

Application of cofferdam technology in water conservancy project in reservoir reinforcement project

Guangfeng Mao Jinlong Hui

Zhengzhou Hydraulic Machinery Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450042, China

Abstract

Reservoir reinforcement projects are a cornerstone of water conservancy engineering, with cofferdam technology being a pivotal technique in this process. More than just a construction platform, cofferdams serve as a critical safety and stability safeguard for reservoirs. Based on practical experiences in reservoir reinforcement projects, this paper discusses the selection, design, and construction of cofferdam technologies. It highlights the characteristics and application conditions of earth-rock cofferdams, steel sheet pile cofferdams, and concrete cofferdams, while addressing key issues such as water-retaining height design, cofferdam stability, and seepage prevention. The paper concludes by proposing essential construction steps and technical safeguards, including preparatory work, foundation treatment, main structure construction, and seepage prevention measures. It further emphasizes the need for rigorous quality and safety control throughout the construction process, coupled with effective monitoring and early warning systems, to ensure the full effectiveness of cofferdam technology. These efforts lay a solid foundation for the smooth advancement and long-term safe operation of reservoir reinforcement projects.

Keywords

reservoir reinforcement; cofferdam technology; earth-rock cofferdam

水利工程施工围堰技术在水库除险加固工程中的应用

毛广锋 惠金龙

郑州水工机械有限公司, 中国·河南 郑州 450042

摘要

水库除险加固工程是水利工程建设重点, 围堰技术是库除险加固中的关键性技术之一, 围堰不仅是施工工作平台, 也是水库加固安全、稳定保障。本文基于水库除险加固工程建设实际, 进行了围堰技术的选择、设计与施工的讨论, 重点介绍了土石围堰、钢板桩围堰及混凝土围堰应用的特点与条件, 并论述了围堰设计挡水高度、围堰稳定与防渗等问题, 最后提出了围堰施工的关键步骤与技术保障, 如施工准备、基础处理、主体施工以及防渗施工。同时强调施工全程需严格把控质量与安全, 做好监测预警, 确保围堰技术充分发挥作用, 为水库除险加固工程顺利推进与长期安全运行筑牢根基。

关键词

水库除险加固; 围堰技术; 土石围堰

1 引言

受到自然或人为等多种因素的作用, 水库的运行会在一定范围内存在安全隐患。要实现水库的长期运行, 稳定的运行就需要水库的安全、长期稳定进行加固工作。围堰技术在水库加固工程中占有重要地位, 在水库加固工程中的作用是隔离水体, 便于加固工程的施工进行, 为加固施工提供较为稳定的施工环境。

2 水库除险加固工程中围堰技术的类型选择

2.1 土石围堰

土石围堰属于围堰建设过程中十分常见和普遍的结构型式, 该工程适用于建设地基比较平稳以及水流较为平缓的水库加固工程。土石围堰的特征是以建设相对简便、所需土石等建材资源通常较为充足, 且使用过程中造价成本较低为主要特点, 土石围堰施工方式中以土挖土填为主要操作方式, 以大型机械进行施工。在土石围堰中, 其稳定性主要取决于填土的密度厚度, 同时也需要对于土石材料选取方面给予充分的注重, 防止施工过程中产生冲刷渗漏的事故产生。

2.2 钢板桩围堰

钢板桩围堰一般应用于水流急、库区水位较高的水库工程中。钢板桩围堰一般由钢板桩、钢梁等组成, 在围堰施工中通过打桩设备将钢板桩插入水底中, 形成一个整体的隔

【作者简介】毛广锋(1975-), 男, 中国河南漯河人, 本科, 高级工程师, 从事水利水电工程研究。

水结构,由于钢板桩本身的防渗性能较高,因此也常用于水流变化较大、水位较高的地区,钢板桩的结构具有稳定性较强、围堰可抗复杂水文地质的抗水压的作用^[1]。

2.3 混凝土围堰

混凝土围堰在加固水库的主体结构时较为常见,施工过程中一般为钢筋混凝土结构,使得围堰的防水性及抗冲击能力都可以明显提升,在水流特别大或者水位较高的地方能够承受非常高的水压。耐久性、耐腐蚀性能非常好,在深水河底或者水流非常大的河道中也很适合。

3 水库除险加固工程中围堰的设计要点

3.1 挡水高度与断面尺寸设计

对于水库除险加固围堰设计来说,选择正确的挡水高度是保证施工安全及施工顺利进行的重要基础。施工期内水库可能出现的最高水位加上上游施工期间可能出现的最高上游来水形成的壅水高度是挡水高度的一个基础确定标准,并不能主观推断,还应结合水库设计期间的各项安全校核以及工程设计规范要求进行分析;对于水库除险加固的围堰,在进行挡水高度选择时,需在设计最高水位的基础上选择一定的安全超高值,其安全超高值需要根据围堰工程所在的地理位置的水文特征、防洪要求等确定,以保证在意外洪水或者水库水位发生变化出现意外等情况下,拦挡上游水流量对施工区域不会造成淹顶影响。

3.2 防渗设计

防渗设计是防洪除险除水工程中围堰建设的一个重要组成部分,设计的水准直接关系着围堰是否可以实现对水体的阻隔,实现施工区域内的干作业施工环境,以免因水流渗入影响施工效率和施工安全。围堰的防渗设计应该从围堰整体结构入手,对于不同部位进行针对性防渗处理。对于围堰主体部位,一般会设置专门的防渗处理结构,防渗材质的设计要根据工程项目具体情况和地质水文状况确定,如防水土工布具有较大的柔韧度和防渗作用,在很多地质结构中具有很好的适应性,而钢板的抗压强度较高,在一些需要高防渗系数或者地质情况比较复杂的围堰工程中应用较多。

3.3 稳定性设计

围堰的安全性是水库除险加固工程施工安全的关键,围堰出现安全问题导致围堰失稳,如滑坡、倾覆等,造成施工过程中工程中断,甚至人员伤亡及经济损失等,所以在围堰设计过程中稳定性至关重要。围堰稳定性设计过程中,要充分考虑到围堰受各因素的影响,首要考虑的因素为流态对围堰的冲刷,特别是在流速大的区域,高流速水流不断冲刷围堰迎流坡面与基础,围堰填料流失、基础掏空,降低围堰稳定,对此需要采取措施做好围堰的防冲,例如可以在迎流坡面设防护材料(块石、混凝土预制块等),提高坡面防冲能力,可设导流结构调整流向,减小水流对围堰的冲击力^[2]。

4 水库除险加固工程中围堰的施工关键流程

4.1 施工准备

针对水库除险加固工程围堰施工前期准备工作,施工方应组建勘察队伍,运用全站仪(拓普康 GPT-3003LW 全站仪)精准采集拟施工围堰及水库 500m 范围内的地形、地貌,并控制测量精度在 $\pm 5\text{mm}$ 以下,运用地质雷达(美国 SIR-4000 地质雷达)扫描施工段范围地下 20m 深度范围的地质构造情况,掌握地层厚度分布、岩面深度、是否发育溶洞、是否存在断裂等地质缺陷,运用水文监测设备(如 HOBO 水位记录仪)连续监测 3 天水库水位变化(6 天内),监测水位变化幅度、流速和流向,为设计单位科学制定施工方案提供详实数据,同时施工方案应根据勘察数据明确围堰形式、尺寸(如土石围堰的顶宽宜不小于 4m、边坡缓于 1:2.5;钢板桩围堰的桩长可根据具体情况而定,其入土深度应大于 6m)、施工工艺及质量要求,编制专项安全施工方案,针对施工人员进行 48 学时以上的安全培训,内容包括围堰施工安全工艺标准、高空作业安全保护、涉水施工安全应急等,并要求施工人员参加培训,经理论考试、实操考核合格后,持证上岗。施工设备准备,按照施工方案配备挖掘机(斗容量 $\geq 1.5\text{m}^3$)、装载机(额定载重量 $\geq 5\text{t}$)、振动压路机(激振力 $\geq 250\text{kN}$)等设备,进行土石围堰施工;钢板桩打桩机(锤重 $\geq 12\text{t}$)、履带式起重机(额定起重量 $\geq 25\text{t}$)等设备,进行钢板桩围堰施工,施工设备进场前均应进行检查及试运行,保证设备性能良好,并准备好足够的施工材料,例如土石围堰施工中粘性土(粘粒含量 $\geq 20\%$ 、塑性指数 ≥ 15)、块石(单块重量 $\geq 30\text{kg}$,饱和抗压强度 $\geq 30\text{MPa}$)。

4.2 基础处理

基础处理作为围堰施工的第一步,对围堰的稳定及安全极为重要,施工单位应提前对围堰的施工作业范围进行场地处理,采用挖掘机将场地内的杂草、树根及腐殖土等清理干净,一般不小于 0.5m,清理范围应大于围堰施工线 1.5m,保证无其他杂物影响施工。场地处理完毕之后,采用推土机进行初步的场地平整,平整后的场地高程偏差不得超过 $\pm 30\text{mm}$ 。若场地内有软土或是松散土层(承载力特征值小于 120kPa),需要对土层进行加固处理,当软土层厚度小于 3m 时,采用喷射混凝土加固工艺,利用混凝土喷射机(喷射工作风压以 0.4-0.6MPa 为宜)进行 C25 混凝土喷射作业,喷射厚度不小于 100mm,一次喷射完成,第一次喷射厚度 50-60mm,待混凝土初凝(一般间隔 4-6h)后进行第二次喷射,喷射混凝土时要控制好喷射速度(不大于 0.2m/s)及喷射角度(喷射角度应与受喷面形成角度不小于 70°),混凝土与土层紧密结合;当软土层厚度超过 3m 时,采用打桩加固工艺,管桩选用 $\Phi 500\text{mm}$ 的预应力混凝土管桩,桩长一般按照软土厚度来确定,桩端进入持力层(承载力特征值不小于 250kPa)深度不宜小于 1,沉桩后进行回填

处理。5m, 静压桩机(最大压桩力不小于600kN)沉桩施工, 沉桩时控制桩的垂直度(偏差 $\leq 0.5\%$)、桩顶标高(误差 $\leq \pm 50\text{mm}$), 桩的间距依据设计, 一般取1.2-1.5m, 成桩后须单桩竖向抗压承载力检测, 检测数量不低于总桩数的1%, 且不得少于3根, 检测结果满足设计要求(单桩竖向抗压承载力特征值 $\geq$ 设计值)^[3]。

4.3 主体施工

主体施工是围堰建设的关键工序, 施工质量直接影响着围堰的运行品质, 应根据不同选用的围堰类型采用对应的施工工艺进行施工。土石围堰施工采用分层填筑、分层压实施工方法, 按300-500mm厚度填土, 填土施工采用挖掘机辅助装载机摊铺填土, 摊铺填筑后采用振动压路机压实, 压实遍数依土料性质而定, 一般为6-8遍, 压实度要求达到95%以上(采用环刀法检测压实度, 每1000m²不少于3点检测)。施工过程中填土需控制土料的含水量, 使之符合最优含水量 $\pm 2\%$ 的范围(最优含水量通过击实试验得到), 如土料含水量过大, 需进行翻晒处理; 若土料含水量太小, 洒水进行湿润。钢板桩围堰施工, 施工前需对钢板桩进行抽检, 保证锁口完好, 无变形, 采用履带式起重机+钢板桩打桩机进行打桩施工, 打桩顺序应沿上游向下游, 以两边向中间施工, 打桩时需控制桩身的垂直度, 不大于0.5%, 桩顶标高误差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 以内, 相邻钢板桩的锁口紧密连接, 缝隙不大于3mm。混凝土围堰施工中采用分仓浇筑的方法进行浇筑, 每个仓段按15m为宜。首先, 在浇筑前进行钢筋绑扎工作, 钢筋规格、型号应符合设计要求, 钢筋间距误差小于10mm, 保护层厚度误差控制在5mm以内。钢筋绑扎完之后再安装模板。模板采用钢制模板, 模板拼接缝间隙小于2mm, 模板平整度误差不超过3mm/m, 并保证模板加固牢固, 在浇筑过程中模板不会发生变形或者移位的情况。采用强度等级C25的商品混凝土浇筑, 坍落度控制在120-160mm内。混凝土的布料利用混凝土输送泵, 采取分层浇筑, 分层厚度不超过500mm, 使用插入式振捣棒振捣, 振捣间距不能超过400mm, 振捣时间控制在20-30秒, 至混凝土表面没有气泡, 出现水泥浆为止, 并保证混凝土振实, 不得出现漏振、过振的情况。

4.4 防渗施工

防渗施工是保证围堰不漏水, 从而顺利施工水库除险加固工程的重要方面, 应该在围堰结构施工完成之后进行。

对于防渗层施工应该按设计方案要求进行, 在施工过程中根据围堰类型选择防渗材料和施工方法, 土石围堰通常选用土工膜防渗, 土工膜采用高密度聚乙烯(HDPE)土工膜, 厚度 $\geq 1.5\text{mm}$, 幅宽结合施工需要确定, 一般为6~8m, 土工膜物理力学性能符合下列要求: 拉伸强度 $\geq 18\text{MPa}$, 断裂伸长率 $\geq 400\%$, 直角撕裂强度 $\geq 80\text{N/mm}$, 抗渗系数 $\leq 1 \times 10^{-11}\text{cm/s}$ 。在施工前需要对土工膜铺设基面做处理, 使基面平整, 不能有尖锐杂物(石块、草根等), 平整度差 $\leq 50\text{mm}/2\text{m}$, 铺设时按照“先下游后上游、先低后高”的施工顺序进行土工膜的铺设, 土工膜之间焊接时用热熔焊接, 焊温度控制为180~220℃, 焊速控制在1.5~2.5m/min, 焊缝宽度 $\geq 10\text{mm}$, 每条焊缝充气(充气压力0.2MPa, 保持30min, 压降不超过5%)和真空(真空度不小于0.02MPa, 保持30s, 无气泡产生)检测, 合格后进行下一步^[4]。针对钢板桩围堰而言, 由于防渗主要靠钢板桩锁口密封, 因此钢板桩锁口部位施工涂抹黄油(黄油纯度 $\geq 99\%$)或专用密封膏, 涂抹厚度 $\geq 2\text{mm}$, 确保钢板桩锁口涂抹到位, 密实封堵, 并在钢板桩围堰内侧铺设一层土工布(单位面积质量 $\geq 300\text{g}/\text{m}^2$, 渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$), 土工布与钢板桩采用尼龙绳绑扎固定, 绑扎间距 $\leq 500\text{mm}$, 形成双层防渗系统。

5 结语

围堰技术作为水库工程中除险加固不可缺少的一部分, 随着水库工程中加固规模的不断扩大, 围堰技术的出现将越来越重要。合理地选择围堰类型、精心地设计和施工, 才能保障水库加固工程的顺利运行, 从而保障水库的长期稳定工作, 这是水库围堰工程技术未来的发展趋势。随着新材料和新技术在围堰技术中的不断应用, 也将改变传统的围堰操作方法。

参考文献

- [1] 刘国鹏. 水闸加固施工技术在水利工程中的应用[J]. 科技资讯, 2024, 22(1): 110-113.
- [2] 于宁. 水利工程中病险水库加固工程技术研究[J]. 模型世界, 2024(11): 138-140.
- [3] 张生武. 水利工程隧洞衬砌及喷锚支护加固施工[J]. 科学技术创新, 2024(7): 161-164.
- [4] 王帅. 水利工程水闸除险加固设计研究[J]. 工程建设与设计, 2024(15): 125-127.