

Forecasting Urban Water Demand

城市需水量预测

尹学康 韩德宏 著

中国建筑工业出版社

城市需水量预测

Forecasting Urban Water Demand

尹学康 韩德宏 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市需水量预测/尹学康, 韩德宏著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07716-8

I. 城... II. ①尹... ②韩... III. 城市—需水量—预测 IV. TU991.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 102891 号

责任编辑: 田启铭

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 刘 梅 张 虹

城市需水量预测

Forecasting Urban Water Demand

尹学康 韩德宏 著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京华艺制版公司制版

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 8 字数: 215 千字

2006 年 2 月第一版 2006 年 2 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 22.00 元

ISBN 7-112-07716-8

(13670)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

序

城市给水系统需水量预测,对城市需水量的变化与特性有一个事先的估计,是保证给水系统安全运行,实现科学管理与调度以及进行合理规划所必需的内容,也是进行城市水资源规划和管理的有效手段。它是现代给水系统科学的一个重要研究领域,有着其重要的意义。

对于城市需水量预测而言,经历了很长的发展时间,AWWA出版了《Forecasting Urban Water Demand》、Australian Water Resources Council出版了《Methods for Forecasting Urban Water Demands》,而目前国内尚未有对城市需水量预测的理论进行全面系统阐述的书籍。

处理城市需水量预测问题时,一是从全局的观点出发;二是通过建立预测模型。在建立模型和求解过程中,往往要求较深的数学理论基础,本书从这个方面出发,介绍了城市需水量预测方法的最新发展,详细论述了城市需水量预测的理论基础和实际方法,概括性地提出了城市需水量预测的基本原则,并结合具体的实例分析,提出了选择合适的城市需水量预测模型的方法。

本书是笔者结合多年的科研及实际工作中的体会编写而成的,内容上深入浅出,文字通俗易懂,方法上着重于思路分析,并尽量结合实际问题进行需水量预测分析,并对常用的预测方法给出了算法源程序,方便读者在实际应用中使用。本书作为国内城市需水量预测书籍的第一次尝试,无疑对我国的城市需水量预测水平的发展是有推进意义的。



2005年12月

前 言

城市给水系统短期和中长期需水量预测,是保证给水系统安全运行,实现科学管理与调度以及进行合理规划所必需的重要内容。它是现代给水系统科学的一个重要研究领域。

本书共分八章,详细介绍了城市需水量预测的理论基础和实际方法,并给出了大量需水量预测应用实例和程序算法。第一章介绍城市需水量预测的基本概念、内容和方法,第二章至第七章分别阐述了趋势外推预测方法、回归分析模型、时间序列模型、灰色模型、神经网络模型、组合预测模型等预测理论方法和程序源代码,并论述了城市需水量预测方法的最新发展,第八章介绍了城市需水量预测模型选择的问题。

本书适用于从事供水调度的工程技术人员、从事规划的设计人员、给水领域的科研人员及高等院校有关专业的教师、研究生和本科高年级学生。

目 录

第一章 城市需水量预测概论	1
第一节 城市需水量预测的概念和意义	1
第二节 城市需水量预测的原理和步骤	8
第三节 城市需水量预测误差分析与精度评价	14
第二章 城市需水量预测趋势外推预测方法	19
第一节 水平趋势预测方法	19
第二节 线性趋势预测方法	26
第三节 多项式趋势预测方法	35
第四节 季节型趋势预测方法	36
第五节 增长趋势预测方法	45
第三章 城市需水量预测回归分析模型	51
第一节 一元线性回归模型	51
第二节 多元线性回归模型	63
第三节 非线性回归预测模型	71
第四节 城市需水量影响因素的分析选择	79
第五节 回归分析模型在城市需水量预测中的应用	87
第四章 城市需水量预测灰色模型	94
第一节 灰色系统理论介绍	94
第二节 灰色生成	99
第三节 灰色建模过程	103
第四节 灰色 $GM(1,1)$ 模型在城市需水量预测模型中的应用	109
第五节 灰色预测技术的改进	111
第五章 城市需水量预测的时间序列模型	122
第一节 时间序列的概念	122
第二节 时间序列的线性模型	127
第三节 线性模型的自相关函数和偏相关函数	133

第四节	模型识别与参数估计	145
第五节	模型的检验	159
第六节	非平稳序列模型	163
第七节	随机模型在城市需水量预测中的应用	169
第六章	城市需水量预测的神经网络模型	187
第一节	人工神经网络模型概述	187
第二节	BP 网络模型	193
第三节	BP 神经网络模型在城市需水量预测中的应用	205
第七章	城市需水量的组合预测和分类预测方法	209
第一节	组合预测方法	209
第二节	分类预测方法	213
第八章	城市需水量预测模型的选择	215
附录一	矩阵及其运算	219
附录二	概率论基本知识	234
参考文献		248

第一章 城市需水量预测概论

本章介绍了城市需水量预测的基本概念和作用，论述了城市需水量预测的分类、特点，分析了城市需水量预测的原则，并给出了城市需水量预测的完整步骤，介绍了城市需水量预测的误差分析手段和精度评价，从而使读者对城市需水量预测理论方法达到初步了解，为后续章节的学习打好基础。

第一节 城市需水量预测的概念和意义

给水系统的作用应当是对各类用户尽可能经济地提供可靠而合乎水质要求的自来水，以满足各类用户当前、未来的用水要求。

一、城市用水规律分析

城市供水系统用水量的变化有其内在的规律，主要体现在用水的周期性，包括用水量变化的年趋势性、月周期性和时周期性。这种周期性是由于人类的生产、生活具有的规律性导致用水量变化的一种内在规律。

(1) 用水量的年趋势性

用水量的趋势性是指随着社会的发展，年用水量有逐年增长的趋势。图 1.1 为某市 1980 ~ 2001 年的年用水量变化曲线。

(2) 用水量的月周期性

以年为周期月用水量变化中体现出一种与季节关系很大的规律。由于人们的生产、生活与季节直接相关，季节不同，决定了

人们生产和生活方式的不同。如图 1.2 可知，月用水量不但存在年周期性，还存在明显的年增长性。从图 1.3 中可以看出季节性变化趋势：1、2 月月用水量较低，占全年的 6% ~ 8% 之间；7、8 月月用水量最高，占全年的 9% ~ 10% 之间；其他月份供水较为均衡，基本占全年的 8% ~ 9% 之间。

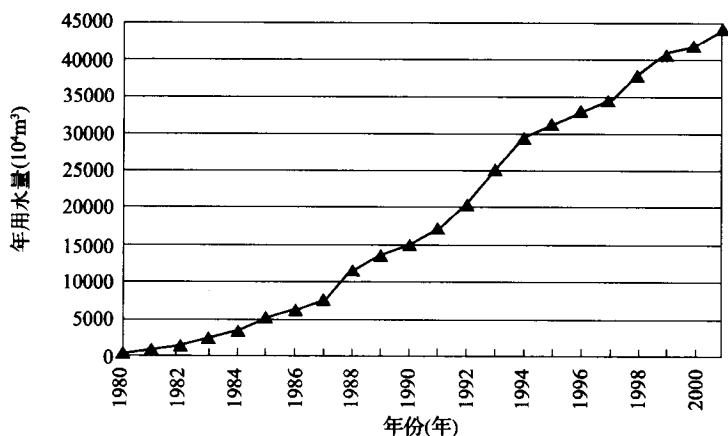


图 1.1 1980 ~ 2001 年年用水量变化曲线

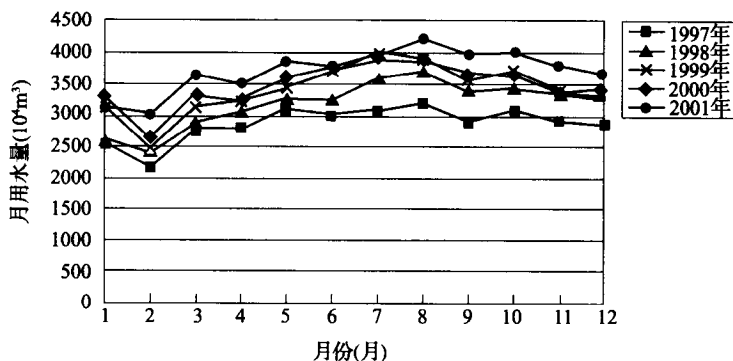


图 1.2 1997 ~ 2001 年月用水量变化曲线

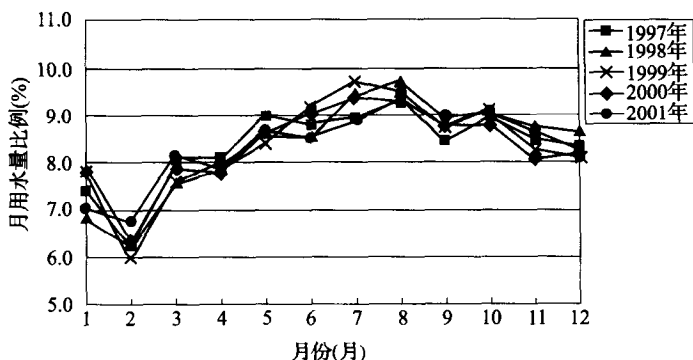


图 1.3 1997 ~ 2001 年月用水量占年总用水量比例变化曲线

(3) 用水量的时周期性

用水量变化的时周期性是指以一天 24h 为周期的变化所反映出的规律性，这是由于人们的生活、生产习惯的规律性而产生的。图 1.4 反映出了这种规律性。

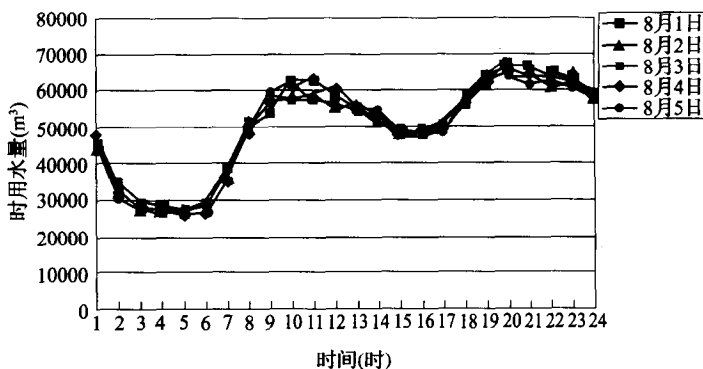


图 1.4 2000. 8. 1 ~ 2000. 8. 5 时用水量变化曲线

二、城市需水量预测的概念

城市用水正是由于存在上述的在不同时刻由于经济生产和居民生活情况不断变动，用水量会有一定的波动。在短期内，城市

用水量的变化具有周期性,如月用水量的年周期性、时用水量的日周期性等;从较长时间来看,它又具有年增长的趋势。这就使得城市需水量预测成为可能。

城市需水量预测就是根据城市历史用水量数据的变化规律,并考虑社会、经济等主观因素和天气状况等客观因素的影响,利用科学的、系统的或经验的数学方法,在满足一定精度要求的意义下,对城市未来某时间段内的需水量进行预测。

三、城市需水量预测的分类

1. 按时间分类

城市需水量预测,按需水量预测时间的长短,以及供水系统的需要可分为长期、中期、短期需水量预测。

中长期预测是根据城市经济的发展、人口的增长、工业生产能力的提高、旅游、教育、文化卫生事业的发展等多方面因素的发展变化情况,对未来整个城市的需水量做出预测。一般来说,长期预测可长达6~10年,甚至更长,用来做给水系统长期规划;中期预测通常为1~5年,通常指未来几年内按年进行需水量进行预测,用来做给水系统近期规划;城市短期需水量预测是指一年之内,按月进行需水量预测、按天或按周来进行需水量预测,或一天内按小时的预测,通常预测未来一个月、未来一周、未来一天的需水量或预测未来一天24h的需水量。

2. 按特性和对未来的描述能力分类

城市需水量预测按特性和对未来的描述能力可分为年需水量预测、月需水量预测、周需水量预测、日需水量预测、时需水量预测。在供水系统中常用的是日需水量预测和时需水量预测。

对于几年内的年需水量预测,可能讨论的是,按年的最大月需水量预测、最大日需水量预测,按年的年总需水量预测;

对于一年内按月需水量预测,可能讨论的是,按月的最大需水量预测,按月的需水量要求预测,各周的需水量要求预测;

按天或按周需水量预测所讨论的是次日、下一周的需水量要

求或一天内按小时的预测。

3. 按行业分类

城市需水量预测按行业可以分为城市民用需水量、商业需水量、工业需水量以及其他需水量预测。其中,城市民用需水量预测主要指城市居民的家用需水量预测;商业需水量预测和工业需水量预测是指对各自为商业与工业服务的需水量进行预测;而其他需水量预测则包括市政绿化、公用事业、政府办公、铁路等等需水量的预测。

四、城市需水量预测的意义

城市需水量预测,无论是对于城市给水系统规划设计或是对于运行研究而言,都是极为重要的部分。所以,对城市需水量的变化与特性,有一个事先的估计,是给水系统发展与运行研究的重要内容。城市需水量预测理论就是因此而发展起来的,在现代给水系统工程科学中它已经成为占有重要地位的研究领域,是给水系统规划和优化调度中的重要部分,有着重要的意义。

1. 长期与中期需水量预测的意义

随着我国经济的高速发展,城市化进程的加速和人民生活水平的提高,城市用水的需求量大大增加;现有水资源和供水设施不能满足城市的用水量需求,供需矛盾日益突出。据有关部门统计,全国约有 300 多个城市缺水,其中有 40 多个城市严重缺水,此情况还在扩大和发展。要解决用水紧张问题,必须从开源和节流两方面进行研究,进行供水、用水和节水规划,指导城市的近期、远期供水规划建设,合理而准确地预测城市未来的需水量将对减少供水设施建设投资总额和将来的用水危机起到决定性作用,因而未来城市需水量预测是一项很重要的研究课题。

系统的供水能力,在正常运行条件下,应当在能满足系统内用户需水的要求。但随着社会不断的发展,系统内供水能力不够,则应当采取必要的措施来增加供水能力,如水厂改扩建、新建水厂或从邻近管网补充必要的水量。例如,在一个多水源的供

水网络系统，一般各个水源都有各自的供水区域，但各个供水区域的发展速度不一致就会导致一些区域供水能力过剩，而发展迅速的区域供水能力不足，这就需要对各个供水区域进行需水量预测，选择几种关阀方案来控制水量的调配，并进行水力计算分析，选择可行且较优的方案。若根据预测结果，从邻近的管网也不能调配足够的水量来满足用户需求，这时就需要在相应的区域进行水厂的改扩建或者新建。因此，未来城市需水量变化的趋势与特点，是一个企业供水调度部门和规划设计部门所必须具有的基本信息之一。

2. 城市短期需水量预测的意义

(1) 城市供水系统的短期需水量预测可以保证管网用水量，保证用户在生活工作习惯下对水量、水压在不同时段的不同要求，以提高供水系统管理和供水服务质量的保证。例如，若需水量预测偏低，则实际上就不能履行向用户供水的承诺，甚至还可能缺水，影响供水企业的服务形象；另一方面，若需水量预测偏高，则会引起投资和水资源的浪费，还可能导致管网压力偏高产生爆管，从而导致管网维护费用增加。

(2) 需水量预测作为优化调度的基础，对供水系统调度具有重要指导作用，为输配水系统的优化调度提供依据。水厂出水经加压送至用户，需很大的能耗。通过需水量预测进而对水泵进行优化调度和充分利用系统的储备能力来降低能耗，从而可以使系统在安全范围内能耗最小，确保供水管网安全、稳定、优质、经济运行。

(3) 合理地分配不同区域的用水量，为各个水厂产水量提供依据，最大限度地降低供水成本。

(4) 为了保证供水水质，生活用水不能储存过久，要求生产、输送、分配调度和用户用水同时进行。因此，通过需水量预测使产水、用水达到供需平衡。

因此，城市需水量预测工作的水平已成为衡量一个供水企业的管理是否走向现代化的显著标志之一，尤其在我国供水事业空

前发展的今天，用水管理走向市场，城市需水量预测问题的解决已经成为我们面临的重要而又艰巨的任务。

由于十年以后的长期需水量预测牵涉面相当广，因为它牵涉国民经济计划制定与实际发展的各个方面，常常不是根据给水系统本身所能完成的，所以本书主要侧重讨论根据给水系统本身可以完成的中期与短期需水量预测。

五、城市需水量预测的特点

由于城市需水量预测是根据城市过去的历史用水量数据推测未来的需水量，所以，城市需水量预测工作所研究的对象是不肯定事件。这种不肯定事件、随机事件，就需要人们采用适当的预测技术和方法，推知城市需水量的发展趋势和可能达到的状况。这就使得城市需水量预测具有以下明显的特点。

1. 不准确性

用水量不但存在以上的内在特性，还随外在影响因素的变化而变化。用水量的变化在一定程度上具有周期性，但同时也伴随着一定的波动。一般而言，需水量的变化受多种因素的制约，并且这种因素对用水量变化规律的影响互不相同，从而构成了用水量变化的波动性。按影响因素的作用时间及效果的角度来分，这些影响因素一般可分为两类：一类是宏观影响因素，主要是指那些对用水量具有长期效应的影响因素，具有全局性。这些因素对用水量的影响表现为长期需水量的趋势性，如用水政策，水价调整就是一种典型的宏观影响因素；另一类是微观影响因素，是指那些对用水量的影响具有短期效应的因素，它们的影响表现为短期时间内用水量的相对波动性，例如温度、天气状况、节假日等因素都是典型的微观影响因素。

因为需水量未来的发展是不肯定的，它要受到多种复杂因素的影响，而且各种影响因素也是发展变化的。人们对于这些发展变化有些能够预先估计，有些却很难事先预见到，加上一些临时情况发生变化的影响，因此就决定了预测结果的不准确性或不完

全准确性。因此,在开展需水量预测工作中,需要针对实际情况进行影响因素的分析。

2. 条件性

各种城市需水量预测都是在一定条件下做出的。对于条件而言,又可分为必然条件和假设条件两种。如果真正掌握了城市需水量的本质规律,那么预测条件就是必然条件,所做出的预测往往是比较可靠的。而在很多情况下,由于城市需水量未来发展的不肯定性,所以需要一些假设条件。例如,如果气温一直居高不下的话,城市的需水量将保持较高的数值等等。当然,这些假设条件不能毫无根据的凭空假设,而应根据研究分析,综合各种情况而得来。

3. 时间性

城市需水量预测都有一定的时间范围,因为城市需水量预测属于科学预测的范畴,因此,要求有比较确切的数量概念,往往需要确切地指明预测的时间。

4. 多方案性

由于预测的不准确性和条件性,所以有时要对城市需水量在各种情况下可能的发展状况进行预测,就会得到各种条件下不同的需水量预测方案。

第二节 城市需水量预测的原理和步骤

城市需水量预测是根据城市历史用水量数据的发展变化规律,运用各种方法预测或判断城市需水量未来发展趋势和状况的活动,是一种特殊的、科学的分析过程,因此必须科学地总结出预测工作的基本原理,用于指导城市需水量预测工作。

1. 整体性原则

城市需水量具有自身的特点和规律,但同时又都是和其他因素相互联系、彼此制约的。整体性原则强调把城市需水量看作是具有一定层次结构的系统,以整体的协调去考虑系统内部各个组

成部分之间、系统和环境之间的联系和作用，以求全面把握城市需水量。

2. 相关性原则

城市需水量的发展变化不是孤立的，而是与其他事物的发展存在着相互影响、相互制约的关系，对影响城市需水量的各种因素进行具体分析，就可以建立起城市需水量与其影响因素之间的数量变动关系。

3. 有序性原则

有序性表明供水系统结构稳定性，这是一般城市需水量预测的必要前提。其有序性原则包括连贯原则与类推原则。连贯原则指城市需水量从过去发展到现在，再从现在发展到未来，具有连续性，其数量特征呈相对稳定，因而有可能对其发展过程加以模拟，利用历史资料比较准确地推断其将来。类推原则指城市需水量其现在的发展过程和发展状况可能与另一事物过去一定阶段的发展过程和发展状况相类似，表现为结构和发展模式相似，可以类推，就可以根据后一事物的已知发展过程和状况，来预测城市需水量的未来发展过程和状况。例如，当我们预测一个新建小区的需水量时，由于其建成时期较短，没有很多历史数据可利用，这时，就难以用趋势外推、回归分析等方法建模预测。这种情况下，我们可以参考一个早已建成的、规模和条件具有可比性的其他小区，以其发展时期相对应的用水量，作为预测新小区需水量的基础，从而可以做出相应的预测结果。

4. 动态性原则

供水系统的发展是按一定规律进行的，如果这种规律赖以发生作用的客观条件发生了变化，原来起作用的规律也就随之发生变化，使发展出现转折或突变，不再按原来的趋势延续下去，这时系统的有序性受到破坏，向无序性转化，从原有规律的延伸偏移。因此，城市需水量预测不仅需要反映供水系统的历史发展规律，而且应当处理好转折点或突变点，这就是动态性原则。

5. 反馈性原理

反馈就是利用输出返回到输入端，再调节输出结果。预测的反馈性原理实际上是为了不断提高预测的准确性而进行的反馈调节。在城市需水量预测中，当预测的需水量和经过一段实践所得到的实际用水量值存在着差距时，可利用这个差距，对城市远期预测需水量进行反馈调节，以提高预测的准确性。在进行反馈调节时，首先认真分析预测需水量值和实际用水量值之间的差距及产生差距的原因，然后根据已经查明的原因，适当改变输入数据，进行反馈，调节远期预测结果。反馈性预测实质上就是将预测的理论值与实际相结合，在实践中检验，然后进行修改、调整，使预测质量进一步提高。

对城市需水量进行科学预测，要有一个基本程序，就是要考虑预测工作怎样进行，分几个阶段，先做什么，后做什么。只有把城市需水量预测工作的整个程序搞清楚，才能做好城市需水量预测工作。根据所进行的城市需水量预测的原理和实践活动，有如下基本程序：

1. 确定城市需水量预测目的，制定预测计划

城市需水量预测目的要明确具体，紧密联系供水实际需要，并据以拟定一个需水量预测工作计划。在预测计划中要考虑的问题主要有：准备预测的时期、所需要的历史资料（按年、按季、按月、按周、按日或按时）、需要多少项资料，资料的来源和搜集资料的方法、预测的方法、预测工作完成时间、所需经费来源等等。关于所需资料长度，有人主张外推预测的时期数不能超过历史资料的时期数，如设 h = 历史资料时期数， p = 外推预测时期数，则有 $h \geq p$ ；也有人认为，这种要求低估了短期预测所需项数和高估了长期预测所需长度，主张用 $h = 4\sqrt{p}$ 计算。按此式，如向前预测 1 期，则 $p = 1$ ， $h = 4$ ，即需要 4 期历史资料；如向前预测 4 期，则需 8 期历史资料；如向前预测 100 期，则用 40 期历史资料即可。可见，用这个公式计算，照顾了城市短期需水量预测的需要，却不利于城市长期需水量预测。实际上，根据长期的历史资料进行城市短期需水量预测，要比根据短期的历史资