

第一章

电 业 安 全 概 述

本章介绍 电业生产的范围，电力安全生产的重要性，电力安全生产的基本方针，电力生产安全目标，电力安全生产相关法规，电力生产中的事故及障碍，发生事故的基本原因，做好安全工作、防止事故发生的基本方法。

第一节 电力安全生产的重要性

一、电业生产的范围

电业生产包括电力生产、电力基本建设、电力多种经营三大部分。其中，电力生产按生产环节分为发电、输电、变电、配电、用电等 5 部分；电力基本建设按基建项目性质分为火电建设施工、水电建设施工和输变电建设施工等；电力多种经营按经营项目性质分为电力生产（建设施工）多种经营和非电力生产（建设施工）多种经营。现在，习惯把电力生产、电力基本建设、电力多种经营均划归为电力生产范围。

二、电业安全生产的重要性

电力安全生产的重要性是由电力生产、电力基本建设、电力多种经营的客观规律和生产特性及社会作用决定的随着电力工业迅速发展、电力体制改革和市场化进程加快，电力安全生产的重要性更加突出，电力安全生产的重要性有以下几个方面。

(1) 电力安全生产影响各行各业和社会稳定。电力工业是国民经济的基础产业，是具有社会公用事业性质的行业。它为各行各业（如工业、农业、国防、交通、科研）提供电力，为人民的日常生活提供电力，如果供电中断，特别是电网事故造成大面积停电，将使各行各业的生产停顿或瘫痪，有的还会产生一系列次生事故，带来一系列次生灾害。另外，供电中断或大面积停电，会给社会和人民生活秩序带来混乱，甚至造成社会灾难，造成极坏的政治影响。因此，电力安全生产关系到国家人民生命财产安全，关系到人民群众的切身利益，关系到国民经济健康发展，关系到人心和社会的稳定。

(2) 电力安全生产影响电力企业本身。安全是电力生产的基础，如果一个电厂经常发生事故，就不可能做到满发稳发和文明生产，如果系统经常发生事故，系统中的发电厂和变电站都不能正常运行，使电力生产和输配电处于混乱状态，因此电力企业本身需要安全生产。电力安全生产是电力企业物质文明和精神文明建设好坏的集中体现，安全生产离不开精神文

明建设，精神文明建设为安全生产提供强大动力，精神文明建设做得好，则企业生产的安全局面就好，安全生产对电力企业的物质文明建设提出了强烈要求，又为物质文明建设提供了高层次的保证，因此安全生产做得好，则企业的物质文明建设也做得好。没有安全生产，就没有效益。电力企业的生存与发展，必然要求有好的经济效益，如果电力企业的安全生产做不好，必然减少发供电并增加各种费用的支出，其结果是成本上升，效益下降，因此，搞好安全生产是提高经济效益的基础。

(3) 电力生产的特点需要安全生产。由发电厂生产的电能经升压变电站、输电线路、降压变电站、配电线路送到用户，组成了产、供、销统一的庞大的整体。由于电能尚不能大规模储存，因此，产、供、销是同时进行的，电力的生产、输送、使用一次性同时完成并随时处于平衡。电力生产的这些内在特点决定了电力生产的发、供、用必须有极高的可靠性和连续性，任何一个环节发生事故，都可能带来连锁反应，造成人身伤亡、主设备损坏或大面积停电，甚至造成全网崩溃的灾难性事故。因此，电能生产的内在特点需要安全生产。特别是目前的电网已是大机组、大电厂、大容量、高电压、高度自动化的电网，对安全生产提出了更新、更高的要求，安全生产就显得更加重要。

(4) 电力生产的劳动环境要求安全生产。电力生产的劳动环境有几个明显的特点：电气设备多；高温高压设备多，如火电厂的锅炉、汽轮机、压力容器和热力管道等；易燃、易爆和有毒物品多，如燃煤、燃油、强酸、强碱、制氢气及制氧气系统、氢冷设备等；高速旋转机械多，如发电机、风机、电动机等；特种作业多，如带电作业、高空作业、起重及焊接作业等。这些特点表明，电力生产的劳动条件和环境相当复杂，本身潜伏着诸多不安全因素，潜在的危险性大，这些都构成了对职工人身安全的威胁。因此，工作中稍有疏忽，潜在的危险会转化为人身事故，电力生产环境要求我们对安全生产要高度重视。

三、电力生产安全目标

1. 国家电力公司系统总体安全目标

国家电力公司系统安全生产的总体目标是防止两类 7 种事故。

(1) 两类事故。即对社会造成重大影响和对资产造成重大损失的事故。

(2) 7 种事故。与两类事故对应的 7 种事故是：

- 1) 人身死亡；
- 2) 大面积停电；
- 3) 大电网瓦解；
- 4) 电厂垮坝；
- 5) 主设备严重损坏；
- 6) 重大火灾；
- 7) 核泄漏。

2. 国家电力公司分公司、集团公司、省电力公司安全生产目标

- (1) 不发生人身死亡事故；
- (2) 不发生重大电网事故；
- (3) 不发生有人员责任的重大设备事故；
- (4) 不发生特别重大设备事故；
- (5) 不发生重大火灾事故；

(6) 不发生重大施工机械设备损坏事故。

3. 水电施工企业安全生产目标

- (1) 不发生人身群亡事故；
- (2) 不发生重大施工机械设备严重损坏事故；
- (3) 不发生重大质量事故。

4. 发电、供电、检修、火电施工和送变电施工企业安全生产目标三级控制

- (1) 企业控制重伤和事故，不发生人身死亡、重大设备损坏和电网事故；
- (2) 车间（含工区、工地）控制轻伤和障碍，不发生重伤和事故；
- (3) 班组控制未遂和异常，不发生轻伤和障碍。

5. 安全无事故记录

发电、供电企业及有关调度机构每年实现的百日无事故记录个数为：

- (1) 1000MW 及以上容量的火电厂 1 个；其他容量的火电厂 2 个；
- (2) 500MW 及以上容量的水电厂 2 个；其他容量的水电厂 3 个；
- (3) 主变压器容量 1000MVA 及以上的供电企业 1 个；500~1000MVA 的供电企业 2 个；500MVA 及以下供电企业 3 个；
- (4) 省级及以上调度机构 3 个。

四、电力安全生产与法制

电力安全生产是一个系统工程，要搞好电力安全生产，要做好多方面的工作，依靠社会主义的法制搞好安全生产，是其中的一个重要方面，也是电力生产安全管理的基本方法之一。

1. 电力安全生产相关法律、法规

为了保证电力安全生产，我国针对电力生产制订的法律、法规、制度多达 100 余种，其中主要的条文如下：

- (1) 全国人大常委会制定和发布的《中华人民共和国电力法》。
- (2) 国务院颁发的《电网调度管理条例》和《电力设施保护条例》。
- (3) 国家电力公司（原电力部或能源部）颁发的《电业安全工作规程》、《电力建设安全工作规程》、《电业生产事故调查规程》、《防止电力生产重大事故的二十五项重点要求》、《电力工业锅炉监察规程》、《电力建设安全施工管理规定》、《安全生产工作规定》、《电力安全监督规定》、《电力系统多种经营安全管理工作规定》、《电力企业各级领导人员安全生产职责规定》、《并入电网运行的公用发电厂电力生产安全管理规定》、《并网核电厂电力生产安全管理规定》、《外商承建中国境内电力建设工程劳动安全卫生管理规定》、《电力安全生产奖惩规定》、《电力工业技术监督工作规定》。

刑法中有关安全生产的条文：

(1) 第 109 条。破坏电力、煤气或者其他易燃易爆设备，危害公共安全，尚未造成严重后果的，处 3 年以上 10 年以下有期徒刑。

(2) 第 110 条。破坏交通工具、交通设备、电力煤气设备、易燃易爆设备造成严重后果的，处 10 年以上有期徒刑或者死刑。

过失犯前款罪的，处 7 年以下有期徒刑或拘役。

(3) 第 114 条。工厂、矿山、林场、建筑企业或者其他企业、事业单位的职工，由于不

服管理、违反规章制度，或者强令工人违章冒险作业，因而发生重大伤亡事故，造成严重后果的，处 3 年以下有期徒刑或者拘役；情节特别恶劣的，处 3 年以上 7 年以下有期徒刑。

(4) 第 115 条。违反爆炸性、易燃性、放射性、毒害性、腐蚀性物品的管理规定，在生产、储存、运输使用中发生重大事故，造成严重后果的，处 3 年以下有期徒刑或者拘役，后果特别严重的，处 3 年以上 7 年以下有期徒刑。

(5) 第 187 条。国家工作人员玩忽职守，致使公共财产、国家和人民利益遭受重大损失的，处 5 年以下有期徒刑或者拘役。

2. 法律及制裁

上述所列有关电力生产的法律、法规、制度，广大电力职工都应该自觉遵守，在电力生产过程中，如若违反上述法律、法规、制度，是要负法律责任的，包括民事责任、刑事责任、行政责任。根据违法事实，分别依据相应法律实施制裁。对于民事违法行为，给予民事制裁，主要有排除侵害、返还原物、赔偿损失、收缴进行非法活动的财物、罚款等；对于刑事违法行为，给予刑事制裁，包括主刑和附加刑两类，主刑包括管制、拘役、有期徒刑、无期徒刑、死刑，附加刑包括罚金、剥夺政治权利、没收财产三种；对行政违章处理有通报批评、警告、记过、记大过、降职、免职、留用察看、开除等 8 种。

基于上述介绍，广大电力职工应该学法、懂法，增强法制观念，懂得这些法律、法规和规章制度的强制力和法律约束力的作用，懂得一旦发生重大责任事故，不仅受政纪处分，而且还要追究刑事责任，甚至被判刑。

3. 法制对电力安全生产的作用

(1) 法制极大地推动了劳动保护和安全生产。电力工业的法律、法规使电力生产有法可依，它有效地扼制了各种电力安全事故的发生，减少了人员伤亡和设备损坏，促进了电力安全生产，保证了电力生产有序进行。所以，法制是安全生产的根本保证，离开法制，安全生产秩序将陷于混乱，职工的人身安全、健康和设备完好会失去保障。

(2) 法制可以促进电力工业协调、稳定、持续发展。依法治电，使电力生产管理法制化、规范化，在电力企业中，依法治电，实行“有法可依、有法必依、执法必严、违法必究”的原则，不但推动电力安全生产，而且促进电工业协调、稳定、持续发展。

(3) 通过法制教育，增强职工法制观念，减少生产事故的发生。通过法制教育，增强人们的法制观念，使大家知法、懂法、守法，从而在思想上提高对安全生产的重视程度和贯彻各项规章制度的自觉性，减少违法、违章、违纪和各类事故的发生。

第二节 电业生产中的事故及障碍

一、电力生产事故

电力生产事故系指电力生产过程中发生的人身伤亡、设备损坏、停电、电能质量降低、经济损失等达到国家规定的事故指标。

根据国家电力公司《电业生产事故调查规程》的规定，下列情况均为事故：

1. 电力生产人身伤亡

电力生产中发生的人身伤亡事故，是指国家电力公司颁发的《电业生产事故调查规程》中规定的人身伤亡事故。属于本类事故的有：

(1) 职工从事与电力生产有关工作过程中发生的人身伤亡（含生产性急性中毒造成的人身伤亡）

(2) 职工在电力生产区域内，由于企业的劳动条件或作业环境不良，企业管理不善，设备或设施不安全，发生设备爆炸、火灾、生产建（构）筑物倒塌等造成的人身伤亡。

(3) 职工在电力生产区域内，由于他人从事电力生产工作中的不安全行为造成的人身伤亡。

(4) 本企业聘用人员、雇用或借用外企业职工、民工和代训工、实习生，短期参加劳动其他人员，在本企业的车间、班组及作业现场，从事电力生产有关的工作过程中发生的人身伤亡。

(5) 职工从事与电力生产有关的工作时，发生由本企业负同等及以上责任的交通事故而造成的人身伤亡。

2. 设备非计划停运、降低出力和少送电

属本项事故的情况有：

(1) 发电设备和 35kV 及以上输变电设备（包括直配线、母线）的异常运行或被迫停止运行引起了对用户少送电。

(2) 330kV 及以上输变电主设备被迫停止运行。

(3) 发电机组、35~220kV 输变电主设备被迫停运，虽未引起对用户少送电或电网限电，但时间超过 8h。

(4) 发电机组和 35kV 及以上输变电主设备非计划检修，计划检修延期或停止备用达到：虽提前 6h 提出申请并得到调度批准，但发电机组停用时间超过 168h 或输变电设备停用时间超过 72h，没有按调度规定的时间恢复送电或备用。

装机容量 以下的发电厂全厂对外停电。

(6) 3kV 及以上发供电设备因误操作使主设备异常运行或被迫停运。

(7) 电力系统发生稳定破坏或瓦解。

3. 电能质量降低

属本项事故的情况有：

(1) 电力系统频率偏差超出以下数值：

1) 装机容量在 3000MW 及以上电网，频率偏差超出 $50 \pm 0.2\text{Hz}$ ，延续时间 30min 以上；或频率偏差超出 $50 \pm 0.5\text{Hz}$ ，延续时间 15min 以上；

2) 装机容量在 3000MW 以下电网，频率偏差超出 $50 \pm 0.5\text{Hz}$ ，延续时间 30min 以上；或频率偏差超出 $50 \pm 1\text{Hz}$ ，延续时间 15min 以上。

(2) 电力系统监视控制点电压超过了电力系统调度规定的电压曲线数值的 $\pm 5\%$ ，且延续时间超过 2h；或超过规定数值的 $\pm 10\%$ ，且延续时间超过 1h。

4. 经济损失

属本项事故的情况有：

1) 因故障造成发供电设备损坏，直接经济损失达到 10 万元。

2) 生产设备、厂区建筑发生火灾，经济损失达 1 万元。

5. 其他

1) 主要发供电设备异常运行已达到规程规定的紧急停止运行条件，而未停止运行。

2) 220kV 及以上断路器、电压互感器、电流互感器、避雷器爆炸。

3) 发生带负荷拉、合隔离开关，带电装设接地线或合接地刀闸、带接地线（接地刀闸）合断路器（隔离开关）。

4) 100MW 及以上发电机绝缘损坏。

5) 120MVA 及以上主变压器绕组绝缘损坏。220kV 及以上线路倒杆塔。

二、事故分类

电力生产事故按事故性质分为人身伤亡、设备损坏、设备非计划停运、降低出力、少送电（热）、电能质量降低、经济损失、误操作等事故。按事故性质严重程度及经济损失大小，又分为特大事故、重大事故、一般事故。

1. 特大事故

(1) 人身死亡事故一次达 50 人及以上者。

(2) 电力设备（包括设施）损坏直接经济损失达 1000 万元者。

(3) 电网大面积停电造成下列后果之一者。

1) 省电网或跨省电网减供负荷超过下列数值：

电网负荷	减供负荷
20000MW 及以上	20%
10000MW~20000MW 以下	30% 或 4000MW
5000~10000MW 以下	40% 或 3000MW
1000~5000MW 以下	50% 或 2000MW

2) 中央直辖市全市减供负荷 50% 及以上；省会城市及国家计划单列市全市减供负荷 80% 及以上。

(4) 其他经国家电力公司认定为特大电网事故和特大设备事故者。

2. 重大事故

(1) 一次事故死亡 3 人及以上，或一次事故死亡和重伤 10 人及以上，未构成特大人身事故者。

(2) 电网大面积停电造成下列后果之一者：

1) 省电网或跨省电网减供负荷达到下列数值：

电网负荷	减供负荷
2000MW 及以上	8%
10000MW~20000MW 以下	10% 或 1600MW
5000~10000MW 以下	15% 或 1000MW
1000~5000MW 以下	20% 或 750MW
1000MW 以下	40% 或 200MW

2) 中央直辖市全市减供负荷 20% 及以上；省会及国家计划单列市全市减供负荷 40% 及以上；地级市全市减供负荷 90% 及以上。

(3) 发电机容量在 400MW 及以上的发电厂、电网容量在 5000MW 以下，发电机容量达 100MW 及以上的发电厂，一次事故使两台及以上机组停止运行，并造成全厂对外停电。

(4) 电压等级为 330kV 及以上的变电站、220kV 枢纽变电站全站停电或一次事故中有 3 个及以上 220kV 变电站全停电。

(5) 电力设备、施工机械损坏，直接经济损失达 300 万元。

(6) 100MW 及以上汽轮发电机，50MW 及以上水轮发电机、220kV 及以上主变压器，220kV 及以上输电线路、电抗器、GIS、断路器损坏，在规定时间内不能修复或修复后不能达到原来铭牌出力。

(7) 其他经国电公司或国电分公司、集团公司、省电力公司认定为重大事故者。

3. 一般事故

特大事故、重大事故以外的事故，均为一般事故。

三、障碍

障碍系指电力生产过程中发生未构成事故的故障。障碍分为一类障碍和二类障碍。

1. 一类障碍

发生一类障碍的情况有：

(1) 10kV (6kV) 供电设备（包括直配线、母线）的异常运行或被迫停运引起对用户少送电；发电机组、35~220kV 输变电主设备被迫停运、非计划检修或停止备用；35~110kV 断路器、电压互感器、电流互感器、避雷器爆炸，无造成少送电；110kV 及以上线路故障，断路器跳闸后经自动重合闸重合成功。

(2) 电能质量降低未构成事故。如电力系统频率超出以下数值：装机容量在 3000MW 及以上电力系统，频率偏差超出 $50 \pm 0.2\text{Hz}$ ，延续时间 20min 以上，或频率偏差超出 $50 \pm 0.5\text{Hz}$ ，延续时间 10min 以上。

2. 二类障碍

由国家电力公司分公司、集团公司、省电力公司自行制定。

四、发生事故的基本原因

(1) 违章作业。违章作业包括：不办理工作票，不按工作票上所列内容干活；安全措施不全，安全监督不到位；高空作业不系安全带又不听人劝告；开工时不交待安全注意事项，收工时不检查设备状态；不采取任何安全技术措施作业的；在运行设备上违章清理和检修或违章跨越运行设备。

(2) 违章操作。包括：不检查设备状况，开出错误操作票；不看运行图和运行记录、不核实现场设备状况，凭记忆填写停电申请票；不按操作票命令，漏项操作；擅自解除闭锁，违规操作；不模拟操作，无票操作；无操作票，无人监护操作；监护不严，监护人和操作人同时操作；不唱票、不复诵、不核对设备编号操作；不先验电而装设接地线或合接地刀闸；群体违章，不模拟、不开操作票、不验电。

(3) 纪律松弛，工作不负责任。有些职工不遵守劳动纪律，工作不负责任，造成事故。如运行人员当班不做记录，交班不交待清楚；操作时思想不集中，操作马虎；工作时不服从监护，不按规定穿工作服戴安全帽，严重违章违纪；工作时间离开岗位，在不安全的地方打瞌睡；班前酗酒，酒后工作无人制止等。

(4) 人员素质低。低素质的人员主要表现在：缺乏高度的事业心和强烈的责任感；缺乏良好的安全意识和娴熟的职业技能；缺乏遵章守纪和严肃认真、一丝不苟的工作作风。由于人员素质低，因而违章作业、违章操作和违反劳动纪律现象屡禁不止，同时与生产和技术的发展也不相适应。

(5) 安全意识淡薄，安全知识贫乏。其表现是：企业领导干部，特别是主管生产的领导

干部没有认真坚持“安全第一，预防为主”的方针，在安全管理工作中存在严重偏差，忽视抓安全保证体系（安全保证体系指为实现安全生产，由人员、设备和管理构成的有机整体）的工作，没有切实抓好职工的安全教育和安全培训，没有真正落实各级人员安全责任制和各项安全措施，甚至有的领导带头违反规程，对不安全问题的解决不得力，对事故没有坚持“四不放过”（事故原因不清不放过、事故责任者和应受教育者没有受到教育不放过、事故责任者未受到处理不放过、没有采取防范措施不放过）的原则，对本单位发生的事故长期不报，隐瞒事故。在职工中，职工的安全意识很淡薄，对“安全第一，预防为主”的方针持一种无所谓的态度，根本不当回事，而且安全知识贫乏，危险不听忠告，违章不听劝告，甚至蛮干，自我保护能力差。

(6) 安全管理不严。其表现是：未建立健全完善的规章制度、规程；不认真执行规章制度和规程；没有健全的安全监察和质量检验机构，使规章制度和标准无法落实，不注意安全宣传和安全教育，不进行有效的安全培训等等，导致安全管理混乱。

(7) 设备未定期检修或检修质量差。规程规定，电力生产设备都应定期检修，不定期检修消除缺陷，会使设备潜伏的缺陷引起事故。若检修不注意质量，不符合检验标准，则修后投入运行很可能达不到预期运行时间和效果或发生事故。

(8) 继电保护误动或拒动。继电保护三误（误碰、误整定、误接线）是造成继电保护误动或拒动事故的根本原因。误接线时，在故障情况下，保护该动而不动作，故障不能切除而造成设备损坏或扩大事故。误碰、误整定，造成继电保护误动而引起事故。所以继电保护工作是一项认真、细致、责任性很强的工作，来不得半点马虎。

五、做好安全工作，防止事故发生

安全工作关系到国家财产和人民生命的安全，关系到企业的经济效益和人民群众的切身利益，关系到社会的稳定和安定团结。因此，必须做好企业生产的安全工作，防止事故发生。做好安全生产工作，防止事故发生的基本方法如下：

(1) 坚持“安全第一，预防为主”的方针。“安全第一，预防为主”是我国安全生产的基本方针。“安全第一”就是说，如果安全与进度、效益、质量发生矛盾时，则安全必须放在第一位。因为，安全是人命关天的大事，一旦发生安全事故，则无法挽回，无法向职工、家属、社会和百姓交待。因此，只能把安全放在第一位。“预防为主”就是说，为了避免安全事故的发生，扎扎实实、认真细致地做好安全预防工作，要防患于未然，要把工作的重点放在预测、预控、预防上。只有这样，才可以做到不发生事故。所以，预防是安全的基础，安全工作必须以“预防为主”。

坚持“安全第一，预防为主”的方针，符合国家和人民根本利益，体现和反映了电力安全生产的基本规律，符合电力工业的特点和发展的客观要求，实践表明，只要坚持这一基本方针，电力安全生产就顺利，背离这一方针，电力生产事故频发，严重影响电力安全生产。

坚持“安全第一，预防为主”的方针，要求电力企业各级领导要正确处理安全与生产的关系，要把安全与生产统一起来。抓生产首先要抓安全，要在思想上真正做到，在生产与安全发生矛盾时，生产要服从安全，切实把安全摆在第一位。

坚持“安全第一，预防为主”的方针，要求企业各级领导要正确处理安全与效益、进度、多种经营的关系，在这些关系中，必须树立“安全第一”的思想。

坚持“安全第一，预防为主”的方针，必须加强电力生产全过程的安全管理，在电力生

产的每一阶段和各个环节上，都必须从人员、设备、制度、技术标准等各方面，全面加强安全管理，落实保证安全和质量的各项措施。

(2) 认真执行有关法律、法规、落实各级安全生产责任制。要认真贯彻执行《电力法》、《劳动法》及与之配套的各项法律、法规，认真贯彻落实国家电力公司及下属各公司、省电力公司关于安全生产方面的各项规程、规定、制度。通过深入、细致地贯彻执行一系列安全生产的法律、法规、规程、规定、制度，使安全生产管理工作建立在稳固基础上，为稳定安全生产提供良好条件。

国家电力公司早已颁发了各级安全生产责任制，各级人员应该明确各自的安全责任。只有做到各级领导、各级各类人员、各个部门和各工作岗位安全生产职责明确，各司其职，各负其责，实现“横向到边，纵向到底”的全员安全生产责任制，落实安全生产责任制，才能够防止各类事故的发生。

(3) 建立、健全安全生产管理机构，加强安全监察工作。根据电力安全生产的需要，建立各级安全管理机构。国电公司及下属公司、省电力公司、各企业（发、供电、基建施工）均设置独立的安全监督机构，各企业设置由企业安全监督人员、车间安全员、班组安全员组成的三级安全网。安全机构和安全网均实行下级接受上级的安全监督制度。

为了保证电力安全生产，一定要建立、健全安全监察和安全生产管理体系，一定要完善安全生产管理机构，各级安全监察和安全生产管理人员要更有效地发挥作用。安全生产管理机构要直接对安全生产第一责任人或安全生产主管领导负责并报告工作。另外，要加强安全监察和安全主管体系的建设，安全监察人员要熟悉业务，实事求是，作风正派，勇于坚持原则，秉公办事，自觉和模范地执行有关法律、法规、规程、制度，尽职尽责做好本职工作。

(4) 治理隐患，落实反事故措施，提高设备完好率。提高设备完好率是提高安全生产工作水平的硬件基础。抓紧治理隐患，特别是治理重大隐患是有效防止重大、特大事故发生的重要一环。各电力企业要加强设备维护，提高检修质量，及时消除事故隐患，要把重大事故隐患的辨识、评价、整改列入重要议事日程，对随时可能发生的重大隐患，必须采取果断措施，坚决整改，不能存有任何侥幸心理和麻痹思想；要注意改善设备性能，增加和完善保证安全的技术手段；企业的主要负责人，要亲自出马，对所管辖的设备、系统要加强巡视检查，定期进行安全大检查，达到查清事故隐患，落实整改措施，使设备经常保持良好状态；各单位要按照国电公司关于反事故措施的要求，加强设备的可靠性管理，充分利用可靠性管理信息和手段，结合本单位实际情况，及时制订和落实各项反事故措施和技术措施，不断提高设备完好率。

(5) 提高安全生产管理水平。提高安全生产管理水平主要做好下述三个方面的工作：

1) 提高安全生产水平，必须强化管理，必须从“严、细、实”三个字做起。“严”就是要严格管理，严格要求，敢抓敢管，要一丝不苟。在安全管理上要突出一个“严”字。对人要求严格，首先要对自己要求严格；对下级要求严格，首先要领导自己对自己要求严格，以身作则；要从严查处重大事故的责任者，改变目前失之于轻、失之于宽的状态，要坚持重大事故的追究制度，要把安全生产的业绩与对干部的考核结合起来。“细”就是要深入实际，从细微处做起，从点滴做起。要见微知著，防微杜渐。以控制轻伤，防止重伤，杜绝死亡；以控制异常，减少障碍，防止事故，杜绝重大、特大事故。目前，安全管理还处于粗放型，还停留在一般性号召上，不愿做一些深入细致的工作，常以文件贯彻文件，以会议贯彻会

议，看起来该做的做了，文件一级一级下达了，措施一个一个地发了，但可操作性的东西不多，效果并不理想。“实”就是踏踏实实，从实际出发，不是停留在口头上，不是写在文章里，说给别人听，写给别人看，一切工作必须讲实效，狠抓落实。“严、细、实”三个字说起来简单，做起来并不容易，真正做到了，做好了，必有显著效果。

2) 提高安全生产水平，必须实行科学管理。我国电力工业安全监察和管理工作，经过了几十年的实践，形成了一整套较为完善的规章制度和办法，在继续总结和提高的基础上，还要积极研究、开发和采用必要的新技术，进一步夯实安全工作的基础，努力实现安全管理工作的科学化、制度化、规范化和标准化。目前，在电力企业中开展的安全性评价工作，就是现代安全管理的一种科学方法。安全性评价是指借鉴国外“风险评估”等现代方法，在总结我国电力工业安全管理经验的基础上，对生产设备、劳动安全和作业环境及安全管理三方面，进行查评诊断，根据得分情况，判断其安全可靠性的程度，以达到预知危险性，采取防范措施，减少和消灭事故的目的。在进行安全性评价的时候，根据《安全性评价标准》，逐条对照、逐一评分，通过全方位安全性评价，可以发现许多隐患和不安全因素，并针对薄弱环节，制订整改措施，限期整改。

3) 提高安全水平，必须思想教育和机制建设双管齐下，做到安全意识与安全责任同时到位，奖罚同时到位。机制建设是指建立健全安全生产的各级责任制和监督、保证体系，把安全生产作为电力企业管理的重要组成部分和基础工作，使安全生产成为全体电力职工的自觉意识和自觉行动，渗透到电力企业工作的各个方面。安全工作不是一劳永逸的，也没有捷径可走，靠的是认真负责的态度和科学细致的管理。一方面要加强对职工的安全思想教育，提高职工的安全意识，另一方面要重点加强安全管理的机制建设，强化安监工作。要严格监督与考核，真正体现以责论处、重奖重罚，实现责权利的相互统一，充分调动全体职工的积极性，真正使职工从要我安全到我要安全的思想转变。

(6) 加强教育培训，不但提高人员素质和业务水平。加强企业职工教育培训，提高职工素质是电力企业一项长期而艰巨的工作。通过教育培训，提高职工的安全意识、工作责任感、业务技能，减少或避免事故的发生。教育培训要常抓不懈，要形成规范的教育培训制度。教育培训要注重效果，重在职工的安全意识、安全知识和安全技能。现在很多基层单位，安全培训搞了，但走过场，流于形式，实效不明显。现在的年轻人，他们只注重科技理论的学习，而忽视业务技能的培养，缺乏对问题的分析能力和技能，因此，教育培训一定要讲实效。

(7) 采取切实可行的措施，保证电网安全稳定运行。电网的安全问题较之一般的安全生产问题有更特殊的重要性，保证电网的安全稳定运行是电力生产的头等大事。现在的电网容量越来越大，自动化程度越来越高，供电范围越来越广，全国联网、甚至跨国联网已近在眼前。现代电网发生事故其损失和危害是无法估量的，因此，电网的稳定问题是一个最突出的问题，一旦电网发生稳定事故，就可能是灾难性的。另外，随着社会经济的发展，人民生活水平的提高，广大居民对电力供应的可靠性要求越来越高，即便是局部的电网事故，其后果所造成的影响和损失是不可小看的。因此，电网事故责任重大，对电网的安全生产尤为重要，必须慎之又慎。为此，对电网应采取切实可行的措施，保证电网的安全稳定运行。在电网的建设和管理上，实行“统一规划、统一建设、统一管理、统一调度”；要优化电网结构，建设运行灵活的输电网络；运行管理和实时调度不仅要考 $N-1$ 的情况，而且要考虑失去

两条及以上线路等最不利的运行方式（特殊运行方式）。要以科技进步为手段，加强一、二次设备的检修管理，加强对继电保护和安全自动装置的运行维护。还要严格执行调度纪律，严格执行安全工作规程，杜绝由于系统误调度、发电厂（变电站）误操作事故引发的电网事故，确保电网安全稳定运行，防止大面积停电事故的发生。

思 考 题

1. 说明电业生产的范围？
2. 说明电力安全生产的重要性？
3. 说明国家电力公司系统、国家电力公司分公司、省电力公司、企业、车间、班组的电力生产安全目标？
4. 法制对电力安全生产有什么作用？
5. 哪些情况属电力生产事故？
6. 按事故性质严重程度分哪几类？各类事故如何划分？
7. 事故发生的基本原因是什么？
8. 做好安全生产工作防止事故发生的基本方法有哪些？
9. 怎样贯彻落实“安全第一，预防为主”的方针？

第二章

触电及防护

第一节 电对人体的作用

电能是国民经济各部门及人民生活不可缺少的优良能源。它在造福人类的同时,也存在很大的危险性和破坏性。在电能的生产、输送和使用过程中,如果不懂得电的安全知识、不采取可靠的防护措施或者违反《电业安全工作规程》,就会发生触电事故,给人民生命财产造成不可估量的损失。因此,触电及防护的研究是关系到人民生命财产安全的重要课题。本章介绍电对人体的效应和人体触电机理方面的研究结果、人体触电的方式及防止发生触电的技术措施。

一、电流对人体的作用

电对人体的作用,是一个很复杂的问题,其影响因素很多,对于同样的情况,不同的人产生的生理效应不尽相同,即使同一个人,在不同的环境、不同的生理状态下,生理效应也不相同。为了确保人身安全,国际电工委员会(IEC)对动物、死人做了大量的研究,同时还收集了发生过触电事故的活人的临床资料,通过数据、资料的研究表明,电对人体的伤害,主要来自电流。

电流流过人体时,人体会产生不同程度的刺麻、酸疼、打击感,并伴随不自主的肌肉收缩、心慌、惊恐等症状,伤害严重时会出现心律不齐、昏迷,心跳呼吸停止直至触电者死亡的严重后果。

电流对人体的伤害可以分为两种类型,即电伤和电击。

(一) 电伤

电伤是指电对人体的外部造成的局部伤害,如电灼伤、电烙印、皮肤金属化等。

1. 电灼伤

电灼伤一般分接触灼伤和电弧灼伤两种。接触灼伤发生在高压触电事故时,电流流过的人体皮肤进出口处,一般进口处比出口处灼伤严重,接触灼伤的面积较小,但深度大,大多为三度灼伤,灼伤处呈现黄色或褐黑色,并可累及皮下组织、肌腱、肌肉及血管,甚至使骨骼呈现碳化状态,一般需要治疗的时间较长。

当发生带负荷误拉、合隔离开关及带地线合隔离开关时,所产生强烈的电弧都可能引起电弧灼伤,其情况与火焰烧伤相似,会使皮肤发红、起泡,组织烧焦、坏死。

2. 电烙印

电烙印发生在人体与带电体之间有良好接触的部位处。在人体不被电击的情况下，在皮肤表面留下与带电接触体形状相似的肿块痕迹。电烙印边缘明显，颜色呈灰黄色，有时在触电后，电烙印并不立即出现，而在相隔一段时间后才出现。电烙印一般不发臭或化浓，但往往造成局部的麻木或失去知觉。

3. 皮肤金属化

皮肤金属化是由于高温电弧使周围金属熔化、蒸发并飞溅渗透到皮肤表面形成的伤害。皮肤金属化以后，表面粗糙、坚硬，金属化后的皮肤经过一段时间后方能自行脱离，对身体机能不会造成不良的后果。

电伤在不是很严重的情况下，一般无致命危险。

(二) 电击

电击是指人的内部器官受到电的伤害。当电流流过人体时造成人体内部器官（如呼吸系统、血液循环系统、中枢神经系统等）生理或病理变化、工作机能紊乱，严重时会导致人体休克，乃至死亡。

电击使人致死的原因有三个方面：第一是流过心脏的电流过大、持续时间过长，引起“心室纤维性颤动”而致死；第二是因电流作用使人产生窒息而死亡；第三是因电流作用使心脏停止跳动而死亡。研究表明，“心室纤维性颤动”致死是最根本的、占比例最大的原因。

二、电击伤害的影响因素

(一) 电流强度

当不同大小电流流经人体时，往往有各种不同的感觉，通过的电流愈大，人体的生理反应愈明显，感觉也愈强烈。按电流通过人体时的生理机能反应和对人体的伤害程度，可将电流分成以下三级：

(1) 感知电流。使人体能够感觉，但不遭受伤害的电流，感知电流的最小值为感知阈值。感知电流通过时，人体有麻酥、灼热感。

(2) 摆脱电流。人体触电后能够自主摆脱的电流。摆脱电流的最大值是摆脱阈值。摆脱电流通过时，人体除麻酥、灼热感外，主要是疼痛、心律障碍感。

(3) 致命电流。人触电后危及生命的电流。由于导致触电死亡的主要原因是发生“心室纤维性颤动”，故将致命电流的最小值称为致颤阈值。

以上三个阈值，均因人而异，不同的人有不同的生理特点，对电流的敏感程度不一样。不仅如此，这三个阈值还与通电时间、人体触电部位、接触状态、电流种类等有关。图 2-1 是根据试验数据作出的交、直流电流对人体产生效应的的时间—电流区域曲线，由曲线可见，人体流过不同电流及通电时间不同时的反应可分为四个区域：

1. 安全区

在图 2-1 中，1 区为无感知区（安全区），在此区域中的电流流过人体时，人一般是没感觉的，与接触时间的长短没有关系。人对交、直流的无感知电流分别小于 0.5mA 和 2mA，即感知阈值分别为 0.5mA 和 2mA。

2. 感知区

当电流增大，超过了安全区，就进入感知区 2。在此区域内，一般人都能感受到电流，可以自由摆脱，通常对人不会发生危险的生理效应。1 区和 2 区的交界线 a 为感知阈值。人

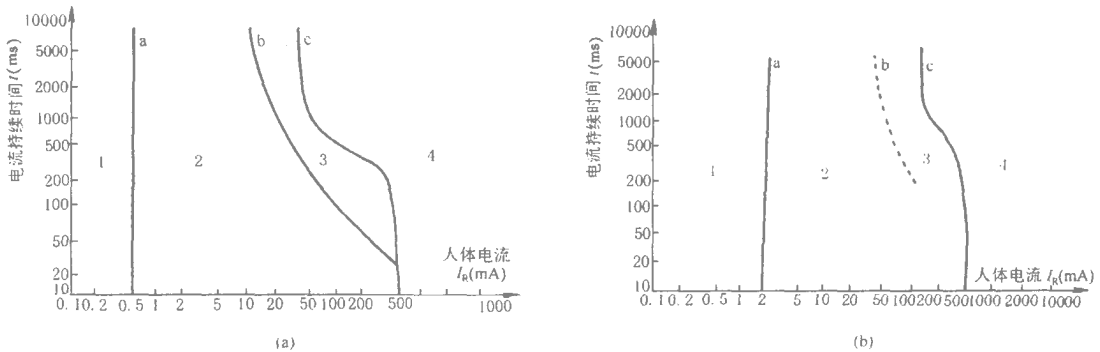


图 2-1 电流对人体产生效应的时—电流区域曲线

(a) 15~100Hz交流; (b) 直流

体对交流电流的感知阈值为 0.5mA 。

直流电与交流电不同,在感知电流范围内,电流稳定流动时,人并没有感觉,只有在接通和断开时人才会感知,这是因为电流对人的刺激作用与电流幅值变化有关,特别在接通和断开电流时尤其如此。对于同样的刺激效应,恒定不变的直流电,其幅值要比交流电大 $2\sim 4$ 倍,故人体对直流电流的感知阈值为 2mA 。

3. 不易摆脱区

在这个区域内,通常不易摆脱,电对体会发生明显的电流效应,如肌肉收缩,呼吸困难,形成心脏搏动和心脏搏动传导的可恢复性混乱,但一般不会损害有机组织,不会发生心室纤维性颤动而死亡。3区与2区的界限即摆脱阈值,它随触电时间的延长而下降,对交流电而言,当接触时间 t 为 0.02s 时,人的摆脱阈值为 500mA ,当 t 为 10s 时,摆脱阈值为 10mA 。

与交流电不一样,直流电流低于 300mA 时,没有确定的摆脱阈值,只有在电流接通或断开时,才会引起疼痛和引起肌肉像被夹住一样收缩,在高于 300mA 、但低于致颤阈值时,摆脱是不可能的,只是在冲击持续几秒或几分钟后才可能摆脱。

4. 致颤区

此区电流流过人体时,会发生心室纤维性颤动,可能导致死亡。3区与4区的交界线为致颤阈值,也与触电时间有关,且随 t 的延长而下降。这是因为人的心脏每经一个跳动周期(心脏收缩、扩张一次),中间约有 0.1s 的间隙,此间隙中心脏对电流最敏感,若电流在这一时刻通过心脏,即使较小的电流也会引起心室纤维性颤动;如果不是此刻通过电流,即使电流较大,也不一定出现危险。对交流电,当触电时间为 0.1s 时,电流为 400mA ,人就可能发生心室纤维性颤动;若持续时间为 2s 则在电流为 30mA 时人也会产生心室纤维性颤动。直流的致颤阈值在持续时间 t 长于一个心脏跳动周期(约 1s)的电流冲击时,要比交流的高几倍,对 t 小于 0.2s 的电流冲击,与交流致颤阈值大致相等。

(二) 人体电阻

人体触电时,流过人体电流在接触电压一定时由人体的电阻决定,人体电阻愈小,流过的电流则愈大,人体所遭受的伤害也愈大。

人体的不同部分(如皮肤、血液、肌肉及关节等)对电流呈现出一定的阻抗,即人体电

阻。其大小不是固定不变的，它决定于许多因素，如接触电压、电流途径、持续时间、接触面积、温度、压力、皮肤厚薄及完好程度、潮湿、脏污程度等。总的来讲，人体电阻由体内电阻和表皮电阻组成。

体内电阻是指电流流过人体时，人体内部器官呈现的电阻。它的数值主要决定于电流的通路。当电流流过人体内不同部位时，体内电阻呈现的数值不同。电阻最大的通路是从一只手到另一只手，或从一只手到另一只脚或双脚，这两种电阻基本相同，电流流过人体其他部位时，呈现的体内电阻都小于此两种电阻。一般认为，人体的体内电阻为 500Ω 左右。

表皮电阻指电流流过人体时，两个不同触电部位皮肤上的电极和皮下导电细胞之间的电阻之和。表皮电阻随外界条件不同而在较大范围内变化。当电流、电压、电流频率及持续时间、接触压力、接触面积、温度增加时，表皮电阻会下降。当皮肤受伤甚至破裂时，表皮电阻会随之下降，甚至降为零。可见，人体电阻是一个变化范围较大、且决定于许多因素的变量，只有在特定条件下才能测定。不同条件下的人体电阻见表 2-1。一般情况下，人体电阻可按 $1000\sim 2000\Omega$ 考虑。在安全程度要求较高的场合，人体电阻可按不受外界因素影响的体内电阻 (500Ω) 来考虑。

表 2-1 不同条件下的人体电阻

加于人体的电压 (V)	人 体 电 阻 (Ω)				加于人体的电压 (V)	人 体 电 阻 (Ω)			
	皮肤干燥	皮肤潮湿	皮肤湿润	皮肤浸入水中		皮肤干燥	皮肤潮湿	皮肤湿润	皮肤浸入水中
10	7000	3500	1200	600	100	3000	1500	770	375
25	5000	2500	1000	500					
50	4000	2000	875	440	250	2000	1000	650	325

- 注 1. 表内值的前提：电流为基本通路，接触面积较大。
 2. 皮肤潮湿，相当于有水或汗痕。
 3. 皮肤湿润，相当于有水蒸气或处于特别潮湿的场合中。
 4. 皮肤浸入水中，相当于在游泳池内或浴池中，基本上是体内电阻。
 5. 此表数值为大多数人的平均值。

(三) 作用于人体的电压

作用于人体电压，对流过人体的电流的大小有直接的影响。当人体电阻一定时，作用于人体电压越高，流过人体的电流越大，其危险性也越大。实际上，通过人体电流的大小也并不与作用于人体的电压成正比，由表 2-1 可知，随着作用于人体电压的升高，人体电阻下降，导致流过人体的电流迅速增加，对人体的伤害也就更加严重。

(四) 电流的持续时间

电流对人体的伤害与流过人体电流的持续时间有着密切的关系。图 2-1 表明了人体的致颤阈值与时间的关系，电流持续时间越长，其对应的致颤阈值越小，电流对人体的危害越严重。这是因为，一方面，时间越长，体内积累的外能量越多，人体电阻因出汗及电流对人体组织的电解作用而使伤害程度进一步增加，另一方面，人的心脏每收缩、舒张一次，中间约有 $0.1s$ 的间隙，在这 $0.1s$ 的时间内，心脏对电流最敏感，若电流在这一瞬间通过心脏，即使电流很小（几十毫安），也会引起心室颤动。显然，电流持续时间越长，重合这段危险期的几率越大，危险性也越大。一般认为，工频电流 $15\sim 20mA$ 以下及直流 $50mA$ 以下，对人体是安全的，但如果持续时间很长，即使工频电流小到 $8\sim 10mA$ ，也可能使人死亡。

(五) 电流路径

电流通过人体的路径不同，使人体出现的生理反应及对人体的伤害程度是不同的。电流通过人体头部会使人立即昏迷，严重时，使人死亡；电流通过脊髓，使人肢体瘫痪；电流通过呼吸系统，会使人窒息死亡；电流通过中枢神经，会引起中枢神经系统的严重失调而导致死亡；电流通过心脏会引起心室“纤维性颤动”，心脏停跳造成死亡。研究表明，电流通过人体的各种路径中，哪种电流路径通过心脏的电流分量，其触电伤害程度就大。左手至脚的电流路径，心脏直接处于电流通路内，因而是最危险的；右手至脚的电流路径的危险性相对较小。电流路径与流经心脏电流的比例关系如表 2-2 所示。

表 2-2 电流路径与通过人体心脏电流的比例关系

电流路径	左手至脚	右手至脚	左手至右手	左脚至右脚
流经心脏的电流与通过人体总电流的比例 (%)	6.4	3.7	3.3	0.4

(六) 电流种类及频率的影响

电流种类不同，对人体的伤害程度不一样。当电压在 250~300V 以内时，触及频率为 50Hz 的交流电，比触及相同电压的直流电的危险性大 3~4 倍。而当电压更高时，则交流电的危险性明显增大。例如，80~300mA 的直流电流流过人体不会产生明显的伤害，而 20~80mA 的工频电流，将对人体产生严重伤害。

不同频率的交流电流对人体的影响也不相同。通常，30~100Hz 的交流电，对人体危险最大。低于或高于频率的电流对人体的伤害程度要显著减轻。当频率为 450~500kHz 时，触电危险性便基本消失。但这种频率的电流通常以电弧的形式出现，因此有灼伤人体的危险。频率在 20kHz 以上的交流小电流，对人体已无危害，所以在医学上用于理疗。

(七) 人体状态的影响

电流对人体的作用与性别、年龄、身体及精神状态有很大关系。一般情况下，女性比男性对电流敏感，小孩比成人敏感。在同等触电情况下，妇女和小孩更容易受到伤害。此外，患有心脏病、精神病、结核病、内分泌器官疾病或酒醉的人，因触电造成的伤害都将比正常人严重；相反，一个身体健康、经常从事体力劳动和体育锻炼的人，由触电引起的后果相对会轻一些。

三、静电感应对人体的影响

(一) 静电感应的基本概念

处于空间的带电导体，在其周围会产生电场。在输电线路的高压带电导体与地之间，在发电厂、变电所的高压带电设备附近，都有电场存在。带电体与地之间的电压愈高，则其周围的电场强度就愈大。如果在该电场中引入一个与周围或大地绝缘良好的导体（称为被感应物体），必然受到电场力的作用，使其表面正、负电荷分别移向两侧，如图 2-2 所示。如果这是一个交变电场，则正、负电荷沿表面不断地交换位置，形成了表面的位移电流，这种被感应物体在交变电场的作用下，形成位移电流的现象，称为静电感应，通常用感应电压和感应电流来描述。

1. 感应电压

由于静电感应，使不带电导体对地呈现的电压叫做感应电压。

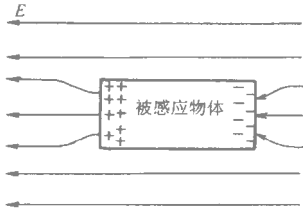
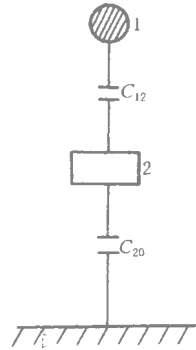


图 2-2 被感应物体在高电压作用下的物理现象



2-3 产生感应电压的原因
1—带电体；2—被感应物体

带电导体是产生静电感应的根源，如图 2-3 所示。带电体 1 与被感应物体 2 之间具有极间电容，记作 C_{12} ，被感应物体 2 与地之间具有对地电容，记作 C_{20} 。设带电体的对地电压（工频有效值）为 U_1 ，由于电容的耦合作用，被感应物体 2 出现了感应电压 U_2 ，根据电容分压原理， U_2 可用下式计算

$$U_2 = \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}} \cdot U_1$$

2. 感应电流

当人体接触图 2-3 中的被感应物体 2 时，由于人体电阻为 $1000 \sim 2000\Omega$ 左右，它与带电导体间的容抗值比与被感应物体间的容抗值 X_{12} 小得多，可以忽略不计，若人体接地良好，此时相当于被感应物体已直接接地，因此带电导体 1 通过容抗 X_{12} 对地流过电流。这种在高电场中人体接触被感应物体时流过人体的电流称为感应电流。感应电流的大小决定电击的严重程度。在忽略人体电阻时，感应电流为

$$I_{sc} = \frac{U_1}{1/\omega C_{12}} = \omega C_{12} U_1$$

（二）静电感应对人体的影响

静电感应对人体的影响主要是高电场对人体的生理影响（电场效应）和感应电流对人体的影响（电击效应）两个方面。

1. 感应电流对人体的影响

感应电流由暂态感应电流和稳态感应电流组成。暂态感应电流是由被感应物体本身积蓄的电荷对人体放电的结果，稳态感应电流是被感应物体的电容电流。感应电流对人体影响的结果可用能量来表示。研究表明，造成电击死亡所需要的能量为 30J （即 30Ws ），但在实际情况下很难有积蓄 30J 能量的被感应物体。例如变电所的特大型车辆对地电容约 3000pF ，如果在它上面的感应电压为 15kV 时，它所积蓄的能量仅有 0.675J ；人扶车门把手时，仅有刺痛感；在超高压变电所的配电装置周围的雨伞，当感应电压为 8.6kV 时，伞对地的电容为 47pF ，相应的能量约为 3.5mJ ，此时人体触雨伞有刺痛的感觉。

经研究后发现，电流密度对人体的影响也有关系。科研部门曾做过电流密度的影响试验。在人的脚踝部位绕一根细铜丝，人处于高电场中，此时人通过的感应电流值很小，不到