

宁夏固原市西吉县谢寨水库除险加固技术分析

何秀

宁夏固原市水利勘测设计院有限公司

摘要: 本文主要介绍宁夏西吉县谢寨水库除险加固所采用技术措施方法,通过对病险水库成因分析,运用比较成熟先进的设计方法、施工技术,提出切实可行的技术方案,并在分析论证宁夏南部土层较薄的土石山区、土料含水率较高的半阴湿地区水库筑坝材料的基础上,使水库加固期间土料含水率高的现实问题得到有效解决,以此为工程建设质量及安全性的提高提供有效参考建议。

关键词: 水库; 除险加固技术; 宁夏西吉

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.20.058

固原市地处宁夏的南大门,也是宁夏南部山区区域中心城市,是清水河、葫芦河和泾河三大河系的发源地。全市辖四县一区,土地面积为10583平方千米,在宁夏总面积中占比高达15.93%,全市目前具备水库一共197座,总库容为9.78亿立方米,当中有大(二)型、中型、小(一)型、小(二)型水库各1座、21座、91座、84座。截至目前90%以上病险水库已完成除险加固,工程效益正常发挥。

一、工程概况

谢寨水库位于西吉县什字乡境内,什字路河一级支流上,水库上游建有后窑、倪套水库两座小(二)型水库及裴家沟、姚套、观堡、阳山四座骨干坝,水库控制流域面积45.35km²,属小(一)型水库,距西吉县城约70km。

谢寨水库是一座以防洪为主,兼顾灌溉的小(1)型水库,库容248万m³,最大坝高20.40m,坝顶长665m,宽5m,设计灌溉面积3000亩。水库由土坝、泄洪及输水建筑物三大件组成。存在的主要问题:(1)下游坝坡稳定安全系数不满足规范要求。谢寨水库为小(一)型水库,土坝为4级建筑物,经计算,正常运用条件(稳定渗流期)下游坝坡稳定系数为1.20,非常运用条件II(稳定渗流期遇地震)下游坝坡稳定系数为0.99,均小于规范要求值,故下游坝坡稳定安全系数不满足规范要求。(2)坝体的施工质量较差,碾压不均匀,压实度达不到设计规范要求;坝体填土经过击实试验,其最大干密度为1.709-1.757g/cm³,以平均值1.736g/cm³为最大干密度,在所取14组原状样品中只有2组能够达到压实系数0.98的要求,所占比例14%,压实系数普遍偏低。(3)坝体填土属于弱-微透水层,说明坝体填土的渗透性不均一。坝基下部的角砾层属于中等透水层,主沟道坝基角砾层存在渗漏现象。在正常蓄水位2030.08m情况下,年渗漏量达17.07万m³。现场勘查,有两处渗漏点,第一处在坝体在距离左坝肩泄水闸约80m的坝体后坡脚有明显渗漏现象;第二处在距离右坝肩100m左右,坝体后坝坡脚台地上,由右坝肩坡脚台地表层为壤土,厚度7.4m左右,垂直渗透系数3.38E-05cm/s,壤

土层下为2.0m厚的角砾层,渗透系数5.0E-03cm/s,表层弱透水层较厚,下部存在透水层,导致地层下部扬压力较大,有沼泽化的趋势。

坝址区揭露的地层主要有:第四系全新统(Q4ml)人工填土,第四系全新统(Q4la1)壤土、粉质黏土、角砾,新近系中新统红柳沟组(N1h)泥岩。现分述如下:

1、人工填土(Q4ml):为1981年、2005年坝体加固(高程2024.7-2032.6m)的部分,岩性为两岸(Q3m)黄土,厚度约为7.0m左右,土黄色-灰褐色,稍湿-饱和,可塑-坚硬状态,坝顶为交通道路。

表1 人工填土标准贯入击数N统计表(浸润线以上)

| 项目 | 频数 n | 最小值 min | 最大值 max | 平均值 Φ _m | 标准差 σ _f | 变异 系数 δ | 修正 系数 γ _s | 标准值 Φ _k |
|----|---------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|
| N | 9 | 8.0 | 22.0 | 15.7 | 4.924 | 0.314 | 0.803 | 12.6 |

2、壤土(Q4la1):分布于人工填土层下部,厚度约为4.0-7.4m,稍湿-饱和,黄褐色-灰褐色,软塑-坚硬状态,具有层理。

表2 壤土标准贯入击数N统计表(浸润线以上)

| 项目 | 频数n | 最小值min | 最大值max | 平均值Φ _m |
|----|-----|--------|--------|-------------------|
| N | 2 | 3.0 | 9.0 | 6.0 |

3、角砾(Q4la1):分布于壤土、粉质黏土层下部,厚度约为1.0-3.0m,杂色、灰褐色,中密状态,砾石粒径一般0.4~1.5cm,颗粒含量大于2mm约占总重的60%~70%,呈亚棱角形、片状,成份为灰岩、砂岩,砂及砂壤土充填。C(天然快剪)=0,Φ(天然快剪)=34.0°,渗透系数K=5.0E-03cm/s,中密状态允许承载力300kPa,开挖边坡比1:1.75。

表3 角砾动力触探N_{63.5}统计表(修正值)

| 项目 | 频数 n | 最小值 min | 最大值 max | 平均值 Φ _m | 标准差 σ _f | 变异 系数 δ | 修正 系数 γ _s | 标准值 Φ _k |
|-------------------|---------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|
| N _{63.5} | 21 | 11.0 | 24.3 | 15.2 | 3.659 | 0.241 | 0.908 | 13.8 |

4、泥岩(N1h):分布于角砾层下部,勘探范围内未揭穿,桔红-桔黄色,属湖泊相沉积,厚层状,泥质结构,层状构造,产状水平。强风化层厚度约1.0m,弱风化层厚度约2.0m。具弱膨胀潜势。

表4 泥岩(N_{1h})物理力学指标统计表

| 项目 | 地质建议值 |
|--|-------------|
| 含水量ω(%) | 12.5-14.4 |
| 天然密度ρ(g/cm ³) | 2.20-2.30 |
| 干密度ρ _d (g/cm ³) | 1.932-2.044 |
| 凝聚力C(kPa) | 80.0 |
| 内摩擦角Φ(°) | 30° |
| 天然抗压强度MPa | 1.31-3.47 |
| 自由膨胀率δ _{ef} (%) | 37.5-47.5 |

主要建设内容:

(一) 加固坝体工程。基本维持现状均质土坝布置及型式, 坝顶高程2032.20米, 最大坝高20.40米。砌护改造上游坝坡, 采用混凝土格条内填0.4米厚干砌石砌护, 其下依次铺设0.3米厚砂砾石垫层和复合土工膜。对坝体下游侧进行培厚加固, 坡面采用草皮护坡, 底部设置贴坡排水体。新建大坝安全监测设施。

(二) 泄水建筑物。维修改造溢洪道一共1座, 构成部分包括: 其一, 进口段; 其二, 控制段; 其三, 明渠; 其四, 陡坡; 其五, 消力池; 其六, 海漫, 总长310.9米。闸室段增加砗刺墙, 对一级明渠、一级陡坡、一级消力池及二级明渠段底板处打孔进行充填灌浆。翻建二级明渠后10米和二级陡坡, 新建二级消力池、三级明渠, 均采用钢筋砗矩形结构, 海漫段采用干砌石砌筑。

(三) 新建输水建筑物工程。为虹吸型式, 由取水池、虹吸管递、出口控制阀井、虹吸泵房组成。取水池采用钢筋砗现浇结构, 虹吸管道长100米, 采用直径0.6米的钢管。泵房面积9.0平方米。管道末端新建蓄水池, 容积为50立方米, 采用钢筋砗现浇结构。

(四) 封堵原输水建筑工程。拆除原输水卧管, 采用砗和水泥黏土砂浆封堵原输水管涵。

2020年7月1日西吉县行政审批管理局下发了《自治区水利厅关于西吉县谢寨水库除险加固工程初步设计的批复》。

二、工程设计方案

(一) 设计理念

根据宁夏南部山区多年在水库淤泥面除险加固经验总结, 推荐下面几种方法。

1. 堆载预压法

对于堆载预压法来说, 首先需处于拟建基础上, 施加相应的荷载, 或者采取分级施加相应荷载的方式, 完成地基土预压处理, 在排出土体当中的孔隙水的基础上, 使孔隙体积减小, 并压密地基土, 从而使土体的抗剪强度得到有效增加, 促进地基承载力及稳定性的协同提升。在此基础上, 应用过程中, 便不会发生有害沉降及沉降差, 确保淤泥地基能够与设计承载力要求相符。

2. 砂井排水法

在加坝淤泥面上布设砂井, 内填粒径为碎石, 孔底不穿透原坝坡, 孔深根据实际布置。基于沙井顶部将0.5米厚的碎石垫层铺筑好, 在连同砂井、碎石垫层的基础上, 基于碎石垫层上实施加坝处理, 并于覆重之后, 使砂井能够发挥加速淤泥固结排水的功效, 水经砂井、砂井顶部的碎石垫层朝库内排放。此外, 在坝体设计控制指标方面, 因加坝后土坝属于高坝, 压实度需 $>96\%$, 土壤含水量需维持在最佳含水量 13.8% 允许范围内, 即 -2% 到 $+3\%$ 范围内。

3. 宽级配砾石土料法

在土石山区(土层比较薄)、半饮湿地区(土料含水量比较高), 同时因筑坝作业期间阴雨天气较多, 土

料含量较高, 可利用宽级配砾石土(人工掺合砾石土)筑坝方式。其中, 在宽级配砾石土方面, 构成部分包括粗料与细料。在砾石土当中粗料含量 $<40\%$ 的情况下, 砾石土主要为细料, 填充适量的砾石, 利用机械进行碾压处理之后, 能够将砾石土的诸多特性展现出来, 即: 其一, 抗剪性; 其二, 不透水性; 其三, 比较低的压缩性等, 使筑坝各项技术指标要求得到有效满足。在砾石土当中粗料含量 $>50\%$ 的情况下, 砾石主要发挥骨架的功效, 适量使用细粒进行充填, 可使筑坝干密度得到有效提升, 并提升渗透系数。由此可见, 在土料上坝之前, 需做好砾石土现场碾压测试, 对砾石土碾压之后能否与设计要求的相关参数指标相符进行分析检测, 进而确保能够将适宜的压实机具及压实方法选择出来, 严格控制压实遍数、铺土厚度、砾石含量以及含水量等参数指标, 宽级配砾石土料法的应用价值得到最大限度的发挥。

4. 坝坡脚堆石压重法

此类方法, 即以直接的方式在泥面上进行加坝处理。考虑到淤泥坝基固结速度有效加快, 处于新加坝基范围内, 需将纵横排水沟设置好, 使格网状排水带有效构成, 使加坝、滑坡等情况的发生得到有效预防控制。基于新坝坡脚前缘位置, 可将一道堆石体设置好, 也就是堆石压重区, 可采用进占法进行土坝陪后。

三、坝坡脚堆石压重法

经过方案比选和经济分析评价, 采用坝坡脚堆石压重法进行除险加固。

(一) 软基加坝设计理念

谢寨水库土坝为碾压式黄土均质坝, 实测坝顶高程在2032.13m, 最大坝高20.4m, 坝顶长665m, 坝顶宽8m, 路面采用泥结石路面。坝坡坡比迎水坡1:3.0, 背水坡为1:2.5/1:2.0, 实测水库淤泥面高程2023.80m, 较坝顶低8.4m。

(二) 软基排水沟及坡脚块石压重区布置

谢寨水库除险加固工程设计陪厚在坝体淤泥面进行。在软基排水沟方面, 呈纵向与横向布置, 确保纵向排水沟与坝轴线呈平行布设方式, 一共布设3道, 第3道为堆石压重区。在一、二道排水沟断面尺寸方面, 宽度为1.5米, 深度为1.5米, 构成成分包括: 其一, 砂; 其二, 卵砾石; 其三, 块石, 确保与反滤要求相符, 即砂层厚度均值为0.3米, 粒径为1毫米到5毫米, 卵砾石厚度均值为0.5米, 粒径为5毫米到20毫米; 在块石层方面, 厚度均值为0.7米, 粒径 >300 毫米。在第三道排水沟方面, 即为坡脚堆石压重区, 在断面尺寸方面宽度均值为2.0米, 高度为2.0米, 砂层厚度均值为0.3米, 粒径在1毫米到5毫米之间, 卵砾石厚度均值为0.5米, 粒径在5毫米到20毫米之间; 对于块石层, 厚度均值为1.2米, 粒径 >300 毫米; 需确保横向排水沟与坝轴线之间维持垂直关系, 一共设置8道, 间距控制在50米, 坡度 $\leq 1\%$; 在排水沟断面尺寸方面, 宽度设置为1.0米, 深度设置为1.0米, 砂层厚度均值为0.3米, 粒径为1mm到

5mm之间, 卵砾石厚度平均为0.3米, 粒径为5毫米到20毫米; 块石层厚度平均为0.4米, 粒径>300毫米。此外, 在格网带形成之后, 需内填0.3米厚的碎石。

1. 加坝填土质控

勘察期间对坝体填土采取击实样6组, 坝体填筑土主要为两岸的黄土, 经过击实试验, 其最大干密度为1.709-1.757g/cm³, 以平均值1.736g/cm³为最大干密度, 在所取14组原状样品中只有2组能够达到压实系数0.98的要求, 所占比例14%, 压实系数普遍偏低, 以平均值1.736g/cm³为最大干密度。

为了坝体填筑工程的质量控制, 需以《碾压式土石坝施工规范》DJ/T 5129-2001以及《堤防工程施工规范》SL260-2014为依据, 国家及行业有关施工技术规范 and 验收规范, 设计文件及其施工说明。

在坝体填筑质量控制方面, 需将重点放在工序控制方面, 需以技术规范、报经批准的作业措施计划为依据, 严格实施。在铺土方面, 需与坝轴线之间维持平行关系进行摊铺, 层面如果有明显凹凸不平情况出现, 需在整平处理之后, 再展开碾压作业。针对靠岸坡或其他边角位置碾压不足的区域, 需采取压实试验, 然后利用有效的压实机具进行压实处理。针对已经运输到填筑地点的不合格土料, 相关施工监督、质检、监理等工作人员, 可拒绝卸料; 已经填筑的非合格土料, 需在挖除处理之后, 运出到坝外位置。

铺土采用进占法, 运土车辆轮迹不得重复, 铺土厚度误差应在+0~-5cm之间, 在碾压方面可选择使用退错距法, 基于进退方对上一次延伸到整个单元, 错距需控制在≤碾轮宽/碾压遍数。在选取分段碾压方式时, 相邻两段交接带碾压需彼此搭接好, 顺碾压方向搭接长度控制在≥0.5米, 垂直碾压方向搭接宽度控制在≥1米。

2. 加坝速率控制方法

因施工速度比较快, 基于淤泥质土当中会有较大的孔隙压力产生, 使下垫砂层排水出现不够通畅的现象, 还会导致固结速度变得缓慢, 进而产生裂缝、滑坡等质量隐患问题。因此, 在设计方面, 需对加坝速率合理控制, 针对加高填筑分为6期展开施工作业, 每期填筑高度大概控制在总高差的1/6。对于第一期第一层填筑土料, 其含水量大概维持在10%, 铺土厚度控制在40厘米到50厘米之间, 确保将淤泥面水分吸湿, 期间不可采取重型机械进行碾压处理。在各期填筑作业完成之后, 需将固定沉降观测桩埋设好, 每天进行1次观测, 并在10天到15天之后, 若每日沉降量<1厘米, 则可实施下一期坝体填筑施工作业。

3. 施工中注意的问题

现场检查, 下游坝坡及坝脚未发现渗水现象, 大坝总体防渗体系较为完整。坝身、坝基透水, 同时根据计算的浸润线出逸位置, 基本在坝身, 故此可判定坝身存在渗透破坏。坝基的平均水力坡降大于允许出逸比降, 因此可以判定坝基存在渗透破坏。同时上游较厚的

淤积层、坝前加高培厚客观上起到了铺盖作用。大坝无坝体及坝基渗流监测设施, 建议对大坝出现渗透破坏位置加强人工巡查力度, 在发现相关问题的基础上展开及时有效的处理。

期间, 需对坝体填筑土料的各项参数指标进行合理控制, 比如含水量、渗透系数、压实度、加坝速率等等, 使加坝质量得到微小提升。对于排水沟填料, 在加工、分筛、检验达标之后, 需在清洁的场地堆放好, 然后落实有效质控策略, 使泥水、土块相关杂物混进的问题避免出现。对于堆料, 不适合堆放过高, 以此确保颗粒不会出现分离的现象。在转运过程中, 针对砾石料与卵砾石料, 需进行分开运输处理。在铺装过程中, 填料需从底部朝向铺筑。此外, 在块石压重区域, 选用的石料需确保质的坚硬, 并分层进行, 与反滤层靠近区域, 使用比较小的石料, 外坡表面则采取比较大的石料, 堆放方面需确保稳定、密实, 确保堆放质量达标。

结语

西吉县谢寨水库除险加固工程于2020年3月开工建设, 2021年8月完成全部建设内容竣工, 经过一年初步运行, 没有出现异常状况。2022年10月底经相关部门组织验收合格。此外, 从现状来看, 该工程运行状态良好, 且水库蓄水正常, 无蓄水异常情况。

参考文献

- [1] 杨西林, 张忠东. 谈SL274-2001《碾压式土石坝设计规范》存在的几个问题[J]. 水利规划与设计, 2012(6): 25-26, 66.
- [2] GB. 水利水电工程地质勘察规范: GB 50487-2008[S]. 2009.
- [3] SL. 堤防工程地质勘察规程: SL 188-2005[S]. 2005.
- [4] 陈国兴, 樊良本, 陈甦等编著. 土质学与土力学[M]. 中国水利水电出版社, 2006.
- [5] 水利电力部水利水电规划设计院主编. 水利水电工程地质手册[M]. 水利电力出版社, 1985.
- [6] 康国强, 周杰. 水利水电工程液化判别方法应用分析[J]. 水科学与工程技术, 2015(6): 69-72.
- [7] 张志恒, 毛深秋, 屈儒. 水利水电工程地基土液化复判方法的探讨[J]. 水利水电工程设计, 2013, 32(2): 37-38, 45.
- [8] 马智法, 温学军, 肖阳, 等. 大吸水率粗骨料对寒区水工混凝土性能的影响研究[J]. 东北水利水电, 2019, 37(9): 51-52, 56.
- [9] 郭东方, 陈学理, 王洪领. 粗骨料中径筛余对碾压混凝土力学及抗冻性能影响研究[C]. //中国大坝工程学会2019学术年会论文集. 2019: 216-222.
- [10] 张启岳. 土石坝加固技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社. 1999年

作者简介: 何秀, 女, 1982年出生, 2019年7月毕业于宁夏大学, 水利工程师。