

岷沱江流域城镇污水处理厂提标改造实例分析

辜凌云¹, 王春¹, 高程², 冯雯娟², 苟雪梅³, 高东东¹

¹四川省生态环境科学研究院, 四川 成都

²四川省环科院科技咨询有限责任公司, 四川 成都

³四川省环保科技工程有限责任公司, 四川 成都

Email: 261026692@qq.com

收稿日期: 2021年3月19日; 录用日期: 2021年4月21日; 发布日期: 2021年4月30日

摘要

针对四川省在岷江、沱江流域实施水污染物排放标准的要求, 总结了城镇污水处理厂提标改造的主要内容和技术指标以及经济分析。介绍四川某城镇污水处理厂提标改造方案, 通过部分利旧、升级改造及新增工艺段的方式, 将出水标准由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中的一级A标提升至《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》中城镇污水处理厂排放标准。提标改造工艺的建设投入成本较低, 改造过程实施较快, 后期管理便捷。提标改造完成后系统稳定运行, 出水中主要污染物COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TN和TP基本稳定达到岷沱江标准的排放限值要求, 取得了较好的生态环境效益。

关键词

岷沱江流域, 城镇污水, 提标改造, 实例分析

A Case Study of Upgrading Project of Domestic Sewage Treatment Plant in the Minjiang and Tuojiang Basins

Lingyun Gu¹, Chun Wang¹, Cheng Gao², Wenjuan Feng², Xuemei Gou³, Dongdong Gao¹

¹Sichuan Academy of Environmental Sciences, Chengdu Sichuan

²Sichuan Environmental Sciences Academy Sci-Tech Consulting Co., LTD., Chengdu Sichuan

³Sichuan Environmental Technology Engineering Co. LTD., Chengdu Sichuan

Email: 261026692@qq.com

Received: Mar. 19th, 2021; accepted: Apr. 21st, 2021; published: Apr. 30th, 2021

作者简介: 辜凌云, 四川眉山人, 1989年3月出生, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为水污染治理、土壤地下水污染治理。

文章引用: 辜凌云, 王春, 高程, 冯雯娟, 苟雪梅, 高东东. 岷沱江流域城镇污水处理厂提标改造实例分析[J]. 水资源研究, 2021, 10(2): 168-174. DOI: 10.12677/jwrr.2021.102017

Abstract

To meet the discharge standard of water pollutants in Minjiang and Tuojiang basins, the main steps for upgrading projects of domestic sewage treatment plants and several applied techniques were generalized as well as economic and technical analysis. An upgrading project of a full-scale domestic sewage treatment plant located in Sichuan Province was introduced. Through utilizing and upgrading current equipments and adding new processes, the effluent water quality increased from first class A standard of Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918-2002) to domestic sewage treatment plant discharge standard of Discharge Standard of Water Pollutants in Min River and Tuo River Basins of Sichuan Province. The cost of this up-grading project is relatively low and it is also convenient to build and operate. The main pollution factors of COD_{cr}, BOD₅, NH₃-N, TN and TP can meet designed effluent standard requirements, thus providing good ecological and environmental benefits.

Keywords

Minjiang and Tuojiang Basin, Domestic Sewage, Upgrading Project, Case Study

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2017年1月1日起,四川省正式实施《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》[1](后文简称岷沱江标准),要求岷沱江流域内不达标的城镇污水处理厂应在2020年12月31日前完成提标改造,污水厂出水应满足主要水污染物排放浓度限值,其中COD_{Cr}、BOD₅、氨氮、总氮和总磷应分别达到30 mg/L、6 mg/L、1.5 mg/L、10 mg/L和0.3 mg/L。四川省城镇污水处理厂在提标改造前主要处理工艺为A²O活性污泥法和氧化沟,共占比73.19%,其实际处理量占全省城镇污水处理总量的74.54%,运行费用、用电量和污泥产生量分别占全省的72.54%、98.95%和74.75%,无法满足提标改造要求。本文主要阐述了污水厂进行提标改造的主要内容、技术和提标改造经济分析,对省内某污水处理厂提标改造方案和运行情况进行介绍。

2. 提标改造主要内容和技术

2.1. 主要内容

污水处理厂提标改造可按照下列步骤及内容开展工作[2]:

①收集资料。收集现有污水处理厂建设及运行的相关资料,包括可研报告、招投标文件、施工图纸、运行水质水量数据、第三方检测报告等;

②现场踏勘。开展现场踏勘,调查现状进出水水质、水量情况、运行工况等,排查污水管网是否有渗漏、雨污分流等相关情况;

③确定规模及标准。根据政策及实际情况确定COD_{Cr}、BOD₅、氨氮、总氮、总磷等污染物浓度需要达到的新标准限值和污水处理厂的改造规模。

④分析达标影响因素。结合进水水质特性、出水水质与标准值的差距,分析影响新标准稳定达标的主要因素。

⑤提出技术措施及方案。根据影响稳定达标的主要因素,提出有针对性的技术措施,并结合处理效果稳定

性、工艺控制灵活性、工程实施可行性、维护管理方便性、投资运行经济性和系统优化整体性，经技术经济比较后确定技术方案。

⑥开展工程设计及建设。根据已确定的技术方案和工艺流程开展设计和建设，并明确实现“不停水”改造的具体措施，及“利旧”、“改造”、“新建”单体的工程量。

⑦开展调试及运行。建设完成后，根据项目实际情况确定最佳调试方案及运行方案，开展单机调试、联动调试、试运行及运行等工作。

2.2. 强化脱氮除磷主要技术

《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》较《城镇污水处理厂污染物排放标准》管理严格，对污水处理厂出水总氮和总磷达标要求高，因此在提标改造工作中需重点考虑强化除磷脱氮技术。目前国内脱氮除磷常选用的方法有生物处理法和物理化学法两大类。脱氮主要依靠生物法，通过强化硝化和反硝化作用达到脱氮的目的，主要包括异养硝化-好氧反硝化技术，自养反硝化处理技术[3] [4]以及自养-异养反硝化协同处理技术[5]。除磷[6]可依靠生物除磷和化学除磷，生物除磷通过厌氧释磷、好氧吸磷的方式达到除磷的目的，化学除磷则是通过添加化学试剂通过絮凝沉淀的方式去除水中的磷。

2.3. 提标改造主要技术

目前，针对岷沱江标准开展提标改造方案可采用生化池改造和深度处理强化两方面来达到进一步提高脱氮除磷效率的目的。生化池的改造包括延长污泥泥龄、提高回流比、提高污泥浓度、增加缺氧段、好氧段停留时间等生化手段加强系统对内部碳源的利用，提高生化段 TN、TP 的去除效果。在深度处理方面，主要针对生化池及原有过滤出水不能保障 TN、TP 达标的情况，采用化学强化除磷及增加二级缺氧段强化反硝化深度脱氮的方式，提高 TN、TP 的去除率。现有城镇污水处理厂按照岷沱江标准提标改造的技术主要包括：“MBR + 强化除磷”、“A²/O + 反硝化滤池 + 高效沉淀”、“A²/O + A + MBR”、“A²/O + 强化除磷+人工湿地”等[7] [8] [9]。

3. 提标改造经济分析

污水处理厂提标改造工程投资成本与污水厂处理规模、主体工艺、原设计执行标准有直接关系。据统计[10]，从一级 A 标准升级至岷沱江标准，城镇污水处理厂新增投资成本占原始投资成本的 50%~60%，运营成本增加 40%~70%。以日处理规模为 10,000 吨的污水处理厂为例，从一级 A 标准升级至岷沱江标准的建设成本如表 1 所示。

Table 1. Construction cost for upgrading projects
表 1. 出水一级 A 标准提升至岷沱江标准的建设成本

序号	原一级 A 标主体工艺类型	提标后增加工艺段	建设成本范围(元/m ³)
1	A ² /O	反硝化滤池 + 化学除磷 + 高效沉淀池/纤维转盘过滤	600~1200
2	A ² /O	缺氧池 + MBR + 化学除磷	600~1500
3	MBR	缺氧池 + 化学除磷	450~700
4	A ² /O + A	MBR + 化学除磷 + 人工湿地	600~800

4. 某污水厂提标改造案例分析

4.1. 提标改造背景

四川某污水处理厂原进水规模约 3.2 万吨/日，原处理工艺为“A/O + 曝气生物滤池”。现有污水厂出水执

行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中的一级 A 标准, 因水厂原设计未考虑建设去除总氮的单元, 同时生物除磷效果较差, 且生化系统停留时间较短, 其出水水质中氨氮在冬季低温时不能稳定达标, 总氮总磷长期不达标, 曝气生物滤池运行负荷过大。

岷沱江标准实施后, 为保证出水水质满足岷沱江标准的排放限值要求, 需对其原有工艺进行提标改造。拟对原工艺中部分老旧的设备进行升级, 在原生化工艺中增加第二级缺氧工艺段和膜生物反应器(MBR)工艺段, 通过提高污泥浓度, 优化各工艺段的回流比, 使污水进行充分的硝化和反硝化反应, 保证出水氨氮和 TN 达标; 另外, 在强化生物除磷的同时增加化学除磷, 提升污水处理厂除磷效果, 保证出水 TP 达标。

4.2. 实际进水水质分析

根据污水处理厂 2018 年 1~11 月进水水质数据汇总得出主要水质指标 COD_{Cr}、NH₃-N、TN 和 TP 的平均值、最大值、最小值、90%涵盖率, 如表 2 所示。考虑到该污水处理厂会接纳部分工业废水, 对工业废水进水采样监测结果显示 COD_{Cr} 变动范围 284.16~581.6 mg/L。

Table 2. Influent water quality
表 2. 实际进水水质

水质指标	COD _{Cr}	NH ₃ -N	TN	TP
平均值(mg/L)	141.26	47.45	65.2	8.31
最大值(mg/L)	199.12	91.04	70.53	9.31
最小值(mg/L)	92.11	28.9	60.14	5.41
90%涵盖率(mg/L)	186.21	59.28	68.69	8.71

4.3. 设计进出水及污水可生化性分析

本次设计进水水质以 90%涵盖率的水质指标作为参考进水水质, 设计出水水质满足《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》的限值要求。考虑到部分接纳的工业废水的波动性, 本工程对 COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TN 和 TP 的设计进、出水水质及去除率如表 3 所示。

Table 3. Design influent and effluent quality and removal efficiency
表 3. 出水一级 A 标准提升至岷沱江标准的建设成本设计进、出水水质及去除率

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水(mg/L)	≤500	≤200	≤55	≤70	≤9
设计出水(mg/L)	30	6	1.5	10	0.3
去除率(%)	94	98.5	97.27	78.6	96.6

本次提标改造要求出水 COD_{Cr} 和 BOD₅ 分别稳定在 30 mg/L 和 6 mg/L 以下, 去除率分别高达 94%、98.5%, 设计进水水质中 BOD₅/COD_{Cr} = 0.4, 可生化性较好, 可在生化段改造时适当延长污泥停留时间并确保供氧量充足。

出水指标中要求 NH₃-N ≤ 1.5 mg/L, TN ≤ 15 mg/L, 处理工艺中对氮的去除和稳定达标要求较高, 因此需要在生化处理段设硝化和反硝化单元, 且保证充足池容、供氧量和碳源。本次提标改造设计进水水质中, BOD₅/TN = 200/70 = 2.86, 无法满足生物正常脱氮要求, 需添加额外碳源才能有效脱氮。

磷的去除主要依靠生物除磷, BOD₅/TP 需大于 20, 本次提标改造设计进水 BOD₅/TP 为 22.2, 基本满足生物除磷要求。但出水 TP ≤ 0.3 mg/L, 去除率要达到 96.7%, 同时考虑到磷的释放问题, 因此, 本次提标改造考

考虑采用生物除磷与化学除磷两者相结合的方法强化除磷效果，以保证出水 TP 达标。

4.4. 提标改造工艺确定

本次提标改造根据进水水质特点及出水水质要求，拟在原有工艺段基础上采取“利旧 + 设备升级”和“新建部分模块”的方式。改造后的主体工艺采用预处理 + A²/O + A + MBR 池，工艺流程如图 1 所示。预处理工艺主要包含粗格栅 + 提升泵房 + 细格栅 + 沉砂池 + 超细格栅，其中超细格栅为新建，其余利旧并对设备进行升级；生化工艺主要包括原有的 A²/O 生化池 + 二级缺氧池 + MBR 膜池，其中 A²/O 池由原 A/O 池改造，新建二级缺氧池和 MBR 膜池；厂区原有鼓风机房利旧，更换曝气鼓风机和膜吹扫鼓风机；新增综合加药间；原工艺中的污泥脱水机房及污泥脱水设备利旧。

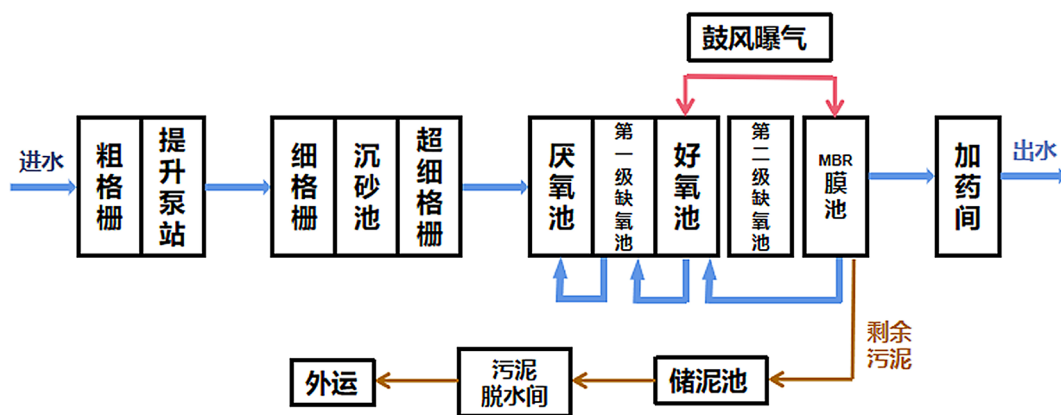


Figure 1. Flow chart of upgrading project process
图 1. 提标改造工艺流程图

4.5. 提标改造工艺设计

1) 粗格栅及提升泵房(利旧 + 设备升级)

粗格栅设置于处理厂的进水端，安装钢丝绳牵引式粗格栅，设计流量 40,000 m³/d；提升泵井 1 座，池深 9 m，提升泵 5 台，4 用 1 备。

2) 细格栅及曝气沉砂池(利旧 + 设备升级)

细格栅选用内进流式网板格栅，设计流量 40,000 m³/d，格栅间隙 5 mm，设 2 条渠道，1 条为工作渠道，另一条为备用渠道；曝气沉砂池用以去除污水中比重大于 2.65，粒径大于 0.2 mm 的无机砂砾，1 座 2 格，地上钢筋混凝土结构，池深 4 m，停留时间 10 min。

3) 新建超细格栅间

新增超细格栅，设备选用内进流式网板格栅，设计流量 40,000 m³/d，格栅间隙 1 mm，设有 3 条渠道，2 条为工作渠道，另一条为备用渠道。

4) A²/O 生化池(利旧 + 设备升级)

由于原工艺为好氧池回流混合液至厌氧池，导致厌氧池中 DO 浓度超标，不能达到真正的厌氧效果。经核算原 A/O 工艺池容满足改造设计要求，因此本次提标改造在原生化池基础上增加隔断，将 A/O 池改造为 A²/O。A²/O 池改造后主要由厌氧池、第一级缺氧池、好氧池组成，共 2 个系列运行。改造后生化池水力停留时间为 18.6 h。

厌氧池单系列平面尺寸 21.1 m × 13.2 m，池深 7 m，有效水深 6 m，水力停留时间 2 h，污泥浓度 4.44 g/L；第一级缺氧池单系列平面尺寸 53.1 m × 21.1 m，池深 7 m，有效水深 5.95 m，水力停留时间 8 h，污泥浓度 6.67 g/L；好氧池单系列平面尺寸 58.6 m × 14.1 m + 16.1 × 6.7 m，池深 7 m，有效水深 5.9 m，水力停留时 6.6 h，污泥浓度

8.33 g/L。缺氧至厌氧回流比：200%；好氧至缺氧回流比：400%；好氧 BOD 负荷 0.069 kg BOD₅/kg MLSS.d。

5) 新建第二级缺氧池

新增第二级缺氧池，单系列平面尺寸 42.2 m × 6.7 m，池深 7 m，有效水深 5.9 m，水力停留时间 2 h，污泥浓度 8.88 g/L。

6) 新建 MBR 膜池及膜设备间

新增 MBR 膜池，单座平面尺寸 43.2 m × 27.6 m，池深 5 m，有效水深 3.6 m，水力停留时间 1.3 h。廊道数 6 个，单廊道膜箱数 8 个，总膜箱数量 48 个。单个组件面积 2100 m²，污泥浓度 10 g/L，膜池至好氧回流比：500%。膜设备间 1 座，尺寸 43.2 × 11.9 × 6.0 m。

7) 新建综合加药间

新增 1 座综合加药间，主要用于除磷药剂及碳源药剂的投加，尺寸 18.75 × 6.25 × 6.0 m，配备除磷加药系统、消毒加药系统、乙酸钠加药系统。

8) 污泥脱水间(利旧 + 设备升级)

污泥脱水间依托原有污泥脱水系统将污泥脱水至 80% 含水率进行外运处理处置。

4.6. 出水水质

污水处理厂经提标改造后，出水水质稳定，具体数值详见表 4，满足《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》的限值要求。

Table 4. Actual operation effluent quality
表 4. 实际运行出水水质

日期	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
12 月 10 日	6.50	1.15	0.10	2.95	0.11
12 月 11 日	5.93	1.19	0.11	4.82	0.08
12 月 12 日	6.73	1.42	0.11	2.89	0.09
12 月 13 日	5.59	1.17	0.11	2.59	0.09
12 月 14 日	6.43	1.18	0.11	2.62	0.17

基金项目

四川省重大科技专项项目流域沿线面源污染阻控技术与流域精细化管理技术研发与示范(课题编号 2018SZDZX0025)。

参考文献

- [1] DB51/2311-2016, 四川省岷江, 沱江流域水污染物排放标准[S].
DB51/2311-2016, the discharge standard of water pollutants in Minjiang and Tuojiang Basin. (in Chinese)
- [2] 黄志心. 城镇污水处理厂提标改造实践与思考[J]. 中国给水排水, 2020, 36(22): 48-53+60.
HUANG Zhixin. Practice and thinking of upgrading and reconstruction of municipal wastewater treatment plant. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 48-53+60. (in Chinese)
- [3] 李文超, 石寒松, 王琦, 周骏. 硫自养反硝化技术在污废水处理中应用研究进展[J]. 水处理技术, 2017, 43(8): 1-6.
LI Wenchao, SHI Hansong, WANG Qi and ZHOU Jun. Application progress of sulfur-autotrophic denitrification technology in wastewater treatment. Technology of Water Treatment, 2017, 43(8): 1-6. (in Chinese)
- [4] 任争鸣, 王东, 王燕, 王硕, 李激. 硫自养反硝化处理高硝态氮废水的运行特性研究[J]. 水处理技术, 2017, 33(15): 66-70.
REN Zhengming, WANG Dong, WANG Yan, WANG Shuo and LI Ji. Characteristics of sulfur-based autotrophic denitrifica-

- tion process for high nitrate concentration waste water. *Technology of Water Treatment*, 2017, 33(15): 66-70. (in Chinese)
- [5] 翟思媛, 赵迎新, 季民. 自养-异养反硝化协同作用强化污水深度脱氮研究进展[J]. *水处理技术*, 2018, 44(6): 1-5+14. ZHAI Siyuan, ZHAO Yingxin, JI Ming. Research progress of advanced nitrate removal by heterotrophic-autotrophic synergistic denitrification. *Technology of Water Treatment*, 2018, 44(6): 1-5+14. (in Chinese)
- [6] 黄筹, 王燕, 郑凯凯, 王硕, 李激. 城镇污水处理厂除磷影响因素及优化运行研究[J]. *环境工程*, 2020, 38(7): 58-65. HUANG Chou, WANG Yan, ZHENG Kaikai, WANG Shuo and LI Ji. The influencing factors and optimal operation of phosphorous removal in urban wastewater treatment plants. *Environmental Engineering*, 2020, 38(7): 58-65. (in Chinese)
- [7] 高术波. 多级 AO + MBR 工艺在污水厂提标改造中的应用——以北京某污水厂为例[J]. *净水技术*, 2020, 39(8): 28-31. GAO Shubo. Application of multilevel AO + MBR process in upgrading and reconstruction project—Case study of a WWTP in Beijing. *Water Purification Technology*, 2020, 39(8): 28-31. (in Chinese)
- [8] 王杰, 陈钰, 刘颖, 曹洲榕, 张培松. 倒置 A²/O+反硝化深床滤池在城市污水处理厂中的应用[J]. *水处理技术*, 2020, 46(6): 130-133. WANG Jie, CHEN Yu, LIU Ying, CAO Zhourong and ZHANG Peisong. Application of reversed AAO/denitrification biofilter in a municipal sewage treatment plant. *Technology of Water Treatment*, 2020, 46(6): 130-133. (in Chinese)
- [9] 白玉华, 张欣宇, 黄政鑫, 刘百仓, 陈艾, 朱芳琳. AAOA-MBR 强化脱氮工艺用于内江市某污水厂提标改造[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(24): 87-91. BAI Yuhua, ZHANG Xinyu, HUANG Zhengxin, LIU Baicang, CHEN Ai and ZHU Fanlin. AAOA-MBR enhanced denitrification process for upgrading and reconstruction of waste treatment plant inner river. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(24): 87-91. (in Chinese)
- [10] 杨晓峰. 污水处理厂提标改在工程经济性分析[J]. *工程建设与设计*, 2020(18): 151-152. YANG Xiaofeng. Economic analysis of upgrading project of sewage treatment plant. *Construction & Design for Engineering*, 2020(18): 151-152. (in Chinese)