

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.12.004

基于监测的污水管网有机物沉积降解快速测算方法

张旭东^{1,2}, 李志一^{1,2}, 庄梦娟^{1,2}, 杨婷婷^{1,2}, 赵冬泉^{1,2}

(1. 北京清环智慧水务科技有限公司, 北京 100086; 2. 浙江清环智慧科技有限公司, 浙江 宁波 315191)

摘要: 有机物在污水管网中的沉积和降解效应是导致污水厂进厂污染物浓度低的原因之一,但在实际诊断工作中尚缺乏可靠的方法对其影响进行不同区域的分区测算。基于流量和污染物负荷守恒原理,并考虑有机物和氮磷在管道中变化过程的差异,提出了一套可以区分流入参与有机物沉积降解影响的方法,并选择案例开展应用研究。结果表明,通过水量水质监测,可实现对污水管网分区入流入渗率与有机物沉积降解率的快速测算;研究区域内不同分区的入流入渗率为19.8%~55.6%,沉积降解率为5.4%~33.5%;分区沉积降解率与其管网总长度显著正相关,相关系数达到0.87。该方法的应用可为污水管网有机物浓度低的成因提供更加全面的诊断结论,识别并定位外水入侵与沉积降解严重的区域,为污水管网提质增效工程改造方案的设计和实施提供更可靠的支持。

关键词: 污水管网; 沉积降解; 入流入渗; 提质增效; 水量水质监测

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)12-0026-07

Rapid Estimation Method for Organic Matter Deposition and Degradation in Sewage Pipe Networks Based on Monitoring

ZHANG Xu-dong^{1,2}, LI Zhi-yi^{1,2}, ZHUANG Meng-juan^{1,2}, YANG Ting-ting^{1,2}, ZHAO Dong-quan^{1,2}

(1. Beijing Tsinghuan Smart Water Tech Co. Ltd., Beijing 100086, China; 2. Zhejiang Tsinghuan Smart Tech Co. Ltd., Ningbo 315191, China)

Abstract: The deposition and degradation of organic matter in sewage pipe networks is a significant factor contributing to the low inlet concentration of pollutants in wastewater treatment plants. However, there is still a lack of reliable method for estimating their impact in different areas during practical diagnosis work. Based on the conservation of flow and pollutant load, and considering the differences in the transformation processes of organic matter, nitrogen, and phosphorus in the sewage pipe, this paper proposes a method to distinguish the effects of inflow and infiltration from organic matter deposition and degradation. A case study shows that through water quality and quantity monitoring, it is possible to quickly calculate the inflow and infiltration rates as well as organic matter deposition and degradation rates of the sewage pipe network in different areas. In the case study, the inflow and infiltration rates in different areas range from 19.8% to 55.6%, while the deposition and degradation rates

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3203201)

通信作者: 李志一 E-mail: fifthbear@qq.com

vary from 5.4% to 33.5%. The deposition and degradation rates show a significant positively correlated with the total length of the pipe network in each zone, with a correlation coefficient of 0.87. The application of this method can provide more comprehensive diagnostic conclusions for the causes of low organic matter concentration in sewage pipe networks, help identify and locate areas with severe external water intrusion and organic matter deposition and degradation, and provide more reliable support for the design and implementation of engineering reconstruction schemes to improve the quality and efficiency of sewage pipe networks.

Key words: sewage pipe networks; deposition and degradation; inflow and infiltration; quality and efficiency improvement; water quantity and quality monitoring

2022年,住房和城乡建设部、生态环境部、国家发展和改革委员会、水利部联合印发《深入打好城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》,明确指出至2025年,城市生活污水集中收集率力争达到70%以上和进水BOD₅浓度高于100 mg/L的城市污水处理厂规模占比达90%以上的目标,标志着污水管网提质增效工作进入了新的攻坚阶段。近年来,国内许多城市围绕提质增效开展了污水管网排查诊断和改造修复工作,以外水剥离为工作重心提高污水处理厂进水BOD₅浓度,并基于项目实践积累了一定的经验^[1-2],其中基于流量和污染物负荷守恒原理测算外水水量是外水诊断的主要方法之一^[3]。然而,该方法没有考虑管道中污染物的沉积和降解过程对其负荷变化的影响^[4],以及有机物和氮磷等不同污染物变化过程的差异,使得诊断结果存在一定的偏差。

有机物在排水管道中的沉积降解过程复杂,不同管段的长度、管径、坡度不同,管内液位、流速也不同,叠加支管接入与入流入渗的影响,在微观层面上难以对真实排水系统中的每根管道进行沉积降解率测算。现阶段,对有机物在管网中沉积降解效应的探索,仍以理论规律和过程研究^[5]以及实验室污水管道模型研究为主^[6-8]。彭赵旭等^[9]和谢家强等^[10]在真实的排水管网系统中考虑了沉积降解因素的影响,但其指标计算以模型模拟结果为主,对管网结构和排水过程都进行了一定程度的概化。可见,在实际的提质增效工程项目中尚缺乏可靠且经济可行的技术手段对有机物在管段中的沉积降解过程进行测算。

在水量水质平衡原理的基础上,进一步考虑有机物和氮磷在管道中变化过程的差异,从而区分入

流参与沉积降解对管道内污染物浓度下降的影响。利用分区水量水质监测数据,提出了一套可以快速测算污水管网分区入流入渗率与沉积降解率的方法,并在某城市的排水管网诊断工作中进行了验证和应用。

1 研究方法

1.1 测算思路与应用场景

污水管网中不同类型的污染物在污水流过程中发生的主要过程有所不同,其中,氨氮、磷酸盐等相对稳态的溶解性水质指标,在有机物存在的污水管网中一般不会发生明显的反应而消耗,且其属于溶解性物质,受到颗粒物沉积的影响也相对较小。而排水系统中常见的外水如地表水、地下水、工业废水等通常具有较低的氨氮或磷酸盐浓度,因此可认为外水的入流入渗是导致这类指标沿程浓度降低的主要根源^[4]。另一方面,管道中的有机物如COD、BOD₅等在污水管网中发生的过程更加复杂,既会因各类厌氧水解反应和微好氧反应而被消耗,又会因其包含有颗粒态或吸附在颗粒物上的形态而产生明显的沉积效应^[5],同时也会因外水入流入渗的影响而产生浓度变化。

基于上述两类指标在污水管网传输过程中迁移转化规律上的差异,提出一种对分区污水管网有机物沉积降解率(Deposition and Degradation Rate, DDR)进行快速测算的方法。该方法假设氨氮或磷酸盐类指标在污水管道中无明显的沉积降解反应,或沉积降解反应导致的浓度变化在一个相对较小的范围内,其沿程浓度的下降主要受到外水入流入渗的影响,而COD或BOD₅指标值的下降受到外水入流入渗和管道沉积降解的综合影响。因此,基于两类指标从源头排水户至分区末端浓度下降程度

的差异,利用水量水质平衡法对片区的入流入渗率和有机物沉积降解率分别进行测算。该方法中,不同污染物在污水管网中发生的主要过程差异概化如图1所示。

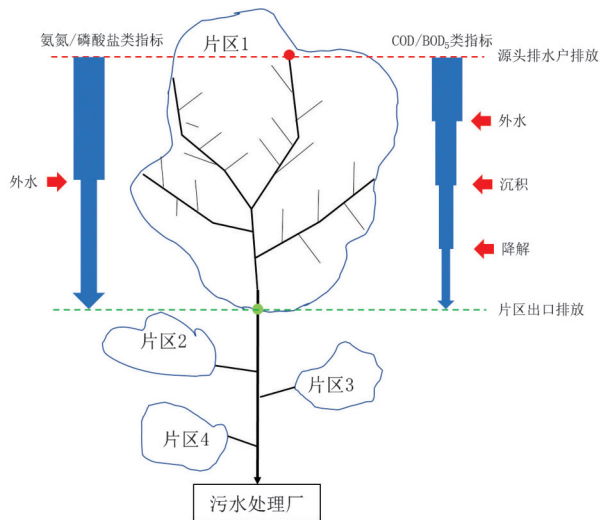


图1 不同污染物在污水管网中发生的主要过程差异概化示意

Fig.1 Generalized diagram of the main process differences of different pollutants in sewage pipe networks

在以污水处理厂进水污染物浓度提升为目标的提质增效工程实践中,进水污染物浓度低的主要原因有外水入流入渗、有机物沉积降解以及源头排放浓度低等。由于难以评估确切原因,因此经常出现工程针对性不足以及工程实施后污水污染物浓度提升效果不佳等情况。而面对项目区域内几百上千公里的管线,要从微观层面厘清并量化计算污染物各类生化和沉积过程难度极大。在控制边际投入的情况下,使用该方法可分别快速测算入流入渗与沉积降解对污染物浓度降低的影响程度,从而指导提质增效工程下一步的开展方向。同时,不同城市的排污特征和管网情况不同,在应用此方法前应先选取典型管段对氨氮或磷酸盐类指标受到沉积降解影响较小的这一假设进行验证。

1.2 测算方法

基于上述思路,分区入流入渗率和沉积降解率的具体计算公式如下:

$$Q_i + Q_w + \sum Q_u = Q_m \quad (1)$$

$$Q_i \times C_{iN} + Q_w \times C_{wN} + \sum Q_u C_{uN} = Q_m \times C_{mN} \quad (2)$$

$$(Q_i \times C_{iC} + Q_w \times C_{wC} + \sum Q_u C_{uC}) \times (1 - r_d) = Q_m \times C_{mC} \quad (3)$$

式中: Q_i 为片区外来水量, m^3/d ; Q_w 为片区产生污水量, m^3/d ; Q_u 为片区外上游来水量, m^3/d ; Q_m 为片区出口水量, m^3/d ; C_{iN} 为外来水中氨氮浓度, mg/L ; C_{wN} 为片区污水氨氮浓度, mg/L ; C_{uN} 为片区外上游来水氨氮浓度, mg/L ; C_{mN} 为片区出口氨氮浓度, mg/L ; C_{iC} 为外来水中COD浓度, mg/L ; C_{wC} 为片区污水COD浓度, mg/L ; C_{uC} 为片区外上游来水COD浓度, mg/L ; C_{mC} 为片区出口COD浓度, mg/L ; r_d 为片区管网有机物沉积降解率。

式(1)描述了片区污水系统中的水量平衡关系,即片区出口总水量应为其他片区上游来水量、片区污水排放量和片区外水量的总和。式(2)描述了片区污水系统中氨氮、磷酸盐等相对稳态的溶解性水质指标的负荷守恒关系。式(3)描述了片区污水系统中COD、BOD₅等有机物指标的负荷守恒关系,将有机物的沉积和降解因素概化为一个系数 r_d ,用于表征分区污水管网的沉积降解效应对有机物浓度下降的影响。

联立式(1)和式(2),可求得片区外来水量 Q_i ,代入式(3)可求得片区管网有机物沉积降解率,同时通过片区水量组成可进一步计算片区入流入渗率。具体算式如下:

$$Q_i = \frac{Q_m \times (C_{mN} - C_{wN}) - \sum Q_u C_{uN} + \sum Q_u \times C_{wN}}{C_{iN} - C_{wN}} \quad (4)$$

$$r_d = 1 - \frac{Q_m \times C_{mC}}{Q_i \times C_{iC} + (Q_m - Q_i - \sum Q_u) \times C_{wC} + \sum Q_u C_{uC}} \quad (5)$$

$$r_i = \frac{Q_i}{Q_i + Q_w} = \frac{Q_i}{Q_m - \sum Q_u} \quad (6)$$

式中: r_i 为片区入流入渗率。

2 应用案例

2.1 案例概况

以某城市某片区污水系统提质增效在线监测诊断工作为例,介绍该方法的应用。

该案例主要目的是对末端污水处理厂进水有机物浓度低的现状进行成因诊断与溯源排查。项目共涉及10个排水分区,总面积为80.07 km²,污水

管总长度为 355.66 km。经初步判断,导致污水处理厂进水污染物浓度较低的主要原因包括源头排放浓度低、污水转输过程中存在外水入流入渗、有机物在转输过程中发生沉积降解三方面,其中外水入流入参与有机物沉积降解的分区测算应用了文

中提出的方法。
为获取测算所需的基础数据,并提高数据的可靠性和代表性,案例中应用流量在线监测和水质采样化验相结合的方式,监测方案和数据获取情况如表 1 所示。

表 1 案例区域监测方案及数据获取情况

Tab.1 Monitoring plan and data acquisition in the case area

监测类型	监测目的	监测布点原则	数据获取情况
典型源头排水户监测	获取典型源头排水户排放水量和水质情况,计算片区代表性污水的本底浓度	根据各排水分区面积,在每个分区内选择 4~13 个典型源头排水户进行水量和水质监测,以居民小区为主,并增加部分企业、商圈、酒店、学校、医院等点位	共采集 66 个源头排水户的有效数据,其中水量为 1 个旱天连续 24 h 在线分钟级监测数据,水质为 1 个旱天早中晚三次采样化验得到的 COD 和氨氮指标数据
各排水分区末端出水监测	获取每个片区污水出口总水量及其水质情况	根据管网拓扑关系,在每个片区的污水管总出口处布设监测点位,若片区有多个污水出口,则同步布设监测点位	10 个排水分区共计 30 个污水出口,其中水量为 14 个旱天连续 24 h 在线分钟级监测数据,水质为 2 个旱天早中晚三次采样化验得到的 COD 和氨氮指标数据
典型外水监测	获取典型外来水水质浓度	在项目所在区域内选择典型河道、水库、山水等处布设监测点位	共采集获得 12 个外水点位的水质情况,为 1 个旱天早中晚三次采样化验得到的 COD 和氨氮指标数据

2.2 典型管段测算验证

为验证测算方法的可行性,选择典型管段进行研究。典型管段的选择标准为:长度适中,中间无大水量支管接入,并且通过管段起始点的流量监测使其满足上下游流量基本平衡,从而排除入流入渗的影响。根据测算方法的原理,典型管段上下游的氨氮指标应无明显差异,而对于存在有机物沉积降

解的管段,其下游 COD 浓度将显著低于上游。
在案例项目中共选择 6 段符合上述条件的典型管段,其中 3 段为圆管,3 段为方涵,管长最短为 113 m,最长为 736 m,其上下游流量基本相同,最小流量为 34 L/s,最大瞬时流量达到 1 185 L/s。对各管段上下游的 COD 和氨氮指标进行采样化验,并计算指标变化率,结果如表 2 所示。

表 2 典型管段特征与水量水质监测结果

Tab.2 Characteristics of typical pipe sections and their water quantity and quality

典型管段	管长/m	管径	瞬时流量/ (L·s ⁻¹)	瞬时流速/ (m·s ⁻¹)	上游 COD/ (mg·L ⁻¹)	上游氨氮/ (mg·L ⁻¹)	下游 COD/ (mg·L ⁻¹)	下游氨氮/ (mg·L ⁻¹)	COD 变 化率/%	氨氮变 化率/%
管段 1	313	2 400 mm×1 600 mm(B×H)	207	0.67	70	19.94	60	19.90	-14.29	-0.20
管段 2	318	2 600 mm×1 800 mm(B×H)	135	0.32	80	19.70	64	19.00	-20.00	-3.55
管段 3	265	DN1 350	1 185	0.79	60	14.24	56	14.65	-6.67	2.88
管段 4	297	DN800	34	0.30	27	2.99	25	3.09	-7.41	3.34
管段 5	113	DN1 200	179	0.37	25	22.20	23	21.25	-8.00	-4.28
管段 6	736	3 000 mm×3 000 mm(B×H)	42	0.35	184	40.79	165	42.55	-10.33	4.31

注: 指标变化率=(下游指标-上游指标)÷上游指标,下游小于上游时为负值。

计算结果显示,氨氮指标的变化率均在±5%以内,其中 3 段管道的氨氮浓度上升,3 段管道的氨氮浓度下降,属于水质指标的正常波动及实验误差。而 COD 指标的变化幅度更大,且各管段下游浓度均低于上游浓度,最大下降幅度达到 20.00%。由此

可以看出,该方法的基本假设在典型污水管段上得到了验证,对管段中有机物沉积降解的测算具有可行性。
2.3 排水分区测算结果
各排水分区的监测指标统计分析结果如表 3 所

示。其中分区总流量为分区出口 14 d 连续监测数据剔除异常数据后的平均值,对于有多个出口的分
区,将所有出口的数据进行累加统计;源头 COD 和
氨氮浓度均为各分区典型源头排水户水质指标按
水量加权后的平均值;分区出口 COD 和氨氮浓度均
为出口各水样按采集时的流量加权后的平均值。

将各排水分区的水量、水质指标代入式(4)~(6)
中,计算得到各排水分区的入流入渗量、入流入渗
率与沉积降解率,具体计算结果如表 3 所示。
由表 3 可以看出,不同排水分区的管网入流入
渗率为 19.8%~55.6%,有机物沉积降解率为 5.4%~
33.5%。

表 3 各排水分区监测数据与测算结果汇总
Tab.3 Summary of monitoring data and calculation results for each drainage zone

排水 分区	分区总流 量/(m ³ ·d ⁻¹)	源头 COD/ (mg·L ⁻¹)	源头氨 氮/(mg· L ⁻¹)	出口 COD/ (mg·L ⁻¹)	出口氨 氮/(mg· L ⁻¹)	外水 COD/ (mg·L ⁻¹)	外水氨 氮/(mg· L ⁻¹)	入流入渗 量/(m ³ ·d ⁻¹)	入流入 渗率/%	沉积降解 率/%
片区 1	1 854	187	52.59	83	24.24	5	0.08	1 001	54.0	6.5
片区 2	36 545	228	42.57	156	32.76	6	0.06	8 432	23.1	11.8
片区 3	13 881	302	51.12	108	24.92	10	4.00	7 719	55.6	22.4
片区 4	66 761	238	51.38	88	28.29	6	0.63	30 380	45.5	33.5
片区 5	34 849	301	46.55	144	29.99	9	0.27	12 470	35.8	26.7
片区 6	3 602	293	53.53	165	42.55	22	5.19	818	22.7	28.7
片区 7	3 738	238	45.41	182	36.42	6	0.05	741	19.8	5.4
片区 8	15 979	217	45.73	125	35.91	6	0.05	3 434	21.5	27.2
片区 9	13 709	192	35.59	137	28.32	26	3.41	3 097	22.6	11.4
片区 10	16 634	251	55.72	109	30.09	11	0.08	7 661	46.1	22.7

2.4 有机物沉积降解率对外水入渗量测算的影响
不考虑有机物在污水管内的沉积降解时,可通
过水量和 COD 的监测结果测算分区外水入流入渗
量^[3]。对比分析直接采用 COD 指标测算入流入渗
量(方法一)与结合 COD 和氨氮指标同步测算入流
入渗量与有机物沉积降解率(方法二)两种方法的
差异,结果如图 2 所示。

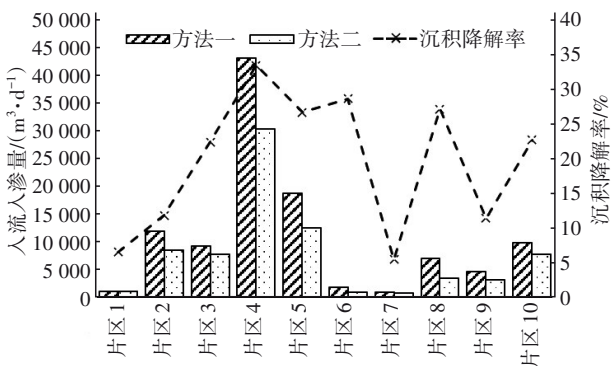


图 2 测算分区入流入渗量的两种方法结果对比
Fig.2 Comparison of the results of two methods for
estimating the inflow and infiltration of different
drainage zone

因有机物在污水管道内必然存在沉积降解的
过程,而方法一将有机物在市政管网中浓度的下降

全部归因于外水入流入渗,故其不同片区的测算结
果均大于方法二,而其差异大小与片区有机物沉积
降解率相关。例如,片区 4 的有机物沉积降解率为
33.5%,其入流入渗量测算结果差异为 12 790 m³/d,
方法二相比方法一减少 29.63%;片区 1 的有机物沉
积降解率为 6.5%,其入流入渗量测算结果差异为
58 m³/d,两种方法测算结果差异较小。由此可见,
对于存在显著沉积降解效应的片区,直接采用 COD
指标测算入流入渗量会产生较大偏差,也会影响对
后续管网提质增效工程改造和建设工作的指导。

2.5 有机物沉积降解率与管网长度的相关性
案例项目所在区域不同片区的有机物沉积降
解率存在一定的差异,为此进一步分析各片区有机
物沉积降解率与污水管网总长度的相关关系。案
例项目中各片区污水管网总长度如表 4 所示。

表 4 各排水分区污水管网总长度统计
Tab.4 Statistics of total length of sewage pipe
networks in each drainage zone km

片区	片区 1	片区 2	片区 3	片区 4	片区 5	片区 6	片区 7	片区 8	片区 9	片区 10
污水 管网 总长	5.00	10.65	25.00	90.46	53.76	23.49	16.86	22.12	59.82	48.49

考虑到在极端情况下,当管网长度为0时不存在沉积降解效应,因此在零截距的边界条件下对片区管网总长度与其有机物沉积降解率进行相关性和拟合分析。结果表明,两者之间的皮尔逊相关系数达到0.87, p 值小于0.05,两者在0.05的显著性水平下显著相关。拟合结果(见图3)表明,拟合方程的 R^2 达到0.74,拟合公式为片区沉积降解率(%)=0.437×片区污水管网总长度(km)。片区有机物沉积降解率与管网总长度之间存在较强的正相关,片区管网总长度越长,污水流行时间越长,有机物沉积降解的风险就越大。在工程实践中监测点数量有限的情况下,用已监测片区的数据进行拟合并推广至监测无法覆盖的片区,可以实现对大范围区域整体情况的初步测算。

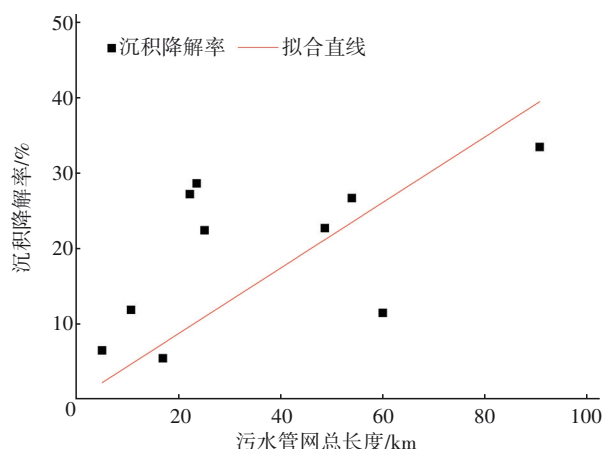


图3 片区有机物沉积降解率与污水管网总长的拟合关系

Fig.3 Fitting relationship between deposition and degradation rate and total length of sewage pipe networks of different drainage zone

3 结论

有机物在污水管网中的沉积和降解效应对污水厂进厂污水污染物浓度有着不可忽视的影响,但因其机理的复杂性,在污水管网提质增效项目中难以进行准确和可靠的测算,而通过经验推测又容易产生较大的偏差,从而影响污染物低浓度成因的诊断溯源与浓度提升的工程成效。提出了一种基于水量水质监测的污水管网有机物沉积降解测算方法,利用不同污染物迁移转化规律的差异,可快速测算排水分区的外水入流入渗率与有机物沉积降解率。案例结果表明,该方法在污水管网中的应用具有可行性,10个排水分区的入流入渗率为19.8%~55.6%,有机物沉积降解率为5.4%~33.5%,且有

有机物沉积降解率与分区管网总长度显著正相关,相关系数达到0.87。

提出的基于水量水质监测污水管网有机物沉积降解测算方法,主要从宏观层面对排水分区级别进行有机物沉积降解测算,并不涉及微观机理,可在提质增效类项目前期阶段为问题诊断与方案设计提供更可靠的数据支撑和决策依据:一方面,考虑有机物沉积降解效应后测算得到的外水入流入渗量更加准确,可为下一步入流入渗点的排查与剥离提供更可靠的支撑;另一方面,对于有机物沉积降解严重的管网区域,通过进一步排查如慢速管段、逆坡管段、淤积管段、死水区等可能的成因并进行相应的修复改造,降低沉积降解效应,也是污水处理厂进厂污水污染物浓度提升的重要手段。

参考文献:

- [1] 白永强,鲁梅,刘绪为,等. 镇江市“四位一体”排水管网诊断流程及工程实践[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 26-31.
BAI Yongqiang, LU Mei, LIU Xuwei, et al. Diagnosis process of “four-in-one” for drainage network and engineering practice in Zhenjiang [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(12): 26-31 (in Chinese).
- [2] 胡馨月,鲁梅,崔诺,等. 提质增效背景下排水管网分级诊断技术研究及实践[J]. 中国给水排水, 2023, 39(8): 17-22.
HU Xinyue, LU Mei, CUI Nuo, et al. Hierarchical diagnostic technology for quality and efficiency improvement of urban drainage network [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(8): 17-22 (in Chinese).
- [3] 杨婷婷,李萌,李志一,等. 系统化监测方法在污水处理提质增效中的应用[J]. 环境工程, 2022, 40(12): 239-243, 223.
YANG Tingting, LI Meng, LI Zhiyi, et al. Application of systematic monitoring scheme in quality and efficiency improving of sewage treatment [J]. Environmental Engineering, 2022, 40(12): 239-243, 223 (in Chinese).
- [4] 孙永利,吴凡松,李文秋,等. 城市生活污水集中收集率和污水处理厂进水浓度问题的思考[J]. 给水排水, 2023, 49(1): 41-46.
SUN Yongli, WU Fansong, LI Wenqiu, et al. Reflections on the centralized collection rate of municipal sewage pollutants and the influent concentration of wastewater treatment plants [J]. Water

- & Wastewater Engineering, 2023, 49(1): 41-46 (in Chinese).
- [5] 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.
- WANG Jian, LIU Guohua, QI Lu, *et al.* Research progress in material transformation between sediment and sewage in urban drainage pipeline[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(24): 34-44 (in Chinese).
- [6] 桑浪涛,石烜,张彤,等.城市污水管网中污染物冲刷与沉积规律[J].环境科学,2017,38(5):1965-1971.
- SANG Langtao, SHI Xuan, ZHANG Tong, *et al.* Law of pollutant erosion and deposition in urban sewage network [J]. Environmental Science, 2017, 38(5): 1965-1971 (in Chinese).
- [7] 金鹏康,卞晓峥,焦丁,等.城市污水管网污染物沉积与冲刷释放规律研究[J].安全与环境学报,2016,16(5):253-257.
- JIN Pengkang, BIAN Xiaozheng, JIAO Ding, *et al.* On the pollutant deposition and erosion release in the urban sewer networks [J]. Journal of Safety and Environment, 2016, 16(5): 253-257 (in Chinese).
- [8] 高晨晨,孙永利,穆莹,等.城市居民生活污水污染物沉积衰减规律及影响[J].中国给水排水,2023,39(3):67-72.
- GAO Chenchen, SUN Yongli, MU Ying, *et al.* Deposition and attenuation law of pollutants in urban residential domestic sewage and its impact [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(3): 67-72 (in Chinese).
- [9] 彭赵旭,刘奥,李廷梅,等.厂网一体化视角下管网有机物降解规律的模拟研究[J].中国给水排水,2022,38(8):52-59.
- PENG Zhaoxu, LIU Ao, LI Tingmei, *et al.* Simulation of organics degradation law in pipe network from the perspective of plant-network integration [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(8): 52-59 (in Chinese).
- [10] 谢家强,胡军,颜莹莹,等.长江经济带典型污水收集系统提质增效量化研究[J].中国给水排水,2022,38(19):28-34.
- XIE Jiaqiang, HU Jun, YAN Yingying, *et al.* Quantification of quality and efficiency improvement of typical urban sewage collection system in Yangtze River economic belt [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(19): 28-34 (in Chinese).
- 作者简介:**张旭东(1993-),男,浙江慈溪人,硕士,高级系统分析师,北京清环智慧水务科技有限公司水务技术研究院副院长,主要从事智慧排水监测体系构建、在线监测大数据分析与诊断、排水模型构建与应用等相关方向的工作和研究。
- E-mail:** zxd@thuwater.com
- 收稿日期:**2023-10-31
- 修回日期:**2023-11-22

(编辑:丁彩娟)

贯彻绿色发展理念

推进美丽中国建设