

第 1 章 安全用电

电气安全与人民生活和社会生产息息相关。分析各类电气事故，研究事故发生的原因、现象、特点、规律和防护措施是安全用电中非常重要的任务，也是安全生产的必要前提条件。

第一节 安全用电常识

一、电气安全用具

用于防止电气工作人员作业中发生人身触电、高处坠落、电弧灼伤等事故，保障工作人员人身安全的各种专用工具和用具，统称为电气安全用具。电气安全用具包括绝缘安全用具和一般防护用具。

(一) 绝缘安全用具

1. 作用：绝缘安全用具起绝缘作用，防止工作人员在电气设备上工作或操作时发生直接触电。

2. 分类：绝缘安全用具可分为基本安全用具和辅助安全用具。

基本安全用具的绝缘强度能长期承受工作电压，并能在产生过电压时，保证工作人员的人身安全。基本安全用具可分为高压绝缘安全用具和低压绝缘安全用具。

高压绝缘安全用具中基本安全用具有绝缘棒、绝缘钳和验电笔等；辅助安全用具一般有绝缘手套、绝缘靴、绝缘垫、绝缘站台和绝缘毯等。

低压绝缘安全用具中基本安全用具有绝缘手套、带有绝缘柄的工具和低压验电器。辅助安全用具有绝缘台、绝缘垫、绝缘鞋和绝缘靴等。

辅助安全用具的绝缘强度不足以单独承受电气设备或线路的工作电压，只能加强基本安全用具的保护作用，用来防止接触电压、跨步电压、电弧灼伤等对操作人员的危害。

(二) 常用绝缘安全用具

1. 绝缘杆：绝缘杆又称为绝缘棒、操作杆或拉闸杆，用电木、胶木、塑料、环氧玻璃布等材料制成，结构如图 1-1 所示。

绝缘部分和手柄部分用保护环隔开，保护环由浸过绝缘漆的木材、硬塑料、胶木或玻璃钢制成。配备不同工作部位的绝缘杆，可用来操作高压隔离开关、跌落式熔断器，安装和拆除临时接地线，安装和拆除避雷器，以及进行测量和试验等工作。考虑到电力系统内部过电压的可能性，绝缘杆的绝缘部分和手柄部分的最小长度应符合要求。绝缘杆工作部分金属钩的长度，在满足工作要求的情况下，不宜超过 5~8 厘米，以免操作时造成相间短路或接地

短路。

2. 验电器：验电器分为高压和低压两类，试电笔是常见的低压验电器，其主要作用是检查电气设备或线路是否带有电压；高压验电器还可以用于测量高频电场是否存在。低压验电器的主体是由绝缘材料制成的一根空心管子，管子前端有金属制的工作触头，管内装有氖光灯和电容器，绝缘和手柄部分用胶木或硬橡胶制成。

低压验电器除可判断电气设备或线路是否带电外，还可以用于区分相线（火线）和地线（零线）。此外，还能区分交流电和直流电，交流电通过氖光灯泡时，两极都发亮；而直流电通过时仅一个电极发亮。高压验电器和低压验电器具体内容将在第2章中详述。

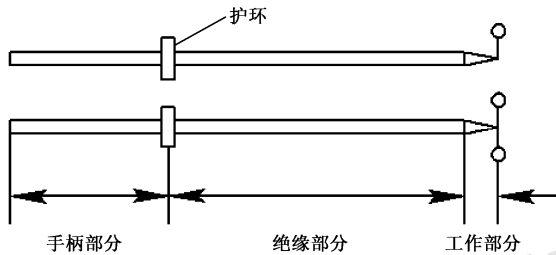


图 1-1 绝缘杆的结构

3. 绝缘夹钳：绝缘夹钳主要在 35kV 及以下的电气设备装拆熔断器等工作时使用。绝缘夹钳由钳把、钳身和钳口三部分组成，钳把和钳身用护环隔开，如图 1-2 所示，钳口要保证夹紧，各部分所使用的材料与绝缘棒相同。

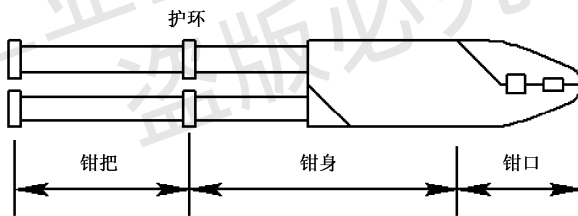


图 1-2 绝缘夹钳

4. 绝缘手套：绝缘手套可以使人的两手与带电体绝缘，用特种橡胶（或乳胶）制成，分 12kV（试验电压）和 5kV 两种，外观如图 1-3（a）所示。绝缘手套一般作为辅助安全用具，不能用医疗手套或化工手套代替，在 1kV 以下电气设备上使用时可以作为基本安全用具。

5. 绝缘鞋与绝缘靴：绝缘鞋有高低腰两种，在明显处标有“绝缘”字样和耐压等级，1kV 以下作为辅助绝缘用具，1kV 以上禁止使用。外观如图 1-3（b）所示。

绝缘靴采用特种橡胶制成，作用是使人体与大地绝缘，防止跨步电压触电，分 20kV（试验电压）和 6kV 两种。它的高度不小于 15 厘米，而且上部另加高 5 厘米。必须按规定定期进行试验。

绝缘手套和绝缘靴都是辅助安全用具，但绝缘手套也可作为低压工作的基本安全用具，绝缘靴可作为防护跨步电压的基本安全用具。绝缘手套的长度至少应超过手腕 10 厘米。



图 1-3 绝缘手套、绝缘靴与绝缘鞋

提示：不能用防雨胶靴代替绝缘靴或绝缘鞋。

6. 绝缘台、绝缘垫、绝缘毯：绝缘台、绝缘垫和绝缘毯均系辅助安全用具。绝缘台用干燥的木板或木条制成，其站台的最小尺寸是 0.8 米×0.8 米，为了便于移动和检查，最大尺寸不宜超过 1.5 米×1.0 米。四角用绝缘子作为台脚，其高度不得小于 10 厘米。绝缘垫和绝缘毯由特种橡胶制成，其表面有防滑槽纹，厚度不小于 5 毫米，其最小尺寸不宜小于 0.8 米×0.8 米。它们一般用于铺设在高、低压开关柜前，作为固定的辅助安全用具，具体如图 1-4 所示。

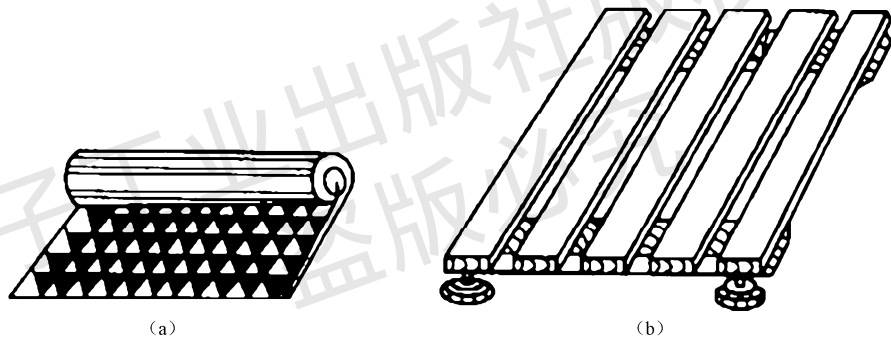


图 1-4 绝缘垫与绝缘台

(三) 一般防护用具

一般防护用具有携带型接地线、临时安全遮栏、标示牌、警告牌、防护目镜、安全帽、安全带、布手套、竹木梯和脚扣等，这些都是防止工作人员触电、电弧灼伤、高空坠落的一般安全用具，其本身不是绝缘物。

二、电气安全标志

为了引起人们对不安全因素的注意，预防事故的发生，需要在各有关场合给出醒目标志，即安全标志。安全标志由安全色、几何图形和图形符号构成，用以表达特定的安全信息。安全标志可以和文字说明的补充标志同时使用。补充标志应位于安全标志几何图形的下方，文字有横写、竖写两种形式，设置在光线充足、醒目、稍高于人视线处。

安全标志分为禁止标志、警告标志、指令标志、提示标志四类。国家标准 GB2894-82《安

全标志》对安全标志的尺寸、衬底色、制作、设置位置、检查、维修以及各类安全标志的几何图形、标志数目、图形颜色及其补充标志等都有具体规定。

禁止标志的几何图形是带斜杠的圆环，图形背景为白色，圆环和斜杠为红色，图形符号为黑色。禁止标志有禁止烟火、禁止吸烟、禁止用水灭火、禁止通行、禁止放易燃物、禁带火种、禁止启动、修理时禁止转动、运转时禁止加油、禁止跨越、禁止乘车、禁止攀登、禁止饮用、禁止架梯、禁止入内、禁止停留等 16 个。

警告标志的几何图形是三角形，图形背景是黄色，三角形边框及图形符号均为黑色。警告标志有：注意安全、当心火灾、当心爆炸、当心腐蚀、当心有毒、当心触电、当心机械伤人、当心伤手、当心吊物、当心扎脚、当心落物、当心坠落、当心车辆、当心弧光、当心冒顶、当心瓦斯、当心塌方、当心坑洞、当心电高辐射、当心裂变物质、当心激光、当心微波、当心滑跌等 23 个。

表 1-1 列举了几种电气安全标志的图样、名称、悬挂处所及式样等。

表 1-1 电气安全标志

图 样	名 称	悬挂位置	式 样		
			尺寸 (mm)	颜色	字样
	禁止合闸，有人工作	一经合闸即可送电的施工设备断路器（开关）和隔离开关（刀闸）操作把手上	200 × 100 和 80 × 50	白底	红字
	禁止合闸，线路有人工作	线路断路器（开关）和隔离开关（刀闸）把手上	200 × 100 和 80 × 50	红底	白字
	在此工作	室外和室内工作地点或施工设备上	250 × 250	绿底，中有直径 210mm 白圆圈	黑字，写于白圆圈中
	止步，高压危险	施工地点临近带电设备遮栏上；室外工作地点的围栏上；禁止通行的过道上；高压试验地点；室外构架上；工作地点临近带电设备的横梁上	250 × 200	白底 红边	黑字，有红色箭头
	从此上下	工作人员上下的铁架、梯子上	250 × 250	绿底，中有直径 210mm 白圆圈	黑字，写于白圆圈中
	禁止攀登，高压危险	工作人员上下的铁架临近可能上下的另外铁架上，运行中变压器的梯子上	250 × 200	白底红边	黑字
	已接地	悬挂在已接地线的隔离开关操作把手上	240 × 130	绿底	黑字

指令标志的几何图形是圆形，背景为蓝色，图形符号为白色。指令标志有：必须戴防护眼镜、必须戴防毒面具、必须戴安全帽、必须戴护耳器、必须戴防护手套、必须穿防护靴、必须系安全带、必须穿防护服等 8 个。

提示标志的几何图形是长方形，按长短边的比例不同，分一般提示标志和消防设备提示标志两类。提示标志图形背景为绿色，图形符号及文字为白色。一般提示标志有太平门、紧急出口、安全通道等 3 个。消防提示标志有消防警铃、火警电话、地下消火栓、地上消火栓、消防水带、灭火器、消防水泵接合器这 7 个。

提示：禁止标志是不得做某些事的标志，警告标志是工作中要特别注意的标志，指令标志是提醒人们必须遵守的一种标志，提示标志是指示目标方向的安全标志。

三、安全用电措施

根据规程规定，在全部停电或部分停电的电气设备上工作时，必须完成下列安全组织措施和安全技术措施。

（一）安全组织措施

安全组织措施主要有工作票制度、工作许可制度、工作监护制度、工作间断转移和工作终结及送电制度等。

（二）安全技术措施

安全技术措施包括停电、验电、装设临时接地线、悬挂标示牌和装设临时遮栏等。

四、电工安全操作规程

电工操作关系到生产及人身安全，为保证生产及生活的正常进行，保证电工人身安全，电工作业必须遵守《电工安全操作规程》。除此之外，还应该熟悉各行业或企业根据自身情况颁布的相关电气作业安全技术规程。

（一）电工安全操作规程

1. 电工作业人员必须经过有关部门安全技术培训，取得特种作业操作证后，方可独立上岗操作。现场用电作业必须由电工完成，严禁他人私拉乱接等。学徒工、实习生不得单独作业。

2. 所有绝缘、检验工具应妥善保管，严禁它用，并应定期检查、检验。

3. 现场施工用电、高低压设备及线路，应按照有关电气安全技术规程组织设计、施工及安装和架设。线路上禁止带负荷接电或断电，并禁止带电操作。

4. 电气设备和线路必须绝缘良好，电线不得与金属物绑在一起；各种施工用电设备必须按规定进行保护接零及装设漏电保护器。遇有临时停电或停工休息时，必须拉闸加锁。

5. 电气设备着火时，应立即将有关电源切断，使用绝缘灭火器或干砂灭火。

6. 在施工现场专用的中性点直接接地的电力系统中，必须采用 TN-S 接零保护系统。

7. 施工现场每一处重复接地的接地电阻值应不大于 10 欧姆,且不得少于 3 处(即总配电箱、线路的中间和末端处)。

8. 电气设备所有熔断器的额定电源应与其负荷容量相适应。禁止用其他金属丝代替熔断器。

9. 动力线路与照明线路必须分开架设。照明开关、灯口及插座等应正确接入相线及零线。

10. 施工现场夜间临时照明电线及灯具,室内高度应不低于 2.4 米,室外高度应不低于 3 米。易燃、易爆场所应使用防爆灯具。施工现场照明灯具的金属外壳和金属支架必须进行保护接零。电线应采用三芯橡皮护套电缆,严禁使用花线和护套线。

11. 按规定做好钢管脚手架、物料提升机、塔吊等设备的防雷接地保护。接地体可用角钢,不得使用螺纹钢,接地电阻应符合规范要求。

12. 不准酒后上班,更不得班中饮酒。

13. 电气设备的金属外壳,必须接有保护零线,同一供电系统不允许电气设备有的保护接地,而有的保护接零。

14. 施工现场配电箱要有防雨措施,门锁齐全,有色标,统一编号。开关箱要做到一机一闸,箱内无杂物;开关箱、配电箱内严禁动力、照明混用;要有检修记录及记录本。

15. 移动电箱电源线长度不大于 30 米,移动用电设备引出线不大于 5 米。

16. 电气设备烧毁时,需检查好原因再更换,防止再次发生事故。

17. 每个电工必须熟练掌握触电急救方法,有人触电应立即切断电源,按触电急救方案实施抢救。

(二) 维修电工安全操作规程

1. 熟悉电气安全知识和触电急救方法,并经考试合格发给操作证,才能操作。新工人要有师傅带领操作。

2. 必须认真执行各项电气安全管理规定,做到装得安全,拆得彻底,经常检查,及时修理。

3. 工作前,必须检查工具、测量仪器和绝缘用具的灵敏性和安全可靠。禁止使用失灵的测量仪器和绝缘不良的工具。

4. 任何电器设备未经验电,一律视为有电,不准用手触及。开关跳闸后,须将线路仔细检查一遍,方可推上开关,不允许强行送电。

5. 动力配电箱的闸刀开关,禁止带负荷拉开。凡校验及修理电气设备时,应切断电源,取下熔断丝,挂上“禁止合闸,有人工作”的警告牌。停电警告牌应“谁挂谁取”。

6. 不准带电作业,遇有特殊情况不能停电时,应经领导同意,并在有经验的电工监护下,划出危险(禁入)区域,采取严格的安全绝缘措施方能操作。工作时要戴安全帽、穿长袖衣服、戴绝缘手套,使用有绝缘柄的工具,并站在绝缘垫上进行。邻近两相的带电部分和接地金属部分应用绝缘板隔开。严禁使用锉刀、钢尺等进行工作。

7. 工作临时中断后或每班开始工作前,都必须重新检查电源,验明无电方可继续工作。

8. 带电装卸熔断丝时,要戴好绝缘手套,必要时使用绝缘夹钳,站在绝缘垫上。熔断丝的容量要与设备或线路安装容量相适应。不得使用超容量的熔断丝,严禁用铜丝或其他金属丝代替熔断丝。

9. 电气设备的金属外壳必须接地（或接零）。接地线要符合标准。有电设备不准断开外壳接地线。

10. 电器或线路拆除后，遗留的线头应及时用绝缘胶布包扎好。

11. 安装或维修照明灯具，必须分清零线和火线，安装灯头时，开关必须接在火线上，灯口螺纹必须接在零线上。

12. 严格执行临时线的接、装、拆制度。在检查中，发现有私自接装的电气设备或灯具等，应予以拆除，确保用电安全。

13. 动力配电盘、配电箱、开关、变压器等各种电器设备附近要勤检查，不准堆放各种易燃、易爆、潮湿或其他影响操作的物件，并做好清洁保养工作。

14. 每次维修结束时，必须清点所带工具、零件，以防遗失在设备里造成事故。

15. 由专门检修人员修理电气设备时，值班电工要进行登记，完工后要做好交代并共同检查，然后方可送电。

16. 临时装设的电气设备必须将金属外壳接地。严禁将电动工具的外壳接地线和工作零线拧在一起插入插座。必须使用两线带地或三线带地插座，或者将外壳接地线单独接到接地干线上，以防接触不良时引起外壳带电。用橡胶套软电缆连接移动设备时，专供保护接零的电线上不许有工作电流通过。

17. 登高作业必须系好安全带。使用竹梯时，应认真检查，梯脚要有防滑措施，放在坚固的支持物上，顶端必须扎牢或梯脚有人扶住。缺损、霉蛀的竹梯不准使用。使用人字梯时，拉绳必须牢固。

18. 使用 36V 以上的手持电动工具，应有良好接地。检查所用的电动工具电压等级是否与电源电压相符。使用时，必须戴好绝缘手套并站在绝缘垫上工作。

19. 绝缘工具要定期做好耐压试验，确保用具安全可靠。

20. 使用喷灯时，油量不得超过容积的四分之三。打气要适当。不得使用漏油、漏气的喷灯。不准在易燃易爆物品附近点火使用。

21. 使用柴油、煤油清洗零件时，附近不得吸烟或明火作业，用后应将油盘盖好，保管好。禁止用汽油清洗零件。

22. 由电气设备引起火警时，应立即切断电源，并使用干粉或 1211 灭火器扑救。严禁用水或泡沫灭火器扑救。

第二节 触电与急救

一、触电

(一) 触电原因

因人体接触或接近带电体导致电流经过人体的现象称为触电。造成触电的原因主要有以下几类：

1. 线路架设不合规格；

2. 电气操作制度不严格、不健全；
3. 用电设备不合要求；
4. 违反安全操作规程；
5. 设备绝缘老化。

（二）触电类型

1. 低压触电

低压触电有两种类型，单相触电和两相触电。

（1）单相触电：单相触电是指人体接触带电体或线路中的某一相，电流从带电体流经人体到大地（或零线）形成回路。此时，人体承受相电压。单相触电可分为中性点接地系统的单相触电和中性点不接地系统的单相触电两种，分别如图 1-5（a）和图 1-5（b）所示。一般不接地系统的工作电压大多是 6~10kV，在这种系统上单相触电，几乎是致命的。

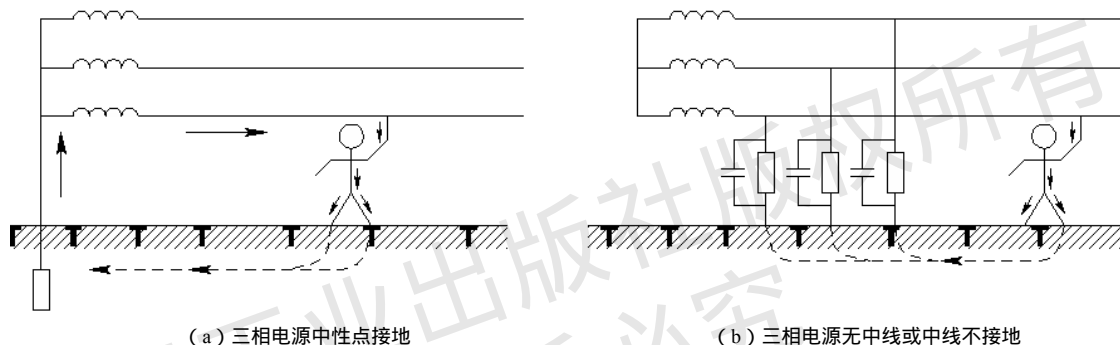


图 1-5 单相触电

（2）两相触电：两相触电也叫相间触电，是人体与大地绝缘时，人体同时接触两根不同的相线或人体的不同部分同时接触同一电源的任何两相导线。两相触电时电流由一根相线经人体流到另一相线，形成闭合回路。此时人体承受线电压，比单相触电更具有危险性。如图 1-6 所示。

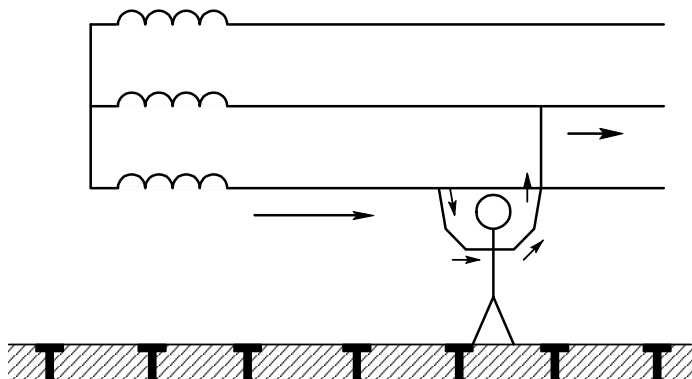


图 1-6 两相触电

2. 高压触电

(1) 跨步电压触电：当高压线断落触地、雷电流入地或运行中的电气设备因绝缘损坏漏电时，会在导线接地点及周围地面形成强电场。人跨进这个区域，两脚间将存在电位差，电流从接触高电位的脚流进，经过人体，从接触低电位的脚流出，即为跨步电压触电。如图 1-7 所示，电压 U 即为跨步电压。如果遇到这种危险场合，应合拢双脚，跳离接地点 20 米之外，以保障人身安全。

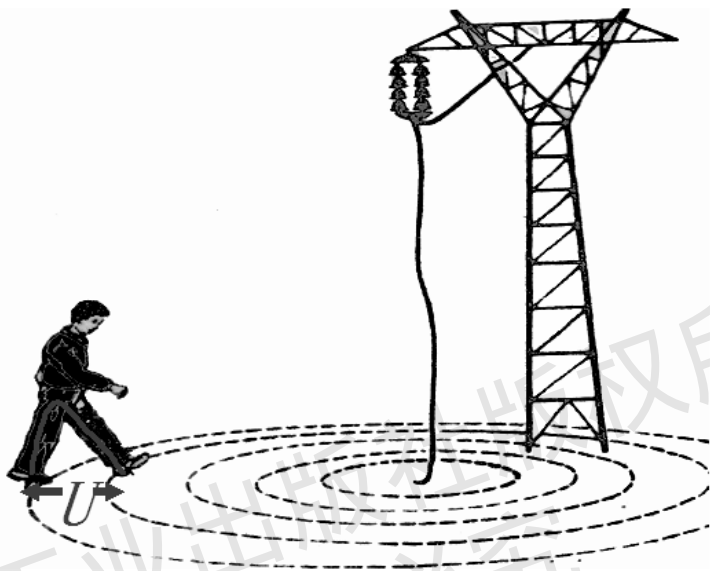


图 1-7 跨步电压触电

(2) 高压电弧触电：人体过分接近高压带电体会引起电弧放电，给人体带来致命的电击和电伤，称为高压电弧触电。

低压触电都是由于人直接或间接接触火线造成的，所以不要接触低压带电体。高压触电是由于人靠近高压带电体造成的，所以不要靠近高压带电体。

提示： 低压勿摸，高压勿近！

3. 雷击触电

雷击事故是一种自然现象，是雷云向地面凸出的导电物体放电时引起的自然灾害。雷电流可能导致直接伤害和间接伤害。直接雷击可将人击毙或击伤、灼伤；间接伤害则指可能发生跨步电压触电和接触电压触电以及感应电压触电。

除了上述触电类型，还有感应电压触电、残余电荷触电、静电触电等其他触电情况。

二、触电对人体的伤害

(一) 触电对人体伤害的类型

按人体受伤害的程度不同，触电可分为电击和电伤两类。

1. 电击

电击是电流通过人体,使机体组织受到刺激,肌肉不由自主地发生痉挛性收缩造成的伤害。严重的电击会使人的心脏、肺部神经系统的正常工作受到破坏,产生休克,甚至造成生命危险。电击致伤的部位主要在人体内部,而在人体外部不会留下明显痕迹,致命电流较小。有效值 50mA 以上的工频交流电流通过人体,就可能引起心室颤动或心跳骤停,或导致呼吸中止。

如果通过人体的电流只有 20~25mA,一般不会直接引起心室颤动或心跳骤停。但如时间较长,仍可导致心脏停止跳动。这时,心室颤动或心跳骤停主要是由于呼吸中止,导致机体缺氧引起的。

2. 电伤

电伤是由于电流的热效应、化学效应、机械效应等对人体造成的伤害,造成电伤的电流都比较大。电伤会在人体表面留下明显的伤痕,但其伤害作用可能深入体内。热效应会导致电烧伤、电烙印;化学效应会引起皮肤金属化、电光眼;机械效应可能直接致人机械损伤、骨折等。电伤主要伤害人体外部,在人体外表留下明显的痕迹,电流进出口烧伤最严重,致命电流较大。

(1) 电烧伤是最常见的电伤。大部分电击事故都会造成电烧伤。电烧伤可分为电流灼伤和电弧烧伤。电流越大、通电时间越长,电流通过途径的电阻越小,则电流灼伤越严重。由于人体与带电体接触的面积一般都不大,加之皮肤电阻又比较高,使得皮肤与带电体的接触部位产生较多的热量,受到严重的灼伤。当电流较大时,可能灼伤皮下组织。

由于接近高压带电体时会发生击穿放电,因此,电流灼伤一般发生在低压电气设备上,往往数百毫安的电流即可导致灼伤。

(2) 电烙印是电流通过人体后,在接触部位留下的斑痕。斑痕处皮肤变硬,失去原有弹性和色泽,表层坏死,失去知觉。

(3) 皮肤金属化是金属微粒渗入皮肤造成的。受伤部位变得粗糙而张紧。皮肤金属化多在弧光放电时发生,而且一般都伤在人体的裸露部位。当发生弧光放电时,与电弧烧伤相比,皮肤金属化不是主要伤害。

(4) 电光眼表现为角膜和结膜发炎。在弧光放电时,红外线、可见光、紫外线都可能损伤眼睛。对于短暂的照射,紫外线是引起电光眼的主要原因。

(二) 触电对人体伤害的影响因素

触电对人体伤害的程度受到电流、电压大小、电流持续时间、电流流经人体的途径、电流频率、人体电阻等因素的影响。其中,电流的影响至关重要。

1. 电流

以下几个重要的电流值反映了电流对人体的影响。

(1) 感知电流:用手握住电源时,能引起人体感觉的最小电流值,称为感知电流。成年男性的平均感知电流约为 1.1mA,成年女性约为 0.7mA。

(2) 摆脱电流:人体触电后,在不需要任何外来帮助情况下能自主摆脱电源的最大电流称为摆脱电流。当 18~22mA(摆脱电流的上限)的工频电流通过人体的胸部时,如果电流停止,呼吸即可恢复,而且不会因短暂的呼吸停止而造成不良后果。对应于 99.5%摆脱概率,成

年男性的最大摆脱电流约为 9mA，成年女性约为 6mA。

(3) 致命电流：在较短的时间内危及生命的最小电流称为致命电流。50Hz 交流电和直流电流过人体时，对人体的伤害如表 1-2 所示。国家规定通过人体的最大安全电流为 30mA。

表 1-2 电流对人体的伤害

电流 (mA)	交流电 (50Hz)	直流电
0.6~1.5	手指开始发麻	无感觉
2~3	手指感觉强烈发麻	无感觉
5~7	手指肌肉感觉痉挛	手指感觉灼热和刺痛
8~10	手指关节与手掌感觉痛， 手已难于脱离电源，但尚能摆脱	手指感觉灼热， 较 5~7mA 时更强
20~25	手指感觉剧痛，迅速麻痹， 不能摆脱电源，呼吸困难	灼热感很强，手部肌肉痉挛
50~80	呼吸麻痹，心室开始震颤	强烈灼热感，手部肌肉痉挛， 呼吸困难
90~100	呼吸麻痹，持续 3 秒或更长时间后 心脏麻痹或心房停止跳动	呼吸麻痹
> 500	延续 1 秒以上有死亡危险	呼吸麻痹，心室颤动，心跳停止

2. 电压

人体接触的电压越高，流过人体的电流越大，对人体的伤害越严重。

3. 电流持续时间

人体触电电流越大，触电时间越长，电流对人体产生的热伤害，化学伤害及生理伤害越严重。

一般来言，短时间内，工频 15~20mA、直流 50mA 范围以内的电流基本安全。长时间接触工频电流 8~10mA 会导致人死亡。

4. 电流流经途径

电流从不同的路径流经人体，对人体的伤害程度有所不同。电流通过头部可使人昏迷；通过脊髓可能导致肢体瘫痪；通过心脏可造成心脏停跳、血液循环中断；通过呼吸系统会造成窒息。

因此，电流从左手到胸部的危险性最大；从手到手、从手到脚也是很危险的电流路径；从脚到脚的危险性较小，但容易造成腿部肌肉痉挛而摔倒，导致二次触电。

5. 电流频率

50~60Hz 的交流电对人最危险，随着频率的升高，触电危险程度将下降。在电流相同的条件下，直流电的危险性要低于交流电。对动物进行的实验，得到不同频率的触电死亡率如表 1-3 所示。

6. 人体状况

人体电阻越大，受电流伤害越轻。人体电阻由体内电阻和体表电阻组成，体内电阻基本不变，体表电阻受较多因素影响，如果皮肤表面角质层损伤、皮肤潮湿、流汗、携带导电粉尘、对带电体接触面大、接触压力大等，都会大幅度增加触电伤害程度。通常人体电阻可按 1~2kΩ 考虑。

表 1-3 不同频率的触电死亡率（动物实验）

频率 (Hz)	10	25	50	60	80
死亡率 (%)	21	70	95	91	43
频率 (Hz)	100	120	200	500	1000
死亡率 (%)	34	31	22	14	11

提示:

- (1) 人的性别、健康状况、精神状态等与触电伤害程度有着密切关系;
- (2) 女性比男性更容易受电流伤害;
- (3) 老人、小孩比青年更容易受电流伤害;
- (4) 体弱的人比健康的人更容易受电流伤害。

(三) 安全电压

人体触电时,对人体各部位组织(如皮肤、心脏、呼吸器官和神经系统)不会造成任何损害的电压称为安全电压。人体触电的本质是电流通过人体产生了有害效应,然而触电的形式通常都是人体的两部分同时触及了带电体,而且这两部分带电体之间存在着电位差。因此在电击防护措施中,要将流过人体的电流限制在无危险范围内,也即将人体能触及的电压限制在安全的范围内。对此国家制定了安全电压系列标准,称为安全电压等级或额定值,这些额定值指的是交流有效值。

对于安全电压值的规定,各国有所不同。如荷兰和瑞典为 24 伏;美国为 40 伏;法国交流为 24 伏;直流为 50 伏;波兰、捷克斯洛伐克为 50 伏。我国的安全电压值规定见表 1-4。

表 1-4 我国安全电压值

安全电压 (V)		选用举例
额定值	空载上限值	
42	50	没有高度触电危险的场所,如干燥、无导电粉尘、地板为非导电性材料的场所,在有触电危险的场所使用的手持电动工具等
36	43	在有高度触电危险的场所,如相对湿度达 75%、有导电性粉末和地板潮湿的场所,矿井多粉尘及类似场所使用的行灯等
24	29	工作面积狭窄,操作者容易大面积接触带电体的场所,如锅炉等金属容器内
12	15	
6	8	人体需要长期触及器具上带电体的场所,如医疗器械等

提示: 安全电压并非绝对安全,只是相对安全。

(四) 防止触电的安全措施

安全用电的基本原则是“安全第一,预防为主”,分析触电原因,掌握预防触电措施是电气从业人员基本素养。

1. 预防直接接触电的措施

(1) 选用安全电压：交流电安全电压额定值的等级分为 42V、36V、24V、12V 和 6V，直流电安全电压为不超过 120V。

(2) 加强绝缘：良好的绝缘是保证电气设备和线路正常运行的必要条件，是防止触电的重要措施。

(3) 采用屏护措施和间距措施：采用屏护装置将带电体与外界隔绝，以杜绝不安全因素的措施叫屏护措施。常用的屏护装置有遮栏、护罩、护盖、栅栏等。

为防止人体、车辆或其他设备触及或过分接近带电体，同时为了操作的方便，在带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与其他设备之间，均应保持一定的安全间距，称为间距措施。

安全间距的大小取决于电压等级、设备类型、安装方式等因素。人体与不同电压等级带电体间的安全距离如表 1-5 所示。

表 1-5 人体与带电体间的安全距离

电压等级 (KV)	10 以下	35	110
安全距离 (m)	0.7	1.0	1.5

2. 预防间接接触电的措施

(1) 加强绝缘措施：对电气设备或线路采取双重绝缘措施，可使设备或线路绝缘牢固，不易损坏。即使工作绝缘损坏，还有一层加强绝缘，不致发生金属导体裸露而造成间接触电。

(2) 电气隔离措施：采用隔离变压器或具有同等隔离作用的发电机，使电气线路和设备的带电部分处于悬浮状态叫电气隔离措施。即便线路或设备的工作绝缘损坏，人站在地面上与之接触也不易触电。必须注意，被隔离回路的电压不得超过 500V，其带电部分不能与其他电气回路或大地相连。

(3) 自动断电措施：在带电线路或设备上发生触电事故或其他事故（如短路、过载、欠压等）时，在规定时间内能自动切断电源而起保护作用的措施叫自动断电措施。如漏电保护、过流保护、过压或欠压保护、短路保护、接零保护等均属自动断电措施。

(4) 电气设备的保护接地和保护接零：指将电气设备进行可靠的保护接地或保护接零。此部分知识将在本章第四节介绍。

三、触电急救

在实际工作和生活中，完全避免触电事故是不可能的，触电时，及时抢救和正确救治是抢救触电者生命的关键。触电救护要点为：抢救迅速、救护得法、贵在坚持。

(一) 迅速脱离电源

1. 触电急救，首先要使触电者迅速脱离电源，越快越好。因为电流作用的时间越长，伤害越重。

2. 脱离电源，就是要把触电者接触的那一部分带电设备的所有断路器（开关）、隔离开关（刀闸）或其他断路设备断开；或设法使触电者与带电设备脱离。在脱离电源过程中，救

护人员也要注意保护自身的安全。如触电者处于高处，应采取相应措施，防止该伤员脱离电源后自高处坠落形成复合伤。

3. 低压触电可采用下列方法使触电者脱离电源

(1) 如果触电地点附近有电源开关或电源插座，可立即拉开开关或拔出插头，断开电源。但应注意到拉线开关或墙壁开关等只控制一根线的开关，有可能因为安装问题只能切断零线而没有断开电源的相线。

(2) 如果触电地点附近没有电源开关或电源插座（头），可用有绝缘柄的电工钳或有干燥木柄的斧头切断电线，断开电源。

(3) 当电线搭落在触电者身上或压在身下时，可用干燥的衣服、手套、绳索、皮带、木板、木棒等绝缘物作为工具，拉开触电者或挑开电线，使触电者脱离电源。

(4) 如果触电者的衣服是干燥的，又没有紧缠在身上，可以用一只手抓住他的衣服，拉离电源。但因触电者的身体是带电的，其鞋的绝缘也可能遭到破坏，救护人员不得接触触电者的皮肤，也不能抓他的鞋。

(5) 若触电发生在低压带电的架空线路上或配电台架、进户线上，对可立即切断电源的，则应迅速断开电源，救护者迅速登杆或登至可靠地方，并做好自身防触电、防坠落安全措施，用带有绝缘胶柄的钢丝钳、绝缘物或干燥不导电物体等工具使触电者脱离电源。

4. 高压触电可采用下列方法之一使触电者脱离电源

(1) 立即通知有关供电部门或用户停电。

(2) 戴上绝缘手套，穿上绝缘靴，用相应电压等级的绝缘工具按顺序拉开电源开关或熔断器。

(3) 抛掷裸金属线使线路短路接地，迫使保护装置动作，断开电源。注意抛掷金属线之前，应先将金属线的一端固定可靠接地，然后另一端系上重物抛掷，注意抛掷的一端不可触及触电者和其他人。另外，抛掷者抛出线后，要迅速离开接地的金属线 8m 以外或双腿并拢站立，防止跨步电压伤人。在抛掷短路线时，应注意防止电弧伤人或断线危及人员安全。

5. 脱离电源后的救护应注意的事项

(1) 救护人不可直接用手、其他金属及潮湿的物体作为救护工具，而应使用适当的绝缘工具。救护人最好用一只手操作，以防自己触电。

(2) 防止触电者脱离电源后可能的摔伤，特别是当触电者在高处的情况下，应考虑防止坠落的措施。即使触电者在平地，也要注意触电者倒下的方向，注意防摔。救护者也应注意救护中自身的防坠落、摔伤措施。

(3) 救护者在救护过程中特别是在杆上或高处抢救伤者时，要注意自身和被救者与附近带电体之间的安全距离，防止再次触及带电设备。电气设备、线路即使电源已断开，对未做安全措施挂上接地线的设备也应视作有电设备。救护人员登高时应随身携带必要的绝缘工具和牢固的绳索等。

(4) 如事故发生在夜间，应设置临时照明灯，以便于抢救，避免意外事故，但不能因此延误切除电源和进行急救的时间。

提示：救护者一定要在能确保自身安全的前提下，才能去救助触电者。

(二) 电话报警

当出现触电事故时,在对触电者施救的同时应及时拨打110和120报警,若是生活中的触电事故,还应及时通知亲戚朋友;若生产中的触电事故,还应通知相关领导和上级指挥部门切断电源;若涉及公众电力设施,还应立即拨打**电力部门专用电话95598**告知相关情况。

(三) 准确实施救治

触电者脱离电源后,应立即在现场进行急救治疗。救护人员必须在现场或附近就地抢救触电者,千万不要停止救治而长途运送去医院。抢救奏效的关键是迅速,即必须就地救治。要实现就地救治,必须普及救治方法,如人工呼吸法、胸外心脏按压法等。

抢救既要迅速又要有耐心,即使在送往医院途中也不能停止急救。此外不能给触电者打强心针、泼冷水或压木板等。

1. 症状判断

- (1) 判断触电者有无知觉;
- (2) 判断呼吸是否停止:先将触电者移到干燥、宽敞、通风的地方,放松衣、裤,使其仰卧,观察胸部或腹部有无因呼吸产生的起伏动作;
- (3) 判断脉搏是否跳动:用手检查颈动脉或腹股沟处的股动脉是否搏动;
- (4) 判断呼吸和脉搏是否都停止;
- (5) 判断瞳孔是否散大:用手电筒照射瞳孔,看其是否收缩。

2. 准确实施救治

触电者脱离电源后,应迅速判断其症状,根据其受电流伤害的不同程度,采用不同的急救方法。

(1) 触电者神志清醒,能回答问题,只是感觉头昏、乏力、心悸、出冷汗、恶心、呕吐及四肢麻木,属于症状较轻,应让其就地静卧休息一段时间,以减轻心脏负担,加快恢复。同时,应迅速请医生到现场诊治,做好一切抢救准备。

(2) 触电者神志不清或失去知觉,但呼吸、心跳尚存,这时,应将其抬到附近通风、干燥、空气清新的地方平卧,解开衣服,随时观察伤情的变化,同时立即请医生到现场诊治或送医院。

(3) 对失去知觉、呼吸困难或呼吸逐渐微弱但还有心跳的触电者,要立即进行人工呼吸救治。同时立即请医生到现场急救或送医院。

(4) 对心跳渐弱或心跳停止,但还有呼吸和脉搏的触电者,要立即进行胸外心脏按压救治。同时立即请医生到现场急救或送医院。

提示:如果触电者呼吸、脉搏和心跳均已停止,出现假死现象,应立即同时进行口对口人工呼吸和胸外心脏按压两种救治。

(四) 急救方法

1. 口对口人工呼吸法

如果触电者受伤较严重,失去知觉,停止呼吸,但心脏微有跳动,就应采用口对口人工

呼吸法进行救治,如图 1-8 所示。具体做法是:

(1) 迅速解开触电者身上阻碍呼吸的衣服、裤带,松开上身的衣服、护胸罩和围巾等,令其头先侧向一边,并迅速清除触电者口腔内妨碍呼吸的物体(如脱落的假牙、血块、粘液等),以免堵塞呼吸道。

(2) 使触电者仰卧,不垫枕头,使其头部充分后仰(最好一只手托在触电者颈后),使鼻孔朝上,以利呼吸道畅通。

(3) 救护人员位于触电者头部的左边或右边,用一只手捏紧其鼻孔,使其不漏气,另一只手将其下巴拉向前下方,使嘴巴张开,嘴上可盖上一层纱布,准备吹气。

(4) 救护人员深吸一口气后,口对口向触电者的口内吹气,为时约 2 秒钟;同时观察触电者胸部隆起的程度,一般应以胸部略有起伏为宜。

(5) 吹气完毕,立即松口,并松开触电者的鼻孔,让其自行呼气,为时约 3 秒钟。这时应注意观察触电者胸部的复原情况,倾听口鼻处有无呼吸声,从而检查呼吸是否阻塞。

重复第(4)、(5)步,吹气 2 秒,放松 3 秒,大约 5 秒一个循环。当触电者自己开始呼吸时,人工呼吸应立即停止。如果触电者为小龄儿童,或无法使触电者的嘴张开,可改用口对鼻人工呼吸法。

操作口诀:张口捏鼻手抬颌,深吸缓吹口对紧;张口困难吹鼻孔,五秒一次坚持吹。

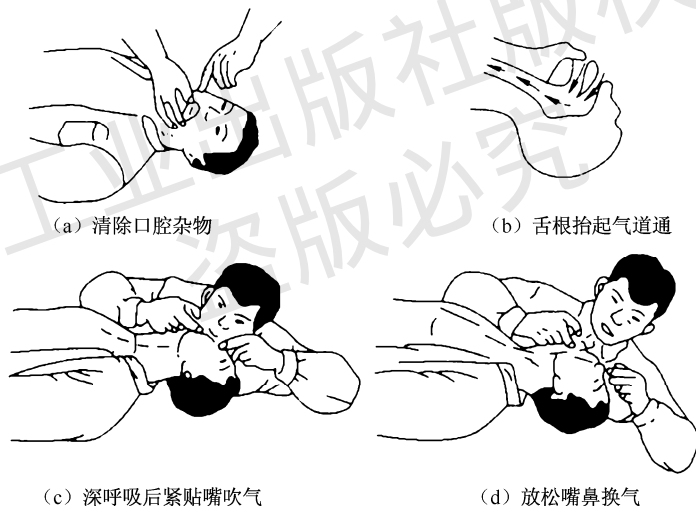


图 1-8 口对口人工呼吸法

2. 人工胸外挤压心脏法

应使触电者仰卧在比较坚实的地方,姿势与口对口人工呼吸法相同,如图 1-9 所示。人工胸外挤压心脏的具体操作步骤如下:

(1) 解开触电者的衣裤,清除口腔内异物,使其胸部能自由扩张;

(2) 救护人员跪在触电者一侧或骑跪在其腰部两侧,两手相叠,将一只手的掌根放在心窝稍高一点的地方(胸骨下三分之一的部位),中指指尖对准锁骨间凹陷处边缘,另一只手压上面,呈两手交叠状(对儿童可用一只手),如图 1-9(a)、(b) 所示;

(3) 掌根用力垂直向下(脊背方向),自上而下垂直均衡地用力,对成人应压陷 3~4 厘米,每秒种挤压一次,压出心脏里面的血液,注意用力适当,对儿童用力要轻一些。如图 1-9

(c) 所示；

(4) 挤压后，掌根迅速放松（但手掌不要离开胸部），让触电者胸廓自动复原，心脏扩张，血液又回到心脏。如图 1-9 (d) 所示。

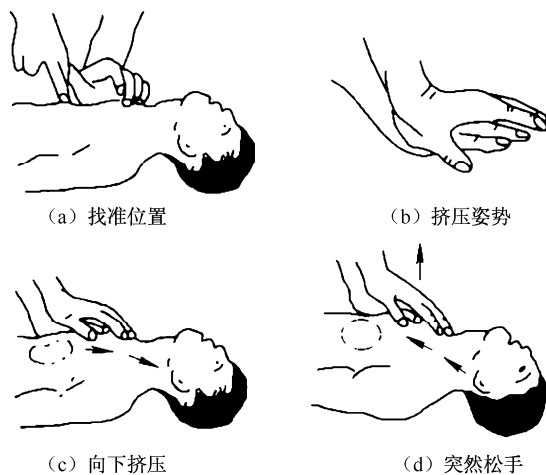


图 1-9 胸外挤压心脏法

重复 (3) \ (4) 步骤，每分钟 60 次左右为宜。

操作口诀：掌根下压不冲击，突然放松手不离；手腕略弯压一寸，一秒一次较适宜。

若触电者被伤害得相当严重，心脏和呼吸都已停止，人完全失去知觉，则需同时采用口对口人工呼吸和人工胸外挤压两种方法。单人救护时，可先吹气 2~3 次，再挤压 10~15 次，交替进行。双人救护时，每 5s 吹气一次，每秒钟挤压一次，两人同时进行操作。

提示：触电急救贵在坚持，只要有一线希望就要尽全力去抢救。

3. 外伤处理

对于不危及生命的轻度外伤，可以放在触电急救之后处理。对于危及生命的严重外伤，应当与人工呼吸和人工胸外挤压心脏法等急救措施同时进行处理。

为了减轻伤口的感染，可以使用食盐水或温开水冲洗伤口，再使用干净的绷带、布带等进行包扎。如果伤口出血，应设法止血。

高压触电时，往往会造成严重烧伤。为了减少伤口感染和便于及时治疗，最好用酒精擦洗后再进行包扎。

第三节 电气防火、防雷

一、电气防火

(一) 电气火灾的主要原因

电气火灾是指由电气原因引发燃烧而造成的灾害。设备自身缺陷、施工安装不当、电气

接触不良、雷击静电引起的高温、电弧和电火花、以及短路、过载、漏电等电气事故都有可能导致火灾。周围存放易燃易爆物是电气火灾的环境条件。电气火灾产生的直接原因有以下几类：

1. 设备或线路发生短路故障。电气设备由于绝缘损坏、电路年久失修、操作时疏忽大意、操作失误及设备安装不合格等都可能造成短路，其短路电流可达正常电流的几十倍甚至上百倍，产生的热量（与电流的平方成正比）使温度上升超过自身或周围可燃物的燃点引起燃烧，从而导致火灾。

2. 过载引起电气设备过热。选用线路或设备不合理，线路的负载电流超过了导线额定的安全载流量，电气设备长期超载（超过额定负载能力），引起线路或设备过热而导致火灾。

3. 接触不良引起过热。如接头连接不牢或不紧密、动触点压力过小等使接触电阻过大，导致接触部位过热而引起火灾。

4. 通风散热不良。大功率设备缺少通风散热设施或通风散热设施损坏造成过热而引发火灾。

5. 电器使用不当。如电炉、电熨斗、电烙铁等未按要求使用，或用后忘记断开电源，引起过热而导致火灾。

6. 电火花和电弧。有些电气设备正常运行时就可能产生电火花、电弧，如大容量开关、接触器触点的分、合操作，都会产生电弧和电火花。电火花温度可达数千度，遇可燃物便可点燃，遇可燃气体则可能引发爆炸。电弧由大量密集的电火花汇集而成，其温度可高达 3000 ~ 6000 。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，构成危险的火源。

（二）电气火灾的防护措施

电气火灾防护的主要目的在于消除隐患、提高用电安全，具体措施如下：

1. 正确选用保护装置

（1）对正常运行条件下可能产生电热效应的设备采用隔热、散热、强迫冷却等措施，并注重耐热、防火材料的使用。

（2）按规定要求设置包括短路、过载、漏电保护等自动断电保护措施。对电气设备和线路正确设置接地、接零保护，为防雷电安装避雷器及接地装置等。

（3）根据使用环境和条件正确设计选择电气设备。恶劣的自然环境和有导电尘埃的地方应选择有抗绝缘老化功能的产品，或增加相应的措施；对易燃易爆场所则必须使用防爆电气产品。

2. 正确安装电气设备

（1）合理选择安装位置：对于有爆炸危险的场所，应该考虑把电气设备安装爆炸危险场所以外或爆炸危险性较小的地方。

开关、插座、熔断器、电热器具、电焊设备和电动机等应根据需要，尽量避开易燃物或易燃建筑构件。起重机滑触线下方，不应堆放易燃品。露天变、配电装置不应设置在易于沉积可燃性粉尘或纤维的地方等。

（2）保持必要的防火距离：对于在正常工作时会产生电弧或电火花的电气设备，应使用灭弧材料将其全部隔离起来，或将其与可能被引燃的物料用耐弧材料隔开，或与可能引起火灾的物料之间保持足够的距离，以便安全灭弧。安装和使用局部热聚焦或热集中电气设备时，在局部热聚焦或热集中的方向，与易燃物料必须保持足够的距离，以防引燃。

电气设备周围的防护屏障材料，必须能承受电气设备产生的高温（包括故障情况下）。应根据具体情况选择不可燃材料、阻燃材料或在可燃性材料表面喷涂防火涂料。

3. 保持电气设备的正常运行

(1) 正确使用电气设备，是保证电气设备正常运行的前提。因此应按设备使用说明书的规定操作电气设备。严格执行操作规程。

(2) 保持电气设备的电压、电流、温升等不超过允许值。保持各导电部分连接可靠，接地良好。

(3) 保持电气设备的绝缘良好，保持电气设备的清洁，保持通风良好。

(三) 电气火警的紧急处理

1. 切断电源：当电气设备发生火警时，首先要切断电源（拉开电源开关或用木柄消防斧切断电源进线端），防止事故的扩大和火势的蔓延，以及灭火过程中发生触电事故。

2. 电话报警：发生火灾，应立即拨打 119 火警电话报警，向公安消防部门求助。通知电力部门派人到现场指导和监护扑救工作。

3. 正确选择使用灭火器：在扑救尚未确定断电的电气火灾时，应选择适当的灭火器和灭火装置。使用普通水枪射出的直流水柱和泡沫灭火器射出的导电泡沫会破坏绝缘，有可能造成触电事故和更大危害。常用灭火剂的种类、用途及使用方法如表 1-6 所示。

表 1-6 常用电气灭火器的主要性能

种类	二氧化碳	四氯化碳	干粉	1211	泡沫
规格	<2kg 2~3kg 5~7kg	<2kg 2~3kg 5~8kg	8kg 50kg	1kg 2kg 3kg	10L 65~130L
药剂	液态 二氧化碳	液态 四氯化碳	钾盐、钠盐	二氟一氯 一溴甲烷	碳酸氢钠 硫酸铝
导电性	无	无	无	无	有
灭火范围	电气、仪器、油类、 酸类	电气设备	电气设备、石油、 油漆、天然气	油类、电气设备、 化工、化纤原料	油类及可燃物体
不能扑救的物质	钾、钠、镁、铝等	钾、钠、镁、乙炔、 二氧化碳	旋转电动机火灾		忌水和带电物体
效果	距着火点 3m 距离	3kg 喷 30s, 7m 内	8kg 喷 14~18s, 4.5m 内; 50kg 喷 50~55s, 6~8m	1kg 喷 6~8s, 2~ 3m 内	10L 喷 60s, 8m 内; 65L 喷 170s, 13.5m 内
使用	一手将喇叭口对准 火源;另一只手打开 开关	扭动开关, 喷出液体	提起圈环, 喷出干 粉	拔下铅封或横锁, 用力压压把即可	倒置摇动, 拧开开 喷药剂
保养和检查	置于方便处, 注意防 冻、防晒和使用期	置于方便处	置于干燥通风处、 防潮、防晒	置于干燥处 勿摔碰	置于方便处
	每月测量一次, 低于 原重量 1/10 时应充 气	检查压力, 注意充气	每年检查一次干 粉是否结块, 每半 年检查一次压力	每年检查一次重量	每年检查一次, 泡 沫发生倍数低于 4 倍时应换药剂

4. 断电后用湿毛巾（布）扑盖局部小火。
5. 用非液体灭火器或沙土压灭高处着火点。
6. 在保证断电的情况下，对无法控制的火势，考虑用水来扑灭。

灭火时要注意，使用四氯化碳灭火器灭火时，灭火人员应站在上风侧，以防中毒；封闭空间灭火后要注意通风。使用二氧化碳灭火时，当其浓度达 85%时，人就会感到呼吸困难，要注意防止窒息。

救助电气火灾时，救火人员不要随便触碰电气设备及电线，尤其要注意断落到地上的电线。对于火警现场的一切电线，都应视为带电体处理。

提示：电气火灾严禁用水或泡沫灭火器扑救。

二、防雷

（一）雷电的形成与活动规律

1. 雷电的形成

雷电是由雷云（带电的云层）对地面建筑物及大地的自然放电引起的，它会对建筑物或设备产生严重破坏。

在天气闷热潮湿的时候，地面上的水受热变为蒸汽，随地面热空气而上升，在空中与冷空气相遇，使上升的水蒸气凝结成小水滴，形成积云。云中水滴受强烈气流吹袭，分裂为一些小水滴和大水滴，较大的水滴带正电荷，小水滴带负电荷。细微的水滴随风聚集形成了带负电的雷云；带正电的较大水滴常常向地面降落而形成雨，或悬浮在空中。由于静电感应，带负电的雷云，在大地表面感应有正电荷。这样雷云与大地之间形成了一个大的电容器。当电场强度很大，超过大气的击穿强度时，即发生了雷云与大地间的放电，就是一般所说的雷击。雷电放电示意图如图 1-10 所示。

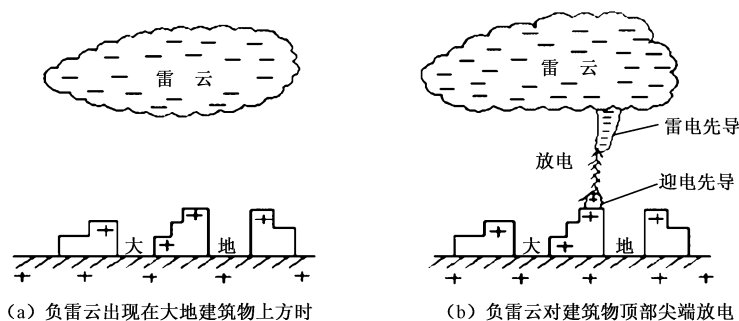


图 1-10 雷电示意图

2. 雷电活动规律：就周边环境而言，局部土壤电阻率小的地方容易受到雷击；湖、塘、河边的建筑容易受到雷击；空旷地区中的孤立建筑物易受雷击；高层建筑周围的多层建筑比其他地区的多层建筑受雷击的概率要大，高层建筑比多层建筑易受雷击；尖屋顶及高耸建筑物、构筑物易遭受雷击；高出周边建筑物的金属构件、设备易受雷击；金属屋顶或金属库容

易受到二次雷击。

(二) 雷电的种类

根据雷电产生和危害性质的不同,雷电可分为以下四种类型:

1. 直击雷

当雷云较低,其周围又没有异性电荷的云层时,会在地面突出物(树木或建筑物)上感应出异性电荷,当电场强度达到一定值时,雷云就会通过这些物体与大地之间放电,这种直接击在建筑物或其他物体上的雷电叫直击雷。由于受直接雷击,被击中的建筑物、电气设备或其他物体会产生很高的电位,从而引起过电压,流过的雷电流会很大(达到几十千安甚至几百千安),极易使电气设备或建筑物受到损坏,并引起火灾或爆炸事故。当雷击于架空输电线时,也会产生很高的电压(可高达几千千伏),不仅会引起线路闪络放电,造成线路短路,而且雷击过电压还会以波的形式沿线路迅速向变电所、发电厂或其他用电建筑物内传播,使得沿线安装的电气设备绝缘受到严重威胁,往往引起绝缘击穿、起火等严重后果。

2. 感应雷

当建筑物上空有雷云时,在建筑物上便会感应出与雷云所带电荷相反的电荷。在雷云放电后,云与大地电场消失,但聚集在屋顶上的电荷不能立即释放,只能较慢地向大地流散,这时屋顶对地面便有相当高的电位,往往造成屋内电线、金属管道和大型金属设备放电,引起建筑物内的易爆危险品爆炸或易燃物品燃烧。因此,感应雷或感应过电压主要由于雷电流的强大电场和磁场变化产生的静电感应和电磁感应而形成。

3. 雷电波侵入

当输电线路路上遭受直接雷击或发生感应雷时,雷电波便沿着输电线侵入变配电所或用户,如不采取防范措施,高电位雷电波将造成变配电所及用户电气设备损坏,甚至引起火灾、爆炸及人身伤害等事故。雷电波侵入造成的事故在雷害事故中占相当大的比重,应引起足够重视。

4. 球形雷

对于球形雷的成因,目前还没有完整的理论。通常认为它是一个温度极高,并发出紫色光或红色光的球体,直径一般在 $10\sim 20\text{cm}$ 。球形雷通常在电闪后发生,通常以每秒 2m 左右的速度向前滚动或在空气中飘行,而且会发出口哨响声或嗡嗡声。它常从烟囱、开着的门窗或缝隙进入建筑物内部,在室内来回滚动几次后,可沿着原路出去,有时也会自行无声消失,但碰到人、畜后会发出震耳的爆炸声,还会产生刺激性的气味。

(三) 雷电的危害

雷电的危害是多方面的,按其破坏因素可归纳为四类:

1. 热性质破坏

当几十至上千安的强大电流通过导体时,可在极短的时间内转换成大量热能。雷击点的发热能量约为 $500\sim 2000\text{kJ}$,如此大的能量可熔化 $50\sim 200\text{mm}^3$ 的钢。故在雷电通道中产生的高温往往会酿成火灾。

2. 过电压破坏

雷电产生高达数万伏甚至数十万伏的冲击电压,可毁坏发电机、变压器、断路器、绝缘

子等电气设备的绝缘，烧断电线或劈裂电杆，造成大规模停电；绝缘损坏会引起短路，导致火灾或爆炸事故；二次放电（反击）的火花也可能引起火灾或爆炸；绝缘的损坏，如高压窜入低压，可造成严重触电事故；巨大的雷电流流入大地，会在雷击点及其连接的金属部分产生极高的对地电压，可能因接触电压或跨步电压而导致触电事故。

3. 机械性质破坏

由于雷电的热效应，能使雷电通道中木材纤维缝隙和其他结构缝隙中的空气剧烈膨胀，同时使水分及其他物质分解为气体，因而在被雷击中的物体内部出现很大的压力，致使被击物遭受严重破坏或造成爆炸。

4. 电磁感应破坏

雷击时，巨大的雷电流在四周空间产生迅速变化的磁场，处于变化磁场中的金属导体感应出很大的电动势。若导体闭合，金属物上会产生感应电流，感应电流的热效应会产生火花放电或在接触电阻大的部位产生局部过热，从而引燃四周可燃物。

（四）常用防雷装置

一套完整的防雷装置包括接闪器、引下线和接地装置。常用的防雷装置有防止直击雷的避雷针、避雷线、避雷网、避雷带及防止雷电波沿线路侵入建筑物内部电气设备的避雷器、放电间隙等。

1. 避雷线：避雷线是悬于线路各相导线之上，用于屏蔽各相导线，直接拦截雷击并将雷电流迅速泄入大地的架空导线。

2. 避雷针：避雷针由接闪器、引下线和接地装置组成。接闪器安装在构架上并高于被保护物，用于拦截雷击，使之不落在避雷针保护范围内的物体上，通过引下线和接地装置将雷电流释放到大地中。

3. 避雷网和避雷带：一般安装在建筑物顶部突出的部位上，如屋脊、女儿墙等，主要用来保护建筑物和构筑物免遭雷击。

4. 避雷器：避雷器也叫过电压限制器，是一种能释放过电压能量、限制过电压幅值的设备。当过电压出现时，避雷器两端间的电压不超过规定值，使电气设备免受过电压损坏；过电压作用后，又能使系统迅速恢复正常状态。

提示：防雷装置通常为“引雷”装置，将雷电“引”到自身，从而使被保护设备或被保护建筑物免受雷击。

（五）防雷常识

1. 室内防雷常识

（1）尽可能关闭各类家用电器，拔掉一切电源插头，以防雷电从电源线入侵，造成火灾或人员触电伤亡。

（2）雷电时，不要触摸或靠近金属水管以及与屋顶相连的上下水管道、不要在电灯下站立。尽量不要使用电话、手机，以防雷电波沿通信信号线入侵，造成危险。

（3）关好室内门窗，以防球形雷飘入；不要站在窗前或阳台上、有烟囱的灶前；应离开电力线、电话线、无线电天线 1.5m 以外。

(4) 雷雨时, 不要洗澡、洗头, 不要在厨房、浴室等潮湿的场所逗留。

2. 室外防雷常识

(1) 躲避雷雨, 最好就近进入有屏蔽作用的建筑或物体, 如汽车、电车、混凝土房屋等。一旦这些建筑物或汽车被雷击中, 它们的金属构架、避雷装置、金属本身会将雷电电流导入地下。千万不要进入庄稼地的小棚房, 小草棚, 因为在那里避雷雨很容易遭受雷击。

(2) 要远离孤立的大树、电杆、高烟囱、铁塔、电线杆和大树等物体, 不要乘坐敞篷车。

(3) 打雷下雨时, 注意不要打金属骨架雨伞, 或者扛、举长形物体, 不要骑摩托车或者自行车。几个人同行, 要相距几米, 分散避雷。

(4) 不要惊慌, 不要奔跑, 最好双脚并拢, 双手抱膝就地蹲下, 越低越好。

(5) 不要停留在山顶、湖边、河边、沼泽地、游泳池等易受雷击的地方。

(6) 不要到室外收取晾晒在铁丝上的衣物。

(7) 不要在室外活动, 如赛跑、打球、游泳等。

(8) 如果有人遭到雷击, 应迅速冷静地处理。即使受雷击者心跳、呼吸均已停止, 也不一定死亡, 应不失时机地进行人工呼吸和胸外心脏挤压, 并送医院抢救。

提示:

(1) 手机已成为现代人生活中不可缺少的用具, 但在打雷时, 尤其是雷电发生较频繁时, 不能使用手机。

(2) 打雷时, 应将家里的电器全部关掉, 最好拔掉插头。

第四节 接地与接零

正常情况下, 直接防护措施能保证人身安全, 但是当电气设备绝缘措施发生故障或损坏时, 会造成电气设备严重漏电, 使不带电的金属部件呈现危险电压, 可能造成间接触电。间接接触防护是为了防止在电气设备发生故障的情况下, 发生人身触电事故, 也是为了防止电气设备事故进一步扩大。目前主要采取的防护措施有保护接地、保护接零以及等电位连接等。

一、接地与接零的概念

(一) 接地

1. 基本概念: 在电力系统中, 由于正常运行的需要和为了保障人身、设备的安全, 将设备和用电装置的中性点、外壳或支架与埋入大地的金属导体相连接, 即为接地。

2. 接地体、接地线与接地装置: 接地体是埋入地中并直接与大地接触的金属导体。分为自然接地体和人工接地体。接地线是连接电气设备与接地体的导线。接地线和接地体总称接地装置。接地装置将设备上可能产生的漏电流、静电荷以及雷电电流等引入地下, 从而避免人身触电和可能发生的火灾、爆炸等事故。

（二）接零

在 1kV 以下变压器中性点直接接地的三相四线制供电系统中，将与带电部分相绝缘的电气设备金属外壳或构架，与中性点直接接地系统零线相连接，称为接零，也称为保护接零。

接零的作用是当电气设备发生碰壳短路时，通过设备外壳形成该相对零线的单相短路，短路电流能促使线路上的短路保护元件迅速动作，从而断开故障设备，避免人体触电危险。因此，在中性点直接接地的 1kV 以下的系统下必须采取接零保护。保护接地和保护接零如图 1-11 所示。

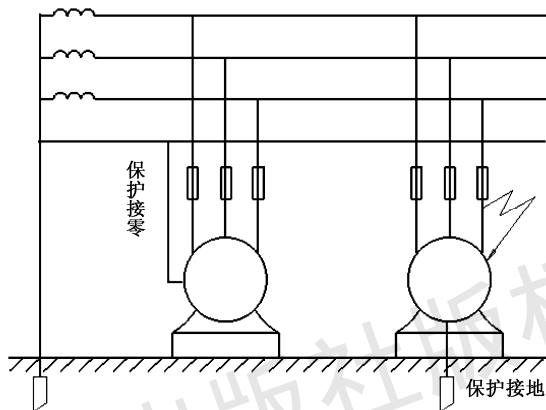


图 1-11 保护接零和保护接地

（三）接地分类

在电力系统中，接地技术应用很多，通常按接地的作用来分类，常用的有下列几种：

1. 保护接地：在 1kV 以下变压器中性点不接地的三相三线制供电系统中，将正常情况下不带电的设备金属外壳或构架，与大地之间做良好的金属连接称为保护接地。保护接地可防止设备金属外壳因意外带电而危及人身和设备安全。如设有保护接地装置，当绝缘层破坏外壳带电时，接地电流将同时沿着接地装置和人体两条通路流过。流过每条通路的电流值将与电阻大小成反比，通常人体电阻比接地电阻大几百倍（人体电阻可按 $1 \sim 2\text{k}\Omega$ 考虑），所以当接地电阻很小时，流经人体的电流几乎等于零，因而避免了人体触电的危险。保护接地适用于中性点不接地或不直接接地的电网系统。

2. 工作接地：在正常工作或事故情况下，为保证电气设备正常运行，必须在电力系统中某一点进行接地，称为工作接地。如变压器低压侧的中性点、电压互感器和电流互感器的二次侧某一点接地等。工作接地能保证电气设备可靠运行；降低人体接触电压；迅速切断故障设备；提高电气设备或送、配电线路的绝缘水平。

3. 重复接地：将三相四线制零线上的一点或多点与大地再次做金属连接，称为重复接地。对 1kV 以下的接零系统，重复接地的接地电阻不应大于 10Ω 。重复接地的作用是当系统中发生碰壳或接地短路时，可以降低三相不平衡电路中零线上可能出现的危险电压；当零线发生断线时，可以使故障程度减轻；降低高电压窜入低压侧的危险。

4. 过电压保护接地：用于使电气装置或设备的金属结构免遭大气过电压或操作过电压的

接地，叫过电压保护接地。

过电压保护接地的作用是，对于直击雷，避雷装置（包括过电压保护装置在内）能促使雷云电荷和地面感应电荷中和，以防雷击；对静电感应雷，感应产生的静电荷能迅速被导入地中，以防止静电感应过电压；对电磁感应雷，防止感应出非常高的电势，以免产生火花放电而造成燃烧爆炸的危险，所以过电压保护接地也叫防雷接地。在出现操作过电压时也能保护设备。

5. 防静电接地：为了防止和消除生产过程中产生或聚集的静电荷对设备或设施构成威胁而进行的接地，叫防静电接地。

6. 屏蔽接地：为防止电磁感应而对电力设备的金属外壳、屏蔽罩、屏蔽线的外皮或建筑物的金属屏蔽体等进行的接地，能避免干扰信号影响电气设备正常工作，这种接地叫屏蔽接地。屏蔽接地也叫隔离接地或金属屏蔽接地。

在以上各种接地中，以保护接地应用得最多最广，一般电工在日常施工和维修中，遇到的机会也最多。

二、保护接地

电气设备正常运行时，不带电的金属外壳及构架等的接地均属于保护接地。

采用保护接地的电气设备一旦绝缘损坏发生碰壳时，漏电电流可以通过接地装置向大地流散，从而降低设备外壳的对地电压，避免发生人身触电事故。

保护接地适用于三相三线制中性点不直接接地的电力系统以及三相四线制中性点直接接地的原有公用系统（由公用变压器供电的低压用户）。

（一）文字代号的含义

按配电系统和电气设备接地的不同组合分类，低压系统接地可分为 TN、TT、IT 三种形式，其文字代号的含义如表 1-7 所示。

表 1-7 接地文字代号的含义

第一个字母		表示配电系统的对地关系
文字代号	T	电源端有一点直接接地
	I	电源端所有带电部分与地绝缘，或有一点经阻抗接地
第二个字母		表示电气装置的外露导电部分与地的关系
文字代号	T	外露导电部分对地直接做电气连接，与配电系统的任何接地点无关
	N	外露导电部分与配电系统的接地点直接做电气连接（在交流配电系统中，接地点通常就是中性点）

（二）保护接地与保护接零

1. 不同点

（1）原理不同：保护接地是将故障电流引入大地，保护接零是将故障电流引入系统，促使保护装置迅速动作而切断电源。

（2）适用范围不同：保护接地适用于一般的低压中性点不接地的电网及采用了其他安全

措施的低压接地电网，保护接地也能用于高压不接地的电网之中。保护接零适用于中性点直接接地的低压电网。

(3) 线路结构不同：保护接地系统除相线外，只有保护地线。保护接零系统除相线外，必须有零线；必要时保护零线要与工作零线分开；其重复接地也应有地线。

2. 相同点

(1) 目的基本相同：在低压系统中都是为了防止漏电造成触电事故的技术措施。

(2) 措施大致相同：要求采取接地措施与要求接零措施的项目大致相同。

(3) 组成结构基本类似：接地与接零都要求有一定的接地装置，而且各接地装置的接地体和接地线的施工、连接都基本相同。

(三) 接地系统

1. TN 系统

电力系统有一点直接接地，电气装置的外露可导电部分通过保护线与该接地点相连接。在 TN 系统中，为了表示中性线和保护线的组合关系，有时在 TN 代号后面还附加以下字母：

S：表示中性线和保护线是分开的；

C：表示中性线和保护线是合一的。

(1) TN-S 系统：整个系统的中性线 N 与保护线 PE 是分开的，通常称之为三相五线制系统，如图 1-12 所示。

(2) TN-C 系统：整个系统的中性线 N 与保护线 PE 是合一的，即 PEN 线，通常称之为三相四线制系统，如图 1-13 所示。

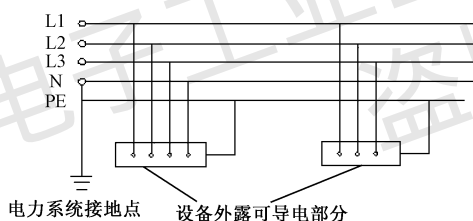


图 1-12 TN-S 系统

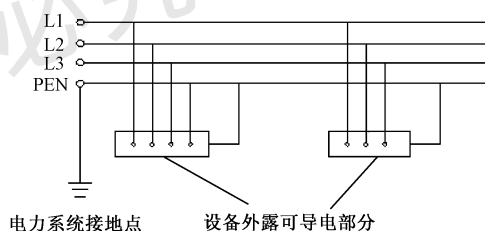


图 1-13 TN-C 系统

(3) TN-C-S 系统：系统中线路的中性线与保护线部分合一、部分分开的供电系统，如图 1-14 所示。为了防止分开后的 PE 线与 N 线混淆，按国标 GB7947-87 的规定，给 PE 线和 PEN 线涂以黄绿相间的色标，给 N 线涂以浅蓝色色标。

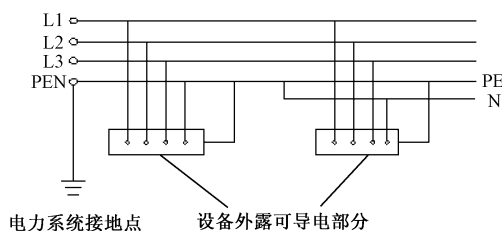


图 1-14 TN-C-S 系统

提示：PEN 线自分开后，分为保护线和中性线，PE 线与 N 线不能再合并。

2. TT 系统：电力系统有一点直接接地，电气设备的外露可导电部分通过保护接地线 PE 接至与电力系统接地点无关的接地极，如图 1-15 (a) 所示。

3. IT 系统：电源与地没有直接联系，负荷侧电气设备的外露可导电部分通过保护接地线 PE 与接地体连接，如图 1-15 (b) 所示。

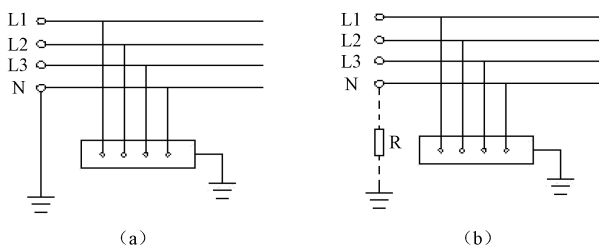


图 1-15 TT 系统与 IT 系统

三、保护接地、工作接地及接零的使用范围

(一) 接地或接零的范围

电力设备的下列金属部分，除另有规定者外，均应接地或接零。

1. 电动机、变压器、低压电器、照明器具、携带式及移动式用电器具的底座或外壳；
2. 机电设备的传动装置；
3. 互感器的二次接线；
4. 配电屏与控制屏的框架；
5. 屋内外配电装置的金属架构和钢筋混凝土架构的靠近带电部分的金属围栏和金属门；
6. 交、直流电力电缆接线盒、终端的外壳，电缆的外皮和穿线钢管等；
7. 在非沥青地面的居住区内，无避雷线的架空动力线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔；
8. 装在配电线路杆上的开关设备、电容器等电力设备；
9. 控制电缆的外皮。

(二) 免于接地或接零的范围

电力设备的下列金属部分除另有规定者外，可不接地或接零。

1. 在木质、沥青等不良导电地面的房间内，交流额定电压 380V 以下，直流额定电压 440V 以下的电力设备外壳，但当维护人员可能同时触及外壳和接地物件时除外。
2. 在干燥场所，交流额定电压 127V 以下，直流额定电压 110V 以下的电力设备外壳，但爆炸危险场所除外。
3. 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电气测量仪表，继电器和其他低压电器的外壳，以及当发生绝缘破坏时，在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属底座等。
4. 安装在已接地的金属构架上的设备（应保证电气接触良好）如套管等，但有爆炸危险

的场所除外。

5. 额定电压 220V 及以下的蓄电池室内支架。
6. 与已接地机床底座之间有可靠接触的电动机和电器外壳,但有爆炸危险的场所除外。
7. 安装在非导电的建筑材料且离地面 2.2m 以上的、人体不能直接接触的电气设备(若要触及时人体已与大地隔绝)。
8. 采用 1:1 隔离变压器提供的 220V 或 380V 电源的移动电具。
9. 在干燥和不良导电地面(如木板、塑料或沥青)的居民住房或办公室内所使用的各种日用电具,如电风扇、电烙铁和电熨斗等。
10. 电度表和铁壳熔断器盒。
11. 由 36V 或 12V 安全电源供电的各种电器的金属外壳。

(三) 工作接地的范围

1. 变压器、发电机、静电电容器的中性点;
2. 电流互感器、避雷针、避雷线、避雷网、保护间隙等。

习 题

一、填空题

1. 安全标志分为_____、_____、_____、_____四类。
2. 触电的类型有_____、_____、_____三种。
3. 触电是指_____。
4. 触电现场抢救中以_____和_____两种抢救方法为主。
5. 对电火灾的扑救,应使用_____、_____、_____、_____等灭火器具。
6. 为了确保安全,低压_____、高压_____。
7. 按人体受伤害的程度不同,触电可分为_____和_____两类。

二、选择题

1. 用手握住电源时,能引起人体感觉的最小电流值,称为()。
 - A. 感知电流
 - B. 摆脱电流
 - C. 额定电流
 - D. 致命电流
2. 引起熔丝熔断的原因是()。
 - A. 熔丝太粗不合格
 - B. 所有用电器同时工作
 - C. 一定是由于短路现象造成的
 - D. 一定是电路中的总电流超过了熔丝的熔断电流,可能是短路,也可能是用电器过载
3. 停在高压电线上的小鸟不会触电是因为()。
 - A. 小鸟是绝缘体,所以不会触电
 - B. 高压线外面包有一层绝缘层
 - C. 小鸟的适应性强,耐高压
 - D. 小鸟只停在一根电线上,两爪间的电压很小

4. 下面哪种不是雷电种类？()

- A. 感应雷 B. 球形雷 C. 避雷线 D. 直击雷

5. 以下哪种不是电力系统常用接地？()

- A. 过电压保护接地 B. 零线断线接地 C. 屏蔽接地 D. 工作接地

三、判断题

1. 触电事故通常是由于人体直接或间接跟火线相连通造成的。()

2. 三相四线制和三相五线制中，火线与零线之间的正常电压均为 220 伏。()

3. 只要有电流通过人体就会发生触电事故。()

4. 电气设备相线碰壳短路接地，或带电导线直接接触地时，人体虽没有接触带电设备外壳或带电导线，但是跨步行走在电位分布曲线的范围内而造成的触电现象称为跨步电压触电。()

5. 触电现场抢救中不能打强心针，也不能泼冷水。()

6. 我国工厂所用的 380V 交流电是高压电。()

四、简答题

1. 人体的电阻一般是多少？

2. 发现有人触电应如何抢救？在抢救应注意什么？

答 案

一、填空题

1. 禁止标志、警告标志、指令标志、提示标志

2. 低压触电、高压触电、雷击触电

3. 因人体接触或接近带电体所引起的局部受伤或死亡的现象叫做触电。

4. 口对口人工呼吸法、人工胸外挤压法

5. 二氧化碳灭火器、四氯化碳灭火器、干粉灭火器、1211

6. 勿摸、勿近

7. 电击、电伤

二、选择题

1. A 2. D 3. D 4. C 5. B

三、判断题

1. √ 2. √ 3. × 4. √ 5. √ 6. ×

四、简答题

1. 答:一般情况下,人体的电阻可按 $1000\sim 2000\Omega$ 考虑。

2. 答:发现有人触电应立即抢救。抢救的要点:应先使触电者脱离电源,正确进行现场诊断,及时实施就地抢救。

触电者呼吸停止,心脏不跳动,如果没有其他致命的外伤,只能认为是假死,必须立即进行抢救,争取时间是关键,在请医生前来和送医院的过程中不许间断抢救。抢救以“口对口人工呼吸”和“人工胸外挤压”两种抢救方法为主。

在抢救应注意:(1)迅速松开触电人员身上妨害呼吸的衣服,越快越好。(2)将口中的假牙或食物取出。(3)如果触电者牙紧闭,须使其口张开,把下颚抬起,将两手四指托在下颚背后外,用力慢慢往前移动,使下牙移到上牙前。(4)现场抢救中不能打强心针,也不能泼冷水。

电子工业出版社版权所有
盗版必究