

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.21.022

不伸顶通气双立管排水系统通水能力定流量测试

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: 在高层、超高层建筑中,为了建筑的美观性或是满足其他性能要求,排水系统无法伸顶通气。在山西60 m高泺氏塔内进行了3种不伸顶通气排水系统与标准通气排水系统的通水能力对比实验,通过定流量法验证了不伸顶通气形式对标准通气排水系统通水能力的削减程度。不伸顶通气形式对不同类型排水系统通水能力的影响不同,结合通气排水系统受影响最大,排水能力削减了81.25%,设副通气立管的环形通气排水系统受影响较小,改装后仍具有7.0 L/s的排水流量。不伸顶通气形式会给排水系统高层楼层造成极大的负压,影响高层区域卫生器具的水封损失,但是由于排水流量较小,水封损失较小。

关键词: 不伸顶通气双立管排水系统; 环形通气; 结合通气; 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)21-0149-06

Constant Flow Rate Test for Drainage Capacity of Non-extended Top Ventilation Double 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: In high-rise and super high-rise buildings, the drainage system may not extend through the top for ventilation purpose due to architectural aesthetic considerations or other performance requirements. A comparative experiment was conducted to evaluate the drainage capacity of three non-extended top ventilation drainage systems relative to the traditional extended ventilation drainage system, using a 60-meter-high tower in Shanxi Province as the test site. The reduction in hydraulic performance of the traditional extended top ventilation drainage system caused by the non-extended top ventilation form was assessed using the constant flow rate method. The impact of non-extended top ventilation form on the drainage capacity of various drainage systems varied significantly. The combined ventilation drainage system was the most adversely affected, experiencing an 81.25% reduction in drainage capacity. In

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

contrast, the loop ventilation drainage system equipped with a secondary vent stack demonstrated greater resilience to non-extended top ventilation form, maintaining a post-modification flow rate of 7.0 L/s. The non-extended top ventilation form induced significant negative pressure in the upper floors of the drainage system, potentially compromising the integrity of water seal loss in sanitary appliances within upper floors. However, given the relatively low drainage flow rate, the associated water seal loss remained minimal.

Key words: non-extended ventilation double stack drainage system; loop ventilation; combined ventilation; pressure limit; water seal loss

在高层、超高层建筑中,为了建筑的美观性或满足其他性能要求,排水立管和通气立管不能伸出建筑屋面以外,因此,常采用排水立管顶部和通气立管顶部以横支管进行连接,整个排水系统不从外界环境补气,排水系统内部的空气在排水立管和通气立管之间横支管进行流通,形成类似自循环排水系统的不伸顶通气排水系统。但是由于不伸顶通气排水系统无法从外界环境补气,系统内的空气量随着排水过程逐渐减少,系统内可产生较大的负压,导致各个楼层从排水横支管补气,从而发生水封破坏。

蒋毅等^[1]、赵军等^[2]采用瞬间流法开展了大量自循环排水实验,对不同的通气立管和排水立管管径以及排水系统类型都进行了相关分析,验证了自循环对排水系统可产生极大的负面作用。但是,目前还少有学者通过定流量法对不伸顶通气系统的通水能力进行测试。

笔者对三种不同类型的排水系统(结合通气双立管排水系统、防返流H管排水系统和副通气立管环形通气排水系统)分别进行伸顶通气排水实验和不伸顶通气排水实验,分析了不伸顶通气排水系统的流量特征以及排水系统通气量随排水流量的变化规律,旨在为工程中不伸顶通气排水系统的应用提供参考。

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兹氏排水实验塔进行,实验塔高为60 m,单层层高为3 m,地上19层,地下1层。本研究采用结合通气双立管排水系统、防返流H管双立管排水系统和副通气立管环形通气排水系统进行实验,系统连接方式如图1所示。

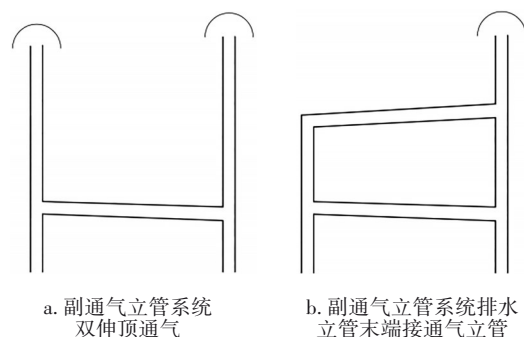
在前期研究中发现,不同伸顶方式对排水系统

的通水能力影响较大^[3-5]。本研究针对副通气环形排水系统不同的伸顶方式进行通气与不伸顶通气两种工况对比,不同工况顶部通气与连接方式如图2所示。



图1 测试系统示意

Fig.1 Schematic diagram of test systems



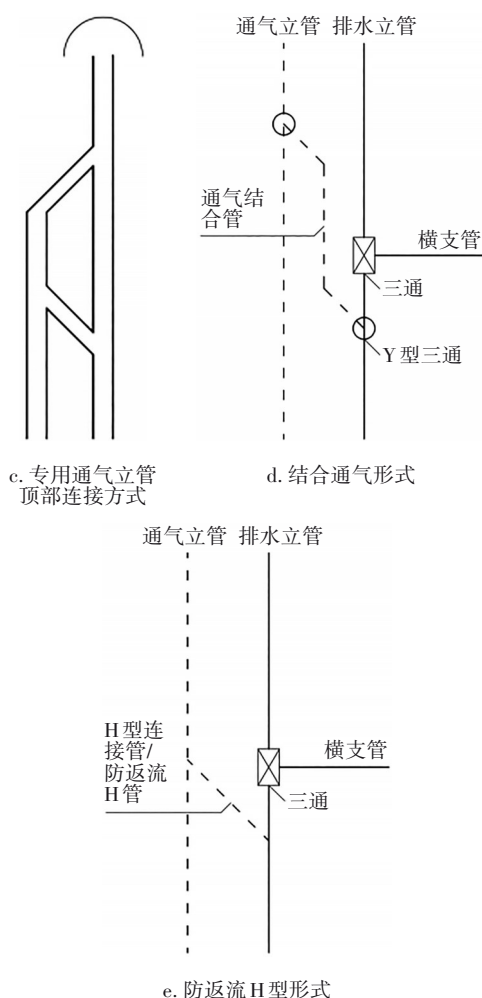


图2 不同伸顶通气方式及立管连接方式

Fig.2 Different extended top ventilation forms and connection modes of pipes

测试系统排水立管为卡箍连接的W型柔性接口铸铁管,管径均为DN100。结合通气排水系统通气立管和结合通气管管径为DN75。防返流H型系统中,排水立管和通气立管采用防返流H型管件每层连接,其他系统均采用Y型三通+45°弯头与通气立管连接。测试楼层横支管上连接一个DN50地漏、一个DN100的P型存水弯模拟卫生器具。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。根据相关报道^[6-11],通气立管底部采用通气立管末端连接排出管的方式。排水立管、横支管、通气立管、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。流量测试采用定流量法,进行流量测试时,供水系统从18层开始逐层向下放水,以0.5 L/s为起始值、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进行放水。由于在该副通气立管排水系统中,系统承压能力极强,因此在实验中提高每层排水流量的限额,每层供水量最大流量为3.5 L/s。当流量达到稳定时开始记录压力和水封损失数据。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的连续60 s。P型存水弯和DN50地漏的水封损失通过高精度压力传感器采集后,利用数据模块传输至测试系统数据平台进行分析、保存,并结合人工读数对数据进行校准。

实验工况包括JH1、JH2、FFL1、FFL2、HX1、HX2、HX3、HX4,各工况的排水立管管径均为100 mm;JH1和JH2工况的通气立管管径为75 mm,其余工况均为100 mm。JH1工况为结合通气排水系统,通气立管末端连接排水立管,排水立管伸顶通气,通气立管底部接排水立管;JH2工况为结合通气排水系统,通气立管末端连接排水立管,排水立管末端封堵,通气立管底部接排水立管;FFL1工况为防返流结合通气排水系统,通气立管末端连接排水立管,排水立管伸顶通气,通气立管底部接排出管;FFL2工况为防返流结合通气排水系统,通气立管末端连接排水立管,排水立管末端封堵,通气立管底部接排出管;HX1工况为环形通气排水系统,排水立管和通气立管均伸顶通气,通气立管底部接排出管;HX2工况为环形通气排水系统,排水立管接通气立管后,通气立管伸顶通气,通气立管底部接排出管;HX3工况为环形通气排水系统,排水立管接通气立管后,通气立管末端封堵,通气立管底部接排出管;HX4工况为环形通气排水系统,排水立管、通气立管独立伸顶后末端均封堵,通气立管底部接排出管。实验评判标准参考《住宅生活排水系统立管排水能力测试标准》(CECS 336—2013)的测试方法。

2 结果与讨论

JH1、JH2的最大排水流量分别为8.0、1.5 L/s,排水流量削减了81.25%;FFL1、FFL2的最大排水流量分别为11.0、5.0 L/s,排水流量削减了54.54%;HX1、HX3的最大排水流量分别为17.0、7.0 L/s,排水流量削减了58.82%;HX2、HX4的最大排水流量分别为15.0、7.0 L/s,排水流量削减了53.33%。可

以看出,不伸顶通气排水系统与伸顶通气排水系统的流量差别极大,流量衰减超过50%,结合通气排水系统受到不伸顶通气方式的影响最大。

2.1 排水系统各楼层的压力极限

对JH1、JH2、FFL1、FFL2四种工况最大排水流量下系统的各楼层压力极限进行分析,结果如图3所示。可知,防返流H型双立管排水系统的抗压力波动性能较结合通气排水系统更强。在最大排水流量下,FFL1和FFL2的负压极限较JH1和JH2的小。而图3还反映出FFL1工况在放水楼层出现了较大的系统正压,这可能与防返流H管件的结构有一定关系。另外,JH2和FFL2系统的正压极限都较正常通气工况的更小,这与不伸顶通气下整体压力峰值向正压偏移有关。从结合通气排水系统与防返流H型双立管排水系统的结果对比来看,防返流H管的通水能力更强一些。这是由于两方面原因,一是防返流H管系统通气立管管径为DN100,而本实验中结合通气排水系统通气立管管径为DN75,其通气立管管径更大,因此通气更为顺畅,系统通水能力得到提高;另一方面,结合通气排水系统采用了1.5 m高的DN75结合通气管,气体从通气立管向排水立管补气的路径变长,经过接头管件位置的局部阻力增大,气体流动受到的阻力较大,因此补气效果较差。

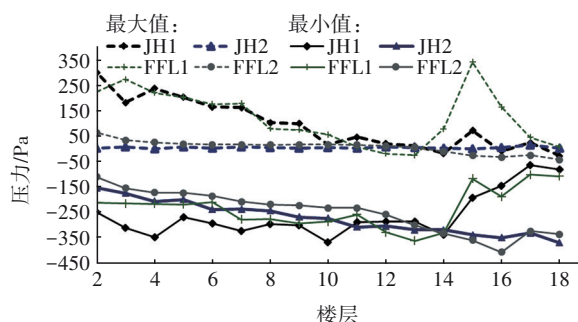


图3 JH1、JH2、FFL1、FFL2工况最大排水流量下各楼层压力极限的变化

Fig.3 Change in pressure limit of each floor under maximum drainage flow rate of JH1, JH2, FFL1 and FFL2 conditions

对HX1、HX2、HX3、HX4四种工况最大排水流量下各楼层的压力极限进行分析,结果如图4所示。可以看出,对于环形通气排水系统,其整体压力变化趋势与结合通气、防返流H型通气都不太相同。环形通气排水系统的压力整体呈现高楼层压力波

动小、低楼层压力波动大的趋势,而结合通气和防返流H型排水系统的趋势线为顶部放水层偏低、放水层下方楼层逐渐增加而流动稳定后在低楼层区域负压极限有所下降。这可能说明环形通气排水系统内的水流处于持续加速状态,因此由于重力加速度的作用,水流在底部流速更大,底部负压较上部楼层更大。而结合通气和防返流H型排水系统内部可能与水膜流概念相吻合,即管道内水流达到终限流速后以稳定的速度向下流动。对于改为不伸顶通气的环形通气排水系统来说,高楼层的负压较低楼层更大。

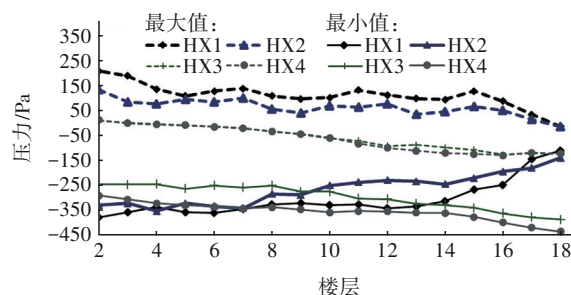


图4 HX1、HX2、HX3、HX4工况最大排水流量下各楼层压力极限的变化

Fig.4 Change in pressure limit of each floor under maximum drainage flow rate of HX1, HX2, HX3 and HX4 conditions

由图3和图4可以看出,结合通气排水系统、防返流H型排水系统和环形通气排水系统不伸顶通气方式下的通水能力有较大差别。整体来看,不伸顶通气排水系统在流量较低的情况下,其高楼层区域负压极大,低楼层区域的负压相对高层区域更小。整体而言,不伸顶通气排水系统压力偏负压,这说明随着排水过程的继续,排水立管因顶部无空气补充,而排水也一直将系统中的空气卷吸带走,因此系统内产生了较大的负压。

2.2 排水系统各楼层的水封损失

JH1、JH2、FFL1、FFL2工况最大排水流量下各楼层水封损失的变化如图5所示, HX1、HX2、HX3、HX4工况最大排水流量下各楼层水封损失的变化如图6所示。可知,不伸顶通气形式排水系统较标准通气排水系统卫生器具产生的水封损失更小。根据前述可知,各楼层的横支管为了保持系统内压力平衡,横支管内的空气向排水立管内流动,而横支管连接卫生器具的水封也在系统负压作用下向排水立管方向运动,导致水封损失。需要注意的

是,在高层区域,排水立管测定得到的管道压力较大,但是由于高楼层为排水层,未设置卫生器具,因此无法获知工程中高楼层区域卫生器具的损失情况。而对于低楼层区域,由于不伸顶通气形式排水系统的流量较标准通气排水系统的更小,而排水流量挟带走的空气量与排水流量呈正相关关系,因此,不伸顶通气形式排水系统产生的水封损失较标准通气排水系统的更小。

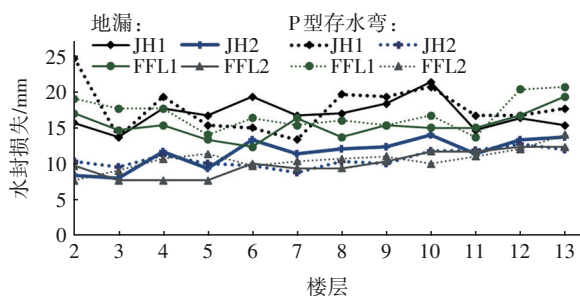


图5 JH1、JH2、FFL1、FFL2工况最大排水流量下各楼层水封损失的变化

Fig.5 Change in water seal loss of each floor under maximum drainage flow rate of JH1, JH2, FFL1 and FFL2 conditions

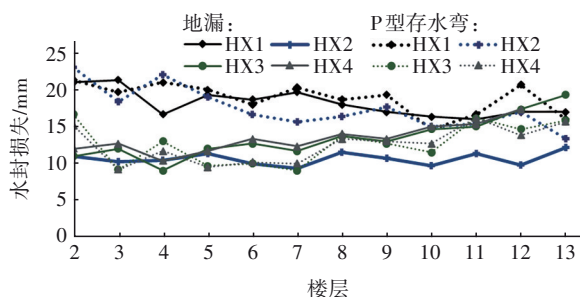


图6 HX1、HX2、HX3、HX4工况最大排水流量下各楼层水封损失的变化

Fig.6 Change in water seal loss of each floor under maximum drainage flow rate of HX1, HX2, HX3 and HX4 conditions

另外,可以发现,不伸顶通气形式排水系统卫生器具的水封损失远小于《建筑给水排水设计标准》中要求的25 mm,如果放宽对排水系统压力极限的要求,那么不伸顶通气排水系统的排水流量还可以进一步增大。

2.3 通气量和空气流速分析

不同排水流量下管道中通气量的变化如图7所示。可知,所有不伸顶通气形式的排水系统中,其1楼测点的通气量均为10 L/s,而其他工况的通气量随着排水流量的增大而增加。这一现象与不伸顶

通气排水系统的特点有关。由于不伸顶通气排水系统无法从外界环境补气,根据前述分析可知,排水系统内的空气流量仅与排水系统内部的排水流量有关,而根据建筑排水系统的终限流速理论,水流在向下流动的过程中,重力、水流与管道内壁发生的摩擦阻力以及水流与空气的摩擦阻力达到平衡,水流将保持稳定的流速向下流动,这个流速为终限流速,由于不伸顶通气排水系统中排水流量相对较小,水的流速较小,容易达到终限流速,因此1楼测点测定的通气量保持稳定。而其他工况存在外界补气,排水流量较大,排水过程不断卷挟走空气,当排水距离较短时无法达到终限流速,导致排水流速一直增加,而1楼测得的通气量也在一直增加。

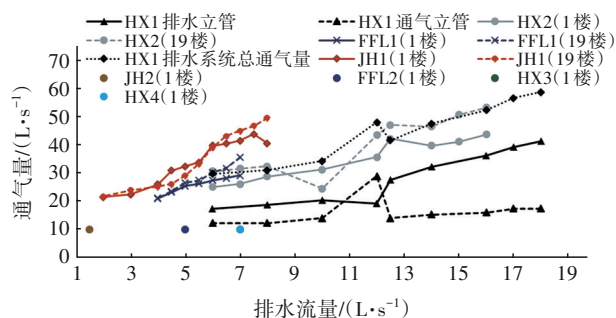


图7 不同排水流量下管道中通气量的变化

Fig.7 Change in ventilation volume in pipes at different drainage flow rates

3 结论

① 不伸顶通气形式会极大减小通气排水系统的通水能力,但是对不同排水系统的削减程度具有差异,对于本研究采用的3种DN100双立管排水系统,不伸顶通气形式下,环形通气排水系统的排水流量可达7.0 L/s。相对而言,环形通气排水系统较结合通气系统和防返流H管双立管系统对不伸顶通气形式的影响较不敏感,而结合通气排水系统对不伸顶通气形式极敏感。

② 对于改装后的不伸顶通气排水系统,由于补气通道封闭而受阻,排水系统放水层区域负压极限值接近或高于未改装的标准通气排水系统,但是由于其整体排水流量较小,其他区域负压较标准通气排水系统更小。

③ 由于改装后不伸顶通气形式排水系统的流量较小,系统连接的卫生器具产生的水封损失较小,但是与同流量下标准通气排水系统相比则水封

损失较大。

④ 从工程应用角度来看,如果建筑不适合采用伸顶通气的安装方式,建议采用环形通气排水系统,这种系统在不伸顶通气情况下排水能力较强,对卫生器具的水封破坏也相对较小,能够满足一般高层建筑的使用需求。

参考文献:

- [1] 蒋毅,吴文雯,温凯,等. 排水系统自循环通气方式工程应用探讨[J]. 给水排水, 2018, 44(6): 84-88.
JIANG Yi, WU Wenwen, WEN Kai, *et al.* Discussion on the application of self circulating ventilation in drainage systems[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(6): 84-88 (in Chinese)
- [2] 赵军,张永吉,高乃云,等. 采用瞬间流法的自循环与双立管系统排水能力研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(17): 146-149.
ZHAO Jun, ZHANG Yongji, GAO Naiyun, *et al.* Study on drainage capacity of self-recirculation and double stack systems with instantaneous flow[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(17): 146-149 (in Chinese)
- [3] 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 & Technology, 2020, 41(1): 5-24.
- [4] 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 & Technology, 2020, 41(5): 603-622.
- [5] 夏艳辉,王文海,宫永伟,等. 基于冲击力测量的排水立管终端流速实验研究[J]. 中国给水排水, 2023, 39(15): 122-126.
XIA Yanhui, WANG Wenhai, GONG Yongwei, *et al.* Terminal velocity of vertical drainage pipe based on impact force measurement [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(15): 122-126(in Chinese).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] 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).
- [10] 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.
- [11] 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.

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及建筑消防理论。

E-mail:yuxi.guan@hotmail.com

收稿日期:2023-07-20

修回日期:2023-08-10

(编辑:任莹莹)