

技术总结

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.11.007

通气立管管径对副通气立管排水系统通水能力的影响

尹浩然¹, 官钰希¹, 任少龙², 吴克建², 方正¹

(1. 武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 山西汾氏实业集团有限公司 全国建筑排水管道系统技术中心实验室, 山西 高平 048400)

摘要: 对副通气立管排水系统进行了不同通气立管管径(DN100、DN75、DN50)的对比试验,分别测定系统的最大通水能力,并观测了各个楼层的压力波动、水封损失、排水系统通气量变化。结果表明,通气立管管径越大,副通气立管排水系统的通水能力越强,3种管径下系统的最大排水流量分别为17.0、14.0、7.5 L/s,说明副通气立管排水系统具有较大的通水能力;当通气立管管径为DN75时,副通气立管排水系统就可以满足《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)中高层建筑最大排水流量10 L/s的要求。

关键词: 副通气立管; 环形通气; 通气立管管径; 通水能力; 压力极限; 水封损失
中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)11-0040-06

Influence of Vent Pipe Diameter on Water Capacity of Drainage System with Auxiliary Vent Pipe

YIN Hao-ran¹, GUAN Yu-xi¹, REN Shao-long², WU Ke-jian², FANG Zheng¹

(1. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. National Building Drainage System Technology Center Laboratory, Shanxi Xuanshi Industrial Group Co. Ltd., Gaoping 048400, China)

Abstract: The performance of drainage system with auxiliary vent pipe was compared under conditions of different vent pipe diameters (DN100, DN75 and DN50), the maximum water capacity of the system was measured respectively, and the pressure fluctuation, water seal loss and variation in ventilation of the drainage system were observed in each floor. Bigger diameter of the vent pipe would achieve greater water capacity of the drainage system with auxiliary vent pipe, in which the maximum flow rates of the three systems were 17.0 L/s, 14.0 L/s and 7.5 L/s, respectively. The results indicated that the drainage system with auxiliary vent pipe had a large drainage capacity. When the diameter of the vent pipe was DN75, the drainage system with auxiliary vent pipe could meet the requirement of the maximum flow rate of 10 L/s for medium and high-rise buildings in the *Standard for Design of Building Water Supply and Drainage* (GB 50015-2019).

Key words: auxiliary vent pipe; circular ventilation; vent pipe diameter; water capacity; pressure limit; water seal loss

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51978526); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2042021kf0059)
通信作者: 官钰希 E-mail: yuxi.guan@hotmail.com

建筑排水系统是维护室内环境卫生的重要设施,随着社会经济的发展,人们对居住环境的安全性、舒适性有了更高的标准,对建筑内排水系统也有了更高的要求。国内已有众多学者对建筑排水系统的排水机理进行了研究,例如,张哲^[1]、龙会平^[2]、臧振武^[3]等采用定流量排水方法,对多种排水系统的排水能力进行了实测试验研究;吴克建等^[4]对系统负压与水封损失值之间的关系进行了试验研究;张晓燕等^[5]根据国内外排水试验的有关资料,总结了影响气压波动的诸多因素,如排水流量、通气方式等;王璐文等^[6]描述了排水横干管中的水流运动状态及压力分布状况,并通过模型试验研究了排水负荷对排水横干管不同位置处压力波动的影响。

在以往的建筑中,一般选用专用通气排水系统^[7-9],排水立管与通气立管采用H型连接管连接,两根管道设置在同一个管道井中,立管之间距离较短。根据《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)中对不同排水系统流量的界定,副通气立管排水系统也具有较为优越的排水能力,对于某些大跨度空间,单个楼层需要连接的卫生器具较多,且布置分布均匀,此时会将排水立管与通气立管分别布置在两个管道井。因此,副通气立管排水系统被越来越广泛地应用在对排水系统通水能力有更高要求的高层、超高层建筑中。但副通气立管排水系统需要更多的管道,会占用较大的室内空间。为了尽可能节省管道井面积,降低排水系统的工程成本,笔者对副通气立管排水系统的通气立管管径进行了多组对比试验,分析不同管径大小对副通气立管排水系统通水能力的影响;通过对系统的最大排水流量、管道系统的通气量、卫生器具水封损失值等特征参数进行分析,对通气立管管径的选取提出建议,以供工程参考。

1 试验系统及工况设计

1.1 测试系统介绍

本次试验工作在全国建筑排水管道系统技术中心排水实验室兹氏实验塔进行,排水实验塔高60 m,地上为19层、地下为1层。试验系统连接方式如图1所示。测试系统的排水立管、通气立管、结合通气管均采用W型柔性接口铸铁排水管,系统安装接口形式为卡箍连接,测试横支管采用UPVC塑料管,以减轻横支管载荷。测试系统的排水立管与横支管连接管件采用W型DN100×90°T三通,测试

横支管末端采用90°弯头与环形通气管连接,环形通气管底端距通气立管上部接口的高度为1.5 m,采用Y型三通+45°弯头连接。测试系统的排水立管底部采用3D大半径变截面异径弯头,排出管管径为DN150,坡度为0.01。测试横支管上连接有一个测试地漏(水封比为0.95,水封容量为255 mL,具体规格尺寸见图2)、一个DN100的铸铁P型存水弯(水封比为1,水封深度为50 mm,用于模拟卫生器具水封波动)。测试系统的伸顶通气管安装在实验塔19层,伸顶形式为标准排水立管伸顶通气安装形式。排水立管、横支管、通气帽、排出管的安装均符合《建筑给水排水设计标准》中的相关规定。

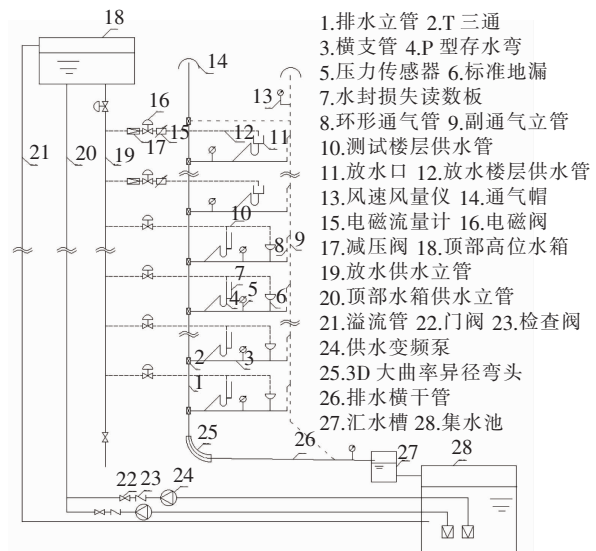
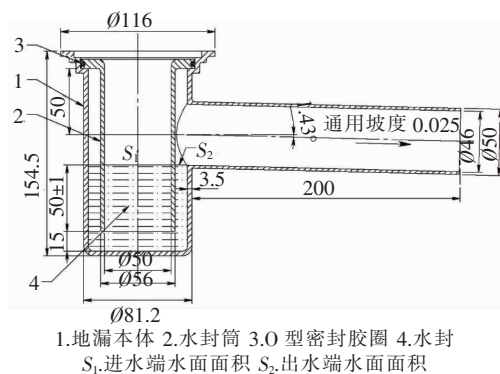


图1 试验排水系统示意

Fig.1 schematic diagram of test floor drainage system



1.地漏本体 2.水封筒 3.O型密封胶圈 4.水封
S₁进水端面面积 S₂出水端面面积

图2 测试地漏示意

Fig.2 Schematic diagram of test floor drain

1.2 测试方法及测试仪器

流量测试采用定流量法^[2-4],通过微调阀门、增压泵及流量计控制放水量。采用Kewill智能型气动

电磁阀(型号为 Q991X-10V, 流量量程为 0~3.0 L/s)远程控制供水启停。测试流量时, 供水系统从 18 层开始放水, 初始排水流量为 0.5 L/s, 并以 0.5 L/s 的增幅逐渐增加放水量, 当 18 层排水量达到 2.5 L/s 时启动下一楼层增压泵, 依次类推。当 5 个排水层均达到最大排水流量后(此时的总排水量为 12.5 L/s), 若此时系统还未达到临界压力和水封损失判定值, 由高向低每层最大排水流量可增加 0.5 L/s, 直至所有供水层总排水流量达到 15.0 L/s。若仍未达到临界值, 由高向低每层最大排水流量再增加 0.5 L/s, 以此类推。为了保证试验的真实性, 单层供水流量不超过 4.0 L/s, 此时最大总排水流量为 20.0 L/s。放水位置在供水横支管始端, 注水方式采用与横支管流垂直向下淹没注水, 并经过 DN100 P 型存水弯后进入横支管, 以保证无冲击现象。

压力数据通过某公司生产的测量精度为 $\pm 0.08\%$ 的 PX409-10WCGI 高精度压力传感器采集后, 通过数据模块传输至测试系统数据平台进行分析、保存。存水弯中的水封波动通过测量精度为 $\pm 0.2\%$ 的 CYB13XM 智能压力变送器测量, 并将信号传输至测试系统数据平台进行数据分析、存档。

整个测试过程总时长约 150 s, 当排水系统实际供水量达到设定值并稳定后进行压力数值采集, 采集周期为 200 ms, 压力数据采集时间为 60 s。测试地漏水封和存水弯水封分别通过视频监控系统实时读取。具体的试验工况如表 1 所示。

表 1 试验工况

Tab. 1 Test conditions

项目	排水立管管径/mm	通气立管管径/mm	顶部通气形式	底部连接形式
试验 1	100	100	双伸顶通气	通气立管接排出管
试验 2	100	75		
试验 3	100	50		

1.3 试验判定条件

参考《住宅生活排水系统立管排水能力测试标准》(CJJ/T 245—2016)中的测试方法, 并结合兹氏塔的试验条件, 本试验的通水能力判定需要同时满足以下条件: ①非放水层所有测压点的瞬间压力波动在 ± 400 Pa 范围之内; ②非放水层所有地漏的一次水封损失 ≤ 25 mm; ③每种流量下的试验至少进行两次并连续满足条件①和②; ④每个系统流量测试在同一条件下进行并应至少测试 3 次, 测试结果

取平均值, 当 3 次测试结果差值超过 10% 时, 应重新测试。

2 通气立管管径对排水系统通水能力的影响

2.1 排水系统各个楼层压力极限值比较

在试验 1、2 和 3 工况下得到的最大排水流量分别为 17、14、7.5 L/s, 在此最大排水流量条件下, 各个楼层的压力极限如图 3 所示。另外, 在 6 L/s 的相同排水流量条件下, 3 种工况各个楼层的压力极限如图 4 所示。

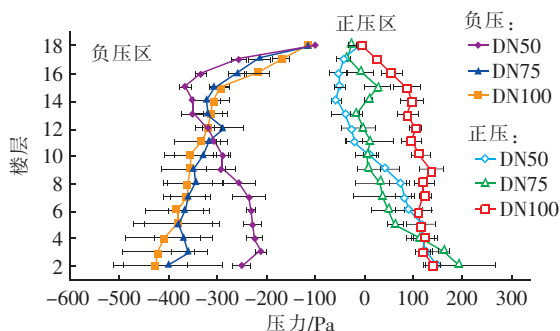


图 3 最大排水流量下各个楼层的压力极限

Fig. 3 Pressure limit of each floor under maximum drainage flow

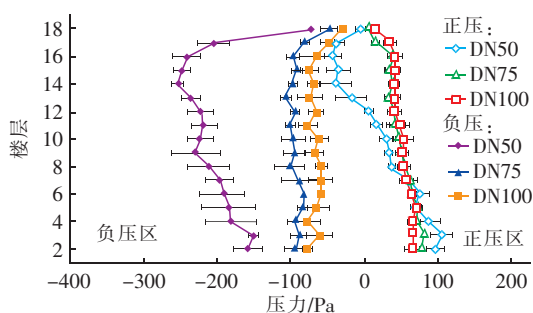


图 4 相同排水流量下各个楼层的压力极限

Fig. 4 Pressure limit of each floor under the same drainage flow

从图 3 和图 4 可以看出, 当试验 1 和试验 2 工况均采用最大排水流量(此时两种工况的通水能力相差 3 L/s)排水时, 试验 1 和试验 2 工况的负压较接近。试验 1 工况的最大排水流量约是试验 3 工况的 2 倍, 而在相同排水流量情况下, 试验 1 工况中系统产生的正负压极限值均不超过 100 Pa, 试验 3 工况中 14 层的负压已接近 -300 Pa。当排水流量达到压力极限时, 试验 3 工况在高楼层区域偏负压、在低楼层偏正压, 试验 2 工况在高楼层区域偏负压、在低楼层区域负压和正压均较大, 而在试验 1 工况中正负压相对均衡。推测可能是由于试验 1 和试验 2

工况中通气立管管径更大,排水立管更容易向通气立管中补气,弥补高速的排水所带来的影响,从而减少了排水造成的负压。

2.2 排水系统各个楼层的水封损失值比较

在试验1工况下, DN50 测试地漏在不同流量下的水封损失如图5所示。总体来看,排水流量越大,地漏的水封损失就越大;而且水封损失的变化情况比较稳定,流量每增长 4.0 L/s,水封损失的变化值都较为近似;但是当流量为 18.0 L/s 时,水损相比前几组增加的幅度更大,猜测是由于此时压力的波动峰值超过了水封破坏的极限值。

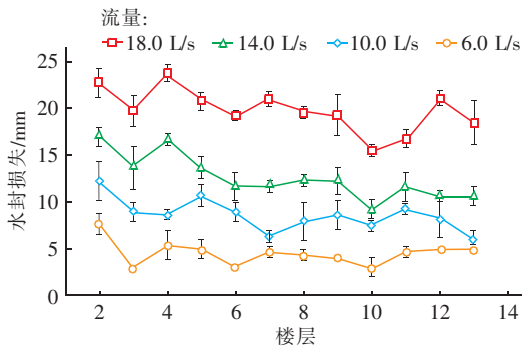


图5 测试地漏在不同流量下的水封损失

Fig. 5 Water seal liquid height loss of a test floor drain under different discharge rates

最大排水流量下各个楼层的水封损失如图6所示。可知,试验1工况下地漏和P型存水弯的水封损失值较大,略高于试验2工况下的水封损失值,由于该工况下的最大排水流量为 17.0 L/s,大于其他工况,且由前文可知系统的排水流量与水封损失成正比。而如图7所示,在相同排水流量条件下,通气立管管径越大,系统通气越流畅,系统产生的水封损失值也就越小,因此,试验3工况的卫生器具水封损失高于试验1和试验2工况,而试验1和试验2工况的水封损失差别不大,但是在13层处,试验1工况下的水封损失略高于试验2工况,推测是由于瞬间压力波动较大导致该楼层出现小幅度水封波动。

对比3个试验工况可知,通气立管管径对排水系统的最大排水流量有较大影响。当通气立管管径为 DN50 时,排水系统的通水能力较差;而当通气立管管径达到 DN75 和 DN100 时,排水系统的通水能力得到了显著改善,但是此时通气立管管径变化对排水系统通水能力的影响不太显著,而且最大流量下排水系统中卫生器具的水封损失相差较小。

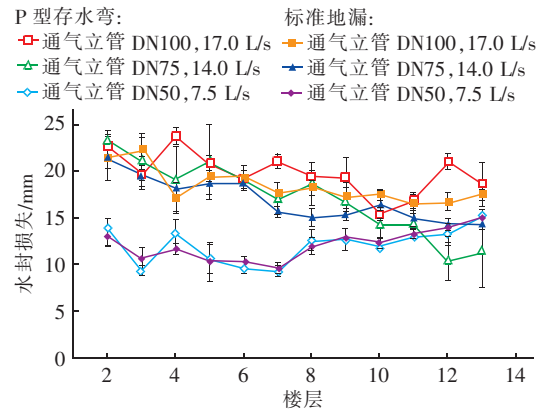


图6 最大排水流量下各个楼层的水封损失

Fig. 6 Water seal liquid height loss in each floor under maximum drainage flow

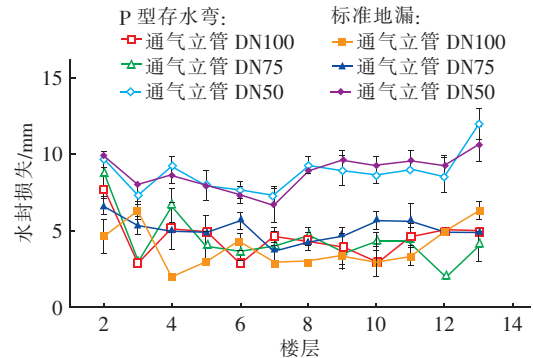


图7 相同排水流量下各个楼层的水封损失

Fig. 7 Water seal liquid height loss in each floor under the same drainage flow

2.3 不同工况下压力和水封损失值比较

以实验塔2楼作为对比楼层,分析2楼在不同工况下的压力极限和水封损失值,结果如图8和图9所示。

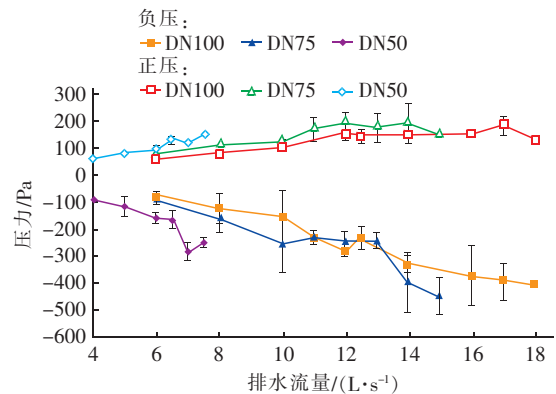


图8 不同排水流量下2楼的压力极限值

Fig. 8 Pressure limit of the second floor under different drainage flows

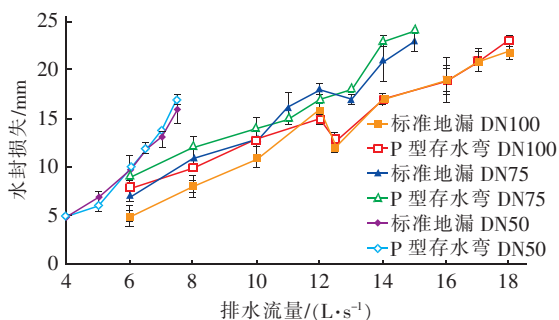


图9 不同排水流量下2楼的水封损失值

Fig. 9 Water seal liquid height loss of the second floor under different drainage flows

由图8可知,试验3工况下2楼的压力极限值受排水流量的影响明显高于试验1工况和试验2工况,这主要是因为试验1工况和试验2工况的通气立管管径较大,排水立管能够及时从通气立管补气,从而减少了排水流量产生的负压。从试验1和试验2的压力曲线对比可知,试验1工况受排水流量的影响低于试验2工况,但是整体差别不大,说明通气立管管径对排水流量的影响成为次要因素。虽然试验3工况的系统在7.5 L/s排水流量下产生的压力极限值远小于 ± 400 Pa,但是在该工况下,系统的水封被破坏,不能将该流量作为排水系统的最大流量。

根据图9,整体来看,P型存水弯受排水流量的影响略大于地漏受到的影响。相同排水流量情况下,试验2和试验3工况的卫生器具水封损失明显高于试验1工况,并且试验3工况的卫生器具水封损失高于试验2工况,这也说明安装管径较大的通气立管能够增强排水系统中低楼层区域的卫生器具的抗压能力,提高排水安全性。

2.4 不同排水流量下管道中的空气流量

不同排水流量下通气立管和排水立管中的空气流量如图10所示。可知,在这3个工况中,相同排水流量下,试验3工况中排水立管中的空气流量最大,而通气立管中的空气流量相差不大。对试验1和试验2工况,相同排水流量下,试验1工况排水立管中的空气流量较试验2的空气流量更大,试验1工况通气立管中的通气量较试验2工况的通气量更小,这两个工况的通气总量相近。

从排水立管的排水过程来看,水流向下流动形成环隔膜流,流动过程中会挟带着排水立管中的空气向下流动,可以认为,排水流量越大,排水流速越快,被挟带走的空气量就越多,导致差压测量仪测得

的空气流量就越大。而在排水过程中,当排水立管顶部进气量不足时,则由通气立管及时为排水过程补充气量。对于试验3工况,排水立管中的通气量大于通气立管的供气量,主要是因为排水立管中形成环隔膜流后,排水立管与横支管连接的位置被水隔膜封闭,通气立管的通气量难以进入排水立管,通气立管管径较小,补气不足,阻碍了排水的下泄,排水立管形成水塞,上部形成了负压,而横支管内的空气被排水立管挟带走。

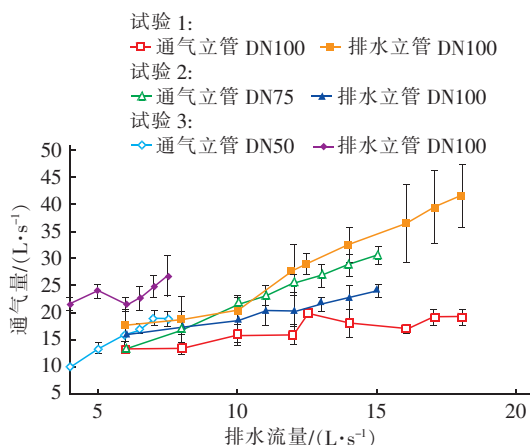


图10 不同排水流量下管道中的空气流量

Fig. 10 Air flow value in pipeline under different drainage flows

3 结论

对不同通气立管管径的副通气立管排水系统进行了大量试验研究,结果显示,通气立管管径与排水系统的通水能力呈正相关关系,但并不是线性关系。

① 通气立管管径为DN100时具有最大的排水流量(17.0 L/s),约为DN50通气立管管径时的2.3倍,通气立管管径为DN75时排水系统的最大通水能力(14.0 L/s)也接近达到了通气立管管径为DN50时(7.5 L/s)的2倍。

② 在《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)中,设专用通气立管的伸顶通气排水系统(双立管排水系统)在排水立管和通气立管管径都为DN100的情况下,设计的最大排水系统通水能力为10 L/s,对比来看,通气立管管径为DN75的副通气立管排水系统可以满足一般高层、超高层建筑的使用要求。

③ 在排水试验中,通气立管管径为DN75时系统的总通气量与通气立管管径为DN100时相近,而通气立管管径为DN50时系统的通气量明显高于

另两组工况,从试验结果来看,虽然该工况的进气量较其他工况更大,但是通气立管内的空气仍不能补充排水立管所挟带走的气体,这主要是因为管道内壁的水隔膜厚度较厚,而通气立管内的气流无法冲破水隔膜进入排水立管。通过进一步研究通气立管对排水立管的补气机理,将解决小通气立管管径排水能力低的问题,那么通气立管的管径可以进一步缩小,工程成本将进一步降低。

参考文献:

- [1] 张哲,杨鹏辉,李梦媛. 基于定流量排水方法的排水系统排水能力测试[J]. 中国给水排水,2015,31(19):150-154.
ZHANG Zhe, YANG Penghui, LI Mengyuan. Test of drainage capacity of drainage system with constant flow [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(19):150-154(in Chinese).
- [2] 龙会平. 建筑排水立管通水能力试验研究[D]. 长沙:湖南大学,2010.
LONG Huiping. Study on Discharge Capacity of Drainage System in Building[D]. Changsha: Hunan University, 2010(in Chinese).
- [3] 臧振武. 高层建筑排水管道系统的排水特性研究[D]. 北京:北京工业大学,2015.
ZANG Zhenwu. Study of Drainage Characteristics of Drainage Pipe System of High-rise Buildings [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2015 (in Chinese).
- [4] 吴克建,赵世明,袁玉梅,等. 瞬间流和定常流两种排水方式对水封损失的影响[J]. 给水排水,2016,42(8):91-94.
WU Kejian, ZHAO Shiming, YUAN Yumei, et al. The effects of transient flow and constant flow drainage on water seal loss [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(8):91-94(in Chinese).
- [5] 张晓燕,马信国. 室内排水系统排水能力关键参数气压值的探讨[J]. 给水排水,2008,34(6):72-77.
ZHANG Xiaoyan, MA Xinguo. Discussion on the air pressure value of key parameters of drainage capacity of indoor drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(6):72-77(in Chinese).
- [6] 王璐文,蒋承杰,俞亭超,等. 排水负荷对排水横干管压力波动的影响研究[J]. 中国给水排水,2013,29(19):70-72.
WANG Luwen, JIANG Chengjie, YU Tingchao, et al. Impact of drainage load on fluctuation of pressure in main horizontal drainage pipe[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(19):70-72(in Chinese).
- [7] 李梦媛,高峰,张哲,等. 高层建筑排水系统负压缓解试验研究[J]. 中国给水排水,2016,32(3):127-130.
LI Mengyuan, GAO Feng, ZHANG Zhe, et al. Experimental study on negative pressure relief of high-rise buildings drainage system [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(3):127-130(in Chinese).
- [8] 张哲,张文佳,赵珍仪. 高层建筑排水系统正压及负压缓解试验研究[J]. 住区,2016(6):52-57.
ZHANG Zhe, ZHANG Wenjia, ZHAO Zhenyi. An experimental study of positive and negative pressure relief of high-rise buildings drainage system [J]. Community Design, 2016(6):52-57(in Chinese).
- [9] 袁玉梅,李莉霞. 普通铸铁双立管通水能力试验研究[J]. 给水排水,2015,31(3):144-147.
YUAN Yumei, LI Lixia. Experimental research on water flow capability of ordinary cast iron double riser [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 31(3):144-147(in Chinese).

作者简介:尹浩然(1996-),男,江西吉安人,硕士研究生,主要研究方向为建筑给排水以及建筑消防理论等。

E-mail: haoranmu@outlook.com

收稿日期:2020-03-12

修回日期:2020-05-01

(编辑:刘贵春)