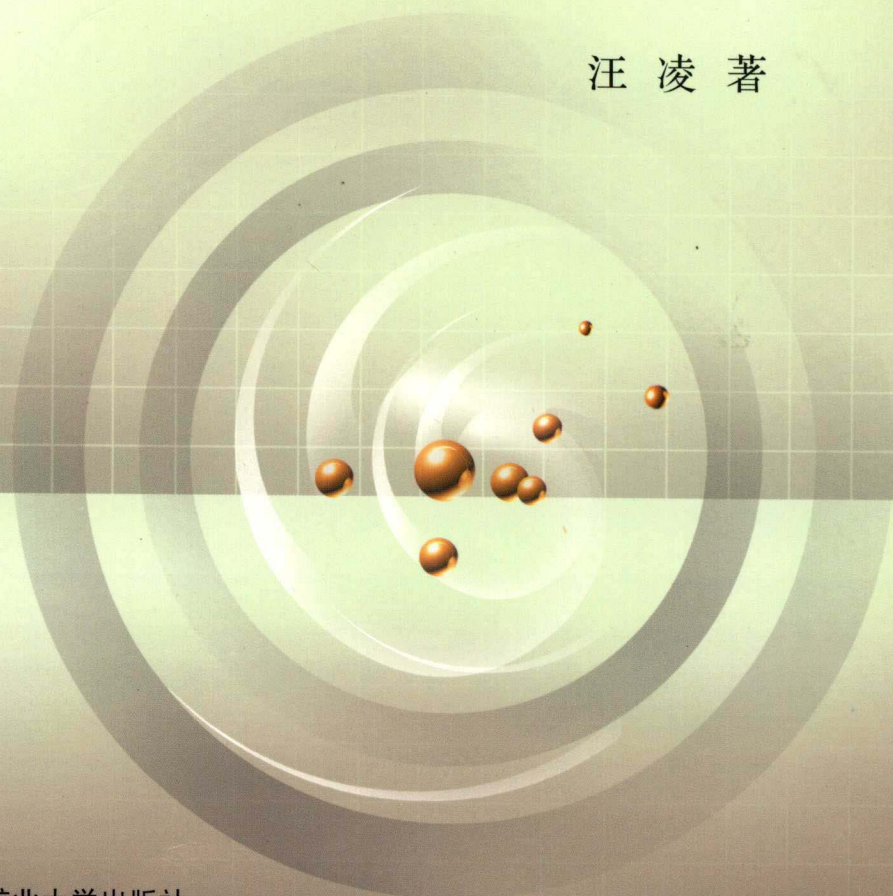


*Meikuang Shengchan Xitong Weixianyuan
Bianshi Pingjia Fenxian Yujing Ji Anquan Kongzhi*

煤矿生产系统危险源

辨识评价、风险预警及安全控制

汪凌 著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

安徽师范大学出版社出版基金资助

安徽省高校优秀人才支持计划项目(gxyqzd2016200)资助

工业安全与应急技术安徽省重点实验室开放基金(ISET201802)资助

合肥工业大学“双一流提升自主创新和社會服务能力”经费(45000-411104/009)资助

煤矿生产系统危险源辨识评价、 风险预警及安全控制

汪 凌 著



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是在作者对煤矿安全管理相关理论研究和应用的基础上,系统分析了煤矿生产系统危险源辨识评价、风险预警及安全控制理论与方法,集纳了作者包括近期成果在内的一些先进模型、理论方法和应用实例分析。主要研究内容有:煤矿生产系统危险源基础理论、煤矿生产系统事故致因分析、煤矿生产系统危险源辨识、煤矿生产系统危险源辨识评价、煤矿生产系统危险源风险预警模型、煤矿生产系统危险源风险预警系统、煤矿生产系统危险源管理和控制等。研究表明,本书提出的有关理论、模型及方法进一步丰富和发展了煤矿生产系统事故致因理论、事故预防和控制理论与方法体系,推动了煤矿企业安全生产管理、安全科学等理论的发展,对于指导煤矿企业安全生产事故预防和安全控制等具有重大的经济和社会效益意义,同时为国家进行矿山安全评价、决策制定和实施提供科学决策依据。

本书适用于管理科学与工程、安全工程、系统工程以及其他学科的专业教学,也可供从事煤矿管理工作的政府和企事业单位相关管理人员阅读,同时也可供相关领域的研究人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿生产系统危险源辨识评价、风险预警及安全控制/
汪凌著. —徐州:中国矿业大学出版社,2018.11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4078 - 1

I. ①煤… II. ①汪… III. ①煤矿—安全生产—风险分析 IV. ①TD7

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第184495号

书 名 煤矿生产系统危险源辨识评价、风险预警及安全控制

著 者 汪 凌

责任编辑 周 红

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83884103 83885105

出版服务 (0516)83885789 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 12.25 字数 233千字

版次印次 2018年11月第1版 2018年11月第1次印刷

定 价 38.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤炭是我国的主要能源,是国民经济和社会发展的基石。近年来,随着我国煤矿资源的不断开发,地表及浅部煤层已逐渐枯竭,煤矿开采深度逐渐增加。因此,大规模开采中深部煤矿资源将成为我国煤矿行业发展的必然趋势。与浅部开采相比,中深部煤矿开采条件显得更趋于复杂,作业环境恶劣、地质条件复杂等问题日益增多,潜伏着众多难以预料的如突水、岩爆、瓦斯爆炸等灾害特征,因而生产难度相当大。因此,对中深部开采环境下所面临的煤矿生产系统危险源风险问题进行深入系统的研究,对于我国煤矿企业安全、高效、低成本生产具有非常重要的现实意义。如何发现煤矿生产系统中潜在的危险源,如何在煤矿重大事故发生之前对可能的危险源科学地预先辨识、评估、预警及控制,保证煤矿生产系统安全是管理人员、科研人员及工程技术人员们值得认真研究的问题。针对这一问题的产生与发展,本书对我国煤矿生产系统危险源风险预警及安全控制问题展开深入系统研究。

本书是一本专门研究煤矿生产系统危险源风险预警及安全控制的基础性理论专著。它是建立在著者对煤矿安全管理相关的一些理论和应用研究基础之上,将一些成果和应用加以汇总、整理而成,主要体现了著者对煤矿生产系统危险源风险预警及安全控制相关理论的一些思考和探索。通过对实际问题的深入研究发现,这种思路是可行的,在实际应用中也是实用的。尽管这些思路和做法可能不够全面和深入,但是作者仍然希望能和读者共同探讨分析。

本书共分九章,具体内容包括:

第一章 绪论。本章给出了本书的产生背景、理论和实践意义,分析了我国煤矿当前的安全生产现状,综述了我国煤矿事故危险源风险预警、煤矿事故致因理论及应用等方面国内外研究现状。

第二章 煤矿生产系统危险源基础理论。对本书所涉及的如煤矿生产系统、煤矿生产系统危险源、风险管理理论、危险源监测预警以及应急决策与处置等理论进行了系统性介绍和分析,旨在剖析本书的出发点和主要目标。

第三章 煤矿生产系统事故致因分析。本章首先概述了事故致因理论发展历程,其次分析了典型的煤矿事故致因理论模型和方法,接着深入研究了煤矿生产系统事故致因问题,最后结合煤矿事故实际案例问题分析,构建了煤矿事故致因模型,并进行实证应用。

第四章 煤矿生产系统危险源辨识研究。本章首先从危险源发展历程,重大危险源的内涵、分类、特性等方面对危险源进行概述;其次从五个方面对煤矿事故发生的影响因素进行深入全面分析;最后基于煤矿生产系统危险源辨识依据、辨识方法、辨识内容等方面对煤矿生产系统危险源辨识确定方法进行了研究,并通过具体实例进行分析。

第五章 煤矿生产系统危险源风险评价研究。本章主要对煤矿生产系统危险源风险评价指标体系建立、典型的危险源风险评价方法分析、危险源风险评价模型建立、危险源综合风险评价法以及危险源风险评价分级法等问题进行了深入研究,并提出了一种基于动态聚类法的煤矿生产系统危险源风险评价分级法,实例分析表明该评价分级法可行有效。

第六章 煤矿生产系统危险源风险预警模型及方法研究。本章首先概述了危险源风险预警内涵、预警流程、预警模式、预警功能等理论,其次研究了煤矿生产系统危险源风险预警等级确定方法、危险源风险预警指标体系构建等问题,最后对煤矿生产系统危险源风险预警模型及方法展开深入探讨分析,并结合实例进行分析。

第七章 煤矿生产系统危险源风险预警系统研究。本章主要对煤矿生产系统危险源风险预警系统建立与运行、危险源风险预警系统中知识获

取关键技术以及危险源风险预警管理体系方面进行了深入研究。

第八章 煤矿生产系统危险源管理与控制。本章主要结合脆弱性理论、反馈复杂性理论等,深入全面研究了煤矿生产系统危险源具体的管理和控制方法。

第九章 结论与展望。对本书主要研究内容进行总结,并对今后进一步的研究工作进行了展望。

本书的目的是介绍著者对我国煤矿生产系统危险源风险预警及安全控制理论与方法研究中的一点体会和心得,以及在该领域研究中所取得的部分最新成果。虽然著者对煤矿生产系统危险源风险预警及安全控制理论方面的研究还很肤浅,但是愿意抛砖引玉,期望为从事该理论研究的学者及科研工作者提供参考。

在本书撰写过程中,参考了大量的国内外文献资料,在此向所有作者表示感谢。鉴于著者时间精力有限以及知识的局限性,书中错误和不当之处在所难免,真诚希望广大读者特别是相关专家批评、指正。

著 者

2018年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 研究背景及意义	1
第二节 我国煤矿安全生产现状分析	3
第三节 煤矿生产系统危险源辨识评价研究现状	5
第四节 煤矿生产系统危险源风险预控研究现状	10
第五节 煤矿事故致因理论研究现状	14
本章小结	20
第二章 煤矿生产系统危险源基础理论	21
第一节 煤矿生产系统	21
第二节 煤矿生产系统危险源	24
第三节 风险管理理论	30
第四节 危险源监测预警理论	34
第五节 应急决策与处置理论	41
本章小结	44
第三章 煤矿生产系统事故致因分析	45
第一节 煤矿事故致因理论发展历程	45
第二节 典型的事故致因理论和模型	49
第三节 煤矿生产系统事故致因分析	62
第四节 煤矿事故致因模型构建	66
本章小结	73

第四章 煤矿生产系统危险源辨识研究	74
第一节 煤矿事故危险源辨识概述	74
第二节 煤矿事故发生影响因素分析	77
第三节 煤矿事故危险源的辨识方法	80
本章小结	91
第五章 煤矿生产系统危险源风险评价研究	92
第一节 煤矿生产系统危险源风险评价指标体系	92
第二节 典型的煤矿生产系统危险源风险评价方法	97
第三节 煤矿生产系统危险源综合风险评价法	100
第四节 煤矿生产系统危险源风险评价模型	106
第五节 煤矿生产系统危险源风险评价分级	113
第六节 煤矿生产系统危险源动态评价分级的聚类分析法	122
本章小结	128
第六章 煤矿生产系统危险源风险预警模型及方法研究	129
第一节 煤矿生产系统危险源风险预警概述	129
第二节 煤矿生产系统危险源风险预警分析	134
第三节 煤矿生产系统危险源风险预警指标体系	137
第四节 煤矿生产系统危险源风险预警模型及方法	145
本章小结	148
第七章 煤矿生产系统危险源风险预警系统研究	150
第一节 煤矿生产系统危险源风险预警系统	150
第二节 煤矿生产系统危险源风险预警系统知识获取方法	153
第三节 煤矿生产系统危险源风险预警管理体系	159
本章小结	161
第八章 煤矿生产系统危险源管理与控制	162
第一节 基于脆性理论的煤矿生产系统危险源管控技术	162

第二节 基于反馈复杂性的煤矿生产系统危险源管控技术	166
本章小结	171
第九章 结论与展望	172
第一节 主要结论	172
第二节 研究展望	174
参考文献	176

第一章 绪 论

第一节 研究背景及意义

一、研究背景

煤炭在我国能源结构组成中占有十分重要的位置,是我国社会经济快速发展的有力支柱。目前,煤炭资源在我国能源生产和消费结构中约占六成以上,预计在相当长时期内仍然占据较大比例。在未来五十年甚至整个21世纪范围内,煤炭作为我国重要的能源组成部分将不会发生本质的变动。近年来,随着我国煤矿资源的不断开发,地表及浅部煤炭已逐渐枯竭,迫使煤矿开发转入中深部开采。因此,中深部开采煤矿资源正成为我国煤矿企业发展的趋势。目前,中深部煤矿开采工程即将全面开工,国家要求用科学发展观统领工程建设实践,精心组织、精心设计、精心生产、精心管理,优质高效地组织好煤矿资源开发,尤其是要加大安全生产检查监督力度,杜绝重大安全生产事故。

随着我国中深部煤矿开采规模的不断扩大,深部开采中生产作业环境愈加恶劣、地质条件极其复杂、开采难度越来越大等问题也不断增多。相对于以往的浅层部煤层采掘,目前的中深部煤层采掘环境显得更加恶劣,开采条件越发艰难,比如矿井地应力大幅提高,矿井围岩内部温度逐渐增加,并且随时可能发生地下水涌出、围岩爆裂、煤矿瓦斯爆炸等重大灾情,

因而生产组织难度相当大。生产过程中一旦发生事故,会出现通讯困难、救援不易到达、境况难以掌握等状况。而且,中深部开采煤矿需要聚集大量人力、材料、机械,各专业工种需进行较长时间的相互配合和制约,生产过程安全与否将直接制约煤矿企业生产效率和经济效益等。所以,深入系统研究我国中深部煤矿开采所面对的安全管理和风险控制问题,对于煤矿开采企业安全生产管理具有极其重要的实践指导意义。如何对煤矿生产系统中潜在的危险源进行准确识别、风险评价、风险预警及安全管理控制等,保障煤矿企业安全运营,是企业管理人员、科研人员以及工程技术人员应当认真对待的问题。相关部门应做好未雨绸缪的事故预防及应变准备,建立有效的事故防治制度,制定并完善各项安全技术措施,以避免潜在危险造成的人员伤亡、财产损失及社会冲击等。

本书将安全科学、管理科学、系统科学、决策科学、优化理论等引入煤矿系统安全生产问题中,主要目标是设法解决我国煤矿生产过程中潜在危险源的精准识别、风险评价、危险性预警、风险控制策略等问题,探析我国煤矿生产系统中科学的安全生产管理方法。本书将针对我国中深部煤矿采掘过程中的事故致因分析、潜在的隐患确定、风险评价、危险源风险预警、危险源风险管理和控制等展开较为全面系统地分析,具体内容包括:煤矿生产系统进程事故致因分析、煤矿生产系统危险源的确定、煤矿生产系统危险源风险评价、煤矿生产系统危险源风险预警、煤矿生产系统危险源管理和控制策略等,最终为我国煤矿生产系统危险源确定、风险评价、风险预警、管理控制等提供先进的技术标准和策略,实现当前煤矿生产系统的危险源自动辨识,风险评价,危险等级确定,风险预警,风险控制的快速、高效和规范化。本书研究成果对于政府监管部门指导企业提高安全生产管理水平具有较强的借鉴价值。

二、研究意义

本书针对煤矿企业采掘进程中潜在隐患风险预警及安全控制技术进行深入系统研究,具有极其重要的理论价值和实际意义。主要表现在以下两个方面:

首先,从理论角度看,本研究进一步丰富和发展了企业生产系统事故

致因理论、事故预防和控制理论方法体系,推动了风险评价、风险预警等理论的发展;为煤矿企业采掘中潜在的隐患确定、风险评价、风险等级确定、危险性预警、风险管理和控制等,进而为防止煤矿企业重大事故发生提供了理论支撑。

其次,从实践角度看,研究煤矿生产系统危险源风险预警与安全控制问题,对于指导矿山生产事故预防和安全管理具有重大的经济和社会意义,同时为国家相关部门进行矿山安全评价、决策制定和实施提供科学决策依据。

第二节 我国煤矿安全生产现状分析

我国煤矿安全生产状况有待改善,安全生产体系并不完善,特别是矿难频发,成为构建社会主义和谐社会的极大障碍。具体表现在以下两方面。

一、煤矿安全生产事故多发

长期以来,我国煤矿企业始终坚持“安全第一、预防为主”等方针,依靠先进技术、强化安全培训、健全完善安全生产法律法规制度等,煤矿安全生产状况日益改善。据国家煤炭部门统计数据表明,从2005年到2016年的12年间,全国煤矿产量从23.3亿t逐渐提升到34.1亿t,其中2014年煤炭产量达到最高38.7亿t,如图1-1所示。同时,全国煤矿安全事故起数和伤亡人数近年来呈现逐渐下降趋势,在2001~2014年,全国煤矿共发生安全事故30669起,伤亡人数达到53205人,总体呈现下降趋势,但形势仍然严峻,如图1-2所示。

根据上面的统计数据及变化趋势分析可知,近年来我国煤炭开采规模不但增长趋势明显,而且安全生产形势逐年好转。但是整体来看,目前的煤矿企业安全生产管理水平与社会经济发展需求之间仍具有相当大的差距,需要继续完善,主要体现在以下方面。第一,我国煤矿事故多发现象依然突出,伤亡情况较重、经济损失大的状况没有彻底改善。第二,我

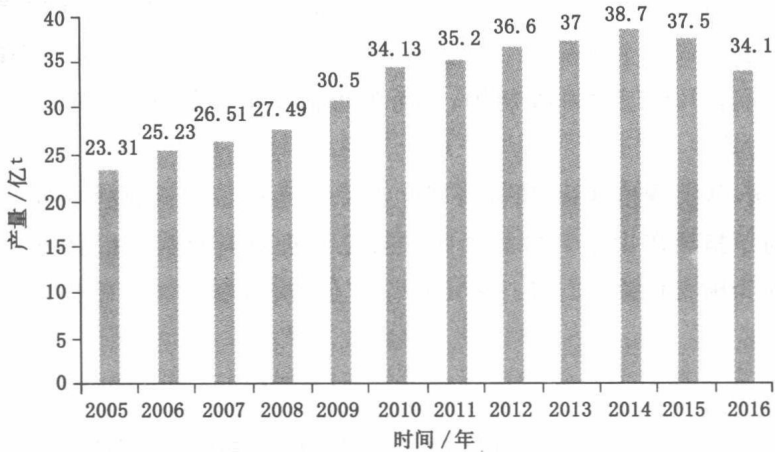


图 1-1 2005~2016 年全国煤矿产量

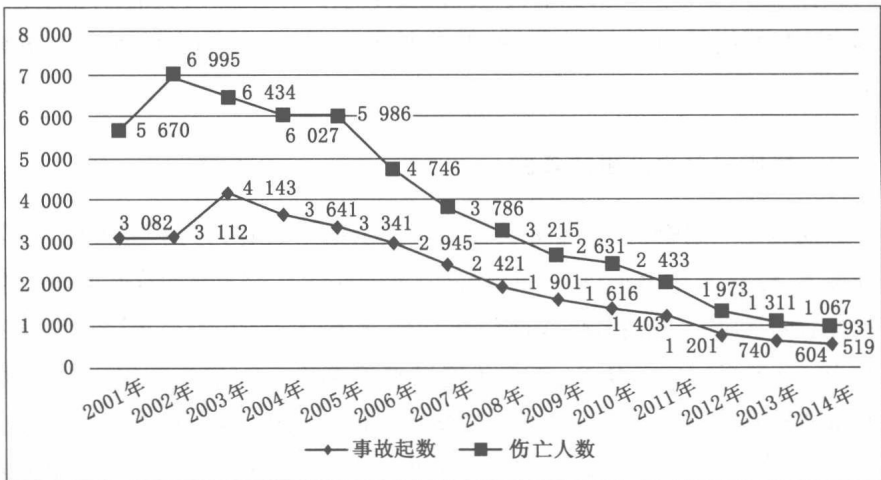


图 1-2 2001~2014 年全国煤矿安全事故起数、伤亡人数

国煤矿事故百万吨死亡率远高于澳、英等发达国家,需要进一步努力改善。第三,我国煤矿科技生产水平很不均衡。国内大型煤矿企业如神华(现已并入国家能源集团)、中煤、山西焦煤等规模庞大、技术先进,但這些企业所占比例偏低,大批中小型煤矿企业的规模、技术等要素不达标。中小型煤矿技术水平落后、管理不规范,加上安全教育培训不到位等,使

得各类事故时有发生。

二、煤矿安全生产技术落后

首先,煤矿安全生产法律法规制度等不适应当前要求。随着社会经济水平不断提高以及市场竞争程度日益激烈,已有的一些法律法规制度如《矿山安全法》《煤矿安全生产法》等已不适应煤矿企业快速发展的需要,有诸多方面的条款、制度、标准等需要进一步完善修订。

其次,煤矿企业员工素质整体较低。我国煤矿井下采掘人员招工门槛普遍偏低,由于上岗前缺少必要的安全生产教育培训工作,以及未受过煤矿采掘专业理论知识熏陶,缺乏实际操作技能,导致这些员工存在安全生产意识弱以及应急救援能力差等问题。同时,这些煤矿企业采掘人员大部分不属于企业正式编制,缺乏主人翁精神,并且不会自觉学习煤矿安全生产专业技能。

再次,机械化程度较低。除少数大型规模的煤矿企业外,国内相当数量的煤矿企业属于规模小、装备弱、综合实力差的中小煤矿,这些煤矿的机械化采掘技术水平非常低,仅仅达到 65%左右,无法像国有大型煤矿企业那样全部实现机械化采煤。

最后,违法生产现象严重。当前,国内众多煤矿,尤其是中小煤矿业主,为了追求生产效益,擅自越层开采煤矿,并且采掘技术低下,缺少必要的井下采掘防护技术和自救技能,致使煤矿事故屡次发生。据统计,近年来国内煤炭实际产出量远超计划产出量,其中很大一部分原煤产量是由那些小型乡镇煤矿企业擅自开采的。

第三节 煤矿生产系统危险源辨识评价研究现状

国内外关于煤矿安全生产潜在的隐患确定和风险评价等方面研究主要从潜在隐患的内涵、危险源确定和等级划分、危险源与事故灾害、危险性评估等方面开展的。

一、危险源的基本概念

所谓危险源,国内外目前尚无确切统一的解释。英国健康与安全委员会(HSC)是较早开始研究危险源的组织,认为危险源是一种可能引发事故的因素,如生产设施、设备、场所等,是诱发事故的重要因素。危险源主要是指系统中可能导致系统失效崩溃直至引发事故,导致人员伤亡、经济损失的一种潜在的不安全、不确定因素。英国健康与安全执行局(HSE)关于危险源的观点是,一种潜在的产生于物质自身固有特质或者运动过程中可能引起伤害或损失的危险。上述关于危险源的内涵理解中,英国的HSC和HSE都未考虑人对事故产生的影响等。

国内学者也对危险源内涵进行了大量研究,也取得了丰硕的理论研究成果。其中比较有代表性的有:陈宝智从能量释放理论出发,对两类危险源理论进行了解释分析,指出第一类危险源是系统中存在的潜在的可能发生意外释放能量或危险的物质,第二类危险源是指防止能量失去平衡或造成破坏的一些不安全的影响因素。田水承在此基础上进行了补充,提出了三类危险源概念,第一类危险源是那些能量载体或危险物质,第二类危险源是物理环境方面和个人失误方面的一些影响因素,而第三类危险源是指组织方面的一些影响因素等。

二、危险源辨识与分类研究

事故致因分析是危险源辨识的基础。国外关于事故致因理论方面的研究已有一百多年的历史。M. Greenwood 和 H. Woods 首先提出事故频发倾向理论;后来,海因里希提出了事故因果连锁理论等。近年来,很多具有代表性并且有价值的事故致因理论模型被学者们提出并研究,这些研究大多是基于复杂系统理论、信息论等,如 J. Surry 的瑟利模型、Benner 的事故 P 理论、Johnson 的变化-失误模型、W. E. Talanch 的变化论模型等。国内在这方面的研究相对国外稍晚,但是发展速度非常快,并产生了众多理论或应用方面的研究成果。如钱新明等提出事故致因的突变模型;何学秋专门研究了针对事故致因的流变-突变理论,以及田水承详细探析了组织方面因素是造成事故产生的第三类危险源和本质原因。

关于危险源辨别确定方面,最先开展深入研究的是英国学者。1974年,英国卫生与安全委员会成立了相关咨询委员会,专门研究企业危险源的确定、分类、风险评价、预警及控制等内容。此后的二十年时间,国际相关组织召开大会通过《预防重大工业事故公约》以及《重大危险源控制国家标准》等公约和技术标准,上述组织、制度、法律的成立和实施,为众多国家构建企业危险源管理和控制系统、防止生产事故发生提供了坚实的理论基础和政策支持。

确定和分类危险源是预防企业发生重大事故的重要前提,国内外学者对此从多个角度展开全面系统研究,并取得了许多有价值的研究成果。国外对于危险源的辨识和分类,注重在具体行业的详细应用上,如食品、化工和核工业等行业都采用了不同的危险源辨识和分类方法。A. Baun 等采用定量的危险源辨识和分类分析方法,对城市暴雨中药物、杀虫剂、致癌物等异型生物性有机化合物进行辨识和分级。值得一提的是,也有学者提出了危险性分析和控制关键节点法,该法被广泛应用于食品制造行业,评估并确定在其生产过程中的危险源等。此外,国外也开发了一些危险源辨识软件,如 AHA(Automatic Hazard Analyzer)和 SDG(Signed Directed Graph)等可以用来对化学工厂内危险源进行自动辨识。

国内对于危险源理论方面研究相对较晚,从 20 世纪 90 年代开始对危险源理论产生浓厚兴趣,并取得许多有价值的研究成果。如在系统危险源确定上,顾学明提出应用事故树分析方法对煤矿冒顶事故危险源进行准确辨别,并提出了一些有针对性的监测预警和防控策略等;陈高君等采用 OHSMS 方法对企业生产过程中的重大危险源进行精准识别;李果、罗新荣等分别基于期望值、危险性概率和风险权系数对矿上重大危险源进行了判别和风险评价研究,并取得了一些有意义的成果;姜光杰等针对煤矿企业实际,构建了煤矿生产系统危险辨识系统;郝贵、宋学锋的研究结果表明,基于人、机、环境、管理等方面全面系统分析,能够实现对煤矿生产系统危险源的准确判断和管理控制。

张甫仁等对矿山生产重大危险源等级分类问题进行了详细探讨;唐敏康等重点探析了企业重大危险源的分类技术标准问题;白勤虎等从两类危险源理论角度,将企业危险源分为固有型和触发型两类,并指出两者之间

是主动与被动的关系。后期的相关研究也很丰富,如文杰等提出的分类标准则更为具体,应综合考虑危险源的时态、状态、以及类型:时态即过去、现在和未来三种形式;状态包含正常、异常、紧急三种形式;类型包含物理性、化学性、生理及心理性、生物性、行为性及其他六种形式等。有关这方面的研究还有很多,如丁新国等围绕五个视角详细分类企业生产过程中的危险源,构建了一个较为科学合理的危险源分类体系。综合梳理国内有关危险源的文献研究可知,有关危险源辨识理论方面的研究成果很多,而实际应用方面的研究成果则相对较少。

三、危险源与事故之间关系研究

国内外诸多学者围绕危险源与事故之间的关系展开了大量研究,如Blaikie针对危险源与事故之间的关系,分析了 $D=H+V$ 的关系,其中,D代表disaster,H代表hazard,V代表vulnerability。H. Kumamoto认为,没有危险源就不会存在风险。陈宝智的两类危险源理论,其中第一类危险源是诱发事故发生的充分条件,并且决定了事故后果的严重性程度,第二类危险源是决定事故发生的必要条件,同时影响事故发生的概率风险。两类危险源相互作用,影响事故发生及其严重性程度。从这一点来看,应该正确管理、控制两类危险源,预防危险源事故发生。

田水承在此基础上提出的三类危险源理论,其中第一类危险源是造成事故发生的物质条件,影响着事故后果严重性程度,第二类危险源则是事故发生的触发条件,第三类危险源影响到第一类、第二类危险源的危险性大小,是引起事故发生现象的本质原因。孙斌在前人研究基础上作了进一步的补充,指出危险源与企业生产安全、风险、事故发生三者之间是密切联系的,只有在同时具备三类危险源条件下,才会确定发生事故,进一步证实了危险源的存在与事故发生之间存在必然关系。类似的研究还很多,如李新娟研究指出,危险源与脆弱性两者同时具备的情况下,就可能导致事故灾难的发生,并且推理了危险源、脆弱性以及事故危害性程度三者之间的关系表达式等。

综上所述,学者们分别基于不同的研究视角或方式研究了企业危险源与事故发生因素之间的关系,其共同点是企业生产系统中若存在潜在的危险源,就一定会增加事故发生的风险性。