城市给水管网水力模型准确度的影响因素

信昆仑， 刘遂庆
（同济大学 环境科学与工程学院，上海 200092）

摘 要： 简要阐述了城市给水管网水力模型的主要功能，从工程实际角度分析了对城市给水管网建模准确度有重要影响的因素，并对给水管网建模的一般步骤和应注意的问题进行了说明。

关键词： 给水管网； 水力模型； 参数校核
中图分类号：TU991.3 文献标识码：C 文章编号：1000－4602(2003)04－0052－04

给水管网水力模型具有管网静态信息管理、管网水力平差、管网事故分析、管网实时水力模拟等功能。此外，管网模型也是进行管网规划与优化设计、管网微观模型优化调度的基础，在管网规划和辅助调度决策方面发挥着重要作用。

1 影响给水管网建模准确性的因素

1.1 管网基础资料的完备程度和准确性

管网基础资料包括管网施工图纸、城市给水管网布置地图、管道（管长、管径、管材、敷设年代等）、阀门（阀门类型、尺寸、开启度、埋设位置等）、水库/水池（容积、池底标高、溢流水位）情况等，这些资料是建立正确的管网拓扑关系、提供准确管网模型数据的基础。同时，一个完善的管网水力模型还包括对水泵开启、关闭时的不同工况的水力模拟。一些水厂由于建造时间较早而无法得到水泵的特性曲线样本，或者由于水泵的切削或磨损引起了水泵水力特性曲线的改变，这些都会对管网水力模型的准确性产生影响。

1.2 建模过程中对管网的不适当简化

① 对流量的简化处理

出于管网模型水力计算的需要，管网中的流量被集中在连接管段与管段的节点上，这种简化对于通过水力计算来模拟管网运行水力状态这一手段来说是合理的，也是必要的，但是这种简化也带来一定程度上的主观性和不确定性，例如如果某个大用户流量被分配到错误的节点上，则将使得管网模型对整个管网压力的分布造成错误的估计。

② 对管段的简化

为降低管网的复杂程度，城市给水管网模型往往限制在某一确定管径（如 *DN*300 或 *DN*500）以上的规模。对于管网中小于该管径的管道在管网模型中则进行合并或者删减，但当某个小管径管道对于下游压力分布存在重要影响（例如当该管段上的水力压降很大）时，对该管段的不合理简化同样会造成模型对管网内水压分布的错误估计。

1.3 管网运行中存在未被发现的问题

由于给水管道深埋于地下，在管网运行过程中往往不能及时发现管道上发生的问题。例如管网中某一段管道因常年腐蚀而破损或者由于施工、维护人员的疏漏造成某一管道上的阀门常年处于关闭或者近于关闭状态，这些问题都将一定程度地改变整个管网的水力运行状态和压力分布，由于不能反映到给水管网模型中去，故会影响管网水力模型的准确性。

1.4 管网中不确定参数的估计

① 管段计算内径与管段摩阻的准确度

由于城市给水管网规模庞大，对于管道摩擦阻力系数等参数全部通过实际测量是不可能的，只能通过管径、管材、敷设年代等信息进行估算。而有些年代较为久远的管道，由于管道内部结垢严重而使管道的计算内径与实际内径有较大的差异，这些都将影响水力计算的准确性。

② 节点流量分配的准确程度

除由于管网简化引起的节点流量的错误估计外，对于简化后管网中的节点流量，由于分配方法不同也将造成管网模型中节点流量的不同。事实上，

任何一种节点流量分配方案都需要根据管网情况不断作出符合实际的调整,以便能使管网模型计算结果与管网实际情况达到最大程度的吻合。

通过示例(见图 1)可说明管段摩阻系数、节点流量的变化对管网的影响程度(见表 1、2)。其中水泵以[Q(L/s),H(m)]表示的工况点分别为:关闭扬程(0,74.6),设计工况(69,74.1),最大流量工况(101,64.0)。

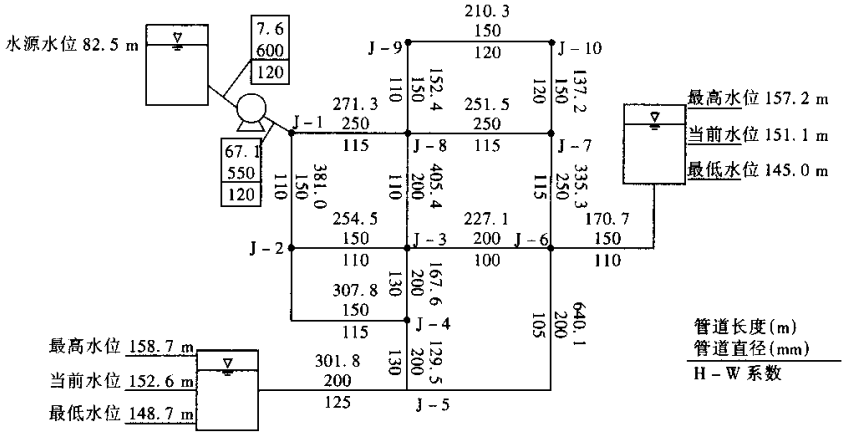

图 1 管网示例

表 1 管道摩阻系数 C 对管网水压的影响

节点编号	节点基准信息			调整 C 值(×1.2)		调整 C 值(×0.8)	
	地面标高(m)	节点流量(L/s)	自由水头(kPa)	自由水头(kPa)	改变量(%)	自由水头(kPa)	改变量(%)
J-1	118.9	7.26	335.6	333.9	-0.61	339.0	0.90
J-2	128.0	8.54	231.9	233.5	0.72	229.1	-1.18
J-3	129.5	9.55	217.0	216.9	-0.05	209.3	-3.52
J-4	131.1	5.48	201.4	203.1	0.83	198.6	-1.36
J-5	137.2	9.70	142.2	143.8	1.10	139.6	-1.86
J-6	135.6	12.43	156.7	158.2	0.94	154.1	-1.69
J-7	128.0	6.55	232.6	233.8	0.55	230.2	-1.01
J-8	126.5	9.78	249.6	250.4	0.31	248.0	-0.63
J-9	128.0	3.28	233.1	234.3	0.50	230.9	-0.97
J-10	128.0	3.15	232.6	233.8	0.55	230.2	-1.01

表 2 节点用水量对管网水压的影响

节点编号	节点基准信息			调整节点流量值(×1.2)		调整节点流量值(×0.8)	
	地面标高(m)	节点流量(L/s)	自由水头(kPa)	自由水头(kPa)	改变量(%)	自由水头(kPa)	改变量(%)
J-1	118.9	7.26	335.9	331.8	-1.23	340.5	1.34
J-2	128.0	8.54	231.9	227.1	-2.07	237.2	2.28
J-3	129.5	9.55	217.0	212.3	-2.17	222.1	2.35
J-4	131.1	5.48	201.4	196.8	-2.29	206.4	2.48
J-5	137.2	9.70	142.2	137.9	-3.03	146.8	3.24
J-6	135.6	12.43	156.7	152.3	-2.81	161.7	3.19
J-7	128.0	6.55	232.6	227.7	-2.11	238.0	2.36
J-8	126.5	9.78	249.6	244.7	-1.96	255.1	2.20
J-9	128.0	3.28	233.1	228.0	-2.19	238.7	2.40
J-10	128.0	3.15	232.6	227.6	-2.15	238.0	2.35

从表 1、2 可以看出,对于图 1 所示的管网,由于管网节点用水量偏小,管网水压波动对于节点流量的改变更敏感一些。

1.5 管网用水量时变化系数的影响

完善的管网水力模型能正确反映管网在用水量最高时、消防时、事故抢修时等各种工况条件下的水力状态。同时,管网模型还是一个动态的水力模拟系统,在用水量变化的不同时刻都能准确模拟管网的运行状况,因此管网中用水量的逐时变化也是影响管网模型准确性的重要因素。尤其是管网中的大用户,由于工作制度和工作性质的不同,其每天的用水量时变化模式并不相同,因此不宜笼统地赋予管网模型用水量节点相同的用水量时变化系数,而是要通过深入调查切实掌握这些对管网运行状况有较大影响的大用户的用水量变化模式,才能通过连续模拟切实反映管网的动态水力变化特性。

1.6 实测数据的正确程度

管网模型的正确与否要通过管网模型的水力计

算结果与相应的管网实测数据(包括管道测压、测流、测压点压力等)的吻合程度来检验。管网实测数据的正确性是检验管网水力模型的正确与否的前提。而实际情况下,在测压、测流装置的安装、实测和数据传输等各个环节都可能存在数据的错误,从而也使管网模型的准确性失去了参照。

同时,如果测压、测流装置的设置位置不合理,管网中流量或者压力的较大变化并不足以使实测数据产生相应较大的变化,或者实测数据的绝对值过小,以致于同数据误差过于接近,都会造成实测数据本身不足以反映管网运行状况的明显变化的情况,从而也无法对管网模型进行正确性检验。

1.7 校核参数之间的误差补偿

由于影响管网模型准确性的不确定因素多于一个,有时看似与实际吻合的管网参数模型可能是由于这些不确定因素之间对管网模型的误差进行相互补偿的结果。以某局部管网(见图 2)为例,表 3 说明了在确定两节点压力之后,两节点之间平行管段的流量、摩阻有不同的组合方式[1]。

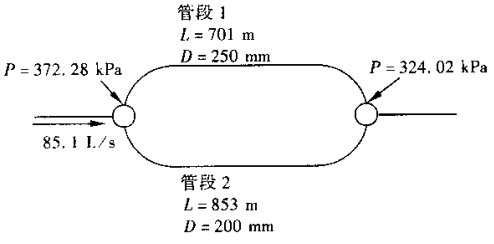

图 2 局部管网

表 3 不同的管段流量与摩阻系数的组合

组合方式	C (管段 1)	流量 (管段 1,L/s)	C (管段 2)	流量 (管段 2,L/s)
1	80	41.6	166	43.5
2	90	46.9	146	38.2
3	100	52.1	126	33.0
4	110	57.3	106	27.8
5	120	62.5	86	22.6
6	130	67.7	66	17.4
7	140	72.9	46	12.2

从表 3 可以看出,管段流量与摩阻系数可以有很多种组合满足同一种工况条件,而对每条管段来说正确的摩阻系数只应有一个。在实际管网模型校核中,可能出现节点流量与摩阻系数造成的误差相互补偿,使得出现管网模型的模拟结果与实际情况相吻合的情况,随着管网复杂程度的增加,这种补偿效果就很难确定。减小这种补偿效应的办法有:①采用多工况校核和延时水力模拟的办法,通过对同一模型在多种工况下的校核来发现这种误差补偿。②尽可能地对管段摩阻、典型管段流量进行实测以加强对摩阻、节点流量变化范围的约束。

2 管网水力模型的校核

给水管网水力模型的建立和校核是一个不断修正的复杂过程,总体上分为宏观校核和微观校核两大步骤。宏观校核是指对管网拓扑关系、管径、管长、阀门开启度、水泵特性曲线等相对较为确定因素的核查,以确保管网模型数据的准确性,同时还应包括对仪表准确性、实测数据可信度的核查。微观校核是指在宏观校核的基础上对管网中管段摩阻、节点流量等不确定参数进行校核,通过不断调整管段摩阻、节点流量使管网模型与实际管网运行达到最大程度的吻合。

给水管网模型的校核步骤大致如下[2,3]:

① 收集尽可能详尽的管网基础资料,包括确定管网中管道直径、摩阻系数以及连接关系、阀门位置开启程度、各节点的地面标高,并对水泵进行特性曲线数据的测试,有条件的城市管网可结合相应的地理信息系统的抄表数据,为管网各节点分配流量和流量时变化系数,建立初步的管网水力模型。

② 收集实测数据,实测数据一般分为静态数据和动态数据两部分。静态数据通常指通过消防栓测试获得的管网中消防栓位置的流量与压力。由于目前 SCADA 系统逐渐应用于管网中,因此各测压点及水泵的进出口压力、蓄水池的水位等动态数据也可以比较方便地取得。

一般当实测值与计算值的误差为 5%~10%时可以认为管网模型是准确的,当计算值与实测值之差超过 30%时则可能是因为管网的基本数据存在较大偏差所致,需要进行下一步的宏观校核。

③ 对管网基础数据进行进一步的仔细核实,必要时需进行现场勘测与记录以保证这些数据尽可能地详尽而准确。

④ 通过宏观校核使实测值与计算值之间的差距缩小后,需对模型进行进一步的微观校核。首先对所建立的水力模型进行灵敏度分析,确定影响管网模型准确度的主要因素。通过按照一定比例改变管网的节点水量或者管道摩阻来观察管网压力对这

些改变的灵敏度,以确定影响管网模型准确程度的关键参数。

⑤ 在确定了关键参数之后即可以对这些关键参数进行微观校核,具体方法包括人工试错法、解析方法、解非线性方程组法、最优化方法等,通过在一定范围内改变影响模型准确性的关键参数来进一步缩小计算值与模拟值之间的差距。

由于给水管网本身的复杂性,以上的校核步骤可能是一个反复和交叉进行的过程,通过不断地核查、修正管网模型中的各项基础数据,并适当地调整管段摩阻、节点流量等对准确性有重要影响的参数,直至满足模型的精度要求才能应用于生产实际。

值得注意的是,在目前城市给水管网基础运行资料普遍不完整的情况下,仅仅靠对管段摩阻系数等参数进行调整是无法建立准确和有较高应用价值的管网水力模型的。

参考文献:

[1] Haestad Walski, Chase Savic. Water distribuion modeling [M]. Waterbury: Haestad Press, 2001.

[2] Lindell E. Ormsbee and srinvasa lingireddy, calibrating hydraulic network models [J]. Journal AWWA, 1997, 89 (2): 42 - 50.

[3] 韩德宏. 配水管网状态估计的几种方法[J]. 中国给水排水, 1993, 9(1): 31 - 33.

电话:(021)65987792

E - mail: xinkunlun@hotmail.com

收稿日期:2002 - 08 - 28

·信息·

荷兰 DHV 集团庆祝驻京机构成立 10 周年

2003 年 2 月 25 日,荷兰 DHV 集团于驻京机构成立 10 周年之际,在北京希尔顿饭店举行了盛大的庆祝活动,回顾了 DHV 集团在中国开展业务 25 年来的发展历程,同时展望了今后的业务发展方向及市场重点,尤其是在北京 2008 年奥运会和上海 2010 年世博会等重大项目上与国内有关人士共商繁荣大计。目前,DHV 集团正在参与首都国际机场扩建和北京城市智能化交通系统以及环境污染治理等与奥运有关的项目,DHV 集团希望将公司在环境保护、绿色建筑和智能化建筑方面的特长应用到北京 2008 年奥运项目中。同时,DHV 集团还在积极参与上海 2010 年世博会的有关项目。此外,DHV 集团正在策划把公司在公共—私营合作模式(PPP)方面的丰富经验介绍到中国来。

DHV 集团是一家总部设在荷兰的跨国工程集团公司,目前在全球 33 个国家和地区设有分支机构,拥有雇员 5 000 人。集团在华开展业务已有 25 年历史,在水处理、交通及基础设施、机场建设等领域为中央和地方政府、研究所、市政及工业客户完成了上千个项目。如今在中国已拥有一支由 120 位国内外工程师和管理人员组成的强大团队,并在北京、上海及香港都设立了配套齐全的办事处。这支紧密团结的团队具有在中国进行重大建设项目所需的所有经验和专业技术,能满足国际质量和性能的最高标准。例如,目前集团正在进行北京、上海和广州等城市的交通管理、城市发展及机场设计项目的工作。此外,已经或正在从事 15 座以上污水处理及给水处理厂的设计和建设项目。

国家计委、财政部、环保总局等部委的有关领导,荷兰驻华大使,有关商社的负责人以及来自国内各省、市和自治区的用户 200 多人参加了此次活动。

(DHV 集团北京代表处 供稿)