

ICS 29.020
K 09



中华人民共和国国家标准

GB/T 25295—2010

电气设备安全设计导则

Guidelines on safety designs for electric equipments

2010-11-10 发布

2011-05-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 电气安全设计的原则	1
4.1 概述	1
4.2 基本准则	1
4.3 电气安全设计的基本要素	5
5 电气安全设计要求	7
5.1 环境适应性设计要求	7
5.2 电击危险防护的设计要求	9
5.3 电能的间接作用、外界因素危险防护的设计要求	17
5.4 机械危险防护的设计要求	17
5.5 电气连接和机械连接的设计要求	18
5.6 运行危险的防护设计要求	19
5.7 电能控制和危险防范的设计要求	20
5.8 标志和说明书的设计要求	21
参考文献	23

前 言

本标准依据 GB 19517《国家电气设备安全技术规范》制定。

本标准由全国电气安全标准化技术委员会(SAC/TC 25)提出并归口。

本标准主要起草单位:机械工业北京电工技术经济研究所、上海电动工具研究所、四方电气(集团)有限公司、正泰电气股份有限公司、上海电器科学研究所(集团)有限公司、山东艾诺仪器有限公司。

本标准主要起草人:李锋、包革、李邦协、方晓燕、季慧玉、田衢、曾雁鸿、刘江、赵涛、颜景新、杨之峰。

电气设备安全设计导则

1 范围

本标准规定了交流 1 000 V 以下,直流 1 500 V 以下的电气设备安全设计的基本准则要求。

本标准适用于电气设备的安全设计。

专业的或产品的安全设计应依据相应的标准规定。没有专业的或产品的安全设计方法时,可依据本标准。

注 1: 电气设备包括输、配、贮存、测量、监督、控制、调节、转换和消费电能的产品及信息技术领域中与其组成一体的电气装备、电气装置、电气器具。

注 2: 即使设计者按照本标准规定的内容完成了电气设备的设计,也不意味着电气设备符合了安全的要求。电气设备只有经过了规定的检验或试验,并经过合格评定后,方可认为是安全的。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 4208 外壳防护等级(IP 代码)(GB 4208—2008,IEC 60529:2001,IDT)

GB/T 4776 电气安全术语

GB/T 5465.2—2008 电气设备用图形符号 第 2 部分:图形符号(IEC 60417 DB:2007,IDT)

GB/T 22696(所有部分) 电气设备的安全 风险评估和风险降低

3 术语和定义

GB/T 4776 确立的术语和定义适用于本标准。

4 电气安全设计的原则

4.1 概述

4.1.1 国家电气安全的法律法规,包括强制性标准,其内容及所认定的符合性标准是电气设备安全设计的基本依据,符合性标准会随着技术的发展而不断更新。

注:例如 GB 19517,反映了安全的技术概念与人们行为之间的差别,即“在正常的条件下使用或在其他由制造商预见到的误用条件下使用,可以合法地要求某些产品、加工过程或服务具有一定程度的风险,但不会危及人员的健康、环境的质量等”。其附录 A 所列符合性标准,即各类专业产品的安全标准,是国家强制性技术规范认定的技术标准。一般情况,符合性标准是遵照国家强制性安全技术规范中的要求,结合专业产品的特性进行具体化、量化要求,并能指导产品在设计阶段就采取必要的预防措施。

4.1.2 在设计过程中,如果设计者认为存在有新的风险,并且新的风险对安全构成明显的危害,则应注意:

- a) 分析研究安全与风险的关系。安全与风险总是相伴而存的,安全不能免除全部风险,即绝对的安全是不可能的。
- b) 根据风险评估做出安全的判断,依据 GB/T 22696 的规定。
- c) 风险评估和判断安全是十分复杂的过程,往往设计者很难有能力单独完成。

4.2 基本准则

4.2.1 危险因素的区分和安全要求的一般原则

电气设备的危险因素有自身的危险因素和外界的危险因素。自身的危险因素,例如电击危险等。

外界的危险因素,例如环境、过载、振动、冲击、异物、辐射危险等。

安全要求的一般原则是在以下条件下电气设备的使用是安全的:

- a) 在整个生命周期;
- b) 在技术标准的规定正常使用条件和单一故障条件下;
- c) 在合理预见的设计目的;
- d) 在正确安装、运行和维护的条件下。

或:

- 如无特殊要求,按一般环境,或运行条件设计制造;
- 在使用时可采用专门的与电气设备的特性和功能无关的安全技术措施。

4.2.2 安全水平与经济性

电气设备的安全水平一般由专业的安全技术标准决定,安全的设计实质上是实现专业的安全技术标准的要求,以达到必要的安全水平。

在设计时可能会遇到为了安全不得限制某些技术的应用,而技术的创新又不应该受到制约,此时确定合理的安全是必要的。就设计而言,安全是第一的,即新技术的应用只能促进安全水平的提高,或者新技术的应用要以保证安全为前提。

注:正是因为没有任何产品和活动是绝对安全的。因此,制定绝对安全的标准是不可能的。反过来,消费者或用户也不会接受一项客观的、始终不变的安全标准。而要取得一项渐进的安全标准,则必须研究有关发生伤害的可能性或伤害发生率及发生伤害导致严重后果、社会因素、经济成本等之间的平衡因素。

但多数情况下,影响安全水平的因素本身往往是非常不明确,因此,完全用量值来表示相应的安全水平是困难的。因此,设计者应该注意到安全技术标准是为了保证和满足使用的要求,对成功经验进行的记录,而没有确切地提出达到的安全水平。

注:例如爬电距离和电气间隙确定就是典型,安全技术标准中给出的量值应视为经验的数值,供设计时参考。

如果在设计上不能将已知的危险排除在可以避免的程度,则应该做出设计的说明,或者给出必要的文件,例如产品的安装使用说明书,或者标志、标识等,以起到:

- 防护电气设备的危险,保护面临风险的人员;
- 针对防护不完全,或无防护的情况,警告面临风险的人员,保持对危险的警觉,或提示应当采取的适当行动;
- 为面临危险的人员进行培训。

4.2.3 共性设计原则和个性设计原则

共性安全要求是由各类电气设备的安全特性(要求)加以提炼、概括、综合、提升而成,这些共性的安全技术要求、指标和检验方法,使各类电气设备的安全控制在可接受的水平上,成为共同应遵守、达到的准则。

设计者应熟悉并掌握共性安全要求的规律,特别要注意研究要求、指标与检验方法之间的关系,即所有的设计应该针对要求与指标,但必须通过检验才能确定是否达到了要求与指标。

注:共性的规定或要求、指标和相应的测量、试验方法并不意味着所有的电气设备都要达到全部要求,而是应根据不同电气设备的特性、使用的场所进行选择适用的、必须的要求、指标。例如手持式、可移式、固定式使用的电气设备的安全要求是不全部相同,达到的项目也是不一样的。

个性安全要求是结合产品的特性、要求而具体化、量化的产品的安全技术要求,包括发生危险的控制指标,考核、检验、指标的测量、试验中的参数规定等。考虑到个性设计的检验不确定性(例如介质强度的检验),因此要求设计者更加关注检验方法,以使设计满足检验的要求。

注1:例如介质强度是各类电气设备都应控制的共性要求,但不同种类的电气设备、使用的不同电压等级、使用的场所不同,有的电气设备仅考核工频耐电压能力,有的还要考核匝间介质强度。对工频耐电压能力,不同用途、不同电压等级的电气设备,施加的工频试验电压值也不一样。

注2:例如防潮性,应用在不同环境条件下电气设备的防潮性的考核是不一样的。

4.2.4 安全性技术的分类

4.2.4.1 电气设备的安全性可分为：

- a) 设计制造时的安全性,包括设计、加工、装配、运行、运输、拆卸时的安全。
- b) 使用时的安全性,指与电气设备的特性和功能无关的安全技术,往往指电气设备在使用时采取的专门措施,例如在电气设备运行中:
 - 限制随便触及电气设备;
 - 只限于专业人员或受过初级训练人员应用电气设备。

4.2.4.2 电气设备的安全设计技术可分为：

- a) 直接安全技术,即用设计制造技术防止危险,将电气设备制造得没有危险存在。
- b) 间接安全技术,即用外设防护措施避免危险,是直接安全技术解决办法不可能或不完全可能防止危险时所设计的专门的安全技术手段。所谓的专门的安全技术手段是由在电气设备中或电气设备上不设附加功能就能达到和保证无危险地应用的装置实现。
- c) 提示性安全技术,即用告知风险、培训、使用人身防护设备等方法防止危险,即在 a) 和 b) 的安全技术不能达到目的或不能完全达到目的情况,说明电气设备无危险应用的条件。例如提供中文的,通俗易懂的使用和操作说明,或在电气设备的运输、储存、安装、定位、接线或运行的方式中给以足够的说明。

4.2.5 电击防护类型

电气设备按电击防护的方法可设计制造成 0 类电气设备、I 类电气设备、II 类电气设备、III 类电气设备。

0 类电气设备:防止电击保护依赖基本绝缘,即没有把可触及的导电部分连接到电气设备的固定布线中保护导体的措施,一旦基本绝缘失效,电击保护则依赖于环境。

I 类电气设备:防止电击保护不仅依靠基本绝缘,而且它还包含一个附加的安全保护措施,将可触及的导电部分与电气设备中固定布线的保护接地导线连接起来,使可触及的导电部分在基本绝缘损坏时不能变成带电体。

II 类电气设备:防止电击保护不仅依靠基本绝缘,而且还包含附加的安全保护措施,例如双重绝缘或加强绝缘,不提供保护接地或不依靠电气设备条件。

II 类电气设备可分为下列类型之一:

- a) 绝缘外壳 II 类电气设备。电气设备有坚固的、基本上连续的绝缘材料外壳,除了一些小零件外,例如铭牌、螺钉和铆钉,外壳遮封了所有金属部分,这些小零件由至少相当于加强绝缘与带电部分隔开。
- b) 金属外壳 II 类电气设备。电气设备有基本上连续的金属外壳,除了应用双重绝缘显然是行不通而使用加强绝缘的那些部分外,在这类电气设备中全部使用双重绝缘。
- c) 组合的 II 类电气设备。类型 a) 和 b) 组合的电气设备。

III 类电气设备:防止电击保护依靠安全特低电压 (SELV) 供电,电气设备中不产生高于特低电压的电压。

注:罗马字 I、II、III 仅代表电气设备在设计制造时采用的安全技术方法,即 I 类设备的电击防护采用等电位保护方法,II 类设备采用的绝缘保护方法,III 类设备采用三重保护原理的方法(基本绝缘、特低电压、与供电电源隔离)。在理论上,这些方法都是安全的。所以 I、II、III 仅代表采用方法而不是指安全的等级。

4.2.6 预期寿命

一般情况,电气设备在正确使用和维护情况下,整个使用期间应该能够保证安全。但事实上,电气绝缘,即使达到最好的性能也会随着时间和正常使用中力学的、热的、电的、化学的及其复合的作用下,性能会逐渐下降,材料老化而破坏,造成危险。所以,合理的预期寿命是重要的。

4.2.7 电压区段的划分

一些装置规则,特别是有关电击防护的措施,取决于所使用的电压值,由于不可能也没有必要考虑

实际应用中出现的每一具体电压值,因此只需为每一个特定的电压区段制定通用要求。

区段 I 包含了:

- 在某些条件下,依据电压值提供电击防护装置;
- 由于运行上的原因,电压受到限制的装置(如电信、信号、电铃、控制和报警装置)。

区段 II 包含了:

家用、商用和工业用装置的供电电压,这一区段包含了公用配电系统的所有电压。

所规定的电压区段主要与装置的一些规则结合使用,但也可在制定电气设备的要求时使用(见表 1 和表 2)。

表 1 交流电压区段

区 段	接地系统		不接地或非有效接地系统
	相对地	相间	相间
I	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 50 \text{ V}$
II	$50 \text{ V} < U \leq 600 \text{ V}$	$50 \text{ V} < U \leq 1\,000 \text{ V}$	$50 \text{ V} < U \leq 1\,000 \text{ V}$

表 2 直流电压区段

区段	接地系统		不接地或非有效接地系统
	极对地	极间	极间
I	$U \leq 120 \text{ V}$	$U \leq 120 \text{ V}$	$U \leq 120 \text{ V}$
II	$120 \text{ V} < U \leq 900 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U \leq 1\,500 \text{ V}$	$50 \text{ V} < U \leq 1\,500 \text{ V}$

4.2.8 固体绝缘的失效机理

由于固体绝缘的电气强度远远大于空气的强度,另一方面,通过固体绝缘材料的绝缘距离通常大大地小于电气间隙而产生高的电场强度。

在绝缘系统中,电极与绝缘之间;不同的绝缘层之间均可能会产生间隙,或绝缘材料本身有气隙。在这些间隙或气隙中,尽管电压远小于击穿水平,仍可能发生局部放电,这就会影响固体绝缘的使用寿命。

与气体相比,固体绝缘不是一种可恢复的绝缘介质,例如偶尔发生的高压峰值就可能对固体绝缘造成破坏性效果。绝缘损坏的积累会造成最终的固体绝缘失效。由此形成复杂的过程,且最终导致绝缘老化。所以电场强度和其他应力(例如,热、环境)的叠加造成了绝缘老化。可用适当条件组成的短期试验来模拟固体绝缘的长期性能。

固体绝缘的厚度与前面所述的失效机理之间基本上没有关系。

4.2.9 局部放电原理

常用的固体绝缘物总不可能做得十分纯净致密,总会不同程度地包含一些分散性的异物,如各种杂质、水分、小气泡等。有些是在制造过程中未去净的,有些是在运行中绝缘物的老化、分解等过程中产生的。

由于这些异物的电导和介电常数不同于绝缘物,故在外施电压作用下,这些异物附近将具有比周围更高的场强。当外施电压升高到一定程度时,这些部位的场强超过了该处物质的游离场强,该处物质就产生游离放电,称之为局部放电。

气泡的介电常数比周围绝缘物的介电常数小得多,气泡中的场强较大;气泡的击穿场强又比周围绝缘物的击穿场强低得多,所以,分散在绝缘物中的气泡常成为局部放电的发源地。如外施加电压为交变的,则局部放电就具有重复的、发生与熄灭相交替的特征。

由于局部放电是分散地发生在极微小的空间内,所以它几乎并不影响当时整体绝缘物的击穿电压,但是,局部放电时产生的电子、离子往复冲击绝缘物,会使绝缘物逐渐分解、破坏,分解出导电性的和化

学活性的物质来,使绝缘物氧化、腐蚀;同时,使该处的局部电场畸变,进一步加剧局部放电的强度;局部放电处也可能产生局部的高温,使绝缘物老化、破坏。如果绝缘物在正常工作电压下就有一定程度的局部放电,则这种过程将在其正常工作的全部时间中继续和发展,这显然将加速绝缘物的老化和破坏,发展到一定程度时,就可能导致绝缘物的击穿。

所以,测定绝缘物在不同电压下局部放电强度的规律,能预示绝缘的情况,也是估计绝缘电老化速度的重要根据。

4.2.10 绝缘配合

电气设备绝缘配合是电气基础安全措施之一,它指导有关专业对其所涉及的各种设备合理地制定有关要求,从而达到绝缘配合的目的。

绝缘配合意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。只有设备的设计基于在其期望寿命中所承受的作用(例如电压)强度时才能实现绝缘配合。绝缘配合与电压的关系,应考虑下列内容:

- a) 在系统中可能出现的电压;
- b) 设备产生的电压(该电压可能会反过来影响系统中的其他设备);
- c) 要求的持续运行等级;
- d) 人身和财产安全,使电压强度造成事故的可能性不会导致损害性危险。

环境条件和绝缘配合的关系:确定污染等级作为考虑绝缘的微观环境条件。微观环境条件主要取决于设备所处的宏观环境条件,在许多情况下,这些微观和宏观环境是相同的。但是,微观环境可能会好于或坏于宏观环境。例如,外壳、加热、通风或灰尘可能会影响微观环境。

4.3 电气安全设计的基本要素

4.3.1 概述

电气设备安全设计的基本要素会因产品的特点的不同而会有差异,设计者应注意了解专业或产品标准更为细致的规定。

4.3.2 规定使用期限内的安全(预期寿命)

设计者应对产品使用期限加以科学的界定。即设计要保证在规定使用期限内产品的安全,不能发生危险。即使在超过适当使用期限,也不允许电气设备内仍能工作的装置造成危险。应有下述措施:

- a) 有可靠的开关功能;
- b) 设有在紧急危险时切断电源的自动装置;
- c) 设有防止意外起动的装置;
- d) 保证专门安全技术手段可靠性的措施。

注:专门安全技术手段是指所有电气设备中,不设附加功能就能达到和保证无危险应用的装置。

4.3.3 承受预见危险的能力

在设计上应保证电气设备能承受预见会出现、且能引起危险的物理和化学作用(如静态或动态,液体或气体,热或特殊气候等)时不会造成危险。并且:

- a) 一旦出现过载,立即切断电源或技术过程,或使其变得不危险,技术手段的本身也不能发生危险;
- b) 能截获由于材料缺陷、磨损或过载、飞逸或跌落造成危险的部件。

4.3.4 具备电击危险防护的能力

对电击危险,其主要特征表现为:

- a) 人体构成闭合电路的一个组成部分,使人体的一部分相当于电路中的负载阻抗;
- b) 在一个相当长的持续时间间隔内,有一个足以危及人身安全的电流通过人体;
- c) 在人身的某两个部分之间施加一个足以危及人身安全的接触电压。

设计上,针对上述特征应采取相应的技术手段,实现对电击危险的防护:

- a) 电能直接作用的防护;
- b) 电能间接作用的防护。

电能直接作用的防护技术措施有:

- a) 绝缘技术。
- b) 防直接接触保护。主要的技术措施有:采用安全特低电压、外壳防护、电气隔离等。
- c) 防间接接触保护。主要的技术措施有:保护接地,双重绝缘结构,故障切断等。

4.3.5 具备耐热能力

电气设备运行时,由于电流的热效应、铁磁材料损耗、介质损耗、局部放电、机械损耗及设备内部的功能性发热元件会使电气设备的温度升高,而大于周围的环境温度。

固体绝缘在热应力作用下会使绝缘材料或工程塑料软化、变形、脱层。然后在机械应力作用下断裂、破坏而丧失功能,造成电击危险;支撑带电零件的绝缘过热会引发燃烧而酿成火灾。

电气绝缘的耐热能力和绝缘等级选择是电气设备安全设计的必备因素。包括导电部件,支撑带电零件的电气绝缘的耐热能力是依据其固体绝缘物的耐热等级用温升指标来考核。温升限值的规定对各类电气设备因使用环境、工作周期、使用寿命的不一样而规定有不同限值。

4.3.6 具备防直接接触保护的能力

防直接接触保护设计要满足保护人和动物不受与电气设备带电部分直接接触时所造成危险的要求。设计的防护措施必须在任何情况下,都能使危险的带电部分不会被有意或无意触及,或者将带电部分的电压值或触及电流值降低到没有危险的程度。

在设计上,防直接接触保护一般采用绝缘防护、外壳或遮拦防护,采用安全特低电压等。

4.3.7 具备防间接接触保护的能力

防间接接触保护设计要满足保护人和动物接触到外露导电部分上危险的接触电压时所造成危险的要求。

在设计上,间接接触保护一般采用接地保护、自动切断保护、双重绝缘保护等。

注:外露导电部分是指电气设备的可触及的导电部分,不是带电部分,但在故障情况时能处于危险的接触电压之下。

4.3.8 可靠的电气连接和机械连接

设计者应充分考虑电气设备在使用中受到的热、振动及其他机械应力作用,其连接的松动或脱落而造成电击、机械危险。

4.3.9 防止静电积聚的措施

必须有防止静电积聚的技术措施。

4.3.10 规定燃料和工作介质

燃料和工作介质必须满足:

- a) 燃料和工作介质不能对电气设备造成有害影响;
- b) 燃料不能外溢,或外溢量不能造成危险。

4.3.11 选择适应的材料

材料的选择应满足:

- a) 采用的材料在电气设备制造过程中和所有可能的运行状态下都不能对人的健康、生命产生有害影响;
- b) 必须有足够的抗老化能力;
- c) 用于有腐蚀危险的部件必须采用抗腐蚀的材料。

4.3.12 人体工效学的应用

电气设备的外形、结构、尺寸、布局等要与人体尺寸、体力、环境和生理学、解剖学的特点相匹配,即符合人类工程学。

5 电气安全设计要求

5.1 环境适应性设计要求

5.1.1 使用环境温度

设计者应设定电气设备使用的最高环境温度和最低环境温度。也可给出 24 h 的平均温度的要求。对运输、贮存有温度要求时,也应给出适合的温度。

一般规定为户内电气设备的周围空气温度不超过 40 °C 而且在 24 h 内平均温度不超过 35 °C。周围空气温度的下限为 -5 °C。

运输、贮存和安置条件一般为温度范围在 -25 °C ~ 55 °C 之间。在短时间内(不超过 24 h)可达 70 °C。

5.1.2 大气条件

设计者应规定电气设备使用环境的大气条件。

一般规定为户内电气设备的大气条件为空气清洁,在最高温度为 40 °C 时,其相对湿度不超过 50%,在较低温度时,允许有较大的相对湿度。例如在 20 °C 时的相对湿度为 90%,但应考虑到由于温度的变化,有可能会偶尔产生适度的凝露。

5.1.3 污染等级

污秽对固体绝缘物的爬电距离和空气介质的电气间隙影响很大,设计上必须控制电气设备外界和运行中产生的污秽,以减少在电气绝缘上的积沉,保证电气绝缘的介质强度。

为了确定电气间隙和爬电距离,设计者应按下列四个微观环境的划分,确定电气设备使用环境的污染等级;

污染等级 1:无污染或仅有干燥的、非导电性的污染,该污染无任何影响。

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雪引起的。

5.1.4 海拔

5.1.4.1 一般规定

一般规定为海拔不超过 2 000 m。

5.1.4.2 海拔 2 000 m 以上时温升的修正

温升的修正方法应参考以下情况:

- a) 不同海拔高度处的平均环境温度值可参考表 3;

表 3 不同海拔高度的平均温度值

海拔高度 m	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
平均环境温度 °C	20	20	15	10	5	0

注:海拔升高,空气密度降低,使以空气介质为散热方式的产品散热困难。一般,海拔每升高 100 m,产品温升增加约 0.4 K。但海拔升高的同时,环境温度降低。一般情况下,海拔每升高 100 m,环境温度降低 0.5 °C。对高发热电器(如电阻器等),海拔每升高 100 m,温升增加 2 K。

- b) 一般来说,在高海拔地区的户内及局部特定环境(如冶金、化工、钢铁、发电厂等房内),若环境温度的降低值不能补偿由于海拔升高而导致的温升增加值,此时不允许对温升限值进行海拔修正;
- c) 在高海拔地区的户外使用及无人值守(如小型配电站等)场所使用的产品,由于环境温度降低的补偿作用明显,允许对温升极限值按表 4 进行海拔修正;

表 4 温升极限值的海拔修正值

使用或试验地点的海拔高度 H m	Δr K
$H=2\ 000$	0
$2\ 000 < H \leq 2\ 500$	2
$2\ 500 < H \leq 3\ 000$	4
$3\ 000 < H \leq 3\ 500$	6
$3\ 500 < H \leq 4\ 000$	8
$4\ 000 < H \leq 4\ 500$	10
$4\ 500 < H \leq 5\ 000$	12

注：本表的依据为海拔每升高 100 m，环境温度降低 0.5 ℃。

d) 当试验地点的海拔与使用地点的海拔不同时，温升极限值按两者的海拔差进行修正。当试验地点的海拔高于使用地点时，温升极限值为相应产品标准规定的温升值加上修正值。当试验地点的海拔低于使用地点时，温升极限值为相应产品标准规定的温升值减去修正值。计算海拔差时，低于 2 000 m 的海拔均算作 0 m；

e) 对高发热电器(如电阻器等)，温升极限值的海拔修正也按上述方法计算，但修正的数值改为海拔每升高 100 m，温升极限值按 2 K 计算。

5.1.4.3 海拔 2 000 m 以上时介电强度的修正

由于海拔升高，产品绝缘表面及不同电位的带电间隙比较容易击穿，特别是对电气间隙和爬电距离的影响较大。

对于使用地点高于 2 000 m 的设备，工频耐受电压值和冲击耐受电压值应符合常规型相应产品标准的要求。在产品使用地点海拔与试验地点海拔不同时，试验电压值应乘以修正系数，修正系数可参见表 5。

表 5 工频耐压和冲击耐压的海拔修正系数 K_a

产品使用地点海拔 m		2 000	3 000	4 000	5 000
产品试验 地点海拔 m	0	1.25	1.43	1.67	2
	1 000	1.11	1.25	1.43	1.67
	2 000	1	1.11	1.25	1.43
	3 000	0.91	1	1.11	1.25
	4 000	0.83	0.91	1	1.11
	5 000	0.77	0.83	0.91	1

注 1：低压电器的介电试验，例如相与相之间、相和中性线与地之间、同一相断开触点之间的介电性能试验包括了对固体绝缘和电气间隙的绝缘试验，因此试验电压应按表的要求进行修正。因专门用于固体绝缘的介电性能不受海拔高度的影响，所以试验电压不需要修正。

注 2：对于工频耐压，产品试验地点在海拔 2 000 m 及以下时，修正系数 K_a 按试验地点海拔 2 000 m 计算。

注 3：试验电压值为常规型产品标准规定值与海拔修正系数 K_a 的乘积。

注：示例 1：当产品使用地点为海拔 4 000 m 时，试验地点为海拔 2 000 m，在海拔 2 000 m 处常规型产品标准规定的冲击耐受试验电压为 4 kV(额定冲击耐受电压为 4 kV 时)，则冲击耐受电压试验值应为： $4\text{ kV} \times 1.25 = 5\text{ kV}$ 。

示例 2：当产品使用地点为海拔 4 000 m 时，试验地点为海拔 1 000 m。在海拔 2 000 m 及以下时，常规型产品标准规定的冲击耐受试验电压为 4 kV(额定冲击耐受电压为 4 kV 时)，则在海拔 1 000 m 处试验的冲击耐受电压试验值应为： $4\text{ kV} \times 1.43 = 5.72\text{ kV}$ 。

5.1.5 特殊使用条件

设计者可规定电气设备特殊的使用环境条件。所有安全设计的规定不能因使用条件变化而降低，除非有更进一步的规定。

例如：

- a) 超出规定的温度值、相对湿度或海拔高度；
- b) 在使用中，温度和/或气压急剧变化，以致在电气设备内易出现异常的凝露；
- c) 空气被尘埃、烟雾、腐蚀性微粒、放射性微粒、蒸汽或盐雾严重影响；
- d) 暴露在强电场或磁场中；
- e) 暴露在高温中；
- f) 受霉菌或微生物侵蚀；
- g) 安装在有火灾或爆炸危险的场地；
- h) 遭受强烈振动或冲击。

5.2 电击危险防护的设计要求

5.2.1 绝缘的基本要求

5.2.1.1 绝缘电阻

绝缘电阻值按产品的使用环境、使用场所、应用的功能在专业或产品标准规定相应的数值，设计者应根据所规定的数值选择绝缘材料。

通过测量绝缘电阻能有效地发现下列缺陷：

- a) 两极间有穿透性的导电通道；
- b) 受潮；
- c) 表面污垢。

通过测量绝缘电阻一般不能发现下列缺陷：

- a) 绝缘中的局部缺陷(如不穿透的局部损伤或裂缝、含有气泡、分层脱开等)；
- b) 绝缘的老化(因为老化了的绝缘，其绝缘电阻还可能是相当高的)。

5.2.1.2 泄漏电流

设计上应该注意这样的实际情况，即应用在电气设备上任何品质优良、完好的绝缘在正常工作时都会有漏电流流过绝缘经外壳流入大地。这是因为电气设备在运行中的电火花、磁路饱和、非线性器件、电路产生高次谐波电势，在绝缘上形成高次谐波电流，所以流经绝缘的电流总是客观存在的，应予以限制。

注：泄漏电流的限值应用了(IEC)TC64 技术委员会报告中的摆脱电流阈值和感知电流阈值。

所谓的摆脱电流阈值即是人能自主摆脱带电物体的电流。取概率为 0.5% 女性的最大自主能摆脱的电流 5 mA；感知电流阈值即是对人体的肌肉无反应，能防止二次事故的人体的反应(感知)电流为 0.5 mA~1 mA。0.5 mA 被美国保险商实验室(UL 实验室)长期应用；国际电工委员会按各类电气设备防电击保护的分类采用了不同数值，被世界上大多数国家采用，即 I 类设备 0.75 mA；II 类设备 0.25 mA；III 类设备 0.5 mA；带有电加热的电气设备最大不超过 5 mA。

设计者可按产品或专业标准规定的详细要求设计。

5.2.1.3 接触电流

接触电流仅在人体或人体模型形成电流通路时才存在。就安全而言，主要考虑可能流过人体的有害电流(该电流不一定等于流过保护导体的电流)。

有害电流作用在人体上的主要表现为感知、反应、摆脱和电灼伤。

设计者可按产品或专业标准规定的要求设计。

5.2.1.4 固体绝缘的耐热等级

5.2.1.4.1 耐热等级的规定

固体绝缘材料的耐热等级见表 6。

表 6 固体绝缘材料的耐热等级

相对耐热温度 ℃	耐热等级 ℃	较早的符号
<90	70	
>90~105	90	Y ^a
>105~120	105	A
>120~130	120	E
>130~155	130	B
>155~180	155	F
>180~200	180	H
>200~220	200	
>220~250	220	
>250	250	
注：耐热等级是电气绝缘材料的最高使用温度。		
^a 也用于 70 ℃ 以下等级。		

5.2.1.4.2 绝缘结构

标明某电工产品为某耐热等级,并不说明该产品绝缘结构中的每一种绝缘材料都具有相同的温度极限。绝缘结构的温度极限与其中各绝缘材料的温度极限可能不直接相关。

在绝缘结构中,绝缘材料的温度极限可能因受到其他组成材料的保护而有所提高,也可能因材料间不相容而使绝缘结构的温度极限低于各个组成材料的温度极限。

5.2.1.4.3 绝缘的使用期

电气设备的实际使用期取决于运行中的特定条件。这些条件可以随环境、工作周期和产品类型的不同而有很大的变化。此外,预期使用期还取决于产品尺寸、可靠性、有关设备的预期使用期以及经济性等方面的要求。

对某些电工产品,由于其特定的应用目的,要求其绝缘的使用期低于或高于正常值,或由于运行条件特殊,规定其温升高于或低于正常值,而使其绝缘的温度极限高于或低于正常值。

绝缘的使用期在很大程度上取决于其对氧气、湿度、灰尘和化学物质的隔绝程度。在给定温度下,受到恰当保护的绝缘的使用期会比自由暴露的大气中的绝缘的使用期长。因而,用化学惰性气体或液体作冷却或保护介质,可延长绝缘的使用期。

5.2.1.5 耐电痕化

固体绝缘材料的电痕化是指在电应力和电解杂质对材料表面的联合作用下,固体绝缘材料表面形成导电通路的过程。固体绝缘材料在放电作用下引起蚀损而造成电气短路、引发燃烧。

通常情况下,采用在潮湿条件下相比电痕化指数和耐电痕化指数来表示电气绝缘材料自身的耐湿绝缘能力。

相比电痕化指数(CTI)是指材料经受 50 滴电解液而没有电痕化的以伏特为单位的最大电压值;耐电痕化指数(PTI)是指材料经受 50 滴电解液而不出现电痕化的以伏特为单位的最大电压值。

电痕化影响着电气设备的爬电距离。固体绝缘材料按相比电痕化指数(CTI)分四类,以比较各种固体绝缘材料在试验条件下的性能:

- a) 绝缘材料组别 I $600 \leq \text{CTI}$
- b) 绝缘材料组别 II $400 \leq \text{CTI} < 600$
- c) 绝缘材料组别 III a $175 \leq \text{CTI} < 400$

d) 绝缘材料组别Ⅲb $100 \leq \text{CTI} < 175$

注：CTI即是绝缘材料表面经受50滴电解液而不形成电痕化的最高电压值。

5.2.1.6 耐非正常的热和火

由于绝缘材料在电的作用下可能受到热应力影响且有可能使电气设备的安全性降低,为了使绝缘材料在非正常热和火的作用下不应产生不利的影响,电气设备的材料应具有相应的耐非正常热和火的能力。设计者可以根据材料的可燃性类别来选择绝缘材料。

当在电气设备上进行试验时,可采用灼热丝试验。

当在材料上进行试验时,可根据所选择的可燃性分类法,可选择采用火焰试验(与可燃性类别无关)、电热丝引燃(HWI)试验和电弧引燃(AI)试验。

5.2.1.7 耐潮湿

在设计上要考虑的电气绝缘受潮的情况有:

- 表面受潮,即在相对湿度大于98%的环境下,电气绝缘表面被水汽包围,在环境温度突然变化或电气绝缘表面温度低于环境温度时,水汽在电气绝缘表面凝结成水膜,使绝缘部件表面绝缘电阻下降,造成表面的爬电或闪络。
- 体内受潮,即在高温的环境中由于水汽扩散渗入电气绝缘内部使吸入潮气的电气绝缘的理化性能发生变化,例如体积电阻下降,介电常数增加、机械性能亦下降,从而导致绝缘性能破坏造成电击危险。

5.2.1.8 不能认可为电气绝缘的绝缘材料

由于各类电气设备使用功能、安全性的要求,以下材料不能认可为电气绝缘:

- 未经浸渍处理的木、棉、丝、纸和类似纤维或吸水性材料。
- 传动带及不经严重破坏能拆卸的绝缘材料制件。

5.2.2 绝缘配合

5.2.2.1 电气间隙和爬电距离设计要求:

- 电气间隙和爬电距离在理论上由承受冲击电压来确定。一般按电场条件、污染等级、海拔、承受额定电压或冲击电压规定绝缘配合的最小电气间隙和爬电距离。

注:实际上,各种电气设备由于各自的结构特点、运行的微观环境、使用条件不同而情况较为复杂,不同专业的安全标准或产品标准,规定的电气间隙和爬电距离都有不同程度的差异,但各自在长期的实践中都十分行之有效。所以电气间隙和爬电距离在某种意义上来说,是实践经验的积累。

- 电气间隙应以承受所要求的冲击耐压来确定。对于直接接至低压电网供电的设备,应在综合考虑冲击耐受电压、稳态有效值电压、暂态过电压和再现峰值电压之后,选择最大的电气间隙,电气间隙以承受冲击电压来考核,其优先值为:330、500、800、1 500、2 500、4 000、6 000、8 000、12 000 V。影响电气设备电气间隙的因素有:额定电压和瞬态电压,电场条件,海拔,污秽等级和绝缘的功能。
- 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电痕化现象,因此忽略不计,然而对暂态过电压和功能过电压,如果它们的持续时间和出现的频度对起痕有影响的话,则必须要考虑。
- 影响电气间隙的环境因素主要有气压和温度(如果变化较大)。
- 影响爬电距离的环境因素主要有污染、相对湿度和冷凝作用。

5.2.2.2 过电压类别

设计者应确定电气设备的过电压类别。过电压类别的划分为:

- 过电压类别Ⅰ的设备是连接至具有限制瞬时过电压至相当低水平措施的电路的设备。
- 过电压类别Ⅱ的设备是由固定式配电装置供电的耗能设备。

注:此类设备包含如器具、可移动式工具及其他家用和类似用途负载。

- c) 过电压类别Ⅲ的设备是固定式配电装置中的设备,以及设备的可靠性和适用性必需符合特殊要求者。

注:此类设备包含如安装在固定式配电装置中的开关电器和永久连接至固定式配电装置的工业用设备。

- d) 过电压类别Ⅳ的设备是使用在配电装置电源端的设备。

注:此类设备包含如测量仪和前级过电流保护设备。

5.2.2.3 固体绝缘的厚度

设计者应该注意到固体绝缘的厚度失效机理之间基本上没有关系,只有通过试验才能评估绝缘材料的性能。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。

5.2.2.4 固体绝缘上的短期应力

5.2.2.4.1 电压的频率及高频电压

外施电压的频率会极大地影响电气强度。介质发热和热不稳定性的概率大约与频率成正比。例如,按 GB/T 1408.1—2006 在工频下测量时,厚度为 3 mm 固体绝缘的击穿电场强度在 10 kV/mm~40 kV/mm 之间。提高施加的电压频率会降低大多数绝缘材料的电气强度。

对于频率大于工频的电压,应考虑频率的影响。高于 1 kHz 的频率被看作为高频。

注:高于 30 kHz 的频率对电气强度的影响见 IEC 60664-4。

5.2.2.4.2 发热及承受短期热应力

发热可以造成:

- 由于内应力的消除造成机械上的变形;
- 在高于环境温度(如温度高于 60 °C)的较低温升下热塑性材料软化;
- 由于塑化剂损失造成某些材料脆裂;
- 如果超过材料的玻璃化转变温度,尤其会软化某些交联材料;
- 增大的介电损耗导致热不稳定性和损坏。高温梯度(例如短路过程中)会造成机械故障。

设计者应注意产品或专业标准中所规定的严酷水平。

注:标准严酷水平在 IEC 60068 中规定。

5.2.2.4.3 机械冲击

如果材料不具有足够的抗撞击强度,机械冲击会造成绝缘损坏。下述原因引起的材料撞击强度降低也会造成机械冲击的损坏:当温度下降至低于其玻璃化转变温度时,材料就会变脆;长期暴露在高温下会造成材料的塑化剂损失或造成原料聚合物老化。设计者应注意产品或专业标准中所规定的运输、贮存、安装和使用的环境条件。

5.2.2.5 固体绝缘上的长期应力

5.2.2.5.1 局部放电(PD)

在空气中,当峰值电压大于 300 V(怕邢最小值)时就可能会发生局部放电(PD)。损失主要是由于逐渐的腐蚀或金属沉积而造成击穿或表面闪络。绝缘系统具有不同的特性:某些绝缘(例如陶瓷绝缘子)在其整个预期寿命期间能承受放电现象,而其他一些绝缘(例如电容器)是不允许有放电现象。电压、放电重复率以及放电量均是重要的参数。

局部放电特性受外施电压的频率的影响。在增高频率的条件下进行加速寿命试验,可证实失效时间大约与外施电压的频率成反比。然而,实际经验仅包括 5 kHz 及以下的频率,因为在较高的频率下,也会存在其他一些失效机理,例如电介质发热。设计者可按产品或专业标准规定的详细要求设计。

注:高于 30 kHz 的频率对局部放电的影响见 IEC 60664-4。

5.2.2.5.2 发热及承受长期热应力

发热会引起绝缘的挥发、氧化或长期化学反应,结果造成绝缘性能下降。但是失效通常是由于物理上的原因(如脆裂)造成的,导致断裂和电击穿,这种过程是个长期的过程,不能用短时试验进行模拟,因为它需要几千小时的试验时间(见 IEC 60216)。

固体绝缘的热老化不应在电气设备预期的寿命期间损坏绝缘配合。设计者可按产品标准的规定是否有必要进行试验(也可见 IEC 60085 和 IEC 60216)。

5.2.2.5.3 机械应力及承受机械应力

在运行、贮存或运输过程中,由于振动或冲击产生的机械应力会造成绝缘材料的脱层、断裂或断开。设计者可按产品或专业标准规定的详细要求设计。设计者应注意产品或专业标准中所规定的严酷水平。

注:标准严酷水平在 IEC 60068 中规定。

5.2.2.5.4 湿度及承受湿度的影响

有水蒸汽的地方可能会影响绝缘电阻和放电熄灭电压,加剧表面污染,发生腐蚀和外形变化。对于某些材料,高湿度会大大地降低电气强度。在某些情况下,低湿度也可能是不利的,例如会增大静电电荷的滞留,且会降低某些材料(如聚酰胺)的机械强度。电气设备在规定的湿度条件下应保持绝缘配合。

5.2.2.5.5 其他应力及承受能力

许多其他应力均会损坏绝缘,产品标准中一般会做出规定。例如:紫外线辐射和电离辐射、暴露于溶剂或活性化学剂中造成的应力裂纹或应力断裂、塑化剂迁移作用、细菌、霉毒活菌类的作用、机械塑性变形等。

尽管上述诸项应力的影响不怎么重要或影响较小,但在特定情况下,还是应引起注意。

5.2.2.6 介电强度

5.2.2.6.1 承受瞬时过电压(冲击耐受电压)

基本绝缘和附加绝缘应具有按表对应于电网标称电压和相关过电压类别的冲击耐受电压要求;或按电路中预期的瞬时过电压规定的设备内部电路的冲击耐受电压。例如 GB 14048.1—2006 中表 12。

加强绝缘应具有对应于额定冲击电压但比基本绝缘规定值高一级的冲击耐受电压。如果基本绝缘要求的冲击耐受电压不是优选值中的数值,则应规定加强绝缘承受基本绝缘要求的冲击耐受电压的 160%。

5.2.2.6.2 暂时过电压

基本固体绝缘和附加固体绝缘应能承受下列暂时过电压:

- a) $U_n + 1\ 200\ \text{V}$ 短期暂时过电压时间至 5 s;
- b) $U_n + 250\ \text{V}$ 长期暂时过电压时间大于 5 s。

式中:

U_n ——中性点接地的电源系统的标称线对中性点的电压。

加强绝缘应能承受 2 倍的基本绝缘所规定的暂时过电压值。

注 1: 这些数值取自 IEC 60364-4-44 中 442,其中 U_n 被称作 U_0 。

注 2: 这些值为有效值。

5.2.2.6.3 耐受再现峰值电压

耐受再现峰值电压一般由产品或专业标准规定,设计者应按相应的要求设计。

5.2.3 防直接接触保护设计要求

5.2.3.1 绝缘防护

绝缘防护即是采用绝缘技术将危险的带电部分与外界全部隔开,防止在正常工作条件下与危险的带电部分的任何接触,是一种完全的防护。

用以覆盖带电部分的绝缘层应该足够牢固,不采用破坏性手段不应被除去。

使用的绝缘必须能长期承受在运行中可能受到的机械、化学、电气及热应力的影响(例如摩擦、碰撞、拉压、扭曲、高低温及变化、电蚀、大气污秽、电解液等产生的应力影响);由于油漆、瓷漆、普通纸、棉织物、金属氧化膜及类似材料极易在使用中改变(降低)其绝缘性能,因此不能单独用作直接接触防护。

用作直接接触防护的绝缘材料应满足绝缘电阻、介质强度、泄漏电流的考核要求。

5.2.3.2 外壳或遮栏的防护的设计要求

采用外壳或遮栏可将危险的带电部分与外部完全隔开,从而避免从任何方向或经常接近的方向直接接触及危险的带电部分,是一种完全的保护。

外壳防护除符合 GB 4208 外,且:

- a) 外壳防护的壳体应是封闭的连续体,且固定在规定的位置上,设计制造得让使用者或第三者不借助于工具就不能拆卸或打开;
- b) 外壳应有足够的机械强度及稳定性,即材料、结构、尺寸具备足够的稳定性和耐久性,能承受正常使用中可能出现的机械压力、碰撞和不正常操作引起的应力变化。

5.2.3.3 防止无意地触及带电部分,但不能防止故意绕过阻挡物有意地触及带电部分的阻挡物设计

所谓的阻挡物指可移开的遮栏和外护物(如门、覆板等),在接近带电部分进行调试或维修时应设计的结构。该阻挡物的设计用途是防止身体无意识地接近带电部分,或正常运行中操作带电设备时无意识地触及带电部分。一般应设计成使用钥匙或工具才能移开阻挡物,也可以设计为不用钥匙或工具移开阻挡物,此时应适当固定阻挡物,以防止其被无意识地移开。

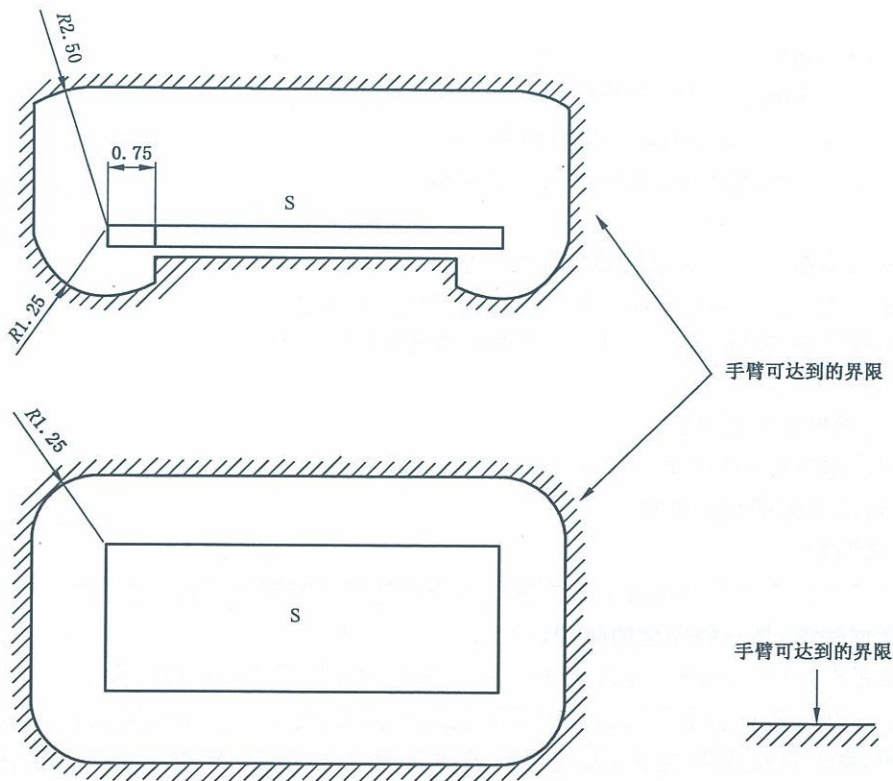
5.2.3.4 置于伸臂范围之外防护只用于防止无意地触及带电部分结构的设计

置于伸臂范围之外防护只用于防止无意地触及带电部分的结构一般用于防止在伸臂范围以内同时触及的不同电位的部分(见图 1)。

如果在通常有人的位置在水平方向用一个防护等级低于 IP X X B 或 IP2 X 的阻挡物(如栏杆、网)进行限制,则伸臂范围应从阻挡物算起。在头的上方伸臂范围 2.5 m 是从 S 面算起,这时不考虑防护等级低于 IP X X B 或 IP2 X 的任何中间阻挡物。

在正常情况下手持大的或长的导电物的地方,计算上述距离时应计入那些物品的尺寸。

单位为米



S——可能有人面。

图 1 伸臂范围

5.2.3.5 用剩余电流保护器的附加防护只是用于加强直接接触防护的额外措施的设计

如果提供其他防护措施(如 5.2.3.1 到 5.2.3.4 规定的保护措施)失效时或使用者的疏忽时的附加防护,则可采用额定剩余电流不超过 30 mA 的剩余电流保护器作为额外的防护措施。

使用剩余电流保护器不能认为是唯一的保护手段,并且不能因此而取消所采用的是上述 5.2.3.1 到 5.2.3.4 规定的保护措施之一的要求。

在通过自动切断电源进行防护的地方,对于额定电流不超过 20 A 的户外插座,和为户外移动式设备供电的插座,应采用额定剩余动作电流不超过 30 mA 的剩余电流保护器来保护。

5.2.3.6 安全特低电压的保护

采用安全特低电压保护必须满足:

- a) 呈现出的电压由一个电源产生,且不超过相应使用时视为危险的数值,即使在出现故障时,电流也不允许在其电路中超过该极限值;
- b) 电源必须与电网进行电气隔离,防止供电网络的危险电压进入;
- c) 直接接触时,只能有一个频率、作用时间和能量大小限制在一个无危险的电流流过。

5.2.4 防间接接触保护的设计要求

5.2.4.1 接地保护

5.2.4.1.1 在设计上采取的接地保护是指为防止发生电击危险而与下列部件进行电气连接的一种措施:

- a) 裸露导电部件;
- b) 主接地端子;
- c) 外部导电部件;
- d) 接地电极;
- e) 电源的接地点或人为的中性点。

注:用保护接地来防止电击的原理是:当电气设备发生故障而使外露可导电的部分带电时,为流入大地故障电流提供一个低阻抗的通路,以降低变成带电体的外露可导电部分的电位,是一种以等电位原理来防止电击的技术,即使接触故障而带电的外露可导电部分的人体与大地处于同一电位。人体触及的故障电压大小取决于保护接地回路的总阻抗,包括电气设备的接地、电网的接地和大地的流散电阻,构成一个接地系统。只有接地系统各个环节的完好才能达到防护的目的。

5.2.4.1.2 电气设备的接地装置设计应满足:

- a) 接地端子必须用螺纹紧固件连接,接地端子附近壳体处应清晰、永久地标志保护接地符号,接地符号不能设置在可拆卸的零件上;
- b) 仅用手不能将接地端子的夹紧导体松开,并且采用弹簧垫圈等防松措施来防止接地导线从端子脱落;
- c) 接地装置不允许连接除绿/黄双色芯线的接地保护线外的其他导线;
- d) 接地端子上所有金属零件不会因这些零件与保护接地导线或其金属相接触而产生电腐蚀;
- e) 电气设备自身的接地系统电阻应尽可能低。

防止电击的保护接地方法一般应用于 I 类电气设备。

注: I 类电气设备的电击保护不仅取决于电气设备,而且还依赖于供电线路和环境条件。实质上,从电气设备的可触及的金属部分到供电线的保护接地之间至少有 8 个以上连接点,并分处于制造厂、供电部门、使用者及环境条件,只要其中某一环节发生问题,则电气设备就处于无保护的不安全运行状态。因此,特别是 I 类电气器具(电动工具、电动器具等)在设计上不仅采用接地保护的措施防护电击的危险。例如,国际上有的机构认为 I 类工具的可触及金属零件通过旋转的轴承与接地的机壳连接不是永久、可靠的连接。因此 I 类工具的转子必须制成双重绝缘或加强绝缘。

5.2.4.2 接地电阻

接地电路的阻抗是复数阻抗,包含电阻分量、电容分量和电感分量,所有这些分量都影响接地电路的载流能力。由于接地网的接地电抗相对于接地电阻来说通常可忽略不计,因此其接地阻抗通常用接

地电阻表示。测量接地电阻的目的是：

- a) 验证新装接地系统；
- b) 检查现有接地系统的变化情况；
- c) 测定危险的跨步电压和接触电压等。

5.2.4.3 自动切断保护设计要求

自动切断保护是指自动切断供电的防护，指当Ⅰ类电气设备的基本绝缘损坏，使外露可导电的部分带电时，由附加的自动切断保护在可能对人产生有害的生理病理效应前自动切断供电。

由于电击的危害程度取决于故障情况下的电气设备的可触及的可导电部分上出现的预期接触电压值和持续时间。在一般环境下，只要作用于人体的交流电压值不超过 50 V(方均根值)，通常不会对人体造成有害的病理反应。因此，自动切断供电防护的设计原则为：

- a) 将单故障条件下的预期接触电压限制在交流 50 V(方均根值)以内；或
- b) 在预期接触电压及其持续时间对人体造成有害的或危及生命的病理反应之前自动切断供电；
- c) 供电的切断；

供电切断应考虑预期接触电压和保护电气设备的最长切断时间的配合，交流预期接触电压与最长切断时间的配合关系，见表 7。

表 7 1 kV 及以下的预期接触电压—最长动作时间的配合

预期接触电压 (方均根值)/V	50	>50	100	150	230	300	400	500
最长动作时间 s	5	0.60	0.40	0.17	0.17	0.12	0.08	0.04

d) 接地。

对于Ⅰ类设备，应满足以下要求：

- a) 确保保护电路的连续性，即外露的可导电部分与接地点之间确保导电连续性；
- b) 任意外露的可导电部分与接地点之间的电阻不大于 0.1 Ω；
- c) 保护导体的截面积应满足表 8 的要求。

表 8 保护导体的截面积

单位为平方毫米

序 号	电路上的导线截面积 S	相应的保护导体的最小截面积
1	<16	S
2	16~35	16
3	>35	S/2

注：接入多个电路的保护导体的截面积应按这些电路分别计算后再相加。

接地回路和电气设备的外露可导电部分应当按其配电系统的接地型式与保护导体相连接，并通过保护导体与大地连接，可同时触及的外露可导电部分应单独地、成组地或共同接至同一个接地极。

注：前者要求用以保证在故障情况下建立一个故障电流回路，从而为执行自动切断供电功能的保护电器提供一个故障信号，为此必须保证接地系统的电气连续性。后者要求用以保证在故障条件下，人体同时触及的外露可导电部分之间的预期接触电压尽可能地低，从而使危险程度尽可能降低，对保护电器参数要求也可适当放宽。

5.2.4.4 双重绝缘保护

所谓双重绝缘是指当基本绝缘损坏时，以附加绝缘形式将人体与带电部件实行有效的隔离。

双重绝缘电气设备不必另设附加保护装置而能安全地使用。

双重绝缘一般设置基本绝缘、附加绝缘、加强绝缘等几种形式的绝缘。

注：双重绝缘是Ⅱ类电气设备的主要绝缘形式，除了结构、尺寸和技术合理性等使双重绝缘难以实施的特定部位和零件外，Ⅱ类电气设备的带电部分均应由双重绝缘与易触及的金属零件或易触及表面隔开。

双重绝缘结构中各零件之间的关系必须满足：

- a) 带电零件与不易触及金属零件之间必须用基本绝缘隔开；
- b) 不易触及的金属零件与易触及金属零件或易触及表面应用附加绝缘隔开；
- c) 带电零件与易触及的金属零件或易触表面之间必须用双重绝缘或加强绝缘隔开。

其他绝缘设计的形式有：

- a) 基本绝缘，即带电部分上对防止电击起基本保护作用的绝缘。
- b) 附加绝缘，在基本绝缘损坏的情况下，为防止电击而在基本绝缘之外使用的独立绝缘。

注：所谓“独立”是附加绝缘在结构上相对于基本绝缘而言，在其自身组成部分不破坏的情况下两者能分开，即在附加绝缘与基本绝缘之间具有不连续的表面，从而使发生在一种绝缘上的故障不影响和扩散到另一种绝缘中，真正构成两个独立的保护措施。

- c) 加强绝缘，加强绝缘是相当于双重绝缘保护程度的单独的绝缘结构。

在设计上，加强绝缘在结构上置于带电部分和易触及的金属零件之间或其易触及的表面之间。

注：加强绝缘可以由同材质的单一绝缘物构成，亦可由几种不同材料的绝缘组合而成。由几种不同材料组成的绝缘，在电击保护上达到相当于双重绝缘的程度，但如果各组成部分之间不能按基本绝缘和附加绝缘单独进行试验，即使在机械结构上能分开的亦应视作加强绝缘。

由于加强绝缘不能像双重绝缘那样提供两种独立的保护措施，在保护程度上还只能相当于双重绝缘而不能完全等同于双重绝缘。因此，在Ⅱ类电气设备中的应用上要受到限制，只能在提供单独的基本绝缘及附加绝缘明显不切实际时才使用，一般使用在换向器与转轴间、转子绕组端部与转轴间、定子绕组端部与机壳间和刷握与机壳上的安装。

附加绝缘、加强绝缘的材质、结构、尺寸及介电强度、绝缘电阻等均应优于基本绝缘，且进行单独考核。在结构上，基本绝缘置于带电部分上并直接与带电部分接触；附加绝缘靠近易触及的金属零件或是使用者易触及的。按基本绝缘和附加绝缘的构成原则，处于同一劣化环境中，在同一部位上的由两种不同材料组成的不可分的绝缘，不能构成双重绝缘。对基本绝缘、附加绝缘、加强绝缘的要求并不意味着带电部分必须用固体绝缘物进行完全包封或隔开，也可以用空气隙来代替固体绝缘以达到绝缘目的。

5.3 电能的间接作用、外界因素危险防护的设计要求

5.3.1 电能间接作用危险防护

电气设备应能承受电能间接作用时因自身过载、短路而产生的过热、蒸汽、有害气体、爆炸、噪声、振动、旁邻设备的过热等。在设计上应考虑影响因素程度以及可能造成危险不同而采取不同的对应设计措施。

5.3.2 外界因素危险防护

电气设备应能承受外界诸如冲击、压力、潮湿、异物侵入等因素的作用。设计者应该仔细研究产品标准相关的要求。

5.4 机械危险防护的设计要求

5.4.1 外壳防护

电气设备应设计有一个坚固、连续、封闭的外壳或罩壳，以将带电零件、机械结构部分包封起来，防止异物进入和人体直接接触及带电部分和运动部件。外壳上允许有规定尺寸的开口，但其遮挡物不允许能被任意拆卸。

注：所谓不允许被任意拆卸，指的是用于防护的部件只能使用工具或钥匙才能将其移除。

一般情况下，外壳防护包括以下两种形式的防护：

- a) 防止人体触及或接近外壳内部的带电部分和触及运动部件（光滑的旋转轴和类似部件除外），防止固体异物进入外壳内部。
- b) 防止水进入外壳内部达到有害程度。

外壳防护的分类分级系统的代号由特征字母 IP 和两个特征数字组成，见 GB 4028。一般情况，只

有按规定完成相应的试验,并检验合格后,才能在产品上标注 IP 的标识。

5.4.2 机械危险防护

电气设备在防止机械危险保护的结构设计应满足:

- a) 外部不应有锐边、尖角和锋利凸出部分;
- b) 除作业工具外,外部运动零件应具有光滑表面;
- c) 旋转方向的改变会造成伤害的电气设备应标有永久的旋转方向标志;
- d) 外形和重心位置应使电气设备有足够稳定性,放置在地面、支架、托架、台座等上时不会受振动或其他外界的作用力而倾倒或跌落;
- e) 旋转速度超过规定值会造成危害的电气设备应设置限速机构或器件;
- f) 手持操作的电气设备要设置限制向操作者承受反作用力矩的机构,或在外形、结构、尺寸上能使操作者受到的反作用力矩限制在安全的数值范围内;
- g) 通断电源的开关位置 and 操作方法应使电气设备在不正常运行时能方便、及时切断电源,对无意误动作开启电气设备的电源会引起伤害事故的电源开关必须设计制造被接通前开关应有的两个单独的和不同的动作(例如某一开关,在它横向移去闭合触头以便开启电源之前,它必须先被按下);
- h) 外露运动部件,除工作需要必须暴露的部件外,都应设计可靠的保护,以防止操作者意外触及。

为适应运输在结构上应设置:

- a) 凡不能用手移动或搬运的电气设备应装置符合安全要求吊装装置;
- b) 运行时可拆卸的部件,如工具、夹具等由于质量太大而不能用手搬运时,则应标出质量数据,并指出是部件质量还是整机质量。

5.4.3 机械强度

电气设备的外部结构应有足够的机械强度,以保证电气设备在使用中不会由于操作疏忽而造成外壳破坏,或爬电距离、电气间隙减小到不允许的程度,甚至触及到带电零件。

5.5 电气连接和机械连接的设计要求

5.5.1 I类电气设备

设计应使当任何导线、螺钉、螺母、垫圈、弹簧及类似零件松动或从原来位置脱落时,不能造成易触及的金属零部件带电。

5.5.2 II类电气设备

设计应使当任何导线、螺钉、螺母、垫圈、弹簧及类似零件松动或从原来位置脱落时,不能造成附加绝缘或加强绝缘上的爬电距离和电气间隙减小到专业安全标准的规定的 50% 以下。

5.5.3 机械连接

设计上可采取的有效措施有:

- a) 采用弹簧垫圈、弹性垫片或止动垫圈等方法锁定螺钉、螺母;
- b) 采用粘结剂锁定不由使用者拧动的螺钉、螺母。

5.5.4 电气连接

5.5.4.1 为接通电路而进行的连接仅用弹簧垫圈进行锁定是不够的,设计时应注意导线可能从其连接处脱落的以下情况:

- a) 没有专门器件将导线在接线端子,焊接处附近固定;
- b) 用于连接导线在连接零件如螺钉、螺母、接插件、弹性类等无充分锁定的措施;
- c) 采用接线片,接插件或类似连接件的导线接头,连接件未将导线绝缘一起夹紧;
- d) 仅靠弹性件来连接的接头。

5.5.4.2 在满足下述情况的设计时,导线不会从其连接处脱落:

- a) 导线在连接处已被专门器件固定,固定器件可用弹簧垫圈防松;
- b) 导线被固定在接线端子上,而接线端子的连接件(螺钉、螺母等)松动等仍能留在原来位置,例如接线端子螺钉在连接后由其他零件压住进行锁定的方法;
- c) 短而硬的导线(单芯硬线)在接线端子连接件(螺钉、螺母等)松动时仍能在原来位置;
- d) 导线在焊接前已相互“钩住”。

5.5.4.3 对电气连接的螺钉材料、衬垫系统的设计应:

- a) 传递电气接触压力的螺钉应旋入金属中;
- b) 自切螺钉、自攻螺钉不采取特殊措施不宜用作电气连接;绝缘材料制成的螺钉不应用作任何电气连接;
- c) 接触压力不能通过易收缩减变形的绝缘材料传递,对机械连接应能承受正常使用中的机械应力;
- d) 螺钉不应用诸如锌、铝等软的或易蠕变的金属制造;
- e) 用绝缘材料制成的螺钉,其公称直径必须在 3 mm 以上。

5.5.4.4 电气连接的连接形式,插头和连接器、内部布线槽、电源线和接地芯线的颜色等连接要素设计应:

- a) 连接装置,例如配有插头的电源线,应具有防水保护的电源进线座,或具有防水保护的电缆耦合器及配套电源线,以及一组外接电源的接线端子等;
- b) 电源线不应低于普通橡胶护层或聚氯乙烯护层软线,电源插销不应连接多于一根的软线;
- c) 电源线中的绿/黄组合色芯线只能用作保护接地;
- d) 布线槽、金属件上供绝缘导线穿过的孔应光滑、无锐棱、应有效防止布线与运动件接触。

5.6 运行危险的防护设计要求

5.6.1 外露运动件危险防护

外露运动件是指外壳防护不能包容且在作业时必须使用的部件(例如刀具、刃具及其夹具等),以及工作时产生的金属屑、粉尘在离心力作用下形成的飞逸物。

外露的运动件危险防护设计的目的是防止电气设备运行时的危险控制在安全水平内。在设计时可采取专门的安全措施进行防护,使外露运动件发生意外的飞逸时,也不会危害人体。

外露运动件危险防护的手段主要有:

- a) 专用的防护罩壳;
- b) 排尘埃的装置;
- c) 防反弹保险;
- d) 超速自动保护,或限速系统;
- e) 过转矩保护。

设计者应注意研究一些专业安全标准的更细致的防护措施要求。例如防护罩(壳)的材料及厚度等。

5.6.2 噪声、振动和抗震

5.6.2.1 噪声

降低噪声对人员的影响,特别是对操作人员的影响是安全设计的重要目标。

噪声设计要依据规定的噪声限值和测量方法的规定进行。

降低噪声的设计往往会明显增加制造的成本,因此应优先考虑有针对性的设计。

5.6.2.2 振动

电气设备中旋转体的不平衡质量在运行时会产生振动和噪声,人们处于有振动介质的环境,或接触,或处在振动着的电气设备附近,振动通过立姿人的脚,坐姿人的臀部或斜靠姿人的手撑面,甚至直接手持或操作电气设备将振动传递施加于人体,前者使人在振动环境下会影响舒适性和工作效率。后者

将直接危及人的健康和安全。

在设计上,要从以下几个主要方面限制振动对人的影响:

- a) 振动强度:以加速度来描述,计量单位为 m/s^2 ;
- b) 振动频率:范围为 $8\text{ Hz}\sim 10\,000\text{ Hz}$ 。振动可能是周期性的,也可能是具有分布频谱的随机或非周期性,还可能为某频带范围内的连续冲击型激振;
- c) 振动方向:以心脏为原点,直角坐标系相应方向(X、Y、Z)上进行;
- d) 振动持续时间:指人体在振动环境中的连续暴露时间,它的限值与振动强度值有关。

其中振动强度限值的规定应遵循:

- a) 保持舒适性;
- b) 提高工作效率;
- c) 保障安全和健康。

设计者应该注意研究诸如以下内容:

- a) 舒适性降低限;
- b) 疲劳-工效降低限;
- c) 暴露限度。

5.6.2.3 抗震

抗震设计的目的是降低地震条件下对电气设备的影响,以及这种影响进而对人体的危害。

抗震设计要依据设计对象使用环境的地震情况和对地震破坏影响的估计。

5.6.3 防止过热和低温

电气设备外壳温度过高(过热)或过低(低温)易灼伤人体的皮肤,外壳的热辐射还会影响周围设备的安全运行,对此应有设计措施加以防护。

设计者应该研究电气设备外壳表面的功能状况,例如区分功能性热表面及其相邻的表面、过冷表面及其相邻的表面等,以针对不同的表面对人体伤害的影响大小提出设计上的措施。

设计者应该注意专业的标准对电气设备允许温升的规定,在设计上应避免过热对电气设备的损害或降低安全防护的水平。

5.6.4 防止运行时液体溢出

液体的溢出会使电气设备:

- a) 绝缘受潮而使绝缘电阻急剧下降,甚至击穿造成电击危险;
- b) 周围的环境变成良好的导电面,易造成周围操作人员受到电击危险;
- c) 内部或外部的金属零部件腐蚀、生锈。人体触及带腐蚀性的液体会危害健康和安全。

因此,在设计上应使电气设备正常工作时的液体会溢出,尤其对手持操作,或可移动操作的电气设备应特别地注意。

5.6.5 防止粉尘、蒸汽和气体危害

电气设备工作的介质以及在工作时产生的粉尘、蒸汽和气体的排放对环境有害,设计上应采取措施进行处理,变成无害后排放。

电气设备的工作介质应采用密封设计,防止泄漏而影响环境。

5.7 电能控制和危险防范的设计要求

5.7.1 电能的开、关和控制

5.7.1.1 电能的开、关和控制的设计应:

- a) 对手动,应保证开关的通、断位置清晰,采用图形、符号标记;
- b) 对自动或半自动开关和功能的过程控制,不允许有危险过程的重叠或交叉,必须设有联锁或限位装置,控制器即使损坏也不能危及过程控制和电能的开、关;
- c) 调节装置不能造成电气设备的运行或工作过程的无意误动作或跳闸。

5.7.1.2 在电气设备中如果装置有下述强制功能的专门技术手段的离合器或联锁机构,则可认为上述要求已能满足:

- a) 安全技术手段与工作或运行过程的起动一起动作;
- b) 工作或运行过程的起动,在安全技术手段生效后才动作;
- c) 在受到危害的时间内,接近危险区域时,工作和运行过程被强制切断。

5.7.2 自动切断电源

下列情况下,电气设备必须设计自动切断电源的开关或系统:

- a) 在危险情况下,操作开关不能快速和无危险地切断造成危险的运行;
- b) 有多个能造成危险的运动单元,且又不能通过一个共同的、快速和无危险的开关来切断电源;
- c) 切断某一个单元,会出现连带的危险;
- d) 从控制台上不能全面监视的电气设备。

5.7.3 紧急切断电源的开关或系统

紧急切断电源的开关或系统应设计为红色标志,且应分布在可能出现危险处。操作紧急切断电源的开关或系统的动作不允许危及电气设备的安全,且动作后必须手动将连接部分复位后电气设备才能进行起动。

5.7.4 专门安全措施

专门安全措施指电气设备在安装、检验、维修和保养时,察看危险区域或人体部分(例如手)伸进危险区域,电气设备不能发生误起动而采取的技术措施。可设计的措施主要有:

- a) 采取危险区域的机械保险和强制切断电气设备的控制或电能输入;
- b) 在“断开”位置用带屏蔽锁的多重锁闭的总开关;
- c) 控制或联锁元件直接位于危险位置,并且只能由此处封锁或开启运行;
- d) 可拔出的点火钥匙。

5.8 标志和说明书的设计要求

5.8.1 制造商提供的资料

作为安全信息的一部分,设计者应该将相关的、不能作为标准内容的设计信息和有关数据整理成随制造商供货的资料。这些资料(连同产品的样本)将成为视同供货合同的一部分,除非制造商和用户有专门的协议。

资料的内容可以是产品使用说明书的内容,也可以是产品样本内容,其一部分应在标志中给出。

注:产品样本的内容是设计和制造者的承诺,因此也视同供货合同的一部分。

涉及到电气设备安全的资料内容应包括:

- a) 制造商的名称或商标;
- b) 产品的设计型号或系列号;
- c) 符合的产品标准号;
- d) 安装、操作和维修条件;
- e) 正确使用的条件;
- f) 环境要求;
- g) 设备的额定值;
- h) 合格标记或认证标志;
- i) 接线端子的识别和标志;
- j) IP 代号;
- k) 对安全标志的说明;
- l) 用户对确保安全的责任的声明,例如对确保设备的保护接地连续性的声明。

5.8.2 标志

电气设备应以类型、批号、编号或其他信息加以区分,以使产品可供识别并可追溯到制造商。该识别信息应设计为可读且无法去除的标志标注在设备上。

设计者应满足用户尽可能从制造商获得全部资料,因此制造商的名称和商标及产品的设计型号或系列号必须标在产品上,最好是在铭牌上。

标志的设计必须采用中文,字体应持久、易识、清晰,符号、代号必须符合国家标准,且必须标出下列信息:

- a) 额定数据;
- b) 防电击类型(I、II、III类);
- c) 外壳防护等级(IP标志);
- d) 接线图(如果有);
- e) 型号,制造商名称和地址。

如果上述标注方法不可行,识别信息应设计在随产品的使用说明书中。

有关安全的标识符号见 GB/T 5465.2—2008。

5.8.3 使用说明书

随电气设备的使用说明书的设计应包含:

- a) 运行条件;
- b) 安装说明;
- c) 操作说明;
- d) 功能描述;
- e) 安全事项;
- f) 维护保养;
- g) 运输与贮存。

使用说明书还应包括对存在不明显的潜在风险提出适当的警告。

参 考 文 献

- [1] GB/T 1408.1—2006 绝缘材料电气强度试验方法 第1部分:工频下试验
 - [2] GB 14048.1—2006 低压开关设备和控制设备 第1部分:总则
 - [3] GB 19517 国家电气设备安全技术规范
 - [4] IEC 60068 环境试验
 - [5] IEC 60085 电气绝缘的耐热性评定和分级
 - [6] IEC 60216 确定电气绝缘材料耐热性的指南
 - [7] IEC 60664-4 低压系统内设备的绝缘配合 第4部分:高频电压应力的考虑
-