

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2024. 22. 007

县城城乡供水一体化工程中管网延伸设计关键点

向帆¹, 马宗凯², 邱彬彬¹

(1. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610000; 2. 四川省城市水环境治理工程技术研究中心, 四川 成都 610000)

摘要: 城镇供水管网延伸至农村是实现城乡供水一体化的重要手段之一,但是农村居民的用水特点与城镇用水有较大差别,加之管网覆盖范围的增大,因此管道延伸工程中出现如何合理确定管道流量、维持管网余氯和保障水压等新问题。以A县的城乡供水一体化管网延伸工程为例,从水量确定、余氯维持和水压保障等三个方面对管网延伸工程设计中存在的设计要点进行了探讨,并给出了相应的解决措施。例如,采用高日高时流量法和设计秒流量法相结合的方法确定管道设计流量;利用余氯衰减动力学公式判断管网中余氯消耗的规律,从而确定水厂余氯建议值以及补氯设施设置位置;设置小型水箱+一体化泵站解决末端水压不足的问题,当静水压超过60 m时建议设置减压阀保证阀后管道及卫生器具安全。

关键词: 城乡供水; 管网延伸; 设计秒流量; 余氯; 一体化泵站

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0047-06

Design Key Points of Pipe Network Extension for Integration of Urban and Rural Water Supply in County

XIANG Fan¹, MA Zong-kai², QIU Bin-bin¹

(1. PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu 610000, China; 2. Sichuan Province Engineering Technology Research Center of Municipal Water Environment Treatment, Chengdu 610000, China)

Abstract: The extension of urban water supply pipe network to rural areas is one of the important means to achieve integration of urban and rural water supply. The significant differences in water usage patterns between rural and urban residents and the expansion of the water supply area have brought about new challenges in determining pipeline flow rates, maintaining residual chlorine in pipelines, and water pressure guarantees for the design of pipeline extensions. Taking the rural-urban integrated water supply pipe network extension project in Country A as an example, this paper discusses the key design points in the design of the network extension from three aspects: water volume determination, residual chlorine maintenance, and water pressure assurance, and provides corresponding solutions. For instance, this paper investigates the combined use of the maximum daily and hourly peak flow and the design peak flow in the building water supply to predict the pipeline design flow. It also proposes the use of a chlorine decay kinetics formula to judge the chlorine consumption pattern in the water supply pipe network, thereby determining the recommended residual chlorine value in finished water of waterworks and the location of supplementary chlorination facilities. Furthermore, it clarifies the use of small water tanks and

integrated pumping stations to address insufficient water pressure at the endpoints of a pipeline, and suggests the installation of pressure-reducing valves to ensure the safety of pipelines and sanitary appliances when the static water pressure exceeds 60 meters.

Key words: urban and rural water supply; water supply pipe network extension; design peak flow; residual chlorine; integrated pumping station

近年来,福建省委、省政府提出大力推进城乡供水一体化建设,按照“城乡一体、统筹规划、国有控股、集约经营”的思路,以城乡供水一体化为引领,打破行政区划壁垒和城乡供水分化的格局,整合区域水务资源、资产、资本要素,统筹城镇、乡村协调发展,重点推进大水源、大水厂、大管网建设,运用先进实用的水处理工艺与消毒技术,以及自动化控制与现代信息技术等,建立从源头到龙头的饮水安全保障体系,以全面提高供水质量与管理水平,实现城乡供水跨越式发展^[1]。

《福建省城乡供水一体化工程建设导则(试行)》(以下简称《导则》)对城乡供水一体化的定义为:以区域为单元,统一规划、统筹建设以城镇供水管网延伸和规模化供水为主、小型集中供水为辅的城乡供水体系,实现城乡同质同服务的供水保障模式。这里可以提取出两个要点:首先,城镇供水管网延伸是实现城乡供水一体化的重要手段^[2];其次,达到城乡同质同服务的供水保障模式是城乡供水一体化的主要目的。

但在实际工程中,城镇供水管网延伸后,供水范围从城镇延伸到农村,供水范围变大,而城镇的用水特点与农村用水特点有较大差别,农村用水时间更加集中,因此工程设计中需注意以下几点:①确定管道流量。根据相关规范,配水管网设计流量应根据最高日最高时用水量计算,但是农村用水习惯的不同导致城镇与农村的时变化系数差距较大,若直接套用城镇标准选取时变化系数,会造成高峰时段农村供水量不足。②维持管网余氯。管网延伸会造成供水范围变大,供水距离变长,如何经济合理地设置中途补氯设施,是管网延伸设计需要考虑的重要问题。③保证供水水压。管网延伸后,供水范围内的地形起伏可能变大,因此需要通过工程措施保障整个供水管网内的水压,既满足高区的供水要求,又可保证低区的用户管网不超压。

综上,以福建省南平市A县的城乡供水一体化

管网延伸工程为例,从以上3个方面对城乡供水一体化管网延伸的设计要点进行探讨。

1 案例分析

1.1 工程概况

A县城乡供水一体化工程主要是对中心城区的现状派溪水厂进行扩能改建,增加供水能力至 $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,同时维持现状的重力流供水模式,并将县城现状仅服务双溪街道的配水管网延伸至城关东边的洋口镇、建西镇,以及镇区附近的农村。该工程的总体布置见图1。



图1 工程总体布置

Fig.1 General layout of the project

管网延伸后,管道主要服务区域半径由7 km左右延伸到19 km左右,管道服务范围内的地形高程由122~140 m扩大到122~175 m。

1.2 确定管道流量的思路及措施

根据相关规范,确定室外配水管道流量一般有以下几种方法:①按高日高时用水量确定流量,同时还可分为按管长分配流量以及按人口分布分配流量两种;②按设计秒流量确定设计流量。从图1可以看出,整个管道系统是环状管道和枝状管道相结合的系统,由于设计秒流量是以概率法为基础的计算方法,其计算结果不满足管网的连续性方程,

不适用于确定环状配水管网的设计流量^[3],因此采用高日高时用水量法计算环状管网流量。

首先,将管网延伸后的管道系统作为一个整体进行管网平差计算。由于管道服务范围内的人口密度在城镇区域和农村区域有较大差别,并且从城镇和农村的配水特点来看,城镇区域更接近沿途配水的特点,而延伸至农村的管道与末端点状配水更相似,因此确定城镇内的环状管网按管长分配流量,其余延伸至农村的枝状管网按所服务村庄的人口数量和用水定额直接计算节点流量。供水系统的时变化系数根据规范中的建议值取 1.6,最高日生活用水定额为 140 L/(人·d),流速首选经济流速进行平差计算。

按上述方法和参数计算后发现整个管网系统中,枝状管网末端人口较少村庄的计算流量明显偏小。例如,将军村设计供水人口为 739 人,该节点高日高时流量仅为 1.91 L/s,该流量约等于 10 个单阀水嘴同时开启,与该村高峰用水时的实际用水量明显不符。造成计算值偏小的原因是农村用水人口较少,用水规模较小,高峰用水时段相比城镇更加集中,导致农村供水的时变化系数大于城镇供水。因此需要对此部分管道流量进行校核计算。

农村建筑物以住宅为主,用水特点更加接近于建筑小区,考虑到减少水质污染和运营难度,在农村地区采用的给水方式基本为利用配水管网的压力直接供水。因此,采用设计秒流量的方法校核延伸至农村的枝状管网是合理的。根据当地用水情况、村内用户用水设施水平以及用水习惯,确定用水定额取 140 L/(人·d),时变化系数取 2.3,每户给水器具当量取 2.25,每户人数 3.5 人,重新计算将军村设计流量,可以得到该村设计秒流量为 6.0 L/s,按经济流速可选择管径 DN100,与现状村内配水主管管径一致。从上述对比可以看出,两种方法计算的流量差别较大,而设计秒流量的计算结果与实际用水高峰期的用水量更加吻合^[3]。考虑到上述两种方法之间的差别随着供水人口或者供水量的增加而减小,且当供水人口或供水量足够大时两者计算结果将趋于一致。因此接下来的关键工作就是确定两种计算方法的衔接。

考虑到管径越小时上述两种方法的计算结果差值越大,而流量的差值主要体现在高峰用水时期水压的波动上。若在某种最小管径条件下,两种计

算方法得到的水压波动可以满足用水需求,则该最小管径即可作为两种计算方法的衔接管径。考虑到规范规定环状管网中为了满足消防流量要求,管径宜不小于 DN150,最小不得小于 DN100。按上述两种方法分别计算 DN250、DN150 和 DN100 管径时对应的服务人口、流量和水头损失,结果见表 1。

表 1 流量和水头损失的计算结果

Tab.1 Calculation results of flow and head loss

管径	服务人口/人	计算方法	流量/ (L·s ⁻¹)	管道流速/(m·s ⁻¹)	沿程水头损失/m	
					管长 500 m	管长 3 000 m
DN250	12 000	高日高时流量法	31.1	0.63	0.99	5.93
		设计秒流量法	43.7	0.89	1.85	11.11
DN150	4 500	高日高时流量法	11.7	0.66	1.94	11.60
		设计秒流量法	20.7	1.17	5.57	33.40
DN100	2 000	高日高时流量法	5.19	0.66	3.11	18.67
		设计秒流量法	11.60	1.48	13.81	82.88

从表 1 可以看出,服务人口越多、管径越大时,两种计算方法的流量差额以及因流量引起的压力波动越小。在城镇内,街区之间的长度一般为 200~500 m,取计算管段长为 500 m,相较于高日高时流量法计算结果,管径为 DN150 时按照设计秒流量法校核的水损仅增加了 4 m 左右;管径为 DN100 时水损则增加 10 m 左右,压力波动偏大。该工程在设计水压时考虑了一定的富余,且在城镇地区较大的小区中还设有水池进行调节,因此确定环状管网按高日高时流量法计算管道流量,并保证最小管径为 DN150,可以满足高峰时期的用水需求。

城镇往农村延伸的枝状管线不同于城镇内,一般管道输送距离较长,主管延伸长度可达到 3 km,因此高峰流量时管网压力波动更大。从表 1 可以看出,计算管段长为 3 km 条件下,相较于高日高时流量法计算结果,管径为 DN250 时按照设计秒流量法校核的水损增加约 5 m;管径为 DN150 时水损增大 22 m 左右,管径为 DN100 时水损则增大 65 m 左右。由此可见,在计算长距离枝状管网流量时,确实需要比环状管网更加重视高峰流量时的压力波动。根据以上计算结果,选择管径 DN250 作为采用秒流量法进行校核的分界线,即采用高日高时流量法整

体计算确定初步管径后,再针对计算管径小于DN250的枝状配水管采用设计秒流量法进行校核。由于通过管径控制,环状管网中高峰流量时压力波动较小,因此可以采用环状管网高日高时流量时的节点压力作为设计秒流量法校核枝状管网的起点压力。按此方法计算后,延伸到各村庄的配水管管径均根据校核结果进行了调整,结果见表2。

表2 管径校核结果

Tab.2 Check results of pipe diameter

村庄名称	供水人口/人	高日高时流量法 计算管径	设计秒流量 法校核管径
将军村	739	DN50	DN100
石溪村	1 008	DN50	DN100
白沙村	557	DN100	DN150
潘坊村	1 336	DN100	DN150
道吴村	583	DN75	DN100
谢坊村	629	DN75	DN100
路兹村	538	DN75	DN100
建民村	612	DN75	DN100
井垅村	1264	DN75	DN150

1.3 维持管网余氯的思路及措施

管网延伸使供水服务范围增大,余氯在管网中的消耗也会同样增加。根据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),管网末梢余氯应不小于0.05 mg/L。保障管道内余氯可以通过增加出厂余氯以及设置中途补氯设施解决。根据相关研究^[3],余氯在管网中的消耗受到许多因素的影响:①与管道水中有有机物和无机物的反应;②与管壁附着的细菌膜反应;③在管壁腐蚀过程中的消耗;④在管壁与水流之间的质量传输。余氯衰减动力学方程可以表示为:

$$\frac{dC}{dt} = -KC \quad (1)$$

根据式(1)积分可得:

$$K = t^{-1} \ln \left(\frac{C_0}{C_t} \right) \quad (2)$$

式中: C_0 为初始余氯值; t 为时间; C_t 为 t 时刻的余氯值; K 为余氯衰减总速率常数,包括余氯在管道水中的减少总速率常数、水力半径、传质系数等。

根据式(1)、(2)可以预测管网中各个点位的余氯浓度,但是计算较为复杂,且需要借助计算机等手段,所需的资料数据以及可操作性都相对较低。需要注意的是,工程应用中并不要求精确预测各个

点位的余氯浓度,预估余氯衰减的规律、确定设置补氯设施的位置才是关键。

考虑到工程实施后,水源和出水水质都与现状基本保持一致,新建管道的管材与现状管道的管材同样都是以球墨铸铁管和PE管为主,流速都是原则上选取经济流速。因此,可以通过收集现状实测出厂水余氯和末梢余氯浓度,将整个管网系统概化为单根管道内的余氯衰减,按照上述公式计算出当地管道系统的综合 K 值,再用此 K 值估算给定的出厂余氯条件下末梢余氯的数值,从而判断出修建补氯设施的位置。

根据现场管网实测数据,当地现状出厂水余氯为0.55 mg/L,中途没有其他补氯设施。管网中上凤村附近(距离水厂出口约8.3 km)实测余氯为0.10 mg/L,双溪街道附近(距离水厂出口约4.8 km)实测余氯为0.25 mg/L,水南村大桥对面(距离水厂出口约4.0 km)实测余氯为0.3 mg/L。水流时间可以根据水流距离除以流速确定,水流距离可以在图上测量,流速按0.7 m/s确定。将上述参数代入式(2),计算结果见表3。

表3 K 值计算结果Tab.3 Calculation results of K

位置	$C_0/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$C/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	管长 L/m	水流时 间 t/h	K
上凤村	0.55	0.10	8 300	3.29	0.518
双溪街道	0.55	0.25	4 800	1.79	0.414
水南村	0.55	0.30	4 000	1.59	0.382

将以上 K 值求平均值,可以得到工程采用的 K_0 值为0.438。将 K_0 值代入式(2)后,可以求得不同出厂余氯浓度下管网水中余氯衰减到0.05 mg/L所需的水流时间以及水流距离,结果见表4。

表4 不同出厂水余氯浓度下的计算结果

Tab.4 Calculation results under the condition of different residual chlorine values in finished water

出厂余氯浓度 $C_0/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	管网余氯衰减至0.05 mg/L所需时间/h	对应水流距离/ km
0.55	5.5	13.9
1.0	6.8	17.1
1.5	7.8	19.7
2.0	8.4	21.2

从表4可以看出,随着出厂水余氯浓度的增加,管网内余氯衰减至0.05 mg/L的时间不会同比例增加。即,仅靠提高出厂水余氯浓度的方式来保证管

网末梢余氯值的效率越来越低。另外,根据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),出厂水余氯浓度应不超过 2 mg/L。因此,当管网延伸的范围超过一定程度时,必然需要设置补氯设施。该工程管网根据用水需求延伸后的范围见图 2。

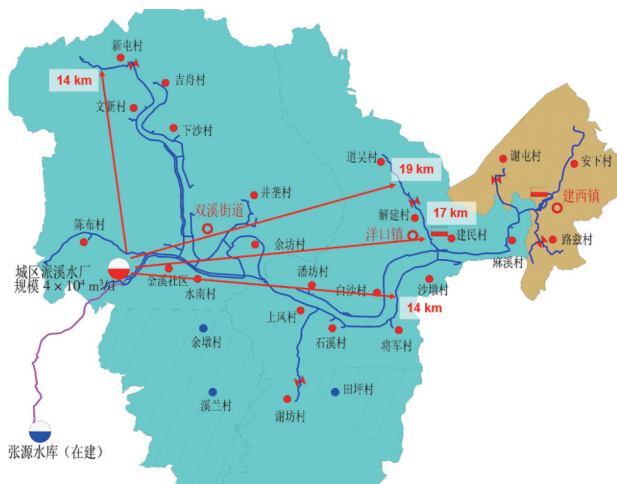


图2 管网辐射距离

Fig.2 Distance covered of water supply pipeline

由于出厂水的余氯浓度可在今后运行中调整, 所以根据表 4 可知, 理论上水流最远距离在 13.9~21.2 km 范围内都是可行的。再根据图 2 所示的管网延伸距离可以判断, 补氯设施可以设在以下 5 个位置: ①将军村和沙墩村之间; ②洋口镇; ③解建村和道吴村之间; ④新屯村附近; ⑤建西镇。但需要注意的是, 上述计算方法是一种概化方法, 没有考虑环状管网水流方向、管径变化、流速差别以及用户未用水的复杂情况, 因此需要留出一定冗余供今后运行调整。另外, 补氯设施需要一定的占地, 结合泵站或者水池建设才是最佳方案。

综上,考虑在洋口镇和建西镇设置高位水池和补氯设施,理由如下:①洋口镇和建西镇作为当地镇区,人口相对集中,需要设置高位水池作为调节以及事故时应急用水水源,而在高位水池附近修建补氯设施不仅能够有效节约占地,还能利用高位水池作为消毒接触池使用。②沙墩村所在位置水流距离为 14 km,管道从沙墩村配水完成后接洋口镇水池和建西镇水池的管道中途可以实现不再接出支管,而是全部先进水池再分配给洋口镇和建西镇周边用户,因此洋口镇和建西镇所在位置的水流距离虽然大于 17 km,但是实际到用户的水流距离不超过 14 km,不仅满足余氯要求,还给今后出厂水余

氯的调整留出了空间。③新屯村方向最近水流距离 14 km, 与沙墩村的距离相当, 满足末梢余氯要求。高位水池和补氯设施典型平面布置见图 3, 补氯设施的补氯量按有效氯 0.5~1.0 mg/L 确定。

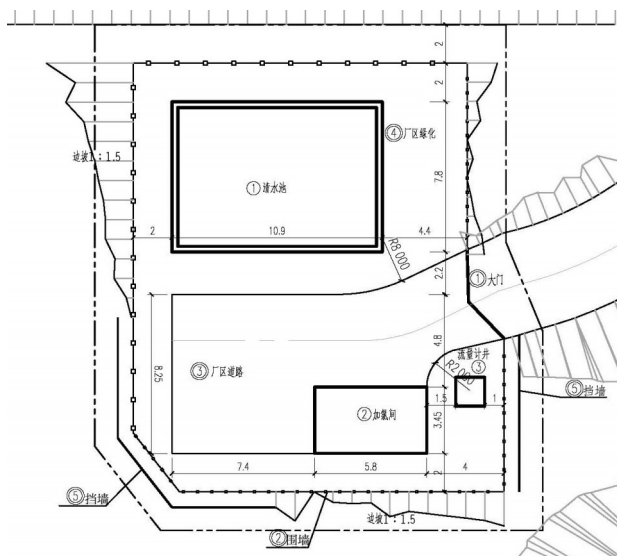


图3 高位水池和补氯设施典型平面布置

Fig.3 Typical layout of elevated tank and chlorination facility

1.4 保障供水水压的思路及措施

该工程水厂为重力流供水,管网延伸后服务范围增大,不仅需要校核供水范围内是否存在供水水压不足的情况,还需复核村庄现状管网与延伸管网对接后,承压能力是否足够。

① 确定水压标准。根据规划以及现场调查,城区和镇区服务水头按不小于28 m控制。由于当地农村地区的建筑以二层和三层房屋为主,因此农村地区的服务水头按不小于16 m控制。

② 水压不足。水压不足的情况多出现在末端农村,工程中对于此类情况通常采取的措施是设置加压泵站。加压泵站采用叠压泵站的形式虽然能节省用地,减小水泵扬程,但是当管网上游供水量不足时,水泵直接从管道抽水会影响管网中的其他用户,导致其他用水户水压不足。《导则》中指出,采用叠压供水时,管径不得小于DN150,而该项目管网末端管径均不超过DN150,因此不能直接采用叠压泵站进行加压供水。为了既节省用地,便于运营管理,又不影响水泵上游用户,采用小型水箱与一体化泵站的组合方式进行加压供水。来水先进入前端水箱,然后再通过一体化泵站进行加压,以

避免水泵启停对周边用户的影响。前端水箱作为中转水箱,满足5~10 min水泵流量即可。一体化泵站采用变频可调泵组,可随后端用水变化稳定运行,且整个泵站系统通过信息化工程实现无人值守,降低了运营难度。泵站系统组成见图4。需要注意的是,由于管网接入水箱后会泄压,因此可将泵站选址到相对较高处,减少进水富余水头,可较大程度上避免水头浪费。

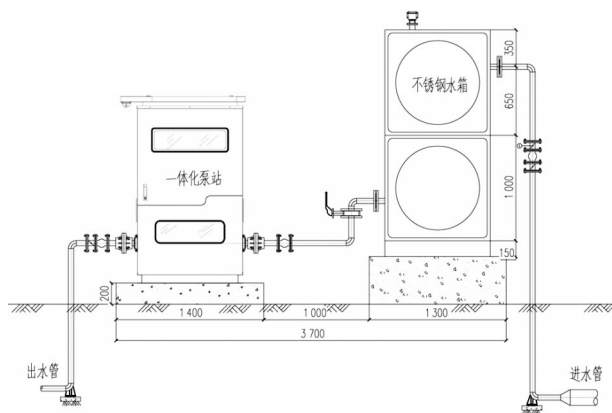


图4 泵站系统组成

Fig.4 Composition of pump station system

③ 复核超压。管网延伸至村庄后,由于供水水源更换为城区水厂,对于高程较低的村庄,容易出现现状用户管道的承压能力无法满足城区水厂最大压力的情况,因此还应按照水厂内清水池最高液位复核各个村庄的入村管道接口处的最大静水压力。根据《导则》中的相关规定,用户水龙头的最大静水头不宜超过40 m,超过时宜采用减压措施。由于管道延伸较远,沿程水损相对较大,若按静水压不超过40 m控制,则会造成大部分入村管道需要设置减压措施,不利于日后运营维护。考虑到从入村主管到用户龙头还有一定水损,且根据现场调查,供水范围内现状村内支管和户管大部分使用公称压力为1.0 MPa的管材,再结合相关规范中规定卫生器具给水配件承受的最大工作压力不得大于0.6 MPa,从而确定在静水压超过600 kPa的入村管道上设置减压阀组,控制阀后压力不超过0.6 MPa,保护阀后管道及用水器具。减压阀组设置并联2组,降低损坏停水检修的风险。

2 结论

① 在管网延伸工程中,按高日高时流量法计

算管径时,可能导致末端管径偏小。建议在环状管网计算中,可以按高日高时流量法计算管径,但建议保证最小管径为DN150;对于系统内长距离枝状管道管径计算,当该管段高日高时流量计算后的管径 \leq DN250时,均需再用设计秒流量法校核是否满足高峰用水要求。

② 工程应用中可以采用概化后的余氯衰减动力学公式,结合实测出厂水和管网余氯,估算不同出厂水余氯浓度下,管网余氯衰减至0.05 mg/L所需的水流时间和水流距离,从而确定设置补氯设施的位置,同时提出补氯设施宜与高位水池合建。

③ 管网延伸工程水压标准确定后,当管网末端供水水压不足时,建议采用小型水箱与一体化泵站的组合方式进行加压供水,节省占地,便于运行管理,同时避免水泵直接抽水影响管网中其他用户。另外,对于供水范围中静水压力超过600 kPa的供水管段,建议设置并联减压阀组,保护阀后管道和用水器具。

参考文献:

- [1] 向帆. 山区县城城乡供水一体化系统构建探讨[J]. 给水排水, 2022, 48(S1): 51-56.
XIANG Fan. Investigation of building urban and rural water supply integrated system in mountain city [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S1): 51-56 (in Chinese).
- [2] 罗惠云, 张宁. 城乡供水一体化工程技术要点及案例分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(22): 72-76.
LUO Huiyun, ZHANG Ning. Technical points and case analysis of urban and rural water supply integrated project [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 72-76 (in Chinese).
- [3] 朱锡林. 村镇供水工程配水管网设计流量计算方法研究[J]. 中国给水排水, 2012, 28(18): 68-72.
ZHU Xilin. Calculation method of design flow of water distribution network in villages and towns [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(18): 68-72 (in Chinese).

作者简介:向帆(1989-),男,湖南株洲人,硕士,高级工程师,主要研究方向为市政给排水工程。

E-mail:472163574@qq.com

收稿日期:2023-09-04

修回日期:2023-09-14

(编辑:丁彩娟)