

# 化工原理实验

郭雨◎主编



北京师范大学出版集团

BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP

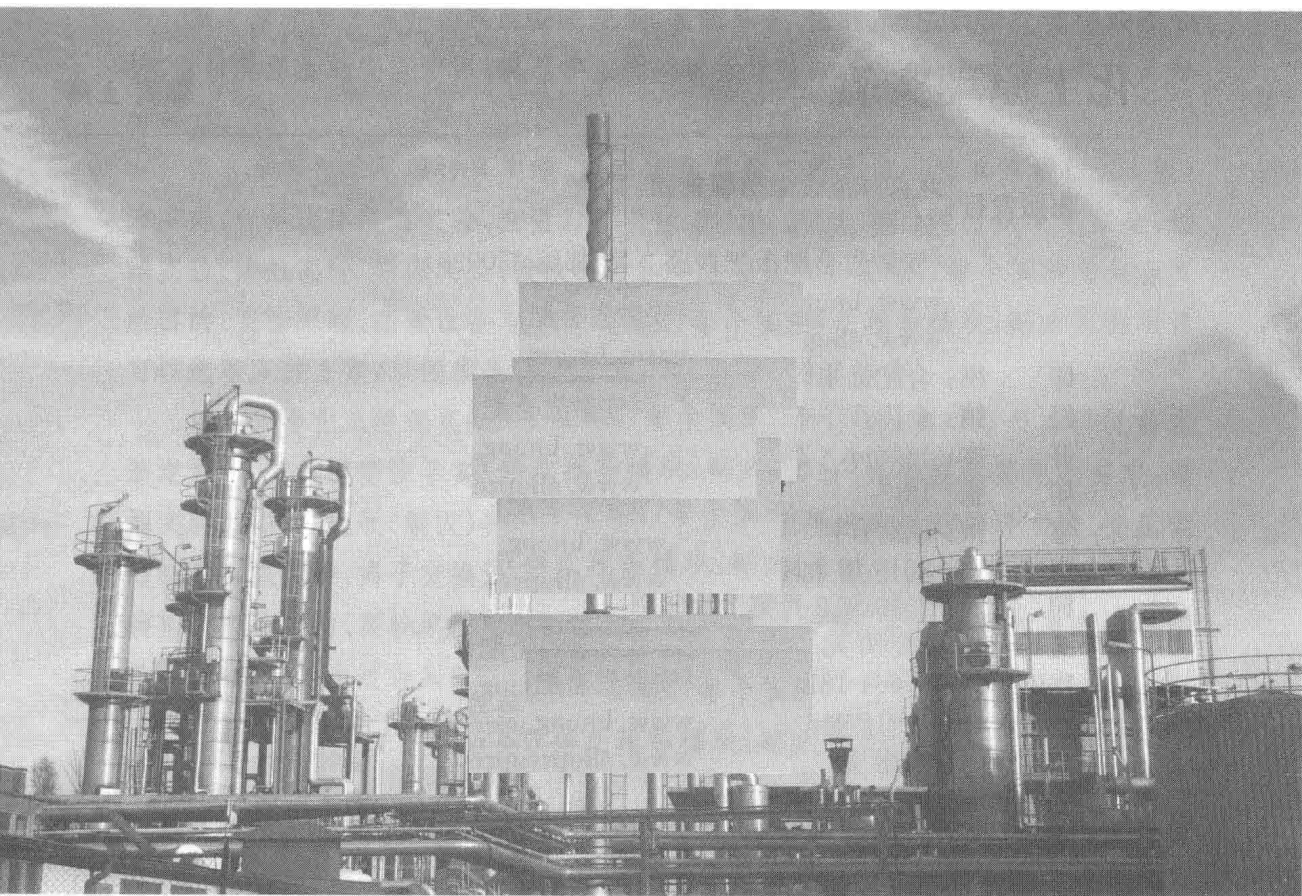
安徽大学出版社

# 化工原理实验

主 审 陈君华

主 编 郭 雨

副主编 陈俊明



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
安徽大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/郭雨主编. —合肥:安徽大学出版社, 2019. 2

ISBN 978-7-5664-1810-4

I. ①化… II. ①郭… III. ①化工原理—实验—高等学校—教材  
IV. ①TQ02—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 052481 号

## 化工原理实验

郭雨 主编

出版发行: 北京师范大学出版集团  
安徽大学出版社  
(安徽省合肥市肥西路 3 号 邮编 230039)  
www.bnupg.com.cn  
www.ahupress.com.cn

印 刷: 合肥远东印务有限责任公司  
经 销: 全国新华书店  
开 本: 184mm×260mm  
印 张: 12  
字 数: 222 千字  
版 次: 2019 年 2 月第 1 版  
印 次: 2019 年 2 月第 1 次印刷  
定 价: 36.00 元  
ISBN 978-7-5664-1810-4

策划编辑: 刘中飞 武溪溪 陈玉婷  
责任编辑: 陈玉婷 武溪溪  
责任印制: 赵明炎

装帧设计: 李 军  
美术编辑: 李 军

**版权所有 侵权必究**

反盗版、侵权举报电话: 0551—65106311

外埠邮购电话: 0551—65107716

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 0551—65106311

# 前 言

化工原理实验是化工原理课程教学中的一个重要实践环节,是化学、化工、材料工程、环境工程、制药工程等理工科专业学生的一门专业技术课程。通过对化工原理实验课程的学习,学生能够巩固和加深对化工单元操作的基本原理的理解,熟悉和掌握单元操作以及常见化工仪表的工作原理和操作方法,锻炼和提高分析、解决工程实际问题以及开展科学研究的能力。

本书包括化工原理实验基础知识、正交试验设计与数据处理、化工原理仿真实验、化工原理实验和附录 5 部分。

第 1 章和第 2 章介绍实验安全规范、基础要求、试验设计、数据处理和误差分析,以培养学生的安全意识,规范学生的实验操作能力,提高学生的实验设计及分析能力。

第 3 章为化工原理仿真实验,以东方仿真化工原理实验仿真系统(2004 版)为基础,包括流体阻力实验、流量计流量校正实验、离心泵特性曲线测定实验、过滤实验、传热实验、精馏实验、吸收实验和干燥实验 8 个实验。每个实验均包含实验目的、实验原理、实验设备与流程、实验步骤和数据处理等模块,部分实验项目可以选取多种方案,以便指导学生进行实验预习和仿真操作。

第 4 章为化工原理实验,包括流体流动阻力测定实验、离心泵性能特性曲线测定实验、流体流型演示实验、恒压过滤常数测定实验、列管换热器传热实验、精馏实验、填料塔吸收(解吸)实验、液-液萃取实验、干燥速率曲线测定实验、变压吸附制取富氧实验、离子交换法制备纯水实验和膜分离实验 12 个实验。每个实验均包含实验目的、实验原理、实验设备与流程、实验步骤、实验报告和思考题等模块,以便指导学生进行实验预习和操作。

书后附录收录了常用正交表、联合国危险货物运输标志、化学危险品标志、化工业安全标志、消防安全标志和电力安全标志。

本教材是编者根据多年的实践教学经验,结合前期撰写的化工原理实验讲义,参考国内外相关教材以及南京工业大学等兄弟院校多年的教学改革成果编写而成,适用于化工类专业及其他相关专业(如材料工程、生物化工、食品工程、制药工程、环境工程等)的学生使用,也可供相关技术人员参考使用。

本教材是安徽科技学院组织编写的校级化学、材料类专业规划教材,由郭雨担任主编,陈俊明担任副主编。其中,第 1 章、第 2 章和第 4 章由郭雨编写,第 3

章由陈俊明编写,全书由陈君华审定。本书的编写得到了安徽科技学院化学与材料工程学院俞浩院长的支持和关心,以及南京工业大学夏毅教授的无私帮助和大力支持,在此一并表示诚挚的谢意。同时,十分感谢魏居孟、闫浩然、张少卿等老师为本书提供的宝贵意见。最后,感谢安徽科技学院为本书的出版提供的资助。

由于编者学识水平不高,经验有限,不妥之处在所难免。诚请广大读者批评指正,提出宝贵的意见和建议。

编 者

2019年1月

# 目 录

第 1 章 化工原理实验基础知识 .....	1
1.1 化工原理实验室规则 .....	1
1.2 化工原理实验教学的目的是要求 .....	1
1.3 化工原理实验教学步骤 .....	2
1.4 化工原理实验报告格式 .....	3
1.5 化工安全基础知识 .....	4
1.6 化工安全标志简介 .....	29
第 2 章 正交试验设计与数据处理 .....	32
2.1 试验设计方法 .....	32
2.2 正交表及其使用 .....	38
2.3 交互正交表及其使用——指标值的预报 .....	52
2.4 正交试验多指标分析 .....	56
第 3 章 化工原理仿真实验 .....	61
3.1 化工原理实验仿真系统介绍 .....	61
3.2 流体阻力实验 .....	69
3.3 流量计流量校正实验 .....	74
3.4 离心泵特性曲线测定实验 .....	78
3.5 过滤实验 .....	82
3.6 传热实验 .....	86
3.7 精馏实验 .....	92
3.8 吸收实验 .....	103
3.9 干燥实验 .....	113
第 4 章 化工原理实验 .....	119
4.1 流体力学综合实验 .....	119

4.2	流体流型演示实验 .....	125
4.3	恒压过滤常数测定实验 .....	128
4.4	列管换热器传热实验 .....	132
4.5	精馏实验 .....	134
4.6	填料塔吸收(解吸)实验 .....	138
4.7	液-液萃取实验 .....	143
4.8	干燥速率曲线测定实验 .....	147
4.9	变压吸附制取富氧实验 .....	149
4.10	离子交换法制备纯水实验 .....	154
4.11	膜分离实验 .....	157
附 录	.....	161
附录 1	常用正交表 .....	161
附录 2	联合国危险货物运输标志 .....	166
附录 3	化学危险品标志 .....	169
附录 4	化工行业安全标志 .....	175
附录 5	消防安全标志 .....	181
附录 6	电力安全标志 .....	183
参考文献	.....	185

# 第1章 化工原理实验基础知识

## 1.1 化工原理实验室规则

①实验室是进行科学研究的场所,进入实验室应保持安静。禁止在实验室内大声喧哗和追逐打闹;禁止在实验内吸烟、喝水、吃东西和随地吐痰;禁止赤足或穿拖鞋进入实验室。

②爱护实验仪器、设备及实验室中其他设施。在保证完成实验要求的条件下,节约使用水、电、气、油以及化学药品等。

③实验过程中,做到安全使用电源、水源、热源、天然气源及有害药品,避免意外事故的发生。

④实验过程中注意保持实验环境的整洁,实验结束后应进行清洗和整理。

⑤对实验过程中因违反操作规程损坏仪器、设备者,应根据情节的轻重和悔过态度,由指导老师与实验室工作人员共同商定,按仪器、设备价格酌情折价赔偿;对情节严重、造成损失较大者,应上报学校进行处理。

⑥实验过程中,学生应听从指导老师及实验室工作人员的指导,遵守实验室的各项规章制度。否则,将视其情节轻重程度进行批评。

⑦实验室严格执行《学生实验守则》《实验室管理规则》《实验室安全管理规则》《仪器设备管理规则》《实验仪器损坏、遗失赔偿办法》《低值品、易耗品管理办法》等实验室规章制度。

## 1.2 化工原理实验教学的目的是要求

化工原理实验属于工程性质实验,是化工原理课程中理论与实践相联系、相结合的重要教学环节之一。学生必须严肃认真地对待实验教学中的每一个环节,按照实验教学的目的是要求,主动、积极、认真地进行实验操作,完成实验项目。化工原理实验教学的目的是要求如下。

①通过实验教学,学生进一步掌握、巩固和加深化工原理理论知识,能够将所学理论应用于实践。

②了解化工基本单元操作及化工设备的原理和结构特点。

③掌握化工原理实验的基本技能,培养对实验现象的观察能力,掌握化工原

理实验数据的测定、数据处理、实验误差和误差理论分析以及编写实验报告的方法,提高解决化工原理实际问题的能力。

④培养严谨认真和实事求是的科学态度,树立爱护实验仪器设备和药品以及热爱劳动的良好品德。

## 1.3 化工原理实验教学步骤

### 1.3.1 实验预习

预习可以帮助学生理解实验原理,了解实验内容、操作步骤以及实验注意事项,顺利完成实验,取得良好的教学效果。实验预习的具体要求如下。

①了解实验目的、实验要求以及实验原理。

②了解实验设备、实验流程、实验操作步骤及有关注意事项。

③按照实验要求和实验方法,练习实验操作,准确测量相关参数的实验数据。

④在测取实验数据前,实验小组应当进行适当的分工,列出记录原始实验数据的表格。

⑤正式实验之前,指导老师要结合实验原理、实验内容、操作步骤及注意事项等,对学生的预习效果进行考查,考查合格后方可进行实验操作。

### 1.3.2 实验操作

实验操作正确是实验成功的关键。学生必须认真按以下步骤进行实验。

①实验操作开始前应检查所需设备、仪器是否齐全和完好。除固定安装的设备外,应注意检查离心泵、压缩机等动力设备,以保证设备正常运转,保障人身安全。

②实验操作过程中,必须严格遵守操作规程及操作注意事项,按实验步骤进行操作。若在操作过程中发生故障,应及时向指导老师及实验室工作人员报告,以便进行维修处理。

③在实际实验操作中,数据测取是分部、分工进行的。为了保证学生对整个实验过程的全面了解和参与每个步骤的实际操作,待其主要数据测定完成后,应由参与实验的学生在实验小组内轮换分工岗位进行操作。

④正确测取实验数据,注意数据的准确性和重现性。

⑤实验数据全部测取完成,经指导老师检查通过后,恢复实验设备的原始状态,关闭电源和水源后方可离开实验室。

### 1.3.3 读取实验数据,做好实验记录

正确读取实验数据同实验结果紧密相关,是实验操作的重要步骤。规范记录

实验数据是防止实验数据误差的有效方法之一,其步骤及要求如下。

①实验开始之前,学生应拟好实验数据记录表格,表格中标明各项物理量的名称、符号及单位。实验记录表格要求完整、准确、条理清楚。

②实验数据一定要在实验现象稳定后再读取、记录。由于测试仪表可能存在滞后现象,若改变条件,应在新的条件稳定后再读取、记录数据。

③同一条件下至少要读取两次数据(不稳定过程的研究除外),且只有当两次读数相近时,才能改变操作条件继续进行实验。对实验测取的数据,应及时进行复核,以免发生读数或记录数据错误。若读数和记录由两人分工完成,则记录数据的同时还需往复读数。

④数据记录必须真实地反映仪表的精度。一般要记录至仪表上最小分度以下一位数。为提高实验的精确度,记录数据中的末位数通常都是估计数字。例如,温度计的最小分度为 $1^{\circ}\text{C}$ ,如果温度读数为 $36.4^{\circ}\text{C}$ ,此时就不能记为 $36^{\circ}\text{C}$ ;若温度读数刚好为 $36^{\circ}\text{C}$ ,则数据应记为 $36.0^{\circ}\text{C}$ 。

⑤记录数据要以当时的实际读数为准。例如,规定的水温为 $80.0^{\circ}\text{C}$ ,而读数时实际水温为 $80.5^{\circ}\text{C}$ ,就应该记为 $80.5^{\circ}\text{C}$ 。即使该数据稳定不变,每次也都应记录,不可留空格。如果漏记了数据,应该留出相应的空格。

⑥实验过程中,如果出现不正常情况或发现数据有明显误差,应在备注栏中加以说明。

⑦读取数据后,立即将该数据和前次数据及其他相关数据加以比较,并分析相互关系是否合理。如果发现数据不合理,应立即分析原因,便于及时发现问题并加以处理。

⑧严禁自拟和更改实验测试的原始数据。

## 1.4 化工原理实验报告格式

实验报告是整个实验的总结,能直接反映学生对实验原理、实验操作技能等方面知识的掌握程度。本着实事求是的科学态度,所有实验数据以及观察到的现象必须如实记录,不能凭臆想推测加以修改。撰写实验报告可提高学生分析问题和解决问题的能力,现将具体要求做如下规定。

实验报告一律按学校规定的报告格式书写,报告内容应包括以下项目:实验名称、报告人及同组人姓名、实验日期、实验目的、实验原理、实验装置流程图及设备规格、实验数据原始记录列表(表格形式)、典型计算示例(以一组实验数据为例)、实验数据的整理列表(包括计算数据及结果数据)、实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示)、误差分析与结论等内容。

实验报告要求参加实验的同学独立完成,每人一份,并以此作为实验考核的主要依据。

## 1.5 化工安全基础知识

### 1.5.1 燃烧

燃烧是物质间的相互作用,是同时有光和热发生的化学反应过程,是化学能转化成热能的过程。在反应过程中,物质会改变原有的性质,变成新的物质。所以,放热、发光、生成新物质是燃烧的三个特征,也是区分燃烧和非燃烧现象的依据。例如,电灯在照明时的发光、放热属于物理现象。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),但没有发光和明显的放热现象,也不能称为燃烧。燃烧不只限于可燃物与氧的化合,如金属钠和氯气反应生成氯化钠就是典型的非氧燃烧。然而,可燃物和空气中的氧所发生的反应是最普遍的,也是导致火灾事故最常见的原因。

#### 1.5.1.1 燃烧的条件

燃烧是有条件的,必须同时具备可燃物、助燃物和点火源三个基本要素才能发生。

##### (1) 可燃物

可燃物是指在点火源作用下能被点燃,且当点火源移去后仍能继续燃烧直至燃尽的物质。凡是能与空气中的氧气或其他氧化剂发生燃烧反应的物质均称为可燃物,如汽油、液化石油气、木材等。可燃物是防火防爆的主要研究对象。石油化工生产中的很多原料、中间体和产品都是可燃物;其中,气态可燃物有氢气、一氧化碳等,液态可燃物有甲醇、酒精等,固态可燃物有煤、木炭等。

##### (2) 助燃物

凡是具有较强的氧化能力,能与可燃物发生化学反应并引起燃烧的物质均称为助燃物,如空气、氧气、氯气等。

##### (3) 点火源

凡是能使可燃物发生燃烧的热能源,均称为点火源,如明火、摩擦、撞击、高温表面、电火花、化学能和射线等。

可燃物、助燃物和点火源是燃烧的三个基本要素,缺一不可。但实际上燃烧不仅要具备这三个要素,还要求可燃物和助燃物达到适当的比例,点火源具有一定的强度;否则,即使同时具备了上述三个要素,燃烧也不能发生。

首先,可燃物和助燃物必须达到一定的比例。如果空气中的可燃物数量不

足,燃烧就不会发生。例如,在室温(20℃)条件下用火柴去点汽油和柴油时,汽油会立即燃烧,柴油则不会燃烧。因为柴油在室温下蒸气浓度(数量)不足,没有达到引起燃烧的最低浓度。虽有可燃物,但其挥发的气体或蒸气量不足,即使接触助燃物和点火源,也不会发生燃烧。

其次,要使可燃物燃烧,必须提供足量的助燃物;否则,会使燃烧速度改变,甚至停止燃烧。例如,空气中氧气的含量降为14%~16%时,木材的燃烧即停止。

最后,点火源如果不具有一定的温度和足够的热量,燃烧也不会发生。例如,飞溅的火星温度约有600℃,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,说明这种火星所具有的温度和热量能使这些物质燃烧;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,说明这种火星虽然有足够高的温度,但缺乏足够的热量,因此不能使大块木料燃烧。

总之,要引起燃烧,不仅要具备燃烧的三个要素,而且每个要素都要具有一定的量,并且彼此相互作用;否则就不会引起燃烧。对于正在进行的燃烧,若消除其中任何一个条件,或使其数量在一定程度上减少,燃烧就会停止,这就是灭火的基本原理。

### 1.5.1.2 燃烧的过程

可燃物的燃烧都有一个过程。可燃物的状态不同,其燃烧过程也不同。可燃物的燃烧实际上是物质受热分解产生的可燃气体在空气中燃烧,因此可燃物的燃烧多在气态下进行。

由于可燃物的聚集状态不同,因此其接近火源时的变化也不同。气体最容易燃烧,其燃烧所需的热量只用于氧化分解和达到燃点。液体在火源作用下,首先蒸发为蒸气,然后蒸气与空气混合而燃烧。在固体燃烧过程中,如果是简单物质,如硫、磷等,受热时首先熔化,然后蒸发成蒸气进行燃烧,伴有分解过程;如果是复杂物质,如煤、沥青、木材等,则先受热分解,析出气态和液态产物,然后气态和液态产物的蒸气与空气混合而燃烧,并留下若干固体残渣。

根据可燃物燃烧时的状态,可将燃烧分为气相燃烧和固相燃烧两种情况。气相燃烧是指在燃烧反应过程中,可燃物和助燃物均为气体。这种燃烧是最基本、最常见的燃烧形式,特点是有火焰产生。固相燃烧是指在燃烧反应过程中,可燃物为固态。这种燃烧也称为表面燃烧,特征是燃烧时没有火焰产生,只呈现光和热。例如,焦炭在燃烧时只呈炽热状态,而不呈现火焰。

### 1.5.1.3 燃烧的形式

按可燃物存在的状态,可将燃烧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。非均一系燃烧指的是

燃烧反应在两相间进行,如石油、木材和塑料等液体和固体的燃烧。

可燃气体的燃烧有混合燃烧和扩散燃烧之分。可燃气体预先同空气(或氧气)混合,而后进行的燃烧为混合燃烧。若可燃气体与周围空气一边混合一边燃烧,则称为扩散燃烧,如可燃气体自管中喷出后在管口发生的燃烧。混合燃烧反应迅速,火焰传播速度快,化学爆炸即属于这种形式。

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即为蒸发燃烧。难挥发可燃液体的燃烧是受热后分解产生的可燃气体进行燃烧,故称为分解燃烧。液体蒸发燃烧和分解燃烧的机理与气体燃烧是相同的。

木材和煤等可燃固体的燃烧,是由分解产生的可燃气体进行的燃烧,因此属于分解燃烧。硫磺和萘等可燃固体的燃烧,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,将无火焰产生,燃烧即转为表面燃烧(或称均热型燃烧)。

此外,根据燃烧的起因和剧烈程度,可将燃烧分为闪燃、着火以及自燃三类。

### (1) 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。在一定温度条件下,可燃液体的蒸气与空气混合而成的气体混合物,遇到火源而引起的瞬间(延续时间少于5 s)燃烧,称为闪火或闪燃。液体发生闪燃的最低温度即为该液体的闪点。闪燃往往是着火先兆。可燃液体的闪点越低,越易着火,火灾危险性越大。一般将闪点小于或等于45℃的液体称为易燃液体,闪点大于45℃的液体称为可燃液体。

### (2) 着火与燃点

在有足量助燃物(如充足的空气、氧气)的情况下,当温度超过某个数值时,由火源作用引起的可燃物持续燃烧现象称为着火。火源移去后仍能继续燃烧的最低温度称为该物质的燃点或着火点。物质的燃点越低,越容易着火,火灾危险性越大。

控制可燃物的温度在燃点以下是预防火灾的措施之一。在火场上,如果有两种燃点不同的物质处在相同的条件下,当受到火源作用时,燃点低的物质首先着火。冷却法灭火的原理就是将燃烧物质的温度降到燃点以下,使燃烧停止。

### (3) 自燃与自燃点

可燃物受热升温,不需要明火作用就能自行燃烧的现象称为自燃。引起可燃物自燃的最低温度称为自燃点。自燃点越低,火灾危险性越大。

## 1.5.2 爆炸

爆炸是物质由一种状态迅速转变为另一种状态,并在瞬间以声、光、热、机械

功等形式放出大量能量的现象。爆炸做功的根本原因在于瞬间形成高压气体或蒸气骤然膨胀。爆炸实质上是一种极为迅速的物理或化学能量的释放过程。

### 1.5.2.1 爆炸的分类

#### (1) 按瞬时燃烧速度分类

①轻爆。瞬时燃烧速度为  $0.1\sim 10\text{ m/s}$ , 无较大破坏力和声响, 如无烟火药在空气中的快速燃烧。

②爆炸。瞬时燃烧速度为  $10\sim 1000\text{ m/s}$ , 可在爆炸点引起压力激增, 有较大破坏力和震耳的声响, 如可燃气体混合物的爆炸以及火药遇火源引起的爆炸。

③爆轰。瞬时燃烧速度为  $1000\sim 7000\text{ m/s}$ , 可突然引起极高压力, 并产生超音速的“冲击波”。

#### (2) 按能量来源分类

①物理性爆炸。物理性爆炸是由物理因素(如温度、体积、压力等)变化而引起的爆炸现象。物理性爆炸前后, 物质的性质及化学成分不发生变化, 如蒸汽锅炉爆炸、压缩气瓶爆炸。

②化学性爆炸。化学性爆炸指物质在短时间内完成化学反应, 同时产生大量气体和能量而引起的爆炸现象。化学性爆炸前后, 物质的性质和化学成分均发生根本性的变化。

#### (3) 按反应物质分类

①简单分解爆炸。引起简单分解爆炸的爆炸物在爆炸时不一定发生燃烧反应, 因为其所需热量是由自身分解产生的。属于这一类的爆炸物有乙炔银、碘化氮等。这类物质的撞击感度较高, 受震动即可引起爆炸, 比较危险。某些气体由于分解可产生大量的热量, 一定条件下可能发生分解爆炸, 尤其是受压情况下。乙炔在压力下发生分解爆炸就属于此类情况。

②复杂分解爆炸。引起复杂分解爆炸的爆炸物危险性较简单分解爆炸稍低, 爆炸时伴有燃烧现象, 燃烧所需的氧由爆炸物自身分解产生。属于这一类的爆炸物有 TNT、黑索金、硝酸炸药等。

③爆炸性混合物的爆炸。所有可燃气体、蒸气及粉尘与空(氧)气的混合物所发生的爆炸均属于爆炸性混合物的爆炸, 如氢气、汽油蒸气、面粉粉尘等与空气的混合物发生的爆炸。此类爆炸在石油化工生产中最为常见。

### 1.5.2.2 爆炸极限及其影响因素

#### (1) 爆炸极限

可燃气体、可燃液体的蒸气或粉尘与空气形成的混合物遇火源发生爆炸的极限浓度称为爆炸极限, 通常用可燃气体在空气中的体积分数(%)来表示; 可燃粉尘则以  $\text{mg/L}$  表示。

可燃气体与空气的混合物并不是在任何混合比例条件下都能发生燃烧或爆炸。当混合物中可燃气体含量接近于反应当量浓度时,燃烧最激烈。若混合物中可燃气体含量减少或增加,则燃烧速度降低。当含量高于或低于某一极限时,火焰便不再蔓延。可燃气体或可燃液体的蒸气在空气中足以使火焰蔓延的最低浓度,称为该气体或蒸气的爆炸下限;同样,足以使火焰蔓延的最高浓度称为爆炸上限。在上限和下限之间的浓度范围称为爆炸极限范围。如果可燃气体在空气中的浓度低于爆炸下限(含有过量空气),即使遇到点火源,也不会爆炸、燃烧;如果可燃气体在空气中的浓度高于爆炸上限(空气不足),也不会爆炸,但重新接触空气后还能燃烧、爆炸。这是因为重新接触空气后,可燃气体的浓度稀释了,达到燃烧、爆炸的范围。可燃物的爆炸下限越低、爆炸极限范围越宽,其爆炸的危险性越大。

## (2) 爆炸极限的影响因素

爆炸极限通常是在常温常压等标准条件下测定出来的数据,不是固定值,易受各种因素的影响。同一种可燃气体或可燃液体的蒸气的爆炸极限随温度、压力、含氧量、惰性介质及杂物、容器和点火源强度等因素的变化而变化。

①温度。一般情况下,混合物的初始温度升高,会使分子的反应活性增加,导致爆炸范围扩大,即爆炸下限降低,上限提高,使爆炸的危险性增大。

②压力。增加混合气体的初始压力,通常会使得爆炸上限显著提高,爆炸范围扩大。增加压力还能降低混合气体的自燃点,使混合气体在较低的温度下发生自燃。在减压的情况下,混合气体爆炸极限范围会缩小。压力降到某一数值时,上限与下限重合,这一压力称为临界压力。低于临界压力时,混合气体无燃烧、爆炸的危险。在化工生产中,爆炸危险性大的物料如环氧乙烷的生产、储运往往在低于临界压力的条件下进行。

③含氧量。混合气体中增加含氧量,一般对爆炸下限影响不大,因为可燃气体在下限浓度时,氧气是过量的。由于可燃气体在上限浓度时含氧量不足,因此增加含氧量可使爆炸上限显著提高,爆炸极限范围扩大,增加火灾、爆炸的危险性。

④惰性介质及杂物。一般情况下,惰性介质的加入可以缩小爆炸极限范围,当其浓度达到一定数值时可以使爆炸物不发生爆炸。杂物的存在对爆炸极限的影响较为复杂。例如,少量硫化氢的存在会降低水煤气与空气混合物的燃点,使其更易爆炸。

⑤容器。容器、管件的直径越小,爆炸极限范围越小。当管径(或火焰通道)小到一定程度时,火焰难以在其中蔓延,可消除爆炸危险,这个直径称为临界直径或最大灭火间距。容器的材质对爆炸极限也有影响。例如,氢气和氟气在玻璃容器中混合时,需甚至在液态空气的温度下于黑暗中也会发生爆炸;而在银制容器中混合时,需在一般温度下才能发生反应。

⑥点火源强度。点火源的强度高,热表面的面积大,火源与混合物的接触时间长,会使爆炸极限范围扩大,增加燃烧、爆炸的危险性。

### 1.5.3 防火防爆措施

化工生产中,常见的点火源除生产过程本身的燃烧炉火、反应热、电火花等之外,还有维修用火、机械摩擦热、撞击火花、静电放电火花以及违章吸烟等。这些火源是引起易燃易爆物质燃烧、爆炸的常见原因。控制这些火源的使用范围对防火防爆十分重要。

#### 1.5.3.1 明火控制

化工生产中的明火主要是指生产过程中的加热用火、维修用火及其他火源。加热易燃液体时,应尽量避免采用明火,而采用蒸汽、过热水和中间载体等。如果必须使用明火,设备应严格密闭,燃烧室应与设备建筑分开或隔离。

#### 1.5.3.2 摩擦与撞击火花的控制

机器中轴承等转动部分的摩擦、铁器的相互撞击或铁器工具打击混凝土地面等都可能产生火花,管道或铁制容器裂开时物料喷出也可能因摩擦而产生火花。必须保持轴承的良好润滑性。凡是撞击的两部分应采用两种不同的金属制成。搬运盛装有可燃气体或易燃液体的金属容器时,不要抛掷、拖拉、震动。不准穿带钉子的鞋进入易燃易爆车间。

#### 1.5.3.3 其他火源的控制

防止易燃物料与高温设备、管道表面相接触,可燃物的排放口应远离高温表面,高温表面要有隔热保温措施。油抹布、油棉纱等易引起自燃,应放置在安全地点,及时外运。严禁吸烟(烟头表面温度为 $200\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,中心温度达 $700\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,超过一般可燃物的燃点)。

#### 1.5.3.4 加强易燃易爆物质的管理

##### (1)按物质的物理化学性质采取措施

对于本身具有自燃能力的物质,可采取隔绝空气、充入惰性气体、防水防潮等措施,或针对不同情况采取通风、散热、降温等措施来防止自燃和爆炸的发生。互相接触会引起燃烧、爆炸的物质不能混存。对不稳定的物质,应添加稳定剂、阻聚剂等,防止储存过程中发生氧化、聚合等反应,引起温度、压力升高,从而发生爆炸。

##### (2)系统密封及负压操作

为了防止易燃气体、可燃液体的蒸气和可燃粉尘与空气构成爆炸性混合物,应该使设备密封;对于在负压下生产的设备,应防止空气吸入。为了保证设备的密闭性,对危险系统应尽量减少法兰连接,但要保证安装检修方便,输送危险气体

的管道要用无缝钢管。负压操作可防止系统中的有毒和爆炸性气体向容器外逸散,但也要防止在负压下操作时,因系统密闭性差导致外界空气通过各种孔隙进入负压系统。

### (3)通风置换

在含有易燃易爆及有毒物质的生产厂房内采取通风措施时,通风气体不能循环使用。通风系统的气体吸入口应选择空气新鲜、远离放空管道和散发可燃气体的地方。在有可燃气体的厂房内,排风设备和送风设备应有独立分开的通风机房。排除、输送温度超过 80℃ 的空气或其他气体以及有燃烧、爆炸危险的气体、粉尘的通风设备,应用非燃烧材料制成。当粉尘和水接触能生成爆炸气体时,不应采用湿式除尘系统。通风管道不宜穿越防火墙等防火分隔物,以免发生火灾时,火势通过通风管道而蔓延。

### (4)惰性介质保护

惰性气体在化工生产中对防火防爆起着重要的作用。常用的惰性气体有氮气、二氧化碳和水蒸气等,主要应用于覆盖保护易燃固体物质的粉碎、筛选处理及其粉末输送;易燃易爆物料系统投料前,应用惰性气体置换原系统内的空气;在有火灾、爆炸危险的设备上设置惰性气体接头,可作为发生危险时的备用保护措施和灭火手段;易燃易爆生产系统维修时,若需拆开设备或需动火,应先用惰性气体进行吹扫和置换;发生危险物料泄漏时,可用惰性气体稀释;发生火灾时,可用惰性气体灭火。

## 1.5.3.5 工艺指标的安全控制

化工生产中的每个工艺过程、每个岗位、每台设备所制定的工艺指标,都是安全生产中的客观规律的反映。在生产工艺上,应重点控制以下几个环节。

①控制温度,严防超温。

②控制压力。提高压力可以使反应速度加快,提高收率和设备能力,但是加压生产会给安全生产带来许多不利因素。

③控制加料速度、加料比例和加料顺序。

④严禁超量储存、超量充装。

⑤控制原料的纯度。实际生产中,许多化学反应往往由于物料含有杂质而造成副反应,导致火灾或爆炸。

## 1.5.3.6 加强设备维护

设备状况好,运转周期长,不发生跑、冒、滴、漏,可避免或减少事故的发生。因此,化工企业应做好设备的日常维护,加强计划检修,保证检修质量,同时应保证设备的安全装置和安全设施齐全、灵敏、可靠。

## 1.5.3.7 采用自动控制和安全防护措施