

国家自然科学基金 (51504083) 资助
中国博士后科学基金面上项目 (2016M592290) 资助
教育部创新团队发展支持计划 (IRT_16R22) 资助
河南省高校科技创新人才支持计划 (17HASTIT029) 资助
河南理工大学杰出青年科学基金 (J2016-2, J2017-3) 资助
河南省高校基本科研业务费专项资金 (NSFRF1606) 资助
河南理工大学煤炭安全生产河南省协同创新中心资助

赤泥基 瓦斯抑爆粉体材料

Chiniji Wasi Yibao Fenti Caíliao

王 燕 著

非
外
借

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金(51504083)资助

中国博士后科学基金面上项目(2016M592290)资助

教育部创新团队发展支持计划(IRT_16R22)资助

河南省高校科技创新人才支持计划(17HASTIT029)资助

河南理工大学杰出青年科学基金(J2016-2,J2017-3)资助

河南省高校基本科研业务费专项资金(NSFRF1606)资助

河南理工大学煤炭安全生产河南省协同创新中心资助

赤泥基瓦斯抑爆粉体材料

王 燕 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是作者在该领域近几年的研究成果基础上编写而成的。本书主要介绍了瓦斯爆炸机理,瓦斯抑爆机理,瓦斯抑爆材料,赤泥的产生、基本性质、危害和综合利用现状,赤泥改性及改性赤泥的抑爆性能,尿素/赤泥复合粉体抑爆材料、核壳结构 NaHCO_3 /赤泥复合粉体、 KHCO_3 /赤泥复合粉体的构筑及瓦斯抑爆性能方面的研究工作。全书力求做到方法具体、内容新颖充实、分析深入,可作为安全科学与工程、矿业工程和相关交叉学科研究的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

赤泥基瓦斯抑爆粉体材料/王燕著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2017. 8
ISBN 978 - 7 - 5646 - 3683 - 8

I. ①赤… II. ①王… III. ①瓦斯爆炸—研究②赤泥—粉体—研究 IV. ①TD712②TB44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 208168 号

书 名 赤泥基瓦斯抑爆粉体材料
著 者 王 燕
责任编辑 周 红
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司
开 本 787×960 1/16 印张 8.75 彩插 6 字数 202 千字
版次印次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

瓦斯爆炸是煤矿生产的“头号杀手”。虽然近几年煤矿瓦斯事故逐年大幅度下降,但事故总量依然较大,重大事故仍未得到有效遏制,煤矿瓦斯防治形势依然严峻。瓦斯爆炸事故防治可以通过两种途径来实现:① 避免爆炸三要素的同时存在,预防爆炸的发生;② 通过瓦斯爆炸控制技术,抑制初始爆炸发展(抑爆)、阻隔爆炸火焰的传播(阻爆)和泄放爆炸产生的超压(泄爆),进而降低爆炸的破坏程度、缩小其破坏范围,最终减少爆炸事故造成的损失。

抑爆材料是抑爆技术的组成核心,也是决定抑爆效果的关键。近年来,高效抑爆材料的研究成为瓦斯抑爆技术领域的重要课题之一。目前,研究较为广泛的几类抑爆剂主要有:① 水系抑爆剂,如细水雾、超细水雾及活性细水雾等;② 惰性气体抑爆剂,如氮气 N_2 、二氧化碳 CO_2 、氩气等;③ 粉体抑爆剂,如碳酸盐、碳酸氢盐、磷酸盐、磷酸氢盐、卤化物、二氧化硅、尿素等。由于粉体材料具有更为优异的抑制燃烧性能,国内外学者在粉体抑爆领域进行了大量的实验和理论研究,在新型抑爆材料和抑爆技术研发方面取得了较大进展。赤泥是铝工业从铝土矿中提炼氧化铝后残留的一种红色、粉泥状、高含水量的强碱性固体废渣。大量赤泥的堆存对环境造成了极大的危害,并导致了严重的资源浪费。但是,目前赤泥的综合利用仍是世界性难题。综合赤泥粉体的材料来源、化学组成和结构优势,其具有作为瓦斯抑爆材料的可行性,研究其抑爆特性及作用机理具有重要的科学价值,研发高效赤泥基粉体抑爆材料对赤泥的大批量资源化循环利用和煤矿安全生产均具有重要现实意义。

本书是作者在该领域近几年的研究成果基础上编写而成的,主要介绍了瓦斯爆炸机理,瓦斯抑爆机理,瓦斯抑爆材料,赤泥的产生、基本性质、危

害和综合利用现状,赤泥改性及改性赤泥的抑爆性能,尿素/赤泥复合粉体抑爆材料、核壳结构 NaHCO_3 /赤泥复合粉体、 KHCO_3 /赤泥复合粉体的构筑及瓦斯抑爆性能方面的研究工作。全书力求做到方法具体、内容新颖充实、分析深入,适宜于作为安全科学与工程、矿业工程和相关交叉学科研究的参考书。

本书的成稿和勘校过程由王燕副教授和曹建亮副教授共同完成。本书的出版得到了河南理工大学煤炭安全生产河南省协同创新中心、国家自然科学基金(51504083)、中国博士后科学基金面上项目(2016M592290)、教育部创新团队发展支持计划(IRT_16R22)、河南省高校科技创新人才支持计划(17HASTIT029)、河南理工大学杰出青年科学基金(J2016-2,J2017-3)和河南省高校基本科研业务费专项资金(NSFRF1606)资助,在此一并表示感谢!

由于粉体抑爆材料和工业固废赤泥综合利用研究的快速发展,加之作者水平有限,本书谬误和疏漏之处在所难免,敬请专家读者批评指正。

著 者

2017年5月于河南理工大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 瓦斯抑爆的意义	1
1.2 瓦斯抑爆研究现状	2
1.3 赤泥及其改性和综合利用现状	10
1.4 粉体抑爆材料研究进展	27
1.5 赤泥作为粉体抑爆基体材料的可行性	30
第 2 章 抑爆材料表征设备及抑爆系统	32
2.1 抑爆材料表征设备	32
2.2 抑爆实验系统	35
第 3 章 瓦斯爆炸特性参数	42
3.1 甲烷-空气预混气体爆炸火焰传播特点	43
3.2 爆炸火焰传播速度相关参数	46
3.3 甲烷-空气预混气体爆炸感应期	47
3.4 甲烷-空气预混气体爆炸压力变化特征	48
3.5 火焰最大速度、加速度与最大爆炸压力、最大升压速率出现 的时间	50
第 4 章 赤泥改性及改性赤泥的瓦斯抑爆特性	53
4.1 拜耳法赤泥的基本特性	53
4.2 赤泥改性处理	56
4.3 改性赤泥抑制瓦斯爆炸性能	64

第 5 章 尿素/赤泥复合粉体的瓦斯抑爆特性	76
5.1 尿素/赤泥复合粉体材料的制备	76
5.2 尿素/赤泥复合粉体材料的表征	77
5.3 尿素/赤泥复合粉体材料的瓦斯抑爆性能	84
5.4 尿素/赤泥复合粉体材料的瓦斯抑爆机理	95
第 6 章 核壳型赤泥基复合粉体的制备及瓦斯抑爆特性	98
6.1 核壳型 KHCO_3 /赤泥复合抑爆粉体	98
6.2 核壳型 NaHCO_3 /赤泥复合抑爆粉体	110
第 7 章 结论与展望	123
7.1 本书结论	123
7.2 展望	125
参考文献	126
附图	135

第1章 绪 论

1.1 瓦斯抑爆的意义

我国是煤炭大国,煤炭产量位于世界前列,我国的高产煤量 95%源于地下开采。由于现阶段开采的煤层绝大多数属于石炭二叠纪,因此,瓦斯成为严重威胁煤矿安全生产的自然因素之一,我国也成为瓦斯灾害最严重的国家之一。在透水、瓦斯、火灾、顶板、煤尘等五大煤矿灾害中,瓦斯事故发生最为频繁,事故造成的危害也最大。根据有关资料显示,在我国每年瓦斯爆炸事故中,死亡人数在 30 人以上的特大煤矿事故占绝大多数;在发生死亡人数超过 10 人的特大事故中,70%为瓦斯爆炸事故;在死亡 3 人以上的重大事故中瓦斯爆炸事故发生率远高于其他各种事故。

瓦斯是一种易燃易爆气体,其主要成分是甲烷。达到爆炸极限的瓦斯与空气混合气体,一旦得到能够触发燃烧反应的能量,就有可能形成极具破坏力的爆炸事故,造成大量人员伤亡和财产损失的严重损失。矿井瓦斯爆炸事故每年都会造成数十亿的直接或间接经济损失,对井下工作人员的人身安全造成极大的威胁,严重影响煤炭行业的快速发展。

矿井瓦斯爆炸事故带来的损失和影响触目惊心,亟须煤矿安全工作人员和研究学者提供高效的抑制瓦斯爆炸技术手段。由于煤矿井下的生产环境极其复杂,不确定性因素较多,事故突出表现为随机性和偶然性,给事故预防带来极大的困难。因此,采用有效的技术手段对灾害事故进行控制具有一定难度。针对瓦斯爆炸这类难预防、危害严重的事故,研究瓦斯抑

爆、控爆技术具有十分重要的意义。然而瓦斯爆炸是一个极其复杂的物理化学过程,其中包括流体力学、燃烧化学、化学动力学等多个学科交叉的复杂机制,而爆炸过程中产生的湍流效应、压力波、火焰等与抑爆剂的相互作用机理至今没有一个完善的理论体系对其作系统的描述。另外,煤矿井下瓦斯爆炸体系庞大而复杂,利用井下巷道开展瓦斯爆炸规律和抑爆性能相关实验投资损耗过大,因此,在实验室采用小型实验管道对井下瓦斯爆炸和抑爆过程进行模拟,研究瓦斯爆炸和抑爆过程中爆炸特征参数变化规律,可以为瓦斯爆炸防治及控制提供一定的理论基础。

1.2 瓦斯抑爆研究现状

1.2.1 瓦斯爆炸机理

1.2.1.1 热点火机理

在热点火理论中,可燃气体因自热而引起着火,由阴燃到明火直至发生爆炸的现象,称热爆炸或热自燃。热爆炸机理认为,热和活性中心是维系整个爆炸过程的基本条件,在一定条件下混合气体反应的产生热量速率大于向外散失热量的速率,即:

$$\frac{dQ_{\text{产}}}{dt} > \frac{dQ_{\text{散}}}{dt} \quad (1-1)$$

这导致热失衡现象,而产生的热累积引起系统的温度升高,反应速度不断加快。如此循环,当混合气体储能超过所在空间体系能够容纳的能量阈值时,就会引起爆炸。即:

$$C_{\text{CH}_4} E_{\text{CH}_4} + C_{\text{O}_2} E_{\text{O}_2} > E \quad (1-2)$$

式中 C_{CH_4} —— 瓦斯气体浓度;

E_{CH_4} —— 瓦斯分子能量;

C_{O_2} —— 氧气气体浓度;

E_{O_2} —— 氧气分子能量;

E —— 能量阈值。

当爆炸临界温度(T)与环境温度(T_a)之差小于 RT_a^2 时,热爆炸才会中断。

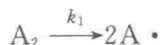
1.2.1.2 链式反应机理

用光、热等方法使可燃气体开始反应,通过活性自由基使一系列反应相继传递发生并自动发展下去,这种反应称为链式反应。有理论认为:瓦斯爆炸是一种剧烈而迅速的分支连锁反应。可燃气体分子吸收一定的能量,发生链断裂,产生两个或两个以上的自由基,这种高能量、异常活泼的自由基再次参与反应,产生更多的自由基,自由基借助于自身反应热进行再生,循环往复,如此发生连锁反应形成爆炸。

所有的链式反应都包含以下三个步骤。

(1) 链的引发

链引发是反应物分子在吸收一定的能量后,其分子键发生断裂生成最初链载体的过程。



式中 A_2 ——气体分子;

k_1 ——分子键断裂需要吸收的能量;

$A \cdot$ ——活性自由基。

(2) 链传递

链传递时自由基与反应物分子相互作用交替的过程,是旧自由基被反应消耗,新的自由基生成的过程。



式中 B_2 ——气体分子;

$B \cdot$ ——活性自由基。

(3) 链终止

链终止是链式反应中自由基被消除。链终止的方式一般有两种:一种是体相终止,即自由基在反应系统中与第三者接触,结合成惰性分子并放出能量;另一种是器壁终止,即自由基与反应容器壁接触,放出能量而失活。



式中 AB ——反应生成物;

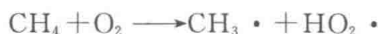
k ——放出的能量。

1.2.1.3 瓦斯爆炸链式反应机理

瓦斯爆炸是一种剧烈而迅速的链式反应,包括链引发、链传递、链分支

和链终止四个过程,随着反应的进行和温度的升高,其支链反应模式也发生着变化。甲烷在空气中的燃烧反应,生成的普通产物为 CO 、 H_2 、 H_2O 、 CO_2 等,其间还会产生大量自由基 $\text{H}\cdot$ 、 $\text{O}\cdot$ 、 $\text{OH}\cdot$ 、 $\text{HO}_2\cdot$ 、 $\text{HCO}\cdot$ 、 $\text{CH}_3\cdot$ 等物质。在系统温度较低的情况下甲烷的氧化反应模式为:

链引发:



链传递:



随着反应的进行,产热越来越多,系统的温度逐渐升高,甲烷的氧化开始出现一些高活性的基元反应。1970 年 Seery 和 Bowman 提出的甲烷氧化机理描述高温下甲烷氧化的反应方程式如下:

链引发:



链支化:



链传递:

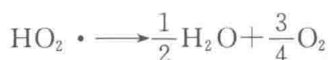
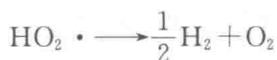




气相断链：



器壁断链：



有关资料表明,当温度为 2 000 K 左右时,甲烷分子反应的起始步骤大都是烃分子高温分解出烷基,气相断链和器壁断链都是属于链终止。

1.2.2 瓦斯抑爆机理

矿井控制瓦斯爆炸事故的措施分事前预防和事后控制两部分。事前预防是指对瓦斯爆炸发生之前或初期采取预防措施,其目的是控爆和抑制初始爆炸。事后控制是指在瓦斯爆炸发生后采取的抑制措施,其目的是为了阻止瓦斯爆炸进一步的传播和扩散,缩小爆炸范围和降低爆炸威力。前者使用抑爆材料的时间是在引爆可燃性混合气体之前或初期阶段,并使抑爆材料遍布整个实验空间;后者是在可燃性混合气体引爆之后,喷洒抑爆材料,并在实验容器内形成一个消燃剂区域,保证能与爆炸传播过程中的火焰接触并相互作用。

瓦斯抑爆技术,大体上可归纳为物理抑爆和化学抑爆两大类。物理抑爆作用主要通过抑爆剂的吸热降温或稀释反应物的浓度等方式抑制瓦斯爆炸。瓦斯爆炸事故发生时,抑爆装置被触发并把抑爆剂注入燃烧区,通过与火焰的混合,抑爆剂从爆炸火焰中吸收热量发生熔化、汽化等相变直

至热分解,在此过程中从爆炸火焰中吸收大量的热量,降低系统的温度。当抑爆剂作为惰性材料,如氮气,被注入到爆炸区域时,该区域的氧浓度和瓦斯浓度都会随注入惰性气体量的增加而减小,当瓦斯浓度降低到爆炸极限以下或氧浓度小于 12% 时,爆炸事故就会终止。

化学抑爆作用主要是通过抑爆剂吸附消耗自由基,降低爆炸中心可燃分子活性来降低爆炸的强度。通过对瓦斯爆炸的链式反应机理分析可知,链式反应体系中存在被称为链载体的活性中间物质,与燃烧区域内稳定分子进行反应称为反应中心,它能使稳定的气体分子的化学形态转化为产物。链式反应中最活跃的部分是链传递过程,该过程中旧自由基消亡而新自由基生成,通过链分支过程自由基的数目不断增加,反应速度加快,使瓦斯加速氧化进而达到爆炸。抑爆剂的化学抑爆就是通过与活性自由基反应,生成较为稳定的物质,降低活性中心自由基的浓度,降低链分支、链传递的速度,直至链终止,爆炸中断。

1.2.3 瓦斯抑爆材料

瓦斯抑爆材料是抑爆技术的组成核心之一。在瓦斯爆炸以后,抑爆材料通过改变爆炸反应条件,降低爆炸威力,限制爆炸事故的破坏作用。

1.2.3.1 粉体材料抑爆

粉体抑爆材料需具备 3 个条件:① 粉体本身必须是难燃或不燃的惰性颗粒且对环境和工作人员无毒害作用;② 粉体具有较大的比表面积,能够更多地与反应物接触并相互作用;③ 抑爆粉体的粒径和密度需足够小,能够在燃烧或爆炸空间内长时间的悬浮。近些年来,国内外许多专家学者致力于瓦斯抑爆粉体材料的研究,并取得了一定的进展。粉体材料以其性能优良、储运方便、无毒害等特点在瓦斯抑爆领域得到了一定程度的应用。目前,常用的固体抑爆剂主要有碳酸氢盐(NaHCO_3 、 KHCO_3)、磷酸盐(ABC 干粉)、有机金属化合物(二茂铁)、碳酸盐(CaCO_3)、卤化物(KCl 、 NaCl)、氢氧化物 $[\text{Al}(\text{OH})_3, \text{Mg}(\text{OH})_2]$ 以及尿素、硅藻土等。抑爆粉在爆炸过程中起到冷却、窒息燃烧爆炸反应,并消耗自由基降低活性中心活性致使链式反应中断的作用。

Laffitte 和 Bouchet 等考察了抑爆微粒对爆轰的抑制作用。研究发现:

保持单位体积粒子质量不变,逐渐减小粒子直径,随着粒子总表面积的增加,防止爆轰产生的能力也就越强。Cybulski 等对各种爆炸灾害过程及其防治技术进行了大量的实验研究。抑爆效果对各种影响因素极为敏感,包括抑爆剂种类、粒子直径和空间分布状态、抑爆装置的工作方式,甚至抑爆场的空间约束状态等。重庆煤科院建立了大型爆炸实验巷道,研制开发了一系列抑爆装置,广泛用于气体和工业超细粉体爆炸防治实践。蔡周全、张引合等针对 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (ABC 粉末) 抑爆剂进行了大量研究。研究表明:ABC 粉末粒度对瓦斯抑爆性能有明显影响,且粒度越小抑爆性能越好。西安科技大学的张辉等对瓦斯爆炸初期火焰传播特性、惰性纳米级粉体抑制瓦斯爆炸效果进行了实验研究。结果表明:① 喷入惰性纳米级粉体爆炸感应期延长,所需要的点火能量增大,随着粉体粒度和浓度的增大,感应期延长的时间越长,需要的点火能量越大;② 喷入粉体后瓦斯爆炸火焰速度传播较平缓,峰值速度降低;③ SiO_2 纳米和微米级粉体对比分析,粉体的粒度越小其起爆的时间也较早,根据超细粉体爆炸理论分析是超细粉体会吸附氧,使其更加具有活性,粉体的粒度越小,比表面积越大,吸附的也就越多。西安科技大学苏俊杰对超细无机阻燃材料——超细氢氧化镁和氢氧化铝,对瓦斯控爆效能进行了实验研究。研究结果表明:粉体的加入使得瓦斯爆炸感应期延长,火焰传播速度减慢,表现出最好的抑爆效果。西安科技大学程方明对超细粉体对瓦斯抑爆效能进行了实验研究,侧重于瓦斯爆炸的特征参数值,对实验材料的抑爆效能进行了比较,结果表明:抑爆粉体的加入使得瓦斯爆炸的感应期延长,火焰传播速度减慢,抑爆效果明显。南京理工大学范宝春等通过向燃烧管内添加 CaCO_3 颗粒,研究其对 H_2 与 O_2 混合物爆炸过程的抑制作用,得出结论:只有颗粒的浓度大于某值时,才有抑制爆炸的效果,否则爆炸波会在抑制后重新成长。另外,作者通过分裂方法、全耦合 TVD 格式和 Lax-Wen-Droff-Rubin 格式对粉尘抑爆现象进行数值模拟,发现模拟结果与实验结果一致。

1.2.3.2 惰性气体抑爆

惰性气体抑爆材料通常是氩气、氮气和二氧化碳等。惰性气体通过降低燃气浓度和隔绝氧气,使燃烧区域窒息,最终达到抑制燃烧的目的。胡耀元、钟依均等通过实验研究 N_2 、 CO_2 和水蒸气对瓦斯气体支链爆炸的抑

制作用。Bundy 等利用 CO_2 、 N_2 和 CF_3Br 研究惰性气体对甲烷火焰的抑制作用,结果表明惰性气体抑制甲烷火焰具有特定的体积分数,并得出各惰性易爆气体的具体临界体积分数。王华、葛玲梅等通过惰性气体抑制瓦斯爆炸实验,研究了惰性气体 CO_2 和 N_2 对瓦斯爆炸极限和临界氧浓度的影响。结果表明,惰性气体 CO_2 和 N_2 对瓦斯爆炸具有一定的抑制作用,且 CO_2 比 N_2 有更好的抑制效果。邱雁、高广伟等通过向火区注入惰性气体,发现其具有稀释火区瓦斯、惰化火区大气和降低瓦斯爆炸极限的作用。华北工学院吴志远利用实验验证惰性气体浓度增大到一定程度时,可燃预混气体可被惰化为不可燃气体。

1.2.3.3 水系抑爆

水系抑爆是指以水为主要抑制剂的抑爆技术。细水雾是指高压水流通过特制喷嘴时产生区域雾状水滴,雾滴累计体积分布粒径 $Dv0.99$ 小于 $1\,000\ \mu\text{m}$ 。雾化的水滴粒径很小,比表面积增大,在燃烧空间内具有较强的热交换能力,能更好地降低系统温度。细水雾的灭火机理主要分为:水滴汽化吸热降低系统温度;降低燃烧空间的氧含量,窒息燃烧;防止热辐射扩散,限制火焰传播;拉伸火焰,降低火焰能量。

谢波、范宝春等在大兴通道中分别对主动式和被动式水雾抑爆进行实验研究,结果表明,主动式抑爆是水雾密度、水雾长度对激波、火焰起到抑制作用;被动式抑爆时水槽存水量和水槽布置对激波的衰减起一定的作用。Acton 等在具有障碍物的封闭管内研究工业环境下水雾对爆炸的抑制作用。结果表明,一方面使用水雾可使爆炸所产生的超压显著降低,但另一方面,因为水雾的使用也可缩短爆炸感应期。陆守香等分析了水系抑制瓦斯爆炸的化学反应动力学原理,认为水以第三体出现在爆炸环境中参与三元碰撞反应,降低活性中心的能量,阻断瓦斯爆炸反应链。Shimizu 等利用纹影仪对水雾与甲烷火焰相互作用过程进行实验研究,发现水雾通过吸热蒸发成水蒸气对火焰包裹达到熄灭火焰作用。Parra 等通过测定不同水幕障碍物对爆燃和爆轰的抑制效率,水雾通过稀释降低氧浓度达到熄灭火焰的目的。通过在细水雾中添加水溶性无机盐做添加剂,可以有效提高其灭火性能。当加入添加剂,比如 NaHCO_3 、 KCl 、 NaCl 等,能够和瓦斯爆炸产生的自由基进行反应,通过终止链式反应达到抑制爆炸的效果。西安科

技大学林莹等对超细水雾抑制瓦斯爆炸的可行性做了研究分析,结果证明,超细水雾能够明显降低火焰传播能量。河南理工大学余明高等利用自主搭建的细水雾抑制瓦斯爆炸实验管道,研究细水雾对瓦斯爆炸的抑制效果,并对其进行定性和定量分析。研究发现,在雾通量足够大的情况下,细水雾能够有效抑制瓦斯爆炸的传播速度、降低火焰温度,并能改变火焰图像特性。

1.2.3.4 气溶胶抑爆

气溶胶,是固体或液体颗粒悬浮于气体介质中的一种物质分散形态,微粒粒径大部分小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。其中,固体微粒主要是金属氧化物和碳酸盐,气体的成分主要是二氧化碳、氮气和水蒸气等惰性物质。气溶胶灭火机理包含物理吸热和化学阻断两方面作用。详细作用机理主要包括以下几个方面:① 气溶胶微粒遇到高温时能发生强烈的吸热反应,迅速降低火焰温度;② 溶胶烟雾吸收火焰的热辐射,阻止了燃烧区和未燃区之间的热传递,使火焰传播过程受到抑制;③ 气溶胶微粒以及其受热分解产生的离子,与燃烧过程中可燃物热解产生的活性自由基发生反应,阻断链式燃烧过程中的链传递,促进链终止,从而抑制燃烧反应。

1.2.3.5 多孔材料抑爆

多孔材料是一种由固相骨架和相互贯通或封闭的孔洞空隙构成网络结构的材料。根据多孔材料的孔洞结构类型,可将其分为两类:一种是由多边形空隙在平面上聚集排列形成二维结构,例如,形状类似于蜂房的六边形孔结构,被称为“蜂窝”材料;更为普遍的是直接由大量多面体形状的孔洞在空间聚集堆积形成三维结构,就是通常说的“泡沫”材料。

M. I. Radulescu 和 J. H. S. Lee 通过研究具有多孔壁面的管道对爆轰过程的影响发现,多孔壁面可以有效削弱横波,形成膨胀波,造成反应区火焰温度下降。Duper 等通过研究衬在管道壁面上的网孔材料对爆炸的影响,发现其对爆轰波有显著的降低作用,研究分析表明网孔材料对横波的声吸收是使得爆轰波衰减的主要原因。林柏泉等通过理论分析多孔金属材料对瓦斯爆炸传播的抑制作用,发现横波的消除和能量的吸收是多孔金属材料在抑制瓦斯爆炸的过程中起主要作用。聂百胜等对泡沫陶瓷对瓦斯爆炸火焰传播的影响作了实验研究和理论分析,结果发现,爆炸管道内

放置泡沫陶瓷可以减小火焰传播速度和降低爆炸压力,对煤矿井下多次和连续瓦斯爆炸的阻隔技术研究提供了方向。

1.3 赤泥及其改性和综合利用现状

1.3.1 赤泥的产生

氧化铝既溶于碱也溶于酸,因此生产氧化铝的方法有许多种,包括酸法、碱法、酸碱联合法、热法等。目前,工业上普遍采用碱法生产氧化铝,主要是利用氢氧化钠或者碳酸钠溶液和氧化铝发生反应制备成铝酸钠溶液,同时铝土矿中的大量钛、铁以及二氧化硅等杂质进入赤泥中,然后经过固液分离后,对分离出的液体进行净化处理,即可获得氧化铝。常见的碱法生产氧化铝包含三种:烧结法、拜耳法和联合法。采用以上三种不同的氧化铝生产工艺,就会产生三种不同类型的氧化铝赤泥。目前,因矿石资源不同,国内上述三种工艺路线并存。本书中所采用的赤泥为拜耳法赤泥。

1.3.1.1 拜耳法赤泥

拜耳法生产氧化铝工艺是由 K. J. 拜耳在 1889~1892 年所提出的。最初的拜耳法生产氧化铝工艺由两个过程组成:一是铝酸钠溶液的晶种分解过程,氧化钠和氧化铝摩尔比为 1.8 的铝酸钠溶液在常温下,添加氢氧化铝作为晶种,不断搅拌,溶液中的铝酸钠便可转化为氢氧化铝而徐徐析出,直到其中的氧化钠和氧化铝摩尔比提高到 6 为止。二是利用母液溶出铝土矿的过程,在上一过程中析出的大部分氢氧化铝溶液,在加热时又可以溶出铝土矿中的氧化铝水合物。

具体的化学反应过程如下:



该反应是在一定的温度和高压条件下,以 NaOH 溶液溶出铝土矿,使其中的氧化铝水合物按上式反应向右进行得到铝酸钠溶液;溶出铝土矿后,形成赤泥和铝酸钠的混合浆液,浆液经过稀释沉降或过滤使赤泥和铝酸钠溶液彻底分离,分离后从铝酸钠溶液中生产出氧化铝,而赤泥需多次洗涤才能降低氧化钠和氧化铝的损失;最后,经过沉降压滤所得的滤渣即