

宋公河人工湿地设计方案优化探讨

魏俊¹, 赵梦飞¹, 王济来², 斯筱洁¹, 赵炜¹

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 杭州上方环保科技有限公司, 浙江 杭州 310015)

摘要: 人工湿地是宋公河综合整治工程的重要组成部分, 对整体治理方案进行了介绍, 重点针对原湿地设计方案存在的水质处理达标难度大、场地景观效果不佳、工程造价高等问题, 提出了减小场地填方、优化工艺流程、对湿地单元进行艺术化改造和梯级布置、优化渡槽走向和铺设形式、优化拦水坝形式等措施, 对工程进行整体艺术构思和景观设计, 最终将湿地打造为工艺功能与景观功能并重的湿地公园, 为山地条件下水处理型人工湿地的构建提供了案例借鉴。

关键词: 河道; 人工湿地; 湿地公园

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)04-0016-04

Study on Optimization of Design of Constructed Wetlands in Songgong River

WEI Jun¹, ZHAO Meng-fei¹, WANG Ji-lai², SI Xiao-jie¹, ZHAO Wei¹

(1. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China; 2. Hangzhou Sunfun Environmental Technology Co. Ltd., Hangzhou 310015, China)

Abstract: Constructed wetlands (CWs) were the important parts of the comprehensive improvement project of Songgong River. The original CWs design had some disadvantages such as low treatment efficiency, poor landscape function and high project cost. So the corresponding design was revised. In this paper, the revised contents included reducing site fill, optimizing process flow, layout and some facilities (aqueduct and dam). In addition, the landscape design was also considered and the combined CWs had been built into the wetland park, which could give some suggestions for the similar cases in mountainous regions.

Key words: river; constructed wetlands; wetland park

1 项目背景

宜宾市位于四川盆地南缘, 属川、滇、黔三省结合部, 因金沙江、岷江在此汇合, 长江至此始称“长江”, 故宜宾又被称为“万里长江第一城”。发达的酿酒工业使宜宾成为名副其实的“中国酒都”, 举世闻名的名酒五粮液便产于此。岷江作为长江上游的重要支流, 发源于岷山弓杠岭和郎架岭, 全长为 735 km, 流域面积约为 $14 \times 10^4 \text{ km}^2$, 全河落差达到 3 560 m, 其中宋公河为岷江下游左岸的一级支流。

近年来, 随着沿岸居民逐渐增多、工业企业快速发展, 大量外源污染进入宋公河, 造成河道水质污染

严重。监测数据表明, 宋公河多数河段水质为劣 V 类, 部分河段出现明显发黑发臭。此外, 由于河道纵坡陡, 属山溪性河流, 枯水季节河道水量匮乏, 生态基流不足, 导致河道自净能力较弱, 水生态系统结构受损严重。在此背景下, 亟需对宋公河开展综合整治, 通过控源截污、清淤疏浚、生态修复等措施改善水环境质量, 恢复水生态系统, 并结合景观打造提升两岸滨水空间风貌^[1]。

2 宋公河治理概况

宋公河流域面积为 17 km^2 , 设计防洪标准为 20 年一遇, 河道汇入岷江口处设置一处拦水坝, 但由于

长时间冲刷,坝体基本损毁,无法发挥原有功能。全河分为上游、中游和下游三段。上游段为农村段,流经多个村落,村落的农业面源污染、养殖废水、生活污水等都未经处理直排入河;中游段为五粮液厂区段,部分河段为暗渠形式,河段左岸主要分布有五粮液工厂的酿酒车间,右岸分布有厂区污水处理站,除污水处理厂尾水排入河道外,该河段内仍存在少量直排污水排入暗渠的情况;下游段为暗渠出口至河道汇入岷江口段,暗渠出口处存在10 m左右的落差,河道中水流从暗涵处跌落至河滩,河滩地势较低且多被自然植被覆盖。

针对宋公河污染物来源情况,从污染物“源-迁-汇”各环节进行控制,采取的措施如下:①控源截污。对上游农村污水进行收集处理,取缔畜禽养殖户,对中游厂区进行雨污分流和混接改造,对污水直排口进行封堵并敷设沿河截污管线实行污水导流纳管。②清淤疏浚。清理河道内垃圾,对部分淤积严重的河道进行底泥清淤,从而削减内源污染,并提高河道防洪能力。③生态修复。采用岸坡绿化、复氧曝气、重点段景观打造、设置人工湿地等方式恢复水生态,提升滨水景观,实现宜产宜居的目的。

3 原设计方案

3.1 场地条件

人工湿地是宋公河综合治理工程的重要分项,主要利用河道下游河段,暗涵出口至入岷江河口处的河滩地,建设湿地工程,对河道水体进行在线处理,改善河道水质,并结合人工湿地建设,打造景观节点。河滩地长度约300 m,平均宽度约40~80 m,总占地面积约1.5 hm²,场地至岷江汇入口20 m处两侧地势有所缩紧,宽度约为60 m。暗涵出口处有跌水,落差10 m左右,河滩地平均高程在270 m左右,现状主要为河滩,混杂有居民菜地,周边高地上分布有五粮液五零一分厂及财富宾馆等建筑。

3.2 设计水质

人工湿地主要处理宋公河枯水期河道基流及五粮液污水处理站尾水所形成的混合水,根据场地占地情况确定处理规模为8 000 m³/d,超过处理规模的来水经沉砂后通过管涵直接排入岷江。设计进、出水水质指标见表1。其中,出水水质达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016);水温>12℃时NH₃-N≤3 mg/L,水温≤12℃时NH₃-N≤5 mg/L。

表1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design quality of influent and effluent

项目	mg · L ⁻¹		
	COD	NH ₃ -N	TP
设计进水	≤100	≤10	≤1
设计出水	≤40	≤3(5)	≤0.5

3.3 原工程设计

原设计方案采用前置池+垂直潜流湿地+水平潜流湿地工艺,主要工程内容如下:

① 场地回填。将湿地地坪标高整体垫高11 m,填筑面积约为9 870 m²,填筑碎石量约为84 400 m³,土方量为3 160 m³,以满足10年一遇防洪标准。

② 前置池。前置池主要起到沉砂池和初沉池的作用,出水重力自流到人工湿地单元。前置池占地面积为830 m²,有效停留时间为3 h,采用砖混结构,池体采用两布一膜防渗。前置池底部设置排砂管,定期通过阀门控制排出池内沉积泥沙。

③ 人工湿地。人工湿地总占地约8 870 m²,净占地约8 030 m²,水力负荷约1 m³/(m² · d)。湿地分为8个不规则矩形单元,单元面积为800~1 300 m²,左、右各4个单元,4个单元上游第1个单元为垂直流湿地,下游3个单元为水平潜流湿地。

④ 拦水坝。在下游入岷江处设置拦水坝,堤防工程级别为5级,以满足场地10年一遇防洪要求。根据坝址地形、地质条件,采用混凝土重力坝,坝顶高程为283.00 m,坝顶长63 m,建基面高程为262.00 m,最大坝高为21 m。大坝上游临水面坝坡起坡点高程为276.00 m,坝坡拟定为1:0.3,下游侧起坡点高程为279.00 m,坝坡拟定为1:0.8。

⑤ 渡槽。渡槽作为宋公河行洪的主要通道,由湿地中部通过架空的形式横穿而过,为灌溉和治涝工程永久性水工建筑物5级建筑物。采用梁式渡槽,长度为177.45 m,出口高程为282.00 m。渡槽为不过人设计,槽身拟采用矩形断面,净尺寸为6.5 m×5.0 m,顶部设置拉杆,间距为1 m,均采用C25钢筋混凝土浇筑。渡槽支承采用C25钢筋混凝土排架,最大排架高度为15 m,间距为5 m。

⑥ 消能防冲。渡槽末端出口与拦水坝结合,过坝后渡槽采用台阶跌水消能,消能防冲洪水标准为10年一遇。台阶宽度由6.5 m渐变到10 m。台阶长为3 m,高为2 m,台阶末端设置消能坎,消能台

阶接入原河床滩地。原方案总平面布置见图1。

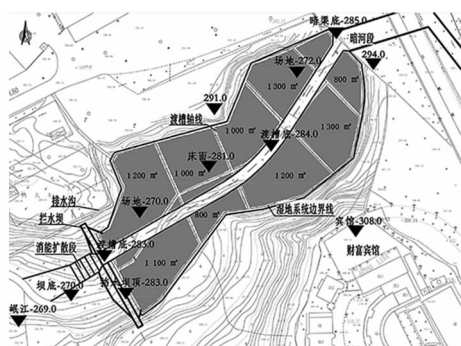


图1 原设计方案总平面

Fig.1 Site layout of the original design project

4 优化设计方案

4.1 整体思路

对原方案进行分析,认为存在以下不足:①场地为谷地,如整体垫高,土石方无法平衡,外购量大,增加工程投资;②工艺的脱氮效果不佳,出水水质无法保证;③人工湿地单元为形状规则的矩形,景观效果比较生硬呆板;④渡槽从场地中央以高架形式穿过,处于场地的核心位置,对场地的景观效果影响极大;⑤混凝土拦水坝投资造价较高、施工工序复杂,景观效果不佳;⑥缺少景观展示环节。

针对上述问题,提出优化的解决思路如下:①直接利用拦水坝提高场地防洪标准,尽量维持场地原有标高,减小填方量。②将水平潜流湿地全部改为垂直潜流湿地,不仅可以强化湿地的脱氮效果,还可以避免水平潜流湿地的短流风险,并有利于对湿地单元进行艺术化设计;同时,由于垂直流湿地填料粒径小,过滤效果更好,并可采用间歇运行,有利于减小湿地的堵塞风险。③将湿地单元由规则矩形进行艺术化改造为不规则形状,并进行台地高差处理,形成不同高程的湿地单元,以丰富景观层次感,并消除与周边山体、拦水坝之间高差带来的突兀感,形成台田湿地景观。④将渡槽从场地中间高架穿越形式改为从场地周边山体以浅埋箱涵式铺设。⑤拦水坝由钢筋混凝土浇筑改为碾压土石坝,内侧坡面设置台地式梯田湿地,不仅简化了施工工序、降低了工程造价,还提高了场地的景观效果。⑥增加末端景观塘。

4.2 工艺优化

优化后的工艺流程调整为沉砂池+预处理过滤池+多级垂直潜流湿地+景观塘,优化设计方案平面布置如图2所示。



图2 优化方案平面布置

Fig.2 Site layout of the revised design project

① 沉砂池。设计平流式沉砂池1座,尺寸为 $12\text{ m} \times 6\text{ m} \times 1.50\text{ m}$,有效容积为 108 m^3 ,设计处理水量为 $4 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,水力停留时间为4 min,设人工排砂管。沉砂池部分出水($8\,000\text{ m}^3/\text{d}$)通过计量控制井引流至预处理过滤池,其余出水直排岷江。

② 预处理过滤池。预处理过滤池对沉砂池部分出水进一步净化处理,有效去除进水中的悬浮固体,降低后续单元处理负荷,避免生态湿地出现堵塞的情况。过滤池尺寸为 $20\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$,有效容积为 250 m^3 ,水力停留时间为45 min。设软性防堵填料 150 m^3 ,起到过滤和膜吸附并降解部分有机污染物的作用。

③ 多级垂直潜流湿地。垂直潜流湿地占地面积为 $8\,425\text{ m}^2$,设计水力负荷为 $0.97\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,水力停留时间为25 h。潜流湿地采用三级串联布置形式,共分成8个处理单元,每个单元设计为不规则曲线形式,单元面积为 $500 \sim 1\,600\text{ m}^2$,第一级包括3个单元,第二级包括3个单元,第三级包括2个单元,各单元床面标高在 $280.50 \sim 282.50\text{ m}$ 之间,出水重力流入景观塘。湿地单元全部采用下向流布水,进水通过“DN200干管-DN100支干管-DN80毛管”的分级配水至湿地表面,其中DN80毛管为穿孔管,孔径为10 mm,间距为150 mm,错向 45° 开孔。湿地填料层自上而下分为覆盖层、滤料层和排水层,其中覆盖层砾石厚度为200 mm、粒径为 $8 \sim 16\text{ mm}$,滤料层细砂厚度为600 mm、粒径为 $2 \sim 6\text{ mm}$,排水层砾石厚度为200 mm、粒径为 $8 \sim 16\text{ mm}$,池底采用黏土做底,再铺两布一膜防渗。

④ 景观塘。景观塘占地面积为 $2\,340\text{ m}^2$,水力停留时间为7 h,塘中种植植物、塘上架设栈桥,起到景观展示效果。景观塘水面标高为 279.00 m ,外部岷江常水位为 270.00 m ,可通过闸门控制使出水

重力排入岷江。若外部发生洪水,需关闭进水闸门,上游来水经箱涵直接排入岷江,并在末端设置强排泵房,排出场地内的雨水。

4.3 渡槽设计优化

考虑到景观效果和水力流态,对渡槽的走向与形式进行优化,将渡槽从场地中间高架穿越形式改为从场地周边山体以浅埋箱涵式铺设。箱涵沿山体等高线向下游敷设,长度为150 m,采用矩形断面,断面尺寸为6.5 m×5 m, C30 混凝土浇筑,壁厚为0.45 m,底板厚度为0.5 m,底部设 C15 素混凝土垫层。在箱涵顶部设置2~3 m宽的游步道和栏杆,利用箱涵形成景观游步道。

4.4 拦水坝设计优化

考虑到投资造价和施工工艺,对拦水坝形式进行优化,由钢筋混凝土浇筑改为碾压土石坝,内侧坡面结合多级潜流湿地形成台地式景观。拦水坝坝顶高程为283.00 m,长度为80 m,原始地面标高为268.00 m,最大坝高为15 m。上游临水面坝坡比拟定为1:2.5,下游侧坝坡比拟定为1:2.0。坝体碎石垫层料为粗骨料,具有良好的透水性和渗透稳定性,堆石料为风化后的石料。坝体上游面采用两布一膜防渗,下游面外边坡采用格宾护坡,格宾层下设HDPE膜和土工布。原消能防冲形式不变,位置随箱涵出口调整。

4.5 景观设计优化

考虑到该工程场地位于岷江江滨景观带上,生态湿地的景观功能与净水功能同等重要,因此针对现状场地缺少文化寓意、景观功能较弱等问题,优化景观设计,丰富总体设计、交通设计、小品设计等内容。景观总平面布置如图3所示。

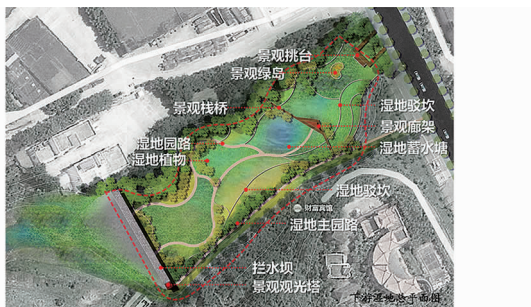


图3 优化后景观总平面布置

Fig.3 Landscape layout of the revised design project

总体设计以“鱼跃龙门”为寓意,结合场地高程,水流设计为鱼嘴进、鱼身出,并提取片状鱼鳞的

曲线形式作为多级潜流湿地单元的边界。整个湿地分为栈桥观赏区、湿地体验区、挑台观赏区等节点,为消除箱涵出口与消能设施之间的违和感,在出口处设置景观塔。场地交通设计围绕垂直潜流湿地布置1.5 m宽的主园路,同时在浅埋箱涵上设置栈道,形成立体交通体系。小品设计考虑场地生物的仿生效应,融合宜宾“鱼”文化元素,采用面状的透雕来呼应文化主题,统一使用木材、石笼等生态材料。

5 结语

随着我国对生态文明建设的日益重视,如何在确保水质达标的前提下,将人工湿地设计为仿自然型,发挥其景观效果,是水处理型人工湿地设计和实践过程中需重点考虑的问题。通过优化宋公河的原设计方案,对湿地单元、渡槽、拦水坝等功能性构筑物分别采用艺术化构型、隐约手法处理等手段,不仅能进一步保障出水水质,还可将原方案的工程投资由8 068.65万元降至7 311.66万元,最重要的是消除了工艺专业和景观专业割裂的问题,并寓意丰富,为山地水处理型人工湿地的构建提供了参考。

参考文献:

- [1] 魏俊,王银龙,陶如钧,等. 重庆市清水溪高滩岩生态修复一期工程设计[J]. 中国给水排水, 2013, 29(2): 30-33.
Wei Jun, Wang Yinlong, Tao Rujun, et al. Design of first-phase project for ecological rehabilitation of Qingshui Creek Gaotanyan in Chongqing [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(2): 30-33 (in Chinese).



作者简介:魏俊(1982-),男,江西萍乡人,硕士,高级工程师,主要研究方向为水环境治理。

E-mail: wei_j@ecidi.com

收稿日期:2018-11-26