

GJB/Z
150.1-2007

GJB

中华人民共和国国家军用标准

FL 1200

GJB/Z 150.1-2007

军用电子设备安全设计指南 第1部分：电击防护

Safety designing guide for military electronic equipments
Part 1: Protection against electric shock

2007-03-02 发布

2007-07-01 实施

外来文件

中国人民解放军总装备部 批准

目 次

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 电击.....	1
3.2 设备的防触电保护类别.....	2
3.3 电路特性.....	2
3.4 保护阻抗.....	3
3.5 绝缘配合.....	3
3.6 绝缘.....	4
3.7 电气间隙和爬电距离.....	4
3.8 正常条件和单一故障条件.....	4
3.9 保护接地.....	4
4 电击防护的基本原则.....	5
4.1 电击防护安全技术措施的优先设计原则.....	5
4.2 风险评价.....	5
4.3 人体电击原理.....	5
4.4 设备电击防护的基本准则.....	6
5 电击防护措施.....	7
5.1 概述.....	7
5.2 可触及零部件的判定.....	8
5.3 可触及零部件允许的限值.....	8
5.4 限制电路输出的电压或电流.....	9
5.5 外壳防护.....	10
5.6 提供适当的绝缘系统.....	11
5.7 防止一次电路的电容器放电.....	15
5.8 合理布线和连接.....	15
5.9 安全联锁装置.....	16
5.10 防止因雷击造成的电击危险.....	16
5.11 维修人员在维修时的防护.....	16
5.12 接地和连接保护措施.....	16
5.13 保护阻抗.....	17
5.14 标记和文件.....	17
6 电击防护安全设计的检验.....	19
6.1 概述.....	19
6.2 接触电流和保护导体电流试验.....	20
6.3 抗电强度试验.....	20

6.4 接地连续性试验.....	20
附录 A (资料性附录) 相关设备安全标准关于安全限值的规定.....	22
附录 B (资料性附录) 外壳防护等级 (IP 代码).....	23
参考文献.....	25

前　　言

GJB/Z 150 《军用电子设备安全设计指南》预计共分为五部分：

第 1 部分：电击防护；

第 2 部分：过热防护；

第 3 部分：着火防护；

第 4 部分：机械防护；

第 5 部分：辐射防护。

本部分是 GJB/Z 150 中的第 1 部分。

本部分由中国人民解放军总装备部电子信息基础部提出。

本部分起草单位：信息产业部电子第四研究所、中国人民解放军驻航天科工集团公司第三研究院三十五所军事代表室、中国人民解放军 93253 部队、空军装备研究院雷达与电子对抗研究所、中国电子科技集团公司第十四研究所、中国电子科技集团公司第三十八研究所、国营七二〇厂研究所。

本部分主要起草人：杨宇涛、王世华、苑利军、李　正、申春林、刘月华、李文辉、郑德名、罗　亮。

引　　言

军用电子设备的使用条件极为复杂,任何由于设备设计不当造成安全问题(包括:电击危险、过热危险、着火危险、辐射危险、机械危险等)都将会导致人员伤亡。安全性是设备的固有特性,它与可靠性和维修性一样是可以通过设计赋予的,是各种军用电子设备必须满足的首要设计要求。

设备防电击设计的目的是为了减小操作人员和维修人员在按操作规程进行安装、操作和维修时产生电击危险的可能性,使设备不成为潜在的危险源。

本部分涉及的“安全”是指与军用电子设备接触的操作人员和维修人员的安全,不涉及设备的性能和功能特性,也不包含信息安全。对故意破坏和其他有目的行为的防护将不包含在研究范围内。例如:强行进入、炸弹爆炸等引起的安全问题。

军用电子设备安全设计指南

第1部分：电击防护

1 范围

本部分给出了军用电子设备电击防护安全设计的基本原则和防护措施。

本部分适用于额定电压不超过 600V、频率不超过 400Hz 的地面安装、车载、舰载、机载及便携式军用电子设备。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本部分的条款。凡注日期或版次的引用文件，其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本部分，但提倡使用本部分的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本部分。

- GB 156 标准电压
- GB/T 2423.53 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Xb：由手的摩擦造成标记和印刷文字的磨损
- GB 2894-1996 安全标志
- GB 3805-1993 特低电压(ELV)限值
- GB 4208-1993 外壳防护等级(IP 代码)
- GB 4793.1-1995 测量、控制和试验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求
- GB 4943-2001 信息技术设备的安全
- GB/T 5465.2-1996 电气设备用图形符号
- GB 8898-2001 音频、视频及类似电子设备 安全要求
- GB/T 12113-2003 接触电流和保护导体电流的测量方法
- GB/T 12501 电工电子设备防触电保护分类
- GB/T 12501.2 电工电子设备按电击防护分类 第2部分：对电击防护要求的导则
- GB/T 13870.1-1992 电流通过人体的效应 第一部分 常用部分
- GB/T 16842-1997 检验外壳防护用的试具
- GB 16895.3 建筑物电气装置 第5-54部分：电气设备的选择和安装—接地配置、保护导体和保护联结导体
- GB/T 16895.17 建筑物电气装置 第5部分：电气设备的选择和安装 第548节：信息技术装置的接地配置和等电位联结
- GB 16895.21 建筑物电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护
- GB/T 16935.1-1997 低压系统内设备的绝缘配合 第一部分：原理、要求和试验
- GB/T 17045 电击防护 装置和设备的通用部分
- GJB/Z 25 电子设备和设施的接地、搭接和屏蔽设计指南
- IEC 60073:1996 指示装置和操作装置的人机接口、符号和识别标记的基本安全原则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

3.1 电击

3.1.1 电击(触电) **electrical shock**

电流通过人体而引起的病理、生理效应。

[GB/T 17045-1997, 定义 4.6]

3.1.2 接触电流 **touch current**

接触一个或多个可触及件时通过人体的电流。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.13.12]

3.1.3 可触及件 **accessible (of a part)**

用标准试验指或试验针按 5.2 条规定施加时能触及到的零部件。

[GB 4793.1-1995, 定义 3.5.1]

3.1.4 危险带电 **hazardous live**

从物体上可获得危险接触电流(触电)的电气条件。

[GB 8898-2001, 定义 2.6.10]

3.1.5 额定电压 **rated voltage**

由制造厂商标定的电源电压(三相交流供电时, 指线间电压)。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.1.1]

3.1.6 安全特低电压 **safety extra-low voltage (SELV)**

用安全隔离变压器或具有独立绕组的变流器与供电干线隔离开的电路中, 导体之间或任何一个导体与地之间有效值不超过 50V 的交流电压。

注 1: 不同行业对安全特低电压的限制由有关行业标准规定。

注 2: 允许直接接触带电部分的限值见 GB 3805。

注 3: 不论满载或空载都不应超过电压限值。本定义假定任何变压器或变流器都是在额定供电电压下工作的。

[GB/T 12501-1990, 定义 3.6]

3.2 设备的防触电保护类别

3.2.1 0 类设备 **class 0 equipment**

仅依靠基本绝缘作为防触电保护的设备, 当设备有能触及的可导电部分时, 该部分不与设施固定布线中的保护(接地)线相连接, 一旦基本绝缘失效, 则安全性完全取决于使用环境。

[GB/T 12501-1990, 定义 4.1]

3.2.2 I 类设备 **class I equipment**

设备的防触电保护不仅靠基本绝缘, 还包括一种附加的安全措施, 即将能触及的可导电部分与设施固定布线中的保护(接地)线相连。

[GB/T 12501-1990, 定义 4.2]

3.2.3 II 类设备 **class II equipment**

设备的防触电保护不仅靠基本绝缘, 还具备象双重绝缘或加强绝缘这样的附加安全措施。这种设备不采用保护接地的措施, 也不依赖于安装条件。

[GB/T 12501-1990, 定义 4.3]

3.2.4 III 类设备 **class III equipment**

设备的防触电保护是依靠安全特低电压(SELV)供电, 且设备内可能出现的电压不会高于安全特低电压。

[GB/T 12501-1990, 定义 4.4]

3.3 电路特性

3.3.1 特低电压(ELV) 电路 **ELV (extra-low voltage) circuit**

在正常工作条件下, 在电路的任意两个导体之间或任一导体与地之间电压的交流峰值不超过安全特低电压限值的二次电路; 使用基本绝缘与危险电压隔离, 但它既不符合 SELV 电路的全部要求, 也不符

合限流电路的全部要求。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.8.5]

3.3.2 安全特低电压(SELV) 电路 **safety extra-low voltage (SELV) circuit**

作了适当的设计和保护的电路,使得在正常工作条件下和单一故障条件下,它的电压值均不会超过安全特低电压限值。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.8.6]

3.3.3 限流电路 **limited current circuit**

作了适当的设计和保护的二次电路,使得在正常工作条件下和单一故障条件下,能从该电路流出的电流是非危险的电流。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.8.7]

3.3.4 通信网络电压(TNV) 电路 **telecommunication network voltage (TNV) circuit**

可触及接触区受到限制的设备中的电路,该电路作了适当的设计和保护,使得在正常工作条件下和单一故障条件下,它的电压均不会超过规定的限值。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.8.9]

3.4 保护阻抗

3.4.1 保护阻抗 **protective impedance**

当将其连接在危险带电件和可触及导电零部件之间时,其阻抗值、结构和可靠性能在正常条件和故障条件下提供电击防护的元器件、元器件组合或由基本绝缘和电流(或电压)限制装置所组成的组合件。

[GB 4793.1-1995, 定义 3.5.4]

3.4.2 高完善性 **high integrity**

不可能有引起本标准含义上的危险的损坏;高完善性零部件可认为在故障条件下的试验中也不易失效。

[GB 4793.1-1995, 定义 3.5.3]

3.5 绝缘配合

3.5.1 绝缘配合 **insulation co-ordination**

考虑了预期微观环境及其它影响作用的情况下电气设备绝缘特性的相互关系。

[GB 16935.1-1997, 定义 1.3.1]

3.5.2 瞬态过电压 **transient overvoltage**

振荡的或非振荡的,通常为高阻尼的,持续时间只有几毫秒或更短的短时间过电压。

[GB 16935.1-1997, 定义 1.3.7.2]

3.5.3 暂态过电压 **temporary overvoltage**

持续相对长时间(对应于瞬态过电压)的工频过电压。

[GB 16935.1-1997, 定义 1.3.7.1]

3.5.4 过电压类别 **overvoltage category**

用数字表示瞬态过电压条件。

注:用 I、II、III 和 IV 表示过电压类别。

[GB 16935.1-1997, 定义 1.3.10]

3.5.5 污染

任何外来物质(固体、液体或气体)可使绝缘的抗电强度和表面电阻率下降的现象。

[GB 16935.1-1997, 定义 1.3.11]

3.5.6 污染等级 **pollution degree**

用数字表征微观环境受预期污染程度。

注：用1、2、3和4表示污染程度。

[GB 16935.1-1997, 定义 1.3.13]

3.6 绝缘

3.6.1 功能绝缘 functional insulation

设备正常工作仅需要的绝缘。

注：所定义的功能绝缘并不起防电击的作用。但是，它可以用来减小引燃和着火危险的可能性。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.9.1]

3.6.2 基本绝缘 basic insulation

对电击防护提供基本保护作用的绝缘。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.9.2]

3.6.3 附加绝缘 supplementary insulation

除基本绝缘以外施加的独立绝缘，以使得在基本绝缘一旦失效时仍能防止电击。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.9.3]

3.6.4 双重绝缘 double insulation

由基本绝缘加上附加绝缘构成的绝缘。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.9.4]

3.6.5 加强绝缘 reinforced insulation

提供的防电击保护等级相当于双重绝缘的一种单一绝缘结构。

注：“绝缘结构”这一术语并不是指该绝缘必须是一块质地均匀的整体。这种绝缘结构可以由几个不能象基本绝缘或附加绝缘那样单独来试验的绝缘层组成。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.9.5]

3.7 电气间隙和爬电距离

3.7.1 电气间隙 clearance

在两个导电零部件之间或导电零部件与设备界面之间测得的最短空间距离。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.10.1]

3.7.2 爬电距离 creepage distance

沿绝缘表面测得的两个导电零部件之间或导电零部件与设备防护界面之间的最短路径。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.10.2]

3.8 正常条件和单一故障条件

3.8.1 正常条件 normal condition

所有防危险措施均完好无损的条件。

[GB 4793.1-1995, 定义 3.5.7]

3.8.2 单一故障条件 single fault condition

一个防危险措施失效或存在一个会引起危险的故障的条件。

注：如果一个单一故障条件不可避免地引起另一个单一故障条件，则这两个失效认为是一个单一故障条件。

[GB 4793.1-1995, 定义 3.5.8]

3.9 保护接地

3.9.1 保护接地导体 protective earthing conductor

用来把设备中的电源保护接地端子同建筑物安装接地点连接起来的建筑物安装布线中或电源线中的导线。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.13.10]

3.9.2 保护连接导体 protective bonding conductor

用来把电源的保护接地端子同设备中为安全目的而需要接地的部分连接起来的设备中的导线或设

备中导电零部件的组合。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.13.11]

3.9.3 保护导体电流 protective conductor current

正常工作条件下流过保护接地导体的电流。

[GB 4943-2001, 定义 1.2.13.13]

4 电击防护的基本原则

4.1 电击防护安全技术措施的优先设计原则

如果在安全技术和经济利益发生矛盾时, 设备的设计应优先考虑安全技术要求, 并应按下列等级顺序考虑:

- 直接安全技术措施: 设备在设计上应保证能够减小产生电击危险的可能性。例如将电路设计成安全特低电压电路或限流电路, 通过限制电压或限制电流来减小电击危险等。
- 间接安全技术措施: 如果不可能或不完全可能实现直接安全技术措施时, 应采取特殊安全技术措施。提供可靠的保护接地连接减小电击危险; 通过绝缘隔离带电件等。
- 提示性安全技术措施: 如果直接或间接安全技术措施都不能或不能完全达到目的, 必须说明在什么条件下才能安全地使用设备。提供明显的警示标识、通俗易懂的使用和操作说明书等方法都可以起到说明、警示的作用。例如当接触电流不可避免地超过标准规定的限值时, 在符合条件时可以提供一个安全性的警示说明, 警告有大接触电流, 在接通电源之前必须先接地。

4.2 风险评价

要消除所确定的所有危险通常是不可能的也是不经济的, 要靠牺牲性能要求或以昂贵的花费为代价才能取得。设备在使用中总会有发生某种危险的可能性存在, 危险严重性越高, 就越应该采取措施降低危险的可能性。

在评估可接受风险的水平时, 应在评估安全事故发生的频度的基础上, 考虑这些危险可能带来的人身伤害和财产损失。

电击危险不可能完全避免, 设备通常要具有两级保护, 即在正常条件下和单一故障条件下条件下都不会引起电击危险。

4.3 人体电击原理

电击是由于电流通过人体而造成的, 其引起的生理反应取决于电流值的大小和持续时间及其通过人体的路径。电流值取决于施加的电压以及电源的阻抗和人体的总阻抗。人体的总阻抗依次取决于接触区域的湿度及施加的电压和频率。

电流的效应由生理参数和电气参数决定, 心室纤维性颤动是电击引起死亡的主要原因。根据 GB/T 13870.1-1992 对 15Hz~100Hz 电流的生理效应的阈值如下:

- 感知阈和反应阈: 这两个阈由人体与电极接触的面积, 接触的状态(干、湿、压力、温度)以及个人的生理特点等因素决定。感知阈和反应阈的通用阈值为 0.5mA。
- 摆脱阈: 由接触面积、电极的形状和大小, 以及个人的生理特点等因素决定。摆脱阈的平均值为 10mA。
- 心室纤维性颤动阈: 由生理参数(人体的解剖特点、心脏功能状态等)和电气参数(电流持续时间和通路、电流的种类等)决定。

把电流通过人体的效应, 以时间/电流为坐标, 可划分为四个区域见表 1 及图 1。

表 1 15Hz~100Hz 正弦交流电的时间/电流区域

区域代号	区域界限	生理效应
AC-1	一直到线 a(0.5mA)	通常无反应
AC-2	自线 a(0.5mA)至线 b [*]	通常无有害的生理效应
AC-3	自线 b 至曲线 c ₁	通常不会发生器质性损伤。可能发生肌肉痉挛似的收缩, 当通电超过 2s 时呼吸困难
AC-4	在曲线 c ₁ 以右	电流量和通电时间再增加, 除出现区域 3 效应外, 还可出现如心室纤维性颤动、心跳停止、呼吸停止、严重烧伤等危险的病理生理效应
AC-4-1	c ₁ 至 c ₂	心室纤维性颤动概率可增加到 5%
AC-4-2	c ₂ 至 c ₃	心室纤维性颤动概率可增加到约 50%
AC-4-3	超过曲线 c ₃	心室纤维性颤动概率超过 50%

^{*} 当通电时间小于 10ms 时线 b 垂直下延, 人体电流值仍保持 200mA。

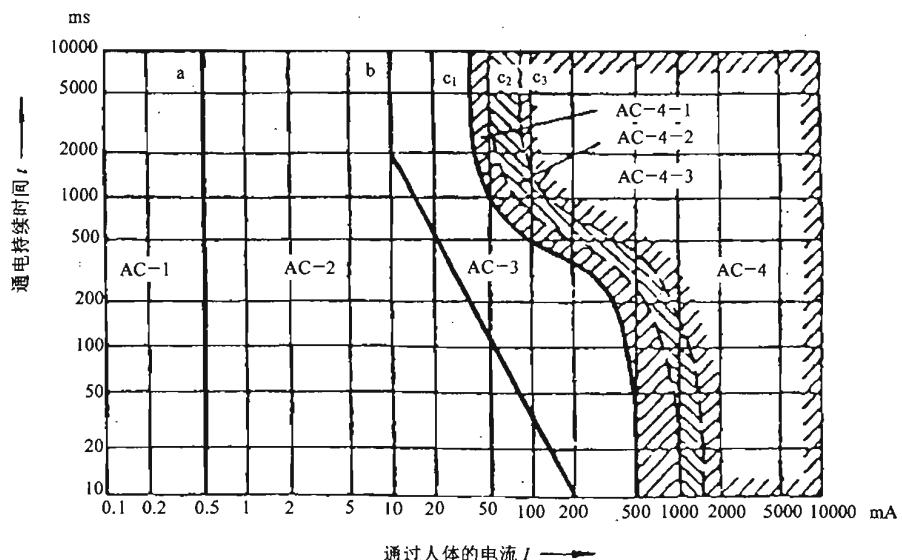


图 1 15Hz~100Hz 正弦交流电的时间/电流区域的划分

根据这些区域的划分, 可确定出人体在特定情况下的耐受电流值, 并将其作为确定检验中实际测得的流过人体的电流限值的依据。因此, 低于反应阈值 0.5mA 有效值或 0.7mA 峰值的正弦电流被认为是无危险的。

4.4 设备电击防护的基本准则

4.4.1 概述

电击危险发生的可能性不可能百分之百避免, 为了减小电击危险, 根据 GB/T 17045 和 GB 16895.21 对电击防护的要求, 设备电击防护的基本准则是:

在正常条件(正常操作和无故障条件)下和在单一故障(包括随之引起的其他故障)条件下, 可触及的导电部分均应是无危险的。

设备在预期的各种环境应力条件下也应满足上述电击防护的基本准则, 不会由于受到外界影响而使安全性能降低。环境应力条件通常包括:

- 气候环境, 包括温度(高温或低温)、相对湿度、大气压力、太阳辐射、雷电、盐雾等;
- 机械环境, 包括振动、冲击、跌落等;

- c) 生物环境, 包括霉菌等生物侵入;
- d) 化学环境, 包括酸、碱和腐蚀性大气等;
- e) 其他。

4.4.2 正常条件下的电击防护

为了防护正常条件下的电击危险, 需要有基本电击防护, 它可由如下任一种防护措施来提供:

- a) 基本绝缘;
- b) 限制稳态接触电流和电荷;
- c) 限制电压;
- d) 外护物。

注: 基本防护在 GB/T 16895.21 中被作为直接接触防护。

4.4.3 单一故障条件下的电击防护

4.4.3.1 概述

为了防护单一故障条件下的触电危险, 需要有间接接触防护(即基本防护加附加防护), 它们可通过下述方式之一实现:

- a) 两个独立的防护措施;
- b) 一个加强的防护措施。

注: 单一故障条件下的防护在 GB/T 16895.21 中被作为间接接触防护。

4.4.3.2 由两个独立的防护措施提供的防护

由两个独立的防护措施构成, 在设计、制造、测试和安装时, 该防护措施在设备规定的条件(如外部影响、使用条件、设备的预期寿命)下不会失效。

两个独立的防护措施应互不影响。

注: 基本绝缘和附加绝缘, 即双重绝缘, 是这两个独立的防护措施的例子。

4.4.3.3 由一个加强的防护措施提供的防护

加强的防护措施在设计、制造、测试和安装时应能保证在比为该设备规定的条件严酷得多的情况下不会失效。

这种加强的防护措施在性能上相当于两个独立的防护措施。

注: 加强绝缘相当于基本绝缘和附加绝缘, 是一个加强的防护措施的例子。

5 电击防护措施

5.1 概述

设备的设计应使其在正常条件和单一故障(包括随之引起的其他故障)条件下都能提供保护以减小由于电击危险造成的人身伤害的可能性。

设备的可触及零部件不应危险带电。可以通过按 5.2 的规定来确定是否是可触及的零部件以及测量是否达到 5.3 规定的限值。

可能造成电击危险的原因和减小危险的方法示例见表 2。

表 2 产生电击危险的原因和减小危险的方法示例

产生电击危险的原因	减小危险的方法示例
接触正常条件下带危险电压的零部件	限制可触及零部件上的电压或电流; 采用适当的绝缘系统; 采用电气防护外壳, 固定的或锁紧的盖, 联锁装置等防止接触带危险电压的零部件; 使带危险电压的电容器放电; 合理地布线和连接等
正常条件下带危险电压的零部件和可触及的导电零部件之间的绝缘被击穿	正常条件下带危险电压的零部件与可触及的导电零部件之间采取双重绝缘或加强绝缘, 以便使其绝缘不会被击穿, 或把可触及的导电零部件与保护地相连, 以便使该导电零部件上可能出现的电压限制在安全值以内。使用的绝缘应有足够的机械强度和电气强度

表 2(续)

产生电击危险的原因	减小危险的方法示例
正常条件下带危险电压的零部件与带非危险电压的电路之间的绝缘被击穿, 从而使可触及的零部件和端子带上危险电压	将带危险电压的电路和带非危险电压的电路用双重绝缘或加强绝缘隔开, 使绝缘不会被击穿, 或用保护接地屏蔽隔开, 或把正常条件下不带危险电压的电路和保护地相连, 以便使可能出现的电压限制在安全值以内
从带危险电压的零部件流过人体的接触电流, 或保护接地连接失效。接触电流可包括接在一次电路和可触及零部件之间的电磁兼容(EMC)滤波元件所产生的电流	把接触电流限制在规定值内, 或提供更可靠的保护接地连接

此外, 防止维修人员在维修时的电击危险, 以及防止由于雷击引起的电击危险也是在安全设计中要考虑的内容。

设备可以采取 5.4~5.14 的方法设计防护措施以满足电击防护的要求。

5.2 可触及零部件的判定

危险带电零部件和在故障情况下变成危险带电的零部件应是不可触及的。

应提供防护或在维修手册中给出警告以最大限度地减小维修人员无意接触危险带电零部件的危险。

零部件的可触及性可以用符合 GB/T 16842-1997 的试验指或试验针按照相关标准的要求进行试验。可触及零部件上不应危险带电。

允许触及的零部件包括: SELV 电路和限流电路中的裸露零部件以及符合规定条件下的 TNV 电路, 见 5.4。

5.3 可触及零部件允许的限值

5.3.1 概述

为了减小产生电击的危险, 设备在设计时应能提供电击防护措施, 使操作人员可能触及到的接触电流值、可能触及到的电压值和电容可能产生的放电危险均在人体能够承受的安全限值内。超过安全限值的零部件被称为是危险带电的, 应是不可触及的。

对于可触及的安全限值, 由于设备的应用条件和环境条件不同, 其规定并不完全相同。相关设备安全标准关于安全限值的规定参见附录 A。安全限值的选择应符合基础安全标准的要求, 并考虑设备的应用条件和环境条件。

5.3.2 基础安全标准对安全限值的规定

为了确定可触及的零部件是否危险带电, 必须确定可触及的带电量是否超过了安全限值。

安全限值的规定包括对接触电流、可触及电压和在特定条件下电容放电量的要求。

根据 GB/T 13870.1-1992 中的人体电流效应, 低于反应阈值 0.5mA 有效值或 0.7mA 峰值的正弦电流被认为是没有危险的, 接触电流过大是产生电击的直接原因。对于接触电流的测量, GB/T 12113-2003 给出了基于人体电流效应的标准测量方法, 并给出了选择电流限值的示例。其中规定, 反应电流的限值一般为 0.5mA 有效值或 0.7mA 峰值的正弦电流; 在特定环境条件下, 可能需要用低于 0.25mA 有效值(0.35mA 峰值)的限值。

虽然接触电流过大是产生电击的直接原因, 但是在 GB/T 12113-2003 的规定, 可以先进行可触及电压的测量, 然后如果需要, 再按标准要求测量接触电流。在确定电压限值时, 可依据 GB/T 3805 的规定。

GB/T 3805 规定了特低电压的各种限值, 用以指导正确选择和应用与电击防护相关的电压限值。该标准中规定的电压限值并非是一个单一的值, 而是根据不同的环境状况和设备的运行状态(正常状态或故障状态)等诸多因素对应不同的限值。对于 15Hz~100Hz 交流和直流(无纹波)的稳态电压限值见表 3(引自 GB/T 3805-1993 的表 1)。

表 3 15Hz~100Hz 交流和直流(无纹波)的稳态电压限值

环境 状况	电压限值 V					
	正常状态下 (无故障)		故障状态下			
			单故障		两个故障	
交流	直流	交流	直流	交流	直流	
1	0	0	0	0	16	35
2	16	35	33	70 [*]	(不用)	
3	33 [*]	70 [*]	55 [*]	140 [*]	(不用)	
4	特殊应用(限值由有关的专业标准化技术委员会规定)					

^{*} 指在特定条件下(见 GB/T 3805-1993 的表 1 的注), 限值允许增大。

当设备上可触及零部件上测得的可触及电压超过特低电压限值, 而测得的接触电流又很小, 低于接触电流限值时, 还应考虑该电路上是否存在可以放电的电容器。如果存在, 则需要测量电容的放电量。

测量电容放电量时, GB 4793.1-1995 中规定, 对于正常条件下电容放电量限值为:

- 电压等于或低于 15kV 峰值或直流, 电容放电量不超过 $45\mu\text{C}$;
- 电压超过 15kV 峰值或直流, 电容放电能量不超过 350mJ。

对单一故障条件下的电容放电量的限值为 GB 4793.1-1995 图 2 中的限值。

5.4 限制电路输出的电压或电流

可以将与外部连接端子导电连接的电路设计成安全可触及的电路, 并将其与危险电压电路安全隔离。这种方法是通过降低输出到端子上的电压或限制流过人体的电流, 即在满足功能要求的基础上, 进行适当的电路设计, 使操作者可接触到的电压和电流均是安全的, 如 GB 4943-2001 中提到的 SELV 电路、限流电路和符合规定条件下的 TNV 电路等, 这三种电路都是作了适当的设计和保护的电路, 使得在正常条件下和单一故障条件下, 输出的电流或电压都是安全值。试验测得的接触电流应在规定值范围内。

另外, 对于与 SELV 电路、限流电路、特定的 TNV 电路等安全可触及的电路相连的危险带电的电路应通过绝缘或接地等防护措施进行隔离, 以免危险电压或电流进入安全可触及的电路而使其危险带电。

其中, 限流电路中规定的限值是指在考虑频率因素的基础上, 对流过限流电路的电流峰值的限值。例如, 在检验是否是限流电路时, 对于频率不超过 1kHz 的限流电路中, 任何两个零部件之间或任何这样的零部件与地之间接一个 $2000(1\pm 10\%)\Omega$ 的无感电阻器, 流过该电阻器的稳态电流不应超过 0.7mA 峰值或 2mA 直流值。这种电路适用于可输出高电压但具有高内阻的电路, 该电路在设计上保证了在正常工作条件下和在设备内出现单一故障时, 该电路的电流是受限制的电流, 即不超过规定的限值, 因而是安全的。

TNV 电路是指通信网络电压电路, 由于通信设备在军队中的广泛应用, 很多设备包含有通信网络接口, 这样, 设备就有可能承受通信网络的通信信号的作用, 包括来自通信网络的瞬态过电压。

根据 TNV 电路电压限值和可能承受来自通信网络过电压情况的不同, 可分为 TNV-1 电路、TNV-2 电路和 TNV-3 电路, 如表 4 中 SELV 电路和 TNV 电路的电压限值。其中, 仅有 TNV 电路在符合以下条件时才允许被触及:

- 用试验探头触及不到的连接器的触点;
- 符合标准要求的电池舱内部裸露的导电零部件;
- 在任何一点都与保护接地端子相连的 TNV-1 电路的裸露导电零部件;
- 按标准要求与设备未接地的可触及导电零部件隔离的 TNV-1 电路连接器中的裸露导电零部件。

件。

表 4 SELV 电路和 TNV 电路的电压范围

来自通信网络的过电压是否有可能	在 SELV 限值内	超过 SELV 限值但在 TNV 限值内
是	TNV-1 电路	TNV-3 电路
否	SELV 电路	TNV-2 电路

5.5 外壳防护

5.5.1 一般要求

对外壳或挡板的结构和形状设计应能保证:

- a) 触及不到带危险电压的零部件或电路;
- b) 电气防护外壳应满足对绝缘的要求;
- c) 在 5.5.2 特定环境条件下, 在产品的整个寿命期间要求外壳的完整性和防电击的性能。

设备的外壳或挡板应根据战术技术要求和使用环境条件, 按照 GB 4208-1993 的规定(参见附录 B)选择适用的防护等级。外壳开孔的配置和构造应使得外来物进入开孔不可能接触裸露零部件而产生危险。

由于军用电子设备适用的环境条件的不同, 在适用时还应该考虑在特定环境条件对外壳以及绝缘材料的影响。在设备的整个寿命期间, 要求保持外壳的完整性以保证设备的安全性能。

5.5.2 特定环境条件下对外壳的要求

5.5.2.1 机械冲击

为防止由于机械损伤暴露出危险带电的零部件, 防护外壳应满足一定的刚度要求, 使设备在承受在正常使用中可能遇到的冲击、振动和碰撞时, 不会引起触电危险。因此, 外壳应有足够的机械强度以保证其在整个环境工作范围内提供电击保护。对于由聚合材料制成的外壳, 机械冲击试验应在相关产品规范规定的最低环境温度下进行。

5.5.2.2 温度

设备的外壳应在相关产品规范规定温度范围内使用时, 不会降低其电击防护的性能。

5.5.2.3 潮湿

设备的外壳以及内部的绝缘性能应在相关产品规范规定的湿度范围内不会降低其电击防护的性能。

外壳应为防止设备内部潮湿的影响提供足够的保护。

5.5.2.4 雨(水)

室外安装设备的外壳应能减小因进水或淋雨造成的电击危险的可能性。

设计时应根据设备适用的环境条件对应 GB 4208-1993(参见附录 B)的具体要求选择适当的 IP 等级, 从而确定外壳开孔的尺寸和形状。设备应采取适当措施保证即使有水进入也不会降低外壳电击防护性能。

5.5.2.5 保护接地(适用时)

当外壳被作为保护接地连接的一部分时, 应能在整个寿命期间持续提供接地连续性。

当外壳可能因侵蚀而降低安全性时, 在正常工作时它不应被用于载流。这不排除外壳的导电部件连接到保护地, 用于承载故障电流的情况。

外壳的某个导电部件连接到保护地用于承载故障电流, 其连接的结果在经过盐雾和二氧化硫试验后, 仍应符合接地和连接保护措施的要求。

5.5.2.6 生物和化学侵蚀

由于使用环境的影响, 军用电子设备会有可能因为受到鼠、蚁和昆虫蛀咬而损害外壳的完整性和绝缘的有效性, 其防护措施可参照 IEC 61969-3 对植物和虫害的防护要求执行。

带或不带保护涂层的金属外壳应防止化学或水生污染物的影响。当外壳可能因侵蚀而降低安全性

时，在正常工作情况下它不应用于载流。

5.5.2.7 沙尘

设备应通过使用适当的 IP 等级的外壳或用等效的方法提供足够的保护以防止过多的沙尘进入。

5.5.2.8 紫外线辐射

作为外壳的非金属部件应能充分地防御紫外线辐射的破坏。材料经过紫外线照射处理后应能满足其应有的机械强度要求。

5.6 提供适当的绝缘系统

5.6.1 绝缘的分类

为避免因带电体与其它带电体或人体等接触而发生短路、触电等危险，应将危险带电件绝缘。采用基本绝缘是一种对电击防护的基本防护措施。另外，为防止基本绝缘失效，还应对设备提供附加绝缘或加强绝缘。

对设备带电部件隔离所采用的绝缘按功能可分为功能绝缘和安全防护绝缘。功能绝缘是为保证设备正常工作所需的绝缘，功能绝缘并不起防电击的保护作用，但它可以用来减少引燃和着火的危险的可能。安全防护绝缘包括基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘。基本绝缘是正常条件下对防电击提供基本保护的绝缘；附加绝缘和加强绝缘是在基本绝缘失效的情况下，对设备提供附加保护的绝缘。

在表 5 中对许多常见的绝缘应用场合分别进行了描述，但可能还存在其他应用场合和办法，这些只是其中的一些例子；在某些情况下，所允许的绝缘等级可能较高或较低。如果使用与所示例子有不同的绝缘等级或带电零部件的特殊配置，所需绝缘等级应通过考虑单一故障影响来确定，单一故障应对防触电保护要求无影响。

表 5 绝缘应用实例

绝缘等级	绝缘位置 (在下列部分之间)	
1. 功能绝缘	未接地的 SELV 电路或双重绝缘的导电零部件至	<ul style="list-style-type: none"> —接地的导电零部件 —双重绝缘的导电零部件 —未接地的 SELV 电路 —接地的 SELV 电路 —接地的 TNV-1 电路
	接地的 SELV 电路至	<ul style="list-style-type: none"> —接地的 SELV 电路 —接地的导电零部件 —未接地的 TNV-1 电路 —接地的 TNV-1 电路
	ELV 电路或基本绝缘导电零部件至	<ul style="list-style-type: none"> —接地的导电零部件 —接地的 SELV 电路 —基本绝缘的导电零部件 —ELV 电路
	接地的危险电压二次电路至	另一个接地的危险电压二次电路
	TNV-1 电路至	TNV-1 电路
	TNV-2 电路至	TNV-2 电路
	TNV-3 电路至	TNV-3 电路
2. 基本绝缘	变压器绕组的串/并联各部分之间	
	一次电路至	<ul style="list-style-type: none"> —接地的或不接地的危险电压二次电路 —接地的导电零部件 —接地的 SELV 电路 —基本绝缘的导电零部件 —ELV 电路

表 5(续)

绝缘等级	绝缘位置 (在下列部分之间)	
2. 基本绝缘	接地或不接地的危险电压二次电路至	—不接地的危险电压二次电路 —接地的导电零部件 —接地的 SELV 电路 —基本绝缘的导电零部件 —ELV 电路
	未接地的 SELV 电路或双重绝缘的导电零部件至	—未接地的 TNV-1 电路 —TNV-2 电路 —TNV-3 电路
	接地的 SELV 电路	—TNV-2 电路 —TNV-3 电路
	TNV-2 电路	—未接地的 TNV-1 电路 —接地的 TNV-1 电路 —TNV-3 电路
	TNV-3 电路	—未接地的 TNV-1 电路 —接地的 TNV-1 电路
3. 附加绝缘	基本绝缘的导电零部件或 ELV 电路至	—双重绝缘的导电零部件 —未接地 SELV 电路
	TNV 电路至	—基本绝缘的导电零部件 —ELV 电路
4. 附加绝缘或加强绝缘	未接地的二次危险电压电路至	—双重绝缘的导电零部件 —未接地的 SELV 电路 —TNV 电路
5. 加强绝缘	一次电路至	—双重绝缘的导电零部件 —未接地 SELV 电路 —TNV 电路
	接地的危险电压二次电路至	—双重绝缘的导电零部件 —未接地 SELV 电路 —TNV 电路

5.6.2 绝缘材料的特性

在强电场等外加因素的作用下, 绝缘会发生击穿而丧失其绝缘性能。另外由于环境的影响(例如污染等级、环境温湿度和气压等)和材料的老化, 绝缘性能都会逐渐下降, 甚至丧失绝缘性能。

在选择构成绝缘系统的绝缘材料时, 必须考虑设备的工作条件和环境条件, 如: 承受的工作电压及其频率; 承受的电气强度、机械应力和温度冲击; 正常工作条件下的温升; 环境温度; 环境相对湿度; 气压; 环境污染等级等。具体要考虑的材料特性有: 绝缘强度、抗电强度、损耗系数、机械强度、耐热性、吸水性和透湿性、防霉性和防臭氧等特性。

天然橡胶、吸湿性材料和含石棉的材料不应作为绝缘材料使用。

5.6.3 绝缘要求

设备的绝缘应在预定环境应力(如潮湿、发热等)下, 依然能符合下述要求:

- 适用的抗电强度试验要求(见 6.3);
- 电气间隙、爬电距离和固体绝缘的要求(见 5.6.5)。

5.6.4 绝缘参数

在确定绝缘参数时, 为了确定某一给定绝缘的试验电压, 最小电气间隙、最小爬电距离、固体绝缘等级和其他要求, 应考虑以下两个因素:

- a) 应用场合, 即是作功能绝缘、基本绝缘、附加绝缘还是加强绝缘;
- b) 工作电压, 包括可能承受的瞬态过电压。

5.6.5 电气间隙、爬电距离和固体绝缘

5.6.5.1 绝缘配合

设备内所有的绝缘, 无论是固体绝缘还是符合一定要求的电气间隙和爬电距离, 都必须能够承受设备在正常条件和在单一故障条件下自己内部产生的相应部分的电压。除此外, 还必须能承受电网电源传输进来的或者从通信网络传入的瞬态冲击电压而不击穿、不飞弧。而如何合理地设置设备的绝缘, 就涉及到绝缘配合。

绝缘配合是指根据设备的使用及其周围的环境来选择设备的电气绝缘特性。绝缘配合是电工电子设备的安全设计中应考虑的重要技术措施之一。

绝缘配合的设计包括考虑到所处的环境条件的影响, 根据设备所承受的电压来选定电气间隙、爬电距离和固体绝缘等的尺寸结构。对绝缘配合的设计应符合 GB/T 16935.1-1997 的要求。

设备的绝缘系统在结构上应满足:

- a) 有足够的电气间隙, 以防止沿着两电极间最短的空气间隙发生放电;
- b) 有足够的爬电距离, 以防止在相应的污染等级的环境条件下沿着支撑两电极的绝缘材料表面发生爬电;
- c) 有足够的绝缘穿透距离, 以防止透过绝缘材料内部击穿。

电气间隙、爬电距离和固体绝缘等的尺寸应满足:

- a) 电气间隙的尺寸应使得进入设备的瞬态过电压和设备内部产生的峰值电压不能使其击穿, 详细要求见 5.6.5.2;
- b) 爬电距离的尺寸应使得绝缘在给定的工作电压和污染等级下不会产生闪络或击穿(起痕), 详细要求见 5.6.5.3;
- c) 固体绝缘应满足:
 - 1) 其尺寸应使得进入设备的瞬态过电压和设备内部产生的峰值电压不会使其击穿;
 - 2) 其构造应使得对于薄层绝缘上针孔重叠的可能性受到限制。

详细要求见 5.6.5.4。

5.6.5.2 电气间隙

5.6.5.2.1 概述

电气间隙应以承受所要求的冲击电压来确定。如果稳态有效值、再现峰值或暂态过电压比冲击耐受电压所要求的电气间隙更大, 则 GB 16935.1-1997 的附录 A 表 A1 中交流(50/60Hz)峰值栏内的相应值适用。

设备的额定冲击电压是制造厂对设备或其部件规定的冲击耐受电压有效值, 以表征其绝缘规定的抗瞬态过电压的耐受能力。

5.6.5.2.2 瞬态过电压

瞬态过电压有两种来源:

- a) 来自外部系统的瞬态过电压, 外部系统是与设备接线端子相连接的(例如电源过电压、通信网络过电压和雷击过电压);
注: 设计时, 允许设备内部采用可以降低过电压的元器件。
- b) 设备自身产生的瞬态过电压(例如操作过电压)。

5.6.5.2.3 过电压类别

5.6.5.2.3.1 概述

将瞬态过电压条件用数字表示就是设备的过电压类别, 又称安装类别。针对电源过电压的过电压类别是根据设备在电力系统中的分布位置(即过电压条件)划分的。设备一般可分为直接由低压电网供电的

设备和非直接由低压电网供电的系统和设备。

5.6.5.2.3.2 直接由低压电网供电的设备

直接由低压电网供电的设备包括：

- a) 过电压类别 IV 的设备，是使用在配电装置电源端的设备；
注：例如电表和前级过电流保护设备。
- b) 过电压类别 III 的设备，是安装在配电装置中的设备，以及设备的使用安全（工作可靠）性和适用性必需符合特殊要求的设备；
注：例如安装在配电装置中的开关电器和永久连接至配电装置的工业用设备。
- c) 过电压类别 II 的设备，是由配电装置供电的耗能设备；
注：例如器具、可移动式工具及其家用和类似用途负载。
- d) 过电压类别 I 的设备是连接至具有限制瞬态过电压至相当低水平措施的电路的设备。
注：例如具有过电压保护的电子电路。

5.6.5.2.3.3 非直接由低压电网供电的设备

非直接由低压电网供电的设备包括通讯或工业控制系统或运载装置中的独立系统以及如前所述的油机供电的雷达等设备。对于非直接由低压电网供电的设备，应在专业安全标准中规定其过电压类别或该设备的额定冲击电压。

5.6.5.2.4 设备的额定冲击电压

对于直接由低压电网供电的设备，其额定冲击电压应按表 6（引自 GB/T 16935.1-1997 的表 1）用相应的过电压类别和该设备额定电压来选定。

表 6 直接由低压电网供电的设备的额定冲击电压 单位为伏

基于 IEC 38(GB 156) ^b 电源系统 ^a 的标称电压	从交流或直流标称电压导 出线对中性点的电压 (小于或等于)	设备的额定冲击电压的								
		过电压(安装)类别								
三相	单相	I	II	III	IV					
230/400	120~240	50	330	500	800					
		100	500	800	1500					
		150	800	1500	2500					
		300	1500	2500	4000					
		300	1500	2500	4000					
		600	2500	4000	6000					
		1000	4000	6000	8000					
		1500								
		2500								
		4000								
		6000								
		8000								
		12000								
注：我国供电系统中三相电源一般采用 220V/380V 供电，对应表中“230/400”一档选择设备的额定冲击电压。										
a) 现有不同低压电网及其标称电压见 GB/T 16935.1-1997 的附录 B。										
b) 三相四线配电系统用符号“/”表示，较低值为线对中性点电压，较高值为线对线电压，仅有一个值的表示三相三线系统，并规定为线对线值。										

5.6.5.2.5 电气间隙值

当设备绝缘上的额定冲击电压选定后，就要根据环境条件的影响来确定电气间隙，并通过耐压试验来考核该绝缘是否能承受相应的冲击电压。

电气间隙应从 GB/T 16935.1-1997 的表 2 中选取，且必须考虑以下因素：

- a) 对应绝缘等级（功能绝缘、基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘）的冲击耐受电压；
- b) 电场条件，包括非均匀电场和均匀电场；
- c) 海拔，GB/T 16935.1-1997 中表 2 规定的电气间隙仅适用于 2000m 以下设备，对于高于海拔 2000m 的设备应考虑海拔修正系数（见 GB/T 16935.1-1997 的表 A2）；
- d) 微观环境，包括污染等级和机械影响等。

注：用数字表征微观环境受预期污染程度称为污染等级，共分为：

- 污染等级 1：无污染或仅有干燥的，非导电性的污染，该污染没有任何影响；
- 污染等级 2：一般仅有非导电性污染，然而必须预期到凝露会偶然发生短暂的导电性污染；
- 污染等级 3：有导电性污染或由于预期的凝露使干燥的非导电性污染变为导电性污染；
- 污染等级 4：造成持久的导电性污染，例如由于导电尘埃或雨或雪所引起的。

对于不会承受超过 GB/T 16935.1-1997 所规定的 II 类设施瞬态过电压的设备，在确定最小电气间隙时，GB 4943-2001 的表 2H、表 2J 和表 2K 适用。对于承受 II 类设施以外的其他类别瞬态过电压的设备，在确定最小电气间隙时，要考虑以上影响电气间隙的诸多因素，并根据基础安全标准和相应产品技术规范的要求确定最小的电气间隙值。

5.6.5.3 爬电距离

确定爬电距离以作用在跨接爬电距离两端的长期电压有效值为基础。此电压为实际工作电压、额定绝缘电压或额定电压。

瞬态过电压通常不会影响漏电起痕现象，可忽略不计，但对暂态过电压和功能过电压，如果他们的持续时间和出现的频度对漏电起痕有影响的话，则必须要考虑。

爬电距离应从 GB/T 16935.1-1997 的表 4 中选取，且必须考虑以下影响因素：

- a) 电压(实际工作电压、额定绝缘电压或额定电压)；
- b) 微观环境，包括污染等级等；
- c) 爬电距离的方向和位置；
- d) 绝缘表面的形态；
- e) 绝缘材料，是指根据相比漏电起痕指数 CTI 划分的材料组别 I、II、IIIa、IIIb；
- f) 电压作用的时间。

5.6.5.4 固体绝缘

用于基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘的固体绝缘应能持久地承受电场强度和机械应力的作用，并能在设备的预期寿命期间承受可能产生的发热影响和环境的影响，包括耐受电压能力、承受短期热应力、承受长期热应力、承受机械应力、承受湿度应力和承受其他应力(如辐射、化学作用、霉菌)的影响。

只有通过试验才能评估绝缘材料的性能，仅规定用固体绝缘的最小厚度以求得其长期耐电能力是不合适的。设备应根据所处的环境条件，进行预处理(如发热、潮湿)后再进行抗电强度试验，以考核其固体绝缘的性能。

5.7 防止一次电路的电容器放电

5.7.1 一次电路的电容器

对预定采用电源插头与电网电源连接的设备，其设计应保证在插头从电源插座拔出后，当接触插头的插脚或插销时，不应因电容器贮存的电荷而产生触电危险。

在电路设计时，要考虑降低电容器容量或者设置时间常数足够小的放电回路，或设计断电自动泄放装置以快速将电容器上的电压降至安全值以下。

在 GB 4943-2001 中规定，如果设备中有任何电容器，其标称电容量超过 $0.1\mu\text{F}$ ，而且接在一次电路上，但该电容器的放电时间常数不超过下列规定值，则认为设备是合格的：

- a) 对 A 型可插式设备，1s；
- b) 对永久性连接式设备和 B 型可插式设备，10s。

有关的时间常数是指等效电容量和等效放电电阻值的乘积。如果测定等效电容量和电阻值有困难，则可以在外部断接点测量电压衰减。

注：在经过一段等于一个时间常数的时间电压将衰减到初始值的 37%。

5.8 合理布线和连接

设备应合理地布线和连接, 其设计可参考 GB 4943-2001 中第 3 章的要求。

5.9 安全联锁装置

5.9.1 概述

如果设备的操作人员或维修人员在进行操作时, 会触及到有触电危险的裸露带电件, 则应该装有安全联锁装置。用来防止操作人员或维修人员遭受危险的联锁装置应当在危险消除之前防止人员暴露在危险中, 并应当符合 5.9.2~5.9.4 的要求。

5.9.2 防止重新启动

对保护操作人员或维修人员的联锁装置, 在引起联锁装置起作用的动作返回或取消之前, 应当能防止由于人员重新手动启动而再次引起危险。

通过目视检查, 以及如有必要, 对能被铰接式试验指(见 GB 4793.1-1995 的图 B.2)触及到的任何联锁装置的零部件试着通过手动操作来检验其设计是否合格。

5.9.3 可靠性

保护操作人员的联锁装置应当保证在设备的预期寿命期间不可能出现单一故障, 或者即使出现单一故障不会引起危险。

通过对系统的评定来检验其设计是否合格, 如有怀疑, 使联锁系统或系统中的有关零部件在正常使用中最不利的负载下循环通断。循环次数为设备预期寿命期间最多可能出现的循环次数的两倍, 开关至少要进行 10000 次循环动作的试验, 通过这一试验的零部件被认为是高完善性元器件。

5.9.4 对使用人员的防护

当使用人员(包括操作人员或维修人员)可能需要取消安全联锁功能时, 则取消系统应满足如下要求:

- a) 需要有意加力才能动作;
- b) 在使用结束时才能恢复到正常工作状态, 或者应在使用人员还未执行复原时, 能防止恢复到正常状态;
- c) 当位于使用人员接触区时, 需要用工具才能进行操作, 而用试验指是无法进行启动的;
- d) 联锁装置不会被旁路而失去作用, 或者在被旁路之前另一可靠的安全联锁装置已起作用。

5.10 防止因雷击造成的电击危险

因雷击造成的电击危险是由于雷击过电压对起绝缘作用的元器件的损伤使绝缘性能下降而对人身产生电击。

防止绝缘材料和起绝缘作用的元器件受损伤可以通过采用可以降低过电压的元器件(如避雷器、均压箱、均压线等)、提高绝缘的抗电强度或采取可靠的接地保护措施, 包括保护接地和防雷接地等方法加以解决。

防止由于因雷击直接造成的人身伤害和设备的损坏是不同于电击危险的另外一种形式的危险, 其具体设计可依据防雷击的专业标准的规定。

5.11 维修人员在维修时的防护

维修人员在维修时的防护措施包括:

- a) 维修时需要接触的零部件的安置应远离电击危险;
- b) 对危险带电的裸露零部件应进行合理安置或设置屏蔽、隔离保护件以避免意外接触危险零部件, 如果为了维修而需要拆卸上述隔离保护件时, 则这些隔离保护件应易于拆卸和更换;
- c) 用标牌或警告说明提醒维修人员有残余的危险。

5.12 接地和连接保护措施

5.12.1 概述

设备中需要接地的零部件应可靠地连接到设备的电源保护接地端子或保护大地上。

设备的保护接地是否良好一方面取决于与保护大地相连的接地电阻; 另一方面取决于将设备上需要

接地的部分连接到一起的保护连接导体。

接地导体及其连接不应有过大的电阻，并保证在预期寿命内有效；能够承受接地故障和对地泄漏电流而不会有危险，特别是热、热的机械应力及电的机械应力所引起的危害，有足够的强度或有附加的机械保护，以适应所在场所的外部环境影响。

5.12.2 接地电阻

接地电阻具体由以下三个构成要素组成：

- a) 接地线的电阻及接地电极自身的电阻；
- b) 接地电极的表面及与其接触的土地之间的接触电阻；
- c) 电极周围的大地电阻。

以上三个构成要素中“电极周围的大地电阻”是最重要的。影响电极周围的大地电阻的主要因素是大地电阻率和接地电极的形状和尺寸。

自然界的土壤电阻率受含水率和温度等各种各样因素的支配而在不断地变化，它是随天气、季节、土质、地层及深度等多种因素影响而变化的。因而，确定接地电阻最好的方法是实地测量。

在设备的安装时，应保证接地电阻尽量小。GJB/Z 25 对电子设备和设施的接地、搭接和屏蔽提供了基本的设计指南。

在产品规范中应具体规定接地电阻的安装方法和接地电阻的最大限值。

5.12.3 接地和连接保护措施

电气装置和电子设备的接地配置、保护导体和保护联结导体的设计应符合 GB 16895.3 的要求；信息技术装置的接地配置和等电位联结应符合 GB/T 16895.17 的要求。

设备中需要接地的零部件应可靠地连接到设备的电源保护接地端子上。设备的保护接地和保护连接应保证其可靠性和完整性。对于具体的接地和连接保护措施的设计应符合 GB 4943-2001 的 2.6。

5.12.4 不接地的局部等电位联结防护

在防护措施中

- a) 基本防护措施由带电部分与外露可导电部分之间的基本绝缘提供；
- b) 附加防护由下述措施提供：
 - 1) 设备内作保护联结；
 - 2) 装置中的所有外露可导电部分和装置可导电部分均不接地，而是用不接地的局部等电位联结导体相互连接。

5.13 保护阻抗

为了使可触及导电零部件在正常条件和单一故障条件下不致成为危险带电件，保护阻抗应为下面一种或一种以上：

- a) 一个高完善性元器件；
- b) 元器件的组合；
- c) 基本绝缘和电流或电压限制装置的组合。

元器件、导线和连接均应按正常条件和单一故障条件的要求进行估算和设计。

5.14 标记和文件

5.14.1 标记

5.14.1.1 概述

如果不能通过直接或间接的安全技术措施实现电击防护时，则需要考虑提示性安全措施，即标记和文件。它可以通过用户使用手册的说明或规定标记和符号等形式简练地表明在什么条件下采取何种措施，才能确保使用安全。

设备应给使用人员提供足够的信息，包括所有使用条件以保证在按制造厂商的规定使用设备时不会发生电击危险。如需提醒特别注意，以避免设备在操作、安装、维修、运输或贮存时引起的危险，应提

供必要的说明。设备的标识包括产品用户使用手册和铭牌的标记，它是设计者给用户所要转达的最基本的安全使用和维护的指示信息。这些标记或标牌应给出安全使用本设备所必需的主要特征，如额定参数、接线方式、接地标记、危险标记、可能有的特殊操作规定和运行条件的说明等。

设备用图形符号的要求应符合 GB/T 5465.2-1996 和 GB 2894-1996 的相关要求。部分符号见表 8。标记和说明可分为两类：安全信息和警告说明。

安全信息一般包括：

- a) 产品型号及编号；
- b) 制造厂厂名、商标或识别标记，生产厂厂址；
- c) 电源信息：包括电源性质、供电电压的额定值或额定电压范围、最大额定功率或最大额定输入电流、不同额定电压的设置(如果有)等；
- d) II 类设备符号(仅对 II 类设备)；
- e) 如有电源输出插座，应标出最大允许负载；
- f) 如有与安全有关的控制装置和指示器，其颜色应满足 IEC 60073: 1996 的要求，其符号应满足 GB/T 5465.2-1996 的要求；
- g) 与保护接地导线相连的端子，应标有(GB/T 5465.2-1996 的编号 5019)规定的符号；
- h) 熔断器座附近应标上额定电压、额定电流和熔断器特性(如延时、高速等)；
- i) 设备的 IP 等级。

以上安全信息应按要求标记在设备上或维修手册中。

警告说明一般包括：

- a) 使用不当，容易造成产品本身损坏或者可能危及人身、财产安全的产品，应当有警示标志或者中文警示说明；
- b) 当设备中不包含断接装置时，或者当预定要用电源软线上的插头当作断接装置时，应在说明书中有关说明；
- c) 如果设备有大漏电流存在，应有警告标牌；
- d) 操作人员使用工具接触区内的危险部位应有符合 GB 2894-1996 当心触电的标记。

以上警告说明应按照标准要求标记在设备上或在说明书中写明。

表 7 设备用部分图形符号

序号	符号	标准	说明
1		GB/T 5465.2-1996(5031)	直流电
2		GB/T 5465.2-1996(5032)	交流电
3		GB/T 5465.2-1996(5033)	交直流两用
4			三相交流
5		GB/T 5465.2-1996(5017)	接地
6		GB/T 5465.2-1996(5019)	保护接地
6		GB/T 5465.2-1996(5021)	等电位
7		GB/T 5465.2-1996(5007)	通(电源)
8		GB/T 5465.2-1996(5008)	断(电源)
9		GB/T 5465.2-1996(5172)	II 设备

表 7(续)

序号	符号	标准	说明
10		GB/T 5465.2-1996(5180)	III类设备
11		GB 2894-1996(2-7)	当心触电
12		GB 2894-1996(2-1)	注意安全

5.14.1.2 标记的位置

标记应在操作人员接触区内易于看清，并且不能标示在操作中可能需要拆卸的零部件上。

5.14.1.3 标记的耐久性

由于标记和铭牌是保证设备安全安装、操作和维护的措施之一，因此设备上的标记或铭牌必须是耐久的、容易辨认的而且是清晰的、易懂的。

标记和铭牌应能通过根据设备适用的环境条件按照 GB/T 2423.53 的规定进行耐久性试验。

另外，在太阳辐射强的地区使用的设备上的标牌应能承受紫外线照射的试验。

5.14.1.4 标记和说明的语言

在我国，与安全有关的说明书和设备文字标记应使用规范汉字。

5.14.2 文件

5.14.2.1 概述

为了安全目的，电击防护的相关内容，例如：操作规程、设备额定值，以及设备安装、操作和维护应规定的有关安全信息等，应包含在随同设备提供的文件中，并放置在突出位置。

如果适用，警示语句和对标在设备上的警示符号所做的清楚的解释应当在说明书中给出，或者将其永久、清晰地标在设备上。特别是应当给出一段叙述，说明在标有表 7 中序号 12 符号的情况下均需要查阅文件，以便弄清潜在危险的性质以及必须采取的任何应对措施。

6 电击防护安全设计的检验

6.1 概述

要提高设备的安全性能，应从产品的设计阶段开始。当设备的功能设计和安全设计完成并准备投入生产和使用时，应对设备进行安全性检验。

为了考核电击防护的安全设计是否合理有效，就应该按照产品对应的安全标准进行试验。在安全要求中为了考核设备是否对正常条件和单一故障条件下的电击危险进行了有效的防护，是通过使设备在正常工作条件、异常工作条件和模拟各种故障条件下工作，并检测相关的安全性指标，来考核基本电击防护措施和附加电击防护措施是否可靠。

因此，设备的设计应使其在所有条件下，包括正常使用、异常使用或单一故障条件下都能提供保护以减小由于电击危险造成的人身伤害。

其中，正常工作条件是指尽可能接近与符合操作说明规定的正常使用时最严酷的工作方式；异常使用和单一故障条件一起作为模拟故障条件来依次进行试验，应依次施加，一次模拟一个故障。

当设置某单一故障时，这个单一故障包括任何绝缘（双重绝缘或加强绝缘除外）或任何元器件（具有双重绝缘或加强绝缘的元器件除外）的失效。

应通过检查设备、电路图和元器件规范来确定出可以合理预计到会发生的那些故障条件（见 GB 4943 的 1.4.14）。

设备在出现异常工作或单一故障后，对使用人员安全的影响仍应保持在本文件的含义范围内，但不要求设备仍处于完好的工作状态。可以使用熔断器、热断路器、过流保护装置和类似装置来提供充分的保护。

可模拟下列故障条件：

- a) 一次电路中任何元件的失效；
- b) 其失效可能对附加绝缘或加强绝缘会有不利影响的任何元件的失效；
- c) 如果元器件的过载会引起绝缘性能的降低，还应包括过载；
- d) 其他影响电击防护措施的元件的失效或异常使用。

试验期间，各种故障条件应不会导致使用人员触及危险电压或危险能量，试验后绝缘应能通过抗电强度试验。

就电击防护而言，接触电流试验、抗电强度试验和接地连续性试验是安全性检验的主要的技术指标。在对三个主要技术指标进行考核的时候，除了按常规的试验方法进行外，还应针对具体的军用电子设备的使用环境考虑预期的环境应力，进行实验室模拟，以保证试验的真实有效。

除了以上三个技术指标外，在用于产品定型的型式试验中，还应该根据相关的安全标准进行各项安全试验，以考核各种安全设计或安全防护措施是否有效。例如，标记和说明、裸露零部件的可触及性试验、电路和电路特性的判定、测量电气间隙和爬电距离、安全联锁试验、机械强度试验、发热试验和故障试验等。

6.2 接触电流和保护导体电流试验

设备的设计和结构应保证接触电流和保护导体电流均不应超过安全限值。

测量时，其接触电流的试验方法是通过模拟人体阻抗的网络来测量的。GB/T 12113-2003 给出了基于人体电流效应的标准测量方法。

接触电流和保护导体电流的安全限值应符合基础安全标准和产品标准的要求。

6.3 抗电强度试验

抗电强度试验主要是评价在设备中作隔离作用的绝缘耐高压冲击的性能，也是考核设备隔离措施和绝缘性能。设备在使用过程中，其绝缘长期承受各种因素所引起的瞬态过电压的作用，这些瞬态过电压通常达到正常工作电压的数倍、甚至数十倍。同时设备在运行过程中会发生各种故障，而使设备的绝缘承受较高的电压，导致绝缘击穿引起电击危险。为了评价设备在各种因素条件下能否安全可靠地运行，必须对设备施加若干倍高于设备额定工作电压的外加试验电压进行抗电强度试验，以考核设备绝缘承受瞬态过电压的能力，从而保证设备的使用者不会受到电击危害。

抗电强度试验分三种情况进行，即设备分别在承受电涌放电试验、湿热试验和发热试验后立即进行的抗电强度试验。

试验时，绝缘应承受的是波形基本上为正弦波、频率为 50Hz 或 60Hz 的交流试验电压，或者是等于规定的交流试验电压峰值的直流电压。试验电压值应按相应的绝缘等级（功能绝缘、基本绝缘、附加绝缘或加强绝缘）以及绝缘两端的工作电压在 GB 4943-2001 的表 5B 中选取，分别施加到一次（初级）电路与二次（次级）电路之间；一次（初级）电路与机身之间；一次电路的零部件之间以及二次电路与机身之间。施加到绝缘上的试验电压一般是从零升至试验电压值的一半，然后迅速将电压升高到规定值并持续 60s。

试验期间，绝缘不应被击穿。

当绝缘无法限制电流，即由于施加的试验电压而引起的电流以失控的方式迅速增大时，则认为绝缘已被击穿。电晕放电或单次瞬间闪络不认为是绝缘击穿。

6.4 接地连续性试验

当设备的防电击保护的一重保护是通过保护接地来实现时，就必须对保护接地的可靠性进行试验。接地连续性试验就是通过测量保护连接导体的电阻来检验保护接地的可靠性。

保护连接导体电阻不应超过相关标准规定的限值。

适用时，测量中应能满足以下要求：

- a) 保护接地不应依赖通信网络来实现；

- b) 保护连接导体中不应串接任何开关或熔断器;
- c) 保护接地应连接可靠;
- d) 保护接地的设计要保证连接时比载流端子先接通, 断开时比载流端子后断开;
- e) 保护连接导体与保护接地端子之间电化学电位不大于 0.6V;
- f) 所有保护接地采用并联形式;
- g) 保护接地端子的设计应能防止偶然松脱, 易于连接;
- h) 随设备一起提供的电源线中的保护接地导体的绝缘应是黄绿双色;
- i) 保护连接导体的尺寸要满足标准要求。

附录 A
(资料性附录)
相关设备安全标准关于安全限值的规定

对于可触及零部件允许的限值, GB 8898-2001、GB 4943-2001 和 GB 4793.1-1995 等相关设备的安全标准均有相应规定。

GB 8898-2001 的 9.1.1 中规定, 如果满足下列要求, 则零部件或端子的接触件是非危险带电的:

- a) 开路电压不超过交流 35V(峰值)或直流 60V; 或者, 如果不满足 a) 项, 则
- b) 按 GB/T 12113-2003 附录 E 的标准测量网络测量零部件上人体可触及到的接触电流。测得的接触电流不应大于交流限值 0.7mA(峰值)和直流限值 2.0mA; 以及频率大于 100kHz 时的交流限值 70mA(峰值)。
- c) 贮存电压在 60V 到 15kV 之间者, 放电量不超过 $45\mu\text{C}$;
- d) 贮存电压超过 15kV 者, 放电量不超过 350mJ。

注 1: 建议对要在热带环境中使用的设备, 上述 a) 项和 b) 项给出的数值减半。

注 2: 当几个设备互连时, 为了避免不必要的大接触电流, 建议单台设备的接触电流值不大于因功能原因所需要的电流值。

GB 4793.1-1995 中对于可触及零部件允许的限值分别规定了正常条件下和单一故障条件下的安全限值。其中, 在正常条件下:

- a) 电压限值为 30V 有效值和 42.4 峰值或 60V 直流值;
- b) 如果电压超过上述限值中的一个值, 则用 GB 4793.1-1995 附录 A 中的 A1 电路测量时, 电流限值为 0.5mA 有效值, 非正弦波或混合频率为 0.7mA 峰值或 2mA 直流值(如果频率不超过 100Hz, 可用 A2 电路测量); 用 A3 电路测量时, 为 70mA 有效值, 这与可能的较高频率烧伤有关。

GB 4943-2001 对于安全特低电压(SELV)限值规定:

- a) 正常条件下电压不应超过 42.4V 交流峰值或 60V 直流值;
- b) 故障条件下电压在经过 0.2s 后不应超过 42.4V 交流峰值或 60V 直流值, 而且其极限值不应超过 71V 交流峰值或 120V 直流值。

当电路的可触及电压超过安全特低电压(SELV)限值时, 对于可能触及的电路还应判断该电路是否满足限流电路的要求。

限流电路的电流限值为: 频率不超过 1kHz 时, 在限流电路中的任何两个零部件之间或任何这样的零部件与地之间接一个 $2000\Omega \pm 10\%$ 的无感电阻器, 流过该电阻器的稳态电流不应超过 0.7mA 峰值或 2mA 直流值。频率高于 1kHz 时, 则该 0.7mA 的限值应乘以 kHz 为单位的频率值, 但不应超过 70mA 交流峰值。

对于可触及零部件上的接触电流的安全限值, GB 4943-2001 根据设备的不同类型分为有效值 0.25mA、0.75mA 和 3.5mA。

除上述安全标准外, 军用电子设备的安全标准中关于接触电流和安全电压的限值的规定差别更大, 其中安全限值有些标准参照了民用安全标准中的安全限值, 有些标准依据设备的应用条件和环境条件在安全电压的优先系列中选取了 36V 或 24V 有效值作为安全电压的限值。如在 GJB 74A-1998 中安全电压限值为 36V 有效值, 在 GJB 367A-2001 中安全电压限值为 24V 有效值。

附录 B
(资料性附录)
外壳防护等级 (IP 代码)

GB 4208-1993 规定了外壳防护等级的划分标准, 采用 IP 代码的形式标明设备外壳对人体接近、固体异物进入和水进入的防护等级。设备的外壳或挡板应根据战术技术要求和使用环境条件, 选择适用的防护等级。在适用的防护等级下, 设备应能按照标准要求实现:

- a) 防止人体接近壳内危险部件;
- b) 防止固体异物进入壳内设备;
- c) 防止由于水进入壳内对设备造成有害影响。

各类产品引用外壳防护等级的程度和方式, 以及采用何种外壳, 留待相关产品规范决定, 对具体的防护登记所采用的试验应符合该标准的规定, 必要时, 在相关产品规范中可增加补充要求。

设备的 IP 代码由代码字母 IP、第一位特征数字、第二位特征数字、附加字母、补充字母组成。其中第一位特征数字从防止人体接触外壳内部危险零部件和防止固体异物进入机壳内对设备造成有害影响的角度出发, 将外壳防护等级分为七个等级, 见表 B.1。第二位特征数字表示外壳防止由于进水而对设备造成有害影响的防护等级, 见表 B.2。对附加字母和补充字母的说明见 GB 4208-1993。

表 B.1 第一位特征数字所代表的防护等级

第一位特征数字	对人员接触危险部件的防护	含义	对固体异物进入机内的防护	含义
0	无防护	—	无防护	—
1	防止手背接近危险部件	试具应与危险部件有足够的间隙	防止直径大于或等于 50mm 的固体异物	Φ50mm 球形物体试具不得完全进入壳内
2	防止手指接近危险部件	Φ12mm, 长 80mm 的铰接试验指与危险部件有足够的间隙	防止直径大于或等于 12.5mm 固体异物	Φ12.5mm 球形物体试具不得完全进入壳内
3	防止工具接近危险部件	Φ2.5mm 的试具不得进入壳内	防止直径大于或等于 2.5mm 的固体异物	Φ2.5mm 物体试具完全不得进入壳内
4	防止金属线接近危险部件	Φ1.0mm 的试具不得进入	防止直径大于或等于 1.0mm 的固体异物	Φ1.0mm 物体试具完全不得进入壳内
5	防止金属线接近危险部件	Φ1.0mm 的试具不得进入	防尘	不能完全防止灰尘进入, 但进入的灰尘量不得影响设备正常运行, 不得影响安全
6	防止金属线接近危险部件	Φ1.0mm 的试具不得进入	尘密	无灰尘进入

表 B.2 第二位特征数字所代表的防护等级

第二位特征数字	对水进入的防护	含义
0	无防护	—
1	防止垂直方向滴水	垂直方向滴水应无有害影响
2	防止当外壳在 15° 范围内倾斜时垂直方向滴水	当外壳的各垂直面在 15° 范围内倾斜时, 垂直滴水应无有害影响
3	防淋水	各垂直面在 60° 范围内淋水, 无有害影响

表 B. 2(续)

第二位特征数字	对水进入的防护	含义
4	防溅水	向外壳各方向溅水无有害影响
5	防喷水	向外壳各方向喷水无有害影响
6	防强烈喷水	向外壳各方向强烈喷水无有害影响
7	防短时间浸水影响	浸入规定压力的水中经规定时间后外壳进水量不致达有害程度
8	防持续潜水影响	按生产厂和用户双方同意的条件(应比数字7严酷)持续潜水后外壳进水量不致达有害程度

设备在经过淋雨试验后, 应满足 GB 4208-1993 中规定的以下接受条件:

- a) 如有可能, 有关产品规范应规定允许的进水量及耐电压试验的细节;
- b) 一般说来, 如果进水, 应不足以影响设备的正常操作或破坏安全性; 水不积聚在可能导致沿爬电距离引起漏电起痕的绝缘部件上; 水不进入带电部件或不允许在潮湿状态下运行的绕组; 水不积聚在电缆头附近或进入电缆;
- c) 如外壳有泄水孔, 应通过观察证明进水不会积聚, 且能排出而不损害设备;
- d) 对没有泄水孔的设备, 如发生水积聚并危及带电部分时, 有关产品规范应规定接受条件。

参考文献

- GJB 74A-1998 军用地面雷达通用规范
GJB 367A-2001 军用通信设备通用规范
IEC 61969-3:t.b.p., Mechanical strucrures for electronic equipment-Outdoor enclosures-Sectional specification-Part 3:Climatic, mechanical tests and safety aspects for cabinets and cases
-