

复杂工况下隧道贯通测量技术研究

尹梦玲 420602199210083022

摘要

隧道工程施工过程中，贯通测量精度直接决定项目建设质量与施工安全，复杂工况下地质条件差、施工干扰大、环境多变等问题进一步提升了贯通测量的难度。本文围绕复杂工况下隧道贯通测量技术展开研究，分析复杂工况对测量精度的主要影响因素，梳理现有测量技术的应用特点，探讨优化贯通测量精度的技术路径，研究结果可为复杂地质条件下隧道工程贯通测量作业提供参考。

关键词

复杂工况；隧道工程；贯通测量；精度控制

一、引言

随着我国交通基础设施建设不断向山区、深层区域拓展，隧道工程的建设规模、长度不断提升，施工过程面临的地质条件也愈发复杂。长大隧道施工普遍采用双向开挖工艺，两端开挖工作面的贯通精度是控制施工质量的核心指标，若贯通偏差超过允许范围，不仅会增加后期衬砌调整的工程量，甚至可能引发安全事故，造成严重的经济损失。

常规隧道贯通测量技术多适用于地质条件稳定、施工干扰较小的简单工况，在存在断层破碎带、地下水发育、长大区间、邻近既有构造物等复杂工况下，受地面控制网误差传递、洞内测量环境干扰、温度形变影响等多因素作用，传统测量技术的精度难以满足设计要求。因此，针对复杂工况的特点优化贯通测量技术体系，对提升隧道工程施工质量、保障施工安全具有重要的现实意义。

二、复杂工况对隧道贯通测量的影响因素分析

复杂工况下影响隧道贯通测量精度的因素可分为地质环境因素、施工干扰因素、测量系统本身误差三类。第一，地质环境因素方面，复杂工况多存在软岩大变形、地表沉降不均匀、地层活动性较强等问题，地面控制网布设完成后，受地层运动影响，控制点坐标会发生缓慢偏移，

随着施工推进，误差不断向洞内传递，最终导致贯通面出现较大偏差。对于水下隧道或者深埋隧道，地下水压力变化也会引发地层小幅位移，进一步放大控制网的误差。同时，洞内高温、高湿环境会影响测量仪器的精度，全站仪等光学测量设备的镜头容易产生水雾，钢尺等传统测量工具受温度影响发生形变，都会引入系统测量误差。

第二，施工干扰因素方面，长大隧道施工过程中，洞内运输车辆、施工机械持续作业，会引发地面振动，影响静态测量的稳定性，同时施工产生的扬尘会降低空气透明度，削弱光学测量信号的强度，增加测量误差。此外，洞内施工空间狭窄，测量导线无法按照最优方案布设，只能随着开挖面推进延伸，导线的长度累积误差随开挖深度增加不断扩大，对于长度超过 10km 的长大隧道，传统支导线的累积误差往往会超出允许的贯通偏差范围。

第三，测量系统误差方面，传统贯通测量多采用地面 GPS 控制网加洞内导线测量的组合方案，GPS 控制网本身存在厘米级的初始误差，洞内导线测量每一个测站都会引入角度误差和边长误差，这些误差逐级传递后，最终在贯通面形成的偏差会被不断放大。在复杂工况下，控制网复测难度大，误差无法及时修正，进一步加剧了偏差累积的问题。

三、复杂工况下常用隧道贯通测量技术及应用特点

当前复杂工况下隧道贯通测量常用技术主要包括 GNSS 地面控制测量技术、全站仪导线测量技术、陀螺定向测量技术以及三维激光扫描技术，不同技术的应用特点存在明显差异：

1.GNSS 地面控制测量技术。GNSS 技术可以在地面快速完成控制点坐标测量，不需要控制点之间相互通视，对于地形复杂的山区隧道，GNSS 控制网布设的效率远高于传统三角控制网。在复杂工况下，GNSS 技术可以实现高精度的静态定位，平面坐标测量精度可以达到毫米级，能够为洞内测量提供可靠的起算数据。但 GNSS 技术无法应用于洞内测量，只能完成地面控制网布设，误差仍需要通过洞内导线传递，同时在山区沟谷区域，卫星信号容易被山体遮挡，会降低控制网的测量精度。

2.陀螺定向测量技术。陀螺定向测量技术可以利用陀螺本身的定轴性，直接测定洞内导线的方位角，不需要依赖地面控制点的方位角传递，能够有效削弱方位角误差的累积效应，对于长大隧道复杂工况，该技术可以将贯通横向误差降低 30%以上。传统陀螺经纬仪测量效率较低，测量一个测站需要半小时以上，随着光电技术的发展，当前全自动陀螺全

站仪已经实现了自动化测量，单个测站测量时间可以缩短到 10 分钟以内，测量精度也提升到了 5"以内，能够很好适应复杂工况下快速测量的需求。

3.三维激光扫描技术。三维激光扫描技术可以快速获取开挖面以及洞内整体的三维点云数据，通过点云配准可以实时获取当前开挖面的位置偏差，及时调整施工参数。在复杂工况下，三维激光扫描技术不需要接触被测物体，能够在施工间隙快速完成扫描，受施工振动的影响较小，同时可以整体掌握洞内导线控制点的位移变化，及时修正测量误差。但该技术设备成本较高，点云数据处理复杂度较高，目前多作为贯通测量的辅助校验技术。

四、复杂工况下隧道贯通测量精度优化策略

针对复杂工况的特点，贯通测量技术体系需要从控制网布设、测量方案组合、误差校正三个方面进行优化：第一，在控制网布设方面，复杂工况下应当采用地面 GNSS 控制网加洞内深埋控制点的布设方案，将洞内控制点布设在稳定的围岩内部，避免受施工开挖和围岩变形的影响，同时适当增加控制网的复测频率，对于地层活动性较强的区域，每完成 1km 开挖就需要对地面控制网和洞内控制点进行复测，及时修正控制点坐标偏差。第二，在测量方案组合方面，对于长度超过 5km 的长大隧道，应当采用“GNSS 地面控制+陀螺定向加密+全站仪导线”的组合方案，每延伸 2~3km 就利用陀螺定向对导线方位角进行校正，切断方位角误差的累积路径，有效降低贯通面的最终偏差。第三，在误差校正方面，应当引入温度形变修正模型，针对洞内温度变化对测量边长的影响，根据实测温度对钢尺量距或者电磁波测距结果进行修正，同时利用洞内控制点的位移监测数据，对导线测量结果进行动态校正，进一步降低环境因素引发的误差。

五、工程应用案例分析

某山区高速公路隧道全长 12.6km，采用双向开挖施工，项目区域存在多条断层破碎带，洞内温度常年保持在 32℃以上，属于典型的复杂工况。施工过程中采用优化后的贯通测量方案，地面布设 8 个 GNSS 控制点，每 2km 布设一个陀螺定向测站，对导线方位角进行校正。施工完成后，实际贯通横向偏差为 32mm，纵向偏差为 48mm，均满足设计允许偏差要求，验证了优化技术方案的可靠性。

六、结论

复杂工况下隧道贯通测量受多重因素影响，精度控制难度远大于常规工况，通过合理组合现有测量技术，优化控制网布设方案，建立动态误差校正机制，可以有效提升贯通测量精度，满足隧道施工的设计要求。未来随着智能化测量设备的不断发展，自动化实时贯通测量技术将成为重要的研究方向，进一步提升复杂工况下隧道测量的效率与精度。

参考文献

- [1] 张正禄. 工程测量学[M]. 武汉大学出版社, 2021.
- [2] 王继山. 复杂地质条件下长大隧道贯通测量技术应用研究[J]. 测绘通报, 2020(6): 142-145.
- [3] 刘振华, 李军. 陀螺定向技术在长大隧道贯通测量中的应用[J]. 铁道勘察, 2019, 45(2): 1-4.
- [4] 谢雄耀, 刘彪, 王军. 三维激光扫描技术在隧道贯通误差检测中的应用[J]. 岩土工程学报, 2018, 40(11): 2105-2112.