



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

安全用电

郭莉鸿 周卫星 编
程建龙 程书华

编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

安全用电

郭莉鸿 周卫星 编
程建龙 程书华
杨文学 吴新辉 主审
常美生



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

全书共分为8章，主要内容有安全用电基础知识及安全用电的管理，保证电气安全作业的组织措施和技术措施，电气安全工器具的正确使用，防止人身触电的技术措施及触电急救方法，电气设备的安全运行、过电压及防火防爆，电网的安全管理等。

本书可作为高职院校电力技术类专业教材，也可作为电力行业技术人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

安全用电/郭莉鸿等编. —北京：中国电力出版社，
2007

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978-7-5083-5071-4

I. 安... II. 郭... III. 用电管理—安全技术—高等学校：技术学校—教材 IV. TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 165213 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007年2月第一版 2007年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 16.25印张 338千字

印数 0001—3000册 定价 21.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的,并列人教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审,又列为全国电力职业教育规划教材,作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

在现代社会中,电能已成为国民经济和人民生活不可缺少的重要能源之一,它不能大量储存,具有发、输、供、用同时完成的特点,因此用户端的用电方式、负荷变化及安全程度直接影响着电网的安全经济运行。如果没有安全用电知识,就很容易发生触电、火灾、爆炸等电气事故,以至危及生命,影响生产。本书共分8章,以“安全第一、以人为本、预防为主”作为贯穿全书的主线,围绕生产、实际应用,依次以保证人身安全、设备安全、电网安全为线索安排章节内容,并体现宽、浅、用、新、能、活的特点,如引入安全性评价、设备的状态维修、危险点预控等新方法。本书还加入典型性的案例分析,使实际操作步骤尽量明晰化、图表化,力求使专业教材更加生动、形象,便于记忆,具有可操作性。

参加本书编写的有:山西电力职业技术学院郭莉鸿(编写第一章、第二章、第八章),长沙电力职业技术学院周卫星(编写第六章、第七章),保定电力职业技术学院程建龙(编写第四章、第五章),山西电力职业技术学院程书华(编写第三章)。本书由杨文学、吴新辉、常美生老师主审。

本书编写过程中参考了有关教材和资料,得到了有关院校老师和电力企业工程技术人员的大力支持,在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2007年1月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 安全用电基础知识	1
第二节 安全用电的管理	13
小结	29
思考题	30
第二章 电气作业的安全措施	31
第一节 保证安全的组织措施	31
第二节 保证安全的技术措施	39
小结	45
思考题	45
第三章 电气安全工器具的正确使用	47
第一节 安全用具的作用和分类	47
第二节 安全用具的使用和试验	48
第三节 电工常用仪表的正确使用	57
第四节 安全屏、间距和安全标志的使用	62
小结	66
思考题	66
第四章 人身触电	67
第一节 电对人体的作用	67
第二节 人体触电方式	72
第三节 触电急救	75
小结	81
思考题	82
第五章 防止人身触电的技术措施	83
第一节 安全接地	83
第二节 绝缘防护	88
第三节 漏电保护	90
小结	108
思考题	108
第六章 电气设备安全运行	110
第一节 电气设备倒闸操作	110
第二节 电力生产中的危险点分析与预控	118

第三节 电气设备运行中的危险点分析预控示例	123
小结	130
思考题	130
第七章 电气设备过电压及防火防爆	131
第一节 雷电及其危害	131
第二节 电力系统内部过电压	133
第三节 电气设备绝缘试验	134
第四节 电气火灾和爆炸	144
第五节 电气设备防火防爆	150
小结	157
思考题	158
第八章 电网的安全管理	159
第一节 电网基本知识	159
第二节 变电站及线路安全	171
小结	187
思考题	187
附录 A1 变电站（发电厂）第一种工作票格式	188
附录 B1 电力电缆第一种工作票格式	191
附录 C1 变电站（发电厂）第二种工作票格式	195
附录 D1 电力电缆第二种工作票格式	197
附录 E1 变电站（发电厂）带电作业工作票格式	199
附录 F1 变电站（发电厂）事故应急抢修单格式	201
附录 A2 电力线路第一种工作票格式	202
附录 B2 电力电缆第一种工作票格式	204
附录 C2 电力线路第二种工作票格式	207
附录 D2 电力电缆第二种工作票格式	208
附录 E2 电力线路带电作业工作票格式	210
附录 F2 电力线路事故应急抢修单格式	212
附录 G 电力设施中、英文对照表	213
参考文献	216

概 述

本章介绍安全用电的基本概念及管理方法,通过学习掌握安全用电的重要性,明确“安全第一、以人为本、预防为主”是永恒的主题,知道安全用电包括人身安全、设备安全、电网安全,明确电力生产的安全目标,理解与安全用电有关的法律法规并自觉遵守,明确安全用电管理的内容和方法。

第一节 安全用电基础知识

一、安全用电的重要性

人类文明的发展伴随着对能源的认识,电能是优质的二次能源,在近代得到了充分利用,但电能也是一把双刃剑,在造福人类的同时,也屡次对人类造成威胁。近年来,世界各地屡屡发生大面积停电事故:美国东部时间 2003 年 8 月 14 日,美国东北部和加拿大联合电网发生了世界上有史以来最大面积的停电事件,引起了各国关注。继美加停电事故后,2003 年夏季西欧地区相继发生了几次大面积停电事故:8 月 28 日,英国伦敦和英格兰东部部分地区停电,2/3 的地铁陷入瘫痪,25 万人被困在地铁里;9 月 23 日,瑞典和丹麦大面积停电,波及 200 万用户;9 月 28 日夜,意大利发生大面积停电,造成 550 万人停电 18h。莫斯科当地时间 2005 年 5 月 25 日上午,发生了俄罗斯历史上最大规模的停电事故,一座 500kV 变电站不堪重负发生爆炸和火灾,停电使莫斯科及周边地区 34 个城市的工商业和交通运输一度陷入瘫痪,初步统计损失达 10 亿美元,经抢修,26 日中午 12 点莫斯科才恢复正常用电。电力事故传播快、范围广,对社会和企业的影响往往是灾难性的。

安全用电关系到千家万户、各行各业。在我国,电气事故已成为引起人身伤亡、爆炸、火灾事故的重要原因,如果设备安装不恰当、使用不合理、维修不及,或者缺乏用电知识,都可能引发事故。在我国每三起火灾中就有一起是由电气事故造成的,经济发达地区电气火灾造成的损失占火灾总损失的 50%以上。例如,2000 年某学生宿舍发生火灾,起火原因是有人在宿舍里使用吹风机,停电时忘了拔下插头,来电后吹风机被烧红引起火灾。可见,在学校里不能使用热得快、电炉、电热毯等大功率危险电器,离开教室前要断开所有电器电源,并杜绝一切不安全用电行为,每个同学都要掌握用电规律,懂得用电常识,严格按操作规程办事,让电能更好地为人类服务。

二、正确认识电能

(一) 电能的特点

电能本身看不见、摸不着,它是以物质的另一种形式——场的形式存在的,具有潜在的危险性。电能有它的特点,在理解上导线中的电流和水管中的水流颇有相似之处。电压也叫电位差,同水位差类似;导线的作用与水管相似。外包绝缘体的导线把电能严格限制在通路里,构成电流的通路,使电流到达指定的地方。银、铜的电阻很小,铝的电阻大一些,铁的电阻更大,家用导线的里层为良好的导体,如铜和铝。可以通过电流的物体叫做导体,金

属、某些液体（如水）、含有水分的物体、大地、人体、动物、植物等，这些能导电的都是导体。凡是不导电的都叫绝缘体，比如塑料、橡胶、陶瓷、玻璃、胶木、干燥的空气和木头、干燥的棉布等，家用导线外层所用的绝缘体为漆、塑料、橡胶等。电有交流和直流两种，干电池的电是直流电，居民用电是有效值为 220V 的交流电。家中电能表功率值近似于电压乘电流，民用电压 220V，如家中安装 2.5A 的电能表，所能承受的功率便是 550W，则 600W 的电饭煲不能使用，如此推算，5A 的电能表所能承受的电功率是 1100W。

（二）日常安全用电常识

（1）有《进网电工许可证》的专业人员才能安装和检修电气设备，其他人员不可私拉乱接线路。

（2）房间内安装在墙内的电源线要放在专用阻燃护套内，电源线的截面应满足负荷要求。室内导线要求铜芯线，总线截面不少于 6mm^2 ，照明分支线不应少于 1mm^2 ，插座线不少于 2.5mm^2 。

（3）严禁使用代用品。不能用铜丝、铝丝、铁丝等代替熔丝，不能用信号传输线代替电源线，不能用医用白胶布代替绝缘黑胶布，不能用漆包线代替电热丝等。

（4）新购置家用电器使用前，先核对额定电压与供电电压是否相符，开关、熔丝和电能表能承受的电流是多少。且须请专业人员定期维修。

（5）大量电器设备在同时使用时，不要超过电表和电线允许的载流量，切忌大容量电器设备同时使用一个插座。

（6）家用电器运行一段时间后，想了解设备外壳是否发热时，不能用手掌去摸设备外壳，应用手背轻轻接触外壳，即使外壳漏电也便于迅速脱离电源。

（7）室内用电设备应符合下列规定：①必须安装漏电保护器；②照明灯不低于 1.8m；③开关、插座不低于 1.4m，不得装于墙角线上，以防止儿童意外触电，照明开关控制相线；④电线、保险盒、开关、灯头、插座等各类家用电器，必须使用合格产品；⑤家用电器的金属壳要专用接地保护。

（8）所有的用电设备外壳都应可靠接地，不要把接地线接到下列地方：

1) 自来水管接地不可靠。

2) 煤气管有失火的危险。

（9）在插拔插头时人体不得接触导电极，不对电源线施加拉力。清扫电气设备时，先断开所有电气设备的电源，湿手不能触摸带电的家用电器，不能用湿布擦拭使用中的家用电器。

（10）离家外出时，断开电气设备的电源。

（11）设备在暂停或停止使用、发生故障或遇突然停电时均应及时切断电源，必要时应采取相应技术措施。

（12）用电锅炒菜时，应使用木柄铲；使用电动工具如电钻等时，须戴绝缘手套。

（13）家用电热设备、暖气设备一定要远离煤气罐、煤气管道等易燃物品，发现煤气漏气时先开窗通风，千万不能合上电源，并及时请专业人员修理。

（14）使用电热器具的过程中必须有人看管，不可中途随便离开，电热器具应放置在泥砖、石棉板等不可燃材料基座上，切不可直接放在桌子、台板上，以免烤燃起火。使用中或用完未冷却的电热器具应远离易燃、可燃物品。

(15) 发生电压不稳或雷电时,暂时停用贵重家电,可以延长家电的寿命。

(16) 雷雨天不要用手触摸淋湿的树木、电杆及杆拉线,以防触电。

(17) 不准上变压器台、爬电杆、拉线,防止触电。

(18) 不准在电线下面放风筝和往变压器台、电线绝缘子上扔石子,防止损坏电气设备和触电。

(19) 用电设备在使用中,发现电压异常升高或有异常的响声、气味、温度、冒烟、火光,要立即断开电源,再进行检查或灭火抢救,灭火时采用专用的消防器材。

(20) 发现电线断落,无论带电与否,都应视为带电,应与电线断落点保持足够的安全距离,并及时报告有关部门。

(21) 有下列情况时可向供电部门报修:

1) 公用变压器高压侧或低压侧断线,架空线、接户线断线或冒火,其导线支持物(绝缘子)损坏、支架脱落。

2) 居民总电表(电业)进线桩头松动、出火或烧坏。

3) 其他电业设备的故障。

(22) 报修时注意事项。居民发现故障停电后,在拨通报修电话后,要告知下列情况:

1) 报修人姓名、联系电话。

2) 报修故障地点和相近的路名。

3) 停电的范围:本户无电、单元无电或整幢大楼无电,几幢大楼无电或毗邻一片无电。

4) 明显的故障现象,如什么部位冒火、冒烟,什么地方断线或电杆被撞、导线烧落等。

(23) 电力服务热线“95598”24h受理业务咨询、信息查询、服务投诉和电力故障报修。

(三) 电力生产的特点

(1) 电力不能大量储存,电力发、输、供、用同时完成,用户端的用电方式、负荷变化及安全程度也会直接影响电网的安全经济运行。

《中华人民共和国电力法》(以下简称《电力法》)第十八条明确提出:电力生产与电网运行应当遵循安全、优质、经济的原则。电网运行应当连续、稳定,保证供电可靠性。

(2) 电网管理高度集中统一。电力的各个环节紧密相连,像编制的程序一样,任何一个环节有问题,都可能影响全局,特别是电网事故,它发生突然、发展迅速、涉及面广、危害很大。

《电力法》第十九条指出:电力企业应当加强安全生产管理,坚持安全第一,预防为主的方针。

(3) 社会对电网供电的安全要求高,对停电的承受力低。电力系统发生事故,不仅影响本企业的经营效益,还会中断各行各业的连续生产而造成损失,对国民经济建设无疑是一大灾害。《电力法》第二十四条规定,国家对电力供应和使用实行安全用电、节约用电、计划用电的管理原则。

三、电力发展趋势

(一) 向大电网、高参数、高自动化等方面快速发展

大电网能发挥电网优化配置资源,实现互为备用、事故支援、调剂余缺、错峰等联网效益,提高供电可靠性。现代电网中,220kV及以下电网为高压电网;330~750kV电网为超

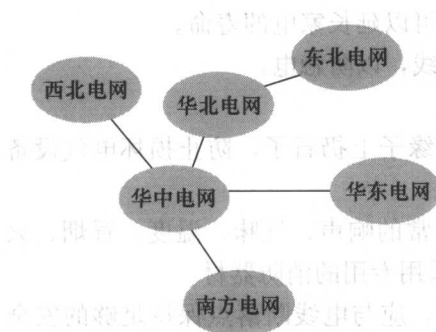


图 1-1 全国主干输电网架图

高压电网；800~1500kV 电网为特高压电网。现代电网以 500~750kV 网络为主骨架，将大型水、火、核电联成跨区域的联合电力系统。目前我国的东北、华北、华东、华中、南方电网已形成 500kV 电压等级的主干输电网架，西北电网已开始建设 750kV 电压等级输变电工程，全国将实现西电东送、南北互供、全国联网，如图 1-1 所示。现代电网中均兴建大型电厂和大型发电机组，采用高效节能、节水机组，提高单机容量。大型电厂容量一般在 1000MW 以上，机组采用 200~1500MW 发电机组，300、600MW 火电机组已

成为电力系统的主力型机组，600MW 超临界国产机组已经投产，正在建设 1000MW 超超临界机组。

（二）电力技术向高效率、环保型方向发展

工业发达国家普遍重视可再生能源的发电应用。近年来西欧、美国大力发展风力发电，对太阳能、生物质能等可再生能源也加大了开发力度，在丹麦，风力发电为全国提供了 20% 的电力。

我国《电力法》规定，电力建设、生产、供应和使用应当依法保护环境，采用新技术，减少有害物质排放，防治污染和其他公害。我国电力结构调整的方针是大力发展水电，优化发展火电，积极发展核电，适度发展天然气，积极发展新能源。提高资源的利用率，减少对一次能源的依赖，降低资源消耗，加快建设节约型社会。

为保持煤电的经济性及环保性，目前最为成熟的技术为超临界大容量机组，此外还有超超临界技术、联合循环发电技术，包括流化床技术和整体煤气化联合循环技术在内的洁净煤技术。我国风力发电于 1986 年起步，目前发展很快。

（三）新技术在电力系统的应用

大功率电子器件不仅广泛应用于电力一次系统，还应用于灵活的交流输电、定质电力技术以及新一代直流输电技术，晶闸管用于高压直流输电已经有很长的历史。定质电力技术是应用现代电力电子技术和控制技术实现电能质量控制，提供用户特定要求的电力供应的技术。新一代的直流输电技术大幅度简化设备、减少换流站的占地、降低造价。

同步开断技术是在电压或电流的指定相位完成电路的断开或闭合，在理论上应用同步开断技术可完全避免电力系统的操作过电压，由操作过电压决定的电力设备绝缘水平可大幅度降低，由于操作引起设备包括断路器的损坏也可大大减少。大功率的电子开关取代高压机械开关，电力系统能实现灵活调节控制。

（四）状态维修技术

状态维修技术包括可靠性为中心的维修技术和预测维修技术。以可靠性为中心的维修是评估元件的可能故障对整个系统可靠性的影响，在此基础上决定维修计划的一种维修策略。预测性维修是根据对潜伏故障进行在线或离线测量的结果和其他信息来安排维修的技术，依靠先进的故障诊断技术对潜伏故障进行分类和分析。电力设备状态维修技术涉及复杂大系统可靠性评价、先进的传感技术、信息采集处理技术、干扰抑制技术、模式识别技术、故障严重性分析、寿命估计等。

四、安全用电的机制和含义

国际标准化组织把安全定义为将伤害（对人）或损坏（对物）的风险限制在可接受的水平状态。

安全用电包括保证人身安全、设备安全、电网安全。

人身安全是指保证人员安全，杜绝伤亡事故；设备安全是指保证电气设备及有关其他设备、建筑的安全，保证设备正常可靠运行；电网安全是指消灭电网瓦解和大范围停电事故。

（一）保证人身安全

在安全系统中，主要因素是人，因为一切事故的根源几乎都可以追溯到人。人的失误包括能预见而未采取措施的失误或还未认识而造成的失误。

【案例 1-1】 某厂在投产初期，工作人员在机组控制屏旁看图纸资料，同安装技术人员讨论问题，因时间太长，忽略所处的环境，习惯性地把手靠在控制屏上，启动了机组的紧急停机按钮，造成机组甩负载停机，试运行中断，机组投产日期推迟。

人的行为规律分析如下。

1. 安全意识决定安全行为

美国心理学家马斯洛的需要层次理论认为，个人需要有 5 个层次，即生理需要，如对食物、空气等的需要；安全需要，人希望有一个安全有序、可以预测的环境，有稳定的生活，否则，就会产生一种威胁感和恐惧感；社交需要，人需要友谊、家庭、团体的支持；尊重需要，需要自尊和被他人所尊重，包括名誉、地位等；自我实现的需要：希望自己成为所期望的人物，促使发掘自己的潜能，追求事业成功等。生理需要和安全需要是人的基本需要。

要求安全是劳动者的基本权利，企业领导要尊重职工的安全权利，同时人人都应把企业的安全放在首位，安全生产需要培养良好的安全意识，将“要我安全生产”转变为“我要安全生产”。

2. 心理因素影响安全行为

（1）情绪受环境的影响

气候、光线的影响：合适的气温、湿度、气流、光照可使人情绪高涨，干劲充足，效率倍增；反之会使人情绪低落、效率下降。

色彩、音乐的影响：红色会令人兴奋；蓝色会带来凉爽；黑色或深蓝色则会有抑郁感。舒缓的乐曲可消除忧郁、烦闷。

噪声的影响：噪声使人产生紧张、烦躁之感，人耐受噪声的程度是有限的，噪声达 70dB 会干扰交谈，造成注意力不集中，影响工作。

家庭环境、生产环境、管理环境对人的影响很大，其中，家庭环境对人的情绪影响最大。

（2）性格对事故的影响

性格分为理智型、意志型、情绪型，从安全角度看，理智型性格的人能用理智来从事一切工作，支配一切行动。意志型性格的人有明确的目标，行动较主动，安全责任心强。情绪型性格的人情绪体验深刻，安全行为受情绪波动较大。

（3）气质对事故的影响

气质是天生的，后天的环境及教育对其改变微小，气质分为多血质、胆汁质、黏液质、

抑郁质 4 种类型。由于这些类型的存在,从安全角度看,同样是完成某项任务,有的人表现为遵章守纪、动作行为安全可靠,有的人表现为蛮干、急躁,安全行为差。因此,要分析职工气质类型,合理安排和分配工作,保证行业安全。

3. 生物节律对事故的影响

人体生物节律是指人从出生那天起,其体力、情绪和智力就开始分别以 23、28、33 天的周期按“高潮期—临界期—低潮期—高潮期……”的顺序循环往复,各按正弦曲线变化。人的行为受这 3 种生物节律的影响,在高潮期,人处于相应的良好状态,表现为体力充沛、情绪高涨、思维敏捷;在低潮期,人则处于较差状态;生物节律曲线与时间轴相交的前后 2~3 天为“临界期”,此时的体力、情绪和智力处在变化中,机体各方面协调性差,易出差错。当临界期重叠,即有两项甚至三项生物节律的临界期同时出现时,人体的生理状态极差。若从事危险性较大的作业,极易发生事故,应暂时调整从事其他工作或采取对应措施,以确保安全。

(二) 保证设备安全

电气事故统计资料表明,设备结构的缺陷、安装质量不佳、不能满足安全要求而造成的事故所占比例很大,设备老化也会造成安全隐患。

设备失效率随时间的分布如图 1-2 所示。

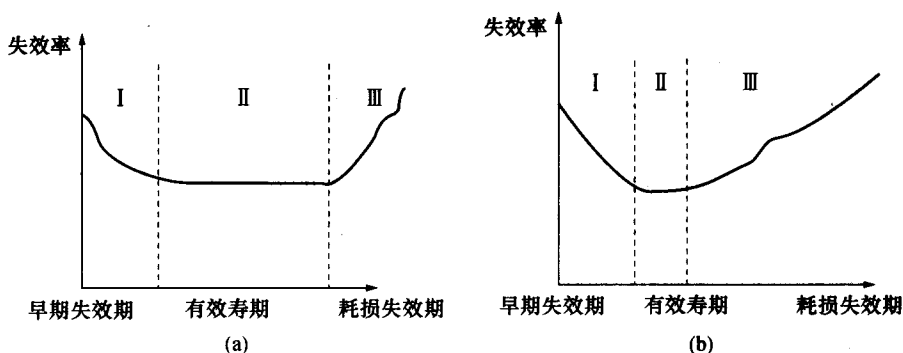


图 1-2 设备故障浴盆曲线

(a) 电子部件浴盆曲线; (b) 机械部件浴盆曲线

在“早期失效”阶段,失效率随时间下降很快,因为在设备调试阶段,设备的缺陷会及时暴露出来并加以解决。此后是失效率趋于常数的阶段,称为“随机失效期”,这是设备的主要工作时期,也是它的有效寿期。此时,随机失效在什么时间发生很难预料,只能通过分析计算,估算产生随机失效的概率。接下来是“耗损失效期”或“老化失效期”,此时失效率又迅速上升,形成设备故障的浴盆曲线,浴盆曲线的具体形状因设备的复杂性和运行情况而异。

(三) 保证电网安全

电网在运行中,由于设备缺陷、自然灾害或人为失误等原因,会发生各种各样的故障,轻者造成局部停电,重者造成设备损坏和大面积停电。因此,应当采取措施尽量减少故障次数,故障发生后要尽量减小故障影响范围。

【案例 1-2】 1998 年海南三亚某 220kV 变电站因人员违章作业造成主变压器跳闸,事发后未向中调如实汇报。随后雷击线路发生接地故障,因主变压器的退出,三亚地区电网的

零序阻抗和零序电流的分布及大小发生了极大的变化, 继电保护设置不能正常动作, 导致 7 个 110kV 变电站停电, 海南南部电网瓦解, 三亚市全市停电 48min, 波及其他地区甩负载解列。

五、电力事故分析

(一) 定义

事故是系统运行过程中发生意外的、突发事件的统称, 通常会使系统的正常运行中断, 造成人员伤亡或财产损失等不良后果。

事故隐患是指生产系统中可能导致事故发生的人的不安全行为、物的不安全状态和管理上的缺陷。重大危险源是指长期或临时生产、搬运、使用、储存危险物品, 且危险物品的数量等于或者超过临界量的单元, 它也包括场所和设施。

(二) 事故发生的特点

事故发生有萌发、发展、突发 3 个阶段, 是个动态过程。萌发阶段很重要, 常会出现许多征兆, 如果仪表能够显示出来或被人所感知, 就有可能消除事故, 约有 30%~40% 的事故是在萌发阶段没被发现苗头而导致的。事故发展阶段也是发掘事故隐患的重要时机, 如能及时采取措施, 也能阻止事故的发生。

【案例 1-3】 某电厂位于河流下游, 垃圾较多, 导叶被异物卡住后安全连杆会动作报警, 异物一般能被河水冲走, 报警消失。因此, 工作人员对报警并不在意。2002 年 11 月, 机组再一次报警时运行人员没在意, 最后发现机组振动明显增大, 才开始停机, 造成很大的损失。

(三) 事故发生的规律

根据人的生理、心理特点及自然规律, 对事故或异常事件分析统计后得出如下统计规律。

1. 三角形规律

美国安全工程师海因利奇 (H. W. Heinrich) 分析得出, 重伤事故、轻伤事故和无伤害异常事件之比为 1:29:300, 即全部事件中有 0.3% 导致重伤, 8.8% 导致轻伤, 90.9% 无伤害后果。三角形规律自 20 世纪 50 年代提出以来, 受到安全工作者的普遍重视, 有人称它为海因利奇法则。其意义是要消除重伤事故, 必须从消除大量的无伤害事件着手。我们可以理解为, 有 300 个隐患、危险源、习惯性违章, 就有可能出现 29 个事故, 其中包括一般性事故, 而 29 个事故就可能引发一个重特大事故。

2. 事故的多发时节

(1) 节假日及前后、交接班前后、凌晨 04:00~06:00, 在注意力低峰期, 有可能发生事故。

(2) 触电事故多发生在夏季, 雷击事故多发生在春夏之交雷雨季节, 火灾事故多发生在秋冬季。

3. 事故的多发作业

(1) 高处作业、高层建筑、架桥、大型设备的吊装。

(2) 带电作业, 常因违规操作出现触电事故。

(3) 有污染的作业, 如在高噪声、含有毒物质、有放射性物质的环境下作业。

(4) 单调的监控作业, 易产生心理疲劳, 对突发的异常现象失去感知能力而导致事故。

(四) 电力生产事故分类

1. 人身事故

事故类别主要有物体打击、车辆伤害、起重伤害、触电、淹溺、灼烫伤和高处坠落等。人身事故分为以下几类。

(1) 特大人身事故：一次事故死亡 10 人及以上者。

(2) 重大人身事故：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。

(3) 一般人身事故：未构成特、重大人身事故的轻伤、重伤及死亡事故。

2. 设备事故

电力企业发生设备、设施、施工机械、运输工具损坏，造成直接经济损失超过规定数额的，为电力生产设备事故。事故的等级分为以下几级。

(1) 特大设备事故

1) 电力设备（包括设施，下同）损坏，直接经济损失达 1000 万元及以上者。

2) 生产设备、厂区建筑发生火灾，直接经济损失达 100 万元及以上者。

(2) 重大设备事故

未构成特大设备事故，符合下列条件之一者定为重大设备事故：

1) 电力设备（包括设施）、施工机械损坏，直接经济损失达 500~1000 万元。

2) 100MW 及以上机组的锅炉、汽轮机、发电机、抽水蓄能发电电动机损坏，50MW 及以上水轮机、抽水蓄能水泵/水轮机、燃气轮机、供热机组损坏，40 天内不能修复或修复后不能达到原铭牌出力；或虽然在 40 天内恢复运行，但自事故发生日起 3 个月内该设备非计划停运累计时间达 40 天。

3) 220kV 及以上主变压器、换流变压器、换流器（换流阀本体及阀控设备，下同）、交流滤波器、直流滤波器、直流接地极、母线、输电线路（电缆）、电抗器、组合电器（GIS）、断路器损坏，30 天内不能修复或修复后不能达到原铭牌出力；或虽然在 30 天内恢复运行，但自事故发生日起 3 个月内，该设备非计划停运累计时间达 30 天。

4) 符合以下条件之一的发电厂，一次事故使 2 台及以上机组停止运行，并造成全厂对外停电：①发电机组容量 400MW 及以上的发电厂；②电网装机容量在 5000MW 以下，发电机组容量 100MW 及以上的发电厂；③其他区域电网公司，省电力公司指定的发电厂，只有 1 条线路对外的（指事故前的实时运行方式）或只有一台升压变运行的发电厂（如水电厂、燃机电厂等），若该线路故障时断路器跳闸或由于升压变故障构成全厂停电者除外。

5) 生产设备厂区建筑发生火灾，直接经济损失达到 30 万元者。

(3) 一般设备事故

未构成特重大设备事故，符合下列条件之一者定为一般设备事故。

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，或被迫停止运行后引起了对用户少送电（热）。

2) 发电机组、35kV 及以上输变电主设备被迫停运，虽未引起对用户少送电（热）或电网限电，但时间超过 24h。

3) 发电机组、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

到下列条件之一：①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；②没有按调度规定的时间恢复送电（热）或备用。

4) 装机容量 400MW 以下的发电厂全厂对外停电。

装机容量 400MW 及以上的发电厂或装机容量在 5000MW 以下的电网中的 100MW 及以上的发电厂，单机运行时发生的全厂对外停电。

5) 3kV 及以上发供电设备发生下列恶性电气误操作：带负载误拉（合）隔离开关，带电挂（合）接地线（接地开关），带接地线（接地开关）合断路器（隔离开关）。

6) 3kV 及以上发供电设备因以下原因使主设备异常运行或被迫停运：①一般电气误操作。②继电保护及安全自动装置的人员误动、误碰、误（漏）接线。③继电保护及安全自动装置（包括热工保护、自动保护）的定值计算，调试错误。④热机误操作，误停机组，误（漏）开（关）阀门（挡板），误（漏）投（停）辅机等。⑤监控过失，人员未认真监视、控制、调整等。

7) 设备、运输工具损坏，化学用品（如酸、碱、树脂等）及燃油、润滑油、绝缘油泄漏等，经济损失达到 10 万元及以上。

8) 由于水工设备、水工建筑损坏或其他原因，造成水库不能正常蓄水、泄洪或其他损坏。

9) 发供电设备发生下列情况之一：①炉膛爆炸。②锅炉受热面腐蚀或烧坏，需要更换该部件（水冷壁、省煤器、过热器、再热器、预热器），管子或波纹板达该部件管子或波纹板总重量的 5% 以上。③锅炉运行中的压力超过工作安全门动作压力的 3%；汽轮机运行中超速达到额定转速的 1.12 倍以上；水轮机运行中超速达到紧急关导叶或下闸的转速。④压力容器和承压热力管道爆炸。⑤ 100MW 及以上汽轮机大轴弯曲，需要进行直轴处理；100MW 及以上汽轮机叶片折断或通流部分损坏；100MW 及以上汽轮机发生水击。⑥ 100MW 及以上汽轮发电机组，50MW 及以上水轮机组，抽水蓄能水泵水轮机组，燃气轮机和供热发电机组烧损轴瓦。⑦ 100MW 及以上发电机绝缘损坏。⑧ 120MV·A 及以上变压器绕组绝缘损坏。⑨ 220kV 及以上断路器、电压互感器、电流互感器、避雷器爆炸。⑩ 220kV 及以上线路倒杆塔。

10) 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。

11) 生产设备、厂区建筑发生火灾，经济损失达到 1 万元。

(4) 设备一类障碍

未构成设备事故，符合下列条件之一者定为设备一类障碍：

1) 10kV (6kV) 供电设备（包括母线、直配线）的异常运行或被迫停运引起对用户少送电。

2) 发电机组、35kV 及以上输变电主设备被迫停运，非计划检修或停止备用。

3) 35~110kV 断路器、电压互感器、电流互感器、避雷器爆炸、未造成少送电。

4) 110kV 及以上线路故障，断路器跳闸后经自动重合闸重合成功。

5) 抽水蓄能机组不能按调度规定抽水。

(5) 设备二类障碍

3. 电网事故

电网事故分为以下几种：

(1) 特大电网事故。

1) 省电网或跨省电网减供负载达到下列数值, 如表 1-1 所示。

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

表 1-1 省电网或跨省电网的特大事故

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

表 1-2 省电网或跨省电网的重大事故

电网负载	减供负载
20000MW 及以上	8%
10000~20000MW 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) 重大电网事故。

1) 省电网或跨省电网减供负载达到下列数值, 如表 1-2 所示。

2) 中央直辖市减供负载 20%及以上; 省会及其他大城市减供负载 40%及以上; 中等城市减供负载 60%及以上; 小城市减供负载 80%及以上。

(3) 一般电网事故。

1) 电网失去稳定。

2) 110kV 及以上电网非正常解列成三片及以上。

3) 110kV 及以上省级电网或者区域电网非正常解列, 并造成全网减供负载达到下列数值, 如表 1-3 所示。

4) 变电站内 220kV 及以上任一电压等级母线全停。

5) 110kV (含 66kV 双电源供电) 变电站全停。

6) 电网电能质量降低, 造成下列后果之一: ①频率偏差超出以下数值: 装机容量在 3000MW 及以上电网, 频率偏差超出 (50 ± 0.2) Hz, 且延续 30min 以上; 或偏差超出 (50 ± 0.5) Hz, 且延续 15min 以上; 装机容量在 3000MW 以下电网, 频率偏差超出 (50 ± 0.5) Hz, 且延续 30min 以上; 或偏差超出 (50 ± 1) Hz, 且延续 15min 以上。②电压监视控制点电压偏差超出电网调度规定的电压曲线值 $\pm 5\%$, 且延续时间超过 2h; 或偏差超出 $\pm 10\%$, 且延续时间超过 1h。

表 1-3 一般电网事故 (110kV 及以上省级电网或区域电网非正常解列)

电网负载	减供负载
20000MW 及以上	4%
10000~20000MW 以下	5%或 800MW
5000~10000MW 以下	8%或 500MW
1000~5000MW 以下	10%或 400MW
1000MW 以下	20%或 100MW

表 1-4 一般电网事故 (区域电网、省网实时运行, 时间超过 2h)

电网发电负载	备用有功功率 (占电网发电负载%值)
40000MW 及以上	$<2\%$ 或系统内的最大单机容量
20000~40000MW	$<3\%$ 或系统内的最大单机容量
10000~20000MW	$<4\%$ 或系统内的最大单机容量
10000MW 及以下	$<5\%$ 或系统内的最大单机容量

7) 电网安全水平降低, 出现下列情况之一者: ①实时为联络线运行的 220kV 及以上线路, 母线主保护非计划停运, 造成无主保护运行 (包括线路、母线陪停)。②电网输电断面超稳定限额运行时间超过 1h。③区域电网、省网实时运行中的备用有功功率小于表 1-4 中所示数值, 且时间超过 2h。④切机、切负载、振荡解列、低频低压解列等安全自动装置非计划停用时间超过 240h。⑤系统中发电机组 AGC 装置非计划停用时间超过 240h。⑥地区供电公司及以上调度自动化系统、通信系统失灵延误送电或影响事故处理。

(4) 电网一类障碍。未构成电网事故, 符合下列条件之一者定为电网一类障碍:

1) 电网非正常解列。

2) 电网电能质量降低, 造成下列后果之一。①频率偏差超出以下数值。装机容量在 3000MW 及以上, 电网频率偏差超出 (50 ± 0.2) Hz, 且延续 20min 以上; 或偏差超出 (50 ± 0.5) Hz, 且延续 10min 以上。装机容量在 3000MW 以下, 电网频率偏差超出 (50 ± 0.5) Hz, 且延续 20min 以上; 或偏差超出 (50 ± 1) Hz, 且延续 10min 以上。②电压监视控制点电压偏差超出电网调度规定的电压曲线值 $\pm 5\%$, 且延续时间超过 1h; 或偏差超出 $\pm 10\%$, 且延续时间超过 30min。

3) 电网安全水平降低, 出现下列情况之一者: ①电网输电断面超稳定限额运行时间超过 30min。②区域电网、省网实时运行中的备用有功功率小于表 1-5 数值, 且时间超过 30min。③切机、切负载、振荡解列、低频低压解列等安全自动装置非计划停用时间超过 120h。④220kV 及以上线路、母线主保护非计划停运, 导致主保护非计划单套运行时间超过 24h。⑤系统中发电机组 AGC 装置非计划停用时间超过 120h。⑥地区供电公司及以上调度自动化系统、通信系统失灵, 影响系统正常指挥。⑦通信电路非计划停用, 造成远方跳闸保护, 远方切机 (切负载) 装置由双通道改为单通道, 时间超过 24h。

表 1-5 电网一类障碍 (区域电网、省网实时运行, 时间超过 30min)

电网发电负载	备用有功功率 (占电网发电负载%值)
40000MW 及以上	<2%或系统内的最大单机容量
20000~40000MW	<3%或系统内的最大单机容量
10000~20000MW	<4%或系统内的最大单机容量
10000MW 及以下	<5%或系统内的最大单机容量

(5) 电网二类障碍。

(五) 用电单位的电气事故分类

根据我国电气事故调查规程的规定, 用电单位的电气事故一般分为以下 4 类:

(1) 用电单位影响系统事故。当某一用电单位内部发生事故时, 其他用电单位受牵连而突然断电或电力系统受影响而大量减负载。

(2) 全厂停电事故。由于用电单位内部事故造成的全厂停电。

(3) 重大设备损坏事故。多指大工业企业 (大用户) 的一次设备损坏, 如受电主变压器以及变压器前的断路和避雷器等损坏。

(4) 人身触电伤亡事故。由于用电单位的电气设备或电气线路发生故障 (如绝缘损坏) 等, 造成人身触电, 出现重伤或死亡事故。