

给水管网建模与科学调度软件技术应用

同济大学环境科学与工程学院 刘遂庆 信昆仑

摘要

应用计算机信息化和自动控制技术实现给水管网运行模拟和科学调度,已成为城市供水行业科学技术现代化的标志,通过建立管网地理信息系统(GIS)和管网压力、流量及水质监测 SCADA 系统,应用计算机软件进行管网水力及水质动态模拟(即管网建模)和管网运行科学调度,是实现城市供水科技现代化的基本技术路线,可以掌握已建管网的实时运行状况,分析管网各个构成部分的运行功能,发现管网现状存在的问题,预测管网维护和改造对总体系统的影响,科学合理地制定近期、远期的管网改造和扩建方案等。给水管网科学调度系统是覆盖整个给水管网信息化管理技术的综合系统,可以制定合理的离线和在线运行调度计划和调度方案,统一调度各泵站的水泵运行,保持管网系统水量和水压的优化分布,优化供水能耗和供水成本,降低管网中爆管事故的发生概率,提高供水安全性和企业服务水平。

开发和应用国产化管网建模和科学调度软件,与国内城市供水生产实际应用需求紧密结合,有效提高了供水管网运行效率和供水系统安全,提高供水系统信息化管理水平,促进供水行业现代化技术进步和供水行业国产化应用软件的发展,是我国城市供水行业在今后 10-10 年内的科技创新发展方向,也是我国供水系统计算机应用和软件研究与开发部门的迫切任务。

1 给水管网运行模拟和科学调度软件结构设计

完善的供水管网信息化管理与控制调度系统应包括管网地理信息(GIS)系统、管网数据监测与采集(SCADA)系统、管网水力模拟和管网科学调度等多个子系统,它们之间的关系如图 1 所示。实际情况下,系统的建设往往分期逐步实施,逐步完善。

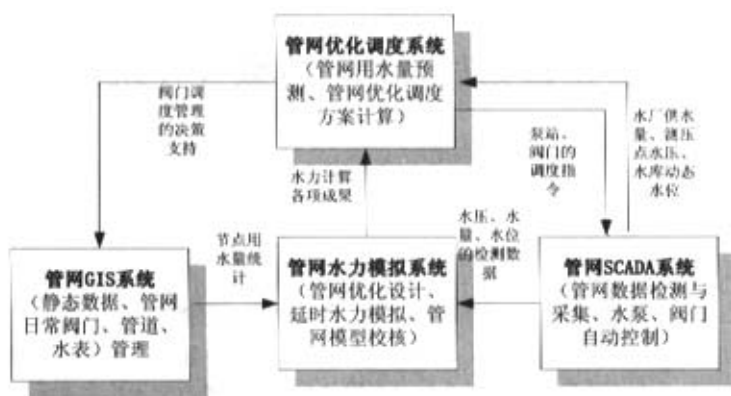


图 1 给水管网信息化管理与科学调度软件结构和子系统关系

建立上述软件系统是一个复杂的系统工程，需要下述的科学地设计和软件开发组织：

- 决策者和管理层需要系统地规划给水管网信息管理和优化运行控制系统的建设，使管网 GIS 系统、管网 SCADA 系统、管网水力模拟系统能够相互协作，高效地运行在所建立的高度协调、严密组织的软件、硬件平台之上；
- 由于专业领域的差异，各系统之间的数据通讯和接口并不容易做到一致和协调，需要要求各子系统提供开放式和标准化的软硬件接口，供水企业依靠自身的技术力量和专业人员组织、协调各子系统之间的关系，使系统能够最大程度上的协调运作。

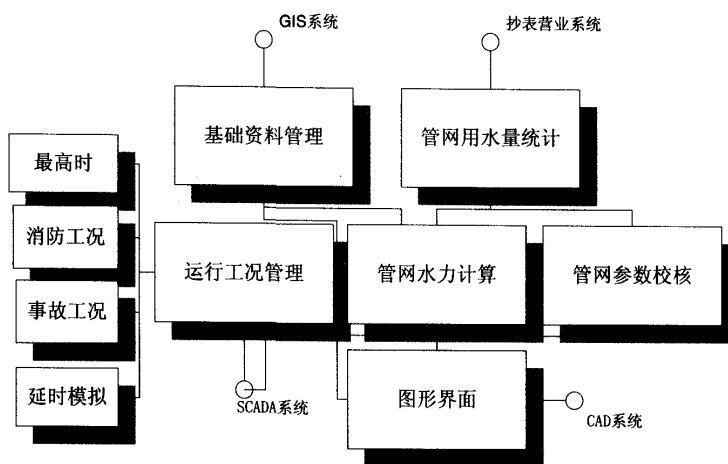
2 管网动态模拟软件结构与功能

供水管网动态模拟是模拟计算管网运行实时水力状态的管网微观模型，求解管网中管段流量、节点压力、泵站流量和扬程，检验管网设计和运行质量，及时发现管网中存在的问题，为泵站设计和运行、管网运行与扩建提供依据。

管网模拟软件通过建立管网微观模型，连续进行管网运行状态模拟(包括水力和水质)，结合管网 GIS，帮助管理人员分析管网的水质和水力状态。

实时模拟的目的是根据用户用水量变化，检测管网在任何时段内的运行状态、总体效益和费用，为管网运行调度提供决策依据，评价管网总体运行效果。实时模拟的基本方法是以管网水力平差计算为基础，将分时段变化的用水量作为拟动态数据，对不同时段的运行状态进行平差计算，最后对总模拟时期的计算结果进行汇总、评价和决策。

管网实时模拟软件结构如下列框图所示：



3 管网科学调度软件技术方法

给水管网科学调度系统涵盖了通讯、自动控制、数学优化、数据库等多项技术,其中的理论计算和数据库技术构成了管网优化调度系统软件的核心,而理论计算中的水力计算、用水量预测、优化调度计算从功能上相互独立,同时又共同服务于系统软件。合理地规划软件模块的功能结构有助于软件整体良好、可靠的运作。给水管网科学调度软件系统结构如图 3 所示。

管网科学调度软件分为软件接口、计算核心和图形界面三部分。

其中软件接口部分更多程度上是指本软件系统所使用的管网其他信息管理系统(SCADA、GIS、营业抄表系统等)的数据接口, 这些接口应该被定义和描述成规范的形式, 以便于其他应用程序可以方便地与这些系统相连并进行数据交互。

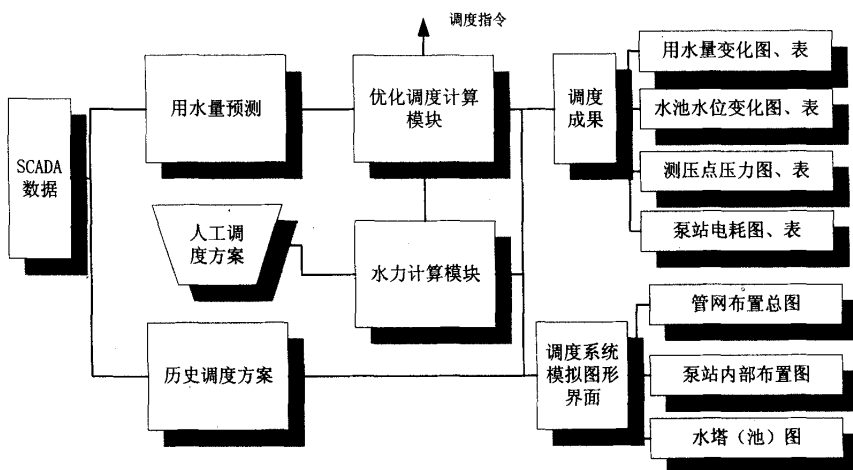


图3 管网运行科学调度软件系统结构图

计算核心是软件的主体，由用水量预测、微观水力模型、优化调度计算三大模块组成：

- 用水量预测：通过与 SCADA 数据接口读入历史用水量数据，经平滑处理形成历史样本数据，选择正确的输入参数和相应的预测模型，对参数估计和模型误差分析后用于管网用水量的预测。
- 管网微观水力模型：提供管网基础资料管理与图形表达、管网运行工况管理、管网参数校核、管网用水量统计与管理等功能，其核心内容在于管网的水力计算。该模型可以通过丰富的系统接口连接其他管网信息与管理系统，并为模型本身即优化调度系统提供强大而可靠的数据支持。
- 管网优化调度计算模块：根据用水量预测结果，通过将历史调度方案以及相关的实际监测水力数据和能量、费用数据记录在调度历史数据库，验证计算调度方案的可靠性。

图形表达是软件与用户交流的窗口，通过计算机图形的方式完整而直观表现。同时，优化调度的结果也可以通过丰富的图形手段来展现：

- 对泵站内部的水泵开关方式以组态软件的图形界面；
- 管网内测压点的水压图形、表格等；
- 管网内水池、水库等调节设施的水位及变化图形、表格等；
- 调度方案耗电量以及能量费用。

4 管网建模和科学调度软件应用与软件国产化方向

中国城市供水行业已经迈进了信息化建设和管理时代，专业型应用软件的开发和应用是信息化建设的首项任务。我国是全球第一人口大国，城市供水总量位居世界第一，信息化建设工程项目投资和系统维护费用将达百亿元计，一直受到国内外软件企业的密切关注，

成为供水系统专业应用计算机软件的国内外高科技竞争市场。

以杨钦教授为创始人的同济大学“给水排水工程设计与运行最优化博士点研究方向”从事城市供水管网计算机软件研究与开发已有 30 余年历史,为给水排水专业应用国产化软件和信息化技术积累了丰富的研究成果和经验。近年来,同济大学与南京、佛山、上海浦东、上海市北及镇江等城市供水企业合作,紧密结合企业科技进步和技术应用需求,合作开展供水管网建模、管网科学调度和管网地理信息系统(GIS)软件开发和应用,成功开发了“同济宏扬供水管网建模、科学调度和管网 GIS”系列软件,取得了良好的科学技术和应用效益,对于我国城市供水管网信息化技术进步和生产应用起到了有力的推动作用。“同济宏扬供水管网软件”采用全中文菜单,提供图形、表格、曲线等丰富的表达方式,方便了用户的使用。管网建模软件在供水运行管理、管网规划和改造建设中起到了重要指导作用。同时,由于城市基础设施安全是我国经济发展和城市安全的重要条件,采用国内自主开发软件和技术进行管网建模和科学调度,具有重要的城市安全意义和价值,取得了显著的经济和社会效益。

南京市自来水总公司供水管网建模软件的开发工作于 2000 年初顺利完成,软件的成功应用取得了明显的经济效益和社会效益。在上元门水厂改造工程中,二泵房水泵原额定扬程为 59m,经计算分析,发现该扬程偏高,水泵将运行于低效区。通过管网模拟,最终确定改造后二泵房水泵的扬程为 50m,大大提高水泵机组运行效率,降低了电耗。以目前该泵房供水规模 20 万 m^3/d ,电费 0.54 元/ $\text{kw}\cdot\text{h}$ 计,每年可节约电费 106 万元。在福建路、察哈尔路管道改造工程中,原计划将 2707m 长度的管道直径扩大为 DN800mm,经水力模拟计算,管径 DN500 能够满足用水需求,最终采用 DN500mm 的工程设计方案,运行状况良好,节约工程投资 223 万元。同时,减少了水在管道中的停留时间,从而提高了管网水质安全性。另外,通过管网建模软件的生产应用,发现并校正了管网中个别阀门的不正常工作状态,有效提高了管网的运行效率。南京市给水管网优化调度生产应用软件的开发工作于 2002 年 10 月份完成,在管网优化调度软件试运行期间,表明可节省电耗 2.37%,一年可节省二泵房电费 75.92 万元。通过管网科学调度,平衡了管网中服务压力,降低了供水系统中平均压力,减少供水管网漏失率,有利于管网运行安全,减少因压力变化较大而引起的爆管事故发生,提高了供水调度技术水平。

佛山市供水总公司供水能力为 100 万 m^3/d ,有石湾、沙口两座自来水厂,5 个供水二级泵站。供水面积达 100 余 km^2 ,供水区域内现有 DN75mm-DN1500mm 管网长度约 1740km。管网建模软件经过严格的校验,模拟计算精度达到了较高水平,动态水力模型成为管网实时运行分析的有效手段,能够真实有效的模拟现实管网在各个时段的运行工况,指导管网维护和改扩建方案设计。魁奇西路 DN1000mm 管道安装,因沙岗旧路 DN800 和 D N400 管阻碍施工,于 2003 年 12 月 24 日将其临时截断。事先利用了管网建模模型进行截管状态和压力影响模拟计算,得出结论:截管造成澜石区域供水压力不同程度的降低,导致部分用户在周末用水高峰时段可能出现断水问题。据此进一步提出解决方案,并最终确保了市民用水。为了配合道路的施工,公司规划新装一条长约 2200m 的给水管来取代现有三条旧给

水管。通过供水管网模拟软件计算管径表明，安装 DN800 管对于沿线的各用户水压基本维持现状，且略有提高，决定选用 DN800 为南堤路、新堤路规划给水管的管径，节约投资近 700 余万元。公司应用管网建模软件，对 2004 年、2005 年春节等重大节假日及管网重大工程施工期间的供水调度方案进行模拟校核，通过多方案优选，科学修正调度决策，保证了管网供水安全性，提高了供水服务质量和管理水平。佛山市供水管网建模项目完成后，提高了给水管网系统的运行稳定性、可靠性，并明显提高了供水系统管理和生产运行的科学技术水平，为佛山供水系统改扩建方案计算及分析管网事故运行水力状况、管网的优化运行和管理奠定了有力的技术基础和经验，有效地提高了供水经济效益和社会效益。与南京市情况相似，通过管网建模软件的应用，佛山市亦发现并校正了管网中阀门的不正常工作状态，有效提高了管网的运行效率。为了进一步加快和完善佛山市供水系统的现代化技术进步，目前正在开展给水管网科学调度软件开发。

5 结论

给水管网计算机实时模拟和科学调度是供水企业生产管理科学技术进步的发展方向，是提高供水系统运行效率、运行安全可靠性和供水企业经济效益和社会效益的有效途径。本文论述了供水系统信息化管理和运行调度的技术发展现状，分析了我国城市供水系统的技术需求和发展方向，提出了供水企业管网信息化管理与科学调度软件开发和系统建设技术路线和软件国产化发展方向，为供水企业实施计算机信息化管理和供水科学调度系统建设规划和方案设计提供参考。同济宏扬管网建模和科学调度软件界面及其应用效果见图 4。

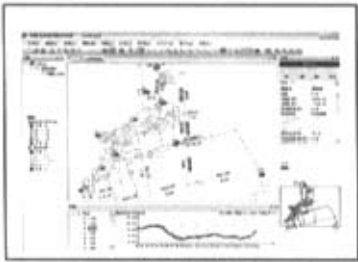


图 4a. 上海浦东供水管网模拟软件

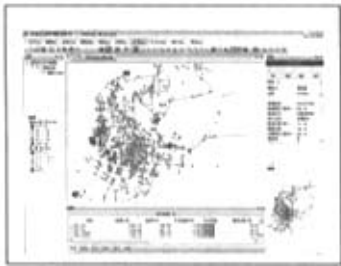


图 4b 南京市给水管网模拟软件

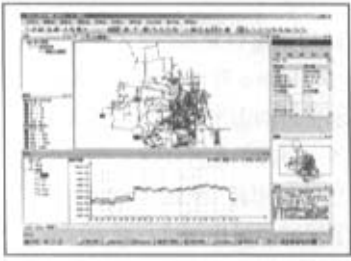


图 4c 佛山市给水管网模拟软件

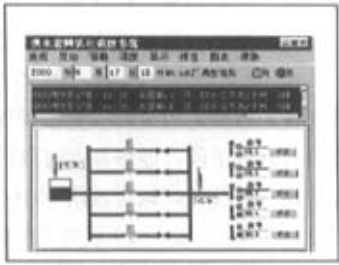


图 4d 管网水量预测和优化调度

图 4 给水管网实时模拟和管网科学调度软件界面

参考文献

1. 刘遂庆, 多水源供水系统泵站供水量最优分配, 中国给水排水, No. 5, 1988. 2.
2. 严煦世、刘遂庆, 给水排水管网系统, 中国建筑工业出版社, 2002. 7.
3. 杨立福等, 给水排水自动化技术(SCADA)综述, 给水排水, 2000, vol. 26, No. 3, pp72-75
4. 吕谋、张士乔、赵洪宾, 给水系统多目标混合实用调度方法, 中国给水排水, vol. 16(11), 2000 年第 11 期, 10-14
5. Massoud T. etc, Dynamic management of water distribution networks based on hydraulic performance analysis of the system, Water Supply 2003, Vol. 3, No. 1-2, pp 95-102
6. Zessler and U. Shamir, Optimal Operation of Water Distribution Systems, J. Water Resources Planning and Management, ASCE, 115(6), November, 1989, pp735-752
7. Lehar M. Brion and Larry W. Mays, Methodology for Optimal Operation of Pumping Station in Water Distribution Systems, J. Hydraulic Engineering, vol. 117(11), November, 1991, pp1551-1568
8. V. Nitivattananon, E C. Sadowski and R G. Quimpo, Optimization of Water Supply System Operation, J. Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 122(5), September/October 1996, pp374-383