

跨境公路改扩建项目沥青混凝土路面精细化施工技术应用

田玉柱

(安徽开源路桥有限责任公司, 安徽 合肥 230088)

摘要 本文以尼泊尔 Mugling-Pokhara (马格林-博克拉) 公路升级改造项目为研究对象, 重点关注跨境公路改扩建工程中沥青混凝土路面精细化施工技术的应用。首先系统地阐述了在该项目实施的过程中, 通过引入国内先进的摊铺与压实设备、优化混合料配合比、实施全过程精细化施工控制以及部署智能化监控手段等措施, 有效提升了路面施工的质量。其次针对沥青混合料供应不稳定、温度控制困难、机械故障频发以及质量监控薄弱等实际存在的问题, 提出了针对性的技术应对策略, 并结合具体工程数据说明了其应用成效。结果表明, 在跨境基础设施项目中, 精细化施工技术的本地化适配与系统性执行, 是保障高等级沥青路面工程质量的关键路径。

关键词 跨境公路; 改扩建项目; 沥青混凝土路面; 精细化施工

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.07.040

0 引言

在跨境公路改扩建工程的开展过程中, 沥青混凝土路面施工会受到复杂地形、资源匮乏以及管理差异等诸多因素的制约, 这对施工技术与管理水平提出了更高的要求。尼泊尔 Mugling-Pokhara 公路升级改造项目所处的位置是南亚山区, 该项目面临着气候多变、材料供应不稳定以及设备故障频发等方面的挑战。本文以该项目作为案例, 对跨境工程中精细化施工技术的适配路径进行系统分析, 通过设备升级、工艺优化以及智能监控等相关措施来突破资源瓶颈, 形成适用于复杂环境的高等级路面施工解决方案, 为国际承包商提供可参考的技术管理范式。

1 项目概述

尼泊尔 Mugling-Pokhara 公路升级改造项目二标段起讫桩号是 K49+700 至 K88+583, 线路全长达到 38.883 公里, 中标金额为 7 404 680 796.32 尼泊尔卢比约合 4.5 亿元人民币。项目资金的来源是亚洲开发银行贷款, 业主单位为尼泊尔政府基础设施和交通运输部公路局项目指挥部。工程计划开工时间是 2020 年 10 月, 因受全球疫情影响实际开工日期推迟至 2021 年 8 月 29 日。项目总工期设定为 9 年包含 3 年建设期、1 年缺陷通知期及 5 年基于性能的维护期。路线穿越海拔 500 米至 800 米之间的陡峭山川、河谷平原及市镇农村区域, 沿

线跨越 28 条河流地理环境复杂多变。道路等级属于国家级干线公路, 采用四车道断面设计非街镇段路基宽度为 24 米, 街镇段红线宽度达到 50 米采用主辅分离的四块板形式, 设置 3 米宽中央绿化带及混凝土护栏进行隔离。路面结构自上而下依次是 4 厘米厚沥青混凝土上面层、6 厘米厚沥青混凝土下面层及碎石基层。建设期内完成的沥青混凝土工程量总共为 100 405 立方米, 其中 AC-F 型混合料用量分别为 53 789 立方米与 46 618 立方米。项目共布设太阳能路灯 336 套, 安装 W 型波形钢护栏的长度为 76 813 米, 铺设 M20 级混凝土路缘石的长度达到 116 293 米, 并完成透封层 1 131 516 升与粘层 564 071 升的喷洒作业。上述工程参数构成了沥青路面精细化施工的技术基础与实施边界。

2 跨境公路改扩建工程特性分析

2.1 地形与气候条件高度复杂

项目所经过的区域地貌类型呈现出多样化特点, 包含深切河谷、陡峭山坡、冲积平原以及密集居民区, 区域内高差变化十分显著, 局部路段最大纵坡能够达到 7%。施工区域里面分布着 28 条大小不同的河流, 在雨季期间容易发生滑坡、泥石流等地质灾害, 这对临时道路通行以及材料运输造成持续干扰。年降雨量主要集中在 6 月至 9 月这个时间段, 高温高湿的环境对沥青混合料的拌合、运输以及摊铺温度控制提出严格

作者简介: 田玉柱 (1990-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路与桥梁。

要求。部分路段与既有通车道路紧紧相邻，施工空间受到一定限制，大型设备进场和作业面展开面临物理方面的约束^[1]。

2.2 本地施工资源严重不足

尼泊尔国内在现代化筑路设备制造与维护方面能力不足，大型摊铺机、压路机及沥青拌和站都得从其他国家进口。项目所使用的履带式摊铺机与 25 吨以上振动压路机全部是从我国调运过来的，运输周期超过 90 天。沥青材料需要依赖从印度进口，受边境通关效率以及燃油价格波动影响，供应稳定性比较差。资源短缺情况不仅推高了项目施工成本，同时也对施工连续性造成了威胁，要求项目团队必须建立冗余供应链与应急响应机制，以此来支撑精细化施工的持续运行^[2]。

3 沥青混凝土路面精细化施工技术体系

3.1 引进高性能摊铺与压实装备

项目没有采用当地普遍在用的 6 米宽小型轮胎式摊铺机，而是选用了中国产徐工 RP953 和福格勒 1880L 型履带式摊铺机，该摊铺机最大摊铺宽度能够达到 10.5 米，并且具备自动找平与高程控制系统，可将摊铺平整度标准差控制在 1.2 毫米以内。同时配套使用 2 台 26 吨双钢轮振动压路机和 2 台 30 吨胶轮压路机，形成了“初压—复压—终压”的三级压实流程。压路机配备了 GPS 轨迹记录仪和红外温度监测模块，能够实时反馈碾压遍数、速度以及混合料表面温度。在 K67+700 至 K68+200 示范段施工过程中，摊铺速度稳定保持在 2.5 米/分钟，初压温度不低于 155℃，复压结束温度不低于 120℃，终压完成前温度高于 90℃，完全可以满足规范要求。

3.2 优化沥青混合料配合比设计

考虑到当地规范设计要求细集料占比偏大及骨料棱角性差的情况，项目对 AC-13F 型上面层和 AC-20F 型下面层混合料进行重新设计。上面层采用压碎值为 15.8% 的石灰岩碎石、针入度 52 且软化点 55℃ 的 VG-30 沥青，受尼泊尔区域限制，本地没有石灰岩矿粉加工设备，故用 1% 回收粉代替矿粉，油石比确定为 5.5%，较当地规范值提高 0.5% 用于中和因无石灰岩矿粉可能造成的沥青混合料质量问题。下面层同样使用压碎值 15.8% 的石灰岩碎石与 VG-30 沥青，油石比设定为 5.0%。通过马歇尔试验来确定最佳沥青用量以及毛体积密度，并通过马歇尔稳定度仪测定稳定度及流值并计算空隙率、矿料间隙率及沥青填充率，同时对沥青上面层测

定残留强度比为 89.2%，均符合招标文件技术指标。混合料在拌和站出料温度控制在 170±5℃，以此确保施工和易性^[3]。

3.3 实施全过程精细化工工艺控制

施工之前要对下承层进行彻底清扫并做高程复测，对于局部高差超过 5 毫米的区域要采用铣刨处理。透层油选用稀释沥青 MC-30 进行撒布，撒布量设定为 0.9 升每平方米且间隔时间不少于 24 小时。粘层采用稀释沥青 MC-70 进行撒布，撒布量为 0.3 升每平方米以确保层间能够有效黏结。摊铺作业运用两台摊铺机进行梯队作业，间距需控制在 8 米以内且搭接宽度为 15 厘米以避免出现冷接缝，夏季高温天气可适当延长间距。每车混合料到场之后都要检测温度，温度低于 145℃ 的混合料要予以废弃处理。碾压工作要遵循“高频低幅、紧跟慢压”的原则，初压要在紧跟摊铺机后 3 米内开始，复压遍数不能少于 6 遍。终压遍数不能少于 2 遍直至消除轮迹印。施工缝处理采用垂直切割的方式进行，新旧混合料搭接处要涂刷热沥青以确保接缝密实^[4]。

3.4 部署智能化施工监控平台

项目搭建起基于物联网的路面施工监控系统，该系统集成温度传感器、GPS 定位模块、视频监控及数据采集终端。沥青运输车上安装温度记录仪，可实时将车厢内部温度上传至云端平台，异常数据能自动发出预警。摊铺机配备激光找平系统，当高程偏差超过 ±3 毫米时会自动进行报警。压路机运行轨迹与碾压参数同步上传至 BIM 管理平台，进而生成压实热力图以识别欠压或过压区域。质量管理人员能够通过移动端查看各工序实时数据，对偏离控制限值的作业面可立即叫停并整改。系统累计采集施工数据已超过 12 万条，实现从原材料进场到成品验收的全链条数字化管控，为精细化施工提供有力的数据支撑。

4 精细化施工实施中的主要制约因素

4.1 沥青混合料供应存在中断风险

项目所需要的沥青全部从印度古瓦哈提港进行进口，受到尼印边境口岸通关效率的影响，单次清关周期波动处于 7 天至 21 天的范围之间。2024 年雨季这段时间，因为边境罢工从而导致连续 15 天没有沥青到货，这迫使项目不得不暂停路面施工相关工作。骨料供应同样也是不稳定的状态，主要供应商由于 ADB 环保检查而停产了两周时间，造成级配碎石库存下降到安全线以下水平。

4.2 施工机械设备故障率偏高

进口设备在高原高湿环境运行时稳定性会下降,履带式摊铺机液压系统曾因密封件老化三次出现漏油故障,每次维修所耗费的时间在2至3天。压路机发动机在连续高强度作业状态下出现过热保护停机现象。由于尼泊尔当地没有专业维修点,关键配件需要从我国进行空运,平均等待的时间达到5天。设备停机不但会延误工期,还会导致已摊铺混合料冷却,无法实现连续碾压操作,影响整体密实度的均匀性。机械可靠性不足削弱了先进装备自身具备的技术优势^[5]。

5 精细化施工技术的具体应用实践

5.1 构建多源混合料供应保障机制

为了应对单一供应渠道可能存在的风险,项目专门建立“主供+备用+应急”三级沥青采购体系,主供应商确定为印度 IOCL 公司,备用供应商选定迪拜进口沥青,应急储备通过预存 1 000 吨桶装沥青在加德满都仓库来实现。在骨料方面,除主采石场之外,还新增两处经过认证的备用料源,并且提前储备 15 天用量的成品料,运输环节采用“定点装车、专线运输、优先通关”策略,与边境代理签订时效协议,以此确保平均通关时间能够压缩至 5 天以内,在 2024 年第三季度,通过该机制成功规避了两次潜在断供风险,保障连续 28 天不间断路面施工,累计完成沥青摊铺达到 14.6 公里,混合料供应准时率达到 98.7%。

5.2 采用全流程温度闭环控制措施

在拌合站出口、运输车中部和摊铺机料斗这三处设置红外测温点,让数据能够实时上传至监控平台。运输车辆加装双层保温棉罩并且接缝处用铝箔胶带密封,以此减少热量的散失。现场配置移动式红外加热板用于对温度偏低的混合料表面局部升温,确保摊铺起始温度不低于 155 ℃。制定《沥青温度管理规程》来明确各环节允许温度范围和处置措施。2024 年 2 月至 2024 年 6 月施工数据显示到场混合料平均温度为 158.3 ℃,标准差为 4.1 ℃,温度合格率从初期的 82% 提升至 96.5%,有效保障了压实质量^[6]。

5.3 实施预防性机械维护制度

建立设备健康档案来记录每台机械运行小时、故障类型及维修记录,制定月度保养计划涵盖液压油更换、滤芯清洗、传动系统润滑等 12 项强制维护项目,与国内厂家签订远程技术支持协议并通过视频连线指导复杂故障排除,在工地设立小型备件库储备价值 80 万元的常用易损件,2024 年推行该制度后摊铺机与压

路机平均无故障运行时间由 120 小时提升至 210 小时,设备可用率从 85% 提高到 94% 保障了精细化施工的连续作业能力。

5.4 强化全过程质量监控执行力

把智能监控系统的数据和人工检测结果进行交叉验证,每日生成一份《路面施工质量日报》,由中方技术主管与尼方监理联合签认,将钻芯取样频率增加到每周 2 次,确保覆盖不同施工班组与路段,针对压实度低于 92% 或者平整度超限的段落,强制进行返工并追溯责任班组,开展本地技术人员培训工作,累计举办 12 期操作培训班,覆盖人员达到 67 人次,让他们能够独立使用监控平台,2024 年下半年,路面工程一次验收合格率从 89% 提升至 97%,厚度偏差控制在 ±3 毫米以内,完全符合招标文件技术标准。

6 结束语

尼泊尔 Mugling-Pokhara 公路升级改造项目二标段的沥青混凝土路面施工实践显示,在跨境改扩建工程中推行精细化施工技术,需要立足于当地资源条件和管理环境,借助设备引进、配合比优化、工艺标准化以及智能监控等多维度协同,构建出适应性强的技术实施体系。该项目通过建立稳定供应链、实施温度闭环控制、推行预防性维护以及强化质量监控等举措,有效克服了材料供应、温控困难、机械故障和监管薄弱等现实制约因素,实现了高等级沥青路面的高质量成型。该案例验证了精细化施工技术在南亚山区公路工程中的可行性和有效性,为国际承包商在类似环境中开展路面施工提供了系统性技术路径和管理范式。

参考文献:

- [1] 王金华.公路沥青路面质量控制及施工精细化研究[J].运输经理世界,2023(32):37-39.
- [2] 龙海波,王大智.路基路面施工精细化控制要点分析[J].四川水泥,2020(01):41.
- [3] 樊卫东.路基路面施工精细化控制浅析[J].山西建筑,2019,45(09):146-147.
- [4] 林霖.公路沥青路面质量控制及施工精细化研究[J].运输经理世界,2022(09):31-33.
- [5] 雷潇,韩雪刚,王勇超.二级公路改扩建工程路面结构优化及性能评估研究[J].建筑机械化,2025,46(12):163-167.
- [6] 付毅恒,张旭波.路网交通态势感知平台在高速公路改扩建场景中的应用探析[J].中国交通信息化,2025(S2):206-208.