

文章编号:1671-6833(2008)02-0095-04

## 生活需水预测的弹性系数法改进模型及应用

荆磊, 吴泽宁, 胡彩虹

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

**摘 要:**弹性系数法是一种广泛使用的需水量预测方法,其建立模型的关键步骤是提取合理的需水量影响因素。为了有效地提取需水量的主要影响因素,采用灰色关联法,分析了弹性系数模型变量之间的关系,提出了自然对数预处理方法,并以郑州市生活需水量预测为例,进行方法的比较分析。结果表明该方法是合理和有效的,进一步丰富了灰色关联分析法的应用。需水量预测结果也比较符合实际情况,可为郑州市水资源规划提供参考依据。

**关键词:**需水预测;生活需水;因素提取;灰色关联;数据预处理

**中图分类号:**TV 211.1 **文献标识码:**A

### 0 引言

目前水资源需求预测分为直观预测法、时间序列预测法和模拟模型预测法3类。常见的方法有:关联树法、自回归模型(AR)、线性回归分析法、定额法、弹性系数法、指标分析法、灰色预测法、人工神经网络(ANN)、系统动力学法<sup>[1]</sup>等。这些方法中,弹性系数法应用最广泛,预测结果也比较符合实际,因此,常用于生产函数分析和需求函数分析中,在需水预测中也得到普遍的应用。如何从统计资料中找到符合该地区用水特点的影响因素是应用弹性系数法进行需水预测的关键。

影响需水量的因素很多,在进行预测的过程中,为减少计算量,需要进行分析、提取。由于灰色关联度表示曲线几何形状的接近程度,常被应用于多个影响因素的提取,可应用于需水量预测的因素提取过程<sup>[2]</sup>。然而,各种统计数据的量纲通常不同,给直接分析带来困难,应用时往往需要对数据进行预处理。预处理的方法很多:中心化、极差化、极大化、极小化、均值化、初值化<sup>[3-4]</sup>等;为了使分析的数据更好地符合应用模型,还可以对数据进行各种各样的非线性化处理。李炳军<sup>[4]</sup>研究了无量纲化方法与关联度的差异大小的关系。然而,将数据的非线性化预处理应用于影响因素提取这方面的研究较少。以郑州市为例,笔者采用

弹性系数法对郑州市生活需水量进行预测,并提出了一种数据非线性预处理方法。

### 1 需水预测方法

#### 1.1 弹性系数法

弹性系数法作为定性定量相结合的综合预测方法,可以应用于生活需水量预测<sup>[5]</sup>。弹性系数是一个无量纲的数值,某影响因素的弹性系数表示在其它因素不变的情况下,该因素变化1%引起总需水量的变化百分比。其表达式<sup>[6]</sup>为

$$R = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \cdots X_m^{\beta_m} \quad (1)$$

式中: $R$ 为预测变量,即为需水定额; $X_1, X_2, \dots, X_m$ 为预测影响因素; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ 为对应影响因素的弹性系数; $\beta_0$ 为率定常数。

#### 1.2 影响因素的提取

##### 1.2.1 灰色关联分析

由于需水预测涉及许多影响因素,它们共同作用的结果决定了发展态势。要进行预测,就必须了解这些因素中哪些是主要因素,哪些是次要因素;哪些因素对系统发展影响大,哪些因素对系统发展影响小,灰色关联分析法对样本量的多少和样本有无规律都同样适用,而且计算量小,十分方便,更不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况。其基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密。曲线越接近,相应

收稿日期:2008-03-04;修订日期:2008-04-03

基金项目:国家科技支撑计划项目资助(2006BA06B08-05)。

作者简介:荆磊(1983-),男,山东烟台人,郑州大学硕士研究生,主要从事水资源方面的研究。通讯作者:吴泽宁,

Email: Zeningwu@zzu.edu.cn.

序列之间关联度就越大,反之就越小<sup>[7]</sup>.用灰色关联分析提取影响因素的步骤<sup>[7]</sup>如下:

①确定参考数列和比较数列:在需水预测中,参考数列为需水量定额进行数据预处理后的值,比较数列为各种影响因素预处理后的值;②求关联系数;③求关联度;④按关联度大小排序:将关联度按从大到小排序,得到关联序,关联度越大,说明二者越接近.即该因素对用水定额的影响越大.

### 1.2.2 数据预处理方法

分析模型表达式(1)可以发现,影响因素与需水定额之间是一种非线性关系,而灰色关联度表示的是参考数列与比较数列之间的一种几何相似性.当参考数列和比较数列较长时,数列之间的非线性关系会严重破坏原本相似的几何特征.考虑到式(1)为幂指数式,可以转化为线性函数,对公式两边同时取自然对数,则得到表达式:

$$\ln R = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \cdots + \beta_m \ln X_m \quad (2)$$

利用式(2)中率定出参数,代入式(1)即得到弹性系数法预测生活需水量的具体表达式.

从式(2)中可以看出,影响因素与预测变量的自然对数之间是一种线性关系,而灰色关联度正是对这种几何距离的度量.所以在用灰色关联分析进行因素提取之前,有必要对原始数据进行对数非线性化处理.

为降低不同量纲对分析计算的影响,需要将数据无量纲化.当所有数列是某一因素在不同时间的取值时,采用初值化较为合理<sup>[7]</sup>:使处理后的数据有一定的几何意义——不同年份该因素相对于初始年份的比例.这样处理后所有序列就有了一个公共的交点(0,1)<sup>[8]</sup>.但非线性化处理数据在取对数运算过程中会使部分数据出现负值,由于各影响因素与灰色关联度之间是正相关,因此当 $y_i(0)$ 小于0时,为便于比较、使图示更直观,对初值无量纲化方法进行适当的修正,将比较序列的初始点(0,-1)平移到公共交点(0,1)上,即

$$z_i(k) = \begin{cases} y_i(k)/y_i(0), & y_i(0) > 0 \\ y_i(k)/|y_i(0)| + 2, & y_i(0) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: $z_i(k)$ 为无量纲化后的比较数列; $y_i(k) = \ln X_i(k)$ 为原始数据经过取对数运算的数列.

### 1.3 生活需水预测模型

提取出主要影响因素后,容易得到弹性系数法生活需水量预测模型:

$$R = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \cdots X_m^{\beta_m} \quad (4)$$

式中: $R$ 为需水定额; $X_1', X_2', \dots, X_m'$ 为经过预处理

后提取的主要影响因素; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ 为对应影响因素的弹性系数; $\beta_0$ 为率定常数.

## 2 实例分析

### 2.1 郑州市基本概况及数据

城市生活用水主要包括居民生活用水和公共用水两部分.居民生活用水即通常所说的小生活用水,公共用水主要是城市绿化灌溉用水和维持城市生态环境用水.居民人均生活用水主要与居民生活水平、水价、科技水平、气候条件等有关<sup>[9]</sup>;而公共用水则与城镇绿地面积,绿化覆盖面积、公共绿地面积,以及影响绿化灌溉定额的降雨量等有关.笔者按总生活用水进行计算和预测.

根据郑州市实际情况及资料,结合已有的需水预测结果分析<sup>[2]</sup>,初步选择影响郑州市人均生活需水定额的影响因素:人均GDP、降雨量、人均公共绿地面积、水价、人均绿化覆盖面积.

### 2.2 影响因素的提取

进行数据预处理并计算其相应关联度,提取主要影响因素.预处理后的数据对比如图1所示.从图中可以看出,人均GDP、人均绿化覆盖面积、降雨量与人均用水定额之间的关系比较密切,而人均公共绿地、水价与人均用水定额之间相关性较差.人均用水定额与各指标之间的关联度见表1.

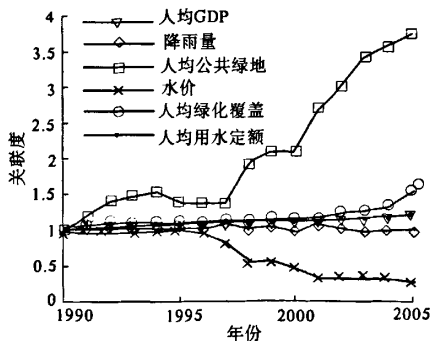


图1 数据预处理后各影响因素对比

Fig.1 Constructions of factors after data pretreatment

表1 各影响因素与人均用水定额之间的灰色关联度

Tab.1 Gray correlation degree between factors and water demand per capita

人均GDP	降雨量	人均公共绿地面积	水价	人均绿化覆盖面积
0.986 5	0.939 3	0.637 4	0.788 0	0.955 3

由表1可以看出,主要影响因素为人均GDP、

人均绿化覆盖面积和降雨量. 人均 GDP 代表了居民生活水平、科技水平, 是影响生活需水量中居民生活需水量的重要因素和直接影响因素, 当其增加时, 居民生活水平提高, 生活需水量也相应增加; 人均绿化覆盖面积与降雨量则是影响公共用水的重要因素. 但是, 在总生活用水中, 尽管公共用水占有一定的比例, 居民生活用水仍占主导地位: 1990~2002 年公共用水量平均占总生活用水的 34.77%<sup>[10]</sup>. 此外, 人均 GDP 与人均绿化覆盖面积、人均 GDP 与降雨量之间在资料数据上的相关性很强, 经计算, 其灰色关联度分别达到 0.958 4, 0.939 9. 这说明人均 GDP 可以间接反映人均绿化覆盖面积和降雨量的变化趋势. 故本次预测只选择人均 GDP 作为生活需水量的主要影响因素.

### 2.3 结果分析

#### 2.3.1 预测结果分析

选用人均 GDP 作为主要影响因素, 采用弹性系数法对郑州市生活需水量定额进行预测. 以 1990~2002 年的统计数据作为模型参数的率定资料, 用 2003~2005 年的统计数据对模型进行检验, 并对未来年 2010、2020 和 2030 年进行预测.

建立的弹性系数预测模型为

$$R = 1.857agdp^{0.342} \quad (5)$$

式中:  $R$  为人均需水量定额;  $agdp$  为人均 GDP; 模

型的弹性系数为 0.342. 经计算, 该弹性系数式的判定系数为 0.822; 取置信水平 0.01,  $F$  检验<sup>[11]</sup>判定系数要求大于 0.467. 因此满足统计检验要求.

1990~2002 年模型对需水量定额的模拟结果如表 2 所示. 从表中可以看出模型的模拟结果比较满意, 最大模拟误差为 9.48%, 发生在 1994 年, 平均误差为 6.41%.

2003~2005 年模型的检验结果见表 2. 从表中可以看出检验期模型的误差比较小, 各年的误差都在模型率定期误差平均值以下, 平均误差为 3.87%.

对未来年 2010、2020、2030 年需水量进行预测, 预测结果见表 2. 从表中可以看出 2010、2020、2030 年人均需水量将分别达到 66.84、86.24、98.23 m<sup>3</sup>/人, 即: 183.12、236.27、269.12 L·(人·天)<sup>-1</sup>. 参考水利部水资源司有关规定, 2010 年我国北方特大城市人均综合生活定额指标为 187~288 L·(人·天)<sup>-1</sup><sup>[12]</sup>, 而郑州市 2005 年的人均综合生活定额为 57.41 m<sup>3</sup>/人即 157 L(人·天)<sup>-1</sup>, 因此郑州市生活需水量定额是较为合理的. 按照郑州市的规划<sup>[10]</sup>, 2010、2020、2030 年人口将分别达到 756、832、904 万人, GDP 将分别达到 26 980 915、62 612 791、99 551 478 万元(2000 年可比价), 则生活需水量将分别达到 50 504 × 10<sup>4</sup>、71 743 × 10<sup>4</sup>、88 772 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>.

表 2 郑州市生活需水量预测结果

Tab. 2 Results of domestic water demand forecast in Zhengzhou

年份	人口 /(10 <sup>4</sup> 人)	预测定额 /(m <sup>3</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	实际定额 /(m <sup>3</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	预测总用/需水 /(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	实际总用水 /(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	误差 /%
1990	557.75	30.40	29.08	16 956	16 221	4.53
1991	565.08	31.83	29.11	17 986	16 451	9.33
1992	570.90	33.21	30.96	18 960	17 677	7.26
1993	581.19	34.68	32.09	20 156	18 650	8.07
1994	558.64	36.17	39.96	20 206	22 321	-9.48
1995	600.31	37.27	40.89	22 374	24 548	-8.86
1996	607.56	39.72	41.67	24 132	25 316	-4.68
1997	614.80	41.24	43.39	25 354	26 678	-4.96
1998	622.72	42.53	45.87	26 484	28 563	-7.28
1999	631.60	43.25	44.23	27 317	27 938	-2.22
2000	665.88	44.81	41.06	29 838	27 338	9.15
2001	676.97	46.47	45.58	31 459	30 859	1.94
2002	687.72	48.28	45.74	33 203	31 459	5.54
2003	697.66	50.96	49.40	35 553	34 463	3.16
2004	706.59	54.25	56.96	38 333	40 246	-4.75
2005	715.99	57.41	59.61	41 105	42 683	-3.70
2010	755.60	66.84	—	50 504	—	—
2020	831.90	86.24	—	71 743	—	—
2030	903.72	98.23	—	88 772	—	—

### 2.3.2 数据预处理效果分析

以郑州市为例,不对数据进行对数非线性化处理,直接进行初值无量纲化,各影响因素与用水定额的比较如图2所示。从图中可以看出,人均用水定额与人均绿化覆盖面积之间的吻合度最高,其次为降雨量与水价,而人均GDP与人均用水定额相差很远,是所有因素中与用水定额相差最大的一个因素。经计算得到各影响因素(未经预处理的数据)与人均用水定额之间的灰色关联度如表3所示。可见,郑州市人均GDP与人均用水定额之间的关联度最小,与经对数处理后的计算结论正好相反。

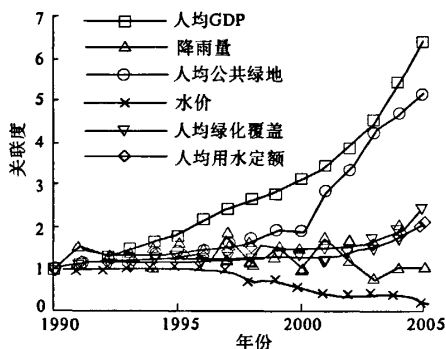


图2 未进行对数预处理的各影响因素对比

Fig.2 Constructions of factors without data pretreatment

表3 各影响因素与人均用水定额之间的灰色关联度

Tab.3 Gray correlation degree between factors and water demand per capita

人均GDP	降雨量	人均公共绿地面积	水价	均绿化覆盖面积
0.681 5	0.854 4	0.788 9	0.781 5	0.921 2

按照以上的结论,需要选择人均绿化覆盖面积作为最终的预测因素。为进一步验证数据预处理方法的合理性,以该因素作为影响因素,按照弹性系数表达式率定其对应的参数。得到模型的判定系数为0.536,比用人均GDP作为影响因素的弹性系数模型差。参考《郑州市节水型社会建设规划》<sup>[13]</sup>有关人均绿地面积的发展速度,2003~2010年平均增长率为16.81%,2010~2020年平均增长率为0.85%,并假定2020~2030年平均增长率同2010~2020年平均增长率,可计算未来年郑州市人均公共绿地面积。从而可以预测2010、2020、2030年郑州市生活需水量定额为257.54、286.54、318.82 m<sup>3</sup>/人即705.59、785.04、873.48 L/(人·天)<sup>-1</sup>,预测定额明显偏高,不符

合实际;总用量将达到194 597 × 10<sup>4</sup>、238 373 × 10<sup>4</sup>、288 123 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,即不发展工业、农业也满足不了郑州市生活需水量的要求,这显然是不可行的预测结果。因此,根据郑州市的实际情况,在利用灰色关联分析提取影响因素时,进行数据预处理是十分必要的,然而,该方法只是在实际应用中的探讨,对于在其它方面或地区的应用,仍然需要进行进一步分析。

### 3 结语

笔者针对需水预测中广泛使用的弹性系数法进行了分析,根据其公式的幂函数特点,找出自变量与因变量之间的非线性关系,结合常用于量化变量关系的灰色关联法,以郑州市为例,对郑州市的生活需水量进行了预测,在数据预处理的基础上,用灰色关联度对影响因素与用水定额间的关系加以量化,提取出主要影响因素,用弹性系数法进行人均需水量的预测,从预测结论来看,影响因素的提取是合理的;与不对数据进行非线性预处理预测结果进行了对比分析,说明在郑州市实例应用中,采用灰色关联度分析,对数据预处理是合理和有效的。预测结果表明郑州市2010、2020、2030年人均生活需水量将分别达到66.84、86.24、98.23 m<sup>3</sup>/人,生活需水量将会分别达到50 504 × 10<sup>4</sup>、71 743 × 10<sup>4</sup>、88 772 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,这些预测结果将有助于郑州市未来水资源的合理规划。

灰色关联分析是影响因素提取的一种重要方法,以往对关联分析中数据预处理的方法研究较少,而笔者提出的数据预处理方法将有助于生活需水预测中提取合理的影响因素,然而需要指出的是该方法在其它地区的应用仍然需要相应的实例验证。

### 参考文献:

- [1] 刘俊良,臧景红,何延青. 系统动力学模型用于城市需水量预测[J]. 中国给水排水. 2005, 21(6): 31-34.
- [2] 胡惠方. 郑州市需水量驱动因子及水资源需求预测分析[D]. 郑州大学学位论文; 2007.
- [3] 张 蕾,王高旭,罗美蓉. 灰色关联分析在水质评价应用中的改进[J]. 中山大学学报:自然科学版. 2004, (S1): 32-33.
- [4] 李炳军,朱春阳,周 杰. 原始数据无量纲化处理对灰色关联度的影响[J]. 河南农业大学学报. 2002, 36(2): 199-202.

(下转第113页)

## Sustainable Land Utilization Research of Changsha Based on Urban Rail Traffic Construction

QIAO Yong - qiang, WU Xiao - ping, LI Hong - qiang

(1. School of Civil Engineering and Architecture, central South University, Changsha 410075, China; 2. Centre for Transport Studies, University College London, WC1E 6BT, UK)

**Abstract:** The urban rail traffic wire plan of Changsha fully absorbs the experiences from other cities whose urban rail traffic develop more successfully and address to the synchronous plan principles of rail traffic and land utilization and the principles of sustainable development. This paper puts forward the principles which should be followed in the coordination development of urban rail traffic and sustainable land utilization of Changsha and the choice of models of urban rail traffic and sustainable land utilization of Changsha on the basis of analyzing track transportation wire plan and the present situation of land utilization. Through all the analyses above, Changsha decides to take the opportunity of rail transit building, guides the change of land using policy of Changsha further and reaches harmony and unity of purpose of rail traffic and land utilization of Changsha eventually.

**Key words:** urban rail traffic; land utilization; the coordination development

(上接第102页)

- [5] 黄雅芳. 用结构分析方法预测城市需水量[J]. 上海水务. 2007, 23(A01): 8-9, 20.
- [6] DUANE D B, JOHN J B, MICHAEL H W, Urban water demand management and planning [M]. New York: McGraw - Hill; 1997.
- [7] 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; 2004.
- [8] 王中宇, 周莉萍, 吴汉雄, 等. 用灰色关联法处理动态测试数据相关性的研究[J]. 华中理工大学学报. 1996, 24(7): 31-33.
- [9] 尹 君, 吴泽宁, 胡彩虹. 与 GDP 相关的生活需水量预测模型[J]. 水资源与水工程学报. 2007, 18(2): 16-19.
- [10] 郑州市水利局. 郑州市未来三十年水资源供需展望[R]. 郑州; 2003.
- [11] 汪荣鑫. 数理统计 [M]. 西安: 西安交通大学出版社; 1986.
- [12] 叶文字, 白 丹, 王基刚, 等. 西安城市生活需水量预测 [J]. 水资源与水工程学报. 2005, 16(3): 32-64.
- [13] 郑州市水利局. 郑州市节水型社会建设规划 [R]. 郑州; 2005.

## Improved Elastic Coefficient Method and its Application for Domestic Water Demand Forecast

JING Lei, WU Ze-ning, HU Cai-hong

(School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Elastic coefficient method is one of the most popular methods for predicting water demand, and the key step in this modeling procedure is to extract appropriate factors that affect the water demand in that region. To efficiently extract these main factors, variables in the elastic coefficient model were analyzed by using the tool of grey relational analysis, and consequently a logarithmic data pretreatment method was put forward. Zhengzhou was taken as the example for verifying the model. The results show that this method is reasonable and necessary, improves the application of grey relational analysis, and has reference value for other factor extracting methods as well. The forecasting results of the water demand are satisfactorially with actual condition, and thus also have certain reference value for the water resource planning in Zhengzhou.

**Key words:** water demand forecast; domestic water demand; factor extracting; grey relational analysis; data pretreatment