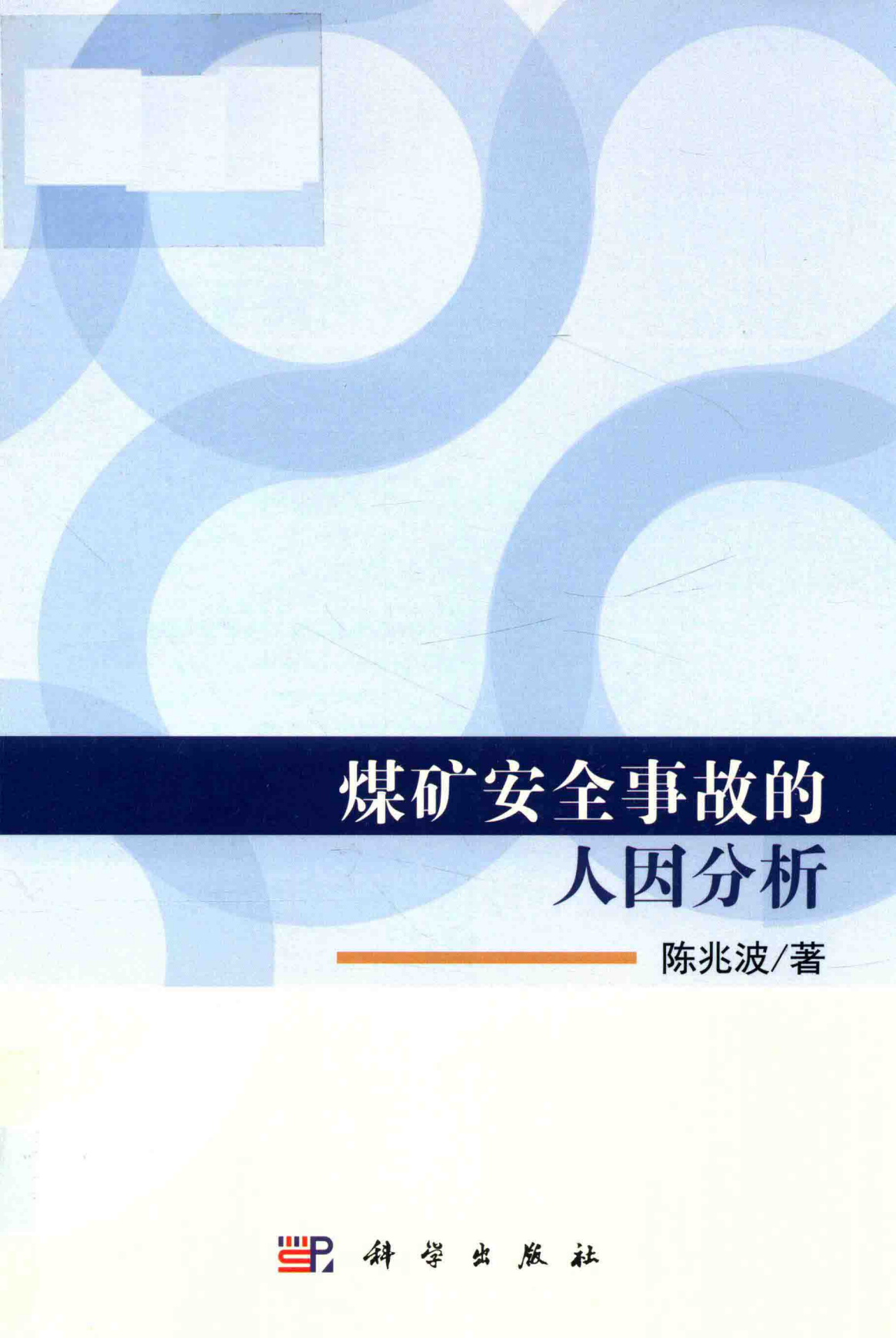




煤矿安全事故的 人因分析

陈兆波/著



科学出版社

煤矿安全事故的人因分析

陈兆波 著

本书受到教育部人文社会科学项目“煤矿作业人员的情景意识可靠性及改善策略研究”(15YJC630012)、山西省自然科学基金项目“煤矿安全事故的人因分析与数据模型研究”(2015021098)、山西省晋城科技项目“基于物联网体系的煤炭安全大数据平台研究”(20155002)的资助。

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对煤炭行业的特殊性,以人因分析与分类系统为理论基础,从煤矿安全事故的人因分析与分类系统模型、事故人因的分析方法、事故深层次人因的推理方法、煤矿安全事故数据库的建立和利用、作业人员不安全行为的干预、人因的可靠性等方面展开了系统的研究,建立了一套比较完整的煤矿安全人因分析框架,为煤矿安全事故数据的利用以及事故发生机理的研究提供一定的理论支撑。

本书将理论推理与实证分析紧密结合,内容适应多层次的读者群体,可作为高等院校煤矿安全相关专业研究生和高年级本科生的教材,也可供煤矿安全从业人员以及相关科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿安全事故的人因分析/陈兆波著. —北京:科学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-03-054515-2

I. ①煤… II. ①陈… III. ①煤矿-矿山事故-人为失误-事故分析 IV. ①TD77

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第227101号

责任编辑:马 跃/责任校对:王晓茜

责任印制:吴兆东/封面设计:无极书装

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018年1月第一次印刷 印张:11 1/2

字数:221 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着中国能源结构的持续改进，煤炭在我国一次能源中所占的比重逐年下降，但在未来较长时间内，煤炭仍将扮演中国主要能源角色，煤炭工业的健康发展是关乎经济可持续发展的重大问题。特殊的生产环境使煤矿事故的发生率远超过其他行业。随着我国煤矿安全政策的不断推出和安全装备等投入的增多，煤矿安全状态有了明显的改善，但较其他国家仍存在较大差距，煤炭行业的安全形势仍非常严峻。2014年8月31日第十二届全国人大常委会第十次会议表决通过的《全国人民代表大会常务委员会关于修改〈中华人民共和国安全生产法〉的决定》将以人为本、安全生产写在法治的旗帜上，标志着煤矿安全生产将作为行业发展的硬性约束长期存在。采取科学、系统、完善的措施改善我国煤矿的安全状况、减少各类安全事故的发生，既是煤矿安全需要解决的迫切问题，也是历史发展的必然趋势。

安全生产是煤炭企业的头等大事。根据安全系统工程理论，煤矿事故属于矿井生产系统运行过程中失去控制的动态事件。一起具体事故的发生具有一定的偶然性，但是大量事故的统计结果却呈现出明显的规律性。大量的研究表明，绝大多数的煤矿安全事故是由不安全的行为造成的。

太原科技大学工业与系统工程研究所依托承担的国家自然科学基金“煤矿安全事故失信分析方法及预防技术”（41272374）、国家自然科学基金“煤矿安全事故致因及对策分析”（41140026）、国家自然科学基金委员会-中国工程院工程科技发展战略研究联合基金“支撑煤矿防灾救灾能力的信息科学技术发展战略”（U0970124）、教育部人文社会科学项目“煤矿作业人员的情景意识可靠性及改善策略研究”（15YJC630012）、山西省自然科学基金“煤矿安全事故的人因分析与数据模型研究”（2015021098）等项目，从人因角度对煤矿安全事故进行了深入的分析，取得了一系列的研究成果。

本书围绕煤矿安全事故的人因分析，以人因分析与分类系统为基础理论，针对煤矿行业的特殊性，从煤矿安全事故的人因分析与分类系统模型、事故人因的

分析方法、事故深层次人因的推理方法、煤矿安全事故数据库的建立和利用、不安全行为的干预、人因的可靠性等方面展开研究，建立了一套较完整的煤矿安全事故人因分析方法，对煤矿安全事故的分析以及煤矿安全事故数据的利用具有一定的参考意义，从而为煤矿安全从业者和相关的科研工作者提供参考。

全书内容分为 10 章。

第 1 章：绪论，简要介绍相关的事故人因分析的研究现状，就煤矿安全事故人因分析提出亟待解决的问题。

第 2 章：在介绍“瑞士奶酪”模型和 HFACS 模型的基础上，通过对近年来煤炭安全事故报告的整理，建立煤矿安全事故的人因分析与分类系统模型，并通过煤矿安全事故的表现形式阐述指标的内涵。

第 3 章：在设计基于 HFACS 的煤矿安全事故人因分析方法的基础上，利用群决策的相关理论，设计基于群决策的煤矿安全事故人因分析结果一致化方法。

第 4 章：通过构建煤矿安全事故人因的贝叶斯网络模型，找出导致煤矿事故发生的深层次原因，从而弥补现有事故调查报告的缺陷。

第 5 章：将煤矿安全事故的设备因素、环境因素、煤矿安全事故的人因分析与分类系统模型相结合，构建煤矿安全事故的致因模型。

第 6 章：在构建的煤矿安全事故致因模型基础上，设计煤矿安全事故的数据库系统，为有效利用煤矿安全事故“大数据”奠定基础。

第 7 章：基于建立的煤矿安全事故数据库系统，利用关联规则数据挖掘方法从瓦斯事故的致因数据中挖掘煤矿瓦斯事故的致因链。

第 8 章：利用卡方检验和灰色关联分析两种方法分析重大煤矿安全事故和一般安全事故产生的原因。

第 9 章：在构建人因干预矩阵模型的基础上，评价煤矿安全政策和技术对不安全行为的抑制作用。

第 10 章：从情景意识的角度研究煤矿作业人员不安全行为的影响因素。

本书的完成得到了中北大学副校长曾建潮教授的鼎力帮助，是曾建潮教授引导我进入“煤矿安全事故的人因分析”领域，让我迅速对该课题产生了兴趣，日常的点点滴滴，让我感受到了他对学术的敬畏，懂得了对所热爱的事业应有的态度，感谢曾建潮教授对我的悉心指导和无微不至的关怀。本书的完成还得到了中北大学乔钢柱教授和太原科技大学工业与系统工程研究所李亨英教授及太原科技大学经济与管理学院各位同仁的大力支持。研究生阴东玲、张宏丽、穆雅丽、郝丽萍、乔楠、刘媛媛、雷煜斌等同学在本书的完成过程中也提供了许多帮助，在此一并致以诚挚的谢意。

本书的研究工作得到了教育部人文社会科学项目“煤矿作业人员的情景意识可靠性及改善策略研究”（15YJC630012）、山西省自然科学基金项目“煤矿安

全事故的人因分析与数据模型研究”（2015021098）、国家自然科学基金项目“煤矿安全事故失信分析方法及预防技术”（41272374）、山西省晋城科技项目“基于物联网体系的煤炭安全大数据平台研究”（20155002）的资助，在此谨向有关部门表示深深的感谢并致以敬意。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请各位专家和广大读者给予批评指正。

目 录

第 1 章	绪论	1
第 2 章	煤矿安全事故的人因分析模型	6
2.1	“瑞士奶酪”事故致因模型	6
2.2	人因分析与分类系统	8
2.3	煤矿安全事故的 HFACS	15
2.4	本章小结	18
第 3 章	煤矿安全事故人因的一致性分析方法	19
3.1	煤矿安全事故人因分析方法	19
3.2	分析方法的应用	21
3.3	基于群决策理论的煤矿安全事故人因分析结果集结	24
3.4	本章小结	35
第 4 章	煤矿安全事故深层次人因的推理研究	36
4.1	贝叶斯网络基本理论	37
4.2	煤矿安全事故人因贝叶斯网络因果图的构建	39
4.3	煤矿安全事故人因的贝叶斯网络参数估计	41
4.4	煤矿安全事故人因的贝叶斯网络参数可信性检验	49
4.5	煤矿安全事故人因贝叶斯网络的推理	53
4.6	煤矿安全事故深层次人因的推理案例	55
4.7	本章小结	56
第 5 章	煤矿安全事故的综合致因模型研究及编码研究	57
5.1	煤矿安全事故综合致因模型的构建	58
5.2	煤矿安全事故综合致因模型的应用	62
5.3	煤矿安全事故致因的数据模型	64
5.4	本章小结	70

第 6 章	煤矿安全事故数据库系统设计	71
6.1	煤矿安全事故数据库系统的需求分析	71
6.2	煤矿安全事故数据库系统的设计	75
6.3	煤矿安全事故数据库系统的实现	94
6.4	本章小结	96
第 7 章	基于关联规则的煤矿安全事故致因链研究	97
7.1	煤矿安全事故致因链挖掘方法分析	98
7.2	Apriori 算法描述及改进方法	101
7.3	基于 Apriori 算法的煤矿瓦斯事故致因链挖掘	102
7.4	本章小结	108
第 8 章	基于数据库系统的煤矿安全事故的人因分析	109
8.1	煤矿安全重大瓦斯事故的人因分析	109
8.2	基于 HFACS 的山西某矿业集团煤矿安全事故原因分析	113
8.3	煤矿安全事故人因的灰色关联性分析	116
8.4	比较分析	121
8.5	本章小结	123
第 9 章	煤矿安全事故人因的干预矩阵研究	124
9.1	人因干预矩阵 (HFIX) 概述	124
9.2	煤矿事故人因干预矩阵 (HFIX) 的构建	126
9.3	基于人因干预矩阵的政策有效性评价	130
9.4	本章小结	137
第 10 章	煤矿采掘作业人员情景意识可靠性的影响因素研究	138
10.1	煤矿采掘作业人员情景意识的贝叶斯网络因果图构建	140
10.2	煤矿采掘作业人员情景意识可靠性的贝叶斯网络参数确定	153
10.3	煤矿采掘作业人员情景意识可靠性的主要影响因素分析	156
10.4	本章小结	166
参考文献		167

第1章 绪 论

近年来，随着煤矿安全政策的不断推出和安全装备投入的增多，我国煤矿生产的安全状况有了明显的改善，煤矿安全事故起数和死亡人数逐年降低，2016年百万吨死亡率降至 0.156，同比下降 3.7%，但是与其他先进采煤国还有很大的差距。例如，2002 年以来，美国的百万吨死亡率一直控制在 0.03 以下；澳大利亚的百万吨死亡率约为 0.014。2004~2015 年，我国煤矿事故死亡人数以及百万吨死亡率如图 1-1 所示。

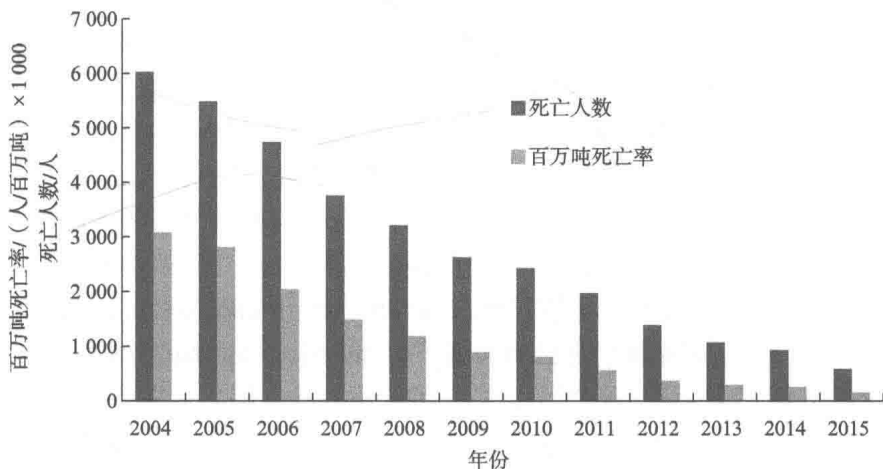


图 1-1 我国煤矿死亡人数和百万吨死亡率统计

因此，我国煤炭生产的安全形势依然非常严峻。尤其是 2017 年以来，全国已经发生多起重大煤矿安全事故。2 月 9 日，黑龙江省龙煤集团双鸭山矿业公司东荣二矿副立井采用多绳摩擦轮绞车罐笼提升，没有安设防坠器，立井电缆着火后，钢丝绳断裂引发坠罐，造成罐笼中的 17 人死亡。同日，山西省长治市长治联盛煤业公司井下发生顶板事故，造成 3 人死亡、2 人受伤。2 月 14 日，湖南省娄底市涟源市祖保煤矿暗主斜井超负荷串车提煤时发生跑车，并引发井筒内煤尘爆炸，造成 10 人死亡。3 月 10 日，河南省鹤壁煤电股份有限公司第十煤矿发生

透水事故,加之井下水泵出现故障,导致矿井被淹,幸未造成人员伤亡。

我国煤矿资源分布广泛,虽然有像神华大柳塔、兖州济宁三矿这样自然条件非常好的矿井,但大部分的煤矿存在地质构造复杂、倾角大、煤层薄、煤层不稳定、瓦斯涌出量大的特点。据统计,国有重点煤矿地质构造属于复杂或极复杂的占到 1/3 以上;高瓦斯矿井占 26.8%,煤与瓦斯突出矿井占 17.6%。特殊的生产环境致使煤矿事故的发生率为其他行业的 7~10 倍^[1],煤矿行业的安全生产问题受到国家和社会的广泛关注。

煤矿安全事故是多种因素综合作用的结果,这些因素不同的作用方式,形成了事故的具体特征。对一起具体的煤矿事故,其发生具有一定的偶然性,但是大量煤矿事故的某些因素却具有一定的再现性,表征事故的参数符合一定的统计规律。因此,如何从煤矿安全事故“大数据”中挖掘其内在规律性和潜在因素,以提高安全管理水平、实现煤矿的安全生产是值得研究的重要问题。已有的研究表明,我国导致煤矿安全事故发生的直接或间接原因中,人因所占比率高达 97.67%^[2]。因此,从人因角度研究煤矿生产中的不安全行为,对减少我国煤矿事故的发生具有非常重要的作用。

到目前为止,安全事故的人因分析主要都是基于某种分析模型(即便是最简单的因果模型),挖掘事故发生的内在规律,其中以两类模型最具代表性,一类是以 Rasmussen 提出的 skill-rule-knowledge (技能-规则-知识模型)^[3]和 Reason 提出的 generic error modelling system (通用差错模型)^[4]为代表的强调个体不安全行为的分析模型;另一类是以“瑞士奶酪”^[5]和 SHELL [software (S), hardware (H), environment (E), liveware (L)] 模型^[6]为代表的强调系统、组织和个体不安全行为之间关系的分析模型。

目前,人因分析与分类系统(the human factors analysis and classification system, HFACS)^[7]和系统事件分析方法(systematic occurrence analysis methodology, SOAM)^[8]是目前应用最广泛的两种安全事故人因分析模型,并且它们都是以“瑞士奶酪”为核心理念,研究系统、组织和个体不安全行为之间关系的人因分析模型。其中,SOAM 是在“瑞士奶酪”模型概念的基础上结合 SHELL 模型提出的事故人因分析模型,主要分析事故不安全行为的贡献因素。HFACS 是在 Reason 的“瑞士奶酪”模型的基础上,从组织的影响(organizational influences)、不安全的监督(unsafe supervision)、不安全行为的前提条件(preconditions for unsafe acts)及不安全行为(unsafe acts)四个层次对事故产生的原因进行详细分解,是从人因角度建立的一个更为全面的事故原因分析和分类模型^[9]。与 SOAM 不同,HFACS 主要集中于不安全行为及其潜在条件的分析和分类上,其指标和分类较全面地描述了安全事故中涉及组织、个人的所有不安全行为。目前,HFACS 已被美国空军和航空管理局作为事故分析和评价事故预防

方案的指定工具与方法^[10, 11]。

HFACS 提出后引起了相关领域学者的广泛关注,目前, HFACS 分析框架已经被广泛地应用到航空、煤炭、铁路及医疗等行业的安全事故调查中,成为分析安全事故原因的重要工具之一。

在航空领域, Shappell 等利用 HFACS, 通过五名分析人员独立地分析了 1990~1998 年发生的 1 407 次可控飞行撞地 (controlled flight into terrain, CFIT) 与非 CFIT 事故, 研究表明在 CFIT 事故中人的差错形式差异性较大^[9]。Wiegmann 和 Shappell 利用从美国国家运输安全委员会和美国联邦航空局的航空安全数据分析中心 (National Aviation Safety Data Analysis Center, NASDAC) 数据库中获得 1990~2001 年的通用航空事故数据, 利用 HFACS 分析了事故中的不安全的行为, 研究发现不安全行为中比例最高的是技能差错 (69%), 然后是决策差错 (31%)、知觉差错 (26%) 和违规 (15%)^[12]。Shappell 等利用 HFACS 在对 1990 年 1 月至 1996 年 12 月发生的商业航空事故分析的基础上, 研究了 HFACS 框架作为军事以外的事故原因分析和分类工具的适用性^[13]。此项研究说明 HFACS 不但可以用于安全事故原因的分析中, 还可以通过分析为管理部门提供一定的决策支持。进一步, Shappell 和 Wiegmann 使用美国国家运输安全委员会的事故调查和两家合资联邦航空管理局工作组的建议, 确定了干预措施的类型, 为分析控制航空中人为因素的安全举措的潜在影响, 提出了人因干预矩阵模型^[14]。Krulak 利用 HFACS 对 1 016 起由人为因素造成的航空安全事故进行分类, 分析了航空事故和人为因素之间的关系, 研究发现不充分的监督、记忆误差和判断误差是空难中最常发生的原因, 并且不充分的设计、不恰当的照明设备及记忆误差增加了空难发生的概率^[15]。Li 等利用 HFACS 系统在对 1999~2006 年中国发生的 41 起民用航空事故分析的基础上, 分析了不安全行为的监督、不安全行为的前提对不安全行为影响的显著性^[10]。进一步, Harris 和 Li 还提出了人因分析与分类系统—事故系统理论模型 (the human factors analysis and classification systems-systems theoretical accident model, HFACS-S), 并将该方法应用到西班牙 Uberlingen 空中碰撞事故中^[11]。Daramola 利用 HFACS 对尼日利亚航空运输行业的安全状况进行了评估^[16]。Connor 通过 123 位海军飞行员应用国防部人因分析与分类系统 (department of defense's human factors analysis and classification systems, DOD-HFACS) 分析两个航空事故中的人因因素, 评价了 DOD-HFACS 的有效性^[17]。国内学者吕春玉结合 1993 年新疆乌鲁木齐发生的 MD-82 型飞机坠毁事故案例, 研究了 HFACS 的功能及其应用于通用航空事故的方法^[18]。孙瑞山深入研究了航空人为差错事故的影响因素^[19]。张凤等利用 1996~2000 年飞行事故、航空地面事故和飞行事故征候统计资料, 基于 HFACS 和民用航空的实际情况提出民用航空领域的事故征候编码系统, 并对事故征候报告进行再分析, 分析了影响民航

事故征候发生的各个层次的人的因素及相互作用^[20]。

在医疗方面, Milligan 以药物管理事故为例, 利用 HFACS 研究了培训在提高病人安全方面的作用^[21]。Eibardissi 等通过访谈的方式, 利用 HFACS 分析框架分析了心血管外科手术室中各种人因因素之间的相互影响关系^[22]。此外, 在铁路交通方面, Baysari 等利用 HFACS 分析框架对澳大利亚 40 起铁路安全事故原因的频率统计, 发现澳大利亚铁路半数事故与设备故障相关(主要是由监督或检查不足造成的)^[23]。在海事方面, Celika 和 Cebib 将模糊层次分析(fuzzy analytical hierarchy process)与 HFACS 相结合, 分析了航海事故中的人为因素^[24]。Wang 等将 HFACS 与贝叶斯网络(Bayesian networks)相结合应用到船舶碰撞事故中, 建立定量的事故分析模型并描述了相应的预防措施^[25]。

在煤矿方面, Lenné 等利用 HFACS 对澳大利亚发生的 263 起煤矿安全事故的原因进行分类, 通过事故原因频度的统计分析事故发生的主要原因^[26]。Patterson 和 Shappell 利用 HFACS 分析了澳大利亚昆士兰(Queensland)发生的 508 起煤矿安全事故, 研究发现不同的煤矿安全事故中技能差错是最常见的不安全行为^[27]。进一步, Patterson 还提出了分析煤矿安全事故人因的人因分析与分类系统-煤炭采掘业(human factors analysis and classification system-mining industry, HFACS-MI)模型^[28]。国内学者宋泽阳等利用 HFACS 以 515 起煤矿伤亡事故为样本, 分析了安全管理体系缺失情况下不安全行为发生的原因及两者之间的联系^[29]。陈兆波等利用 HFACS, 从人因角度分析了重大煤矿安全事故和一般安全事故产生的原因, 并分析了两类事故原因的不同之处^[30]。陈兆波等还针对 HFACS 分析煤矿安全事故中的一致性问题的, 设计出煤矿安全事故人因的开环和闭环分析方法^[31]。此外, 陈兆波等还针对煤矿安全事故人因因素众多、复杂且呈现出典型的灰色系统特征的问题, 将 HFACS 与灰色系统理论相结合, 利用灰色关联研究煤矿安全事故人因之间的相互关联关系^[32]。

大量的研究已说明, 起源于航空领域的 HFACS 模型能够应用于煤矿领域, 研究煤矿安全事故产生的人因因素, 挖掘煤矿安全事故人因的内在规律性。

煤矿安全事故调查报告是进行煤矿安全事故人因分析的主要依据, 但现有的煤矿安全事故调查报告主要是以文本形式存在的。虽然, 相关部门利用案例汇编的形式对煤矿安全事故调查报告进行了归类、整理, 但总体来讲, 煤矿安全事故原因的查询和分析依然非常不便。因此, 有必要将煤矿安全事故调查报告的纯文本数据转化为关系型数据, 从而建立煤矿安全事故数据库, 以便有效地利用煤矿安全事故“大数据”进行人因分析, 挖掘煤矿事故发生的内在规律性和潜在因素。

基于此, 本书将以 HFACS 为基础理论, 通过建立起煤矿安全事故数据库系统以实现对煤矿安全事故“大数据”的有效分析和利用, 从而为挖掘煤矿安全事

故的人因因素规律奠定基础。虽然,国内外众多学者利用 HFACS 从人因角度对煤矿安全事故进行了大量研究,但是利用 HFACS 建立煤矿安全事故的数据库,实现煤矿安全事故数据的有效利用,还有如下问题亟待解决。

首先,现有的 HFACS 主要是以航空为背景提出的,在运用 HFACS 对煤矿安全事故报告分析的过程中常会出现 HFACS 指标与煤矿事故报告中描述的原因无法对应或其对应关系具有一定的模糊性的问题,进而导致不同的分析人员对同一组事故报告分析的结果不同,从而增加了现有调查报告由文本形式向关系型数据模型转换的难度,不利于煤矿安全事故数据库的建立。

其次,根据国家煤矿安全监察局的规定,我国目前的煤矿安全事故报告一般包括事故单位概况、事故经过及抢险和善后情况、事故原因及性质(直接原因、间接原因和事故性质)、对事故责任人员和单位的处理建议、防范措施几个部分,其中事故原因的调查中以责任认定为主。因此,现有的煤矿安全事故调查报告对于事故发生的深层次原因,如操作者的精神状态、身体状态、所受的安全和技能培训状况及安全管理体系方面的缺失因素等人因描述不够充分。如何通过一定的方法和手段弥补现有煤矿安全事故调查报告中对事故深层次原因描述不充分的缺陷,为分析人员提供全面的事事故致因信息,是关系到煤矿安全事故数据完备性的重要问题。

再次,如何利用建立的煤矿安全事故数据库,挖掘煤矿安全事故发生的内在规律是关系到煤矿安全事故数据利用的重要问题。

最后,如何评价政策技术对不安全行为的抑制作用,如何评价人因的可靠性也是需要解决的重要问题。

针对上述问题,本书将在综合分析相关理论与方法的基础上,对于现有的煤矿安全事故调查报告,在建立人因表现形式知识库和设计一致性人因分析方法的基础上,利用贝叶斯网络推理技术分析煤矿安全事故发生的深层次原因缺失,弥补现有煤矿安全事故调查报告的缺陷。进一步,建立煤矿安全事故数据库以实现煤矿安全事故“大数据”的有效分析和利用。综上所述,本书将对政策及技术的有效性进行评价,并从情景意识的角度分析人因的可靠性影响因素。

第2章 煤矿安全事故的人因分析模型

HFACS 是由美国学者道格拉斯 A. 维格曼博士 (Dr. Douglas A. Wiegmann) 和斯科特 A. 夏佩尔博士 (Dr. Scott A. Shappell) 在美国海军大量飞行事故调查研究的基础上, 基于“瑞士奶酪”模型建立的事故人因调查和分析的理论框架^[33]。经过大量的案例研究, HFACS 已被证明是非常有效的事故人因分析模型, 该模型目前已被美国空军和航空管理局作为事故分析和评价事故预防方案的指定工具与方法, 并被广泛应用于铁路、海运等行业中的安全事故分析中。

HFACS 是以航空安全事故为背景设计的人因分析模型, 大量的研究表明, 该理论框架并不具备很强的通用性, 尤其是其指标内涵与煤矿安全事故中的表现形式难以精确对应, 或对应关系具有一定的模糊性。因此, 本章将在介绍“瑞士奶酪”模型和 HFACS 模型的基础上, 通过对近年来煤炭安全事故报告的整理, 建立煤矿安全事故的 HFACS 模型, 并通过煤矿安全事故的表现形式阐述指标的涵义。

2.1 “瑞士奶酪”事故致因模型

1990 年, 曼彻斯特大学心理学教授 James Reason 在对以前人因模型总结的基础上, 在其著作 *Human Error*^[4] 中提出了事故致因的“瑞士奶酪”模型的概念模型, 也称为 Reason 模型。该模型认为所有的组织系统都是由某些基本元素组成的, 基本元素之间的有机结合、和谐运行是组织高效、安全运转的前提条件, 这些相互关联的基本元素组成了如图 2-1 所示的生产系统。

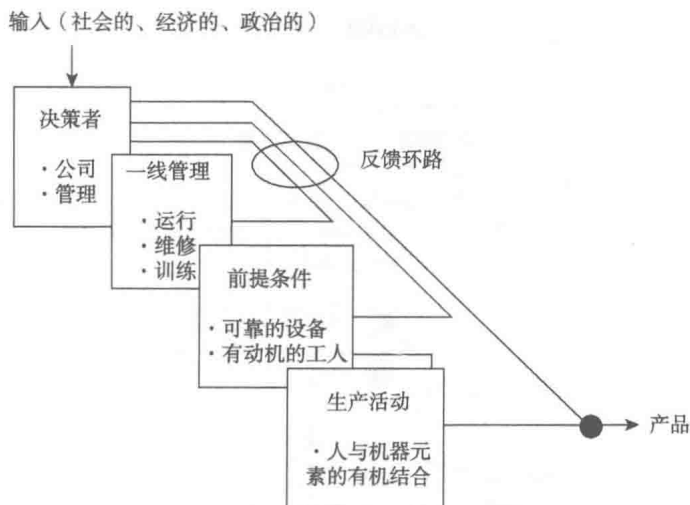


图 2-1 生产系统的组成元素

资料来源：Reason J. Human Error [M]. New York: Cambridge University Press, 1990

根据“瑞士奶酪”事故致因模型，事故发生遵循“决策错误，管理不善，形成不安全行为的直接前提，产生不安全行为，防御系统失效”的规律^[34]。在任何组织中事故的发生均包含 4 个层面（4 片奶酪）的因素，分别为组织的影响、不安全的监督、不安全行为的前提条件、不安全行为。每一片奶酪代表一层防御体系，每片奶酪上存在的孔洞代表防御体系中存在漏洞或缺陷，这些缺陷损害了系统的完整性，使系统容易受到操作危险因素的攻击，因此更容易导致灾难性的后果^[4]。防御体系中存在的缺陷可以用不同层次中的孔洞来描述。当每片奶酪上的孔洞排列在一条直线上时，则会形成“事故机会弹道”，危险就会穿过所有防御措施上的孔洞，从而导致事故发生，如图 2-2 所示。4 片奶酪上的孔洞随时在动态变化中，其大小和位置完全吻合的过程，就是过失行为累积并产生事故的过程，这也称为“累积行为效应”^[35]。

James Reason 教授的“瑞士奶酪”模型强调不良事件发生的系统观，认为事故发生的主要原因在于系统缺陷。若在组织中建立多层防御体系，各个层面的防御体系对缺陷或漏洞互相拦截，系统就不会因为单一不安全行为的出现导致事故的发生。

根据“瑞士奶酪”模型，事故是在操作人员的不安全行为和组织的多层防御体系的潜在失误的共同作用下发生的，因此事故调查人员需要全面分析系统的各个方面和各个层次，才能全面地理解导致事故发生的原因。

它能够迫使事故调查人员在调查事故发生中的显性差错的同时也关注事故的隐性差错。虽然，“瑞士奶酪”模型包含了事故发生的组织因素，但该模型并未

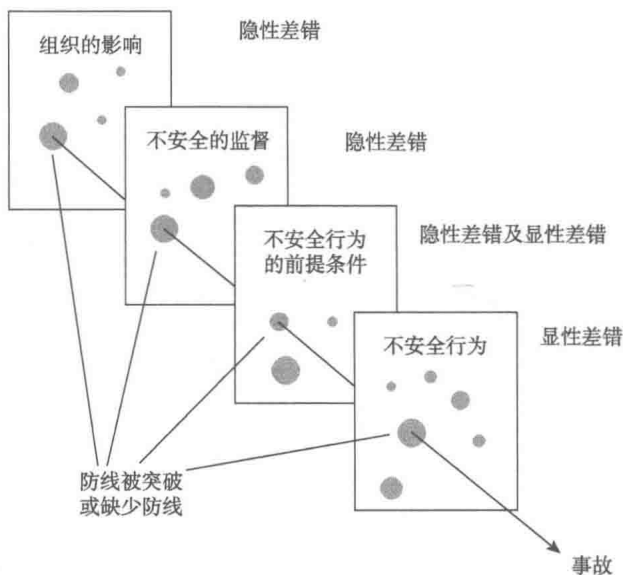


图 2-2 事故致因的“瑞士奶酪”模型

说明奶酪中孔洞的确切含义，也即该模型未详细说明各层次缺陷的具体含义，这也使事故分析人员、调查人员和其他安全专家在应用“瑞士奶酪”模型进行事故致因分析的过程中遇到了诸多的障碍。因此，明确定义奶酪中的孔洞的含义，使事故分析人员在事故调查时明确系统失效的具体原因是非常必要的。

2.2 人因分析与分类系统

1997年，美国学者 Wiegmann 和 Shappell 提出了 HFACS。该模型的最大优势在于定义了“瑞士奶酪”模型中的孔洞，也更加明确、详细地描述了“瑞士奶酪”模型中的隐性差错和显性差错，这也提高了该模型在事故调查和分析中的可操作性^[36-40]。HFACS 描述了系统四个层次的失效，每个层次对应“瑞士奶酪”模型的一个层面，自上而下分为组织的影响、不安全的监督、不安全行为的前提条件和不安全行为四个层次，具体的 HFACS 框架如图 2-3 所示。

本书将进一步针对煤矿安全事故，详细阐述各层次指标的内涵，建立煤矿安全事故的 HFACS。

需要说明的是，上述 HFACS 起源于航空行业，为了适应煤矿行业的特殊性，本书提出的煤矿安全事故的 HFACS 对上述框架模型进行了修改，具体来讲包括以下几个方面。

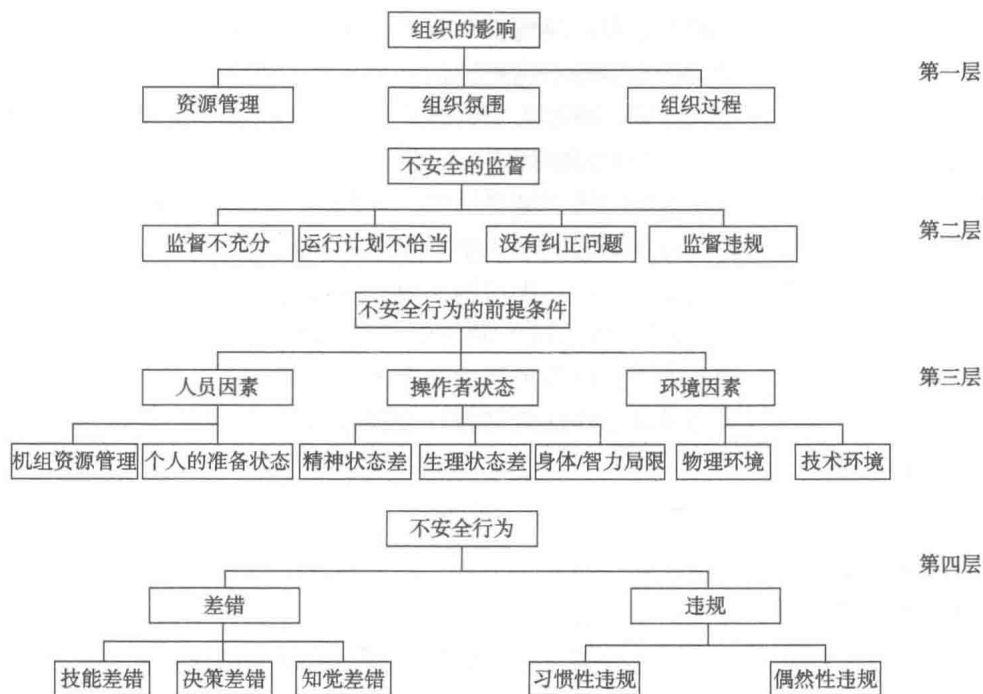


图 2-3 HFACS 框架

(1) 为了保持 HFACS 词性的一致性，本书将第一层改为管理组织缺失，包括三个层面的漏洞：管理过程漏洞、管理文化缺失和资源管理不到位。

(2) 将第三层的人员因素的两个漏洞，也即机组资源管理、个人的准备状态改为员工资源管理、个人的准备状态两方面。

(3) 考虑到煤矿安全事故调查报告的特殊性，使作业人员的违规行为的习惯性和偶然性定性不清楚，因此本书提出的煤矿安全事故的 HFACS 不对作业人员的违规行为进行区分。

2.2.1 管理组织缺失

管理过程中管理层的决策会直接影响到下层的监督实践，也会进一步影响到作业人员的状态和行为，因此组织管理对煤矿的安全生产具有重要的影响作用。根据 HFACS 模型，管理组织缺失主要包括三个层面的漏洞：管理过程漏洞、管理文化缺失和资源管理不到位。

1. 管理过程漏洞

管理过程漏洞是指组织管理日常生产活动（如运行节奏、时间压力、工作计划）的行政决定和规章制度不合理的情况。通过对大量煤矿安全事故调查报告的总结，发现管理过程漏洞在煤矿领域常见的表现形式主要有：安全计划漏洞、应