

嵩山水库大坝加高培厚设计方案探讨

尹 玲, 吴海波

(临朐县水库运行维护中心, 山东 临朐 262605)

【摘 要】嵩山水库作为潍坊抽水蓄能电站的下水库,承担着水力蓄能的重要作用。嵩山水库大坝安全性直接影响着抽水蓄能电站的正常运行。针对大坝高程需要增加问题,提出不同的加高培厚设计方案,以确定最安全可靠、经济、合理的设计方案,并对施工过程以及施工中的注意事项进行简要论述,可为类似条件的水库工程提供一定参考。

【关键词】嵩山水库;土石坝;大坝加高培厚

【中图分类号】TV697

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-04-0026-04

Discussion on the Heightening and Thickening Design Scheme of Songshan Reservoir Dam

YIN Ling, WU Haibo

(Reservoir Operation and Maintenance Center of Linqu County, Linqu, Shandong 262605, China)

Abstract: As the lower reservoir of pumped storage power station in Weifang Municipality, Songshan Reservoir undertakes an important task of hydraulic energy storage. The safety of Songshan Reservoir Dam directly affects the normal operation of the pumped storage power station. In view of the requirement to raise the dam elevation, different heightening and thickening design schemes are proposed to select the safest, most reliable, economical and reasonable scheme. The construction process and key precautions during construction are briefly discussed, which can offer references for reservoir projects under similar conditions.

Key words: Songshan Reservoir; Earth-rock dam; Dam heightening and thickening

嵩山水库位于潍坊市临朐县五井镇,控制流域面积 151 km²,水库坝址以上干流长度 30 km,干流平均坡度 12.3‰,流域形状呈叶形,是一座以防洪、抽水蓄能发电为主,结合灌溉、养鱼、发电等综合利用的多年调节水库,工程等别Ⅲ等,主要建筑物级别 3 级,次要建筑物 4 级,临时建筑物 5 级。水库主体工程于 1966 年 10 月开工兴建;1970 年 1 月竣工蓄水^[1];1975 年 10 月完成溢洪闸建设;2008 年 12 月—2010 年 12 月进行除险加固。水库现状总库容 5 628 万 m³,兴利水位 289.00 m,兴利库容 4 053 万 m³,死水位 220.25 m,死库容 533 万 m³。100 年一遇设计洪水位 290.62 m,最大泄量 1 428 m³/s;1 000 年校核洪水位 292.10 m,最大泄量 1 892 m³/s。水库枢纽由大坝、溢洪道(闸)和放水洞组成。

现状大坝为壤土心墙坝,全长 873 m,大坝由河槽坝段、阶地坝段组成。0+000—0+505 为主河槽坝段,0+505—0+588 为主河槽坝段、阶地坝结合坝段,0+588—0+873 为阶地坝段,主坝顶高程为 292.50 m。防浪墙顶高程 293.50 m;河槽坝段和阶地坝段均为心墙坝,心墙顶高程 291.87 m,顶宽 3.0 m,心墙边坡比 1:1,河槽坝段现状上游坡比自下而上为 1:2.6、1:2.8、1:3.5,在高程 281.50 m、269.00 m 处分别设 1.5 m、5.9 m 的戕台;阶地坝段上游边坡坡比 1:2.5。

嵩山水库被潍坊市水利局批准作为潍坊抽水蓄能电站下库后,大坝防洪能力不满足规范要求,其中大坝级别需提高到 1 级,结合抽水蓄能

收稿日期:2025-10-01

作者简介:尹玲(1977—),女,工程师

电站下水库批复文件及大坝加高后预留沉陷,大坝坝顶需加高至 294.50 m,防浪墙顶高程加高至 294.70 m,大坝从下游坝脚培厚加高。

1 坝体及坝基地质条件

1.1 坝体地质条件

河槽段心墙主要由壤土填筑而成,局部夹黏土薄层,砂粒、粉粒含量局部较高。心墙土压实度为 82%~96%,桩号 0+070—0+500 段,高程 268.00~280.00 m 区域已进行充填灌浆处理,处理后的心墙区域渗透系数在 $8.9 \times 10^{-6} \sim 9.6 \times 10^{-6}$ cm/s,满足规范要求。河槽段上游坝壳 271.37 m 以上区域除表层为 1.5~3.0 m 厚度的砂垫层外,其余填筑料为含砾石壤土;高程 271.37 m 以下区域填筑料为砾砂夹卵砾石;高程 264.75 m 以下设有堆石体。除险加固后,砂壳相对密度不小于 0.75。河槽段下游坝壳 271.90 m 以上区域除表层为 1.3~1.4 m 厚度的砂垫层外,其余填筑料为含砾石壤土;高程 271.90 m 以下区域填筑料为砾砂夹卵砾石;高程 267.10 m 以下设有堆石体。

阶地段心墙主要由壤土填筑而成,局部砂粒较多,心墙壤土的压实度为 86%~93%,心墙渗透系数平均值为 1.84×10^{-4} cm/s。桩号 0+550—0+792.7 段坝体做有防渗墙,截渗墙渗透系数 $9.12 \times 10^{-8} \sim 9.75 \times 10^{-7}$ cm/s。上游坝壳为砾石土,主要由碎石、卵砾石、砾砂和大量的细粒土组成,坝壳的干密度为 $1.60 \sim 1.79$ g/cm³,含水量为 10.7%~17.6%,渗透系数为 4.6×10^{-2} cm/s;下游坝壳为碎石土,主要由碎石、砾石、砾砂和大量的细粒土组成,坝壳的干密度为 1.68 g/cm³,含水量为 4.2%,下游坝壳的渗透系数为 6.4×10^{-2} cm/s。

1.2 坝基地质条件

坝基下伏基岩为沉积岩和侵入岩。基岩透水率变化较大处透水率范围为 2.7~80 Lu,具弱~中等透水性。河槽坝段坝基松散层已被截水槽壤土截断,截渗槽宽度满足规范要求,河槽段坝基存在渗漏基渗透破坏问题。阶地坝段坝体、坝基有一道塑性混凝土防渗墙,墙体完整,渗透系数满足规范要求,坝基不存在渗漏和渗透变形问题。

1.3 地质条件评价

河槽坝段心墙压实度、防渗性能基本规范要求,阶地坝段布置有一道防渗墙,墙体完整,阶地

坝段防渗性能满足规范要求。

2 加高培厚方案比选

2.1 方案一

大坝轴线位置不变,两侧加高培厚。大坝加高培厚以原大坝轴线为基准,两侧各拓宽至 4.0 m 加高培厚。河槽坝段上游加高培厚设计坡比 1:3.0,自上游坝肩顺坡至高程 281.50 m 戕台处;阶地坝段上游加高培厚设计坡比 1:2.5,整体培厚至库底;阶地坝段防浪墙基础通过一段倾斜(或水平)防渗体与原有塑性混凝土防渗墙结合;大坝坝后坡现有高程 276.50 m、260.5 m 两级戕台保持不变,高程 276.50 m 以上坡比 1:2.4,戕台以下坡比 1:2.6,高程 260.50 m 以下坡比 1:3.5;桩号 0+450—0+650 下游坝脚设一道重力式挡土墙;重建坝顶路、防浪墙,大坝下游坝肩增设绿化带及波形护栏;坝后坡采用草皮护坡,重建排水沟。

2.2 方案二

大坝轴线下移,原坝顶及坝后加高培厚。大坝加高培厚以上游坝肩为基准,以坝顶宽度 8.0 m 确定下游坝肩,上游坝坡保持现状。阶地坝段防浪墙基础可直接与原有塑性混凝土防渗墙结合;现有高程 276.50 m、260.5 m 两级戕台保持不变;高程 276.50 m 以上坡比 1:2.4,戕台以下坡比 1:2.6,高程 260.50 m 以下坡比 1:3.5;桩号 0+450—0+650 下游坝脚设一道重力式挡土墙;重建坝顶路、防浪墙,大坝下游坝肩增设绿化带及波形护栏;坝后坡采用草皮护坡,重建排水沟。

2.3 优缺点分析及方案选择

从两方案的整体布置来看:方案一需对坝体上下游均进行土方加高培厚,坝前坡施工时需设置临时道路,土方扰动面积大,施工作业面大;方案二集中在原坝顶及坝后进行加高培厚,土方扰动面积较小,施工作业面适中。从整体布置上比较,方案二优于方案一。

从两方案的防渗体搭接方面来看:方案一需设置一段防渗体以确保防浪墙与原有塑性混凝土防渗墙有效结合,施工程序较为繁琐;方案二可直接利用防浪墙的基础与原有塑性混凝土防渗墙进行结合,施工简单。从防渗体搭接上比较,方案二优于方案一。

两方案的工程量投资对比:影响投资的工程

量主要体现在土料以及混凝土上,虽然土坝填筑土料方量方案一较方案二偏少一些,但增加了防渗体浇筑混凝土的工程量,以及坝前坡拆除恢复工程量以及临时工程的工程量。从工程量投资对比上比较,方案二投资比方案一投资要节省约 45 万元,故方案二占优。

综合分析,推荐使用方案二进行坝体加高培厚,即大坝轴线下移,原坝顶及坝后加高培厚。

3 工程施工

3.1 现场碾压试验

工程碾压土石料主要来自于抽水蓄能电站的石渣料,正式碾压前需进行针对性的碾压试验,按照碾压试验确定的碾压参数回填土石料。碾压参数主要包括:回填料最优含水量、铺料厚度、压路机行驶速度、碾压遍数等。

工程坝体等级为 1 级,横向施工作业面较小。为保证压实质量,便于分段流水作业,采用进退错距法进行碾压施工,压路机行驶速度不宜超过 2 km/h,碾压遍数等根据现场碾压试验确定^[2]。

3.2 测量放样

按照设计的坝顶宽度和坝轴线坐标确定下游坝肩,自下游坝肩按照设计坡比确定下游坝脚轮廓。采用 RTK 现场校桩后,按照由高程和坡比关系确定好的平面关系(设计方案给出的下游坝脚轮廓控制点坐标)打出大坝下游坝脚轮廓控制点位,并打好定位桩,采用经纬仪等设备定好轮廓线、撒上施工灰线进行标记。

3.3 大坝清基

1)坝体地表附着物清理、归置。将大坝下游坝坡护坡石料、排水沟、监测设施全部拆除,坝顶路面及防浪墙全部拆除,坝顶剥离至除险加固时接高的防渗体界面 292.15 m。拆除的砌石类物料经人工处理、挑选后重新利用,与外购石料放置于坝后临时堆石区;剥离土料单独放置于坝后临时剥离堆土区;监测设施临时放置于嵩山水库现有仓库中;混凝土、水泥等废料及时清运。

2)坝体清基。清基宽度超过坝脚边线 0.5 m,清基采用中小型挖机为主、人工为辅的方式,清理掉施工区域内的树桩、石块等影响坝体结合性的障碍物。当清基至距设计高程 20~25 cm 时,机械清基改为人工清基,清基过程中严格把控清基

质量,避免超挖和欠挖问题。清基完成粗平处理后,采用振动式压路机进行碾压,确保基层压实度达到设计要求,并及时完成自检工作,形成相应质检报告。

3)由现场监理工程师对质检报告进行验收审核,必要时对重点部位的清基情况进行现场确认。审核通过后,方可进行下道工序。

3.4 铺料与碾压

1)铺料。根据地勘资料,坝体上下游坝壳填筑料主要为含砾石壤土,坝顶填筑料就近采用含砾石壤土,坝顶首层填筑料铺设前需在基层洒水使之保持湿润以控制基层与填筑层的结合性,后续每层填筑料铺设前均应洒水湿润处理。坝后帮坡填筑部分采用抽水蓄能电站施工所开挖的石渣(砂砾料),石渣粒径不超过铺填厚度的 3/4,且一般不大于 100 mm;石渣强度不应低于 30 MPa,且无风化、崩解等现象。

2)碾压。坝体加高培厚施工从坝基开始,为防止不均匀沉降,需对新旧土料开蹬翻压碾压,每层压实厚度不得超过 30 cm,当碾压高度达到 1.5 m 时,需使用挖掘机进行削坡处理;碾压遍数不宜小于 8 遍,采用振动平碾,工作质量不小于 10 t,具体碾压遍数根据现场碾压试验数据确定。坝顶加高培厚前应先完成防浪墙重建工程,并在钢筋混凝土防浪墙强度达到设计强度 75%以上时再进行坝顶加高培厚工作。

3.5 质量检测

坝体的土石方填筑必须严格按照现行相关规范和标准进行施工,确保坝体工程质量。现场质量检测的内容主要包括:坝体土石方填筑中各填筑部位的边界控制和土料质量;土石方碾压施工中机械设备的规格、使用方法、行驶速度、振动频率等;填筑料回填的厚度、压路机碾压的遍数、回填料的含水量等;上层填筑料回填前,下层填筑料的压实度、平整度等。工程填筑料主要为石渣及含砾石壤土,土料的最优含水率控制在-2%~3%之间;石渣压实度检测采用灌水法进行,每次 2 500~5 000 m³;含砾石壤土压实度采用灌砂法进行,每次 200~500 m³。

3.6 坝体附着物重建

1)重建防浪墙。大坝培厚加高后,考虑到大坝为“戴”帽加高,防浪墙承受一定的土压力,

在上游坝肩需设一道现浇钢筋混凝土防浪墙。防浪墙总高 2.7 m,其中压顶石厚度 0.15 m,墙体高度 1.05 m,路面以下高 1.5 m。基础高度 0.4 m,宽度 1.2 m。防浪墙 20 m 一节,节间采用止水措施。河槽坝段与接高的壤土防渗体接触,阶地坝段坐落于防渗墙上。

2)重建坝顶路面。考虑水库处于景区,坝顶路面采用沥青混凝土路面,面层分为两层,上层为 AC-13 细粒式沥青,厚度 35 mm,下层为 AC-16 中粒沥青,沥青采用 70 号沥青油膏。路面基层采用水泥碎石稳定层,厚度 0.2 m。

3)增设路肩防护。下游坝肩 0.5 m 设置冬青绿化带,路缘石采用细料石结构,厚度 0.15 m,宽度 0.45 m,单块长度 1.0 m。路缘石安装时,外侧回填水泥砂浆稳定。大坝下游坝肩设置安全防护栏一道,采用双波护栏,栏板为镀锌钢板,宽度 342 mm,立柱为 $\Phi 108$ 镀锌圆柱,长度 2.1 m。

4)下游草皮护坡。大坝下游坝坡帮坡培厚料采用抽水蓄能电站的石渣,坝后坡采用高羊茅草皮护坡,坝后草皮护坡下铺设厚度 0.5 m 厚的种植土,种植土土料采用冶源水库增容工程库区中的开挖料。

5)重建排水设施。在高程 276.50 m 戕台内侧挖设一条纵向排水沟,岸坡与坝坡的交界处各挖设一条横向排水沟,断面尺寸为 0.4 m $\times$ 0.4 m,浆砌石结构;断面矩形,尺寸均为 0.4 m $\times$ 0.4 m,均为浆砌石结构。

纵、横排水沟的雨水汇入坝脚纵向排水沟,然后导入下游河道。高程 276.50 m 戕台以上坝坡自右端起每隔 100 m 设一条横向排水沟,浆砌石结构,尺寸为 0.4 m $\times$ 0.4 m,砌石厚均为 0.35 m。坝脚处设纵向排水沟,总长 936 m。桩号 0+1000—0+400,长 300 m,沟深和底宽为 0.5 m $\times$ 0.8 m,内边坡为堆石体,外边坡直立,外边坡采用浆砌方块石结构。排水沟表层为厚 25 cm 的干砌块石(最短边大于 20 cm),其下设 15 cm 厚 2~4 cm 的碎石垫层和土工布(300 g/m²)各一层。阶地坝段坝与河槽坝段结合部分别为道路和斜马道,因此排水沟断面采用矩形,桩号 0+400—0+871,长 471 m,沟深、底宽为 0.5 m $\times$ 0.5 m,浆砌方块石结构,内侧和底部每隔 2.0 m 设一无砂混凝土块,尺寸大小同干砌块石。

4 施工注意事项

1)工程主要采用振动碾压,严格控制行进速度,最大速度不超过 2 km/h,以免影响压实效果。

2)相邻回填料施工段,尽量平衡上料,接缝位置加强碾压,分缝接头错开 1~1.5 m,各分段条带与坝轴线平行布置。

3)填筑施工中,在与放水洞结合面 50 cm 范围内采用小型机械夯实或人工夯实,两侧对称填料,均匀回填,层层压实,减少侧向压力对放水洞洞壁的不利影响。

4)河槽段防浪墙基础浇筑前,应先对心墙顶部进行清理、整平,洒水湿润后再进行基础浇筑;阶地段防浪墙基础浇筑前应先对防渗墙顶部进行凿毛处理,冲洗干净后再进行基础浇筑作业;防浪墙基础应与大坝防渗体有效结合,确保防渗性能。

5)雨天施工时,提前做好黏土心墙的覆盖保护工作,保持坝面排水通畅;坝后石渣料填筑需防止石料被泥沙污染。雨后复工应严格把控雨水给坝体带来的影响,检查有无漏水、积水等情况。

6)专人负责各施工段的碾压施工全过程,从卸料、铺摊、碾压到结合部位施工,严控各环节施工质量;施工人员必须持证上岗,各类施工机械确保符合施工技术指标要求。

7)施工期间水库坝顶路不对外开放,提前做好交通管制,规划好附近进村车辆的绕行路线,对坝顶路进行有效排水处理,按照排水容量配备好排水设备,确保集水坑等重点部位的水位保持在正常范围。

5 结 语

嵩山水库坝体加高培厚工程完成后,水库设计洪水标准增加到 200 年一遇,校核标准增加到 1 000 年一遇,提升了水库抵御洪水的能力。工程的顺利运行将为其他抽水蓄能电站的构建提供样板。

参考文献

- [1] 冯涛.潍坊市嵩山水库除险加固设计方案优化研究[D].济南:山东大学,2014.
- [2] 宗克强.土石坝施工期安全风险-成本风险综合评价[D].郑州:郑州大学,2019.

(责任编辑 张玉燕)