



电力安全基础知识

第一节 电力安全生产与技术基本知识

一、电力安全生产概述

安全生产是我国的一项基本国策，是保证经济建设持续、稳定、协调发展和社会安定的基本条件，也是社会文明进步的重要标志。因此，电力的安全生产不仅是电力工业发展的前提和基础，也是发挥电力企业社会效益和提高企业经济效益的保证。电力生产安全的总体目标是防止发生对社会构成重大影响、对生产力的发展以及对国有资产保值增值构成重大损失的事故，尤其要杜绝电力生产的人身伤亡事故。为实现这一总体目标，电力安全生产的重点工作是深入贯彻落实《关于电力生产、基本建设、多种经营安全工作及电力安全监察工作》的有关规定，健全完善安全生产机制和安全教育机制。把搞好安全生产作为企业管理工作的核心，加强对电业职工的安全思想教育和安全技术培训，提高全员安全技术素质，以确保电力工业的稳步发展。为此，“安全第一，预防为主”的方针就成为电力生产建设的永恒主题。

（一）电力安全生产的含意

在电力生产中，安全主要有着三方面含意。

- （1）确保人身安全，杜绝人身伤亡事故。
- （2）确保设备安全，保证设备正常可靠运行。
- （3）确保电网安全，消灭电网瓦解和大面积停电事故。

这三方面是电力企业安全生产的有机组成部分，互不可分，缺一不可。

（二）电力安全生产的重要性和基本方针

电力工业是建立在现代电力能源转换、传输、分配科学技术基础上的、高度集中的社会化大生产行业，是供给国民经济能源的基础性行业，也是关系城乡人民生活的公共事业。电力工业具有高度自动化和发、供、用同时完成的特点。发电、输电、配电和用户组成一个统一的电网运行系统，任何一个环节出了事故，都会影响整个电网的安全稳定运行。严重事故则会使电网运行中断，甚至导致电网的崩溃和瓦解，造成长时间、大面积停电，直接影响到工农业生产和人民生活的正常进行。这会给社会造成重大的经济损失，影响社会的安定，损害党和政府的形象。所以电力安全生产不仅是经济问题，也是政治问题。为此，我国一直坚持“安全第一，预防为主”的方针，并从电网的技术管理、规程制度建设、职工思想行为的规范和职业道德的建设等方面着手，采取一系列措施加强和改进安全管理工作，努力提高电力生产的安全水平。

“安全第一，预防为主”的方针是由电力工业的特点和电力生产的客观规律决定的，是电力生产多年实践经验的结晶。坚持这一方针，是电力生产、建设、经营等各项工作顺利进行的基础和保证。任何时候都不能有丝毫的偏移和动摇。电力企业在各项工作中还应处理好安全与效益，安全与质量、速度以及安全与多种经营的关系，当发生矛盾时首先要服从安全。要十分明确安全是企业生产活动的头等大事，是带动全局工作的根本性任务。只有正确地处理好安全与其他事物间的关系，才能保证改革和发展的顺利进行。

“安全第一，预防为主”是一个有机的整体，二者不可偏废。安全第一的关键是坚持预防为主，对安全生产要有居安思危的忧患意识，绝不能麻痹大意。安全工作要警钟长鸣，防患于未然，不能等到出了问题再抓，必须为避免事故的发生而常抓不懈。全体电业职工都要牢固树立“安全第一，预防为主”的思想，进一步增强安全意识，改进和提高安全技术，坚持保人身、保电网、

保设备安全的“三保”原则，真正做到“安全生产，人人有责”，使电力安全生产步入良性发展的轨道。

（三）电力安全生产保证体系

安全生产工作是一项复杂的系统工程，它涉及到企业的方方面面，必须动员和组织企业的全部力量，全方位、全过程去做好。为了实现这个目的，企业应确立一种有效的运转形式来满足它的要求。电力系统多年来的实践证明，需要建立并不断完善企业的两个体系——安全生产保证体系和安全生产监督体系，并在生产过程中充分地发挥它们的作用，电力系统的安全运行就能得到保证。

安全生产保证体系，就是企业为了安全生产的目的，利用系统工程的理论，把从事企业生产的有关人员、设备进行有机的组合，并使这种组合在企业生产的全过程中合理运作，形成合力，在保证安全的各个环节上发挥最大的作用，从而在完成生产任务的同时，确保生产的安全。因此称这种组合为安全生产的保证体系。

这个体系包含三个因素，即人、设备、手段。要想在企业中建立一个有效、可靠的安全生产保证体系，首先要抓住人这个主体因素。企业管理的主要对象是人，安全管理也是如此。人在安全生产活动的诸多矛盾中，是一个主要的矛盾，这个矛盾解决了，其他的矛盾就迎刃而解了。另外，规范人在生产活动中的行为，保证人与设备之间的正常运作也是必要手段，它包括规程制度、先进技术以及党群组织的监督保证作用等。首先，应该在企业中造就一支高素质的职工队伍、这支队伍应具备高度的事业心、强烈的责任感、娴熟的业务技能、严格的组织纪律、听从指挥的优良品质。其次，应根据生产的客观环境及规律，借鉴历史的经验与教训，制订若干的法规、规程、制度、办法，以及“乡规民约”等，用它们来约束、指导和规范人们在生产中的所有行为。具备了上述条件就一定会把三个因素中的设备因素治理好、管理好，保障设备的安全，发挥设备的最大效能，使安全生产得

到全面切实的保证。这样，一个有效可靠的安全生产保证体系就建立起来了。通过这个体系的运转，就会使企业的生产管理发生积极的变化。

二、安全系统工程概述

事故总是在不符合客观规律要求的生产活动中产生的。事故的破坏力随着生产的发展而日趋严重。先进生产的首要条件是安全性，即“安全第一”。

（一）安全系统工程

1. 安全系统工程的定义

安全是指不存在导致死亡、工伤、职业病、设备损失或财产损失等事故的条件。

系统安全是指某系统在功能、时间、成本等规定条件下，系统中人员、设备所受到的伤害和损失为最小。

安全系统工程是系统工程的一个重要分支，它是将系统工程的原理和方法运用于安全管理的一门学科。它以系统安全为目标，以专业知识为基础，按现行法规、标准、技术规范等限定的安全准则，运用系统工程的原理和方法，对系统中或生产中的安全问题进行定性和定量的分析、评价及预测，并采取综合安全措施予以控制，使系统发生事故的可能性减少到最低限度，从而使系统达到最佳安全状态。

2. 安全系统工程的特点

（1）安全系统工程是一门包含新技术领域的科学，是一门跨学科的综合性工程技术。

（2）安全系统工程是以人为中心的人—机匹配、具有反馈过程的系统。在这个系统中，生产作业者根据测量工具、目测所得的系统信息操纵控制装置，调整工作参数，对系统进行反馈，以保持系统稳定生产和不断进行优化生产。在人机接口中还有保护作业者人身安全的安全措施。系统内安全流程如图 1-1 所示。

（3）安全系统工程是工程系统与社会系统的结合。它不同于其他学科，因为有人直接参杂在系统中，而每个人的政治、经

济、技术水平、安全素质、家庭和社会环境各不相同，所以对发生的情况的判断也会不相同。人作为安全系统活动的操作者，而其操作水平和教育素养又是社会水平的综合体现。

(4) 安全系统工程具有偶然性。系统中的生产设备、工具可能因设计、制造、运输、安装、验收、材料等缺陷而处于不安全状态；或初时虽符合要求，但由于工作中零部件磨损、老化等因素，也可使设备、工具处于不安全状态；操作者的生理、心理状态和体力的不稳定，具有失误的偶然性；这些不利因素何时、何地非正常组合在一起而发生事故，对人伤害如何，也存在着偶然性。因此，安全工作必须常抓不懈。

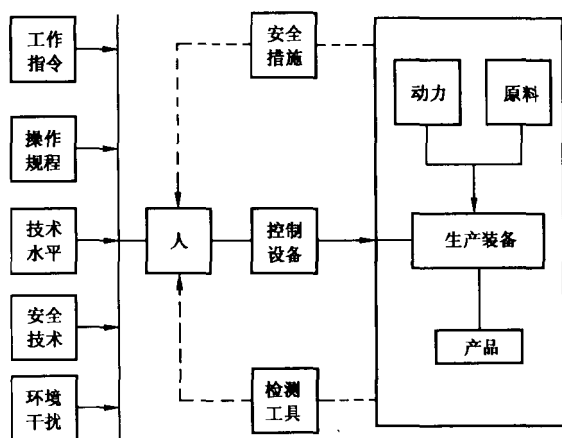


图 1-1 系统内安全流程图

3. 安全系统工程的作用

(1) 提高安全管理的层次。过去的安全管理，往往凭经验和直觉去了解和处理生产过程中存在的危险和隐患，只是片断地、零碎地解决安全问题，而无法系统地、全面地解决安全问题。推行安全系统工程能使我们的安全管理层次升高，使我们能从生产系统的全局出发，全面地考虑规划、设计、施工、生产、更新等各个阶段可能出现的安全问题。

(2) 提供科学的安全管理手段。以往对事故只能做定性的估计，不能进行定量的分析，难以做到对事故的预测和预报。而应用安全系统工程则能事先预测到事故发生的可能性，掌握事故发生的规律，并作出定性和定量的评价，预先警告事故的危险性并提出相应的安全措施，为提高安全管理水平提供了必要的手段。

(3) 进一步促进企业的安全生产。通过系统安全分析，掌握系统安全的薄弱环节，根据计算出的重要度，结合本单位实际采取相应措施，保证了生产的顺利进行。

(4) 促进安全教育的改革。安全系统工程涉及知识面很广，它是系统工程论、最优化技术、可靠性工程、预测技术、统筹法、人机工程学、工程心理学、行为科学、控制论、概率论、集合论以及国家立法、安全标准、安全管理、安全工程专门学科等多方面知识和技术的相互渗透的综合学科，这就要求我们必须认真做好安全教育工作，提高安监部门和全体员工的安全技术素质，提高企业整体安全教育工作的层次，把“安全第一”工作落到实处。

(二) 安全系统工程的内容

安全系统工程的主要内容，包括事故成因理论、系统安全分析、系统安全评价和采取的安全措施。只有正确的分析，恰当的评价，才能得出安全工作的最佳决策。

1. 事故成因理论

事故成因理论主要讨论事故的定义、影响原因、各种事故模式、事故规律的法则以及事故预防的原理。其中，事故模式对于事故的分析、处理技术和事故的控制技术具有指导作用，是安全系统工程的核心。目前，在世界上比较流行的事故成因理论有 12 种，对我国影响较大的有人为失误论、骨牌论、综合论等。

2. 系统安全分析

系统安全分析在安全系统工程中占有十分重要的地位。为了充分认识系统中存在的危险性，要对系统进行细致的分析，只有

分析得准确，才能在安全评价中得到正确的答案。当前，系统安全分析方法有数十种之多，既有定性的方法，又有定量的方法，可以对事故进行分析、预测。主要的方法有事故比重图、事故趋势图、事故主次图、事故控制图、事故时间和空间分布图、安全检查表、鱼刺图、预计危险分析法、故障类型影响分析法、故障类型影响和严重度分析法、事件树分析法、事故树分析法、管理失误和风险树分析法、抽样判别法、风险预知技术、行为分析法、统计法等。每一种系统安全分析方法都有其产生的历史过程和条件，并不是每一种方法都通用于所有的系统。通过实践，一般认为，定性的系统安全分析方法（如安全检查表法）及既能定性又能定量的事故树分析法，对于电力生产和基本建设都比较实用。

3. 系统安全评价

系统安全分析的目的就是为了进行系统安全评价。通过分析，辨识系统中存在的危险性和薄弱环节、发生事故的概率以及可能产生的后果等。有了评价，决策者可根据评价结果制定对策。定性分析的结果只能用于定性安全评价，掌握系统中危险的大致情况。定量分析可用于定量安全评价，主要用一些数据评价系统，结果当然更加确切。进行系统安全评价的方法有，经验型定性评价、技术型定性评价、管理型定性评价、火灾爆炸危险指数评价法、一般作业危险性评价、企业车间安全评价、安全投资评价、解析评价等。

4. 采取安全措施

根据系统安全评价的结果，确定下一阶段的安全目标，实施两措计划，并对系统进行调整，采取综合控制和消除危险的措施，加强薄弱环节，消除潜在危险。在安全装置与设施、事故预防及处理方案、安全组织、教育与训练等方面、做出统筹安排，预防事故的发生，切实做到全面保障系统的安全。

（三）系统安全分析方法

1. 安全检查表

从 20 世纪 30 年代起，国外就开始采用安全检查表，至今不衰。它是安全系统工程中的最基本的分析方法。

2. 事故树分析法

(1) 事故树分析法及其作用。事故树分析法是一种逻辑演绎的系统分析方法。能辨识和评价系统的各种危险性，它是安全系统工程中安全分析的重要方法之一。事故树分析法以系统中的事故形态作为分析目标，将其与导致事故的各种因素作成逻辑关系图（即事故树）。它由事件符号和关系符号组成，用以对系统的安全问题或系统的运行功能问题进行分析，并能为判别事故发生的可能性和必然性之间提供一种简明、形象的表达形式。它的作用是：

1) 能全面、简洁、形象地描述、分析导致事故的各种因素及其逻辑关系。

2) 便于发现、查明系统内固有的或潜在的危险因素，为安全设计、制定技术措施和采取管理对策提供依据。

3) 使作业人员全面了解和掌握各项防止、控制事故的措施和要点。

4) 对已发生的事故进行原因分析。

5) 便于进行逻辑运算、定性和定量的分析与评价等。

(2) 事故树分析法的程序：

1) 确定分析对象。广泛收集事故案例、事故统计资料，把严重和多发事故选定为需要预防的顶端事件。

2) 深刻了解对象系统。了解系统的功能、结构、工作程序及各种主要参数和作业情况。

3) 确定系统目标。根据系统功能的要求或规定，确定系统的安全目标值。

4) 调查事故。运用演绎分析方法，调查与事故有关的所有原因事件和各种因素，从设备状况、人员素质、环境因素、管理等方面逐条与规程、规定等对照，凡有问题即作为一个基本事件。

5) 绘制事故树。从顶端事件开始,按故障原因一级一级往下找出所有原因事件,直至找到基本原因事件,按其逻辑关系,绘制出事故树。

6) 定性分析。按事故树结构利用布尔代数进行简化,求出最小割集和最小径集,确定各基本事件的结构重要度,提出改善系统的初步方案。

7) 定量分析。研究事故树顶端事件发生的可能性,即收集计算基本事件的概率数据,按逻辑运算法求出顶端事件的发生概率。

8) 分析计算结果。判断事故发生概率是否超过预定的目标值,并利用最小割集研究降低事故发生概率的可能方案,使系统达到最佳安全状态。

三、电气安全技术

安全技术是控制或消除生产劳动过程中能造成人身伤亡和职业急性中毒的危险因素,防止发生伤亡事故而采取的技术措施。它是职业安全卫生的一个重要组成部分。

“安全技术”一词原意是“技术的安全”,逐步演变为安全所需的技术,为安全所采取的技术措施。它以突然发生的急性伤亡为研究对象。从系统观点出发,运用观察、试验、分析、计算、设计及评价等方法来研究,发现潜在的危险因素,采取技术措施,防止伤亡事故的发生。安全技术的实质是把事前预防措施作为重点。

安全技术按行业分为电力安全技术、冶金安全技术、煤矿安全技术、化工安全技术、建筑工程安全技术、起重安全技术及防雷、防爆安全技术等。应用安全技术的效果应体现在:排除系统中的某些危险因素,提高生产系统的安全运行水平。

在电气安全技术中最重要的技术是防止人身触电事故的技术措施和管理。

随着我国现代化建设的发展,电器应用日益广泛,触电事故增多。尤其是农村电网迅速建立与发展,触电事故屡有发生。常

见的触电事故原因是：

(1) 对用电知识不了解。由于不懂用电基本知识及其危险性，误碰电线、开关，误拾断落在地上的带电电线；随便玩弄电器设备；身体进入高压电弧区内；雷雨时在大树下避雨；用手直接拖拉触电者；儿童玩弄电器以及爬高而触电等。也有的对用电常识一知半解，由于乱拉乱接线路、自行拆修电器设备而发生触电的。

(2) 电器设备缺陷及损坏漏电。电器质量差或安装不合格，使电器本身漏电或设备损坏，若带电部分裸露于外，用者又不注意便可发生触电。这种情况多发生在日常生活中，如接触使用的电路开关、插销、灯口、照明灯的软线及收音机、电视机等的带电部分而触电。

(3) 违反安全操作规程。多发生于违章布线、带电拆修电器设备，或有人在停电线路上工作时误送电等的情况。

(4) 特殊意外情况。如暴风雨将电杆刮倒电线落地，风雪使供电导线下落，火灾时电线烧断接触人体，以及战争中敌方设置的电网造成触电等。

第二节 电对人体的伤害和影响

一、电流对人体的伤害

电流对人体造成多种伤害，如伤害呼吸、心脏和神经系统，使人体内部组织破坏，乃至最后死亡。当电流流经人体时，人体会产生不同程度的刺痛和麻木，并伴随不自觉的肌肉收缩。触电者会因肌肉收缩而紧握带电体，不能自主摆脱电源。此外，胸肌、膈肌和声门肌的强烈收缩会阻碍呼吸，甚至导致触电者窒息死亡。若带电设备或带电导体的电压较低，对人体的伤害一般只是在接触部位皮肤表面上烧有轻微的斑点或伤痕，对肢体损害不大。能及时脱离电源，就不致引起肌肉坏死或骨骼受伤等伤害。若不能及时脱离电源，则由于长时间电流的作用，往往造成

机体内部严重伤害，以致死亡。当带电设备或带电导体的电压甚高时，在肢体接近带电体的瞬间，将发生电弧放电。由于电弧温度甚高（可达 3000 左右），除了能使肢体的接近部位灼伤外，严重时还会造成大面积烧伤。电弧烧伤部位，由于电的热效应、化学效应，以及熔化和蒸发的金属微粒的侵蚀，往往损害十分严重。如肌肉和神经坏死，骨骼受伤。治疗中多数需要截肢，严重的导致死亡。在触电者与地接触部位，电击时往往留下击穿的痕迹，小的如米粒，大的如豆，也有更大的。这种伤口，一般在治疗时不易愈合，恢复期较长。有的甚至需要几年才能结痂。此外，在强烈的电弧刺激下，眼睛也可能受伤造成眼炎，有时需要数日才能恢复视力。除了生理性质的伤害外，神经也可能受伤。如有的人触电后精神上感到难受，全身倦怠，发谵语，甚至狂躁易怒，出现惊吓等症状。总之，电对人体的伤害，后果是相当严重的。

对于电流通过人体造成生命死亡的原因，有各种不同的说法。一种认为当电流通过机体时，伤害了呼吸神经中枢，造成呼吸停止，导致死亡；另一种说法认为电流通过人体时，破坏了心脏机能，致使心脏停止工作，造成死亡。还有一种说法认为电流伤害了神经系统，因而造成死亡。为了研究电流通过人体时对机体的影响，国内外有关部门用动物做了许多试验，其中试验较多的一种动物是狗。试验中发现，当以一定量的电流通过狗的机体时，狗的心脏即发生颤动。若电流持续不断，或逐渐增大，则心脏机能破坏。在电流中断后心脏不能再恢复工作，造成死亡。从而认为电流的作用首先是破坏心脏的机能。但当用兔子、豚鼠等动物做试验时，虽然在电流通过机体时心脏发生颤动，可是在电流中断后心脏仍然可以恢复正常工作，生命又得到复苏。这说明心脏机能并没有遭到破坏。然而在呼吸机能受到电流的伤害以后却造成死亡，从而又得出不同的结论。

从触电事故的许多统计资料分析中可以看出，大部分触电死

亡事故，电流都是通过触电人的心脏。但也有不少事例，电流虽然通过人的心脏，却未造成死亡。因此，对于电流通过机体造成人身死亡的原因，目前还没有统一的认识。一般认为比较满意的说法是：由于电流通过人的机体，伤害了管理心脏和呼吸机能的脑神经中枢，致使心脏的正常工作遭受破坏，呼吸停止，从而造成死亡。

（一）电击伤的种类

根据电压、电流的性质及特点可将电击伤（触电伤害）分为四类。

1. 低压电击伤

指 380V 以下的电击伤。但烧伤专业中有时常将 1000V 以下的损伤均称低压电击伤。其特点为：

（1）主要为心脏受累，同时也可累及呼吸系统和神经系统。轻者可短暂失去知觉，重者死亡。

（2）皮肤及皮下组织一般无烧伤或仅是局限浅表烧伤。

2. 高压电击伤

指 1000V 以上甚至上万伏高压电的电击伤。高压电因属高伏特和高安培的交流电，故易造成严重和广泛的组织损害，其特点为：

（1）以局部组织深度烧伤为主，可达肌群和骨骼。

（2）有电流进口和出口，一般进口比出口大且严重，表面创口不很大，但深部组织的损害范围大而严重。

（3）受伤局部及邻近部位均有严重电性水肿。

（4）组织电阻越大产热越高，烧伤也越重（各组织电阻大小依次是骨、脂肪、肌腱、肌肉、血管和神经）。

（5）因多发生血管坏死和栓塞以及深部肌肉离电阻较大的骨质接近，导致所受热损伤重，故可形成沿血管走向的机体组织“夹心”样坏死区，并易出现继发性动脉破裂出血。

（6）电流直接通过心脏和脑时，也可致心跳、呼吸骤停和死亡。

3. 直流电击伤

触及直流电的感觉为温热，且不产生快速电脉冲。

4. 交流电击伤

可引起肌肉痉挛和强直性收缩。故手若触及高压交流电后，往往是抓紧带电体而不易放松，造成电击时间延长。40~60Hz/s的交流电，对人体的危险性最大。因它可使人体细胞内离子紊乱，造成心室纤维性颤动而迅速死亡。因肌肉和神经对高频电的反应低，使交流电对人体的危险性随其频率的增加而减轻。

电流通过人体后，使人体生理上发生很大的变化，而且变化程度与电流大小有关。通过人体的电流愈大，生理反应愈严重。按工频电流通过人体引起的生理反应不同，电流大小（有效值）可分为感知电流、摆脱电流、致命电流三级。感知电流是人能感觉的最小电流，成年男性约为1.1mA，成年女性约为0.7mA。摆脱电流人能自主摆脱电源的最大电流，成年男性约为16mA，成年女性约为10.5mA。从安全考虑，宜取99.5%的人都能摆脱的电流作为依据，称为最小摆脱电流，成年男性约为9mA，成年女性约为6mA。致命电流是指在较短时间内就危及人的生命的最小电流，一般认为能产生心室颤动的电流是致命电流。

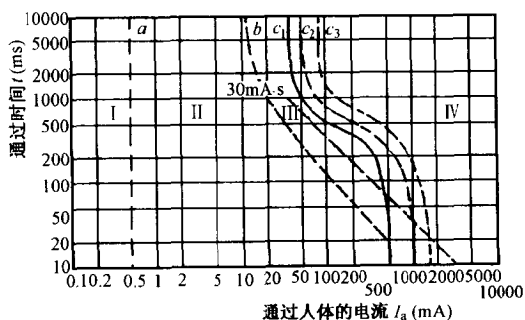


图 1-2 交流电流（15~100Hz）在人身上的反应区域

电流通过人体的时间愈长，生理反应愈大。交流电流（15~100Hz）在人身上的效应区域如图 1-2 所示。Ⅰ—通常无生理反应；Ⅱ—通常无有害的生理反应；Ⅲ—通常不会有器质性损伤，但有呼吸短促而困难、心脏组织和搏动传导的可逆性失调、随着电流强度和时间的增加出现除室颤外的心颤和短时心脏停跳等反应；Ⅳ—除Ⅲ的反应外，室颤的可能性增加到的 5%（曲线 c_2 ）、50%（曲线 c_3 ）和 50% 以上（曲线 c_3 以外），随着电流强度和时间的增加可能发生心脏停跳、呼吸停止和严重灼伤等生理反应。图示的心颤是电流流经“左手到脚”通路时的效应；500mA/1000ms 这一点与大约 0.14% 心颤可能发生率相对应。

女性较男性触电的生理反应重；小孩较成年人触电的生理反应重；体轻者较体重者触电的生理反应重。

触电分为直接接触和间接触电。直接接触是指人直接触及带电体，例如触及带电的裸导线或电器的裸露部分。直接接触一般是由工作失误所致。间接触电是指人触及在故障情况下才带电的物体，例如电气设备外壳和与之相连的金属构件，在正常情况下是不带电的，但当设备绝缘损坏而漏电时则带电，人若触及就会触电。间接触电是无法预测的，所以间接触电的危险性并不低于直接接触。触电事故多发生在 600V 以下的低压系统。

（二）电流对人体伤害的程度及其因素

电流对人体伤害的程度与以下因素有关。

1. 电流大小

通过人体的电流越大，人体的生理反应越明显，感受越强烈，引起心室颤动或窒息的时间越短，致命的危险性越大，因而伤害也越严重。一般来说，通过人体的交流电（50Hz）超过 10mA、直流电超过 50mA 时，触电者自己难以摆脱电源，这时就有生命危险。表 1-1 为工频电流对人体的影响，表 1-2 为通过人体电流大小与人体伤害程度的关系。

表 1-1

工频电流对人体的影响

电流范围 (mA)	通电时间	人 体 生 理 反 应
0~0.5	连续通电	没有感觉
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
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
30~50	数秒到数分钟	心脏跳动不规则,昏迷,血压升高,强烈痉挛,时间过长即可引起心室颤动
50~数百	短于心脏搏动周期	受强烈冲击,但未发生心室颤动
	长于心脏搏动周期	昏迷,心室颤动,接触部位留有电流通过的痕迹
超过数百	短于心脏搏动周期	发生心室颤动,昏迷,接触部位留有电流通过的痕迹
	长于心脏搏动周期	心脏跳动停止,昏迷,可能致命

表 1-2

通过人体电流大小与人体伤害程度的关系

(mA)

名 称	定 义	对成年男性		对成年女性
感知电流	引起人有感觉的最小电流	工频	1.1	0.7
		直流	5.2	3.5
摆脱电流	人体触电后能自主地摆脱电源的最大电流	工频	16	10.5
		直流	76	51
致命电流	在较短时间内危及生命的最小电流	工频	30~50	
		直流	1300 (0.3s)、50 (3s)	

从表 1-1、表 1-2 可看出,感知电流一般不会对人体造成伤害,但当电流增大时,感觉增强,反应加大;摆脱电流是人体可以承受的最大电流,因而一般不致造成不良后果。

2. 人体电阻

通过人体电流的大小，决定于人体的外部电阻和内部电阻以及人体所承受电压的大小。

人体的外部电阻是指人体在接触带电设备时，接触部分表皮与带电体之间的电阻，以及电流通过人体流入大地时人体与大地接触点之间的电阻。这两个电阻与触电者当时所穿的衣服、鞋袜以及身体的潮湿情况有关。当触电者穿胶底鞋，带手套而且身体比较干燥时，接触电阻比较高，在接触 380V 及以下的低压设备时可能不会有遭到伤害的危险。因此，从事电气工作的人员，在工作时最好能穿胶底鞋，戴手套。

人体的内部电阻是不稳定的。不同的人，生理条件不同，其内部的电阻也不一样。就是同一个人，由于工作环境不同，劳动量不同，以及触电时接触部位的不同，电阻值也不完全相同。

一般人体的电阻可分为皮肤的电阻和内部组织的电阻两部分。但由于皮肤的角质外层具有一定的绝缘性能，因此实际决定人体电阻的主要是皮肤的角质外层。表皮角质外层厚的人电阻较大，反之较小。不同的人，其表皮的角质外层厚薄不一样，电阻也不相同。就是同一个人，由于身体各部位的角质外层厚度不同，在测量其电阻时所得的数值也随着测点位置的改变而不同。但这个表皮角质外层的绝缘强度是十分有限的，一般在 50V 的电压时将出现缓慢的破坏现象，几秒钟后接触点即生水泡，因而破坏了干燥皮肤的绝缘性能，使人体的电阻降低。当电压升达 500V 时会很快被击穿而成为电流的通路。因此，随着外加电压的不同，皮肤绝缘层被击穿的时间是不一样的。一般可以从百分之几秒到几分钟。

当人体触电时，能不能自主地摆脱电源，与皮肤的绝缘层是否被击穿有很大的关系。当皮肤的绝缘层被击穿后，人体组织内部的电阻就成为决定通过电流大小的主要因素了。皮肤如同人的绝缘外壳，在触电时起着一定的保护作用。当人体触电时，流过人体的电流与人体的电阻有关，人体电阻越小，通过人体的电流

就越大，也就越危险。

人体电阻不是固定不变的，它的数值随着接触电压的升高而下降，如表 1-3 所示。又随条件不同而在很大范围内变动，如表 1-4 所示。皮肤潮湿、多汗、有损伤、带有导电性粉尘，以及电极与皮肤的接触面积加大、接触压力增加等情况下，人体电阻都会降低。不同类型的人人体电阻也不同，一般认为人体电阻为 $1000 \sim 2000 \Omega$ （不计皮肤角质层电阻）。

表 1-3 随电压变化的人体电阻

接触电压 (V)	12.5	31.3	62.5	125	220	250	380	500	1000
人体电阻 (Ω)	16500	11000	6240	3530	2222	2000	1417	1130	640

表 1-4 不同条件下的人体电阻

接触电压 (V)	人 体 电 阻 (Ω)			
	皮肤干燥	皮肤潮湿	皮肤湿润 ^①	肢体浸入水中
10	7000	3500	1200	600
25	5000	2500	1000	500
50	4000	2000	875	440
100	3000	1500	770	375
250	1500	1000	650	325

皮肤湿润是指有水蒸气及特别潮湿场所中的皮肤。

3. 通电时间长短

电流对人体的伤害与电流作用于人体的时间长短有密切关系。通电时间越长，由于人体发热而出汗及电流对人体的电解作用，人体电阻逐渐降低，流过人体的电流也就逐渐增大，对人体组织的破坏越加厉害，后果也就越严重。通常可用触电电流大小与触电时间的乘积（称为电击能量）来反映触电的危害程度。通电时间越长，电击能量积累增加，越容易引起心室颤动。电击能量超过 $50\text{mA}\cdot\text{s}$ 时，人就有生命危险。所以，电流通过人体的持续时间越长，后果也越严重。表 1-5 说明了通过人体的允许电流与持续时间的关系。从表 1-5 可看出，通过人体电流的持续时间越长，允许电流值越小。触电急救时，强调救护要争分夺秒，最大限度地缩短电流通过人体的时间，就是基于这个道理。