

EPANET 软件在区域供水管网改造设计中的应用

邵会卿, 张丽, 陈楚楚, 刘东方, 李克勋

(南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要: 以天津市某区域的供水管网为例, 利用 EPANET 软件对其进行水力计算, 指明现有管网的缺陷。为了保障其安全性, 根据实际调研设计管网改造方案, 选取关键节点作为改造前后对比分析的依据。根据最终水力计算结果, 验证改造方案的合理性, 为实际的改造工程提供理论依据。

关键词: EPANET; 水力计算; 供水管网; 管网改造

中图分类号: TU991.36

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)06-0128-04

Application of EPANET in renovation of regional water supply system

SHAO Huiqing, ZHANG Li, CHEN Chuchu, LIU Dongfang, LI Kexun

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Taking the water supply network of a region in Tianjin as an example, the EPANET software was used to do hydraulic calculation, the disadvantages of the present water supply network were specified. In order to ensure the security, the paper designed the renovation plan of network on the basis of actual survey, and selected some key nodes as the basis of comparison and analysis. According to the final result of hydraulic calculation, the paper proved the rationality of the network design and can provide scientific basis for actual project.

Key words: EPANET; hydraulic calculation; water supply network; renovation of water supply network

本文研究区域是天津市的重要组成部分, 存在着严重的缺水问题, 在水资源利用方面呈现多水源、多水厂并存现象, 各个水厂管网多为树状且彼此无连接。使得该区域供水系统不稳定, 管网末端节点无法满足供水压力, 加之突发事件中的不确定性因素, 势必会给正常的生产生活带来不便, 对该区域的可持续发展造成一定的影响。本文采用 EPANET 软件对区域供水管网进行水力计算, 提出设计改造方案, 以改善现有的供水系统, 保障供水安全。

1 EPANET 软件简介及计算原理

1.1 EPANET 软件简介

EPANET 是美国环保署研发的一款计算机程序, 可以执行有压管网水力计算和水质特性延时模拟, 具有管网平差、运行模拟、信息管理和运行管理等方面的功能。

在国内外该软件被广泛地运用到管网水力水质计算及设计优化中。Vasan A, Simonovic Slobodan P^[1]将 EPANET 与差别进化算法结合起来, 用于供

水管网系统的优化设计; 王郁超^[2]、张凤娥^[3]等运用 EPANET 软件分别对安徽省蒙城县的农村供水管网和常州市罗溪镇的供水管网进行优化, 使其满足生产生活对水量和水压的要求; 庄宝玉在学术论文中也把 EPANET 软件作为水力计算工具, 对区域供水管网规划进行优化研究^[4]。此外, 还有很多研究将 EPANET 与其他软件联合使用, 用于供水管网的规划设计及优化。

1.2 EPANET 软件计算原理

有压输水管网要满足节点流量平衡方程和能量平衡方程。

节点流量平衡方程:

$$\sum Q(i) + \sum Q(i, j) = 0 \quad (1)$$

式中: $Q(i)$ 为流入或流出节点 i 的集中流量, m^3/s ; $Q(i, j)$ 为由节点 i 流向节点 j 的管段流量, 即流入节点 i 的流量等于流出的流量。

$$\text{能量平衡方程: } \sum h(i, j) = 0 \quad (2)$$

式中: $h(i, j)$ 为管段 $(i - j)$ 的水头损失, m/km , 即任

收稿日期: 2012-08-03; 修回日期: 2012-09-11

作者简介: 邵会卿 (1985-), 女, 河南新乡人, 在读硕士, 研究方向为环境管理与经济。

通讯作者: 刘东方 (1966-), 男, 河北人, 教授, 研究方向主要为废水处理、给水处理、给排水等。

一节点 i 的水头是唯一确定的。

对于任一管网,其节点数 N 、管段数 P 和环数 L 之间均有 $P = N + L - 1$ 。可以列出 J 或 $(J - 1)$ 个独立的节点流量方程和 L 个独立的能量方程,其中 $h(i,j)$ 和 $Q(i,j)$ 可以按水头损失公式相互转换^[5]。

EPANET 软件可利用多种公式进行水头损失计算。在使用时常采用海增 - 威廉公式,主要原因是常用的计算方法求解的方程组都是非线性的,如果在平差计算中按照管材类别采用不同的公式,传统的计算方法和程序就显得非常困难,甚至难以进行,而海增 - 威廉公式就很方便^[6],而且它的粗糙系数是无量纲的,减少了换算带来的误差。

故在进行水力计算时,采用公式(3):

$$h = \frac{10.67q^{1.852}l}{C^{1.852}D^{4.87}}$$

(3)

式中: l 为管段长度,m; D 为管径,m; q 为流量, m^3/s ; C 为粗糙系数^[7]。

EPANET 采用 Todini - Pilati 梯度算法为标准算法,在每一次迭代中,通过求解矩阵方程找到节点水头:

$$AH = F$$

(4)

式中: A 为雅克比矩阵($N \times N$); H 为未知节点水头的向量($N \times 1$); F 为右侧向量($N \times 1$)。

雅克比矩阵的对角线元素为 $A_{ij} = \sum_j p_{ij}$,且非零、非对角线项为 $A_{ij} = -p_{ij}$ 。其中 p_{ij} 为节点 i 和 j 之间管段水头损失关于流量求导的倒数, $p_{ij} = \frac{1}{nr |Q_{ij}|^{n-1} + 2m |Q_{ij}|^2}$ 。

求解式(4),计算新的水头之后,新的流量为:

$$Q'_{ij} = Q_{ij} - [y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j)]$$

(5)

式中: y_{ij} 为流量校正因子,且 $y_{ij} = p_{ij}(r |Q_{ij}|^n + m |Q_{ij}|^2) \operatorname{sgn}(Q_{ij})$,当 $Q_{ij} > 0$ 时, $\operatorname{sgn}(Q_{ij})$ 为 1, $Q_{ij} < 0$ 时为 -1^[8]。

2 案例区域现有管网的水力计算分析

2.1 供水管网的建立

研究区域位于天津市东南部,存在着多个水源,其中以滦河水、宝坻水为主,作为日常生产生活供水水源。利用 EPANET 的导入功能,绘制出现有的供水管网系统图(见图 1)。

2.2 节点流量分配

在进行节点流量分配时,采用传统的比流量法^[7]。即比流量为:

$$q_s = \frac{Q - \sum q}{\sum l}$$

(6)

式中: q_s 为比流量, $L/(s \cdot m)$; Q 为管网总用水量, L/s ; $\sum q$ 为大用户集中用水量总和, L/s ; $\sum l$ 为干管总长度,m,不包括穿越广场、公园等无建筑物地区的管线;只有一侧配水的管线,长度按一半计算。

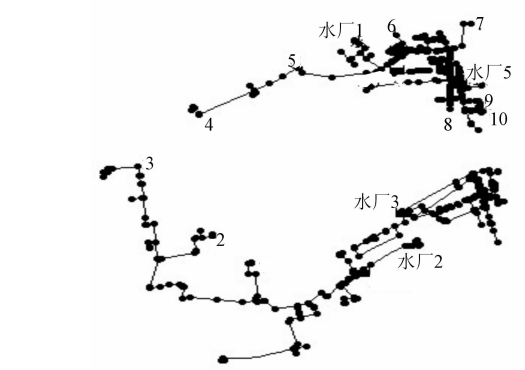


图 1 研究区域现有供水管网系统图

由比流量计算各管段的沿线流量,见公式(7):

$$q_l = q_s l$$

(7)

式中: q_l 为沿线流量, L/s ; l 为该管线的长度,m。

最后根据沿线流量计算节点流量:

$$q_i = a \sum q_l = 0.5 \sum q_l$$

(8)

即任一节点 i 的节点流量 q_i 等于与该节点相连各管段的沿线流量总和的一半。

2.3 输入管网信息

根据 EPANET 的要求,输入水源、节点和管段的相关信息,包括水源地标高、节点标高、节点流量、管段的管径、长度及粗糙系数等。该地区处于平原,地势平坦,节点标高均简化为 0 m;管材主要为 PE、PVC、球墨铸铁和钢管,粗糙系数依次为 150、130 和 100。

2.4 水力计算结果分析

进行水力计算后,发现管网末端存在压力不足的现象,选择了各管网末端几个节点的压力示意(节点位置见图 1),见表 1。

表 1 现有管网末端节点压力表 m

节点序号	压力	节点序号	压力
1	21.66	6	18.33
2	19.04	7	18.41
3	13.26	8	18.37
4	10.66	9	21.81
5	13.24	10	14.93

根据天津市二次供水技术标准的规定,要求最低供水压力为 0.2 MPa,而计算结果表明,现有管网的末端节点很多都无法满足供水要求,与实际情况相符;当某水厂发生事故时,其他水厂也无法为其供水。为了使整个区域管网的供水系统更加稳定,亟需对现有的供水系统进行改造。

3 现有供水管网系统的改造

在进行实地的地形地质调查以及各种管材性能分析后,设计了改造方案,将各个相邻水厂就近连接以及个别水厂内部连接,实现整个区域的连通,增强供水系统的稳定性。改造后的管网系统图见图 2,改造管段的属性见表 2(位置如图 2)。改造管段材料的选择一方面考虑到现有的管网管材,另一方面考虑各种管材的综合造价,一般地, $DN \leq 300$,采用 PE 管; $300 < DN \leq 600$,采用球墨铸铁管; $DN > 600$,采用钢管或球墨铸铁管^[9]。

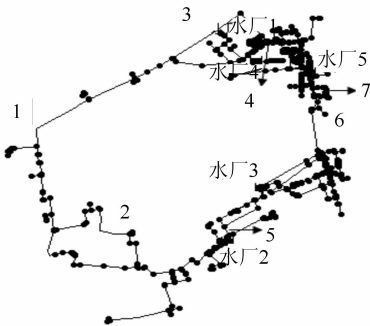


图2 改造后研究区域供水管网系统图

表2 改造管段属性表					mm, m
管段序号	管材	管径	长度	粗糙系数	
1	PE	250	7928	150	
2	PE	200	5275	150	
3	PE	300	8000	150	
4	球墨铸铁	500	2000	130	
5	钢管	600	1030	130	
6	PE	500	4130	150	
7	PE	250	380	150	

3.1 关键点选择

为了对比改造前后的管网水平,在实例中选取一些关键节点作为比较依据。选取的关键对比点包括:

(1)管网的最不利水头处,主要是各独立管网的末端节点;

(2)改造连接处的节点。

通过比较末端节点的总水头说明环状管网的优

势;而利用改造处连接的节点水头来说明改造后的供水压力是否满足实际的供水要求。

3.2 改造后供水管网的水力计算

按照上述步骤对改造后的供水管网进行水力计算,主要是分析改造后关键点是否满足供水压力要求。对表 1 中的节点改造前后压力进行了对比(见图 3),改造连接处的节点压力见表 3(除末端节点以外,位置见图 4),改造管段计算信息见表 4。

从图 3 可以看出,改造前有些末端节点存在着压力不足的现象,而改造后这些节点的水头均满足供水要求,说明环状管网较之树状管网的稳定性。

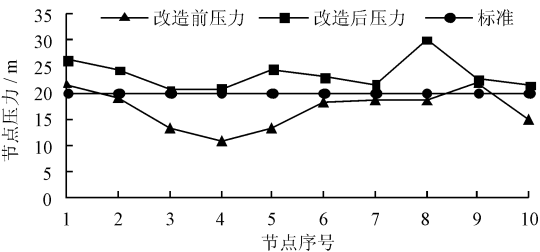


图3 改造前后末端节点压力对比分析

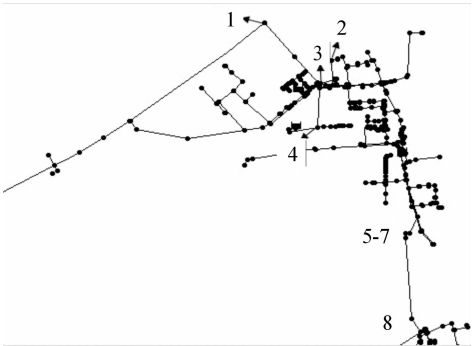


图4 改造后连接处节点位置

表3 改造连接处节点的压力表				m
节点序号	压力	节点序号	压力	
1	20.60	5	22.53	
2	26.49	6	22.54	
3	28.93	7	22.56	
4	30.86	8	23.96	

表4 改造管段水力计算结果表								L/s, m/s, m/km
管段序号	流量	流速	单位水损	管段序号	流量	流速	单位水损	
1	49.35	0.63	1.05	5	85.85	0.30	0.17	
2	8.34	0.27	0.36	6	90.24	0.46	0.34	
3	32.30	0.41	0.4	7	32.40	0.66	1.49	
4	62.10	0.32	0.22					

表2 说明:改造处连接节点的压力均满足供水

要求,能够保证这些改造点的供水。

经过最终分析论证,改造后的管网压力分布比较平衡,各管网末端的节点压力满足供水要求,各管段的流速也基本符合经济流速,某个管网出现问题时,相邻的管网可以给予补给,保障了该区域供水系统的稳定,该改造方案也通过了最后审核并得到采纳。

4 结 语

本文利用 EPANET 软件对天津市某区域的供水管网进行水力计算,明确了现有管网存在的问题。针对这种情况,设计了相应的改造方案,使整个区域的供水管网连通,并对改造后的管网进行了水力计算分析,验证了改造方案的合理性,达到了保障该区域供水安全的目的。

该软件还具有调度管理、水质分析等功能,更便于供水管网的日常和应急管理。由于 EPANET 软件的源代码是开放的,还可以对其编程,进一步改善其功能;此外,还可以和 GIS 等联合使用,真正实现管网系统运行的数字化。

参考文献:

- [1] Vasan A, Simonovic Slobodan P. Optimization of water distribution network design using differential evolution[J]. Water Resources Planning And Management, ASCE, 2010, 136(2): 279 – 287.
 - [2] 王郁超,陶月赞,郭增辉. EPANET 软件在农村供水管网设计中的应用[J]. 给水排水工程, 2011, 29(2): 58 – 60.
 - [3] 张凤娥,曾念,张敏,等. 用 EPANET 水力模型优化乡镇供水管网[J]. 中国给水排水, 2008, 24(2): 43 – 45.
 - [4] 庄宝玉. 区域供水管网规划的优化研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
 - [5] 魏 炜,贾海峰,苏保林. 水力平差模型在供水规划中的应用[J]. 北京水务, 2006, (3): 31 – 34.
 - [6] 陆际汉. 给水管网平差精确算法——水力比拟法[J]. 中国给水排水, 2010, 26(24): 62 – 66.
 - [7] 严熙世,范瑾初. 给水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
 - [8] Lewis A R. Epanet2 Users Manual[M]. USA: Environment Protection Agency, 2000: 122 – 123.
 - [9] 牟守国. 城市改扩建给水管网管材的选择[J]. 中国高新技术企业, 2010(15): 83 – 84.
-
- (上接第 127 页)
- [4] Yoneyama N, Aihata S and Toda K. Numerical analysis for inundation process of small underground space in urban flood[J]. Disaster Prevention Research Institute Annuals, 2006, 49B: 575 – 582.
 - [5] Toda K, Oyagi R and Inoue K. On the inundation process in the underground space in urban flooding[J]. Disaster Prevention Research Institute Annuals, Kyoto University, 2004, 47B: 293 – 302.
 - [6] Toda K, Inoue K and Oyagi R. Flood inundation in underground space and its simulation analysis[C]//. Proceedings of the Symposium on Underground Space, 2003. 8.
 - [7] Takahashi T, Nakagawa H and Nomura I. Simulation method on inundation in an underground space due to intrusion of overland flood flows[J]. Disaster Prevention Research Institute Annual, Kyoto University, 1990, 33 B – 2: 427 – 442.
 - [8] Toda K, Kuriyama K and Oyagi R. Inundation analysis of complicated underground space[J]. Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering(JSCE), 2004, 22(2): 47 – 58.
 - [9] Hart K Y Kim G and Lee C H. Modeling of flood Inundation in urban areas including underground space[C]//. 4th International Symposium on Flood Defense, Toronto, Ontario, Canada, 2008.
 - [10] Oertel M. Flooding of underground facilities in urban regions after malfunction of flood protection measures [C]//. 4th International Symposium on Flood Defense. Toronto, Ontario, Canada, 2008.
 - [11] Inoue K, Toda K and Nakai T. Simulation on the inundation process in the underground space[J]. Disaster Prevention Research Institute Annual, Kyoto University, 2003, 46B: 275 – 286.
 - [12] Ishigaki T, Toda K and Baba Y. Experimental study on evacuation from underground space by using real size models[J]. Disaster Prevention Research Institute Annual, Kyoto University, 2005, 48B: 639 – 646.
 - [13] 李 炜. 水力学计算手册[M]. 北京: 水利水电出版社, 2006: 257 – 258.
 - [14] 田嘉宁, 大津岩夫, 李建中. 台阶式溢洪道各流况的消能特性[J]. 水利学报, 2003, 34(4): 35 – 39.