

公路工程项目施工安全成本投入计量研究

刘伟军, 汤沙沙

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 在分析公路工程项目安全成本投入现状的基础上, 根据相关法律法规对安全成本投入的规定范围建立安全成本评价指标, 运用熵权法和关联分析理论对安全成本与安全事故的关联度进行分析, 动态优化调整安全成本投入, 进而计量出各项安全成本的计划投入额, 确定各项安全成本的合理投入结构, 为公路工程项目编制安全成本计划提供决策依据。

关键词: 工程管理; 公路; 施工安全成本; 动态优化

中图分类号: U415.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0168-04

目前, 中国公路工程项目建设中安全成本没有实施合理的投入, 安全成本管理也有待提高。虽然相关法律法规明确规定了安全成本的投入, 但在监督执行力度上明显不足, 项目施工过程中变向精简安全成本; 公路项目安全成本计量指标还不够完善, 对安全成本的投入情况没有形成有效的评估指标体系, 无法确定安全成本的比例范围; 没有设定专门的安全成本使用计划, 安全成本在施工前期投入明显不足, 多用于后期的事故损失补偿。针对这种情况, 该文建立公路工程项目施工安全成本计量指标, 运用熵权法和关联分析理论对公路工程项目施工安全成本投入计量进行研究。

1 公路工程项目施工安全成本的计量指标

1.1 相关规定

公路工程项目的施工安全成本为其工程造价的 1.5%, 这是中国对公路工程安全成本的计提规定, 该规定只对安全费用总数进行了限定, 而没有对该费用的使用作出规定。《企业安全生产费用提取和使用管理办法》对建设项目施工安全费用提取和使用的规定如下: 1) 完善、改造和维护安全防护设施支出; 2) 配备、维护、保养应急救援器材、设备支出和应急演练支出; 3) 开展重大危险源和事故隐患排查、监控和整改支出; 4) 安全生产检查、评价、咨询和标准化建设支出; 5) 配备和更新现场作业人员安全防护用品支出; 6) 安全生产宣传、教育、培训支出; 7) 安全生产适用的新技术、新标准、新工艺、新装备的推广应用支出; 8) 安全设施及特种设备检测检验支出; 9) 其他与安全生产直接相关的支出。

安全成本属于专项资金, 法律法规明确规定了

安全成本的使用范围, 施工项目必须按照规定正确投入安全成本并有计划地使用安全成本, 满足施工企业投入的需要, 保证施工过程的安全水平目标。

1.2 计量指标

目前, 在公路建设项目实施阶段对安全成本投入子目没有定性和定量的具体规定, 如公路项目应如何评价安全成本的投入状况、通过哪些指标来计量、每个指标对安全状况的重要度为多少、安全成本投入子项的比例为多少。下面通过构建安全成本计量指标, 研究各安全成本投入的比重。

根据法律法规对公路项目安全施工费用的规定识别相关安全作业活动, 参考相关学者对安全投入的指标分类, 构建表 1 所示公路工程项目施工安全成本评价指标。

表 1 公路工程项目施工安全成本计量指标

| 计量指标 | 指标内涵 |
|-------------|------------------------|
| 安全设备费 x_1 | 公路施工安全设备检测、购置、运行的费用 |
| 安全设施费 x_2 | 公路施工安全设施维护、检测、购置的费用 |
| 安全应急费 x_3 | 公路施工现场突发事件应急处理、有效控制的费用 |
| 安全技术费 x_4 | 公路施工技术、工艺不断更新、改造的费用 |
| 安全教育费 x_5 | 公路施工人员安全教育、安全技能培训的费用 |
| 劳动保护费 x_6 | 公路施工作业人员防护用品的费用 |
| 文明施工费 x_7 | 公路现场作业环境整洁有序的费用 |
| 安全管理费 x_8 | 安全管理的日常运营费用 |

2 公路工程施工安全成本投入计量

2.1 安全成本的关联度

通过分析公路施工项目的安全施工形式和安全

现状,根据安全施工目标,编制安全成本实施计划。在分析安全现状时,通过调查与施工单位历史上项目相关的安全成本投入数据与损失数据分析其关联度,计量得出安全成本投入计划额。

利用关联分析理论对各项安全成本的构成进行分析,得出各评价指标的关联系数。由于各安全成本指标对安全水平的影响程度不同,利用熵权法确定其权重,得出各项安全成本的关联度。

2.1.1 公路施工安全成本的指标权重

构建安全成本基础数据列 x_i :

$$x_i = \{x_i(k) | k=1,2,\dots,n\} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (1)$$

对 x_i 进行 0~1 标准化处理,得到安全成本标准数据列 $x_i(k)^*$:

$$x_i(k)^* = \left[\frac{x_i(k) - x(k)^{\min}}{x(k)^{\max} - x(k)^{\min}} \right] \quad (2)$$

式中: $x(k)^{\min}$ 、 $x(k)^{\max}$ 分别为第 k 年安全成本最小值、最大值。

归一化处理标准数据列 $x_i(k)^*$,得到安全成本的归一化数据列 $x_i(k)^{**}$:

$$x_i(k)^{**} = \left[\frac{x_i(k)^*}{\sum_{k=1}^n x_i(k)^*} \right] \quad (3)$$

由式(3)得到第 k 年各项安全成本的熵 $\theta(k)$:

$$\theta(k) = \frac{1}{\ln n} \sum_{k=1}^n x_i(k)^{**} \ln x_i(k)^{**} \quad (4)$$

通过式(4)得到第 k 年各项安全成本的权重 $w(k)$:

$$w(k) = \left\{ \frac{1 - \theta(k)}{\sum_{k=1}^n [1 - \theta(k)]} \right\}^T \quad (5)$$

2.1.2 公路施工安全成本的关联系数

构建与安全成本相关的参考数列事故损失 x_0 :

$$x_0 = \{x_0(k) | k=1,2,\dots,n\} \quad (6)$$

标准化处理 x_0 ,得到事故损失的标准数据列 $x_0(k)^*$:

$$x_0(k)^* = \left[\frac{x_0(k) - x_0(k)^{\min}}{x_0(k)^{\max} - x_0(k)^{\min}} \right] \quad (7)$$

式中: $x_0(k)^{\max}$ 、 $x_0(k)^{\min}$ 分别为第 k 年事故损失额的最大值、最小值。

由式(2)、式(7)得到各项安全成本的关联系数 $x_i(k)$:

$$x_i(k) = \left[\frac{\Delta x_i^{\min} + \rho \Delta x_i^{\max}}{|x_0(k)^* - x_i(k)^*| + \rho \Delta x_i^{\max}} \right] \quad (8)$$

$$\Delta x_i^{\max} = \max_j |x_0(k)^* - x_i(k)^*|$$

$$\Delta x_i^{\min} = \min_j |x_0(k)^* - x_i(k)^*|$$

式中: Δx_i^{\max} 、 Δx_i^{\min} 分别为各年第 i 项安全成本的最大极差、最小极差; ρ 为安全成本的分辨系数, $\rho \in [0,1]$,一般取 $\rho=0.5$ 。

2.1.3 安全成本投入的关联度

关联系数只能反映各项安全成本与安全事故损失的关联程度,不能反映各项安全成本之间的关联程度。为此,综合考虑各项安全成本的权重和关联系数来度量各项安全成本之间的关联度,公式如下:

$$S = [s_i]^T = X \times W \quad (9)$$

2.2 安全成本的计划投入额

对各项安全成本的关联度进行排序,据此对安全成本进行动态调整,确定安全成本的合理投入。

2.2.1 安全成本投入配比动态优化

引用文献[11]提出的 0.67 作为区分安全成本投入过剩和不足的分界限,对过剩安全成本投入动态减少,对不足安全成本投入动态增加,得到动态优化比 φ_i :

$$\varphi_i = \left[\frac{x_i^*(n)}{\sum_{i=1}^8 x_i^*(n) + x_0^*(n)} - \frac{x_i^*(\hat{n})}{\sum_{i=1}^8 x_i^*(\hat{n}) + x_0^*(\hat{n})} \right] \times 100\% \quad (10)$$

式中: n 、 \hat{n} 分别为最末年度和事故损失最小年度; $x_i^*(n)$ 、 $x_i^*(\hat{n})$ 分别第 n 、 \hat{n} 年第 i 项安全成本的标准投入额; $x_0^*(n)$ 、 $x_0^*(\hat{n})$ 分别第 n 、 \hat{n} 年事故损失标准额。

2.2.2 安全成本的优化投入额

根据动态优化比 φ_i 和第 n 年各项安全成本额,按式(11)计算得到第 $n+1$ 年安全成本的优化投入额 $x_i(n+1)^*$:

$$x_i(n+1)^* = x(n) \times \varphi_i \quad (11)$$

2.2.3 安全成本的计划投入额

根据优化投入额计算各项安全成本的修正值 $\gamma_i(n+1)$,得到第 $n+1$ 年各项安全成本的计划投入额 $\hat{x}_i(n+1)$:

$$\gamma_i(n+1) = \left[x(n+1) - \sum_{i=1}^m x_i(n) \times \varphi_i \right] \times \frac{x_i(n)}{\sum_{i=1}^m x_i(n)} \quad (12)$$

$$\hat{x}_i(n+1) = x_i(n+1)^* + \gamma_i(n+1) \quad (13)$$

3 算例分析

某公路工程项目安全生产费用为投标价的1.5%，其2017年安全成本投入总额为360万元。

依据安全成本的构成，通过调查该公路项目施工单位的财务账目明细及2009—2016年与该项目性质相似的工程，汇总各项安全成本额和事故损失额，得出2017年各项安全成本的计划投入额，为安全成本的合理配置提供依据(见表2)。

表2 2009—2016年某公路工程项目安全成本的基础数据

万元

| 年份 | 实际事故损失 x_0 | 安全成本计量指标 | | | | | | | |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 安全设备 费 x_1 | 安全设施 费 x_2 | 安全应急 费 x_3 | 安全技术 费 x_4 | 安全教育 费 x_5 | 劳动保护 费 x_6 | 文明施工 费 x_7 | 安全管理 费 x_8 |
| 2009 | 155.96 | 58.40 | 42.69 | 22.21 | 68.32 | 25.51 | 34.53 | 28.21 | 42.68 |
| 2010 | 120.05 | 53.38 | 45.19 | 45.64 | 49.31 | 45.11 | 35.63 | 21.86 | 38.32 |
| 2011 | 146.98 | 61.55 | 65.74 | 14.55 | 68.78 | 11.21 | 58.05 | 25.45 | 47.56 |
| 2012 | 139.46 | 62.46 | 43.54 | 37.20 | 59.63 | 30.74 | 41.48 | 26.32 | 48.55 |
| 2013 | 180.40 | 62.73 | 46.39 | 23.11 | 56.55 | 31.76 | 37.36 | 33.63 | 48.21 |
| 2014 | 148.85 | 52.32 | 53.37 | 27.67 | 67.33 | 20.15 | 44.31 | 25.76 | 43.63 |
| 2015 | 157.65 | 38.68 | 57.85 | 24.71 | 64.34 | 13.68 | 45.18 | 34.27 | 49.46 |
| 2016 | 148.82 | 47.78 | 52.49 | 29.89 | 55.57 | 26.38 | 43.99 | 29.31 | 59.43 |

3.1 计算公路项目施工安全成本的关联度

由式(2)得到安全投入标准数据列 x_i^* ：

$$x_i^* =$$

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.82 | 0.61 | 0.95 | 0.99 | 1.00 | 0.57 | 0.00 | 0.38 |
| 0.00 | 0.11 | 1.00 | 0.04 | 0.16 | 0.46 | 0.66 | 0.43 |
| 0.25 | 1.00 | 0.00 | 0.73 | 0.28 | 0.42 | 0.33 | 0.49 |
| 0.98 | 0.00 | 1.00 | 0.53 | 0.37 | 0.93 | 0.77 | 0.32 |
| 0.42 | 1.00 | 0.00 | 0.58 | 0.61 | 0.26 | 0.07 | 0.45 |
| 0.00 | 0.05 | 1.00 | 0.30 | 0.12 | 0.42 | 0.45 | 0.40 |
| 0.51 | 0.00 | 0.29 | 0.36 | 0.95 | 0.31 | 1.00 | 0.60 |
| 0.21 | 0.00 | 0.44 | 0.48 | 0.47 | 0.25 | 0.53 | 1.00 |

由式(3)得到安全成本的归一化数据列 x_i^{**} ：

$$x_i^{**} =$$

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.15 | 0.11 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.11 | 0.00 | 0.07 |
| 0.00 | 0.04 | 0.35 | 0.01 | 0.06 | 0.16 | 0.23 | 0.15 |
| 0.07 | 0.29 | 0.00 | 0.21 | 0.08 | 0.12 | 0.09 | 0.14 |
| 0.20 | 0.00 | 0.20 | 0.11 | 0.08 | 0.19 | 0.16 | 0.07 |
| 0.12 | 0.30 | 0.00 | 0.17 | 0.18 | 0.08 | 0.02 | 0.13 |
| 0.00 | 0.02 | 0.37 | 0.11 | 0.04 | 0.15 | 0.17 | 0.15 |
| 0.13 | 0.00 | 0.07 | 0.09 | 0.24 | 0.08 | 0.25 | 0.15 |
| 0.06 | 0.00 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.07 | 0.16 | 0.30 |

由式(4)得到各项安全成本的熵 $\theta(k)$ ：

$$\theta(k) = [-0.72, -0.56, -0.88, -0.95, -0.93, -0.95, -0.90, -1.02]$$

由式(5)得到各项安全成本的权重 W ：

$$W = [0.12, 0.10, 0.13, 0.13, 0.13, 0.13, 0.13, 0.14]^T$$

由式(7)得到事故损失标准数据列 x_0^* ：

$$x_0^* = [0.60, 0.00, 0.45, 0.32, 1.00, 0.48, 0.62, 0.48]$$

由式(8)得到各项安全成本的关联系数 X ：

$$X =$$

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.69 | 0.45 | 0.50 | 0.43 | 1.00 | 0.85 | 0.45 | 0.84 |
| 0.46 | 0.82 | 0.47 | 0.64 | 0.37 | 0.97 | 0.94 | 0.91 |
| 0.59 | 0.33 | 0.53 | 0.55 | 0.41 | 0.90 | 0.63 | 0.97 |
| 0.57 | 1.00 | 0.47 | 0.71 | 0.44 | 0.53 | 0.77 | 0.76 |
| 0.74 | 0.33 | 0.53 | 0.66 | 0.56 | 0.70 | 0.48 | 0.94 |
| 0.46 | 0.91 | 0.47 | 0.95 | 0.36 | 0.89 | 0.75 | 0.87 |
| 0.86 | 1.00 | 0.76 | 0.93 | 0.91 | 0.75 | 0.57 | 0.80 |
| 0.56 | 1.00 | 0.98 | 0.75 | 0.48 | 0.69 | 0.84 | 0.49 |

由式(9)得到各项安全成本的关联度 S ：

$$S = [0.66, 0.70, 0.62, 0.65, 0.63, 0.71, 0.82, 0.72]^T$$

3.2 计算公路项目2017年安全成本的计划投入额

以0.67作为安全成本过剩和不足的分界线，由式(10)计算得到各项安全成本的动态优化比 φ_i (见表3)。

表3 公路项目施工安全成本投入动态优化比

| 安全成本投入评价指标 | 动态优化比/% |
|-------------|---------|
| 安全设备费 x_1 | +5.43 |
| 安全设施费 x_2 | -7.16 |
| 安全应急费 x_3 | +25.29 |
| 安全技术费 x_4 | +7.07 |
| 安全教育费 x_5 | +13.21 |
| 劳动保护费 x_6 | -13.77 |
| 文明施工费 x_7 | -26.30 |
| 安全管理费 x_8 | -22.00 |

由式(11)~(13)计算出 2017 年各项安全成本投入的优化投入额和计划投入额(见表 4)。

表 4 公路项目安全成本优化投入额和计划投入额 万元

| 安全成本投入评价指标 | 优化投入额 | 修正值 | 计划投入额 |
|-------------|-------|------|-------|
| 安全设备费 x_1 | 50.37 | 3.91 | 54.28 |
| 安全设施费 x_2 | 48.73 | 4.29 | 53.02 |
| 安全应急费 x_3 | 37.45 | 2.44 | 39.89 |
| 安全技术费 x_4 | 59.50 | 4.54 | 64.04 |
| 安全教育费 x_5 | 29.86 | 2.16 | 32.02 |
| 劳动保护费 x_6 | 37.93 | 3.60 | 41.53 |
| 文明施工费 x_7 | 21.60 | 2.40 | 24.00 |
| 安全管理费 x_8 | 46.36 | 4.86 | 51.21 |

该公路工程项目 2017 年各项安全成本投入的计划额为:安全设备费 54.28 万元、安全设施费 53.02 万元、安全应急费 39.89 万元、安全技术费 64.04 万元、安全教育费 32.02 万元、劳动保护费 41.53 万元、文明施工费 24.00 万元、安全管理费 51.21 万元。

4 结语

该文根据法律法规对公路项目施工安全成本的相关规定探究安全成本的构成,对安全成本投入配比进行优化调整;通过计算确定各项安全成本投入的计划额,按照规定正确地投入和有计划地使用安全成本,满足施工安全成本投入的需要,保证公路项目施工安全水平目标,为公路工程项目的安全控制提供决策依据。

参考文献:

[1] Matthew Hallowell. Cost-effectiveness of construction safety programme elements[J]. Construction Management and Economics, 2010, 28(1).

[2] Chan K H. Improving building safety in property maintenance[J]. Property Management, 2012, 30(5).

[3] Reiman T, Pietikainen E. Leading indicators of system safety: monitoring and driving the organizational safety potential[J]. Safety Science, 2012, 50(10).

[4] 冯斌, 张守健. 建筑工程安全事故机会损失的确定及计算[J]. 工程管理学报, 2011, 25(1).

[5] 姜慧, 王建平, 梁化强. 建筑企业保证性安全成本的构成与灰色关联度[J]. 扬州大学学报: 自然科学版, 2014, 17(1).

[6] 王文伟, 章恒全. 水利水电工程项目安全投入非线性优化分配研究[J]. 项目管理技术, 2013, 11(5).

[7] 于川. 施工项目安全成本的研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.

[8] 姜慧, 王建平, 董孟娟, 等. 基于聚类熵权的建筑安全投入评价指标[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2013, 29(6).

[9] 陈玉梅. 建筑企业安全成本评价体系及控制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.

[10] 李墨. 基于博弈论的非煤地下矿山安全投入构成分析与优化[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.

[11] 叶贵, 任宏, 汪红霞. 基于模糊因子分析法的建筑企业安全成本因素分析[J]. 土木工程学报, 2011, 44(4).

收稿日期: 2018-03-19

(上接第 149 页)

[7] Chakeri Hamid, Hasanpour Rohola, Bahtiyar Ünever, et al. Analysis of interaction between tunnels in soft ground by 3D numerical modeling[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2011, 70.

[8] 赵旭峰, 王春苗, 孙景林, 等. 盾构近接隧道施工力学行为分析[J]. 岩土力学, 2007, 28(2).

[9] 凌昊, 仇文革, 孙兵, 等. 双孔盾构隧道近接施工离心模型试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(9).

[10] 马程昊, 白晨光. 盾构近接隧道施工对既有隧道管片受力影响分析[J]. 建筑科技, 2012, 28(增刊 1).

[11] 李雪峰, 杜守继, 张顶锋. 新建盾构隧道施工对近接平行隧道的影响分析[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(5).

[12] 路平, 蒋辉, 郑刚. 盾构隧道的近接施工对已建隧道产

生的影响[J]. 北京工业大学学报, 2014, 40(8).

[13] 卢岱岳, 王士民, 何川, 等. 新建盾构隧道近接施工对既有隧道纵向变形影响研究[J]. 铁道学报, 2016, 38(10).

[14] 李军, 吕婧, 刘瑞. 新建隧道施工对近距离既有隧道的影响及安全风险评估[J]. 公路与汽运, 2017(5).

[15] 杨立华, 潘智锋, 王晨涛. 软弱围岩条件下新建隧道下穿浅埋隧道安全及稳定性研究[J]. 公路, 2015(7).

[16] 凌同华, 谢伟华, 周凯, 等. 施工顺序对浅埋偏压小净距隧道围岩稳定性影响的分析[J]. 公路与汽运, 2016(8).

[17] 王路, 张庆彬. 邻近双洞隧道衬砌结构的爆破动力响应规律分析[J]. 公路与汽运, 2018(1).

收稿日期: 2017-12-26