

《四川省生态环保技术 2020 年度白皮书 (水环境领域)》

四川省生态环境厅

四川省科学技术厅

四川省环境科学学会

二〇二一年十二月

前 言

近年来，我省污染防治攻坚战不断深入，生态环境质量持续改善，生态环境保护事业取得较大发展，生态环境科技支撑作用成效明显，科技水平和创新能力不断提升。为全面掌握行业绿色转型发展的科技需求，精准评估全省生态环境科技发展水平状况，更好地推动生态环境科技成果转化和产业化应用，不断提高科技服务水平，由四川省生态环境厅、四川省科学技术厅牵头，四川省环境科学学会组织编写《四川省生态环保技术白皮书》。因涵盖领域较广、涉及技术种类众多，采取分年度专业领域进行编写。

今年，以水环境治理领域为开端，编写《四川省生态环保技术 2020 年度白皮书（水环境领域）》，本书从水生态环境技术政策概述、城镇污水处理技术、工业废水处理技术、农村污水处理技术、饮用水水源地管理及治理技术、黑臭水体治理修复及流域生态环境保护技术等 6 部分，系统梳理了我省水环境领域的发展现状、技术水平与需求，展示了当前主要技术与典型应用案例，并结合生态环境管理需求，提出了水环境科技创新未来发展重点方向的建议。

本书充分利用四川省环境科学学会的学科资源优势，精心组织与统筹安排，成立了由四川省生态环境科学研究院、四川大学、西南交通大学、中科院成都生物研究所、成都理

工大学等川内知名科研单位相关专家构成的编写课题组，根据擅长领域安排专人分章负责编写任务。

希望本书能推动我省水环境治理领域先进适用技术的推广应用，畅通科研院所、科技企业间的供需对接和交流合作渠道，为促进我省生态环保科技创新和成果转化、打好污染防治攻坚战、改善生态环境质量、推动经济高质量发展提供有力科技支撑。因受时间和资料限制，书中如有不妥和疏漏之处，敬请批评指正。

编委会

2021 年 12 月

编委会

主任：四川省生态环境厅副厅长 彭 勇

副主任：四川省生态环境厅科技与财务处处长 阳 恺

四川省科学技术厅社会发展科技处副处长 石梁萍

四川省环境科学学会副理事长 叶 宏

编委：四川省生态环境厅科技与财务处副处长 文 芒

四川省生态环境厅科技与财务处博士 于倩楠

四川省生态环境科学研究院副院长 陈 强

四川大学建筑与环境学院教授 赖 波

西南交通大学地球科学与环境工程学院教授 陈俊敏

中科院成都生物研究所研究员 谭周亮

成都理工大学生态环境学院教授 谢燕华

四川省环境科学学会副理事长 陈维果

四川省环境科学学会秘书长 胡颖铭

四川省生态环境科学研究院高级工程师 韦娅俪

四川省生态环境科学研究院高级工程师 许冠东

成都东部集团有限公司高级工程师 岳艾儒

目 录

第一章 四川省水生态环境技术政策概述	1
一、全省水生态环境质量现状	1
(一) 水环境总体状况	1
(二) 主要河流水质状况	1
(三) 全省重要江河湖泊水功能区水质状况	2
(四) 集中式饮用水水源地水质达到或优于Ⅲ类比例情况	2
(五) 重点小流域水质状况	2
二、全省水污染防治技术主线推进情况	2
(一) 以“水十条”落实为主线, 推进水环境保护体系建设	2
(二) 以水污染物排放标准为核心, 推进水环境保护水平提升	4
(三) 以全面推行河长制和流域生态补偿为抓手, 推进水环境保护责任落实	5
(四) 以水污染防治技术为保障, 推进水环境保护目标实现	6
三、“十三五”全省水环境保护领域科学技术奖励情况	10
第二章 四川省城镇污水处理技术	14
一、全省城镇污水治理发展现状	14
二、全省城镇污水处理技术水平与需求	16
三、全省城镇污水处理技术原理介绍	18
(一) 厌氧-缺氧-好氧(A ² /O)工艺系统	18
(二) 序批式活性污泥(SBR)工艺系统	19
(三) 移动床生物膜反应器(MBBR)技术	20
(四) 膜生物反应器(MBR)技术	21
(五) 反硝化滤池脱氮技术	22
(六) 人工湿地处理系统	22
四、全省城镇污水处理技术典型应用案例	23
(一) 案例1: 地下式高效脱氮除磷改良多级A/O技术	23
(二) 案例2: A ² /O-MBBR模块化污水处理技术	26
(三) 案例3: 原位富集硝化菌耦合污泥水解强化脱氮除磷技术	27
(四) 案例4: MBBR+DNBF集成式生活污水处理技术	30

(五) 案例 5: A ² /OA-MBR 工艺	32
(六) 案例 6: 基于改性生物活性炭的智能生物增效污水处理技术 (3C-BACT)	35
(七) 案例 7: 基于高效低耗平板膜的污水处理技术	39
五、结论与展望	41
第三章 四川省工业废水处理技术	43
一、全省工业废水治理发展现状	43
二、全省工业废水处理技术水平与需求	44
(一) 高色度高难度工业废水处理技术	46
(二) 含重金属工业废水处理技术	47
(三) 高氨氮行业废水处理技术	48
三、全省工业废水处理技术原理介绍	49
(一) 电子束深度处理工业废水技术	49
(二) 工业园区水质高频波动废水强化脱氮除磷组合工艺	51
(三) 特种膜制药废水零排放技术	52
(四) 高难度化工废水铁基材料协同催化氧化处理关键技术	54
(五) 半导体行业生产废水“零排放”处理技术	57
(六) 草甘膦母液资源化处理集成技术	60
(七) 重金属及放射性废水深度净化技术	62
四、全省工业废水处理技术典型应用案例	63
(一) 案例 1: 电子束深度处理印染废水示范项目	63
(二) 案例 2: 工业园区水质高频波动废水强化脱氮除磷组合工艺	64
(三) 案例 3: 三级催化氧化+生物强化技术处理二硝基重氮酚生产废水工程	65
(四) 案例 4: 草甘膦母液资源化处理集成技术	66
(五) 案例 5: 洗消废水膜浓缩净化一体化移动式装备	68
五、结论与展望	69
第四章 四川省农村污水处理技术	71
一、全省农村污水治理现状	71
(一) 农村生活污水水质特征与治理现状	71
(二) 农村养殖污水水质特征与污染治理现状	74
二、全省农村污水处理技术水平与需求	76
(一) 污染物排放标准与治污目标	76

(二) 农村生活污水处理技术	78
(三) 农村养殖粪污处理技术	78
(四) 农村污水处理存在问题及需求分析	79
三、全省农村污水处理技术原理介绍	81
(一) 农村污水处理常用技术	81
(二) 高寒高海拔地区农村污水治理技术	87
(三) 农村污水处理创新技术	90
四、全省农村污水处理技术典型应用案例	91
(一) 案例 1：三格式化粪池+资源化利用	91
(二) 案例 2：沼气池发酵池+资源化利用	92
(三) 案例 3：农村污水高效低成本分段治理 SBCR 工艺成套技术	93
(四) 案例 4：预处理+人工湿地	94
(五) 案例 5：预处理+厌氧生物膜池+土地处理	95
(六) 案例 6：预处理+SBR	96
(七) 案例 7：预处理+A ² /O	97
(八) 案例 8：预处理+生物接触氧化+人工湿地	97
(九) 案例 9：预处理+A/O+人工湿地	98
(十) 案例 10：预处理+厌氧生物膜法+沉淀池+人工潜流湿地	99
(十一) 案例 11：厌氧+生物接触氧化	100
五、结论与展望	102
第五章 四川省饮用水水源地管理及治理技术	104
一、全省饮用水水源地总体情况	104
(一) “划、立、治”完成情况	104
(二) 监控能力建设情况	104
(三) 保护区勘界立标完成情况	105
二、饮用水水源地管理相关要求	106
(一) 法律法规	106
(二) 规范性文件	106
(三) 技术体系	107
三、全省饮用水水源地管理及污染治理技术原理介绍	107

(一) 视频监控技术	108
(二) 预警监控技术	108
(三) 保护区勘界定标	108
(四) 湖库型水源地达标治理	110
四、全省饮用水水源地管理及污染治理技术典型应用案例	111
(一) 案例 1: 视频监控技术典型应用案例	111
(二) 案例 2: 预警监控技术典型应用案例	112
(三) 案例 3: 乡镇集中式饮用水水源地达标治理典型应用案例	114
五、结论与展望	119
第六章 四川省黑臭水体治理修复及流域生态环保技术	121
生态环保技术	121
一、全省黑臭水体治理修复及流域生态环保发展现状	121
(一) 黑臭水体治理与修复发展现状	121
(二) 流域生态环境保护发展现状	122
二、全省黑臭水体治理修复及流域生态环保技术水平与需求	124
(一) 控源截污技术水平与需求	126
(二) 污染底泥处置技术水平与需求	127
(三) 生态功能恢复技术水平与需求	127
(四) 长效保持技术水平与需求	128
三、全省黑臭水体治理修复及流域生态环保技术原理介绍	129
(一) 排水管道溢流污染调蓄处理技术	129
(二) 水库深层水体增氧及水质改善技术	130
(三) 基于镧铁改性生物炭的氮磷协同治理技术	132
(四) 基于轻稀土环保功能材料的水生态系统构建技术	134
(五) ESS 流域水环境精细化治理体系与管控平台	137
四、全省黑臭水体治理修复及流域生态环保技术典型应用案例	139
(一) 案例 1: 成都市武侯区“宜居水岸”工程	139
(二) 案例 2: 四合水库水源地水质提升项目	140
(三) 案例 3: 崇州市向阳水库水环境治理服务项目	141
(四) 案例 4: 梅湾水库水质提升及生态修复项目	142
(五) 案例 5: 童家河流域水质治理项目	143

(六) 案例 6: 宝兴河流域生态信息管理平台项目	144
五、结论与展望	148

第一章 四川省水生态环境技术政策概述

“十三五”以来，四川省全面贯彻落实习近平生态文明思想，坚决贯彻落实党中央国务院、生态环境部和省委省政府关于生态文明建设和生态环境保护重大决策部署，以改善水生态环境质量为核心，深入贯彻实施国、省两级水污染防治行动计划与方案(以下简称“水十条”)，全方位、宽领域、超强度推进水生态环境保护，水生态环保技术水平不断提高，一大批突出水环境问题得到有效解决，水生态环境质量实现历史性突破。

一、全省水生态环境质量现状

(一) 水环境总体状况

2020 年，全省 110 个国、省考核断面中，104 个达到水质优良标准，优良率 94.5%；Ⅴ类、劣Ⅴ类断面全部消除；达到国家规定的 2020 年水质目标考核要求。87 个国考断面中 86 个断面水质达到优良标准，优良率 98.9%，比 2015 年（77.0%）上升 21.9 个百分点。10 个出川断面水质全部达到优良标准。

(二) 主要河流水质状况

2020 年，岷江流域水质同比改善，沱江、涪江、琼江、渠江、嘉陵江、雅砻江、青衣江、长江（金沙江）、赤水河、大渡河、安宁河、黄河 12 条流域同比保持稳定，均消除劣Ⅴ类国考水质断面。

岷江 11 个国考断面水质优良断面 11 个，占比 100%；沱江 16 个国考断面水质优良断面 15 个，占比 93.8%；涪江、琼江、渠江、嘉陵江、雅砻江、青衣江、长江（金沙江）、赤水河、大渡河、安宁河、黄河 11 条流域 60 个国考断面中，水质优良断面占比均为 100%。

（三）全省重要江河湖泊水功能区水质状况

2020 年，共监测 292 个全省重要江河湖泊水功能区（以下简称水功能区），涉及 303 个断面。其中，29 个排污控制区因无水质管理目标未纳入达标评价，按双因子评价，257 个水功能区达到水质目标，占比 97.7%，满足控制目标（83%）要求。21 个市（州）均达到 2020 年目标。自贡市（69.23%）、泸州市（94.12%）、德阳市（85.71%）存在不达标水功能区。

（四）集中式饮用水水源地水质达到或优于Ⅲ类比例情况

全省 21 个市（州）政府所在地 46 个在用市级集中式饮用水水源地水质全部达到或优于Ⅲ类标准，达标率 100%；145 个县的 217 个县级集中式地表饮用水水源地水质达标率 100%。全省 21 个市（州）169 个县开展了乡镇集中式饮用水水源地水质监测，共监测 2778 个断面（点位），按实际开展的监测项目评价，全省乡镇集中式饮用水水源地断面达标率为 93.6%。

（五）重点小流域水质状况

2020 年，全省 23 条重点小流域，除沱江流域资阳市阳化河外，22 条已达到《重点小流域挂牌督办整治工作方案》的年度目标要求，其中府河、新津南河、江安河、毛河、思蒙河、越溪河、金牛河、石亭江、鸭子河、青白江、毗河、球溪河、濑溪河、州河、琼江、鄞江、凯江、九曲河、绛溪河 19 条河流水质达到优良标准，醴泉河（Ⅳ类）、茫溪河（Ⅳ类）、阳化河（Ⅳ类）、釜溪河（Ⅳ类）4 条河流水质未达到优良标准。

二、全省水污染防治技术主线推进情况

（一）以“水十条”落实为主线，推进水环境保护体系建设

突出抓好工业水污染防治。加快工业集聚区污水处理设施建设，134 个省级及以上工业园区建成污水集中处理设施，实现在线监测联网。淘汰化解钢铁行业落后过剩产能 497 万吨、关停小煤矿 281 处，完成造纸、钢铁、氮肥、印染、制药、制革六大行业 238 家企业清洁化改造。实施工业企业达标行动计划，督促不达标企业限期整治达标。大力开展“三磷”整治，对德阳市 17 个磷石膏堆场综合整治实行省级挂牌督办。认真开展“散乱污”清理整治，排查“散乱污”企业 2.9 万家，整治完成 2.6 万家。

加快补齐城镇污水处理设施短板。全省投资 836.5 个亿，扎实推进四川省城镇污水和城乡垃圾三年推进方案实施。2020 年，城镇生活污水日处理能力达 1100 万吨、排水管网 5.57 万公里。完成地级以上城市黑臭水体治理 104 条。

积极推进农业农村水污染防治。制定《四川省农村人居环境整治三年行动方案》《四川省农村生活污水治理三年推进方案》（川环发〔2020〕13 号），启动农村生活污水治理“千村示范工程”，确定全省 18 个县（市、区）的 1190 个村为示范村，以点带面推进农村生活污水治理工作，完成 7487 个建制村的环境综合整治。全省新增高效节水灌溉面积 40 万亩，新增改厕农户 194 万户，农村卫生厕所普及率 82.4%。创建部省级畜禽养殖标准化示范场 1401 个，畜禽粪污综合利用率达 93.1%，规模养殖场粪污处理设施装备配套率达 98.3%。

加强全省水生态环境监测体系构建。通过综合运用在线监测、视频、用电监控等手段，投入 3.1 亿元建设 180 个长江经济带水质自动监测站，全省市、县流域间交界断面自动监测全覆盖，水环境预警能

力进一步提升。

（二）以水污染物排放标准为核心，推进水环境保护水平提升

制定出台了《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（**DB 51/2311-2016**）。一方面通过标准引领作用以带动四川省城镇生活污水及工业废水深度处理技术的研发、应用和推广，改善流域水环境质量，保护流域生态环境；另一方面通过标准引导流域内企业采用工艺先进、技术成熟的水污染防治技术，提高行业环保水平、技术水平、管理水平，实施清洁生产，促进全省行业结构的调整与优化，实现产业转型升级和发展方式转变，构建具有竞争力的现代产业体系。该标准于2016年12月发布，自2017年1月1日起实施以来，推动完成了沱江、岷江流域污水处理设施提标改造249座，占总目标74.5%，涉及日处理规模488.9万吨。

制定出台了《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（**DB 51/2626-2019**）。根据我省农村生活污水单户污水量少、排放分散、水质水量波动大的特点，确定控制指标、排放限值、监测方法和实施监督等规定，希望通过标准的实施，实现农村水环境质量的持续改善，推动美丽乡村建设。该标准于2019年12月发布，自2020年1月1日起实施以来，各地纷纷探索适合当地的农村生活污水处理技术和管理运营机制。

研究制定《四川省泡菜工业水污染物排放标准》。四川泡菜作为中国泡菜的典型代表，受到政府的重点扶持和培育。经过近十余年的工业化发展，四川泡菜产业规模逐渐增大，并逐渐涌现出一批大中型企业。通过行业标准的制定，可以促进四川省泡菜工业企业加强清洁生产，从泡菜生产源头、过程、末端三个方面着手，优化厂区布局，

分类生产，形成低盐生产技术和方式，加强生产过程控制，降低泡菜废水含盐量，加强腌渍废水的回收利用，并探索适合泡菜废水水质的末端处理技术。

（三）以全面推行河长制和流域生态补偿为抓手，推进水环境保护责任落实

建立“五大体系”并开展“四项行动”，河湖保护治理成效显著。四川按照中央关于河长制湖长制“有名”更“有实”、“有实”更“有能”的总体要求，全面建立起河湖体系、河长体系、制度体系、推进体系、信息管理体系等河长制湖长制工作“五大体系”并扎实开展清河、护岸、净水、保水“四项行动”。全省 7415 条河流、7817 座水库、2458 条常年流水渠道和 12 个湿地、泸沽湖等 29 个重要天然湖泊全部纳入河长制湖长制管理，所有河流湖泊均编制“一河一策”管理保护方案。全省设立了省、市、县、乡、村五级河长、湖长 7 万余人，各地还设立了民间河长、记者河长、企业河长、专家河长、河小青等爱河护河组织，探索建立了“河长+警长”“河长+检察长”等体制机制。2017 年以来，全省河长、湖长累计巡河巡湖 145 万余次、整治各类问题约 34 万个。2019 年全省水质断面优良率全国排名第五，被国务院评为贯彻落实河长制湖长制真抓实干成效明显地区。

探索形成了相对成熟的流域生态保护补偿模式。2011 年，在岷江、沱江流域干流及重要支流试行跨界断面水质超标资金扣缴制度，首次明确了流域上下游水环境保护的经济责任。2016 年 6 月，开始实施“三江”流域水环境生态补偿制度，初步建立了流域“上下游对应补偿”的生态补偿机制。2018 年 2 月，与云南、贵州签订了《赤

水河流域横向生态保护补偿协议》，在长江流域建立了首个多省份间的流域横向生态保护补偿试点，开创了补偿资金筹集、分配、清算新模式。2018年9月，组织沱江全流域10市签订《沱江流域横向生态保护补偿协议》，建立了一套“奖励达标、鼓励改善、惩戒恶化”的正向激励、反向约束机制。2019年6月，印发《四川省流域横向生态保护补偿奖励政策实施方案》，确立了省内“一条流域一个生态补偿框架”的新尝试，推动省内流域横向生态补偿进入新阶段。2019年12月，四川省生态环境厅、财政厅、省发展改革委、水利厅推动岷江、嘉陵江、安宁河流域有关市（州）签订流域横向生态保护补偿协议和配套实施方案，进一步健全流域横向生态保护补偿机制，实现四川省流域横向生态补偿市（州）全覆盖。四川省流域生态补偿坚持“边探索、边试点、边总结、边完善”的发展路径，经过近10年实践，形成了相对成熟的流域生态保护补偿模式。

（四）以水污染防治技术为保障，推进水环境保护目标实现

开展了岷、沱江流域总磷污染源解析研究。针对岷、沱江总磷污染日趋突出，直接影响水质达标率的问题，中国环境科学研究院与四川省生态环境科学研究院共同开展了岷、沱江流域总磷来源及空间分布特征研究，调查了岷江、沱江流域总磷形态、组分，以及时空分布特征，对总磷进行源解析以及典型污染源排污特征测试分析，建立了污染源清单，提出了整治措施和对策，为四川省实现国家水十条跨境断面水质考核提供基础支撑。此外，成都理工大学与成都市生态环境科学研究院还开展了沱江流域沉积物中磷的吸附释放特征研究，调查沉积物磷污染现状，对沉积物磷的吸附和释放特征进行研究风险评估，为沱江流域沉积物磷污染治理提供了依据。

开展了四川省 7 条跨区域小流域水体达标工作。为落实国家开展未达标水体治理的工作要求，研究解决四川省跨区域小流域突出水环境问题，四川省生态环境厅于 2017 年组织开展了 7 条跨区域小流域水体达标方案研究与编制。全面分析水体面临的主要问题和成因，识别亟须解决的症结问题，包括流域水资源与水环境承载力的客观限制、流域产业结构导致的水环境压力、流域污染负荷的构成等。以保护和改善水环境质量为核心，以强力控制和削减总磷为主攻方向，坚持标本兼治。推进产业转型升级，控制污染物排放总量，完善节水保水措施，修复流域生态系统，强化流域监管与执法机制。

从机制上成立了“沱江所”和“岷江规划所”。依托四川省生态环境科学研究院，成立了“沱江流域环境研究所”，按照“充分发挥科技治污，建设沱江数据中心”的要求，以服务沱江流域水污染防治攻坚战为宗旨，以保障沱江省级河长联络单位日常工作为核心任务，全力推进技术服务与支撑，完成了“沱江水环境精细化管理决策体系”（二期）建设，构建高精度输入响应模型，完善和扩展管理应用功能，同时开发“沱江水环境管理”微信小程序，目前已在沱江条例落实情况检查中得到应用。依托“四川省环境政策研究与规划院”成立了“岷江流域生态环境规划所”，主要负责流域生态环境保护规划编制，流域水生态环境管理政策研究，定期开展岷江流域环境形势分析，开展规划执行情况评估、费效分析与调度考核，为生态环境厅及岷江流域（含大渡河、青衣江）河长制工作提供决策研究服务和管理技术支撑。

开展了四川长江生态环保修复驻点跟踪研究工作。为贯彻落实习近平总书记关于长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”的重要指示精神，落实《长江保护修复攻坚战行动计划》，创新科研组织实施机

制，2018-2021 年，在国家统一要求下，开展四川长江生态环保修复驻点跟踪研究工作。紧密结合地方实际，科学决策和精准施策，整合省级优势资源和科技力量，创新机制，组建“省队”服务配合“国家队”，驻点跟踪研究工作组由具有研究优势和积极性的中央级科研单位和地方生态环境科研与监测机构以及相关科研单位等共同组成。驻点跟踪研究工作组通过深入一线和驻地研究的方式，紧密结合地方政府打好污染防治攻坚战的实际需求，协助开展“找问题、提建议、出方案、做评估”等科技服务工作。开展源清单编制和生态环境问题解析，提出“一市一策”综合解决方案，提升地方科技支撑能力。

成立了一批四川省环境保护重点实验室和工程技术中心。其中由四川省科学技术厅批建的重点实验室和工程技术中心有 3 个，由四川省生态环境厅批建的重点实验室和工程技术中心有 5 个，由四川省发展和改革委员会批建的重点实验室有 1 个。自我省实验室和工程中心建设以来，各依托单位认真按照《四川省环境保护重点实验室管理办法》和《四川省环境保护工程技术中心管理办法》要求，加强能力建设和科技开发，这些实验室和工程中心有力促进了四川省水生态环境保护工作的开展，为环境质量改善和生态环境保护提供了技术支撑。

表1-1 四川省环境保护重点实验室和工程技术中心

序号	名称	依托单位	简介	批建单位
1	国家城市污水处理及资源化工程技术研究中心	中国工程物理研究院中科成环保公司	集“产、学、研”于一体，以水资源的可持续利用、支持我国社会经济的可持续发展为己任，在政府与企业之间、技术与资金之间、技术与产业之间发挥中介和桥梁作用，推进具有自主知识产权的城市污水处理及资源化技术和设备的工程化和产业化，促进我国城市污水处理及资源化市场运转机制的完善，提升我国城市污水处理行业的国际综合竞争力。主要开展的研究有：污水处理新技术、新工艺研究、开发和应用；污水处理设备及	四川省科学技术厅

			相关产品、设备的研发和生产；膜、膜组器及成套设备与技术的开发和应用；污水处理自动化、智能化控制与管理系统的研发、集成；污水处理与资源化技术的国内外交流与人才培养和培训。	
2	四川省土壤地下水环境修复与风险管控工程技术研究中心	四川锦美环保股份有限公司	在污水深度处理集成膜技术、循环水无磷水质稳定剂生产技术、污水生物净化与生态重置技术、污水生化系统防冲击控制技术、物化法污染物快速捕集水体污染应急处置技术、污染场地评估及土壤修复技术等方面形成了一系列拥有自主知识产权的核心技术。	
3	四川省水安全与水污染控制工程技术研究中心	海天水务集团股份有限公司	以环境综合治理、市政公用事业投资、建设、运营为主业，已形成集科研、供排水、资源循环利用为一体的现代环境综合服务产业链，是中国水污染处理行业唯一获批建设的“国家级企业技术中心”，“生活工业混合污水、恶臭、污泥协同处理技术”实现了低成本处理混合污水、恶臭、污泥，协同解决“废水、废气、废渣”问题，经鉴定，该技术达到“国际先进”水平。	
4	四川省高难度工业废水污染治理工程技术中心	四川省生态环境科学研究院	立足四川省实际的工业废水污染防治领域，开展工业废水污染治理的关键技术开发和共性技术工程化研究与示范，重点完成了高浓度制药有机废水处理、页岩气压裂返排液无害化处理技术、高磷废水处理技术、酿造废水处理技术等方面研究工作，正在开展泡菜废水、电镀废水等处理技术研究，形成一批具有自主知识产权的高技术成果和环保产品。	
5	四川省环境保护地下水污染防治工程技术中心	四川省华地新能源环保科技有限公司	立足我省地下水污染防治领域，开展地下水污染控制与修复、监测预警与应急处置、防渗技术工艺及材料的技术开发与示范。	四川省生态环境厅
6	四川省环境保护地下水污染防治与资源安全重点实验室	成都理工大学	面向我省地下水污染防治与资源安全领域的技术需求，围绕地下水污染控制与修复技术、地下水环境污染预警监控与应急处置技术、地下水资源开发与可持续利用等方向开展研究。还根据我省地下水资源开发利用现状，进一步开展典型地下水污染场地的控制与修复技术等攻关研究，并建立相对完善的地下水污染监测系统，为我省经济发展和环境保护工作发挥科技支撑作用。	

7	四川省持久性污染物废水处理重点实验室	四川师范大学	面向我省水污染防治领域技术需求，围绕废水中持久性有机污染物和重金属污染物的监测方法、处理新材料和新技术新工艺开展研究，以重点实验室为学术交流与合作平台，促进省内外相关领域优势单位和人员的合作交流，培养优秀创新型骨干人才和领军人才，为我省水污染控制与治理提供科技支撑。	
8	四川省地下水型饮用水源地环境保护重点实验室	四川省地质工程勘察院	针对饮用水安全问题，围绕生化、物化、生化和物化组合等饮用水处理前沿技术，开展地下水饮用水源地监控技术、保护技术、污染防治技术等研究，包括地下水饮用水源地水质监控技术与数值模拟系统研究、地下水饮用水源地污染防治及水质改善与地下水污染修复技术研究、地下水饮用水源地污染事故预警与应急体系研究、地下水饮用水源地安全评价体系研究等。	
9	四川省城镇污水处理技术工程实验室	海天水务集团股份有限公司	聚焦城镇污水厂节能提标改造、污水深度脱氮除磷技术、村镇生活污水高效处理成套装置、区域村镇污水处理设施运营监控系统等技术、工艺、材料和装备的研发和工程化。	四川省发展和改革委员会

三、“十三五”全省水环境保护领域科学技术奖励情况

“十三五”期间，我省水环境保护领域获得四川省科学技术进步奖 12 项，获得四川省环境保护科学技术奖 10 项。其中，“高难度化工废水铁基材料协同催化氧化处理关键技术与应用”项目获得 2020 年四川省科学技术进步一等奖；“多尺度调控技术在光伏废水处理中的应用”项目、“水电开发密集型小流域水生态健康评价关键技术创新及应用—以宝兴河小流域为例”项目分别获得 2016 年、2020 年四川省环境保护科学技术一等奖。

“十三五”期间水环境保护领域获得的四川省科学技术进步奖及四川省环境保护科学技术奖见下表所示。

表1-2 “十三五”期间水环境保护领域获得的四川省科学技术进步奖

序号	获奖年份	获奖等级	获奖项目	完成单位	完成人员
1	2016	二等奖 (科技进步类)	生活工业混合污水、恶臭、污泥协同处理技术与产业化示范	海天水务集团股份公司、四川大学、西华大学、厦门大学、四川海天环保能源有限公司、成都海天绿色化学技术研究中心	潘志成、杨平、谷晋川、白敏冬、李慧强、李勇、罗荣林、彭玉梅
2		三等奖 (科技进步类)	高盐难降解工业废水处理及回用	四川理工学院、国家城市污水处理及资源化工程技术研究中心(四川省水处理及资源化工程技术研究中心)、内蒙古久科康瑞环保科技有限公司、四川文理学院	刘兴勇、杨郭、张峰榛、王成端、王俊辉、杨虎
3			浓缩池、沉淀塔处理煤泥水的串联工艺技术研究与应用	四川达竹煤电(集团)有限责任公司	罗朝全、张新凡、龙敏、王永胜、黄伟、邹勇
4	2017	三等奖 (科技进步类)	天然气开采废水综合治理技术及应用研究	自贡市轻工业设计研究院有限责任公司	蔡晓波、钟麟、符宇航、彭传丰、李波、刘昌辉
5	2018	三等奖 (科技进步类)	城市河湖水系生态重构与保障关键技术	中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、四川天府新区成都管理委员会、成都天府新区投资集团有限公司	余挺、王锋君、林强、李西瑶、王勇波、张瑛
6			城镇污水高效协同处理技术创新工程	海天水务集团股份公司	
7	2019	三等奖 (科技进步类)	水环境自动监测监控预报预警系统关键技术与应用	四川省生态环境监测总站、武汉大学	罗彬、张万顺、王康、张丹、彭虹、柳强
8	2020	一等奖 (科技进步类)	高难度化工废水铁基材料协同催化氧化处理关键技术与应用	四川大学、中国环境科学研究院、哈尔滨工业大学、海天水务集团股份公司、中国循环经济协会、山东龙安泰环保科技有限公司、四川省宜宾威力化工有限公司、中建环能科技股份有限公司	赖波、潘志成、周岳溪、陈志强、袁月、杨平、郭占强、代春龙、刘长江、王吉白
9		二等奖 (科技进步类)	Mo/S/BiOCl ₁ 纳米类酶制备及其在难降	西南科技大学、陕西理工大学	张宇、李琛、罗学刚、林晓

		步类)	解有机废水深度净化中的应用		艳、季晓晖、 賁朝乐、赖金龙、王懋林
10		三等奖 (技术发明类)	垃圾渗滤液膜浓缩液中主要污染物去除的关键技术及应用	四川师范大学、四川深蓝环保科技有限公司	刘咏、张爱平、 龚小波、陈科宇、赵旭
11		三等奖 (科技进步类)	奶牛粪污生物转化与水肥资源高效循环利用关键技术创新及应用	四川师范大学、南京贝克特环保科技有限公司、成都市农林科学院、四川师大绿环生物科技有限公司、四川鹤岛农业科技有限公司	胡佩、秦丹、 吴永胜、周立祥、王建明、 李维

表1-3 “十三五”期间水环境保护领域获得的四川省环境保护科学技术奖

序号	获奖年份	获奖等级	获奖项目	完成单位	完成人员
1	2016	一等奖	多尺度调控技术在光伏废水处理中的应用	中国科学院成都生物所、四川师范大学	谭周亮、周后珍、刘咏、陈杨武、赵仕林、朱晓华、李旭东
2		二等奖	新型钢渣吸附剂的制备及其在工业废水处理中的应用	成都信息工程大学、临汾市鑫富华环保科技有限公司、成都之和环保科技有限公司、成都木盛环保节能科技有限公司	刘盛余、李造平、赵安顺、羊依金、杨迎春、信欣
3			废弃水基钻井液固相物土地资源化技术研究	西南石油大学化学化工学院	杜国勇、陈馥、刘宇程、兰贵红、朱鹏飞、朱天菊、刘梅
4		三等奖	高含盐废水综合治理技术的研究	自贡市轻工业设计研究院有限责任公司	蔡晓波、钟麟、符宇航、彭传丰、白上阳、李波、刘昌辉
5			《成都市饮用水水源保护条例》修编研究	成都市环境保护科学研究院	杨芸、秦晓斌、李黎、周永良、熊发荣、陈琳
6			四川省城镇生活污水处理厂减排绩效评价研究	四川省环境保护科学研究院	唐小军、赵磊、王丽娟、吴婷、王思扬
7	2017	二等奖	MagBR-MBBR磁性生物膜污水处理技术及一体化设备	环能科技股份有限公司	王吉白、张科、孙竟、肖波、王利军、黄世全、黄文昭
8	2020	一等奖	水电开发密集型小流域水生态健康评价关键技术创新及	四川省生态环境科学研究院，西南交通大学，中国水利水电科学	田晓刚、赵锐、刘政、刘思瑶、俞阳、李昆、任斐鹏、田犀、郭四

			应用——以宝兴河小流域为例	研究院,长江水利委员会长江科学院,四川省工业环境监测研究院,西南科技大学,西华师范大学	代、李友平
9		二等奖	水体放射性实时在线监测技术研究及应用	四川省辐射环境管理监测中心站、成都理工大学、成都新核泰科科技有限公司	邓晓钦、徐斌、杨永钦、赵强、王亮、徐立鹏、葛良全、郭生良、周伟、李雪泓
10		三等奖	“阿尔益”水生态系统修复构建技术的研发及成果应用	四川瑞泽科技有限责任公司	王德林、陈刚、万晶,王江、贾甫荣、谭吉、张湖川、邓丽娟

第二章 四川省城镇污水处理技术

一、全省城镇污水治理发展现状

随着城市化进程加快，城镇污水处理厂和其他污水处理设施建设也随之加快。截至 2019 年，四川省共建成城镇污水处理厂和其他污水处理设施 1284 座，设计污水处理能力达到 949.15 万 m^3/d ，实际处理量为 783.81 万 m^3/d 。其中，设在区市和县的城镇污水处理厂分别为 1181 座，污水处理能力 934.16 万 m^3/d ；其他建成的污水处理设施 103 座，污水处理能力 14.99 万 m^3/d 。所建成的污水处理设施主要以二级处理为主，共有 947 座，占总数的 73.8%；深度处理有 311 座，占总数的 24.2%，主要是位于岷江、沱江流域附近；剩余有 26 座为一级处理，仅占 2.0%（见图 2-1）。

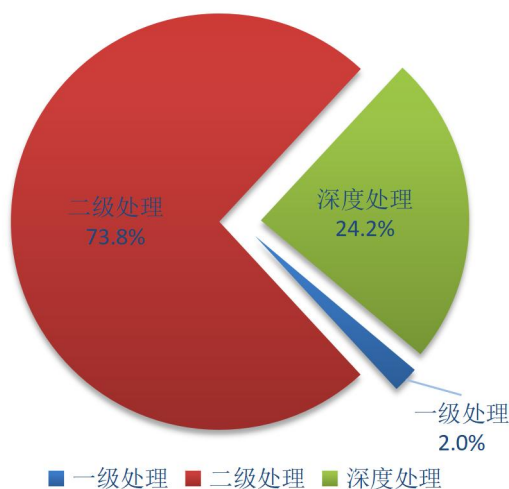


图 2-1 2019 年四川省城镇污水处理级别分布情况

（数据来源：2019 年基表查询污水处理厂运行情况）

从四川省各地城镇污水处理厂数量分布来看（见图 2-2），前五均为人口聚集较多的地方，分别为成都市、南充市、泸州市、乐山市和自贡市。从地理位置来看，多集中于中部，以成都表现最为突出。

根据四川第七次全国人口普查结果，全省常住人口共 8367.5 万人，而整个成都就占据了约四分之一。

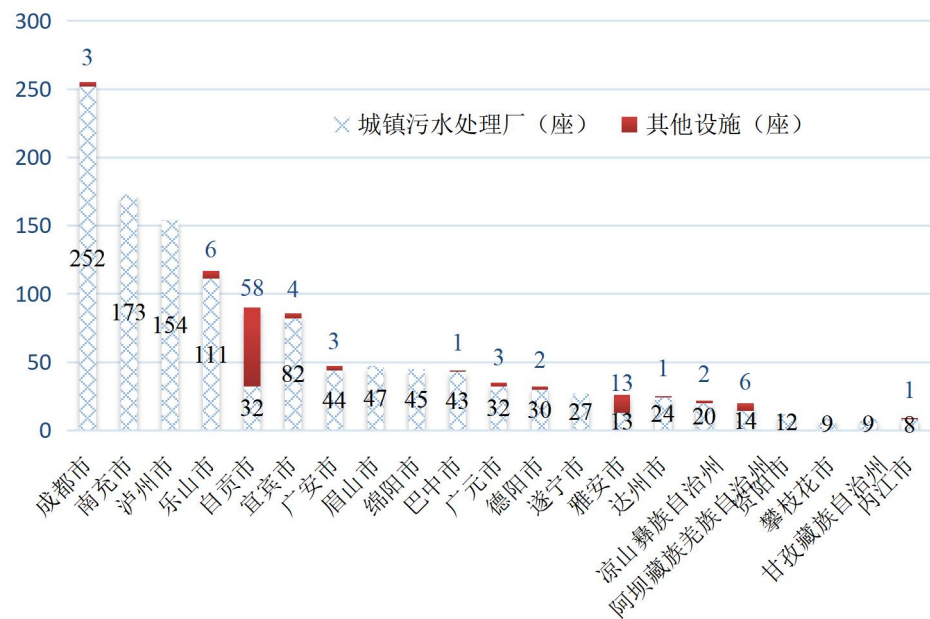


图 2-2 2019 年四川省各市州城镇污水处理设施分布情况
(数据来源：2019 年基表查询污水处理厂运行情况)

位于成都平原上的岷江、沱江流域是四川水环境污染防治的重点区域，为控制和治理岷江、沱江流域水污染，改善流域水环境质量，对受污染的水环境进行流域治理，四川省在 2016 年颁布了《四川省岷江、沱江流域污水排放标准》（DB 51/2311-2016），于 2017 年 1 月 1 日正式实施，主要污染物排放限值和城镇污水处理厂污染物排放标准（GB 18918-2002）对比见表 2-1。从四川省生态环境状况公报可知，在《四川省岷江、沱江流域污水排放标准》（DB 51/2311-2016）实施前的 2015 年岷江和沱江的优良水质断面分别为 53.6%和 18.4%，而在实施 5 年后的 2020 年岷江和沱江的优良水质断面分别上升到了 94.4%和 86.1%，得到了显著的提升。

表 2-1 主要水污染浓度排放限值（单位：mg/L）

污染物指标	城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB 18918-2002)		四川省岷江、沱江流域污水排放标准 (DB 51/ 2311-2016)
	一级 B	一级 A	/
COD _{Cr}	60	50	30
BOD ₅	20	10	6
总氮（以 N 计）	20	15	10
氨氮（以 N 计）	8	5	1.5
总磷（以 P 计）	1	0.5	0.3

二、全省城镇污水处理技术水平与需求

随着我国经济飞速增长，城镇化进程的加快，人口规模不断扩大，城镇污水排放量也不断增加，水环境也受到了前所未有的严峻挑战，城镇污水处理成为城镇生态文明建设和实现可持续发展战略的重要内容。在污染防治攻坚战不断深入，环保力度加大及限值标准提高的形势下，水污染治理技术特别是城镇污水处理技术得到了长足的发展。

早在上世纪 60 年代，我国引进活性污泥和 SBR 等污水处理工艺，建设了为数不多的污水处理厂。近十年来，我国环保资金投入力度不断加大，先后开发了 A/O、A²/O、膜生物反应器、N-SBR 等工艺技术。面对新时期城镇污水处理厂出水排放标准的不断提高，传统脱氮工艺难以满足要求，同时存在流程长、能耗高等问题。为此，陆续有研究开发了异养硝化-好氧反硝化工艺、厌氧氨氧化（ANMMOX）工艺、好氧颗粒污泥工艺等，展现出耗氧量低、污泥产量少、无需外加碳源等优点，这些研究成果与开发的新技术在四川省都有呈现。我省采用的处理工艺较为丰富，包括常规活性污泥法、A/O、A²/O、MBR、SBR、生物转盘、生物接触氧化法和氧化沟等（见图 2-3）。近一半的城镇污水处理厂设置了初沉池和水解酸化池，由于城镇污水处理进

水在生化池中普遍存在碳源不足的现象，因此，多数污水处理厂都设置了碳源投加。

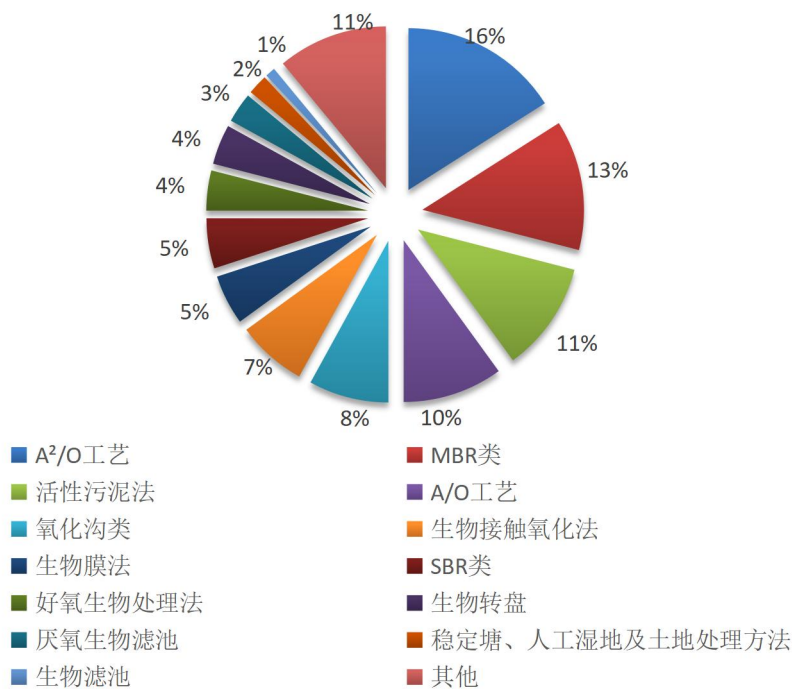


图 2-3 2019 年四川省城镇污水处理厂工艺分布情况
(数据来源：2019 年基表查询污水处理厂运行情况)

在 2020 年 12 月 29 日，四川省人民政府办公厅关于印发《四川省城镇生活污水和城乡生活垃圾处理设施建设三年推进总体方案（2021-2023 年）》的通知，拟全面提高城镇生活污水收集、处理能力。加大生活污水收集管网配套建设和改造力度，促进生活污水资源化利用，推进污泥无害化资源化处置。到 2023 年底，县级及以上城市设施能力基本满足生活污水处理需求，所有建制镇具备污水处理能力；城市市政雨污管网混错接改造更新及建制镇污水支线管网建设取得显著成效，生活污水收集效能明显提升，力争地级以上城市生活污水处理厂进水生化需氧量（BOD₅）浓度平均达 105 mg/L、县级城市平均达 90 mg/L；城市污泥无害化处置率和资源化利用率进一步提高，力争地级以上城市污泥无害化处置率达 92%、县级城市达 85%；

缺水地区和水环境敏感区域污水资源化利用水平明显提升。

四川省城镇污水处理厂稳定运营与达标排放等方面的主要技术需求有：

一是“源一网一厂一河”的污水处理系统建设技术。目前，我省部分城镇仍然存在雨污管网不配套，尤其是中小城镇，依然存在直排渗漏现象频发等问题，造成城镇污水处理厂的进水水量水质难保障，污水处理厂网分离现象较为突出，雨污协调治理与管理的城市排水系统一体化技术是重要的需求。

二是混合型城镇污水处理厂出水稳定达标技术。我省经济区块发展特色鲜明，多数城镇污水处理厂接纳高比例的工业废水，工业废水水质成分复杂、波动大，含有大量的有毒难降解有机物，导致城镇污水处理厂生化单元的难降解有机物去除程度普遍不高。同时，由于城镇排水管网雨污合流制较为普遍、化粪池去除部分易降解有机物等原因，我省大部分城镇污水处理均面临进水 C/N 比低、碳源普遍不足的问题，导致出水氮磷稳定达标困难，尤其对在岷江、沱江流域的城镇污水处理厂不断提标带来严重阻碍。

三是污水处理厂资源化技术。当前，我省城镇污水处理的生物污泥出路仍是其可持续运行的限制性瓶颈，污泥资源化技术有待进一步研发与应用；同时，城镇污水厂尾水深度处理资源化技术有待进步，应因地制宜地应用推广。

四是城镇污水处理厂精细化管理技术。污水处理能力不断扩大，污水处理厂管理技术水平和能力急需提高。

三、全省城镇污水处理技术原理介绍

（一）厌氧-缺氧-好氧（A²/O）工艺系统

技术原理：原污水和从沉淀池排出的含磷回流污泥首先进入厌氧反应器，该反应器的主要功能是含磷回流污泥释放磷，同时部分有机物进行氨化；厌氧反应器排出的处理水和从好氧反应器回流硝化液进入缺氧反应器，该反应器的主要功能是进行反硝化脱氮。混合液从缺氧反应器进入好氧反应器-曝气池，这一反应器单元的主要功能有去除 BOD_5 、硝化和吸收磷。

技术特点：本工艺是最简单的同步脱氮除磷工艺，总的水力停留时间小于其他同类工艺；在厌氧、缺氧、好氧交替运行条件下，丝状菌不能大量增殖，无污泥膨胀之虞，SVI 值一般均小于 100；运行中勿需投药，两个 A 段只用轻缓搅拌，以不增加溶解氧浓度，运行费用低。但是除磷效果难于再行提高，污泥增长有一定的限度，不易提高，特别是当 TP/BOD_5 值高时更是如此；脱氮效果也难于进一步提高，内循环量一般以 $2Q$ 为限，不宜太高。而改进的多级 A/O 串联工艺具有更好的污水处理效果。

处理性能：对 COD_{Cr} 、 NH_3-N 、SS 具有较好的去除效果，对 TN、TP 具有一定的去除能力。

应用领域：适用于对出水 TN 和 TP 有控制要求的城镇污水处理厂。

（二）序批式活性污泥（SBR）工艺系统

技术原理：序批式活性污泥工艺系统去除污染物的机理与传统活性污泥工艺系统完全一致，只是运行方式不同。SBR 工艺系统采用间歇运行方式，污水间歇进入处理系统并间歇排出，系统内只设一个处理单元，该单元在不同时间发挥着不同的作用，其基本运行模式一般可以分为进水、反应、沉淀、排水及闲置五个阶段。

技术特点：系统流程简化，基建与维护运行费用较低；运行方式灵活，脱氮除磷效果好；反应器中有机底物浓度高、底物浓度梯度大、好氧和缺氧状态交替并存，从而使得系统本身具有抑制活性污泥膨胀的条件；耐冲击负荷能力强，具有处理高浓度有机污水及有毒废水的能力。但反应器控制设备较复杂，对其运行维护的要求高；系统流量不均匀，处理水排放水头损失大，与后续处理工段协调困难；系统单体反应器面积不易过大，数量不宜过多，以至于其不宜用于大型污水处理厂。而改进的循环活性污泥工艺系统（CASS 工艺系统）具有更好的污水处理效果。

处理性能：对 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、SS 具有较好的去除效果，针对脱氮除磷进行运行方式调整后，对 TN、TP 具有较好的去除能力。

应用领域：中小城镇生活污水和厂矿企业的工业废水，尤其是间歇排放和流量变化较大的地方；需要较高出水水质的地方，如风景游览区、湖泊和港湾等；用地紧张地区；对已建连续流污水处理厂的改造；小水量、间歇排放的工业废水与分散点源污染的治理。

（三）移动床生物膜反应器（MBBR）技术

技术原理：通过向反应器中投加一定数量的悬浮载体，提高反应器中的生物量及生物种类，从而提高反应器的处理效率。由于填料密度接近于水，所以在曝气的时候，与水呈完全混合状态，微生物生长的环境为气、液、固三相。载体在水中的碰撞和剪切作用，使空气气泡更加细小，增加了氧气的利用率。此外，每个载体内外均具有不同的生物种类，内部生长一些厌氧菌或兼氧菌，外部为好养菌，这样每个载体都为一个微型反应器，使硝化反应和反硝化反应同时存在，从而提高了处理效果。

技术特点：与活性污泥法和固定填料生物膜法相比，MBBR 既具有活性污泥法的高效性和运转灵活性，又具有传统生物膜法耐冲击负荷、泥龄长、剩余污泥少的特点，具有良好的脱氮能力，去除有机物效果好，易于维护管理，但可能出现局部填料堆积的现象和格栅堵塞的问题，能耗较高。

处理性能：对 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、SS 去除较为稳定，对 TN、TP 具有一定的去除效果。

应用领域：适用中、小型污水处理厂生化单元、尾水的深度处理、中水回用等。

（四）膜生物反应器（MBR）技术

技术原理：MBR 将分离工程中的膜分离技术与传统废水生物处理技术有机结合，大大提高了固液分离效率；并且由于曝气池中活性污泥浓度的增大和污泥中特效菌的出现，提高了生化反应速率；同时，通过降低 F/M 比减少剩余污泥产生量，从而基本解决了传统活性污泥法存在的许多突出问题。从整体构造上来看，MBR 是由膜组件和生物反应器两部分组成。根据这两部分操作单元的组合方式，膜生物反应器可分为分置式和一体式（浸没式）两种。分置式 MBR 是指膜组件与生物反应器分开设置，浸没式 MBR 是指膜组件安置在生物反应器内部。

技术特点：出水水质优质稳定，抗冲击负荷强，剩余污泥产量少，占地面积小，不受设置场合限制，可去除氨氮及难降解有机物，易于从传统工艺进行改造，工艺成熟，操作管理方便，易于实现自动控制，但是膜造价高，能耗较高。

处理性能：对 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、SS 去除较为稳定，优化运行方

式后，对 TN、TP 具较好的去除效果。

应用领域：适合于大、中、小型对出水水质要求较高、场地受限的污水处理厂（站）。

（五）反硝化滤池脱氮技术

技术原理：集生物脱氮及过滤功能为一体，采用具有特殊规格和形状的石英砂作为反硝化菌的挂膜介质，利用外加的碳源（甲醇、乙酸钠等）进行反硝化处理，以确保 TN 的达标，同时进一步去除 SS 和部分 TP。

技术特点：一般情况，滤料和滤板的选择较为关键，滤料具有较大的比表面积以附着生物膜，使滤池同时具有脱氮除磷、去除悬浮物等功能，相对传统活性污泥工艺占地面积更小，污泥量相对较低。但由于滤池挂膜微生物总量相对固定，应对水质突变的能力稍差；并需要进行反冲洗，操作管理难度较高。

处理性能：对 TN 具有较好的去除效果，去除率可达 80%以上。

应用领域：适用于对出水水质要求较高的城镇污水处理厂、提标改造、中水回用、深度处理等。

（六）人工湿地处理系统

技术原理：通过模拟天然湿地的空间结构与生态功能，选择一定的地理位置与地形，根据功能需要人为设计与建造的湿地系统，主要利用土壤、人工介质、植物、微生物的物理、化学、生物三重协同作用，对污水进行处理的一种技术。

技术特点：缓冲容量大、处理效果好、工艺简单、运行费用低。

处理性能：对 BOD₅、N 和 P 都有较好的去除效果。

应用领域：适用于用地不紧张的大、中、小型城镇污水处理厂（站），

以及深度处理等。

四、全省城镇污水处理技术典型应用案例

(一) 案例 1：地下式高效脱氮除磷改良多级 A/O 技术

1. 技术工艺路线

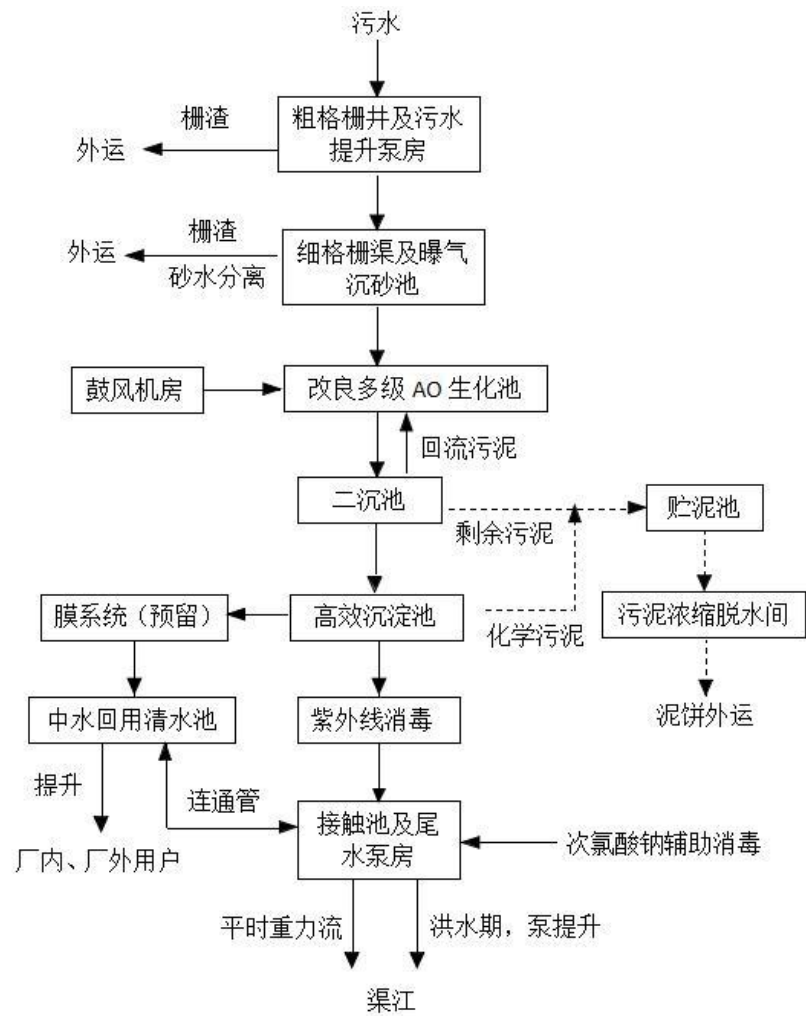


图 2-4 总工艺流程图

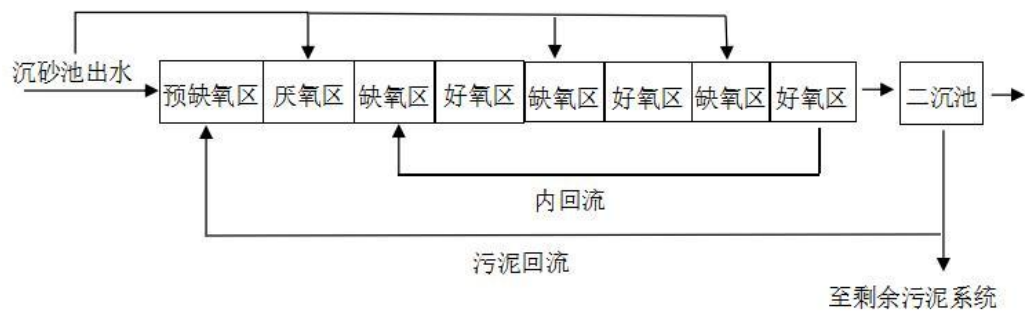


图 2-5 改良多级 A/O 生化池工艺流程图

2. 治理效果

主要污染物进出水浓度指标和处理程度见表 2-2。

表 2-2 工艺治理效果

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质 (mg/L)	120~250	140~85	130~180	20~30	30~40	2~4
出水水质 (mg/L)	13~20	1~3	6~8	0.2~1.5	6~10	0.08~0.3
处理程度 (%)	94.8	98.8	95.0	99.3	85.0	98.0

注：出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 标准。

3. 技术创新性

生化处理采用改良型多级 A/O 工艺即预缺氧-厌氧-缺氧-好氧法，其各个阶段是以空间来划分的，是在具有脱氮功能的缺氧-好氧法的基础上发展起来的具有同步脱氮除磷的工艺。三段缺氧、好氧循环的设计，强化了脱氮效果，与传统的 A²/O 工艺相比具有更小的内回流比。同时可实现多段进水，按需分配碳源，减少碳源投加，出水指标更优。

4. 技术优势

(1) 改良型多级 A/O 工艺因功能清晰结构独立，耐冲击负荷较强。

(2) 改良型多级 A/O 工艺自动化程度较高，控制系统采用可靠的监测仪表，使生化反应在受控条件下进行，稳定可靠，保证处理效果。

(3) 其总的水力停留时间一般要小于其它同类工艺，在经过厌氧、缺氧、好氧运行的条件下，丝状菌不会大量繁殖，SVI 值一般小于 100，污泥沉降性能好。

(4) 改良型多级 A/O 工艺采用了组合、模块化发展形式，大大

节约用地，矩形池壁可以共用，节省土建费用，因此投资相对较低。

（5）设备故障率低，地下式污水厂设备及工艺管道均处于地下，未暴露在室外。设备的老化和管道的锈蚀大大降低。

（6）资源合理利用型：生产区域在地下，地上修建休闲公园，附近的居民可在此休闲、健身，不仅实现了资源的合理利用同时也提高了群众对地下式污水厂的认可度。

（7）环境友好型，生产区域全部在地下，采用先进的高效生物除臭系统，达到零污染排放，对周边居民无影响。

5. 应用范围

该技术可广泛用于城市生活污水处理厂、再生水处理厂。

6. 应用案例

项目名称：广安市污水处理厂

工程地址：四川省广安市广安区滨江东路（原官盛村 11 组）

工程规模：5 万 m³/d

技术指标：出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准。

案例照片：

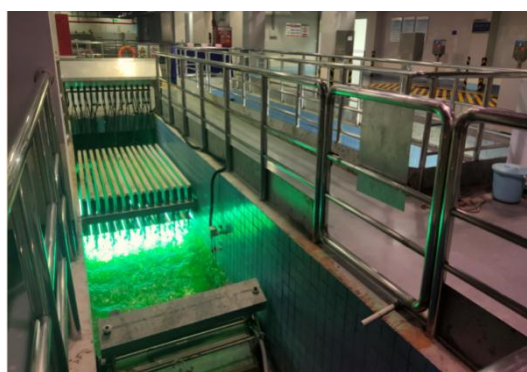




图 2-6 广安市污水处理厂项目

(左上：项目全景；左下：污水处理设施；右上：出水效果；右下：地面公园)

(二) 案例 2：A²/O-MBBR 模块化污水处理技术

1. 技术工艺路线

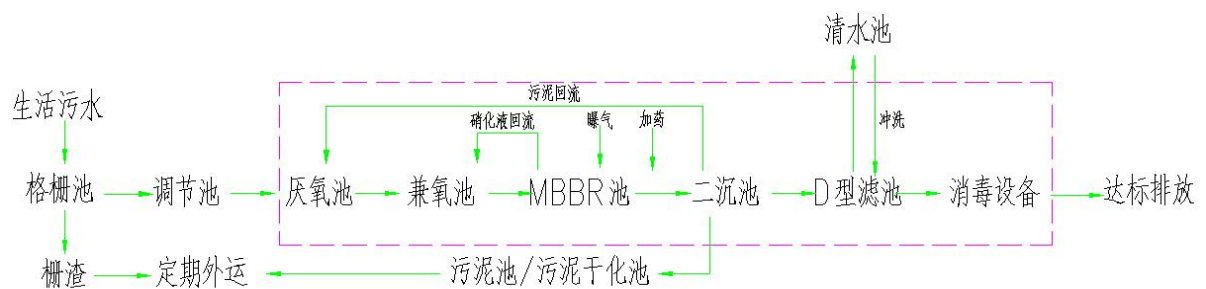


图 2-7 A²/O-MBBR 模块化污水处理设备工艺流程图

2. 治理效果

表 2-3 工艺治理效果

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS	pH
进水水质 (mg/L)	150~350	100~200	20~35	25~40	3~5	50~200	6~9
出水水质 (mg/L)	≤50	≤10	≤5 (8)	≤15	≤0.5	≤10	6~9
处理程度 (%)	≥66.70	≥90.00	≥75.00	≥40	≥83.33	≥80.00	/

注：出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 标准；括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

3. 技术优势

采用稳定的 A²/O-MBBR 污水处理工艺，模块化组合灵活，高度适应场站不同季节、节假日等人口变化带来的水质水量的变化，抗冲击负荷能力强；圆形无死角且有较高的有效水深，提高泥水混合流化

状态，变相降低污水处理的 HRT 需求，提高反映效率；占地小、运输方便、直接运行费用低，常规工艺出水稳定，操作简单。

4. 应用范围

区域连片水污染治理、城镇生活污水治理、乡镇生活污水治理、黑臭河、污水厂溢流、建设项目中的应急治污。

5. 应用案例

案例名称：蒲江县寿安占河应急污水处理项目

工程地址：蒲江县寿安镇

工程规模：1500 m³/d

技术指标：2020 年 7-9 月连续三个月委托第三方进行水质检测及 24 小时在线监测，检测结果均符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准。

案例照片：



图 2-8 蒲江县寿安占河应急污水处理项目主要工艺设备

（三）案例 3：原位富集硝化菌耦合污泥水解强化脱氮除磷技术

1. 技术工艺路线

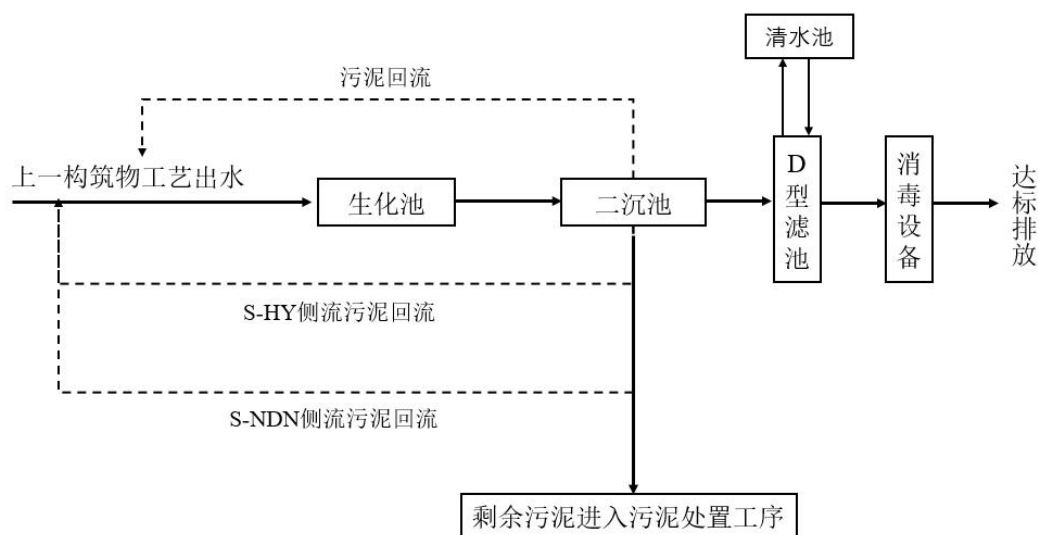


图 2-9 侧流污泥回流工艺流程图

设置了两个独立反应池：S-NDN 池和 S-HY 池，将污水厂污泥处理段产生的富氮上清液引入 S-NDN 池用于原位富集培养硝化细菌，S-HY 池将池内的活性污泥进行厌氧水解并产生可快速降解有机物，两个反应池的泥水混合液再分别回流到主生物池。

2. 治理效果

根据项目实际应用情况，本技术治理效果参考如表 2-4。

表 2-4 工艺治理效果

水质指标	COD _{Cr}	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质 (mg/L)	300	30	40	3.5
出水水质 (mg/L)	20	0.5	8	0.1
处理程度 (%)	93.33	98.33	80.00	97.14

注：出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 标准。

3. 技术创新性

(1) 侧流池 S-HY 技术通过对回流污泥的水解反应，将污泥吸附的大分子有机物及部分内源呼吸状态下的污泥分解为小分子有机物 (VFAs)，用于主生化系统脱氮除磷所需的碳源，即挖掘污水厂的“内碳源”，提高脱氮除磷效率的同时降低运行成本；

(2) 侧流池 S-NDN 技术通过大曝气和高污泥量富集硝化菌，并

为主生化系统补充，由此打破了生化系统污泥龄受制于硝化菌世代周期长的问题，缩短生化系统污泥龄，可强化系统生物除磷效率；

（3）侧流生物强化技术提出了生物处理系统“活性污泥转输”思想，旨在保持生物系统较高绝对污泥拥有量的情况下，降低曝气池MLSS浓度，能有效降低二沉池固体负荷并大幅提高水力负荷，提高了生物池的池容利用效率。

4. 技术优势

（1）生物脱氮除磷效率高；对于生物除磷，不用外加碳源，不需或仅需额外投加少量化学药剂，大幅降低运行成本，运行稳定。

（2）该技术适合于污水处理厂的新建和升级改造工程，无需对原生物池容进行改造，土建、设备投资较少。

（3）侧流池内装设了腐殖土活性污泥微生物培养箱，在培养侧流微生物的同时培养除臭微生物，因此侧流工艺具有全流程除臭工艺特点，生化池、污泥脱水机房等单元无需再增加除臭工艺。

（4）对污泥具有一定减量功能，产泥量低于传统工艺。

（5）侧流池同时具有储存功能，可为污水厂储存大量活性污泥，提高系统的抗冲击能力。

（6）工艺运行管理简单，自动化程度高，根据进出水水质情况自动调整运行参数，节约能耗且保证出水稳定达标。

5. 应用范围

作为污水处理厂主流处理工艺（A²/O、氧化沟等）的辅助工艺，本工艺适合于污水处理厂新建和升级改造工程。

6. 应用案例

案例名称：南充市文峰污水处理厂二期工程项目

工程地址：四川省南充市嘉陵区文峰镇街道办事处联工村

工程规模：设计处理规模 9.0 万 m³/d, 实际处理水量达 11 万 m³/d。

技术指标：出水指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 标准。

案例照片：



图 2-10 南充市文峰污水处理厂二期工程项目

(左：项目全景；右：主要工艺设备)

(四) 案例 4：MBBR+DNBF 集成式生活污水处理技术

1. 技术工艺路线



图 2-11 MBBR+DNBF 工艺流程图

2. 治理效果

表 2-5 工艺治理效果

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质 (mg/L)	200~350	100~150	20~25	30~35	2~8
出水水质 (mg/L)	≤50	≤10	≤5 (8)	≤15	≤0.5
处理程度 (%)	≥75	≥90	≥60	≥50	≥75

注：出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 标准；括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

3. 技术创新性

本套工艺系统在 MBBR 工段高负荷运行节省占地的同时，所选用的静态反向流反硝化深床滤池处理系统在深度处理工段几乎无动力状态下实现深度脱氮除磷、过滤工作，大大提高了污水处理效率，降低运行管理难度和降低运行成本的投入。

4. 技术优势

(1) 普适性：该系统对原水进水水质要求不高，承受范围大，抗冲击负荷能力强，工艺段生化加物化的处理方式保障了出水常态化、稳定化的目的和要求。同时设备运行中不需要专人看管，故障率极低。

(2) 灵活性：该一体化污水处理设备针对不同项目不同水质条件，都可因地制宜、按需设计，对工艺段进行灵活调整，确保污水处理达标，既可集中安装，又可利用零散用地分散安装。

(3) 经济性：该一体化污水处理设备具有占地更省、负荷更高、运行要求更低等特点，在保证对污染物高去除率的基础上，兼具较低的运行费用。

5. 应用范围

小片区集中住宅区域、风景区域、生活区域的生活污水处理，尤其适用于对 TN、TP 排放要求较高的地区；单台处理能力在 100 m^3 以内，可根据需要采用地上式或地埋式，且可根据水量需求组合使用。

6. 应用案例

案例名称：乐至县中和场镇生活污水 MBBR-DNBF 处理站工程

工程地址：四川省资阳市乐至县中和场镇

工程规模： $500\text{ m}^3/\text{d}$

技术指标：

表 2-6 工艺治理效果

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	SS	pH
进水水质 (mg/L)	300~400	100~200	10~50	140~220	6~9
出水水质 (mg/L)	≤50	≤10	≤5	≤10	6~9

注：出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 一级 A 标准。

案例照片：



图 2-12 乐至县中和场镇生活污水 MBBR-DNBF 处理站工程项目

(左上：项目全景；左下：主要工艺设备；右上：项目主要工艺流程；右下：出水效果)

(五) 案例 5: A²/OA-MBR 工艺

1. 技术工艺路线

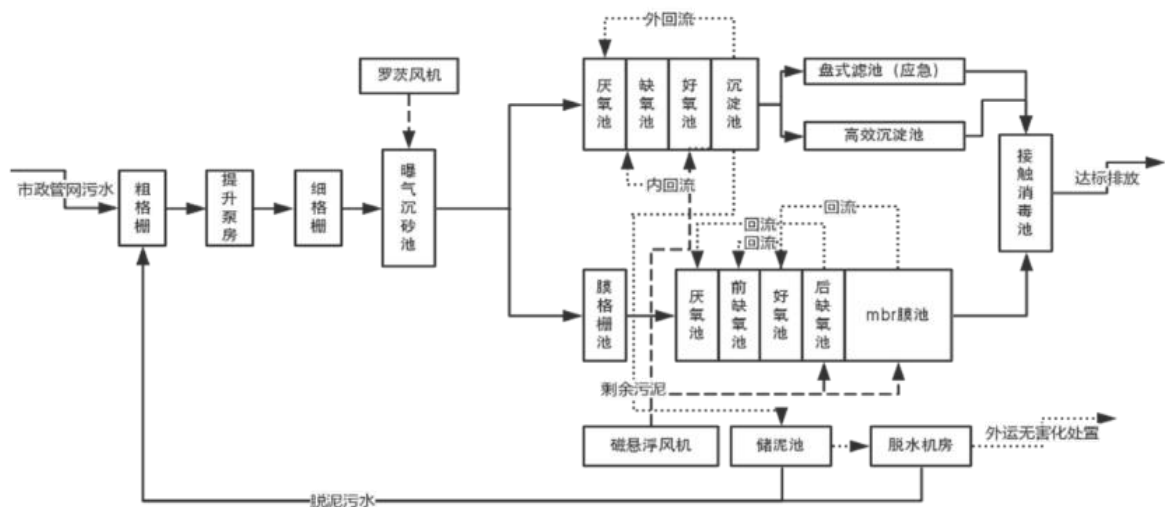


图 2-13 A²/OA-MBR 工艺流程图

A²/OA-MBR 工艺流程包括厌氧池、一级缺氧池、好氧池、二级缺氧池、膜池、出水池；回流顺序为：膜池-好氧池-一级缺氧池-厌氧池；其中一级缺氧池设置有一级缺氧池回流泵和第一碳源投加系统；好氧池设置有好氧池曝气系统和好氧池回流泵；二级缺氧池设置有第二碳源投加系统；膜池设置有膜池曝气系统、膜池回流泵和排泥泵。

2. 治理效果

表 2-7 工艺治理效果

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
进水水质 (mg/L)	300~400	150~200	10~30	35~45	2~5	150~200
出水水质 (mg/L)	≤50	≤10	≤5 (8)	≤15	≤0.5	≤10
处理程度 (%)	90~94	92~99	99	90~95	90~97	97~98

注：出水水质稳定达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311-2016) 中城镇污水处理厂主要水污染物排放浓度限值的要求；括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

3. 技术创新性

本工艺在传统 A²/O 工艺后段设置后置缺氧段，并设置多级逐级污泥回流，保证系统污泥量稳定和厌氧环境不被破坏，充分释磷，提高磷的去除率。回流 1，一级缺氧池回流到厌氧池，保证厌氧池污泥量稳定，一级缺氧池硝酸盐含量较低，不会破坏厌氧环境；回流 2，好氧池回流到一级缺氧池，进行反硝化反应；回流 3，膜池回流到好氧池，保证好氧池的污泥量稳定。

4. 技术优势

(1) 本工艺与传统 A²/O 相比，在好氧池后增设二级缺氧池，进行强化脱氮反应，提高脱氮效率。

(2) 本工艺有碳源投加装置，当进水 C/N 比较低时，可向一级缺氧池和二级缺氧池投加适量碳源。通过投加适量的碳源和调节好氧池到一级缺氧池回流比，控制合适参数，在一级缺氧池实现反硝化除

磷与好氧池普通除磷协同作用，脱去大部分 TP。

(3) 本工艺采用膜池出水，可进一步去除 TN、TP，且使出水 COD_{Cr} 达到较低水平，出水水质优质稳定，剩余污泥产量少。

5. 应用范围

本工艺适用于具有较高出水标准的污水处理项目，特别适用于低 C/N 水质特点。

6. 应用案例

案例名称：彭州市第二污水处理厂 A²/OA+MBR 工艺提标扩建工程

工程地址：成都市彭州市致和镇百祥村四组

工程规模：3 万 m³/d

工艺流程：污水井市政管网进入厂区粗格栅提升泵房，经提升至细格栅曝气沉砂池，后分别进入一、二期生化池，其中一期处理规模 1 万 m³/d，主体工艺采用 A²/O+平流沉淀池+高效沉淀工艺后进入接触消毒池；二期处理规模 2 万 m³/d，主体工艺采用 A²/OA+MBR，进入接触消毒池，达标后排放。

技术指标：

表 2-8 工艺治理效果

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
进水水质 (mg/L)	88~550	40~260	10~30	15~35	2~5	90~200
出水水质 (mg/L)	7~20	1~2	0.1~0.2	2~7	0.03~0.2	3~5
处理程度 (%)	94	99	99	81.6	97.5	97

注：出水水质稳定达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311-2016) 中城镇污水处理厂主要水污染物排放浓度限值的要求。

案例照片：

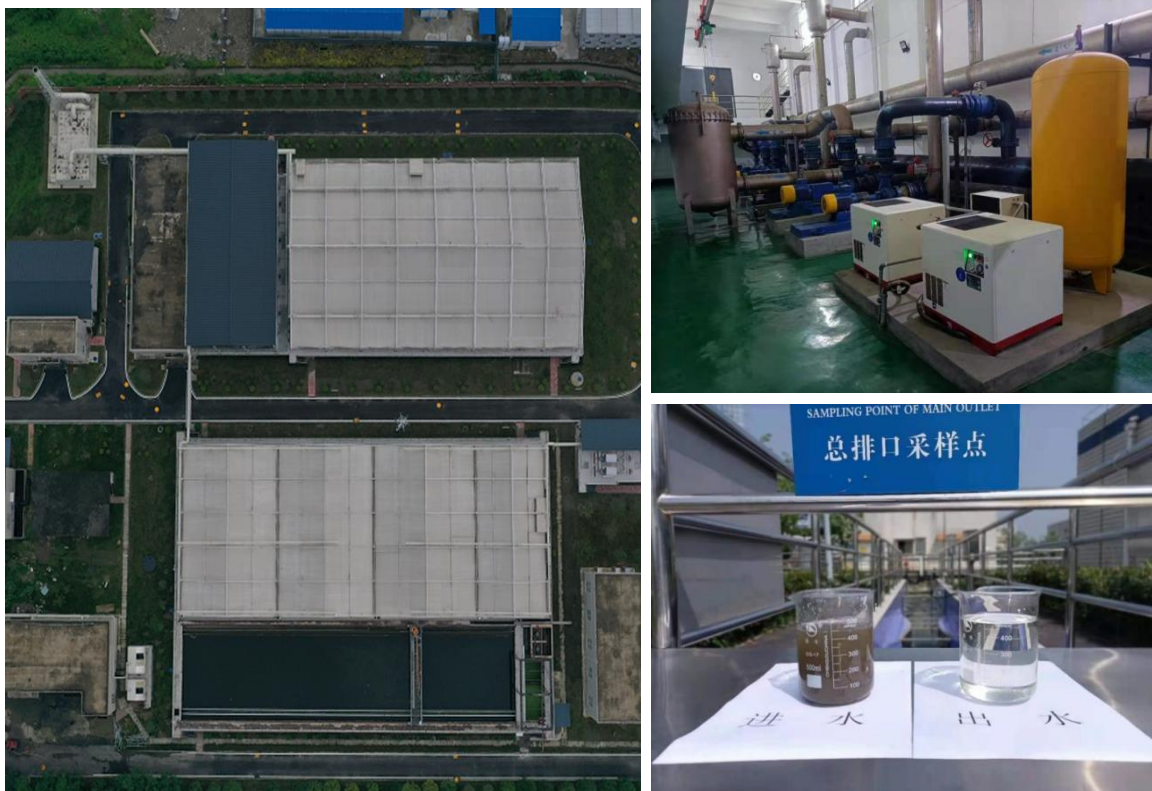


图 2-14 彭州市第二污水处理厂 A²/OA+MBR 工艺提标扩建工程项目

（左：项目全景；右上：项目主要设备；右下：治理效果进出水对比）

（六）案例 6：基于改性生物活性炭的智能生物增效污水处理技术（3C-BACT）

1. 技术工艺路线

工艺流程图见图 2-15。

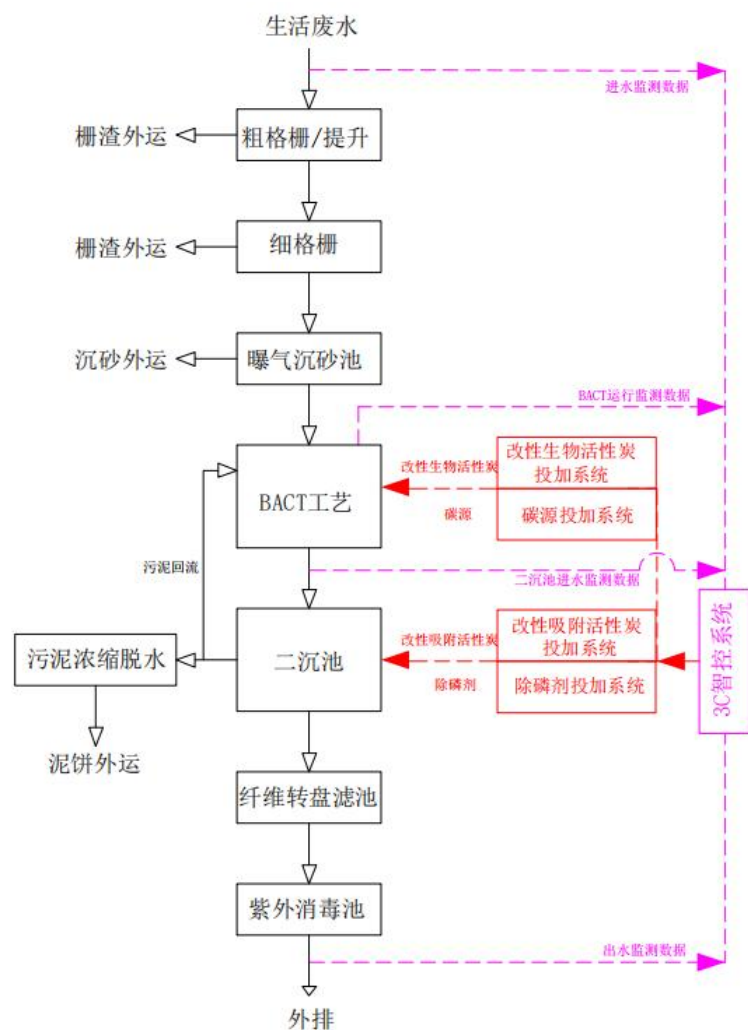


图 2-15 工艺流程图

2. 治理效果

主要污染物进出口浓度指标和去除率见表 2-9。

表 2-9 工艺治理效果

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS	pH
进水水质 (mg/L)	≤350	≤150	≤40	≤45	≤5	≤200	/
出水水质 (mg/L)	≤30	≤6	≤1.5 (3)	≤10	≤0.3	≤10	6~9
处理程度 (%)	91.43	96	96.25 (92.5)	77.78	94	95	/

注：括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

应用该技术可以达到的污染物排放标准：（1）《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 A 标准；（2）《四川省

岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311-2016)中城镇污水处理厂排放标准。

3. 技术创新性

该技术将活性炭吸附和生物处理技术相结合,涉及到复杂的吸附与生物降解同步作用过程。一方面利用粉末活性炭孔隙多、比表面积大的特性,快速吸附水中溶解性的污染物、富集微生物,微生物又具有氧化分解、生物吸附双重作用,使得粉末活性炭的吸附能力得到恢复。同时,利用改性粉末活性炭作为生物载体,可以丰富生物种群富集微生物,特别利于硝化细菌等的繁殖与生长,提高污泥活性及污泥量,从而提高生化系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 等的去除效果。

4. 技术优势

(1) 可以提高难降解有机物的去除效果,提高硝化、反硝化的反应效率;

(2) 提高系统抗冲击能力,改善污泥沉降效果和脱水性能;

(3) 提高系统脱色效果,减少曝气池的泡沫产生量;

(4) 提高生化系统处理负荷及运行稳定性能,缩短系统水力停留时间;

(5) 使用灵活,与传统 A^2/O 、CASS、氧化沟、MBR 工艺等均可耦合使用,提标改造无需新增占地,维护管理方便。

5. 应用范围

在市政污水领域可用于污水厂原位提标/扩容,可稳定达到《四川省岷江、沱江流域水污染排放标准》(DB 51/2311-2016)中城镇污水处理厂排放标准;在工业污水领域可稳定提高生化处理系统的处理能力。

6. 应用案例

项目名称：怡心湖 3C-BACT 提标改造示范项目

工程地址：四川省成都市双流区怡心街道藕塘村六组

工程规模：2 万 m³/d

治理对象：市政污水

核心工艺：3C-BACT

技术指标：使用 3C-BACT 工艺提标改造后，怡心湖应急治理污水处理厂出水水质达到《四川省岷江、沱江流域水污染排放标准》(DB 51/2311-2016) 中城镇污水处理厂排放标准。

表 2-10 污水厂进出水浓度及去除情况

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS	pH
进口水质 (mg/L)	≤162	≤49.3	≤29.7	≤38.2	≤3.14	≤84	7.34
出口水质 (mg/L)	≤14	≤4.4	≤0.376	≤9.42	≤0.11	≤6	6~9
处理程度 (%)	91.36	91.08	98.73	75.34	96.50	92.86	/

案例照片：



图 2-16 怡心湖 3C-BACT 提标改造示范项目（左上：项目全景；左下：项目主要工艺设备；右上：污染治理效果、产品；右下：出水回用作为厂内景观水）

（七）案例 7：基于高效低耗平板膜的污水处理技术

1. 技术工艺路线

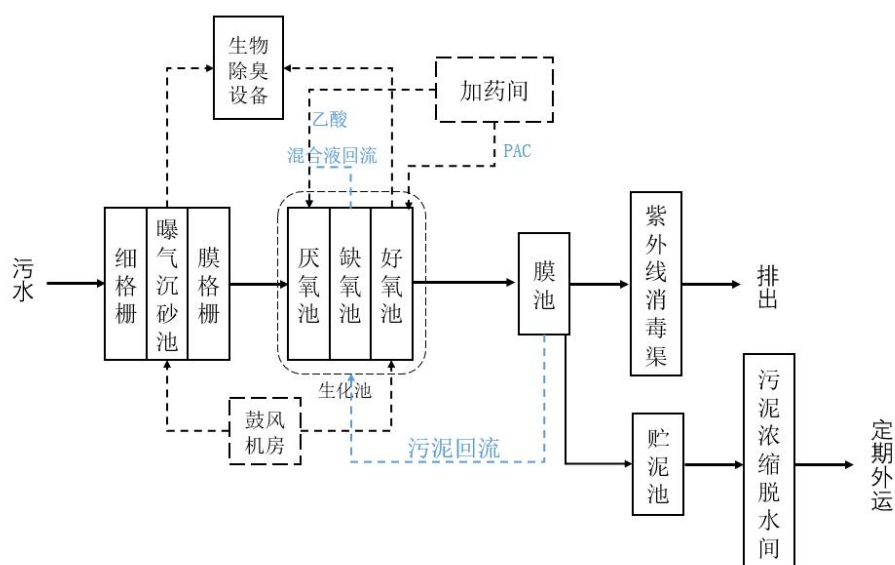


图 2-17 工艺流程图

2. 治理效果

主要污染物项目进出水浓度指标和处理程度见表 2-11。

表 2-11 主要污染物项目进出水浓度指标和处理程度

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质 (mg/L)	300	150	150	30	40	3
出水水质 (mg/L)	30	6	10	1.5 (3)	10	0.3
处理程度 (%)	90	96	93.3	95	75	90

注：出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准；括号内数值为水温 $\leq 12^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标。

3. 技术创新性

（1）该技术利用膜组件进行固液分离过程取代了传统的沉降过程，能有效去除固体悬浮颗粒和有机颗粒；该技术可以大幅提高系统污泥浓度，提升污泥龄，重复利用了细菌内源呼吸和污泥碳源化技术，实现了部分短程硝化反硝化，大幅降低了污泥负荷，提高氮的去除率和有机物的降解，同时极大地减少了污水处理过程中的产泥量。

(2) 该技术采用曝气器与膜组件分离式设计，并设置竖向导轨，膜组件可沿导轨滑至池底特定位置与曝气器完美连接，安装方便；曝气器采用脉冲式曝气器，增加了氧利用率，能有效地降低能耗。

4. 技术优势

(1) 更小的过滤孔径使得出水水质更好；

(2) 擦洗风量较小能有效降低能耗；

(3) 投资较低，具有较高的性价比。

5. 应用范围

该技术适用于有机物含量较高的市政及工业污水处理、再生水及饮用水制备、海水淡化预处理。

6. 应用案例

项目名称：城市生活污水处理厂基于高效低耗平板膜的污水处理工艺

工程地址：四川省资阳市雁江区松涛镇八楞村五组

工程规模：7.5 万 m^3/d

技术指标：出水水质达《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB 51/ 2311-2016）标准中城镇污水处理厂排放限值。

案例照片：



图 2-18 城市生活污水处理厂基于高效低耗平板膜污水处理工艺（左：项目全景；右：污染治理效果）

五、结论与展望

目前，四川省城镇污水处理厂主要采用“二级生化处理和深度处理”的城镇污水处理工艺，其中二级生化单元以 A/O、A²/O、MBR、SBR、活性污泥法、生物接触氧化法和氧化沟等工艺为主，处理出水以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准为主，位于岷江、沱江流域的城镇污水处理设施出水达到《四川省岷江、沱江流域污水排放标准》（DB 51/2311-2016）的要求。

应对当前流域水生态环境保护新形势、新要求，结合四川实际，未来我省城镇污水处理发展的重点方向与领域主要有：

一是建立基于流域水环境管理需要的源、网、厂、河一体化治理体系，提高排水及污水处理系统提质增效。从源头、过程、汇集全过程提升城镇排水管理水平，改变污水处理厂进水浓度低、处理效率低、雨季溢流问题、控制漏排率，实施雨、污协调治理。

二是提升污水处理稳定达标的的能力。以 TN、TP、新型污染物有效削减和出水稳定达标为目标，从预处理优化、生化系统强化、深度处理保障三个技术层面进行集成技术研究，重点突破生物强化 TN 脱除、新型污染物降解、好氧颗粒污泥、生化尾水高级氧化与生态处理等关键技术，通过技术集成开展工程示范，推进城镇污水处理厂出水稳定达标与资源能源回收。同时，采集污水中水量、DO、pH 等工艺参数，通过大数据处理，实现对全省污水处理厂智能监控督查，进一步挖掘改造城镇污水处理厂的处理能力与运行性能。

三是污水处理的低碳化转型。污水作为资源与能源的载体这一共识得到了广泛的认可，这些可观的可回收资源成为了污水厂实现碳中和运行的客观条件。未来污水处理厂需从处理技术的“以能消能”向

“节能产能”方向进行革命性转变，加快推进以技术创新为驱动的节能-降耗-回用，实现城市污水处理由耗能-效能-产能的转变。处理技术的研发将主要集中在污水中能源资源回收和净化出水以实现碳中和为目标的工艺强化，包括对污水中碳的快速富集（即碳源捕获及碳源改向）、污泥厌氧消化（热电联产）、厌氧膜生物反应器工艺、主流和侧流的无碳脱氮（厌氧氨氧化）等技术研究，实现城镇污水资源化，推动全省城镇污水处理向着可持续方向发展。

第三章 四川省工业废水处理技术

一、全省工业废水治理发展现状

长期以来，四川省以水电、酿酒、生物制药、航空航天等优势产业为主导，随着西部大开发战略的实施，部分集中于沿海地区的产业出现向中西部地区转移和重新集聚的趋势，丰富和提升了四川省的产业经济结构。近五年来，全省工业废水化学需氧量、氨氮及总磷的排放量总体呈缓慢减少趋势，平均工业废水排放量为 5.37 亿吨，化学需氧量、氨氮和总磷平均排放量分别为 7.65 万吨、0.42 万吨和 496.83 吨。四川省环境统计数据显示，2018 年全省工业废水排放量 4.21 亿吨，其中直接排入环境水量为 2.76 亿吨，排入污水处理厂水量为 1.44 亿吨。全省工业废水中共产生化学需氧量 75.23 万吨、氨氮 4.85 万吨和总磷 8538.60 吨；排放化学需氧量 3.33 万吨、氨氮 0.28 万吨和总磷 297.19 吨，分别占全省工业产生总量的 4.42%、5.84%和 3.48%。可见，2018 年全省工业水污染防治工作在消减化学需氧量、氨氮和总磷方面取得了较大成效。

据统计，造纸、食品加工、制革、纺织、有色金属、氮肥、农药、焦化、电镀、化学原料药和染料颜料制造等 11 个重点行业水污染物排放量约占全部工业的 50%，是工业水污染防治的重点领域。四川省纳入环境统计的重点工业企业 7866 家，共配置废水处理设施 4019 套，处理能力 951.09 万吨/日，年运行费用 27.51 亿元。全省 2018 年工业废水处理量 9.74 亿吨，排放量 4.21 亿吨，处理后直接排入环境的 2.76 亿吨，排入污水处理厂处理的 1.44 亿吨，废水处理回用率 34.32%。

全省 134 个工业集聚区，工业污水处理量为 182.58 万吨/天(含部分依托城镇生活污水处理厂中的生活污水)，共依托 154 座污水处理

设施进行污水处理，其中依托城镇污水处理厂处理的 69 座，园区自建集中式污水处理设施和工业污水处理厂共计 74 座，依托园区内已有工业企业工业废水处理厂处理 6 座，公共污水处理厂（生产废水+生活污水）的处理厂 2 座，通过一体化设施处理的 2 座，生产废水循环处理厂 1 座。由于近一半的园区工业废水处理依托城镇污水处理厂进行处理，故 154 座污水处理设施的废水处理量大于园区污水处理量，包含了大量的生活污水处理。各污水处理设施实际负荷率相差较大，除未投运的外，负荷率为 8~130%，均值为 58.00%，依托城镇污水处理厂的园区，其废水排入污水处理厂后，能够保障处理设施的处理负荷，但部分污水厂则超负荷运行；自建园区污水处理厂及依托工业企业的污水处理设施，除少数园区外，早期建设的设施普遍存在规模偏大、实际负荷率偏低的问题，这同园区企业入驻的进度滞后于园区规划、企业未投产等密切相关。

四川省省级以上工业园区主要污染物仍然为化学需氧量、氨氮、总磷等常规指标污染物，但由于产业形态不同，有机污染物的构成种类各不相同，可生化性也不相同，如医药及精细化工（发酵类）行业废水有机污染物浓度极高，其化学需氧量可达到 10,000 mg/L 以上，酿酒行业总氮、总磷含量也极高，纺织染整行业废水可生化性较差，各类废水的 pH 值也不相同，以偏酸性废水工业园区居多，部分园区废水原水 pH 值在 4 以下。有 50%以上的园区废水中油石油类和重金属等特征污染物的存在，故应不断加强园区废水集中处理设施建设和监管。

二、全省工业废水处理技术水平与需求

根据对已建成的园区污水集中处理设施处理工艺的统计，其污水

处理工艺主体生化段工艺以改良 A²/O、改良型氧化沟、CASS 为主，改良型前两种工艺都能稳定达到一级 A 标，CASS 工艺根据后续处理工艺的不同分别达到一级 A 标、B 标。设计达到岷沱江标准的污水处理设施，其工艺有“预处理+A²/O+深井过滤+紫外消毒”“预处理+A²/O+硝化/反硝化滤池”“预处理+A²/O+MBR”“改良型 A²/O+超滤深度处理工艺”“预处理+A²/O+高密度沉淀池+臭氧氧化+BAF 工艺”。对于达到行业废水排放标准的园区污水厂，该类园区属于产业较为单一，其废水处理多需强化物化处理单元，如四川古蔺经济开发区，其工业废水采用了“气浮+EGSB+氧化沟+超滤+两级纳滤工艺”，出水需达到《发酵酒精和白酒工业水污染物排放标准》(GB 27631-2011)表 3-1 规定直接排放限值，还有如四川金堂工业园区的淮口污水处理厂，其园区废水采用了“气浮+超磁分离+水解酸化+活性污泥+沉淀+超滤+树脂处理系统”工艺，出水也是提高到了《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311-2016)中工业园区污水处理厂排放标准。还有一些无环境容量地区，已将处理设施升级改造，出水水质已经达到地表水 III 类标准，如四川达州普光经济开发区方斗功能区，其废水处理工艺为“多级格栅沉淀+调节池+水解酸化+A²/O+MBR+NF 超滤+ClO₂消毒工艺”。总体来说，工业园区污水处理设施在预处理上强化了物化处理，在生化段仍然为以 A²/O、改良型氧化沟为主，对出水水质要求高的地区，增加了深度处理设施，如 MBR 膜、臭氧氧化、深井处理等，深度处理上总要加强了 N、P 等特征污染物的去除。

表 3-1 2018 年四川省工业废水处理去向统计表

废水处理去向	企业数量(家)	工业废水排放量(万吨)	主要行业类别
工业废水集中处理厂	616	4799.79	木质家具制造、包装装潢及其他印刷、肉制品及副产品加工、涂料制造、蔬菜加工、金属结构制造、化学药品原料药制造等
进入城市污水处理厂	1723	6583.87	牲畜屠宰、汽车零部件及配件制造、木质家具制造、包装装潢及其他印刷、白酒制造、肉制品及副产品加工、化学药品制剂制造、涂料制造、中成药生产等
进入城市下水道（再入江河、湖、库等水环境）	346	631.19	白酒制造、包装装潢及其他印刷、木质家具制造、其他饲料加工、汽车零部件及配件制造、牲畜屠宰、粘土砖瓦及建筑砌块制造等
进入地渗或蒸发地	60	4.13	粘土砖瓦及建筑砌块制造、牲畜屠宰、皮鞋制造、中药饮片加工、汽车零部件及配件制造等
进入其他单位（非集中式污水处理厂）	260	3148.91	白酒制造、化学试剂和助剂制造、牲畜屠宰、涂料制造、烟煤和无烟煤开采洗选、液体乳制造、贵金属压延加工、肉制品及副产品加工等
直接进入江河、湖、库等水环境	2672	20630.78	包装装潢及其他印刷、氮肥制造、动物胶制造、化学药品原料药制造、机制纸及纸板制造、炼焦、棉印染精加工、蔬菜加工、无机盐制造、烟煤和无烟煤开采洗选、中成药生产等
直接进入污灌农田	283	117.30	烟煤和无烟煤开采洗选、服饰制造、钢压延加工、光学玻璃制造、金属门窗制造、内燃机及配件制造、蔬菜加工、针织或钩针编织物印染精加工等
其他	1906	962.92	非金属废料和碎屑加工处理、机制纸及纸板制造、金属表面处理及热处理加工、棉纺纱加工、其他电子元件制造、其他基础化学原料制造、牲畜屠宰、矿石采选、烟煤和无烟煤开采洗选、中成药生产等

（一）高色度高难度工业废水处理技术

高色度难降解工业废水包括农药、制药、造纸、纺织、焦化、制革、化学原料药和染料颜料制造等行业废水。目前，我省对该类废水的处理工艺除了传统的物理/化学吸附法、膜分离法、化学氧化及化学沉淀法等，目前多采用化学预处理与生物相结合的多级工艺。例如采用 Fenton 反应（酸、双氧水、硫酸亚铁）、铁屑氧化、碱性水解等工艺预处理后，再采用“UASB+A²/O”“水解酸化+MBR 生物膜反应

器”等生物处理工艺。

根据四川省相关行业废水处理技术现状和排放标准的要求，目前高色度高难度工业废水治理还主要存在以下问题：

1. 对难降解有机物降解不完全，存在脱色困难。高色度高难度工业废水具有有机物浓度高、色度大、废水中有机成分种类多、盐度高、水质及水量不稳定等特点，单一的芬顿或铁屑氧化等方法难以实现难降解有机物的有效降解。

2. 芬顿、碱性水解等预处理技术药剂使用量大，成本高，耗费大，对设备具有强腐蚀性，且其出水不利于后续生物处理；而铁基高级氧化技术存在材料易板结钝化、电子利用率低、铁泥产率高等技术瓶颈问题。

3. 膜分离技术存在瓶颈。膜分离技术在高色度高难度工业废水处理和回用中已得到大规模应用，但膜污染、高性能膜材料制备和运行成本高等问题仍待解决。

（二）含重金属工业废水处理技术

含重金属工业废水包括电镀、有色金属、半导体等行业废水，该类废水除含有大量难降解有机污染物以外，还含有高浓度的重金属离子，例如镉、镍、汞、锌等。重金属废水处理的整体思路是先将重金属处理到达标程度，然后进入生化系统或物化系统去除生化指标；有回用要求的情况下，回用系统和物化/生化系统进一步耦合联用，通过分质分流和系统处理方式提高重金属废水处理能力。目前，重金属的处理方式可分为两类：一是使废水中呈溶解状态的重金属转变成不溶的重金属化合物或元素，经沉淀和上浮从废水中去除，可应用中和沉淀法、硫化物沉淀法、上浮分离法、离子浮选法、电解沉淀或电解

上浮法、隔膜电解法、氧化还原法等；二是将废水中的重金属在不改变其化学形态的条件下进行浓缩和分离，可应用反渗透法、电渗析法、蒸发法、离子交换法等。第一类方法特别是沉淀法、氧化还原法在我省应用最广。

根据四川省相关行业废水处理技术现状和排放标准的要求，如《电镀污染物排放标准》（GB 21900-2008），目前含重金属工业废水治理还主要存在以下问题：

1. 新标准下废水中重金属难以稳定达标。虽然目前重金属处理技术很多，但出于经济性、操作性和维护性等因素的考虑，绝大多数的含重金属废水均采用化学沉淀法处理，其中又以中和沉淀居多，处理出水难以达到新标准的排放要求。

2. 废水处理污泥产量大。目前重金属废水采用的处理方法多为沉淀法，所产生的含重金属污泥要借助于多次使用的化学药剂，经过多次的化学形态的转化才能回收利用，技术要求高、经济成本大，故而造成多数污泥不能回收利用。

（三）高氨氮行业废水处理技术

我省排放高氨氮废水的行业主要包括食品加工、氮肥生产企业废水及垃圾渗滤液等，该类废水具有氨氮浓度高、C/N 低、水量水质随季节变化大等特点。在实际应用中高氨氮废水（氨氮浓度大于 500 mg/L）常采用蒸氨（汽提）或吹脱、化学沉淀、膜分离法等处理技术进行预处理，然后配合 A/O 工艺、A²/O 工艺、SBR 工艺、氧化沟工艺等低氨氮废水的生物处理工艺进行后续脱氮。近年来，逐渐出现了多级硝化反硝化和 MBR 组合工艺，将两级生物脱氮技术与分体式膜生化反应器技术组合，同时综合了多级生物脱氮技术与 MBR 技术

的优点。

根据四川省相关行业废水处理技术现状和排放标准的要求，如《肉类加工工业水污染排放标准》（GB 13457-1992）、《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008）等，目前高氨氮行业废水治理还主要存在以下问题：

1. 环保法规对废水中氨氮的排放标准日益严格，而高氨氮含量废水由于来源广、成分复杂、可生化性较差，处理后出水难以达到要求。

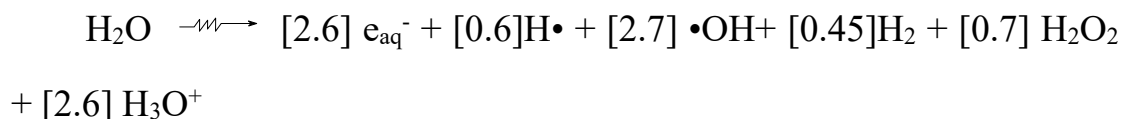
2. 常规 A/O 工艺、A²/O 工艺、SBR 工艺、氧化沟工艺存在停留时间长、占地面积大、工艺运行管理要求高等缺点，亟待开发容积负荷高、占地面积小的生物处理工艺，以满足不同环境下高氨氮废水处理的需求。

三、全省工业废水处理技术原理介绍

（一）电子束深度处理工业废水技术

1. 技术原理介绍

通常，在采用电子束处理具有多组分污染物的废水时，除了电子束对污染物的直接辐射作用外，间接作用对污染物的处理起着更重要的作用。当水分子受到电子束辐照时，激发或电离水分子产生羟基自由基($\cdot\text{OH}$)、水合电子(e_{aq}^-)、氢原子($\text{H}\cdot$)、 H_2O_2 等反应活性粒子，



根据氧化还原电势，水分解反应的反应产物可分为两类：氧化性粒子 ($\text{HO}\cdot$, $\text{HO}_2\cdot$, O , $\text{O}\cdot^-$, $\text{O}_2\cdot^-$, $\text{O}_3\cdot^-$, H_2O_2 , $\text{HO}_3\cdot$ 等) 和还原性粒子 (e_{aq}^- , $\text{H}\cdot$)。水辐解产生的氧化性粒子和还原性粒子通过与污染

物发生各种高级氧化-还原反应，达到对水体中污染物分解（去除官能团，加成，取代，电子转移，断键等），脱色（破坏发色和助色基团），去毒（去除-Cl，-NO₂，-SH 等官能团），聚合（分子重组，改变污染物溶解性和沉降性等），矿化（分解转化为 H₂O 和 CO₂），提高生物降解性（大分子的氧化和断裂为易生化小分子）以及水体灭菌（破坏污水病原菌和病毒的 DNA 或 RNA 分子结构）等目的。

2. 适用范围

适用于难降解工业废水处理、现有工业废水工程提标改造、综合工业园区废水处理及提标等。

3. 技术工艺路线

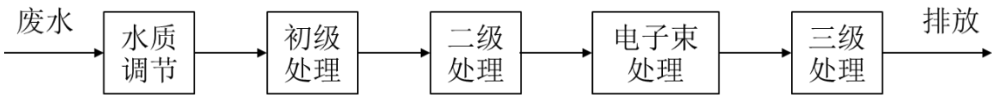


图 3-1 技术路线图

结合常规的工业废水处理工艺，将电子束技术一般放置在二级处理出水处，对二级处理出水进行深度处理，进一步去除水中难降解有机物质和特征污染物，降低 COD 及色度等，实现高标准排放或回用。该工艺主要适用于常规废水处理方法难以达标排放的尾水处理，COD < 300 mg/L。

4. 技术创新性

（1）成功研制水处理专用电子加速器和辐照反应器，单台套设备最大处理能力可达 5000 m³/d，并拥有自主知识产权。

（2）针对不同应用领域形成电子束辐照处理工业废水组合工艺。

（3）已在印染废水领域建立示范工程，处理量达 2000 m³/d，处理出水满足纺织染整工业水污染物排放标准。

（4）已建成全球最大电子束处理工业废水单体项目，处理量达

30000 m³/d，实现 7 台电子加速器联机并行，同时实现系统自动化集成控制。

(5) 已在制药废水、垃圾渗滤液、医院污水、抗生素菌渣、高浓废液等领域实现应用，建立各个行业领域的示范工程。

(二) 工业园区水质高频波动废水强化脱氮除磷组合工艺

1. 技术原理介绍

工业园区水质高频波动废水强化脱氮除磷组合工艺，将水解酸化、泥膜法、纯膜法及物理吸附过滤原理结合在一起。首先利用强化水解酸化工艺将工业废水中大分子有机物转化为易生物降解的小分子物质，提高了污水的可生化性，也可以为后续生化处理提供碳源；利用泥膜法技术，将生物膜法的优势菌富集与活性污泥法的优点进行结合，以悬浮载体为微生物提供生长载体，强化硝化和反硝化作用，达到同步脱氮除磷的目的；利用纯膜法技术，将石英砂作为反硝化生化的挂膜介质，通过投加适量的碳源，使附着在石英砂表面的反硝化细菌将硝态氮转换为氮气，进一步强化脱氮反应；最后进一步吸附过滤水中的 COD、游离物、微生物、部分重金属离子，并能有效降低水的色度及异味。

2. 适用范围

该技术适用于总氮、氨氮及有机物含量较高的工业污水处理。

3. 技术工艺路线

工艺流程：水解酸化+A²/O-MBBR+深床反硝化滤池+活性炭过滤

(1) 水解酸化：利用水解菌、酸化菌将工业废水中不溶性有机物水解为溶解性有机物，将难生物降解的大分子物质转化为易生物降解的小分子物质，改善废水的可生化性，为后续生化处理提供碳源；

(2) A²/O-MBBR: 利用泥膜法技术, 将生物膜法的优势菌富集与活性污泥法的优点进行结合, 同时克服了传统活性污泥法及固定式生物膜法的缺点。以悬浮载体为微生物提供生长载体, 通过悬浮载体的充分流化, 强化硝化和反硝化作用, 达到同步脱氮除磷的目的, 实现污水的高效处理, 同时针对工业废水的冲击, 大大提高了生化系统的抗冲击负荷能力, 处理效果稳定;

(3) 反硝化深床滤池: 利用纯膜法技术, 将石英砂作为反硝化生化的挂膜介质, 通过投加适量的碳源, 使附着在石英砂表面的反硝化细菌将硝态氮转换为氮气, 完成脱氮反应, 滤池产生的大量氮气使污水绕窜于介质之间, 增强了微生物与水流的接触, 提高了过滤效率; 由于石英砂的比表面积较大, 具有一定深度的滤池避免了穿透现象, 即使前段处理工艺发生异常情况也可以取得较好的 SS 截留效果。

(4) 活性炭过滤: 进一步吸附过滤水中的 COD、游离物、微生物、部分重金属离子, 并能有效降低水的色度及异味。

4. 技术创新性

该技术路线具有独创性, 在高进水负荷、冲击进水负荷的情况下, 通过工艺的优化, 强化脱氮工艺, 加强回流及溶解氧全过程管理, 能够实现系统正常连续生产, 出水指标仅在排放限值内波动, 具有良好的抗进水冲击负荷能力。

(三) 特种膜制药废水零排放技术

1. 技术原理介绍

高浓度制药废水经过调节池调节水质和水量后进入厌氧池、好氧池处理后, 废水中可生化处理的有机物已被厌氧微生物和好氧微生物分解完毕, 好氧池出水有机物主要是不可生物降解的有机物。生化处

理无法解决制药废水中高盐分的问题，好氧池出水还无法直接回用。好氧池出水经过简单预处理后进入卷式反渗透膜组件，利用反渗透技术分离废水中的各种污染物和盐分，卷式反渗透产水直接回用，产生的一段浓水则进入 DTRO 做进一步分膜浓缩处理。DTRO 的膜产水直接回用，产生的二段浓缩液则进入蒸发结晶系统处理，将废水中的各种污染物变为固废处置。由于 DTRO 膜的回收率很高可以解决卷式反渗透浓缩液量偏大的问题，减少蒸发结晶系统投资和运行费用。

2. 适用范围

DTRO 特种膜处理技术为制药废水的治理开辟了新的道路，提供新的解决思路，并在工程实践中得以成功应用。以 DTRO 技术为依托的制药废水中水回用零排放工艺的项目实施和运行，有利于特种膜技术在青霉素、红霉素等抗生素制药废水处理上的应用与推广。

3. 技术工艺路线

高 COD、高盐分的制药废水进入调节池，调节水质、水量，调节池须搅拌设施，放置 SS 沉淀。调节池出水进入厌氧工艺处理，厌氧微生物将高浓度的 COD 变为中低浓度后，废水再进入好氧工艺处理，厌氧和好氧工艺可以去除废水中大部分 COD、SS、氨氮、总氮、总磷。好氧工艺出水经过预处理后进入卷式反渗透处理后，产水直接回用，为减少膜浓缩液的数量，将卷式反渗透的浓缩液用 DTRO 做进一步浓缩处理。DTRO 产水回用，浓缩液进入蒸发结晶系统处理。蒸发结晶系统的冷凝液直接回用，蒸发残渣则作为固废委外处置。好氧工艺出水中不能通过常规物化和生化工艺去除的污染物，通过卷式反渗透和 DTRO 反渗透技术将其转移到膜浓缩液中，并通过蒸发结晶系统最终转化为固废处置。

厌氧工艺可以选用 IC、UASB、EGSB、水解酸化工艺，具体做法参见《升流式厌氧污泥床反应器污水处理工程技术规范》（HJ 2013-2012）、《厌氧颗粒污泥膨胀床反应器废水处理工程技术规范》（HJ 2023-2012）、《完全混合式厌氧反应池废水处理工程技术规范》（HJ 2024-2012）。好氧工艺可以选用 A²/O、生物接触氧化、MBR 等工艺，具体做法参见《鼓风曝气系统设计规程》（CECS 97-1997）、《寒冷地区污水活性污泥法处理设计规程》（CECS 111-2000）、《氧化沟设计规程》（CECS 112-2000）、《生物接触氧化法设计规程》（CECS 128-2001）、《膜生物法污水处理工程技术规范》（HJ 2010-2011）、《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）。膜前的预处理工艺可以选用砂滤、砂滤+超滤等工艺，具体做法参见《膜分离法污水处理工程技术规范》（HJ 579-2010）。卷式反渗透根据水质情况按照回收率 65~70% 设计，具体做法参见《膜分离法污水处理工程技术规范》（HJ 579-2010）。DTRO 可根据水质和回用要求选用操作压力 70 bar、90 bar、140 bar 的膜组件，回收率按照 85~95%设计。

采用该工艺可以将进水 COD ≤ 60,000 mg/L 的制药废水完全做到零排放的工艺要求。

4. 技术创新性

采用“UF+卷式 RO+DTRO+蒸发”，经卷式反渗透 RO 和特种膜 DTRO 组合膜处理后的回收率达到 90~92%，再经蒸发处理后的总回用率可达 98%以上。

（四）高难度化工废水铁基材料协同催化氧化处理关键技术

1. 技术原理介绍

该技术与装备利用三级梯度氧化+多级混凝沉淀+A/O 工艺，主要

以铁基催化剂在特定结构的装置中的催化氧化反应为核心，处理高难度有机难降解工业废水中的重金属和有毒难降解有机物等污染物质，使得处理后出水稳定达标排放。首先利用三级梯度氧化工艺将废水中难降解有机污染物质有效的降解和转化，并去除废水中的重金属离子，极大的提高了废水的可生化性，降低了废水的 COD、色度等。三级梯度氧化工艺能够结合铁基材料、类芬顿和芬顿的优点，实现催化剂和氧化剂的高效利用，提高反应过程中质传质效率，实现废水中有毒难降解有机物的高效降解。多级混凝沉淀工艺能够实现废水中金属离子的完全去除，减少对后续生化系统的影响并且能够去除水中部分的 COD；A/O 工艺能够进一步的去除废水中的容易降解的有机污染物质，并达到脱氮除磷的目的，使最终的出水稳定达标排放。

2. 适用范围

三级梯度氧化+多级混凝沉淀+A/O 工艺为高难度难降解工业废水提供了新的解决方案和思路，并已成功的应用于工程项目中。该技术可用于处理制药、农药、染料、民用起爆药、军用底火药等行业产生的工业废水。

3. 技术工艺路线

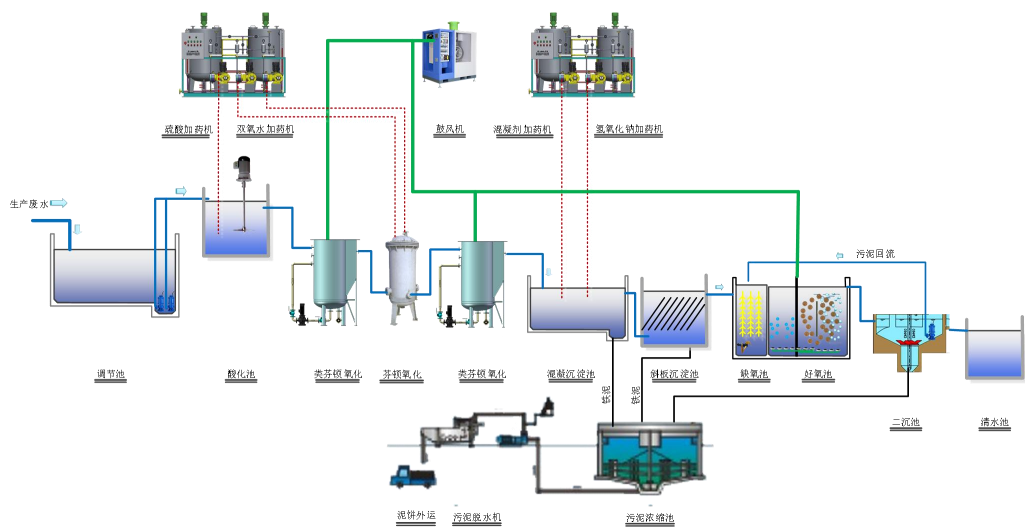


图 3-2 技术路线

调节池用以调节废水的水质水量，将调节池内混合废水连续泵入酸化池内将废水的 pH 值调节至一定 pH 值，然后将酸化池内的废水以一定的流量连续泵入第一级催化氧化反应器。在第一级催化氧化反应器中按需加入一定量的铁基催化剂并进行曝气，在循环泵的作用下，废水在特有结构的催化氧化反应器中进行充分的旋流反应，催化剂在反应器中处于充分的流化状态。废水中的有毒难降解污染物质在一级催化氧化反应器中实现初步的氧化分解，去除部分 COD_{Cr} 和重金属离子、降低废水的色度，一定程度上提高废水的可生化性；经一级催化氧化反应的废水自流至二级催化氧化反应器，一级催化氧化反应新生成的铁腐蚀产物（如 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ， FeOOH 等）具有极强的催化活性，可以作为二级催化氧化反应的催化剂，因此只需在二级催化氧化反应器中按需加入一定量的双氧水和硫酸，二级催化氧化反应在提高电子和铁腐蚀产物利用率的同时进一步分解废水中残留的污染物和中间产物。经二级催化反应器处理后的废水自流至三级催化氧化反应器，在三级催化氧化反应器中按需加入一定量的铁基催化剂并进行曝气，在循环泵的作用下，废水和催化剂进行充分的接触反应，将废水中剩余的有毒难降解有机污染物质进一步分解去除；第三级催化氧化反应能够利用第二级催化氧化反应剩余的 H_2O_2 和酸，形成芬顿和类芬顿协同反应，进一步提高废水处理效率，极大地改善废水可生化性。第三级催化氧化反应也能够消耗第二级催化氧化反应剩余 H_2O_2 和酸，减少后续碱的使用量和消除剩余 H_2O_2 对后续生化系统的影响，从而更加经济高效地处理有毒难降解工业废水。

经三级催化氧化反应后的出水连续进入多级混凝沉淀池，在混凝沉淀池内通过曝气、加碱和聚丙烯酰胺（PAM）进行中和絮凝沉淀去

除废水中的铁离子和其他金属离子，并在混凝沉淀池进行泥水分离，混凝沉淀池上清液连续进入 A/O 池，A/O 池利用微生物作用进一步去除水中的 COD、BOD₅、SS 和氨氮等。经生化处理后的废水进入二沉池，在二沉池中进行泥水分离，二沉池中的剩余污泥一部分外排，另一部分回流至缺氧池，最后二沉池的上清液流至清水池，此时出水达到排放标准。

4. 技术创新性

(1) 首创制微米级铁铜双金属 (mFe/Cu) 催化材料。设计高电势差的铁铜原电池，实现电子在两级间定性流动，实现了电子在 Cu 和 Fe 阴阳两极间定向流动，电子利用率高于 10%。

(2) 研发了三级梯度氧化+多级混凝沉淀+A/O 的组合处理工艺。基于微米级铁基材料的制备及机理研究，提出“三级梯度氧化+多级沉淀+A/O”的组合处理工艺。其中，三级梯度氧化工艺 (1stmFe/Cu/air+Fenton+2ndmFe/Cu/air) 能够实现有毒污染物的高效转化，显著提高废水可生化性。

(3) 开发了国内首套内循环水高速旋流高级氧化反应装备。设备克服了 mFe/Cu 材料表面固液界面的 H⁺、溶解氧及释放电子的浓度梯度效应，完全流化反应器中的 mFe/Cu 材料，防止其在 mFe/Cu 表面沉积形成钝化膜。

(五) 半导体行业生产废水“零排放”处理技术

1. 技术原理介绍

该套装备利用分类预处理+梯级膜浓缩+淡水净化处理的工艺综合处理废水中的重金属、无机物、难降解有机物等物质，使得出水达到城市饮用水标准且回收电子级氨水。利用臭氧以及其催化氧化产生

的羟基自由基可氧化低价砷以及高浓度难降解有机物，再通过混凝沉淀以及生化系统进一步除砷及有机物，为达到回用水标准增加了梯级膜处理单元，利用膜的半透性，逐级净化及循环处理，净化后的淡水可回用于绿化灌溉或工业生产，浓水经 MVR 蒸发浓缩。

半导体行业产生的废水中还存在超细悬浮物，超细悬浮物的存在会降低膜的使用时间，增加运行成本。该套装备去除超细悬浮物的原理主要是利用自制的脱稳剂改变颗粒的 ZETA 电位，使其可通过静电吸附、吸附搭桥等作用絮凝沉淀，从而达到去除的目的。

2. 适用范围

本技术适用于含高盐、高氨氮、难生化降解有机物以及有毒重金属等复杂废水的处理，主要应用于薄膜太阳能电池、半导体芯片、金属材料加工等相关领域。其中部分技术成果还可应用于造纸、焦化、制药等行业废水的处理。

3. 技术工艺路线

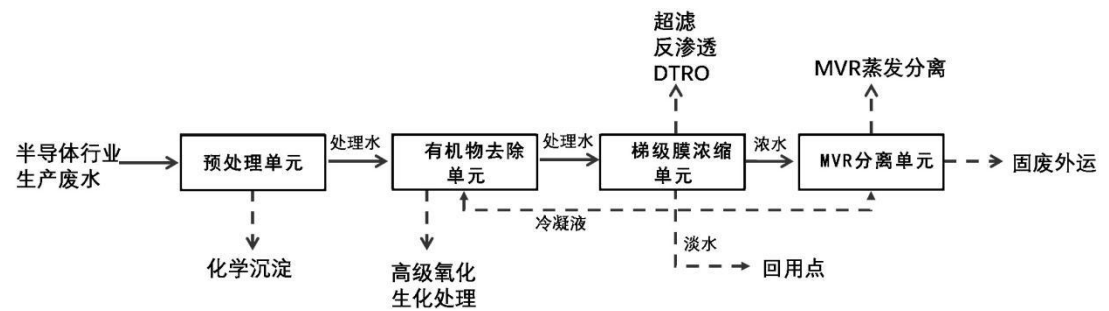


图 3-3 技术工艺流程图

预处理单元采用化学沉淀法去除废气中的悬浮物。关键在于超细悬浮物脱稳，采用自制的脱稳剂，改变颗粒的 ZETA 电位，使其易于静电吸附、成团聚集，通过吸附搭桥，在絮凝剂的作用下凝结成团，变成沉淀去除，该系统可去除绝大部分超细悬浮物，从而解决了目前

膜系统堵塞的问题，大大延长了膜的使用周期，节省运行成本，提高膜的效率。

有机物去除单元，去除废水中含有的高分子难降解有机物以及重金属的氧化，降低废水中有毒重金属的浓度。其核心包括催化氧化系统以及生化系统，具体如下：

（1）催化氧化系统：采用常规金属离子作为催化剂，诱导臭氧产生具有强氧化效果的氧离子，快速彻底氧化难以降解的有机物，减少污泥产生。催化剂可重复使用，投加量少，大幅降低处理成本；

（2）生化系统：利用微生物的代谢作用去除有机物、氨氮、磷等污染物，污染物的进一步去除可以减轻后续处理流程的负担，降低运行成本。

梯级膜处理单元，采用 UF 膜+多级 RO 膜的灵活组合，对预处理的废水进一步处理，通过膜的选择通过作用将废水分为浓水和淡水，淡水回用，浓水进 MVR 系统。梯级膜处理单元的引入提高了重金属的去除率，降低了废水中重金属的浓度，使处理后的水可以回用。

4. 技术创新性

（1）本技术采用“以脱稳、臭氧催化氧化、生化为核心的预处理单元+梯级膜处理单元+MVR 蒸发浓缩单元”的成套装备处理半导体行业生产废水，其中预处理通过臭氧固定催化氧化技术高效处理废水中的有机物，采用特有的破络合剂及絮凝剂，实现亚微米悬浮物的去除。

（2）通过预处理单元可将废水中有机物、氨氮、磷以及亚微米悬浮物和部分有毒重金属的去除，再通过梯级膜处理单元和 MVR 蒸发浓缩单元进一步深度处理废水中的重金属及无机盐，可将出水重金

属浓度控制在 0.002 mg/L 以下，使废水达到回用要求。

(3) 且通过高效 MVR 蒸氨塔实现电子级氨水的回收利用。本技术具有运行成本低，处理效率高等优点。

(六) 草甘膦母液资源化处理集成技术

1. 技术原理介绍

甘氨酸法草甘膦产生母液含草甘膦 0.6~0.9%，总磷 19000~24000 mg/L，扣除草甘膦后含磷 15000~21000 mg/L，其中草甘膦最有回收利用价值，其次为含磷化合物，可以氧化转化为正磷酸盐也具有较好的资源化利用价值。草甘膦母液资源化利用集成技术是一项“膜处理—催化氧化—低温结晶—多级膜处理—蒸发浓缩”的母液处理集成技术。具体为：草甘膦母液经预处理，膜浓缩母液中的有机化合物，浓液进入高温系统，采用公司自制催化剂及专用设备，进行高温催化氧化反应，使母液中有机物（碳水化合物、BOD₅、COD）分解成二氧化碳、N₂及氮氧化物、水等；有机磷化合物转化成磷酸盐（磷酸氢二钠）；氧化液经冷却结晶得到十二水磷酸氢二钠；膜处理后稀滤液经除杂处理，多效膜蒸发浓缩回收氯化钠固体产品。该技术可实现磷资源的有效回收，同时，解决了设备腐蚀、恶臭等社会环保问题。

2. 适用范围

国内甘氨酸法草甘膦生产装置总产能达 60 万 m³/年，草甘膦生产母液呈碱性，有一定的腐蚀性；有机成分高，且含有大量的异味物质，有恶臭。草甘膦母液资源化利用集成技术通过对母液中“磷”资源的回收利用，开创了草甘膦产业“磷元素”的循环经济新模式，从根本上解决了困扰草甘膦行业多年的母液出路问题，实现了草甘膦母液的综合利用。该技术大大降低了草甘膦母液处理成本，在业内具有广泛的示

范效应和推广价值。

3. 技术工艺路线

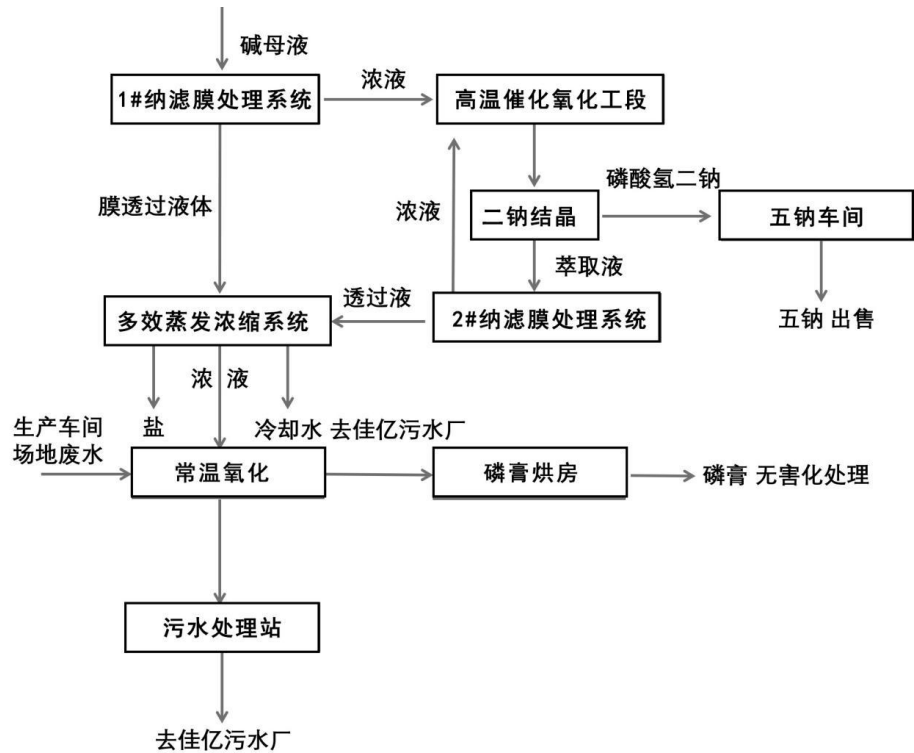


图 3-4 技术路线

公司形成了“草甘膦母液—膜处理—高温催化氧化—低温结晶—多级膜处理—蒸发浓缩”的完整工艺路线，即：膜浓缩母液、高温催化氧化让有机磷转化成无机磷、低温结晶回收磷酸盐、萃取液再经超滤、纳滤、反渗透等多级集成膜膜处理和蒸发浓缩回收氯化钠的技术处理路线。膜浓缩后的草甘膦母液经过高温氧化技术，使有机磷转换成无机磷，转化率达 98%以上；氧化液通过低温结晶回收副产品十二水磷酸氢二钠，使草甘膦母液中磷资源利用率达 99.5%。草甘膦母液经多级集成膜处理，提高母液中磷元素的浓度，拦截其母液中的杂质和部分氯元素，拦截率超过 99.5%。

4. 技术创新性

（1）催化氧化：自主研发的触媒催化剂、“催化氧化反应器”“催

化空气氧化法处理装置”“尾气分离及净化器”等新设备，开发了“DCS 控制系统软件”。大大降低了氧化温度和压力，降低了安全风险；提高磷的转化率至 98%以上；有效降低了高温氧化装置的腐蚀率，有利于装置的长期稳定运行，也减少了检修维护成本；减少了恶臭气味。

（2）多级集成膜：采用自主研发的“多级膜分级处理技术”“DCS 控制系统软件”，大大提高了磷的拦截率，使有机磷转化形成较高附加值的磷酸氢二钠产品，降低了价值较低的磷酸膏盐。

（3）高温催化氧化及多级专用膜处理耦合技术，有机形成一条完整的工艺路线。本技术磷的转化率达到 98%以上，膜的拦截率超过 99.5%；有效地提高了磷转化率和回收率，成功地降低了废水中含磷浓度，以及填补了草甘膦自投入市场以来在草甘膦母液综合利用技术方面的空白。

（七）重金属及放射性废水深度净化技术

1. 技术原理介绍

采用预处理（除硬度+过滤）+超滤（UF）+RO 反渗透三级浓缩/或新型纤维四级离子交换组合工艺。通过预处理，包括化学法除硬度工艺，目的是将废水中含有的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子预先充分去除，降低废水硬度，同时去除废水中部分颗粒物及有机物，为后续超滤膜单元实现高效率固液分离提供条件。主体工艺采用超滤（UF）+RO 反渗透三级浓缩/或离子交换联合处理工艺，对废水中通常有的重金属元素及铀、钚、镅、锶、铯等放射性核素去除率可达 98%以上，最终产水实现达标排放；被截留的浓水高效浓缩至 55 倍以上，浓水量降低至 $0.036 \text{ m}^3/\text{h}$ 以内，实现重金属及放射性废水的减量和达标排放。

2. 适用范围

适用于含放射性重金属废水的深度净化和回收，具有广阔的示范工程推广和市场应用前景。

3. 技术工艺路线

高效配合反应沉淀+超滤+软化+多级 RO 浓缩/离子交换深度净化，最终实现对废水中重金属的选择性吸附、饱和、切换、再生，整个过程连续化运行。

4. 技术创新性

通过研发 XK 系列新型离子交换材料与技术、低能耗高效率膜分离技术，提出并设计分质分级工艺技术路线，研制相应的一体化移动式集约装置，为实现其高盐有机复杂体系重金属及含铀废水超低排放和资源回收提供关键技术指导，该研究工作可切实提升重金属及低放废液深度净化及有用核素回收技术水平，为核燃料循环、核能利用、核设施运行和退役阶段的三废治理提供具有工程实际应用价值的技术储备。

四、全省工业废水处理技术典型应用案例

（一）案例 1：电子束深度处理印染废水示范项目

工程规模：30000 m³/d

工艺流程：

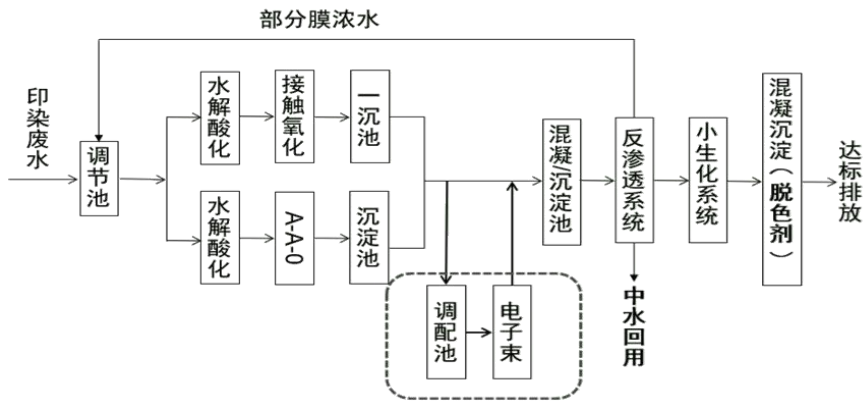


图 3-5 工艺流程图

30000 m³/d 的印染废水经“原调节池+原水解酸化+原接触氧化+原一沉池+电子束（EB）辐照氧化+原絮凝反应池+原二沉池+原膜系统回收，膜产水回收用作工厂冷却循环水和车间生产用水，膜浓水经过一套单独的生化系统处理后达标排放。

处理性能：经电子束深度处理后出水 COD < 30 mg/L，氨氮 < 8mg/L，TN < 12 mg/L，TP < 0.3 mg/L，色度 < 16 倍；出水达到《纺织染整工业水污染物排放标准》（GB 4287-2012）直接排放浓度限值。

（二）案例 2：工业园区水质高频波动废水强化脱氮除磷组合工艺

工程规模：3000 m³/天

工艺流程：水解酸化+A²/O-MBBR+深床反硝化滤池+活性炭过滤。

处理性能：在进水冲击负荷进水 COD_{Cr} ≤ 800 mg/L，氨氮 ≤ 75 mg/L，TN ≤ 90 mg/L 的情况下，出水水质可稳定达：COD_{Cr} ≤ 40 mg/L，BOD₅ ≤ 10 mg/L，氨氮 ≤ 3（5）mg/L，TN ≤ 15 mg/L。出水水质达《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB 51/ 2311-2016）标准中工业园区污水处理厂排放限值。

案例照片：



图 3-6 项目全局图



图 3-7 项目工艺设备图

（三）案例 3：三级催化氧化+生物强化技术处理二硝基重氮酚生产废水工程

工程规模：30 m³/d

工艺流程：项目的工艺流程为物化预处理+多级混凝沉淀+生物处理系统。

1. 物化预处理系统：废水收集于酸化调节池内，将酸化调节池内的废水调节至所需 pH，然后以一定的流量连续泵入三级催化氧化反应器。废水在三级催化氧化反应器中进行充分的氧化还原反应，废水中的难降解有机物能够被有效的降解去除，废水的可生化性也得到了极大的改善。

2. 多级混凝沉淀：三级催化氧化反应器的出水自流进入混凝沉淀池，在混凝沉淀池中进行加碱、曝气并投加 PAM，使废水中的铁离子在混凝沉淀池中得到充分去除，废水在混凝沉淀池中完成泥水分离，上清液自流至生物处理系统。

3. 生化处理系统：混凝沉淀池出水进入 A/O 生化池，废水中难生物降解的有机物在缺氧区转化为易生物降解的有机物，提高废水的可生化性，同时去除硝酸盐氮。在好氧区，通过曝气，利用活性污泥法除去废水中的 COD 和 BOD₅，同时将氨氮转化为硝酸盐氮。A/O

生化池出水进入竖流式沉淀池，部分污泥分回流到生化反应池缺氧区，上清液达标排放。

处理性能：本工程项目的民用起爆药生产工业废水经过物化处理后，不仅分解了二硝基重氮酚的发色官能团（硝基和偶氮键），而且彻底地打开了苯环，从而达到高效的脱色效果，并且脱色后废水在酸性、中性和碱性条件下均不会发生反色现象。另外，废水的 COD 去除率高达 70~85%，B/C 值由原水的 0 提高至 0.5 以上，表明该技术能够有效地分解转化废水中有毒难降解有机污染物，极大地提高废水的可生化性，有利于后续的生化处理，并且物化处理后能够完全脱除废水中的重金属铅和硫化物；生化处理彻底将废水处理合格，其各项排放指标大大低于《兵器工业水污染物排放标准 火工药剂》（GB 14470.2-2002）中规定的新建项目水污染物排放要求。

案例照片：



图 3-8 现场装置图

（四）案例 4：草甘膦母液资源化处理集成技术

工程规模：60 万 m³/年

工艺流程：

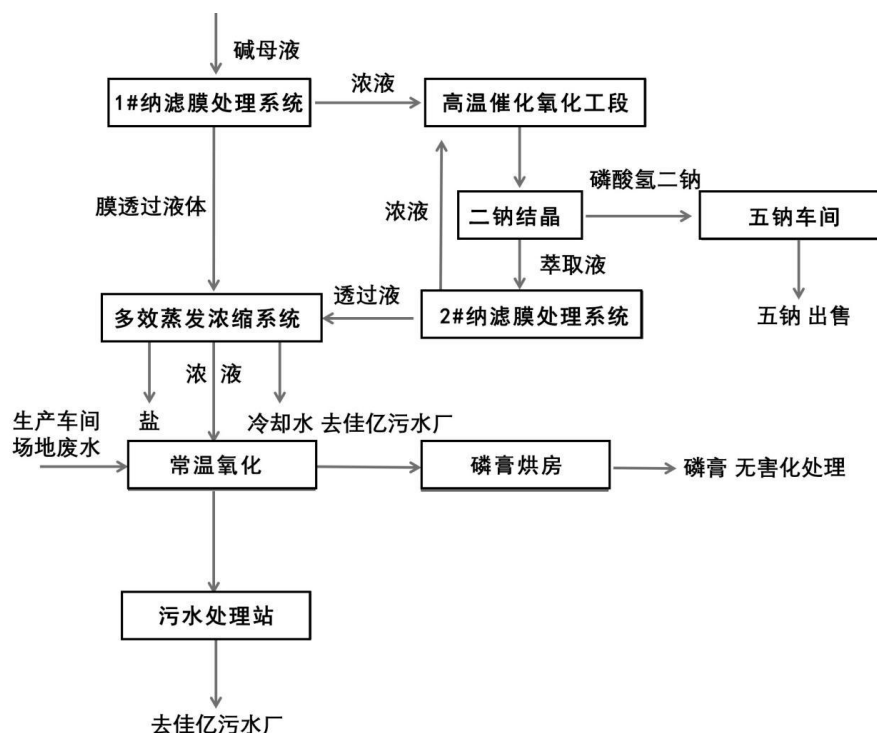


图 3-9 工艺流程图

公司形成了“草甘膦母液—膜处理—高温催化氧化—低温结晶—多级膜处理—蒸发浓缩”的完整工艺路线，即：膜浓缩母液、高温催化氧化让有机磷转化成无机磷、低温结晶回收磷酸盐、萃取液再经超滤、纳滤、反渗透等多级集成膜膜处理和蒸发浓缩回收氯化钠的处理路线。膜浓缩后的草甘膦母液经过高温氧化技术，使有机磷转换成无机磷，转化率达 98%以上；氧化液通过低温结晶回收副产品十二水磷酸氢二钠，使草甘膦母液中磷资源利用率达 99.5%。草甘膦母液经多级集成膜处理，提高母液中磷元素的浓度，拦截其母液中的杂质和部分氯元素，拦截率超过 99.5%。

处理性能：母液中磷的回收率达到 99.5%，每年减排的磷高达 4000 吨以上，氧化除磷后的清液蒸发产生的污冷水 COD ≤ 200 mg/L、氨氮 ≤ 15 mg/L、TP ≤ 20 mg/L，再经生化处理后，其排水完全达到国家污水综合排放一级标准。

案例照片：



图 3-10 草甘膦母液处理项目的膜处理装置



图 3-11 磷酸氢二钠回收装置及产品

（五）案例 5：洗消废水膜浓缩净化一体化移动式装备

工程规模：10 m³/天

处理性能：高效反应沉淀反应器中 SS 去除率 $\geq 85\%$ ，硬度去除率 70%；超滤单元中 SS 去除率 $\geq 90\%$ ；多级反渗透浓缩单元中重金属及放射性核素去除率 $\geq 98\%$ 。重金属洗消废水经该移动式一体化设备处理后，出水符合国家《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）一级要求。也符合国家《城市污水再利用 工业用水水质》（GB/T 19923-2005）等标准要求。

案例照片：



图 3-12 主工艺设备照片

五、结论与展望

（一）结论

自实施工业强省战略以来，四川省工业发展步履坚实,成效显著。自 2006 年，全省规模以上工业增加值排名稳列全国前十。省委十一届三次全会提出，加快传统产业转型升级和优化调整，积极布局发展战略性新兴产业，以期从源头上遏制工业扩张造成的工业污染物排放总量增加，有力推动四川工业向高质量发展迈进。同时，四川大学、西南科技大学、中广核达胜科技、成都美富特环保产业集团等机构、公司致力于解决工业废水处理难题，诸多新兴技术及多种工艺组合已在现有重污染工业废水处理行业进行应用示范。其中，以高级氧化为核心的技术尤受重视，如以电子束辐照激发水分子产生羟基自由基的电子束深度处理技术、基于微米铁基材料的三级梯度氧化工艺、以臭氧催化氧化为基础的“零排放”处理技术、以高温催化氧化为核心的有机磷资源化技术等。其次，特种膜工艺在典型工业废水的处理中崭露头角，如以 DTRO 膜技术为依托的制药废水中水回用零排放工艺，可在青霉素、红霉素等抗生素制药废水处理上进行应用与推广。“强强联合”的多级膜处理工艺为重金属及放射性工业废水的深度处理提

供了新的思路。此外，工业园区存在水质高频波动的问题，海天水务集团强化脱氮除磷组合工艺，将水解酸化、泥膜法、纯膜法及物理吸附过滤原理结合在一起，实现了在高进水负荷、冲击进水负荷的情况下出水水质达标排放。

（二）展望

针对农药、制药、中间体、焦化、化学原料药等行业的高毒性、高浓度、高色度工业废水，需要研发和推广更加经济高效高级氧化预处理和深度处理技术，在催化材料、配套工艺装备方面加大集成创新，为工业废水的稳定达标排放提供经济高效的处理技术。配合特种高效膜和新型高级氧化工艺，为高浓度工业废水近零排放提供成套工艺技术包。高浓度工业废水中往往含有大量有价值物质，需要开发新型的资源回收处理技术，提高工业废水的资源化利用效率。总之，在确保达标排放的基础上，最大限度的回收废水中的贵金属、磷等资源，实现工业废水的“近零排放”和有价值物质资源化利用。

对于低碳氮比工业废水，传统的 SBR 工艺、多级硝化反硝化、蒸氨（汽提）、吹脱、膜分离法等脱氮技术存在成本高和效率低的问题，需要重点研发能够工程化稳定运行的厌氧氨氧化工艺，推进我省高氨氮工业废水稳定达标处理与行业绿色发展。

第四章 四川省农村污水处理技术

一、全省农村污水治理现状

（一）农村生活污水水质特征与治理现状

1. 农村生活污水水质特征

农村生活污水的来源与农户生活用水习惯息息相关，主要包括冲厕、洗涤、洗浴和厨房等环节的排水，有以下几方面的特点：

（1）单户污水量少，排放分散。相比城镇而言，农村居民人均用水量较少，因此单户污水产生量也较少。而且农村地区居住较为分散，敷设管网的难度相对较大，不具备完善的污水收集系统，污水排放比较分散。

（2）水质水量波动大。农户生活习惯相似，一般在早上、中午和下午出现排水高峰，夜间排水量极少甚至断流，呈现不连续的状态；在节假日随着返乡人员增加，排放量显著增加，水量变化明显，水质也随之波动较大。

（3）水质总体相差不大，基本不含重金属和有毒有害物质，含有一定量的氮磷，可生化性强。

受经济发展程度、生活习惯以及季节的影响，农村生活污水不同时段的水质差异较大，综合排放后的具体水质情况宜根据实地调查结果确定。在没有调查数据的地区，可参考表4-1水质取值：

表 4-1 四川省农村生活污水水质范围参考表

pH	SS (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
6.5~8.0	150~200	150~350	100~150	25~60	20~50	2.0~6.0

数据来源：《四川省农村生活污水治理业务知识参考读本》

另外，根据四川省生态环境科学研究院对调研的260多个水质监测数据样本分析可知，四川省农村生活污水处理设施进水COD_{Cr}为

22~751 mg/L（平均值258.79 mg/L），氨氮6~117 mg/L（平均值30.36 mg/L），总磷1.1~12.8 mg/L（平均值3.82 mg/L）。由于污水来源的不同，部分设施接入了养殖废水和农产品加工废水等，部分设施采取雨污合流的排水体制，进水浓度变化范围较大。

2. 农村污水治理现状

通过近年来对农村生活污水治理工作的开展，四川省各地已建设众多农村生活污水处理设施。截止 2018 年底，四川省共有 4000 多个行政村具备生活污水处理能力，统计到的农村生活污水处理设施数量为 2578 座，设计处理能力共计约 35 万 m³/d。其中处理规模小于 20 m³/d 的占比 26.92%；20~100 m³/d 的占比 39.76%；100~500 m³/d 的占比 24.13%；大于 500 m³/d 的占比 5.55%；另有 94 座设施处理规模不明（图 4-1）。

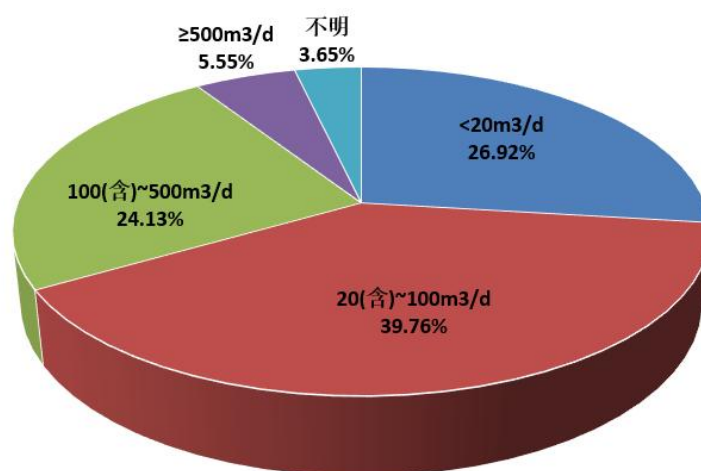


图 4-1 四川省农村生活污水处理设施规模分布情况（2018 年）

近三年来，全省农村污水治理工作在各级政府的大力支持下获得强力推进，根据 2021 年 3 月各市（州）的最新数据，全省农村生活污水处理治理情况见表 4-2。

表 4-2 2020 年全省农村生活污水治理现状

序号	市州	总设施	已建设施（个）	在建设施（个）
1	成都市	962	933	29
2	自贡市	155	154	1
3	攀枝花市	51	49	2
4	泸州市	302	286	16
5	德阳市	86	71	15
6	绵阳市	82	74	8
7	广元市	91	84	7
8	遂宁市	151	120	31
9	内江市	207	196	11
10	乐山市	221	220	1
11	南充市	541	528	13
12	宜宾市	488	469	19
13	广安市	598	589	9
14	达州市	370	283	87
15	巴中市	217	188	29
16	雅安市	267	229	38
17	眉山市	343	341	2
18	资阳市	282	282	0
19	阿坝州	204	189	15
20	甘孜州	1614	1609	5
21	凉山州	239	226	13
四川省		7471	7120	351

由表 4-2 分析可知，近三年四川省农村生活污水处理治理获得快速发展。截至 2021 年 3 月，四川省已建有动力农村生活污水处理设施数量达到 7120 座，较 2018 年增加了 176%；设计处理能力为 105.33 万吨/日，实际农村生活污水处理量为 68.92 万吨/日，运行负荷为 65.43%。其中，全省 21 个市州中有 9 个市州的设施运行负荷低于 0.6，导致建设成本和运维经费偏高。

（二）农村养殖污水水质特征与污染治理现状

1. 养殖污水水质特征

畜禽养殖业近年来其呈现规模化、集约化的发展趋势。畜牧业的大力发展导致大量养殖废水的产生，对环境造成污染。其中，排放量大和污染物浓度高是养殖污水最明显的两个特征。

（1）排放量大。畜禽粪便已经成为与工业废水、生活污水并列的三大污染源之一。四川省是全国生猪产销大省，生猪养殖粪污带来的环境污染问题不容小觑。据 2017 年《四川省畜禽养殖污染防治技术指南（试行）》（川农业函〔2017〕647 号）文件，养殖废水排放量受畜种、清粪方式、饲养管理工艺、气候、季节等因素影响，其日排泄量可参考表 4-3。

表 4-3 不同畜禽粪污日排泄量

项目	单位	牛	猪	鸡	鸭
粪	kg/只·天	20	2	0.12	0.13
	kg/只·年	7300	398	25.2	27.3
尿	kg/只·天	10	3.3	—	—
	kg/只·年	3650	656.7	—	—
饲养周期	天	365	199	210	210

数据来源：《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ 497-2009）

（2）污染物浓度高。猪场废水具有高 COD_{Cr}、高 BOD、高 SS 和高氨氮等特点，水质受粪便收集方式、气候和季节变化等影响较大。如采用干清粪的养殖场废水比水冲粪养殖场废水中的 COD_{Cr} 浓度平均值约低一个数量级，其他指标也相差 3~6 倍。根据中国科学院成都生物研究所对四川地区猪场废水/沼液水质调查结果，不同猪场间氨氮浓度在 53.6~1881.9mg/L 间波动，COD_{Cr} 在 1290.4~6401.6mg/L 间波动，总磷浓度在 6.9~219mg/L 间波动（见表 4-4）。

表 4-4 川渝地区养猪场废水水质调研（单位：mg/L）

水样来源	氨氮	总氮	COD _{Cr}	TP
四川某小型养猪场 ¹	2420	2830	2750	27.4
四川某小型养猪场 ²	2423	2423	2888	58.0
四川某大型养猪场	944	1371	4846	219
四川某小型养猪场	53.6	218.1	1290.4	7.4
四川某中型养猪场	1881.9	2084.2	6401.6	19.6
四川某大型养猪场	740.9	/	2077.2	72.2

2. 农村养殖粪污排放情况

根据《四川省第二次全国污染源普查公报》公布数据，该次纳入普查的畜禽养殖区县为183个，入户调查的畜禽规模养殖场共14911个，畜禽养殖业水污染物排放量为：化学需氧量40.76万吨，氨氮0.39万吨，总氮2.70万端，总磷0.50万吨。其中，畜禽规模养殖场水污染物排放量为：化学需氧量14.86万吨，氨氮0.15万吨，总氮1.19万端，总磷0.19万吨。

3. 农村养殖粪污治理现状

“十三五”期间，四川省以畜禽养殖标准化建设、实施畜禽粪污资源化利用整县推进项目等为重点，大力推进畜禽废弃物资源化利用工作。据《川牛羊（畜禽饲草）产业振兴工作推进方案》文件，截止2019年，全省新改扩建畜禽标准化养殖场1100个以上，其中部省级标准化养殖场202个，部省级畜禽标准化养殖场总数达到1401个。同时，四川省大力推广种养循环等模式，培育了60个种养循环星级园区，支持85个县开展畜禽粪污资源化利用，“以种定养、以养定种、种养结合、绿色发展”的现代畜牧业发展理念和运行机制已经形成，畜禽粪污综合利用率达到75%，规模养殖场粪污处理设施装备配套率达到95%，大型规模场粪污处理设施装备配套率达到100%，畜禽粪污基本实现资源化利用。

二、全省农村污水处理技术水平与需求

（一）污染物排放标准与治污目标

“十三五”期间，四川省首次针对农村地区制定生活污水处理设施排放标准，即《农村生活污水处理设施水污染物排放标准（DB 51/2626-2019）》，自2020年1月1日起执行。在此之前，四川省农村生活污水排放没有相应的标准，处理出水排放主要参照《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）和《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）执行。

根据农村生活污水的来源，《农村生活污水处理设施水污染物排放标准（DB 51/2626-2019）》选取了pH、化学需氧量、悬浮物、氨氮、总氮、总磷和动植物油7项控制指标，其中动植物油仅针对含提供餐饮服务农村旅游项目的设施。

同时，《农村生活污水处理设施水污染物排放标准（DB 51/2626-2019）》规定了设计处理规模小于500m³/d(不含500m³/d)的农村生活污水处理设施水污染物排放管理限制。根据出水排放水体的环境功能级别和处理设施设计规模，将农村生活污水处理设施水污染物的排放级别分为一级标准、二级标准和三级标准，具体分级情况与污染物排放限值如表4-5、4-6所示。

表 4-5 排放标准分级表

设计处理规模	出水直接排入的水域功能类别		
	II、III类水域	IV、V类水域	其他功能未明确水域
100 m ³ /d（含）~ 500 m ³ /d（不含）	一级标准	二级标准	二级标准
20 m ³ /d（含）~ 100 m ³ /d（不含）	一级标准	二级标准	三级标准
<20 m ³ /d	三级标准		

表 4-6 水污染物最高允许排放浓度（单位：mg/L）

序号	污染物或项目名称	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH值（无量纲）	6~9		
2	化学需氧量（COD _{Cr} ）	60	80	100
3	悬浮物（SS）	20	30	40
4	氨氮（以 N 计）	8（15） ^a	15	25
5	总氮（以 N 计）	20	-	-
6	总磷（以 P 计）	1.5	3	4
7	动植物油 ^b	3	5	10

注：括号外的数值为水温>12℃的控制指标，括号内的数值为水温≤12℃的控制指标。动植物油指标仅针对含提供餐饮服务的农村旅游项目生活污水的处理设施执行。

在此基础上，2020 年 3 月 26 日八个部门联合印发了《四川省农村生活污水治理三年推进方案》，明确到 2021 年、2022 年底，四川省内行政村生活污水得到有效治理的比例分别达到 60%和 65%以上。在治理模式上，因地制宜提出按照“就近纳管”“集中收治”“散户利用”的收集治理模式，明确了农村生活污水治理设施建设和资源化利用相结合的有效管控手段，特别提出高寒地区以卫生或无害化厕所改造为重点推进生活污水治理。

为加强农村生活污水处理设施运行维护管理，《四川省农村生活污水处理设施运行维护管理办法（征求意见稿）》提出坚持以“政府主导、群众参与、规划引领、建管并重、规范管理、注重实效”为原则，以“设施完好、运行稳定、水质达标、效益持续”为总体目标。并在运维管理、监督考核、资金保障等方面提出了相应的要求。

当前，畜禽养殖污水处理主要执行《畜禽养殖业污染物排放标准(GB 18596-2001)》。此外，《农业农村部办公厅 生态环境部办公厅关于进一步明确畜禽粪污还田利用要求强化养殖污染监管的通知（农办牧〔2020〕23 号）》，鼓励畜禽粪污还田利用，并明确了还田利用标

准规范。

（二）农村生活污水处理技术

目前，四川省已建农村生活污水处理设施选用的工艺各异，2018年调研结果显示共有 30 多种不同的工艺类型，一般都是不同处理技术的组合，主要包括活性污泥法（A/O、A²/O、SBR 等）、生物膜法（生物滤池、生物转盘、生物接触氧化法、生物流化床等）、膜生物反应器法、土地处理系统（人工快渗、人工湿地等），各工艺类型的统计结果见表 4-7。

表 4-7 2018 年四川省农村生活污水处理工艺统计情况

序号	工艺类型	设施数量 (座)	数量占比 (%)	合计规模 (万 m ³ /d)	规模占比 (%)
1	厌氧+人工湿地	368	14.27	1.89	5.40
2	A/O	436	16.91	4.12	11.77
3	A/O+人工湿地	325	12.61	3.12	8.91
4	A/O+MBR	87	3.37	0.94	2.69
5	A ² /O	316	12.26	4.72	13.49
6	A ² /O+人工湿地	50	1.94	0.42	1.20
7	A ² /O+MBR	173	6.71	1.76	5.03
8	A ² /O+MBBR	132	5.12	1.55	4.43
9	MBR	244	9.46	2.95	8.43
10	生物滤池	19	0.74	1.21	3.46
11	生物转盘	61	2.37	3.04	8.69
12	SBR/CASS	81	3.14	2.65	7.57
13	其它	286	11.09	6.63	18.94

由表 4-7 分析可知，目前四川省农村生活污水处理设施的主流工艺多选用 A/O、A²/O 等传统工艺，以保证脱氮除磷效果。在一些重点水环境区域，会增加人工湿地、MBR、MBBR 等技术工艺强化污染物的净化效率，以达到污水排放标准。

（三）农村养殖粪污处理技术

畜禽养殖粪污的处理主要包括无害化处理与资源化利用两种方式。无害化处理包括还田处理、工业化处理、自然处理技术等。还田

处理技术是畜禽养殖污水处理传统而有效的方法，主要是将畜禽粪便污水还田作为肥料，而不将其排往外界环境，达到污染物的零排放。工业化处理技术包括厌氧处理，如水压式沼气池、完全混合式厌氧反应器（CSTR）、厌氧接触工艺（AC）、厌氧折流板反应器（ABR）、升流式厌氧污泥床（UASB）等；厌氧生物膜法包括厌氧生物滤池（AF）、厌氧流化床（AFBR）和厌氧生物转盘等；好氧处理（如 A/O 工艺、A²/O 工艺、SBR 工艺等）、厌氧-好氧组合处理系统以及异位发酵床等。自然处理模式主要采用氧化塘、土地处理系统或人工湿地等自然处理系统对养殖场污水进行处理。畜禽粪污的资源化利用方式包括种养循环、肥料化利用以及能源化利用等方式。

（四）农村污水处理存在问题及需求分析

1. 规划设计指导性不强：已完成的县域农村生活污水治理专项规划与当地乡镇总体规划、产业布局和区域发展衔接不紧密，大多以集中或相对集中污水处理设施建设为重点规划方向，未注重资源化利用。

2. 工艺模式选择适应性不强：已建农村生活污水处理设施大多照搬城镇模式，选用水解酸化、多级生化、MBR 等“高大上”处理工艺。易施工管理、运维成本低以及处理效果好的工艺技术应是今后四川省农村污水处理发展的重点。

3. 设计规模偏大：部分乡村未充分调研当地实际排水现状、农户生活习惯和人口流动等。实际处理负荷与设计处理规模相差较大，污水处理工艺运行负荷低，运行成本高。因此，四川省农村污水处理设施的设计应强化对当地实际情况的调研，根据实际水量水质针对性展开设计与运营。

4. 污水处理建管脱节：如 5 个县农村生活污水处理设施平均配套管网长度仅为 1.19 公里，支管和接户管未同步规划建设或配套不足，造成处理设施因水量小、负荷低而无法正常运转、闲置“晒太阳”。一方面，对于新建污水处理设施，应充分结合当地实际情况；另一方面，针对已建设的污水处理设施，应通过完善管网建设与优化运行污水处理设施，充分发挥污水处理设施的处理效能。

5. 污水资源化利用水平低：一是整合打包项目实施效率低；二是资源化利用配套设施不完善；三是资源化利用方式原始粗放，无法精准指导各地实现有效利用。因此，目前四川省农村生活污水处理亟需发展适合农村地区污水资源化、碳氮磷等有用元素回收利用的工艺技术。

6. 污水处理设施运行维护保障较差：一是正常运转率低。全省丘陵山区仅 52% 的农村生活污水治理设施运转正常；二是运行维护管理体系不健全；大部分由村委会或村民自行运维，第三方专业技术单位参与度不高；三是运维资金保障难。目前，《四川省农村生活污水处理设施运行维护管理办法（征求意见稿）》已通过社会意见征求步骤，该办法正式发布实施后有望为农村污水处理设施的运行维护与监督管理提供有效参考。

7. 粪污还田标准要求与过程监管有待加强：畜禽粪污的处理应根据排放去向或利用方式的不同执行相应的标准规范，如《畜禽粪便无害化处理技术规范》（GB/T 36195）、《畜禽粪便还田技术规范》（GB/T 25246）、《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB 18596）以及《农田灌溉水质标准》（GB 5084）等。目前四川省粪污还田利用过程中对于相关标准要求考虑不足，执行不到位，可能会对地下水等环境造成

污染，政府部门应强化粪污还田利用的过程监管；养殖粪污中含有较高浓度抗生素、抗生素抗性基因，在粪污资源化利用中，其污染也越来越受到关注。

三、全省农村污水处理技术原理介绍

（一）农村污水处理常用技术

1. 三格式化粪池法

技术原理：采用厌氧发酵技术，在一定温度和厌氧条件下，通过微生物分解代谢达到净化处理生活污水的目的。

适用范围：适用于水冲厕所粪便与尿液的预处理；对于规模小的分散式农村生活污水，可经化粪池简单处理后资源化利用（浇灌菜地等）。

技术特点：厌氧运行，不消耗动力。适用于水冲式厕所产生的高浓度粪便污水及家庭圈养禽畜产生的粪尿污水的预处理；处理效果有限，出水不宜直接排入水体。

2. 沼气发酵池法（厌氧发酵法）

技术原理：利用沉淀和厌氧微生物发酵原理的污水初级处理设施，通过化粪池的沉淀作用可去除大部分悬浮物，通过微生物的厌氧发酵作用可降解部分有机物。

适用范围：适用于年平均气温较高（年平均气温高于 10℃）的农村地区的人畜粪便及冲厕污水（黑水）的预处理。对于规模小的分散式农村污水，可经沼气池简单处理后资源化利用（浇灌菜地等）。

技术特点：沼气池容积可根据家庭人口和饲养畜禽数量确定。作为黑水预处理技术，处理出水仍需进一步处理，直至达标排放。

3. 厌氧滤池法

技术原理：通过在厌氧池内填充生物填料强化厌氧处理效果，厌氧微生物以生物膜的形式生长在滤料表面，污水通过淹没的滤料床，在生物膜的吸附、代谢和滤料的截留作用下，污水中有机污染物得以分解和去除。

适用范围：适用于化粪池或沼气池处理后，人工湿地或土地处理等生态处理前。

技术特点：投资省、施工简单、无动力运行、维护简便；滤料费用高、易堵塞；对氮磷基本无去除效果，出水水质较差，须接后续处理单元进一步处理后排放。

4. 生物接触氧化法

技术原理：在池体中填充填料，填料上形成含有微生物群落的生物膜，污水浸没全部填料，通过曝气充氧，使氧气、污水和填料三相充分接触，可有效去除悬浮物、有机物、氨氮和总氮等污染物。

适用范围：适用于有一定经济承受能力、处理规模相对较大的农村污水处理设施。

技术特点：比表面积大、污泥浓度高、污泥龄长、氧利用率高、节省动力消耗、污泥产量少、运行费用低、设备易操作、易维修等工艺优点。填料上生物膜随负荷增加而增加，过高易发生堵塞，填料选择不当会影响使用。

5. 缺氧-好氧活性污泥法（A/O）

技术原理：污水经连续缺氧、好氧运行条件下，去除水中 COD_{Cr} （化学需氧量）、SS（固体悬浮物）、TN（总氮）、 $\text{NH}_3\text{-N}$ （氨氮）等污染物。

适用范围：适用于对污水脱氮有一定要求的农村地区污水处理。

技术特点：占地面积小，处理效率高，容积负荷、耐负荷冲击能力高，污泥产量少，出水水质稳定。工艺处理效果受较多因素影响（如DO、循环比、污泥龄、水力停留时间等），同时对磷去处效率较低。

6. 厌氧-缺氧-好氧活性污泥法（A²/O）

技术原理：通过厌氧区、缺氧区和好氧区的各种组合以及不同的污泥回流方式来去除水中的有机污染物和氮、磷等污染物质。厌氧池的功能主要是释放磷，同时对部分有机物进行氨化；缺氧池的功能主要是通过反硝化脱氮；好氧池的功能主要是去除有机物、硝化和吸收磷。

适用范围：适用于处理规模较大、电力供应足、具有一定技术管理条件、要求脱氮除磷且出水水质要求较高的农村地区。

技术特点：工艺设计方法成熟，污染物去除效率高，运行稳定，有较好的耐冲击负荷能力；能够同时去除有机物和脱氮除磷；污泥沉降性能好；出水水质的影响因素较多；生物脱氮效果受内回流比的影响；污泥内回流量大，能耗较高。

7. 序批式活性污泥工艺系统（SBR）

技术原理：集均化、初沉、生物降解、二沉等功能于一池，无污泥回流系统。可以从时间上设定曝气、缺氧和厌氧的不同状态，实现脱氮除磷的目的。

适用范围：适用于土地相对紧张、出水水质要求较高、处理量较大的农村地区。

技术特点：操作灵活，耐冲击负荷，可防止污泥膨胀，运行管理自动化，可脱氮除磷，易实现推流式流态，出水水质好，基建投资小。对自控系统的要求较高；间歇排水，池容的利用率不理想。

8. 移动床生物膜反应器技术 (MBBR)

技术原理：传统生物膜法的原理，结合活性污泥法的优势，向反应器中投加一定数量的悬浮载体填料，充分发挥附着相和悬浮相生物的优势性，硝化反应和反硝化反应同时存在，提高处理效果。

适用范围：适于较小规模、有脱氮要求的农村生活污水处理。

技术特点：容积负荷高，紧凑省地；耐冲击负荷强，出水水质好，运行稳定；池容利用率高，使用寿命长；投资较高，悬浮填料易流失或堵塞。

9. 人工湿地处理技术

技术原理：通过人工设计、模仿天然湿地生态自净效应改造而成的半生态型污水处理系统，主要由土壤基质、水生植物和微生物三部分组成，污水在该系统内沿一定方向流动过程中，在土壤-植物-微生物的联合作用下得到净化。

适用范围：适用于资金短缺、土地面积相对丰富、最高地下水位大于 1.0 m 的农村地区，可应用于农村庭院式污水处理系统、小型分散污水处理系统。

技术特点：处理效果比较好，投资费用省，无能耗，运行费用很低，维护管理简便，有一定的景观效益；污染物负荷低，占地面积较大；处理效果受季节影响，有蚊蝇孳生；随运行时间的增长处理能力逐渐下降，需定期维护以防堵塞。

10. 土地快速渗滤技术

技术原理：将污水有控制地投配到具有良好渗透性能的土地渗滤床，在污水向下渗滤的过程中，通过过滤、沉淀、氧化、还原以及生物氧化、硝化、反硝化等一系列作用，使污水得到净化。

适用范围：适用于土地资源相对丰富的农村地区。

技术特点：处理效果较好，投资费用省，无能耗，运行费用很低，维护管理简便；污染负荷低，占地面积大，设计不当容易堵塞，可能污染地下水。

11. 畜禽粪污种养循环技术

技术原理：根据土地承载能力确定畜禽养殖规模，促使种养业在布局上相协调，在规模上相匹配。通过堆肥、厌氧发酵、多级沉淀等工艺技术，将畜禽粪便处理后还田利用，实现粮、蔬、茶、果等农作物、经济作物及林木的种植与畜禽养殖的有机结合，达到种养循环利用的目的。

适用范围：适用于周围配套有一定面积农田的畜禽养殖场。

技术特点：粪污收集、处理、贮存设施建设成本低，处理利用费用也较低；粪便、粪水和污水全量收集，养分利用率高。

12. 畜禽粪污肥料化利用技术

技术原理：养殖场经过粪便收集、干燥、发酵、添加、制粒、灌装等过程生产专用有机肥。

适用范围：适用于只有固体粪便、无污水产生的家禽养殖场或羊场等。

技术特点：好氧发酵温度高，粪便无害化处理较彻底，发酵周期短，堆肥处理提高粪便的附加值；好氧堆肥过程易产生大量臭气。

13. 畜禽粪污能源化利用技术

技术原理：（含沼渣、沼液、沼气）以专业生产可再生能源为主要目的，依托专门的畜禽粪污处理企业，收集周边养殖场粪便和粪水，投资建设大型沼气工程，进行厌氧发酵，沼气发电上网或提纯生物天

然气，沼渣生产有机肥农田利用，沼液农田利用或深度处理达标排放。

适用范围：适用于大型规模养殖场或养殖密集区，具备沼气发电上网或生物天然气进入管网条件，需要地方政府配套政策予以保障。

技术特点：对养殖场的粪便和粪水集中统一处理，减少小规模养殖场粪污处理设施的投资；专业化运行，能源化利用效率高。但一次性投资高；能源产品利用难度大；沼液产生量大且集中，处理成本较高，需配套后续处理利用工艺。

14. 异位发酵床技术

技术原理：在养殖圈舍外或集中处理中心建设若干发酵槽，在发酵槽中按一定比例铺置垫料、喷淋畜禽粪污并进行翻抛混合，通过补充微生物制剂发酵使得畜禽粪污和垫料混合物得到降解的技术。

适用范围：适用于异位发酵床处理的畜禽粪污浓度一般不低于15%，最适用于刮粪板干清粪工艺处理模式。

技术特点：可多次导入粪污循环进行发酵，发酵产生的高温将水分蒸发掉，粪便大部分被微生物分解，转化变成有机肥，最终实现养殖场粪污不对外排放；存在垫料成本较高、操作不当易死床以及重金属积累等问题。

15. 畜禽养殖废水达标排放技术

技术原理：畜禽养殖废水进行厌氧发酵+好氧处理等组合工艺进行深度处理，通过系列物理化学和微生物作用后，废水达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001)或地方标准后直接排放。

适用范围：适用于养殖场周围没有配套农田的规模化养殖场。

技术特点：废水深度处理后，可实现达标排放；不需要建设大型粪水贮存池，可减少粪污贮存设施的用地，但废水处理成本高。

（二）高寒高海拔地区农村污水治理技术

针对高寒高海拔地区自然条件恶劣、地广人稀、污水量小、环保设施建设滞后、地方财力薄弱等现状，因地制宜探索低成本、易维护、高效率、抗冲击的治理技术，成为该地区农村生活污水治理的必然选择。

1. 卫生旱厕+灰水收集池+资源化利用

技术原理：

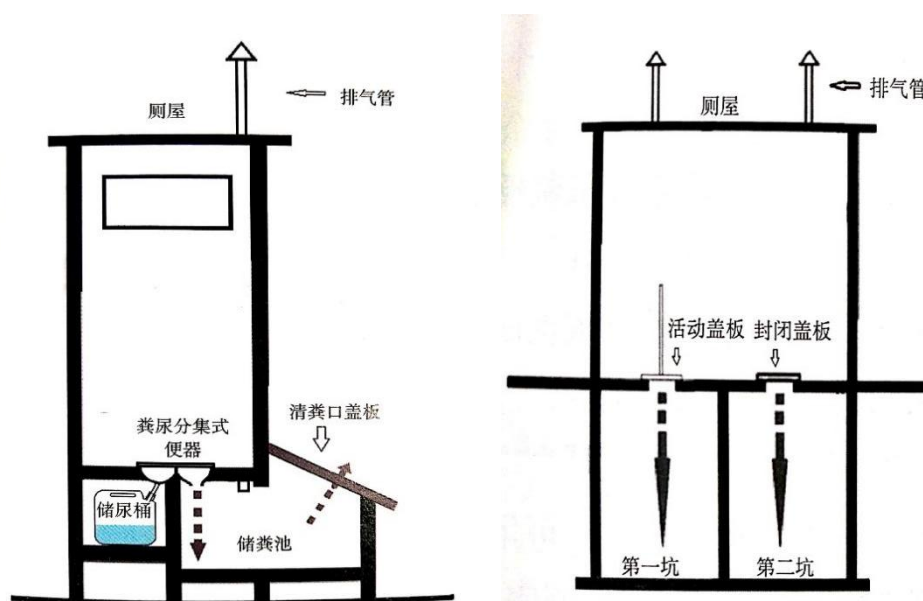


图 4-2 卫生旱厕示意图（左：外部构造图；右：内部构造图）

适用范围：主要适用于使用旱厕、经济条件较差、农户分布分散且周边有消纳土地的偏远农村地区，多应用于高寒高海拔的牧区、高半山地带、干旱缺水地区的农村单户或联户。

技术特点：主要有粪尿分集式厕所和双坑交替式厕所两类，对粪尿进行处置。灰水单独收集至灰水收集池（桶）资源化利用。

2. 三格/四格式化粪池+资源化利用

技术原理：

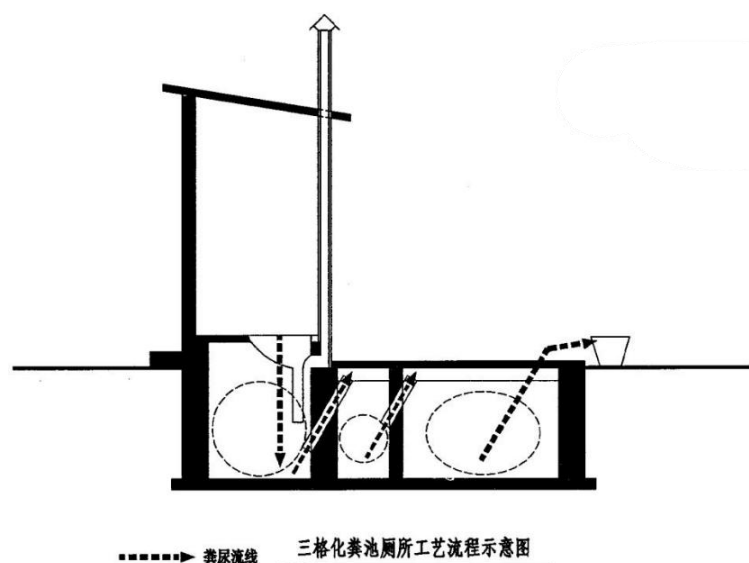


图 4-3 三格化粪池工艺流程图

适用范围：主要用于周边有大量土地可消纳治理后污水的单户或联户的分散式污水治理，如偏远山区、干旱缺水和高寒地区等，高寒地区化粪池应深埋或增加防冻保温措施。

技术特点：结构简单、管护方便，无害化效果好，但污染物处理效果一般，仅能降解部分有机物，出水不宜直接排入水体，须进一步处理或用作农家肥资源化利用。

3. 预处理+人工湿地

技术原理：

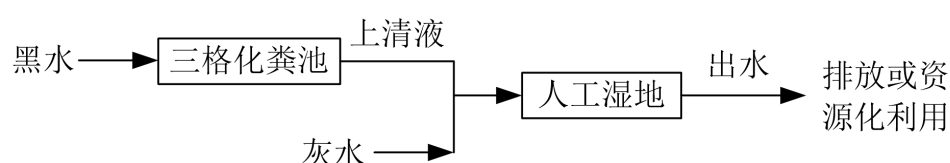


图 4-4 “预处理+人工湿地”工艺流程图

适用范围：适用于化粪池或沼气池处理后，人工湿地或土地处理等生态处理前。适用于农村庭院及多户连片的中小规模污水处理系统，可用于农户已有化粪池出水的后续处理，适宜在高寒高海拔地区有闲置土地、出水要求不高的地区推广。

技术特点：基建投资少，基本不消耗动力，管理简单；黑水首先进入化粪池进行预处理，经过一定的停留时间后，化粪池第三格上清液和灰水一起自流进入人工湿地，在土壤-植物-微生物的协同作用下进一步净化，经处理达标后出水外排或资源化利用。

4. 预处理+厌氧生物膜法/生物滤池+（人工湿地）

技术原理：



图 4-5 “预处理+厌氧生物膜法/生物滤池+（人工湿地）” 工艺流程图

适用范围：用于各种地形条件、有较大面积闲置土地以及出水水质要求一般的地区。

技术特点：该技术组合投资费用较省，无能耗，维护管理简便。厌氧生物池通常位于化粪池后，建为地下式或半地下式，其中反应区装填填料或滤料，以强化厌氧处理效果，并兼具厌氧反应和沉淀双重功能。

5. 预处理+生物接触氧化+（人工湿地）

技术原理：

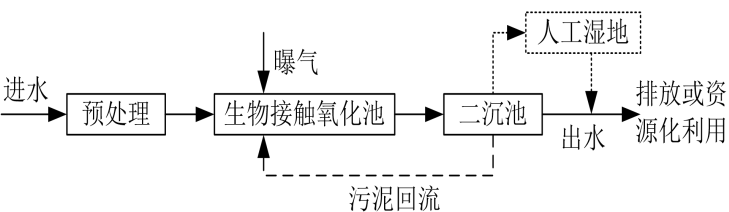


图 4-6 “预处理+生物接触氧化+（人工湿地）” 工艺流程图

适用范围：该工艺适用于经济条件较好、用地紧张且出水要求较高的农村地区，有一定的脱氮除磷效果，常用于多户连片或集中污水处理项目。

技术特点：除磷时组合除磷工艺。当采用多级接触氧化工艺时，第一级生物接触氧化池的水力停留时间应占总水力停留时间的55%~60%，处理效果稳定高效。

6. 预处理+MBBR+（人工湿地）

技术原理：

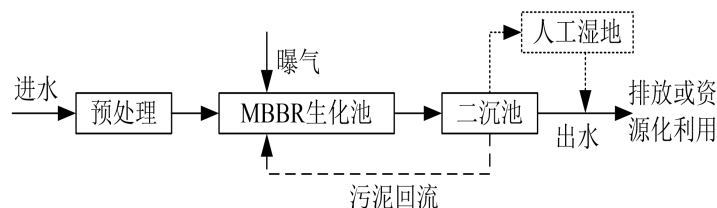


图 4-7 “预处理+MBBR+（人工湿地）” 工艺流程图

适用范围：该工艺应用范围广，既可去除有机物也可用于脱氮除磷，可用于新建污水处理站，也可用于现有污水设施的提标改造。

技术特点：具有投资节省、实施周期短的特点；在传统活性污泥法的基础上融合了 MBBR 技术的优点，在高寒高寒高海拔地区应用具有较大优势。

（三）农村污水处理创新技术

1. 短程硝化反硝化技术

技术原理：短程硝化反硝化是将硝化过程停留在亚硝氮阶段，阻止由亚硝氮到硝氮转化，然后亚硝氮直接作为电子受体，有机物作为电子供体，发生反硝化反应。

适用范围：该技术适于农村生活污水、养殖污水/沼液等低碳氮比污水的处理。

技术特点：好氧段节省 25%的曝气量，缺氧段节省 40%碳源；可减少碱度的投加量；缩短工艺的反应时间，提高脱氮效率，降低污泥产率。短程硝化反硝化易受许多因素的影响，包括 C/N 比、游离氨（FA）、游离亚硝酸（FNA）、DO、pH 等。

2. 污水微藻处理技术

技术原理：微藻可通过光合作用利用 CO_2 作为碳源、利用污水中的氮磷等元素实现自养生长。同时，部分具有较强异养和混养生长能力的微藻亦可利用污水中的有机化合物、氮和磷等元素合成自身物质，从而达到净化水质的效果。

适用范围：适于农村生活污水、生活污水处理尾水/养殖污水处理尾水的深度净化过程。

技术特点：处理成本低，可实现 CO_2 的固定与氮磷元素的回收及资源化利用；污水藻类处理系统占地面积大、处理效果不稳定。

3. 沼液膜浓缩技术

技术原理：膜浓缩的原理是在不同渗透压下，利用物料有效成分与液体的分子量的不同实现定向的分离，达到浓缩养分的目的。

适用范围：该技术适于养殖污水/沼液等含高浓度氮磷污水的处理。

技术特点：利用纳滤（NF），反渗透膜（RO）截留污水中氮、钾等养分，获得高质量透过液，实现养分回收；膜污染严重，需要定期清洗，膜处理的成本和能耗较高。

四、全省农村污水处理技术典型应用案例

（一）案例 1：三格式化粪池+资源化利用

案例简介：本案例摘自《四川省农村生活污水治理业务知识参考读本》，案例位于成都市崇州市，农户利用改厕成果，采用“三格式化粪池+资源化利用”的模式处理农村生活污水，化粪池采用预制玻璃钢三格式化粪池。

工程规模： $<1 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

工艺流程：

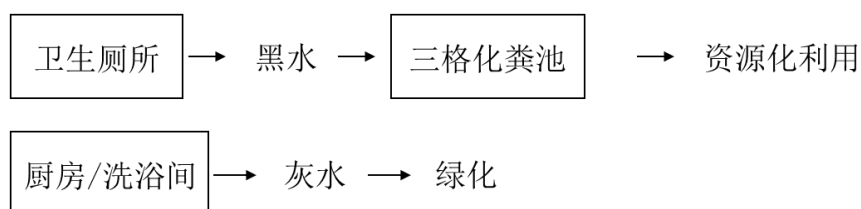


图 4-8 “三格式化粪池+资源化利用”工艺流程图

处理性能：处理出水用于自家小菜园浇灌。

案例照片：



图 4-9 “三格式化粪池+资源化利用”现场全景图

（二）案例 2：沼气池发酵池+资源化利用

案例简介：本案例摘自《四川省农村生活污水治理业务知识参考读本》，案例位于凉山州宁南县，农户采用“沼气发酵池+资源化利用”的模式处理农村生活污水。

工程规模： $<1\text{ m}^3/\text{d}$

工艺流程：

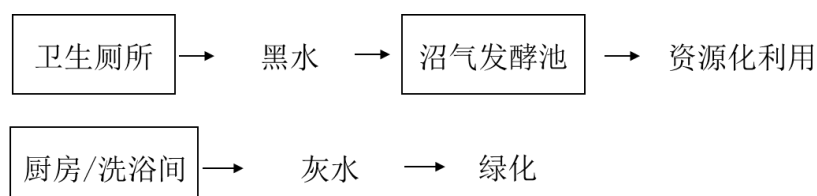


图 4-10 “三格式化粪池+资源化利用”工艺流程图

处理性能：产生的沼气可自用，沼气池出水可用于自家小菜园浇灌

灌。

案例照片：



图 4-11 “沼气池发酵池+资源化利用”工艺（左：沼气发酵池；右：黑水）

（三）案例 3：农村污水高效低成本分段治理 SBCR 工艺成套技术

案例简介：本案例位于宜宾市筠连县，采用“模压三格式化粪池+缠绕玻璃钢三格式化粪池+SBCR（序批式活性污泥法连续排放污水处理器）”组合工艺，其中 SBCR 反应器通过独特的“三相分离器”连接由内外两个同心桶组成的一个集生化、沉淀为一体的污水处理设备，实现了间隙曝气、连续进水、出水，通过调节曝停比，可在一个池内实现多层次 A/A/O 状态。

工程规模：10~16 m³/d

工艺流程：控制系统由 PIC 编程控制器、电源系统与远程通讯单元、水位检测单元、设备调节单元（抽水泵、搅动减速电机、曝气泵、回流泵启停）组成。按 20~30 分钟为一个周期，依次完成：搅动、抽水、间隙、曝气、间隙。通过电脑和手机 APP 实时观看运行状态和调节运行参数。

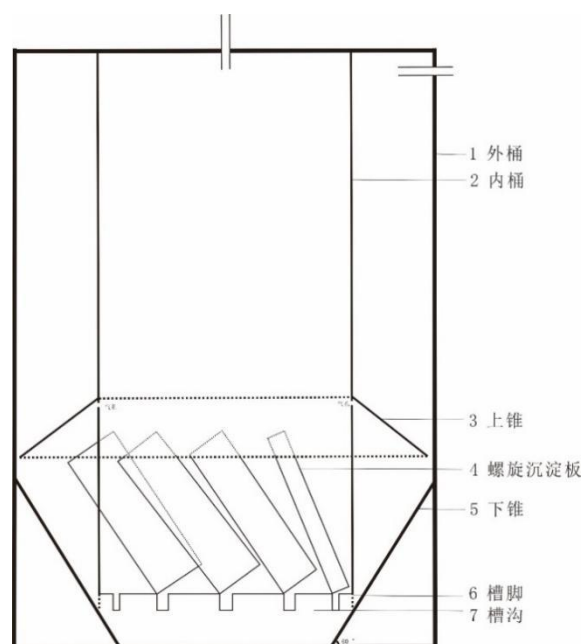


图 4-12 SBCR 构造图

处理性能：处理出水达到四川省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（DB 51/2626-2019）三级标准。

（四）案例 4：预处理+人工湿地

案例简介：本案例摘自《四川省农村生活污水治理业务知识参考读本》，案例位于眉山市丹棱县，主要服务 1 户人家，采用“预处理+人工湿地”的处理工艺，黑水进入化粪池处理后用于浇灌林地，灰水直接进入人工湿地进行生态处理。

设计规模：0.25 m³/d

工艺流程：

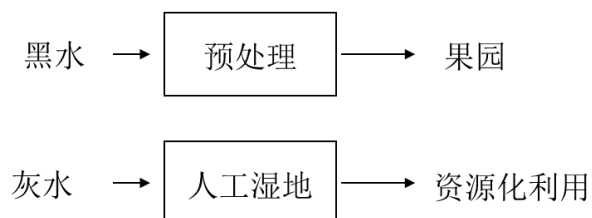


图 4-13 “三格式化粪池+资源化利用” 工艺流程图

处理性能：出水达到四川省《农村生活污水处理设施水污染物排

放标准》(DB 51/2626-2019) 三级标准。

案例照片：



图 4-14 “预处理+人工湿地”工艺全景图

(五) 案例 5：预处理+厌氧生物膜池+土地处理

案例简介：本案例摘自《四川省农村生活污水治理业务知识参考读本》，案例位于成都市蒲江县，服务周边约 2000 人，采用“预处理+厌氧生物膜池+土地处理”的处理工艺。

工程规模：300 m³/d

工艺流程：

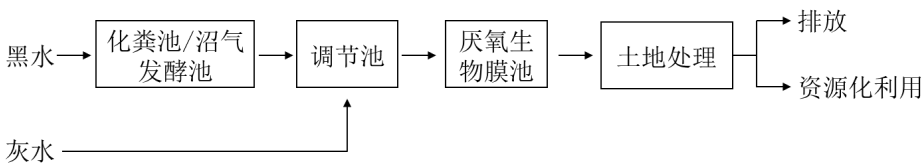


图 4-15 “三格式化粪池+资源化利用”工艺流程图

处理性能：出水稳定达到四川省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB 51/2626-2019) 一级标准后排入附近沟渠。

案例照片：



图 4-16 “预处理+人工湿地”工艺现场图（左：污水处理站；右：土地处理）

（六）案例 6：预处理+SBR

案例简介：本案例摘自《四川省农村生活污水治理业务知识参考读本》，案例位于成都市崇州市，主要服务周边约 1200 人的集中居住区农户，采用“预处理+SBR”的处理工艺。

工程规模：120 m³/d

工艺流程：

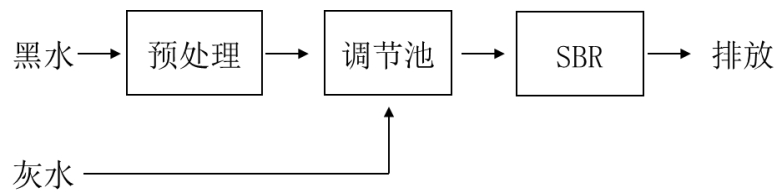


图 4-17 “三格式化粪池+资源化利用”工艺流程图

处理性能：出水达到四川省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（DB 51/2626-2019）一级标准后排入附近沟渠。

案例照片：



图 4-18 “预处理+SBR”工艺（左：工艺全景图；右：SBR 反应器）

（七）案例 7：预处理+A²/O

案例简介：本案例摘自《四川省农村生活污水处理业务知识参考读本》，案例位于绵阳市三台县，主要服务周边约 800 人的集中居住区农户，采用“预处理+A²/O”的处理工艺，利用太阳能提供部分电能，太阳能不足时切换至电网供电。

工程规模：100 m³/d

工艺流程：

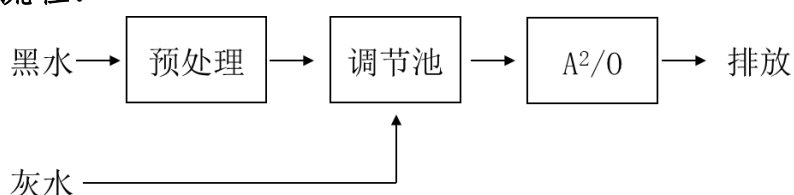


图 4-19 “三格式化粪池+资源化利用”工艺流程图

处理性能：出水达到四川省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（DB 51/2626-2019）一级标准后排入附近沟渠。

案例照片：



图 4-20 “预处理+A²/O”工艺全景图

（八）案例 8：预处理+生物接触氧化+人工湿地

案例简介：本案例摘自《四川省农村生活污水处理业务知识参考读本》，案例位于南充市嘉陵区，主要服务周边约 2400 人的集中居住区农户，采用“预处理+生物接触氧化+人工湿地”的处理工艺。

工程规模：250 m³/d

工艺流程：

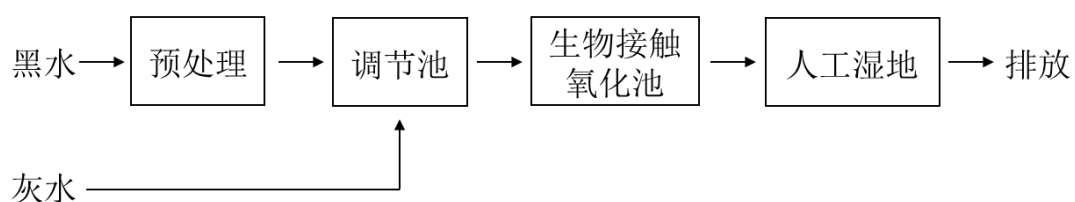


图 4-21 “三格式化粪池+资源化利用” 工艺流程图

处理性能：出水达到四川省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（DB 51/2626-2019）一级标准后排入附近沟渠。

案例照片：

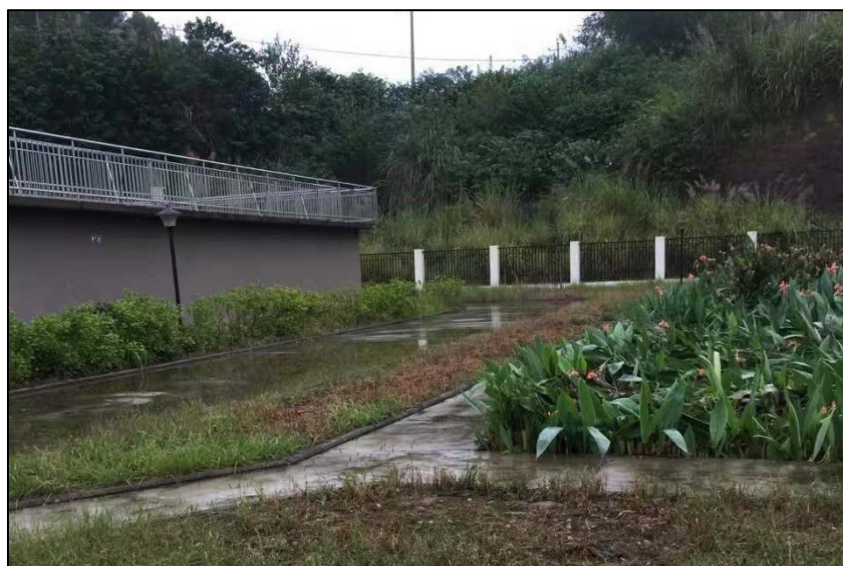


图 4-22 “预处理+生物接触氧化+人工湿地” 工艺全景图

（九）案例 9：预处理+A/O+人工湿地

案例简介：本案例摘自《四川省农村生活污水治理业务知识参考读本》，案例位于雅安市雨城区，2017 年 9 月建成投入运营，主要服务周边约 550 人的集中居住区农户，采用“预处理+A/O+人工湿地”的处理工艺。

工程规模：50 m³/d

工艺流程：

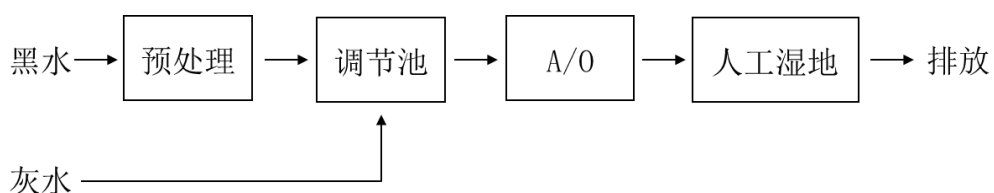


图 4-23 “三格式化粪池+资源化利用” 工艺流程图

处理性能：出水达到四川省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（DB 51/2626-2019）一级标准。

案例照片：



图 4-24 “预处理+A/O+人工湿地” 工艺全景图

（十）案例 10：预处理+厌氧生物膜法+沉淀池+人工潜流湿地

案例简介：本案例位于甘孜州炉霍县，涉及农户 120 人，设计处理规模为 $10\text{m}^3/\text{d}$ ，采用“预处理+厌氧生物膜法+沉淀池+人工潜流湿地”工艺技术，排放标准为农村一级标准。

工程规模： $10\text{ m}^3/\text{d}$

工艺流程：

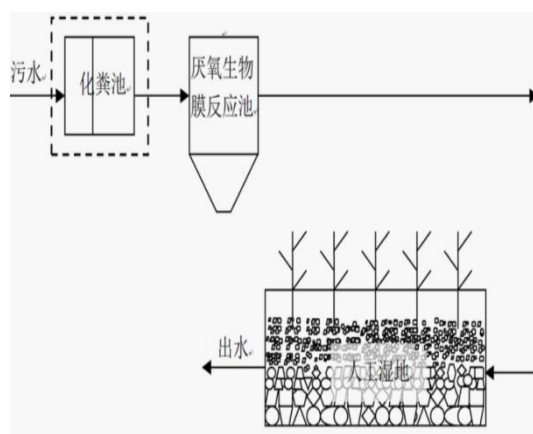


图 4-25 “三格式化粪池+资源化利用” 工艺流程图

处理性能：将厌氧池内填充生物填料强化厌氧处理效果，吨污水投资为 12000 元；无能耗，维护管理简便，吨污水直接运行成本为约 0.20 元。出水水质可优于四川省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（DB 51/2626-2019）二级标准。

案例照片：



图 4-26 “预处理+厌氧生物膜法+沉淀池+人工潜流湿地” 工艺全景图

（十一）案例 11：厌氧+生物接触氧化

案例简介：本案例位于松潘县。共有 6 个聚居点，常住人口 1243 人，各聚居点均单独建设一座处理设施，其中规模在 20 m³/d 及以上的有 5 座，20 m³/d 以下的仅 1 座。6 座污水处理站均采用 A²/O 工艺，至 2019 年，受多种因素制约 6 座污水处理站均无法正常运行。根据

实际情况重新核定规模参数、简化工艺流程，因地制宜的利用现有一体化污水处理设施完成了改造，不仅节约改造投资成本，节省后期运营成本并降低运营难度，增加了运营可靠性，顺应高寒高海拔地区污水处理特征，具有较强的可复制性。

工程规模：20 m³/d（1 座）；105 m³/d（共 5 座）

工艺流程：

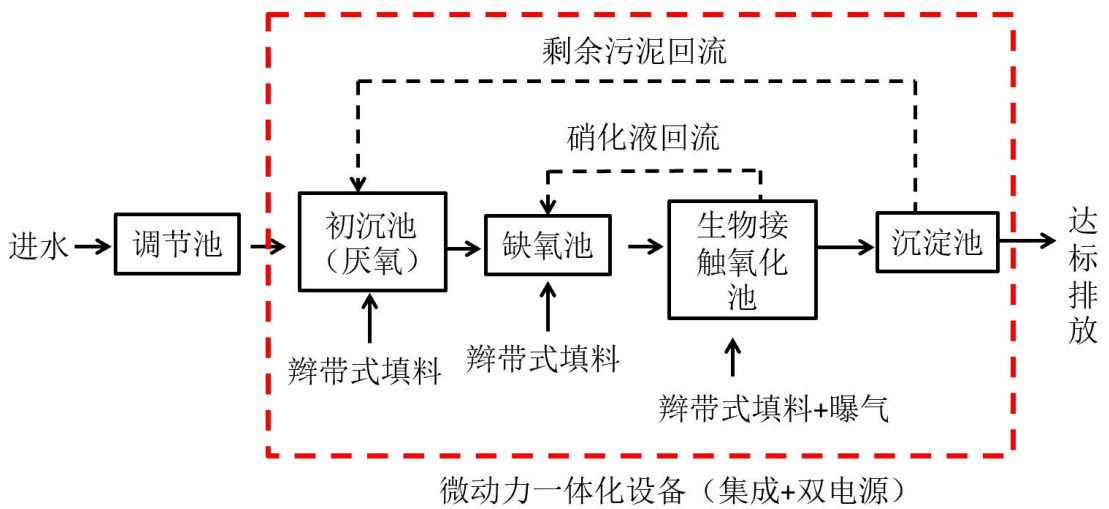


图 4-27 改造后 Q ≥ 20m³/d “达标排放” 工艺流程图

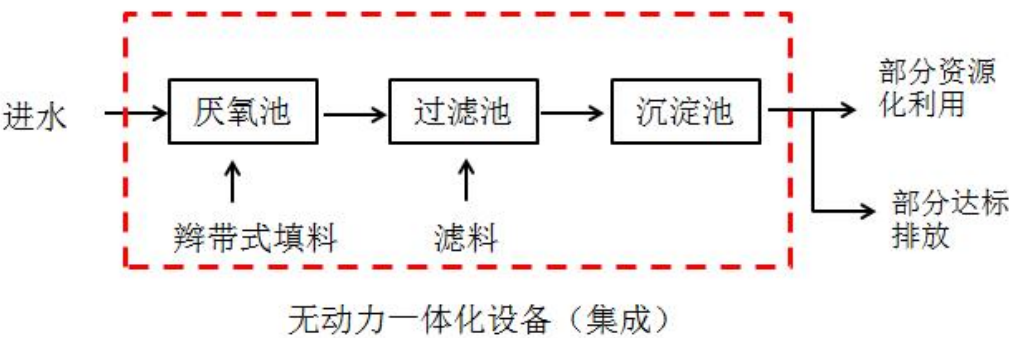


图 4-28 改造后 Q < 20m³/d “资源化利用” 工艺流程图

处理性能：将规模在 20 m³/d 及以上的污水处理站变为 1 座，工艺改为“厌氧+生物接触氧化”，采用太阳能微动力及市电双供电，吨水投资 1.3 万元/吨，直接运行费用 0.6 元/吨水；规模在 20 m³/d 以下的污水处理站 5 座，工艺为无动力“厌氧+过滤”，总规模 105 m³/d，出水均可达到《四川省农村污水处理设施水污染物排放标准》（DB

51/2626-2019) 要求。

案例照片：



图 4-29 “厌氧+生物接触氧化工艺”全景图

五、结论与展望

四川省农村生活污水治理模式含纳管治理、分散治理、集中治理三种模式。目前，四川省已建农村生活污水处理设施选用的工艺各异，主要包括预处理技术（三格化粪池、沼气池等）、生物处理技术，包括活性污泥法（A/O、A²/O、SBR、MBR 等）、生物膜法（生物接触氧化法、生物转盘、生物流化床等）与自然处理技术（如人工快渗、人工湿地、氧化塘等）。当前农村生活污水处理设施的主流工艺多选用 A/O 等传统工艺，在一些重点水环境区域，会增加人工湿地、MBR、MBBR 等技术工艺强化污染物的净化效率，以达到污染物排放标准，但存在工艺复杂、管理要求高、建设运行成稿等问题，农村生活污水在资源化利用方面明显不足，亟需低耗低碳处理与资源化利用技术支撑。

四川省农村养殖污水处理模式主要包括无害化处理与资源化利用两种方式。无害化处理包括还田处理、工业化处理、自然处理技术

等。还田处理技术是畜禽养殖污水处理传统而有效的方法，主要是将畜禽粪便污水还田作为肥料，而不将其排往外界环境，达到污染物的零排放。工业化处理技术包括厌氧处理（水压式沼气池、完全混合式厌氧反应器、升流式厌氧污泥床等）、好氧处理（如 A/O 工艺、A²/O 工艺、SBR 工艺等）、厌氧-好氧组合处理系统等；自然处理主要包括氧化塘、土地处理系统或人工湿地等。在低碳的新形势、新要求下，畜禽粪污的资源化将是未来重要的发展方向，畜禽粪污的资源化利用方式包括种养循环、肥料化利用以及能源化利用等方式。未来，在最大限度资源化利用粪污的同时，削减重金属、抗生素以及抗性基因等对环境的影响，是资源化技术的发展方向。

如何长期运营维护管理好农村污水处理设施，是今后农村环境保护的重点，需要在合理选择使用技术、委托运营管理、完善监管体系等方面进行深入系统的探索。

第五章 四川省饮用水水源地管理及治理技术

通过近年来水源地专项执法行动的推进，饮用水源保护齐抓共管的大格局初步形成。随着水源地管理整治的不断推进，以乡镇饮用水水源地为代表的水源地规范化建设管理技术仍存在短板，精细化管理水平有待提升。针对四川省饮用水水源地管理技术和水源地水质提升治理技术，涵盖水源地监控能力建设、水源预警监控建设、保护区勘界立标和湖库型水源地治理技术，通过评估筛选，整理汇总饮用水水源地规范化建设管理和湖库型水源地治理技术，及其典型应用案例。

一、全省饮用水水源地总体情况

四川省共有集中式饮用水水源地 2700 余个，服务人口超过 6000 万，水源类型涵盖河流型、湖库型和地下水型。近年来全省集中式饮用水水源地水质达标率逐年攀升，2020 年地级及以上和县级水源地水质达标率首次达到 100%。

（一）“划、立、治”完成情况

全省集中式饮用水水源地已全部完成保护区划分工作。地级及以上、县级饮用水水源地已全面完成一级保护区隔离防护设施、保护区标志标牌建设、保护区环境问题整改等工作。乡镇级及以下水源地一级保护区隔离防护设施、保护区标志标牌建设已基本完成，保护区环境问题整改工作正在有序推进中。

（二）监控能力建设情况

1. 视频监控能力建设

四川省共有 24 个地级城市饮用水源设置了视频监控，其中 22 个水源应设尽设。此外，8 个饮用水水源为强化保护区监管，自行设置视频监控。

全省县级城市饮用水水源视频监控设置完成率为 99.59%，全省有 23 个饮用水水源须开展视频监控，实际完成视频监控设置的饮用水水源 22 个。为防控风险，设计取水量低于国家规范要求的 69 个饮用水水源自行增加视频监控断面。

全省乡镇级及以下水源地视频监控能力建设率总体偏低。根据《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求（HJ 773-2015）》要求，除 1 个县级水源地外，四川省已完成其余所有城市水源地的视频监控能力建设。乡镇级及以下水源地目前均未达到《规范》中的视频监控建设要求，因此均可视为规范完成。

2. 预警监控能力建设

根据《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求（HJ 773-2015）》要求，四川省已按规范要求，完成了所有应建设预警监控的城市水源地相应能力建设。乡镇级及以下水源地目前均未达到《规范》中的预警监控建设要求，因此均可视为完成规范完成。

（三）保护区勘界立标完成情况

目前四川省地级及县级城市饮用水水源地均完成了保护区矢量边界的绘制工作，但该项工作基本未开展以保护区边界测绘为基础的矢量边界勘界工作。

四川省地级及以上城市集中式饮用水水源保护区标志设置完成率为 97.37%。全省县（市、区）政府所在城镇集中式饮用水水源标志设置完成率为 94.30%。四川省乡镇级及以下水源地标志设置完成率为 92.16%。总体完成比例较高，但由于保护区边界定界不精确，因此普遍存在标志位置设置不准确的情况。

二、饮用水水源地管理相关要求

（一）法律法规

《中华人民共和国水法》

《中华人民共和国水污染防治法》

《中华人民共和国环境保护法》

《中华人民共和国水土保持法》

《中华人民共和国土壤污染防治法》

《畜禽养殖污染防治条例》

《中华人民共和国长江保护法》

《地下水管理条例》

《四川省饮用水水源保护管理条例》

《四川省城市供水条例》

《四川省村镇供水条例》

（二）规范性文件

《饮用水水源保护区污染防治管理规定》（2010）

《环境保护部办公厅关于印发<全国集中式生活饮用水水源水质监测信息公开方案>的通知》（环办监测函[2016]3号）

《关于答复全国集中式饮用水水源地环境保护专项行动有关问题的函》（环办环监函[2018]767号）

《关于答复2019年饮用水水源地环境保护专项行动有关问题的函》（环办执法函[2019]647号）

《关于推进乡镇及以下集中式饮用水水源地生态环境保护工作的指导意见》（环水体函[2019]92号）

(三) 技术体系

《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)

《地下水质量标准》(GB 14848-2017)

《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)

《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ 338-2018)

《饮用水水源保护区标志技术要求》(HJ/T 433-2008)

《集中式饮用水水源编码规范》(HJ 747-2015)

《集中式饮用水水源规范化建设环境保护技术要求》(HJ 773-2015)

《集中式饮用水水源地环境保护状况评估技术规范》(HJ 774-2015)

《城市供水应急和备用水源工程技术标准》(CJJ/T 282-2019)

《水源涵养林建设规范》(GB/T 26903)《水源涵养林工程设计规范》(GB/T 500885)

《生活饮用水集中式供水单位卫生规范》

《城市给水工程规划规范》(GB 50282-2016)

《集中式地表水饮用水水源地突发环境事件应急预案编制指南(试行)》

《集中式地表饮用水水源地环境应急管理工作指南(试行)》

《集中式饮用水水源环境保护指南(试行)》

《农村饮用水水源地环境保护技术指南》

《农村饮用水水源地环境保护项目建设与投资指南》

《分散式饮用水水源地环境保护指南》

三、全省饮用水水源地管理及污染治理技术原理介绍

（一）视频监控技术

视频监控，是利用摄像头对取水口和一级保护区范围内的环境进行实时监控，主要目的是防止人类活动、交通运输等行为影响取水口水质安全。日供水规模超过 10 万 m^3 （含）的地表水饮用水水源地，在取水口、一级保护区及交通穿越的区域安装视频监控；日供水规模超过 5 万 m^3 （含）的地下水饮用水水源地，在取水口和一级保护区安装视频监控。为实现数据共享、及时发现取水口附近的突发环境事件，视频监控数据应与生态环境部门和水厂的监控系统数据实现共享。

（二）预警监控技术

为实现对上游风险事故造成水环境污染的实时预警，目前多采用设置水质预警监控断面的方式。日供水规模超过 10 万 m^3 （含）的河流型水源地，预警监控断面设置在取水口上游如下位置：（1）两个小时及以上流程水域；（2）两个小时流程水域内的风险源汇入口；（3）跨省级及地市级行政区边界，并依据上游风险源的排放特征，优化监控指标和频次。日供水规模超过 20 万 m^3 （含）的湖库型水源地，预警监控断面设置在主要支流入湖库口的上游，设置要求同河流型水源地。并依据上游风险源的排放特征，优化监控指标和频次。综合营养状态指数 TLI 大于 60 的湖库型水源开展“水华”预警监控。

对于水质预警手段的选择，主要为理化指标预警和生物预警，当采用生物预警与理化指标分析相结合的方式，在提高水质预警采样频次的同时，保证了捕获受污染水样的水质理化指标同步分析。

（三）保护区勘界定标

保护区勘界立标工作程序如下：

1. 勘测定界工作一般程序

根据《土地勘测定界规程》(TD/T 1008-2007),勘测定界一般工作程序如下:

- (1) 接受委托: 具备勘测定界资质的单位受委托进行作业。
- (2) 查阅有关文件: 查阅相关审查、批准、批复文件等。
- (3) 搜集勘测定界资料及图件: 搜集相关地图数据、图件、已有平面控制点坐标成果、拟定坐标或与定界有关的参考资料。
- (4) 现场踏勘: 在查阅有关资料的基础上,根据收集的控制点成果资料,了解项目地通视条件、交通和地理条件等。
- (5) 实地调绘: 实地调查核实相关界线,将其测绘或转绘于工作底图上。
- (6) 勘测定界: 界标的埋设与测定,内业计算、编制勘测定界技术报告书。
- (7) 提交勘测定界成果资料: 提交勘测定界技术报告书、勘测定界图、观测记录等。
- (8) 成果资料的检查验收: 由承担勘测定界的单位自检、互查,由行政主管部门验收。

2. 饮用水水源保护区勘界定标工作程序

获取得到测区的正射影像,充分收集利用测区已有的地形图数据,编辑处理制作边界地形图,进行边界地物地貌要素调绘,同时,将边界地形要素及保护区各功能区界线及边界点等专题信息统一数学基础,叠加至正射影像图上,制作勘界工作底图,进行各类定标点的选点、放样测设及现场登记,编制勘界定标技术报告书、成果资料提交检查验收。

3. 保护区界桩设置

保护区界标、交通警示牌、宣传牌等标志标牌可按照国家颁布的 HJ/T 433 设置，而保护区界桩的设置目前尚无规范可依。

界桩的功能在于明确保护区边界，根据最终确定的各级保护区界线进行布设，以能控制边界线的基本走向、尽量少设点位为原则，根据布置位置的性质，分位主桩点位和加密桩加位。主桩点位包括保护区边界的拐点、重要点位，在保护区中距离较长且走向不变的边界布设加密点位。

界桩内容包括饮用水源地名称、保护区级别、桩号、警示语、举报电话等文字，以及饮用水水源保护区图形标等图案。

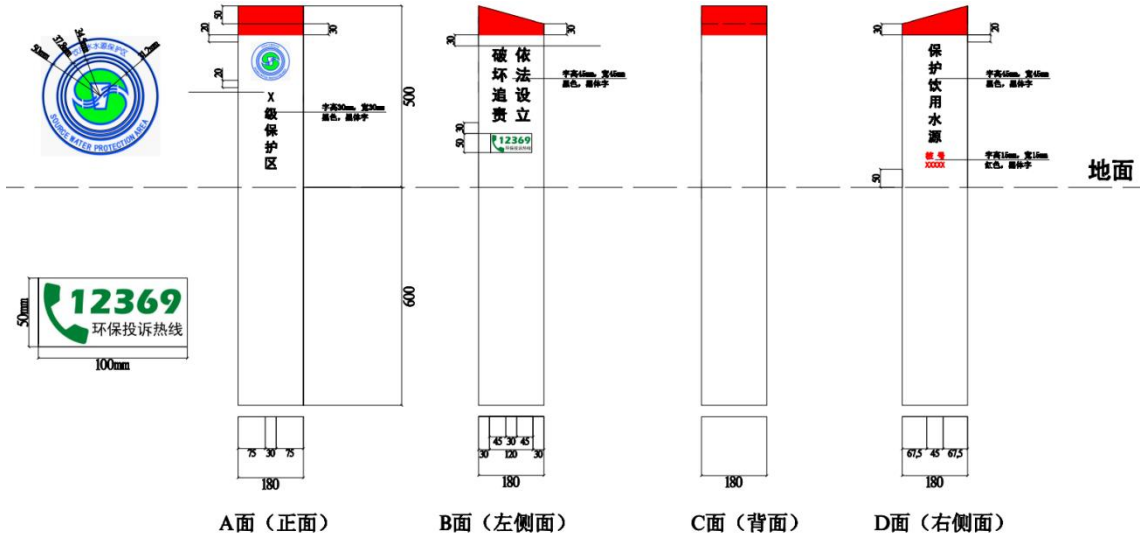


图 5-1 饮用水水源保护区界桩建议设计样式

（四）湖库型水源地达标治理

坚持“依法依规、问题导向、分段治理、顺应自然”的原则。

（1）依法依规。水源地达标方案的制定应严格依据《水污染防治法》《四川省饮用水水源保护管理条例》及地方性法律条例、《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》（HJ 773-2015）等技术规范、以及《关于答复全国集中式饮用水水源地环境保护专项行动有关问题的函》（环办环监函[2018]767 号）等文件的要求，在优先满

足水源地保护区建设及整治要求的基础上，开展相关治理工作。

（2）问题导向。以水源地不达标水质指标为导向，结合污染源调查结果，识别不达标污染源成因；根据水源地集水汇流特性或补给情况，分析污染源输入路径。

（3）分段治理。达标治理方案的拟定应按照“控源减排、过程拦截、水体治理”的顺序，针对主要影响源制定控源减污方案，从源头上减少污染物产生；针对污染输入水源地的路径，采取截污减污措施，进一步削弱污染物对水源地水体的影响；针对水源地水体，采取科学合理的措施，提高水体自净能力，力争水质达标。

（4）顺应自然。水源地达标治理应因地制宜制定方案，以生态修复为主，工程治理为辅，同时应考虑治理措施的长效维护投入，逐步将人工干预影响降到最低，恢复生态平衡。

四、全省饮用水水源地管理及污染治理技术典型应用案例

（一）案例 1：视频监控技术典型应用案例

目前视频监控建设技术总体较为成熟，但在监控平台的建设上各地差异较大。成都市徐堰河、柏条河饮用水水源地，将水源地视频监控图像采集与数字化管理平台，在减轻巡查任务的同时实现了对水源地的实时监控与管理。

1. 水源地概况

徐堰河、柏条河饮用水水源地保护区面积共计 70.06km²，为四川省最大的河流型饮用水水源保护区。区域范围内河网密布，人口众多，交通穿越较为频繁，仅通过人工巡查难以满足管理需求，因此成都市郫都区建设了视频监控系统工程。

2. 工程概况及投资额

该视频监控系统主要包括监控中心和视频监控端两个部分。监控中心建于成都市郫都生态环境局，配备专门的监控机房，安装视频数据接入设施、数据存储处理设施以及液晶拼接显示系统。所有视频监控端均与郫都区应急办联网。项目共计投入资金 788.83 万元。为提高视频监控系统运行成效，郫都区将建成的视频监控系统运行管理进行外包，每年外包服务费为 57.9 万元，监控中心运维费为 34.32 万元。

3. 视频监控端监控点位设置

视频监控端主要围绕徐堰河、柏条河饮用水水源地 3 个重要水体徐堰河、柏木河、柏条河设置，以监控取水口、交通主干道桥梁/水面、河道、非交通主干道桥梁/水面等为重点，共设置监控点位 25 个，架设标清球机、枪机等摄像头 35 个（预计还要新增摄像头 47 个），形成了涵盖饮用水水源一级、二级保护区及周边重要节点的视频监控网络。

4. 系统运行

目前视频监控系统运行稳定，在监控中心平台上输入需要查看的点位编号或名称，就能快速调取视频画面，并能够查看报警统计、视频回放等信息。同时，在视频监控系统上设立了警戒线，运用“视频智能分析服务器”分析实时采集到的视频数据，如果警戒线所处的画面位置突然出现大块动态轨迹，且轨迹速度超过了系统内预设的速度，系统后台就会报警、录像取证，为处置环境安全隐患提供视频资料。

（二）案例 2：预警监控技术典型应用案例

1. 水源地概况

攀枝花市观音岩水库为攀枝花市地级水源地，取水口位于攀枝花市上游金沙江观音岩水库库区内，取水口所在的金沙江段为省界河流，

取水口位于四川一侧，对岸即为云南省。由于水源地存在跨界，在对上游开展实时管控难度较大，因此为确保水质安全，攀枝花市在取水口上游建设了在线生物毒性监测预警系统。

2. 工程概况及投资额

该预警监控系统主要包括水质在线生物安全预警单元、理化指标分析单元及其他硬件、软件辅助设备。该系统预估总投资 525 万元，其中包含第一年的安装调试、以及 5 年的运行维护和技术服务等费用。

3. 预警监控点位设置

视频监控端位于库区取水口上游 1200m 处。



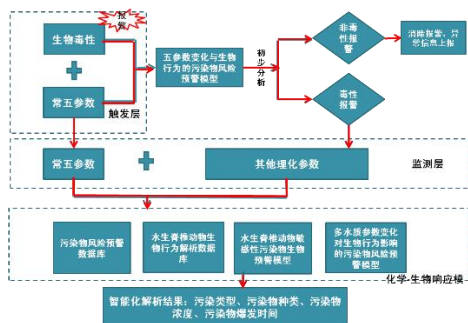
图 5-2 自动水站采样点

4. 系统运行

系统运行模式为两种，一种为预警模式，另外一种为监测模式。整个系统由三层组成：触发层、监测层、智能分析层。

系统触发层为生物毒性与五参数 24 小时实时连续监测；监测层为其他理化参数可定时监测和事故预警被触发监测；当水体突发性污染事故发生时，此时系统触发层的生物毒性和常规五项参数的监测会发生预警，启动监测层，提取多参数分析单元的监测数据（针对攀枝花市观音岩水库库区水环境重点监测指标：常规五参数、高锰酸盐指

数、氨氮、总磷、总氮、叶绿素 a、蓝绿藻及其他特定污染物监测指标), 进入分析层, 智能化关联生物毒性与理化参数, 进行解析判断。同时理化参数进行定时周期监测, 实现生物毒性预警和超标报警双重监测预警。



自动水站系统智能化解析路线

自动水站系统结构图

生物预警软件界面图

生物预警软件生物毒性报警示意图

(三) 案例 3: 乡镇集中式饮用水水源地达标治理典型应用案例

3. 水质状况

（1）水质现状：4 个水库现状水质未达标，其他 6 个水库水质现状均达Ⅲ类，水质最差的水源地为劣Ⅴ类水质。

（2）水质变化趋势：4 个水库水质未稳定达标，仅个别季度水质超标，超标因子主要为总氮、总磷、高锰酸盐指数；3 个水库属于常年不稳定达标，水质波动幅度较大，主要超标因子为总磷和总氮；3 个水库水质较差，长期不能达标，主要超标因子为总氮和总磷。

（3）富营养化评价：除 2 个水库属于中营养外，其他 8 个水源地均属于轻度富营养化。

4. 问题成因分析

（1）水质受 N、P 影响突出。各水库主要超标因子为总磷、总氮。10 个水源地中，受总氮影响水质超标的水源地占比为 100%，受总磷影响水质超标的水源地占比为 90%，同时水质受 N、P 影响的水源地占比为 90%。另外，因总氮重度超标而使水质为劣Ⅴ类的水源地占比达到 60%。

（2）水资源量先天不足。水源地均属于小（一）型或小（二）型水库，库容最小的水库仅 20 万 m³，库容最大的水库不超过 140 万 m³，水库主要来水大多为降雨，枯水期水位降到死水位以下，水资源量先天不足，供水量难以保障。

（3）面源未得到有效控制。10 个水源地饮用水水源一级、二级保护区陆域仍有大量农田，库周存在农作物种植，入库沟渠流经处有农田分布，农药化肥使用情况严重，10 个水源地流域范围内年化肥施用量达到 300 t 以上，年农药施用量达到 8t 以上。由于缺乏截污、化肥农药减量等面源管控措施，过量化肥农药等随降雨和地表径流冲

刷，将有机物、氮和磷等污染物质带入水库。

（4）保护区内生活污染影响突出。保护区内普遍存在农村生活污水未合理收集、生活垃圾乱扔乱放等问题。一、二级保护区仍有较多农户居住，保护区内农户的大部分生活污水仅经过化粪池收集，出水溢流排入环境中，其中 2 个水库水源保护区内涉及场镇生活污水排放。水源地保护区普遍存在生活垃圾收运体系不完善，缺少垃圾桶等基础设施，存在收集转运不及时的情况，生活垃圾散落于地表、低洼地对湖库水质造成影响。

（5）内源污染未得到有效整治。5 个水库存在长达 10 余年的肥水养鱼的历史，大多于近些年取缔，但长时间的养殖对于湖库底泥的影响极大，肥水养鱼过程中肥料在湖底的常年沉积，对湖库水体造成了极大的污染，形成了严重的内源污染，目前还未进行内源污染整治的相关工作，短期内治理难度相对较大。

（6）监管能力有待提升。水源地日常监管落实不到位，环水库巡查制度不完善，湖面枯枝落叶、岸边建筑垃圾未定期清理；湖库“清四乱”未落实到位，存在进水渠堵塞、塌陷等问题。水源地整体监管能力有待进一步提升。

（7）风险防控能力不足。水质监测频率相对较低，难以全面反映水库各个时期的水质波动情况，无法对水库水质变化做出有效预测，另外缺少连续的富营养化指标监测，如叶绿素 a，透明度等，难以及时掌握水源地水质营养状态，无法有效防控富营养化风险。水库周边移动源的应急防控设施不足等，另外各水源地应急预案有待完善。

5. 主要治理措施

（1）农村生活源整治。逐步退出一级保护区农户。实施农村生

活污水治理工程，分散式污水采用化粪池处理后全部用于农灌，集中式污水处理设施出水无法资源化利用的需引至保护区外，禁止生活污水排入水库。完善乡镇生活垃圾收转运体系，垃圾及时清运。

（2）农业面源治理。一是改变农田种植结构。严格管控水田退水，逐步撤出水库沿岸水田、藕塘等，改变种植类型。发展生态农业，控制叶菜等高施肥量作物，发展不施用或少施用化肥的农作物以及优质果园和经济果林。二是调整施肥系统。一级保护区禁止使用农药和化肥，二级保护区限制使用农药和化肥，推广测土配方施肥、推广有机肥，逐步减少并最终替代化肥的使用。三是建设库岸缓冲带。退出水库管理范围内侵占农田种植，在水源地沿岸受农田面源污染较重的岸线实施库岸缓冲带建设，在岸边种植植物，形成面源拦截带，提升水源涵养能力。四是修建入库稳定塘。针对有入库沟渠或支流的水库，若具备条件，在入库沟渠或支流处修建稳定塘，在面源污染入库前对水体进行净化。五是修建田间净化沟渠。结合实际情况在农田地间建设田间净化沟渠，在沟渠中种植水草等植物，对农田排水及地表径流中的氮磷等物质进行拦截、吸附、沉积、转化、降解及吸收利用，从而有效拦截农田流失的氮磷等养分。六是畜禽污染治理。水源地一级保护区禁止建设畜禽养殖场，二级保护区禁止从事网箱养殖、施肥养鱼等污染饮用水水体的活动。

（3）内源污染治理。一是实施生物修复。根据水源地实际需求，采用生物修复技术，优化河道大型水生植物、微生物、底栖动物或鱼类等生物群落和食物链结构，按照科学比例投放花鲢、白鲢等以浮游植物为主的滤食性鱼类鱼苗，实施人放天养，禁止投饵投肥。二是实施工程治理。针对水质较差且具备条件的水库实施光催化水生态修复

技术、曝气充氧技术以及环保清淤。三是水产养殖污染整治。针对个别水库二级保护区内存在的鱼塘养殖问题，鱼塘养殖应立即关停，待鱼塘关闭后，在原有鱼塘的基础上实施植被绿化等生态修复工程，种植芦苇等，将鱼塘改造为氧化塘或湿地。四是其他环境问题整改。撤除个别水库水源地周边的堆放建材，避免产生污染水库水质的风险。加强对于水库上游流域内加油站等的监管，要求加油站应定期进行维护，并制定完备的应急预案，按相关要求储存好应急设备与物资，严防加油站风险对下游水源地造成影响。加强对于水库一级保护区内农户旅游经营活动和二级保护区内农户旅游经营活动的监管，严禁农户旅游经营活动出水排入保护区范围。五是加强水质维护管理。加强水源地供水全过程监测。提高 10 个水源地水质常规指标监测频率为每月 1 次，同时加强 10 个水源地营养状态的跟踪监测评价。加强供水厂出厂水水质监测，监测频次增加为每年 4 次，同时进一步完善供水厂净水工艺，确保出厂水稳定达标。进一步开展末梢水水质监测，监测频次增加为每年 4 次；提升环境监管能力。通过河长办体制，形成环湖巡视网格员责任机制，网格员负责各自网格内的湖岸种植情况、垃圾情况、水质情况、水华现象等的巡视、处理和上报。另外，扎实推进湖库“清四乱”常态化规范化，长期有效保护湖库水体环境。

（4）加强富营养化风险防控。严密跟踪监测 TN、TP、高锰酸盐指数、叶绿素 a、透明度等富营养化指标的变化，强化水华预警，同时，制定水库富营养化应急处置技术方案及应急专家库，强化水库富营养化风险防控能力。

（5）推进城镇集中供水。加快落实农村供水保障规划。完善供水布局，推进供水管网建设，实现城镇供水集中化。

五、结论与展望

（一）结论

1. 视频监控技术

徐堰河、柏条河饮用水水源地视频监控系统工程，很好地解决了饮用水水源地保护区面积大、地形复杂、周边潜在的干扰活动因素多、仅靠人工巡查难以满足实施管理需求等问题，能够对警戒线内的异常状况及时报警和取证，进而可以对后续的应对工作提供支持。

2. 预警监控技术

采用指示水生生物进行水质预警监控的方法正在国内逐渐普及。与基于多实验室生物毒理综合确定的化学指标监控不同，采用指示水生生物判断水质是否安全的做法更加直接可靠。

3. 保护区勘界定标

我省集中式饮用水水源地点多面广，保护区自然、社会条件差异极大，通过保护区勘界定标，实现了保护区界线的精准和科学落地，保护区界桩的设置进一步明确了保护区的现场地理界线，为提升饮用水水源保护区的规范化建设和监督管理水平提供了基础支撑。

4. 湖库型水源地污染治理技术

湖库型水源地在我省各类型超标水源地中占比较大，由于我省水质超标的湖库型水源地均为乡镇级及以下水源地，以小型湖库为主，且多分布在丘陵农村地区，流域内面源污染负荷重、前期内源累积，因此水质超标问题的解决总体来说是一个长期的过程。

（二）展望

一是饮用水源地数字化、智慧化管理水平不断提升。水源地常规管理技术总体已较为成熟，随着“划、立、治”工作的不断深入，规范

化管理达标建设将在近年内完成。从水源地的高效管理考虑，目前亟需与水源地数字化管理相衔接，以实现不同数据的一网调用。此外，现有管理数据采集多为水质、水量、管理情况等基础信息，对于流域内以污染源和风险源为代表的人为活动、扰动信息采集则相对较为滞后，如何利用好遥感影像技术等先进技术，为水源地环境基础数据采集提供支持，或将成为今后水源地常规管理技术提升的一个关键点。

二是饮用水源地污水控制与生态修复相协调。我省湖库型水源地水质不达标主要以氮磷等富营养化指标为主，县级以上水源地由于治理启动较早，总体压力较小，而乡镇湖库型水源地水质提升治理需求较大。由于乡镇湖库型水源地点多面广，湖库型污染成因面临内源污染与面源污染叠加等问题，亟需符合我省特点，治理高效、生态友好的技术。目前湖库污染治理技术较多，但在保障水质提升的同时，不断改善水生态环境、治污减排与生态修复协调，加强成本控制、减轻地方政府的财政负担，已成为湖库型水源地水质长效维护中较为现实的问题。因此，在控源减污的污染负荷输入总量控制基础之上，利用现有技术快速提升水质的同时，如何更低成本、更为科学合理地，逐步减少人为干预，最终恢复水质与水生态的自然平衡，将成为今后湖库型水源地治理技术的一个关键点。

第六章 四川省黑臭水体治理修复及流域 生态环保技术

一、全省黑臭水体治理修复及流域生态环保发展现状

（一）黑臭水体治理与修复发展现状

2015 年 4 月国务院办公厅颁布的《水污染防治行动计划》（国发〔2015〕17 号）要求到 2030 年城市建成区黑臭水体总体得到消除，对黑臭水体治理的时限、目标提出了具体要求。2015 年 8 月住建部和环保部联合发布了《城市黑臭水体整治工作指南》，为地方各级人民政府加快推进城市黑臭水体整治工作提供了权威的工作指导；由于城市水体黑臭成因复杂、影响因素多，整治任务十分艰巨，2018 年 10 月，住房城乡建设部联合生态环境部发布了《城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》（建城〔2018〕104 号），对黑臭水体治理工作提出了进一步的具体要求。

2015 年 12 月，为贯彻落实《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》（国发〔2015〕17 号），四川省人民政府印发了《〈水污染防治行动计划〉四川省工作方案》，将黑臭水体治理的工作进行了详细部署；2019 年 1 月，为落实国家《城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》，四川省发布了《四川省打好城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》（川府发〔2019〕4 号），为四川省打好城市黑臭水体治理攻坚战制定了行动指南；其具体要求，“成都市要在 2017 年底前基本消除黑臭水体，并巩固治理成效，保持建成区黑臭水体消除比例高于 90%，基本实现长制久清；到 2019 年年底，全省地级城市建成区黑臭水体消除比例显著提高，到 2020 年年底达到 90%以上，到 2030 年，城市建成区黑臭水体总体得到消除。”随后四川省政府部署启动了全省城

市黑臭水体专项行动，对成都市、内江市、德阳市等 18 个城市为重点开展全面排查整治。自 2019 年开始，四川省各级政府加强了城市黑臭水体的治理工作，坚持问题导向，锁定目标，统筹推进，突出重点，坚持将污水处理、垃圾处理与中央环保督察发现问题的整改，与河长制工作和水环境综合治理相结合，城市黑臭水体治理工作取得了显著成效。内江、德阳、南充 3 市成功申报为全国黑臭水体整治试点城市。

根据《关于报送四川省污染防治攻坚战和污水处理提质增效 2020 年工作总结的通知》及四川省各地报送了 2020 年城市黑臭水体治理工作的报告。四川省共有城市黑臭水体 104 条，涉及 14 个地市，总长度 357 公里，总流域面积 29 平方公里。主要分布在岷江、沱江流域中度以上的缺水城市。其中成都有 43 条，占 41.0%；广元市有 19 条，占 18.1%，内江有 11 条，占 10.5%。目前地级以上城市黑臭水体 104 条已全部完成治理，超额完成国家下达的治理任务。2020 年，全省 87 个国考断面优良率 98.9%、较“十三五”初期上升 26.4%，在全面完成国家下达“消劣”目标基础上，进一步实现 V 类水质断面全面清零，10 个出川断面水质全部达到优良标准，岷江流域首次实现全面达标。全省水生态环境质量从“十三五”初期在全国 31 个省（市、区）排名第 19 位，跃居全国第 8 位。

（二）流域生态环境保护发展现状

习近平总书记在党的十九大报告中明确指出“生态文明建设功在当代、利在千秋”，流域污染治理与生态环境保护承载流域生态系统安全、环境健康以及社会经济可持续发展，是推进生态文明建设的重要抓手。为积极响应习近平生态文明思想，生态环境部于 2019 年启

动了重点流域“十四五”规划编制工作，印发了《重点流域水生态环境保护“十四五”规划编制技术大纲》（环办水体函〔2019〕937号），将重点流域规划名称由“水污染防治”调整为“水生态环境保护”，体现了新时期流域生态环境保护工作的新内涵。

“十三五”以来，四川省流域污染治理主要以改善水生态环境质量为核心，实施国省两级“水十条”，全方位、宽领域、超强度推进流域生态环境保护。主要取得了以下成效：**一是强化沱江治理成效巩固。**印发年度工作清单、工作要点等，组织开展釜溪河、威远河达标攻坚课题研究，发挥各级水质自动监测站监测预警作用，推进流域水环境精准管理科学决策平台二期建设。健全枯水期补水调水机制，开展“一旬一监测”，累计向沱江补水 12.3 亿立方米，同比增加 8%。沱江流域 16 个国考断面“优 III 好水”比例达到 93.8%，较“十三五”初增加 81.3 个百分点。**二是加强川渝水污染防治试点合作。**全面梳理了 81 条川渝跨界河流，筛选出 30 条小流域纳入川渝跨界共治重点小流域名单。与重庆召开川渝跨界流域联防联控联席会议并开展联合巡河，启动濑溪河、铜钵河联防联控试点工作，审议印发了铜钵河联防联控方案，签订了系列联防联控协议。**三是积极开展赤水河生态保护。**在全省开展赤水河流域入河排污口先行整治试点，率先审批二郎入河排污口等 3 个赤水河流域入河排污口项目；继续落实《赤水河流域横向生态保护补偿协议》，加强相关生态补偿项目实施建设。**四是深化琼江污染防治成效提升。**与重庆建立琼江生态环境联防联控合作协议，开展联合执法 5 次、联合上下游巡河 3 次、联合水质监测 2 次，召开联席会 2 次。在基础设施建设、生态基流保障、水生态保护修复等方面持续用力，跑马滩和光辉断面稳定达到 III 类水质标准。

在新阶段，新形势下，“十四五”四川省重点流域水生态环境保护工作总体考虑为：以水生态环境质量改善为核心，推进山水林田湖草系统治理，污染减排与生态扩容两手发力，统筹水资源利用、水生态保护、水环境治理，促进水环境管理从污染防治为主逐步向污染防治与生态保护并重转变。

二、全省黑臭水体治理修复及流域生态环境保护技术水平与需求

目前四川省黑臭水体治理修复及流域生态环境保护以“活水循环、控源截污、内源治理、生态修复”四者结合的技术路线为主。活水循环主要包括通过河流、湖库调水进行了生态补水、增加上游流量以及再生水补给，能在短时间能有效改善河流的黑臭现象，将黑臭水体级别由重度黑臭转化为轻度黑臭；控源截污是治理黑臭水体的基础性工作和根本性措施，主要包括非法排污口整治，管网改造及建设，工业点源污染治理，垃圾堆放点整治（面源污染治理）；清淤疏浚是控制内源污染最直接的手段，排干疏浚是中小河道疏浚的主流工艺。完整的河道疏浚工程还包括河道底泥的资源化无害化处置利用，例如将底泥外运至临近的垃圾填埋场进行封闭填埋。内源整治的方法主要指底泥的原位修复治理，常用的黑臭水体底泥原位修复治理技术主要包含生物修复、物理覆盖以及化学处理三个治理方向。生物修复主要是将微生物菌剂、工程菌剂投入至黑臭水体中，或者向黑臭水体中栽种合适的水生植物，并利用水生植物和微生物对黑臭水体中的污染物进行吸附、转移或者降解；物理覆盖技术，主要指治理人员可以将人工合成物、砂石、土壤以及粉尘等覆盖物铺在泥底的表面，从而对水体和泥底进行隔离，防止泥底污染物在水体中进行扩散；原位化学处理技术，主要指治理人员将硝酸钙、石灰以及铁铝盐等化学物或者酶

制剂投入至黑臭水体中，从而避免黑臭水体底泥中营养盐被释放到水体中，进而使这些营养盐被稳定固化。此外，黑臭水体治理修复及流域生态环境保护中常用的水体生态修复技术包括植物修复、人工湿地、生态浮床、生态河岸和生态沟渠等。

表 6-1 黑臭水体治理修复及流域生态环境保护技术特点及适用性对比

类 别	名 称	技术原理	特点及适用性评价
补水活水	清水补给	向水体中补充外来清洁水来提升河道流动性和增加环境容量。	适用于需要定期补充清水以改善水质和维持生态功能与景观效果的封闭水体。
	水系连通	以水生态环境修复与保护为主的河湖水系连通。	适用于治理水系不畅通的河段污染。
	活水循环	通过人为措施改造原有水体，构建水体循环机制，提高水体的流速。	适用于水体流速较缓、相对封闭的水体。
外源整治	点源控制	针对城市水体沿岸污水排放口等点源污染，将污水截流并纳入城市污水收集和处理系统。	黑臭水体整治最直接有效的工程措施，采取其他技术措施的前提。
	面源控制	控制雨水径流中含有的污染物。	
	水面清理	对水生植物、岸带植物和水华藻类等残体和水面漂浮物进行定期清捞。	水环境的长效保障措施。
	清淤疏浚	将污染负荷较高的底泥迁出水体。	短期内见效快，常用于底泥污染严重水体的初期治理。
内源治理	原位生物修复	在基本不破坏水体自然环境条件下，对受污染的底泥不作搬运或运输，在原场所进行生物修复。	适用于大面积受有机污染严重的底泥修复。
	化学固定	将水体中离子态的重金属固定在底泥中。	适合用于重金属污染的中、小型河流。
	絮凝沉淀	向城市污染河流的水体中投加铁盐、钙盐、铝盐等药剂，使之与水体中溶解态磷酸盐形成不溶性固体沉淀至河床底泥中。	高效且短期效果明显，但易造成二次污染，适用于富营养化水体和急性有机物污染。
	植物净化	利用水生植物吸收水体中的污染物、有毒物，对水体污染进行净化。	适用于生态修复阶段和富营养化水体的水质改善。

类 别	名 称	技术原理	特点及适用性评价
生态修复	人工湿地	利用土壤-微生物-植物生态系统对营养盐进行去除的技术，主要由基质（土壤、细砂、砾石）、植物、微生物等组成。	适用于封闭、半封闭水体的水质净化和生态修复。
	人工增氧	为水体供氧，使水底层溶解氧得以恢复，强化水体的自净能力，促使水体生态系统的恢复。	适用于黑臭水体治理的水质改善阶段。
	微生物修复	利用自然界中微生物对污染物的生物代谢作用降解净化有毒有害有机物质。	适用于小型且相对封闭的水体。
	渗流生物膜	用卵石等作填料，在河滩或者河岸构筑渗流生物膜净化床。	适用于不太严重的有机污染的小型河流。

目前，四川省黑臭水体治理修复及流域生态环境保护已经取得了显著的成效，但是还存在着一系列的技术与管理难题，主要包括控源截污的处理措施、污染底泥的处理处置、生态功能的恢复以及长效保持机制，需要相关部门建立长效且完善的管理机制，积极促进相应的先进技术推广，才能保障流域水体长治久清。

（一）控源截污技术水平与需求

收集统计到的 105 条完成整治的黑臭水体，均以控源截污为主要治理措施。各地通过采取各种控源截污措施治理黑臭水体，取得了明显成效，但仍然存在一些问题，主要包括：（1）老旧城区的管网排查工作精细化不足，简单的采取沿岸截污，导致一些污染源通过地下渗漏、雨水口混排、表面溢流等方式进入到水体内，黑臭反弹风险高；（2）管网改造完善后污水收集量增加，由于早期污水管网设计存在的问题，造成局部管网带压运行，老旧小区雨污合流制管网改造难度大，末端截流后雨季污水溢流问题；（3）阳台雨水管进污水、沿街生活服务业将污水排水雨水管网的现象仍然普遍存在；（4）一些地区为了尽快改善黑臭水体水质，上马了一批一体化应急处理设备，由于前

期设计不合理，致使设备不能稳定发挥治污功效；（5）大部分地区目前尚未对初雨污染开展有效治理。

（二）污染底泥处置技术水平与需求

收集统计到的 105 条完成整治的黑臭水体，有 44 条采取了底泥清淤。清淤是最常见的底泥治理方式，也是控制内源污染最直接的手段。方法简单、见效快。在实施过程中，主要存在如下问题：（1）当实际清淤量远小于设计清淤量，河道存在“翻泥”现象，或干涸水体底泥黑臭较为严重时，使得黑臭水体的内源污染未得到有效控制；（2）对一些城市硬化河道，清淤过于彻底，对着生藻类、底栖动物群落等影响严重，破坏了河道底部的生态环境，进而影响后期的生态修复；（3）清淤只是对污染进行了转移，一些地区清淤后的底泥未安全处置，存在底泥无组织堆放在河道两侧，清淤底泥转运过程监管不到位，底泥堆放地不符合土壤使用功能和保护目标要求，底泥未开展安全检测，未进行环境风险评估，底泥检测重金属超标却没有按照相关规定要求妥善处置等情况。

（三）生态功能恢复技术水平与需求

重构及维系河湖生态系统结构和功能，提升河湖生态系统质量和稳定性的基础是黑臭水体治理修复及流域生态环境保护的突出难点。

（1）生态流量的缺乏，四川省黑臭水体以河流型居多，受季节性降雨量变化影响，河流水量变化大，枯水期河流生态用水难以稳定补给，除成都市以外，缺少能季节性调节生态流量的蓄水设施，加上城市河道大部分为三面光的硬质河道，水生态系统脆弱，造成治理效果难以巩固，水体黑臭易复发；（2）生态栖息地的破坏，对黑臭水体治理修复及流域生态环境保护，例如底泥疏浚的方式，对生态栖息地的可能

造成了极大的破坏,使得水生物等失去了适合生存的条件,难以生存;

(3) 生物多样性难以恢复,使得生物链结构的稳定性崩坏,生态系统循环过程的部分缺失,使得整个生态系统十分脆弱,水体缺乏自净能力,治理效果难以巩固,如果外源污染会导致黑臭水体复发。

(四) 长效保持技术水平与需求

各相关城市除了对垃圾进行清理外,仍未全面开展针对城市地表径流的面源污染控制,初雨污染仍是影响河流水质的一个重要外源性污染。大部分黑臭水体均为硬化河岸(湖岸),“三面光”河道,河道自净能力弱,目前尚未大规模实施以修复河道水生态,提升河流自净能力的水生态修复工程。目前省内一些黑臭水体经过治理,黑臭现象有一定程度缓解,但仍然存在污染源治理不彻底、治理后管理不到位等问题,很容易出现黑臭水体反弹,表现为丰水期好、枯水期差,晴天时水质好,下雨天又黑又臭,距离实现我省黑臭水体长治久清的目标仍有一定距离。

下一阶段四川省将进入了黑臭水体治理修复及流域生态环境保护的“深水区”,由重污染的水体治理深入到轻污染水体治理,由污染的攻坚治理转化为治理成效的长效保持,主要治理的污染指标由有机物、总磷、氨氮转为总氮、总磷、重金属及新污染物,始终围绕以改善城市水环境质量为核心,坚持“系统治理、多元共治、标本兼治、群众满意”的基本原则,按照“控源截污、内源治理、疏浚活水、生态修复”的技术思路,尊重地域水情特点和治水规律,强化问题导向,加强源头控制、水陆统筹、上下游联动、跨部门协作,加快补齐城市环境基础设施短板,推进生态河道建设,全面推行河长制,确保黑臭水体治理修复及流域生态环境保护明显见效,实现“河道清洁、河水清澈、

河岸美丽”，水生态环境显著改善，人居环境质量大幅提升，让人民群众拥有更多的获得感和幸福感。

三、全省黑臭水体治理修复及流域生态环保技术原理介绍

（一）排水管道溢流污染调蓄处理技术

1. 技术原理介绍：采用混合絮凝、斜管沉淀的物化技术原理，设置进水监测装置、加药装置、混合絮凝结构、颗粒分离结构、集排水结构、集排泥结构、颗粒储存浓缩结构和控制器，通过在线感知来水的水质水量，智能控制进水、加药、排水与排泥；充分利用空间条件，节约用地和药物投加，提高了系统净化效能，最大限度截留净化排水管道溢流污染物，削减经排水管道溢流排入受纳水体的污染负荷。

2. 适用范围：本技术适用于排水管道溢流排放水体调蓄处理，常应用于排水管网末端或溢流严重节点。

3. 技术工艺路线：

（1）针对排水管网末端或溢流严重节点，创造性的设计了包含进水监测装置、加药装置、混合絮凝结构、颗粒分离结构、集排水结构、集排泥结构、颗粒储存浓缩结构和控制器的一体化设备；

（2）通过在线感知来水的水质水量，智能控制进水、加药、排水与排泥，充分利用空间条件，节约用地和药物投加，提高了系统净化效能。

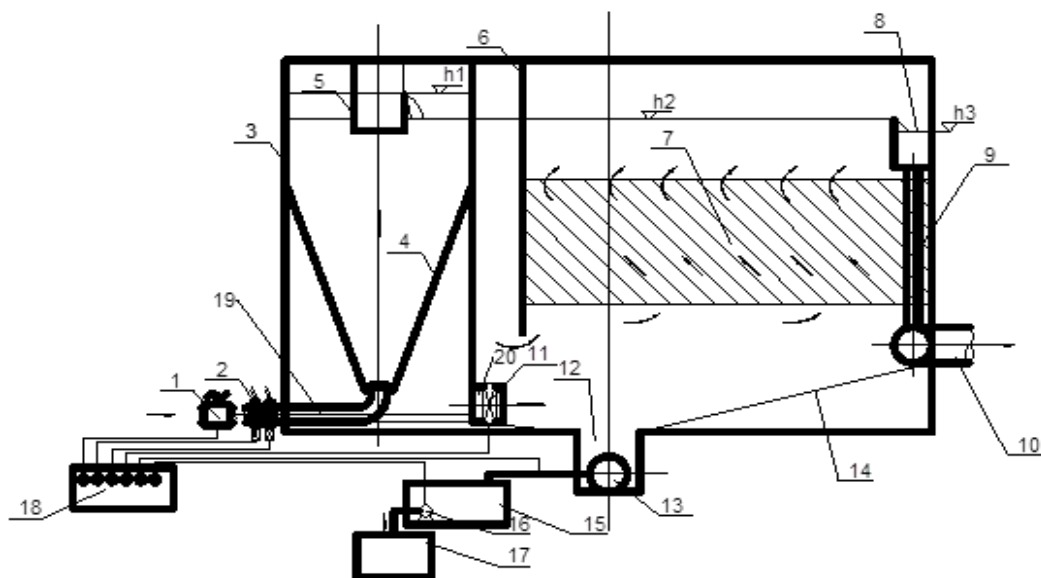


图 6-1 溢流污染的调蓄处理设备工艺流程图

(1-进水监测装置;2-加药装置;3-混合絮凝结构;4-导流结构;5-第一集水槽;6-整流堰;7-颗粒分离结构;8-第二集水槽;9-集水管;10-排水管;11-第一排泥阀;12-集泥槽;13-第二排泥管;14-斜坡结构;15-颗粒储存浓缩结构;16-污泥泵;17-污泥处理系统;18-控制器;19-进水管;20-第一排泥管。)

4. 技术创新性: (1) 通过智能模块的设置, 实现与污染物对应精准加药; (2) 通过水利及机器设备的设置, 实现高效排泥; (3) 与磁沉淀、超磁、磁微滤、回流污泥强化回流等技术相比, 运营更简单, 综合成本更低。

(二) 水库深层水体增氧及水质改善技术

1. 技术原理介绍: (1) 水库深层水体增氧及水质改善装置利用自主开发和核心专利的气液混合技术, 将高纯度氧和水充分混合形成超高浓度溶氧水, 在水层中水平扩散; (2) 扩散过程中无气泡产生, 不会破坏原有水体生态结构, 并从根本上改变深层水体的生物生存环境, 让微生物的好氧生化率发挥到最佳状态; (3) 由于高纯度氧和水充分混合形成的是不含气泡的富氧水体, 相对于其他充氧方式, 氧在

水中的停留时间更长，迁移效率更高。能够最大限度的改善水体的缺氧环境。

2. 适用范围：适用于水库、水源地、湖泊等大范围深水水域，能在不破坏温跃层氧跃层的同时，向深层水体输送溶解氧，改善水体底部 ORP，在底泥表面形成铁(III)氧絮体氧化层，强化其吸附能力，进而抑制内源污染释放，从而达到改善水质的目的。

3. 技术工艺路线：

(1) 通过建立岸上 PSA 制氧站，利用空气和电能，产生 90%纯度以上的纯氧；

(2) 纯氧经过输气管至水下的气液溶解罐，气液溶解罐上的水泵将底层水和纯氧在气液溶解罐内混合溶解；

(3) 气水混合物经气液分离后，形成高浓度溶解氧水，返回水体中。

表 6-2 水库深层水体增氧及水质改善装置参数表

序号	项目	性能参数
1	型号	PD2000
2	额定电压	380V
3	额定功率	11KW
4	高浓度含氧水生成量	120m ³ /h
5	出口溶氧值	水深 5m 时为 40mg/L，随着使用水位变深该值也会随着升高
6	PD 富氧装置外形尺寸	Φ1200*2800
7	服务半径	短期内达到 500m，长时间运行可进一步增加
8	材质	不锈钢
9	外形尺寸	Φ1200*2800
10	重量	650Kg

4. 技术创新性：水库深层水体增氧及水质改善装置相较于辐射半径小，氧利用率仅为 10%左右的浅层曝气技术以及可能会导致底部

污泥扰动和深层水体的营养盐向上移动的全层曝气技术，通过在保持层状的同时向深水层供氧，强化了辐射半径，提高了氧利用率，通过抑制来自沉积物的铁，锰，硫化氢，营养盐等的洗脱，可以防止红水（含 Fe^{3+} 的水）和黑水（含 Mn^{2+} 的水）的产生，并防止营养盐传播到整个水库。

（三）基于镧铁改性生物炭的氮磷协同治理技术

1. 技术原理介绍：（1）镧铁改性生物炭材料在生物炭原有基础上扩大了整体的 Bet 表面积，疏通了材料中的中孔和大孔，介孔的平均孔径提高，强化了材料对氮磷的物理吸附作用，更易于实现氮磷协同治理；（2）镧铁改性生物炭材料通过引入镧铁改变生物炭表面电荷结构，使其表面主要带正电荷，提高静电吸引能力，将氮磷吸附于生物炭表面，并进入生物炭孔隙中，通过迁移、扩散至材料孔道内；（3）镧铁改性生物炭材料提高脱氮相关的菌属丰度，强化硝化、反硝化及厌氧氨氧化等过程，将其中的 NH_4^+ 、 NO_3^- 还原成氮气 N_2 ；（4）镧铁改性生物炭材料的表面上镧离子及其氧化物与水溶液中的磷通过氢键(弱键) 形成表面沉积或通过化学反应形成稳定无机沉淀附着于材料上，更易于实现泥水协同共治。

2. 适用范围：该技术主要适用于氮磷超标或富营养化的河流、湖泊和水库，以及微污染的城市景观水体、封闭及半封闭小型水体的泥水协同治理与生态修复。

3. 技术工艺路线：

（1）检测水质：采用专用仪器和分析方法，确定水体中各指标的具体含量和超标情况，明确治理思路和对策；

（2）确定投加量：根据治理水体周边的污染源分布情况和水质

检测数据，结合水体治理需要达到的目标，综合考虑水体流速、流量等情况，确定投加镧铁改性生物炭材料的种类和用量。

(3)确定投加方式:将固体粉料搅拌混合均匀成 10~20%的溶液，用计量加料泵投加。以《地面水环境质量标准》(GB 3838-2002)为准，将每 100m³V类水体提升至Ⅲ类水体，所投加的镧铁改性生物炭材料约为 40kg。

(4)生态系统重构:综合运用生态浮岛、人工湿地、生态河堤、生态沟渠、水下森林等技术重构河流湖库的水生生态系统，根据不同的情况选择不同的配套措施，让其生境-生态同建。

(5)治理效果评价:生态系统建立完成之后要进行二次评估，并对其进行有针对性的优化，满足氮在泥水界面的释放通量削减率达到 70%以上，磷在泥水界面的释放通量削减率达到 60%以上，上覆水氮磷浓度满足《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)Ⅲ类水质以上。

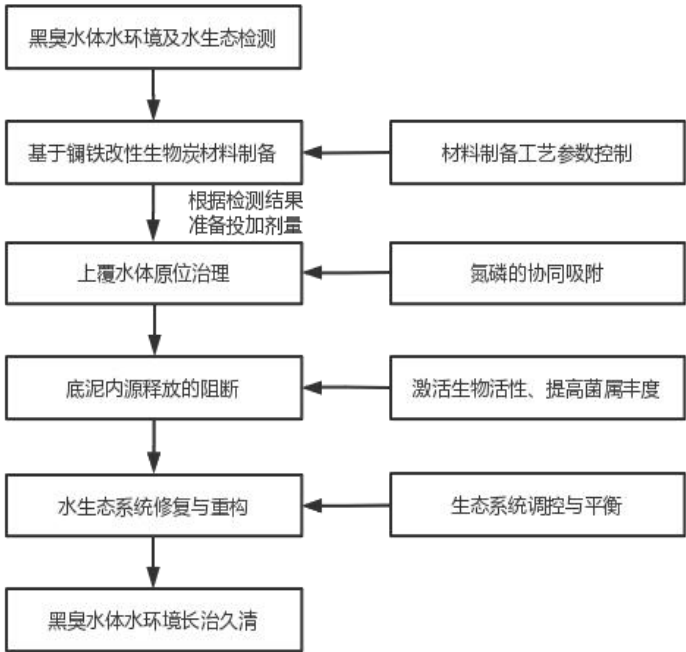


图 6-2 镧铁改性生物炭的氮磷协同治理技术工艺流程图

4. 技术创新性：（1）材料在投入水环境后，因为含有稳定碳元素，主要由芳香烃和单质碳或具有类石墨结构的碳构成，保持理化性质稳定，抗生物分解能力强，具有良好的生物安全性，属无毒、无害、无二次污染的环境友好类材料，同时赋予其“碳封存”作用，缓解温室效应，是一种绿色环保的负碳材料；（2）材料因具有丰富的孔隙结构和表面官能团，比表面积大，吸附能力强等特点，投入材料后，对水环境中氮磷污染协同治理，去除率分别达到 80%、90%以上；（3）材料促进水体中生物酶的活性，激活底泥中土著微生物的活性，提高脱氮相关的菌属丰度，强化硝化、反硝化及厌氧氨氧化等过程，提升水体自净能力，实现水环境治理的长效机制；（4）充分利用可回收生物质材料和稀土生产中的轻稀土副产物，能够快速改善泥水环境氮磷污染，阻断湖库内源污染释放形成了，实现废弃生物质材料和轻稀土元素的高附加值再利用。

（四）基于轻稀土环保功能材料的水生态系统构建技术

1. 技术原理介绍：（1）充分利用稀土镧、铈元素的本征特性，自主研发了稀土基环保新材料，促进有益微生物的生长繁殖，使水体及底泥中氮磷等物质得到充分转化利用，有效降解底泥中的氮磷等物质，降低水体营养盐含量；（2）底泥中的物质大量分解转化后底层不断沙化，再通过吸附沉积的水体胶体物质形成微生物附着的生物膜，为提高自净能力提供基础；（3）利用生物生长协同技术，根据不同情况选择不同食性的鱼类，并增加底栖动物，延长食物链，构建健康多级食物链，让水体形成健康水循环，实现生态系统的重构。

2. 适用范围：适用于湖泊、水库、塘堰、河道、沟渠等黑臭水体的治理修复，对于蓝藻治理以及流速相对缓慢的黑臭水体治理具有

特别效果。

3. 技术工艺路线:

(1) 评估-筛选: 先对目标水体进行诊断分析, 然后以恢复生态学为基础筛选适合的治理组合技术, 最后以稳态转化理论为基础设计合理的方案。

(2) 水环境系统治理及修复: ①使用亲水配方进行水生态基础条件建设和水质提升; ②通过在缓释箱体中加入特定材料, 达到水体长效治理和长久稳定的目的; ③当污染水体处于缺氧状态时, 通过曝气能够增加水体溶解氧含量, 从而抑制沉积物中的有机物、氮、磷、铁和锰的释放, 改善水体环境质量。

(3) 生态系统治理技术: 以恢复生态学为基础, 稳态转换理论为指导, 水生植物本身可以吸收水体和底泥中的营养, 且可以减少内源释放, 降低底泥再悬浮, 提高水体透明度; 利用生物生长协同技术, 根据不同水体的情况选择不同食性的鱼类, 并增加底栖动物, 延长食物链, 构建健康多级食物链, 让水体形成健康水循环。

(4) 生境生态同建: 生态系统初步构建完成后, 此时系统还不稳定, 还需要考虑目标水体的生境问题, 因此根据不同的情况选择不同的配套措施, 让其生境、生态同建。

(5) 评估-优化: 生态系统建立完成之后要进行二次评估, 并对其进行有针对性的优化, 其中包括高等水生植物群落调整、鱼类群落结构优化调整、底栖生物群落优化调整等。

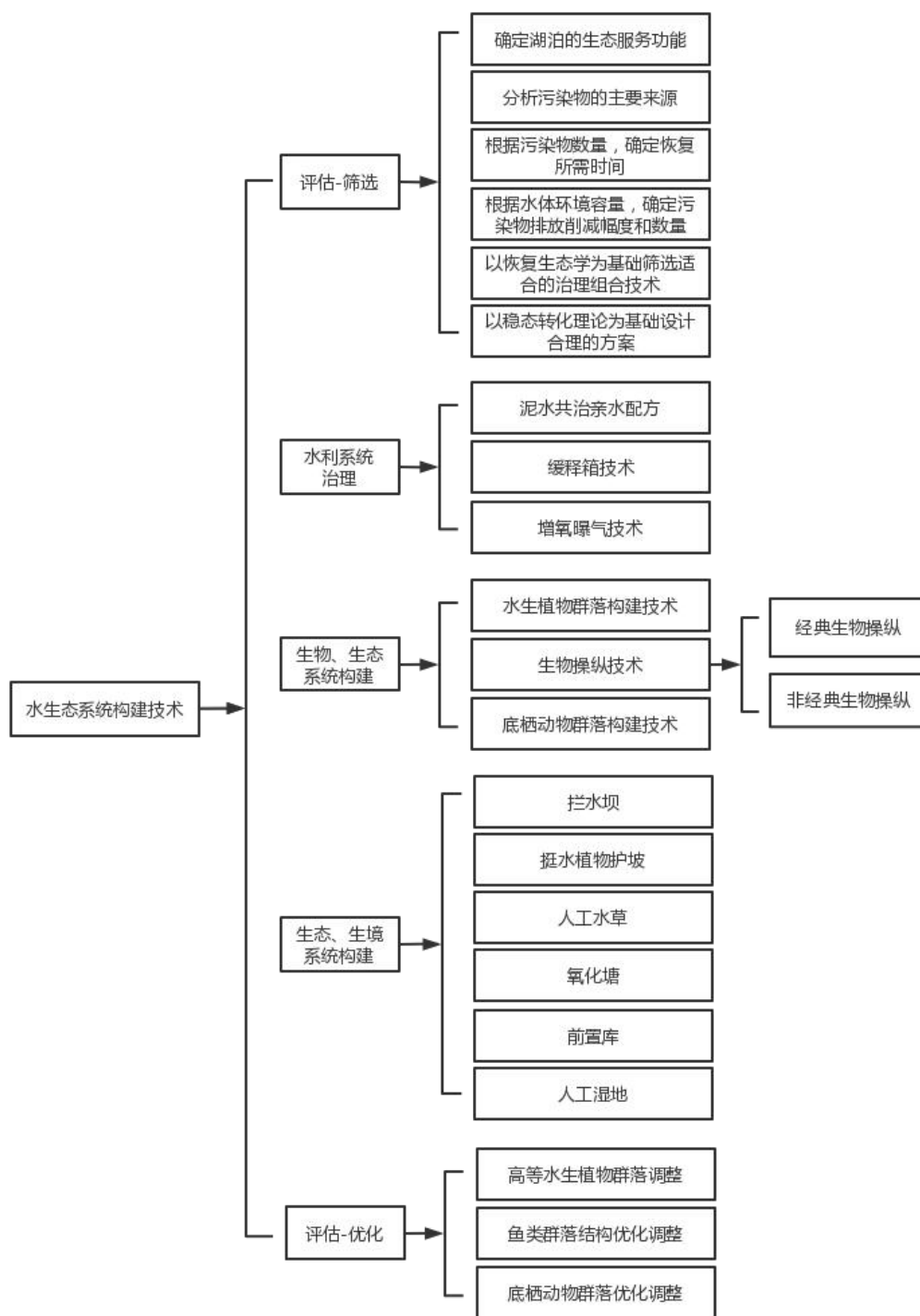


图 6-3 生态系统构建技术工艺流程图

4. 技术创新性: (1) 改善水体微环境，激活了水中有益原生菌和酶的活性，引导有益土著微生物成为优势种群，实现了原位污染治理和生物生长协同，提高水体自净能力；(2) 通过对污染物的去除和

生物体系的构建，生物多样性得到恢复，将浮游生物、微生物、水生生物培养、繁殖扩大置于整体系统解决方案中，使微生物优势种群真正形成强大的消除污染物质的力量，使水体自然变“活”，自净能力不断增强。

（五）ESS流域水环境精细化治理体系与管控平台

1. 技术原理介绍：（1）针对失去生态功能的流域岸线以及三面光河道，使用新型的生态护堤石技术进行生态修复；（2）针对点多面广的农业面源污染，因地制宜建设 T 型湿地对畜禽养殖废水、农田灌溉尾水、农村生活尾水进行消纳，该湿地由调蓄式生态沟渠+均质布水+生态驳岸改造+强化型生态浮岛滤床组成，利用岸上沟渠入河形成的自然高差，通过以上多级单元的层层净化，实现对这类散落分布的面源污染的针对性治理，降低其入河污染物负荷；（3）ESS 精细化管控平台发挥专业力量参与治水全过程，以“技术河长”模式按照精准治污要求，对河道进行“体检式”摸排，精准掌握污染源、污染物、污染负荷，通过流域水环境精细化管控平台，建立健全流域污染源基本信息数据库，明确系统治理方向，因河施策，实现精细化布局，力求追根溯源实现精准治污。

2. 适用范围：本技术主要应用于流域/湖库水污染治理，通过技术河长改善岸下水环境容量，通过行政河长控制岸上污染源，同时加强管理力度和加快管理效率。被应用水体流速不宜过快，能形成封闭或半封闭形式水体应用效果更佳。

3. 技术工艺路线：

进行流域详查后，对项目的现状水质、污染源以及周边环境进行系统分析，整体治理思路是将流域进行网格划分，根据项目现状特点

因地制宜选取采用的工艺类型，设置若干治理断面，分段治理、逐级削减。针对内源污染严重的河段，采用水质净化系统+曝气增氧，提升水体可生化性，修复河道底部表层底泥实现原位修复；对于河道的生态修复，在有条件的河段应用原位生态修复库技术、生态浮岛以及生态护堤石技术，建设 T 型湿地对农业面源污染进行精准治理，重构流域水生态环境、放大水环境容量、增强水体自净能力；同步建设流域水环境精细化管控平台，实现流域管理的智慧化；技术河长全面参与河长制日常管理工作，为河湖治理提供技术支撑与决策咨询服务；加强对沿线企业的技术指导作用，定期上门服务，为水环境管理方面的重要决策提供技术支撑；以“技术河长”为纽带，联合“市民河长”“民间河长”“乡贤河长”等带动全民治水。

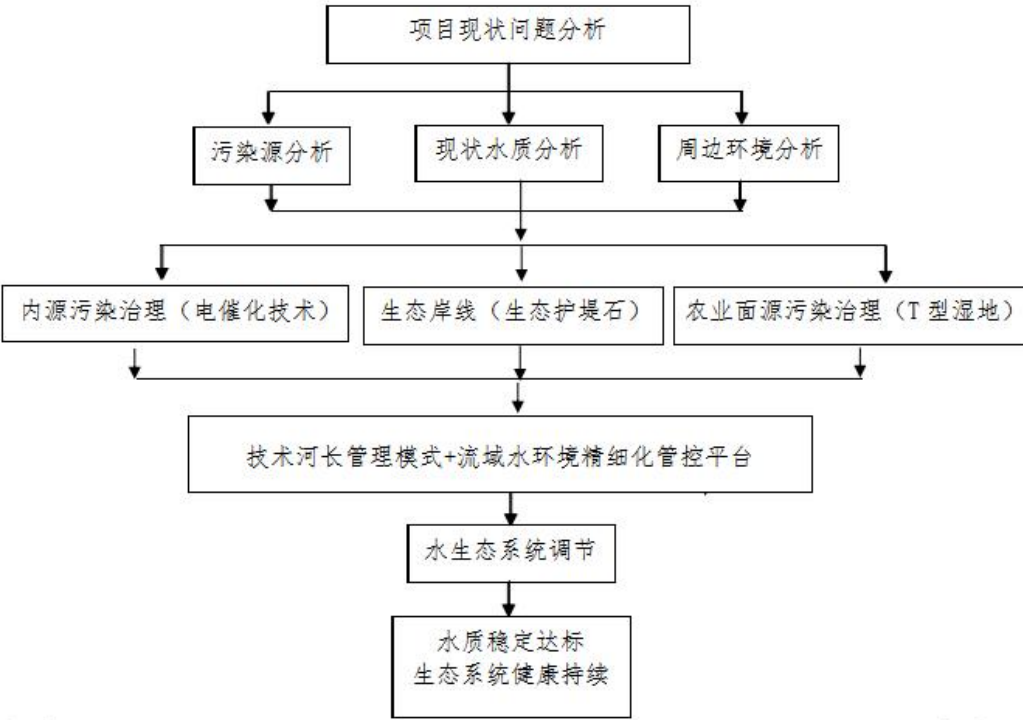


图 6-4 “技术河长”流域治理集成技术工艺流程图

4. 技术创新性：（1）改善了水质的营养性特征提高了 C/N 比和 BOD₅/COD 比，提高了可生化性，为进一步的河流自净创造了条件，也为下一步的水生态修复奠定了基础；（2）在不新增污染源的条件下，可通过调整 LEC2 水质净化设备的运行参数，修复还原河底表层淤泥，反应深度 5~20cm；（3）以 ESS 管控平台实施“技术河长”运营机制。根据不同河流、湖库的具体污染现状，坚持一河一档、一河一策，因地制宜，制定针对性的技术方案，通过持续的技术工程措施及管理，让河流水质持续改善，与政府部门形成管河治水的强大合力，实现河道的共治、共管、共护。

四、全省黑臭水体治理修复及流域生态环保技术典型应用案例

（一）案例1：成都市武侯区“宜居水岸”工程

工程规模：项目总规模约 90 万 m²，包括河道工程、河道景观工程、桥涵工程、水环境治理工程、智慧水务专项工程等。共计新建了初雨调蓄池 1 座以及配套智慧水务等相关附属工程、新增绿化面积约 60 余万平方米，新建了骑行道、步道约共计近二十公里。

工艺流程：污水发生溢流后，控制系统开始启动进水系统，通过进水监控装置监测，获取进水水质、流量等信息，进而控制加药系统工作，污水依次通过、混合絮凝结构、颗粒分离结构，再通过集排水结构出水，溢流结束后集排水结构、颗粒储存浓缩结构开始工作，实现污泥处置。

处理性能：本系统处理后水体 SS 去除率不低于 80%，或出水 SS 不高于 20mg/L(平均)；TP 去除率不低于 60%，或出水 TP 浓度不高于 1.0mg/L，上层清液用于系统自清洗和周边绿化，中层水排至污水系统，底部高浓度泥抽污至其他污泥处理站进行处理。

案例照片：

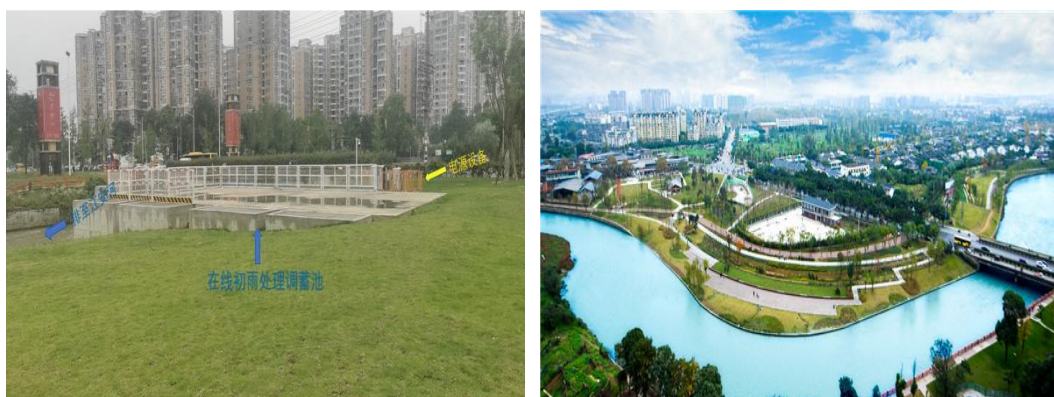


图 6-5 成都市武侯区“宜居水岸”工程

（二）案例2：四合水库水源地水质提升项目

工程规模：四合水库地处四川省乐山市井研县西南部，水库库容约 540 万 m^3 。

工艺流程：通过建立岸上 PSA 制氧站，利用空气和电能，产生 90% 纯度以上的纯氧；纯氧经过输气管至水下的气液溶解罐，气液溶解罐上的水泵将底层水和纯氧在气液溶解罐内混合溶解，气水混合物经气液分离后，形成高浓度溶解氧水，排入水体中。

处理性能：水库水质经处理过后，从《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 的 IV 类提升至 III 类标准。本设备不产生废水废气废渣等二次污染物质，也不添加化学药剂，只需要消耗电能。

案例照片：



图 6-6 四合水库水源地水质提升项目

（三）案例3：崇州市向阳水库水环境治理服务项目

工程规模：向阳水库地处四川省崇州市道明镇以西罗汉沟出山口，属岷江水系，水库位于东经 103°25'、北纬 30°36'。水库坝址海拔高程为 638m，坝址以上控制流域集雨面积 2.0km²，设计总库容 1310 万 m³，现今库容 800 万 m³，属中型水库，以饮用、灌溉为主，兼有防洪、发电、养殖等综合效益的水资源，设计灌溉面积为 0.71 万亩，实灌面积 0.71 万亩。

工艺流程：采用专用仪器和分析方法，确定水体中各指标的具体含量和超标情况，明确治理思路 and 对策；根据治理水体周边的污染源分布情况和水质检测数据，结合水体治理需要达到的目标，综合考虑水体流速、流量等情况，确定投加基于镧改性生物炭材料的种类和用量。将固体粉料搅拌混合均匀成 10~20% 的溶液，用计量加料泵投加。以《地面水环境质量标准》(GB 3838-2002)为准，将每 100m³V 类水体提升至 III 类水体，所投加的基于镧改性生物炭材料约为 40kg。综合运用生态浮岛、人工湿地、生态河堤、生态沟渠、水下森林等技术重构河流湖库的水生生态系统，生态系统建立完成之后要进行二次评估，并对其进行有针对性的优化，满足氮在泥水界面的释放通量削减率达到 70% 以上，磷在泥水界面的释放通量削减率达到 60% 以上，上覆水氮磷浓度满足地表水环境质量标准（GB 3838-2002）III 类水质以上。

处理性能：经治理后向阳水库的锰、铜、锌、砷、铬、汞、铅、总氮、总磷、氨氮等特征污染物指标均达到了《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）II、III 类水体标准，其中重金属去除率为 75%，氨氮去除率 75%，总氮去除率为 70%，总磷去除率为 60%，COD 去除

率为 60%，没有发生任何二次污染和次生灾害问题，且治理见效快且效果明显。

案例照片：



图 6-7 崇州市向阳水库水环境治理服务

（四）案例4：梅湾水库水质提升及生态修复项目

工程规模：梅湾水库位于丹棱县双桥镇梅湾村，集雨面积 15.3 平方公里，总库容 1015 万 m^3 ，设计灌面 3.16 万亩，属中型水利工程。

工艺流程：工艺流程主要有以下三个阶段：底泥生态改良阶段、水质提升阶段、水生态修复阶段。（1）底泥生态改良阶段，通过将底泥处理材料均匀洒施于整个治理区域，激活底泥中土著微生物，促进底泥加速转化利用，从根本上改善底泥环境；（2）水质提升阶段，根据前期底泥改良情况，使用“阿尔益”水处理Ⅰ型治污材料，吸附水体中的（悬浮）微粒，通过沉降提高水体透明度，使光合作用大大增强。根据Ⅰ型治理的水质情况，使用“阿尔益”水处理Ⅱ型治污材料，消除或降解水体中的多种有机物及有毒有害的化学物质；（3）水生态修复阶段，在完成底泥生态改良后，水质提升治理阶段需配套进行水生态修复，实现污染的无害化转移和资源化利用。

处理性能：丹棱县梅湾水库经治理后，实测水质状况良好，符合《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中Ⅲ类水质标准。以库容

量 1015 万 m^3 计算，削减总磷 0.7 吨、氨氮 1.31 吨、氟化物 2.81 吨。为丹棱镇 11 个行政村、双桥镇 6 个行政村、杨场镇 2 个行政村共计 44374 人的生活生产用水提供了保障。

案例照片：



图 6-8 丹棱县梅湾水库水质提升及生态修复技术服务项目

（五）案例5：童家河流域水质治理项目

工程规模：童家河乐至段起点位于天池街道黄花园村，终点位于高寺镇清水村，全长 27.0 公里，流域面积 113 平方千米，平均比降 2.05‰。本示范工程治理范围即童家河乐至段流域面积。

工艺流程：

（1）通过实地考察和监测数据制定《童家河一河一策方案》（内容包括河道污染源分析、现状水质分析、周边环境分析）。

（2）根据《童家河一河一策方案》制定治理技术思路和技术方案；

（3）确定童家河治理方案：以河道管理系统作为基础依托，通过引入纳米曝气增氧技术、电催化技术、原位生态修复库技术、生态护堤石、前置库等技术、生态植物种植等进行分段布置，分段治理。

（4）通过行政河长对岸上污染源管控，技术河长进行河道管控调节水生态系统，从而实现水质稳定达标和水生态的健康稳定。

处理性能：项目运行一年后，该组合工艺消解 COD 量为 107.715 吨，氨氮消解量为 16.11 吨。童家河流域清水村断面水质由原有的劣 V 类水质提升至《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV 类，部分月份水质够稳定达到 III 类。

案例照片：



图 6-9 乐至县童家河流域水质治理项目

（六）案例6：宝兴河流域生态信息管理平台项目

项目概况：宝兴河流域属于青衣江上游支流，位于大熊猫国家公园核心区，是全球 34 个生物多样性热点地区之一，是四川省非常有代表性的水电开发密集型小流域的代表。项目围绕水电开发密集型小流域水生态环境保护中存在的 key 问题，构建了以水生生态指示为导向的水体健康目标管理体系，小流域水体健康评价的多要素指标体系和小流域水体健康定量化评估方法，研发了面向水电开发密集型小流域水体健康管理决策系统和生态信息管理平台，为水电开发密集型小流域精细化管理提供关键技术支持和决策依据。

技术路线：

（1）建立水生生态指示为导向的水体健康目标管理体系，包括基于水环境、水文要素、水生态、河流形态等多要素的调查，耦合流域边界的自然汇水规律、生态服务功能以及生态环境敏感性的判断标

准，确定不同水体管控单元；基于浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼类的密度、生物量及多样性指数调查分析，确定不同水体管控单元的水生生态指示指标；基于水生生态指示物种与水质、水文、河流形态指标之间的响应关系分析，确定不同水体管控单元水质及水生生态指标的限值。

（2）建立水电开发密集型小流域水体健康评价多要素指标体系，包括基于灰色动态层次分析法对水环境、水文及水生生态指标进行综合评价，筛选出影响小流域水体健康的关键指标，构建水电开发密集型小流域水体健康评价综合指标体系。

（3）构建小流域水体健康定量化评估方法，包括基于水质、水生生态、水文以及河流形态等多要素指标，构建多属性决策的小流域水体健康定量化评估；基于水生生态指示物种的生境特征（水位偏好、流速偏好、基质偏好等），核算减水河段的生态基流；基于引水式电站开发（取水、筑坝、围堰等）对流域水生生态系统的影响，构建可持续发展引导的多目标水资源调度模型。

（4）建立面向水电开发强度密集型小流域水体健康管理决策支持系统和生态信息管理平台。项目总体技术路线如图 6-10 所示。

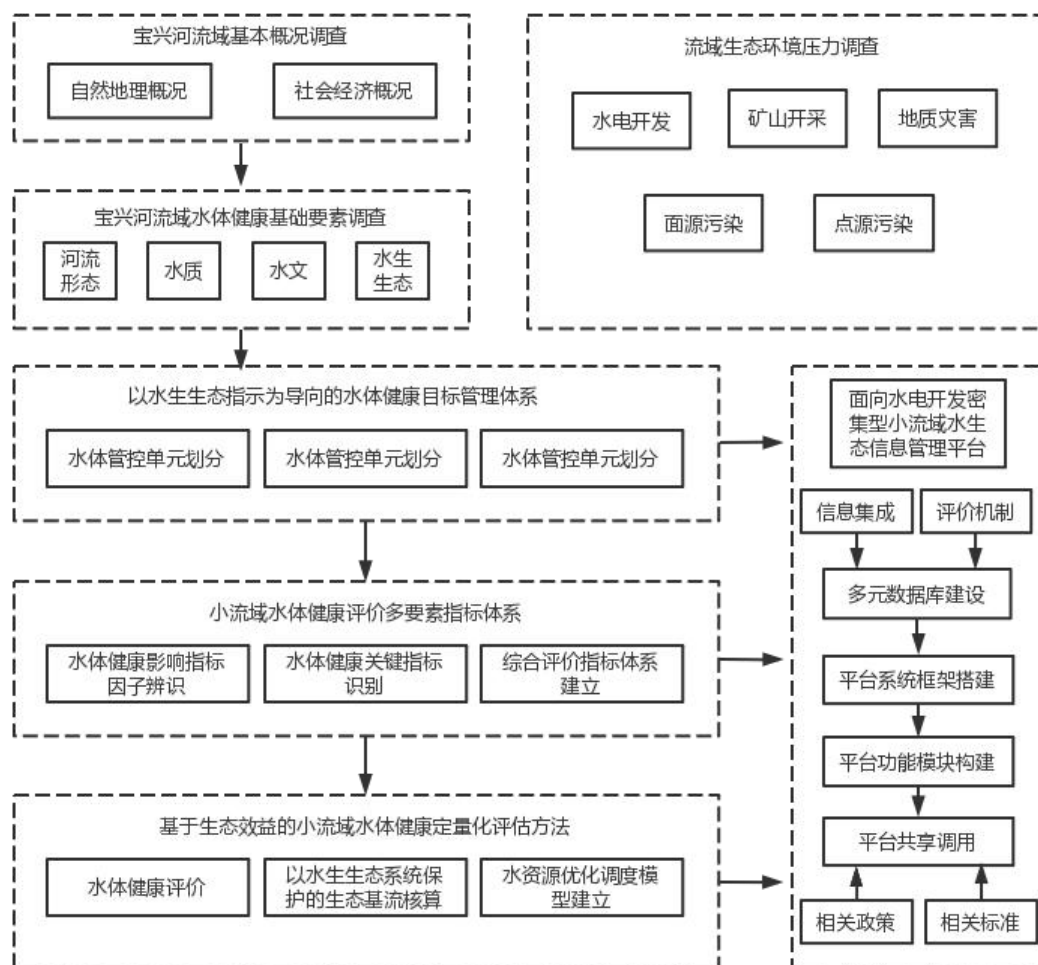


图 6-10 宝兴河流域生态信息管理平台项目总体技术路线图

特色与创新:

(1) 利用浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼类的密度、生物量及多样性指数建立了小流域水体健康状况的分级目标,精准把控水体健康的现状与变化趋势,制定出了不同水体管控单元水质、水生态指标管控目标限值,以生物完整性状况表征小流域的水生态环境质量,建立了目标管理体系;(2)首次对水电开发密集型小流域中浮游植物、浮游动物以及底栖动物的群落结构进行了系统性梳理,厘清了物种组成与变化、群落结构相似与差异的关键问题,并分析了其与水质、水文、河流形态指标之间的响应关系;(3)基于水生生物对水环境、水文及河流形态等多要素的响应机制,识别出影响小流域水体健康的关

键指标, 构建出水体健康评价综合指标体系, 突破单一指标不能全面、准确反映流域系统各要素间相互关系的瓶颈问题; (4) 基于水质指标、水生生态指示指标、水文指标以及河流形态指标等, 基于 PSR (压力、状态和响应) 模型建立水电密集开发下的河流生态系统健康评价体系, 创新构建出基于生态效益的多属性决策水体健康评价体系, 用于定量化评价小流域水体的健康程度; (5) 针对水电开发密集型小流域发电效益与生境保护的现实矛盾, 提出了改进型遗传算法驱动的水资源多目标调配模型, 以生态需水溢缺量最小化、梯级电站发电量最大化、区域社会发展需水溢缺量最小化为关键目标, 寻求同时满足环境效益、社会效益、经济效益的水资源最佳优化调度方案。

案例照片:

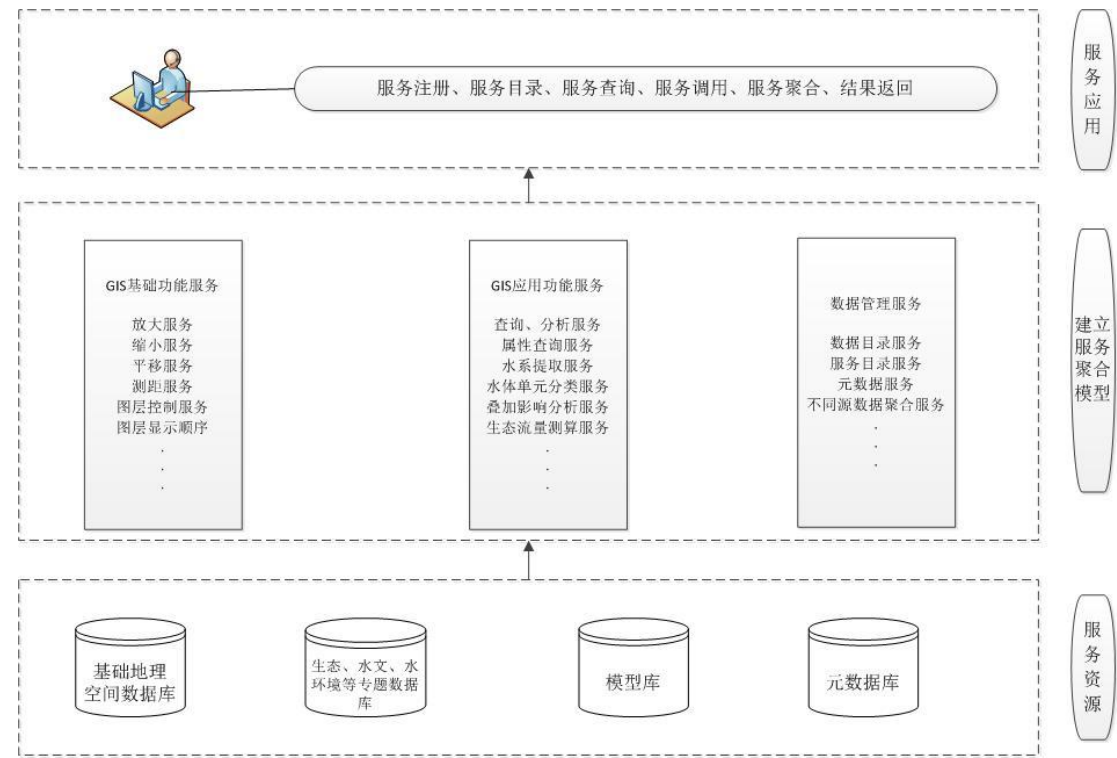


图 6-11 宝兴河流域生态信息管理平台-系统框架

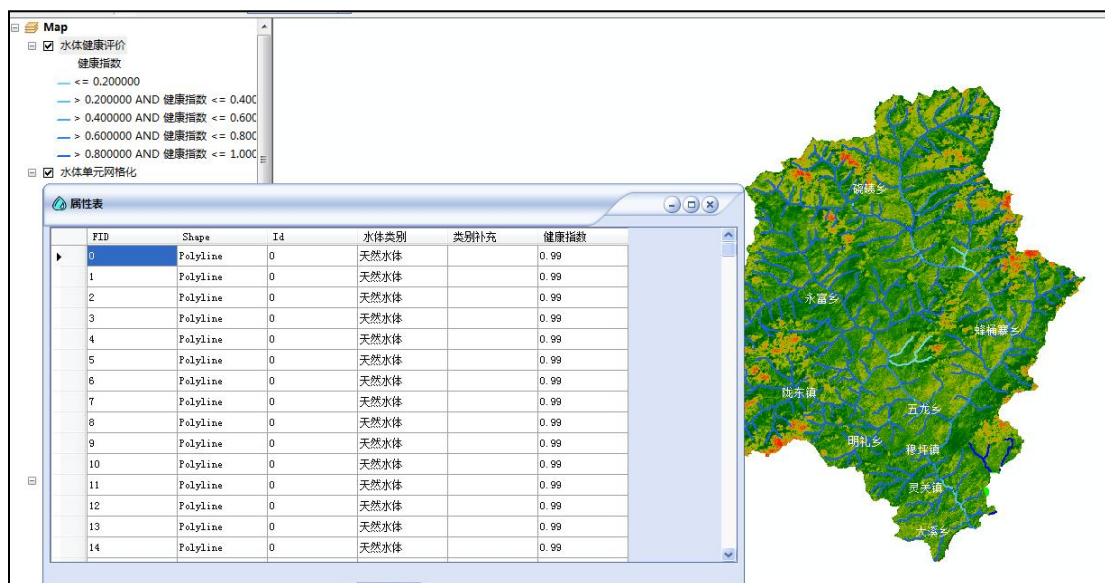


图 6-12 宝兴河流域生态信息管理平台-水体健康评价

五、结论与展望

进入“十四五”后，流域污染防治需求立足新的发展阶段，完整、准确、全面实施流域水生态环境保护，以精准治污、科学治污为技术方针，统筹流域污染防治与水生态修复，协调减污与降碳，不断延伸流域污染防治的深度，不断拓展流域生态保护的广度。未来流域污染治理与水生态保护的重点方向：

（一）微污染水体的治理技术

微污染水体中的有机物、氨氮等污染物含量较少，但危害不小。常规的水处理工艺（混凝、沉淀、过滤、消毒）不能有效去除微污染水源水中的有机物、氨氮等污染物，应用传统的水处理剂会带来新的危害，如加氯消毒后易与原水中的腐殖质结合产生新的污染物，直接威胁人体健康。微污染水处理要先经过预处理，然后进行深度处理。

微污染水体净化技术主要有三大类，分别为物理、化学以及生化预处理技术。物理净化技术主要包括：吹脱净化技术、吸附净化技术、膜过滤净化技术等。化学净化技术主要包括：预氧化技术、光化学氧化法等。生物预处理净化技术主要包括：塔式生物滤池、生物接触氧

化法等。其中，生物预处理联合物理预处理是一种高效、经济并且安全的净化方式，在多个工艺联合使用之后，对降低饮用水突变活性的效果也非常好。因此，生物预处理联合物理预处理的组合处理是当前微污染水体的首选处理方式之一，是微污染水净化技术的未来发展趋势。

（二）面源污染的截控技术

面源污染主要由土壤泥沙颗粒、氮磷等营养物质、农药、各种大气颗粒物等组成，通过地表径流、土壤侵蚀、农田排水等方式进入水、土壤或大气环境。面源污染具有分布随机、污染源复杂、迁移途径无序，使得面源污染成为环境污染治理的一大难点，严重影响到我国的地表水环境。目前我国缺少能够大规模、高效率、低成本的面源污染控制技术。近年来，随着地方政府提出贯彻的“河长”“湖长”等政策，各个流域对污染治理越来越重视，但是仍然没有一套体系进行科学的面源污染控制。

针对我国面源污染情况，首先需要制订一套完整的面源污染评价制度，对农业面源污染进行等级评定划分；其次通过建立模型等技术对不同等级的面源污染提出相应的治理方案；然后进行因地制宜的环境勘察，确定当地面源污染等级，进行技术选择。为了能够有效控制面源污染，国内外学者在传统污染控制技术基础进行改进，产生了更先进绿色的新型面源污染控制技术。以人工湿地为基础衍生出了新型曝气氧化沟、人工湿地-稳定塘等技术，具有人工湿地优点的同时能够弥补不足，对污染物具有更好的去除效果，并且具有较强的抗负荷能力。电解化物理滤池、重力沉沙过滤池等工艺能够进行泥沙的过滤，有效沉降径流泥沙，并且比普通过滤池更不易堵塞。旋流分离器则作

为对暴雨产生的降雨径流进行控制，有效地减轻雨水污染。

（三）新兴污染物的防治技术

新兴污染物（ECs）是指由人类活动造成的，目前已明确存在但尚无法律法规和标准予以规定或规定不完善的，危害生活和生态环境的所有在生产建设或者其他活动中产生的污染物。常见的 ECs 包括药物残留、个人护理产品（PCP）、环境内分泌干扰物(EDCs)、全氟化合物(PFCs)、微塑料等。相较于传统的污染物，大部分 ECs 持久性、累积性、迁移性的特征更为明显，其能在环境中持久存在，治理难度远超传统的污染物。

ECs 有别于以往管理的常规污染物，因其自身特性，在防控和管理上存在很多共性挑战：一是新污染物不易降解、易在生物体内累积富集，其危害性短时间内不易显现，其毒性、迁移、转化机理研究难度大；二是种类多、数量大、分布广，涉及行业广泛、产业链长，但单位产品使用量小，在环境中含量低、分布分散隐蔽性强，其生产、使用和环境污染底数不易摸清；三是可以远距离迁移，其管理需要宏观结合、粗细结合，既要大尺度区域协同防控，又要精准管理；四是部分新污染物是人类新合成的物质，具有优良的产品特性，其替代品和替代技术不易研发；五是部分新污染物是无意产生的物质或代谢产物，生成机理和减排技术研究难度大。

拿抗生素举例，传统的污水处理厂和给水处理厂都没有目的性地去除抗生素及其它残留药物的工艺流程。但是，很多研究者对各种处理技术对抗生素的去除效果进行了研究。从去除抗生素的角度，可以将相关的水治理技术分为四大类：生物处理、物理处理、过滤处理和高级处理技术。

（四）治理成效长效保持机制

根据污染程度与治理目标的不同，黑臭水体治理可分为应急治理、水质改善和长效保持三个阶段。黑臭水体治理后，可能会面临污染负荷再度升高等问题，使得水体水质恶化和黑臭反复。为了使消除黑臭的水体长效保持良好水质，达到“长制久清”的目的，需要建立健全长效保持机制，如图 6-13 所示。通过落实河长制、奖惩机制等工作机制，完善排污许可管理、市政管网私搭乱接溯源执法机制等排污与治污管理机制，健全工程质量全过程监管、水体及各类治污设施日常维护养护管理等运维管理机制，建立“厂-网-河”一体化运维机制等水岸一体化管理机制，全面加强对水体的综合管控，多措并举，确实保障水质的“长制久清”。在满足黑臭水体水质得到治理的基础上，总体的水质长效保持方案应按照“排查评估→污染削减→生态恢复→水系循环→信息公开”五个步骤进行。



图 6-13 良好水质长效保持机制图