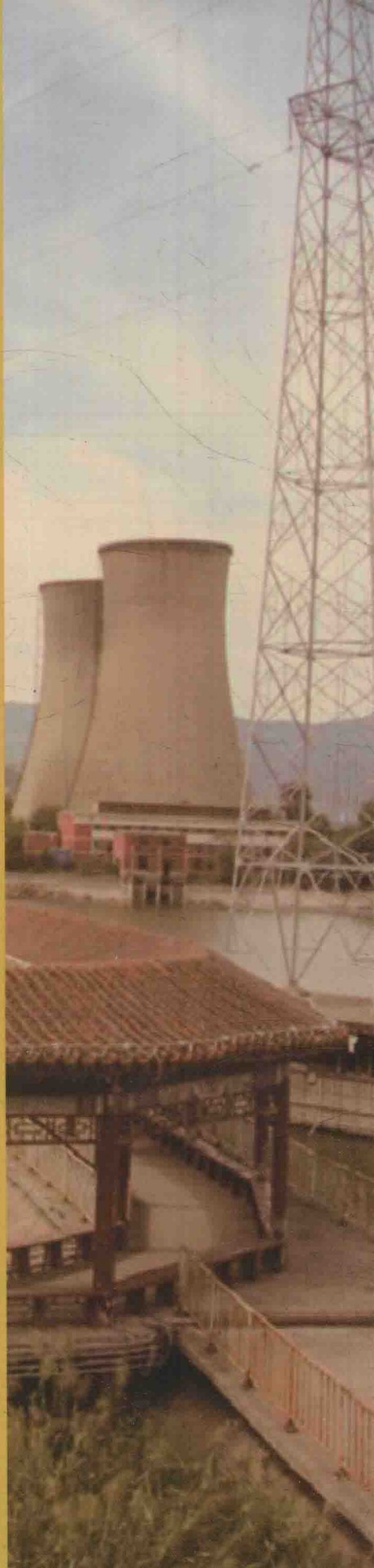


全国高等学校安全工程专业规划推荐教材

防火防爆技术

米华莉 主编

中国建筑工业出版社



全国高等学校安全工程专业规划推荐教材

防火防爆技术

米华莉 主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

防火防爆技术/米华莉主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 10

全国高等学校安全工程专业规划推荐教材

ISBN 978-7-112-21229-3

I. ①防… II. ①米… 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 (2017) 第 223080 号

本书结合我国安全生产的实际需要, 系统介绍了防火防爆技术的基本理论及实际应用。全书共分五章: 绪论; 防火基本原理; 防爆基本原理; 危险化学品的燃爆特性; 防火与防爆的基本技术措施。

本书可作为高等院校安全工程专业本科教材, 可指导学生系统学习燃烧与爆炸的基本理论和实质, 掌握火灾和爆炸事故发生的一般规律及原因分析, 熟悉制定防火与防爆条例的理论依据, 采取有效的防火与防爆技术措施; 也可作为企事业单位安全管理人员、安全技术人员、消防人员以及企业员工消防安全的培训教材, 同时也可作为安全评价师和注册安全工程师资格考试的学习参考资料。

本书提供配套课件, 如有需求请发邮件至 524633479@qq.com。

责任编辑: 张健 陈桦

责任校对: 李欣慰 张颖

全国高等学校安全工程专业规划推荐教材

防火防爆技术

米华莉 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12½ 字数: 276 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 30.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-21229-3

(30794)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

在人类发展的历史长河中，火，燃尽了茹毛饮血的野蛮历史；火，点燃了日新月异的现代文明。正如传说中所说的那样，火是具备双重性格的“神”。火给人类带来进步、光明和温暖，但是失去控制的火，就会给人类带来灾难。随着社会的不断发展，在社会财富日益增多的同时，导致发生火灾的危险性也在增多，火灾的危害性也越来越大。据不完全统计，进入 21 世纪以来，我国每年发生火灾均在 10 万起以上，每年火灾造成的直接经济损失达 10 亿元以上，每年因火灾死亡的人数多达一两千，严重威胁着国家和人民的生命财产安全。火灾发生的同时，往往还会引起剧烈的爆炸，其后果往往更加恶劣。因为爆炸是一种极为迅速的物理或化学的能量释放过程，设备损毁、房屋崩塌、人员伤亡等巨大损失就在这猝不及防的爆炸一瞬间灰飞烟灭。据不完全统计，国内近年来爆炸事故主要发生在煤矿井下、石油化工企业和烟花爆竹等高危行业，且多为重大和特别重大事故。

防火防爆技术是安全工程专业本科生必修的一门专业课，同时也是国内目前比较热门的安全评价师和注册安全工程师必考的安全技术科目的重要内容之一。本书系统介绍了燃烧和爆炸的理论机理，防火和防爆技术的基本理论和原则，危险化学品的燃爆特性及防护措施，防火与防爆的基本技术措施。

本书编者长期在高校一线教学，累积了多届安全工程专业本科生教学反馈，反复修改，力求层次分明，条理清晰，编排规范，结构合理，简明扼要，淡化复杂理论，突出实用，内容基本涵盖了安全工程专业与火灾爆炸事故预防相关的主要方面的基本知识，可满足 32~48 学时的教学内容。

本书多处引用有关法律法规和技术规范标准，若出现修订，应以最新的版本为准。

本书在编写过程中参考了大量资料和文献，在此对有关作者表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免有遗漏和不当之处，恳请读者批评指正。

目 录

绪论	1
0.1 课程性质和研究对象	1
0.2 课程学习意义和要求	1
0.3 火灾爆炸事故的特点	2
0.4 火灾爆炸事故的一般原因	4
0.5 防火防爆技术的发展	5
复习思考题	6
第1章 防火基本原理	7
1.1 燃烧的学说和理论	7
1.2 燃烧的类型与特征	10
1.3 防火技术基本理论	29
1.4 热值计算与燃烧温度	39
复习思考题	41
第2章 防爆基本原理	42
2.1 爆炸机理	42
2.2 爆炸极限及其计算	53
2.3 防爆技术基本理论	66
2.4 爆炸温度和爆炸压力的计算	68
复习思考题	71
第3章 危险化学品的燃爆特性	72
3.1 可燃气体	74
3.2 可燃液体	85
3.3 可燃固体	98
3.4 可燃粉尘	101
3.5 其他危险物质	109
3.6 爆炸性物质	116
复习思考题	121
第4章 防火与防爆的基本技术措施	123
4.1 火灾与爆炸的预防基本原则	123
4.2 工业建筑的防火防爆措施	124
4.3 预防形成爆炸性混合物	141
4.4 消除着火源	147
4.5 电气防火防爆	149

4.6 防雷和防静电	159
4.7 火灾与爆炸的监测	168
4.8 防火防爆安全装置	172
4.9 灭火措施	183
复习思考题	192
参考文献	193

绪 论

0.1 课程性质和研究对象

燃烧和爆炸及其预防理论是安全工程学科的基本理论之一。该学科的专业课程如锅炉安全、压力容器安全、电气安全、热加工安全、石油化工安全、安全评价等，都需要在防火与防爆基本理论的指导下，根据其工艺过程、原材料和设备等的燃爆危险特性，研究采取有效的防护技术措施，防止火灾和爆炸事故的发生。学习燃烧、爆炸及其预防理论和技术措施，是学习掌握有关专业课的基础，因此，本课程是安全工程的专业基础课。

本课程主要研究燃烧的基本原理、燃烧的类型及其特征，在此基础上研究火灾发生的一般规律、防火技术的基本理论、防火与灭火的基本技术措施以及灭火器材的使用；同时，研究爆炸机理及其分类，爆炸极限及其计算，爆炸温度和压力的计算，在此基础上研究发生爆炸事故的一般规律，防爆技术的基本理论，防爆的基本技术措施。然后综合燃烧和爆炸的基本理论和知识，研究易燃易爆危险化学品的燃烧和爆炸特征，讨论危险化学品生产贮存、生产工艺过程、生产使用设备和工业建筑等一般安全防护要点。

本课程着重研究讨论的内容有：

- (1) 燃烧机理和爆炸机理。
- (2) 防火与防爆的基本理论。
- (3) 工厂企业常用危险化学品的燃烧爆炸危险性。
- (4) 在上述理论的基础上讨论工业企业的防火防爆技术措施。

通过本课程的学习，要求着重掌握火灾和爆炸现象的实质，影响火灾和爆炸的主要技术参数；深刻理解防火与防爆的基本理论和实际应用；研究掌握采取各种安全措施的理论依据，并能够在实际工作中加以应用。

0.2 课程学习意义和要求

在工业企业中发生的火灾和爆炸事故具有很大的破坏性，它能导致大量人员伤亡、巨大财产损失，后果极为严重。所以认真研究火灾和爆炸的基本知识，掌握发生火灾爆炸事故的一般规律，采取有效的防火与防爆措施，对发展国民经济具有极其重要的意义。

- (1) 保护劳动者和广大人民群众的人身安全

发生火灾或爆炸事故不仅会造成操作者伤亡，而且还会危及在场的其他工作

人员,甚至会殃及周围的居民百姓。工业企业做好防火防爆工作,对保护生产力,促进经济建设具有重要的意义。

(2) 保护国家财产

火灾爆炸事故的发生往往会造成设备毁坏,建筑物倒塌,大量物资、资料化为乌有,企业停工停产,使国家财产蒙受巨大损失,所以防火防爆是实现工业企业安全生产的重要保障条件。

(3) 学科基础

防火防爆技术是安全工程的专业基础课之一,学好本课程将会给学习其他的诸多专业课程打下良好的基础。同时防火防爆基础知识和理论也是安全专业人士应当必备的职业技能,是我国注册安全工程师执业资格考试必考的内容。

学习本门课程要求熟悉理解燃烧与爆炸的基本理论和实质,掌握燃烧和爆炸发生的条件及一般规律,并能运用所学理论知识分析工业企业发生火灾和爆炸事故的一般原因;了解具有燃烧爆炸危险特性的化学品的类别、性质以及防范措施;掌握防火与防爆技术的基本理论,理解防火与防爆条例规程制定的理论依据,掌握火灾与爆炸防范的通用技术措施。

0.3 火灾爆炸事故的特点

燃烧和爆炸在本质上是相同的,因此火灾和爆炸事故的发生常常是相互联系,相互影响的。主要有以下特点。

1) 严重性

火灾和爆炸事故所造成的后果,往往是比较严重的。具体体现在:

(1) 巨大的经济损失

火灾爆炸事故造成的损失大大超过其直接财产损失。以火灾事故为例,在国外把火灾的直接财产损失、人员伤亡损失、扑救消防费用、保险管理费用以及投入的火灾防护工程费用统称为火灾代价。根据世界火灾统计中心以及欧洲共同体研究结果,大多数发达国家每年火灾损失约占国民经济总产值 GDP 的 0.2% 左右,而整个火灾代价约占国民经济总产值 GDP 的 1% 左右。在我国《火灾统计管理规定》(公安部、劳动部、国家统计局,公通字 [1996] 82 号公布,1997 年 1 月 1 日起施行)中,火灾损失分直接财产损失和间接财产损失两项统计。火灾直接财产损失是指被烧毁、烧损、烟熏和灭火中破拆、水渍以及因火灾引起的污染等所造成的损失。火灾间接财产损失是指因火灾而停工、停产、停业所造成的损失,以及现场施救、善后处理费用(包括清理火场、人身伤亡之后所支出医疗、丧葬、抚恤、补助救济、歇工工资等费用)。随着社会的不断发展,在社会财富日益增多的同时,导致发生火灾的危险性也在增多,火灾的危害性也越来越大。据统计,我国因火灾造成的直接经济损失,在 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,90 年代年均值为 10.6 亿元。相比之下,中国在 20 世纪 50 年代火灾造成的直接经济损失年平均值则仅为 0.6 亿元。而 21 世纪前 10 年中国的年均火灾直接经济损失已经达到了约 15 亿元,火灾造成

的直接经济损失正呈现随着工业化和城市的发展而相应增加的态势。如 1993 年深圳清水河仓库火灾爆炸事故的直接经济损失约 2.5 亿元, 1997 年北京东方化工厂火灾爆炸事故直接经济损失达 1.2 亿元。2009 年在建的中央电视台新台址园区文化中心特别重大火灾事故的直接经济损失达 1.6 亿多元。

(2) 人员伤亡惨重

火灾是在各种城市灾害中发生频繁的危害之一, 因此火灾爆炸导致的群死群伤事故时有发生。例如: 新疆克拉玛依友谊馆大火(死亡 325 人, 受伤 130 人, 1994 年 12 月 8 日)、西安液化石油气贮罐闪爆事故(死亡 11 人, 受伤 31 人, 1998 年 3 月 5 日)、河南东都商厦火灾(死亡 309 人, 2000 年 12 月 25 日)、衡阳特大火灾(消防人员牺牲 20 人, 2003 年 11 月 3 日)、吉林中百商厦火灾(死亡 54 人, 受伤 70 人, 2004 年 2 月 15 日)、深圳市龙岗区舞王俱乐部火灾(死亡 44 人, 受伤 64 人, 2008 年 9 月 20 日)、上海市静安区胶州路高层公寓火灾(死亡 58 人, 受伤 71 人, 2010 年 11 月 15 日)。

(3) 环境污染

火灾爆炸事故中产生的有害气体、液体污染环境, 给生态系统造成不同程度的破坏。例如: 2005 年 11 月 13 日下午在中石油所属的吉林石化公司 101 双苯厂一个化工车间发生的连续爆炸, 有 5 人死亡, 另有 1 人失踪、2 人重伤、21 人轻伤, 数万居民紧急疏散。爆炸导致松花江江面上产生一条长达 80km 的污染带, 主要由苯和硝基苯组成。污染带通过哈尔滨市, 该市经历了长达五天的停水。过了哈尔滨之后, 污染带继续从南向北移动, 流经佳木斯市等黑龙江省的多个市县, 造成了大范围的环境污染。

(4) 社会影响

火灾爆炸事故的发生易成为社会的不安定因素。现代社会网络通信四通八达, 信息传播速度极快, 范围极广。一旦发生爆炸或火灾等事故, 若政府管理部门不能及时或实时发布消息, 社会上将谣言四起、人心惶惶, 有可能造成不必要的恐慌或社会动荡。

2) 复杂性

由于发生火灾爆炸的建筑物不同、可燃物质与点火源的多样性、人员的复杂性、消防基础条件的不同, 使得这些事故的发生、发展状况都存在很大的差别。其中又以火灾和爆炸事故的发生原因尤为复杂。例如发生火灾和爆炸事故的条件之一——点火源, 就有明火、高温表面、撞击或摩擦、绝热压缩、化学反应热、物质的分解自燃、热辐射、电气火花、静电放电、雷电和日光照射等多种; 至于另一个条件——可燃物, 就更是种类繁多, 包括各种可燃气体、可燃液体和可燃固体, 特别是化工企业的原材料、化学反应的中间产物和化工产品, 大多属于可燃物质。再加上发生火灾爆炸事故后由于房屋倒塌、设备炸毁、人员伤亡等, 现场极其混乱, 给事故原因的调查分析带来不少困难。例如 1987 年 3 月 15 日 2 时 19 分发生的哈尔滨亚麻厂爆炸案, 爆炸把 1.3 万 m^2 的 3 个车间变成了一片废墟, 造成 58 人死亡, 100 多人受伤, 直接经济损失达 800 多万元。在当时的科学技术条件下, 专家对该起事故给出的结论性意见是: 由于爆炸后的事故现场破坏严重,

数据不足,难以确定本次爆炸事故的真正原因;多数专家认为这次亚麻粉尘爆炸是由中央除尘换气室南部除尘器首爆的,在布袋除尘器内静电引爆是有可能的;少数专家对此持否定意见。

3) 突发性

火灾和爆炸事故往往在人们意想不到的时候突然发生,而且发生地点有着很大的偶然性。同时灾害事故发展迅速,波及区域广泛,事态扩展方向具有较大的随机性,能够在很短时间内产生很大的破坏作用。尤其是爆炸事故,瞬间完成,摧毁性极大。

事故虽然存在着征兆,但一方面是由于目前对火灾和爆炸事故的监测、报警等手段的可靠性、实用性和广泛性等尚不理想。比如说燃气报警器作为预防燃气泄漏的有力武器,它的出现却似乎并没有引起人们应有的注意。国内某大城市每年因为家用燃气泄漏导致居民中毒或爆炸死亡的人数接近百人。而权威部门公布的另一项调查表明,在上海市 300 万左右的燃气用户中,安装家用燃气泄漏报警器的不足 10%。这个在安全防护上可以和家用灭火器相提并论,甚至是比灭火器更需要进入家庭,大多数家庭甚至不知道还有这样一个可以从根本上解决燃气中毒和燃气爆炸的“保护神”存在。

另一方面,则是因为至今还有相当多的人(包括作业人员和生产管理人员)对火灾和爆炸事故的规律及其征兆了解和掌握得不够,使火灾和爆炸的发生没有及时发现。例如某化工厂车间实验室的煤气管道年久失修而漏气,操作工人竟然划火柴去查找漏气的部位,结果引起爆炸,炸毁房屋 26 间和不少精密仪器,死伤 11 人,损失惨重。又如 2003 年 2 月 2 日哈尔滨天潭大酒店服务员在取暖煤油炉未熄火的状态下用溶剂油替代煤油进行加注,引起燃爆导致火灾,造成 33 人死亡。

0.4 火灾爆炸事故的一般原因

如前所述,火灾和爆炸事故的原因具有复杂性。但是生产过程中发生的事故主要是由于操作失误、设备的缺陷、环境和物料的不安全状态、管理不善等引起的。因此,火灾和爆炸事故的主要原因基本上可以从人、设备、环境、物料和管理等方面加以分析。

(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,火灾爆炸事故的人为因素比较突出(90%以上),不少事故与操作者的行为疏忽或缺乏有关的安全知识有关。例如 2000 年 12 月 25 日河南省洛阳市东都商厦因非法施工、电焊工违章作业引燃可燃物造成火灾,致使商厦歌舞厅内 309 人窒息死亡。2002 年辽宁省锦州市辽西石油化工产品经销公司的两辆油槽车和 3 个贮油罐发生火灾,事故的直接原因系油库卸油员在没有静电接地的情况下违章卸油,造成静电火花引爆油气所致。

(2) 设备的原因

设备设施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,制造工艺存在缺陷等都有可能造成火灾、爆炸事故

发生。例如反应容器设计不合理、结构形状不连续、焊缝布置不当等引起应力集中；设备材质选择不当、制造容器时焊接质量不合要求及热处理不当等使材料韧性降低；容器壳体受到腐蚀介质的腐蚀、强度降低等都可能使容器在生产过程中发生爆炸。在以往对反应压力容器爆炸事故的统计中，发现造成爆炸事故的主要原因就有设备的设计结构不合理以及设备制造方面的选材不对、焊接质量低劣。

(3) 物料的原因

主要是指在生产、贮存、运输各个环节中对具有固有危险性的原料、中间产品及成品未能采取相应的防火防爆措施。如可燃物质的自燃，各种危险物品的相互作用，在运输装卸时受剧烈震动撞击等。例如2002年中石化锦西分公司油罐发生火灾，直接原因是油罐内壁裸露出铁锈与氧气发生反应生成硫化铁自燃，并引燃处于爆炸极限范围内的石脑油蒸气。

(4) 环境的原因

如潮湿、高温、通风不良、雷击等自然条件未能达到标准要求而导致事故发生。例如1989年8月12日青岛黄岛油库五号油罐因雷击爆炸起火。

(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、照明设备等破损失修；生产管理人员不重视安全，不重视安全宣传教育和安全培训等。例如1997年6月27日北京东方化工厂火灾爆炸事故虽然其直接原因是操作失误，但根本原因却是企业在安全管理体制上存在严重疏漏，安全生产管理混乱，岗位责任制等规章制度不落实。

0.5 防火防爆技术的发展

在人类出现之前，火就已经存在于自然界。火对人类的发展有着巨大的贡献。古人发明用火，是第一次能源的发现，不仅结束了茹毛饮血的野蛮生活，会用火也成为人类跨入文明世界的一个重要标志，但是火灾却也与火如影相随。《说文解字》中对“火”的注释是：火，言毁也，物入中皆毁坏也。《左传·宣公十六年》中“凡火，人火曰火，天火曰灾”这都说明了火的巨大破坏性力量。而民间谚语中“贼偷两次不穷，火烧一把精光”，更是说明了火灾的冷酷无情。

多少年来，火灾一直是人们所遭遇的最主要灾害之一，因此防范和治理火灾的消防工作也就应运而生了。对于火灾，东汉史学家荀悦在《申鉴·杂言》中明确提出了“防为上，救次之，诫为下”的“防患于未然”的思想。

据有关资料记载，我国很早以前就设置火官，如周朝的“司燿”、“司烜”。宋朝时建立的以士兵组成的“潜火队”，是世界上较早建立的官办专职消防队；当时还组织了民间消防队伍，如南宋的“水铺”、“冷铺”，也是世界上较早出现的民间消防组织。20世纪初“消防”一词从日本舶来，才有消防队之称。1902年，我国建立了第一支消防警察队—天津南段巡警总局消防队。次年，北京也组建了消防警察队，随后哈尔滨、保定、南京、昆明、广州、沈阳、长沙等地相继建立消防队。这些消防队初建时均由当地警察厅、局直接管辖。

除了建立专业的消防机构和组织外,历代的封建王朝也都制定了有关防火的法律,重视依法治火。尽管与当代的防火法律法规相比确有不健全和不规范之处,但是在不同时期与火灾作斗争中,均发挥了较好的作用。

新中国成立前,在半殖民地半封建的历史条件下,消防事业得不到应有的重视和加强,同世界上经济发达国家相比,处于落后的状态。虽然从国外引进了消防警察的体制和少量近代消防技术设备,但是普及推广十分缓慢。

新中国成立后,党和政府非常重视防火与防爆工作,消防事业走上了振兴的道路。全国各大、中、小城市和县城,消防装备和器材逐步现代化。随着生产技术的发展,人们也越来越重视防火与防爆技术的研究。在上海、沈阳、天津、四川分别成立了隶属于公安部的消防研究所,在不少高校设置了相关专业,开设了防火与防爆课程,有的还设置了爆炸及防护研究所。1989年在中国科技大学成立了火灾科学国家重点实验室,1991年在北京理工大学成立了爆炸与科学技术国家重点实验室,这些都使得我国的防火与防爆科学技术水平和管理水平迅速提高。

我国非常重视防火与防爆工作的法制建设,1957年颁布实施《消防监督条例》,1998年4月29日颁布实施《中华人民共和国消防法》(2008年10月28日修订通过,修订后自2009年5月1日起施行),形成了较完整的消防法规体系。当前,我国关于防火、防爆安全法律,主要有《刑法》、《劳动法》、《安全生产法》、《矿山安全法》、《消防法》等法典法律。新中国成立以来,我国相继颁发实施的防火、防爆安全行政法规(规章),主要有消防、锅炉压力容器、矿山井下、化学工业等方面规定,比如《危险化学品安全管理条例》、《特种设备安全监察条例》、《煤矿安全监察条例》、《安全生产许可证条例》等。此外还有国家质量监督检验检疫总局和相关部委以强制性执行的国家标准形式颁发的一系列国家防火、防爆安全技术法规,如《建筑设计防火规范》、《石油化工企业设计防火规范》、《爆炸危险环境电力装置设计规范》等。防火、防爆安全的依法管理多年来成功地预防了大量火灾和爆炸事故的发生,并且有效地扑救了許多火灾,使我国火灾和爆炸事故的发生保持在较低水平。

复习思考题

1. 火灾爆炸事故的特点主要有哪些?结合近年来我国发生的一些典型性的火灾爆炸事故来谈。
2. 举例说明火灾爆炸事故的一般原因有哪些?

第 1 章 防火基本原理

人类学会用火，是跨入文明的一个重要标志。然而，人们在长期生产和生活实践中的经验表明，火既能造福于人类，也能给人类带来灾难。火灾就是失去控制的燃烧，是一种特殊的燃烧。为了科学合理的利用火，更为了有效预防火灾的发生，应当了解和掌握燃烧的基本理论和基础知识。

1.1 燃烧的学说和理论

1.1.1 燃烧的各种学说

在古代，人们对火有各种认识。例如，我国五行说中的“金、木、水、火、土”，古希腊四元说中的“水、土、火、气”，古印度四大说中的“地、水、火、风”，都有“火”。在古人看来，火是万物之源。但是受当时科学技术条件和生产力水平的限制，人们不可能揭示出火的本质。随着科学的发展，越来越多的人开始关注火，越来越多的科学工作者开始对燃烧现象进行观察研究，由此也产生了种种对燃烧现象的解释。

(1) 燃素说

17 世纪至 18 世纪以前，燃素说在欧洲流行了一个世纪，对当时的化学界影响很大。该学说认为：①火是由无数细小而活泼的微粒构成的物质实体，由这种火微粒构成的元素就是燃素；②所有可燃物都含有燃素，并且在燃烧时将燃素释放出来，变为灰烬，不含燃素的物质不能燃烧；③物质在燃烧时之所以需要空气，是因为空气能吸收燃素。燃素说曾解释过许多化学现象，但它始终没有说明燃素是由什么成分组成的物质。显然，这种学说的建立不是以科学根据为基础，而是凭空臆造出一个“燃素”来，实际上是唯心主义的，因而不能解释全部的燃烧现象，也必定经不起实践的检验。许多人也曾对它提出怀疑，但较长时间没有解开这个谜。

(2) 燃烧氧学说

1774 年英国化学家普利斯特利通过实验室制得了氧气，但由于他深受燃素学说的影响，未能对燃烧的本质进行创造性的发现。法国化学家拉瓦锡在普利斯特利发现氧气的基础上作了大量的科学试验，并对所有实验结果进行综合分析和归纳，推翻了当时流行已久的燃素学说，在 1777 年提出了关于火的氧化理论——燃烧氧学说，并在 1783 年出版的《关于燃素的回顾》中概括了其提出的燃烧氧学说。该学说认为：燃烧是可燃物与氧的化合反应，同时发光、放热。但是，燃烧氧学说仅解释了燃烧是可燃物与氧的化合反应，但这一反应是如何进行的，要经过哪些步骤，受哪些因素的影响等等，未能给予解答。

在燃烧氧学说的基础上,陆续有科学工作者提出了分子碰撞理论、活化能理论、过氧化物理理论来解释燃烧的反应过程,但都无法对燃烧的实质给予科学合理的解释。直到20世纪初,才由苏联科学家谢苗诺夫(H. H. Cemëhob)创建了燃烧的链式反应理论,并且得到了世界各国化学界的公认,是现代用来解释燃烧实质的基本理论。

1.1.2 链式反应理论

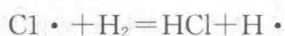
在20世纪20年代,由于化学动力学的发展,自由基(链)反应理论问世。这一理论无疑对燃烧学是一个很大推动。许多从事燃烧研究的科学家对这一理论非常感兴趣,他们把链反应理论应用于研究燃烧动力学。20世纪30年代,苏联科学家谢苗诺夫等人创建了燃烧的链式反应理论,解决了燃烧的历史问题,使人们对燃烧的本质有了更深刻的认识。

(1) 链式反应理论内容

链式反应理论认为物质的燃烧是一种游离基的连锁反应,而不是可燃物质和助燃物质的两个气态分子之间直接起作用。即可燃物质或助燃物质先吸收能量而离解为游离基,与其他分子相互作用发生一系列连锁反应,将燃烧热释放出来。

(2) 链式反应过程

以氯和氢的作用为例来说明链式反应的过程。氯在光的作用下被活化成活性分子,进一步离解成游离基,游离基作为活化中心在连锁反应步骤中,每次反应消失一个游离基,又同时产生一个游离基,于是构成一连串的连锁反应。



依此类推



上列反应式表明,最初的游离基(也称活性中心、自由基)是在某种能源的作用下生成的,产生游离基的能源可以是受热分解或光照、氧化、还原、催化和射线照射等。游离基是一种瞬变的不稳定的化学物质,它们可能是原子、分子碎片或其他中间物,它们由于具有比普通分子平均动能更多的活化能,所以其活动能力非常强,在反应中成为活性中心,容易与其他物质分子进行反应而生成新的游离基,或者自行结合成稳定的分子。因此,利用某种能源设法使反应物产生少量的活性中心游离基时,这些最初的游离基即可引起连锁反应,因而使燃烧得以持续进行,直至反应物全部反应完毕。在连锁反应中,若因某种原因活性中心全部消失,连锁反应就会中断,燃烧也就停止。

总的来说,链式反应机理大致可分为三步。

第一步,链引发。通过加热、光照或加入引发剂等方法产生游离基,使链式反应开始。

第二步，链传递。游离基和反应体系中其他参与反应的化合物分子发生作用，产生一个或几个新的游离基。新的游离基又参与反应，如此不断地进行下去。

第三步，链终止。由于游离基的消耗，使连锁反应终止。造成游离基消耗的原因是多方面的，如游离基相互碰撞生成分子，与掺入混合物中的杂质起副反应，与非活性的同类分子或惰性分子互相碰撞而将能量分散，撞击器壁而被吸附等。

(3) 链式反应分类

根据链传递方式的不同，可将链式反应分为直链反应和支链反应。

直链反应就是在链的传递中，一个游离基参加反应后只产生一个新的游离基。上述 H_2 与 Cl_2 的反应就是一个典型的直链反应。即活化一个氯分子可出现两个氯的游离基，也就是两个连锁反应的活性中心，每一个氯的游离基都进行自己的连锁反应，而且每次反应只引出一个新的游离基。尽管直链反应的链传递过程中，自由基的数目保持不变，但是链传递的速度是非常快的。据统计，每产生一个氯的自由基往往能循环反应生成 $10^4 \sim 10^6$ 个 HCl 分子，才能按照 $Cl \cdot + Cl \cdot = Cl_2$ 的方式终止，而这一循环一般发生在不到 1 秒的时间内，所以直链反应的速度也是非常快的。

支链反应是指一个游离基参加反应后产生两个或两个以上新的游离基。支链反应中有较多的游离基产生，游离基的数目在反应过程中是随时间增加的，因此反应速率是加速的，所以支链反应常常导致爆炸。 H_2 和 O_2 的燃烧反应就是支链反应。



依此类推



由于反应式 III 和 IV 各生成两个活化中心，因此，如图 1-1 所示，这些反应中连锁会分支。由此可见支链反应易于加速进行，发展成燃烧爆炸。

(4) 链式反应速度

链式反应进行的速度和反应物的浓度有关，也和链的传递和分支数目有关。游离基和非活性分子、惰性杂质、器壁相撞会因能量在气相或器壁上逸散而使活性中心消失，这些因素将降低链式反应速度。

链式反应速度 v 可用式 (1-1) 表示：

$$v = \frac{F(c)}{f_s + f_c + A(1 - \alpha)} \quad (1-1)$$

式中 $F(c)$ —— 反应物浓度函数；

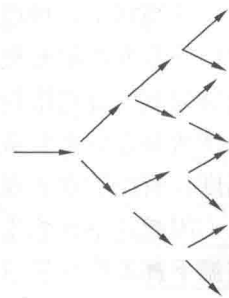


图 1-1 支链反应

f_s ——链在器壁上销毁因数；

f_c ——链在气相中销毁因数；

A ——与反应物浓度有关的函数；

α ——链的分支数，在直链反应中 $\alpha=1$ ，支链反应中 $\alpha>1$ 。

链式反应进行的条件，如温度、压力、杂质、容器材料以及容器的形状和大小等，都能影响反应速度。在一定的条件下，当 $f_s + f_c + A(1-\alpha) \rightarrow 0$ ，体系就会发生爆炸。

综上所述，链式反应理论认为在反应体系中可出现某种活性基团，只要这种活性基团不消失，反应就一直进行下去，直到反应完成。反应自动加速是通过反应过程中游离基的逐渐积累来达到反应加速的。系统中游离基数目能否发生积累是连锁反应过程中游离基增长因素与游离基销毁因素相互作用的结果。游离基增长因素占优势，系统就会发生游离基积累。

1.2 燃烧的类型与特征

根据燃烧的起因和剧烈程度的不同，燃烧可分为闪燃、自燃以及着火三种类型。每种类型各有特点，研究防火技术，就必须具体地分析每一类型燃烧发生的特殊原因及其特点，才能有针对性地采取行之有效的防火措施。

1.2.1 闪燃与闪点

闪燃是可燃性液体的特征之一。

1) 现象与概念

任何液体的表面都有一定量的蒸气存在，蒸气的浓度取决于该液体的温度。对于同一种液体，温度越高，蒸发出的蒸气亦越多，蒸气的浓度越大。液体表面的蒸气与空气混合会形成可燃性混合气体。当液体升温至一定温度，蒸气达到一定的浓度时，如有火焰或炽热物体靠近此液体的表面，就会发生一闪即灭（延续时间少于5s）的燃烧，这种燃烧现象叫闪燃。在规定的实验条件下，液体发生闪燃的最低温度，叫作闪点。

应当指出，可燃液体之所以会发生一闪即灭的闪燃现象，是因为它在闪点的温度下蒸发速度较慢，所蒸发出来的蒸气仅能维持短时间的燃烧，而来不及提供足够的蒸气补充维持稳定的燃烧。也就是说，在闪点温度时，燃烧的仅仅是可燃液体所蒸发的那些蒸气，而不是液体自身在燃烧，即还没有达到使液体能燃烧的温度，所以燃烧表现为一闪即灭的现象。

闪燃这个概念主要适用于可燃性液体，某些固体如石蜡、萘和樟脑等，能在室温下挥发或缓慢蒸发（升华），因此也会发生闪燃现象，也有闪点。例如，木材的闪点为260℃左右，部分塑料的闪点见表1-1。

2) 闪点与火灾危险性的关系

闪点是评定液体火灾危险性的主要根据。常见可燃液体的闪点见表1-2。液体的闪点越低，火灾危险性则越大。如乙醚的闪点为-45℃，煤油为43~72℃，说明乙醚不仅比煤油的火灾危险性大，而且还表明乙醚具有低温火灾危险性。在实际

部分塑料的闪点

表 1-1

材料名称	闪点 (°C)	材料名称	闪点 (°C)
聚苯乙烯	370	聚氯乙烯	530
聚乙烯	340	苯乙烯、异丁烯酸甲酯共聚物	338
乙烯纤维	290	聚氨基甲酸乙酯泡沫	310
聚酰胺	420	聚酯+玻璃钢纤维	298
苯乙烯丙烯腈共聚树脂	366	密胺树脂+玻璃纤维	475

常见可燃液体的闪点

表 1-2

序号	物质名称	分子式	分子量	沸点(°C)	闪点(°C)
1	正戊烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	72.2	36.1	<-60
2	异戊烷	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3$	72.2	27.8	-56
3	正己烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	86.2	68.7	-25.5
4	正庚烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$	100.2	98.5	-4
5	辛烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$	114.22	125.8	12
6	壬烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$	128.26	150.8	31
7	癸烷; 十碳烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$	142.29	174.1	46
8	甲基环戊烷	C_6H_{12}	84.16	71.8	-18
9	甲基环己烷	C_7H_{14}	98.18	100.3	-4
10	苯乙烯	C_8H_8	104.14	146	34.4
11	对甲基苯乙烯	C_9H_{10}	118.17	172.8	60
12	苯	C_6H_6	78.11	80.1	-11
13	甲苯	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_3$	92.14	110.6	4
14	二甲苯	C_8H_{10}	106.17	139	25
15	三甲苯	C_9H_{12}	120.19	176.1	48
16	乙苯	C_8H_{10}	106.16	136.2	15
17	萘	C_{10}H_8	128.16	217.9	78.9
18	石脑油; 原油				<-18
19	煤焦油; 煤膏				<23
20	0号柴油				56
21	-10号柴油				48
22	-20号柴油				36
23	煤油				43~72
24	车用汽油				-42
25	乙醚	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OC}_2\text{H}_5$	74.12		-45
26	丙醚	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	102.18		-21
27	石油醚				<-20
28	甲醇; 木酒精	CH_4O	32.04		11
29	乙醇	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	46.07		12