

公路隧道加固维修施工技术探讨

张 杰

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘 要 随着公路交通量的增加, 隧道加固维修成为保障其安全运营的重要措施。不同施工方法在实际应用中具有不同的适用范围, 施工人员需要结合隧道病害特点, 制定科学合理的施工方案, 使维修后的隧道具备更强的承载能力, 提升运营安全性。本文探讨了公路隧道加固维修施工技术的作用, 分析了相应的技术, 希望为未来隧道加固维修施工提供参考。

关键词 公路隧道; 加固维修; 喷射混凝土加固; 预应力锚索加固; 环氧树脂注浆修复

中图分类号: U45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.012

0 引言

公路隧道在长期运营过程中, 受到地质条件等多种因素影响, 容易出现衬砌开裂等问题。如果不及时进行加固维修, 隧道结构性能则会下降, 影响正常使用。因此, 施工人员要合理运用施工技术, 修复受损部位, 提高隧道的稳定性, 使结构具备更强的适应能力, 让隧道在运营期间保持可靠状态。

1 公路隧道加固维修施工技术的作用

隧道加固维修施工技术作为隧道管理的一项关键技术手段, 其作用不可忽视。隧道加固维修施工技术的有效应用, 可以显著提高隧道的结构强度、耐久性和抗灾能力, 保障隧道的长期安全运营。随着交通运输的不断发展, 公路隧道的车流量和荷载逐年增加, 原有隧道设计和结构往往难以承受过高的荷载, 导致隧道出现不同程度的裂缝等问题。加固维修施工技术可以对隧道结构进行增强, 使其能够更好地承受交通荷载, 提高结构的整体稳定性。采用合适的加固方法, 能够修复已损坏的部分, 恢复其原有的强度与刚度, 有效避免进一步的结构破坏。通过对隧道外部进行加固及内部修补, 或者对隧道进行支护, 可以有效防止隧道结构因超负荷运行而导致的灾难性后果^[1]。水文环境及土壤腐蚀等因素会加速隧道的老化, 导致隧道的衰退。加固技术的应用可以改善隧道的抗水渗透能力, 提高抗腐蚀性, 减少外部环境对隧道结构的影响, 从而延长隧道的使用寿命。对于一些老旧隧道, 常常需要在加固的同时, 进行防水等处理, 使隧道能够更好地适应恶劣的环境变化, 保持良好的功能性。随着自然灾害的频繁发生, 隧道结构面临着更加复杂的外

部威胁。地震、山体滑坡、水灾等灾害都可能对隧道造成严重损害。加固技术的应用能够增强隧道的抗震性, 减少灾害发生时对隧道的破坏程度。采用钢结构加固等技术, 可以提升隧道在地震或其他极端条件下的安全性, 确保隧道在灾害发生后仍能保持稳定。

2 公路隧道加固维修施工技术的应用

2.1 喷射混凝土加固, 增强隧道结构稳定性

实施喷射混凝土加固, 施工人员需要科学规划施工方案, 合理选择喷射混凝土配比, 优化施工工艺, 严格控制施工质量, 确保加固效果满足隧道的使用要求。为了实现这一目标, 首先需要进行隧道结构检测, 确定需要加固的部位以及病害类型。隧道常见的病害包括裂缝、剥落、渗漏、拱顶沉降等, 针对不同的病害, 喷射混凝土加固技术能够起到修复和增强的双重作用。在实施喷射混凝土加固之前, 施工人员需要对隧道表面进行清理, 去除松散的混凝土、灰尘、油污等影响粘结性能的杂质, 确保基面清洁, 并保持一定的粗糙度, 以提高喷射混凝土的附着力。针对裂缝较严重的部位, 可以采用环氧树脂或水泥基注浆材料进行预处理, 填补裂缝, 增强基体的密实性, 防止喷射过程中混凝土渗入裂缝内部导致材料浪费。对于存在渗漏问题的隧道, 需要先进行防水处理, 采取封堵或引排措施, 减少水分对喷射混凝土的影响, 避免加固后出现新的病害。

一般情况下, 高性能混凝土能够提高喷射层的强度, 掺入纤维材料可以增强抗裂性能, 减少干缩裂缝的发生^[2]。在施工过程中, 施工人员需要控制混凝土的水灰比, 保持适宜的流动性, 避免因水分过多导致喷射后强度降低, 同时防止因水分不足影响泵送性能

和施工效率。应采用适当的施工设备和工艺,确保喷射混凝土均匀附着在隧道结构表面。湿喷工艺因回弹率较低、粉尘污染小、混凝土密实度高,在隧道加固中应用较广泛。施工时,需要调整喷嘴角度与喷射距离,保持喷射方向垂直于施工面,并在喷射过程中分层施工,确保每层喷射混凝土均匀密实。为了提高粘结强度,施工人员可以在喷射前涂抹界面剂,提高新旧混凝土之间的结合力,减少剥落风险。在施工过程中,应密切关注喷射混凝土的回弹情况,调整喷射压力和混凝土配比,降低材料损耗,提高施工效率。施工人员要防止喷射混凝土在高温或低温环境下出现质量问题,应采取相应的温控措施。

2.2 预应力锚索加固,提高隧道抗变形能力

施工人员需要对隧道围岩状况、地质条件和受力特征进行详细勘察,确定锚索布置方案。根据隧道变形情况,合理选择锚索的数量及角度,以保证锚索能够充分发挥支护作用。锚索布置完成后,施工人员需要使用钻机进行钻孔作业,确保钻孔深度、角度和直径满足设计要求。在钻孔过程中,应密切监测围岩情况,防止塌孔等问题影响锚索的安装质量。对于岩体较破碎的隧道段,可以采取孔口套管或泥浆护壁等措施,保证钻孔顺利完成。钻孔作业完成后,施工人员需要对孔内进行清理,使用高压风或水冲洗钻孔内的岩屑,确保锚索与岩体之间的有效结合。清理后的钻孔应及时进行锚索安装,以防孔壁坍塌影响施工质量。安装过程中,施工人员需要按照设计要求将锚索逐根放入钻孔,并调整位置,使锚索端头与锚固段紧密贴合。锚索放入钻孔后,需要进行注浆作业,以增强锚固效果。

施工人员应使用高压注浆设备,将水泥浆或其他专用浆液均匀注入钻孔,使浆液充分填充锚索周围的空隙,提高锚索与岩体的粘结强度。在注浆过程中,需要严格控制浆液的配比和压力,防止浆液渗漏或流失,影响锚固质量。注浆完成后,需要保持一定的养护时间,使浆液充分凝固,提高锚索的承载能力。锚索张拉是预应力锚索加固的关键步骤,施工人员需要在浆液完全凝固后进行张拉作业。张拉作业前,需要使用千斤顶、测力计等设备进行检查,确保设备状态良好。施工人员应按照设计要求分阶段、分批次对锚索进行张拉,逐步施加预应力,避免一次性张拉过大导致岩体受力不均,引发局部破坏。在张拉过程中,需要密切关注锚索的受力变化,确保张拉力达到设计

标准。张拉完成后,施工人员需要对锚索进行锁定,使用锚具将锚索固定在承载结构上,保证预应力长期稳定发挥作用。锁定完成后,施工人员需要对锚索的张拉力、锚固效果以及隧道变形情况进行监测,使用应力计、位移传感器等检测设备,定期测量锚索的受力情况,确保锚索处于稳定工作状态。

2.3 钢架与钢板加固,提升隧道承载能力

从前期准备到最终验收,每个环节都要确保质量达标,以提升隧道承载能力。施工人员需要对隧道进行详细勘察,确定需要加固的部位,并根据隧道受力特点选择合适的钢架与钢板规格^[3]。施工前,需要对隧道表面进行处理,去除剥落的混凝土和松散岩体,清理浮尘和杂质,确保加固结构能够紧密贴合隧道衬砌,提高加固效果。对于存在较大裂缝或渗漏的部位,施工人员需要采取封堵措施,使用注浆材料填充裂缝,避免加固后影响钢板与混凝土之间的粘结效果。钢架安装是关键环节,施工人员需要按照设计要求将钢架分段运输至施工现场,采用吊装设备或人工搬运的方式将钢架准确就位。

在安装过程中,需要使用测量仪器校正钢架的位置和角度,确保其与隧道轮廓紧密贴合,并与原有结构形成稳定的受力体系。为了保证钢架的牢固性,施工人员需要使用膨胀螺栓或焊接方式将钢架固定在隧道衬砌上,每个连接点都需要保证紧固可靠,避免钢架受力后发生位移或变形。钢架安装完成后,施工人员需要进行结构加固,施工人员可以在钢架与围岩之间填充高强度混凝土或喷射混凝土,提高整体支护能力,确保钢架能够充分发挥承载作用。施工人员需要根据隧道结构受力情况,合理裁剪钢板尺寸,使其能够精准贴合需要加固的部位。施工前,需要对钢板表面进行防腐处理,涂刷防锈涂层,提高钢板的耐久性。安装过程中,施工人员需要使用起重设备将钢板吊装到指定位置,并调整钢板与隧道结构的贴合度,确保受力均匀。固定钢板时,可以采用螺栓连接或焊接方式,使其与钢架或原有结构形成整体。

2.4 环氧树脂注浆修复,改善隧道裂缝问题

环氧树脂具有较高的粘结强度和耐久性,能够在裂缝内部形成坚固的固化层,提高裂缝的抗渗性,避免水分和腐蚀性物质渗透,从而保护隧道结构不受外界环境的侵害。施工人员需要对隧道裂缝进行详细勘察,确定裂缝的分布、宽度、深度以及渗水情况,采

用专业检测设备进行标记,并记录裂缝特征,以便制定合理的修复方案。裂缝情况明确后,施工人员需要对裂缝表面进行处理,使用钢丝刷或高压风清除裂缝周围的灰尘、油污和松散杂质,确保注浆材料能够充分渗透,提高修复效果。对于裂缝较深或存在渗漏的部位,需要采取封闭措施,使用密封材料沿裂缝表面涂抹封堵,防止注浆过程中浆液外溢,影响裂缝内部填充效果。封闭处理完成后,施工人员需要在裂缝上布置注浆孔,确定合理的钻孔间距,确保浆液能够均匀扩散填充裂缝^[4]。

在钻孔过程中,施工人员需要控制钻孔角度,使钻孔与裂缝保持适当的连通性,确保注浆压力能够传递至裂缝内部,避免浆液滞留在浅层。钻孔完成后,需要使用高压风或水冲洗钻孔内部,清除碎屑和粉尘,提高浆液与混凝土的结合效果。施工人员在安装注浆嘴时,需要确保注浆嘴与钻孔紧密贴合,防止注浆过程中发生泄漏。注浆嘴安装完成后,需要对裂缝周围进行密封,使用封闭剂封堵裂缝表面,提高注浆密封性,避免浆液渗出影响施工质量。正式注浆前,施工人员需要对环氧树脂材料进行配制,按照设计比例称量环氧树脂、固化剂及其他添加剂,并充分搅拌,使材料均匀混合。配制完成后,需要在规定时间内完成注浆,避免材料凝固影响渗透效果。施工人员使用高压注浆设备,将浆液从裂缝下部逐步注入,确保浆液由下向上充满裂缝。在注浆过程中,需要密切观察注浆嘴的出浆情况,确保浆液均匀扩散至裂缝全长,并通过相邻注浆嘴观察浆液溢出情况,判断裂缝是否填充完整。如果发现某一注浆孔长时间不出浆或出浆速度过快,需要调整注浆压力,防止压力过大导致混凝土结构受损或压力过低导致填充不充分。注浆完成后,施工人员需要保持一定的固化时间,使环氧树脂充分渗透并固化,提高裂缝修复的强度和耐久性。

2.5 外包钢套补强,加固隧道薄弱部位

钢套包覆后,能够有效抵御外界环境对隧道结构的侵蚀。钢套制作完成后,施工人员需要对其进行试拼装,检查钢套的尺寸、形状与隧道结构的匹配程度,确保安装后能够均匀受力,不出现局部悬空或贴合不紧密的情况。试拼装完成后,需要对钢套进行防腐处理,涂刷防锈涂层,避免后期因环境因素导致钢套锈蚀影响加固效果。钢套运输至现场后,施工人员需要使用吊装设备或人工搬运的方式将钢套逐步对位安装,

确保钢套沿隧道轴向均匀分布,避免偏移影响受力^[5]。在安装过程中,施工人员需要使用测量仪器反复校准钢套的位置,保证其与隧道结构紧密贴合,不出现间隙过大或受力不均的情况。钢套固定时,施工人员需要采用螺栓连接或焊接方式,使钢套与隧道结构形成稳定的整体。

螺栓连接时,施工人员需要先在隧道衬砌表面钻孔,安装高强度膨胀螺栓,逐步紧固每个连接点,保证螺栓受力均匀,避免局部松动影响加固效果。焊接固定时,需要使用专业焊接设备,将钢套焊接在隧道预埋件或加固支撑结构上,确保焊缝连续饱满,提高连接强度,焊接完成后需要进行无损检测,检查焊缝质量,避免焊接缺陷影响结构稳定性。钢套安装完成后,施工人员需要对钢套内部空间进行填充处理,采用高强度灌浆材料填补钢套与隧道结构之间的空隙,提高钢套的受力传递效果,防止局部应力集中。在填充过程中,需要使用高压灌浆设备将浆液均匀注入钢套内部,确保浆液完全填充钢套内腔,避免形成空洞影响结构强度。灌浆完成后,需要保持一定的养护时间,使浆液充分凝固,提高钢套与隧道的整体结合力。浆液凝固后,施工人员需要对钢套表面进行二次检查,确保所有连接点牢固,钢套与隧道表面无明显间隙,加固区域整体受力均匀。

3 结束语

公路隧道加固维修施工技术的不断发展,为隧道的长期安全运行提供了有效保障。施工人员采用多种加固技术,可以有效解决隧道在长期运营过程中出现的裂缝等问题,恢复隧道的承载能力性。随着施工技术的不断优化,公路隧道的加固维修将更加高效,为公路交通的安全提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 姬海东,张海涛,宋效凯.用于既有隧道病害综合整治的多功能维修车研发[J].建筑机械,2024(09):10-15,2.
- [2] 姜同虎,汪光裕.公路隧道火灾损伤计算及应急维修加固方案研究[J].江西建材,2024(01):235-237.
- [3] 张崙铭.一种隧道病害处治新技术的研究与应用[J].交通世界,2023(34):133-135.
- [4] 何亚军.超韧性混凝土在桥梁隧道加固维修中的应用[J].交通科技与管理,2023,04(07):124-126.
- [5] 郑可扬.华南地区公路山岭隧道渗漏水病害分析[J].黑龙江交通科技,2022,45(10):118-120.