

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.13.017

珠海浅丘地区城中村合流制排水的水量和水质特征

段庄¹, 陈诗浩², 姚娟娟², 付朝晖¹, 张智², 孙竹龙², 周邦玫²
(1. 珠海市规划设计研究院, 广东 珠海 519000; 2. 重庆大学 环境与生态学院, 重庆 400044)

摘要: 合流制排水系统溢流污染是黑臭水体形成的重要原因之一。为优化浅丘地区城中村的黑臭水体治理,对珠海市界涌村合流制排水系统进行了水量和水质监测。结果表明,该城中村的合流制排水系统具有典型的南方小城镇排水规律特征,有明显的双峰值,排水不均匀性较大,流量时变化系数为1.73,日变化系数为1.27。城中村合流制排水系统的外水侵入情况较严重,外水侵入量占比为40%~50%;对排水系统进行分流制改造可明显提高排水系统中的污染物浓度,但管道存在的问题仍不容忽视。城中村生活污水的COD浓度水平尚属典型的城市污水浓度范围,但TN、NH₃-N和TP浓度较高,比一般城市污水高50%~100%。

关键词: 城中村; 合流制溢流(CSO); 城市排水系统; 水量和水质特征; 丘陵

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)13-0101-05

Wastewater Quantity and Quality Characteristics of Combined Sewer System in Urban Village in Shallow Hilly Region of Zhuhai City

DUAN Zhuang¹, CHEN Shi-hao², YAO Juan-juan², FU Zhao-hui¹, ZHANG Zhi²,
SUN Zhu-long², ZHOU Bang-mei²

(1. Zhuhai Institute of Urban Planning & Design, Zhuhai 519000, China; 2. College of Environment and Ecology, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The pollution of combined sewer overflows has become one of the important reasons for the formation of black-odor water. In order to optimize the remediation effect of black-odor water, wastewater quantity and quality of combined sewer system in Jiechong Village, Zhuhai City were monitored. The combined sewer system of this typical urban village had the same drainage system pattern of typical small towns in the south of China, which had obvious double peaks and inhomogeneity with the flow hourly variation coefficient of 1.73 and the flow daily variation coefficient of 1.27. There were serious leakage problems in the combined sewer system, in which the proportion of water seepage was about 40% - 50%. The concentration of pollutants in the drainage system could be significantly increased by transforming the combined sewer system into separate sewer system. However, problems of the pipeline could still not be ignored. The concentration of COD in urban sewage was still within the typical concentration range of urban sewage, but the concentrations of TN, NH₃-N and TP were relatively high, which was about 50% - 100% higher than that of general urban sewage.

Key words: urban village; combined sewer overflows (CSO); urban drainage system;

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51778082)
通信作者: 张智 E-mail: zhangzhicq@126.com

wastewater quality and quantity characteristics; hilly region

合流制溢流(CSO)污染对水环境的影响明显,是制约我国水环境质量改善的重要原因之一,是海绵城市建设和黑臭水体治理的重点和难点。城中村是城市化进程中出现的一种特殊现象,其城市的生活方式和农村的卫生设施,导致城中村排水系统及其运营管理方面存在较严重的问题。许多老城区依然为合流制排水体制,合流制排水系统收集生活污水、工业废水、地表径流等3种不同性质的污水,在雨天,当流量超过管道输送能力时,部分混合污水直接排放至受纳水体,产生溢流污染^[1]。但要采取有效措施控制合流制溢流污染,必须摸清当地的合流制污水排放特征和规律。目前,这一问题已受到关注,已有相关合流制水质特征研究^[1-3],但各地因气候等自然条件、生活水平和习惯的不同,其合流制排水的水量 and 水质特征有较大差异。

珠海市界涌村位于前山拱北105国道排洪流域,属典型的浅丘地区成建制城中村。丘陵区山丘连绵,岗坳交错,山坡较缓,人们居住相对分散,生活污水一般是沿坡直接排入水沟^[4],在水沟下埋设管道,用来收集直排污水。丘陵地区的地下水分布较复杂,一般丘顶部分无地下水,边缘和谷底常有上层滞水或潜水型的孔隙水^[5]。水沟中存在的山水及地下水均对排水管道的正常运行有着较大影响,且在丘陵地区由于特殊的地形条件及面源污染,管道中经常会出现大量的沉积物,这些沉积物会影响整个管道的正常运行^[3]。加之城中村排水系统的设计标准偏低,管网布局混乱,雨污混流、私接偷排现象普遍,排水排污不畅,内涝、溢流污染严重^[6]。南方滨海城市,雨季暴雨强度大,降雨场次多,溢流量大,且因雨季地下水位高、山水下泄易渗入管道等原因,导致城中村排水系统溢流持续时间长,造成城中村区域或下游水体长期污染而得不到恢复,雨季溢流污染问题尤为突出。鉴于此,笔者对珠海市界涌村的合流制排水系统进行了水量和水质监测,分析其特征及存在的问题,以期对改造合流制排水系统、控制溢流污染和治理黑臭水体提供参考。

1 材料与方 法

1.1 监测点位

根据界涌村排水管网布局,选取具有代表性的干管布置3个取样点(见图1)。点1位于接入排水

干管的支管处,收集分流制的生活污水排水;点2位于界涌村合流制排水系统干管起端处,收集界涌村团结路北侧部分界涌新村区域内污水,排水干管全部埋于河道底部,且有部分山水进入;点3位于合流制排水系统干管末端处,收集界涌村整个区域的污水,为典型的合流制排水。点2与点3的距离约为1 km。

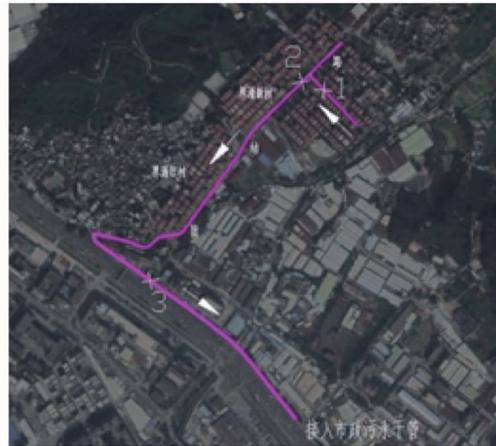


图1 监测点位分布示意

Fig. 1 Distribution of monitoring points

1.2 监测及分析方法

在合流制排水系统末端处点3安装多普勒流量计获取流量数据,采集频率为10 min。3个点位的水质监测水样均为人工取样,2019年8月—2020年1月连续进行水质监测,频率为1次/周。另外,2019年12月在截污干管取样点3处进行3次24 h混合水样水质检测。水质检测指标包括SS、COD、TN、TP及 $\text{NH}_3 - \text{N}$,均按照国家标准方法测定。

2 结果与讨论

2.1 合流制排水水质变化特征

水质检测时间为2019年8月—2020年1月,其中9月份代表雨季,11月份代表旱季,期间为雨季向旱季的过渡期。界涌村截污干管取样点2和3处水质指标月均值见表1。取样点2处9月份的COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP和SS平均值分别为86.0、34.1、26.6、2.4和49.5 mg/L,11月份对应指标的均值分别为103.3、46.9、39.7、3.6和82.3 mg/L,旱季各水质指标浓度均值分别是雨季的1.20、1.38、1.49、1.50和1.66倍,从9月份到11月份各水质指标浓度均值逐渐升高,反映了从雨季到旱季

的水质变化趋势。

表 1 截污干管水质逐月变化

Tab. 1 Monthly variation of water quality in the main intercepting pipe $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	TN	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TP	SS	
取 样 点 2	2019 年 9 月	86.0	34.1	26.6	2.4	49.5
	2019 年 10 月	95.5	40.4	31.8	3.2	62.3
	2019 年 11 月	103.3	46.9	39.7	3.6	82.3
	2019 年 12 月	160.8	51.6	45.7	4.4	101.5
取 样 点 3	2019 年 9 月	33.3	14.9	12.1	1.0	45.0
	2019 年 10 月	58.8	28.5	24.1	2.2	52.8
	2019 年 11 月	89.5	40.7	36.0	3.4	116.0
	2019 年 12 月	116.0	41.9	37.0	3.7	116.0

取样点 3 处 9 月份的 COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 和 SS 均值分别为 33.3、14.9、12.1、1.0 和 45.0 mg/L ，11 月份相应指标的均值分别为 89.5、40.7、36.0、3.4 和 116.0 mg/L ，旱季各水质指标均值分别是雨季的 2.69、2.73、2.98、3.40 和 2.58 倍，同样反映了从雨季到旱季的水质变化趋势。

2.2 合流制排水系统改造后水质变化特征

界涌村合流制排水干管起端处于 2019 年 12 月进行了截污改造，将 7 个污水直排口接入排水干管起端，收集的生活污水量增加。合流制排水系统取样点 2 和 3 处的水质指标浓度月均值见表 1。取样点 2 处 12 月份的 COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 和 SS 均值分别为 160.8、51.6、45.7、4.4、101.5 mg/L ，与改造前相比，各水质指标浓度均值分别是 9 月份（雨季）的 1.87、1.51、1.72、1.83 和 2.05 倍，是 11 月份（旱季）的 1.56、1.10、1.15、1.22 和 1.23 倍。取样点 3 处 12 月份的 COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 和 SS 浓度均值分别为 116.0、41.9、37.0、3.7、116.0 mg/L ，与改造前相比，各水质指标均值分别是 9 月份（雨季）的 3.48、2.81、3.06、3.70 和 2.58 倍，是 11 月份（旱季）的 1.30、1.03、1.03、1.09 和 1.00 倍。以上数据表明截污改造可提高排水管道内的污水浓度，改造效果较好。

2.3 合流制排水水质的空间变化特征

排水干管水质变化可分为两个时段：截污改造前（12 月份前）及截污改造后（12 月份后），取样点 2 和 3 处水质指标均值见表 2。截污改造前，界涌村截污干管水质指标浓度沿程降低，截污干管取样点 2 处的水质指标浓度约为取样点 3 处的 1.6 倍，其原因为截污干管沿程有山水或地下水渗入。经现场

踏勘，发现主要问题在于河床内检查井的密封性不好，有河床内的山水直接从检查井口进入排水干管。

表 2 截污干管水质随空间位置的变化

Tab. 2 Variation of water quality with location in the main intercepting pipe $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	TN	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TP	SS	
截污改造前	取样点 2	92.3	38.3	30.1	2.9	58.0
	取样点 3	50.4	28.5	19.6	1.7	49.4
截污改造后	取样点 2	160.8	51.6	45.7	4.4	101.5
	取样点 3	116.0	41.9	37.1	3.7	115.8

截污改造后，取样点 2 处的主要水质指标浓度仍高于取样点 3 处，约为取样点 3 处的 1.3 倍，取样点 3 处的水质指标浓度较低，COD 仅为 116.0 mg/L ，说明截污干管沿程仍有山水或地下水进入，除检查井密封性问题外，该城中村管道存在较严重的渗漏问题。截污改造只是增加了收集的生活污水，而未从根本上解决山水渗入管道问题，使得排水系统末端水质浓度虽有所提高，但浓度仍偏低。

取样点 1 处的生活污水中 COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 和 SS 浓度均值分别为 345、82.52、79.48、6.99、158 mg/L ，COD 浓度水平尚在典型的城市污水浓度范围内，但 TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 浓度较高，比一般城市污水中的浓度高 50% ~ 100%，说明排泄废水占较大的比例，其他生活污水量较小。生活污水中的水质指标平均浓度约为截污干管取样点 2 处的 1.7 倍、取样点 3 处的 2 倍，说明截污干管起端处有山水进入，使得水质指标浓度降低，排水干管沿程有渗水进入，使得污染物浓度沿程降低。对比生活污水与改造后排水干管的水质情况，经大致估算，取样点 2 处污水与山水比约为 1.5 : 1，取样点 3 处污水与山水比约为 1 : 1，说明山水和渗水等外水侵入量占 40% ~ 50%，比排水规范建议值 5% ~ 10% 高了 3 ~ 9 倍，干管沿程破损渗入较严重。

萍乡市蚂蝗河流域截流式合流制排水系统的截污干管位于萍水河河底西侧^[7]，与本研究中截污干管建设形式相同，且都因截污主干管受河水影响，已出现不同程度的破损，导致污水溢出及河水倒灌，既造成河流水质污染，又导致污水厂进水污染物浓度极低，COD < 200 mg/L 。本研究中城中村可借鉴萍水河截污干管采取的主要措施，包括修复破损的合流管、管道清淤以及重新埋设、迁改截污干管等。

2.4 合流制排水系统水量 24 h 动态变化特征

对排水干管旱季水量进行 1 周的连续监测，结

果表明,周一至周日的流量分别为 7 102.0、8 236.5、6 126.2、6 343.9、6 571.9、6 186.1、4 935.3 m^3/d 。可知,排水干管旱季流量日波动较小,仅周二的日流量偏大、周日的日流量偏小。1 周的平均日流量为 6 500.3 m^3/d ,1 周内的最大日流量与平均日流量的比值为 1.27,工作日(含周六)的平均日流量为 6 761.1 m^3/d 。

排水干管取样点 3 处 3 次 24 h 混合水样水质检测的流量变化规律基本相同,均在周中进行检测,现以典型的流量变化为例进行讨论。流量监测结果见图 2,排水干管时流量具有明显的昼夜差异,昼间流量明显高于夜间流量。平均小时流量为 239.21 m^3/h (范围为 17.93~413.11 m^3/h),最大小时流量与平均小时流量的比值为 1.73。在 05:00—08:00 时段水量最小,09:00—13:00 与 21:00—24:00 均出现排水峰值,且后者较前者水量更大,排水的不均匀性大。与昆明市主城区东南片区广福路东侧的新宝象河南岸干管流量^[8]对比,流量波动规律相似,最小流量时段与排水峰值时段均相似,具有相似的生活排水特征。此外,排水干管管径仅为 500 mm,流速在 0.5 m/s 以下,大量山水进入排水干管,占用输水容量,旱季排水高峰时,基本为满流状态,甚至会出现冒顶。

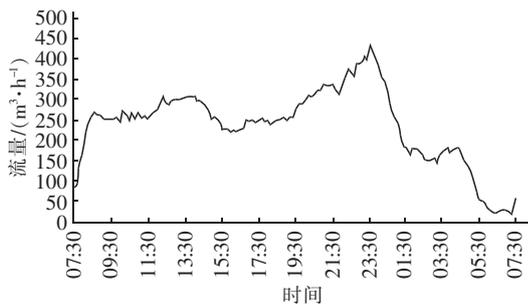


图2 截污干管 24 h 流量变化

Fig. 2 24-hour variation of flow in the main intercepting pipe

2.5 合流制排水水质 24 h 动态变化特征

对排水干管旱季水质监测结果表明:该城中村污水水质变化存在明显的规律性,取样点 3 处 3 次 24 h 混合水样水质检测指标均值(见图 3)与流量变化比较一致,水质波峰基本与水量波峰同步。在 21:00—24:00 排水干管中主要污染物浓度达到当日最大值:COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 分别为 214、51、41、4.1 mg/L ,而 SS 存在激增的现象,在 18:00—

10:00 期间达到最大值 307 mg/L ;除了夜间出峰外,09:00—12:00 也存在明显的污染物浓度峰值,但与夜间峰值相比略低。在 05:00—08:00 排水干管中各污染物浓度达到当日最小值:COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 和 SS 分别为 41、23、19、1.8 和 39 mg/L 。COD 变化系数(浓度最大值与最小值之比)为 5.2, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 及 TP 变化系数接近,均在 2.2 左右。

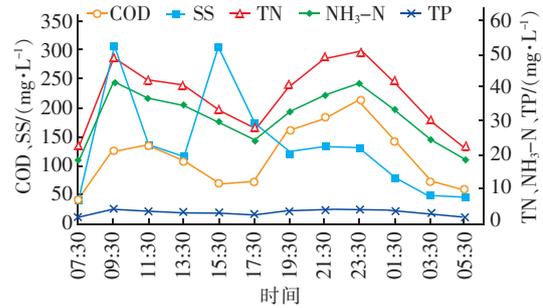


图3 截污干管 24 h 水质变化

Fig. 3 24-hour variation of water quality in the main intercepting pipe

水质变化呈现两个峰值,说明该村居民生活较规律,排水的不均匀性大。此外管内污染物浓度峰值出现具有很强的周期性,说明其污水来源具有较强的用水周期性。由于该村中存在许多夜市,使得水质在夜间出现较高的峰值,在一定程度上反映了南方生活习惯。在 13:00—18:00 期间,出现 SS 激增的现象,而其他指标变化规律一致,这可能与管道冲刷有关。

与深圳老城区管道^[9]的水质特征相比,本研究中城中村水质变化趋势呈现相似的规律,均在午间与夜间出现两个水质高峰。不同之处在于该城中村夜间水质高峰各指标高于午间,这与城中村夜市活动频繁有关。深圳老城区污水管道水质最大值:COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 分别为 600、60、50 和 5 mg/L ,水质最小值:COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 分别为 200、30、25 和 1 mg/L ;除 COD 以外其他指标浓度与该城中村相近,而 COD 浓度约为该城中村的 3 倍,这说明 COD 浓度偏低是该城中村污水的一个特征。

3 结论

① 该城中村合流制排水系统具有典型的南方小城镇排水规律特征,有明显的双峰值,排水不均匀性较大,流量时变化系数为 1.73,日变化系数为 1.27。

② 城中村合流制排水系统的外水侵入情况较

严重,外水侵入量占比为40%~50%。对排水系统进行分流制改造,可明显提高排水系统中的污染物浓度,但管道存在的问题仍不容忽视。

③ 城中村生活污水的COD浓度水平尚在典型的城市污水浓度范围内,但TN、NH₃-N、TP浓度较高,比一般城市污水高50%~100%。

参考文献:

- [1] 郭晟. 苏州河成都路泵站初期雨水特性分析与调控措施[J]. 黑龙江环境通报,2007,31(4):84-86,98.
Guo Sheng. Analysis on characteristics of mixed flow of stormwater and sewage from Chengdu road pump station in Suzhou River [J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2007,31(4):84-86,98(in Chinese).
- [2] Gromaire M C, Garnaud S, Saad M, *et al.* Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers [J]. Water Res, 2001, 35(2): 521-533.
- [3] Soonthornnonda P, Christensen E R. Source apportionment of pollutants and flows of combined sewer wastewater [J]. Water Res, 2008, 42(8/9): 1989-1998.
- [4] 夏卫生,胡贤辉,黄道友,等. 丘陵区独立生活区污水处理研究[J]. 湖南农业科学,2013(1):69-72.
Xia Weisheng, Hu Xianhui, Huang Daoyou, *et al.* Sewage treatment for isolated living areas in hilly region [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2013(1): 69-72 (in Chinese).
- [5] 李磊. 浅谈丘陵地区市政排水管道的设计思路[J]. 价值工程,2014,33(24):74-75.
Li Lei. Study on the design ideas of the municipal drainage pipeline in hilly region [J]. Value Engineering, 2014,33(24):74-75(in Chinese).
- [6] 罗靖. 深圳市白石洲城中村排水系统模型构建及其应用[D]. 北京:清华大学,2014.
Luo Jing. Construction and Application of Drainage System Model in Baishizhou Urban Village of Shenzhen [D]. Beijing: Tsinghua University, 2014(in Chinese).
- [7] 郭迎新,徐海东,谢薇,等. 海绵城市理念下的老城区CSO污染控制探索与实践[J]. 中国给水排水,2019,35(14):1-6.
Guo Yingxin, Xu Haidong, Xie Wei, *et al.* Exploration and practice of combined sewer overflow pollution control in old urban area based on sponge city concept [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14): 1-6 (in Chinese).
- [8] 喻晓琴,吕永鹏,陈嫣,等. 滇池流域污水管网旱季水质水量特征研究[J]. 给水排水,2014,40(5):34-38.
Yu Xiaoqin, Lü Yongpeng, Chen Yan, *et al.* Wastewater quality and quantity characteristics of sewage network in Dianchi watershed during dry weather periods [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(5): 34-38 (in Chinese).
- [9] 王昊阳,管运涛,水野忠雄,等. 深圳老城区局部雨污水管网水质水量检测[J]. 清华大学学报:自然科学版,2008,48(6):987-990.
Wang Haoyang, Guan Yuntao, Mizuno Tadao, *et al.* Water quality and quantity changes in drainage pipes in old residential areas of Shenzhen [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(6): 987-990(in Chinese).



作者简介:段庄(1961-),男,四川成都人,大学本科,高级工程师,珠海市勘察设计协会会长,珠海市规划设计研究院院长,主要从事给水排水规划设计工作,获得多项国家、广东省规划和勘察设计奖。

E-mail:13902877977@139.com

收稿日期:2020-04-05