

文章编号: 1000-7709(2015)03-0019-03

厦门市水资源供需分析及水安全保障对策

曹林丽^a, 薛雄志^{a,b}

(厦门大学 a. 环境与生态学院; b. 海洋与海岸带发展研究院, 福建 厦门 361102)

摘要: 厦门市淡水资源严重匮乏, 人均占有量仅 356 m^3 (2001~2012年), 为缓解厦门市供需水矛盾, 提高水资源综合效益, 针对厦门市水质性严重缺水的现状, 通过供需水量分析, 预测在保证率为 75% 时, 厦门市 2015、2020、2030 年的缺水量分别为 0.5188×10^8 、 3.0598×10^8 、 $9.1776 \times 10^8 \text{ m}^3$, 供需水矛盾突出。为此分析了厦门市水资源管理存在的主要问题, 并提出了缓解厦门市水资源供需矛盾和保障水环境安全的措施。

关键词: 水安全; 厦门; 水资源; 供需分析

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

1 概况

厦门市属海岛型城市, 水资源严重匮乏, 多年(2001~2012年, 下同)平均降雨量在 1498.5 mm 左右^[1]; 地下水资源贫乏, 多年平均地下水水量仅 $2.24 \times 10^8 \text{ m}^3$; 平均水资源总量为 $12.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1]。按 2010 年常住人口 353.13 万人计^[2], 厦门人均水资源量仅为 356 m^3 , 为世界人均水资源量的 $1/28$, 低于国际严重缺水线 500 m^3 。厦门市境内主要有东溪、西溪、后溪、九溪四条主要河流, 但汇水面积均较小, 难以形成湖泊调蓄。目前, 全市依靠北溪引水工程提供的工农业生产、生活用水占 80% 以上; 另外的 20% 来自汀溪水库和坂头一石兜水库这两个重要的补充调节水源^[3]。厦门市水资源供给单一, 水环境状况也不容乐观。就饮用水源地来看, 九龙江北溪引水集美水池锰含量超标, 常发生水华。厦门市小型水库有 91 座, 水质达不到饮用水标准, 难以直接作为备用水源。《厦门市水资源公报》中参评的 93.7 km 评价河长均受到一定程度污染(V类和劣V类), 受污染河长有所增加, 水体的主要超标项目为总磷、溶解氧、五日生化需氧量、氨氮、高锰酸盐指数等, 厦门市属于水质性缺水, 缺水严重。鉴此, 对厦门市水资源供需情况进行分析与评价, 加强水资源管理并提出安全保障措施, 就具有十分重要的意义。

2 厦门市水资源供需分析

2.1 厦门市供水情况

目前, 厦门市供水水源地有九龙江北溪引水、汀溪水库群、坂头一石兜水库及其他小型水库。近十年来, 厦门市年平均供水量为 $5.8856 \times 10^4 \text{ m}^3$ (不计海水供应量)^[1]。

厦门市在建供水工程主要有莲花水库扩建工程(2015年前完成)、长泰枋洋水利枢纽工程(2020年前完成)、闽江北水南调工程(自泉州引水, 2020~2030年完成), 完工后可分别向厦门供水约 0.99×10^8 、 2.11×10^8 、 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

非常规水方面, 根据 2007 年编制的《厦门市海水综合利用规划》, 2020 年通过海水利用年均有效替代淡水资源 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中海水淡化能力达 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 预测 2030 年海水淡化规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据厦门市“十二五”城镇污水再生利用规划, “十二五”期间厦门市城镇中水回用规模将新增 $11.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2015 年污水处理量规划达到 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年回用量为 $0.548 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。预计到 2020 年污水处理量达到 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年回用量为 $0.657 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2030 年厦门市污水年回用量 $0.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.2 厦门市需水量预测

城市需水量预测可分为经济社会需水和生态环境需水。经济社会需水又分为生活用水和生产用水。生产用水包括第一、二(工业、建筑业)、三

收稿日期: 2014-06-02, 修回日期: 2014-08-01

作者简介: 曹林丽(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为水资源管理、海岸带综合管理, E-mail: linli_xmu@163.com

通讯作者: 薛雄志(1961-), 男, 博士、教授、博导, 研究方向为海岸带综合管理, E-mail: zxxue@xmu.edu.cn

产业用水。设城市各行业需水量集 $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$, 城市分行业预测需水总量为:

$$f(Q_i) = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (1)$$

式中, Q_i 为 i 行业需水量预测值。

2.2.1 人口预测

利用灰色 GM(1,1) 预测模型^[4] 预测厦门市常住人口。预测数据见表 1。

表 1 厦门市常住人口 GM(1,1) 模型预测

Tab. 1 Prediction of permanent resident population in Xiamen by GM(1,1) model

年份	$x^{(0)}(k)$	$x^{(1)}(k)$	$z^{(1)}(k)$	预测值	相对误差
2000	205.00	205.00			
2001	220.97	425.97	315.49	224.87	0.03
2002	233.04	659.01	542.49	235.90	0.02
2003	245.77	904.78	781.90	247.48	0.01
2004	259.20	1 163.98	1 034.38	259.62	0.01
2005	273.37	1 437.35	1 300.67	272.36	0.00
2006	288.30	1 725.65	1 581.50	285.72	-0.01
2007	304.06	2 029.71	1 877.68	299.74	-0.01
2008	320.67	2 350.38	2 190.05	314.45	-0.04
2009	338.19	2 688.57	2 519.48	329.87	0.00
2010	356.67	3 045.24	2 866.91	346.06	-0.03
2011	376.16	3 421.40	3 233.32	363.04	0.01
2012	394.41	3 815.81	3 618.61	380.85	0.04

预测模型为:

$$x^{(0)}(k) + ax^{(1)}(k) = b \quad (2)$$

其中 $x^{(1)} = AGOx^{(0)}$; $z^{(1)} = MEANx^{(1)}$ (3)

式中, $x^{(0)}$ 为原始序列; (a, b) 为 GM(1, 1) 的一级参数包; $x^{(1)}$ 为原始序列的一次累加生成序列; AGO 为序列累加生成方法; $z^{(1)}$ 为 $x^{(1)}$ 序列的均值生成序列; MEAN 为序列均值生成方法; k 为自变量。

以厦门市 2000~2012 年常住人口数为原始序列, 采用 Matlab 计算^[5] 得出 GM(1, 1) 的一级参数包为 $(-0.0479, 209.7053)$, 厦门市 2015、2020、2030 年的人口预测值分别为 419、532、859 万人。

2.2.2 农业需水量

采用亩均灌溉定额法预测。2012 年厦门市灌溉面积约 1.8×10^4 ha^[6], 农业每公顷用水量为 8.1×10^3 m³, 灌溉水利用系数为 0.50。党中央提出坚守 1.2×10^8 ha 耕地红线, 厦门市制定《厦门市土地开发整理奖励办法》激励拓展补充耕地任务和土地开发整理, 项目所在区新增 1 ha 耕地, 由市财政奖励 45 000 元。此措施会鼓励厦门市耕地面积增加, 但受厦门市总体面积与建筑面积等的限制, 厦门市耕地新增面积不会太多。再加之节水灌溉的发展, 判定农灌需水应基本保持恒定, 预测 2030 年以内农业用水总量会保持在 1.458×10^8 m³ 的水平。

2.2.3 工业需水量

2012 年厦门市单位工业增加值达 1 072.57 亿元。《厦门工业十二五发展规划》期间, 万元工业增加值用水量下降较快, 故今后下降空间较小, 压力较大。“十二五”规划至 2015 年工业增加值增长率为 15% (2020 年后工业增加值为 10%), 工业增加值计算式为:

$$P_m = P_n(1+t)^n \quad (4)$$

式中, P_m 为预测年份工业增加值; P_n 为水平年份工业增加值; t 为工业增加值增长率; n 为预测年限。

工业需水量预测公式为:

$$Q_{工业} = P_m K_m \quad (5)$$

式中, $Q_{工业}$ 为预测年份的工业需水量; K_m 为预测年份的万元工业增加值用水净定额。

2012 年厦门市综合万元工业增加值用水净定额为 13.1 m³, 工业增加值为 1 072.57 亿元, 年工业需水量为 1.405×10^8 m³。以 2012 年为水平年, 2015 年综合万元工业增加值用水净定额为 12.71 m³, 工业增加值为 1 631.24 亿元, 工业需水量为 2.073×10^8 m³。2020 年综合万元工业增加值用水净定额为 12.45 m³, 工业增加值为 3 281.02 亿元, 工业需水量为 4.084×10^8 m³; 2030 年综合万元工业增加值用水净定额为 12.20 m³, 工业增加值为 8 510.11 亿元, 工业需水量为 10.382×10^8 m³。

2.2.4 生活需水量

采用人日均用水量预测法, 生活需水量预测公式为:

$$Q_{生活} = O_m Y_m \quad (6)$$

式中, $Q_{生活}$ 为预测年份生活用水量, O_m 为预测年常住人口人均用水量; Y_m 为预测年常住人口数。

表 2 为 2001~2012 年厦门市常住人口人均用水量。

表 2 2001~2012 年厦门常住人口人均用水量
Tab. 2 Per capita household water consumption in Xiamen during 2001-2012 L/(人·d)

年份	常住人口 人均用水量	年减 少量	年份	常住人口 人均用水量	年减 少量
2001	370		2007	240	
2002	374	-4	2008	231	9
2003	285		2009	234	-3
2004	276	9	2010	172	
2005	274	2	2011	166	6
2006	268	6	2012	164	2

基于表 2 中人均用水量变化趋势及厦门市今后生活模式不会有很大变化, 判定厦门市人均综合用水量有所降低但变化不大。取年减少量平均值 3.375 /(人·d) (去掉减少量较大的值) 作为五

年人均用水减少量。2015 年常住人口数为 419 万人,人均用水量 161.98 L/(人·d),生活需水量为 $2.4772 \times 10^8 \text{ m}^3$;2020 年常住人口数为 532 万人,人均用水量 158.60 L/(人·d),生活需水量为 $3.0881 \times 10^8 \text{ m}^3$;2030 年常住人口数为 859 万人,人均用水量 151.85 L/(人·d),生活需水量为 $4.7610 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.2.5 建筑业和第三产业需水量

采用单位建筑面积用水量预测建筑业需水量。2015 年建筑业单位建筑面积净用水量 0.72 m^3 ,毛需水量 $901 \times 10^4 \text{ m}^3$;第三产业万元增加值净需水量 5.8 m^3 ,毛需水量 $1.4722 \times 10^8 \text{ m}^3$;2020 年建筑业单位建筑面积净用水量 0.69 m^3 ,毛需水量 $0.1083 \times 10^8 \text{ m}^3$;第三产业万元增加值净需水量 4.4 m^3 ,毛需水量 $2.4855 \times 10^8 \text{ m}^3$;2030 年建筑业和第三产业需水量为 $3.8907 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.2.6 生态环境需水量

生态环境需水量按生活需水量的 15%估算^[7]。

2.3 厦门市水资源供需分析

以现状供水方式为基础,在供水保证率为 75%时分别计算 2015、2020、2030 年的供需水状况,见表 3。由表 3 可知,2015、2020、2030 年厦门市的缺水量分别为 0.5188×10^8 、 3.0598×10^8 、 $9.1776 \times 10^8 \text{ m}^3$,说明远期厦门市将严重缺水。

表 3 厦门市水资源供需平衡分析

Tab.3 Analysis of supply and demand of water resource in Xiamen

		10 ⁴ m ³		
项目	指标	2015 年	2020 年	2030 年
供水量	引蓄水量	68 756	77 886	97 886
	污水再生利用及海水利用	5 480	8 395	22 400
	总供水量	74 236	86 281	120 286
需水量	农业需水	14 580	14 580	14 580
	工业需水	20 733	40 848	103 823
	生活需水	24 772	30 881	47 610
	生态需水量	3 716	4 632	7 142
	建筑和第三产业需水	15 623	25 938	38 907
	总需水量	79 424	116 879	212 062
	缺水量	5 188	30 598	91 776

3 厦门市水资源安全保障措施

3.1 厦门市水资源管理中存在的问题

主要存在问题为:①综合性水资源管理协调机构缺乏,出现部门间职责交叉、相互争权甚至相互推诿的情况。②受流域管理权限制约,跨流域管理问题凸显。③高效、权威、协调的水资源管理体制缺乏,水源安全难以保障。

3.2 重视非常规水的利用

主要为:①污水集中处理与分散处理相结合,

因地制宜,既可节约成本,又可提高处理效率。②加强海水淡化技术的支撑能力与利用研究。③增加 LID 技术的研究与应用,减少暴雨径流,充分利用雨水资源。

3.3 利用节水技术建设节水城市

①调整经济结构和产业布局调整,实现经济转型,节约水资源。②大力发展清洁生产,加快循环用水工艺的推广,提高工业冷却水的循环利用。③增加基础设施投资,引蓄回灌,减少干旱季节灌溉缺水问题;加强农业生产灌溉管理,采取膜上灌、小畦灌等节水灌溉方式,提高灌溉用水利用系数,从而提高农业生产灌溉利用率。④改善农村用水和排污环境,提高乡村生活用水质量,提高公众节水意识,加大公众知情权,促进公众参与。

3.4 改革水资源管理体制,建立跨行政区域管理

学习日本的水资源管理模式——分部门管理与集中协调。建立水资源管理协调部门,使流域各地相互配合,实现跨行政区域管理。

4 结论

a. 在供水保证率为 75%时,2015、2020、2030 年厦门市缺水量分别为 0.5188×10^8 、 3.0598×10^8 、 $9.1776 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

b. 充分利用非常规水、提高节水技术、优化水资源配置、完善跨流域管理体系,对厦门节水城市建设及水安全策略研究有十分重要的理论意义与实践价值。

c. 厦门市可逐步形成以水库群供水为主、九龙江供水为辅、非常规水资源应急的“三大水源”立体供水体系,确保用水“源远流长”。

参考文献:

- [1] 厦门市水利局. 厦门市水资源公报(2001-2012)[Z]. 厦门:厦门市水利局,2001-2012.
- [2] 厦门市统计局. 厦门市 2010 年第六次全国人口普查主要数据公报[Z]. 厦门:厦门市统计局,2011.
- [3] 李焯明. 加快北引工程改造保障厦门用水需求[J]. 水利规划与设计,2008(1):16-18.
- [4] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002:221-238.
- [5] 任玉杰. 数值分析及其 MATLAB 实现[M]. 北京:高等教育出版社,2007:145-151.
- [6] 厦门市水利局,厦门市统计局. 厦门市第一次全国水利普查公报[Z]. 厦门:厦门市水利局,厦门市统计局,2013.
- [7] 傅春,刘柱建,林永钦. 江西省 2010 年水资源承载力分析[J]. 南昌工程学院学报,2005,24(4):1-5.

(下转第 26 页)

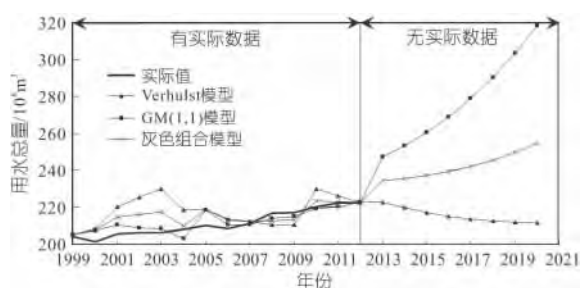


图 2 三种模型对 2013~2020 年需水总量预测结果比较
Fig. 2 Comparison of water demand prediction results during 2013-2020 by three different models

表 5 不同模型预测误差结果比较
Tab. 5 Comparison of prediction error results of different models

年份	组合灰 色模型	BP 神经 网络模型	GM(1,1) 模型	灰色 Verhulst 模型	多元线性 回归模型
2011	4.05	7.24±1	4.34	-4.09	10.24
2012	6.54	8.35±1	6.79	-3.66	12.35

的波动;GM(1,1)模型有一定的准确性,但随着预测序列增加,其增长过快;灰色 Verhulst 模型预测相对误差虽然不大,但在需水量变化的趋势上反而减小,不合适;多元线性回归模型将其比作线性考虑,预测误差稍大;本文提出的灰色组合模型兼顾了 GM(1,1)和 Verhulst 模型的特点,其预测误差较小,结果更合理。

5 结论

a. 浙江省在未来的一段时间内需水量增长

Water Demand Prediction in Zhejiang Province Based on Grey Combination Model

WANG You-juan^{1a,2}, FENG Wei-bing^{1a}, LI Ao-dian^{1b}

(1a. College of Port Coastal and Offshore Engineering; 1b. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Shanghai Communications Construction Contracting Co. Ltd., Shanghai 200136, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of traditional water demand prediction model, grey combined model is established by integrating grey model GM(1,1) with grey Verhulst model. Residual error and weighting distribution are used to correct the model. On the basis of analyzing current situation of water resources of Zhejiang Province in 1998-2012, the proposed model is used to predicate water resources situation of Zhejiang Province in 2013-2020. The results show that in the next period of time, the amount of water demand in Zhejiang Province will gradually speed up in growth, particularly on the residents living water and industrial water. Therefore, future work is focused on industrial production of water-saving and speeding up the adjustment of industrial structure.

Key words: GM (1, 1) model; grey Verhulst model; grey combination model; water demand predication; Zhejiang Province

(上接第 21 页)

Analysis of Supply and Demand of Xiamen Water Resources and Countermeasures for Water Security

CAO Lin-li^a, XUE Xiong-zhi^{a,b}

(a. College of Environment and Ecology; b. Costal and Ocean Management Institute, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

Abstract: The water resource in Xiamen City is scarce. Per capita water resource (2001-2012) is only 356 m³. To relieve the contradiction between supply and demand of water resources in Xiamen and to improve the comprehensive benefits, this paper mainly analyzed the condition of water supply and demand in Xiamen for the quality-induced water shortage problem and predicted that water lacking amount in the year of 2015, 2020, 2030 in Xiamen would be 51.88, 305.98, 917.76 billion m³ by the classification prediction method with the 75% assurance rate. It also analyzed the main problems of water management and gave some suggestions to relieve the contradiction between supply and demand and to ensure the safety of water environment.

Key words: water security; Xiamen; water resources; analysis of supply and demand

会逐步加快,尤其体现在居民生活用水和工业用水上。因此,做好工业生产节水工作,加快产业结构调整是今后工作的重点。

b. 本文提出的二次修正的灰色组合模型兼顾了 GM(1,1)模型和 Verhulst 模型的特点,使最终的预测结果更加合理,且在操作上采用程序化的方式,利用 Matlab 编程实现,计算方便可行。

参考文献:

[1] 徐洪福,袁一星,赵洪宾. 灰色预测模型在年用水量预测中的应用[J]. 哈尔滨建筑大学学报,2001,34(4):61-64.
[2] 龙训建,钱鞠,梁川. 基于主成分分析的 BP 神经网络及其在需水预测中的应用[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2010,37(2):206-210.
[3] 吕谋,赵洪滨,李红卫,等. 时用水量预测的实用组合动态建模方法[J]. 中国给水排水,1998,14(1):9-11.
[4] 王盼,陆宝宏,张瀚文,等. 基于随机森林模型的需水预测模型及其应用[J]. 水资源保护,2014,30(1):34-37,89.
[5] 钱光兴,崔东文. RBF 与 GRNN 神经网络模型在城市需水预测中的应用[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(5):148-152.
[6] 侯景伟,孔云峰,孙九林. 蚁群算法在需水预测模型参数优化中的应用[J]. 计算机应用,2012,32(10):2 952-2 955,2 959.
[7] 邓聚龙. 灰色控制系统[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1993.