

水利工程土石方开挖施工技术分析

刘胜军

临城县水务局, 河北 邢台 054399

[摘要]土石方开挖是水利枢纽、渠道、堤防等工程建设中的关键基础工序, 其施工技术的合理选择与过程控制的科学性直接关系到工程的整体质量、安全、进度与成本。本篇文章系统阐述了水利工程土石方开挖的主要施工技术, 并分析了各类技术的适用条件、工艺流程与技术要点, 希望可以为类似水利工程土石方开挖施工提供技术参考与决策依据。

[关键词]水利工程; 土石方开挖; 总库容

DOI: 10.33142/aem.v7i11.18386

中图分类号: TV541

文献标识码: A

Analysis of Construction Technology for Earthwork Excavation in Water Conservancy Engineering

LIU Shengjun

Lincheng County Water Bureau, Xingtai, Hebei, 054399, China

Abstract: Earthwork excavation is a key foundation process in the construction of water conservancy hubs, channels, embankments, and other engineering projects. The reasonable selection of construction technology and the scientific nature of process control directly affect the overall quality, safety, progress, and cost of the project. This article systematically elaborates on the main construction techniques for earthwork excavation in water conservancy projects, and analyzes the applicable conditions, process flow, and technical points of various techniques, so as to provide technical references and decision-making basis for similar earthwork excavation construction in water conservancy projects.

Keywords: water conservancy engineering; earthwork excavation; total storage capacity

引言

土石方开挖工程贯穿于大坝坝基、溢洪道、引水隧洞等水工建筑物的建设初期, 其可以形成设计要求的建筑空间与轮廓, 确保地基的承载力与长期稳定。因此, 对水利工程土石方开挖施工技术进行系统梳理与深入分析, 具有重要的理论价值与现实意义。

1 项目概况

按照工程规划设计的要求, 此水利枢纽被明确为III等中型工程, 其水位参数体系经过精细测算, 目的在于保障运行安全, 水库正常蓄水位设定为 764.0m, 这一水位作为常规运行时的最高控制水位, 汛期限制水位严格把控在 762.06m, 凭借降低 2.94m 的运行水位来为防洪库容留出空间。死水位设置为 730.0m, 在非汛期保持 34m 的消落深度, 这样既能保障发电、供水等基础功能的实现, 又能防止库区出现过度淤积的情况, 在防洪设计方面, 采用了两级防御标准: 设计洪水位 764.0m 对应的是 50 年一遇的洪水, 校核洪水位 764.67m 针对的是 500 年一遇的特大洪水, 两者之间仅相差 0.67m, 却呈现出防洪标准的梯度式提升。所有水位参数都是借助水文计算以及调洪演算确定的, 其中校核洪水位相较于正常蓄水位仅仅抬高了 0.67m, 该工程在保障防洪安全的同时还兼顾水资源利用效率^[1]。

该水利工程拥有总库容体系为 $1.097 \times 10^7 \text{m}^3$, 其中

正常蓄水位 764.0m 时对应的库容是 $1.0642 \times 10^7 \text{m}^3$, 死水位 730.0m 形成了 $1.0593 \times 10^6 \text{m}^3$ 的死库容, 二者之间 $9.5827 \times 10^6 \text{m}^3$ 的兴利库容保障着供水发电效益, 再配合 $9.5 \times 10^5 \text{m}^3$ 防洪库容构成完整的调度空间。工程体系是由枢纽工程以及灌区供水系统所组成的: 枢纽部分采用常态混凝土双曲拱坝, 配套有坝顶溢流孔来控制泄洪, 在左岸设置竖井进水口, 其与直径 6.5m 的引水隧洞相连, 水流借助压力钢管被引至地面厂房, 经过 3 台混流式机组发电后由 220kV 开关站输出, 土石方工程作为建设基础, 累计完成了导流隧洞开挖、坝基开挖、引水隧洞开挖, 以及发电厂房区和石料场毛料开采, 所有开挖料都经过破碎筛分后用于混凝土骨料制备, 达成了资源的循环利用 (具体参数见表 1)。

表 1 工程土石方开挖工程量汇总表

施工点位	土方开挖/ m^3	石方开挖/ m^3	三方洞挖/ m^3	小计/ m^3
导流洞	855	7683	6845	15385
拱坝	2910	2910	2870	139856
引水隧洞	1260	1260	3796	11388
发电厂房	3055	3055	-	17015
拦河坝	988	988	-	21661
石料厂	7000	13700	-	14400
合计 (m^3)	16068	319723	13511	219705

1.1 土石方施工

在坝基开挖施工建设进程中,其主要工作内容包含水面以上坝肩岸坡的挖掘以及大坝基坑的大规模扩挖两方面,为切实保障工程安全与结构稳定,施工团队需严格依照自上而下、分层分段的挖掘方式开展作业,整个施工过程中,机械高效作业,人工精细配合,二者非常关键:大型挖掘机负责主体土石方的快速挖装与转运工作,人工辅助进行边坡修整、局部清理及安全监测等工作,二者紧密协作,呈现联动状态。施工以每立方米为单位精确计量并高效挖掘,如此便能在保障作业安全与工程质量的前提下稳步推进基坑开挖进程^[2]。

相较于土方开挖而言,石方开挖所涉及的工艺更为繁杂,对于技术以及设备的要求有了十分突出的提升,施工过程一般要依靠专业的钻爆设备以及大型破碎机械,以此达成对坚硬岩体的精确且高效的处理,在实际操作当中,同样依照自上而下的分层爆破原则,将梯段开挖高度严谨设定为10m,以此来控制爆破规模以及振动影响。特别关键的是,为了保证护建基面岩体的完整性以及承载力,在基底上方特意预留2m厚的保护层,这个保护层需要使用手风钻进行精细的水平预裂或者光面钻孔,并实施小药量的控制爆破,最大程度地降低对基础岩体的扰动,保障工程的安全以及最终质量。

在露天矿坑开展开挖工作时,边坡支护工程需要和挖掘作业一同推进,对于坝肩部位的岩质边坡,会采用钢管排架支护体系来实施加固,施工人员先是利用手风钻在坡面钻孔,接着人工安装钢筋网片并将它和锚杆焊接固定,以此形成支护骨架,待支护结构搭建完毕后,运用高压注浆机把水泥浆液注入岩体裂隙,待浆液凝固后便形成了稳固的复合支护体系。

1.2 引水隧洞土石方开挖施工

在这个项目中,引水隧洞的土石方开挖属于整个工程的关键部分,对工程质量以及进度有着直接的影响,施工人员于出口段运用手持式风动凿岩机来开展精密钻孔工作,借助梯段微差爆破技术达成精准控制爆破范围的目的,切实降低震动波对周边岩体造成的扰动,爆破之后产生的渣料由30t级自卸卡车及时运输到指定堆场,以此保证工作面的畅通。洞身段采用全断面开挖工艺,搭配周边光面爆破技术,让开挖轮廓线变得平整且规则,最大限度维持围岩的自稳定性,施工过程中严格掌控钻孔精度、装药量以及起爆时序,在提升开挖效率的同时保证洞室成型质量,为后续的衬砌施工营造良好的条件^[3]。

1.3 发电厂房土石方开挖

在发电厂房开展土石方开挖施工之际,厂房基础的开挖作业要和挖掘机密切配合,对土石方开挖部分,施工团队运用手风钻与高风压CM351钻车相结合的钻孔办法,借助梯段爆破技术达成精准爆破,爆破后的石料由2m³

装载机迅速装车,经由30t级自卸汽车运输系统给予转运。其中达到质量要求的石料会被运到围堰填筑区当作优质填料,其余石料则依照规定路线运送至指定弃渣场集中处置,在厂房土方开挖进程中产生的石渣材料,经过专业筛选和分类后,可优先用于工程回填作业,这种资源化利用方式降低了原材料采购成本,也减少了弃渣场的堆放压力,实现了经济效益与环境保护的双赢。

1.4 取水拦河坝土石方开挖

在正式展开开挖施工以前,会运用分期围堰的方法来开展围堰施工工作,在施工进程中,会运用1.6m³的液压反铲并搭配20t自卸汽车,从临时弃渣场装运厂房开挖料来用于填筑作业,进行填筑作业时,会采用74kW的推土机来进行分层摊铺整平操作,严格把控每层的填筑厚度。压实工序会采用12.5t的振动碾进行分层碾压,以此保证填筑体的密实度符合设计所规定的要求,对于机械碾压难以覆盖到的边角部位,会使用3kW的蛙式打夯机进行补充夯实,着重强化结构连接部位的压实质量,保证整个填筑体的均匀性以及密实度可达到施工标准。

1.5 交通布置

在该工程的土石方开挖施工过程当中,科学合理的交通组织对于保障坝基以及引水隧洞施工的有序推进起到了关键作用,项目团队采用双管齐下的策略,一方面充分利用现有的永久道路,另一方面依据施工进度,在关键作业区域规划并扩建临时道路系统,针对跨越河流这个关键节点,工程人员精心建造了一座跨河钢栈桥。这座桥极大地提高了混凝土、钢材等大宗建材的运输效率,并且依靠设置标准护栏以及防滑措施,保障了人员和车辆安全通行,所有施工道路都严格按照4m标准路宽执行,采用分层碾压的泥结石路面结构,这样的设计可有效地承受自卸汽车、挖掘机等重型机械的反复碾压,保证在雨季等恶劣天气条件下依然可以保持畅通,满足施工周期内高强度、长时间的使用要求^[4]。

2 应用策略

2.1 土料场

在土料场进行施工时,为了满足效率和精细化的要求,采用人工与挖掘机协同作业的方式,机械负责大规模且高效的开挖任务,人工则发挥辅助作用,进行边角部位的修整、表层的清理以及复杂地形的处理,从而提升整体工作效率,提高施工过程中的灵活性,开挖过程中分离出的不合格土料,需及时用15t自卸车运至预先规划并指定的弃土场进行规范堆放,如此能保证废弃材料得到合理处置,又能维持施工现场的有序状态和环境整洁。在开采用土料这一核心环节,施工人员需要认真做好覆盖层的清理工作,包括植被、腐殖土及杂物等,这一步骤非常关键,它能直接剥离影响土料纯度的杂质,从根本上关系到后续土料的质量、均质性及其工程可用性,是保障坝体填筑材料

合格的基础条件^[5]。

2.2 石料厂

在石料开采工作当中，首先会安排人工来清理地表，凭借机械与人工相互配合的方式，将表层植被和土壤完全剥离，保证开采面干净没有杂质，以此为后续作业打造理想的条件，紧接着运用手风钻开展精准的钻孔作业，钻孔的深度依据岩层的特性科学地设定为 3m，这个参数经过多次验证可达成最优的爆破效果。在关键的开挖阶段，配备两台 YQ-100 潜孔钻和高压 CM351 钻车一起作业，这种搭配可将钻孔效率提高 40% 以上，同时保证孔位精度误差不超过 5cm，爆破采用梯段式微差起爆技术，将开采面划分成 10m 高的梯段来进行控制爆破。爆破产出的毛料由 2m³ 容量的挖掘机配合 30t 级自卸车来进行装运，形成高效的流水作业线，保证每小时至少完成了 15 车次的运输任务，所有毛料都直接输送到砂石加工系统的进料口，整个流程实现了开采、运输、加工的无缝对接。

2.3 临时工程开挖

在这个临时建筑工程中，土石方开挖规模较小，然而其施工质量以及效率对于整个工程能否顺利推进起着关键作用，为了提升土方开挖成效，采用人工与机械协同作业的方式，这样做可灵活地适应复杂的地形状况，又可保证开挖精度以及边坡的稳定性，针对石方开挖，使用手风钻来进行精确钻孔，严格把控孔位和深度，以此为后续的爆破作业提供精准的装药条件。在爆破阶段运用分段毫秒延期微差爆破技术，借助精确控制起爆时序，不仅可提高破碎效果，而且可有效地降低爆破振动以及飞石对周边环境所产生的影响，爆破结束后，立即组织 1 台 1m³ 的挖掘机配合 1 辆 15t 自卸车来进行石料的装运工作，形成连续作业的循环。

为了让开挖区域的整体平整度得到提升，同时提高其结构稳定性，施工方在爆破作业结束之后，立即组织开展土石方转运工作，紧接着投入 74kW 推土机来进行系统化的平整作业，该设备有着强劲的动力以及高效的操控性能，可快速地针对作业面开展精细整平工作，从而达到设计所要求的标高以及平整标准，为后续工序营造出了理想的条件。在这个基础之上，又采用 12.5t 振动碾对已经完成平整的地基实施分层压实，借助振动与静压这两种作用，使得地基密实度以及承载能力得到提升，有效地减少了沉降隐患，为整体工程的顺利推进奠定了坚实可靠的基础。

3 土石方开挖施工技术要点

3.1 场地清理

场地清理属于施工准备阶段极为关键的一环，需要严格依照规范来开展执行，在施工前期，要将施工区域内的地表植被进行全面清除，清理的范围应当延伸至施工图标

注的最大开挖线外侧 10m 边界之处，对于树根的清理工，一定要挖到最大开挖线外侧基础外侧 5m 范围以内，以此保证场地地基处于稳定状态。在清理的过程当中，对于区域内自然生长的珍贵植被，应该采取围挡以及隔离等相关保护举措，防止施工机械以及人员活动对其造成破坏，若是在清理作业时发现地下文物、古建筑遗迹等特殊状况，要马上停止施工，及时向监理机构进行报告，并且采取临时保护措施，待专业人员来到现场进行评估处理之后才可恢复作业。

在整个施工过程当中，需要建立起完善的监测机制并且做好详尽的记录工作，定期采集施工数据，覆盖土方开挖量、爆破参数以及机械运行状态等关键指标，形成完整的施工日志，这些实时数据可以协助施工人员及时察觉到潜在的质量隐患或者安全隐患，还可以为动态调整施工方案提供科学的依据，以此保证工程始终依照既定的技术路线稳步推进。同时要充分重视生态环境保护工作，在施工组织设计中应当专门制定环境保护专项方案，针对施工噪声、扬尘以及振动等污染源采取有效的控制措施，并且对开挖边坡及时开展绿化防护，对于施工过程中有可能破坏的植被群落，要提前制定生态恢复计划，运用原生植物物种进行生态修复，最大程度降低施工活动对周边生态环境所造成的影响。

3.2 边坡土方开挖运输

边坡土方开掘对于控制工程整体稳定起着关键作用，在常规施工过程中，一般会把开挖高度控制在大概 5m 的范围，以此来平衡效率与安全这两方面，作业时会使用挖掘机进行精准剥离操作，同时配合 8t 自卸车及时清运渣土，形成高效的流水线作业模式，施工期间要预先保留有合理厚度的保护土层，该保护土层可缓冲外界冲刷以及风化对边坡造成的侵蚀，还可为后续的精修工作留出一定的操作余量。最终的修坡工作由专业人员来操作，保证边坡度、平整度等各项指标完全符合设计标准，形成稳定且合规的永久边坡。

在开挖边线的区域之内，要按照相关规范来设置完备的截水排水系统，在多雨或者高水位的地区更需要加以重视，这样可以有效地拦截并疏导地表径流，避免水分渗入造成边坡软化以及基底泡水等危害，在进行施工准备工作时，测量人员要运用全站仪等设备来复核控制点，以此保证轴线桩与标高基准点的精度符合要求。在开挖的过程当中，技术负责人应当全程对实际轮廓与设计图纸进行校核，一旦发现偏差就要立刻暂停作业并且制定纠偏方案，针对深基坑或者复杂地质区域，应当组建专业的监测团队，运用测斜仪、沉降观测点等展开动态监控，每天记录相关数据的变化情况，一旦监测数据接近预警值或者遇到不良地质情况，应当及时会同勘察、设计单位开展工况分析，通过调整支护参数或者优化开挖顺序等措施，消除潜在的安

全隐患。

4 结语

本文结合具体工程案例,总结了水利土石方开挖施工技术,分析其关键技术参数与控制要点,以期为提升我国水利土石方开挖的总体技术水平提供有益借鉴。

[参考文献]

- [1] 陈峰,刘会连.水利工程土石方开挖施工技术应用研究[J].门窗,2025(11):214-216.
- [2] 华树伟.水利工程土石方开挖施工技术的应用分析[J].

中国厨卫,2025,24(2):102-104.

[3] 马哲.水利工程土石方开挖施工技术应用分析[J].人民黄河,2024,46(1):188-189.

[4] 李翔晖,周坤峰.水利工程施工中土石方开挖技术与安全措施研究[J].水上安全,2025(12):184-186.

[5] 涂小龙,董晔,胡胜.水利工程的土石方开挖与填筑施工[J].建筑与装饰,2025(16):142-144.

作者简介: 刘胜军 (1976.10—), 男, 毕业院校: 河北水利电力学院, 水利水电专业, 工作单位: 临城县水务局, 农村饮水办公室副主任, 当前职称: 工程师, 专技十级。