

# 长大隧道贯通误差来源分析与控制方法研究

杨忠文

中铁隧道股份有限公司 河南 郑州 450000

**【摘要】**：我国交通基础设施持续升级，长大隧道已成为铁路、公路与水利工程的关键节点。贯通误差是长大隧道工程贯通质量的重要指标，而长距离掘进、复杂地质与恶劣洞内环境叠加，使贯通误差累积风险显著上升，直接影响工程安全、质量与成本。当前测量环节仍受多重误差影响，传统控制手段难以完全满足高精度贯通需求。基于此，本文将简要分析长大隧道贯通工程的基本内容，并针对误差产生的来源进行系统梳理，提炼长大隧道贯通误差的全过程控制路径，以期有效提升隧道贯通精度，从而保障工程的顺利实施。

**【关键词】**：长大隧道贯通；贯通误差；来源；控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.088

## 引言

现如今，由于我国飞速发展，人民的生活需求日益提高，我国在不断发展建设高速公路，长大隧道工程的数量也在日益上升。因此，长大隧道贯通误差来源分析是隧道内施工质量控制的关键工作。由于隧道内恶劣的施工环境，会对测量仪器的数据采集产生不利的影响，只有选用合适且满足规范要求的控制方法，才能有效降低长大隧道的贯通误差，保证施工质量。

## 1 长大隧道贯通工程概述

长大隧道贯通工程是现代交通与地下工程建设中的核心控制性环节，贯穿工程施工全过程，其施工质量直接决定线路线形平顺性、结构受力合理性及后期运营安全性，是衡量隧道工程整体技术水平的核心指标。随着我国交通基础设施向深埋、长距、大断面方向快速发展，长大隧道穿越的地质条件愈发复杂，常面临高地应力、破碎围岩、地下水富集、洞内环境恶劣等诸多不利工况，给贯通施工带来了极大挑战。与普通隧道相比，长大隧道施工周期长、掘进距离远，各类误差易逐步累积，一旦贯通误差超出设计允许范围，不仅会增加返工成本、延误施工工期，还可能引发隧道结构开裂、坍塌等安全隐患，直接威胁工程建设与后期运营安全。当前，随着工程建设对贯通精度要求的不断提高，传统贯通控制模式已难以适配复杂工况下的高精度需求，如何在长距离、复杂环境中实现贯通误差的精准管控，优化施工组织与测量技术，确保隧道安全、高效、精准贯通，已成为行业内亟待解决的重要技术难题，也是推动隧道工程测量技术创新发展的关键方向。

## 2 长大隧道贯通误差来源分析

### 2.1 测量仪器自身误差

测量仪器作为隧道贯通测量工作的核心载体，其自身精度缺陷及校准不及时，是引发贯通误差的基础性因素。在长大隧道测量工作中，全站仪、水准仪、陀螺仪等常用设备本身存在一定的固有系统误差，比如全站仪的视准轴偏差、水平轴倾斜偏差，水准仪的*i*角偏差，以及陀螺仪的零漂偏差等，这类误

差会随着测量距离的延伸而不断累积放大。除此之外，部分施工单位为压缩成本，选用老化、精度不符合要求的测量仪器，或者未严格按照行业规范定期对仪器进行检定与校准，致使仪器误差超出规定允许范围。同时，仪器在运输、存放期间若受到碰撞、潮湿等不良影响，其测量精度也会出现下降，进而产生额外的测量误差，对隧道贯通精度形成负面影响。

### 2.2 人为操作误差

人为操作的规范程度直接决定了测量数据的精准度，也是造成贯通误差的关键因素之一。长大隧道测量流程繁琐复杂，涵盖仪器架设、读数、记录、数据处理等多个关键环节，每个环节的操作失误都会引发相应的误差。在仪器架设阶段，若对中、整平操作不够精准，会导致测量基准出现偏移；读数环节中，观测人员的视觉偏差、读数速度过快等问题，会造成读数偏差。记录过程里，一旦出现漏记、错记测量数据，或是数据涂改不规范的情况，会对后续的数据处理工作造成干扰，影响处理结果的准确性。另外，部分观测人员专业能力不足，对测量行业规范不熟悉，操作流程不标准，如未按照要求进行多次观测并取平均值，或是在复杂环境下未采用科学有效的观测方法，都会加剧误差的累积，尤其是在长距离贯通测量中，细微的人为操作误差会被大幅放大，进而影响隧道最终的贯通效果。

### 2.3 施工环境干扰误差

长大隧道施工环境复杂且恶劣，洞内的温度、湿度、气压、光线等环境指标，以及外部地质条件的动态变化，都会对测量精度产生干扰，从而形成环境干扰误差。在洞内施工过程中，由于通风条件不佳、机械设备运转产生大量热量，会导致洞内温度分布不均衡，进而引起空气折射率发生变化，影响全站仪视准线的测量精度，造成测距、测角误差。洞内潮湿的环境会对仪器部件造成腐蚀，降低仪器的使用性能，同时水汽会使观测视线变得模糊，降低读数的准确性。另外，隧道穿越破碎围岩、地下水富集区域时，围岩变形、掌子面沉降会导致测量控

制点发生移位,而洞内的粉尘、噪声等因素也会干扰观测人员的正常操作,进一步引入额外误差。这些环境因素具有较强的随机性,难以提前精准预判,给误差控制工作带来了较大的难度。

#### 2.4 测量网形布设误差

测量控制网是隧道贯通测量工作的基础前提,其布设的合理性直接影响误差的分布与累积情况,不合理的网形布设会产生明显的网形误差。部分施工单位在布设控制网时,没有结合隧道长度、地质条件等实际工程情况,盲目套用标准网形模式,导致控制点间距过大、分布不均衡,或是将控制点设置在地质不稳定区域,容易发生位移现象。同时,若控制网的观测次数不足、观测方法选择不当,会导致网形平差精度达不到要求,无法有效抵消各类测量误差。另外,长大隧道大多采用分段掘进的施工模式,若各分段控制网的衔接工作不到位,存在控制点传递偏差,会导致分段测量误差不断累积,最终影响隧道整体的贯通精度,尤其是在特长隧道工程中,控制网布设的合理性对贯通误差的影响更为显著。

#### 2.5 施工扰动引发的误差

长大隧道施工过程中产生的各类扰动,会导致测量控制点移位、隧道结构变形,进而引入贯通误差,这是一个容易被忽视但影响程度较大的误差来源。在隧道掘进过程中,爆破作业、盾构推进等施工行为会产生振动,导致周边围岩出现松动,进而引发地表及洞内控制点的沉降、移位。在衬砌施工过程中,若模板支护不够牢固、混凝土发生收缩变形,会导致隧道结构线形出现偏差,间接影响隧道的贯通精度。另外,施工过程中临时设施的搭建、机械设备的停放,距离测量控制点过近,会对控制点造成挤压、扰动,导致控制点位置发生偏移,而施工人员对控制点的保护措施不到位,也会造成控制点损坏、移位等问题,从而导致测量数据失真,进一步加剧贯通误差的累积。

### 3 长大隧道贯通误差的控制路径

#### 3.1 科学优化地面控制网布局

地面控制网作为隧道施工测量的核心基准,其布局的合理性与测量精度,直接关系到后续洞内测量误差的累积程度,是贯通误差控制工作的首要环节。在布局过程中,需充分结合隧道所处的地形地貌、现场施工环境,严格遵循“网形科学、点位稳固、通视良好”的基本原则,将地面控制网与城市高等级控制点或连续运行基准站(CORS)进行联测校准,确保全线平面坐标与高程基准的统一性。平面控制网优先采用GNSS测量技术,其中CPI控制点按二等标准施测,CPII控制点按三等标准施测,严格把控固定误差与比例误差的控制范围,相邻控制点需保证1-2个有效观测方向,满足洞口及竖井施工测量、联系测量的精度标准;高程控制网采用二等水准与精密水准相结合的施测方式,严格执行每千米水准测量的偶然中误差与全

中误差标准,保障高程基准传递的精准性。同时,定期对地面控制点开展复测工作,将平面坐标较差控制在规范要求范围内,及时排查并纠正点位偏移问题,杜绝因基准偏差引发后续测量误差的累积,为长大隧道贯通误差控制奠定坚实基础。

#### 3.2 规范联系测量操作流程

联系测量是将地面控制网的坐标、高程及方位角精准传递至地下洞内的关键工序,其测量精度直接影响地下控制网的可靠性,也是管控横向与高程贯通误差的关键手段。平面联系测量需根据隧道洞口条件、竖井分布情况,合理选用一井定向法、两井定向法或导线直传法,作业过程中严格规范操作流程,确保钢丝悬挂的稳定性,保证观测角度与距离的精准度,采用I级全站仪进行多测回测角作业,减少观测过程中的系统误差,通过多次独立测量并取平均值的方式,降低偶然误差的影响。高程联系测量采用近井水准测量与悬挂钢尺法相结合的模式,地面与地下近井水准测量严格按照二等水准标准执行,悬挂钢尺时需下挂重锤进行校准,通过3次独立测量且每次调整仪器高度的方式,确保上下水准点高差较差控制在毫米级,实现地面与地下高程基准的精准传递。对于单向开挖长度超过1500m的长大隧道,每掘进1000m需开展包含联系测量在内的地下控制测量工作,结合陀螺定向技术校正方位角,防止基准传递误差的累积叠加。

#### 3.3 强化洞内控制测量管理

洞内控制测量是隧道施工过程中误差控制的核心环节,需结合隧道施工进度,同步开展平面与高程控制测量工作,实时管控误差累积情况,避免误差超出规范限值。洞内平面控制测量采用导线测量与自由测站边角交汇法相结合的方式,隧道贯通前将控制导线布设为闭合导线,严格按照规范要求施测,控制导线点至少进行3次测量,且与联系测量工作同步开展,当隧道长度超过800m时,布设洞内CPII控制网,严格控制测角中误差与测距相对中误差,确保邻近导线边长差异控制在合理范围,避开塌陷区域、地下管线等干扰因素,保障导线网形的合理性与观测数据的可靠性。洞内高程控制测量采用二等水准施测,测量点位设置于地下近井区域,线路往返、附合或闭合误差控制在毫米级,隧道贯通前需进行3次重复测量,待较差控制在规范范围内后取平均值,相邻竖井、车站隧道贯通后,将高程控制网整合为附合水准路线,进一步提升高程控制精度,有效管控竖向贯通误差。

#### 3.4 运用陀螺定向技术

在长大隧道洞内导线延伸过程中,测角、测距误差会逐步累积,尤其是当单向掘进距离较长时,方位角偏差会明显影响横向贯通精度,而陀螺定向技术能够有效校正方位误差,提升控制测量的整体精度。在实际施工过程中,当单向隧道长度超过1500m时,每掘进1000m需开展包含陀螺定向的地下控制

测量工作,测定控制网边的陀螺方位角并转换为坐标方位角,结合子午线收敛角进行改正,消除方位误差累积带来的影响。陀螺定向作业前,需在地面已知边上开展观测检核工作,避开振动、气流、电磁等干扰因素,地下定向边设置于施工受限区域之外,确保边长符合规范要求,通过多次观测取平均值的方式,降低陀螺定向的偶然误差,为洞内导线测量提供精准的方位基准,有效管控横向贯通误差,保障隧道轴线与设计要求保持一致。

### 3.5 规范测量仪器管控流程

测量仪器的精度与稳定性是确保控制测量数据可靠的前提条件,也是贯通误差控制的重要保障,需建立完善的仪器全流程管控体系,实现仪器从选用到维护的规范化管理。在仪器选用环节,优先挑选精度高、稳定性强、能够适应隧道恶劣施工环境的全站仪、水准仪、陀螺经纬仪等设备,确保仪器精度符合规范要求,并定期将仪器送至专业检定机构进行校准检定,保障仪器误差控制在允许范围之内。在仪器使用过程中,严格执行操作规程,测量前对仪器进行全面调试,检查仪器运行状态,避免因仪器故障引发测量误差;测量过程中做好仪器防护工作,防止灰尘、水汽、振动等因素影响仪器精度,在隧道内开展测量作业时,合理选择观测时间,减少洞内温度变化、气流扰动对观测数据的干扰。同时,建立完善的仪器使用台账,详细记录仪器校准情况、使用状态及维护信息,定期对仪器进行维护保养,确保仪器长期处于良好运行状态,为控制测量精

度提供可靠保障。

### 3.6 完善数据处理与复盘机制

数据处理与复盘是贯通误差控制的闭环环节,通过对测量数据的精准处理、误差分析及复盘优化,可以及时发现测量过程中存在的问题,调整控制策略,实现贯通误差的动态管控。在数据处理方面,采用专业的测量数据处理软件,对观测数据进行整理、检核与平差计算,严格剔除异常数据,按照规范要求对误差进行改正,确保数据处理的准确性与可靠性,平差完成后需对控制网精度进行评定,确保满足隧道贯通的精度要求。在复盘优化方面,定期对控制测量数据进行汇总分析,梳理误差来源,探究误差累积规律,针对测量过程中出现的问题,及时调整测量方案、优化作业流程,完善误差控制措施。同时,在隧道贯通前,对洞内、洞外控制测量数据进行全面复盘,预测贯通误差大小,若误差接近规范限值,及时采取针对性的调整措施,确保隧道贯通误差控制在允许范围内,实现贯通误差的动态管控。

总而言之,长大隧道贯通误差的产生是仪器、人为、环境、网形布设及施工扰动多因素协同作用的结果,其控制工作具有系统性、复杂性和针对性。随着工程技术不断进步,智能化测量、动态监测、信息化管控将进一步提升隧道施工精度与效率。未来实践中,仍需坚持理论与现场结合,优化测量流程,强化过程管控,不断积累工程经验,为长大隧道安全高效建设提供更加可靠的技术支撑与实践参考。

### 参考文献:

- [1] 安宁.长大隧道横向贯通误差测量控制方法浅析[J].工程机械与维修,2024,(06):92-94.
- [2] 郝梦姝,马开锋,尚文龙.测量网形对特长隧道贯通误差的影响[J].山西建筑,2024,50(02):173-176.
- [3] 刘国强.特长铁路隧道横向和高程贯通误差调整技术研究[J].铁道建筑技术,2023,(06):105-108.
- [4] 母清中.特长隧道独立控制网的建立及贯通误差预计[J].中国新技术新产品,2021,(09):105-107.
- [5] 房德鑫.盾构法长大地铁区间隧道的横向贯通误差预计[J].资源信息与工程,2020,35(02):77-80.