明的顶端）调到 1.5in 时，内焰的高度会发生微小变形，但一般应在 7/8in 左右，因此如果要用内焰锥的高度监测火焰高度，就需要制定燃烧器的内焰高度标准。

G26.6.2.3.3 依据规范，试验样品外露宽度至少为 2in，本文中规定试验样品长度为 3in，试验样品被夹具固定好后能留下规范中足够的外露宽度。根据以往经验发现某些材料，例如电影胶片，不易被夹具固定，需要的宽度一般会大于 76.2 mm，这样才能提供操作人员足够的宽度拉扯或调整材料，使试验样品不会发生弯曲或从夹具上掉落。

G26.6.2.3.4 FAR25.853 规定，试验样品的厚度不得超过零部件在飞机上使用的实际厚度。如果某些经验中发现关于试验样品厚度超过零部件在飞机上使用实际厚度的可燃性试验的设备和问题的，应进行垂直测试，保留数据作进一步研究。

G26.6.2.4 FAR25.853 规定，每次只能从控制的存放环境中取一个试验样品进行防火试验。但是某些材料的存放地点离试验地点很远，这时如果能保证所取的每个试验样品都放置在密闭容器（塑料载物袋也可）并且在试验开始前能免受实验室屋顶灰尘和空气中煤灰的污染，允许一次取多个试验样品。

G26.6.2.6 步骤 4 DOT/FAA/CT-86/22 中有更详细的描述，《FAA 垂直本生灯可燃性试验方法研究》（FAR25.853，附录 F，第一部分）是这样描述的，火焰应该“沿着较低边缘的中心线”放置，其中“较低边缘”就是试验样品的正面到背面的那条边缘。对于较厚的试验样品，“沿着较低边缘的中心线”并不十分明确，这种说法显得模棱两可。

历史上 FAR 和飞机制造商关于本生灯的试验并无统一或持续的规定。过去最常规的处置方法是依照本手册中的定义，即

厚度不小于 3/4in (19 mm) 的试验样品，把喷管轴线放在距试验样品底面以下 3/8in (10 mm) 的位置，从设备外表面直到飞机内部，依次检查每个面，相同材料或结构的面只检查一次。

还有一种不常用的方法：试验样品暴露在飞机内部的下表面边缘中心线的正下方。对于厚度小于喷管直径 (3/8in; 10 mm) 的试验样品，试验结果并不会因为十分严格地“沿着中心线”而更精确。以更厚的试验样品为例，燃烧长度一般为 25.4 mm 左右。当中心线在试验样品下表面或附近时，燃烧时间有时会比最初的使用手册（《DOT/FAA/CT-89/15》, 1990.09）中规定位置的试验结果稍长。

应用于同时期设计（特别是可免除热处理）的材料，不论火焰位置在哪，燃烧长度和燃烧时间一般认为要小于规范中认可的数值 (6in 和 15 s)。虽然火焰作用位置并不是重要的材料合

格/失效的依据，但是本试验选取了代表试验样品可能承受的最恶劣的情况，即试验样品底部正下方。

FAA 一般会承认本手册最初版本（部分）中规定的火焰位置或试验样品外露底部下方位置的试验结果，但是 FAA 和飞机制造商们已经达成一致，更合适的火焰位置应是试验样品底部边缘中心线的下面。

G26.6.2.6 步骤 5 点火期间喷灯不论任何原因的熄灭都应重做试验。根据经验可知，在 12 s 试验中这种做法是必要的。试验停止时如果试验样品的燃烧长度小于 3in (76 mm)，试验样品的另一端可以在重新开始的试验中继续使用，若停止时燃烧长度大于 3in (76 mm)，则需要更换新的试验样品。

G26.6.2.6 步骤 8 操作人员处理试验烟雾和可燃性试验时应参考设备安全手册。

G26.6.3 水平燃烧器

本节补充文件包含了所涉及章节中的相关材料。

G26.6.3.1.1 点火时间必须在火焰充分稳定并且被放在试验样品合适的测试位置之后开始计时。

G26.6.3.2.1 以下设备商能提供适合的试验箱：美国测试公司，地址：新泽西州，霍博肯市，花园大道 1415 号。阿特拉斯电气设备公司，地址：芝加哥，雷文斯伍德北街 4114 号。哥马克阻燃实验室有限公司，纽约市贝尔贸区 807 信箱。

密闭容器的内部不会有气体流动。测试试验箱是否密封方法之一是：在箱中放置一些阴燃物和燃烧物，比如点燃的香烟，关闭箱门，然后观察烟雾。经 FAA 审查的试验箱可以接受，与图 26-6、7、8 装配一致的形式除外。

整个箱室的内外壁应涂成哑黑色，并装上一面镜子用来观察试验样品背部的情况。

G26.6.3.2.3 以下供货商可提供适合燃烧器：Rascher & Betzold 有限公司，地址：芝加哥达曼北街 5410 号。

G26.6.3.2.6 甲烷火焰的顶端蓝色、透明且不易被肉眼看到。在无光源的环境中容易辨识，例如暗室中。火焰的内焰更容易被肉眼看到。

G26.6.3.5.3 尺寸为 3in×13in (76 mm×330 mm) 的试验样品可确保试验样品底部夹住试验样品。

G26.6.3.5.4 FAR25.853 规定，试验样品的厚度不得超过零部件在飞机上使用的实际厚度。如果某些经验中发现关于试验样品厚度超过零部件在飞机上使用实际厚度的可燃性试验的设备和问题的，应进行垂直测试，保留数据作进一步研究。

G26.6.3.6 FAR25.853 规定，每次只能从材料的存放环境中取一个试验样品进行防火试验。但是某些材料的存放地点离试验地点很远，这时如果能保证所取的每个试验样品都放置在密闭容器（塑料载物袋也可）并且在试验开始前能免受实验室屋顶灰尘和空气中煤灰的污染，允许一次取多个试验样品。

G26.6.3.7.1 步骤 4 应注明试验进行时仔细观察十分重要。

G26.6.3.7.1 步骤 6 一些实验室在试验结束时会关闭燃烧阀门，但是大部分试验设备商，包括原设备制造商会通过移动燃烧器远离试验样品来撤掉火焰。

G26.6.3.7.1 步骤 8 操作人员处理试验烟雾和可燃性试验时应参考设备安全手册。

G26.6.4 60° 试验燃烧器

本节补充内容包含了所涉及章节中的相关材料。

G26.6.4.1.1 点火时间必须在火焰充分稳定并且被放在试验样品合适的测试位置之后开始计时。

G26.6.4.2.1 密闭容器的内部不会有气体流动。测试试验箱是否密封方法之一是：在箱中放置一些阴燃物和燃烧物，比如点燃的香烟，关闭箱门，然后观察烟雾。经 FAA 审查的试验箱可以接受，与 26.6.4.2.1 节描述一致设备除外。

整个箱室的内外壁应涂成哑黑色，并装上一面镜子用来观察试验样品背部的情况。

G26.6.4.2.3 以下供货商可提供适合燃烧器：Rascher & Betzold 有限公司，地址：芝加哥达曼北街 5410 号。

G26.6.4.2.3.1 例如天然气、乙烷气体等气体可用作燃烧器的燃料，但是这些气体必须用 24 AWG 金属丝热电偶检验能达到 1750° F 的火焰温度。

G26.6.4.2.3.2 强烈推荐使用 30in 长的试验样品。但是在不能获得 30in 长的试验样品情况下可使用与部件的实际长度一致的试验样品，并且可用额外的不可燃线缆绑在试验样品上用金属夹头或类似物通过滑轮使试验样品达到紧绷状态。另外，试验样品的长度必须足够长使其能满足合格要求，即小于 3in 的燃烧长度。

G26.6.4.4 FAR25.853 规定，每次只能从材料的存放控制的环境中取一个试验样品进行防火试验。但是某些材料的存放地点离试验地点很远，这时如果能保证所取的每个试验样品都放置在密闭容器（塑料载物袋也可）并且在试验开始前能免受实验室屋顶灰尘和空气中煤灰的污染，允许一次取多个试验样品。

G26.6.4.5.1 第四项 燃烧器作用位置的备选方案

把燃烧器喷管顶端放置在距离试验样品标记 1in 处，确保试验样品下部与喷管轴线垂直，同时使燃烧器底座与试验样品支架的水平面内的夹角呈 30°，这样便于快速地和重复地把燃烧器安装到合适的地点和位置，如图 26-19 所示。

G26.6.4.5.1 第六项 操作人员处理试验烟雾和可燃性试验时应参考设备安全手册。

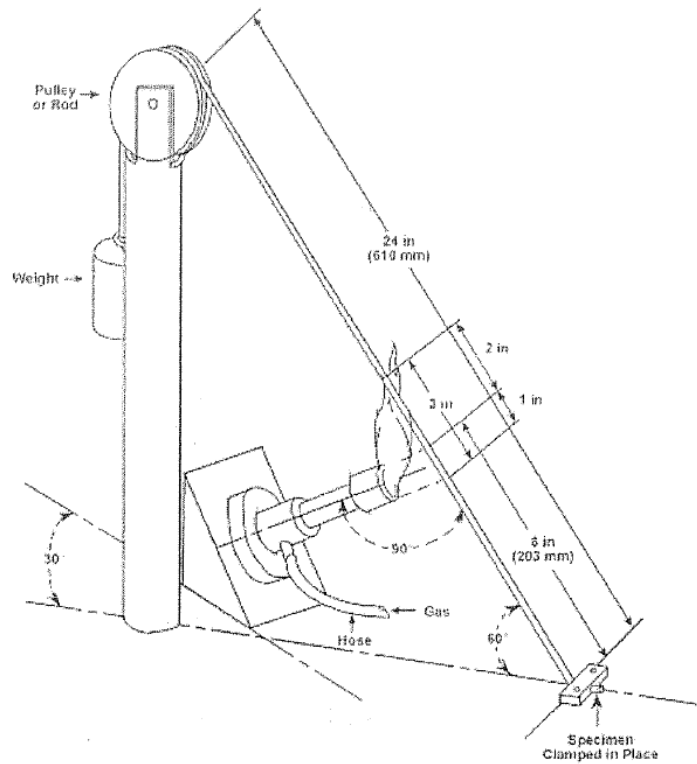


图 26-19 60° 电线本生灯试验备选设置

注意：燃烧器作用位置的备选方案必须遵从《FAR25 附录 F 第一部分修正项 25-72》中描述的 30 s、60° 本生灯试验内容。FAA 威廉.J.休斯技术中心确定 26.6.4.5.1 节第 4 项提出的燃烧器作用位置能产生相同的试验结果。