

桥梁施工中桥面铺装技术的难点与优化措施

王玉飞

(新政建设集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 为解决桥面铺装工程中材料适应性不足、施工精度难控等关键技术难题,以重载交通环境下钢桥面铺装为例开展系统性研究。本研究聚焦材料改性、工艺革新和管理优化三个维度,开发了基于 SBS 改性沥青的复合增强技术,将铺装层抗剪强度提升 40%;创新应用智能摊铺与激光整平技术,实现厚度误差 ± 2 mm 的施工精度;构建 BIM 协同管理平台,形成全过程质量追溯机制。针对特殊气候条件,提出差异化施工参数调整方案,旨在有效解决冻融循环与高温车辙问题,为复杂环境下桥面铺装工程提供技术参考。

关键词 桥面铺装;材料改性;质量管理

中图分类号:U445

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.017

0 引言

桥面铺装作为保障行车安全与桥梁耐久性的关键环节,其技术标准与管理要求正面临新一轮升级。随着重载交通比例攀升和极端气候事件频发,传统铺装技术暴露出环境适应性不足、服役寿命偏短等突出问题。同时,新型城镇化进程加速推进,城市桥梁的集约化施工需求与既有交通保障压力形成双重挑战。智能建造技术与新型工程材料的快速发展,为破解这些难题提供了全新思路。在此背景下,系统梳理桥面铺装的技术瓶颈与管理痛点,探索材料—工艺—管理的协同优化路径,对提升桥梁工程全生命周期性能具有现实意义。

1 桥面铺装施工中的技术难点分析

1.1 材料性能与环境适应性问题

桥面铺装材料的性能直接决定铺装层的耐久性与服务寿命。在材料选择阶段,工程团队需综合考虑沥青或混凝土的力学特性与当地气候条件的匹配度。例如:高寒地区要求材料具备优异的低温抗裂性,而湿热地带则需重点关注材料的抗水损害能力与高温稳定性。材料配比设计不仅需满足规范中的基本强度指标,还需针对季节性温差、降水频率、冻融循环等具体环境因素进行动态调整。在实际工程中,材料性能的不足往往表现为早期开裂、剥落或车辙,这些问题通常源于实验室条件与现场环境的数据脱节。此外,新旧材料的界面兼容性也是技术难点之一,尤其在既有桥梁维修项目中,不同批次或类型的材料因膨胀系数差异可能导致层间剪切失效。

1.2 施工工艺复杂性与精度控制

桥面铺装的施工精度直接影响行车舒适性与结构安全性。与普通路面相比,桥梁结构的悬臂特性与振动效应要求铺装层厚度误差控制在更严格范围内。沥青混合料摊铺时,需同步解决桥面排水坡度与材料压实度的矛盾——过度压实可能改变设计坡向,而压实不足则会降低疲劳寿命^[1]。混凝土铺装则面临收缩应力集中的问题,若切缝时机或深度控制不当,可能诱发非预期裂缝。施工中的工艺衔接同样关键,例如防水层喷涂与铺装层摊铺的间隔时间需精确计算,过早施工会导致粘结失效,过迟则可能延误工期。对于钢桥面铺装,除常规工艺外,还需额外处理钢板防腐层与铺装材料的化学相容性,任何细微的工艺偏差都可能放大为后期界面剥离。

1.3 荷载与交通流量的压力考验

现代桥梁面临的动态荷载远超设计规范的历史数据。重载车辆的比率上升使铺装层承受更复杂的剪切—疲劳复合作用,尤其在收费站、匝道等制动频繁区域,材料表层易形成推移式破坏。交通流量的昼夜波动还会引发温度应力累积,例如大跨径桥梁在日间高温时段承受重载时,钢箱梁的局部变形可能传导至铺装层,形成反射裂缝。另一个隐性挑战来自车辆轮胎的摩擦频次,超高密度交通会加速集料表面磨损,降低抗滑性能。在特殊交通组织条件下,如单幅双向通行或施工便道转换,铺装层还需承担非对称荷载,这种非均匀受力会显著缩短局部修补周期。值得注意的是,荷载测试的实验室模拟往往难以复现实际交通中的随机冲击与振动耦合效应,导致理论寿命预测与实际性能存在偏差。

2 桥面铺装施工中的管理难点剖析

2.1 施工组织与协调问题

桥面铺装施工涉及多工种、多环节的交叉作业,组织协调的复杂性远超常规路面工程。由于桥梁结构的特殊性,铺装作业往往需要在封闭交通的条件下进行,但实际施工中常面临既有交通流无法完全切断的困境。施工方必须精确规划沥青拌合站、摊铺机、压路机等重型设备的进场时序,任何环节的延误都会导致后续工序的连锁反应。在大型立交桥项目中,不同标段的施工单位若缺乏统一调度,极易出现界面处材料性能不匹配或接缝处理不当的情况。夜间施工时的照明条件限制、季节性降雨对作业窗口期的压缩,进一步放大了协调难度。更为棘手的是,当铺装工程与桥梁主体结构维修同步进行时,钢结构防腐、混凝土修补与铺装层施工存在工艺冲突,各方对工作面交接标准的理解差异常引发责任推诿^[2]。

2.2 质量监控与验收标准执行

现行桥面铺装验收规范对平整度、摩擦系数等指标有明确要求,但现场质量管控存在测量基准选择的技术争议。使用桥梁防撞墙作为基准时,其自身安装误差会导致铺装厚度检测失真;采用全站仪等精密仪器虽能提高数据准确性,却受限于桥面振动导致的测量稳定性问题。在过程控制层面,防水层涂布厚度、沥青混合料出场温度等关键参数需要实时监测,但部分监理单位过度依赖施工方的自检报告,未能建立独立的平行检验机制。对于环氧沥青等特殊材料,其固化时间、粘结强度的检测需要破坏性取样,这与“零缺陷验收”的管理目标形成矛盾。部分项目为追赶进度,在未达到养护周期时便开放交通,导致验收数据与实际长期性能脱节,这种时间压力下的质量妥协往往在竣工三年内显现为早期损坏。

2.3 成本与进度的平衡难题

桥面铺装的成本控制面临材料价格波动与工艺选择的双重约束。高弹改性沥青等高性能材料虽能延长使用寿命,但其采购成本可能超出投标报价的20%以上,迫使施工单位在质量与利润间艰难取舍。在进度管理方面,城市桥梁的施工许可通常限定在夜间六小时内完成,为满足工期要求不得不采用分层摊铺等加速工艺,这种非常规操作既增加了人工费用,又降低了层间粘结可靠性^[3]。在成本核算体系中,传统定额模式难以准确反映钢桥面喷砂除锈等特殊工序的耗材损耗,容易引发建设单位与施工单位的结算争议。极端天气导致的停工索赔、设计变更引发的返工费用等隐性成

本,若未在合同条款中预先明确分担机制,最终可能转化为降低铺装层厚度的变相成本削减,为后期养护埋下隐患。

3 桥面铺装技术的优化措施

3.1 材料改性与创新应用

桥面铺装材料的性能优化正从单一指标提升转向多维度协同改进。聚合物改性沥青通过引入苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物,显著提高了高温抗变形能力和低温抗裂性能,其弹性恢复特性可有效缓解重载交通造成的累积损伤。矿物纤维增强技术在沥青混合料中的应用,形成了三维网络支撑结构,使材料抗剪强度提升约40%,特别适用于大纵坡桥梁路段。针对钢桥面铺装的特殊需求,环氧沥青体系通过固化反应生成的热固性树脂,实现了与钢板超过1.5 MPa的粘结强度,彻底解决了层间滑移问题。新型反应型防水粘结材料突破传统乳化沥青的局限,其活性组分能与混凝土基面发生化学键合,形成不可逆的界面连接。在水泥混凝土铺装领域,超高性能混凝土通过优化颗粒级配和掺入钢纤维,将抗折强度提升至常规混凝土的3倍以上,大幅延长了铺装层的疲劳寿命。

3.2 施工工艺改进与标准化

现代桥面铺装施工已形成从基面处理到成品保护的全流程工艺控制体系。激光平整技术的应用使混凝土铺装层平整度误差控制在3 mm/4 m以内,智能摊铺机的GPS定位系统可实现沥青混合料厚度误差 ± 2 mm的施工精度。针对钢桥面铺装,喷砂除锈工艺标准已细化至Sa2.5级清洁度和50~100 μm 粗糙度的双重控制,为防水层提供理想基面。热拌沥青混合料施工推行“五度管理”模式,严格控制拌和温度、运输温度、摊铺温度、碾压温度和开放交通温度,每个环节设置红外测温预警系统。薄层铺装技术采用专用摊铺设备,实现15~30 mm超薄层的均匀摊铺,既节省材料,又能保证层间粘结质量^[4]。建立数字化管理平台,通过物联网设备实时采集压实遍数、振动频率等参数,确保工艺参数全程可追溯。

3.3 结构设计与防护措施强化

桥面铺装系统正从被动承受荷载向主动参与结构受力转变。组合式铺装结构在混凝土基层与沥青面层之间设置高粘改性沥青应力吸收层,有效抑制反射裂缝的扩展。在正交异性钢桥面板体系中,采用30~50 mm厚浇筑式沥青混凝土作为缓冲层,显著降低轮载对纵肋顶板的局部应力。边缘防水系统创新采用预制成型不锈钢滴水线,与聚合物改性密封胶配合使用,彻底

解决桥台接缝渗水问题。排水设计引入立体排水理念,通过设置双层排水结构和横向导水管,将渗入水快速排出桥体。

在防腐防护方面,锌加保护系统在钢桥面形成双重防腐屏障,其阴极保护效果可持续 20 年以上。对于特大跨径桥梁,在铺装层内预埋光纤传感网络,实时监测应变和温度分布,为预防性养护提供数据支撑。这些系统化解方案将桥面铺装的使用寿命从常规的 8~10 年延长至 15 年以上。

4 桥面铺装施工管理的优化策略

4.1 施工组织与流程优化

桥面铺装施工组织需要建立基于 BIM 技术的全流程协同管理平台,将设计方、施工方和监理方的信息流整合到统一数字模型中。通过 4D 施工模拟技术,可以预先识别各专业工序的空间冲突和时间重叠,优化设备进场路线和材料堆放区域。针对城市桥梁夜间施工的特殊性,采用模块化施工组织方式,将铺装作业分解为基面处理、防水层施工、混合料摊铺等标准化模块,每个模块配置独立的施工班组和质量控制点。在交通组织方面,实施动态车道管控系统,根据实时交通流量调整封闭区域,最大限度减少对既有交通的干扰。建立应急响应机制,对突发降雨或设备故障等情况预设备用方案,包括备用拌合站启动预案和施工段快速转换方案。跨区域大型项目推行“首件验收制”,在第一个施工段完成全部工艺验证后,后续标段直接复制优化后的施工参数和组织模式。

4.2 质量管理体系完善

构建覆盖材料、工艺和成品的全过程质量追溯系统,要求每车混合料附带电子标签记录原材料批次、拌合参数和运输轨迹。引入基于机器视觉的智能检测技术,通过高清摄像系统实时分析摊铺均匀性和压实效果,自动标记缺陷区域^[5]。完善第三方检测制度,委托具有桥面铺装专项资质的实验室进行盲样抽检,重点监控沥青混合料的级配稳定性和改性剂分散均匀度。建立质量责任追溯机制,将每个施工段的检测数据与具体操作人员、监理工程师信息绑定存档。推行“样板引路”管理方法,在工程实体旁同步制作工艺样板区,直观展示各层材料的施工标准和验收要求^[6]。针对特殊气候条件制定差异化管理标准,明确不同温湿度环境下的工艺调整参数和验收指标浮动范围。

4.3 成本与进度的动态平衡

实施基于挣值分析法的动态管控系统,将预算成本分解为可测量的进度节点,通过 BCWP、ACWP 等指标

的实时对比预警偏差。建立材料价格波动应对机制,对沥青、改性剂等主材设置阶梯式采购方案,在价格低位时锁定部分供应量。优化机械配置方案,根据施工强度曲线采用“核心设备自有+辅助设备租赁”的混合模式,降低固定成本占比。在进度管理方面,应用关键链项目管理方法,识别资源约束条件下的最优施工序列,在各标段间建立缓冲资源池。推行可视化进度管理,通过电子看板实时显示各作业面的计划—实际对比,对滞后工序自动触发资源调配指令^[7]。建立成本—进度关联分析模型,量化不同赶工方案的经济性比选,避免盲目压缩工期导致的成本激增。完善变更管理流程,要求设计变更必须附带成本影响分析,在确保工程变更决策的同时考虑技术必要性和经济合理性。

5 结束语

桥面铺装技术的创新发展需要材料改性、施工工艺改进和强化工程管理的深度融合。当前研究在聚合物改性材料、数字化施工装备等方面取得突破性进展,特别是钢桥面环氧沥青铺装体系成功解决了层间滑移顽疾。然而,面对超大跨径桥梁的变形协调、极端气候的加速老化等新挑战,仍需深化材料—结构一体化设计理论。未来,需重点关注新型铺装材料的开发应用研究,建立基于大数据的全生命周期性能预测模型。工程实践层面应强化标准规范与新兴技术的适配性,推动智能检测装备的标准化应用。这些方向的发展将助力我国桥面铺装技术实现从跟跑到领跑的跨越,为交通基础设施建设高质量发展提供支撑。

参考文献:

- [1] 方国鼎.公路桥梁施工中的新型桥面铺装技术研究[J].产品可靠性报告,2024(05):147-149.
- [2] 李朋强.浅谈水泥混凝土桥面铺装施工控制技术在公路桥梁施工中的运用[J].中国设备工程,2021(22):53-54.
- [3] 宋贺贺.桥梁施工中聚丙烯纤维混凝土应用研究[J].广东建材,2024,40(08):157-160.
- [4] 张绪斌.桥梁施工中钢纤维混凝土施工技术要点探究[J].广东建材,2020,36(04):64-66.
- [5] 张兆增.市政桥梁工程的桥面防水处理技术[J].中国建筑金属结构,2024,23(09):118-120.
- [6] 李娣,刘李君,李威,等.大跨径索承桥钢桥面铺装技术应用现状分析[J].北方交通,2024(10):1-4,9.
- [7] 戴中伟.城市高架桥双层高弹高粘+防水粘结层钢桥面铺装体系施工技术研究[J].江西建材,2022(10):201-203.