

公路桥梁病害成因及加固维修技术研究

郭登堂¹ 王亚如² 祁晓雨³

1. 德州市公路事业发展中心 山东 德州 253000

2. 德州市公路事业发展中心宁津分中心 山东 德州 253400

3. 宁津县昌达公路工程有限公司 山东 德州 253400

摘要：文章聚焦公路桥梁病害成因及加固维修技术研究。通过分析桥梁典型病害表现，揭示裂缝、混凝土碳化剥落、钢筋锈蚀等特征。从设计、施工、环境、荷载四方面深入剖析病害成因，如设计荷载预估不足、施工工艺缺陷、环境侵蚀及超载等。系统阐述增大截面、粘贴钢板、碳纤维、体外预应力等加固维修技术的原理、施工要点、优劣势。研究成果为公路桥梁病害防治与结构性能提升提供理论依据与实践参考。

关键词：公路桥梁；病害成因；加固维修技术

引言

公路桥梁作为交通网络关键节点，其安全运行对交通运输意义重大。随着服役时间增长与交通荷载加重，桥梁病害频发，威胁结构安全与通行效率。裂缝扩展、混凝土劣化、基础沉降等问题不仅降低桥梁使用性能，还可能引发安全事故。因此，深入探究病害成因，研发高效加固维修技术，对延长桥梁寿命、保障交通基础设施稳定具有迫切的现实需求与重要的工程价值。

1 公路桥梁典型病害表现特征

公路桥梁在服役期间，受复杂环境与荷载作用，会呈现多种典型病害特征。裂缝是桥梁结构中极为常见的病害形态。在梁体结构上，不同走向的裂缝反映出不同的受力问题。纵向裂缝通常沿梁体长度方向延伸，多因梁体在长期受弯过程中，混凝土抗拉强度不足而产生。横向裂缝则常由温度骤变引发，混凝土在热胀冷缩过程中，若受到约束，就会在薄弱部位形成横向裂缝。斜向裂缝的出现往往与剪力作用密切相关，当梁体承受的剪力超过其抗剪承载能力时，斜向裂缝便会发展。桥墩作为桥梁的重要支撑结构，也可能出现裂缝，竖向裂缝可能源于基础不均匀沉降，水平裂缝则可能与地震、风荷载等水平力作用有关。混凝土碳化与剥落是影响桥梁耐久性的关键病害。空气中的二氧化碳逐渐渗入混凝土内部，与氢氧化钙发生化学反应，使混凝土碱性降低，这称为混凝土碳化。随着碳化深度的持续增加，钢筋的保护层逐渐失效，钢筋开始锈蚀。钢筋锈蚀后体积膨胀，会对周围混凝土产生挤压应力，导致混凝土出现裂缝并逐渐剥落，削弱结构的整体性能。钢筋锈蚀会减小钢筋的有效截面面积，降低其承载能力，还会破坏钢筋与混凝土之间的粘结性能。当钢筋锈蚀严重时，其与混凝土

的粘结力大幅下降，甚至出现钢筋与混凝土脱粘的情况，严重影响桥梁结构的安全性和稳定性。

2 公路桥梁常见病害成因

2.1 设计因素

在荷载参数选取方面，若设计时未能充分预估交通流量增长趋势与车辆载重变化规律，采用保守或过时的荷载标准，将导致桥梁在实际运营中承受超额应力。随着现代物流行业发展，重载货车比例明显提升，部分早期设计桥梁因未考虑此类荷载增量，在桥面系、桥墩等关键部位出现疲劳裂缝。结构体系选型不当会造成受力分布不均，如连续梁桥跨径布置不合理，易在支点位置产生过大负弯矩，引发混凝土开裂；斜拉桥索力分配偏差会导致主梁局部应力集中，加速结构退化。配筋设计的精准度直接影响桥梁耐久性。钢筋配置数量不足或间距过大，无法有效分担混凝土拉应力，致使受弯构件过早出现裂缝；锚固长度不满足规范要求，会削弱钢筋与混凝土协同工作性能，降低结构承载能力；设计阶段对构造细节处理不当，如伸缩缝形式选择不合理、排水系统设计缺陷等，会加剧环境因素对桥梁的侵蚀^[1]。

2.2 施工因素

（1）在混凝土工程施工里，振捣工艺参数把控至关重要。振捣时间不足会残留气泡，形成蜂窝、孔洞，降低密实度与强度；振捣过度则引发骨料与浆体分离。钢筋工程方面，绑扎不规范致位置偏移，保护层厚度不当使钢筋遭侵蚀，锈蚀膨胀导致混凝土剥落，严重影响结构性能。（2）施工材料性能指标不达标是病害潜在诱因。水泥强度发展特性与凝结时间偏离设计要求，影响混凝土早期强度增长与长期耐久性；骨料杂质含量超标、级配不合理，降低混凝土工作性能与抗渗能力，增

大收缩开裂风险。外加剂掺量失控同样存在质量隐患,例如减水剂超量导致凝结时间延长,不仅延误工期,还造成强度损失。(3) 施工环境控制缺失对工程质量形成显著威胁。高温条件下混凝土浇筑未实施降温措施,水化热积聚引发温度裂缝;低温环境下保温措施失效导致新浇混凝土冻害,破坏内部结构。施工缝处理不当,如界面未进行凿毛清理,致使新旧混凝土结合部位成为结构薄弱环节,易发生渗漏与开裂问题。

2.3 环境因素

环境作用是桥梁结构性能衰退的重要诱因,其影响具有长期性与复杂性。温度变化通过热胀冷缩效应在结构内部产生温度应力,当约束条件存在时(如桥墩对梁体的约束),温度应力超过材料抗拉强度,便会引发裂缝。在年温差作用下,桥梁结构整体伸缩受限时,会产生纵向裂缝;而日照温差导致的结构表面与内部温度梯度,易造成表面裂缝。湿度变化对桥梁耐久性的影响主要体现在混凝土碳化过程。环境中的二氧化碳与混凝土孔隙中的氢氧化钙发生化学反应,生成碳酸钙,导致混凝土碱性降低,当碳化深度超过钢筋保护层厚度时,钢筋脱钝锈蚀。酸雨、盐雾等腐蚀性介质对桥梁结构的侵蚀更为直接。酸雨中的硫酸、硝酸等成分与混凝土发生化学反应,溶解水泥石中的水化产物,使混凝土强度下降;沿海地区盐雾中的氯离子具有极强的渗透性,能穿透混凝土保护层,破坏钢筋表面钝化膜,加速电化学腐蚀进程。冻融循环作用下,混凝土孔隙中的水在低温时结冰膨胀,对孔壁产生压力,反复冻融使微裂纹不断扩展、贯通,导致混凝土剥落、强度劣化^[2]。

2.4 荷载因素

(1) 交通荷载的时变累积效应对桥梁病害发展具有明显驱动作用。超载车辆持续通行致使桥梁结构长期处于高应力状态,加速材料疲劳损伤进程。当实际荷载超越设计承载能力,结构变形与裂缝扩展速率呈指数增长,典型表现为桥梁主梁跨中挠度超限,引发桥面铺装层破坏,加剧车辆行驶冲击效应。超载工况下,桥墩基础承受超额竖向压力,易诱发地基沉降与不均匀变形,导致上部结构受力体系重构。(2) 车辆行驶产生的冲击荷载从多方面破坏桥梁结构。在伸缩缝等构造突变处,冲击力使锚固区混凝土开裂、止水带失效;桥头跳车加剧桥台与填土沉降,引发锥坡坍塌等问题。车辆加减速带来的水平荷载,会在桥墩、桩基产生附加内力,长期作用易导致墩柱开裂、桩基位移。(3) 特种车辆通行对桥梁耐久性构成特殊威胁。以履带式机械、重型挂车等为代表的特种车辆,因自身重量大、轮胎压力分布不均

且运行时振动剧烈,在通行过程中对桥面铺装产生持续性剧烈磨损。这种磨损不仅破坏防水层的完整性,还会使桥梁结构直接暴露在雨水等自然环境中,加速钢筋锈蚀与混凝土碳化进程。

3 公路桥梁加固维修技术

3.1 增大截面加固法

增大截面加固法作为传统且有效的桥梁加固手段,核心在于通过新增混凝土和钢筋,扩大原构件的截面尺寸与配筋量,提升其承载能力和结构刚度。该技术广泛适用于梁、板、柱等多种桥梁构件的加固工程,尤其针对因设计荷载考虑不足、长期超载运行导致承载能力下降,或因混凝土碳化、钢筋锈蚀引发结构性能退化的构件,能改善其力学性能。从技术原理来看,增大截面加固通过新旧材料协同工作实现受力性能提升。新增混凝土和钢筋与原构件紧密结合,共同承担外部荷载,使结构的抗压、抗弯和抗剪能力得到增强。在施工实践中,表面处理是确保加固效果的关键环节。需对原构件表面进行全面凿毛处理,深度通常控制在3-5mm,以去除疏松层和油污,形成粗糙界面,增加新旧混凝土间的机械咬合力;植入锚筋或设置界面剂,增强粘结强度。混凝土浇筑过程中,优先选用微膨胀细石混凝土,严格控制水灰比和塌落度,采用分层浇筑、高频振捣工艺,确保混凝土密实度。养护阶段保湿养护不少于14天,必要时用蒸汽养护加速强度增长。此加固方法优势明显,技术成熟、效果直观可靠,能大幅提升构件承载力,施工工艺对设备技术要求低。但也有局限,增构件自重,需复核基础承载力;工序多、周期长,影响交通;还会占用空间。工程应用时要综合考量,精准确定新增截面与配筋^[3]。

3.2 粘贴钢板加固法

(1) 粘贴钢板加固法是借助结构胶的黏结特性,将高强度钢板稳固附着于桥梁受拉区或薄弱部位,促使钢板与原构件协同受力,进而提升构件承载能力。该技术适用于桥梁主梁、悬臂梁等受弯、受拉构件,可有效遏制裂缝发展,增强结构的抗弯与抗剪性能。(2) 施工环节中,钢板与构件的黏结质量是加固成效的关键。原构件表面需打磨处理,清除浮浆、油污及疏松层,直至暴露出坚实骨料,保证表面平整干燥;钢板表面进行除锈糙化处理以增大黏附面积。选用具备高强度、高黏结力和优良耐久性的环氧树脂结构胶,按配比调配后均匀涂抹于钢板与构件表面,涂层厚度控制在2-3mm。采用压力注胶或挤压粘贴工艺,配合锚栓或膨胀螺栓施加预压力,确保贴合紧密、排除空气,施工完毕后采用多层防护体系对钢板防腐,如涂刷防锈漆并覆盖环氧砂浆或防

火涂料。(3)该技术施工便捷高效,无需大型设备,对原结构扰动小,能于交通不中断时局部施工,且加固后构件外形与自重变化小,不影响桥梁外观及功能。但钢板防腐严苛,结构胶性能受环境影响大,需现场拉拔试验检测黏结强度保质量。

3.3 碳纤维加固法

碳纤维加固法依托碳纤维材料的优异力学性能,通过高性能环氧树脂胶将碳纤维布或碳纤维板粘贴于混凝土构件表面,形成复合材料结构,实现对桥梁构件的加固补强。碳纤维材料具有高强度、高弹性模量、重量轻、耐腐蚀等特性,抗拉强度可达普通钢材的10倍以上,且化学稳定性好,能有效抵御酸碱、盐雾等环境侵蚀,适用于各种受力性质的混凝土结构构件和一般构筑物的加固工程。在施工操作中,表面处理与粘贴工艺是保证加固效果的关键环节。首先对原构件表面进行清洁、打磨,去除浮尘和油污,修补凹陷部位,使表面平整光滑;碳纤维加固施工中,对含裂缝构件需预先封闭处理,消除结构隐患。裁剪碳纤维材料时,需严格控制尺寸精度,规避纤维丝束损伤以维持材料强度。环氧树脂胶按配比精准混合后,采用刮板均匀涂布于构件与碳纤维表面,确保胶层厚度均一、无气泡残留。粘贴时运用滚压工艺从单侧推进,挤压排出空气,促使碳纤维充分浸润胶液,实现与构件牢固粘结。固化阶段需在常温下静置7天以上,期间严禁扰动。该技术凭借材料轻质薄型、施工便捷、耐腐蚀等优势,可在不改变桥梁外观与空间的前提下完成加固,但也面临材料成本高昂、环境温湿度要求严苛的局限^[4]。

3.4 体外预应力加固法

(1)体外预应力加固法是改善桥梁结构性能的关键技术,在桥梁构件外部布置独立的预应力筋,经张拉构建预压应力场,以此调整结构受力状态,提升构件承载能力、抗裂性能及刚度。该技术在跨大跨度梁式桥、拱式

桥等结构加固中成效明显,可有效应对荷载增加或结构老化导致的变形超限、裂缝扩展等问题。(2)体外预应力加固技术的核心在于预应力体系的科学构建与精准实施。以高强度低松弛钢绞线为材料,依桥梁结构特性与病害状况灵活布置。锚固装置需确保稳固,防止预应力筋滑移;转向装置采用圆弧过渡,降低应力损失。施工中严格遵循分级张拉原则,运用应力-应变双控保障精度,张拉完成后通过真空辅助压浆,为预应力筋提供长效防腐保护。(3)体外预应力加固技术优势突出,既能大幅提升结构承载与抗裂性能,有效抑制梁体竖向变形与裂缝发展,又便于后期检查、维护及预应力筋更换,延长桥梁使用寿命。但该技术施工工艺复杂,对施工人员技术要求高,且需增设专用锚固与转向结构,增加施工难度。

结束语

公路桥梁病害受多因素综合影响,其防治需系统认知与科学应对。本文明确了典型病害特征,剖析设计、施工、环境、荷载等成因,提出多种有效加固维修技术。在实际工程场景下,需依据桥梁实际状况,灵活整合多种加固维修技术。从病害预防、精准检测、有效加固等多环节协同推进,构建系统化养护体系,持续增强桥梁结构安全性与耐久性,稳固公路交通可持续发展根基。

参考文献

- [1]苗小园.高速公路桥梁养护与维修加固施工技术研究[J].陕西建筑,2025(2):67-72.
- [2]魏子翔.探讨公路桥梁养护与维修加固施工技术[J].居业,2025(2):37-39.
- [3]谢家旦.严寒地区高速公路桥梁养护与维修加固施工技术探究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):039-042.
- [4]许杰.高速公路桥梁养护与加固维修施工技术[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(5):060-063.