



文章栏目: 水污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.201903103

中图分类号 X703

文献标识码 A

邓佑锋, 吴民山, 张文强, 等. 暗渠段对城市河流水环境的影响[J]. 环境工程学报, 2020, 14(1): 133-143.

DENG Youfeng, WU Minshan, ZHANG Wenqiang, et al. Influence of underdrain on the urban river water quality[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(1): 133-143.

暗渠段对城市河流水环境的影响

邓佑锋¹, 吴民山², 张文强^{2,*}, 单保庆²

1. 深圳市龙华区水务局, 深圳 518109

2. 中国科学院生态环境研究中心, 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085

第一作者: 邓佑锋(1987—), 男, 硕士, 工程师。研究方向: 城市黑臭水体治理, E-mail: 344900429@qq.com

*通信作者: 张文强(1982—), 男, 博士, 副研究员。研究方向: 水环境治理等。E-mail: wqzhang@rcees.ac.cn

摘要 河道暗渠化是影响城市建成区河流黑臭水体治理的重要因素, 为探究河道暗渠化对城市河流水环境的影响, 以深圳市龙华区观澜河流域主要支流暗渠为研究对象, 通过现场勘查并结合暗渠段水质分析, 探讨了暗渠段主要环境问题, 并分析了暗渠对河流水质的影响。结果表明: 暗渠段对城市河流水质的影响是显著的, 主要污染物为氨氮和总磷; 污染最为严重的塘水围氨氮的平均值为 $22.29 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 为重度黑臭水体氨氮标准 ($15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 的 1.49 倍, 而其氧化还原电位的平均值为 -154 mV , 远低于轻度黑臭水体标准 (50 mV), 其中最低值为 -190 mV , 接近于重度黑臭水体的标准值 (-200 mV)。在明渠-暗渠-明渠分布的空间格局中, 暗渠内淤泥的大量累积、垃圾的清理不及时、污水排口的封堵不彻底等是造成暗渠段水质恶化的主要原因。在工程解决措施上, 应结合区域城市发展规划, 遵循“定位、揭盖、加窗、联涵、疏泥”十字方针, 通过顶层覆盖物拆除或开窗、挡墙拆除或加固、污水收集与处理、淤泥与垃圾的清除等工程措施实现暗渠段污染的消除。以上研究结果可为城市河流黑臭水体治理和河流暗渠环境综合整治提供参考。

关键词 暗渠; 城市河流; 水质; 黑臭水体

河道暗渠化是城市快速发展的产物, 是将天然存在的河道通过硬化、拓宽、取直、加盖等方式逐步改造为集排污、泄洪为一体的“城市下水道”。河流暗渠在防洪排涝和拓宽城市建设用地方具有显著的优势, 促进了城市化的发展进程^[1-2]。我国大部分城市发展始于 20 世纪 80 年代, 在以经济建设为中心, 大力发展生产力的时代背景下, 不可避免地忽略了对城市基础设施的长期规划, 导致城市环境基础设施建设与社会经济发展不协调, 城市市政管网与污水厂建设速度远远低于人口增长^[3]。随着城市人口的迅速增长和社会经济的快速发展, 河道暗渠生态环境问题日益凸显^[4-6]。暗渠段水环境问题成为城市河流水环境提升的痼疾, 故迫切需要对此进行深入的研究。

长期以来, 因人们本身环境保护意识较为薄弱, 暗渠彻底成为藏污纳垢的“下水道”, 暗渠的存在不仅破坏了河流岸边带的生态环境, 也影响着城市河流自然景观的连贯性^[7-10]。居民产生的垃圾及河道淤泥在进入大量污水涌入的暗渠段后, 由于其空间密闭狭小及长期缺少活水的补充使得水体发黑发臭; 此外, 暗渠段大量垃圾和淤泥的存在影响了河流行洪能力; 人口密集区域部分渠段处于停车场或交通要道的底部, 持续性的荷载冲击影响着暗渠段的结构稳定, 对城市地面的安

收稿日期: 2019-03-13; 录用日期: 2019-09-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21507146, U1501235)

全也构成了严重的威胁^[11-12]。河流暗渠的形成原因复杂,解决时牵扯到环保、水务、基建等多部门。因此,对城市河流暗渠段主要问题进行研究,对提供科学合理的暗渠解决方案具有重要意义^[13-14]。

为了探讨暗渠段对城市河流水环境的影响,本研究以我国人口密度大、城市发展速度快的代表城市——深圳为研究对象,对深圳市龙华区观澜河流域主要支流暗渠段进行了实地踏查、水质分析,并结合对暗渠资料的查阅,研究了暗渠的存在对水质的具体影响,得出其主要污染物的产生因素;在当前的暗渠境况下,提出了如何缓解水体污染的有效措施,研究结果可为河流暗渠的治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

观澜河是东江水系一级支流石马河的上游,发源于民治街道大脑壳山的牛咀水库,于观澜街道企坪处进入东莞市境内,河道全长 105.98 km(龙华区境内干流全长 14.2 km,全区支流河道暗渠 23.76 km),流域面积 253.1 km²(龙华区流域面积为 175 km²),跨光明、龙华、龙岗 3 个行政分区。

观澜河流域内各水体均为雨源性河流,共有支流 35 条,包括龙华区 23 条,龙岗区 11 条,光明区 1 条(见图 1)。其中跨区(跨市)河流有白花河(经光明区流向龙华区)、黄泥塘河、岗头河、坂田河(经龙岗区流入龙华区)、君子布河(经龙岗区、龙华区流入东莞市)、牛湖水(经龙华区流入东莞市)。

1.2 样品采集与分析

1) 调研对象。如图 1 所示,通过资料核查及结合现场勘察情况发现,除白花河、牛湖水、岗头河、高峰水等 4 条河的箱涵全部为桥涵外,其余 19 条河流均有不同程度的河道暗渠化,分别为坂田河、大布巷水、大浪河、大水坑水、丹坑水、横坑水、横坑仔河、黄泥塘河、君子布河、冷水坑、龙华河、牛咀水、茜坑水、清湖水、上芬水、塘水围、油松河、樟坑径河、长坑水,经初步统计,在这 19 条河流沿程中,共有 194 段暗渠箱涵,暗渠长度合计为 23 692 m,占支流总长度的 23.96%。

在 19 条暗渠化的河流中,以暗渠化程度较高、污染程度较为严重、治理比较困难为筛选条件原则,在龙华区现辖的 6 个街道(龙华、大浪、民治、观湖、福城、观澜)内,共筛选出 12 条支流作为研究对象,其空间分布位置及采样点位如图 2 所示。其中,有 5 条支流的暗渠(冷水坑水、黄泥塘河、横坑仔河、清湖水、大布巷水)通过一系列工程手段已将污水全部纳入污水管网中,而剩下的 7 条支流的暗渠目前对观澜河水质存在严重的威胁(塘水围、上芬水、长坑水、丹坑水、横坑水、樟坑径河、大水坑水),因此,本研究重点以这 7 条河流的暗渠作为研究对象,以此分析暗渠对河流水质的影响。

2) 调研方法。参照《水质采样方案设计技术规范》(HJ 495-2009),结合现场勘察情况,



图 1 观澜河流域龙华区段水系图

Fig. 1 River system map of the Longhua district section of the Guanlan River basin

按照科学有效的布点原则，对暗渠的进水及到出水口方向每隔约 300 m 处设置 1 个水样采样点，不足 300 m 的暗渠均在进出水处采集，对于暗渠内有排污口的地方可单独设置采样点，以便明确污染源，同时对暗渠概况及水质感官进行评估，包括记录地理坐标、拍照、仔细核查提供的的数据资料等。

3) 样品采集。严格按照以上原则，以观澜河从上游到下游支流汇入干流的先后为顺序，再以每条支流从上游到下游的采样点为顺序，采用每条支流的前 2 个字母为代号，依次命名，在主要的 7 条城市段河流暗渠中，共采集了 40 个水样，其空间位置及样点代号如图 2 所示。由于暗渠的水深均小于 5 m，因此，采样点为上层一点(水深小于 5 m 时，指水面下 0.5 m 处；水深不到 0.5 m 时，在水深 1/2 处)。将采集的水样储存于提前加入 HgCl_2 的 250 mL 塑料采样瓶中，以抑制微生物的氧化分解，用于测定水样中总磷 (TP)、正磷酸盐 (SRP)、氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、化学需氧量 (COD)。同时对每个采样点处的水样，利用 ULTRAMETER II 6PFC 型号的便携式水质分析仪对其氧化还原电位、总溶解性悬浮物 (TDS) 等理化指标进行准确地测定，每次水样采集完毕后，将其快速置于 4 °C 的车载冰箱中冷藏保存。

4) 样品分析。样品采集完毕后，立即将置于车载冰箱中的样品迅速运回实验室。按照相应分析标准对水样中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TP、SRP 及 COD 进行测定。其中， $\text{NH}_3\text{-N}$ 采用纳氏试剂分光光度法 (HJ 535-2009) 测定， $\text{NO}_3\text{-N}$ 采用紫外分光光度法 (试行)(HJ/T 346-2007) 测定，TP 和 SRP 采用钼酸铵分光光度法 (GB 11893-1989) 测定，COD 分析方法参照重铬酸盐法 (GB/T 11914-1989) 测定。分光光度计采用日本岛津 UV-2700 分光光度计，TP 采用新配制的优级纯 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液经 121 °C、 $1.1 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的高压蒸汽灭菌锅，维持时间 40 min，进行高温消解；其空白值均在规定的范围内；取经 $0.45 \mu\text{m}$ 混合纤维素膜 (whatman, 英国) 过滤的水样 3 mL 于 50 mL 的比色管中，稀释至 10 mL，然后加入 1 mL 10% 抗坏血酸溶液，加塞充分混匀，30 s 后，加 2 mL 钼酸盐溶液使之混合均匀，放置 15 min，定容至 50 mL，用光程为 10 mm 的石英比色皿，于 700 nm 波长处，测量其吸光度，得到其 SRP 的浓度。对于超标线的样品，用超纯水稀释至适当倍数，再重新测定。在测定过程中，混浊的样品均采用经 $0.45 \mu\text{m}$ 混合纤维素膜 (whatman, 英国) 过滤后，再进行下一步处理。取经 $25 \text{ mm}\times 0.45 \mu\text{m}$ 的混合纤维素膜过滤水样后，测定水样中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量， $\text{NH}_3\text{-N}$ 的静置时间均控制在试剂的有效显色时间范围内。

2 结果与讨论

2.1 观澜河主要支流暗渠分布情况

如表 1 所示，除大水坑、塘水围、横坑水的暗渠长度在 1 300 m 以下 (大水坑的暗渠长度仅为 185.7 m)，剩下的上芬水、长坑水、丹坑水、樟坑径河均超过 2 400 m，分别约占河道总长度的

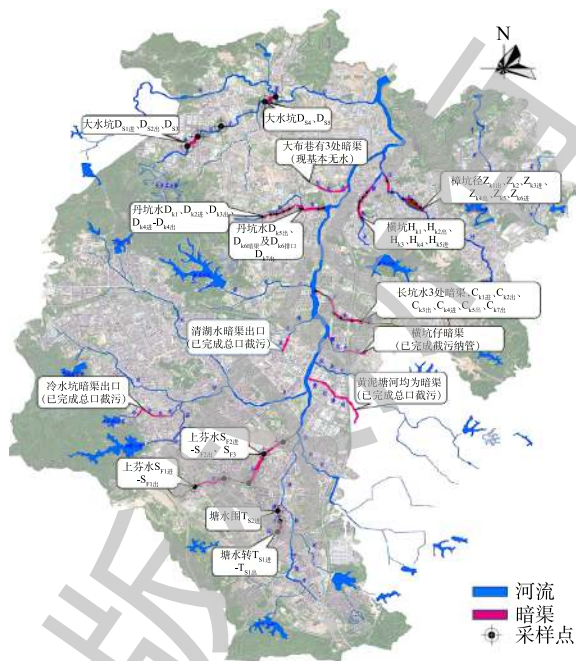


图 2 观澜河流域龙华区段支流暗渠空间位置分布及采集点示意图

Fig. 2 Map of spatial distribution and collection points of underdrain in major branches of Longhua district section of the Guanlan River basin

56%、60%、40%、22.9%，且全部为箱涵构造形式。为了应对台风带来的暴雨洪峰，这些河道起初几乎均被硬化为“三面光”的明渠，随着城市的发展，住宅、道路、商业楼段的明渠被覆盖成为暗渠，故呈现明渠-暗渠-明渠交替分布的形式。而这些长短不一的暗渠中均存在着大量的污水暗管排口，穿梭于箱涵的左、右和上侧，其底部淤积有厚度不等的淤泥。为了缓解暗渠支流水体对观澜河干流水质的影响，在暗渠的出口处均设有临时性的总口截污设施，通过铺设的污水管网将污水纳入城市污水处理厂统一处理。

表1 观澜河流域龙华区段主要支流暗渠概况
Table 1 Survey of underdrains in Longhua district section of the Guanlan river basin

支流名称	暗渠现状		上部构筑物	沉积物平均深度/cm	汇水面积/km ²	黑臭水体长度/km	截污形式
	段数	总长/m					
塘水围	5	922.30	商业楼	15	2.50	1.00	临时设总口截污
上芬水	6	2 593.20	道路	13	8.40	2.80	暗渠出口总口截污堰
长坑水	11	2 878.10	道路	15	3.96	3.11	暗渠出口总口截污
丹坑水	18	1 987.30	居民楼	15	3.86	3.80	暗渠出口总口截污
横坑水	8	1 257.30	商业街居民楼	15	2.30	1.50	暗渠内设截污管进行沿河截污
樟坑径河	46	2 493.20	道路	17	18.43	10.88	暗渠两侧建有截污墙
大水坑水	8	185.70	道路	8	5.30	4.67	均设砖砌截流墙

1) 河流暗渠共性特点。7条河流暗渠段绝大部分均分布在城市人口的密集区，且位于商业楼、道路或者居民宅楼的底部，目前，龙华区的城市建设用地开发比例已超过61.04%，已高出深圳市的平均水平，且超出深圳市建设用地控制红线的50%^[15]。在寸土寸金的地段，河道暗渠化往往是缓解城市用地紧缺的首选方式。通过实地考察发现，位于城中村段的暗渠完全沦为居民日常生活的纳污渠道，在空间紧凑狭小的密集村落里，居住着大量外来务工等流动人员，每天有数以万计的工人从“城中村”往返于周边的工厂企业，而村落基础设施的落后，人口的集中，导致大量的生活污水肆意排放^[16-17]。工业作为龙华区的主导产业，部分小型企业将产生的废水通过暗渠的掩盖以非法的形式排入河道，在调查长坑水的暗渠中，明显发现有大量白色泡沫的污水正不断地注入河道暗渠内。

2) 单个河流暗渠特点。受地理环境的影响，河流暗渠化程度不同。观澜河流域呈南高北低，中部地形呈西高东低，龙华区城市基本呈南北两极发展。龙华区作为深圳市的几何中心，往往受到周边地区的经济辐射，位于最南部的民治街道属于北站商务片区范围，毗邻关内地区，而此处的深圳北站作为八纵八横的重要节点，自然成为与关内沟通的纽带，随着经济的发展，城市对土地的需求与日俱增，这导致分布于此处塘水围和上芬水的河道基本全部暗渠化，污染问题相当严峻。位于最北部的观澜街道毗邻东莞，具有一定的经济发展基础，人口较为集中，使得大水坑、樟坑径河、横坑水、丹坑水的暗渠化问题相当突出。靠近中部山区的大浪街道、观湖街道和福城街道的村庄分布密度相对较小，土地资源利用较为局限，可开发建设的范围相对较小。由图2可知，分布于此的横坑仔河、黄泥塘、长坑水的城市段河道基本全部暗渠化，以此拓宽城市发展的有限空间。

2.2 暗渠段对河流水质的影响

每条支流暗渠水质都受到不同程度的污染，其水质变化趋势见图3~图5。参照城市黑臭水体分级标准，根据李佳音等^[18]确定的综合化学指标临界法，选取TP、NH₃-N、ORP等3项指标，经

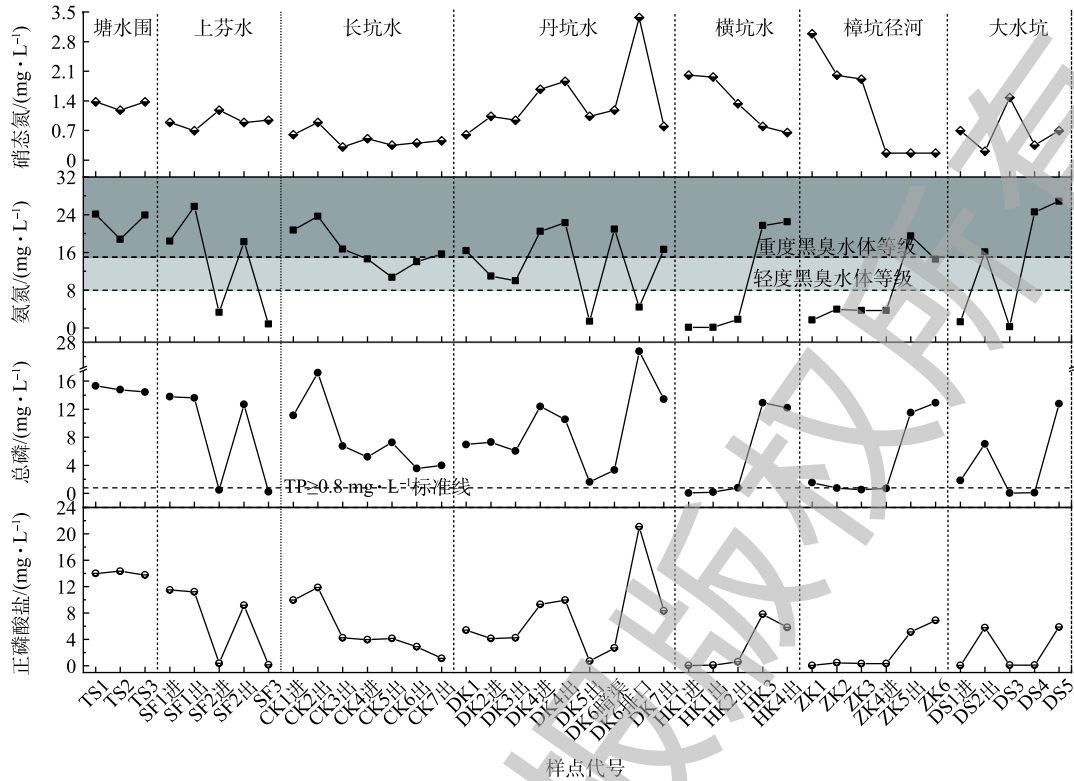


图 3 观澜河流域龙华区段主要支流暗渠氮、磷沿程的变化

Fig. 3 Changes of nitrogen and phosphorus in underdrains of major branches of Longhua district section of the Guanlan river basin

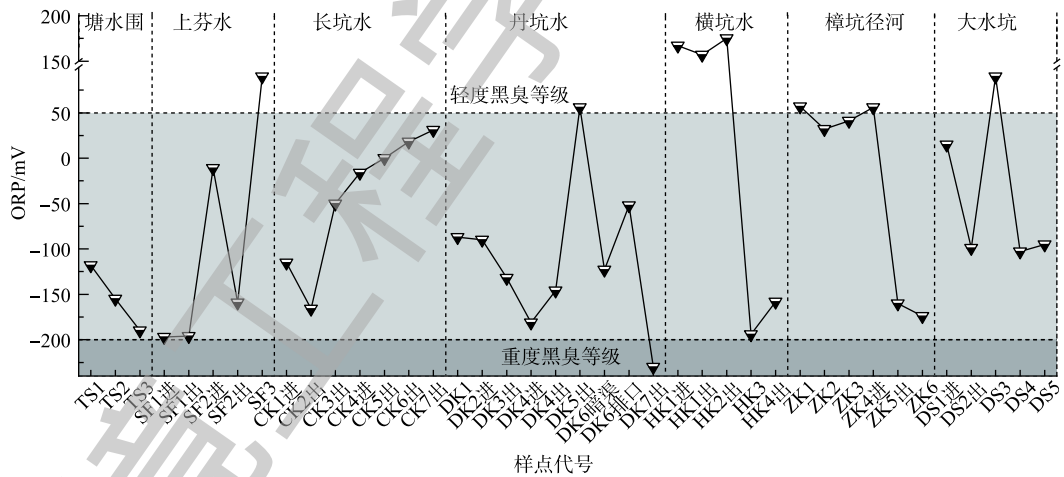


图 4 观澜河流域龙华区段主要支流暗渠氧化还原电位沿程的变化

Fig. 4 Changes of ORP in underdrains of major branches of Longhua district section of the Guanlan river basin

分析可知，这 7 条河流暗渠均达到“轻度黑臭”标准 ($TP \geq 0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N} \geq 8.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{ORP} \leq 50.0 \text{ mV}$)，且每条河流暗渠段均含有达到重度黑臭水体的渠段，这与已知河道的黑臭水体污染程度基本吻合。结果表明，位于民治辖区的塘水围水污染问题最为突出，其 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均在重度黑臭水体的范围内 (图 3)，ORP 有沿程持续下降的趋势，且接近重度黑臭水体的标准 (图 4)，TP 平均含量远远超出 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的标准值，超标达 17.56 倍 (图 6)， $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均含量超标 1.79 倍 (图 7)，ORP 平均值 (图 8) 逼近重度黑臭水体的标准 (-200 mV)；位于观澜片区的丹坑水和位于龙华片区的

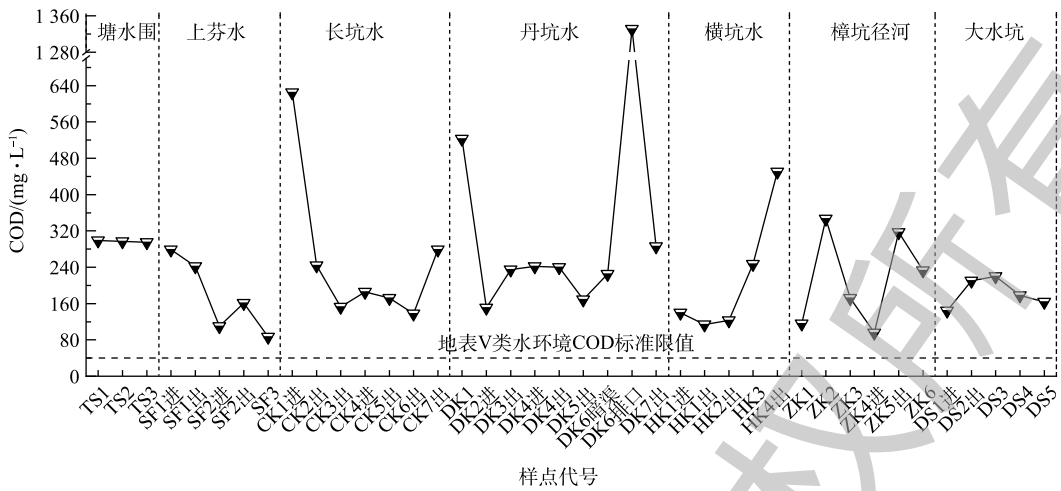


图5 观澜河流域龙华区段主要支流暗渠化学需氧量沿程的变化

Fig. 5 Changes of COD in underdrains of major branches of Longhua district section of the Guanlan river basin

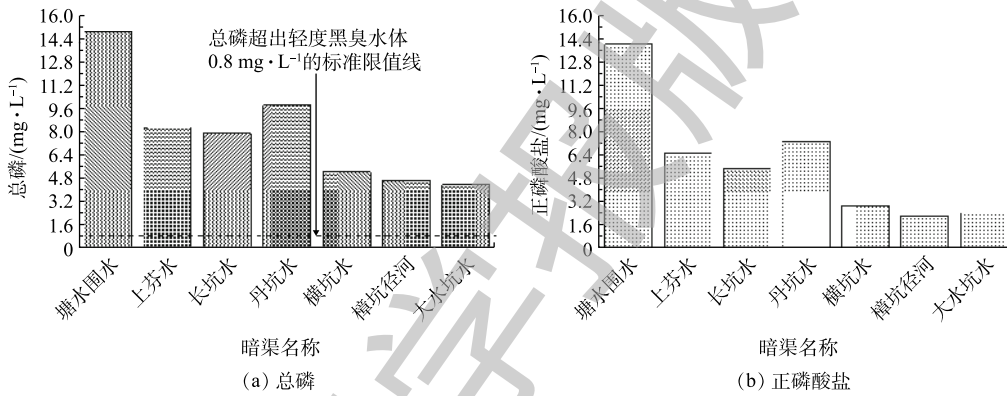


图6 各支流暗渠总磷及正磷酸盐总体水质

Fig. 6 General water quality of TP and SRP in underdrains of major branches

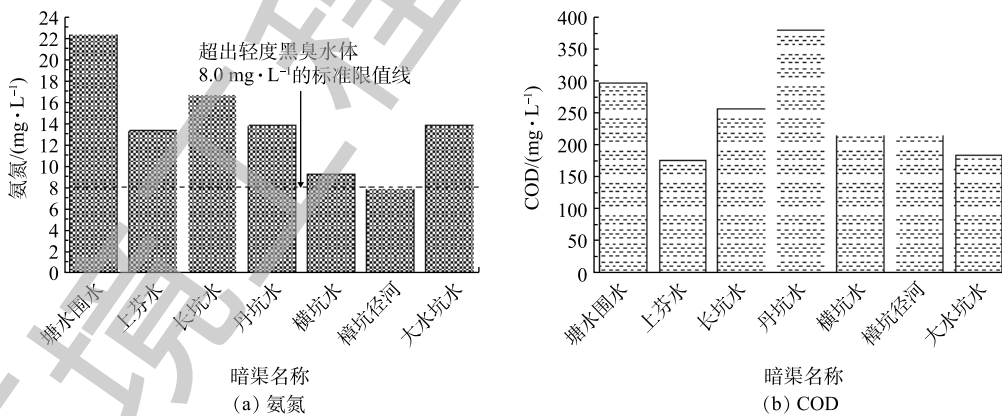


图7 各支流暗渠氨氮及化学需氧量总体水质

Fig. 7 General water quality of NH₃-N and COD in underdrains of major branches

长坑水的污染问题相对比较突出，在丹坑水已知的18段暗渠中，各项水质指标随沿程变化波动较大，总体表现出从轻度黑臭水体到重度黑臭水体方向逼近(图3)，整个丹坑水的TP含量相对较高，其平均值超过标准值的11.28倍(图6)，在DK6排口处，其TP含量异常增大，结合实地调查分析来看，此段暗渠正处于居民住宅楼的底部，生活污水直排是影响暗渠水质恶化的主要原因；

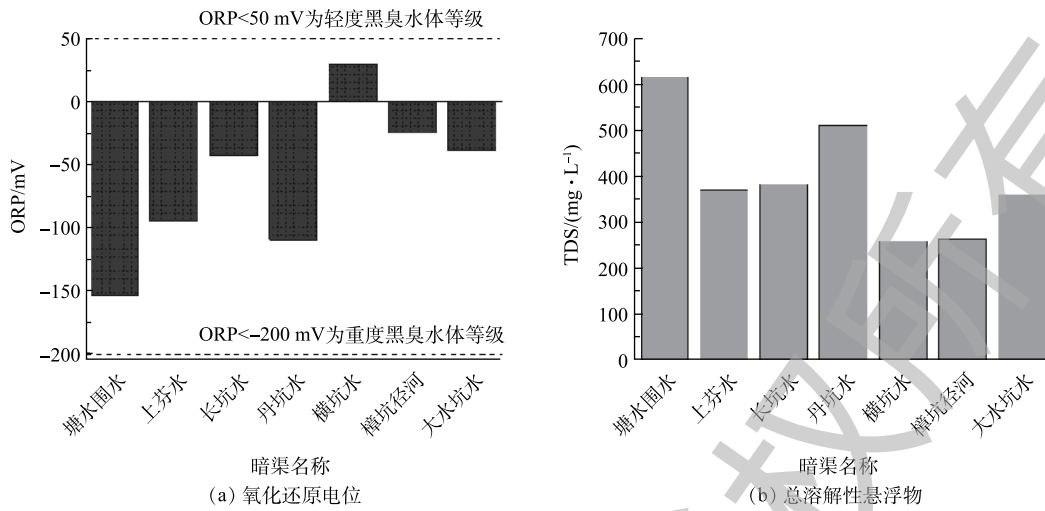


图 8 各支流暗渠 ORP 及 TDS 总体水质

Fig. 8 General water quality of ORP and TDS in underdrains of major branches

位于观湖街道的长坑水，暗渠长为 2 878.10 m，NH₃-N 平均含量超标 1.07 倍 (图 8)，污染问题依然十分严峻；主要暗渠段位于道路底部的上芬水，是目前民治街道中暗渠化程度最高的河流，暗渠总长约 2 593.20 m，其长度仅次于长坑水，上芬水的水质波动幅度较大，这主要与此暗渠的成段分布有关，明渠-暗渠-明渠交替分布的空间格局有利于明渠好氧段的富氧硝化及氨化过程和暗渠厌氧段的反硝化过程的交替转换，尽管如此，由于上芬水两旁房屋林立，纳污设施的不完善，依然有部分污水直排暗渠，导致 TP 含量平均值超标 9.20 倍 (图 7)；位于观湖辖区的横坑水于新澜路与桂花路交汇处汇入樟坑径河，其暗渠段的上游水质明显好于下游，下游段 NH₃-N 含量超过重度黑臭水体 15 mg·L⁻¹ 的标准 (图 3)，且 TP 含量的平均值高出其标准线的 5.53 倍 (图 7)，这与下游段流经区域主要是城市建成区和企业、市场、住宅区等人员密集地带有关；位于观澜片区的大水坑虽然暗渠长度最小，其水质污染依然比较严重，尤其是在暗渠的出口处，其氨氮含量急剧升高 (图 3)，从接近下游段的采样点 DS4 和 DS5 可以看出，暗渠段 NH₃-N 含量十分突出，TP 含量也异常增高。

如表 2 所示，根据分析结果可知，上覆水中 SRP、TP、NH₃-N 与总溶解性悬浮物 (TDS) 存在极显著正相关关系 ($P < 0.01$)，TN、COD 与 TDS 存在显著正相关关系，这表明暗渠内存在着大量的溶解性污染物。属雨源性河流的观澜河流域在雨污分流系统不完善的情况下，导致大量污染物通过暴雨径流的冲刷，从河道两岸汇入到明渠-暗渠-明渠相间分布的城市河流中，导致暗渠中溶解性悬浮物突增，这会进一步加剧 DO (溶解氧) 的大量消耗^[19-21]。ORP 与上覆水中 SRP、TP、TN 存在显著负相关 ($P < 0.01$)，与 NH₃-N 存在极显著负相关，在实地勘察中发现，河道两边及部分暗渠入口处存在着大量的生活垃圾，而氨氮作为生活垃圾中氮的主要赋存形态^[22]，其含量的上升会导致河道水体 DO 含量下降，进而导致 ORP 的降低，研究^[23-24]表明，持续性的缺氧条件通常会增强沉积物与上覆水中磷的迁移转化能力，尤其会导致上覆水中 SRP 含量的升高，进而导致水体的恶化。

综上所述，河流暗渠段对河流水质的影响可以概括为以下几点：由于截污不彻底，暗渠内存

表 2 理化指标相关分析

Table 2 Correlation analysis of physical and chemical indicators

项目	SRP	TP	NH ₃ -N	NO ₃ -N	COD	TN
ORP	-0.694**	-0.745**	-0.836**	0.295	-0.248	-0.629**
TDS	0.859**	0.832**	0.726**	0.050	0.628**	0.640**

注：**表示 $P < 0.01$ ，显著相关。

在污水直排口,是河流水质变差的重要“源”;暗渠内累积的沉积物是造成河流水质变差的重要内在污染源;暗渠内相对密闭的环境导致水体和沉积物溶解氧低,进而引起污染物的厌氧反应,极易造成水体黑臭。

2.3 暗渠段存在的主要环境问题

通过分析暗渠段对河流水质的影响可知,城市暗渠段是造成观澜河支流黑臭水体的主要原因,具体可归结为以下3种因素。

1) 内源污染。暗渠段不同程度的淤泥长期积累是水体持续恶化的主要原因,大量研究^[25-29]表明,在水体的流动中,由于河流底泥与上覆水体的浓度是在不断的动态平衡中,当内源污染十分严重时,就会造成污染物的大量释放,使得长期累积于底泥中的污染物重新回到水体中,而暗渠段的缺氧环境会加剧水质的不断恶化。

2) 外源污染物的持续输入。居民生活中产生的排泄物大量地输入到暗渠中,这种高耗氧量有机污染物随之产生的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 会进一步降低水体的DO,罗家海^[30]在研究广州河段断面时发现,河水每增加1 mg的DO,就必须减少0.303 mg的 $\text{NH}_3\text{-N}$,而暗渠水体由于本身长期处于缺氧状态,加之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度居高不下,导致DO含量始终维持在较低状态。不可忽视的是,生活污水的汇入带来一部分热量,致使DO的含量随着温度的升高而降低,长期的缺氧环境促使厌氧微生物大量繁殖,这直接导致有机物的腐败、分解、发酵,产生的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、腐殖质、 H_2S 、 CH_4 和硫醇等产物使得水体变黑、发臭。

3) 水环境水生态的破坏。部分河道全面硬化和岸边带的完全破坏使河道自然生境完全丧失^[31],完全沦为泄洪的通道及承接各种污染物的“下水道”或“排污容器”,尤其是初期雨水径流中携带着的氮氧化物、重金属、有机物以及病原体等污染物质^[32],在降雨过程中,会将各自区域范围内地表的污染物通过溶解和冲刷等方式汇入每段支流,最终通过暗渠的总口截污纳入污水处理厂,如果处理不当,会直接威胁着城市水生态的安全,而龙华区的市政污水管网系统正在更新完善,且雨污分流系统处于建设中,因此,每条支流都承载着其区域内地表径流的疏通通道,而突发性的雨量骤增,可使总口截污管由于过水断面的狭小造成雨水的溢流,并且暗渠内大颗粒污染物在大流量的冲刷下,可能堵塞在总口截污管处,造成截污设施的全面瘫痪,这会严重威胁观澜河干流的水生态。

2.4 城市河流暗渠段治理的主要工程措施

考虑到暗渠段存在的主要问题及对城市黑臭水体的水质影响,结合国家对城市建成区黑臭水体治理的总体布局,建议按照“定位、揭盖、加窗、联涵、疏泥”十字方针,系统解决城市河流暗渠段。

1) 定位。考虑到龙华区暗渠段在城市河流中的占比较高,在制定暗渠段治理措施时,应从深圳市龙华区黑臭水体治理系统工程的高度定位,制定较为切实可行的工程措施,并兼顾与黑臭水体治理其他工程的同步性和系统性,以达到综合解决影响龙华区水体黑臭问题的目的,实现观澜河龙华区段黑臭水体的彻底解决。

2) 揭盖。造成河流暗渠化的主要原因是人为给自然河道加盖,导致本应敞口式的自然河渠呈现暗渠化,成为影响河流水环境和水生态的重要区域。为了解决这一问题,在总体定位的基础上,经过以上对暗渠段主要问题的系统诊断,选择条件允许的区域进行“揭盖”,即将覆盖物打破,还原河渠的自然状态,为开展暗渠内的污水截留和淤泥清理奠定基础。

3) 加窗。在实地踏查过程中发现,部分暗渠段覆盖层上部为道路或其他暂时无法拆除的建筑,因此,拆除暗渠顶部覆盖层短期内无法实现。针对这一问题,可以考虑在顶部覆盖层“加

窗”,即在顶部覆盖层增开规模适当的透气窗,“开窗”可以实现暗渠内气体的自由流通,防止暗渠段形成厌氧环境,这有利于污染物分解,同时,“开窗”还便于对暗渠段淤泥、垃圾等的监控。

4)联涵。该项工程措施考虑到龙华区城市发展的需求,在与城市发展规划保持一致的基础上,将不必要的暗渠打破,结合城市规划,在一些必须将河道渠道化的区域统一设计,在集中区域内实现桥涵联通。这一工程措施既可以降低城市河流暗渠化,又可以实现路网的科学化和集约化。

5)疏泥。影响暗渠水质的重要污染来源为暗渠段,其普遍存在淤泥和垃圾,由于暗渠段施工作业空间有限,导致淤泥和垃圾不能被及时清除,淤泥和垃圾累积对河流水体造成污染,因此,针对这一问题,建议通过科学设计,结合以上工程措施,实现暗渠段淤泥和垃圾的系统疏移,切断河流暗渠段的内源污染问题,为城市河流消除黑臭提供重要保障。

城市河流暗渠段的工程治理措施不能是单一性的,应统筹考虑城市发展、污水收集与处理、河道水环境提升、河流防洪安全等因素,提出系统化的治理措施,在具体工程措施上,应综合考虑顶层覆盖物拆除或开窗、挡墙拆除或加固、污水收集与处理、淤泥与垃圾的清除等,从而实现河流暗渠段问题的解决,为城市黑臭水体的治理提供重要支撑。

3 结论

1)暗渠段可引起城市河道水体 ORP 的下降,从而导致河道水体自净能力的减弱。

2)暗渠段引起城市河道水质中主要污染物 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 严重超标,在暗渠的缺氧环境中,由于 ORP 的降低和有机污染物的持续输入,促使低氧-缺氧区环境的形成。高浓度的营养盐在暗渠出口排出,在进入河段后,将会威胁整个河道生态系统结构和功能。

3)在治理措施上,加大市政管网的更新速度,将污水完全收纳入管网系统,完善雨污分流系统,是实现河流恢复自净能力的重要前提。暗渠内淤泥的清除、生态补水、排污口封堵等也有助于提高暗渠内水质。对于相对较长的暗渠,可考虑开窗通风,增加空气流动性。总之,应以控源截污、内源治理、活水补给、生态修复等多种措施来实现暗渠黑臭水体的标本兼治。

参考文献

- [1] 金惠振. 浅谈明沟暗渠化在城市建设中的作用[J]. 中国防汛抗旱, 1999(4): 39-40.
- [2] 刘业涛, 刘刚. 太河水库明渠改暗渠供水的优点[J]. 山东水利, 2011(11/12): 91-92.
- [3] 周八军. 西安黑河输水暗渠工程暗漏问题分析[J]. 科技风, 2011(18): 140-140.
- [4] 柳意云, 闫小培. 转型时期城市总体规划的思考[J]. 城市规划, 2004, 28(11): 35-41.
- [5] 解周楠. 城市管网的建设[J]. 科技传播, 2011(13): 237-238.
- [6] 付林锋, 曹淑玲. 城市排水管网事业面临的新挑战[J]. 河南水利与南水北调, 2006(8): 7-7.
- [7] 周一星. 城镇化速度不是越快越好[J]. 科学决策, 2005(8): 30-33.
- [8] 曹相生, 林齐, 孟雪征, 等. 韩国首尔市清溪川水质恢复的经验与启示[J]. 给水排水动态, 2007(6): 8-10.
- [9] 肖新文. 对深圳河流水环境治理若干问题的思考: 有感于日本、韩国河流水环境考察[J]. 中国农村水利水电, 2008(5): 20-21.

- [10] 贾小斌. 深圳市地面坍塌灾害成因分析[J]. *灾害学*, 2016, 31(3): 114-118.
- [11] 邱鸿荣, 罗建中, 郑国辉. 城镇污水管网现状调查及整改对策研究[J]. *地下空间与工程学报*, 2011, 7(6): 1258-1262.
- [12] 韩红娟. 城市地下管网铺设存在的问题及管理建议[J]. *江西建材*, 2014, 15: 286-288.
- [13] 陈有铭. 试论新时期深圳市河道管理的重点与难点[J]. *水利发展研究*, 2004, 1: 41-43.
- [14] 曾宇健. 谈深圳市河道管理工作存在的问题及对策[J]. *水利建设与管理*, 2013, 6: 39-41.
- [15] 李全, 张晓通, 姜文亮, 等. 深圳市建设用地面积动态变化预测[J]. *资源开发与市场*, 2007, 23(2): 105-107.
- [16] 张贞臻. 深圳市发展循环经济的实证研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [17] 游静玉. 深圳市水污染治理的实施思路及建议[J]. *现代物业(中旬刊)*, 2013, 12(8): 114-115.
- [18] 李佳音, 李伟芳, 孟洁, 等. 天津市中心城区黑臭河流评价及判定标准[J]. *中国给水排水*, 2017, 19: 90-95.
- [19] 黄俊, 张旭, 彭炯, 等. 暴雨径流污染负荷的时空分布与输移特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 2: 255-258.
- [20] 边博, 朱伟, 黄峰, 等. 镇江城市降雨径流营养盐污染特征研究[J]. *环境科学*, 2008, 29(1): 19-26.
- [21] 郭怀成. 黄河中游悬浮物对河流水质影响的初步研究[J]. *环境科学*, 1988, 9(2): 4-8.
- [22] 郎超, 单保庆, 李思敏, 等. 濠阳河典型河段沿河垃圾分布及河岸垃圾氨氮入河研究[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(8): 2974-2982.
- [23] 刘伟, 陈振楼, 王军, 等. 小城镇河流底泥沉积物-上覆水磷迁移循环特征[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(4): 727-730.
- [24] 郝文超, 王从锋, 杨正健, 等. 氧化还原循环过程中沉积物磷的形态及迁移转化规律[J]. *环境科学*, 2019, 40(2): 640-648.
- [25] 刘春杰, 李金荣, 王莉, 等. 溶解氧对河流底泥中氮去除的影响[J]. *贵州农业科学*, 2011, 39(11): 202-204.
- [26] 李金荣, 王莉, 陈婷, 等. 溶解氧影响河流底泥中氮释放的实验研究[J]. *中国农村水利水电*, 2012(5): 32-34.
- [27] 孙远军. 城市河流底泥污染与原位稳定化研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
- [28] 吴斯源. 缓流河流中磷在底泥与上覆水中迁移转换规律的研究[D]. 苏州: 苏州科技学院, 2011.
- [29] 罗刚, 胡和平, 刘军, 等. 底泥生物氧化对黑臭河道上覆水体影响的研究[J]. *水生态学杂志*, 2008, 28(2): 71-74.
- [30] 罗家海. 影响珠江广州河段局部水体黑臭的主要原因剖析[J]. *广州环境科学*, 2001, 2: 10-13.
- [31] 祝广智. 基于人水和谐的城市污水河流生态治理[J]. *水土保持研究*, 2008, 4: 261-263.
- [32] 卢文健, 李军, 刘斌, 等. 城市初期雨水污染治理初探[J]. *浙江建筑*, 2010, 27(10): 72-75.
- (本文编辑: 曲娜, 郑晓梅, 张利田)

Influence of underdrain on the urban river water quality

DENG Youfeng¹, WU Minshan², ZHANG Wenqiang^{2,*}, SHAN Baoqing²

1. Water Affairs Bureau, Shenzhen Longhua District, Shenzhen 518109, China

2. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center of Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

*Corresponding author, E-mail: wqzhang@rcees.ac.cn

Abstract The underdrain of urban river is an important factor affecting the treatment of black and odorous water in urban built-up areas. The underdrain in the main branches of Guanlan river watershed in Longhua district of Shenzhen was taken as the research object to investigate the effect of underdrain in the urban river on its water environment. Through field investigation and water quality analysis of the underdrain section, the main environmental problems of the underdrain were identified, and its influence on the river water quality was analyzed. The results showed that underdrain had significant effect on the river water quality, the main pollutants were ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) and total phosphorus (TP). The average content of $\text{NH}_3\text{-N}$ was $22.29 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in the most seriously polluted Tangshuiwei, and it was 1.49 times as high as the $\text{NH}_3\text{-N}$ standard for severe black and odorous water ($15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), while an average oxidation-reduction potential (ORP) was -154 mV , and lower than the standard for mildly black and odorous water (50 mV), of which the lowest value was -190 mV and close to the standard value for severe black and odorous water (-200 mV). In the spatial distribution pattern of open channel, underdrain and open channel, the large silt accumulation in the underdrain, garbage failed to clean in time and the incomplete sealing of sewage outfall resulted in the deteriorated water quality in the underdrain. In terms of engineering solution measures, it is necessary to combine with regional urban development planning and follow the ten-character policy of “positioning, uncovered, windowing, connect the underdrain and dredging”, and eliminate the pollution of underdrain sections by removing or opening windows on the top floor coverings, removing or reinforcing retaining walls, sewage collection and treatment, silt and garbage removal and other engineering measures. This study will provide important technical support for the black and odorous water treatment in urban rivers and the comprehensive improvement of river underdrain environment.

Keywords underdrain; urban river; water quality; black and odorous water