

# 隧道二次衬砌施工技术 with 防开裂技术措施

张晋磊

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要：**隧道二次衬砌对隧道的稳定与安全意义重大。施工技术涵盖多方面，施工准备要做好技术、材料、设备、现场和人员准备；钢筋作业需规范加工、运输、安装、连接及检查；模板安装强调测量定位、清理涂油、拼接紧密和支撑稳固；混凝土浇筑与养护要注重准备、方法和温度控制。防开裂技术措施包括材料选用与配比优化、施工工艺改进、结构设计防裂优化以及监测预警与应急处理。通过这些技术和措施，可保障二次衬砌质量，减少开裂，提升隧道工程的安全性和耐久性。

**关键词：**隧道二次衬砌；施工技术；防开裂措施

引言：在交通基础设施建设中，隧道工程占据着关键地位。隧道二次衬砌作为保障隧道长期稳定与安全的重要结构，其施工质量直接影响着隧道的使用性能和寿命。然而，在实际施工过程中，二次衬砌易出现开裂等问题，不仅影响隧道外观，更威胁到结构安全和正常运营。因此，深入研究隧道二次衬砌施工技术，探寻有效的防开裂技术措施，具有重要的现实意义。

## 1 隧道二次衬砌概述

在隧道工程建设中，二次衬砌是至关重要的环节，对隧道的长期稳定与安全起着关键作用。二次衬砌是在隧道完成初期支护后，采用混凝土或钢筋混凝土修筑的内层衬砌结构。其具有多种重要作用，首先是承载作用，能承担围岩压力、地下水压力等，确保隧道结构的稳定性。在地质条件复杂、围岩自稳能力差的情况下，二次衬砌可有效防止隧道坍塌，保障施工和运营安全。其次是防水作用，可阻止地下水渗入隧道内部，保护隧道内的设施和设备不受水的侵蚀，延长其使用寿命。再者，二次衬砌还能美化隧道内部环境，为驾乘人员提供舒适的通行体验。二次衬砌的结构形式多样，常见的有整体式衬砌和复合式衬砌。整体式衬砌是将衬砌作为一个整体进行施工，具有整体性好、防水性能强的优点，适用于地质条件较好、围岩压力较小的隧道<sup>[1]</sup>。复合式衬砌则由初期支护和二次衬砌组成，初期支护主要起临时支护作用，二次衬砌承担后期的主要荷载，这种结构形式能更好地适应复杂的地质条件和较大的围岩压力。二次衬砌施工质量直接影响隧道的性能和寿命，施工过程中，若混凝土浇筑不密实、钢筋布置不合理等，会导致衬砌出现裂缝、渗漏水等问题，影响隧道的正常使用。因此，在施工过程中，需要严格控制原材料质量、施工工艺和施工流程，确保二次衬砌的施工质量。

## 2 隧道二次衬砌施工技术

### 2.1 施工准备要点

施工准备工作是隧道二次衬砌施工顺利开展的基础，需从多方面进行充分准备。（1）技术准备。组织施工人员认真学习施工图纸、技术规范，进行技术交底，明确施工工艺和质量要求，确保施工人员熟悉施工流程和操作要点。（2）材料准备。严格按照设计要求采购水泥、钢筋、砂石等原材料，对进场材料进行严格检验和试验，确保材料质量符合标准。（3）设备准备。配备齐全施工所需的模板台车、混凝土搅拌设备、运输设备等，对设备进行调试和维护，确保设备性能良好，能正常运行。（4）现场准备。清理施工现场，测量放线，确定隧道中线和高程，为模板台车就位提供准确的基准。（5）人员准备。组织施工人员进行培训，提高其专业技能和安全意识，合理安排人员岗位，明确职责分工，确保施工过程中各环节有人负责。

### 2.2 钢筋作业流程

钢筋作业是隧道二次衬砌施工的关键环节，合理且规范的流程能保障衬砌结构的稳定性与安全性。（1）钢筋加工。依据设计图纸和规范要求，在钢筋加工棚对钢筋进行调直、切断、弯曲等操作。确保钢筋的形状、尺寸准确无误，对于弯曲钢筋，要严格控制弯曲角度和半径，保证加工质量。（2）钢筋运输。加工好的钢筋采用专用运输工具运至施工现场。运输过程中要采取防护措施，避免钢筋变形、损伤，确保钢筋在运输后仍能满足施工要求。（3）钢筋安装定位。在隧道内按照设计位置进行钢筋安装，先安装定位钢筋，利用测量仪器确定其准确位置，保证钢筋间距、排距符合设计标准。定位钢筋安装牢固后，再依次安装纵向和环向钢筋。（4）钢筋连接。根据设计和规范要求，采用合适的连接方式，如

焊接、机械连接等。连接过程中要严格控制连接质量,保证接头的强度和稳定性,接头位置应相互错开,避免集中在同一截面。(5)质量检查。钢筋安装完成后,对钢筋的品种、规格、数量、间距、连接质量等进行全面检查。对照设计图纸和规范要求,及时发现并整改存在的问题,确保钢筋作业符合质量标准,为后续混凝土浇筑奠定良好基础。

### 2.3 模板安装工艺

模板安装工艺在隧道二次衬砌施工中至关重要,关乎衬砌的成型质量与精度。测量定位是模板安装的首要步骤,运用先进测量仪器确定隧道中心线和高程,为模板安装提供精准基准,严格控制误差范围,确保模板安装位置准确。模板清理与涂油不容忽视,安装前彻底清理模板表面杂物与污垢,均匀涂抹脱模剂,保证混凝土表面光滑,便于后续脱模操作。模板拼接要紧密,采用螺栓或卡扣牢固连接各模板板块,防止漏浆现象,确保拼接处平整,避免出现错台影响衬砌外观质量<sup>[2]</sup>。安装过程中,利用支撑系统固定模板,保证其稳定性与垂直度,支撑系统需具备足够强度与刚度,能承受混凝土浇筑时的压力,防止模板变形或位移。安装完成后进行全面检查,检查模板尺寸、垂直度、拼接质量等是否符合设计要求,对发现的问题及时调整与整改,确保模板安装质量达标,为后续混凝土浇筑创造良好条件。

### 2.4 混凝土浇筑与养护

混凝土浇筑与养护是隧道二次衬砌施工的关键环节,直接影响衬砌的质量和耐久性。混凝土浇筑前需做好充分准备,对原材料进行严格检验,确保其质量符合要求,根据设计要求确定配合比,保证混凝土的强度和性能。运输过程中要防止混凝土离析,确保其均匀性。浇筑时采用分层浇筑、对称浇筑的方法,控制好浇筑速度和高度,避免混凝土出现离析和裂缝。使用插入式振捣器和附着式振捣器相结合的方式,确保混凝土密实。在拱顶部位,采用挤压式倒退泵送砼的方法进行封顶,保证拱顶砼密实<sup>[3]</sup>。混凝土浇筑完成后,及时进行养护。养护方法根据环境条件和混凝土类型选择,一般采用覆盖保湿、喷水养护等方法。养护时间要足够,确保混凝土强度正常增长。在养护期间,要保持混凝土表面湿润,避免表面干燥产生裂缝。同时,要注意控制养护温度,防止温度变化过大导致混凝土开裂。还需加强对混凝土浇筑和养护过程的监测,及时发现问题并采取相应措施进行处理,确保隧道二次衬砌的质量和安全性。

## 3 隧道二次衬砌防开裂技术措施

### 3.1 材料选用与配比优化

合理的材料选用与配比优化是隧道二次衬砌防开裂的重要基础。(1)水泥选择。优先选用水化热低、安定性好的水泥,严格控制水泥的细度和强度等级,避免因水泥质量问题导致混凝土开裂。不同品种的水泥性能差异较大,应根据工程实际情况合理选择。(2)骨料级配。选用级配良好的碎石和砂,控制骨料的含泥量和针片状颗粒含量。良好的级配能使混凝土更加密实,减少空隙,提高混凝土的抗裂性能。同时,要保证骨料的强度和硬度符合要求。(3)外加剂使用。合理使用减水剂、缓凝剂、膨胀剂等外加剂。减水剂可降低水灰比,提高混凝土的强度和耐久性;缓凝剂能延长混凝土的凝结时间,便于施工;膨胀剂可补偿混凝土的收缩,减少裂缝的产生。(4)配合比设计。通过试验确定最佳的混凝土配合比,严格控制水灰比、砂率等参数。合理的配合比能使混凝土具有良好的工作性能和力学性能,有效防止开裂。在设计配合比时,要充分考虑工程的特点和环境条件。(5)材料质量控制。加强对原材料的质量检验和管理,确保材料符合相关标准和设计要求。对不合格的材料坚决不予使用,从源头上保证混凝土的质量,减少开裂的风险。

### 3.2 施工工艺改进策略

施工工艺的改进对隧道二次衬砌防开裂起着关键作用,可从多方面优化。混凝土浇筑方面,采用分层分段浇筑法,每层厚度控制在合理范围,避免一次浇筑过厚导致内部热量积聚、应力集中而开裂。同时,控制浇筑速度,防止混凝土离析,保证其均匀性和密实性。振捣环节要科学操作,使用合适的振捣设备,确保振捣时间和频率恰当。插入式振捣器要快插慢拔,避免漏振、过振,使混凝土内气泡充分排出,增强混凝土的密实度和整体性,减少裂缝产生。施工缝处理不容忽视,施工缝处应凿毛并清理干净,涂刷界面剂,确保新旧混凝土良好结合。在继续浇筑混凝土前,先铺一层与混凝土成分相同的水泥砂浆,增强粘结力<sup>[4]</sup>。养护工作要加强,根据环境条件和混凝土特性,选择合适的养护方式,如覆盖保湿、喷水养护等。延长养护时间,保持混凝土表面湿润,降低混凝土的收缩率,提高其抗裂性能。模板拆除要严格按照规定时间进行,避免过早拆除导致混凝土结构受损、产生裂缝。拆除后及时对衬砌进行检查,发现问题及时处理。通过这些施工工艺改进策略,能有效减少隧道二次衬砌开裂现象,提高工程质量。

### 3.3 结构设计防裂优化

结构设计的防裂优化是隧道二次衬砌防开裂的重要保障,可通过以下策略实现。(1)合理确定衬砌厚度。

依据隧道围岩条件、荷载状况等因素综合计算，确定合适的衬砌厚度。过薄的衬砌无法有效抵抗围岩压力和变形，易产生裂缝；过厚则会造成资源浪费。（2）科学布置钢筋。优化钢筋的直径、间距和配筋率，使钢筋能更好地承受拉应力，增强衬砌的抗裂能力。在应力集中区域适当增加钢筋数量，提高结构的整体性能。（3）设置变形缝。根据隧道的长度、地质条件等，合理设置变形缝的间距和形式。变形缝能够释放结构的变形应力，避免因温度变化、围岩变形等因素导致衬砌开裂。（4）优化衬砌形状。采用合理的衬砌断面形状，如圆形、椭圆形等，使衬砌受力更均匀，减少应力集中现象。同时，避免衬砌结构出现突变或尖锐转角，降低裂缝产生的可能性。（5）考虑防水设计。在结构设计中充分考虑防水要求，设置防水层和排水系统。良好的防水措施可减少地下水对衬砌的侵蚀，防止因水分渗透导致混凝土膨胀、开裂。通过以上结构设计防裂优化措施，能有效提高隧道二次衬砌的抗裂性能，保障隧道的安全和稳定。

### 3.4 监测预警与应急处理

监测预警与应急处理是隧道二次衬砌防开裂的重要环节，能及时发现问题并采取措施，保障隧道安全。建立全面的监测系统，在二次衬砌施工和运营阶段，利用传感器实时监测衬砌的应力、应变、位移等参数。通过自动化数据采集设备，将监测数据传输至监控中心，以便及时掌握衬砌的状态。制定科学的预警机制，根据监测数据设定合理的预警阈值。当监测参数超出阈值时，系统自动发出预警信号，通知相关人员及时采取措施。预警级别可分为不同等级，根据严重程度采取相应的应对策略<sup>[5]</sup>。一旦出现开裂等异常情况，迅速启动应急处理预案。组织专业人员对裂缝进行详细检查和评估，确定裂缝的性质、宽度、长度等参数。根据裂缝情况，选择合适的处理方法，如表面修补、压力灌浆等。对处理后的裂缝进行跟踪监测，确保处理效果达到预期。同时，

分析裂缝产生的原因，总结经验教训，对施工工艺、结构设计等进行优化，防止类似问题再次发生。加强与相关部门的沟通与协作，在应急处理过程中，及时向业主、设计单位、监理单位等汇报情况，共同商讨解决方案，确保隧道二次衬砌的安全和稳定。

### 结语

未来，科技的飞速发展为隧道二次衬砌施工带来了新契机。我们应持续探索先进的施工技术与材料，像新型高性能混凝土能提升衬砌的强度与耐久性，智能监测系统可实时掌握衬砌状态，及时预警潜在风险。要加强多学科交叉融合，整合材料科学、工程力学、信息技术等多领域知识，深入研究二次衬砌开裂机理，不断完善防开裂技术体系。与此同时，注重人才培养至关重要，通过专业培训与实践锻炼，提高施工人员的专业素养与创新能力。凭借这些努力，为隧道工程建设提供坚实可靠的技术支撑，推动隧道工程朝着更高质量、更安全稳定方向大步迈进。

### 参考文献

- [1]郑晓远.隧道二次衬砌混凝土开裂机理及施工过程防控技术[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(1):193-196.
- [2]雷顺毅.隧道二次衬砌混凝土开裂机理与精准防裂施工技术优化[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(1):144-146.
- [3]任天天.隧道二衬拱顶混凝土脱空成因分析与防治施工技术研究[J].水泥,2026(2):129-131.
- [4]张启锋.隧道二次衬砌施工裂缝防治对策研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(3):106-109.
- [5]郭杰.隧道二次衬砌混凝土浇筑防裂施工技术研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(12):168-171.