

石油化工安全培训系列教材

电气安全工程

李悦 杨海宽 编



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

石油化工安全培训系列教材

电气安全工程

李悦 杨海宽 编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

电气安全工程/李悦, 杨海宽编. —北京: 化学工业出版社, 2004.3
(石油化工安全培训系列教材)
ISBN 7-5025-5043-7

I. 电… II. ①李…②杨… III. 电气设备-安全技术-技术培训-教材 IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 023170 号

石油化工安全培训系列教材

电气安全工程

李悦 杨海宽 编

责任编辑: 赵丽霞 徐世峰

文字编辑: 廉静

责任校对: 王素芹

封面设计: 关飞

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张 14½ 字数 257 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5043-7/G · 1352

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

安全是生产活动得以正常进行的重要条件，对社会安定和经济发展都产生重大影响，因此也成为社会关注的焦点。由于多方面的原因，我国各类事故屡有发生，给人民的生命、财产造成重大的损失。杜绝事故隐患，防范于未然，是全社会共同的责任。石油化工企业为技术密集型企业，生产条件复杂，生产介质易燃、易爆，一旦发生事故往往是重大恶性事故。为配合石油化工企业安全技术与管理干部培训，提高安全技术与管理干部的安全素质和管理水平，保证石油化工企业的安全生产，我们组织编写了石油化工安全培训系列教材。

本套教材以石油化工企业实施的“健康、安全与环境”管理体系为主要背景，结合《中华人民共和国安全生产法》、《中华人民共和国职业病防治法》、《压力容器安全技术监督规程》、《特种设备安全监察条例》等法规条例及石油化工生产的特点编写而成，共计6本，具体是《防火防爆》，《电气安全工程》，《压力容器安全技术》，《职业卫生与职业病危害控制》，《安全系统工程》，《安全管理心理学》。其中既有安全技术、安全管理理论，又有实际生产技术措施和安全管理实例，涉及到石化企业安全生产的方方面面。

石油化工安全培训系列教材力求紧密联系生产实际，突出理论在实际中的应用，重点介绍安全生产领域近年出现的新技术、新知识、新装备、新材料、新方法、新理论及最新的有关法规。运用案例分析，深化理论知识，以达到举一反三的效果，并明确从事故中吸取的教训，以避免同类事故的重复发生。本套教材由高校安全工程专业的教师、企业中长期从事安全培训的教师、石化企业中多年从事生产技术和管理工作的专业人员等专家教授编写。

本套教材在组织编写过程中得到了华东理工大学、南京工业大学、首都经济贸易大学、中国石油化工股份有限公司及中国石油天然气股份有限公司有关专家教授的大力支持，并给予了具体帮助，在此我们向所有支持、帮助过我们的单位和个人表示衷心的感谢。

我们相信，这套教材的出版将对我国安全教育、安全生产起到积极的促进作用。同时，我们也希望广大读者和同行专家对书中不妥之处给予指正，以使本套教材日臻完善。

化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心
2004年4月

前 言

电气安全工作是一项综合性的工作，有工程技术的一面，也有组织管理的一面。工程技术和组织管理相辅相成，有着十分密切的联系。电气安全工作主要有两方面的任务。一方面是研究各种电气事故的机理、原因、构成、特点、规律和防护措施；另一方面是研究用电气的方法解决各种安全问题，即研究运用电气监测、电气检查和电气控制的方法来评价系统的安全性或获得必要的安全条件。

电气装置设计、安装和检验的最基本要求是保证人身安全和财产安全。如果不能保证安全，电气装置的功能就无价值可言。人身安全主要指防止人身遭受电击引起的伤亡事故；财产安全主要指防电气火灾、电气设备损坏和工作不正常引起的经济损失。电气不安全导致的后果在中国是相当严重的，例如以相同耗电量相比较，中国电击死亡的人数是发达国家的几十倍，甚至上百倍；又如进入 20 世纪 90 年代后，中国电气火灾每年发生的次数几乎接近全部火灾发生总数的 30%，而发达国家这一数值不过百分之几。电气灾害已成为影响中国社会安定和经济发展的一个必须认真对待的问题。

随着科学技术和工、农业生产的发展，将出现更先进的电气安全技术，也将对电气安全工作提出更高的要求。以防止触电为例，接地、绝缘、间距等都是传统的安全措施，直至现在这些措施仍是有效的；而随着自动化元件和电子元件的广泛应用而出现的漏电保护装置又为防止触电事故及其他电气事故提供了新的途径。近年来，电磁场安全问题、静电安全问题等伴随着某些新技术的广泛应用而日益引起人们的重视。因此，电气安全工作的领域是不断扩展的。本书着重介绍各种电气事故作用机理及其防范措施；系统介绍电气安全知识与实用技术，配合典型案例分析和思考题。包括：电流对人体的作用，直接接触触电的防护，间接接触触电的防护，生产过程防雷、防静电，检（维）修电气安全，漏电保护，电气防火防爆，电气安全管理等有关电气安全的基础理论及基本技能。

本书可供从事安全工作的技术管理人员和从事电气工作的工程技术人员阅读；可用作安全技术人员或管理人员进修班的教材。

本书在编写过程中得到中国石油和化学工业电气技术委员会委员、中国石

油化工股份有限公司电气安全专家刘玉璋老师的大力支持，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2004年3月

目 录

绪论	1
一、电气安全在石油化工企业的特殊地位	1
二、影响石油化工企业电气安全的因素	2
三、搞好电气安全的措施	2
第一章 电和电磁的基础	5
第一节 电的基本概念	5
一、电荷和电场	5
二、电路的组成	6
三、电的几个基本物理量	6
四、电路的三个基本元件	8
五、电功、电功率和功率因数	9
六、正弦交流电路的基本概念	10
第二节 电磁场基础	12
一、电流的磁效应及磁场物理量	12
二、电场对载流导体的作用	13
三、电磁感应定律	14
思考题	14
第二章 电流及电磁场对人体的伤害	16
第一节 电流对人体的伤害	16
一、触电的种类	16
二、电流作用机理和征象	19
三、影响电流对人体伤害程度的因素	19
第二节 电磁场对人体的伤害	21
一、高频电磁场伤害	22
二、影响伤害程度的因素	23
第三节 触电急救	24
一、低压触电时脱离电源的方法	24
二、高压触电时脱离电源的方法	25

三、触电急救的方法	25
四、救护中的注意事项	27
思考题	32
第三章 直接接触触电防护	34
第一节 绝缘	34
一、绝缘破坏	35
二、绝缘性能指标	38
第二节 屏护和间距	40
一、屏护	40
二、电气安全距离(间距)	42
第三节 电工安全用具	52
一、绝缘安全用具	52
二、携带式电压和电流指示器	54
三、临时接地线、遮栏和标示牌	55
四、安全用具的使用和试验	56
第四节 加强绝缘和安全电压	58
一、加强绝缘	59
二、安全电压	61
思考题	64
第四章 间接接触触电防护	66
第一节 接地的基本概念	66
一、电气接地的含义及其分类	66
二、各种工作接地的主要作用	67
三、接地装置	68
四、接地电流和接地短路电流	68
五、流散电阻和接地电阻	68
六、对地电压和对地电压曲线	69
七、接触电势和接触电压	70
八、跨步电势和跨步电压	71
第二节 系统接地的型式	71
一、系统接地的型号	71
二、系统接地的几种型式	72
第三节 电气线路的安全分析	74

一、电网的种类	75
二、中性点(线)与零点(线)的区别	75
三、不接地电网的安全性分析	76
四、不接地电网的应用	78
五、接地电网的安全性分析	80
六、接地电网的应用	82
七、接地电网和不接地电网的比较	82
第四节 保护接地	83
一、保护接地——IT系统的原理	83
二、保护接地应用范围	84
第五节 保护接零	85
一、保护接零——TN系统的原理	87
二、保护接零的分类	87
三、保护接零的应用范围	87
四、重复接地	88
五、重复接地的要求	92
六、保护接零的要求	93
七、保护接地与保护接零的区别	94
思考题	94

第五章 漏电保护装置	96
第一节 漏电保护的分类和主要参数	96
一、分类、工作原理和基本结构	97
二、漏电保护器的参数	98
三、漏电保护装置的选用	99
第二节 几种常见的漏电保护器	101
一、电压型漏电保护装置	101
二、零序电流型漏电保护装置	101
三、泄漏电流型漏电保护装置	104
四、中性点型漏电保护装置	105
第三节 漏电保护器的安装和运行	106
一、漏电保护装置安装	106
二、漏电保护装置接线	107
三、误动作和拒动作	109
四、使用和维护	111

思考题·····	112
第六章 电气防火防爆·····	113
第一节 电气火灾和爆炸的原因·····	113
一、危险温度·····	114
二、电火花和电弧·····	117
第二节 危险物质·····	117
一、危险物质的概念·····	117
二、爆炸性危险物质的分类·····	118
三、危险物质的分级·····	118
四、按引燃温度分组·····	119
第三节 危险场所的划分·····	120
一、电气火灾爆炸危险区域的划分·····	120
二、危险场所范围·····	121
三、危险场所判断·····	124
第四节 防爆电气设备和防爆电气线路·····	125
一、防爆电气设备的类型·····	125
二、防爆电气设备的标志·····	127
三、防爆电气设备的选择·····	127
四、防爆电气线路·····	127
第五节 电气防爆技术·····	129
一、合理选用电气设备·····	129
二、保持电气设备的安全运行·····	132
三、通风·····	133
四、接地和接零·····	134
第六节 电气火灾的灭火常识·····	135
一、切断电源以防触电·····	135
二、带电灭火安全要求·····	136
思考题·····	138
第七章 静电防护·····	139
第一节 静电的产生·····	139
一、静电产生的原理·····	140
二、静电放电引燃的条件·····	143
三、生产过程中易产生静电的工艺方式·····	144

第二节 静电的特点和危害	144
一、静电的特点	144
二、静电的危害	147
第三节 静电的防护技术	150
一、防止形成危险混合物	151
二、工艺控制	151
三、静电接地	155
四、增湿	157
五、使用抗静电添加剂	157
六、装静电消除器	158
七、防止人体带电	158
思考题	160
第八章 防雷技术	162
第一节 雷电的产生、种类及危害	162
一、雷电的产生	162
二、雷电的种类	163
三、雷电的参数	165
四、雷电危害	166
五、易受雷击的建筑物和构筑物	167
六、建筑物和构筑物的防雷分类	168
第二节 防雷措施	169
一、防雷装置	169
二、防雷基本措施	173
三、其他方面的防雷	177
思考题	180
第九章 用电设备安全	182
第一节 用电设备的环境条件	182
一、工作环境分类	182
二、特殊环境对电气设备的要求	184
三、电气设备外壳防护等级	184
第二节 电动机	185
一、电动机的种类和选用	186
二、电动机的安全运行	188

三、电动机故障·····	188
第三节 手持电动工具和移动式电气设备·····	190
一、单相电气设备防触电分类·····	190
二、手持电动工具和移动式电气设备电击事故较多的原因·····	191
三、安全使用·····	192
第四节 电气照明和电热器具·····	192
一、电气照明分类·····	192
二、电气照明安全要求·····	193
三、携带式和移动式电气设备·····	195
四、电热器具·····	196
思考题·····	198
第十章 电气安全管理·····	199
第一节 电气事故分类·····	199
一、触电事故·····	199
二、雷电和静电灾害·····	199
三、射频伤害·····	200
四、电路故障·····	200
第二节 触电事故规律·····	200
第三节 检修安全措施·····	202
一、工作票制度·····	202
二、停电安全措施·····	203
三、不停电检修·····	204
思考题·····	205
附录一 电气安全相关国家标准·····	206
附录二 建筑物防雷分类·····	208
附录三 建筑物的防雷措施·····	210
附录四 工作票制度·····	212
主要参考文献·····	216

绪 论

电气安全工程的任务是研究各种电气事故及其防范措施，以及研究如何用电气装置来取得安全良好的劳动条件。

电气事故不仅包括触电事故，而且像雷电静电危害、电磁场危害、各种电气火灾与爆炸，以及一些危及人身安全的线路故障和设备故障也都属于电气事故。在这些事故中，其安全措施也是电气的，而且与人身事故有着密切的联系，因此，应当作为电气事故来考虑。

很多其他事故，虽然不是电气性质的，但却需要利用电气装置加以控制和预防，例如，机械碰撞、机械伤害、超载、超压、火灾、爆炸等多种事故，都可以采用电气安全装置把危险因素测量出来，经过交换、放大等过程，然后发出信号或实现控制，这些也应当属于电气安全的范围。

一、电气安全在石油化工企业的特殊地位

在现代社会里，电力已成为国民经济和人民生活必不可少的二次能源。而对于石油化工企业来说，电力除作为动力、照明、加热等能源外，还广泛应用于企业的自动控制系统中，它既是保障生产正常进行的“血液”，又是控制指挥生产的“神经”。因此，供电安全成了石油化工企业安全、稳定、经济、长周期生产的先决条件。石油化工企业生产绝大部分属于一类、二类用电负荷，具有高温、高压、易燃、易爆、深度冷却的特点，容易发生事故，且有的事故，如火灾、爆炸、凝固、凝聚等如果处理不及时，措施不当，就有可能导致灾难性甚至是毁灭性的后果，对人民生命及国家财产危害极大。有时即使是简单的电气故障或参数波动，也可能给石油化工生产带来超过电气本身损失数百倍乃至数万倍的后果。因此，对于石油化工企业的电气安全，不宜孤立分析，必须予以全面综合的考虑，给予高度的重视。

目前，全世界每年死于电气事故的人约占全部事故死亡人数的25%，电气火灾约占火灾总数的20%以上。根据有关统计表明，电气事故在国外石油化工企业事故中仍占50%左右，在国内也是每年不断，时有发生，绝不可放松警惕。这就要求不断采用新技术、改进设备性能、健全管理体制、加强管理、认真贯彻各项行之有效的规章制度，以积极有效的手段，迅速提高全体工

作人员的素质,使电气安全工作更加完善、更加可靠。

二、影响石油化工企业电气安全的因素

随着电力工业和石油化工工业的发展,自动化程度越来越高,对安全供电的要求也越来越高。为了防止各种电气事故,保障生产的正常进行,保护职工的安全与健康,电气安全工作也必须有一个相应的发展。由于多种因素的影响,近年来电气事故还时有发生,不仅造成停工停产,经济上受到巨大损失,而且造成人员伤亡。

造成电气事故的主要原因如下。

① 生产管理混乱,企业停送电权限没有归口统一管理,多头领导,造成工厂的误停电或误送电,导致停工停产,甚至人员伤亡。

② 电气工作人员玩忽职守,违章作业,不按工作票要求进行工作或是不开工作票进行盲目操作,造成停电,电气设备短路崩烧或人员伤亡。

③ 供电系统的继电保护不完善,定值不配套或定试不严格,发生开关误动或拒动,造成停电或扩大事故范围。

④ 设备维修不当,不按期进行检修,电气设备绝缘水平下降,设备接地不良或外壳带电,从而发生设备损坏、火灾或人员伤亡。

⑤ 在易燃易爆场所使用电气设备,由于设备制造水平或检修不力等原因,设备发生故障引起周围易燃易爆物质的燃烧或爆炸。

⑥ 石油化工、塑料、化纤、合成橡胶等合成材料的生产过程中产生的静电火花引起火灾和爆炸。

总的来说,在石油化工企业发生的电气事故主要有三个方面:

- ① 由于电气设备或电气线路的故障及损坏,造成停电,致使停工停产;
- ② 人身触电的伤亡事故;
- ③ 由电气原因(包括静电及雷电)而引起的火灾爆炸事故。

三、搞好电气安全的措施

通过对石油化工企业近年来所发生的电气事故进行分析可以知道,事故的原因是多种多样的,有管理上的原因,也有技术上的原因。本书侧重技术,介绍预防事故的各种方法和电气装置的安全运行条件。为避免电气事故的发生,消除事故隐患,必须做好大量的电气安全管理工作,如,提高相关人员的用电安全水平,实现用电安全标准化,引进系统工程的方法,提高电气安全管理的科学性等。

搞好电气安全通常从组织措施和技术措施两方面着手。

1. 电气安全的组织措施

电气安全组织措施内容很多，主要有以下几个方面。

(1) 建立行之有效的安全管理体系 为保证石油化工企业的电气安全，全厂应设置一名电气副总工程师，负责全厂电气管理工作，特别应对企业供电可靠性、电气设备使用安全和更新改造等一系列重大问题进行决策，并对全厂电气管理的归口部门，如，机动科或动力设备科等进行电气安全工作的指导。

(2) 建立健全的规章制度 必要而合理的规章制度是人们从长期的生产实践中总结出来的，是保障安全，促进生产的有效手段。石油化工企业长期推广的“三三、二五制”，即

三图——操作系统模拟图、二次接线图、设备状况指示图；

三票——运行操作票、检修工作票、临时用电票；

三定——定期检修、定期清扫、定期试验；

五规程——运行规程、检修规程、试验规程、事故处理规程、安全工作规程；

五记录——运行记录、检修记录、试验记录、事故记录、设备缺陷记录。

实践证明对石油化工生产的电气安全是比较有效的组织措施之一。

(3) 制定安全措施计划 各单位应根据本部门的具体情况制定安全措施计划，使电气安全工作有计划地进行，不断提高电气安全水平。

(4) 定期进行安全检查 定期检查是贯彻预防为主方针的主要措施之一，群众性的电气安全检查最好每季一次，发现问题及时解决。特别应该注意雨季前和雨季中的电气安全检查。全面检查电气设备、安全用具和电气灭火器材，以及电气安全规章制度的执行情况。

(5) 开展全员的安全教育培训 安全教育和培训主要是为了使工作人员认识电气安全的重要性，懂得电的基本知识，掌握安全用电的基本方法，从而能安全地、有效地进行工作。

对独立工作的电工还应该懂得电气装置在安装、使用、维护、检修过程中的安全要求，应熟知电工安全操作规程，并通过考试取得合格证。

(6) 及时组织事故分析 一旦发生事故应采取“三不放过”的原则。及时组织事故分析、处理。“三不放过”就是发生事故后，有关领导和安全监察部门对事故原因未查清不放过；事故责任者和应受教育者未受到教育不放过；没有采取防范措施不放过。这是为了“吃一堑，长一智”，发现安全工作中的“漏洞”，把事故教训变为经验，把防范措施增补到安全规程中去，健全规章制度，防止再发生类似事故和其他事故，以便今后全面做好安全防护工作。

2. 电气安全的技术措施

电气安全管理工作除有高度的组织艺术性外，还有很强的科学性、技术性，是一项复杂的工作。

石油化工企业电气安全技术措施除应满足一般安全用电的技术要求外，还应根据石油化工企业的特点，在防止人身触电、电气防火防爆、防静电危害及防雷等方面引起足够重视。本书将详细介绍有关的技术措施。

第一章 电和电磁的基础

学习目标

1. 对电场和磁场有所了解；
2. 了解电和磁的基本物理量；
3. 掌握正弦交流电的三要素；
4. 了解电磁感应定律的内容。

第一节 电的基本概念

“电”这个名称来源于古希腊语“琥珀”一词。公元前6世纪的古希腊工匠们在用琥珀琢磨各种装饰品时，发现琥珀制品具有能够吸引毛发、细屑等微小物体的奇怪现象。限于当时的科学水平尚无法解释，便认为琥珀内存在一种魔力或神力。自然哲学家泰勒斯称这种力为“琥珀力”。经过漫长岁月，直到公元1600年，英国皇家医科大学校长、女皇伊丽莎白一世的御医、实验家吉尔伯特在进行大量实验后发现，不单是琥珀，还有其他许多种物体在经过摩擦后都具有这种吸引力。为突出说明这一现象，他引用希腊语里“琥珀”的词根创造了一个新名词，读音与希腊语里“琥珀”的发音完全一样，并以此将这种吸引力命名为“ELECTRICAM”。1646年科学家布朗克在他的著作中，又按照英语词法将其改写为现在许多西方国家所用的“ELECTRICITY”。中国约在1851年将它译为“电”。

一、电荷和电场

电荷是带电的物质基本微粒。

为能从本质上进一步弄懂电是什么，必须先了解物质的电结构。近代科学的大量实验证明，任何物质都是由分子组成的，分子又由保持原物质属性的原子组成。原子是由原子核和电子组成的，原子核内还包含有质子与中子。

由于中子不带电，但质子带正电，故原子核带正电，而电子则带负电。正