

桥梁工程的常见病害与施工处理技术

韩东晖

山西交投忻阜高速公路管理有限公司 山西 忻州 034000

摘要: 本文系统梳理了桥梁工程中常见的病害类型,包括混凝土结构裂缝、钢筋锈蚀、支座失效、桥面铺装破损、墩台基础沉降及钢结构腐蚀等,并深入分析其成因机制。在此基础上,重点探讨了针对上述病害的施工处理技术,涵盖裂缝修补、钢筋阻锈与混凝土修复、支座更换、桥面铺装改造、基础加固等成熟与新兴工艺。最后,本文强调了“预防为主、防治结合”的全寿命周期管理理念,旨在为桥梁的科学养护与安全运营提供理论支撑与实践指导。

关键词: 桥梁工程; 常见病害; 成因分析; 施工处理技术; 耐久性; 全寿命周期管理

引言

桥梁作为“咽喉”工程,对连接地域、推动经济发展意义重大。我国交通网络快速扩张,桥梁建设规模持续增大,但大量服役数十年的桥梁渐显病害,轻则影响行车舒适度与桥梁外观,重则威胁结构安全,甚至引发灾难,如美国明尼阿波利斯I-35W桥和意大利热那亚莫兰迪桥的垮塌便是维护不当的教训。桥梁病害产生是复杂系统性过程,涉及多学科知识。所以,系统性识别、精准化诊断桥梁病害,并采取科学施工处理技术,是保障桥梁长期安全服役的关键。本文将全面梳理桥梁常见病害,深入剖析其成因,系统总结主流施工处理技术,为桥梁工程领域相关人员提供参考。

1 桥梁工程常见病害类型及成因分析

1.1 混凝土结构裂缝

混凝土裂缝是桥梁最常见的病害之一,几乎存在于所有混凝土桥梁结构中。根据成因,可将其分为以下几类:(1)收缩裂缝:混凝土在硬化过程中,由于水分蒸发和化学反应导致体积收缩。若收缩受到约束(如内部钢筋、相邻构件或地基),就会产生拉应力,当拉应力超过混凝土的抗拉强度时,便形成裂缝。这类裂缝多为表面龟裂,宽度较小。(2)温度裂缝:大体积混凝土在水化热作用下内部温度急剧升高,而表面散热较快,形成内外温差,导致温度应力。此外,季节性温差和日照温差也会在结构中产生温度应力。当温度应力超过混凝土极限抗拉强度时,即产生裂缝。(3)荷载裂缝:由设计荷载(包括恒载、活载、风载、地震作用等)直接引起的结构性裂缝。这类裂缝通常出现在弯矩或剪力最大的部位,如梁的跨中下缘、支座附近腹板等,具有明确的规律性,是结构承载能力不足或超载的直接体现^[1]。(4)沉降裂缝:由于地基不均匀沉降,导致桥梁墩台产生差异位移,进而使上部结构受力不均,产生附加应力

而开裂。(5)施工裂缝:由施工不当引起,如模板支撑不牢、过早拆模、混凝土振捣不密实、养护不到位等。

1.2 钢筋锈蚀

钢筋锈蚀是导致混凝土桥梁耐久性劣化、承载力下降的最主要病害之一。其过程通常始于混凝土保护层碳化或氯离子侵蚀。(1)碳化锈蚀:大气中的二氧化碳(CO_2)通过混凝土孔隙向内部扩散,与水泥水化产物氢氧化钙反应生成碳酸钙,导致混凝土碱度(pH值)降低。当pH值降至9.0以下时,钢筋表面的钝化膜被破坏,钢筋开始锈蚀。(2)氯离子侵蚀锈蚀:在沿海地区或使用除冰盐的环境中,氯离子(Cl^-)通过渗透、扩散等方式侵入混凝土内部。即使在高碱度环境下,氯离子也能局部破坏钢筋钝化膜,引发点蚀。氯离子锈蚀更具隐蔽性和破坏性。(3)锈蚀后果:钢筋锈蚀产物(铁锈)的体积是原钢材体积的2-6倍,巨大的膨胀力会使混凝土保护层沿钢筋方向开裂、剥落(即“顺筋裂缝”),不仅削弱了钢筋的有效截面,也破坏了钢筋与混凝土的粘结力,严重威胁结构安全。

1.3 支座失效

桥梁支座是连接上部结构与下部结构的关键传力部件,其功能是传递荷载并适应结构的变形(如温度变形、收缩徐变、地震位移等)。支座失效形式多样:(1)老化开裂:橡胶支座(如板式橡胶支座、盆式橡胶支座)在长期紫外线、臭氧、温度循环等环境因素作用下,橡胶材料会发生老化、龟裂,丧失弹性。(2)剪切变形超限:在温度变化或地震作用下,支座可能发生过大的水平位移,导致剪切变形超过其设计允许值,甚至出现脱空、倾覆。(3)钢构件锈蚀:盆式支座、球形支座中的钢盆、聚四氟乙烯板滑板、锚栓等金属部件易受雨水浸蚀而锈蚀,导致转动或滑动功能受阻^[2]。(4)脱空与偏压:由于施工误差、墩台不均匀沉降或梁体安装

偏差,导致支座与梁底或垫石不能完全接触,出现局部脱空或偏心受压,使支座受力不均,加速其损坏。

1.4 桥面铺装破损

桥面铺装直接承受车辆荷载和环境侵蚀,是桥梁中最易损坏的部分。(1)结构性破坏:主要表现为拥包、车辙、坑槽、网裂等。成因包括铺装层厚度不足、与梁体粘结不良、防水层失效导致水渗入铺装层与梁体之间形成“唧泥”,在车辆反复碾压下,铺装层与梁体发生相对滑动而破坏。(2)功能性破坏:主要指磨耗层磨损、抗滑性能下降,影响行车安全。此外,伸缩缝处的铺装破损尤为严重,常因伸缩缝装置失效、锚固区混凝土开裂等原因导致。

1.5 墩台及基础病害

墩台和基础是桥梁的“根基”,其稳定性至关重要。(1)墩台裂缝:成因与上部结构类似,包括温度应力、收缩、地基不均匀沉降、船舶或漂流物撞击等。

(2)基础冲刷:水流(尤其是洪水)对桥墩周围河床的冲刷,可能导致基础埋深不足,甚至掏空,严重威胁桥梁整体稳定性。(3)基础沉降与倾斜:地质条件不良、荷载过大或施工质量缺陷,可能导致基础发生过大沉降或倾斜,进而引起上部结构变形和开裂。

2 桥梁病害的施工处理技术

2.1 混凝土裂缝修补技术

针对混凝土裂缝的修补,其核心目标在于恢复结构的整体性、阻止侵蚀介质的进一步侵入并保障结构的长期耐久性。对于宽度小于0.2毫米的微细表面裂缝,通常采用表面封闭法进行处理。该方法通过在裂缝区域涂刷一层具有高渗透性和良好粘结性的封闭材料,如环氧树脂涂料、聚氨酯或水泥基渗透结晶型防水涂料,形成一道致密的防护屏障,施工简便且经济高效。当裂缝宽度较大(通常大于0.2毫米)且具有贯穿性或深度较大时,压力注浆法则成为首选。该技术首先在裂缝两侧钻孔并埋设注浆嘴,然后封闭裂缝表面,再利用高压设备将低粘度、高流动性的化学浆液(如环氧树脂、聚氨酯或甲基丙烯酸甲酯)注入裂缝深处。其中,环氧树脂因其固化后强度高、粘结性能优异,常用于修复结构性裂缝以恢复其承载力;而聚氨酯浆液则因其遇水膨胀的特性,在修补伴有渗漏的裂缝时能同时起到堵水和加固的双重效果。对于那些因温度变化等原因而持续活动的宽大裂缝,则需采用填充密封法。该方法先将裂缝凿成规则的V形或U形槽,彻底清理后填充具有良好弹性和位移追随能力的柔性密封胶(如聚硫、硅酮或聚氨酯),以适应裂缝未来的开合变形,防止密封材料自身开裂失效。

2.2 钢筋锈蚀与混凝土修复技术

治理钢筋锈蚀病害,必须采取“标本兼治”的策略,既要清除已发生的损伤,更要阻断锈蚀的根源。首要步骤是彻底凿除已被碳化或氯离子深度污染的劣化混凝土,直至暴露出坚实、完好的混凝土基面。随后,对暴露出来的锈蚀钢筋进行严格的除锈处理,通常采用喷砂或机械打磨的方式,确保钢筋表面洁净并具有一定的粗糙度,以利于后续阻锈剂的附着和新旧混凝土的黏结^[3]。在此基础上,涂刷一层钢筋阻锈剂,特别是迁移型阻锈剂(MCI),它能够通过混凝土孔隙主动迁移到钢筋表面,重新构建保护性的钝化膜,从而有效抑制锈蚀的继续发展。完成钢筋处理后,需选用高性能的修复材料对凿除区域进行回填。聚合物改性水泥砂浆(PMM)因其在普通水泥砂浆中掺入了聚合物乳液,显著提升了材料的粘结强度、抗渗性和韧性,成为目前应用最广泛的修复材料。对于对强度和耐久性要求极高的关键部位,则可选用环氧砂浆,其虽成本较高且对施工温湿度敏感,但能提供卓越的力学性能和几乎为零的收缩率。对于大面积的快速修复,喷射混凝土技术则能高效地恢复结构的几何外形和承载截面。在氯盐侵蚀极为严重的桥梁上,还可考虑引入阴极保护技术作为长效防护手段,通过外加电流或牺牲阳极的方式,使整个钢筋网络成为电化学体系中的阴极,从根本上杜绝锈蚀的发生。

2.3 支座更换与修复技术

支座更换是一项高风险、高精度的系统工程,其成功实施依赖于先进的同步顶升技术。该技术利用多台由计算机中央控制系统精确协调的高吨位液压千斤顶,对桥梁梁体进行同步、平稳、毫米级精度的顶升操作。这种精确控制确保了在顶升过程中梁体各控制点的位移差被严格限制在安全范围内,从而避免了因顶升不同步而在梁体内部产生有害的附加应力,保护了结构安全。在顶升作业的全过程中,必须设置一套独立、可靠的临时支撑系统(如钢制支撑架或沙箱),作为千斤顶系统的安全冗余,一旦主顶升系统出现意外,临时支撑能立即承担荷载,防止灾难性的梁体坠落事故。待梁体被安全顶升至预定高度后,即可拆除已失效的旧支座,并清理支座垫石。在安装新支座时,可结合桥梁的实际情况,选用性能更优越的新型产品,例如集成了隔震功能的高阻尼橡胶支座,或采用不锈钢与聚四氟乙烯复合滑动面的支座,后者能提供更低的摩擦系数和更长的使用寿命,从而提升桥梁的整体性能和耐久性。

2.4 桥面铺装改造技术

桥面铺装的改造工程旨在系统性地解决旧铺装存在

的结构性和功能性缺陷。施工的第一步是使用大型铣刨机将原有的破损铺装层彻底清除,并对梁体顶面进行深度清理和凿毛处理,以确保新旧界面之间形成牢固的机械咬合。在此基础上,铺设一层高质量的防水粘结层是整个改造成功的关键。这层防水层不仅要具备优异的防水性能,隔绝雨水下渗,还需拥有强大的粘结力,将新铺装层与梁体牢固地结合成一个整体。常用的防水体系包括热沥青碎石封层、SBS改性沥青防水卷材以及反应型防水粘结涂料等^[4]。完成防水层施工后,便可进行新铺装层的摊铺。对于追求行车舒适性和施工便捷性的项目,改性沥青混凝土(如SMA或SBS改性沥青)是理想选择;而对于重载交通或对耐久性有极高要求的桥梁,钢纤维混凝土(SFRC)铺装凭借其出色的抗裂性和韧性成为优选;在大跨径钢箱梁桥上,则普遍采用性能卓越但成本高昂的环氧沥青铺装,其在高温下不软化、低温下不开裂的特性,完美适应了钢桥面板的受力特点。

2.5 墩台及基础加固技术

墩台加固通常采用增大截面法或外包钢法。增大截面法是在原有墩柱或承台的外围浇筑一层新的钢筋混凝土,通过植筋等方式与原结构形成整体,从而有效增大构件的截面尺寸和配筋率,显著提升其承载能力和刚度,是一种直接而可靠的加固手段。外包钢法则是在墩柱四周包裹型钢(如角钢或钢板),并通过缀板将其连成整体钢套箍,新形成的组合截面能与原混凝土共同承担荷载,该方法尤其适用于需要在不显著增加结构外形尺寸的前提下进行快速加固的场合。对于更为棘手的基礎病害,加固策略则更为复杂。当地基承载力不足时,可采用扩大基础的方法,在原基础周围增设新的混凝土基础块,并通过可靠的连接措施使其与原基础协同工作。若桥梁已发生严重的不均匀沉降,则需考虑桩基托换技术,即在原基础附近打入新的桩基(如钻孔灌注桩

或微型桩),并通过新建的承台将上部结构的荷载安全地传递到这些新桩上,从而绕过已失效的原地基。针对河流中桥墩基础的冲刷问题,则需采取积极的防护措施,如在墩周抛填大块石形成防护层,或设置专门的防冲刷护坦、沉排等水工结构,以稳定河床,保护基础免受水流掏蚀。

3 结语

桥梁病害成因复杂,防治是系统工程。本文梳理了桥梁工程中混凝土裂缝等六大常见病害并剖析成因,阐述了裂缝注浆等成熟处理技术,构建了较完整的病害处治体系。但随着桥梁服役年限增加和交通荷载提升,防治工作挑战巨大。未来,一是要发展基于物联网等的桥梁健康监测系统,实现实时感知、智能诊断与风险预警,变被动为主动;二是持续研发自感知等新型智能修复材料,提升桥梁耐久性与可维护性;三是推广碳纤维等轻质高强加固材料与技术,减少对交通和环境的影响;四是深化全寿命周期管理理念,将桥梁全流程纳入统一框架,通过科学决策模型实现成本最优与性能最佳。

参考文献

- [1]靳瑶.道路桥梁工程常见病害与施工处理技术[J].中国住宅设施,2025,(05):167-169.
- [2]刘文,戴凯.道路桥梁工程的常见病害及其施工处理[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一)。宜春市畅达公路桥梁工程有限公司;2025:752-755.
- [3]李兆英.道路桥梁工程常见病害与处理技术分析[J].运输经理世界,2025,(07):134-136.
- [4]郭乐乐,杨洋.浅谈桥梁工程的常见病害及施工处理技术[J].科技风,2024,(28):66-68.