

重载铁路老旧桥梁隧道改造的创新技术研究

白 杨

国家能源投资集团有限责任公司 北京 100009

摘 要:随着重载铁路运输量的不断增加,老旧桥梁隧道面临着日益严峻的承载压力和安全挑战。对老旧桥梁隧道进行改造是保障重载铁路安全运营的关键举措。本文深入探讨了重载铁路老旧桥梁隧道改造过程中的创新技术研究,分析了当前改造面临的难题,从桥梁加固、隧道病害治理等方面展开论述,旨在为重载铁路老旧桥梁隧道的改造提供理论支持和技术参考,提升改造工程的质量和效率,确保重载铁路运输的安全与稳定。

关键词:重载铁路;老旧桥梁隧道;改造;创新技术

1 引言

重载铁路作为国家重要的基础设施和民生工程,在货物运输中发挥着不可替代的作用。随着我国经济的快速发展,重载铁路的运输任务愈发繁重,列车轴重和运量不断增加。然而,部分重载铁路的桥梁隧道建设年代较早,设计标准相对较低,经过长期运营后,出现了不同程度的病害和结构损伤,严重威胁到铁路运输的安全。因此,开展重载铁路老旧桥梁隧道改造的创新技术研究具有重要的现实意义。

2 重载铁路老旧桥梁隧道改造面临的难题

2.1 结构老化与损伤严重

老旧桥梁隧道在历经数十年的运营后,结构老化问题日益凸显。以混凝土桥梁为例,长期暴露在自然环境中,混凝土中的水泥石会发生碳化反应,导致混凝土的碱性降低,对钢筋的保护作用减弱,进而引发钢筋锈蚀。钢筋锈蚀后体积膨胀,会使混凝土产生裂缝,裂缝的扩展又会进一步加剧钢筋的锈蚀,形成恶性循环。此外,列车荷载的反复作用会使桥梁结构产生疲劳损伤,导致结构构件的承载能力下降。在隧道方面,由于地下水的长期侵蚀和地质构造运动的影响,隧道衬砌容易出现开裂、错台等病害。渗漏水问题也较为常见,水分渗入衬砌内部后,不仅会降低衬砌的强度,还可能引发衬砌背后空洞等病害,严重影响隧道的安全性和稳定性。

2.2 改造空间受限

重载铁路运输繁忙,为减少对运输的影响,改造工程通常需要在有限的天窗时间内完成。一般而言,天窗时间仅为几个小时,在这短暂的时间内,需要完成大量的施工任务,如拆除旧结构、安装新构件、浇筑混凝土等,施工难度极大。同时,老旧桥梁隧道周边环境复杂多样。部分桥梁可能跨越既有线路、河流、建筑物等,隧道周边可能存在地下管线、通信光缆等设施。在改造

过程中,必须充分考虑这些周边环境因素,避免对既有设施造成破坏,这进一步限制了改造空间,给施工带来了巨大的困难。

2.3 技术标准提高

随着铁路技术的不断进步和发展,对桥梁隧道的承载能力、稳定性、耐久性等方面提出了更高的要求。例如,新的重载铁路设计规范对桥梁的活载标准、结构的动力响应等方面都有了更为严格的规定。老旧桥梁隧道需要按照新的技术标准进行改造,以满足重载铁路运输的需求。然而,在不破坏原有结构的基础上实现技术标准的提升是一个极具挑战性的问题。老旧桥梁隧道的结构形式和材料性能与新标准存在较大差异,需要采用先进的改造技术和工艺,对原结构进行加固和优化,这需要深入的技术研究和大量的工程实践。

3 重载铁路老旧桥梁改造的创新技术研究

3.1 体外预应力加固技术

体外预应力加固技术作为一种主动加固方法,在重载铁路老旧桥梁改造中具有显著优势。其原理是通过在桥梁结构外部设置预应力钢束,对结构施加预应力,从而改善结构的受力状态,提高结构的承载能力和抗裂性能^[1]。在具体应用中,对于梁式桥,首先需要在梁底设置体外预应力钢束的转向装置和锚固装置。转向装置一般采用钢制的转向块,其作用是改变预应力钢束的方向,使钢束能够按照设计要求对梁体施加预应力。锚固装置则用于固定预应力钢束的两端,确保预应力的有效传递。在张拉预应力钢束时,需要精确计算预应力的方向和布置方式。预应力的方向应根据桥梁的病害情况、设计荷载以及结构的受力特点等因素综合考虑确定。布置方式则需要根据桥梁的跨径、截面形式等进行优化设计,以达到最佳的加固效果。例如,对于简支梁桥,一般采用直线布置或折线布置的方式;对于连续梁桥,则

需要采用更加复杂的曲线布置方式。施工过程中,要采取有效的防腐措施保护体外预应力钢束。由于体外预应力钢束暴露在空气中,容易受到腐蚀的影响,因此需要对其进行涂装防护或采用不锈钢材质的钢束。同时,要定期对预应力钢束进行检查和维护,及时发现并处理钢束的腐蚀、损伤等问题,延长其使用寿命。

3.2 碳纤维增强复合材料(CFRP)加固技术

在重载铁路老旧桥梁改造中,CFRP加固技术可用于梁、板、柱等多种构件的加固。对于梁体裂缝的修补和加固,首先要对裂缝进行详细的检测和评估,确定裂缝的宽度、深度、走向等参数。然后,采用专用的裂缝修补材料对裂缝进行封闭处理,防止水分和有害物质侵入。在粘贴碳纤维布时,需要对梁体表面进行打磨处理,去除表面的油污、浮浆等杂质,使梁体表面平整、粗糙,以提高碳纤维布与梁体之间的粘结强度。接着,按照设计要求裁剪碳纤维布,并涂刷专用的粘结胶。将碳纤维布平整地粘贴在梁体表面,用滚筒或刮板压实,排除气泡,确保碳纤维布与梁体之间紧密粘结。对于桥墩的加固,可采用碳纤维板进行环向包裹。在包裹前,需要对桥墩表面进行清理和处理,确保表面干净、干燥。然后,将碳纤维板按照设计要求进行裁剪和弯曲,使其能够紧密贴合桥墩表面。采用专用的锚固件将碳纤维板固定在桥墩上,并通过张拉设备对碳纤维板施加一定的预应力,提高桥墩的抗剪能力和延性。在施工过程中,要严格控制粘贴工艺,确保碳纤维与原结构之间的粘结质量。粘结胶的配制要严格按照产品说明书的要求进行,搅拌均匀后要在规定的时间内使用完毕。粘贴过程中,要避免出现空鼓、剥离等现象,如发现质量问题,应及时进行返工处理。

3.3 组合结构加固技术

在具体实施过程中,首先要对原有混凝土梁进行检测和评估,确定其承载能力和病害情况。然后,根据设计要求进行钢梁的设计和制作。钢梁的截面形式和尺寸应根据桥梁的跨径、荷载大小等因素进行优化选择,以确保钢梁具有足够的强度和刚度。在安装钢梁时,需要采用合适的吊装设备和施工工艺,确保钢梁能够准确就位。然后,安装剪力连接件。剪力连接件是保证钢梁与混凝土梁协同工作的关键部件,常见的剪力连接件有栓钉、型钢等。在安装剪力连接件时,要严格控制其位置、间距和焊接质量,确保剪力连接件能够有效地传递钢梁与混凝土梁之间的剪力^[2]。组合结构加固技术结合了钢材的高强度和混凝土的良好耐久性,既提高了桥梁的承载能力,又减轻了结构自重。在重载铁路老旧桥梁改

造中,对于一些跨度较大、承载能力不足的桥梁,采用组合结构加固技术可以取得良好的加固效果。施工过程中,要保证钢梁与混凝土梁之间的连接可靠,通过试验和监测等手段,确保组合结构的协同工作性能。

4 重载铁路老旧隧道改造的创新技术研究

4.1 隧道裂纹修补技术

隧道衬砌裂缝是老旧隧道常见的病害之一,裂缝的存在会降低衬砌结构的整体性和防水性能,严重时甚至会导致衬砌剥落、坍塌。针对不同类型的裂缝,可采用不同的修补与加固技术。对于宽度较小的裂缝(一般小于0.15mm),可采用表面封闭法。首先,使用钢丝刷等工具将裂缝表面的灰尘、杂物等清理干净,然后用丙酮等有机溶剂擦拭裂缝表面,使其干燥。接着,将环氧树脂等修补材料按照产品说明书的要求进行配制,搅拌均匀后,用刮刀或毛刷将修补材料涂抹在裂缝表面,厚度一般为1-2mm,以封闭裂缝,防止水分和有害物质侵入。对于宽度较大、深度较深的裂缝(一般大于0.15mm),可采用压力灌浆法。在灌浆前,需要先对裂缝进行开槽处理,一般采用风镐或切割机在裂缝两侧开出一定宽度和深度的槽,槽的形状一般为V形或U形,以便更好地容纳灌浆材料。然后,在槽内埋设灌浆嘴,灌浆嘴的间距应根据裂缝的宽度和长度进行合理布置,一般为300-500mm。接着,进行灌浆操作。灌浆材料一般选用水泥浆、化学浆液等,根据裂缝的情况和工程要求进行选择。灌浆时,要控制好灌浆压力和浆液的配合比^[3]。灌浆压力一般从低压开始,逐渐升高,直至浆液充满裂缝。浆液的配合比要严格按照产品说明书的要求进行配制,确保浆液具有良好的流动性和粘结性能。灌浆过程中,要密切观察浆液的流动情况,当相邻灌浆嘴溢出浆液时,可依次封闭灌浆嘴,完成灌浆。

4.2 隧道衬砌加固和补强技术

隧道衬砌常因地质变化、长期荷载及施工缺陷出现病害,影响其安全稳定。常用加固补强技术有锚杆加固、喷射混凝土加固、套拱加固及注浆加固法等。

4.2.1 锚杆加固法

此法通过在衬砌钻孔,插入锚杆至稳定岩土体,利用锚杆与围岩的粘结力传递荷载,提升衬砌整体性和承载力。施工前,需详细调查衬砌病害,确定锚杆布置、长度、直径和间距等参数。锚杆布置多采用梅花形或矩形,长度通常3-10m,需穿过松动圈进入稳定岩层一定深度。钻孔时,要严格把控孔径、孔深和垂直度,确保锚杆顺利安装且达设计要求。安装后注浆,材料常用水泥浆或水泥砂浆,注浆压力从低压逐渐升高,保证浆液填

充孔周围空隙,提高粘结力。注浆过程中实时监测注浆量和压力,达设计要求或压力骤升时停止注浆。

4.2.2 喷射混凝土加固法

利用喷射设备将混凝土高速喷至衬砌表面,形成一定强度和厚度的混凝土层,与原衬砌共同受力,提高承载和耐久能力。施工前,清理衬砌表面,去除松动、破碎混凝土块和杂物,使表面平整干净。根据病害和设计要求,确定喷射混凝土厚度、强度等级和配合比,一般采用湿喷法减少回弹量。喷射时,控制距离、角度和速度,距离0.8-1.5m,角度尽量垂直衬砌表面,分层喷射,每层厚度不超过5cm,待前一层初凝后再进行下一层,保证粘结强度。喷射完成后养护不少于7天,确保强度达标。

4.2.3 套拱加固法

在原衬砌外侧或内侧浇筑新混凝土拱圈,与原衬砌形成整体结构,共同承受荷载,提升承载和稳定性。施工前,详细检测评估原衬砌,确定套拱尺寸、形状和配筋等参数。套拱厚度一般不小于20cm,形状依隧道断面和衬砌受力特点设计,常见圆形、马蹄形等。施工时,搭设模板支架保证稳定性和尺寸准确,钢筋绑扎符合规范,混凝土浇筑分层振捣,确保密实,避免缺陷。浇筑完成后养护不少于14天,保证强度充分发展。

4.3 隧道防排水系统改造技术

在隧道改造中,可采用新型防水材料和先进的防排水工艺。例如,在隧道衬砌表面铺设高分子防水卷材,形成一道可靠的防水屏障。高分子防水卷材具有拉伸强度高、延伸率大、耐老化性能好等优点,能够有效防止水分渗入隧道内部。铺设防水卷材时,要先对衬砌表面进行清理和处理,确保表面平整、干燥、无尖锐物。然后,按照卷材的铺设要求进行搭接和固定,搭接宽度一般不小于100mm,固定间距要符合相关规范。同时,完善隧道的排水系统,设置纵向排水盲沟、横向排水管、中心水沟等,将隧道内的积水及时排出。纵向排水盲沟一般设置在隧道两侧的墙脚处,采用透水性较好的材料制成,如软式透水管、塑料盲沟等。横向排水管将纵向排水盲沟与中心水沟连接起来,其坡度要满足排水要

求,一般不小于1%。中心水沟设置在隧道中部,用于收集和排放隧道内的积水。排水系统的管道材质要选用耐腐蚀、耐磨损的材料,如HDPE管、铸铁管等,并要做好管道的连接和密封处理,防止漏水。对于渗漏水严重的部位,可采用注浆堵水的方法^[4]。先找到渗漏水的源头,一般通过观察渗漏水的位置、水量变化以及进行地质雷达探测等手段确定。然后,采用化学浆液或水泥-水玻璃双液浆进行注浆处理,封堵渗漏水通道。注浆时,要控制好注浆压力和注浆量,避免对隧道结构造成破坏。此外,还要加强对隧道防排水系统的日常维护和管理,定期检查排水设施的畅通情况,及时清理淤积物,确保防排水系统的正常运行。

结语

重载铁路老旧桥梁隧道改造是一项复杂而艰巨的系统工程,涉及到多个领域的技术和知识。通过开展创新技术研究,采用体外预应力加固、CFRP加固、组合结构加固等桥梁加固技术,隧道裂纹修补技术、隧道衬砌加固和补强技术、防排水系统改造等隧道改造技术,可以有效解决老旧桥梁隧道存在的病害和安全隐患,提高桥梁隧道的承载能力、稳定性和耐久性,满足重载铁路运输的需求。在未来的研究和实践中,还需要进一步加强创新技术的研发和应用,不断完善改造技术和工艺,提高改造工程的质量和效率。同时,要注重多学科交叉融合,综合运用材料科学、结构工程、信息技术等多方面的知识,为重载铁路老旧桥梁隧道改造提供更加全面、有效的技术支持,推动重载铁路事业的持续健康发展。

参考文献

- [1]孙明德,臧晓秋,曹志峰,等.重载铁路桥梁支座病害分析及改造技术[J].铁道建筑,2021,61(10):62-64.
- [2]尚培培.朔黄重载铁路局部区段扩能改造方案研究[J].铁道建筑,2022,62(02):158-162.
- [3]王梦迪.佳富铁路扩能改造方案研究[J].山西建筑,2025,51(07):131-133.
- [4]刘志山.既有铁路盾构下穿段桥梁改造工程设计与施工技术研究[J].工程机械与维修,2025,(02):82-84.