



“十二五”普通高等教育规划教材

# 防火与防爆工程

蔡芸 李孝斌 主编

Fanghuo Yu Fangbao Gongcheng



中国质检出版社  
中国标准出版社



“十二五”普通高等教育规划教材

---

Fanghuo Yu Fangbao  
Gongcheng

---

# 防火与防爆工程

蔡 芸 李孝斌 主编

中国质检出版社  
中国标准出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

防火与防爆工程/蔡芸,李孝斌主编. —北京:中国质检出版社, 2014.5

“十二五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5026-3973-0

I. ①防… II. ①蔡… ②李… III. ①防火—高等学校—教材 ②防爆—高等学校—教材  
IV. ①X932

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 015117 号

## 内 容 提 要

本书从防火与防爆工程实际需求出发,着重论述了燃烧与爆炸理论基础,危险化学品燃烧和爆炸特性,防火与防爆各项通用技术与管理措施,以及建筑防火,石化企业、储罐区与堆场、仓储企业、采矿企业等典型工业企业防火防爆等内容。涵盖了防火与防爆相关的基本理论、基本技术和工程实践等方面。

本教材适用于高等院校安全工程专业的教师与学生,同时,对企事业单位从事安全或消防技术和管理工作人员也有重要的参考价值。

中国质检出版社  
中国标准出版社 出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室: (010) 64275323 发行中心: (010) 51780235

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16.25 字数 408 千字

2014 年 5 月第一版 2014 年 5 月第一次印刷

\*

定价: 43.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010)68510107

# — 审 定 委 员 会 —

主 任 宋守信 (北京交通大学)

副主任 吴 穹 (沈阳航空航天大学)

罗 云 (中国地质大学)

委 员 蒋军成 (南京工业大学)

钮英建 (首都经济贸易大学)

王述洋 (东北林业大学)

许开立 (东北大学)

# — 本 书 编 委 会 —

主 编 蔡 芸 (中国人民武装警察部队学院)  
李孝斌 (中国人民武装警察部队学院)

参 编 (按姓氏笔画排序)

马建云 (公安消防部队昆明指挥学校)

任 君 (浙江消防总队)

李会荣 (中国人民武装警察部队学院)

李艳伟 (沈阳航空航天大学)

张云明 (中国人民武装警察部队学院)

张宏宇 (公安消防部队昆明指挥学校)

杜晓燕 (安徽工业大学)

杨 晨 (公安消防部队昆明指挥学校)

周 亮 (中国人民武装警察部队学院)

周白霞 (公安消防部队昆明指挥学校)

# 序 言

---

众所周知，安全是构建和谐社会的基础。安全生产事关人民群众生命和国家财产安全，是保护和发展社会生产力、促进社会和经济持续健康发展的基本条件，是社会文明与进步的重要标志，也是提高国家综合国力和国际声誉的具体体现。在全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化、实现中华民族伟大复兴的进程中，安全生产在国家安全、经济和社会发展中占据越来越重要的地位。安全工程则是指在具体的安全存在领域中，运用的种种安全技术及其系统集成，以及保障人体动态安全的方法、手段、措施。安全工程的实践，为使人们在生产和生活中，生命和健康得到保障，身体及其设备、财产不受到损害，提供直接和间接的保障。安全工程专业是培养适应社会主义市场经济发展的需要，掌握安全科学、安全技术和安全管理的基础理论、基本知识、基本技能，具备一定的从事安全工程方面的设计、研究、检测、评价、监察和管理等工作的基本能力和素质，德、智、体全面发展的高级专业人才。随着现代工业生产规模日趋扩大，生产系统日益复杂，加之高新技术的不断引入，生产过程中涉及的环境、设备、工艺和操作的危险因素变得更加复杂、隐蔽，产生的风险越来越大，事故后果也越来越严重。因此，社会对安全工程专业人员的要求越来越高，安全工程专业的人才市场需求也越来越大。

安全工程专业的本科教育是我国培养安全工程专业高级人才的重要途径，也是确保安全科学与技术能够蓬勃发展的重要基础。如何培养能适应现代科学技术发展，满足社会需要的安全科学专门人才，是安全工程高等教育的核心问题。为此，教育部和国务院学位委员会对安全工程专业作出了调整，将“安全科学与工程”升级为一级学科，下设“安全科学”、“安全技术”、“安全系统工程”、“安全与应急管理”、“职业安全健康”5个二级学科。而教育部高教司给出的安全工程（本科）专业的培养目标是“培养能够从事安全技术及工程、安全科学与研究、安全监督与管理、安全健康环境检测与监测、安全设计与生产、安全教育

与培训等方面复合型的高级工程技术人才”。

我国绝大多数高校的安全工程专业都是为适应市场需求而于近些年开设的，其人才培养的硬件、软件和师资等都相对较弱，在安全工程专业课程体系的构成上缺乏共识，各高校共性核心的内容少，而且应用性课程多，理论性课程少；工具性课程多，价值性课程少。课程设置的差异，导致安全工程专业的教材远不能满足本专业教学的需要和学科发展的需要，为此，中国质检出版社根据教育部《“十二五”普通高等教育本科教材建设的基本原则》，组织北京交通大学、中国地质大学、沈阳航空航天大学、南京工业大学、河北科技大学、东北林业大学、西安石油大学等多所相关高校和科研院所中具有丰富安全工程实践和教学经验的专家学者，编写出版了这套以公共安全为方向，既有自身鲜明特色又体现国家和学科自身发展需要的系列教材，以进一步提高安全科学与工程类专业的教学水平，从而培养素质全面、适应性强、有创新能力的安全技术人才。该套教材从当前社会生产的实际需要出发，注重理论与实践相结合，满足了当前我国培养合格安全工程专业人才的迫切需要。相信该套教材的成功出版发行，必将会推动我国安全工程类高等教育教材体系建设的逐步完善和不断发展，对国家新世纪应用型人才培养战略的成功实施起到推波助澜的作用。

教材审定委员会

2014年3月

# 前 言

## • FOREWORD •

火的使用是人类文明发展的重要标志，它结束了人类茹毛饮血的原始生活方式，促进了人类社会生产力的发展。但是，它给人类造福的同时，也给人类带来了灾难和威胁。火灾和爆炸事故往往造成人员伤亡、财产损失、资源浪费、环境破坏、社会波动等严重后果。随着我国经济的发展和人民生活水平的提高，全社会对安全水平的要求也越来越高。为了提高消防安全水平、避免或减轻火灾和爆炸事故的危害，人们一直在研究相应的预防控制对策，发展适用的安全技术。防火与防爆工程是一项系统性工程，需要综合运用技术方法和管理方法来实现。本书从防火与防爆工程实际需求出发，着重论述了燃烧与爆炸理论基础，危险化学品燃烧和爆炸特性，防火与防爆各项通用技术与管理措施，以及建筑防火，石化企业、储罐区与堆场、仓储企业、采矿企业等典型工业企业防火防爆等内容。涵盖了防火与防爆相关的基本理论、基本技术和工程实践等方面，力求理论与实践的结合，技术与管理的结合，适度把握理论内容的深度，避免因片面追求理论内容的深度而弱化工程实际的需求，同时也防止因过分强调工程实践而忽视基础理论。

本书由多年从事防火与防爆教学、科研、实践工作的教师 and 高级



工程师合力编写，由蔡芸教授和李孝斌副教授担任主编。第一章由李孝斌副教授编写，第二章由周亮副教授和李会荣讲师编写，第三章由李艳伟高工和杨晨讲师编写，第四章由张云明博士和李孝斌副教授编写，第五章由蔡芸教授、杜晓燕讲师、任君高工编写，第六章由张宏宇副教授、周白霞副教授、马建云副教授编写。本书可作为高等院校安全工程专业教材，也可作为企事业单位从事安全或消防技术和管理工作人员的培训教材。

本书编写过程中引用了大量法律法规和技术标准的条文，参考了国内很多学者和同行的方法、经验和研究成果，在此表示衷心的感谢。此外，由于编写人员业务水平有限，书中内容难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

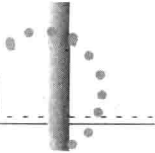
2014年3月

# 目 录

## • CONTENTS •

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
第一节 火灾与爆炸事故的危害 .....	(1)
第二节 我国火灾与爆炸事故形势 .....	(3)
第三节 火灾与爆炸事故原因分析 .....	(5)
第四节 防火与防爆技术的发展 .....	(6)
第五节 课程主要内容与学习方法 .....	(11)
<b>第二章 燃烧与爆炸理论基础</b> .....	(12)
第一节 燃烧及燃烧形式 .....	(12)
第二节 燃烧理论 .....	(21)
第三节 燃烧的重要参数 .....	(33)
第四节 爆炸理论 .....	(43)
<b>第三章 危险化学品燃烧和爆炸特性</b> .....	(56)
第一节 危险化学品概述 .....	(56)
第二节 易燃易爆气体 .....	(62)
第三节 易燃液体 .....	(71)
第四节 易燃固体 .....	(81)
第五节 易于自燃的物质和遇水放出易燃气体的物质 .....	(85)
第六节 其他危险化学品危险特性 .....	(92)
<b>第四章 防火防爆措施</b> .....	(99)
第一节 防火防爆措施概述 .....	(99)
第二节 防火防爆技术措施 .....	(107)

第三节	防火防爆管理措施 .....	(134)
<b>第五章</b>	<b>建筑防火 .....</b>	<b>(140)</b>
第一节	建筑火灾概述 .....	(140)
第二节	建筑材料的高温性能 .....	(145)
第三节	建筑物耐火设计 .....	(156)
第四节	建筑总平面防火和平面布局 .....	(163)
第五节	安全疏散 .....	(170)
第六节	建筑消防设施设置原则 .....	(184)
<b>第六章</b>	<b>工业企业防火防爆 .....</b>	<b>(198)</b>
第一节	石化企业生产中的火灾爆炸控制 .....	(198)
第二节	油气储罐区与可燃材料堆场的火灾爆炸控制 .....	(212)
第三节	仓储企业仓储中的火灾爆炸控制 .....	(226)
第四节	采矿企业生产中的火灾爆炸控制 .....	(234)
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(246)</b>



# 第一章 绪 论

## 第一节 火灾与爆炸事故的危害

### 一、火灾及其危害

#### (一) 火灾

火的使用是人类文明发展的重要标志,它不仅结束了人类茹毛饮血的原始生活方式,更重要的是促进了人类社会生产力的发展。从青铜器的出现到现代工业的发展均与火的使用密切相关。没有火的使用,人类就没有今天高度的物质和文化文明,用火已成为人类生活中不可或缺的部分。但是,世界上的任何事物都是一分为二的,火也不例外。如果对火的使用不当,便可能引发火灾,造成灾难。

从本质上说,火是一种燃烧现象。燃烧是一种可燃物与氧化剂之间发生的氧化还原反应,通常伴有发光、放热等现象。如果燃烧在时间和空间上失去控制,便会对人类和自然造成灾害,形成火灾。即火灾是在时间和空间上失去控制的燃烧现象。

#### (二) 火灾的分类

分类角度不同,火灾的分类形式不同。

(1)按照物质燃烧的特征,把火灾分为以下6类:

A类火灾:指固体物质火灾。这种物质往往具有有机物的性质,一般在燃烧时能产生灼热的余烬,如木材、棉、毛、麻、纸张火灾等。

B类火灾:指液体火灾和可以熔化的固体物质火灾,如汽油、煤油、柴油、甲醇、原油乙醇、沥青、石蜡火灾等。

C类火灾:指气体火灾,如煤气、天然气、甲烷、乙烷、丙烷、氢气火灾等。

D类火灾:指金属火灾,如钾、钠、镁、钛、锆、锂、铝镁合金火灾等。

E类火灾:指带电火灾,物体带电燃烧的火灾。

F类火灾:烹饪器具内的烹饪物(如动植物油脂)火灾。

(2)按照一次火灾造成的损失,把火灾分为以下4类:

特别重大火灾,指造成30人以上死亡,或者100人以上重伤,或者1亿元以上直接财产损失的火灾。

重大火灾,指造成10人以上30人以下死亡,或者50人以上100人以下重伤,或者5000万元以上1亿元以下直接财产损失的火灾。

较大火灾,指造成3人以上10人以下死亡,或者10人以上50人以下重伤,或者1000万元以上5000万元以下直接财产损失的火灾。



一般火灾,指造成3人以下死亡,或者10人以下重伤,或者1000万元以下直接财产损失的火灾。

### (三) 火灾的危害

火灾事故对人类和自然构成巨大威胁,可能会造成人员伤亡、财产损失、资源浪费、环境破坏、社会波动等后果。火灾中,物质燃烧会释放出大量的失去控制的能量和有毒有害物质,对人员安全构成威胁,严重时会造成人员伤亡。火灾中,会燃烧掉大量的物质,并对周围物质造成烘烤、烟熏等损害,造成大量财产损失。在火灾扑救过程中,由于灭火射水、破拆等行为,也会造成一定的财产损失。火灾也是加速资源破坏和削减的主要原因之一,造成资源浪费和环境破坏。火灾一旦造成大量人员伤亡或财产损失,会引起社会上不同程度的不稳定,使社会出现波动,影响人类正常的生存与发展。特别是在信息技术高度发达的今天,事故造成的社会波动效应会随着信息传播速度成倍放大。

火灾的破坏作用主要是火焰、高温和烟气。

火灾产生的火焰和高温可以使得火灾不断地蔓延扩大,对人员和财产造成更大的危害。人对高温环境的忍耐性是有限的,有关资料表明在 $65^{\circ}\text{C}$ 时,人体可短时忍受;在 $120^{\circ}\text{C}$ 时,人体短时间内将产生不可恢复的损伤;温度越高,损伤时间越短。

火灾中产生大量烟气。一方面,当人体吸入过多烟气时,易使呼吸器官丧失正常的防御功能,对人员安全构成重大威胁。具体表现在:(1)在火灾中人员可能因缺氧而窒息。一方面是因为可燃物燃烧时消耗了空气中的氧气,另一方面因为大量燃烧产物的生成导致了现场空气中氧气浓度的下降。(2)火灾中会产生大量有毒烟气,如 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{HCN}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 等,这些气体均对人体有不同程度的危害。统计资料表明,火灾中死亡人数约80%是由于吸入毒性气体而导致的。如 $\text{CO}_2$ ,它是主要的燃烧产物之一,在有些火场中浓度可达15%,其最主要的生理作用是刺激人的呼吸中枢,导致呼吸急促、烟气吸入量增加,并且还会引起头痛、神志不清等症状。而 $\text{CO}$ 是火灾中致死的主要燃烧产物之一,其毒性在于对血液中血红蛋白的高亲和性,其对血红蛋白的亲合力较氧气高出250倍。因此,它能够阻碍人体血液中氧气的输送,引起头痛、虚脱、神志不清和肌肉调节障碍等症状。另一方面,大量烟气会影响能见度,对人员安全疏散造成很大影响。

## 二、爆炸及其危害

### (一) 爆炸

爆炸是物质由一种状态迅速转变为另一种状态、在瞬间造成大量能量突然释放并对外做功的现象。按照爆炸形式进行分类,爆炸分为物理爆炸、化学爆炸、核爆炸。

### (二) 爆炸的危害

爆炸事故一旦发生,其危害非常严重。往往造成设备、装置、容器和建筑的毁坏和人员伤亡。同样可能造成资源浪费、环境破坏、社会波动。

爆炸的破坏作用主要是爆炸冲击波、爆炸碎片冲击、高温、火焰等。

爆炸时产生的高温高压气体产物以极高的速度膨胀,像活塞一样挤压周围空气,把爆炸反应释放出的部分能量传给压缩空气层,空气受这些能量影响而发生扰动,这种扰动在空气中传

播就成为冲击波。它可以在周围环境中的固体、液体、气体介质中传播。在传播过程中,可以对这些介质产生破坏作用,造成附近设备、建筑物的毁坏和人员伤亡。冲击波还可以在它的作用区域产生震荡作用,使物体因震荡而松散,甚至破坏。

爆炸产生的巨大压力使得化工装置、机械设备等破碎,其产生的碎片飞散出去会在相当大的范围内造成危害。爆炸碎片的飞散距离一般可达 100 ~ 500m。因此爆炸碎片造成的伤亡占很大比例。

爆炸产生的高温和火焰,会点燃从破损设备中不断流出的可燃液体蒸气或其他可燃物,而造成火灾。这种情况在油罐、液化气爆炸后容易发生。正在运行的燃烧设备或高温的化工设备被炸坏,其炽热的碎片飞出,有可能点燃附近储存的燃料或其他可燃物,引起火灾。

此外,在实际生产生活中,许多物质不仅是可燃的,而且是有毒的。发生爆炸事故时使大量有害物质外泄,会造成人员中毒和环境污染。

### 三、火灾与爆炸的关系

火灾与爆炸这两种常见灾害之间存在着紧密联系,它们经常是相伴发生的。大多数火灾和爆炸具有相同的本质,它们都是可燃物与氧化剂发生的氧化反应。两者的主要区别在于:火灾中这种氧化反应进行的相对缓慢,同时能量的释放比较缓慢;而爆炸中氧化反应相对很快,几乎是瞬时完成的,并在瞬间突然释放大量能量。某些物质在一种状态下可以燃烧,在另一种状态下可能发生爆炸。例如,在通常的环境条件下,煤块只能缓慢地燃烧,但煤粉与空气混合后就可能发生爆炸。

在存放易燃易爆物品较多的场合和某些生产过程中,还可发生火灾爆炸的连锁反应。有些情况下,是由于火灾导致爆炸。例如当抽空的油罐在着火时,可燃蒸气将不断消耗,从而其浓度不断下降,当蒸气浓度下降到爆炸极限之内时,就可能发生爆炸。在另外一些情况下,是由于爆炸导致火灾。例如在一些化工生产中,由于某个事故可导致某个装置发生爆炸,随着容器的破坏和可燃物的泄漏,接下来往往会发生火灾。

在人们的生产、生活中,特别是在工矿企业中,火灾与爆炸的预防控制措施通常是结合在一起的。

## 第二节 我国火灾与爆炸事故形势

根据火灾统计资料(不包括香港、澳门和台湾地区的数据,也不包含森林、草原、军队和矿井地下火灾),20世纪50年代以来各年代年均火灾伤亡情况如图1-1所示。在新中国成立后的50多年中,因火灾造成的人员伤亡以20世纪60年代和70年代为最多,年均火灾死亡人数分别为4500人和4366人。随着全社会对人生命重视程度的不断提高,经过各级政府、公安消防部门和全社会的努力,火灾伤亡得到了一定程度的控制,80年代以后年均火灾死亡人数基本保持在2300人左右,进入21世纪以后年均火灾死亡人数进一步下降至2100人左右。

1950年以来每年发生火灾起数与直接经济损失情况如图1-2所示。新中国成立初期,我国尚处于工业化初始阶段,城市化水平只有10.6%,经济发展水平较低,火灾总量和直接经济损失相应也比较低。20世纪50年代火灾直接损失平均每年约0.6亿元人民币(不包括因火灾而停工、停产、停业所造成的损失,以及现场施救、善后处理费用,不包括香港、澳门和台湾地区

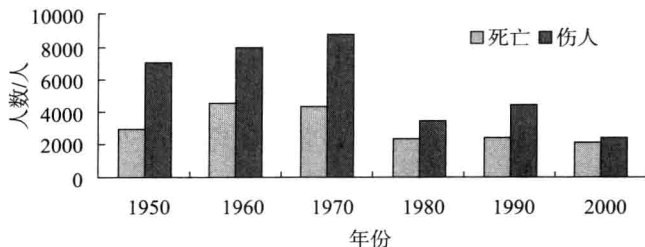


图 1-1 20 世纪 50 年代以来年代年均火灾伤亡人数

的数据,也不包含森林、草原、军队和矿井地下火灾,以下同)。随着工业化和城市化的发展,火灾直接经济损失也相应增加,20 世纪 60 年代年均值为 1.4 亿元;70 年代年均值近 2.4 亿元;80 年代年均值为 3.2 亿元。在改革开放的推动下,20 世纪 90 年代以来,中国经济社会进入了快速发展阶段,社会财富和致灾因素大幅度增加,火灾损失也急剧上升;20 世纪 90 年代火灾直接损失平均每年为 10.6 亿元;21 世纪前 10 年间的火灾直接损失平均每年为 14.5 亿元;2010 ~ 2011 年 2 年间的年均火灾直接经济损失达 20 亿元。

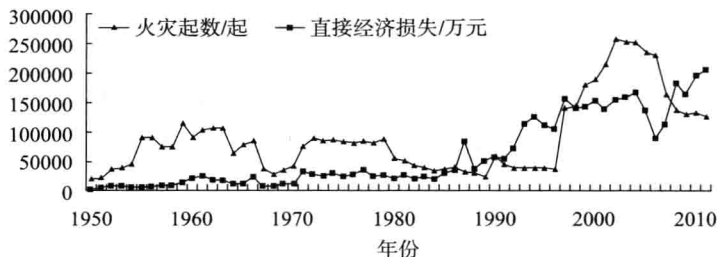


图 1-2 20 世纪 50 年代以来年代年均火灾起数与损失

研究表明,火灾状况与经济发展状况存在密切联系。由图 1-2 可以看出,随着经济的发展,火灾损失也在不断增加,特别是 90 年代以后,我国经济发展进入高速增长期,火灾损失明显增大。但是,单位 GDP 的火灾损失即火灾损失率如图 1-3 所示,其整体呈下降趋势。一方面是由于我国 GDP 增长速度远大于火灾损失的增长速度;另一方面是由于我国防火防爆措施日臻完善,整体安全水平呈上升趋势,火灾形势日趋好转。

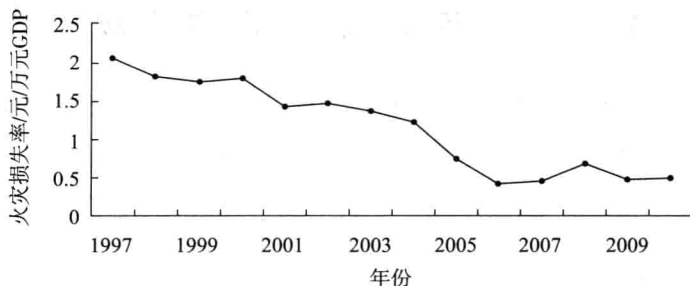


图 1-3 1997 ~ 2010 年火灾损失率

除此之外,地下矿井火灾、森林火灾、草原火灾等也给社会带来很大损失和危害。近年来,政府和企业对生产安全的重视程度越来越高,安全投入也越来越多,安全技术和管理水平不断提高。煤矿安全生产形势较前几年有所好转,但煤矿事故造成的人员伤亡和经济损失仍很大。

2006~2010年煤矿瓦斯事故起数和死亡人数分别见表1-4和表1-5。其中,瓦斯爆炸事故在起数和死亡人数上都占很大的比例。2006年和2007年每年瓦斯爆炸造成的死亡人数在600人左右,2008~2010年也在200人以上。关于森林火灾,据统计,1952~2008年我国共发生76万余起,平均每年发生1.3万起,平均受害森林面积77.8万公顷,损失非常严重。如果计算森林资源和生态环境的损失,其总损失要更大。

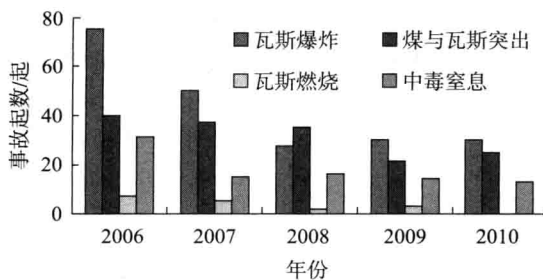


图 1-4 2006~2010年煤矿瓦斯事故起数

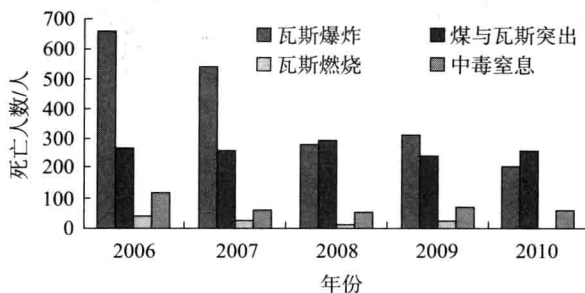


图 1-5 2006~2010年煤矿瓦斯事故死亡人数

### 第三节 火灾与爆炸事故原因分析

#### 一、基于事故致因理论的原因分析

火灾和爆炸事故的原因具有复杂性。根据以往火灾爆炸事故和事故致因理论,火灾和爆炸事故的主要原因可以从人、设备、环境、物料和管理等方面进行分析。

(1)人的因素。通过对大量火灾与爆炸事故的调查和分析表明,有不少事故是由于操作者缺乏相关的科学知识,在火灾与爆炸险情面前思想麻痹、存在侥幸心理、不负责任、违章作业等引起的。

(2)设备的原因。如设计错误且不符合防火与防爆的要求,选材不当或设备上缺乏必要的安全防护装置,密闭不良,制造工艺的缺陷等。

(3)物料的原因。如可燃物质的自燃,各种危险物品的相互作用时受剧烈震动撞击等。

(4)环境的原因。如潮湿、高温、通风不良、雷击等。

(5)管理的原因。规章制度不健全,没有合理的安全操作规程,没有设备的计划检修制度;生产用窑、炉、干燥器以及通风、采暖、照明设备等失修;生产管理火防爆技术人员不重视安全、宣传教育和安全培训等。





## 二、基于火灾统计方法的原因分析

在目前火灾统计中,将火灾原因分为 11 大类:电气、生产作业、生活用火不慎、吸烟、玩火、自燃、雷击、静电、放火、不明原因、其他。2008 ~ 2011 年按火灾原因分类的火灾起数情况如图 1-6 所示。电气火灾在火灾总数中所占比例一般在 30% 左右,是引发火灾的最主要原因,且它的比例还有增长的趋势。实际上这与生产的发展和人民生活的改善密切相关。现代化的工厂与企业的用电规模都相当大,普通家庭中的电器设备也大量增加,而安装不合理或使用不当就会引起火灾。生活用火不慎火灾在火灾总数中所占比例在 20% 左右,是引发火灾的第二大原因。生产作业引发的火灾虽然在起数比例上相对较小,但是其导致的火灾损失仅次于电气火灾。

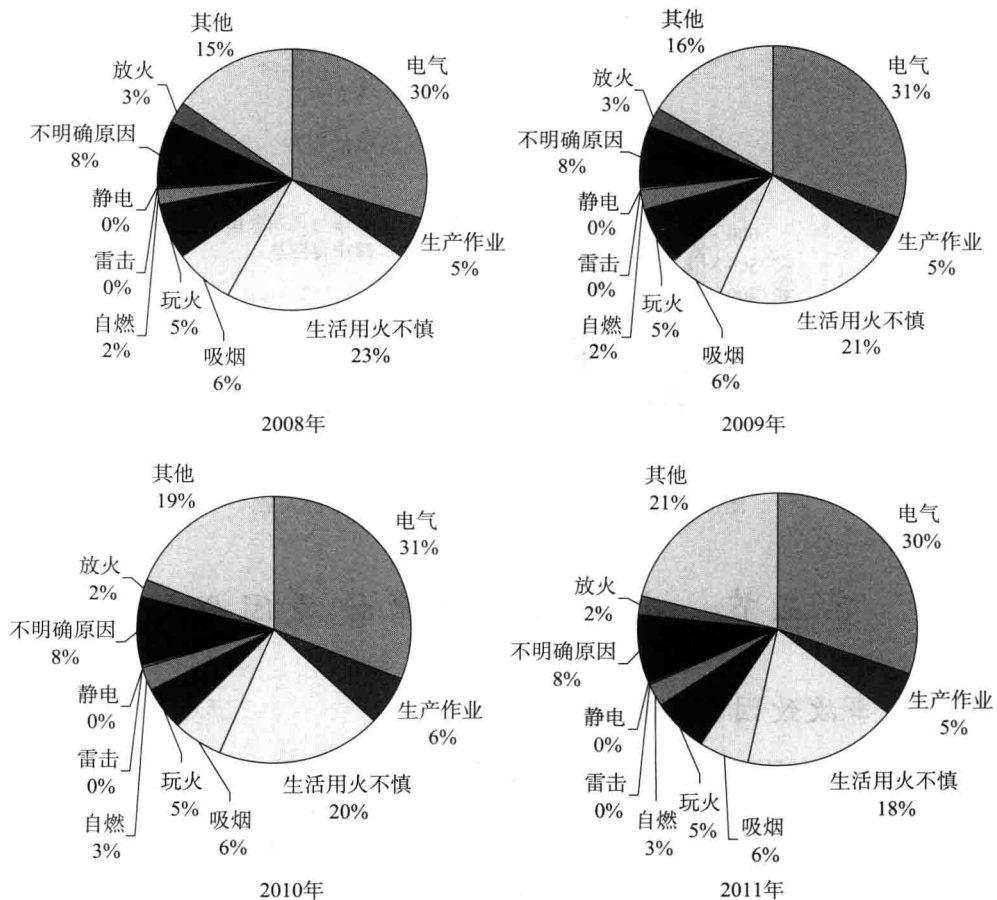


图 1-6 2008 ~ 2011 年按火灾原因分类的火灾起数

## 第四节 防火与防爆技术的发展

### 一、防火与防爆技术的发展过程

火在人类文明的历史进程中所起的作用是无法估量的。然而,它给人类造福的同时,也给