

基于显著性理论的电力建设工程投资灰色预测

赵艳丽

(华北电力大学 经济与管理学院, 北京 102206)

摘要: 针对电力建设工程项目影响因素较多, 而同类工程项目历史数据量较少的实际情况, 在显著性理论(CS)的基础上构建CS模型和GM(1, 1)灰色预测模型, 实现电力建设工程的投资预测。同时, 通过应用实例验证了模型的有效性, 并能在有效保证预测结果精度的基础上简化计算程序, 提高工作效率。

关键词: 灰色理论; 显著性理论; 电力建设工程

中图分类号: F283

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2014)01-0097-04

Study on Grey Forecast Method for Power Construction Engineering Investment Based on the Cost-Significant Theory

ZHAO Yanli

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: For power construction projects influenced by many factors, and few historical data of similar projects as the actual situation, CS model and GM(1, 1) gray prediction model are built on the basis of the Cost-Significant(CS) theory to achieve the investment forecasting for power construction projects. Meanwhile, application examples demonstrate the effectiveness of the model, and simplify the calculation of the effective procedures to ensure the accuracy of the prediction results under the foundation to improve work efficiency.

Key words: grey theory; theory; power construction engineering

根据国民经济和国家能源发展战略, 以及未来经济发展对电力需求的预测, 国家电网公司在“十二五”期间加大了对电力建设工程的投资力度, 这无疑对电力建设工程投资和工程建设管理工作提出了更高的要求。而投资预测在制定投资控制措施和调整、编制资金使用计划方面具有重要的决策支持作用, 因此, 如何有效把握工程的造价信息, 准确、高效的对工程建设进行指导变得尤为重要。合理有效地预测工程投资, 提高造价估算的准确性, 降低计算工作量, 不仅能够提升预测准确度, 保证工程顺利施工, 实施有效的动态控制, 还能有效避免因投资失控对工程产生不良影响。

目前常用的有回归分析法^[1]、时间序列分析法^[2]、人工智能学习方法(如神经网络分析法)^[3]、灰色理论预测法^[4]等, 这些方法均是通过历史数据

来预测未来数据的发展态势。回归分析法要求数据之间存在一定线性相关关系, 对历史数据要求较高, 精度往往不能得到有效保证; 时间序列法对原始时间序列的平稳向要求较高, 只适用于数据变化较为均匀的短期预测; 智能学习方法要求有大量的历史数据对预测模型进行训练, 而一般的电力建设工程往往只有少数几年的历史数据, 远不能满足训练学习要求; 灰色理论预测法通过已经获得的信息来挖掘系统内部的运动规律, 能够应用于任何非线性变化的预测, 要求历史数据少, 适用于贫信息条件下的分析和预测。目前, 灰色理论相对成熟, 已在多领域实现预测应用, 如电力负荷预测、水文时序分析预测、交通量预测等研究领域, 而对其在电力工程投资领域的应用研究, 尚未涉及^[5-7]。电力建设工程影响因素众多, 历史工程数目有限, 同期可类比工程项目有限, 因此, 本文尝试在显著性理论的基础上, 运用灰色模型(Grey Model, GM)对电力建设工程的造价投资进行预测研究, 以期达到

收稿日期: 2014-08-15

作者简介: 赵艳丽(1990), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事供应链管理、项目管理研究(e-mail) zyl880820@126.com。

简化计算程序和计算量,同时又能保证预测准确率的目的。

1 CS 模型构建

1.1 显著性理论概述

显著性成本(Cost-Significant, CS)理论,也被称为“Pareto 理论”,由意大利著名科学家 Vilfred Pareto 提出,是指在工程总投资中,约有 20% 左右的费用项占整个工程总造价的 80%,另外 80% 左右的费用项仅占工程总造价的 20%^[8]。

从工程量清单中可以看出,一个工程项目是由多个分部分项工程(Items)所组成,而这些分部分项工程在整个工程中所占有的投资比例分布明显不均匀。将分部分项工程的造价从高到低进行排序,造价排名前 20% 的分部分项工程称为显著性成本项目(Cost Significant Items, CSIs),其余 80% 分部分项工程称为非显著性成本项目(Non-CSIs)。若工程项目符合 CS 理论,则 CSIs 占分部分项工程总数量的 20%,所占的项目总造价约为 80%,而占分部分项工程总数量 80% 的 Non-CSIs,其工程总造价仅占 20% 左右^[6]。显然,Non-CSIs 对于工程总造价的影响远远小于 CSIs,但其计算量却远大于 CSIs 的计算工作量。因此,在进行工程投资预测时,只需关注项目中的 CSIs,则既能大大简化运算工作量,同时又能保证投资预测计算结果的精度。

1.2 CS 理论下投资计算方法

CSIs 是整个工程量清单中对工程总造价起决定作用的关键项,不同类型的工程项目其投资关键项不同,进行工程投资预测需借助已完同类工程数据。研究表明,同类工程项目中的 CSIs 存在大量相似之处,而且 CSIs 占项目总造价的比例,即“显著性因子”(Significant factor, SF)也相对较为稳定^[9,10]。

在进行工程投资预测时只需甄选出 CSIs,并通过计算同类已完工程的 SF,即可按照公式(1)估算出拟建工程的总投资。

$$\text{拟建工程总投资} = \frac{1}{SF} \sum_{i=1}^n C_{CSIs_i} \quad (1)$$

其中, $C_{(CSIs)_i}$ 为第 i 项 CSIs 费用, n 为同类工程项目中 CSIs 项的数量。

CSIs 项可以运用“均值理论”进行甄选,即假定工程总投资为 C ,分部分项工程总数量为 N ,则

将单个分部分项工程造价大于分部分项工程平均成本 $T(T=C/N)$ 的项称为 CSIs,将小于 T 的分部分项工程称为 Non-CSIs^[11]。

2 GM(1, 1) 灰色预测模型构建

灰色系统理论可用于解决部分已知、部分信息未知的小样本、贫信息系统问题。灰色预测模型是灰色系统理论的重要内容之一,核心是灰色累加生成。通过将原始时序数据进行累加,得到近似指数规律的累加生成序列,建立微分方程和差分方程,并求解得到累加生成序列的拟合值和预测值,最后通过累减还原得到原始时序的拟合值和预测值^[12]。

2.1 GM(1, 1) 基本模型

设原始时序数列为 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$, 其中, $x^{(0)}(k) \geq 0, k=1, 2, \dots, n$ 。

(1) 通过 1-AGO (Accumulated Generating Operation, 1 次累加运算), 即按式(2)得到一阶序列 $X^{(1)}$:

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\} \quad (2)$$

$$\text{其中, } x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k=1, 2, \dots, n。$$

(2) 分别通过公式(3)和公式(4)对 $X^{(1)}$ 做准光滑性检验,对 $X^{(1)}$ 作准指数检验。

$$\rho(k) = \frac{X^{(0)}(k)}{X^{(1)}(k-1)}, k=2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$$\sigma^{(1)}(k) = \frac{X^{(1)}(k)}{X^{(1)}(k-1)}, k=2, 3, \dots, n \quad (4)$$

当 $k > 3$ 时,若 $\rho < 0.5$ 则表示原始数据列 $X^{(0)}$ 满足准光滑性条件。而准指数检验是判断累加数列 $X^{(1)}$ 是否具有准指数规律,若当 $k > 3$ 时,所求得 $\sigma^{(1)}(k) \in [1, 1.5]$, 则满足指数规律,可采用 GM(1, 1) 对数据列 $X^{(1)}$ 进行建模预测。

(3) 对 $X^{(2)}$ 作近邻平均值生成,得到近邻均值数列 $Z^{(1)}$, 见公式(5):

$$Z^{(1)} = \{z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n)\} \quad (5)$$

$$\text{其中, } z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} [x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)], k=1, 2, \dots, n。$$

(4) 建立如式(6)GM(1, 1)白化微分模型:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (6)$$

其中, $\hat{A} = [\hat{a}, \hat{b}]$ 为参数列, a 为发展参数,反映序列的发展态势; b 为灰作用量,表示数据的变化关系。

(5)通过对 \hat{A} 进行最小二乘估计,求得参数 a 和 b, 见式(7)、式(8):

$$\hat{A} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (7)$$

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(6)确定 GM(1, 1)模型,并求解相应时间响应函数及时间响应序列, 见式(9)、式(10):

$$\hat{x}^{(1)}(t) = \left[\hat{x}^{(1)}(1) - \frac{a}{b} \right] e^{-at} + \frac{a}{b} \quad (9)$$

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[\hat{x}^{(1)}(1) - \frac{a}{b} \right] e^{-ak} + \frac{a}{b} \quad (10)$$

(7)按式(11)累减还原拟合值:

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k+1) &= \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \\ &= (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{a}{b} \right] e^{-ak} \end{aligned} \quad (11)$$

其中, $k=1, 2, \dots, n$ 。

2.2 GM(1, 1)模型检验

采取灰色 GM(1, 1)模型进行预测,需对模型精度进行检验,通常采用残差检验和后验差检验。

(1)据式(12)、式(13)计算残差 $\varepsilon^{(0)}(k)$ 和相对误差 $|\varepsilon(k)|$, 其中, $k=2, 3, \dots, n$:

$$\varepsilon^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \quad (12)$$

$$|\varepsilon(k)| = \frac{\varepsilon^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \times 100\% \quad (13)$$

(2)按式(14)、式(15)计算后验差比值 C 和小误差概率 P:

$$C = \frac{S_1}{S_2} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n [\varepsilon^{(0)}(k) - \bar{\varepsilon}^{(0)}]^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{X}^{(0)}]^2}} \quad (14)$$

$$P = P\{|\varepsilon^{(0)}(k) - \bar{\varepsilon}^{(0)}| < 0.6745S_1\} \quad (15)$$

其中, S_1 和 S_2 分别为残差方差和数据列 $X^{(0)}$ 方差, $\bar{X}^{(0)}$ 为数据列 $X^{(0)}$ 的均值, $\bar{\varepsilon}^{(0)}$ 为残差均值。

3 模型应用实例

3.1 数据准备

以电力建设工程中的送电工程为例说明显著性理论及 GM(1, 1)灰色预测模型的应用。送电工程特征如表 1 所示。

表 1 送电工程特征表

Table 1 Electric Power Transmission Engineering Characteristics

工程类型	建筑	电气设备安装	输电线路	加工配制	调试
电压等级	≤35 kV	110 kV	220 kV	500 kV	≥750 kV
基础类型	现浇砼	预制砼	岩石	灌注桩	预制桩
杆塔架设回路	单回路	双回路	多回路		
杆塔类型	铁塔	钢筋砼杆	钢管塔		
结构形式	架空	地下			

选取工程特征为 220 kV 输电线路工程、现浇砼基础、铁塔、双回路架设的电力建设工程为例进行投资预测,运用 CS 理论对同类已完工程历史数据进行分析、计算,得到如下 7 项 CSIs(略过具体计算过程): (1)土石方开挖; (2)现浇混凝土基础; (3)铁塔组立; (4)导线/避雷线; (5)一般架线; (6)绝缘子、金具串安装; (7)防震锤、间隔棒安装。同时,计算得出该类工程 SF 为 80%。

3.2 GM(1, 1)灰色预测模型应用算例

对具有上述工程特征的某拟建 220 kV 输电线路工程投资进行预测,已知此工程历史数据为 11 个月,以 CSIs 第(1)项土石方开挖的单位造价预测为例,运用 GM(1, 1)灰色模型进行预测,其中 $X^{(0)}$ 即为 11 个月历史数据。

首先对原始数据列 $X^{(0)}$ 和累加数列 $X^{(1)}$ 分别进行准光滑性检验和准指数检验。经计算,当 $k > 3$ 时,满足 $\rho(k) < 0.5$ 且 $\sigma^{(1)}(k) \in [1, 1.5]$, 能够使用 GM(1, 1)灰色模型进行预测。表 2 为 GM(1, 1)灰色模型预测表,其中拟合值序列 $\hat{X}^{(0)}$ 即为模型预测结果。

表 2 GM(1, 1)灰色模型预测表

Table 2 Grey Forecasting Model by GM(1, 1)

月份	$X^{(0)}$	$X^{(1)}$	$\rho(k)$	$\sigma^{(1)}(k)$	$Z^{(1)}$	模型值 $\hat{X}^{(1)}$	拟合值 $\hat{X}^{(0)}$
1	5 910	5 910				5 910	5 910
2	5 920	11 830	1.002	2.002	8 870	12 042.518	6 132.518
3	6 190	18 020	0.523	1.523	14 925	18528.851	6 486.333
4	6 335	24 355	0.352	1.352	21 187.5	24 980.021	6 451.171
5	6 420	30 775	0.264	1.264	27 565	31 460.658	6 480.636
6	6 675	37 450	0.217	1.217	34 112.5	38 216.065	6 755.407
7	6 820	44 270	0.182	1.182	40 860	44 950.767	6 734.703
8	6 545	50 815	0.148	1.148	47 542.5	51 319.304	6 368.536
9	6 640	57 455	0.131	1.131	54 135	58 186.963	6 867.660
10	6 785	64 240	0.118	1.118	60 847.5	65 209.468	7 022.505
11	6 920	71 160	0.108	1.108	67 700	72 321.614	7 112.146

* 发展参数 $a = -0.01397$; 灰作用量 $b = 5 997.10545$

最后,用原始数据实际值 $X^{(0)}$ 对模型预测结果值 $\hat{X}^{(0)}$ 进行检验,即对 GM(1,1) 灰色预测模型进行残差检验和后验差检验,判断模型预测效果,如表3所示。

表3 残差和后验差检验表

Table 3 The Residual and the Posterior Variance Test

月份	$\varepsilon^{(0)}(k)$	$ \varepsilon(k) $	$X^{(0)} - \bar{X}^{(0)}$	$ \varepsilon^{(0)}(k) - \bar{\varepsilon}^{(0)} $	检验结果
1	0	0.00%	-559.091	105.601	$< S_0$
2	-212.518	3.59%	-549.091	106.917	$< S_0 \bar{X}^{(0)} = 6\ 469.091$
3	-296.333	4.79%	-279.091	190.732	$< S_0 \bar{\varepsilon}^{(0)} = -105.601$
4	-116.171	1.83%	-134.091	10.569	$< S_0 S_1 = 6\ 793.795$
5	-60.636	0.94%	-49.091	44.965	$< S_0 S_2 = 184.442$
6	-80.407	1.20%	205.909	25.195	$< S_0 S_0 = 0.6745 *$
7	85.297	1.25%	350.909	190.899	$< S_0 S_1 = 4\ 582.415$
8	176.464	2.70%	75.909	282.065	$< S_0 C = S_1/S_2$
9	-227.660	3.43%	170.909	122.058	$< S_0 = 0.02715$
10	-237.505	3.50%	315.909	131.903	$< S_0 P = 1$
11	-192.146	2.78%	450.909	86.545	$< S_0$

由表3的预测模型检验结果可知,相对误差 $|\varepsilon(k)| < 5\%$, 后验差比值 $C = 0.02715 < 0.35$, 小误差概率 $P = 1 > 0.95$, 说明模型的泛化能力较好,能够成功对 CSIs 项①土石方开挖单位造价进行预测。

按照同样的方法,依次计算出其他各 CSIs 项的单位造价,分别与各项分部分项相应工程量相乘并累加,最后按照式(1)计算得到该拟建 220 kV 输电线路工程的项目总投资。

4 结语

运用显著性理论甄选出对于电力建设工程总投资具有决定性影响的显著性成本项目,计算出显著性因子,而后通过灰色预测模型对各项显著性成本项目进行投资预测,从而估算出整个建设工程项目的总投资。同时,文章结合电力建设工程项目实例对模型的实际应用进行说明分析,验证了模型的有效性,同时又能在有效保证预测结果精度的前提下大大简化计算程序,减少计算工作量。

参考文献:

[1] 黄荣贵,李霞明,顾宏余.利用回归预测技术进行港口吞吐量预测的方法研究[J].水运工程,2004,(4):12-14.
HUANG Ronggui, LI Xiaming, GU Hongyu. Research on Port Han-

ding Capacity Forecasting Method by Regression Forecasting Technology [J]. Port and Waterway Engineering, 2004, (4): 12-14.

[2] 于妮莎,王珊珊.对经济增长的时间序列分析[J].价值工程,2007,(7):13-16.
YU Nisha, WANG Shanshan. A Time Series Analysis of Economic Growth [J]. Value Engineering, 2007, (7): 13-16.

[3] 邵良杉,高树林.基于人工神经网络的投资预测[J].系统工程理论与实践,1997,17(2):67-71.
SHAO Liangshan, GAO Shulin. The Investment Forecast Based on Artificial neural network [J]. Journal of Systems Science and Information, 1997, 27(2): 67-71.

[4] 李欣然.基于灰色理论的地区电网建设规模评估研究及系统实现[D].长沙:湖南大学,2007.
LI Xinran. Research on Sub-transmission and Distribution Network Building Size Evaluation Based on Grey Theory and System Implementation [D]. Changsha: Hunan University, 2007.

[5] 王大鹏.灰色预测模型及中长期电力负荷预测应用研究[D].武汉:华中科技大学,2013.
WANG Dapeng. Research on Grey Prediction Models and their Application in Medium and Long-Term Power Load Forecasting [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013.

[6] 孙才志,潘俊.修正的灰色预测模型在水文时间序列分析中的应用[J].工程勘察,2000,(3):23-26.
SUN Caizhi, PAN Jun. Application of Modified Model of Grey Prediction to Analysis of Hydrologic Time Series [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2000, (3): 23-26.

[7] 张新天,罗晓辉.灰色理论与模型在交通量预测中的应用[J].公路,2001,(8):4-7.
ZHANG Xintian, LUO Xiaohui. Application of Gray Theory and Mode in Traffic Amount Prospect [J]. Highway, 2001, (8): 4-7.

[8] 王广斌,李佳川.一种新的建设项目投资预测模型[J].同济大学学报,2001,29(3):375-378.
WANG Guangbin, LI Jiachuan. New Forecasting Model of the Total Project Cost for Project Managers [J]. Journal of Tongji University, 2001, 29(3): 375-378.

[9] KISHK M, AI-HAJJ A, POLLOCK R. Whole Life Costing in Construction: A State of the Art Review [J]. RIES Foundation, 2003, 41(8): 102-116.

[10] SAKET M M. Cost Significance Applied to Estimating and Control of Construction Project [D]. Dundee: Department of Civil Engineering, the University of Dundee, 1986.

[11] 余建星,张小平,段晓晨,等.基于Chaos和CS理论的工程投资预测方法研究[J].统计与决策,2009,(14):19-21.
YU Jianxing, ZHANG Xiaoping, DVAN Xiaochen, et al. Research on Engineering Investment Forecast Methods Based on Chaos and CS Theory [J]. Statistics and Decision, 2009, (14): 19-21.

[12] 邓聚龙.灰理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
DENG Julong. Grey Theory [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.

(责任编辑 沈明芳)