

# 煤矿安全动态投入产出模型研究

童磊<sup>1</sup>, 王良玉<sup>2</sup>, 丁日佳<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)管理学院, 北京 100083; 2. 北京市技术交流会协会管理部, 北京 100050)

**摘要:** 针对煤矿安全投入的滞后性与长效性特征, 对煤矿投入产出进行了动态分析, 基于投入产出分析法建立了面向安全的煤矿投入产出表, 提出了煤矿安全投资系数和事故损失消耗系数的概念及确定方法。以直接消耗系数、事故损失消耗系数、生产性投资系数和安全投资系数为参数, 建立了煤炭企业前期生产和安全投入与后期煤炭产量、安全效益之间的动态数量关系式。利用煤炭企业实际数据, 采用反向递推法求解模型, 即可得出计划年度煤炭企业各部门的生产和安全投资情况。

**关键词:** 煤矿安全; 投入产出模型; 安全投资系数; 事故损失消耗系数

中图分类号: X915.4 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)05-0058-04

## Study on Dynamic Input - Output Model for Coal Mine Safety

TONG Lei<sup>1</sup>, WANG Liang-yu<sup>2</sup>, DING Ri-jia<sup>1</sup>

(1. School of Management, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China;

2. Management Department of Association Beijing Technical Exchange Center, Beijing 100083, China)

**Abstract:** According to the lagging and long-term characteristics of mine safety input, the dynamic input-output analysis was carried out. An input-output sheet toward mine safety was established and the concept and determination method of mine safety investment coefficient and accident damage extinction coefficient were defined. With the direct extinction coefficient, accident damage extinction coefficient, productive investment coefficient and safety investment coefficient as parameters, a number of dynamic equations between pre-production, safety investment and later output, safety investment benefits were established for coal companies. By using the actual data of coal enterprises, the produce and safety investment condition could be eventually obtained with reverse recurrence method to solve the model.

**Key words:** coal mine safety; input-output model; safety investment coefficient; accident damage extinction coefficient

## 0 引 言

安全投入与安全绩效和企业的经济效益有着密切的关系, 我国煤矿普遍存在安全投入决策不科学、结构不合理、时机不恰当的问题, 这使得有限的投入没有得到充分利用。因此如何有效地支配和使用安全资金, 在合理时间、范围内寻求恰当的投入, 成为我国煤炭企业亟待解决的问题。国外自 20 世纪 90 年代起开始关注安全投入的经济分析, 主要集中在以下 4 个方面: 安全投入效益综合研究<sup>[1-4]</sup>、职业健康与安全成本研究<sup>[5-6]</sup>、安全投入合理性研究<sup>[7-8]</sup>、基于危险性的安全投入决策研究<sup>[9-10]</sup>。国内已有煤矿安全投入经济效益分析<sup>[11]</sup>、煤矿安全投入

结构分析<sup>[12]</sup>、煤矿安全投入效率评价<sup>[13-14]</sup>等相关文献报道。投入产出理论是由美国经济学家、哈佛大学瓦西里·列昂惕夫教授创立的<sup>[15]</sup>, 自 20 世纪 30 年代产生至今得到不断发展, 很多学者利用投入产出技术分析来研究污染、人口、能耗平衡等多种社会问题<sup>[16-19]</sup>, 取得了显著的经济和社会效益。90 年代, 我国学者沈玉志等<sup>[20]</sup>、张先尘等<sup>[21]</sup>根据煤炭企业生产经营特点建立了煤矿企业动态投入产出模型, 这一模型主要用于煤炭企业生产规划, 没有考虑安全投资。在安全生产领域, 投入产出理论的运用还处于初始阶段, 黄盛仁等<sup>[22]</sup>将投入产出理论应用于安全生产领域, 建立了全国安全生产投入产出表。李峰等<sup>[23]</sup>采用投入产出法, 构造出安全事故投入产

收稿日期: 2014-01-16; 责任编辑: 代艳玲 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.05.016

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAA04B02); 教育部科学技术研究重点资助项目(109032)

作者简介: 童磊(1965—), 女, 安徽合肥人, 副教授, 博士。Tel: 010-62331196, E-mail: tonglei@cumtb.edu.cn

引用格式: 童磊, 王良玉, 丁日佳. 煤矿安全动态投入产出模型研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(5): 58-61.

TONG Lei, WANG Liang-yu, DING Ri-jia. Study on Dynamic Input - Output Model for Coal Mine Safety[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(5): 58-61.

出关联模型。田水承等<sup>[24]</sup>运用投入产出分析方法对煤矿安全投入决策进行分析。这些研究主要描述静态投入产出情况,由于静态模型重点讨论本期投入产出情况,而煤矿安全投入所产生的效果具有滞后性与长效性。基于此,笔者从生产与安全 2 个方面讨论煤炭企业动态投入产出问题,通过建立动态投入产出模型,对安全投入量进行预测,从而制定更为合理的投入计划,为煤矿投资决策提供科学依据。

## 1 煤矿安全与生产投入产出分析

投入产出分析是研究经济系统各部门间投入与产出关系的经济数学模型,投入是指经济活动过程中投入(消耗)的劳动对象、劳动资料和劳动的数量,产出则是指通过从事经济活动所创造的、满足各部门需要的产品数量及其分配使用的方向。

煤炭生产有采煤、掘进、运输、通风、机电等不同部门,企业投入包括各部门生产所占用的原材料、辅助材料、燃料、动力、所占用的各种建筑物、机器设备等固定资产的损耗,以及投入的劳动力、支付的各种经营管理费用。由于煤炭生产的特殊性,安全对煤矿企业的生产有着重要的意义,安全投入是煤炭企业生产的重要投入,安全投入费用包括安全技术设施费用、重大危险源(隐患)整改监控费用、安全检查评价费用、安全教育培训费用、职业健康防护费用等。而产出对于煤炭企业而言,除了要满足各生产部门分配使用的需要,还要考虑事故损失。

动态投入产出分析与静态投入产出分析不同,静态投入产出分析只研究某一时期的再生产过程,动态投入产出分析研究若干个时期的再生产过程。投资活动是一个动态过程,要实现某年的产出需要前 1 年、前 2 年、前  $n$  年为其投资,为其扩大生产规模,形成有效的生产能力;同样某年也要为 1 年后、2 年后、 $n$  年后的生产扩大规模进行投资,因此投资活动把不同年度再生产活动联系起来。对于煤炭企业来说,投资活动既有生产性投资,也有安全性投资。

投入产出表是建立动态投入产出模型的基础。面向安全的煤矿投入产出表是在一般企业投入产出表的基础上根据煤炭企业的特殊性建立起来的,横向从使用价值的角度反映各部门产出价值的分配使用情况,包括生产各部门消耗、事故损失、安全投资和生产投资;纵列反映部门产出的价值形成,包括各部门生产投入、能源及其他消耗、安全投入费用、固定资产折旧、税金、利润等。

## 2 动态投入产出模型的建立

煤矿经营管理者面临生产与安全双重任务,煤矿企业投资主要是 2 方面,一是生产性投资,用于生产规模的扩大,其效果主要体现在煤炭产量的增加;另一项是安全投资,用于保障煤矿正常的生产活动,其效果主要体现为煤矿安全事故的减少。由于投资即固定资本形成会对以后年度的生产产生作用,在动态投入产出分析中固定资本形成是决定和影响未来生产的基本因素<sup>[25-26]</sup>。

设煤炭企业有  $n$  个生产部门,用生产性投资系数和安全投资系数分别反映某部门增加单位产值和实现单位安全效益,其他部门所需投入的价值量。

生产性投资系数  $p_{ij}$  为

$$p_{ij} = c_{ij} / \Delta X_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

其中  $c_{ij}$  为  $j$  部门扩大生产规模,  $i$  部门所需投入的价值量;  $\Delta X_j$  为  $j$  部门某年度较前一年产值的增加量,  $\Delta X_j = X_j(t+1) - X_j(t)$ ,  $X_j(t)$  为  $j$  部门在  $t$  年度的产值。安全投资系数  $q_{ij}$  为

$$q_{ij} = s_{ij} / \Delta W_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

其中:  $s_{ij}$  为  $j$  部门为减少安全事故损失,  $i$  部门所需投入的价值量;  $\Delta W_j = W_j(t+1) - W_j(t)$ ,  $W_j(t)$  为  $j$  部门在  $t$  年度安全事故损失值与近年来  $j$  部门事故损失的最大值  $W_{\max}$  差的绝对值,即  $j$  部门的安全效益值。设煤矿的最终净产品为  $\bar{Y}_i$ , 则最终产品  $Y_i$  为

$$Y_i = \bar{Y}_i + \sum_{j=1}^n c_{ij} + \sum_{j=1}^n s_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

瓦西里·列昂惕夫的静态投入产出模型为  $X - AX = Y$ <sup>[15]</sup>, 其只考虑生产的投入产出,没有考虑煤矿事故损失消耗,因此,加入煤矿事故损失消耗矩阵,得到改进的静态投入产出模型为

$$X - (A + B)X = Y$$

其中:  $A$  为直接消耗系数矩阵;  $B$  为煤矿事故损失消耗矩阵;  $X$  为各部门总产值列向量;  $Y$  为最终产品列向量。将式(3)代入改进的静态投入产出模型,得

$$\begin{aligned} \bar{Y}_i(t) = & X_i(t) - \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j(t) - \sum_{j=1}^n b_{ij} X_j(t) - \\ & \sum_{j=1}^n c_{ij} - \sum_{j=1}^n s_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (4) \end{aligned}$$

其中:  $X_i(t)$  为第  $t$  年  $i$  部门的总产值;  $a_{ij}$  为直接消耗系数,表示  $j$  部门单位产值所消耗的  $i$  部门产品

的价值量  $\alpha_{ij} = x_{ij}/X_j$ ,  $x_{ij}$  为  $j$  部门总产值所消耗  $i$  部门产品的价值量,  $X_j(t)$  为第  $t$  年  $j$  部门产值;  $b_{ij}$  为事故损失消耗系数, 表示  $i$  部门损失在  $j$  部门单位产值所占比例,  $b_{ij} = w_{ij}/X_j$ ,  $w_{ij}$  为  $j$  部门事故损失所消耗  $i$  部门产品的价值量。将式(1)、式(2)代入式(4)得

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} X_j(t+1) + \sum_{j=1}^n q_{ij} W_j(t+1) = X_i(t) - \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j(t) - \sum_{j=1}^n b_{ij} X_j(t) + \sum_{j=1}^n p_{ij} X_j(t) + \sum_{j=1}^n q_{ij} W_j(t) - \bar{Y}_i(t) \quad (5)$$

式(5)表示成矩阵形式为

$$PX(t+1) + QW(t+1) = (I - A - B)X(t) + PX(t) + QW(t) - \bar{Y}(t) \quad (6)$$

其中:  $P$ 、 $Q$ 、 $A$ 、 $B$  分别为  $p_{ij}$ 、 $q_{ij}$ 、 $a_{ij}$ 、 $b_{ij}$  构成的  $n$  阶方阵,  $I$  为  $n$  阶单位矩阵,  $X(t+1)$ 、 $W(t+1)$ 、 $X(t)$ 、 $W(t)$ 、 $\bar{Y}(t)$  分别为  $X_j(t+1)$ 、 $W_j(t+1)$ 、 $X_j(t)$ 、 $W_j(t)$ 、 $\bar{Y}_j(t)$  构成的  $n$  维列向量。式(6)为面向安全的煤矿动态投入产出模型, 此模型将时间因素考虑在内, 假设时滞为 1 年, 以直接消耗系数、事故损失消耗系数、生产性投资系数和安全投资系数为纽带, 建立起煤炭企业前期投入(生产、安全)与后期产出(煤炭产量、安全效益)之间的动态数量关系式。

考虑更一般的情况, 假设时滞为  $s$  年, 则

$$\Delta X(t+s) = X(t+s) - X(t+s-1) \quad (7)$$

式(7)即表示经历了  $s$  年的投资过程, 于  $(t+s)$  年才增加的产出量, 且是较前一年的增加量, 由此建立的  $t$  年度煤矿安全投入产出动态方程为

$$\bar{Y}(t) = X(t) - AX(t) - BX(t) - P[X(t+s) - X(t+s-1)] - Q[W(t+s) - W(t+s-1)]$$

### 3 动态投入产出模型求解方法与参数确定

#### 3.1 模型求解方法

基于安全的煤矿动态投入产出模型的求解采用反向递推解法, 由后一年度变量值推算前一年度变量值。由增加的外生变量  $X(t+1)$  计算出  $X(t)$ , 即从第  $t+1$  年各部门的生产规模和结构推算第  $t$  年的生产规模和结构。令

$$G(t) = (A + B - I - P)X(t) + PX(t+1) + \bar{Y}(t)$$

则式(6)变为

$$W(t) = Q^{-1}G(t) + W(t+1) \quad (8)$$

反向递推法能够充分考虑未来年度的情况, 从某个目标模式出发, 逐年向前推算, 然后得到计划年

度的生产安排和安全投资, 具有很现实的指导作用。

#### 3.2 模型参数及系数确定

1) 消耗系数的确定。消耗系数涉及直接消耗系数矩阵和事故损失消耗系数矩阵。由于直接消耗系数代表着一个企业的生产技术结构, 在一段时间内(如 5 年之内)相对稳定, 因此可以通过编制连续 5 年的投入产出表, 根据表中的数据计算出 5 年的直接消耗系数后, 通过求取平均值后确定。事故损失消耗系数是建立在事故损失矩阵表的基础上, 将连续 5 年的事故损失消耗系数进行加权平均后确定, 并根据实际情况进行修订。

2) 投资系数的确定。生产性投资系数矩阵是建立在生产性投资矩阵表的基础上, 将连续 5 年的生产性投资系数进行加权平均后确定, 并根据实际情况进行修订。安全投入系数矩阵是建立在安全投入投资矩阵表的基础上, 将连续 5 年的安全投入投资系数进行加权平均后确定, 并根据实际需要再进行修订。

3) 外生变量的确定。对于外生变量最终净产品  $\bar{Y}(t)$  ( $t=0, 1, 2, \dots; T_0, T_0$  为投资计划期长), 可根据特定煤矿能采集到的历史数据样本数, 采用相应的预测方法确定, 若为大样本可采用人工神经网络等方法, 小样本则可采用支持向量机等方法确定。

应用动态投入产出模型进行安全投入预测和计划分析, 假定目标年的安全产出向量  $W(t+1)$  已知, 由上述提出的参数及系数确定方法, 可以确定矩阵  $Q$ 、 $G(t)$ , 则由式(8)可以求出  $W(t)$ , 进而根据式(2)可以对各个部门安全投入量进行计划安排。

## 4 结 语

为了反映煤炭企业的特殊性, 笔者在一般企业投入产出表的基础上建立了基于安全视角的煤矿投入产出表, 反映一定时期煤炭企业各部门生产消耗、安全投入与产出之间的相互联系和平衡关系; 以直接消耗系数、事故损失消耗系数、生产性投资系数和安全投资系数为参数, 建立了煤矿安全动态投入产出模型, 导出了安全投入与安全效益的动态关系式; 给出了安全投资系数定义, 确定了各部门安全产出与其他部门投入之间的比例关系; 提出了事故损失消耗系数概念, 确定了各部门事故损失与其他部门消耗之间的比例关系; 给出了模型参数的确定方法, 可以依据具体情况和实际数据对煤炭企业各个部门安全投入量进行计划安排和预测分析, 为煤矿企业

制定安全投资计划提供科学依据。

参考文献:

- [1] NILES LIND. Social and Economic Criteria of Acceptable Risk[J]. Reliability Engineering and System Safety 2002 ,78: 21 - 25.
- [2] PETER J M SONNEMANS ,PATRICK M KORVERS ,AARNOUT C BROMBACHER. How Safety - investments Increase Performance: a Practical Case [C]. Proceedings Annual Reliability and Maintain - ability Symposium 2002: 120 - 126.
- [3] SCOTT FARROW ,HIROSHI HAYAKAWA. Investing in Safety an Analytical Precautionary Principle[J]. Journal of Safety Research , 2003 ,33: 165 - 174.
- [4] STARR C. Benefit - cost Studies in Social - Technical Systems: Perspectives on Benefit - risk Decision Making [M]. Washington: National Academy of Engineering ,1972.
- [5] PHILIPPE F RIEL ,DANIEL IMBEAU. The Economic Evaluation of Ergonomic for Preventive Purpose: a Case Study[J]. International Journal of Safety Research ,1997 28( 3) : 159 - 176.
- [6] ESTERHUIZEN G S ,GURTUNCA R G. Coal Mine Safety Achievements in the USA and the Contribution of NIOSH Research [J]. Journal of the Southern American Institute of Mining and Metallurgy 2006( 5) : 813 - 820.
- [7] HANS J PASMAN. Risk Informed Resource Allocation Police: Safe Can Save Costs[J]. Journal of Hazardous Materials 2000 71: 375 - 394.
- [8] SON K S ,MELCHERS R E ,KAL W M. An Analysis of Safety Control Effectiveness [J]. Reliability Engineering and System Safety , 2000 68: 187 - 194.
- [9] TAIT R ,WALKER D. Marketing Health and Safety Management Expertise to Small Enterprises [J]. Safety Science 2002 36: 95 - 110.
- [10] SCHLATTER ,HEINZ. Protecting Your Investment [J]. Journal of Mines ,Metals and Fuels 2007 55( 10) : 507 - 509.
- [11] 王晓梅. 煤炭企业的安全经济效益分析 [J]. 煤炭学报 , 2007 , 32( 8) : 893 - 896.
- [12] 王书明,王恩元. 煤矿安全投入结构分析 [J]. 中国矿业 , 2008 ,17( 12) : 17 - 20.
- [13] TONG Lei ,DING Ri - jia. Efficiency Assessment of Coal Mine Safety Input by Data Envelopment Analysis [J]. Journal of China University of Mining & Technology 2008 ,19( 3) : 88 - 92.
- [14] 梁美健,吴慧香. 煤矿安全投资效率评价的 DEA 模型及其应用 [J]. 中国安全科学学报 2012 22( 3) : 16 - 23.
- [15] LEONTIEF W. Input - Output Economics [M]. New York: Oxford University Press ,1966.
- [16] HAWDON D ,PEARSON P. Input - output Simulations of Energy ,Environment ,Economy Interactions in the UK [J]. Energy Economics ,1995 ,17( 1) : 74 - 75.
- [17] CRISOBAL J R S ,BIEZMA M V. The Mining Industry in the European Union: Analysis of Inter - Industry Linkages Using Input - output Analysis [J]. Resources Policy 2006 31: 1 - 6.
- [18] CHEN G Q ,ZHANG Bo. Greenhouse Gas Emissions in China 2007: Inventory and Input - Output Analysis [J]. Energy Policy , 2010: 6180 - 6193.
- [19] KUHTZ S ,ZHOU Chao - ying ,ALBINO V *et al.* Energy Use in Two Italian and Chinese Tile Manufacturers: a Comparison Using an Enterprise Input - Output Model [J]. Energy 2010: 364 - 374.
- [20] 沈玉志,丁宝成. 动态投入产出法在煤矿中的应用研究 [J]. 煤炭学报 ,1998 23( 3) : 318 - 320.
- [21] 张先尘,王小平. 煤矿企业动态投入产出模型研究与应用 [J]. 江苏煤炭 ,1992( 2) : 51 - 53.
- [22] 黄盛仁,陆万雨,张建虎. 安全生产投入产出理论及模型研究 [J]. 江苏地质 2001 25( 2) : 122 - 125.
- [23] 李 峰,胡宗义. 安全事故投入产出模型 [J]. 财经理论与实践 2001 22( 114) : 177 - 178.
- [24] 田水承,杨 波,李红霞. 煤矿企业的安全投入与产出 [J]. 煤矿安全 2007 38( 11) : 77 - 79.
- [25] 刘起运,陈 璋,苏汝劼. 投入产出分析 [M]. 北京: 中国人民大学出版社 2006.
- [26] 廖明球. 投入产出及其扩展分析 [M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社 2009.
- [8] 朱红青,王海燕,王斐然,等. 煤堆测温技术研究进展 [J]. 煤炭科学技术 2014 42( 1) : 50 - 54.
- [9] GB/T 482—2008 煤层煤样采取方法 [S].
- [10] GB 474—2008 煤样的制备方法 [S].
- [11] 谭 波,胡瑞丽,高 鹏,等. 煤自燃灾害气体指标的阶段性特征试验研究 [J]. 中国安全科学学报 2013 23( 2) : 51 - 57.
- [12] 孙继平,任 慧,吕朝辉. 矿井红外火灾图像处理方法的研究 [J]. 煤炭科学技术 2007 35( 6) : 64 - 66.
- [13] 程卫民,王振平,辛 嵩,等. 煤巷煤自燃火源红外探测的影响因素及判别方法 [J]. 煤矿安全 2003 34( 8) : 31 - 33.
- [14] 程卫民,王振平,辛 嵩,等. 煤巷煤自燃火源红外探测的影响因素及判别方法 [J]. 煤炭科学技术 2003 31( 8) : 37 - 40.
- [15] 王 璞,黄鹤全,高九华. 红外测温技术在煤矿中的应用 [J]. 煤炭科学技术 2000 28( 8) : 23 - 25.

(上接第 57 页)

制技术研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学 2012.

- [2] 徐精彩. 煤自燃危险区域判定理论 [M]. 北京: 煤炭工业出版社 2001.
- [3] 苗润田,周松江. 煤炭资源整合矿井的安全管理的探讨与对策 [J]. 煤矿安全 2010 41( 4) : 142 - 144.
- [4] 寇砾文,蒋曙光,王兰云,等. 煤自燃指标气体产生规律及影响因素分析 [J]. 矿业研究与开发 2012( 2) : 67 - 70 ,116.
- [5] 朱红青,王海燕,宋泽阳,等. 煤绝热氧化动力学特征参数与变质程度的关系 [J]. 煤炭学报 2014 39( 3) : 498 - 503.
- [6] 肖 旻,马 砺,王振平,等. 煤自燃指标气体的吸附与浓缩规律 [J]. 煤炭学报 2007 32( 10) : 1014 - 1018.
- [7] 朱红青,王海燕,胡瑞丽,等. 煤自燃低温氧化临界温度指标及其关联性分析 [J]. 煤炭科学技术 2013 41( 8) : 61 - 64 ,70.