

路桥工程路基路面与桥梁过渡段施工工艺研究

李 响

罗田县公路事业发展中心 湖北 黄冈 438000

摘 要：路桥过渡段是公路工程中病害最为集中的区域，其施工质量直接影响行车安全性与舒适性。本文围绕路基路面与桥梁过渡段的施工工艺展开系统研究，首先分析了过渡段病害的主要类型及其成因机理，包括桥头跳车、路面裂缝与结构差异沉降等；继而从地基处理、台背回填材料选择、压实工艺、排水系统设置及路面结构层衔接等维度，深入探讨了关键施工技术要点；在此基础上，提出了基于变形协调控制的工艺优化策略，强调刚度渐变与排水协同的重要性。研究表明，过渡段施工应以差异沉降控制为核心，通过材料级配优化、分层压实精细化管控及桥路衔接界面处理，可显著提升过渡段长期服役性能。本研究旨在为路桥过渡段施工提供系统的工艺参考与理论支撑。

关键词：路桥过渡段；桥头跳车；差异沉降；台背回填；压实工艺

引言

随着我国交通基础设施建设的持续推进，路桥工程规模不断扩大，桥梁占比日益提高，路基与桥梁之间的过渡段处理成为制约工程质量的关键环节。过渡段作为刚柔结构体系的转换区域，其两侧分别连接刚性桥梁结构与柔性路基路面结构，在材料属性、承载能力及变形特征上存在显著差异。在车辆荷载反复作用及环境因素耦合影响下，过渡段极易产生不均匀沉降、结构性裂缝及桥头跳车等病害，不仅影响行车舒适性，更威胁运营安全。近年来，尽管施工技术不断进步，但过渡段病害问题仍未得到根本性解决。大量工程实践表明，过渡段施工工艺的精细化程度直接决定了该区域的使用寿命。本文从施工工艺全局视角出发，综合考量地基处理、填料选用、压实控制、排水设计及结构衔接等环节，旨在构建一套面向变形协调的路桥过渡段施工工艺框架，为同类工程提供方法借鉴。

1 路桥过渡段病害类型及其成因机理

1.1 桥头跳车及其动力学成因

桥头跳车是过渡段最典型的病害表现形式，其本质是由于桥台与路堤之间产生较大的差异沉降，导致路面在桥头处形成纵坡突变。当车辆高速驶过时，产生明显的竖向加速度冲击。从动力学角度看，跳车程度与沉降差绝对值、沉降过渡曲线曲率及行车速度正相关。造成桥头跳车的根本原因在于：桥台基础位于稳固持力层，工后沉降极小；而台后路堤填土较高，自身压缩固结及地基附加应力引起的沉降量往往达到数厘米乃至十余厘米，二者沉降差在短距离内无法平顺过渡。

1.2 过渡段路面裂缝与结构破损

除桥头跳车外，过渡段路面常出现横向裂缝、纵向裂缝及龟裂等病害。横向裂缝多发生于桥台与路堤连接界面附近，主要由于温度收缩和干缩应力在刚度突变处集中释放所致；纵向裂缝则与台背回填区与邻近路基区的压实不均匀有关，两区域压缩模量不同，在行车荷载下产生剪切错动^[1]。此外，过渡段路面结构层（基层、面层）在桥台端部的支承条件由刚性变为弹性，弯矩和剪力分布急剧变化，易导致面层开裂甚至结构层脱空。

1.3 差异沉降的时空演化规律

过渡段差异沉降具有显著的时间效应和空间分布特征。时间上，工后沉降主要表现为填土自身的次固结压缩和地基土蠕变，其速率随时间递减，但持续时间可达数年；空间上，沉降量自桥台向外逐步增大，在距桥台一定距离处达到最大值后又趋于平缓。该沉降曲线的形态决定了过渡段的平顺性，理想的沉降曲线应呈缓坡型，而非台阶型或陡坡型。然而，常规施工中若未对填料压实度、地基处理深度和排水条件予以严格控制，实际沉降曲线往往偏离理想状态。

2 过渡段施工关键工艺分析

2.1 地基加固与预处理工艺

过渡段地基处理是控制差异沉降的首要环节。鉴于桥台附近施工空间受限且紧邻既有结构物，地基加固工艺需兼顾效果与安全性。常用的处理方法包括深层搅拌桩、高压旋喷桩、素混凝土桩及预应力管桩等。选择何种工艺应依据地基土层特性、填土高度及沉降控制标准综合确定。施工中需特别注意桩体与桥台基础的净距要

求,避免挤土效应影响桥台桩基。同时,地基处理范围应延伸至桥台以外一定长度(通常不小于一倍桥高),形成渐变式加固区,以实现地基刚度从桥台端到一般路基段的平顺过渡。预压荷载法亦常配合使用,但工期较长,适用于工期宽裕的项目。

2.2 台背回填材料选择与级配优化

台背回填材料的力学性能直接决定填筑体的压缩变形量。理想填料应具备密实度高、压缩性低、透水性好及水稳定性优良等特点。目前工程中广泛采用级配良好的碎石土、砂砾石或轻质泡沫土。其中,碎石类填料因内摩擦角大、压缩模量高而成为首选,但其级配组成对压实效果影响显著。研究表明,当填料中粒径大于 5mm 的颗粒含量控制在 60%~70%,且细颗粒含量适中时,可获得最佳压实密度和最低压缩系数。轻质泡沫土则适用于高填方或软基区域,通过减轻填土自重降低地基附加应力,但需注意其长期耐久性和抗疲劳性能^[2]。在材料设计中应开展级配优化试验,确定最大干密度对应的最佳含水率,为现场压实提供依据。

2.3 分层压实与碾压工艺控制

压实是台背回填施工的核心工序。由于桥台背角处空间狭窄,大型压路机难以驶入,常存在压实盲区,导致局部密实度不足。为此,应采用“大型压路机为主、小型夯实机具为辅”的组合压实方案。在距桥台壁 1m 范围内,必须采用小型手扶式振动碾或液压夯进行逐层补夯。分层厚度是另一关键参数,通常控制在 15~20cm,且每层压实度不得低于 96%(重型击实标准)。碾压速度、遍数及振动频率亦需根据填料类型动态调整^[3]。值得强调的是,压实过程应遵循“先静后振、先慢后快、由弱到强”的原则,避免对桥台结构产生过大侧向推力。此外,施工缝接茬处的处理需格外谨慎,新旧填筑界面应挖成台阶状,确保层间结合紧密。

2.4 过渡段排水系统施工要点

水是诱发过渡段病害的重要外因。地表水渗入台背填土后,会软化填料、降低强度,并产生静水压力和动水压力,加剧填料流失和沉降。因此,排水系统的施工质量不容忽视。过渡段排水体系应包括地表截水沟、路面内部排水层及台背盲沟等。具体工艺要求:在桥台背后设置碎石竖向排水盲沟,其宽度不宜小于 50cm,底部接入横向排水管,将积水引出路基范围;路面结构层底部应铺设排水垫层或土工合成材料排水网,形成横向排水通道。施工时须确保盲沟反滤层的级配设计合理,防止细颗粒流失造成淤堵。同时,桥台与路堤衔接处的防

水卷材或止水带安装应位置准确、搭接牢固,阻断路面水下渗路径。

2.5 桥路衔接界面处理工艺

桥路衔接界面是刚度突变的集中区域,也是应力最为复杂的部位。该处施工需重点处理桥台背墙与填筑体的连接方式。常规做法是在桥台背墙上预留连接件(如钢筋锚栓或剪切键),或设置钢筋混凝土搭板。搭板的一端搁置在桥台牛腿上,另一端埋置于路面层之下,起到刚度过渡梁的作用。搭板施工时,其下应铺设整平层和滑动层,以保证搭板随路堤沉降可适当转动,避免搭板底部脱空。此外,桥台与搭板之间的接缝应填充弹性材料,适应温度和荷载引起的伸缩变形。在路面结构层铺筑前,还需在过渡段范围内增设土工格栅或玻纤网,增强整体抗拉强度,延缓反射裂缝的产生。

3 过渡段施工工艺优化策略

3.1 基于刚度渐变的材料分区设计

传统过渡段施工将台背回填区与一般路基区截然分开,易形成刚度突变界面。优化策略是引入材料分区渐变理念,即从桥台向外,将过渡段划分为三个区段:近台区(0~5m)、中段区(5~15m)和远台区(15~30m)。各区采用不同级配或不同掺合比例的填料,使回填模量从桥台端的高值逐渐降低至一般路基的正常值。例如,近台区采用掺加水泥或石灰的改良碎石土,中段区采用天然级配碎石,远台区采用常规路基填料。通过这种人为创造的刚度梯度,使沉降变形曲线趋于平缓,减小局部应变集中。施工中需严格区分各区段的材料供应和摊铺界限,防止混料。

3.2 分层填筑与动态压实参数调控

压实工艺的优化不应局限于固定参数,而应基于现场实测响应进行动态调整。建议在每层填筑后采用便携式落锤弯沉仪或动态变形模量测试仪进行快速检测,实时反馈压实质量。若检测值低于设计阈值,则增加碾压遍数或调整振动频率,直至达标。同时,建立“填筑层厚—压实遍数—含水率”的多元控制模型,通过统计回归方法确定各因素的最优组合。对于近台区狭窄部位,可引入智能夯机自动记录夯击能量和沉降量,实现精准补强。此外,分层填筑时应合理安排施工间歇期,尤其是高填方路段,适当设置静置时间使填土自然固结,再进行下一层施工,可有效降低工后次固结沉降量。

3.3 排水与压实协同作业工艺

排水设施与压实作业常被作为独立工序分别实施,但二者存在内在耦合关系。良好的排水条件能维持填料处于

最优含水率范围,有利于压实密度的提高;而充分压实后的填土渗透系数降低,又有利于防止水分下渗。基于此,提出排水—压实协同施工工艺:每填筑3~5层后,暂停填筑,进行该高度的排水盲沟或排水垫层施工,使排水结构嵌入填筑体内部,形成分层排水网络。这种交替作业方式较之在填筑全部完成后再开挖埋设盲沟的传统做法,避免了二次扰动对压实土体的破坏,且排水效果更佳^[4]。同时,在雨季施工时,应随填随压随排水,确保填筑面不积水,防止含水率超标影响压实质量。

3.4 施工时序与沉降观测联动控制

过渡段沉降是一个时间过程,施工进度安排应充分尊重固结规律。建议实行“分阶填筑、分期观测、动态决策”的施工管理策略。具体而言:将总填筑高度分为2~3阶,每阶填筑完成后设置不少于7~14d的静置观测期,通过埋设在填筑体内的沉降板和桥台顶面的位移监测点,实时获取沉降速率和侧向位移数据。当连续观测日沉降量小于某一阈值(如2mm/d)时,方可进行下一阶施工。这种联动控制方式虽延长了工期,但能显著减少工后残余沉降,从全寿命周期看具有更高的经济效益。同时,观测数据还可用于反算填土压缩参数,校准后续施工的控制标准。

4 过渡段施工质量控制要点

4.1 施工前准备与基底处理验收

过渡段施工的质量控制始于基底处理。开工前应对原地面进行彻底清理,清除表土、杂物及软弱土层,并整平碾压至设计压实度。基底承载力应通过轻型动力触探或静力触探检测,不满足要求时须进行换填或加固处理。验收环节应严格审查地基处理桩体的施工记录、强度检测报告及桩位偏差,确保每根桩均达到设计指标。此外,桥台结构的混凝土强度应达到设计值方可进行台背回填,避免因桥台过早承受填土侧压力而产生裂缝或位移。

4.2 施工过程关键参数监测

过程控制是保证过渡段施工质量的核心手段。需建立关键参数清单,包括:每层填筑的松铺厚度、压实厚度、碾压遍数、振动频率、含水率及压实度检测值。其中,压实度应采用灌砂法或核子密度仪进行双控检测,每层检测点数不少于4点/1000m²,且距桥台壁1m范围

内必须增设加密点。含水率控制方面,应使填料的实际含水率处于最优含水率的 $\pm 2\%$ 范围内,超出时需采取翻晒或洒水措施。另外,对土工格栅的铺设层位、搭接宽度及固定方式也应做好影像记录和隐蔽工程验收。

4.3 工后评估与缺陷修补标准

过渡段施工完成后,应立即建立工后沉降观测档案,在路面铺筑前及运营初期进行持续监测。当实测工后沉降速率或累计沉降量超过设计预警值时,应及时启动缺陷修补预案。常用的修补工艺包括:注浆抬升、铣刨重铺面层或增设调平层。但修补仅为被动应对之策,根本仍在于施工过程中的精细管控。因此,建议将工后评估结果反馈至施工工艺数据库,用于指导后续工程的工艺参数优化,形成闭环改进机制。

5 结语

路桥过渡段是路面与桥梁衔接的关键地带,其施工工艺水平直接决定了道路的长期使用性能。本文通过系统梳理过渡段的主要病害类型与成因,从地基处理、填料选择、压实工艺、排水设置及界面衔接等方面全面分析了施工工艺要点,并提出了以刚度渐变、动态压实、排水协同和时序联动为核心的工艺优化策略。研究表明,过渡段施工不应简单套用一般路基的方法,而应将其视为一个独立的特殊结构单元,以差异沉降控制为目标,实施精细化、参数化的施工管理。展望未来,随着智能化检测技术、数字化施工平台及新型轻质材料不断发展,路桥过渡段施工工艺将向更精准、更高效的方向演进。但无论技术如何进步,对材料特性的深刻理解和现场条件的精准把握始终是工艺优化的基石。

参考文献

- [1] 张伟,刘建坤,陈立宏. 路桥过渡段差异沉降控制标准与处治技术研究进展[J]. 中国公路学报,2022,35(6):1-15.
- [2] 王海燕,赵明华,邹新军. 台背回填泡沫轻质土路用性能及施工工艺试验研究[J]. 岩土工程学报,2021,43(S2):178-183.
- [3] 李国维,杨涛,黄晓明. 基于变形协调的路桥过渡段加筋碎石桩复合地基承载特性[J]. 交通运输工程学报,2023,23(2):45-57.
- [4] 陈忠达,周志刚,郑健龙. 路桥过渡段搭板结构力学响应与设计参数优化[J]. 公路交通科技,2020,37(9):68-76.