

DOI:10.13476/j.cnki.nsbdtk.2022.0052

谢红忠,万艳雷,周秋红,等.干旱地区高盐纳污坑塘水生态修复:以阿拉尔氧化塘为例[J].南水北调与水利科技(中英文),2022,20(3):516-524. XIE H Z, WAN Y L, ZHOU Q H, et al. Water ecological restoration for sewage pond with high salinity in arid area: A case study of Alaer oxidation pond[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(3):516-524. (in Chinese)

干旱地区高盐纳污坑塘水生态修复

——以阿拉尔氧化塘为例

谢红忠¹, 万艳雷^{1,2}, 周秋红^{1,2}, 谢晓靓¹, 陈浩^{1,3}

(1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 武汉 430010; 2. 水利部长江治理与保护重点实验室, 武汉 430010;
3. 流域水安全保障湖北省重点实验室, 武汉 430010)

摘要:针对干旱地区污染水体修复及资源化利用的关键问题,以新疆阿拉尔纳污坑塘生态修复及景观提升项目为例,探索不同水生态修复技术在干旱地区高盐水体水环境修复中的应用效果。通过前期调研、方法研究和技术论证,提出“控源截污、水质提升、活水循环、生态修复”的技术路线,阿拉尔氧化塘内废水采用“改性沸石原位修复+微生物降解+水生植被种植+曝气增氧”的协同技术体系改善水质,实现水生态系统的恢复和水体自净能力的提升。工程全面实施后,氧化塘内水体总磷、氨氮、化学需氧量、色度和总氮的去除率分别达80.73%、58.55%、62.63%、87.06%和68.61%,水体黑臭现象消失,生态效益显著,对我国西北干旱地区的水环境修复和水资源利用具有较强的示范作用。

关键词:水生态修复;纳污坑塘;高盐水体;黑臭水体治理;干旱地区

中图分类号:TV213;TU992 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



我国是一个水资源紧缺的国家,淡水资源人均量远低于国际平均水平,尤其是西部干旱、半干旱地区,因受气候因素影响,年蒸发量远大于年降水量,水资源短缺已成为制约整个西北地区经济发展的瓶颈。截至2019年,新疆维吾尔自治区棉花种植总面积约 $2.54 \times 10^6 \text{ hm}^2$,总产量达 $5.00 \times 10^6 \text{ t}$,约占全国棉花总产量的85%^[1]。棉浆粕和黏胶纤维行业以自治区的棉花资源优势为立足点,已逐渐成为新疆维吾尔自治区的优势产业,带来了巨大的经济效益。然而,棉浆粕和黏胶纤维生产过程中产生大量酸、碱废水和脱硫废水,具有色度大、化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)质量浓度高、氮磷元素质量浓度低、盐分大,处理难度大等特点^[2-7]。随着行

业的快速发展,企业生产废水总量持续增加,这些废水经过处理后,通过长输管线排放至沙漠或荒漠的污水库,经长时间蒸发浓缩,致使污水库内各类污染物逐渐富集、含盐量高、水质变差、水体黑臭。随着国家对黑臭水体治理、水环境综合整治的重视,大量纳污坑塘面临水环境修复、消除黑臭的问题^[8]。尤其是新疆维吾尔自治区属于内陆干旱区,生态环境脆弱,水资源匮乏,而水资源过度开发和水体污染加剧了水资源供需矛盾,并导致水环境不断恶化,水污染治理已成为新疆维吾尔自治区经济社会发展亟待解决的问题^[9]。目前,高盐废水的处理方法主要有反渗透、膜蒸馏、电渗析、离子交换、高级氧化和生物处理工艺等^[10-11],这些处理方法通常成本高、耗时

收稿日期:2021-08-24 修回日期:2021-12-01 网络出版时间:2022-01-05

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20220104.1752.002.html

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(2021M692753)

作者简介:谢红忠(1974—),男,湖北黄冈人,高级工程师,主要从事水污染控制研究。E-mail: xiehongzhong@cjwsjy.com.cn

通信作者:周秋红(1984—),女,山东菏泽人,工程师,博士,主要从事水质净化研究。E-mail: zhouqiu hong@cjwsjy.com.cn

长,且主要针对工业高盐废水(如腌制废水、海产废水、皮革废水等)开展相关研究。针对干旱地区高盐纳污坑塘的水处理技术鲜有报导。

因此,以新疆阿拉尔湿地生态修复及景观提升项目为例,针对西北干旱地区水体污染特征,探索不同水生态修复技术在干旱地区高盐水体水环境修复中的应用效果,总结阿拉尔氧化塘治理工程中应用的相关水生态修复技术及要点,为我国西北干旱地区黑臭水体治理提供技术参考。

1 阿拉尔氧化塘水污染现状

1.1 阿拉尔氧化塘概况

阿拉尔市地处天山南麓塔里木盆地北部边缘,东经 $81^{\circ}03'$,北纬 $40^{\circ}30'$,海拔高度 $1\ 012.2\text{ m}$ 。该市年平均降水量为 49.5 mm ,年蒸发量为 $1\ 987.3\text{ mm}$,属于典型干旱地区高盐碱区域。阿拉尔工业园区于

2004 年启动建设,在 2012 年正式设立为国家级阿拉尔经济技术开发区。开发区总面积 55.63 km^2 ,共分 5 大区域,产业定位分别为纺织服装、精细石油化工、新材料、农副产品加工和新能源。

阿拉尔氧化塘于 2008 年建成,位于阿拉尔经济技术开发区污水处理厂东北侧,距离阿拉尔市中心约 23.5 km ,东南侧为塔里木河,直线距离约 5 km 。阿拉尔经济技术开发区的生产、生活废水经污水处理厂处理后进入氧化塘,目前已运行 10 年,现氧化塘废水排入量约为 $4\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。氧化塘占地面积约 14 km^2 ,由于多年的排水,目前已形成稳定水面 $5\sim 7\text{ km}^2$,平均水深约 2 m ,现存水量 $0.10\text{ 亿}\sim 0.14\text{ 亿 m}^3$,氧化塘四周以渗水坝与外界隔离,中间修筑中坝贯穿南北,将其分为西库和东库,其中东库地势较低,水面较大。氧化塘湿地见图 1。



图 1 氧化塘湿地

Fig. 1 The plane graph of oxidation pond wetland

1.2 氧化塘水质现状

2018 年 7 月 3 日至 2018 年 7 月 7 日对氧化塘区域地表水水质进行监测,水样采集遵循《水质采样技术指导》(GB 12998—91)和《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》(环境保护部公告 2014 年第 78 号)进行采样点布设、现场采样与实验室检测分析工作,共设 19 个水质采样点,选取 pH 值、COD、总氮、氨氮、总磷、色度、硫酸盐、全盐量和氟化物等 9 个水质监测指标。其中色度采用《水质色度的测定》(GB 11903—89)中稀释倍数法测定,其他指标分析方法参考国家或行业相关标准分析方法。

阿拉尔氧化塘水质监测结果见表 1,与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类水相比,氧化塘水体 COD、总氮、磷、氟化物、硫酸盐、全盐量均超标,氧化塘水质为劣 V 类,与《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准相比,氧化塘色度超标。此外,氧化塘水体中微生物生存环境恶劣,有益种群少,病原菌和杂菌较多,水体自净能力差,依靠单一的物理、化学、生物修复技术难以达到持久有效的治理效果。主要由于阿拉尔氧化塘在 2008—2015 年接受的废水执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中的三级标准,该标准

未对全盐量、硫酸盐、氯化物等指标做出要求,直到 2015 年才执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。因此,氧化塘内执行三级标准的废水存量较大。目前阿拉尔氧化塘的主要问题有:外源污染,阿拉尔工业园内某棉浆粕和

黏胶纤维企业是氧化塘最大废水排放量企业,约占总排放量的 70%,该企业废水具有色度高、含盐量高、污染物含量高、处理难度大等特点;水体黑臭,水质为劣 V 类水;水体盐度高,周围土壤盐碱化严重,水生植物难以存活,生态系统脆弱。

表 1 阿拉尔氧化塘水质现状调查结果

Tab. 1 Investigation results of water quality in Alaer oxidation pond

监测指标	(GB 3838—2002) V	进水口	西坝	中坝	东坝	排碱渠
pH 值	6~9	8.31	8.70	8.67	8.68	8.43
氨氮质量浓度/(mg·L ⁻¹)	2.0	0.530	0.410	0.460	0.400	0.057
总氮质量浓度/(mg·L ⁻¹)	≤2.0	3.330	3.680	7.380	4.705	0.590
总磷质量浓度/(mg·L ⁻¹)	≤0.2	0.06	1.05	0.95	0.22	0.04
COD 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	≤40	11.04	148.90	142.95	95.50	138
色度(稀释倍数)	30*	100.76	192.92	118.70	20.00	10.00
硫酸盐质量浓度/(mg·L ⁻¹)	250	6 110	11 900	11 300	12 200	1 030
全盐量质量浓度/(mg·L ⁻¹)	2 000	10 900	14 800	18 500	18 300	8 950
氟化物质量浓度/(mg·L ⁻¹)	≤1.5	2.74	11.90	10.10	9.94	4.58

注: * 为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准。

2 水环境治理措施

基于氧化塘水质现状,确定氧化塘修复最终目标为:对氧化塘区域现存废水进行无害化治理,主要解决氧化塘废水色度、COD、总氮、总磷、氨氮等污染物含量偏高问题,保证氧化塘坝内现存废水稳定达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中的一级标准,其中色度(稀释倍数)≤30 倍、COD 质量浓度≤100 mg/L、总氮质量浓度≤2 mg/L、总磷质量浓度≤0.5 mg/L、氨氮质量浓度≤2 mg/L。通过一系列治理措施,完成氧化塘地表水无害化治理,在保证生态不遭到破坏的情况下,实现废水综合利用。阿拉尔氧化塘采用“水安全、水环境、水资源、水生态”四位一体的综合治理技术框架,以氧化塘现状问题和治理目标为导向。阿拉尔氧化塘无害化治理和生态修复的技术方案具体包括 4 项措施:控源截污,从源头控制进入氧化塘的污染物含量;水质提升,消除水中污染物,实现水质达标,恢复水体功能;活水循环,提高氧化塘自净能力,减少水体污染,完善区域水循环系统;生态修复,修复和改善区域水生态环境,实现生产废水资源综合利用。4 项措施循序渐进,逐步深入,协同发挥作用,从前期源头阻断、中期污染水体治理到后期修复成果长效保持,最终实现阿拉尔氧化塘水质净化和生态系统重建。

2.1 控源截污

控源截污是水环境综合治理中最重要的一步,

污染源不除,则水体治理容易陷入反复污染治理的循环中。阿拉尔氧化塘废水主要来自阿拉尔经济技术开发区污水处理厂,该污水处理厂处理工艺和设计规模满足园区现状污水排放要求,无须新建处理单元。

阿拉尔工业园内排放量最大的某棉浆粕和黏胶纤维企业开展废水综合利用工程,对该企业污水处理设施进行升级改造,将该企业废水与园区废水进行分离,不再排入氧化塘。在氧化塘北侧建设一座全防渗暂存池,用于储存和调蓄该企业产生的废水,同时建设以红柳为主的生态林。暂存池的主要任务是通过生态林灌溉的方式实现废水综合利用,方案实施后,园区内最大的棉浆粕和黏胶纤维企业含盐量较高的棉浆粕废水和化纤废水将不再排入氧化塘,在很大程度上减少了全盐量、硫酸盐、氯化物等污染物的排入,能够从源头上减少阿拉尔氧化塘特征污染物的排入量。

2.2 水质提升

针对阿拉尔氧化塘高盐废水色度高,透明度低, COD、总氮、总磷超标等问题,在控源截污的基础上,采用高盐环境下原位水生态修复技术提升氧化塘水质,该技术的核心在于通过改善微生物和水生植物生存环境、培育和构建耐盐微生物菌群和水生植物体系,逐步恢复和完善水生态系统^[12]。该技术包含 4 个方面:改性沸石水环境原位修复技术;靶向微生物水生态修复技术;曝气增氧技术;水生植被恢复技术。这 4 项技术相互促进,协同发挥作用,详见

图2。喷洒改性沸石后一方面可提高水体透明度,改善沉水植物生长环境,另一方面通过离子交换作用,从改性沸石中置换出钾离子,增强植物酶作用效果。水生植物吸收水中营养盐,增加水体溶解氧,改善靶向微生物生存环境,微生物活动也能够反过来促进水生植物生长。曝气增氧可快速增加水体溶解氧,改善好氧微生物生境和氧化塘底部氧化还原状态,加速底部有机物和亚硝酸盐等氧化分解。微生物和水生植物的数量和生长速度提高后,作用于浮游水生动物,逐渐形成闭环食物链,加快水生生态系统的恢复和重建,实现干旱地区高盐环境水生态修复。

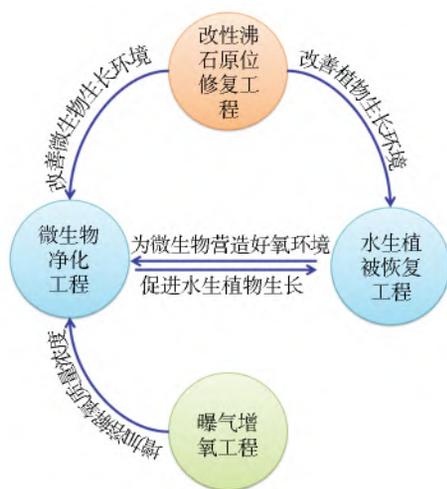


图2 水质提升关键技术

Fig. 2 The key technologies for water quality improving

2.2.1 改性沸石水环境原位修复技术

使用的水环境修复材料主要成分为沸石(>60%),此外,还包括石英、白云母、长石、蛭石、蒙脱石等多种矿物,经研磨混合、低温煅烧后,用特殊离子交换工艺制成的多孔状矿物质综合体,记为改性沸石。改性沸石修复材料种类多样,需根据目标水体现状优化材料配方,并确定修复材料投加量为500 g/m³。

通过喷撒改性沸石,以解决氧化塘水质色度超标、透明度低的问题。施工后,短期连续监测结果表明,喷撒改性沸石后,可快速改善氧化塘水质,尤其对色度和COD去除效果明显,见图3。研究表明:当投加量为8 g/L时,改性沸石对溴酚蓝的去除率最高可达97.86%,对刚果红的去除率可达99.99%^[13-14];当投加量为10 g/L时,改性沸石对酸性橙Ⅱ的去除率为99.63%,COD的去除率约30%^[15-16]。改性沸石作为微生物载体,展现出优异的微生物促生作用,可有效激活土著微生物活性,当改性沸石结合土著微生物处理废水时,其对氨氮、总氮、COD都具有较好的去除效果^[17-18]。改性沸石进入水体后,通过吸附、凝聚、沉淀作用迅速改善水体色度、提高透明度,同时逐渐降低水体污染物质量浓度和盐分。此外改性沸石具有亲水性好、微生物附着率高等特性,为微生物提供生长附着环境和代谢增殖空间,从而激活水体以及底泥中土著微生物活性,加快污染物分解和转化。

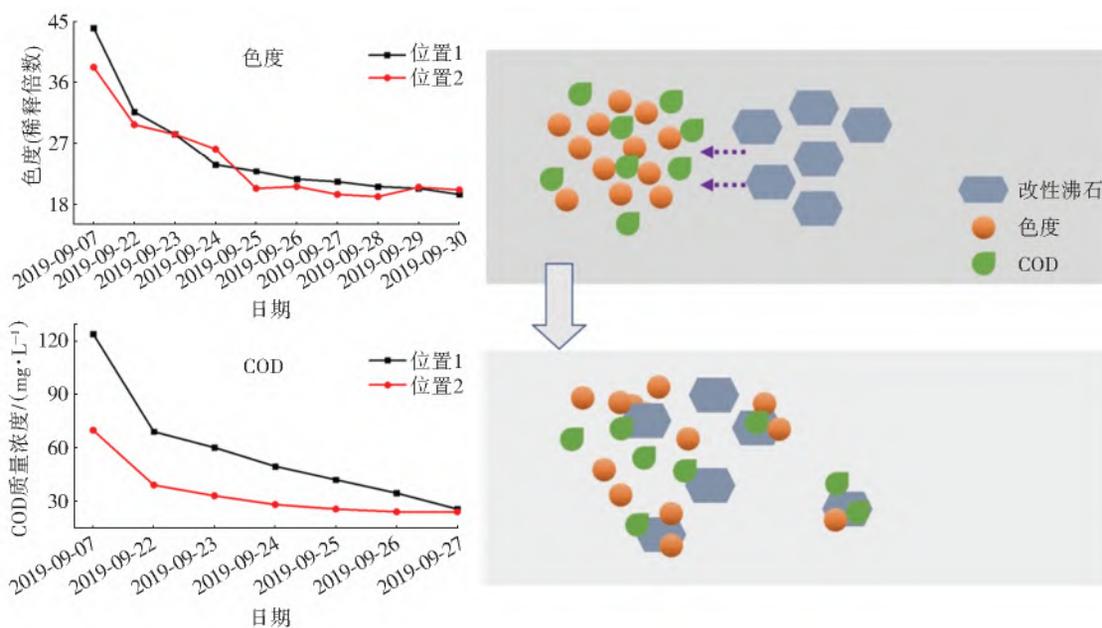


图3 喷撒改性沸石后水质色度、COD变化趋势及机理

Fig. 3 Change trend of chroma and COD of water quality after spraying of modified zeolite and its proposed mechanism diagram

2.2.2 靶向微生物水生态修复技术

微生物菌剂购自大连某公司,针对阿拉尔纳污坑塘高盐高碱、常规微生物难以存活的问题,采用阶梯加盐驯化筛选耐盐微生物菌群。通过室内试验确定最佳微生物菌剂投放量,同时选取面积约 1 000 m² 的独立坑塘开展中试试验。根据不同区域取水试验结果,在微生物菌剂投加量为 15~17 mg/L 时,COD 的去除效果较好。靶向微生物菌液在现场培养成熟后,喷撒施入氧化塘,菌液中主力微生物包括光合菌(细小光合菌)、VA 菌根菌、白腐菌、酵母菌、乳酸菌、放线菌、曲霉菌等多种有益菌。在现场试验时,投入靶向微生物后,水体生态明显改善,出现大量浮游生物,有机污染物含量降低,表层淤泥部分沙化。在保证外来菌种存活率的前提下,同时引导土著微生物迅速繁殖,以增加水体中微生物的种类和密度,提高群落代谢活性,促进有机污染物分解转化,降低水体 COD 质量浓度。微生物代谢产物作为其他水生生物的饵料和生长基质,促进塘底微环境向好氧转化,进而提高水体有机物代谢能力,促进水生态系统逐渐恢复和重建,实现水体自净能力的提升。

2.2.3 曝气增氧技术

因阿拉尔氧化塘水体流速较缓,且存在部分死角区域,水体交换基本为零,所以易造成污染物堆积现象,导致部分区域水质较差。研究投放曝气增氧设备以增加水体溶解氧质量浓度,促进好氧微生物种群活动,同时增加区域内水体交换,促进污染物分解。曝气增氧设备采用微纳米曝气技术对氧化塘水体流动缓慢区域进行曝气增氧,具体包括大型微纳米气泡发生器、太阳能微纳米气泡发生器和太阳能喷泉曝气机。

2.2.4 水生植被恢复技术

依照选种→繁殖与幼苗培育→现场定植与扩增试验→种植种群优化的技术路线,实施耐盐碱挺水、沉水植物种植工程。通过文献调研、实地考察等方式筛选适于干旱地区高盐水体生长的优势沉水植物类群,包括沉水植物川蔓藻、篦齿眼子菜、狐尾藻、金鱼藻、菹草、线叶眼子菜、马来眼子菜、黑藻、苦草和挺水植物水葱、再力花、香蒲、千屈菜、大米草、盐角草等^[19-20]。通过开展植物种植试验,分析植物生理机能,综合评价耐盐沉水植物的适用性。结果表明篦齿眼子菜、水葱和香蒲耐盐性能较好,对这 3 种植物进行定植扩繁。在排水口、中坝两侧以及南坝种植挺水植物(耐盐碱水葱和香蒲)和沉水植物(篦齿眼子

菜),利用植被的代谢作用进一步净化氧化塘内废水。

2.3 活水循环

由于阿拉尔地区降水量小、蒸发量大,活水循环措施的作用:一方面能够维持氧化塘现有水面,通过水体循环,提高氧化塘湿地水体净化能力,从而改善氧化塘区域生态环境质量;另一方面能够控制地下水受影响的范围,改善氧化塘区域土壤环境质量,最终实现水土共治。活水循环采用地表水引流,塔北二干排渠引流方案和下游地下水引流方案联合实现。塔北二干排渠位于氧化塘进水口西侧,灌溉季节长期有水流过,水量较大。根据新疆新环监测检测研究院(有限公司)对排碱渠的水质监测数据(表 1),虽然含盐量略高,但其他水质指标均优于氧化塘内水体。本方案将塔北二干排渠的水引入以维持氧化塘一定的水面,见图 1 中蓝色管道。沿地下水流向在氧化塘下游区域布设 6 口浅层地下水引流井(图 1),井位间隔为 300~500 m,距氧化塘外围坝体 200 m。井深、抽水量可根据实际需要引入的水量来确定,每日抽取地下水进入氧化塘,排入氧化塘内以维持氧化塘现有水面。地下水抽水回灌的时间应放在氧化塘内现存废水治理并取得明显效果后进行,这样既能够实现地下水中的污染物被抽出处理,又能够实现处理后的较清洁的水源补给周边地下水,形成地下水中污染物逐步被析出置换的地下水净化体系。

2.4 生态修复

为完成阿拉尔氧化塘无害化治理,实现生产废水全部综合利用,使氧化塘区域地表水、地下水、土壤、生态等环境质量恢复到排水之前或优于排水前,在氧化塘湿地西南侧新建生态修复示范区,种植可改善土壤环境、固定盐分的盐地碱蓬^[21],示范区采用滴灌方式进行节水灌溉。为避免生态灌溉过程中盐分累积效应,造成土壤盐化或碱蓬存活率降低等现象,灌溉用水含盐量控制在 10 000 mg/L 以下,采用氧化塘内高盐废水混合地下水、排碱渠内碱水或者其他水源,进行废水的综合利用。

3 水环境治理效果分析

针对氧化塘区域特点和污染特征,制定了综合性的治理方案,在现有水质强化净化与水生态修复综合技术的基础上进行创新,除传统截污和活水工程外,应用改性矿物质材料、靶向微生物菌剂和耐盐水生植物,同步实现了水质提升和内源控制。

为评估阿拉尔氧化塘废水治理效果,对比水体施工前、施工过程中、施工完成、完工后1个月和完工后8个月的水质监测数据和施工过程中的水质自检数据。监测时间点为2018年7月(施工前)、2019年3月5日至2019年9月30日(施工中,各区域采样监测时间不同)、2019年10月(施工后1个月)和2020年5月(施工后8个月)。治理前,氧化塘内全盐量质量浓度、氯化物质量浓度、色度、COD质量浓度均超标,为劣V类水,见表1。工程实施后(图4):水体黑臭现象消失;透明度由不足30 cm提升至80 cm以上;水生植物生长速度加快,塘内可观察到大量沉水植物生长,生态系统单一性被改变;水体自净能力增强。随着施工进行,氧化塘各区域水体中色度、COD和氨氮均呈现逐步下降的趋势,并逐渐趋向稳定,见图5。施工完成后:色度由20倍降低至4~8倍,色度平均去除率为87.06%;COD质量浓度由96~148 mg/L下降至37~50 mg/L,COD平均去除

率为62.63%;氨氮质量浓度由0.46~0.40 mg/L下降至0.17~0.19 mg/L,氨氮平均去除率为58.55%;总氮质量浓度平均去除率为68.61%。施工完成1个月内,水质变化不大。但施工完成8个月后,COD和色度有明显上升的现象,而且变化结果一致,推测两者对应的污染物均为难降解有机染料,其去除机理为改性沸石吸附,后期需喷撒少量改性沸石进行维护。氨氮和总氮有少量增加,而施工完成后总磷平均去除率为62.98%,施工完成8个月后总磷去除率上升至80.73%,说明提出的技术方案对总磷去除效果好,且治理效果可长期保持。水体中氮磷等营养物质可以通过水生植物同化吸收去除,此外,水生植物还可以通过向根部输送氧气,改变根际氧含量,进而影响微生物消化和反硝化过程以及微生物厌氧释磷和好氧吸磷过程,最终促进水体氮磷的去除^[22]。水生植物根系定植于底泥中,固持底泥,减少底泥再悬浮和营养盐溶解释放。



(a) 修复前(拍摄日期:2018年1月23日)



(c) 修复后(拍摄日期:2020年7月12日)



(b) 修复前(拍摄日期:2018年5月16日)



(d) 修复后(拍摄日期:2020年5月19日)

图4 阿拉尔氧化塘水生态修复前和修复后实景对照

Fig. 4 Comparison of photos before and after water ecological restoration of Alaer oxidation pond

综上所述,氧化塘经无害化治理和生态修复后,水质得到了明显改善,各指标均能满足修复目标的要求,主要污染物均有下降趋势。研究结果表明,应用改性矿物质材料、靶向微生物菌剂和耐盐碱水生

植物协同技术处理新疆维吾尔自治区棉浆粕和黏胶纤维行业生产废水纳污坑塘废水,可有效削减水体污染物,提升水体水质。

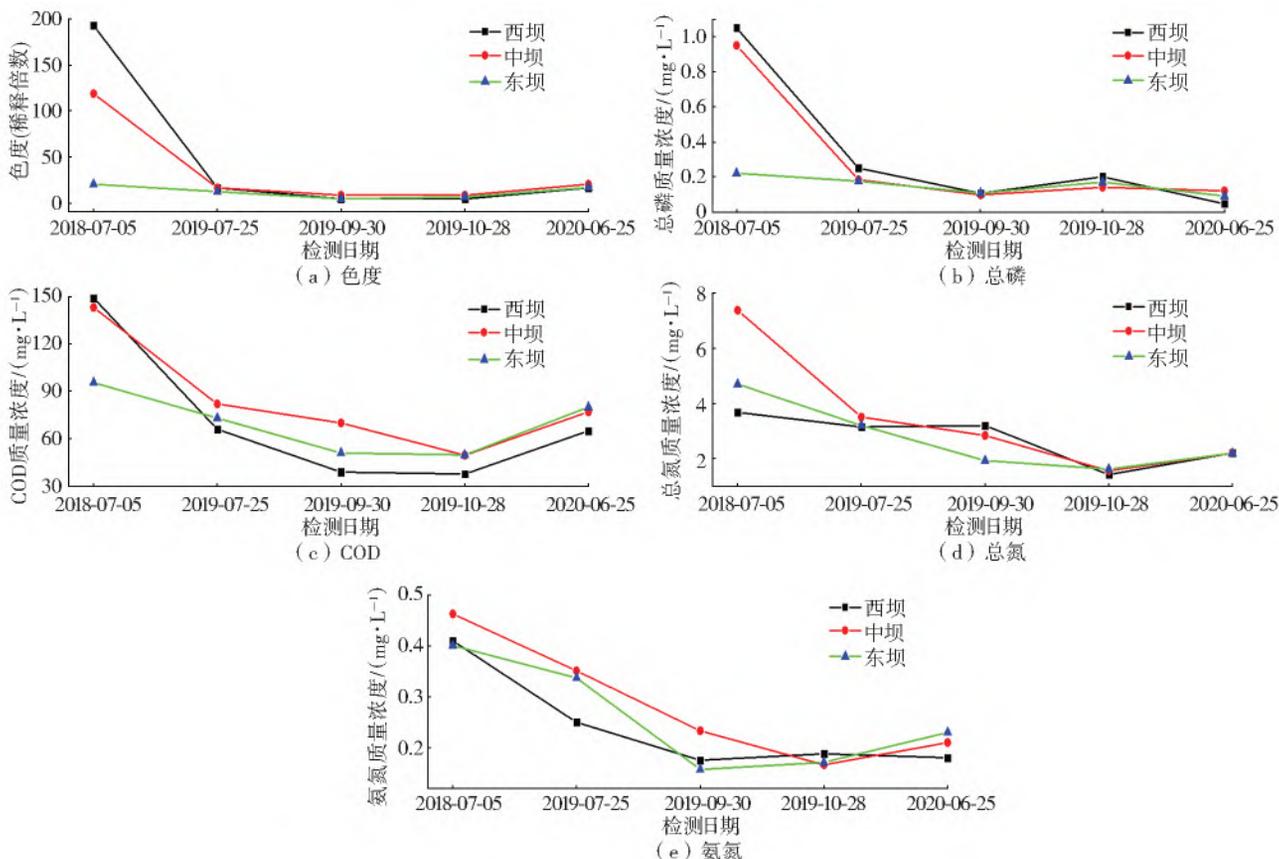


图 5 施工前后部分水质指标变化趋势

Fig. 5 The variation tendency of some of water quality indexes before and after construction

4 结论

以新疆阿拉尔纳污坑塘生态修复及景观提升项目为例,针对新疆干旱地区高盐纳污坑塘特点和污染特征,制定了综合性的治理方案,在现有水质强化净化与水生态修复综合技术的基础上进行了创新,除传统控源截污和活水工程外,应用改性矿物质材料、靶向微生物菌剂和耐盐水生植物,同步实现了水质提升和内源控制。综合治理后,阿拉尔氧化塘水质得到明显改善,总磷、氨氮、COD、色度和总氮的去除率分别达 80.73%、58.55%、62.63%、87.06% 和 68.61%,水体黑臭消失,各指标满足修复目标的指标限值。研究成果可作为干旱地区水污染综合治理及污染水体资源化利用的示范工程,为区域大型纳污坑塘水体治理和水生态环境改善提供技术支撑。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019. (National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019. (in Chinese))
- [2] ZHOU H J, ZHOU L, MA K K. Microfiber from textile dyeing and printing wastewater of a typical industrial park in China: Occurrence, removal and release [J]. Science of the Total Environment, 2020, 739: 140329. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140329.

trial park in China: Occurrence, removal and release [J]. Science of the Total Environment, 2020, 739: 140329. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140329.

- [3] 温馨, 张淑荣, 白乙娟, 等. 荧光光谱技术在废水溶解有机物研究中的应用进展[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(2): 29-37. (WEN X, ZHANG S R, BAI Y J, et al. Research progress in photodegradation of lignin in aquatic environments and its effect on relevant indicative parameters of organic matter[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(2): 29-37. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0035.
- [4] ASGARI G, SHABANLOO A, SALARI M, et al. Sonophotocatalytic treatment of AB113 dye and real textile wastewater using ZnO/persulfate: Modeling by response surface methodology and artificial neural network[J]. Environmental Research, 2020, 184: 109367. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109367.
- [5] PAZDZIOR K, BILINSKA L, LEDAKOWICZ S. A review of the existing and emerging technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment[J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 376: 120597. DOI: 10.1016/j.cej.2018.12.057.
- [6] HE X, QI Z, GAO J, et al. Nonylphenol ethoxylates bio-

- degradation increases estrogenicity of textile wastewater in biological treatment systems[J]. *Water Research*, 2020, 184:116137. DOI:10.1016/j.watres.2020.116137.
- [7] 高凡,邹兰,孙晓懿.改进综合水质指数法的乌伦古湖水水质空间特征[J].*南水北调与水利科技*,2020,18(1):127-137. (GAO F,ZOU L,SUN X Y. Analysis of the spatial characteristics of Ulungur Lake water quality based on improved comprehensive water quality index [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2020, 18(1): 127-137. (in Chinese)) DOI:10.13476/j.cnki.nsbdqk.2020.0014.
- [8] 张明辉,王琳.青岛市楼山河黑臭水体整治阶段性研究[J].*人民长江*,2020,51(10):54-61. (ZHANG M H,WANG L. Research on treatment of black-odor water of Loushan River in Qingdao City[J]. *Yangtze River*, 2020, 51(10): 54-61. (in Chinese)) DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2020.10.010.
- [9] 雷米,周金龙,曾妍妍,等.干旱区绿洲城市地下水超采区综合治理研究:以新疆库尔勒市为例[J].*南水北调与水利科技*,2019,17(2):67-74. (LEI M,ZHOU J L,ZENG Y Y, et al. Comprehensive treatments of groundwater over-exploitation in arid oases city: A case of Korla City in Xinjiang[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2019, 17(2):67-74. (in Chinese)) DOI:10.13476/j.cnki.nsbdqk.2019.0035.
- [10] 王佳乐.高盐废水强化多路径耦合脱氮技术及机理研究[D].重庆:重庆大学,2018. (WANG J L. The multi-path coupled technologies and mechanisms in nitrogen removal process treating saline wastewater[D]. Chongqing, Chongqing University, 2018. (in Chinese))
- [11] 鄢忠森.膜蒸馏处理高盐废水过程中膜污染和膜润湿及控制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019. (YAN Z S. Characteristics and control of membrane fouling and wetting in high salinity wastewater treatment by membrane distillation[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019. (in Chinese)) DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2019.005289.
- [12] 李瑞成,邱宏俊.深圳市新桥河水环境综合治理工程设计[J].*中国给水排水*,2020,36(16):95-100. (LI R C, QIU H J. Ecological comprehensive restoration project design of Xinqiao River in Shenzhen City[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(16): 95-100. (in Chinese)) DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.018.
- [13] HUANG T, YAN M, HE K, et al. Efficient removal of methylene blue from aqueous solutions using magnetic graphene oxide modified zeolite[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2019, 543: 43-51. DOI: 10.1016/j.jcis.2019.02.030.
- [14] 李亚娟,杜彦良,刘培斌,等.妫水河入官厅水库水污染成因及减排措施评估[J].*南水北调与水利科技(中英文)*,2021,19(2):325-333. (LI Y J, DU Y L, LIU P B, et al. Causes of water pollution from Guishui river to Guanting Reservoir and assessment of loads reduction measures [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2021, 19(2): 325-333. (in Chinese)) DOI:10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0034.
- [15] 石召红.改性沸石对印染废水的吸附脱色研究[D].天津:天津理工大学,2016. (SHI S H. Study on adsorption and decolorization of printing and dyeing wastewater by modified zeolite[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2016. (in Chinese)) DOI: CNKI:CDMD:2.1016.105475.
- [16] 陈曦.改性沸石对印染废水中COD、色度和锑的去除研究[D].金华:浙江师范大学,2018. (CHEN X. Study on removing COD, colour and antimony of printing and dyeing wastewater by modified zeolite[D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2018. (in Chinese))
- [17] WANG G, YI Y, HUANG L, et al. Efficient removal of norfloxacin by biological aerated filters: Effect of zeolite modification and analysis of microbial communities [J]. *Journal of Water Process Engineering*, 2020. DOI:10.1016/j.jwpe.2020.101799.
- [18] MCLELLAN S L, ROGUET A. The unexpected habitat in sewer pipes for the propagation of microbial communities and their imprint on urban waters[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2019, 57: 34-41. DOI: 10.1016/j.copbio.2018.12.010.
- [19] 范真,胡海波,连经纬,等.几种湿地植物的耐盐性与净化水质效果研究[J].*人民长江*.2019,50(10):56-62,68. (FAN Z, HU H B, LIAN J W, et al. Salt tolerance and water purification effects of several wetland plant species[J]. *Yangtze River*, 2019, 50(10): 56-62, 68. (in Chinese)) DOI: CNKI: SUN; RIVE. 0. 2019-10-010.
- [20] 陆凯,于静洁,王平,等.干旱区植物用水对水文条件的响应:以额济纳三角洲胡杨为例[J].*南水北调与水利科技*,2017,15(1):88-94,172. (LU K, YU J J, WANG P, et al. The response of plant water use strategy to hydrological condition in arid areas: A case study of populus euphratica in Ejina Delta[J]. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2017, 15(1): 88-94, 172. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.01.015.
- [21] 杨策,陈环宇,李劲松,等.盐地碱蓬生长对滨海重盐碱地的改土效应[J].*中国生态农业学报*,2019,27(10):1578-1586. (YANG C, CHEN H Y, LI J S,

- et al. Soil improving effect of suaeda salsa on heavy coastal saline-alkaline land[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(10): 1578-1586. (in Chinese) DOI:10.13930/j.cnki.cjea.190178.
- [22] 田伟,杨周生,邵克强,等.城市湖泊水环境整治对改善水质的影响:以蠡湖近 30 年水质变化为例[J].环境科学, 2020, 41(1): 183-193. (TIAN W, YANG Z S, SHAO K Q, et al. Effect of a comprehensive improvement project on water quality in urban lakes: A case study of water quality variation in Lihu Lake over the past 30 years[J]. Environmental Science, 2020, 41(1): 183-193. (in Chinese) DOI: 10.13227/j.hjkk.201906022.

Water ecological restoration for sewage pond with high salinity in arid area:

A case study of Alaer oxidation pond

XIE Hongzhong¹, WAN Yanlei^{1,2}, ZHOU QiuHong^{1,2}, XIE Xiaoliang¹, CHEN Hao^{1,3}

(1. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd, Wuhan 430010, China;

2. Key Laboratory of Yangtze River Management and Protection, Ministry of Water Resources, Wuhan 430010, China;

3. Key Laboratory of River Basin Water Security of Hubei Province, Wuhan 430010, China)

Abstract: The restoration and polluted water resource utilization in arid regions is an important way to solve the shortage of regional water resources. The Xinjiang Uygur Autonomous Region is an inland arid zone and lacks water resources with a fragile ecological environment, and shows a prominent contradiction between water supply and demand. Over-exploitation of water resources and water pollution have exacerbated the contradiction between water supply and demand, resulting in the continuous deterioration of the water environment. Water pollution control is an emerging problem that needs to be solved urgently to favor Xinjiang's economy and social development. This study took the project of Xinjiang's Alaer sewage pit pond ecological restoration and landscape improvement as an example to explore key technologies for the process of ecological restoration of high-salt water bodies.

A comprehensive treatment plan was formulated according to the regional environment and pollution characteristics of the oxidation pond. For this purpose, water safety, water environment, water resources, and water ecology was adopted. Innovations were made basis on the existing integrated technology of water quality enhanced purification and water ecological restoration. In addition to traditional sewage interception and water diversion projects, the application of modified mineral materials, targeted microbial agents and salt-tolerant plants simultaneously achieved water quality improvement and endogenous control. Specifically, it included 4 measures. (1) Source control and pollution interception; Prevented pollution sources from entering the oxidation pond; (2) Water quality improvement; Eliminated pollutants in water, achieved water quality standards, and restored water body functions; (3) Living water circulation; Improved the self-purification capacity of the oxidation pond and reduced water pollution, and improved the regional water circulation system; (4) Ecological restoration; Repaired and improved the regional water ecological environment and realized the comprehensive utilization of wastewater resources. From source blocking in the early stage, polluted water treatment in the middle-term to the long-term maintenance of the later restoration, and finally realized water quality purification and ecological system reconstruction in the Alaer oxidation pond.

Before treatment, the total salt, chloride, chroma, and COD of the oxidation pond exceeded the national standards, which was inferior to category V waters. As the construction progressed, the chroma, COD, and ammonia nitrogen in the water bodies of the oxidation ponds showed a gradual decline and became stable day by day. After project implementation, the black and odor of the water body disappeared, the transparency increased from less than 30 cm to more than 80 cm, the chroma decreased from 20 times to 4~8 times, and the COD decreased from 96~148 mg/L to 37~50 mg/L, respectively. The growth rate of aquatic plants was accelerated, a large number of submerged plants could be observed in the pond, the singleness of the ecosystem was changed, and the self-purification ability of water was enhanced. Within one month after the completion of construction, the water quality did not change much. Eight months later, COD and chroma had increased significantly, and the results of the changes were consistent. It was speculated that the corresponding pollutants were refractory organic dyes, and the modified zeolite was the main reason for their removal, a small amount of modified zeolite was needed to be sprayed for maintenance. Ammonia nitrogen and total nitrogen slightly increased, but the total phosphorus mass concentration continued to decrease after construction, indicating that the technical scheme proposed could effectively remove phosphorus from water and the results could be maintained for a long time.

After the undergoing harmless treatment and ecological restoration, the water quality in the oxidation pond had been significantly improved. All indicators meet the requirements of the remediation goals, and all pollutants had a downward trend. The results showed that the application of modified mineral materials targeted microbial agents, and saline-tolerant aquatic plants synergistic technology treat Xinjiang cotton pulp and viscose fiber industry production wastewater, and could effectively reduce water pollutants, and improve the water quality. This research can provide reference for ecological restoration of high-salt wastewater in arid regions.

Key words: ecological restoration; polluted ponds; high-salt wastewater; black-odor water treatment; arid area