

深圳正坑水碧道工程设计及水土保持成效

张璐怡

上海威派格智慧水务股份有限公司, 上海

收稿日期: 2023年5月20日; 录用日期: 2023年6月21日; 发布日期: 2023年6月28日

摘要

碧道是一种多功能复合型廊道, 其规划设计是一个顺应时代发展而提出的综合性课题。本研究以深圳正坑水碧道工程为例, 在充分调研研究区域背景的基础上, 提出驳岸、雍水、桥梁、箱涵、道路、景观、管线等协调的生态工程建设方案, 并科学规划和布设水土保持措施, 实现了工程全过程的水土安全, 可为同类型工程建设和水土保持提供借鉴。

关键词

碧道工程, 复合型廊道, 水土保持, 水质安全

Project Design and Water Soil Conservation Achievements of Ecological Belt of Zhengkeng Water in Shenzhen

Luyi Zhang

WPG (Shanghai) Smart Water Public Co., Ltd., Shanghai

Received: May 20th, 2023; accepted: Jun. 21st, 2023; published: Jun. 28th, 2023

Abstract

Ecological belt is a multifunctional corridor. Its planning and design is a comprehensive subject which conforms to the development of the times. This study takes the ecological belt project of Zhengkeng water in Shenzhen as an example. On the basis of full investigation and research of the regional background, it proposes coordinated ecological engineering construction schemes such as revetment, backwater, bridges, box culverts, roads, landscapes and pipelines etc. Furthermore, soil and water protection measurements are scientifically planned and laid to realize water and water safety during the whole process of the project. This study is expected to provide reference for the

construction of similar projects and soil and water protection.

Keywords

Ecological Belt Project, Compound Corridor, Water and Soil Protection, Water Safety

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

2018年,广东省委省政府提出高水平规划建设万里碧水清流的“碧道”[1],即以水为纽带,以河湖库及滨海岸线为载体,统筹安全、生态、休闲、文化和经济功能建立的复合型廊道[2],并形成“绿道”和“碧道”交相呼应的生态廊道。基于此,深圳市于2020年发布《深圳市碧道建设总体规划(2020~2035年)》,明确碧道规划建设要以水为中心,打造深圳现代都市示范碧道,逐步实现“水清岸绿、鱼翔浅底、水草丰美、白鹭成群”的美好愿景,从而推动城市“三生空间”优化,促进城市高质量综合发展。该规划明确指出,“计划到2022年完成600 km碧道建设,全市水环境持续改善、水生态明显提升;到2025年完成1000 km碧道建设,全市水环境彻底改善、水生态显著提升”[1]。按照碧道的地域特征,深圳市进一步将碧道划分为都市型碧道、城镇型碧道和郊野型碧道3种类型[3]。

围绕碧道规划、水安全、水环境、景观设计等领域,近年来很多研究和设计团队开展了一系列的探索。白韵溪等[1]基于深圳碧道规划建设,从城市系统规划和场所空间设计两个维度,探索水系统综合治理的策略路径和应对措施,为在国土空间规划重构和城市高水平治理背景下的水系统理论和实践提供参考。关晓曦[4]以深圳新桥河碧道景观规划为例,以多专业的协同规划为基础,以社区节庆活动策划为指导,创造性地营造富有当地客家水乡特色的景观体系,为城镇型碧道的景观规划作出有益的探索。唐雅雯等[3]以为探索碧道建设中生态修复的方法和途径,选取深圳市龙岗区桉梓河碧道为研究区,采用现场调查和实验分析相结合的方法,对桉梓河水环境水生态进行详细调查与监测,依据焦点物种理论方法,系统提出碧道建设中的水生态修复方案。陈琴[5]通过水系形态梳理、防洪功能复核、增加景观型调蓄设施、恢复河床及护岸生态营造等技术手段,构建大山陂水生态碧道。吴丹[6]以罗湖区碧道规划建设为契机,创新性的提出针对高开发强度城区的碧道生态建设方法路径,包括践行河湖水系最优美的目标,制定生态优先、民生为本、系统建设、低碳节约、因水制宜、有序推进的原则,构建全自然生态要素的碧道格局,提出进行全域生态节点统筹、生态廊道分类管控提升、实施水生态修复、联动水产业生态提升的策略,形成碧道生态建设实施管理路径;将以生态优先为先决条件制定的规划引导作为后续碧道建设项目立项的重要依据,和与涉河更新单元规划协同的重要依据,以期深圳其他区提供具有实操性的经验借鉴,为全国类似地区提供相关研究基础。

上述报道表明,科学规划是碧道工程生态功能的实现的基础。而在碧道工程规划和建设过程中,水土保持措施的设计和对于全过程水质保障以及生态系统功能至关重要。Rauch等[7]提出将洪水与侵蚀保护同生态恢复相结合进行整体设计,是现代河流和海岸管理面临的主要挑战,强调了在河流工程中根据所使用的技术和环境条件正确选择植物物种并进行科学管理的重要性。Liu和Lv[8]以吉林中部城市松花江引水供水工程为研究对象,在分析工程特点和项目区自然条件的基础上,对引水工程废渣场的选址

和水土保持措施的设计进行了探讨,分析了废渣场选址的合理性和废渣场水土流失防治措施的针对性,探讨了废渣在大型生产建设项目中的综合利用。以往有关生态工程水土保持的研究还会涉及农业生态保护等方面[9],然而,总体上看,对以水质保障为基线、以生态系统服务功能发挥为目标的生态工程中如何将水土保持合理纳入涉及尚缺少报道,尤其是关于复合生态廊道的水土保护工程和设计关注不足。本研究以深圳市罗湖区东北部的郊野型碧道生态工程的规划和水土保持设计为基础,论述水土保持对碧道工程生态系统稳定、生态服务功能维持与发挥的作用,以期同类碧道工程提供借鉴。

2. 研究区域概况

2.1. 气象条件

罗湖区属亚热带海洋性季风气候区,气候温和湿润,多年平均气温为 22.3℃,极端最高气温 38.7℃,极端最低气温 0.2℃。雨量充沛,但降雨量时空分配极不平衡,易形成局部暴雨和洪涝灾害;夏季常受台风侵袭,往往造成灾害性天气。大面积的地表硬化使天然状态下的壤中流直接形成了地表径流,增加地表径流,缩短汇流时间,兼之该地区暴雨历时短强度大,致使洪水陡涨陡落。

2.2. 地质条件

项目整治河道沿线覆盖层主要有第四系人工填土、第四系冲洪积层、第四系残积层,且第四系覆盖层和残积土层的分布连续而稳定。下伏基岩主要为侏罗系中统塘夏组石英砂岩。河道堤岸现存在局部坍塌现象,规模较小。其它地段未发现不利于工程建设的不良地质作用,未见有活动性断裂通过痕迹,场地基本稳定。

2.3. 水文条件

2.3.1. 河流水系及蓄水工程

正坑水为深圳水库一级支流,全河段明渠,发源于梧桐山北麓正坑水库,主河道流经大望高地后穿过大望片区新田仔村汇入深圳水库。正坑水河道全长 3.67 km,流域面积 6.78 km²,流域内建有 2 座水库,即深圳水库和正坑水库。

深圳水库位于深圳河支流沙湾河下游,水库集雨面积 60.5 km²,水库正常蓄水位 27.6 m,正常库容为 3520 万 m³,总库容 4465 万 m³。深圳水库是东深供水工程跨流域引水供香港、深圳的最后一座调节水库。水库目前通过梯级抽水站和水库联合调度,担负对香港、深圳供水,并且对水质净化有一定作用。

正坑水库属于小(1)型水库,位于横岗镇以南的麻地坳村,现时主要功能为防洪,集雨面积 4.04 km²,设计洪水标准为 1%,设计洪水位为 103.69 m,校核洪水位为 104.27 m,正常高水位为 102.0 m,溢洪道净宽 10 m,溢洪道进口底高程为 102 m,总库容 604.95 万 m³,正常库容 484 万 m³,通过供水隧洞与塘坑背库群中的黄竹坑水库相通,和塘坑背库群中的 6 个小型水库一起成为塘坑背水厂的供水水源之一。

正坑河道上游径流深约 0.20~0.40 m,水量较小,河道下游径流深约 0.50~0.80 m,水量平时一般,降雨时周边雨水汇入水量较大,径流深可达 1.00~1.50 m。河水的补给主要来自于大气降水垂直补给以及流域内生产生活污水的排放和地下水的侧向补给。

2.3.2. 径流

正坑水河水的补给主要来自于大气降水垂直补给以及流域内生产生活污水的排放和地下水的侧向补给。根据《罗湖区正坑水碧道工程可行性研究报告》,正坑水控制断面径流情况如表 1。

Table 1. Calculation table of runoff of Zhengkeng water control section
表 1. 正坑水控制断面径流量计算表

控制断面	集水面积 (km ²)	径流量(万 m ³)				
		多年平均	P = 20% (丰水年)	P = 50% (平水年)	P = 75% (枯水年)	P = 97% (特枯年)
正坑水库坝址 以上	4.04	412.08	535.70	392.30	298.35	171.43
盐排高速附近	4.85	494.70	643.11	470.95	358.16	205.80
落马石下	6.52	665.04	864.55	633.12	481.49	276.66
大望村(正坑水 河口)	6.78	691.56	899.03	658.37	500.69	287.69

根据《罗湖区正坑水碧道工程可行性研究报告》，正坑水河口断面及正坑水库天然径流年内分配比见表 2。

Table 2. Natural runoff distribution of the above section the estuary and Zhengkeng reservoir throughout the year
表 2. 河口以上断面和正坑水库的天然径流年内分配

保证率	项目	径流量(万 m ³)												基流 年 (万 m ³)	
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
P = 20%	分配比例	10.37	12.02	11.74	17.75	14.63	7.91	1.51	5.23	1.39	0.08	0.46	6.91	89.99	10.00
	河口以上断面	55.54	64.41	62.87	95.08	78.35	42.38	8.10	28.01	7.42	0.43	2.46	37.03	482.08	53.62
	正坑水库	93.21	108.10	105.51	159.56	131.48	71.12	13.59	47.01	12.46	0.73	4.13	62.14	809.05	89.98
P = 50%	分配比例	10.68	7.19	10.49	14.55	9.83	28.52	1.08	0.59	0.63	0.75	0.59	5.09	90.00	10.00
	河口以上断面	41.91	28.21	41.13	57.09	38.56	111.89	4.24	2.33	2.47	2.93	2.33	19.98	353.07	39.23
	正坑水库	70.33	47.34	69.03	95.81	64.70	187.77	7.11	3.91	4.15	4.92	3.91	33.54	592.53	65.84
P = 75%	分配比例	4.37	10.16	12.09	28.16	17.60	8.89	2.16	1.35	0.00	0.18	0.20	4.84	90.00	10.00
	河口以上断面	13.02	30.32	36.06	84.02	52.52	26.53	6.44	4.03	0.00	0.54	0.59	14.45	268.52	29.835
	正坑水库	21.86	50.88	60.52	141.00	88.14	44.52	10.81	6.76	0.00	0.90	0.99	24.24	450.62	50.07
P = 97%	分配比例	1.67	12.67	20.13	28.89	18.93	2.07	0.87	0.00	0.03	1.16	0.35	3.23	90.00	10.00
	河口以上断面	2.85	21.72	34.51	49.53	32.45	3.55	1.50	0.00	0.05	1.99	0.60	5.54	154.29	17.143
	正坑水库	4.79	36.46	57.92	83.11	54.45	5.96	2.51	0.00	0.08	3.34	1.01	9.30	258.92	28.77

2.3.4. 洪水

根据《罗湖区正坑水碧道工程可行性研究报告》，枯水期不考虑正坑水库下泄，正坑水 5 年、10 年一遇各控制断面 11 月~3 月的洪峰流量见表 3。

Table 3. Construction flood flow table

表 3. 施工洪水流量表

断面名称	集雨面积 (km ²)	施工期各频率设计洪峰流量(m ³ /s)	
		P = 10%	P = 20%
正坑水库坝址以上	4.04	0	0
盐排高速附近	4.85	3.12	2.28
落马石下	6.52	9.3	6.79
大望村(正坑水河口)	6.78	10.23	7

2.4. 水功能区划

根据《深圳市人民政府关于深圳市饮用水水源保护区优化调整事宜的通知》(深府函[2019]258 号)，东深供水 - 深圳水库一弄水源保护区分为一级和二级。一级水源保护区范围 6.48 km²，水质保护目标为 II 类。其中：水域范围为水库正常蓄水位(27.60 m)以下全部水面范围；陆域范围为水库正常水位线向陆域纵深 200 m 左右的范围。二级水源保护区范围 30.66 km²，水质保护目标为 III 类。其中：水域范围为梧桐山河、落马石河除一级水源保护区以外的全部水面范围；陆域范围为除一级水源保护区和沙湾河流域物理隔离区域以外的集雨区陆域范围。正坑水属于东深供水 - 深圳水库饮用水水源保护区的二级保护区范围，水质保护目标为地表水 III 类。

2.5. 水环境状况

项目碧道工程水环境按照特点可分为四段。第一段为深圳水库出口(新平大桥)至望桐路段，长 438 m，两侧为村民居住区，两岸为直立的浆砌石挡墙，高约 2.5~4 m，河底宽 14~25 m，河底有淤积泥沙约 0.5 m。挡墙上紧贴河道分布有房屋建筑，施工面狭窄。第二段为望桐路段至龙海桥段，长 1341 m，河道自然生态，河道左岸为山体，右岸地势较平坦，多为土质护坡，本段河底宽 6~10 m，局部水流量小，植被茂密，河床狭窄；局部地形开阔，分布有自然湿地。沿河分布有大望文创基地、钓鱼场、民宿、临时停车场、农家乐、沿河水泥路。第三段为龙海桥至高速桥下段，长 475 m，本段道沿山谷而下，河道宽约 6~8 m，河道右岸地势较低，有沿河道路和大望文化艺术高地，河道有自然生态断面，也有浆砌石直立挡墙断面，局部河道右岸地势较低，河道挡墙仅高 1.6 m。第四段为高速桥下至正坑水库段，长 1420 m，该段河道沿山谷而下，底宽约 4~6 m，局部有较宽的自然小蓄水坑，水面宽阔，两岸山高林密，植被茂盛，堤岸高差大。

2.6. 水质及污染状况

正坑水局部河段已进行河道清淤，但部分河段仍淤积，尤其是下游河床淤积严重，上游河道因高速公路施工，水土流失较严重。正坑水目前共有排水口 18 个，均为设有相应水务监控设施的雨水口，无污水排放口。流域内共设有一个垃圾中转站和多处垃圾收集点，其中新田村内已进行垃圾分类收集，垃圾渗滤液经边沟收集后就近接入周边市政管网。流域内现有美人鱼钓鱼场和开心鱼塘两个鱼塘，存在少量农家乐，没有纳入污水截排工程，其中，农家乐内的厨房废水采用隔油池 + 化粪池处理，厕所废水采用化

粪池处理，处理后的废水用作周边菜地和苗木浇灌还田，不外排；自养鱼塘规模较小，雨天有部分溢出，随地表径流流入附近正坑水；厨余垃圾集中外运处理。

大望的雨污截排处理工程可将地表水截流直接进入深圳水库。大望、新平、新田三个村建成区生活污水和地表水经过污水收集管道收集进入大望污水提升泵站调节池，通过提升泵站将污水抽排至沙湾樟树布泵站，最终由樟树布泵站提升抽排至深圳水库流域外的布吉河流域。大望片区新平村污水管道增加工程将新平村南片部分无法纳入大望排污泵站污水收集管道系统的污水，通过敷设新的污水管道就近将污水直接排入深圳水库污水截排工程污水通道内。

2018年，大望泵站旁采用创新技术 APO-M 工艺 - 多级好氧强化除磷生物膜工艺新建污水分散式处理装置设施，设计规模为 2 万 m^3/d ，实际日处理污水量 1.6~1.8 万 m^3/d ，设计出水水质达到地表水 III 类。另有大望文化高地设有分散污水处理设施，解决大望文化高地和汽车营地的生活污水收集与处理，处理规模为 30 m^3/d ，采用一体化及湿地处理工艺，出水水质达到一级 B 标准。根据新田大新百货水质监测点的监测数据，正坑水水质情况较好，入河口水质均稳定在地表水 III 类以上。

2.7. 水土保持现状

项目工程区属于台地残丘、冲洪积平原，河道上游为郊野段，地形起伏大，水系依附地势局部形成较大落差，下游为城区段，地势平缓，现状地面高程一般在 32~65.59 m。项目涉及基本生态控制线、河道管理范围线、二级水源保护区、地质灾害低易发区等敏感区域。工程驳岸整治、道路破坏及恢复、桥梁基础开挖回填等施工，破坏现有硬化地表和植被，造成大面积地表裸露和临时松散堆土，易发生水土流失。因此，施工期要加强管理，提高临时拦挡、排水、沉砂、覆盖和降尘等水土保持防治措施，后期结合主体设计，除硬化地表外，均应进行生态绿化恢复。

3. 碧道工程内容及水土保持方案

项目建设内容及规模：① 提升沿河生态景观：提升改造现状道路 A 长度 1669.505 m，新建道路 B 长 526.8 m，新建沿河步道、园路及空中栈桥共长约 5.2 公里；种植陆生植物、水生植物；完善沿线景观照明、给水、排水管道；新建景观挑台 2 个，凉亭 4 座、景观廊 92 m，景观小品 1 组、停车位 119 个；完善安全、警示、指示及形象标识及监控设施等。② 提升河道水环境：正坑水按规划防洪标准 50 年一遇设防，改造驳岸，设置 4 处壅水堰等。河道两岸新建及加固驳岸约 2625 m，整治起点为盐排高速下约 200 米处，整治终点为深圳水库库尾与新平大道桥交叉处(正坑水河口)。③ 改造桥梁：拆除 1 座既有桥梁，拆除新建 3 座桥梁，改造 5 座桥梁以及新建空中栈桥设计。④ 新建驿站：含一级驿站 1 处、三级驿站 3 处。工程总平面图见图 1。

工程占地总面积 112,177 hm^2 ，现状主要为交通运输用地、林草地、水域及水利设施用地和其它用地。工程施工利用现有道路、施工生产生活区红线内布设结合租用民房，无新增临时用地。工程严格按照施工范围施工，尽量减少对地表植被、原地貌的扰动和毁损，布局符合水土保持要求。

3.1. 驳岸、壅水堰工程

工程河道两岸自盐排高速下约 200 m 处至正坑水河口新建及加固驳岸约 2625 m。拆除重新加固河口至望桐路为社区段浆砌石直立挡墙。加宽望桐路以上至正坑水库段的自然断面，并沿线进行驳岸新建。为在枯水期营造一定深度的亲水面，在不同河段设置 4 处壅水堰(图 1)。

3.2. 桥梁、箱涵工程

项目工程涉及 8 座桥梁改造，3#桥、4#桥、8#桥不满足景观和防洪要求，拆除新建，其余现状桥梁予

以保留，另新建空中栈道、瞭望平台。新建桥梁上部结构采用现浇钢筋混凝土拱桥，下部结构采用桩接承台形式，桩基采用钻孔灌注桩。新建空中栈道 1250 m，沿河道走势布置线位，同时在视野开阔处设置观景平台。改造 1#涵洞，提高过流能力。

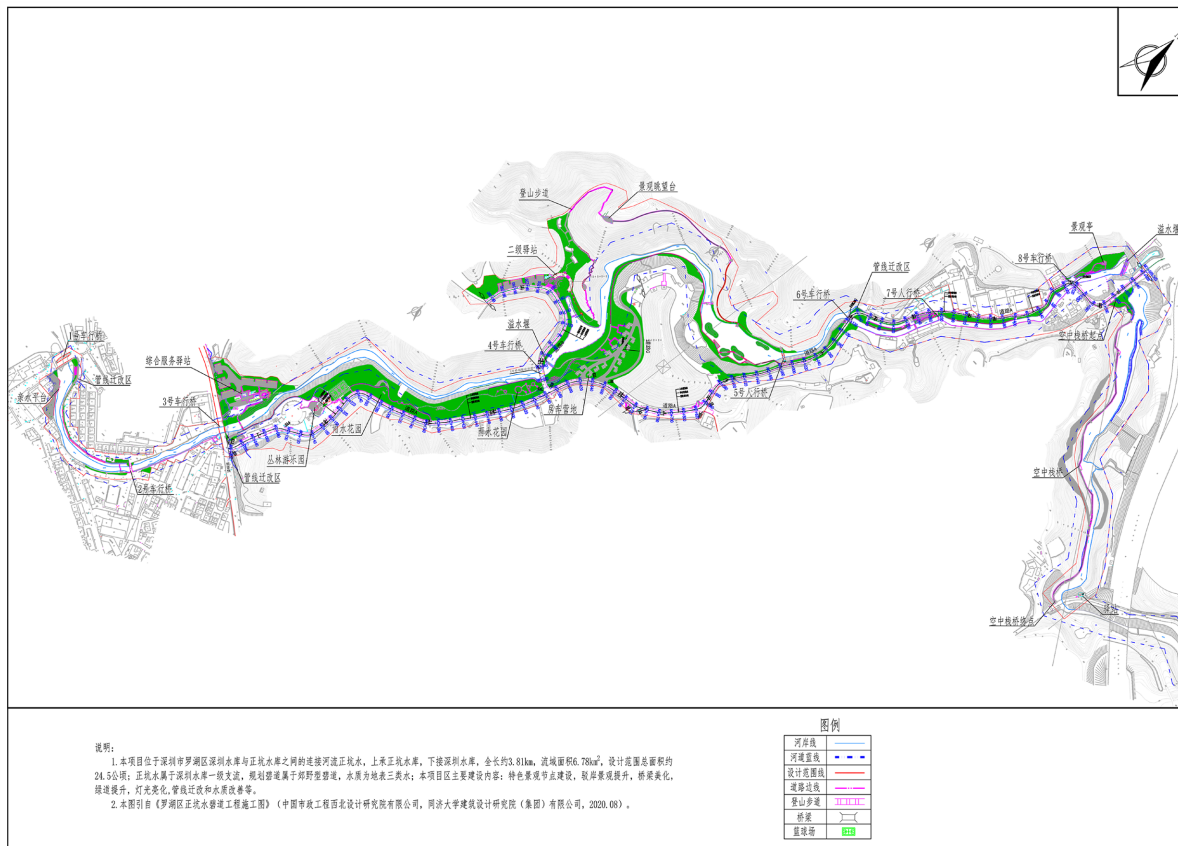


Figure 1. General plan of Zhengkeng Shuibi Road Project
图 1. 正坑水碧道工程总平面图

3.3. 道路工程

道路工程布设见图 1。道路 A 工程范围南起望桐路, 北至设计范围, 面线形基本与老路一致, 局部位置做优化处理, 道路全长 1669.25 m, 在桩号 AK1 + 520 位置处将同步新建长度 11 m 的桥梁。道路 B 东起道路 A 桩号 AK0 + 570 处, 西至设计范围, 平面线形基本与老路一致, 局部位置做优化调整, 道路全长 296.069 m, 在桩号 BK0 + 030 处同步新建长度 28 m 的桥梁。

3.4. 景观工程

景观工程建设内容根据正坑水碧道沿线布设四个功能分区, 即繁市所宗、见山入境、浮山映月和叠瀑听溪。繁市所宗景观节点是正坑水碧道起点, 绝对标高约为 32.00 m, 地势平坦, 建设内容包括外挑木平台、亲水栈道、大榕树平台、入口观景桥、立体停车场和驿站。见山入境景观节点是郊野段的入口, 区段起始点标高约 33.00 m, 沿水系向东北地势逐渐升高, 地形落差增大, 建设内容包括生态停车场、驿站、园路、儿童乐园、运动公园和雨水花园。浮山映月是整个正坑水碧道的核心区, 其起始点标高为 37.00 m, 区域内地形变化大, 建设内容包括驿站、登山步道、景观长廊、观景平台、房车营地、滨水栈道和生态

湿地。叠瀑听溪分区起于大望文化高地，高程约 39.00 m，其后山体高差逐渐增大，遂至水系落差增大，形成叠瀑景象，建设内容包括亲水栈道、驿站和空中栈道。

3.5. 管线工程

拆除现状 15 KV~3 × 300 mm² 电缆 571 m，新建电缆 846 m，拆除现状通信光缆 6230 m，新建通信光缆 9020 m。新建 DN32 给水管 791 m，DN63 给水管 518 m，DN90 给水管 542 m，DN110 给水管 380 m，新建 D400 雨水管 116 m，D400 污水管 114 m。

3.6. 水土保持及监测

正坑水水质保护目标执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)地表水 III 类水标准。工程所有排入河道内的水按《污水综合排放标准》(GB8978-1996)一级标准进行控制。工程施工期间环境影响主要包括废水、废油、废气、固废等方面，计算工程量及废物产生量，通过沉淀池等现场工程即可减少环境影响。此外，根据工程特点，布设围堰导流工程，并对水环境工程区、道路工程及管线工程区、桥梁和箱涵工程区、驿站和铺装工程区、绿化工程区、临时堆土区、施工临建和便道区进行针对性的水土保持，加强对桩基施工、设备作业、建筑废料的管理和处理工作，以确保本工程的水体保护成效。概括如下：

1) 围堰导流工程。本项目围堰施工范围包括河道清淤、基础开挖、岸墙施工等。工程涉水工程内容要求在枯水期完成，围堰按 5 级历史建筑物标准设计，采用土袋、钢板桩等围堰结构，横向和纵向围堰相结合，分段、分期施工与整幅节流、整幅施工相结合(如图 2)。以雍水堰处导流围堰为例，在施工期间临时围堰高程满足枯水期五年一遇防洪标准，且有 0.5 m 的安全富余，表明围堰的设计能满足施工区域内水不会外流，具备防止施工期间废水对周围水环境的破坏的能力。

2) 水环境工程区。主体工程水土保持设计主要包括河道工程，采用分段施工，土方开挖自上而下分进行，河道内动土开挖采用编织土袋及钢板桩施工围堰导流方案。此外，新增水土保持措施，例如沿驳岸工程靠近河道处设置沙袋拦挡，沿施工区周边和场地内永久排水沟位置布设 I 型临时排水沟，挖出流速性较大的淤泥后先在岸边进行晾晒，养护废水集中收集沉淀后循环利用等。

3) 道路工程及管线工程区。项目土方工程采用即挖即运即填的方式进行，道路路基工程采用机械施工为主，适当配合人工施工的方案；沿道路场地周边布设了施工围挡措施，设喷砼硬化排水边沟、沙袋挡墙过水拦沙，后期人行道区域采用透水铺装。项目区管线工程包括新建给排水管，改迁部分通信管线等。利用管槽发挥临时排水功能，必要时可在管槽底部开挖土坑，作为临时进水坑。

4) 桥梁、箱涵工程区。施工场地四通一平，修筑施工便道→施工桩基础，承台，桥台→施工墩身，搭设支架，支架预压，消除非弹性形变，绑扎钢筋→浇筑混凝土→拆除支架→施工桥面系，清理场地，准备通车。河底布设防渗土工布，裸露地表进行沙袋拦挡；所有的桩基都在枯水期干作业施工，按照先下后上、先难后易，分段分时作业；设置泥浆池、沉淀池、临时沉淀池。箱涵基坑顶部布设截水沟，底部布设排水沟，在泥沙淤积高度大于沉淀池高度的 2/3 时及时进行清理，箱涵基坑护坡采用土钉墙支护。

5) 驿站工程、铺装工程区。场地周边布设施工围挡 1534 m，并沿广场周边布设排水边沟 43 m，并布设植草沟 610 m 和横截沟 61 m，新建雨水花园 423.5 m²。沿着河岸边设置沙袋围挡，对汇水起到导流作用。沿着该区周边和场地内永久排水沟位置设置临时排水沟，排水沟每隔 100 m 设置一座单击沉淀池。

6) 绿化工程区。绿化种植工程施工工艺流程：土方回填→种植土回填→土壤沉降→土壤造型平整→定位放线→乔灌木、草本种植→后期养护。植被绿化前对该区域进行土地整治，后期种植乔灌木+地被植物进行景观绿。新建雨水花园、植草沟、横截沟、广场边沟和乔灌草绿化。

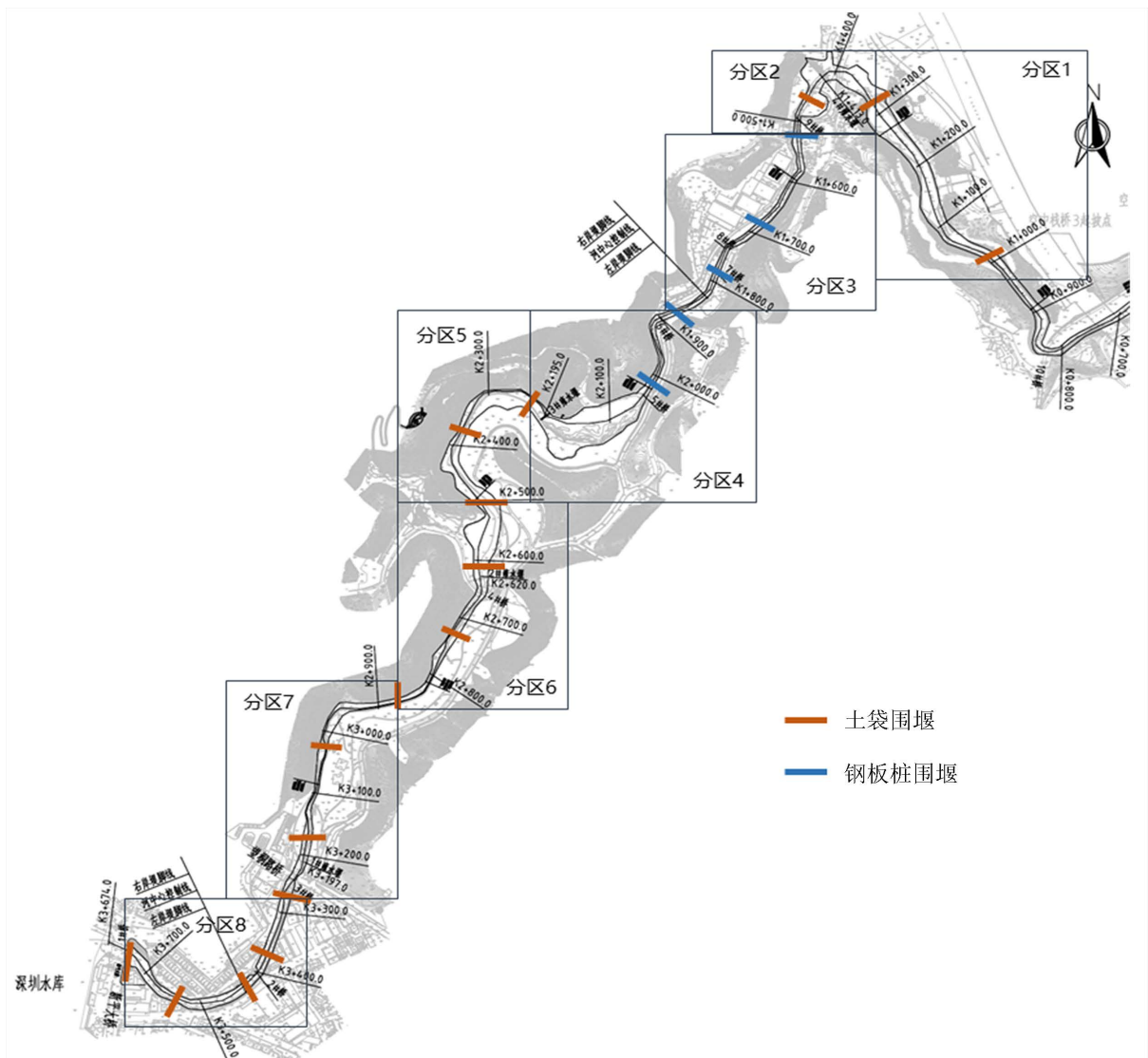


Figure 2. Partition and layout of engineering cofferdam
图 2. 工程围堰分区及布置图

7) 临时堆土场。根据地形、地质条件、工程布置及施工总体布置，采取就近的原则，安全合理的布置渣场，尽量缩短出渣运距，减少施工干扰。需外弃的土方可在临时堆土场中转，土方即运即清，减少堆存时间。临时堆土场场地应进行压实，下铺防渗土工布。拦挡外侧布设 II 型排水沟，临时堆土场使用结束后及时整地、恢复植被，土方可通过微地形等就地消纳，减少对环境的二次污染。

8) 施工临建区。本工程不新建施工营地，施工人员的生活及办公场地采用租住项目区周边民房，利用民房已有的生活污水处理设施进行处理，不对工程区域产生水环境的影响。场地应及时清理，占用的土地进行清理，恢复原自然状态。

9) 施工便道区。项目原则上尽量利用现状道路，部分不通车地段可现场根据实际需要增加部分临时道路。施工期间，每隔约 200 m 设一处下河道路。考虑雨天迅速排除雨水，避免雨水深入路基内浸泡路基。下河道、施工便道占用河道的，在汛期前及时恢复，保障汛期安全；占用护岸的，按设计护岸类型恢复，设计为天然缓坡护岸的，播种草种。

4. 工程建设及水土保持成效

2020年以来,罗湖区坚持“绿水青山就是金山银山”理念,依托良好的自然生态资源,采用近自然、低干预、微改造的设计方案,最大程度挖掘正坑水得天独厚的自然禀赋,展现青山碧水的生态魅力,带动罗湖全域旅游发展,助力打造深圳大梧桐生态区。正坑水碧道作为纽带,串联起了深圳水库与大望社区,形成了一条独特的生态旅游观光带,实现了水清岸绿、鱼翔浅底、水草丰美、白鹭成群的美好愿景。目前,正坑水碧道已经投入使用,成为了人民群众美好生活的好去处。

Table 4. Water quality monitoring results on June 17, 2021

表 4. 2021 年 6 月 17 日水质监测结果

BOD ₅	COD _{Cr}	悬浮物	阴离子表面活性剂	水温	pH	全盐量	氯化物
1.7 mg/L	10 mg/L	<4 mg/L	<0.05 mg/L	22.3	6.09	88 mg/L	7.69 mg/L
硫化物	总汞	铜	总砷	铅	铬(六价)	粪大肠菌群	蛔虫卵
<0.005 mg/L	<0.00004 mg/L	<0.00005 mg/L	<0.00012 mg/L	0.00034 mg/L	<0.004 mg/L	3.1*10 ³	未检出

项目施工期间于正坑水入深圳水库入库口布置一个固定水质监测点,根据施工进度,在施工区域下游200m 布设临时水质监测点。按周边环境和施工内容,将本工程内正坑水河道划分为5段,进行人工巡查。施工期2020年11月~2022年3月,全程开展水土保持水质监测。由于工程施工过程中采取了有效积极的水土保护措施,保障了全过程的水质安全。2021年6月17日,由深圳市罗湖区水务局委托深圳市水务工程监测有限公司对工程部位进行水质监测,监测结果如表4所示。可以看出,正坑水碧道工程水质保护成效显著。

与之前有关河流工程设计和水土保持工作相比[7][8],本研究不仅注重了植物在生态系统工程中的作用,综合考虑了区域的地理背景与自然资源,还从整体上将水土保持工作与生态工程设计系统性的结合在一起,构建了绿色、安全的多功能复合生态廊道。与深圳市其它的碧道工程相比较[2][3][4][6][10],本项目工程更加注重水土保持方面的规划与设计,以全过程水质安全保障为目标,充分利用研究区域的地形、地质特点,并以高效、经济、可行的方式布设必要的新水土保持措施,根据全过程监测结果,工程设计合理、水土保持成效显著。

5. 结论

碧道规划是一个顺应时代发展而提出的全新的、多学科的综合课题。本研究以深圳正坑水碧道工程为例,将碧道工程设计与水土保持工作有机结合,实现了工程全过程的水土安全。主要结论如下:

1) 为提升沿河生态景观和河道水环境治理,本项目碧道工程以当地自然地理特征和基础设施为基础,科学规划了驳岸、雍水、桥梁、箱涵、道路、景观、管线等工程,构建了环境和谐、水质安全、生态功能优化的复合生态廊道。

2) 结合碧道工程措施,合理规划和布设水土保持措施,保障了全过程的水质安全,是生态工程与水土保持协调统一的典型案例,可为同类型生态工程建设和水土保持提供借鉴。

参考文献

- [1] 白韵溪,崔翀,宋聚生,洪武扬. 基于水系统治理的碧道规划设计策略研究——以深圳市碧道规划建设为例[J]. 当代建筑, 2022(7): 127-130.

-
- [2] 杨业鹏, 杨亚婷. 深圳市西乡河碧道水生态系统设计[J]. 现代园艺, 2021(2): 159-160.
- [3] 唐雅雯, 刘雪朋, 黄奕龙, 于远燕, 罗瑶. 基于生态导向的郊野型碧道建设方案探讨——以深圳市龙岗区桉梓河碧道水生态修复为例[J]. 人民珠江, 2021(42): 100-108.
- [4] 关晓曦. 城镇型碧道的人文特色景观规划——以深圳新桥河碧道景观规划为例[J]. 现代园艺, 2021(14): 75-77.
- [5] 陈琴. 水生态综合整治策略在滨水景观建设中的运用——以坪山河流域大山陂水景观工程设计项目为例[J]. 现代园艺, 2020(24): 145-147.
- [6] 吴丹. 碳中和目标下的高密度城区碧道生态规划设计研究——以深圳市罗湖区碧道建设为例[C]//中国环境科学学会. 第一届全国碳中和与绿色发展大会. 北京: 中国环境科学学会, 2021: 22-35.
- [7] Rauch, H.P., Thannen, M., Raymond, P., *et al.* (2022) Ecological Challenges* for the Use of Soil and Water Bioengineering Techniques in River and Coastal Engineering Projects. *Ecological Engineering*, **176**, 106539. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106539>
- [8] Liu, H. and Lv, J. (2021) Site Selection of Waste Slag Yard and Design of Protective Measures in Water Supply Project of Drawing from the Songhua River in Central Cities of Jilin. *Meteorological and Environmental Research*, **12**, 49-51.
- [9] Aluku, H., Komakech, H.C., Griensven, A.V., Mahoo, H. and Eisenreich, S. (2021) Seasonal Profitability of Soil and Water Conservation Techniques in Semi-Arid Agro-Ecological Zones of Makanya Catchment, Tanzania. *Agricultural Water Management*, **243**, 106493. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106493>
- [10] 李汉川. 问题导向型碧道景观规划设计实践——以深圳宝安下涌碧道为例[J]. 城乡规划与环境建设, 2021(5): 10-11.