

赵庆彪 等 著

华北型煤田深部煤层开采 区域防治水理论与成套技术



科学出版社

华北型煤田深部煤层开采 区域防治水理论与成套技术

赵庆彪 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书对典型的华北型煤田大水矿区——邯邢矿区深部煤层安全开采方面的理论研究、现场试验和应用示范等进行系统阐述。全书重点以“区域超前治理”创新矿井防治水理念为引领,以大采深高承压水条件下煤层底板突水机理、裂隙含水层水平孔注浆“三时段”浆液扩散机理等理论为指导,以区域治理煤矿承压水害系列支撑技术为核心内容贯穿全书,辅有三大技术应用示范实例,系统性及应用性较强。

本书可供从事矿山开采、地下工程施工、水文地质勘探等工作的工程技术人员、管理人员、科研人员及其相关专业大学生、研究生、教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

华北型煤田深部煤层开采区域防治水理论与成套技术/赵庆彪等著.
—北京:科学出版社,2016.10

ISBN 978-7-03-050285-8

I. ①华… II. ①赵… III. ①煤矿-矿山防水-研究-华北地区
IV. ①TD745

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 255163 号

责任编辑:牛宇锋 罗 娟 / 责任校对:桂伟利
责任印制:张 伟 / 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>

北京教图印刷有限公司印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年10月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2016年10月第一次印刷 印张:21 3/4

字数:413 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



作者简介



赵庆彪，辽宁海城人，博士，教授级高级工程师，现任冀中能源集团有限责任公司总工程师，煤矿开采及安全工程学科带头人。主要研究方向为煤矿绿色开采、矿井水害防治和煤巷锚杆支护等。1996 年享受国务院特殊津贴；2002 年以来连续四届被评为河北省省管优秀专家。获国家科技进步奖 2 项，省部级科技进步特等奖 2 项，一等奖 11 项；在中文核心期刊及以上发表学术论文 81 篇，出版专著 5 部。获得“煤炭工业技术创新优秀人才”和“河北省优秀科技工作者”等多项荣誉称号，现兼任河北省煤炭学会理事长。

序

我国煤炭储量丰富。据统计,截至 2014 年年底,我国埋深 2000m 以浅的煤炭资源总量为 5.57 万亿 t,其中埋深在 1000m 以深的煤炭资源量约占资源总量的 53.0%。我国中、东部地区由于煤炭开发早且强度大,中等埋深以浅的煤炭资源已接近枯竭,而其深部丰富的煤炭资源是稳定中、东部地区煤炭产量规模的物质基础。华北型煤田基底普遍发育巨厚奥陶系石灰岩强含水层,受奥灰承压水突水威胁的煤炭储量约有 570 亿 t,承压水害已成为导致矿井突水事故的主要因素。

邯邢矿区是典型的华北型煤田大水矿区。近 10 年来,邯邢矿区煤矿承压突水事故发生了 8 起,突水量高达 $1500\sim 70000\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,主要致灾因素为隐伏导(含)水陷落柱、断层及裂隙带或者是其不同形式组合构造等,具有典型的华北石炭二叠系岩溶裂隙水害特征。同时奥灰水又是当地工农业生产、生活主要供水水源。所以,保护地下水环境及水资源与矿井水害防治是统一的共同体。

30 多年来,邯邢矿区在矿井防治水方面,取得了丰富的实践经验。但随着矿井采深的不断增大,高承压水给深部煤层开采带来了很大的安全威胁,重点在以下几方面:

一是大采深高承压水矿井开采存在地压大、煤层底板隔水层承受水压高,在与采动耦合作用下,易发生底板突水。

二是目前煤矿井下采用多种物探方法进行超前探测,但对小微型断裂构造和隐伏陷落柱探明技术还没有较好地解决。

三是现井下常规钻探的钻孔轨迹可控性差,钻遇率低,有效钻孔段较短。

四是在大采深高承压水条件下,井下钻探作业安全受到高承压水威胁。

五是对探查出的异常含水体或疑似突水通道达不到根治的目的,缺乏有效实用的治理系列技术。

所以,这首先需要在矿井防治水理念、治理思路和技术路线上要有大的转变,因为矿井中等采深以浅开采的技术及实践经验已不能适应深部开采防治水需要。要积极开展多学科、产学研横向合作,打破以往的思维惯性和经验框框。在这方面,冀中能源集团进行了 7 年多的应用研究及探索实践,他们首先创新了大采深高承压水矿井防治水思路,提出了“超前主动、区域治理、全面改造、带压开采”的“区域超前治理”指导原则,开展了矿井深部高承压岩溶-裂隙水突水机理、水平定向钻进技术及水害区域治理技术及效果评价方法等研究,取得了较大进展。特别是首次将地面多分支水平定向顺层钻探技术应用到煤矿底板加固及改造含水层,实现了“不掘突水头、不采突水面”区域超前治理目标,取得了很好的技术

经济效益，创出了一条大采深高承压水矿井及下组煤安全开采技术新途径，为其他煤矿区大采深高承压水条件下煤层开采提供了有益的借鉴经验。该书系统地总结大采深高承压水条件下“区域超前治理”奥灰水害的研究成果和应用实践，创新和发展了矿井防治水理论、方法及技术。全书中“区域超前治理”理念突出，理论创新和技术创新，论述思路清晰，并且有应用研究举例。全书系统性、成套性、实践性较强，对深部煤层开采可供学习借鉴。

该书的出版对我国煤矿防治水理论与技术的进一步发展将起到积极的推进作用。在此，我愿为此书作序，并谨推荐于煤矿现场、高校和科研部门的广大工程技术、科研人员及师生参阅借鉴。

中国矿业大学（北京）教授
中国工程院院士

彭苏群

2016年4月24日

前 言

煤矿水害是仅次于瓦斯事故的重大灾害,易发生群死群伤重大事故。水灾造成淹没工作面或矿井,直接经济损失很大;并且抢险难度大、时间长、费用高。据初步统计,我国国有重点煤矿中,水文地质条件属于复杂和极复杂的矿井约占 25.1%;受水害威胁的矿井占 40.5%以上,全国受水害威胁较严重的煤炭储量达 570 亿 t 以上,主要分布在华北地区石炭二叠系煤田,占全国产量 60%以上,其煤系地层下伏巨厚奥陶系灰岩含水层,承压水高,矿井水文地质条件非常复杂,煤炭资源开采受水害威胁严重。随煤矿采深增大,在高承压水和采动耦合作用下,煤层底板奥灰突水概率增加。特别是 10 多年来,随矿井采深不断加大,突水频率增长近 157%,承压水害已经成为华北型煤田深部开采的严重安全威胁。据统计,2012 年,较大水害事故占全国煤矿较大事故总数的 11.3%,重大水害事故占全国煤矿重大事故总数的 31.3%。

我国中、东部地区煤炭开发早,长期高强度开采,大部分矿井转入深部开采,而且以每年 12~25m 的速度延深。截至 2013 年年底,全国已有 47 个矿井采深超过 1000m,大多分布在华北地区,开采深度最深达到 1501m。其中,邯邢矿区采深超过 1000m 的矿井有 4 个,最深达 1340m;开采下组煤矿井 7 个,面临着煤层底板高承压突水威胁日趋凸显,矿井防治水形势非常严峻。另外,华北地区深部优质煤炭资源是 21 世纪煤炭主体能源的后备储量之一,其安全开采是稳定中、东部地区煤炭产量规模的物质基础。

河北省是全国主要煤炭消费大省,年煤炭消耗量 2.7 亿 t 以上。现省内煤炭产量 500 万 t/a 左右,缺口约 1.8 亿 t,煤炭产能和综合煤炭供给能力已成为河北工业发展不可忽视的掣肘因素。目前,以河北省南部的邯邢矿区为代表的华北型煤田各矿区,普遍面临着上组煤多年高强度开采,后备资源严重不足的严峻局面。但河北省南部矿区深部下组煤受承压水威胁的优质煤炭资源量近 100 亿 t。为此,研究安全开采受奥灰水威胁的深部煤炭资源和下组煤的系列难题,是稳定老矿井产能的有效途径之一。

邯邢矿区煤系基底奥陶系灰岩为巨厚含水层,是典型的华北型煤田大水矿区,水头压力高,陷落柱、断层及裂隙发育,已成为深部煤炭资源及下组煤安全开采亟须解决的难题。以往浅至中等采深矿井防治水经验随采深加大已不能保证矿井深部安全开采,10 多年来,发生了 8 次煤层底板承压突水,造成了很大的经济损失。冀中能源集团为解决上组煤可采储量严重不足,后备煤炭资源匮乏和如何保持现有煤炭生产规模问题,在大采深高承压水矿井及下组煤开采条件下,首次提

出“区域超前治理”奥灰水害、保护地下奥灰水环境及水资源理念、思路及原则；首次将多分支顺层定向钻探技术研究应用于煤矿底板含水层改造和水害超前治理，为受奥灰水害威胁的煤炭资源安全、保水开采提供新途径，创新丰富了矿井防治水理论、方法和技术。大量的开采实践证明，削弱底板突水物质基础最直接的方法是注浆充填、阻隔底板直接充水含水层的裂隙、断层和岩溶等导水通道及储水空间，使其变性为相对隔水层。在“区域超前治理”奥灰水害、降低损害奥灰水环境程度和保护水资源理念及思路指导下，创新了多分支顺层定向钻探关键技术；并以此为核心，形成了大采深矿井及下组煤安全开采系列成套技术。该技术丰富了矿井防治水方法与技术，为华北型煤田深部及下组煤安全、保水开采创出了一条新途径。

总体以“区域超前治理”创新矿井防治水理念及思路，以大采深高承压水条件下煤层底板突水机理、裂隙含水层水平孔注浆“三时段”浆液扩散机理研究和区域治理系列支撑技术作为核心内容贯穿全书，辅有三大技术应用示范，即地面多分支顺层定向钻探、井下多分支顺层定向钻进和大型普通钻机定向钻进等系列技术。本书总体结构是：前半部分重点系统地分析邯邢矿区奥灰含水层顶部改造可行性；应用评估新方法开展矿井深部及下组煤开采预评价；从理论上深入分析采动对底板隔水层完整性的影响，并根据底板隐伏导（含）水组合构造类型的突水实例特点，提出“分时段分带突破”突水机理、裂隙含水层水平孔注浆“三时段”浆液扩散机理等理论；区域超前治理效果检验和评价方法，成功研发了“区域超前治理”奥灰水害系列支撑新技术等。后半部分重点系统地阐述两大支撑关键技术实践等范例，最后简单总结降低损害奥灰水环境程度和保护水资源应用的研究成果。

全书系统性、成套性较强，举例示范数据齐全，思路清晰，主题论述和观点鲜明突出。全书总体构思、策划、统稿由赵庆彪负责完成；全书初审由赵庆彪、刘长武、王希良、啜晓宇完成；终审赵庆彪。本书撰写分工如下：第1章，王希良、蒋勤明、赵昕楠；第2章，王希良、蒋勤明、关永强、高春芳；第3章，赵庆彪、王希良、蒋勤明；第4章，王希良、蒋勤明、高春芳；第5章，赵庆彪；第6章，武强、毕超、王希良；第7章，赵庆彪、王希良、毕超；第8章，赵庆彪、刘长武；第9章，武强、蒋勤明、王希良、赵昕楠；第10章，赵庆彪、毕超、王海桥；第11章，赵庆彪、董书宁、刘其声；第12章，赵庆彪、陈亚杰、赵兵文、王殿录、王铁记、关永强、智建水、岳卫振；第13章，祁泽民、赵庆彪、苏建国、蒋勤明、白兰勇；第14章，陈亚杰、赵兵文、赵昕楠、赵庆彪、蒋勤明。

由于作者学术水平和实践经验有限，书中难免存在不妥之处，敬请广大读者不吝指正。

作者

2016年7月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 煤层底板突水机理国内外研究现状	2
1.2.1 国外研究现状	3
1.2.2 国内研究现状	3
1.3 深部开采岩体力学研究现状	6
1.3.1 “深部矿井”的概念	6
1.3.2 深部开采岩体力学及工程灾害控制研究	8
1.4 矿井突水主要预防与治理技术	9
1.5 水资源保护开采研究进展	10
1.5.1 国外水资源保护性采煤研究进展	11
1.5.2 国内水资源保护性采煤研究进展	11
1.6 邯邢矿区大采深矿井及带压开采下组煤防治水技术发展及现状	12
1.6.1 试验研究起步阶段（1972~1982 年）	12
1.6.2 浅、中深部小规模试采下组煤研究阶段（1982~2000 年）	12
1.6.3 浅部大规模试采阶段（2000~2008 年）	13
1.6.4 大采深高承压水条件带压开采阶段（2008 年至今）	14
第 2 章 邯邢矿区地质及水文地质条件	16
2.1 邢台矿区地质及水文地质条件	16
2.1.1 矿区自然地理概况	16
2.1.2 矿区地质特征	17
2.1.3 矿区水文地质条件	22
2.2 邯郸峰峰矿区地质及水文地质条件	26
2.2.1 矿区位置与自然地理概况	26
2.2.2 矿区地质特征	28
2.2.3 矿区水文地质条件	31

第3章 高承压奥灰水上安全开采所面临问题及对策	36
3.1 承压开采矿井以往采取的防治水技术路线	36
3.1.1 上组煤开采矿井以往防治水技术路线	36
3.1.2 下组煤开采矿井以往防治水技术路线	37
3.2 深部奥陶系灰岩水对矿井安全开采的影响	37
3.2.1 邯邢矿区底板突水概述	37
3.2.2 邯邢矿区深部煤层底板突水特点	39
3.2.3 导水陷落柱对大采深矿井上组煤安全开采突水威胁大	40
3.2.4 矿井深部极难探查的小型陷落柱造成底板突水	41
3.2.5 高承压水开采条件下底板裂隙带成为导水通道	42
3.3 矿井深部开采奥灰水防治存在的主要问题	43
3.4 大采深高承压带压开采防治水对策	45
第4章 奥灰含水层顶部隔水特性及改造可行性	47
4.1 华北地区奥陶系岩溶发育特征	47
4.1.1 奥陶系岩溶发育分期	47
4.1.2 华北煤矿区奥陶系灰岩储水空间特征	48
4.1.3 奥陶系岩溶发育层控作用	49
4.2 邯邢矿区深部奥陶系峰峰组岩溶发育特征	49
4.2.1 奥陶系峰峰组地层结构特征	49
4.2.2 奥陶系峰峰组岩溶发育特征	49
4.2.3 奥陶系峰峰组富水性特征	51
4.2.4 水化学特征	53
4.3 华北型煤田奥陶系灰岩顶部隔水特性	54
4.3.1 华北型煤田奥灰顶部相对隔水段成因	54
4.3.2 奥陶系顶部充填带隔水层特征	55
4.3.3 奥灰含水层顶部“三带”的划分	56
4.3.4 奥灰含水层顶部岩层阻水带及阻水能力确定	57
4.4 邯邢矿区奥灰岩层顶部富水性分析	58
4.4.1 邢台矿区东庞矿奥灰顶部富水性分析	58
4.4.2 章村矿奥灰顶部富水性分析	59
4.4.3 九龙矿奥灰顶部富水性分析	60
4.4.4 梧桐庄矿奥灰顶部富水性分析	61
4.5 邯邢矿区奥灰顶部注浆改造可行性分析	62

第 5 章 区域超前治理奥灰岩溶水害原理及技术路线	63
5.1 区域超前治理防治水定义及内涵	63
5.2 区域超前治理奥灰水害重要性	64
5.2.1 区域超前治理意义	64
5.2.2 奥灰顶部区域超前治理可行性	66
5.3 区域治理注浆改造原理	66
5.4 区域超前治理防治水指导原则	67
5.4.1 “超前主动”是基础	67
5.4.2 “区域治理”是核心	68
5.4.3 “全面改造”是关键	69
5.4.4 安全“带压开采”是目的	69
5.5 区域超前治理模式及目标	70
5.5.1 区域超前治理模式	70
5.5.2 区域治理目标及技术指标	70
5.6 区域超前治理奥灰岩溶水害技术路线	70
5.6.1 区域超前治理防治水思路	70
5.6.2 区域超前治理防治水管理程序	71
5.6.3 综合评估方法	71
5.6.4 区域超前治理水害技术路线	72
5.6.5 区域超前治理防治水设计及配套安全措施	73
第 6 章 煤层底板突水危险性区域预评价方法	75
6.1 基于突水系数法的下组煤开采突水预评价	75
6.2 下组煤 9 号煤层底板突水脆弱性预评价	77
6.2.1 煤层底板突水主控指标体系	78
6.2.2 章村矿三井 9 号煤层底板突水脆弱性评价模型	80
第 7 章 大采深高承压水煤层底板“分时段分带突破”突水机理	98
7.1 煤层底板岩层力学性质及影响因素分析	98
7.1.1 岩性(相)对岩石力学性质影响分析	98
7.1.2 岩石水理性质试验	100
7.1.3 围岩围压对岩石力学性质影响	103
7.2 岩石渗透性及变化规律	104
7.2.1 岩石渗透特性研究现状	104
7.2.2 岩石三轴全应力应变渗透试验	105

7.3	采场底板岩体扰动与破坏深度理论分析	108
7.3.1	回采工作面支承压力分布特征	108
7.3.2	回采工作面基本顶来压强度	109
7.3.3	采场底板岩体破坏带形成机制分析	110
7.3.4	底板破坏带形成机理	117
7.3.5	原位张裂带形成机理分析	122
7.4	底板整体地质力学结构“分带”机制与突水模式	123
7.4.1	底板阻水“分带”机制分析	123
7.4.2	底板“分带突破”突水模式	125
7.5	底板突水通道“四时段”形成机理及阻渗能力分析	128
7.5.1	底界面水压裂及原始导升时段	128
7.5.2	高渗压条件下非 Darcy 流裂隙岩体渗透时段	129
7.5.3	Darcy 渗流时段	131
7.5.4	“管涌”至突水时段	134
7.6	大采深高承压水条件煤层底板“分时段分带突破”突水机理	134
7.6.1	底板承压突水理论分析	135
7.6.2	底板阻水“分带”岩层高渗透细观分析	135
7.6.3	底板“分时段分带突破”机理	136
第 8 章	大采深 4.0~5.0m 煤层开采底板采动破坏深度测试	140
8.1	初次来压时工作面底板破坏深度理论计算	140
8.1.1	工作面初次来压时底板岩体破坏深度理论分析	140
8.1.2	工作面初次来压底板破坏深度计算举例	141
8.1.3	周期来压时工作面底板破坏深度计算及影响因素	142
8.2	邢东矿大采深 2225 综采工作面底板采动破坏深度实测	143
8.2.1	监测内容及目的	143
8.2.2	顶底板破坏深度监测方案	144
8.2.3	监测数据分析	145
8.2.4	2225 综采工作面监测数据分析	148
8.3	1128 综合机械化充填开采底板破坏深度测试	148
8.3.1	监测内容及目的	148
8.3.2	顶底板破坏深度监测方案	149
第 9 章	采场底板隔水层阻水性评价方法	154
9.1	煤层底板隔水层结构及性质对底板突水影响	154
9.1.1	隔水层力学性质与阻水作用	154

9.1.2	隔水层不同岩性组合阻水能力分析	154
9.1.3	煤层底板隔水介质条件分析	156
9.1.4	软岩与阻水性能关系	159
9.2	下组 9 号煤开采底板隔水层阻水性能分带及评价方法 (I)	159
9.2.1	底板扰动深度及应力分布规律	160
9.2.2	底板隔水层阻水能力测试与量化方法	162
9.2.3	底板隔水层阻水能力判别模型	167
9.3	原位地应力测试评价方法 (II)	169
9.3.1	原位地应力测试理论基础	169
9.3.2	测试工程设计	170
9.3.3	9100 采区及 9103 工作面地应力测试	171
9.3.4	底板原位地应力测试成果	171
9.3.5	9103 工作面突水危险性评价	174
9.4	下组煤底板隔水层阻水能力评价方法 (III)	176
9.4.1	测试原理简介	176
9.4.2	测试设备	177
9.4.3	底板导渗条件	178
9.4.4	裂隙导渗通道	179
9.4.5	采动底板阻渗能力评价模型	180
第 10 章	裂隙含水层水平孔注浆“三时段”浆液扩散机理与数值模拟	184
10.1	水平注浆孔浆液扩散机理	184
10.1.1	垂向裂隙中水平孔注浆浆液扩散形态	184
10.1.2	裂隙岩体中注浆“三时段”划分	186
10.1.3	裂隙岩体中浆水分区模型	187
10.1.4	水平孔注浆“三时段”与浆液扩散机理	187
10.1.5	注浆“三时段”的注浆压力做功分析	193
10.2	注浆改造目标层边界条件与注浆工艺	194
10.2.1	注浆改造目标层选择及边界条件	194
10.2.2	注浆浆体与工艺要求	195
10.3	有上边界时垂向裂隙中浆液扩散数值模拟方法 (I)	196
10.3.1	注浆参数 δ 求解	196
10.3.2	有上边界时垂向裂隙中浆液扩散形态演变数值模拟	197
10.4	有上边界时水平注浆孔浆液扩散数值模拟方法 (II)	200
10.4.1	FLAC ^{3D} 软件基本原理	200
10.4.2	渗流-应力耦合基本方程	200

10.4.3	计算模型建立	202
10.4.4	数值模拟及结果分析	203
10.5	现场试验及注浆参数选取	206
第 11 章	区域超前治理奥灰岩溶水害系列支撑技术	208
11.1	地面多分支顺层定向钻进关键技术	208
11.1.1	地面多分支顺层定向钻进原理	208
11.1.2	顺层定向钻进与注浆总体技术路线	209
11.1.3	顺层定向钻进设备及工艺	210
11.1.4	随钻测斜仪	215
11.1.5	钻进泥浆质量控制及固液浆	216
11.1.6	径向射流造孔钻进技术简介	218
11.2	井下定向钻进技术	219
11.2.1	井下随钻测量定向钻进原理与面临的问题	219
11.2.2	井下定向钻进系统及装备	220
11.2.3	定向钻进保障技术	222
11.2.4	定向钻进成孔工艺	225
11.3	长距离水平孔高压注浆关键技术	226
11.3.1	注浆材料	226
11.3.2	注浆系统及设备	230
11.3.3	奥灰顶部区域治理水平孔注浆工艺	233
11.3.4	薄层灰岩区域改造注浆工艺	238
11.4	区域超前治理效果检验	240
11.4.1	区域治理效果物探检验	240
11.4.2	地面区域治理效果验证方法	242
11.5	带压开采底板突水实时监测预警技术	243
11.5.1	监测项目及系统	243
11.5.2	监测工程	244
11.5.3	监测数据分析	246
第 12 章	大采深高承压水矿井区域超前治理水害工程示范	254
12.1	巨厚奥灰含水层顶部地面区域治理改造	254
12.1.1	工程背景	254
12.1.2	地面多分支顺层定向钻进技术	258
12.1.3	区域注浆改造工艺	261
12.1.4	区域超前治理效果验证	266

12.2 大青薄层灰岩含水层地面区域治理改造示范工程	270
12.2.1 工程背景	270
12.2.2 开采及水文地质条件	271
12.2.3 构造及导水性简要分析	271
12.2.4 矿井防治水技术路线	271
12.2.5 地面区域治理工程设计	272
12.2.6 施工工艺	272
12.2.7 井下钻探验证	274
12.2.8 地面区域治理工程与效果	275
第 13 章 薄层灰岩含水层改造区域超前治理防治水技术	277
13.1 带压开采条件分析	277
13.1.1 主要充水水源及水患类型	277
13.1.2 主要充水通道及重点防范水患类型	279
13.1.3 东井带压开采条件分析及治理方法	279
13.2 9 号煤带压开采防治水技术路线	280
13.3 井下区域超前治理防治水技术	282
13.3.1 掘进“条带”超前钻探及治理	282
13.3.2 采前区域超前治理技术	284
13.4 区域超前注浆加固及改造技术	285
13.4.1 钻孔设计布置要求	285
13.4.2 注浆改造工艺	285
13.5 井下区域超前治理防治水工程示范	288
13.5.1 11914 回采工作面开采条件概述	288
13.5.2 11914 工作面防治水技术路线	289
13.5.3 9 号煤底板加固及本灰改造	289
13.5.4 11914 工作面底板注浆改造效果分析	291
13.5.5 综合物探分析及验证	296
13.5.6 SF5、SF9 断层及 X1 陷落柱注浆加固分析	297
13.6 带压开采煤层底板突水预警技术示例	300
13.6.1 突水监测方案	300
13.6.2 底板突水监测	301
第 14 章 保水开采技术与矿井水循环利用模式	304
14.1 岩溶陷落柱空间位置探查及快速治理技术	305
14.1.1 陷落柱探测及探查	305

14.1.2	一期工程综合注浆法建造“阻水墙”技术	306
14.1.3	陷落柱综合治理技术	307
14.2	矿井水控制-处理-利用-回灌与生态环保五位一体技术	312
14.3	矿井“疏水-供水-回灌-生态环保-安全开采”五位一体利用模式	314
14.3.1	矿井排(疏)水	315
14.3.2	矿井供水	315
14.3.3	回灌	316
14.3.4	“五位一体”优化管理模式	317
14.3.5	邢台矿区矿井水资源化的可行性	317
14.4	矿井水资源化实例	320
14.4.1	章村矿矿井排水系统	321
14.4.2	生产单元内部水循环利用	321
14.4.3	生产单元之间水循环利用	322
14.4.4	矿井水地面回灌或井下压注回灌减排方案	322
14.4.5	章村矿矿井水资源化效果	323
参考文献		325
后记		329

第1章 绪 论

1.1 研究背景

矿井突水一直是困扰和威胁我国煤矿安全生产的最突出问题之一。据不完全统计,自20世纪90年代以来的20多年里,我国已有250多个矿井发生了突水淹井事故,直接经济损失高达400亿元以上,给企业带来了严重的人身伤亡和巨大的经济损失,同时也造成了矿区水环境及水资源的较大损害。

30多年来,尽管煤矿生产与建设的技术水平都有了很大程度提高,但是煤矿突水事故时有发生;特别是2000年以来,我国煤矿突水事故又呈上升趋势,大量突水案例表明,华北地区发生的重大突水及淹井事故多数是由煤系基底奥陶系灰岩岩溶承压水突入矿井造成的。这些矿井主要分布在我国华北石炭二叠系煤田,包括峰峰、开滦、邯郸、邢台、渭北、肥城、新汶、平顶山、焦作和淮南等矿区。华北型煤田一般分上、下两组煤,上组煤一般包括1号、2号、4号、5号、6号煤层;下组煤7号、8号、9号煤因受煤系基底奥灰承压水突水威胁暂列呆滞煤量。河北邯邢煤矿区受底板岩溶承压水威胁的煤炭储量多达30多亿t,占已探明煤炭资源储量的60%以上。

10多年,随着我国经济高速发展,对煤炭需求急剧增长,导致煤炭企业进行了高强度大规模的开采,我国中东部地区的浅部煤炭资源逐步枯竭,许多大型煤矿区煤矿相继进入深部(800~1500m)开采。目前,我国在埋深2000m以浅已探明煤炭资源5.7万亿t,其中埋深1000m以深占53%。在深部开采环境下,岩体处于“三高一扰动”(即高地应力、高地温、高岩溶水压和强烈开采扰动)的复杂地质力学环境中,深部矿井所受底板突水威胁更为严峻。因此,如何安全、高效地开采这些受底板承压水严重威胁的煤炭资源,是目前我国煤炭行业亟待解决的重大难题之一。

峰峰矿区九龙矿等三个矿、邢台矿区东庞矿等六个矿、井陘矿区三矿等两个矿、邯郸矿区郭二庄矿等两个矿,随着多年的开采,其浅部的上组煤可采储量已严重不足,为了矿井的可持续发展,需要开采受奥陶系灰岩含水层承压水威胁、储量丰富的矿井深部资源和下组煤;而矿井深部煤层和下组煤带压开采面临着极复杂水文地质和工程地质条件,突出表现在以下三个方面。

(1) 下组煤9号煤底板隔水层厚度仅有28~45m,构造发育,面临下伏奥灰水的直接突水威胁。