

# 城市水资源需求管理信息系统初探——以北京市公共生活用水为例

左建兵<sup>1,2</sup>, 陈远生<sup>2</sup>

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要** 论述了城市水资源需求管理的发展历程和城市水资源需求管理的内涵, 提出了建立城市水资源需求管理信息系统的构架体系。以北京市公共生活用水的定额管理实践为例, 初步建立了以 MIS/GIS 为基础的北京市公共生活用水需求管理信息系统平台。系统由数据编辑、用水数据与空间数据的查询、多种统计分析、用水定额模型、需水预测模型、节水评价模型、水价敏感度模型、报表输出等主要功能组成。系统界面友好, 多种报表输出, 预测数据易于输出到商业化软件中, 数据统计方便, 系统扩展性好, 可以为北京市水资源规划、管理和配置乃至社会经济发展提供科学的决策依据。

**关键词** 城市水资源; 水资源管理; 用水定额; 北京市

**中图分类号** :TV213.4      **文献标识码** :A      **文章编号** :1004-693X(2007)03-0083-05

## Information system about management of urban water demand : Taking Beijing public domestic water as a case

ZUO Jian-bing<sup>1,2</sup>, CHEN Yuan-sheng<sup>2</sup>

(1. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract** Based on the development and concept of urban water demand management, main structure of urban water demand management information system was brought forward. Taking the public domestic water in eight districts of Beijing as a case, Beijing public domestic water demand management information system platform was built based on MIS and GIS technology. This system has many functions, including data edit, water data and spatial data query, several methods of statistics and analysis, water quota model, water demand model, water saving valuation model, sensitivity model of water price, report of data output, etc. The system is characterized by user-friendly interface for ease of data reports and export of forecast data to popular commercial software programs, maximum flexibility in data statistic, easy expansibility and so on. It provides bases for the planning, management and allocation of water resources and social economic development in Beijing.

**Key words** urban water resources; management of water resources; water quota; Beijing

20 世纪 90 年代末在全国 660 多座建制市中, 缺水城市有 400 多座, 严重缺水的城市有 100 余座, 全国日缺水量达 1 600 万 m<sup>3</sup>, 影响 4 000 万城市人口的正常生活, 造成工业年产值的损失超过 2 300 亿元<sup>[1]</sup>。水资源短缺已成为经济社会发展的重要制约因素。加强城市用水需求管理, 以提高用水效率为

核心, 以促进城市水系统的良性循环为目标, 综合运用行政、经济和技术等各种管理手段, 提高城市节水水平, 建设节水型城市, 是解决我国城市水资源问题的必由之路。

随着计算机信息理论和信息技术的不断发展, 信息系统已成为解决当今人类面临的资源匮乏和环

境恶化等严重现实问题的革命性技术方法和工具<sup>[2]</sup>。城市水资源需求管理信息系统是在整理分析现有资料的基础上,综合运用计算机、水文水资源、地理信息系统、网络通信等多方面技术,以空间信息数据库、用水对象基本信息库、水资源数据库和法律法规数据库为基础,集成专家知识库、方法库和模型库,实现基本信息查询、用水量预测、城市用水定额管理、节水评价、水价分析等功能,为城市用水的科学管理、合理配置等决策提供技术支持服务的信息系统。它是实现城市水资源需求管理的关键。

## 1 城市水资源需求管理

需求管理(Demand Management)原本是经济学中的一个术语,1936年凯恩斯发表了以需求管理理论为核心的经济学巨著《就业、利息和货币通论》,奠定了宏观经济学的基础。经济学中的需求管理思想应用于城市水资源领域开始于20世纪50年代的美国芝加哥大学和哈佛大学。芝加哥大学教授Gilbert F. White和他的学生Robert W. Kates将需求管理拓展到了城市水资源管理领域。从1956年到20世纪60年代初期,哈佛大学的Arthur Mass,初步建立了需求分析方法体系、经济学模型以及城市水资源系统的需求和计划优化理论。同时,兰德公司开展了水资源需求管理的研究,重点探讨促进城市水资源的高效利用和提高水资源经济价值的重要性以及不同城市水资源规划与管理的需求分析。霍普金斯大学的John Geyer, F. Pierce Linaweaver, Jerome B. Wolff等人首先完成了城市居民生活、商业和机关事业单位用水的全面分析。Charles W. Howe和Linaweaver建立了居民生活用水的Howe-Linaweaver生长模型。20世纪70年代,美国陆军工程兵团水资源研究所(IWR)启动了城市水资源需求管理的研究项目,城市水资源需求管理的研究开始升温。初期的研究主要是水资源规划,很快IWR将研究的领域扩大到了流域的用水分析、模型建立和应用等,通过10多年的研究取得了很大的成功<sup>[3]</sup>。

在水资源需求管理信息化方面,美国走到了其他国家的前面。1969年在美国水资源研究办公室的支持下,加利福尼亚州和马里兰州的Hittman联合公司开发了城市水资源需求管理软件系统IWR-MAIN的原始版本,霍普金斯大学的研究成果推动其发展到IWR-MAIN II。1982年美国陆军工程兵团水资源研究所采用IWR-MAIN II进行需水预测研究,并对其进行了进一步的完善。目前IWR-MAIN版本已经发展到6.1,可运行在Windows 95、Windows 98、Windows NT等平台上。IWR-MAIN主要的功能分为

预测管理和节水管理两部分,在美国得到了很好的应用<sup>[4]</sup>。

国内外很多专家学者对水资源需求管理的内涵进行了探讨<sup>[5-17]</sup>,虽然文字描述存在差异,但是基本内容是一致的。笔者认为城市水资源需求管理是在有限资源条件下,以资源高效利用和可持续利用为目标,以法律、行政、经济、科技、宣传等手段,对水资源利用过程、结构、技术、方式等因素所进行的广义管理行为。它是以城市的可持续发展和协调发展为基础,以建立科学的用水定额体系为首要条件,以MIS/3S为核心,以经济、法律法规为保障,以现代科学技术为依托的综合管理系统工程。

城市水资源需求管理信息系统是个复杂的综合系统,包括管理信息系统(MIS)、地理信息系统(GIS)、决策支持系统(DSS)、办公自动化(OA)等。由于城市水资源需求管理的研究起步较晚,无论国外还是国内城市水资源需求管理的理论和研究方法尚处于探讨和尝试阶段。

## 2 系统结构与建设原则

### 2.1 系统结构

城市水资源需求管理信息系统是包括数据的自动获取、数据的有效存储、数据的高效管理以及在数据管理系统基础上的决策支持系统等主要业务流程为一体的综合信息平台。通过电子远程水表,实时获取用水户的用水数据,并以自动监控系统实时显示用水户的用水变化,按照日、月、年等不同时段将用水数据存储在水表数据库中,利用节水评价模型、动态定额分析模型、用水预测模型等对数据进行统计分析,为城市水资源的合理利用、高效配置、科学管理提供必要的决策信息。

城市水资源需求管理信息系统主要由基础网络、水资源数据库、GIS平台、模型数据库、方法数据库5部分组成。

#### 2.1.1 基础网络

基础网络的建设是实施城市水资源需求管理的基础,是实现城市用水管理数字化、现代化的关键。通过Internet将管理机构、用水数据提供者、数据使用者、数据集成者、信息分析者集成起来,组成分布式网络结构。它可以用来发布、查询、检索、浏览、获取空间数据信息和用水数据信息等,并进行空间分析和模型分析。利用公共电信网,采用无线或有线方式将分散在不同地点的水表数据自动采集设备中的数据,经加密后按指定时间传送到控制管理中心。控制管理中心使用专用协议与水表采集设备进行远程遥控,确保数据操作的准确无误。另外,建

立 GPRS 管网智能测控系统,在城市主干管网以及居民区安装类似手机基站的设备,利用移动 GPRS 网络,可以远程监控自来水管网的流量、流速、压力、水质等。除了监控自来水管网的用水量,该系统还可以及时发现偷水、漏水以及管网事故,还可以用于监控污水排放。

### 2.1.2 水资源数据库

水资源数据库包括 3 个层次:城市、行业、企业(用水户)。城市层次的水资源数据库主要包括城市地表水数据库、地下水数据库、供水数据库和需水数据库等;行业层次的水资源数据库主要包括工业用水数据库、农业用水数据库、生活用水数据库和生态用水数据库;企业层次的水资源数据库主要包括分月、季、年的实际用水数据库、年度计划用水数据库。水资源数据库、属性数据库和空间数据库的集成为实现水资源的一体化管理奠定了基础。

### 2.1.3 GIS 平台

GIS( Geographic Information System )是由计算机系统、地理数据和用户组成的,通过对地理数据的集成、超出、检索、操作和分析,生成并输出各种地理信息,从而为土地利用、资源管理、环境监测、交通运输、经济建设、城市规划以及政府各部门行政管理提供新的知识,为工程设计和规划管理提供决策服务。经过 30 多年的发展,GIS 在几乎所有与空间信息相关的领域得到了广泛的应用。GIS 软件体系也由最初的 GIS 模块发展到目前的组件式 GIS 和 WebGIS。在本次研究工作中,为了对后续的用水管理提供空间分析方面的支持,采用了组件式 GIS 开发模式,实际的开发中应用了 Mapinfo 公司的 MapX 和 MapXtreme,以 C++ 为开发语言,构建以 C/S 和 B/S 相结合的体系,面向不同平台的用户。

### 2.1.4 模型数据库

模型库是决策支持系统的精髓,它的设计和实现的好坏将很大程度上影响系统的功能、性能和实用程度。对模型的直接管理与建模活动是决策支持系统区别于一般管理信息系统的一个重要标志。在决策支持系统的决策活动中,对决策方案的生成、评价和选择都需要有模型或模型链的支持<sup>[18]</sup>。根据当前北京市城市用水现状和管理现状,以城市水资源需求管理为理论基础,城市水资源需求管理信息系统中模型库见图 1。

### 2.1.5 方法数据库

方法库是存放各种通用的标准计算方法的子程序库,如统计方法、各种数学函数等。城市水资源需求管理信息系统的方法库主要包括:基本统计方法(最大值、最小值、平均值、方差、峰度系数、偏度系

数、离散系数、正态分布检验等),主成分分析法,聚类分析法,层次分析法,灰色预测法,线性回归,非线性回归等。在系统开发的过程中,方法库是以动态链接库的格式存放在 SQL Server2000 中,实现远程调用。

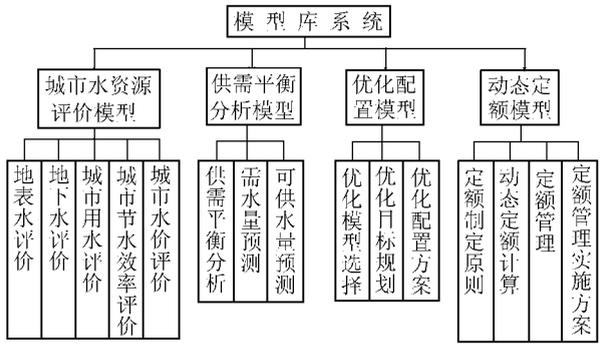


图 1 城市水资源需求管理信息系统模型库结构

## 2.2 系统建设原则

为更好实现城市水资源需求管理系统的预定目标和功能,建成一个适用、先进、高效、可靠的水资源管理信息化、现代化的平台,系统开发应遵循以下原则:

- a. 适用性与先进性并重。在适用的前提下力求先进,把城市水资源需求管理理念、方法融入系统的开发中,做到数据与图形相融合、GIS 与数学模型相结合,以图、表、文字等多种形式表现出来,以便于决策。
- b. 开放性。城市水资源需求管理信息系统建设不是一蹴而就,而是分阶段逐步实施的。在开发建设中,要充分利用已有的信息系统,实现数据、服务、业务的有效集成和共享。同时,在系统设计阶段要保证软硬件具有良好的扩展性,以便今后系统不断地升级完善。
- c. 标准化。系统的硬件建设、数据库开发、代码编码、计算方法、分析评价、系统集成等均采用标准化方法。有国家、行业标准或规范的,都将严格执行,没有标准或规范的,采用通用做法。
- d. 易学易用易维护。系统最终是为实现成水水资源需求管理的数字化、一体化服务的,即面向城市用水的管理者、决策者,还面向最终的用水单位。系统开发应考虑不同层次的用户,采用层次型的架构体系,通过友好的系统界面,使其操作直观、简便、安全、易维护。

## 3 开发实践

### 3.1 开发过程

北京市水资源需求管理信息系统如图 2 所示。在系统开发中,采用的是 Delphi 语言,它在自动控

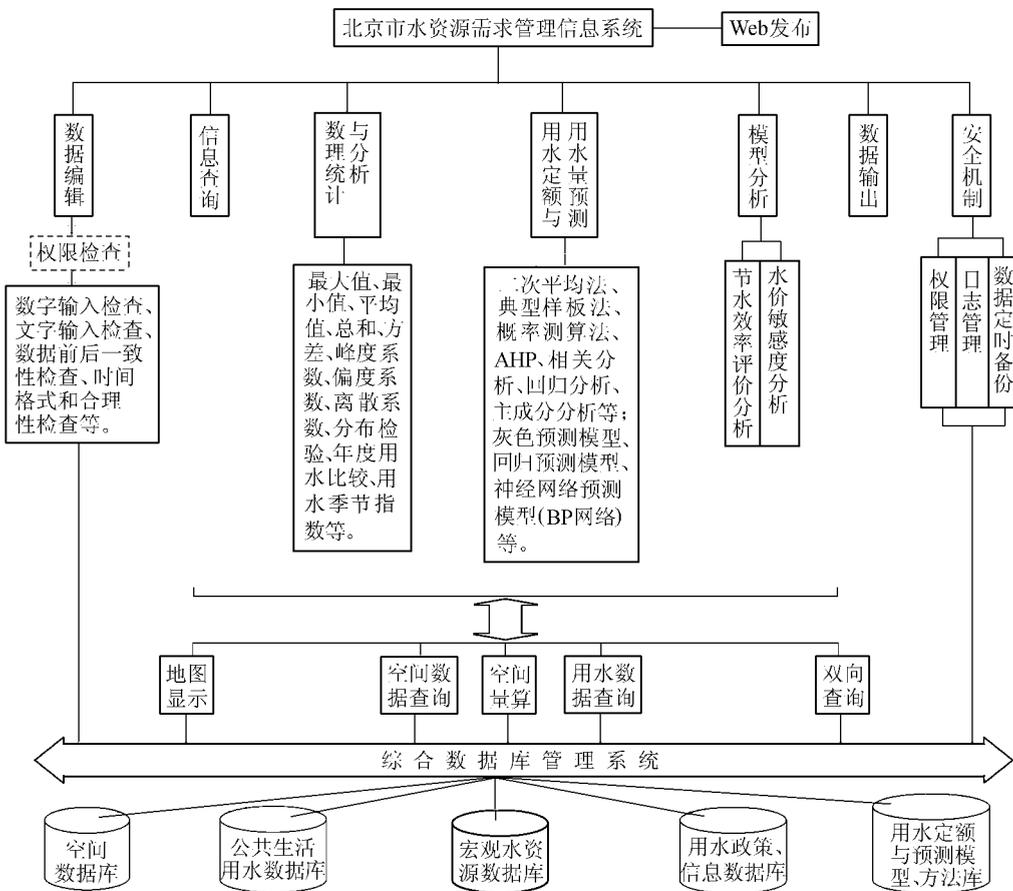


图 2 北京市水资源需求管理信息系统结构

制、数据库管理、多层架构等方面表现得非常出色。后台数据库选择的是 Microsoft 的 SQL Server2000,它是一种功能强大的基于 SQL 的客户/服务器数据库。它采用了 ANSI(美国国家标准协会)的结构化查询语言(SQL)。SQL Server 功能强大,安全易用,是建立中小企业级数据库的最佳选择。采用 Mapinfo 公司的 MapX 组件进行二次开发,以方便快捷的建立 GIS。在实际开发中,系统中的数据库、模型库(DLL 文件)方法库(DLL 文件)保存在服务器中,以方便管理和维护。

在开发过程中,采用分布式多层应用系统架构。在客户端,用户可以通过友好的交互式界面进行操作,面向普通用户;应用程序服务器端建立“企业对象”,封装企业的逻辑程序,模型库和专家库,面向管理的高级用户,数据库服务器存贮所有的数据信息,提供数据服务。采用这种分布式多层架构有几个优点:①集中商业逻辑,方便系统的维护升级;②瘦客户端,降低了客户端的运行成本;③自动错误调解;④公文包模型,降低网络负担;⑤容错性机制,在由于错误导致服务器不可用的情况下,无需再次编译客户端或服务器应用程序;⑥负载均衡,平衡网络流量。同时,系统易于扩展为 B/S 架构体系,支持网络发布,可以通过 Internet 将公共的信息发布出去。

### 3.2 系统功能

#### 3.2.1 数据输入

用户在使用软件前,首先应该申请相应的权限,在权限范围内用户可以操作数据库。用户在数据录入的过程中,系统会根据用水数据结构和业务逻辑上完整性的要求,提示用户应该输入的数据格式,并对求和、平均值、节余比等计算字段自动生成,同时与前后数据进行一致性检验,符合逻辑后才能够保存到数据库中。由于需要录入的数据非常多,数据在输入的时候进行了优化,用户录入完一个数据后,按回车键就会跳到下一个录入框中,并在状态栏提示用户当前的用户名、操作的数据库名称、录入框中数据的类型和格式。

#### 3.2.2 数据修改/删除

数据的修改和删除对于数据库的安全极为重要,所以,系统对用户进行删除和修改的记录都作了日志,同时对于用户要删除的记录,只是做了删除标记,并没有进行物理删除,这样可以保证数据库的完整性。如果该条记录确认可以删除,由数据库管理员来处理。

#### 3.2.3 数据浏览

数据库的浏览是 MIS 的基本功能,也是最常用的功能之一。由于数据库中表的字段名统一采用英

文,所以为了显示出中文字段,系统需要调用数据字典(DD)。数据字典与数据库的连接保证实时显示中文字段的要求,但是这样会影响数据库浏览速度,为此,在系统启动浏览功能的时候,将数据字典读入到内存中,大大提高了浏览的速度。

### 3.2.4 数据查询

系统中数据的查询分为模糊查询和精确查询,并以模糊查询为主。用户查询相应用户的时候,每次查询当输入一个字符的时候,系统就会对现有的数据库进行一次模糊查询,这种人性化的设计,对于用户进行数据查询非常友好。如果用户对要查询的信息非常确定,可以采用精确查询,这样可以提高查询效率。同时,由于空间数据库、属性数据库和用水数据库已经集成在一起,实现了由图到表和由表到图的双向查询。

### 3.2.5 数理统计与分析

数理统计与分析是本系统的一大特色。根据各用水单位历年来的用水情况和单位的基本用水部位信息,建立了数理统计和用水定额分析两个功能模块,前者是后者的基础。数理统计模块包括各单位用水量最大值、最小值、平均值、总和、方差、峰度系数、离散系数等,分类单位基本用水信息,不同类别单位之间用水信息;用水定额分析模块包括:用水影响因素相关分析、回归分析、主成分分析,不同定额计算方法的比较分析。

### 3.2.6 节水效率评价

通过建立各行业和各单位的节水指数模型,科学评价各用水对象的节水效率,为今后的节水工作提供依据。

### 3.2.7 水价敏感度分析

通过需水价格弹性系数,分析各行业、各单位的水价敏感度,为水价的合理制定提供必要的参考。

### 3.2.8 数据输出

为了方便用户对数据进一步的处理,系统允许用户将数据输出到 Excel 和 Word 中,也可以输出到系统的自定义报表中,进行打印输出。

### 3.2.9 安全机制

本系统是北京市公共生活用水需求管理的信息平台,是未来城市水资源需求管理的信息基础和依据。为保证数据系统的安全,需要建立安全机制。本系统主要采用的是权限设置、日志和数据库定时备份,数据库管理员可以随时建立、修改、删除用户权限,另外修改和删除操作都会生成日志,方便以后数据的恢复,同时采用的是逻辑删除,数据会自动备

份,备份的时间由数据库管理员设置。

### 参考文献:

- [1] 林洪孝,王国新. 用水管理理论与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003:1-5.
- [2] 张立锋,许有鹏,孙亚梅,等. 基于空间数据库的多媒体图形查询信息系统研究:以苏州河环境综合政治为例[J]. 地理研究, 2002(3):365-372.
- [3] DUANE D B, JOHN J B, HANEMANN W M. Urban water demand management and planning[M]. Columbus: McGraw-Hill Education Co., 1998:1-10.
- [4] Planning and Management Consultants Ltd. About IWR-MAIN [EB/OL]. [2006.5] <http://www.iwrmain.com/about.asp>.
- [5] AL-JAYYOUSI O R. Greywater reuse: towards sustainable water management[J]. Desalination, 2002(2):181-192.
- [6] Klaudia Schachtschneider. Building new WDM regulations for the Namibian tourism sector on factors influencing current water-management practices at the enterprise level[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2002(27):859-864.
- [7] MOHAMED A S, SAVENIJE H H G. Water demand management: positive incentives, negative incentives or quota regulation?[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2000(25):251-258.
- [8] MONASINGHE M. Water supply and management: developing world application[M]. Boulder: Westview Press, 1992.
- [9] MAKROPOULOS C K, BUTTER D. Planning site-specific water-demand management strategies[J]. Water and Environment Journal, 2004(1):29-35.
- [10] 高宏,胡维松,王雅瑾. 水资源需求管理综合规划探讨[J]. 水资源保护, 1996(3):39-42.
- [11] 邢福俊. 加强城市水资源需求管理的研究[J]. 上海经济研究, 2001(3):48-55.
- [12] 邢福俊. 加强城市水资源需求管理的现实分析与对策[J]. 当代财经, 2001(2):68-72.
- [13] 阮本清,张春玲,黄明聪. 浅论水资源需求管理中的经济措施[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003(1):56-62.
- [14] 甘泓,王浩,罗尧增,等. 水资源需求管理:水利现代化的重要内容[J]. 中国水利, 2002(10):66-68.
- [15] 高宏,谈为雄,王雅瑾. 水资源需求管理与水价的合理制定[J]. 人民黄河, 1997(1):44-46.
- [16] 黄永基,陈晓军. 我国水资源需求管理现状及发展趋势分析[J]. 水科学进展, 2000(2):215-220.
- [17] 吕一河. 中国水资源需求管理及其政策评价[J]. 中国人口·资源与环境, 1997(3):84-89.
- [18] 翁文斌,王忠静,赵建世. 现代水资源规划理论、方法和技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2004:329-357.

(收稿日期:2005-12-08 编辑:舒建)