

饮用水源地污水处理方案比选研究与应用

翟林

(广东省冶金建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510080)

摘要: 韩江是粤东三市人民重要的饮用水源地,其水质安全不容忽视,水源地内部的生活污水治理尤为重要且紧迫。现对韩江潮州段的仙洲岛污水处理方案进行研究,从处理效果、施工难度、维护难度、占地面积等方面进行比选论证,确定“就地处理+中水回用”的处理方案,对该处理方案的设计及特点进行介绍,为类似饮用水源地的污水处理提供借鉴。

关键词: 韩江;饮用水源地;中水回用;设计特点;研究;应用

中图分类号: R123.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0164-05

0 引言

韩江是广东省第二大江,发源于广东省紫金县七星嶺,跨越江西、福建、广东三省,流域面积3.01万 km^2 ,干流总长470 km^[1],上游由梅江和汀江组成,两江在梅州市三河坝汇合后始称韩江,由此穿山向南流至潮州市北面竹竿山为中游。韩江下游从竹竿山南流过湘子桥(又称广济桥,中国四大古桥之一),于仙洲岛分流东、西、北溪流经澄海、汕头等市注入南海。韩江是粤东三市近千万人的主要饮用水源地。受人口、经济发展影响,韩江流域水质呈下降趋势^[1-2]。

水源地的水质安全是保障人类健康生活的重要条件,决定社会的稳定性及环境的安全性^[3]。现对韩江潮州段水源地内江心洲污水处理进行比选研究,对其污水处理设计及其特点进行介绍,以其他类似水源地的污水处理方案选择提供借鉴。

1 区域概况

1.1 区位特征

潮州市位于广东省东部,地处潮汕平原、韩江中下游。北与大埔、丰顺县交界,东与福建省诏安县相邻,东北与福建省平和县接壤,南与汕头市澄海区毗连,西与揭阳市接壤。

仙洲岛为韩江潮州段的江心洲,属人工填埋围合形成的岛屿,岛内地势平坦(见图1)。该岛位于潮

州供水枢纽工程北侧饮用水源地内部,是水源地内部唯一的一个较大污染源。

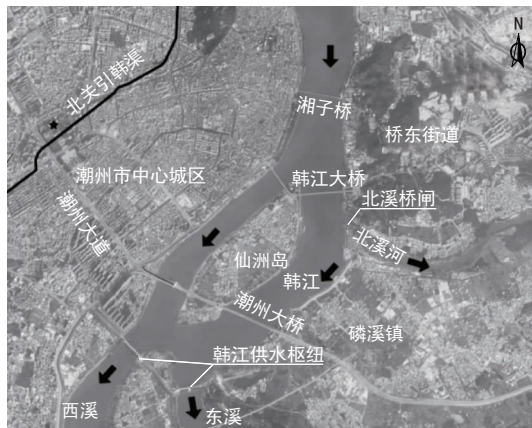


图1 仙洲岛区位图

1.2 污染现状

仙洲岛全岛面积约139.60 hm^2 ,岛内主要为村庄和农田,其中村庄主要集中于岛内西北部。现状排水体制为雨、污合流制,生活污水等通过暗渠、排水管等排向东南侧的排水渠,排水渠末端有1座排涝泵站。岛内污水旱季主要通过排涝泵站间歇性临时抽排,将污水抽排至简易人工湿地处理,尾水直排韩江。该人工湿地处理标准低、效果差;雨季合流污水通过排涝泵站直排韩江,对韩江饮用水源地造成污染。

1.3 治理需求

(1)解决仙洲岛合流污水排放韩江水源地的问题,消除污水排放口对生活饮用水的威胁,保障引用水源地水安全。

(2)解决排涝泵站旱季临时抽排污水、雨季排涝的问题,剥离污水处理与排涝功能,构建合理可靠的污水处理系统。

收稿日期: 2023-03-11

作者简介: 翟林(1990—),男,学士,工程师,从事给排水设计工作。

(3)完善仙洲岛内污水处理基础设施,为仙洲岛城建开发和经济发展提供基础条件,促进城建发展和环境保护的和谐统一。

2 方案比选研究

结合潮州市,相关规划和仙洲岛的建设现状,经过调研分析,提出四种方案:

方案一,就地处理、就地排放,即岛内建设污水处理厂 1 座,污水经处理达到地表 V 类标准(总氮除外)后,尾水排放韩江。方案二,就地处理、中水回用,即岛内建设污水处理厂 1 座,污水经处理达到地表 V 类标准(总氮除外),满足中水回用需求,经中水泵站二次提升后采用 DN250 压力管过潮州大桥、潮枫路,最终排放至三利溪,作为河涌补充水源,同时作为市政道路景观绿化、道路清洁等回用水。方案三,提升泵站、穿江、异地处理,即建设污水提升泵站 1 座,污水经提升后采用 DN250 压力管下穿韩江后接至潮州大道 d600 污水管,去向潮州第一污水处理厂处理。方案四,提升泵站、上桥、异地处理,即建设污水提升泵站 1 座,污水经提升后采用 DN250 压力管过潮州大桥后排放至潮州大道 d600 污水管,去向潮州第一污水处理厂处理。四种方案对比见表 1 所列。考虑到处理效果、施工难度、维护难度、占地面积等,初步采用方案二。

表 1 污水处理方案对比表

影响因素	方案一	方案二	方案三	方案四
方案简介	就地处理、就地排放	就地处理、中水回用	提升泵站、穿江、异地处理	提升泵站、上桥、异地处理
管养维护	较为便利	较为便利	困难	简单
对水源地影响	极大	无	较大	存在隐患
施工难度及风险	难度较小、风险可控	难度较小、风险可控	难度较大、有一定风险	难度小、风险可控
中水回用	无	有	无	无
对其他污水厂影响	无	无	有	有
工程投资	较多	最多	较多	最少
占地面积	较大	较大	较小	较小

(1)从规划及规范来看,方案一与《潮州市城市总体规划》矛盾,规划中明确要求韩江不得作为污水处理厂纳污水体;方案三中韩江属省管河道,设计、施工方案需报省级水利、航道等主管部门审批;方案四不满足强制性条文“不得在桥上敷设污水管、压力大于 0.4 MPa 的燃气管和其它可燃、有毒或腐蚀性的液、气体等”^[4]。

(2)从污水处理效果来看,方案一和方案二处理效果较好,对其它污水系统没有影响,方案二还可以作为中水回用,补充河涌和市政杂用。而方案三和四将污水转输至其它污水处理系统,增加其它污水系统的负担。

(3)从施工来看,方案一和方案二虽然施工体量较大,但施工难度不大、风险可控;方案三涉及下穿韩江及外江堤防,施工难度较大,风险较高;方案四施工难度最小。

(4)从运营维护来看,方案一和方案二虽然维护量大,但比较便利;方案三中污水管运维期间若出现渗漏,难以发现,维修维护困难,存在较大的环境污染风险;方案四维护最简单。

3 工程设计与特点

3.1 设计规模

根据潮州市仙洲岛的建成现状与发展规划,采用分类水量预测法和不同建设用地指标法预测污水量,推算至 2020 年仙洲岛污水系统污水量为 0.25 万 m³/d,2030 年仙洲岛污水系统污水量为 0.50 万 m³/d。

3.2 设计水质

仙洲岛污水处理厂进水水质重点参考周边城镇发展态势以及潮汕地区居民生活习惯类似的、同类型邻近地区的城市污水处理厂实际进水水质、设计水质而确定。出水水质在满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 及《地表水环境质量标准》地表水 V 类水标准(总氮≤15 mg/L)的较严值要求,同时满足《城市污水再生利用—城市杂用水水质》《城市污水再生利用—景观环境用水水质》相关要求,具体见表 2 所列。

表 2 潮州市仙洲岛污水处理厂工程设计进出水水质一览表

名称	BOD ₅	COD	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质/(mg·L ⁻¹)	150	250	150	25	30	4
出水水质/(mg·L ⁻¹)	10	40	10	5	15	0.5
处理程度/%	93	84	93	80	50	87

3.3 工艺流程

仙洲岛污水处理厂污水处理采用 AAO 工艺,深度处理采用反硝化深床滤池+高效沉淀池工艺,污泥处理采用重力浓缩+高压弹性压滤工艺,消毒采用次氯酸钠消毒工艺,除臭采用生物除臭工艺。工艺流程如图 2 所示。

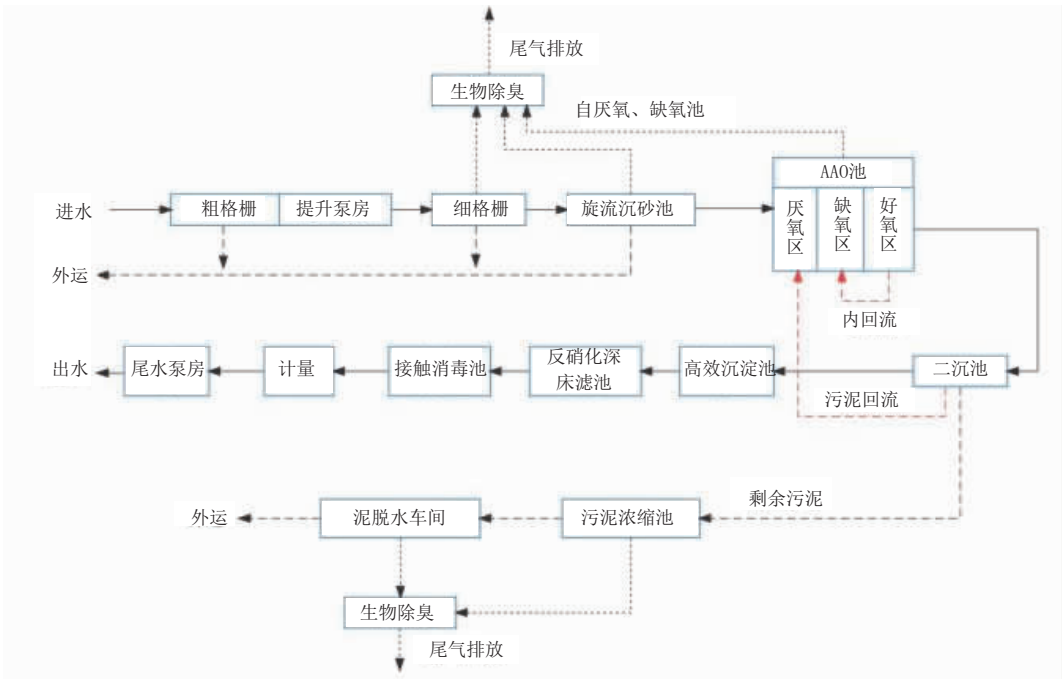


图 2 工艺流程图

3.4 总体布置

污水处理厂的布置形式分为地面敞开式-常规半地下式、单层加盖半地下式、双层覆盖半地下式、全地下式和洞穴式或隧洞式 5 种^[5]。仙洲岛污水处理厂位于仙洲岛南端,潮州大桥南侧,详见图 3。在城市控规上远离城市居民区,考虑到工程投资、对现状堤防的影响等问题,仙洲岛污水处理厂采用地面敞开式,综合楼、综合辅助车间、细格栅等均采用全地上式建筑,消毒池、高效沉淀池、反硝化深床滤池等采用半地下式。厂区总体布置紧凑,整体以白色为主题,与周边的水体、桥梁景观交相呼应,建设总图如图 4 所示。



图 4 仙洲岛污水处理厂布置图



图 3 仙洲岛污水处理厂选址图

3.5 主要构筑物设计

(1)粗格栅及提升泵房:粗格栅与提升泵房合建,1 座,采用沉井式结构,土建规模 0.50 万 m^3/d ,设备规模 0.25 万 m^3/d 。考虑堤防、潮州大桥等因素,创新性地将粗格栅及提升泵房设置在厂外。粗格栅井分为 2 格,设 2 台回转式格栅除污机,近期 1 用 1 备,远期 2 用,栅宽 $B=0.8\text{ m}$,栅隙宽 $b=20\text{ mm}$,安装角度 $\alpha=75^\circ$,设泵位 3 个,近期安装水泵 2 台,1 用 1

备,单泵性能参数 $Q=196\text{ m}^3/\text{h}$, $H=20\text{ m}$, $N=22\text{ kW}$ 。粗格栅与泵站采用沉井式泵站,节约占地面积。

(2)细格栅渠及沉砂池:细格栅渠与沉砂池合建,设计规模 0.5 万 m^3/d 。细格栅渠设 2 条格栅渠道,安装 2 台回转式细格栅,近期 1 用 1 备,远期两用,栅隙 5 mm,渠道宽度 700 mm,渠道深度 1.3 m,栅前水深 0.6 m。沉砂池采用旋流沉砂池,设 2 座,近期 1 用 1 备,远期两用,每座直径 2.13 m,沉砂区水深 0.80 m,砂斗直径 0.91 m,砂斗深度 1.52 m。

(3)生化组合池:AAO 池、平流二沉池与污泥回流泵站合建,规模均为 0.25 万 m^3/d 。AAO 池按照溶解氧浓度变化分为厌氧区、缺氧区和好氧区,水力停留时间为 12.76 h,其中厌氧区 1.54 h,缺氧区 3.08 h,好氧区 8.13 h,有效水深 $H=4.7\text{ m}$,污泥浓度 $\text{MLSS}=3.5\text{ g/L}$,污泥负荷 $F_w=0.08\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$,污泥龄 $\theta=14\text{ d}$,剩余污泥量 90 m^3/d 。设平流二沉池

1座,分1格,有效水深 $H=3.25\text{ m}$,设计表面负荷 $q=1.2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,回流污泥浓度 $X_r=10.5\text{ g/L}$,水平流速 $v=3.35\text{ mm/s}$,沉淀时间 $T=1.98\sim 3.74\text{ h}$;安装链式刮泥机1台,刮泥机宽 4.3 m ,长 27.9 m ,行走速度 $V=0.3\sim 0.5\text{ m/min}$,功率 $N=0.37\text{ kW}$ 。污泥回流泵房回流污泥量 $104\text{ m}^3/\text{h}$,剩余污泥量 $90\text{ m}^3/\text{d}$,污泥回流比 $50\%\sim 100\%$ 。

(4)高效沉淀池(磁混凝):土建规模 $0.50\text{ 万 m}^3/\text{d}$,分为2格双排对称布置,尺寸 $L\times B\times H=12.15\text{ m}\times 10.5\text{ m}\times 8.6\text{ m}$,近期安装、使用1格。混凝阶段T1反应池水力停留时间 130 s ,T2反应池水力停留时间 127 s ,T3反应池水力停留时间 283 s ,总混凝反应时间 9.11 min 。采用斜管沉淀,有效沉淀区表面负荷 $11.3\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 污泥循环系数 $4\%\sim 10\%$ 。

(5)反硝化深床滤池:与远期合建,设计规模 $0.50\text{ 万 m}^3/\text{d}$,设1座反硝化深床滤池,尺寸 $L\times B\times H=20.1\text{ m}\times 15.5\text{ m}\times 10.38\text{ m}$,分为3格,单格有效过滤面积 16.12 m^2 ,近期平均滤速 $2.15\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 、远期 $4.31\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$,滤料为石英砂,粒径 $2\sim 3\text{ mm}$,厚度 $H=1.83\text{ m}$ 。近期反硝化速率 $0.14\text{ kgNH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,远期 $0.28\text{ kgNH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。设反洗风机2台,1用1备,单台风机流量 $Q=25.9\text{ m}^3/\text{min}$,风压 $P=0.68\text{ bar}$,电机功率 55 kW ;设反洗泵2台,单台流量 $Q=250\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=11\text{ m}$,电机功率 15 kW ;设反洗废液排放泵2台,单台流量 $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=16\text{ m}$,电机功率 7.5 kW 。在加药间预留投加纯度为 15% 的液态乙酸钠作为碳源位置。

(6)接触消毒池:与消毒池加药间、尾水泵房、巴氏计量槽合建。采用次氯酸钠消毒工艺,设消毒池1座,尺寸 $L\times B\times H=14.4\text{ m}\times 8.9\text{ m}\times 3.1\text{ m}$,设计4个廊道,近期使用2个廊道,平均时停留时间 31.04 min ,最大时停留时间 57.90 min ,远期使用4个廊道,平均时停留时间 33.23 min ,最大时停留时间 57.90 min ,有效水深 2.05 m 。

(7)鼓风机房:与机修间、加药间、变配电间合建,采用空气悬浮鼓风机,共设3个鼓风机安装位。鼓风机房主要向AAO池供气,近期需气量 $6.19\text{ m}^3/\text{min}$,气水比 $6.74:1$,近期安装2台风机,1用1备,单台风量 $Q=10.0\text{ m}^3/\text{min}$,调节范围 $50\%\sim 100\%$,风压 $P=0.6\text{ bar}$ 。

(8)污泥浓缩池:设1座重力浓缩池,与远期合用,池体直径 6.0 m ,有效水深 $H=4.0\text{ m}$,污泥浓缩时间近期 30 h 、远期 15 h ,进泥含水率 99.2% ,浓缩后

污泥含水率 97% ,浓缩池内设刮泥机1套,单机功率 $N=0.55\text{ kW}$ 。

(9)污泥脱水车间:采用板块压滤污泥处置工艺,直降将污泥含水率 97% 污泥脱水至含水率 60% 以下,与远期合用。设计污泥干化车间1座,尺寸 $L\times B=20.34\text{ m}\times 13.58\text{ m}$,脱水机区域层高 12.05 m ,加药区层高 5.9 m 。污泥处理规模为 720 kgDs/d ,安装1套板框压滤机。

3.4 中水管道过桥设计

中水管道敷设分三段:(1)污水厂—潮州大桥上桥段,中水管道自污水厂中水泵房接出,沿着潮州大桥下方南侧绿化带敷设,管径 $D273\times 8$,长度约 0.52 km ;(2)潮州大桥上桥段—下桥段,中水管道仙洲岛西岸上桥后沿潮州大桥南侧人行道下敷设,利用潮州大桥人行道设计预留给排水管道管位,从韩江西岸下桥至地面,管径 $D250$,长度约 0.54 km ;(3)潮州大道—七枞松沟段,沿着潮州大道南侧人行道敷设,在南校西路路口汇入排水箱涵(七枞松沟),敷设管径 $D273\times 8$,长度约 0.36 km 。在环岛路、南堤路等路段处预留中水取水口。

3.5 设计特点

(1)粗格栅及污水提泵房设置在厂外,解决过堤防和桥梁难题。污水处理厂用地处于仙洲岛防洪母堤之外,子堤之内,母堤与子堤之间为新建的潮州大桥。如采用传统设计思路,埋深约 8 m 污水主管需同时下穿堤防和潮州大桥,对堤防、桥梁安全性影响较大,施工风险极高。对此,创新性地将原应设置在厂内的粗格栅及污水泵站设置在厂外,采用 $D325\times 8$ 压力钢管浅埋过堤防、潮州大桥桥墩群,有效降低了施工风险及对既有堤防、桥梁的影响。

(2)污水生化处理、消毒出水等构筑物采用合建组合池形式,节约用地。该项目用地面积仅为 $8\,803\text{ m}^2$,面积较小,将AAO池、二沉池和污泥回流泵房合建,将次氯酸钠消毒池(含消毒加药间)、巴氏计量槽、尾水泵房合建,将机修间、配电间、鼓风机房、加药间等合建,吨水占地面积 $1.76\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,用地集约性较高。

(3)深度处理采用先进的“高效沉淀池+反硝化深床滤池”工艺。二沉池出水SS浓度一般在 20 mg/L ,TP浓度也不能满足排放要求^[6],含氮化合物和BOD等其他等污染物也难以达到要求,一方面需强化生物脱氮的硝化和反硝化过程,另一方面需强化混凝沉淀,确保SS、TP出水水质的达标。经综合考虑,选

定“高效沉淀池+反硝化深床滤池”工艺,同步设置超越反硝化深床滤池的管线,在污水厂建成早期,如进水水质偏低,则进行超越。

(4)尾水二次提升过桥,解决尾水二次污染问题,提供中水回用。仙洲岛地处韩江引用水源地,水源地不允许新增排污口,尾水直接排放方式不可行,而污水管又不能上桥^[4]。因此,将污水处理标准设定在能满足中水回用的需求,将尾水(中水)提升后,通过中水管道过潮州大桥后排放至中心城区劣Ⅴ类河涌,作为河涌补水。此外,在中水管上设置取水阀门,供市政杂用。

(5)选择合适的管材,防止管道拉伸断裂隐患。考虑到桥梁根据行车、季节变化存在震动、热胀冷缩等情况,在桥梁段中水管管材采用PE管,并在管道过桥梁伸缩缝两侧各加装可曲挠橡胶接头,防止管道和桥梁的不均匀变化引起管道拉伸断裂。

4 结 语

饮用水源地的污水处理应综合考虑治理效果、工程投资、施工影响等各方面的要求及条件。本文结

合韩江水源地的江心洲的工程实例,经对比研究论证,确定采用“就地处理+中水回用”技术方案。

仙洲岛污水处理厂及配套管网工程于2021年6月完成竣工验收,并稳定运营超过一年半,运行效果良好,出水水质稳定达标。建成后每年可截流大量的污染物,大幅度削减了仙洲岛排入韩江的水污染负荷,对保障韩江饮用水竹竿山断面水质安全具有重要意义,同时提供中水补河涌及市政杂用,环境、社会效益显著。

参考文献:

- [1] 吴海斌.韩江流域无机氮污染特征分析和负荷估算方法[J].广东水利水电,2017(9):14-19.
- [2] 陈泽榕.韩江流域监测断面水质特征分析及优化方法[J].广东化工,2022,49(22):119-121.
- [3] 上官宗光,金凯.水源地水质污染富营养化情况分析 & 控制措施研究[J].环境科学与管理,2022,47(6):66-71.
- [4] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
- [5] 杨凡.半地下式和全地下式污水处理厂布置形式分类浅析[J].中国市政工程,2017,195(6):42-45.
- [6] 于跃,李渊博.A2O氧化沟-混凝沉淀-反硝化深床滤池工艺在大型经开区污水处理中的应用[J].工业用水与废水,2016,47(3):62-69.

~~~~~  
(上接第159页)

化理念,将初沉池、生化池、二沉池合建,项目实际用地指标为 $0.47\text{ m}^2/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ,远低于《城市污水处理工程项目建设标准》中控制指标。

### 参考文献:

- [1] 刘玉莎.市政污水处理厂高标准出水处理工程设计[J].工业用水与废水,2019,50(5):81-83.
- [2] 姚伟涛,肖社明,张永祥.多级AO组合工艺运行优化与氮磷深度控制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.

- [3] 李伟,卢东昱,陈永玲,等.北京市某污水厂基于准地表Ⅲ类水体出水标准的工程实践[J].中国给水排水,2017,33(2):56-60.
- [4] 孙素银,孔韡.经济技术开发区污水处理厂扩建工程实例[J].工业用水与废水,2021,52(3):53-57.
- [5] 赵楠,王慰,王润芳,等.反硝化生物滤池同化除磷性能研究[J].给水排水,2022,48(1):33-38.
- [6] 吴见平,靳紫恒,长英夫,等.污水处理厂生物除臭技术及其应用进展[J].化工进展,2021,40(5):2774-2783.