



• 经济管理学术文库 •

马谦杰 著

煤炭生产系统风险评价 理论与方法

Research on Risk Evaluation of Coalmining Systems
Theory and Method



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE



• 经济管理学术文库 •

煤炭生产系统风险评价 理论与方法

Research on Risk Evaluation of Coalmining Systems
Theory and Method

马谦杰 著



经济管理出版社

ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

煤炭生产系统风险评价理论与方法/马谦杰著. —北京: 经济管理出版社, 2008.4

ISBN 978-7-5096-0242-3

I. 煤... II. 马... III. 煤矿开采—安全生产—风险分析—研究 IV. TD7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 052751 号

出版发行: **经济管理出版社**

北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 11 层

电话: (010) 51915602 邮编: 100038

印刷: 世界知识印刷厂

经销: 新华书店

组稿编辑: 申桂萍

责任编辑: 申桂萍 李今朝

技术编辑: 晓 成

责任校对: 郭红生

720mm×1000mm/16

10.75 印张 127 千字

2008 年 5 月第 1 版

2008 年 5 月第 1 次印刷

定价: 28.00 元

书号: ISBN 978-7-5096-0242-3/F·236

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部

负责调换。联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前言

现有风险理论、安全科学和灾害科学等学科的发展虽然取得了令人瞩目的成果,但是很明显还缺乏系统性并存在许多亟待解决的问题。例如在风险的基础理论、基本概念和度量标准上还缺乏统一性。比如安全科学的理论基础问题、风险评价的价值基础和度量尺度问题等。这些问题不仅使相关学科不能满足应用上的需要,同时也阻碍了学科本身的发展。目前,安全、健康的可持续发展成为世界主题,应用上迫切需要对风险、安全和灾害问题进行综合的、系统的研究。系统风险评价研究课题的选择主要依据是矿业生产风险事故的现实、理论研究的现状和发展的需要。

矿业生产风险事故的发生发展是一个系统问题,其中集中体现了系统风险的运行机制。作者在对煤炭生产系统风险评价理论和实践充分调研的基础上,首先将风险的基础概念、度量标准和尺度问题作为系统风险概念进行研究;其次对评价的价值理论基础——价值观念和评价概念进行深入探讨;再次以系统的观点分析和建立系统风险的综合评价体系 and 系统风险评价模型;最后将这一评价体系运用于矿业生产系统进行验证和实证研究。

本书作者综合了关于风险的概念和研究成果,提出了风险理论、安全科学和灾害科学应当以“系统风险理论”作为理论基础的观点;通过调查研究,在观念上确认了完备风险概念及其度量的原则、风险的特性和风险度量的标准,制定了绝对和相对风险度公式、安全度公式和风险效用熵公式;提出了系统风险“两种评价”

的观点——个别评价和社会评价，个别评价的准则是效用价值，社会评价的准则是劳动价值；提出大系统风险原因分层方法和建立了煤炭生产系统风险评价的基本模型——风险事故的系统动力学模型，其中采用分析复杂系统的最有效的系统动力学模型的若干种因果结构：双流结构、BASS 结构、多维分解结构和随机风险生成结构等，描述了作业人员的行为以及系统的状态变化；最后，对典型煤炭生产系统的风险度和安全度进行了分析和评价，进一步提出了风险管理和生产决策建议。

本书的主要创新在于：提出了用于煤炭系统风险事故分析的完备风险定义及其度量标准——绝对和相对风险度、安全度；设计了大系统风险原因分层法和风险评价因果模型方法，并建立了系统动力学风险评价模型；将上述系统风险理论和评价方法在典型煤炭生产系统中进行了实际应用。

马谦杰

2007 年 11 月

目 录

1 引言 / 1

1.1 风险问题的提出 / 1

1.2 风险研究需求 / 3

1.3 主要研究内容 / 6

2 风险问题的历史与现状 / 9

2.1 风险理论的历史轨迹 / 9

2.2 系统风险理论的研究现状 / 14

2.3 风险相关理论和学科的发展 / 23

2.4 危险源相关问题 / 29

2.5 发展趋势及世界主题新观念 / 35

3 系统风险度量标准研究 / 37

3.1 概述 / 37

3.2 各种风险度量标准的分析 / 39

3.3 相对风险和绝对风险 / 53

3.4 系统风险度量指标体系 / 66

4 系统风险评价原理与方法 / 71

4.1 评价的价值理论基础 / 71

4.2 系统风险的评价问题 / 81

4.3 系统风险的评价过程 / 83

5 煤炭生产系统风险评价模型 / 91

5.1 煤炭生产系统 / 91

5.2 煤炭生产系统条件和建模思想 / 93

5.3 煤炭生产系统复杂性 / 100

5.4 煤炭生产系统风险动力学模拟模型 / 101	
6 典型煤炭生产系统风险评价 / 117	
6.1 薛村矿生产系统基本情况 / 117	
6.2 薛村矿生产系统风险模拟 / 123	
6.3 风险模拟分析与评价 / 138	
7 结论、创新点与展望 / 149	
7.1 结论 / 149	
7.2 创新点 / 151	
7.3 展望 / 152	
参考文献 / 155	
后记 / 165	

1 引言

1.1 风险问题的提出

风险是人类活动中最早出现和最常遇到的基本问题，也是最难解决的问题，因此而成为一个永恒的话题。整个人类历史就是人类不断认识自己和客观世界，不断与风险抗争的历史。天有不测风云，人有旦夕祸福，现实是残酷的，即便是科学技术高度发展的今天，我们仍然摆脱不了难以预料的各种人为的和自然的灾害、事故、疾病的纠缠。人类文明进步了，却又产生各种文明问题；生产力水平提高了，技术风险有增无减。风险问题在中国的现实社会中，特别是交通运输业和资源开采业显得更加突出。正是基于对这些行业的风险现实的充分认识，促使我们选择了对风险问题的研究。

1.1.1 煤炭开采风险与事故的现状

从我国矿产资源开发行业的发展来看，尤其是从我国煤炭产业发展的现实问题来看，有统计资料表明：^{〔1〕}我国 1950~2002 年工矿企业事故死亡人数总体明显呈现上升趋势；新中国成立以来我国煤矿事故百万吨死亡率平均增长率为 4.07%，总体上也是明显呈现上

升趋势。我国是世界上最早开发、利用煤炭的国家,但是中国煤炭产业可持续发展存在的问题重重:小规模粗放生产、生产率低事故率高、采出率低资源浪费、环境污染负外部性、持续发展能力不足、附加值产品少。特别是“我国煤矿的生产效率较低,国有重点煤矿的工效为 3.057 吨/工,是世界上最底的,但在百万吨死亡率方面高出先进产煤国几十倍甚至上百倍”。据国务院发展研究中心 2003 年 12 月 29 日报告:“以往我国煤矿每年事故死亡近万人,近几年已经控制在 7000 人以下。百万吨死亡率逐年下降,由 1978 年的 9.44 人下降到目前的 3.979 人,其中国有大中型煤矿下降到 1 人以下。”相当于每天有 18 个人死于煤矿事故,每一个半小时就有一个煤矿工人为煤炭生产献出自己的生命。“全国煤矿一年因伤亡事故和职业病造成的经济损失,相当于原国有重点煤矿 2002 年销售收入的 5%。”事实说明,煤炭开采的安全与风险控制问题是我们亟须研究的重要问题,因为安全是我们的第一需要。是什么原因导致我们与发达国家有如此巨大的差距,如何才能消除这样的距离,这也是我国矿业生产持续发展亟待解决的问题。

1.1.2 风险事故的普遍性

风险问题虽然是从矿产资源开采行业提出来的,但是安全问题的现象和产生的原因却不仅仅局限于矿业生产系统内部。从整个人类社会来看,整体上说,人们的生理需要已经基本上得到满足,然而安全的需要仍然不能得到较高程度的保证。社会生活、社会生产以及科学研究与探索都不同程度地存在着安全与风险问题,人类还不能够完全杜绝自然灾害和人为灾害的发生,甚至时刻处于各种自然灾害的威胁和不安全的状态之下。暴雨、洪水、干旱、地震、滑坡等自然灾害;战争、爆炸、火灾、污染、疾病、恐怖活动等各种人为灾害;以及各种难以分出是人为的还是自然的,或者说既是自

然的又是人为的灾害事故都在威胁着人类的安全。Sars、禽流感、炭疽菌、人体炸弹等已经现身说法；经济动荡、通货膨胀、股市下跌、计算机和网络病毒等使人们时时处处感觉到危险的存在。就自然灾害而言，统计资料表明，1950~1992年的43年间，我国各类自然灾害造成的直接经济损失共达2.6万亿元左右（1990年的不变价格），死亡60多万人（1959~1961年数据未统计在内）；灾害损失达同期国民生产总值的5.09%左右，占同期财政收入的12%以上。相比之下，美国公布的1991年度自然灾害总损失为150亿美元，占当年国民生产总值的0.78%；日本近年来公布的自然灾害总损失约占同期国民生产总值的0.5%。^{[1][2]}但是，灾害和事故造成的损失和危害更多的是来自人为灾害而不是自然灾害。以我国为例，按照国家的统计口径，全国每年安全事故10万人死亡率近年来在8~10人，死亡人数每年达到14万人左右。其中，交通事故死亡人数达到11万人，平均每天300人，每5分钟就有一人死于交通事故。更为重要的是，根据统计资料，死亡人数的平均增长率达到4%以上！并且仍然还在增长。况且这还只是统计范围内的职业事故死亡人数。如果再加上家庭和其他社会生活中的事故死亡人数，并考虑统计资料的水分，估计每年事故死亡人数少说也能达到60万人。

1.2 风险研究需求

矿产资源开采作为人类获取物质资料的重要途径，社会生产的一个重要组成部分，是人类改造自然的一个不可缺少的环节，是人类社会与自然界亲密接触的界面之一，因而也是风险最大的生产活动之一。矿产资源开采的风险虽然很大，但在世界范围内表现得并不像我国煤炭行业那样突出。对于造成矿业风险的原因的探讨尽管

各有各的说法，但是系统地探讨、解决风险和安全问题已经成为共识。

1.2.1 对风险本质的认识和研究

人类对风险和灾害的认识，包括风险的含义、本质，灾害的概念与成因、灾害的性质、灾害发生发展的规律性以及控制灾害的技术和手段，对这些问题的研究最终形成灾害和风险理论。安全或风险问题所涉及的领域非常宽泛，得到多方面的关注和研究。目前，直接涉及风险和灾害的学科有灾害科学、安全科学和风险理论三个，这些科学理论已经产生并正在逐渐形成发展的过程中。对比研究这些学科可以发现，它们似乎都在研究灾害和安全问题，而对于灾害、风险、安全等概念的理解又各有不同，由于基础概念的不一致使得研究问题的角度、全面性和系统性受到了极大的限制。对于同一个事物称呼不一，必然引起理论上的混乱，进而导致实际工作的无所适从，职业标准、行业标准、专业标准难以制定。于是，对于人类社会的灾害和风险问题，应该如何构建科学的基础理论和认识体系；如何建立统一的灾害和风险的基本范畴和概念；灾害和风险科学的结构应该是个什么样子；各门学科之间的关系如何；它们的研究领域应该如何划分，等等，这些问题的解决依赖于人们对于灾害的风险现象和问题的认识和理解，需要我们站在更高的角度如从系统科学甚至哲学的角度来审视。

1.2.2 风险的比较和评价问题

在生产和管理过程中为了做出正确的决策，经常需要对各种具有风险的不同方案进行比较和评价。实际上，风险的比较是一个非常特殊的问题。我们常常利用概率的方法，采用安全系数、事故概率等指标比较风险的大小。但是，大量的文献研究表明，风险比较

的结果与实际相差太远,许多指标没有可比性。这说明,建立统一的比较标准是比较的前提。恰恰就在这个问题上,有许多种不同的意见,关于均值和方差的标准问题的争论就是一个实例。因此,建立一个各方都认可的风险度量是一个急迫的任务。

1.2.3 风险事故形成原因的辨别

风险事故成因即是引起风险事故的原因,风险事故发生以后,我们首先想到形成风险事故的原因。实际上,对于一个事故的成因,往往有许多种不同的看法。究竟应该如何正确判断人们关于风险事故成因观点的正确性,这涉及安全问题和灾害现象的本质。风险和灾害问题的本质是我们研究风险现象的基础,用于指导我们的认识和研究工作。关于风险和灾害的两重性,即对自然属性和社会属性的认识,以及安全问题的系统性观点等,也是对灾害现象本质的规律性认识,有助于我们对风险和灾害现象的深入认识和控制。正确运用这种观点辨别风险事故的成因并非轻而易举和显而易见的。

1.2.4 系统风险理论和方法用于解决矿业生产系统风险问题

矿业生产企业在风险事故管理实务中有许多方面需要借助系统风险的评价理论和方法,甚至在矿井设计、建设、生产和资源管理、环境保护等方面都有风险事故的防范和控制问题。其中有些问题具有系统性和复杂性,需要借助于系统方法和模型。解决上述问题固然需要系统的风险评价理论和方法,检验系统风险理论的唯一标准是在现实系统中的应用。现实系统是复杂的,研究过程中所用的模型可能是简单抑或复杂的。但无论如何要以系统研究的目标为衡量的标准。近年来,系统理论和科学的发展呈现了向复杂性系统研究发展的趋势。与人有关的各种社会问题和不确定性风险事故问题都涉及复

杂性系统，更应该通过现场的实际检验。

1.3 主要研究内容

安全或者风险问题是一个多层次的复杂系统问题。环境的破坏是风险问题，环境问题对经济的反作用也是一种风险，需要有新的思路、新的观点。对于系统风险复杂性的研究，有两个可以突破的方向：一是人们对风险现象认识的复杂性；二是客观世界风险现象本身的复杂性。这是系统分析的观点。如果能够把人们认识的复杂性和自然界风险现象的复杂性结合起来进行综合研究，也有可能实现突破，这是系统综合的观点。

产生安全问题的原因既有自然的，也有人为的；既有技术的，也有社会的；其性质既有系统外部的，又有系统内部的。事故的发生有时候看起来是偶然的，其中却又包含了必然性。在我们分析事故的原因时，常常有不同的观点和看法，这是因为我们看问题总是有各自的局限性。我们不可避免地不同的立场和角度看问题，而不是系统地看问题，这是不会找到事故真正原因的。要想真正对风险现象有所认识，也必须运用系统的观点对系统风险进行系统的研究，完整的研究内容包括以下几个方面。

1.3.1 系统风险理论和风险度量尺度研究

所谓系统，是指由若干相互关联、相互制约的组成部分所组成的具有特定功能的有机整体。系统的基本特性有：整体性和完整性、关联性和动态性。系统风险则是研究对象（或者系统）在其发展过程中存在的与其目标相悖的可能损失或潜在损失，而对主体造

成危害的状态或局面，称该系统具有的风险或者主体面临的风险。要系统地进行系统风险的研究，需要对研究对象——风险系统做系统的调研。

在风险和系统风险概念界定的基础上，如何衡量风险潜在损失的大小需要有个尺度标准；关于系统风险的属性、成因、损害、发生、发展的理论等问题都需要有个解答。特别是对于风险度量标准问题，一直以来存在客观风险和主观风险两种观点。如何对待风险度量标准，是系统风险评价必须解决的问题。

1.3.2 系统风险综合评价体系研究

系统风险评价通过系统风险概念的统一、风险度量标准的设定、系统风险集分析、风险模型的建立、风险评价方法和指标的选择等达到系统风险评价的目标结果。这一系列的评价过程和手段构成系统风险的综合评价体系。具体的综合评价体系是根据风险评价任务和目标，对于上述评价过程和手段进行选择而形成的。

1.3.3 煤炭生产系统风险评价模型研究

评价一个对象系统的风险最好是直接评价现实系统，但是现实系统的复杂性是无与伦比的，实际上我们所认识的系统都是现实系统的一个模型。我们或多或少都要对现实系统做一些简化的认识，模型就是我们头脑中的系统，所以实际上评价都是针对系统模型而言，系统风险评价也不例外。系统风险评价甚至还要进一步将系统的所有属性中有关风险的部分抽象出来，形成风险评价模型。系统风险评价模型主要包括系统风险集中所有的风险元、影响风险元的所有基本要素和中间要素以及它们之间的关系。系统风险模型本质上是一个因果模型。

1.3.4 薛村矿煤炭生产系统建模和风险评价

根据系统风险评价的过程和程序,以及关于煤炭生产系统风险的一般模型和薛村矿实际资料,建立一个具体的煤炭生产系统模型,作为风险评价的对象。然后运用系统风险评价的思想、理论和方法,尤其是针对薛村矿系统模型的实际,把系统风险评价的概念、标准如风险度和安全度等运用到煤炭生产系统中去。并运用系统模拟模型解决现场实际问题,这是系统风险理论应用的目的所在。

除了以上内容以外,还有一些相关的研究内容,也做了一些调研,仅作为进一步深入研究的参考内容,不再列入本书。包括:系统风险的多属性评价;空间方法、属性并合理论和方法的应用;设备系统与其环境安全属性并合,以及矿业风险的复杂性和矿业风险系统动态性、模糊性、随机性、不确定性表现等。

1.3.4.1 薛村矿煤炭生产系统建模

煤炭生产系统是一个复杂的系统,它是由许多相互联系、相互作用的环节组成的。在建立煤炭生产系统模型时,首先要明确系统的边界,即确定系统的输入和输出。其次,要识别系统中的主要风险因素,并分析它们之间的相互关系。最后,要建立系统的数学模型,以便进行定量或定性的风险评价。薛村矿煤炭生产系统建模的具体步骤如下:

1. 确定系统边界:明确煤炭生产系统的范围,包括从煤炭的开采到最终产品的输出。
2. 识别风险因素:列出系统中可能存在的各种风险因素,如设备故障、人为失误、自然灾害等。
3. 分析风险关系:研究各个风险因素之间的相互影响和因果关系。
4. 建立数学模型:根据风险分析的结果,选择合适的数学模型来描述系统的行为。
5. 验证模型:通过历史数据或模拟实验来验证模型的准确性和可靠性。

2 风险问题的历史与现状

2.1 风险理论的历史轨迹

人类风险理论的发展历史是一部人类认识自己和认识客观世界的历史。根据前面风险的隶属性 and 并协性的观点，风险的大小是和主体的行为和目标有关系的，所以，在这里也可以叫做主体性。我们要在这里指出，风险的大小还跟主体的主观意识有关系，或者说，风险的大小还跟主体对于客观世界的认识有关系。事实说明，风险也来自于人类的无知、不明或者无明，这是风险主体性的一个有力的证明。长期以来，由于人们对客观规律的认识不足，从而常常对一些不明之物产生一定的恐惧感，因为不确定性是风险的一个重要因素。因此，现代科学的发展轨迹也是风险理论研究的基础。概括起来，风险理论经历了本能的宗教信仰阶段、概率科学阶段和系统风险阶段。

2.1.1 最早的风险意识

科学是在人类躲避风险、保护自己、认识自己和认识自然的过程中发展起来的。但是古代的安全思想和文化是一种宿命论的思

想,对于一些天灾人祸只能被动承受。人类所面对的风险最初都是大自然直接强加的。

由于人们对于事物发展规律的认识不够,其行为结果就不会达到预期,或者碰壁,甚至遭遇灾祸,感到无所适从,特别容易产生迷信。在历史上,人类通过实践经验和教训,认识到客观世界存在着一个人类不能够控制的神秘事物在掌控着世间的一切,但是并不知道它是什么,于是就产生了各种想象、臆测和迷信,以及宗教等。

这种情况甚至影响到科学的发展,很多著名的科学家都是虔诚的基督徒。说明人类最初的风险意识与科学有着紧密的联系。爱因斯坦也曾说过:“没有宗教的科学是跛足的,没有科学的宗教是盲目的。”正是这种人类在早期对风险的探索中产生出来的科学精神和宗教信仰,不但为人类的生存发展提供了解释世界是什么的工具,也解决了世界应当是什么的人类生存和发展所必需的信仰问题。这些条件和工具也是我们以后的风险研究和不确定性研究所必需的。

2.1.2 概率风险理论

2.1.2.1 概率思想的萌芽

在经历了最初对风险的长期迷茫以后,科学逐渐发展起来了。随着人类能力的增强,人类开始干预自然,并且逐渐在改造自然的过程中感到因此而带来的风险。人类用科学的方法研究风险和不确定性是从机会性游戏开始的,概率就是从人们对机会性游戏的研究中产生的,以后就逐渐被用于各种不确定性的情形。关于机会性游戏的产生,早在公元前1500年,埃及人为了忘却饥饿的困扰,经常聚集在一起掷骰子。大约从公元前1200年起,人们把纯天然的骨骼(如脚上的距骨)改进成了立方体的骰子,方法是摩擦骨骼使其成为一个粗糙的立方体,骰子的六面就形成了,再在骰子面上刻上不