

矿冶企业生产安全事故 安全预警技术研究

KUANGYE QIYE SHENGCHAN SHIGU ANQUAN YUJING JISHU YANJIU

李翠平 侯茜 秦洁璇 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

矿冶企业生产事故 安全预警技术研究

李翠平 侯 茜 秦洁璇 著



北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2015

内 容 提 要

本书为作者近年在矿冶安全生产预警领域研究工作成果的总结,采用现场调研、理论分析、统计分析、模型构建、实例应用的研究方法,对矿冶企业生产事故风险预警技术进行了较为系统的探讨。通过分析国内矿冶企业典型的事例和风险管理资料,找出了影响国内矿冶企业生产安全的主要因素,构建了我国矿冶企业生产事故风险预警指标体系,建立了预警方法与模型,并通过在矿冶企业中的实际应用,验证了生产事故安全预警技术的实用性、可靠性。

本书可供矿冶安全生产领域的科技工作者,包括冶金、矿业企业安全生产人员与安全管理人员,高等学校矿业工程、冶金工程专业教师、研究生和高级本科生以及相关领域工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿冶企业生产事故安全预警技术研究/李翠平等著. —北京:
冶金工业出版社, 2015. 4

ISBN 978-7-5024-6894-1

I. ①矿… II. ①李… III. ①矿山企业—工业企业—安全生产—生产管理—研究—中国 ②冶金工业—工业企业—安全生产—生产管理—研究—中国 IV. ①F426.1 ②F426.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 074291 号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 杨 帆 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6894-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2015 年 4 月第 1 版, 2015 年 4 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 12.5 印张; 240 千字; 188 页

35.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

钢铁工业和矿业是国民经济的重要基础产业。近年来，我国钢铁工业持续发展，工业规模不断扩大，技术装备水平大幅提高。然而钢铁企业危险源点多、危害大，高温作业和煤气作业多、作业环境差的特点，导致我国钢铁工业安全生产事故时有发生，安全生产形势十分严峻。相对于钢铁工业，我国矿业安全生产问题更为突出，安全生产形势不容乐观。据统计，2001~2013年全国非煤矿山发生安全生产事故19061起，死亡人数累计24095人。矿冶工业的安全生产不仅在宏观上关系到国民经济的发展，并且与人的生命健康安全密切相关。

防止矿冶企业生产事故发生的重要途径之一，是要结合现代先进的安全管理理论和方法，将安全管理关口前移，将事故发生后应急为主的管理模式转变为事前隐患监控、预防为主的管理模式。因此，开展矿冶企业生产事故风险预警技术研究具有重要的意义和价值。

本书共分3篇10章：

第1篇为预警现状与基础理论，包括2章，主要从安全生产风险管理、预警应用研究现状、预警相关基础理论、预警方法四个方面做具体介绍。

第2篇为钢铁企业生产事故风险预警，包括4章，主要从我国钢铁企业安全风险分析、钢铁企业生产事故风险预警指标体系研究、钢铁企业生产事故风险预警模型研究、钢铁企业生产事故风险预警系统实践等方面做具体阐述。

第3篇为矿山企业生产事故安全预警，包括4章，主要从我国非煤矿山生产事故安全表征、非煤露天矿山生产事故安全预警指标体系构建、非煤露天矿山生产事故安全评价及预警模型建立、非煤矿山生产

事故预警模型检验等方面做具体探讨。

本书在撰写过程中，得到了中国安全生产协会、武汉钢铁股份有限公司炼钢总厂三炼钢分厂、蟒山露天矿的大力支持，在此表示衷心的感谢！同时还要感谢张聪、张佳、钟媛、阮竹恩、周宝炉、黄东旭、覃璇、王华莹、鞠雪达、张志伟、路亚彬、国仕磊、江南申、雷炜、李赛、高爽等研究生为书稿校阅付出的辛勤劳动。

本书为作者近年在矿冶安全生产预警领域研究工作的认识和成果总结，由于作者水平有限，加之矿冶企业安全生产系统的复杂性和动态性，书中难免存在不足之处，诚请读者批评指正。

作 者
2015年1月

目 录

第 1 篇 预警现状与基础理论

1 绪论	3
1.1 安全生产风险管理	3
1.1.1 全面风险管理	3
1.1.2 安全生产风险管理	4
1.2 预警应用研究现状	5
1.2.1 国外预警应用研究现状	5
1.2.2 国内预警应用研究现状	6
1.2.3 安全生产预警应用现状	7
2 基础理论与预警方法	12
2.1 基础理论	12
2.1.1 事故致因理论	12
2.1.2 冰山理论	17
2.1.3 墨菲定律	18
2.2 预警方法	19
2.2.1 预警方法对比分析	19
2.2.2 模糊综合评价法	24
2.2.3 灰色预测理论	26

第 2 篇 钢铁企业生产事故风险预警

3 我国钢铁企业安全风险分析	29
3.1 钢铁企业生产工艺特点	29
3.2 钢铁企业生产安全事故统计与分析	30
3.2.1 生产安全事故统计分析	30
3.2.2 典型案例分析	35

3.3 我国钢铁企业生产事故风险分析	36
3.3.1 炼铁生产事故风险分析	37
3.3.2 炼钢生产事故风险分析	38
3.3.3 炼铁、炼钢企业风险辨识与评价	39
3.4 钢铁企业危险源与隐患、事故关系的建立	44
3.5 本章小结	45
4 钢铁企业生产事故风险预警指标体系研究	46
4.1 预警系统构建	46
4.1.1 预警系统的界定	46
4.1.2 预警系统构建流程	46
4.2 预警指标体系的构建原则	48
4.3 预警指标体系研究	49
4.3.1 预警指标体系设计思路	49
4.3.2 预警指标的确定	49
4.3.3 预警指标分析与量化说明	52
4.4 预警指标权重的分配	65
4.4.1 指标权重方法的选取	65
4.4.2 指标权重的确定	67
4.5 本章小结	74
5 钢铁企业生产事故风险预警模型研究	76
5.1 预测模型选择	76
5.1.1 灰色预测模型	76
5.1.2 GM(1,1) 模型	77
5.2 预警模型构建	79
5.2.1 企业生产安全状态指数	79
5.2.2 预警模型计算过程	81
5.3 预警信息发布	84
5.3.1 预警模型修正	84
5.3.2 预警阈值确定	85
5.3.3 预警信号输出	86
5.4 本章小结	86

6 钢铁企业生产事故风险预警系统设计与实现	87
6.1 系统主要结构和功能	87
6.1.1 系统主要结构	87
6.1.2 系统功能	88
6.2 数据库设计	89
6.2.1 数据库逻辑关系	89
6.2.2 数据库设计	90
6.3 系统实现	97
6.4 实例应用	98
6.4.1 系统登录	99
6.4.2 数据模块	99
6.4.3 图形生成	103
6.5 本章小结	104

第 3 篇 矿山企业生产事故安全预警

7 我国非煤矿山生产事故安全表征	107
7.1 我国非煤矿山生产系统特点分析	107
7.2 我国非煤矿山生产事故统计与分析	107
7.2.1 按行业分类	108
7.2.2 按事故类型分类	109
7.2.3 按事故原因分类	110
7.3 我国矿山企业事故成因分析	111
7.4 本章小结	112
8 非煤露天矿山生产事故安全预警指标体系构建	114
8.1 非煤露天矿山生产事故分析	114
8.1.1 非煤露天矿山事故原因分析	114
8.1.2 非煤露天矿山生产事故影响因素分析	116
8.2 非煤露天矿山生产事故安全预警指标体系建立	123
8.2.1 预警指标体系的构建原则	123
8.2.2 预警指标体系的设计流程	123
8.2.3 预警指标体系的确定	124
8.2.4 预警指标的量化	125
8.3 本章小结	130

9 非煤露天矿山生产事故安全评价及预警模型建立	131
9.1 非煤露天矿山生产事故安全评价模型建立	131
9.1.1 指标权重计算	131
9.1.2 模糊综合评价模型生成	135
9.2 非煤露天矿山生产事故安全预警模型建立	136
9.2.1 均值 EGM(1,1) 预警模型生成	137
9.2.2 灰色状态马尔可夫预警模型生成	139
9.2.3 预警阈值确定及预警等级划分	140
9.3 本章小结	140
10 非煤露天矿山生产事故评价与预警模型检验	142
10.1 实例矿山概况	142
10.2 评价模型检验	142
10.2.1 数据样本生成	142
10.2.2 评价过程计算	143
10.2.3 安全评价结果及分析	150
10.3 预警模型检验	152
10.3.1 预警过程计算	152
10.3.2 预警结果分析	154
10.4 本章小结	155
附 录	156
附录 A 2006 ~ 2012 年国内钢铁行业典型事故分析	156
附录 B 钢铁企业风险辨识表	159
附录 C 钢铁企业生产安全事故风险预警调查问卷	167
附录 D 层次分析法计算过程	169
附录 E 风险预警指数系统指标体系重要度调查表	174
附录 F 非煤露天矿山生产事故安全预警指标体系问卷调查	176
附录 G 非煤露天矿山生产事故安全预警指标相对重要度打分表	177
附录 H 蟒山露天矿预警指标量化原始样本	181
参考文献	183

1

绪 论

1.1 安全生产风险管理

1.1.1 全面风险管理

风险 (risk), 通俗地讲, 就是发生不幸事件的概率^[1]。风险管理的理论和实践起始于 20 世纪 30 年代的美国保险业, 于 50 年代发展成为一门管理学科^[2]。随着经济技术的迅速发展, 全球贸易和投资的自由化、政府解除对关键行业的管制、企业更频繁和更大规模的并购、客户对产品和服务更高的期望、全球范围内的竞争日趋激烈等, 都增加了新经济中的不确定性因素, 导致企业不得不面对更多不断变化着的风险^[3]。1992 年, 美国全美反虚假财务报告委员会发起机构 (Committee of Sponsoring Organization of the Tread Way Commission, COSO) 发布了一套企业风险管理的框架雏形——《内部控制——整合框架》^[4]。经过 30 多年的实践, 企业风险管理 (enterprise risk management, ERM) 已形成了特定的概念。

1997 年亚洲金融危机爆发, 世界金融业开始出现动荡。全面风险管理理论在这种背景下应运而生。它主张从企业整体角度出发, 识别、分析、评价企业面对的所有风险并实施相应的管理策略^[5]。2004 年 9 月, COSO 发布了《企业风险管理——整合框架》(ICIF)^[6], 提供了一个以内部控制为基础的具有指导意义的逻辑框架^[7], 为企业实现经营目标提供了有效的保证。除此之外, 国际标准化组织 (ISO) 发布的 ISO 31000 标准, 即《风险管理——原则和指导方针》^[8], 为全面风险管理提供了一整套行之有效的标准化流程^[9]。2006 年国际风险管理会议把“将全面风险管理整合到企业实践中去”作为其主题, 表明全面风险管理在企业实践中的重要地位^[10]。

全面风险管理的基本思想和原理是: 以企业价值或股东财富最大化为目标, 以整个企业所有的经营和管理活动为考察对象, 综合考虑和分析企业现在和未来可能面临的所有风险, 充分利用不同风险可以相互抵消、相互影响、相互关联的性质, 借助风险识别、风险衡量、风险控制、风险应对、风险评级、风险交流、风险管理决策等一套科学的风险管理方法和过程, 及时、有效地发现和控制那些对企业价值有负面影响的因素, 同时充分挖掘和利用企业潜在的发展和获利机会^[11]。企业全面风险管理的内容包括企业风险识别、企业风险衡量和企业风险

处理三个方面^[12]。

在我国,全面风险管理同样也在全面推行。2006年6月,国务院国有资产监督管理委员会颁布了《中央企业全面风险管理指引》^[13],为实现风险管理的总体目标提供合理保证的过程和方法。2007年4月,在全面总结我国企业近年来风险管理体系建设实践经验,并充分考虑我国企业的实际情况后,推出了《3C框架:中国式全面风险管理标准》,为研究风险管理在企业中的具体应用提供了充分的理论支持和操作标准^[14]。

1.1.2 安全生产风险管理

1929年,海因里希在《工业事故预防》一书中初步提出了风险和事故的概念^[15],正式在安全领域提出了风险管理的概念。

安全生产风险是指在未来的时间内,人们为了确保安全生产可能付出的代价。安全生产风险管理的目的是通过安全生产资金、人力、物力、安全技术措施和安全管理措施等,降低安全生产风险,减少和控制生产过程中的危险有害因素和各种危害,减少和控制各类生产事故,尽量避免生产过程中由于各类事故造成的人身伤害、财产损失、资源破坏、环境污染以及其他损失^[16]。

安全生产风险管理是全面风险管理中的一个组成部分,包括危险辨识、风险评价、风险控制三个过程。很多企业进行危险辨识、风险评价、风险控制的周期为一年甚至更长时间,其主要任务是辨识、评价那些长期存在的、固有的风险并采取措施降低或消除这些风险,并且往往将安全生产风险管理作为安全评级中的一项内容,作为一次性工作。而事故不仅仅由长期固有的危险有害因素导致,其发生往往还具有偶发性。周期性的风险管理工作不能完全有效地防止事故的发生,尤其是偶发事故;此外,企业的安全生产风险管理工作往往集中在安全管理部门,而全面风险管理则需要从生产、财务、设备等各个环节统筹考虑、统一布局,需要全员全过程参与、进行风险管理,是一项贯穿于生产始终的系统工程^[17]。因此将全面风险管理的思想、做法延伸到企业安全生产工作中,进行全员的动态管理,将所有可能出现或可能导致事故发生的危险因素辨识出来,采用适当的风险评价方法,并进行风险控制,在日常工作中时刻监控危险因素的状态,才有利于改善企业安全生产管理条件,降低企业的安全风险损失。

全面安全生产风险管理,就是围绕企业总体经营目标,确定安全生产目标,通过分析识别在生产过程中存在的安全隐患、危险源,运用危险源辨识、风险控制、隐患排查治理等方法 and 手段,培育良好的企业安全文化,建立健全企业安全生产管理机制,合理运用有效的人力、财力、物力资源,实现生产、生活过程中

人与机器设备、物料、环境的和谐,降低或消除安全生产风险,实现安全生产的目标。

1.2 预警应用研究现状

预警(early warning, EW)最早出现于军事领域,是指通过预警飞机、预警雷达、预警卫星等工具来提前发现、分析和判断敌人的进攻信号,并把这种进攻信号的威胁程度报告给指挥部门,以提前采取应对措施。随着其在军事领域的逐渐成熟,预警紧接着在经济控制中也得到发展和应用,对国家的宏观经济以及微观经济进行监测预报,后来在灾害管理、区域综合管理以及部门专业管理等方面也出现了预警^[18]。广义来讲,预警是指在灾害或灾难以及其他需要提防的危险发生之前,根据以往总结的规律或观测得到的可能性前兆,向相关部门发出紧急信号,报告危险情况,以避免危害在不知情或准备不足的情况下发生,从而最大限度地降低危害所造成的损失的行为^[19]。

1.2.1 国外预警应用研究现状

早在1888年的巴黎统计学大会上,法国经济学家弗里德(Alfred Fourille)就在《社会和经济气象研究》论文中,以黑、灰、淡红和大红等几种颜色来评判法国1877~1887年的经济波动,开启了预警理论的研究。1909年,美国经济统计学家巴布森创造了巴布森“经济活动指数”,这是关于美国宏观经济状态的第一个指示器。1915年,美国哈佛大学的帕森斯教授编制了美国一般商情指数——哈佛指数,即在综合13个经济指标信息的基础上,根据在变动上的时间差异关系分别编制为投资指数、生产量及其物价指数和金融指数。1919年,美国学者雷特在《风险与不确定性》一书中提出了风险预警的概念,风险预警研究从此拉开了帷幕,以后的工作也重点落在了经济监测系统的研究。

到20世纪30年代中期,经济监测预警系统兴起,随着年代不断改进、发展并进入实际应用时期。直至50年代,宏观经济监测预警系统取得重大进展。美国全国经济研究所的经济统计学家穆尔在20世纪30年代监测指标体系的基础上进行了新的景气监测系统的建立工作,采用多指标综合方法——扩散指数(diffusion index, DI)构建了美国宏观经济预警系统。这种把经济指标分为先行、一致、滞后三种类型来反映宏观经济状态的监测预警系统的模式一直沿用至今。

20世纪60年代以来,宏观经济监测预警已从民间研究阶段走向官方实际应用阶段。60年代,美国经济统计学家希斯金提出了合成指数法(composite index, CI),用于综合多指标信息,大大提升了景气监测系统的功能。1965年,法国政

府为配合第四个五年计划制定了“景气政策信号制度”，借助不同的信号灯颜色，对宏观经济状态做出简明直观的评价。20世纪70年代美国开始将第二次世界大战后出现的预期调查法引入监测预警系统，专门设置了根据预期调查信息编制的扩散指数^[20]。

从20世纪70年代后期起，经济预警系统本身已日趋成熟，但在信息识别和基础理论研究方面仍在不断发展，特别是在国际化方面表现最为显著。一方面，国际性经济监测预警系统开始出现；另一方面，经济预警系统由西方工业化国家向发展中国家扩展^[21]。到20世纪80年代中期，仅在亚洲就先后有马来西亚、新加坡、泰国、印度尼西亚、印度、韩国等国家和地区建立了监测预警系统^[22]。

预警理论在宏观经济领域所取得的成功以及企业危机管理理论的发展，使得预警理论逐渐被引入到微观领域中，推动了企业预警研究的发展^[23-25]。美国首先进行了微观领域的预警理论研究，主要包括美国企业危机管理和政策管理。20世纪80年代中后期，美国学者将研究目标指向工商企业，主要研究企业遭遇危机后的紧急应对方式。

20世纪80年代末期，日本开始研究企业危机管理问题，主要针对地震灾害、气象灾害及环境污染对企业造成危机的角度进行危机管理^[26]。随后，危机管理的服务对象扩展到跨国公司，研究内容主要是宏观社会政治经济领域的危机问题。

20世纪90年代后期，美国、英国、日本、俄罗斯等国家的危机管理理论研究进一步发展，这一阶段预警研究主要采用预警信号方法，即当风险指标超过所设定的阈值时，预警系统就被激活。比较典型的有Laitinen E K等研究的中小企业预警系统，AZIZ等提出的用现金流量信息预测财务困境的模型^[27]。这些研究主要是针对企业或其他组织在危机发生后如何应对和摆脱危机的策略问题，对危机的起源、成因、发展过程以及决策的致错行为缺少系统的机理性分析和实证研究。

1.2.2 国内预警应用研究现状

我国预警的相关研究源于1987年在全国范围内召开的第一次宏观经济预警研讨会，其主要工作是寻找影响我国经济波动的先行指标^[28]。1988年，袁兴林和黄运成通过合成指数和分散指数计算出我国工业生产景气循环的基准日期，开启了我国宏观经济角度的预警管理研究。1989年，国家统计局统计科学研究所宏观经济监测预警课题组设计出6组综合监测预警指数，并将其运行区间划分为5个灯区，以显示经济循环波动过程中的冷热状态。次年，该局通过研究和分析经济变量间的协调行为和政策效用，搭建了经济监测与预警系统结合

的综合性的软件系统，并用它来推断经济发展趋势，预警经济出现的波动^[29]。此外，研究规模较大的还有 1991 年由中国人民大学原计划方法教研室研制的宏观经济预警成果等。

20 世纪 80 年代末，预警管理不仅应用于宏观经济领域，同时也广泛应用于微观经济领域。“管理失误 - 管理波动 - 管理逆境”的成因机理及其发展过程的研究为企业经济预警管理理论奠定了基础，提出了通过预警预控来规范管理行为和管理周期，并最终实现企业目标的安全机理和成功机理。余廉教授主持编写的《走出逆境丛书》^[30]和《企业预警管理》^[31]两套丛书是这类研究的阶段性成果，创立和奠定了中国企业危机预警管理的理论基础。

在国内，预警研究仍主要针对经济领域，从起初的整体宏观预警扩展到各行业预警，然后应用到企业微观经济领域，如企业财务管理、技术创新、营销管理等方面。随着预警理论应用范围的不断扩展，非经济领域的预警研究逐渐发展，包括自然灾害预警、社会政治预警、安全生产预警等^[32]，预警分类如图 1-1 所示。

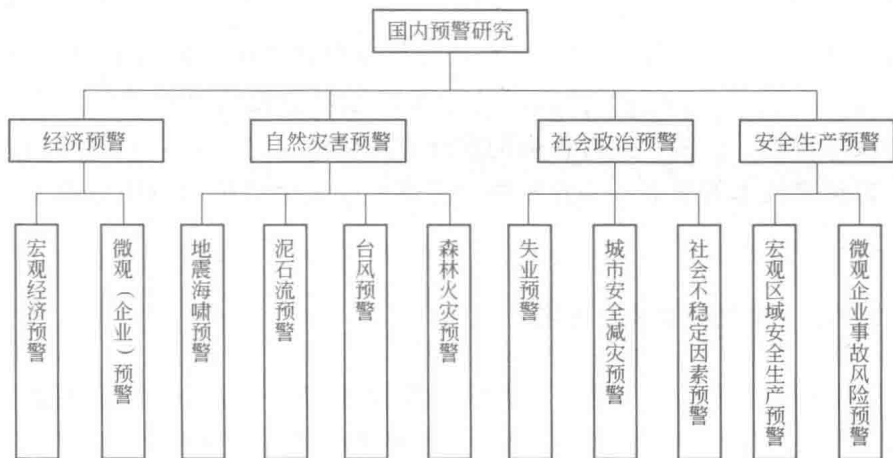


图 1-1 预警分类图

1.2.3 安全生产预警应用现状

随着社会的不断发展以及技术条件的日趋成熟，国家及社会公众对安全问题的关注度越来越高。安全预警作为安全问题事前管理以及事故控制的有效手段，起着举足轻重的作用。目前，安全预警已经被广泛应用于各个领域，如煤矿安全

预警、建筑施工安全预警以及城市道路交通安全预警等。

1.2.3.1 煤矿安全预警

国内在 20 世纪 90 年代后期出现了煤矿行业的微观预警,其思想和方法基本源于经济预警的基本理论^[33]。其后,张明^[34]在作业人员、设备设施、工作环境、管理状况方面建立了初步的煤矿安全预警指标体系,构建了基于模糊综合评判法的预警管理系统。牛强、周勇等^[35]利用自组织神经网络研究了煤矿安全预警模型和安全预警专家系统。在预警方法的选取上,基于关联规则的数据挖掘技术以及可拓理论等也被逐渐运用到煤矿事故隐患监控预警研究中。随着人工智能技术以及计算机技术的发展,一些新兴的改进的方法也被提出,如丁宝成^[36]构建了基于模糊层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)及补偿模糊神经网络的煤矿安全预警组合模型。邵长安等^[37]构建了基于地理信息系统(geographic information system, GIS)的煤矿安全预警系统,通过 GIS 技术对空间的动态数据进行收集及处理,并采用 BP 神经网络进行系统模型构建。张宏伟等^[38]结合平顶山矿区的生产实际,将 GIS 技术引入煤与瓦斯突出区域的预测中,建立了相应的信息管理系统,提高了信息处理水平。李江、林柏泉等^[39]将灰色预测模型进行改进,运用到煤矿安全管理中,取得了较好的效果。穆荣、赵安新等^[40]采用 B/S 模式设计了煤矿远程监控信息系统,实现了远程监测和故障诊断、告警,具有很强的实际应用价值。这一系列的研究极大地推动了煤矿预警技术的发展,为预警技术在煤矿安全生产中的应用做出了积极的贡献。

1.2.3.2 建筑施工安全预警

国内外很多学者从 20 世纪六七十年代就开始对建筑业的安全和健康问题进行了大量深入细致的研究,主要包括通过调查统计方法建立模型,获取安全管理指数,进行建筑安全事故预警。

目前,专家学者通过对建筑安全事故的成因分析,已运用了预先危险性分析法、灰色综合评价方法等多种风险预测理论方法进行生产事故风险预警。冯立军^[41]通过事故致因理论以及危险源辨识对建筑安全事故成因进行了深刻的分析,建立了建筑安全事故成因诊断的分析模型 ARCTM (accident root causes tracing model)。在建筑安全事故预警方法上,运用比较多的有基于模式分类的贝叶斯预警方法、神经网络方法以及遗传-神经网络法等。随着计算机技术的发展,一些学者也采用了新兴的方法进行事故预警,如赵平^[42]强化人、机、