

给水管网建模是水司实现科学化管理必经之路	
[我要评论] [返回]	
作 者:	陶建科;
出 自:	作者供稿
发表时间:	2006-9-6
摘 要: 给水管网建模是进行管网分析的新概念。文中作者结合自己 11 年来的给水管网建模实践经验,阐述了给水管网建模发展历程、模型基本概念、模型的作用及建立成功给水管网模型关键问题,最后指出了给水管网建模是水司实现科学化管理必经之路,具有实践指导作用。	
给水管网建模是水司实现科学化管理必经之路 陶建科 上海敢创信息技术有限公司 摘要: 给水管网建模是进行管网分析的新概念。文中作者结合自己 11 年来的给水管网建模实践经验,阐述了给水管网建模发展历程、模型基本概念、模型的作用及建立成功给水管网模型关键问题,最后指出了给水管网建模是水司实现科学化管理必经之路,具有实践指导作用。 关键词: 管网建模 经验 概念 作用 关键问题 科学化 必经之路 Building Water Distribution Models is the Only Road for Water Companies to Realize Scientific Management Tao Jianke Shanghai Creative IT Ltd. Co. 『Abstract』 Building water distribution models is the new concepts for analyzing water distribution systems. In the paper the development history of water distribution models and the model basic concepts and the model functions and the key questions to build successful water distribution models are described by the author with himself 11 years' practical experiences. Finally, the author points out it is the only road for water companies to realize scientific management. This paper has guidance function of practice. Key Words: Building water distribution models Experiences Concepts Functions Key questions Scientific The only road 1 前言 掌握给水管网系统的动态运行工况,是管理者从事给水系统管理的必然要求。给水管网系统建模是为仿真模拟管网系统动态实时运行工况而建立数学模型的过程,一方面,通过给水管网模型,可以掌握已建管网的实时运行状况,分析管网系统中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、远期的管网改造和改扩建方案,另一方面,通过给水管网模型,可以分析和预测在不同的管网运行边界条件下,供水系统的运行工况如何,为管网系统的安全运行、提高运行效率、节能降耗及提供企业客户服务水平提供辅助决策支持。	



到目前为止,给水管网建模是仿真给水管网系统动态工况的最有效的方法^[1],它能够提供供水系统最有价值的信息,有助于供水管理者实现管网科学化、现代化管理。开展给水管网系统建模,建立高质量的给水管网模型对管网系统进行优化改造、进行漏水量控制、指导管网系统优化运行是我国城市供水行业在今后 5—10 年内的科技创新发展方向,也是我国供水行业在近期迫切需要解决的问题。

作者在过去 11 年期间,参与了我国十多家供水企业给水管网建模工作,其中负责或主要参与完成的静态或动态给水管网建模课题有:上海市自来水公司给水管网建模、上海浦东威望迪自来水公司给水管网建模、上海市自来水市北公司宝山供水系统管网建模、南京市自来水总公司给水管网建模、南宁市自来水公司给水管网建模、上海市跨大海大桥长距离供水系统管网建模、佛山供水总公司给水管网建模、宁波市自来水总公司给水管网建模、潍坊市自来水总公司给水管网建模、龙江自来水公司给水管网建模,等等,取得了一定的经验,希望能与大家一起分享,共同推动我国城市供水系统自动化和信息化管理应用水平。

2 给水管网建模发展历程^[2]

计算机技术应用在给水管网设计、优化分析、运行最优化和管理方面,已经经历了 40 多年的发展历程,国外同行专家称这 40 多年的给水管网建模研究和应用的历史为“计算的历史”。在我国,同济大学杨钦教授在 70 年代开创了计算机在我国给水管网计算和应用方面的先河,并亲自设计出了“7512 程序”,在当时使得我国给水管网建模理论水平与世界同步,为今天我国给水管网建模理论和实践的发展作出了历史性的突出贡献。

给水管网建模从 60 年代以后开始,一向被认为十分困难的管网平差计算工作,由于电子计算机的快速运算和准确存储记忆功能而变得方便可行,使给水管网的设计和管理走向了科学化和数量化。为了不断提高给水技术的科技水平,计算机应用技术的科学研究不断地深入,出现了不断更新换代的应用成果。40 多年来,计算机已经经历了多代更新,给水工程中的专业应用软件和技术也在不断地同步扩展和提高,从目前看来十分简单的管网平差计算程序开始,继而涌现出了管网运行实时动态模拟、计算机监测监控、优化设计、优化调度、自动化管理与运行等,最终实现供水系统闭环自动化优化运行过程,使得计算机技术已成为给水系统现代化运行调度和管理水平的重要标志和前所未有的科技进步。

在工业和科技发达国家,城市给水系统基本上实现了全部计算机化的设计和管理,甚至实现了整个供水系统闭环优化运行,无人化操作。由计算机总控系统通过远程监控、远程数据传输和程序控制,实现源水水质、水位监视、水泵运行调度、自动加药控制、滤池过程控制、管网优化调度、系统运行核算等给水系统全过程运行控制和管理。通过计算机实现了无人化、无纸化的过程控制和档案管理,甚至包括了财务、人事等工作。上述过程大致经历了以下三个阶段:

- 第一阶段:管网平差计算技术(1960-1980)。将供水管网基础资料进行简化,结合供水系统规划水量及压力要求,进行管网水力平差计算,进行多工况校核,如:高日高时、事故时、消防时及最大转输时,保证管网运行时的压力和流量满足要求。这一阶段就是利用管网水力平差计算技术进行管网设计、运行工况计算和校核,提高供水系统设计和管理水平。

- 第二阶段:管网资料管理、运行分析及管网优化调度(1980-1990)。开展供水管网地理信息系统建设,矢量化供水管网基础资料、将管网系统属性资料和空间数据库进行统一设计,提出供水管网建模标准方法,给水管网水力模型和水质模型进入成熟应用阶段。开展供水系统优化调度及专家系统的建设工作,将实现供水系统优化调度、管网水质分析与诊断、减少供水系统自来水漏失及供水成本作为研究的重点和实现的最终目标。这一阶段就是利用计算机数据库技术、管网模型工具及优化算法,提高供水系统运行效率和资料管理水平,称之为信息化的初级阶段。

- 第三阶段:自动化优化运行与管网信息化管理(1990-)。建立供水系统优化运行和调度管理统一的数据平台,应用计算机信息化和自动控制技术实现给水管网运行仿真模拟和科学调度,通过建立管网地理信息系统和管网压力、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实时模拟和管网运行科学调度,通过制定经济的离线和在线运行调度方案,统一调度各泵站的水泵运行,保障管网



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,实现城市供水科技现代化。这一阶段的重要特征:自控设备安装调试、给水专业软件开发及接口设计(管网建模、GIS、监测监控系统、决策支持系统、PLC)。这一阶段的目标就是要实现整个供水系统在保证满足供水需求的前提条件之下,系统运行成本最低,实现自动化无人化优化操作,称之为高度的信息化与自动化阶段。

目前,在国外的一些工业和科技发达的国家,供水系统的运行调度和管理实现了供水系统闭环、优化自动化控制过程,如:泰晤士水司、悉尼水司等。我国和世界供水先进国家还有较大的差距,处于供水系统自动化和信息化初级阶段。

3 明晰几个概念^{[2][3]}

管网模型总体上分为两大类,它们是:宏观模型和微观模型,传统意义上讲的管网建模是指建立供水系统微观模型,是一个建立数学模型的过程,通过数据收集和整理、现场测试、节点水量分配、模型校验等步骤最终建立起的供水系统微观模型。宏观模型是在1975年由Robert Demoyer等学者首先提出的,理论的建立基于“比例负荷”的假设,应用“黑箱理论”的基本思想,直接在历史数据的基础上,借助统计回归的分析方法建立回归曲线方程,即为宏观模型,缺点是忽略了管网系统网络拓扑结构关系,不能计算管道和节点的工况参数,不能用于供水系统的新建、改扩建建模,多用于供水系统调度建模。供水系统微观模型是按供水系统的实际情况,考虑了管网实际的网络拓扑结构关系,其优点在于贴切地反映了供水系统拓扑结构的真实性,能够用于供水系统中以任一元素为决策变量的研究,优点是显而易见的,缺点在于建模工作量较大,要求系统资料比较完备,模型越细化,维护越困难,计算时间越长。随着计算机水平的高速发展,象上海这样特大型供水系统,利用计算机微观模型计算,可以满足在线实时模拟要求。

供水系统管网模型发展过程中,除了出现上面两个根本的概念外,还出现了其它的一些概念,如“集结模型”、“等价模型”、“简化模型”等,它们是历史发展过程中的产物,属于宏观模型和微观模型的范畴。“集结模型”和“等价模型”属于宏观模型,都没有考虑实际的管网拓扑结构关系,“简化模型”输入微观模型。给水管网微观模型建立时,一般都是建立“简化模型”,没有必要将所有的信息(包括水表等)都建立在模型当中。如果管网微观模型能够满足供水系统日常维护、维修、检漏、用户用水困难调查等业务,称之为“详细模型”,如果管网微观模型只是为了满足供水系统宏观规划、主干管优化调度的研究,称之为“战略模型”,这两种模型是没有绝对的界线。

管网建模分为两大类型:建立供水系统水力模型和水质模型。如果模拟仿真计算是一个时间点上的工况,如:高日高时、消防时、事故时等工况,传统上称之为“水力或水质平查计算”或“静态模型”,如果模拟仿真计算是一天24小时或更长的时间,并连续模拟计算,我们称之为“动态模型”或“延时模拟计算”。根据建立起来的管网模型与SCADA系统是否实现接口,是否进行同步运算和模型校核,又分为“在线实时模拟”和“离线模拟”。

4 给水管网建模的作用

给水管网建模能够将供水系统运行工况再现在计算机屏幕上,它能够回答供水系统中任何水力边界条件如果发生变化的情况下,预测供水工况的变化,能够回答水压、流量、水质参数是否满足要求,水泵用电是否经济等问题,然而,在供水系统管理的过程中我们是不能做试验,或许是代价太高,正式因为这一点,给水管网模型能够帮助管理者制定科学的合理的决策,提供技术依据。

本节中谈到给水管网建模的作用主要是指管网水力模型,因为在我国建立供水系统水质模型刚刚开始,处于探索阶段。给水管网建模成果具有如下功能^[1]:

- 供水系统的规划、设计及改扩建;
- 能指导和帮助安排检漏工作;



- 管网改造优先性评估;
 - 诊断管网中的异常情况, 如: 错关阀门, 摩阻突变等, 并提出解决方案;
 - 分析事故或工程对用户用水的影响程度, 分析居民用水困难原因;
 - 调查大规模供水系统中水打回笼现象, 寻找季节性阀门经济开度;
 - 进行每天管网运行工况分析, 增强调度员调度信心, 做到心中有数, 培训调度员;
 - 帮助选定管网中测点位置, 优化测点布置;
 - 在水力模型基础上开发水质模型;
 - 管网水力动态模型与 SCADA 系统相连, 可实现在线实时调度, 为进一步实现离线或在线优化调度提供基础, 是它的前期工作;
- 等等。

作者完成的我国十多个大型的城市给水管网建模项目中, 每个项目都产生了可观的经济效益, 不但提高了公司管网系统科技管理水平, 培养了人才, 而且每个项目产生的实际经济效益都远远超过项目的实际总投资。

案例一: 上海市自来水公司于 1998 年 3 月份完成了供水管网动态水力模型^[4], (1) 管网模型建立过程中发现一些中途泵站打回笼水^[5], 它们是新闻泵站、胶州泵站、仙霞泵站、场中泵站、和田泵站、金沙江泵站、普雄泵站、泗塘泵站、汶水泵站、宜川泵站和宝安泵站, 通过计算发现 1996 年平均合计打回笼水为 $2.1\text{m}^3/\text{s}$, 假定最低供水服务压力为 14 米, 电费 0.60 元/kw.h 计, 通过模型诊断, 关闭一些阀门, 每年可节约电费 270 万元。(2) 1998 年 6 月 16 日至 17 日上海市五角场环岛内 DN1000 和 DN700 管道改接^[6], 施工过程中将严重影响附近用户用水, 通过模型模拟分析施工过程, 预测降压范围和每个时间段的降压幅度, 为制定缓解用水困难的措施提供决策支持。(3) 技术人员通过管网模型发现从杨树浦水厂一根 DN1000 口径的出厂管道输水到外滩附近^[5], 压力降低不正常, 通过管网模型分析, 判断是 DN1000 管道漏水、或者是 DN1000 管道上有一段小口径管道、也可能是管道上阀门掉了下去等等, 在管网模型分析支持下, 展开现场调查, 发现是 DN1000 管道上阀门芯掉了下去, 拿掉损坏的阀门芯后, 该管道压力平均上升了 7 米, 附近的吴淞路泵站可以全年停开, 不影响正常供水压力, 每年节省的费用为一座泵站的运行、维护和管理费用, 经济效益明显。(4) 以上列出的是比较容易量化的, 上海市供水管网模型所发挥的作用远不止以上这些, 比如说, 应用在供水系统的规划设计、日常调度、培训调度员, 为开展供水系统优化调度工作提供基础等等。

案例二: 南京市自来水总公司管网建模项目于 2002 年完成^[7], (1) 在上元门水厂改造工程中, 二泵房水泵原额定扬程为 59m, 经计算发现该扬程偏高, 水泵将运行于低效区, 通过管网模拟分析, 确定改造后二泵房水泵的扬程为 50m, 该泵房供水规模 20 万 m^3/d , 电费 0.54 元/kw.h 计, 每年可节约电费 106 万元。(2) 在福建路管道改造工程中, 原计划埋设直径为 DN800mm 长为 2707m 的管道, 模拟分析计算, 认为管径 DN500 能够满足需求, 最终采用 DN500mm, 结果运行状况良好, 节约工程投资 223 万元。(3) 在 2002 年底, 优化调度试运行期间, 节省电耗 2.37%^[8], 一年节省二泵房电费 75.92 万元, 另外通过管网科学调度, 降低了供水系统中平均服务压力, 减少供水管网漏失, 有利于管网运行安全, 供水调度技术水平上了一个台阶。

案例三: 宁波市自来水总公司管网建模项目于 2005 年完成^[9], 建立了宁波市给水管网详细模型 (DN $\geq$ 300mm) 和战略模型 (DN $\geq$ 500mm), (1) 通过高精度的管网战略模型分析, 提出了宁波市供水主干管环网的高速公路规划思想, 确定了环网口径, 中国供水系统“第一环网”得到了中国专家和世界银行专家高度的认可, 获得了世界银行贷款 1.1 亿美金。(2) 给水管网详细模型已经成功的应用在供水系统日常运行管理过程中。

案例四: 潍坊市供水管网建模于 2004 年底完成^[10], 管网模型的应用取得了明显的经济效益和社会效益。(1) 供水系统改扩建: 利用供水管网模型, 提出了供水系统改扩建方案, 通过管网动态水力模拟和工况分析发现原现状供水系统中水流流速处于经济流速范围内的管道数从 676 根提升到 762 根, 新规划主



干管道水流流速均处于经济流速范围之内,同时计算出新建白浪河水厂出厂所需压力,为二泵房选泵提供参数。(2)在线实时工况模拟:在线实时水力模拟系统在调度中心24小时运行,调度员通过该系统可随时了解整个管网当前的工作状态,大大地增强了调度员作出调度决策的自信心。(3)开展经济调度工作:潍坊市供水管网在线实时水力模拟软件系统提供多方案费用比较功能,为调度员开展供水系统的优化运行管理提供了很好的工具。调度技术人员先预测明天的需水量,制定满足需求水量的多个经验调度方案,设置控制点压力,通过模型动态模拟计算,找到运行费用最低的调度方案。

案例五:南宁市给水管网规划设计与运行管理计算机软件开发应用项目于2005年5月验收^[11],项目成果已经用于南宁市供水管网的规划、设计及改扩建工作,发挥了巨大作用,产生了明显的经济效益和社会效益。(1)进行了南宁市供水管网系统2010年、2020年供水规划,指导了南宁市供水管网改扩建工作。(2)随着南宁市的发展,邕宁自来水供水系统并入南宁市自来水管网,利用该项目成果成功的辅助完成了这一工作。(3)在南宁市“136市政建设”工程过程中,项目成果应用在供水主干管规划,保证了决策的正确性。

案例六:佛山市供水总公司管网模型于2003年11月17日完成初步验收^[12],进入试用阶段,(1)在魁奇西路DN1000mm管道安装工程中,因沙岗旧路DN800和DN400管阻碍施工,将其临时截断。事先利用了管网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。(2)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。通过模拟软件分析表明,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管道,节约投资近700余万元。(3)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,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。

.....

总之,供水系统管网模型在开展供水系统规划设计、管网改扩建、运行调度和管理过程中作用巨大,供水系统运行管理离不开供水管网模型。

5 建立成功给水管网模型关键问题

管网系统基础资料的完备程度和准确性直接影响到模型的精度,它们是建立成功给水管网模型关键问题之一^[1]。这些基础资料包括静态资料和动态数据。静态资料主要来自管网地理信息系统,包括管网拓扑结构关系^[13]、管网元素的空间数据和属性数据、水泵特性曲线等。动态资料数据来自SCADA系统,是管网实时运行的数据^[14],如:水泵的开关状态、阀门的开度、水库的动态水位、实时监测的压力点和流量点数据等。

管网中不确定参数的估值是影响到建立成功管网模型关键问题之二^{[1][15][16]}。管网中不确定的参数主要有:管道实际口径、摩阻值及节点流量的计算。由于管道内部结垢或变形使得管道实际内径和计算内径存在较大的差异,它们都会极大的影响水力条件。管网建模过程中,管道数量巨大,不可能每根管道都进行摩阻值测定,常采用抽样的方法,由点推广到面,由于不同水厂出水的水质不同,水在管道中停留时间也不一样,流速相差较大,导致就算是从一个厂家购买的同样型号管道,由于管道使用时间较长,摩阻值也可能相差巨大。模型中节点流量是实际供水系统中用户用水的简化,管网模型拓扑结构越详细,节点流量误差就越明显,由于不是所有用户用水都被实时监测,用户用水模式曲线在计算节点流量时总是要使用的,因此误差一定存在。如何进行管网中不确定参数的估值,国内外许多学者进行了研究,被称之为状态参数评估。

给水管网建模经验是直接影响到建立成功管网模型关键因素之三^[3]。从来没有在实践过程中建立管网模型的专家,是不可能建立起一个接近真实供水系统运行的仿真模型,因为实践过程中影响的因素太多,是哪个因素导致该误差的产生是没有办法判断的,如:一个节点的计算压力比实测高很多,是测试仪器或



测试条件出了问题，还是管道阻力偏小，还是其它原因？都有可能，无法确定。在建立任何一个复杂的供水管网模型时，总是会存在诸多的不确定参数，模型校验阶段不可能不存在大量的异常，如何解决这些问题？回答：凭借管网建模工程师扎实的理论基础和丰富的实践经验到实践中寻找。一个大型的给水管网模型的校验，对于任何管网建模工程师来说都是巨大的挑战。

6 给水管网建模是水司实现科学化管理必经之路

给水管网模型是现实管网供水状态的仿真，是认识供水系统运行状态（水力和水质）的最有力工具，只有掌握了现实供水系统的供水状态，才能对症下药，收到预期的效果。

为什么供水系统中漏失率一直偏高？为什么用户在高峰用水时，水泵全开，用户用水量还是偏小，甚至断流？为什么管网“自然爆管”频率高，是材质问题，还是水力条件不好？为什么千吨供水能耗距高不下，原因如何？等等问题，回答这些问题是需要借助给水管网水力模型的，寻找解决问题的根本。为什么水厂出水水质远超过欧盟标准，而管网水不能生饮，管网水水质变化的原因是什么？如何进行管网水水质控制？等等问题，都需要借助给水管网水质模型作为辅助工具，寻找问题的根本。

毋庸置疑，给水管网建模是进行管网分析的新概念，是解决目前供水系统中突出问题的根本，是水司实现科学化管理必经之路。我们坚信给水管网模型的应用必将从“静态”走向“动态”、从“延时”走向“实时”、从“离线”走向“在线”，最终实现全供水系统闭环自动化优化控制过程，朋友，让我们共同努力吧。