

我国煤矿水灾害快速救援 预警管理体系研究

王金凤 翟雪琪 程 雁 著



科学出版社

我国煤矿水灾害快速救援 预警管理体系研究

王金凤 翟雪琪 程 雁 著

科学出版社

北 · 京

内 容 简 介

本书针对煤矿突发水灾害的隐蔽、不可预测等特征,基于致因因素的复杂、动态性,开展了煤矿水灾害快速救援预警管理体系研究。本书共 11 章,主要内容包括:煤矿水灾害危险源辨识;煤矿水灾害致因机理分析;煤矿水灾害快速救援评价模型构建;煤矿水灾害快速救援技术及其装备研究;煤矿水灾害预警管理体系及其可靠性评价模型建立;煤矿水灾害预警管理体系信息共享平台设计。本书研究思路新颖、理论与方法系统,具有较高的学术研究价值和实践应用价值。

本书可作为高等院校煤矿安全工程相关专业研究生和本科生教材,也可作为煤矿水灾害领域的管理者、科研人员、工程技术人员及高校教师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

我国煤矿水灾害快速救援预警管理体系研究/王金凤,翟雪琪,程雁著.
—北京:科学出版社,2016.11
ISBN 978-7-03-050369-5

I. ①我… II. ①王… ②翟… ③程… III. ①煤矿-矿山水灾-应急
对策-救援-预警系统-研究-中国 IV. ①TD745

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 258114 号

责任编辑:周 炜 / 责任校对:邹慧卿
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

*

2017 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2017 年 1 月第一次印刷 印张:11 1/4

字数:227 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

我国是世界煤炭生产大国,同时也是发生煤矿事故最多的国家,尤其是近年来重特大水灾害时有发生,安全形势不容乐观。进一步研究发现,造成我国煤矿水灾害损失重大的主要原因之一是长期以来存在的等待水灾害发生而做出响应的救援模式。

煤矿水灾害发生具有不确定性和不可预测性,加之复杂的煤矿水文地质条件及开采环境导致水灾害发生时救治困难,我国煤炭生产企业多以救援为主,不能及时识别并防范可能发生的水灾害。因此,如何加强煤矿水灾害预警管理,及时控制甚至消除水灾害危机,成为煤炭行业迫切需要解决的现实问题。

由于煤矿水灾害造成的人员伤亡及财产损失大多难以估量,越来越多的学者开始关注此类问题的研究,也取得了诸多成果,但至今缺少一部综合研究煤矿水灾害快速救援及预警管理的专著。本书在总结前人相关科研成果的基础上,阐述了煤矿水灾害的致因机理,研究了煤矿水灾害快速救援技术及其装备,构建了预警管理体系并对其可靠性进行评价,同时搭建了信息共享平台,为煤矿水灾害的快速救援及预警管理研究提供理论基础与技术支撑。

全书共11章。第1章~第3章为全书的框架及煤矿水灾害基本理论;第4章为煤矿水灾害致因机理研究;第5章、第6章为煤矿水灾害快速救援技术与装备研究;第7章~第9章为煤矿水灾害预警管理体系研究;第10章为实践应用研究;第11章是对全书的总结。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金(71271194,71472171)的支持,在此向帮助和关心作者研究工作的所有单位和个人表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	3
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 煤矿水灾害致因机理研究现状	3
1.2.2 煤矿水灾害应急快速救援研究现状	5
1.2.3 煤矿水灾害预警管理研究现状	7
1.3 研究内容及技术路线	9
1.3.1 研究内容	9
1.3.2 技术路线	11
1.4 主要创新点	12
第 2 章 煤矿水灾害概述	13
2.1 煤矿水灾害成因及分类	13
2.1.1 煤矿水灾害成因	13
2.1.2 煤矿水灾害分类	13
2.2 煤矿水灾害危害及其分类	16
2.2.1 煤矿水灾害危害	16
2.2.2 煤矿水灾害分类	16
2.3 我国煤矿水灾害特点及分布	17
2.3.1 我国煤矿水灾害的特点	17
2.3.2 我国煤矿水灾害的分布	18
2.4 煤矿水灾害防治的一般措施	19
2.4.1 地面水灾害防治	20
2.4.2 井下水灾害防治	20
2.5 煤矿水灾害快速救援分析	22
2.5.1 传统煤矿水灾害快速救援流程分析	22
2.5.2 基于 BPR 理论的煤矿水灾害快速救援流程分析	24
2.5.3 煤矿水灾害快速救援运作模型建立	25

2.5.4 煤矿水灾害快速救援运作模型解析	27
2.6 本章小结	40
第3章 煤矿水灾害危险源分析	41
3.1 危险源及其辨识	41
3.1.1 危险源相关概念	41
3.1.2 危险源辨识	43
3.2 煤矿水灾害危险源辨识	44
3.2.1 煤矿水灾害危险源及其辨识方法	44
3.2.2 煤矿水灾害危险源辨识的影响因素	45
3.2.3 煤矿水灾害危险源辨识的范围	46
3.2.4 煤矿水灾害危险源辨识的原则	46
3.3 煤矿水灾害危险因素调查	47
3.3.1 煤矿水灾害危险因素调查的内容	47
3.3.2 煤矿水灾害危险因素调查方法	47
3.4 煤矿水灾害危险源调查	48
3.5 本章小结	49
第4章 煤矿水灾害致因机理分析	50
4.1 煤矿水灾害致因机理体系构建	50
4.2 煤矿水灾害致因机理系统分析	51
4.2.1 系统动力学理论概述	51
4.2.2 煤矿水灾害致因机理分析原理	54
4.2.3 煤矿水灾害致因系统动力学模型构建	54
4.2.4 煤矿水灾害致因系统的灵敏度分析	59
4.3 煤矿水灾害致因系统仿真	59
4.3.1 数据收集及整理	60
4.3.2 系统方程建立	63
4.3.3 煤矿水灾害致因系统动力学仿真	66
4.4 本章小结	69
第5章 煤矿水灾害快速救援现状评价及问题分析	70
5.1 危机全生命周期理论	70
5.2 面向全生命周期的煤矿水灾害快速救援阶段划分	72
5.2.1 煤矿水灾害酝酿期	73
5.2.2 煤矿水灾害爆发期	73
5.2.3 煤矿水灾害扩散期	74
5.2.4 煤矿水灾害处理期	74

5.2.5 煤矿水灾害总结期	74
5.3 煤矿水灾害快速救援现状评价	75
5.3.1 DEA 理论概述	75
5.3.2 煤矿水灾害快速救援评价指标体系的建立	75
5.3.3 煤矿水灾害快速救援评价模型构建	76
5.4 煤矿水灾害快速救援存在问题分析	78
5.4.1 快速救援技术与装备不配套	78
5.4.2 水灾害预警管理体系不完善	79
5.4.3 信息共享不及时	80
5.5 本章小结	80
第 6 章 煤矿水灾害快速救援技术与装备研发	81
6.1 煤矿水灾害快速救援技术现状分析	81
6.1.1 我国煤矿水灾害快速救援技术存在的问题	81
6.1.2 国内外煤矿抢救排水技术现状	83
6.1.3 煤矿水灾害防治方法	83
6.1.4 煤矿水灾害抢险排水常规技术	85
6.2 煤矿水灾害快速救援潜水电泵研发	86
6.2.1 矿井 3200kW 高压潜水电机研发	86
6.2.2 矿井 ZQ1000-90 系列潜水电泵研发	94
6.3 矿井潜水电泵运行稳定性分析	95
6.3.1 矿井立式运行稳定性分析	95
6.3.2 潜水电泵卧式运行稳定性分析	97
6.3.3 矿井水阻尼对振动的影响	100
6.3.4 矿井动、静部件之间的间隙对振幅的影响	105
6.3.5 矿井大功率卧式潜水电泵防振措施	110
6.4 矿井潜水电泵社会效益分析	112
6.5 本章小结	113
第 7 章 煤矿水灾害快速救援预警管理体系构建	114
7.1 煤矿水灾害预警管理体系构建原则及目标	114
7.1.1 预警管理体系构建原则	114
7.1.2 预警管理体系构建目标	115
7.2 煤矿水灾害预警管理体系构成及功能分析	116
7.2.1 预警管理体系架构	117
7.2.2 预警管理体系架构功能分析	119
7.3 煤矿水灾害预警管理体系子系统流程分析及其构建	120

7.3.1	预警管理体系子系统流程分析	120
7.3.2	预警管理体系整体流程构建	123
7.4	本章小结	124
第8章	煤矿水灾害预警管理体系可靠性分析	126
8.1	煤矿水灾害预警管理体系可靠性分析基本理论	126
8.1.1	预警管理体系可靠性基本概念	126
8.1.2	预警管理体系可靠性的目标与意义	126
8.2	煤矿水灾害预警管理体系的可靠性指标及其评价	127
8.2.1	预警管理体系可靠性指标体系构建	127
8.2.2	预警管理体系可靠性评价	129
8.3	煤矿水灾害预警管理体系的可靠性控制与提升	131
8.3.1	预警管理体系可靠性控制特点	131
8.3.2	预警管理体系可靠性控制与提升策略	132
8.4	本章小结	135
第9章	煤矿水灾害预警管理体系信息共享平台设计	136
9.1	煤矿水灾害信息共享平台设计原则及目标	136
9.1.1	信息共享平台设计原则	136
9.1.2	信息共享平台设计目标	137
9.2	煤矿水灾害信息系统的功能结构分析	137
9.2.1	煤矿环境监测子系统	137
9.2.2	煤矿水灾害环境预测子系统	139
9.2.3	煤矿水灾害预警子系统	140
9.2.4	煤矿水灾害救援指挥子系统	140
9.3	煤矿水灾害信息共享平台逻辑结构分析	141
9.3.1	信息输入、输出模块	141
9.3.2	信息集成模块	142
9.3.3	信息发布模块	142
9.3.4	数据库管理模块	142
9.3.5	信息平台管理模块	142
9.4	煤矿水灾害信息共享总体架构分析及关键技术的实现	143
9.4.1	信息共享平台总体架构分析	143
9.4.2	信息共享平台关键技术实现	144
9.5	煤矿水灾害预警管理的信息平台运营模型构建	146
9.6	本章小结	147

第 10 章 实证研究	148
10.1 X 煤矿背景	148
10.2 预警管理体系方案实施	149
10.3 预警管理体系实施效果评价	150
10.3.1 可拓评价原理	150
10.3.2 关联矩阵分析	152
10.3.3 X 煤矿关联度等级确定	155
10.4 结果分析及改进	157
第 11 章 结论与展望	159
11.1 研究结论	159
11.2 研究展望	160
参考文献	161

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

煤炭是我国目前最重要的能源。2015 年国民经济和社会发展统计公报显示, 全年能源消费总量为 43.0 亿吨标准煤, 其中煤炭消费量占能源消费总量的 64.0%。煤炭资源的广泛利用为推动我国国民经济建设进程、提高人民生活水平做出了并且仍将继续做出巨大贡献。

与世界其他国家相比, 特殊的地理和地质环境决定了我国煤矿的地质条件十分复杂, 特别是近年来, 随着我国煤矿开采深度的增加、开采速度的加快、开采强度的增大、开采规模的扩大, 煤矿重特大水事故频发。

归纳起来, 目前我国的煤矿安全生产主要存在以下两个特征:

(1) 煤矿安全生产状况与国外发达国家相比差距巨大。2005~2014 年我国与美国煤矿死亡人数和百万吨死亡率分别如图 1.1 和图 1.2 所示。从煤矿死亡人数来看, 虽然我国煤矿死亡人数逐年下降, 但仍是美国煤矿死亡人数的 100 倍。在煤矿百万吨死亡率方面, 近年来美国已控制在 0.03 左右, 而我国百万吨死亡率仍居高不下, 到 2011 年我国煤矿百万吨死亡率仍高达 0.562, 而美国在 2009~2011 年煤矿百万吨死亡率则仅为 0.01、0.04 和 0.02。

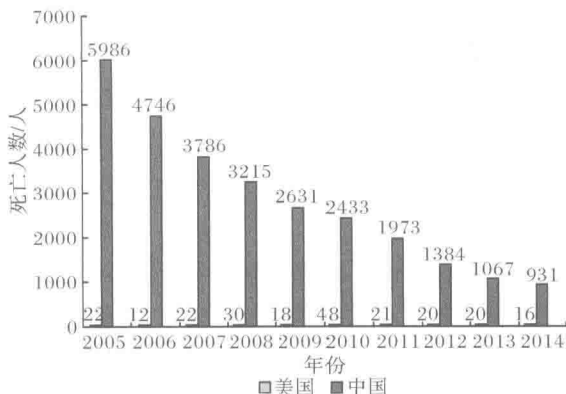


图 1.1 2005~2014 年我国与美国煤矿死亡人数

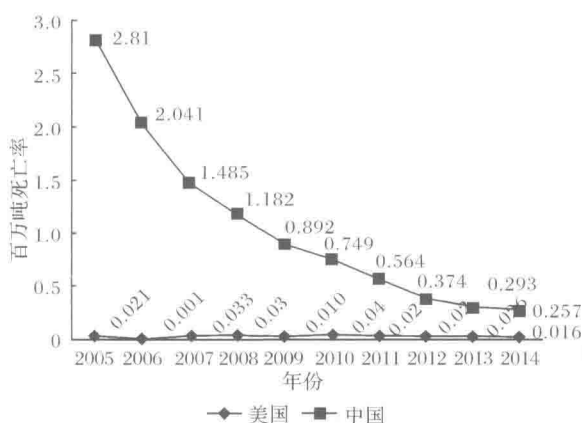


图 1.2 2005~2014 年我国与美国煤矿百万吨死亡率

(2) 煤矿死亡人数及煤矿事故起数不稳定。从煤矿安全生产趋势看,虽然煤矿死亡人数、重特重大事故起数、煤矿百万吨死亡率整体呈下降趋势,但不是平稳地下降而是波动式地下降,如图 1.3 所示。

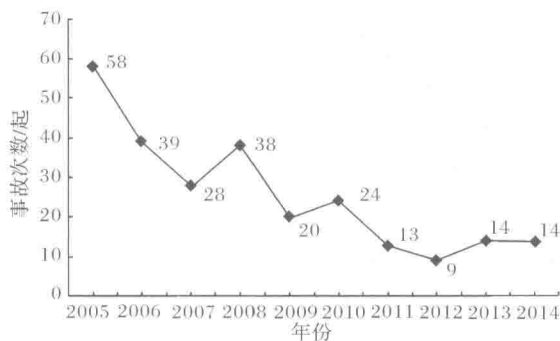


图 1.3 2005~2014 年我国煤矿重特重大事故次数

例如,煤矿重特重大事故,2006~2007年由39起下降至28起,而到2008年事故发生数又上升至38起,同样,2012年有所下降,但2013年重特重大事故又上升5起。另外,百万吨死亡率下降的幅度也越来越小,2011~2014年每年下降幅度分别为0.19、0.081、0.036。

进一步研究发现,我国煤矿水灾害事故频发的根本原因是长期以来存在的基于等待水灾害发生而做出响应的救援模式。

我国复杂的煤矿水文地质条件与生产环境导致水灾害发生时救援困难,加上煤矿水灾害的发生具有不确定性和不可预测性,煤炭生产企业大多以救援为重心,按照已有的应急预案调配各类救灾资源协调和指挥各救灾实体进行水灾害救

援。这种管理模式往往忽略预警管理的作用,导致不能根据危机预警信号,及时识别并防范可能的水灾害,防患于未然。因此,如何加强煤矿水灾害预警管理,及时控制甚至消除水灾害危机,成为煤炭行业迫切需要解决的现实问题。

有鉴于水灾害的致因因素复杂,随机性、隐蔽性强,上述现实问题可转化为针对煤矿水灾害发生的不可预测性,通过对煤矿水灾害致因机理分析,提升水灾害快速救援技术与装备水平、建立水灾害预警管理体系,从而在有效的时间内控制水灾害,以实现煤矿水灾害的快速救援。

1.1.2 研究意义

在理论上,实现以预防为中心的煤矿水灾害快速救援模式一直是国内外学者关注的热点与前沿问题。现有研究在水灾害致因机理、应急快速救援及预警管理的环境方面取得了较多成果,主要集中于煤矿水灾害致因理论、危险源识别、致因机理模型,或集中于应急管理、应急救援能力评价、应急预案及救援技术,或集中于煤矿水灾害的监测、预测及预警系统设计,但对于煤矿水灾害,如何通过对煤矿水灾害致因机理分析,加强煤矿水灾害预警管理,在有效的时间内控制水灾害,从而实现煤矿水灾害快速救援的研究成果还不多。本书针对这一现状,开展煤矿水灾害快速救援预警管理体系研究,研究成果有利于丰富煤矿水灾害预警管理理论,可以为有效提升我国煤矿水灾害预警管理水平提供理论支撑。

在应用上,分析煤矿水灾害致因机理,采用危机全生命周期理论分析评价煤矿水灾害,然后构建煤矿水灾害快速救援的预警管理体系,利用可靠性评价方法分析预警管理系统,在此基础上建立信息共享平台。在宏观层面,有利于缓解我国日趋严峻的煤炭安全生产形势,对提升我国各级政府形象、对煤炭行业乃至整个社会的和谐发展具有实践应用价值;在微观层面,本书对提升煤炭生产企业灾害预警水平,实现快速救援具有重要的现实意义。

1.2 国内外研究现状

由于煤矿水灾害造成的人员伤亡及财产损失难以估量,越来越多的学者开始关注此类问题的研究。近年来,随着科学技术的迅猛发展和管理水平的不断提高,在灾害快速救援方面可用的设施设备及技术也越来越多,煤矿水灾害研究取得了较多的成果。目前,国内外学者对煤矿水灾害的研究主要集中在水灾害的致因机理、预警管理及应急快速救援三方面。

1.2.1 煤矿水灾害致因机理研究现状

分析煤矿水灾害的形成机理是有效预防和治理煤矿水灾害的基础,对救援工

作可以起到事半功倍的效果。

1. 煤矿水灾害致因理论问题的研究

国外学者对事故致因的研究开始得较早,已经形成了较为完善的理论体系,主要包括事故频发倾向理论^[1]、事故因果连锁理论、能量意外释放理论、瑟利事故模型、动态变化理论、Reason 的复杂系统事故因果模型、系统理论事故模型^[2]等,这些理论被广泛应用到各行各业事故致因机理分析,为研究煤矿水灾害致因机理提供了理论基础。

张志强等^[3]运用系统动力学原理研究煤矿水灾害在多因素共同作用下的演化机理,构建了煤矿水灾害致因机理模型,为煤矿水灾害致因机理分析提供了一种新的分析思路;丁名雄^[4]借鉴事故致因机理分析,认为煤矿安全规制不足、企业和政府不协调及煤矿安全资源配置不当等是我国煤矿事故发生的主要原因,同时从这三方面对煤矿事故产生的原因进行了分析;张跃兵等^[5]以现代安全科学理论及事故致因机理为基础,运用事故案例分析研究方法,从危险源概念辨析入手,探讨了危险源的分类、层次结构及基于危险源理论的事故预防控制模型;祁丽霞等^[6]运用煤矿事故致因机理分析方法对煤矿事故发生的原因进行了剖析,结合我国煤矿事故发生的规律和煤矿生产安全管理的现实,构建了一种符合煤矿安全管理实践的煤矿事故致因模型,同时采用逻辑运算对建立的模型进行了仿真。

2. 煤矿水灾害危险源识别方面的研究

一些学者主要采用辨别危险源方法进行了事故致因机理分析。李树砖等^[7]借鉴三类危险源理论,运用统计分析和事故树分析方法,在构建的瓦斯爆炸事故致因模型的基础上,通过模糊综合评价方法进行了实证研究;孔留安等^[8]从煤矿灾害事故统计入手,介绍了国内外风险评价的研究现状及煤矿危险源风险评价的研究目的,建立了煤矿三类危险源的影响因素模型;孟现飞等^[9]从危险源的事故致因机理及其两极化管理角度,构建了危险源的事故致因机理模型,并提出危险源的两极化管理思路。

3. 煤矿水灾害致因机理模型构建问题的研究

近年来,也有一些学者运用数理统计、模型和计算机等方法对煤矿水灾害的致因机理进行了分析,取得了较多研究成果。陈红等^[10]针对我国煤矿事故中煤矿工人故意违章行为问题,以煤矿工人个体层面和煤矿组织层面的各类因素为外源变量,以行为效价和行为成本感知为中介变量,以煤矿工人高成本-高效价和高成本-低效价两类特征性故意违章行为为内生变量,构建了故意违章行为影响因素的结构方程模型;赵殷瑶等^[11]从安全事故发生原因及井下作业人员需求两方面探究

了煤矿职工生活环境及生活状况,以数据、图表形式表现了调查结果并给出了相关对策;涂劲松等^[12]采用 FLAC 模拟软件建立了巷采充填的数值计算模型,分析了充填开采时煤柱与充填体的应力、位移变化规律及基岩面的运移规律。

宋泽阳等^[13]构建了适合分析煤矿安全管理体系缺失和不安全行为的 HFACS 框架,应用 SPSS13.0 对 515 起煤矿伤亡事故发生的原因进行了整理分类,运用 χ^2 检验和让步比(OR)分析了安全管理体系缺失情况、不安全行为发生的原因及两者之间的内在联系;梅国栋等^[14]应用散点图、相关系数等数学方法分析了我国煤矿安全生产与社会经济指标之间的关系,确定了影响我国煤矿安全生产的主要社会经济因素;刘广平等^[15]通过分析安全投入、管理投入与安全水平之间的关系,基于经济利益最大化原则构建了煤矿经济效益函数,确定了影响煤矿安全水平边际效应的因素。

从上述文献可以看出,关于煤矿水灾害致因机理的相关研究大多集中在对某一种煤矿水灾害的致因机理分析上,国内外学者多采用危险源理论、事故致因理论等,运用数理统计、模糊综合判断法、AHP 等各种定量方法构建煤矿水灾害的致因机理分析模型,这些研究均为本书开展煤矿水灾害致因机理分析研究提供了有益的参考。

影响煤矿水灾害的因素众多,既与煤矿矿井的地层、地质构造、煤层赋存情况、煤层特征、瓦斯含量、地下水文、围岩特征等自然因素密切相关,也与煤矿矿井设施布置方案及煤矿矿井运输、通风、排水等设备管理,作业人员的行为等人为因素密切相关,且这些灾害的致因因素复杂,随机性、隐蔽性强,如何结合煤矿水灾害的突发性和不可预测性,确定关键影响因素对煤矿安全水平的重要程度,分析煤矿水灾害致因机理尚待进一步研究。

1.2.2 煤矿水灾害应急快速救援研究现状

目前我国针对煤矿水灾害应急快速救援的研究主要包括应急管理、应急救援能力评价、应急预案及救援技术等。

1. 煤矿水灾害应急管理问题的研究

Shen 等^[16]对水灾害下的应急救援进行了分类;Fiedrich 等^[17]针对地震灾害下的应急救援资源配送问题进行了研究,提出了多受灾点的应急救援配送优化模型,该模型以人员伤亡最小为目标函数,考虑了时间、资源量及质量的约束;冯立杰等^[18]针对煤矿水灾害问题,建立了以水灾害预防与治理为主的煤矿水灾害事故响应系统,通过 Agent 组织煤矿及救援单位的有效资源,以多代理系统为基础设计了煤矿水灾害响应的协商机制;Zhang 等^[19]利用动态博弈理论,从煤炭生产企业、监管部门和政府三者间的关系研究了煤矿水灾害管理问题;席煜宸^[20]构建了

煤矿应急管理体系建设模式,论述了模式中各要素之间的相互关系及各要素的主要建设内容;Kang等^[21]利用知识生成理论,分析了煤矿水灾害危机响应系统内部各个阶段的知识流动和生成模型,依据煤矿水灾害救援优化原则,运用虚拟信息中心及信息共享工具对煤矿水灾害危机响应系统进行了优化。

2. 煤矿水灾害救援能力评价方面的研究

美国作为世界上研究水灾害应急能力评价最早也是理论体系最完善的国家,目前对水灾害应急能力评价的研究遍布全美 55 个区域^[22]。鉴于其评价指标较为全面、合理,且客观性强、便于应用,被越来越多的国家和地区争相效仿^[23]。美国联邦紧急事务管理局与国家紧急管理协会于 1997 年就联合研究了一套州与地方政府应急管理准备能力评估系统,美国联邦紧急事务管理局在此基础上于 2000 年又对上述评估系统进行了修订改正,构建了各州及地方政府能力的 3 级评估体系:①各州能力的 3 级评估体系,该体系架构主要包含 13 个要素、104 个属性、453 个特征;②地方政府能力的 3 级评估体系,该体系架构主要包含 13 个要素、98 个属性、520 个特征。由于各州或政府级别不同,以上两种评估体系的要素、属性和特征在细致程度和表述方法上也有所区别^[24]。

日本在水灾害应急救援能力方面也有较多的研究成果。在 2002 年 10~12 月,经由日本防灾与情报研究所的多次讨论,并与消防厅举办了两次“地方公共团体之地域防灾能力及危机管理对应力评估研究会”,日本最终设定了地方公共团体防灾能力的评价项目^[25]。

我国对煤矿水灾害应急救援能力评价的研究成果也较为丰富。王金凤等^[26]建立了煤矿水灾害应急系统模型,采用可拓法对煤矿水灾害应急系统可靠性进行了评价;赵明忠等^[27]将熵权理论引入煤矿水灾害救援系统中,建立了救援系统可靠性熵权综合评价模型;张宇^[28]通过分析煤矿水灾害应急救援能力评价指标体系构建时所用的技术方法的研究进展情况、该领域的研究成果、存在的问题及研究方向,遵循系统动力学原理,构建了煤矿事故应急救援能力评价体系;钱洪伟^[29]在对国内外环境应急能力研究分析基础上,采用常规层次分析法及模糊评判法对煤矿环境水事件应急能力进行了评价,同时结合河南省某煤矿水环境事件进行了实证模拟验证;Wang等^[30]运用系统动力学方法,从人员应急素质、救援装备、救援物资、救援队伍及日常应急管理等方面构建了煤矿水灾害应急能力评价模型。

3. 煤矿水灾害应急预案及救援技术方面的研究

在应急预案研究中,韩利^[31]对煤矿水事件应急预案中的通信系统保障机制进行了研究;武强等^[32]从水灾害发生前的事故预防和水灾害发生后的事故抢险救援

两方面论述了煤矿水灾害应急救援预案;孙保敬^[33]在研究符合矿井排水抢险救灾实际需要的决策支持系统的基础上,对水泵的工作特性进行了研究,建立了多泵工作时水泵位置与工作效率的关系,同时研制了排水抢险救灾快速安装系统并对排水抢险救灾系统工况监测系统进行了研究。在救援技术研究领域中,冯立杰等^[34~36]从煤矿水灾害快速救援技术装备研发角度,提出了运用多屏幕法、矛盾矩阵表、创新发明原理等 TRIZ 工具创新设计千米矿井抗灾排水装备、矿用潜水电泵、止推导轴承等装备,以提高煤矿水灾害快速救援能力。

从上述研究可以看出,关于煤矿水灾害快速救援的相关研究多集中在煤矿水灾害应急救援技术、应急预案编制、救援物资调度、救援系统构建及评价分析等方面,多采用灰色-模糊综合评价、熵权理论等方法建立煤矿事故评价指标体系及模型,这些均为本书开展煤矿水灾害快速救援评价提供了有益的参考。

综上所述,影响煤矿水灾害快速救援效果的因素众多,这些影响因素对煤矿水灾害快速救援的影响程度不一且呈动态变化,如何确定影响煤矿水灾害快速救援的关键指标,展开煤矿水灾害快速救援评价尚待进一步研究。

1.2.3 煤矿水灾害预警管理研究现状

煤矿水灾害预警管理是一个繁琐而复杂的过程,此方面内容的研究主要集中在煤矿水灾害的监测、预测及预警系统设计等方面。

1. 煤矿水灾害监测问题的研究

Li 等^[37]通过分析微震监测的数据、水文、气象等数据,认为冰雪融化与煤矿水灾密切相关,可以参考冰雪融化速率对煤矿水灾害进行监测;Sun 等^[38]通过微震技术对突水的危险区域煤层地板进行了识别,为煤矿生产提供了安全保障;刘淳等^[39]提出了一种基于 FPGA 的煤矿突水监测系统数据采集系统的硬件和软件设计方法,具有信号采集和数据处理速度快、精度高,硬件电路设计简单、调试方便,抗干扰能力强的特点;张小鸣^[40]结合对煤层底板破坏及突水影响因素的分析、讨论,提出了一种基于采动中煤层底板的突水动态监测系统,认为该系统具有结构简单、拓展灵活、实时性强等特点,具有广阔的应用前景;范焯等^[41]利用 Lab-View 图形化编程语言 G 编写程序,实现了对煤矿突水情况的实时状态监测。

2. 煤矿水灾害预测问题的研究

Liu 等^[42]根据数据挖掘分类技术、神经网络和决策树算法建立了煤矿水灾害预测系统,并对该系统进行了测试,结果表明该系统是可行的;Rena 等^[43]通过分析钻孔偏斜和水线界定的范围,为煤矿突水预测和控制提出了科学的解决方案;陈红钊等^[44]对地下磁流体探测技术进行了研究,认为该方法可以有效探测地下水

分布,可用于煤矿水灾害预测;蒋仲安等^[45]根据煤矿水灾害历史数据确定出 32 个水灾安全危机征兆指标,并使用 BP 神经网络作为预测模型,将概率模型作为数据建立模型,以实现煤矿水灾害预测;许延春^[46]利用灰色理论宏观预测了矿井水灾害可能发生的时间和严重程度;杨海军等^[47]对判别突水水源和预测涌水量的各种方法进行了探讨,概述了各种方法的原理、应用现状及其适用条件;李培等^[48]运用 PCA 与 ELM 结合的煤矿突水预测方法建立了煤矿突水预测模型,该方法具有变量少、建模和运算时间短、模型的运行速度和预测精度较高等优点;孟祥瑞等^[49]把物联网(IoT)感知技术应用于底板突水的预测监控,构建了一种开放的分布式 IoT-GIS 耦合感知信息处理平台,该平台对底板突水的预测监控具有较高的感知准确度。

3. 煤矿水灾害预警系统构建问题的研究

预警理论最早是在 1888 年的巴黎统计学大会上提出的。20 世纪 30 年代中期,经济监测预警系统再度兴起并得到不断应用,美国、英国、日本、加拿大等国家相继出现了经济预警系统。

美国的海因里希在《工业事故预防》一书中,提出了根据工业安全管理实践总结出来的工业安全理论思想^[50]。该理论思想详细阐述了工业事故水的致因机理及水事故频率与伤害严重程度之间的关系,以及人的不安全行为和物的不安全状态的产生原因^[51]。

Jin 等^[52]认为通过对煤层压力、温度和水压力等进行精准测量,可以实现对煤矿水灾害事故预警;张雁等^[53]通过对煤矿水灾害预警系统研究,指出监测参数的选择、监测设备的稳定性与精确度、监测地点的选择与钻孔布置、预警阈值及报警是预防煤矿水灾害的关键技术,为煤矿突水监测预警系统优化和完善提供了思路;张雪英等^[54]运用组件式 GIS 开发模式,以 ArcGIS Engine 与 Visual Studio 2010 为开发环境,结合计算机 Visual C#.net 编程技术,采用集成二次开发方式,设计和开发了矿井突水预警信息系统,实现了海量突水数据的分析功能,为突水预警提供了依据;谢兴楠等^[55]通过分析矿井发生系列重大突水事故,建立了关键层静态探测与动态监测的突水预警模型和构造体静态探测与动态监测的突水预警模型,并“将岩体性质‘静态’存在特征和岩体‘动态’破裂过程作为一个整体”对突水通道进行预测,对矿井突水定量预测进行了学术探讨;刘治国^[56]提出了一种基于 J2EE 规范的煤层顶板突水预警 WebGIS 系统的设计思想和实现方案,该方案可以实现互联网上的煤层顶板突水监测预警作业,对煤层顶板突水预警系统的研究具有理论意义和工程实用价值。

从上述研究可以看出,煤矿水灾害预警管理的相关研究多集中在煤矿水灾害的监测、预测及预警系统设计等方面,国内外学者采用微震技术、图形化编程方法