

文章编号: 1671-6612 (2023) 06-855-05

建筑排水管道颗粒物沉积规律研究

叶锡恩

(浙江省建筑设计研究院 杭州 310000)

【摘要】 颗粒物沉积会降低排水管道排水能力, 污染下游水体, 研究颗粒物的沉积规律对解决管道排水与污染问题具有重要意义。搭建了排水管道沉积试验系统, 研究了不同因素对颗粒物沉积量的影响。结果表明, 随着流体流速的增加, 管道颗粒物沉积量明显降低, 中小雨天气的排水水量较少, 颗粒物沉积较为严重。随着颗粒物粒径的增加, 管道沉积量逐渐增大, 粒径在 5mm 至 11mm 的颗粒物沉积较严重, 当颗粒物粒径处于此范围时应提高清淤频率。随着管道倾角增大, 颗粒物沉积量随之增加, 在排水管道设计与运行过程中, 应着重注意管道倾角大于 15° 的工况。随着管径的增大, 颗粒物沉积量随之增加, 在城市排水管网中, 应注意大管径排水管道的沉积问题。

【关键词】 排水管道; 颗粒物; 沉积; 影响因素; 冲刷

中图分类号 TU992.2 文献标识码 A

Study on the Deposition Pattern of Particulate Matter in Building Drainage Pipes

Ye Xien

(Zhejiang architectural design and Research Institute, Hangzhou, 310000)

【Abstract】 Particle deposition will reduce the drainage capacity of drainage pipes and pollute downstream water bodies, and the study of particle deposition law is of great significance in solving the problems of pipeline drainage and pollution. A drainage pipe deposition test system was built to study the effects of different factors on the amount of particulate matter deposition. The results show that with the increase of fluid flow rate, the amount of particulate matter deposition in the pipeline decreased significantly, and the amount of drainage water in medium and light rainy weather was less, and the particulate matter deposition was more serious. With the increase of particle size, the amount of pipeline deposition gradually increased, the particle size in the 5 mm to 11 mm particle deposition was more serious, when the particle size in this range should be increased dredging frequency. As the pipeline inclination increased, the amount of particles deposited increased, in the design and operation of the drainage pipe, should pay attention to the pipeline inclination angle greater than 15° working conditions. With the increase of pipe diameter, the amount of particulate matter deposition increased, in the urban drainage pipe network, attention should be paid to the deposition of large diameter drainage pipe.

【Keywords】 drainage pipes; particulate matter; deposition; influencing factors; scouring

0 引言

随着我国城市发展和现代化进程的不断推进, 排水系统建设与改进成为提升城市生态功能的一项重要工作^[1-3]。由于排水管道内存在颗粒物等杂质, 长期沉积导致管道底部聚集大量颗粒物, 严重

时造成管道堵塞导致城市排水能力下降, 在暴雨天气容易造成城市内涝^[4-6]。管道颗粒沉积物吸附了大量的污染物, 雨水冲刷后携带污染物对下游水体造成水质破坏。因此, 研究颗粒物的沉积规律对解决管道排水与污染问题具有重要意义^[7-11]。管道内

颗粒物重力下沉后在底部聚集, 经历冲刷、再沉降等过程最终形成沉积物, 其沉积过程较为复杂, 受到排水流量、颗粒粒径、管道路由等因素的影响 [12-15]。周敬钦 [16] 等人将颗粒物根据粒径尺寸划分为悬移质颗粒和推移质颗粒, 采用试验方法测定了排水管道沿线关键点颗粒物的沉积量, 小粒径、高冲刷流速、高初始沉积量会导致两种类型的颗粒物冲刷率降低。吴俊针 [17] 分析了雨污混合排水管道中不同沉降速率下颗粒物的种类占比, 高雨水量下沉降速率较大的颗粒物更易进入雨污混合水, 且雨量较大时沉降速率较小的颗粒污染物向管网下游偏移, 重力沉降装置的拦截效率明显降低。周英 [18] 等人研究了天津市中心城区排水系统管道沉积物的沉积状况, 发现大管径、低流速会导致沉积量增大, 而钢筋混凝土类型的排水管道沉积量最大。目前针对排水管道颗粒物沉积的分析多集中在影响因素方面, 但大部分研究仅考虑了一种或某几种因素对沉积特性的影响, 例如周敬钦仅研究了粒径与流速的影响, 而吴俊针主要考察颗粒粒径变化对沉降的影响, 周英除考虑流速之外分析了管径与沉积的关

系, 但这些研究内容不够完整, 未分析管道倾角、气液比与沉积之间的关系, 管道运行过程中经常出现不满流或爬坡等情况, 此种工况缺少沉积方面的理论依据 [19,20]。为全面分析排水管道的沉积特性, 本文搭建了排水管道沉积试验系统, 研究了流速、颗粒粒径、管道倾角、管径、气液比对颗粒物沉积量的影响, 可为排水管道运行管理与沉积物的控制清除提供理论依据。

1 排水管道沉积试验系统

排水管道沉积试验系统主要包括混合罐、驱动泵、空压机、气罐、流量计、有机玻璃管道、回收桶, 如图 1 所示。混合罐设置电动搅拌器保证颗粒物均匀分散在水中, 水平段和倾斜段有机玻璃管长度均为 5m。将一定量的水和细沙颗粒物放置于混合罐内充分搅拌, 出口阀、驱动泵、回流阀形成的小循环流动稳定后打开主阀, 空气和水在混合器内混合后进入有机玻璃管测试, 试验结束后通过快拆机构拆卸水平段有机玻璃管采用称重法得到颗粒物沉积量。

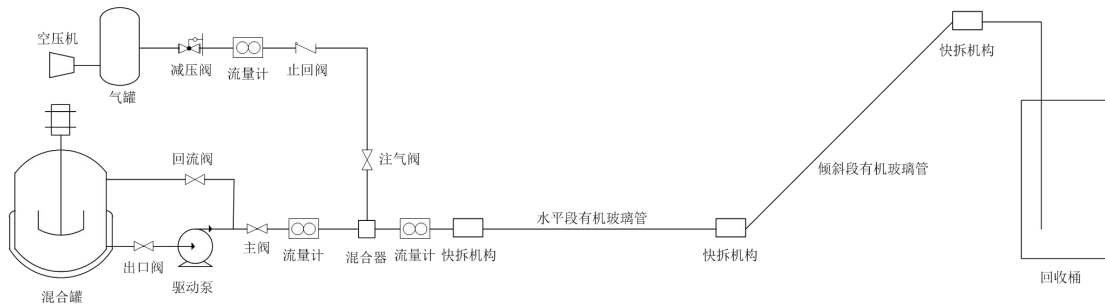


图 1 排水管道沉积试验系统

Fig.1 Drainage pipeline sedimentation test system

为研究不同因素变化对颗粒物沉积量的影响, 控制流速变化范围为 0.5m/s 至 2.0m/s, 变化梯度为 0.3m/s; 控制颗粒粒径变化范围为 1mm 至 13mm, 变化梯度为 2mm; 控制管道倾角变化范围为 0° 至 60°, 变化梯度为 15°; 控制管径变化范围为 200mm 至 500mm, 变化梯度为 50mm; 控制气液比变化范围为 0m³/m³ 至 1.5m³/m³, 变化梯度为 0.3m³/m³。

2 排水管道颗粒物沉积规律

2.1 流速对颗粒物沉积量的影响

控制颗粒粒径为 5mm, 管道倾角为 0°, 管径为 400mm, 气液比为 0m³/m³, 改变流速得到排水

管道颗粒物沉积量变化趋势, 如图 2 所示。

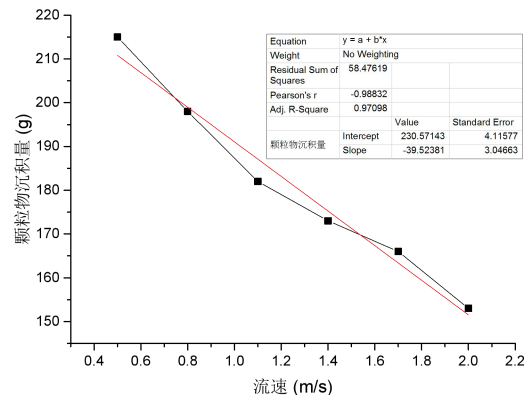


图 2 流速对颗粒物沉积量的影响

Fig.2 Effect of flow rate on the amount of particulate matter deposited

由图 2 可知,随着流体流速的增加,管道颗粒物沉积量明显降低。流体流速增加,流动的雷诺数增大,流态由层流逐渐向湍流转变,流体内部不稳定性增大后阻碍了颗粒物的下沉。流速增加增强了流体对沉积物的冲刷能力,提高了流体对悬浮颗粒物的携带能力,有利于管道沉积物的控制与清除。另外,低流速下颗粒物有更多的时间下沉,沉积量随之变大。当流体流速由 0.5m/s 升高至 2.0m/s 时,颗粒物沉积量由 215g 降低至 153g,降低了 29%。颗粒物沉积量与流速近似线性关系,对其拟合得到斜率为-39.52,标准误差为 3.05,截距为 230.57,标准误差为 4.12,拟合关系可为排水管道设计提供理论参考。中小雨天气的排水水量较少,排水管道流体流速较低,颗粒物沉积较为严重,是管道堵塞的重要原因之一。

2.2 颗粒粒径对颗粒物沉积量的影响

控制流速为 0.8m/s,管道倾角为 0° ,管径为 400mm,气液比为 $0\text{m}^3/\text{m}^3$,改变颗粒粒径得到排水管道颗粒物沉积量变化趋势,如图 3 所示。

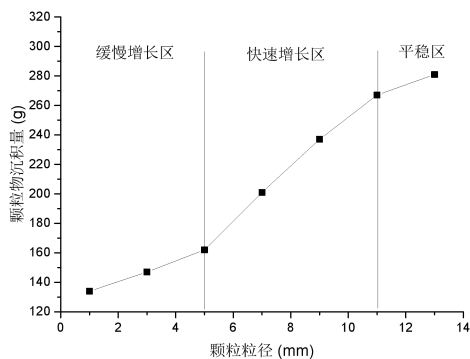


图 3 颗粒粒径对颗粒物沉积量的影响

Fig.3 Effect of particle size on the amount of particulate matter deposition

由图 3 可知,颗粒物粒径变化对管道沉积量的影响较大,随着颗粒物粒径的增加,管道沉积量逐渐增大,增长主要分为三个阶段,即缓慢增长区、快速增长区和平稳区。当颗粒物粒径在 1mm 至 5mm 区间变化时,管道沉积量由 134g 升高至 162g,升高了 21%,颗粒物沉积处于缓慢增长区,颗粒物粒径过小时,自身重力过低,在流体内处于悬浮状态,流体流动的携带能力高于颗粒物的重力,颗粒物粒径增加时对其沉积过程影响较小。当颗粒物粒径在 5mm 至 11mm 区间变化时,管道沉积量由 162g 升高至 267g,升高了 65%,颗粒物沉积处于快速增长区,颗粒物自身重力大于流体的悬浮力,

粒径增加后加速了颗粒物的沉降速度,管道沉积量显著增加。当颗粒物粒径在 11mm 至 13mm 区间变化时,管道沉积量由 267g 升高至 281g,升高了 5%,颗粒物沉积处于平稳区,沉积量增长再次变缓,这主要是受颗粒物总量的影响。因此,粒径在 5mm 至 11mm 的颗粒物沉积较严重,当颗粒物粒径处于此范围时应提高清淤频率。

2.3 管道倾角对颗粒物沉积量的影响

控制流速为 0.8m/s,颗粒粒径为 5mm,管径为 400mm,气液比为 $0\text{m}^3/\text{m}^3$,改变管道倾角得到排水管道颗粒物沉积量变化趋势,如图 4 所示。

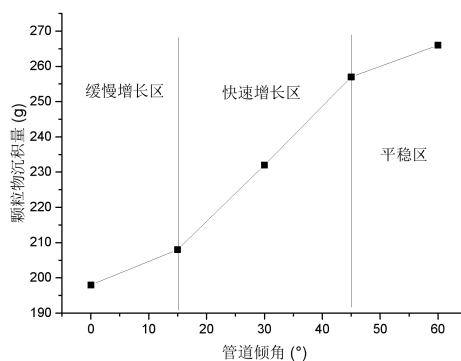


图 4 管道倾角对颗粒物沉积量的影响

Fig.4 Effect of pipe inclination on the amount of particulate deposition

由图 4 可知,随着管道倾角增大,颗粒物沉积量随之增加,管道沉积量变化同样分为缓慢增长区、快速增长区、平稳区三个阶段。当管道倾角在 0° 至 15° 区间变化时,管道沉积量由 198g 升高至 208g,升高了 5%,颗粒物沉积处于缓慢增长区,此工况管道倾角较小,对颗粒物沉积的影响相对较小,沉积量变化较为平缓。当管道倾角在 15° 至 45° 区间变化时,管道沉积量由 208g 升高至 257g,升高了 24%,颗粒物沉积处于快速增长区,此时管道倾角变化对沉积量影响较大,管道倾角增大后流体需要克服自身重力向上爬坡,对颗粒的携带能力下降,颗粒物受自身重力的影响也会加速向管道底部下沉,沉积量迅速升高。当管道倾角在 45° 至 60° 区间变化时,管道沉积量由 257g 升高至 266g,升高了 4%,颗粒物沉积处于平稳区,管道倾角继续增加时,流体携带能力已下降至较低水平,大部分颗粒物均被截留在管道内,受到颗粒物总量的影响,颗粒物增加变缓。因此,在排水管道设计与运行过程中,应着重注意管道倾角大于 15° 的工况。

2.4 管径对颗粒物沉积量的影响

控制流速为 0.8m/s，颗粒粒径为 5mm，管道倾角为 0°，气液比为 0m³/m³，改变管径得到排水管道颗粒物沉积量变化趋势，如图 5 所示。

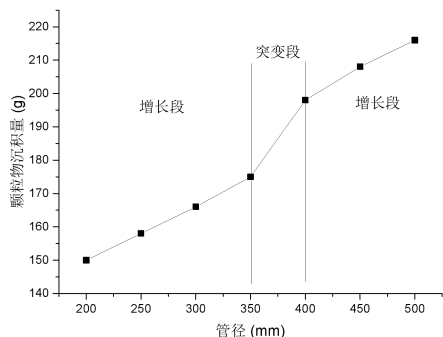


图 5 管径对颗粒物沉积量的影响

Fig.5 Effect of pipe diameter on the amount of particulate deposition

由图 5 可知，随着管径的增大，颗粒物沉积量随之增加，管道沉积量变化分为增长段、突变段、增长段三个阶段。管径在 200mm 至 350mm 区间内时，颗粒物沉积量由 150g 稳步增大至 175g，升高了 17%，颗粒物沉积处于增长段，当流速一定时，管径增大促使流体流量增加，颗粒物沉积量随之增加。管径在 350mm 至 400mm 区间内时，颗粒物沉积量由 175g 突变增大至 198g，升高了 13%，颗粒物沉积处于突变段。管径在 400mm 至 500mm 区间内时，颗粒物沉积量由 198g 稳步增大至 216g，升高了 9%，颗粒物沉积处于增长段。因此，在城市排水管网中，应注意大管径排水管道的沉积问题。

2.5 气液比对颗粒物沉积量的影响

控制流速为 0.8m/s，颗粒粒径为 5mm，管道倾角为 0°，管径为 400mm，改变气液比得到排水管道颗粒物沉积量变化趋势，如图 6 所示。

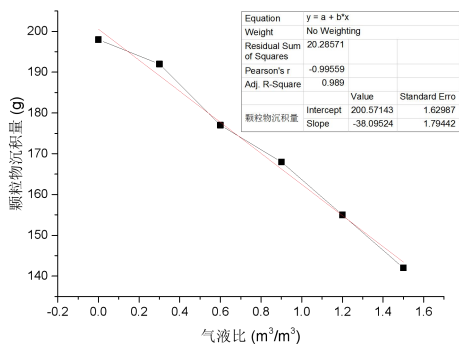


图 6 气液比对颗粒物沉积量的影响

Fig.6 Effect of gas-liquid ratio on the amount of particulate matter deposited

由图 6 可知，随着气液比的增加，颗粒物沉积量逐渐降低，其主要原因是气液比增加导致液体流量降低，分散在液体中的颗粒物含量也随之降低，同时气液比升高导致排水管道流动不稳定性增加，颗粒物扰动性增大，下沉受到气液流体的冲击而被再次裹挟浮起。当气液比由 0m³/m³ 升高至 1.5m³/m³ 时，颗粒物沉积量由 198g 降低至 142g。颗粒物沉积量与气液比近似线性关系，对其拟合得到斜率为 -38.10，标准误差为 1.79，截距为 200.57，标准误差为 1.63，拟合关系可为排水管道设计提供理论参考。因此，适当提高气液比有利于排水管道沉积物的清除。

2.6 多因素综合分析

根据 CJJ68-2016《城镇排水管道与泵站运行维护安全技术规程》规定，排水管道沉积物应低于管径高度的 1/8，按照 1 年计算本文中管道流速为 0.8m/s 时，颗粒物沉积量应低于 208g。根据图 2 至图 6 可知，在排水流速高于 0.8m/s、颗粒物粒径小于 7mm、管道倾角低于 15°、管径小于 400mm 工况下，排水管道可满足技术要求，有效降低清淤周期。

3 结论

本文搭建了排水管道沉积试验系统，研究了不同因素对颗粒物沉积量的影响，得到以下结论：

- (1) 随着流体流速的增加，管道颗粒物沉积量明显降低，中小雨天气的排水水量较少，颗粒物沉积较为严重。
- (2) 随着颗粒物粒径的增加，管道沉积量逐渐增大，粒径在 5mm 至 11mm 的颗粒物沉积较严重，当颗粒物粒径处于此范围时应提高清淤频率。
- (3) 随着管道倾角增大，颗粒物沉积量随之增加，在排水管道设计与运行过程中，应着重注意管道倾角大于 15° 的工况。
- (4) 随着管径的增大，颗粒物沉积量随之增加，在城市排水管网中，应注意大管径排水管道的沉积问题。
- (5) 在排水流速高于 0.8m/s、颗粒物粒径小于 7mm、管道倾角低于 15°、管径小于 400mm 工况下，排水管道可满足技术要求，有效降低清淤周期。

参考文献:

- [1] 刘国臻.北京市雨水口内沉积物物理力学性质相关研究[D].北京:中国地质大学(北京),2020:13-35.
- [2] 朱一铭,王嘉君,徐源鸿,等.CH₄和CO₂的水合物沉积物力学特性对比研究[J].非常规油气,2021,(5):1-8.
- [3] 杨辉,朱代强,刘祥刚,等.细粒沉积学研究动态及探讨[J].非常规油气,2021,(1):1-7.
- [4] 常海东,金鹏康,付博文,等.昆明市不同功能区排水管道沉积物性质[J].环境科学,2016,37(10):3821-3827.
- [5] 李海霞,顾韞辉,王红武,等.基于初雨污染控制的雨水管道淤积指数研究[J].给水排水,2022,58(S1):450-455.
- [6] 谈帅,刘翠云,杨钰婷,等.变流量及初期效应下雨水管道内悬浮颗粒物的沉积规律[J].安全与环境工程,2019,26(6):94-100.
- [7] 王春伟,孙志峰,杜焕福.牛庄洼陷沙三下一沙四上泥页岩特征及沉积环境[J].非常规油气,2022,9(2):42-48,84.
- [8] 李晓路,杜永慧,陈义国,等.延安南部延长组长9段顶部页岩古沉积环境恢复及意义[J].非常规油气,2022,9(5):36-42.
- [9] 景新胜.基于ICM模型的合流制管道沉积物变化规律及调蓄池污染控制研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2022:12-43.
- [10] 王健,刘国华,齐鲁,等.城市排水管道沉积物与污水间物质转移转化研究进展[J].中国给水排水,2021,37(24):34-44.
- [11] 张青文.基于SWMM的排水管道沉积物冲刷模型及初期雨水截流量计算方法研究[D].长沙:湖南大学,2020:14-26.
- [12] 何静,王满学,周普,等.油田采出水Zeta电位和中值粒径对絮凝效果条件研究[J].非常规油气,2021,(1):116-120.
- [13] 付晨阳,谢振强,李玮,等.冲击角度对硬质颗粒冲击柔性靶板的影响[J].非常规油气,2022,9(6):108-113,120.
- [14] 陈仕哲.淤积排水管道过流阻滞特性研究[D].郑州:郑州大学,2022:23-57.
- [15] 黄乃先,齐一凡,金伟.排水管道沉积物控制的研究进展[J].环境工程技术学报,2021,11(3):507-513.
- [16] 周敬钦,刘翠云,周俊,等.排水管道内不同粒径沉积颗粒物冲刷率的分析与计算[J].环境化学,2021,40(3):896-903.
- [17] 吴俊.排水管道中雨污水颗粒物沉降速率特征分析[J].环境工程,2023,41(4):1-9.
- [18] 周英,徐瑾,侯齐敏.天津市排水系统沉积物的沉积状况及影响因素[J].中国给水排水,2018,34(17):116-118.
- [19] 姚振杰,赵洋,李剑,等.J区块注水开发储层物性变化规律研究[J].非常规油气,2021,(6):46-51,67.
- [20] 张怡蕾,操家顺,薛朝霞,等.城市排水管道内污染物迁移转化规律研究进展[J].环境科学研究,2020,33(1):111-121.

(上接第811页)

- [4] 方应发,曾臻,张越,等.地铁车站下沉式冷却塔工作环境研究及优化[J].城市轨道交通研究,2019,22(8):118-123.
- [5] Zheng Z, Zhang D, Jiang L, et al. Numerical simulation on influence of noise barrier on thermal performance for natural draft wet cooling towers[J]. Case Studies in Thermal Engineering, 2021,28:101403.
- [6] Wang Y, Zhang D, Jiang L, et al. Research on noise reduction characteristic of sound barrier on natural draft wet cooling towers[J]. International Journal of Refrigeration, 2022, 133:73-79.
- [7] Jolibois A, Defrance J, Koreneff H, et al. In situ measurement of the acoustic performance of a full scale tramway low height noise barrier prototype[J]. Applied Acoustics, 2015,94(7):57-68.
- [8] GB/T 16404-1996,声学 声强法测定噪声源的声功率级 第1部分:离散点上的测量[S].北京:中国标准出版社,1996.
- [9] 刘加平.建筑物理[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:365.
- [10] 曾向阳,Claus Lynge Christensen.声线法误差及其影响参数分析[J].电声技术,2006,(9):10-12.
- [11] HJ/T 1990-2004,声屏障声学设计和测量规范[S].北京:中国环境出版社,2004.