

# Research on Economic Benefits of Enterprise Safety Investment Based on System Dynamics

Lihong Yue, Jingyu Zhao\*

School of Mechanical and Automotive Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao Shandong  
Email: 577523909@qq.com

Received: Sep. 4<sup>th</sup>, 2018; accepted: Sep. 22<sup>nd</sup>, 2018; published: Sep. 29<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In order to maximize the benefit of safety goals, this paper constructed safety investment-safe economic benefits system dynamics model, and took this model as the carrier, based on the Douglas production function, then proposed a new safety investment allocation model and verified it. The simulation experiments show that the safety investment activity time is divided into two stages, namely 9 months' utility stage and three months' stable phases, and it proves that the new safety investment allocation model can maximize the safe economic benefits and provide enterprise safety investment allocation with important reference information.

## Keywords

Safety Investment, Safe Economic Benefits, Utility Stage, Stable Phases, Safety Investment Allocation Model

---

# 基于系统动力学的企业安全投资经济效益的研究

岳丽宏, 赵京玉\*

青岛理工大学, 机械与汽车工程学院, 山东 青岛  
Email: 577523909@qq.com

收稿日期: 2018年9月4日; 录用日期: 2018年9月22日; 发布日期: 2018年9月29日

---

## 摘要

为了使企业达到安全经济效益最大化目标, 论文构建了安全投资 - 安全经济效益系统动力学模型, 并以  
\*通讯作者。

此模型为载体,以道格拉斯生产函数为基础,提出了一种新的安全投资分配模式并对该模型进行了验证。经过验证和模拟实验表明:安全投资活动共分为2个阶段,即9个月的效用阶段和3个月的稳定阶段,同时也证明了这种新的安全投资分配模式能够带来最大化的安全投资经济效益,为企业的安全投资分配提供了重要的参考信息。

## 关键词

安全投资, 安全经济效益, 效用阶段, 稳定阶段, 安全投资分配模型

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国经济的发展,企业安全事故频发,据相关的统计资料表明:2016年我国安全事故总共29万起,造成死亡人数6.6万人,其中大部分的人员伤亡是由于企业生产事故导致的[1][2],如何减少企业安全事故,一直都是企业家和安全专家所关注的问题,这是影响企业生存、发展的大问题[3][4],因此想要扭转安全生产形势,企业必须加大安全投资,调整安全投资分配模式,寻求最优化的投资方案。目前,在安全投资方案的研究问题上的探索研究取得了不错的成果,比如边际投资技术分析、影子价格分析、安全价值工程分析[5][6]等,但是仍存在着很多不足的地方,企业的安全投资和安全效益之间的关系的研究仅仅局限于静态的数学模型[7]、安全投资结构不合理、安全投资分配模式不科学等,这些不足的地方都能造成安全资源的浪费。针对以上问题,调整安全投资分配方式,提高安全经济效益,是提高安全目标的最有效的方法之一。论文运用系统动力学原理,构建安全投资-安全经济效益系统动力学模型,把道格拉斯生产函数决策理论和该模型结合在一起,动态的分析了不同的安全投资带来的事故损失和安全经济效益,为企业的安全资源分配提供了实际的指导意义。

## 2. 安全投资-安全经济效益系统动力学建模

论文引用系统动力学(System Dynamics),简称SD,来解决安全投资-安全经济效益这个复杂的、非线性、高阶性的系统问题[8]。安全投资-安全经济效益系统共分为安全投资和安全经济2个子系统;安全投资子系统={安全教育投资、安全管理投资、安全技术投资、劳动保护投资};安全经济效益子系统={事故损失、企业增值}。论文将借助Vensim PLE软件,以安全投资系统和安全经济效益系统为对象,建立系统动力学流图模型,见图1。

## 3. 道格拉斯生产函数分配模式

柯布-道格拉斯生产函数是用来预测国家和地区的工业系统或者企业的生产和分析发展生产的途径的一种经济数学模型,简称生产函数[9][10][11][12][13]。它的基本的形式为:

$$Y = A(t)L^a K^b u \quad (1)$$

其中 $Y$ 是安全经济效益, $A(t)$ 是综合技术水平, $L$ 是投入的劳动力数, $K$ 是安全投资, $a$ 表示劳动力数的弹性系数, $b$ 是安全投资的弹性系数, $u$ 表示随机干扰的影响系数。

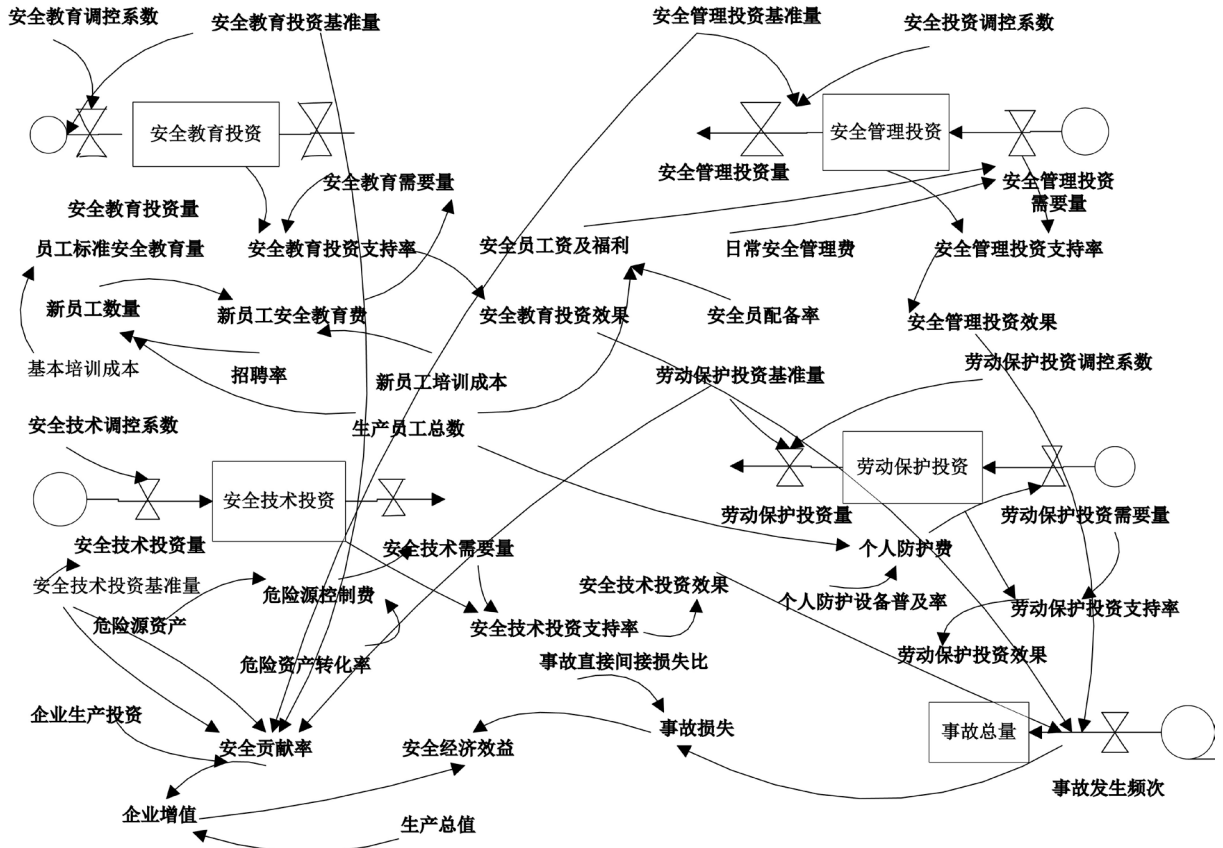


Figure 1. Safety investment-economic system flow diagram model  
图 1. 安全投资 - 安全经济效益系统流图模型

道格拉斯生产函数分配模式只是理论上的分配模式，因此我们必须考虑到企业的实际生产状况，所以本文把分配理论和安全投资效果结合起来，得出一种新的道格拉斯生产函数分配模式。

#### 4. 实例验证及应用

某企业是一家生产加工小型精密仪器，已知该企业有生产工人 500 人，每年生产投资 1.05 亿元，年生产总值可达 2 亿元，该企业每年安全投资以及安全效益的历史数据，见表 1。

##### 4.1. 安全投资 - 安全经济效益系统流图模型方程的确定

借助 Vensim PLE 软件，以该企业为实验对象，建立安全投资 - 安全经济效益系统流图模型，模型方程见表 2。

##### 4.2. 实验结果分析

把表 1 的安全投资的历史数据带入模型中，设定模拟时间为一年，可以得到安全经济效益以及事故损失走势图，见图 2。

由图 2 可知，把企业的安全投资的历史数据输入模型，经过仿真实验得出了企业 2009~2014 年间每年的安全经济效益分别为 50.73、46.12、53.82、59.09、35.16、46.39 万元，事故损失分别为 6.45、7.39、6.92、10.59、7.91、7.71。这些实验数据与企业的实际安全经济效益、事故损失的历史数据相比，较误差在可接受的范围，因此该模型基本符合企业实际发展情况。

**Table 1.** An enterprise safety investment and benefit of historical data in 2009~2014  
**表 1.** 某企业 2009~2014 年安全投资及效益历史数据(万元)

年份	安全教育	安全技术	安全管理	劳动保护	安全经济效益	事故损失	安全总投资
2009	0.49	16.82	1.66	29.78	49.9	6.5	48.75
2010	0.52	12.02	1.58	18.79	45.1	7.00	32.91
2011	0.57	16.80	1.66	29.80	54.5	6.8	48.81
2012	1.10	8.12	6.67	12.47	60	10.5	28.36
2013	1.26	10.31	1.41	17.14	35	7.8	30.12
2014	1.46	17.93	1.31	21.78	46	7.5	42.48

**Table 2.** Model equation  
**表 2.** 模型方程

变量表达式	
安全教育投资调控系数 = 0.01	新员工数量 = 生产员工总数 × 招聘率(人)
新员工培训成本 = $1 \times 10^{-4}$ (万元/人.小时)	安全技术投资需要量 = 危险源控制费/12 (万元)
生产员工总数 = 500 (人)	企业增值 = 安全贡献率 × 生产总值(万元)
招聘率 = 0.01	安全管理投资需要量 = (安全员工工资以及福利×安 全员配备率×生产员工总数 + 日常安全管理费)/12(万元)
基本培训成本 = $6 \times 10^{-5}$ (万元/人.小时)	安全教育投资效果 = WITH LOOKUP(安全教育投资支持率, ((0,0)-(2,2)],(0,0),(0.2,0.14),(0.4,0.35), (0.8,0.9),(1,1.1),(1.2,1.13),(1.4,1.25),(1.6,1.34)))
危险资产转化率 = 0.001	安全教育投资量 = 安全教育投资基准量(1 + 安全教育投资调控系数)(万元)
安全技术调控系数 = 0.015	安全教育需要量 = (新员工安全教育费 + 员工标准安全教育费)/12(万元)
危险源资产 = 6000 (万元)	危险源控制费 = 危险源资产 × 危险资产转化率(万元)
安全管理调控系数 = 0.012	安全技术投资支持率 = 安全技术投资/安全技术投资需要量
日常安全管理费 = 0.3 (万/月)	员工标准安全教育费 = 生产员工总数 × 基本培训成本
安全员工工资以及福利 = 0.2 (万/人)	安全教育支持率 = 安全教育投资/安全教育投资需要量
安全员工配备 = 0.0004	安全教育投资 = INTEG (安全教育投资量 - 安全教育投资需要量)
事故直接间接损失比 = 1/3	
企业生产投资 = $1.05 \times 10^7$ (万元)	
生产总值 = $2 \times 10^7$ (万元)	
安全技术投资量 = 安全技术投资 × (1+安全技术投资调控系数) (万元)	
安全管理投资量 = 安全管理投资基准量*(1+安全管理调控系数)/12 (万元)	
安全管理投资 = INTEG (安全管理投资量 - 安全管理需要量) (万元)	
安全管理支持率 = 安全管理投资/安全管理投资需要量	
安全技术投资效果 = WITH LOOKUP(安全技术投资支持率, (((0,0)-(2,2)],(0,2), (0.2,1.82),(0.4,1.52),(0.6,1.34),(0.8,1.14),(1.6,0.71),(1.8,0.58),(2,0.4)))	
安全管理投资效果 = WITH LOOKUP(安全管理投资支持率, (((0,0)-(2,2)],(0,0), (0.2,0.2),(0.4,0.35),(0.6,0.7),(0.8,0.9),(1,1),(1.2,1.02),(1.4,1.21),(1.6,1.2))))	
劳动保护投资效果 = WITH LOOKUP(劳动保护投资支持率, (((0,0)-(10,10)], (0,1.5),(0.2,0.3),(0.4,2),(0.6,1.7),(0.8,1.8),(1.2,1),(1.4,0.9),(1.6,0.8))))	
事故发生次数 = 劳动保护投资效果 × 0.4 + 安全技术投资效果 × 0.3 + 安全教育投资效果 × 0.1 + 安全管理效果 × 0.2(万元)	
个人防护费 = 个人防护设备普及率*生产员工总数 × 300	
事故损失 = (事故发生频次 × 2000/事故直接间接损失比 + 事故发生频次 × 2000) × 12 (万元)	
个人防护设备普及率 = 0.8 劳动保护调控系数 = 0.009 劳动保护支持率 = 劳动保护投资/劳动保护需要量	
安全技术投资 = INTEG (安全技术投资量 - 安全技术需要量) (万元)	
劳动保护投资量 = 劳动保护投资基准量*(1 + 劳动保护调控系数)/12 (万元)	
劳动保护投资 = INTEG (劳动保护投资量-劳动保护需要量) (万元)	
安全贡献率 = (劳动保护投资基准量 + 安全技术投资基准量 + 安全教育投资基准量 + 安全管理投资基准量)/企业生产投资(万元)	
企业安全经济效益 = (企业增值+事故损失) - (劳动保护投资基准量 + 安全技术投资基准量 + 安全教育投资基准量 + 安全管理投资基准量) (万元)	

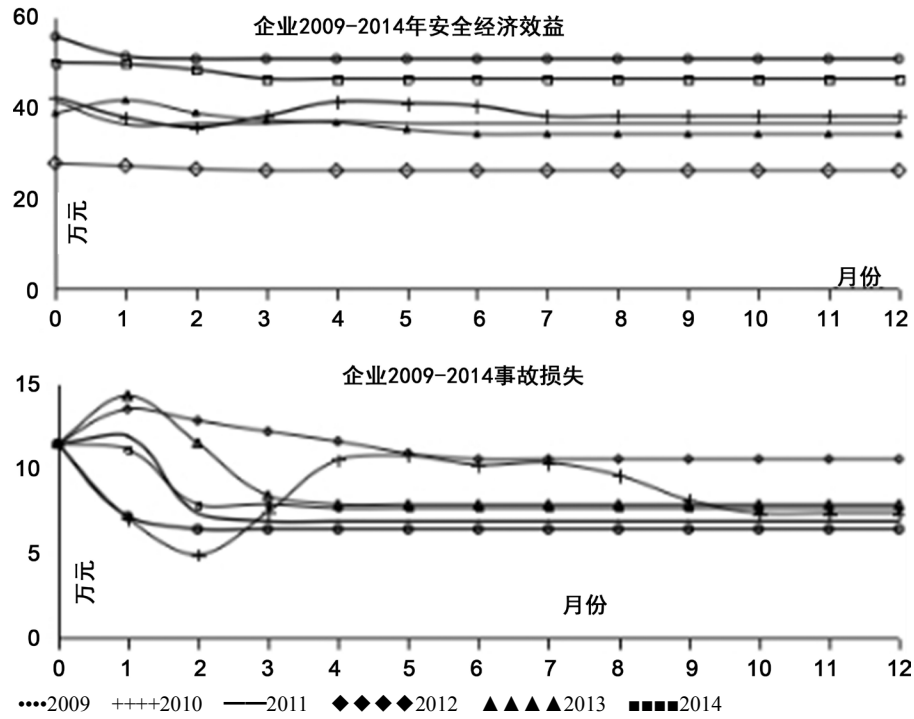


Figure 2. Enterprise economic benefit and safety accidents in 2009~2014 loss charts  
图 2. 企业 2009~2014 年安全经济效益和事故损失走势图

通过分析企业 2009~2014 年间的安全经济效益可知：在一年的时间内，安全投资总数越大，安全经济效益越大，企业事故损失就越少，这种现象符合安全经济学基本原理；由事故损失走势图的总体变化趋势以及实验数据可知事故损失在安全经济效益中所占的比例较少，企业增值占得比例较大，这为提高企业安全经济效益提供了一个有效的途径。

由安全经济效益和事故损失总体走势图可知，每年的走势图的波动幅度不一样，且总体变化时间的区间为[1] [9]，时间大小为 9 个月，因此把这段时间可以叫做安全投资效用阶段，区间[9] [12]，时间大小为 3 个月，因此这段时间为安全投资稳定阶段。

### 4.3. 建立安全投资最优分配模式

根据安全专家的意见以及生产实践证明，把道格拉斯生产函数理论分配和各个安全投资构成因素的效果之比为 2:3，最为合理。这样既满足安全效益最大化的目标，又能符合该企业实际安全投资状况。即安全投资分配模式如下公式组：

$$\begin{aligned} \max Y &= Cx_1^{a_1}x_2^{a_2}x_3^{a_3}x_4^{a_4} \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 &= 0.4M \\ A_1 + A_2 + A_3 + A_4 &= 0.6M \end{aligned} \tag{2}$$

式中  $Y$  表示安全经济效益， $C$  表示常数， $X$  表示安全投资各个构成因素， $M$  表示安全总投资， $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$  分别为安全教育、安全技能、安全管理以及劳动保护投资的弹性系数， $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$  分别为安全教育、安全技能、安全管理以及劳动保护投资效果。

为了计算方便，把公式(2)两边同时取对数，得到公式(3)，如下：

$$\ln Y = \ln C + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + a_3 \ln x_3 + \dots + a_n \ln x_n \tag{3}$$

把企业的安全投资各个构成因素以及安全经济效益的历史数据代入公式(3)得出如下方程组:

$$\begin{aligned}\ln C - 0.71a_1 + 2.82a_2 + 0.5a_3 + 3.39a_4 &= 3.64 \\ \ln C - 0.65a_1 + 2.49a_2 + 0.46a_3 + 2.939a_4 &= 3.56 \\ \ln C - 0.56a_1 + 2.82a_2 + 0.51a_3 + 3.39a_4 &= 3.93 \\ \ln C - 0.095a_1 + 2.09a_2 + 1.89a_3 + 2.52a_4 &= 3.26 \\ a_1 + a_2 + a_3 + a_4 &= 1\end{aligned}$$

解得  $a_1 = 0.59, a_2 = 0.36, a_3 = 0.016, a_4 = 0.034$ , 故安全教育投资: 安全技术投资: 安全管理投资: 劳动保护投资 = 0.59:0.36:0.016:0.034。

由模型运行结果可知:  $A_1:A_2:A_3:A_4 = \text{安全教育投资:安全技术投资:安全管理投资:劳动保护投资} = 0.3:0.1:0.27:0.33$ 。

由上述分析可知最优的安全投资分配方式如下:

安全教育投资 =  $0.4M \times 0.59 + 0.3 \times 0.6M$ ; 安全技术投资 =  $0.4M \times 0.36 + 0.1 \times 0.6M$ 。

安全管理投资 =  $0.4M \times 0.016 + 0.27 \times 0.6M$ ; 劳动保护投资 =  $0.4M \times 0.034 + 0.33 \times 0.6M$ 。

已知该企业 2015 年计划安全投资 45 万, 现有如下三种分配方式, 方案 1 按照道格拉斯生产函数分配, 方案 2 按照各个安全投资效果进行分配, 方案 3 按照论文提出的最优化分配模式进行分配。实验数据和方案见表 3, 安全经济效益模拟实验走势图见图 3。

由表 3 和图 3 可知: 在安全总投资一样的情况下, 方案 3 能够获取最大的安全经济效益, 其次是方案 2 和方案 1。因此论文提出的安全投资最优化分配模型符合企业生产状况和发展目标, 具有很强的科学性和实用性。

## 5. 结论

构建安全经济效益系统动力学模型, 探究安全投资最优化模型, 使有限的安全资源产生最大的安全

Table 3. Enterprise safety investment simulation scheme in 2015

表 3. 企业 2015 年安全投资模拟方案

方案	安全教育	安全技术	安全管理	劳动保护	模拟安全经济效益	安全总投资
方案 1	26	16.2	0.72	2.08	50.13	45
方案 2	13.5	4.5	12.2	14.8	48.62	45
方案 3	18.7	9.18	7.58	9.54	53.23	45

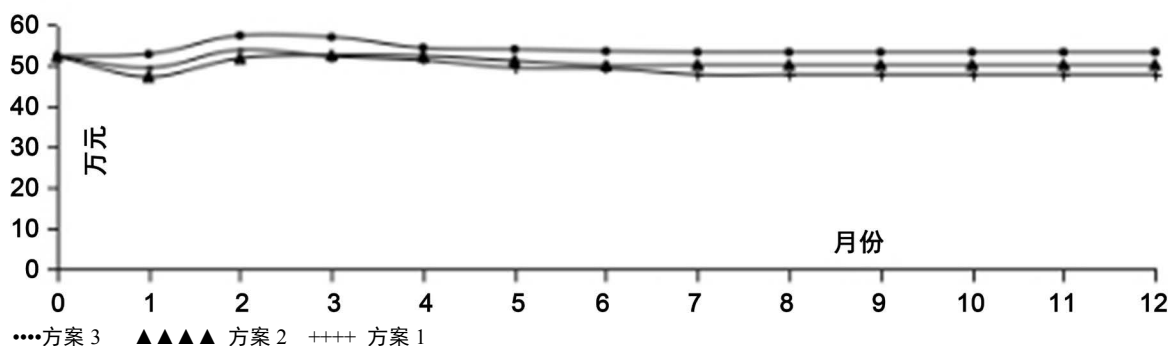


Figure 3. Enterprise safety economic benefit charts in 2015

图 3. 企业 2015 年安全经济效益走势图



经济效益, 这对企业的发展有着重要的作用。经过对模型的验证以及优化方案的模拟实验可以得出以下结论:

1) 论文建立的安全投资 - 安全经济效益系统动力学模型, 通过该企业的历史数据验证, 该模型结论与企业的实际安全投资状况相符。

2) 在模型的验证过程中可知: 安全投资带来的安全经济效益中, 企业的安全增值效益大于企业事故损失, 因此以后在企业的发展过程中, 要注重安全投资所带来的经济效益的增值; 安全投资效用时间为 9 个月, 这一阶段安全经济效益和事故损失变化幅度较大。安全投资稳定阶段时间为 3 个月, 在这一阶段, 安全经济效益和事故损失趋于稳定。

3) 针对论文提出的安全投资最优化分配模式, 是结合了道格拉斯生产函数和企业的实际生产状况。且经过仿真实验可知该分配模式能够给企业带来最大化的安全经济效益。

## 基金项目

国家自然科学基金, 基金编号 51274128。

## 参考文献

- [1] 岳丽宏, 张阿伟. 基于系统动力学的企业安全经济效益分析——以安全教育经济效益子系统为例[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(12): 157-161.
- [2] 梅强, 陈好, 刘素霞. 中小企业安全投入行为决策研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(8): 150-156.
- [3] 姜俊俊. 安全投入与安全经济效益研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2010.
- [4] 梅强, 张忆. 企业安全经济投入与安全效益产出的平衡研究[J]. 商业时代, 2010(30): 84-85.
- [5] 董宪伟. 安全投资及其效益研究[D]: [硕士学位论文]. 赣州: 江西理工大学, 2007.
- [6] 孙嘉天. 基于系统动力学的安全投入决策研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳航空工业学院, 2009.
- [7] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [8] 罗云. 安全经济学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [9] 牛肖铮, 吕力行, 尹欣. 柯布-道格拉斯生产函数在某企业定量安全投入分配中的应用[J]. 科技和产业, 2011, 11(9): 61-64.
- [10] 唐小我, 慕银平, 马永开. 柯布-道格拉斯生产函数条件下成本函数的进一步分析[J]. 中国管理科学, 2005, 13(4): 1-6.
- [11] 马跃, 葛仁东. 柯布-道格拉斯生产函数的改进与应用[J]. 物流科技, 2011, 34(7): 85-88.
- [12] 李先柏. C-D 生产函数、成本、要素用量及参数估计[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2008, 10(6): 70-76.
- [13] 李春娟. 基于系统动力学的应急管理知识系统建模与仿真[J]. 科技管理研究, 2015, 35(7): 158-163.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-4677, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jsst@hanspub.org](mailto:jsst@hanspub.org)