

湖南谭家山煤矿榜塘地区水资源破坏治理对策

涂远卓¹, 刘洋^{1*}, 李晨阳¹, 张联志²

(1.湖南科技大学 地球科学与空间信息工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2.湖南省国土空间调查监测所, 湖南 长沙 410129)

摘要: 湖南省谭家山煤矿榜塘地区居民的主要饮水来源为区内的水库。然而, 长期进行矿产开采, 大量强抽排地下水, 导致大面积地面塌陷与土洞并诱发岩溶塌陷, 区域内水库严重漏失, 部分渠道变形并出现多处开裂现象, 形成洼地; 同时, 当地的水质也受到污染, 严重影响当地居民的日常生活。本文通过研究区域内水资源破坏现状, 针对研究区内受损渠道、水库、塌陷区, 提出相应的治理方案, 分别开展渠道整治工程、水库修复治理工程以及湿地景观生态修复工程, 对受损区域进行修复。通过修复治理, 研究区内的渠道基本功能得到恢复, 水库的稳定性和功能性进一步提高, 原本的废旧矿区改造成湿地公园。如今, 谭家山榜塘地区的水资源环境已基本得到恢复, 本研究可为相似区域水资源治理提供参考。

关键词: 谭家山煤矿; 渠道受损; 水库漏失; 塌陷区; 水资源破坏治理; 水质保护

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2025)02-0029-10

Countermeasures for the Treatment of Water Resource Damage in the Bangtang Area of the Tanjiashan Coal Mine in Hunan Province

TU Yuanzhuo¹, LIU Yang¹, LI Chenyang¹, ZHANG Lianzhi²

(1. School of Earth Sciences and Spatial Information Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Institute of Land Space Survey and Monitoring, Changsha 410129, China)

Abstract: The main source of drinking water for residents in the Bangtang area of the Tanjiashan Coal Mine in Hunan Province is the reservoirs within the area. Due to the long-term mineral exploitation in Bangtang area of Tanjiashan coal mine in Hunan Province, a large number of groundwater is strongly pumped out, which leads to widespread ground subsidence, soil caves and karst collapse. The reservoir in the area is seriously leaked, and some channels are deformed and multiple cracks occurred, leading to the formation of depressions. Meanwhile, the local water quality has also been polluted, seriously affecting the daily lives of local residents. In this paper, through the study on the current situation of water resources destruction in the region, the corresponding treatment schemes are proposed for the damaged channels, reservoirs, and area of subsidence in the study area. Channel remediation projects, reservoir remediation projects, and wetland landscape ecological restoration projects are carried out to repair the damaged areas. On this basis, the basic function of the channel in the study area is restored, and the stability and function of the reservoir are further improved. The original abandoned mining area is transformed into a wetland park. The water resource environment in Pangtang area of Tanjiashan has been basically restored, and these projects will provide references for water resources management in similar regions.

Keywords: Tanjiashan coal mine; channel damage; reservoir leakage; area of subsidence; governance of water resources destruction; water quality protection

湖南省是我国矿产资源最丰富的省份之一, 矿业比较发达, 特别是有色金属及非金属矿产, 素有“有色金属之乡”和“非金属之乡”著称。然而, 长久以来大规模且高强度的矿产资源开发, 对开采区域的生态

环境造成严重破坏,进而危及当地居民的生存环境^[1].在矿山开采过程中,长期强抽排地下水,导致地下水位下降,引发地面沉降,对当地的水资源环境造成严重破坏,给农田灌溉和生活用水等带来了巨大危害.同时,采矿过程中可能发生有害物质的泄漏,造成持续污染,导致水质恶化,甚至引发水生动物和植被的死亡,对周边的环境及居民的生活产生深远影响.例如印度梅加拉亚煤矿区水质污染^[2],罗马尼亚盐矿工业区排放物对水质的危害^[3],Sarcheshmeh 矿区内的水源中发现高浓度的有害元素^[4],这些表明采矿区由于采矿活动引起水质污染不可避免.因此如何高效处理采矿区水质污染问题成为当前研究的重中之重.

国内外众多专家学者对矿产开采导致的生态环境破坏现象提出了地貌重塑^[5-6]、土壤重构^[7]、植被修复^[8]、景观重现^[9-10]、生物多样性重组^[10-12]与保护等生态修复模式^[13-16].针对矿区内的地面塌陷情况,主要选择对受灾区域进行土地复垦,建造生态景观园、湿地公园等,提高受灾区域的景观观赏性^[17].但是不同区域的受灾类型不同,地质环境条件也不相同,需因地制宜选取最合理的修复治理方法,达到既不破坏现有生态环境,又能恢复受灾区域生态环境的目的.

本文选取湖南省谭家山煤矿榜塘地区为研究对象,该区域长期开采矿产,严重破坏了研究区的水资源环境.经过现场调查,研究区内渠道出现多处受损,曾发生多起地面塌陷事件,榜塘水库大坝护砌也遭到破坏.针对这些问题,本文结合当地的气象水文条件、地质环境条件,提出了渠道整治工程、水库修复治理工程以及湿地景观生态修复工程.不仅对受损的水库、渠道区域进行修复,同时极大限度地恢复当地的水资源环境,将长期以来受到采矿污染的水质恢复到符合居民生活标准的水平.

1 研究区概况

1.1 水文地质条件

研究区位于湖南省湘潭市谭家山镇,属中亚热带季风湿润气候,四季分明,气候温和,雨量充沛.区内年平均气温为 17.5 ℃,极端最高气温为 41.8 ℃(2003 年 8 月 3 日),极端最低气温为-12.1 ℃(1991 年 1 月 27 日);多年平均降雨量为 1 425 mm,年最大降雨量为 1 923.3 mm(1998 年),日最大降雨量为 143.6 mm(1998 年 5 月 22 日),主要降雨期为 4—7 月;年最大蒸发量为 1 468.4 mm,年最小蒸发量为 816 mm,年平均蒸发量为 1 209.3 mm.

1.2 研究区现状

在研究区内,地下水开采导致渠道破坏,榜塘水库地面塌陷,同时渠道和水库周边植被的生态多样性被破坏,居民生活被影响.

1)渠道以北至水库段区域,地面整体沉降 2~3 m,渠道存在多处开裂下沉.渠道中部,东西方向的村道南至大坝段区域内,农田整体下沉 4~5 m 形成湿地(图 1).此外,渠道还存在多处垮塌现象,大部分区域被水淹没(图 2),导致周边景观效果极差.



图 1 地面沉降形成湿地



图 2 渠道局部垮塌下沉被水淹没

2)榜塘水库存在严重的地面塌陷问题,水库因矿产开采而出现严重漏失,底部有大量淤泥堆积,南北两塘的西部区域有溢洪坝道,北侧有闸门,目前都无进出水.北塘的北侧和南东侧的局部区域设置了水泥斜面防护,其他方位则是土堤;南侧土堤存在多处裂缝,裂缝宽度为 1~2 cm.

3) 水渠湿地内,植物长势良好,但是植被种类单一,缺乏多样性,植被生态基本被破坏.水库西侧目前为桑葚种植基地,而其余周边区域内杂草丛生.当地村民将周边区域圈起作为菜地和禽类的放养地,导致生活垃圾随处堆放.上述现状严重影响水库的水质和周围原生植物的生长,进而影响水库功能的发挥,给当地居民的日常生活造成严重影响.

根据研究区地质环境现状,本文拟采取渠道整治工程、水库修复治理工程和湿地景观生态修复治理工程修复榜塘地区水资源及环境.

2 治理方案

榜塘地区水资源及环境治理修复工程可分为渠道整治工程、水库修复治理工程以及湿地景观生态修复治理工程这3部分.

2.1 渠道整治方案

渠道整治工程规划从塌陷区延伸至榜塘水库,沿途布设2条整修渠道,并重建原有废弃水沟及对现有渠道进行修缮,渠道整治工程平面布置如图3所示.其中在疏通修缮渠道上选取2处断面:1—1'和2—2'.在整修渠道 QD1—I 上选取2处断面:3—3'和4—4'.所选取4处地点的断面见图4.4处断面表示在不同区段基于其周边环境以及现有的建筑设施可采取的最有效的整治方案.经过整治,原有的废弃水沟经过重建将重新投入使用,恢复原有供水功能;重新布设的2条渠道和经过修缮的现有渠道完全对接,形成一个更加完整的供水系统,从而满足当地居民生产生活与工业建设的用水需求.

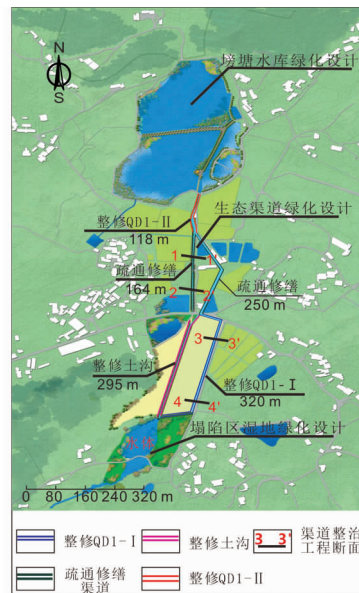


图3 渠道整治工程平面布置

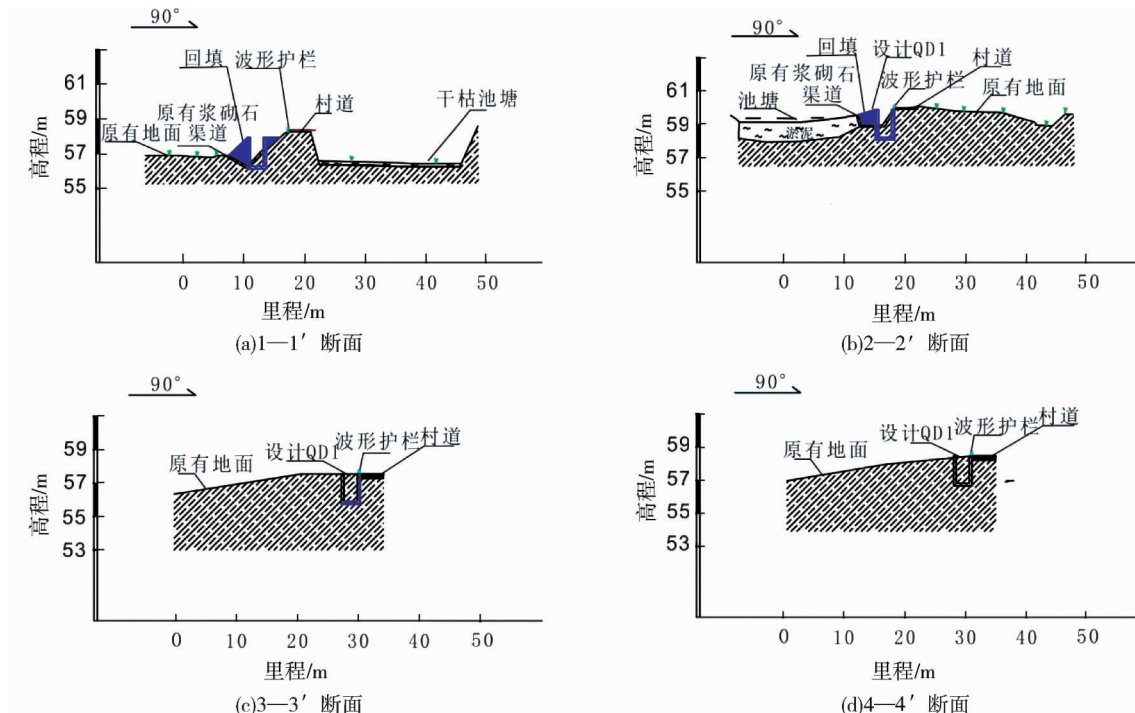


图4 渠道整治工程断面

2.2 渠道整治工程

研究区部分区域仍然处于不稳定状态,为了避开原有渠道上的塌陷区,需要改道建设新渠道,新修渠道的尺寸依旧按照原有渠道的尺寸进行设计,新修渠道的方向与原有渠道方向保持一致.沿村道布设2 m宽的整修渠道 QD1—I,长320 m,矩形断面,采用C20混凝土现浇,整修渠道横断面如图5所示;与榜塘水库相连处布设4 m宽的整修渠道 QD1—II,长118 m,整修渠道横断面如图6所示.研究区内仍有部分渠道沿途未发生塌

陷,渠道较完整,因此仅对原有渠道进行疏通修缮,在破损严重处进行修复,以供当地居民继续正常使用,渠道疏通修缮部分总长 414 m,对原有的浆砌石渠道实施回填处理形成整修渠道.对原有的废弃水沟进行重建,采用斗沟,长 295 m,梯形截面,上覆土工布和加筋麦克垫减少水流冲刷,斗沟横断面如图 7 所示.

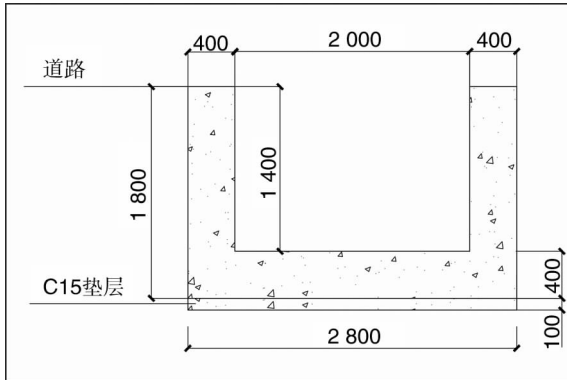


图 5 QD1-I 横断面(单位:mm)

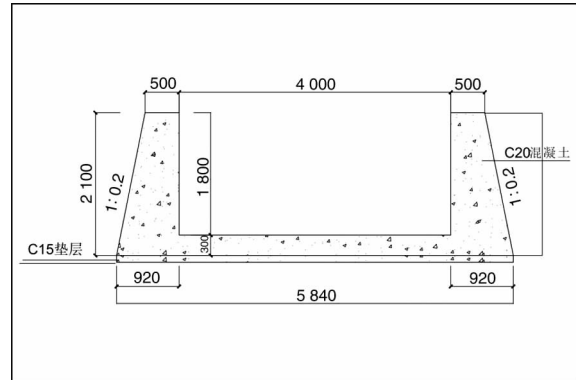


图 6 QD1-II 横断面(单位:mm)

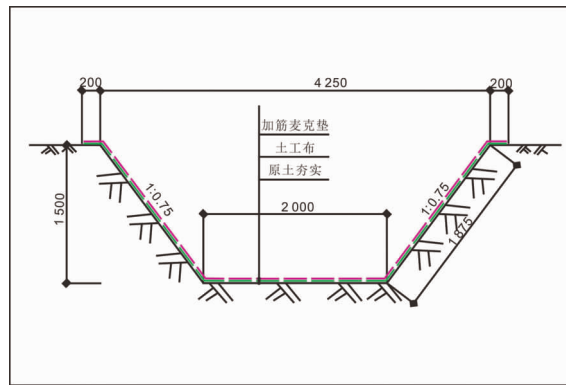


图 7 斗沟横断面(单位:mm)

2.2.1 修建渠道建筑物

渠道重建及修缮过程中,根据实际需要建造管涵、水闸、波形防撞护栏、人行板桥等渠系建筑物,保证渠道建设完成后的正常使用.各渠道建筑物工程具体情况如下.

1) 管涵

在沟渠穿越道路时,布置涵洞,根据沟渠的大小确定涵洞的大小.渠道下的涵洞一般按无压流设计,涵洞底坡取 $i=1/500$,其过水能力不受洞长影响,按短洞计算.管涵的过水能力按无压短洞设计,计算公式如式(1)所示.

$$Q = m \times b \sqrt{2g} H_0^{2/3}. \quad (1)$$

式中: Q 为设计管涵的流量, m^3/s ; m 为流量系数,取为 0.35; b 为矩形断面涵洞底宽, m (若涵洞为非矩形断面时, $b = \frac{W_k}{h_k}$ (h_k 为临界水深, W_k 为相应临界水深的过水断面面积)); g 为重力加速度, m/s^2 ; H_0 为涵洞进口断面底板高程起算的上游总水头, m ; H 为涵洞进口前的静水头 (水面到涵洞底板的高度), m . $H_0 = H + v^2/2g$, 其中 v 为水流速度.具体的计算步骤:先假定一个洞径 D ,求出相应的 b ,再根据式(1)计算过流量,当过流量等于要求流量时,即可确定所假定 D 即为所求.

考虑在洪水期可能出现压力流流态,按压力流验算其泄流能力 Q ,其计算公式如式(2)所示.

$$Q = \mu' w \sqrt{2g(H_0 + il - h_1)}. \quad (2)$$

式中: μ' 为流量系数,取 0.67 (查自《水工设计手册》); w 为涵洞断面面积, m^2 ; i 为涵洞底坡; l 为涵洞长度, m ; h_1 为出口洞底以上的水深, m .

在管涵铺设时,需充分考虑水渠后续投入使用后的实际情况.因为后期水渠投入使用时,有大量的水

流长时间持续通过,所以,首要任务是满足渠道过水要求,保证在长期使用过程中管涵能够稳定发挥应有的功能.此外,使用过程中有大量的人畜以及代步工具通过,考虑到通行安全,管涵与道路交接处,其过水中心线与沟渠过水中心线应尽量齐平,并略低于路面,满足人畜通行基本要求.同时,在后期还应常规化地对管涵进行维护,保障其长期正常安全使用.

2) 水闸

渠道的闸室设计均采用现浇混凝土结构,并预留闸槽.QD1-Ⅰ与 QD1-Ⅱ的闸门关闭状态的平面设计大样图和立面设计大样图见图 8.

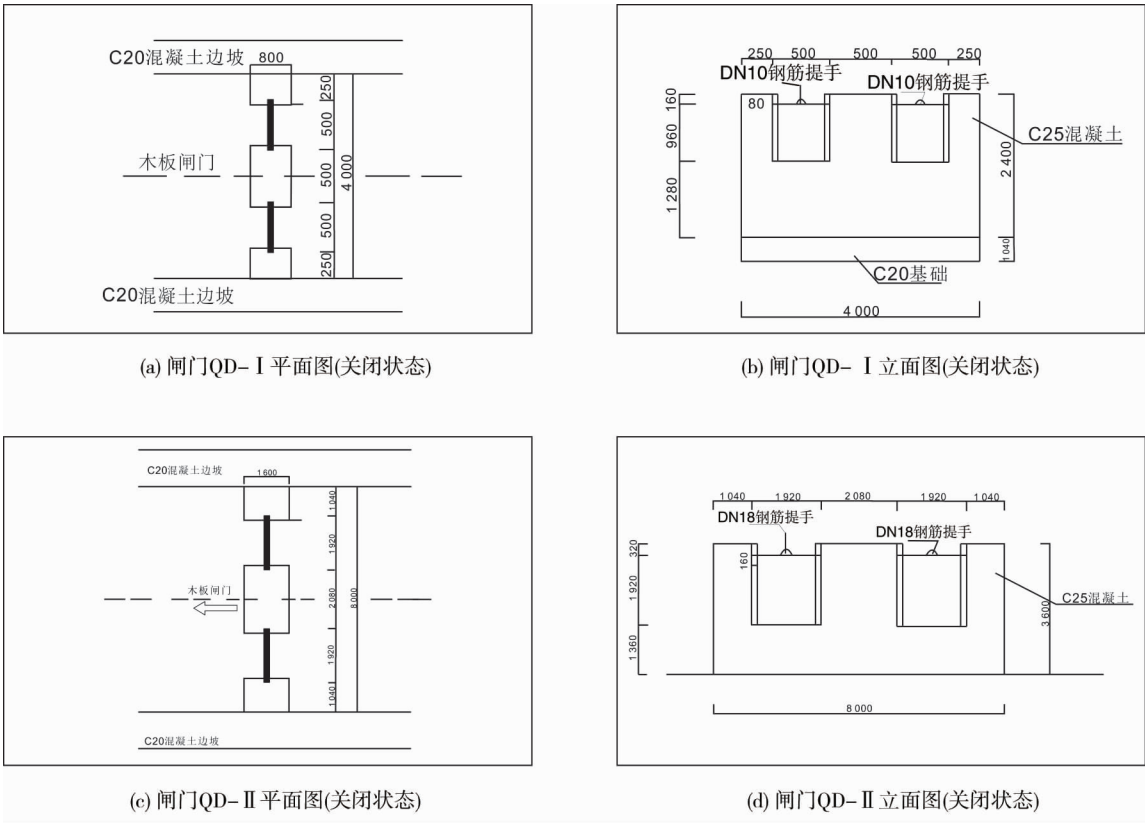


图 8 闸门设计大样图(单位:mm)

3) 波形防撞护栏

由于部分渠道深度较大,且紧邻村道,为确保行人和车辆行进安全,沿着渠道布设波形防撞护栏,总长 710 m.波形防撞护栏设计大样图见图 9.

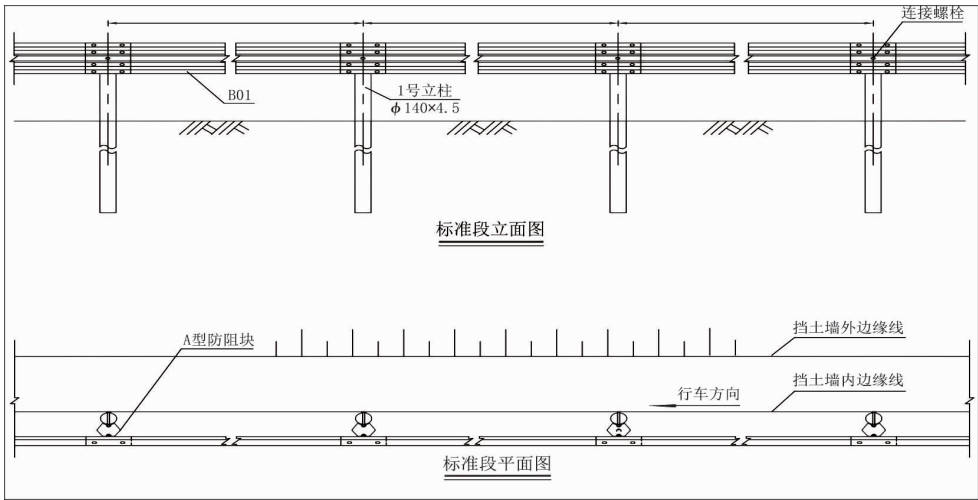


图 9 波形防撞护栏设计大样图(单位:mm)

4) 人形板桥

在人群较密集以及交通枢纽渠段,为了便于居民与生物通行,在跨越较大沟渠道处设置人行板桥,人行板桥通常采用钢筋 C20 混凝土预制板,长度为 8.2 m,宽度为 2.4 m.人行板桥的桥墩利用生态砖沟渠边墙,采用嵌入式安装,桥板与沟渠顶面齐平.

2.3 水库修复治理工程

水库修复治理工程的具体方案包括清淤工程、防渗工程、护岸工程等.在水库修复治理过程中应遵循以下原则:

1) 在水库修复治理过程中,在满足岸坡稳定性的前提下,湿地形态应该符合自然规律,即湿地面积大小各异.而坑塘岸坡应该满足基本的稳定要求,并且尽量减少岸坡的刚性结构,实现水土交融.

2) 水库修复治理工程的布置应该体现以人为本.在水库边布置台阶、输水卧管、取水平台等便民设施,既具有安全性,又能满足当地居民在各方面的需求.同时还应因地制宜,合理选择输水卧管的位置,充分满足农田灌溉的需求.

3) 在水库修复治理过程中,应该根据坑塘岸坡稳定性的差异来选择不同的护岸结构,根据水库的渗漏程度,有针对性地进行防渗漏设计,选取最有效的措施.

水库修复治理完成并投入使用后,水库的整体结构更加稳定.工程修复了前期因采矿导致的大量裂缝,并对岸坡重新进行设计建造,使得岸坡的稳固性较之前有了显著提升.同时进行的防渗漏设施,有利于水库的长期使用.此外,水库内重建或修缮的各种基本设施为当地居民的生活带来巨大的便利.

2.3.1 清淤工程

由于地下大面积的采空以及严重的岩溶发育,该水库出现大面积渗漏,应经过治理或者自然恢复后成为有水状态,原则上不清淤或少清淤.清淤后在全塘泼洒生石灰化水,可以杀菌消毒,减少疾病发生,有利于来年肥水.

2.3.2 防渗工程

榜塘水库为严重渗漏区域,对坑塘清淤后,在塘底铺设复合防渗土工膜进行防渗.

1) 水库结构分析

压强(液体适用)计算公式如式(3)所示.

$$P = \rho gh_2. \quad (3)$$

式中: P 为压强, Pa; ρ 为液体密度, kg/m^3 ; h_2 为液体距表面深度, m.

选取研究区域内最大水深 5 m,得出 $P = \text{液体密度}(\text{水的密度 } 1\,000\, \text{kg}/\text{m}^3) \times \text{重力加速度 } g(9.8\, \text{m}/\text{s}^2) \times \text{深度}(5\, \text{m}) = 49\,000\, \text{Pa}$,静水压力 $F = \text{压强} \times \text{受力面积} = 0.049\, \text{MPa}$.根据计算得知:当水深为 5 m 时, $1\, \text{m}^2$ 的静水压力为 0.049 MPa.按照 500~700 g/m^2 复合土工膜的 $1\, \text{m}^2$ 耐静水压力为 1.0~1.4 MPa,选取 500~700 g/m^2 复合土工膜已经远远大于抗压强度.考虑到该区域为矿区环境,水体具有腐蚀性、水体中杂物比较多,需要较强的抗老化、抗氧化能力,提高复合土工布的使用寿命,选取 500~700 g/m^2 的复合防渗土工膜为宜.

因为榜塘流域为严重渗漏区域,直接铺设土工膜可能会影响到土体侧向补给情况,考虑到岸堤渗漏的情况,在该区域岸坡铺设均选取复合防渗土工膜.

2) 复合防渗土工膜材料选取

选取 2 种规格复合防渗土工膜,分别为 500 g/m^2 和 700 g/m^2 复合防渗土工膜(两布一膜),膜的厚度分别为 0.25 mm 和 0.35 mm.其中复合土工膜技术产品质量需满足以下 7 点技术指标基本项方为合格(复合土工膜技术产品质量要求见表 1).

复合土工膜具有强度高,延伸性能较好,变形模量大,耐酸碱、抗腐蚀,耐老化,防渗性能好等特点,完全符合研究区内水体的要求.

3) 复合防渗土工膜的锚固

复合防渗土工膜的固定采用锚固槽形式,锚固槽样式分为土体锚固和混凝土锚固,土体锚固槽规格大

小为 0.8 m×0.8 m.在全塘采用防渗措施,混凝土锚固槽位于岸坡坡脚位置,齿墙规格大小为 0.6 m×0.4 m,岸坡防渗措施采用混凝土防滑齿墙、混凝土面坡及混凝土压顶的形式,混凝土压顶为 0.1 m×0.2 m,用以锚固土工膜.

表 1 复合土工膜技术产品质量要求

项目	单位面积质量/(g/m ²)	
	500	700
膜材厚度/mm	0.25	0.35
纵横向断裂强度/(kN/m)	7.5	12
纵横向标准强度对应伸长率/%	30~100	30~100
CBR 顶破强力/kN	≥1.5	≥2.2
纵横向撕破强力/kN	≥0.15	≥0.4
剥离强度 N/cm	6	6
垂直渗透系数 K/(cm/s)	<10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻¹³	<10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻¹³
耐水静压力/MPa	1.0	1.4

2.3.3 护岸工程

护岸岸坡为常年涉水岸坡,坑塘旁耕地因塘岸的小规模掉土、坍塌导致岸坡线退化,从而导致耕地面
积减小,现对欠稳定的岸坡进行护砌.

护岸工程具体结构设计如下:

1) 预制 C20 六棱块

榜塘水库岸坡大部分为荒地,对此类岸坡一般采用 1.0 : 1.5 进行放坡后,采用预制 C20 六棱块护岸,避免因采空变形导致坡面形成的大面积连续破损.正常蓄水位以下采用六棱块护坡,蓄水位之上采用空心六棱块护坡.

2)生态砖挡墙+生态护坡砖

榜塘水库常年有水且岸坡较陡,因此设计采用生态砖挡土墙护砌,根据不同的高度配置不同的生态砖砌块,生态砖采用 C25 混凝土生产.基础采用 C20 混凝土基础,每 10 m 设置沉降缝,沉降缝宽为 2 cm,嵌入沥青木板.墙身采用生态挡土墙砌块,墙体倾角 12° ,每层砌块偏移量为 60 mm.墙背原土、回填土与墙身之间根据情况设置宽度为 100~200 mm 的宽碎石层.砌块生态孔填土厚度为 200 mm.墙后铺设根据现场情况铺设反滤土工布或复合土工膜.根据现场勘查情况,拟设计采用 1.2,1.5,2.0,2.5,3.0 m 的墙高.生态砖挡墙护坡的大样图如图 10 所示.

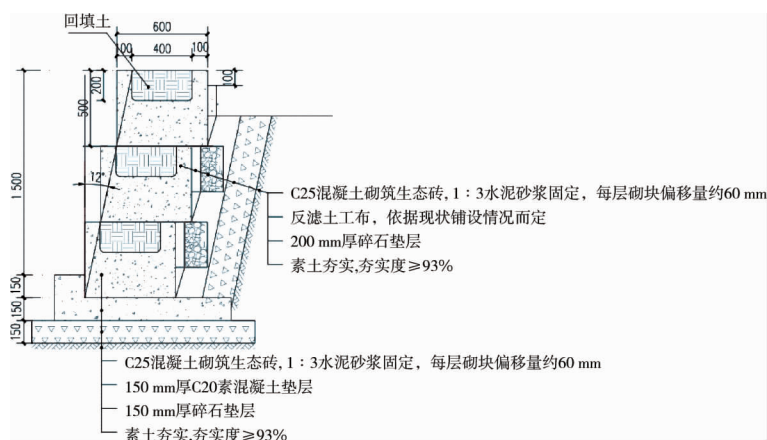


图 10 生态砖挡墙护坡大样图(单位:mm)

3) 现浇混凝土挡墙

现浇混凝土挡墙主要布置于水库严重垮塌的岸坡、临道路一侧,采用 2.0 m 挡土墙,墙顶宽 0.5 m,底宽 1.0 m,高 1.6 m.面坡倾斜坡度为 1.0 : 0.3,背坡垂直.基础埋深 0.5 m,基础 0.5 m×1.0 m.挡墙采用 C25

混凝土现浇.自然地面以上 50 cm 处布设一排泄水孔.采用 $\phi 30$ PVC 管做泄水管,外倾 5%,泄水孔进水口设 50 cm 厚砂砾石反滤层,反滤层下设 30 cm 厚优质黏土层.挡土墙每 5 m(根据地基及地形、岩土地质条件情况)留 1 条伸缩变形缝,缝宽 2 cm,嵌入沥青麻筋木板,沿内、外、顶三方填塞,深度为 300 mm.现浇混凝土挡墙大样图如图 11 所示.

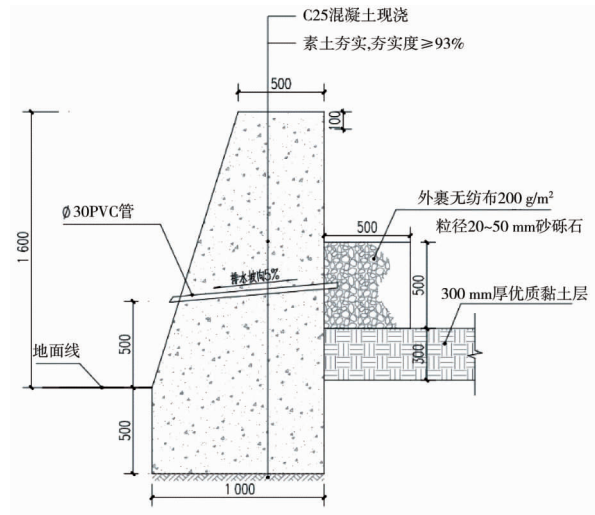


图 11 现浇混凝土挡墙大样图(单位:mm)

2.4 湿地景观生态修复治理工程

研究区内采矿活动导致的塌陷湿地以及水库受损,对当地的水利设施造成了巨大损害,还严重破坏了当地的生态景观.同时,采矿过程中大量污染物的随意排放对当地的水质产生了不可避免的影响.因此,在修复过程中需对水库及沉陷区的湿地进行改造设计,根据场地现状、景观特色异同及设计需求,将该区域细分为三大区域并作分项设计,依次是榜塘水库绿化设计、生态廊(渠)道绿化设计以及塌陷区湿地绿化设计.在将研究区域打造成为一个具有艺术气息的生态公园的同时,对区域内的水质进行恢复治理,保障居民的生活用水安全.在对研究区域进行生态修复的过程中,植物配置树种的选择要坚持适地适树原则:乔木选用乡土树种香樟树和桂花树,水生植物选用水杉和垂柳等,灌木和地被选用红叶石楠、南迎春等,以此达到净化区域内水体以及提高景观效果两者兼顾的目的.

2.4.1 榜塘水库绿化设计

水库中间现有 2 条主要道路,将原有普通路面改造为胶制路面,可供居民散步,在道路邻近水库一边建造石质栏杆,具有极佳的意境,可以让路人在倚靠休憩期间观赏水库美景.在东西向的道路旁种植乔木垂柳和碧桃,春天开花之际可形成“桃红柳绿”的优美景观;在南北向的道路旁种植水杉,笔直挺拔的水杉倒映在水中形成别具一格的景象,一年四季均有景可赏;水库旁修建一座凉亭,是夏天避暑休闲的不二之选.水库四周选种乡土植物香樟树、李树、乌桕以及枫杨等大乔木,灌木及地被植物品种紫薇、木芙蓉、伞房决明、红叶石楠、山茶等.水库内的生态修复侧重植物修复,并且注重植物的多样性,在水库四周岸边种植水生植物美人蕉、千屈菜、黄菖蒲、水生鸢尾等,形成丰富的水生植物群落景观,大型的水生植物可以有效去除水中过多的养分负荷,避免水体富营养化;在水库水体中央栽种挺水植物荷花,浮叶植物睡莲,沉水植物马来眼子菜、金鱼藻、苦草、菹草等,既能达到净化水体的作用,还能兼顾景观效果^[18-21].在该研究区内还要根据当地的水质选择水生动物,通过放养肉食性鱼类(例如鳊)来控制浮游生物食性鱼类和底栖鱼类生物量.同时在周边区域还应控制有毒农用化学品的使用,防止再次污染水体.在研究区内的水库绿化工程中充分将人文与生态环境紧密结合,在保证居民生活用水便利的同时营造美丽的生态景色,使其既具有高度的实用性,又极具视觉感染力,在未来带动当地的旅游文化产业发展.榜塘水库绿化设计平面见图 12.

2.4.2 生态廊(渠)道绿化设计

在重建以及修缮的渠道旁沿途铺设人行道,与机动车道分隔开,可供居民闲时散步,亦不影响车辆的

正常行驶.道路旁的植被选择桂花和紫薇,采取间种模式,地被植物选择大花萱草满种,坡地选择草籽黑麦草和花籽波斯菊混播的模式种植,在部分硬质区域种植南迎春往下垂,可以增强生态景观效果.生态廊(渠)道绿化设计平面图见图 13.

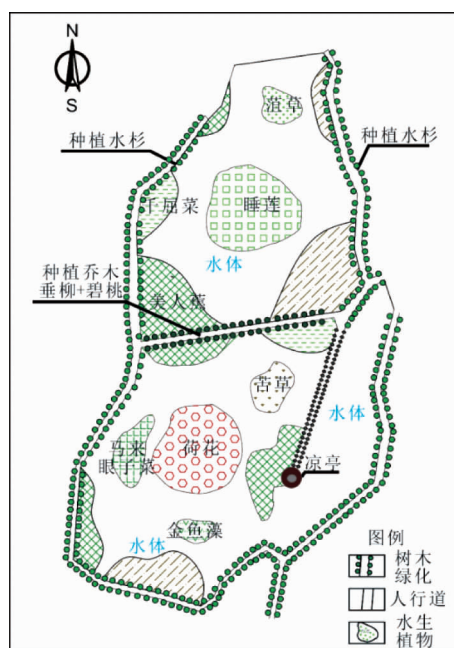


图 12 榜塘水库绿化设计平面图

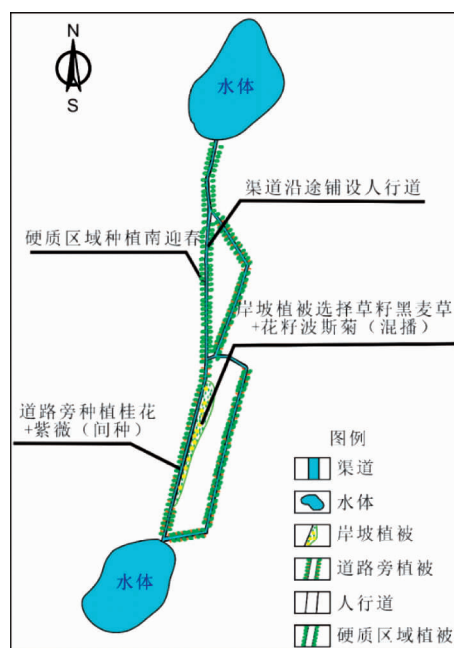


图 13 生态廊(渠)道绿化设计平面图

2.4.3 塌陷区湿地绿化设计

煤矿区的塌陷湿地,应选择净化、养殖、景观三者相结合的修复模式.

塌陷区域的湿地改造为水塘,在水塘西侧以及南端增种 1 排水杉林并点缀几株乌柏树形成湿地的季节性景观,秋季树叶变红时可形成美丽的秋色叶景观.水塘北面保持现状,水塘四周栽种几株垂柳、碧桃、枫杨,在塘上建造凉亭,从塘边修建 1 条木制栈道至亭中,在塘中形成美丽的倒影.塘内放养鱼苗,在塘边设置垂钓区域,垂钓之时亦能欣赏美景,增添几分惬意.并在塘边开辟区域,建造简易的商铺区域,当地居民可以在此售卖土特产,为居民增加额外收入.

3 结论

1) 针对榜塘地区渠道开裂垮塌现状,参考原始渠道尺寸及方向,新建整修渠道并重建废弃水沟,有效地提升了渠道供水功能及安全性.

2) 针对水库严重漏失问题,通过清淤、护岸工程,解决水库渗漏和岸坡稳定性问题.

3) 针对水质污染及生态景观破坏问题,根据场地现状、景观特色异同及设计需求,将塌陷区改造为湿地公园,既治理了塌陷灾害,又为当地的生态环境增添了美感.

参考文献:

- [1] XIAO W, HU Z, FU Y. Zoning of land reclamation in coal mining area and new progresses for the past 10 years[J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2014, 1(2): 177-183.
- [2] SWER S, SINGH O P. Status of water quality in coal mining areas of Meghalaya, India[C]//Proceedings of the national seminar on environmental engineering with special emphasis on mining environment. 2004.
- [3] JANNESAR MALAKOOTI S, SHAHHOSSEINI M, DOULATI ARDEJANI F, et al. Hydrochemical characterisation of water quality in the Sarcheshmeh copper complex, SE Iran[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74: 3171-3190.

- [4] ALINA C ,ADRIANO F ,VALENTIN N , et al. Water quality analysis from a mining area. case study: targu ocna salt mine , Romania[J]. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ) , 2021 , 20(3) :355–360.
- [5] LEI K, PAN H Y, LIN C Y. A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining areas [J]. Ecological Engineering, 2016, 90: 320–325.
- [6] ZHANG Q, WANG F, WANG R. Research progress of ecological restoration for wetlands in coal mine areas[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 1933–1938.
- [7] 白中科,周伟,王金满,等.再论矿区生态系统恢复重建[J].中国土地科学,2018,32(11):1–9.
- [8] 张莉,王金满,刘涛.露天煤矿区受损土地景观重塑与再造的研究进展[J].地球科学进展,2016,31(12):1235–1246.
- [9] 叶艳妹,陈莎,边微,等.基于恢复生态学的泰山地区“山水林田湖草”生态修复研究[J].生态学报,2019,39(23): 8878–8885.
- [10] 雷少刚,张周爱,陈航,等.草原煤电基地景观生态恢复技术策略[J].煤炭学报,2019,44(12):3662–3669.
- [11] 王佟,杜斌,李聪聪,等.高原高寒煤矿区生态环境修复治理模式与关键技术[J].煤炭学报,2021,46(1):230–244.
- [12] 胡振琪,肖武,赵艳玲.再论煤矿区生态环境“边采边复”[J].煤炭学报,2020,45(1):351–359.
- [13] 卞正富,雷少刚,金丹,等.矿区土地修复的几个基本问题[J].煤炭学报,2018,43(1):190–197.
- [14] 狄胜同,陈洪年,张岩,等.煤矿与地下水混合开采引发地面沉降演化机理[J].地下空间与工程学报,2023,19(增刊 2):997–1004.
- [15] 张地伟,韩金伟.采煤沉陷区水土资源评价及生态修复技术实践研究[J].煤炭技术,2024,43(6):120–124.
- [16] 林文成.井工煤矿采空区地表沉陷区地质环境修复技术[J].黑龙江环境通报,2023,47(1):138–140.
- [17] 张进德,郝富瑞.我国废弃矿山生态修复研究[J].生态学报,2020,40(21):7921–7930.
- [18] QU J, FAN M. The current state of water quality and technology development for water pollution control in China[J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2010, 40(6): 519–560.
- [19] BRISSON J, RODRIGUEZ M, MARTIN C A, et al. Plant diversity effect on water quality in wetlands: a meta-analysis based on experimental systems[J]. Ecological Applications, 2020, 30(4): e02074.
- [20] DHOTE S, DIXIT S. Water quality improvement through macrophytes: a review [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 152: 149–153.
- [21] SRIVASTAVA J, GUPTA A, CHANDRA H. Managing water quality with aquatic macrophytes[J]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2008, 7(3): 255–266.