

高速公路改扩建工程既有结构物检测评定与加固施工技术研究

王嘉斌

新疆北方建设集团有限公司 新疆 奎屯 833200

摘 要：随着我国早期建设的高速公路陆续进入改扩建高峰期，既有结构物的检测评定与加固施工成为改扩建工程的核心技术环节。本文系统分析了高速公路改扩建中既有桥梁、涵洞、通道及支挡结构物的主要病害特征与服役状态退化规律，从检测内容、评定方法和技术标准三个层面构建了结构物检测评定体系。在此基础上，重点论述了桥梁上部结构与下部结构加固、涵洞与通道加固、路基边坡与挡墙加固的关键施工技术，并探讨了新旧结构协同受力与差异沉降控制的施工策略。研究表明，改扩建工程中既有结构物的处理应遵循“检测定性、评定定量、加固定策”的技术逻辑，将结构物安全评估与改扩建后的荷载需求有机衔接，实现既有资源的最大化利用与结构安全性的有效提升。

关键词：高速公路改扩建；既有结构物；检测评定；加固施工

引言

我国早期高速公路陆续进入设计使用年限中后期，面临交通饱和、标准滞后等问题，改扩建成为重点任务。与新建工程不同，改扩建需处理大量既有桥梁、涵洞等结构物，其在长期服役后存在损伤与性能退化，却仍需继续承担更高荷载。因此，科学检测评定与有效加固是保障工程质量和运营安全的关键。然而，检测常受限于不中断交通条件，精度受限；加固则受制于总体工期，新旧结构协同受力复杂。加之不同年代结构物在规范、材料和构造上差异显著，难以采用统一方法。本文系统梳理检测评定与加固施工关键技术，为改扩建工程提供理论与实践参考。

1 既有结构物的典型病害与服役状态特征

1.1 桥梁结构的病害类型

改扩建工程中的既有桥梁多为 20 世纪 90 年代至 21 世纪初建造，以预应力混凝土连续箱梁、简支 T 梁和空心板梁为主要结构形式。经过长期的车辆荷载和环境作用，其典型病害包括：上部结构的混凝土碳化与钢筋锈蚀（以铰缝、湿接缝和预应力管道附近最为集中），梁体裂缝（包括跨中正弯矩区竖向裂缝、支点附近斜裂缝和锚固区局部裂缝），预应力损失引起的跨中下挠，支座老化变形及脱空，以及伸缩缝损坏导致的桥面系冲击荷载增大^[1]。下部结构方面，墩柱和盖梁常出现混凝土保护层剥落和受力钢筋锈蚀，桩基因冲刷或地质变化导致承载力不足，桥台锥坡和台背填土沉降等。

1.2 涵洞与通道的病害特征

涵洞和通道在改扩建工程中数量众多，其病害往往不如桥梁引人关注，但失效后果同样严重。浆砌片石涵洞（尤其是早期修建的）多出现砌体灰缝脱落、石料风化碎裂和渗水掏空等病害，结构整体性和防水性能显著下降。钢筋混凝土涵洞则常见顶板及侧墙裂缝、钢筋锈蚀和沉降缝错位，在重载交通下可能发生结构开裂加剧甚至局部垮塌。通道的净空高度和宽度往往难以满足改扩建后道路拓宽和交通量增长的需求，除结构安全外还面临功能适用性不足的问题。

1.3 支挡结构物的主要问题

路堑边坡的挡土墙和路堤边坡的护坡结构在改扩建中同样需要评估。重力式挡墙的典型病害包括墙身倾斜、基础滑移、泄水孔堵塞导致的墙后积水及墙体开裂。加筋土挡墙和锚杆挡墙等轻型支挡结构在长期服役中可能出现筋材老化松弛、锚头锈蚀和墙面板变形。这些支挡结构物在改扩建中往往还需要适应路堤加宽或路堑加深带来的荷载变化和稳定性需求调整，其评定与加固难度不容忽视。

1.4 服役状态退化的主要规律

既有结构物的退化遵循一定的规律。时间维度上，混凝土结构在建成后前 10 年以碳化为主，之后逐渐进入钢筋锈蚀加速期，一般在服役 20~30 年时锈蚀损伤达到显著水平。空间分布上，梁板铰缝和湿接缝是应力集中和渗水通道，退化速率最快；支座和伸缩缝等可更换构件则是耐久性最薄弱的环节。外部因素方面，重载交通比例高的路段，桥梁疲劳损伤和累加变形更为突出；近

海或除冰盐影响区的结构物，氯离子侵蚀引起的钢筋锈蚀更为严重。理解这些规律有助于在检测评定时有的放矢，提高效率与准确性。

2 既有结构物的检测与评定技术

2.1 检测内容与检测方法体系

既有结构物的检测应遵循“全面普查、重点详查、专项深化”的三级递进原则。全面普查以目视检查和简易量测为主，覆盖所有结构物，目的是初步分级分类，筛选出需要重点排查的对象。重点详查针对普查中发现问题或服役年限较长、结构形式关键的结构物，采用无损检测手段进行细致检查，内容包括：混凝土强度（回弹法、超声回弹综合法）、碳化深度、钢筋保护层厚度及锈蚀电位（半电池电位法）、裂缝宽度与深度、结构几何尺寸与变形等。专项深化则针对重大病害或关键结构，采用静载试验进行承载能力验证^[2]。在检测方法上，应采用多种方法相互印证——混凝土强度检测时，回弹法检测值需与钻芯取样法比对修正，以提高数据可靠性；钢筋锈蚀程度需结合电位检测和混凝土电阻率测量综合评判。

2.2 基于检测数据的评定方法

评定工作的核心是将检测数据转化为结构状态的定量判断。评定内容主要包括承载能力评定、耐久性评定和适用性评定三个层次。承载能力评定是改扩建中最重要的内容，其方法可分为基于规范的计算评定和基于荷载试验的验证评定。计算评定遵循《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/TJ21），在实测材料强度、截面尺寸和钢筋分布的基础上，引入检算系数对原设计承载力进行折减或修正，得出实际承载能力。当计算评定结果接近临界状态时，应进行荷载试验验证——通过分级加载测定结构控制截面的应变和挠度，与理论计算值对比，判定结构是否满足设计荷载要求。耐久性评定以剩余使用寿命预测为目标，综合考虑混凝土碳化速率、氯离子扩散系数和钢筋锈蚀速率等参数。适用性评定则关注结构尺寸、净空、标高等是否满足改扩建后的功能需求，如桥下净空是否满足新规划道路的要求、桥梁宽度是否与拓宽后断面匹配等。

2.3 改扩建条件下的特殊评定需求

改扩建工程对既有结构物提出了不同于常规养护评定的特殊要求。首先是荷载标准的提升——许多早期高速公路原设计荷载为汽车-超20级或公路-I级（旧版），而改扩建后可能需要满足更严格的荷载标准或承受更密集的重载交通，评定时需重新进行荷载组合和效应验

算。其次是结构体系的改变——例如，桥梁拓宽后新旧结构若采用刚接或铰接连接，原有独柱墩可能变为双柱墩体系，结构受力模式发生变化，需重新检算各构件的内力分配^[3]。再者是施工过程的临时荷载——改扩建施工中既有结构可能作为施工便道或临时支撑的受力点，需评估其在施工阶段的承载安全性。这些特殊评定需求要求在常规检测项目之外增加与改扩建设计方案直接相关的专项检算。

3 既有结构物的加固施工技术

3.1 桥梁上部结构加固技术

根据评定结果，对于承载能力不足或耐久性严重退化的桥梁上部结构，需采取针对性的加固措施。体外预应力加固法是应对梁体下挠和主拉应力超限的有效手段——在梁体外部增设预应力钢束，通过张拉产生反向弯矩，改善结构受力状态。施工时需精确定位转向块和锚固块的位置，避免对原有预应力管道造成干扰，张拉过程中应同步监测梁体变位，控制张拉速率和分批张拉顺序。粘贴加固法（粘钢和粘贴CFRP）适用于抗弯或抗剪承载力局部不足的情况，其关键施工要点包括：基面处理至足够粗糙度并确保干燥清洁，胶粘剂涂布均匀无气泡，粘贴后在规定养护期内不得承受振动荷载。增大截面加固法通过加厚梁肋或桥面板来提高截面刚度，施工时需注意新增钢筋与原结构钢筋的可靠连接，一般采用植筋实现，植筋的锚固深度和抗拔力需满足设计要求。对于铰缝和湿接缝损坏严重的情况，需凿除旧缝并重新浇筑钢纤维混凝土，同时加强横向联系筋的设置。

3.2 桥梁下部结构与基础加固

下部结构加固的重点在于提升墩柱承载力和改善基础稳定性。墩柱加固常用外包钢法和增大截面法，前者通过在柱四角设置角钢并灌注环氧砂浆形成组合截面，后者则在柱周绑扎钢筋网并浇筑细石混凝土。对于抗震能力不足的墩柱，还可采用碳纤维布环向包裹的方式提高延性，包裹层数根据抗震验算确定，搭接长度须满足规范要求。桩基加固是基础处理的重点和难点，当桩基检测发现承载力不足时，可采用桩侧或桩底注浆技术——通过预埋注浆管向桩周土体或桩端持力层注入水泥浆，提高桩侧摩阻力和桩端阻力。对于桩身缺陷严重的情况，可考虑增设补桩与原承台连接，实现荷载分担，补桩施工需严格控制对原结构的扰动。桥台加固则多采用台后注浆和加设支撑梁等措施，解决台背填土沉降和台身倾覆稳定问题。

3.3 涵洞与通道的加固方式

涵洞加固的技术策略取决于其结构形式和病害程度。对于浆砌片石涵洞,若砌体强度尚可但灰缝脱落,可采用高压喷射水泥砂浆修补裂缝和重新勾缝,并布设钢筋网喷射混凝土形成复合衬砌。若结构整体变形严重,则需在涵洞内侧套筑钢筋混凝土内衬——先对原涵洞内壁进行凿毛和植筋,然后绑扎内衬钢筋并浇筑混凝土,形成“涵中涵”结构。钢筋混凝土涵洞的加固以粘贴 CFRP 或钢板为主,对顶板底部受拉区和侧墙内外侧分别布置,提高抗弯能力^[4]。此外,涵洞的防水与排水系统修复往往与结构加固同等重要——沉降缝重做止水带、增设洞外截水沟和洞内排水槽,防止水害进一步侵蚀结构。

3.4 新旧结构衔接与协同施工

高速公路改扩建区别于新建工程的本质特征在于新旧结构的衔接,这在桥梁拓宽中尤为突出。桥梁横向拓宽时,新旧梁体之间的连接方式决定了结构的协同受力性能。刚接方案通过凿除旧桥边梁翼缘混凝土、与新桥边梁钢筋焊接后整体浇筑湿接缝,使新旧结构形成整体共同受力,适用于对整体性要求较高的工况,但需精细计算收缩徐变差异引起的次内力。铰接方案则仅在新旧梁体间设置剪力铰或简支连接,传递剪力但不传递弯矩,适用于差异变形较大的情况。无论采用何种方案,新旧结构结合部的混凝土浇筑质量都是施工控制的重点——需采用微膨胀混凝土补偿收缩,加强振捣,并在结合面涂刷界面剂。在路基拓宽方面,新旧路堤结合部的差异沉降控制同样关键,需通过设置土工格栅加筋层和台阶开挖等措施,使新老路基形成渐变过渡。

4 加固施工质量控制要点与风险应对

4.1 加固施工质量控制

加固工程的质量控制具有隐蔽性和不可逆性,必须将关口前移。原材料控制方面,加固用胶粘剂、灌浆材料和混凝土应进行进场复验,关键指标(如粘结强度、抗压强度、流动度)逐批检验。植筋工程应进行现场拉拔试验,试验数量不少于总植筋数的 1% 且不少于 3 根。粘贴加固的空鼓率检测应在固化后 7 天内完成,采用敲击法或红外热成像法检查,空鼓面积超出允许值时须进行注胶修补。预应力张拉的伸长值和锚固回缩量应双控,以张拉力为主、伸长值为辅进行校核,偏差超过 $\pm 6\%$ 时应停止张拉查明原因。所有检测数据应及时归档,形成

完整的质量可追溯记录。

4.2 安全风险与应对措施

既有结构物加固施工面临的安全风险包括:原结构在施工中因受力体系改变而发生突发性破坏(如凿除混凝土时损伤预应力筋),高空作业坠落,施工支架失稳以及既有结构物本身因破损构件坠落伤人等。应对措施的核心是“先支撑、后作业”——任何对原结构受力构件的拆除或削弱,均须在临时支撑到位后方可进行,支撑的布置和承载力须经计算确定。对于预应力结构,严禁在未探明预应力筋位置之前进行切割或钻孔。拆除的废弃混凝土应及时清运,不得堆载于既有结构上。施工过程应设专职安全员进行全程监护,对关键工况实施带班作业和影像记录。

5 结语

高速公路改扩建工程中既有结构物的检测评定与加固施工,是保障改扩建后道路安全运营的关键技术环节。本文从病害特征分析出发,系统论述了检测评定的方法体系、加固施工的多种技术方案以及施工组织中的质量控制要点。研究认为,改扩建工程既有结构物的处理应建立“检测定性、评定定量、加固定策”的三步技术逻辑,将结构安全评估与改扩建设计需求紧密对接,避免过度加固造成浪费或加固不足遗留隐患。新旧结构的协同工作是改扩建区别于新建的特殊难点,需要在结构连接方案、材料匹配和施工顺序等方面统筹考虑,以控制差异变形和次生内力。随着检测技术的数字化(如三维激光扫描和无人机检测)和加固材料的性能提升,未来既有结构物的评估精度和加固效率将进一步提高,为大规模改扩建工程提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 张喜刚,王仁贵,李毅.既有公路桥梁承载能力评定方法研究[J].中国公路学报,2023,36(3):1-12.
- [2] 周建庭,杨渡军,沈小俊.基于检测数据的既有桥梁剩余寿命预测[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(8):1-8.
- [3] 贺拴海,宋一凡,赵煜.公路旧桥加固技术的适用性评价[J].长安大学学报(自然科学版),2021,41(6):45-54.
- [4] 卢明奇,朱晔,王克海.涵洞结构检测评定与加固技术综述[J].地下空间与工程学报,2025,21(2):452-461.