

HUAGONG GONGYI SHEBEI

化工工艺设备

防火防爆

FANGHUO FANGBAO

主编 黄郑华 李建华



中国劳动社会保障出版社

化工工艺设备 防火防爆

主编 黄郑华 李建华

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

化工工艺设备防火防爆/黄郑华, 李建华主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008

ISBN 978 - 7 - 5045 - 6641 - 6

I. 化… II. ①黄…②李… III. ①化工设备-防火②化工设备-防爆 IV. TQ086.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 004248 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京外文印刷厂印刷装订 新华书店经销

850 毫米×1168 毫米 32 开本 14.25 印张 351 千字

2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

定价: 32.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010 - 64954652

内 容 提 要

化工与石化企业由于具有设备内可燃物多、设备种类多、压力容器多、物料处理量大、操作控制难、设备高低不一、管道纵横交错、设备材质多样等特点，因此一旦发生火灾爆炸事故，往往酿成立体化火灾、大面积火灾、连锁性爆炸等厂毁人亡的灾难性后果。

预防与控制化工工艺设备的火灾爆炸事故，既是化工与石化行业安全教育培训的重点，也是企业安全生产管理的重点。本书共计十八章，以化工与石化企业中的安技人员、消防人员、技术人员、岗位操作人员应掌握的安全知识为基本内容，较系统地介绍了化工生产中工艺设备的火灾爆炸危险性与隐患特点、事故原因与事故模式、防火防爆技术与安全装置、消防管理与安全检查、安全评价与安全排放、置换清洗与维护检修等安全知识。

本书主编系中国人民武警部队学院消防工程系、消防指挥系教授，该学院的学科带头人，公安部灭火救援专家组成员。本书对化工与石化企业的安全生产具有较强的实用性与指导性，既可作为化工与石化行业安全教育培训的教材，也可作为安全工程师与安技人员、有关专业师生的必备工具书与参考书。

编 者 的 话

化工行业是我国国民经济的重要支柱产业之一。然而，化工工艺设备处理的原料和生产的产品绝大多数具有易燃易爆、有毒、腐蚀等危险性，设备种类多、压力容器多、物料处理量大、设备材质多样，又经常在高温、高压下运行，操作控制较困难。此外，由于设备高低不同、管道纵横交错，在火灾情况下，容易形成立体化火灾、发生连锁爆炸，导致大面积火灾，给火灾扑救工作带来困难。因此，化工工艺设备一旦发生故障，不仅会造成整个生产系统停产，而且会引起着火、爆炸、中毒、灼伤等事故，甚至酿成灾难性后果。随着生产设备日趋自动化、大型化，突发事故和非正常的停工都将造成巨大的经济损失。

化工工艺设备的火灾爆炸事故模式既可分为设备外和设备内危险物质燃烧爆炸，又可分为压力平衡破坏燃烧爆炸、热平衡破坏燃烧爆炸、混合接触燃烧爆炸、热分解燃烧爆炸、蒸气爆炸、喷雾爆炸、粉尘爆炸、设备材料的燃烧爆炸等多种模式，其危险性和危害性都是非常大的。

生产过程的硬件基础是设备，而设备正常运行的基础是安全，没有安全就没有一切。因此，必须坚持“预防为主”的管理思想，树立“设备是本，安全第一”的管理方针。要不断提高我国化工行业人员的消防安全意识，加强消防安全技术的基础理论培训，普及防火防爆安全知识，分析火灾爆炸事故的原因，强化设备安全管理，开展设备的安全隐患治理，才能减少设备事故和故障，确保设备安全、稳定和经济地运行，为企业创造更多的经

济效益。

《化工工艺设备防火防爆》针对化工生产过程中所使用的化工工艺设备的火灾爆炸危险性及其消防安全工作需要，以企业安全技术人员、消防人员、车间技术人员和岗位操作人员应掌握的安全知识为基本内容，比较系统地分析了化工工艺设备的火灾危险性，火灾爆炸事故发生的原因，火灾爆炸事故模式，阐述了化工生产中重点工艺设备的火灾危险隐患、防火防爆技术、安全装置、消防管理、安全检查、安全评价、安全排放、置换清洗、维护检修等知识，具有较强的实用性和指导性，本书既可以作为有关行业的安全培训教材，也可作为安全工程师与安全技术人员，以及高等学校安全工程专业师生的必备工具书、参考书。

本书由黄郑华、李建华主编，黄汉京、王玉参编。黄郑华为中国人民武装警察部队学院消防工程系教授，武警学院消防工程学科带头人；李建华为中国人民武装警察学院消防指挥系主任、教授，武警学院消防指挥学科带头人，公安部灭火救援专家组成员，中国消防协会灭火救援技术委员会副主任。由于作者水平有限，加上消防安全方面的新技术和新问题不断出现，本书中难免有不妥之处，恳请专家和广大的读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 化工设备的火灾危险性分析与评定	(1)
第一节 化工设备的火灾危险性分析	(1)
第二节 生产的火灾爆炸危险性分类	(19)
第三节 化工设备火灾爆炸事故的原因	(23)
第四节 化工设备的火灾爆炸事故模式	(30)
第二章 化工设备防火防爆基本措施	(34)
第一节 化工设备的安全布置	(34)
第二节 化工设备的耐火保护	(39)
第三节 化工设备的防火防爆安全装置	(44)
第三章 物料输送设备的防火防爆	(69)
第一节 气体物料压缩输送设备的防火防爆	(69)
第二节 液体物料输送设备的防火防爆	(81)
第三节 固体物料输送设备的防火防爆	(95)
第四章 粉碎与混合设备的防火防爆	(102)
第一节 粉碎设备的防火防爆	(102)
第二节 混合设备的防火防爆	(114)
第五章 分离设备的防火防爆	(121)
第一节 气固分离设备的防火防爆	(121)

第二节	液固分离设备的防火防爆·····	(133)
第六章	加热与换热设备的防火防爆·····	(143)
第一节	直接火加热设备的防火防爆·····	(143)
第二节	水蒸气和热水加热设备的防火防爆·····	(151)
第三节	载体加热设备的防火防爆·····	(154)
第四节	电加热设备的防火防爆·····	(162)
第五节	换热设备的防火防爆·····	(163)
第七章	吸收与吸附设备的防火防爆·····	(177)
第一节	吸收设备的防火防爆·····	(177)
第二节	吸附设备的防火防爆·····	(187)
第八章	蒸馏设备的防火防爆·····	(196)
第一节	蒸馏原理及蒸馏流程·····	(196)
第二节	火灾爆炸危险性分析·····	(208)
第三节	防火防爆安全措施·····	(212)
第九章	干燥设备的防火防爆·····	(216)
第一节	干燥方法与设备·····	(216)
第二节	火灾爆炸危险性分析·····	(225)
第三节	防火防爆安全措施·····	(227)
第十章	冷冻设备的防火防爆·····	(230)
第一节	冷冻原理和设备·····	(230)
第二节	火灾爆炸危险性分析·····	(236)
第三节	防火防爆安全措施·····	(238)

第十一章	化学反应器的防火防爆	(241)
第一节	化学反应器的类型	(241)
第二节	化学反应器的火灾爆炸危险性分析	(247)
第三节	防火防爆安全措施	(256)
第十二章	储罐的防火防爆	(262)
第一节	储罐的类型与结构	(262)
第二节	储罐的火灾爆炸危险性分析	(270)
第三节	防火防爆安全措施	(285)
第十三章	气瓶的防火防爆	(304)
第一节	气瓶的类型与结构	(304)
第二节	气瓶的火灾爆炸危险性分析	(311)
第三节	防火防爆安全措施	(315)
第十四章	化工管道的防火防爆	(325)
第一节	管道的分类与分级	(325)
第二节	化工管道的火灾爆炸危险性分析	(329)
第三节	防火防爆安全措施	(332)
第十五章	可燃物料排放设备的防火防爆	(343)
第一节	可燃气体或蒸气排放设备的防火防爆	(343)
第二节	可燃液体排放设备的防火防爆	(351)
第三节	污水处理系统的防火防爆	(355)
第十六章	化工设备置换清洗的防火防爆	(361)
第一节	常用置换清洗方法	(361)

第二节	化工设备置换清洗的火灾爆炸危险性 分析.....	(367)
第三节	防火防爆安全措施.....	(370)
第十七章	化工设备检修的防火防爆.....	(377)
第一节	化工设备检修的分类.....	(377)
第二节	化工设备检修的火灾爆炸危险性分析.....	(378)
第三节	检修前的准备.....	(383)
第四节	检修动火的防火防爆安全措施.....	(387)
第十八章	化工设备的安全管理.....	(399)
第一节	化工设备安全管理.....	(399)
第二节	化工设备的安全检查.....	(402)
第三节	化工设备的安全评价.....	(406)
参考文献		(445)

第一章 化工设备的火灾危险性分析与评定

工艺设备是生产过程中不可缺少的重要组成部分，是用来处理和加工原料、物料，以改变其属性、形态或功能的各种机械、器具和装备。大体上可分为通用和专用两大类，通用工艺设备是标准化设备，专用工艺设备通常由企业自己设计与制造，适用于特定的产品和零件。由于生产性质、规模、技术水平和复杂程度的不同，工艺设备的种类、大小、自动化程度和连续性都有差异，也有简单与复杂之分。虽然生产中使用的设备多种多样，但从相同工序去研究，则所使用的设备却有着相同或相似之处，因此，可以把相同或相似的设备归为同一类加以研究。火灾实例表明，火灾爆炸事故往往同设备本身、同操纵设备有着密切的联系。为了预防和控制生产过程的火灾爆炸事故，必须对一些典型工艺设备进行研究，分析和评定工艺设备的火灾危险性，探讨有效的防火防爆安全技术，提高预防火灾爆炸事故的能力。

第一节 化工设备的火灾危险性分析

化工生产具有设备内可燃物多、设备种类多、压力容器多、物料处理量大、操作控制难、设备高低不同、管道纵横交错、设备材质多样等特点。因此，工艺设备具有较大的火灾危险性。

一、化工设备内可燃物的危险性

化工生产使用的原料和产品绝大多数具有易燃易爆、有毒、

腐蚀等危险性。例如，天然气、油田气、炼厂气、焦炉气、原油、重油、石脑油、焦炭、烃类以及各种油蒸气等，都具有易燃易爆性质。物质的这些潜在危险性决定了在生产、使用、储存、运输等过程中稍有不慎就会酿成事故。

1. 物质发生着火、爆炸的主要特性

(1) 闪点 在一定温度下，液态可燃物液面上蒸发出蒸气，当其与空气形成混合气体达到一定浓度时，液面上若有火源就会发生瞬间着火、一闪即灭的燃烧现象，这种现象称为闪燃。发生闪燃现象时可燃物质的最低温度称为闪点。可燃液体在闪点温度下只能闪燃而不能连续燃烧，这是因为在闪点温度下可燃液体蒸发速度小于燃烧速度，蒸气来不及补充，液面上的蒸气烧光后火焰立即熄灭。但闪燃已经表明液体有着火的危险。

可燃液体多数是有机化合物，结构相似，相对分子质量不同的有机同系物，相对分子质量大的分子结构变形大，分子间作用力大，蒸发困难，蒸气浓度低，闪点高；否则闪点低。因此，有机同系物的闪点有如下变化规律：闪点随相对分子质量的增加，沸点的升高，比重的增大，蒸气压的降低而升高；同系物中异构体比正构体闪点低，因为碳原子数相同的异构体中，支链数增多，造成空间障碍增大，使分子间距离变远，从而使分子间作用力变小，闪点下降。两种完全互溶的可燃液体，它们的混合液体的闪点一般低于各组分闪点的算术平均值，并且接近于含量大的组分的闪点。可燃液体中混入不燃液体，其闪点随着不燃液体含量的增加而升高，当不燃组分含量达到一定值时，混合液体不再发生闪燃。

闪点是评定可燃液体火灾危险的一个重要参数。根据闪点可以判断可燃液体在室温下能否发生闪燃。闪点高于室温（如28℃）的液体，在室温条件下蒸气浓度很低，在弱小点火源作用下不会发生闪燃，更不会发生连续燃烧。闪点是可燃液体生产、储运过程中火灾危险性分类的依据。根据《建筑设计防火规范》

(GBJ 16—1987)，闪点小于 28℃ 的液体属甲类，如汽油；闪点等于或大于 28℃ 和小于 60℃ 的液体属乙类，如煤油；闪点等于或大于 60℃ 的液体属丙类，如柴油、润滑油等。闪点是配置灭火剂供给强度的依据。灭火剂供给强度是指扑灭单位面积液体的燃烧，在单位时间内需供给的灭火剂的数量。一般闪点越低，灭火剂供给强度越大。表 1—1 为部分易燃、可燃液体的闪点。

表 1—1 部分易燃、可燃液体的闪点

物质名称	闪点 (℃)	物质名称	闪点 (℃)	物质名称	闪点 (℃)
汽油	-50	苯	-14	戊烯	-17.8
煤油	37.8~73.9	甲苯	5.5	丁二烯	41
柴油	60~110	乙苯	23.5	氢氰酸	-17.5
原油	-6.7~32.2	丁苯	30.5	二硫化碳	-45
甲醇	11.1	甲酸丙酯	-3	苯乙烯	38
乙醇	12.78	乙酸丙酯	13.5	乙二醇	85
正丙醇	23.5	乙酸丁酯	17	丙酮	-10
戊烷	<-40	乙酸戊酯	42	松香水	6.2
乙烷	-20	乙醚	-45	环乙烷	6.3
庚烷	-4.5	乙醛	-17	硝基苯	90
辛烷	16.5	丙醛	15	松节油	32
壬烷	33.5	甲酸	69	环氧丙烷	-37

(2) 燃点 可燃液体的温度被加热到超过闪点时，蒸发速度加快，当蒸发速度等于燃烧速度时，蒸气与空气的混合气体遇火源发生燃烧以后，由于蒸气能源源不断地补充，燃烧能连续进行下去。可燃物质加热到一定温度，遇火源发生连续燃烧的现象称为着火，发生着火的最低温度称为燃点或着火点。

显然，一切可燃物质的燃点都高于其闪点；液体可燃物的闪点越低，燃点与闪点之差越小。闪点小于 0℃ 的液体，它们的燃

点和闪点之差仅在 1°C 左右，闪点在 100°C 以上的液体，燃点比闪点高出 30°C 或更高。一般油品的燃点比闪点高 $3\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。对于低闪点液体，在评价火灾危险性时，只考虑其闪点就可以了，对于高闪点液体，由于燃点比闪点高出很多，在评价火灾危险性时，燃点也应考虑在内，因为液体温度达到燃点以上时，才能发生连续燃烧。表 1—2 为部分可燃物质的燃点。

表 1—2 部分可燃物质的燃点

物质名称	燃点 ($^{\circ}\text{C}$)	物质名称	燃点 ($^{\circ}\text{C}$)	物质名称	燃点 ($^{\circ}\text{C}$)
豆油	230	布匹	200	麻	150~200
松节油	53	松木粉	196	蚕丝	250~300
石蜡	158~195	赛璐珞	100	聚乙烯	341
蜡烛	190	醋酸纤维	320	聚丙烯	270
樟脑	70	涤纶纤维	390	聚苯乙烯	345~360
萘	86	粘胶纤维	235	聚氯乙烯	391
纸张	130	腈纶	355	有机玻璃	260
棉花	210~255	麻绒	150	木材	250~300

(3) 自燃点 可燃物质在没有外部火花或火焰的条件下，当加热到一定程度时能自动燃烧的现象称为自燃，发生自燃的最低温度称为自燃点。

物质的自燃点不是物性参数，它不仅与其本性有关，而且还受到外界条件的影响。不同状态的物质，例如可燃气体、液体和固体物质，其自燃点前者高于后者。影响液体自燃点的外部因素有：压力增大，可燃液体液面上方的蒸气浓度和氧气浓度增加，化学反应速度增加，自燃点降低；可燃液体自燃点比闪点高很多，比沸点也高很多，在自燃点温度下，液体已经全部汽化，此时增加可燃蒸气浓度，自燃点降低，当可燃蒸气浓度增大到等于当量浓度时，自燃点最低，再增加蒸气浓度，自燃点反而会增

加；空气中氧气含量提高，有利于化学反应发生，自燃点降低；活性催化剂，如铈、铁、钒、钴、镍等的氧化物，能加速氧化反应而降低可燃液体的自燃点，而钝性催化剂，如油品抗震剂——四乙基铅等，则能使其自燃点升高。容器材料的导热性能强，自燃点升高，通常导热性能是：铁管>石英管>玻璃管；容器的表面积与体积之比越大，容器的散热能力越强，会提高物质的自燃点。有机同系物的自燃点的变化规律是：自燃点随相对分子质量的增大而降低，这是因为有机同系物内化学键能随相对分子质量增大而变小，因而反应速度快，自燃点降低；有机同系物中的同分异构体物质，其正构体的自燃点比异构体的自燃点低，这是由于电子效应与空间效应造成的，电子效应是异构体中碳原子上的氢原子被烷基取代后，烷基的电负性小，与分子中电荷中心产生共振（相当于正负电荷中和），使分子稳定化，而空间效应是分子中碳原子上氢被取代基取代以后，使得空间拥挤，造成分子中的反应中心难以和另一个反应分子接近，反应不易进行，自燃点升高；饱和烃比相应的非饱和烃的自燃点高，是因为非饱和烃中含有比较活泼的 π 键，易于氧化而自燃；烃的含氧衍生物（如醇类、醛类、醚类）的自燃点低于分子中含相同碳原子数的烷烃的自燃点，而且醇类自燃点高于醛类自燃点，这是因为含氧衍生物析出的氧使化学反应速度加快，从而降低自燃点。有机化合物、同系物的自燃点变化规律几乎与其闪点的变化规律相反，这是因为闪点的大小主要受分子间作用力大小的影响，而自燃点主要取决于活化能的大小。低熔点固体的闪点、燃点和自燃点等燃烧参数的影响因素与液体类似，其余固体还有如下规律：固体物质粉碎得越碎，自燃点越低；受热时间越长，其闪点、燃点和自燃点均会有所下降。

物质的自燃点是评价其火灾危险性的指标之一，自燃点越低、火灾危险性越大。根据物质的自燃特性，应注意采取降温散热措施。对于低温下遇空气能自燃的物质，应隔绝空气、控制温

度不超过自燃点；对于生产中物料受热温度超过其自燃点的物质，要注意防止物料泄漏发生自燃。表 1—3 为部分可燃物质在空气中的自燃点。

表 1—3 部分可燃物质在空气中的自燃点

物质名称	自燃点 (°C)	物质名称	自燃点 (°C)	物质名称	自燃点 (°C)
汽油	415~530	樟脑	466	乙炔	305
煤油	210	二硫化碳	112	苯	580
石油	约 350	木材	250~350	甲醇	498
氢	572	褐煤	250~450	乙醇	470
一氧化碳	609	木炭	350~400	丙酮	661
乙烷	248	棉纤维	530	有机玻璃	440
辛烷	218	木粉	430	镁	520
丁烯	443	聚乙烯	520	铝	645

(4) 爆炸极限

1) 爆炸浓度极限。可燃气体或液体的蒸气与空气混合达到一定的浓度范围时，遇火源即能发生爆炸，这个遇火源能够发生爆炸的浓度范围，称为爆炸极限，通常用体积百分数(%)来表示。可燃物质与空气形成的可燃性混合物，遇火源发生爆炸的最低浓度，称爆炸下限，而能够发生爆炸的最高浓度，称爆炸上限。可燃气体或蒸气与空气形成的可燃性混合物，在浓度低于爆炸下限或高于爆炸上限时，既不爆炸也不着火，这是由于前者的可燃物含量不够，过量空气的冷却作用阻碍火焰的蔓延；而后者则是空气不足、火焰不能蔓延的缘故。可燃性混合物的浓度大致相当于完全反应浓度(化学计算浓度)时，具有最大的爆炸威力。

可燃粉尘在堆积状态下，通常只能发生缓燃现象，当粉尘悬浮在空气中，并达到一定浓度范围时，其燃烧特性与可燃气体相

类似，若受到点火源的作用，就会发生化学性爆炸。

爆炸极限受可燃性混合物的温度、压力和含惰性气体量等因素影响。爆炸性混合物的初始温度越高，则爆炸极限范围越宽，即爆炸下限降低而爆炸上限增高，这是因为系统温度升高，其分子内能增加，使原来不燃的混合物成为可燃、可爆的系统，所以温度升高使爆炸危险性增大。爆炸性混合物的初始压力对爆炸极限有很大的影响，在压力增加的情况下，其爆炸极限的变化较复杂。一般情况下压力增大，爆炸极限扩大；压力降低，爆炸极限范围缩小，这是因为系统压力增高，其分子间距更为接近、碰撞率增高，使燃烧的最初反应和反应进行得更容易。若混合物中所含惰性气体的浓度增加，爆炸极限的范围缩小，安全性提高，惰性气体的浓度提高到一定数量可使混合物不发生爆炸。除上述因素外，火源强度、火源与混合物的接触时间、充装容器管道直径等也对爆炸极限有影响。

爆炸极限可作为评定可燃气体、液体蒸气或粉尘火灾危险性的依据。爆炸下限越低，爆炸范围越大，则火灾危险性越大。例如乙炔的爆炸极限为 2.5%~82%，氢气的爆炸极限为 4%~75%，氨气的爆炸极限为 15%~28%，其火灾危险性乙炔>氢气>氨气。爆炸极限可作为评定气体生产、储存火灾危险性类别，采取相应的防火防爆措施的依据。爆炸下限<10%的可燃气体为甲类火灾危险，爆炸下限≥10%的可燃气体为乙类火灾危险。表 1—4 为部分可燃气体和蒸气的爆炸极限。

表 1—4 部分可燃气体和蒸气的爆炸极限

物质名称	在空气中 (%)		在氧气中 (%)	
	下限	上限	下限	上限
氢	4.0	75.0	4.7	94.0
乙炔	2.5	82.0	2.8	93.0
甲烷	5.0	15.0	5.4	60.0