

资中县两河口水库边坡防护施工探讨

钱 玉

(山东水总有限公司, 山东 济南 250014)

【摘要】 水库工程建设常涉及高边坡开挖支护, 面临诸多不可控因素, 施工难度较大, 以资中县两河口水库边坡防护施工为例, 结合项目区水文地质条件, 阐述边坡开挖、框格梁防护、喷混植生层施工工艺, 明确相关质量控制技术参数。实践表明, 根据该工程所在区域的地质特性和边坡的具体状况, 对水库边坡采取适宜的开挖和支护方法, 能够大幅提升支护成效, 确保边坡防护施工质量和安全。

【关键词】 边坡防护; 框格梁; 喷混植生层; 施工技术

【中图分类号】 TV62

【文献标志码】 A

【文章编号】 1009-6159(2026)-01-0048-04

Discussion on Slope Protection Construction of Liang Hekou Reservoir in Zizhong

QIAN Yu

(Shandong Water Conservancy Group Co., LTD., Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: Reservoir engineering construction often involves high slope excavation and support, facing many uncontrollable factors and great construction difficulties. Taking the slope protection construction of Liang Hekou Reservoir in Zizhong County as an example, combined with the hydro-geological conditions of the project area, this paper expounds the construction technologies of slope excavation, frame beam protection and sprayed mixed vegetation layer, and clarifies the relevant quality control technical parameters. Practice shows that according to the geological characteristics of the area where the project is located and the specific conditions of the slope, adopting appropriate slope excavation and support methods can greatly improve the support effect and ensure the quality and safety of slope protection construction.

Key words: Slope protection; Frame beam; Sprayed mixed vegetation layer; Construction technology

两河口水库地处四川省内江市沱江支流濛溪河上, 水库大坝坝址位于濛溪河中游凤凰嘴河段。多年平均来水量 2.01 亿 m^3 , 是一座以农业灌溉、乡镇和农村供水等综合利用的中型水利工程。建设两河口水库工程, 可以解决资中县重龙、孟塘以及资阳市安岳县华严镇、雁江区堪嘉镇和小院镇等 10 个乡镇 0.57 万 hm^2 耕园地的农业灌溉, 同时解决灌区内乡镇和农村 20.97 万人口、12.80 万头牲畜的用水问题, 是办好民生水利、落实加快四川水利发展决定的具体体现。

1 水文地质条件

根据《水工建筑物抗震设计规范》(GB 51247—2018), 该工程抗震设防类别为丙类, 工

程区区域构造稳定性好。流域径流主要来源于降水, 径流的年内分配与降雨的年内分配基本一致。两河口库区每年的 4—8 月起, 伴随着降雨数量的增多, 径流也会逐步变大, 9—12 月降雨量开始减少。水库边坡开挖防护施工主要集中在 5—8 月, 面临降水较多的不利因素。

水库拦河坝坝址区揭露为长石石英砂岩、砂岩、泥质粉砂岩及粉砂质泥岩, 岩层产状平缓, 不良无理地质作用不发育。谷底、坝基部位, 清除表层岩体, 以长石石英砂岩体作重力坝基持力层。坝肩部位, 清除强风化岩体, 以弱风化泥质粉砂岩, 粉砂质泥岩作持力层。

收稿日期: 2025-08-18

作者简介: 钱玉(1992—), 男, 工程师

2 水库边坡开挖防护施工

2.1 边坡开挖

高边坡开挖前要制定专项施工方案。开挖施工中高边坡开挖、保护层开挖、新浇混凝土和已建建筑物附近进行爆破作业是本工程的关键部位。在展开高边坡开挖施工前,要针对边坡岩石安全稳定性展开全方位评估论证,这涵盖了处于设计开挖线以外却可能对施工造成影响的岸坡。对于处在设计开挖线以内威胁到安全的松动岩石以及不稳定的岩体清理干净,采取防护举措。开挖采用液压破碎机、挖掘机和装载机等施工机械联合作业。

开挖施工前对原始地形地貌进行准确测量,按照现场实际测量高程及位置进行开挖边线放样,中风化砂岩采用 1:0.5、强风化砂岩采用 1:0.75 坡比进行放坡,边坡开挖自上而下分层分段施工,开挖土层超挖高度不应大于每层开挖深度+0.50 m。每次开挖高度按锚管的排距左右开挖,横向应分块段间隔开挖,不允许随意开挖或一挖到底,并随时开挖随时支护,即挖土应服从喷锚网支护工作的程序及安排。支护完毕验收合格且喷射混凝土面层达到设计强度的 70%后方可开挖下层土方。

针对边坡开挖过程中显现出来的软弱岩层以及构造破碎带,做好现场排水或堵水,严格依照设计图纸施工。边坡的支护分层作业逐层施工,确保下一层的开挖施工安全。上一层支护在还没完成的时候,坚决不允许实施下一层的开挖工作。施工全过程定时对边坡安全稳定性加强监测,监测数据一旦发生较大变化,就必须停止施工,快速采用有效的手段处理。

在依照设计边坡轮廓实施开挖施工的时候,所允许的偏差存在一定的限定。倘若处于一次钻孔的情况下开展开挖,那么这种偏差不可超出开挖高度的 $\pm 2\%$ 。要是通过分台阶的形式进行开挖,严格按设计图纸要求控制最底部台阶的坡脚位置的偏差,以及整个边坡的平均倾斜度。地质缺陷开挖坡面出露的断层、软弱夹层、卸荷松动不稳定块体的开挖符合施工图纸要求。

2.2 边坡支护布置措施

边坡支护工程主要是坝顶段开挖后的边坡

支护。边坡支护形式为砂浆锚杆+框格梁+喷混植生态混凝土支护,框格梁采用间排距 2 m \times 2 m 矩形框格,梁体截面 0.2 m \times 0.2 m 的 C25 钢筋混凝土,砂浆锚杆为 $\Phi 25$ 砂浆锚杆。植生混凝土分基层和表层两层,基层 7~8 cm,表层 2~3 cm,基底种子用量 20%~30%,表层种子用量 70%~80%,为保证植生混凝土喷混质量,在建基面底敷设 16# 低碳镀锌钢丝网,钢丝网网孔 8 cm \times 8 cm。边坡留设 $\Phi 50$ PVC 排水管,间排距 2 m,梅花形布置,倾角 5°,升入边坡 10 cm,外漏 10 cm,墙头包裹土工布。

2.3 框格梁护坡施工

1)框格梁开槽。采用内燃式凿岩机人工开槽,开槽宽 20 cm,深 10 cm,开槽误差不大于 2 cm,不得欠挖。框格梁护坡施工顺序:施工方案技术交底 \rightarrow 施工准备测量定位 \rightarrow 框格梁开槽 \rightarrow 砂浆锚杆造孔安装 \rightarrow 框格梁钢筋安装 \rightarrow 框格梁模板制安 \rightarrow 框格梁混凝土浇筑 \rightarrow 混凝土养护。

2)砂浆锚杆施工。锚杆施工采用先注浆后插杆的注浆工艺。锚杆纵横间距 1.5 m,采用梅花形布置,杆体每 1.5 m 设置 1 定位支架。在边坡面上确定锚杆孔位、进行钻孔,孔深为 3.5 m,孔径 91 mm,入射倾角 15°。锚杆采用 $\Phi 25$ 钢筋,长度取 4 m。钻孔采用风动锚杆钻机,钻至规定深度后,用高压风吹孔。注浆时将注浆管插至距孔底 50~100 mm,锚杆注浆压力控制在 0.3~0.5 MPa,采用全段灌浆,下放注浆管至孔底,待孔口溢浆时,再缓慢抽出注浆管,确保孔内砂浆饱满。注浆管上用红色油漆标上孔深长度标记,确保注浆管插入孔内足够深度;控制灌浆压力,使浆液缓慢压出,孔口压力应略大于零。注浆后即时安插锚杆并将孔口用水泥纸、棉衫、破布等物堵塞防止锚杆插入时过多浆液流出,锚杆插入孔底后,孔口均无浆液溢出,及时补注。

当砂浆达到一定强度后,将水泥纸、棉衫、破布等物取出,并防止拉拨、敲打锚杆。M30 水泥砂浆固结,砂浆使用普通硅酸盐 42.5# 水泥、细砂,按施工配合比拌砂浆,搅拌时间 3 min,拌匀后倒入砂浆泵,灌入 M30 水泥砂浆并打入锚杆,孔口不满部分用泵补灌,再用砂浆将孔口抹平。普通砂浆锚杆采用 $\Phi 25$ 钢筋加工而成,长 3 m,顶端为倒“L”型,外漏 0.2 m,间排距 2 m,梅花形布置,采

用 M30 水泥砂浆灌浆密实。

注浆锚杆的工艺流程:一是下倾孔采取先注浆后插杆的方法进行施工。二是上仰孔及易塌孔部位的下倾孔采取先插杆后注浆的方法进行施工。

首先清理开挖坡面上明显松动的岩石。搭建简便脚手架,并且在上面铺设竹跳板以构建出钻孔施工平台。运用全站仪来明确锚杆的孔位。边坡支护选用 $\Phi 25$ 锚杆,气腿钻钻孔孔径 5 cm,钻孔位置和深度偏差严格控制。完成钻孔后,清洗钻孔且经过验收合格之后才开始安装锚杆。锚杆事先在钢筋加工厂依据设计进行生产,接着运输到水库建设场地安装。注浆锚杆所使用的水泥砂浆需要历经实验室的配合比试验,水泥与砂配比比例 1:1.5,水灰比 1:0.4。借助拌浆机根据配合比来搅拌水泥砂浆,保证均匀搅拌,边拌边用,严禁混入异物。水库边坡支护锚杆注浆借助 2SNS 型灌浆泵。事先检查灌浆机运行情况,试运转稳定后再开展灌浆,同时还会用水湿润管路。

遵循“先注浆,后插杆”的施工顺序,也就是把 PVC 注浆管插入到孔底 80~100 mm 深的位置,接着利用注浆机将水泥砂浆灌注到孔内,同时向外拔管,直到孔内充满浆液,随后人工把锚杆插入到孔内。在锚杆孔口添加固定楔子,让锚杆体保持在中间位置。在砂浆完全凝固以前,严禁随意触动锚杆。

3)框格梁施工成果保护。框格梁的施工应采取分段进行的方式,即完成一段后立即进行养护和保护。整个施工过程要严禁外部无关人员随意进入框格梁施工区域,注意要对防浪墙墙身进行覆盖保护,施工材料和机械设备采用起重吊装设备运输,绕开框格梁施工区域,防止框格梁破坏确保工程安全。

2.4 喷混植生层施工

1)施工工艺流程。喷混植生层施工工艺流程:坡面清理→挂钢丝网→喷射有机基材混合物→盖无纺布→养护管理。

2)清理坡面。在即将施工的坡面上,将所有可能妨碍施工的障碍物彻底清除。在坡面开口线上部与原始边坡接触区域,清理范围控制在 1.0 m 宽,主要是去除植物枝干,多余的地下根茎可以保留^[4]。同时,坡面表面植物枯枝、浮石浮土等杂

物也必须被彻底清除。坡面上明显凸出易脱落岩石采取措施敲掉;坡面凹进位置借助风镐凿出麻面状后再用砂浆填补平整,以确保坡面的平整和稳定。

3)安装钢丝网和锚钉。工程边坡坡度较大,掩体结构不稳定,设计钢丝网为 16# 低碳镀锌钢丝网,钢丝网网孔 8 cm×8 cm,借助电锤垂直于坡面方向钻孔将锚钉击入。锚钉采用 $\Phi 16$ 螺纹钢,锚钉间距 0.8 m×0.8 m。孔深 30 cm,锚杆要露出 10 cm。为了强化坡体顶部的稳固性,借助长 60 cm 锚杆加密加长施工。锚杆要稍微朝着上方倾斜,和坡面形成的夹角要保持在 95°~100°。表面岩石严重风化区域,锚钉适当延长,确保锚钉深入稳定。依照图纸锚钉大小、入岩深度以及间距,垂直于坡面把锚钉安装好之后,接着将低碳镀锌钢丝网从上向下铺设。加筋网铺设保持张紧状态,网间上下留出一定的搭接长度^[5]。网片间和锚钉与网片接触位置采用铁丝绑扎。另外,网片与坡面之间形成 8 cm 缝隙,如果不能达到这个距离,就应该使用垫块来进行支撑。

4)配制混凝土基材。植被混凝土基材是由砂壤土、水泥、有机质以及特定的绿化添加剂掺和在一起形成的。对于这些材料的选用有如下要求:砂壤土来源于水库施工现场地表土,经过风干、粉碎以及过筛等流程,保证砂含量低于 5%,最大粒径要低于 8 mm。基材采用 P.042.5 标准的普通硅酸盐水泥。有机质采用水库附近生长的水稻、玉米等农作物秸秆粉碎混合而成,其中粉碎物配制前要先自然发酵。而植被混凝土绿化添加剂可以减小水泥水化热,调整混合物酸碱度,改善材料通透性,提供微生物菌环境来促进活化基材。植被混凝土基材基层和表层配比见表 1。

表 1 植被混凝土基材配比表

配比(质量比)	砂壤土	水泥	有机质	植被混凝土添加剂	保水剂
基材基层	100	10	5	5	1
基材表层	100	5.5	5	5	1

表层基材搅拌前应撒入植物种子,因地制宜,采取外来先锋草和本地物种相结合,草、灌、藤合理搭配确定混合植物种子。

5)喷植植被混凝土。当坡面整治和表面铺设施工完成后,并且配置植被混凝土基材成分搅拌均匀,就能够开启植被混凝土基材的喷植作业。

此施工运用的是常规的混凝土喷射机,并且会分成基层和表层这两个步骤来开展。施工的次序是从坡面的上部开始,先实施基层作业,接着再进行表层作业,每次喷护宽 5 m,高 4 m。喷播施工需要用到容量大于 12 m³的空压机来供应空气,干式喷浆的方法作业。在进行喷浆之前,会再次对坡面表面予以检查,确认没有问题后,先用水喷淋湿润坡面,以保证喷射出植被混凝土基材能够和坡面紧密地结合在一起。而后,会展开试喷试验,以此来优化调整水灰比,随后便能够开始正式的喷浆作业。基层喷护厚 8 cm。在喷射作业启动时,要先进行送风操作,接着开启机器,最后才进行给料;在喷射结束时,待喷料完全喷出后关闭风源。基层的喷射混凝土能够一次性喷射达到设计要求厚度,无需再进行分层喷植。喷嘴与坡面的距离要把控在 1.0 m,通常要保持垂直状态,最大的倾角小于 10°。喷射自上往下,采用“S”形或者螺旋形移动,先对凹陷的部位进行喷射,再喷射凸出的部分,压力要求大于 0.1 MPa。在基层作业完成后的 8 h 内,就要着手进行表层的喷护,表层喷护前坡面喷水湿透,表层喷护时间控制在 4 h 以内,喷护厚 3 cm。喷射方法同上。植生层喷射施工完成后,采用无纺布覆盖保湿,防止雨水冲刷,破坏植生层喷射施工成果。植生层养护与框格梁混

凝土养护同时进行,采用洒水养护,保证植生层湿润,直至混凝土养护期结束或生态植生层草种正常生长结束。

3 结语

综上所述,不良地质条件下边坡开挖防护对于水库工程建设和运行至关重要。由于水库工程边坡开挖面临不良地质条件、高空临边作业安全风险大、施工难度高等问题,施工方案必须依据工程所在地实际环境条件和施工场地,综合采取多种防护措施。此外,还需在开挖防护过程中强化现场施工质量过程监管,优化施工组织设计,降低外界不良环境干扰和人员设备不足等因素干扰,提供施工工艺水平,确保水库边坡开挖防护施工效果满足预期标准。同时,通过增加植被等绿化美化防护措施,使区域水环境和岸线环境得到明显改善。

参考文献

- [1] 王顺鹏.水库工程边坡开挖支护施工技术探讨[J].四川水泥,2024(7):182-184.
- [2] 黄金星.马跳水库库区靠泉南高速公路边坡防护方案研究[J].地下水,2024(3):289-291.

(责任编辑 赵其芬)

(上接第 41 页)“第一大河”母猪河中下游,历史典故、水文化底蕴丰富;建设时仅对河道进行清淤疏浚,河道原始生态保持良好,生态系统具备典型性、生态功能具备示范性、生物物种具备多样性与独特性;库区位于村集体范围,山清水秀、景色怡人,周边建有拓展基地、农家乐、采摘园、垂钓园等分散休闲场所;库区毗邻文登区 3 个乡镇,周边缺乏科普教育、生态长廊、城市公园、亲水游乐平台等休闲娱乐配套。库区区位优势、生态与文化价值丰富、人民需求高,水利生态产品开发前景较好。

4.3 充分发挥水库供水职能

母猪河通过“一截一蓄”增加雨洪资源的利用量;通过“以丰补欠”在丰水期蓄积大量的水资源,以备枯水期利用。地下水库总库容 2 014 万 m³,

调蓄库容 1 497 万 m³,95%保证率可供水量 1 587 万 m³,完整水文年内可动地下水总补给量为 930 万 m³,仅作为备用水源应对枯水期,显然不足以发挥水库蓄水供水效益。在水库完成多年调蓄涵养水源后,丰水年、平水年作为常规水源供水不失为一个好的方向。

5 结语

威海市作为受季风影响的缺水性沿海城市,通过母猪河地下水库工程开发,实现含水层等地下储水空间有计划的补给与回采,雨洪资源利用效能提升与水源结构优化调整已初见成果,其工作经验或许对其他同类城市开发地下水库、应对水安全挑战具有一定借鉴意义。

(责任编辑 张玉燕)