



国家“十一五”重点图书出版规划

2012年度国家出版基金资助项目 (2012X1-001)

国家重点基础研究发展计划 (973计划) (2005CB221506)

国家自然科学基金青年科学基金 (51204174)

国家科技支撑计划 (2007BAK29B01)

煤矿瓦斯爆炸 机理及防治技术

林柏泉 等 编著

Gas Explosion Mechanism

and Control Technology in Coal Mines



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



国家“十一五”重点图书出版规划

2012年度国家出版基金资助项目(2012X1-001)

国家重点基础研究发展计划(973计划)(2005CB221506)

国家自然科学基金青年科学基金(51204174)

国家科技支撑计划(2007BAK29B01)

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

煤矿瓦斯爆炸 机理及防治技术

林柏泉 等 编著

Gas Explosion Mechanism

and Control Technology in Coal Mines

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

内 容 提 要

本书系统地阐述了煤矿瓦斯爆炸机理及防治技术,内容包括瓦斯爆炸的研究现状及其危害、瓦斯爆炸的物理化学基础、瓦斯爆炸传播的基础理论、瓦斯(煤尘)爆炸的基本特性、瓦斯爆炸传播过程的动力学特性、矿井瓦斯爆炸危险性安全评价、矿井瓦斯(煤尘)爆炸的控制技术以及矿井瓦斯爆炸应急救援与事故分析。

本书既可供煤炭工业高校师生与科研院所研究人员使用,也可供煤矿现场的工程专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿瓦斯爆炸机理及防治技术/林柏泉等编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.10
ISBN 978 - 7 - 5646 - 1570 - 3

I. ①煤… II. ①林… III. ①煤矿—瓦斯爆炸—防治
IV. ①TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第172438号

书 名 煤矿瓦斯爆炸机理及防治技术
编 著 林柏泉 等
责任编辑 马跃龙 刘红岗 黄本斌 李 敬 杨 廷
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 江苏淮阴新华印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 30.5 字数 761 千字
版次印次 2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷
定 价 88.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《煤矿瓦斯爆炸机理及防治技术》

编著人员名单

主 编：林柏泉

副 主 编：朱传杰 江丙友

编著人员：林柏泉 朱传杰 江丙友

菅从光 钱立平 叶 青

李庆钊 吴征艳 李子文

序 —

煤矿瓦斯爆炸事故一直是矿井安全生产的重大威胁之一,其基础理论的研究具有重要意义,国内外广大学者近年来在这方面投入了大量的研究工作,积累了丰富的研究成果。林柏泉教授在20世纪90年代与我共同建设了中国矿业大学瓦斯煤尘爆炸实验室,其后一直坚持从事瓦斯爆炸的基础研究工作,培养了大批优秀的博士和硕士研究生,而且作为课题负责人承担了多项国家级科研课题,取得了丰富的研究成果。同时,近年来,他也积极地从事瓦斯爆炸事故的控制技术研究,还参与了2003年安徽芦岭煤矿“5·13”特别重大瓦斯爆炸事故、2004年河南大平煤矿“10·20”特别重大瓦斯突出引起瓦斯爆炸事故和2005年黑龙江七台河东风煤矿“11·27”煤尘爆炸事故等多起特别重大瓦斯(煤尘)爆炸事故的调查工作。现在由他主编的《煤矿瓦斯爆炸机理及防治技术》一书即将出版,我感到由衷的喜悦和欣慰!

瓦斯爆炸作为气体爆炸的一种重要形式,其反应机理及基本传播理论符合经典的气体爆炸理论。但是,由于煤矿巷道网络系统的复杂性,使得影响爆炸基本特性与传播特征的因素较多,如巷道拐弯、分岔、断面突变及网络特征等,其传播行为及冲击波特征往往表现出一些独特的规律。同时,煤尘及多种伴生可燃气体的存在,使得瓦斯爆炸表现出一些独特的特性,这都给爆炸的预防和控制带来了困难。同时,如何有效地评价煤矿瓦斯爆炸事故的危险性,采取什么样的技术措施来防止瓦斯爆炸条件的形成,爆炸发生后的事故救援和处理原则是什么,都是广大煤矿工作者心中的疑惑。以往这方面的研究成果并不少见,无论是行业内的,还是其他领域的,都有很多值得借鉴的地方。然而,一直没有对这些研究成果进行系统的整理工作,使得这些成果的应用受到一定的限制。

近年来,瓦斯爆炸及其控制方面的著作不在少数,也不乏经典之作,但像这本书如此系统而全面地介绍瓦斯爆炸的相关知识实属少见。它涉及的内容既包含了瓦斯爆炸的内在化学反应本质和外在物理特征等基础理论知识,同时也结合作者以往的研究成果,详细介绍了巷道系统内各种影响因素对瓦斯爆炸特性和传播过程的影响规律,给出了瓦斯爆炸危险性的安全评价方法。而且书中还介绍了瓦斯爆炸事故的一些预防技术措施,以及发生事故后如何开展事故救

援工作和后期调查处理的一些基本原则等。内容全面,从基础理论、实验工作到技术实践等方面都有所涉及,系统逻辑地向我们展现了瓦斯爆炸的发生与发展机理、危险性安全评价、控制技术以及事故救援与处理等。

本书是林柏泉教授学术团队多年来研究工作的总结,主要内容来源于他承担的国家自然科学基金项目、国家科技支撑计划课题和国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题等。此外,该书还吸收了国内外煤矿瓦斯爆炸方面的最新研究成果。全书知识结构合理,书稿内容新颖,注重理论与实践相结合,对瓦斯爆炸事故的预防和控制具有重要的指导意义,是一部不可多得的学术著作。

中国工程院院士



2012 年 8 月 15 日

序 二

煤炭是我国的主要能源,目前占我国一次能源生产和消费结构中的70%~75%,在当前及今后相当长的时期内,煤炭仍将作为我国的主导能源。煤层瓦斯是煤的伴生物,是同煤共生并存储在煤与围岩中的气藏资源,在煤炭开采过程中,它通常以涌出的形式排放出来,在一定的条件下,即可发生瓦斯爆炸,造成重大的人员伤亡。新中国成立以来,全国煤矿发生一次死亡百人以上事故共24次,其中瓦斯(煤尘)爆炸事故21次,它的发生次数占事故总次数的87.5%,死亡人数占事故总死亡人数的90.6%。近年来,随着矿井生产机械化水平和生产集约化的提高,以及不少特大型矿区例如抚顺、淮南、平顶山、鸡西、鹤岗等相继进入深部开采,瓦斯涌出量急剧增加,瓦斯积聚和超限的地方增多,大功率采煤机、掘进机和胶带输送机等机电设备摩擦产生火花,并引燃瓦斯爆炸的潜在危险性增大,防治瓦斯爆炸事故已成为煤矿安全工作中迫切需要解决的问题。

为了防治煤矿瓦斯爆炸,世界各产煤国都投入了大量的资金、人力和物力,对煤矿瓦斯爆炸发生条件、机理和抑爆隔爆技术进行研究。经过数十年的研究和不断探索,在煤矿瓦斯爆炸的基本特性、火焰与冲击波的传播特性、危险性安全评价、阻爆隔爆技术等方面,取得了长足的进步,初步形成了瓦斯爆炸防治的技术体系。中国矿业大学瓦斯煤尘爆炸实验室建立于20世纪90年代,当时正是国内煤矿瓦斯爆炸事故多发时期。该实验室利用自制爆炸管道,开展了大量的瓦斯(煤尘)爆炸研究,承担了国家科技攻关计划项目、国家科技支撑计划项目、国家重点基础研究发展计划(973计划)项目、国家自然科学基金项目等多项国家级科研项目,为煤矿瓦斯爆炸的防治工作做出了贡献。

本书正是以中国矿业大学瓦斯煤尘爆炸实验室多年来在瓦斯爆炸机理与防治技术方面取得的科研成果为基础,参考了国内外在该领域取得的最新成果撰写而成。全书知识结构合理,内容新颖,论述翔实,注重理论与实践相结合,不但详细论述了瓦斯爆炸的理论基础以及防治技术,而且在瓦斯爆炸发生后的应急救援和事故处理等方面也进行了阐述。其正式出版,对当前我国煤矿现场瓦斯爆炸防治工作具有重要的指导作用,是一部不可多得的学术著作。

中国工程院院士

2012年7月21日

前 言

我国 90% 的煤炭生产为井工开采, 开采平均深度近 500 m, 目前还以每年 10~12 m 的速度向下延伸。井下煤层赋存及开采条件复杂, 面临瓦斯、火、尘、顶板和水等自然灾害的严重威胁。2005 年至 2010 年, 工矿企业一次死亡 10 人以上重大事故中, 煤矿事故占 72%~86%。瓦斯(煤尘)爆炸事故是煤矿事故中最严重的灾害事故之一, 它可以造成大量的人身伤亡和巨大的国家财产损失。新中国成立以来, 全国煤矿发生一次死亡百人以上事故共 24 次, 其中瓦斯(煤尘)爆炸事故 21 起, 它的发生次数和死亡人数分别占总事故的 87.5% 和 90.6%。因此, 对于煤矿井下生产和人员安全而言, 如何有效防治煤矿瓦斯(煤尘)爆炸灾害事故是当前煤矿的主要任务之一。

煤矿瓦斯爆炸研究工作历史悠久, 大多数工业化国家如美国、俄罗斯、波兰、德国等对煤矿瓦斯爆炸都进行过试验研究。但是, 在我国, 煤矿瓦斯研究工作真正得到重视和落实则是在新中国成立以后, 尤其是在 20 世纪 80 年代以后, 投入了大量的人力、物力和财力从事矿井瓦斯爆炸发生机理与防治技术的研究工作。为了进一步推动煤矿瓦斯(煤尘)爆炸研究, 及时总结经验, 我们撰写了这本《煤矿瓦斯爆炸机理及防治技术》。

本书内容主要来源于我们承担的国家自然科学基金项目、国家科技支撑计划课题和国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题等。此外, 该书还吸收了国内外煤矿瓦斯爆炸方面的最新研究成果。它涉及瓦斯爆炸的化学和物理学基础理论、爆炸的基本特性、爆炸传播的动力学特性等, 书中还阐述了矿井瓦斯爆炸危险性的安全评价方法、瓦斯爆炸事故的一些控制措施以及发生事故后如何开展事故救援工作和事故调查处理等。

本书由中国矿业大学林柏泉教授担任主编。全书共分 8 章, 第 1 章为绪论, 论述了瓦斯爆炸的研究现状及其危害, 由林柏泉编写; 第 2 章为瓦斯爆炸的物理化学基础, 由江丙友、李子文编写; 第 3 章为瓦斯爆炸传播的基础理论, 由江丙友编写; 第 4 章为瓦斯(煤尘)爆炸的基本特性, 由林柏泉、朱传杰、李庆钊编写; 第 5 章为瓦斯爆炸传播过程的动力学特性, 由林柏泉、菅从光、朱传杰编写; 第 6 章为矿井瓦斯爆炸危险性安全评价, 由林柏泉、钱立平编写; 第 7 章为矿井瓦斯(煤尘)爆炸的控制技术, 由林柏泉、叶青、吴征艳编写; 第 8 章为矿井瓦斯爆炸应急救援与事故分析, 由朱传杰、江丙友编写。此外, 刘谦、代华明、刘非非、赵帅、洪溢都、孙豫敏等同志也参与了书稿的整理和编写工作, 戚绪尧同志帮助审校了书中的英文内容。全书由林柏泉教授负责统稿。

在本书出版之际, 首先感谢我的恩师中国工程院周世宁院士。周世宁院士是我国著名的矿井瓦斯防治专家, 中国煤矿瓦斯学科的开拓者和主要奠基人之一, 他一生致力于煤矿瓦斯灾害的防治和矿业安全人才的培养。本书中涉及的大部分实验都是在中国矿业大学瓦斯煤尘爆炸实验室内完成的, 而该实验室正是由我本人在周世宁院士的带领下筹建完成的。

在得知本书即将出版之际,他欣然为本书作序,给予了我们极大的鼓励。

中国工程院袁亮院士也特地为本书作序,认为全书知识结构合理,书稿内容新颖,注重理论与实践相结合,对瓦斯爆炸事故的预防和控制具有重要的指导意义,是一部不可多得的学术著作。在此表示崇高的敬意和衷心的感谢。

中国矿业大学俞启香教授和中国矿业大学(北京)周心权教授在百忙中抽出时间认真审阅了本书,并提出了很好的建议,在此向他们表示衷心的感谢。

衷心感谢中国煤炭科工集团煤炭科学研究总院卢鉴章研究员、重庆煤炭科学研究院胡千庭研究员、中国矿业大学何学秋教授等科技工作者对我们科学研究的指导和帮助。

衷心感谢中国矿业大学(北京)周宏伟教授、马念杰教授、秦跃平教授,重庆大学尹光志教授、许江教授,中国矿业大学王恩元教授、周延教授对书稿的编写给予的有益讨论和建议。

衷心感谢在书稿的编写工作中付出辛勤劳动的中国矿业大学出版社马跃龙主任、刘红岗博士、黄本斌编辑、李敬编辑、杨廷编辑等。

衷心感谢国家科学技术部和国家自然科学基金委员会给我们提供的研究经费支持。

最后,还要特别感谢国家出版基金的资助!

书中难免有疏漏之处,欢迎广大读者不吝指正!

林柏泉

2012年9月29日

Preface

90% of coal is produced by underground mining in China, the average mining depth is about 500 m, and it extends downward at a speed of 10~12 m per year. The occurrence condition of coal seams and mining technical measures are very complicated, facing the grave threats of gas, fire, dust, roof, water and other natural disasters. Among the serious industrial accidents that killed more than 10 persons, the coal mining accidents account for 72%~86% from 2005 to 2010. Gas (coal dust) explosion is one of the most serious disasters in the coal mining accidents, and it can cause a large number of losses of human lives and property. Since 1949, 24 serious accidents with more than 100 deaths at one time have occurred in the national coal mines. Among them, 21 accidents were resulted from gas or coal dust explosions, the occurrence frequency and the number of deaths respectively account for 87.5% and 90.6% in the total accidents. Therefore, how to effectively prevent the coal mine gas (coal dust) explosion accidents is one of the main tasks for underground mining and personnel safety in coal mines.

The research of coal mine gas explosion has a long history, most industrialized countries have carried out many experimental investigations in this field, such as United States, Russia, Poland, Germany and so on. However, in China, the studies in this field began from 1949 and obtained quick development after the 1980s, a large amount of manpower, material and financial resources were invested in the researches of mechanism of coal mine gas explosion and its control technology. In order to further promote the studies on coal mine gas (coal dust) explosions and summary the helpful prevention experiences in time, we wrote this book entitled "Gas Explosion Mechanism and Control Technology in Coal Mines".

The main contents of this book is root in the projects undertaken by us, such as the National Natural Science Foundation of China, the National Key Technology Research and Development Program of China, and the National Basic Research and Development Program (973) and so on. In addition, the book gives the latest research results of physical and chemical basis of gas explosion, the explosion basic characteristics, and the dynamic characteristics during gas explosion propagation. It also gives the safety assessment of coal mine gas explosion, some control measures for gas explosion accidents and how to carry out the emergency rescue, the accident investigations and treatments of gas explosions.

The chief editor of this book is Professor Lin Baiquan, who is working in China University of Mining and Technology. The whole book is divided into eight chapters. Chapter 1, which was written by Lin Baiquan, is the introduction which reviews the research status of gas explosion and its harms. Chapter 2, written by Jiang Bingyou and Li Ziwen, relates the physical and chemical basis of gas explosion. Chapter 3, written by Jiang Bingyou, involves the theories of gas explosion propagation. Chapter 4, written by Lin Baiquan, Zhu Chuanjie, and Li Qingzhao, presents the basic characteristics of gas (coal dust) explosion. Chapter 5, written by Lin Baiquan, Jian Congguang, and Zhu Chuanjie, discusses the dynamic characteristics during gas explosion propagation. Chapter 6, written by Lin Baiquan and Qian Liping, gives the safety assessment of coal mine gas explosion. Chapter 7, written by Lin Baiquan, Ye Qing, and Wu Zhengyan,

presents the control technology of coal mine gas (coal dust) explosion. Chapter 8, written by Zhu Chuanjie and Jiang Bingyou, relates the emergency rescue and accident analysis of coal mine gas explosion. In addition, Liu Qian, Dai Huaming, Liu Feifei, Zhao Shuai, Hong Yidu and Sun Yumin also participated in the collection and preparation of the book. Qi Xuyao helped us in the polishing of the English section of this book. Professor Lin Baiquan is in charge of the integration of the whole book.

At the publication of the book, I thank my teacher Zhou Shining, an academican of Chinese Academy of Engineering. Zhou Shining is a famous expert in the field of prevention and control of coal mine gas disasters. He is also one of the pioneers and founders in the field of Chinese coal mine gas. He devoted all his life to the prevention and control of coal mine gas disasters and the training of mining safety personnel. Most of the experiments in this book were carried out in the Gas (coal dust) Explosion Laboratory of China University of Mining and Technology, which was established by me under the leader of academican Zhou Shining. When he knew the publication of this book, he prefaced this book with pleasure, which gives us great encouragement.

Yuan Liang, an academican of Chinese Academy of Engineering, also prefaced this book. He pointed out that the structure of this book is reasonable and the content is novel. He found that this book also pays attention to the combination of theory and practice. Therefore, it has important guiding significance on the prevention and control of gas explosion accidents. Moreover, he thought it is a rare academic works. I express the highest respect and heartfelt thanks to him.

Professor Yu Qixiang teaching in China University of Mining and Technology and Professor Zhou Xinquan teaching in China University of Mining and Technology (Beijing) patiently reviewed this book and gave us really good suggestions. I express my heartfelt thanks to them.

Heartful thanks to Researcher Lu Jianzhang working in China Coal Research Institute and Researcher Hu Qianting working in Chongqing Coal Science Research Institute, and Professor He Xueqiu working in China University of Mining and Technology and other scientists. Thanks for their kind helps and guidance to our studies.

Heartful thanks to Professor Zhou Hongwei, Ma Nianjie, and Qin Yueping teaching in China University of Mining and Technology (Beijing), Professor Yin Guangzhi and Xu Jiang teaching in Chongqing University, Professor Wang Enyuan and Zhou Yan teaching in China University of Mining and Technology. They gave us many helpful suggestions in the writing of the book.

Heartful thanks to the personnel who had taken hard work in the edition of this book. They are Director Ma Yuelong, Dr. Liu Honggang, Editor Huang Benbin, Editor Li Jing and Editor Yang Ting working in China University of Mining and Technology Press.

Heartful thanks to the funding supports of National Ministry of Science and Technology and the National Natural Science Foundation of China.

Finally, special thanks to the National Publishing Fund!

It is hard to avoid some careless omissions in this book, and we invite the readers to contact us for additional and constructive critical remarks.

Lin Baiquan

2012-9-29

目 录

序一	周世宁
序二	袁 亮
前言	1
1 绪论	1
1.1 煤矿瓦斯及爆炸事故概况	1
1.2 瓦斯爆炸研究历史及现状	3
1.2.1 瓦斯爆炸基本特性	3
1.2.2 瓦斯爆炸传播特性及破坏模型	5
1.2.3 瓦斯爆炸危险性安全评价	8
1.2.4 瓦斯(煤尘)爆炸抑制技术	10
1.2.5 研究现状存在问题	11
1.3 瓦斯爆炸的危害	12
1.3.1 爆炸波	12
1.3.2 火焰锋面	15
1.3.3 大气成分的变化	17
1.3.4 其他破坏特点	20
参考文献	23
2 瓦斯爆炸的物理化学基础	31
2.1 燃烧物理学基础	31
2.1.1 多组分气体基本参量	31
2.1.2 分子输运基本定律	33
2.1.3 基本守恒方程	39
2.2 化学热力学基础	50
2.2.1 生成热、反应热及燃烧热	50
2.2.2 自由能、平衡常数及绝热火焰温度	56
2.3 化学动力学基础	64
2.3.1 化学反应速率	65
2.3.2 反应速率的影响因素	70
2.3.3 基元反应速率理论	74
2.3.4 链反应	78
参考文献	82

3 瓦斯爆炸传播的基础理论	84
3.1 预混火焰传播基础理论.....	84
3.1.1 火焰传播速度.....	84
3.1.2 层流火焰.....	85
3.1.3 湍流火焰.....	90
3.2 冲击波传播基础理论.....	96
3.2.1 运动冲击波方程.....	96
3.2.2 雨贡纽曲线与冲击波性质	108
3.2.3 弱冲击波的声学近似	113
3.2.4 运动冲击波极曲线	117
3.2.5 运动冲击波的正反射	120
3.2.6 冲击波的相互作用	130
3.2.7 初始间断的分解	137
3.2.8 运动冲击波的斜反射	146
3.3 瓦斯爆炸火焰与冲击波传播模型	152
3.3.1 爆燃和爆轰	152
3.3.2 瓦斯爆炸传播基本方程	153
3.3.3 瓦斯爆燃转爆轰的理论模型	158
参考文献.....	160
4 瓦斯(煤尘)爆炸的基本特性	161
4.1 瓦斯爆炸的基本特性	161
4.1.1 瓦斯爆炸的条件	161
4.1.2 瓦斯爆炸的化学反应机理	163
4.1.3 瓦斯爆炸浓度极限及主要影响因素	165
4.2 煤尘爆炸的基本特性	177
4.2.1 煤尘爆炸的条件	177
4.2.2 煤尘爆炸的化学反应机理	178
4.2.3 煤尘爆炸特性及主要影响因素	179
4.3 瓦斯爆炸与煤尘爆炸的异同	192
4.3.1 瓦斯爆炸与煤尘爆炸的联系	192
4.3.2 瓦斯爆炸与煤尘爆炸的区别	192
4.4 瓦斯煤尘共存爆炸的基本特性	193
4.4.1 最低着火温度	194
4.4.2 最小点火能量	195
4.4.3 爆炸下限浓度	196
4.4.4 最大爆炸压力和最大压力上升速率	199
参考文献.....	200
5 瓦斯爆炸传播过程的动力学特性	202
5.1 瓦斯爆炸传播的基本规律	202
5.1.1 爆炸传播的简化过程	202
5.1.2 火焰传播的基本规律	203
5.1.3 爆炸波结构变化规律	205

5.1.4	瓦斯爆炸的振荡特性	208
5.2	障碍物对瓦斯爆炸传播特性的影响	222
5.2.1	火焰传播特性	222
5.2.2	爆炸波传播特性	223
5.2.3	火焰与爆炸波之间的相互关系	224
5.2.4	火焰厚度变化规律	226
5.3	巷道结构对瓦斯爆炸传播特性的影响	227
5.3.1	巷道终端开闭	227
5.3.2	巷道支架	234
5.3.3	巷道断面突变	244
5.3.4	巷道分岔	249
5.3.5	巷道拐弯	252
5.3.6	并联巷网	263
5.4	巷道壁面对瓦斯爆炸传播特性的影响	266
5.4.1	壁面热效应	266
5.4.2	壁面粗糙度	275
5.5	外加电磁场对瓦斯爆炸传播特性的影响	285
5.5.1	电场	285
5.5.2	磁场	299
5.5.3	电场和磁场耦合作用	310
5.6	瓦斯爆炸扬尘特征	321
5.6.1	扬尘模型	321
5.6.2	扬尘特征及影响因素	324
	参考文献	330
6	矿井瓦斯爆炸危险性安全评价	332
6.1	评价系统及事故分析模型	332
6.1.1	安全评价方法	332
6.1.2	评价系统框架	335
6.1.3	事故分析方法及模型	336
6.1.4	瓦斯爆炸事故致因分析	338
6.2	评价指标	343
6.2.1	评价内容	344
6.2.2	评价指标体系	344
6.2.3	评价指标权重	348
6.2.4	评价指标值及危险性等级划分	352
6.3	评价软件系统	356
6.3.1	程序结构	357
6.3.2	软件平台	358
6.3.3	软件功能	359
6.3.4	现场应用	369
	参考文献	373

7 矿井瓦斯(煤尘)爆炸的控制技术	375
7.1 矿井瓦斯爆炸的防治	375
7.1.1 防止瓦斯积聚	375
7.1.2 防止瓦斯引燃	383
7.1.3 防止瓦斯爆炸事故扩大	384
7.2 被动式隔爆技术	385
7.2.1 被动式隔爆技术概述	385
7.2.2 隔爆水槽棚	387
7.2.3 隔爆水袋棚	388
7.2.4 快速移动式隔爆棚	389
7.3 自动隔抑爆技术	390
7.3.1 自动隔抑爆技术概述	390
7.3.2 实时产气式自动抑爆技术	392
7.4 巷道撒布岩粉惰化技术	393
7.4.1 技术原理	393
7.4.2 优缺点	393
7.4.3 岩粉性能要求	393
7.4.4 岩粉撒布规定	394
7.5 多孔金属材料抑爆技术	394
7.5.1 抑爆实验	394
7.5.2 抑爆数值模拟	405
7.5.3 抑爆性能评价及技术应用前景	410
7.6 真空腔抑爆技术	414
7.6.1 真空的性能	414
7.6.2 真空腔抑爆原理	415
7.6.3 真空腔抑爆实验	416
参考文献	425
8 矿井瓦斯爆炸应急救援与事故分析	426
8.1 矿井瓦斯爆炸的应急救援	426
8.1.1 应急救援概述	426
8.1.2 应急救援的法律法规及标准	430
8.1.3 矿井应急救援装备与设施	437
8.1.4 矿井瓦斯爆炸应急救援预案的编制	445
8.2 矿井瓦斯爆炸事故分析	450
8.2.1 矿井瓦斯爆炸事故特点	450
8.2.2 矿井瓦斯爆炸事故处理原则	450
8.2.3 矿井瓦斯爆炸事故鉴别	453
8.2.4 矿井瓦斯爆炸事故案例	463
参考文献	468

Contents

Prologue 1	Zhou Shining
Prologue 2	Yuan Liang
Preface	1
1 Introduction	1
1.1 Gas explosion accidents in underground coal mines	1
1.2 Review of gas explosion and its trend	3
1.2.1 Characteristics of gas explosion	3
1.2.2 Propagation characteristics and modelling of gas explosion	5
1.2.3 Safety assessment of gas explosion	8
1.2.4 Suppression of gas (coal dust) explosion	10
1.2.5 Existing problems on the current research situation	11
1.3 Consequences of gas explosions	12
1.3.1 Blast wave	12
1.3.2 Flame	15
1.3.3 Variations of atmosphere	17
1.3.4 Other destructive results	20
References	23
2 Physical and chemical basis of gas explosion	31
2.1 Physical basis of combustion	31
2.1.1 Basic parameters of multicomponents	31
2.1.2 Molecular transport laws	33
2.1.3 Conservation equations	39
2.2 Chemical thermodynamics	50
2.2.1 Formation heat, reaction heat, and combustion heat	50
2.2.2 Free energy, equilibrium constants and adiabatic temperature of flame	56
2.3 Chemical dynamics	64
2.3.1 Reaction rate	65
2.3.2 Factors of reaction rate	70
2.3.3 Elementary chemical reaction	74
2.3.4 Chain reaction	78
References	82

3 Theories of gas explosion propagation	84
3.1 Propagation theories of premixed flame	84
3.1.1 Flame speed	84
3.1.2 Laminar flame	85
3.1.3 Turbulent flame	90
3.2 Propagation theories of shock wave	96
3.2.1 Equations of shock wave	96
3.2.2 Hugoniot curve and shock wave properties	108
3.2.3 Acoustics propinquity of weak shock wave	113
3.2.4 Polar curve of shock wave	117
3.2.5 Normal reflection of shock wave	120
3.2.6 Interaction of shock waves	130
3.2.7 Decomposition of initial discontinuity	137
3.2.8 Oblique reflection of shock wave	146
3.3 Model of flame and shock wave propagation	152
3.3.1 Deflagration and detonation	152
3.3.2 Basic governing equations of gas explosion propagation	153
3.3.3 Modelling of deflagration to detonation transition	158
References	160
4 Basic characteristics of gas (coal dust) explosion	161
4.1 Basic characteristics of gas explosion	161
4.1.1 Conditions of gas explosion	161
4.1.2 Reaction mechanism of gas explosion	163
4.1.3 Gas explosion limits and influencing factors	165
4.2 Basic characteristics of coal dust explosion	177
4.2.1 Conditions of coal dust explosion	177
4.2.2 Chemical reaction mechanism of coal dust explosion	178
4.2.3 Coal dust explosion characteristics and influencing factors	179
4.3 Similarities and differences between gas explosion and coal dust explosion	192
4.3.1 Relationship between gas explosion and coal dust explosion	192
4.3.2 Differences between gas explosion and coal dust explosion	192
4.4 Basic characteristics of gas and coal dust explosion	193
4.4.1 Minimum kindling temperature	194
4.4.2 Minimum ignition energy	195
4.4.3 Low limit of explosion	196
4.4.4 Maximum explosion pressure and its rising rate	199
References	200
5 Dynamic characteristics during gas explosion propagation	202
5.1 Laws of gas explosion propagation	202
5.1.1 Simplified process of explosion propagation	202
5.1.2 Laws of flame propagation	203