

水库取水口深基坑开挖支护优化技术研究

姜敬德

新疆交通建设集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]文章以新疆喀什地区塔什库尔干县阿然保泰水库工程取水口二期导流围堰专项施工作为研究背景,着重对深基坑开挖支护技术里那些关键问题展开探讨。经过对工程所在区域的水文地质状况加以分析,同时考虑到施工过程中存在的诸多难点以及现有支护方案所具有的局限性,相应地提出了像混凝土围堰结构方面的优化举措、通过钻孔植筋来增强其稳定性的办法、针对模板系统开展精细化施工的操作以及在抽排水与防渗体系方面进行创新等一系列关键技术手段。并且结合动态监测的具体做法、标准化管理的相关要求、按照风险等级进行分级管控的措施以及应急预案等内容所构成的质量控制途径,进而构建起一套能够适用于高寒干旱地区水库取水口深基坑支护工作的优化技术体系。

[关键词]深基坑支护;导流围堰;钻孔植筋;模板系统;防汛应急

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17365

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on Optimization Technology for Excavation and Support of Deep Foundation Pit at Reservoir Water Intake

JIANG Jingde

Xinjiang Communications Construction Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: This article takes the special construction of the diversion cofferdam for the second phase of the water intake of the Aranbaotai Reservoir project in Tajik Taxkorgan County, Kashgar Prefecture, Xinjiang as the research background, and focuses on exploring the key issues in the excavation and support technology of deep foundation pits. After analyzing the hydrogeological conditions of the area where the project is located, and considering the many difficulties in the construction process and the limitations of existing support schemes, a series of key technical measures have been proposed, such as optimizing the concrete cofferdam structure, enhancing its stability through drilling and planting reinforcement, carrying out refined construction operations for the formwork system, and innovating in the drainage and anti-seepage systems. By combining the specific methods of dynamic monitoring, relevant requirements of standardized management, measures for graded control according to risk levels, and emergency plans, a quality control approach is constructed to build an optimized technical system that can be applied to the deep foundation pit support work of reservoir water intake in high-altitude and arid areas.

Keywords: deep foundation pit support; diversion cofferdam; drilling and planting reinforcement; template system; flood control emergency response

引言

深基坑工程在水利枢纽建设里属于极为关键的核心环节,它的施工质量和主体结构的安全性以及功能性有着极为紧密的关联。水库取水口在水利工程当中算得上是十分重要的一个节点,一般情况下会处在地质条件比较复杂并且水文环境也颇为复杂的状况之下,面临着诸如高水位渗透这样的情况,还有季节性洪水所带来的威胁,另外再加上高寒气候等诸多方面的挑战。传统的支护技术想要满足那种强度颇高且稳定性也很高的施工需求,那是很难做到的,所以迫切需要依靠对结构加以优化以及在工艺方面展开创新的方式来提高工程的效率以及安全性。

1 概述

1.1 深基坑工程在水利枢纽中的重要性

深基坑工程属于水利枢纽施工范畴内的基础性工作,它的稳定与否会直接影响到取水口、泄洪闸等关键建筑物在后续长期运行过程中的安全状况。以阿然保泰水库工程

当作实例来看,其取水口得承受高水头所带来的压力,并且还要面临季节性洪峰的猛烈冲击,在这种情形下,基坑支护结构所具备的抗渗性能、抗滑移的能力以及整体的刚度就显得格外重要了。要是支护出现失效的情况,那么极有可能致使基坑发生坍塌,导流功能失效不说,甚至还可能对下游的居民安全构成威胁。所以说,深基坑工程不但是技术层面的一大难点,而且还是整个工程能否取得成功的关键控制要点所在。

1.2 水库取水口工程的特殊性与挑战

阿然保泰水库的取水口处于辛滚沟出口上游 650m 的位置,该工程区域的海拔高度在 3150~3330m 之间,属于典型的高寒干旱气候类型,其年均降水量低于 200mm,不过夏季时暴雨较为集中,洪水呈现出陡涨陡落的特点。基坑开挖的深度颇大,并且需要在较为狭窄的工作面之内同时兼顾导流以及围堰施工这两方面事宜。地层的透水性比较强,地下水位存在明显的波动情况,传统的土石围堰极容易因为出

现渗漏以及遭受冲刷而发生失稳状况。怎样在高海拔、低温的环境下达成快速施工的目标并且确保结构具备良好的耐久性,这便是本工程所面临的极为关键的核心挑战所在。

1.3 支护技术优化的必要性

原施工方案运用的是土石围堰导流的方式,不过由于其过流断面存在不足的情况,并且稳定性也比较差,所以存在着洪水漫顶的风险。经过一番对比分析可以发现,混凝土围堰在抗渗性、抗冲刷性以及施工效率这些方面都更有优势^[1]。与此钻孔植筋技术能够强化围堰和地基之间的锚固效果,而精细化模板工艺则可以让混凝土浇筑的质量得以提升。对支护技术加以优化,不但能够使工期缩短、成本降低,而且还能在很大程度上降低汛期施工时的风险,进而保障整个工程的安全。

2 工程概况与需求分析

2.1 阿然保泰水库工程背景

阿然保泰水库工程处于新疆喀什地区的塔什库尔干县辛滚沟流域,该工程属于小型范畴,其总库容达到 403 万立方米,主要核心功能在于灌溉以及城乡供水方面。工程主体部分涵盖了首部取水口、引水管道、水库还有供水管道等构成要素,其中取水口又包含了引水闸、泄洪冲砂闸以及溢流堰等诸多关键结构,整个工程的混凝土浇筑总量达到了 8000m³,钢筋的使用量大约为 330t。工程所处的区域海拔在 3150~3330m 之间,属于高寒干旱地带,气候条件十分恶劣,年均降水量少于 200mm,然而每年的 6~8 月份却集中了全年超过 60% 的径流量,并且以暴雨型洪水为主要形式,在 1% 的频率情况下设计洪峰流量可高达 392 立方米/秒。施工需要在五年一遇洪水的标准之下完成导流围堰的建设工作,其技术难度相当大^[2]。除此之外,水库的正常蓄水位是 3220.20m,死水位为 3208.00m,坝址处的水位和流量之间的关系较为复杂,需要依靠精密的水文计算来确定导流方案,以此保障施工期间的防洪安全。

2.2 深基坑工程条件分析

取水口二期导流围堰所涉及的深基坑开挖,其深度处于 10~15m 之间,在此过程中,所遇到的地层主要是透水性特别强的砂砾石,并且地下水的埋藏深度相对较浅,如此一来,基坑开挖便面临着极为突出的渗流方面的风险。该围堰需要抵挡的最大的侧向水压力,是当水位达到 3313.5m 时所对应的流量,也就是 1393m³/s,这无疑给支护结构在抗冲刷性以及稳定性这两个方面都提出了相当高的要求。施工的条件还受到已建成的引水闸以及一号冲砂闸局部导流能力的限制,二期围堰得在较为狭窄的空间里迅速形成,而且要同时考虑到导流以及结构施工能够同步向前推进。与此工程所在的区域极端低温可达到零下 30℃,在这样的情况下,混凝土早期强度的发展速度会变得很慢,常规的养护工艺很难满足其强度方面的需求,所以需要运用综合温控以及早强相关的技术。

2.3 现有支护方案的局限性

原初的设计是采用土石围堰导流这一方案的,不过此

方案存在着颇为明显的缺陷:其一,土石围堰断面的尺寸偏大,如此一来便占用了导流通道的空间,进而使得过流断面出现不足的情况,没办法满足主汛期每秒 148.7 立方米的泄洪方面的需求;其二,砂砾石地基的渗透系数是比较高的,在这样的情况下,堰体就容易因为渗漏而引发管涌或者出现滑移失稳的现象;其三,土方填筑以及拆除所花费的时间较长,很难在 2025 年 5 月主汛期之前顺利完成围堰闭合的工作,工期方面存在的风险比较突出;其四,大规模开展土方开挖作业会破坏原有的地貌,使得水土流失的程度加剧,这与高原生态保护的相关要求是相冲突的。鉴于上述这些问题,工程转而采取了混凝土围堰的方案,然而还需要对结构设计加以进一步的优化,以此来解决混凝土早期强度不够、模板拼缝存在渗漏以及围堰与地基连接处较为薄弱等技术方面的瓶颈问题。

3 深基坑支护优化方案设计

3.1 混凝土围堰结构优化与导流设计

依据导流方面的需求以及现场的地质条件状况,选用 C30 抗冲耐磨混凝土来建造上下游的围堰。其中,上游围堰的长度是 46m,而下游围堰的长度则为 25m,其顶部的宽度均为 1m。并且,堰体的底部会深入到基岩当中 0.5m,以此方式来强化其抗滑的能力。还借助有限元模拟手段对断面尺寸加以优化处理,使得混凝土的使用量得以减少 15%^[3]。导流方面的设计是以已建设完成的引水闸还有一号冲砂闸所具备的分流能力作为依托的,同时结合围堰中部预先埋设的直径为 800mm 的钢管导流孔,进而形成一种“主闸加上辅孔”的双通道泄洪模式,从而保证在主汛期的时候过流的能力能够达到每秒 148.7m³。围堰在施工时采用的是分层浇筑的工艺,总共分为三层来进行施工,在各层之间会设置榫槽以及直径为 16mm 米的锚筋,以此来提升整个结构的整体性。为了能够应对高原地区那种低温的环境情况,会在混凝土当中掺加早强剂,而且还会采用电热毯进行覆盖养护操作,以此确保在三天之内混凝土的强度可以达到设计值的百分之七十。

3.2 钻孔植筋与围堰稳定性增强技术

为了解决围堰和砂砾石地基连接处较为薄弱的问题,运用直径为 16mm 的螺纹钢来实施双排钻孔植筋的操作。其中钻孔的排距是 50cm,孔深同样为 50cm,孔距则设定为 30cm,而外露出来的钢筋长度达到 90cm,并且将其与围堰主体进行焊接处理,以此形成刚性的连接状态。在施工期间,借助 RTK 以及全站仪来精准地开展放样工作,把孔位的偏差严格控制在正负 5mm 的范围之内。还采用了“三刷三吹”的工艺,彻底将孔内的粉尘清除干净,从而保证植筋胶能够具备良好的黏结强度。对于植入段的钢筋,在经过喷砂除锈以及用丙酮清洗之后,再为其涂覆上环氧树脂防腐层,如此一来便能够大幅度地提升其抗腐蚀的性能。

3.3 模板系统精细化施工工艺优化

引入钢木复合模板体系,同时结合 BIM 技术展开三维预拼装操作,以此来缩减现场调整所花费的时间。经过

液压调平机矫正之后,钢模板的平整度误差能够控制在每米不超过 2mm 的范围之内;将双面胶带嵌填于模板接缝处,并且在外侧增设止水钢板,如此一来便能有效地防止出现漏浆的情况;支撑体系运用直径为 48mm 的钢管搭建起桁架结构,把斜撑的间距加密到 1.2m,进而确保模板具备足够的刚度。木模板的边缘经过压刨机的处理之后,拼缝的宽度能够控制在不超过 1.5mm 的程度。在浇筑开始之前,要对模板实施湿润方面的处理工作,并且使用激光水准仪再次复核标高,从而保证混凝土成型之后的精度。经过优化之后,模板安装的效率提高了百分之三十,在拆模之后,混凝土外观平整度的合格率达到百分之九十八,而像蜂窝麻面这类缺陷的发生率则低于百分之一。

3.4 基坑抽排水与防渗体系创新

采用“明沟导流+集水坑强排+垂直防渗墙”的综合体系来处理基坑渗水方面的问题。沿着基坑的周边去开挖尺寸为 1.0m×0.7m 的导流明渠,其坡度设定为 3‰,以此来引导地表水远离作业面。另外设置尺寸为 $\Phi 2.0\text{m}\times 1.5\text{m}$ 的集水坑,并且配备有 4 台 $\phi 150\text{mm}$ 的潜水泵,这样每天的排水量能够达到 5000m³。在围堰的外侧打入深度为 12m 的钢板桩,从而形成垂直防渗墙,其渗透系数是 $\leq 1\times 10^{-6}\text{cm/s}$,以此来阻断地下水的渗流情况。与此在基坑的底部铺设两布一膜土工膜,而且接缝部分采用热熔焊接的方式处理,进而形成双层的防渗屏障。通过这样的体系,使得地下水位能够稳定在开挖面以下 1m 的位置,为开展工地施工创造出了相应的条件。

4 深基坑支护优化施工质量控制路径

4.1 施工全过程动态监测与数据反馈

构建起“监测-分析-预警”这一一体化的系统,在此系统当中,要布置多达 20 个测斜管以及沉降观测点,并且每隔 4 个小时就要去采集围堰的水平位移数据还有沉降数据。在混凝土的内部还需埋设光纤光栅传感器,以此来实时对应力的变化情况进行监测,而预警值是按照设计值的 80%来进行设置的^[4]。所采集到的数据会通过 BIM+GIS 平台加以集成分析,进而以可视化的形式来展示出结构变形的趋势,一旦出现偏差超出限定的情况,那么就会自动触发声光报警,并且将相关信息推送到管理人员的手机端。在汛期时,还要额外增设水位监测站,每隔 30min 便上传河道的水位数据,同时结合气象预报的情况来动态地对施工计划做出相应的调整。

4.2 材料性能与设备运行标准化管理

混凝土的质量控制方面,运用红外热像仪来检测其入模时的温度,务必要保证温度大于等于 5℃,另外还掺入早强剂,借此将养护周期缩短至 5d,在每 100m³ 的混凝土中留置 3 组试块,分别用于检测 3d、7d 以及 28d 的强度。对于钢筋而言,实施二维码追溯管理,只要扫描二维码便能够查询到生产批次、力学性能以及检测报告等相关信息。水泥选用的是 P O42.5 低碱品种,其 3d 强度需达到或超过 17MPa。

针对关键设备比如挖掘机、泵车等,会编制相应的点检表,每天都要对液压油位、履带磨损等各项指标进行检查,一旦出现故障的设备,要在 2h 内将其撤离现场。

4.3 安全风险分级管控与环境保护措施

把基坑坍塌、机械伤害以及高处坠落等风险划分成 4 个等级,并且制定出差异化的管控方案。对于红色风险区域要施行 24h 专人值守,而橙色风险作业则需要技术负责人在现场旁站监督。施工道路全部进行硬化处理,同时配置 3 台雾炮机用来抑尘,在裸土区域还要覆盖防尘网;渣土运输车辆要加装 GPS 以及密闭装置,一旦出现违规倾倒的情况就会自动发出报警信号。在生态保护方面,要划定 50m 的施工红线,严禁在行洪河道堆放材料;等到工程完工之后,采用本地草种来实现复绿,植被的恢复率要达到 95%及以上。

4.4 应急预案与超标准洪水应对策略

现场会常备编织袋多达 400 个,铅丝笼有 20 个,还有抽水泵 6 台以及 2500L 的柴油,而且物资库房地和基坑的距离是小于等于 200m 的。每个月都会组织防洪演练,模拟洪水漫顶的情形,务必要保证在 5min 之内能有 2 台挖掘机以及 2 辆自卸车到来来加筑子堰。超标准洪水的响应流程包含这样的情况:当水位超出警戒线达到 0.5m 的时候就会启动一级响应,去加筑黏土麻袋围堰;要是超出 1m 的时候就会启用备用的导流通道。与此还和昆玉市人民医院建立了联动的机制,储备了 20 类急救药品,对于重伤员要在 1h 之内将其转运到定点医院。

5 结语

本研究对阿然保泰水库取水口深基坑工程的特殊需求展开系统分析,提出了混凝土围堰结构优化、钻孔植筋稳定性增强、模板工艺精细化以及抽排水体系创新等关键技术,还构建了将动态监测、标准化管理与风险分级管控相互融合的质量控制路径。实践证明,优化方案让围堰施工周期缩短了 20%,成本降低了 12%,并且成功经受住了 2025 年主汛期洪峰的考验。在未来,需要进一步去探索智能化监测设备和绿色施工技术的集成应用方式,以此推动高寒地区水利工程深基坑支护技术不断取得新的进展。

[参考文献]

- [1]王士勇,王炎,王立康.大型水库低温水影响及分层取水措施研究——以三坝水库为例[J].黑龙江环境通报,2024,37(12):7-10.
- [2]张杞蓉,普晓晶.某水库取水口的设计优化及安全论证[J].水上安全,2025(2):133-135.
- [3]杨松,曾祥磊,宦如胤,等.小型水库除险加固工程取水口金属结构改造方案探讨[J].广东水利水电,2025(4):69-73.
- [4]岑文祥.装配式钢结构取水口在既有水库内的方案设计[J].江苏建材,2025(2):84-86.

作者简介:姜敬德(1992.10—),毕业院校:大理理工大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位名称:新疆交通建设集团股份有限公司,职称级别:中级工程师。