

# 基于灰色预测的电网基建投资测算模型

胡柏初<sup>1</sup>, 胡刚<sup>1</sup>, 胡朝华<sup>1</sup>, 青松<sup>1</sup>, 李明伟<sup>1</sup>, 彭超<sup>2</sup>

(1. 四川省电力公司 成都 610041; 2. 电子科技大学自动化工程学院 成都 611731)

**【摘要】**针对电网基建投资规模所受到的影响因素较多、关系复杂、电网发展需求预测困难的特点,研究了一种基于灰色预测的电网基建投资测算模型。首先通过分析与电网建设相关指标与电网基建投资之间的关系,建立了能够科学反映电网建设发展需求的电网基建投资测算指标体系。然后,利用灰色理论建立指标的预测模型,以准确预测测算指标发展趋势;利用层次分析法确定测算指标变化对电网基建投资的影响量;最后在指标预测值和确定的指标-投资影响量的基础上,建立了电网基建投资测算模型。通过对某地区的电网基建投资测算实例验证了该模型的有效性和合理性。该模型对于电网基建投资的协调和合理、科学地规划电网基建投资规模具有极其重要的理论及实际意义。

**关键词** 层次分析法; 灰色模型; 电网基建; 投资测算

中图分类号 TM715

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.06.015

## Grid Infrastructure Investment Calculation Model Based on Gray Prediction

HU Bai-chu<sup>1</sup>, HU Gang<sup>1</sup>, HU Chao-hua<sup>1</sup>, QING Song<sup>1</sup>, LI Ming-wei<sup>1</sup>, and PENG Chao<sup>2</sup>

(1. Sichuan Electric Power Corporation Chengdu 610041;

2. School of Automation Engineering, University of Electric Science and Technology Chengdu 611731)

**Abstract** How to calculate grid infrastructure investment to meet the social, economic development needs and enhance investment efficiency. Grid investment calculation has gradually become the urgent problem faced by the grid corporation. Grid infrastructure investment calculation is difficult, due to influences with many factors, complex relationships and difficulty of grid development demand forecasting. This paper studies a grid infrastructure investment calculation model based on gray prediction. Firstly, an indicator system for grid infrastructure investment calculation is built by analyzing the relationship between indicators and grid infrastructure investment. Secondly, a gray model based indicator prediction model is built to predict the development trend of indicators which are closely related to grid infrastructure; the analytic hierarchy process (AHP) is used to determine each index change impact on investment; the amount of grid infrastructure investment is calculated by using the indicators predictive value and determine indicators. Finally, the validity and rationality of the proposed calculation model are verified by the example of a grid infrastructure investment calculation. The proposed calculation model is extremely important theoretical and practical significance for the coordination of grid infrastructure investment and planning the scale of investment.

**Key words** analytic hierarchy process; gray model; grid infrastructure; investment calculation

随着社会经济持续快速发展以及用电负荷快速增长,我国电网建设力度不断加大<sup>[1-2]</sup>。电网建设不仅关系到地区经济的发展、居民的正常生产与生活,而且对地区社会的持续、健康、快速发展产生深远的影响<sup>[3-4]</sup>。如何通过对电网投资规模的科学合理测算,优化投资规模、合理安排基建项目,使得电网投资规模满足社会用电的发展需要,已经成为当前电网公司亟需解决的问题。

目前,国内电信企业、移动通信等在资金投资

测算与管理、投资后评估方面进行了一些初步的探索<sup>[5-7]</sup>,电力企业也对投资评估指标体系开始了一些研究工作<sup>[8-9]</sup>。然而,由于电网基建投资测算存在影响因素较多、关系复杂、电网发展需求预测困难等原因,目前,仍然缺乏能够测算准确、考虑因素全面、适合实际发展需要的电网基建投资测算方法。随着电力市场化和电网企业体制改革的逐步深化,电网公司的经济效益因素在投资决策中所占的比重日益增大,与此同时,决策因素的不确定性、决策

元素的复杂化以及决策主体的多元化也对电网公司基建投资测算问题提出了挑战。

针对缺乏科学、考虑因素全面的电网基建投资测算方法的难题,本文对电网基建相关指标与投资之间的关系进行了分析,建立了与投资密切相关并且能够充分反映电网基建水平、经济效益和电网发展需求的指标体系;然后在基于灰色模型的指标预测模型和基于层次分析法的指标-投资关系分析方法研究的基础上,建立了能够充分考虑电网建设需求、社会效益的电网基建资金项目投资测算模型。并通过仿真实验证明了该测算模型的科学性和有效性。

## 1 电网基建投资测算指标体系

电网基建受到多方面因素的影响,涉及地区经济水平、人口、面积、电网规模、社会用电水平等多方面的各类指标。电网基建需求基本可以通过社会经济水平、电网规模以及负荷用电水平3个方面来反映。

### 1.1 社会经济水平

社会的发展与变化对电网的建设规模有很大影响,而供电人口的数量则反映了社会的发展情况。当供电人口指标值增长时,说明该地区用电需求有所增长,应增加对电网建设的投资。

经济的发展与变化对电网的建设规模同样会产生很大影响,而地区生产总值(GDP)则主要体现了经济的发展情况。当地区生产总值(GDP)指标值增长时,意味着该地区经济发展良好,收入增加,需求水平提高,消费能力也随之增强,可加大投资力度以满足不断增长的用电需求。

因此,供电人口指标和地区生产总值(GDP)指标可以分别从社会、经济两方面反映了社会的发展状况,从不同的角度影响着对电网建设的投资。

### 1.2 电网规模

电网的“变电容量”是指该电网变电站的主变压器的容量,它主要反映变压器输送电能的能力。变电容量的合理配置是电网规划设计的重要内容之一,影响供电的安全可靠性、电网运行的经济性。变电容量过大,浪费资金;变电容量过小,电网灵活性和适应性差,安全可靠性差。我国主要以110 kV和220 kV电压等级电网为骨干网。因此,指标体系选择110 kV和220 kV电网变电容量来反映电网的规模。

### 1.3 负荷用电水平

全社会用电量是指第一、二、三产业所有用电领域的电能消耗总量,包括工业用电、农业用电、商业用电、居民用电、公共设施用电及其他用电等。地区最大负荷反映一个地区的年度负荷峰值。全社会用电量和地区最大负荷增长时,应加大相应的电网投资;而全社会用电量和最大负荷持平或降低时,则可相应放缓或减少投资,以适应不同的用电需求。因此,指标体系选择全社会用电量和最大负荷反映地区电网负荷用电水平。

通过以下指标含义及其与电网基建投资之间的关系分析,确定了如图1所示的指标体系。

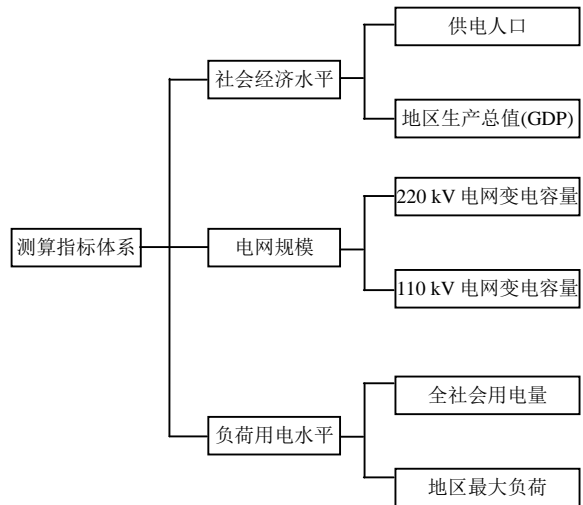


图1 电网基建投资测算指标体系

## 2 电网基建投资测算模型

### 2.1 基本思路

如果要对计划年度电网基建投资规模的准确测算,使得确定的投资规模能够满足地区经济、社会和电网发展需求,需要能够准确预测电网基建投资测算指标体系中各个指标的发展趋势,并根据指标的发展趋势指导电网基建投资规模。同时,电网投资与指标之间的关系复杂,很难直接确定各项指标变化与投资规模之间的量化关系。因此,准确预测测算指标体系中各个指标的发展趋势以及确定对投资与指标变化之间的量化关系是建立电网基建投资测算模型的关键。

本文研究的电网基建投资测算模型利用灰色理论对指标发展趋势进行预测,得到指标在计划年底的发展目标值;利用层次分析法对指标与投资间关系进行分析,得到指标影响系数;在二者相结合的基础上建立电网基建投资测算模型,得到满足计划

年度电网发展需求的电网基建投资规模值。测算模型为:

$$z = \sum_{i=1}^n u_i \cdot (y_i(k+1) - y_i(k)) \quad (1)$$

式中,  $z$  为计划年底电网基建投资测算值;  $u_i$  为第  $i$  个指标的影响系数, 即指标单位变化对应的投资额变化量;  $y_i(k+1)$  为第  $k+1$  年(计划年度)指标  $i$  的目标值;  $y_i(k)$  为第  $k$  年指标  $i$  的实际值。

### 2.2 基于灰色理论的指标预测

基于灰色理论的预测法运用数学的方法, 从已知的部分信息中挖掘有用的信息, 来准确描述数据变化规模, 具有所需建模信息少, 预算方便, 预测精度高等特点<sup>[10-11]</sup>。由于电网投资测算指标体系具有指标数据量少、变化趋势不确定的特点, 因此, 利用灰色理论中的GM(1,1)模型预测测算指标体系中的各指标未来发展趋势。灰色GM(1,1)模型预测算法可以从指标的历史数据中, 生成有较强规律性的数据序列, 从中寻找历史数据的变化规律, 然后建立相应的微分方程, 预测指标在未来的发展趋势。

算法具体步骤如下:

1) 预处理指标历史数据。

设  $n$  年地区测算指标历史数据序列为:

$$Y_0 = [y_0(1), y_0(2), \dots, y_0(n)] \quad (2)$$

对指标历史数据进行一次累加, 得到序列:

$$Y_1 = [y_1(1), y_1(2), \dots, y_1(n)]$$

$$y_1(k) = \sum_{i=1}^k y_0(i) \quad k=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中,  $y_1(k)$  为将  $k$  年地区测算指标历史数据做一次累加处理后的指标值;  $y_0(i)$  为第  $i$  年的地区测算指标历史值。

2) 根据灰色GM(1,1)模型计算指标预测值灰色GM(1,1)预测模型为:

$$\hat{y}_0(k+1) = (1 - e^a) \left( y_0(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} \quad (4)$$

式中,  $\hat{y}_0(k+1)$  为第  $k+1$  年的地区测算指标预测值;  $y_0(1)$  为所取历史数据第一年的指标值;  $y_0(k)$  为所取历史数据第  $k$  年(即最近一年)的指标值;  $k$  为有  $k$  年的地区测算指标历史数据;  $a$  为发展系数, 反映指标的发展态势;  $b$  为模型灰色作用量。

模型参数  $\hat{a} = [a \quad b]^T$  的计算公式为:

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (5)$$

式中,

$$B = \begin{bmatrix} -1/2(y_1(2) + y_1(1)) & 1 \\ -1/2(y_1(3) + y_1(2)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -1/2(y_1(n) + y_1(n-1)) & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} y_0(2) \\ y_0(3) \\ \vdots \\ y_0(n) \end{bmatrix} \quad (6)$$

### 3 基于层次分析法的指标投资关系

电网基建投资测算指标体系中的各个指标与投资之间的关系复杂, 很难确定指标变化量与投资额之间的定量关系。层次分析法是综合定性与定量分析, 使决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化或规范化的一种方法, 具有思路简单明了, 它将决策者的思维过程条理化、数量化, 便于计算的特点<sup>[12-13]</sup>。因此, 利用层次分析法, 分析测算指标体系中各指标与投资的关系, 将测算指标的定性排序(专家经验)转化为指标决策系数。再根据指标决策系数确定各指标变化对投资的影响量-指标影响系数。具体步骤为:

1) 建立指标判断矩阵。

判断矩阵的基本形式为:

$$P = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中,  $u_{ij}$  为重要性标度, 表示测算指标中指标  $i$  对指标  $j$  的重要程度, 可通过“九标度法”比较两两指标间的重要程度来确定。“九标度法”的重要性标度含义如表1所示。

表1 “九标度法”重要性标度含义表

重要性标度	含义
1	表示两个指标相比, 具有同等重要性
3	表示两个指标相比, 前者比后者稍重要
5	表示两个指标相比, 前者比后者明显重要
7	表示两个指标相比, 前者比后者强烈重要
	表示两个指标相比, 前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述判断的中间值
倒数	若指标 $i$ 对指标 $j$ 的重要性标度为 $u_{ij}$ , 则指标 $j$ 对指标 $i$ 的重要性标度为 $u_{ji} = 1/u_{ij}$

2) 计算指标决策系数公式为:

$$PW_0 = \lambda_{\max} W_0 \quad (8)$$

对应于最大特征值  $\lambda_{\max}$  的特征向量为:

$$W_0 = [w_{01}, w_{02}, \dots, w_{0n}]^T \quad (9)$$

根据归一化公式:

$$w_i = \frac{w_{0i}}{\sum_{i=1}^n w_{0i}} \quad (10)$$

对  $W_0$  做归一化处理, 得到指标决策系数向量  $W$ 。

3) 计算指标影响系数为:

$$u_i = \frac{w_i x(k)}{y_i(k) - y_i(k-1)} \quad (11)$$

式中,  $u_i$  为指标  $i$  的影响系数, 即指标单位变化对应的投资额变化量;  $w_i$  为指标  $i$  的决策系数;  $x(k)$  为第  $k$  年地区电网基建投资实际值;  $y_i(k)$  为第  $k$  年指标  $i$  的实际值;  $y_i(k-1)$  为第  $k-1$  年指标  $i$  的实际值。

## 4 实际案例分析

为了验证本文提出的方法, 利用表2所示的某地区2007~2011年电网基建相关指标历史数据, 计算该地区2012年(计划年度)的指标目标值、及指标影响系数。

表2 某地区电网基建相关指标历史值

指标名称	年份				
	2007	2008	2009	2010	2011
220 kV 变电容量	105.00	105.00	198.00	198.00	213.00
110 kV 变电容量	135.75	147.75	151.75	155.75	169.75
供电人口	446	446	446	447	445
GDP	529.05	645.85	720.78	870.85	1091.18
全社会用电量	65.48	63.60	51.36	56.60	58.70
地区最大负荷	78.34	89.97	88.63	100.73	116.27

### 4.1 预测指标目标值

利用灰色GM(1,1)预测模型, 预测出该地区电网基建相关指标的发展趋势, 得到指标目标值如表3所示。

表3 某地区电网基建相关指标计划年度目标值

指标名称	220 kV 变电容量	110 kV 变电容量	供电人口	GDP	全社会用电量	地区最大负荷
2012年	266.09	174.75	445.23	1 283.15	55.12	124.56

### 4.2 计算指标影响系数

通过层次分析算法, 可以将由电网公司规划及政策给定的地区测算指标的重要程度排序(专家经验)转化为指标影响系数。

1) 根据地区电网实际发展情况, 确定指标重要程度排序: 220 kV电网变电容量=110 kV电网变电容量>地区最大负荷>全社会用电量>供电人口=地区生产总值(GDP)。

2) 利用“九标度法”将指标重要程度排序转换为判断矩阵, 并求出判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max} = 6.14$ , 可以计算并得到对应于该最大特征值的特征向量为:

$$W_0 = (0.6937, 0.6937, 0.0605, 0.0605, 0.0950, 0.1461)^T \quad (12)$$

将特征向量归一化后, 即可得到指标决策系数如表4所示。

表4 指标决策系数

指标名称	220 kV 电网变电容量	110 kV 电网变电容量	供电人口	地区生产总值(GDP)	全社会用电量	地区最大负荷
决策系数	0.3965	0.3965	0.0346	0.0346	0.0543	0.0835

3) 根据指标决策系数确定指标影响系数如表5所示。

表5 指标影响系数

指标名称	220 kV 电网变电容量	110 kV 电网变电容量	供电人口	地区生产总值(GDP)	全社会用电量	地区最大负荷
影响系数	173.02	875.6	883.5	3.33	548.4	125.4

### 4.3 测算投资额

通过上文计算得出的影响系数和各项指标计划年度的预测值, 由投资测算模型计算得到2012年该地区的电网基建投资额为13 483万, 与2012年该地区电网基建实际投资额相差850万, 误差率仅为6.3%。

## 5 结 语

本文在分析电网基建相关指标和投资之间关系的基础上, 建立了投资测算指标体系, 研究了一种基于灰色预测的电网基建投资测算模型。该模型解决了电网基建投资测算中缺乏与投资关系密切的指标体系、电网发展需求预测困难、电网基建投资与指标之间关系复杂等难题; 相关研究成果对于提高电网基建投资效率, 实现电网公司对基建投资管理的科学化、精益化和标准化建设具有极其重要的理论和实际意义。

### 参 考 文 献

- [1] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.  
XIAO Shi-jie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4.
- [2] 张元勇, 王忠义, 许艳利, 等. 浅析电网建设中工程质量的合理控制[J]. 经营管理者, 2010(22): 233.  
ZHANG Yuan-yong, WANG Zhong-yi, XU Yan-li, et al. A brief analysis on project quality in power grid construction[J]. Manager Journal, 2010(22): 233.
- [3] ATHANASIOS I C, PETROS A P. Sensitivity analysis of technological economic and sustainability evaluation of power plants using the analytic hierarchy process[J]. Energy Policy, 2009, 37(3): 788-798.

- [4] 曹树春. 电网建设应走大协作之路[J]. 电力企业管理 2011(16): 14.  
CAO Shu-chun. Power grid construction should follow the road of cooperation[J]. China Power Enterprise Management, 2011(16): 14.
- [5] 白波, 常冰山, 张兵. 通信投资项目后评估: 研究综述与实践进展[J]. 信息通信, 2011(5): 138-139.  
BAI Bo, CHANG Bing-shan, ZHANG Bing. Post assessment of communication investment projects, research survey and practice progress[J]. Information & Communications, 2011(5): 138-139.
- [6] 贾自力. 通信运营企业固定资产投资预算管理探讨[J]. 山西通信科技, 2007(2): 31-34.  
JIA Zi-li. Discussion on the budget management of fixed asset investment in telecom enterprises[J]. Shanxi Communication Technology, 2007(2): 31-34.
- [7] 郭强. 煤矿建设与投资控制分析[J]. 中国经贸, 2011(12): 30-32.  
GUO Qiang. Coal mine construction and the investment control analysis[J]. China Business Monthly, 2011(12): 30-32.
- [8] 韩柳, 彭冬, 王智冬, 等. 电网评估指标体系的构建及应用[J]. 电力建设, 2010, 31(11): 28-33.  
HAN Liu, PENG Dong, WANG Zhi-dong, et al. Constitution and application of the index system for power grid assessment[J]. Electric Power Construction, 2010, 31(11): 28-33.
- [9] 蔡光宗, 尤建新, 尚珊珊. 构建电网建设过程后评估标体系的研究[J]. 上海管理科学, 2012, 34(6): 107-112.  
CAI Guang-zong, YOU Jian-xin, SHANG Shan-shan. The establishment of the post assessment for the construction process of power grid project[J]. Shanghai Management Science, 2012, 34(6): 107-112.
- [10] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.  
LIU Si-feng, DANG Yao-guo, Fang Zhi-geng, et al. Grey system theory and its application[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [11] 廖旋焕, 胡智宏, 马莹莹. 电力系统短期负荷预测方法综述[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(1): 147-152.  
LIAO Ni-huan, HU Zhi-hong, MA Ying-ying. Review of the short-term load forecasting methods of electric power system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(1): 147-152.
- [12] 谢传胜, 董达鹏, 段凯彦, 等. 基于层次分析法-距离协调度的低碳电源电网规划调度评价[J]. 电网技术, 2012, 36(11): 1-6.  
XIE-Chuan-sheng, DONG Da-peng, DUAN Kai-yan, et al. Coordination degree evaluation of low carbon generation expansion and grid planning based on analytic hierarchy process method and distance coordination degree[J]. Power System Technology, 2012, 36(11): 1-6.
- [13] 王钦, 文福拴, 刘敏, 等. 基于模糊集理论和层次分析法的电力市场综合评价[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(7): 32-37.  
WANG Qin, WEN Fu-shuan, LIU Min, et al. Combined use of fuzzy set theory and analytic hierarchy process for comprehensive assessment of electricity markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(7): 32-37.

编辑 漆蓉