

# 西安市污水管网中沉积物特性研究

付博文, 金鹏康, 石 山, 常海东, 李雪兵, 贾锐珂  
(西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘 要:** 以西安市污水管网为研究对象,运用声呐探测与管道机器人相结合的方法,调研了城市污水管网沉积物的沉积与冲刷情况以及各级污水管网中沉积物的形成规律。结果表明,西安市城区80%的污水管道存在沉积现象,其中合流制管道较分流制管道更易于沉积。不同级别的管道沉积规律不同,平均沉积量呈现出“排水支管>干管>主干管”的分布规律;支管和干管的沉积量为主干管的2~3倍,支管沉积量分布较为分散,容易出现淤积堵塞情况,而主干管沉积量一般不超过10%,过流情况较好。沉积作用和冲刷作用是影响沉积物形成的主要因素,流速的变化影响管道污水中悬浮物的沉积与再悬浮,这一情况对于流速波动较大的排水支管和干管中沉积量的影响最为显著,而排水主干管则因流速相对稳定而沉积量变化较小。研究还发现,由于管道流态变化原因,排水管道汇流后比汇流前、拐弯后比拐弯前更容易发生沉积。

**关键词:** 城市污水管网; 沉积物; 冲刷; 沉积区域

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)17-0119-05

## Sediment Characteristics of Sewer Network in Xi'an City

FU Bo-wen, JIN Peng-kang, SHI Shan, CHANG Hai-dong, LI Xue-bing, JIA Rui-ke  
(School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology,  
Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Taking sewer network in Xi'an as the research object, deposition and erosion of the sediment and its formation mechanism in different level sewer networks were investigated by adopting the combined method of sonar detection and pipeline robot. The results showed that deposition phenomenon existed in 80% of the sewers in Xi'an City, and the combined system was easier to deposit than the separate system. Deposition of different level sewers had different sedimentary mechanism, and the average deposition amount presented the distribution of branch sewer > sub-main sewer > main sewer. The thickness of sediments in branch and sub-main sewers were 2-3 times higher than that of the main sewers, and the distribution of sedimentary amount of branch sewer was more disperse, which was easy to block. However, deposition amount of the main sewer was generally no more than 10%, where good flow condition was obtained. It was found that deposition and erosion were the main factors influencing the formation of sediment. Variation of flow velocity affected the deposition and resuspension of sewage suspended solid in the sewer, and the situation had the most significant influence on the deposition in branch sewer and sub-main sewer with high velocity fluctuation. However, the main sewer had less variation of deposition

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07313001); 新世纪优秀人才支撑计划项目(NCET-12-1043); 陕西省创新团队项目(IRT-2013KCT-13)

通信作者: 金鹏康 E-mail: pkjin@hotmail.com

due to relatively stable flow velocity. In addition, because of variation of the flow state, deposition was more likely to occur after the confluence and turning than before the confluence and turning of the sewer.

**Key words:** urban sewer network; sediment; erosion; sedimentary area

由于我国城市化进程较快,很多地区的污水管网建设滞后,再加上规划不合理、日常维护不当等原因,导致城市污水管道中沉积情况普遍存在。管道沉积物的存在会带来诸如降低排水管道的容量、增大排水管道的水力阻力、溢流污染受纳水体、产生有毒有害气体、影响管道工人的下井作业安全、腐蚀管道等问题<sup>[1~3]</sup>。因此,加强对污水管网沉积物形成规律及性质的研究对控制管网污染物形成、缓解城市水体污染具有重要的现实意义。

目前我国检测管道沉积物常采用的方法是目测法和量泥斗法等,可以快速检测检查井和管口附近的沉积物厚度,但使用条件受限。而声呐检测技术可以定量分析管段断面尺寸、沉积物厚度及其形状和尺寸,数据更准确合理。笔者采用声呐技术,以西安市污水管网为研究对象,分析调研了不同排水体制、不同级别的污水管道在不同时刻的沉积情况,并分析了沉积物形成与释放的影响因素,以期为城市污水管网沉积物的污染控制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本区域选取

西安市全市城区现已铺设排水管道约 2 600 km,管网密度达到 6 km/km<sup>2</sup> 以上,除老城区及东北郊部分为合流制外,其余都以分流制为主。其中,污水管网总长约为 1 150 km,雨水管网总长约为 1 250 km,合流制管网总长约为 200 km。为了更加客观地说明沉积物的沉积规律,本研究在西安市随机抽取了 9 块沉积物样方管道约 37 km 的污水管道,共 279 个检查井,调研面积为 13 km<sup>2</sup>。研究区域不仅包含了主干管、干管和支管中变径、转向、汇水等状况,也包含了老式居民区、新居民区、城中村、商业区、校园等功能区,管道主要为钢筋混凝土管,局部地区为铸铁管和 PVC 管,管径范围在 300 ~ 1 200 mm 之间。污水从用水单位流出至支管,再依次经过干管、主干管,并最终流入污水处理厂。因此在调研管路的基础上进行了分类:①排水主干管(DN1 000 ~ 1 200);②排水干管(DN500 ~ 800);③排水支管(DN300 ~ 600)。调研点的选取遵循如下准则:①能够准确反映出管路内沉积物的特性;②具

有连续性,能够反映出沉积物沿程变化情况;③方便取样和监测。

### 1.2 调研方法

为了准确调研样方区域内的沉积物特性,本研究在传统沉积物观测方法的基础上,结合了管道闭路电视监测系统与声呐监测技术,采用新研发的管道机器人<sup>[4]</sup>监测沉积物厚度。该机器人装有声呐探头,可以测得管道沉积物厚度的实时数据,与此同时,通过哈希 sigma950 型流量计测定管道的水深、流速、流量等数据。

## 2 结果与讨论

### 2.1 沉积物形成规律

在调研区域范围内,经过分析计算发现,西安市排水管网沉积现象普遍(如表 1 所示),80% 的管道存在沉积现象,另外 15% 的管道存在少量沉积物,5% 没有沉积现象。其中,在合流制污水管道中,存在沉积现象的管道占 86.8%;在分流制污水干管中,存在沉积现象的管道占 71.4%。

表 1 样方区域沉积概况

Tab. 1 Information of investigated area

样本数量	管路级别	管径/mm	排水体制占比/%		管道沉积量/%	
			合流制	分流制	合流制	分流制
52	主干管	1 000 ~ 1 200	54.5	45.5	14 ± 4	11 ± 3
84	干管	500 ~ 800	60.8	39.2	21 ± 11	17 ± 9
129	支管	300 ~ 600	72.6	27.4	27 ± 15	19 ± 10

由表 1 可知,合流制管道的沉积量(沉积物厚度与管径的比值)普遍大于分流制管道,说明合流制管道较分流制管道更易于沉积。这是由不同体制管道条件和水质、水量的不同所决定的:由于设计考虑,一般情况下合流制管道水深、流速均小于分流制管道,这些因素致使合流制管道中的悬浮物沉降率高于分流制管道,同时降低了水流冲刷的影响,使悬浮物更容易沉积;另一方面,合流制管道水流部分来自于雨水汇流,使水中含有更多的悬浮态颗粒,同时将大量大颗粒无机砂石等物质带入管道内,增加了颗粒整体沉降性,这些物质所构成的沉积物底层物质密度与粒径都较大,难以在管道中迁移运动,使沉积物整体相对比较稳定。

## 2.2 不同级别管道沉积情况

将调研数据中各个管道进行分类,根据不同级别管道内的沉积量,统计不同管道沉积情况直方图和概率分布图,结果见图1。排水支管沉积量为1.7%~66.3%,平均为21.2%;排水干管沉积量为2.4%~48.7%,平均为17.8%;排水主干管沉积量为3.1%~22.4%,平均为12.4%。管道平均沉积

量呈现出“支管>干管>主干管”的分布规律,由此可见,排水支管和干管比主干管更容易发生沉积现象。从沉积量正态分布概率密度函数可以看出,沉积量分布离散程度 $\sigma$ 值也呈现出“支管>干管>主干管”的规律,支管沉积量分布较为分散,容易出现淤积堵塞情况;主干管沉积量分布较为集中,占管径的10%左右,过流情况较好。

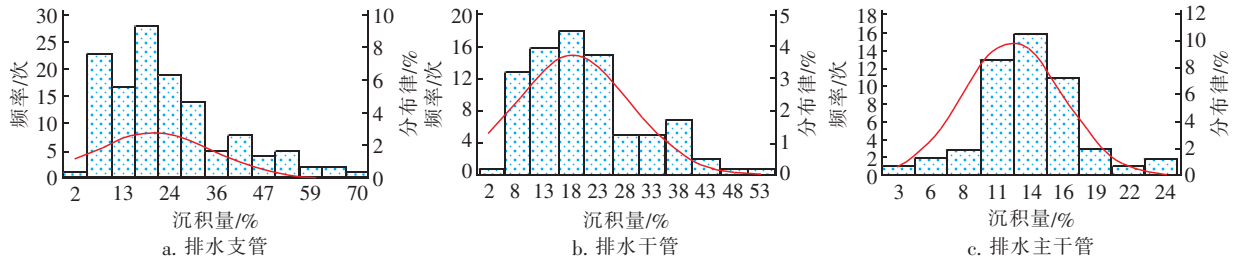


图1 各级管道沉积量的概率直方分布

Fig.1 Frequency and distribution of sediments in sewers

根据管道中的沉积量,可将其分为4类<sup>[5]</sup>:①沉积物极少(<3%);②沉积物存在(3%~20%);③淤积(20%~50%);④沉积物堵塞管道(>50%)。依照上述分类发现:52.1%的管道存在沉积物;11.1%的管道发生淤积;1.7%的管道发生严重堵塞。结合各级管道沉积量情况发现,西安市排水主干管整体沉积状况良好,不会对管道过流造成较大影响;但局部的排水干管和支管沉积非常严重,沉积量超过了40%,会引起管道淤积与堵塞。

## 2.3 不同级别管道沉积物的日变化情况

调研期间对不同级别管道的沉积物进行24 h连续监测,研究管道沉积物厚度和沉积量的日变化情况。经分析,研究区域内各汇水区域功能区分布较相似,汇水区域内地表径流系数可近似看成一致,且根据调研资料该区域内排水管道坡度均为0.1%~0.2%,因此认为调研区域内相同级别的管段所对应的汇水区特性相同、汇水面积相似。在该区域内选取典型管段进行沉积物监测,结果见图2。

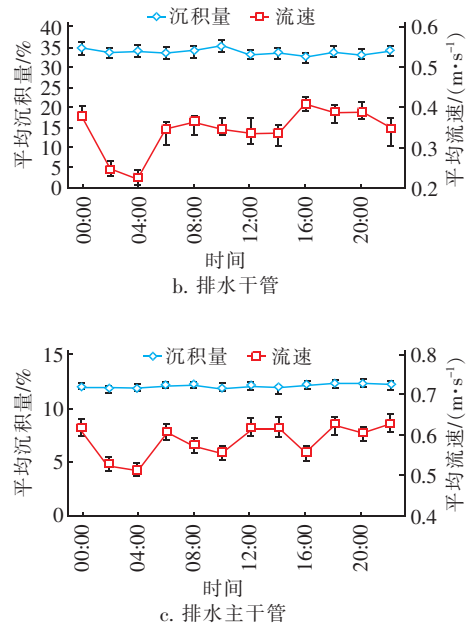
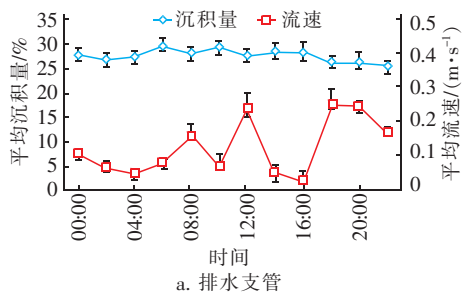


图2 各级管道沉积物的日变化情况

Fig.2 Daily variation of sediments in sewers

根据污水中沉积物颗粒的沉积与冲刷物理过程分析,沉积物沉积与管道壁面水流大尺度湍流关系密切。排水支管和干管沉积量日变化较大,主要是由于其直接连接用户,水流时变化性大,易受水流强度、流向和稳定性等特性影响,管段内出现沉积和冲刷的概率高。在排水低谷时,管道平均流速较慢,水流携沙能力相对较弱,水流中的污染物颗粒发生沉积的几率大于污染物颗粒随水流迁移的几率;在



排水高峰时,管道平均流速较快,水流携沙能力较强,加之沉积物在排水低谷时厚度的增加,过流断面缩小,管壁附近水流湍流强度逐渐增加,水流中的污染物颗粒发生迁移的几率大于污染物颗粒发生沉积的几率。排水主干管沉积量日变化较小,由于主干管污水流量和流速比较大,水流对沉积物携带与传递作用增强,同时管道过流情况较好,管径较大,水流湍流强度小,流态较稳定,管道内污染物颗粒的沉积与冲刷水平相近,因此管道沉积量在宏观上维持稳定。

## 2.4 城市污水管道易于沉积区域分析

对研究区域内不同情形的管道沉积物进行调研,典型情况可以分为管道初始段、管道末端、管道中段、管道汇流处、管道拐弯处等几类,发现易发生沉积的区域为管道汇流后及拐弯处。选取调研区域内管路系统的拐点以及汇入点为监测点,根据沉积量的划分,分别统计点位前后5 m以内的沉积物厚度变化情况,结果如图3、4所示。

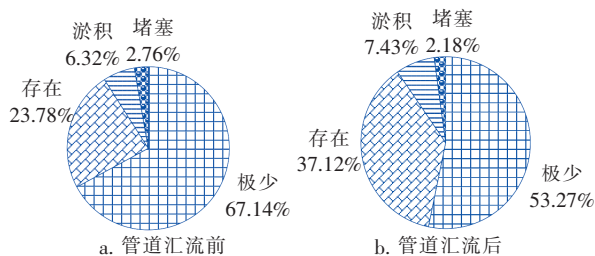


图3 管道汇流前、后沉积物的变化

Fig. 3 Variation of sediments at confluence point in sewers

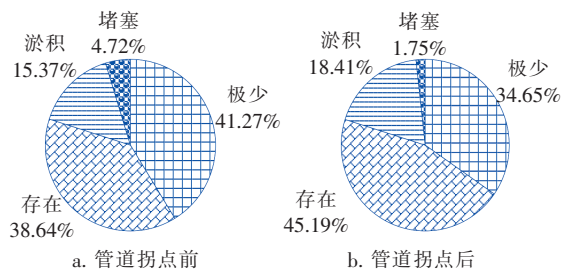


图4 管道拐点前、后沉积物的变化

Fig. 4 Variation of sediments at turning point in sewers

由图3可知,排水管道汇流处的沉积情况总体良好,淤积与堵塞现象较少。从汇流前到汇流后,沉积物极少( $<3\%$ )的管段比例从67.14%下降到53.27%,沉积物存在( $3\% \sim 20\%$ )的管段比例从23.78%升高到37.12%,说明在汇流后管道内容易

发生沉积。这主要是由于在汇流处水流与管壁发生碰撞,汇流对于主流有一定的冲击作用,使得交接处局部区域流速过大产生湍流,水体中的固体悬浮物无法继续沉降,而且原有的沉积受到冲刷;汇流后水流趋于稳定,管径逐渐增大,水流携沙能力下降,污染物颗粒发生沉积的几率增高。

由图4可知,排水管道拐弯前后存在一定的沉积物淤积情况,堵塞现象较少。从拐点前到拐点后,沉积物极少( $<3\%$ )的管段比例从41.27%下降到34.65%,沉积物存在( $3\% \sim 20\%$ )的管段比例从38.64%升高到45.19%,表明汇流后管段沉积量增大,水体中的污染物颗粒沉积几率增高。这是由于水体在流向发生改变时产生强烈搅拌,水体中悬浮物的运动发生改变,从平缓迁移变为碰撞富集,局部流速急剧改变,污染物颗粒在碰撞后损失了动能,加之富集以后形成的大颗粒悬浮物增加了沉降性,因此在拐点之后局部区域沉积物厚度明显增加,拐点角度越大,则沉积增加量越不明显。

## 3 结论

① 对西安市城区的主要污水管段进行调研,发现80%的管道存在沉积现象。其中,合流制管道更易发生沉积,存在沉积现象的管道约占86.8%;在分流制污水管道中,存在沉积现象的管道约占71.4%。

② 不同级别的管道沉积规律不同,管道沉积状况也相差甚远,平均沉积量呈现“支管 $>$ 主干管 $>$ 主干管”的分布规律。管道的管径越大,则越不容易发生淤积与堵塞,排水支管和排水主干管中的污染物颗粒比主干管中的污染物颗粒发生沉积的几率更高。

③ 沉积作用和冲刷作用是影响沉积物形成的主要因素,排水支管和排水主干管中的沉积物日变化幅度较大,排水低谷时主要为沉积作用,排水高峰时主要为冲刷作用;而排水主干管中的沉积物日变化幅度较小,基本处于一定范围内的动态平衡。

④ 排水管道汇流后比汇流前、拐弯后比拐弯前容易发生沉积,这主要是由于水流局部流态发生变化,导致了能量的交换与损失。因此,在日常管道清淤与养护中,应注意特殊位置的检查与清扫;同时,在管道设计时,要优化下游管道的坡度和拐点,

(下转第127页)