

公路桥梁旧桥加固改造关键技术研究

代义鹏

保利长大工程有限公司 广东 广州 510620

【摘要】：随着我国公路交通路网不断改善，早期建成的许多公路桥梁已经进入服役中后期阶段。由于长期的交通荷载、自然环境侵蚀、设计标准低、养护不到位等因素的影响，大多数旧桥出现结构老化、承载能力下降、裂缝发展、刚度不够等病害，不能满足目前重载、大流量的交通通行要求，存在较大的安全隐患。旧桥加固改造比拆除重建具有造价低、工期短、环保节能等优点，是提高桥梁服役性能、延长桥梁使用寿命的主要方式。本文根据公路旧桥常见病害类型，整理出桥梁检测评估、结构加固、病害处理等主要关键技术，并通过实际工程案例检验技术应用效果，归纳出加固改造施工质量控制要点，为同类公路旧桥加固改造工程提供技术参考和实践借鉴。

【关键词】：公路桥梁；旧桥改造；结构加固；病害处置；施工技术

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.018

1 引言

我国大量的公路桥梁修建在上世纪八九十年代，由于当时的设计规范、施工工艺、材料性能的限制，桥梁整体设计标准较低。近些年来，公路交通流量持续攀升，重载车辆所占比例越来越大，雨水冲刷、温度变化、冻融破坏等自然环境的长期影响，使老旧桥梁结构损伤逐渐增多，混凝土碳化、钢筋锈蚀、梁板开裂、支座老化、基础沉降等问题时有发生，直接威胁到桥梁通行的安全性和耐久性。拆除重建旧桥会造成大量的建材浪费、交通瘫痪、增加工程投资，不符合绿色交通、提质增效的工程建设理念。科学开展旧桥检测评价，准确选择加固改造技术，可以较好地恢复和提高桥梁结构的承载能力，改善结构受力状态，延长桥梁使用寿命，大幅度降低工程成本。因此，本文从公路旧桥加固改造全过程的技术关键入手，通过工程实例对技术应用要点和实施效果进行分析，给旧桥养护改造工程提供技术支持。

2 公路旧桥常见病害及成因分析

2.1 上部结构病害

上部梁板是桥梁的主要承重结构，也是病害高发的部位，主要病害有混凝土裂缝、表层剥落、钢筋锈蚀、梁板变形下挠。混凝土裂缝分为结构性裂缝和非结构性裂缝，结构性裂缝多由于长期重载荷载、结构刚度不够、预应力损失等原因造成，会直接破坏结构受力体系；非结构性裂缝是由温度变化、混凝土收缩、养护不当引起的，虽然不会直接影响承载力，但是会加速水分、有害介质的渗透，引起钢筋锈蚀。钢筋锈蚀之后会产生体积膨胀，造成混凝土保护层开裂剥落，从而降低结构的整体性和耐久性。

2.2 下部结构病害

桥梁墩台、基础为主要竖向承重结构，常见病害有墩身混凝土开裂、表层风化剥落、基础不均匀沉降、墩顶偏移。早期桥梁基础大多为浅基础，地基处理标准低，长期受到车辆荷载

反复冲击、河水冲刷、土体湿陷的影响，容易出现地基承载力下降，引起基础不均匀沉降，造成墩台倾斜、梁板受力不均，加重上部结构损伤。墩台长期处在自然环境之中，混凝土碳化速度较快，钢筋锈蚀状况严重，造成墩身承载能力逐渐降低。

2.3 附属结构病害

桥梁支座、伸缩缝、桥面铺装等附属结构病害最集中。支座长期受梁板压力和剪切的作用，易产生老化变形、开裂破损、脱空失效，造成梁板受力不均、伸缩位移受阻。伸缩缝堵塞、破损造成雨水渗入梁体和墩台，引起结构腐蚀破坏。桥面铺装层开裂、坑槽、沉降等病害都会增大车辆的冲击荷载，加快主体结构损伤老化。

2.4 病害核心成因总结

旧桥病害产生主要是由于三个方面造成的。一是设计施工的限制，早期的规范标准较低，结构的安全储备不够，施工工艺粗糙，有先天的质量缺陷。第二，运营荷载过大，交通流量、重载车辆远远超过设计荷载，结构一直处在超载状态下。三是环境与养护因素，自然环境侵蚀加快了结构的老化速度，日常养护巡查不到位，微小病害没有及时处理，慢慢变成结构性病害。

3 旧桥加固改造前期检测评估技术

3.1 无损检测技术

无损检测技术不破坏桥梁结构，能准确地对结构内部的损伤及材料性能进行检测，主要应用技术有超声波检测、回弹检测、电磁感应检测、声波 CT 检测。回弹法适合检测混凝土表面强度，操作简便、速度快；超声波检测可以探测混凝土内部空洞、裂缝深度和密实度；电磁感应法可以检测钢筋间距、保护层厚度和锈蚀情况；声波 CT 检测可以对结构内部损伤进行可视化，准确找到隐蔽病害，给病害量化分析提供数据支持。

3.2 结构荷载试验评估

荷载试验分为静载试验和动载试验，是判定桥梁实际承载力的主要方法。静载试验是用分级荷载来测定桥梁梁板的应变、挠度和裂缝开展情况，检验结构实际承载能力和受力性能。动载试验采用车辆激振测试，得到桥梁自振频率、阻尼比、振型等动力参数，判定结构整体刚度、整体性以及损伤情况。

3.3 承载力评估计算

根据检测数据，按照现行公路桥梁设计规范，对桥梁结构承载力进行折减计算，主要的承载力计算公式如下所示。

$$\gamma_0 S \leq R(f_d, \alpha_d, \xi_d)$$

式中： γ_0 为结构重要性系数； S 为作用效应组合设计值； R 为结构抗力设计值； f_d 为材料强度设计值； α_d 为结构尺寸修正系数； ξ_d 为病害损伤折减系数。通过公式计算可精准判定桥梁承载力缺口，为加固方案设计提供量化依据。

4 旧桥加固改造核心关键技术

4.1 混凝土裂缝处置技术

裂缝属于旧桥最基础的病害，应依照裂缝宽度和性质来实施有针对性的处理。宽度小于 0.2mm 的细微非结构性裂缝用表面封闭法处理，清理裂缝表层杂物后涂刷专用结构胶，封闭裂缝通道，阻止有害介质渗入。宽度大于 0.2mm 的活动性结构性裂缝用压力注浆加固技术，用高压注浆设备把环氧树脂注浆液注入裂缝内部，填充裂缝空隙，粘结开裂混凝土，恢复结构整体性，有效地抑制裂缝的持续扩展。该技术可以将裂缝控制精度控制在 0.1mm 以下，从而大大提高结构的抗渗性和完整性。

4.2 粘贴钢板加固技术

粘贴钢板加固技术适合于梁板受拉区承载力不够、局部刚度偏小的旧桥加固施工。施工时对构件混凝土表面进行打磨清理，清除浮浆、油污，用结构专用胶和化学锚栓将钢板固定在梁板受拉部位，使钢板与原混凝土结构共同受力。钢板可以代替一部分钢筋来承担拉力，提高构件的抗弯、抗剪承载力，抑制裂缝的发展。该技术施工周期短、对桥梁通行影响小，加固后结构自重增加少，适合中小跨径公路混凝土桥梁加固改造。

4.3 碳纤维复合材料加固技术

碳纤维布、碳纤维板等纤维增强复合材料轻质、高强度、耐腐蚀、耐久性好，是目前旧桥加固的新型环保材料。该技术用专用粘结构胶把碳纤维材料粘贴在构件受拉面上，依靠碳纤维高强抗拉性能来提高结构承载力和刚度，并且约束混凝土变形，减缓结构的老化损伤。相比传统的加固技术，碳纤维加固不需要大型的施工设备，施工方便，耐腐蚀性能好，特别适合于沿海、高湿等恶劣环境下旧桥的加固，可以大大提高桥梁结构的耐久性和抗疲劳性能。

4.4 体外预应力加固技术

对预应力混凝土旧桥预应力损失、梁板下挠、整体刚度大幅下降的重度病害，用体外预应力加固技术。在梁体外部布置预应力钢束，张拉后产生反向弯矩，抵消一部分车辆荷载引起的正向弯矩，减小梁板挠度，闭合结构裂缝，提高桥梁整体承载能力。该技术可以主动调节结构受力状态，加固效果明显，适合于大跨径预应力箱梁、T 梁旧桥的病害整治和性能提高，常常和体内预应力加固一起组成组合加固体系，适应重度损伤桥梁改造。

4.5 桥梁基础与墩台加固技术

基础不均匀沉降、地基承载力不够时，一般采用注浆加固和扩大基础加固。地基压力注浆是向地基土体内注入水泥基浆液，填充土体空隙，固结松散土体，提高地基承载力和稳定性的一种方法。扩大基础加固就是增大基础混凝土浇筑范围，扩大受力面积，降低基底应力，解决基础沉降问题。风化破损的墩台结构用混凝土增大截面法加固，绑扎新增钢筋后浇筑高强度混凝土，增厚墩台截面，提高墩台竖向承载能力和抗倾覆性能。

4.6 附属结构更新改造技术

对老化、破损、失效的桥梁支座、伸缩缝进行整体更换，选用高阻尼、耐老化的新型支座和伸缩缝，保证梁板伸缩位移自由、受力均匀。对破损桥面铺装实行铣刨重铺，加设防水层，加强桥面防水抗渗，减小雨水对主体结构的侵蚀。附属结构改造可以很好地解决桥梁次生病害，保证主体加固的效果，延长桥梁的整体使用寿命。

5 工程案例应用分析

以某省级公路 K12+350 处预应力混凝土连续箱梁旧桥为研究对象，桥梁总长 86m，单跨跨径 21.5m，服役年限 22 年，原设计荷载为公路-II级。现阶段交通流量不断增大，重载车辆频繁通过，桥梁底板横向开裂、预应力损失、梁板轻微下挠、支座老化脱空等病害时有发生，经检测承载力不能满足现行通行标准要求，必须进行加固改造。

5.1 桥梁病害检测结果

利用无损检测和静动载试验确定桥梁主要病害数据，具体检测结果见下表。

表 1 桥梁病害检测结果

检测项目	检测结果	规范允许值	病害判定
底板最大裂缝宽度	0.32mm	$\leq 0.2\text{mm}$	结构性裂缝，超标
梁板最大挠度	18.6mm	$\leq 15\text{mm}$	刚度不足，下挠超标
预应力损失率	16.8%	$\leq 10\%$	预应力衰减严重

支座完好率	58%	100%	多数支座老化失效
-------	-----	------	----------

5.2 加固方案设计

按照病害检测结果以及承载力计算数据,采用精准处理、协同加固、经济高效的方案来进行选择。一是对宽度超标的结构性裂缝用压力注浆进行处理,封闭裂缝、恢复结构的整体性。二是用体外内外组合预应力加固技术,在腹板上增设体内长束、底板上增设体外短束来弥补预应力损失,提高结构的刚度和承载力。三是更换全部老化支座,采用高阻尼橡胶支座,改善结构受力传递体系。四是对桥面破损的铺装层进行铣刨重铺,并设置防水粘结层。

5.3 加固效果验证

加固施工完成后,对桥梁进行复检和荷载试验,加固后的桥梁各项性能指标均满足现行规范要求,具体效果数据见表。

表2 加固效果验证

检测项目	加固前数值	加固后数值	规范标准	提升效果
最大裂缝宽度	0.32mm	0.08mm	≤0.2mm	裂缝完全受控
梁板最大挠度	18.6mm	12.3mm	≤15mm	刚度提升33.9%
结构承载力	公路-II级(不达标)	公路-I级(达标)	公路-I级	满足现行通行标准
结构整体性系数	0.81	0.96	≥0.9	整体性显著提升

工程实践证明,本次所用的组合加固技术针对性强、效果明显,可以很好地解决桥梁刚度不够、裂缝发展、预应力损失等问题,使桥梁的整体承载能力、耐久性和稳定性得到大幅度提高,改造工期比拆除重建缩短了40%,工程造价降低了25%,经济效益和社会效益明显。

6 加固改造施工质量控制要点

6.1 前期质量控制

施工前要进行全面的桥梁检测复核,准确地整理出病害清单,根据桥梁结构的特点来制定加固方案,防止盲目施工。对

加固用的原材料进行严格的检查,结构胶、碳纤维材料、钢板、预应力钢束等主要材料应有合格的检测报告,进场后随机抽取样品进行复试,保证材料强度、耐久性满足设计要求。同时根据现场交通状况、施工环境编制专项施工方案及安全防护方案。

6.2 施工过程质量控制

严格控制各个工序的施工精度,裂缝注浆要控制注浆压力和注浆速度,保证浆液饱满密实;粘贴钢板、碳纤维材料前,彻底清除混凝土基层,保证粘结面干净干燥,控制粘结胶厚度和养护时间;预应力张拉按照分级张拉、对称张拉的原则,准确控制张拉应力和伸长量,防止出现张拉偏差。施工过程中同步进行工序检测,上道工序验收合格后才能进行下道工序施工。

6.3 后期验收与养护控制

加固施工完毕后进行全部的竣工验收和荷载试验,检验加固效果是否达到设计及规范要求。验收合格之后创建桥梁专项养护档案,制订常态化的巡查养护制度,定时检测桥梁结构状况,及时处置细微的病害,防止损伤累积,保证加固效果的长久性,延长桥梁服役年限。

7 结论

公路旧桥加固改造属于改善道路交通通行能力,盘活存量交通资产,节约工程建设资源的有效途径。旧桥病害产生是设计、荷载、环境、养护诸多因素共同造成的,加固改造要遵循先检测评估、后精准施策的原则,根据病害类型、损伤程度科学选择裂缝注浆、粘贴补强、预应力加固、基础处理等核心技术,用单一技术或者组合技术提高结构性能。工程实例显示,科学的组合加固技术可以改善桥梁结构的承载能力、刚度,控制结构病害的发展,比拆除重建具有明显的经济、工期优势。施工过程中严格实行全过程质量控制,这是保证加固改造效果、提高桥梁耐久性的重要环节。随着新型复合材料、智能化检测技术的不断更替,旧桥加固改造会朝着更加智能、绿色、精细的方向前进。无损智能检测、新型高强耐久加固材料、结构智能监测等技术的应用,将会使旧桥加固改造更加精确、持久,给公路桥梁存量资产提质增效赋予愈加完备的技术支持。

参考文献:

- [1] 张上慧.公路桥梁养护管理与危桥加固改造研究[J].运输经理世界,2025,(27)157-159.
- [2] 周逸宇.公路桥梁养护管理与危桥加固改造技术的研究[J].工程建设与设计,2025,(12)160-162.
- [3] 张栋.公路桥梁养护管理及危桥加固改造技术[J].运输经理世界,2025,(13)130-132.
- [4] 贾维杰.公路桥梁养护管理及危桥加固改造技术分析[J].散装水泥,2024,(6)92-94+97.
- [5] 刘赛.公路桥梁养护管理与危桥加固改造技术的探究[J].建材发展导向,2024,22(22)99-101.