

公路桥梁病害成因分析及养护加固技术探讨

方政

湖北交投建设集团有限公司路面分公司，湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ERA.2026100041

摘 要： 公路桥梁作为交通运输网络的核心枢纽，其结构安全性与耐久性直接关系到路网通行效率、人民生命财产安全及区域经济发展，在长期服役过程中，受荷载作用、自然环境侵蚀、施工质量缺陷、养护管理不当等多重因素影响，桥梁结构易出现各类病害，如混凝土裂缝、长时间使用的桥梁，它的承载部件，像钢筋以及支座等，常常会出现性能衰退的情况，这种状况会让结构耐久性极大程度上下降，并且可能会带来安全方面的潜在威胁。本文结合《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T 5531-2025），系统梳理公路桥梁常见病害类型，深入剖析各类病害的形成机理，去深入开展专项维护方案以及强化工艺的剖析工作，选用典型项目案例来实证技术实施的成效，这样为道路桥梁的全过程维护管理工作、缺陷修复工作以及承载能力改善工作构建起方法论依据以及实务操作借鉴。

关 键 词： 公路桥梁；病害成因；养护技术；加固施工；结构耐久性

Analysis of the Causes of Highway Bridge Diseases and Exploration of Maintenance and Reinforcement Techniques

Fang Zheng

Hubei Jiaotou Construction Group Co., Ltd. Road Branch, Wuhan, Hubei 430000

Abstract： As the core hub of transportation networks, the structural safety and durability of highway bridges are directly related to the efficiency of road network traffic, the safety of people's lives and property, and regional economic development. During long-term service, bridge structures are susceptible to various diseases such as concrete cracks, long-term use of bridges, and performance degradation of load-bearing components such as steel bars and supports. This situation can greatly reduce the durability of the structure and may pose potential threats to safety. This article combines the "Technical Specification for Reinforcement Construction of Highway Bridges" (JTG/T 5531-2025) to systematically sort out the common types of diseases in highway bridges, deeply analyze the formation mechanism of various diseases, and carry out in-depth analysis of special maintenance plans and strengthening processes. Typical project cases are selected to demonstrate the effectiveness of technology implementation. This provides a methodological basis and practical operation reference for the full process maintenance management, defect repair, and bearing capacity improvement of road bridges.

Keywords： highway bridges; disease causes; maintenance technology; reinforcement construction; structural durability

引言

伴随着我国公路交通网络开展发展扩张工作，公路桥梁的修建体量持续增大，其使用时间也跟着增长，公路桥梁作为承载区域交通动脉以及经济发展命脉的关键基建，持续承受着行车压力、自然环境侵蚀以及人类活动所带来的多重挑战，它的结构性性能退化现象正逐步显现出来。那么，国内近三成公路桥梁的使用年限已经超过了二十年，部分结构出现了明显的损伤情况。这些结构方面的缺陷会危及路网的运行安全，同时还提高了养护的开销，尤其是病害极大程度地发展之后，桥梁很有可能会发生结构垮塌这种危险事故。

一、公路桥梁常见病害类型及特征

（一）桥面系病害

桥梁表层体系直接承担起行车负荷的承载工作，很容易出现

多种损伤形式，比如铺装层出现材料剥蚀、局部坑洞、结构位移以及网状裂隙等情况，在车道碾压痕迹以及桥缘这些地方，表面层出现剥脱的现象经常发生，坑陷的深度从几公分到十余公分都有，随着暑热时节的推移，这种状况更加严重；桥梁服役过程中

会出现裂缝、渗水等不同病害,严重影响桥梁的安全运营,因此对病害进行准确检测及合理加固十分必要。^[1]伸缩缝发生损伤后会带来变形、破损、脱落以及渗漏等情况,进而引发车辆经过时产生跳跃感,这么一来就会提高桥梁结构的振动效应;要是桥面排水不顺畅,就容易造成积水,积水会浸润桥梁的内部结构,进而促使钢筋加速出现锈蚀以及混凝土出现老化;那么栏杆以及人行道上的围栏已经出现了损坏的痕迹。由于撞击损伤,使得结构出现了断裂,并且发生了错位和生锈的情况,这样的状况对通行的安全保障产生了影响。桥梁预制搭板普遍存在锈迹、纵向裂缝、网裂等病害问题,部分预制搭板出现锈胀露筋,搭板开裂导致桥面铺装产生反射裂缝,进而发展为搭板漏水甚至桥面板穿孔。^[2]

（二）上部结构病害

桥梁的上部结构作为主要的承重构件,它的病害状态是和承载性能直接关联的。对于整体浇筑的空心板,结构配筋偏重纵向,横向上仅布置构造钢筋,相对薄弱。^[3]典型的病害主要是以混凝土裂缝为主,具体的表现也就是横向、纵向、斜向以及网状开裂等形态。尤其是横向裂缝,它常见的分布区域集中在梁板跨中部位,裂缝宽度通常是在0.1至0.5毫米这个区间当中,在极端的情形下,甚至可以穿透梁板构件的整个横截面;裂缝的深度比较大,主要是处于梁板支座附近以及墩柱根部;铺装层以及梁板表面,有密布且较窄的网状裂隙;钢筋锈蚀包含了均匀锈蚀、局部锈蚀以及点蚀这三种形式。

（三）下部结构病害

那么墩柱开展了来自上部构造的荷载传导工作,混凝土表面出现了破损剥落以及细微裂纹,其内部钢筋逐渐暴露在了外面,薄壁墩体常见纵长的裂痕位于梁体顶面的横向裂痕也就是这些不规则的纹路,倾向于出现在结构所承受的正负方向弯曲应力值达到峰值的具体区域当中;纵向走向位置沿着预应力钢束方向运行,和施工中的预应力钢束位置、张拉、压浆等存在直接的关系,比如结构强度性能不足、钢束发生变形等。^[4]深基础病害问题的主要缘由是桥梁桩基裸露以及底部掏空,这种情况一般是由桥位附近的河床采砂活动以及雨季水流冲刷作用所引起,最终使得桥梁基础出现了不均匀沉降;桥梁的桥台结构现在出现了纵横交错的裂隙,渗水侵蚀的情况十分明显,重力台体由于土压超载以及钢筋配置上的欠缺,开展了破损方面的情况;支座老化方面的问题,主要体现为橡胶支座出现开裂以及变形、钢板支座产生锈蚀、滚动支座出现卡滞。

二、公路桥梁病害成因深入分析

（一）施工因素

材料选用若未达标,桥梁耐久性便受影响。施工操作若不合规,病害往往因此产生:混凝土强度若不足,钢筋性能若不佳,

结构稳固性便遭削弱在进行裂缝修复工作当中所使用的部分材料存在性能方面的缺陷,比如改性环氧基裂缝注浆料,它的劈裂抗拉强度没有达到25兆帕以上,抗压强度低于60兆帕的要求标准,这直接使得修复效果受到了损害;混凝土在浇筑当中进行振捣的工作不足,养护措施方面有所滞后,从而引发了收缩裂缝。这种现象的主要原因在于施工操作没有契合规范;在加固工程当中,开展植筋以及钢板的安置工作还有注胶操作,都偏离了标准规程,从而削弱了整体构造的联结稳固性;那么之前对桩头开展的处理工作不太恰当,并且混凝土的质量不太好,这样就直接成了后续墩柱出现病害的潜在缘由;在施工过程当中,质量控制措施没能严格开展执行工作,还没有构建起系统化的质量保障机制。

（二）运营荷载因素

运营期间的荷载作用是桥梁病害产生和发展的直接诱因:一是超载、重载车辆频繁通行,超出桥梁原设计荷载标准,导致梁板受拉区混凝土应力超过抗拉强度,已有裂缝马上被激活,并且让支座、墩柱等部件受到持续的侵蚀;紧急制动以及转向所引发的水平力,会对结构开展剪切应力施加工作,进而加速裂缝的扩展;城市桥梁承受着持续增长的交通负荷,通行车辆的频次过高,这样的状况会引发结构的长期疲劳。钢结构桥梁特别容易产生疲劳裂纹;四是桥面堆载、违规占用桥梁空间等行为,改变桥梁受力状态,引发局部结构损伤。

（三）环境与养护因素

自然环境侵蚀和养护管理不当是加剧桥梁病害的重要外部因素:一是自然环境侵蚀,高温、严寒、雨雪、风沙等气候条件导致混凝土热胀冷缩、冻融循环,引发裂缝;沿海地带盐雾处于弥漫状态,工业区域腐蚀气体频繁出现,这些情况都会加速开展钢筋锈蚀以及混凝土碳化的进程。桥梁结构长期暴露于自然条件下,受到环境温度和湿度的影响以及大气的侵蚀,容易出现下列损伤。^[5]钢筋锈蚀的主要缘由是氯离子的侵蚀作用;桥梁基础结构在水流持续浸润的状况下,它埋设区域周围的土体不断随着水进行移运,并且桥墩外壁的材质表层也会逐步地消减;桥梁的健康状况由于巡查机制的欠缺以及全寿命维护理念的缺乏而受到损害,病害在初期没有能够得到及时的检查和修葺处理,这样就从微小的迹象逐渐演变成了严重的问题;养护资金方面比较匮乏,以及技术水平相对滞后,使得检测和养护手段未能得以实现现代化;

三、公路桥梁养护加固技术探讨

（一）前期检测技术

精准地开展识别工作,为开展维护加固工作奠定了基石,检测技术主要把超声波、红外热成像以及雷达探测当作工具来使用,这些方法可以有效地开展混凝土内部缺陷的探查工作,比如

裂缝、空洞以及钢筋锈蚀情况，施工期间，桥梁原有的通行功能将会被保留下来；智能监测技术借助物联网传感器，来实时捕捉桥梁的振动频率、应力变化以及环境指标，进而实现对结构状态的动态追踪；无人机巡检技术能够快速地开展桥梁表层状况的采集工作，获取到高清影像数据，尤其适宜对地形崎岖或风险突出区域进行勘测；进行桥梁结构受力状态的仿真评估方面的工作，借助有限元技术来实现多工况模拟，这样预测病害形成趋势并且指导维护策略的优化工作的开展。

（二）常见病害养护技术

1. 裂缝病害养护技术

针对不同宽度的裂缝，采用分级修复方案：一是裂缝宽度 $< 0.1\text{mm}$ 的细微裂缝，采用表面封闭法，选用符合规范要求的裂缝封闭胶，其混合后初始黏度、涂层会把裂隙覆盖住，以此来阻隔湿气的侵蚀，同时要满足流动性以及时效方面的相关标准；中等裂缝的缝宽在 0.1 至 1.5 毫米，借助压力灌浆去处理。选用的材料为改性环氧或者改性水泥注浆料，它的劈裂抗拉强度不会低于 25 兆帕经过高压注浆把改性水泥浆体注入裂缝之后，改性水泥浆体得以实现封闭加固，它 28 天的抗压强度不会低于 55 兆帕，并且抗压强度高于 60 兆帕；在公路桥梁的养护工作中，养护人员应及时地清理桥梁伸缩装置内的杂物，同时，为了保障伸缩装置的功能发挥，应当及时地维修或更换已经损坏或老化的构件。^[6]针对宽度超过 1.5 毫米的严重裂缝，处理时要把裂缝周围已经损坏的混凝土层清除掉。然后，运用劈裂抗拉强度不低于 7 兆帕的聚合物砂浆来进行修补。在这基础上，接着开展压力灌浆工艺来完成最终的处理工作，开展钢筋补强方面的举措。干缩裂缝是因为水泥质量不符合施工标准、含泥量过高或者外加剂添加不合理，使混凝土坍落度增大，在进行混凝土浇筑时，出现水分散失速度过快的现象，使混凝土产生变形收缩的问题，从而引发裂缝问题的产生。^[7]

2. 钢筋锈蚀病害养护技术

钢筋养护的关键之处在于开展防腐蚀处理工作、进行锈迹清除以及来实现强度恢复。首要的步骤也就是进行表面除锈，借助机械或者是化学的手段，把钢筋上附着的锈层去除掉，从而保证钢筋表面能够达到洁净的状态；在开展环氧涂层以及防腐涂料对钢筋的涂刷工作当中，防腐能力得到了显著提升。应按照要求进行多遍钢筋阻锈剂喷涂，并在每一遍喷涂后，采取防止日晒雨淋措施。^[8]要是处于水下或者潮湿环境，那就得选用契合要求的界面剂，它钢对钢在湿态条件所具有的黏结拉伸抗剪强度不可以低于 10MPa ；三是混凝土修补，凿除锈蚀区域破损混凝土，更换受损钢筋，采用高性能混凝土或聚合物砂浆修补，确保修补材料与原结构黏结牢固，混凝土正拉黏结强度 $\geq 1.5\text{MPa}$ ；针对严重锈蚀的钢筋混凝土构件，借助外加电流或者牺牲阳极这种阴极保护方法，能够有效地开展阻滞钢筋持续锈蚀进程的工作。

（三）桥梁加固核心技术

1. 增大截面加固技术

这个工艺是基于现行规范 JTG/T 5531 - 2025 来开展的，针对的是桥梁承载能力下降以及混凝土强度不足这些问题。那么，首先需要对原构件表面进行预处理，去处理表面浮浆以及油渍的清理工作，通过增加表面粗糙度来实现粘附效果的提升；新增钢筋借助植筋手段来进行置入，这项施工工作必须按照规程来开展，确保锚固牢固可靠；钢筋新增时要进行妥善的安装，然后去开展高性能混凝土的浇筑工作。对于新增钢构件，它的制作、安装、连接以及涂装这些步骤都要落实到位；在混凝土开展养护工作的过程当中，把适宜的湿度以及温度条件维持住是极为重要的，这直接和材料最终强度的形成有着关联。运用加大构件截面的方法，能够有有效地提高它的整体承载性能以及结构刚度。确保伸缩缝路面的平稳性及封闭性，同时为确保人员能够定期对伸缩缝进行检查与养护，在安装时确保伸缩装置拆装便利。^[9]

2. 粘贴钢板加固技术

在去处理结合面方面的工作时，需要把表面的浮尘以及油污清除掉，这种方法适宜用于桥梁梁体以及板体抗弯以及抗剪能力不足的这种情形。该技术展现出施工比较便捷、工期相对较短并且对原结构影响比较小的优势，经过精细的研磨之后，要开展表面处理工作，确保其处于洁净以及干燥的状态；把锚栓埋置之后进行紧固，应当契合相关的施工准则；钢板的生产环节严格开展遵循设计规范的工作，它的几何形状以及规定的厚薄参数都得以精确落实；钢板的安装过程需要做到精准到位，接着开展封边工序，并且进行注胶作业。注胶需要做到充实饱满，避免内部产生气泡，这样来保障钢板与原结构之间得以实现牢固且紧密的黏结；对钢板开展现场涂装工作，来提高它的防腐性能，并且提升加固效果的长效性。

3. 粘贴纤维复合材料加固技术

施工之前开展构件表面的清理工作，并且把细微裂缝进行修复，确保表面平整；底胶被涂刷之后，纤维复合材料以及原结构之间的黏结力得到了提升；FRP 是一种性能优良的混凝土结构加固材料，具有轻质高强的优点。^[10]纤维复合材料，借助专用胶黏剂来开展粘贴工作，其牢固性得以保障，厚度以及平整度可以得到有效控制；构件在固化养护阶段会接受质检工作，杜绝出现空鼓以及脱落的情况。这样抗弯以及抗剪性能得以改善，整体重量却并没有因此而加重。

四、结束语

公路交通方面持续不断地进步，桥梁的维护以及加固技术在朝着智能、环保以及精细化这样的特性方向开展演变，桥梁病害监测系统需要把智能科技以及数据分析融入进来，来实现即时预

警以及精准维护，构建起覆盖桥梁使用全过程的智能化管理架构；二是研发新型环保、高效的养护加固材料，如自愈混凝土、高性能防腐材料等，提升养护加固效果，降低对环境的影响；那么，要开展桥梁维护机制的健全工作，把维护费用预算增

加，来深化技术人员专项培养方面的工作，提高管理执行的效能；在复杂环境当中，需要对桥梁病害机理开展深入探究工作，同时应不断去进行养护加固方案的优化，并且推进技术创新与升级，这样就能对公路桥梁基础设施的高质量发展形成支撑。

参考文献

[1] 张燕彬. 某国道公路桥梁病害成因分析及加固研究 [J]. 工程机械与维修, 2024, (10): 137-139.

[2] 孙俊杰. 公路桥梁养护与维修加固施工关键技术分析 [J]. 交通世界, 2022, (24): 45-47.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2022.24.022.

[3] 孙树利. 高速公路桥梁上部结构病害成因及养护对策分析 [J]. 工程建设与设计, 2019, (20): 77-78.DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2019.10.234.

[4] 杨超, 肖城. 公路桥梁上部结构病害成因及养护对策分析 [J]. 运输经理世界, 2021, (07): 91-92.

[5] 艾诚. 公路桥梁病害成因及养护对策分析 [J]. 运输经理世界, 2023, (31): 137-139.

[6] 陈燃. 公路桥梁伸缩缝常见病害成因分析及养护管理措施 [J]. 智能城市, 2019, 5(10): 98-99.DOI: 10.19301/j.cnki.znzs.2019.10.053.

[7] 李剑锋. 农村公路桥梁病害成因及养护管理策略分析 [J]. 运输经理世界, 2022, (11): 124-126.

[8] 陈瑞敏, 杨殿葆. 高速公路桥梁常见病害成因分析及维修加固对策 [J]. 内蒙古公路与运输, 2018, (06): 60-62.DOI: 10.19332/j.cnki.1005-0574.2018.06.014.

[9] 郭献松. 公路桥梁伸缩缝常见病害成因分析及养护管理措施 [J]. 交通世界, 2018, (28): 86-87.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2018.28.039.

[10] 王彬, 王迪. 公路桥梁下部结构致命病害成因分析与加固处治 [J]. 技术与市场, 2017, 24(08): 138-139+141.