

安全第一 预防为主



# 石油化工安全技术

中国石油化工集团公司安全环保局 编

初 级 本

中国石化出版社

# 石油化工安全技术

(初级本)

中国石油化工集团公司安全环保局 编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书从石油化工生产中普遍存在高温高压、易燃易爆、有毒介质这一特点出发,广泛收集了各种典型事故实例进行分析。并密切联系生产实际,系统介绍了石油化工生产中的防火防爆、电器安全、静电危害及其防护、压力容器与工业管道,以及消防、工业尘毒和噪声的危害与预防等方面的基础知识,同时写入了安全技术、安全检修,以及预防人的失误而造成的事故等内容。

本书可作为石化工人的安全技术培训教材,亦可作为从事石油化工生产的技术人员、管理干部的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油化工安全技术:初级本/中国石油化工集团公司  
安全环保局编.

—北京:中国石化出版社,2003  
ISBN 7-80164-362-3

I.石… II.中… III.石油化工-安全技术-技术培训-教材 IV.TE687

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 020070 号

### 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

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

E-mail: [press@sinopec.com.cn](mailto:press@sinopec.com.cn)

北京精美实华图文制作中心排版

河北省徐水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 11 印张 279 千字 印 1—3000

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月第 1 次印刷

定价: 20.00 元

# 前 言

安全生产是石油化工企业永恒的主题，是企业的生命线，是企业赖以生存和发展的基础和保障。石油化工安全生产涉及的行业和职业范围广，生产环境条件苛刻，过程连续性强，原料及产品多为易燃易爆、有毒有害有腐蚀的物质，生产技术复杂，设备种类繁多，稍有不慎，容易发生事故，造成人员的伤亡和国家财产的损失。石化企业的每个职工、每项工作都同安全生产有着直接或间接的关系，虽然处在不同的工作岗位，职责不同，但任何岗位和个人都有安全生产、预防事故、防止伤害的问题，都有不断提高安全素质的问题。往往操作者在关键危急时刻临时处置正确与否关系到群体的生死、巨额财产的存毁。必须认识个人与群体在保障安全之间的重要性，使人人都有与本职工作相适应的安全技术素质，尤其是操作者之间的相互帮助与监督，是预防管理疏忽和操作失误，发现事故苗头，及时排除危险的重要因素。因此，强化每个职工的安全意识，接受职业安全知识与安全技术培训就显得格外重要。

《石油化工安全技术》(初级本)自1987年10月出版以来，作为初级安全技术培训教材，对推动石化职工安全教育起到了积极作用。随着石油化工工业的发展、安全科学技术水平的提高，新技术、新工艺、新设备、新标准、新规范的相继涌现，作为直接服务于生产的安全技术培训教科书的“初级本”，需要与目前的情况相适应，旧的过时的东西要去除，新的要补充进来，因此有必要进行再版修订。

根据《石油化工安全技术》(初、中、高)编审委员会的讨论意见和讨论方案，由编写组在广泛征求企业意见的基础上，对原初级本进行了补充修订，完成了这项工作。

《石油化工安全技术》(初级本)的再版发行，为搞好石化系统职工的安全技术教育，提供了教材。本书全面系统地介绍了石化安全技术方面的基础知识，既有理论上的阐述，又有实践经验的总结，不仅可以作为石化工人的安全技术培训教材，而且可作为从事石化生产的技术人员、管理干部的参考书。

石化安全技术涉及面广、技术性强，新技术新问题不断出现，发展很快，恳请广大读者不拘形式地提出宝贵意见，对错误之处予以指正。

## 审 查 委 员 会

主 任 翟 齐

副主任 高维民 张继田

委 员(按姓氏笔画)

丁慧德 王广生 宁文生 毛协柱 冯 澜

刘继舜 张晓鹏 何英杰 岳俊德 周自忠

周建明 施代权 杨乃义 温德超 谭风贵

## 编 委 会

谢文璧 高维民 胡安定 王广生 王子康 王登文

宁文生 李阴中 冯 澜 王力建 王金祐

## 编 写 组

冯 澜 李式曾 田 广 尹 健 贾 方 冯文萍

李清云 郝 伟 王新义 高振凌 王力建 王金祐

# 目 录

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| <b>第一章 绪论</b> .....            | ( 1 )   |
| 第一节 石油化工生产的特点.....             | ( 1 )   |
| 第二节 事故发生的主要原因.....             | ( 2 )   |
| 第三节 安全技术 in 石油化工生产中的重要性.....   | ( 3 )   |
| 第四节 坚持“安全第一，预防为主”的方针.....      | ( 4 )   |
| 第五节 企业安全工作要点.....              | ( 4 )   |
| <b>第二章 防火防爆技术</b> .....        | ( 6 )   |
| 第一节 燃烧.....                    | ( 6 )   |
| 第二节 爆炸.....                    | ( 11 )  |
| 第三节 液化石油气.....                 | ( 15 )  |
| 第四节 防火防爆的基本措施.....             | ( 20 )  |
| <b>第三章 电气安全技术</b> .....        | ( 31 )  |
| 第一节 预防人身触电.....                | ( 31 )  |
| 第二节 电气防火防爆.....                | ( 37 )  |
| 第三节 防雷保护.....                  | ( 42 )  |
| <b>第四章 静电危害及其防护</b> .....      | ( 46 )  |
| 第一节 静电的产生及危害.....              | ( 46 )  |
| 第二节 防止静电危害的基本措施.....           | ( 48 )  |
| <b>第五章 压力容器与工业管道</b> .....     | ( 52 )  |
| 第一节 压力容器基本知识.....              | ( 52 )  |
| 第二节 锅炉基本知识.....                | ( 56 )  |
| 第三节 压力容器的安全附件.....             | ( 58 )  |
| 第四节 压力容器的安全运行.....             | ( 60 )  |
| 第五节 气瓶.....                    | ( 61 )  |
| 第六节 液化气体罐车.....                | ( 68 )  |
| 第七节 压力管道.....                  | ( 72 )  |
| <b>第六章 消防</b> .....            | ( 78 )  |
| 第一节 消防工作的意义、方针和任务.....         | ( 78 )  |
| 第二节 灭火剂.....                   | ( 79 )  |
| 第三节 灭火的基本方法.....               | ( 88 )  |
| 第四节 灭火器.....                   | ( 89 )  |
| 第五节 几种常见的初起火灾扑救.....           | ( 98 )  |
| <b>第七章 工业尘毒和噪声的危害与预防</b> ..... | ( 103 ) |
| 第一节 工业毒物及其危害.....              | ( 103 ) |
| 第二节 生产性粉尘及其危害.....             | ( 110 ) |

|            |                    |       |
|------------|--------------------|-------|
| 第三节        | 防止和减少尘毒            | (112) |
| 第四节        | 工业噪声的危害及防护         | (117) |
| <b>第八章</b> | <b>石油化工操作安全技术</b>  | (121) |
| 第一节        | 安全操作基本知识           | (121) |
| 第二节        | 炼油化工单元操作安全技术       | (134) |
| <b>第九章</b> | <b>装置安全检修</b>      | (147) |
| 第一节        | 生产装置检修的安全管理        | (147) |
| 第二节        | 装置停车的安全与处理         | (150) |
| 第三节        | 装置安全检修             | (153) |
| 第四节        | 装置检修后的开车           | (159) |
| <b>第十章</b> | <b>预防人的过失造成的事故</b> | (162) |
|            | 参考文献               | (168) |

# 第一章 绪 论

以石油、油田气或天然气作为原料，采取不同工艺，经过化工过程制取油品、化工原料，化工中间体和化工产品的工业，叫做石油化工工业。

石油化工是我国国民经济重要的能源和原材料工业，也是资金和技术密集型工业，发展石化工业需要投入巨额资金。石油化工工业主要包括炼油、石油化工、化纤和化肥四大行业，目前已经发展成为国民经济的支柱产业之一，因而占有重要位置。石油化工产品与生产建设、人民生活密切相关，广泛应用于飞机、船舶、汽车等交通运输业、制造业、建筑业以及农业，而且成为国防工业和尖端科学技术必不可少的原料，因此，石油化学工业为促进其他工业的发展，提高人民的生活水平起着积极的作用。

鉴于石油化工生产的重要位置以及其所潜在的危险因素，安全生产的难度很大，因而，实现石油化工的安全生产至关重要。

## 第一节 石油化工生产的特点

随着石油化学工业的迅速发展，也为我们提出了新的课题，即安全生产问题。石油化工生产从安全的角度分析，不同于冶金、机械制造、基本建设、纺织和交通运输等部门，有其突出的特点。具体表现在：

### 1. 易燃易爆

石油化工生产，从原料到产品，包括工艺过程中的半成品、中间体、溶剂、添加剂、催化剂、试剂等，绝大多数属于易燃易爆物质，还有爆炸性物质。它们又多以气体和液体状态存在，极易泄漏和挥发。尤其在生产过程中，工艺操作条件苛刻，有高温、深冷、高压、真空，许多加热温度都达到和超过了物质的自燃点，一旦操作失误或因设备失修，便极易发生火灾爆炸事故。另外，就目前的工艺技术水平看，在许多生产过程中，物料还必须用明火加热；加之日常的设备检修又要经常动火。这样就构成一个突出的矛盾，即怕火，又要用火，再加之各企业及装置的易燃易爆物质储量很大，一旦处理不好，就会发生事故，其后果不堪设想，以往所发生的事故，都充分证明了这一点。

### 2. 毒害性

石油化工生产，有毒物质普遍地大量地存在于生产过程之中，其种类之多，数量之大，范围之广，超过其它任何行业。其中，有许多原料和产品本身即为毒物，在生产过程中添加的一些化学性物质也多属有毒的，在生产过程中因化学反应又生成一些新的有毒物质，如氰化物、氟化物、硫化物、氮氧化物及烃类毒物等。这些毒物有的属一般性毒物，也有许多高毒和剧毒物质。它们以气体、液体和固体三种状态存在，并随生产条件的变化而不断改变原来的状态。此外，在生产操作环境和施工作业场所，还有一些有害的因素，如工业噪声、高温、粉尘、射线等。对这些有毒有害因素，要有足够的认识，采取相应措施，否则不但会造成急性中毒事故，还会随着时间的增长，即便是在低浓度(剂量)条件下，也会因多种有害因素对人体的联合作用，影响职工的身体健康，导致发生各种职业性疾病。



### 3. 腐蚀性强

石油化工生产过程中的腐蚀性主要来源于：其一，在生产工艺过程中使用一些强腐蚀性物质，如硫酸、硝酸、盐酸和烧碱等，它们不但对人有很强的化学性灼伤作用，而且对金属设备也有很强的腐蚀作用。其二，在生产过程中有些原料和产品本身具有较强的腐蚀作用，如原油中含有硫化物，常将设备管道腐蚀坏。其三，由于生产过程中的化学反应，生成许多新的具有不同腐蚀性的物质，如硫化氢、氯化氢、氮氧化物等。根据腐蚀的作用机理不同，腐蚀分为化学性腐蚀、物理性腐蚀和电腐蚀三种。腐蚀的危害不但大大降低设备使用寿命，缩短开工周期，而且更重要的是他可使设备减薄、变脆，承受不了原设计压力而发生泄漏或爆炸着火事故。

### 4. 生产的连续性

制取石油化工产品，生产的工序多，过程复杂，随着社会对产品的品种和数量需求日益增大，迫使石油化工企业向着大型的现代化联合企业方向发展，以提高加工深度，综合利用资源，进一步扩大经济效益。其生产具有高度的连续性，不分昼夜，不分节假日，长周期的连续倒班作业。在一个联合企业内部，厂际之间，车间之间，管道互通，原料产品互相利用，是一个组织严密，相互依存，高度统一不可分割的有机整体。任何一个厂或一个车间，乃至一道工序发生事故，都会影响到全局。

基于上述特点，加之我们对其认识不足，在企业管理上存在漏洞，所以有些企业曾发生过不少事故，有些事故也是相当严重的。如某厂气体分馏装置在正常生产过程中，突然因管线断裂，大量丙烷气体泄出，并迅速扩散到临近装置加热炉，遇明火而发生严重爆炸着火事故，不但使本装置造成摧毁性的破坏，而且使邻近的装置乃至居民区也遭到不同程度的损失，事故中造成 85 人伤亡。又如某市煤气公司液化石油气储罐站，因一个球罐破裂跑气发生爆炸着火，又发生连锁反应，导致整个储罐区共 12 个储罐全部被摧毁，死伤 86 人。在国外的同类企业中，这类事故也不少。如 1984 年 11 月 19 日 5 时 40 分，墨西哥的首都近郊，国家石油公司所属的一个液化气供应中心站，发生瓦斯爆炸着火，使五十四个储罐及设施全部被摧毁，死亡 490 人，四千多人受伤，九百多人失踪，经济损失巨大。又如 1984 年 12 月 3 日零时五十六分，印度一家农药厂，发生甲基异氰酸酯毒气泄漏事件，造成二千五百人死亡，五万人双目失明，十万人终身致残。1994 年 11 月 2 日，埃及艾斯龙特市石油基地储油罐区遭雷击起火，死亡 500 人。该油罐区贮石油 15000 吨，距居民区 200 米，但贮罐区地势较高，火灾后，燃烧着的石油顺水流下而燃成火海。1998 年 10 月 18 日，尼日利亚发生严重的输油管道泄漏火灾，造成 700 人丧生，原因是数百名村民争抢流淌出来的石油，此时，摩托车驶过，引起火灾。

## 第二节 事故发生的主要原因

发生事故，其原因是多方面的，除自然灾害外，主要有以下几种原因：

(1) 设计上的不足。例如厂址选择不好，平面布置不合理，安全距离不符合要求，生产工艺不成熟等，从而给生产带来难以克服的先天性的隐患。

(2) 设备上的缺陷。如设计上考虑不周，材质选择不当，制造安装质量低劣，缺乏维护及更新等。

(3) 操作上的错误。如违反操作规程，操作错误，不遵守安全规章制度等。

(4) 管理上的漏洞。如规章制度不健全，隐患不及时消除、治理，人事管理上不足，工人缺乏培训和教育，作业环境不良，领导指挥不当等。

(5) 不遵守劳动纪律，对工作不负责任，缺乏主人翁责任感等。

综上所述，造成事故的根本原因主要在于人的过错。上述列举的五条事故起因，无不与人相关。事故既然主要是有人造成的，那么人就必须想方设法去控制事故的发生。

世界上一切事物的发生、发展和消亡，都有它内在的因素和客观条件，都是有一定规律的，事故的发生和消灭也有规律可循。如石油化工企业常见的机泵抱轴事故，大部分是因缺油失去润滑而造成的，如果按规定的润滑油质量标准定时、定点、定量的加油，保证润滑，则不会发生抱轴事故。又如动火也较易发生着火爆炸事故，如果严格的执行用火管理制度，落实防火措施，也不会出事故。石油化工企业在安全生产上有许多不利因素，但并非一定发生事故。只要充分了解生产过程中的不安全因素，采取相应措施，事故是可以防止的。事实上有许多企业没有发生过较大事故，多年实现了安全生产。

### 第三节 安全技术 in 石油化工生产中的重要性

#### 一、安全技术

生产过程中存在着一些不安全或危险的因素，危害着工人的身体健康和生命安全，同时也会造成生产被动或发生各种事故。为了预防或消除对工人健康的有害影响和各类事故的发生，改善劳动条件，而采取各种技术措施和组织措施，这些措施的综合叫做安全技术。

#### 二、安全技术的重要性

安全技术是劳动保护科学的重要组成部分，是一门涉及范围广、内容丰富的边缘性学科。

安全技术是生产技术发展过程中形成的一个分支，它与生产技术水平紧密相关。随着石油化工生产的不断发展，石油化工安全技术也随之不断充实和提高。

安全技术的作用在于消除生产过程中的各种不安全因素，保护劳动者的安全和健康，预防伤亡事故和灾害性事故的发生。采取以防止工伤事故和其他各类生产事故为目的的技术措施，其内容包括：

- (1) 直接安全技术措施，即使生产装置本质安全化；
- (2) 间接安全技术措施，如采用安全保护和保险装置等；
- (3) 提示性安全技术措施，如使用警报信号装置、安全标志等；
- (4) 特殊安全措施，如限制自由接触的技术设备等；
- (5) 其他安全技术措施，如预防性实验，作业场所的合理布局，个体防护设备等。

从上述情况看，安全技术所阐述的问题和采取的措施，是以技术为主，是借安全技术来达到劳动保护的目，同时也要涉及有关劳动保护法规和制度、组织管理措施等方面的问题。因此，安全技术对于实现石油化工安全生产，保护职工的安全和健康发挥着重要作用。

#### 三、安全技术的内容

安全技术是劳动保护科学中的一个学科，它可以分为“产业(部门)劳动保护学”，如煤矿安全技术、冶金安全技术、机械制造安全技术、建筑工程安全技术等等；“专门劳动保护学”，如电气安全技术、工业锅炉安全技术、起重安全技术等等。

本书中，安全技术的内容主要有：

- (1) 防火防爆安全技术；
- (2) 电气安全技术；
- (3) 压力容器与工业管道安全技术；
- (4) 锅炉安全技术；
- (5) 工业卫生和防尘防毒安全技术；
- (6) 石油化工生产装置检修安全技术；
- (7) 石油化工操作安全技术；
- (8) 安全控制和检测安全技术；
- (9) 地震和抗震安全技术；
- (10) 安全管理等。

安全技术是一门科学，所以必须努力学习并尽快掌握它，否则要想做到安全生产是比较困难的。

#### 第四节 坚持“安全第一，预防为主”的方针

安全第一，预防为主，是我国安全生产的总方针，它明确了安全的重要地位，是我们处理安全同各项工作的关系及确定安全工作的根本依据。

江泽民同志指出：“要坚决树立安全第一的思想，任何企业都要努力提高经济效益，但是必须服从安全第一的原则”，安全生产工作“人命关天的事，一定要慎之又慎，确保万无一失”。安全生产工作关系到国家和人民生命财产安全，关系到人民群众的切身利益，它是企业的生命线，是维持生产的重要条件，是企业生产正常进行的最大保障。为此，每一个职工都必须坚持“安全第一，预防为主”的方针，把安全生产作为头等大事，谁不认识或忽视这一点，谁就会犯大错误，扮演害人、害己、害企业的悲剧角色。安全生产，人人有责。企业中的每项工作，都同安全生产有着直接或间接关系，承担这些工作的每个职工虽然处在不同的工作岗位，职责不同，但都同安全生产相互联系，任何工作岗位和个人本身都有预防事故、防止伤害和被伤害的问题。往往操作者在关键危急时刻临时处置正确与否关系到群体的生死，巨额财产的存毁。要坚持安全生产方针，就要认真学习国家安全生产的政策、法律、法规和企业的安全生产规章制度，在自己的工作岗位上认真执行，做好每一项工作，这既是对国家、对企业负责，也是对自己负责。要努力提高自己的安全技术素质，熟悉自己岗位及范围内的安全生产规律，每个职工都应具有一定的安全技术知识，熟练的技术和操作技能，严格执行安全生产责任制、工艺规程和岗位操作规程。只要我们认真从自己做起，做好本职安全工作，把安全工作落到了实处，安全生产才有保证。

#### 第五节 企业安全工作要点

##### 1. 加强对安全工作的组织领导

搞好安全生产，领导重视、加强组织领导是关键。企业的主要领导要亲自抓安全工作，在组织生产时把安全放在第一位，做到生产和安全的“五同时”，即在计划、布置、检查、总结、评比生产的同时，要计划、布置、检查、总结、评比安全工作。要建立健全安全监督机构、部门，组成安全管理网络，形成安全生产保证体系，各企业生产车间、装置、班组都要

配齐安全工程技术人员。

## 2. 落实安全生产责任制

安全生产责任制是根据安全生产法规建立的各级领导、职能部门、工程技术人员、岗位操作人员在劳动生产过程中对安全生产层层负责的制度，是企业安全生产、劳动保护管理制度的核心，要切实贯彻执行，做到人人、事事，有章可循。要是每个职工具有安全生产法制观念，做到有法可依，又章必循，违法必究。

## 3. 加强对重点装置、要害部位的监控

重点生产装置、要害部位、生产现场一旦出现问题、发生事故，后果不堪设想。要加强对这些地方的安全监控，巡回检查，发现隐患，及时整改。

## 4. 开展安全检查

安全检查是建立良好的安全环境和生产秩序，保证做好安全工作的重要手段，要坚持普遍检查与专业检查相结合，做到安全检查制度化、经常化。

## 5. 抓紧隐患治理

要及时发现事故苗头，开展隐患评估工作。无论是老企业或是新建企业，随着生产的发展，都会不断暴露出一些隐患问题，对此，一定要高度重视，隐患不消除，早晚会酿成事故。所以一定要落实方案、资金、时间、负责人，限期整改解决。

## 6. 应用新的安全技术和装备

随着科学技术的发展，新的安全技术和装备也有了长足的进步，先进的安全连锁装置、报警系统、紧急停车设施大量应用于生产装置，提高了安全可靠性和提高了工艺和设备的防灾抗灾能力。

## 7. 做好消防工作

防火防爆是石油化工行业安全的重点工作，因而做好企业的消防工作十分重要。“预防为主，防消结合”是我国的消防工作方针，企业要把防火与灭火紧密地结合起来，争取同火灾做斗争的主动权，避免火灾爆炸事故，保障安全生产。

## 8. 开展安全教育

不断提高全员安全意识和安全技能，牢固树立“安全第一”的思想，使其行为符合规章制度的要求，这是一项长期而艰巨的工作，必须持之以恒，常抓不懈。从企业领导，各级干部、管理者、工程技术人员，工人都要接受安全教育培训，使其具有相应的安全技术素质，持证上岗。

## 第二章 防火防爆技术

### 第一节 燃 烧

#### 一、燃烧及燃烧条件

##### (一) 燃烧

燃烧是一种放热发光的化学反应，也就是化学能转变成热能的过程。在日常生活、生产中所见的燃烧现象，大都是可燃物质与空气(氧)或其它氧化剂进行剧烈化合反应而发生发热发光的现象。实际上燃烧有的是化合反应，也有的是分解反应。

简单可燃物质的燃烧，只是元素与氧的化合。

例： $C + O_2 = CO_2$ ； $S + O_2 = SO_2$

复杂物质的燃烧，则先是物质的受热分解，后是化合反应。

例： $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$

燃烧的化学反应具有放热、发光、生成新物质三个特征，这是区分燃烧和非燃烧现象的依据。例如，电灯在照明时放出了光和热，但这是物理现象，因为它没有发生化学反应，没有新物质生成，所以，不能称为燃烧；铜和稀硝酸反应虽然生成了新物质硝酸铜，但没有产生光和热，也不叫燃烧。燃烧也不只限于可燃物与氧的化合，金属钠、赤热的铁在氧气中反应，具有放热、发光、生成新物质等三个特征，所以也叫燃烧。然而可燃物和空气中的氧所起的反应毕竟是最普遍的，在火灾爆炸事故的原因中也是最常见的。

##### (二) 燃烧的条件

燃烧的发生，必须同时具备三个条件：

(1) 可燃物。凡是能与空气中的氧或其它氧化剂起燃烧反应的物质，均称为可燃物。如汽油、液化石油气、木材等。

(2) 助燃物。凡是能帮助和支持燃烧的物质，均称为助燃物。如空气、氧气、高锰酸钾等，常见的有空气和氧气。

(3) 着火源。凡是能引起可燃物质发生燃烧的热能源，均称作着火源。如明火、摩擦、撞击、高温表面、自然发热、化学能、电火花、聚集的日光和射线等。

实际发生燃烧不仅要具备三个要素，还要求可燃物和助燃物达到适当的比例，着火源必须具有一定的强度，否则即使同时具备了上述三个条件燃烧也不能发生。

首先，要燃烧就必须使可燃物与氧达到一定的比例，如果空气中的可燃物数量不足，燃烧就不会发生。如：在室温(20℃)的同样条件下用火柴去点汽油和柴油时，汽油会立刻燃烧，柴油则不燃，这是因为柴油在室温下蒸气浓度(数量)不足，还没有达到燃烧的浓度。虽有可燃物质，但其挥发的气体或蒸汽量不足够，即使有空气和着火源的接触，也不会发生燃烧。

其次，要使可燃物质燃烧，必须供给足够的助燃物，否则，燃烧就会逐渐减弱，直至熄灭。如：点燃的蜡烛用玻璃罩罩起来，不使空气进入，短时间内，蜡烛就会熄灭。通过对玻璃罩内气体的分析，发现还含有 16% 的氧气。这说明，一般可燃物质在空气中的氧含量低

于 16% 时，就不能发生燃烧。

再次，要发生燃烧，着火源必须有一定的温度和足够的能量，否则燃烧就不能发生。例如，从烟囱冒出来的碳火星，温度约有  $600^{\circ}\text{C}$ ，已超过了一般可燃物的燃点，如果这些火星落在易燃的柴草或刨花上，就能引起燃烧，这说明这种火星所具有的温度和热量能引起这些物质的燃烧；如果这些火星落在大块木料上，就会很快熄灭，不能引起燃烧，这就说明这种火星虽有相当高的温度，但缺乏足够的热量，因此不能引起大块木料的燃烧。

总之，要使可燃物质燃烧，不仅要具备燃烧的三个条件，而且每一个条件都要具有一定的量，并且彼此相互作用，否则就不会发生燃烧。对于正在进行着的燃烧，若消除其中任何一个条件，燃烧便会终止，这就是灭火的基本原理。

## 二、燃烧过程及形成

### (一) 燃烧过程

可燃物质燃烧实际上是物质受热分解出的可燃性气体在空气中燃烧，因此可燃物质的燃烧多在气态下进行。

由于可燃物质的聚集状态不同，当其接近火源时变化也不同。气体最容易燃烧，其燃烧所需的热量只用于本身的氧化分解，并使其达到燃点。液体在火源作用下，首先使其蒸发，然后可燃气体氧化、分解进行燃烧。在固体燃烧中，如果是简单物质硫、磷等，受热时首先熔化，然后蒸发成蒸气进行燃烧，并有分解过程。如果是复杂物质，在受热时首先分解，析出气态和液态产物，然后气态产物和液态产物的蒸气着火燃烧。各种物质的燃烧过程如图 2-1 所示。

物质在受热燃烧时，其温度变化也是很复杂的，如图 2-2 所示。

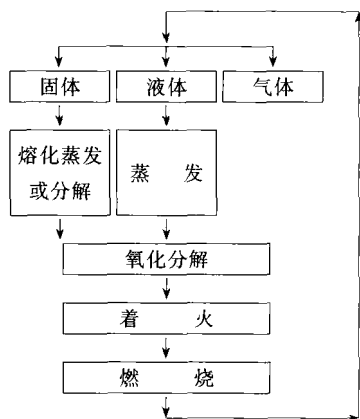


图 2-1 物质燃烧过程

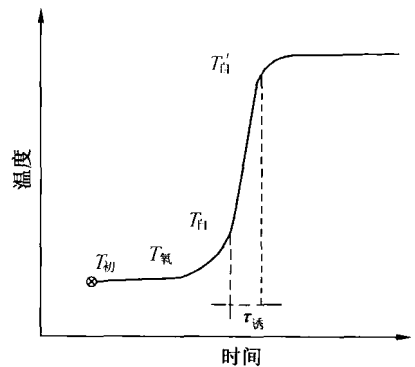


图 2-2 物质燃烧时的温度变化

$T_{初}$  为可燃物开始加热时的温度。最初一段时间，加热的大部分热量用于熔化或分解，可燃物温度上升较缓慢，到  $T_{氧}$  (氧化开始温度) 时，可燃物开始氧化。由于温度尚低，故氧化速度不快，氧化所产生的热量，还不足以克服系统向外界所放热量，如果此时停止加热，仍不能引起燃烧。如继续加热，则温度上升很快，到  $T_{自}$  氧化产生的热量和系统向外界散失的热量相等。若温度再稍升高，超过这种平衡状态，即使停止加热，温度亦能自行上升，到  $T'_{自}$  出现火焰而燃烧起来。 $T_{自}$  为理论上的自燃点， $T'_{自}$  为开始出现火焰的温度，即通常测得的自燃点。 $T_{自}$  到  $T'_{自}$  这一段延滞时间称为诱导期。

诱导期在安全上有实用价值。在可燃气体存在的车间中使用的防爆照明，当灯罩破裂或密封性丧失时，即使能自动切断电路熄灭，但灼热的灯丝自 3000℃冷到室温还需要一定的时间，爆炸的可能性取决于可燃气体的诱导期。对于诱导期较长的甲烷或汽油蒸气(数秒)，普通灯丝不致有危险，但对于诱导期很短的氢(0.01 秒)就需要寻求冷却得特别快的特殊材料作灯丝，才能保证安全。

## (二) 燃烧形式

由于可燃物质存在的状态不同，可分为均一系燃烧和非均一系燃烧。均一系燃烧指的是燃烧反应在同一相中进行，如氢气在氧气中燃烧。与其相反的燃烧反应在两相间即是非均一系燃烧，如石油、木材和塑料等液体和固体的燃烧。

可燃性气体的燃烧有混合燃烧和扩散燃烧之分。可燃性气体预先同空气(或氧气)混合，而后进行的燃烧即为混合燃烧。若可燃性气体与周围空气一边混合一边燃烧，则称为扩散燃烧，如可燃性气体自管中喷出在管口发生的燃烧，即为扩散燃烧。

混合燃烧反应迅速，火焰传播速度也快，化学爆炸即属于这种形式。在扩散燃烧中，由于氧进入反应带只是部分参与反应，所以常产生不完全燃烧的碳黑。

可燃液体的燃烧有蒸发燃烧和分解燃烧之分。液体蒸发产生的蒸气进行燃烧叫蒸发燃烧。难挥发可燃液体的燃烧是受热后分解产生的可燃性气体进行燃烧，故称为分解燃烧。液体的蒸发燃烧和分解燃烧的机理和气体燃烧是相同的。

可燃固体燃烧，如木材和煤的燃烧，是由分解产生的可燃气体的燃烧，因此属于分解燃烧。像硫磺和萘这类可燃固体的燃烧，是先熔融蒸发而后进行燃烧。因此可看作蒸发燃烧。固体燃烧一般有火焰产生，故又称火焰型燃烧。当可燃固体燃烧到最后，分解不出可燃气体时，就剩下炭，此时没有可见火焰，燃烧转为表面燃烧或叫均热型燃烧。金属的燃烧也是一种表面燃烧。此外根据燃烧的起因和剧烈程度的不同，又有闪燃、着火以及自燃的区别。

### 1. 着火与着火点

可燃物质在空气充足的条件下，温度超过某个数值时，与火源接触即行着火，火源移去后，仍能继续燃烧。我们将火源移去后仍能继续燃烧的最低温度称为该物质的着火点或燃点。物质燃点的高低，反映了这个物质火灾危险性的大小。

### 2. 闪燃与闪点

各种液体的表面都有一定量的蒸气，蒸气的浓度取决于该液体的温度。在一定温度下，可燃液体的蒸气与空气混合而成的气体混合物，一遇火源即产生一闪即灭的瞬间燃烧，这种燃烧现象称为闪火或闪燃。液体发生闪燃时最低温度即为液体的闪点。某些液体的闪点如表 2-1 所示。

一般称闪点小于或等于 45℃的液体为易燃液体，闪点大于 45℃的液体为可燃液体。

### 3. 自燃与自燃点

可燃物质不需火源接近便能自行着火的现象称为自燃，此时的最低温度称为自燃点。某些物质的自燃点见表 2-2。

自燃现象可分为受热自燃和本身自燃两种。

(1) 受热自燃。可燃物质虽然未与明火接触，但在外部热源的作用下使温度达到其自燃点而发生着火燃烧的现象称作受热自燃。

在石油化工生产中，由于可燃物靠近高温设备管道，加热或烘烤过度，或者可燃物料泄漏到未保温的高温设备管道等原因，均可导致可燃物自燃着火。

表 2-1 某些可燃液体的闪点

| 液体名称 | 闪点    | 液体名称 | 闪点      |
|------|-------|------|---------|
| 戊烷   | -40   | 丙酮   | -18     |
| 己烷   | -26   | 乙醚   | -45     |
| 异己烷  | < -29 | 苯    | -11     |
| 庚烷   | -4    | 二硫化碳 | -30     |
| 异庚烷  | < -18 | 硫    | 20      |
| 辛烷   | -16   | 氢氰酸  | -18     |
| 异辛烷  | -12   | 汽油   | -43     |
| 环己烷  | -17   | 石油醚  | < -18   |
| 乙炔   | -18   | 煤油   | 30~70   |
| 甲醇   | 11    | 轻油   | 50      |
| 乙醇   | 13    | 重油   | 80~130  |
| 丙醇   | 15    | 润滑油  | 180~215 |
| 甲酸   | 69    | 沥青   | 200~230 |
| 冰醋酸  | 40    | 各种石油 | 20~100  |

表 2-2 某些气体及液体的自燃点

| 物质名称 | 分子式                            | 自燃点/℃ |     | 物质名称 | 分子式                              | 自燃点/℃ |     |
|------|--------------------------------|-------|-----|------|----------------------------------|-------|-----|
|      |                                | 空气中   | 氧气中 |      |                                  | 空气中   | 氧气中 |
| 氢    | H <sub>2</sub>                 | 572   | 560 | 丙烯   | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>    | 458   | —   |
| 一氧化碳 | CO                             | 609   | 588 | 丁烯   | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>    | 443   | —   |
| 氨    | NH <sub>3</sub>                | 651   | —   | 乙炔   | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>    | 305   | 296 |
| 二硫化碳 | CS <sub>2</sub>                | 120   | 107 | 苯    | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>    | 580   | 566 |
| 硫化氢  | H <sub>2</sub> S               | 292   | 220 | 甲醇   | CH <sub>3</sub> OH               | 470   | 461 |
| 氢氰酸  | HCN                            | 538   | —   | 乙醇   | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | 392   | —   |
| 甲烷   | CH <sub>4</sub>                | 632   | 556 | 乙醚   | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O | 193   | 183 |
| 乙烷   | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | 472   | —   | 丙酮   | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O  | 561   | 485 |
| 丙烷   | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | 493   | 468 | 石脑油  | —                                | 277   | —   |
| 丁烷   | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 408   | 283 | 汽油   | —                                | 280   | —   |
| 乙烯   | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>  | 490   | 485 | 煤油   | —                                | 254   | —   |

(2) 本身自燃。某些物质在没有外来热源的作用下，由于物质内部所发生的化学或生化的过程而产生热量，这些热量在适当的条件下会逐渐积聚，使物质温度上升，达到自燃点而燃烧。这种现象称为本身自燃或自热燃烧。能引起本身自燃的物质有植物油、油脂类、煤、硫化铁等其它化学物质。

影响自燃点的因素有压力、组分、催化剂、可燃物质的化学结构等。一般来说，压力越高，自燃点越低；活性催化剂能降低物质的自燃点；混合气体中氧浓度增高，将使自燃点降低；各种固体粉碎的越细，自燃点也越低；饱和碳氢化合物的自燃点高于其相应的不饱和化合物的自燃点；芳香族碳氢化合物的自燃点高于含有同数碳原子脂肪族碳氢化合物的自燃点，正位结构物质的自燃点低于异构物质的自燃点。

### (3) 物质的燃点、自燃点和闪点的关系

易燃液体的燃点比闪点约高 1~5℃，而闪点愈低，二者的差距愈小。苯、二硫化碳、丙酮等的闪点都低于 0℃，这一差数只有 1℃左右。在开口的容器中作实验时，很难区别出它们的闪点与着火。可燃液体中闪点在 100℃以上者，燃点与闪点的差数可达 30℃或更高。

由于易燃液体的燃点与闪点很接近，所以在估计这类液体有火灾危险性时，只考虑闪点就可以了。一般来说，液体燃料的密度越小，闪点越低，而自燃点越高；液体燃料的密度越大，闪点越高，而自燃点越低。



### 三、燃烧速度及热值

#### (一) 气体燃烧速度

由于气体燃烧不需要像固体、液体那样经过熔化、蒸发等过程，而在常温下就具备了气态的燃烧条件，所以燃烧速度很快。气体的燃烧速度随物质的组成不同而异。简单气体比复杂气体的燃烧速度要快。

气体的燃烧速度通常以火焰传播速度来衡量。一些气体与空气的混合物在直径为25.4mm的管道中，火焰传播速度的试验数据如表2-3。

表 2-3 某些气体在空气中的火焰传播速度

| 气体名称 | 最大火焰传播速度/(m/s) | 浓度/% | 气体名称  | 最大火焰传播速度/(m/s) | 浓度/% |
|------|----------------|------|-------|----------------|------|
| 氢    | 4.83           | 33.5 | 乙烯    | 2.42           | 7.1  |
| 一氧化碳 | 1.25           | 45.0 | 发生炉煤气 | 0.73           | 48.5 |
| 甲烷   | 0.69           | 9.8  | 水煤气   | 3.1            | 43   |
| 乙烷   | 1.85           | 6.5  |       |                |      |

管子的直径对火焰传播速度有明显的影响。一般随着管子直径的增加而增加；但当达到某个极限值时，速度就不再增加；同样，传播速度随着管子直径的减小而减少，当直径减小到某个极限值时，火焰就不能传播，阻火器就是根据当传播直径低于某一数值，可以阻止火焰传播的这一原理制成的。

#### (二) 液体燃烧速度

液体的燃烧速度取决于液体的蒸发。其燃烧速度有两种表达方式。一种是以每平方米面积上每小时烧掉液体的质量来表示，叫作液体燃烧的质量速度；一种是以单位时间内烧掉液体层的高度来表示，叫作液体燃烧的直线速度。

易燃液体的燃烧速度与很多因素有关，如液体的初温、贮罐直径、罐内液面的高低及液体中含水量的高低等。初温越高，贮罐中液面越低，燃烧速度就越快。石油产品含水量越高燃烧速度越慢。

几种易燃液体的燃烧速度见表2-4。

表 2-4 几种易燃液体的燃烧速度

| 液体名称 | 直线速度/(cm/h) | 质量速度/[kg/(m <sup>2</sup> ·h)] | 液体名称 | 直线速度/(cm/h) | 质量速度/[kg/(m <sup>2</sup> ·h)] |
|------|-------------|-------------------------------|------|-------------|-------------------------------|
| 苯    | 18.9        | 166.4                         | 二硫化碳 | 10.5        | 133.0                         |
| 乙醚   | 17.5        | 125.8                         | 丙酮   | 8.4         | 66.4                          |
| 甲苯   | 16.1        | 138.3                         | 甲醇   | 7.2         | 57.6                          |
| 航空汽油 | 12.6        | 92.0                          | 煤油   | 6.6         | 55.1                          |
| 车用汽油 | 10.5        | 80.6                          |      |             |                               |

#### (三) 固体物质的燃烧速度

固体物质的燃烧速度，一般要小于可燃气体和液体。不同性质的固体物质其燃烧速度有很大差别。例如萘衍生物、三硫化磷、松香等，其燃烧过程是：受热熔化、蒸发、分解氧化、起火燃烧，一般速度较慢。有的如硝基化合物、含硝化纤维素的制品等，本身含有不稳定的因素，燃烧是分解式的，比较剧烈，速度很快。对于同一固定物质，其燃烧速度还取决于表面积的大小，如果燃烧的面积越大，则燃烧速度越快。

#### (四) 热值与燃烧温度

所谓热值，就是单位质量的可燃物质在完全烧尽时所放出的热量。不同的物质燃烧时，