

郭 健 著



企业安全预警及应急救援 系统构建研究

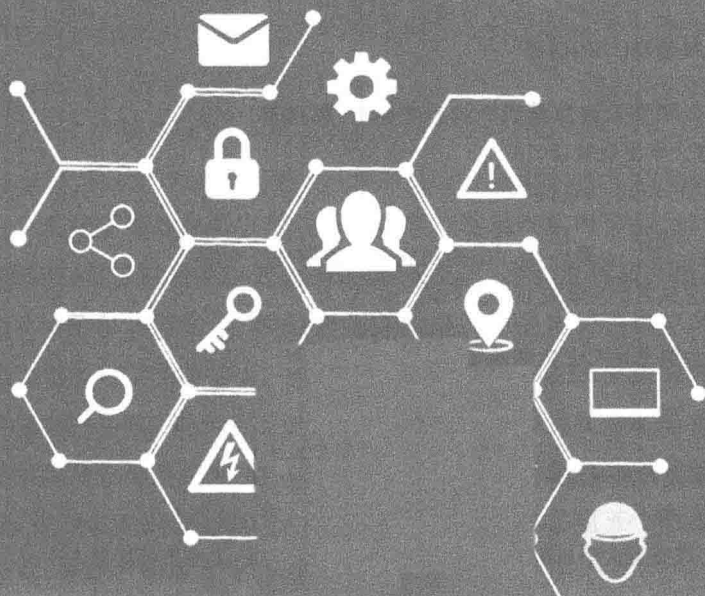


上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

公益项目研究计划“海岛型石化园区事故发生
系统构建研究 (LGG18E040001)”及浙江省
危化品基地监测预警及应急管理系统构建研究

22

郭
健
著



企业安全预警及应急救援 系统构建研究



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书以地下金矿为例,以安全预警理论和技术模型的构建、危险性分析、安全预警指标体系的建立、安全预警系统模型的构建、安全预警系统的建立与实现等五个方面为重点,进行了构建企业安全预警系统的阐述。

本书可以作为安全监管人员的参考资料,也可以作为安全培训的学习材料。

图书在版编目(CIP)数据

企业安全预警及应急救援系统构建研究/郭健著. —上海:上海交通大学出版社,2018

ISBN 978-7-313-19617-0

I. ①企… II. ①郭… III. ①企业安全—预警—研究②企业安全—应急系统—研究 IV. ①X931

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 145871 号

企业安全预警及应急救援系统构建研究

著 者:郭 健

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:谈 毅

印 制:虎彩印艺股份有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/32

字 数:209 千字

版 次:2018 年 7 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-19617-0/X

定 价:98.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:9.5

印 次:2018 年 7 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0769-85252189

前言

PREFACE

安全预警系统可以实现对安全生产活动的实时监测、诊断、控制和矫正,实现对企业生产过程的前馈控制、过程控制和反馈控制,预防及减少事故的发生,帮助企业实现本质安全化的目标。本书以金矿为例进行了构建企业安全预警系统的阐述:以安全预警理论和技术模型的构建;井工金矿采选过程危险性分析;井工金矿采选过程安全预警指标体系的建立;井工金矿采选过程安全预警系统模型的构建;井工金矿采选过程安全预警系统的建立与实现五个方面为研究重点,取得了如下主要结论和成果。

(1)理论研究方面。本书从安全哲学入手进行了安全预警理论和技术以及实现路径的研究,本书认为安全预警研究的思想根源是以本质安全思想为核心的现代安全哲学,安全预警研究的动力是社会文明进步和人类追求自身安全的客观需要。现代系统理论——系统论、控制论、信息论、突变论、协同论、耗散结构论是安全预警研究的方法论基础,事故致因理论为安全预警研究提供了研究的对象,通过对这些基础理论的梳理,可以清晰地了解安全预警研究的发展脉络和前进方向。安全预警的技术基础,主要是安全监测技术、安全评价技术和安全预警技术,首先通过安全监测技术可以获得井工金矿

采选过程危险因素的监测数值,安全评价技术依据安全监测数据进行风险评价,安全预警技术依据评价的结果进行安全状态的预警,这三种技术在安全预警系统的构建中环环相扣,组成安全预警的技术基础,最后本书从理论上阐述了安全预警的功能和实现路径。

(2)危险性分析方面。危险性分析可以形成安全预警研究的基础,通过危险性分析可以把握系统的事故类型、对安全预警对象的清晰认识。本书从金矿赋存条件、开采方式、环境、灾害性质等方面,分析了井工金矿采选过程生产系统的特点。根据国家标准(GB6441—86)《企业职工伤亡事故分类》,将金矿山事故灾害类型分为冒顶片帮、透水、中毒窒息、爆破伤害、提升运输事故、高处坠落、物体打击、车辆伤害、机械伤害、触电伤害、火药爆炸、矿山火灾、容器爆炸、地表塌陷、粉尘危害等 15 大类,并具体分析了这 15 大类事故灾害存在的主客观成因、发生场所和可能造成的危害。在此基础上,以事故致因理论为基础,通过事故发生的维度分析和机理分析,设计出四维的井工金矿采选过程维度模型和事故发生的机理模型,并进一步从人员、管理、环境、设备、安全和生产技术等五个方面全面系统地阐述井工金矿采选过程的安全影响因素,构建了由 68 个安全影响因素构成的井工金矿采选过程安全影响因素体系,为了使构建的井工金矿采选过程安全影响因素体系更加系统化,本书借助解释结构模型的方法,通过邻接矩阵、可达矩阵等的计算,建立了井工金矿采选过程安全影响因素的解释结构模型。

(3)安全预警指标体系建立方面。安全预警指标是安全监测和安全预警的对象,是对井工金矿采选过程安全影响因素的提炼和升华,可以系统地反映整个安全生产系统的安全状况。本书通过对井工金矿采选过程的设备、物料、能源、工艺、人员、外部监管、管理等 5

个方面的系统分析,从外部安全监管、环境、设备、管理、人员等方面建立了包含 5 个一级安全预警指标和 74 个二级安全预警指标的井工金矿采选过程安全预警指标体系。

(4)安全预警的层次及模型的构建。本书在模型预警理论和模型构建原则阐述的基础上,针对现有安全预警模型研究存在的注重整体预警,缺乏单指标预警和子系统预警的不足,建立了安全预警层次结构,按照单指标预警、子系统和系统预警进行了预警层次的划分,并依据金矿实际设定了预警等级和预警规则,本书在预警系统模型的构建中提出基于遗传小波神经网络的安全预警模型,并分析了遗传小波神经网络的总体结构,阐述了预警模型的输入层、模糊化层、运算层、反模糊化层及其运作流程和训练步骤,为安全预警系统的构建提供了数学和技术基础。

(5)安全预警系统的构建。本书针对具体的井工金矿采选企业进行了井工金矿采选过程的安全预警系统及其功能的设计,构建了以组织、监控、存储、计算、输出等为一体的,涵盖人员、设备、硬件、软件的井工金矿采选过程安全预警系统,它集安全监测、监控和生产信息管理、安全监督管理于一体,对井工金矿采选过程的采掘、提升、地压、通风、排水、采空区、选矿、提金、熔炼等重点区域及可能存在的风险进行实时的动态监控,从而形成了前馈控制、实时控制和反馈控制相结合的安全预警管理模式。在安全预警系统的构建中,融合了安全仿真、三维建模、电子通信、自动化、计算机等技术,通过工业以太网和自动化平台软件实现了地表信息管理系统、各生产环节子系统、井下环境监控子系统及监测预警与调度指挥系统等子系统的深度融合。

井工金矿采选过程安全预警系统软件的构建,基于 GIS 和

Microsoft SQL Server 2005 数据库平台,采用 Java、ArcEngine 等编程语言开发,该系统可实现常态化安全监控和事故灾害预警。本书还详细介绍了系统的登录与功能界面,并分析了地图管理模块、安全管理模块、安全预警模块、应急救援模块、系统的管理和维护支持方式的具体操作和人机交互视图,介绍了井工金矿采选过程安全预警系统的组织机构、层级和职责。实证研究表明,该系统能较好地完成井工金矿安全风险的监控预警,从源头遏制事故的发生,有利于矿山提高安全管理的效率和企业的安全管理信息化的层次和水平。

本书的主要创新点如下:

(1)本书在事故致因理论的研究基础上,以井工金矿开采和选矿两个子系统为研究对象建立了井工金矿采选过程事故致因机理模型。通过对井工金矿采选过程事故形成原因的归纳分类,将其分为人、设备、环境、管理、生产技术和安全技术等 5 大类共 64 个安全影响因素,并对危险因子的作用方式进行比较分析,探讨了各因子间相互作用路径及事故发生演化的规律,构建了井工金矿采选过程安全影响因素的 ISM 模型。

(2)构建了包括外部监管安全预警指标、环境安全预警指标指标、设备安全预警指标、管理安全预警指标、人员安全预警指标等 5 个一级安全预警指标和其所属的 74 个二级安全预警指标的实用化、具有行业普适性的井工金矿安全预警指标体系,特别是在设备安全预警指标构建中,做了共性设备安全预警指标和分区安全预警指标的区分,在人员安全预警指标的构建中做了全员安全预警指标、安全技术人员预警指标和管理人员安全预警指标的精细划分,提高了指标的针对性,避免了指标构建过于笼统的情况出现。

(3)建立了基于模糊数学和遗传算法、小波变换、BP 神经网络的

井工金矿采选过程安全预警模型,并建立了包括单指标预警、子系统安全预警和系统安全预警的三级井工金矿采选过程安全预警模型。

(4)基于 GIS 和 Microsoft SQLServer 数据库平台,采用 Java、ArcEngine 等编程语言和平台开发出了井工金矿安全预警系统软件,实现人机交互的可视化,构建了一种综合前馈控制、实时控制、反馈控制和预警为一体的安全预警系统。

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 问题的提出	2
1.2 国内外研究现状	7
1.3 文献综述	31
1.4 研究思路和方法	34
1.5 研究内容与创新点	36
1.6 本章小结	39
第 2 章 安全预警理论基础及实现路径	40
2.1 地下金矿安全预警的理论基础	40
2.2 地下金矿预警的技术基础	62
2.3 安全预警系统的功能及实现路径	72
2.4 本章小结	80
第 3 章 地下金矿危险性分析	81
3.1 地下金矿灾害类型	81

3.2	地下金矿事故维度分析	93
3.3	地下金矿的安全影响因素分析	95
3.4	本章小结	123
第4章	安全预警指标建立	124
4.1	地下金矿事故统计分析	124
4.2	预警指标体系构建的意义	130
4.3	安全预警指标初选	132
4.4	预警指标的筛选	162
4.5	安全预警指标权重的确定	166
4.6	预警指标权重计算实例	176
4.7	本章小结	189
第5章	安全预警模型的构建	190
5.1	安全预警模型理论阐释	190
5.2	安全预警的层次与准则	193
5.3	单指标预警	195
5.4	系统预警	204
5.5	实例分析	227
5.6	本章小结	237
第6章	安全预警系统的功能实现	238
6.1	地下金矿基本情况	238
6.2	预警系统总体设计	246

6.3 本章小结	269
第 7 章 结论与展望	270
7.1 主要结论	270
7.2 展望	273
参考文献	274
索引	291

第1章 绪 论

黄金属于贵重商品,金价会随着通货膨胀上升,从而抵消通货膨胀的损失,保证投资者的资产价值不会被侵蚀,在人类几千年的历史中,黄金一直占据着金融体系的核心位置,是国家金融稳定的基石。但由于各种历史和现实的原因,黄金在我国金融储备中所占的比率一直偏低,给我国的金融稳定带来十分不利的影响,为了满足金融储备的需要和居民的消费需求,国家亟须大力提高我国的黄金生产。但是在金矿开采过程中,特别是地下金矿生产过程中,由于井下自然环境条件恶劣常发生重特大事故,不仅直接影响黄金的开采产量,还将造成严重的人员和财产损失。本书以地下金矿为研究对象,通过对国内外研究现状的总结、理论体系的建立、事故因素的分析、预警指标体系的建立、安全预警模型和安全预警系统的构建等,建立起一套理论完备且具有实践价值的地下金矿安全预警系统,为提高金矿安全管理的水平,预防金矿安全事故进行了研究和实践。

1.1 问题的提出

近年来,随着国家、地方和企业安全监督管理的力度不断加强,技术和资金投入的不断加大,安全制度和技术标准的不断完善,矿山安全事故最集中的煤炭行业安全生产状况已得到很大改善,事故发生率特别是重特大事故发生率已经大幅度降低,但是非煤矿山,特别是有色金属矿山的安全形势却依然严峻。据国家安监总局统计:2001—2013年,全国非煤矿山累计发生事故17 450起、死亡22 103人,平均每年发生事故1 342起、死亡1 700人。其中2013年全国有色金属采选业发生事故216起、死亡271人,分别占非煤矿山事故总数和死亡总数的32.8%和31.8%。

1.1.1 黄金采选业安全形势异常严峻

黄金矿山安全形势同样严峻。2013年3月29日,中国黄金集团华泰龙公司甲玛矿区发生特大山体塌方事故,塌方体长3km,塌方量200余万方,事故共造成83人死亡,成为2013年我国最严重的矿山安全事故;2011年1月15日,吉林省桦甸市夹皮沟镇老金厂金矿发生坑道火灾事故,导致9人一氧化碳中毒死亡;2011年3月11日,潼关县一金矿发生缺氧窒息事故,共造成9人死亡;2010年8月6日,山东玲珑矿业罗山金矿四矿区因电缆起火引发火灾事故,造成16人死亡;2009年9月8日灵宝市金源矿业公司王家峪矿区发生顶板塌

方事故造成 13 人死亡;2006 年×月×日陕西商洛县镇安金矿发生尾矿库溃坝事故,死亡 17 人,伤 5 人。严峻的金矿安全形势要求金矿采选业必须通过采用新技术、新装备和新的安全管理方式来提高安全生产水平,改变和扭转安全事故频发的不利态势。

1.1.2 研究的必要性和意义

1. 研究对象阐释

我国目前已探明黄金储量 6 328t,其中岩金储量 4 399t,占总储量的 69.52%;沙金储量 521t,占总储量的 8.23%;伴生金储量 1 414t,占总储量的 22.34%^[1]。我国沙金资源已近枯竭,黄金生产主要依靠岩金开采,除了紫金矿业等部分矿厂采用露天开采之外,大部分采矿企业都是采用井工开采的生产方式,由于复杂的地质与水文环境,井工开采是危险性最高、事故发生最频繁的金矿开采方式。根据公开资料统计,地下金矿 2013 年事故总起数和伤亡人数,分别占我国金矿较大事故总起数和死亡总人数的 78.9%和 81.1%。随着我国砂金矿和可以采用露天开采的浅部岩金矿资源的迅速衰减,深部井工开采是我国黄金生产必然的发展趋势。为此,本书以地下金矿为研究对象。但需特别强调的是,由于尾矿库与金矿采选系统的相对独立性,外如尾矿库的监测预警技术在国内外已经有非常成熟的研究与应用,所以本书对于安全预警系统的构建研究只是针对地下金矿的开采与选矿部分进行的。

2. 研究的必要性

美国、加拿大和澳大利亚金矿生产大部分是露天作业,露天开采安全性比井工开采高很多,而且这些国家的矿山机械化和自动化程度很高,安全报警功能一般融合于监控系统之中,没有单独的安全预警系统。目前南非大部分金矿经过多年的生产后已经进入深部开采阶段,根据南非矿业协会的统计,2011 年南非的黄金产量有近 60% 以上来自 2 500m 以下的深部地下矿床,预计到 2015 年,南非 50% 的黄金产量将来自 3 000m 以下的超深矿^[1-2],南非金矿不同开采深度的产量比例如图 1-1 所示,所以南非金矿最主要的事事故致灾因素是冲击地压和井下的高温,安全技术和装备的研究也以冲击地压和地下空间降温为主攻方向,南非也没有系统化的安全预警研究。

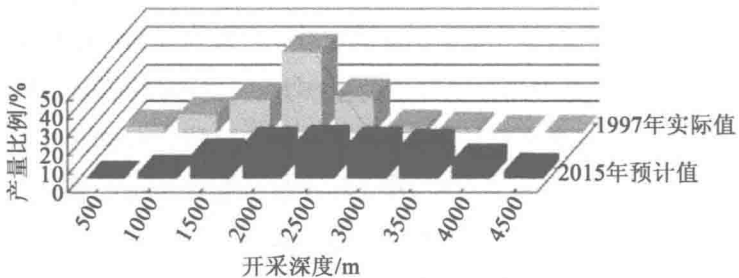


图 1-1 南非金矿不同开采深度的产量比例

从以上分析可以看出,由于较高的自动化水平和机械化水平,加之事故类型和防治的方向与我国金矿有很大的不同,国外黄金生产强国的金矿安全技术特别是安全监测和事故控制技术对我国金矿采选业的借鉴和参考意义并不是很大,目前,国外也没有金矿安全预警的相关研究。

目前中国黄金采选业不管在技术装备水平、安全管理等方面普

遍与世界先进水平还存在着较大的差距,虽然很多金矿采选企业已经或者正在进行安全监测系统的构建,但是配套的管理系统软件相对缺乏,安全预警研究还未开展;绝大多数的金矿企业建立的内部计算机系统仅限于日常一般管理数据的存储,没有形成覆盖井下采矿和选场选矿的安全预警系统,安全预警软件更是空白;现有的金矿安全监测系统只是处在单一指标监测的孤立状态,只能事后报警而不能做到提前预警,所以通过构建安全预警系统,扭转我国目前金矿管理粗放、技术含量低的不利局面,提高金矿管理的水平有很大的必要性。

我国目前的安全预警研究领域煤矿安全预警研究一直是个热点,相关的理论和技术已比较成熟,但是由于煤矿和金矿不论从矿体地质特征、金矿采选冶一体的独特生产方式以及事故灾害种类等诸多方面都有着极大的不同,所以煤矿以及其他行业的安全预警理论和技术不能直接照搬到金矿生产过程中来。

通过以上分析可以看出:由于我国金矿生产的独特性,建立金矿安全预警系统只能从金矿自身的特性出发,结合中国金矿生产实际构建的金矿安全预警系统才更有实用价值和实际意义。

3. 研究的意义

本研究主要有以下的理论和实践意义:

(1)有利于实现矿山事故的超前预警预控。地下金矿安全预警是集前馈、即时和反馈控制为一体的综合预警系统,融合了矿山生产和人员监控、主要危险因素监测、安全程度预警、应对措施等功能,可以实现对地下金矿重点区域和全部生产过程的预警预控,有助于及时发现和遏制事故的发生,实现矿山事故的超前预警预控。

(2)有利于实现安全管理决策的系统化、科学化、信息化、智能化

水平。本系统以控制论、系统论、人工智能等科学理论为基础,依据系统风险状态的变化趋势,综合安全因素分析,运用定量定性结合的方法构建预警指标体系,融合了预警指标检测、危险状态评估和预警矫正的功能,有利于实现安全管理决策的系统化、科学化、信息化、智能化水平。

(3)有利于促进实现金矿采选企业的本质安全化目标。在金矿安全预警构建的过程中,通过对整个安全生产过程中的人员、管理、设备、自然和社会环境等方面的分析和安全预警指标的构建,确定了金矿采选安全预警的监控对象和信息源,并通过预警系统的构建实现对各种事故致因因素的实时和动态的监控、评价和及时预警,有助于实现金矿采选企业本质安全化的目标。

总之,建立以安全预警为核心的地下金矿安全预警系统,可以实现对地下金矿采选企业安全生产过程的即时监控和高效预警,使金矿采选企业的安全管理建立在科学系统的平台之上,为管理者的安全决策提供科学依据及技术保障,使得金矿采选系统的安全管理变“被动应对”为“主动防御”,消除、减少或控制事故发生,既具有理论价值又具有实践意义。

1.1.3 研究的技术可行性

近年来随着信息通信技术、系统科学技术、计算机技术的快速发展,很多信息化、系统化、自动化、智能化的矿山安全监控设备已经研制和生产出来,并在煤炭、化工、核工业等很多行业得到广泛的使用,这也在技术上为建立地下金矿安全预警系统提供了理论和技术上的支撑。