

基于组合预测法的城市需水预测

管桂玲, 卢发周, 果利娟, 陈 璇

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210022)

摘要: 建立指数平滑和灰色模型组合预测模型, 采用改进熵值法确定权重系数, 并运用组合模型对宁波市进行了需水预测。以宁波市 2001 ~ 2015 年城市用水总量为基础数据, 2016 年城市用水总量作为测试数据, 预测结果显示, 组合预测模型的相对误差只有 0.17%, 低于指数平滑预测的 1.71% 和灰色模型预测的 1.19%, 组合预测模型进一步提高了单一预测模型的预测精度。

关键词: 需水模型; 指数平滑预测; 灰色预测; 组合模型

中图分类号: TV131 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2019) 03-0006-03

Urban water demand forecasting based on combination forecasting method

GUAN Guiling, LU Fazhou, GUO Lijuan, CHEN Xuan

(Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210022, Jiangsu)

Abstract: The combination forecasting model of exponential smoothing and grey model was established. Improved entropy method was used to determine the weight coefficient, and the combination model was used to predict the water demand of Ningbo City. Based on the total urban water consumption in Ningbo from 2001 to 2015, the total urban water consumption in 2016 was taken as the test data. The prediction results showed that the relative error of the combination forecasting model was only 0.17%, which was lower than 1.71% of the exponential smoothing forecasting model and 1.19% of the grey model forecasting. The combination forecasting model further improved the prediction accuracy of the single forecasting model.

Key words: water requirement model; exponential smoothing forecasting; grey forecasting; combination model

随着全球气候的变化和大规模的经济开发, 我国水资源情势正在发生新的变化, 且水资源短缺已经成为制约社会发展的瓶颈, 国家贯彻落实水资源管理“三条红线”, 明确提出划定水资源开发利用红线, 严格实行用水总量控制, 因此, 加快从供水管理向需水管理转变的水资源管理理念十分必要^[1]。需水预测是需水管理的重要依据, 对用水数量的控制, 在用水环节管理中具有源头性, 并且可以对用水效率的提高与水资源的保护提供有力的支撑, 是水资源优化配置、规划和管理的前提,

研究城市需水问题, 对需水量做出科学合理的预测对城市发展具有重要意义。

到目前为止, 众多专家学者在开展需水预测的工作中研究出了大量的需水预测方法, 主要包括时间序列法、趋势分析法、弹性系数法、回归分析法、灰色模型法、人工神经网络法、用水定额法等等。每种单一的预测方法都各有其优点和缺点, 由于影响用水需求量的因素多而复杂, 单一的方法对于用水需求量的精度保证较为困难。考虑到不同的预测方法之间并不互相排斥, 而是存在相

收稿日期: 2018-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目: 城市低影响开发措施减灾补偿机理及空间布局研究 (项目编号 41301016)

作者简介: 管桂玲 (1987—), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水资源与水环境、给水排水等工作。

互联系、相互补充的关系, 学者们提出了组合预测模型, 即把不同的预测模型相组合, 综合利用各种预测方法所提供的信息, 以适当的加权平均形式构造组合预测模型^[2]。本研究拟利用指数平滑和灰色理论的方法, 建立需水组合预测模型, 通过改进的熵值法确定组合权系数, 以期提高预测精度, 得出更优的城市需水预测结果。

1 预测方法及模型

1.1 指数平滑预测

指数平滑预测法是指对各期观测值依时间顺序进行加权平均得出预测值的方法, 具有简单的递推形式, 并且适用于数据较少的预测情况。根据平滑次数的不同, 又分为一次指数平滑法、二次指数平滑法和三次指数平滑法等。

指数平滑的预测模型为:

$$y'_{t+1} = \alpha y_t + (1-\alpha) y'_t \quad (1)$$

式中: y'_{t+1} 为第 $t+1$ 期预测值, y_t 为第 t 期实际值, y'_t 为第 t 期预测值。

设时间序列为 $y_1, y_2, \dots, y_t, \dots$, α 为加权系数, $0 < \alpha < 1$, 指数平滑计算式如下:

$$S_t^{(1)} = \alpha y_t + (1-\alpha) S_{t-1}^{(1)} \quad (2)$$

$$S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1-\alpha) S_{t-1}^{(2)} \quad (3)$$

$$S_t^{(3)} = \alpha S_t^{(2)} + (1-\alpha) S_{t-1}^{(3)} \quad (4)$$

式中: $S_t^{(1)}$ 为第 t 期一次平滑值, $S_t^{(2)}$ 为第 t 期二次平滑值, $S_t^{(3)}$ 为第 t 期三次平滑值。

在进行指数平滑预测时, 加权系数 α 和初值 S_0 的选择是非常重要的。加权系数 α 的大小体现了修正的幅度, α 值越大, 修正幅度越大; α 值越小, 修正幅度也越小。当时间序列的数据较多时可选用第一期数据作为初值; 当时间序列数据较少时, 一般以最初几期实际值的平均值作为初值。

1.2 灰色模型预测

灰色模型预测法是利用灰色理论, 通过对原始用水数据的累加生成预测对象系统的整体规律, 建立城市需水的灰色模型, 利用改进模型进行预测^[3]。灰色理论主要研究的是外延明确, 内涵不明确的小样本、贫信息问题, 该方法不要求对系统结构有较多了解即可进行预测, 因此可根据其过去较少用水量直接类推其需水量。目前用灰色模型进行预测时, 最常用的是 GM(1, 1) 模型。

设 $x^{(0)}$ 为 n 个元素的数列 $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2),$

$\dots, x^{(0)}(n))$, $x^{(0)}$ 的一次累加生成数列为 $x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$, 其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$ ($k=1, 2, \dots, n$)。

则 GM(1, 1) 白化型为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)} = b \quad (5)$$

式中: a 为发展系数, b 为灰作用量。

灰色预测模型为:

$$x'^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{a}{b}) e^{-ak} + \frac{a}{b}, (k=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$x'^{(0)}(k+1) = x'^{(1)}(k+1) - x'^{(1)}(k), (k=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

灰色模型预测需要进行后验比 (C 为原始数据的均方差与残差的均方差之比) 和小误差概率 (P) 检验。当 $C \leq 35\%$, $P \geq 0.95$ 时, 模型精度等级为 1 级 (好); 当 $35\% < C \leq 50\%$, $0.8 \leq P < 0.95$ 时, 模型精度等级为 2 级 (合格)。

1.3 组合模型预测

设有 m 种不同的预测模型, 则组合预测模型为:

$$y_t = \sum_{i=1}^m l_i y_{it} \quad (8)$$

式中: y_t 为第 t 期组合预测模型的预测值, l_i 为第 i 种预测方法的权重系数, y_{it} 为第 t 期第 i 种预测方法的预测值。

其中各个预测方法的权重系数由改进熵值法^[3-4]确定。首先, 将第 i 种单项预测方法的相对误差排序, 分为偏大 (概率为 25%)、一般 (概率为 50%) 和偏小状态 (概率为 25%), 并分别赋予 0.3、0.4 和 0.3 的权重, 得到修正后的误差序列; 其次, 计算出各期预测修正后的相对误差的比重、熵值 h_i 及相对误差序列的变异程度系数 $d_i = 1 - h_i$; 最后, 计算出第 i 种单项预测方法的权重系数, 计算公式为:

$$l_i = \frac{1}{m-1} \left(1 - \frac{d_i}{\sum_{i=1}^m d_i} \right) \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

2 实证分析

宁波市地处我国海岸线中段, 长江三角洲南翼, 东有舟山群岛为天然屏障, 北濒杭州湾, 西接绍兴市的嵊州、新昌、上虞, 南临三门湾, 并与台州的三门、天台相连。其纬度适中, 属亚热带季风气

候, 温和湿润, 四季分明。宁波市的多年平均气温 16.4°C , 平均气温以 7 月份最高, 为 28.0°C , 1 月份最低, 为 4.7°C 。宁波市无霜期一般为 230 ~ 240 d。境内雨量充沛, 多年平均降水量为 1480 mm 左右, 5 ~ 9 月占全年降水量的 60%。多年平均日照时数 1850 h。宁波市属浙江省八大水系之一, 河流有余姚江、奉化江、甬江, 余姚江发源于上虞区梁湖, 奉化江发源于奉化区斑竹。余姚江、奉化江在市区“三江口”汇成甬江, 流向东北, 经招宝山入东海。全市多年平均水资源总量 75 亿 m^3 , 目前人均水资源占有量 1050 m^3 , 仅为全省人均水平的六成。宁波是长江三角洲南翼经济中心和化学工基地, 是中国华东地区的工商业城市, 也是浙江省经济中心之一。随着城市的发展, 宁波市用水量从 2001 年的 18.36 亿 m^3 上涨至 2016 年的 23.46 亿 m^3 , 总体上宁波市存在资源型、水质型缺水现象, 应加强城市用水总量控制研究。宁波市用水量主要包括生产用水、生活用水和环境用水, 以其城市总用水量^[5](见表 1) 为例, 进行需水预测研究。

以宁波市 2001 ~ 2016 年为时间序列, 将

2001 ~ 2015 年《宁波市水资源公报》中的全市总用水量作为已知数据进行模型率定, 2016 年《宁波市水资源公报》中的全市总用水量用于与预测模型的预测值作比较, 分析预测精度。

2.1 预测结果

应用指数平滑法, 由于时间序列数据较少, 以 2001 ~ 2003 年用水量的平均值为初始值, $S_0^{(1)} = 18.16$ 。 α 取值 0.5, 2001 ~ 2015 年用水量预测结果见表 1。

应用灰色模型, 模型参数 a 、 b 分别为 -0.016 和 18.29 , 2001 ~ 2015 年用水量预测结果见表 1。经分析, 模型的精度为 1 级(好)。

应用指数平滑与灰色模型组合预测模型, 将两种预测方法 2001 ~ 2015 年实际值与预测值的相对误差按改进熵值法进行计算, 得到指数平滑法与灰色模型的权重系数分别为 0.53, 0.47, 将 2 种单项模型的预测结果代入式(8), 即得到组合预测模型预测的 2016 年需水量, 见表 2。

2.2 预测结果分析

宁波市 2016 年需水量预测结果表明, 组合预

表 1 指数平滑与灰色模型预测结果

年份	实际值 / 亿 m^3	指数平滑法		灰色模型 GM (1,1)	
		预测值 / 亿 m^3	相对误差	预测值 / 亿 m^3	相对误差
2001	18.36	18.26	0.0054	18.36	0.0000
2002	18.05	18.16	0.0059	18.74	0.0384
2003	18.08	18.12	0.0021	19.05	0.0535
2004	19.56	18.84	0.0369	19.36	0.0103
2005	20.16	19.50	0.0328	19.67	0.0241
2006	20.79	20.14	0.0310	19.99	0.0383
2007	20.82	20.48	0.0162	20.32	0.0240
2008	21.12	20.80	0.0151	20.65	0.0222
2009	20.75	20.78	0.0012	20.99	0.0115
2010	21.26	21.02	0.0114	21.33	0.0033
2011	21.88	21.45	0.0197	21.68	0.0093
2012	21.32	21.38	0.0030	22.03	0.0333
2013	22.14	21.76	0.0171	22.39	0.0113
2014	22.93	22.35	0.0255	22.75	0.0076
2015	22.97	22.66	0.0136	23.13	0.0068

(下转第 16 页)

（上接第 8 页）

表 2 指数平滑、灰色模型与组合预测模型预测结果

年份	实际值 / 亿 m ³	指数平滑法		灰色模型 GM (1,1)		组合预测法	
		预测值 / 亿 m ³	相对误差	预测值 / 亿 m ³	相对误差	预测值 / 亿 m ³	相对误差
2016	23.46	23.06	0.0171	23.74	0.0119	23.42	0.0017

测模型的相对误差只有 0.17%，低于单一预测模型指数平滑预测模型的相对误差 1.71% 和灰色预测模型的相对误差 1.19%。宁波市 2001 ~ 2016 年需水量预测结果表明，指数平滑预测的平均相对误差为 1.59%，灰色模型预测的平均相对误差为 1.91%，组合预测模型的平均相对误差为 1.0%。可见，组合模型预测较好地提高了预测结果的精度。

3 结语

预测结果表明，采用改善熵值法确定权重系数的指数平滑和灰色模型组合预测模型提高了 2 种单项模型的预测精度。基于指数平滑模型和灰色模型的组合模型预测城市需水，可以有效地解决城市用水量数据较少且预测精度不高的问题。组合预测模型的关键是组合的单项模型的选取和组合权重系数的确定。由于资料的限制，本文选取

对资料要求较少的指数平滑模型和灰色模型组合预测，许多影响需水预测的因素都没有考虑，因此尚未对系统内部进行深入和综合分析，在资料允许的条件下，还需对其进行进一步研究。

参考文献：

[1] 水科学进展编辑部 . 需水管理的定义与内涵 [J] . 水科学进展, 2009, 20 (5) : 747-754 .
[2] 陈华友 . 组合预测方法有效性理论及其应用 [M] . 北京: 科学出版社, 2008 .
[3] 李振全, 徐建新, 邹向涛, 等 . 灰色系统理论在农业需水量预测中的应用 [J] . 中国农村水利水电, 2005, 11: 24-26 .
[4] 陈华友 . 熵值法及其在确定组合预测权系数中的应用 [J] . 安徽大学学报 (自然科学版), 2003, 27 (4) : 1-6 .
[5] 宁波市水利局 . 宁波市水资源公报 [R] . 2001-2016 .