

# 试析高速公路桥梁养护与维修加固施工技术

文 / 谢振浩 广东云茂高速公路有限公司

**摘要：**桥梁养护与维修加固是应对结构退化的重要手段，其核心目标是通过预防性养护延缓病害发展，通过针对性维修修复局部损伤，通过系统性加固提升结构承载能力。科学合理的养护与加固技术，既能避免因病害扩大导致的大规模重建，降低全生命周期成本，又能保障交通网络的持续畅通。为此，本文分析了高速公路桥梁养护维修原则，结合云茂高速桥梁养护专项工程实例，阐述高速公路桥梁养护策略与维修加固施工技术措施，旨在提升桥梁养护管理水平，保障交通通行安全。

**关键词：**高速公路；桥梁养护；维修加固；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.061

## 引言

近年来，我国高速公路通车里程逐年稳步增长，对改善交通出行体验、促进社会经济发展有重要的作用。与此同时，高速公路桥梁投运使用期间，在环境侵蚀与动态交通荷载影响下，桥梁结构有所劣化，出现质量病害，甚至缩短桥梁使用寿命，从而危及交通行车安全。为此，应科学诊断高速公路桥梁质量状况，针对性开展桥梁养护与维修加固施工活动，延长桥梁使用寿命，确保高速公路网络的安全稳定运行。

### 一、高速公路桥梁养护维修原则

#### （一）防治结合

高速公路桥梁病害具备早期微小特征，初期质量病害的危害程度较为轻微，如果病害会持续发育，逐步恶化桥梁结构，最终导致桥梁寿命缩短和引发交通事故。因此，管养单位必须遵循防治结合原则，提前识别并消除病害隐患。一方面，建立常态化检测机制，定期鉴定桥梁结构质量状态，争取在最短时间内发现早期病害。另一方面，综合分析交通荷载、环境条件等因素，预估高速公路桥梁使用情况，找出易损部位，预测未来可能出现的质量病害，预防性进行维修加固，从根源上预防病害发生<sup>[1]</sup>。

#### （二）分级处置

高速公路桥梁病害类型多，不同类型、不同发展阶段病害问题的危害程度有着显著差别，如果盲目开展养护维修活动，不但会加重养护管理负担和浪费资源，同时，也可能因问题处置不及时而加剧受损程度。因此，管养单位需要建立分级处置机制，以危害程度作为分级标准，把高速公路桥梁病害隐患分为轻微病害、中度病害和重度病害。对于轻微病害，如桥面细微裂缝，基本不对桥梁结构安全造成影响，择机开展养护作业，避免轻微病害继续发展。对于中度病害，如梁体裂缝超限和墩柱沉降，对桥梁结构安全造成威胁，需要在最短时间内诊断桥梁质量状态和修补破损部位。对于重度病害，即刻开

展维修加固施工活动的基础上，额外采取交通管制措施，禁止无关车辆通行，直至病害问题得到彻底解决，且桥梁结构趋于稳定状态。

#### （三）针对性养护

高速公路桥梁病害主要因外部环境侵蚀和交通荷载所引起，不同高速公路工程的环境条件、交通量存在差异，导致桥梁病害概率、病害类型和结构老化速度有所差异。桥梁养护维修期间，管养单位必须遵循针对性养护原则，综合分析桥梁结构类型、使用环境、病害成因等因素，针对性的制定养护方案。例如，本工程质量病害集中出现在桥下边坡部位，病害类型包括表层冲刷、浅层滑塌、坍塌等，因连续强降雨天气而引起，以增强边坡结构稳定性作为养护维修目标，组合采取挂网锚喷、混凝土护面墙等技术措施。

#### （四）全生命周期管理

高速公路桥梁养护管理是一项长期性活动，高速公路建成通车至废弃拆除阶段，动态开展养护活动，负责及时处理质量病害和维持桥梁结构良好状态，对养护效果和时效性提出严格要求。对此，养护单位应遵循全生命周期管理原则，推行“建养一体化”模式，提前根据高速公路桥梁已知信息，制定长期养护计划。桥梁投运使用期间，实时监测桥梁结构状态，动态掌握桥梁结构性能与质量状态的变化情况，及时察觉隐患问题，专项开展养护活动，对结构劣化、破损部位进行维修加固<sup>[2]</sup>。

## 二、工程概况

云茂高速跨越广东、广西地区，起点位于云浮罗定市围底镇，终点位于茂名高州市荷花镇，公路全长为129.7km，2017年全面开工建设，2021年6月建成通车，高速公路全线分布141座桥梁，包括6座特大桥、99座大桥、30座中桥和6座小桥。高速公路桥梁安全巡查期间，发现多座桥梁都出现边坡浅层滑塌、基础掏空、排水系统失效等质量病害，且桥梁结构出现程度不一的劣化现象，各类问题集中爆发的深层原因在于，2024年4-5

月连续出现强降雨天气。为及时消除安全隐患，预防桥梁结构严重受损和引起交通安全事故，全面鉴定云茂高速桥梁质量状态，统计桥梁受损问题，专项开展桥梁养护维修行动。

### 三、高速公路桥梁养护与维修加固施工技术措施

#### (一) 表面处理

为改善桥梁结构使用状态，提升桥梁耐久性，本项目着重进行表面处理，以恢复桥梁初始表面形态，并根据构件材质来选择表面处理方法，如混凝土构件、钢构件、沥青桥面等。

以混凝土结构表面处理方法为例，先后开展表面清理、缺陷修复预处理、表面粗糙处理三道工序。第一，表面清理。采取高压水冲洗方法，水压保持在10~25MPa，水流方向和结构表面保持30°~45°夹角，强力冲刷桥梁结构表面浮尘、泥沙和可溶性污渍。如果表层结构存在混凝土碳化病害，或是浮浆层厚度较大，则采取机械打磨方法，操控角磨机反复打磨表层结构，直至彻底去除碳化部分和露出内部坚实结构，再利用高压风或是高压水冲洗表面碎屑，打磨深度不得超过10mm。第二，缺陷修复预处理。逐一标记桥梁结构上的缺陷部位，根据缺陷类型与受损程度，选择正确修补方法。例如，面对裂缝病害，以裂缝宽度作为受损程度评定标准，分为浅表裂缝和中深裂缝。浅表裂缝宽度不足0.2mm，采取表面封闭方法，彻底清理缝隙内部灰尘污渍，保持裂缝内部和表面洁净状态，均匀涂抹渗透型密封剂，静置1~2h等待密封剂干燥固化。中深裂缝宽度超过0.2mm，标记裂缝走向，开凿V型槽，槽内冲洗浮沉碎屑，等待槽内彻底干燥后，内部嵌入聚合物水泥砂浆<sup>[3]</sup>。第三，表面粗糙处理。桥梁结构上铺贴碳纤维片材、浇筑全新混凝土或是铺贴防水卷材时，额外对表层结构进行凿毛喷砂处理，用于提高新材附着力。施工人员在表层结构上开凿形成凹坑，凹坑深度不超过5mm，相邻凹坑间距控制在30~50mm。或是利用压缩空气在表层结构上持续喷射石英砂等坚硬材料，逐渐形成均匀粗糙面，表层结构粗糙度达到Ra10~25 μm。

#### (二) 支座更换

第一，梁体顶升。彻底清理支座表面和周边杂质，完全露出梁体底部与盖梁顶面部位，标记梁体位置，作为复位基准。盖梁上部安装千斤顶，作为顶升设备，并在跨中、梁端等位置部署位移传感器，顶升系统进行空载试验和预顶试验，要求各台千斤顶保持相同升降节奏。完成准备工作后，分多次顶升梁体，单次顶升高度不得超过5mm，总体顶升高度略超出支座厚度，并在梁体顶升就位后设置临时支撑设施。第二，支座拆除。按照原有支座种类来选择拆除方法，面向盆式支座，拆除全部

螺栓后，缓慢吊离支座，中途不得碰撞梁体；面向橡胶支座，直接撬动取出原有支座。支座拆除后，继续处理下部垫石，凿除破损部位和修补不平整部分，以高强灌浆料作为找平材料，要求支座垫石顶面平整度误差不超过2mm，高程误差不超过5mm<sup>[4]</sup>。第三，支座安装。垫石上标记支座位置，支座中心和梁体对位线完全重合，位置误差不得超过10mm。按照支座类型来选择安装方法，面向盆式支座，支座放置就位后，打入多组螺栓，固定支座位置；面向橡胶支座，垫石顶面涂抹界面处理剂，平稳下放支座，向下挤压支座，保持支座和垫石紧密贴合状态。第四，落梁复位。确认全新支座安装质量合格后，分多次下落梁体，单次下落高度和顶升高度保持一致，不得超过5mm。测量调整梁体位置，对齐原始标记，平面位置误差不得超过10mm。

#### (三) 结构加固

第一，表面处理。现场准备铲刀、角磨机等工具，彻底清理桥梁表层结构上的浮浆、污渍和疏松部分，打磨至平整状态，平整度误差不超过5mm，转角部位打磨成半径在20mm以上的圆弧。同步修补缺陷破损部位，以裂缝部位为例，裂缝宽度不足和超出0.2mm时，分别涂刷底胶封闭和灌注裂缝修补胶。基层状态达标后，继续在表面涂刷胶粘剂，作为底胶，涂抹厚度控制在0.1~0.2mm，涂刷后静置1~2d，直至底胶充分渗透混凝土结构，并保持干燥固化状态。第二，片材粘贴。提前在基层上标记碳纤维片材的位置线、搭接线与轮廓线，构件受力方向和片材粘贴方向保持一致，按照构件截面尺寸，把片材裁剪成特定尺寸节段，并在基层面和片材背面涂刷浸渍胶。构件表面一侧为起始点，向另一侧延伸铺贴碳纤维片材，利用刮板或是滚筒滚压片材，彻底排出残留空气，清理边缘溢出浸渍胶。第三，固化养护。采取自然养护方法，养护时间不少于7d，到期后检查碳纤维片材粘贴质量，不得存在空鼓、脱落等质量病害。如果现场气温低于5℃，养护期间额外采取保温覆盖措施<sup>[5]</sup>。

#### (四) 挂网锚喷

本工程通过现场巡查发现，平塘特大桥13#桥墩外侧边坡出现坡体溜塌事故，事故现场情况如图1所示，溜塌范围为21\*35m，后续以挂网锚喷作为维修加固技术，选用16mm直径与1.5m长度锚杆，锚杆间距为2m\*1.5m，坡面铺设钢筋网与喷射10cm厚混凝土面层。挂网锚喷施工期间，重点掌握锚杆安装、挂设钢筋网、面层喷射三道步骤的工艺要点。

第一，锚杆安装。清理坡面防护区域内的浮土浮石，按照设计图纸，标记各处锚杆孔位，启动钻机一次性钻进成孔，检验成孔质量，清理孔底沉渣，以孔径值、钻孔角度、孔壁完好程度、孔深和孔底沉渣厚度作为检验

内容。孔内平稳放入锚杆杆体，测量调整杆体位置和外露长度，继续向孔内灌注水泥浆，孔口摆放支架，暂时固定杆体位置，直至水泥浆液固化、锚杆成型。第二，挂设钢筋网。提前制作钢筋网片，检查网眼尺寸是否准确无误，标准尺寸为200mm\*200mm。锚杆成型后，在锚杆外露部分上挂设钢筋网，钢筋网片和坡面紧密贴合，采取铅丝绑扎或是焊接连接方式，固定连接锚杆和钢筋网片，用于固定钢筋网位置。第三，面层喷射。按照从下到上顺序，坡面上分层喷射混凝土面层，喷头和坡面保持0.8-1.0m距离，按照螺旋状移动喷头，单层厚度不超过50mm，单段长度不超过6m，喷射压力保持在0.1-0.15MPa，面层总体厚度保持在10cm，首层初凝并具备一定强度后，方可喷射下一面层，最终对面层进行抹压、养护处理，养护时间不少于7d。

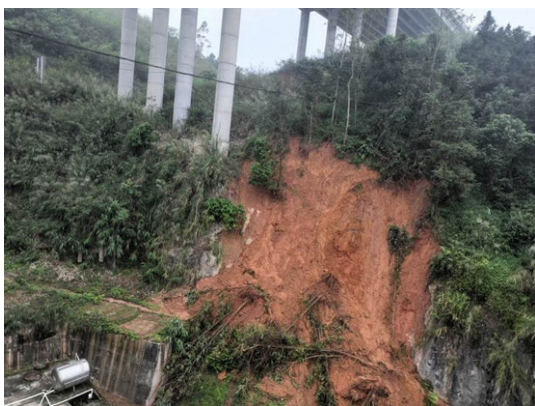


图1 自然坡体溜塌

### (五) 混凝土护面墙

云茂高速公路桥梁巡查检查期间，发现K29+400林屋大桥右侧0#桥台锥坡坡顶出现沉降现象，沉降值超过200mm，既有六棱砖护面体系大范围变形开裂，基本丧失防护功能，最终以混凝土护面墙作为维修加固技术，墙体厚度为0.4m，墙体高度为2.0m，墙体埋深值为1.0m，施工方案如图2所示。混凝土护面墙施工期间，重点掌握基础处理、墙身施工、排水施工三道步骤的工艺要点，具体如下。

第一，基础处理。对基础结构进行修整处理，基础修整范围略大于基础尺寸，清除表面松动岩层，使用水泥砂浆进行找平处理，或是挖除基底软土和换填碎石垫层。继续在基础上部浇筑混凝土垫层，垫层厚度不小于100mm，混凝土强度等级不低于C15。确认垫层抗压强度超过70%设计值后，即可支设模板，分层浇筑混凝土，采取自然养护方式，养护时间超过7d，等待基础结构硬化成型。第二，墙身施工。对墙体结构完整性和防水抗渗性能提出严格要求，尽量连续性完成墙身现浇施工作业。提前确认锥坡坡度，定制墙身模板，分阶拼装护面墙模板，单阶高度控制在1-1.5m，模板外侧设置斜撑，

模板内侧清理积水杂物和涂刷脱模剂，测量调整模板垂直度，实际误差不得超出5mm/m。为实现泄水功能，模板拼装成型后，开设若干泄水孔，水平方向和竖向间距保持在2-3m，孔内放入PVC管，孔后铺设反滤层。完成前置作业后，在模板内部分层浇筑、交错振捣混凝土，单层浇筑厚度不得超过0.3m，护面墙长度方向上每隔10-15m设置一道伸缩缝，内部嵌填沥青麻絮。同时，施工人员还应关注墙顶处理问题，把护面墙顶部浇筑形成倾斜平面，倾斜角度和锥坡坡度保持一致，并对顶部进行收光压实处理。第三，排水施工。锥坡坡顶部修建截水沟，由C20混凝土现浇形成，截水沟宽度和深度均控制在0.3m，沟底纵坡坡度不小于2%，负责引排地表径流。如果锥坡坡度超过1:1.5，还需要在护面墙上设置多道急流槽，间隔距离控制在5-8m，激流槽和截水沟相互连通。

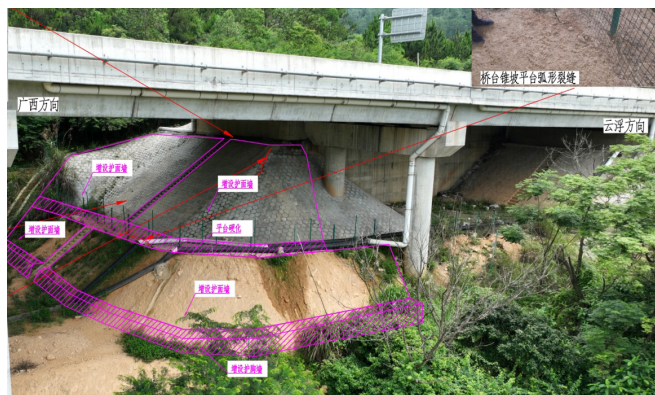


图2 林屋大桥右侧0#桥台锥坡病害处治方案

### 结语

综上所述，长效化养护维修机制，是延长高速公路桥梁使用寿命和保障交通行车安全的重要手段，也是创造更多工程效益的关键。养护单位理应进一步加强高速公路桥梁养护维修力度，全方位鉴定桥梁结构质量状态，基于实际存在的质量病害，针对性落实表面处理、支座更换、结构加固、挂网锚喷、混凝土护面墙等技术措施，提高桥梁养护管理水平。

### 参考文献

- [1] 赖雪峰. 高速公路桥梁养护与维修加固的施工技术分析[J]. 工程建设与设计, 2023, (12): 206-208.
- [2] 关璇璇. 高速公路桥梁养护与加固维修施工技术分析[J]. 运输经理世界, 2024, (09): 136-138.
- [3] 杨龙兴. 高速公路桥梁养护与维修加固施工技术研究[J]. 工程建设与设计, 2025, (10): 146-148.
- [4] 刘光. 高速公路桥梁养护与维修加固施工技术研究[J]. 工程建设与设计, 2023, (06): 216-218.
- [5] 董兴华. 探析公路桥梁养护与维修加固施工关键技术的运用[J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(04): 98+101.