

供水管网水力模型建模

工程实施与管理

Project Implementation and Management for
Hydraulic Model of Water Supply Network

王煜明 著 王茜 整理

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

供水管网水力模型建模 工程实施与管理

王煜明 著
王 茜 整理

内 容 提 要

在当前“智慧水务”的大趋势下,供水管网水力模型仍然是管网智慧化的不可替代的基础技术。本书针对供水管网水力模型的建模、用模的人才相当匮乏的现状,根据作者多年来的亲身经历和实践,提出了供水管网水力模型的工程化和标准化管理方法及步骤,详细介绍了每个环节的实施办法,提高了供水管网水力模型建立的效率和成功率,使得供水管网水力模型在实用化的进程中有更大地提升。尤其对建模难度最高的环节“模型校验”进行规律性的概括和总结,提出模型校验过程中相关的问题发现的方法和解决的途径。

本书适合供水行业有志于供水管网水力模型建设的技术人员与研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

供水管网水力模型建模工程实施与管理 / 王煜明著

. 一上海: 同济大学出版社, 2019. 12

ISBN 978-7-5608-8904-7

I. ①供… II. ①王… III. ①给水管道-管网-水力模型-研究 IV. ①TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 290436 号

供水管网水力模型建模工程实施与管理

王煜明 著 王 茜 整理

责任编辑 宋 立 责任校对 徐春莲 封面设计 唐思雯

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

排 版 南京文脉图文设计制作有限公司

印 刷 上海安枫印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 11.5

字 数 287000

版 次 2019 年 12 月第 1 版 2019 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-8904-7

定 价 98.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

供水管网水力模型通过计算机技术对地下供水管网进行数字化模拟,运用水力计算的方法计算出所有管道的流量、压降、流速、流向以及水厂和用户节点的各种水力数据,为管网规划、设计、改造、维护、分析、调度提供了全面的、细节化的依据和动态化的模拟,近年来在供水行业得到了长足的发展和有效的应用。同时,作为基础模型,又为水质模型、漏损模型、调度模型等高一级模型的建立提供了重要基础,因此在供水行业管网现代化、智慧化管理中是不可或缺的分析计算工具。

长期以来,供水管网水力模型都比较集中在学院中的理论研究和实验。《供水管网水力模型建模工程实施与管理》通过作者王煜明先生的亲身经历和实践,提出了管网水力模型工程化和标准化管理的方法和步骤,提高了供水管网水力模型建立的效率和成功率,大大提升了供水管网水力模型的实用化进程。

将本书推荐给供水行业有志于管网水力模型建设的技术人员,希望共同努力、共同探索,一起将管网模型的应用实践推向一个更新的高点。



中国工程院院士 李圭白

2019年3月19日

本书的阅读对象是供水企业具有一定给排水专业知识的工程人员,作为其供水管网水力模型建模时的一种参考。

本书基本上不深入涉及供水管网水力模型建立的理论,而侧重于介绍供水管网水力模型的工程实施过程,倾向于管网水力模型的知识普及。所以对于管网水力模型的理论机制只作简单介绍,有志于理论研究者可以检索更多的专著、论文。

笔者近十几年来一直在专业的建模团队如同济宏扬软件公司、上海三高软件股份公司(以下简称上海三高)的宏扬部工作,从事供水管网水力模型的软件开发及建模工程管理,曾参与及主持十余个建模工程。在团队同事们的共同努力下,不断总结实际经验、不断规范工程管理,所建模型都取得了良好的效果。

本书是在为多个供水企业开设的专题讲座的基础上编写而成。原讲座共有九个,讲述时长超过九个小时。女儿王茜鼓励我将这些内容编集成册,并为我将全部讲课录音翻写成文本,做了大量的整理工作。然后由本人进一步整理扩写完稿。

特别要感谢李圭白院士给了我极大的支持,为本书作序。

同时要感谢上海三高软件股份公司董事长火正红先生给了我上海三高工作的机会,以及同济大学刘遂庆教授给了我上海同济宏扬软件公司工作的机会,因为这样的机会使我能够深入地研究关于建模的工程化问题。感谢上海三高程耀强总经理为出版此书提供强有力的支持。

在编写过程中得到了我的同事兼忘年好友上海三高总经理助理、工程部总监刘勇和大客户部经理尹小琴的全力支持,同时也感谢同事侯金霞、朱杰、罗洋等提供了大量的宝贵资料,感谢黄英为出版此书做了大量工作。

《供水管网水力模型建模工程实施与管理》是对建模工程的全过程诠释,由本人独立完成;另外《供水管网水力模型应用案例精选案例》收集整理了管网模型在实际工作中的应用案例,与上海三高同事共同完成,将另行出版。

书中一部分观点不见于经典,但也非杜撰。本书对于供水管网建模的认知既得益于专家的论著也出自实践总结,不敢说是独创,但必定经过独立思考。凡有考虑不周、叙述不当之处欢迎大家批评指正。

另外书中引述了一些专家的专著和论文中的观点和内容,虽在书后列出了名单,但定有疏漏,先在此致歉。

王煜明

2019年6月于上海

序
前言

第 1 章 供水管网水力模型建模工程概述 1

1.1 供水管网建模工程化管理的必要性	1
1.2 供水管网建模工程的目标管理	1
1.3 供水管网建模工程的精度管理	2
1.4 供水管网建模工程的数据管理	3
1.4.1 数据需求的范围广、数量大、要求高、实时性强	4
1.4.2 数据对信息系统的依赖性强	4
1.4.3 数据存在的方式较为复杂	4
1.5 供水管网建模工程的组织管理	5
1.6 工程实施逻辑	5

第 2 章 供水管网水力模型的基础知识 7

2.1 模型与模拟的概念	7
2.1.1 什么是模型	7
2.1.2 什么是模拟	8
2.2 供水管网水力模型基础	9
2.2.1 管网水力模型的计算	9
2.2.2 管网平差	10
2.2.3 管网图形和模型图形	11
2.2.4 水力模型对象的属性	13
2.2.5 模型模拟计算的主要结果数据	14
2.3 供水管网水力模型的发展和趋势	14
2.3.1 第一代建模技术：静态模型	14
2.3.2 第二代建模技术：拟动态模型(延时模型)	14

2.3.3	第三代建模技术:动态更新模型	15
2.3.4	第四代建模技术:全信息模型	16
2.3.5	第五代建模技术:实时模型	16
2.4	供水管网水力模型的类型	17
2.5	供水管网水力模型的应用	19
第3章	供水管网水力模型的建模流程	20
3.1	模型基础数据收集	20
3.1.1	水厂与泵站资料的收集	20
3.1.2	管网资料的收集	21
3.1.3	阀门资料的收集	21
3.1.4	水量资料的收集	22
3.1.5	监测数据的收集	23
3.2	模型现场数据采集	24
3.2.1	模型现场数据测试	24
3.2.2	测试内容	24
3.3	模型数据全面整理	27
3.3.1	导入拓扑数据	27
3.3.2	拓扑结构检查	27
3.3.3	初始数据的整理	29
3.3.4	校验数据的整理	29
3.4	水力模型的建立	29
3.4.1	水厂泵站模型与管网模型	29
3.4.2	管网拓扑结构整理	29
3.4.3	管网模型拓扑简化	29
3.4.4	用水模式与水量节点的绑定	30
3.4.5	初始数据设置	31
3.5	水力模型的校验	32
3.6	三阶段建模工作法	32
3.6.1	三阶段建模工作法步骤	32
3.6.2	三阶段建模工作法的优越性	33
第4章	供水管网水力模型拓扑的建立	34
4.1	管网模型管线拓扑结构数据的来源	34

4.1.1	从 GIS 软件中导出	34
4.1.2	从 CAD 软件中导出	34
4.1.3	从其他模型软件中导出	35
4.1.4	根据图纸手绘	36
4.2	管网模型拓扑结构的甄别	36
4.2.1	管网模型拓扑结构甄别的目标	36
4.2.2	管网模型拓扑结构甄别的任务	36
4.3	管网模型拓扑结构简化	40
4.3.1	管网模型拓扑结构需要简化的原因	40
4.3.2	管网模型拓扑结构简化的原则	40
4.3.3	管网模型拓扑结构简化一般方法	41
4.3.4	管网模型拓扑结构简化带来的问题	42
4.3.5	管网模型拓扑结构简化的改进	42
4.4	模型拓扑的属性检查与设置	43
4.4.1	管道的构造属性	43
4.4.2	节点的构造属性	45
4.5	模型相关设施的特征曲线	46
4.5.1	水泵的特征曲线	47
4.5.2	阀门的特征曲线	47
4.6	水厂泵房模型拓扑的建立	48
4.6.1	水厂泵房模型建立的流程	48
4.6.2	水厂泵房出厂压力点与流量点的设定	50
4.7	管网模型与水厂模型连接,模型拓扑成型	50
第 5 章	供水管网水力模型的流量分配	51
5.1	管网的水平衡	51
5.1.1	国际水协制定的标准水量平衡表	51
5.1.2	水平衡标准对模型水量分配的意义	51
5.2	模型流量分配原理	52
5.2.1	集中流量分配	52
5.2.2	沿线流量分配	52
5.2.3	区块流量分配	53
5.2.4	影响流量分配的相关问题	54
5.2.5	几种模型流量分配方法的比较	55

5.2.6	模型漏损水量的分配	57
5.3	用水模式的建立	58
5.3.1	用水模式的意义与作用	58
5.3.2	用水模式的类型	59
5.3.3	用水模式的分类方法	59
5.3.4	用水模式的建立过程	60
5.3.5	用水模式与节点水量的绑定	61
5.3.6	用水模式建立的小结	61
5.4	节点流量分配的工程操作	62
5.4.1	水表水量分配	62
5.4.2	流量分配原则	63
第6章	供水管网水力模型现场测试	66
6.1	现场测试工作任务	66
6.2	固定泵特性曲线的测试	66
6.3	现场临时测压点的测试	71
6.4	用水模式的现场测试	76
6.4.1	用水模式现场测试概述	76
6.4.2	用水模式测试的准备工作	76
6.4.3	用户调查工作	77
6.4.4	用水模式分类举例	78
6.4.5	用水模式现场测试操作	79
6.5	阻力系数的测试	79
6.5.1	产生管道阻力的因素	79
6.5.2	管道阻力系数测试方法简介	80
6.5.3	管道阻力系数测试的工程难度	80
6.5.4	管道阻力系数测试的建议	81
第7章	供水管网水力模型的校验	82
7.1	供水管网水力模型校验思路	82
7.2	供水管网水力模型校验标准	83
7.2.1	英国 WRC 的标准	83
7.2.2	美国 ECAC 的标准	84
7.2.3	国内某企业的标准	84

7.3	校验标准数据处理	86
7.4	模型校验常用技术手段	87
7.5	模型校验常见现象例解	91
7.6	模型校验小结	110
第 8 章	供水管网水力模型的精度管理	111
8.1	建立正确的精度观	111
8.1.1	模型精度提高的制约因素	111
8.1.2	合理的精度诉求是正确的精度观	113
8.2	模型精度控制	114
8.3	模型精度的维护	116
第 9 章	供水管网水力模型的应用例解	117
9.1	管网模型可用性评估	117
9.1.1	对模型精度的深度认知	117
9.1.2	对模型精度可用性的评估	118
9.2	管网模型应用的分类	118
9.3	管网模型的应用例解	118
9.3.1	管网评估——供水格局分析	118
9.3.2	管网评估——管网水力性能分析	123
9.3.3	模型在管网改造中的应用	128
9.3.4	模型在供水调度中的应用	131
9.3.5	模型在水质趋势分析中的应用	133
9.3.6	模型在管网 DMA 分区方案上的应用	135
9.4	模型应用带来的效益	136
第 10 章	供水管网水力模型的工程管理	137
10.1	供水企业管网建模的策略	137
10.2	管网建模所涉及的技术领域	138
10.3	管网建模需配合的业务部门	138
10.4	建立建模专职领导小组	139
10.5	建立管网建模的工程标准	139
10.6	加强培训、注重应用	146
10.7	建立模型日常维护制度	146

第 11 章 供水管网水力模型的智能化	148
11.1 供水管网水力模型的智能化	148
11.2 实时管网模型	150
11.3 智能化的漏损管理	150
11.4 智能调度的实现	155
11.4.1 科学调度在智能化方面的运用情况	155
11.4.2 科学调度向智能调度进化的方向	155
11.4.3 感知智能大有可为	156
11.4.4 认知智能大力研发	157
11.4.5 智能调度的终极状态	158
第 12 章 供水管网水力模型软件	159
12.1 国内外经典模型软件	159
12.2 三高建模软件 V14 简介	160
12.2.1 三高建模软件 V14 总体指标	161
12.2.2 三高建模软件 V14 软件构成与特点	166
12.2.3 三高建模软件 V14 界面	167
参考文献	172

第1章 供水管网水力模型建模工程概述

1.1 供水管网建模工程化管理的必要性

随着供水企业管理水平的日益提高、科技研发投入的力度日益增强、企业信息化的建设日益成熟,供水管网建模即建立供水管网水力模型(以下简称管网模型),作为管网深度管理、信息技术高端应用的一项综合型的技术,也越来越受到供水企业的高度重视。尤其近年来,“智慧水务”的呼声日益高涨,管网模型在供水企业中更是担任了不可或缺的重要角色。

过去一二十年,我国的研究机构及供水企业,在供水管网建模实施方面做了大量有益的尝试、探索与实践,获得了许多宝贵的经验,解决了一系列实际问题,为供水行业管网建模工作开辟了前进的道路。但通过多年的实践也发现了一些问题、造成了一些困惑。

导致建模效果不尽如人意的因素有很多,包括以下几个方面。

- (1) 受到计算机软、硬件技术的制约。
- (2) 受到基础资料缺失的制约。
- (3) 受到企业信息化程度的制约。
- (4) 受到企业缺乏专门管理人才的制约。
- (5) 受到认识上的盲目性的制约。

但还有一个很重要的因素是建模工作缺乏工程管理的思想,使得项目预期目标不能实现或不能完全实现。

供水管网建模是一项系统工程。将一个城市庞大而复杂的供水管网转化为一个精密而有效的数学模型,除了要有充足的资料、细致的工作与科学的方法,还要有一整套工程管理的规范与标准,要有工程实施的组织与控制能力,才能保证建模工程的最终质量。

本章就几个重要方面对供水管网建模工程管理进行初步探讨。这些方面是:供水管网建模工程的目标管理、供水管网建模工程的精度管理、供水管网建模工程的数据管理、供水管网建模工程的组织管理。

1.2 供水管网建模工程的目标管理

理论上来说,一个管网模型应该可以模拟管网中的任何一种工况。但实际应用中,则

发现模型并不是万能的。特定的模型在解决特定问题时可以得到满意的方案,而在超出模型本身的能力去解决问题时却很难得到预想的结果。

这是因为在建模时,管网结构资料及配套数据的完整性和准确性等因素决定了模型所能达到的精度,而这些问题又都受制于公司当时管理、科技、信息的发展程度。

因此如何根据模型的应用目的及企业现有条件,恰当地界定管网建模的目标,充分评估项目执行的可行性,是提高建模成功率的重要前提。

管网模型根据其应用目的,大致可以分为以下五类。

(1) 规划设计:供水管网的中长期规划,新供水系统的设计,新水厂、水库、增压泵站的安排。

(2) 管网评估:分析现存供水管网系统的工况,并给出相应供水特性的评估,根据评估结果提出管网改造的方案。

(3) 工程管理:确诊管网中的异常情况,处理供水系统中的突发事故,分析工程或事故对管网的影响。

(4) 供水调度:指导日常管网供水调度,优化运行成本,制作节假日、事故时的调度预案。

(5) 水质分析:管网中余氯消耗过程分布,污染物质扩散过程模拟,管网水质的总体评估。

实际上,以上分类是模糊的、非严格的,只是指出了一些典型应用,并表达了五类目标的一种梯度关系,以及从后向前的包容关系。

这五类应用对管网模型的精度要求不同,资金与资源的投入也不同。

因此在制订管网建模项目计划前,如果对建模的目标有全面的认知,就可以避免建模的盲目性,提高项目的可执行度,保证建模的成功率。并且还可以预留模型成长空间,在企业发展的同时,逐步提高模型的精度,来扩展模型应用的范围。

另外,还必须指出,在实际应用时,一个管网可能需要多个不同类型的模型,以便能针对性地解决问题,求得最佳方案。

1.3 供水管网建模工程的精度管理

管网模型是通过一定的数学方法从真实世界中抽象出来的。为了计算的可行,需要对真实的管网做一些简化与近似,不仅涉及结构(如管线合并、删除),也涉及算法(含有经验的成分)和采集的数据(如节点的水量),更需要对难以查清楚的实际情况做一些估计甚至猜测(如管道的摩阻系数)。

这就是模型的特质。模型相对于真实是一种近似,所以误差是不可避免的。关键是,只要这种误差在模拟真实时可以被接受或忽略不计,那么这个模型就是有效的、可用的。

对于同一个管网,根据不同的需求,可以建立不同的模型,其简化与近似的程度不同,对数据支持的要求不同,对模型校验的强度不同,那么模型的精度也不同。

那是不是精度越高越好?

这个问题当然不是可以简单回答的。精度越高的模型需要投入的建设成本就越高,甚至在条件不具备时,即便投入大量的人力物力也做不到。

前面提到了管网模型有五大类的应用:规划设计、管网评估、工程管理、供水调度、水质分析。这五大类的应用对模型精度的要求逐级提高。

作为规划设计特别是中长期的规划设计,模型可以粗糙些、精度可以低些,一般来说是可以满足要求的。

但若用于水质分析,则对模型精度的要求很高。因为所模拟的对象如余氯,其本身的量值就很小,余氯在管网水体中不断反应消耗后,其量值更是越来越小。如果模型的精度,特别是流量精度太低(余氯的消耗是对流量敏感的),那就很难模拟出合理的结果。

根据不同的目标要求以及实际条件,来确定模型要达到的精度预期,是在项目开展前必须认识清楚的。

根据国外的一些标准,同时根据我们长期的实践经验,从工程管理的角度上来看,只有一个笼统的标准是不够的。解决办法是把这样一个笼统的标准分解为若干个等级。

如果把规划设计所需要的模型精度定位Ⅰ级,那么管网评估、工程管理、供水调度、水质分析的模型精度应该分别是Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级。级别越高意味着需要的条件就越苛刻,即需要投入的成本越高、投入的人力越多,建设的周期也就越长,而维护的难度也越高。

这并不是要将建模工作视为畏途,而是只有清楚地认识到这些问题,才能明白无误地确定建模的目的,才能避免进入期望值超出预期的误区,才能少走弯路,使得建立的模型真正能解决当前迫切需要解决的实际问题。

一般说来,可以采用先恰当定位、再循序渐进的步骤来制定建模策略。

如,可以根据企业的现状和条件,将模型的应用定位于管网评估和管网改造。建设这类等级的模型时,条件相对容易满足,也较容易取得成功,实际应用的价值也很高。这可以使得企业的管网管理部门运用模型的模拟功能,充分有效地了解管网的当前工况,诊断管网存在的容量、能量、质量等方面的问题,合理地制定管网改造方案,提高供水的合理性、可靠性和安全性。从而使得模型建设的性价比最高,效益达到最大化。

随着企业信息化程度及管理水平的不断提高,各种条件逐渐成熟,就可以考虑模型的升级,来扩展模型的应用范围,充分发挥模型的增值效应。

1.4 供水管网建模工程的数据管理

怎样才能使得模型建设达到预期目标?怎样才能保证模型达到必需的精度?答案很

明确:就是通过数据管理的手段,充分有效地收集数据、整理数据、运用数据、维护数据。可以说数据是管网建模工程的生命线,直接关系到建模工程的成败。

这如同建筑工程中的材料,只有各种建材的种类、质量、数量都达到标准,才能保证建筑物的总体质量。

怎样才能做好数据的管理工作?

首先要从供水管网建模工程对数据的要求,以及企业数据存在方式的层面去认识。

1.4.1 数据需求的范围广、数量大、要求高、实时性强

建模所涉及的数据包括以下七类。

- (1) 管网数据:管网结构。
- (2) 管道数据:材料、年代、摩阻系数、位置、标高。
- (3) 水量数据:节点水量、用水模式、漏损水量。
- (4) 泵站数据:泵站布局、水泵类型、效率曲线、开停状态。
- (5) 水池数据:形状、容量、液位。
- (6) 压力数据:实时采集的管网压力。
- (7) 阀门数据:管网中阀门开闭状态、开度大小。

1.4.2 数据对信息系统的依赖性强

以上数据牵涉到的信息系统包括管网 GIS 系统、营业收费系统、大客户管理系统、管网 SCAD 系统、阀门管理系统、水厂自动化系统六个系统。

可以说,建模工程的实施实质上是对企业信息化建设的全面检验,同时也是信息系统集成应用的范例。

1.4.3 数据存在的方式较为复杂

由于企业管理体制与发展进程的问题,这些数据分布在各部门,由各部门进行管理。因此,数据分布就存在以下特征。

(1) 存储的分散性,即便是集中存放在同一个数据服务器中,数据之间并没有任何关联。

(2) 系统的异构性,不同时期采用不同技术由不同开发商开发的信息系统,很难采用同一种系统构造。

(3) 管理的多头性,由于管理部门各司其职,对数据的保管、修正、使用各有规章制度。

因此,加强建模工程的数据管理是项目实施过程中的头等大事。在建模工程中要做好以下几点:①理顺数据采集渠道;②落实数据管理人员;③制定数据标准格式;④建立数

据管理文档。

前两个方面属非技术因素,主要取决于领导的决心和意志,后两个方面属技术因素,主要依靠技术人员的责任心与技术标准的完善性。

1.5 供水管网建模工程的组织管理

对于供水管网建模这样复杂的系统工程,工程的组织管理显得尤为重要,所有的工作最终是要靠人去完成。为了工程的顺利进行,应当建立各种不同职能的小组,共同保障建模工程的实施。

1. 专职领导小组

要组成一个集给排水专业、信息专业、自动化专业、档案管理等各种人才,以及跨管网管理、营业收费、信息中心、调度中心、水厂设备管理、阀门管理等多个部门为一体的项目专职小组并配以相应的管理机制(如定期例会、专题研讨会等),来领导、协调、督促建模工程的实施。

2. 专业管理小组

由于模型具有一定的生命周期,所以建模不是一次性的工程。模型应该根据管网具体状况,定期、不定期地对模型进行维护、校验、更新。因此有必要建立一支长期稳定的队伍来负责这项工作。

这个小组的成员,必须由对模型具有深刻认识、具备模型校验能力的专业人才组成。同时这个小组要承担起模型的校验工作、日常模型使用的指导工作以及模型应用的开拓工作。

3. 现场测试小组

在远程自动监测系统不能完全覆盖采集数据的种类(如管道流量、大用户24小时用水状况)、数量(如测压点不足够),或无法采用监测系统采集的数据(如管道摩阻系数、水泵效率曲线)的情况下,仍有大量数据需要通过现场测试的方式取得,组织一支阶段性工作的现场测试小组是非常必要的,经过适当训练的工作人员,可以熟练地、可靠地、准确地采集现场数据,以保证数据的质量。

具体的组织形式当然要视企业的具体情况而定,有些工作也可以通过委托有资质的乙方的方式来实施。但无论如何,如果建模工程在企业中没有放到全局的地位上来考量与组织,有可能导致建模工程的短寿或流产。

1.6 工程实施逻辑

总结以上所讨论的问题,我们可以看到了建模工程实施过程中的几个关键问题。但