

# Coal Mine Ground Control

(Third Edition)

# 煤矿围岩控制 (第三版)

[美] Syd S.Peng 著  
翟新献 翟伊伟 译



科学出版社

# 煤矿围岩控制

Coal Mine Ground Control

(第三版)

〔美〕Syd S. Peng 著

翟新献 翟伊伟 译

科学出版社

北京

图字:01-2014-3540号

## 内 容 简 介

本书以美国煤矿开采为工程背景,采用理论分析、数值计算和案例分析等方法,较全面系统地阐明了长壁式和短壁式煤矿开采中的围岩控制及其相关问题。本书主要内容包括:美国煤矿布局和围岩控制实践、岩石性质和原岩应力、煤田地质学和地球物理学、顶板锚杆支护、煤柱稳定性、高水平地应力、长壁开采技术、多煤层开采、冲击地压、冒顶/片帮和底臃、地表下沉,以及高陡边坡的稳定性等。

本书可作为高等院校采矿工程专业本科生、研究生的教学参考书,也可作为从事煤矿技术研究的科研人员、煤矿企业生产和设计的工程技术人员的参考用书。

Copyright © 2008 by Syd S. Peng  
Printed in the United States of America  
First printing September 2008

All rights reserved. This book, or parts thereof, cannot be reproduced or stored in any form without the written permission of the author.

### 图书在版编目(CIP)数据

煤矿围岩控制/(美)彭赐灯(Syd S. Peng)著;翟新献,翟俨伟译.  
—3版.—北京:科学出版社,2014.6  
书名原文:Coal Mine Ground Control  
ISBN 978-7-03-040854-9

I. ①煤… II. ①彭… ②翟… ③翟… III. ①煤矿-围岩控制  
IV. ①TD326

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第113340号

责任编辑:李 雪 / 责任校对:刘亚琦 桂伟利  
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2014年6月第一次印刷 印张:42 3/4 插页:6

字数:1 001 000

定价:198.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



## Syd S. Peng(彭赐灯)

彭赐灯,毕业于台湾大学采矿工程系,1965年赴美国学习,于1970年获得美国斯坦福大学采矿工程专业博士学位。现为美国国家工程院院士,西弗吉尼亚大学采矿工程系讲座教授,中国矿业大学和河南理工大学特聘教授。

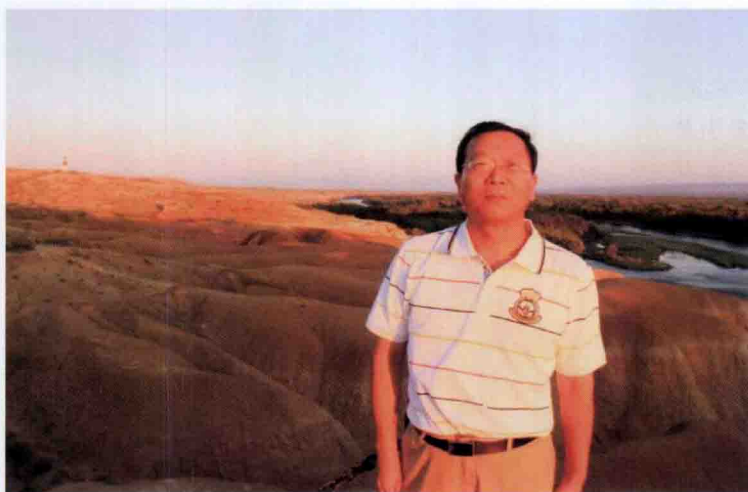
1970~1974年,就职于美国矿业局双子城研究中心,从事岩石物理学方面的研究。1974年后一直执教于西弗吉尼亚大学采矿工程系,1978~2006年担任采矿工程系主任。于1981年发起并组织了每年一度的国际采矿岩层控制会议,并亲自对提交的每一篇会议论文进行研读和校核。该会议已成为世界煤炭行业学者进行学术交流的重要平台。1985年,发起并建立了“长壁工作面开采与岩层控制”研究中心,该中心在采矿工程领域占据重要地位。1998年被任命为美国西弗吉尼亚州煤炭与能源研究署主任,亲自参加并指导了100多项政府与企业资助的科研项目,项目总价值为1200万美元。先后获得11项国家和国际奖章,成功地指导了38位博士研究生和47位硕士研究生,出版采矿工程专业专著及教材4部,发表了354篇期刊论文和国际会议论文,所涉及的领域包含长壁式和房柱式开采、岩层控制、粉尘控制及地表下沉等。经常受邀做学术报告或讲学,同时还经常被大型会议邀请为会议主持人。



## 翟新献

博士,河南省洛阳市人,河南理工大学教授、博士生导师,现任国家安全生产专家、国家煤矿安全监察局安全生产专家、河南省安全生产专家,兼任中国煤炭学会开采专业委员会委员。

1986年7月,在中国矿业大学获得采矿工程专业学士学位;1993年1月,在中国矿业大学获得采矿工程专业硕士学位;2006年2月,在中国矿业大学(北京)获得采矿工程专业博士学位;2006年10月~2010年4月,在大连理工大学土木工程学科从事博士后研究工作,期间2007年3~8月,在美国西弗吉尼亚大学作高级访问学者。先后主持或合作完成了国家自然科学基金重点项目和面上项目、河南省自然科学基金项目、河南省科技攻关项目及大中型企业委托项目30余项。曾获得河南省科技进步奖二等奖3项和中国煤炭工业协会科技进步二等奖1项、三等奖4项;获得河南省教育厅教学成果一等奖1项、二等奖1项。先后在《煤炭学报》、《岩石力学与工程学报》、《重庆大学学报》等刊物上发表学术论文60余篇,其中EI收录20篇;合作出版《易自燃煤层综放开采理论与技术》、《厚煤层分层综采技术》、《复杂条件老矿井安全高效生产关键技术研究》等4部著作,合编国家级规划教材《采矿学》,合译《长壁开采》等2部译著。主要研究方向为采矿理论与技术、矿山压力与岩层控制、放顶煤开采及安全高效开采技术等。



## 译者序

目前中国为世界第一大煤炭生产和消费国,2012年全国煤炭产量(原煤)为36.6亿t,开采方式主要以井工煤矿长壁采煤方法为主。美国是世界上煤炭资源最丰富的国家,1800m深度内的煤炭总地质储量约为3.6万亿t。按地理位置,美国将煤炭资源分布地区划分为三大地区,即东部阿巴拉契亚地区、中部地区和西部地区,这三个地区的煤炭储量在探明储量中所占百分比分别为22.6%、28.1%和49.3%。若以密西西比河为界划分,美国西部较东部煤炭资源丰富,占全国储量的55%,且适于露天开采的储量为东部的3倍。美国是世界第二大煤炭生产和消费国,1995年以来,美国煤炭产量(精煤)一直稳定在9亿~10亿t,煤炭主要来自三个主要煤田:东部阿巴拉契亚煤田、中部煤田和西部煤田。2011年美国煤炭产量(精煤)为9.93亿t,2012年美国煤炭产量(精煤)为9.22亿t。美国生产出来的煤炭绝大多数用于燃煤火力发电,2011年约占煤炭生产总量的80%。未来相当长时间内煤炭仍是美国的主要能源。

煤矿围岩控制是将岩石力学原理应用到采矿工程领域,研究和控制由于采煤作业引起的煤层岩层矿山压力显现的一门学科。煤矿围岩控制研究包括煤层开采引起的从煤层直接底岩层一直到地表的煤层和煤系地层的活动规律,因此,煤矿围岩控制包括巷道顶板稳定性及其支护、煤柱合理尺寸、房柱式和长壁式开采、煤层上覆岩层的移动和垮落、多煤层开采、地表下沉及高陡边坡稳定性等内容。

本书原作者为美国国家工程院院士、西弗吉尼亚大学教授Syd S. Peng(彭赐灯)。彭教授运用理论与实践相结合的研究思想,基于过去三十多年来处理各类煤矿围岩控制问题的经验和研究成果,撰写了本书。许多案例表明围岩控制在煤矿成功开采实践中起着重要的作用。美国煤矿煤层多以近水平中厚煤层为主,与我国内蒙古神东煤田和山西部分煤田的煤层赋存条件相近,美国井工煤矿以房柱式和长壁式采煤法为主,采掘设备性能可靠、采面单产高、安全性能好,一直处于世界领先地位或先进水平。特别是美国的房柱式开采技术、煤柱留设、矿压观测技术及地表下沉预测等方面,对于我国近水平煤层地质条件下的煤层开采具有重要的借鉴和参考意义。为此,翻译本书旨在方便我国广大煤矿工程技术人员和科研人员了解和学习美国煤矿围岩控制理论和技术,促进我国井工煤矿开采技术理论和装备水平的进一步提高。

译者有幸得到了彭教授的书面授权许可,对其著作《Coal Mine Ground Control》(英文版)进行翻译和出版。在翻译过程中,多次与彭教授进行交流和协商,得到其指导和帮助。翻译时参照我国煤炭行业的专业术语,尽可能尊重作者原意,力求译文语言流畅、文字图表规范。本书由河南理工大学能源科学与工程学院翟新献教授主译,四川大学水利水电学院翟伊伟同学翻译了第2章和第3章。全书译稿的各章分别由陈江峰教授(第3章)、勾攀峰教授(第4章)、李化敏教授(第9章)、郭文兵教授(第5、13章)进行了审核和校对,其他各章由翟新献审核和校对。最后,由翟新献教授对全书进行统稿。

本书得到了国家自然科学基金项目(编号:U1261207,51074065)和河南理工大学院士基金的联合资助。本书在翻译过程中得到了河南理工大学周英教授、勾攀峰教授、李化敏教授和郭文兵教授的指导和帮助。尤明庆教授对第2章的译稿进行修改,并提出了许多中肯的意见和建议。译者的研究生梁向辉、王富林、常垒、张世威、张时伟、钱洪亮、李宝富等先后参加了部分章节的翻译工作;文中的插图由张时伟、钱洪亮整理完成。在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于受到译者专业知识面和英语水平的局限,不足之处恳请读者批评指正!

翟新献 翟伊伟

2013年10月于河南省焦作市

## 第三版前言

本书第一版于 1978 年由美国 Wiley 出版商在能源危机高峰时出版,发行后深受读者欢迎。事实上,1979 年本书被美国 *Choice Magazine* 杂志评选为年度优秀图书之一。之后,经过作者的大量更新和修改,该书第二版于 1986 年由 Wiley 出版商再版。20 世纪 90 年代初期本书第二版绝版,90 年代中期作者购买了本书的版权,并计划修订出版第三版。90 年代后期由于其他任务紧迫,作者没能完成该书的全面修订工作。

本书第三次修订,不仅系统地修改和更新了原有的学科领域,而且还扩展了许多新的专题,如高水平应力、计算机建模及高陡边坡稳定性。本书为煤矿围岩控制方面较为综合全面的著作,内容涵盖当前煤矿围岩控制研究的各个方面,但不包括最近出现的煤矿密闭和一些传统领域,如煤岩体截割和蓄水坝等问题。

本书大部分资料来源于每年一度的国际采矿岩层控制会议和三次地表沉陷专题讨论会,这些会议是在过去的 28 年里,由作者主持并在西弗吉尼亚州摩根城召开。事实上,书中引用的 1134 篇参考文献中,有 487 篇直接来自于国际采矿岩层控制会议,其他参考文献则来自采矿相关的专业期刊、会议论文、政府和工业界主办的研究报告及政府的调查报告。因此,国际采矿岩层控制会议已经成为煤矿围岩控制发展的重要组成部分。

本书共 14 章。第 1 章以岩层控制为背景,介绍了美国煤矿采煤方法,同时定义了煤矿围岩控制的基本要素和受采煤作业制约的问题。第 2 章介绍了围岩控制工程师在所有的岩层控制项目中,必须弄清的两个基本要素——岩石性质和原岩应力。第 3 章介绍了岩层的形成和出现异常的地区的地质条件,以及探明异常区的地球物理方法。在美国井工煤矿支护中,顶板锚杆支护是主要的支护方法。第 4 章介绍了自 20 世纪 40 年代后期使用顶板锚杆以来,顶板锚杆和顶板锚杆支护系统的全部内容。各类煤柱是美国井工煤矿的主要结构单元,因此,第 5 章介绍了 1876 年至今煤柱设计的演化,强调了影响煤柱强度和设计方法的各种因素,突出了每种设计方法的优缺点。第 6 章专门介绍高水平应力问题,该问题近年来被认为是多数顶板岩层控制中的常见问题。第 7 章介绍了长壁开采技术,这是作者过去 30 年主要的研究课题,因此内容最多,包含了作者所做的全部研究和咨询项目,包括支承压、采煤工作面布置和设计、支架选择和设计、巷道冒顶、回采巷道支护和采面长度影响因素。近年来,多煤层开采已经在阿巴拉契亚中部和其他煤田中成为普遍存在的共性问题。第 8 章介绍了多煤层开采矿井设计及其影响因素。第 9 章介绍了冲击地压,包括冲击地压发生、影响因素、发生机理及冲击地压的控制。第 10 章介绍了巷道稳定性问题,包括冒顶、片帮、底臃,以及巷道控制和支护方法。第 11 章介绍了井下和地面各类观测仪器的工作原理及其使用方法,包括载荷、应力、变形及应变的测量。计算机模拟已经成为围岩控制设计和评价的常用工具,所以,第 12 章介绍了各类材料模型、模型的校准及实例。第 13 章介绍了地表下沉问题,包括下沉特点、影响因素、观测和预测方法、采动损害评价和减缓地表下沉方法。第 14 章介绍了高陡边坡的稳定性问题,这是



本书中唯一涉及露天开采的问题。

作者依据理论与实践相结合的研究思想,基于过去 34 年来处理各类围岩控制问题的经验,选择了书中各章的主题。每个题目都进行了全面地研究,并列出了全部参考文献。一般来说,各类问题在定义时,首先要确定这些问题在井下不同时期或开采周期内如何发生和何时发生,最后在可行的条件下,重点强调和讨论不同科技人员和施工人员提出的各类控制或分析问题的方法。显而易见,而且也十分重要的是,在煤矿围岩控制中同一个问题有多种解决方案。在许多专题中,列举了多个参考文献,表明可以用不同的观点和方法来解决同一类问题,最终都能够得到令人满意的效果。书中出现的许多概念,包括科研人员 and 施工人员普遍使用的概念,都没能得到论证,主要原因是研究领域广、地质条件变化非常大,需要地质学和原岩应力方面复杂的知识才能解决。然而不幸的是,在绝大多数事故案例中,存在许多不确定的地质条件和原岩应力状态。这清楚地表明,实际上每个专题领域常用或不常用的方法,仍然需要在煤矿实际应用中加以改进。煤矿围岩控制研究的内容十分宽泛,仍需要继续研究和改进。需要强调的是,过去 30 年的研究成果极大地提高了人们对煤矿围岩控制的理解,并且许多案例表明煤矿围岩控制在煤矿开采的成功实践中起着重要的作用。

通过仔细查阅全部文献资料,得出宝贵经验:已有的资料和研究成果,个别虽然有悖常理,但并不完全过时。例如,20 世纪 80 年代初建立并至今还在使用的煤柱设计公式就和 19 世纪 70 年代末和 20 世纪初提出的两个线性煤柱设计计算公式非常相似。作为科学研究的一部分,查阅和研究文献非常重要,这对于煤矿围岩控制也同样适用。本书的研究内容和列出的参考文献为读者提供了一个良好的平台。对于煤矿围岩控制工程技术人员来说,本书是一部内容较全面的参考书。

Syd S. Peng

2008 年 7 月于美国西弗吉尼亚州摩根城

# 目 录

## 译者序

## 第三版前言

<b>第 1 章 美国煤矿布局和围岩控制实践</b> .....	1
1.1 围岩控制定义 .....	1
1.2 美国煤矿采煤方法和产量 .....	1
1.3 煤矿巷道布置和围岩控制实践 .....	2
1.3.1 井工煤矿巷道布置 .....	2
1.3.2 岩层控制实践 .....	15
1.4 煤层开采中岩层控制 .....	20
1.5 岩层控制与井工煤矿其他子系统相互作用 .....	21
1.5.1 房柱式开采 .....	21
1.5.2 长壁式开采 .....	24
<b>第 2 章 岩石性质和原岩应力</b> .....	26
2.1 引言 .....	26
2.2 岩石基本性质 .....	26
2.3 岩石性质测定 .....	28
2.3.1 室内试验 .....	28
2.3.2 现场试验 .....	33
2.4 煤岩强度的实验室测定 .....	36
2.5 煤系地层岩层破坏准则 .....	38
2.5.1 最大抗压和最大抗拉强度准则 .....	39
2.5.2 库仑准则 .....	39
2.5.3 莫尔准则 .....	40
2.5.4 霍克-布朗准则 .....	41
2.5.5 德鲁克-普拉格准则 .....	41
2.5.6 冯·米塞斯准则 .....	42
2.5.7 岩石破坏准则比较 .....	42
2.6 煤岩体矿压显现的主要控制因素 .....	43
2.6.1 实验室完整岩样 .....	44
2.6.2 岩层 .....	53
2.7 地应力 .....	55
2.7.1 引言 .....	55
2.7.2 地应力成因 .....	56

2.7.3	美国水平地应力图 .....	58
2.7.4	地应力测定方法 .....	58
<b>第3章</b>	<b>地质学和地球物理学 .....</b>	<b>68</b>
3.1	引言 .....	68
3.2	煤形成的沉积环境 .....	68
3.3	煤层及其围岩的不连续(异常区) .....	71
3.3.1	后泥炭堆积形成的不连续 .....	72
3.3.2	与泥炭聚集同期形成的不连续 .....	89
3.4	煤系地层岩层 .....	96
3.4.1	岩石和岩体强度 .....	96
3.4.2	鉴别 .....	98
3.4.3	煤矿顶板质量 .....	99
3.5	地质和围岩控制以及矿井设计和规划 .....	100
3.5.1	覆岩地层立体剖面图 .....	100
3.5.2	表示煤层顶板稳定性的组合图 .....	101
3.5.3	井下地质编录 .....	107
3.6	地球物理法勘探地质异常区 .....	107
3.6.1	地震勘探法原理和应用 .....	108
3.6.2	电阻率法原理和应用 .....	120
3.6.3	电磁法原理和应用 .....	123
3.6.4	结论 .....	128
<b>第4章</b>	<b>顶板锚杆支护 .....</b>	<b>130</b>
4.1	引言 .....	130
4.2	锚杆类型 .....	131
4.3	预应力锚杆 .....	132
4.3.1	机械锚杆 .....	132
4.3.2	组合锚杆 .....	133
4.3.3	预应力钢筋锚杆 .....	134
4.3.4	树脂机械锚固锚杆 .....	135
4.3.5	树脂锚固锚索 .....	136
4.3.6	拉扭比 .....	138
4.3.7	锚固力 .....	139
4.4	无预应力锚杆 .....	142
4.4.1	全长锚固树脂锚杆 .....	142
4.4.2	树脂和树脂圆环 .....	144
4.4.3	“手套指进”效应 .....	147
4.4.4	螺纹钢筋的影响 .....	150
4.4.5	全长锚固树脂锚杆性能评价 .....	151

4.5	全长锚固树脂预应力锚杆	154
4.6	桁架和悬吊锚索	154
4.6.1	构件	154
4.6.2	桁架系统设计	156
4.7	顶板锚杆系统构件	158
4.7.1	普通圆钢、螺纹钢和锚固剂	158
4.7.2	托盘和加高托盘	159
4.7.3	顶板钢垫和顶板钢带	160
4.7.4	金属网	161
4.8	顶板锚杆支护机理	163
4.8.1	引言	163
4.8.2	矩形巷道围岩应力分布	163
4.8.3	全长锚固树脂锚杆与预应力锚杆之间关系	167
4.8.4	全长锚固树脂锚杆和预应力锚杆应用	168
4.9	顶板锚杆支护系统设计方法	172
4.9.1	引言	172
4.9.2	计算机数值模拟	173
4.9.3	全长锚固树脂锚杆载荷测量	182
4.9.4	关键部位控制法	189
4.9.5	悬吊理论	189
4.10	锚杆孔钻进	192
4.10.1	顶板锚杆钻机	192
4.10.2	钻头	193
4.10.3	钻孔完整性	194
4.11	锚杆失效的非破坏性试验	196
4.12	“一站式”锚杆	197
<b>第5章</b>	<b>煤柱</b>	<b>199</b>
5.1	引言	199
5.1.1	煤柱类型	199
5.1.2	煤柱设计步骤	199
5.2	影响煤柱强度的因素	201
5.2.1	煤柱几何形状	202
5.2.2	煤柱物质构成	203
5.2.3	煤层/顶板和底板/煤层界面的影响	204
5.2.4	煤柱裂隙	207
5.2.5	采煤工作面尺寸	208
5.3	煤柱设计方法	209
5.3.1	单一煤柱的传统公式法	209

5.3.2	煤柱群的半传统公式法	220
5.3.3	开采结构模型	225
5.3.4	通过仪器确定煤柱强度	226
5.4	屈服煤柱	228
5.4.1	引言	228
5.4.2	屈服煤柱设计	229
5.5	隔离煤柱	235
5.5.1	内部隔离煤柱	235
5.5.2	露头隔离煤柱	236
5.6	煤柱破坏模式	237
5.6.1	煤柱煤壁片帮和煤的滑落	237
5.6.2	煤柱失稳	238
5.6.3	煤柱突出	240
5.7	煤柱长时强度与短时强度对比	241
5.8	煤柱回收	242
5.8.1	移动式顶板支架	242
5.8.2	回收煤柱时煤柱设计	243
5.9	高陡边坡开采保护煤柱	245
5.10	脱水和煤柱强度	248
5.11	天然气/油井保护煤柱设计	249
5.12	案例分析——采用不同设计方法确定煤柱尺寸	251
<b>第6章</b>	<b>高水平地应力</b>	<b>253</b>
6.1	引言	253
6.2	水平应力方向和切割顺序对巷道稳定性的影响	253
6.2.1	现场试验——水平应力的支承压力和应力屏蔽	253
6.2.2	计算机模拟	258
6.2.3	解除水平应力集中的方法	259
6.2.4	冒顶和底臃	264
6.2.5	在东-西向为主的水平应力场中的南-北向长壁工作面	266
6.3	巷道顶角破坏和高水平应力	268
6.4	高水平应力作用下地形的影响	270
6.5	高水平应力作用下巷道与横贯的交岔点	271
6.6	地质构造异常区和高水平应力区	273
6.7	井下地应力绘图	274
6.8	高水平应力和顶板支护	276
6.9	全应力分析和高水平应力的应用	277
<b>第7章</b>	<b>长壁开采</b>	<b>278</b>
7.1	引言	278

7.2 长壁工作面布置和回采巷道系统 .....	278
7.3 上覆岩层移动 .....	280
7.3.1 引言 .....	280
7.3.2 直接顶 .....	282
7.3.3 基本顶 .....	286
7.3.4 长壁工作面上覆岩层移动层序 .....	286
7.3.5 地层层序的影响 .....	291
7.3.6 时间对长壁工作面回采速度的影响 .....	294
7.4 支承压力和采空区垮落以及回采巷道收敛 .....	295
7.4.1 计算机模拟 .....	295
7.4.2 现场观测 .....	296
7.5 液压支架设计 .....	305
7.5.1 引言 .....	305
7.5.2 液压支架设计原理 .....	306
7.5.3 确定外部载荷 .....	307
7.5.4 底座下底板压力 .....	315
7.5.5 同等尺寸模型支架测试 .....	317
7.6 长壁工作面冒顶和煤壁片帮以及底臃 .....	317
7.6.1 顶板冒顶 .....	318
7.6.2 片帮 .....	319
7.6.3 底臃 .....	320
7.7 长壁工作面长度影响 .....	320
7.8 断层与地质异常区 .....	323
7.8.1 引言 .....	323
7.8.2 断层填图和预先加固 .....	324
7.8.3 地质异常区 .....	325
7.9 回采巷道煤柱回收 .....	326
7.10 预掘贯通巷道和回撤巷道支护技术 .....	327
7.10.1 引言 .....	327
7.10.2 贯通巷道和回撤巷道支护方法 .....	327
7.10.3 支架设计中考虑的因素 .....	331
7.11 难垮落顶板 .....	332
7.11.1 引言 .....	332
7.11.2 难垮落顶板控制方法 .....	332
7.12 坚硬顶板岩层剪切和周期性破坏 .....	336
7.13 回风平巷和运输平巷支护 .....	337
7.13.1 引言 .....	337
7.13.2 回采巷道基本支护 .....	337

7.13.3	加强支护	337
<b>第8章</b>	<b>多煤层开采</b>	<b>344</b>
8.1	引言	344
8.2	多煤层开采层序	344
8.3	相互作用因素	345
8.3.1	地质因素	345
8.3.2	开采因素	349
8.4	煤层间相互作用机理	351
8.4.1	载荷传递	351
8.4.2	下沉	354
8.4.3	中间岩层的剪切破坏	358
8.4.4	小结	358
8.5	极近距离多煤层开采	359
8.5.1	引言	359
8.5.2	影响采煤作业的关键因素	360
8.6	多煤层开采方案设计	362
8.6.1	一般程序	362
8.6.2	一层煤层长壁开采和另一层煤层房柱开采	364
8.6.3	两煤层均采用长壁开采	366
8.6.4	多煤层开采稳定性分析	366
8.7	三层煤层开采	368
8.8	多煤层高陡边坡开采	369
8.8.1	概述	369
8.8.2	极近距离多煤层高陡边坡开采	369
<b>第9章</b>	<b>冲击地压</b>	<b>371</b>
9.1	引言	371
9.2	冲击地压发生的条件	372
9.2.1	有利于冲击地压发生的地质条件	376
9.2.2	采煤方法和割煤顺序	378
9.2.3	存在地质构造异常区	382
9.3	煤层冲击地压发生的原因和机理	382
9.3.1	静态应力集中	382
9.3.2	动态应力集中或冲击波	383
9.3.3	煤层/顶板或煤层/底板界面约束	383
9.3.4	局部煤岩层硬度	385
9.3.5	微震事件	386
9.3.6	能量释放速度	390
9.3.7	厚层上覆岩层悬臂作用和拱作用	391

9.4	冲击地压大小和破坏程度 .....	391
9.5	冲击地压防治方法 .....	392
9.5.1	矿井布置和割煤顺序 .....	392
9.5.2	钻屑法监测应力 .....	397
9.5.3	应力释放 .....	400
9.6	微震法预测冲击地压 .....	402
9.6.1	微震监测 .....	402
9.6.2	地音探测 .....	403
9.6.3	地音源定位 .....	403
9.6.4	冲击地压预测方法 .....	405
<b>第 10 章</b>	<b>冒顶/片帮和底臃</b> .....	<b>407</b>
10.1	引言 .....	407
10.2	冒顶 .....	407
10.2.1	引言 .....	407
10.2.2	冒顶类型 .....	407
10.2.3	冒顶事故特征 .....	409
10.2.4	交岔点冒顶 .....	410
10.2.5	冒顶原因 .....	411
10.2.6	冒顶区二次支护 .....	412
10.2.7	聚氨酯注浆 .....	413
10.2.8	冒顶预测 .....	415
10.2.9	顶板暴露与安装锚杆之间的时间间隔 .....	419
10.3	巷道顶角破坏 .....	419
10.3.1	引言 .....	419
10.3.2	巷道顶角破坏形成机理 .....	421
10.3.3	巷道顶角破坏控制方法 .....	423
10.4	煤壁片帮 .....	425
10.4.1	定义和特点 .....	425
10.4.2	片帮类型 .....	425
10.4.3	片帮控制 .....	428
10.5	页岩对煤层顶板稳定性的作用 .....	429
10.5.1	引言 .....	429
10.5.2	组分 .....	430
10.5.3	风化 .....	430
10.6	底臃 .....	439
10.6.1	定义 .....	439
10.6.2	底臃破坏模式 .....	439
10.6.3	底板承载能力 .....	440



10.6.4	底臌原因	443
10.6.5	底臌控制	445
<b>第 11 章</b>	<b>矿压观测仪器</b>	<b>447</b>
11.1	引言	447
11.2	载荷测量仪器	447
11.2.1	液压枕和压力传感器	447
11.2.2	压力传感器	448
11.3	地应力测量仪器	449
11.3.1	绝对地应力测定	450
11.3.2	应力变化测定	460
11.4	变形测量仪器	465
11.4.1	变形收敛仪	465
11.4.2	顶板下沉仪	469
11.5	应变测量仪器	472
11.6	顶板和底板承载能力	473
11.7	钻孔窥视仪	476
11.8	上覆岩层移动测量仪器	477
11.8.1	电缆输送式射孔技术	477
11.8.2	时域反射计	477
11.8.3	钻孔多点位移计	479
11.8.4	全钻孔倾斜计	482
11.9	长壁工作面液压支架测量仪器	483
11.10	钻孔硬度计	485
<b>第 12 章</b>	<b>数值模拟技术</b>	<b>486</b>
12.1	引言	486
12.2	数值模拟方法	488
12.2.1	有限元法	488
12.2.2	边界元法	489
12.2.3	有限差分法	489
12.2.4	离散元法	489
12.3	数值模拟材料模型	490
12.3.1	煤岩体本构模型	490
12.3.2	采空区模型	493
12.4	数值计算模型和建模、校准与验证	494
12.5	案例 1——房柱式开采设计	495
12.5.1	引言	495
12.5.2	确定数值计算模型的稳定性系数	497
12.5.3	隔离煤柱设计	499