钢桥面铺装环氧沥青混合料层间黏结与抗疲劳性能优化

田芯雨

湖北交投远大交通实业有限公司 湖北 武汉 430071

【摘　要】：针对钢桥面铺装层间脱黏、疲劳劣化等工程病害，铺装体系服役稳定性可得到改善，研究选取 BIF 型环氧沥青黏结层搭配浇注式沥青混合料铺装体系，开展静态拉拔试验与疲劳试验，观察原材料、施工工艺、环境因素作用下层间黏结状态与抗疲劳性能变化。矿粉掺入带来黏结层性能衰减，黏结层洒布量与施工间隔控制水平决定界面工作状态，浸水叠加荷载作用加快界面疲劳损伤演化。试验数据支撑材料参数、施工工艺、界面结构维度的优化方案，层间黏结指标与抗疲劳指标同步改善，相关结论可支撑钢桥面铺装现场作业与质量管控工作开展。

【关键词】：钢桥面铺装；环氧沥青；层间黏结；抗疲劳性能；施工优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.036

引言

钢桥面铺装体系承受钢面板往复形变、高温施工、雨水冲刷及车辆往复荷载的复杂工况，层间黏结界面作为铺装结构薄弱位置，出现的脱黏、开裂、疲劳破损问题会缩短铺装使用寿命，影响桥梁通行安全。现有工程研究对层间黏结机理与疲劳损伤演变的研究不够完善，材料选型与施工参数缺少专项优化依据。本文依托室内试验分析关键因素对层间黏结与抗疲劳性能的作用，厘清界面疲劳损伤机理，搭建多维度协同优化方案，改善铺装界面服役状态，解决钢桥面铺装的实际工程病害。

1 层间黏结关键影响因素试验分析

1.1 原材料技术性能表征

研究测试分析钢桥面环氧沥青防水黏结层与浇注式沥青混合料铺装体系原材料性能。BIF 型环氧沥青两组分配比固化后具备优良抗拉强度与延伸性能，可保障黏结层结构强度，适配桥面形变[1]。试验采用石灰石矿粉、玄武岩集料，搭配 SBS 改性沥青与 TLA 湖沥青制备混合料。混合料可适配高低温受力状态，满足钢桥面复杂服役形变要求。原材料基础性能，直接影响铺装层间界面黏结效果与整体工作性能。

1.2 试件成型与试验方案设计

试验制备钢板黏结层、钢板黏结层结合浇注式沥青混合料两类试件，所有钢板均实施喷砂除锈与环氧富锌底漆预处理。钢板预热后洒布黏结材料，控制厚度并置于烘箱养护。复合试件待黏结层静置成型后摊铺混合料，养护完毕后钻取芯样。依托 UTM-25 试验机在 20℃环境开展拉拔试验，调试固定加载速率，对粉胶比、高温老化、浸水、洒布量、施工间隔开展对比测试，依托拉拔强度与试件破坏状态判定层间黏结性能。

1.3 不同因素对层间黏结性能的影响

环氧沥青掺入矿粉无法提升界面黏结性能，会降低自身黏结强度。材料耐高温冲击性能优异，可耐受浇注式沥青摊铺产生的高温荷载。浸水工况会降低复合结构黏结强度，层间界面不会率先失效，黏结层水稳定性满足使用要求。黏结层洒布量影响结构失效形式，用量不足会使薄弱界面转移至钢板与黏结层之间，达标洒布量可让结构破坏发生于铺装混合料内部。工序间隔过久会使黏结层过度固化，削弱界面黏结能力，引发层间脱黏问题，施工过程需严格把控工序间隔时长。

2 层间界面抗疲劳性能试验研究

2.1 疲劳试验试件制备

疲劳试件沿用复合梁原有成型工艺，钢板预处理手段、养护制度均和静态拉拔试验保持统一。选取黏结层洒布量、施工间隔的合理工艺区间制作试件，规避工艺不合理带来的原生界面缺陷[2]。待试件整体完全固化之后钻取完整标准芯样，将芯样在室内环境静置一段时间，释放试件内部产生的残余应力。全程保证钢板、黏结层、铺装混合料三者之间界面完整完好，最大限度消除试件成型阶段带来的各类缺陷，避免缺陷对后续疲劳试验测试结果造成干扰。

2.2 界面疲劳试验方法

依旧使用 UTM-25 试验机开展层间界面拉拔疲劳试验，试验温度延续静态拉拔的 20℃环境条件，采用应力控制模式施加循环拉荷载，模拟车辆反复通行在层间产生的循环拉应力。将界面发生脱黏开裂视作试件的疲劳失效判定标准，试验过程中仔细区分混合料本体开裂、黏结层内聚破坏、钢板与黏结层界面脱黏这几种典型失效形式。通过记录不同工况下的循环加载次数与变形特征，综合评价钢桥面铺装层间界面的抗疲劳服役能力。

2.3 界面疲劳损伤演化规律分析

循环荷载造成的层间损伤具备累积特性，加载初期微损伤发展平缓，循环次数提升会促使黏结层产生并扩张微裂纹。黏结层洒布量与施工间隔控制合理时，疲劳破坏主要出现于浇注式沥青混合料。工艺参数失控后，钢板与黏结层界面优先产生微裂纹，贯通裂纹会诱发界面脱黏，缩短试件疲劳使用寿命。水分渗入会恶化界面损伤状态，水与循环荷载的叠加作用会加快层间疲劳劣化速度。

3 钢桥面铺装层间黏结-抗疲劳协同优化策略

3.1 黏结材料参数优化

材料优化是提升层间黏结性能与抗疲劳性能的核心举措。工程施工不宜通过过量掺加矿粉处理黏结层流淌问题，矿粉虽可抑制高温流淌病害，却会弱化环氧沥青黏结性能，缩减材料断裂延伸率，降低界面抗疲劳特性，结构在循环荷载作用下易产生开裂与脱黏病害。原状配比环氧沥青更适配铺装施工需求，可保留材料原生强度与变形特性，平衡静态黏结效果与动态荷载下的结构耐久性，实现钢板与铺装层的稳固结合，适配钢面板的往复形变工况。材料筛选需考量固化后环氧沥青的热稳定性能，抵御混合料摊铺产生的高温作用，规避高温环境造成的黏结强度与变形性能衰减。严控材料核心技术指标可从本源减少界面脱黏与疲劳损伤隐患，为钢桥面铺装体系构建稳定的界面工作基础。

3.2 施工工艺参数优化

施工工艺把控程度影响材料性能的实际发挥效果。施工现场需保证黏结层洒布量达标，让界面形成连续完整的黏结膜，规避局部薄涂与漏布问题。黏结材料用量不可为改善摊铺流淌现象随意削减，不足的用料会提升结构疲劳破坏风险。黏结层和铺装层的工序间隔需要精准把控，混合料摊铺作业不宜在黏结层完全固化后开展[3]。完全固化的黏结层会弱化与热铺铺装层的结合效果，界面粘接质量下降，结构整体疲劳服役年限随之缩短。钢板基面除锈与底漆喷涂作业需规范落实，达标后的表面清洁度与粗糙度，可为环氧沥青黏结层提供稳固锚固条件，改善界面孔隙、粘接不佳等原生成型问题。施工全流程需落实质量管控，针对基面处理、黏结层洒布、工序衔接等关键环节把控质量，减少施工缺陷，降低运营荷载作用下的界面损伤破坏概率。

3.3 界面结构组合优化

界面结构优化旨在让铺装界面综合性能优于混合料本体，结构损伤可集中出现于铺装层内部，规避层间界面成为铺装体系的薄弱环节。喷砂钢板搭配环氧富锌底漆、环氧沥青防水黏结层与浇注式沥青混合料的组合形式，高度适配钢桥面实际服役环境。环氧沥青防水特性可阻挡外部水汽渗入钢板界面，减轻水与荷载共同作用产生的界面损伤。黏结材料自身变形特性可协调钢面板与铺装层的形变差异，消解界面附加应力，减小界面循环应力作用幅度，延缓疲劳损伤的持续累积。适配高温摊铺条件的界面结构可抵御施工阶段的高温冲击，兼具防水粘接与形变协调的多重作用。材料、施工工艺与界面结构的相互适配，能够同步提升铺装层间黏结强度与抗疲劳水平，有效延长钢桥面铺装结构整体服役年限。

4 结语

本文开展钢桥面铺装层间黏结与抗疲劳性能试验研究，分析矿粉掺量、洒布量、施工间隔及浸水条件的影响机理，总结界面疲劳损伤的演化规律。不当的材料配比与施工参数会弱化界面黏结性能、缩短结构疲劳寿命，水体与荷载叠加作用会加重界面损伤。材料、工艺与结构的协同优化，可规避界面施工缺陷，改善界面薄弱问题，提升铺装体系稳定性与耐久性。研究结果可支撑钢桥面环氧沥青黏结层的施工管控与结构优化设计，提供有效的理论与试验依据。

参考文献：

[1] 宁雨.公路项目钢桥面铺装的层间黏结性能影响因素分析[J].交通科技与管理,2026,7(1):117-119.

[2] 郭瑞孝.APP 改性超薄沥青铺装性能及施工工艺研究[J].中国住宅设施,2025,(12):248-250.

[3] 叶润中.热拌环氧沥青混凝土钢桥面铺装施工技术[J].交通世界,2025,(36):116-118.