

nquan

石油化工

安全技术与管理丛书

# 电气与静电安全

第二版



张庆河 李盈康◎主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油化工安全技术与管理丛书

# 电气与静电安全

(第二版)

张庆河 李盈康 主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书是在第一版的基础上修订而成,囊括了电气防火防爆、触电事故及防护、输配电和供用电安全、电气系统接地与安全、静电及其预防、雷电与防雷保护等内容。

本书可为石油化工的安全生产提供相关的技术与管理知识,适合从事电气设计、技术管理、安全保障等工作的人员使用,同时也可作为高等院校电气、安全等相关专业师生的参考资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

电气与静电安全/张庆河,李盈康主编. —2版—北京:  
中国石化出版社,2015.1  
(石油化工安全技术与管理丛书)  
ISBN 978-7-5114-3136-3

I. ①电… II. ①张… ②李… III. ①石油化学工业-电气设备-安全技术②石油化学工业-静电-安全技术 IV. ①TE687

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 293556 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

## 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

710×1000 毫米 16 开本 22 印张 406 千字

2015 年 1 月第 2 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价:66.00 元

# 《电气与静电安全》(第二版)

## 编委会

主    编：张庆河  李盈康

编写人员：郝德东  朱小海  蔡永亮  张俊岭

徐  艳  何修亮  于文博

## 再版前言



石化企业的安全用电是一个系统工程，其涉及安全设计、配置、使用、管理等诸多方面。同时还要应对突如其来的自然灾害。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：一方面是研究各种电气事故，研究电气事故的机理、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。为保证石化工业各个部门的正常运转，石化工业的电力部门职工必须坚决贯彻“安全第一、预防为主、综合治理”的方针，保证安全发电、输电、供电，向用户提供可靠的电能，满足石化工业生产发展需要。

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。而近年来，电磁场安全问题、静电安全问题等又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。

电气安全工作将向着更科学、更实用、更深入、更系统的方向发展。在工程技术方面的主要任务是进一步完善传统的安全技术方法，以求建立完整的电气安全体系；并注重引进先进的自动化技术和计算技术，研究电气检测技术和监测技术在安全领域的应用。在管理方面，主要任务是逐步提高相关人员的电气安全水平；逐步实现电气安全标准化；并引进系统工程的方法，提高电气安全管理的科学性。

安全用电及灾害防护是电力部门永久的工作，但目前专题资料较少，客观上影响了专项工作的进行。针对上述情况，我们组织了部分石化企业中长期从事电气管理和技术工作的专家和技术人员修编了本书。编写过程中作者查阅了大量资料并借鉴了电气界同仁的研究成果，希望能对石化企业电气事业的发展、安全保障起到一定的积极作用。在编写时作者注意了安全理论与实际的结合，一方面注意了基本理论的阐述，同时搜集了部分实例，以便使之更加密切联系石化企业的生产实际。

本书的编写人员均是在石化企业从事电气设计和运行维护工作的技术人员，有的已经从事电气技术工作 30 多年，有的是石化企业电气技术工作的后起之秀，大家对电气工作都有自己独到的理解。本次修订是在 2005 年出版的第一版的基础上完成的，首先由主编对内容和体系进行了全面的设计，然后全体修编人员进行了讨论，最后由主编统一审定完成。

尽管下了很大的努力，但是由于时间、经验有限，肯定会在很多方面存在不足之处，欢迎读者和专家批评指正。

## 第一版前言



在石化工业的各个部门中，电能是不可缺少的能源，通过电动机可以转换为机械能，用于驱动各种石化机械；通过电灯可以转换为光能，用于生产照明；通过电加热器可以转换为热能，用于各种用途的工艺加热。此外，随着石化工业的发展，计算机技术普遍得到应用，生产装置对自动化水平提出更高要求，而用电进行控制容易实现自动化。同时由于电能便于传输，可以供给各个分散的用户，使石化工业对电力的依赖性日益增加，安全用电变得十分重要。

很长一段时期，相对于蓬勃发展的石化工业，企业中电力部门一直处于相对落后的局面，电力设备陈旧、效率低、类型庞杂，所幸这一切在近几年得到了改善。在过去的几年中，石化工业电力部门的自动化水平正在逐年提高，已有许多企业实现了电气系统集中控制和计算机控制，技术装备水平逐步提高，新技术不断应用，与世界先进水平的差距正在逐渐缩小。石化企业的安全用电是一个系统工程，涉及到安全设计、配置、使用、管理等诸方面。为保证石化工业各个部门的正常运转，石化工业的电力部门职工必须坚决贯彻“安全第一”的方针，保证安全发电、输电、供电，向用户提供可靠的电能。以满足石化工业生产发展需要。

安全用电及灾害防护是电力部门永久的工作。本书的作者在查阅了大量资料并借鉴电气界同仁研究成果的基础上编写了此书，希望能对石化企业电气事业的发展、安全保障起到一定的积极作用。在编写时作者注意了安全理论与实际的结合，同时搜集了部分实例，以便更加密切地联系石化企业的生产实际。

本书的作者均是在石化企业从事电气设计和技术工作的技术人员，有的已经从事电气技术工作30多年，有的是石化企业电气技术工作的后起之秀，大家对电气工作都有自己独到的见解。在编写过程中，首先由主编和副主编对内容和体系进行了全面的设计，然后全体作者进行了讨论，最后由主编、副主编统一修改定稿。

由于时间仓促，经验有限，肯定会在很多方面存在不足之处，欢迎读者和专家批评指正。

# 目 录



|                        |        |
|------------------------|--------|
| 第一章 电气防火防爆             | ( 1 )  |
| 第一节 电气火灾爆炸及危险区域的划分     | ( 1 )  |
| 一、电气火灾爆炸               | ( 1 )  |
| 二、电气火灾爆炸危险区域的划分        | ( 2 )  |
| 第二节 火灾爆炸危险环境电气设备的选用    | ( 4 )  |
| 一、各种防爆型电气设备的主要性能       | ( 4 )  |
| 二、防爆型电气设备的选用           | ( 6 )  |
| 第三节 电气线路选择与敷设          | ( 9 )  |
| 一、对爆炸危险环境内电气线路的一般规定    | ( 9 )  |
| 二、爆炸危险环境内的电缆线路         | ( 11 ) |
| 三、爆炸危险环境内的钢管配线         | ( 12 ) |
| 四、本质安全型电气设备及其关联电气设备的线路 | ( 13 ) |
| 第四节 防爆电气设备的安装          | ( 14 ) |
| 一、一般规定                 | ( 14 ) |
| 二、隔爆型电气设备的安装           | ( 15 ) |
| 三、增安型和无火花型电气设备的安装      | ( 17 ) |
| 四、正压型电气设备的安装           | ( 17 ) |
| 五、充油型电气设备的安装           | ( 18 ) |
| 六、本质安全型电气设备的安装         | ( 18 ) |
| 七、粉尘防爆电气设备的安装          | ( 19 ) |
| 第五节 防止电气火灾爆炸的其他措施      | ( 20 ) |
| 一、合理布置电气设备             | ( 20 ) |
| 二、接地                   | ( 21 ) |
| 三、保证安全供电的措施            | ( 21 ) |
| 四、电气设备通风               | ( 26 ) |

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 第六节 变、配电所及其防火防爆        | ( 26 ) |
| 一、变、配电所                | ( 26 ) |
| 二、电力变压器的作用及防火防爆        | ( 27 ) |
| 三、油开关的作用与防火防爆          | ( 28 ) |
| 第七节 动力、照明及电热系统的防火防爆    | ( 29 ) |
| 一、电动机的防火防爆             | ( 29 ) |
| 二、电缆的防火防爆              | ( 29 ) |
| 三、电缆桥架的防火防爆            | ( 30 ) |
| 四、电缆沟的防火防爆             | ( 30 ) |
| 五、电气照明、电气线路及电加热设备的防火防爆 | ( 31 ) |
| 第二章 触电事故及防护            | ( 34 ) |
| 第一节 电气事故               | ( 34 ) |
| 一、电气事故的特点              | ( 34 ) |
| 二、电气事故的类型              | ( 34 ) |
| 第二节 电流对人体作用的机理         | ( 35 ) |
| 一、人体阻抗的组成              | ( 35 ) |
| 二、人体阻抗与接触状况的关系         | ( 37 ) |
| 第三节 电流的种类及电击效应         | ( 38 ) |
| 一、交流电流的电击效应            | ( 38 ) |
| 二、直流电流的电击效应            | ( 41 ) |
| 三、特殊波形电流的电击效应          | ( 42 ) |
| 第四节 电流的伤害种类            | ( 48 ) |
| 一、电流大小与伤害程度            | ( 48 ) |
| 二、触电时间与伤害程度            | ( 49 ) |
| 三、电流流通途径与伤害程度          | ( 49 ) |
| 四、人体的触电形式              | ( 49 ) |
| 五、电流对人体伤害的种类           | ( 50 ) |
| 第五节 人体触电防护             | ( 52 ) |
| 一、电击接触点的防护             | ( 52 ) |
| 二、防止电击的接地方法            | ( 56 ) |
| 三、防护人身触电的技术措施          | ( 58 ) |
| 四、保证安全的组织措施和技术措施       | ( 60 ) |
| 第六节 漏电保护               | ( 60 ) |

|                        |         |
|------------------------|---------|
| 一、漏电保护装置的原理·····       | ( 61 )  |
| 二、漏电保护装置的分类·····       | ( 63 )  |
| 三、漏电保护装置的主要技术参数·····   | ( 65 )  |
| 四、漏电保护装置的应用·····       | ( 66 )  |
| 第七节 触电急救·····          | ( 71 )  |
| 一、迅速脱离电源·····          | ( 71 )  |
| 二、伤员脱离电源后的处理·····      | ( 74 )  |
| 三、口对口(鼻)呼吸·····        | ( 77 )  |
| 四、人工循环(体外按压)·····      | ( 79 )  |
| 五、心肺复苏法·····           | ( 81 )  |
| 六、心肺复苏的有效指标、转移和终止····· | ( 83 )  |
| 七、抢救过程注意事项·····        | ( 85 )  |
| 第三章 输配电和供用电安全·····     | ( 87 )  |
| 第一节 输配电安全·····         | ( 87 )  |
| 一、架空输电线路安全运行·····      | ( 87 )  |
| 二、电缆输电线路的安全运行·····     | ( 90 )  |
| 三、变配电安全·····           | ( 92 )  |
| 第二节 发电安全·····          | ( 94 )  |
| 一、发电机工作原理简介·····       | ( 94 )  |
| 二、发电机正常运行的规定·····      | ( 94 )  |
| 三、发电机启动前的检查、测量与试验····· | ( 96 )  |
| 四、发电机启动和并列·····        | ( 96 )  |
| 五、发电机运行中的检查与维护·····    | ( 98 )  |
| 六、发电机停机·····           | ( 99 )  |
| 七、发电机的异常运行及事故处理·····   | ( 99 )  |
| 第三节 供电安全·····          | ( 105 ) |
| 一、系统接线及运行方式·····       | ( 105 ) |
| 二、电动机的运行管理·····        | ( 106 ) |
| 三、变压器运行管理·····         | ( 108 ) |
| 四、真空开关运行管理·····        | ( 110 ) |
| 五、石化企业电力安全管理·····      | ( 111 ) |
| 六、防止电气误操作装置的管理·····    | ( 113 ) |
| 七、防止触电的技术措施·····       | ( 115 ) |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 八、电力二次系统安全防护·····         | (120) |
| 第四节 电业安全工作规程·····         | (121) |
| 一、高压设备工作的基本要求·····        | (121) |
| 二、保证安全的组织措施·····          | (127) |
| 三、保证安全的技术措施·····          | (134) |
| 四、线路作业时发电厂和变电所的安全措施·····  | (138) |
| 第四章 电气系统接地与安全·····        | (139) |
| 第一节 地和接地·····             | (139) |
| 一、地和接地的概念·····            | (139) |
| 二、接地的分类·····              | (144) |
| 三、接地系统的组成·····            | (145) |
| 四、各类接地的兼容性·····           | (145) |
| 第二节 IT 系统·····            | (146) |
| 一、IT 系统的安全原理·····         | (146) |
| 二、保护接地的应用范围·····          | (149) |
| 三、接地电阻的确定·····            | (150) |
| 四、绝缘监视·····               | (152) |
| 五、过电压的防护·····             | (153) |
| 第三节 TT 系统·····            | (154) |
| 一、TT 系统的原理·····           | (154) |
| 二、TT 系统的应用·····           | (156) |
| 第四节 TN 系统·····            | (156) |
| 一、TN 系统的安全原理及类别·····      | (156) |
| 二、保护接零的应用范围·····          | (158) |
| 三、接地与接零的实际应用·····         | (160) |
| 四、重复接地·····               | (162) |
| 五、工作接地·····               | (166) |
| 第五节 高压交流电力系统的接地方式·····    | (166) |
| 一、高压系统常见接地方式·····         | (167) |
| 二、常用的接地元件·····            | (170) |
| 三、中性点不接地电网的接地保护·····      | (171) |
| 第六节 变配电所、发电站及电气设备的接地····· | (173) |
| 一、常用电气设备的接地·····          | (173) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 二、变电所的接地·····           | (176) |
| 三、配电室接地·····            | (177) |
| 四、自备发电站接地·····          | (177) |
| 第七节 接地装置和接地电阻·····      | (177) |
| 一、自然接地体和人工接地体·····      | (177) |
| 二、接地线·····              | (179) |
| 三、降低接地电阻的施工方法·····      | (180) |
| 四、接地电阻的测量仪表·····        | (185) |
| 五、接地电阻测量的注意事项和测量误差····· | (188) |
| 六、接地装置·····             | (192) |
| 七、接地装置的检查和维护·····       | (196) |
| 八、接地装置与接零装置的安全要求·····   | (197) |
| 第八节 保护导体·····           | (198) |
| 一、保护导体的组成·····          | (198) |
| 二、保护导体的截面积·····         | (199) |
| 三、等电位连接·····            | (199) |
| 四、相-零线回路检测·····         | (200) |
| 第九节 弱电系统的接地技术·····      | (201) |
| 一、接地的种类和目的·····         | (201) |
| 二、接地方式·····             | (203) |
| 三、接地电阻·····             | (204) |
| 四、屏蔽地·····              | (204) |
| 五、设备地·····              | (205) |
| 六、系统地·····              | (206) |
| 第五章 静电及其预防·····         | (207) |
| 第一节 静电概述·····           | (207) |
| 第二节 固体静电的产生·····        | (209) |
| 一、固体接触静电起电机理·····       | (209) |
| 二、固体静电产生的几种形式·····      | (210) |
| 第三节 液体静电的产生·····        | (213) |
| 一、液体起电的偶电层解释·····       | (213) |
| 二、液体静电起电的几种形式·····      | (213) |
| 第四节 气体静电的产生·····        | (215) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第五节 人体静电 .....                | (216) |
| 一、人体静电的起电方式 .....             | (216) |
| 二、影响人体静电产生的因素 .....           | (216) |
| 第六节 静电放电 .....                | (217) |
| 一、气体放电的简单物理过程 .....           | (217) |
| 二、静电放电的一般形式 .....             | (219) |
| 第七节 静电的参数 .....               | (219) |
| 一、静电电位 .....                  | (220) |
| 二、电阻与电阻率 .....                | (220) |
| 三、静电电量 .....                  | (221) |
| 四、接地电阻 .....                  | (221) |
| 五、静电半衰期 .....                 | (221) |
| 六、表面电荷密度 .....                | (222) |
| 七、液体介质电导率 .....               | (222) |
| 八、粉体静电性能参数 .....              | (222) |
| 九、静电荷消除能力 .....               | (222) |
| 十、人体静电参数 .....                | (223) |
| 第八节 静电的危害 .....               | (224) |
| 一、静电放电的危害 .....               | (225) |
| 二、静电力作用的危害 .....              | (226) |
| 三、静电感应的危害 .....               | (226) |
| 第九节 静电的测量 .....               | (226) |
| 一、金箔静电计 .....                 | (226) |
| 二、辉光放电管 .....                 | (227) |
| 三、静电电压表或静电计 .....             | (227) |
| 第十节 静电的控制和预防 .....            | (228) |
| 一、控制静电场合的危险程度 .....           | (228) |
| 二、减少静电荷的产生 .....              | (229) |
| 三、减少静电荷的积累 .....              | (230) |
| 第十一节 石化工业特殊场合静电灾害的控制和防护 ..... | (233) |
| 一、油罐区静电产生的原因及防范措施 .....       | (233) |
| 二、铁路槽车及其静电 .....              | (253) |
| 三、汽车油罐车的静电及预防 .....           | (257) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 四、防静电接地电阻测试 .....          | (259) |
| 第十二节 静电事故案例 .....          | (262) |
| 一、国外静电事故事例 .....           | (262) |
| 二、国内静电事故事例 .....           | (264) |
| 三、其他静电事故案例 .....           | (269) |
| 第六章 雷电与防雷保护 .....          | (272) |
| 第一节 雷电概述 .....             | (272) |
| 一、雷电的产生 .....              | (272) |
| 二、雷电参数 .....               | (274) |
| 三、雷电的特点 .....              | (278) |
| 四、雷电的种类 .....              | (279) |
| 第二节 雷电的危害 .....            | (280) |
| 一、电效应 .....                | (280) |
| 二、热效应 .....                | (280) |
| 三、机械效应 .....               | (280) |
| 四、静电感应 .....               | (280) |
| 五、电磁感应 .....               | (281) |
| 六、雷电波侵入 .....              | (281) |
| 七、雷电对人的危害 .....            | (281) |
| 八、防雷装置上的高电压对建筑物的反击作用 ..... | (281) |
| 九、浪涌 .....                 | (281) |
| 第三节 雷电的预防 .....            | (282) |
| 一、直击雷防护 .....              | (282) |
| 二、雷电感应的防护措施 .....          | (283) |
| 三、雷电侵入波的防护措施 .....         | (283) |
| 四、综合性防雷电 .....             | (284) |
| 第四节 建筑物的防雷措施 .....         | (284) |
| 一、建筑物的防雷分类 .....           | (284) |
| 二、建筑物防雷装置 .....            | (285) |
| 三、第一类防雷建筑物的防雷措施 .....      | (287) |
| 四、第二类防雷建筑物的防雷措施 .....      | (289) |
| 五、第三类防雷建筑物的防雷措施 .....      | (291) |
| 六、现代建筑防雷保护 .....           | (292) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第五节 电力系统防雷保护                  | (293) |
| 一、变电所的防雷保护                    | (293) |
| 二、输电线路的防雷保护                   | (296) |
| 三、10kV 配电线路防雷措施               | (298) |
| 四、防止低电压(380/220V)架空电力线路过电压的措施 | (299) |
| 五、10kV 配电设备防雷措施               | (299) |
| 六、气体绝缘变电所防雷保护                 | (300) |
| 第六节 其他防雷措施                    | (302) |
| 一、人体防雷措施                      | (302) |
| 二、家用电器防雷措施                    | (303) |
| 三、计算机及其场地雷电电                  | (303) |
| 四、非常规防雷电                      | (304) |
| 五、雷电防护新技术                     | (305) |
| 第七节 油罐区雷电产生的原因及防护措施           | (306) |
| 一、油罐雷害成因分析                    | (306) |
| 二、油罐防雷设施的现状                   | (306) |
| 三、油罐防雷事故的分析                   | (309) |
| 四、油罐的防雷技术措施                   | (312) |
| 第八节 电子信息系统的雷电防护               | (313) |
| 一、加强雷电防护工作的必要性和重要性            | (314) |
| 二、电子信息系统综合防雷技术                | (315) |
| 三、电子信息系统雷电防护工程                | (319) |
| 第九节 雷电事故案例                    | (322) |
| 一、1989 年震惊全国的黄岛油库大火           | (322) |
| 二、人身雷击事故实例及分析                 | (324) |
| 三、建筑和构筑物雷击事故                  | (327) |
| 四、其他雷击造成财产损坏事故实例              | (330) |
| 参考文献                          | (333) |

# 第一章 电气防火防爆

## 第一节 电气火灾爆炸及危险区域的划分

### 一、电气火灾爆炸

由于电气方面的原因引起的火灾和爆炸事故，称为电气火灾爆炸。

发生电气火灾和爆炸要具备两个条件：一是要有易燃易爆物质和环境；二是要有引燃条件。

#### （一）易燃易爆物质和环境

在生产和生活场所，广泛存在着易燃易爆易挥发物质，其中煤炭、石油、化工和军工等生产部门尤为突出。煤矿中产生的瓦斯气体，石油企业中的石油、天然气，化工企业中的原料、产品，纺织、食品企业生产场所的可燃气体、粉尘或纤维，军工企业中的火药等均为易燃易爆易挥发物质，并容易在生产、储存、运输和使用过程中与空气混合，形成爆炸性混合物。在一些生活场所，乱堆乱放的杂物，木结构房屋明设的电气线路等，都形成了易燃易爆环境。

#### （二）引燃条件

生产场所的动力、照明、控制、保护、测量等系统和生活场所的各种电气设备和线路，在正常工作或事故中常常会产生电弧、火花和危险的高温，这就具备了引燃或引爆的条件。

有些电气设备在正常工作情况下就能产生火花、电弧和危险高温。如电气开关的分合，运行中发电机和直流电机电刷和整流子间，交流绕线电机电刷与滑环间总有或大或小的火花、电弧产生，弧焊机就是靠电弧工作的；电灯和电炉直接利用电流发光发热，工作温度相当高，100W 白炽灯泡表面温度 170 ~ 216℃，100W 荧光灯管表面温度也在 100 ~ 120℃，而碘钨灯管壁温度高达 500 ~ 700℃。

电气设备和线路，因绝缘老化、积污、受潮、化学腐蚀或机械损伤等原因均会造成绝缘强度降低或破坏，导致相间或对地短路，熔断器熔体熔断，连接点接触不良，铁芯铁损过大。电气设备和线路由于过负荷或通风不良等原因都