

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.19.020

顶部通气对副通气立管排水系统通水能力的影响

官钰希^{1,2}, 闫欣^{2,3}, 方正², 任少龙⁴

(1. 深圳市环境水务集团有限公司, 广东 深圳 518031; 2. 武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072; 3. 华北水利水电大学 环境与市政工程学院, 河南 郑州 450000; 4. 山西泺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 晋城 048400)

摘要: 通气管的设置能够极大提高建筑排水系统的通水能力,特别是副通气立管排水系统,其通气方式对通水能力影响巨大。在60 m高全尺寸实验塔内对设副通气立管的环形通气排水系统进行了通气立管顶部连接方式的对比实验,分析了排水过程中各测试楼层的压力波动、水封损失、排水系统通气量等变化规律。结果表明,通气立管和排水立管双伸顶通气方式较排水立管单伸顶和通气立管单伸顶的通气方式,其系统通水能力由12.5、15.0 L/s提高至17.0 L/s。由此可见,通气立管和排水立管双伸顶的通气方式能够极大地提高排水系统的通水能力,在部分不具备双伸顶通气的工程中,通气立管单伸顶的副通气立管系统可以作为双伸顶排水系统的替代系统。

关键词: 排水系统; 通气立管; 顶部通气方式; 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(2025)19-0141-06

Impact of Top Ventilation on Water Discharge Capacity of Secondary Vent Stack Drainage System

GUAN Yu-xi^{1,2}, YAN Xin^{2,3}, FANG Zheng², REN Shao-long⁴

(1. Shenzhen Water and Environment Group Co. Ltd., Shenzhen 518031, China; 2. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 3. School of Environmental and Municipal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450000, China; 4. National Building Drainage System Technology Center Laboratory, Shanxi Xuanshi Industrial Group Co. Ltd., Jincheng 048400, China)

Abstract: The installation of ventilation pipes can significantly improve the water discharge capacity of the building drainage system, particularly in secondary vent stack discharge systems, where the ventilation configuration exerts a substantial influence on water discharge capacity. A comparative experiment was carried out to evaluate the top connection methods of the vent stack in a circular ventilation and drainage system, incorporating a secondary vent stack, within a 60-meter-high full-scale experimental tower. This study analyzed the variation patterns of pressure fluctuations, water seal loss, and ventilation rate across different test floors during the drainage process. The implementation of a dual top ventilation method for both the vent stack and the drainage stack increased the system's water flow capacity from 12.5 L/s and 15.0 L/s to 17.0 L/s, in comparison with the single top ventilation approach

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2042021kf0059); 中国博士后科学基金资助项目(2021M702529)

通信作者: 方正 E-mail: zfang@whu.edu.cn

applied solely to the drainage stack and vent stack. Therefore, employing a double top ventilation method for both the vent stack and the drainage stack significantly enhanced the water discharge capacity of the drainage system. In cases where such double top ventilation is not feasible, a secondary vent stack system utilizing a single top vent stack can serve as an effective alternative to the double top drainage system.

Key words: drainage system; vent stack; top ventilation method; water discharge capacity; pressure limit; water seal loss

设有专用通气立管排水系统较仅设伸顶通气的排水系统具有更好的通气条件。目前,从国内外学者的相关研究结果来看,通气量对排水系统的通水能力具有明显影响,设有专用通气立管的排水系统较仅设伸顶通气的排水系统具有更好的通水能力^[1-5]。设副通气立管的环形通气排水系统属于设有专用通气立管排水系统的一种形式,该系统的排水立管与通气立管之间以连接有多个卫生器具的排水横支管相连,楼层与楼层之间构成了环形。目前,日本、欧洲、美国等的排水系统均采用了设副通气立管的环形通气排水系统,同时国内的部分高档住宅也采用了这种排水系统,但是国内外对设副通气立管的环形通气排水系统研究得比较少,通气情况对环形通气排水系统通水能力的影响研究则更为匮乏^[6-9]。

通过前期开展的副通气立管环形通气排水系统实验^[3-5]发现,通气立管顶部通气方式对排水系统的通水能力有着极大的影响。为了深入了解这一现象,笔者对设副通气立管的环形通气排水系统开展了顶部通气管不同连接形式下排水系统通水能力研究,并对系统的通气量、压力波动、卫生器具水封损失值等特征参数进行分析,旨在为实际工程应用提供参考。

1 实验系统及工况设计

实验在全国建筑排水管道系统技术中心实验室兹氏实验塔进行。测试系统的排水立管、通气立管、结合通气管均为卡箍连接的W型柔性接口铸铁管,管径均为DN100。排水立管与横支管采用T型三通进行连接,结合通气管高度为1.5 m,实验过程中采用Y型三通+45°弯头与通气立管进行连接。测试系统排水立管底部采用3D大曲率弯头,排出管管径为DN150,坡度为0.01。综合参考相关文献^[10-15],通气立管底部采用通气立管末端连接排水横干管的连接方式。

测试楼层横支管上连接有一个DN50地漏、一个P型存水弯(DN100)。测试楼层排水系统安装方式如图1所示。实验采用的三种通气方式见图2。排水立管、横支管、通气帽、排出管等安装均符合《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)相关要求。



图1 实验楼层排水系统安装形式

Fig.1 Installation form of drainage system on experimental floor

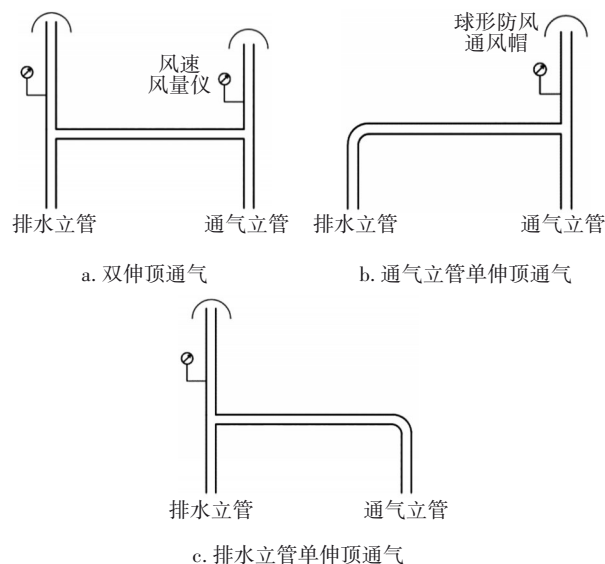


图2 不同通气方式安装示意

Fig.2 Schematic diagram of installation of different ventilation methods

流量测试采用定流量法,通过电磁阀远程控制供水启停。测试流量时,供水系统从18层开始逐层

向下放水,以0.5 L/s为起始值,以0.5 L/s为增长幅度逐次增加排水流量,每个放水层流量不超过2.5 L/s,本层达到2.5 L/s后,再开启下一层电磁阀放水。由于该副通气立管排水系统的承压能力极强,因此在实验中提高每层排水流量限额,每层供水的最大流量为3.5 L/s。

P型存水弯和DN50地漏的水封损失利用高精度压力传感器进行采集后,通过数据模块传输至测试系统数据平台进行数据分析和保存。整个测试过程时长不少于150 s,数据采集周期为50 ms,压力数据采集时间为流量稳定后持续60 s。实验工况见表1。参考《住宅生活排水系统立管排水能力测试标准》(CECS 336—2013)对实验进行评价。

表1 实验工况

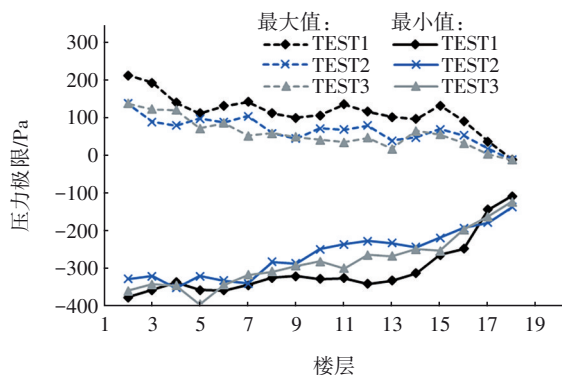
Tab.1 Test conditions

工况	顶部通气形式	最大排水流量/ (L·s ⁻¹)
TEST1	双伸顶通气	17.0
TEST2	通气立管单伸顶通气	15.0
TEST3	排水立管单伸顶通气	12.5

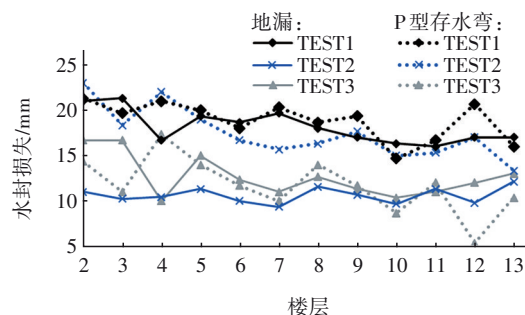
2 结果与讨论

2.1 最大流量下排水系统各楼层的压力极限

在不同工况下,最大排水流量时各楼层的压力极限如图3(a)所示。可以看出,在压力极限相近的情况下,TEST1的正压较另两种工况更大,并且各楼层的正负压极限较为均衡。从排水系统压力变化整体情况来看,实验塔高楼层的负压较小,低楼层的负压较大。而TEST1工况的水封损失较TEST2和TEST3工况更大,P型存水弯水封损失较标准地漏的水封损失更大,这主要是因为TEST1工况的最大流量较其他两种工况大。



a. 各楼层的压力极限



b. 2~13层的水封损失

图3 最大排水流量下各楼层的压力极限及2~13层的水封损失

Fig.3 Pressure limits of each floor and water seal loss of 2-13 floors at the maximum drainage flow

对于TEST3来说,虽然该系统在12.5 L/s排水流量下的负压极限已经临近-400 Pa,但其地漏和P型存水弯的水封损失还比较小,如图3(b)所示,如果采用更大排水流量进行实验,虽然压力极限可能超过-400 Pa,但是水封损失值可能仍在规范允许的范围内。对于TEST2来说,该系统对地漏水封损失的影响较小,但是对P型存水弯的影响较大,2楼P型存水弯的水封损失达到22 mm,超过了TEST1工况中2楼P型存水弯的水封损失(21 mm)。

2.2 12.5 L/s流量下排水系统各楼层压力极限

为了更直观地对比伸顶通气管不同连接方式对排水系统通水能力的影响,分析TEST1、TEST2、TEST3三种工况在12.5 L/s流量下的瞬时压力极限和水封损失,结果如图4所示。由图4(a)可知,在相同流量条件下,TEST3工况的负压明显高于其他2种工况,且TEST1、TEST2工况的压力极限差别不大。从系统安装情况来看,TEST1工况采用双伸顶形式,即排水立管和通气立管都伸出屋顶并安装通气帽,该形式的排水系统在12.5 L/s的排水流量下,系统的负压不超过-250 Pa,正压极限也在100 Pa左右,正负压相对均衡,压力曲线良好,在排水流量达到17.0 L/s时系统压力也未超过±400 Pa。TEST2工况采用排水立管顶部通过一横管与通气立管采用T型三通相连,通气立管顶部伸顶通气,从实验结果来看,该系统也具有较好的排水能力,当其与TEST1工况排水流量均为12.5 L/s时,压力曲线接近,但是最大排水流量较TEST1低了2.0 L/s,仍远远高于《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)中主通气立管+环形通气管的排水流量(8.0 L/s),说明

该系统通水能力略弱于双伸顶通气排水系统,但是在部分不具备双伸顶通气的工程中,其可以作为双伸顶排水系统的替代系统。TEST3工况采用的是通气立管顶部通过横管和T型三通连接到排水立管上,由排水立管伸顶通气,该系统的通气情况与以往的采用H管连接代替结合通气管连接的设有专用通气立管排水系统相似,排水过程中通气立管无法很好地达到补气作用,系统负压无法得到缓解,故该排水系统的通气效果较差。

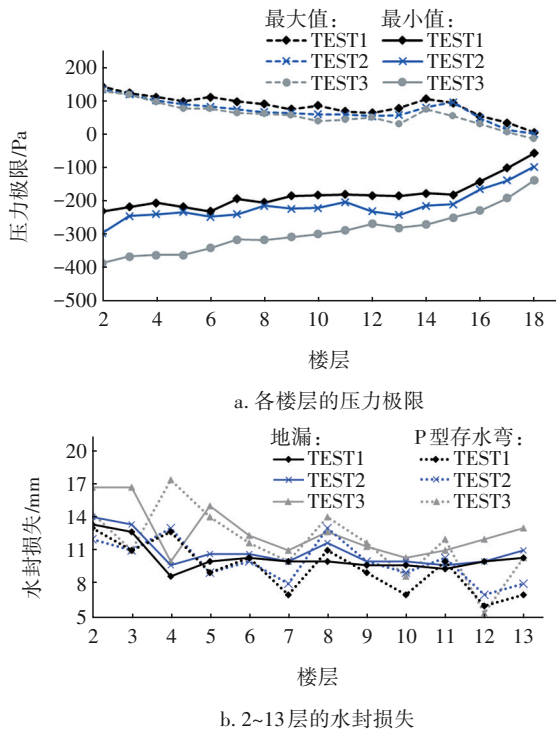


图4 12.5 L/s流量下各楼层的压力极限以及2~13层的水封损失

Fig.4 Pressure limits of each floor and water seal loss of 2-13 floors at the drainage flow of 12.5 L/s

从图4(b)可以看出,相同流量情况下,不同排水系统形式卫生器具的水封损失相差不大,但是不同卫生器具和不同楼层之间的差别较大。整体而言,P型存水弯的水封损失略高于标准地漏的水封损失,这主要与卫生器具的水封构造有关。从不同楼层的水封损失来看,底部楼层的水封损失大于高区楼层的水封损失,这主要是因为底部楼层的负压较大,而负压对水封的抽吸作用是引起水封损失的主要因素,因此底部楼层较高区楼层优先选择深水封的卫生器具。

2.3 实验塔2楼和13楼不同工况下的压力极限

以2楼作为对比楼层,分析2楼在不同工况下的压力极限,如图5所示。可知,不同伸顶方式工况下,2楼受排水过程影响产生正负压的极限值差别不大。当排水流量 $<13.0 \text{ L/s}$ 时,TEST1、TEST2、TEST3三种工况2楼在不同流量下产生的正压曲线几乎重合,但是负压曲线有一定区别,TEST1和TEST2工况的压力曲线明显优于TEST3工况的。

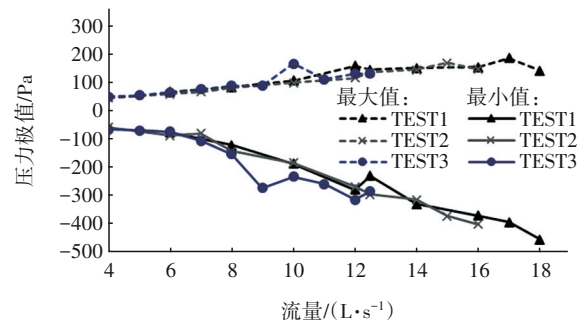


图5 不同排水流量下2楼的压力极限

Fig.5 Pressure limit of the second floor under different discharge flows

考虑到顶部伸顶通气情况对高楼层压力缓解作用更为明显,以13楼作为对比楼层,分析13楼在不同工况下的压力极限,如图6所示。与2楼情况相似,在不同伸顶方式下,13楼受排水过程影响产生的正负压极限值差别不大。TEST3工况的负压较TEST1和TEST2工况更低。

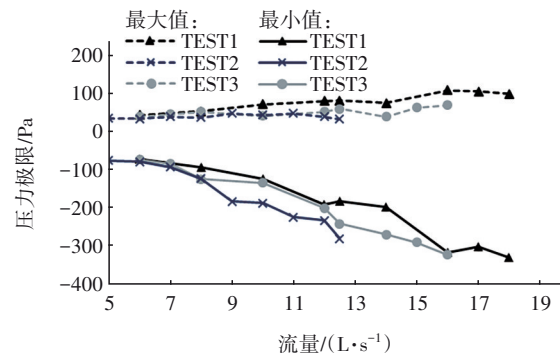


图6 不同排水流量下13楼的压力极限

Fig.6 Pressure limit of the thirteen floor under different discharge flows

2.4 不同工况和流量下通气量分析

不同工况和流量下管道中通气量的变化如图7所示。可知,3种工况下,排水流量越大,排水立管中的通气量越大。虽然TEST1工况中排水立管与通气立管独立测得的通气量较TEST2和TEST3工况

小,但是 TEST1 排水系统总通气量与 TEST2 和 TEST3 在相同流量下的通气量相近。当排水流量为 9.0~12.0 L/s 时,TEST3 工况排水系统的通气量略大于 TEST2 工况的通气量,说明此时该工况系统大气环境补气量大于 TEST2 工况系统,当通气立管中的通气量不能满足排水立管通气量的需求时,排水会挟带横支管中的空气排出系统,导致横支管产生负压。对比图 5 和图 7 可以发现,排水系统中通气量越大,产生的负压就越大。

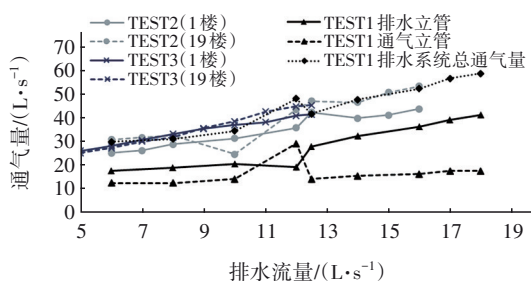


图7 不同工况和流量下管道中通气量的变化

Fig.7 Change in air flow under different working conditions and discharge flows

另外,从测量结果来看,排水系统的通气量远大于排水流量,通气量与排水流量呈线性关系,并且相关性较好,但是不同系统中排水流量与通气量关系式的系数不尽相同,需要进一步对比分析。

3 结论

① 不同伸顶方式对带副通气立管的环形通气排水系统的通水能力有很大影响。最大排水流量排序为:双伸顶排水系统>排水立管接通气立管伸顶系统>通气立管接排水立管伸顶系统,这说明通气立管补气是否通畅对排水系统的通水能力有极大影响。

② 排水立管接通气立管后又伸顶的工况,其排水流量达到 15.0 L/s,远高于《建筑给水排水设计标准》中环线通气系统排水流量(8.0 L/s),在不具备双伸顶通气的条件下,采用该种通气方式也能满足大部分高层、超高层建筑的排水要求。

③ 通气立管接排水立管后由排水立管伸顶的系统结构与标准的采用 H 管连接的双立管排水系统结构相似,因此其排水能力与采用 H 管连接的双立管排水系统也很接近,由于通气立管补气不畅,该系统的最大排水流量(12.5 L/s)约为副通气立管排水系统(17.0 L/s)的 2/3。

④ 对比 TEST1、TEST2、TEST3 三种工况发现,

排水流量越大,卫生器具的水封损失越大,但是在相同排水流量下,双伸顶副通气立管排水系统的卫生器具水封损失最小。

⑤ 对于建筑排水系统,双伸顶排水系统排水立管与通气立管的总通气量与同流量下单伸顶通气工况测定的通气量相近,这意味着进入排水系统内部的气体总量一致,但是通气立管的气体 and 排水立管内空气量分配的比例不同,这是影响排水系统通水能力的关键因素,需要进行深入研究。

⑥ 从工程应用角度来看,有条件的建筑建议采用带副通气立管的双伸顶环形通气排水系统,其通气良好,排水量较大,对卫生器具水封破坏最小。

参考文献:

- [1] 朱诗慧,张哲,赵珍仪,等. 顶部通气方式对专用通气排水系统的影响[J]. 中国给水排水, 2020, 36(17): 62-68.
ZHU Shihui, ZHANG Zhe, ZHAO Zhenyi, et al. Influence of top ventilation mode on special ventilation and drainage system [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(17): 62-68 (in Chinese).
- [2] 赵珍仪,李博远,张哲,等. 结合管设置方式对专用通气排水系统通气的影响[J]. 中国给水排水, 2017, 33(23): 125-129.
ZHAO Zhenyi, LI Boyuan, ZHANG Zhe, et al. Influence of yoke vent setting on ventilation of specific vent stack drainage system [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(23): 125-129 (in Chinese).
- [3] 尹浩然,官钰希,任少龙,等. 通气立管管径对副通气立管排水系统通水能力的影响[J]. 中国给水排水, 2021, 37(11): 40-45.
YIN Haoran, GUAN Yuxi, REN Shaolong, et al. Influence of vent pipe diameter on water capacity of drainage system with auxiliary vent pipe [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(11): 40-45 (in Chinese).
- [4] GUAN Y X, FANG Z, TANG Z, et al. Influence of the vent pipe diameter on the discharge capacity of a circuit vent building drainage system [J]. Building Services Engineering Research and Technology, 2020, 41(1): 5-24.
- [5] GUAN Y X, FANG Z, YUAN J P, et al. Influence of installation of S-shaped pipe offset on the water flow capacity of double stack drainage system in a high-rise

- building [J]. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2020, 41(5): 603–622.
- [6] GUAN Y X, YAN X, SHANG Y, *et al.* Influence of vent pipe bottom connection position on the discharge capacity of two building drainage pipe systems [J]. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 2022, 13(4): 04022036.
- [7] 樊政鑫. 建筑立管强化通风作用下污水管道气流组织特性模拟研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2021.
- FAN Zhengxin. *Simulation Study on Airflow Organization Characteristics of Sewage Pipeline under Enhanced Ventilation of Building Risers* [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2021 (in Chinese).
- [8] 尹浩然. 高层排水立管偏置对系统排水能力的影响研究[D]. 武汉:武汉大学, 2021.
- YIN Haoran. *Study on Discharge Capacity under the Influence of Drainage Riser Offset on Drainage System in High-rise Residential Buildings* [D]. Wuhan: Wuhan University, 2021(in Chinese).
- [9] 张哲, 张勤, 高彬, 等. 采用瞬间流法的伸顶通气排水系统排水能力测试[J]. *中国给水排水*, 2015, 31(17): 142–145.
- ZHANG Zhe, ZHANG Qin, GAO Bin, *et al.* Study on drainage capacity of extended ventilation drainage system with instantaneous flow [J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(17): 142–145 (in Chinese).
- [10] 李梦媛, 张勤, 张哲. 采用瞬间流法的专用通气排水系统排水能力研究[J]. *中国给水排水*, 2015, 31(15): 139–142.
- LI Mengyuan, ZHANG Qin, ZHANG Zhe. Study on drainage capacity of specific vent stack drainage system using instantaneous flow [J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(15): 139–142 (in Chinese).
- [11] 张哲, 赵珍仪, 张轶芳, 等. DN100 铸铁伸顶通气系统排水能力研究[J]. *中国给水排水*, 2017, 33(13): 135–138.
- ZHANG Zhe, ZHAO Zhenyi, ZHANG Yifang, *et al.* Drainage capacity of DN100 cast iron pipe in extended ventilation drainage system [J]. *China Water & Wastewater*, 2017, 33(13): 135–138 (in Chinese).
- [12] 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).
- [13] GUAN Y X, YAN X, FANG Z, *et al.* Mathematical model and experiment analysis of pressure fluctuation inside dual-stack drainage system in residential buildings [J]. *Water Science and Technology*, 2022, 85(10): 3145–3158.
- [14] LI Q W, YAN X, SHANG Y, *et al.* Overcoming the influence of a 2 metre long pipe offset on water flow capacity of drainage with secondary ventilation in a high-rise building [J]. *Building Services Engineering Research & Technology*, 2022, 43(6): 741–753.
- [15] 周逢源, 赖江涛, 王定城. 基于新旧规范更替的排水系统选用探讨[J]. *给水排水*, 2021, 47(S2): 378–381.
- ZHOU Fengyuan, LAI Jiangtao, WANG Dingcheng. Discussion on the selection of drainage system under the background of replacement of old and new codes [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 47(S2): 378–381(in Chinese).
-
- 作者简介:** 官钰希(1990–), 女, 江西上饶人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为建筑给排水特性和厨房排水系统沉积机理等。
- E-mail:** yuxi.guan@hotmail.com
- 收稿日期:** 2023-05-19
- 修回日期:** 2023-07-26

(编辑:任莹莹)