

道路沥青路面施工工艺优化与平整度控制

杨昌昌

新疆金正建设工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 沥青路面作为我国高等级公路和城市道路的主要铺装形式,其施工质量直接关系到道路的使用性能、安全性和耐久性。其中,路面平整度是衡量沥青路面施工质量的核心指标之一,不仅显著影响行车舒适性与安全性,还对车辆燃油消耗、轮胎磨损、噪声水平及路面结构疲劳寿命产生深远影响。本文系统分析了当前沥青路面施工过程中影响平整度的关键因素,涵盖原材料波动、配合比设计缺陷、拌合运输离析、摊铺工艺不稳定、碾压控制不精准以及下承层质量不良等多个维度。在此基础上,从原材料精细化管控、混合料智能化设计、拌合运输温控优化、摊铺作业恒速连续化、碾压过程科学化等环节入手,提出了一套覆盖“材料—设备—工艺—管理”全链条的施工工艺优化路径。同时,构建了以“施工前预防、施工中监控、施工后反馈”为核心的全过程平整度控制策略。通过融合精细化管理手段与智能化建造技术,可显著提升沥青路面平整度水平,为推动我国道路工程高质量发展提供理论支撑与实践指导。

关键词: 沥青路面; 施工工艺; 平整度; 质量控制; 摊铺碾压; 智能建造

引言

随着我国交通基础设施建设的持续发展,对道路工程的质量要求日益提高。沥青混凝土路面因其良好的行车舒适性、施工便捷性及维修便利性,被广泛应用于高速公路、国省干线及城市主干道。然而,在实际工程中,部分沥青路面在通车初期即出现车辙、拥包、坑槽及平整度不足等问题,严重影响道路服务水平与使用寿命。平整度作为评价路面行驶质量(RideQuality)的重要参数,是国际平整度指数(IRI)、标准差 σ 等指标的核心反映对象。研究表明,平整度不佳不仅降低驾驶舒适性,还会加剧车辆振动,增加交通事故风险,并加速路面结构疲劳破坏。因此,如何在施工阶段有效控制并提升沥青路面平整度,成为当前道路工程领域亟需解决的关键技术问题。传统施工中,平整度控制多依赖经验判断与事后检测,缺乏系统性与前瞻性。随着智能建造、数字孪生、物联网等新技术的发展,沥青路面施工正朝着精细化、智能化方向演进。本文旨在结合工程实践与前沿技术,系统梳理影响平整度的关键施工环节,提出科学可行的工艺优化路径与控制策略,为提升我国沥青路面整体施工质量提供理论依据与实践指导。

1 沥青路面平整度的影响因素分析

沥青路面平整度受多种因素综合影响,贯穿于材料、设计、施工及环境全过程。主要可归纳为以下几类:

1.1 原材料质量波动

沥青胶结料的黏度、延展性及老化性能直接影响混合料的施工和易性与高温稳定性。若不同批次沥青在性能上存在显著差异,将导致混合料在相同施工温度下的

流变特性不一致,从而影响摊铺过程中的均匀性和稳定性。集料的粒径分布、针片状颗粒含量以及含泥量等因素同样不可忽视。例如,细集料比例过高会使混合料过于密实而缺乏骨架支撑,易在碾压过程中产生推移;而粗集料集中则容易造成局部离析,形成凸起或凹陷,进而破坏整体平整度。

1.2 混合料配合比设计不合理

配合比设计是确保沥青混合料性能的基础。若设计空隙率过大,虽有利于排水但会降低结构稳定性,压实后易因荷载作用产生不均匀沉降;若油石比偏低,混合料显得干涩,难以在摊铺过程中实现良好流动与自找平;反之,油石比过高则易引发泛油、车辙甚至推移现象。此外,若配合比设计未充分考虑施工季节的气候条件——如夏季高温易导致混合料软化,冬季低温则使压实困难——也会间接影响摊铺效果和平整度表现。

1.3 拌合与运输环节控制不足

拌合站若温度控制系统不稳定、拌合时间不足或计量精度偏差较大,极易造成混合料温度离析与级配离析。温度离析表现为混合料内部温差过大,导致摊铺时部分区域过早冷却而难以压实,另一些区域则因温度过高而流动性过强,形成波浪状表面^[1]。运输过程中,若车厢未涂刷隔离剂,混合料易粘附于车壁;若运输时间过长或未采取有效保温措施,混合料表层会迅速降温结壳,内部热量散失不均,进一步加剧摊铺时的不均匀性。

1.4 摊铺工艺不当

摊铺是决定路面平整度的核心工序。摊铺机若运行速度不稳定,频繁启停,会导致熨平板受力突变,形成

明显的“搓板”效应。熨平板预热不充分时,混合料易粘附其底面,造成局部拉裂或堆积;仰角调整不当则直接影响摊铺厚度的一致性。螺旋布料器若转速与摊铺速度不匹配,会造成横向料位不均,引发粗细集料分离,形成横向离析带。此外,自动找平系统的基准选择至关重要,若采用钢丝绳基准但张力不足或支架间距过大,高程控制将失准;接缝处理若未按规定操作,如冷接缝未充分加热或碾压不到位,极易形成台阶或凹槽,严重影响行车平顺性。

1.5 碾压工艺不科学

碾压是实现设计密实度与最终平整度的关键步骤。若碾压遍数不足或压路机组合不合理,将导致压实度不均,表面呈现波浪或轮迹明显。尤其在初压阶段,若压路机操作不当,如急刹、急转或在高温混合料上停留过久,极易造成局部隆起或推移。碾压温度窗口的把握尤为关键,过早碾压可能破坏混合料结构,过晚则因温度过低而难以压实,形成松散区域。此外,碾压轨迹混乱、漏压或重复碾压过度,也会导致密实度分布不均,进而反映为平整度缺陷。

1.6 下承层平整度不良

“上层平整度受下层控制”是道路施工的基本原则。若基层或下面层存在较大起伏、坑洼、松散或强度不足等问题,即使上面层摊铺工艺再精细,也难以完全弥补下层的几何缺陷。这些缺陷会通过结构层传递至表面,最终体现为面层平整度不达标。因此,严格控制下承层的平整度、强度与洁净度,是保障沥青面层高质量施工的前提条件。

2 沥青路面施工工艺优化路径

针对上述影响因素,本文提出“全过程、全要素、全链条”的施工工艺优化路径,涵盖从原材料到成品路面的各个环节。

2.1 原材料精细化管控

为确保混合料性能稳定,必须建立严格的原材料进场检验制度。每批次沥青应进行针入度、软化点、延度等三大指标检测,并结合PG分级体系评估其高温与低温性能;集料则需严格控制级配曲线、压碎值、洛杉矶磨耗值及含泥量等关键参数。推广使用机制砂替代天然砂,可有效提升混合料的内摩擦角与抗离析能力。同时,应建立原材料数据库,实现从供应商到施工现场的全流程可追溯管理,杜绝不合格材料流入生产环节。

2.2 智能化配合比设计与验证

传统的马歇尔设计方法已难以满足高性能路面需求,建议采用Superpave或GTM旋转压实设计体系,结合项目

所在地的气候分区与交通荷载等级,优化级配曲线与油石比。设计完成后,应通过车辙试验、冻融劈裂试验、浸水马歇尔试验等系统验证混合料的高温稳定性、水稳定性和抗疲劳性能。此外,可引入数字仿真技术,模拟不同配合比在摊铺与碾压过程中的响应行为,提前识别潜在施工风险,实现设计—施工一体化。

2.3 拌合与运输过程优化

拌合站应升级为全封闭环保型拌合楼,配备高精度电子计量系统与红外非接触式测温装置,确保混合料出厂温度偏差控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。拌合时间应不少于45秒,并可设置二次搅拌仓以减少级配离析。运输车辆宜采用U型车厢设计,卸料时采用“前一中一后”三次放料方式,有效缓解纵向离析^[2]。运输途中必须全覆盖保温篷布,并在车厢内安装GPS与温度传感器,实时回传混合料位置与温度数据,确保到场温度符合规范要求,通常AC-13型混合料的摊铺温度应维持在155–165 $^{\circ}\text{C}$ 之间。

2.4 摊铺工艺智能化升级

摊铺前的准备工作至关重要。下承层必须彻底清扫干净,并均匀洒布粘层油,以确保层间良好粘结。测量放样应采用高精度全站仪或GNSS-RTK技术,控制高程误差不超过 $\pm 2\text{mm}$ 。合理划分摊铺段落,尽量减少横向接缝数量,有助于提升整体平整度连续性。在设备选择上,应优先采用具备自动找平、恒速控制和液压调平功能的高性能摊铺机,如福格勒或戴纳派克系列机型。摊铺过程中,速度应稳定控制在2–4m/min,避免任何非必要停顿。熨平板需预热至100 $^{\circ}\text{C}$ 以上,防止混合料粘附。螺旋布料器的转速应根据摊铺宽度与厚度动态调节,保持料位高度约为螺旋直径的三分之二,以减少横向离析。在找平系统方面,新建路段宜采用非接触式激光或超声波平衡梁,直接感知已铺路面高程,反馈控制更为精准;若采用钢丝绳基准,则需确保张力不低于1kN,支架间距不超过5米,并定期复测高程,防止基准变形。

2.5 碾压工艺科学化控制

碾压作业必须严格遵循“高温紧跟、高频低幅、先轻后重、先边后中”的基本原则。初压应在混合料温度不低于145 $^{\circ}\text{C}$ 时进行,采用双钢轮压路机静压1–2遍,以稳定结构;复压阶段温度控制在130–145 $^{\circ}\text{C}$,使用轮胎压路机或振动压路机振压3–4遍,确保达到设计密实度;终压则在温度不低于90 $^{\circ}\text{C}$ 时完成,以消除轮迹,提升表面光洁度。压路机组合推荐采用“双钢轮+胶轮+双钢轮”模式,兼顾压实效率与表面质量。近年来,智能碾压系统(如CatCompactionAssist或BomagBCM)的应用显著提升了碾压质量控制水平,该系统可实时监测压实遍数、温

度与密实度，并自动生成碾压轨迹图，有效避免漏压或过压。操作人员应接受专项培训，确保起步、停车动作平缓，严禁在新铺层上急转弯或调头^[3]。对于接缝处理，纵向接缝应尽可能采用热接缝工艺，两台摊铺机梯队作业，间距控制在5-10米，重叠宽度5-10厘米；横向接缝则需切割成垂直端面，涂刷粘层油，摊铺前对接缝处进行预热，并在碾压时跨缝压实，确保平顺过渡。

3 平整度全过程控制策略

为实现平整度目标（如高速公路 $IRI \leq 2.0m/km$ ），需构建“预防—过程—验收”三位一体的控制体系。

3.1 施工前预防控制

在施工准备阶段，应充分利用BIM与GIS技术进行协同设计，通过三维模型模拟摊铺路径与高程变化，提前识别潜在平整度风险区域，如纵坡突变点或横坡过渡段。正式施工前必须铺设100-200米的试验段，全面验证配合比适用性、设备参数合理性及工艺流程可行性，并根据检测结果优化施工方案。同时，应对摊铺机手、压路机操作员等关键岗位人员开展专项技术培训，强化“匀速、连续、紧跟”的操作理念，从源头上减少人为因素对平整度的不利影响。

3.2 施工中过程控制

施工过程中，应部署实时监测系统，在摊铺机熨平板安装高程传感器，结合GNSS定位技术，连续采集摊铺面三维坐标数据，生成平整度热力图，实现毫米级高程监控。智能压实系统可同步记录每遍碾压的温度、速度与压实度，通过CMV（压实计量值）或MDP（最大干密度百分比）评估压实均匀性^[4]。此外，可采用红外热成像仪对摊铺面进行全场扫描，识别温度离析区域，及时调整布料策略或碾压顺序。现场应设立专职质量工程师，根据实时反馈数据动态微调摊铺速度、熨平板仰角等关键参数，确保施工过程始终处于受控状态。

3.3 施工后验收与反馈

施工完成后，应采用激光断面仪或惯性profilograph

进行全线连续平整度检测，采样间隔不大于10厘米，确保数据代表性。检测结果应与施工日志、温度记录、碾压轨迹等数据关联，建立完整的平整度数据库。通过机器学习算法分析各施工参数与平整度指标之间的相关性，可识别出影响最大的关键因子，为后续项目提供数据驱动的优化依据。最终，应将验收结果系统反馈至设计、材料与施工环节，形成“检测—分析—改进”的闭环管理机制，持续提升施工质量水平。

4 结语

沥青路面平整度是衡量道路施工质量的核心指标，其控制需贯穿于材料、设计、施工全过程。本文系统分析了影响平整度的关键因素，提出了以“精细化材料管理、智能化设备应用、科学化工艺参数、全过程质量监控”为核心的施工工艺优化路径，并构建了“预防—过程—验收”三位一体的平整度控制策略。该体系可显著提升路面平整度水平，延长道路使用寿命。未来，随着数字孪生、人工智能与无人施工技术的发展，沥青路面施工将迈向更高水平的自动化与智能化。建议进一步探索基于AI的摊铺—碾压参数自适应调控系统，利用无人机搭载激光雷达实现全场平整度实时三维建模，并尝试将区块链技术应用施工质量溯源管理。通过持续的技术创新与管理体升级，我国沥青路面施工质量有望达到国际领先水平，为交通强国战略的实施提供坚实支撑。

参考文献

- [1]赵龙.浅析公路沥青路面施工工艺与质量控制措施[J].汽车周刊,2025,(12):142-144.
- [2]李涛,孙国君,赵露.公路工程沥青路面施工工艺对路面性能的影响及优化研究[J].运输经理世界,2025,(19):14-16.
- [3]陈文发.高速公路沥青路面平整度施工质量控制与管理[J].运输经理世界,2025,(17):22-24.
- [4]曾杰.沥青路面平整度检测方法与控制措施分析[J].工程技术研究,2025,10(08):162-164.