

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.01.010

# 底部连接对副通气立管排水系统通水能力的影响

闫欣<sup>1,2</sup>, 官钰希<sup>2,3</sup>, 方正<sup>2</sup>, 任少龙<sup>4</sup>, 尹浩然<sup>2,5</sup>

(1. 华北水利水电大学 环境与市政工程学院, 河南 郑州 450000; 2. 武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072; 3. 深圳市环境水务集团有限公司, 广东 深圳 518031; 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; 5. 深圳市深中南山创新学校, 广东 深圳 518000)

**摘要:** 排水立管底部的水体流速较大,因此流态波动性极强,往往会产生极大的正压。基于此,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底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、排水系统通气量的变化规律。结果表明,通气立管底部连接在排水立管上的工况最大通水能力为8.5 L/s,而连接在横干管的工况最大通水能力提升了100%(17.0 L/s)。对于通气立管连接到排水立管后由排水立管伸顶通气的连接方式,通气立管未连接底部排水干管的仅为7.0 L/s,而底部连接的最大通水能力为12.5 L/s。由此可见,通气立管底部连接至排水横干管的工况能够极大地提高排水系统的通水能力,在工程中可以通过改变连接方式来提高系统的排水能力。

**关键词:** 通气立管; 底部连接; 通水能力; 水封损失

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)01-0062-06

## Influence of Bottom Connection on Capacity of Secondary Vent Riser in Building Drainage System

YAN Xin<sup>1,2</sup>, GUAN Yu-xi<sup>2,3</sup>, FANG Zheng<sup>2</sup>, REN Shao-long<sup>4</sup>, YIN Hao-ran<sup>2,5</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450000, China; 2. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 3. Shenzhen Water and Environment Group Co. Ltd., Shenzhen 518031, China; 4. National Building Drainage System Technology Center Laboratory, Shanxi Xuanshi Industrial Group Company, Jincheng 048400, China; 5. SZMS Nanshan Innovation School, Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** The water flow rate at the bottom of drainage riser is large, so the flow pattern is extremely volatile and often produces great positive pressure. Therefore, this paper compared the pressure fluctuation, water seal loss and airflow rate of each test floor in a circuit vent drainage system belonged to a 60-meter-high full-size experimental tower with different bottom connection modes of secondary vent riser. The maximum discharge capacity of the system with bottom of the vent riser connecting to the

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); 中国博士后科学基金资助项目(2021M702529)

通信作者: 官钰希 Email: yuxi.guan@hotmail.com

drainage riser was 8.5 L/s, while the maximum discharge capacity of the system with bottom of the vent riser connecting to the horizontal main was increased by 100% (17.0 L/s). For the system with vent riser connecting to the drainage riser and vented by the top of drainage riser, the maximum discharge capacity was only 7.0 L/s when the vent riser was not connected to the bottom main, and the maximum discharge capacity of the system with vent riser connecting to the bottom main was 12.5 L/s. Therefore, the bottom of the vent riser connecting to the horizontal main greatly improved the drainage capacity of the drainage system, and the drainage capacity could be improved by changing the connection mode in engineering.

**Key words:** vent pipe; pipe bottom connection position; discharge capacity; water seal loss

建筑排水系统对建筑内部环境舒适度有着重要影响,一旦排水系统连接的卫生器具发生水封破坏,污废气体会进入室内,严重影响室内空气质量和居住者的健康。因此,国内外已经开展了大量建筑排水实验对不同类型的排水系统进行了分析<sup>[1-2]</sup>。但是,由于国外高层、超高层建筑的应用多为酒店、写字楼,民用住宅较少,国外对建筑排水系统的测试大部分都是在多层建筑中开展的。国内在东莞万科塔和山西泺氏塔都开展了大量排水实验,楼层高度基本满足高层建筑测试需求。

然而,国内开展的实验大多针对普通 H 型连接的设有专用通气立管的双立管排水系统,很少对环形通气排水系统展开实验<sup>[3-5]</sup>。事实上,环形通气排水系统由于排水立管与通气立管由排水横支管和环形通气管连接,通气更为顺畅,同时避免了排水立管内污(废)水返流的现象,排水能力更强,排水性能更佳。

在大量副通气立管环形通气排水系统的实验中<sup>[6]</sup>,发现通气立管底部连接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,笔者对两组不同通气方式的环形通气排水系统的通气立管底部连接方式分别进行了对比实验,并对系统的压力波动、卫生器具水封损失、通气量这 3 个特征参数进行了详细观测,同时对通气立管底部的连接方式提出了建议,旨在为实际工程应用提供一定参考。

1 实验系统及工况设计

采用山西泺氏实验塔进行实验,实验系统、管道材质和连接方式参照文献<sup>[6]</sup>,测试楼层横支管的安装方式如图 1 所示。实验工况如表 1 所示。不同底部连接方式和顶部通气方式分别如图 2 和图 3 所示。



图 1 实验层排水系统安装形式

Fig.1 Installation form of drainage system in test floor

表 1 实验工况设计

Tab.1 Design of experimental 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
实验 1	100	100	双伸顶通气	通气立管接横 干管
实验 2	100	100	双伸顶通气	通气立管接排 水立管
实验 3	100	75	通气立管接排 水立管	通气立管接横 干管
实验 4	100	75	通气立管接排 水立管	通气立管接排 水立管

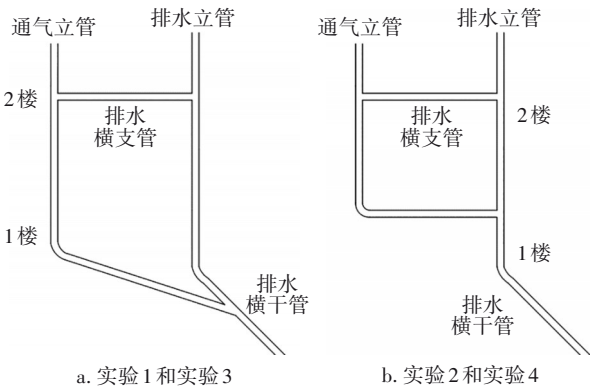


图 2 通气立管底部连接方式示意

Fig.2 Schematic diagram of connection modes of vent pipe bottom

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》(GB 50015—2019)中的相关规定。实验评判参考《住宅生活排水系统立管排水能力测试标准》(CECS 336—2013)。

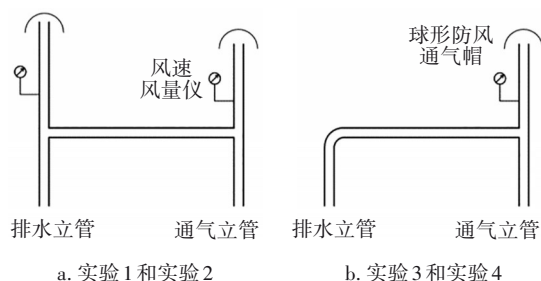


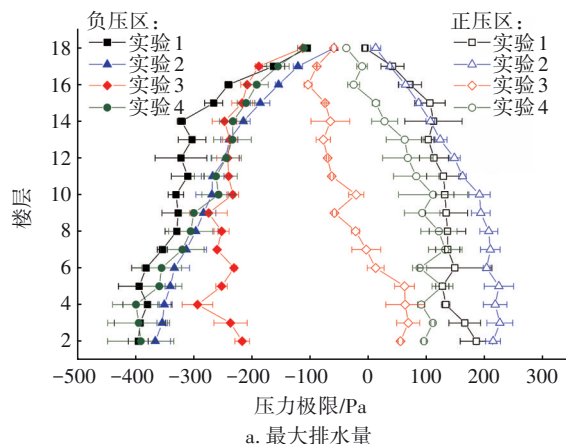
图3 排水立管顶部通气方式示意

Fig.3 Schematic diagram of connection modes of vent pipe top

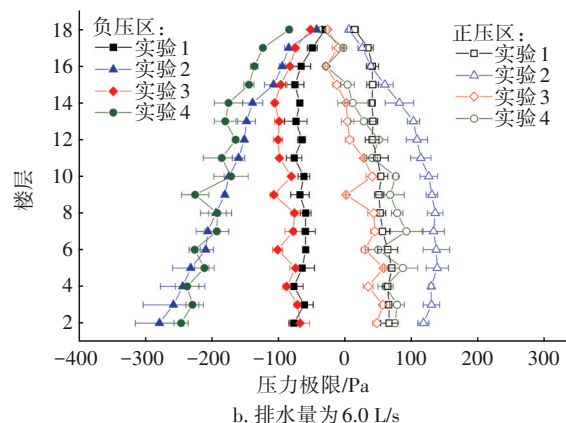
## 2 底部连接方式对通水能力的影响

### 2.1 排水系统各楼层的压力极限

实验1~4的最大排水量分别为17.0、8.5、12.5、7.0 L/s。相比于双伸顶通气方式和通气立管接排水立管的传统通气方式,一楼通气立管底部连接横干管排水方式分别提高了系统最大排水量的100%和78.6%。不同工况下最大排水量和排水量为6.0 L/s下各楼层的压力极限见图4。实验1和实验2的通水能力差别很大,两者均达到压力极限的最大排水量,且实验1的最大排水量为实验2的2倍;在相同排水量(6.0 L/s)情况下,实验1产生的正负压极限值均不超过100 Pa,而实验2中2楼的负压接近300 Pa,这对该楼层附近排水横支管连接卫生器具的水封损失影响很大。实验1的正负压相对均衡,压力平均值接近于0,而实验2中系统略偏负压区。实验3的最大排水量(12.5 L/s)接近实验4的(7.0 L/s)2倍。



a. 最大排水量



b. 排水量为6.0 L/s

图4 最大排水量和排水量为6.0 L/s下各楼层的压力极限

Fig.4 Pressure limit of each floor under maximum and 6.0 L/s drainage flow

对比实验3和实验4在排水量均为6.0 L/s下各楼层压力极限发现,实验4在该排水量下各楼层压力极限约为实验3的2倍。当排水量为6.0 L/s时,实验3的正负压较均衡,大多在 $\pm 100$  Pa范围内,系统压力平均值接近于0。

对于副通气立管排水系统来说,通气立管底部连接上排水横干管能够有效提高该系统的最大通水能力。在相同排水量情况下,通气立管底部连接横干管的方式能够将最大负压降低2/3,并且该系统对通水能力的提升程度较设专用通气立管的排水系统更明显。这是由于以下两方面原因:首先,从系统结构来看,副通气立管排水系统由于排水立管与通气立管通过横支管连接,横支管上的卫生器具可以直接通过通气立管补气,系统各层受到的压力波动能够及时得到缓解;另一方面,在系统整体压力有所缓解的情况下,副通气立管与排水横干管连接,排水立管底部和横干管内整体空气流动顺畅,可极大改善横干管水跃情况。与此同时,通气立管底部连接在排水横干管上时,形成的空气环形通路较传统双立管排水系统更大,因此受到排水过程的影响较小,副通气立管排水系统对通水能力的改善作用更为明显。

### 2.2 排水系统各楼层的水封损失

图5为最大排水量下各楼层卫生器具的水封损失。可知,在最大排水量情况下,不同实验各楼层的地漏和P型存水弯的水封损失波动均较大。这是因为卫生器具的水封损失量与压力波动极限呈正相关关系<sup>[7-8]</sup>。相同排水量下,连接横干管的系统通气越流畅,系统压力波动越小,同时水封损失也越

小。当通气立管汇入排水立管时,因有水膜厚度的影响,通气立管中的空气被水膜隔开,导致系统底部横干管的通气效果较差,造成底部楼层的负压增大。

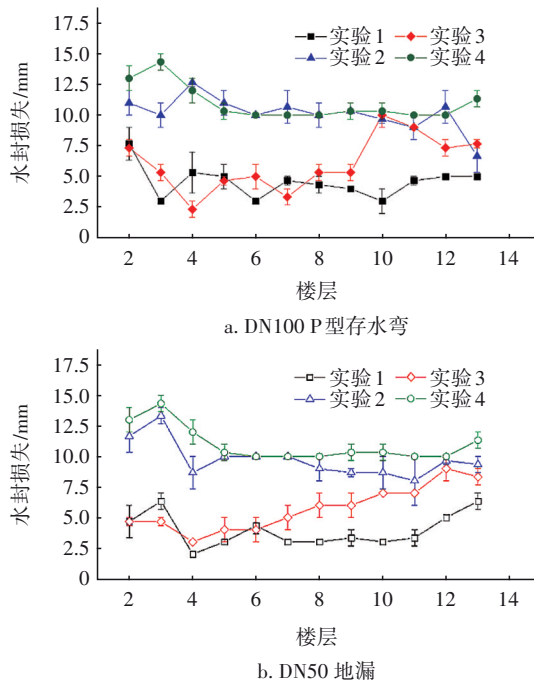


图5 最大排水量下各楼层卫生器具的水封损失

Fig.5 Water seal loss of sanitary appliances under maximum discharge flow

在最大排水量下,当通气立管底部连接排水横干管时,高楼层区域的水封损失较低楼层的小。可见,通气立管底部连接横干管对低楼层区域卫生器具的通气情况有改善作用,降低了排水过程产生的负压影响。因此,将通气立管底部连接到横干管的方式对系统通气具有较好的辅助作用,其安装方式较为简单,在实际工程中有较好的应用潜力。

### 2.3 实验塔2楼不同工况下压力和密封损失值

考虑到1楼通气立管连接横干管对低楼层压力的缓解作用更明显,以2楼作为对比楼层,分析2楼在不同工况下的压力和密封损失。不同排水量下2楼的压力极限如图6所示。由图6可以看出,排水量越大,排水系统内产生的压力就越大,但是不同系统受到排水量影响的程度有一定差别。实验2工况下2楼压力极限因受到排水量的影响而明显高于实验1的,这是因为实验1工况下通气立管底端连接在横干管上,排水立管挟带走横支管的空气后,通气立管末端能够及时对低楼层进行补气,从而降低了在该排水量下产生的负压。对比实验1和实验

3的压力曲线可知,实验3工况下受到排水量的影响低于实验1的,这可能是跟排水系统顶部通气情况和通气立管管径有关。由文献[7]可知,通气立管管径为DN75时系统压力的波动与通气立管管径为DN100的相近。可以推测,系统顶部通气方式对排水量有较大影响,需要进一步开展实验验证。虽然实验3工况下系统在排水量为12.5 L/s条件下产生的压力极限远小于 $\pm 400$  Pa,但是该工况下,系统的水封发生破坏,不能将该排水量作为系统的最大排水量。

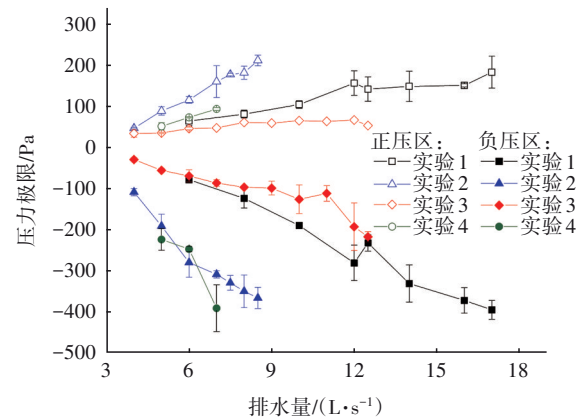
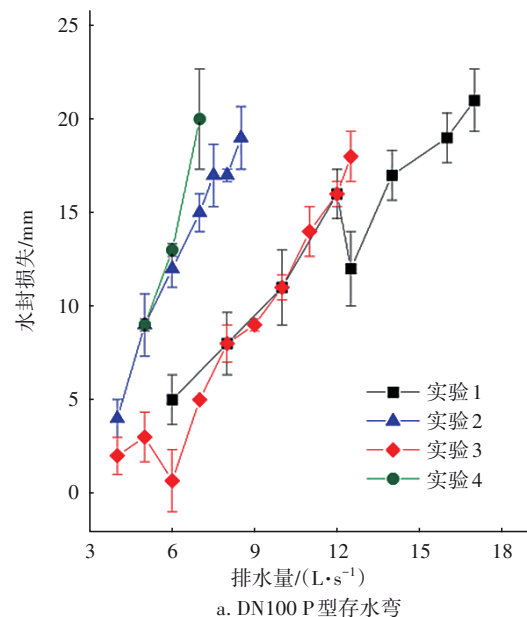


图6 不同排水量下2楼的压力极限

Fig.6 Pressure limit of the second floor under different discharge flow

图7为不同排水量下2楼卫生器具的水封损失。可知,排水量越大,排水系统内产生的水封损失就越大,但是不同卫生器具受到排水量影响的程度有一定差别。





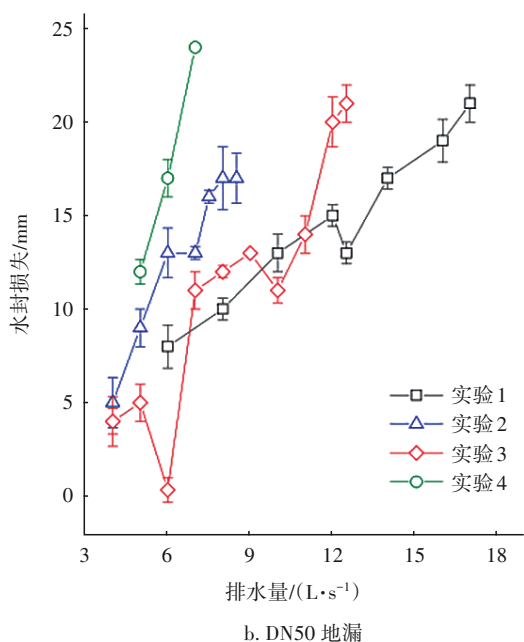


图7 不同排水量下2楼卫生器具的水封损失

Fig.7 Water seal loss of sanitary appliances under different discharge flow

整体来看,P型存水弯受到排水量的影响大于DN50地漏受到的影响。这主要有两点原因:一方面, DN100 P型存水弯内水封容积较DN50地漏更大,因此在受到压力波动时,P型存水弯波动较大;另一方面, DN50地漏为双层结构,该结构较P型存水弯具有更高的抗压能力,因此产生的水封损失更小。

在最大排水量下,实验1工况2楼DN50地漏和P型存水弯的水封损失差别较小,而当排水量 $<10.0$  L/s时, DN50地漏和P型存水弯的水封损失差别较大。在相同排水量条件下,实验2工况卫生器具的水封损失明显高于实验1的,这也说明实验1的安装方式能够增强排水系统中低楼层区域卫生器具的抗压能力,提高了排水安全性。

#### 2.4 不同排水量下的通气量和空气流速

不同排水量下管道中的通气量如图8所示。可知,在4组实验中,排水量越大,排水立管中的空气流量就越大。相同排水量下,通气立管末端连接横干管工况(实验1和实验3)管道中的通气量较通气立管末端连接排水立管工况(实验2和实验4)的通气量小。当排水量为 $8.0$  L/s时,实验1排水系统中的通气量总和为 $31.1$  L/s,远小于实验2的( $48.6$  L/s)。对于实验1的工况,不同排水量对通气立管通气量的影响较小,但是对排水立管中通气量的影响

较大。而在实验2工况中,当排水量 $<6.0$  L/s时,通气立管中的通气量无明显变化;当排水量 $>6.0$  L/s时,排水立管和通气立管中的通气量受排水量的影响较大。对于实验3和实验4,实验3中排水立管顶部和底部测定的通气量差别不大,而通气立管末端连接排水立管的实验4,则1楼测定的通气量大于19楼的,说明在排水过程中,排水挟带了部分横支管中的空气向下流动,造成了系统负压,而通气立管末端连接横干管的工况对排水过程中产生的负压有一定缓解作用。

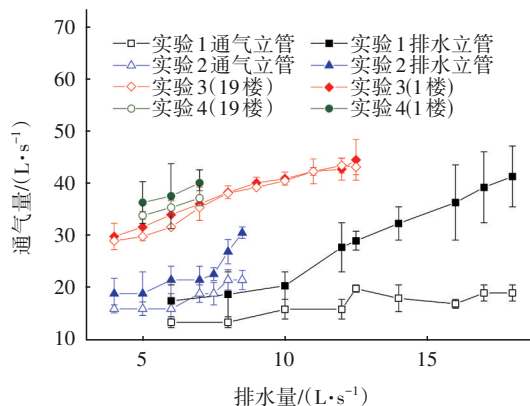


图8 不同排水量下管道中的通气量

Fig.8 Airflow rates in pipe under different discharge flow

### 3 结论

① 通气立管底部连接横干管可以极大地提高排水系统的通水能力。对于双伸顶通气系统,其通水能力提高了100%;对于通气立管连接到排水立管后又再伸顶通气的情况,其通水能力也提升了78.6%。

② 通气立管底部连接横干管后对系统负压也有较好的缓解作用;而当通气立管底部连接在排水立管上时,由于排水立管底部流量较大,形成的水膜较厚,通气立管底部补气不畅,影响了通气效果,导致排水系统底部负压偏大,通水能力也显著降低。

③ 在相同排水量条件下,通气立管底部连接在横干管上时,卫生器具产生的水封损失较通气立管底部连接在排水立管更小,在工程中能够很好地缓解高层、超高层建筑底部楼层返臭的现象,值得进一步推广应用。

#### 参考文献:

[1] 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).
- [2] 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).
- [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 in Drainage Pipe System in High-rise Building [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2015 (in Chinese).
- [4] 李泽裕. 建筑排水系统水封特性及其工程应用研究[D]. 福州:福州大学,2013.
- LI Zeyu. Study on Characteristics of Water Seal and Its Engineering Application in Building Drainage System [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2013(in Chinese).
- [5] 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]. Design Community, 2016(6):52-57(in Chinese).
- [6] 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).
- [7] 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.
- [8] 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.

作者简介:闫欣(1992-),女,河南郑州人,博士,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:yanxin2020@whu.edu.cn

收稿日期:2023-06-16

修回日期:2023-08-26

(编辑:任莹莹)

依法划定河湖管理范围

严格水域岸线水生态空间管控