

工程实例

H市河道水环境评价及综合治理工程设计

蔡甜¹, 姜章泽君², 詹健²

(1. 中国电建集团 中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410014; 2. 南昌大学 建筑工程学院, 江西 南昌 330031)

摘要: 河北省H市由于市政基础设施久未更新,且排水管网存在污水直排、雨污混接等现象,城区内河水水质基本为劣V类。为有效控制和改善当地城区内河污染情况,对H市城区内的河渠进行了水环境调研与评价,并以“控源截污、内源治理、生态修复、统筹兼顾”的整体思路提出治理方案,旨在实现水环境改善与生态协调的双重目标。

关键词: 水环境治理; 黑臭水体; 控源截污; 内源治理; 生态修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)04-0083-06

A Case Study of River Environment Assessment and Comprehensive Treatment Engineering Design in H City

CAI Tian¹, JIANG Zhang-ze-jun², ZHAN Jian²

(1. PowerChina Zhongnan Engineering Co. Ltd., Changsha 410014, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Since the municipal infrastructure of H City, Hebei Province has not been updated for a long time, and sewage was directly discharged into river through the confluence system in some areas, the water quality of the urban river was basically inferior to class V. In order to effectively control and improve the pollution condition of local urban rivers, the water environment of urban river canals in H City was investigated and evaluated, and the treatment program was carried out with the overall idea of sewage source control and interception, internal source treatment, ecological remediation and functional coordination, in order to realize the dual goals of water environment improvement and ecological coordination.

Key words: water environment treatment; black and odorous water body; sewage source control and interception; internal source treatment; ecological remediation

水环境质量与人们的生存环境质量息息相关。我国正整体处于水环境质量改善和水生态修复的关键阶段,许多学者对水环境治理进行了相关研究并

取得了一些成果^[1-5],国家也出台一系列的政策及规范作为水环境综合整治的支撑。以河北省H市某河道的污染负荷组成、地表水质评价、底泥评价为

前期准备工作,再根据水环境目标针对性地提出相应的综合整治思路,以实现城区河道水环境根本性好转的目标。

1 项目概况

1.1 水系概况与现状

H市位于河北省东南部,属海河流域南运河水系,境内共有河道22条,总长为543.3 km,总流量为 $2\,147.3\text{ m}^3/\text{s}$ 。大部分河流均自西南流向东北,现状排水主要出路为南排河、新石碑河、东风干渠、黄北干渠、平港渠、一夜河、城东排支、西南排支、黄中排支等。随着H市城镇化进程不断加快和城市人口的急剧增长,市政环保基础设施建设滞后于城市发展,排水管网系统存在污水直排、雨污错接和混接等现象,导致黄北干渠、沧海路南渠、景观河等河流水质变差,城区内河基本为劣V类水质,甚至出现发黑发臭的现象,城区水环境整体形势较为严峻。

1.2 水环境目标

根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)对景观功能水体的水环境质量要求,H市城区的地表水系原则上应不低于V类水标准。总体上来看,H市的水环境目标可分为两个目标时间节点。至2020年,城区内黑臭水体控制在10%以内,城市集中式饮用水水源水质达到或优于Ⅲ类比例为100%,农村饮用水水源水质达标率达80%以上。至2030年,城区内黑臭水体基本消除。

2 流域水环境调查与评价

2.1 污染负荷调查

通过实地勘测及资料搜集,确定各河道的排污

口数量与排水量(见表1)。黄北干渠与东风干渠作为贯穿H市城区的主干河道,其污染负荷远高于其他河道。过高的污染负荷对河道水质产生了较大影响,多条河道出现了不同程度的黑臭现象。当地城镇污水主要来源为生活污水(52.05%)、工业废水(31.45%)、径流污水(10.12%),其他为6.38%。

表1 河道排污口数据

Tab. 1 River sewage outlet data

| 支流 | 排污口/个 | 排水量/ ($10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$) | COD/ ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$) | $\text{NH}_3-\text{N}/$ ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$) | TP/ ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$) |
|-------|-------|---|--|---|---|
| 东风干渠 | 47 | 0.478 | 1.093 | 0.392 | 0.048 |
| 黄北干渠 | 59 | 0.962 | 3.775 | 1.313 | 0.162 |
| 平港渠 | 17 | 0.221 | 0.039 | 0.016 | 0.002 |
| 一夜河 | 19 | 0.120 | 0.104 | 0.020 | 0.002 |
| 土产沟 | 22 | 0.251 | 0.179 | 0.043 | 0.004 |
| 景观河 | 25 | 0.199 | 0.165 | 0.039 | 0.003 |
| 城西排支 | 5 | 0.058 | 0.027 | 0.012 | 0.001 |
| 沧海路南渠 | 11 | 0.167 | 0.046 | 0.003 | 0.002 |
| 城东排支 | 2 | 0.069 | 0.006 | 0.001 | 0 |
| 南排河 | 11 | 0.204 | 0.137 | 0.013 | 0.001 |
| 新石碑河 | 13 | 0.273 | 0.152 | 0.054 | 0.007 |
| 西南排支 | 12 | 0.351 | 0.265 | 0.081 | 0.008 |
| 黄北排支 | 16 | 0.247 | 0.278 | 0.160 | 0 |

2.2 水质评价

2.2.1 地表水评价

为全面掌握H市河道水质情况,分别于2018年3月、4月、7月对城区主要地表水的水质情况进行了监测,并根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)和《城市黑臭水体整治工作指南》对其进行评价,结果见表2。

表2 河道监测结果及评价

Tab. 2 River monitoring results and evaluation

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

| 点位 | 氨氮 | COD | 总磷 | 总氮 | BOD_5 | 水质类别/ 黑臭程度 | 主要超标因子 |
|-----|-------|------|-------|------------|----------------|---------------|-------------------------------|
| 标准 | V类 | 2.0 | 40 | 0.4(湖库0.2) | 2.0 | 10 | |
| 限值 | 轻度/重度 | 8/15 | — | — | — | — | |
| H3 | 14.7 | 225 | 0.425 | 18.6 | 67.5 | 劣V类/轻度 | COD、 BOD_5 、氨氮、总氮 |
| H4 | 26.2 | 351 | 0.489 | 34.4 | 168 | 劣V类/重度 | COD、 BOD_5 、氨氮、总氮 |
| H11 | 28.0 | 248 | 0.531 | 35.6 | 96.7 | 劣V类/重度 | COD、 BOD_5 、氨氮、总氮、总磷 |
| HD2 | 47.2 | 402 | 3.180 | 58.3 | 190 | 劣V类/重度 | COD、 BOD_5 、氨氮、总磷、总氮 |

根据城区地表水体的监测结果得知,黄北干渠流域基本为劣V类至重度黑臭水体,超标因子主要为COD、 BOD_5 、氨氮、总氮、总磷。人民湖、西湖、南湖为劣V类水体,主要超标因子为COD、 BOD_5 。驿

东街泵站水体为重度黑臭水体,其超标因子为COD、 BOD_5 、总氮、总磷。东风干渠为轻度黑臭水体,上游超标因子主要是 BOD_5 、总磷,中游超标因子主要为COD、 BOD_5 、氨氮、总氮、总磷,下游主要超标

因子为 COD、BOD₅。由上述结果分析可知,该市地表水体水质整体较差,呈劣 V 类至重度黑臭水体的状态,亟需采取相关措施进行改善。

2.2.2 底泥评价

为进一步分析河道底泥的环境质量,于 2018 年 5 月—6 月对中心城区黑臭水体底泥现状进行了监测。底泥监测项目包括感官、气味以及铅、镉、汞、

铬、镍、锌等重金属。

依据《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)的二级标准和《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)对底泥完成环境质量评价,以最为典型的两条渠道为例(断面宽、沿线长),其部分点位的主要指标监测结果如表 3 所示。

表 3 底泥监测结果及评价

Tab.3 Sediment monitoring results and evaluation

| 序号 | 采样坐标 | 点位标识 | 样品状态 | 铅 | 镉 | 汞 | 砷 | 铬 | 镍 | 锌 | 评价结论 | 对应渠道 |
|----|--|------|--------|----|-----|-----|-----|----|----|----|------|------|
| 2 | E:117.598 461 N:38.337 518 (H-DN1) | 浮泥层 | 黑色、有臭味 | 一级 | 一级 | 超三级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 超三级 | 黄北干渠 |
| | | 过渡层 | 黑色、有臭味 | 一级 | 一级 | 二级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 二级 | |
| | | 原状土 | 褐色 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | |
| 17 | E:117.320 860 N:38.390 238 (H-DN8) | 浮泥层 | 黑褐色 | 一级 | 超三级 | 一级 | 超三级 | 一级 | 一级 | 一级 | 超三级 | 新石碑河 |
| | | 过渡层 | 黑褐色 | 二级 | 二级 | 一级 | 三级 | 二级 | 二级 | 三级 | 三级 | |
| | | 原状土 | 黑褐色 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | |

由上述监测结果得知,该市两处流域底泥存在超标情况,黄北干渠的评价结果表明其底泥的汞指标超标严重,其中浮泥层为超三级,过渡层为二级,其余各层的主要指标均为一级。新石碑河的底泥环境较为严峻,其浮泥层镉、砷超过三级标准,过渡层砷、锌评价结果为三级。

由此可知 H 市城区部分河段地表水及底泥污染严重,且河道水生动植物过于单一,不利于生态系统的形成与修复。因此,需通过“水质改善、水系连通、防洪排涝、生态修复”等措施进行治理。

3 工程设计

3.1 控源截污工程

控源截污工程整体采用“源头治污→片区截污→厂网河一体化”三步走策略。

3.1.1 源头治污

① 小区雨污分流改造

对存在混流、错接、设施破损、管理不善等造成污水流失的小区,首先要对排水系统进行梳理,找出问题,分析原因,视具体情况按照雨污分流的原则综合确定清源整改方案,一般采取局部整改方式,如加设雨水口、对污染点排口进行改接、垃圾房周边设挡水设施等,以达到雨污分流目标,并按要求完善档案资料和管理制度。

② 城中村管网改造

在进村入户的改造思路指引下,将城中村住户及道路进行雨污分流改造。杜绝污水直接入河,将雨污水分别接入市政雨污水管道。

③ 分散式污水处理设施

根据区域排水管网标高,直排至河道的污水经收集后需要通过中途泵站提升方可接入排水主干管,而周边暂无排水主干管的地区,可考虑采用就地处理的分散污水处理站。

3.1.2 片区截污

根据 H 市相关规划,排水体制原则上采用分流制。现状 H 市老城区全部为合流制,新建城区市政道路上为分流制,故需对 H 市市政道路进行雨污分流改造。原则上在原合流制市政道路上新建一套污水收集系统;现状的合流制管渠作为雨水管渠保留和改造。根据对污水量的预测及《H 市城乡总体规划(2016—2030)》中的用地范围与性质,确定各污水处理厂的规模及分区见图 1。

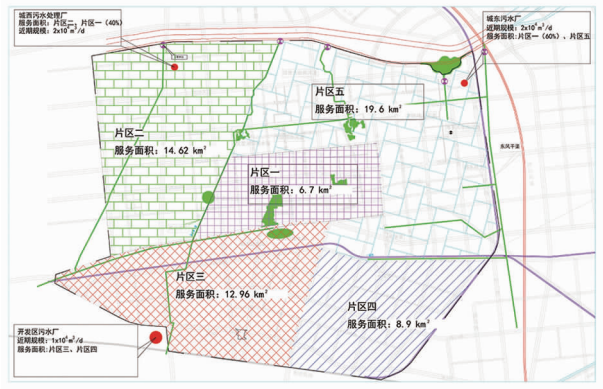


图 1 污水分区及污水处理厂布置

Fig.1 Sewage division and sewage treatment plants arrangement

图1表明,H市城区分为五大排水分区。其中片区二涵盖部分工业园区及农业用地,所以此片区应以农业面源污染和工业点源污染控制为主。片区三、片区四规划年限较晚,因此其片区内已基本做到雨污分流,且两个片区排水管网走势避开了内河,所以这两个片区的水环境压力最小。片区一、片区五为老城区,大多为合流制管网,因此其片区截污应以生活污水为主。考虑片区五内分别存在北侧的新石碑河和东侧的东风干渠两条河渠,因此片区一、片区五宜根据排水管网走向分别在北侧、东侧设置截污干管,并设置截流井。

3.1.3 厂网河一体化

① 入河排污口整治

通过对H市中心城区河流排水管网排口普查可得排口总数为259个,其中雨水排口189个、污水直排口7个、合流排口为63个。

污水截流井是控制合流制溢流污染的一大措施,需遵循以下条件:第一,管道重力自由出流;第二,设置截流井后的溢流断面与未设置时雨季的排洪断面基本保持一致,即设置前后过流能力基本不变;第三,截流井溢流管出口不受水体水位顶托,为自由出流。

对于拟建管网沿途道路两侧狭小,且其他市政管线密布的地方,截流井位置受场地限制较大,而闸板式、折板堰式等新型截流井占地大、维护管理不便,故截流井设计时采用结构简单、管理方便的槽式截流井。而对于拟建管网沿途道路两侧较宽的地方,截流井位置不受场地限制,可选择闸板式、折板堰式等新型截流井。

② 污水处理厂改扩建

目前,H市中心城区正在运行的污水处理厂为经开区污水处理厂,实际处理能力为 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行一级A标准,考虑到经开工业园区处于不断开发中,故远期规模定为 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。城东、城西两座污水处理厂均处于拟建状态,处理规模均为近期 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,远期 $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,且远期考虑建设中水回用设施。

3.2 内源治理工程

根据对底泥的采样及评价结果,确定底泥污染层和过渡层间厚度分布情况,结合各河道实际情况确定清淤厚度。

对H市城区内相关流域进行清淤整治的清淤

范围及清淤量见表4。

表4 清淤范围及清淤量统计

Tab.4 Statistical results of the range and amount of dredging

| 清淤河段 | 清淤面积/ km^2 | 清淤平均深度/ m | 清淤量/ 10^4 m^3 |
|------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| 黄北干渠 | 0.140 0 | 0.6 | 8.40 |
| 景观河 | 0.028 0 | 0.6 | 1.68 |
| 土产沟 | 0.157 0 | 0.7 | 10.99 |
| 平港渠 | 0.012 8 | 0.5 | 0.64 |
| 一夜河 | 0.016 0 | 0.5 | 0.80 |
| 东风干渠 | 0.131 0 | 0.5 | 6.55 |
| 合计 | 0.484 8 | | 29.06 |

3.2.1 清淤方式比选及断面确定

根据实测的河段淤积分布情况,拟定三种清淤方案。方案一为河道截流,排除明水,人工配合挖机挖掘淤泥并装车外运;方案二采用清淤船清淤;方案三采用水力冲挖淤泥,用泥浆泵输送淤泥。分析以上三种清淤方案,方案二可进行水上施工且效率较高,但由于河道宽度较窄、水深较浅,不宜使用清淤船进行施工;方案三施工简便且成本低,但需修建集淤池与堆泥库,占地面积大。综合考虑施工条件、工程对环境的影响、施工成本及占地面积等,拟采用方案一作为本次河道治理工程清淤方案。

经现场勘查,结合实测河道地形与横断面,河道淤泥深度一般为 $0.5 \sim 1.2 \text{ m}$,实际施工过程中,可根据河道断面和底泥淤积厚度分段绘制清淤断面图,求得各段的平均清淤厚度。根据河道生态清淤需要,为不改变原河床生态系统,清淤后河床表面预留 0.2 m 的污泥厚度(由清淤断面的淤泥底边线向上 20 cm)。为确保两岸堤防的安全稳定,河道清淤开挖始坡位置与两岸堤坡脚应预留至少 3 m 的施工安全距离(此范围维持原泥床状态,即为清淤保护范围),河道清淤设计边坡为 $1:2$ 。

3.2.2 底泥处理处置工艺选择

常用的淤泥处理方式有自然脱水工艺、机械脱水工艺、真空预压工艺、土工管袋工艺、机械脱水固结一体化工艺等,需从脱水效果、运行费用、设备投资及现场实际情况等方面综合比较。考虑到部分施工现场周边有可利用的场地进行淤泥堆放,且H市当地气候比较干燥,利于脱水,因此淤泥的处理方式采用运行费用较低、脱水效果较好的土工管袋技术。对不具备淤泥堆放条件的施工场地,宜优先考虑布局紧凑、脱水效率高的机械脱水固结一体化工艺。另外,根据前期末底泥监测情况可知,部分底泥存在重

金属超标问题,拟采用固化/稳定技术对底泥中重金属进行稳定化处理,降低其中重金属的活性。考虑到稳定化处理对经济性的要求,本工程对底泥重金属超标较为严重的新石碑河、黄北干渠、信誉大街渠、新学院路渠的部分底泥做稳定化处理,需稳定化的底泥量占清淤量的11.5%。底泥处理工艺流程见图2。

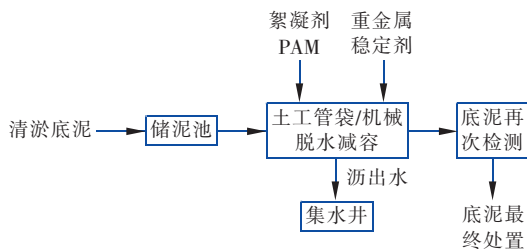


图2 底泥处理工艺流程

Fig.2 Sediment treatment process

表5 曝气设备参数

Tab.5 Aeration equipment parameters

| 设备型号 | 功率/W | 电压/V | 循环通量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) | 增氧能力/($\text{kgO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$) | 外形尺寸 |
|------------------|-------|------|---|---|-----------------------|
| 推流式 TLB-ZH-A7500 | 7 500 | 380 | 1 470 | 9.8 | 1 200 mm × 1 000 mm |
| 喷泉式 ZHHB-2015D | 2 000 | 380 | 250 | 5 | 70 mm × 70 mm × 65 mm |

3.3.2 漂浮湿地

漂浮湿地是绿化技术和漂浮技术的有机结合,主要由浮岛载体、生物陶粒、生态基、水生植物、连接扣、定植篮等组成。漂浮湿地由人工在水域水面上种植水生植物,通过植物根部的吸收、吸附作用,消除在水体中富集的氮、磷等污染物,从而达到净化水质的目的。

根据漂浮湿地对水体污染物的去除能力,其面积需占水体修复面积的20%~30%。为在防治水体富营养化的同时兼顾景观效果,需至少设置漂浮湿地面积13.03 hm^2 ;为保证河道的行洪能力,漂浮湿地的植物宜主要布设在河道两侧、景观节点、支流交汇口及雨水汇合口,且需保持种植间隙,以防止阻断河道。

另外,本着因地制宜的原则,通过调查分析,选择旱伞草、水葱、黄花鸢尾、香蒲、千屈菜、菖蒲等6种本地植物作为漂浮湿地植物,种植密度为9株/ m^2 。漂浮湿地净化系统在后期维护时,宜季节性地在植物枯萎期进行腐根清理,防止植物所带来的二次污染。此外,建议实时监测河道的植物密度,防止植物的过度繁殖。

3.3 生态修复工程

水生态修复技术遵循适用性、可持续发展、安全性、可操作性及环境友好等原则,利用河道自身空间,通过生态措施强化河道对污染物的去除能力,进一步改善水体水质,逐步恢复河道水体自净能力。

3.3.1 曝气增氧

曝气技术是根据湖泊受污染后缺氧这一特点,人工向水体充入空气或氧气,加速水体复氧过程并提高其溶解氧水平的措施。目前国内外常用的曝气设备包括纯氧-微孔布气设备曝气系统、纯氧-混流增氧系统等。拟采用潜水推流式与浮水喷泉式曝气方案:城区河段采用浮水喷泉式曝气机,在非城区河段采用潜水推流式曝气机。根据两者产品参数及项目实际情况,在主干河道、居民聚集区及死水区等必要区域沿河每隔300~400 m内布设一台曝气机,共设置85台。曝气设备参数见表5。

3.3.3 生态护岸工程

生态护岸是指恢复后的自然河岸或具有自然河岸“可渗透性”的人工驳岸,最典型的生态护岸是自然原型驳岸,即自然缓坡结合草坪和其他植被的结构,所以城市水系的生态护岸设计必须和滨水种植设计相结合,才能向真正意义的生态护岸靠拢。拟新建生态护岸50 km,种植柳树、水杨、白杨以及芦苇、菖蒲等植物,由它们生长舒展的发达根系来稳固堤岸。出于防洪考虑,约1/3的人工驳岸采用自然型-自然原型相结合的方式,即传统浆砌块石外加干砌块石两层驳岸与自然种植植物相结合。

4 结论与建议

水环境综合治理是一项统筹协调的整体项目,通过对河北省H市进行现状水质评估及污水量预测,分析评价结果得出综合治理方案。

① 经流域水环境调查,H市13条河渠中黄北干渠与东风干渠污染负荷明显高于其他河渠。H市城镇工业、生活、径流污染来源的比例约为5:3:1,在水环境综合整治工程中需重点考虑生活污水、工业废水的截流。

② 从地表水监测结果来看,H市多处水体

COD、BOD₅、氨氮、总氮超标。根据底泥重金属评价结果,多处河段底泥镉、汞、砷、锌超标。因此水环境治理时建议从这两方面入手,做到“表-底”双重达标。

③ 在水环境治理工程设计时,宜加强对生态修复的重视,充分利用河道空间,提升水体的自净能力。此外,还需结合控源截污、内源治理两个方面进行综合整治。

参考文献:

- [1] 王晨,李婧,赖文蔚,等. 海口市美舍河水环境综合治理系统方案[J]. 中国给水排水,2018,34(12):24-30.
Wang Chen, Li Jing, Lai Wenwei, et al. Integrated water environment remediation approach of Meishe River in Haikou City[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(12):24-30(in Chinese).
- [2] 彭俊,徐彦飞. 面源型污染入库河流水环境综合治理工程设计[J]. 中国给水排水,2018,34(24):56-60.
Peng Jun, Xu Yanfei. Design of treatment of non-point source polluted river as inflow of reservoir in water environment governance[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(24):56-60(in Chinese).
- [3] 邱于益. 石狮市厝上溪流域水环境综合治理的实践[J]. 中国给水排水,2018,34(14):105-108(in Chinese).
Qiu Yuyi. Practice of water environment comprehensive management in Cuoshang Creek basin in Shishi[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(14):105-108(in Chinese).

- [4] 靖中秋,于鲁冀,梁亦欣,等. 北方地区流域水环境综合治理模式研究与实践[J]. 环境工程,2018,36(5):45-48.

Jing Zhongqiu, Yu Luji, Liang Yixin, et al. Research and practice of watershed environment comprehensive management mode in the northern region of China[J]. Environmental Engineering, 2018, 36(5):45-48(in Chinese).

- [5] 丁一. 城市河道水环境综合整治工程实测[J]. 环境工程,2018,36(9):30-35.

Ding Yi. A case study of comprehensive improvement project of water environment in urban river[J]. Environmental Engineering, 2018, 36(9):30-35(in Chinese).



作者简介:蔡甜(1995-),男,重庆人,硕士,工程师,研究方向主要为城市给水排水及水环境治理工程。

E-mail:caitian98@163.com

收稿日期:2019-04-08

加强地下水管理保护,防止地下水超采