

基于 GIS 的城市综合节水规划与管理 系统的设计与开发*

杜鹏飞¹ 李国强² 赵冬泉² 刘小梅² 黄 徽¹ 张金禄²

(1 清华大学环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084;

2 北京清华城市规划设计研究院环境与市政所, 北京 100084)

摘 要: 在地理信息系统(GIS)的支持下, 通过对综合节水规划业务需求、业务流程及相关理论和方法的分析识别, 设计并开发了城市综合节水规划与管理系统。该系统不仅实现了综合节水规划的数据集中统一管理、节水现状分析、节水水平评价、节水潜力分析等功能, 而且设计了具有一定通用性与可扩展性的数据结构和指标体系, 从而为城市综合节水工作的系统开展提供强有力的支持平台。

关键词: GIS; 城市综合节水规划; 节水水平评价; 节水潜力分析

DESIGN AND DEVELOPMENT OF URBAN COMPREHENSIVE WATER-SAVING PLANNING AND MANAGEMENT BASED ON GIS

Du Pengfei¹ Li Guoqiang² Zhao Dongquan² Liu Xiaomei² Huang Hui¹ Zhang Jinlu²

(1 State Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution

Control, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2 Department of Environment and Infrastructure, Urban Planning & Design

Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Through analyzing business needs, business processes and the related theories of water saving planning, urban comprehensive water saving planning and management system is designed and developed based on GIS. The system realizes functions of water saving data centralized management, existing condition analysis, assessment and potential analysis; in addition, the data structure and the evaluation index system with generality and expandability were designed. Then, the system provided a robust support platform for the rapid expansion of urban comprehensive water saving work.

Keywords: GIS; urban comprehensive water saving planning; water saving assessment; water saving potential analysis

0 引言

城市综合节水规划是一项复杂的系统工程, 涉及水资源、供水、用水、排水等城市水系统单元, 与城市的经济发展水平、居民的生活习惯、社会的法律法规等要素息息相关。

为了满足城市综合节水规划的实际工作要求, 解决规划相关大量数据的集中管理、有效使用与共享问题, 提高节水规划结果的准确性和科学性, 设计并开发了基于 GIS 的城市综合节水规划与管理系统。该系统不仅满足城市综合节水规划中各水系统单元的历史

资料、现状数据及规划目标的统一管理维护, 而且通过系统内置的指标体系、分析方法对城市综合节水规划的整体水平进行动态计算评价, 为城市节水规划的发展方向研究提供支持。利用 GIS 技术提供的空间数据管理、专题图分析、空间叠加分析等功能, 可以将城市综合节水规划中的业务数据、评价效果与空间地理位置紧密结合, 不仅满足规划过程中空间数据管理与分析的需要, 而且以清晰直观的动态地图方式显示评价分析结果, 为用户提供更为直观生动的决策信息。

1 综合节水规划及 GIS 应用分析

我国对城市节水工作历来十分重视, 国家和各级地方政府在日常工作中形成了一套比较合理的管理体

* 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2006BAB17B01)。

系。但传统节水规划指导下的城市节水工作还存在一定的局限性, 包括对工业用水、居民生活用水考虑较多, 生态环境等其他方面用水较少涉及, 对城市水系统考虑不全, 不能体现系统集成的节水潜力; 对分行业、分部门的节水器具和节水技术关注较多, 缺少城市层面上的综合分析。

传统城市节水的这种局限性使得城市综合节水越来越多的受到关注。由于其综合性, 收集整理大范围、大数据量的城市节水相关信息成为必需, 而我国目前的情况是数据信息分散在各个部门, 相关程序复杂, 给全面交流和使用造成了一定困难。为了把城市综合节水规划人员和管理人员从效率低下的重复寻找和收集信息的工作中解放出来, 以投入到更有意义的工作中, 具有综合管理节水规划数据的基础信息平台亟待开发构建。

随着 GIS 技术、数据库技术和信息技术研究的迅速发展和日益成熟, 国内外许多部门开始了相关技术在节水规划领域的应用研究。1998 年甘泓等人在“河北省邯郸市资源规划管理决策支持系统应用研究”课题研究中, 探讨了如何利用计算机技术辅助节水规划的编制^[1]; 2004 年杨德生等构建了基于 GIS 的节水型社会水资源综合管理信息系统, 该系统包涵了节水型社会“水问题”的各个方面的内容, 从宏观上对水资源进行了分析和研究^[2]; 2009 年李立群等以行业水资源数据库、用户身份识别方法库、定额计算指标确定方法库、专家知识库以及决策支持库为基础, 建立了北京市第三产业水资源需求管理信息系统平台, 为城市用水的科学管理和水资源合理配置提供决策基础^[3]。国外节水规划 GIS 应用研究相对较为成熟, 如 IWR-MAIN 软件基于终端用水实现了需水量预测、节水对策分析、需水量日变化模拟等功能, 但没有考虑农业用水和生态环境用水及漏损水的作用^[4]。

目前我国信息技术在节水规划领域的应用研究较少, 整体水平不高, 多作为水资源管理信息系统的一部分或仅具有简单的数据管理功能, 缺乏一个从城市层面出发、以城市整个节约用水系统为主体的综合节水规划和管理平台, 本文基于上述需求, 综合利用 GIS 技术、数据库技术与软件开发技术, 设计和开发了城市综合节水规划与管理基础信息系统。

2 系统设计开发

经过对城市各水系统单元数据及业务流程进行整理分析, 针对城市综合节水规划在数据维护、业务管理及专业分析 3 个不同层次上的业务需求, 设计了城市综合节水规划与管理信息系统的总体体系结构, 如图

1 所示。

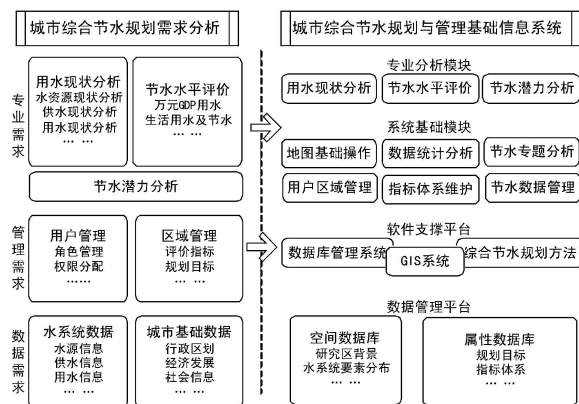


图1 城市综合节水规划与管理基础信息系统总体结构设计

城市综合节水规划与管理基础信息系统具有典型的三层体系结构: 数据层、中间层和应用层。数据层主要维护系统所需要的空间数据及属性数据; 中间层通过数据库管理系统、GIS 平台将数据层中的数据与专业的综合节水规划方法相结合, 为系统应用提供支持; 应用层包括基础应用层和专业应用层, 为用户提供基于 GIS 的综合节水规划数据管理及节水现状分析、节水水平评价和节水潜力分析等专业分析的功能, 如图 2 所示。

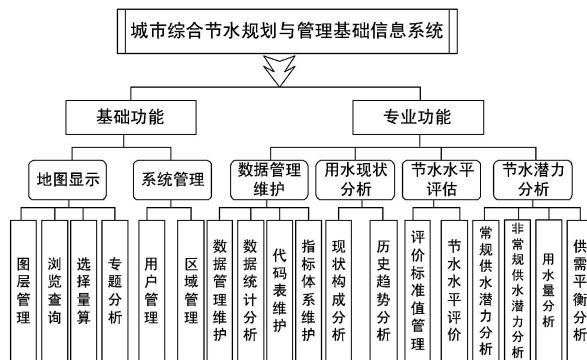


图2 城市综合节水规划与管理基础信息系统功能设计

2.1 节水数据管理

由于城市综合节水规划是一项复杂的系统工程, 所需数据具有数据量大、结构复杂、分布不集中、完备性不高等特征。根据城市节水工作的特征结合中国城市用水特性和水管理方式的现状, 综合分析得到城市综合节水规划所需数据主要包括城市基础数据和城市水系统数据两个部分, 其中, 城市基础信息数据包括城市行政区划、发展规模、经济结构、人口、产业增加值等社会因子, 以及地理位置、气候状况等自然因子; 城市水系统数据包括城市水系统各子系统: 水源子系统、供水子系统、用水子系统和排水子系统的水资源数据以

及参考数据、规划目标、技术指标等^[5]。基于上述分析,为了实现基于GIS的城市综合节水规划数据管理及专业分析的要求,城市综合节水规划与管理基础信息系统的数据库内容主要包括空间数据和属性数据两部分:其中,空间数据包括研究区背景图层、节水规划要素空间分布图层等,属性数据包括与节水数据管理及专业分析相关的水系统数据、规划目标、指标体系等内容,如图3所示。

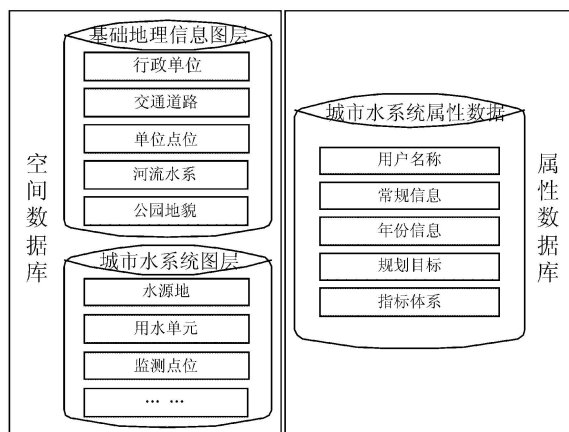


图3 城市综合节水规划与管理系统数据库结构设计

基于综合数据库,设计了逐条数据输入、批量数据导入、逐条数据修改、批量数据更改、数据删除、数据检验及数据管理日志等数据管理功能。并实现关键字查询、下拉菜单查询等多种查询方式,为节水规划管理相关专业分析功能的设计开发提供数据接口。

2.2 节水现状分析

节水现状分析是进行综合节水规划的基础,它是在数据统计分析的基础上对城市供水现状、用水现状及水资源利用现状进行评估,从而揭示水资源利用的供需矛盾。

针对综合节水现状分析业务的需求,平台设计了包括现状构成分析、历史趋势分析。现状构成分析是针对某一个城市或该城市某一区域基于某一个年份分析其水资源、供水和用水的组成结构;历史趋势分析可以对某一个城市或者该城市某一区域历年水资源、供水和用水状况进行趋势对比分析;利用系统提供的专题图分析可以将城市综合节水现状构成分析和趋势分析的结果与GIS地图结合,从而以形象直观的方式辅助分析人员进行决策,如图4所示为水资源现状构成分析专题图。

2.3 节水水平评价

节水水平评价是通过分析城市万元GDP用水水平、生活用水及节水、工业用水及节水、生态环境节水

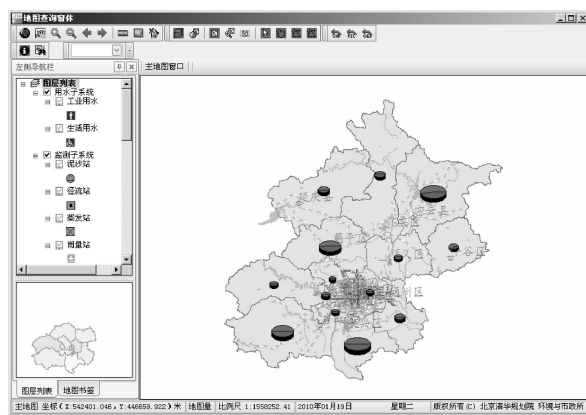


图4 水资源现状构成分析专题图

水平评价和农业节水现状水平,再结合国内其他城市 and 国外其他城市的相关数据进行比较分析,以确定该地区用水、节水水平在国内外所处的位置,其主要目的是为了找出问题,为规划对策的制定提供问题导向。

系统基于节水型城市指标拟定节水水平评价指标和评分标准,从而依据设定的标准和选定城市的数据进行比较,列出所有指标的数值和标准值,并将超标数据红色显示,最终根据评分规则,对城市特定年份的节水水平给出管理指标得分、技术指标得分以及最终的总得分即综合得分,这些评分对于国家节水型城市的评估及建设有较好地借鉴作用。

2.4 节水潜力分析

城市节水潜力分析指在城市需水量一定的前提下,通过对城市多水源供水量和多用户节水措施进行潜力分析,从而模拟城市在现有节水水平条件下与进一步采取节水措施的情况下的需水量之差。根据城市目前的节水现状与规划的城市发展规模和用水水平的不同,在系统中设定不同的情景,从而模拟城市在不同节水条件下的规划需水量^[6]。

节水规划过程简单来说就是通过城市供需平衡分析得到城市水量的供需缺口,进一步通过增加城市多水源供水提高城市供水量及通过提高多用户的节水水平减少城市的需水量,从而达到城市用水量的供需平衡。

同时,结合城市节水水平评价的成果,可以进一步明确城市节水管理工作的主要问题所在,基于这些问题,设定节水潜力分析的不同情景,从而分析生活用水、工业用水、农业用水、环境用水及水系统漏损的节水潜力,为节水措施的选择和节水规划的制定提供依据,最后根据节水潜力分析结果制定节水规划方案,完成整个节水规划过程,如图5所示为系统中集成的城市综合节水规划过程。

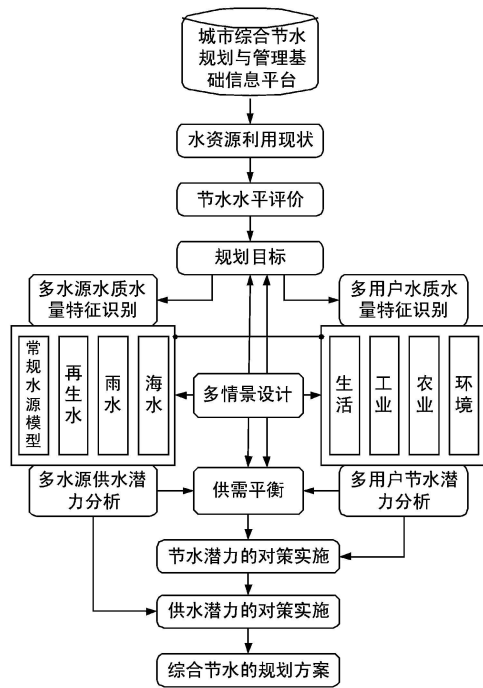


图5 城市综合节水规划流程

3 应用实例分析

北京市是典型的水资源紧缺城市,由于近些年来人口急剧增加,经济迅猛发展,导致用水量大幅增加,超出了资源与生态系统的承载能力。虽然从1981年成立节水机构以来,北京市在城市水资源状况、供水、用水及节水方面做出了许多努力,并先后于1984年、1986年和1996年组织了3次节水规划的编制工作,但节水工作仍然任重道远,当然这些研究也为北京市节水工作奠定了良好的数据基础和积累了丰富的经验^[4]。

北京市作为平台试点建设地之一,具有较完善的研究背景和数据基础,其节水问题的典型性和突出性能起到较好地示范作用。

根据北京市综合节水规划工作特征,利用城市综合节水规划与管理基础信息系统,对北京市进行综合节水规划的具体步骤如下:

1) 遵循城市综合节水规划数据要求和科学的指标体系,将综合节水规划需要的北京市城市基础信息和各水系统的属性数据及空间数据经处理后导入平台,为下一步分析工作做好准备;

2) 节水现状分析。根据平台中已有数据,对北京市水资源现状、供水现状、用水现状进行历年趋势分析和构成分析,如图6(a)所示为1985–2009年北京市水资源趋势对比分析;图6(b)是2005年北京市水资源构成分析。

3) 节水水平评价。根据北京市节水工作特点和相



图6 北京市水资源现状分析专题图

关规范,设定北京市节水评价指标体系,包括定量指标和定性指标,依据这些指标评分规则,系统将给出北京市的节水水平评价得分。

4) 节水潜力分析。根据节水水平评价结果明确了北京市节水工作问题所在,从而设定四种节水潜力分析情景包括无节水措施、考虑行业结构和产业结构低调整、考虑行业结构和产业结构中调整和考虑行业结构和产业结构高调整,分别计算不同情景下的北京市节水潜力,结果显示北京市未来仍有较大的节水空间。

最后结合多情景的供水潜力分析和多情景的节水潜力分析,制定供水潜力和节水潜力对策,完成北京市综合节水规划方案。

4 结论

随着经济的快速发展,城市缺水问题越来越严重,城市节水工作对于城市的发展至关重要。城市综合节水规划与管理信息系统从整个城市层面出发将GIS技术和节水规划方法学体系相结合,不仅提供了城市综合节水工作亟需的数据统一管理和综合维护功能,还能为城市综合节水规划工作提供节水现状分析、节水水平评价、节水潜力分析、供需平衡分析等专业分析功能。同时以北京市为示范城市,进行试点建设,证明了系统具有较强的实用性。

城市综合节水规划与管理基础信息系统的应用使得城市节水规划工作更加综合性、规范化和科学化,极大地提高了节水工作的效率,值得广泛推广和借鉴。

参考文献

- [1] 甘泓. 河北省邯郸市资源规划管理决策支持系统应用研究[R]. 1998
- [2] 杨德生. 基于GIS的节水型社会水资源综合管理信息系统设计初探[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(05): 42–44
- [3] 李立群, 蒋艳灵等. 城市水资源需求管理的信息过程研究—以北京市第三产业取水定额管理为例[J]. 资源科学, 2009, 31(10): 1722–1729
- [4] 北京市节约用水管理中心, 北京市城市规划设计研究院. 北京市节约用水规划研究(二〇〇六—二〇一〇年). 北京: 2006 8, 6

(下转第413页)

污染与否。用体系熵变值虽然可以确定体系污染与否,也能得到一个确切的熵变值,但却不能通过这样一个孤立的数值了解体系的污染程度。基于这样的情况,有必要确定污染熵的本底值,分析体系的熵变组成,才能更加确切地说明污染程度。

用污染熵的概念评价体系的综合性质时,总是以污染熵变化为主要识别因素,在各种研究条件下,最大限度减少体系的污染熵变,分析影响体系熵变的因素,在评价的基础上优化体系设计。为此需要建立一个标准来对体系的熵污染作判断。这个标准就是有关这种比较和联系的另一个重要的概念——熵本底。在企业生产过程中,要讨论企业的清洁生产状况,确定体系的本底熵就显得更为重要。这种比较使衡量企业生产的污染和清洁更直观和明显。

通过以上讨论可以这样来定义熵本底的概念:即在非人为因素下,生产单位或处理单元所需的最小熵即为污染熵的本底值。在污染熵本底基础上再来讨论体系的熵值或熵变大小,才能更加确定地判断污染与否及污染的程度。这与环境污染指标的本底值概念类似。

这样衡量污染的总效应应该是:

$dS - dS_{\text{本}} > 0$ 污染

$dS - dS_{\text{本}} \leq 0$ 清洁生产

为此计算体系污染或评价工艺过程清洁生产首先应根据研究的需要或评价的体系确定一个处理单元或是一个生产过程作为研究对象或研究体系,明确所研究体系的界线。其次通过污染熵的本底值概念计算降解过程的污染熵本底值。根据实际生产情况,用实际生产工艺的数据计算实际降解过程中污染熵的变化。最后比较理论状态下和实际过程中体系污染熵本底值的大小来分析体系自身以及体系对环境的污染状况。

5 小结

1) 通过温度场熵的理论引入污染熵的概念,并在污染物降解过程中对其进行分析和计算,为处理单元

反应器的污染物处理效率评价提供了一条全新的研究方法。

2) 根据污染的实际发生影响情况,定义污染熵速率,从而将熵流的概念引入到体系熵污染的计算中来,有助于分析污染熵的构成。并通过定义体系熵污染的本底值,有利于准确评价生产单位污染与否及污染程度。

3) 污染熵在各处理单元中的应用及其本底值的确定还需进一步研究,可以预见此研究方法对综合评价系统的性质,优化反应器设计,减少能源和物质的消耗,达到资源化清洁生产的目的都具有一定的意义。

参考文献

- [1] 唐瑶. 广义熵值与模糊集方法在农业生态环境支持度评价中的应用——以湖南省娄底市为例[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2005, 4(2): 82-85
- [2] 苏玉霞. 生命系统、生态系统的熵分析[J]. 广西师范大学学报, 2002, 20(1): 112-115
- [3] Linda Fernandez. Estimation of Wastewater Treatment Objectives through Maximum Entropy[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1997, 32: 293-308
- [4] 原道谋. 21世纪生产力发展方针的热力学思考[J]. 河北经贸大学学报, 2003, 24(4): 10-17
- [5] 王栋. 基于最大熵原理的水环境模糊优化评价模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(6): 56-60
- [6] 王承阳. 环境污染末端治理的热力学认识[J]. 冶金能源, 2003, 22(6): 52-54
- [7] 陈曦, 朱家骅. 传热推动力损耗的温度场熵分析[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2006, 38(4): 58-63
- [8] 陈曦. 温度场熵在矩形散热翅片中的应用[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2007, 24(2): 53-56
- [9] Tchobanoglous G, Burton F L. Wastewater engineering treatment and reuse[M]. Metcalf and Eddy, Inc., 2004
- [10] 北京市水环境技术与设备研究中心. 三废处理工程技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000

作者通信处 陈曦 400047 重庆市 重庆师范大学化学学院

E-mail cxqv@yahoo.com.cn

2010-02-01 收稿

(上接第 451 页)

- [5] 张行南, 王晓航. 基于 GIS 的水资源综合规划信息管理系统数据库研究[J]. 南北水调与水利科技, 2006, 4(02): 36-38
- [6] 陈建耀, 刘昌明. 城市节水潜力估算与用水管理水平评定[J]. 地理学报, 1998, 2(53): 141-148

作者通信处 刘小梅 100084 北京市海淀区嘉华大厦 B 座 609 室
清华规划院环境与市政所
电话 (010) 62987876-8017
E-mail lxm@digitalwater.cn

2010-07-15 收稿