

# 水力模型在大落差重力流供水规划中的应用

卢文宝, 李睿, 张伟毅

(上海凯泉泵业<集团>有限公司, 上海 201800)

**摘要:** 以西南地区A市供水专项规划为应用实例,阐述了水力模型在山区地形多水源供水规划中的几点关键应用。传统设计方法中对于大落差、重力流、多水源等特点的供水规划存在诸多难点,利用水力模型进行辅助设计,对现状管网进行评估分析、供水区块划分、管网压力管控、对置水塔水位确定和动态分析以及特殊工况的模拟校核等。水力模型的应用较好地实现了上述分析效果,为供水规划设计提供了科学依据。

**关键词:** 供水规划; 水力模型; 大落差; 重力流

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)17-0044-04

## Application of Hydraulic Model in High Drop Height and Gravity Flow Water Supply Planning

LU Wen-bao, LI Rui, ZHANG Wei-yi

(Shanghai Kaiquan Pump <Group> Co. Ltd., Shanghai 201800, China)

**Abstract:** Taking the water supply planning of city A in southwest China as an example, several key applications of hydraulic models in water supply planning for mountainous regions were described. Traditional design methods encounter challenges such as high drop height, gravity flow and multiple water resources. Hydraulic models were utilized to evaluate the status of pipeline network, delineate water supply zones, control pressures, determine water levels in water towers, and simulate special scenarios. The application of hydraulic model provided analysis results as well as scientific bases for water supply planning design.

**Key words:** water supply planning; hydraulic model; high drop height; gravity flow

通过建立水力模型发现管网设计中存在的问题、优化管网布置、确定合理管径将是实现管网科学规划的必然趋势<sup>[1]</sup>。笔者以西南地区A市供水专项规划为例,介绍了水力模型在大落差重力流供水规划中的应用。该规划区地形复杂,地形高差较大,山区占90%,区内以多中心组团式分布。由于地形限制,A市布局分散,各中心组团之间有一定距离,为城市供水规划设计带来许多难题,主要集中在以下方面:①采用重力流多水源联合供水,各水厂之间出水量难以平衡;②地形高差大,各区管网及水源地面标高相差悬殊,很难使各管段服务压力均处在合理范围内,低区管段压力大而易发生水锤和爆管事

故,漏损严重;③新规划区域与老城区分离发展,管网各部分之间调节比较困难;④老城区现状管网和阀门状态、位置难以全部查清,较难准确评估规划改造管网对原供水区域的影响;⑤水厂供水区域界定及二级区块边界划分困难;⑥对置水塔水位的准确设置和不同用水时段进、出水流量的精确模拟。

### 1 A市供水管网现状及评价

A市预测近期需水量为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、远期需水量为 $24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设有5座水厂,同时在管网末端设有5座对置水塔。新水厂建设完成后将停止使用二水厂,二水厂将仅用作应急供水,四水厂采取分区供水。各水厂概况见表1。

表 1 A 市各水厂概况  
Tab. 1 Waterworks of city A

项 目	规模/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	出水水位/ m	供水范围	备 注
一水厂	1	1 721	老城区	现状水厂
二水厂	1	1 693	老城区	现状水厂
三水厂	6	1 720	老城区	现状 3 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d 扩建至 6 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d
四水厂	14	1 700(低区) 1 750(高区)	分为低区和高区,高区为工业园区	规划低区为 5 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d、高区为 9 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d
五水厂	3	1 724	3 处独立片区及部分老城区	扩建水厂

通过对 A 市现状管网建立模型,分析现状管网拓扑结构中不合理的地方,核实阀门情况,初步建立现状管网模型,以此确定现有各水厂的供水范围、管网流速情况、供水压力分布等。现状管网主要在老城区,管网总长度为 105. 5 km、最大管径为 600 mm,管段流速主要集中在 0. 2 ~ 0. 8 m/s,见图 1。

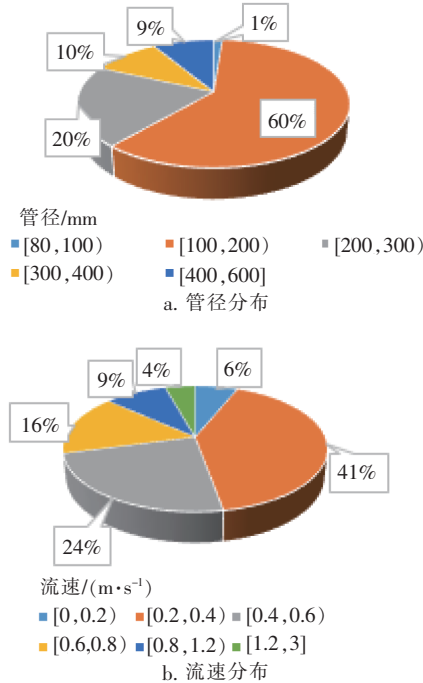


图 1 现状管网的管径和流速统计

Fig. 1 Pipe diameters and velocity of present water supply networks

老城区现有 3 个水厂供水,合计供水规模为 5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,各水厂供水范围和压力(1 m 水柱产生的压力约为 9. 8 kPa,下同)情况模拟结果见图 2。可以看出,城区南侧现主要由三水厂长距离供水,水头损失较大以致该区域服务水头较低。在流速较高管段、压力相差较大地区将有针对性地进行管网改造以改善服务水头,同时这对于布置规划管道也有

参考意义,将在后期规划中将五水厂水量引入三水厂供水区域,改善三水厂供水区域的水力条件。

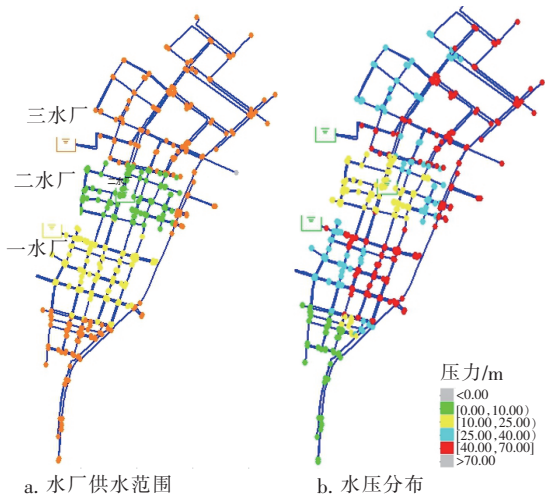


图 2 现状管网的模拟结果

Fig. 2 Simulation results of present water supply networks

2 管网区块划分

供水分区划分可分三个阶段进行:

第一阶段根据现有水厂水源标高和城市地形标高,将管网分为高区供水和低区供水。低区由一水厂、二水厂、五水厂和四水厂联合供水,采用重力流直接供水;高区供水由四水厂采取压力供水方式。

第二阶段以模型计算为基础,划分普压供水区(由水厂加压供给)和增压供水区(由市政泵站加压供给)。四水厂承担一部分高区供水范围,因长距离输水导致的沿程水头损失较大以及地形标高的差异,导致管网末端服务水头较小,因此考虑设置增压泵站对管网加压以满足最小服务水头。划定分压系统界线的方法:以规划水厂、现状管网及地形为基础,按照现状水厂位置和规模,结合模型计算结果,确定增压泵站合理位置。

第三阶段利用模型分析低区供水区域内各水厂

供水区域以及主要管段水流方向、压力分布情况等,指导管网进行二级分区。正常工况下各二级子区块相对独立供水,使得管网中压力更加均衡,漏损减小,并且可以减少各二级区块间的影响,即当某一子区块发生水质污染时不会对其余区块产生影响。同时为保证供水安全性,在邻近区块间设置连通管道和阀门,模拟评估阀门开闭对区块间供水的影响,以此确定常开和常闭阀门。通过合理设置区块阀门,使各水厂供水范围相对稳定,减少因在高、低峰用水时段管段流向发生变化所造成的水质变化。

### 3 管网中的压力控制

规划区的最低标高为1 645 m,最高标高达到了1 797 m,最大高差为152 m。为充分利用地形高差,水厂建在地形较高处,采用重力流供水。对规划管网建立模型,管网压力分级结果见图3。

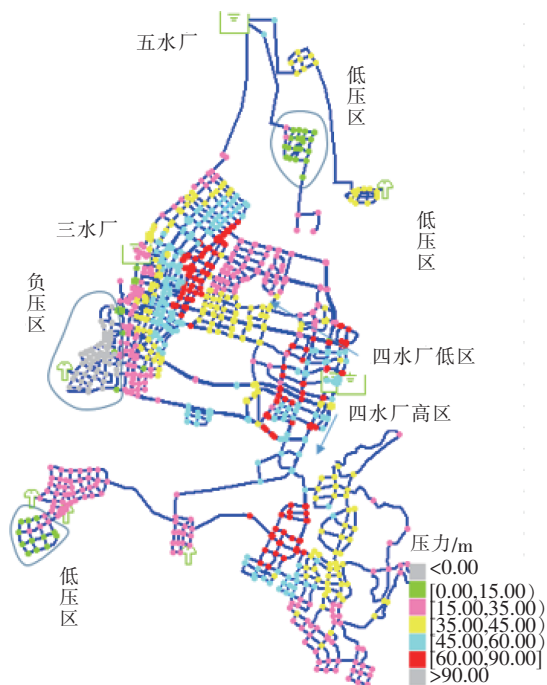


图3 管网压力分级

Fig. 3 Grading results of pipe network pressure

#### ① 管网压力偏低区域

从图3可以看出,三水厂出水水压无法满足附近地形标高较高的位置,在模型中直接反映为该片区域自由水压为负值,另有两块区域自由水压较小,因此对地形较高负压区和南侧的低压区设置增压泵站以满足水压要求。而对五水厂附近的低压区通过扩大管径的方式减小管线的沿程水头损失。

以负压区为例,对该区域设置增压水泵,模拟水

泵额定扬程为50 m、额定流量为350 m<sup>3</sup>/h,并将该高区与城区主管网设置常闭阀门以形成单独供水区域,自由水压由原最低处-16 m提升至28.18 m,压力条件得到改善。同时通过增设对置水塔,减小压力波动范围,降低管网和附件出现损坏的几率,最终达到延长管网使用寿命的目的。

五水厂出水至该低压区的输水管段长为4 530 m,原设计管径为300 mm,沿程水头损失达到33 m,通过扩大管径至350 mm后,沿程水头损失降至16 m,管网中的压力也随之升高。

#### ② 管网压力偏高区域

规划设计中三水厂扩建,一、二水厂停止使用,老城区原有二水厂供水区域有部分压力较高,通过模型分析各主要管段流量和供水流向,对管网进行划分,在部分区域设置减压阀以降低压力,达到降低管网漏损和爆管事故发生概率的目的。

### 4 对置水塔水位的确定

通过建立动态水力模型模拟最高日不同时刻的用水情况,得到对置水塔在最高日不同时刻的进、出水状态和进、出水量。在管网末端设置了5座对置水塔,对置水塔对水厂出水规模的影响见表2。

表2 设置水塔前后水厂出水规模对比

Tab. 2 Comparison of water supply scale before and after setting water tower m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>

项 目	水厂出水量		水塔出水量
	无高位水塔	有高位水塔	
一水厂	416.67	387.2	99.37
二水厂	0	0	193.25
三水厂	2 500.95	2 360.73	206.19
四水厂低区	2 081.1	1 984.2	82.23
四水厂高区	3 737.14	3 238.52	—
五水厂	1 199.77	1 113.45	270.49
总出水规模	9 935.63	9 084.1	851.53

设置水塔的作用不仅仅在于调节水泵供水和用水之间的流量差,同时对稳定区域水压以及在管网发生事故和消防用水时提高供水安全可靠性的作用。在模型中对水塔的标高及容量进行了模拟,最终达到在用水高峰时水塔向管网中供水,用水低峰时即管网供水量多于用水量时,多余水进入水塔贮存,且在一天中水塔的进水量与出水量达到平衡。对设计标高和设计容量予以修正,使水塔在实际投入使用时更加合理、高效。

通过高位水塔的设置,在高峰用水时,由水塔向

管网中输送部分水量,可以降低水厂的设计出水。

## 5 工况校核

为了核算管网规划中管径和水泵能否满足不同工况下的要求,需要进行其他用水量条件下的计算,以确保经济、合理地供水。事故校核按最不利管段损坏需断水检修条件,管网供水量减少按设计用水量的70%校核。工况设置:三水厂 DN600 出厂管和四水厂往高区供水部分 DN800 管同时突发爆管事故,三水厂出厂水量减少  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,为满足低区供水,四水厂和三水厂供水区域边界的阀门全部打开,二水厂恢复供水。模拟计算结果见表3和图4。可以看出,所有水厂高日高时总出水量为  $9\,935.63 \text{ m}^3/\text{h}$ ,事故工况下用水量为  $7\,003.35 \text{ m}^3/\text{h}$ ,各节点水压均不低于  $16 \text{ m}$ ,规划管网能够满足设计要求。

表3 发生事故时水厂出水量

Tab.3 Water supply scale under condition of an accident

项 目	水库底 标高/m	高日高时出水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	事故工况用水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )
一水厂	1 721	416.67	410.67
二水厂	1 690	0	213
三水厂	1 722	2 500.95	1 252.15
四水厂低区	1 694	2 081.1	1 403.47
四水厂高区	1 745	3 737.14	2 623.9
五水厂	1 720	1 199.77	1 100.16

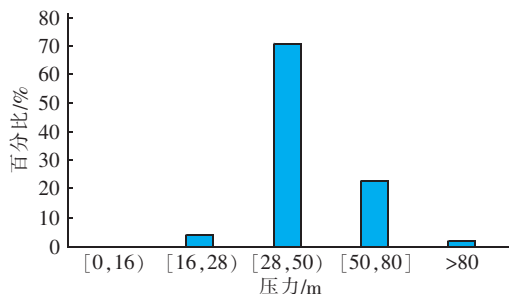


图4 发生事故时节点压力分布

Fig.4 Node pressure under condition of an accident

在低区水厂均采用重力流供水方式,发生事故时通过恢复原暂停使用的二水厂进行应急供水,同时打开部分阀门增加四水厂的供水量来满足用户用水要求。对于四水厂高区供水范围,还可以通过泵站中的水泵调节。在应急状态下,应最大限度地满足用户的用水量要求。在用水低峰时段,由于管网中的流量较小,管段的水头损失也就较小,管网中压力分布比较均匀,处于供水不利点的用户其水头也较大,能得到较高的用水量。此时,如果适当提高泵

站的供水压力,供水不利点的用户其用水量会较大幅度增加。相反,在用水高峰时,管网中流量较大,管段的水头损失也就较大,管网中压力分布相差较大,此时远离正常供水水源的用户其水头较低,实际用水量也就较少。如果此时为提高该时段的供水满足率,过度增加泵站供水量和压力,处于供水不利点的用户用水量不仅增加不大,还会导致管网中局部压力升高,使得漏失量增加,甚至还可能导致其他时段的供水量不足,从而降低了供水不利点的日用水量。因此,在供水量不足工况下,适当降低用水高峰时的供水压力,增加用水低峰时的供水压力,有助于均衡管网中用水量的分布,也能够降低漏失量。

## 6 结论

通过建立管网水力模型辅助设计,能够极大地提高设计人员的效率,不同方案在模型中可以快速设定,通过模拟结果更易于直观地进行技术、经济比较。新技术手段的使用颠覆了传统设计思路,使管网敷设更加科学、泵站设置更加合理、供水边界划分更加精确、方案设计更加多样。

## 参考文献:

- [1] 蒋白懿,张蕊,赵洪宾. 水力模型在供水管网改造中的应用[J]. 中国给水排水,2014,30(11):66-68.  
Jiang Baiyi, Zhang Rui, Zhao Hongbin. Application of hydraulic model in reconstruction of water distribution systems[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(11):66-68 (in Chinese).



作者简介:卢文宝(1991-),男,安徽六安人,本科,工程师,主要研究市政供排水模型。

E-mail:1562121332@qq.com

收稿日期:2018-01-12