

石油企业 HSE 审核权重赋分方法

——基于 G1 法和熵权法

李昊阳¹ 栾国华² 宋云娟³ 储胜利² 秦梦¹

1. 中国石油大学(北京)机械与储运学院, 北京 102249;

2. 中国石油安全环保技术研究院, 北京 102249;

3. 中国石油冀东油田分公司开发技术公司, 河北 唐山 063200

摘要:影响石油企业安全问题的因素众多,影响过程也极其复杂。因此,建立石油企业 HSE 量化审核权重赋分方法尤为重要,一方面可提高企业及管理部門的 HSE 量化评估能力,另一方面可以增强政府各部門 HSE 管理能力。在结合石油企业实际情况与前人研究成果的基础上,提出了评价指标并划分了评价指标等级,建立了集主客观赋权法优点的 G1 法和熵权法相结合的一种石油企业 HSE 量化审核权重赋分方法。以中国石油某石油企业为例,对结合 G1 法和熵权法建立的权重赋分方法进行可行性验证,实践效果良好。

关键词:G1 法;熵权法;HSE 量化审核;权重赋分

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.05.018

HSE Audit Weight Assignment Method for Oil Companies Based on Method G1 and Entropy Weight Method

Li Haoyang¹, Luan Guohua², Song Yunjuan³, Chu Shengli², Qin Meng¹

1. College of Mechanical and Transportation Engineering, China University of Petroleum(Beijing), Beijing, 102249, China;

2. PetroChina HSE Technology Research Institute, Beijing, 102249, China

3. China National Petroleum Jidong Oilfield Branch Development Technology Company, Tangshan, Hebei, 063200, China

Abstract: There are many factors affecting the safety of oil companies, and the impact process is extremely complicated. It is especially important for oil companies to establish HSE quantitative audit weight assignment method. On the one hand, it can improve the HSE quantitative assessment ability of enterprises and management departments, and on the other hand, it can enhance the HSE management capabilities of various governmental departments. On the basis of combining the reality of petroleum enterprises with the previous research results, this paper puts forward the evaluation index and divides the evaluation index level, and combines the method G1 with entropy weight method to establish the HSE quantitative audit weight assignment method for petroleum enterprises. Taking an oil company under PetroChina as an example, the feasibility evaluation of the weight assignment method established by the method G1 and the entropy weight method is carried out, and the practice effect is good.

收稿日期:2018-04-18

基金项目:中国石油安全环保关键技术研究与推广“HSE 风险、绩效评估与合规性评价研究”(2016 D-4605-01)

作者简介:李昊阳(1992-),男,山东东营人,硕士研究生,研究方向为应急救援。

Keywords: Method G1; Entropy weight method; HSE quantitative audit; Weight assignment

0 前言

随着国民经济的蓬勃发展,中国工业生产安全水平也逐步提高。以中国石油集团公司为代表的石油企业引用吸收 HSE 管理技术,规范企业安全生产管理,并发布实施了 Q/SY 1002.1《健康、安全与环境管理体系第一部分:规范》等系列化企业标准^[1]。HSE 管理体系运行内涵是基于“计划(Plan) - 实施(Do) - 评审(Check) - 改进(Action)”的 PDCA 循环管理,而作为循环管理的重要环节,“评审”对于完善 HSE 管理体系的作用非常关键。近年来,中国石油集团公司在下属企业推行了一年两次的 HSE 量化审核工作,取得了良好的实践效果^[2-5]。随着 HSE 量化审核工作的逐步推进,在审核指标体系权重设计上发现存在“指标重点不突出、赋权重方法单一”等技术问题,阻碍了 HSE 量化审核工作的完善提升。本文在对比分析多层次评估指标体系赋分权重的基础上,提出了一种集主客观赋权法优点的 G1 法和熵权法相结合的权重赋分方法,在此基础上给出了新方法及其计算流程,并在石油企业 HSE 量化审核中进行了应用,实践效果良好^[6-8]。

1 权重赋分方法分析

从多指标赋权方法的角度,权重赋分方法可分为主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法是根据决策者的主观信息进行赋权的一种方法,主要评估方法包括德尔非法、层次分析法(AHP)、模糊层次评价法、G1法、可拓优度法、专家调查法等;客观赋权法不需要决策者提供任何信息,可根据一定规则自动赋权,主要评估方法包括多目标规划法、熵权法、主成分分析法等^[9-15]。

根据文献调研可知,窦站等人^[8]提出了应用 AHP 和模糊评价法相结合的方法去评估化工园区的应急能力,效果良好;李龙清等人^[10]提出了应用 G1 法对煤矿企业信息化水平进行权重赋分,取得了较好效果。8 种常用权重赋分评估方法的优劣势对比见表 1。

本文针对 HSE 量化审核指标体系的特点,计算分析并对比了主观赋权法、客观赋权法等权重赋分方法的优缺点,提出了结合 G1 法和熵权法的权重赋分方法,兼具主客观赋权法的优势,在多家企业应用过程中取得了良好的实践效果^[16]。

表 1 8 种常用权重赋分的评估方法的优劣势对比

评估方法	优势	劣势
德尔非法	观点权重相同,实施方便,具有广泛性	过程复杂,花费时间长
层次分析法	系统性的分析方法,所需定量数据信息较少	不适用于因素众多、规模较大的问题,一致性要求难以满足
模糊层次评价法	通过精确的数字手段处理模糊评价对象,做出较科学、合理、贴近实际的量化评价	计算复杂,对指标权重矢量的确定主观性较强
G1 法	无需一致性检验,在指标数量较多情况下,计算量相对较少	主观性较强,精确性较低
可拓优度法	可以明确反应事物与数量之间的关系,确切表示了客观事物变化过程,把定性和定量分析很好地结合在了一起	对指标权重矢量的确定主观性较强
多目标规划法	精度高,可解决多目标问题	计算极其复杂,运算量较大
熵权法	相对主观赋值法,其精度较高,客观性更强,可以与其他方法组合使用	计算量较大,不适用于因素众多、规模较大的问题
主成分分析法	可消除评估指标之间的影响,可减少指标选择的工作量	主成分的解释其含义带有模糊性

2 HSE 量化评估指标构建

本文依据 Q/SY 1002.1《健康安全与环境管理体系第一部分:规范》等系列标准,借鉴国内外 HSE 量化审核相关领域的研究成果,结合石油企业 HSE 量化审核工作实际,将石油企业 HSE 量化评估指标划分为 27 个一级指标,70 个二级指标,见表 2^[17-22]。

3 HSE 量化审核指标权重设计

影响 HSE 量化评估的因素很多,HSE 量化评估指标及其权重的确定是否合理,会直接影响 HSE 评价的结果。通过表 1 常用权重赋分的评估方法的优劣势对比分析,本文将采用主观赋权法的 G1 法和客观赋权法的熵值法相结合的方式来确定各指标项的权重,最终评价结果由主客观评价的线性组合来表示。

表 2 HSE 量化评估指标体系

序号	一级指标	二级指标	序号	一级指标	二级指标
1	领导和承诺 B 1	HSE 管理责任 C 11 个人安全行动计划 C 12 安全定点联系 C 13 HSE 承诺 C 14	14	污染防治 B 14	污染物达标排放 C 141 固体废物管理 C 142 放射性污染防治 C 143 排污许可 C 144 总量控制 C 145 土壤及地下水质量调查评估 C 146
2	HSE 方针 B 2	HSE 方针 C 21	15	清洁生产 B 15	清洁生产 C 151 绿色基层单位创建 C 152
3	危害辨识、风险评价和控制措施 B 3	生产安全风险分级防控 C 31 环境因素识别与风险防控 C 32 隐患排查治理 C 33 重大危险源管理 C 34	16	生产运行 B 16	-
4	合规性管理 B 4	法规收集和应用 C 41 合规性评价 C 42 “三同时”管理 C 43	17	变更管理 B 17	工艺变更 C 171 设备变更 C 172 人员变更 C 173
5	目标指标和方案 B 5	HSE 目标指标及责任书 C 51 HSE 规划、计划和方案 C 52 HSE 绩效考核 C 53	18	应急管理 B 18	应急组织与职责 C 181 应急预案制修订与备案管理 C 182 应急物资与装备 C 183 应急培训、训练与演练 C 184 应急预警、处置救援、响应与恢复 C 185
6	机构、职责和安全环保投入 B 6	机构设置 C 61 人员配备 C 62 安全环保责任制 C 63 安全环保投入 C 64	19	消防安全 B 19	志愿消防队伍 C 191 消防设施管理 C 192 灭火和应急疏散预案 C 193
7	能力培训和意识 B 7	安全环保履职能力评估 C 71 HSE 培训 C 72 宣传教育 C 73	20	道路交通安全 B 20	驾驶员管理 C 201 车辆管理 C 202 运行管理 C 203
8	制度和规程 B 8	管理制度 C 81 操作规程 C 82	21	危化品管理 B 21	危险化学品管理 C 211
9	协商与沟通 B 9	外部沟通 C 91 内部沟通与员工协商 C 92 HSE 信息系统 C 93	22	标准化建设 B 22	安全生产标准化达标建设 C 221 基层站队 HSE 标准化建设 C 222 班组安全活动 C 223
10	设备设施 B 10	-	23	安全监督检查 B 23	安全监督 C 231 专业检查 C 232 基层日常检查 C 233
11	承包商与供应方 B 11	承包商管理 C 111 供应方管理 C 112	24	环境监测、统计与考核 B 24	环境监测 C 241 环境统计 C 242 环境信息公开 C 243
12	作业许可 B 12	作业许可管理 C 121	25	事故事件 B 25	事故管理 C 251 事件管理 C 252
13	职业健康管理 B 13	职业病危害场所管理 C 131 职业健康监护 C 132 劳动保护用品管理 C 133 职业健康档案管理 C 134	26	内部审计 B 26	内部审计管理 C 261
			27	管理评审 B 27	管理评审 C 271

3.1 采用 G1 法确定评价指标主权重

G1 法在确定各指标权重的过程中无需构造矩阵,也无需进行一致性检验,通过 G1 法可以按照主观排序反映指标的重要程度。

3.1.1 确定各指标顺序关系

设同级评价指标为 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, 按照以下规则确定顺序关系:

1) 专家从 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 中选出一个最重要指标项标记为 x_1^* 。

2) 专家从剩余的 $m-1$ 个指标项中确定最重要的指标项标记为 x_2^* 。

3) 在挑选了 k 次以后,专家在剩余的 $m-(k-1)$ 个指标中挑选一个最重要指标标记为 x_k^* 。

4) 最后经过 $m-1$ 次挑选后,剩余的唯一一个指标项标记为 x_m^* 。

3.1.2 比较 x_{k-1}^* 与 x_k^* 的重要程度

设 x_{k-1}^* 与 x_k^* 的重要程度之比的相对重要程度记为 r_k , 且 $(k=m, m-1, \dots, 2)$, 指标间相对重要程度关系见表 3。

表 3 指标间相对重要程度关系

r_k 指标	说明
1.0	x_{k-1}^* 与 x_k^* 同样重要
1.1	x_{k-1}^* 与 x_k^* 之比介于同样重要和稍微重要之间
1.2	x_{k-1}^* 比 x_k^* 稍微重要
1.3	x_{k-1}^* 与 x_k^* 之比介于稍微重要和明显重要之间
1.4	x_{k-1}^* 比 x_k^* 明显重要
1.5	x_{k-1}^* 与 x_k^* 之比介于明显重要和强烈重要之间
1.6	x_{k-1}^* 比 x_k^* 强烈重要
1.7	x_{k-1}^* 与 x_k^* 之比介于强烈重要和极端重要之间
1.8	x_{k-1}^* 比 x_k^* 极端重要

3.1.3 确定各项权重系数

$$w_m = \left[1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i \right]^{-1}, \text{ 且 } w_{k-1} = r_k w_k$$

$$(k = m, m-1, \dots, 2). \quad (1)$$

式中: w_m, w_k 为第 k 个指标的权重, r_i, r_k 为指标间相对重要程度。

3.2 采用熵权法确定评价指标客观权重

熵权法是一种客观赋权法,可用于度量信息论中的信息量,即一个系统越有序,信息熵就越低;反之,信息熵就越高。因此,信息熵也可以说是系统无序程度的一个度量。在评价过程中,获得信息的大小是评价精度和可靠性的决定因素之一,如果指标信息熵越小,则该指标提供的信息量越大,在综合评价中所起作用也越大,

权重也越高。用熵权法确定指标权重步骤如下:

3.2.1 计算信息熵

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \ln f_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: e_j 为第 j 项指标的熵值 ($0 \leq e_j \leq 1$); $\frac{1}{\ln n}$ 为信息熵系

$$\text{数}; f_{ij} = \frac{\frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}}; x_{ij} \text{ 为对应分值。}$$

3.2.2 计算指标信息熵权重

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (3)$$

3.3 确定评价指标组合权重

设 w_j 为集主客观赋权法优点的 G1 法和熵权法组合后的第 j 个指标项的权重,将 w_j 表示为 G1 法得到的权重系数 w_j^g 和熵权法得到的权重系数 w_j^s 的线性组合,即:

$$w_j = a w_j^g + (1 - a) w_j^s \quad (4)$$

式中: w_j 为主客观赋权法优点的 G1 法和熵权法组合后的第 j 个指标项权重; w_j^g 为 G1 法得到的权重系数; w_j^s 为熵权法得到的权重系数; a 为主观系数,用于调节主客观因素影响整体权重系数的程度,取值范围为 $0 \sim 1$, 可根据需要选择 a 的取值。当 $a=0.5$ 时,主客观因素的影响程度相当。

3.4 确定各评价指标最终得分

设 s_i 为第 i 个复合指标的得分,由第 i 个指标的第 j 个子指标得分 p_{ij} 可以得出:

$$s_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} w_j \quad (5)$$

式中: p_{ij} 为第 i 个指标的第 j 个子指标得分; s_i 为最终得分。

4 实例应用

应中国石油集团公司要求组织了某石油企业的 HSE 量化评估工作,按照本文提出的基于 G1 法和熵权法的 HSE 量化评估指标和权重模型进行评估。考虑到提出的 HSE 量化评估指标较多,在这里以 27 个一级指标,即领导和承诺、HSE 方针、危害辨识、合规性管理、目标指标和方案机构、职责和安全环保投入、管理评审等为例,给出其权重计算过程,二级指标计算过程类似。

将 27 个一级指标分别用 B 1、B 2、B 3……B 27 来表示,每个指标的主观权重和客观权重分别用 w_i^g 和 w_i^s 来表示,其中 $i \in \{B 1, B 2, B 3, \dots, B 27\}$ 。

4.1 利用 G1 法计算各项指标主权重

根据 G1 法的基本步骤,专家组经过研究讨论后对

27个一级指标项进行重要程度排序,并且参考表3给出各指标项与相邻后一指标项的重要程度比值,最终得到专家组给定的排序结果: $B_2 > B_4 > B_1 > B_3 > B_6 > B_5 > \dots > B_{27}$ ($>$ 表示前者比后者重要)。为了方便计算,按照排序关系将 $B_2, B_4, B_1, B_3, \dots, B_{27}$ 分别记为 x_1, \dots, x_{27} ,同时给出各指标与相邻后一指标的重要程度比值,分别记为 r_1, \dots, r_{27} ,根据式(1)~(5)可计算得一级指标项主观权重,见表4。

表4 一级指标项主观权重

指标项	B1	B2	B3	B4	B5	B6	……	B27
权重 W_j^s	0.062	0.185	0.025	0.059	0.031	0.019	……	0.031

4.2 利用熵权法计算各项指标客观权重

先将各一、二级指标的满分都记为100分,采用专家打分的方法对各指标进行评估打分,27个一级指标项得分见表5。

表5 一级指标项得分

指标项	B1	B2	B3	B4	B5	B6	……	B27
得分/分	89.56	85.62	81.25	84.38	87.22	76.40	……	83.37

按照熵权法的基本步骤,根据式(2)~(3)可计算得各项指标客观权重,见表6。

表6 一级指标项客观权重

指标项	B1	B2	B3	B4	B5	B6	……	B27
权重 w_k^s	0.037	0.021	0.105	0.262	0.049	0.016	……	0.052

4.3 确定各指标组合权重

当主观系数 $a = 0.5$ 时,可以根据评估指标的组合权重获得 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_{27}$ 的真实组合权重,见表7。其二级指标权重计算方法类似。

表7 各指标组合权重

指标项	B1	B2	B3	B4	B5	B6	……	B27
权重 W_k	0.045	0.103	0.065	0.161	0.040	0.017	……	0.041

4.4 最终得分

为了便于划分HSE量化评估等级,按照表8的划分标准对HSE量化审核结果进行评价。

表8 HSE量化评估得分评价等级

得分/分	100~90	90~80	80~70	70~60	60~0
评价	优秀	良好	中等	及格	不及格

由公式 $s = \sum_{i=1}^{27} p_i w_j$ 计算得到该企业最终得分为85.16分,评估等级为良好,只需少许改进即可。

5 结论

石油企业HSE量化审核评估工作开展时间短,目前尚处于摸索阶段。为提高石油企业HSE量化审核评估工作的准确性和实用性,本文建立了石油企业HSE量化评估指标体系,并对指标体系的权重赋分方法进行了研究。

本文通过借鉴HSE量化审核相关领域的研究成果,结合石油企业HSE量化审核工作实际,建立了石油企业HSE量化评估指标体系,包含27个一级指标,70个二级指标。

基于多种常见权重赋分法对比分析的结果,本文采用主观赋权法的G1法和客观赋权法的熵权法相结合的方式来确定各指标项的权重,计算量较传统的层次分析法大幅度减少,方法可操作性强,便于使用,且该方法评价结果客观合理、准确可靠。

本文以某石油企业为例,进行了案例分析,进一步检验和验证了结合G1法和熵权法建立的权重赋分方法的实用性和准确性,对提高石油企业HSE量化评估方法的针对性、有效性和全面性具有一定的指导和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王学军,郭亚军.基于G1法的判断矩阵的一致性分析[J].中国管理科学,2006,14(3):65-70.
Wang Xuejun, Guo Yajun. Analyzing the Consistency of Comparison Matrix Based on G1 Method [J]. Chinese Journal of Management Science, 2006, 14 (3): 65 - 70.
- [2] 邓云峰,郑双忠,刘功智,等.城市应急能力评估体系框架研究[J].中国安全生产科学技术,2005,1(6):33-36.
Deng Yunfeng, Zheng Shuangzhong, Liu Gongzhi, et al. Study on City Emergency Capability Assessment System [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2005, 1 (6): 33 - 36.
- [3] 黄维成.优序图法在评比中的应用[J].技术经济,1997,3(3):63-64.
Huang Weicheng. Application of the Pseudo-graph Method in Appraisal [J]. Technology Economics, 1997, 3 (3): 63 - 64.
- [4] 李仲来.确定因素权重的专家调查法[J].学科教育,1991,6(2):35-38.
Li Zhonglai. The Expert Survey Method Used to Determine the Factor Weight [J]. Subject Education, 1991, 6 (2): 35 - 38.
- [5] 张鹏.基于主成分分析的综合评价研究[D].南京:南京理工大学,2004.
Zhang Peng. Comprehensive Evaluation Based on Principal

- Component Analysis [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004.
- [6] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- Guo Yajun. Comprehensive Evaluation Theory and Method [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [7] 刘豹, 许树柏, 赵焕臣, 等. 层次分析法——规划决策的工具[J]. 系统工程, 1984, 2(2): 23-30.
- Liu Bao, Xu Shubai, Zhao Huanchen, et al. Analytic Hierarchy Process: Planning Decisions Tools [J]. Systems Engineering, 1984, 2(2): 23-30.
- [8] 窦站, 张勇, 张明广, 等. 基于AHP-模糊方法的某化工园区应急能力评估[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(2): 29-34.
- Dou Zhan, Zhang Yong, Zhang Mingguang, et al. Emergency Response Capacity Assessment of a Chemical Industrial Park Based on AHP-fuzzy Method [J]. Journal of Safety and Environment, 2015, 15(2): 29-34.
- [9] 黄典剑, 宁绪成. 石油化工企业应急预案评价方法研究[J]. 石油化工安全技术, 2006, 22(5): 17-20.
- Huang Dianjian, Ning Xucheng. Study on the Evaluation Method of Emergency Counterplan in Petrochemical Enterprise [J]. Petrochemical Safety Technology, 2006, 22(5): 17-20.
- [10] 李龙清, 宫雯, 许永刚. 基于G1法的煤矿企业信息化水平指标权重的确定[J]. 西安科技大学学报, 2012, 32(4): 518-521.
- Li Longqing, Gong Wen, Xu Yonggang. Weight Determination of Indexes for Information Level of Coal Mine Enterprise Based on G1 [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2012, 32(4): 518-521.
- [11] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- Liu Sifeng, Dang Yaoguo, Fang Zhigeng. Gray System Theory and Its Application [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [12] 张新梅, 陈晨. 石油化工库区应急体系完备性评估方法[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 100-103.
- Zhang Xinmei, Chen Chen. Maturity Assessment Method of Emergency System in a Petrochemical Reservoir [J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(3): 100-103.
- [13] 袁斐, 巫殷文, 刘建, 等. 基于改进层次分析法的化工园区应急能力评估研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(1): 160-164.
- Yuan Fei, Wu Yinwen, Liu Jian, et al. Research on Emergency Capability Assessment of Chemical Industrial Park Based on Improved AHP [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(1): 160-164.
- [14] 韩利, 梅强, 陆玉梅, 等. AHP-模糊综合评价方法的分析与研究[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(7): 86-89.
- Han Li, Mei Qiang, Lu Yumei, et al. Analysis and Study on AHP-Fuzzy Comprehensive Evaluation [J]. China Safety Science Journal, 2004, 14(7): 86-89.
- [15] 王德迅. 国外公共危机管理机制纵横谈[J]. 求是, 2005, 4(20): 59-61.
- Wang Dexun. Discussion on Foreign Public Crisis Management Mechanisms [J]. Qiushi, 2005, 4(20): 59-61.
- [16] 朱正威, 张莹. 发达国家公共安全管理机制比较及对我国的启示[J]. 西安交通大学学报: 社会科学版, 2006, 26(2): 46-49.
- Zhu Zhengwei, Zhang Ying. Comparison of Public Security Management Mechanisms among Main Developed Countries and Its Enlightenment to Our Country [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University: Social Science, 2006, 26(2): 46-49.
- [17] Liu Yi, Zhou Huan, Liu Lu. Firefighting Emergency Capability Evaluation on Crude Oil Tank Farm [J]. Procardia Engineering, 2018, 211: 506-513.
- [18] He Y, Jiao Z, Yang J. Comprehensive Evaluation of Global Clean Energy Development Index Based on the Improved Entropy Method [J]. Ecological Indicators, 2018, 88: 305-321.
- [19] Shi Lei, Shuai Jian, Xu Kui. Fuzzy Fault Tree Assessment Based on Improved AHP for Fire and Explosion Accidents for Steel Oil Storage Tanks [J]. Journal of Hazardous Materials, 2017, 278: 529-538.
- [20] Saaty T L. Making and Validating Complex Decisions with the AHP/ANP [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2005, 14(1): 1-36.
- [21] Negoită C V, Ralescu D A. Applications of Fuzzy Sets to Systems Analysis [J]. Applied Economics Letters, 1975, 66(2): 497-501.
- [22] Nakanishi Y, Kim K, Ulusory Y Y, et al. Assessing Emergency Preparedness of Transit Agencies: Focus on Performance Indicators [J]. Transportation Research Record, 2003, 1822(1): 24-32.