

第二章 电气安全技术

电气安全是与电能关联的安全。电气安全技术包括电能产生、电能转换、电能应用中的安全技术，也包括雷电、静电等非电能应用过程中的安全技术。

本章内容包括五节

第一节 电气事故及危害

第二节 触电防护技术

第三节 电气防火防爆技术

第四节 雷击和静电防护技术

第五节 电气装置安全技术

第一节电气事故及危害

包含两个主要内容：

一、电气事故

二、触电事故要素

不同形态的电能，不同应用电能的方式，不同电气设施，有着不同的危险因素，并可能带来不同的危害。

一、电气事故

电气事故包括人身事故和设备事故。两者都可能导致二次事故，且二者很可能同时发生。电气事故是与电能相关联的事故，电能失去控制将造成电气事故。按照电能的形态，电气事故分为触电事故、雷击事故、静电事故、电磁辐射事故和电路事故等。

(一) 触电事故

触电事故是由电流形态的能量造成的事故。触电事故分为电击和电伤。电击是电流直接通过人体造成的伤害。电伤是电流转换成热能、机械能等其他形态的能量作用于人体造成的伤害。

在触电伤亡事故中，尽管 85%以上的死亡事故是电击造成的，但其中大约 70%含有电伤的因素。

(二) 电气火灾爆炸事故

电气火灾爆炸事故是源自电气引燃源(电火花和电弧；电气装置危险温度)的能量所引发的火灾爆炸事故。

(三) 雷击事故

雷击事故是由自然界正、负电荷形态的能量，在强烈放电时造成的事故。

(四) 静电事故

静电事故是相对静止的正电荷和负电荷形态的电能造成的事故。

(五) 电磁辐射事故

电磁辐射事故是由电磁波形态的能量造成的事故。辐射电磁波指频率 100kHz 以上的电磁波。除无线电设备外，高频金属加热设备(如高频淬火设备、高频焊接设备)，高频介质加热设备(如高频热合机、绝缘物料干燥设备)也都是有辐射危险的设备。

(六) 电路事故

电路事故是由电能传递、分配、转换失去控制或电气元件损坏等电路故障发展所造成的事故。

断线、短路、接地、漏电、突然停电、误合闸送电、电气设备损坏等都属于电路故障。

二、触电事故要素

(一) 触电事故种类

1.电击

(1) 按照发生电击时电气设备的状态，电击分为直接接触电击和间接接触电击。

直接接触电击是触及正常状态带电体时(如误触接线端子)发生的电击，也称为正常状态下的电击。绝缘、屏护、间距等属于防止直接接触电击的安全措施。

间接接触电击是触及正常状态下不带电，而在故障状态下意外带电的带电体时（如触及漏电设备的外壳）发生的电击，也称为故障状态下的电击。接地、接零、等电位连接等属于防止间接接触电击的安全措施。

（2）按照人体触及带电体的方式和电流流过人体的途径，电击可分为单线电击、两线电击和跨步电压电击。

单线电击是人体站在导电性地面或接地导体上，人体某一部位触及带电导体由接触电压造成的电击。单线电击是发生最多的触电事故。其危险程度与带电体电压、人体电阻、鞋袜条件、地面状态等因素有关。

两线电击是不接地状态的人体某两个部位同时触及同电位的两个导体时由接触电压造成的电击。其危险程度主要决定于接触电压和人体电阻。

跨步电压电击是人体进入地面带电的区域时，两脚之间承受的跨步电压造成的电击。故障接地点附近（特别是高压故障接地点附近），有大电流流过的接地装置附近，防雷接地装置附近以及可能落雷的高大树木或高大设施所在的地面均可能发生跨步电压电击。

2.电伤

按照电流转换成作用于人体的能量的不同形式，电伤分为电弧烧伤、电流灼伤、皮肤金属化、电烙印、电气机械性伤害、电光眼等伤害。

电弧烧伤是由弧光放电造成的烧伤，是最危险的电伤。电弧温度高达 8000℃，发生弧光放电时，熔化了的炽热金属飞溅出来还会造成烫伤。高压电弧和低压电弧都能造成严重烧伤。高压电弧烧伤更严重。低压触电事故中，可能由于窒息时间过长使人致命。

电流灼伤是电流通过人体由电能转换成热能造成的伤害。电流越大、通电时间越长、电阻越大，电流灼伤越严重。

皮肤金属化是电弧使金属溶化、气化，金属微粒渗入皮肤造成的伤害电烙印是电流通过人体

后在人体与带电体接触的部位留下的永久性斑痕。

电气机械性伤害是电流作用于人体时,由于中枢神经强烈反射和肌肉强烈收缩等作用造成的机体组织断裂、骨折等伤害。

电光眼是发生弧光放电时,由红外线、可见光、紫外线对眼睛的伤害。

【例题】电击分为直接接触电击和间接接触电击。下列触电导致人遭到电击的状态中,属于直接接触电击的是()。

- A. 带金属防护网外壳的排风机漏电,工作人员触碰到排风机防护网而遭到电击
- B. 电动机线路短路漏电,工作人员触碰电动机时触电
- C. 泳池漏电保护器损坏,游客游泳过程中遭到电击
- D. 工作人员在起重臂上操作,起重机吊臂碰到 380V 架空线,挂钩工人遭到电击

答案:D

解析:直接接触电击指在电气设备或线路正常运行条件下,人体直接接触了设备或线路的带电部分所形成的电击,如 D 选项所述情形。间接接触电击指在设备或线路故障状态下,原本正常情况下不带电的设备外露可导电部分或设备以外的可导电部分变成了带电状态,人体与上述故障状态下带电的可导电部分触及而形成的电击,如 A、B、C 选项所述情形。

(二) 电流对人体的作用

1. 电流对人体作用的生理反应

小电流对人体的作用主要表现为生物学效应,给人以不同程度的刺激,使人体组织发生变异。

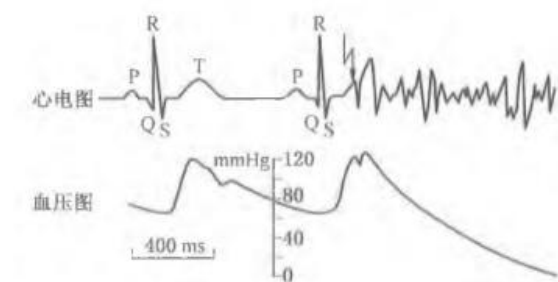
电流还可能通过中枢神经系统起作用。因此,当人体触及带电体时,一些没有电流通过的部位也会发生强烈反应,甚至重要器官的正常工作会受到影响。

电流通过人体,会引起麻感、针刺感、打击感、痉挛、疼痛、呼吸困难、血压异常、昏迷、心律不齐、窒息、心室纤维性颤动等症状。

数十至数百毫安的小电流通过人体短时间使人致命的最危险的原因是引起心室纤维性颤动。

发生心室纤维性颤动时，心脏每分钟颤动 1000 次以上，但幅值很小，而且没有规则，血液实际上中止循环，如抢救不及时，数秒钟至数分钟将由诊断性死亡转为生物性死亡。

下图左半部是正常时的心电图和血压图；图右半部是发生心室纤维性颤动后的心电图和血压图。心室纤维性颤动是在心电图上 T 波的前半部发生的。



电流的瞬时作用引起的心室纤维性颤动，呼吸可能持续 2 ~ 3min。在其丧失知觉之前，有时还能叫喊几声、有的还能跑几步。但是，由于血液已中止循环，大脑和全身迅速缺氧，病情将急剧恶化。

2. 电流对人体作用的影响因素

电流对人体伤害严重程度电流大小、持续时间、电流通过人体的途径、电流种类以及人体状况等多种因素有关。各影响因素之间，特别是电流大小与通电时间之间有着十分密切的关系。

50Hz 是人们接触最多的频率，对于电击来说也是最危险的频率。

1) 电流大小的影响

按照人体所呈现的不同状态，将通过人体的电流划分为三个阈值。

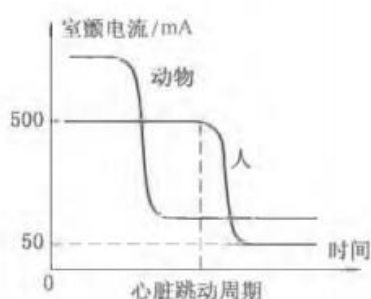
(1) 感知电流，轻微麻感和微弱针刺感，一般不对人体构成生理伤害。感知概率为 50% 的平均感知电流，成年男子约为 1.1mA，成年女子约为 0.7mA。最小感知电流约为 0.5mA，且与时间无关。

(2) 摆脱电流。电流增大到一定程度时，刺痛感觉增强，由于中枢神经反射，触电人将因肌

肉强烈收缩，发生痉挛而紧抓带电体。在一定概率下，人触电后能自行摆脱带电体的最大电流称为该概率下的摆脱电流。摆脱电流与个体生理特征、电极形状、电极尺寸等因素有关。摆脱概率为 50%的摆脱电流，成年男子约为 16mA,成年女子约为 10.5mA；摆脱概率为 99.5%，则分别约为 9mA 和 6mA。摆脱电流是人体可以忍受但一般尚不致造成严重后果的极限。超过摆脱电流后，会感到异常痛苦和难以忍受；时间过长，可能昏迷、窒息，甚至死亡。

(3)室颤电流。通过人体引起心室发生纤维性颤动的最小电流称为室颤电流。在电流不超过数百毫安的情况下，电击致命的主要原因是心室纤维性颤动。室颤电流除决定于电流持续时间、电流途径、电流种类等电气参数外，还决定于机体组织、心脏功能等个体特征。

室颤电流与电流持续时间有很大关系。如图所示，当电流持续时间超过心脏跳动周期时，人的室颤电流约为 50mA；当电流持续时间短于心脏跳动周期时，室颤电流约为 500mA。当电流持续时间在 0.1s 以下时，只有电击发生在心脏易损期 500mA 以上乃至数安的电流才可能引起心室纤维性颤动；如果电流持续时间超过心脏跳动周期，可能导致心脏停止跳动。



室颤电流与电流持续时间的关系曲线

对于从左手到双脚的电流途径,《电流对人和家畜的效应第 1 部分：通用部分》规范推荐按下图划分电流对人体作用的带域。

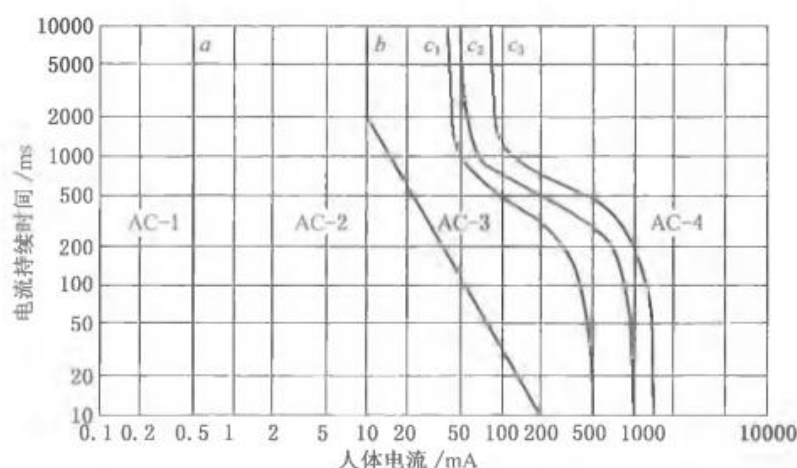
图中：

AC-1 区：a 线以下，无生理效应，没有感觉的带域；

AC-2 区：a 线与 b 线之间，有感觉，但没有有害的生理效应的带域；

AC-3 区：b 线与 c1 线之间，没有机体损伤、不发生心室纤维性颤动，但可能引起肌肉收缩和呼吸困难，可能引起心脏组织和心脏脉冲传导障碍，还可能引起心房颤动以及转变为心脏停止跳动等可复性病理效应的带域；

AC-4 区：c1 线以上，除 AC-3 区各项效应外，还有心室纤维性颤动危险的带域。其中，c1 线上 500mA、100ms 点相应于心室纤维性颤动的概率为 0.14%；c2 线相应于心室纤维性颤动的概率为 5%；c3 线相应于心室纤维性颤动的概率为 50%。相应于 AC-4 区内的电流和时间，还可能引起呼吸中止、心脏停止跳动、严重烧伤等病理效应。b 线不是摆脱电流，但与摆脱电流有一定的关系。



电流对人体作用带域划分图

2) 电流持续时间的影响

电击持续时间越长，越容易引起心室纤维性颤动，即电击危险性越大。其原因有四：

(1) 电流持续时间越长，积累局外电能越多，室颤电流明显减小。

(2) 心脏跳动周期中，只有相应于心脏收缩与舒张之交 0.1 ~ 0.2s 的 T 波对电流最敏感。心脏跳动的这一特定时间间隔即心脏易损期。电击持续时间延长，必然重合心脏易损期，电击危险性增大。

(3)电击持续时间延长，人体电阻因出汗、击穿、电解而下降，电流增大，危险性增大。

(4)电击持续时间越长时，中枢神经反射越强烈，电击危险性越大。

3)电流途径的影响

人体在电流的作用下，没有绝对安全的途径。电流通过心脏会引起心室纤维性颤动乃至心脏停止跳动而导致死亡；电流通过中枢神经，会引起中枢神经强烈失调而导致死亡；电流通过头部，会使人昏迷，严重损伤大脑，使人不醒而死亡；电流通过脊髓会使人截瘫；电流通过人的局部肢体也可能引起中枢神经强烈反射导致严重后果。心脏是最薄弱的环节。流过心脏的电流越多，且电流路线越短的途径是电击危险性越大的途径。

下表所列心脏电流系数可用于判断不同电流途径下心室纤维性颤动的危险性。从左手至脚的电流途径为参照途径，其相应的心脏电流系数为 1。左手至胸部途径的心脏电流系数为 1.5，是最危险的途径。另外，头至手、头至脚也是很危险的电流途径；左脚至右脚的电流途径也有相当的危险，而且这条途径还可能使人站立不稳而导致电流通过全身。

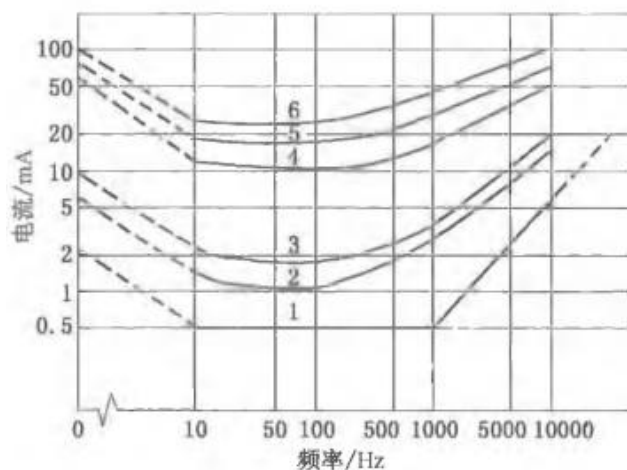
心脏电流系数

电流途径	心脏电流因数	电流途径	心脏电流因数
左手至脚	1.0	右手至背部	0.3
右手至脚	0.8	左手至胸部	1.5
左手至右手	0.4	右手至胸部	1.3
左手至背部	0.7	手至臀部	0.7

4)电流种类的影响

不同种类的电流对人的危险程度不同，但各种电流都有致命的危险。

(1)100Hz 以上交流电流的作用。感知电流、摆脱电流与频率的关系也可按下确定。曲线 1、2、3 为感知电流曲线，相应的感知概率分别为 0.5%、50%、99.5%；曲线 4、5、6 为摆脱电流曲线，响应的摆脱概率分别为 99.5%、50%、0.5%。



感知电流、摆脱电流与频率的关系曲线

(2)直流电流的作用。直流电流对人体的刺激作用是随电流的变化，特别是与电流的接通和断开联系在一起。直流电流感知阈值约为 2mA。300mA 以下的直流电流，没有确定的摆脱阈值；300mA 以上的直流电流，将导致不能摆脱或数秒至数分钟以后才能摆脱带电体，并能使人昏迷。电流持续时间超过心脏跳动周期时，直流室颤电流为交流的数倍；电流持续时间 200ms 以下时，直流室颤电流与交流大致相同。

(3)冲击电流的作用。冲击电流系指作用时间 0.1 ~ 10ms 的电流。冲击电流有感知阈值、疼痛界限和室颤阈值，没有摆脱阈值。疼痛界限和室颤阈值常用比能量 I^2t 表示。冲击电流作用的室颤阈值为 0.01 ~ 0.02A²·s。

5)个体特征的影响

身体健康、肌肉发达者摆脱电流较大。患有心脏病、中枢神经系统疾病、肺病的人电击后的危险性较大。精神状态和心理因素对电击后果也有影响。女性的感知电流和摆脱电流约为男性的 2/3。儿童遭受电击后的危险性较大。

(三) 人体阻抗

1.人体阻抗组成

人体阻抗是由皮肤、血液、肌肉、细胞组织及其结合部所组成的，是含有电阻和电容的阻抗。

人体电阻是皮肤电阻与体内电阻之和。皮肤由外层的表皮和表皮下面的真皮组成。表皮最外层的角质层是由鳞状死细胞紧密排列成的膜状物，厚度一般不超过 0.05~0.2mm。在干燥和干净的状态下，角质层的电阻率可达 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6 \Omega \cdot m$ ；表皮电阻高达数万欧。但表皮有很多微孔保持内外相通，而且容易受到机械破坏和电击穿，计算人体电阻时一般不予考虑。体内电阻数百欧。

在通电瞬间，人体各部电容由于尚未充电而相当于短路状态。此时的人体电阻近似等于体内电阻。

2.人体电阻范围

干燥条件下，接触电压在 100~220V 范围内时，人体电阻大致在 2000~3000 Ω 之间。

3.人体电阻影响因素

随着接触电压升高，人体电阻急剧降低。其原因之一是角质层和表皮被击穿，人体电阻下降。

其原因之二是随着电流增加，皮肤局部发热增加，汗腺增多，使人体电阻下降。

皮肤状态对人体电阻的影响很大。如皮肤长时间湿润、大量出汗后、金属粉、煤粉等导电性物质污染皮肤、角质层或表皮破损等，也会明显降低人体电阻。

接触面积增大、压力增大、温度升高，人体电阻也会降低。人体电阻还与个体特征有关。

(四) 触电事故分析

为防止触电事故，必须认真进行触电事故调查工作，找出触电事故发生的规律。对于每一触电事故，包括未遂事故在内，均应仔细调查。调查工作应在事故发生后立即进行；事故报告未填写完毕以前，应保护事故现场，除移去受害人之外，不得做任何变动。应及时记录发生事故的时间、地点、发生事故的设备情况、生产环境、周围空间和地面等关联情况均应记录清楚。特别是事故发生的详细经过应记录清楚。

根据对触电事故的分析，从发生率上看，可找到触电事故有以下规律：

- (1)错误操作和违章作业造成的触电事故多。教育、措施、安全意识不足。
- (2)中、青年工人、非专业电工、合同工和临时工触电事故多。经常接触电气设备；经验不足，缺乏用电安全知识，责任心不强。
- (3)低压设备触电事故多。低压设备远远多于高压设备，接触的人多，而且多数是缺乏电气安全知识的非电专业人员。应当注意，近几年来高压触电事故有增加的趋势；在专业电工中，高压触电事故多于低压触电事故。
- (4)移动式设备和临时性设备触电事故多。人的紧握之下运行，电阻小，一旦触电就难以摆脱电源；设备和电源线都容易发生故障或损坏。
- (5)电气连接部位触电事故多。连接部位机械牢固性较差、绝缘强度较低。
- (6)每年 6—9 月触电事故多。
- (7)潮湿、高温、混乱、多移动式设备、多金属设备环境中的事故多。例如，冶金、矿业、建筑、机械等行业容易存在这些不安全因素，乃至触电事故较多。
- (8)农村触电事故多。主要原因是农村设备条件较差、技术水平较低和安全知识不足。
- 另外，很多触电事故都不是由单一原因，而是多重原因造成的。

【例题】根据能力转移论的观点，电气危险因素是由于电能非正常状态形成的。触电是电气危险因素之一，触电分为电击和电伤两种伤害形式。下列关于电击、电伤的说法中，错误的是（ ）。

- A．大部分触电死亡既有电击的原因也有电伤的原因
- B．电击是电流直接作用于人体或电流转换为其他形态的能力作用于人体造成的伤害
- C．电伤是电流直接作用于人体造成的伤害
- D．电击都发生在低压电气设备上，电伤都发生在高压设备上
- E．单纯的电伤不会致人死亡

答案：BCDE

解析：电击是电流通过人体，刺激机体组织造成的伤害，电伤是电流的热效应、化学效应、机械效应等人体所造成的伤害，电伤在低压和高压设备中都可能发生，电伤能致人死亡。

第二节触电防护技术

包含三个主要内容：

一、绝缘、屏护和间距

二、保护接地和保护接零

三、双重绝缘、安全电压和漏电保护

一、绝缘、屏护和间距

(一) 绝缘

绝缘是用绝缘物把带电体封闭起来。电气设备的绝缘应符合电压等级、环境条件和使用条件的要求。

1. 绝缘材料

1) 绝缘材料分类

电工绝缘材料分为：

(1) 固体绝缘材料，包括瓷、玻璃、云母、石棉等无机绝缘材料，橡胶、塑料、纤维制品等有机绝缘材料和玻璃漆布等复合绝缘材料。

(2) 液体绝缘材料，包括矿物油、硅油等液体。

(3) 气体绝缘材料，包括六氟化硫、氮等气体。

2) 绝缘材料性能

绝缘材料有电性能、热性能、力学性能、化学性能、吸潮性能、抗生物性能等多项性能指标。

(1) 电性能。作为绝缘结构，主要性能是绝缘电阻、耐压强度、泄漏电流和介质损耗。

电阻率是相应于漏导电流，也就是相应于在稳定直流状态下材料所表现的电阻率。固体绝缘材料的漏导电流有两条途径：体积途径和表面途径。与前者对应的是体积电阻率,单位是 $\Omega\cdot m$ ；与后者对应的是表面电阻率，单位是 Ω 。

介电常数是表明绝缘极化（理想绝缘体不带电荷，极化则出现自由电荷）特征的性能参数。介电常数越大，极化过程越慢。

绝缘电阻是判断绝缘质量最基本、最简易的指标。绝缘物受潮后绝缘电阻明显降低。

(2)力学性能。绝缘材料的力学性能指强度、弹性等性能。

(3)热性能。绝缘材料的热性能包括耐热性能、耐弧性能、阻燃性能、软化温度和黏度。

绝缘材料的耐热性能用允许工作温度来衡量。按照耐热性能，绝缘材料的分级见下表。

级别	允许工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	材 料 举 例
Y	90	纸板、有机填料、塑料、木材、棉花及其纺织品
A	105	层压布板、沥青漆、漆布、漆包线的绝缘、浸渍过的 Y 级绝缘材料
E	120	玻璃布、油性树脂漆、耐热漆包线的绝缘
B	130	高强度漆包线的绝缘、石棉纤维、玻璃纤维、聚酯漆、聚酯薄膜
F	155	云母制品、石棉、玻璃漆布、复合硅有机树脂漆
H	180	玻璃漆布、硅有机弹性体、石棉布、补强的云母
C	>180	电瓷、石英、玻璃

绝缘材料的耐弧性能指接触电弧时表面抗炭化的能力。无机绝缘材料的耐弧性能优于有机绝缘材料的耐弧性能。

绝缘材料的阻燃性能用氧指数表示。氧指数是在规定的条件下，材料在氧、氮混合气体中恰好能保持燃烧状态所需要的最低氧浓度。氧指数用百分数表示。

氧指数	材料可燃性分类
小于 21%	可燃材料
21%-27%	自熄性材料
大于 27%	阻燃性材料

阻燃性材料应能保证短路电弧熄灭后或外部火源熄灭后不再继续燃烧 ;而且在一定的火焰温度 (750-800℃)下 ,经过一定的时间 (1.5-2h),最里面的绝缘层仍有足够的绝缘能力维持通电。阻燃性绝缘材料可以抑制火灾的蔓延 ,具有减缓、终止有焰燃烧和抑制无焰燃烧的作用。

软化温度是指固体绝缘在较高温度下维持不变形的能力。黏度指绝缘液体的流动性。

(4)吸潮性能。吸潮性能包括吸水性能和亲水性能。

吸水性材料	能吸水	木材
非吸水性材料	不能吸水	玻璃
亲水性材料	表面能凝结水膜	玻璃
非亲水性材料	表面不能凝结水膜	蜡、聚四氟乙烯

(5)抗生物性能。抗生物性能是材料抵御霉菌等生物性破坏的能力。

2.绝缘破坏

绝缘材料受到电气、高温、潮湿、机械、化学、生物等因素的作用时均可能遭到破坏，并可归纳为以下三种破坏方式：

1)绝缘击穿

当施加于绝缘材料上的电场强度高于临界值时，绝缘材料发生破裂或分解，电流急剧增加，完全失去绝缘性能。这种现象就是绝缘击穿。

类别	击穿形式	形成原因	绝缘恢复程度
气体	电击穿	由碰撞电离导致，气体的平均击穿场强随着电场不均匀程度的增加而下降。	击穿后绝缘性能很快恢复
液体	电击穿	纯净液体的击穿也是由碰撞电离最后导致，击穿强度比气体高	液体绝缘击穿后，绝缘性能只

	热击穿	含有杂质的液体,电场使得杂质极化,形成“小桥”。小桥引起电导剧增,局部温度骤升,最后将导致热击穿	在一定程度上得到恢复。
固体	电击穿	碰撞电离导致,特点是作用时间短、击穿电压高	固体绝缘击穿后将失去其原有性能
	热击穿	固体绝缘温度上升、局部熔化、烧焦或烧裂导致的击穿,特点是电压作用时间较长,而击穿电压较低	
	电化学击穿	由于电离、发热和化学反应等因素综合作用造成的击穿,特点是电压作用时间很长、击穿电压往往很低	
	放电击穿	在强电场作用下,内部气泡首先发生碰撞电离而放电,继而加热其他杂质,使之气化形成气泡,由气泡放电进一步发展导致的击穿	

为保证绝缘质量,液体绝缘使用前须经过纯化、脱水、脱气处理;除受杂质影响外,还受湿度、电压作用时间、电场均匀程度等因素的影响。

固体绝缘还可能发生沿绝缘固体与气体分界面的所谓沿面放电。当沿面放电发展到另一电极时称之为闪络。固体绝缘的击穿受电压作用时间、电场均匀程度、湿度、电极几何形状、周围媒质特征、电压种类等多种因素的影响。

2)绝缘老化

老化是绝缘材料在运行过程中受到热、电、光、氧、机械力、微生物等因素的长期作用,发生一系列不可逆的物理化学变化,导致电气性能和机械性能的劣化。

3)绝缘损坏

损坏是指绝缘材料受到外界腐蚀性液体、气体、蒸气、潮气、粉尘的污染和侵蚀，以及受到外界热源、机械力、生物因素的作用，失去电气性能、力学性能的现象。

3.绝缘检测

绝缘检测包括绝缘试验和外观检查。现场绝缘试验指绝缘电阻试验。外观检查主要是绝缘机构物理性能的观察和检查。包括是否受潮，表面有无粉尘、纤维或其他污物，有无裂纹或放电痕迹，表面光泽是否减退，有无破损，弹性是否消失，运行时有无异味等项目。

【例题】人体发生带电事故，通常分为电击和电伤两种。下列关于电击和电伤的说法中，错误的是（ ）。

- A.电击是电流直接通过人体对人体的器官造成伤害的现象，严重时可能致人死亡
- B.电伤是因电能转换成的热能引起的伤害，通常伤害程度较电击更轻，不能导致死亡
- C.绝大多数的触电事故造成的伤害中，既有电击又有电伤
- D.电击事故中，最主要的对人体造成伤害的因素是电流

答案：B

解析：电伤包括电烧伤、电烙印、皮肤金属化、机械损伤、电光性眼炎等多种伤害。电流灼伤是指人体与带电体接触，电流通过人体时，因电能转换成的热能引起的伤害。电伤同样是非常严重的伤害，可以导致人的死亡。

(二) 屏护和间距

1.屏护

屏护是采用护罩、护盖、栅栏、箱体、遮栏等将带电体同外界隔绝开来。屏护的安全作用是防止触电、防止短路及短路火灾、防止被机械破坏以及便于安全操作。

固定式屏护装置所用材料应有足够的力学强度和良好的耐燃性能。网眼屏护装置的网眼不应

大于 20mm×20mm ~ 40mm×40mm。

屏护装置须符合以下安全条件：

- (1)遮栏高度不应小于 1.7m，下部边缘离地面高度不应大于 0.1m。户内栅栏高度不应小于 1.2m；户外栅栏高度不应小于 1.5m。
- (2)对于低压设备，遮栏与裸导体的距离不应小于 0.8m，栏条间距离不应大于 0.2m；网眼遮栏与裸导体之间的距离不宜小于 0.15m。
- (3)屏护装置应安装牢固。凡用金属材料制成的屏护装置，必须接地（或接零）。
- (4)屏护装置上应根据被屏护对象挂上“止步！高压危险!”“禁止攀登!”等标示牌。
- (5)遮栏出入口的门上应根据需要安装信号装置和联锁装置。前者一般用灯光或仪表指示有电；后者是采用专门装置，当人体将要越过屏护装置时，被屏护装置自动断电。

2.间距

间距是将可能触及的带电体置于可能触及范围之外，与屏护的安全作用基本相同。安全距离的大小决定于电压高低、设备类型、环境条件和安装方式等因素。架空线路的间距须考虑气温、风力、覆冰及环境条件的影响。架空线路导线与地面和水面的距离，符合下表要求。

导线与地面和水面的最小距离（m）

线 路 经 过 地 区	线 路 电 压		
	≤1 kV	10 kV	35 kV
居民区	6	6.5	7
非居民区	5	5.5	6
不能通航或浮运的河、湖（冬季水面）	5	5	5.5
不能通航或浮运的河、湖（50 年一遇的洪水水面）	3	3	3
交通困难地区	4	4.5	6
步行可以达到的山坡	3	4.5	5
步行不能达到的山坡、峭壁或岩石	1	1.5	3

架空线路应避免跨越建筑物，不应跨越可燃材料屋顶的建筑物。架空线路必须跨越建筑物时，应与有关部门协商并取得同意。架空线路导线与建筑物的距离不应小于下表所列数值。

导线与建筑物的最小距离（m）

线路电压/kV	≤1	10	35
垂直距离/m	2.5	3.0	4.0
水平距离/m	1.0	1.5	3.0

架空线路导线与街道树木或厂区树木的距离不应小于下表所列数值。但与绿化区或公园树木的距离不得小于 3m。

导线与树木的最小距离（m）

线路电压/kV	≤1	10	35
垂直距离/m	1.0	1.5	3.0
水平距离/m	1.0	2.0	—

架空线路应与有爆炸危险的厂房和有火灾危险的厂房保持必需的防火间距。

架空线路断线接地时，为防止跨步电压伤人，在离接地点 4～8m 范围内，不能随意进入。

在低压作业中，人体及其所携带工具与带电体的距离不应小于 0.1m。在 10kV 作业中，无遮栏时，最小距离不应小于 0.7m；有遮栏时，遮栏与带电体之间的距离不应小于 0.35m。

在架空线路进行起重工作时，起重机具（包括被吊物）与线路导线之间最小距离见下表。

起重机具与线路导线的最小距离

线路电压/kV	≤1	10	35
最小距离/m	1.5	2	4

【例题】电气火灾造成的损失在全部火灾中占据首要位置。电气设备的危险温度电火花及电弧是引起电气火灾的直接原因。下列电气线路和电气设备的状态中，可能引起电气火灾的是（ ）。

- A.绝缘电线表面温度达到 50℃
- B.电线绝缘层内导体（芯线）受到损伤后有效截面变小
- C.运行中电动机的温度和温升都达到额定值
- D.白炽灯泡表面烫手

答案：B

解析：电线绝缘层内导体（芯线）受到损伤后有效截面变小，会导致局部过热或断路，从而引起放电火花，相比较其他三种情况，更容易引起电气火灾。

二、保护接地和保护接零

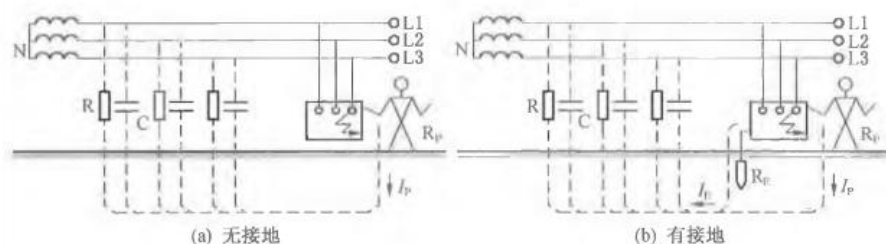
(一)接地保护

接地保护和接零保护都是防止间接接触电击的基本技术措施。这两种技术措施还与低压系统的防火性能有关。

1.IT 系统

IT 系统即保护接地系统。

1)IT 系统安全原理



图（a）所示是在不接地配电网中，三相设备的一相碰连外壳时的示意图。图（b）中， R 是各相对地绝缘电阻，为 $M\Omega$ 级的电阻； C 是各相对地分布电容，范围是 $0.006 \sim 0.06\mu F/km$ ； R_P 是人体电阻； R_E 是接地电阻。如各相对地绝缘阻抗对称，则运用戴维南定理可以求得无接地时和有接地时的人体电压分别为：

$$\dot{U}_P = \frac{3 \dot{U} R_P}{3 R_P + Z} \quad \text{和} \quad \dot{U}_{PE} = \frac{3 \dot{U} (R_E // R_P)}{3 (R_E // R_P) + Z} \approx \frac{3 \dot{U} R_E}{3 R_E + Z}$$

式中 \dot{U} ——相电压

\dot{U}_P ——无接地时的人体电压

\dot{U}_{PE} ——有接地时的人体电压

Z ——各相对地绝缘阻抗，即 R 与 C 的并联阻抗

如配电网各相对地电压为 220V，各相对地绝缘电阻可视为无限大，各相对地电容均为 0.55 μF ，人体电阻为 2000Ω ，在无接地情况下可按上式求得人体电压 $U_P=158.3\text{V}$ 。说明尽管流过人体的电流经过绝缘阻抗形成回路，但在线路较长的低压配电网中，单相电击的危险性依然存在。

在设备有接地的情况下，由于 $R_E \ll R_P$ ，结果将大不一样。如有 $R_E=4\Omega$ ，则人体电压降低为 $U_{PE}=4.6\text{V}$ ，危险性基本消除。

将在故障情况下可能呈现危险对地电压的金属部分经接地线、接地体同大地连接起来，把故障电压限制在安全范围以内的做法就是保护接地。这种系统就 IT 系统。字母 I 表示配电网不接地或经高阻抗接地，字母 T 表示电气设备外壳直接接地。

应当指出，只有在不接地配电网中，由于单相接地电流较小，才有可能通过保护接地把漏电设备故障对地电压限制在安全范围之内。

2) 保护接地应用范围和基本要求

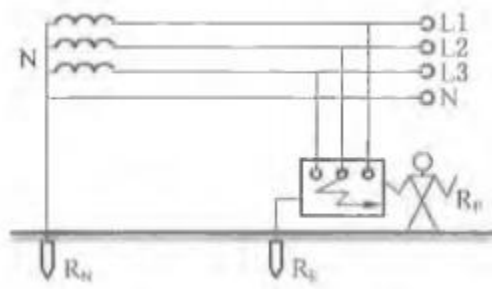
保护接地适用于各种不接地配电网。在这类配电网中，凡由于绝缘损坏或其他原因而可能呈现危险电压的金属部位，除另有规定外，均应接地。

在 380V 不接地低压配电网中，为限制设备漏电时外壳对地电压不超过安全范围，一般要求保护接地电阻 $R_E \leq 4\Omega$ 。当配电变压器或发电机的容量不超过 $100\text{kV}\cdot\text{A}$ 时，可以放宽到 $R_E \leq 10\Omega$ 。

2. TT 系统

下图所示为三相星形连接的低压中性点直接接地的三相四线配电网。这种配电网能提供一组线电压和一组相电压，便于动力和照明由同一台变压器供电。这种配电网的优点是过电压防护性能较好、一相故障接地时单相电击的危险性较小、故障接地点比较容易检测。中性点引出的 N 线称为中性线。由于 N 线的作用是与任一相线一起提供 220V 的工作电压，而且是

与零电位大地连起来的，因而 N 线也称为工作零线。中性点的接地 R_N 称为工作接地。



接地的配电网中发生单相电击时，人体承受的电压接近相电压。也就是说，在接地的配电网中，单相电击的危险性比不接地的配电网单相电击的危险性大。

设备外壳采取了接地措施。这种做法类似不接地配电网中的保护接地，但由于电源中性点是直接接地的，结果与 IT 系统大不相同。这种配电防护系统称为 TT 系统。

第一个字母 T 表示的就是电源是直接接地的。这时，如有一相漏电，则故障电流主要经接地电阻 R_E 和工作接地电阻 R_N 构成回路，一般情况下， $R_E \ll R_P$ ，漏电设备对地电压即人体电压近似为 $U_P \approx R_E U / (R_E + R_N)$ ，这一电压与没有接地时接近相电压的对地电压比较，已明显降低，但由于 R_E 和 R_N 同在一个数量级，漏电设备对地电压一般不能降低到安全范围以内。

另一方面，由于故障电流 I_E 经 R_E 和 R_N 成回路， R_E 和 R_N 都是欧姆级的电阻， I_E 不可能太大，一般的短路保护不起作用，不能及时切断电源，使故障长时间延续下去。

只有在采用其他防止间接接触电击的措施有困难的条件下才考虑采用 TT 系统。

采用 TT 系统时，应当保证在允许故障持续时间内漏电设备的故障对地电压不超过某一限值。

为此，在 TT 系统中应装设能自动切断漏电故障的漏电保护装置（剩余电流保护装置）或具有同等功能的过电流保护装置，并优先采用前者。

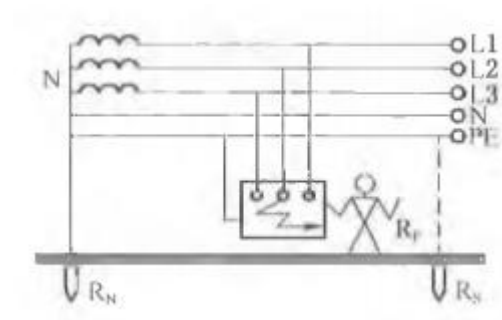
TT 系统主要用于低压用户，即用于未装备配电变压器，从外面直接引进低压电源的小型用户。

(二) 接零保护

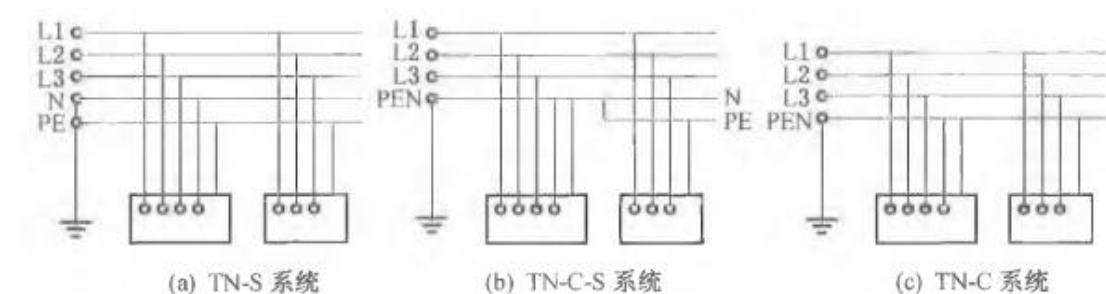
1. 保护接零系统安全原理和类别

保护接零系统就是 TN 系统。TN 系统中的字母 N 表示电气设备在正常情况下不带电的金属部分与配电网中性点（N 点）之间做金属性连接，亦即与配电网保护零线（保护导体）的直接连接。

保护接零系统的原理如下图所示，当设备某相带电体碰连设备外壳(外露导电部分)时，通过设备外壳形成该相对保护零线的单相短路，短路电流促使线路上的短路保护迅速动作，从而将故障部分断开电源，消除电击危险。此外，保护接零也能在一定程度上降低漏电设备对地电压。



TN 系统分为 TN-S、TN-C-S、TN-C 三种方式。如下图所示，TN-S 系统是保护零线与中性线完全分开的系统；TN-C-S 系统是干线部分的前一段保护零线与中性线共用，后一段保护零线与中性线分开的系统；TN-C 系统是干线部分保护零线与中性线完全共用的系统。



在 TN 系统中，中性线用 N 表示，专用的保护线用 PE 表示，共用的保护线与中性线用 PEN 表示。

2. TN 系统速断和限压要求

除速断保护的作用外，保护接零也能降低漏电设备对地电压。在相--零线短路情况下，漏电设备对地电压 U_E 为短路电流在保护零线上产生的电压降，即 $U_E = I_{SS} Z_{PE}$ （ I_{SS} 为单相短路电流， Z_{PE} 为保护线阻抗）。一般情况下，欲将漏电设备对地电压 U_E 限制在某一安全范围内是困难的。

在接零系统中，对于配电线路或仅供给固定式电气设备的线路，故障持续时间不宜超过 5s；对于供给手持式电动工具、移动式电气设备的线路或插座回路，电压 220V 者故障持续时间不应超过 0.4s，380V 者不应超过 0.2s。否则，应采取能将故障电压限制在许可范围之内的等电位连接措施。配电线路或仅供给固定式电气设备的线路之所以放宽规定是因为这些线路不常发生故障，而且接触的可能性较小，即使触电也比较容易摆脱。

为了实现保护接零要求，可以采用一般过电流保护装置或剩余电流保护装置。

3. 保护接零应用范围

保护接零用于中性点直接接地电压 0.23/0.4kV 的三相四线配电网。在保护接零系统中，凡因绝缘损坏而可能呈现危险对地电压的金属部分均应接零。

TN-S 系统可用于有爆炸危险，或火灾危险性较大，或安全要求较高的场所，宜用于有独立附设变电站的车间。TN-C-S 系统宜用于厂内设有总变电站，厂内低压配电的场所及非生产性楼房。TN-C 系统可用于无爆炸危险、火灾危险性不大、用电设备较少、用电线路简单且安全条件较好的场所。

在接地的三相四线配电网中，应当采取接零保护。但在现实中，往往会发现如图所示的接零系统中有个别设备只接地、不接零的情况，即在 TN 系统中个别设备构成 TT 系统的情况。

这时，如果采用了接地保护的设备漏电，该设备和保护零线（含所有接零设备）对地电压分别为 $U_E = R_E U / (R_E + R_N)$ 和 $U_N = U - U_E = R_N U / (R_E + R_N)$ 。这里， R_E 是该设备的接地电

阻， R_N 是工作接地与零线上所有接地电阻的并联值。这时 U_E 和 U_N 都可能是危险电压，而且故障电流不太大，短路保护元件往往不能动作切断电源，危险状态将在大范围内持续存在。因此，除非接地的设备装有快速切断故障的自动保护装置（如漏电保护装置），不得在 TN 系统中混用 TT 方式。

4.重复接地

重复接地指 TN 系统中 PE 线或 PEN 线上除工作接地以外其他点的再次接地。重复接地的作用：

- (1)减轻零线断开或接触不良时电击的危险性。
- (2)降低漏电设备的对地电压。接零也有降低故障对地电压的作用。如果接零设备有重复接地，则故障电压进一步降低。
- (3)改善架空线路的防雷性能。架空线路零线上的重复接地对雷电流有分流作用，有利于限制雷电过电压。
- (4)缩短漏电故障持续时间。因为重复接地和工作接地构成零线的并联分支，所以当发生短路时能增大单相短路电流，加速线路保护装置的动作，切断电路。

5.工作接地

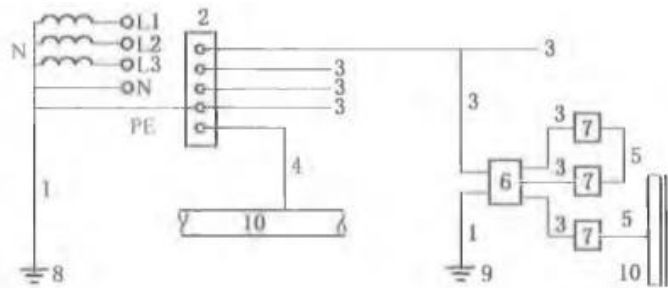
工作接地指配电网在变压器或发电机中性点的接地。工作接地的主要作用是减轻各种过电压的危险。在配电系统发生一相故障接地的情况下，如有工作接地一般可限制中性线对地电压一般不超过 50V、非接地相对地电压不超过 250V。

6.等电位连接

等电位连接指保护导体与建筑物的金属结构、生产用的金属装备以及允许用作保护线的金属管道等用于其他目的的不带电导体之间的连接。

等电位连接是保护接零系统的组成部分，如图所示。总开关柜内保护导体端子排与自然导体

之间的连接称为主等电位连接。总开关柜以下，保护导体连接到配电箱或用电设备。为了提高保护接零的可靠性，可将其与自然导体之间再进行连接。



1—接地线；2—PE 线端子排；3—PE 线；4—主等电位连接线；5—辅助等电位连接线；
6—配电箱；7—用电设备；8—工作接地；9—重复接地；10—可连接的自然导体

主等电位连接导体的最小截面积不得小于最大保护导体截面积的 $1/2$ ，且不得小于 6mm^2 。

两台设备之间局部等电位连接导体的最小截面积不得小于两台设备保护导体中较小者的截面积。设备与设备外导体之间的局部等电位连接线的截面积不得小于该设备保护零支线截面积的 $1/2$ 。

(三) 保护导体和接地装置

1. 保护导体

1) 保护导体组成

保护导体包括保护接地线、保护接零线和等电位连接线。保护导体分为人工保护导体和自然保护导体。

交流电气设备应优先利用建筑物的金属结构、生产用的起重机的轨道、配线的钢管等自然导体作保护导体。在低压系统，允许利用不流经可燃液体或气体的金属管道作保护导体。

人工保护导体可以采用多芯电缆的芯线、与相线同一护套内的绝缘线、固定敷设的绝缘线或裸导体等。

2) 保护导体截面积

为满足导电能力、热稳定性、力学稳定性、耐化学腐蚀的要求，保护导体必须有足够的截面

积。当保护线与相线材料相同时，按教材表 2-8 选取；如果保护线与相线材料不同，可按相应的阻抗关系折算。

除应用电缆芯线或金属护套作保护线者外，采用单芯绝缘导线作保护零线时，有机械防护的不得小于 2.5mm^2 ；没有机械防护的不得小于 4mm^2 。

3)相-零线回路检测

相-零线回路检测包括保护零线完好性、连续性检查和相-零线回路阻抗测量。测量相-零线回路阻抗是为了检验接零系统是否符合规定的速断要求。

2.接地装置

接地装置是接地体（极）和接地线的总称。运行中的电气设备的接地装置应当始终保持在良好状态。

1)自然接地体和人工接地体

自然接地体是用于其他目的，但与土壤保持紧密接触的金属导体。例如，埋设在地下的金属管道（有可燃或爆炸性介质的管道除外）等金属导管等。当自然接地体的接地电阻符合要求时，可不敷设人工接地体（发电厂和变电所除外）。自然接地体至少应有两根导体在不同地点与接地网相连（线路杆塔除外）。为了保证足够的力学强度，并考虑到防腐蚀的要求，钢质接地体的最小尺寸参见教材表 2-9。

2)接地线

交流电气设备应优先利用自然导体作接地线。不得利用蛇皮管、管道保温层的金属外皮或金属网以及电缆的金属护层作接地线。

3)接地装置安装

为了减小自然因素对接地电阻的影响，接地体上端离地面深度不应小于 0.6m （农田地带不应小于 1m ），并应在冰冻层以下。接地体宜避开人行道和建筑物出入口附近。接地体的引出导

体应引出地面 0.3m 以上。接地体离独立避雷针接地体之间的地下水平距离不得小于 3m；离建筑物墙基之间的地下水平距离不得小于 1.5m。

接地装置应尽量避免敷设在腐蚀性较强的地带。

接地线与铁路或公路的交叉处及其他可能受到损伤处，均应穿管或用角钢保护。接地线穿过墙壁、楼板、地坪时，应敷设在明孔、管道或其他坚固的保护管中。接地线与建筑物伸缩缝、沉降缝交叉时，应弯成弧状或另加补偿连接件。

采取网络接地时还应当注意防止高电位引出和低电位引入的可能性。因为网络可能呈现较高的对地电压，如将网络内高电位引出，则可能在网络外造成触电危险；如将网络外低电位引入，则可能在网络内造成触电危险。

4)接地装置连接

接地装置地下部分的连接应采用焊接，并应采用搭焊，不得有虚焊。

利用建筑物的钢结构、起重机轨道、工业管道等自然导体作接地线时，其伸缩缝或接头处应另加跨接线，以保证连续可靠。自然接地体与人工接地体之间的连接必须可靠。

接地线与管道的连接可采用螺纹连接或抱箍螺纹连接，但必须采用镀锌件，以防止锈蚀。

【例题】在触电危险性较大的环境中，应使用 TN-S 系统（保护接零系统），其用电设备的金属外壳除须连接保护导体（PE 线）外，还应与（ ）妥善连接。

- A. 低压系统接地（低压工作接地）
- B. 防雷接地
- C. 等电位导体
- D. 防静电接地

答案：C

解析：等电位联结是指保护导体与建筑物的金属结构、生产用的金属装备以及允许用作保护

线的金属管道等用于其他目的的不带电导体之间的联结，以提高 TN 系统的可靠性。通过构成等电位环境的方法，将环境内的接触电压和跨步电压限制在安全范围内，从而防止电气事故的发生。

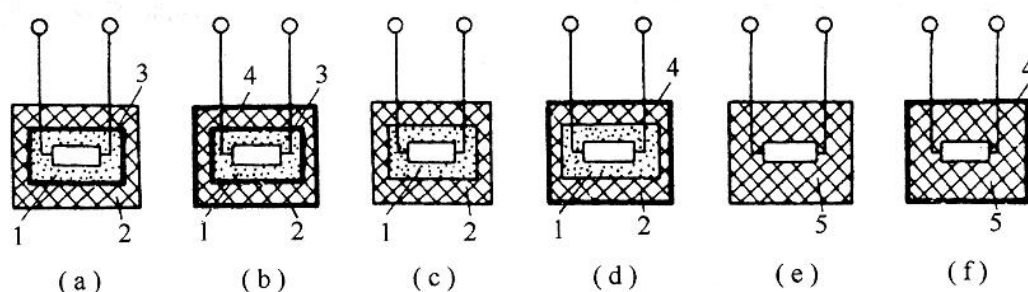
三、双重绝缘、安全电压和漏电保护

(一) 双重绝缘

双重绝缘属于防止间接接触电击的安全技术措施。

1. 双重绝缘结构

双重绝缘是强化的绝缘结构，包括双重绝缘和加强绝缘两种类型。双重绝缘指工作绝缘（基本绝缘）和保护绝缘（附加绝缘）。前者是带电体与不可触及的导体之间的绝缘，是保证设备正常工作和防止电击的基本绝缘；后者是不可触及的导体与可触及的导体之间的绝缘，是当工作绝缘损坏后用于防止电击的绝缘。加强绝缘是具有与上述双重绝缘相同绝缘水平的单一绝缘。



1—工作绝缘；2—保护绝缘；3—不可触及的金属件；4—可触及的金属件；5—加强绝缘

具有双重绝缘的电气设备属于 II 类设备。按其外壳特征，II 类设备分为 3 种类型，有绝缘外壳基本上连成一体的设备、金属外壳基本上连成一体的设备和兼有部分绝缘外壳和部分金属外壳的设备。

2. 双重绝缘的基本条件

II 类设备的绝缘电阻用 500V 直流电压测试。工作绝缘的绝缘电阻不得低于 $2\text{M}\Omega$ ，保护绝

缘的绝缘电阻不得低于 $5\text{M}\Omega$ ，加强绝缘的绝缘电阻不得低于 $7\text{M}\Omega$ 。

II 类设备的外壳应有足够的绝缘水平和力学强度，外壳上的盖、窗必须使用工具才能打开。

II 类设备在其明显部位应有“回”形标志。

凡属双重绝缘的设备，不得再行接地或接零。

（二）安全电压

安全电压是在一定条件下、一定时间内不危及生命安全的电压。根据欧姆定律，可以把加在人身上的电压限制在某一范围之内，使得在这种电压下，通过人体的电流不超过特定的允许范围。这一电压就叫作安全电压。

提到 3 种安全电压，即安全特低电压(SELV)、保护特低电压(PELV)和功能特低电压(FELV)。

安全电压属既能防止间接接触电击也能防止直接接触电击的安全技术措施。具有依靠安全电压供电的设备属于 III 类设备。

1.安全电压限值和额定值

1) 限值

安全电压限值是在任何情况下，任意两导体之间都不得超过的电压值。中国标准规定，工频安全电压有效值的限值为 50V ，直流安全电压的限值为 120V 。

对于电动儿童玩具及类似电器，当接触时间超过 1s 时，推荐干燥环境中工频安全电压有效值的限值取 33V ，直流安全电压的限值取 70V ；潮湿环境中工频安全电压有效值的限值取 16V ，直流安全电压的限值取 35V 。

2) 额定值

我国规定工频有效值的额定值有 42V 、 36V 、 24V 、 12V 和 6V 。凡特别危险环境使用的手持电动工具应采用 42V 安全电压的 III 类工具；凡有电击危险环境使用的手持照明灯和局部照明灯应采用 36V 或 24V 安全电压；金属容器内、隧道内、水井内以及周围有大面积接地

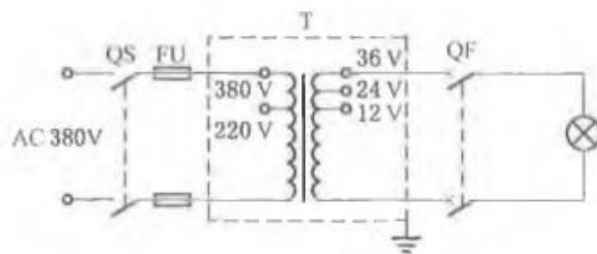
导体等工作地点狭窄、行动不便的环境应采用 12V 安全电压；6V 安全电压用于特殊场所。

当电气设备采用 24V 以上安全电压时，必须采取直接接触电击的防护措施。

2.安全电源及回路配置

1)安全电源

通常采用安全隔离变压器作为特低电压的电源。安全隔离变压器的一次线圈与二次线圈之间有良好的绝缘；其间还可用接地的屏蔽隔离开来。特低电压边均应与高压边保持双重绝缘的水平。



一般用途的单相安全隔离变压器的额定容量不应超过 10kV·A，三相的不应超过 16kV·A。

电铃用变压器的额定容量不应超过 100V·A。玩具用变压器的额定容量不应超过 200V·A。

安全隔离变压器应具有耐热、防潮、防水及抗振的结构。

安全隔离变压器各部分绝缘电阻应满足教材中表 2-10 的要求。

当环境温度为 35℃，安全隔离变压器正常使用时，金属材料握持部分的温升不得超过 20K，其他材料的温升不得超过 40K。对于不被持续握持的外壳，分别不得超过 25K 和 50K。

I 类电源变压器可能触及的金属部分必须接地（或接零）。其电源线中，应有一条专用的黄绿相间颜色的保护线。II 类电源变压器不采取接地（或接零）措施，没有接地端子。

2)回路配置

安全电压回路的带电部分必须与较高电压的回路保持电气隔离，并不得与大地、保护接零（地）线或其他电气回路连接。但变压器外壳及其一、二次线圈之间的屏蔽隔离层应按规定接地或接零。

安全电压的配线最好与其他电压等级的配线分开敷设。否则，其绝缘水平应与共同敷设的其他较高电压等级配线的绝缘水平一致。

3)插销座

安全电压设备的插销座不得带有接零或接地插头或插孔。为了防止与其他电压的插销座有插错的可能，特低电压应采用不同结构的插销座，或者在其插座上有明显的标志。

4)短路保护

安全隔离变压器的一次边和二次边均应装设短路保护元件。

5)功能特低电压

如果电压值与安全电压值相符，而由于功能上的原因，电源或回路配置不完全符合特低电压的要求，则称之为功能特低电压。其补充安全要求是，装设必要的屏护或加强设备的绝缘，以防止直接接触电击；当该回路与一次边保护零线或保护地线连接时，一次边应装设防止电击的自动断电装置，以防止间接接触电击。其他要求与特低电压相同。

(三) 电气隔离和不导电环境

电气隔离和不导电环境都属于防止间接接触电击的安全技术措施。

1.电气隔离

电气隔离指工作回路与其他回路实现电气上的隔离。其安全原理是在隔离变压器的二次边构成了一个不接地的电网，阻断在二次边作的人员单相电击电流的通路。电气隔离的回路必须符合以下条件：

(1)电源变压器必须是隔离变压器。与安全隔离变压器一样，隔离变压器的输入绕组与输出绕组没有电气连接，并具有双重绝缘的结构。单相隔离变压器的额定容量不应超过 25kV·A，三相隔离变压器的额定容量不应超过 40kV·A。隔离变压器的空载输出电压交流不应超过 1000V。隔离变压器的其他要求与安全隔离变压器相同。

(2)二次边保持独立。为保证安全，被隔离回路不得与其他回路及大地有任何连接。对于二次边回路线路较长者，应装设绝缘监视装置。

(3)二次边线路要求。二次边线路电压过高或二次边线路过长，都会降低这种措施的可靠性。

按照规定，应保证电源电压 V 名 500V 时线路长度 L 在 200ra、电压与长度的乘积 $UL \leq 100000V \cdot m$ ，

(4)等电位连接。为了防止隔离回路中两台设备不同相线漏电时的故障电压带来的危险，各台设备的金属外壳之间应采取等电位连接措施。

2.不导电环境

不导电环境是指地板和墙都用不导电材料制成，即大大提高了绝缘水平的环境。不导电环境必须符合以下安全要求：

(1)电压 500V 及以下者，地板和墙每一点的电阻不应低于 $50k\Omega$ ；电压 500V 以上者不应低于 $100k\Omega$ 。

(2)保持间距或设置屏障，防止人体在工作绝缘损坏后同时触及不同电位的导体。

(3)具有永久性特征。

(4)为了保持不导电特征，场所内不得有保护零线或保护地线。

(5)有防止场所内高电位引出场所范围外和场所外低电位引入场所范围内的措施。

(四) 漏电保护

漏电保护装置主要用于防止间接接触电击和直接接触电击。用于防止直接接触电击时，只作为基本防护措施的补充保护措施。漏电保护装置也可用于防止漏电火灾，以及用于监测一相接地故障。

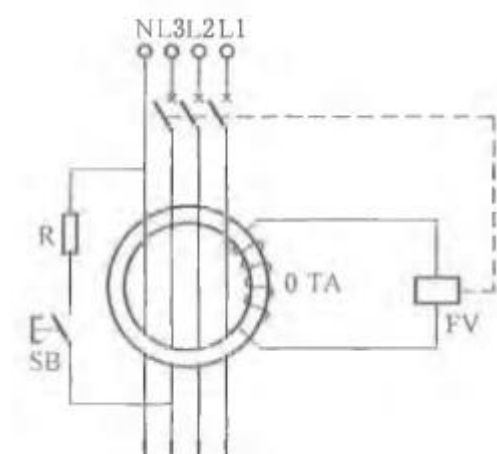
按照动作原理，漏电保护装置分为电压型和电流型两类；按照有无电子元器件，分为电子式和电磁式两类；按照极数，分为二极、三极和四极漏电保护装置等。

1.漏电保护原理

电压型漏电保护装置以设备上的故障电压为动作信号,电流型漏电保护装置以漏电电流或触电流为动作信号。动作信号经处理后带动执行元件动作,促使线路迅速分断。

电流型漏电保护通常指剩余电流型漏电保护。这种漏电保护装置采用零序电流互感器作为取得触电或漏电信号的检测元件。

电磁式电流型漏电保护的原理如图所示。这种保护装置以极化电磁铁 FV 作为中间机构。这种电磁铁由于有永久磁铁而具有极性,而且在正常情况下,永久磁铁的吸力克服弹簧的拉力使衔铁保持在闭合位置。三条相线和一条中性线穿过环形的零序电流互感器 OTA 构成互感器的一次边,与极化电磁铁 FV 连接的线圈构成互感器的二次边。设备正常运行时,互感器一次边电流在其铁芯中产生的磁场互相抵消,互感器二次边不产生感应电动势,电磁铁不动作。设备发生漏电或后方有人触电时,出现额外的零序电流(即剩余电流),互感器二次边产生感应电动势,电磁铁线圈中有电流流过,并产生交变磁通。这个交变磁通与永久磁铁的磁通叠加,产生去磁作用,使吸力减小,衔铁被反作用弹簧拉开,电磁铁动作,并通过开关设备断开电源。图中,SB、R 支路是检查支路,SB 是检查按钮,R 是限流电阻。



电磁式漏电保护装置结构简单、承受过电流或过电压冲击的能力较强;但其灵敏度不高,而且工艺难度较大。在检测元件后方增设电子环节,即构成电子式漏电保护装置。电子式漏电

保护装置灵敏度很高、动作参数容易调节，但其可靠性较低、承受电磁冲击的能力较弱。

2.漏电保护装置的动作参数

电流型漏电保护装置的主要动作参数是动作电流和动作时间。电流型漏电保护装置的动作参数应符合教材中表 2-11 和表 2-12 的要求。

电流型漏电保护装置的动作电流可分为 0.006A、0.01A、0.015A、0.03A、0.05A、0.075A、0.1A、0.2A、0.3A、0.5A、1A、3A、5A、10A、20A 等 15 个等级。其中，30mA 及 30mA 以下的属高灵敏度，主要用于防止触电事故；30mA 以上、1000mA 及 1000mA 以下的属中灵敏度，用于防止触电事故和漏电火灾；1000mA 以上的属低灵敏度，用于防止漏电火灾和监视一相接地故障。为了避免误动作，保护装置的额定不动作电流不得低于额定动作电流的 1/2。

漏电保护装置的动作时间指动作时最大分断时间。漏电保护装置的动作时间应根据保护要求确定。按照动作时间，漏电保护装置有快速型、定时限型和反时限型之分。延时型只能用于动作电流 30mA 以上的漏电保护装置，其动作时间可选为 0.2s、0.8s、1s、1.5s 和 2s。

防止触电的漏电保护装置宜采用高灵敏度、快速型装置。

3.漏电保护装置的安装和运行

1)安装

属于 I 类的移动式电气设备及手持式电动工具；生产用的电气设备；施工工地的电气机械设备；安装在户外的电气装置；临时用电的电气设备；机关、学校、宾馆、饭店、企事业单位和住宅等除壁挂式空调电源插座外的其他电源插座或插座回路；游泳池、喷水池、浴池的电气设备；安装在水中的供电线路和设备；医院中可能直接接触人体的电气医用设备等均必须安装漏电保护装置。

对于公共场所的通道照明电源和应急照明电源、消防用电梯及确保公共场所安全的电气设

备、用于消防设备的电源（如火灾报警装置、消防水泵、消防通道照明等）、用于防盗报警的电源，以及其他不允许突然停电的场所或电气装置的电源，漏电时立即切断电源将会造成其他事故或重大经济损失。在这些情况下，应装设不切断电源的报警式漏电保护装置。

从防止触电的角度考虑，使用特低电压供电的电气设备、一般环境条件下使用的具有双重绝缘或加强绝缘结构的电气设备、使用隔离变压器且二次侧为不接地系统供电的电气设备，以及其他没有漏电危险和触电危险的电气设备可以不安装漏电保护装置。

2)误动作和拒动作

误动作是指漏电保护装置在线路或设备未发生预期的触电或漏电时的动作。拒动作是指发生预期动作的触电或漏电时保护装置拒绝动作。误动作和拒动作都会影响漏电保护装置正常运行。

第三节 电器防火防爆技术

包含五个主要内容：

一、电气引燃源

二、危险物质和爆炸危险环境

三、爆炸危险区域

四、防爆电气设备和防爆电气线路

五、电气防火防爆技术

电气火灾约占全部火灾总数的 30%。电气火灾和爆炸除可能造成人身伤亡和设备毁坏外，还可能造成大规模、长时间停电，给国家财产造成重大损失。

一、电气引燃源

电气引燃源包括电气装置的危险温度和发生在可燃物上的电火花和电弧。

(一) 危险温度

由于不存在 100%的效率，电气设备运行时总是要发热的。电气设备稳定运行时，其最高温度和最高温升都不会超过允许范围；当电气设备的正常运行遭到破坏时，发热量增加，温度升高，乃至产生危险温度。

危险温度 产生原因	短路	短路时，线路中电流增大为正常时的数倍乃至数十倍
	接触不良	接触部位是电路的薄弱环节。如：接头连接不牢、焊接不良或接头处夹有杂物；可拆卸的接头连接不紧密或由于振动而松动；不同种类导体连接处，二者理化性能不同。
	过载	严重过载或长时间过载都会产生危险温度
	铁芯过热	对于电动机、变压器、接触器等带有铁芯的电气设备，如铁芯短路，或线圈电压过高，或通电后铁芯不能吸合
	散热不良	散热管堵塞、通风道堵塞、安装位置不当、环境温度过高
	漏电	漏电电流一般不大，不能促使线路熔丝动作。当漏电电流集中在某一点时，可能引起比较严重的局部发热
	机械故障	电动机被卡死或轴承损坏、缺油，造成堵转或负载转矩过大
	电压过高或过低	对于恒定电阻的负载，还会使电流增大，增加发热；电压过低，除使电磁铁吸合不牢或吸合不上外，还会使电流增大
	电热器具和照明 灯具	电炉、电烘箱、电熨斗、电烙铁、电褥子等电热器具和照明器具的工作温度较高。

电炉电阻丝的工作温度高达 800℃,100W 白炽灯泡表面温度高达 170 ~ 220℃,1000W 卤钨灯表面温度高达 500 ~ 800℃等。如果这些发热部件紧贴可燃物或离可燃物太近，极易引燃

成灾。

白炽灯泡灯丝温度高达 2000 ~ 3000℃，当灯泡爆碎时，炽热的钨丝落到可燃物上，也会引起可燃物质燃烧。

灯座内接触不良会造成过热，日光灯镇流器散热不良也会造成过热，都可能引燃成灾。

(二) 电火花和电弧

电火花是电极间的击穿放电；大量电火花汇集起来即构成电弧。电火花的温度很高，特别是电弧，温度高达 8000℃。因此，电火花和电弧不仅能引起可燃物燃烧，还能使金属熔化、飞溅，构成二次引燃源。

电火花分为工作火花和事故火花。工作火花指电气设备正常工作或正常操作过程中产生的电火花。例如，控制开关、断路器、接触器接通和断开线路时产生的火花；插销拔出或插入时产生的火花；直流电动机的电刷与换向器的滑动接触处、绕线式异步电动机的电刷与滑环的滑动接触处产生的火花等。

事故火花是线路或设备发生故障时出现的火花。例如，电路发生短路；熔丝熔断时；连接点松动或线路断开时等。还包括由外部原因产生的火花。如雷电火花、静电火花和电磁感应火花。

二、危险物质和爆炸危险环境

(一) 危险物质的性能参数和分级分组

爆炸性物质、可燃气体、可燃液体、自燃物质、遇水燃烧物质、氧化剂属于有火灾和爆炸危险的物质。这种能与空气形成爆炸性混合物的爆炸危险物质分为三类：I 类是矿井甲烷；II 类是爆炸性气体、蒸气、薄雾；III 类是爆炸性粉尘、纤维。

危险物质的主要性能参数包括：

主要性能	闪点	在规定的试验条件下，易燃液体能释放出足够的蒸气并在液
------	----	----------------------------

参数		面上方与空气形成爆炸性混合物 ,点火时能发生闪燃的最低温度。
	燃点	燃点是物质在空气中点火时发生燃烧 ,移开火源仍能继续燃烧的最低温度。对于闪点不超过 45℃的易燃液体 ,燃点仅比闪点高 1 ~ 5℃ ,一般只考虑闪点 ,不考虑燃点
	引燃温度	又称自燃点或自燃温度 ,是在规定试验条件下 ,可燃物质不需外来火源即发生燃烧的最低温度。
	爆炸极限	爆炸浓度极限和爆炸温度极限。通常所指的都是爆炸浓度极限。该极限是指在一定的温度和压力下 ,气体、蒸气、薄雾或粉尘、纤维与空气形成的能够被引燃并传播火焰的浓度范围。
	最小点燃电流比	最小点燃电流比的代号为 MICR,是在规定试验条件下 ,气体、蒸气、薄雾爆炸性混合物的最小点燃电流与甲烷爆炸性混合物的最小点燃电流之比。
	最大试验安全间隙	最大试验安全间隙的代号为 MESG ,是衡量爆炸性物质传爆能力的性能参数 ,是在规定试验条件下 ,两个经长 25mm 的间隙连通的容器 ,一个容器内燃爆不引起另一个容器内燃爆的最大连通间隙
	机械故障	电动机被卡死或轴承损坏、缺油 ,造成堵转或负载转矩过大
	电压过高或过低	对于恒定电阻的负载 ,还会使电流增大 ,增加发热 ;电压过低 ,除使电磁铁吸合不牢或吸合不上外 ,还会使电流增大
	电热器具和照明	电炉、电烘箱、电熨斗、电烙铁、电褥子等电热器具和照明

	灯具	器具的工作温度较高。
--	----	------------

引燃温度

爆炸性气体、蒸气、薄雾按引燃温度分为 6 组。其相应的引燃温度范围见表。

组 别	T1	T2	T3	T4	T5	T6
引燃温度/℃	> 450	$450 \geq T > 300$	$300 \geq T > 200$	$200 \geq T > 135$	$135 \geq T > 100$	$100 \geq T > 85$

爆炸极限

爆炸极限范围的最低浓度称为爆炸下限，最高浓度称为爆炸上限。例如,甲烷的爆炸极限为 5%~15%,汽油的为 1.4%~7.6%，乙炔的为 1.5%~82%等。

最小点燃电流比

气体、蒸气、薄雾按最小点燃电流比分级下表。

级别	I	IIA	IIB	IIC
最小点燃电流比	1.0	$\leq 1.0, > 0.8$	$\leq 0.8, > 0.45$	≤ 0.45

除最小点燃电流外，还经常用到最小引燃能量。最小引燃能量是在试验条件下，能使爆炸性混合物燃爆所需最小电火花的能量。例如，甲烷的最小引燃能量为 0.33mJ,乙炔的为 0.02mJ 等。

6.最大试验安全间隙

气体、蒸气、薄雾爆炸性混合物按最大试验安全间隙分级见教材表 2-15。爆炸性气体的分类、分级、分组举例见下表。

类和级	最大试验安全间隙 MESG	最小点燃 电流比 MICR	组别及引燃温度/℃					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
			$T > 450$	$300 < T \leq 450$	$200 < T \leq 300$	$135 < T \leq 200$	$100 < T \leq 135$	$85 < T \leq 100$
II A	0.9 ~ 1.14	0.8 ~ 1.0	甲烷、乙烷、丙烷、丙酮、氯苯、苯乙烯、氯乙烯、甲苯、苯胺、甲醇、一氧化碳、乙酸乙酯、乙酸、丙烯腈	丁烷、乙醇、丙烯、丁醇、乙酸丁酯、乙酸戊酯、乙酸酐	戊烷、己烷、庚烷、癸烷、辛烷、汽油、硫化氢、环己烷	乙醚、乙醛		亚硝酸乙酯
II B	0.5 ~ 0.9	0.45 ~ 0.8	二甲醚、民用煤气、环丙烷	环氧乙烷、环氧丙烷、丁二烯、乙烯	异戊二烯			
II C	≤ 0.5	≤ 0.45	水煤气、氢、焦炉煤气	乙炔			二硫化碳	硝酸乙酯

在爆炸性粉尘环境中粉尘分为以下三级：

IIIA 级：可燃性飞絮。

IIIB 级：非导电性粉尘。

IIIC 级：导电性粉尘。

(二) 爆炸危险环境

为了正确选用电气设备和电气线路，必须正确划分所在环境危险区域的大小和级别。

1. 气体、蒸气爆炸危险环境

根据爆炸性气体、蒸气混合物出现的频繁程度和持续时间将此类危险场所分为 0 区、1 区和 2 区。

0 区	正常运行时持续出现或长时间出现或短时间频繁出现爆炸性气体、蒸气或薄雾，能形成爆炸性混合物的区域。除了装有危险物质的封闭空间，如密闭的容器、储油罐等内部气体空间外，很少存在 0 区
1 区	正常运行时可能出现(预计周期性出现或偶然出现)爆炸性气体、

	蒸气或薄雾，能形成爆炸性混合物的区域
2 区	正常运行时不出现，即使出现也只可能是短时间偶然出现爆炸性气体、蒸气或薄雾，能形成爆炸性混合物的区域

危险区域的级别和大小受释放源特征、通风条件、危险物质性质等因素的影响。

2.粉尘、纤维爆炸危险环境

根据爆炸性粉尘、纤维混合物出现的频繁程度和持续时间将此类危险场所分为 20 区、21 区和 22 区。

20 区	空气中的可燃性粉尘云持续或长期或频繁地出现于爆炸性环境中的区域
21 区	在正常运行时，空气中的可燃性粉尘云很可能偶尔出现于爆炸性环境中的区域
22 区	在正常运行时，空气中的可燃粉尘云一般不可能出现于爆炸性粉尘环境中的区域，即使出现，持续时间也是短暂的

粉尘、纤维爆炸危险区域的级别和大小受粉尘量、粉尘爆炸极限和通风条件等因素影响。

【例题】爆炸危险场所电气设备的类型必须与所在区域的危险等级相适应。因此，必须正确划分区域的危险等级。对于气体、蒸气爆炸危险场所，正常运行时预计周期性出现或偶然出现爆炸性气体、蒸气或薄雾的区域应将其危险等级划为（ ）区。

- A.0 B.1
- C.2 D.20

答案：B

解析：正常运行时，连续或长时间出现或短时间频繁出现爆炸性气体、蒸气或薄雾的区域是

0 区。正常运行时，可能出现（预计周期性出现或偶然出现）爆炸性气体、蒸气或薄雾的区域是 1 区。正常运行时不出现，即使出现也只可能是短时间偶然出现爆炸性气体、蒸气或薄雾的区域是 2 区。

三、爆炸危险区域

（一）气体、蒸气爆炸危险环境

1. 释放源和通风条件对区域危险等级的影响

释放源是划分爆炸危险区域的基础。释放源分为连续释放、长时间释放或短时间频繁释放的连续级释放源；正常运行时周期性释放或偶然释放的一级释放源；正常运行时不释放或不经常且只能短时间释放的二级释放源。很多现场还存在上述两种以上特征的多级释放源。

通风情况是划分爆炸危险区域的重要因素。通风分为自然通风、一般机械通风和局部机械通风等类型。良好的通风标志是混合物中危险物质的浓度被稀释到爆炸下限的 1/4 以下。

划分危险区域时，应综合考虑释放源和通风条件，并应遵循下列原则：

(1) 存在连续级释放源的区域可划为 0 区，存在第一级释放源的区域可划为 1 区，存在第二级释放源的区域可划为 2 区。

(2) 如通风良好，应降低爆炸危险区域等级；如通风不良，应提高爆炸危险区域等级。

(3) 局部机械通风在降低爆炸性气体混合物浓度方面比自然通风和一般机械通风为有效时，可采用局部机械通风降低爆炸危险区域等级。

(4) 在障碍物、凹坑和死角处，应局部提高爆炸危险区域等级。

(5) 利用堤或墙等障碍物，限制比空气重的爆炸性气体混合物的扩散小爆炸危险区域的范围。

2. 危险区域的范围

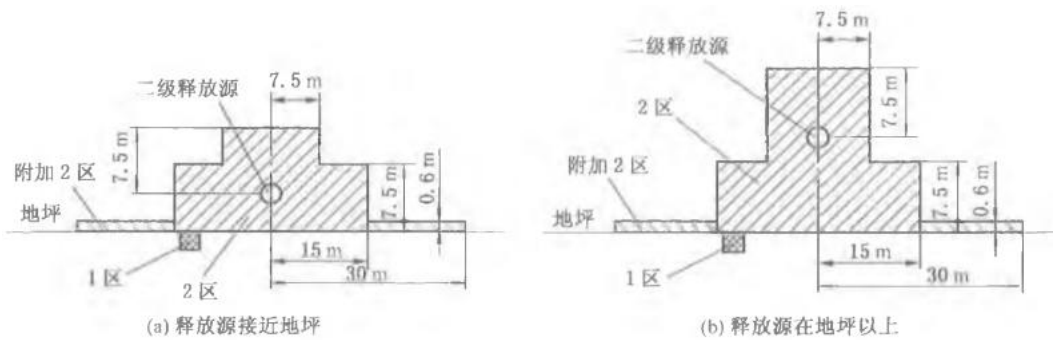
爆炸危险区域的范围应根据释放源的级别和位置、易燃物质的性质、通风条件、障碍物及生产条件、运行经验，经技术经济比较综合确定。

危险区域范围的大小受很多因素的影响。当危险物质释放量越大、浓度越高、爆炸下限越低、闪点越低、温度越高、通风越差时，爆炸危险区域越大。

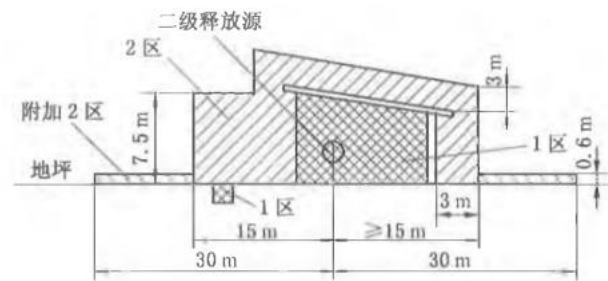
在建筑物内部，宜以厂房为单位划定爆炸危险区域的范围；如果厂房内空间大，释放源释放的易燃物质量少，可按厂房内部分空间划定爆炸危险的区域范围。

3.爆炸危险区域划分举例

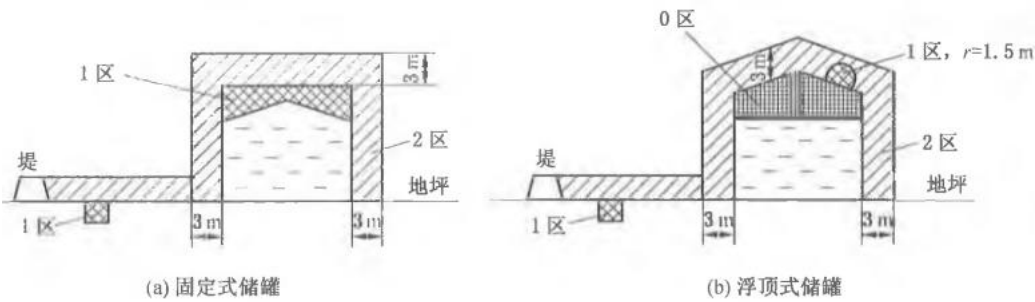
典型爆炸危险区域的划分如以下各图所示。



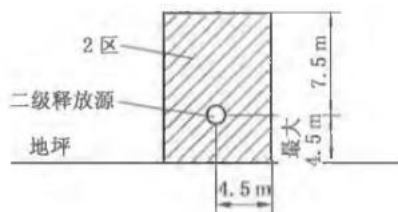
易燃物质重于空气，通风良好的生产装置区



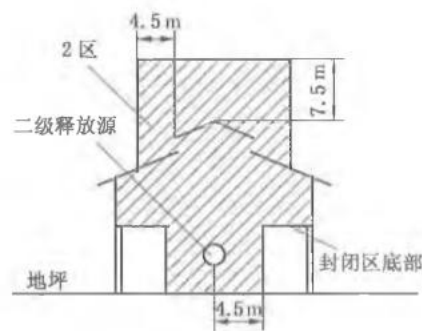
易燃物质重于空气，释放源在封闭建筑物内，通风不良的生产装置区



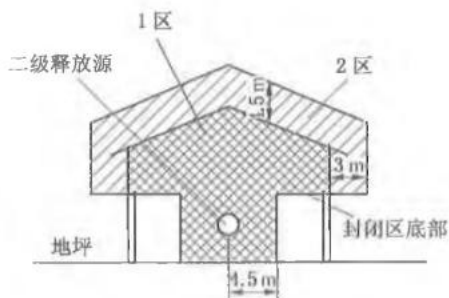
易燃物质重于空气，设在户外地坪上的储罐



易燃物质轻于空气，通风良好的生产装置区



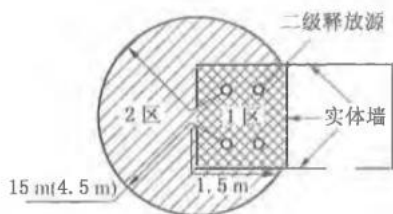
(a) 通风良好



(b) 通风不良

注：释放源距地坪的高度超过 4.5 m 时，应根据实践经验确定

易燃物质轻于空气的压缩机厂房



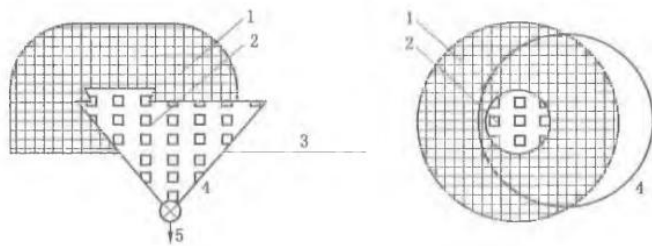
注：15m、4.5m 分别用于易燃物质重于空气、轻于空气的场合

毗邻通风不良的房间

(二) 粉尘、纤维爆炸危险环境

20 区包括粉尘容器、旋风除尘器、搅拌器等设备内部的区域。21 区包括频繁打开的粉尘容器出口附近、传送带附近等设备外部邻近区域。22 区包括粉尘袋、取样点等周围的区域。

建筑物内无抽气通风设施的倒袋站危险区域的划分如下图所示。



1—21 区 (半径 1 m); 2—20 区; 3—地板; 4—排料斗; 5—出料加工

建筑物内无抽气通风设施的倒袋站危险区域的划分

四、防爆电气设备和防爆电气线路

爆炸危险环境使用的电气设备和电气线路,应当不会在使用中产生能构成引燃源的火花、电弧或危险温度。

(一) 防爆电气设备

1. 防爆电气设备类型

防爆电气设备有隔爆型、增安型、本质安全型、正压型、充油型、充砂型、无火花型、浇封型、气密型等多种类型。

隔爆型设备是具有能承受内部的爆炸性混合物发生爆炸而不致受到破坏,而且通过外壳任何结合面或结构间隙,不致由内部爆炸引起外部爆炸性混合物爆炸的电气设备。

增安型设备是在正常的不产生火花、电弧或高温的设备上采取加强措施以提高安全水平的电气设备。

本质安全型设备是正常状态下和故障状态下产生的火花或热效应均不能点燃爆炸性混合物的电气设备。

正压型设备是向外壳内充入带 IE 压的清洁空气、惰性气体或连续通入清洁空气以阻止爆炸性混合物进入外壳内的电气设备。正压型设备按其充气结构分为通风、充气、气密等三种型式。

充油型设备是将可能产生电火花、电弧或危险温度的带电零、部件浸在绝缘油里,使之不能

点燃油面上方爆炸性混合物的电气设备。

充砂型设备是将细粒状物料充入设备外壳内，令壳内出现的电弧、火焰传播、壳壁温度及粒料表面温度不能点燃周围爆炸性混合物的电气设备。

无火花型设备是在防止产生危险温度、防冲击、防机械火花、防电缆事故、外壳防护等方面采取措施，以防止火花、电弧或危险温度的产生来提高安全程度的电气设备。无火花型设备在正常条件下不会点燃周围爆炸性混合物，而且一般不会发生有点燃作用的故障。

浇封型设备是将可能产生能点燃混合物的电弧、火花及高温部件浇封在环氧树脂等浇封剂里面，使其不能点燃周围爆炸性混合物的设备。

气密型设备是用熔化、挤压或胶粘的方法制成气密外壳，能防止外部气体进入壳内的设备。

有的防爆电气设备，其本体是一种防爆类型，但允许安装有其他防爆类型的部件。

2.防爆电气设备的保护级别（EPL）

EPL 用于表示设备的固有点燃风险，区别爆炸性气体环境、爆炸性粉尘环境和煤矿有甲烷的爆炸性环境的差别。

用于煤矿有甲烷的爆炸性环境中的 I 类设备的 EPL 分为 Ma、Mb 两级。

用于爆炸性气体环境的 II 类设备的 EPL 分为 Ga、Gb、Gc 三级。

用于爆炸性粉尘环境的 III 类设备的 EPL 分为 Da、Db、Dc 三级。

其中，Ma、Ga、Da 级的设备具有“很高”的保护级别；

Mb、Gb、Db 级的设备具有“高”的保护级别；

Gc、Dc 级的设备具有爆炸性气体环境用设备。具有“加强”的保护级别。

3.防爆电气设备的标志

防爆电气设备的型式和标志见表。

防爆型式	隔爆型	增安型	本质安全型	正压型	油浸型	充砂型	n 型	浇封型
防爆型式标志	d	e	i	p	o	q	n	m

防爆电气设备的标志应设置在设备外部主体部分的明显地方,且应设置在设备安装之后能看到的位置。

表示 Ex 标志、防爆结构型式符号、类别符号、温度组别或最高表面温度、保护级别、防护等级的示例：

(1)Ex d IIB T3 Gb,表示该设备为隔爆型 “d”, 保护级别 (EPL)为 Gb, 用于 IIB 类 T3 组爆炸性气体环境的防爆电气设备。

(2)Ex p IIIC T120℃ Db IP65,表示该设备为正压型 “p”,保护级别 (EPL)为 Db,用于有 IIIC 导电性粉尘的爆炸性粉尘环境的防爆电气设备,其最高表面温度低于 120℃,外壳防护等级为 IP65。用于煤矿的电气设备,其环境中除了甲烷外还可能含有其他爆炸性气体时,应按照国家 I 类和 II 类相应可燃性气体的要求进行制造和检验。该类电气设备应有相应的标志。如 “Ex d I/IIB T3” 或者 “Ex d I/I(NH3)”。

4.爆炸危险环境中电气设备选用应根据电气设备使用环境的等级、电气设备的种类和使用条件选择电气设备。所选用的防爆电气设备的级别和组别不应低于该环境内爆炸性混合物的级别和组别。在爆炸危险环境应尽量少用携带式设备和移动式设备,应尽量少安装插销座。

为了减小防爆电气设备的使用量,应当考虑把电气设备安装在危险环境之外;即使不得不安装在危险环境内,也应当安装在危险较小的位置。电气设备的选型表中,“○”表示适用,“△”表示尽量避免采用,“×”表示不适用,“—”表示一般不用。

(二) 防爆电气线路

1.线路敷设方式

(1)电气线路宜在爆炸危险性较小的环境或远离释放源的地方敷设。当可燃物质比空气重时,

电气线路宜在较高处敷设或直接埋地；架空敷设时宜采用电缆桥架；电缆沟敷设时，沟内应充砂，并宜设置排水措施。电气线路宜在有爆炸危险的建、构筑物的墙外敷设。在爆炸粉尘环境，电缆应沿粉尘不易堆积并且易于粉尘清除的位置敷设。

(2)敷设电气线路的沟道、电缆桥架或导管，所穿过的不同区域之间墙或楼板处的孔洞，应采用非燃性材料严密堵塞。

(3)敷设电气线路时宜避开可能受到机械损伤、振动、腐蚀、紫外线照射以及可能受热的地方，不能避开时，应采取预防措施。

(4)钢管配线可采用无护套的绝缘单芯或多芯导线。

(5)在爆炸性气体环境内钢管配线的电气线路必须作好隔离密封。

(6)在 1 区内电缆线路严禁有中间接头，在 2 区、20 区、21 区内不应有中间接头。

(7)电缆或导线的终端连接：电缆内部的导线如果为绞线，其终端应采用定型端子或接线鼻子进行连接。

(8)架空电力线路严禁跨越爆炸性气体环境，架空线路与爆炸性气体环境的水平距离，不应小于杆塔高度的 1.5 倍。在特殊情况下，采取有效措施后，可适当减少距离。

2.隔离密封

敷设电气线路的沟道以及保护管、电缆或钢管在穿过爆炸危险环境等级不同的区域之间的隔墙或楼板时，应用非燃性材料严密堵塞。

3.导线材料

爆炸危险环境应优先采用铜线。

1 区和 21 区的电力及照明线路应采用截面不小于 2.5mm^2 的铜芯导线。2 区和 22 区的电力线路应采用截面不小于 1.5mm^2 的铜芯导线或截面不小于 16mm^2 的铝芯导线。2 区和 22 区照明线路应采用截面不小于 1.5mm^2 的铜芯导线。

在有剧烈振动处应选用多股铜芯软线或多股铜芯电缆。

爆炸危险环境不宜采用油浸纸绝缘电缆。

在爆炸危险环境，低压电力、照明线路所用电线和电缆的额定电压不得低于工作电压，并不得低于 500V。中性线应与相线有同样的绝缘能力，并应在同一护套内。对于爆炸危险环境中的移动式电气设备，1 区和 21 区应采用重型电缆，2 区和 22 区应采用中型电缆。

4.允许载流量

爆炸危险环境导线允许载流量不应高于非爆炸危险环境的允许载流量。1 区、2 区导体允许载流量不应小于熔断器熔体额定电流和断路器长延时过电流脱扣器整定电流的 1.25 倍，也不应小于电动机额定电流的 1.25 倍。高压线路应进行热稳定校验。

五、电气防火防爆技术

(一)消除或减少爆炸性混合物

这项措施包括采取封闭式作业，防止爆炸性混合物泄漏；清理现场积尘，防止爆炸性混合物积累；设计正压室，防止爆炸性混合物侵入；采取开式作业或通风措施，稀释爆炸性混合物；在危险空间充填惰性气体或不活泼气体，防止形成爆炸性混合物；安装报警装置，当混合物中危险物品的浓度达到其爆炸下限的 10%时报警等。

(二)消除引燃源

为了防止出现电气引燃源，应根据爆炸危险环境的特征和危险物的级别、组别选用电气设备和电气线路，并保持电气设备和电气线路安全运行。安全运行包括电流、电压、温升和温度等参数不超过允许范围，包括绝缘良好、连接和接触良好、整体完好无损、清洁、标志清晰等。

保持设备清洁有利于防火。设备脏污或灰尘堆积既降低设备的绝缘又妨碍通风和冷却，特别是正常时有火花产生的电气设备，很可能由于过分脏污引起火灾。

(三) 隔离和间距

室内电压 10kV 以上、总油量 60kg 以下的充油设备，可安装在两侧有隔板的间隔内；总油量 60~600kg 者，应安装在有防爆隔墙的间隔内；油量 600kg 以上者，应安装在单独的防爆间隔内。

10kV 变、配电室不得设在爆炸危险环境的正上方或正下方；变、配电室与爆炸危险环境或火灾危险环境毗连时，隔墙应用非燃材料制成；配电室允许通过走廊或套间与火灾危险环境相通，但走廊或套间应由非燃材料制成。隔墙上与变、配电室有关的管子和沟道，孔洞、沟道应用非燃性材料严密堵塞。毗连变、配电室的门、窗应向外开，通向无爆炸或火灾危险的环境。

室外变、配电装置不应设置在易于沉积可燃粉尘或可燃纤维的地方。室外变、配电站与建筑物的防火间距见表 2-22。

开关、插销、熔断器、电热器具、照明器具、电焊设备、电动机等均应避开易燃物或易燃建筑构件。起重机滑触线的下方，不应堆放易燃物品。

(四) 爆炸危险环境接地和接零

爆炸危险环境的接地、接零应注意以下几点：

(1)从防止触电的角度考虑不要求接地（或接零）的部位，如交流 127V 及以下、直流 110V 及以下的电气设备也应接地（或接零），并实施等电位连接。

(2)将所有设备的金属部分、金属管道，以及建筑物的金属结构全部接地（或接零），并连接成连续整体。

(3)采用 TN-S 系统，并装设双极开关同时操作相线和中性线。保护导体的最小截面，铜导体不得小于 4mm²，钢导体不得小于 6mm²。

(4)在不接地配电网中，必须装设一相接地时或严重漏电时能自动切断电源的保护装置或能

发出声、光双重信号的报警装置。短路保护应有较高的灵敏度。

(五) 电气灭火

1. 触电危险和断电

发现起火后，首先要设法切断电源。切断电源应注意以下几点：

(1) 火灾发生后，由于受潮和烟熏，开关设备绝缘能力降低，因此，拉闸时最好用绝缘工具操作。

(2) 高压应先断开断路器，后断开隔离开关，低压应先断开电磁起动器或低压断路器，后断开闸刀开关。

(3) 切断电源的范围应选择适当，防止切断电源后影响灭火工作。

(4) 剪断电线时，不同相的电线应在不同的部位剪断，以免造成短路；剪断空中的电线时，剪断位置应选择在电源方向的支持点附近，以防电线断落下来造路和触电事故。

2. 带电灭火安全要求

带电灭火须注意以下几点：

(1) 按灭火剂的种类选择适当的灭火器。二氧化碳灭火器、干粉灭火器可用于带电灭火。

(2) 人体与带电体之间保持必要的安全距离。用水灭火时，水枪喷嘴至带电体的距离，电压 10kV 及以下者不应小于 3m。用二氧化碳等有导电灭火剂的灭火器灭火时，机体、喷嘴至带电体的最小距离，电压 10kV 者不应小于 0.4m。

(3) 对架空线路等空中设备进行灭火时，人体位置与带电体之间的仰角不应超过 45°。

(4) 如有带电导线断落地面，应在周围画警戒圈，防止可能的跨步电压电击。

【例题】爆炸性气体、蒸气按最小点燃电流比 (MICR) 和最大试验安全间隙 (MESG) 分为 IIA 级、IIB 级、IIC 级。下列关于这三个级别的危险气体危险性排序正确的是 ()。

A. IIA 类 > IIB 类 > IIC 类

B. IIA 类 < IIB 类 < IIC 类

C.IIA 类<IIC 类<IIB 类 D.IIB 类>IIA 类>IIC 类

答案：B

解析：IIA 级、IIB 级、IIC 级对应的典型气体分别为丙烷、乙烯和氢气。其中，IIB 类危险性大于 IIA 类，IIC 类危险性大于前两者，最为危险。

第四节 雷击和静电防护技术

包含两个主要内容：

一、防雷

二、静电防护技术

一、防雷

带电积云是构成雷电的基本条件于放电时温度高达 20000℃，空气受热急剧膨胀，发出爆炸的轰鸣声。这就是闪电和雷鸣。

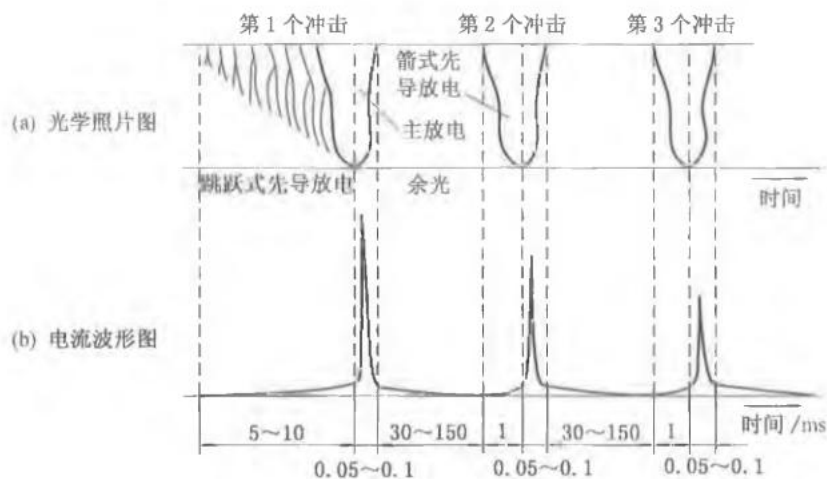
(一) 雷电概要

1.雷电种类

1)直击雷

带电积云与地面建筑物等目标之间的强烈放电称为直击雷。

直击雷的放电过程如图所示。带电积云接近地面时，在地面凸出物顶部感应出异性电荷。当积云与地面凸出物之间的电场强度达到 25 ~ 30kV/cm 时，即发生由跳跃式先导放电，持续时间为 5 ~ 10ms。当先导放电即将达到地面凸出物时，发生从地面凸出物向积云发展的极明亮的主放电，其放电时间仅 50 ~ 100μs。主放电向上发展，至云端即告结束。主放电结束后空间留有微弱的余光，持续时间为 30 ~ 150ms。



大约 50%的直击雷有重复放电的性质。一次雷击的全部放电时间一般不超过 500ms。

2)感应雷

感应雷也称作闪电感应，分为静电感应和电磁感应。

静电感应是由于带电积云接近地面，在架空线路导线或其他导电凸出物顶部感应出大量电荷引起的。

电磁感应是由于雷电放电时，巨大的冲击雷电流在周围空间产生迅速变化的强磁场引起的。

3)球雷

球雷是雷电放电时形成的发红光、橙光、白光或其他颜色光的火球。出现的概率约为雷电放电次数的 2%。直径多为 20cm 左右；其速度约为 2m/s 或更高；其存在时间为数秒钟到数分钟。球雷是一团处在特殊状态下的带电气体。

直击雷和感应雷都能在架空线路或在空中金属管道上产生沿线路或管道的两个方向迅速传播的闪电冲击波（闪电电涌）。直击雷和感应雷都能在空间产生辐射电磁波。

2.雷电参数

1)雷暴日

一天之内能听到雷声的就算一个雷暴日。通常说的雷暴日是指年平均雷暴日，单位为 d/a。

雷暴日数越大，说明雷电活动越频繁。

少雷区：年平均雷暴日不超过 15d/a	西北多地区
多累区：超过 40d/a	长江流域以南大部分地区

2)雷电流幅值

雷电流幅值指主放电时冲击电流的最大值。雷电流幅值可达数十千安至数百千安。

3)雷电流陡度

雷电流陡度指雷电流随时间上升的速度，雷电流冲击波波头陡度可达 $50\text{kA}/\mu\text{s}$ 。雷电具有高频特征。

4)雷电冲击过电压

直击雷冲击过电压高达数千千伏；感应雷过电压也高达数百千伏。

由于雷电的电流和陡度都很大、放电时间很短，从而表现出极强冲击性。

3.雷电的危害

雷电有电性质、热性质、机械性质等多方面的破坏作用。雷电的主要危害如下所述。

1)火灾和爆炸

2)触电

雷电直接对人放电会使人遭到致命电击；二次放电也能造成电击；可能直接导致接触电压和跨步电压电击；电气设备绝缘损坏后，可能导致高压窜入低压，在大范围内带来触电危险。

3)设备和设施毁坏

数百万伏乃至更高的冲击电压可能毁坏发电机、电力变压器等电气设备的绝缘、烧断电线或劈裂电杆；巨大的雷电流也会造成相应破坏；静电力和电磁力也有很强的破坏作用。

4)大规模停电

电力设备或电力线路破坏后即可能导致大规模停电。

4.防雷分类

建筑物按其火灾和爆炸的危险性、人身伤亡的危险性、政治经济价值分为三类。

1)第一类防雷建筑物

第一类防雷建筑物有：

- (1)制造、使用或储存火炸药及其制品，遇电火花会引起爆炸、爆轰，从而造成巨大破坏或人身伤亡的建筑物。
- (2)具有 0 区、20 区爆炸危险场所的建筑物。
- (3)具有 1 区、21 区爆炸危险场所，且因电火花引起爆炸会造成巨大破坏和人身伤亡的建筑物。

2)第二类防雷建筑物

- (1)国家级重点文物保护的建筑物。
- (2)国家级的会堂、办公楼、档案馆，大型展览馆，大型机场航站楼，大型火车站，大型港口客运站，大型旅游建筑，国宾馆，大型城市的重要动力设施。
- (3)国家级计算中心、国际通讯枢纽。
- (4)国际特级和甲级大型体育馆。
- (5)制造、使用或储存火炸药及其制品，但电火花不易引起爆炸，或不致造成巨大破坏和人身伤亡的建筑物。
- (6)具有 1 区、21 区爆炸危险场所，但电火花引起爆炸或不会造成巨大破坏和人身伤亡的建筑物。
- (7)具有 2 区、22 区爆炸危险场所的建筑物。
- (8)有爆炸危险的露天气罐和油罐。
- (9)预计雷击次数大于 0.05 次/a 的省、部级办公建筑物和其他重要或人员集中的公共建筑物

以及火灾危险场所。

(10)预计雷击次数大于 0.25 次/a 的住宅、办公楼等一般性民用建筑物或一般工业建筑物。

3)第三类防雷建筑物

(1)省级重点文物保护的建筑物和省级档案馆。

(2)预计雷击次数大于或等于 0.01 次/a , 小于或等于 0.05 次/a 的省、部级办公建筑物和其他重要或人员集中的公共建筑物以及火灾危险场所。

(3)预计雷击次数大于或等于 0.05 次/a , 小于或等于 0.25 次/a 的住宅、办公楼等一般性民用建筑物或一般工业建筑物。

(4)年平均雷暴日 15d/a 以上地区 , 高度 15m 及 15m 以上的烟囱、水塔等孤立高耸的建筑物 ; 年平均雷暴日 15d/a 及 15d/a 以下地区 , 高度 20m 及 20m 以上的烟囱、水塔等孤立高耸的建筑物。

(二) 防雷装置

防雷装置包括外部防雷装置和内部防雷装置。外部防雷装置由接闪器、引下线和接地装置组成 ; 内部防雷装置主要指防雷等电位连接及防雷间距。

避雷针、避雷线、避雷网、避雷带都是经常采用的防雷装置。针、线、网、带都只是直击雷防护装置的接闪器。接闪器所用材料应能满足力学强度和耐腐蚀的要求 , 还应有足够的热稳定性。

1.接闪器

接闪器都是利用其高出被保护物的凸出地位 , 把雷电引向自身 , 然后 , 通过引下线和接地装置 , 把雷电流泄入大地。

接闪器的保护范围现有两种计算方法。对于建筑物 , 接闪器的保护范围按滚球法计算 ; 对于

电力装置，接闪器的保护范围可按折线法计算。

避雷线制作材料可以参考教材相关内容。

接闪器焊接处应涂防腐漆。接闪器截面锈蚀 30%以上时应予更换。

2.避雷器和电涌保护器

避雷器装设在被保护设施的引入端。正常时处在不通的状态；出现雷击过电压时，击穿放电，切断过电压，发挥保护作用；过电压终止后，迅速恢复不通状态，恢复正常工作。

避雷器主要用来保护电力设备和电力线路，也用作防止高电压侵入室内的安全措施。

电涌保护器就是低压阀型避雷器。阀型避雷器类似一个阀门，对于雷电流，阀门打开，让雷电流泄入地下；对于工频电流，阀门关闭，迅速切断。电涌保护器，无冲击波时都表现为高阻抗，冲击到来时急剧转变为低阻抗。

3.引下线

防雷装置的引下线也应满足力学强度、耐腐蚀和热稳定的要求。引下线截面锈蚀 30%以上者也应予以更换。

4.防雷接地装置

除独立避雷针外，在接地电阻满足要求的前提下，防雷接地装置可以和其他接地装置共用。

独立避雷针的冲击接地电阻一般不应大于 10Ω ；附设接闪器每一引下线的冲击接地电阻一般也不应大于 10Ω ，但对于不太重要的第三类建筑物可放宽至 30Ω 。

（三）防雷技术

1.直击雷防护

第一类防雷建筑物、第二类防雷建筑物以及第三类防雷建筑物的易受雷击部位应采取防直击雷防护措施；可能遭受雷击，且一旦遭受雷击后果比较严重的设施或堆料（如装卸油台、露天油罐、露天储气罐等）也应采取防直击雷的措施； 35kV 及以上的高压架空电力线路、发

电厂、变电站等也应采取防直击雷的措施。

装设避雷针、避雷线、避雷网、避雷带是直击雷防护的主要措施。避雷针分独立避雷针和附设避雷针。独立避雷针是离开建筑物单独装设的。严禁在装有避雷针的构筑物上架设通讯线、广播线或低压线。利用照明灯塔作独立避雷针支柱时，为防止将雷电冲击电压引进室内，照明电源线必须采用铅皮电缆或穿入铁管。独立避雷针不应设在人经常通行的地方。

附设避雷针是装设在建筑物或构筑物屋面上的避雷针。其接地装置可以与其他接地装置共用，宜沿建筑物或构筑物四周敷设；其接地装置的接地电阻不宜超过 $1 \sim 2\Omega$ 。

露天装设有爆炸危险的金属储罐和工艺装置，当其壁厚不小于 4mm 时，允许不装设接闪器，但必须接地；接地点不应少于两处，距离不应大于 30m，冲击接地电阻不应大于 30Ω 。

2. 二次放电防护

防雷装置承受雷击时，冲击电压可能击穿与邻近的导体之间的绝缘，造成二次放电。为了防止二次放电，不论是空气中或地下，都必须保证接闪器、引下线、接地装置与邻近导体之间有足够的距离。在任何情况下，第一类防雷建筑物防止二次放电的最小距离不得小于 3m，第二类防雷建筑物防止二次放电的最小距离不得小于 2m。不能满足间距要求时应予跨接，即进行等电位连接。

3. 感应雷防护

电力系统中应采取雷电感应防护措施；有爆炸和火灾危险的建筑物也应采取。

为了防止静电感应产生的高电压，应将建筑物内相关金属物件与防雷电感应的接地装置相连。屋面结构钢筋宜绑扎或焊接成闭合回路。屋顶应有 5 ~ 12m 的金属网格，并接地。

为了防止电磁感应，平行敷设的管道、构架、电缆相距不到 100mm 时，须用金属线跨接；跨接点之间的距离不应超过 30m；交叉相距不到 100mm 时，交叉处也应用金属线跨接。

管道接头、弯头、阀门等连接处的过渡电阻大于 0.03Ω 跨接。

4.雷电冲击波防护

对于建筑物，为防止雷电冲击波沿低压线进入室内，可采用以下措施：

- (1)全长直接埋地电缆供电者，入户处电缆金属外皮接地。
- (2)架空线转电缆供电者，架空线与电缆连接处装设阀型避雷器。
- (3)架空线供电者，入户处装设阀型避雷器或保护间隙，并与绝缘子铁脚、金具一起接地。

5.电涌防护

电涌防护指对室内浪涌电压的防护，即在配电箱或开关箱内安装电涌保护器。

6.电磁脉冲防护电磁脉冲防护的基本方法是将建筑物所有正常时不带电的导体进行充分的等电位连接，并予以接地。同时，在配电箱或开关箱内安装电涌保护器。

7.人身防雷

雷暴时，非工作必需，应尽量减少在户外或野外逗留；如有条件，可进入有宽大金属构架或有防雷设施的建筑物、汽车或船只。户外避雨时，要注意离开墙壁或树干 8m 以外。雷暴时，不要在河里游泳或划船。

应停止高空作业；应避免田间工作，避免露天行走；不应持有高出人体的金属器具。雷暴时，户内应注意防止雷电冲击波的危险。雷暴时人体最好离开可能传来雷电冲击波的线路和设备 1.5m 以上。还应注意关闭门窗，以防止球雷进入室内造成危害。

【例题】雷电是大气中的一种放电现象，具有电性质、热性质和机械性质三方面的破坏作用

下列雷电造成的破坏现象中，属于热性质破坏作业的是（ ）

- A.破坏高压输电系统，毁坏发电机、变压器、断路器等电气设备的绝缘
- B.二次放电的火花引起火灾或爆炸
- C.巨大的雷电流通过被击物时，在被击物缝隙中的气体剧烈膨胀，缝隙中的水分也急剧蒸发气化，致使被击物破坏或爆炸

D.巨大的雷电流通过导体烧毁导体，使金属熔化、飞溅，引起火灾或爆炸

答案：D

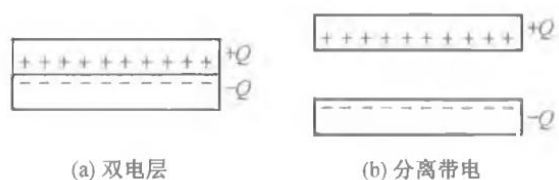
解析：雷电本质是超高温电弧，其本身就具备热性质。另外，雷电具备超大的电流值，其通过导体时产生的热来不及释放，瞬间使其融化。其破坏作用包括：直击雷放电的高温电弧能直接引燃邻近的可燃物；巨大的雷电流瞬间通过导体能够烧毁导体；使金属熔化、飞溅引发火灾或爆炸；球雷侵入可引起火灾。

二、静电防护技术

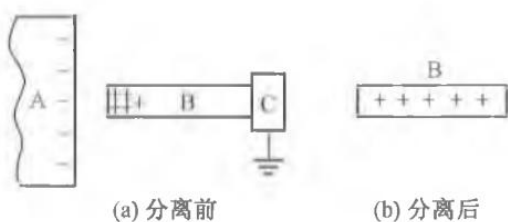
(一) 静电产生、影响与特点

1. 静电产生

最常见的方式是接触-分离起电。物体接触时，由于不同物质束缚最外层电子的能力不同，将发生电子转移，界面两侧处会出现大小相等、极性相反的两层电荷，称为双电层。其间的电位差称为接触电位差。当两种物体迅速分离时即可能产生静电。



感应起电也是比较常见的起电方式。当导体 B 与接地体 C 相连时，在带电体 A 的感应下，端部出现正电荷；当导体 B 离开接地体 C 时，导体 B 成为带电体。



除上述两种起电方式外，破断、挤压、吸附也能产生静电。

液体在流动、过滤、搅拌、喷雾、喷射、飞溅、冲刷、灌注、剧烈晃动等过程中会产生静电。

下列过程比较容易产生和积累静电：

(1)固体物质大面积的摩擦，固体物质在压力下接触而后分离，固体物质在挤出、过滤时与管道、过滤器摩擦，固体物质的粉碎、研磨。

(2)粉体物料筛分、过滤、输送、干燥，悬浮粉尘高速运动。

(3)在混合器中搅拌各种高电阻率物质。

(4)高电阻率液体在管道中高速流动，液体喷出管口，液体注入容器发生冲击、冲刷和飞派。

(5)液化气体、压缩气体或高压蒸汽在管道中高速流动和由管口喷出。

(6)穿化纤布料衣服、穿高绝缘鞋的人员操作、行走、起立等。

2.静电的影响因素

静电的产生和积累受材质、工艺设备和工艺参数、环境条件等因素的影响。

1)材质和杂质的影响

对于固体，电阻率 $1 \times 10^7 \Omega \cdot m$ 以下者，由于泄漏较强而不容易积累静电；电阻率 $1 \times 10^9 \Omega \cdot m$ 以上者，容易积累静电。对于液体，电阻率 $1 \times 10^8 \Omega \cdot m$ 以下的液体，由于泄漏较强而不容易积累静电；电阻率 $1 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ 左右的液体最容易产生静电；电阻率 $1 \times 10^{13} \Omega \cdot m$ 以上的液体由于其分子极性很弱反而不容易产生静电。

容易得失电子，而且电阻率很高的材料才容易产生和积累静电。生产中常见的乙烯、丙烷、丁烷、原油、汽油、轻油、苯、甲苯、二甲苯、硫酸、橡胶、赛璐珞、塑料等都比每容易产生和积累静电。

杂质对静电有很大的影响。静电在很大程度上取决于所含杂质的成分。一般情况下，杂质有增强静电的趋势。

2)工艺设备和工艺参数的影响

接触面积越大，双电层正、负电荷越多，产生的静电越多。接触压力越大或摩擦越强烈，会增加电荷分离强度，产生较多静电。

设备的几何形状也对静电有影响。

过滤器会大大增加接触和分离程度，可能使液体静电电压增加十几倍到 100 倍以上。

3)环境条件的影响

湿度对静电泄漏的影响很大。湿度增加，使绝缘体表面电阻大为降低，从而加速静电泄漏。

3.静电特点

1)静电电压高

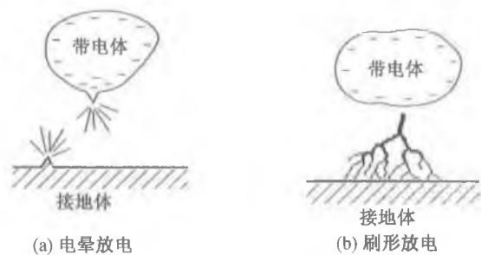
固体静电可达 $20 \times 10^4 \text{V}$ 以上，液体静电和粉体静电可达数万伏，气体和蒸气静电可达一万多伏，人体静电也可达一万多伏。

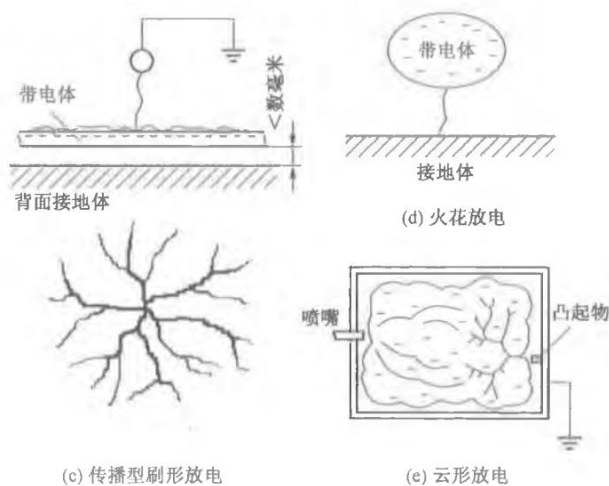
2)静电泄漏慢

静电泄漏有两条途径：一条是绝缘体表面，另一条是绝缘体内部。前者遇到的是表面电阻，后者遇到的是体积电阻。

3)多种放电形式

静电放电有多种形式。





电晕放电是发生在带电体尖端附近局部区域内的放电。电晕放电可能伴有嘶嘶声和淡蓝色电晕放电的电流很小，能量密度不高，如不继续发展则没有引燃危险。

刷形放电是火花放电的一种。其电通道有很多分支；放电时伴有声光。当高电阻薄膜背面贴有金属导体时，能形成所谓传播型刷形放电。传播型刷形放电产生高密度的火花，引燃危险性较大。

火花放电是放电通道火花集中，即电极上有明显的放电集中点的火花放电。火花放电伴有短促的爆裂声和明亮的闪光。其引燃危险性大。

云形放电是悬浮在空气中的带电粒子形成空间电荷云后所发生的闪电状放电。云形放电的引燃危险性也很大。

(二) 静电危害与防治

1. 静电的危害

工艺过程中产生的静电可能引起爆炸和火灾，也可能给人以电击，还可能妨碍生产。其中，爆炸或火灾是最大的危害和危险。

危害	内容
爆炸和火灾	若场所有易燃物质，包括爆炸性气体和蒸气，以及爆炸性粉尘等，即

	可能由静电火花引起爆炸或火灾
静电电击	静电放电造成的瞬间冲击性的电击。由于生产工艺过程中积累的静电能量不大，不会使人致命，但引起工作人员紧张而妨碍工作等
妨碍生产	生产过程中产生的静电，可能妨碍生产或降低产品质量。如在电子技术领域，静电可对无线电设备产生干扰，还可能击穿集成电路绝缘等。

2.静电防护措施

静电最为严重的危险是引起爆炸和火灾。因此，静电安全防护主要是对爆炸和火灾的防护。

这些措施对于防止静电电击和防止静电影响生产也是有效的。防护措施包括：

防护措施	内容
环境危险程度控制	为了防止静电引燃成灾，可采取取代易燃介质、降低爆炸性混合物的浓度、减少氧化剂含量等控制所在环境爆炸和火灾危险程度的措施
工艺控制	从材料的选用、摩擦速度或流速的限制、静电松弛过程的增强、附加静电的消除等方面采取措施，限制和避免静电的产生和积累
接地	接地的主要作用是消除导体上的静电，金属导体应直接接地。
增湿	防止大量带电，相对湿度应在 50%以上；为提高降低静电的效果，相对湿度应提高到 65%~70%；对于吸湿性很强的聚合材料，为了保证降低静电的效果，相对湿度应提高到 80%~90%。应当注意，增湿的方法不宜用于消除高温绝缘体上的静电
抗静电添加剂	化学药剂，具有良好的导电性或较强的吸湿性。因此，在容易产生静电的高绝缘材料中加入抗静电添加剂之后，能降低材料的体积电阻率或表面电阻率
静电消除器	产生电子和离子的装置。由于产生了电子和离子，物料上的静电电荷

	得到异性电荷的中和，从而消除静电的危险。
--	----------------------

工艺控制相关要求

为了有利于静电的泄漏，可采用导电性工具；为了减轻火花放电和感应带电的危险，可采用阻值为 $10^7 \sim 10^9 \Omega$ 的静电导电性工具。

为了防止静电放电，在液体灌装、循环或搅拌过程中不得进行取样、检测或测温操作。进行上述操作前，应使液体静置一定的时间，使静电得到足够的消散或松弛。为了避免液体在容器内喷射、溅射，应将注油管延伸至容器底部；而且，其方向应有利于减轻容器底部积水或沉淀物搅动；装油前清除罐底积水和污物，以减少附加静电。

接地相关要求

为了防止火花放电，应将可能发生火花放电的间隙跨接连通起来，并予以接地，使其各部位与大地等电位。静电泄漏电流很小，防静电接地电阻原则上不超过 $1\text{M}\Omega$ 即可；对于金属导体，为了检测方便，可要求接地电阻不超过 $100 \sim 1000 \Omega$ 。

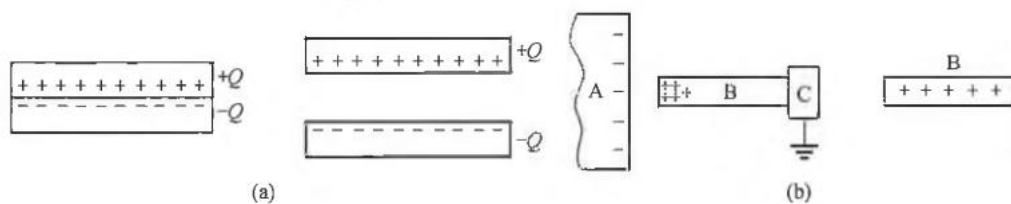
对于感应静电，接地只能消除部分危险，导体 B 端不接地时，A、B 两端都有静电危险；B 端接地以后，B 端没有放电危险了，但 A 端仍有放电危险。采用电阻率 $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ 以下的材料制成的静电导电性地面，实质也是一种接地措施。

对于产生和积累静电的高绝缘材料，宜通过 $10^6 \Omega$ 或稍大一些的电阻接地。

静电消除器

静电消除器分为感应式中和器、高压式中和器、放射线式消除器和离子风式中和器。

【例题】静电产生的方式有很多，比如感应起电、分离起电、接触起电、破断起电等，下图表示的起电方式分别是（ ）



- A.接触-分离起电 B.感应起电
- C.破断起电 D.挤压起电
- E.吸附起电

答案：AB

解析：物体接触时，由于不同物质束缚最外层电子的能力不同，将发生电子转移，界面两侧处会出现大小相等、极性相反的两层电荷，称为双电层。其间的电位差称为接触电位差。当两种物体迅速分离时即可能产生静电。感应起电也是比较常见的起电方式。当导体 B 与接地体 C 相连时，在带电体 A 的感应下，端部出现正电荷；当导体 B 离开接地体 C 时，导体 B 成为带电体。

第五节 电气装置安全技术

包含四个主要内容：

- 一、低压电气设备
- 二、高压电气设备
- 三、电气线路
- 四、电气安全监测仪器

一、低压电气设备

低压电气设备包括电动机等各种用电设备及其控制电器。

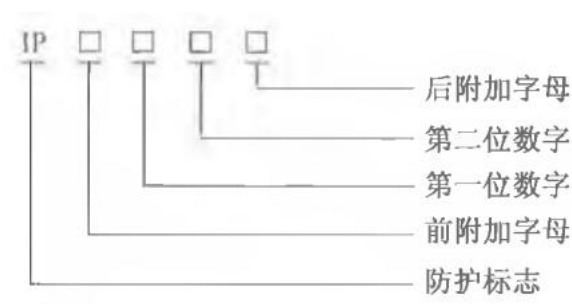
(一) 电气设备环境条件和外壳防护等级

1. 电气设备环境条件

空气中介质的状态及其他环境参数会影响触电的危险性。应根据环境特征选用相应防护型式的用电设备。

2.电气设备外壳防护等级

电机和低压电器的外壳防护包括两种防护。第一种防护是对固体异物进入内部以及对人体触及内部带电部分或运动部分的防护；第二种防护是对水进入内部的防护。外壳防护等级按以下方法标志:



第一位数字表示第一种防护型式等级；第二位数字表示第二种防护型式等级。仅考虑一种防护时，另一位数字用“x”代替。前附加字母是电机产品的附加字母，W表示气候防护式电机，R表示管道通风式电机；后附加字母也是电机产品的附加字母，S表示在静止状态下进行第二种防护型式试验的电机，M表示在运转状态下进行第二种防护型式试验的电机。如无须特别说明，附加字母可以省略。

第一种防护分为 7 级。第二种防护分为 9 级。

(二) 电动机

1.电动机的危险因素

危险因素	危害
漏电	金属外壳及相连接的底座、传动装置、金属管线带电
接线错误或 未连接保护	前者导致外壳带电，后者导致导致外壳带故障电压、传导电压或感应电压

线	
电火花	滑环处的火花，绝缘击穿时产生的电火花，或产生的危险温度构成点火源
故障停车	影响系统正常运行，排放有毒气体、可燃气体、烟尘的风机电动机故障停车将带来严重的次生灾难
突然启动或 转速失控	造成严重机械伤害

2.电动机安全运行条件



电压波动不得超过-5%~10%，电压不平衡不得超过5%。电流不平衡不得超过10%。

熔断器保护：熔体额定电流应取异步电动机额定电流的1.5倍（减压启动或轻载启动）或2.5倍（全压启动或重载启动）；

热继电器保护时：热元件的电流不应大于电动机额定电流的1~1.5倍；

电动机最好有失压保护装置；外壳应根据配电网的运行方式可靠接零或接地。

（三）手持电动工具和移动式电气设备

手持电动工具包括手电钻、手砂轮、冲击电钻、电锤、手电锯等工具。移动式设备包括蛙夯、振捣器、水磨石磨平机等电气设备。

1.电气设备触电防护分类

按照触电防护方式，电气设备分为以下五类。

分类	差别
0 类	仅仅依靠基本绝缘来防止触电。外壳可以用绝缘材料制成；外壳也可用金属材料制成，外壳与其内部带电部件之间由基本绝缘隔开，无接地端子，可以有 II 类结构或 III 类结构的部件
0I 类	也是依靠基本绝缘来防止触电的，可以有 II 类结构或 III 类结构的部件，金属外壳上装有接地（零）的端子，不提供带有保护芯线的电源线
I 类	除依靠基本绝缘外，还有一个附加的安全措施；外壳上没有接地端，但内部有接地端子；自设备内部有接地端子引出的专用的保护芯线的带有保护插头的电源线；带有全部或部分金属外壳，所用电源开关为全极开关；也可以有 II 类结构或 III 类结构的部件
II 类	具有双重绝缘和加强绝缘的结构，可以有 III 类结构的部件
III 类	依靠安全特低电压供电以防止触电，不得产生高出安全特低电压的电压

手持电动工具没有 0 类和 0I 类产品，市售产品绝大多数都是 II 类设备。移动式电气设备大部分是 I 类产品。

2.手持电动工具和移动式电气设备的危险性

手持电动工具和移动式电气设备是触电事故较多的用电设备。其主要原因是：

(1)这些工具和设备是在人的紧握之下运行的

(2)有很大的移动性，其电源线容易受拉、磨而损坏，电源线容易接错，导致触电事故。

(3)没有固定的工位，运行时振动大，而且可能在恶劣的条件下运行，本身容易损坏而使金属外壳带电，导致触电事故。

3.手持电动工具和移动式电气设备的安全使用

(1)II类、III类设备没有保护接地或保护接零的要求，I类设备必须采取保护接地或保护接零措施。

(2)在有爆炸和火灾危险的环境中，除中性线外，应另设保护零线。

(3)单相设备的相线和中性线上都应该装有熔断器，并装有双极开关。

(4)移动式电气设备的保护线不应单独敷设，而应当与电源线有同样的防护措施，即采用带有保护芯线的橡皮套软线作为电源线。

(5)移动式电气设备的电源插座和插销应有专用的保护线插孔和插头。

(6)一般场所，手持电动工具应采用II类设备。在潮湿或金属构架上等导电性能良好的作业场所，必须使用II类或III类设备。在锅炉内、金属容器内、管道内等狭窄的特别危险场所，应使用III类设备。

(7)鉴于不接地配电网中单相触电的危险性小于接地配电网中单相触电的危险性，在接地配电网中，可以装设一台隔离变压器，并由该隔离变压器给设备供电。除以上措施，操作时个人绝缘，如使用绝缘手套、绝缘鞋、绝缘垫等安全用具也是一种防止触电的安全措施。

(四)电气照明

1.电气照明概要

充足的照明是改善劳动环境、保障安全生产的必要条件。照明设备不正常运可能导致火灾，也可能直接导致人身事故。

电气照明的光源分为热辐射光源、气体放电光源和半导体光源。

按照明功能，电气照明分为正常照明、应急照明、值班照明、警卫照明和障碍照明。

应急照明包括备用照明、安全照明和疏散照明。

2.电气照明基本安全要求

对电压、绝缘、防护、适应环境、装置等进行要求。

(1)一般照明的电源采用 220V 电压。特殊场所，对易触及而又无防触电措施灯具，安装高度不足 2.2m 时，应采用 24V 安全电压。

(2)照明配线应采用额定电压 500V 的绝缘导线。凡重要的政治活动场所、易燃易爆场所、重要的仓库均应采用金属管配线。凡重要的政治活动场所、重要的控制回路和二次回路、移动的导线和剧烈振动处的导线、特别潮湿场所和严重腐蚀场所均应采用铜导线。卤钨灯及单灯功率超过 100W 的白炽灯，灯具引入线应选用 105～250℃耐热绝缘电线。

(3)建筑物照明电源线路的进户处，应装设带有保护装置的总开关。配电箱内单相照明线路的开关必须采用双极开关；照明器具的单极开关必须装在相线上。

(4)应急照明的电源，必须有自己的供电线路，与正常照明电源区别开。

(5)白炽灯的功率不应超过 1000W。

(6)照明装置由灯具、灯座、线路和开关等设备组成。

(7)应当根据环境条件选用适当防护型式的照明装置。爆炸危险环境应选用防爆型灯具。在有腐蚀性气体或蒸气或特别潮湿的、户外环境应选用防水型灯具。多尘环境应选用防尘型。

(8)灯饰所用材料应为难燃型材料。

(9)库房内不应装设碘钨灯、卤钨灯、60W 以上的白炽灯等高温灯具。

(10)灯具高度符合安装标准。

(11)灯具不带电，金属件、金属吊管和吊链应连接保护线；保护线应与中性线分开。

(五)低压电器

低压电器可分为控制电器和保护电器。

控制电器主要用来接通、断开线路和用来控制电气设备。刀开关、低压断路器、减压启动器、电磁启动器属于低压控制电器。

保护电器主要用来获取、转换和传递信号，并通过其他电器对电路实现控制。熔断器、热继电器属于低压保护电器。：

1.低压电器的通用安全要求

低压电器的通用安全要求（参考教材了解）

2.低压控制电器的特点和性能

常见低电器如图 2-31 所示



类型	特点和性能	应用	
刀开关	手动操作，没有或只有简单的灭弧机构；不能切断短路电流和较大的负荷电流	主要用来隔离电压，与熔断器串联使用	
低压断路器	有强有力的灭弧装置，能分断短路电流，有多种保护功能	用作线路主开关	故障时自动分闸
接触器	有灭弧装置，能分、合负荷电流，	用作线路主开关	本身有失压保护

	不能分断短路电流，能频繁操作		功能
控制器	触头多、挡位多	用于起重机等的控制	

3.低压作护电器的特点和性能

1)热继电器

热继电器的核心元件是热元件，利用电流的热效应实施保护作用。当热元件温度达到设定值时迅速动作，并通过控制触头断开主电路。

热继电器和热脱扣器的热容量较大，动作延时也较大，只宜用于过载保护，不能用于短路保护。

对于电动机，热元件的额定电流原则上按电动机的额定电流选取。对于照明线路，可按负荷电流的 0.85%~100%选取。

2)熔断器

熔断器是将易熔元件串联在线路上，遇到短路电流时迅速熔断来实施保护的保护电器。低熔点易熔元件由锡铅合金、锡铅合金、锌等材料制成；高熔点易熔元件由铜、银、铝制成。

易熔元件刚刚不会熔断的电流称为临界电流。易熔元件的临界电流大于其额定电流。临界电流多为额定电流的 1.3~1.5 倍。

由于易熔元件的热容量小，动作很快，熔断器可用作短路保护元件；在有冲击电流出现的线路上，熔断器不可用作过载保护元件。

4.低压配电箱和配电柜（详细内容参考教材）

低压配电箱和配电柜是低压成套电器。配电箱和配电柜的安全要求如下：

(1)触电危险性大或作业环境较差的场所，如铸造车间、锻造车间、热处理车间、锅炉房、木工房等，应安装封闭式箱柜。

(2)有导电性粉尘或产生易燃易爆气体的危险作业场所，必须安装密闭式或防爆型箱柜。

(3 落地安装的箱柜底面应高出地面 50~100mm,操作手柄中心高度一般为 1.2~1.5m,箱柜前方 0.8~1.2m 的范围内无障碍物。

二、高压电气设备

企业高压电气设备主要集中在变、配电站。变、配电站装有电力变压器，高、低压开关电器，电力电容器，高、低压母线，继电保护装置等多种高、低压电气设备。

(一) 变、配电站安全要求

变、配电站是企业的动力枢纽，变、配电站由高压配电室、低压配电室、变压器室等组成。

变、配电站安全要求包括建筑设计、设备安装、运行管理等方面的要求。

1.变、配电站位置

从供电角度考虑，变、配电站应接近负荷中心，以降低有色金属的消耗和电能损耗；变、配电站进出线应方便等。

从生产角度考虑，变、配电站不应妨碍生产和厂内运输；变、配电站本身设备的运输也应当方便。

从安全角度考虑，变、配电站应避开易燃易爆场所；应设在企业的上风侧，并不得设在容易沉积粉尘和纤维的场所；不应设在人员密集的场所。还应考虑到灭火、防蚀、防污、防水、防雨、防雪、防振以及防止小动物钻人的要求。

2.建筑结构

高压配电室和高压电容器室耐火等级不应低于二级；低压配电室耐火等级不应低于三级。油浸电力变压器室应为一级耐火建筑；对于不易取得钢材和水泥的地区，可以采用三级耐火等级的独立单层建筑。

变、配电站各间隔的门应向外开启；门的两面都有配电装置时，门应能向两个方向开启。门

应为非燃烧或难燃烧材料制作的实体门。长度超过 7m 的高压配电室和长度超过 10m 的低压配电室至少应有两个门。

长度大于 8m 的配电装置室应设两个出口，并宜布置在配电室的两端。若两个出口之间的距离超过 60m，还应增加出口。

蓄电池室应隔离安装。屋内单台电气设备总油量在 100kg 以上时，以及屋外单台电气设备的油量在 1000kg 以上时，应设置贮油设施或挡油设施。挡油设施应按容纳 20%油量设计，并应有将事故油排至安全处的设施。

3.间距、屏护和隔离

变、配电站各部间距应符合相关标准的要求。高压装置应有完善的屏护、遮栏。应根据需要在遮栏上悬挂相应的标示牌。

4.通风蓄电池室有可燃气体产生，必须有良好的通风；变压器室、电容器室等有较多热量排放，必须有良好的自然通风，必要时采取强迫通风。进风口宜在下方，出风口宜在上方。但装有六氟化硫装置的房间，排风系统的出风口应在下方。

5.联锁装置

应当采用必要的联锁装置。如油断路器与隔离开关操动机构之间的联锁装置，电力电容器的开关与其放电负荷之间的联锁装置等。

6.防护

变压器室、配电装置室、电容器室等应有防止雨、雪和小动物从采光窗、通风窗、门、电缆沟等进入屋内的措施。通向站外的孔洞、沟道应予封堵。

7.电气设备正常运行

保持电气设备正常运行包括观察设备状态等是否正常，观察绝缘件有无损坏以及隔离等辅助设施是否完好；听声音异常声响；有无异常气味。看、听、闻进行检查。

8.保护

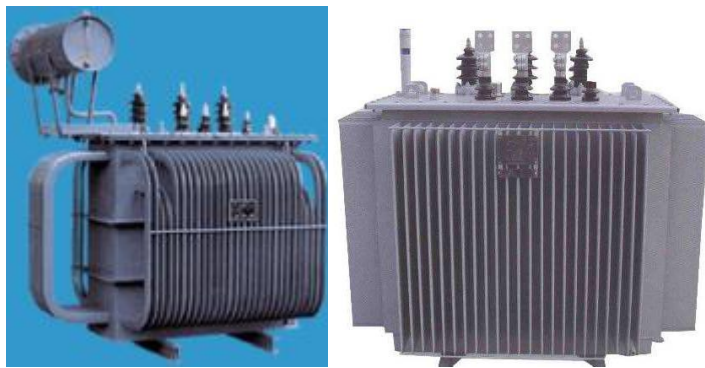
10kV 变、配电站应装有电流速断保护、过电流保护、熔断器保护和防雷保护，10kV 不接地系统应装有绝缘监视；10kV 接地系统应装有零序电流保护。油浸式变压器应装有气体保护，干式变压器应装有温控保护等。

其他还有：安全用具和消防器材、技术资料、规章制度参考教材。

(二) 变压器

1.变压器类型和特点

电力变压器的外形如图所示。



(a) 油浸自冷式 (b) 全密闭油浸式



(c) 干式

变压器的电磁元件是铁芯和绕组。油浸式变压器的铁芯、绕组浸没在绝缘油里。油的主要作用是绝缘、散热和减缓油箱内元件的氧化。变压器油的闪点在 $135 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 之间，属于可燃液体；变压器内的固体绝缘衬垫、纸板、棉纱、布、木材等都属于可燃物质。因此，油浸式

变压器不但火灾危险性较大，而且还有爆炸危险。

干式变压器没有油箱和变压器油，在很大程度上排除了火灾、爆炸隐患。

2.变压器运行

变压器运行中应注意以下问题：

(1)高压边电压偏差不得超过额定值的±5%

(2)温度和温升不得超过规定值；接线端子不应过热。油浸式电力变压器的绝缘材料的最高工作温度不得超过 105℃；油箱上层油温最高不得超过 95℃，但为了减缓变压器油变质，上层油温最高一般不应超过 85℃。

(4)外壳和低压中性点接地应保持完好。

(5)干式变压器所在环境的相对湿度不超过 70%~85%。

(三) 高压开关

1.高压开关的特点和性能

常见高压开关的性能、应用见表：

名称	灭弧方法	性能	应用
断路器	真空、气吹、油、气 纵横吹	能切断短路电流，故障时能自动跳闸	用作控制及保护的主开关
负荷开关	气吹、真空等灭弧	不能切断短路电流，能接通、分断负荷电流	与熔断器串联安装用作主开关
跌开式熔断器	气吹、拉长灭弧	能接通、分断不大的负荷电流	用于小容量线路的控制和保护
隔离开关	无专门灭弧装置，拉	能分断不大的空载电	用于隔离电压

	长灭弧	流	
--	-----	---	--

2.高压开关安全要点

(1)高压断路器必须与高压隔离开关或隔离插头串联使用，由断路器接通和分断电流，由隔离开关或隔离插头隔断电源

(2)高压负荷开关必须串联有高压熔断器。由熔断器切断短路电流。负荷开关只用来操作负荷电流。

(3)正常情况下，跌开式熔断器只用来操作空载线路或空载变压器。

(4)隔离开关不具备操作负荷电流的能力。切断电路时必须先拉开断路器，后拉开隔离开关；接通电路时必须先合上隔离开关，后合上断路器。为确保断路器与隔离开关之间的正确操作顺序，除严格执行操作制度外，10kV 系统中常安装机械式或电磁式联锁装置。

(5)跌开式熔断器正确的操作顺序，拉闸顺序：中相→下风侧边相→上风侧边相；合闸顺序：上风侧边相→下风侧边相→中相。

3.高压开关柜

1)高压开关柜的外形



2)高压开关柜的基本要求

高压开关柜应具备“五防”功能。例如，开关柜的“五防”功能：

(1)保证只有断路器处在断开位置时才能操作隔离开关，防止带负荷操作隔离开关。

(2)防止未拆除临时接地线之前或未拉开接地隔离开关之前合闸送电。

(3)防止未断开电源前挂临时接地线或合上接地隔离开关。

(4)防止断路器在合闸状态移动手车、防止断路器未处在工作位置或试验位置误合闸。

(5)保证断路器、隔离开关未断开前，开关柜的门不能打开，防止工作人员误入带电间隔。

3）高压开关柜的使用（详细内容参考教材）

（1）运行中的断路器故障跳闸后，必须详细检查一次隔离触头和断路器。

（2）接地开关闭合后才能拆卸柜后的下封板。

三、电气线路

电气线路分为电力线路和控制线路。前者用来输送电能，后者用来输送信号。

（一）电力线路类型和特点

1.架空线路

架空线路主要由导线、杆塔、横担、绝缘子、金具、基础及拉线组成。



架空线路的导线多采用钢芯铝绞线、硬铜绞线、硬铝绞线和铝合金绞线。腐蚀性强烈的环境应采用铜导线。厂区、居民区内的低压架空线路应采用绝缘导线。单股铝线或单股铝合金线不得架空敷设。

2.电缆线路

电缆线路主要由电力电缆、终端接头、中间接头及支撑件组成。

电力电缆主要由导电芯线、绝缘层和保护层组成。芯线分铜芯和铝芯两种。绝缘层分塑料绝缘、橡皮绝缘、浸渍纸绝缘等几种。保护层分内护层和外护层。



电缆终端头分户外型、户内型两大类。户外用的有铸铁外壳、瓷外壳的终端头和环氧树脂的终端头；户内用的主要有尼龙和环氧树脂的终端头。

电缆中接头主要有铅套中接头、铸铁中接头和环氧树脂中接头。10kv 及以下的中接头多采用环氧树脂浇注。

架空线路与电缆线路比较

类别	优点	缺点
架空线路	造价低、机动性强、便于施工和检修	妨碍城市建设；易受空气中杂物的污染；可能碰撞或过分接近树木及其他高大设施或物件，导致触电、短路等事故
电缆线路	可靠性高，受外界因素的影响小，不易发生因雷击、风害、冰雪等自然灾害造成的故障。在有腐蚀性气体或蒸气，或易燃、易爆的场所应用最为广泛	造价高

3.室内配线

常见的室内配线有金属管配线、硬塑料管配线、金属槽配线、塑料槽配线、护套线直敷配线、瓷绝缘配线等多种类型。

各种配线方式的特点和适用范围

配线方式	特 点	适 用 范 围	备 注
金属管配线	机械防护性能好、封闭式配线	适用于爆炸危险环境、火灾危险环境、多尘环境、高温环境、建筑物顶棚内；不适用于特别潮湿的环境	水管（或煤气管）的防护性能较电线管好
金属槽配线	防护式配线、机械防护性能好、机动性较好	不适用于特别潮湿的环境、多尘环境	
硬塑料管配线	封闭式配线	适用于潮湿和特别潮湿的环境、有腐蚀性物质的环境、多尘环境；不适用于高温和易受机械损伤的环境	塑料管的氧指数应高于 27%
塑料槽配线	防护式配线、机动性较好	不适用于在高温和易受机械损伤的环境	塑料管的氧指数应高于 27%
护套线直敷配线	非防护式配线	适用于室内正常的环境和室外挑檐下方；不适用于建筑物顶棚内	
瓷绝缘配线	非防护式配线、维修方便	适用于正常的环境、高温环境	

(二) 电力线路安全条件

1.导电能力

导体的导电能力应满足发热、电压损失和短路电流等三方面的要求。

1)发热条件

为了安全，橡皮绝缘线最高运行温度为 65℃，塑料绝缘线为 70℃，裸线为 70℃，铅包或铝包电缆为 80℃,塑料电缆为 65℃。

2)电压损失条件

线路导线太细将导致其阻抗过大，受电端得不到足够的电压。用户供电电压允许变化范围见教材表 2-31。

3)短路电流条件

在设计规定的短路电流的冲击下，线路应保持热稳定和动稳定。此外，在 TN 系统中，如果

线路导线太细，则单相短路电流可能不能推动短路保护动作。

2.力学强度

导线必须保证足够的力学强度。

3.绝缘和间距

运行中低压电力线路的绝缘电阻一般不得低于每伏工作电压 1000Ω ，新安装和大修后的低压电力线路一般不得低于 $0.5M\Omega$ 。

电力线路与建筑物、与树木、与地面、与水面、与其他电力线路以及与各种工程设施之间均应保持足够的安全距离。

4.导线连接

工作中，应当尽可能减少导线的接头，接头过多的导线不宜使用。

导线连接必须紧密。原则上导线连接处的力学强度不得低于原导线力学强度的 80%；绝缘强度不得低于原导线的绝缘强度；接头部位电阻不得大于原导线电阻的 1.2 倍。

铜导线与铝导线之间的连接应尽量采用铜-铝过渡接头，特别是在潮湿环境，或在户外，或遇大截面导线，必须采用铜-铝过渡接头。

其他线路防护和过电流保护、线路管理（有必要资料 and 文件，建立相应制度）等内容。

四、电气安全检测仪器

（一）绝缘电阻测量仪

1.兆欧表概要

绝缘电阻是电气设备最基本的性能指标。绝缘电阻是兆欧级的电阻，要求在较高的电压下进行测量。现场应用兆欧表测量绝缘电阻。

指针式兆欧表俗称摇表，主要由作为电源的手摇发电机和作为测量机构的磁电系比率计组成。手摇发电机输出较高电压直流电源，施加到被测绝缘电阻上，运用欧姆定律进行测量。

数字式兆欧表由脉冲宽带调制器、升压变压器、倍压整流器等将电池电压转换为直流高电压加到被测绝缘电阻上，由运算放大器、反相器、双积分模数转换器处理数据，由液晶显示器或发光二极管显示测量结果。

兆欧表有 E(接地端)、L(线路端)、G(屏蔽端) 三个端子。一般测量只用到 E 端和 L 端。E 端接外壳或接地、L 接被测导体。G 端是消除表面电流影响测量准确性的专用端子。



(a) 指针式



(b) 数字式

2.兆欧表使用

应根据被测对象选用不同电压的兆欧表。

测量额定电压 500V 以下的线路或设备应采用 500V 或 1000V 的兆欧表；测量 500V 以上的线路或设备应采用 1000V 或 2500V 的兆欧表；测量 10kV 及 10kV 以上的线路或设备应采用 2500V 的兆欧表。测量新的和大修后的线路或设备应采用较高电压的兆欧表；测量运行中的线路或设备应采用较低电压的兆欧表。

使用兆欧表测量绝缘电阻时，应当注意下列事项：

- (1)被测设备必须停电。对于有较大电容的设备，停电后还必须充分放电。
- (2)测量连接导线不得采用双股绝缘线，而应采用绝缘良好单股线分开连接，以免双股线绝缘不良带来测量误差。
- (3)使用指针式兆欧表摇把的转速应由慢至快，转速应稳定，不要时快时慢。一般在转速 120r/min 左右时持续摇动 1min，待指针稳定后读数。记录完毕后应将转速由快至慢，逐

渐停止下来。

(4)使用指针式兆欧表测量过程中，如果指针指向“0”位，表明被测绝缘已经失效。应立即停止转动摇把，防止烧坏兆欧表。

(5)对于有较大电容的线路和设备，测量终了也应进行放电。

(6)测量应尽可能在设备刚停止运转时进行，以使测量结果符合运转时的实际温度。

(二) 接地电阻测量仪

1. 接地电阻测量仪概要

接地电阻测量仪是用于测量接地电阻的仪器，有机械式测量仪和数字式测量仪。其外形如图。



指针式接地电阻测量仪俗称接地摇表，主要由手摇交流发电机和电位差计式测量机构组成。

数字式接地电阻测量仪采用中大规模集成电路，相关转换技术进行测量和显示。

接地电阻测量仪有 C2、P2、P1、C1 四个接线端子或 E、P、C 三个接线端子。测量时，在离被测接地体一定的距离向地下打入电流极和电压极。测量时将连接起来的 C2、P2 端或 E 端接于被测接地体，P1 端或 P 端接于电压极，C1 或 C 端接于电流极。对于指针式接地电阻测量仪，选好倍率，以大约 120r/min 的转速转动摇把或接通电源时，即可产生 110-115Hz 的交流电流沿被测接地体和电流极构成回路。仪表指针保持在中心位置，可直接由电位器旋钮亦即刻度盘的位置结合所选倍率读出被测接地电阻值。

如被测接地电阻很小，且接线很长，接线电阻可能带来较大的误差。为消除这一误差，应将

仪器上的 C2、P2 端子拆开，分别接向被测接地体。

一般应当在雨季前或其他土壤最干燥的季节测量。雨天一般不应测量接地电阻。

2.接地电阻测量仪使用

(1)正确选定测量电极的位置。如测量电极位置选择不当，会产生很大的测量误差，而且土壤电阻率越高，测量误差越大。

(2)尽可能将被测接地与电力网分开。

(3)测量电极间的连线应避免与邻近的高压架空线路平行，以防止感应电压的危险。

(4)雷雨天气不得测量防雷接地装置的接地电阻。

(5)使用机械式接地电阻测量仪测量时，摇把的转速应由慢至快，至 120r/min 左右时调节电位器，边调边摇；至指针稳定指在中心刻线位置停止调节，再逐渐减速，停止摇动。

(三)谐波测试仪

1.谐波的产生和危害

谐波是频率为基波（50Hz）整数倍的正弦波。由于非线性负载（如电子设备、电弧炉）的大量应用，线路上产生不同频率、不同幅值、不同相位的谐波。

谐波的产生必然影响电能质量。谐波的出现可能引起谐振，会增加变压器、电动机电容器、电缆等设备发热，会中性线上产生很大的电流，还会影响电子设备正常工作会产生电磁干扰，甚至危及系统的稳定等。

2.谐波测试与监测

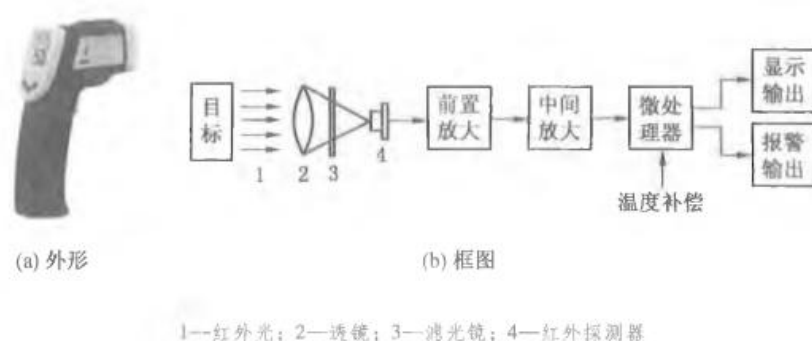
测试仪能测量谐波电压、电流的流峰值和真有效值，还能测量有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、频率。配置外设装置后，测试仪可实现监测、打印等功能。



(四) 红外测温仪

红外测温仪是利用热辐射体在红外波段的辐射通量来测量温度的，属于非接触式测量。

使用红外测温仪应注意的问题：①避免在强电磁环境、温度大幅度急剧变化的环境使用；②不应把测温仪存放在高温处；③将测温仪对准被测物后再按键测量；④为了保证测量的准确度，测量区域应小于被测目标的范围；⑤与带电体保持安全距离；⑥对于光亮的被测表面，宜在表面上覆盖黑色薄膜再进行测量，以提高测量准确度。



(五) 可燃气体检测

1. 可燃气体检测概要

不同类型的可燃气体检测仪由传感器（探测器）、测量电路和显示单元组成。

检测浓度用百万分比 ppm 表示。为了安全，当可燃气体浓度达到其爆炸下限（LEL）的 20% 时应警报。

催化燃烧型传感器属于热电阻传感器。这种传感器一般用铂丝作为载体催化元件。被测气体经小气泵吸入探头，在探头里的铂丝表面发生无焰燃烧，使铂丝温度升高。随着可燃气体成

分、浓度的不同，无焰燃烧产生的热量也不同，铂丝温度发生变化，电阻率随之发生变化。

半导体型传感器用半导体材料制成探测元件，利用 N 型半导体获得电子后电阻减小，P 型半导体获得电子后电阻增大的特征进行检测。半导体气敏传感器具有灵敏度高、响应快、简单等特点，可用于天然气、煤气、氢气、烷类气体、烯类气体、汽油、煤油、乙炔、氨气、酒精、烟雾等的检测和报警。

2.可燃性气体检测仪安装

相关标准、规范性文件规定了安装可燃气体监测系统的要求。

可燃气体监控系统是比较简单的定点监控系统。探头获取的信号经转换后送到监控室，在监控室处理后显示出来。探头的安装应注意以下问题：

- (1)安装前检查探头是否完好，规格是否与安装条件相符，并校准。
- (2)应尽量接近阀门、管道接头等较容易泄漏处安装探头，与阀门、管道接头等之间的距离不宜超过 1m。
- (3)探头应尽量避免高温、潮湿、多尘等有害环境，并不得妨碍正常操作。
- (4)可燃气体比空气轻时，探头应安装在设备上方；离屋顶距离视建筑特征、建筑物内设备安装等因素确定，通常 1m 左右。
- (5)可燃气体比空气重时，探头应安装在设备下方；离地面高度不应太大，通常不超过 1.5~2m。
- (6)探头安装可采用吊装、壁装、抱管安装等安装方式，安装应牢固；应方便维护、标定。
- (7)探头所接电线应采用三芯屏蔽电缆，芯线截面不应小于 1mm²，屏蔽层应接地；电线安装应符合所在场所电力线路的安装要求。
- (8)探头应定期标定。
- (9)安装作业应符合爆炸危险环境作业的要求。

【例题】测量绝缘电阻常用的设备是兆欧表。下列关于兆欧表的使用要求中，错误的是（ ）。

- A.被测量设备必须在停电状态下测量
- B.测量应尽可能在设备停止运行，冷却后进行测量
- C.对于有较大电容的设备，可以断电后直接进行测量
- D.兆欧表与接地电阻测量仪、谐波测试仪、红外测温仪统称为电气安全检测仪

答案：C

解析：电气安全检测仪器：兆欧表（设备必须停电、有较大电容的设备，测量前应进行充分放电，同时测量结束也应立即放电）；接地电阻测量仪、谐波测试仪、红外测温仪。