

文章编号: 1001-5485(2007) 01-0061-04

水资源需求预测的研究现状及发展趋势

贺丽媛¹, 夏 军^{1, 2}, 张利平¹

(1. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072;

2. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 叙述了目前国内外水资源需求预测的研究概况, 系统研究了水资源需求预测的常用方法, 对目前水资源需求预测存在的问题进行讨论, 并就今后水资源需求预测的发展趋势提出看法。

关键词: 水资源; 需水; 预测; 研究方法; 发展趋势

中图分类号: TV211.1 **文献标识码:** A

水是人类活动不可缺少的重要资源。随着社会经济的发展、人口的增加、人类对水资源需求的提高及水资源的日益短缺等, 使水资源供需矛盾更加突出, 因此, 进行水资源的需求预测已成了各个国家和地区进行水资源规划的主要任务。现有的一些水资源需求预测方法主要是针对具体方法本身进行研究或者只是研究其在某一方面的具体应用。基于此种情况, 笔者通过系统研究水资源需求预测的常用预测方法及国内外研究概况, 对现有的水资源需求预测方法进行分析, 针对预测过程中存在的一些问题探讨, 并就今后水资源需求预测的发展趋势提出一些看法。

1 国内外需水研究状况

1.1 国外需水量预测研究

国外需水预测研究最早始于 100 年前的美国。美国内战结束后, 城市重建和随后的工业化进程中建设了不少城市供水系统, 其中大部分都是服务于全部居民的, 甚至超前考虑到未来用水发展的需要^[1]。之后美国于 1965 年开始进行第一次全国水资源评价工作, 1968 年完成评价报告, 报告中提出了 1968—2020 年全美国需水展望。1978 年美国又开始进行了第二次全国水资源评价, 并重新对各类用水进行了需水预测^[2]。日本从上世纪 60 年代开始, 每 10 年进行一次国土规划, 把需水预测作为规划的一个依据。英国、法国、荷兰、加拿大等国也逐步开展需水预测工作, 并以此作为宏观管理或指定

政策的手段。1977 年联合国世界水会议在阿根廷马德普拉塔召开, 并号召各国要进行一次专门的国家级水资源评价活动。1987 年联合国世界环境与发展委员会出版了《我们共同的未来》, 1992 年《21 世纪议程》诞生, 使水资源开始围绕着面向未来的可持续发展这一中心问题展开, 从而推动了需水量预测研究的深入进行^[3], 世界其他国家也陆续开展了中长期供需水的预测工作, 并对水资源需水管理进行了研究^[4]。

1.2 国内需水预测研究

我国需水研究的发展是与我国的用水历程分不开的。从阶段来看, 我国用水历程大致可分为 4 个阶段:

第一阶段为 1950 年以前, 当时我国是一个落后的农业大国, 工业基础非常薄弱, 城市供水系统低下, 农业主要是依靠天然降水, 基本没有开展需水预测研究工作。

第二阶段为 20 世纪 50 年代初期至 60 年代中期, 新中国成立后首先发展农业, 农业用水快速增加, 灌溉面积与用水量翻了一倍。但其他各项用水相对于全国用水总量的比重不大, 故这一阶段需水预测研究主要体现是开展灌溉试验研究。

第三阶段为 20 世纪 60 年代中期至 70 年代末期, 随着农田灌溉面积的大力发展, 灌溉需水增幅较大, 而同时工业和生活用水也有较大增长。这一时期需水预测工作开始全面展开, 但很多工作并没有深入进行。除农业灌溉需水量采用一定的灌溉制度进行预测外, 其他需水预测基本上是趋势外延, 大数

收稿日期: 2005-10-08; 修回日期: 2006-03-05

基金项目: 国家自然科学基金(40675070, 50379040); 科技部公益研究项目(2005DBI3J101); 教育部哲学社科类重在项目(04J2D0011); 中国科学院陆地水循环与地表过程重点实验室开放基金联合资助

作者简介: 贺丽媛(1983—), 女, 陕西澄城人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源研究, 电话(027) 68773772, 电子信箱: hcl123@hotmail.com。

估计。

第四阶段为 1980 年至今,随着改革开放的进行,我国工业经济迅速发展,工业用水量急剧增加,城市化进程的加速也导致城镇居民生活用水急增,城市与工业开始夺取农业水源,水资源供需矛盾日益突出,需水预测工作开始得到各级部门的重视并深入开展,许多需水预测方法都是在这一阶段出现并得以应用的。众多专家也在这段时间对我国未来需水情况进行预测,如姚建文,徐子恺等^[5]预测 2010 年我国需水总量为 6 600~6 900 亿 m^3 , 2030 年需水量 7 800~8 200 亿 m^3 , 2050 年需水量 8 500~9 000 亿 m^3 ;贾绍凤等^[6]根据水库兹涅茨曲线判断出我国工业用水的变化规律,并分析预测在 2030 年左右我国基本进入需水的“零增长”阶段;而陈家琦等^[7]认为,到 2100 年我国用水量才可达到国内水资源可使用量的极限,称为受水资源条件制约的零增长状态。

2 水资源需求预测的研究方法

目前国内外所采用的需水预测方法很多,其分类也有很多种,如按是否采用统计方法来分可分为统计方法和非统计方法;按预测时期长短,可分为即期预测、短期预测、中期预测和长期预测。本文按是否采用数学模型方法,将预测方法分为定量预测法和定性预测法。

2.1 定量预测方法

定量预测方法是根据用水历史过程建立预测模型或根据经验递推关系来直接预测用水量大小,常用的定量预测方法有以下 4 种。

2.1.1 时间序列法

该方法主要是对历史用水数据进行分析,采用指数平滑法及趋势外推法等建立相应关系并依此对未来需水进行预测。指数平滑法就是通过对历史数据进行“修匀”来区别基本数据模式和随机变动,从而获得时间序列的“平滑值”,并以此作为预测值^[8];趋势外推法是根据过去用水及相关指标的趋势变动规律建立模型,从而得到预测水平年的需水量。这种方法应用比较方便,但其用水机制不太明确,不过目前还没有一种方法能定量反映诸多因素对需水量的定量影响,因而趋势预测方法是需水预测的常用方法之一。

2.1.2 系统分析法

系统分析法主要包括人工神经网络法和灰色预测方法。

人工神经网络法(ANN)是一种模仿大脑机制的信息分析处理技术^[9],它适于短期预测和动态预报短期负荷值,对于长期预测并不适合^[10]。目前国内外用 ANN 进行短期预测的实例很多,如刘洪波等^[11]根据城市时段用水量序列的特点,利用 ANN 建立了短期用水量预报模型,并证明该模型可满足供水系统调度的实际需要;国外的 ASHU JAIN 等^[12,13]也应用 ANN 对印度的坎普尔进行短期需水预测,结果表明拟合效果较好。灰色预测方法是直接通过对原始数据的累加生成寻找系统的整体规律,构建指数增长模型。该方法能根据原始数据的不同特点,构造出不同的预测模型,对长、短期预测均适用,且所需数据量不大,在数据缺乏时十分有效。王煜^[14]首次在需水预测中引用灰色系统方法,提出了带有时间因子的非线性 GM(1,1),并用实践证实了该法具有较佳的预测效果。

2.1.3 结构分析法

该方法是假定用水量与几个独立的影响因素之间存在一定的因果关系,并建立其关系模型。常用的结构分析法有回归分析法和人均需水量法。

回归分析法是寻求用水量与其影响因素之间的相关关系,建立回归模型进行预测^[15]。该方法在系统发生较大变化时,可以根据相应变化因素修正预测值,故适用于长期预测,而对于短期预测,由于用水量数据波动性很大、影响因素复杂,一般不宜采用。

人均需水量方法主要是确定人均需水指标。人均需水量指标主要基于国内外、区内外比较分析后综合判定,但对于不同地区、不同的经济社会发展的阶段,人均需水量差异十分明显^[16]。如西北内陆河流域 2000 年人均用水量超过 2 000 m^3 ,而黄淮海地区则只有 300 m^3 左右,因此很难确定合理的人均用水量指标。不过柯礼丹^[17]在分析国内外预测资料的基础上,提出采用人均综合用水量加趋势微调方法预测全国需水量,并将这种方法在北京、黄河流域等应用过,证明此法较为有效。

2.1.4 宏观经济模型法

宏观经济模型主要是采用水资源投入产出分析方法,从经济系统角度研究水量耗用和需求规律,描述经济总量(如国民生产总值、国民收入等)之间的关系,研究整个国家或地区的大范围经济系统。目前关于宏观经济水资源系统集成研究的理论和方法较完善,中国水利水电科学研究院在“八五”攻关时,曾采用宏观经济模型对华北地区的水资源需求做出了预测,取得了一定的成果。

2.2 定性预测方法

定性预测方法是通过预测相应指标再计算其对应的用水量大小,一般采用下面两种方法。

2.2.1 基于用水机理预测法

基于用水机理的需水预测方法是从需水增长的内部机理方面研究需水增长规律。该方法主要是从用户的角度,通过对各用户水量消耗、补充等机理规律的研究,建立相关的水平衡关系,着重研究其水量消耗规律。如灌溉需水量预测所采用的彭曼公式法^[16],其计算公式为

$$E_p = \frac{1}{L} \times \frac{\left(\frac{\Delta}{\gamma}\right)H_0 + LE_a}{1 + \left(\frac{\Delta}{\gamma}\right)},$$

式中: E_p 为作物腾发量(即作物田间需水量,单位: mm); L 为腾发单位重量的水所需要的热量(J/g),该值随气温而变,当气温为 25℃时 $L = 2470$ J/g; Δ 为气温-水汽压关系曲线上的斜率; γ 为湿度常数; H_0 为地面净辐射(J/cm²·d),可用专门的气象仪器测定; E_a 为干燥力(mm/d),即蒸发面上的温度等于气温时的蒸发量。

按彭曼公式求得的作物田间需水量是其潜在腾发量,但实际不是所有作物的各个生育阶段都能达到潜在腾发水平,所以具体应用时还必须按照作物和土壤情况折算为实际腾发量。

基于用水机理的需水预测方法全面考虑了需水的各环节,它要求透彻了解用水部门的用水机理及其未来的演变趋势,并且要求供水能按其用水机理得以满足。但是用水户需水机理通常难以用科学方法进行定量描述,即使基于试验所提出的经验公式,也常存在着一定的假设条件,故在实际应用中仍需要进行简化和修正。

2.2.2 用水定额法

用水定额预测方法计算步骤通常包括:①社会经济发展指标预测;②各用户用水定额预测;③进行两者乘积计算,最后还应进行需水预测结果的综合分析和评价,以期预测结果的合理性和现实可行性。

采用用水定额预测方法的关键在于用水定额的预测,其确定的主要途径有:①对现状各业用水进行调查分析,制定现状条件下的用水标准和定额,再根据现状水平年的用水目标和规划水平年的用水目标做适当调整;②参照国家或邻区用水标准,由熟悉情况的专家讨论确定;③根据该区用水量变化趋势,建立预测模型,通过模型计算确定^[18]。

用水定额预测法比较直观、简单易行,便于考虑

各种因素的变化及政策性调整。但该方法需要根据国民经济发展确定出用水定额,而人均用水等在发展一定水平后,会出现徘徊或者下降,而且各行业用水定额的变幅也是很大的。例如 1986 年水利规划部门预测 2000 年全国需水量时采取的万元产值取水量为 660 m³,而实际上 2000 年工业万元产值的取水量仅为 81 m³。所以使用时必须结合当地实际情况进行充分考虑,尽可能使预测误差变小。

3 水资源需求预测存在的主要问题

水资源需求预测的各种方法都有优缺点,但总的来说,预测的长期需水量都处于偏大状态,就其原因进行分析,笔者认为主要有以下几方面因素:

(1) 预测方法大都建立在历史数据的基础上,而由于一些数据统计机构的不健全,资料有时候难免会出现误差,所以预测结果出现误差也在所难免;

(2) 驱动水资源需求增长的各类因素具有阶段性。用水需求受到水资源的资源条件、水利工程条件、水价水市场、以及节水和水管理水平等因素的制约。随着科技水平的提高、节水的实施、经济结构的变化,用水定额不会一直增加的,而且国外的一些地方用水零增长、负增长的实例已向我们证实了这点;

(3) 需水预测中采用的方法都具有一定的局限性。由于实际的需水预测涉及到人口、经济、社会政策、生态等各方面因素的影响,单一地采用一些数学手段只能反映出一些平稳的几何增长过程,所以预测结果会与实际用水量有差别。

(4) 对水资源实际供给能力的约束力考虑不够。供需应综合进行考虑,当水资源的需求量接近或者超过现有的供给能力后,用水量会极大地受限于实际所能提供的水资源量,不能超过水资源的承载能力。国外许多地方就是在公开供水能力的前提下进行需水预测。如果进行无约束的需水预测,必然造成预测结果偏大。

(5) 现有的需水预测一般对生态需水考虑得不够,没有将生态需水和生态用水清晰地区别开,况且目前的生态需水计算基本上是以现状为主,对生态环境现状的合理性分析与诊断比较欠缺,由此造成的预测结果有偏差也是难免的^[19]。

4 发展趋势

在系统分析了水资源需求预测的研究方法及预测结果偏大的原因之后,笔者对水资源需求预测的

发展趋势提出一些自己的看法:

(1) 水资源需求分析涉及宏观经济学、水资
源学、生态环境科学、微观经济学、系统工程与数学规
划等众多学科,虽然在局部领域已取得了一些重大
进展,但作为一门完整的学科尚没有建立,水资源需
求分析的理论体系与方法论研究仍待进一步发展;

(2) 水资源需求预测受国家用水政策、节水型
社会发展水平等影响,随着节水技术的快速提高,其
用水弹性很大,故需要在研究节水潜力和用水弹性
的前提下进一步进行水资源需求预测研究,同时寻
求它们之间的定量关系;

(3) 生态需水在水资源规划中的比重逐渐加
强,而关于生态需水预测方法尚未有完善的理论,同
时对生态需水的量化仍需进一步研究。

参考文献:

[1] HARTLEY J A, POWELL R S. The Development of A
Combined Water Demand Prediction System[J]. Civil
Engineering Systems, 1991, 8(4): 231- 236.
[2] PRASSIFKA D W. Current Trends in Water Supply
Planning[M]. New York: Von Nostrand Reinhold Com-
pang, 1988.
[3] 马兴冠,傅金祥,李 勇. 水资源需求预测研究[J]. 沈
阳建筑工程学院学报(自然科学版), 2002, 18(2): 135
- 138.
[4] ATEF AL-Kharabsheh, RAKAD Ta' any. Challenges of
Water Demand Management in Jordan[J]. Water Inter-
national, 2005, 30(2): 210- 219.
[5] 姚建文,徐子恺,王建生. 21 世纪中叶中国需水展望
[J]. 水科学进展, 1999, (2): 190- 194.
[6] 贾绍凤,张士锋,杨 红,等. 工业用水与经济发

系[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 279- 28.
[7] 陈家琦. 中国水资源问题及 21 世纪初期供需展望[J].
水问题论坛, 1994, (1): 25- 31.
[8] 何文杰,王季震,赵洪宾,等. 天津市城市用水量模拟方
法的研究[J]. 中国给水排水, 2001, (10): 43- 44.
[9] 杨行峻,郑君里. 人工神经网络[M]. 北京: 高等教育出
版社, 1992.
[10] 张雅君,刘全胜. 需水量预测方法的评析与择优[J]. 中
国给水排水, 2001, 17(7): 27- 29.
[11] 刘洪波,张宏伟,田 林. 人工神经网络法预测时用水
量[J]. 中国给水排水, 2002, 18(12): 39- 41.
[12] JAIN A, VARSHNEY A K, JOSHI U C. Short-Term
Water Demand Forecast Modeling at II T Kanpur Using
Artificial Neural Networks[J]. Water Resources Man-
agement, 2001, (15): 299- 231.
[13] JAIN A, ORMSBEE L E. Short-Term Water Demand
Forecast Modeling Techniques - Conventional Methods
Versus AI[J]. Journal American Water Works Associa-
tion, 2002, 94(7): 64- 72.
[14] 王 煜. 灰色系统理论在需水预测中的应用[J]. 系
统工程, 1996, 14(1): 60- 64.
[15] 李铁映,张 昕. 预测决策方法[M]. 沈阳: 辽宁科学技
术出版社, 1984.
[16] 汪党献. 水资源需求分析理论与方法研究[D]. 北京:
中国水利水电科学研究院, 2002.
[17] 柯礼丹. 人均综合用水量方法预测需水量- 观察未来社
会用水的有效途径[J]. 地下水, 2004, 26(1): 1- 5.
[18] 左其亭,马军霞,吴泽宁,等. 城市水资源承载力——理
论·方法·应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
[19] 宋兰兰,陆桂华. 生态环境需水研究综述[J]. 水利水电
科技进展, 2004, 24(3): 57- 61.

(编辑: 曾小汉)

Present Research and Development Trend on
Water Resources Demand Forecast

HE Li-yuan¹, XIA Jun^{1, 2}, ZHANG Li-ping¹

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University,
Wuhan 430072, China; 2. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The general research situation on the forecast for water resources demand conducted by experts at
home and abroad is expounded. Based on the common methods used in the forecast, the relevant problems in the
forecast for water resources demand are discussed, and the authors put forward some views to the development
trend on the forecast for water resources demand.

Key words: water resources; water demand; forecast; research method; development trend