

# 水库导流输水隧洞施工技术方法研究

张东

云南建投第二水利水电建设有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6736

**[摘要]** 在水库等水利工程施工实践中,与其他水利枢纽建筑物相比,隧洞作为地下工程的重要组成部分,需要在非露天环境下进行施工作业,施工建设的专业性强、复杂程度高,且容易受环境、地形等其他一系列因素影响,导致施工难度明显增加,对工程施工质量与安全性具有更高的要求。因此,全面优化施工工艺方法具有重要意义,是保障工程施工质量与安全的关键举措。本文结合麻栗坡县东油水库工程项目实例,分析了水库导流输水隧洞施工技术的应用要点,以期为相似工程的施工实践提供有益参考。

**[关键词]** 水库; 导流输水隧洞; 施工技术

中图分类号: U445.4 文献标识码: A

## Research on construction technology and methods for reservoir diversion and water conveyance tunnels

Dong Zhang

Yunnan Construction Investment Group No.2 Water Conservancy and Hydropower Construction Co., Ltd

**[Abstract]** In the construction practice of hydraulic engineering projects such as reservoirs, tunnels, compared with other hydraulic hub structures, constitute an important part of underground engineering. Construction operations need to be carried out in a non-outdoor environment, which is highly specialized and complex. Moreover, they are easily affected by a series of factors such as environment and terrain, leading to a significant increase in construction difficulty and higher requirements for construction quality and safety. Therefore, comprehensively optimizing construction techniques and methods is of great significance and is a key measure to ensure the quality and safety of engineering construction. This article combines the example of the Dongyou Reservoir project in Malipo County to analyze the application points of construction technology for reservoir diversion and water conveyance tunnels, with the aim of providing useful references for the construction practice of similar projects.

**[Key words]** reservoir; diversion and water conveyance tunnel; construction technology

导流输水隧道是水利工程项目中用于引导水流、保障施工安全及提供水资源的重要地下通道,兼具施工导流、输水调配和泄洪排沙等作用。导流隧洞通常在水利工程的施工阶段导流,作用在于保障基坑干地施工,具有临时性使用的特点,施工过程中承受工期供水,后期可用于改建或封堵。同时,在水库施工建设实践中,导流输水隧洞施工隐蔽性强等特点,地下水及复杂的地质条件,导致工程施工难度较高,对工程质量的要求高。随着水利工程建设规模的持续扩大,输水隧洞的施工面临严峻挑战。复杂地质条件、紧凑的工期安排及高质量的施工要求,亟需全面优化施工技术方法,制定科学、系统的施工方案,保障施工质量与安全<sup>[1]</sup>。因此,导流输水隧洞作为水库等水利项目施工建设的重点工程,明确施工技术方法要点尤为关键,通过持续提高施工技术水平,保障工程质量和安全,推动水利工程技术的创新发展。

## 1 工程概况

东油水库位于麻栗坡县八布乡东油村西北向2.1km处的东油河下游河段上,东油河为八布河上游左岸一级支流,属盘龙河流域泸江水系,坝址距文山州政府所在地约115km,距麻栗坡县城58km,距八布乡20km,现有乡村公路通过工程区附近,交通较为方便。水库总库容为484.6万m<sup>3</sup>,兴利库容367.5万m<sup>3</sup>,调洪库容55.1万m<sup>3</sup>,死库容62.0万m<sup>3</sup>。导流输水隧洞布置于大坝右岸山体,总长413.2m。

在管I桩号管I 4+374~管I 4+674.4和管I 5+195~管I 5+666段经过山脊,地面高程较高,无法实现自流供水,故在该段分别设置输水1号隧洞和输水2号隧洞供管道通行。经综合评估,本工程包括隧洞进出口边坡开挖支护、隧洞开挖及初期支护。

## 2 隧洞结构设计

输水1号隧洞: 隧洞全长225.133m, 进口设计底板高程为653.00m, 洞身段设计底坡为1/100, 隧洞采用城门洞型, 设计尺寸为2.0m×2.5m(直墙高1.923m, 顶拱半径1.155m), 主管经过隧洞的地方, 采用C20混凝土包管, 包管厚度为100mm, 隧洞进出口设镇墩。导流输水隧洞的开挖断面尺寸小, 难以满足大型机械施工要求, 并且工期较短。制定科学合理的施工程序和严密的进度控制网络计划, 全面优化施工技术方法, 是确保工程按期保质保量完工的重点。另外, 导流输水隧洞出口位置在斜坡上, 上方为道路, 施工作业面受限, 出口为临边, 伴随一定的坍塌和变形风险, 且加上地下水位高, 存在较大的安全风险。本工程开挖采取“超前预测, 超前支护、短进尺、弱爆破、少扰动、早封闭、强支护、勤测量”等措施, 确保围岩的稳定, 避免围岩塌方。

## 3 施工技术方法

本项目施工总体流程: 施工准备→测量放样→隧洞出口边坡开挖支护→隧洞开挖及初期支护→钢筋、模板工程施工→混凝土衬砌施工→隧洞回填灌浆→竣工验收。进一步分析施工技术方法的应用要点。

### 3.1 洞口边坡开挖支护

在土方开挖前, 严格依据设计要求进行边坡截水沟施工。土方明挖遵循由上至下分层分段的原则, 施工过程中需要形成一定的坡势, 便于排水, 开挖时确保边坡稳定, 避免形成积水。本工程在具体施工中, 由上至下分层采用挖掘机逐层开挖, 边角陡峭位置采用人工配合, 反铲挖掘机装20t自卸汽车运至渣场, 严禁应用自下而上或倒悬的开挖方法, 同时完善边坡排水设施, 支护工程随时跟进, 在明确上层边坡稳定后方可开挖下层, 距边坡开口线一定距离挖截水沟, 喷10cm厚的C20混凝土。

在石方明挖过程中, 结合前期地质勘查结果可知, 边坡为第四系堆积物覆盖, 下伏基岩包括砂岩、泥质粉砂岩、板岩等, 根据地质条件, 采用分层破碎与开挖工艺。结合测量放样出的边坡开挖轮廓线, 对表土进行全面清理, 露出需要破碎的石方, 因为采用由上至下分层开挖工艺, 所以结合地形条件修出施工平台, 便于破碎锤和挖机摆放。在具体施工实践中, 结合地形条件进行画圈布点, 合理控制布点间距, 根据布点采用破碎锤进行钻孔破碎<sup>[2]</sup>。施工平台的岩层破碎到位后, 使用挖掘机修正平整坡面, 之后进行后续岩体破碎施工。完成一层破碎后, 应用反铲挖掘机装渣, 运至渣场弃渣, 破碎锤开挖至预留保护层面停止作业, 保护层应用手风钻结合人工操作。

边坡开挖作业结束后, 在距开口线2m外挖截水沟, 全面清理松渣, 喷筑10cm厚的C20喷射混凝土。在锚杆施工实践中, 结合设计要求合理设置固定桩, 中间结合锚杆间距加密, 避免施工期间受损。锚杆位置需要根据坡面长度放样, 合理调整间距。在钻孔施工方面, 因为本工程边坡地质相对稳定, 属于风化岩, 采用MGY-60锚杆钻机钻孔作业。钻进时记录各孔的地层变化、钻进状态及地下水等情况, 达到设计深度后稳钻1至2分钟, 避免孔底尖灭, 不符合设计要求。钻孔后通过现场监理检验合格方可进行

后续施工<sup>[3]</sup>。安装锚杆体前, 需要钢筋顺直, 做好保护措施, 人工缓慢将锚杆体放于孔内, 确保长度合理。在孔底开始注浆作业, 根据锚固体的体积、锚固地层情况, 合理控制注浆压力, 注浆后对套管进行清洗。在钢筋网铺设施工方面, 需要确保网片平直且搭接牢固, 与横向加强筋连接牢固。喷射混凝土施工前明确混凝土配比, 在受喷面设置喷射厚度的标志, 每次厚度30-50mm, 喷头和喷面保持垂直, 顺序从上至下, 分段进行, 网喷采用分段操作, 及时清理回弹下落混凝土料。

### 3.2 隧洞石方开挖

边坡支护作业结束后, 立出第一榀工字钢, 固定后沿工字钢外缘打超前导管, 之后挖出第二榀工字钢位置, 按要求进行锚杆施工后, 支护衬砌C25混凝土, 重复施工直至支护到锁口位置, 全面清理现场杂质并进行锁口支模, 之后进行锁口C25混凝土浇筑。

完成隧道锁口施工任务后, 进行隧洞洞室开挖作业。本工程隧洞石方开挖采用爆破开挖工艺, 隧洞底部除钢拱架柱脚位置外, 预留一定距离的保护层, 采用人工开挖; 坚硬位置采用小药量松动爆破。如果围岩地质条件复杂、稳定性差, 施工时应采用超前导管、内移周边孔、小进尺、弱爆破、多循环和及时支撑的施工工艺。在钻孔施工方面, 应用平行洞轴线钻孔, 采用激光导向仪控制, 完成各个循环后, 对高程、坡度等参数严格控制, 同时确保钻孔角度和洞身坡度一致。在爆破施工作业过程中, 采用钻孔台架配合手持风动凿岩机钻孔, 人工装药起爆。根据设计要求进行钻眼、装药、接线和引爆。完成钻孔作业后, 采用高压风吹孔, 经检查合格后装药, 由上至下根据设计要求规定的装药量、雷管段号进行操作, 爆破网络连接、检查及起爆均严格按照设计要求进行<sup>[4]</sup>。

在支护工程施工实践中, 明确超前小导管施工要点, 各循环导管施工前, 在设计位置放置至少三榀用工字钢拼接的管棚导向架, 钻进时钻进顶紧掌子面, 开孔时速度慢, 钻进20cm后采用正常速度。在顶管施工方面, 需要结合管棚长度下料钢管, 便于接管施工, 顶入时采用人工操作结合机械辅助方法, 焊接连管时将第二根管固定在台架上, 并确保两根管中心在相同直线上, 接口严密。在钢支撑施工方, 本工程采用I14的工字钢, 根据支护类型, 开挖隧洞时备好随时投用的钢支撑及附件。钢支撑安装前进行欠挖处理, 全面清除松动岩石, 架设时结合钢架设计间距明确定位点, 先进行一支拱脚工字钢的架设, 合理调整底脚, 确保钢架定位精准, 并严格控制底部高程, 避免围岩变形导致工字钢下沉<sup>[5]</sup>。喷射混凝土施工在开挖面满足临时稳定要求后进行, 施工前清理喷面杂物, 设置喷层标志, 按照分层进行的要求, 各层喷射在前一层混凝土终凝前30min左右进行。锚杆施工流程包括布点、钻孔、注浆、锚杆插入、养护和质量检查, 严格按照规程进行施工作业, 注浆后采用钢楔子楔入锚杆孔端部, 固定锚杆。

### 3.3 混凝土衬砌

结合设计要求及隧洞结构, 系统分析施工因素, 本工程导流

输水隧洞混凝土砌筑应用分块浇筑工艺, 在施工过程中做好接缝处理, 沿洞轴线分段形成伸缩缝, 根据设计要求设置铜片止水。混凝土主要通过集中拌和站供应, 采用搅拌运输车运至现场, 应用输送泵入仓。为了满足工期要求, 提高施工效率, 分别在进口与出口两个工作面进行浇筑作业, 将输送泵分别布设在两个位置, 泵管与浇筑面连接。为了确保浇筑的入仓强度符合设计要求, 在模板支立、钢筋绑扎、止水预埋件安装等关键施工环节, 加强监管, 及时发现质量问题并处理<sup>[6]</sup>。

### 3.4 隧洞灌浆

隧洞进出口范围采用回填灌浆工艺, 材料为普通硅酸盐水泥。灌浆区在混凝土浇筑强度达到设计强度方可进行回填灌浆, 分段进行, 各区段长度不超过30m。在施工实践中, 从较低的一端开始灌浆, 推进至较高的一端, 并做好砌筑混凝土施工缝及质量问题的检查, 及时处理可能漏浆的部位。完成灌浆作业后, 针对存在向外或向上返浆的灌浆孔, 需要进行闭浆待凝处理。灌浆孔回填应用从预埋管中钻孔的工艺方法, 严格控制钻孔孔径、孔深。回填灌浆遵循分序加密原则, 先进行边排灌浆, 之后进行顶孔灌浆, 各次序灌浆的间隔时间不可少于48小时<sup>[7]</sup>。在施工过程中如果发现漏浆, 需要结合实际情况应用针对性处理措施, 如增加浆液浓度、间歇灌浆等, 如果发现串浆, 应及时进行堵塞处理, 灌浆孔继续灌注。在一个部位回填灌浆结束7天后进行质量检查, 检查孔数不得少于灌浆孔数的5%, 重点检查脱空明显、串浆集中等部位。

## 4 结语

导流输水隧洞在水库等水利工程施工建设中占据重要地位, 是水库前期施工的关键工序, 与后续施工作业的安全、顺利开展密切相关, 同时对工期、施工质量与安全有直接影响。导流输水隧洞具有导流、输水等重要作用, 在工程施工实践中, 需要牢牢

把握各道工序的施工要点, 充分结合工程具体情况, 制定科学、系统的施工方案, 并加强对细节问题的关注, 从而全面保障导流输水隧洞的施工质量、效率与安全, 为工程建设夯实基础, 促进工程综合效益的提升。另外, 随着工艺技术的发展与进步, 水库导流输水隧洞施工应当持续优化技术方法, 并加强对新技术、新方法的使用, 同时重视施工质量管理和控制, 全面保障工程质量, 推动水利工程的可持续发展。

### [参考文献]

- [1]余小花, 付志坤. 某小型水库导流输水隧洞施工技术方法研究[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(9): 183-186.
- [2]杨连骅. 导流输水放空隧洞开挖的边坡稳定性监测方法[J]. 地下水, 2023, 45(4): 213-215.
- [3]庾江华, 龚曙晖, 徐书龙, 等. 钻爆法隧洞开挖施工超挖欠挖问题控制——以湖南省椒花水库工程为例[J]. 中国水利, 2023(1): 65-68.
- [4]孙露, 丁继辉, 王宇宁. 小断面引水隧洞混凝土衬砌施工关键技术研究——以辽宁桓仁供水工程为例[J]. 水利水电快报, 2023, 44(9): 57-61.
- [5]曹军. 中小型水库枢纽导流隧洞“多洞合一”综合利用探讨[J]. 水利规划与设计, 2022(2): 94-96.
- [6]文勇坤. 黄材水库除险加固工程输水洞施工导流方案比选[J]. 陕西水利, 2022(4): 147-149.
- [7]金瑞芳. 泉心河水库工程导流隧洞石方洞挖爆破方案及施工实施[J]. 河南水利与南水北调, 2022, 51(10): 57-58.

### 作者简介:

张东(1988—), 男, 满族, 云南昆明人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 水利工程施工技术与工程。