

水利工程中隧洞引水测量控制的技术研究

张凯 李奉育 刘林

江苏省水利科学研究院，江苏南京，210017；

摘要：引水隧洞是水利枢纽工程核心组成部分，其施工测量精度直接决定工程结构稳定性、贯通质量及运行安全性。但隧洞施工环境封闭、通视条件差、作业空间受限，导致传统测量技术精度衰减、效率偏低，增加了测量难度。为破解此技术瓶颈，本文以某水库引水隧洞工程为研究对象，开展施工测量控制技术体系构建与优化研究。整合GNSS测量、精密水准测量及三维激光扫描技术，构建多源数据融合的综合测量控制体系；结合导线测量与陀螺定向技术，优化贯通测量流程与参数。本研究旨在提升引水隧洞施工测量精度与可靠性，为同类水利隧洞工程高质量施工提供技术参考。

关键词：水利工程；引水隧洞；控制测量

DOI：10.69979/3060-8767.26.02.029

引言

水利工程在国民经济与社会发展进程中占据关键地位，科学规划与建设水利设施，可有效缓解区域水资源短缺矛盾，显著提升水资源配置与利用效率。引水隧洞作为水利工程体系的核心输水构筑物，承担着跨区域长距离输水、优化水资源时空分布的重要职能，其施工质量直接决定整个水利枢纽工程的运行安全与结构稳定性。开展科学规范的施工控制测量工作，是保障引水隧洞施工精度、提升工程建设效率的核心技术手段，对保障工程整体质量、推动区域经济可持续发展意义重大。

1 隧洞引水施工控制测量

引水隧洞施工是水利工程建设的关键环节，对测量精度有着严苛要求。尽管此类隧洞施工线路相对较短，但施工过程易受地质条件、工程属性等多重因素制约，测量数据的精准性与可靠性直接决定隧洞贯通质量，若数据失真或精度不足，将对工程整体贯通效果造成严重影响。

测量方案的制定需严格依托工程实际工况，并指派专人全程负责管控。具体实施流程需遵循以下步骤：一是科学布设洞内控制测量网，为后续施工测量提供基准依据；二是在隧洞贯通过程中，同步开展贯通结果的精准检测，实时掌握施工偏差；三是若检测发现数据偏差超出规范阈值，需立即暂停贯通施工，待完成偏差纠正并复核合格后，方可恢复作业。

在此基础上，相关技术人员需结合工程特点优化设计测量方案，明确测量流程与技术标准，确保施工人员严格按照方案开展作业，从技术层面提升引水隧洞施工控制测量精度，保障工程建设有序推进。

2 引水隧洞施工控制测量

引水隧洞施工中，控制测量是保障工程质量的核心技术环节，作用关键。其核心是依据施工设计要求，确保双向开挖在贯通面精准对接，需严格遵循技术规范管控横向与高程贯通误差，保障贯通精度达标。从工程实践看，施工控制测量主要涵盖洞外与洞内两大范畴，二者协同构成完整测量控制体系。

2.1 平面控制测量

引水隧洞施工中，控制测量是保障工程质量的核心技术环节，核心是依据设计要求确保双向开挖在贯通面精准对接，严格管控横向与高程贯通误差以保障精度达标。工程实践中，控制测量分为洞外与洞内两类，协同构成完整体系。其中洞外控制测量核心是测定洞口控制点平面位置，为地下工程设计、开挖导向及精准贯通提供基准。早期受技术限制，洞外控制多采用直接定线、三角网等传统方法，存在精度不足、成本高、适用范围窄等缺陷；随着测量技术发展，现阶段广泛采用全站仪布设导线并利用其光电测距功能开展工作，可满足隧洞贯通平面控制需求，且精度与效率显著提升。

2.2 高程控制网的注意事项

引水隧洞施工中，控制测量是保障工程质量的核心技术环节，核心目标是依据设计要求实现双向开挖的贯通面精准对接，严格管控横向与高程贯通误差以保障精度达标。工程实践中，控制测量分为洞外、洞内两大类别，二者协同构成完整的测量控制体系。其中，洞外控制测量的核心任务为测定洞口控制点平面位置，为地下工程设计、开挖导向及精准贯通提供基准依据。受早期技术条件限制，洞外控制多采用直接定线、三角网等传

统方法，此类方法存在精度不足、成本偏高、适用范围受限等缺陷；随着工程测量技术发展，现阶段已广泛采用全站仪布设导线，并依托其光电测距功能开展洞外控制测量作业。

2.3 隧洞洞内控制测量

洞内控制测量主要包含平面与高程两类，与洞外控制体系协同保障隧洞贯通精度：

2.3.1 洞内平面控制测量（导线测量）

需结合开挖进度有序布设导线，以洞口控制点为起点测定坐标。隧洞施工环境复杂、干扰因素多且作业时效性强，中小型隧洞一般仅布设施工导线与基本导线。施工导线边长30~50m，沿洞轴线布设；基本导线边长100~150m，需与施工导线协同规划，且精度等级高于施工导线。

2.3.2 洞内高程控制测量（水准测量）

作业原理与洞外水准测量基本一致，受洞内环境限制，视线长度宜控制在50m以内。若以洞顶板作为水准点，观测时需倒置水准尺，以尺底顶紧点位标志。

引水隧洞施工中，控制测量是保障工程质量的核心技术环节，核心是依据设计要求确保双向开挖在贯通面精准对接，严格管控横向与高程贯通误差以保障精度达标。工程实践中，控制测量分为洞外与洞内两类，协同构成完整体系。其中洞外控制测量核心是测定洞口控制点平面位置，为地下工程设计、开挖导向及精准贯通提供基准。早期受技术限制，洞外控制多采用直接定线、三角网等传统方法，存在精度不足、成本高、适用范围窄等缺陷；随着测量技术发展，现阶段广泛采用全站仪布设导线并利用其光电测距功能开展作业。

2.4 洞内测量注意事项

引水隧洞施工中，控制测量是保障工程质量的核心环节，核心目标是按设计要求实现双向开挖贯通面精准对接，严控横向与高程贯通误差。实践中控制测量分为洞外、洞内两类，协同构成完整体系。洞外控制核心为测定洞口控制点平面位置，为地下工程设计、开挖导向及精准贯通提供基准；早期采用直接定线、三角网等传统方法，存在精度不足、成本高、适用范围窄等缺陷，现阶段已广泛采用全站仪布设导线并利用其光电测距功能。

3 施工挖掘中的测量

引水隧洞施工控制测量是质量保障核心，旨在实现双向开挖精准贯通，严控横、高程贯通误差，分为洞外、洞内两类体系。洞外控制以测定洞口控制点平面位置为

核心，早期传统方法存在诸多缺陷，现广泛应用全站仪导线及光电测距技术。

3.1 施工挖掘的方向选择

引水隧洞施工中，控制测量是保障工程质量的核心环节，其核心目标是依据设计要求实现双向开挖的贯通面精准对接，并严格管控横向与高程贯通误差。该测量工作分为洞外、洞内两大类别，二者协同构成完整的测量控制体系。其中，洞外控制以测定洞口控制点平面位置为核心，为地下工程设计、开挖导向及精准贯通提供基准；早期采用的直接定线、三角网等传统方法存在精度不足、成本偏高、适用范围受限等缺陷，现阶段已广泛运用全站仪布设导线并依托其光电测距功能开展作业。

3.2 中线与腰线的测定

洞内中线测定需先于洞口开挖面布设中线桩，以此为基准开展掘进作业；掘进过程中，每推进20m需在隧洞顶部埋设中线里程桩，既便于桩体保存，也可保障后续作业有序开展。隧洞岩壁上以10m为间隔布设一组腰线，腰线高程随中线里程动态调整，且始终与隧洞地坪高程线保持平行。中线与腰线的布设精度直接决定隧洞掘进方向的准确性，需严格按照规范流程实施。

引水隧洞施工中，控制测量是保障工程质量的核心环节，核心目标是按设计要求实现双向开挖贯通面精准对接，严控横向与高程贯通误差。实践中控制测量分为洞外、洞内两类，协同构成完整体系。洞外控制核心为测定洞口控制点平面位置，为地下工程设计、开挖导向及精准贯通提供基准；早期采用直接定线、三角网等传统方法，存在精度不足、成本高、适用范围窄等缺陷，现阶段已广泛采用全站仪布设导线并利用其光电测距功能。

3.3 隧洞掘进方向的对策

引水隧洞施工中，控制测量是保障工程质量的核心技术环节，核心目标为依据设计要求实现双向开挖贯通面精准对接，严格管控横向及高程贯通误差。实践中，控制测量分为洞外与洞内两大体系，二者协同构成完整的测量控制架构。其中，洞外控制以洞口控制点平面位置测定为核心，为地下工程设计、开挖导向及精准贯通提供基准支撑；早期采用的直接定线、三角网等传统方法，存在精度不足、成本偏高、适用范围受限等短板，现阶段已广泛应用全站仪导线布设及光电测距技术替代。

4 提高引水隧洞测量精度的建议

结合当前引水隧洞施工发展趋势，实践中对测量精度的要求显著提高，施工单位需结合水利工程项目实际需求，针对性采取措施提升测量精度。基于工程实践经验，核心抓手在于强化施工控制测量工作——作为保障工程质量的核心技术环节，其核心目标是依据设计要求实现双向开挖贯通面精准对接，严格管控横向及高程贯通误差。实践中，控制测量分为洞外与洞内两大体系，二者协同构成完整测量控制架构：洞外控制以洞口控制点平面位置测定为核心，为地下工程设计、开挖导向及精准贯通提供基准支撑；早期采用的直接定线、三角网等传统方法存在精度不足、成本偏高、适用范围受限等短板，现阶段已广泛采用全站仪导线布设及光电测距技术替代，有效提升了测量精度与作业效率。

4.1 严格内控工作

需结合水利工程项目特性及施工要求，科学优化洞内控制测量设计，确保工程设计与施工全过程符合技术规范，为工程顺利实施提供保障。同时，应定期开展施工人员专项培训，强化其安全意识与规范作业理念，确保严格按设计方案执行。在洞内控制测量设计与实施中，需明确要求施工人员采用三联脚架法作业；若三角高程等级达到二等及以上，必须采取精度提升措施，保障测量数据精准可靠。

4.2 开展监测工作

精度保障需贯穿施工全流程，具体措施如下：施工前，责任单位应指派专业人员开展测量设备专项检测，重点核查设备安装到位情况及是否存在松动、偏移等问题，发现隐患需立即更换设备，且更换工作须在隧洞施工启动前完成，避免影响整体进度。施工过程中，一方面需结合水利工程项目特性及施工要求，科学优化洞内控制测量设计，确保工程设计与施工全过程符合技术规范；另一方面应强化开挖监测工作，当开挖至规定距离时及时增设导线以保障开挖准确度，若发现数据异常需立即复核重测，确保数据真实可靠。同时，需定期开展施工人员专项培训，强化其安全意识与规范作业理念，确保严格按设计方案执行；洞内控制测量实施中，需明确要求采用三联脚架法作业，若三角高程等级达到二等及以上，必须采取精度提升措施，保障测量数据精准性。

4.3 估算隧洞洞内控制的方法

隧洞洞内控制测量数据估算需重点把握以下核心要点：其一，隧洞开挖至规定距离时，需精准完成导线估算；其二，平面控制测量估算宜采用等边直伸型导线，

以提升估算效率与准确性；其三，控制测量应优先选用长边布设，确保满足作业最高精度标准；其四，若洞内存在混凝土衬砌，需及时开展精度估算，且在贯通误差分配过程中重点关注衬砌状态，保障其处于最佳状态以严控施工质量；其五，三角高程测量需严格按照施工方案执行，必要时指派专人定期巡检，减少违规操作，确保数据估算精准。

全流程精度保障措施：施工前，专业人员专项检测测量设备，核查安装及松动、偏移等隐患，问题设备须在施工前更换，避免影响进度。施工中，优化洞内控制测量设计，确保符合技术规范；强化开挖监测，规定距离增设导线保障开挖准确度，数据异常立即复核重测；定期培训施工人员，强化规范作业理念；洞内控制测量采用三联脚架法，三角高程达二等及以上等级时，采取针对性精度提升措施。

5 结语

综上，水利工程建设为系统性工程，各环节需严守规范精准落实。引水隧洞施工控制测量精度至关重要，直接关乎工程安全质量与效益实现，施工单位需高度重视，结合经验与实际，严守规范细化技术环节，科学开展测量并配套落实对策。

核心要点与保障措施：洞内测量数据估算需把握五点：开挖至规定距离精准估算导线；平面控制优先采用等边直伸型导线；控制测量选用长边布设保障高精度；有混凝土衬砌时及时估算精度，贯通误差分配关注衬砌状态；三角高程测量严守方案，必要时专人巡检防违规。全流程保障：施工前专项检测设备，隐患设备前置更换；施工中优化洞内控制设计、强化开挖监测（规定距离增设导线、异常复核）、定期培训人员，洞内控制采用三联脚架法，三角高程达二等及以上时提升精度。未来水利施工实践发展将推动相关工作持续突破。

参考文献

- [1] 范志峰. 水利工程中引水隧洞施工控制测量的技术要点[J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(07): 71-73. DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2025.07.071.03.
- [2] 赵智. 水利工程引水隧洞施工贯通测量和智能预测研究[J]. 经纬天地, 2023, (04): 13-16.
- [3] 胡浩明. 水利工程中引水隧洞施工控制测量的研究[J]. 珠江水运, 2022, (21): 24-26. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2022.21.006.
- [4] 席文欢. 超长引水隧洞贯通测量技术的应用研究[J]. 建材与装饰, 2019, (06): 282-283.