



普通高等教育“十五”国家级规划教材

防爆学

原理

王海福 冯顺山 编著



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材

防爆学原理

王海福 冯顺山 编著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

防爆学原理/王海福,冯顺山编著. —北京:北京理工大学出版社,
2004.9

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-5640-0281-6

I. 防… II. ①王…②冯… III. 防爆-高等学校-教材
IV. X932

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045062 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 12.5

字 数 / 286 千字

版 次 / 2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 23.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

在人类走向现代化工业大生产过程中,各种具有潜在爆炸危险的物质及生产过程不断增加,导致不安全因素更为繁杂和多样化,尤其是在煤矿开采、石油化工、粮食加工、纺织、冶金及军工等行业,各类重大恶性爆炸事故屡有发生。如 1981 年广州黄埔港进口粮食储仓大爆炸,1987 年哈尔滨亚麻厂大爆炸,1989 年黄岛油库大爆炸,1993 年深圳清水河化学危险品仓库大爆炸以及 2002 年黑龙江鸡西矿业集团特大瓦斯爆炸等。工业事故性爆炸不仅严重威胁着工矿企业职工的人身安全,造成了巨大的国家财产损失,甚至已成为影响国民经济建设的重要方面,预防与控制工业事故性爆炸灾害的任务迫切而繁重。

本书是为适应高等院校安全技术及工程专业硕士研究生教学需要而编写,在总体构架上分为爆炸理论和防爆技术原理两大部分,共 14 章内容。在爆炸理论方面,主要介绍可燃气体、可燃粉尘、火炸药及蒸气爆炸机理、爆炸特性、爆炸参数以及相关测试方法等内容;在防爆技术原理方面,着重介绍浓度控制、点火源控制、静电防护、雷电防护、惰化防爆、爆炸抑制、爆炸阻隔、爆炸泄压和电气防爆基本技术原理及措施等内容。

本书第 2~7 章和第 10~14 章由王海福教授编著,其余章节由冯顺山教授编著。北京理工大学刘伟钦教授对全部书稿进行了认真审阅;李向荣和刘有英两位博士生在图文校正方面给予了大力协助;此外,书中引用和借鉴了不少参考文献,涉及许多中外专家和学者。在此,作者对所有为本书出版给予过帮助的老师、学生和朋友,一并表示衷心的感谢。

本书教学时数为 48 学时,适用于高等院校安全技术及工程专业硕士研究生学位课程教材,也可用作相近专业本科生必修课程教材,还可供从事爆炸与安全技术领域的研究人员、工程技术人员和管理人员自学参考使用。

由于作者水平有限,书中不当乃至错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者
2004 年 5 月

目 录

第1章 绪 论	(1)
§ 1.1 爆炸事故分类及发生条件	(1)
1.1.1 按爆炸前后物质成分变化分类	(1)
1.1.2 按爆炸过程类型分类	(2)
1.1.3 爆炸发生条件	(2)
§ 1.2 防爆技术原理	(3)
1.2.1 控制可燃物浓度	(4)
1.2.2 控制氧浓度	(4)
1.2.3 控制点火源	(4)
1.2.4 控制爆炸破坏效应	(4)
§ 1.3 防爆技术措施	(5)
1.3.1 爆炸预防技术措施	(5)
1.3.2 爆炸防护技术措施	(6)
1.3.3 防爆技术措施优选	(7)
第2章 气体爆炸	(8)
§ 2.1 气体爆炸机理	(8)
2.1.1 热点火机理	(8)
2.1.2 链式反应机理	(9)
§ 2.2 气体爆炸特性	(10)
2.2.1 气体混合物爆炸	(10)
2.2.2 气体分解爆炸	(14)
§ 2.3 气体爆燃与爆轰理论	(15)
2.3.1 爆燃波与爆轰波 Hugoniot 方程	(15)
2.3.2 CJ 爆燃与爆轰参数理论解	(17)
2.3.3 CJ 爆轰参数近似解	(19)
§ 2.4 气体爆炸特性参数测定方法	(20)
2.4.1 爆炸极限	(20)
2.4.2 最小点火能量	(21)
2.4.3 自然温度	(22)
2.4.4 最大试验安全间隙	(23)
2.4.5 爆炸指数	(24)
第3章 粉尘爆炸	(26)
§ 3.1 粉尘爆炸机理及过程描述	(26)
3.1.1 爆炸机理	(26)
3.1.2 点火反应动力学	(27)
3.1.3 爆炸发展过程	(29)
3.1.4 爆炸特性参数	(31)
§ 3.2 粉尘爆炸两相流理论	(32)

3.2.1	两相流热力学效应	(32)
3.2.2	两相流守恒方程	(34)
3.2.3	两相流耦合方程	(35)
§ 3.3	粉尘爆炸特性参数测定方法	(37)
3.3.1	爆炸下限	(37)
3.3.2	最大允许氧含量	(38)
3.3.3	最低着火温度	(39)
3.3.4	最小点火能量	(40)
3.3.5	爆炸指数	(40)
§ 3.4	粉尘爆炸影响因素	(41)
3.4.1	粉体性质	(41)
3.4.2	粉尘云特性	(42)
3.4.3	外界条件	(42)
第 4 章	火炸药爆炸	(44)
§ 4.1	热起爆	(44)
4.1.1	热起爆反应动力学	(44)
4.1.2	热起爆影响因素	(45)
§ 4.2	机械起爆	(46)
4.2.1	热点起爆机理	(46)
4.2.2	起爆临界条件	(46)
4.2.3	起爆影响因素	(47)
§ 4.3	冲击波起爆	(49)
4.3.1	均相炸药冲击波起爆	(49)
4.3.2	非均相炸药冲击波起爆	(50)
4.3.3	冲击波起爆临界能量	(51)
§ 4.4	电起爆	(52)
4.4.1	电起爆机理	(52)
4.4.2	电火花起爆电学性能	(53)
4.4.3	电火花起爆影响因素	(54)
§ 4.5	光起爆	(55)
4.5.1	可见光起爆	(55)
4.5.2	激光起爆	(56)
4.5.3	光起爆影响因素	(56)
第 5 章	蒸气爆炸	(57)
§ 5.1	液体沸腾	(57)
5.1.1	液体过热现象	(57)
5.1.2	液体沸腾热传导	(58)
§ 5.2	熔融物水蒸气爆炸	(59)
5.2.1	熔融金属水蒸气爆炸	(59)
5.2.2	熔融盐水蒸气爆炸	(61)
§ 5.3	低温液化气蒸气爆炸	(62)
§ 5.4	高压过热液体蒸气爆炸	(63)
第 6 章	可燃物浓度控制	(65)

§ 6.1 可燃气体爆炸极限估算	(65)
6.1.1 单组分可燃气体爆炸极限估算	(65)
6.1.2 多组分可燃气体爆炸极限估算	(67)
§ 6.2 可燃气体浓度控制方法	(67)
6.2.1 惰化处理	(67)
6.2.2 排放净化处理	(69)
6.2.3 防止爆炸性混合物形成	(70)
6.2.4 自动控制及安全保险装置	(71)
§ 6.3 可燃粉尘浓度控制	(72)
6.3.1 除尘系统	(72)
6.3.2 喷油雾集尘系统	(73)
6.3.3 除尘系统防爆	(74)
第 7 章 点火源控制	(76)
§ 7.1 电点火源	(76)
7.1.1 电路电热	(76)
7.1.2 电火花	(77)
§ 7.2 明火	(78)
7.2.1 生产用明火	(78)
7.2.2 非生产用明火	(79)
§ 7.3 摩擦、冲击及高温表面	(79)
7.3.1 摩擦与冲击	(79)
7.3.2 高温表面	(80)
§ 7.4 自燃着火	(80)
7.4.1 自燃性物质	(81)
7.4.2 忌水性物质	(83)
7.4.3 混合危险性物质	(84)
第 8 章 静电防护	(85)
§ 8.1 静电基本特性	(85)
8.1.1 静电产生形式及影响因素	(85)
8.1.2 静电积聚及放电形式	(86)
8.1.3 静电引燃作用	(87)
§ 8.2 静电防护技术措施	(88)
8.2.1 减少摩擦	(88)
8.2.2 静电接地	(89)
8.2.3 降低电阻率	(92)
8.2.4 其他防静电技术措施	(92)
§ 8.3 静电放电火花控制与消除	(92)
8.3.1 固体带电	(92)
8.3.2 液体带电	(93)
8.3.3 粉尘带电	(94)
8.3.4 气体带电	(95)
8.3.5 人体带电	(96)
§ 8.4 静电测量方法	(96)

8.4.1	气体静电测量	(96)
8.4.2	液体静电测量	(97)
8.4.3	固体静电测量	(98)
第 9 章	雷电防护	(99)
§ 9.1	雷电基本特性	(99)
9.1.1	雷电种类及其危害	(99)
9.1.2	雷电电气特性参数	(100)
§ 9.2	防雷技术措施	(101)
9.2.1	防直击雷	(101)
9.2.2	防雷电感应	(103)
9.2.3	防雷电侵入波	(103)
9.2.4	爆破器材防雷	(104)
§ 9.3	防雷装置保护范围	(105)
9.3.1	单支避雷针保护范围	(105)
9.3.2	两支等高避雷针保护范围	(105)
9.3.3	架空避雷线保护范围	(105)
§ 9.4	防雷装置	(106)
9.4.1	基本设计要求	(107)
9.4.2	避雷器	(109)
9.4.3	导体消雷器	(110)
9.4.4	半导体消雷装置	(111)
9.4.5	全方位多功能防雷器	(113)
第 10 章	惰化防爆	(115)
§ 10.1	惰化防爆原理	(115)
10.1.1	应用范围	(115)
10.1.2	惰化机制	(115)
§ 10.2	惰化防爆效应	(116)
10.2.1	惰性气体防爆效应	(116)
10.2.2	惰性粉体防爆效应	(117)
10.2.3	初始温度及压力对惰化防爆效应的影响	(118)
§ 10.3	惰性气体用量估算	(118)
§ 10.4	惰化防爆系统	(121)
10.4.1	基本技术要求	(121)
10.4.2	惰性气体惰化系统	(122)
10.4.3	燃烧气体惰化系统	(122)
第 11 章	爆炸抑制	(124)
§ 11.1	系统组成及工作原理	(124)
11.1.1	爆炸探测器	(124)
11.1.2	爆炸抑制器	(126)
§ 11.2	抑爆剂选择及用量估算	(127)
11.2.1	抑爆剂选择	(127)
11.2.2	抑爆剂用量估算	(129)

§ 11.3 抑爆系统设计要求及功效测定	(130)
11.3.1 系统设计、安装与维护要求	(130)
11.3.2 抑爆功效测试	(131)
§ 11.4 火花消除系统	(132)
11.4.1 系统组成及工作原理	(132)
11.4.2 系统设计及维护要求	(133)
第 12 章 爆炸阻隔	(134)
§ 12.1 机械阻火器	(134)
12.1.1 分类及基本特点	(134)
12.1.2 阻火性能参数	(136)
12.1.3 阻火性能测试方法	(139)
§ 12.2 液封与料封阻火器	(140)
12.2.1 液封阻火器基本特点	(140)
12.2.2 安全液封设计参数	(141)
12.2.3 料封阻火器	(142)
§ 12.3 主动式隔爆装置	(142)
12.3.1 自动灭火剂阻火装置	(143)
12.3.2 快速关闭阀	(144)
12.3.3 爆发制阻塞式切断阀	(144)
12.3.4 料阻式速动火焰阻断器	(144)
§ 12.4 被动式隔爆装置	(145)
12.4.1 自动断路阀	(145)
12.4.2 芬特克斯活门	(145)
12.4.3 管道换向隔爆装置	(146)
第 13 章 爆炸泄压	(147)
§ 13.1 泄爆设计基础	(147)
13.1.1 泄爆设计相关参数	(147)
13.1.2 泄爆设计原则	(148)
§ 13.2 高强度包围体泄爆	(149)
13.2.1 爆炸指数诺谟图法	(150)
13.2.2 爆炸等级诺谟图法	(152)
13.2.3 开启压力诺谟图法	(154)
13.2.4 诺谟图内插与外推法	(157)
§ 13.3 低强度包围体泄爆	(158)
13.3.1 扩展诺谟图法	(158)
13.3.2 泄爆方程法	(159)
§ 13.4 长形包围体泄爆	(160)
13.4.1 泄爆设计要求	(160)
13.4.2 泄 - 闭型泄爆设计	(161)
§ 13.5 带泄爆导管包围体泄爆	(162)
13.5.1 泄压面积确定方法	(162)
13.5.2 储罐、料斗及筒仓泄爆	(162)
§ 13.6 泄爆装置	(163)

13.6.1	标准敞口泄爆孔	(164)
13.6.2	爆破膜式泄爆装置	(164)
13.6.3	泄爆门	(165)
13.6.4	其他泄爆装置	(166)
第 14 章	电气防爆	(167)
§ 14.1	爆炸危险物质及环境区域	(167)
14.1.1	爆炸危险物质分类	(167)
14.1.2	爆炸危险环境区域划分	(168)
§ 14.2	电气防爆技术原理	(169)
14.2.1	外壳间隙隔爆	(170)
14.2.2	外壳隔离引燃源	(173)
14.2.3	介质隔离引爆源	(174)
14.2.4	控制引燃源	(175)
§ 14.3	电气设备防爆类型、标志及技术要求	(177)
14.3.1	类别、级别与组别	(177)
14.3.2	防爆类型及标志	(178)
14.3.3	通用技术要求	(179)
§ 14.4	防爆电气设备选型	(182)
14.4.1	通用技术要求	(182)
14.4.2	爆炸性气体环境用防爆电气设备选型	(183)
14.4.3	爆炸性粉尘环境用防爆电气设备选型	(186)
参考文献		(187)

第1章 绪 论

物质从一种状态经物理或化学变化突变为另一种状态,伴随着巨大的能量快速释放,产生声、光、热或机械功等,使爆炸点周围介质中的压力发生骤增的过程称为爆炸现象。国防和工程建设领域利用爆炸能量造福人类的活动属人为受控爆炸,在生产活动中,违背人们意愿造成巨大国家财产损失和人员伤亡的爆炸称为事故性爆炸,如矿井瓦斯爆炸,粮食粉尘爆炸,火炸药爆炸,锅炉及压力容器爆炸等。本章以事故性爆炸为分析对象,简要阐述爆炸事故分类、特点、发生条件以及防爆基本原理和技术措施等内容。^[1~5]

§ 1.1 爆炸事故分类及发生条件

爆炸事故分类方法很多,既可以按爆炸前后物质成分变化情况分类,也可以按爆炸事故过程类型分类,或按爆炸反应相态进行分类等。

1.1.1 按爆炸前后物质成分变化分类

按爆炸前后物质成分变化不同,爆炸事故可分为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸等类型。

1. 物理爆炸

体系中物质因状态或压力发生突变而引起的物理能量快速释放,并转变为机械功、光、热等能量形式的爆炸现象称为物理爆炸。物理爆炸的显著特点是爆炸发生前后,体系中物质的性质及化学成分没有发生变化,如锅炉爆炸、压力容器爆炸、车胎轮胎爆炸等。

2. 化学爆炸

体系中物质以极快的速度发生放热化学反应,并产生高温、高压气体而引起的爆炸现象称为化学爆炸。化学爆炸的显著特点是爆炸发生前后,体系中物质的性质和组分都发生了根本变化。化学爆炸又分为简单分解爆炸、复杂分解爆炸及爆炸性混合物爆炸等几种。

(1) 简单分解爆炸 爆炸所需能量来自爆炸物自身的分解热,爆炸过程不一定伴随有燃烧反应的发生,如乙炔银、雷汞等物质的爆炸反应。通常,这类爆炸物极不安定,受到摩擦、撞击甚至轻微振动即可引起爆炸。另外,某些气体分解过程会放出大量热量,在一定条件下也会发生分解爆炸。

(2) 复杂分解爆炸 这类爆炸物在外界强激发能(如爆轰波)作用下,能发生快速放热反应,同时产生高温、高压气体,如大多数炸药和有机过氧化物等爆炸。与简单分解爆炸物质相比,这类物质爆炸过程常伴随有燃烧现象,对外界刺激的敏感性较低,危险性也相对小些。

(3) 爆炸性混合物爆炸 指可燃性气体(蒸气、粉尘等)与氧化剂(空气)所形成的爆炸性混合物爆炸。这类物质爆炸一般需同时具备一定的条件,如足够的爆炸物浓度(含量)、氧含量(浓度)以及点火能量等。通常,这类爆炸物的爆炸超压较前两类爆炸物要小得多,爆炸危险性也相对小些,但这类爆炸事故时有发生,危害极大,如矿井瓦斯(甲烷)爆炸、工业粉尘爆炸等。

3. 核爆炸

核爆炸能量释放来自核裂变(如 U^{235} 裂变)或核聚变(如氘、氚、锂核聚变)反应,核爆炸过

程所释放的能量较其他类爆炸要大得多和集中得多。核爆炸可形成数百万到数千万摄氏度的高温,在爆炸中心区可产生数十万兆帕的高压,能量释放相当于数万到数千万吨 TNT 炸药的爆炸能量,同时还伴随有大量热辐射和强光。此外,核爆炸还会产生各种对人类生存有害的放射性粒子,造成区域性长时间放射性污染,其破坏力要比物理和化学爆炸大得多。

1.1.2 按爆炸过程类型分类

按爆炸过程类型的不同,爆炸事故可分为着火破坏型爆炸、泄漏着火型爆炸、自燃着火型爆炸、反应失控型爆炸、传热型蒸气爆炸、平衡破坏型蒸气爆炸等几种类型。

1. 着火破坏型爆炸

容器、管道、塔槽等(以下统称容器)内部的爆炸性危险物质,在点火源作用下引起的着火、燃烧或分解等化学反应,造成内部压力急剧上升,导致容器发生爆炸破坏。

2. 泄漏着火型爆炸

容器内部的爆炸性危险物质因阀门开启或容器出现裂缝,泄漏到外部空间形成爆炸性混合物,在遭遇点火源作用时引起着火,导致火灾和爆炸事故发生。

3. 自燃着火型爆炸

化学反应热蓄积而导致系统中温度升高和反应速率加快,当温度升高到这类物质的着火温度时,引起物质自燃而导致火灾和爆炸事故发生。

4. 反应失控型爆炸

化学反应热蓄积而导致系统中温度升高和反应速率加快,引起物质的蒸气压或分解气体压力急剧升高,导致容器发生爆炸破坏。

5. 传热型蒸气爆炸

过热液体与其他高温物质接触而发生快速热传导,致使液体因被加热而暂时处于过热状态,从而引起伴随急剧气化的蒸气爆炸事故发生。

6. 平衡破坏型蒸气爆炸

当密闭容器内的液体在高压下保持蒸气压平衡状态时,因容器遭到破坏而喷出蒸气,导致容器内压急剧下降而失去平衡,使暂时处于不稳定过热状态的液体发生急剧气化,并在残留液体对容器壁的冲击作用下使容器再次遭到破坏,从而导致蒸气爆炸事故发生。

除上述分类外,爆炸事故还可按爆炸物质相态的不同,分为气相、液相、固相和多相爆炸等类型;按点火源的不同,可分为需要有点火源和不需要点火源等爆炸类型。

1.1.3 爆炸发生条件

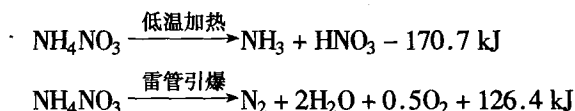
1. 物理爆炸发生条件

物理爆炸是一种因体系中物理能量失控而导致物质以极快的速度释放能量,转变为光、热、机械功等能量形式的爆炸现象。从锅炉爆炸、压力容器爆炸、大量水急骤气化等常见物理爆炸角度看,物理爆炸发生条件可归结为:爆炸体系内存有高压气体或在爆炸瞬间生成高温高压气体或蒸气急骤膨胀,以及爆炸体系与周围介质之间发生急剧的压力突变。

2. 化学爆炸发生条件

从爆炸反应特征看,化学反应要成为爆炸反应必须同时具备反应过程放热性、反应过程高速度和反应过程产生大量气体产物等三个条件。

(1) 反应过程放热性 这是化学反应能否成为爆炸反应最重要的前提条件,否则,爆炸反应过程就不会发生和自行传播。以不同条件下硝酸铵分解反应为例,反应式如下:



从以上两个反应式可以看出,硝酸铵在低温加热条件下,只会发生缓慢吸热分解反应,根本不会发生爆炸;但在雷管引爆条件下,则会发生快速放热分解反应和猛烈爆炸。爆炸所释放出的定容反应热称为爆热,这是爆炸性物质爆炸破坏力的重要标志。常用炸药的爆热约为 $3\,700 \sim 7\,500 \text{ kJ/kg}$,混合物的爆热就是燃烧热,一般有机物的燃烧热在 $4.8 \times 10^4 \text{ kJ/kg}$ 左右。

(2) 反应过程高速度 一般化学反应也可以放出热量,甚至许多化学反应的放热量远大于爆炸性物质爆炸过程释放出的热量,但这些放热化学反应却并未成为爆炸反应,根本原因在于反应过程缓慢。例如,1 kg 木材完全燃烧约需要 10 min,放热量约为 16 700 kJ,而 1 kg TNT 炸药完全爆炸所释放出的热量仅为 4 200 kJ,但爆炸过程只需要几十微秒。正是由于爆炸反应过程极短,速度极快,导致反应热来不及逸出而全部聚集在爆炸物原有体积之内,从而造成一般化学反应无法达到的极高能量密度,产生巨大的功率和强烈的破坏力。

(3) 反应过程产生大量气体 在常温常压下,气体的密度远小于固体和液体,而体积膨胀系数却比固体和液体大得多。爆炸性物质在爆炸瞬间除释放出大量反应热外,还伴随有大量气体产物的产生。由于爆炸过程极快,这些爆炸产物气体来不及扩散膨胀而被压缩在爆炸物原有体积之内,在爆炸反应热快速加热作用下形成了高温高压产物气体。这些气体瞬间膨胀,功率巨大,破坏力极强。爆炸反应这一必要条件可以用铝热剂反应来说明,反应式如下:



从上述反应可以看出,铝热剂反应热效应很大,而且反应速度也相当快,通常,其反应热效应足以将反应产物加热到 $2\,500^\circ\text{C}$ 左右的高温,但铝热剂并不具备爆炸作用,只是一种高热燃烧剂,根本原因是反应过程不能产生气体产物。

§ 1.2 防爆技术原理

在现代工业生产中,爆炸性物质及危险场所不仅种类繁多,数量庞大,而且作用情况相当复杂。从防爆技术原理看,防止物理或化学爆炸发生条件同时出现,是预防爆炸事故发生的根本技术措施。从爆炸事故破坏力形成看,一般应同时具备以下五个条件:

- ① 可燃物;
- ② 助燃剂(氧化剂);
- ③ 可燃物与助燃剂均匀混合;
- ④ 爆炸性混合物处于相对封闭空间内(包围体);
- ⑤ 足够能量的点火源。

爆炸破坏力形成条件可以用如图 1-1 所示五边形图来形象地描述。防爆技术原理正是从爆炸破坏力形成五边形图出发,采取相应的技术和管理措施,达到生产安全的目的^[2-3]。

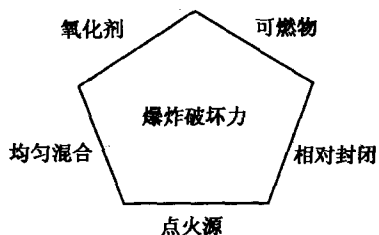


图 1-1 爆炸破坏力形成五边形图

1.2.1 控制可燃物浓度

可燃物浓度与爆炸超压典型关系如图 1-2 所示。从图中可以看出,当可燃物浓度处于氧化反应化学当量配比浓度(B 点)时,反应放热量最多,爆炸超压也最大。当可燃物浓度从化学当量配比浓度逐渐减小时,反应放热量及爆炸超压均逐渐减小,当可燃物浓度减小到爆炸下限(A 点)时,反应热释放将不足以维持火焰自行传播所需的最低温度,可燃物不会发生着火。同样,当可燃物浓度从化学当量配比浓度逐渐增大时,由于氧浓度低于化学当量配比值,致使可燃物反应不完全,反应热释放减少,爆炸超压随之降低,当浓度增大到爆炸上限(C 点)时,可燃物反应放热量将不足以维持火焰自行传播所需的最低温度,可燃物同样不能被引燃。因此,适当控制可燃物浓度,可有效预防爆炸事故的发生,或将爆炸事故破坏程度降至最小。

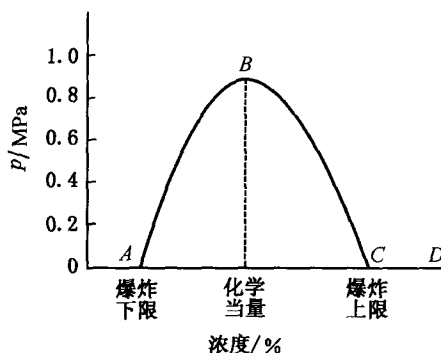


图 1-2 可燃物浓度与爆炸超压关系

1.2.2 控制氧浓度

在可燃气体(粉尘)/空气混合物中加入一定量的惰化介质(惰性气体或粉体),一方面,可稀释混合物中的氧气浓度,减少可燃物分子和氧分子作用的机会,或使可燃物组分与氧分子隔离,形成一层不燃烧屏障,当活化分子与惰化介质粒子发生碰撞时,活化分子会因失去活化能而不能发生反应;另一方面,燃烧反应产生的游离基在与惰化介质作用时会失去活性,从而导致燃烧连锁反应中断;另外,惰化介质还会吸收大量反应热,使热量不能聚积,燃烧反应无法蔓延,对燃烧反应起抑制作用。由此可见,通过向可燃气体/空气混合物中加入惰化介质,可缩小可燃物组分的爆炸极限范围,当惰化介质浓度增加到足够大时,可使混合物爆炸下限与爆炸上限相重合,若继续增大惰化介质浓度,可燃气体/空气混合物将不再发生点火、燃烧和爆炸反应,从而可有效防止爆炸事故的发生。

1.2.3 控制点火源

爆炸性物质从点火源获得某一阈值的能量后就会发生点火反应,并发展为火灾或爆炸事故。浓度是爆炸性物质发生燃烧、爆炸反应的基本前提,点火源则是加快反应速率,进而引起火灾、爆炸事故的促进因素。控制或消除点火源以防止爆炸性物质发生着火,是有效预防火灾或爆炸事故发生的重要技术措施之一。在实际生产中,点火源不仅种类繁多,如电火花、静电火花、高温热表面、辐射热、冲击与摩擦、自燃着火、明火等,而且不同种类可燃物的最小点火能量也不尽相同,点火源情况相当复杂,有时甚至是几种点火源同时起作用,因此,应根据不同条件采取相应的预防技术措施。

1.2.4 控制爆炸破坏效应

爆炸事故发生时,爆炸性物质从一种状态突然变化成另一种状态,使爆炸物自身所具有的

能量以极快的速度释放出来,产生的高温、高压爆炸气体产物以极高的速度向外膨胀,导致包围体内压力骤增而引起包围体破裂和向外飞散,形成强大的爆炸空气冲击波,对周围环境中的物体及人员造成破坏和伤亡。由此可见,包围体爆炸碎片高速飞散和空气冲击波,是导致爆炸事故破坏力形成的根本原因。因此,应尽可能不使包围体相对封闭,以防止或减弱包围体内发生压力骤增,弱化空气冲击波强度,或通过抗爆型包围体或隔爆墙设计等防爆技术原理,使爆炸破坏力和灾害程度降到最低。

§ 1.3 防爆技术措施

防爆技术措施分为两大类:一类是预防性技术措施,即通过控制和消除爆炸事故发生条件,以减少或避免爆炸事故发生;另一类是防护性技术措施,即通过控制爆炸破坏力形成,以减轻或避免爆炸事故发生造成的灾害程度。由于爆炸过程及破坏力形成在极短时间内完成,爆炸事故一旦发生便会造成严重后果,因此,爆炸预防技术措施始终是防爆技术的根本措施。

1.3.1 爆炸预防技术措施

1. 控制工艺参数

在爆炸性物质生产过程中,正确控制各项工艺参数,防止出现超温、超压和物料漏失是有效预防爆炸事故发生的重要技术措施之一。控制工艺参数技术措施主要包括:

- (1) 温度控制 包括控制反应热量、防止搅拌中断以及正确选择传热介质等几个方面。
- (2) 投料控制 包括控制投料速度、配比、顺序及原料纯度等几个方面。
- (3) 防止跑、冒、滴、漏发生 在生产、运输及储存易燃易爆物料过程中,跑、冒、滴、漏往往是导致可燃气体或液体在环境中扩散,导致爆炸事故发生的重要原因之一。
- (4) 紧急情况停车处理 当发生停电、停气、停水等紧急情况时,生产装置要能进行紧急停车处理,否则,若处理不当,就有可能引起爆炸事故发生。

2. 防止爆炸性混合物形成

在爆炸性物质生产过程中,应根据这些物质的爆炸特性及生产工艺和设备条件,采取适当的预防措施,以防止在生产设备和系统内及周围形成爆炸性混合物。主要技术措施包括:

- (1) 设备密闭 充装易燃易爆物质的设备和管道,如果气密性不好,就会造成跑、冒、滴、漏等现象,在设备和管道周围形成爆炸性混合物。同样,当设备和管道处于负压状态时,外界空气便会渗入设备、管道和系统,在内部形成爆炸性混合物。
- (2) 厂房通风 通过加强通风的方法,使渗入设备、管道和系统内的可燃气体、蒸气、粉尘/空气混合的浓度处于爆炸极限范围以外。
- (3) 惰性介质保护 在可燃气体、蒸气、粉尘/空气混合物中加入一定量的惰性介质,可以降低爆炸性混合物中的氧含量,使之降至最大允许氧含量以外。

(4) 用不燃溶剂代替可燃溶剂 在满足生产工艺要求条件下,应尽可能用不燃溶剂或爆炸危险性小的物质来替代易燃溶剂或爆炸危险性大的物质,以防止爆炸性混合物形成。

3. 控制点火源

控制与消除点火源是有效预防爆炸危险性物质发生燃烧、爆炸事故的重要技术措施。现代工业生产过程中,不仅点火源种类繁多,如电火花、静电火花、冲击、摩擦、绝热压缩、高温表

面、热辐射、明火、自然着火等,而且实际作用情况复杂,有时甚至是几种点火源共同起作用;此外,各种可燃性物质的最小点火能量也不相同,因此,应根据点火源种类及实际作用情况采取相应的防爆技术措施以有效控制或消除点火源,从而达到安全生产的目的。

4. 防爆监控措施

(1) 信号报警 安装信号报警装置可以在生产过程出现危险状况时,及时警告操作者采取必要的技术措施,以消除事故隐患。警报装置一般与测量仪表相连,当温度、压力、液位或可燃气体浓度等超过规定控制指标时,报警系统就会发出声、光、数字显示等报警信号。

(2) 安全联锁 使各种仪器和设备按预设程序依次接通的一种机械或电气装置。不符合规定操作程序时,仪器和设备便不能启动、运转或停车,以达到安全生产的目的。

(3) 保险装置 当信号报警装置指示出系统已出现异常情况或故障时,保险装置便能自动采取相应的措施,及时消除不正常状况或扑救危险状况。

1.3.2 爆炸防护技术措施

1. 惰化防爆

在可燃气(粉尘)/空气混合物中人为加入一定量的惰性介质,如氮气、二氧化碳、水蒸气、卤代烃、氦气及岩石粉等,从而达到有效破坏燃烧反应条件的一种防爆技术措施。在可燃气(粉尘)/空气混合物中预先加入一定量的惰性介质,不仅可预防爆炸事故发生,从根本上提高生产工艺及过程的安全性,即使因受生产工艺、产品性能等因素的影响,允许加入的惰性介质质量不足以完全防止爆炸事故发生。也能对爆炸发展起一定的限制作用,使爆炸事故灾害程度得以减轻。因此,惰化防爆既是一种预防性技术措施,又是一种防护性技术措施。

2. 爆炸抑制

在爆炸发生及发展的初始阶段,通过对爆炸危险信号如温度或压力升高、可燃物浓度以及点火源光信号等的实时监测,及时触发抑爆系统向设备中喷洒抑爆剂,以有效抑制爆炸作用范围和猛烈程度,使设备内的爆炸压力低于其耐压强度,避免设备损坏或人员伤亡的一种防爆技术措施。抑爆系统按触发方式不同,可以分为监控动作式和爆炸波从动式两种类型,按抑爆剂作用机制不同,又可分为降温型、传热屏蔽型、惰化型以及联合作用型等几种类型。

3. 爆炸阻隔

利用隔爆装置对设备内发生的燃烧爆炸火焰实施阻隔,使之无法通过管道(或通道)传播到其他设备中去的一种防爆技术措施。隔爆技术措施主要作用包括阻止火焰传播,减轻事故灾害程度,防止高速传播火焰喷射点燃或引爆其他可燃物,引起更大的爆炸压力,以及防止燃烧爆炸火焰在设备之间加速传播引起压力叠加。隔爆技术按作用机制不同,分为机械隔爆和化学隔爆两种类型,主要隔爆装置包括工业阻火器、主动式和被动式隔爆装置等几种类型。工业阻火器主要用于阻隔燃烧爆炸初期的火焰蔓延;主动式隔爆装置依据传感器探测到的爆炸信号实施致动;被动式隔爆装置则通过爆炸波作用引发致动。

4. 爆炸泄压

在爆炸初始或发展阶段,通过泄压口将包围体内的高温、高压燃烧物和未燃物朝安全方向泄出,使包围体免遭破坏的一种爆炸防护技术措施。泄爆条件对容器内爆炸超压影响典型曲线如图 1-3 所示,图中, A、B、C 三条曲线分别对应于无泄压装置、小泄压口和足够大泄压口等三种情况, p_d 为爆炸容器设计强度, p_{stat} 为泄压口开启压力, p_{red} 为泄爆压力。从图中可以看

出, p_{red} 较最大爆炸超压 p_{max} 有大幅度降低; 在泄压口较小情况下, 由于泄爆压力大于容器设计强度, 容器仍会遭到破坏; 当泄压口足够大时, 泄爆压力将低于容器设计强度, 容器不会遭到破坏。

5. 爆炸封闭

爆炸装置是利用封闭容器或设备对爆炸火焰和压力实施有效封闭, 使周围设备或人员免遭破坏或伤害的一种防爆技术措施。因此, 用于爆炸封闭的容器或设备必须能承受一定可燃物的最大爆炸压力作用而不破坏。通常, 这类容器或设备必须按耐压水平或抗爆水平来设计, 两者主要区别在于, 当遭受爆炸压力作用时, 耐压容器不允许出现破裂或永久性塑性变形, 抗爆容器则允许出现一定的塑性变形。

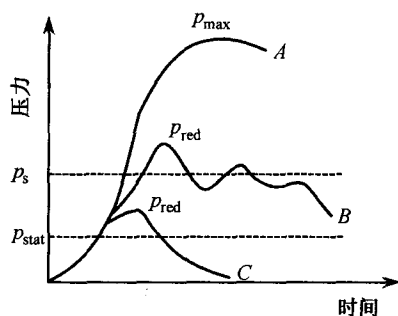


图 1-3 泄爆条件对爆炸超压影响

1.3.3 防爆技术措施优选

选择防爆技术措施的主要依据是生产过程的爆炸危险程度, 只有确定了爆炸性物质的类别、级别和组别以及爆炸危险环境区域后, 才能采取相应的防爆技术措施。首先, 应对产品和生产工艺全过程进行详细分析, 以全面了解生产原料、中间产品及成品的物理、化学性质和危险特性, 危险性物质数量、生产设备及反应温度、压力等工艺条件, 以及其他可能导致爆炸危险发生的各种条件, 以确定生产过程存在的爆炸危险性。其次, 应考虑生产工艺要求, 做到既经济又合理, 使防爆技术措施不仅能避免或最大限度地减少爆炸事故发生, 而且即使爆炸事故发生也能将灾害程度降到最低。此外, 在选择防爆技术措施时, 还应遵循以下原则:

1. 动态控制原则

在有爆炸性物质存在和参与的各种生产过程中, 各种工艺参数如温度、压力、反应速率等都在变化, 因此, 必须采取动态控制原则及相应的技术措施, 才能达到预期的防爆效果。

2. 分级控制原则

爆炸危险系统(包括子系统、分系统等)的规模、范围互不相同, 危险程度和特点也各不相同。因此, 必须根据生产工艺过程的特点及爆炸性物质危险程度, 采取分级控制原则及相应的技术措施, 才能达到既安全又经济的防爆效果。

3. 多层次控制原则

爆炸事故还应按危险程度不同采取多层次控制原则。一般可分为预防性控制、补充性控制、防止事故扩大性控制、维护性能控制、经常性控制以及紧急性控制等六个层次。