

电 气 安 全

(劳动保护干部用)

杨有启 编



北京经济学院安全工程系

1987.10

目 录

第一章 电气安全概论

- 第一节 电气安全的任务..... (1)
- 第二节 电气事故种类..... (2)
- 第三节 电气安全基础..... (3)

第二章 触电事故分析

- 第一节 触电事故种类..... (7)
- 第二节 电流对人体的作用..... (8)
- 第三节 触电事故调查..... (9)
- 第四节 触电事故规律..... (10)
- 第五节 事故树分析..... (11)
- 第六节 触电急救..... (13)

第三章 防止触电的技术措施

- 第一节 安全电压..... (16)
- 第二节 绝缘、双重绝缘和不导电环境..... (17)
- 第三节 屏护和间距..... (18)
- 第四节 接地和接零..... (20)
- 第五节 漏电保护..... (24)
- 第六节 单相设备电气安全..... (26)

第四章 防止触电的组织措施

- 第一节 通用组织措施..... (28)
- 第二节 检修安全制度..... (30)
- 第三节 停电安全措施..... (31)

第五章 防雷

- 第一节 雷电形成和种类..... (33)
- 第二节 雷电特点及分类..... (33)
- 第三节 防雷措施..... (34)

第六章 静电安全

- 第一节 静电的产生..... (36)
- 第二节 静电特点和危害..... (37)
- 第三节 静电安全措施..... (41)

第一章 电气安全概论

电气安全是劳动保护工作者十分关心的问题。因此，有必要弄清楚电气安全的范围、电气安全的特点以及电气安全的现状。此外，还应该了解最基本的电学知识。

第一节 电气安全的任务

广义地说，电气安全有两方面的任务。一个方面是研究各种电气事故的机理和原因、研究各种电气事故的特点和规律、以及研究各种电气事故的防护措施。另一个方面是研究运用电气监测、电气检查、电气控制的方法去评价系统的安全性或解决生产中的各种安全问题。简而言之，电气安全就是研究防止各种电气事故，使电更好地为人类服务的科学。

大家知道，电可以为人类做很多事情。生产和生活上都广泛用电。例如：用电作为动力，可以开动各种机器和机械；把电能转换成热能，可用于熔炼、焊接、切割、干燥、金属热处理等；把电能转换成化学能，可用于电解、电镀、电化学加工等；电还可以用于医疗、通讯、测量、计算等各个领域。电的广泛应用加速了科学技术的发展，改变了科学技术的状况。电确实是造福于人类的。但是，如果应用不当，电不但会伤人，还会带来其他危害。这就是说，在用电的同时，必须考虑电气安全问题。

应当指出，很多电气事故，例如，由静电、雷电、电磁辐射等因素引起的事故可能与用电没有直接的关系。因此，除用电场合外，在一些不用电的场合也应该考虑电气安全问题。

人类为了求得生存和发展，逐渐学会了保护自己，逐渐创造、形成和发展了安全学科。电气安全学科也是在人们的生产和生活斗争中发展起来的。雷电就是一个十分明显的例子。雷电能使树木起火、能使人毙命。人们为了安全，不得不研究防雷。开始，人们以为雷电是“神”的安排，只是祈祷和消极的躲避，企望以此求得安全。自一百多年前美国人富兰克林发明避雷针以来，人们对雷电的预防实现了一个飞跃。但是，随着科学技术的发展，各种建筑物和构筑物的高度由十几米、几十米激增到数百米，传统的防雷技术不再能提供足够的安全条件。于是，人们又研究了消雷技术，发展了防雷安全。防雷仅是电气安全一个小小的侧面。通过这个小小的侧面可以看出电气安全技术和电气安全学科随着生产和生活的发展而发展的基本特征。

电气安全是随着科学和生产的发展而发展的。这可从两方面理解。一方面是随着现代技术的发展出现了更先进的电气安全技术措施。以防止触电为例，接地、绝缘、间隔都是传统的安全措施，直至现在这些措施也仍然是有效的；可是，随着科学技术的发展，又出现了加强绝缘、漏电保护等新型防护方式。新技术的开发和发展必将大大改变电气安全的现状。另一方面，随着人类活动领域和科学技术的发展，又出现了一些新的电气安全问题。例如，电磁场安全问题、静电安全问题都是随着某些新技术的广泛应用而提到日程上来的。正因电气安全是一门处在发展之中的科学，所以，有些内容至今还不够成熟，还有待今后实践、研

究和总结。

世界各国对电气安全都很重视。近二十多年来电气安全事业发展较快。例如,漏电保护装置的研究在一些先进国家已经趋于成熟;静电的研究取得了很大的进展,积累了很多资料,在静电理论上还提供了很多有用的成果;关于雷电和电磁场危害的研究也取得了一些进展。近十多年来,我国电气安全事业也取得了很大的发展。主要表现在确立和整顿了传统的防护方式、推行了一些新的防护技术、制订了有关安全标准和规范、提高了电气工作人员的素质等。

电的应用极为广泛,不论是生产或生活,不论是工业或农业,不论是重工业或轻工业,不论是大企业或小企业等等,都广泛用电。没有电的广泛应用,生产和生活的现代化都是不可能的。我国电力工业虽然取得了很大的发展,但与某些国家相比还有很大差距。我国年发电量大体只相当美国五十年代初期或苏联六十年代中期的水平。我国每年人均用电量约400度,大约只有美国的三十分之一、大约只有日本和苏联的十五分之一。值得一提的是,世界各国电力工业的发展速度都高于国民经济总产值增长的速度,而且发展中国家更加突出一些。不难理解,为了实现我国的现代化、实现我国的繁荣和昌盛,电力事业在生产和生活中的应用也一定有一个大幅度的发展。与此同时,为了防止各种电气事故,保护劳动者的安全与健康,电气安全也必须有一个相适应的发展。

目前,我国电力工业比较落后,而电气安全水平还要更加落后一些。我国工矿企事业单位触电死亡人数占事故死亡总人数的6~8%。但是,人数数倍于工矿企事业单位触电死亡人数的农村触电事故、军工口的触电事故、城镇居民生活触电事故都不在劳动部门统计之内。如果把所有触电死亡事故加起来,其在事故死亡人数中所占比例将远远超过上面的百分数。苏联资料表明:由于电流伤害暂时失去劳动能力事故频率不高,但由触电引起的死亡事故占因公死亡事故的20~40%。由此可见,对于触电事故,千万不可掉以轻心。

我国每年触电死亡人数约占人口总数的二十万分之一,而日本的只占五十万分之一、美国的只占四十万分之一。我国约每用电0.8亿度即触电死亡1人,而美国、日本、西德等国每用电20多亿度才死亡1人,其间相差二十多倍。我国用电付出的生命代价之高、与先进国家差距之大,触目惊心。

电本身具有看不见、听不到、嗅不着的特点,并由此给人以错觉,进而造成突然的触电事故;电磁辐射更具有摸不着的特点,以至人们可能已受其害,而在相当长一段时间内没有觉察。安全工作者和有关管理人员应当充分注意电的这些特点。同时,还应当注意到一些电学概念比较抽象、理论的系统性比较强、电工往往自成体系,以致电气安全在某些单位成为一个薄弱环节。

此外,我国电气方面的标准和规范还不十分完善。有些与电气安全密切相关的问题尚未列入标准或规范。甚至有的问题在不同部门或不同地区的标准或规范上的提法不同。这些情况给实际工作者留下很多困难,甚至造成混乱。

为了改变电气安全落后的面貌,安全工作者、电气工作者以及有关管理人员必须做更多的工作。

第二节 电气事故种类

电气事故可以按照不同的方式分类。按照灾害形式,可以分为人身事故、设备事故、火

灾、爆炸等。按照电路状况，可以分为短路事故、断线事故、接地事故、漏电事故等。

考虑到事故是由局外能量作用于人体或系统里能量传递发生故障造成的，能量是造成事故的基本因素。从这个角度，大致可以分为五种电气事故。

1 触电事故

触电事故是由电流的能量造成的，是电流伤害事故。触电事故可分为电击和电伤。电击是电流通过人体内部，破坏人的心脏、肺部、神经系统的正常工作而造成的伤害。触及正常带电体的电击称直接电击，触及故障带电体的电击称间接电击。电击致命的电流很小。电击一般不在人体表面留下明显的伤痕。电伤是电流转化的热能或其他形式的能对人体的局部伤害。电伤多见于人体外部，包括电弧烧伤、烫伤、电烙印、皮肤金属化等伤害。绝大部分触电死亡事故都是电击造成的。通常说的触电基本上是指电击而言的。

2 电磁场危害和危险

电磁场伤害是由电磁场（电磁波）的能量造成的。人体在高频电磁场作用下，吸收辐射能量，会受到不同程度的伤害。主要是引起人的中枢神经功能失调，明显表现为神经衰弱症候，如头痛、头晕、乏力、睡眠不好等。还引起植物神经功能失调的症状，如多汗、食欲不振、心悸等。此外，还发现部分人有脱发、视力减退、伸直手臂时手指轻微颤动、皮肤划痕异常、男性性功能减退、女性月经失调等症状。还发现心血管系统有某些异常的情况。在特高频电磁场照射下，心血管系统症状比较明显，如心动过速或过缓、血压升高或降低、心悸、心区有压迫感，心区疼痛等。

除高频电磁场外，超高压的高强度工频电磁场对人体也有类似的伤害作用。

电磁辐射除可能伤害人身外，还可能经过感应和能量传递引起电引爆线路和电引爆器件误动作，酿成灾害性爆炸。在一些大城市还曾发生过良好接地的金属构架由于电磁辐射而带电的事例。其中，有的能给人以电击的感觉、有的还与邻近的金属物体之间发生火花放电。这种情况当然是严重的。

3 雷击

雷电是大气电。雷击是大气中的电能造成的。雷击是一种自然灾害。雷击除可以毁坏设备和设施外，也可以伤及人、畜，还可能引起火灾和爆炸。建筑物和构筑物、以及电力系统都应有防雷措施。

4 静电事故

静电事故是由静电电荷或静电场的能量造成的。在火灾和爆炸危险场所，生产工艺过程中产生的静电是一个十分危险的引燃因素。在石油、化工、粉末加工、橡胶、塑料等行业，必须充分注意静电的危险。静电除可能引起火灾和爆炸外，还可能妨碍生产，还可能给人一定的威胁。

5 电路故障

电路故障是由电能传递、分配、转换失去控制造成的。电气线路或电气设备发生故障可能影响到人身安全，异常停电也可能影响到人身安全。这些虽然是属于电路故障，但从安全系统的角度考虑，同样应当注意这些不安全状态可能造成的事故。

第三节 电安全基础

电气安全要求一定的基础知识。其中，包括电工学和电气安全的理论知识和电工技术的

实践知识。

1 电流、电压和电阻

简单地说，电流就是电子或其他带电离子的定向移动。电流通过灯丝，灯泡就发亮；电流通过电动机，电动机就转动；电流通过人体，人体将受到伤害。电流的大小用安（或安培）、毫安（即千分之一安）作为单位来衡量。15瓦白炽灯的工作电流约68毫安。1.5平方毫米铜线允许通过的电流约9~25安。人体允许的工频电流只有几十毫安。经接地线或接地点流入地下的电流叫做接地电流。

电压是产生电流的能力。这就是说，电压越高，所产生的电流也越大。电压的高低用伏（或伏特）、千伏（即1千伏）作为单位来衡量。普通电灯的电压是220伏、电动机的电压是380伏、工矿企业进线电压多是10千伏或35千伏。我国电力系统的最高电压是500千伏、国外电力系统的最高电压是750千伏。按照规定，1000伏以上的电气设备为高压电气设备、1000伏及以下的电气设备为低压电气设备。就对地电压而言，对地电压250伏以上为高压、对地电压250伏及以下的为低压。人体触及带电体时，加于人体两点之间的电压叫做接触电压。人体站立在带电的地面上，人体两脚之间的电压叫做跨步电压。

电阻是电流流动过程中遇到的阻力。电阻的大小用欧（或欧姆）、兆欧（即百万欧）作为单位来衡量。15瓦灯泡灯丝的电阻约3230欧、30米1.5平方毫米铜线的电阻约0.344欧、人体电阻约1000~2000欧。电流经过接地线以及经过接地体向大地流散的全部电阻叫做接地装置的接地电阻。

各电阻互相串联时，总电阻为各电阻之和。各电阻互相并联时，总电阻的倒数为各电阻的倒数之和。

一个电路中（图1），电阻固定不变时，电压与电流保持正比关系；而且比值就等于该电阻值。这个规律就叫做欧姆定律。如果用英文字母U表示电压、用I表示电流、用R表示电阻，则上述文字公式可以改写成以下形式：

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{或} \quad U = IR \quad \text{或} \quad I = \frac{U}{R}$$

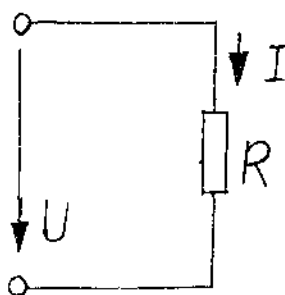


图1 简单电路

从欧姆定律可以知道，如果线路电压保持不变，电阻越小时，电流越大；而电阻越大时，电流越小。电阻趋近于零时，电流变得极大。这种情况叫做短路。电阻趋近于无限大时，电流几乎为零。这种情况叫做开路。

从欧姆定律还可以知道，对于串联电路，因为电流相同，所以电阻越大者，其上电压降也越大；而对于并联电路，因为电压相同，所以电阻越大的支路上电流越小。

2 交流电

电线中电流方向恒定不变的电叫做直流电。电线中电流方向周期变化的电叫做交流电。生产上、生活上所使用的绝大部分都是交流电。交流电流和交流电压的大小和方向都是按照一定规律变化的。每秒钟交变的次数叫频率。频率的高低用赫（或赫芝）作为单位来衡量。我们通常应用的交流电每秒交变50次，即重复50个周期。其频率即为50赫或每秒50周。这个

频率叫做工频（或工业频率）。

12

工频交流电有单相电和三相电之分。电灯用的是单相交流电、电动机用的是三相交流电。一般发电机和电力变压器都有三组线圈，每组线圈叫做一相，输出的是三相交流电。习惯上把这三相叫做A相、B相和C相。三相线路实质上由三个单相线路组成。图2a是三个独立的单

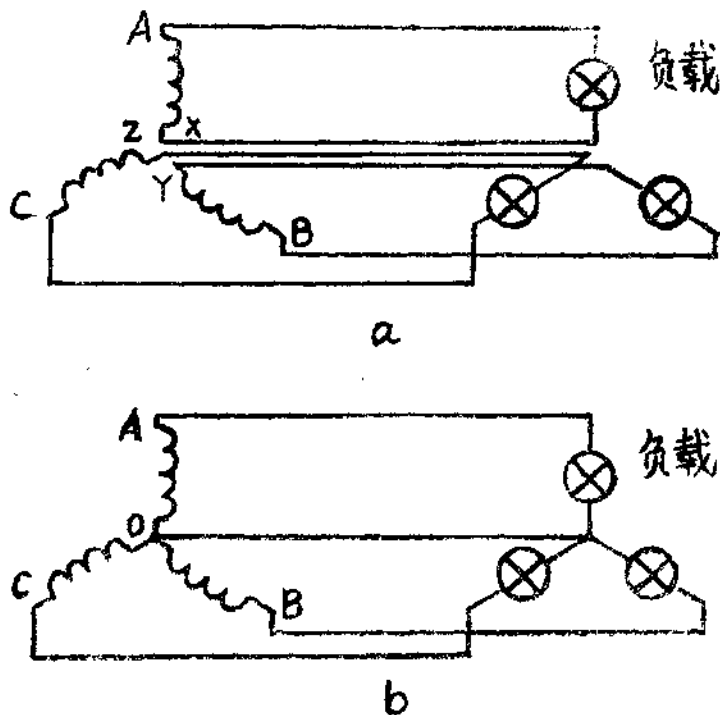


图2 三相交流电的星形接法

相线路，每组线圈的首、末两端分别接向负载；图2b将三个首端照常引出、将三个末端联结在一起，即构成星形接法的三相四线制线路。三相四线路的第四条线叫做中性线或中线。三组线圈的公共点（图2b中的O点）叫做中性点。当中性点接地时，中性线也叫做零线。

理论和实践均可证明：当三相平衡时，中性线上没有电流流过。这就是说，当三相平衡时，中性线可以省去而不影响负载工作。实际上，在接有照明等单相负载的情况下，完全做到三相平衡是很困难的，不能轻易省去中性线。如图2b所示，用四条线代替六条线是三相交流的重要优点之一。

三相线路的电压有相电压和线电压之分。相电压是指每相线圈首、末两端或每相负载上的电压；线电压是指每两相线圈之间的电压。在三相平衡时，线电压为相电压的 $\sqrt{3}$ ，即1.73倍。例如，相电压为220伏的三相线路，线电压为 $1.73 \times 220 = 380$ 伏。

3 企业配电

工业企业厂区有以下四种常见配电方式：

（1）大型企业 实用功率2000~10000千瓦、离区域降压站50~20公里的大型企业宜采用35千伏高压进线。35千伏电压在企业总降压站降低为10千伏，并分送到各车间。在车

间变电室将电压再次降低为0.4千伏，并经配电箱或配电盘供给用电设备用电。

(2) 中型企业 实用功率2000~5000千瓦，离区域降压站20公里以下的企业可采用10千伏高压进线。10千伏电压在企业总配电站经分配分送到各车间，在车间变电室将电压降低为0.4千伏，以供给用电设备用电。

(3) 中型企业和中小型企业 实用功率100~1000千瓦，厂区范围不大的企业常采用10千伏高压进线。10千伏电压在企业变电所降低为0.4千伏，经0.4千伏的低压线供给各车间用电。

(4) 小型企业 实用功率100千瓦以下的小型企业可采用0.4千伏低压进线。经配电室或配电盘供给设备用电。

上述0.4千伏实际上就是指的相应于用电设备380伏的这一级电压。一般企业的低压配电部分都使用线电压380伏，相电压220伏的三相四线制配电系统。

第二章 触电事故分析

触电事故是最常见的电气事故，是电气安全研究的重点之一。分析触电事故，使得有可能科学地研究防止触电的安全措施，尽量减少不必要的伤亡。

第一节 触电事故种类

前面说过，触电分为电击和电伤，对于电击，按照人体触及带电体的方式和电流通过人体的途径，可分为以下三种情况：

1 单线电击

如图 3 a 所示，单线电击是指人体在地面或其他接地导体上，人的某一部位触及一相带电体的触电事故。这种事故是触电事故中最多种的一种事故。其危险性决定于电网运行方式、绝缘状态等因素。

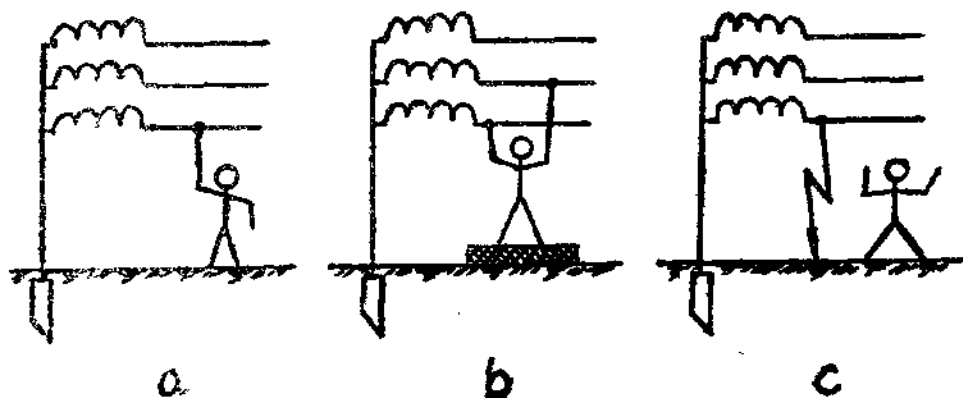


图 3 触电方式

2 两线电击

如图 3 b 所示，两线电击是指人体同时触及两相带电体的触电事故，其危险性一般是比较大的。

3 跨步电压电击

如图 3 c 所示，跨步电压电击是指人在接地点附近，由两脚之间的跨步电压引起的触电事故。高压故障接地处，或有大电流流过的接地装置附近，都可能发生跨步电压电击。

前面说过，电击还可以分为直接电击和间接电击。前者是在电气设备和电气线路运行正常的条件下发生的电击；后者是在电气设备或电气线路发生故障的情况下发生的电击。显然，前者属于局部性事故，而后者具有系统性事故的特征。

第二节 电流对人体的作用

电流对人体的作用与其他形式的能量对人体的作用的重要差别之一是前者没有任何预兆,即事故的突然性大。往往是电击发生之前的一瞬间人还没有丝毫觉察。这样的事故当然有比较大的危险性。

人体在电流作用下,会有麻痹、针刺、颤抖、痉挛、打击、疼痛等感觉;如果电流增大,会出现呼吸困难、血压升高、心脏跳动不规则、昏迷、心室颤动等症候。应当指出,人体在电流作用下,防卫能力是迅速降低的。

电流通过人体内部,对人体伤害的严重程度与通过人体的电流大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径、电流的频率以及人体状况等多种原素有关。而且各因素之间,特别是电流大小与通电时间之间,有着十分密切的关系。

(1) 电流大小 通过人体的电流越大,人体的生理反应越明显,人的感觉越强烈,破坏心脏正常工作所需的时间越短,致命的危险性越大。

对于工频交流电,按照通过人体电流大小的不同,以及人体呈现状态的不同,可将电流划分为感知电流、摆脱电流和致命电流。感知电流是引起人的感觉的最小电流。不同人的感知电流也不相同;成年男性平均感知电流约为1.1毫安、成年女性约为0.7毫安。摆脱电流是人触电以后能自主摆脱电源的最大电流。不同的人摆脱电流也不相同;成年男性平均摆脱电流约为16毫安、成年女性约为10.5毫安;成年男性最小摆脱电流约为9毫安、成年女性约为6毫安。致命电流是指在较短时间内危及生命的最小电流。在电流不超过数百毫安的情况下,电击致死的主要原因是电流引起心室颤动造成的。因此,可以认为引起心室颤动的电流即致命电流。心室颤动电流与通电时间有关。心室颤动电流与通电时间关系如图4所示。当通电时间超过心脏搏动周期时,心室颤动电流仅数十毫安(一般认为是50毫安以上);当通电时间不足心脏搏动周期但超过10毫秒,并发生在心脏搏动的特定时刻时,心室颤动电流在数百毫安以上。

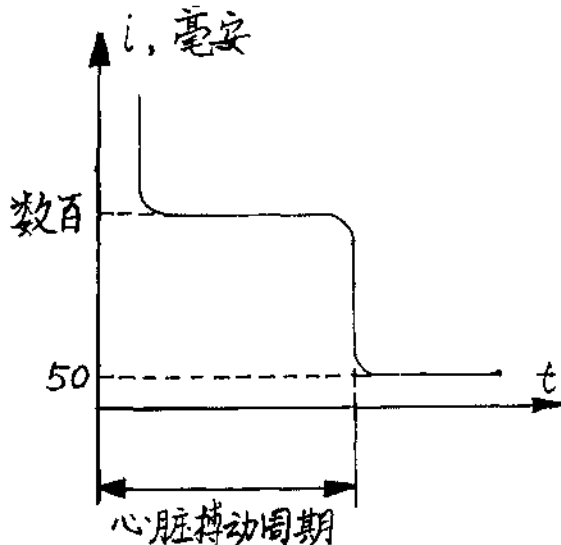


图4 心室颤动电流与通电时间的关系

(2) 通电时间 通电时间越长,越容易引起心室颤动,电击危险性越大。原因有三:一是通电时间越长,心脏积累能量越多,心室颤动的危险性越大;二是心脏每一搏动周期中,只有心脏收缩与舒张之间大约0.1秒左右的易激期对电流最敏感,通电时间一长,重合这段危险时间的可能性越大,危险性越大;三是通电时间越长,人体电阻因出汗等原因而降低,导致通过人体的电流进一步增加,触电危险性增加。

考虑到通电时间长短的影响,根据大量动物试验和综合分析,国际电工委员会建议参照表1确定电流对人体的作用。表中,○是没有感觉的范围; A_1 、 A_2 、 A_3 是不引起心室颤动、不

产生严重后果的范围； B_1 、 B_2 是容易产生严重后果的范围。

表 1

工频电流对人体的作用

电流范围	电流 (毫安)	通电时间	作用的特征
O	0~0.5	连续通电	没有感觉
A_1	0.5~5	连续通电	开始有感觉,手指手腕等处有痛感,没有痉挛,可以摆脱带电体
A_2	5~30	数分钟以内	痉挛,不能摆脱带电体,呼吸困难,血压升高,是可以忍受的极限
A_3	30~50	数秒到数分	心脏跳动不规则,昏迷,血压升高、强烈痉挛,时间过长即引起心室颤动
B_1	50~数百	低于心脏搏动周期	受强烈冲击,但未发生心室颤动
		超过心脏搏动周期	昏迷、心室颤动,接触部位留有电流通过的痕迹
B_2	超过数百	低于心脏搏动周期	在心脏搏动特定的相位触电时,发生心室颤动,昏迷,接触部位留有电流通过的痕迹。
		超过心脏搏动周期	心脏停止跳动、昏迷,可能致命的电灼伤

(3) 电流途径 电流通过人体任一途径都可能使人死亡。例如,电流通过人体的某一部局,可能引起中枢神经混乱而导致死亡;电流通过人的头部会使人昏迷,甚至不醒而死亡等。因为心脏是薄弱环节,通过心脏的电流越多,电击致命的危险性越大。所以,从左手到前胸是最危险的电流途径;从左手到右手。从手到脚都是很危险的电流途径;从脚到脚的电流途径虽然危险性较小,但可能因痉挛而摔倒,导致电流通过全身或其他二次事故。

(4) 电流种类 直流电流、高频电流、冲击电流对人体都有伤害。伤害程度较工频电流轻。

频率 25~300 赫的交流电,包括工频交流电在内,对人体的伤害最为严重;1000 赫以上,伤害程度明显减轻,但高压高频电也有电击致死的危险;10 赫以下的伤害程度也比较轻。

直流电感知电流男性为 5.2 毫安、女性为 3.5 毫安;摆脱电流男性为 76 毫安、女性为 51 毫安;心室颤动电流通电时间 3 秒时为 500 毫安、0.03 秒时为 1300 毫安。

冲击电流能引起短暂而强烈的肌肉收缩,给人以冲击的感觉,但电击致死的危险性较小。当人体电阻为 1000 欧时,可以认为冲击电流引起心室颤动的界限是 27 瓦·秒。

(5) 人体状况 电流对人体的作用有分散性的特征。即使对于同一个人。多次试验结果也不一样。但是,试验和分析表明电击危险性与人体状况有关:女性对于电流较男性敏感,女性的感知电流和摆脱电流均约为男性的三分之二;儿童对于电流较成人敏感;体重小的对于电流较体重大的敏感;人患有心脏病等疾病时,遭受电击时的危险性较大。

第三节 触电事故调查

事故调查的目的除弄清事实,妥善处理外,更重要的是找出原因,总结经验、教训,为防止同类事故提供办法和依据。

触电事故调查必须强调情况真实、内容详尽、提法准确等基本原则。事故调查中,必须坚持和正确地运用有关政策、必须坚持严密的科学态度、必须排除其他因素的干扰。

调查工作应在事故发生后尽快进行。对于发生事故的现场,除将受害者移去之外,禁止作任何变动。

触电事故调查,包括以下几方面的具体内容:

(1) 受害者详细情况 除姓名、性别、年龄、工龄、工种等一般情况外,还应有受害者身体状况、精神状况、服装和鞋等与触电危险相关的情况。

(2) 事故发生经过 除应有受害者在事故发生前和事故过程中的有关情况外,还应有周围有关人员当时的情况。

(3) 电气参数 指电流种类、频率高低、电压等级等电气参数。

(4) 设备情况 除有关设备的名称、规格、生产厂家等铭牌上提供的情况外,还应有设备安装、运行和维修情况。

(5) 环境条件 除地面、墙壁、金属物件等现场条件外,还应有温度、湿度等气象条件。

(6) 伤势及救护过程 指受伤部位及严重程度以及在现场和医疗部门的抢救过程。

上级主管部门应当对事故报告进行科学的分析和分类。

第四节 触电事故规律

触电事故往往发生得十分突然,而且往往在极短的时间内造成不可挽回的后果。掌握触电事故的规律,对于抓住电气安全检查的时机和要点,对于评价系统的安全性都是十分必要的。从其发生率来看,触电事故有以下规律:

(1) 季节 一年之中,发生在6~9月的触电事故约占全年的70%以上。其原因主要是由于这段时间天气炎热,人体衣单而多汗,触电危险性较大;还由于这段时间多雨、潮湿、电气设备绝缘性能降低;以及由于这段时间在某些地区是农忙季节,农村用电量增加,以致触电事故多。

(2) 电压 就电压而言,低压触电事故多于高压触电事故。其原因主要是由于低压设备远多于高压设备,与之接触的人又比较缺乏电气安全知识和电气防护用具的缘故。应当指出,对于专业电工人员,因为他们经常在高压设备或高压线路上工作,所以,发生在高压上的触电事故可能多于低压触电事故。

(3) 人员 就人员而言,青、中年、以及非电工人员的触电事故多。其原因是由于这些人往往是主要操作者,电气安全知识又不足的缘故。

(4) 设备 携带式设备和移动式设备触电事故多。其原因主要是由于这些设备需要经常移动,工作条件较差,容易发生故障,而且经常在人紧握之下工作的缘故。

(5) 部位 电气连接部位触电事故多。其原因主要是由于插销、开关、接头连接部位机械牢固性较差,电气可靠性也较低,容易出现故障的缘故。

(6) 行业 冶金、矿业、建筑、机械行业触电事故多,其原因主要是由于这些行业现场混乱、温度高、湿度高、移动式设备多、金属设备多的缘故。

(7) 城乡 农村触电事故比工业企业的多得多。其原因主要是由于农村技术水平和管

理水平低,以及设备简陋的缘故。

(8) 操作 受害者及其他人错误操作引起的触电事故多。其原因主要是由于教育不够、规章制度执行不好以及安全措施不完备的缘故。

从造成事故的原因上看,由于电气线路或电气设备安装不符合要求,会直接造成触电事故;由于电气设备运行管理不当,使绝缘损坏而漏电,又没有切实有效的安全措施,也会造成触电事故;缺乏制度,非电工随便处理电气事务,很容易造成触电事故;检修工作中,安全组织措施或安全技术措施不完备,也会造成触电事故;接线错误,特别是插销座接线错误造成过多起触电事故;高压线断落地面可能造成跨步电压触电事故等等。总之,由不安全状态或不安全行为均可能造成触电事故。

触电事故的规律不是一成不变的。随着条件的变化、人们重视程度不同、以及随着各种安全措施的不同安排,触电事故的规律将发生一定的变化。这些应当通过事故和未遂事故的调查、统计和分析来确定。

第五节 事故树分析

事故树是以系统内最不希望发生的事件为目标,表示其发生原因的由各种事件组成的逻辑模型。事故树分析是一种安全措施。这种措施对于防止触电事故也是有效的。

(1) 事故树组成 图5所示的间接电击的事故树如图6所示。图中,编号1~23的几何图形代表系统中各种有关的事件。各种事件通过与门、或门(有的还必须有其他门)连接起来,构成事故树。图中,注明电击的1号矩形表示最不希望发生的事件,称作顶端事件;其他矩形表示需要进一步展开的中间事件;菱形表示可以展开,但又没必要或难以展开的事件;圆形表示不必展开的基本事件;屋形表示正常工作时预期发生的事件。

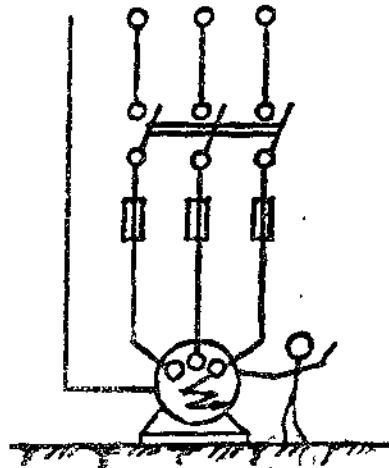


图5 间接电击图

(2) 事故树的作用 应用事故树可以比较方便地查出事故发生的原因;事故树可以用于系统设计安全性的定性分析;如果收集有足够的数据,即掌握各种事件发生的概率,亦可用于定量分析,求出顶端事件发生的概率;事故树还可以评价和选择系统设计的最佳方案。

(3) 事故树制作 制作事故树之前要深刻了解研究的系统,弄清楚系统中与设计、安装施工、运行管理、操作、维修等有关的问题,分析清楚在什么条件下会发生故障和事故;制作事故树,要先列出有关的事件和正常事件,确定顶端事件,并将其他事件按时间、空间予以整理和分类;然后,运用“与”和“或”的逻辑推理,由顶端事件而下,逐层排列和展开中间事件,直至全部都是基本事件或没有必要展开或难以展开的事件为止;至此,即可绘制事故树图。如已掌握诸底端事件发生的概率,可将其值写入相应的图形,则可进行定量分析。

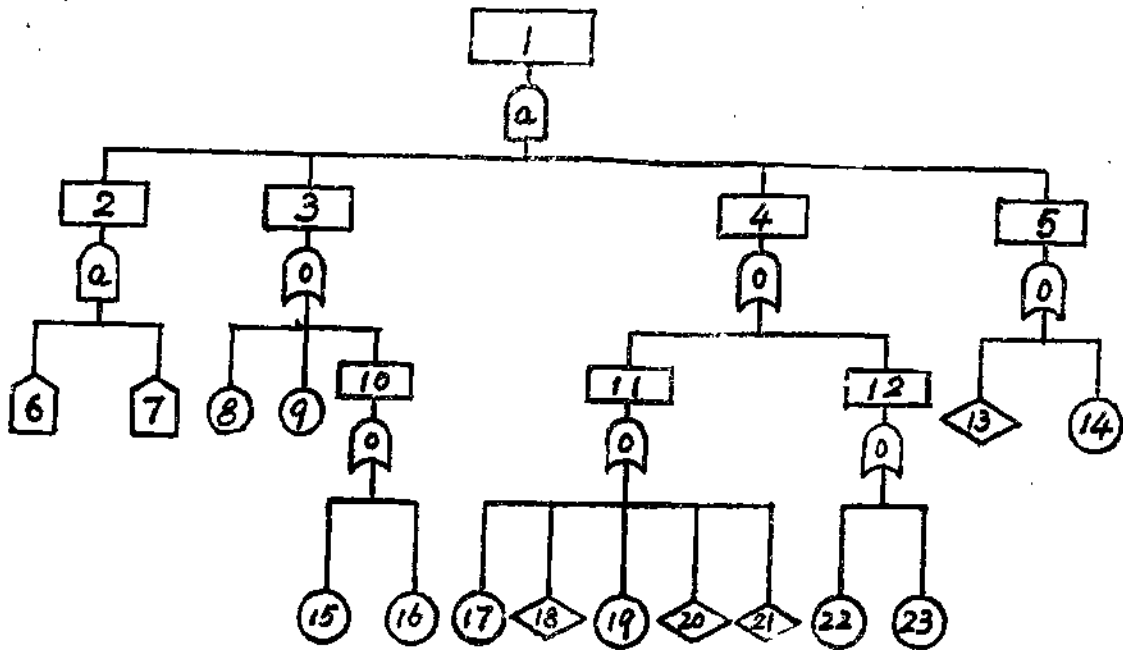


图6 间接电击事故树

1—电击； 2—设备有电； 3—保护失灵； 4—外壳带电； 5—接触外壳； 6—线路有电；
7—开关接通； 8—熔断器太大； 9—零线断路； 10—单相短路电流太小； 11—漏电； 12—落连；
13—接近设备； 14—无个人防护； 15—线路太长； 16—导线太细； 17—绝缘受潮； 18—过热；
19—绝缘老化； 20—绝缘击穿； 21—绝缘损坏； 22—接头松脱； 23—断线碰壳
a—与门； o—或门

(4) 顶端事件概率的确定 顶端事件的概率是从底端逐层向上计算求得的。对于与门，其后事件的概率为：

$$P_A = \prod_{i=1}^n P_i$$

式中 n ——与门前面的事件数；

P_i ——与门前面第 i 个事件发生的概率

对于或门，其后事件的概率为：

$$P_o = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$$

图7的例子中，事件E的概率为：

$$P_E = 1 - (1 - 0.05)(1 - 0.05)(1 - 0.01) \\ = 0.1065$$

事件C的概率为：

$$P_C = 0.8 \times 0.1065 \times 1 \times 0.5 \\ = 0.0426$$

顶端事件，既事件A的概率为：

$$P_A = 1 - (1 - 0.01)(1 - 0.0426) \\ = 0.0522$$

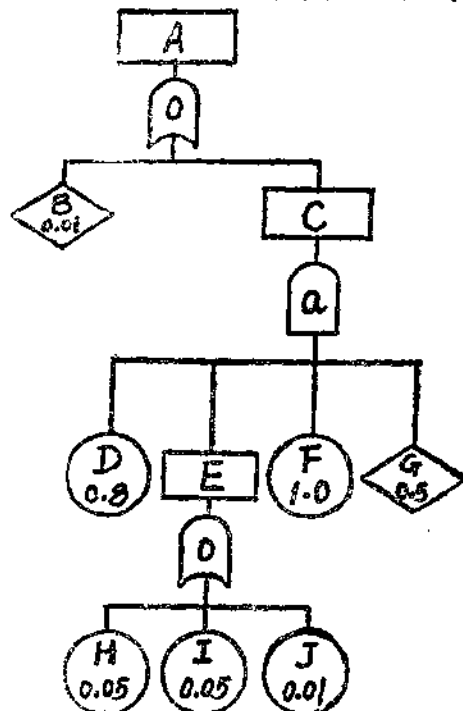


图7 顶端事件概率计算

第六节 触电急救

触电急救的基本原则是动作迅速、方法正确。人触电以后，会出现神经麻痹、呼吸中断、心脏停止跳动等征象，外表上呈现昏迷不醒的状态。但不应该认为是死亡，而应该看作是假死，并且迅速而持久地进行抢救。有触电者经四小时甚至更长时间的紧急抢救而得救的事例。有个统计材料说，从触电后1分钟开始救治者，90%有良好效果；从触电后6分钟开始救治者，10%有良好效果；而从触电后12分钟开始救治者，救活的可能性很小。由此可知，动作迅速是非常重要的。

1 脱离电源

人触电以后，可能由于痉挛或失去知觉等原因而紧抓带电体，不能自行摆脱电源。这时，使触电者尽快脱离电源是救活触电者的首要因素。

对于低压触电事故，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销，可立即拉开开关或拔出插销，断开电源。但应注意到拉线开关和平开关只能控制一根线，有可能只切断零线，而不能断开电源。

(2) 如果触电地点附近没有电源开关或电源插销，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，或用干燥木板等绝缘物插入触电者身下，以隔断电流。

(3) 当电线搭落在触电者身上或被压在身下时，可用干燥的衣服、手套、绳索、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，救护人不得接触触电者的皮肤，也不能抓他的鞋。

对于高压触电事故，可采用下列方法使触电者脱离电源：

(1) 立即通知有关部门停电。

(2) 带上绝缘手套，穿上绝缘靴，用相应电压等级的绝缘工具按顺序拉开开关。

(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。注意抛掷金属线前，先将金属线的一端可靠接地，然后抛掷另一端；注意抛掷的一端不可触及触电者和其他人。

上述使触电者脱离电源的办法，应根据具体情况，以快为原则，选择采用。在实践过程中，要遵循下列注意事项：

(1) 救护人不可直接用手或其他金属及潮湿的物件作为救护工具，而必须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，应考虑防摔措施。即使触电者在平地，也要注意触电者倒下的方向，注意防摔。

(3) 如事故发生在夜间，应迅速解决临时照明问题，以利于抢救，并避免扩大事故。

2 现场急救方法

当触电者脱离电源后，应根据触电者的具体情况，迅速对症救护。现场应用的主要救护方法是人工呼吸法和胸外心脏挤压法。

(1) 对症救护 触电者需要救治的,大体按以下三种情况分别处理:

a 如果触电者伤势不重,神志清醒,但有些心慌、四肢发麻、全身无力;或者触电者在触电过程中曾一度昏迷,但已清醒过来,应使触电者安静休息,不要走动,严密观察并请医生前来诊治或送往医院。

b 如果触电者伤势较重,已失去知觉,但心脏跳动和呼吸还存在,应使触电者舒适、安静地平卧;周围不围人,使空气流通;解开他的衣服以利呼吸;如天气寒冷,要注意保温;并速请医生诊治或送往医院。如果发现触电者呼吸困难、稀少、或发生痉挛,应准备心脏跳动或呼吸停止后立即作进一步的抢救。

c 如果触电者伤势严重,呼吸停止或心脏跳动停止或二者都已停止,应立即施行人工呼吸和胸外挤压,并速请医生诊治或送往医院。

应当注意,急救要尽快地进行,不能等候医生的到来;在送往医院的途中,也不能中止急救。

(2) 人工呼吸法 人工呼吸是在触电者呼吸停止后应用的急救方法。各种人工呼吸法中,以口对口(鼻)人工呼吸法效果最好,而且简单易学,容易掌握。

施行人工呼吸前,应迅速将触电者身上妨碍呼吸的衣领,上衣等解开,并迅速取出触电者口腔内妨碍呼吸的食物、脱落的假牙、血块、粘液等,以免堵塞呼吸道。

作口对口(鼻)人工呼吸时,应使触电者仰卧,并使其头部充分后仰(可用一支手托触电者颈后),至鼻孔朝上,以利呼吸道畅通。

口对口(鼻)人工呼吸法操作步骤如下:

a 使触电者鼻孔(或口)紧闭,救护人深吸一口气后紧贴触电者的口(或鼻)向内吹气(图8),为时约2秒钟。

b 吹气完毕,立即离开触电者的口(或鼻),并松开触电者的鼻孔(或嘴唇),让他自行呼气(图9),为时约3秒钟。



图8 口对口人工呼吸法吹气

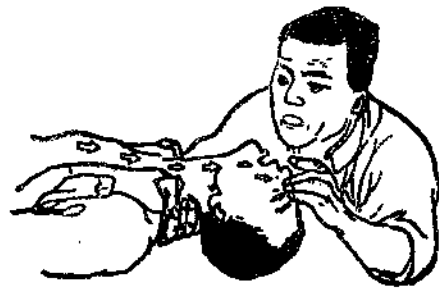


图9 口对口人工呼吸法换气

触电者如系儿童,只可小口吹气,以免肺泡破裂。如发现触电者胃部充气膨胀,可一面用手轻轻加压于其上腹部,一面继续吹气和换气。如果无法使触电者把口张开,可改用口对鼻人工呼吸法。

除口对口(鼻)人工呼吸法外,以前还用两种人工呼吸法,即俯卧压背法和仰卧牵臂法。与口对口(鼻)人工呼吸法相比,这是两种比较落后的方法。口对口(鼻)人工呼吸法不仅简单易做、便于和胸外心脏挤压同时进行,而且换气量也大得多。口于口(鼻)人工呼吸法每次换气量约1000~1500毫升、仰卧牵臂法约800毫升、俯卧压背法约400毫升。由此可知,在现场应优先考虑采用口对口(鼻)人工呼吸法。

(3) 胸外心脏挤压法 胸外心脏挤压法是触电者心脏跳动停止后的急救方法。

作胸外心脏挤压时应使触电者仰卧在比较坚实的地方,姿势与口对口(鼻)人工呼吸法相同,操作方法如下:

a 救护人跪在触电者一侧或骑跪在其腰部两侧,两手相叠,手掌根部放在心窝上方,胸骨下三分之一至二分之一处。

b 掌根用力垂直向下(脊背方向)挤压,压出心脏里面的血液。对成人应压陷3~4厘米。以每秒钟挤压一次,每分钟挤压60次为宜。

c 挤压后掌根迅速全部放松,让触电者胸部自动复原,血液充满心脏。放松时掌根不必完全离开胸部。

触电者如系儿童,可以只用一只手挤压。用力要轻一些以免损伤胸骨,而且每分钟宜挤压100次左右。

应当指出,心脏跳动和呼吸是互相联系的。心脏停止跳动了,呼吸很快就会停止;呼吸停止了,心脏跳动也维持不了多久。一旦呼吸和心脏跳动都停止了,应当同时进行口对口(鼻)人工呼吸和胸外心脏挤压。如果现场仅一个人抢救,两种方法应交替进行:每吹气2~3次,再挤压10~15次,而且吹气和挤压的速度都应当提高一些,以降低抢救成果。

施行人工呼吸和胸外心脏挤压抢救要坚持不断,切不可轻率中止。运送途中也不能中止抢救。抢救过程中,如发现触电者皮肤由紫变红、瞳孔由大变小,则说明抢救收到了效果;如果发现触电者嘴唇稍有开合,或眼皮活动,或喉嚨间有咽东西的动作,则应注意其是否有自动心脏跳动和自动呼吸。触电者能开始呼吸时,即可停止人工呼吸。如果人工呼吸停止后,触电者仍不能自己呼吸,则应立即再作人工呼吸。急救过程中,如果触电者身上出现尸斑或身体僵冷,经医生作出无法救活的诊断后方可停止抢救。

3 急救用药要求

触电急救用药应注意以下两点:

(1) 任何药物都不能代替人工呼吸和胸外心脏挤压,人工呼吸和胸外心脏挤压是两种基本的急救方法。

(2) 要慎重使用肾上腺素。肾上腺素有使停止跳动的的心脏恢复跳动的作用,即使出现心室颤动,也可使细的颤动变成较粗的颤动而有利于除颤。但是,肾上腺素可以使跳动微弱或跳动不好的心脏发生心室颤动,并由此导致心脏停止跳动而死亡。因此,使用肾上腺素要慎重。对于有心脏跳动的触电者不能使用肾上腺素;只有经过心电图仪鉴定心脏确已停止跳动时,才允许使用肾上腺素;使用肾上腺素要掌握好时机,在触电者心脏跳动停止时,应先进行人工呼吸和胸外心脏挤压,待心脏和全身缺氧改善后再用。

此外,对于与触电同时发生的外伤,应分别情况酌情处理。对于不危及生命的轻度外伤,可放在触电急救之后处理;对于严重的外伤,应与人工呼吸和胸外心脏挤压同时处理。如伤口出血,应予止血。为了防止伤口感染,最好予以包扎。