

公路工程路面平整度的影响因素及控制方法

赵玉作

济宁市公路工程总公司 山东 济宁 272007

【摘要】：为提升公路工程路面平整度，保障公路通行质量与结构寿命，本文针对材料性能、施工工艺、路基及环境等核心影响因素，构建材料源头把控、施工精准管控、路基稳定强化、后期科学养护及全过程质量检测的全链条控制体系。该体系可有效减少路面平整度缺陷，提升路面成型质量与长期稳定性，为公路工程建设与运维管理提供切实可行的技术路径。

【关键词】：公路工程；路面平整度；影响因素；控制方法；工程质量

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.072

引言

路面平整度是公路工程质量的关键评价指标，直接影响行车舒适性、安全性及路面服役周期。在工程实践中，材料、施工、路基及外部环境的多重因素叠加，很容易造成路面起伏、开裂、沉陷等问题，制约公路整体使用效能。本文系统梳理平整度的影响机理，建立标准化、全流程的控制措施，是提升公路建设品质、实现长效运维的重要前提。

1 公路工程路面平整度的核心影响因素

1.1 材料质量因素

路面施工原材料的性能与配比合理性，是决定平整度的基础条件。沥青、水泥混凝土、粗细集料等核心材料的强度、稳定性、级配参数，均会直接作用于路面成型效果。材料含水率超标、级配不合理、粘结性能不足，会导致路面结构密实度不均，在成型后出现收缩、松散等问题，进而破坏路面表面的均匀性，形成局部起伏与不平整状态，从源头影响路面平整度的达标水平^[1]。

1.2 施工工艺因素

施工环节的操作规范与工艺控制，是影响路面平整度的关键环节。摊铺作业的速度把控、碾压工序的参数设定，以及施工机械设备的运行精度，均会直接作用于路面成型质量。施工工序衔接不顺畅、摊铺厚度控制偏差、碾压时机与遍数不合理，会造成路面密实度差异与表层高低偏差，路面接缝处处理不规范也会形成明显的平整度缺陷，使路面整体平顺性受到直接影响。

1.3 路基与后期环境因素

路基的基础稳定性与后期外部作用，是引发路面平整度变化的重要诱因。路基压实度不足、均匀性较差，会出现不均匀沉降现象，进而带动上部路面结构变形，形成路面起伏。后期自然环境的温度变化、雨水渗透侵蚀，以及车辆荷载的长期反复作用，会逐步引发路面开裂、坑槽等病害，持续破坏路面原有平整状态，导致平整度逐步下降。

2 公路工程路面平整度的全链条控制方法

2.1 材料质量源头把控

材料质量是保障路面平整度的基础前提，需从选型、配比、检验全流程建立严格管控机制。在材料选型环节，沥青材料应优先选用针入度、软化点、延度等指标符合设计要求的优质改性沥青，确保其高温稳定性与低温抗裂性；水泥混凝土需选用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥，且初凝时间、安定性等指标满足施工需求；粗细集料应控制级配曲线在规范允许范围内，碎石需保证颗粒均匀、棱角分明，含泥量不超过 1%，砂料需选用洁净的天然砂或机制砂，细度模数控制在 2.3-3.1 之间。

配比设计需结合工程所在区域的气候条件、交通荷载等级进行针对性优化。沥青混合料的配合比设计应通过马歇尔试验确定最佳油石比，确保混合料具备良好的密实度、空隙率及粘结性能，空隙率宜控制在 3%-6% 之间，避免因配比失衡导致路面成型后出现收缩裂缝或松散脱落。水泥混凝土配合比需严格控制水灰比，一般不超过 0.45，同时合理掺加缓凝剂、减水剂等外加剂，改善混凝土工作性与耐久性，减少因水化热过大引发的收缩变形，保障路面表面均匀性。

材料进场检验需执行“双验收”制度，不仅核查出厂合格证、检测报告等质量证明文件，还需按规定频率进行抽样复检。对沥青材料需检测针入度、软化点、延度及老化指标，水泥材料需检测强度、安定性、凝结时间，集料需检测级配、含泥量、压碎值等关键指标，所有材料必须经检验合格后方可进场使用。进场后需规范存储管理，沥青材料应采用保温储罐存放，避免受潮离析；集料需分类堆放，设置防雨棚防止淋雨受潮，确保材料性能在施工前保持稳定。

2.2 施工过程精准管控

施工过程是影响路面平整度的核心环节，需围绕摊铺、碾压、接缝处理及设备调试建立精细化操作规范^[2]。摊铺作业前需对下承层进行彻底清理，确保表面洁净、平整、干燥，若存在局部坑槽、松散等缺陷，需及时采用同级配材料修补压实。摊铺设备需提前进行调试，摊铺机的熨平板需加热至规定温度

(沥青路面不低于 100°C)，调整好摊铺厚度、拱度，确保熨平板平整无变形，振捣器振幅、频率设置合理。摊铺过程中需保持速度稳定，沥青路面摊铺速度宜控制在 $2\text{-}6\text{m}/\text{min}$ ，水泥混凝土路面宜控制在 $1\text{-}3\text{m}/\text{min}$ ，避免速度波动导致摊铺厚度不均；同时采用非接触式平衡梁控制摊铺高程，确保摊铺表层平顺，偏差控制在规范允许范围内。见图1

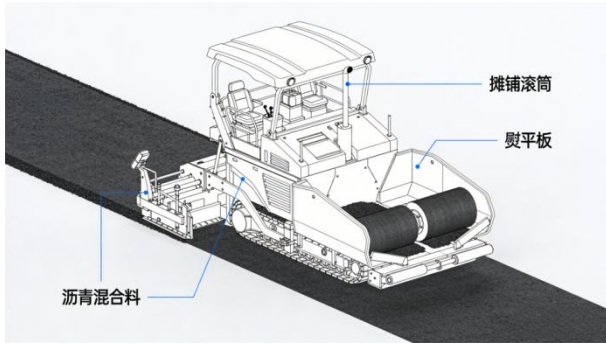


图1 公路沥青路面摊铺作业示意图

碾压工序需严格遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”的原则，根据路面材料类型选择适配的碾压设备。沥青混合料路面碾压分为初压、复压、终压三个阶段，初压采用钢轮压路机，碾压温度控制在 $135\text{-}165^{\circ}\text{C}$ 之间，碾压速度 $2\text{-}3\text{km}/\text{h}$ ，目的是稳定混合料结构；复压采用胶轮压路机或振动压路机，碾压温度 $110\text{-}135^{\circ}\text{C}$ ，速度 $3\text{-}5\text{km}/\text{h}$ ，通过高频振动提高混合料密实度；终压采用钢轮压路机，碾压温度不低于 70°C ，速度 $2\text{-}4\text{km}/\text{h}$ ，消除轮迹确保路面平整。水泥混凝土路面碾压需在初凝前完成，采用振动压路机配合平板振动器，碾压时从边缘向中心推进，重叠宽度为轮宽的 $1/3\text{-}1/2$ ，避免漏压或过压导致表面起砂、开裂。

接缝处理是关键细节，纵向接缝优先热接缝，重叠 $5\text{-}10\text{cm}$ ，碾压先压实接缝；冷接缝需涂刷粘层油并切除松散边缘。横向接缝及时切割且垂直路面，清理后涂刷粘层油，下次摊铺前铺垫 $2\text{-}3\text{cm}$ 混合料垫层再碾压。施工设备需定期校准，摊铺机熨平板与传感器每月至少校准一次，压路机碾压轮平整度及振动频率每周检查调整，避免设备精度偏差影响平整度^[3]。

2.3 路基基础稳定性强化

路基作为路面的承载基础，其稳定性直接决定路面长期平整度，需从路基施工、排水防护、沉降控制三方面实施强化措施。路基施工前需进行详细的地质勘察，根据土层性质制定针对性施工方案，对软弱地基需采用换填、夯实、排水固结等处理措施，换填材料选用级配砂石或灰土，换填深度不低于 0.5m ，夯实度达到 95% 以上；对填方路基需采用分层填筑、分层压实的方式，每层填筑厚度不超过 30cm ，采用重型振动压路机碾压，压实度需符合规范要求，高速公路路基顶面压实度不低于 96% ，一级公路不低于 95% 。

排水系统构建需兼顾地表排水与地下排水，避免雨水渗透导致路基软化沉降。地表排水可设置边沟、截水沟、排水沟等设施，边沟断面尺寸根据汇水量计算确定，采用浆砌片石或混凝土浇筑，确保排水通畅；地下排水可设置盲沟、渗沟，在路基填料中掺入排水材料，降低地下水位，防止地下水上升浸泡路基。同时在路基边坡设置防护工程，采用植草、浆砌片石护坡或格宾网防护，避免雨水冲刷导致边坡坍塌，间接影响路基稳定性。

路基沉降控制需建立全过程监测机制，施工期间设置沉降观测点，每填筑一层监测一次沉降量，若沉降速率超过规范限值（一般不超过 $10\text{mm}/\text{d}$ ），需暂停填筑，待沉降稳定后再继续施工。路基施工完成后需预留足够的沉降期，高速公路路基沉降期不少于6个月，一级公路不少于3个月，沉降稳定后再进行路面结构层施工。对沉降量较大的路段，可采用强夯法、堆载预压法等进行处理，确保路基工后沉降量控制在设计允许范围内，避免因路基不均匀沉降导致路面起伏变形。

2.4 后期养护科学管控

后期养护是维持路面长期平整度的重要保障，需建立“预防为主、防治结合”的养护体系，涵盖日常巡查、病害处置、预防性养护等环节。日常巡查需制定固定频次，高速公路每天至少一次，普通公路每两天一次，特殊天气（暴雨、暴雪、高温）后需加密巡查频次，重点排查路面裂缝、坑槽、沉陷、车辙等影响平整度的病害，建立巡查台账，详细记录病害位置、类型、规模。

病害处置遵循“及时、彻底、规范”的原则，针对不同病害类型采用适配处置工艺。宽度小于 5mm 的微裂缝可经高压气流清理后直接灌缝处理，大于 5mm 的裂缝需开槽不低于 1.5cm ，清理干净后灌注热熔型密封胶并压实。坑槽病害需垂直切割病害范围，清除松散部分，对基层清理并喷粘层油，采用同类型混合料回填后分层压实，确保与原路面平齐密实^[4]。沉陷病害需先查明诱因，路基压实不足则开挖复压后修复路面，地下水位影响则同步完善排水设施。

预防性养护需根据路面性能衰减规律及时实施，在路面出现明显病害前采取养护措施，延缓平整度下降。对沥青路面可采用稀浆封层、微表处、雾封层等技术，稀浆封层厚度控制在 $3\text{-}5\text{mm}$ ，微表处厚度 $5\text{-}8\text{mm}$ ，通过改善路面表层性能，填补微小裂缝与空隙，恢复路面平整度与抗滑性。对水泥混凝土路面可采用表面修补、板底压浆等措施，板底压浆采用水泥浆或化学浆液，通过压力注入板底空隙，填充空洞、稳固基层，避免板块脱空导致的沉降与开裂。养护施工需严格控制工艺参数，确保养护后路面与原路面平顺衔接，无明显接缝与高低差，养护完成后需及时清理现场，开放交通前进行平整度检测，达标后方可通行。

2.5 质量检测与动态调整

质量检测是全链条控制的闭环环节,需建立施工前、施工中、竣工后及运营期的全过程检测机制,通过精准数据指导控制措施动态调整。施工前检测重点核查原材料质量与下承层性能,原材料检测除常规指标外,还需根据工程特点增加专项检测,如沥青混合料的高温抗车辙性能、低温抗开裂性能检测;下承层检测包括平整度、压实度、高程等指标,平整度采用3m直尺检测,偏差不超过5mm,压实度采用灌砂法或核子密度仪检测,确保符合设计要求。

施工中检测需实时跟踪关键工序质量,摊铺过程中采用连续式平整度仪实时监测摊铺表层平整度,每50米记录一次数据,若检测值超过规范限值(高速公路 $IRI \leq 2.0m/km$),立即调整摊铺速度、熨平板高度等参数;碾压过程中采用压实度快速检测仪,实时监测压实效果,根据检测数据调整碾压遍数与碾压力度。接缝处理后需采用3m直尺检测接缝处平整度,偏差不超过3mm,若存在超标情况,及时采用人工修补或机械打磨方式处理。

竣工后检测需全面核查路面平整度及相关指标,采用连续式平整度仪进行全断面检测,检测频率为每车道每100米检测一次,同时检测路面压实度、厚度、强度等指标,形成完整的检测报告。若平整度检测存在局部超标路段,需分析原因并采取针对性整改措施,如局部铣刨重铺、精细打磨等,确保竣工路面平整度符合设计标准^[5]。

运营期检测需定期开展,高速公路每半年检测一次,普通公路每年检测一次,采用自动化检测设备(如激光平整度仪)提高检测精度与效率,建立路面平整度数据库,分析平整度衰减规律。根据检测数据评估路面性能状况,若发现平整度下降速率过快,及时排查影响因素,调整养护计划与控制措施,如加密养护频次、优化养护工艺等,实现路面平整度的动态管控,

参考文献:

- [1] 唐世禄.公路工程路基压实度控制关键技术与影响因素[J].大众标准化,2025(20):37-39
- [2] 独小军.路面平整度试验检测技术在公路工程施工及养护管理中的应用探讨[J].科技与创新,2025,(10):208-211.
- [3] 罗仕宇.公路工程路基路面平整度试验检测技术应用[J].运输经理世界,2024,(23):46-48.
- [4] 吴红梅.公路路面平整度检测技术的应用研究[J].运输经理世界,2024,(14):8-10.
- [5] 余小琴.公路沥青混凝土路面平整度施工技术研究[J].运输经理世界,2022,(36):19-21.

确保公路长期保持良好的通行状态。

3 公路工程路面平整度控制的实践应用与质量提升

3.1 路面平整度控制技术的落地应用

路面平整度控制体系可与现场工程建设实现深度融合,各类控制措施能够依托标准化施工流程完成落地转化。原材料管控、施工工艺优化、路基加固、后期养护等技术手段,可按照施工节点形成有序衔接的实操方案,现场施工环节可借助精准化检测设备与动态调整机制,保障各项控制技术执行到位。技术应用过程中注重工序间的协同配合,实现从基础施工到面层成型的全流程技术覆盖,让平整度控制要求转化为可落地、可监管的现场施工行为,保障控制措施发挥实际效用。

3.2 多维度协同下的工程质量提升

平整度控制工作能够带动公路工程整体建设质量实现稳步提升,优质的路面平整度状态可有效降低路面早期病害出现概率,减少路面开裂、沉陷、车辙等问题对工程质量的影响。稳定的平整度指标能够延长路面结构服役周期,降低后期养护维修的投入成本,同时提升公路通行的安全性与舒适性。平整度控制与工程质量管控形成相互促进的关系,以精细化控制手段优化施工全过程,推动公路工程建设品质实现长效提升,助力公路工程实现高质量建设与长效化运行。

4 结语

路面平整度管控贯穿公路建设规划、施工实施至运维保障全流程,对核心影响因素的精准识别与全链条控制方法的有效落地,可显著改善路面成型均匀性与平顺性,大幅降低早期开裂、沉陷等病害发生率,切实延长公路服役周期与运维效益。后续可进一步融合智能化检测与精细化管控技术,持续优化施工与养护工艺,推动公路工程平整度控制水平与整体建设质量稳步提升。