

# 潮阳区城区污水处理厂尾水净化 人工湿地建设工程项目

## 可行性研究报告

汕头市潮阳区城南街道办事处

二〇二三年三月

# 目 录

1 概述 .....	1
1.1 项目概况 .....	1
1.2 编制依据 .....	4
1.3 编制范围 .....	5
1.4 编制原则 .....	5
1.5 绩效目标 .....	6
2 项目区域概况 .....	7
2.1 区域概况 .....	7
2.2 社会经济概况 .....	20
2.3 潮阳区污水处理厂建设现状 .....	24
3 流域概况与水生态环境问题分析 .....	25
3.1 流域概况 .....	25
3.2 流域水环境现状 .....	32
3.3 流域水生态保护现状 .....	33
3.4 城区污水处理厂出水水质分析 .....	35
3.5 主要水环境问题及成因分析 .....	40
4 项目建设必要性和可行性 .....	41
4.1 项目建设必要性 .....	41
4.2 项目建设的可行性 .....	44
5 总体思路与技术方案 .....	46
5.1 指导思想 .....	46

5.2 建设原则 .....	46
5.3 建设目标 .....	47
5.4 工程总体布局 .....	48
6 城区污水处理厂尾水湿地净化工程 .....	50
6.1 建设选址 .....	50
6.2 人工湿地工艺 .....	53
6.3 工程设计方案 .....	72
6.4 工程总平面布置 .....	122
6.5 主要工程量 .....	124
7 组织管理与保障措施 .....	125
7.1 项目管理 .....	125
7.2 保障措施 .....	126
7.3 湿地运维管理保障 .....	127
7.4 建立长效机制 .....	131
8 水土保持 .....	132
8.1 编制依据 .....	132
8.2 水土保持原则 .....	132
8.3 主体工程水土保持评价 .....	133
8.4 水土流失防治责任范围 .....	133
8.5 水土流失影响 .....	133
8.6 措施 .....	134
8.7 实施进度安排 .....	136
9 环境保护、劳动保护与节能 .....	137
9.1 环境保护 .....	137

9.2 劳动保护 .....	139
9.3 节能 .....	143
10 施工组织计划 .....	149
10.1 交通条件 .....	149
10.2 天然建筑材料 .....	149
10.3 施工导截流 .....	149
10.4 主体工程施工 .....	149
10.5 施工总布置 .....	160
10.6 项目建设管理机构 .....	161
10.7 施工总进度 .....	163
11 工程占地 .....	165
12 工程量与投资估算 .....	166
12.1 工程概况 .....	166
12.2 编制依据 .....	166
12.3 工程量估算 .....	167
12.4 投资估算 .....	168
12.5 资金筹措 .....	170
13 方案实施效益分析 .....	171
13.1 环境效益 .....	171
13.2 社会效益 .....	171
13.3 经济效益 .....	172
14 招标方案 .....	174
14.1 编制依据 .....	174
14.2 基本原则 .....	174

14.3 招标内容 .....	175
14.4 招标方案 .....	175
15 可行性研究结论与建议 .....	177
15.1 结论 .....	177
15.2 建议 .....	177
附图 1 湿地建设地点位置图 .....	179
附图 2 湿地功能分区区划图 .....	180
附图 3 总平面布置图 .....	181
附图 4 生态塘典型断面示意图 .....	182
附图 5 氧化塘典型断面示意图 .....	182
附图 6 潜流湿地典型断面示意图 .....	183
附图 7 多级表流湿地典型断面示意图 .....	184
附图 8 沉水植物塘典型断面示意图 .....	185

# 1 概述

## 1.1 项目概况

### 1.1.1 项目背景

为深入贯彻落实习近平生态文明思想，广东省生态环境厅与汕头市人民政府签署《共同推进省域副中心城市生态文明建设合作框架协议》等重大战略，在更高层次上统筹区域发展，为汕头市生态环境保护提供政策保障。同时，《广东省水生态环境保护“十四五”规划》提出，通过印染企业集中入园、企业加快转型升级、推进水岸同治、生态修复和“三江连通”工程等工程，推进练江等重点流域水环境综合整治，加快改善练江水环境和水生态质量。推动练江流域整治由“1.0”向“2.0”版本提档升级正是要夯实高质量发展，为汕头市建设活力特区、省域副中心城市和现代沿海经济带奠定良好的基础。

练江流域综合整治从过去突出污水治理的“1.0版本”向实现生态环境显著改善、综合效应明显提升的“2.0版本”提档升级仍要统筹生态环境保护、民生保障和流域经济社会发展，完整、准确、全面贯彻新发展理念，牢固树立和践行“绿水青山就是金山银山”的理念，锚定党的二十大作出的“推动绿色发展，促进人与自然和谐共生”重大决策部署，加快生态环境质量各项工作的推进，充分利用纺织服装等传统产业优势，开展产业集群，健全绿色低碳循环发展经济体系，推动练江流域生态环境保护和经济社会高质量发展相得益彰。

在此背景下，契合练江流域 2.0 全面转型升级规划，以规划中的工程项目为蓝图，开展此项目的前期工程策划工作。

### 1.1.2 项目名称

潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程。

### 1.1.3 项目建设单位

汕头市潮阳区城南街道办事处。

### 1.1.4 项目建设地点及范围

项目建设地点位于潮阳区城区污水处理厂南侧。具体位于潮阳城区护城河与练江交汇口西北侧现状水产养殖坑塘处， $E116^{\circ}34'47.5''$  -  $E116^{\circ}35'11.56''$ ， $N23^{\circ}14'31.4''$  -  $N23^{\circ}14'37.9''$ 。



图 1.1-1 项目建设区位置

### 1.1.5 项目建设内容及规模

潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程位于广东省汕头市潮阳区，位于护城河与练江交汇处，具体位置位于城区污水处理厂南侧。

人工湿地水质净化工程总面积 60000 m<sup>2</sup>，其中有效净化面积占 85%，共计 51075 m<sup>2</sup>，共计 4 个单元分区，从西到东分别为一、二、三、四区，面积分别为 8440 m<sup>2</sup>、20418 m<sup>2</sup>、11890 m<sup>2</sup>、10327 m<sup>2</sup>，其中一、二区分别有 1 个生态塘、1 个氧化塘与 4 个潜流湿地，三、四区分别有 4 个表流湿地与 2 个沉水植物塘，主要目标污染物为总磷，经计算，人工湿地最大进水量 30000 m<sup>3</sup>/d，水力停留时间为 1.84 d。

#### 1.1.6 工程投资与资金来源

本工程总投资估算约 7263.05 万元，其中工程费用约 5925.49 万元，工程建设其他费用约 749.73 万元，基本预备费约 587.83 万元。工程费用共分为三个单项工程，分别是水质净化工程约 4729.24 万元，生态修复工程约 401.50 万元，配套设施及公共工程 794.75 万元。

本项目资金来源为中央专项资金与地方配套资金。其中，申请中央环保专项资金 5084.14 万元，占比 70%，地方配套 2178.91 万元，占比 30%。



## 1.2 编制依据

### 1.2.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月修订）；
- (2) 《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月实施）；
- (3) 《中华人民共和国水法》（2016 年 7 月修订）；
- (4) 《中华人民共和国水土保持法》（2011 年 3 月实施）；
- (5) 《中华人民共和国河道管理条例》（2017 年修订版）；
- (6) 《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》（国发〔2015〕17 号）。

### 1.2.2 技术规范

- (1) 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- (2) 《河湖生态保护与修复规划导则》（SL709-2015）；
- (3) 《人工湿地污水处理工程技术规范》（HJ2005-2010）；
- (4) 《湖泊流域入湖河流河道生态修复技术指南（试行）》（环办〔2014〕111 号）；
- (5) 《农田面源污染防治技术指南》（试行）；
- (6) 《水土保持综合治理技术规范》（GB/T16453.3-2008）；
- (7) 《生态环境状况评价技术规范》（HJ/T192-2006）；
- (8) 《污水自然处理工程技术规程建设规范》（CJJ54T-2017）；
- (9) 《地表水和污水监测技术规范》(HJ-T91-2002);
- (10) 《砌体结构设计规范》（GB50003-2011）；
- (11) 《土石坝安全监测技术规范》（SL551-2012）；
- (12) 《防洪标准》(GB50420-2014);

- (13) 《城市绿地设计规范》(GB50420-2007);
- (14) 《管井技术规范》(GB50296-2014);
- (15) 《泵站设计规范》(GBT50265-2010);
- (16) 《灌溉与排水工程设计标准》(GB50288-2018)。

### 1.3 编制范围

编制范围包括项目区域概况及水环境问题分析、项目建设必要性及可行性、尾水净化人工湿地构建工程、项目投资概算及资金来源、工程实施效益及实施进度安排、项目组织管理与保障机制等。

### 1.4 编制原则

(1) 科学性原则：基于区域污染现状调查及分析与现场踏勘，依据相关工作指南与技术目录，根据练江流域水环境特点及建设目标，针对流域水环境突出问题，综合考虑工程目标、技术效果、工程成本与时间、环境影响等因素，选择适宜的技术，提出科学的建设思路和方案。

(2) 生态性原则：物种的选择及配置宜以本土物种为主，构建具有较强的自我维持及稳定的水生态系统，并将先进的生态技术运用到人工湿地建设工程中。

(3) 可实施性原则。技术方案与治理区域实际条件的兼容性、工程规模与投资匹配性、运行与维护稳定性、公众可接受度是综合分析的关键，也是决策的核心。要在前期调查报告工作的基础上，针对区域的水文地质情况以及污染严重程度合理地选择工程技术，使治理目标可达，工程技术方案切实可行。

(4) 环境友好型原则：尊重自然生态规律，整体性解决问题，治理方案应选择环境效益明显，无二次污染的技术，保护公众健康与环境安全，

促使流域范围和整个连通水体系统的和谐和提升。

## 1.5 绩效目标

为加强护城河河口与练江连通处的水环境保护，提高护城河河口水环境质量，有效提升护城河入练江水质，积极维持练江海门湾桥闸国控断面稳定达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV类标准，本项目新建城区污水处理厂尾水净化人工湿地面积 60000 m<sup>2</sup>，对污水厂尾水进行深度处理，实现污水厂尾水高标准净化。

本项目主要绩效目标见表 1.5-1 所示。

表 1.5-1 本项目主要绩效目标概览

序号	绩效指标名称	指标值
1	湿地面积	新增湿地面积 60000 m <sup>2</sup>
2	区域水资源利用价值，地区可持续发展水平	进一步提高
3	流域整体形象及投资环境	进一步改善
4	削减氨氮污染物入河量	8.4 吨/年
5	削减总磷污染物入河量	0.18 吨/年
6	居民环境保护意识	进一步加强
7	区域水环境质量	进一步提升
8	群众满意度	≥90%

## 2 项目区域概况

### 2.1 区域概况

#### 2.1.1 城市地理位置

汕头市地处东经 116°14'至 117°19'，北纬 23°02'至 23°38'之间，位于广东省东部，韩江三角洲南端，北接潮州市，西邻揭阳市，东南濒临南海。境内韩江、榕江、练江三江入海，大陆海岸线长 217.7 公里，海岛岸线长 167.37 公里，有大小岛屿 82 个。全市土地面积 2199.05 平方公里。现辖有 32 个镇、37 个街道，2021 年末，全市常住人口 553.04 万人。

潮阳区位于广东省东部沿海，北至东北襟榕江与揭阳市、汕头市金平区相望，东连汕头市濠江区，东南濒临南海，南隔练江与潮南区对接，西邻普宁市。地理坐标北纬 23°19'至 23°33'，东经 116°17'至 116°43'。地域面积 666.73 km<sup>2</sup>，海岸线长 84.6 km，外海岸线 21.3 km，内海岸线 63.3 km。

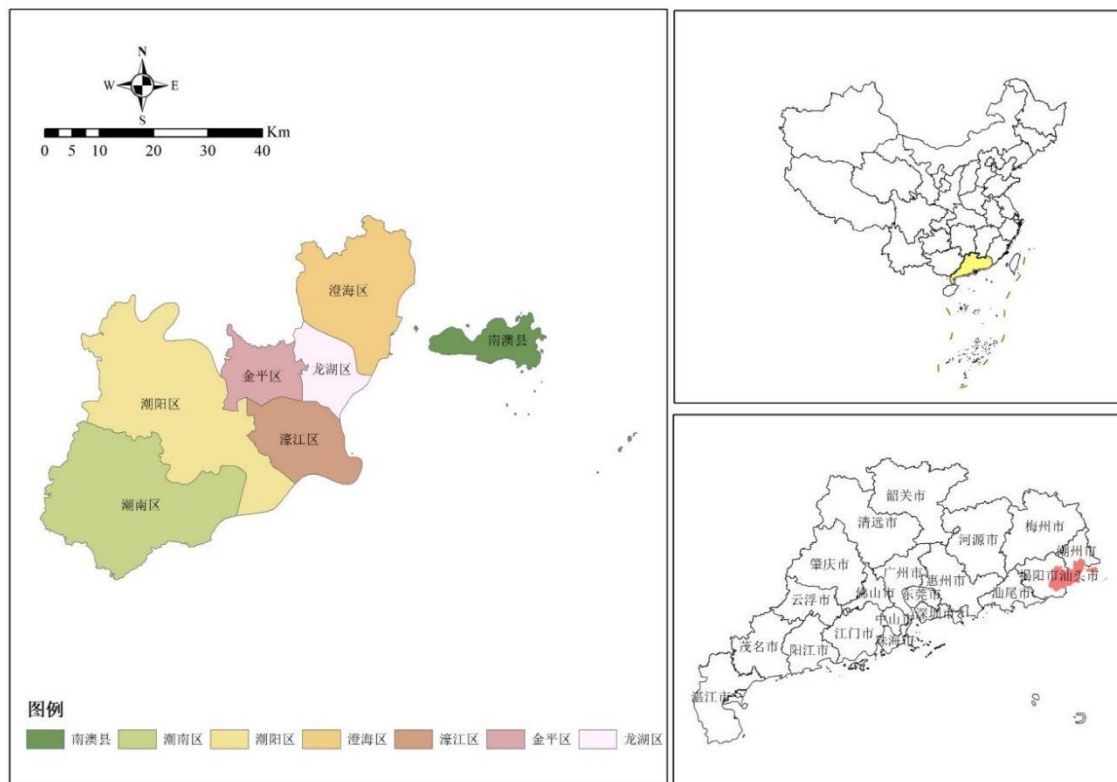


图 2.1-1 汕头市潮阳区地理位置图

### 2.1.2 气候气象

汕头市南濒南海，地处亚热带，受海洋性季风气候影响强烈，气候湿润，雨量充沛。根据资料统计，多年平均降雨量 1517 毫米，最大年降雨量为 1983 年的 2337 毫米，最小降雨量为 1967 年的 818 毫米，两者相差 2.86 倍。降雨量年内分配不均，主要收季风南亚热带海洋性气候的影响，有明显的季节性，年内时间分配上，多集中于夏季，雨热同期，每年 4~9 月的降雨量占全年的 85%，尤其是 6 月最多，平均月降雨量达 314.88 毫米。10 月~次年 3 月的降雨量仅占全年的 15%，尤以 1 月最少，仅 28.4 毫米，易造成春旱夏涝。

根据汕头气象站资料统计，全市多年平均日照时数 2009h，多年平均气温 22.0℃，最热 7 月平均气温 28.7℃，最冷 1 月平均气温 14.3℃，极端最高气温 38.8℃（2008 年 7 月 27 日），极端最低气温 0.3℃（1991 年 12 月 29 日）。多年平均降水量 1617.9mm，其中，汛期（4 月~9 月）降水量占全年降水量的 80%，非汛期（10 月~翌年 3 月）只占全年降水量的 20%左右。年最大降水量 2508mm（2006 年），年最小降水量 924mm（1956 年）。多年平均水面蒸发量为 1199mm，多年平均相对湿度为 77.9%。多年平均风速为 2.3m/s，风向多为东北东方向，实测最大风速为 52.9m/s（1991 年 7 月 19 日）。

表 2.1-2 汕头国家基准气候站气象特征参数

气象参数	单位	数值
平均蒸发量	mm	1781.2
平均雨量	mm	1617.9
平均气温	℃	22.0
极端最高气温	℃	38.8
极端最低气温	℃	0.3

气象参数	单位	数值
平均相对湿度	%	77.9
最大风速	m/	34.0
极大风速	m/s	52.9
平均风速	m/s	2.3
最多风向		ENE

汕头市属亚热带季风气候区，同时为热带风暴多发区，风力资源丰富。春季偏北和偏东风，初夏盛偏东风，盛夏偏南风，冬季盛偏北风；全年以偏东风最多，偏北风和偏南风次之，西风最少。沿海多年平均风速在 2.4 米/秒以上，实测瞬时风速为 53 米/秒，10 分钟平均最大风速 34 米/秒。受南海海洋性气候影响，每年台风侵袭频繁，夏秋季节主要灾害性天气是强台风带来的狂风暴雨，外江水位上涨，潮水顶托，导致围内积水成灾。据不完全统计，建国前 387 年造成严重影响的台风有 54 年 67 次，建国后 65 年间有 33 年 42 次。

潮阳区属南亚热带季风气候带，海洋性气候明显。夏无酷暑，冬无严寒，无霜期长，雨量充沛，光照充足，四季常青；干旱、台风、暴雨等灾害性天气较多；光、温、水的地域差异颇大。

#### (1) 气温

1959—2017 年，年均气温为 22.0℃，年际变化在 21.0℃~23.4℃之间，变幅 2.4℃。常年最冷月是 1 月或 2 月，3 月起气温逐月上升；最热月是 7 月或 8 月，9 月起气温逐月下降。月平均气温的年较差为 14.3℃。历年极端最低气温 2.6℃（1974 年 2 月 26 日），历年最高气温 38℃。

#### (2) 日照

潮阳区地处低纬度，日照时间长。年均日照时数为 2136.4 小时，年日照百分率为 48%。历年各月平均日照时数以 7 月最多，为 251.4 小时；2 月

最少，为 110.8 小时。

### （3）热量

潮阳区热量资源充足，常年除小北山有 5~10 天霜日外，全区大部分地方无霜期在 360 天以上，沿海地区基本无霜，全区绝大部分地区四季宜耕，一年多熟。

### （4）降雨

潮阳区多年平均降雨量 1679 mm，一年中，各月降水量分布很不均匀，雨季和旱季明显。历年 10 月至次年 3 月，平均降水量 293.3 mm，占全年降水量的 17%；4~9 月平均降水量 1400.1 mm，占全年降水量的 83%。其中：前汛期（4~6 月）平均降水量 714.5 mm，占全年降水量的 42.2%；后汛期（7~9 月）平均降水量 685.6 mm，占全年降水量的 40.5%。历年 6 月平均降水量 331.1 mm，占全年降水量的 19.6%，是汛期降水量的集中期。

### （5）风

潮阳区属东南亚季风气候带，风向随季节转变明显。冬半年多东北风，夏半年多偏南风。年均风速 2.7 m/s。

### （6）台风

自 1954—2001 年 48 年间对潮汕地区有影响的台风总数 283 个，平均每年 5.9 个，其中 7、8、9 三个月是台风的主要月份，每月平均都有 1.5 个台风影响潮汕地区，一年中三次台风登陆潮汕地区的年份是 1961 年、1980 年和 1991 年。2013 年 8 月，受台风尤特影响，潮阳区降雨量达 501.9mm，练江多处决堤漫堤，汕头多个乡镇发生严重内涝。“8·17”特大暴雨造成该区多人死亡，以及数十亿元经济损失。

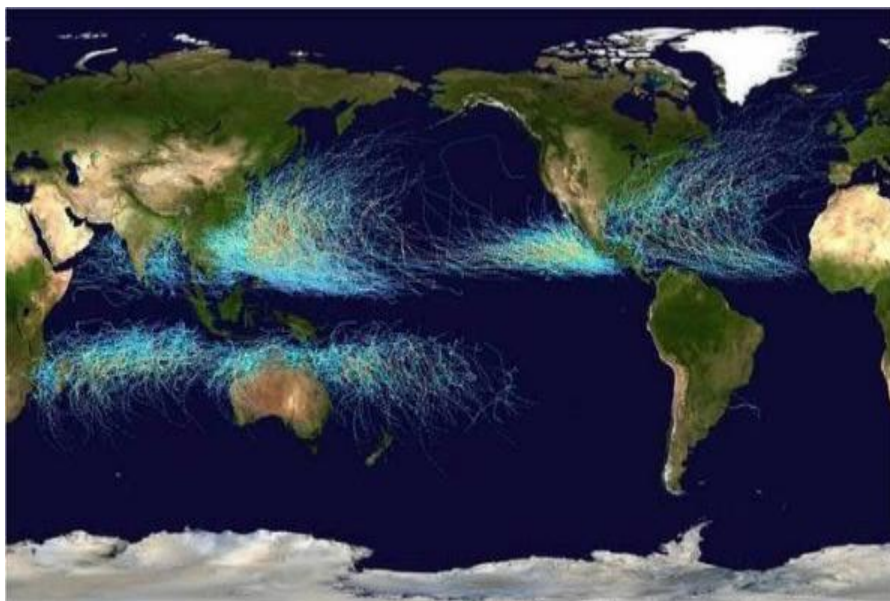


图 2.1-2 1985—2005 年全球所有热带气旋路径

### 2.1.3 地形地貌

汕头地貌以三角洲冲积平原为主，占汕头市面积 63.62%，丘陵山地次之，占土地面积 30.40%，台地等占总面积 5.98%。汕头市地处海滨冲积平原之上，处在粤东的莲花山脉到南海之间，境内地势自西北向东南倾斜，整个地形自西北向东南依次是中低山—丘陵，台地或阶地—冲积平原或海积平原—海岸前沿的砂陇和海蚀崖—岛屿。东北部有莲花山脉，西北是桑浦山，西南有大南山。东南部沿海沿出江口处为冲积平原或海积平原和海蚀地貌以及港湾和岛屿的分布。韩江、榕江、练江的中、下游流经市境，三江出口处成冲积平原，是粤东最大的平原。

潮阳区地貌的基本特征是自南向北呈平原—山地—平原。练江中下游三角洲平原，地势平坦开阔，由陆向海，范围包括贵屿、铜盂、和平等沿江地区；小北山自西北向东南延伸，山体狭长，丘陵起伏，岗岭连绵，海拔多为 200~300 米，主峰大尖山海拔 447.2 米，为潮阳、普宁分水岭。低山丘陵主要分布于金灶、谷饶、西胪、河溪、和平、金浦、文光、城南、棉北、海门境内，自西北向东南呈带状分布。其中海拔高于 300 米的有白鹭



山（大寨山）海拔 406.3 米、大寨顶（老虎岩）386.1 米、小尖山 383.4 米、烟墩山 356.6 米、岩头山 348 米、双髻山 314 米。海拔 200~300 米的主要有湖仔山（狮头山）、官母坑陵（虎仔山）、赤寮东山、仙陂山、蛤蟆石山、猴仔山、塔山（西山）、葫芦山、狮尖山（梅峰）、北再（埔尾后壁）、白虎山、大坑东山、大肚篮、狮腰等。丘陵广泛分布于低山丘陵区之南北两侧和东部沿海地区，北侧自金灶、关埠、西胪至河溪，主要丘陵有外洋尾山、狮尾西山、金溪南面山、鲤鱼头、老人山、石井山、仙公崇、安上天、外輦岭、南寮山、虎山、龙寮山、上坑山、大湖山、虎头山和将军山等。南侧有贵屿、谷饶、铜盂、和平至金浦，主要低丘有安宁山、长陵、搭壁燕、双时钟、白尖峰、雷打石、赤杜岭、龙山尾、鸡笼山、案前东山、牛头山、三点崩、凤山、鲂鱼山、梅西山、古吊山（龟头山）和吊篮山等。东部的棉北、文光、城南、海门一带丘陵，除海拔 278.4 米的掠鸟尾和 243.4 米的东山外，余均为低丘台岗，主要有棋盘石、北岩山、五联山、狮山、滴丢山、洪厝山、崎坑山（大烟墩）、狗狼山、尖山和青山等。100 米以下的台岗散布于辖内各镇（街道）；榕江南西岸三角洲平原，分布于金灶、关埠、西胪、河溪境内，是潮阳区第二大平原和主要粮仓。地势开阔平坦，河汊水系蛇曲发育。土质多为亚粘土的泥质田或间于砂壤土和亚粘土之间，适合种植水稻。



(3) 全新世滨海相淤泥层及淤泥贝壳层，厚度 20~30 m，工程地质条件差，承载力很低；

(4) 晚更新世三角洲相，由砾砂、中粗砂、轻亚粘土和粘性土构成，层厚 10~20 m，一般可作为中、高层建筑物持力层。花岗岩是汕头市境内的主要建筑材料，但岩层多存在断裂构造，破碎和风化都比较强烈，也给水工建筑物的基础处理带来比较复杂的工程地质问题。

### 2.1.5 地质地震

汕头市地质构造以北西向构造为主，与粤东地区整个地质构造相互关联，构造形迹遍及全境，断层发育，是地震活动较频繁地区。据史志和地震资料记载，1067 年以来，境内发生有感地震 277 次，其中五级以上 13 次。1918 年 2 月 13 日震中南澳的 7.75 级（烈度 10 度）和 1921 年 3 月 19 日震中南澳的 6.25 级地震，为境内所发生的最大级地震。区域地震分布在地质主要构造带的特定部位：三饶~普宁构造带、饶平~汕头构造带、南澳~靖海构造带，即是境内北东向构造带与北西向构造带的交汇处。汕头市被列为全国 12 个抗震防灾重点地区及 52 个重点城市之一，抗震设防烈度 VIII 度。

根据国务院 1992 年 5 月 22 日批准的《中国地震基本烈度区划图》，地震基本烈度为八度。在地质构造上位于泉州——汕头地震断裂带之西南端，地层发育极不齐全，除了零星出露的早侏罗纪地层及广泛发育的第四纪地层外，其他时代地层均皆缺失。

### 2.1.6 旅游文化

潮阳区风景名胜、文物古迹共计 130 多处，为粤东之冠。其中，国家重点文物保护单位文光塔 1 处，省文物保护单位有灵山寺大颠祖师墓（舌镜塔）、海门“万人冢”、海门莲花峰摩崖石刻、四序堂石刻、东岩摩崖

石刻等 5 处，市、县文物保护单位 63 处，市文物保护单位 1 处，镇文物保护单位 28 处。重点旅游风景区 5 处、园林 1 处、古祠堂石刻 1 处、新千年新景点 1 处。

东山风景区地处城区东山，林木茂盛，亭榭、牌坊和古迹、寺观、庙宇错落于山、泉、林木之间，从南往北，依次是东岩、曲水流（紫云岩）、大小北岩、石泉岩。

东岩由卓锡寺、金顶寺和石岩寺组成，群山簇拥，奇岩异石，山清水秀，茂林修竹，揽山、林、石、洞、涧、泉之胜，且有唐、宋、元、明、清、近代至当代仕宦名流题刻 41 处。

东山中段的景点，从下而上是法容庵、严华寺、城隍庙、超真观、东岳大帝庙、双忠庙、还有《分杯献骑》石雕、丘逢甲碑刻《重修大忠祠记》。登临曲水流（紫云岩与水帘亭），依山而建，呈阶梯式，分上下两层，上层有巧圣庙及亭、文昌阁、观音阁、协天上帝庙、孔庙、天后庙，下有轩辕庙、巧圣夫人庙、观音菩萨庙、玄武庙、超真观等，旁建魁星楼。半山有“引人入胜”“万壑争流”牌坊。魁星楼左有水帘亭，周围摩崖石刻、碑刻甚丰。灵济宫左侧为 2007 年在遗址重建的桐阴古寺。“引人入胜”牌坊之右前侧为 2001 年新建的慈恩禅寺。

东山中段与北段的连接点是方广洞。过方广洞山冈，小北岩景点隐约于修竹丛林中。峰回路转处为大北岩，岩下是石洞玉龙宫。大北岩与石洞玉龙宫之间的山间狭缝称二洞。

东山北段乃石泉岩，以石林构筑的洞、亭、阁、殿堂于一体的齐天阁为石泉岩一大特色。

纵观东山风景区，正是潮阳宗教“一条街”，儒释道俱奉祀，也是潮阳民俗文化的集成。

莲花峰风景区地处海门滨海。正门牌坊雄伟壮观，广东省政协主席吴南生题书“莲花峰”。风景区内奇石耸立，树茂花繁，亭台凌空，碑刻琳琅。南宋祥兴元年（1278）十一月，文天祥勤王至此，登莲花峰望帝舟，此后引来无数政要名人至此凭吊并题刻于石，形成宝贵的摩崖石刻群，是广东省文物保护单位。2001年11月，景区荣膺国家首批AAA旅游景区。2015年12月，莲花峰风景区成功荣膺国家AAAA级旅游景区。

莲花峰是临海拔地突起的一簇花岗岩石。这里的水光山色随季节更迭，分为“碧海晴波，浅滩怒涛，晨曦幻彩，大屿塔影，狮首灯光，春朝蒙雾，秋阳浴日，夕阳归舟”八景，风姿绮丽。

莲花峰和文天祥英名紧紧相连。文相命题“莲花峰”和剑刻“终南”，为莲花峰留下了忠踪旧迹而闻名遐迩。

景区内还有忠贤祠，祀文天祥。忠贤祠后有莲峰古寺，规模宏大，为景区内亮点之一。还有文天祥石雕像，广东省政协主席吴南生所撰文天祥生平，全国书法协会主席启功手书。

灵山风景区位于铜盂塔口山麓，以灵山寺为主体形成的风景区，素以“道迹贤踪”饮誉海内外，是粤东重点古刹之一。

灵山寺于唐贞元七年（791）由高僧大颠创建。唐长庆二年（822）穆宗赐额“护国禅院”；北宋大中祥符五年（1012）真宗敕赐新译第一部藏经278卷（已佚）；北宋天圣七年（1029）仁宗诏改灵山寺为“开善禅院”。

灵山寺负山面湖，林木苍郁，水清泉甘，幽雅沁人。寺内有“留衣亭、白石槽、千丛果、祝圣碑、写经台、开善藏、拔木坞、舌镜塔”八景；还有唐井，宋、明、清碑刻；另有500多年树龄的甘棠树及其连理枝和清康熙年间（1662~1722）信如法师亲植的壁兰（信兰）。

灵山寺几经兴废，从1981年起由海内外善信捐资，在清代建制基础上

进行扩建，建筑面积从 1978 年的 2000 平方米扩大到了 3 万多平方米。千年古刹焕发出新的光彩。2000 年成功举办了 1200 多年来首次传戒大法会，使大颠祖师的道场更加声名远播。

1983 年国务院批准灵山寺为全国对外开放的汉传佛教寺之一。

大峰风景区位于广汕公路和平路段北侧。潮阳人民为纪念大峰祖师功德，在其陵寝故地营造的风景区，规模 2.62 平方公里。

宋大峰祖师墓始建于明洪武二十一年（1388），碑文为“宋大峰忠国大师墓”。风景区的主轴建筑是祖师亭，亭内有高 2.8 米、重 3.5 吨的大峰祖师汉白玉雕像。牌坊“南疆一峰”位于风景区主轴线前端，是粤东最大的石牌坊。全国政协副主席叶选平为牌坊题匾。坊前广场，排列 12 生肖石雕，栩栩如生；敬师台等建筑群形成主轴线，规模壮观。

主轴线周围的建筑还有玉石观音养生池、喷水池、诚德亭、培英亭、迎日亭、邀月亭、吉祥亭、报德楼，亭阁石刻，掩映在绿荫之间。宋大峰祖师纪念馆内有高 5.93 米的汉白玉祖师雕像，书画工艺品陈列甚丰。翰园位于纪念馆南侧，园内有碑林、八仙石雕、假山莲池、曲径回栏等，此外还有新近开挖的人工湖，成为远近闻名的新风景区。

古雪岩风景区位于西胪波美虎山北麓，坐西南向东北，面积 1.4 万平方米，由天然巨石和人工巧妙构筑而成。称莲花院，唐贞元六年（790）“亦大颠旧址也”（明隆庆《潮阳县志》）。宋代拓建成古雪岩。元代遭兵燹之乱而废。明弘治戊午（1498）科举人黄用直主持修复。1984 年后，乡贤黄世豪、黄仁兴先后捐资修葺和改建。寺内保存铸钟 1 个，石雕龙头“醴泉”一处，碑刻 2 通，石脚桶 1 个，还有四季杨桃树和铁树各 1 株，有鼓石、莲花石、鹰石等景胜，是闻名远近的旅游胜地。

潮阳区的旅游景点还有：位于城区西部塔山南麓，建于晋代的海潮古

刹（西岩）；位于西胪乌岩山麓，建于唐代的梅峰岩（乌岩寺）；位于金浦的双髻山，建于北宋绍圣二年（1095）的曾山古寺；位于关埠玉一西南，建于北宋政和元年（1111），由三峰寺与梅峰寺构成的石井岩；位于和平后灵豁，建于北宋宣和二年（1120）的灵泉寺；位于城南凤上，建于明洪武十三年（1380）的白云岩；位于西胪波美虎山南麓，建于宋代的长美岩；位于金灶涵元塔下，建于明嘉靖年间（1522~1566）的经山古寺；位于和平下寨，建于清光绪十年（1884）的灵华寺；位于河溪桑田马鞍山南麓，建于明天启五年（1625）的海棠古观；位于关埠下底，建于清光绪八年（1882）的黄武贤提督府，等等。

清末民初，潮阳还建有西园、耐轩（磊园）、林园、澹园等私家花园多处，历经百余年变迁，现存比较完整的仅有西园。

西园为潮阳闻名中外的园林，位于城区西环路东侧，邑人萧钦（鸣琴）创建，著名建筑师萧眉仙（寿仁）设计、施工。建于清光绪年间（1875~1908），耗资 38 万两纹银，历时 15 年竣工。占地面积 1330 平方米，建筑面积约 900 平方米，分泥木结构二层书房楼、房山山房及假山 3 部分，还有天井、莲池和六角亭等。花园综合中外古今园林建筑艺术，风格独创，景趣清幽。亭与假山的造型均为不规则棱状体。钳墙悬板式和同轴垂直悬板式楼梯二座，构筑奇特。清光绪戊戌（1898）科状元夏同和为“西园”题匾，假山中还有名人题刻多处。清光绪末，“西园”模型送北京博览会展出，获最高奖。

四序堂石刻潮阳萧氏四序堂始建于南宋嘉泰四年（1204），是潮阳县民为感谢知县萧洵政德而集资兴建的“生祠”。开禧三年（1207），萧洵任满，落籍潮阳，为回报潮阳人民的厚爱，遂以生祠办学堂，躬耕执教，颜其名“四序堂”，涵泳着“与天地同德，与日月同光，与君子同仁，与

四时同序”之意蕴，从文化、道德、伦理、气质诸方面模铸学子，型范英才。

四序堂至今 800 余年，为粤东最古老的乡校之一，祠内完整的保存宋、元、明、清至民国以来的石刻 38 通，书画石刻 26 题，其他石雕刻 8 件，具有较高的历史文化价值和科学艺术价值。2012 年 10 月 20 日被定为广东省文物保护单位。

明安里新千年旅游新景点“明安里”位于铜盂洋美村，占地面积近 2 万平方米，由旅港企业家吴镇明伉俪于 2001 年投资 2000 多万元兴建。其格局为 8 座“四点金”簇拥 1 座大祠堂的“八马拖车”，连后库 1 座，雅称“九龙吐珠”。整围建筑群呈中心对称，共构“五街六巷”之布局，加上前后四周宽阔的石板通道、绿地花圃、月眉池、长廊、围墙、门楼，和谐而完善。

“明安里”祠堂内匾、正门内外匾以及 8 座“四点金”和后库的内外匾均精心策划，邀请史树青、沈鹏、孙轶青、梁鼎光、陈景舒等数十位当代书画家题写。祠前照壁汇集中国历代近百位状元墨宝，镌刻成碑林，配以屋顶错落有致、地面平坦笔直的长廊，构成书法精粹之大成，令游人叹为观止。

此外，还有关埠万亩水稻（生态保护区）、金灶万亩香蕉林、西胪海边千亩红树林，以及西胪乌岩村、金灶芦塘村两处农业生态园区，河溪湿地（汕头海岸湿地国际示范区示范点）、河溪鸟类自然保护区等，形成生态旅游新亮点。

潮阳区丰富的旅游资源凸显了“海、山、水、园、林”的特色，组成“滨海风光、宗教文化、文物古迹、农业生态”四大旅游景观。



2.2 社会经济概况

2.2.1 行政区划

潮阳 2003 年撤市设区，归汕头市管辖，辖文光、棉北、城南、金浦 4 个街道和海门、和平、谷饶、贵屿、铜孟、河溪、西胪、关埠、金灶 9 个镇，辖 93 个社区居委和 179 个村委会，土地面积 666.73 km<sup>2</sup>，2017 年底总人口 182.95 万人。中心城区包括文光、棉北、城南、金浦 4 个街道。区委、区政府驻文光街道中华路 136 号。中心城区和各镇区位如图 2.2-1 所示。

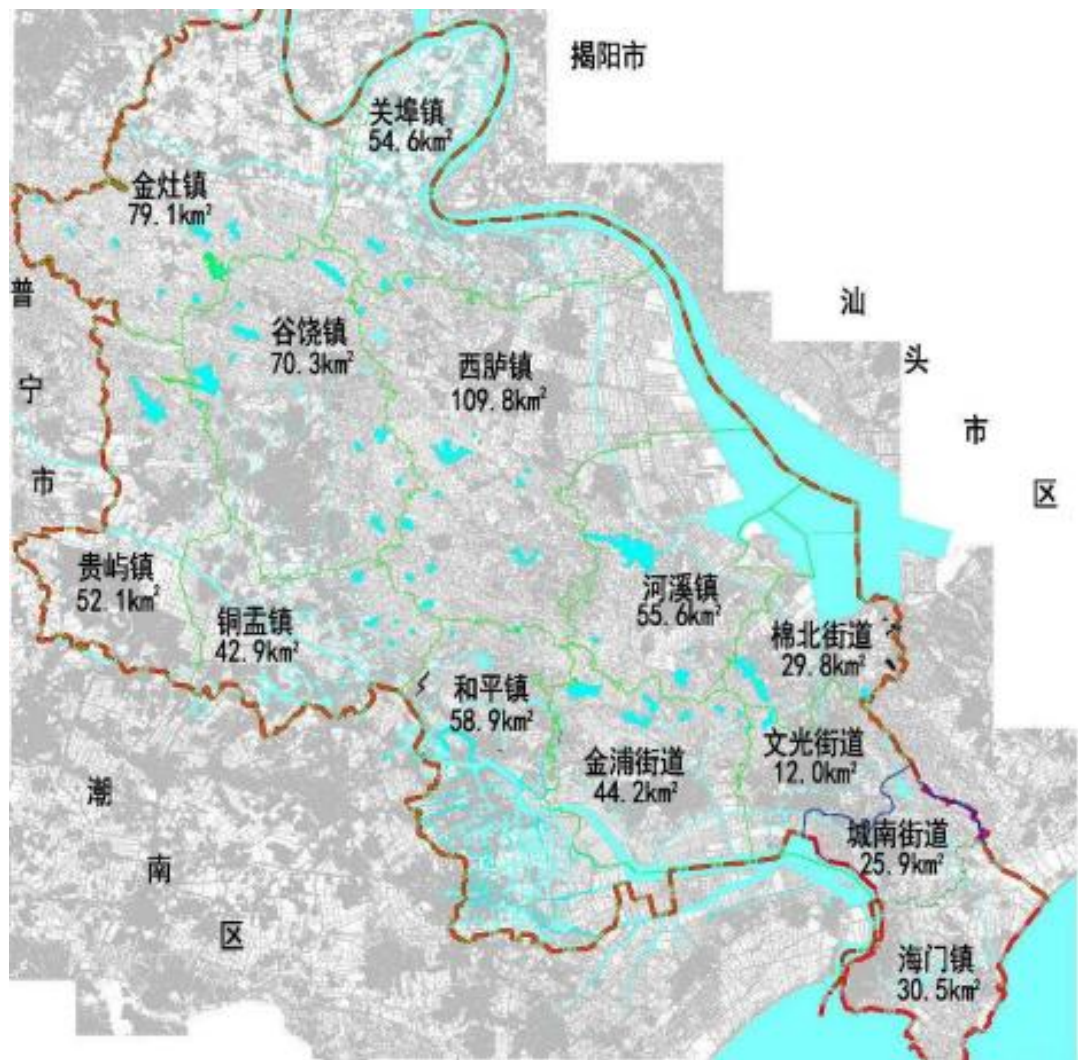


图 2.2-1 潮阳区中心城区及各镇区位图

表 2.2-2 潮阳区中心城区及各镇的现状人口、行政区划一览表

序号	镇名	人口(万)	行政区划
----	----	-------	------

序号	镇名	人口(万)	行政区划
1	潮阳城区	41.97	包括文光、棉北、城南、金浦 4 个街道
2	谷饶	16.49	下辖 5 个居委及 22 个村委
3	贵屿	15.90	下辖 8 个居委及 19 个村委
4	铜盂	13.21	下辖 3 个居委及 25 个村委
5	和平	18.11	下辖 19 个居委及 3 个村委
6	金灶	14.66	下辖 4 个居委及 59 个村委
7	关埠	13.46	下辖 4 个居委及 26 个村委
8	西胪	18.17	下辖 4 个居委及 23 个村委
9	河溪	8.76	下辖 12 个村委
10	海门	12.19	下辖 5 个居委及 6 个村委

## 2.2.2 人口

2021 年初，潮阳区共有 404194 户 1867677 人，其中男 951439 人，占 50.9%，女 916238 人，占 49.1%。当年出生 3.54 万人，出生率 15.5‰，同比下降 1.68 个千分点，死亡人口 8342 人，死亡率 4.85‰，自然增长率 10.65‰。总人口中，17 岁以下人口 506003 人，占总人口的比重为 27.1%；18~34 岁的人口 608097 人，占总人口的比重为 32.6%；35~59 岁的人口 508441 人，占总人口的比重为 27.2%；60 岁以上的人口 245136 人，占总人口的比重为 13.1%。

## 2.2.3 经济发展与产业发展概况

### 2.2.3.1 经济发展概况

近五年来，全区地区生产总值从 345.3 亿元发展到 491.3 亿元，年均增长 6.0%；工业总产值从 902.1 亿元发展到 998.5 亿元，均增长 6.2%；农业总产值从 43.5 亿元发展到 56.2 亿元，年均增长 1.5%；固定资产投资总额从 300.8 亿元发展到 406.9 亿元，年均增长 8.1%。纺织服装、塑料制品、纸品文具、建筑安装等传统优势产业巩固提升，年均增长 11.3%、7.1%、18.4%、11.2%。投入约 78 亿元推进 479 项技术改造，实施各级各类科技计划项目

60 项，新增高新技术企业 43 家、工程技术研究中心 19 家。新增商标注册 27993 件、授权专利 6893 件。

根据汕头市地区生产总值统一核算结果，2022 年上半年潮阳区生产总值为 253.45 亿元，同比增长 0.8%，其中第一产业 16.14 亿元，增长 3.0%；第二产业 140.30 亿元，下降 0.7%；第三产业 97.01 亿元，增长 2.7%。

农业生产稳中有进。上半年，全区农林牧渔业总产值 27.17 亿元，同比增长 3.5%，比一季度加快 0.4 个百分点。其中农业产值 17.25 亿元，增长 2.3%；牧业产值 1.86 亿元，下降 8.2%；渔业产值 6.8 亿元，增长 13.5%；农林牧渔业及辅助性活动产值 1.24 亿元，增长 12.8%。

工业生产平稳运行。上半年，全区规模以上工业总产值 405.98 亿元，同比增长 1.8%，规模以上工业增加值 93.22 亿元，下降 0.8%。支柱产业中，纺织服装产值 226.83 亿元，增长 10.5%；音像制品 3.90 亿元，下降 10.0%；塑料制品 55.52 亿元，下降 1.4%；废旧拆解 14.96 亿元，下降 0.8%。

固定资产投资有所下降。上半年，全区固定资产投资同比下降 9.6%，其中第一产业投资增长 67.9%，第二产业投资下降 18.3%，第三产业投资增长 0.3%；房地产开发投资增长 133.2%；商品房销售额 20.77 亿元，增长 19.6%；商品房销售面积 26.97 万平方米，增长 7.6%；商品房施工面积 498.53 万平方米，增长 16.9%。

市场销售有所改善。上半年，全区社会消费品零售总额 107.52 亿元，同比下降 0.1%，降幅比 1~5 月收窄 0.2 个百分点，当月增长 1.4%。

金融机构存贷款保持稳定增长。全区金融机构各项存款 722.76 亿元，比年初增长 8.3%。其中，储蓄存款 618.63 亿元，比年初增长 7.0%；企业存款 87.27 亿元，比年初增长 8.3%；其他存款 16.86 亿元，比年初增长 100%。各项贷款 236.53 亿元，比年初增长 14.8%。

### 2.2.3.2 产业发展概况

练江流域三次产业结构为 5.1: 58.6: 36.3，第二产业和第三产业占比较高。

练江流域农业生产保持平稳，省级生猪和市级蔬菜、甘薯现代农业产业园完成建设任务，特色水果产业园、优质蔬菜产业园已列入第二批汕头市现代农业产业园创建名单。2021 年全年农业总产值 95.10 亿元，增长 3.8%，粮食播种面积 73.40 万亩，产量 31.79 万吨。

练江流域工业以纺织服装、塑料制品、精细化工、口腔用品和精品文具五大行业为主，五大产业实现总产值占全流域工业总产值的 70%以上。其中潮阳区以纺织服装、塑料制品为主，工业总产值为 588.8 亿元；潮南区以纺织服装、精细化工、口腔用品和精品文具为主，工业总产值为 962.3 亿元。2021 年，两区完成规模以上工业总产值 1815.32 亿元，增长 7.4%，其中潮阳区 854.88 亿元，潮南区 960.44 亿元。

练江流域生态旅游基础深厚。潮阳区、潮南区原为县级潮阳市的组成部分，处于共同的文化系统。潮阳置县迄今已 1600 多年，历史悠久，积淀深厚，文化古迹众多，地名文化内涵丰富，民间艺术多姿多彩，具有鲜明而丰富的地域文化特色，是中国地名文化遗产“千年古县”，是大潮阳旅游发展的重要品牌和资源基础。潮南、潮阳属海陆丰革命老区范围，现存有大南山革命遗址、小北山革命烈士纪念碑等革命遗址。练江流域拥有丰富的生态产业基础，是广东省重要的荔枝、青梅、油甘、杨梅等水果生产基地，拥有优质水稻和台湾蕉柑、青梅、橄榄等特色效益农产品，为发展乡村旅游奠定了生态产业基础。

## 2.3 潮阳区污水处理厂建设现状

汕头市练江流域常住人口约 262.1 万，人口密度约为全省的 6 倍以上，生活污水排放量为 55.9 万 m<sup>3</sup>/d，COD、氨氮、总磷排放量分别达 75.31 t/d、9.46 t/d 和 1.14 t/d，生活污染负荷占总负荷的比重超过六成。截至 2021 年 9 月，潮阳区建成污水处理厂 13 座，总处理规模每日 43.75 万吨，配套管网共计 838 公里，城乡污水管网基本实现全覆盖、污水集中收集处理，群众居住环境和生活质量明显改善。

练江流域污水治理工作中，对潮阳主城区及三镇共建设或提标改造污水处理厂 6 座，污水处理厂规模如表 2.3-1 所示：

表 2.3-1 潮阳主城区及三镇污水处理厂规模

镇名	污水厂	规模（万 m <sup>3</sup> /d）	出水水质标准	处理工艺
主城区	潮阳城区污水处理厂	15	地表水 V 类	二级处理采用“生化池+二沉池+接触消毒池”处理工艺，深度处理采用“絮凝搅拌+高效沉淀池+反硝化深床滤池”工艺
铜盂	铜盂镇第二污水处理厂	3.0	地表水 V 类	A <sup>2</sup> /O 生化池+二沉池+磁混凝+次氯酸钠消毒
和平	和平镇第二污水处理厂	2.0	地表水 V 类	A <sup>2</sup> /O 生化池+二沉池+磁混凝+次氯酸钠消毒
和平	和平镇第三污水处理厂	1.5	地表水 V 类	A <sup>2</sup> /O 生化池+二沉池+磁混凝+次氯酸钠消毒
贵屿	贵屿镇污水处理厂	4.5	地表水 V 类	一期采用 A <sup>2</sup> /O 生化池+二沉池的主体工艺+紫外线消毒后续采用砂滤池过滤的深度处理工艺；二期采用 A <sup>2</sup> /O 生化池+MBR 膜池
合计		26		

5 个污水处理厂出水水质均达到地表水 V 类水水质标准（TN≤15mg/L），满足《练江流域水环境综合整治方案（2014-2020）》要求。

### 3 流域概况与水生态环境问题分析

#### 3.1 流域概况

##### 3.1.1 地理位置

练江流域位于揭阳市普宁市和汕头市潮阳区、潮南区境内，东经 $116^{\circ}5'31''\sim 116^{\circ}36'23''$ ，发源于普宁市大南山西南部杨梅坪白水礫，流经揭阳普宁市和汕头市潮南区、潮阳区，在潮阳区海门湾入海，干流全长 71.1 公里，流域面积 1353 平方公里，其中汕头段 41.3 公里，流域面积 838 平方公里。

汕头市练江流域（图 3.1-1）覆盖 19 个街道（镇）514 个自然村。其中，潮阳区有 9 个街道（镇），分别为文光街道、城南街道、棉北街道、金浦街道、谷饶镇、贵屿镇、铜盂镇、和平镇、海门镇；潮南区 10 个街道（镇），分别为峡山街道、陈店镇、陇田镇、司马浦镇、两英镇、成田镇、仙城镇、井都镇、胪岗镇、红场镇。

练江流域东南临海，北和西北有大北山、小北山系与榕江流域分水，南有大南山山脉与龙江、雷岭水相隔，流域形似葵扇。上游三面山地丘陵环抱，属坡积盘地，中下游系河流及海湾冲积平原，干流发源地是一屏风型山脉，上游坡积盘地向东缓坡倾斜，中下游由南、北丘陵地带平缓向干流倾斜。



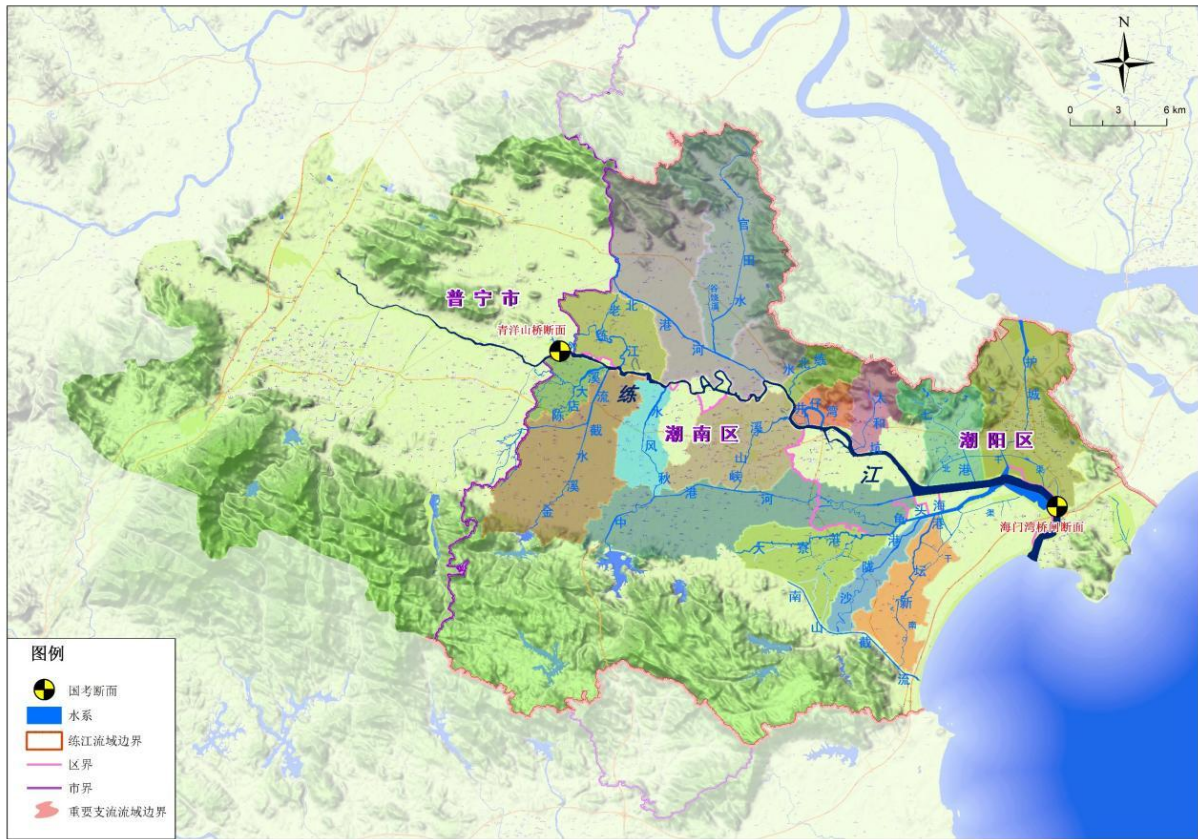


图 3.1-1 汕头市练江流域位置示意

### 3.1.2 水系特征

练江是东南沿海一条独立流入海的河流。发源于普宁市大南山五峰尖西南麓杨梅坪的白水砾，自北流经普宁市折东，经贵屿、司马浦、铜孟、峡山、和平至海门港口注入南海。流域形如葵扇，三面为高山丘陵，中间为冲积平原，山地和平原的面积各占一半。原主河道长 99 km，水流顺畅，八十年代河道整治后干流长 76 km。流域总面积 1353 km<sup>2</sup>，其中：普宁市境内 515 km<sup>2</sup>，主河道长 31 km；汕头市境内 838 km<sup>2</sup>，主河道长 45 km。流域多年平均年径流量 13.53 亿 m<sup>3</sup>。

汕头市练江流域主要位于练江干流的中游及下游。练江中游段由普宁洋尾山闸至潮阳铜孟水闸，平均河宽 124 米，平均水深 5.65 米；下游段由潮阳铜孟水闸至潮阳海门湾桥闸，平均河宽 325 米，平均水深 3.48 米。海门湾桥闸位于练江末端，是一座以防潮为主，御咸蓄淡，兼顾围垦、生产、

生活用水、道路交通等综合利用的大型水利工程。

汕头市练江流域有 16 条重要支流，其中 15 条为一级支流，1 条为官田水二级支流。16 条重要支流中潮阳区有 9 条，分别为老练江、北港河、官田水、井仔湾、练北水、中港河下游段、太和坑、护城河、七里港；潮南区有 8 条，分别为峡山大溪、中港河中上游段、金溪水截流、秋风水、沙陇港、陈店大溪、新坛港、大寮港。此外，还有 52 条通过涵闸直排练江干流的沟渠汇水，其中潮阳区有 21 条，潮南区有 31 条。汕头市练江流域共有 275 条二、三级支流，其中重要二级支流有 22 条，潮阳区 10 条，潮南区 12 条。其余二、三级支流 253 条，潮阳区 104 条，潮南区 149 条。汕头市练江流域水系分布见图 3.1-2，练江流域河流清单见表 3.1-1。

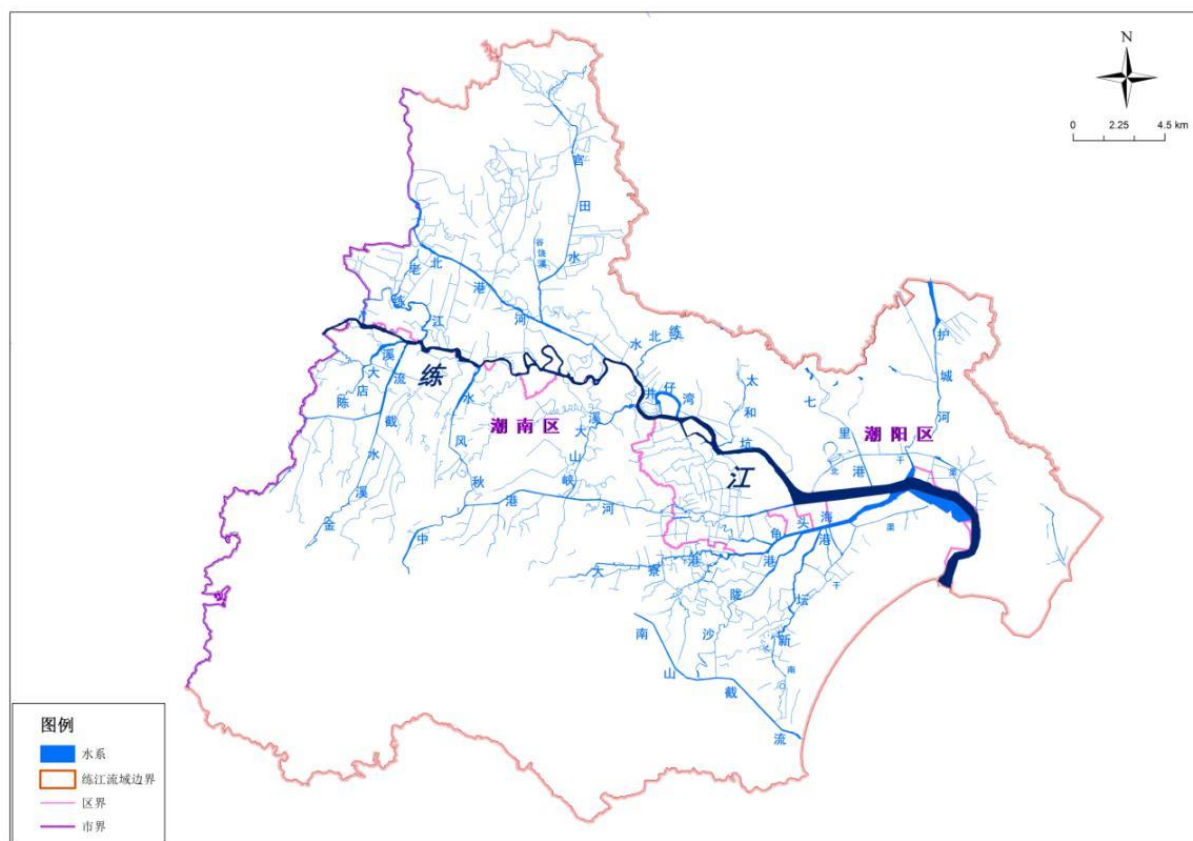


图 3.1-2 汕头市练江流域水系分布示意



表 3.1-2 汕头市练江流域潮阳区段重要支流表

序号	所属区	支流名称	全程 (公里)	流域面积 (平方公里)	常住人口 (万人)
1	潮阳区	北港河	14.25	245	14.44
2		官田水	14.15	56.2	16.25
3		中港河 (潮阳段)	12.554	17.8	6.22
4		井仔湾	2.62	7.2	3.04
5		老练江	7.492	25.3	7.51
6		护城河	5.906	24.5	18.48
7		练水北	4.3	6.48	1.50
8		七里港	2.776	12.6	5.33
9		太和坑	3.678	12	7.47

### 3.1.3 水文气候

#### 3.1.3.1 气象

练江流域南临南海，地处亚热带，受海洋性季风气候影响强烈，为热带风暴多发区，风力资源丰富。春季偏北和偏东风，初夏盛偏东风，盛夏偏南风，冬季盛偏北风；全年以偏东风最多，偏北风和偏南风次之，西风最少。

练江流域多年平均气温 21.2 摄氏度，平均最低气温 18.4 摄氏度，最高气温 37.2 摄氏度（1982 年），最低气温 0.4 摄氏度（1963 年）。多年平均日照时数 2254 小时，年无霜期平均为 355 天。多年平均水面蒸发量为 1709 毫米，最大年蒸发量 1868 毫米（1971 年），最小年蒸发量 1525.6 毫米（1997 年）。年蒸发量以夏、秋两季为多，占全年 60%，其中 7 月份峰值达到 202.5 毫米，冬、春两季较少，占全年 40%，其中二月份仅 89 毫米。

#### 3.1.3.2 径流

练江流域水资源丰富，年径流分布规律具有年际变化大和年内分配不均的特点，年径流深在 800~1200 毫米之间，平均径流深 1000 毫米。

#### 3.1.3.3 洪水

练江流域汛期 4~7 月洪水是锋面雨构成，7~9 月洪水由台风带来暴雨构

成。北面支流平缓均匀，南面陡峻，支流流向多与干流垂直，汇流时间相若，形成洪流集中，洪水位暴涨陡落。

### 3.1.3.4 潮汐

海门站潮位性质属不规则半日潮，即一个太阳日内有两次高潮和低潮，而且两个相邻的高潮或低潮的潮位和潮流历时均不相等。从海门站潮位资料统计来看，每月中有两次潮汐差较大，分别发生于初一、十五的后 2~4 日内。年最高潮位多出现在汛期，年最低潮位则多出现在枯期。潮位年际变化不大，年最高潮位多在 0.6~2.5 米之间变化。

### 3.1.3.5 水功能区划

根据《广东省水功能区划》，汕头市河流水功能一级区为 2 个，分别为榕江干流揭阳~汕头开发利用区、练江普宁~潮阳开发利用区；其中练江汕头段为练江干流潮阳农业工业用水区，水质保护目标为 IV 类，详见表 3.1-2。

表 3.1-3 规划河道水功能区现状统计表

序号	河流	一级功能区名称	二级功能区名称	范围			水质保护目标
				起点断面	终点断面	长度(km)	
1	榕江	榕江干流揭阳~汕头开发利用区	榕江干流(南河)牛田洋渔业工业用水区	揭阳双溪咀	汕头市牛田洋出海口	39.0	III
2	练江	练江普宁~潮阳开发利用区	练江干流普宁工业用水区	普宁钟潭村	普宁、潮阳交界	22.6	III
			练江干流潮阳农业工业用水区	普宁、潮阳交界	潮阳海门	40.0	IV

### 3.1.4 水资源概况

练江流域多年平均水资源总量为 12.30 亿立方米，多年平均降水量 1685 毫米，降水量年际变化大，年内分配不均，全年降雨主要集中在 4~9 月，约占全年总量的 80%以上。2020 年，练江汕头段入境水量 1.69 亿立方米，出境水量 6.63 亿立方米。受降雨年内年际分布不均影响，练江流量具有明

显的季节性，枯水期流量偏小，易出现春旱夏涝的问题。

### 3.1.5 水文分析计算

2020年7月汕头市水务局编制的《汕头市练江流域重点易涝区整治规划（补短板）》，对练江水面线进行了推算，其成果得到汕头市政府批复，详见表 3.1-3，本项目采用上述成果作为练江岸线控制线划定的依据。

表 3.1-4 练江水面线成果表单位：m（珠基）

序号	地名	桩号	水位(m)	
			P=2%	P=5%
1	海门湾桥闸	0+000	2.42	1.98
2		0+068	2.42	1.98
3		0+597	2.44	2
4		1+189	2.44	2.01
5		1+854	2.45	2.02
6		2+444	2.46	2.03
7		3+063	2.47	2.04
8		3+831	2.48	2.05
9		4+580	2.48	2.05
10		6+264	2.49	2.07
11		7+147	2.5	2.08
12		8+034	2.51	2.09
13		8+867	2.53	2.12
14		9+635	2.53	2.12
15		9+954	2.53	2.12
16		10+379	2.54	2.12
17		10+798	2.54	2.13
18		11+296	2.55	2.14
19		11+822	2.56	2.16
20		12+174	2.57	2.16
21		12+692	2.58	2.18
22		13+096	2.58	2.18
23		13+553	2.59	2.19
24		14+003	2.6	2.2
25		14+478	2.63	2.32
26		14+894	2.64	2.35
27		15+376	2.69	2.4
28		15+820	2.74	2.44
29		16+245	2.8	2.49
30	和平桥	16+504	2.75	2.45
31		16+704	2.75	2.45
32	和平新桥	17+126	3.07	2.7
33		17+290	3.07	2.7
34		17+602	3.09	2.73
35		18+014	3.11	2.74
36		18+461	3.14	2.77
37		18+940	3.16	2.78
38		19+395	3.21	2.82

序号	地名	桩号	水位(m)	
			P=2%	P=5%
39		19+868	3.24	2.85
40		20+309	3.32	2.91
41		20+735	3.46	2.91
42		21+240	3.54	2.94
43		21+648	3.63	2.97
44		22+123	3.77	3.03
45		22+588	3.89	3.03
46		22+953	4.04	3.07
47		23+160	4.08	3.12
48		23+620	4.09	3.14
49		24+090	4.14	3.17
50		24+607	4.22	3.29
51		25+176	4.27	3.31
52		25+649	4.27	3.38
53	练江大桥	25+801	4.36	3.41
54	潮阳练江水闸	26+102	4.38	3.52
55		26+486	4.43	3.53
56		26+656	4.47	3.57
57	下岐大桥	26+808	4.48	3.56
58		27+359	4.56	3.79
59		27+777	4.66	3.89
60		28+295	4.68	3.93
61		28+658	4.72	4.07
62		29+536	4.79	4.1
63		30+018	4.88	4.16
64		30+615	4.97	4.24
65		31+298	5.06	4.35
66		32+165	5.16	4.44
67		32+653	5.32	4.57
68		33+124	5.35	4.61
69		33+549	5.37	4.62
70		34+012	5.38	4.64
71		34+463	5.46	4.72
72		34+883	5.61	4.84
73		35+317	5.61	4.85
74		35+759	5.71	4.92
75		36+255	5.8	5
76		36+651	5.77	4.98
77		37+106	5.82	5.03
78		37+572	5.87	5.07
79		37+978	5.92	5.12
80		38+451	5.99	5.17
81		38+811	6	5.18
82		38+889	6	5.18

备注：海门湾桥闸下游采用海门站各频率高潮位，P=2%对应高潮位 2.42m（珠基），P=5%对应高潮位 1.98 m（珠基）。

### 3.2 流域水环境现状

#### 3.2.1 水质概况分析

根据生态环境部门最新公布的数据，2021 年，海门湾桥闸国考断面有 8 个月水质达到Ⅳ类，4 个月为Ⅴ类，主要超标因子为总磷。2022 年 1 月至 6 月，练江海门湾桥闸国考断面水质浓度均值达到地表水Ⅳ类标准，达到了国家、省下达的考核目标要求。其中，6 月练江海门湾桥闸国考断面水质历史性首次达到地表水Ⅲ类标准。15+1（官田水）条重要支流 17 个考核断面中除潮南区陈店大溪、秋风水、沙陇港、大寮港等 4 条支流水质达到Ⅴ类标准外，其余 13 个考核断面水质均达到Ⅳ类标准。

2022 年 1 月至 6 月，练江 22 条重要二级支流中，仅 11 条水质达到地表水Ⅴ类标准（较 2021 年 12 月减少 6 条），其余 11 条劣Ⅴ类，其余 253 条二三级支流中，28 条存在黑臭现象，未达到控制目标要求。

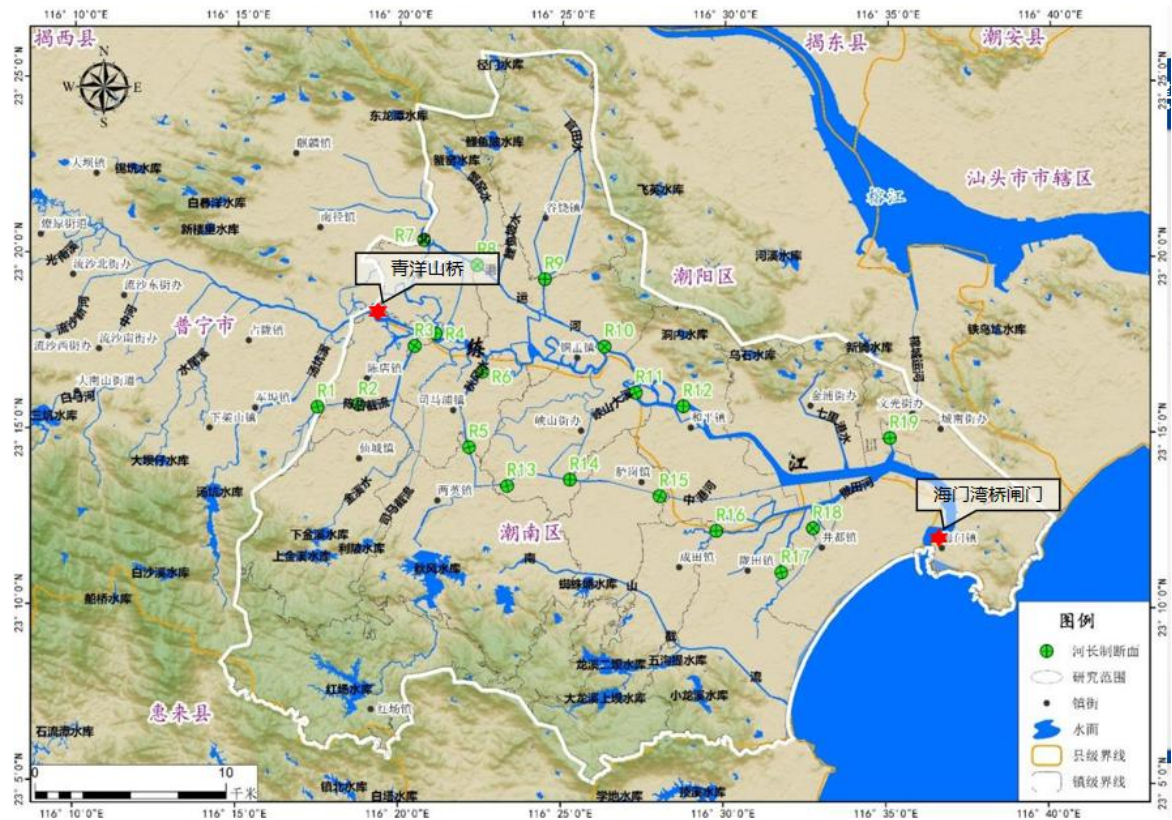


图 3.2-1 汕头市练江流域河长制监测断面分布图

### 3.2.2 入河排污口调查分析

根据 2018 年第二次全国污染源普查入河（海）排污口普查结果，汕头市练江流域入河排污口共计 443 个，包括规模以上 82 个，规模以下 361 个，污染物主要来源于禽畜养殖污水、居民市政生活污水、纺织印染造纸等生产企业污水，水质污染较为突出，超标因子包括 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷、总氮等。

其中，潮阳区规模以上入河排污口共计 18 个，主要排入水体为官田坑、谷饶溪、东寮坑等；规模以下入河排污口共计 176 个，主要排入水体为大后溪、寮后沟、官田坑等。

根据《练江（汕头段）一河一策实施方案》（2017~2020 年），基于生活、工业、规模化畜禽养殖、面源现状污染源调查与统计结果，汕头市练江流域废水排放量约为 72.8 万 m<sup>3</sup>/d。COD、氨氮、总磷的排放量分别为 105744.9 kg/d、14696.0 kg/d、1871.4 kg/d。从污染源的构成来看，以生活污水为主，工业、生活、规模化畜禽和面源对 COD 的贡献分别占 16.5%、71.1%、1.0%和 11.4%，对氨氮的贡献分别占 17.9%、64.2%、1.5%和 16.4%，对总磷的贡献分别占 6.1%、60.6%、1.1%和 32.2%。

## 3.3 流域水生态保护现状

### 3.3.1 练江水生态环境调查情况

2022 年 1 月，汕头市对辖区内韩江、榕江、练江等重点流域，开展了系统、全面的水生态环境调查，其中练江调查结果详见表 3.3-1。练江流域森林、草地面积占比较低，练江流域人工生态护岸、缓冲带植被覆盖度及着生藻类完整性指标较好，但大型底栖生脊椎动物完整性指标一般。这在一定程度上反应了练江流域的两个主要问题：一是人地矛盾依旧是练江流

域的突出问题；二是水生态环境有逐渐好转的潜力和趋势，但生态功能的全面恢复仍需时日。

表 3.3-1 练江生态状况表

序号	评价指标	练江
1	水质状况(国考、市考断面)	海门湾桥闸国考断面 目标水质：Ⅳ类 现状水质：Ⅴ类
2	流域内土地利用类型	耕地占比 28.7%；人造地表 33.1%；森林 16.4%；水体面积 14.2%；草地 7.2%。
3	河道渠道化岸线比例	练江流域汕头段岸线总长度 87.9 km，其中河道渠化岸线占比 6.3%，自然岸线占比 2.7%，人工生态岸线占比 91.0%。
4	缓冲带植被覆盖度	调查 4 个点位，平均植被覆盖度 87.3%，练江 4 个检测点位，健康状态评级为优的有 4 个点位，占比 100%。常见植物种类有 13~32 种，均值为 21 种，其中青洋山桥常见植物种类最多，为 32 种；龟头海常见植物种类最少，为 13 种。
5	浮游植物完整性指数	练江 4 个检测点位，健康状态评级为良的有 1 个点位，占比 25%；评级为中的有 2 个点位，占比 50%；评级为差的有 1 个点位，占比 25%。
6	大型底栖生脊椎动物完整性指数	练江 4 个检测点位，健康状态评级为良的有 2 个点位，占比 50%；评级为差的有 1 个点位，占比 25%；评级为劣的有 1 个点位，占比 25%。

### 3.3.2 国控断面水质状况

2021 年，海门湾桥闸国考断面有 8 个月水质达到Ⅳ类，4 个月为Ⅴ类，主要超标因子为总磷。2022 年 1 月至 6 月，练江海门湾桥闸国考断面水质浓度均值达到地表水Ⅳ类标准，达到了国家、省下达的考核目标要求。其中，6 月练江海门湾桥闸国考断面水质历史性首次达到地表水Ⅲ类标准。15+1（官田水）条重要支流 17 个考核断面中除潮南区陈店大溪、秋风水、沙陇港、大寮港等 4 条支流水质达到Ⅴ类标准外，其余 13 个考核断面水质均达到Ⅳ类标准。

### 3.3.3 其它监测断面水质状况

根据潮阳区 104 条二三级支流 2022 年 2 月份采样数据，其水质监测情况表显示，护城河 6 个监测点位的水质状况均不理想，除北港断面水质为Ⅴ类外，其他断面水质类别均为劣Ⅴ类，其中口美石笔砚与北港断面水质指



标中仅有氨氮有些许超标，其他监测点位污染较为严重，各项指标超标倍数较高。

表 3.3-2 潮阳区二三级支流护城河 2022 年 2 月水质监测情况表

序号	流域	点位	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	DO (mg/L)	水质类别
1	护城河	潮水溪	77	26.8	1.90	1.23	劣 V
2	护城河	蟹地庵坑	65	2.09	0.25	5.66	劣 V
3	护城河	口美石笔砚	15	2.45	0.37	5.55	劣 V
4	护城河	大南西门港	153	34.1	3.55	1.55	劣 V
5	护城河	北港	23	1.92	0.37	5.61	V
6	护城河	南港	177	44.4	4.06	1.47	劣 V

### 3.4 城区污水处理厂出水水质分析

潮阳区污水处理厂现状规模 15 万 m<sup>3</sup>/d，二级处理采用“生化池+二沉池+接触消毒池”处理工艺，深度处理采用“絮凝搅拌+高效沉淀池+反硝化深床滤池”工艺。根据《城区污水处理厂运行月度表》统计数据，2021 年 1 月份至 2022 年 4 月份，月平均处理水量 10.92 万 m<sup>3</sup>，运行平均负荷率为 72.8%，出水水质达到《地表水水环境治理标准》V 类后排放至护城河中。



图 3.4-1 城区污水处理厂排水口现状图

根据城区污水处理厂近 2 年运行数据统计情况进行分析，污水处理厂日均处理水量为 10.92 万 m<sup>3</sup>，全年 365 天运行，2021 年共计总处理水量为



3861 万吨，2021 年，进水水质 COD<sub>Cr</sub> 平均浓度 142 mg/L，氨氮平均浓度 20.78 mg/L，总磷平均浓度 3.62 mg/L，BOD<sub>5</sub> 平均浓度 73.7 mg/L，出水水质 COD<sub>Cr</sub> 平均浓度 11 mg/L，氨氮平均浓度 0.1 mg/L，总磷平均浓度 0.23 mg/L，BOD<sub>5</sub> 平均浓度 3.8 mg/L。2022 年，进水水质 COD<sub>Cr</sub> 平均浓度 113 mg/L，氨氮平均浓度 15.75 mg/L，总磷平均浓度 2.62 mg/L，BOD<sub>5</sub> 平均浓度 51.6 mg/L，出水水质 COD<sub>Cr</sub> 平均浓度 12 mg/L，氨氮平均浓度 0.16 mg/L，总磷平均浓度 0.2 mg/L，BOD<sub>5</sub> 平均浓度 3.5 mg/L。

总体上，污水处理厂出水的主要水质指标（如 COD<sub>Cr</sub>、氨氮、总磷等）基本达到《地表水环境质量标准》的 IV 类标准限值。

表 3.4-1 城区污水处理厂 2021—2022 年运行统计表

项目	进水浓度											
	COD <sub>cr</sub>			氨氮			总磷			BOD <sub>5</sub>		
日期	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
2021.1	204	133	166	28.87	19.22	23.19	6.61	2.58	4.09	133	62	102.8
2021.2	195	147	168	32.3	15.27	26.88	7.1	2.48	4.25	145	65	106.8
2021.3	189	133	160	33.37	19.89	25.94	6.86	2.17	4.52	110	75	87.6
2021.4	179	120	159	35.45	16.25	30.9	6.69	2.51	4.29	90	69	80.3
2021.5	206	133	167	34.4	17.6	29.36	7.51	2.8	4.91	98	59	79.6
2021.6	147	90	113	22.8	7.09	15.63	4.96	1.2	2.7	71	40	53.4
2021.7	160	98	124	23	8.61	17.23	7.48	2.12	3.32	85	47	63.7
2021.8	169	67	112	19.71	8.32	14.46	5.13	1.56	2.79	87	33	55
2021.9	184	102	131	25.4	10.8	19.9	4.29	2.02	3.22	89	48	63.5
2021.1	152	61	116	24.69	4.24	14.46	4.11	1.31	2.76	73	26	55.4
2021.11	235	108	140	18.87	12.86	16.05	4.47	2.07	3.33	105	51	67
2021.12	213	107	147	19.04	14.43	15.31	4.88	1.97	3.28	100	48	69.9
合计/均值			142			20.78			3.62			73.7
2022.1	173	134	147	24.65	11.9	18.13	4.72	1.92	3.45	83	61	72.6
2022.2	155	48	115	30.03	4.21	18.08	4.46	1.6	3.31	76	16	53.4
2022.3	148	90	124	22.76	10.28	17.62	4.96	1.36	2.84	76	33	58.7
2022.4	169	109	138	25.86	14.21	18.82	4.9	1.66	3.04	79	42	62.5
2022.5	154	55	98	19.34	2.98	12.67	4.45	1.2	2.27	76	20	42
2022.6	133	43	89	15.44	2.56	9.5	3.46	1.17	2.11	67	15	37.9
2022.7	122	33	91	21.01	1.69	12.07	3.07	1.4	1.96	61	13	39.6

项目	进水浓度											
	COD <sub>cr</sub>			氨氮			总磷			BOD <sub>5</sub>		
日期	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
2022.8	163	52	104	21.29	5.51	13.4	3.3	1.43	2.2	78	16	44.3
2022.9	130	36	93	22.78	4.31	16.97	3.01	1.53	2.1	61	9	38.7
2022.1	146	96	119	25.72	14.86	19.2	4	1.5	2.61	73	41	56
2022.11	148	78	109	20.6	11.9	15.4	4.6	1.7	2.9	71	29	48.3
2022.12	163	93	126	20.7	10.2	17.1	3.9	1.5	2.5	97	35	65.1
合计/均值			113			15.75			2.61			51.6

项目	出水浓度											
	COD <sub>cr</sub>			氨氮			总磷			BOD <sub>5</sub>		
日期	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
2021.1	19	6	11	0.12	0.02	0.05	0.31	0.24	0.27	5.8	2.4	4.2
2021.2	20	6	12	0.31	0.02	0.05	0.34	0.21	0.28	4.8	2.1	3.7
2021.3	12	7	9	0.1	0.02	0.03	0.31	0.23	0.27	5.2	2.5	3.5
2021.4	13	4	10	0.32	0.03	0.1	0.32	0.15	0.23	9.2	1.8	3.6
2021.5	14	7	9	0.17	0.02	0.07	0.34	0.14	0.23	5.5	2.2	3.2
2021.6	13	6	10	0.2	0.02	0.06	0.27	0.1	0.17	4.8	1.9	3.1
2021.7	13	6	9	0.34	0.04	0.17	0.29	0.15	0.23	5.4	2.2	3.4
2021.8	16	6	12	0.2	0.03	0.11	0.25	0.16	0.2	5.6	2.2	3.9
2021.9	17	9	12	0.22	0.02	0.09	0.23	0.12	0.18	4.3	2.8	3.3
2021.1	14	8	10	0.41	0.03	0.17	0.25	0.12	0.19	5.5	2.2	3.6
2021.11	21	9	12	0.51	0.03	0.22	0.28	0.08	0.22	5.7	3.3	4.4

项目	出水浓度											
	COD <sub>cr</sub>			氨氮			总磷			BOD <sub>5</sub>		
日期	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
2021.12	24	9	16	0.38	0.03	0.08	0.32	0.12	0.25	7.4	3.2	5.5
合计/均值			11			0.1			0.23			3.8
2022.1	16	6	12	0.16	0.03	0.08	0.26	0.13	0.2	6.1	2.5	4
2022.2	16	9	12	0.29	0.03	0.16	0.31	0.11	0.22	3.9	1.8	2.8
2022.3	16	8	12	0.24	0.02	0.07	0.28	0.1	0.17	4.3	1.9	3.1
2022.4	16	10	11	0.87	0.02	0.1	0.3	0.15	0.25	4.3	2.4	3.3
2022.5	14	9	12	0.65	0.03	0.22	0.27	0.08	0.19	4.3	2.5	3.4
2022.6	14	5	9	0.49	0.02	0.22	0.24	0.08	0.15	4.5	1.9	3
2022.7	16	7	11	0.59	0.02	0.24	0.28	0.1	0.21	4.6	2.3	3.3
2022.8	13	9	11	0.55	0.02	0.17	0.33	0.14	0.2	5.8	2.5	3.5
2022.9	19	9	12	0.33	0.02	0.12	0.29	0.09	0.19	4.6	1.5	3.2
2022.1	16	7	11	0.63	0.04	0.25	0.29	0.13	0.22	4.5	2.5	3.4
2022.11	21	10	16	0.77	0.03	0.22	0.3	0.09	0.18	5	1.5	3.6
2022.12	16	10	13	0.37	0.03	0.05	0.25	0.07	0.18	7.2	2.5	4.8
合计/均值			12			0.16			0.2			3.5

### 3.5 主要水环境问题及成因分析

护城河是练江河口处的主要支流之一，其水环境本底值较差，对练江河口处国控断面的稳定达标造成一定影响，目前经过十三五期间练江流域综合治理，城区段河流的污水收集系统建设已经较为完善，城市生活污水收集管网的覆盖率已经达到了 95%以上，大大减少了排入护城河中的污染物总量，但是护城河的水环境质量较差，水环境容量已经见底，其水体自净能力基本丧失，城市管网收集的污水经过污水厂净化后集中排放，虽然在一定程度上已经大大削减了污染物入河总量，但污水厂排放的尾水水质依旧属于 V 类水，主要是总磷污染浓度较高，使得污水厂尾水排入护城河，最终汇入练江后对其下游国考断面的水环境造成一定影响，使其稳定水质稳定达标构成一定威胁。

## 4 项目建设必要性和可行性

### 4.1 项目建设必要性

#### 4.1.1 是生态文明建设的有力保障

为深入贯彻落实习近平生态文明思想，广东省生态环境厅与汕头市人民政府签署《共同推进省域副中心城市生态文明建设合作框架协议》等重大战略，在更高层次上统筹区域发展，为汕头市生态环境保护提供政策保障。同时，《广东省水生态环境保护“十四五”规划》提出，通过印染企业集中入园、企业加快转型升级、推进水岸同治、生态修复和“三江连通”工程等工程，推进练江等重点流域水环境综合整治，加快改善练江水环境和水生态质量。推动练江流域整治由“1.0”向“2.0”版本提档升级正是要夯实高质量发展，为汕头市建设活力特区、省域副中心城市和现代沿海经济带奠定良好的基础。

汕头市政府积极响应政策，激发内在发展动力。汕头市积极贯彻落实中央生态环境保护督察对练江治理的指示，印发《汕头市贯彻落实第二轮第四批中央生态环境保护督察对练江流域水污染整治指示精神工作方案》。2022年3月，市委主要领导同志调研驻点时提出了练江整治提档升级的总要求，并提出练江整治更加注重将阶段性治理举措与长远性治理机制结合、将练江整治与产业发展结合、将生态环境改善与群众综合素质提升结合的“三个结合机制”工作思路，要求集中全市力量将练江整治打造为“绿水青山就是金山银山”理念的生动实践。

生态环境保护领域各项改革加快落地，练江流域治理体系建设跨入加速期。过去几年，汕头市积极推进，促进形成齐抓共管、各负其责的“大环保”工作格局。按照国家、省和市的部署安排，积极落实中央生态环境

保护督察对练江综合整治的指示精神，练江流域整治通过五大专项整治行动、农业面源污染整治、工业污染整治、排污口整治、环保基础设施建设、提质增效等措施强力推动水环境综合整治；通过实施“党政同责、一岗双责”，河长制，地方人大、政协监督责任等制度，积极构建立体化治理体系，创建多样化的群众参与方式，提升群众积极性。通过努力，练江流域整治成效显著，环境质量改善的经济社会基础逐步夯实。

潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程是练江流域综合整治下一阶段的重要环节，通过构建尾水生态湿地，能够帮助提升练江流域水生态环境质量、提升流域生态环境，为区域生态文明建设提供有力保障。

#### 4.1.2 是广东省水生态环境保护“十四五”规划的要求

2021年11月9日印发实施的《广东省水生态环境保护“十四五”规划》明确海门湾桥闸国控断面“十四五”期间考核目标为年浓度均值达到Ⅳ类标准。目前，练江整治虽取得一定的成效，但海门湾桥闸国考断面稳定达标的基础仍不牢固，距离月均值稳定达地表水Ⅳ类标准、日均值稳定达地表水Ⅴ类标准仍有较大差距。从2021年水质数据看，海门湾桥闸国考断面只有8个月水质达到Ⅳ类，仍有4个月为Ⅴ类，主要定类因子为总磷；2022年1月以来，海门湾桥闸断面高锰酸盐指数、氨氮等指标出现明显波动现象，其中高锰酸盐指数浓度日均值累计有15天未达到地表水Ⅳ类标准、氨氮浓度日均值累计6天未达到地表水Ⅴ类标准，国考断面稳定达标的形势非常严峻。

因此，在新一轮的练江流域水环境综合整治过程中，通过建设污水厂尾水生态湿地，来深化截污控源、强化管控措施、启动生态修复工程，是为国考断面的稳定达标提供保障。

### 4.1.3 是切实解决练江流域水污染问题的重要突破点

目前练江流域通过构建“厂-网-河”一体化建设，通过将污水处理设施进行提标改造与扩容提升，基本将污水收集范围覆盖至已建成区域，实现生活污水集中处理排放，做到了污水处理能力与污水管网相匹配，确保流域内主要污染源实现接入管网全覆盖，污水应收尽收，减少了污染源直接入河污染水环境的风险。

通过构建污水厂尾水生态湿地，能够强化出水水质，增强河湖自净能力，为周边水系提供水质优良的生态补水水源，能够有效降低河口水华爆发风险、提升水生态承载力、保障断面水质稳定达标，还可以在极端干旱天气下保障下游农田灌溉用水，实现减负荷、提容量、抗风险的有效统一。

### 4.1.4 是改善区域生态环境质量的重要举措

练江流域经过多年治理，水质有所好转，但其生态系统依旧十分脆弱。其水环境质量是区域发展的一项重要制约要素，也是周围居民生活环境以及区域生态环境的重要指标标准。改善周边环境已成为目前区域发展的重中之重。本项目的建设突出区域水系的环境效益和生态效益，充分发挥植物和微生物对水质的净化作用，最大程度截留污染物；同时，在治理区域内生活污水的基础上，形成一个具有一定抵御和调节自然和人类活动干扰能力的、能自我维持和调节的生态系统，并使之与周围的系统和景观融为一体。项目建设兼顾景观功能与经济价值，通过该项目提升区域土地价值，以环境改善来促进流域经济发展，为练江流域的可持续发展奠定坚实的基础，创造良好的条件。



## 4.2 项目建设的可行性

### 4.2.1 各级政府与人民群众的重视和大力支持

汕头市、潮阳区等各级政府长期以来高度重视区域水污染治理及水生态环境改善工作，先后印发实施多项方案规划，同时开展了多项河湖治理改善专项行动，项目有着良好的政策保障。

此外，生态系统的破坏和环境的恶化使人们开始重新认识到生态环境的重要功能，对生态环境的恢复和重建也开始得到广泛的重视，全国各地都在积极采取措施进行当地的生态恢复。科技人员对恢复的理论和技術进行了大量的研究和实际工程应用，并积累了丰富的实践经验。

### 4.2.2 人工湿地技术逐步成熟

湿地作为生物重要的栖息地环境，具有净化水质、景观、生态修复等各种功能。但随着流域开发和河流的水质污染、堤岸工程等，这些功能正在逐渐消失。自 20 世纪 90 年代开始，国内外陆续开展了河滨带的修复工作，特别是近年来，修复工程的数量呈不断增加。最初的河岸复原主要着眼于人类利用的亲水设施的复原，最近开始上升到注重河岸原生的景观和生物相的复原。生态恢复方面也不仅仅停留在种植植物上，有的地方通过利用种子库等最大限度的发挥自然的力量。相关的研究和技术有了长足的进展，湿地恢复的目标提高到了高水平复原的层次上。

人工湿地作为 20 世纪 70 年代发展起来的一种污水处理新技术。因其具有投资少、建设和运行费用低、运行维护方便、适应范围广、处理效果好、氮磷去除率高、出水水质优良、改善和美化生态环境、操作简单、能耗少等特点，越来越受到世界各国的重视。人工湿地技术兼顾了经济效益、生态效益和社会效益，应用领域得到不断拓展和延伸，处理工艺越发成熟，系统类型也日趋多样化。欧美发达国家相继在此领域进行了大量的研究，

均得到了较为满意的效果；我国也相继大量开展了人工湿地水处理系统的研究和应用，在人工湿地的设计、运行、管理等方面积累了丰富的理论及实践经验。

#### **4.2.3 建设条件完备**

项目拟选场址潮阳区城区污水处理厂南侧，根据现场调研，现状为水产养殖的坑塘，符合现行的土地利用总体规划，不占用永久性农田。城区污水处理厂目前运行良好，水量稳定。土地面积充足可供湿地建设使用，具有较好的工程实施条件。周边交通较为发达，材料运输等外部协作条件完备，具备充分的实施条件。

#### **4.2.4 项目选择符合法律法规规定**

项目区规划符合城市规划总体要求。本项目工程规划重点突出，核算细致，布局合理，施工方案和操作性强，建设效益明显。

综合各方面因素评价，该项目建设是完全可行和必要的。

## 5 总体思路与技术方案

### 5.1 指导思想

以习近平生态文明思想为引领，深入贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，全面落实习近平总书记重要讲话、重要指示批示精神，深刻把握中央环保督察和省委、省政府关于练江整治的标准要求，增强“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”，坚持以人民为中心的发展思想，坚持稳中求进工作总基调，科学把握新发展阶段，坚定贯彻新发展理念，锚定“走在前、开新局”，统筹处理保护和发展、发展和安全、当前和长远、全局和局部的关系，坚持系统治理、统筹治理、依法治理，着力加强生态环境保护，着力保障练江长制久清，着力推进水资源节约集约利用，着力推动特色产业高质量发展，着力改善人民群众生活，着力保护传承弘扬潮汕文化，努力推动练江流域综合整治从“1.0”向“2.0”版本提档升级，将练江整治打造为习近平生态文明思想的汕头实践。

### 5.2 建设原则

#### （1）统筹兼顾，分步实施

统筹考虑水环境与水资源、水生态以及与经济社会发展的关系，统筹干支流、上下游、左右岸的关系，强化水功能区监督管理和水生态修复，坚持统筹规划，突出重点，量力而行，分步实施的原则。

#### （2）实际出发，因地制宜

坚持遵循客观规律，从实际出发，因地制宜，优选土著物种，采取生物措施与工程措施相结合，发挥综合生态修复治理最大效益。

#### （3）生态修复，兼顾长远

坚持以生态修复为主，工程建设与后期维护管理并重，实行“边建设，边保护”，使各项生态修复建设工程长期发挥效益。

#### （4）水质改善，生态恢复

坚持改善练江水质为核心，兼顾逐步恢复练江流域水生态环境，发挥人工强化作用，提高练江河流域生物多样性。

#### （5）循环利用，优化配置

结合建设地区水资源利用的特点，充分结合污水资源化利用的理念和思路，将污水处理厂尾水进行资源化利用，实施区域再生水循环利用工程，优化水资源配置，提高区域水环境及生态环境质量。

### 5.3 建设目标

为加强护城河河口与练江连通处的水环境保护，提高护城河河口水环境质量，有效提升护城河入练江水质，助力练江海门湾桥闸国控断面水质稳定达到地表水Ⅳ类标准，本项目新建城区污水处理厂尾水净化人工湿地面积 60000 m<sup>2</sup>，对污水厂尾水进行深度处理，提供高品质生态补水。

在对练江流域水环境、水生态问题诊断基础上，以改善练江流域水质及生态修复作为目标，开展练江流域水环境治理、生态修复与保护工程建设工作，建设潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地工程，统筹考虑生态修复与保护工程的系统性、水质改善效果、地方积极性、建设条件成熟度，以及是否列入重点规划等，确定本项目的工程建设内容。项目技术路线如图 5.3-1 所示。

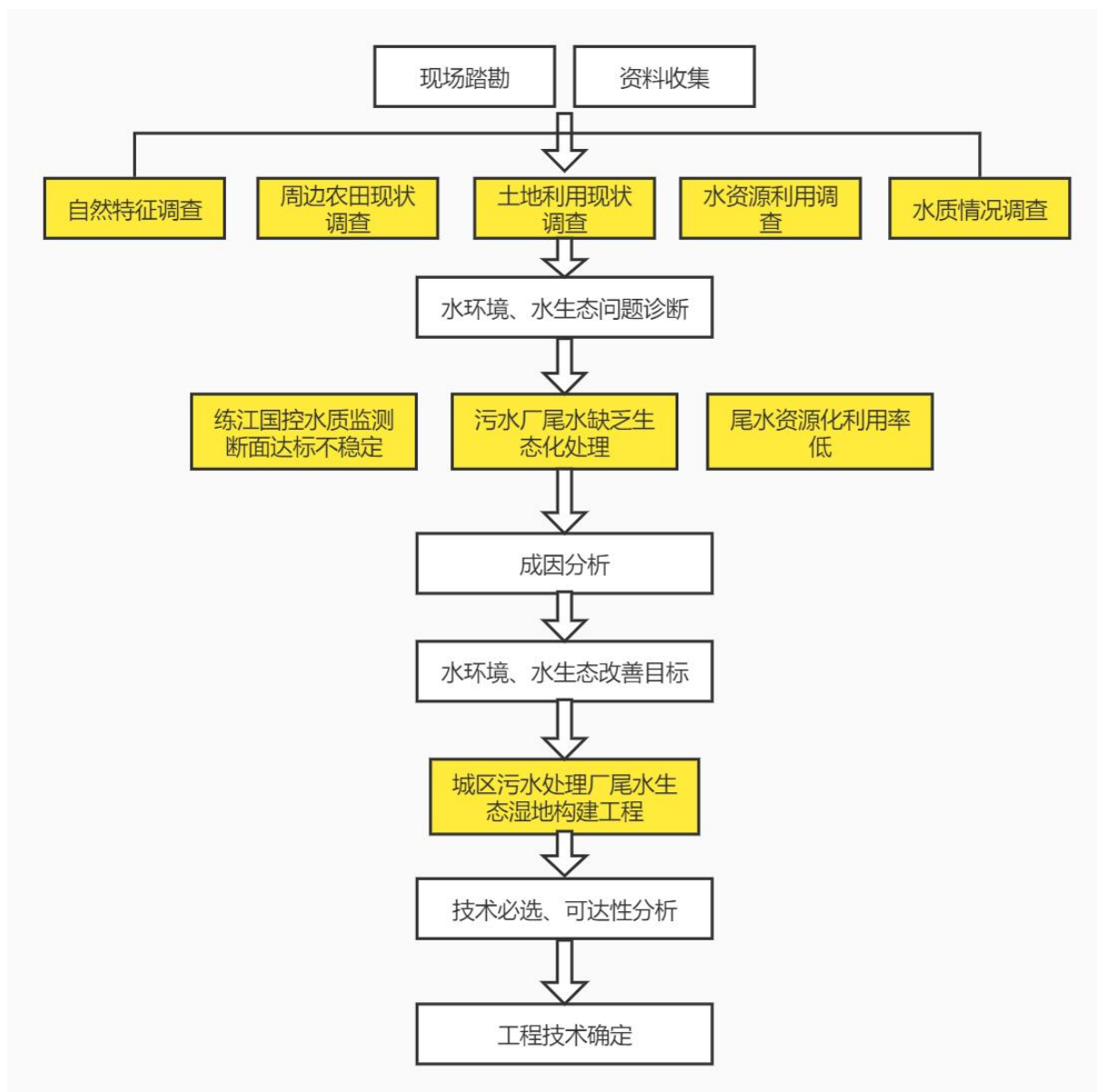


图 5.3-1 技术路线图

## 5.4 工程总体布局

本项目建设内容主要为尾水生态湿地，根据用地条件进行工程布置，采用水平潜流+表流湿地的形式，处理规模  $30000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，总占地面积  $60000 \text{ m}^2$ 。工艺单元主要为“生态水质净化塘+生态恢复湿地”两大区块，功能以水质净化为主。其中“生态水质净化塘”分为“生态塘+氧化塘+潜流湿地”，“生态恢复湿地”分为“多级表流湿地+沉水植物塘”。湿地整体分为四个

区，其中一、二区分别有 1 个生态塘、1 个氧化塘与 4 个潜流湿地，三、四区分别有 4 个表流湿地与 2 个沉水植物塘。总体工程布局示意图如图 5.4-1 所示。

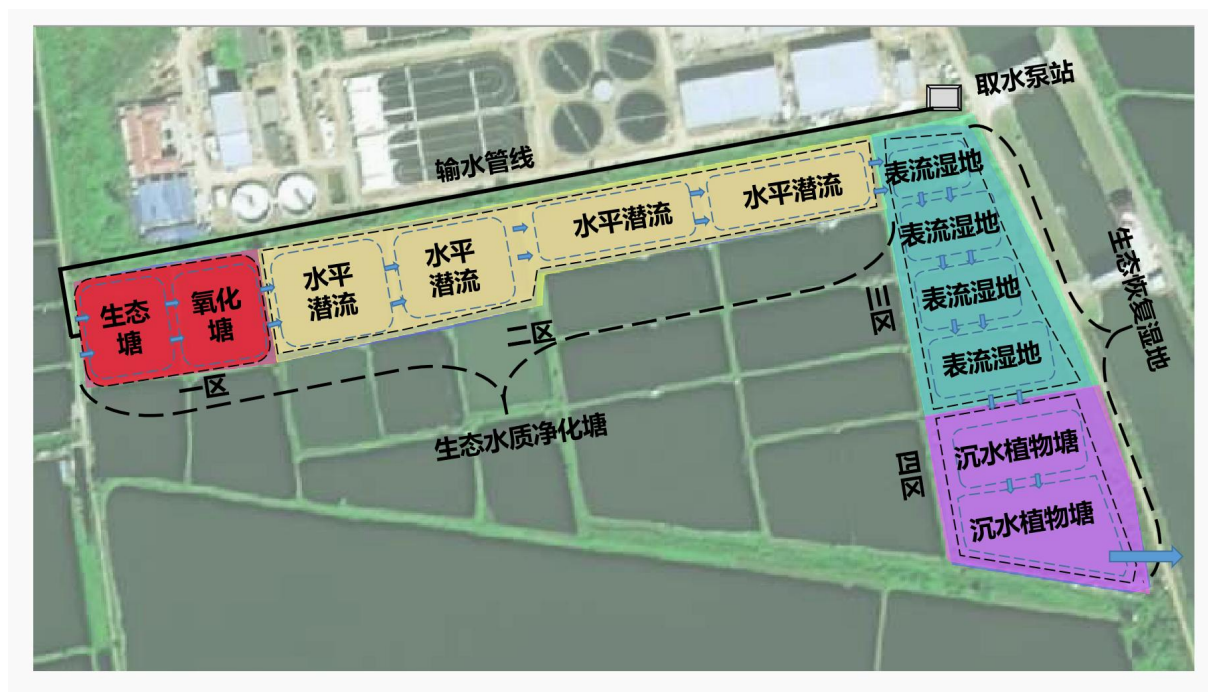


图 5.4-1 总体工程布置示意

## 6 城区污水处理厂尾水湿地净化工程

### 6.1 建设选址

#### 6.1.1 选址原则

依据《污水自然处理工程技术规程建设规范》（CJJ/T54-2017）和练江河口湿地所在区域的地形、地势条件，并结合工程实际需求，本工程选址应满足如下原则：

（1）符合汕头市及潮阳区总体规划要求以及综合考虑交通、土地权属、土地利用现状、发展扩建等因素。

（2）有良好的工程地质条件。

（3）项目选址区域地势相对较高，有良好的排水条件。湿地选址区域高于常水位，且不易与练江及护城河发生水交换问题，即在护城河水质变差时，河水不会回水进入本湿地系统，对湿地净化后的水质产生影响。

（4）充分利用现有地形、地貌，尽量能使土方平衡，减少工程能耗和费用。

（5）工程用地范围内尽量少涉及征地、拆迁及移民等，减少工程移民征地费用、降低工程实施难度。

（6）工程所在地交通便利，有方便的交通、运输和水电条件。

（7）立足当前，着眼长远，按照先易后难、先急后缓的原则，远期与练江生态环境保护规划有机结合。

#### 6.1.2 选址过程

依据项目选址原则，对生态湿地拟选址区域现状用地条件进行相关调查，调查结果如下：

### （1）地形、地势

生态湿地拟选场地整体地形较为平坦、开阔，北高南低、西高东低，地势相对较高，有利于湿地水流流动。

### （2）遵循规划

拟选场地位于练江流域水环境深化整治范围内，符合练江生态服务功能区规划要求。

### （3）道路、用电、给排水等基础设施完备

拟选场地周边水运交通便利，东侧有护城河大堤路、南侧堤顶路，施工车辆的进出以及施工材料和设备的运输都极为便利。

基础设施完备，给水、排水、供电、通信等基础设施建设可以与周围城镇建成区共享。

### （4）周边用地性质

生态湿地拟选场地临近护城河和练江，工程周边有部分民房、大面积为养殖鱼塘。

为确保入河水质达标，提升练江干流的生态修复，拟在城区污水处理厂出水口建设河口湿地工程。同时结合现场实际情况，本着少拆迁、少占地、避开敏感点的原则，确定本工程选址。

## 6.1.3 推荐选址

本工程拟选场址如图 6.1-1。主要原因如下：

（1）地形较开阔、地势相对较高。

（2）周围给水、排水、供电、通信等基础设施较完备。

（3）拟选场地位于城区污水处理厂出水口处，取水方便。湿地建设可利用现有场地道路作为围堤，利用南面沟渠作为湿地排水渠道。



(4) 拟选场地临近护城河入练江河口，湿地远期规划可与练江的环境治理与潮阳区建设协同发展。

因此，该场址选择合理，适合本工程建设。



图 6.1-1 项目选址位置示意

## 6.2 人工湿地工艺

### 6.2.1 工艺技术介绍

人工湿地是 20 世纪 70 年代开始发展起来的污水处理工艺，自 1974 年在西德首次建立人工湿地工程（处理城市污水）以来，人工湿地在污水处理领域和水资源保护中得到了大量应用。人工湿地是独特的土壤-植物-微生物生态系统。人工湿地处理系统人为地将污水投配到常处于浸没状态且生长有水生植物（如芦苇、香蒲和菱草等）的土地上，沿一定方向流动的污水在耐水植物、土壤和微生物等的协同作用下得到净化。

人工湿地是一个综合的生态系统，它应用生态系统中物种共生、物质循环再生原理，结构与功能协调原则，在促进废水中污染物质良性循环的前提下，充分发挥资源的再生潜力，防止环境的再污染，获得污水处理与资源化的最佳效益。人工湿地的植物能够为水体输送氧气，增加水体的活性，湿地植物在控制水质污染，降解有害物质上也起到了重要的作用。

### 6.2.2 人工湿地净化污染物机理

人工湿地水质净化机理：一般认为，人工湿地生态系统是通过物理、化学及生物三重协同作用净化污水。物理作用主要是过滤、截留污水中的悬浮物，并沉积在基质中；化学反应包括化学沉淀、吸附、离子交换、拮抗和氧化还原反应等；生物作用则是指微生物和水生动物在好氧、兼氧及厌氧状态下，通过生物酶将复杂大分子分解成简单分子、小分子等，实现对污染物的降解和去除。

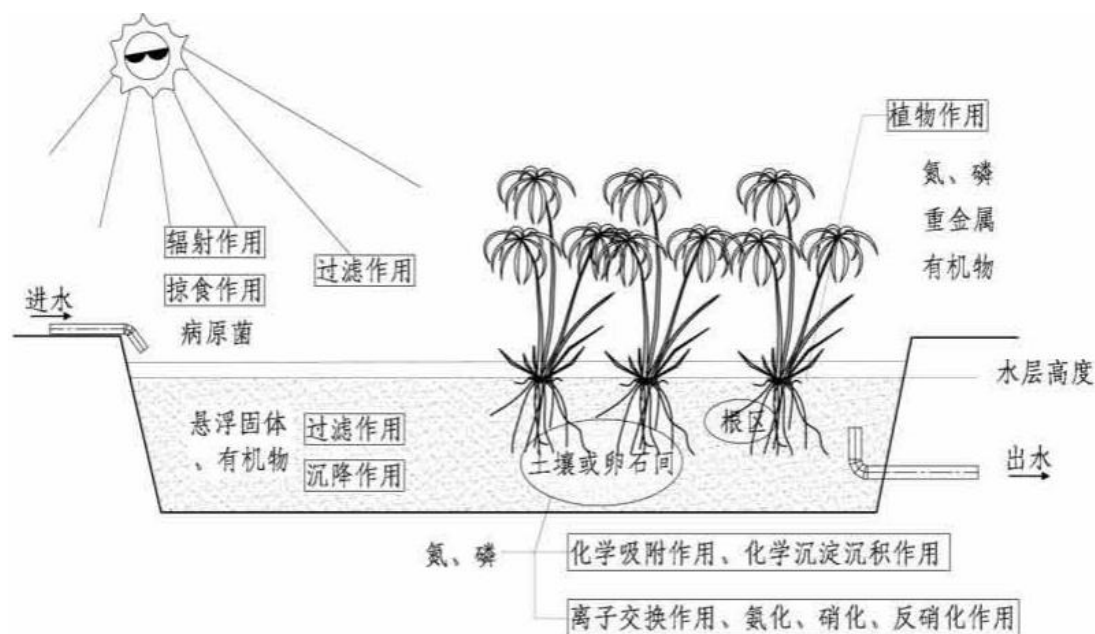


图 6.2-1 湿地净化机理

人工湿地的净化方式主要包含基质净化、植物净化、微生物净化、水生动物净化四个方面：

### (1) 基质净化

传统的人工湿地基质主要由土壤、细砂、粗砂、砾石、碎瓦片、粉煤灰、泥炭、页岩、铝矾土、膨润土沸石等介质中的一种或几种构成。在人工湿地污水净化过程中，基质起着极其重要的作用。去除机理就是依靠着巨大的表面积，在滤料颗粒表面形成一层生物膜，污水流经颗粒表面时，大的固体悬浮物和不溶性的有机物被填料阻挡截留起到沉淀、过滤和吸附的作用。

不同基质通过其物理化学特性影响基质的吸附性能，湿地基质对磷的吸附沉淀影响比较大，植物只能吸收少量的无机磷，磷吸附速率和吸附量通常受到基质种类很大的影响，当湿地基质对磷的吸附趋于饱和后，磷的去除率明显下降。

### (2) 植物净化

人工湿地中，植物对氮、磷的去除包括 3 个方面：

- ①植物本身直接吸收同化含氮、磷化合物；
- ②其根系分泌物可促进某些嗜磷、氮细菌的生长，提高整个人工湿地生态系统微生物数量，促进氮、磷释放、转化，从而间接提高净化率；
- ③植物呼吸过程释放的  $\text{CO}_2$  与土壤及介质中钙离子结合形成的碳酸钙，与磷形成共沉淀去除。

植物对有机物的去除主要通过 3 种途径：

- ①植物直接吸收有机污染物；
- ②植物根系释放分泌物和酶；
- ③植物和根际微生物的联合作用。

植物在生长过程中能吸收污水中的无机氮、磷等，供其生长发育。湿地植物对氮的去除作用主要是：氮的挥发作用、 $\text{NH}_4^+$ 的阳离子交换作用、吸收、硝化和反硝化等作用等。研究认为，通过植物根部根毛周围充满氧气的液体薄膜中的好氧微生物的硝化作用，可将  $\text{NH}_4^+$  转化成气体，释放到大气中。除此之外，植物本身也可以吸收一部分  $\text{NH}_4^+$ ， $\text{NH}_4^+$  进入植物后通过氨化反应合成蛋白质、氨基酸酶等有机氮，消除其对植物的毒害作用。污水中无机磷在植物吸收及同化作用下可转化为植物的 ATP、DNA 等有机成分，最后通过植物的收割而从系统中去除。

除营养元素外，人工湿地选用的凤眼莲、香蒲、菖蒲、芦苇、水葱、千屈菜等水生植物对铜、铅、镉、铬、汞、镍、银等重金属具有良好的富集作用，以金属整合物的形式蓄积于植物体内的某些部位，通过植物的产氧作用使根区含氧量增加，促进污水重金属的氧化和沉降，还可通过植物挥发、甲基化等作用达到对污水和受污染土壤的生物修复。

### (3) 微生物净化

湿地微生物主要有菌类、藻类、原生动物。由于生物化学反应大多是在微生物和酶的相互作用下进行的，所以微生物在人工湿地污水处理系统中起着极其重要的作用。其中，人工湿地中的氮主要是通过微生物的硝化和反硝化作用去除，植物对无机氮的吸收只占 8%~16%，其他如氨的挥发和基质的吸附和过滤也只占一小部分。污水中有机物的降解和转化主要是由湿地微生物活动来完成的，有机物通过沉淀过滤吸附作用很快被截留，被微小生物利用；可溶性有机物通过生物膜的吸附和微生物的代谢被去除。微生物也能分解污水中的硫化物，有机硫化物经矿质化被分解成硫化氢，部分硫化氢挥发逸出湿地，部分通过硫黄细菌和硫化细菌的硫化作用形成硫黄、硫酸，它们与土壤中的各种离子结合形成无机硫化物。无机硫化物部分会被植物吸收利用，也有部分会在反硫化细菌的作用下经反硫化作用形成硫化氢，再逸出湿地或又参与硫化作用。

湿地微生物还具有吸附作用，在微生物生长过程中，需要吸收营养元素和重金属元素以保证生长和代谢，他们分泌的高分子聚合物，对重金属有较强的络合力。它还可通过胞外络合作用、胞外沉淀作用固定重金属，可把重金属转化为低毒状态。

### (4) 水生动物净化机制

人工湿地中的水生动物有提高土壤通气透水性能和促进有机物的分解转化的生态功能。底栖动物螺蛳、螃蟹、小型软体动物、摇蚊幼虫、水虫丘蚓、贝壳等和淡水鱼虾形成湿地生态系统食物链的消费者。水中的浮游动物的群落结构，促进滤食效率高的植食性浮游动物生长，进而降低藻类生物量，改善水质。蚌类的增多可使水质变清，从而为轮藻类植物的大量

生长提供有利条件，为革食性水禽提供食物，扩大水禽的数量及停留时间。

表 6.2-2 人工湿地污染物去除效果

机理	SS	BOD <sub>5</sub>	COD	TOC	N	P	金属离子	病原微生物
物理沉降	▲	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎
基质过滤	▲	•	○	○	○	▲	○	▲
介质吸附	•	○	○	○	○	▲	○	○
共沉淀	○	○	○	○	○	▲	▲	○
化学吸附	○	○	•	•	○	○	◎	○
化学分解	○	◎	▲	◎	○	○	○	▲
微生物代谢	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○
植物代谢	○	○	○	◎	◎	○	○	•
植物吸收	○	○	•	○	•	•	•	○
自然死亡	○	○	○	○	○	○	○	▲
自然挥发	○	○	○	▲	◎	○	○	○

注：▲最主要作用•主要作用◎次要作用○作用很小或无作用

6.2.3 人工湿地分类

人工湿地按水流方式的不同可以分为表流湿地、水平潜流湿地、垂直潜流湿地三大类。

6.2.3.1 表流湿地

表流湿地在内部构造、生态结构和外观上都十分类似于天然湿地，经过科学的设计、运行管理和维护，去污效果优于天然湿地系统，主要原因是人工湿地强化了微生物的供氧和微生物的载体功能。表流湿地又可分为传统表流湿地和稳定塘两种类型。

(1) 传统表流湿地

传统表流湿地的水面位于湿地基质以上，其水深一般为 0.3~0.5m。污水从进口以一定深度缓慢流过湿地表面，微生物通常生存在底泥的表面及挺水植物的根、茎表面。由于湿地常年处于水体浸泡当中，因此湿地的供氧主要通过水面富氧及湿地植物通气组织供氧，表流湿地中接近水面部分

为好氧区，较深部分及远离植物根区的底部通常为缺氧区。因此，此类湿地中同时存在好氧及缺氧微生物群落，该类型湿地同时具有硝化反硝化的能力，但由于整体微生物数量较少，对各种污染物的去除能力一般，只适用于处理微污染的水体，同时具有投资少，操作简单，运行费用低等优点。

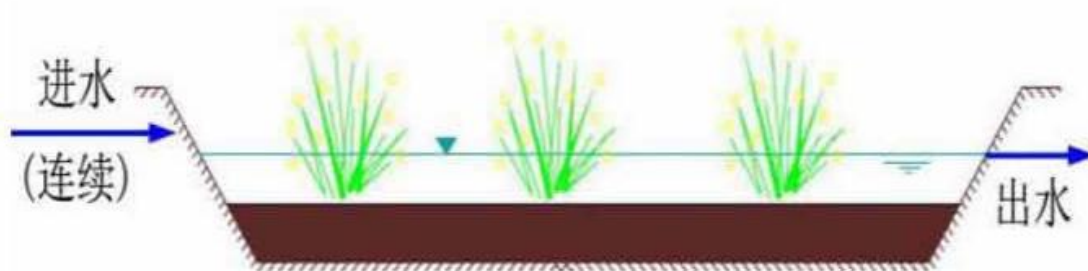


图 6.2-2 传统表流湿地示意图

## (2) 稳定塘

稳定塘是一种利用天然净化能力对污水进行处理的构筑物的总称。其净化过程与自然水体的自净过程相似，主要利用菌藻的共同作用处理废水中的有机污染物。通常是将土地进行适当的人工修整，建成池塘，并设置围堤和防渗层，依靠塘内生长的微生物来处理污水。稳定塘污水处理系统具有基建投资和运转费用低，维护和维修简单，便于操作，能有效去除污水中的有机物和病原体、无需污泥处理等优点。

稳定塘是传统表流人工湿地的衍生品，该类型湿地在原有表流人工湿地的基础上通过种植挺水植物、沉水植物、投放鱼虾螺贝等完善了湿地系统的生物链，提高了湿地系统的稳定性，同时增加了微生物的生存空间，另外该湿地结构及形态更加融合自然，具有良好的景观可塑性。



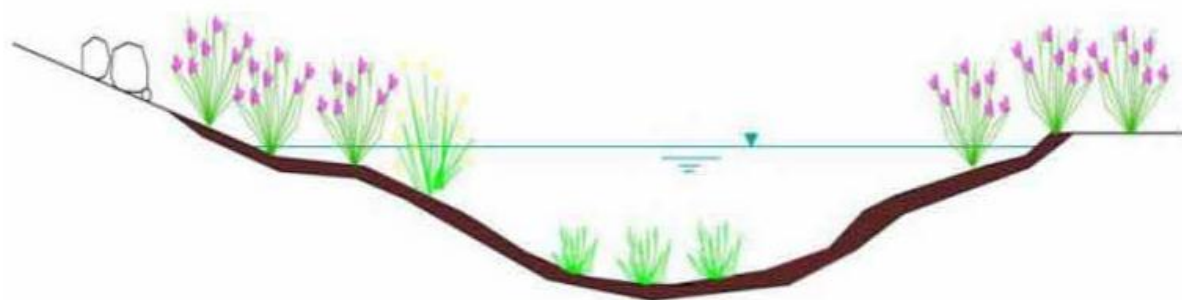


图 6.2-3 稳定塘示意图

### ①好氧塘

好氧塘主要特点是塘水的主体处于有氧状态，一般深度比较浅。塘内的生态系统比较丰富，好氧塘以太阳能为初始能量，通过在塘中种植水生植物，进行水产和水禽养殖，形成人工生态系统。在太阳能（日光辐射提供能量）作为初始能量推动下，通过塘中多条食物链的物质迁移、转化和能量的逐级传递、转化，将进入塘中污水的有机污染物进行降解和转化，最后不仅去除了污染物，而且以水生植物和水产、水禽的形式作为资源回收，净化的污水也可作为再生资源予以回收再用，使污水处理与利用结合起来，实现污水处理资源化。该塘是污水稳定塘处理系统的主要设施之一，通常是单独使用或作为厌氧塘、兼性塘的后续塘。

### ②兼性塘

兼性塘的表层水成好氧状态：塘底为沉淀物污泥层，处于厌氧状态；而塘的中间为兼性区。兼性塘深度一般在 1.0 m 以上，塘水中存活大量的兼性微生物，污水净化是由好氧、兼性、厌氧微生物协同完成的。兼性塘可与厌氧塘、曝气塘、好氧塘、水生植物塘等组合成多级系统，也可由数座兼性塘串联构成塘系统。当处理水质要求不高时，也可单独使用，但需在塘内应设置导流墙。兼性塘内可采取加设生物膜载体填料、种植水生植物和机械曝气等强化措施，以提高处理效果。



### ③厌氧塘

厌氧塘主要特征是塘水处于无氧状态，水深一般在 2.5 m 以上，最深可 5 m，有机负荷较高，有机物降解需要的氧量超过了光合作用和大气复氧所能提供的氧量，使塘呈厌氧状态。该塘主要通过厌氧微生物来净化污染物，厌氧微生物在其中进行水解、产酸以及甲烷发酵等厌氧反应全过程。

厌氧塘一般作为污水稳定塘处理系统的第一级处理工艺，也多用作高浓度有机废水的首级处理工艺，通常不单独使用。

### ④曝气塘

曝气塘水深通常在 2.0 m 以上，一般由表面曝气机供养，并对塘水进行搅动强化水质。曝气塘的原理与活性污泥法中的曝气池类似，该塘的污染物处理效率较高，但运行费用也较高。在曝气条件下，藻类的生长与光合作用受到抑制。曝气塘根据该塘中污泥悬浮状态和塘水溶解氧情况，又分为好氧曝气塘和兼性曝气塘。

### ⑤水生植物塘

水生植物塘中可通过多种类植物搭配、增加水生植物数量和在中养鱼等强化措施，来构建丰富多样的生态系统。该生态系统不仅有菌类、藻类和水生植物，而且有浮游动物、鱼、水禽等多种生物，组成了多条食物链共存的生态系统，在强化处理效果的同时，还可使塘内新增污泥量得到部分平衡，同时增强了承受冲积负荷的能力。水生植物塘中水生植物的密度和数量较大，主要利用水生植物和好养微生物的共同作用来净化污水，其能有效地去除水中的营养物质、微量金属、无机盐等，还可为微生物的生存提供条件。

### ⑥组合型稳定塘

组合型稳定塘是将多个同类型或不同类型基本形式的稳定塘，通过并联或串联构成的污水处理系统。该稳定塘系统通常在污染物浓度相对较大，对稳定塘出水水质要求较高，以及对处理效果、效率均有较高要求的条件下使用。

### 6.2.3.2 水平潜流湿地

水平潜流人工湿地因污水从一端水平流过填料床而得名。它由一个或多个填料床组成，床体填充基质，床底设有防渗层，防止污染地下水。与表流人工湿地相比，水平潜流湿地通过构建滤床为微生物提供巨大的生存空间，更加强化了微生物的净化作用。但是由于水平潜流湿地的水流方式（水平潜流浸泡状态，且水面处于滤料堆体内部），使得滤床内总体供养不足，整个滤料堆体内的微生物属于缺氧微生物，因此该类型湿地具有很好的脱氮作用。

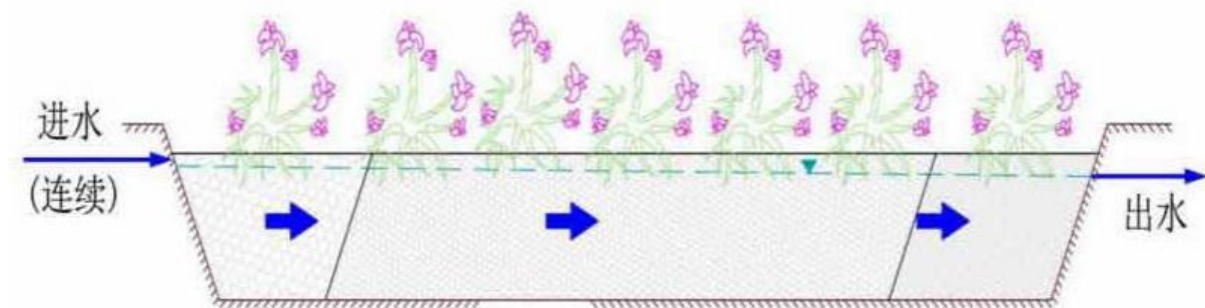


图 6.2-4 水平潜流湿地示意图

### 6.2.3.3 垂直潜流湿地

垂直潜流湿地通过大阻力间歇进水，让污水从湿地的表面纵向流向填料床的底部，且实现滤床处于不饱和状态，氧可通过大气扩散和植物传输进入湿地系统，整个滤床堆体内呈现纯好氧状态，因此该湿地具有极强的氨氮去除能力，但基本无脱氮能力。垂直潜流湿地的处理能力高于水平潜流湿地，占地面积较小，适用于中、低、高各种不同水质的应用，进水如

采用大阻力配水，可完全不受地形限制。垂直流湿地的设计重点和难点是其进水配水系统，即有限的污水需要均匀的分布在大面积的滤床表面，其设计计算难度较大。

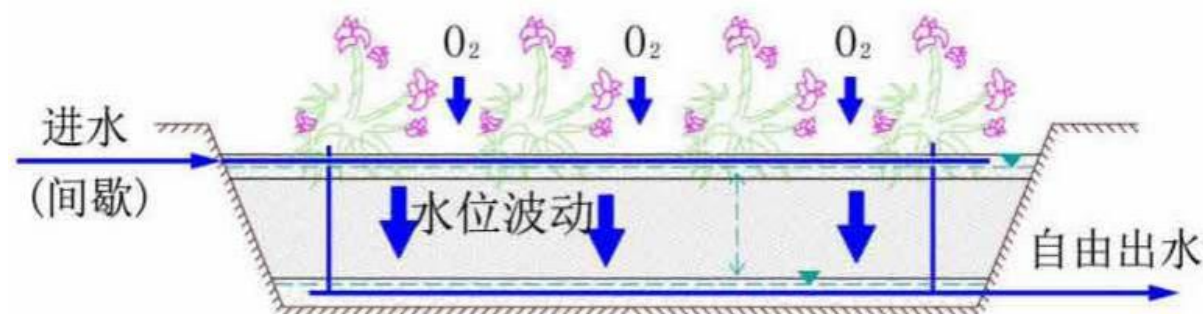


图 6.2-5 垂直潜流湿地示意图

在湿地系统中，填料是植物的载体，是微生物的生长介质，其能为植物和微生物提供良好的生长环境，具有较强的机械强度、较大孔隙率、比表面积和表面粗糙度以及良好的生物和化学稳定性。人工湿地常用填料有石灰石、火山岩、沸石、陶粒、炉渣、钢渣等，深度一般为 0.6~1.2m。其去除污染物的主要净化机制不同，主要可分为三种：接触沉淀，表面微生物（生物膜）的附着、吸收、分解，沉淀物移动、分解、减量。具体介绍如下。

### （1）接触沉淀

污水中悬浮物有浮于水面的漂浮物质、沉于水底的可沉物质及悬浮于水中的悬浮物质组成。悬浮物可使水质混浊，透光性差，影响水生生物生长，大量悬浮物更甚还会造成河道阻塞。水中所含固体物比重若比液体大，当水流速度减缓或静止状态下时，固体物因受重力作用而沉降，水中污染物浓度降低，大部分是由于悬浮性与溶解性污染物质被吸附于水中颗粒物表面，污染物质跟随自由颗粒受重力作用而沉降到底部，一般沉淀时间愈长，悬浮固体物的去除效果愈佳，但若超过某一定时间，去除效果并不会

显著增加，反而会使沉淀池处于厌氧状态，导致水质的恶化。砾石与砾石之间具有连续性的空隙，当污水通过时水体中悬浮物质因接触砾石表面而产生沉淀，且砾石间空隙非常小且沉淀距离短，比起自然河川其接触沉淀的效果更加显著。河水中悬浮微粒，因受到砾石的拦截而沉淀或集中于底部的污泥沉淀区。

### （2）表面微生物（生物膜）的附着、吸收、分解

河水中污染物（BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、SS 等），其吸附作用主要发生于砾石面上的微生物膜。生物膜为结构复杂的微生物菌落，产生物亦非常复杂，可由自然或人工的方式加以培养，使微生物能固定在一介质上，且反应属自发性。水体中微生物分布型态可区分为悬浮性及附着性两种类型。填充砾石表面和自然河川中砾石表面一样，会因微生物自然作用生成生物膜并与水中有机物质附着、吸收并进行分解作用。有机物质最终是可分解成水及碳酸化物，故污水浓度(有机物含量)与污水停留时间、污水含氧量等因子，是在进行设计时必需考虑的因子。

### （3）沉淀物移动、分解、减量

砾石间空隙因悬浮物质沉淀，使得砾石间空隙逐渐狭小，导致水流呈现平稳状态。可以通过流速进行改善，且污染物质沉淀会因厌氧、好氧条件变化，使得污泥进行分解并减量。生长砾石上的微生物或藻类，可氧化分解吸附在其上的污染物（BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、SS 等）。对于生物难分解或生物分解速率低基质，其亦能有效去除。

## 6.2.4 工艺论证

### 6.2.4.1 总磷去除工艺比选

磷是造成水体富营养化的主要因子。受磷污染的水体，藻类大量繁殖，

藻体死亡后分解会使水体产生霉味和臭味。许多藻类还会产生毒素，并通过食物链影响人类健康。目前污水处理中除磷的方法主要有 3 大类：化学法除磷，生物法除磷及人工湿地除磷。

### （1）化学法除磷

化学法除磷包括化学沉淀、离子交换、反渗透、电渗析等方法，以化学沉淀法应用最广，其它方法因处理费用太高而难以使用。

化学沉淀除磷的原理是利用磷酸根和某些阳离子（如  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  等）进行化学反应。生成不溶于水的沉淀，通过泥水分离最终达到去除污水中过量磷的目的。其优点是操作简单、除磷效果好、处理效率可达 80%~90%，且效果稳定，磷元素不会重新释放而导致二次污染。当进水磷浓度波动较大时仍有较好的除磷效果。缺点是：用药量大，处理费用高且产生大量污泥。

### （2）生物法除磷

生物法除磷的原理是某些细菌交替的处于厌氧与好氧条件下，在厌氧细菌吸收低分子的有机物并以 $\beta$ -羟基丁酸（PHB）等形式在体内储存起来，同时将细胞原生质中聚合磷酸盐以正磷酸盐的方式释放出来。此时污水中磷的含量升高，BOD 的含量降低。然后在好氧条件下，细菌将吸收的有机物氧化分解，并提供能源。同时从污水中吸收大量的磷，以聚磷酸盐的形式储存起来。其吸收的量大于释放的量，这时污水中的磷含量大大降低，通过排出剩余污泥达到除磷的目的。

传统的生物法可以有效的去除水中的有机物，但除磷效率较低。单纯利用传统生物除磷工艺很难满足出水要求。生物除磷对水质变化较为敏感，它必须保证非常低的悬浮物浓度，而且磷容易重新释放。

### (3) 人工湿地除磷

人工湿地除磷的原理主要是利用湿地的基质、水生植物和微生物的相互作用，通过一系列的物理、化学以及生物作用来净化水质。其中物理作用主要是过滤、沉积作用。污水经入湿地，经过基质层及植物茎叶和根系可以过滤、截留污水中的悬浮物，沉积在基质中。化学作用主要是化学吸附、离子交换、氧化还原反应等。这些化学反应的发生主要取决于所选基质类型。生物作用主要指微生物在好氧、厌氧及兼氧状态下，通过开环、断链分解成简单分子或小分子等作用实现对污染物的降解和去除。

人工湿地除磷技术是一种廉价的有效的污水处理技术。其优点是率高、投资少、耗能低、操作简单、设置灵活、维护和运行费用低廉。对于水环境的生态恢复具有重要的现实意义。

综上所述，考虑到化学法除磷费用高，产生污泥量大。传统生物法除磷效率低，难以满足出水要求，故本项目使用人工湿地。它维护简单，投资少，处理效果好。

#### 6.2.4.2 湿地处理工艺比选

来水主要为城镇污水厂尾水，可生化性。本项目主要目的是解决尾水入河流水质问题，考虑 TN、TP 是造成水体富营养化的主要因子，TN、TP 营养物质大量进入河道内，将可能引起藻类及其他浮游生物大量繁殖，水体溶解氧量下降，以至于造成鱼类等其他生物大量死亡，水生植物因藻类爆发而遮蔽阳光致使光合作用受阻而死亡，进而造成恶性循环。

综上所述，TN、TP 的削减去除是本项目的主要目的，因此，湿地处理工艺确定以 TN、TP 的削减为主。

人工湿地单一处理工艺各有利弊，全部采用某一种湿地处理工艺难以

满足工程各方面的需求，一般采用组合工艺形成生物多样性和环境多样性的生态系统，满足污染物去除，系统稳定，景观优美等多方面的需求。针对上述几种单一人工湿地处理工艺，从其污染物去除能力、生物多样性、景观效果、运行管理、投资占地等多方面角度进行比选，具体如下。

表 6.2-3 四种单一人工湿地处理工艺比较

湿地类型	表流人工湿地	稳定塘	水平潜流人工湿地	垂直潜流人工湿地
硝化能力	一般	一般	差	好
反硝化能力	一般	一般	好	差
除磷能力	一般	一般	较好	较好
藻类去除	好	一般	好	好
生物多样性、景观效果	很好	好	一般	一般
适用水质	低污染	中、高污染	低污染	中、高污染
占地面积	大	大	般	较小
运行管理	简单	简单	相对复杂	相对复杂
冬季处理效果	差	一般	较好	较好
工程建设费用	较低	较低	高	高
工程运行成本	低	低	一般	较高
地形改造程度	低	低	相对较高	相对较高

根据上表得知，表流湿地相对潜流湿地，其负荷低、占地面积大，建设费用低，适用水质为微污染水，但其除磷脱氮效果一般，冬季处理效果较差，生物多样性较高、景观效果较好。潜流湿地具有负荷高、处理效果好、占地面积小等特点，适用水质为低中高浓度污水，其对除磷脱氮效果较好，冬季处理效果较好，但生态性及景观效果较差，且投资成本较高。

稳定塘处理效果基本介于表流湿地和潜流湿地之间。

综上所述，鉴于湿地进水水质为低污染水，污染因子主要 TN、TP，考虑项目所在区域为入河口，生态环境敏感性较高，场地条件相对较好，可利用土地面积条件受限相对较小；远期随着上游河道综合治理、水质逐渐

改善，湿地进水水质将优于现状，湿地功能主要以稳定水质和应急为主，节约工程投资成本等，初步考虑，湿地处理工艺以表流湿地和潜流湿地为主。

当前实际运用较多的组合工艺组合有：前置沉淀生态塘+潜流、前置沉淀生态塘+表流，前置沉淀生态塘+潜流+表流组合等，其中前置沉淀生态塘主要为预处理和后处理措施。设计考虑污染负荷削减，场地条件、投资成本等因素对上述四种工艺组合进行比选，详见下表。

表 6.2-4 四种组合人工湿地处理工艺比较

组合编号	组合（一）	组合（二）	组合（三）	组合（四）
湿地工艺类型	前置沉淀生态塘+潜流组合	前置沉淀生态塘+表流组合	前置沉淀生态塘+潜流+表流组合	前置沉淀生态塘+潜流+表流组合+沉水植物塘
温度的影响	较小	较大	中	中
BOD <sub>5</sub> 去除	一般	好	好	最佳
氨氮去除（硝化）	较好	差	较好	好
总氮去除（反硝化）	中	一般	较好	好
总磷的去除	中	一般	较好	较好
景观效果	一般	较好	好	好
占地面积	较小	较大	中	中
堵塞风险	较高	中	中	中
运维管理	较高	较易	中	中
工程投资	较高	较低	中	中
工程运行成本	较高	较低	一般	一般
适用范围	中低浓度废水	中低浓度废水	中低浓度废水	中低浓度废水

本工程特点主要为保证人工湿地出水水质的稳定达标，特别是 TN 和 TP 的达标；鉴于南方沿海地区冬季天气对湿地处理效果的影响，特别考虑湿地冬季处理效果；河口湿地作为入河道前生态缓冲区的一部分，应重点考虑湿地的生态价值。本项目秉承原则主要为节约工程总投资，降低后期



运维管理成本。综上所述，湿地处理工艺推荐为“前置沉淀生态塘—潜流湿地—表流湿地—沉水植物塘”。

#### 6.2.4.3 湿地预、后处理措施比选

原水中的悬浮物、漂浮物、有机污染物等物质的含量，以及一些污水中含有较多的特定污染物，对污水自然处理工程运行效果影响较大，采用如水解酸化、氧化等预处理工艺，还可以改善原水的可生化性，使其预处理出水水质更利于后续的自然处理。同时湿地在建设初期，湿地内植被演替和生态系统尚未成熟的阶段，湿地更多的是靠自然沉降和物理拦截等措施来发挥效果，特别在湿地建设初期其去污能力则更加明显。同时湿地出水水质要求相对较高，方案设计推荐组合型稳定塘作为湿地预、后处理措施。

因湿地进水主要为城镇污水厂尾水，为低污染水，但可生化性较差，所以在表流湿地前端设置生态塘（水深 4 m），通过塘内的水解酸化作用以提高进水的可生化性，同时生态塘可有效沉淀进水中的 SS，一些污染物也会随着 SS 的沉淀富集在塘底部，同时可降低潜流湿地的堵塞风险。生态塘后设置氧化塘，其主要目的是增加水体中溶解氧含量，通过好氧微生物作用去除水中的有机物及氨氮等。湿地末端设置水生植物塘，以沉水植物为主，沉水植物塘可起到集水作用。通过塘内大量的沉水植物可有效去除水中的污染物，特别是氮磷。当湿地水质改善后，沉水植物塘可起到清水展示作用，将会提高湿地景观效果。

#### 6.2.4.4 湿地进水方案比选

湿地进水目前有两种方案可供选择：

（1）通过改造项目区地形地势，抬升污水厂出水水位，通过新建水闸、

堰坝控制流量流速，依靠重力流进入湿地处理区。

(2) 通过新建提升泵站将污水厂尾水提升至湿地内进行处理区。

针对这两种方案对湿地进水方式进行比选，具体比选如下表：

表 6.2-5 进水方案比选一览表

进水方案	水闸	泵站
优点	(1) 运维相对简单； (2) 运维费用较低。	(1) 利于湿地水头控制； (2) 水量易控制，流量可计量； (3) 不改变原有地形地貌，对行洪无影响； (4) 保持原有河道连通，不影响河道原生态植被景观。
缺点	(1) 建闸造成上游回水，排涝存在问题； (2) 汛期需预降水位，该时段湿地无处理功能； (3) 建闸阻碍与河道纵向连通。影响河道原生态植被景观。	(1) 运维相对复杂； (2) 运维费用较高。

通过综合比选，选择泵站提水的方式作为湿地进水工艺。

#### 6.2.4.5 湿地配水方案比选

##### (1) 比选原则

配水系统按照以下原则进行比选。

- ①遵循协调好技术先进性和经济合理性的关系。
- ②考虑建设投资和运营费用的关系。
- ③兼顾近期与远期的需求。

##### (2) 配水方式比选方案

目前湿地常用的配水方式主要有穿孔管配水、花墙配水、石笼配水、护砌水渠、大水面配水等。这五种常用的配水方式的优缺点对比如下表所示。

表 6.2-6 湿地配水方式优缺点一览表

配水方式	穿孔管配水	花墙配水	石笼配水	护砌水渠配水	大水面配水
概况	采用穿孔管进行大阻力配水	采用花墙进行配水	利用石笼通过渗流形式配水	利用护砌水渠进行配水	利用生态塘进行配水
经济性	采用穿孔管配水需要较高流速，水头损失较大	施工较复杂，造价较高	河水 SS 浓度高，容易堵塞	水头损失小，施工较简单	水头损失小，施工简单，可做沉砂池，节省投资
运维管理	一般	一般	一般	低	低
施工难度	较复杂	复杂	一般	低	低
占地面积	小	较大	较大	较大	不另外占地
综合造价	较高	较高	较高	一般	不新增投资

根据上表综合分析湿地采用护砌水渠配水的方式。

### (3) 提升泵站设置数量比选

本工程沿线配水长度约为 650 m，为使其布水均匀，从泵站设置数量、取水口设置数量的角度，对比基建费用、运行费用、均匀性及是否便于分期和配水等作出以下比选。

表 6.2-7 配水点设置数量必选表

项目	方案一	方案二	方案三
	3 个配水点	2 个配水点	1 个配水点
取水口数量 (个)	3	2	1
泵房数量 (个)	3	2	1
建设费用	较高	一般	一般
运行管理难度	较难	一般	一般
配水均匀性	优	优	良好

根据上述比选，结合项目分期实施等因素，本工程推荐采用 1 个配水点的方式。从水泵设计方案的合理性、设备购置费用、运行费用、运行管理是否方便等方面进行水泵配置。

表 6.2-8 1#、2#泵房提升泵设置表

泵房	1#泵房
水泵配置	一用一备
水泵数量 (个)	1
总流量 (m <sup>3</sup> /d)	30000
每日运行时间 (h)	12
年总运行时间 (h)	4380
单台流 a (m <sup>3</sup> /h)	1250
单台功率 (KW)	37
单台年耗电量: KWH (度)	162060
总年耗电量 KWH (度)	324120

#### 6.2.4.6 各单元预处理效果

湿地设计参数参考《污水自然处理工程技术规程》(CJJ54T-2017)、《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ-2005-2010)、《污水稳定塘设计规范》(CJJ/T54-93)及相关工程经验,综合考虑设计进水水质浓度及出水水质目标进行确定。各处理单元预计处理能力如下。

##### (1) 生态塘

生态塘主要起沉淀和水解酸化的作用,生态塘内布置浮动湿地、围网种植浮叶植物,浮动湿地下方悬挂人工水草,可有效去除无机质并减轻后续处理设施的处理压力。浮动湿地、围网种植及纤维水草各占 20%。生态塘对 COD、氨氮、TP 和 TN 的设计去除率分别为 10%、2%、10%和 5%。

##### (2) 氧化塘

本次工程通过浮动湿地,围网种植漂浮植物以及挺水植物,进一步去除污染物。氧化塘对 COD、氨氮、TP 和 TN 的设计去除率取较低值,分别为 20%、20%、5%和 2%。

### （3）潜流湿地

根据规范，潜流人工湿地 COD 去除效率为 55%~75%，氨氮 40%~70%，TP 70%~80%，TN 35%~65%。考虑本工程水力负荷大于规范要求但潜流湿地内填料以碎石为主，潜流湿地对 COD、氨氮、TP 和 TN 的设计去除率分别为 55%、25%、40%和 40%。

### （4）多级表流湿地

根据规范，表流湿地 COD 去除效率为 50%~60%，氨氮 20%~50%，TP 35%~70%，TN 20%~45%。综合考虑地形条件及生态功能分区，水力负荷大于规范要求的  $0.1\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，停留时间达不到 4~8 天的要求，因而表流湿地的对 COD、氨氮、TP 和 TN 的设计去除率分别为 20%、10%、20%和 20%。

### （5）沉水植物塘

主要依靠水生植物及植物根茎叶上的微生物对污染物进行降解。本次沉水植物塘对 COD、氨氮、TP 和 TN 的设计去除率分别为 10%、5%、5%和 5%。

## 6.3 工程设计方案

### 6.3.1 人工湿地工艺参数

#### 6.3.1.1 设计进水水质

本项目设计的人工湿地进水为城区污水处理厂尾水。城区污水处理厂目前出水执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的 V 类标准，根据污水厂长期出水指标监测确定本项目进水的主要水质指标。

表 6.3-1 城区污水厂出水指标

	污水厂日均处理水量（万 m³）	城区污水厂出水浓度（mg/L）						进水 BOD <sub>5</sub>		出水 BOD <sub>5</sub>	
		COD <sub>Cr</sub>		氨氮		总磷					
日期		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
2021.1	8.97	22.00	6.00	0.20	0.02	0.31	0.24	133.00	62.00	5.80	2.40
2021.2	9.12	20.00	6.00	0.31	0.02	0.34	0.24	145.00	65.00	4.80	2.10
2021.3	8.36	13.00	7.00	0.11	0.02	0.31	0.23	160.00	60.00	8.90	2.70
2021.4	7.04	13.00	4.00	0.32	0.03	0.32	0.15	90.00	69.00	6.20	1.80
2021.5	7.82	14.00	7.00	0.17	0.02	0.34	0.14	98.00	60.00	5.40	1.80
2021.6	11.85	13.00	6.00	0.20	0.02	0.27	0.10	71.00	40.00	4.80	1.90
2021.7	12.94	13.00	6.00	0.34	0.04	0.29	0.15	85.00	47.00	6.70	2.20
2021.8	13.99	16.00	6.00	0.20	0.03	0.25	0.16	87.00	33.00	6.40	2.20
2021.9	11.61	17.00	9.00	0.22	0.02	0.23	0.12	89.00	48.00	5.30	2.80
2021.10	12.11	14.00	8.00	0.41	0.03	0.25	0.12	73.00	26.00	7.00	3.10
2021.11	10.99	21.00	9.00	0.51	0.03	0.28	0.08	105.00	51.00	6.40	3.30
2021.12	11.93	24.00	9.00	0.38	0.03	0.32	0.12	100.00	48.00	7.40	3.20
2022.1	11.63	16.00	6.00	0.16	0.03	0.26	0.13	83.00	61.00	6.10	2.50
2022.2	11.78	16.00	9.00	0.29	0.03	0.31	0.11	76.00	16.00	3.70	1.70
2022.3	12.08	16.00	8.00	0.24	0.02	0.28	0.10	76.00	33.00	4.30	1.90
2022.4	12.20	16.00	10.00	0.87	0.02	0.30	0.15	79.00	42.00	4.30	2.40

由上表统计可得，取 2021 年至 2022 年上半年出水各项指标的最大值加权平均值，经过计算，确定进水水质如下表。

表 6.3-2 设计进水主要水质指标（单位 mg/L）

项目	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	氨氮	总磷
设计进水水质	16.5	5.8	0.3	0.3

经过分析，城区污水处理厂出水 COD<sub>Cr</sub> 满足《地表水环境质量标准》Ⅲ类至Ⅱ类水质指标要求，BOD<sub>5</sub> 满足Ⅳ类至Ⅲ类水质指标要求，氨氮满足Ⅲ类至Ⅱ类水质指标要求，总磷满足Ⅳ类水质指标要求。

#### 6.3.1.2 设计出水水质

设计出水水质满足《地表水环境质量标准》准Ⅲ类标准限值。

#### 6.3.1.3 总体设计参数

##### （1）水力负荷

$$q_{hs} = \frac{Q}{A}$$

式中：

$q_{hs}$ ——表面水力负荷，m<sup>3</sup>/（m<sup>2</sup>·d）；

$Q$ ——湿地设计水量，m<sup>3</sup>/d；

$A$ ——湿地面积，m<sup>2</sup>；

##### （2）水力停留时间

$$t = \frac{V \times \varepsilon}{Q}$$

式中：

$t$ ——水力停留时间，d；

$V$ ——湿地基质在自然状态下的体积，包括基质实体及其开口、闭口空隙，m<sup>3</sup>；

$\varepsilon$ ——孔隙率，%；

$Q$ ——湿地设计水量， $\text{m}^3/\text{d}$ ；

表 6.3-3 潜流湿地设计参数规范值

设计参数	二级处理	深度处理
COD 表面负荷 $\text{NCOD}$	$\leq 16 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	$\leq 16 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
TN 表面负荷 $\text{NTN}$	$2.5\text{-}8 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	$2.5\text{-}8 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 表面负荷 $\text{NNH}$	$2\text{-}5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	$2\text{-}5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
TP 表面负荷 $\text{NTP}$	$0.3\text{-}0.5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	$0.3\text{-}0.5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
水力负荷 $\text{Nq}$	$\leq 40 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	$\leq 200\text{L}\text{-}500\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
停留时间 $T$	$\geq 3 \text{ d}$	$\geq 0.5 \text{ d}$
池底坡度 $i$	$\geq 0.5\%$	$\geq 0.5\%$
填料深度 $h$	700-1000 mm	700-1000 mm

本项目湿地面积约  $60000 \text{ m}^2$ ，水力负荷取最大值，孔隙率水平潜流人工湿地取 0.4，填料高度平均取 1.5 m，经计算，人工湿地最大进水量  $30000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，水力停留时间为 1.84 d。

水平潜流湿地参数核算结果如下：

设计水量： $30000 \text{ m}^3/\text{d}$ ；

设计水力负荷： $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

平均水力停留时间：1.84 d

占地面积： $60000 \text{ m}^2$

湿地填料平均深度：1.5 m

## 6.3.2 总体方案设计

### 6.3.2.1 工程总布置

拟建人工湿地水质净化工程总面积  $60000 \text{ m}^2$ ，其中有效净化面积占 85%，共计  $51075 \text{ m}^2$ ，共计 4 各单元分区，从西到东分别为一、二、三、



四区，面积分别为 8440 m<sup>2</sup>、20418 m<sup>2</sup>、11890 m<sup>2</sup>、10327 m<sup>2</sup>，区与区之间通过 3 m（2 m 碎石、1 m 绿化）道路进行分隔。每个单元分区包含若干工艺单元，单元与单元之间通过 2 m（2 m 碎石、无绿化）道路进行分隔。工艺单元主要为“生态水质净化塘+生态恢复湿地”两大区块，功能以水质净化为主。其中“生态水质净化塘”分为“生态塘+氧化塘+潜流湿地”，“生态恢复湿地”分为“多级表流湿地+沉水植物塘”。其中一、二区分别有 1 个生态塘、1 个氧化塘与 4 个潜流湿地，三、四区分别有 4 个表流湿地与 2 个沉水植物塘。

功能分区详见下图。

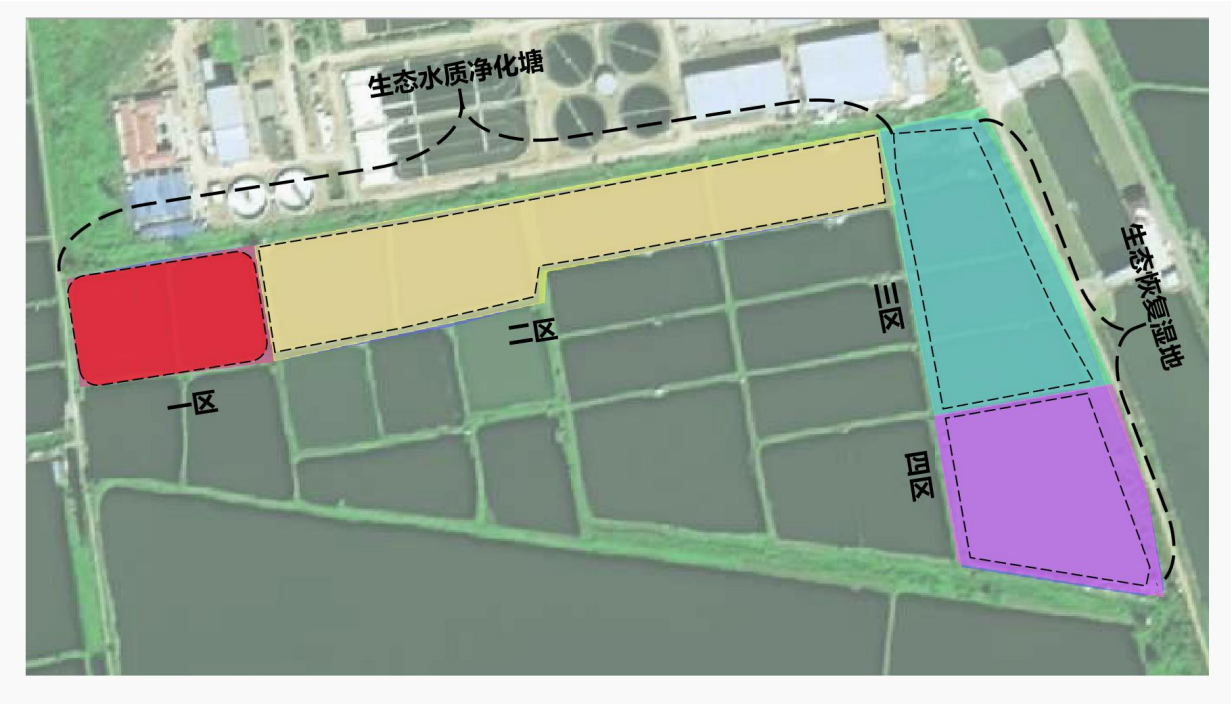


图 6.3-1 湿地功能分区区划图

表 6.3-4 人工湿地分区单元表

分区	湿地单元	面积 (m <sup>2</sup> )	工艺技术特征	主要净化机理
生态水质	生态塘	4360	水深一般在 2.5 m 以上，塘呈厌氧状态	通过厌氧微生物来净化污染物，厌氧微生物在其中进行水解、产酸以及甲烷发酵等厌氧反应全过程

分区	湿地单元	面积(m <sup>2</sup> )	工艺技术特征	主要净化机理
净化塘	氧化塘	4080	塘水的主体处于有氧状态，一般深度比较浅，一般由表面曝气机供养，并对塘水进行搅动强化水质	与活性污泥法中的曝气池类似，在曝气条件下，塘中污水的有机污染物进行降解和转化
	水平潜流湿地I	5022	由一个或多个填料床组成，床体填充基质，床底设有防渗层，防止污染地下水	水平潜流湿地通过构建滤床为微生物提供巨大的生存空间，更加强化了微生物的净化作用
	水平潜流湿地II	5603	由一个或多个填料床组成，床体填充基质，床底设有防渗层，防止污染地下水	水平潜流湿地通过构建滤床为微生物提供巨大的生存空间，更加强化了微生物的净化作用
	水平潜流湿地III	4716	由一个或多个填料床组成，床体填充基质，床底设有防渗层，防止污染地下水	水平潜流湿地通过构建滤床为微生物提供巨大的生存空间，更加强化了微生物的净化作用
	水平潜流湿地IV	5077	由一个或多个填料床组成，床体填充基质，床底设有防渗层，防止污染地下水	水平潜流湿地通过构建滤床为微生物提供巨大的生存空间，更加强化了微生物的净化作用
生态恢复湿地	多级表流湿地I	2673	水面位于湿地基质以上，其水深一般为 0.3~0.5 m。污水从进口以一定深度缓慢流过湿地表面，微生物通常生存在底泥的表面及挺水植物的根、茎表面	湿地中同时存在好氧及缺氧微生物群落，该类型湿地同时具有硝化反硝化的能力
	多级表流湿地II	2853	水面位于湿地基质以上，其水深一般为 0.3~0.5 m。污水从进口以一定深度缓慢流过湿地表面，微生物通常生存在底泥的表面及挺水植物的根、茎表面	湿地中同时存在好氧及缺氧微生物群落，该类型湿地同时具有硝化反硝化的能力
	多级表流湿地III	2759	水面位于湿地基质以上，其水深一般为 0.3~0.5 m。污水从进口以一定深度缓慢流过湿地表面，微生物通常生存在底泥的表面及挺水植物的根、茎表面	湿地中同时存在好氧及缺氧微生物群落，该类型湿地同时具有硝化反硝化的能力
	多级表流湿地IV	3605	水面位于湿地基质以上，其水深一般为 0.3~0.5 m。污水从进口以一定深度缓慢流过湿地表面，微生物通常生存在底泥的表面及挺水植物的根、茎表面	湿地中同时存在好氧及缺氧微生物群落，该类型湿地同时具有硝化反硝化的能力
	沉水植物塘I	4090	通过多种类植物搭配、增加水生植物数量和在塘中养鱼等强化措施，来构建丰富多样化的生态系统	生态系统不仅有菌类、藻类和水生植物，而且有浮游动物、鱼、水禽等多种生物，组成了多条食物链共存的生态系统，在强化处理效果的同时，还可使塘内新增污泥量得到部分平衡，同时增强

分 区	湿地 单元	面积 (m <sup>2</sup> )	工艺技术特征	主要净化机理
				了承受冲积负荷的能力
	沉水 植物 塘II	6237	通过多种类植物搭配、增加水生植物数量和 在塘中养鱼等强化措施，来构建丰富多样化的生态系统	生态系统不仅有菌类、藻类和水生植物，而且有浮游动物、鱼、水禽等多种生物，组成了多条食物链共存的生态系统，在强化处理效果的同时，还可使塘内新增污泥量得到部分平衡，同时增强了承受冲积负荷的能力

### 6.3.2.2 水质净化工程

#### (1) 建设规模与建设内容

本工程拟建人工湿地水质净化工程总面积 60000 m<sup>2</sup>，其中有效净化面积占 85%，有效净化面积为 51075 m<sup>2</sup>，生态塘、氧化塘、潜流湿地、表流湿地、沉水植物塘面积分别为 4360 m<sup>2</sup>、4080 m<sup>2</sup>、20418 m<sup>2</sup>、11890 m<sup>2</sup>、10327 m<sup>2</sup>。工程内容包括取水泵站、湿地配水主管、湿地土建工程、湿地植物等。

#### (2) 工艺设计

##### ① 工艺流程

根据湿地设计进出水水质及现状场地条件，湿地工艺为“前置沉淀生态塘+潜流湿地+多级表流湿地+沉水植物塘”。通过取水泵进行多点进水，每台水泵分别控制一个配水分区，由生态塘进入，依次经过各个处理单元，具体工艺流程如下：

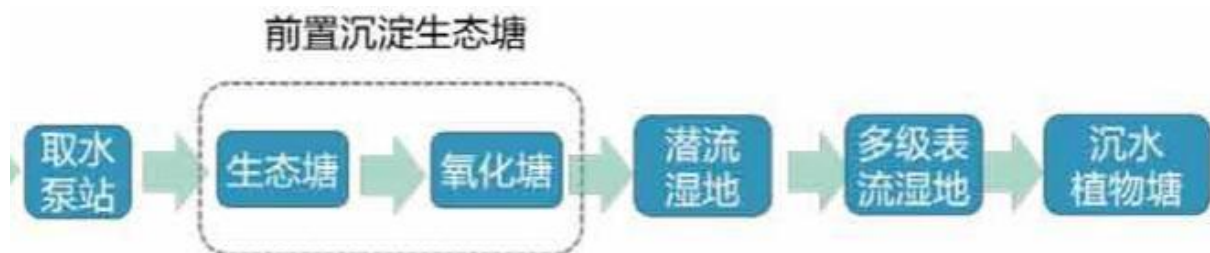


图 6.3-2 工艺流程图

## ②平面设计

人工湿地平面设计需根据湿地设计工艺，同时结合现状场地条件进行布置。由于项目建设场地为狭长状，考虑到配水均匀性及水流水力损失，湿地内部分多个处理区域。湿地现状地形总体呈西高东低，湿地处理分区设计充分利用现状地形条件进行划分，且设计高程随现状高程变化。各处理单元充分利用区域内现有道路、田坡、沟渠进行设计，且每个处理单元间以道路相隔，形成四通发达的交通网络，方便后期湿地运维管理。表流湿地、沉水植物塘外侧与湿地外部河道通过 3 m 的围堤进行分隔。湿地出水考虑利用现状排水沟渠，如有必要新开挖沟渠，依靠重力出水直排至沟渠，进而汇入至护城河内。

本工程湿地有效净化面积 51075 m<sup>2</sup>，分为生态塘（共计 4360 m<sup>2</sup>）、氧化塘（共计 4080 m<sup>2</sup>）、潜流湿地（共计 20418 m<sup>2</sup>）、表流湿地（共计 11890 m<sup>2</sup>）、沉水植物塘（共计 10327 m<sup>2</sup>）几个区域，具体布置如下图。

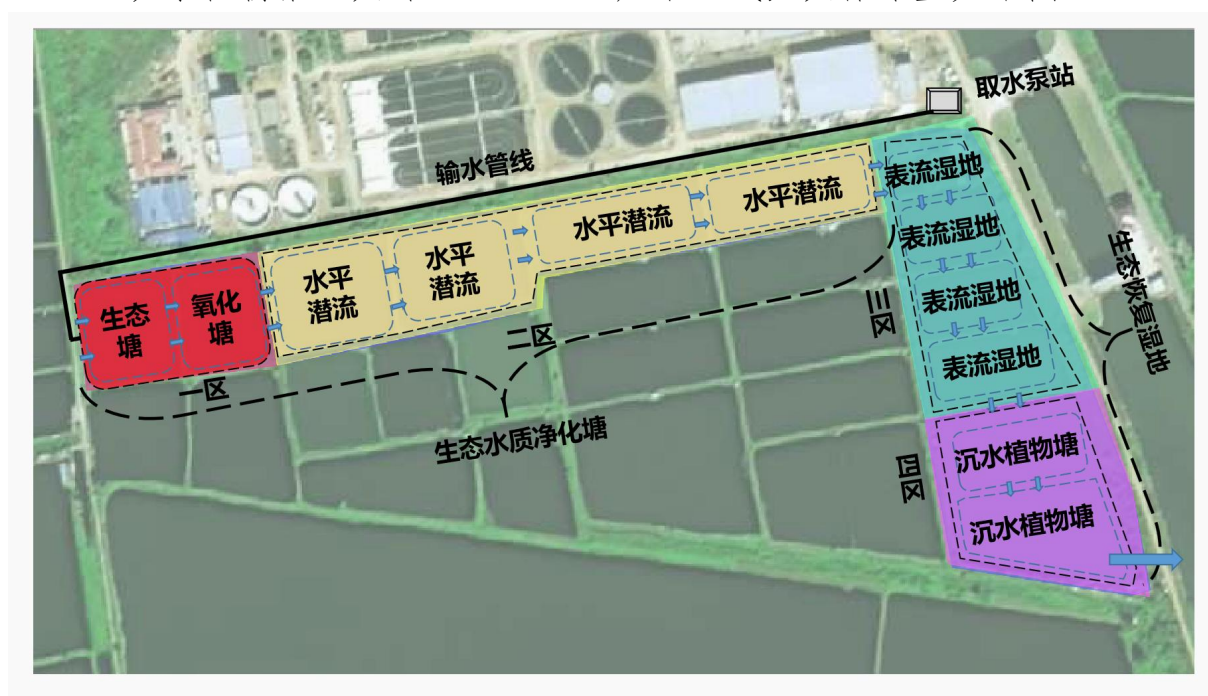


图 6.3-3 湿地平面设计图

③工艺单元设计

本湿地处理工艺为“前置沉淀生态塘+潜流湿地+多级表流湿地+沉水植物塘”，前置沉淀生态塘由生态塘和氧化塘组成，表流湿地为四级系统，总停留时间 1.84 d。各工艺单元设计如下：

A. 拦污栅

为拦截水流携带的水草、漂木等漂浮物，保证水泵运行安全，设置拦污栅。拦污栅的栅面尺寸，取决于过栅流量和允许过栅流速。为减少水头损失和便于清污，过栅流速不大于 1.0 m/s，污物清理可用清污机清理。

B. 取水泵房

湿地设计进水水量 30000 m<sup>3</sup>/d，通过水泵提升至生态塘，生态塘水深 4 m，配水管长约 550 m，根据水力计算，水泵扬程约为 5.0 m。水泵为轴流泵，采用井筒式安装，安装在吸水井中。

C. 生态塘

在污水处理中，复杂有机物的厌氧消化过程要经历数个阶段，由不同的细菌群接替完成。根据复杂有机物在此过程中的物态及物性变化，依次经历以下三个阶段：水解、酸化、甲烷化，详见下图。

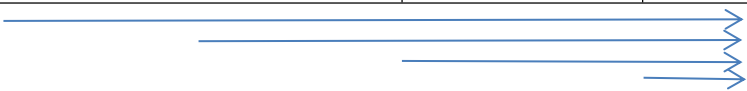


生化阶段		I	II		III
物态变化		液化(水解)	酸化 (1)	酸化 (2)	气化
生化过程		大分子不溶态有机物转化为小分子溶解态有机物	小分子溶解态有机物转化为(H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> )及 A、B 两类产物	B 类产物转化为 (H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> )及乙酸等	CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub> 等
菌群		发酵细菌		产氢产乙酸细菌	甲烷细菌
发酵工艺	甲烷发酵				
	酸发酵				



图 6.3-4 厌氧消化阶段图

本工程方案水解酸化塘通过控制水力停留时间的方式来将有机物厌氧消化反应控制在前两个阶段(水解酸化阶段),且进水为微污染河水,综上所述通过设计优化可将负面影响尽可能降低。

本单元生态塘起沉淀、水解和配水三个作用。生态塘承接管道进水,均匀配水至每个小单元的氧化塘,为使进水及生态塘内污泥进行充分接触,并保持良好的厌氧环境,同时使进水口进入厌氧污泥层中,生态塘的进水口设置在高于塘底 0.6-1.0 m 处。生态塘水深为 4.0 m,可有效沉淀河道进水中的悬浮物及降低河水中的含砂量;4 m 水深使底层水体呈现的厌氧状态,可减轻后续处理单元 COD 和氨氮等污染负荷。为方便后期塘内清淤,该功能区块不种植沉水植物,以围网种植漂浮植物植物及浮动湿地及填料为主。通过浮动湿地及填料可增加塘内生物量,提高去除水中有机物的能力;通过漂浮植物吸收、吸附等作用,提高处理能力,达到强化的目的。

设计水面面积: 4360 m<sup>2</sup>

有效水深: 4.0 m (预留 1.0 m 沉泥区)

超高: 0.5 m

有效池容: 17440 m<sup>3</sup>

停留时间: 0.58 d

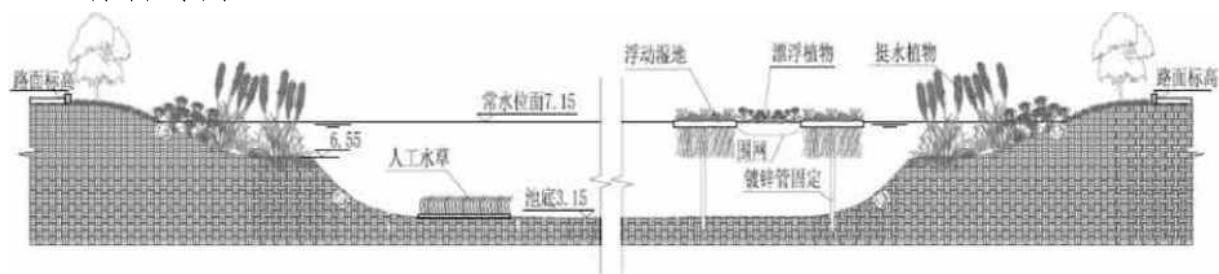


图 6.3-5 生态塘典型断面示意图

#### D.氧化塘

氧化塘内布置浮动湿地、围网种植漂浮植物，共占 20%，沉水植物种植面积占 20%。塘内设置曝气设备，利用曝气设备增氧及改善水动力条件，通过改善水动力，促进上下层水体的混合，使水体保持好氧状态，以提高水中的溶解氧含量，加速水体复氧过程，增强水体中好氧微生物的活力，为好氧微生物提供生存空间，通过微生物的好氧反应，实现河水中氨氮、BOD 等有机物的去除。

设计水面面积：4080 m<sup>2</sup>

有效水深：1.5 m

超高：0.5 m

有效池容：6120 m<sup>3</sup>

停留时间：0.2 d

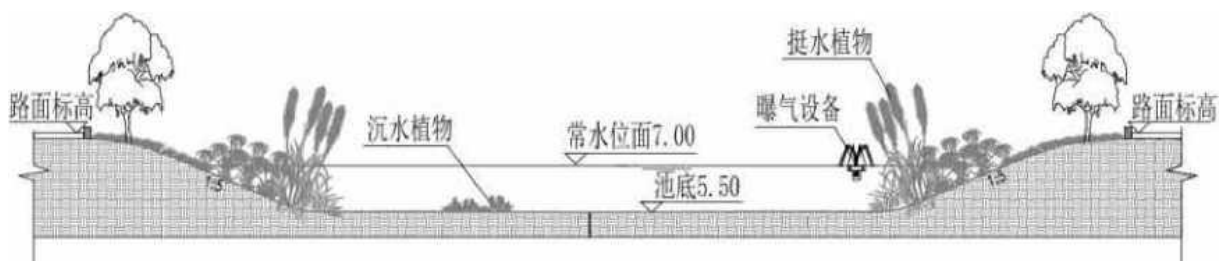


图 6.3-6 氧化塘典型断面示意图



图 6.3-7 浮动湿地

## E.潜流湿地

潜流湿地为湿地水质净化的核心区，污染负荷较高，处理效果较好，其主要利用附着在填料上的生物膜，通过系统内物理的、化学的和生物的协同作用对污染物进行过滤、吸附、降解等。有机质通过生物降解、矿化与植物吸收而得以去除。此外潜流湿地中，植物根系具有较强的输氧作用，可使根系周围的微环境中保持较高的溶解氧，并依次形成好氧、缺氧及厌氧环境，保证了水中氮、磷既能被植物及微生物作用营养成分吸收，还可以通过硝化及反硝化作用及微生物对磷的过量积累作用从水中去除，其也是湿地除磷脱氮的重要处理功能单元。

根据《污水自然处理工程技术规程》(CJJ-T54-2017)，潜流人工湿地填料设计深度为 0.6-1.2 m，考虑项目区域冬季冻土厚度约 0.45 m，潜流湿地填料设计深度为 1.5 m，可有效提高湿地冬季处理效果。同时防止顶部出现短流现象，在出水口处顶部设置 0.25 m 的挡板，潜流填料有效深度为 1.25 m。人工湿地填料一般可采用石灰石、火山岩、沸石等材料加工制作，考虑经济成本及堵塞问题。对潜流湿地内填料进行优化组合，填料以碎石为主，在碎石的基础上掺混钢渣，通过碎石和钢渣对磷的吸附，达到同时脱氮除磷的目的。

根据《污水自然处理工程技术规程》(CJJ-T4-2017)要求设置潜流湿地填料自上而下依次为覆盖层 300 mm 厚粒径 5~8 mm 碎石，过渡层为 300 mm 厚粒径 8~16 mm 碎石，吸磷层为 600 mm 厚粒径 10~20 mm 碎石和钢渣混合料，排水层为 300 mm 厚粒径 16~32 mm 碎石。覆盖层上种植挺水植物，可通过植物的吸收、降解去除污染物，同时可提高湿地内部景观效果。

总面积：20418 m<sup>2</sup>

有效水深：1.25 m



有效池容：25522 m<sup>3</sup>

孔隙率：40%

水力停留时间：0.34 d

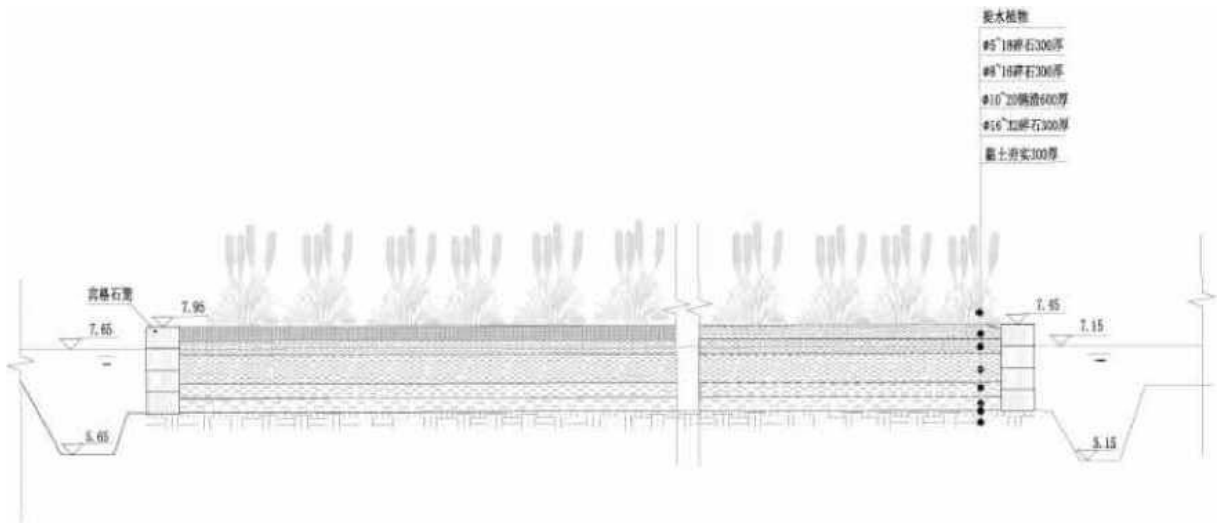


图 6.3-8 潜流湿地典型断面示意图

#### F.多级表流湿地

表流湿地为湿地水质深度净化区。参考《污水自然处理工程技术规程》(CJJ54T-2017)、《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ-2005-2010)，表流湿地水力坡降约 1‰，平均水深 0.5 m，河水缓慢流经湿地表面，湿地表层水面及水生植物根部为好氧区，其余区域通常为厌氧区，通过硝化及反硝化作用去除污水中的氨氮和总氮。除此之外，植物的吸收与微生物同化作用可去除水中的氮磷及有机物。表流湿地末端设置调节堰门，可方便调节湿地内部水位，可满足不同季节水生植物水深需求。通过湿地调节首端及末端闸门，可来提升各单元湿地内水体流速，改善湿地内部水动力条件，构建不利于藻类生长的水环境，从而可抑制夏季高温条件下藻类的爆发。当前湿地各处理单元表流湿地面积较大，可能出现短路的现象，为避免短路和滞留等现象的发生，方案设计将表流湿地分为四级表流湿地，每级表

流湿地宽约为 60 m，同时采用多级交互式配水方式，保证配水流畅均匀，以充分发挥表流湿地对污染物的去除效果。表流湿地基质为原状表层土，水生植物以芦苇为主，多种挺水植物搭配，水生植物种植面积比例为 60%。

设计水面面积：11890 m<sup>2</sup>

平均水深：0.5 m

有效池容：5945 m<sup>3</sup>

停留时间：0.2 d

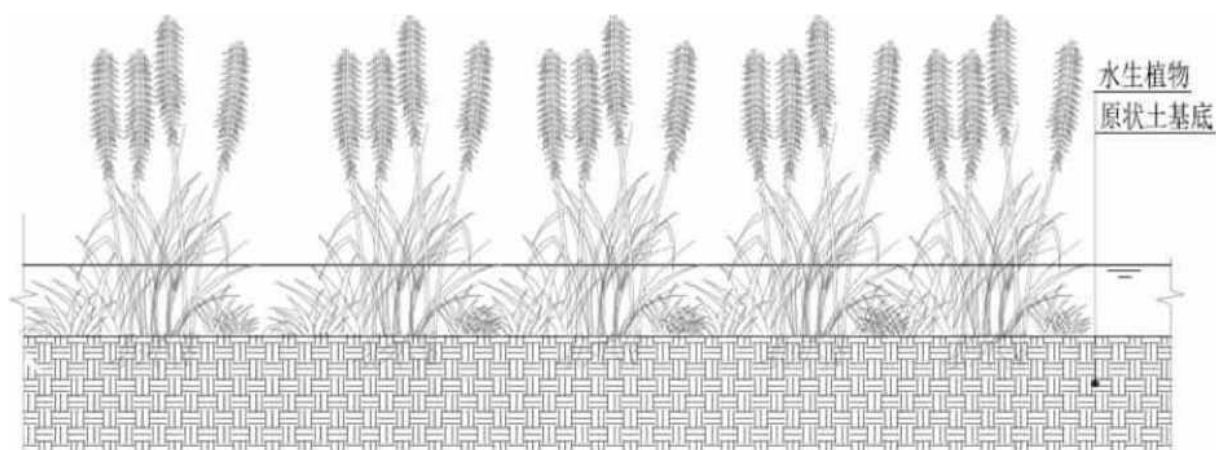


图 6.3-9 多级表流湿地典型断面示意图

#### G. 沉水植物塘

多级表流湿地通过调节堰门及管道出水自流进入沉水植物塘，本工艺单元主要起到水质提升及清水展示的作用，塘内以沉水植物为主，挺水植物、浮水植物多种搭配，既可以提高生物多样性还可起到抑制藻类爆发的作用。同时，塘内设置一定数量的生态岛（约占 10%），为鸟类及水生动物提供栖息地，提高湿地动植物多样性。

总面积：10327 m<sup>2</sup>

有效水深：1.5 m

有效池容：15490 m<sup>3</sup>

停留时间：0.52 d

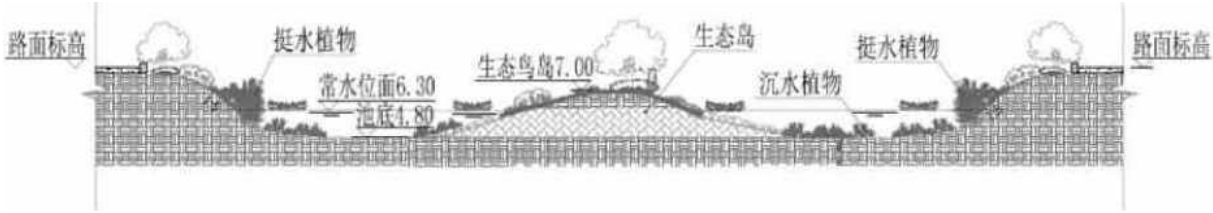


图 6.3-10 沉水植物塘典型断面示意图

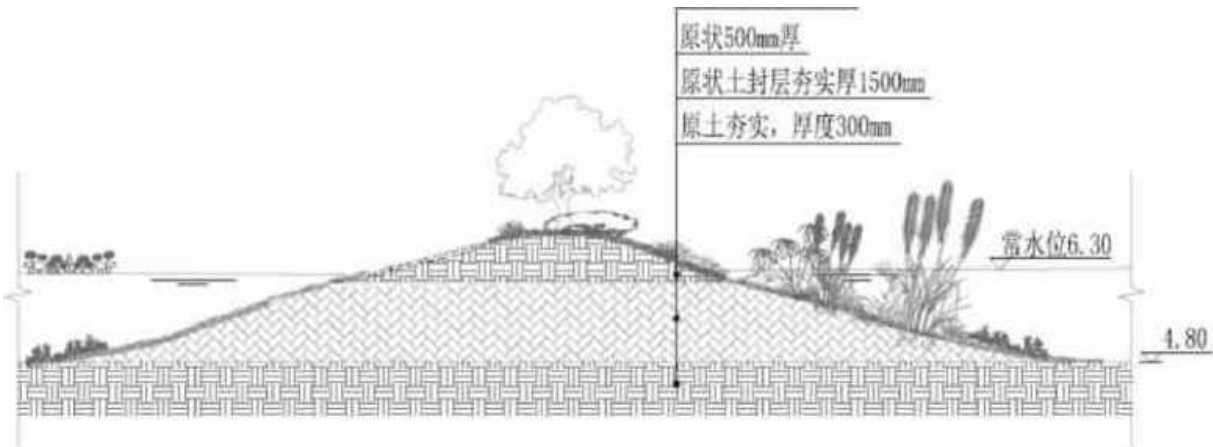


图 6.3-11 生态岛典型断面本意图

### H.生态渗滤堰

生态渗滤堰设置在沉水植物塘末端，总底宽约 130 m，顶宽 3 m，高度 2 m，其是由不同砾石颗粒级配组成，顺着水流方向粒径逐渐变大( $\phi 16\sim 300$  mm)，可有效过滤藻类。

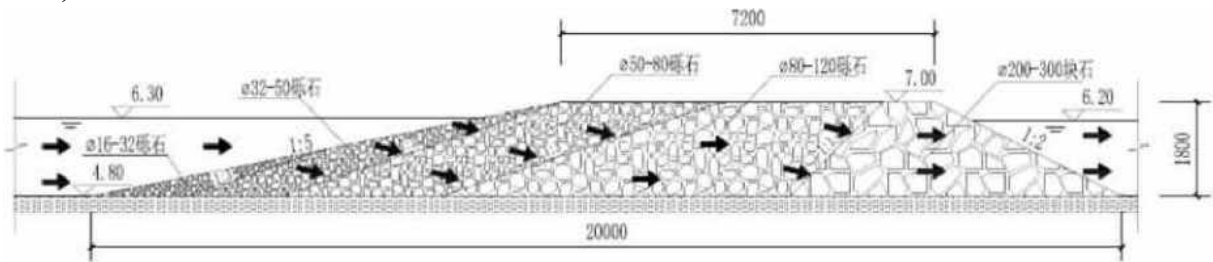


图 6.3-12 生态渗滤堰典型断面图

### I.工艺单元生态设计

湿地各工艺单元设计均采取生态设计的方式，使灰色工艺建（构）筑

物与绿色生态融合，在强化湿地水质净化功能的核心基础上，重建以苇田、荷塘与沼泽为主的湿地生态系统；远期恢复河口湿地功能，将湿地融入练江生态服务功能区，保障河口区的生态完整性和物种多样性，实现练江大水面的生态展望。湿地工艺单元生态设计意向图如下。



图 6.3-13 生态塘设计意向图



图 6.3-14 氧化塘设计意向图



图 6.3-15 潜流湿地设计意向图



图 6.3-16 沉水植物塘设计意向图

#### ④水质可达性分析

根据工程的设计任务和目标，当进水水质达到地表水Ⅳ类标准时，TP去除率 $\geq 30\%$ ；当进水水质劣于Ⅳ类标准时，TP、COD去除率 $\geq 30\%$ ，TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率 $\geq 20\%$ 。

按照两种水质工况进行水质目标可达性分析，各工况下的去除率按冬季极端不利条件下运行进行计算。工况一是进水水质达到地表水Ⅳ类标准，工况二是进水水质达到地表水Ⅴ类标准。

##### A. 工况一：湿地进水水质达到地表水Ⅳ类标准

考虑不利情况（冬季运行），当进水水质达到地表水Ⅳ类标准时，出水中COD去除率为43.48%， $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率为25.19%，TN去除率为29.23%，TP去除率为36.75%。因此，TP去除率满足 $\geq 30\%$ 的水质目标要求。

表 6.3-5 地表水 IV 类进水水质冬季各单元污染物去除率分析表

项目		COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
IV 类水进水水质 (mg/L)		30	1.5	1.5	0.3
生态塘	去除率 (%)	5	2	2.5	5
	出水水质 (mg/L)	28.50	1.47	1.46	0.29
氧化塘	去除率 (%)	10	6	1	2.5
	出水水质 (mg/L)	25.65	1.38	1.45	0.28
潜流湿地	去除率 (%)	27.5	15	20	20
	出水水质 (mg/L)	18.60	1.17	1.16	0.22
表流湿地	去除率 (%)	6	3	6	12
	出水水质 (mg/L)	17.48	1.14	1.09	0.20
沉水植物塘	去除率 (%)	3	1.5	2.5	3
	出水水质 (mg/L)	16.96	1.12	1.06	0.19
总去除率 (%)		43.48	25.19	29.23	36.75

## B. 工况二：湿地进水水质达到地表水 V 类标准

当进水水质达到地表水 V 类标准时，考虑不利情况（冬季运行），出水中 COD 浓度为 22.61 mg/L, NH<sub>3</sub>-N 浓度为 1.5 mg/L, TP 浓度为 0.25 mg/L, 满足地表水 IV 类考核标准的水质目标要求。

表 6.3-6 地表水 V 类进水水质冬季各单元污染物去除率分析表

项目		COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
V 类水进水水质 (mg/L)		40	2	2.5	0.4
生态塘	去除率 (%)	5	2	2.5	5
	出水水质 (mg/L)	38.00	1.96	2.44	0.38
氧化塘	去除率 (%)	10	6	1	2.5
	出水水质 (mg/L)	34.20	1.84	2.41	0.37
潜流湿地	去除率 (%)	27.5	15	20	20
	出水水质 (mg/L)	24.80	1.57	1.93	0.30
表流湿地	去除率 (%)	6	3	6	12



项目		COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
沉水植物塘	出水水质 (mg/L)	23.31	1.52	1.81	0.26
	去除率 (%)	3	1.5	2.5	3
	出水水质 (mg/L)	22.61	1.50	1.77	0.25
地表水 IV 类标准 (mg/L)		30	1.5	1.5	0.3

### (3) 配水系统设计

由于本湿地潜流湿地和表流湿地面积较大，直接通过水渠配水可能出现短流、配水不均等现象，影响湿地污染物去除效果，为保障湿地均匀配水，减少短流现象的发生，专门对湿地配水系统进行设计。

泵站提水通过管道从底端配水至生态塘，每个生态塘出水溢流至氧化塘，氧化塘与氧化塘部分通过涵管进行连通，氧化塘出水通过调节堰门控制流量。

潜流湿地区，宽度约为 70 m，设计采用多涵管多级配水、多级集水相互交互的配水方式。

表流湿地区，各级湿地之间通过涵管配水，每级湿地采用多涵管多级配水、多级集水相互交互的配水方式，同时增加配水渠深度，确保冬季水流通畅。

表流湿地经调节堰门出水至沉水植物塘，调节堰门可根据不同植物生长季节水深需求调节湿地内部水位。

每个处理单元一侧增加应急排水通道，作为表流湿地维护或大修期间排水通道，排水通道宽 5 m，深 3 m，排水通道坡度比 1: 3。

### (4) 防渗设计

为防止污染扩散，保障湿地的运行水位，湿地建设应根据需要，采取

一定的防渗措施。防渗材料分为人工合成材料和生态防渗材料。防渗材料的选择和防渗工程设计还应考虑地下水水位在长期作用下，对防渗系统的影响和破坏的可能性。

### ①防渗要求

为保障湿地的运行水位和防止污染地下水，湿地建设需采取防渗措施，湿地防渗要求如下：

A.人工湿地应在底部和侧面进行防渗处理，底部不得低于最高地下水位，防渗层的渗透系数应不大于  $10^{-8} \text{ m/s}$ ，对于渗透系数小于  $10^{-8} \text{ m/s}$  且厚度大于  $60 \text{ cm}$  的土壤，可直接作为湿地防渗层，不需采取其他措施进行防渗处理。

B.当原有土层渗透系数大于  $10^{-8} \text{ m/s}$  时，应构建防渗层，敷设或者加入一些防渗材料以降低原有土层的渗透性。

C.从环境安全的角度考虑，可以在施工时尽量保持原土层，在原土层上采取防渗措施，防渗材料可以根据当地的实际情况选取。当防渗要求较低，且条件许可时，可选用天然黏土或改良土夯实；当防渗要求较高时（靠近村庄、管道等），可选用塑料薄膜，如聚乙烯膜、聚合物水泥等建筑防水材料、水泥或合成材料隔板、黏土。

### ②防渗类型

由于本工程遵循生态优先的原则，整体工艺流程均采用绿色生态化处理设施，为与周边生态环境进行充分地物质及能量交换，拟采取如下措施：

#### A.生态塘

针对工艺前端生态塘，由于水深较深（约  $4 \text{ m}$ ），为保持较好水体厌氧效果及水面保持率，需在生态塘底端及侧面采取防渗措施。由于该构筑物



无填料设置，因此不存在填料堵塞的问题，故其防渗无需铺设土工布，其形式仅选择为原土夯实。

#### B.氧化塘、多级表流湿地及沉水植物塘

针对氧化塘、多级表流湿地及沉水植物塘水深较浅，湿地动植物多样性较多，需与周边环境充分融合，因此采取原土夯实+表土覆盖的防渗措施。

#### C.潜流湿地

为保障潜流湿地挡土墙稳定性，采用原土夯实的防渗措施。

### (5) 湿地滤料选择

滤料是人工湿地的基质与载体，它支撑着人工湿地动植物与微生物的生命过程，滤料对污染物的成功截留为后续植物吸收创造良好条件，是出水水质的重要保证。人工湿地滤料对污染物的去除过程包括物理过滤，离子交换、专性与非专性吸附、螯合作用和沉降反应等。人工湿地的床位有多种类型，不同的床体结构，形成不同的渗流能力和净化机理，对湿地的净化处理效果有明显的影响。选择滤料应根据对磷吸附效率、水力传导性、材料易得性和价格等因素综合考虑。

人工湿地中的滤料一般由土壤、砂石、砾石、沸石、石灰石、页岩、塑料、陶粒、火山岩、粉煤灰等介质的一种或几种所构成。因此，多种材料包括土壤、砂子、矿物、有机物料以及工业副产品如炉渣、钢渣和粉煤灰等都可作为人工湿地基质。这其中最常使用的是砂石，此外还有陶粒、火山岩、沸石、矿渣、钢渣等。

人工湿地主滤层填料基质的选择一般满足以下几个条件：

有足够的机械强度，这是因为填料基质要长期经受污水的冲刷；比表面积大，孔隙率高，孔径大，对 N、P 的有很好吸收、富集作用以及有利于

微生物的固定和挂膜；渗透性能好，水头损失小，不易产生堵塞问题；本身必须对固定微生物无害、无抑制作用，有利于微生物附着和植物生长，增强污水处理效果；在生物、化学、热力学稳定性方面，填料应具有惰性，能抵抗生物对填料的腐蚀，对生化反应表现出惰性，对周围温度变化表现出惰性，不能产生二次污染；选取人工湿地填料基质时应尽量就地取材，同时满足货源充足，价廉易得等条件，降低湿地造价。

常见几种湿地滤料基本情况如下：

#### ①砂石

砂石是最常见的一种湿地滤料，主要成分为二氧化硅，是采用天然石英矿石，经破碎、水洗、筛选、烘干、二次筛选而成的一种水处理滤料；石英砂滤料具有：硬度大，抗腐蚀性好，密度大，机械强度高，截污能力强，使用周期长的特点。砂石也是大自然净化水质的天然滤料，就像水经过砂石渗透到地下一样，可将水中的那些悬浮物阻拦下来，同时还可作为微生物的载体。砂石资源丰富，易就地取材，被广泛应用于人工湿地中。



图 6.3-17 砂石滤料

## ②陶粒

陶粒滤料采用优质陶土，黏土，粘溶剂等经团磨、筛分、锻烧加工而成。具有表面坚硬、内部多微孔、孔隙率高、吸水率低、抗冻性能、抗碱性能和耐久性能好等特点。

生物的陶粒滤料可作为工业废水高负荷生物滤料池的生物挂膜载体，自来水的微污染水源，预处理的生物滤池，含油废水的粗粒化材料，离子交换树脂垫层，微生物干燥贮存；适用于饮用水的深度处理，它具有吸附水体中的有害元素，细菌，矿化水质，是活性生物降解有害物质效果最好的滤料，是生物滤池中最好的生物膜载体。



图 6.3-18 陶粒滤料

### ③火山岩

火山岩滤料经过选矿、破碎、筛分、研磨等一系列工艺加工而成的粒状滤料，其主要成分为硅、铝、锰、铁等几十种矿物质和微量元素，表现为接近圆颗粒，颜色为红黑褐色，多孔质轻。

火山岩生物滤料在化学微观结构方面表现为：

A.微生物化学稳定性：火山岩生物滤料抗腐蚀，具有惰性，在环境中不参与生物膜的生物化学反应。

B.表面电性与亲水性：火山岩生物滤料表面带有正电荷，有利于微生物固着生长，亲水性强，附着的生物膜量多且速度快。

C.对生物膜活性的影响方面：作为生物膜载体，火山岩生物滤料对所固



定的微生物无害、无抑制性作用，实践证明不影响微生物的活性。



图 6.3-19 火山岩滤料

#### ④沸石

沸石是一种硅酸盐矿物质，经火山爆发而发生的结晶体沸石有很多种，已经发现的就有 36 种.它们的共同特点就是具有架状结构，就是说在它们的晶体内，分子像搭架子似地连在一起，中间形成很多空腔，在这些空腔里还存在很多水分子，因此它们是含水矿物。这些水分在遇到高温时会排出来，比如用火焰去烧时，大多数沸石便会膨胀发泡。

沸石因为孔隙发达、吸附强、是一种无机物离子交换剂，特别是改良性  $\text{NH}_4$  沸石和 P 型沸石对氮和磷具有良好的去除作用，在水中还可与其  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cs}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  等均衡量重金属阳离子进行交换以降低水的总硬度，

另外它还有较高的机械强度，比表面积大，内部静电强。但价格贵，取材不易。



图 6.3-20 沸石滤料

#### ⑤钢渣

钢渣是炼钢过程产生的一种副产品，其化学组成主要包含钙、铁、硅、镁和少量铝、锰、磷等的氧化物，其产量约为粗钢产量的 8%~15%。2012 年全世界排钢渣量约为 1.8 亿吨。钢渣中含有丰富的游离氧化钙、胶体氢氧化铁和氧化铝等物质，具有较大的磷吸附容量。同时，钢渣中含有的氧化钙，其含量在 40%~60%，氧化钙能够和磷反应，生成钙磷沉淀。所以钢渣具有较强的除磷能力。此外，钢渣为炼钢的产物，化学结构稳定，易于固液分离从而不易形成二次污染。





图 6.3-21 钢渣滤料

#### ⑥土壤

土壤除了为植物的生长提供了支撑作用外，研究表明粘性土壤对污水中磷的去除非常有效，但在表流湿地中，污水与土壤的接触机会仅仅限于土壤表面，除磷能力大大降低。如潜流湿地采用土壤由于其透水性差而造成湿地堵塞瘫痪，因此很少采用土壤作为湿地滤料。

表 6.3-7 常见人工湿地滤料性质的对比表

项目	砂石	轻质陶粒	火山岩	沸石	钢渣	土壤
孔隙率	35~45%	55~78%	72~82%	56~50%	20~70%	10~35%
比表面积 (m <sup>2</sup> /g)	5~15	6~9	13.6~25.5	122~355	43~65	2~10
堆积密度 (×10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> )	1.35~1.68	0.75~1.1	1.1~1.4	1.1~2.6	1.4~1.6	1.1~1.5
吸附性能	一般	较好	好	好	好	较好
来源	来源广泛，就地取材	来源一般	来源较少，长距离运输	来源较少	来源广泛，就近取材	来源广泛，就地取材
价格	底	高	中	较高	低	低

说明：价格包含材料费、运费、人工安装费。

人工湿地填料基质设计需综合考虑以上条件及对污染因子的去除效果。由于钢渣除磷的吸附与沉淀作用受季节和温度的影响较小，因此本项目主滤层初步考虑采用钢渣及碎石滤料。但复合钢渣填料多为专利，涉及到知识产权问题。本项目所选填料建议在下一阶段对钢渣种类及复合钢渣填料进行进一步的比选。

#### (6) 功能微生物培养

微生物是人工潜流湿地处理系统的基本构成，为保证湿地的快速、稳定运行，在不同填料部位添加不同种类且具有快速激活湿地功能的高效微生物菌种，适应湿地内部环境，能较快的激活湿地的处理功能，并保证湿地内部生物群落的丰度，通过湿地内微生物的优化，提高系统的净化功能。

由于微生物分布广泛、数量巨大、代谢类型多样和适应突变能力强，降解微生物种类众多。传统废水生物处理方法就是对自然生长的微生物群体加以驯化、繁殖和利用的，但是由于微生物之间存在复杂的相互作用，甚至有拮抗作用，因而难以发挥各自的最大效能。与之相比，高效微生物在处理废水时则具有独特的功能和优势：可以提高分解污染物的速率，可



以增强对难降解物质的降解能力，可以提高超负荷条件下的处理效率等。通过驯化、筛选、诱变、基因重组技术等可获得高效菌种，再经培养、繁殖可得大量的高效降解菌，用于目标污染物的治理。20 世纪 70 年代起人们开始有针对性地分离选育出一些特殊污染物的高效降解菌并应用于废水处理，取得了一些显著的效果，高效降解菌的选育与研究应用逐步成为当今生物处理技术中重要的核心技术。

由人工湿地处理系统的净化机理可知，微生物的分解代谢作用对湿地系统中有机污染物的降解起着重要的作用。本项目可从护城河和湿地进水中分离出多株细菌并研究其降解有机污染物的能力，从中筛选出一些具有潜在应用价值的菌种。引入厌氧氨氧化菌，提升氨氮和总氮去除率，减少  $\text{N}_2\text{O}$  的排放。在有机物降解复合菌，硝化、亚硝化以及反硝化菌群、解磷菌之间需要在湿地进水池、中水处以及出水处不同位置进行不同比例的构建，使湿地增强其净化能力，构建生物强化潜流式人工湿地系统。

### （7）植物选择

湿地处理效果与湿地生态系统中植物生理特性及群落中的互相作用有直接关系。湿地植物要具备发达的根系，以增加其表面积，同时植物地上部分生物量要大，以增加吸收同化去除污染物能力。发达的植物根系可以分泌较多的分泌物，为微生物提供适宜的环境；植物的根系在固定处理床表面和保持植物与微生物旺盛生命力等方面发挥着重要作用，对保持人工湿地生态系统的稳定性具有重要意义：植物的生物量越大，其对氮、磷等营养物的吸收同化作用越强，越有利于污染物的去除。据文献报道湿地常用植物有芦苇、荷花、水葱、菖蒲、香蒲、灯芯草等。植物选择主要遵循以下几个原则：

#### ①选配原则

湿地植物品种选配时应遵循以下原则：A.耐污、耐厌氧能力强，除污效果好；B.根系发达、输氧能力强；C.适合当地气候环境，多选择本土植物；D.具有一定的抗灾害、耐寒抗冻等能力；E 具有一定的经济价值；F.便于维护和管理。

## ②植物品种的选择

根据项目区域特点，优先选择当地先锋植物品种。据调查项目区域土壤营养物质丰富，生物种类繁多。常见的水生植物类群有芦苇、狭叶香蒲、莲、金鱼藻、穗花狐尾藻、龙须眼子菜等。

### A.以污染物去除情况分类

植物的群落配置是通过人为设计，重建和恢复水生植物群落，根据环境条件和群落特性按一定的比例在空间分布、时间分布方面进行安排，高效运行，达到净化水质的目标，形成稳定、可持续利用的生态系统。

表 6.3-8 典型水生/湿生植物特点

植物	特点	功能	典型物种
挺水植物	根或地下茎生于水底泥中，植物体上部挺出水面的类群等	生长在岸边或水体中央，具观赏功能：生长在水中的部分具有发达的通气组织，具有水生植物的特征：可截留、沉降补给水或由雨水冲刷带入的陆源颗粒物，并可降解其中的有机污染物。	芦苇、香蒲、菖蒲、水葱、灯芯草等
浮水植物	根茎扎于底泥中，叶漂浮水面的类群。	观赏功能，遮蔽阳光，抑制藻类生长等。	水鳖、槐叶萍、紫背浮萍、荇菜等
沉水植物	物体完全沉于水其界面以下，根扎于底泥中或漂浮在水中的类群。	植物体各个部分都能吸收水分和营养物质，通气组织特别发达，光合作用提高水中溶解氧含量，为鱼类等水生动物提供栖息环境，有助于水中缺乏空气中的气体交换：抑制藻类的生长等。	穗花狐尾藻、金鱼藻、苦草等

针对区域典型植物物种，分析其靶向去除，如下表所示。

表 6.3-9 针对不同湿地植物靶向污染物一览表

植物类型	植物名称	靶向去除污染物种类
挺水植物	芦苇	氮、磷、BOD <sub>5</sub> 、铅、铜、锌
	菖蒲	COD <sub>Cr</sub> 、镉、铅、镉、农药
	香蒲	氮、磷、BOD <sub>5</sub> 、COD <sub>Cr</sub> 、锌、铅
	荷花	氮、磷、BOD <sub>5</sub> 、COD <sub>Cr</sub>
	水葱	氮、磷、BOD <sub>5</sub> 、锌、铅、酚、农药、镉
浮水植物	睡莲	磷、酚、铅、汞
	荇菜	镉、锌、碑、汞
	水鳖	氮、磷、COD <sub>Cr</sub> 、铅、铜、锌
沉水植物	狐尾藻	氮、磷、COD <sub>Cr</sub>
	金鱼藻	COD <sub>Cr</sub> 、铬、钴
	苦草	磷、氮、COD <sub>Cr</sub> 、神、铜、铅、锌
	眼子菜	BOD <sub>5</sub> 、农药

## B.湿地植物选择

本工程湿地植物按水生植物群落分三层布置，分别为挺水植物群落、浮水植物群落以及沉水植物群落，具体不同植物群落品种选择如下表所示。

表 6.3-10 湿地植物选择一览表

植物类型	植物名称	治理效果	
挺水植物	菖蒲	TN 去除率 36.2%，TP 去除率 44.2%，COD 去除率 36.3%	冬季以地下茎潜入泥中越冬
	香蒲	TN 去除率 71.14%，TP 去除率 74.38%	喜温暖
	水葱	COD 去除率 20.38%~40.25%、TN 39.78%~68.16%、NH <sub>3</sub> -N 53.94%~76.71%、NCh-N 39.78%~74.41%、	能耐低温
	芦苇	BOD <sub>5</sub> 去除率达 90%，NH <sub>4</sub> -N 76%，TN 84%，TP 87%	耐寒性强
	荷花	N 去除率 0.376 g/(m <sup>2</sup> ·d)，P 去除率 0.08 g/(m <sup>2</sup> ·d)	喜温暖
浮水植物	睡莲	TN 去除率 91%，TP 去除率 51%，NH <sub>4</sub> -N 去除率 73%，COD 去除率 56%	喜温暖
	荇菜	N 去除率 80.1%，P 去除率 63.5%，COD 去除率 67.7%	耐寒性强
	英实	TN 去除率在 77.64%~92.84%；TP 去除率在 64.65%~87.31%	喜温暖，不耐霜寒
	水鳖	氮、磷、COD、铅、铜、锌	喜温暖

植物类型	植物名称	治理效果	
沉水植物	金鱼藻	TN 去除率达到 50.26%~82.16%	耐寒性强
	苦草	对富营养化水体有较好的净化效果，但对污染较严重的工业污水抗性较差	喜温暖、耐荫蔽
	狐尾藻	对水体中的磷的吸收能力较强，多用于富营养化水体的生态修复	能耐低温，不耐旱
	黑藻	对富营养化水体有较好的净化效果	喜温暖、耐寒
	遣草	对锌、碑等重金属的富集作用强，且适宜于水污染比较严重的河道治理	喜温暖、耐寒

## （8）防洪设计

### ①防洪设计

本湿地位于护城河防洪堤外侧，采用泵站提水的进水方式，河水对湿地影响较小。同时通过泵站开闭调节进水水量，减少外围洪水对湿地的影响。

湿地方案设计充分考虑现状地形、保证湿地内部土方平衡。当发生 5 年一遇以上洪水时，根据实际情况，通过对潜流湿地单元进行轮床、填料检修、表面清淤等，恢复湿地净化功能。

### ②护岸设计

湿地内各类坑塘、岛屿护岸设计综合考虑地形、地质、施工、造价、运管等因素，设计坡度不大于 1: 3，岛屿形状以少阻碍水流的形状设计，且常水位-设计岸顶高程范围内的迎水侧采用草籽喷播，避免雨水冲刷导致的水土流失。工程范围内为满足后期运行管理需要，布置巡视路网，统一采用 50 cm 厚碎石路面。

## （9）工程设备选型

### ①提升泵

#### A.设备选型原则

a. 为提高的稳定性，关键设备需选用技术领先、质量可靠、使用经验

成熟的国内外知名厂商的先进设备；

b. 设备工作能力应满足设计规模和处理工艺要求，考虑运行方式，留有足够余量；

c. 尽量选用相同规格型号的设备，以简化机型，方便维修；

d. 尽量选用便于操作，工作可靠，节省投资、能耗及其它消耗低，以及能降低运行管理费用和对环境污染较小的设备。

## B.曝气设备

增氧及水动力改善技术是根据水体受到污染后缺氧的特点，利用自然跌水（瀑布、喷泉、假山等）或人工增气对水体复氧，通过改善水动力，促进上下层水体的混合，以提高水中的溶解氧含量，加速水体复氧过程，使水体保持好氧状态，增强水体中好氧微生物的活力，使水体中的污染物得以净化，从而削减污染物。水体人工增氧的措施一般有鼓风曝气和机械曝气两种形式，可以采用空气曝气或纯氧曝气。各种曝气系统的优缺点如下：

表 6.3-11 人工增氧对比表

常用曝气方式	优点	缺点	充氧量 (kgO <sub>2</sub> /(kWh))
鼓风曝气	配合微孔曝气充氧效率高	需要设置风机房，微孔曝气管容易堵塞.维护量较大	2~4.7
推流曝气	可形成活水循环，安装方便，维护量小	设备为原位的，防洪要求高的河道不宜大量：布设	1.2~4.5
水车曝气	造价低，安装方便	效率相对较低，河道不宜大量布设	0.9~1.1
喷泉曝气	充氧的同时有景观效果,维护量小	设备为原位的，防洪要求高的河道不宜大量布设	0.5~1.5
纳米微气泡曝气	充氧效率较高、可岸上安装	成本高、维护量较大	3.5~7.5

综上所述，采用推流方式有利于克服氧化塘的短流和水体上下层交换，也有利于氧的传递和污泥的絮凝。本方案通过增加 DO 浓度，增强水体的紊流，从设备小型化、用电等问题考虑，本方案推荐采用太阳能水轮式水

车曝气机和太阳能喷泉曝气机。

### 6.3.2.3 生态修复工程

#### (1) 生态修复原则和思路

##### A.生态修复原则

工程区生态修复仍遵循尊重自然、顺应自然、保护自然的原则。

尊重自然——利用自然本底优势，在现有拟建湿地水质净化工程中，对现有地貌进行微地貌改造和调控，结合水质净化需求构建苇田荷塘等不同栖息地和景观，修复多元生境，充分利用乡土植物、动物，构建本土区域的食物链系统。

顺应自然——实施生态过程调控，恢复退化区域的原生水生植被和演替特征-挺水植物、漂浮植物、沉水植物，促进水生动物土著种增殖和种类增加。

保护自然——恢复和保护鸟类栖息地，提高生物多样性，优化生态系统结构，增强区域生态自我修复能力。

##### B.生态修复思路

生态修复工程的设计遵循以下设计思路，首先确定生态修复目标，然后根据目标确定生态修复的方法，根据修复方法设计具体的修复措施。

#### (2) 工程规模与建设内容

生态修复工程主要包括鸟类栖息地修复工程和生物操纵工程。

鸟类栖息地修复工程是通过在表流、潜流湿地中恢复芦苇、菖蒲等水生植物，构建鸟类栖息地环境；以及在沉水植物塘中构建生态岛，以满足珍稀保护鸟类栖息需求。

生物操纵工程主要是向湿地内部形成以挺水植物（表流、潜流湿地）、漂浮植物（表流湿地、水塘）、沉水植物（植物生态塘）演替特征的水生

植物群落，以及投放多种鱼类及底栖动物，以抑制藻类生长、提升湿地内部水质，同时为珍稀鸟类提供食物。

### （3）栖息地保护及构建

《中华人民共和国野生动物保护法》中将栖息地定义为：栖息地是野生动物集中分布、活动、觅食的场所，是野生动物赖以生存的最基本条件，也是生态系统的重要组成部分。野生动物栖息地是指能为特定的野生动物提供生活必需条件的空间单位，包括与野生动物共同生活的所有物种的群落，是野生动物个体、种群或群落完成整个生命过程的场所。野生动物的各种行为、种群动态及群落结构都与其栖息地分不开。

#### A. 鸟类栖息地保护与构建

##### ① 练江河口区鸟类现状

鸟类栖息空间需求分为四类，分别为摄食空间、繁殖空间、隐蔽空间和迁移空间。

人工湿地位于河口交汇区域，在鸟类栖息地保护与构建中可通过游禽栖息地保护与构建，为天鹅类、雁类提供觅食和繁殖空间，通过涉禽栖息地保护与构建，为鹭类、鹤类、鸬类提供栖息空间。

##### ② 游禽、涉禽栖息地保护与构建

依据游禽、涉禽喜欢在滨水的草丛栖息，在水中觅食的生活习性，考虑充分利用多功能生态缓冲区和洲滩湿地重建区内的小岛和浅滩作为其活动场所，并在小岛和浅滩上配置多样性的矮小灌木（如紫薇、木槿等）和沼生草本植物（如芦苇、灯心草、菖蒲、芦竹、慈菇等），可作为水禽的筑巢区，洲滩边缘地带应大量投入螺类等软体动物和甲壳类动物等，结合水草，吸引鸟类前来觅食，营造小岛筑巢、水中觅食、卵石浅滩休憩的水禽鸟类栖息地。

### ③鸣禽栖息地与生境改善

在管理上减少人为因素对湿地的干扰，选择种植高大乔木作为营巢地的鸟类筑巢区，构建适宜鸟类栖息繁衍的森林沼泽区：在林中种植多样的草本植物（如繁缕、狗牙根、千金子、毛茛、酸模叶蓼、莠菜、蛇莓、蒲公英等），维护河道两岸森林沼泽结构的完整性。

### ④鸟类栖息地保护与构建关键技术

通过水陆空间结构的梳理，建设湿生林地、生态岛屿、洲滩湿地等鸟类栖息生境。

湿生林地构建：在靠近岸边的水体中或在现有稻田基础上，种植耐水湿乔木，所选乔木应适于鸟类筑巢和停栖。如旱柳、意杨、枫杨、榆树、国槐、乌桕、水杉、落羽杉等。

生态岛屿构建：通过水系引入、微地形塑造、乡土植被恢复，形成以破碎化的岛状林地为主的异质性生境。恢复土著植被群落。

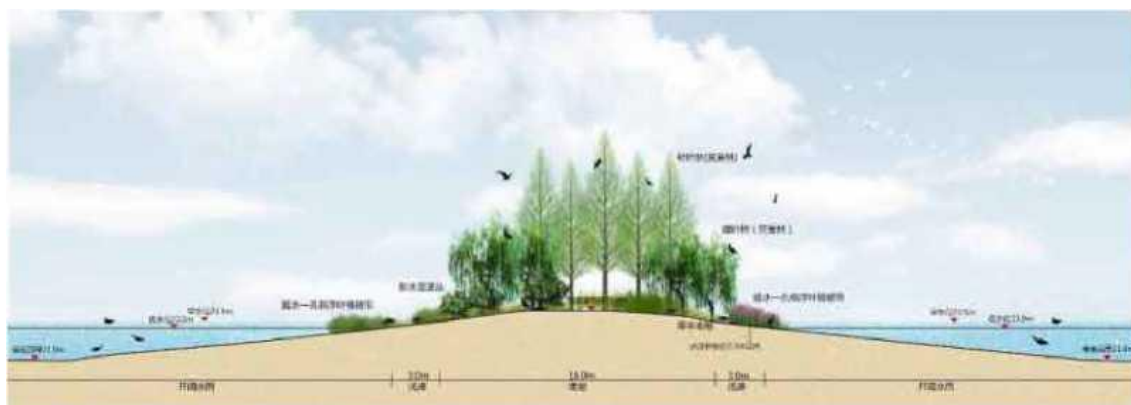


图 6.3-22 生态岛屿构建模式图

洲滩湿地构建：以水陆交界区域为载体，通过一定的水系梳理和微地形改造，形成季节性交替的水下浅滩/滨水洼地，并保障在枯水期仍有一定面积的水下浅滩，供涉禽觅食同时，营造一定较大面积、较开阔的浅水面，由挺水植物和沉水植物覆盖，植物片植为主，疏密相间，并围合若干小型



的内部安全水域，基底不可全为淤泥，增加部分沙石便于涉禽站立。水域边恢复稀疏草滩、芦苇丛、草丛、灌木丛、稀疏矮树等；高地种植高大乔木，供鸟类筑巢栖息。



图 6.3-23 洲滩湿地构建模式图一

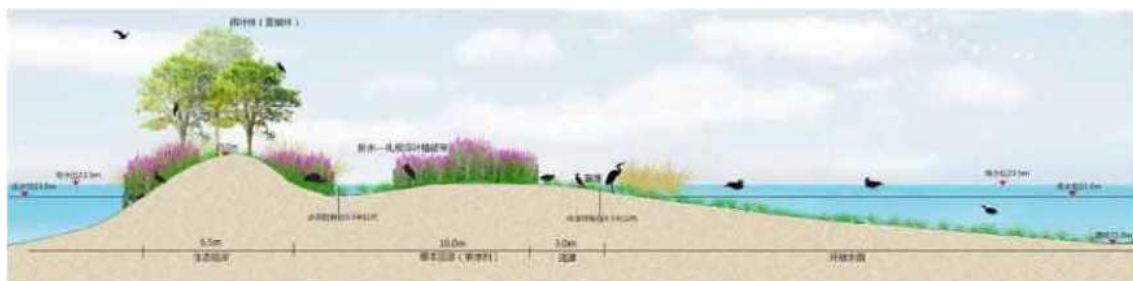


图 6.3-24 洲滩湿地构建模式图二

## ②鱼类栖息地保护与构建

鱼类栖息地是指鱼类能够正常生活、生长、觅食、繁殖以及进行生命循环周期中其他重要组成部分的环境总和，包括产卵场、索饵场、越冬场以及连接不同生活史阶段水域的洄游通道等。影响鱼类生存的因素包括非生物因素和生物因素。非生物因素主要包括：微生境因素—水深、流速、基质、覆盖物；中生境因素—河道形态（深潭、浅滩、急流等）；大生境因素—水质、水温、浊度和透光度等。生物因素主要包括食物链的组成和食料种类丰富度等。

### A. 鱼类栖息地保护与构建思路

利用生物净化技术，修复和保护河口湿地生态。在湿地内开展水生生

物生境修复，通过人工鱼巢、增殖放流、等措施，促进鲫鱼、鲤鱼、黄颡鱼、乌靖等大型鱼类和中华鳄鲃、虾虎鱼等小型鱼类及青虾等渔业资源的自然繁殖，提高叙鱼、青鱼等鱼类的成活率，恢复水生物生态系统。

#### B.鱼类栖息地保护与构建技术

主要包括：1、岸边植被带构建；2、抛石；3、浅水砂质滩地构建；4、浅水砾石滩地构建；5、水下鱼礁；6、食源投放。

#### ③底栖动物栖息保护与构建

根据底栖动物种类、分布及栖息地历史资料和现状，结合底泥污染治理、河口湿地和沙洲建设等生态修复工程，进行底栖生境改善和营建，通过恢复自繁、重新引入等措施，增加底栖生物多样性，恢复生态系统食物网的完整性，提高生态系统服务功能，实现底栖生物生物多样性组成与数量的增长与底栖生物生态系统的生产力和自我维持能力的提高。

通过有针对性地适当增殖以恢复个别种类特别是软体动物中对生态系统净化较强的土著种类，如中国圆田螺、背角无齿蚌。针对日本沼虾能够自然繁殖、但种群数量较低的问题，采取繁殖期休渔、人工育苗和孵育场建设来增加其种群数量。

#### ④水生植被保护与重建

##### A.水生植物保护与重建思路

通过撒播水生植物种子和移栽水生植物繁殖体，恢复河口湿地受损区域的原生水生植被，恢复或重新引入珍稀濒危物种和环境指示种，提高水生植被覆盖率，重建河口湿地水生植被。

在河口湿地重建退化湿生和水生植被，撒播繁殖体（种子和休眠芽）和移植幼苗，提高水体透明度，促进基底埋藏的水生植物种子库的萌发，以此恢复区域原生水生植被。减少逆境胁迫和增加环境异质性以诱发种子

萌发，提高繁殖体库的萌发率和成活率；消除水域碎片化和建立生物传播廊道，增加植物繁殖体扩散速率和建群速度，显著提高植被覆盖率。

从沿岸带到中央深水区依次构建湿生植被带——挺水植被带——浮叶扎根植被带——自由漂浮植被带——沉水植被带植被带区，恢复荷塘苇海台田景观。通过植被带的构建，能滤留陆源污染物，有效净化水质和增加水体的透明度，为淀区生态系统现生和有可能迁入的其它生物类群提供食物、产卵场和栖息地。



图 6.3-25 湿地植被带分布图

#### B.挺水植被带保护与构建

与潜流、表流湿地植物配置结合，位于亚沿岸带和淀区低洼水湿地;构建以芦苇属、莲属、香蒲属、菖蒲属、水葱属、鸂尾属等为建群种的挺水植被带，恢复荷塘苇海台田景观，吸收底泥中的营养元素，为水生昆虫、鱼类和两栖动物提供食物和繁育场所。

#### C.浮叶扎根植被带保护与构建

位于浅水和中深水区；构建以浮叶植物水鳖属、槐叶萍属、菱属、苦菜属、萍蓬草属、睡莲属等为建群种的浮叶植被带，吸收和降解水体与底

泥中的营养元素与污染物，减少水面蒸发，为水生动物（鱼、虾、蟹）提供庇护所，为附生生物提供着生处和为水禽提供营巢处。

#### D.沉水植被带保护与构建

位于敞水区和中央深水区；构建以眼子菜属、苦草属、狐尾藻属、金鱼藻属、水蕴藻属等大型沉水植物为建群种的大面积“水下森林”和“水下草原”，有效降低水中氮磷和有毒有害物质浓度，为鱼类和鸟类提供饵料和栖息地，提高水环境质量，保障水体生态安全。

#### （4）生物操纵工程

生物操纵主要是指通过投放动植物等构建健康的水生态系统。在湿地生态系统中，在植物配置和恢复完成后，进行水生动物的引入和恢复。根据能量塔原理和食物链食物网的物质流动原理，进一步在区内河道中配置不同品种的野生鱼类（包括腐食性、草食性、植食性、肉食性鱼类）及其他水生动物。在自然情况下，草鱼、团头鲂以水草为食，鳊鱼以浮游植物为食，鳙鱼主要吃浮游动物，罗非鱼、黄鳍鲷、黄颡鱼、鲤鱼和鲫鱼则以昆虫幼虫、水生高等植物碎片、杂物碎屑及藻类等杂食性食物为主。通过在水体中配置不同的鱼类、栖息动物等，可逐步修复水生态环境，激活水生生物食物网（链），通过食物链，将水体中营养物质移除。



图 6.3-26 生物操纵工程示意图

#### ①鱼类生物多样性构建

根据湿地水质净化的需求，同时根据鱼类水生动物的栖息要求，方案设计在湿地内部系统投入部分鱼类，在提升湿地水质的同时，构建鱼类栖息地，提高湿地内部鱼类生物多样性。

在氧化塘中，由于水体水质较差，考虑夏季时容易出现藻类爆发的情况，方案设计在氧化塘内投放鳊鱼、鳙鱼等，滤食水体中的藻类。

在多级表流湿地中，由于植物较密，大型鱼类无法生存，主要在其中投放中华鲮、餐条、泥鳅及麦穗鱼等小型鱼类。

在沉水植物塘中，由于水深相对较深，且水质较好，可恢复的鱼类种类较多，且该区域鸟类较多。因此，方案设计在沉水植物塘内投放鲤鱼、鳊鱼、黄颡鱼等相对较大的鱼类，同时投放中华鲮、餐条、泥鳅及麦穗鱼等小型鱼类，以满足珍稀鸟类觅食要求。

考虑生物链关系，草鱼会觅食湿地内的沉水植物，宜少量投放；鲫鱼、鲤鱼等对水体底部进行扰动，会创造浑水环境，不利于沉水植物的生长，因此不宜投放；乌鳢觅食湿地内的小型鱼类，不宜投放。

## ②底栖动物生物多样性构建

底栖动物是水生态系统中重要的组成部分，部分底栖动物是腐食食物链的重要组成部分，部分底栖动物能够有效滤食水体中的藻类等。

河口湿地内的氧化塘及多级表流湿地内水生植物的数量较多，方案设计投放部分环棱螺、圆田螺、沼虾及无齿蚌等，以有效净化水中的藻类。

针对沉水植物塘，由于塘体中植物多样性较高，且水深较深，可大量投放环棱螺、圆田螺、沼虾及无齿蚌等。

## ③水生动物投放时序

水生动物投放主要考虑要避免对水生植物造成危害，防止出现灾变时刻。部分水生动物对水生植物有较强的觅食能力，如草鱼、圆田螺等，这

些水生动物的投放应该在水生植物复壮 4 个月之后。鲢鳙及沼虾主要觅食藻类及小型浮游动物，对水生植物没有太大的危害，可在植物复壮后 1 个月投放。麦穗鱼、中华鲮、餐条等小型鱼类，对水温较敏感，湿地水深较浅，植物生长不茂盛时，水温变化较剧烈，存活率较低。可在植物复壮后 2 个月投放。泥鳅、黄颡鱼、环棱螺等为底栖生物，水体中淤泥过少时，存活率也不高，可在植物复壮后 3 个月投放。

表 6.3-12 鱼类习性汇总表

序号	种类	投放时间：植物复壮后投放			
1	鳙鱼	复壮后 1 个月			
2	白鲢	复壮后 1 个月			
3	麦穗鱼		复壮后 2 个月		
4	中华鲮		复壮后 2 个月		
5	餐条		复壮后 2 个月		
6	泥鳅			复壮后 3 个月	
7	黄颡鱼			复壮后 3 个月	
8	环棱螺			复壮后 3 个月	
9	圆田螺				复壮后 4 个月
10	无齿蚌				复壮后 4 个月
11	沼虾	复壮后 1 个月			
12	草鱼				复壮后 4 个月

#### ④水生动物监测及数量控制

水生动物投放后，每年应进行水生动物数量调查，分期其生物量及多样性，水生动物生物量过高，威胁生态系统安全时，应有针对性的进行捕捞。

其中，鳊及草鱼等可通过撒网捕捞的方式，降低其密度。草鱼控制数量以水体中水生植物能够大规模自我繁殖为标准。黄颡鱼等可通过投放地笼的方式，控制其数量。待其密度达到预期数量时，则不再投放地笼。

#### 6.3.2.4 配套设施及公共工程

##### (1) 围堤工程

###### ①设计等级

本工程围堤起分隔湿地处理单元的作用，按临时建筑物设计。

###### ②结构设计原则

结构设计遵循以下原则：**A.**建成后能够为湿地稳定运行提供帮助；**B.**适应工程所处区域特点，断面稳定性符合规范要求；**C.**结构形式简单，造价低，不妨碍远期建设；**D.**施工工艺成熟，材料供应有保障。

###### ③结构形式选择

围堤结构形式的选择应按照因地制宜、就地取材、既安全又经济的原则，根据围堤所处的地理位置、保护的对象、地形地质条件、筑堤材料、潮汐、水流、风浪特性、施工条件、运营管理、环境景观及工程造价等因素，经技术经济比较，综合选定。

目前国内外实施的围堤工程断面形式较多，但根据其几何外形大致可分为斜坡式、直立式和混合式三种基本形式。斜坡式围堤由堤身和外坡护面所组成，其特点是外坡坡度较缓，外坡护面砌体依附于堤身土体，其斜面能使波浪的能量消散，反射波小，堤顶可设较矮小的防浪墙。直立式（亦称陡墙式）围堤由堤身和重力式防护墙所组成，其特点是外坡坡度较陡，防护墙离开墙身土体可以单独站立，墙面能反射波浪的能量。混合式围堤是斜坡式与直立式的结合型式，如下坡缓上坡陡（或下坡陡上坡缓）的折坡式。三种断面型式的优缺点比较见表 6.3-13。

表 6.3-13 围堤断面型式比较表

断面形式	优点	缺点
斜坡式	①堤身与地基接触面积大，地基应力较小，能较好地适应滩地的软土地基条件，整体稳定性好； ②护面结构及施工技术简单，维修容易。	①断面大，占地多，所需土料和劳动力较多；
直立式	①断面小，占地少，所需土料较省； ②波浪爬高一般较斜坡堤小； ③加固时对原砌石体翻拆可独立进行，受波浪影响小。	①堤身与地基接触面小，地基应力较集中，需要较好的地基；
混合式	当断面组合适当，可以发挥斜坡堤和直立堤两者的优点，而避免其缺点。	边坡转折处，容易变形破坏。

斜坡式结构是最传统和应用最广泛的道路结构型式，斜坡式结构具有结构简单、便于控制加荷速度、对软土地基的适应能力强、使用过程中局部破坏后易于修复、便于和续建项目衔接、施工进度快等优点。当地在建设苇田时在围堤方面积累了很多经验，结合现场条件和材料来源，本设计选用斜坡式结构围堤。

④断面设计

A.堤顶高程的确定

根据后期湿地治理的工程需要，本次围堤设计堤身高度为 1.5 m。堤顶基本在水面以上 1m 左右，能够满足分隔湿地单元的需求。

B.堤顶宽度设计

由于堤顶宽度需要满足围堤构造要求，同时考虑施工工艺、施工车辆的临时通道以及使用要求，综合确定围堤堤顶宽度为 4 m。由于围堤作为湿地临时建筑，考虑冻胀等因素，需组织定期及时地进行维护整修。围堤断面形式见图 6.3-27，图中单位为 mm。



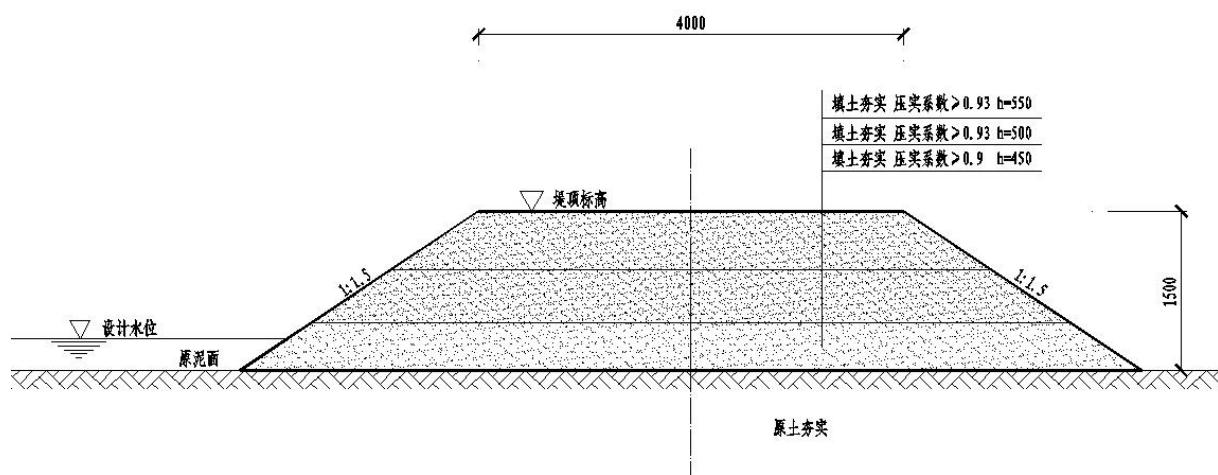


图 6.3-27 新建围堤断面图

### ⑤围堤平面布置

由于湿地内部高程差异，造成水深变化过大，不利于植物的生长，因此考虑在湿地内部设置围堤，将高程差异较大的区域进行分割，保证各区域水深变化不大。工程新建围堤总长度为 3225 m。

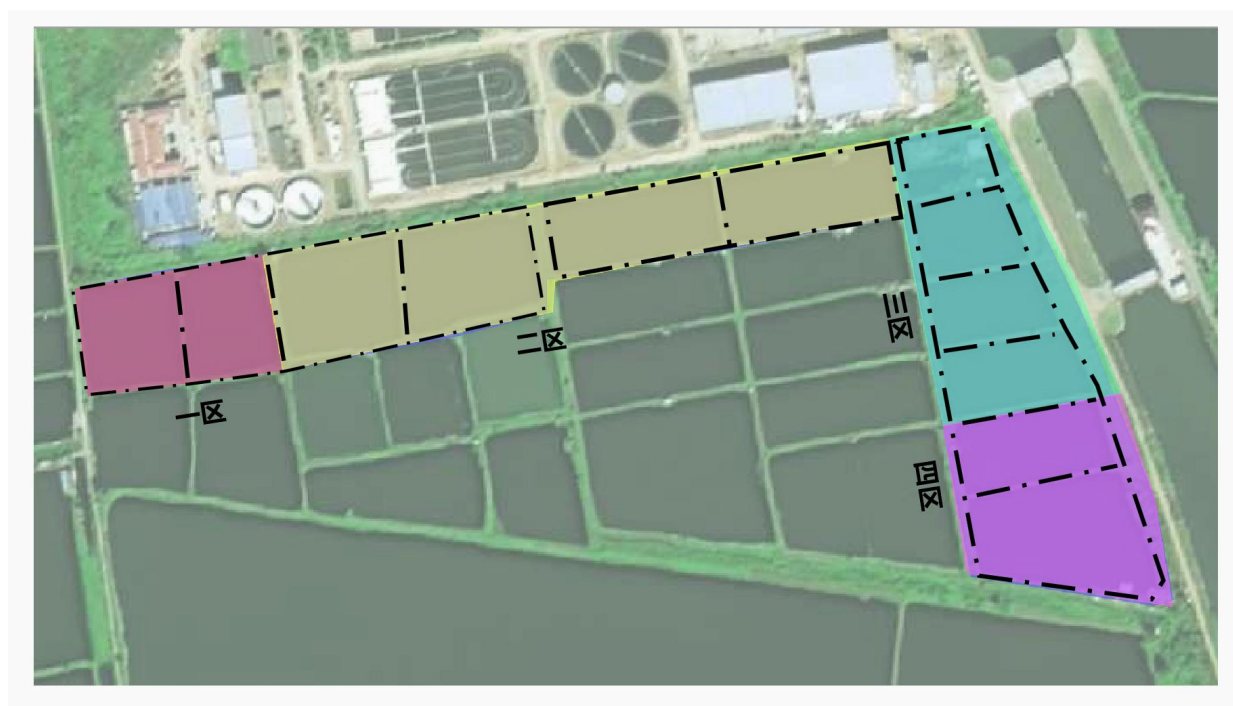


图 6.3-28 围堤工程平面位置图

该工程围堤为部分新建及对原有鱼塘边坡的修葺，总长为 3225 m，需填筑土方量 2418 m<sup>3</sup>，共需开挖土方量 806 m<sup>3</sup>，填筑土方不足部分全部来自

湿地微地形改造疏挖产生土方。

## (2) 道路工程

### ①设计等级

本工程不仅起到分隔湿地的作用，并作为湿地运行维护道路，供湿地作业车辆通行。本道路工程设计等级按临时建筑物设计。

### ②结构设计原则

结构设计遵循以下原则：**A.**建成后能够为湿地稳定运行提供帮助；**B.**适应工程所处区域特点，断面稳定性符合规范要求；**C.**结构形式简单，造价低，不妨碍远期建设；**D.**施工工艺成熟，材料供应有保障。

### ③道路断面设计

#### A.顶高程的确定

根据湿地植物生长需要，湿地内部水深正常水深 30 cm，最大水深控制在 1.0~1.2 m 左右，因此道路标高应高于湿地泥面以上 1.5 m。路顶基本在水面 1 m 左右以上，能够满足湿地水位的需求。考虑湿地维护道路是临时性构筑物，如在后期运行过程中局部产生冻胀问题，要定期及时进行维护整修。

#### B.路顶宽度设计

由于道路宽度除需满足施工车辆行车要求外，还需满足结构要求，根据当地经验做法，同时考虑施工工艺，综合确定道路路顶的顶宽为 4 m，道路路面采用砂砾石路面和原土路面两种形式。

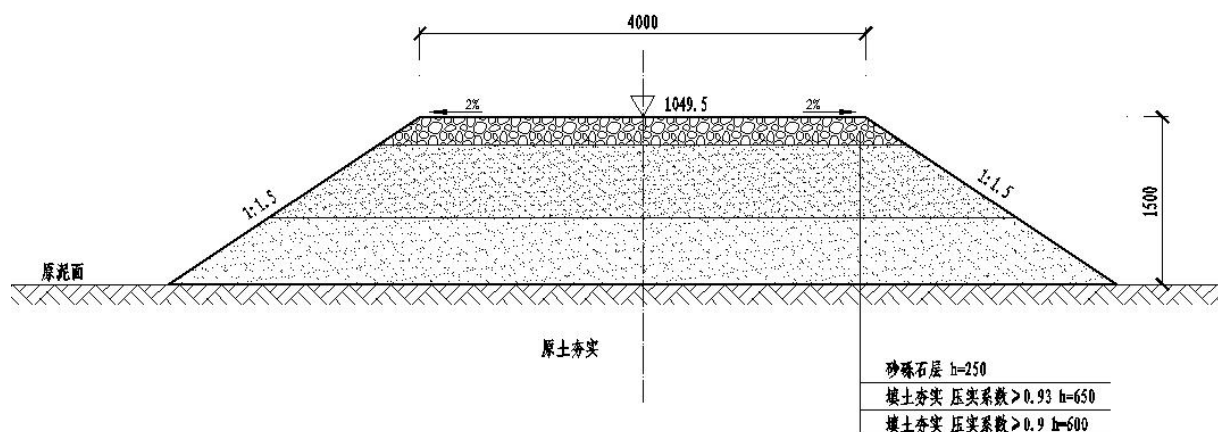


图 6.3-29 新建砂砾石路面维护道路断面图

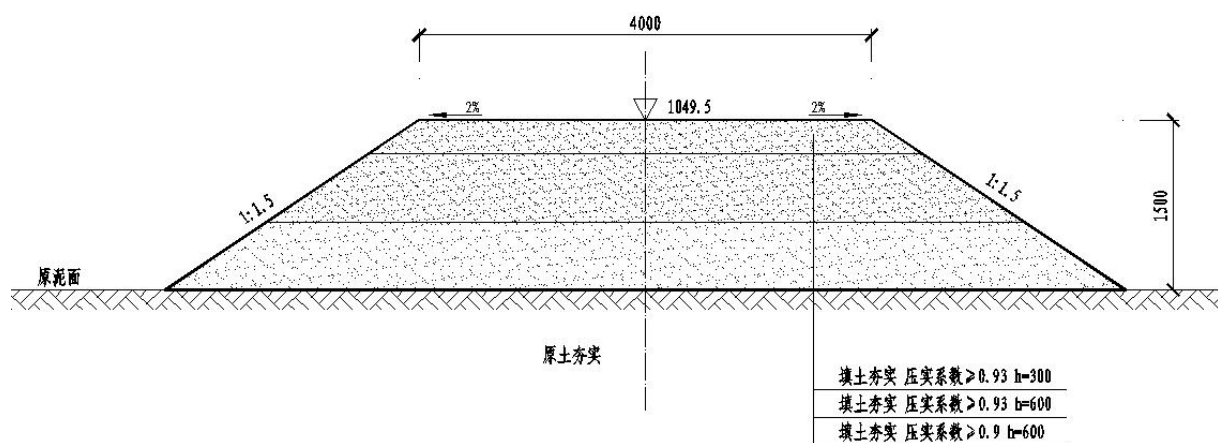


图 6.3-30 新建原土路面维护道路断面图

### C.会车道设计

设计在道路一侧每 100 米设置一个回车道，回车道长度 15 米，宽度 3 米。

### ④道路平面布置

新建及整修道路工程位置见下图。

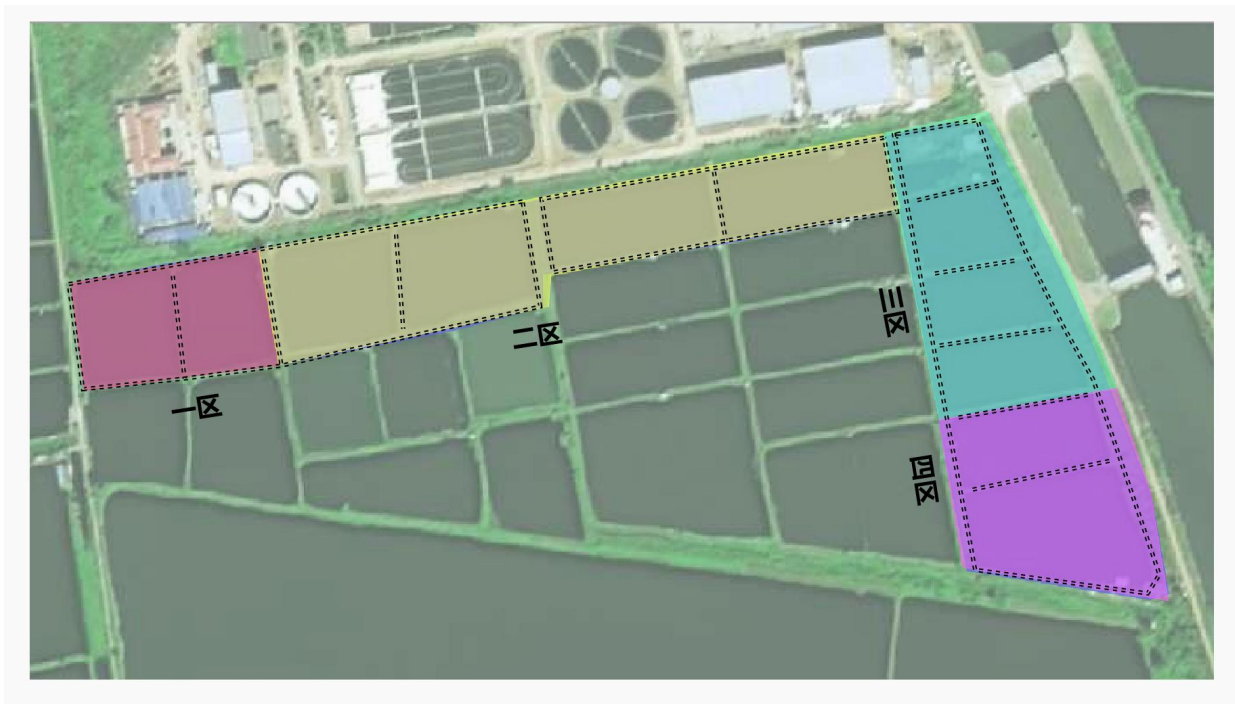


图 6.3-31 新建及整修道路工程位置图

新建原土路面维护道路总长 3300 m，路面铺 250 mm 厚砂砾石层，总共需砂砾石 2475 m<sup>3</sup>。所需土方全部来自湿地开挖土方，砂砾石从工程区周边采购。

### (3) 湿地水利涵闸建设

#### ① 功能

湿地水力涵闸主要功能为输水和控制湿地处理单元水位。

#### ② 涵闸布置

本期工程包含 25 座涵闸，各涵闸位置见下图。

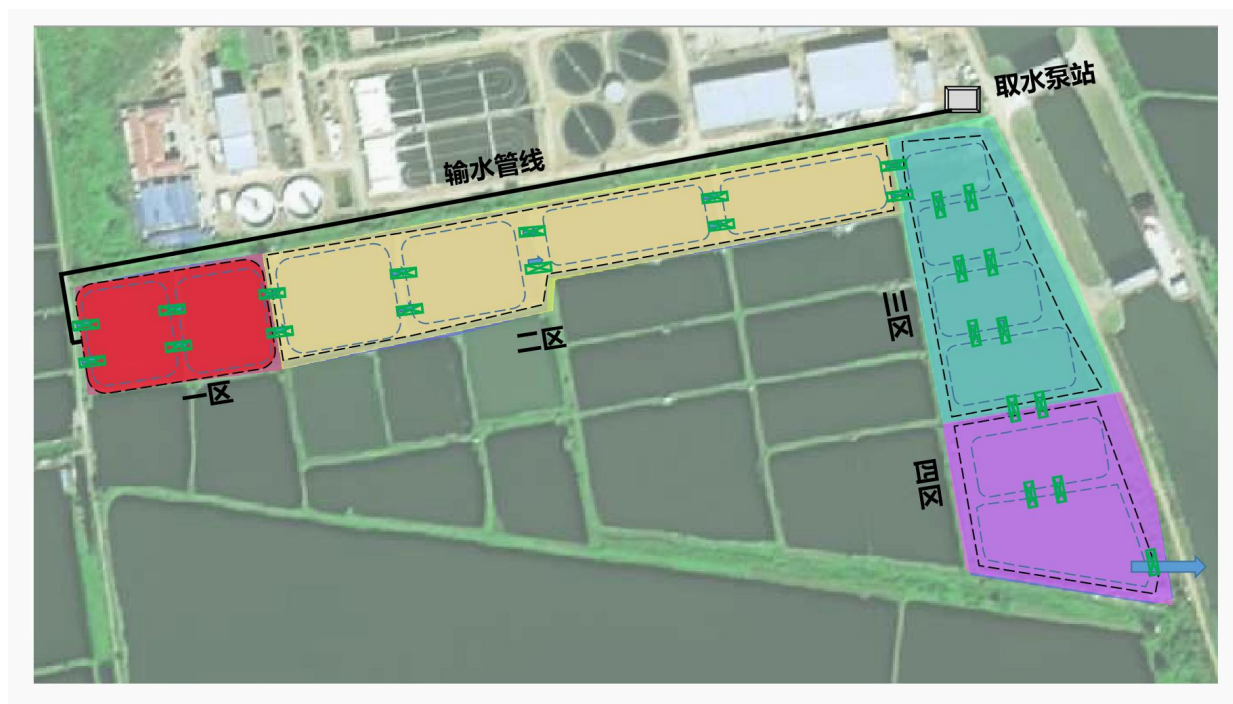


图 6.3-32 涵闸位置图

### ③涵闸结构

采用上游连接段与闸室一体，边墩与“L”翼墙相结合。其中底板采用 C25 砼，厚 0.5 m，下设 0.3 m 戈壁垫层，闸室长 2.0 m。与涵管嵌入式连接。调节闸为手提钢板闸，闸板采用厚度为 8 mm 的钢板，设计闸宽 1.2m，高 1.2 m。输水管采用普通钢筋混凝土管，管径为 DN800。

涵洞底板采用 C25 砼，厚度 0.3 m，上铺 0.15 m 碎石，顺水流长度 6.0 m，宽度 2 m。

下游连接段与涵管采用嵌入式连接，长度为 2 m，宽度为 2.2 m。具体结构尺寸见平面图。

挡土墙、闸墩、翼墙为钢筋混凝土结构，采用高性能混凝土，砼强度等级为 C25，抗冻等级为 F200，抗渗等级为 W6。

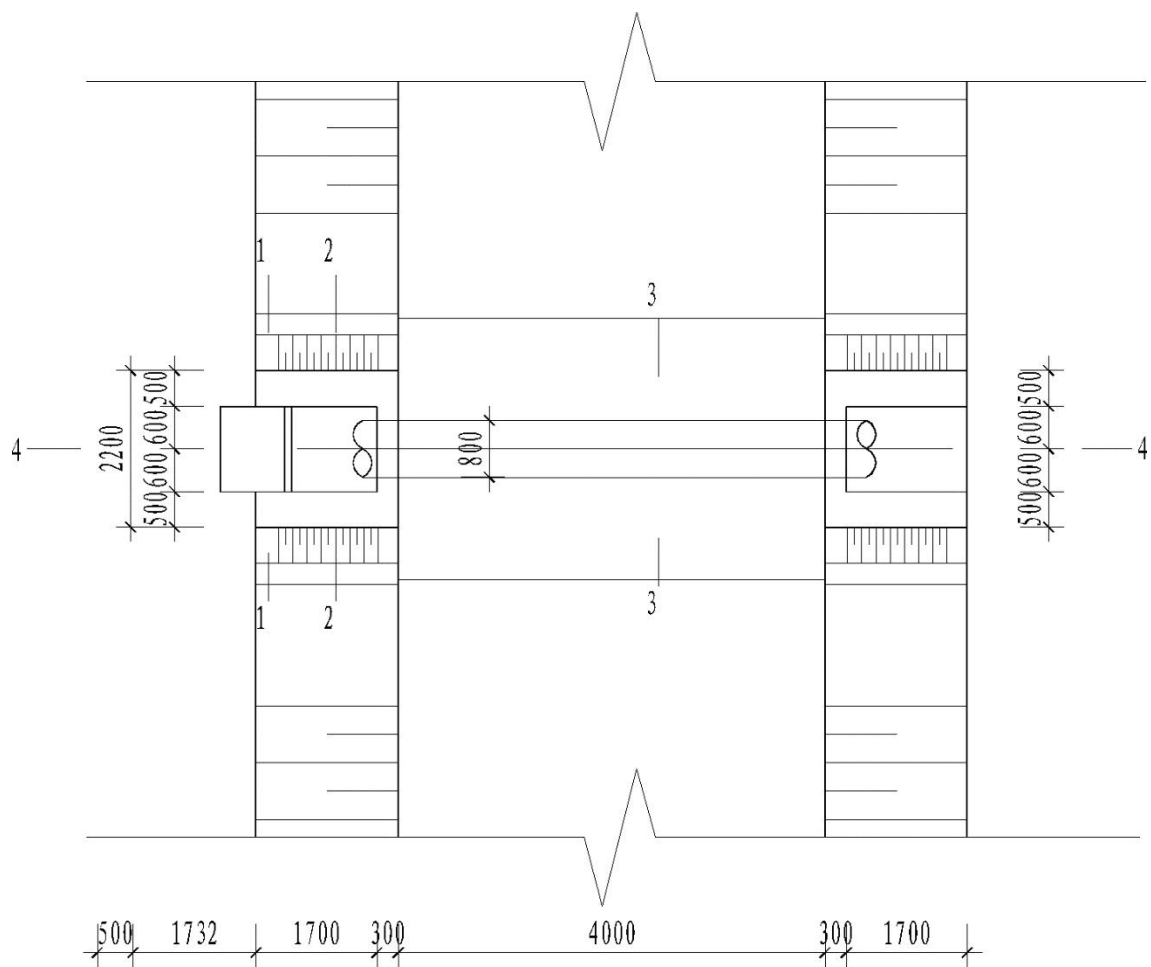


图 6.3-33 1#~11#涵闸平面图

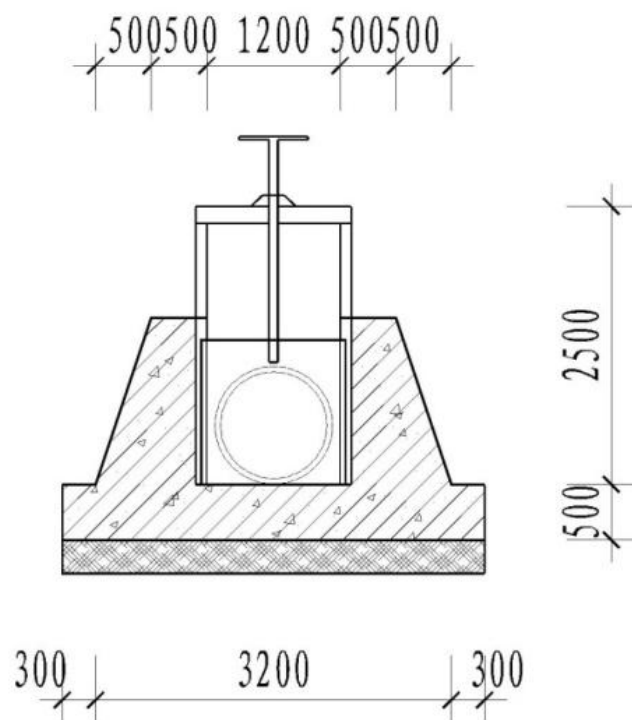


图 6.3-34 1#~11#涵闸 1-1 剖面图

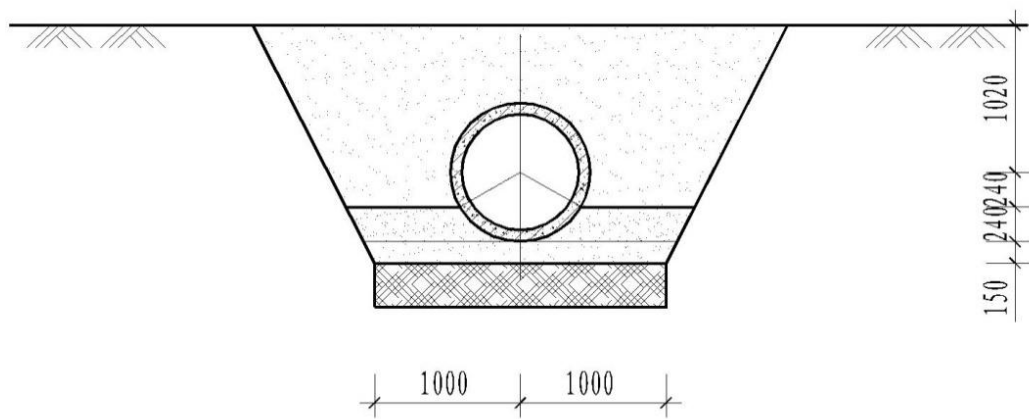


图 6.3-35 1#~11#涵闸 3-3 剖面图

## 6.4 工程总平面布置

潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程总平面布置见图 6.4-1 所示。



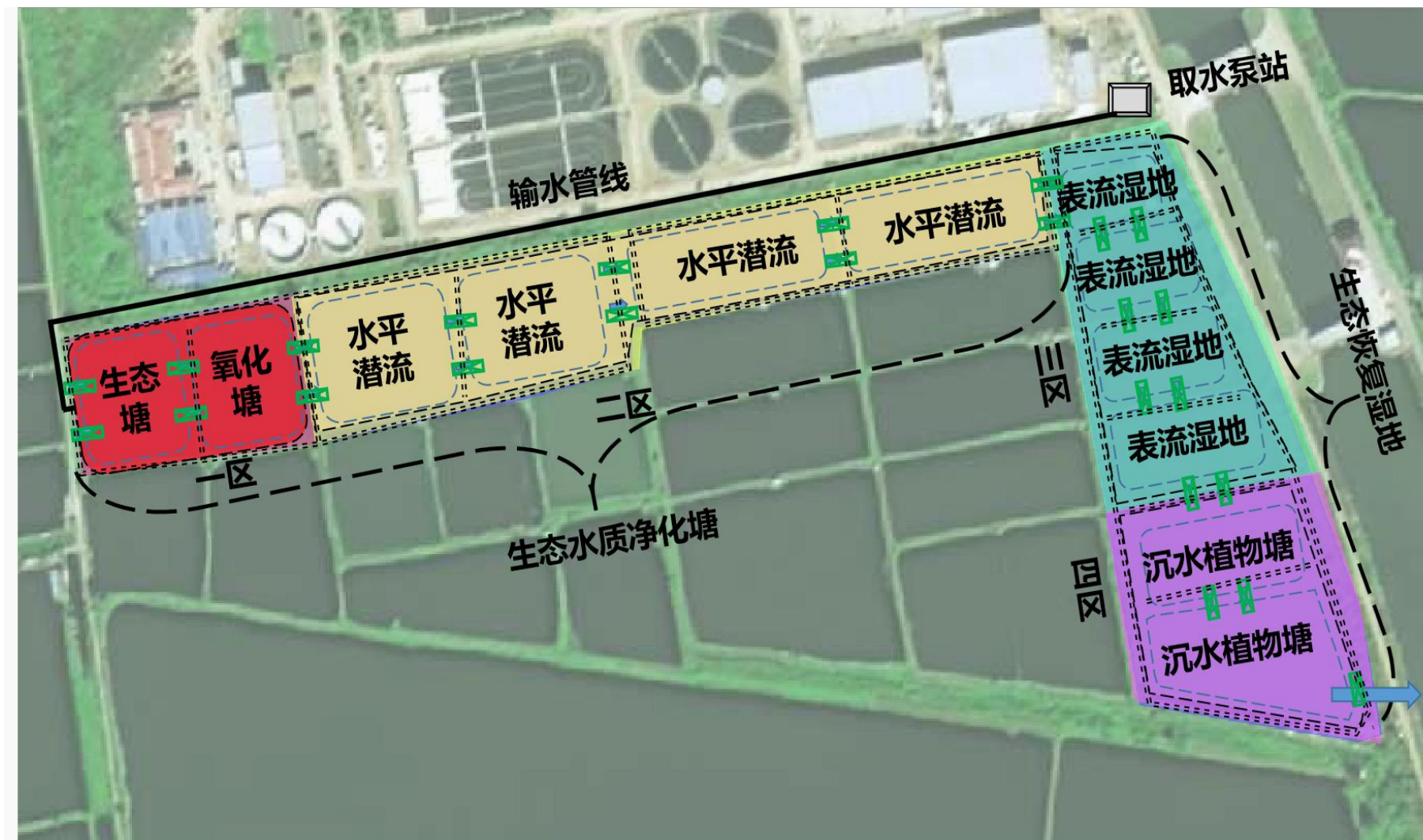


图 6.4-1 工程总平面布置图



## 6.5 主要工程量

表 6.5-1 工程量表

工程项目		建设内容	单位	工程量
水质净化工程				
工艺单元系统设计	生态塘	土方开挖	m <sup>3</sup>	17440
	氧化塘	土方开挖	m <sup>3</sup>	8160
	水平潜流I	土方开挖	m <sup>3</sup>	7533
	水平潜流II	土方开挖	m <sup>3</sup>	8405
	水平潜流III	土方开挖	m <sup>3</sup>	7074
	水平潜流IV	土方开挖	m <sup>3</sup>	7616
	表流湿地I	土方开挖	m <sup>3</sup>	2138
	表流湿地II	土方开挖	m <sup>3</sup>	2282
	表流湿地III	土方开挖	m <sup>3</sup>	2207
	表流湿地IV	土方开挖	m <sup>3</sup>	2884
	沉水植物塘I	土方开挖	m <sup>3</sup>	8180
	沉水植物塘II	土方开挖	m <sup>3</sup>	12474
配水系统	管涵敷设	混凝土管涵	m	650
防渗系统	原土夯实	原土夯实	m <sup>2</sup>	51075
	土工布铺设	土工布	m <sup>2</sup>	52000
湿地滤料	钢渣及碎石滤料	混合填料	m <sup>3</sup>	24501
湿地植物	挺水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	20418
	浮水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	11890
	沉水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	10327
设备选型	提升泵	30000m <sup>3</sup> /d	台	2
	曝气设备	充气量 1kgCh/kWh	台	4
生态修复工程				
鸟类栖息地建设	生态鸟岛	浮动岛建设	m <sup>2</sup>	2000
生物操纵工程	底栖动物投放	动物投放	公斤	100
	鱼类投放	动物投放	公斤	50
配套设施及公共工程				
围堤工程		湿地围堤建设		3225
道路工程		砂石路建设	m	3300
水利涵闸		配水涵闸	座	25

## 7 组织管理与保障措施

### 7.1 项目管理

#### 7.1.1 组织管理

根据工程需要，建议成立相关的部门对本项目进行管理。

##### (1) 行政管理

负责日常行政工作，以及和项目施工设计单位的接待、沟通等各项日常工作。

##### (2) 计划财务管理

负责日常的财务计划和实施计划安排，与项目施工设计单位办理合同协议手续以及资金的施工收支手续等工作。

##### (3) 施工管理

负责项目的土建与安装工程的施工指挥、施工进度与计划安排，同时负责施工质量和施工安全的监督检查以及工程验收等工作。

##### (4) 设备材料管理

负责项目设备材料的订货、采购、保管、调拨等工作。

##### (5) 技术管理

负责项目技术文件、技术档案的管理，主持设计图纸会审，处理有关技术问题以及组织相关上岗培训等工作。

#### 7.1.2 养护管理

本工程建成后的养护管理工作简单，且基本不耗动力能。其日常养护管理工作主要包括：

(1) 人工湿地进、出水阀门的调节管理。

(2) 定时或不定时排放或放空人工湿地床层存水作业。

- (3) 人工湿地植物的收割、种植、补种、防病、处置等。
- (4) 河岸缓冲带植物的收割、种植、补种、防病、处置等。
- (5) 工程场地的安全巡查及发现问题处置。
- (6) 定期或不定期水质取样监测。

同时，为保证湿地正常运行，规避因湿地进出水水质不达标而引发的环境风险，应加强湿地水质监测管理。

### (1) 监测布点

在人工湿地总进水口及总出水口分别设置监测点位，对湿地进出水水质和流量进行监测。

### (2) 监测项目

主要检测指标包括流量、水位、水温、DO、pH、SS、BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Cr</sub>、氨氮、硝酸盐、TP、TN 等，污染物监测方法按照相关标准执行。此外，人工湿地系统的监测还应包括降雨量、湿地水位、植被柱密度等。

### (3) 监测频次

本项目中安装了 PLC 自动控制的在线监测设备，TN、TP、DO、pH、COD<sub>Cr</sub> 等常规指标监测频次为每天 1 次，并自动上传至系统。降雨量、湿地水位监测频次为每天 1 次，植被株密度每年 1 次。

## 7.2 保障措施

### 7.2.1 政策措施

为了加快湿地保护修复制度，增强湿地保护修复的系统性、完整性和协同性，广东省生态环境厅专门出台了《广东省水生态环境保护“十四五”规划》，规划中提到，“根据河湖湿地受损情况，针对湿地面积萎缩、重要物种生境受损等问题，采取不同的保护与修复措施，优先开展重要湿地、

湿地自然保护区以及水鸟生态廊道内的退化湿地生态修复和湿地生境恢复。加大人工湿地保护修复力度，完善基础设施建设，修复库塘周边野生动物栖息生境，提高人工湿地的生物多样性。把人工湿地公园建设作为提高治水治污效果的重要抓手，因地制宜在大型污水处理厂下游、河流交汇处、重要河口等关键节点建设湿地公园。”本项目的实施将显著改善练江流域及护城河河口的生态环境，有效的提高其的生态承载能力，节约水资源。

### **7.2.2 组织措施**

为了确保项目的顺利进行，组建由主管部门领导参加的“工程筹建小组”，专门负责项目的组织、协调和领导工作。由“领导小组”负责组建工程项目部，作为项目执行单位，全面负责项目的实施工作。

### **7.2.3 技术措施**

专门聘请有关专家担任项目的技术顾问，配合项目进行重大技术问题的咨询与决策。

### **7.2.4 质量保障措施**

通过聘请专家顾问和项目监理制来保障项目的质量。专家顾问可以在重大问题、关键核心问题上给予科学的指导；选择优秀的监理机构可以在施工的每个过程进行监管，实行一票否决制，确保工程建设的质量。

## **7.3 湿地运维管理保障**

### **7.3.1 运行管理维护措施**

人工湿地的运行管理主要包括管理结构及定员，湿地布水、排水系统管理、湿地进出水水质和水量的监测、计量和统计，分析湿地运行的效果和状况，湿地内植物的种植、收割，湿地内部水流状况的分析及疏导。人工湿地建成后，运行管理十分重要，是湿地工程能否正常、持续、高效运

行的关键，工程如果得不到有效管理，沉淀物和植物残体大量累积会引起净化功能下降，造成二次污染，因此应及时清除沉淀物和过多的水生植物，保持湿地持久稳定运行。

#### （1）垃圾、沉渣、淤泥的清除

在湿地中可能会出现漂浮垃圾及沉淀泥砂、淤泥等，人工及时清除这些固体废物，每年清理 1-2 次，可用于附近埂塘填埋；每年垃圾打捞后与附近村镇或工业园区垃圾一同送垃圾填埋场填埋处理。

#### （2）挺水植物的管理

每年对挺水植物进行 1-2 次刈割，挺水植物生长量约为  $10-20 \text{ kg/m}^2$ 。每年产生挺水植物残体约 3500 吨，处理方式同漂浮植物。

项目拟聘请附近农民进行专门看护管理，人员 2 名，主要职责为：

- ①进行工程设施的日常维护，垃圾、沉砂、淤泥打捞清理。
- ②湿地植物的筛选、栽培、管理及刈割，植物残体的处置、清运。
- ③看护整个湿地系统，防止人为破坏。

#### （3）根据季节管理

根据暴雨、洪水、干旱、结冰期等各种极限情况，可进行水位调节。如果出现供水不足的现象此时需人工调节水位，如遇暴雨、洪水等供水充足的时期，则应及时控制实地的补水量。

#### （4）湿地清渣管理

对进出水装置进行周期性的监查并对流量进行校正。同时要定期去除容易堵塞进出水管道的残渣。采用高压水枪或机械方法对浸没在水中或埋在填料中的进水管进行定期的冲洗。

入流污水中的悬浮固体会在潜流型人工湿地系统的进水段慢慢积累。这些积累物减少了湿地系统中填料间的空隙，从而减少了系统的水力停留

时间，使水力传导性下降，严重时会使水面升高而导致漫流。当湿地系统的漫流情况非常糟糕时，需要将系统前端 1/3 部分的植物挖走，并挖出填料，更换上新的填料并重新种植植物。

#### （5）除杂

为加强湿地管理，要经常对护堤进行检查，防止水面以下护堤的外部斜坡面出现渗水现象，过多的颜色异常暗绿的植被生长都是渗漏的症状。定期清除护堤和堤面上的杂草，以免杂草蔓延到湿地处理系统中，与湿地植物进行生存竞争。

#### （6）异味气体管理及维护

湿地如果进水负荷过高会形成厌氧的水域，释放出难闻的气体。降低有机物和氨氮的负荷可以控制难闻气味的散发。同时不同的植物对矿质元素的吸收也不相同，所以在植物互不影响的情况下，尽量多种植品种不同的植物，不但可以提高物种丰富性还可以促进矿质元素吸收减少异味。

#### （7）蚊虫控制

蚊蝇能传播疾病，影响人类的健康，控制蚊蝇是湿地必须考虑的生态问题。

①保持湿地系统中水体流动是非常有利于减少蚊蝇数量的方法。以通过在水体中安置机械曝气装置或者水泵提取，不但可以减少蚊蝇，还可以提高水体含氧量，加强水质。

②每年对低矮植物进行收割或者在水面不种植水生植物，来加强湿地水生植物管理来控制蚊蝇的数量，防止水生植物的倒伏促使蚊蝇孳生。

### 7.3.2 进出水水质水量监测要求

为保证湿地正常运行，规避因湿地进出水水质不达标而引发的环境风险，应加强湿地水质监测管理。

### (1) 监测布点

在人工湿地总进水口及总出水口分别设置监测点位，对湿地进出水水质和流量进行监测。

### (2) 监测项目

主要检测指标包括流量、水位、水温、DO、pH、SS、BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Cr</sub>、氨氮、硝酸盐、TP、TN 等，污染物监测方法按照相关标准执行。此外，人工湿地系统的监测还应包括降雨量、湿地水位、植被柱密度等。

### (3) 监测频次

本项目中安装了 PLC 自动控制的在线监测设备，TN、TP、DO、pH、COD<sub>Cr</sub> 等常规指标监测频次为每天 1 次，并自动上传至系统。降雨量、湿地水位监测频次为每天 1 次，植被株密度每年 1 次。

## 7.3.3 技术管理

(1) 会同市政、环保部门监测进厂水质，监督尾水人工湿地规范运行，达标排放。

(2) 根据实际运行情况及时调整中心控制系统，为出水达标、节省能耗提供保证。在工程投入运行后采用四班三运转，全厂共设置 6 人。

## 7.3.4 调试与试运转

配套设备的调试应根据国家有关的技术标准进行或由设备供货单位派人进行调试或派员进行技术指导。

(1) 试运转工作应邀请供货方专家、设计单位、安装单位共同参加；试运转操作人员上岗前必须通过专业技术培训。

(2) 有关设备调试、通水试运转以及验收等项工作的技术文件必须存档备查。

## **7.4 建立长效机制**

### **7.4.1 建立健全管理机制与考核机制**

工程投入运营前应制定相应的管理机制和考核机制，对相应的工作人员进行培训。通过完善管理制度，可保障人工湿地稳定、高效的运行。同时引入考核机制，充分调动工作人员的积极性和主观能动性，共同维护好人工湿地。

### **7.4.2 建立健全环保宣传机制**

项目运营前后应做好环保宣传，建立相应的宣传机制。通过广泛的宣传，提高普通大众的环保意识，在享受人工湿地及绿化用水所带来的环境好转和收益的同时也积极参与进来，共同维护日益变好的生态环境。



## 8 水土保持

### 8.1 编制依据

#### 8.1.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国水土保持法》（2010.12）
- (2) 《中华人民共和国水土保持法实施条例》（国务院 1993 年第 110 号令）
- (3) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版）
- (4) 《国务院关于加强水土保持工作的通知》（国务院（93）第 5 号文）
- (5) 《水土保持生态环境监测网络管理办法》（水利部第 12 号令）

#### 8.1.2 技术规范与标准

- (1) 《开发建设项目水土保持技术规范》（GB50433—2019）
- (2) 《土壤侵蚀分类分级标准》（SL190—2007）
- (3) 《全国生态环境保护纲要》

### 8.2 水土保持原则

根据国家关于水土保持的有关法规的要求，坚持“预防为主、全面规划、综合防治、因地制宜、加强管理、注重效益”的方针，坚持水土保持措施与主体工程建设“同时设计、同时施工、同时投产使用”的制度。

本项目目标如下所示：

- (1) 在本工程水土流失防治责任范围内，对原有的水土流失进行防治，使之得到有效治理。
- (2) 工程建设过程中采取措施保护水土资源，尽量减少对植被的破坏。
- (3) 工程施工过程中开挖产生的弃土、弃渣得到妥善的处理和有效利

用，保证不被洪水冲入河道，尽可能减少弃渣产生的水土流失。

(4) 对工程建设区和直接影响区进行绿化、美化，改善生态环境。

### 8.3 主体工程水土保持评价

本方案从水土保持生态环境保护的角度对主体工程建设条件进行了分析，工程主体采取了排水、拦挡等有利于水土保持的技术、措施，能有效防护工程建设期间及投入使用后的水土流失。但主体工程对部分区域水土保持措施考虑不完善，本方案将进一步完善水土保持措施，加强工程施工中水土流失的防治。

对水土流失影响因素的分析，明确了水土流失产生的重点区域。建设期新增水土流失主要来源于弃渣区，土壤侵蚀强度较高。

### 8.4 水土流失防治责任范围

防治责任范围由项目建设区和直接影响区组成。

项目建设区是指开发建设单位的征地范围、租地范围和土地使用管辖范围。包括主体工程建设区、施工生产生活区、弃渣区、施工道路区。

直接影响区是由于工程建设活动对周边区域造成水土流失危害的区域，虽不属于征地范围，但建设单位应对其造成的水土流失负责防治。

### 8.5 水土流失影响

本工程项目的的主要建设内容是尾水人工湿地建设与再生利用工程等。工程建设期水土流失主要来源于基础开挖、弃土堆放、施工道路及生产生活区建设、机械作业人员活动等，使工程占地区原状土壤结构和植被受到扰动，改变了原状地形，原有水土保持功能减弱甚至丧失，如不及时采取有效的防治措施，将不可避免地造成人为水土流失。

## 8.6 措施

### 8.6.1 水土保持防治措施

(1) 湿地建设模块、湿地场地开挖平整前，先沿施工场界四周修筑挡土墙，再进行挖填方作业；挖填方施工中修筑临时的排水沟，尽量减缓水土流失。

(2) 合理安排施工期，泵站等的场地平整工程应安排在早期，避免雨季施工，如必须在雨季施工时，要做好场地排水工作，保持排水沟畅通。

(3) 土建完成后，及时实施绿化工程，及时恢复道路、绿化。

### 8.6.2 施工过程中应注意的问题

(1) 工程开工后，应严格按照施工规范及组织计划所确定的顺序进行施工，边坡开挖后，应立即进行护坡处理，减少地表裸露时间，从而减少水土流失，减小或避免工程施工对周围环境的影响。

(2) 在人口密集区域，对大面积的开挖面和填筑面在施工过程中应采用洒水车洒水压尘，以减少尘土的飞扬。

(3) 施工场地应注意土方的合理堆置，与下水道和河道保持一定距离；建筑材料及未及时清运的弃土，在大风大雨天气时要用蓬布严密遮盖。

(4) 尽量避开在大风和雨天条件下施工，减少施工过程中的水土流失。

(5) 在施工期间，工程建设单位应有专职或兼职的环境保护和水土保持管理人员，主要负责落实施工过程中的临时水土保持管理措施、临时水土保持工程措施，以及监督管理工作。

(6) 工程施工中要做好土石方平衡工作，开挖的土方应尽量作为施工场地平整回填之用。如果有弃土，应及时妥善处理。

(7) 工程施工尤其是开挖作业尽量做到分期、分区进行，不要全面铺开，以缩短单项工期。

(8) 弃土临时堆放场地中，若有相对比较集中的地方，其周边应挖好排水沟，对裸露表层进行清理、整地、植物恢复等，避免雨季时的水土流失。堆土的边坡要小，尽量压实，使其少占地且不易被雨水冲刷造成流失。

(9) 加强施工管理，强化对工人关于水土保持的教育工作。

考虑到即使采取了上述措施，施工期间一次暴雨造成的水土流失量也会相当大，因此各个施工队必须随时配备一定数量的防护物，在暴雨未下之前将易受侵蚀的裸露地面覆盖起来，以减少雨水直接冲刷，从而降低水土流失量。

### 8.6.3 水土保持监测

#### 8.6.3.1 监测范围和监测分区

##### (1) 监测范围

水土保持监测范围包括主体工程区、施工临时占地区和弃渣场。

##### (2) 监测分区

根据各单项工程施工区域、水土流失程度和特点，将监测范围划分为主体工程监测区、施工临时占地监测区、弃渣场监测区。

##### (3) 监测因子

根据项目区具体情况，拟对以下各项水土流失因子进行监测：

1) 对地貌、植被的扰动范围、扰动强度。

2) 复核各施工阶段产生的弃土、弃渣量。

3) 监测弃土、弃渣流失量。

4) 水土保持措施防治效益监测：对实施的各类水土流失防治措施效果，如控制水土流失量、改善生态环境的作用等。

5) 水土保持设施完好率监测；对于与侵蚀相关的气象因子，如降雨量、降雨强度、风向、风速、大风日天气等不单独监测，可参照当地气象监测

资料。

#### 8.6.3.2 监测方法

依据《水土保持监测技术规程》（SL277-2002）和项目建设生产过程中可能造成水土流失影响，确定采用调查监测方法。

#### 8.6.3.3 监测频次

施工期根据具体情况安排监测频次。

### 8.7 实施进度安排

根据《中华人民共和国水土保持法》中“建设项目的水土保持措施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用”的规定，从水土保持角度出发，确定方案措施实施进度安排为：

（1）各项水土保持措施必须坚持与主体工程“同步实施”的原则，主体工程中可能引发水土流失的各个环节，均需及时采取防护措施。

（2）各项临时措施必须在施工进场后尽快完成，临时排水沟、沉沙池等必须在第一个雨季之前完成。

（3）土地整治、地面硬化等，可以在建安工程完工后实施，但施工过程中不占用的绿地宜尽早实施整地、绿化。

## 9 环境保护、劳动保护与节能

### 9.1 环境保护

#### 9.1.1 工程实施中的环境问题

在本工程实施的过程中，无论从施工设备、工作人员、还是施工过程都会对环境有一定的影响，对当地交通、居民生活生产都会有不同程度的短期性干扰，此外对植被、生物、地质等也可能造成不同程度的影响，产生一系列的环境问题。

##### (1) 废气

建设期间废气主要来自施工机械排放的废气、运输车辆排放的尾气以及地表覆盖层受破坏时或破坏后引起的扬尘，其中扬尘占有较大比例。

##### (2) 固体废物

固体废弃物主要是建筑垃圾、生活垃圾等，其中由于建筑物拆除工程，产生的建筑垃圾可能占有较大比例。预测固体废弃物中无机成分较多，如泥土、砖瓦石块等，有机物成分较少，如纸张、生活垃圾、植物性成份等。

##### (3) 噪声

主要来自施工机械噪声、交通噪声等，其中施工噪声和交通噪声是影响区域声环境质量的主要因素。

##### (4) 水土流失

水污染物排放以及固体废物流失、生态环境和土壤环境破坏引起的水土流失，都会加重水污染负荷。

#### 9.1.2 环境保护措施

针对施工过程中出现的环境问题，必须采取相应的环境保护措施。通过实施措施或者加大管理力度，有效安排施工时间等，尽可能避免和减少

环境污染问题，使工程建设尽量在清洁、少污染的状态下进行和完成。具体几项环境保护措施如下：

#### （1）水土流失防治

在施工过程中，有一定的土方开挖量，应采取有效措施，控制可能产生的水土流失。施工尤其是挖填方应尽量避免风天、雨季。尽量缩短开挖的施工期，使土石暴露时间缩短，并进行及时的生态恢复，以有效地控制水土流失。

#### （2）施工大气污染控制

施工机械排放的废气、运输车辆排放的尾气以及地表覆盖层受破坏时或破坏后引起的扬尘会对大气产生污染。在施工现场附近应适当硬化路面并经常洒水，保持地面的适当硬度和湿度，以减少扬尘产生量。运输车辆要遮盖苫布，平稳行驶，尽量避免扬尘，减少尾气产生。

#### （3）施工噪声控制

合理安排施工时间，减少噪声影响的时段；合理安排施工机械的使用，减少噪声设备的使用时间。对易产生噪声的机械和车辆采取一定的隔音措施，同时种植绿化带，并避免在夜间施工。

#### （4）固体废物的处理

加强施工管理，对施工过程中建筑材料、泥土、碎石、燃料油等进行资源化处理。土石方部分可作为缓冲带生态建设的材料，对不适合在缓冲带生态建设利用的材料和缓冲带再利用后剩余废物，可外运利用、处理或堆填。

#### （5）生态环境保护

生态建设中，对现有的绿地要采取有效措施保护好，尽量不占用，对受影响的绿地应及时进行恢复。

## (6) 加强环境管理

在建设过程中，加强环境管理。由于工程需要一定的时间，应提高当地居民的环保意识，作好工程维护管理工作，充分体现工程的环境效益。

## 9.2 劳动保护

### 9.2.1 设计依据

- (1) 《中华人民共和国劳动法》(1994)中华人民共和国主席令第 28 号；
- (2) 《中华人民共和国安全生产法》(2002)中华人民共和国主席令第 70 号；
- (3) 《中华人民共和国消防法》(1998)中华人民共和国主席令第 4 号；
- (4) 《中华人民共和国职业病防治法》(2001)中华人民共和国主席令第 60 号；
- (5) 《中华人民共和国防洪法》(1997)中华人民共和国主席令第 88 号；
- (6) 《中华人民共和国防汛条例》(1991)国务院令第 86 号
- (7) 《建设工程安全生产管理条例》(2003)中华人民共和国主席令第 393 号；
- (8) 《建设项目(工程)劳动安全卫生监察规定》(1996 年 10 月)原劳动部第 3 号令。

### 9.2.2 本工程职业危害因素分析

#### (1) 机械伤害危险性分析

本工程在施工期会使用各种挖掘机械设备，根据对同类工程施工安全生产统计情况分析，各种机械传动、转动部位的护罩等防护设施缺乏或失效、违章作业、安全操作规程及监护制度执行不严均有可能造成机械伤害。

#### (2) 电气伤害危险性分析



电气伤害事故是与电相关联的造成人员伤亡的事故，包括触电事故、静电事故、雷电事故等。本工程施工期间，需要架设临时线路保证施工、用水、用电，柴油发电机作为施工电源和事故备用电源。

### （3）高处坠落危险性分析

工程施工期间，设有拌合站等大型设备，作业过程中可能发生坠落事故；离地面高于2米以上的高架平台或过道，地面的坑、沟道等部位，没有设置安全标志、防护栏或防护栏的强度不够就容易引发坠落事故。此外夜间施工时，若这些场所的照明不好，也可能发生坠落或人员伤亡事故。

### （4）暴雨、洪水危险性分析

工程区施工线路较分散，应适当考虑施工期遇暴雨或洪水，导流围堰的防洪标准不够或遭遇超标洪水，造成水溢围堰，淹没施工场地，造成设备损坏、人员伤亡。

### （5）火灾危险性分析

本工程施工期间可能发生火灾的主要类别有电缆火灾、油系统火灾和电气设备火灾，采用明火取暖或用以熏烤受潮电气设备，也会引起火灾危害及人身安全，也可导致设备损坏或报废。

### （6）爆炸危险性分析

本工程施工期间可能发生爆炸的主要设备有柴油发电机，压力容器类（压缩空气储气罐、氧气瓶等），电气设备等，如操作、维护不当，就有可能引起火灾最终导致爆炸或直接发生爆炸。引起人身伤亡。

### （7）安全标志缺陷危险性分析

安全标志缺陷包含有无标志、标志不清晰、标志不规范、标志选用不当、标志位置缺陷和其他标志缺陷。若存在标志缺陷，则可引发人员伤亡等事故。因此应对整个工程的标志设置予以重视。

### (8) 作业环境不良危险性分析

作业环境不良的情况有噪声及振动过大，有害物质危害、水质污染，气温过高，气温过低，采光照明不良等。作业环境不良，会使工人身体疲劳，视线不清，注意力不集中，反应迟钝，昏昏欲睡，容易使操作失误增多，导致事故发生的危险提升。

### 9.2.3 主要防范措施

#### (1) 防机械伤害

根据《水利水电工程劳动安全与工业卫生设计规范》（GB50706-2011）的有关规定，结合本工程的特点，应严格按照《机械安全、防护装置、固定式和活动式防护装置设计与制造一般要求》（BG/T8196）和《水利水电起重机械安全规程》（SL425-2008）等有关规定进行防机械伤害设计。

#### (2) 防电气伤害

①所有可能发生电气伤害的电气设备均可靠接地，工程接地网的设计满足相关规程规范的要求。

②对于可能遭遇雷击的建筑物屋顶、设备等采取避雷带或避雷针保护。

③配电装置的电气安全净距符合《水利水电工程高压配电装置设计规范》（SL311-2004）的有关规定。当配电装置电气设备外绝缘最低部位距地面小于 2.5 m（室内 2.3 m）时，应设置固定遮拦。

④不同用途和不同电压的电气设备使用一个总接地网时，接地电阻应符合其中最小值的要求。

⑤独立避雷针不应设在人经常通行的位置旁。避雷针的接地装置与道路或出入口等的距离，不宜小于 3 m。小于 3 m 时，应采取均压等防护措施。

⑥对于误操作可能带来人身触电或伤害事故的设备或回路，设置电气联锁或机械联锁装置，或采取其它防护措施。

⑦电气设备的外壳和钢构架在正常运行中的最高温升，运行人员经常触及的部位不应大于 30K；运行人员不经常触及的部位不应大于 40K；运行人员不触及的部位不应大于 65K，并设有明显的安全标志。

### （3）防坠落伤害

①施工期间所有坠落高度超过 2m 的平台周围，均应设置防护栏或盖板。楼梯、平台均应采取防滑措施。

②需上人巡视的边坡等临空作业处，应设置安全标志物或固定式防护栏杆。

### （4）防洪、防淹

在工程施工期特别是汛期必须对护岸各部位进行日常和专项巡视检查，对超标准洪水，应采取紧急处理措施。

①工程区沿河设置“防止突然来水”的标识；

②水文预报应能满足本工程运行期和施工期需要，使水文预报的预见期能达到 6h 以上；

③加强洪水期的安全管理。

### （5）防火、防爆

①本工程的防火、防爆设计应符合国家现行标准《水利工程设计防火规范》（GB50987-2014）、《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）的有关规定。

②压力容器的设计和选型，应符合《钢制压力容器设计技术规定》（YB9073-2014）的有关规定。

③室外独立的露天油罐及易燃易爆材料仓库，应设置直击雷保护措施。其直击雷保护应采用独立避雷针，严禁在建筑物或设备上装设避雷针，并应采用防止感应雷和防静电的措施。

④在爆炸危险场所电力装置的防护应符合下列要求：

A. 在爆炸危险场所内，应少用携带式电气设备。当必须采用时，其电源线路应采用移动电缆或橡套软线。

B. 事故排风电动机应为防爆式电动机，事故启动按钮等控制设备应设置在发生事故时便于操作的地方。

C. 照明设施应符合国家现行有关照明防爆的规定。在爆炸危险场所内必须装设电源插座时，应选用防爆型插座。

D. 电缆线路的进线装置、中间接线盒和分支盒，应按其所处地点的防爆等级采用隔爆或防爆型。

E. 在有爆炸危险、特别潮湿及有可能受到机械损伤的场所，照明线路应采用穿钢管（电线管）敷设。

#### （6）安全色和安全标志

对工作场所进行色彩调节设计，有利于增强识别意识，精力集中，减少视力疲劳。调节人员在工作时的情绪，提高劳动积极性，达到提高劳动生产效率、降低事故发生率的目的。

根据《安全色》（GB2893—2008）和《安全标志及其使用导则》（GB2894—2008）的规定，充分利用红（禁止、危险）、黄（警告、注意）、蓝（指令、遵守）、绿（通行、安全）四种传递安全信息的安全色，使人员能够迅速发现或分辨安全标志、及时受到提醒，以防止事故、危害的发生。

## 9.3 节能

### 9.3.1 节能的意义

环境和能源问题已经成为我国经济发展的制约瓶颈，未来一段时期内

奇缺的能源、淡水、耕地、矿产、生物五大资源以及现有环境资源合理、有序、持久开发利用，对我国经济增长有着深远战略意义。

节能是国家发展经济的一项长远战略方针，加强节能工作是深入贯彻“坚持开发与节约并举，把节约放在首位”的方针，落实科学发展观，建设资源节约型、环境友好型社会，合理利用能源，切实提高节能水平和能源利用效率的一项重要措施。水利工程固定资产投资项目节能评估和审查工作是加强节能工作的重要组成部分，对设计中严格采用节能技术，执行节能标准，降低能源消耗，合理有效地利用能源，优化工程设计具有重要意义。

节能降耗的目标是“提高能效、降低能耗、引导消费、使用可再生资源”。节能降耗不但减缓了资源的枯竭速度，同时节能减排有效的保护了环境、保护了我们人类生存的空间。

节能降耗工作是国家当前宏观调控的重点，是贯彻落实科学发展观和构建和谐社会的重要举措，是我国可持续发展的关键。

### 9.3.2 设计依据

本工程项目节能设计所依据的相关法律法规、规划和产业政策如下：

- (1) 《中华人民共和国节约能源法》（2008 年 4 月 1 日起施行）；
- (2) 《国务院关于加强节能工作的决定》（国发[2006] 28 号）；
- (3) 《国家发改委关于加强固定资产投资项目节能评估和审查工作的通知》（发改投资[2006] 2787 号）；
- (4) 《中国节能技术政策大纲（2006 年）》国家发改委，科技部；
- (5) 《固定资产投资项目节能评估和审查暂行办法》（2010 年 11 月 1 日起施行）；
- (6) 水利项目节能评估和审查暂行办法；

(7) 《水利水电工程节能设计规范》（GB/T 50649-2011）

(8) 《综合能耗计算通则》（GB/T2589—2008）

(9) 有关节能技术标准和规范。

### 9.3.3 节能设计

潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程是生态、环保综合治理项目，因此必须因地制宜，从项目的建设至项目的管理运行严格按照国家及相应行业的节能标准，做好每个环节的节能设计工作。具体如下：

主要建筑物的节能设计，本着低成本、低能耗的原则，按照我国已经编制的《公共建筑节能设计标准 GB50189-2015》进行设计；

在工程建设及永久管理运行时，制定相关节能激励政策和技术政策，提高工作人员的节能意识，提高节能效率。

在工程建设期主要能耗为水、柴油、汽油和电，工程在施工技术及施工工艺选择时，根据本工程实际的地形地质条件、工程总体布置格局及施工条件等因素进行考虑，并结合已建同类工程的成功经验，尽量优化工程施工组织设计方案。

施工期选择的施工设备的技术性能应该适合工作的性质、施工的对象、施工场地的大小及料物运距远近等各方面的施工条件，充分发挥机械设备效率，保证工程施工质量；所选的配套设备的综合生产能力，应满足施工强度的要求；所选设备应是技术先进、生产效率高、操作灵活、机动性高、安全可靠及结构简单，易于检修和安装，防护设备齐全，环保性能好的设备。

### 9.3.4 节能措施

考虑到潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程的特点，工程节能设计宜从工程的节能设计、机电设备节能设计及施工组织节能设计

几个方面进行分析。

### （1）工程设计中节能设计分析

在工程总体布置和设计中，充分体现了节能理念，在土石方开挖、土石方回填、混凝土浇筑、水泵及管道安装等过程中，结合工程特点，合理选用低能耗的挖掘设备，减少能源消耗，搞好土石方平衡，尽量减少运输距离，以减少施工期间能耗。在满足设计要求的前提下，优化混凝土配比，提高工作效率。

### （2）主体工程节能设计分析

①本工程通过对主要建筑物型式和控制尺寸进行比较优化，达到合理利用水能资源、节省工程量和减少钢材、水泥等原材料用量。

②工程施工方案比选，优化施工场地的布置，选择合理配套施工机械，选用先进施工技术和工艺，达到减少施工占地、提高施工效率和降低能源消耗的目的。施工组织设计中合理安排施工次序，减少不必要的燃料消耗。

③土石方开挖、填筑、混凝土浇筑等的施工工艺方面，分析研究生产过程中弃渣、废水的集中处理措施，减少对环境的影响，节约水，节约废弃物的占地。

### （3）机电设备节能设计

在机电设备选择设计中，按照节能优先、技术和工艺先进并符合国家行业政策规定的原则选用设备。

一般辅助设备选型均按节能和排放达标的产品，设计选用的机电设备均符合国家节能产业政策推荐设备。

### （4）施工组织节能设计

在施工组织设计中，施工总体布置本着有利于生产、方便生活、快速安全、经济可靠、易于管理的原则进行，选择技术先进合理可行的施工方

案，施工机械设备选择能耗低、符合国家节能要求的产品。在施工进度编排上，合理安排施工工期。

#### ①施工用油、用电节能

本工程主要消耗的能源为柴油和电能。因此相应的措施为：

A、柴油、汽油主要消耗于土石方开挖工程、主要建筑材料的运输、填筑、碾压等工程的施工，因此通过加强交通节能和采用低能耗设备来减少柴油消耗。建设及运行管理过程中应积极推进节能型综合交通运输体系，尽量少用能耗大的汽车、设备，鼓励使用节能环保型的运输工具和设备。

B、电力主要消耗于管道安装工程、砼浇筑工程、钢筋制安工程和工程管理中办公设备的运行等用电工程，因此，工程建设过程中，管理房、建设单位用房、施工单位用房和设计代表用房等严格控制室内空调温度，夏季室内空调设置不低于 26 度，冬季室内空调设置不高于 20 度。推荐采用能耗低、符合节能要求的设备。

#### ②施工节水

随着经济的发展，污水的排放，可开发利用的水资源变得越来越少。水资源的优化配置、合理开发，并在开发利用中加以保护受到人们的关注和重视。本工程的用水主要是生活用水。采取的主要节能措施如下：

A、采取生活用水设分级计量措施；

B、采用节水型卫生器具；

C、加强用水管理。

### 9.3.5 节能效果综合评价

#### 9.3.5.1 工程项目评价

(1) 潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程符合河流开发规划，节能设计符合国家、行业和地方节能设计的要求。



(2) 本工程社会效益、环境效益显著。

#### 9.3.5.2 节能设计评价

(1) 在工程总体布置和设计中，充分体现了节能理念，进行了多方案的比选，使总体方案经济合理，节约能源。

(2) 主要机电和金属结构设备的选择遵循高效和节能的原则，一般辅助设备选型均满足节能和排放达标的要求，设计选用的机电设备均符合国家节能产业政策推荐设备。

(3) 施工组织设计中，贯彻了节能的要求，选择合理的施工方案和施工工艺，施工机械设备选择能耗低、符合国家节能要求的产品。

通过以上几方面的工作，本工程节能设计能够满足国家节能产业政策和有关规程规范的要求。

#### 9.3.5.3 节能效果评价

潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程属综合类工程项目，针对项目性质，项目设计从设计理念、工程布置、设备选用、施工组织设计等多个方面已进行了优化设计，在保障工程安全，满足工程要求的前提下，实现资源优化配置，节约能源。工程设计及施工中采用高效节能设备，在满足工程要求的前提下，选用能耗低，易施工、造价低的建筑材料。在施工组织设计中，合理选用了节能型施工机械，并合理安排了工期和施工秩序，符合我国固定资产投资项目节能设计要求。通过各种节能措施的有效实施，节能效果十分明显。

## 10 施工组织计划

### 10.1 交通条件

工程建设区位于潮阳区城区污水处理厂南侧，毗邻护城河，城区交通道路系统方便快捷，另外周边有城西大道、福昆线、潮汕环城高速、沈海高速等快速交通系统，适合施工车辆的进出以及施工材料和设备的运输，且湿地附近有汽车修理厂，可满足施工建设期的维修及用电需求。

### 10.2 天然建筑材料

本项目土料按内部挖填方解决，石料、填料等建材进行外购。不设专门的天然建筑材料开采场地。

### 10.3 施工导截流

本工程湿地建设区域位于城区污水处理厂南侧，位于护城河堤后，不涉及施工导流。

### 10.4 主体工程施工

#### 10.4.1 土方工程

本工程土方工程包括土方开挖与回填，包括潜流湿地池体结构、表流湿地等建、构筑物基础的土方开挖施工，以及湿地道路、管道地埋回填以及厂区内停车场等区域的土方回填施工。土方开挖采用机械挖填土方。

工程采用  $1\text{ m}^3$  反铲挖掘机、 $118\text{ kw}$  推土机，配合  $10\text{ t}$  运输车、 $18\text{ t}$  轮胎震动碾等机械设备进行土方开挖、倒运、回填及填筑施工。土方工程施工顺序为优先进行建、构筑物主体基础土方开挖工程，其次进行湿地内部池体土方开挖工程，除需回填土方外，剩余开挖土方运用于湿地范围内输

电塔的防渗加固、湿地周边的水土保持工程。

#### 10.4.1.1 土方开挖

土方开挖遵循“纵向分段，竖向分层，从上至下”的施工原则，纵向坡度不大于 1:1，机械开挖辅以人工修整坡面，并加强对深基槽周围土体进行沉降及位移监测，以保证安全。基槽底预留土方厚度 10 cm，配合人工进行基底清理。

#### 10.4.1.2 土方回填

为充分发挥施工机械效率，根据机械技术性能，施工区、段划分，拟定分单元施工，使挖土，铺土找平，洒水碾压形成一个流水作业的施工现场面；两个施工单元为一个施工段，使取土，土料摊铺，洒水碾压，形成一个循环作业的场面，一个施工段完成后进行下一个施工段。根据施工要求和施工条件，对于宽度大于 3.0 m 的部位，采用 18 t 轮胎振动碾进行碾压。碾压方法采用进退错距法，碾压与铺土、质检等工序容易协调施工单元长控制在 100 米左右。

#### 10.4.1.3 土方填筑

填筑工程分层施工，施工工序包括施工准备、测量放线、清基、土样试验、碾压试验、挖土、运土、摊铺、平整、碾压、自检、监理检查与验收，削坡成型、施工验收。

### 10.4.2 结构工程

结构工程主要包括建（构）筑物主体结构施工，主要涉及模板工程、钢筋工程、混凝土工程、砌筑工程、设备安装工程等。本工程建筑物主要包括湿地管理用房、湿地水池等；其中管理房钢筋混凝土框架砖混结构单层建筑，配水渠与水平潜流湿地结构形式为钢筋砼结构。

钢筋：钢筋在现场加工厂加工后，5 t 载重汽车场内运输，15 t 汽车起

重机吊装，现场钢筋绑扎。

模板：本工程以使用钢模板为主，木模板为辅；人工进行立模、支撑或采用 15t 汽车起重机吊运就位，人工辅助安装。

混凝土浇筑：采用预拌商品混凝土，60 m 臂长混凝土泵车输送或溜槽入仓，人工平仓，平板或插入式振捣器密实后养护。

水泵、闸门及其构配件安装：采用 10 t 吊车进行吊装，配合人工进行安装，测量人员进行定位辅助。

工程优先进行潜流湿地与表流湿地主体结构工程施工，其中各建筑物独立进行施工，同时湿地结构平行施工。待水平潜流湿地填料回填施工后，进行配水渠、阀门井的结构施工。

主要工艺流程：基础处理→钢筋安装、检验→模板支撑、检验→砼拌和→砼运输→砼入仓浇筑→砼养护拆模→验收。

湿地的材料、抗渗、地基承载力、外加剂等具体建设情况如下：

（1）材料。混凝土等级：侧壁、底板为 C30，垫层为 C15，保护层厚度：底板为 40 mm，侧壁为 30 mm。混凝土中最大胶凝比为 0.5，混凝土中氯离子含量为 0.15%，最大碱含量为 3.0 kg/m<sup>3</sup>；胶凝材料最小用量：补偿池体混凝土收缩为 300 kg/m<sup>3</sup>，膨胀加强带为 350 kg/m<sup>3</sup>。

（2）抗渗。混凝土抗渗等级为 P6，混凝土施工及施工缝作法应严格按《地下工程防水技术规范》（GB50108-2008）和防水剂样本规定执行。

（3）水池基础地基承载力特征值  $f_{ak} \geq 120$  kPa。

（4）预防混凝土碱集料反应措施：应优先选用非碱活性骨料，并且不得使用引起碱--碳酸盐反应的活性骨料。

（5）混凝土外加剂。在混凝土中掺加 WG-HEA 高效抗裂型防水剂以及做 2 米宽的膨胀混凝土加强带,详细技术要求见产品说明书。补偿收缩混

凝土膨胀剂选用 U 型混凝土膨胀剂（UEA），掺加量：一般部位 10%，加强带处 12%（掺加量是指占水泥用量的百分比）。

（6）开挖基础时注意采取防护措施防止对相邻基础产生不利影响。

（7）预留孔径不大于 300 mm 时，板内钢筋不切断，绕过洞口配置，在洞口处池壁内外侧各增设一根 $\phi 12$  环筋加强。

（8）池体拉筋按梅花布置， $\phi 6@600\times 600$  mm。

#### 10.4.2.1 模板工程

（1）尽可能使用大规格钢模板为主板，以减少拼接，节省配件工时，增强拼装刚度，同时便于拆模。

（2）安装模板一般应自下而上顺序进行，每块模板要求位置正确，表面平整，连接件上紧，拼缝严密，必要时用腻子嵌严缝隙。同一拼缝上的 U 形卡设置应正反向间隔避免在同一方向设置，以防钢模板整体变形。

（3）柱模板安装易发生截面尺寸不准，混凝土保护层过大，柱身扭曲或位移，梁、柱接头偏差大等质量问题。防止方法是：支模前按墨线校正好钢筋位置，钉好压脚板；转角部位设置连接角模，以保证角度准确。柱箍形式、规格、间距要按配板设计设置，梁、柱接头模板要按节点图进行安装，并连接牢固，往四角要设好支撑或拉杆等。

（4）墙模板安装易产生墙体厚薄不一致、不垂直，上口过大，墙体烂脚等质量问题。防止方法是：模板连接用 U 形卡或 L 形插销不宜过疏，穿墙螺栓的规格和间距应按配板设计要求配置，墙上口应设拉结；支撑的间距、位置应由配板设计确定，模板安装前，底边应先批好水泥砂浆找平层以防止漏浆等。

（5）梁和楼板安装常易出现梁身不平直、梁底不平、梁侧面鼓出、梁上口尺寸增大、板跨中挠度过大等质量通病。防止方法是：梁、板模板纵

横钢楞的规格和间距，以及支柱的规格和间距应通过配板设计，经计算确定。使模板支撑系统有足够的强度和刚度，防止浇筑混凝土时产生变形。梁模板上口应设锁口杆拉紧，防止变形。模板支柱应设在坚实地面上，并垫通长脚手板以防下沉使梁下挠。梁模板应按设计要求起拱，避免挠度过大等等

#### 10.4.2.2 钢筋工程

(1) 钢筋绑扎用的铁丝，采用 20~22 号铁丝，其中 22 号铁丝用于绑扎  $\phi 12$  以下的钢筋。

(2) 控制混凝土保护层厚度，采用水泥砂浆垫块。垫块的平面尺寸：当保护层厚度小于 35 mm 时为 30 mm×30 mm，大于等于 35 mm 时为 50 mm×50 mm。用于竖向混凝土构件的垫块，应埋入 20 号铁丝。

(3) 为保证钢筋位置、间距的准确，绑扎前应划出钢筋位置线及钢筋接头错开布置的位置。

(4) 钢筋的现场绑扎，必须组织好与相关工序的配合，特别是与安装模板、固定架及地脚螺栓等工序的配合关系。底板钢筋宜在侧模支设前安装；外侧钢筋应在外壁模板支设后安装；基础内侧钢筋，应在内模支设前安装，或穿插进行；钢筋安装的全过程应与螺栓固定架及地脚螺栓安装分阶段交叉进行。

(5) 为提高机械化程度，节约劳动力和少占用工期，对基础底板、立壁、大梁等构件的规格较粗、制作外形简单的钢筋，可在基础近旁先绑扎成大块钢筋网片或立体钢筋骨架，用 15 t 吊机一次整体吊入基坑内进行整体安装，使工作面由基坑内扩展到基坑外，使钢筋绑扎不占或少占绝对工期，加快施工进度。

(6) 基础上层悬空搁置的水平钢筋网，标高多、高差大、形状复杂、

单根钢筋重量大。当悬空高度在 1 m 以内时，采用钢筋马凳支撑固定层次和位置。当高度在 1 m 以上时，采用型钢焊制的支架，在适当的标高上焊型钢横担支承上层钢筋网片的重量和施工荷载。

(7) 钢筋安装绑轧完后，应将底板及钢筋上的杂物、泥渣清理干净，提出自检记录，交专检复查，最后作必要的修理，报监理人员进行隐蔽手续。

(8) 在钢筋施工中，采取有效的钢筋定位措施，确保钢筋保护层的厚度符合设计要求。钢筋保护层采用工程塑料制作的保护层定位或定型于生产的纤维砂浆块，浇注混凝土前，应仔细检查定位夹或保护层垫块的位置、数量及紧固程度，确保钢筋不移位，提高混凝土保护层的施工质量。

#### 10.4.2.3 混凝土工程

(1) 混凝土的配制、运输混凝土采用商品混凝土，地下混凝土结构工程，应采用高性能混凝土。

##### (2) 混凝土浇筑

1) 混凝土结构工程施工控制的重点是防止混凝土结构出现裂缝和保证混凝土结构的外观质量，场外用搅拌罐车运输，现场水平和垂直运输利用泵车。

2) 在订购高性能混凝土时，应另行按图纸要求向混凝土搅拌站提出原材料标准，混凝土强度、混凝土中含气量、混凝土抗氯离子渗透性和冻融性要求。在满足施工的情况下尽可能减少混凝土塌落度，防止混凝土出现收缩裂缝。

3) 混凝土运送至施工现场必须按规定进行塌落度测试，发现混凝土塌落度不符合要求、和易性不好时，应退回混凝土搅拌站进行处理，严禁自行处理用于工程上。

4) 超大、超长混凝土结构施工, 应设置好施工顺序, 合理进行分段、分块施工, 尽可能减少混凝土硬化过程中产生的收缩应力, 防止混凝土开裂。

5) 施工缝部位, 宜采用快易收口网进行分割的方法进行处理, 既有利于施工缝部位的混凝土连接质量, 又便于施工操作。对有防水要求的基础底板和外墙, 在施工缝部位宜采取设置钢板带的止水措施。

6) 整体浇筑: 对连续性要求高、荷载、震动力较大的设备基础应采用整体浇筑。混凝土浇筑前基坑及水平施工缝应清扫干净, 并用与混凝土同标号的砂浆接槎。混凝土浇筑顺序原则上先深后浅, 由一侧向对面平行推进, 分层下灰分层捣固, 做到层次分明。前后接槎, 上下接槎不得超过 2 小时, 推进方式遵循基础浇筑方案, 每层厚度不超过振动棒有效长度的 1.5 倍, 浇筑时应重点控制浇筑高度和振捣棒插入间距、深度、顺序。

#### 10.4.2.4 砌筑工程

##### (1) 砖浇水

砌体用砖必须在砌筑前一天浇水湿润, 一般以水浸入砖四边 1.5 cm 为宜, 含水率为 10%~15%, 常温施工不得用干砖上墙; 雨期不得使用含水率达饱和状态的砖砌墙; 冬期不得浇水, 可适当增大砂浆稠度。

##### (2) 砂浆搅拌

砂浆配合比采用重量比, 计量精度水泥为 $\pm 2\%$ , 砂、灰膏控制在 $\pm 5\%$ 以内, 机械搅拌时, 搅拌时间不得少于 2 min; 加入粉煤灰或外加剂, 搅拌不少于 3 min; 掺用有机塑化剂的砂浆搅拌 3~5 min。

##### (3) 砌砖墙

1) 组砌方法: 砌体一般采用一顺一丁砌法。砖柱不得采用先砌四周后填心的包心砌法。



2) 排砖撂底：一般外墙第一层砖撂底时，两山墙排丁砖，前后檐纵墙排条砖。根据弹好的门窗口位置线及构造柱的尺寸，认真核对窗间墙、垛尺寸，其长度是否符合排砖模数，如不符合模数时，可将门窗口的位置左右移动。若留破活，七分头或丁砖排在窗口中间、附墙垛或其他不明显的部位。移动门窗口位置时，应注意暖卫立管及门窗开启时不受影响。另外，在排砖时还要考虑在门窗口上边的砖墙合拢时也不出现破活。所以排砖时必须全盘考虑。前后檐墙排第一皮砖时，要考虑甩窗日后砌条砖，窗角上必须是七分头才是好活。

3) 选砖：外墙砖要棱角整齐，无弯曲、裂纹，颜色均匀，规格基本一致。敲击时声音响亮、焙烧过火变色、变形的砖可用在基础或不影响外观的内墙上。

4) 盘角：砌砖前应先盘好角，每次盘角不要超过五层，新盘的大角，及时进行吊、靠。如有偏差及时修整。盘角时要仔细对照皮数杆的砖层和标高，控制好灰缝大小，使水平缝均匀一致。大角盘好后再复查一次，平整和垂直完全符合要求后，再挂线砌墙。

5) 挂线：砌筑 37 墙必须挂双线，如果长墙几个人共使用一根通线，中间应设几个支点，小线要拉紧，每层砖都要穿线看平，使水平缝均匀一致，平直通顺；砌 24 墙时，可采用挂外手单线（视砖外观质量要求情况，如果质量好要求高也可挂双线，提高砌砖质量），可照顾砖墙两面平整，为下道工序控制抹灰厚度奠定基础。

6) 砌砖：砌砖采用一铲灰、一块砖、一挤揉的“三一”砌砖法。砌砖时要将砖放平。里手高，墙面就要张；里手低，墙面就要背。砌砖一定要跟线，“上跟线，下跟棱，左右相邻要对平”，砌筑砂浆要随搅拌随使用，一般水泥砂浆必须在 3h 内用完，混合砂浆必须在 4h 内用完。

7) 留搓：砖混结构施工缝一般留在构造柱处。一般情况下，砖墙上不留直搓。如果不能留斜搓时，可留直搓，但必须砌成凸搓，并应加设拉结筋。拉结筋的数量为每 120 mm 墙厚设一根 $\phi 6$  的钢筋，间距沿墙高不得超过 500 mm。其埋入长度从墙的留搓处算起，一般每边均不小于 500 mm，末端加 90°弯钩。

8) 埋木砖和墙体拉结筋：木砖预埋时应小头在外，大头在内，数量按洞口高度决定。洞口高在 1.2 m 以内，每边放 2 块；高 1.2~2 m，每边放 3 块；高 2~3 m，每边放 4 块，预埋木砖的部位一般在洞日上边或下边四皮砖，中间均匀分布。木砖要提前做好防腐处理，防腐材料一般用沥青油。预埋木砖的另一种方法：按照砖的大小尺寸制作砂浆块，制作时将木砖预埋好，达到强度后，按部位要求砌在洞口。墙体拉结筋的位置、规格、数量、间距均按设计及施工规范要求留置，不得错放、漏放。

9) 安装过梁、梁垫：安装过梁、梁垫时，其标高、位置及型号必须准确，坐灰饱满。如坐灰厚度超过 2 cm 时，要用豆石混凝土铺垫，边梁安装时，两端支座长度必须一致。

10) 构造柱做法：在构造柱连接处必须砌成马牙搓。每一个马牙搓高度方向为五皮砖，并且是先退后进。拉结筋按设计要求放置，设计无要求按构造要求放置。

11) 每层承重墙最上一皮砖，在梁或梁垫下面。挑檐应是整砖丁砌层。

#### 10.4.2.5 设备安装工程

(1) 操作方法：确定安装步骤为：基础环安装→水泵部件组装：水泵座导叶体、叶轮就位、叶轮外壳及进水喇叭口、出水弯管、泵轴、联轴器→电机座→电机安装。主要操作方法如下：

1) 基础环安装：中心线定位，高程控制：在水泵层埋设铜头水准点一

个，作为整个机组安装高程控制点；找准垫铁位置；安装基础环。

2) 水泵部件安装。基础环安装固定后，浇灌砼达到设计强度 80%即进行水泵部件的安装。水泵各部件通过电机层基础孔吊入，并在水泵层将其组装于水泵底座上。为保证水泵轴垂直同心，对同心度采用求心器检测控制，然后，即可进行联轴器安装。

3) 电机支承座安装。电机座安装对其中心线、高程、水平度控制方法均同水泵基础环安装。机架安装中心偏差不应超过 1 mm，机架轴承座或油槽的水平偏差不超过 0.1 mm，高程偏差不超过 $\pm 1.5$  mm。

4) 电机安装。电动机与水泵通过传动装置相联。安装传动装置时，用水平仪校正泵传动装置底座的水平度，泵轴与传动轴必须安装在同一铅垂线上，其允许误差小于 0.03 mm/m，使叶片与进水喇叭之间的径向间隙沿圆周均匀。电机与传动装置的标高、中心位置根据装好的泵的标高和中心位置而定；刚性联轴器法兰面合上以后，应均匀地拧紧联接螺栓，防止扳紧程度不一致造成联轴器倾斜，用透光法或塞尺检查法兰面应无间隙存在。

(2) 质量保证：根据安装进度实行同步检查检测，对 A、底座安装检查；B、轴线检查；C、制造厂安装要求中的检查项目；D、监理、检测和质检单位要求检查的项目，均自检后报监理和业主单位检验合格后，方进行下一步工序。

(3) 应注意的问题：

1) 为保证设备组合面光洁无毛刺，组合前均用砂轮打座，达到所有合缝间隙用 0.05 mm 塞尺检查周圈不得通过，允许有局部间隙的，用 0.01 mm 塞尺检查，深度不应超过组合面宽度的 1/3，总长不应超过周长 20%；

2) 砼二次浇筑用短钢筋插捣，为缩短技术间隙，提高砼早期强度，砼内掺入水泥重量的 4%早强剂，浇筑时安排专人看护，确保底座不发生位移

和变形；浇灌完毕后，对飞溅至设备和螺栓表面的灰浆，应立即擦拭干净，并按要求进行养护。

3) 为保证基础板支垫稳妥，垫铁采用表面平整、无毛刺和卷边的钢板，斜垫铁最薄边大于 10 mm，斜率为 1/10~1/25，垫铁使用时，每组不超过三块，其中只允许用一对斜垫铁，垫铁相互搭接长度应在 2/3 以上。

4) 组合螺栓及销钉周围不应有间隙，组合缝与安装面错牙一般不超过 0.1 mm。拧紧联接螺栓应做到均匀一致。

#### 10.4.3 填料工程

(1) 经过产品检验合格并得到监理人认可的湿地填料产品方可允许使用。

(2) 因防护、贮存保护不当受到泥土、沙石、杂物、垃圾、污水等污染的湿地填料禁止使用。

(3) 湿地填料从料场二次转运至水平潜流湿地单元池内，采用 1 m<sup>3</sup> 挖掘机、3 m<sup>3</sup> 铲车装，5 t 货车转运到池边，配合人力胶车、人工装运池内。

(4) 湿地填料摊铺均为人工铺装，严禁大型机械进入湿地单元内部；因道路狭窄，场地的回车困难。

(5) 通过铺设防压板等防护措施滞后才允许轻型运输、吊装、机械臂等进入湿地辅助填料铺装。

(6) 填料铺设前进行必要的经监理人认可的湿地结构保护措施，如对膜的保护、管道的保护。

(7) 填料铺设前进行装填实验，以确定无水作业时的虚铺高度与填料浸泡后的实际高度关系，按照实验确定的各层虚铺高度进行控制，使各层铺设填料浸水后实际厚度尽量与设计厚度精确一致。

(8) 填料铺设后禁止碾压，不运行任何机械进入湿地单元内部。

(9) 湿地填料各层铺设后应平整无明显高程差异，总体平面高度差异性应控制在 $\pm 30\text{ mm}$ 内，湿地表面填料铺设完成后的平整度应在试水后进行再次平整，在试水高程平齐湿地表面时，不产生明显积水坑洼区域或明显干区。

(10) 湿地填料铺设中因施工不当等情况致使下层管道发生损坏的，立即停工，将已铺设的填料挖出后进行维修，维修验收合格后方可继续施工，施工单位对此造成的损失全部负责。坏、堵塞等导致返工的应重新进行验收。

## 10.5 施工总布置

### 10.5.1 施工交通布置

工程建设区交通以城西大道、城西四路、城西五路、潮汕环线高速等为主，境道路纵横交错，四通八达，交通极为便利。

县级道路、乡间道路、村间道路、田间道路连接互通，施工过程中，根据施工需要进行拓宽，可满足施工要求。

### 10.5.2 施工水、点、通讯布置

#### 10.5.2.1 生活及施工供水

项目区位于潮阳区城区，工程施工生产用水、生活用水可直接使用当地城市市政用水。

#### 10.5.2.2 施工用电

在电力供应上，施工用电采用永临结合及就近电网接线方式，同时，施工点配置二台 50 kW 柴油发电机作为备用电源。

#### 10.5.2.3 施工通讯

项目区有线、无线网络已覆盖全区，通讯非常方便。为确保本工程的

顺利进行，施工现场负责人及主要人员配置无线对讲机和手机及时联系，确保项目部与各施工点之间的联络畅通。

## 10.6 项目建设管理机构

为了保证工程质量和工期，为能高速、优质、安全、文明、低耗地完成该工程，选择具有丰富管理经验的一级项目经理负责该工程的全面施工管理。公司将在财力、物力上予以全力支持，并集结具有多个类似工程管理经验之精兵强将，本着“以人为本”的思想，在各方面挖掘潜力，充分调动和发挥一切积极因素，做到各司其职，群策群力，团结实干，各工种紧密配合，最大限度地满足业主关于建设本工程的各项要求。在工程施工中，严格按项目法施工管理的原理，组织项目的施工与管理，建立以项目经理为核心的项目班子，实行项目经理负责制，项目班子在公司的直接监督与控制下，履行工程承包的权利和义务。

项目管理机构由专业管理层和劳务层组成。项目经理部设湿地项目经理一名、专业技术负责人一名，技术员两名，材料员、安全员、质量员、施工员、资料员组成项目专业管理层。项目组织机构图见图 10.6-1。

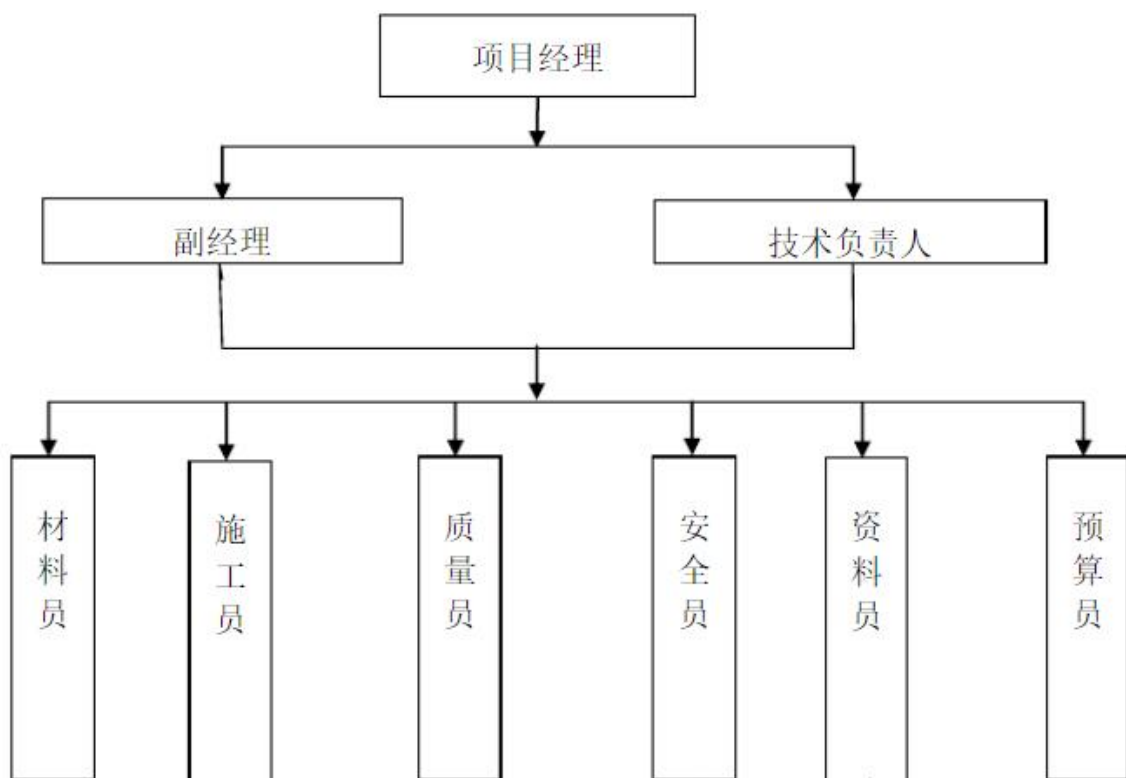


图 10.6-1 组织机构示意图

#### 10.6.1.2 建设管理

(1) 项目建设单位要建立严格的现场协调或调度制度。及时研究解决设计、施工的关键技术问题。从整体效益出发，认真履行合同，积极处理好工程建设各方的关系，为施工创造良好的外部条件。

(2) 监理单位受项目建设单位委托，按合同规定在现场从事组织、管理、协调、监督工作。同时，监理单位要站在独立公正的立场上，协调建设单位与设计、施工等单位之间的关系。

(3) 设计单位应按合同及时提供施工详图，并确保设计质量。按工程规模，派出设计代表组进驻施工现场解决施工中出现的 design 问题。

施工详图经监理单位审核后交施工单位施工。设计单位对不涉及重大设计原则问题的合理意见应当采纳并修改设计。若有分歧意见，由建设单位决定。如涉及初步设计重大变更问题，应由原初步设计批准部门审定。

(4) 施工企业要切实加强管理，认真履行签定的承包合同。在施工过

程中，要将所编制的施工计划、技术措施及组织管理情况报项目建设单位。

### 10.6.1.3 运行管理

工程建成后，运行管理十分重要，是湿地工程能否正常、持续、高效运行的关键，工程如果得不到有效管理，沉淀物和植物残体大量累积会引起净化功能下降，造成二次污染，因此应及时清除沉淀物和过多的水生植物，保持湿地持久稳定运行。

#### (1) 湿地植物管理

选择当地水生植物，根据其适宜生长的季节进行培育种植，沉水植物种下以后，要通过水体观察它们的生长情况，对没有达到预期的植物不进行栽种和养护，并及时进行后期处理。达到预期的可以由其生长，并在出现残体，换季坏死时定期清理打捞。确保水草不出水面，及时收割，便于水体富营养的及时转移，局部收割采用线型割草锯和带加长柄镰刀，大面积收割时采用机械割草船等方式。采用人工清理方式，并将打捞上来的植物残体用于附近绿化林堆沤肥料用。非自然灾害导致水草大面积死亡，应及时补植。发现病虫害应及时处理以防蔓延。

#### (2) 人员管理

项目拟聘请附近农民进行专门看护管理，人员 5 名，主要职责为：

- ①进行工程设施的日常维护，垃圾、沉砂、淤泥打捞清理；
- ②湿地植物的筛选、栽培、管理及刈割，植物残体的处置、清运；
- ③看护整个湿地系统，防止人为破坏。

## 10.7 施工总进度

本工程计划于 2023 年 6 月底完成可研审查和前置要件办理，8 月上旬完成工程总承包、监理招标，9 月底完成初步设计和施工图设计，并完成施



工准备工作。2023 年 10 月开始现场施工，2024 年 11 月底工程完工并完成验收。

表 10.7-1 表工程建设具体工作计划

工作内容	2023. 03	2023. 04	2023. 05	2023. 06	2023. 07	2023. 08	2023. 09	2023.10-202 4.10	2024. 11
可研审查和前置要件									
工程总承包、监理招标									
初步设计和施工图									
人工湿地建设									
工程竣工及验收									

## 11 工程占地

湿地工程建设区位于城区污水处理厂南侧，根据现场实际调研，建设区现状为养殖鱼塘，需要根据《广东省征地补偿保护标准》对其进行征地补偿。本次湿地建设区需要征地面积为 80 亩，根据《广东省征地补偿保护标准》相关规定，鱼塘征地费用为 13.8 万元/亩，征地费用共计 1104 万。

## 12 工程量与投资估算

### 12.1 工程概况

城区污水处理厂项目建设地点位于潮阳区城区污水处理厂南侧。具体位于潮阳城区护城河与练江交汇口西北侧现状水产养殖坑塘处，本工程的实施可以有效加强护城河河口与练江连通处的水环境保护，提高护城河河口水环境质量，有效提升护城河入练江水质，有助于练江海门闸国控断面水质稳定保持IV类标准要求。本项目新建城区污水处理厂尾水净化人工湿地面积 60000 m<sup>2</sup>，对污水厂尾水进行深度处理，实现污水厂尾水高标准净化。

### 12.2 编制依据

- (1) 设计图纸及工程量；
- (2) 《市政工程设计概算编制办法》（建标[2011]1 号）；
- (3) 《建设工程工程量清单计价规范》（GB50500-2013）；
- (4) 《市政工程工程量计算规范》（GB50857-2013）；
- (5) 《房屋建筑与装饰工程工程量计算规范》（GB50854-2013）；
- (6) 水利工程设计概（估）算编制规定（水总[2014]429 号）；
- (7) 《水利工程营业税改征增值税计价依据调整办法》（水总[2016]132 号）；
- (8) 《水利建筑工程概算定额》（水总[2002]116 号）；
- (9) 《水利工程施工机械台时费定额》，2002；
- (10) 《广东省建筑与装饰工程综合定额》；
- (11) 《广东省市政工程综合定额》；

(12) 《疏浚工程概算定额》(JTS/T278-1-2019)；

(13) 国家计委、建设部计价格[2002]10 号文《工程勘察设计收费管理规定》；

(14) 国家发改委发改价格[2007] 670 号“国家发改委、建设部关于印发《建设工程监理与相关服务收费管理规定》的通知”；

(15) 其他相关专业定额等。

## 12.3 工程量估算

表 12.3-1 工程量表

工程项目		建设内容	单位	工程量
工艺单元系统设计	生态塘	土方开挖	m <sup>3</sup>	17440
	氧化塘	土方开挖	m <sup>3</sup>	8160
	水平潜流I	土方开挖	m <sup>3</sup>	7533
	水平潜流II	土方开挖	m <sup>3</sup>	8405
	水平潜流III	土方开挖	m <sup>3</sup>	7074
	水平潜流IV	土方开挖	m <sup>3</sup>	7616
	表流湿地I	土方开挖	m <sup>3</sup>	2138
	表流湿地II	土方开挖	m <sup>3</sup>	2282
	表流湿地III	土方开挖	m <sup>3</sup>	2207
	表流湿地IV	土方开挖	m <sup>3</sup>	2884
	沉水植物塘I	土方开挖	m <sup>3</sup>	8180
	沉水植物塘II	土方开挖	m <sup>3</sup>	12474
配水系统	管涵敷设	混凝土管涵	m	650
防渗系统	原土夯实	原土夯实	m <sup>2</sup>	51075
	土工布铺设	土工布	m <sup>2</sup>	52000
湿地滤料	钢渣及碎石滤料	混合填料	m <sup>3</sup>	24501
湿地植物	挺水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	20418
	浮水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	11890

工程项目		建设内容	单位	工程量
	沉水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	10327
设备选型	提升泵	30000 m <sup>3</sup> /d	台	2
	曝气设备	充气量 1kgCh/kWh	台	4
生态修复工程				
鸟类栖息地建设	生态鸟岛	浮动岛建设	m <sup>2</sup>	2000
生物操纵工程	底栖动物投放	动物投放	公斤	100
	鱼类投放	动物投放	公斤	50
配套设施及公共工程				
围堤工程		湿地围堤建设		3225
道路工程		砂石路建设	m	3300
水利涵闸		配水涵闸	座	25

## 12.4 投资估算

本工程总投资估算约 7263.05 万元，其中工程费用约 5925.49 万元，工程建设其他费用约 749.73 万元，基本预备费约 587.83 万元。工程费用共分为三个单项工程，分别是水质净化工程约 4729.24 万元，生态修复工程约 401.50 万元，配套设施及公共工程 794.75 万元。

本项目资金来源为中央专项资金与地方配套资金。

序号	工程或费用名称	工程内容	单位	数量	单价(元)	合价(万元)
一	工程费用					5925.49
1	水质净化工程					4729.24
1.1	工艺单元系统设计					
1)	生态塘	土方开挖	m <sup>3</sup>	17440	80	139.52
2)	氧化塘	土方开挖	m <sup>3</sup>	8160	80	65.28
3)	水平潜流I	土方开挖	m <sup>3</sup>	7533	80	60.26
4)	水平潜流II	土方开挖	m <sup>3</sup>	8405	80	67.24
5)	水平潜流III	土方开挖	m <sup>3</sup>	7074	80	56.59

序号	工程或费用名称	工程内容	单位	数量	单价(元)	合价(万元)
6)	水平潜流IV	土方开挖	m <sup>3</sup>	7616	80	60.93
7)	表流湿地I	土方开挖	m <sup>3</sup>	2138	50	10.69
8)	表流湿地II	土方开挖	m <sup>3</sup>	2282	60	13.69
9)	表流湿地III	土方开挖	m <sup>3</sup>	2207	60	13.24
10)	表流湿地IV	土方开挖	m <sup>3</sup>	2884	60	17.30
11)	沉水植物塘I	土方开挖	m <sup>3</sup>	8180	100	81.80
12)	沉水植物塘II	土方开挖	m <sup>3</sup>	12474	100	124.74
1.2	配水系统					
1)	管涵敷设	混凝土管涵	m	650	300	19.50
1.3	防渗系统					
1)	原土夯实	原土夯实	m <sup>2</sup>	51075	100	510.75
2)	土工布铺设	土工布	m <sup>2</sup>	52000	80	416.00
1.4	湿地虑料					
1)	钢渣及碎石滤料	混合填料	m <sup>3</sup>	24501	800	1960.08
1.5	湿地植物					
1)	挺水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	20418	120	245.02
2)	浮水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	11890	120	142.68
3)	沉水植物群落	植物种植	m <sup>2</sup>	10327	120	123.92
1.6	设备选型					
1)	提升泵	30000m <sup>3</sup> /d	台	2	1000000	200.00
2)	曝气设备	充气量 1kgCh/kWh	台	4	1000000	400.00
2	生态修复工程					401.50
2.1	鸟类栖息地建设					
1)	生态鸟岛	浮动岛建设	m <sup>2</sup>	2000	2000	400.00
2.2	生态操纵工程					
1)	底栖动物投放	动物投放	kg	100	100	1.00
2)	鱼类投放	动物投放	kg	50	100	0.50
3	配套设施及公共工程					794.75
3.1	围堤工程	湿地围堤建设	m	3225	300	96.75
3.2	道路工程	砂石路建设	m	3300	600	198.00
3.3	水利涵闸	配水涵闸	座	25	200000	500.00
二	其他费用					749.73
1	建设单位管理费					115.23
2	建设工程监理费					152.87

序号	工程或费用名称	工程内容	单位	数量	单价(元)	合价(万元)
3	建设项目前期工作费					31.81
3.1	编制可行性研究报告					23.28
3.2	评估可行性研究报告					8.53
4	勘察设计费					279.10
4.1	勘察费					52.78
4.2	设计费					209.55
4.3	竣工图编制费					16.76
5	环境影响咨询服务费					10.55
5.1	编制环境影响报告书 (含大纲)					8.61
5.2	评估环境影响报告书 (含大纲)					1.94
6	工程保险费					32.99
7	招标代理服务费用					26.42
8	施工图设计审查费					9.92
9	建设工程造价咨询服务 费					90.84
9.1	工程预算编制费					20.80
9.2	全过程造价控制					70.04
三	预备费用					<b>587.83</b>
1	基本预备费					587.83
四	工程总投资					<b>7263.05</b>

## 12.5 资金筹措

本工程总投资约7263.05万元,拟申请中央水污染防治专项资金5084.14万元,占比70%,地方配套2178.91万元,占比30%。

## 13 方案实施效益分析

### 13.1 环境效益

方案实施后，对改善水环境的效果主要表现在两个方面，一是削减污染物量，二是增强生态系统功能。

#### (1) 生态系统功能增强

通过建设人工湿地，种植大面积的水生植物，改善练江流域生态环境，增加水体的生物多样性，也可以通过过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等物理、化学和生物功能降低进入湿地的污染物浓度和毒性，有效削减入河氨氮污染物，有利于练江整体水质持续良好，达到练江水质改善水生态修复的目的，同时也为练江的水生态环境保护提供重要支持。

#### (2) 污染物量削减

通过本项目将新增湿地面积共计 60000 m<sup>2</sup>，将有效消减污染物入河量，主要污染物 COD 年削减量为 36.14 吨，氨氮 8.4 吨，总氮 49.28 吨，总磷 0.18 吨，对练江水质实现达标意义重大。

### 13.2 社会效益

社会效益一般是潜在的无形的，主要表现在增加就业机会，提高公众环境保护意识及健康水平等方面。

#### (1) 提高居民环境保护意识

工程建设实施过程是一次深刻、生动的环境保护宣传过程，通过具体的工程实施，使人们能够体会到环境保护的重要性和环境效益。

工程实施后人们的环境意识会随之增强，将使保护环境、节约资源将成为居民的自觉行为。



## (2) 促进流域可持续发展

本工程实施后河滨缓冲带范围内的生态环境得到恢复，能源结构得到改善，流域可持续发展道路将越走越宽。

## (3) 改善生活水平，提高生活质量

随着周边生态环境的改善，村落污水、垃圾的收集处理，居民的卫生环境质量将得到较大改善，疾病传播减少。因此，通过工程的实施将起到改善人民生活水平，提高生活质量的目的。

## (4) 增加就业机会

无论在工程建设期，还是运营管理期间，建议尽量使用当地农民劳务工，增加地方农民劳务收入。预计在建设期增加就业岗位至少达 300 个。

# 13.3 经济效益

## (1) 水质改善的经济价值

本工程所具有的最重要的经济价值即对污染水体的治理，主要从水资源、气候调节功能价值角度评价其经济价值。

本项目的经济价值的计算办法参照《水污染造成的经济损失分析计算》中提出的如下模式进行计算：

$$F = R \times Q \times (W_{\lambda} \times W_{\text{允}})^k$$

式中：

F——为水污染造成的经济损失（万元/年）；

R——为反映单位水资源量价值与污染损失的系数（万元/T·亿 m<sup>3</sup>）；

Q——为遭到污染的水资源量（亿 m<sup>3</sup>）；

W<sub>λ</sub>——为计算区域内主要污染物的入河量（T/年）；

W<sub>允</sub>——为计算区域内主要污染物的允许排放量（T/年）；

K——为无量纲因次参数。

本项目 R 值取 800 万元/T·亿 m<sup>3</sup>，Q 取值为 0.2 亿 m<sup>3</sup>/a，W<sub>入</sub>-W<sub>允</sub>取值为 50T/a，k 取值为 0.3，则每年减少水资源污染的经济损失为：517.5 万元/年。

## (2) 生态价值

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成与维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。我们在此对生态价值进行量化，并将其纳入国民经济核算体系，旨在促进自然资本开发的合理决策，有利于保护生态系统并最终有利于人类自身的可持续发展。根据森林、湿地、耕地的覆盖度，引入生态价值修正系数，采用 Costanza 等人提出的各生态系统类型的单位公顷面积生态价值，乘以修正系数 k，得到分类生态群落的单位生态价值。再根据项目实施前后的生态价值的增加得出整个项目增加的生态价值。

$$E_i = K \times M_i \times S_i$$

$$E = \sum_{i=1}^n (-1)^{\alpha} \times E_i$$

式中：人工湿地水质净化工程

E<sub>i</sub>——分类生态系统生态价值，万元/a；

E——项目总生态系统生态价值，万元/a；

K——分类生态系统的修正系数；

M<sub>i</sub>——分类生态系统的生态价值，万元/hm<sup>2</sup>；

S<sub>i</sub>——分类生态系统的总面积，hm<sup>2</sup>；

经过计算本项目所增加的生态价值总计 97.91 万元/年。

## 14 招标方案

### 14.1 编制依据

- (1) 《中华人民共和国招标投标法》。
- (2) 《工程建设项目招标范围和规模标准规定》（国家发展计划委员会令第3号）。
- (3) 发改办法规[2005]824号，国家发展改革委办公厅印发“关于我委办理工程建设项目审批（核准）时核准招标内容的意见的通知”。
- (4) 《工程建设项目可行性研究报告增加招标内容以及核准招标事项暂行规定》（国家发展计划委员会令第9号）。

### 14.2 基本原则

根据《中华人民共和国招标投标法》的要求，为确保项目建设的质量，缩短工期，节省投资，防范和化解工程建设中的违规、违法行为，保护国家利益，本项目建设的各环节应通过招标方式进行。根据本项目的具体情况，招标工作应遵循以下原则：

- (1) 公开原则。工程项目招标应具有高的透明度，实行招标信息、招标程序公开。
- (2) 公平原则。应给予所有投标人平等的机会，使其享有同等的权利，并履行共同的义务。公正原则。评标时应按事先公布的标准对待所有的投标人。
- (3) 诚实信用原则。招标人应以诚实、守信的态度行使权利，履行义务，以维护招投标双方的利益平衡，以及自身利益与社会利益的平衡。
- (4) 独立原则。招标人应是独立的法人，在招标过程中应自主决策，

不受任何外界因素的干扰。

(5) 接受行政监督原则。遵守有关法律法规以及有关规定，接受有关行政监督部门依法实施的监督。

## 14.3 招标内容

招标内容见表 14.3-1 招标基本情况表。

表 14.3-1 招标基本情况表

基本 条目	招标范围		招标组织形式		招标方式		不采用 招标方式
	全部招标	部分招标	自行招标	委托招标	公开招标	邀请招标	
勘察							√
设计	√			√	√		
建筑工程	√			√	√		
安装工程	√			√	√		
监理	√			√	√		
主要设备		√		√	√		
重要材料	√			√	√		
其他	√			√	√		

## 14.4 招标方案

为了保证本项目的工程质量，并根据《中华人民共和国招标投标法》及《建设项目中增加招标内容以及核准招标事项暂行规定》有关强制招标的规定，在中华人民共和国境内进行：（1）大型基础设施、公用事业等关系社会公共利益、公众安全的项目；（2）全部或者部分使用国有资金投资或者国家融资的项目；（3）使用国际组织或者外国政府贷款、援助资金的项目。其勘察、设计、施工、监理以及与工程建设有关的重要设备、材料等采购，必须进行招标。

### （1）招标范围

本次工程招标的范围具体如下：

- 1) 勘察设计招标;
- 2) 施工招标;
- 3) 工程监理招标。

## (2) 招标组织形式与方式

按照有关规定，本项目涉及的招标内容其招标方式应为公开招标。招标方式的确定应本着有利于保证工程的建设质量、便于工程实施的组织管理、合理降低工程投资的目的加以确定。污水厂尾水人工湿地建设工程是专业性较强的系统工程，组织机构复杂，各项工程之间联系紧密，不仅要保证各分项工程的质量，同时必须考虑整体工程的要求，以规范并保证工程建设的质量。

## 15 可行性研究结论与建议

### 15.1 结论

#### (1) 项目建设规模及内容

潮阳区城区污水处理厂尾水净化人工湿地建设工程位于广东省汕头市潮阳区，位于护城河与练江交汇处，具体位置位于城区污水处理厂南侧。人工湿地建设面积为  $60000 \text{ m}^2$ ，主要目标污染物为总磷，经计算，人工湿地最大进水量  $30000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，水力停留时间为  $1.84 \text{ d}$ 。

本项目工程方案设计合理，工程建设防洪安全措施有保障，工程配套供水和供电工程均可解决，具有建设条件。

本项目环境保护、安全生产、劳动卫生以及节能措施可靠，达到相应国家及行业执行标准。

#### (2) 项目投资及估算

本工程总投资约  $7297.12$  万元，其中工程费用约  $5925.49$  万元，工程建设其他费用约  $783.80$  万元，基本预备费约  $587.83$  万元。工程费用共分为三个单项工程，分别是水质净化工程约  $4729.24$  万元，生态修复工程约  $401.50$  万元，配套设施及公共工程  $794.75$  万元。

总投资不含建设征地费。

### 15.2 建议

(1) 尽快安排开展地质详细勘查工作，满足初步设计及施工图基础资料要求。

(2) 工程建设期间会对周边带来一定的影响，建议行政主管部门采取

宣传措施，让涉及人群清楚了解工程实施的意义和对片区带来的好处，积极配合项目的顺利实施。

（3）本次工程任务重，因此，在下阶段，工程主管部门应尽快拟定工程建设实施计划和资金准备计划，确保工程按时开工建设，为工程的顺利完成创造有利条件。

附图 1 湿地建设地点位置图

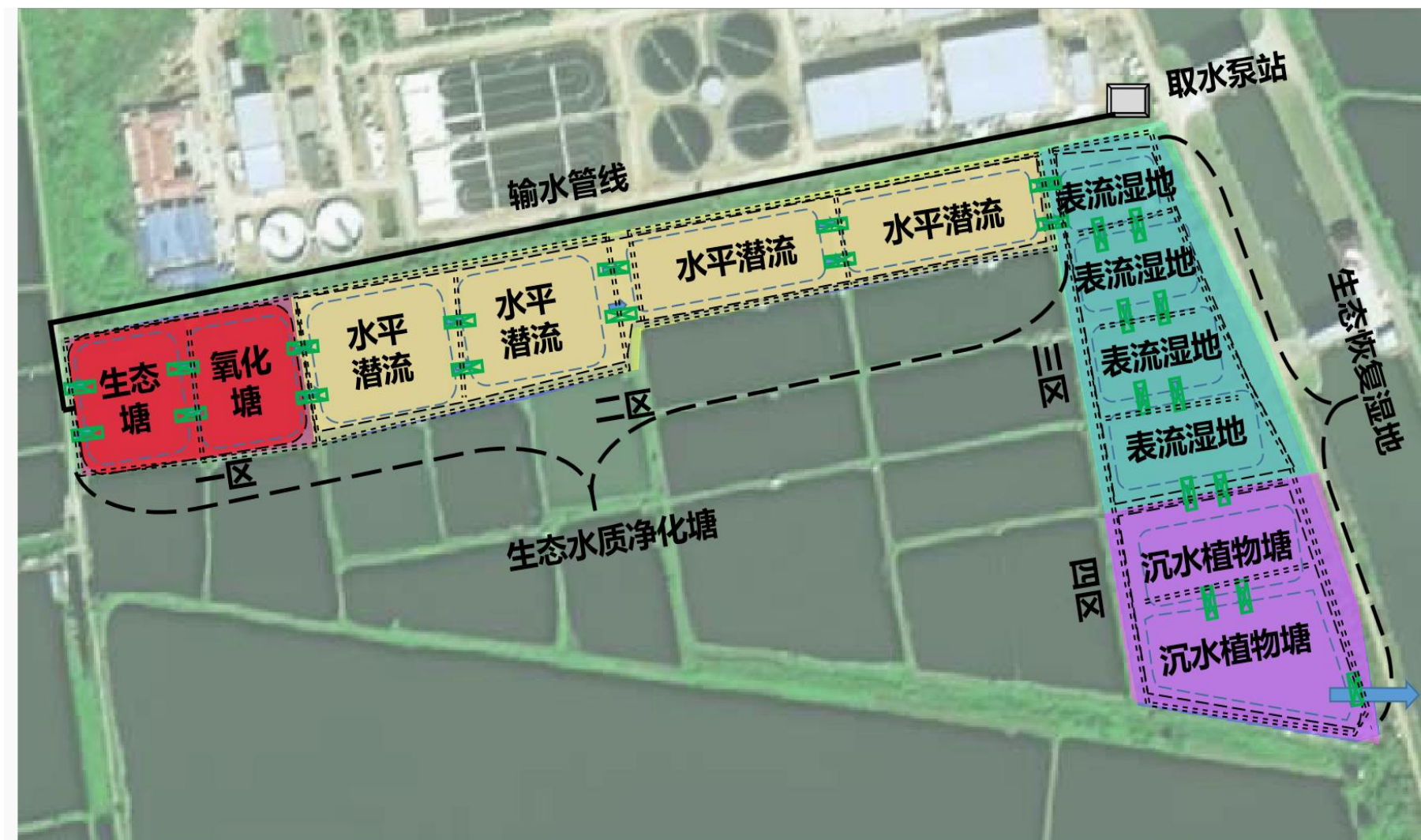




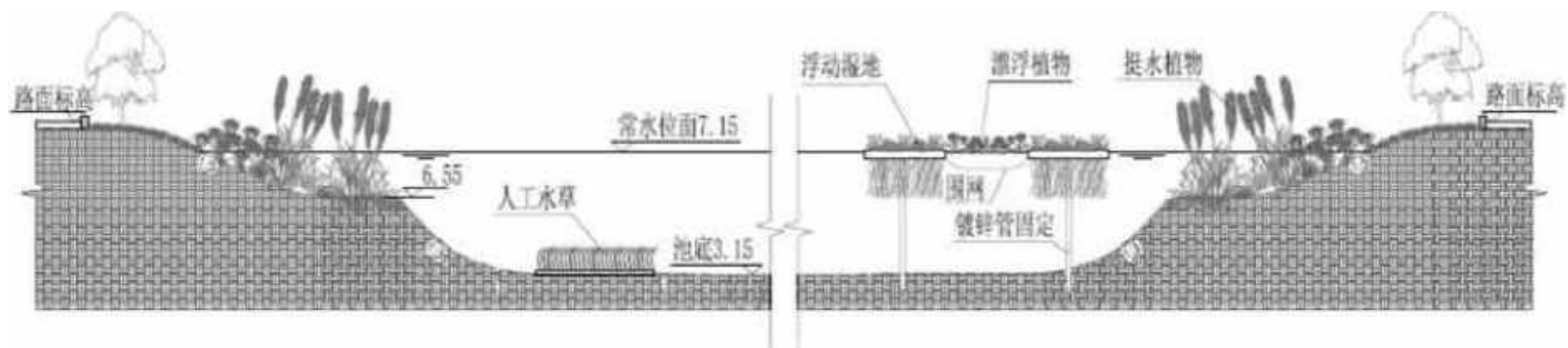
附图 2 湿地功能分区区划图



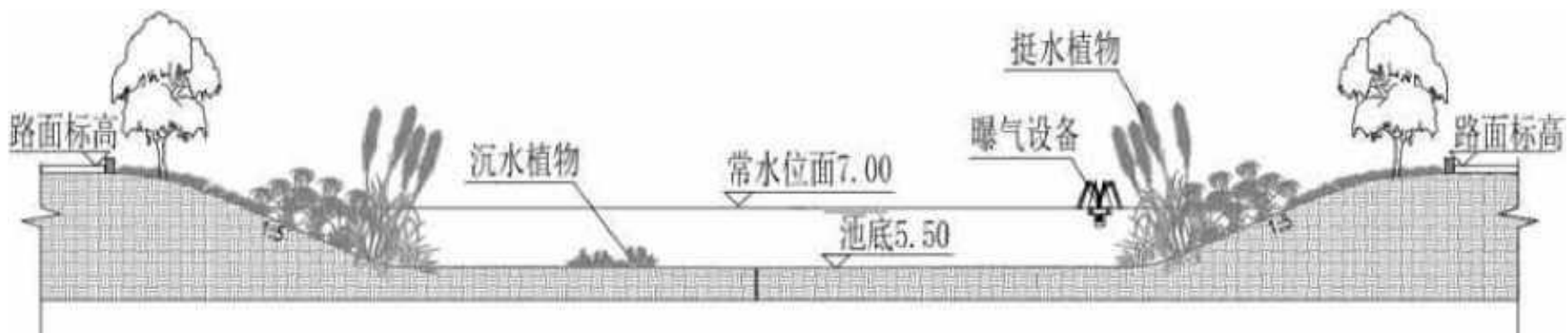
附图3 总平面布置图



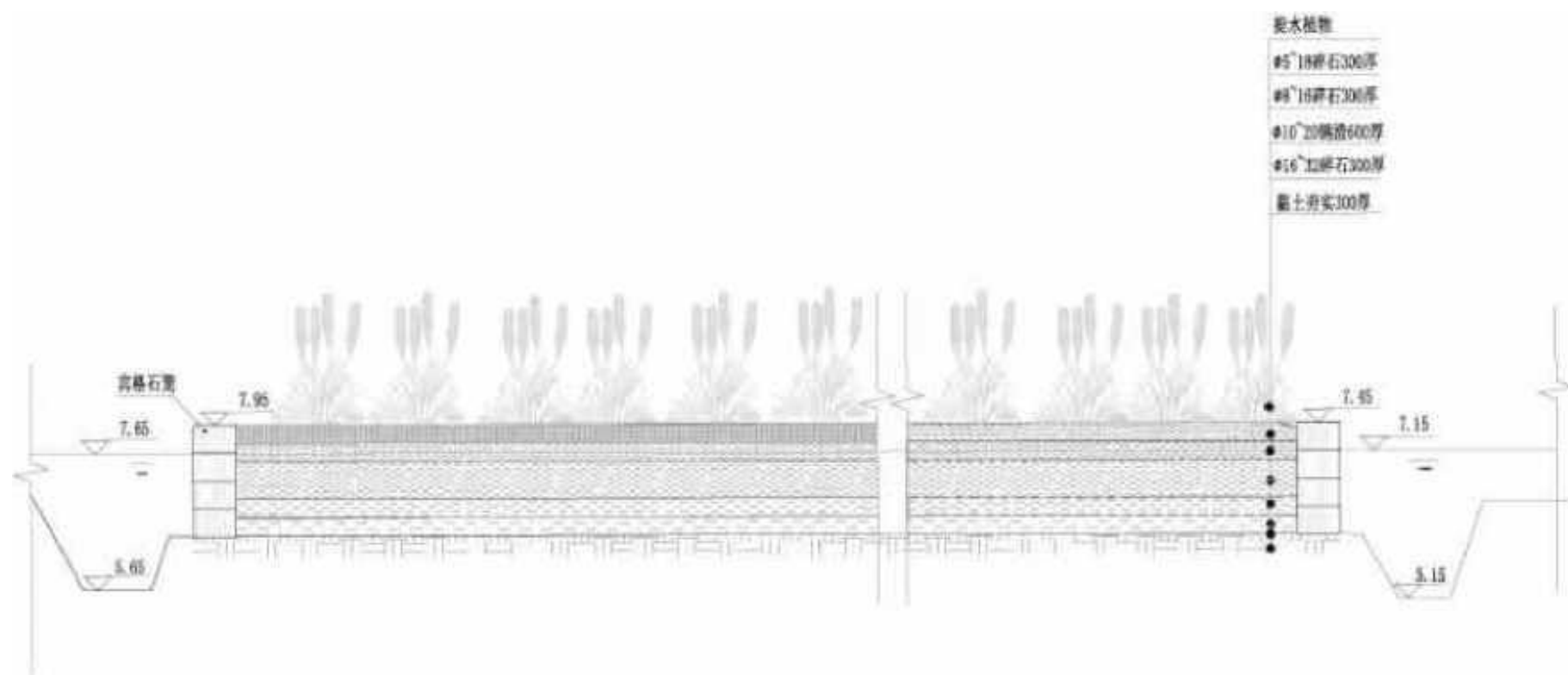
附图 4 生态塘典型断面示意图



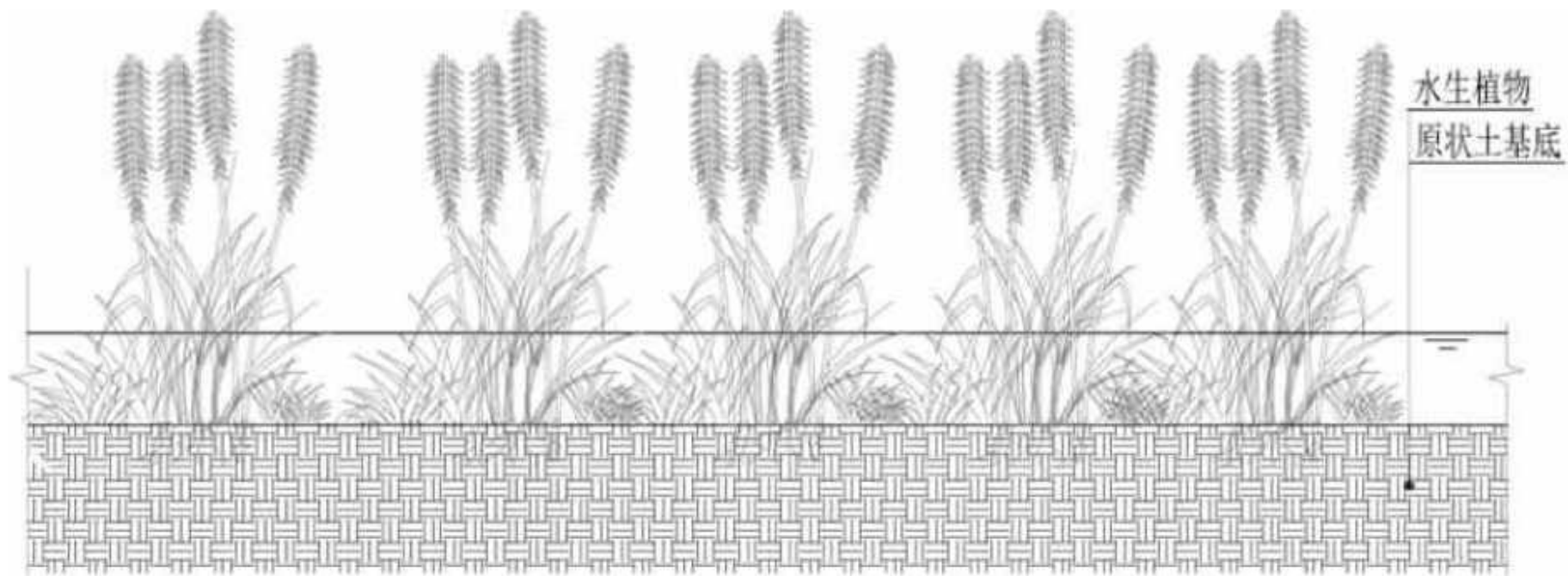
附图 5 氧化塘典型断面示意图



附图 6 潜流湿地典型断面示意图



附图 7 多级表流湿地典型断面示意图





附图 8 沉水植物塘典型断面示意图

