

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.09.011

# 内螺旋管单立管排水系统横干管输送污物能力研究

吴杨昊<sup>1</sup>, 张勤<sup>1</sup>, 赵珍仪<sup>2</sup>, 张哲<sup>2</sup>, 高彬<sup>2</sup>, 杨鹏辉<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 环境与生态学院, 重庆 400030; 2. 国家住宅与居住环境工程技术研究中心, 北京 100044)

**摘要:** 在超高层足尺试验塔上,研究内螺旋管单立管排水系统的横干管对模拟污物的输送能力。试验结果表明,管径为 DN100 的排水横干管对模拟污物的输送能力受管道坡度的影响较大,在相似坡度下,管径为 DN150 的排水横干管对模拟污物的输送能力较好,并且系统 1 层横支管内压力受到的影响较小。

**关键词:** 单立管排水系统; 内螺旋管; 排水横干管; 输送能力; 瞬间流; 模拟污物  
**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)09-0059-04

## Sewage Transport Capacity of Horizontal Trunk Pipe of Single Stack Drainage System with Inner Spiral Pipe

WU Yang-hao<sup>1</sup>, ZHANG Qin<sup>1</sup>, ZHAO Zhen-yi<sup>2</sup>, ZHANG Zhe<sup>2</sup>, GAO Bin<sup>2</sup>, YANG Peng-hui<sup>2</sup>

(1. College of Environment and Ecology, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. China National Engineering Research Center for Human Settlements, Beijing 100044, China)

**Abstract:** In a super high-level full-scale experiment tower, capacity of horizontal trunk pipe of a single stack drainage system with inner spiral pipe to transport simulated sewage was studied. The results showed that the transport capacity of simulated sewage by the DN100 horizontal trunk pipe was greatly affected by the pipe slope. Under the similar slopes, the DN150 horizontal trunk pipe had a better transport capacity for simulated sewage, and pressure of the horizontal branch pipe at the first floor of the system was less affected.

**Key words:** single stack drainage system; inner spiral pipe; horizontal trunk pipe; transport capacity; instantaneous flow; simulated sewage

在 2009 年版《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003)第 4.3.12 条文说明中,推荐以平壁管材为立管的排水系统的排出管与立管同径,避免横干管内污物淤积堵塞。但是在第 4.3.12A 条文说明中,对于立管为内螺旋管的系统,为缓解系统底部较大正压,排出管宜放大一号,那么横干管内污物是否会淤积堵塞有待考证。笔者研究了内螺旋管单立管排水系统(以下简称“内螺旋管排水系统”)横干管对模拟污物的输送能力,同时观察排水系统 1 层

横支管管内压力波动情况。

## 1 试验装置及方法

### 1.1 试验管道系统

试验在国家住宅工程中心——万科建研中心超高层足尺试验塔上进行。试验排水立管采用 DN100 硬聚氯乙烯(PVC-U)加强型内螺旋管(12 根旋肋,平均高度为 3.50 mm),立管顶部采用与排水立管同径的伞形通气帽;排水横支管为 DN100 的 PVC-U 光壁管,通过加强型旋流器与排水立管连接,并以标准坡

度  $i=0.026$  坡向立管。排水横干管采用 PVC-U 光壁管,其中管径为 DN100 的排水横干管采用双 45°弯头与排水立管连接,参考 GB 50015—2003 选择通用坡度  $i=0.012$  和最小坡度  $i=0.004$  两种坡度进行研究;管径为 DN150 的排水横干管采用 90°大曲率变径弯头与排水立管连接,参考 GB 50015—2003 选择通用坡度  $i=0.007$  和最小坡度  $i=0.003$  两种坡度进行研究。试验管道系统见图 1。

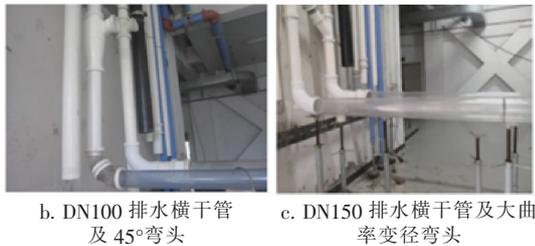
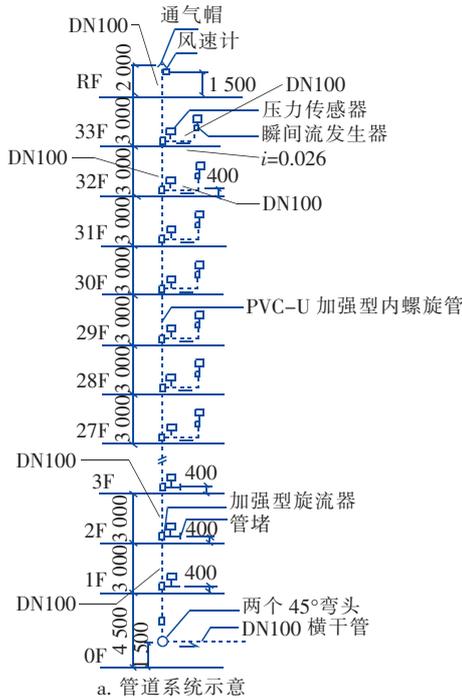


图1 试验管道系统

Fig.1 Test pipe system

### 1.2 试验装置及安装

试验参考瞬间流量法,排水层设在 27~33 层,每层设置 1 个瞬间流发生器;除排水层外的横支管末端用堵头密封,在距立管中心 500 mm 的横支管处安装压力传感器。瞬间流发生器模拟市面上常用的虹吸式坐便器排水,每次排水量为 6 L,排水流量峰值为 1.8 L/s,电控按压排水。瞬间流发生器内设置 VEGA CAL63 型电位式液位计,测量范围为 0~400 mm,测量精度为  $\pm 1$  mm。压力传感器采用美国

GE DruckPTX610 双向式压力传感器,测量范围为  $\pm 10$  kPa,测量精度为  $\pm 0.08\%$ ,采样周期为 20 ms。

### 1.3 模拟污物

本次试验选用的模拟污物为胶棉和纸团:胶棉尺寸为 25 mm × 80 mm,材质为 PVC,相对密度约为 1.05(按日本 BLA-7 标准制定);纸团是以 3 层每段尺寸为 138 mm × 104 mm、长为 1 m 的卫生纸揉搓而成,每团卫生纸干燥时直径为 40~50 mm,吸水后直径为 45~55 mm<sup>[1]</sup>。

### 1.4 试验方法及步骤

在试验排水层的瞬间流发生器存水弯出口处,均放置 2 个浸水后的胶棉和 2 个吸水后的纸团。层间排水的时间间隔为 1 s。试验开始后,观察模拟污物在排水横干管的输送情况,记录模拟污物在横干管中输送 3 m 所需时间,并在试验结束后清点横干管中胶棉个数。

试验步骤:①瞬间流发生器补水;②将模拟污物放入瞬间流发生器中;③瞬间流排水;④观察并记录模拟污物在横干管中的输送情况;⑤清点横干管排出口处胶棉个数,如胶棉个数不足 14 个,瞬间流发生器补水后再次冲水;⑥进行平行试验 3 次;⑦改变横干管坡度或更换横干管后重复上述过程。

## 2 结果与分析

### 2.1 管道输送模拟污物的能力

在全部试验中,均未出现模拟污物在排水横干管中滞留的情况。不同管径、不同坡度下,排水横干管输送模拟污物移动 3 m 距离所需时间存在差异,见表 1。每次试验第 1 次冲水后,清点排水横干管出口处的胶棉数量,见表 2。从表 1 可以看到,在 DN100 的排水横干管中,模拟污物的输送时间明显受到管道坡度的影响:采用最小坡度  $i=0.004$  时较通用坡度  $i=0.012$  时的输送时间长。在 DN150 的横干管中,坡度对管道内模拟污物的输送影响较小。同为最小坡度时,横干管管径为 DN150 时的输送时间比 DN100 的短。

表1 每次试验污物输送时间

Tab.1 Transport time of sewage in each test s

项目	第1次测试	第2次测试	第3次测试	平均值	
DN100	$i=0.004$	9	10	9	9.33
	$i=0.012$	7	7	8	7.33
DN150	$i=0.003$	6	7	6	6.33
	$i=0.007$	7	8	6	7.00

表2 第1次冲水后排水横干管出口处的胶棉数量

Tab.2 Quantity of collodion cotton at the outlet of horizontal trunk pipe after the first flush 个

项 目	第1次测试	第2次测试	第3次测试	
DN100	$i = 0.004$	14	13	14
	$i = 0.012$	12	14	14
DN150	$i = 0.003$	13	14	14
	$i = 0.007$	14	14	14

从表2可以看到,第1次冲水后横干管末端的胶棉多数为14个,个别试验没有全部排出,但并没有滞留在横干管中;再次排水后,胶棉全部排出。

试验发现,模拟污物混合物都先于水流1s左右提前到达立管根部、排入横干管中。与模拟污物在排水横支管的状态<sup>[1]</sup>不同,因排水高度、流动时长等影响,纸团下落过程中受到水流的扰动、冲击以及与管内壁的碰撞,纸团破碎。破碎形成的纸絮,因其黏性在随水流运动中裹挟部分胶棉逐渐聚集,形成以纸絮和胶棉为主的混合物。在立管内,水沿着旋肋螺旋下降,而混合物不易附壁,多是从立管中心垂直下落,流程短,所以更快地到达立管底部。

试验还发现,排水横干管管径不同时混合物到达立管底部的状态不同,见图2。

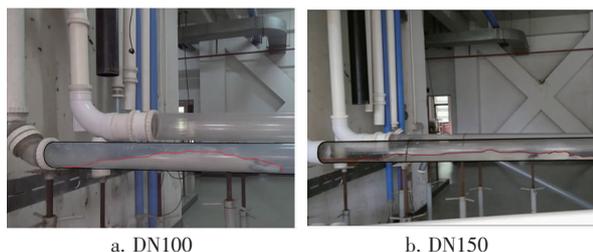


图2 DN100和DN150管道中的模拟污物

Fig.2 Simulated sewage in the DN100 and DN150 pipes

横干管管径为DN100时混合物到达立管根部,并聚集滞留在横干管起端;而管径为DN150时,混合物分散在横干管起端。这是由于进入横干管起端的混合物结构不稳定,会因撞击管壁而散开。当横干管管径为DN100时,由于底部弯头和立管的管径相同,限制混合物的散开空间,使得混合物聚集着进入横干管,并因受到较大的管壁阻力而滞留在横干管起端。在DN150的排水系统中,由于底部弯头处管径扩大,混合物得以散开,分散进入横干管。由于各个散团受到的管壁摩擦阻力不同,在横干管内移动的距离不同,所以混合物分散在横干管起端。

混合物在管道内的不同状态影响管道输送混合

物的时间。管道内,水流在堆积的混合物前方出现水跃现象(见图3)。其中,一部分水流在混合物前翻滚扰动,另一部分水流跃过混合物继续流动。此时,水流对混合物的冲刷效果可分为3种:在水跃段下部,水流不断冲击混合物;在水跃段的翻滚区,水流不断冲刷混合物A区域;跃过混合物的水流,冲刷混合物的B区域。在水流不断冲刷下,尤其是对B区域的冲刷,混合物的高度逐渐降低,跃过混合物的水量逐渐增大,混合物质量和体积减小的速度越来越快。同时,后续水流不断冲击混合物,一段时间后水流冲散混合物,输送至管道末端。

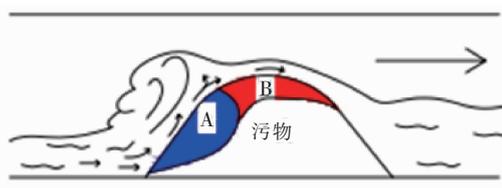


图3 模拟污物前水跃示意

Fig.3 Hydraulic jump in front of simulated sewage

不同状态的混合物,它们在横管内的堆积高度不同使得跃过混合物的水量存在差异。此外,跃过混合物的水量也受水跃高度的影响。水跃高度 $h_0$ 为跃后水深 $h_2$ 与跃前水深 $h_1$ 的差值。根据水跃共轭水深性质和水跃函数曲线(见图4),跃前水深 $h_1$ 越小,水跃高度 $h_0$ 越大。

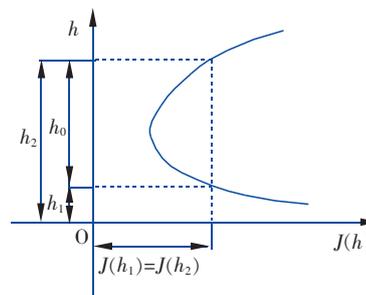


图4 水跃函数曲线

Fig.4 Hydraulic jump function

由于混合物距管道起端较近,使冲刷混合物的水流流速受管道坡度的影响较小,不同管径横干管起端的水流流速相近。在相同排水流量下,DN150横干管的水深小于DN100横干管,因此DN150横干管的水跃高度大于DN100横干管。在DN150横干管中,混合物的堆积高度小,跃过混合物的水量大,能够裹挟大量纸絮,对混合物的冲刷效果好;而在DN100横干管中情况正好相反。另外,在个别不利

情况下, DN100 管道中混合物几乎占据整个管道截面, 能跃过混合物的水量很少, 管道对混合物的输送主要依靠水流冲击力, 输送速度慢、时间长, 且存在管道阻塞的可能。所以, 混合物分散在管中能缩短管道输送混合物的时间, 提高管道输送能力。

## 2.2 输送污物时对系统1层横支管内压力的影响

试验还观察到, 不同管径的排水横干管输送模拟污物时, 水流充满度明显不同, 这对系统1层横支管的压力有一定影响。试验测得系统1层横支管压力分布见图5。

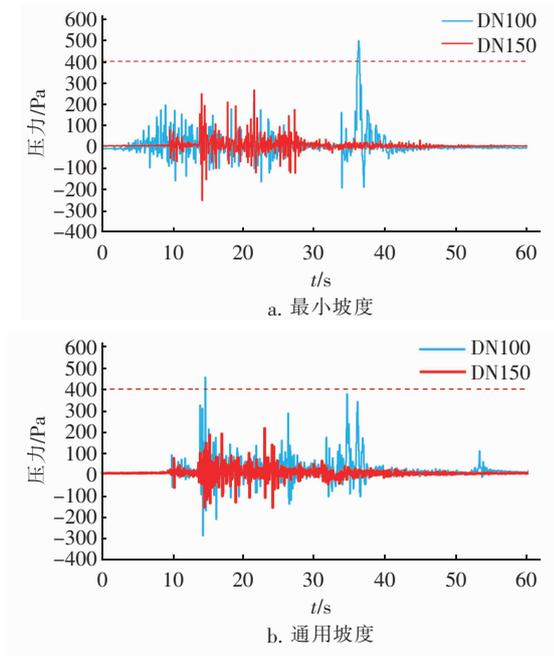


图5 系统1层横支管压力分布

Fig. 5 Pressure distribution of horizontal branch pipe of the first floor

在试验中, 瞬间流排水后 30 s 左右, 模拟污物到达横干管起端。从图5可以看到, 试验进行 30 s 后, 对于横干管管径为 DN100 的排水系统, 1 层横支管压力突然增大, 最小坡度情况下会超过《住宅生活排水系统立管排水能力测试标准》(CJJ/T 245—2016) 中的压力判定标准  $\pm 400$  Pa; 对于横干管管径为 DN150 的排水系统, 1 层横支管压力无明显变化。在排水横干管管径为 DN100 的试验中, 横干管内的混合物为堆积状态, 管道内水流充满度大于塑料排水横干管的最大设计充满度 0.5。水流充满度过大, 导致管道内空气流通不畅, 使得系统底部的正压无法释放, 造成系统 1 层横支管的压力在试验进行 30 s 后突然增大。在排水横干管管径为 DN150 的试验

中, 横干管内含模拟污物的混合物为分散状态, 管道内水流充满度符合 GB 50015—2003 的要求。DN150 的横干管内空气通畅, 系统底部的正压不会“积聚”, 故系统 1 层横支管压力无明显变化。

## 3 结论

① 对于 DN100 排水横干管, 在通用坡度下输送污物的能力较好; 在相近的坡度下, DN150 排水横干管输送污物的能力比 DN100 横干管要好。

② 当横干管输送污物时, 对于管径为 DN100 的排水横干管, 管内水流充满度大, 容易造成系统 1 层排水横支管内压力突然增大, 可能会破坏卫生器具内的水封; 当排水系统的横干管管径为 DN150 时, 系统 1 层排水横支管内压力无明显变化。

综上, 与平壁管材排水立管不同, 在内螺旋管排水系统中, 排水横干管管径放大一号不会出现污物淤积堵塞的情况, 同时系统 1 层排水横支管压力受影响小, 排水系统的安全性和可靠性有所提高。

## 参考文献:

- [1] 张哲, 李军, 高乃云. 建筑内水环境卫生安全研究——坐便器横支管管径与坡度对输送距离的影响[J]. 城市住宅, 2015(2): 29-33.  
Zhang Zhe, Li Jun, Gao Naiyun. Study on health safety of water environment in building—Influence of horizontal drainage pipe diameter and gradient on human excreta transmission distance[J]. City & House, 2015(2): 29-33 (in Chinese).



作者简介: 吴杨昊(1994—), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向为建筑给水排水。

E-mail: 15034006028@163.com

收稿日期: 2019-11-19