

集约化建设型式应用于污水处理厂提标改造工程

胡 晓¹ 周建忠^{2,*} 熊 宇¹ 王麒麟¹ 于 漾²

1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司成都分公司 四川成都 610017

2. 中恒工程设计院有限公司 四川成都 610017

【摘 要】广安市某污水处理厂在有限用地条件下,采用集约化建设理念,挖掘现状设施潜能,通过“升级生化处理单元+新增深度处理单元”的改造路线,实现了出水水质提标、处理水量扩容的目标。该提标改造工程有效节约用地约40%,节省水资源26万m³/年,并实现改造期间“不停产、不减能、不降标”。投产三年来,出水稳定优于一级A标,为广安市乃至三峡库区区域水环境安全提供了保障,也为类似有限用地条件下污水处理厂提标改造项目提供了参考经验。

【关键词】集约化建设;污水处理厂;提标改造; A²O氧化沟

1 项目背景

根据国家《重点流域水污染防治规划》和“水十条”对水环境综合治理的定位与要求,考虑到当地区域水环境对三峡库区水源涵养及下游直辖市饮用水安全的重要意义,广安市政府推动落实了国家首例区域性、跨流域水环境综合治理PPP示范项目——广安市“洁净水”行动综合治理(PPP)项目。某城市生活污水处理厂提标改造工程作为该示范项目子项,要求出水水质由《城镇污水厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级B标准提升至一级A标准。

2 工程设计

2.1 设计水质与工程规模

依据控规,该县城分为主城区和经开区两部分。主城区发展定位为居住性质,经开区内建设工业、企业。该城市生活污水处理厂服务于主城区,收纳处理片区内生活排水,于2010年7月投产,建设规模2.0万m³/d,生化处理采用DE氧化沟,出水水质执行一级B标准,占地面积2.15hm²。

分析该厂近三年逐日实测进水数据,原设计进水水质基本能覆盖。考虑到主城区发展基本定型,本次提标改造工程确定执行原设计进水水质。设计出水水质按照提标改造任务,由《城镇污水厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级B标准提升至一级A标准。(见表1)

该厂已满负荷运行,而老城区规划污水总量为4.0万m³/d,

尚有2.0万m³/d缺口。主管部门曾推动扩建工程,但因新增用地涉及拆迁,未能落地。本次提标改造工程通过挖掘厂内各系统处理潜能、优化新建构(建)筑物布置型式、充分利用厂区不规则空地,在围墙线范围内扩容至3.0万m³/d。剩余1.0万m³/d污水处理缺口可调度至经开区南污水处理厂收纳处理。

2.2 改造路线与工艺流程

2.2.1 提标路线

原设计出水执行一级B标准,采用二级处理,主体工艺流程为:格栅渠→旋流沉砂池→DE氧化沟→辐流二沉池→紫外消毒。本次改造工程出水提标至一级A,以SS为例,污染物去除率由90%提升至95%,根据《室外排水设计标准》(GB50014-2021),三级处理才能满足出水要求。因此,本次提标的主体思路为:升级生化处理单元,提高有机物降解能力;增加深度处理单元,进一步去除TP、SS。(见表2)

2.2.2 扩容路线

扩容的基本原则是优先利旧、围墙线内实施。最大限度挖掘现状构(建)筑物潜能,首先通过调整设备配置、增加运行批次等措施满足扩容目标;必要的扩建单元选择负荷高、占地小的工艺;新建处理单元按总规模3.0万m³/d设计。

表1: 设计进/出水水质一览表

项目	BOD ₅ (mg/L)	COD _{cr} (mg/L)	SS (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	pH
设计进水水质	180	400	200	35	45	4.5	6~9
设计出水水质	10	50	10	5 (8)	15	0.5	6~9

表2: 主要污染物去除效率一览表

项目		BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
原设计出水标准	一级B标准	20	20	20	1
	污染物去除率	89%	90%	56%	78%
	二级处理效率 (GB50014-2021)	65~95%	70~90%	60~85%	75~85%
本次设计出水标准	一级A标准	10	10	15	0.5
	污染物去除率	94%	95%	67%	89%
	三级处理效率 (GB50014-2021)	80~96%	90~99%	65~90%	80~95%

表3: 处理单元复核计算一览表

序号	项目	建设情况	改造策略
1	预处理单元	已建, 土建规模4.0万m ³ /d, 设备安装2.0万m ³ /d	调整水泵、格栅及沉砂器等设备配置
2	生化处理单元	已建, DE氧化沟建设规模为2.0万m ³ /d, 采用表面曝气, 耗能高、效率低。	a. 调整内部构造将DE氧化沟改造为A ² O氧化沟, 以强化有机物降解能力 b. 表曝改造为底部微孔曝气, 提高氧传质效率, 并降低能耗 c. 新增一座1.0万m ³ /d的改良A ² O生化池, 实现扩容目的
3	沉淀单元	已建, 辐流式周进周出二沉池建设规模为2.0万m ³ /d。当进水规模3.0万m ³ /d时, 表面负荷、出水堰负荷满足规范要求	增加二沉池配水孔
4	深度处理单元	新建, 建设规模3.0万m ³ /d	采用运行稳定、经验丰富的高效沉淀池
5	消毒单元	已建, 紫外消毒渠建设规模2.0万m ³ /d, 存在灯管结垢、维修频繁、消毒效果差等问题	改为二氧化氯接触消毒, 保障出水安全
6	泥处理单元	已建, 采用板框压滤机, 建设规模为2.0万m ³ /d	增加运行批次
7	除臭单元	新建(环评要求)	预处理单元、生化处理单元、污泥单元考虑臭气收集、处理及排放
8	生产辅助用房	新建	新增生产辅助用房: 鼓风机房、加药间、加氯间及变配电间
9	中水回用系统	新建	新增中水回用装置及管网



图2: 现状厂区总平面卫星图



图3: 改造工程彩平示意图

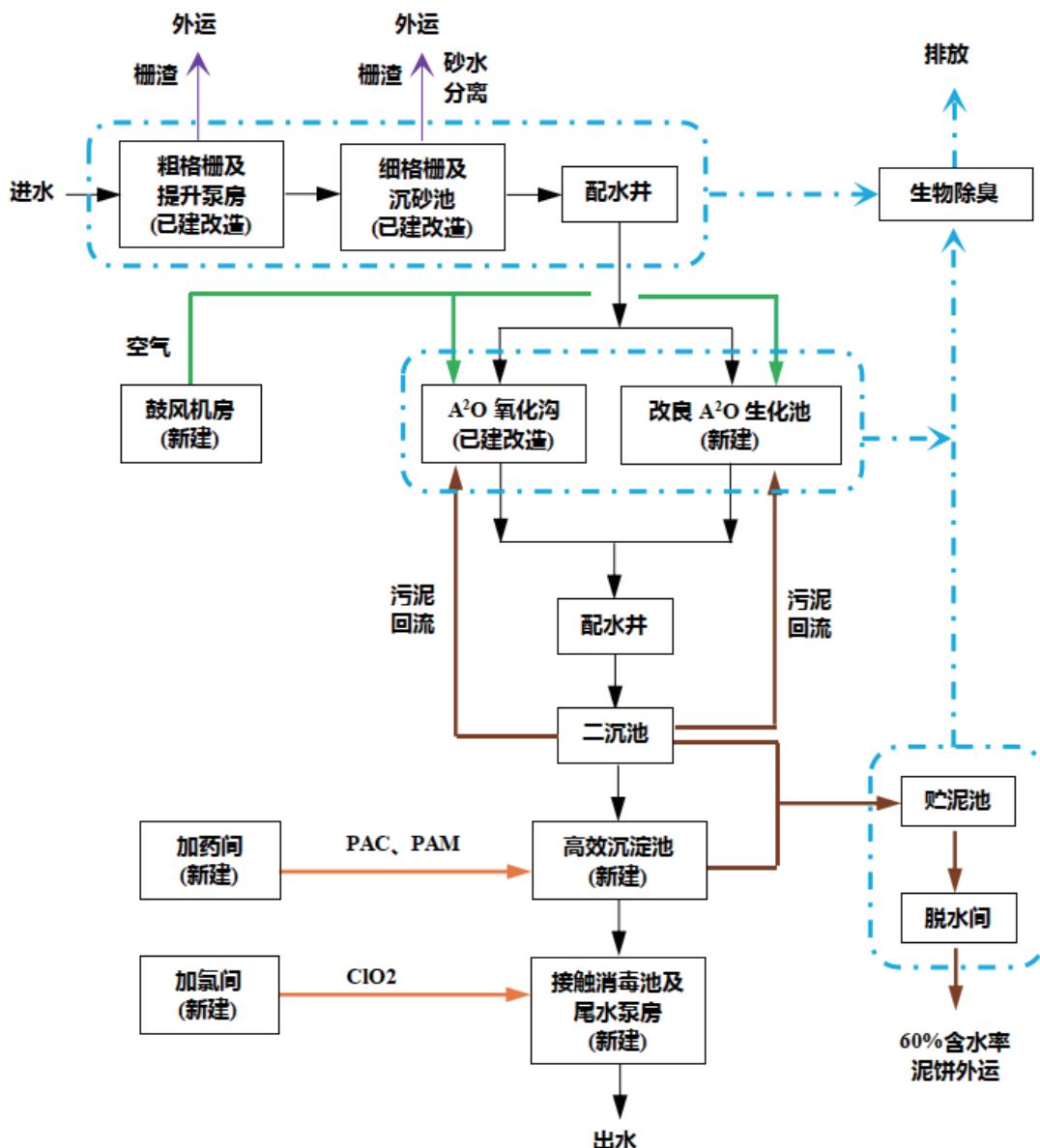


图1: 污水处理厂提标改造工程工艺流程图

2.2.3 复核计算

对各个处理单元进行复核计算, 详见下表。(见表3)

2.2.4 工艺流程 (见图1)

2.3 建设型式与平面布局

本工程设计总规模为3.0万 m^3/d , 对应《城市污水处理工程项目建设标准》(198-2022)用地控制指标为 $1.75m^2/(m^3 \cdot d^{-1})$ ^[1]。本厂实际占地面积2.15hm², 折算用地指标 $1.08m^2/(m^3 \cdot d^{-1})$, 约建设标准的60%。而本次项目性质为改造工程, 厂内规整用地已基本占用, 仅剩边角不规则绿化空地可供实施。

在用地条件有限的情况下, 借鉴地下式污水处理厂设计理念, 采用集约化建设型式, 将生产辅助用房与构筑物池体在竖向空间重叠建设, 以节省平面用地^[2]。分析厂区现状布局, 唯有边角两块不规则绿化空地和现状紫外消毒渠占

地可供利用。考虑主流程的顺畅, 确定将新建生化处理单元布置于东侧空地, 新建深度处理单元布置于现状紫外消毒渠用地, 新建尾水单元布置于南侧空地; 单体平面按不超越所属空地小红线进行设计。(见图2、图3)

2.4 主要构(建)筑物设计

2.4.1 氧化沟改造

调整内部构造, 将现状DE氧化沟改造为具有良好脱氮除磷效果的A2O氧化沟^[3], 具体做法如下。①封堵1#、2#沟隔墙过水孔。②改造弧形导流墙, 将沟内空间用蝴蝶墙分为缺氧区、好氧区, 停留时间分别为5.5h、11.5h。③蝴蝶墙靠大墙一侧设置电动旋转门, 通过开启度控制好氧区至缺氧区的混合液回流量。④缺氧区、好氧区分别布置2套推流器, 叶轮直径2100mm。⑤好氧区采用盘式微孔曝气器240套, 气水比6:1。

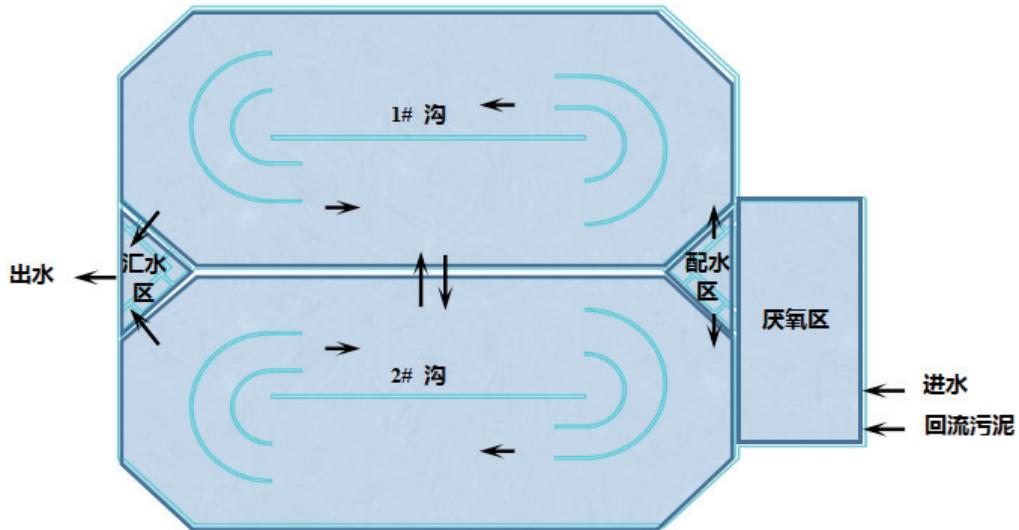


图4：现状DE氧化沟工艺平面示意图

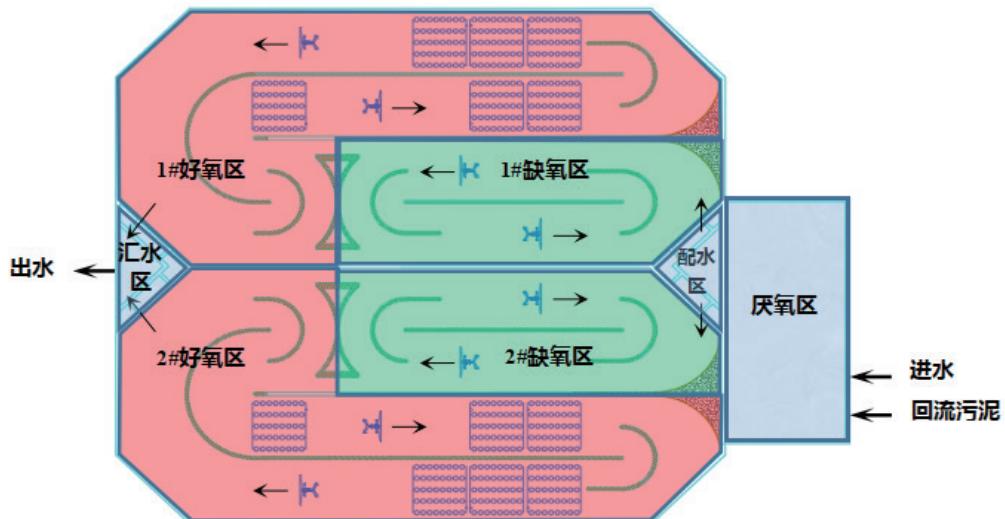


图5：改造A²O氧化沟工艺平面示意图

2.4.2 新建生化处理系统

新建生化处理系统采用集约化建设型式，主要包括改良A²O生化池、鼓风机房、配电间及除臭系统。

-1F池体层为改良A²O生化池，设计规模为1.0万m³/d，总水力停留时间12.6h，采用盘式微孔曝气器556套，土建尺寸43.3m×21.0m×7.80m。1F操作层为鼓风机房及配电室，总建筑面积为224.50m²，建筑高度5.90m。选用空气悬浮鼓风机，A²O氧化沟3套（2用1备），Q=41N.m³/min；新建改良A²O生化池2套（1用1备），Q=29N.m³/min。

2.4.3 新建高效沉淀池

新建高效沉淀池^[4]设计规模3.0万m³/d，土建尺寸为20.25m×23.7m×7.6m。混合时间3.0min，搅拌机1台，Φ=1400mm。絮凝时间12min，高效反应桶2台，Φ=2100mm。斜管区表面负荷9.71m³/(m²·h)，中心传动刮泥机2台，Φ=11.0m。污泥泵6台（4用2备），Q=15~35m³/h。

2.4.4 新建尾水系统

新建尾水系统采用集约化建设型式，主要包括接触消毒池、尾水提升泵房、加氯间、加药间、出水在线监测室、配电室及中水回用泵组。

-1F池体层为接触消毒池，设计规模为3.0万m³/d，接触时间30min，土建尺寸27.3m×10.95m×7.6m。出水采用巴氏计量槽，吼宽0.45m。尾水常规重力自流出厂，汛期经提升后排出，轴流泵3台（2用1备），Q=910m³/h。

1F操作层为生产辅助用房，总建筑面积为247.14m²，建筑高度5.90m。混凝剂PAC储罐2套，V=5m³；投加隔膜泵2台，Q=55L/h。絮凝剂PAM制备系统1套，Q=2000L/h；投加螺杆泵3套，Q=1000L/h。消毒剂ClO₂发生器3套，Q=10kg/h。中水回用泵组1套，Q=30m³/h，配套气压罐。

2.4.5 除臭系统

除臭区域为预处理单元、生化池单元和泥处理单元。密封方式^[5]为：预处理的粗、细格栅采用“不锈钢骨架

表4: 污水处理厂实际运行效果

项目 \ 指标	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	粪大肠杆菌 (个/L)
进水水质	120~178	216~519	101~276	7~44	13~59	2.3~7.9	/
出水水质	2.30~5.70	5.86~26.40	4.00~7.00	0.06~4.61	1.08~13.73	0.04~0.38	10~780
出水水质(平均)	4.01	16.22	4.96	0.71	7.61	0.13	235

+PC耐力板”，敞开水面采用玻璃钢盖板；A²0氧化沟采用反吊膜；新建改良A²0生化池利用操作层土建结构；污泥脱水间整体除臭。生物除臭系统共2套，单套除臭风量Q=25000m³/h。1#装置用于预处理和生化池，2#装置用于污泥脱水间。生物除臭装置布置于新建生化池操作层，处理达标的尾气用15m排气筒有组织排放。

3 设计特点

①集约化建设理念有效提高土地利用率。在可实施用地极其有限的背景下，本工程借鉴地下式污水处理厂集约化建设理念，将构、建筑物在竖向空间重叠布置，减少平面用地需求，有效节约用地40%。此外，-1F池体、1F生产用房的建设型式还能缩短药剂、空气、臭气、电缆的输送长度，有助于运营单位对各系统分区管理。

②科学节能的改造路线保障工程经济性。首先充分发掘已建单元的处理潜能，必要的新增单元选择高效低耗型工艺。水力流程上，新增单体顺流程布局，单体间管线连接尽量顺直，以减少水头损失；合理利用现状池体液位差，避免二次提升；尾水采用双通道排放模式——日常重力自流、汛期提升排放。新增中水系统，回用于厂区道路浇洒、绿地浇灌、格栅冲洗、除臭塔补水等，节省水资源26万m³/年。

③“空间换时间”实现改造期间“不停产、不减能、不降标”。制定详细的改造时序安排。在南侧空地新建尾水系统，通水后拆除现状消毒渠，于原址新建高效沉淀池；同步在东侧空地新建生化处理系统，待建成通水后，再依次对两座氧化沟进行改造。上述项目完成后，对厂内现状构筑物进行改造，并增加污泥脱水批次。通过上述建设时序的切换，实现改造期间“不停产、不减能、不降标”的建设目标。

④结构地基处理特点。原有生化池改造过程中需尽可能保留原有结构构件，新增构件与既有结构采用植筋连接，原结构凿毛后采用高一等级微膨胀混凝土浇注，增强新老构件连接性，对于需要在既有结构上新增开洞部位，采用外部植筋加梁的方式进行加固，尽可能减小对原结构影响。新建生化池抗浮水位高，局部自重不满足抗浮要求。基底局部存在软塑粉质黏土，结合上述条件，生化池局部采用砼换填并将

换填材料通过锚筋与底板连接形成配重抗浮。

4 运行效果

对工程竣工后三年的运行资料进行统计分析，污水厂实际进水水量达3.3万m³/d，实测进、出水水质统计分析如下表。运行结果表明，本工程达到并超过了提标改造的水质、水量目标。（见表4）

5 经济指标

本次提标改造工程建设总投资为4388.20万元，第一部分工程费用为3469.67万元。其中，土建工程费1435.29万元，工艺设备购置费1329.89万元，电气自控设备购置费343.38万元，安装工程费344.38万元。年处理总成本费用增加942.92万元（折合到每吨污水为0.86元），工程正常年经营成本费用增加793.42万元（折合到每吨污水为0.72元）。

6 结语

集约化建设型式应用于城市生活污水处理厂提标改造工程，有效提高土地利用率约40%。工程挖掘现状单元处理潜能，优化新建构（建）筑物布置型式、合理利用厂区不规则空地，在围墙线范围内同步实现了提标和扩容的任务要求，为广安市乃至三峡库区区域水环境安全提供了保障，也为类似有限用地条件下污水处理厂提标改造项目提供参考了经验。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市污水处理工程项目建设标准: 建标198-2022 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2022.
- [2] 中国工程建设协会标准. 城镇污水处理厂节地技术导则: T/CECS 511-2018 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [3] 高守有, 刘森彦, 黄鸥, 等. 城市污水处理厂表曝氧化沟脱氮改造工程设计 [J]. 给水排水, 2014 (40): 45-48.
- [4] 张双, 陈贵生, 陈仁凯, 等. 高密度沉淀池在污水处理厂提标改造工程的应用 [J]. 中国给水排水, 2019, 12 (35): 80-84.
- [5] 王东. 污水处理厂构筑物加盖（罩）除臭主要结构形式探讨 [J]. 中国给水排水, 2010, 12 (26): 47-50.