

隧道施工监控量测与专项检测在交通工程中的应用

罗 东 罗宇成 张 旭

云南通衢工程检测有限公司 云南昆明 650000

摘 要: 随着我国隧道工程规模的不断扩大和数量的不断增加,其面临的围岩失稳、坍塌、渗漏水、支护结构破坏等安全隐患也日益凸显。监控量测与专项检测作为隧道施工全过程的核心技术手段,是保证施工安全、控制工程质量、优化施工工艺、适应复杂地质环境的关键。本文重点探讨分析了隧道施工监控量测与专项检测在交通工程中的应用,以期为我国交通工程隧道施工的安全控制和质量提高提供理论借鉴和实践指导,促进我国隧道建设向智能化、标准化和精细化方向发展。

关键词: 隧道工程; 监控量测; 专项检测; 交通工程

引言

隧道是克服地形阻隔、缩短通行里程、提高路网运营效能的重要交通结构,在我国高速公路、高速铁路和国省干线等交通基础设施中有着广泛应用。与地面工程施工相比,隧道施工环境是封闭的、复杂多变的,其围岩应力分布、地下水文条件、爆破施工扰动等都会对施工的安全性和结构的耐久性产生重要的影响,如果控制不好,容易出现拱顶沉降、周围围岩收敛超标、衬砌开裂、突水突泥等重大安全事故,不仅会延误工期,增加成本,还会对周围的生态环境和既有建构筑物安全产生重大影响。监控量测侧重于施工过程中对围岩与支护结构的动态变形、受力数据进行实时监测,实现风险提前预警与施工方案动态调整;专项检测侧重于隐蔽工程、关键工序的质量核验与地质条件预判,排查结构缺陷与施工隐患。

一、隧道施工监控量测与专项检测核心概念

隧道监控量测是指在隧道施工过程中,对围岩、地表、支护构造的变形、稳定状态以及周边环境的动态变化进行常规观察与测量。此项工作的主要目的在于了解并掌握围岩的稳定状态以及支护构造体系的可靠性,以确保隧道施工的安全性,以及结构的长期稳定性。通过对量测数据进行评估与分析,可以及时对隧道的支护结构设计进行修改与调整。隧道监控量测项目主要包括检查围岩在初喷混凝土后是否存在裂纹和剥落现象,以及地表是否存在鼓起现象等。

隧道专项检测是对施工过程中的关键工序、隐蔽工程和地质情况进行的专项检测,其主要目的是发现施工

质量缺陷,验证支护结构的可靠性,预测前方地质风险,检验防排水系统的效果,属于工程质量管控和风险前置防控的一项专门技术工作,涉及超前地质预报、支护结构质量、衬砌结构、排水系统、净空断面等。

二、隧道施工监控量测与专项检测的核心重要性

(一) 保障施工全过程安全

有助于预防工程中的地质、施工等方面的风险。交通工程隧道往往穿越软弱围岩、断层、富水地层等复杂地层,监测和测量能够实时获取围岩的变形和受力情况,并根据分级预警机制,及时停止危险施工,采取加固措施。通过专门的测试,可以对前方的地质灾害进行预警,及时发现支护施工中存在的问题,从而避免塌方、突水等事故的发生,保证施工人员和设备的安全。

(二) 严控工程质量

严格控制施工质量,为契合交通工程耐久性要求,隧道工程作为需要长时间服役的交通基础设施,其设计寿命可达百年以上,其施工质量将直接影响到运营的安全性和服役年限。专项检测可以精确检验锚杆的抗拔力、喷射混凝土的强度和厚度、衬砌的密实度等重要参数,避免出现偷工减料和质量问题;通过对支护结构进行监测,可以检验其受力是否合理,防止支护结构出现受力过多或过少的情况,从而保证结构的长期稳定性。

(三) 优化施工方案

降低工程成本与工期损耗。在传统的隧道工程中,一般都是按照一定的参数和技术来进行支护,这样容易造成资源浪费或支护不足。根据检测结果的反馈,可以对掘进尺、支护时机和注浆参数进行有针对性地调整,

达到动态设计和优化施工的目的；通过专业检测，可以有效地避免施工过程中出现的各种问题，加快施工进度，降低成本，提高项目的经济效益。

（四）保护周边环境

为适配交通工程生态建设要求，一些交通隧道由于靠近居民区、耕地、既有道路和水利设施，在施工爆破和围岩扰动下，容易引起地面沉降和建筑物开裂。通过地面沉降监测和爆破震动监测，严格控制施工扰动范围，并结合专门的检测手段，对施工过程进行优化，将对周围环境和建筑结构的影响降到最低，契合绿色交通工程建设理念。

三、隧道施工监控量测核心内容与实施要点

（一）核心监测项目分类

根据交通工程隧道的建设标准和实践经验，监测测量项目划分为必测和选测两大类。其中必测内容主要有洞内外观察，由专业技术人员每天对掌子面的围岩、节理发育状况、地下水渗漏状况、喷射混凝土开裂、钢拱架变形等情况进行肉眼观测，并做好相应的记录和地质草图，这是最直接也是最基本的监测方法；对拱顶竖向变形进行监测，以反映拱顶围岩的沉降变化，作为判别其稳定与否的重要指标；周围环境的收敛监测，通过对隧道周围的横向位移进行监测，以反映围岩向洞内的挤压和变形；地面沉降监测，对浅埋隧道和邻近建筑物的隧道进行地面竖向变形监测，防止地面坍塌和周围建筑破坏。选测项目主要针对复杂地质隧道，一般包括围岩压力—支护接触压力监测、锚杆轴力监测、钢拱架应力监测、衬砌混凝土应力应变监测、地下水水位和水压监测、爆破震动监测等，全面掌握隧道围岩及支护结构受力状况，可以为工程建设提供准确的数据支持。

（二）监测技术方法与设备

传统的监测方法主要是人工操作，通常使用的仪器有精密水准仪、塔尺、收敛计、钢尺等，适合于小规模隧洞和简单的地质工程，操作方便，成本低廉，但其采集效率和精度受到限制，人工读取容易引起误差，不能进行实时监控。现代交通工程隧道多采用自动化、智能化监测技术。其核心设备有高精度全站仪、GNSS定位监测系统、振弦式传感器、光纤光栅传感器、激光位移计、自动化数据采集仪等。可以实现24小时的连续监测，数据自动传输和云处理，其监测精度可达毫米级，适用于长距离隧道和复杂地质条件下的监测要求。结合无人机、激光雷达等技术，对隧道进行三维建模，并对其可视化分析，大大提高监控的效率和准确性。

（三）实施流程与预警管控

隧道监控量测实施遵循制定方案、布点布置、现场监测、资料处理、预警与反馈、动态调整的完整流程。首先，在项目实施前，根据地质调查报告、隧道设计图纸和周围环境条件，制定专项监测计划，明确监测项目、测点布设位置、监测频次和预警阈值；其次，在施工完成后，应及时布置测点，以保证测点的稳定性和不受施工干扰的影响；同时，根据规范的频率进行监测，对地质情况比较复杂的区段，要增加监测频次，并每天报告；通过对实测资料的回归分析，得出围岩的变形发展趋势。预警控制采取分级预警机制，按照行业规范设置黄、橙、红三个预警阈值，以拱顶沉降及周边收敛为例，在当天沉降超过规范限值70%时，触发黄色预警，并加大监控频次；当极限值达到85%时，将触发橙色预警，开挖面停止作业，并进行临时加固；一旦超过临界值100%，就会触发红色警报，立即疏散施工人员，对其进行全面的安全检查和加固处理，直到监测结果趋于平稳，才能继续施工，从而达到对整个风险的控制。

（四）数据处理与分析

数据处理是对收集到的原始数据进行加工和转换的过程，其目的是提取有用的信息，以便进行后续的数据分析和解释。数据处理包括数据的清洗、转换、分析和可视化等多个步骤。对数据进行清洗，去除无效或错误的信息，确保数据的质量。对数据进行转换，将其转换为适合分析和解释的格式。包括数据的规范化、归一化等操作。对数据进行统计分析和数学建模，以提取有用的信息，如趋势分析、模式识别等。通过数据可视化技术，将数据分析结果以图表或图像的形式展示出来，以便更直观地理解数据。数据分析的方法包括统计分析、机器学习、模式识别等。通过这些方法，可以从数据中识别出有用的模式和趋势，如围岩位移的趋势、隧道结构的应力分布等。这些信息可以帮助施工人员及时发现潜在的安全问题，并采取相应的预防措施。数据分析的应用不仅限于发现安全隐患，还可以用于优化施工方案和支护设计。通过对施工数据的分析，可以发现施工过程中的问题和不足，从而改进施工方法，提高施工效率和安全性。

四、隧道专项检测核心项目与技术应用

（一）施工前期超前地质预报检测

超前地质预报检测是先期的专门探测工作，其关键在于对开挖面前地质条件、地下水分布、不良地质层位等进行预测，以防止因盲目开挖而引起的安全隐患。常

用技术包括TSP地震波探测技术、地质雷达探测、超前水平钻探、红外探水等,通过TSP探测可以检测100~150 m范围内的地质状况,利用地质雷达精确探测邻近岩体结构和含水状况,并通过超前水平钻孔进行验证,可以实现对掌子面地质状况的综合把握,为施工方案和支护设计提供依据。

(二) 施工过程支护结构专项检测

支护结构是保证隧道围岩稳定性的首要屏障,它的施工质量对施工的安全性有着重要的影响。特别检验的主要内容有:锚杆上拔检测,利用锚杆拉拔装置对锚杆的锚固力进行现场测试,检验锚杆的施工质量,保证其满足设计要求;采用回弹法和钻芯法对混凝土进行强度检测,利用地质雷达、凿井等方法对混凝土进行厚度检测,对空鼓、裂缝、厚度不够等进行检测;对钢拱架进行检查,检查钢拱架的材料、间距和接头质量,保证钢拱架与围岩紧密结合,起到支护效果;利用灌浆压力记录仪和地质雷达对灌浆区域和密实程度进行检查,以保证软弱围岩得到加固。

(三) 衬砌结构与防排水专项检测

二次衬砌为隧道的永久性承载层,为防止衬砌结构损伤,需要采取无损检测技术,利用地质雷达探测衬砌混凝土厚度、衬砌背面空隙、密实度等,找出不密实、脱空等病害。超声波检测混凝土内部缺陷与强度。采用激光断面仪检测隧道净空断面,以保证净空断面的大小满足交通和设计的需要。防排水体系的检查主要是检查防水层的铺设质量、搭接宽度和破损程度,并通过充气试验检测防水层的密封性,检验排水盲管和泄水孔的布置质量,以避免在运行期间发生的隧道渗漏。

(四) 竣工验收专项检测

隧道竣工交付前,需开展全面专项检测,核验工程质量是否符合设计与规范要求,核心项目包括衬砌结构强度与完整性检测、净空断面检测、防排水系统效果检测、路面与附属设施检测、结构耐久性检测等,检测合格后方可交付运营,为后续长期运营安全筑牢基础。

五、案例分析

以某山区高速公路隧道为例,其左线长2860 m,右线长2860 m,最大深度320 m,所跨越的地层主要为V级和IV级软弱围岩,部分地区还发育有断裂带和富水地层,地质情况非常复杂,施工风险非常大,因此,项目全程严格开展监控量测与专项检测,以确保整个工程的顺利

进行。

在施工期前,通过TSP地震波探测与超前水平钻探开展专项检测,精准预判出3处断层破碎带与2处富水段,提前调整施工方案,将全断面开挖改为台阶法开挖,并对其进行超前小导管灌浆加固。在施工期间,进行必测和选测的监测测量,布设120多个拱顶沉降、周边沉降和地表沉降观测点,并利用自动全站仪对其进行24小时的实时监测,将数据上载到云管理平台。在左线ZK25+960区间施工过程中,出现单日沉降量4.2 mm的“橙色预警”,立即停止掘进,采用径向小导管进行注浆加固,并加密监测频次,直至变形观测值基本稳定后才继续施工,有效地防止了围岩的塌陷风险。

支护与衬砌施工阶段,针对性开展专项检测,共计320组锚索抗拔试验,测试结果合格率为100%;对280组喷浆混凝土的厚度和强度进行测试,合格率为98.5%;二次衬砌采用1800 m的地质雷达探测,共发现12个局部空洞,及时对其进行灌浆和修补。通过监控量测数据反馈,对V级围岩区段的掘进进尺和支护时机进行动态调整,与原有的固定式支护方案相比,可节省45天左右的时间,节约大量的支护材料。目前,本项目已建成通车,经全面验收,无任何结构变形和渗漏现象发生,充分证明监测测量和专项测试在交通隧道工程中的应用价值。

结语

监控量测与专项检测相辅相成,贯穿交通隧道施工全周期,是防控施工风险、严控工程质量、优化施工工艺的核心手段。依托二者联动管控,能有效破解复杂地质隧道施工难题,未来需持续融合智能化技术,推动交通隧道建设向安全化、标准化、精细化长效发展。

参考文献

- [1]程巧建.监控量测技术在软岩隧道施工中的应用[J].中国港湾建设,2020,40(06):65-69.
- [2]肖健斌.监控量测技术在隧道施工安全中的应用[J].河南科技,2018,(14):148-149.
- [3]李红磊.高速公路隧道监控量测和无损检测技术分析[J].运输经理世界,2021(33):100-102.
- [4]贺少驰.某高速公路隧道施工监控量测与无损检测技术应用研究[D].广州:华南理工大学,2021.