

基于灰色理论的山区高速公路造价估算

陈伟娣, 肖秋明

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为提高山区高速公路造价估算的准确性, 根据山区高速公路的特点, 选取影响其造价的主要特征指标, 采用灰色关联理论从系统发展趋势上横向分析、欧几里德公式从距离上纵向分析相结合的方式构建拟建工程项目造价估算数学模型, 同时以 10 条已建山区高速公路项目资料为实例验证模型的可靠性, 结果表明该模型能准确计算拟建山区高速公路的造价。

关键词: 工程管理; 工程造价; 山区高速公路; 灰色理论

中图分类号: U415.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)04-0172-05

随着高速公路建设事业的迅猛发展, 公路总里程不断突破, 高速公路投资失控的现象逐年上升, 项目中“三超”现象屡见不鲜。山区高速公路施工环境复杂, 高填深挖现象普遍, 桥隧比例高, 施工风险大, 产生的费用高, 影响项目造价的敏感因素多, 其工程造价预测呈现复杂的非线性特征, 如何控制山区高速公路工程造价是当前亟待解决的关键问题。项目投资决策阶段的造价控制是项目造价控制的源头, 对项目建设全过程起着决定性的作用。因此, 对工程项目造价进行准确估算是造价控制的关键之一。目前传统的计算方法有以经验数据为基础的参数指数法、基于前期设计草图及定额的方法等, 这些方法受外界影响较大, 难以满足对造价预测精度的要求。近年来专家学者基于数学理论和计算机强大的计算功能提出了定额计算、数理统计、经验公式、模糊数学、灰色理论、自适应过滤技术、专家系统及人工神经网络技术等新的造价估算方法。其中灰色理论可将杂乱无章的原始数据通过累加生成使之变成较有规律的时间序列数据, 定量客观地计算项目造价。鉴于山区高速公路造价的不确定性较多, 原始资料较少, 采用灰色理论进行估算。

1 基于灰色理论的模型建立

1.1 指标体系

公路工程是一种线性带状结构物, 其主要特征是点多、线长、面广, 其结构组成包括路基工程、路面工程、隧道工程、涵洞工程、桥梁工程、交叉工程、交通工程及沿线设施。公路工程的造价包括建筑安装工程费, 设备及工具、器具及家具购置费, 工程建设其他费及预留费等, 其中建筑安装工程费不仅包括

直接耗费在工程中的费用, 还包括间接费、计划利润和税金, 工程建设其他费由土地征用及拆迁补偿费等 11 项费用组成, 公路工程造价计算内容较多, 造价编制中工程的任何一个特征都会影响总工程造价。但如果考虑所有的特征属性, 尽管对项目造价估算有一定帮助, 但会增大工作量和计算的复杂性, 甚至对最终造价估算结果的准确性起反作用, 需尽量挑选独立的项目特征指标。

在各因素中, 路基宽度、土石方量、路基排水工程量、路基防护工程量、特殊路基、路面结构厚度、桥梁隧道长度、交叉个数等对工程造价影响较大, 作用明显。又由于高速公路工程路线总长度不同, 工程所包含的工程内容、工程量等有所差异, 对应的建设费用相差较大, 为便于直接比较分析, 选取指标时统一设置成每公里的工程量所对应的值或费用。另外, 由于项目造价的计算是以当时的工、料、机价格为基础, 建设时间的不同将直接影响造价, 计算时统一折现到项目竣工时间。综合考虑, 选取路基宽度、单位公里路基土石方量、单位公里路基排水工程量、单位公里路基防护工程量、单位公里特殊路基长度、路面结构厚度、单位公里隧道长度、单位公里桥梁长度、单位公里交叉个数 9 个工程特征指标。

1.2 模型建立

灰色理论于 1982 年由邓聚龙教授提出, 它运用少数据、贫信息解决信息不完整、数据离散的不确定性问题, 以灰色关联度反映各因素的关联程度, 关联度越大则两者越相近。但传统的灰色关联理论只考虑了项目因素发展趋势的一致性即横向因素, 缺少纵向分析。为此, 利用欧氏距离公式进行优化, 建立新型灰色关联理论数学模型, 以更科学合理地估算

工程项目造价。欧氏距离公式主要是计算空间中两点间的真实距离,其值越大则两点间的距离越远。

(1) 设山区高速公路工程参考实例共计 n 个(这里共搜集整理 10 条山区高速公路项目的资料),选定目标项目的特征指标作为参考数据、其他项目作为比较项目,参考数据列记为式(1),比较数据列记为式(2)。

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(9)\} \quad (1)$$

式中:1~9 依次对应路基宽度、单位公里路基土石方量、单位公里路基排水工程量、单位公里路基防护工程量、单位公里特殊路基长度、路面结构厚度、单位公里隧道长度、单位公里桥梁长度、单位公里交叉个数 9 个工程特征指标。

$$X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(9)\} \quad (2)$$

式中: $i=1\sim 9$,为项目序号。

(2) 将各相关数据带入式(3)计算目标项目与比较项目的关联系数。

$$\eta(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \lambda \Delta_{\max}}{\Delta + \lambda \Delta_{\max}} \quad (3)$$

式中: $\eta(X_0(k), X_i(k))$ 为同一特征指标中目标项目与比较项目的关联系数; Δ 为目标项目与比较项目的绝对差值, $\Delta = |x(k) - x_i(k)|$; Δ_{\min} 和 Δ_{\max} 分别为同一特征指标中目标项目与比较项目绝对差序列的最小值和最大值, $\Delta_{\min} = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$, $\Delta_{\max} = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$; λ 为分辨率, $0 < \lambda < 1$,一般取 $\lambda = 0.5$ 。

(3) 为从总体上把握目标项目与比较项目的关联程度,将式(3)求出的关联系数带入式(4)计算目标项目与比较项目的关联度 γ_i 。关联度表示系统发展过程中各因素之间的相对变化情况和变化趋势的相近性,即目标项目与比较项目的相似程度,如果两者在系统发展过程中的变化趋势基本一致,则两者的关联度大,反之则关联度小。

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta(X_0(k), X_i(k)) \quad (4)$$

(4) 将各关联度依次带入式(5),计算各特征序列的权重。

$$\omega_i = \frac{\gamma_i}{\sum_{i=1}^9 \gamma_i} \quad (5)$$

式中: ω_i 为第 i 个指标的权重, $\sum_{i=1}^9 \omega_i = 1$ 。

(5) 将待估算项目值和修正的参考数值代入式(6)计算欧式距离。欧式距离越大,则与待估算项目之间的距离越远。

$$d_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n \omega_i [x_i - x_j]^2} \quad (6)$$

式中: d_i 为相同特征指标的项目 i 和项目 j 的欧式距离。

(6) 将欧式距离代入式(7),再按式(8)计算综合关联度,更科学合理地估算项目造价。 T_i 越大,说明比较工程与待估算工程的相似性越高,反之则相似程度越低。据此选 T_i 最大值的项目的造价作为待估算项目的造价。

$$b_i = 1 - d_i \quad (7)$$

$$T_i = \frac{1}{2} (\gamma_i + b_i) \quad (8)$$

1.3 模型检验

利用误差相对值 ϵ 对上述造价估算模型进行检验,计算公式如下:

$$\epsilon = \frac{|x_{0(\text{实})} - x_{0(\text{预})}|}{x_{0(\text{实})}} \times 100\% \quad (9)$$

$\epsilon < 10\%$, 则模型精度高; $10\% < \epsilon < 20\%$, 则模型精度一般。

2 案例分析

2.1 原始数据

共整理 10 条已建山区高速公路项目的资料(见表 1),以 SD 高速公路作为目标项目、SD 高速公路造价作为待估算造价、其他项目作为样本案例。

表 1 已建山区高速公路的原始数据

高速公路名称	建设时间	总长/km	总价/万元	路基宽度/m	路基工程量/($\times 1\,000\text{ m}^3$)			特殊路基长度/km	路面结构厚度/cm	隧道长度/m	桥梁长度/m	交叉个数/处
					土石方	排水工程	防护工程					
LC	2014—2017	32.739	386 200.000	21.5	1 749.310	129.670 0	86.450 0	1.779	74.7	7 787 13	180.0	2
DS	2014—2017	51.070	656 000.000	24.5	10 122.837	62.253 0	240.930 0	0.000	78.8	30 724 13	286.0	4
SE	2014—2017	27.244	289 219.659	24.5	4 212.756	112.894 8	75.263 0	11.500	83.0	7 500 8	148.0	1
BC	2014—2018	38.769	408 000.000	21.5	1 290.400	116.936 4	77.957 6	5.641	74.7	12 934 16	536.0	2

续表 1

高速公路名称	建设时间	总长/ km	总价/ 万元	路基宽度/m	路基工程量/($\times 1\ 000\ \text{m}^3$)			特殊路基长度/ km	路面结构厚度/ cm	隧道长度/ m	桥梁长度/ m	交叉个数/ 处
					土石方	排水工程	防护工程					
HF	2014—2016	23.976	282 900.000	21.5	543.150	48.510 6	32.340 4	1.443	74.7	12 151	7 815.5	2
HB	2014—2017	43.183	499 499.000	21.5	11 128.345	67.418 0	44.946 0	6.150	74.7	19 392 16	076.0	5
LS	2014—2016	73.776	679 893.953	24.5	12 070.886	399.598 0	266.398 0	36.400	83.0	19 850 17	096.0	8
LB	2012—2015	86.309	730 937.149	24.5	13 578.769	392.875 0	261.916 0	38.400	83.0	16 349 27	120.0	6
LC	2013—2015	24.772	216 553.860	24.5	3 594.141	118.898 0	79.265 0	11.200	83.0	5 220 6	494.0	2
SD	2014—2016	13.511	156 195.358	24.5	1 492.511	47.728 0	31.819 0	3.500	83.0	3 540 4	572.0	2

由于工程建设的时间不同,考虑到资金的时间价值,把表 1 中单位里程的造价按式(10)折算到 2018 年(所选案例中最晚竣工时间为 2018 年)。同时考虑到高速公路工程路线总长度不同,工程所包含的工程内容、工程量等有所差异,对应的建设费用相差较大,为便于直接比较分析,选取指标时统一设置成每公里的工程量所对应的值或费用。数据最终

处理结果见表 2。

$$F = P(1+i)^n \quad (10)$$

式中: F 为折算到 2018 年的单位里程造价; P 为原始单位里程造价; i 为年利率,取 2.75%; n 为计息期数,即建成年折算到 2018 年所需年数。

根据表 2 建立数据列,选取 SD 高速公路作为目标项目、其他项目作为样本项目(见表 3)。

表 2 原始数据处理结果

高速公路名称	单位造价/ (万元· km^{-1})	路基宽度/ m	单位路基工程量/[$\times 1\ 000(\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-1})$]			单位特殊路基长度/ ($\text{km} \cdot \text{km}^{-1}$)	路面结构厚度/ cm	单位隧道长度 ($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)	单位桥梁长度/ ($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)	单位交叉个数/ (处· km^{-1})
			土石方	排水工程	防护工程					
LC	12 386.145	21.5	53.432	3.961	2.641	0.054	74.700	237.851	402.578	0.061
DS	13 487.370	24.5	198.215	1.219	4.718	0.000	78.800	601.606	260.153	0.078
SE	11 146.698	24.5	154.631	4.144	2.763	0.422	83.000	275.290	299.075	0.037
BC	10 523.872	21.5	33.284	3.016	2.011	0.146	74.700	333.617	426.526	0.052
HF	13 008.727	21.5	22.654	2.023	1.349	0.060	74.700	506.798	325.972	0.083
HB	12 145.380	21.5	48.193	1.561	1.041	0.142	74.700	449.066	372.276	0.116
LS	10 160.256	24.5	163.615	5.416	3.611	0.493	83.000	269.058	231.728	0.108
LB	9 803.741	24.5	157.327	4.552	3.035	0.445	83.000	189.424	314.220	0.070
LC	10 119.819	24.5	145.089	4.800	3.200	0.452	83.000	210.722	262.151	0.081
SD	12 745.569	24.5	110.466	3.533	2.355	0.259	83.000	262.009	338.391	0.148

表 3 数据列

特征序列	G01	G02	G03	G04	G05	G06	G07	G08	G09	目标项数
X_0	12 386.145	13 487.370	11 146.698	10 523.872	13 008.727	12 145.380	10 160.256	9 803.741	10 119.819	12 745.569
X_1	21.5	24.5	24.5	21.5	21.5	21.5	24.5	24.5	24.5	24.5
X_2	53.432	198.215	154.631	33.284	22.654	48.193	163.615	157.327	145.089	110.466
X_3	3.961	1.219	4.144	3.016	2.023	1.561	5.416	4.552	4.800	3.533
X_4	2.641	4.718	2.763	2.011	1.349	1.041	3.611	3.035	3.200	2.355
X_5	0.054	0.000	0.422	0.146	0.060	0.142	0.493	0.445	0.452	0.259
X_6	74.700	78.800	83.000	74.700	74.700	74.700	83.000	83.000	83.000	83.000
X_7	237.851	601.606	275.290	333.617	506.798	449.066	269.058	189.424	210.722	262.009
X_8	402.578	260.153	299.075	426.526	325.972	372.276	231.728	314.220	262.151	338.391
X_9	0.061	0.078	0.037	0.052	0.083	0.116	0.108	0.070	0.081	0.148

2.2 数据处理

由于原始数据的单位不一,初始值不同,首先进行原始数据初值化,即将每列数据除以第一列,将变

量化为无量纲的相对数据,结果见表 4。

按式(3)计算目标项目与样本项目的灰色关联系数, λ 取 0.5,结果见表 5。

表 4 数据初始化结果

特征序列	G01	G02	G03	G04	G05	G06	G07	G08	G09	目标数
X_0	1.000	1.089	0.900	0.850	1.050	0.981	0.820	0.792	0.817	1.029
X_1	1.000	1.140	1.140	1.000	1.000	1.000	1.140	1.140	1.140	1.140
X_2	1.000	3.710	2.894	0.623	0.424	0.902	3.062	2.944	2.715	2.067
X_3	1.000	0.308	1.046	0.762	0.511	0.394	1.368	1.149	1.212	0.892
X_4	1.000	1.787	1.046	0.762	0.511	0.394	1.367	1.149	1.212	0.892
X_5	1.000	0.000	7.768	2.678	1.108	2.621	9.080	8.188	8.320	4.767
X_6	1.000	1.055	1.111	1.000	1.000	1.000	1.111	1.111	1.111	1.111
X_7	1.000	2.529	1.157	1.403	2.131	1.888	1.131	0.796	0.886	1.102
X_8	1.000	0.646	0.743	1.059	0.810	0.925	0.576	0.781	0.651	0.841
X_9	1.000	1.282	0.601	0.844	1.365	1.895	1.775	1.138	1.322	2.423

表 5 关联系数计算结果

特征序列	关联系数								
	G01	G02	G03	G04	G05	G06	G07	G08	G09
X_1	0.945	1.000	1.000	0.945	0.945	0.945	1.000	1.000	1.000
X_2	0.691	0.592	0.743	0.623	0.592	0.672	0.706	0.731	0.786
X_3	0.957	0.803	0.939	0.948	0.862	0.827	0.834	0.903	0.882
X_4	0.957	0.727	0.939	0.948	0.862	0.827	0.834	0.903	0.882
X_5	0.388	0.333	0.443	0.533	0.394	0.526	0.356	0.411	0.402
X_6	0.955	0.977	1.000	0.955	0.955	0.955	1.000	1.000	1.000
X_7	0.959	0.625	0.977	0.888	0.698	0.752	0.988	0.887	0.917
X_8	0.937	0.925	0.961	0.916	0.987	0.966	0.900	0.975	0.926
X_9	0.626	0.676	0.567	0.602	0.693	0.819	0.786	0.650	0.684

按式(4)计算关联度,得: $\gamma_1=0.824, \gamma_2=0.740, \gamma_3=0.841, \gamma_4=0.817, \gamma_5=0.777, \gamma_6=0.810, \gamma_7=0.823, \gamma_8=0.829, \gamma_9=0.831$ 。

将关联度代入式(5)计算权重,得: $\omega_1=0.113, \omega_2=0.101, \omega_3=0.115, \omega_4=0.112, \omega_5=0.107, \omega_6=0.111, \omega_7=0.113, \omega_8=0.114, \omega_9=0.114$ 。

按式(6)计算待估算项目与样本项目的欧氏距离,得: $d_1=1.404, d_2=1.743, d_3=1.228, d_4=1.031, d_5=1.407, d_6=0.906, d_7=1.522, d_8=1.277, d_9=1.288$ 。

按式(7)计算,得: $b_1=-0.404, b_2=-0.743, b_3=-0.228, b_4=-0.031, b_5=-0.407, b_6=0.094, b_7=-0.522, b_8=-0.277, b_9=-0.288$ 。

按式(8)计算综合关联度,得: $T_1=0.210, T_2=-0.002, T_3=0.307, T_4=0.402, T_5=0.185, T_6=0.452, T_7=0.150, T_8=0.276, T_9=0.272$ 。目标项

目与样本项目的综合关联度大小为 $T_6>T_4>T_3>T_8>T_9>T_1>T_5>T_7>T_2$,故目标项目即 SD 高速公路的单位里程造价值取 HB 高速公路的单位里程造价值。

根据表 2,HB 高速公路的单位里程造价为 12 145.380 万元/km,SD 高速公路的实际单位里程造价为 12 745.569 万元/km,代入式(9),得误差相对值 $\epsilon=4.7\%$,精度较高,HB 高速公路的单位里程造价值可作为 SD 高速公路的估算造价值。

3 结语

山区高速公路工程项目工程量大,工程结构复杂,影响因素众多,造价控制困难。该文根据山区高速公路的特点分析影响其造价的主要特征因素,基于灰色关联理论和欧几里德公式构建数学模型,全面考虑了项目的相似性和相近性,使造价估算结果

更科学合理。根据 10 条山区高速公路的数据资料估算其中 1 条高速公路的单位里程造价,估算结果与其实际造价接近,模型估算准确度高。但该模型对待估算项目造价的计算需建立在有样本项目数据支持的基础上,存在局限性,有待完善。

参考文献:

- [1] 袁助.基于项目总控模式的高速公路造价动态控制方法研究[D].长沙:长沙理工大学,2009.
- [2] 孙笑峰.山区高速公路典型工程项目造价特征分析[D].西安:长安大学,2009.
- [3] 李珏,肖丽红,黄祺.基于案例推理模型的公路工程造价估算研究[J].长沙理工大学学报:社会科学版,2013,28(1).
- [4] 段慧锐.基于 GN-BP 的高速公路工程造价预测模型研究[J].新技术新工艺,2017(3).
- [5] 郑晓蕾,张仕廉.基于主要特征因素与 BP-GEP 网络的公路工程造价预测模型探究[J].公路工程,2018,43(1).
- [6] 林佑性.公路工程投资决策阶段造价控制的主要问题及对策[J].科技经济市场,2008(9).
- [7] 曹洁梅.基于支持向量机的高速公路工程造价估算方法研究[D].长沙:长沙理工大学,2013.
- [8] 王运琢.基于 BP 神经网络的高速公路工程造价估算模型研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2011,24(2).
- [9] 郭颖.灰色预测在公路工程造价控制中的应用[J].东北林业大学学报,2007,35(6).
- [10] Cui J, Liu S F, Zeng B, et al. A novel Grey forecasting model and its optimization[J]. Applied Mathematical Modelling, 2013, 37(6).
- [11] Liu S F, Forrest J. The current developing status on Grey system theory [J]. Journal of Grey System, 2007, 19(2).
- [12] Wu Z, Shen R. Safety evaluation model of highway construction based on fuzzy grey theory [J]. Procedia Engineering, 2012, 45(2).
- [13] Yan H Y. The construction project bid evaluation based on gray relational model [J]. Procedia Engineering, 2011, 15.
- [14] 张王乐元,张荠丰,孙增林,等.基于灰色理论的公路工程施工造价动态控制研究[J].交通科技与经济,2017,19(1).
- [15] 陈源,崔文浩,赖应良.基于案例推理的山区高速公路工程造价估算研究[J].价值工程,2016,35(33).
- [16] 田民,刘思峰,卜志坤.灰色关联度算法模型的研究综述[J].统计与决策,2008(1).
- [17] Yu W D, Skibniewski M J. Integrating neurofuzzy system with conceptual cost estimation to discover cost-related knowledge from residential construction projects [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2010, 24(1).
- [18] 王元庆,付建广,周伟.公路工程造价指数的编制方法及其应用[J].公路,2004(9).
- [19] 张道德.公路工程造价指数分析与预测[J].中国物价,2009(6).
- [20] 李强.基于灰色关联分析的高速公路改扩建工程造价控制影响因素及对策研究[D].广州:华南理工大学,2016.
- [21] 周泰,叶怀珍.基于模糊物元欧式贴近度的区域物流能力量化模型[J].系统工程,2008,26(6).
- [22] Lewis C. Industrial and business forecasting methods [M]. Butterworth-Heinemann, 1986.

收稿日期:2018-11-17

(上接第 151 页)

- 的问题及对策[J].科学技术与工程,2007,7(17).
- [2] Delhomme F, Debicki G. Numerical modelling of anchor bolts under pullout and relaxation tests [J]. Construction & Building Materials, 2010, 24(7).
- [3] 于凤海,赵同彬,胡善超,等.大松动圈围岩锚网索联合支护参数确定方法探讨[J].岩土力学,2016,37(7).
- [4] 刘华荣.支护参数对大跨度双连拱隧道稳定性的影响分析[J].地下空间与工程学报,2014,10(4).
- [5] 郭吉平.软弱碎裂岩体中隧道锚杆支护优化分析[J].中外公路,2016,36(6).
- [6] 肖明清,陈立保,徐晨,等.高速铁路隧道支护参数的计算研究[J].隧道建设,2018,38(3).
- [7] 潘锐,王琦,王雷,等.深井巷道锚注补强力学效应及支护参数研究[J].采矿与安全工程学报,2018(2).
- [8] 朱家锐,毛明发,常伟华,等.基于正交试验对深部巷道锚喷网支护参数的设计与优化[J].煤炭技术,2017,36(12).
- [9] 谭显坤,左昌群,刘代国,等.软岩大变形隧道锚喷支护的力学效应及失效原因分析[J].科学技术与工程,2015,15(8).
- [10] 桑运龙,李军,刘学增.水平、垂直节理发育条件下的隧道稳定性分析[J].现代隧道技术,2015,52(2).
- [11] JTG D 70-2004,公路隧道设计规范[S].

收稿日期:2018-11-22