

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.17.009

UV 法在线水质监测系统在排水管网中的应用研究

张 文¹, 方 茜¹, 周午阳^{1,2}, 王广华², 孙志民²

(1. 广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510006; 2. 广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

摘 要: 随着城市化进程的不断加快,合流制排水系统溢流污染问题日益严峻,如何充分利用排水管网削减雨天溢流污染成为研究热点。本研究建立了在线水质监测系统,对排水系统溢流口、截污闸等处的 COD 信息进行实时监测,然后依据实时监测数据制定截污闸调度策略。同时对水质分析仪的准确性和稳定性进行了测试,将其安装在监测点连续监测 30 d,测样时间间隔为 10 min,随机抽取 8 d 的在线监测数据进行比对,并以人工采样测试结果作为对照。结果表明,在线水质分析仪性能稳定,能及时灵敏地反映水质变化情况;在线监测与人工测试的对比结果表明,85% 的数据偏差 ≤ 15 mg/L,可满足辅助调度决策的要求;在近 8 个月的长时间持续监测过程中,系统运行状态良好,在辅助排水系统调度中具有较好的应用前景。

关键词: 排水系统; 调度策略; 在线水质监测

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)17-0057-05

Application of UV Online Water Quality Monitoring System in Drainage System

ZHANG Wen¹, FANG Qian¹, ZHOU Wu-yang^{1,2}, WANG Guang-hua², SUN Zhi-min²

(1. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract: The overflow pollution of the combined drainage system is becoming more serious as the rapid urbanization. How to make full use of the drainage pipe network to reduce the overflow pollution during rainy days has become a hot research topic. An online water quality monitoring system was established to monitor the COD information at the overflow and sewage gate of the drainage system in real-time, and then the sewage gate scheduling strategy was formulated based on the real-time monitoring water quality data. The accuracy and stability of the water quality analyzer were tested. The analyzer was installed at the monitoring point and monitored continuously for 30 days with a sampling interval of 10 minutes. Eight days of online monitoring data were randomly selected for comparison with the manual sampling and testing results. The online water quality analyzer was stable and reflected the water quality change in time and sensitively. The comparison between the online monitoring data and manual testing data indicated that 85% of the data deviations were no more than 15 mg/L, which met the requirements of the auxiliary scheduling decision. The system ran well during a long period of continuous monitoring over nearly 8 months and had good application prospects in auxiliary drainage system scheduling.

基金项目: 广东省水利科技创新项目(2020-34); 广州市水务科技计划项目(穗污管办合字[2015]第 16 号)
通信作者: 方茜 E-mail:gz_fq@126.com

Key words: drainage system; scheduling strategy; online water quality monitoring

目前,我国诸多城市保留了合流制排水系统^[1]。尤其是大中型城市的老城区,存在较为严重的合流制排水系统雨天溢流污染问题,由降雨初期冲刷效应造成的溢流污水中含有较高的 COD、总悬浮固体(TSS)、氮磷等营养元素和各种致病菌,合流制溢流污染已成为造成我国自然水体遭受污染的主要污染源之一。如何有效地削减合流制溢流污染问题^[2],已成为我国城市化建设进程中关注的焦点。针对上述问题,除了通过工程建设手段^[3-4]进行改造之外,徐祖信等^[5]提出基于排水管网节点水质监测,采用安赛蜜作为生活污水的水质特征因子,查找排水管网中的管道破损位置。近年来,在线水质监测技术、移动互联技术以及大数据云技术已日渐成熟^[6],借助现代化在线监控技术对已建的城市排水系统实现优化运行管理已成为一个主要的研究方向^[7]。这为监测和控制城市排水管网的溢流污染提供了新的方法和途径,以便满足不同管理需要。水质监测工作已经从现场取样、实验室分析,向现场在线监测传感器直接监测进行转变。

笔者以实际城市区域排水系统为研究对象,基于在线水质分析仪及数据采集传输发布系统,构建在线水质监测系统,实现了现场水质的连续性实时监测、水质数据的实时传输与存储发布;并对在线水质分析仪表进行了为期一个月的校正分析和准确性测试,以及长期工作稳定性测试,该在线水质监测系统运行状态良好,能够满足工程应用需要。并尝试将在线水质监测系统应用到城市排水系统的调度运行管理中,将在线水质监测系统与在线液位监测系统相耦合,辅助调度人员调度决策并探索实现自动控制,有助于减少城市内涝和溢流污染事件的发生。

1 在线水质监测系统的构建

1.1 主要设备选型

在线水质分析仪是水质监测系统中的重要组成部分,为排水系统优化调度运行服务时,要求快速测得监测点的水质数据,以便及时对相应闸门、泵站进行调度,因此无法采用基于重铬酸钾法的 COD 分析仪,需要选用检测速度快、检测准确性高、稳定性持久的在线监测设备。

基于 UV 法的 COD 分析仪的探头为浸没式,能够快速测出监测点的水质数据,同时可直接通过数

据传输单元将水质数据在线传输到云服务器并上传至数据发布网站,让调度人员能够快速得知监测点的水质实时数据,从而及时做出调度决策。本研究选用 UVC 一体化有机物分析仪(COD 分析仪)作为在线水质监测系统的水质数据采集终端。

1.2 仪器设备安装

监测仪器距离管渠底的高度不宜太低,以免污水中的泥沙影响数据读数,高度下限为距离管渠底 50 cm;为避免强光直射影响读数和防止飘挂水中漂浮物,高度上限为距离管渠平均液面以下 20 cm。针对集中住宅区污水的油脂类物质浓度较高问题,则需要加上防护罩并配上自动刮刷,同时调整仪器安装高度,使之位于污水管渠平均液面以下 30 cm,以降低油脂类氧化物等挂膜对读数精确性的影响。

1.3 系统组成

在线水质监测系统包括 COD 分析仪、数据传输单元、供电模块、服务器、数据发布终端等。

为了方便对在线水质监测系统性能进行评估,并使得监测点的监测结果具有代表性,在系统测试阶段,分别选取了在 X 渠箱截污闸前及 S 溢流口前安装 COD 分析仪,并耦合现有在线液位监测系统,形成排水调度在线监测系统,如图 1 所示。

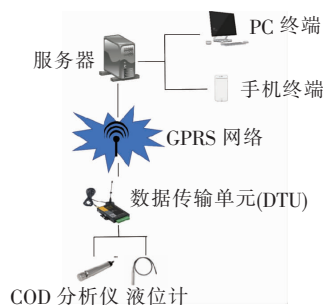


图 1 排水调度在线监测系统

Fig. 1 Drainage scheduling online monitoring system

2 在线水质分析仪的测试

调度指令的准确性取决于水质分析仪采集数据的准确性,本研究选定的水质分析仪的精度为 0.1 mg/L,基于 D 涌历史水质监测数据,设定生活污水 COD 测试误差在 15 mg/L 范围内即满足要求。

UV 法 COD 分析仪较少运用于排水管网中进行长期在线监测,缺乏实际运用案例。鉴于此,需要对本系统的仪器准确性及稳定性进行测试,并针对系

统工作情况对其性能进行评估。由于所采用的在线液位计的精度、可靠性在之前的实验中已被评估为满足要求,故在此只分析在线水质分析仪在排水管网在线监测中的运行情况。

2.1 测试仪器及指标

测试水样为某街道雨水沟降雨后期雨水;标定水样为 XHPN 监测点实际污水;测试指标主要为 COD;测试所需设备:笔记本电脑、UVC 一体化有机物分析仪、相应数据连接装置、多参数便携式比色计、COD 消解仪。

2.2 测试方法与目的

依据设备说明书对 COD 分析仪的准确度进行实验室测试,在完成测试之后,再将 COD 分析仪安装到排水管网中进行长期现场测试,并抽检水样作为对照。依据实际监测点的水质情况,首先对设备参数进行调整,然后再进行持续监测。

在实验室测试阶段,利用经过测试已知 COD 的雨水样,采用 COD 分析仪直接测定;在测试点测试分析阶段,将 COD 分析仪监测时间间隔设置为 10 min,每隔 10 min 设备自动测试并上传读数至数据存储服务器。在水质分析仪进行自动监测的同时,将与仪表监测同一水深的污水通过人工取样带回实验室检测,并将现场在线水质监测设备数据与实验室人工测试数据进行对比。经过多组数据比对后,得出该监测点仪器读数的参数调整倍数。

2.3 实验室测试结果分析

取某街道雨水沟降雨后期雨水作为 COD 分析仪测试水样,水质仪器测试结果见表 1。

表 1 COD 分析仪测试结果

Tab. 1 Test results through COD analyzer

mg · L ⁻¹					
仪器编号	实验编号	仪器读数	修正 COD	实测值	平均偏差
1	空白	0.56	33.99	36.00	-2.01
	N1	34.57			
	N2	33.70			
	N3	35.37			
2	空白	2.52	36.68	36.68	0.68
	N1	38.18			
	N2	39.15			
	N3	40.26			

从表 1 可以看出,1 号仪器 3 次测试的 COD 平均 COD 值为 34.55 mg/L,经过空白修正 COD 为 33.99 mg/L;2 号仪器 3 次测试的 COD 平均值为

39.20 mg/L,经过空白修正 COD 为 36.68 mg/L;所用水样的 COD 实测值为 36.00 mg/L。平均偏差分别为 -2.01 和 0.68 mg/L。可见,经过测试的 COD 分析仪平均偏差较小,均远小于 15 mg/L。所传输的水质数据具有较高的可靠度,可以用于实时在线监测。

2.4 测试点水质变化规律

COD 分析仪的工作原理是根据朗伯 - 比尔定律,以水中有机物在 254 nm 处紫外光的吸收为基础,以 850 nm 红外光作为参比光补偿水中固体颗粒的影响,根据检测到的紫外光吸光度系数来确定水中有机物浓度。此外,由于居民生活产污规律和管渠封闭程度不同,各居民生活片区的污水水质情况差异较大,其中以不饱和有机物为主。并且 UVC 一体化有机物分析仪的光学测试方法与 COD 国标测试方法不同,会造成两种测试结果存在偏差,鉴于此,需要进行现场测试实验以确定仪器的参数调整倍数。

参数调整前,污水干管 COD 监测结果见图 2。从图 2 可知,COD 日变化趋势基本一致,且峰值变化趋势基本重合,仅 4 月 22 日和 23 日部分时间段有所偏离,总体监测数据能够有效训练 COD 分析仪的灵敏度。4 月 23 日 11:20 时,COD 最高为 82.64 mg/L,较其他 3 d 同时段最低值高出 31.22 mg/L;4 月 17 日 06:20 时,COD 最低为 15.63 mg/L。纵观该测试点 COD 的变化情况,COD 基本在 06:00—06:30 达到最小值,08:00、10:00、12:00、14:00、15:00、19:00、21:00 等均出现了小高峰,但无较大波动,说明该研究区域内居民生活整体规律性较低,排水的均匀性较高。

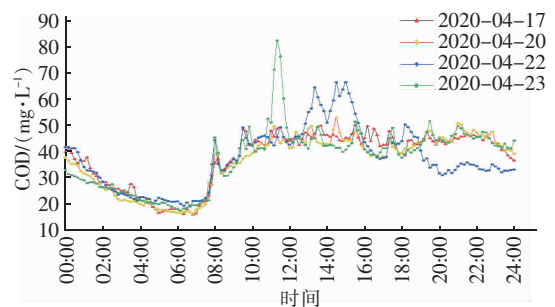


图 2 4 d 污水干管 COD 监测结果

Fig. 2 COD monitoring results of sewage main pipe for 4 days

将图 2 中的数据进行标定调整,监测结果乘以

3.0 与参数调整后的 4 d 监测数据进行对比,结果如图 3 所示。可以看出,参数调整前后,水质日变化趋势总体上基本一致,峰值基本重合,只有部分时段出现了极端值。极端值出现前后的一段时间内,仪器监测数据均能够很好地拟合多天监测的 COD 变化,所以基本可以排除仪器发生故障的情况。暂时性极端值出现的原因主要有以下两方面:①污水水质发生急剧变化,使得水质分析仪测试的数据突然猛升或猛降。由多天 24 h 监测数据可知,研究区域内居民生活污水排水均匀性较高,出现这种情况的可能性较小。②水中大块杂质悬浮物或漂浮物颗粒暂时性遮挡测定端口,导致水质分析仪数据陡升,经过现场勘察并借鉴水位在线监测设备维护经验可知,污水中有较多的大块悬浮物和漂浮物,出现杂质暂时性遮挡测定端口的可能性极大。

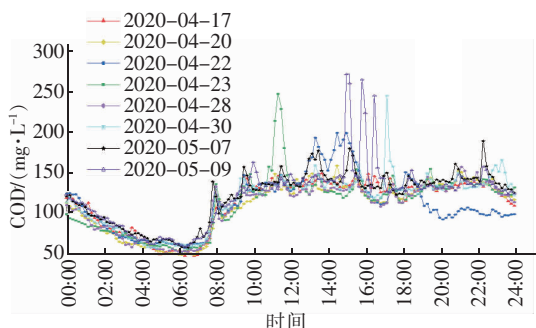


图3 8 d 污水主干 COD 监测结果

Fig. 3 COD monitoring results of sewage main pipe for 8 days

综上所述,面对污水管渠中的复杂情况,仪器均能正常工作,出现短暂极端值说明监测仪器的灵敏度较好,可有效反映污水水质的突变情况。

2.5 测试点测试分析

由于水质在线监测仪器测定方法和实验室测试方法不同,因此两者测定结果数值相差较大,但数值呈现相对稳定的倍数关系,约为 3.0 倍。图 4 为参数调整后 COD 测试结果。可以看出,COD 分析仪测试值和实验室测试值基本呈现 1.0 的倍数关系,20 组数据的对比结果表明,数据偏差小于 10 mg/L 的有 11 组,数据偏差在 10 ~ 15 mg/L 的有 6 组,仅有 3 组数据偏差大于 15 mg/L。由此可以判断,该 COD 分析仪基本能够精确监测污水管渠中 COD 的真实情况。

因不同生活片区居民生活污水的成分不同,所

以两种方法的检测结果不会固定呈现 3.0 的倍数关系。但对于任一选定片区,居民生活污水的成分在正常情况下不会有较大变动,所以均可采用上述方法进行水质监测仪器的校正。

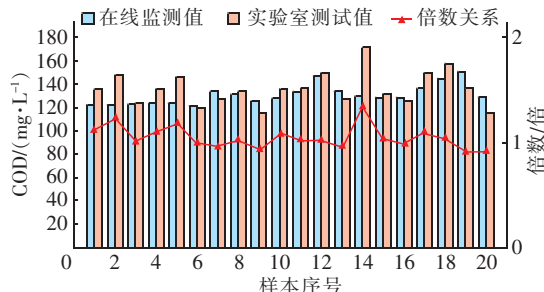


图4 参数调整后 COD 测试结果

Fig. 4 COD test results after parameter adjustment

上述测试过程中,COD 分析仪一直正常工作并在测试结束时仍处于正常工作状态。另外,根据现场观察,在线 COD 分析仪的外防护罩虽已挂有漂浮物,但未影响其正常工作。因此,在线监测设备的清洗维护周期可选择 30 d。

相比其他监测点无防护罩在线 COD 分析仪的维护周期而言,防护罩在延长设备维护周期方面发挥了关键作用,使得污水中大颗粒沉积物及大面积漂浮物(塑料袋等)隔离在外,可阻止污染物进入罩内影响设备监测结果。

按照每 30 d 维护 1 次的频率,该在线水质监测系统已经稳定运行了 8 个月以上。依据现有经验,建议在仪器校正期间每周至少取 2 次水样进行对比,且保持 2 ~ 3 个星期的对比周期,同时校正完成后,需要每隔 1 个月进行 1 次人工测量修正。

3 基于在线水质监测系统的调度方式

本研究在水质监测点同时安装了在线液位计和在线 COD 分析仪。依据工程经验,设定渠箱截污闸基于液位控制的开闸水位为 H_1 、关闸水位为 H_2 ,基于水质数据的开闸依据为 $COD \leq C$,编制基于在线液位和水质监测数据的渠箱截污闸调度策略逻辑,如图 5 所示。在上述子系统中,当监测点液位达到开闸策略液位 H_1 或者监测点水质 $COD \leq C$ (该值可调,依据当地水质情况设定) 达到静态设定值时,打开渠箱截污闸;当监测点液位达到关闸策略液位 H_2 且此时监测点水质 COD 已经达到 C 时,则关闭渠箱截污闸。为实现以上调度目的,通过编辑响应速度不同的逻辑策略关系使两个系统在数据层面进行耦

合。综上所述,此调度策略逻辑能够在保证子系统不发生内涝、不发生溢流污染的基础上,为下游流域其他排水子系统节省更多的管渠运输空间,有助于整个流域科学联合调度的实现。

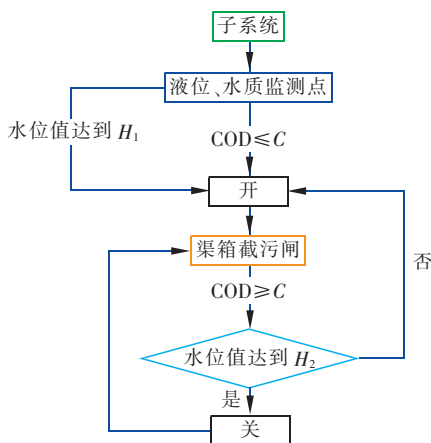


图5 调度策略逻辑图

Fig. 5 Logic diagram of scheduling strategy

4 结论

① 经过测试验证,所设计的在线水质监测系统运行稳定、准确性高,能够很好地反映排水管网监测点的水质变化情况。其中,针对 COD 分析仪,通过 20 组数据的对比,85% 的数据偏差 ≤ 15 mg/L,可满足辅助调度决策的工程要求。

② 基于在线水质监测系统,耦合液位在线监测系统在内涝得以优先控制的前提下,当截污闸前 $COD \leq C$ 达到静态设定值时,则开启截污闸将合流污水直排进河涌,减少污水处理厂负荷。

③ 近年来针对我国城市排水管网监测系统的研究取得了一定进展,但在排水管网水质在线监测方面仍存在水质监测设备掉线率高、受水中漂浮物影响大、维护周期短等问题,本研究在排水管网水质在线监测方面的分析可促进该技术的进步,能达到以最少的基建投入获得可靠的水质监测数据、辅助调度人员决策、提高排水系统运行管理水平的效果。

参考文献:

- [1] 赵杨,车伍,杨正. 中国城市合流制及相关排水系统的主要特征分析[J]. 中国给水排水,2020,36(14):18-28.
- ZHAO Yang, CHE Wu, YANG Zheng. Analysis of characteristics of China urban combined sewer system and related other sewer systems[J]. China Water &

Wastewater,2020,36(14):18-28(in Chinese).

- [2] 郁片红,王寅. 巢湖市排水系统雨天溢流污染控制策略[J]. 净水技术,2020,39(4):54-58.
- YU Pianhong, WANG Yin. Pollution control strategy of combined sewer overflow in Chaohu drainage system[J]. Water Purification Technology,2020,39(4):54-58(in Chinese).
- [3] 陈贻龙. 调蓄池削减合流制溢流污染的水力模拟研究[J]. 中国给水排水,2019,35(17):123-128.
- CHEN Yilong. Hydraulic simulation of reducing combined sewer overflow pollution by storage tank[J]. China Water & Wastewater,2019,35(17):123-128(in Chinese).
- [4] 王广华,李文涛,陈贻龙,等. 广州市东濠涌深层排水隧道工程前期研究[J]. 中国给水排水,2016,32(22):7-13.
- WANG Guanghua, LI Wentao, CHEN Yilong, et al. Preliminary study on deep tunnel drainage engineering at Donghao Creek in Guangzhou [J]. China Water & Wastewater,2016,32(22):7-13(in Chinese).
- [5] 徐祖信,王诗婧,尹海龙,等. 基于节点水质监测的污水管网破损位置判定方法[J]. 中国环境科学,2016,36(12):3678-3685.
- XU Zuxin, WANG Shijing, YIN Hailong, et al. Locating the sewer network defect based on marker investigation at pipe manholes[J]. China Environmental Science,2016,36(12):3678-3685(in Chinese).
- [6] YANG W, NAN J, SUN D Z, et al. An online water quality monitoring and management system developed for the Liming River basin in Daqing, China[J]. Journal of Environmental Management,2008,88(2):318-325.
- [7] 郭晓琛,李萌,史晓雨,等. 基于在线监测的排水管网事故预警技术研究与应用[J]. 中国给水排水,2018,34(19):129-133.
- GUO Xiaochen, LI Meng, SHI Xiaoyu, et al. Research and application of warning technology for drainage network accidents based on on-line monitoring[J]. China Water & Wastewater,2018,34(19):129-133(in Chinese).

作者简介:张文(1995-),男,湖南郴州人,硕士研究生,主要研究方向为城市排水管网在线监测与优化调度。

E-mail:997436524@qq.com

收稿日期:2021-02-02

修回日期:2021-02-28

(编辑:任莹莹)