

# 高速公路隧道穿越断层破碎带施工技术探究

艾钰皓

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要：**随着高速公路建设向复杂地质区域延伸，隧道穿越断层破碎带成为关键技术挑战。本文聚焦高速公路隧道穿越断层破碎带的施工技术展开探究。首先阐述施工前的准备工作，涵盖详细地质勘察、合理施工组织设计以及充足施工设备和材料准备等方面。接着深入剖析施工过程中的关键技术，包括超前支护、开挖方法、初期支护、注浆加固及监控量测等技术要点。最后探讨该施工技术的发展趋势，涉及智能化、绿色化、机械化配套及信息化管理等方面，旨在为高速公路隧道穿越断层破碎带的施工提供全面且实用的技术参考。

**关键词：**高速公路隧道；断层破碎带；施工技术；发展趋势

**引言：**在高速公路建设不断推进的过程中，隧道工程日益增多，而穿越断层破碎带成为隧道施工中面临的一大难题。断层破碎带地质条件复杂，岩体破碎、节理裂隙发育，施工过程中极易引发坍塌、涌水等地质灾害，严重影响施工安全与进度，对工程质量也构成潜在威胁。因此，深入研究高速公路隧道穿越断层破碎带的施工技术具有重要的现实意义。本文将围绕施工准备、关键施工技术以及未来发展趋势等方面进行详细探讨，以期为解决此类复杂地质条件下的隧道施工问题提供有益思路。

## 1 高速公路隧道穿越断层破碎带的施工准备

### 1.1 详细的地质勘察

详细的地质勘察是高速公路隧道穿越断层破碎带施工准备的关键环节。需综合运用地质调查、物探、钻探等多种手段，全面了解断层破碎带的位置、规模、产状、破碎程度及地下水情况等。通过绘制详细的地质剖面图和地质平面图，精准掌握地质构造特征。对断层破碎带的岩土体物理力学性质进行测试，获取其强度、变形等参数，为后续施工方案制定提供可靠依据。

### 1.2 施工组织设计

科学合理的施工组织设计是保障隧道顺利穿越断层破碎带的基础。要根据地质勘察结果和工程特点，确定合理的施工方法、施工顺序和进度安排。明确各施工工序的衔接和时间节点，优化资源配置，提高施工效率。制定详细的质量控制、安全保障和环境保护措施，建立完善的管理体系。针对断层破碎带可能出现的突发情况，制定应急预案，确保在遇到问题时能够迅速响应，有效处置，将损失和影响降到最低，保障工程顺利推进<sup>[1]</sup>。

### 1.3 施工设备和材料准备

施工设备和材料的准备直接影响施工进度与质量。

针对断层破碎带施工特点，选用合适的开挖设备，如具有强破碎能力的掘进机，以提高开挖效率。配备先进的支护设备，如锚杆钻机、湿喷机等，确保支护及时有效。同时，准备充足的注浆设备，满足注浆加固需求。材料方面，选用质量合格、性能符合要求的钢材、水泥、砂石等原材料，以及适配的支护材料和注浆材料。提前规划材料储存场地，做好防潮、防雨等措施，保证材料质量，为施工提供坚实物质保障。

## 2 高速公路隧道穿越断层破碎带的施工技术

### 2.1 超前支护技术

在高速公路隧道穿越断层破碎带的施工中，超前支护技术是保障施工安全与稳定的关键环节。（1）超前小导管注浆技术是常用手段之一。通过在隧道开挖面前方一定范围内，沿隧道轮廓线以一定间距和角度打入小导管，并向导管内注入水泥-水玻璃双液浆等浆液。浆液在压力作用下渗入周围破碎岩体，填充裂隙，将松散岩体胶结成一个整体，形成具有一定强度和稳定性的支护结构，增强围岩的自稳能力，防止开挖过程中发生坍塌。

（2）超前管棚支护也发挥着重要作用。管棚一般采用钢管，在隧道开挖前沿拱部一定范围设置，通过钻孔将钢管打入地层。管棚不仅能承受上部围岩的部分荷载，还能约束围岩的变形，同时为后续开挖提供一个相对安全的“保护壳”，减少开挖对围岩的扰动，保证施工安全。（3）超前锚杆支护适用于围岩条件相对较好的断层破碎带局部地段。超前锚杆沿隧道开挖轮廓线布置，深入前方稳定岩体，利用锚杆的锚固力将不稳定的围岩与稳定岩体连接在一起，提高围岩的整体性和稳定性，为隧道开挖和初期支护创造有利条件。

### 2.2 开挖方法

高速公路隧道穿越断层破碎带时，开挖方法的选择

至关重要，需综合考虑地质条件、围岩稳定性、施工安全与效率等因素。（1）台阶分部开挖法较为常用。将隧道断面分成上下两个或多个台阶进行开挖，先开挖上台阶，待上台阶支护完成且稳定后，再开挖下台阶。此方法能有效控制围岩变形，通过分步开挖减少对周围岩体的扰动，尤其适用于围岩稳定性一般、断层破碎带范围较大的情况，可降低坍塌风险。（2）环形开挖预留核心土法也是不错的选择。先开挖上部弧形导坑，预留核心土，起到支撑作用，防止拱部围岩塌落。接着开挖两侧边墙，最后开挖底部。该方法能及时形成闭合支护结构，增强隧道整体的稳定性，适用于地质条件复杂、自稳能力差的断层破碎带，为施工提供安全保障。（3）对于围岩条件稍好、破碎程度较低的断层破碎带局部地段，可采用全断面开挖法。但需配备高效的支护设备和快速的支护工艺，确保在开挖后能及时进行支护，防止围岩暴露时间过长而发生失稳，保证施工的连续性和高效性。

### 2.3 初期支护技术

在高速公路隧道穿越断层破碎带时，初期支护技术是保障隧道施工安全与稳定、防止围岩变形失稳的关键防线。（2）喷射混凝土是初期支护的基础环节。它能迅速在开挖后的围岩表面形成一层保护壳，填补围岩表面的凹凸不平和裂隙，增强围岩的整体性。通过调整混凝土的配合比，可使其具备不同的强度和韧性，以适应不同地质条件的需求。同时，喷射混凝土施工速度快，能及时为围岩提供支护力，有效控制围岩的初期变形。

（3）锚杆支护发挥着重要作用。锚杆一端深入稳定岩层，另一端与围岩相连，通过锚固力将不稳定的围岩与稳定岩体紧密结合，提高围岩的自稳能力。根据围岩条件，可选择不同类型和长度的锚杆，如砂浆锚杆、中空注浆锚杆等，以增强支护效果。（4）钢架支护常用于围岩稳定性极差的断层破碎带。钢架具有较高的强度和刚度，能迅速承受围岩压力，限制围岩的过大变形。常见的钢架类型有格栅钢架和型钢钢架，可根据实际情况进行选择和布置，并与喷射混凝土、锚杆等共同构成联合支护体系，为隧道施工提供可靠的安全保障<sup>[2]</sup>。

### 2.4 注浆加固技术

在高速公路隧道穿越断层破碎带时，注浆加固技术是改善围岩力学性能、增强隧道稳定性关键手段。

（1）注浆材料的选择至关重要。根据断层破碎带的地质特点，常选用水泥基浆液、化学浆液或两者的复合浆液。水泥基浆液成本较低、来源广泛，适用于渗透性较好的地层，能有效填充裂隙、固结岩体；化学浆液则具

有可注性好、凝固时间可调等优点，对于细小裂隙和含水地层加固效果显著，二者复合使用可充分发挥各自优势。（2）注浆方式多样。渗透注浆适用于裂隙发育且连通性较好的地层，浆液在压力作用下渗入裂隙，提高岩体强度；劈裂注浆则通过高压使浆液劈裂岩体，形成脉状加固体，增强围岩的整体性；压密注浆主要用于软弱地层，通过浆液挤压使周围土体密实，提高承载能力。（3）注浆施工需严格控制参数。根据地质勘察结果确定注浆孔的布置、间距、深度以及注浆压力、注浆量等，确保浆液充分扩散并达到预期加固效果。同时，在注浆过程中实时监测注浆情况，根据实际情况及时调整参数，保证注浆加固的质量和安全性，为隧道施工提供稳定的地质环境。

### 2.5 监控量测技术

在高速公路隧道穿越断层破碎带的施工过程中，监控量测技术是保障施工安全、指导施工决策的重要环节。（1）必测项目是监控的基础。周边位移量测能直观反映隧道围岩的变形情况，通过在隧道周边设置收敛计等设备，定时测量两点间的距离变化，判断围岩是否稳定。拱顶下沉量测则可掌握隧道拱部的沉降趋势，为判断支护结构的受力状态提供依据。这些必测项目数据能及时反映围岩和支护结构的动态变化，为施工安全敲响警钟。（2）选测项目根据工程需求和地质条件灵活选用。钢架内力及外力量测可了解钢架的受力情况，判断其是否处于安全工作状态；围岩内部位移量测能深入掌握围岩内部的变形特征，为调整支护参数提供依据；锚杆轴力量测则能评估锚杆的支护效果。（3）数据处理与分析至关重要。对量测数据进行及时整理和分析，绘制位移-时间曲线等图表，判断围岩和支护结构的稳定性。当数据出现异常时，迅速分析原因并采取相应措施，如加强支护、调整开挖方法等，确保施工安全顺利进行，为隧道穿越断层破碎带提供可靠的技术保障。

## 3 高速公路隧道穿越断层破碎带施工技术的发展趋势

### 3.1 智能化施工技术的应用

随着信息技术与工程技术的深度融合，高速公路隧道穿越断层破碎带的施工正加速向智能化转型。智能化施工技术的应用主要体现在以下方面：超前地质预报智能化：通过集成地震波、电磁波、超前钻探等多源数据，结合AI算法构建三维地质模型，实现断层破碎带位置、规模及含水情况的精准预测。例如，采用超前地质水平定向钻与TGS物探技术“长短结合”，可提前揭示隐伏断层，为施工方案调整提供科学依据。施工过程动态监控：利用物联网传感器实时采集围岩变形、应力、地

下水压力等参数，通过边缘计算实现数据本地化处理，结合BIM模型进行动态仿真，及时预警塌方、突水等风险。例如，隧道安全步距系统可实时监测台车间距，同步显示至LED屏，防止因步距不当引发事故。装备自动化与协同作业：推广智能掘进机、三维激光扫描仪等设备，实现开挖、支护、注浆等工序的自动化控制<sup>[3]</sup>。

### 3.2 绿色施工技术的推广

在高速公路隧道穿越断层破碎带的施工中，绿色施工技术的推广已成为行业发展的必然趋势。绿色施工技术通过节能减排、资源高效利用及智能化管理，显著降低施工对环境的负面影响，同时提升施工效率和工程质量。推广绿色施工技术，需从多方面入手。首先，加强环保材料的应用，如使用再生混凝土、高性能轻质材料等，减少对自然资源的消耗。其次，优化施工工艺，采用低噪音、低振动的施工设备，结合信息化管理手段，实时监控施工过程，减少能耗和污染。此外，实施水资源循环利用系统，利用雨水收集和循环水利用技术，降低施工用水成本。同时，推广绿色施工技术还需强化施工人员的环保培训，提高其环保意识和技能水平。通过制定详细的环保管理计划，明确各项环保措施的责任人和实施时间，确保绿色施工技术的有效落实。

### 3.3 机械化配套施工的完善

在高速公路隧道穿越断层破碎带施工中，完善机械化配套施工是提升效率、保障安全与质量的关键。当前，机械化配套施工正朝着全工序覆盖、智能化协同的方向发展。一方面，需进一步丰富施工机械种类，实现开挖、支护、运输、注浆等全工序机械化作业。例如，配备多功能掘进机，可同时完成开挖与初期支护；采用智能型混凝土喷射机，能精准控制喷射参数，提高喷射混凝土质量。另一方面，加强机械间的协同配合与智能化管理。通过物联网技术，实现各机械设备的实时数据传输与共享，利用中央控制系统统一调度，避免机械间的干扰与冲突。同时，引入故障诊断与预警系统，提前发现机械故障隐患，减少停机维修时间。此外，还需注重机

械的适应性改进，针对断层破碎带复杂地质条件，优化机械结构与性能，提升其在恶劣环境下的作业能力。

### 3.4 信息化管理平台的构建

在高速公路隧道穿越断层破碎带施工中，构建信息化管理平台是实现高效、安全、精准施工的重要支撑。该平台通过集成物联网、大数据、云计算等技术，实现对施工全过程的实时监控与智能管理。平台可实时采集施工数据，包括围岩变形、支护应力、设备运行状态等，通过数据分析与挖掘，为施工决策提供科学依据。例如，利用BIM模型与施工数据结合，实现三维可视化进度管理，直观展示施工进展与问题。同时，平台支持多部门、多岗位的协同工作，通过移动端应用，实现信息实时共享与任务快速分配，提升沟通效率。此外，平台还具备风险预警功能，当监测数据超出阈值时，自动触发预警机制，及时通知相关人员采取应对措施<sup>[4]</sup>。

### 结语

高速公路隧道穿越断层破碎带施工难度大、风险高，对施工技术要求极为严苛。本文围绕超前支护、开挖、初期支护、注浆加固、监控量测等关键技术展开探讨，同时展望了智能化施工、绿色施工、机械化配套及信息化管理平台构建等发展趋势。未来，随着科技不断进步，这些新技术将逐步成熟并广泛应用，为隧道施工提供更坚实的技术支撑。施工人员需持续探索创新，将先进理念与技术融入实践，以提升施工安全性、效率与质量，推动高速公路隧道建设事业迈向更高水平。

### 参考文献

- [1]吴乐文.穿越断层破碎带公路隧道施工技术研究[J].交通世界,2023(31):165-167.
- [2]贺绥保.某公路隧道穿越断层破碎带施工技术[J].工程技术研究,2022,7(10):64-66.
- [3]康海波,万志强,赵刚应,张乾.隧道穿越断层破碎带施工技术研究综述[J].西部交通科技,2021(1):131-134.
- [4]穆天书.高速公路隧道穿越断层破碎带施工技术探讨[J].工程技术研究,2020,5(3):65-66.