

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.21.009

输配分离供水管网布局的构建与影响评估

吴潇勇¹, 艾静², 王圣³, 鲍月全³, 范晶璟¹, 薛明³, 黄晨¹,
方定懿³

(1. 上海城投水务<集团>有限公司 供水分公司, 上海 200002; 2. 成都市环境集团 成都市自来水管网有限公司, 四川 成都 610072; 3. 上海城投水务<集团>有限公司, 上海 200002)

摘要: 随着城市的发展,上海市浦西地区的供水管网不断扩张,布局复杂。为了探索输水管、配水管功能分离的供水管网布局在该地区的可行性,结合浦西地区的管网特点,提出了一套供水管网输配分离的构建方法,包括输配水管的界定、水源管道的选择、监测点的布置等。在浦西BWT区域进行输配分离试点,通过建立该地区的供水管网水力模型,并结合遗传算法,选择了2处水源管道,完成了输配分离。经过一段时间的稳定运行后,收集数据对该区域供水管网中的水压、流态进行评估,发现输配分离有利于区域压力均衡和降压。同时,根据水力模型分析,指出了需要重点关注水质情况的区域,即水龄最长区域和管内水流流态变化较大的管道。

关键词: 供水管网; 输水管; 配水管; 水力模型

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)21-0053-05

Construction and Impact Assessment of Water Supply Network Layout with Separating Water Supply and Distribution Pipes

WU Xiao-yong¹, AI Jing², WANG Sheng³, BAO Yue-quan³, FAN Jing-jing¹,
XUE Ming³, HUANG Chen¹, FANG Ding-yi³

(1. Water Supply Branch Company, Shanghai Chengtou Water Group Co. Ltd., Shanghai 200002, China; 2. Chengdu Municipal Waterworks Co. Ltd., Chengdu Environment Group, Chengdu 610072, China; 3. Shanghai Chengtou Water Group Co. Ltd., Shanghai 200002, China)

Abstract: With the development of the city, water supply network in Puxi area of Shanghai is expanding and its layout becomes complicated. In order to explore the feasibility of the layout of water supply network with separating functions of water supply pipes and water distribution pipes in this area, a set of construction method for separation of water supply and distribution pipes was proposed combined with the characteristics of pipe network in Puxi area, which included definition of water supply and distribution pipes, selection of water source pipes, arrangement of monitoring points, etc. Then, a pilot project was carried out in BWT area of Puxi. By establishing a hydraulic model of the water supply network in this area and combining genetic algorithms, two water source pipes were selected to complete the separation of supply and distribution pipes. After a period of stable operation, a series of data was collected to evaluate the water pressure and flow pattern in the regional water supply network. It was proved that the separation of supply and distribution pipes was beneficial to regional pressure equalization

and pressure reduction. At the same time, according to the analysis of the hydraulic model, it pointed out the areas that needed to pay attention to the water quality, namely the area with the longest water age and the pipe where the water flow pattern changed greatly.

Key words: water supply network; water supply pipe; water distribution pipe; hydraulic model

随着城市的快速发展,城市供水管网的规模也在不断扩张,且日趋复杂。供水管网通常为环状布局以保障供水的可靠性,但各管道的彼此连接、相互连通,常使得它们的层级和功能不够清晰,为供水管网的管理带来了困难。赵洪宾等^[1]提出的配水系统区域化(DBS)有助于解决该问题。DBS将管网系统划分为不同区域,各区域之间相互独立,区域内的干管、支管分别承担输水和配水的功能,层次清晰明了^[2-3]。

上海市奉贤区通过管网改建,利用DBS进行管网管理,产销差逐年降低,管网水质逐年改善^[3]。天津市采用DBS将管网划分为10个大区,38个中区,效益明显^[4]。DBS在东北地区M市的成功应用亦证明了其有利于供水管网的水压均衡和水质改善^[5]。

上海浦西地区供水管网总管程约 1.61×10^4 km,体量庞大,且密如蛛网,布局复杂,全面实施改造DBS的难度大。故考虑在现有11个一级分区、36个二级分区的计量分区布局基础上,首先实现输水管、配水管的功能分离(以下简称输配分离)。为考察输配分离管网布局在上海浦西地区的可行性,在上海市虹口区南部的BWT区域进行供水管网输配分离改造与试运行,并利用水力模型评估该管网布局方式对水力、水质的影响。

1 输配分离构建方法

1.1 输、配水管的界定

根据运行经验,若将口径大于DN500的管道作为配水管,则可能会存在管道输水能力浪费、管道流速降低和输水管网沟通不畅等问题。因此,以DN500为分界,将DN500以上的管道作为输水管,DN500及以下的管道作为配水管。对于管网较为稀疏的区域,以及水厂、泵站的出水管管径较小的情况,也可将DN500的管道作为输水管。

1.2 水源管道选择

通常在工程中,会按以下原则为区域配水管网选择日常水源管道:

① 优先将过境大口径输水管的DN500支管作为水源管道,既不改变上游管道内的水流流态,又利于后期安装流量计、调流阀等设备实现远传远控;

② 过境大口径输水管与配水管网的DN500或DN300连接管亦可作为水源管道,由于其不便于后期安装流量计、调流阀等设备,因此不作首选;

③ 装有边界流量计的DN500及以下的进水管也可作为水源管道,且优先考虑将大口径进水管作为水源管道;

④ 区域配水管网的出水管则不宜作为水源管道,以免带来水流反向等问题。

按上述方式选择水源管道的同时,应尽量避免从同一根输水管上引出两处水源管道,以免输水管断水、水质污染等原因影响区域的正常供水。此外,还应为区域配水管网设置至少1个口径不小于DN500的应急水源管道,以保障其他水源管道失效时的供水。正常供水条件下,应急水源管道一般处于关闭或留活水的状态。应急水源管道的选择亦可参照上述方式进行,但同时应优先考虑那些对原有管网水流流态影响较小的管道。条件允许时,可利用水力模型进行水源管道和应急水源管道的优选。

1.3 监测点布置

为掌握区域配水管网内的运行情况,确保供水和优化调度,需布置以下几类监测点:

① 入口压力监测点。宜安装在水源管道上,各处水源管道均宜安装。

② 管网末梢压力监测点。可安装在已接管的二次供水泵房内,以便后期维护。

③ 管网水质监测点。宜安装在水力平衡点附近,可利用现有的二次供水水质监测设备。

④ 水源管道流量计。

1.4 区域配水管网闭合与运行验证

逐步关闭区域配水管网中非日常水源管道上的阀门直至该区域仅以日常水源管道供水。在该过程中,应根据阀门所在的位置,判断在其被完全关死,其两侧的水质是否存在恶化的风险,从而确定该

阀门是否需保留活水状态。此外,每次操作阀门后,都应做好管网运行数据的监控,确保供水正常。

初步建立得到输配分离管网布局后,还应通过在早高峰时段,选择一处 DN150 ~ DN200 的管道排放口(或同等流量的消火栓)进行排水,以验证配水管网在消防用水期间的供水能力。

2 试点运行与影响评估

2.1 水力模型与输配分离

BWT 区域日供水约 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$,管程约 122 km,其中口径 > DN75 的管程约 70 km。经梳理,该区域与建立输配分离相关的阀门共 25 个。

在收集 HY 区域(涵盖 BWT 区域)供水管网的管网 GIS、营业收费、边界流量计、加压泵站 SCADA 数据、阀门启闭状态等信息和数据的基础上,建立供水管网的水力模型。模型中保留了 DN50 以上的管线,共有节点 2.4 万余个,管道 3.2 万余根。利用若干天间隔为 5 min 的管网运行数据,完成模型校核。26 个测压点的校核精度(即压力模拟值与监测值的平均绝对误差)均在 1.2 m 以内,其中,BWT 区域内的 7 个测压点的校核精度均在 0.8 m 以内。

为了更合理地选择水源管道,结合上述选择原则,通过该区域的水力模型进行优选。在区域与外界连通的管段中,选择 2 或 3 处安装减压阀,并封闭其他管段(阀门留活水)。模型优化目标为寻找减压阀的安装位置以及对应减压策略,使得区域内的富余压力最小。使用遗传算法对该模型进行求解,得出的最优减压阀安装位置即为最优水源管道。

分别对安装 2 处减压阀以及 3 处减压阀的情况进行求解。计算结果表明,安装 2 处减压阀与 3 处减压阀的最小平均富余水头和组合均包含 CY 路管道和 KM 路管道,且两种情况下节点平均压力相差不大。根据实地走访,发现其中 KM 路管道由于施工条件不允许,无法安装输配分离所需的调流阀与流量计,只能替换为另一组较优解中的 YSP 路管道。故最终选择 CY 路管道与 YSP 路管道作为水源管道,两处管道位置见图 1。

在 2018 年 8 月—9 月期间,通过上述的水源管道选择和区域配水管网闭合方法,改变了 11 个阀门的状态,具体情况如表 1 所示。构建得到该区域如图 2 所示的输配分离管网布局,并稳定运行至今。其中编号为 16、17 的两个阀门所在的管道为应急水源管道。

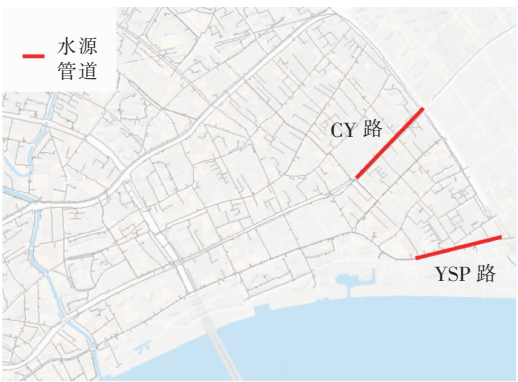


图 1 BWT 区域的水源管道位置示意

Fig. 1 Location of the water source pipes in BWT area

表 1 需操作的阀门

Tab. 1 Valves to be operated

阀门编号	口径	操作方式	阀门编号	口径	操作方式
1	DN500	留 2.5 转	14	DN200	关死
3	DN150	关死	15	DN500	留 0.5 转
7	DN300	留 0.5 转	16	DN500	留 0.5 转
8	DN500	留 0.5 转	17	DN500	关死
9	DN500	留 0.5 转	19	DN500	关死
13	DN500	关死			



图 2 BWT 区域的输配分离示意

Fig. 2 Schematic diagram of water supply and distribution separation in BWT area

2.2 输配分离的影响评估

① 对压力的影响。利用水力模型进行模拟分析,发现 BWT 区域输配分离的建立,使 HY 区域在供水低峰时的压力降低了 0.4 ~ 0.7 m,整个区域受到的影响差异不大。但在供水高峰时,南部区域的压力受影响更大,南部区域的压力降低超过 1 m,北部区域的压力降低小于 1 m,见图 3。总的来说,输配分离在降低 HY 区域的水压,使其分布更为均衡的同时,还减少了供水高峰时输水管网压力波动对

BWT 区域配水管网的影响。其中,水压的降低、水压波动的削弱均有助于配水管网的漏损控制^[6]。

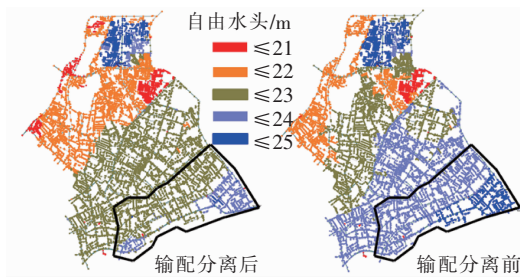


图3 供水高峰时 HY 区域的自由水头分布

Fig. 3 Free head distribution in HY area during peak water supply

② 应急供水对压力与流态的影响。管内水流流态的变化,可能会使这些管道上的管壁颗粒物、积垢、生物膜等脱落,从而影响管网水质,带来黄水、颗粒物增多等水质问题^[7]。BWT 区域在输配分离下的自由水头分布见图4。当图1中的主要水源管道出现故障被关闭,利用应急水源16、17进行供水时,水力模型模拟显示:除如图4中标注的两个区域在供水高峰时的压力至多下降约1 m外,其余区域的水压无明显变化,且整个BWT区域的自由水头均在22 m以上,能够满足用户的基本需求;部分管道内的水流流态发生了较大变化,见图5。

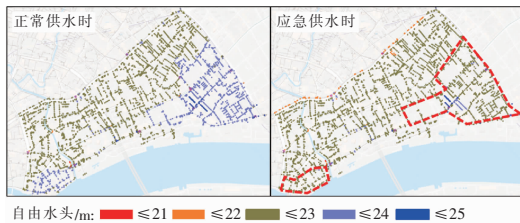


图4 BWT 区域在输配分离下的自由水头分布

Fig. 4 Free head distribution in BWT area under water supply and distribution separation

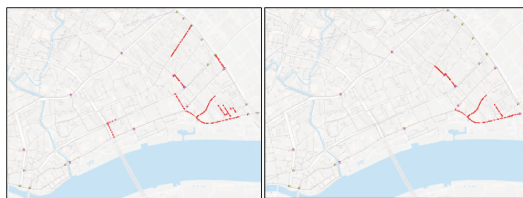


图5 BWT 区域输配分离下管内水流流态受应急供水影响较大的管道

Fig. 5 The pipes whose flow pattern is greatly affected by the emergency water supply under water supply and distribution separation in BWT area

2.3 水质保障措施

根据水力模型分析,针对管网中可能存在的水质风险区域,如水龄较长的区域(BWT 区域水龄分布如图6所示)以及流态变化较大的区域等,在其下游附近设置临时或固定的水质监测点,并选取排放口,以便及时掌握这些区域的水质状况,并在必要时排放管网水,设置位置见图7。其中,临时的水质监测点和排放口主要在输配分离的建立过程和运行初期发挥作用,而固定的水质监测点和排放口则在输配分离稳定运行的过程中起作用。同时,定期对这些水质监测点和排放口进行巡检,确保它们能正常工作以及在系统中的信息准确无误。

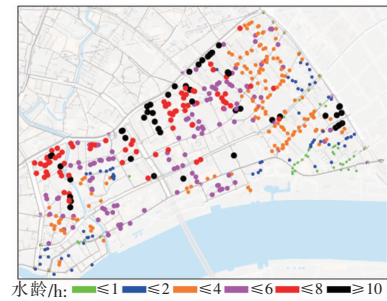


图6 BWT 区域水龄分布

Fig. 6 Water age distribution in BWT area



图7 水质监测点与排放口布置

Fig. 7 Layout of water quality monitoring points and discharge ports

3 结论与展望

① 提出了供水管网输配分离的构建方法,包括输、配水管的界定,水源管道的选择,监测点的布置,区域配水管网的闭合及运行验证,可供同行参考借鉴。

② 在上海浦西地区的BWT 区域进行输配分离试点,自2018年9月试点开始以来,保持稳定运行至今;借助于水力模型,评估了输配分离对BWT 区域压力的影响,发现输配分离有利于压力均衡和

降压。

③ 利用水力模型进行模拟分析,对可能存在的水质风险区,即水龄最不利区域和管内水流流态变化较大的管道,设置了临时或固定的水质监测点和排放口,并定期对这些设施进行巡查,保证它们能正常工作以及在系统中的信息准确无误。

④ 在未来的工作中,将建立全网水力模型,在此基础上进一步优化 BWT 区域的输配分离布局,以期缩短水龄,减小水质风险,为该模式的推广应用储备技术。进而,在输配分离的基础上,有条件深入研究配水管网恒压运行的可行性,以及压力管理对该区域配水管网漏损控制的影响。

参考文献:

- [1] 赵洪宾,何文杰,韩宏大,等. 我国供水管网实现区域管理的思路[J]. 中国给水排水,2001,17(9):59-61.
Zhao Hongbin, He Wenjie, Han Hongda, *et al.* Thoughts on realizing regional management of water supply pipe network in China[J]. China Water & Wastewater, 2001, 17(9):59-61 (in Chinese).
- [2] 王彤,冯雪峰,赵明,等. 基于快速网络社区算法的供水管网区块化研究[J]. 中国给水排水,2018,34(5):37-43.
Wang Tong, Feng Xuefeng, Zhao Ming, *et al.* Water supply network blocks based on a fast algorithm for detecting community structure in networks [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(5):37-43 (in Chinese).
- [3] 郑小明,赵明,舒诗湖,等. 管网区块化理念在上海市奉贤区集约化供水中的实践[J]. 给水排水,2012,38(1):100-102.
Zheng Xiaoming, Zhao Ming, Shu Shihu, *et al.* Application of network zoning concept on water supply in Fengxian district of Shanghai City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(1):100-102 (in Chinese).
- [4] 舒诗湖,郑小明,赵明,等. 基于区块化的供水管网全系统多级水平衡管理[J]. 中国给水排水,2013,29(12):18-21.
Shu Shihu, Zheng Xiaoming, Zhao Ming, *et al.* Multi-level

water balance management of water supply network based on DBS[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(12):18-21 (in Chinese).

- [5] 吴芬芬,王彤,朴庸健,等. M市供水管网区块化方案研究[J]. 给水排水,2017,43(10):104-106.
Wu Fenfen, Wang Tong, Piao Yongjian, *et al.* Study on blocking scheme of water supply pipe network in M city [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(10):104-106 (in Chinese).
- [6] 魏道联,魏乐安. 末端控制分时变压变量供水技术[J]. 中国给水排水,2009,25(10):87-89,94.
Wei Daolian, Wei Lean. Water supply technology with time-sharing variable pressure and variable flow in terminal control[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(10):87-89,94 (in Chinese).
- [7] 韩珀,沙净,周全,等. 南水北调中线受水城市水源切换主要风险及关键应对技术[J]. 给水排水,2016,42(4):14-17.
Han Po, Sha Jing, Zhou Quan, *et al.* Major risks of the water source switch in the target cities of South-to-North Water Diversion Project and corresponding key measures [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(4):14-17 (in Chinese).



作者简介:吴潇勇(1982-),男,上海人,本科,高级工程师,管网运营监控中心经理,从事供水管网运行、产销差管理工作。

E-mail:wuxiaoyong@shanghaiwater.com

收稿日期:2019-06-27