

市政道路桥梁工程路基路面施工技术要点探析

程乾

叙永县公路养护管理段 四川泸州 646400

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21115

[摘要] 市政道路与桥梁衔接区域及路基路面结构,因承受车辆动荷载、温湿循环与地基变形的多场耦合作用,成为质量病害的敏感区段。本文从结构连续性与耐久性视角出发,围绕差异沉降控制、层间结合、材料压密与过渡段处置等关键环节,对施工技术要点展开系统探析。阐述了桥台回填材料选型的刚度过渡逻辑、路面结构全寿命周期均匀性预设的施工实现路径、桥面铺装界面粘稳的工艺协同,以及接缝与过渡区刚度平缓化的构造策略,提出以结构响应均匀化为目标的精细化施工理念,为提升市政道路桥梁整体服役性能提供技术参照。

[关键词] 市政道路; 桥梁工程; 路基路面; 施工技术; 结构连续性

市政道路桥梁工程处于城市交通网络的关键转换节点,其路基路面结构不仅直接承受行车荷载的反复作用,还需协调桥梁与道路在刚度、变形特性及水文边界上的本质差异。桥台与路基之间、路面各结构层之间、铺装层与桥面板之间存在多重界面,这些界面在荷载与环境的耦合作用下,容易成为结构损伤的起始部位。城市交通流量持续增长,重载车辆比例攀升,桥头跳车、路面早期开裂、层间滑移等质量通病仍时有发生,施工环节的精度与系统性成为决定结构服役品质的前置条件。对技术要点的探析,宜从路基、路面及过渡段的结构响应特征出发,将变形相容性、材料压密状态与界面联结强度确立为贯通性控制主线,逐层剖析各环节的质量形成机制与施工控制策略。

一、路基填筑与桥台背回填的变形协调

(一) 差异沉降的形成机理与控制路径 差异沉降的产生源于三方面因素的耦合作用。地基条件的纵向变异性构成基础诱因,桥台常设置于深基础之上,其持力层刚度远大于台后路基的地基,在上覆荷载作用下两者压缩量出现量级差异。回填材料自身的压缩特性构成第二因素,台背空间狭窄导致大型压实机械无法按常规工艺作业,靠近台身一定范围内的填料压实度往往低于主体路段,为工后压缩预留了空间。第三因素来自渗流作用,地表水沿路面与桥台的接缝下渗,在回填体内形成浸润区,水分不仅降低填料的强度参数,还能在细粒土中引发附加的湿陷变形。控制差异沉降的路径应为多措施的协同。地基处理上,对台后一定范围内的软弱地

基进行换填、排水固结或复合地基加固,可缩小地基刚度纵向差异。填料选型上,引入压缩模量适中、水稳定性优良的材料,从源头上降低填筑体自身的可压缩性。压实工艺上,针对狭窄空间开发小型化、高能量的压实装备与监控手段,尽量缩小压实盲区。排水设计上,构筑台背回填区的截排水系统,阻断水分进入填料的路径。

(二) 泡沫轻质土的流态浇筑与刚度过渡 轻质填料因密度低、模量可按配合比调节,在降低地基附加应力与减小台背侧向土压力方面优势显著。泡沫轻质土具备自密实、轻质、高延性及施工便捷等特性,可通过流态浇筑规避狭窄区域的压实盲区,其密度与强度参数在较宽范围内可调,为实现路堤与桥台之间的刚度平缓过渡提供了材料条件。将桥台混凝土的高模量、泡沫轻质土的过渡模量、一般路基填料的低模量构成递进序列,可使车轮荷载引起的弯沉沿纵向平缓变化,降低因弯沉突变造成的行车冲击。施工中需重点控制浇筑层厚与速率的匹配关系。单层过厚或浇筑速率过快会加剧早期水化热积聚,泡沫轻质土的热传导性能较弱,内部温升可能导致气泡结构失稳,引发体积微收缩与界面微脱空。合理的分层厚度应使水化温升在初凝前得以有效消散,配合适当的水胶比与气泡掺量,在初凝阶段形成稳定闭合的微气泡骨架。层间结合方面,上一层浇筑前宜对已硬化层表面进行轻微拉毛处理,清除浮浆并保持湿润状态,使层间形成连续胶结。采用与基体材料相同水胶比的水泥净浆作为界面结合层,可进一步降低分层浇筑造成的薄弱面风险。

(三) 渗流场调控与排水层级配置 台背回填区的水文边界条件复杂, 地表径流沿伸缩缝、桥面边缘及边坡汇集, 地下水也可能在毛细作用下向回填体迁移。水分渗入后, 不仅降低填料的有效应力与强度参数, 还可能携带细颗粒移动, 造成潜蚀与管涌。在填料底部铺设碎石盲沟并与桥台泄水孔贯通, 可建立连续的排水路径。盲沟核心排水体采用单一粒径大孔隙粗骨料, 外侧直接包裹土工织物作为滤层, 通过土工织物的反滤与隔离效应, 确保水分顺畅排出而不带走周边细粒土, 同时简化狭窄空间的施工工序。排水系统的长期有效性维系于滤层的耐久性与泄水孔的畅通, 施工中应采取临时封堵措施防止浆液杂物堵塞泄水孔, 完工后逐一疏通检查。在填筑体与原地面的交界面上, 铺设横向排水垫层或排水板, 可加速超静孔隙水压力的消散, 使沉降在施工期内更多完成。

二、路面结构层的一体化压实与疲劳抗力预设

(一) 温度-级配离析的联动管控 混合料在运输与摊铺过程中, 温度离析和粗细集料离析是造成路面模量非均匀性的初始诱因。温度偏低的区域混合料黏度增大, 在相同压实功下难以达到目标空隙率, 模量降低; 级配离析则使粗集料集中区域骨架结构空隙偏大, 细料集中区域密实但抗剪能力不足。两种离析往往相互叠加, 粗料集中区域因比表面积小、散热快而温度更低, 使压实困难进一步加剧。施工中采用红外热成像对摊铺面实施连续温度谱观测, 可获取整个摊铺断面的温度分布云图, 当温度变异系数超出设定阈值时, 及时调整出料温度、运输覆盖方式或摊铺速度。转运车的设置使混合料在摊铺前经过二次搅拌, 可破碎运输过程中形成的温度梯度与级配梯度, 恢复混合料的均一性。

(二) 连续压实状态的模量反馈与均匀性保障 面层碾压宜遵循“紧跟慢压、高频低幅”的动力学原则。胶轮揉搓与钢轮高频振动各具作用机理, 胶轮碾压通过橡胶轮胎的揉搓效应使表面细料嵌入空隙, 封闭表面宏观纹理, 提升密水性; 钢轮高频振动则利用振动波在混合料中的传播, 使矿料颗粒重新排列趋向密实。二者的组合配置需依据摊铺层位与设计厚度动态调整。传统碾压作业中压路机重叠宽度与碾压遍数多依赖操作人员经验判断, 易造成局部欠压或过压。基于连续智能压实系统的振动模量反馈技术, 通过安装在钢轮上的加速度传感器连续采集振动响应信号, 经反算获得碾压面的

实时刚度模量, 可在驾驶室显示屏上直观呈现压实状态的分布图, 识别欠压薄弱区与过压区。操作人员据此调整碾压轨迹与振动参数, 使压实功的空间分布趋近均衡, 并有效规避因局部过压导致的粗集料压碎、骨架结构失稳及压实度衰减等问题。这种从结果导向的抽检评估到过程导向的连续感知转变, 是路面压实均匀性保障的技术进步方向。

(三) 空隙特征对疲劳耗散能的敏感机制 沥青混合料内部微损伤的累积与循环加载过程中的耗散能演化密切相关。相关分析表明, 压实不足引发的空隙率偏大, 会显著加速耗散能的非线性增长, 导致混合料疲劳寿命锐减。空隙率偏大的混合料内部存在连通空隙网络, 水分与空气更易侵入, 使沥青胶结料的氧化老化与水剥离进程加速。过低的空隙率又可能导致高温季节沥青自由膨胀空间不足, 产生泛油与车辙。压实管理应将空隙结构控制在有利于应力松弛却不易诱发水损害与氧老化的窄幅窗口内, 这一窗口的上下界因材料类型、气候分区与交通量等级而异, 需结合试验段确定。对于水泥稳定碎石基层, 压实后的保湿养护需连贯且持续, 阻断早期干缩微裂纹的贯通趋势。养护中断或养护不充分, 基层表面将形成网状的微裂纹系统, 在面层摊铺后这些微裂纹可能向上反射, 成为面层反射裂缝的起裂源。采用乳化沥青透层封闭与土工布覆盖的复合养护方式, 可兼顾保水与防蒸发。

三、层间结合与桥面铺装的界面粘稳

(一) 界面糙化与粘层材料的功能匹配 粘层与透层的选型及洒布工艺, 需与下层表面的粗糙度特征实现量化适配。过低的粗糙度难以形成机械嵌锁, 粘结主要依赖化学吸附力, 界面失效风险较高; 过高的粗糙度又可能导致胶结料无法充分润湿凹谷的底部, 残留空气形成微空腔。水泥混凝土桥面采用铣刨或抛丸处理后, 表面形成均匀的凹凸纹理, 既能增大粘接触面积, 又为胶结料提供微锚固效应。抛丸工艺较铣刨更易控制纹理的均匀性与深度, 不产生微裂纹损伤。高渗透性防水粘结层的涂覆应安排在铣刨或抛丸后基面洁净且干燥的短时间窗口内完成, 避免粉尘二次沉降或空气湿度过大导致胶结料与基面的隔离。胶结料的用量不应以全覆盖为唯一目标, 而需兼顾嵌入纹理腔内的有效体积与表面成膜厚度, 过量的沥青膜反而可能形成滑动层。

(二) 桥面铺装的变形协调与连续成型 铺装层与桥面板

在模量及热胀系数上的差异,会在温度场与行车荷载耦合下产生界面撕扯应力。桥梁在温度变化下的纵向伸缩量沿跨径累积,传递给铺装层后,若铺装层变形能力不足以跟随,界面即承受剪切或拉拔应力。借鉴桥面变形协调的分析思路,铺装层的模量不宜过高,厚度不宜过薄,以使其具备跟随桥面板伸缩变形的柔度。环氧沥青或高黏高弹改性沥青类材料,因其宽温域下的模量稳定性与良好的黏韧特性,逐渐成为重载交通下桥面铺装的优选方案。该类材料在高温下能维持足够的劲度抵抗车辙,在低温下又有较大的变形能力包容桥面收缩。铺设中应力求一次连续成型,针对环氧沥青这类具化学固化时效的材料,需严格控制拌合至碾压结束的时间窗口,并宜采用大宽度单机全断面摊铺,避免因两机协同的时差导致接缝处发生不可逆的早期固化损伤。边缘及手工衔接部位因缺乏足够碾压,空隙率往往偏高,应配备小型振动压路机或平板夯进行补充压实,使接缝处的密实度与主体一致,维持界面的整体胶着状态,阻断水分侵入的通道。

四、接缝与过渡段的结构功能一体化施工

(一) 伸缩缝过渡带的刚度递进构造 桥梁伸缩缝的锚固混凝土与沥青面层衔接区域,因异材线膨胀系数差与行车振动,容易产生啃边与台阶式错台。锚固混凝土强度与模量远高于邻近的沥青混合料,车轮自混凝土跨向沥青面的瞬间,路面弯沉发生跳跃式增大,形成对车辆的竖向冲击。长期的冲击作用使沥青面层边缘产生微裂纹并逐步扩展为块状剥落。施工中宜在伸缩缝两侧预留适当长度的过渡段,采用高粘高弹的改性沥青混合料或聚合物改性高韧性胶砂进行衔接,将骤然的刚度突变转换为递进的刚度梯度。过渡段材料的模量宜介于锚固混凝土与一般沥青面层之间,并在纵向上可作渐变过渡。纤维的加入可提升胶砂的抗裂性与抗冲击性,使过渡段在反复车辆冲击下保持结构的完整性。过渡段的压实须配备小型振动夯板与平板夯细致作业,保证其压实度不低于主线相应层位的标准,与主体结构形成整体协同的受力体系。

(二) 井周与异型节点回填的荷载匀化 检查井周围及各类管线穿越节点处,圆形井筒或矩形管涵与周边填土之间存在明显的刚度差异,荷载传递路径在遇到刚性构筑物时发生绕射与集中,井周一定范围内的路面结构承受额外的应力分

量。井圈坐浆的密实性是首要保障,宜选用早强微膨胀类的坐浆材料,使井圈与基层形成紧密接触,避免因坐浆收缩产生间隙。随后的分层对称回填,每层厚度应适当减薄并逐层压实,使回填材料达到与周边一致的密实状态。沿径向从井周到远场的刚度宜呈平缓过渡,避免在井壁外缘形成刚度的陡变环。涵洞顶板填筑段填土高度不足时,上方路基填土内的土拱效应发育不完全,车轮荷载直接传递至涵洞顶板的比例增大,可通过适当加强面板配筋或设置土工合成材料加筋层予以改善。土工格栅或土工布加筋层的多层设置,可增强填土内的张力膜效应,使车轮荷载较均匀地扩散至涵洞侧壁及底板,减轻顶板的受力集中。

结语

市政道路桥梁工程的路基路面施工,本质上是对结构连续性、变形相容性与材料密实状态的系统构筑。将全寿命周期结构行为预置于施工过程控制中,通过填料轻质化与压实信息化提升路基的沉降收敛能力,借助温度-级配-压实的一体化管理降低路面损伤萌生概率,依托界面纹理与黏结材料的精细化匹配增强层间抗滑移能力,并在各类过渡节点采取刚度平缓化的处置措施,能够形成覆盖关键敏感区段的质控网络。后续施工技术的发展,将进一步与数字化感知、人工智能辅助决策及材料优化设计相融合,推动市政交通基础设施服役品质的纵深提升。

[参考文献]

- [1]胡明文,刘辉,邱远光. 气泡混合轻质土在特大桥桥头路基填筑中的应用研究[J]. 铁道建筑技术, 2024, (5): 168-170+200.
- [2]王飞. 公路工程沥青路面施工中的智能压实控制技术探讨[J]. 交通科技与管理, 2026, 7(7): 134-136.
- [3]温毅刚. 水泥混凝土桥梁建设中桥面沥青铺装施工技术分析[J]. 中国公路, 2019, (13): 110-111.
- [4]朱慧芳,王亮. 沥青路面智能压实及其关键影响因素研究[J]. 中外公路, 2024, 44(4): 47-55.

作者简介:程乾,1996年10月,男,汉族,四川泸县人,毕业院校:西华大学,毕业专业:交通工程,学历:学士学位,职称:助理工程师,研究方向:道路工程。