

公路路面施工中碾压混凝土路面的施工技术研究

程 超

浙江交工宏途交通建设有限公司 浙江 杭州 311305

摘要：碾压混凝土路面（RCCP）作为一种集高强度、高稳定性与经济性于一体的路面结构形式，在公路工程领域应用日益广泛。本文以公路路面施工为背景，系统研究碾压混凝土路面的施工技术，重点分析原材料选择与配合比设计、施工关键工序控制、质量检测与常见问题处理等核心内容，阐述各环节的操作要点与优化策略，旨在为提升碾压混凝土路面施工质量、延长路面使用寿命提供理论参考与实践指导，推动碾压混凝土路面技术在公路工程中的规范化、高效化应用。

关键词：公路路面；碾压混凝土；施工技术

前 言：

碾压混凝土路面通过减少水泥用量、简化振捣工序，不仅降低了工程成本，还缩短了施工周期，同时其抗裂性、抗渗性与抗疲劳性能均能满足公路长期服役需求。然而，在实际施工中，原材料质量波动、配合比设计不合理、碾压工艺控制不当等问题，易导致路面出现裂缝、平整度差、强度不足等质量缺陷，影响路面使用性能与使用寿命。因此，深入研究碾压混凝土路面的施工技术，明确各环节技术要点与质量控制标准，结合工程案例总结实践经验，对推动公路工程建设质量提升具有重要的现实意义。本文基于现有技术规范与工程实践，从原材料选择、配合比设计、施工工序、质量检测等方面展开研究，为碾压混凝土路面施工提供全面的技术参考。

一、碾压混凝土路面原材料选择与配合比设计

碾压混凝土性能由原材料质量与配合比决定，其采用干硬性拌合物，需振动碾压密实，因此原材料选择需兼顾强度、和易性与可碾压性，配合比设计需平衡工作性能、力学性能与经济性。

（一）原材料选择技术要点

原材料包括水泥、粗骨料、细骨料、外加剂与水，均需符合《公路水泥混凝土路面施工技术规范》（JTG/T 3340-2018）要求：

1. 水泥：优先选42.5级硅酸盐或普通硅酸盐水泥，需初凝 $\geq 1.5\text{h}$ 、终凝 $\leq 10\text{h}$ 且安定性合格。如某高速公路RCCP选用P·O42.5水泥，3d、28d抗压强度分别达25MPa、48MPa，初凝2.3h，满足强度与施工时效需求。

2. 粗骨料：用连续级配碎石，面层最大粒径 $\leq 31.5\text{mm}$ 、基层 $\leq 37.5\text{mm}$ ，针片状颗粒 $\leq 15\%$ 、含泥量 $\leq 1\%$ 。某农村公路RCCP基层用5-31.5mm碎石，压碎值12%、堆积密度1650kg/m³，有效降空隙率、提抗渗性。

3. 细骨料：选中砂（细度模数2.3-3.0），优先天然河

砂，含泥量 $\leq 3\%$ 、泥块 $\leq 1\%$ ，细度模数波动 ± 0.2 。某一级公路RCCP面层用细度模数2.6河砂，砂率32%，拌合物工作性好，碾压无离析。

4. 外加剂：以缓凝减水剂为主，减水率 $\geq 12\%$ 。某高速公路用聚羧酸系缓凝减水剂，减水率15%，将初凝延至3.0h，还减水泥15kg/m³，兼顾效率与成本。

5. 水：用饮用水或达标地下水，pH ≥ 4.5 ，避免杂质、盐分等影响混凝土性能。

（二）配合比设计方法与实例

碾压混凝土配合比设计以“干硬性、高密实、高强度”为核心目标，需通过试验确定最佳水胶比、砂率、单位用水量与外加剂掺量，具体步骤与实例如下：

1. 确定设计指标：根据公路等级与路面结构层（基层/面层）要求，确定28d抗压强度、抗折强度与工作性能（维勃稠度）。例如，高速公路RCCP面层设计28d抗压强度 $\geq 40\text{MPa}$ 、抗折强度 $\geq 4.5\text{MPa}$ ，维勃稠度控制在10-30s（干硬性混凝土特征指标，值越大拌合物越干）。

2. 计算初步配合比：根据原材料性能，采用“绝对体

积法”计算初步配合比。以某一级公路RCCP基层为例，原材料参数为：水泥P·042.5（密度3100kg/m³）、碎石5-31.5mm（密度2700kg/m³）、中砂（密度2650kg/m³）、缓凝减水剂（掺量1.2%），设计28d抗压强度35MPa，初步配合比（kg/m³）为：水泥280、碎石1350、砂620、水130、外加剂3.36，水胶比0.46，砂率32%。

3. 配合比验证试验：通过维勃稠度试验、抗压强度试验调整配合比。上述初步配合比的维勃稠度为25s（符合10-30s要求），但28d抗压强度仅为32MPa，未达设计值。通过降低水胶比至0.43，增加水泥用量至295kg/m³，调整后配合比（kg/m³）为：水泥295、碎石1340、砂615、水127、外加剂3.54，28d抗压强度提升至36MPa，维勃稠度22s，满足设计要求。^[1]

4. 生产配合比调整：根据施工现场原材料实际含水率（如砂、碎石含水率变化），调整单位用水量与骨料用量。例如，施工中检测砂含水率为3%、碎石含水率为1%，则调整后砂用量为615×(1+3%)=633kg/m³，碎石用量为1340×(1+1%)=1353kg/m³，用水量减少615×3%+1340×1%=32kg/m³，最终生产用水量为127-32=95kg/m³，确保拌合物工作性能稳定。

二、碾压混凝土路面施工关键工序控制

碾压混凝土路面施工流程包括施工准备、混凝土拌制与运输、摊铺、碾压、切缝与养护，各工序环环相扣，需严格控制技术参数，避免因工序缺陷导致质量问题。

（一）施工准备工作

施工准备是确保后续工序顺利开展的基础，主要包括下承层处理、施工设备调试与测量放样，具体要求如下：

1. 下承层处理：下承层（基层或底基层）需平整、坚实，表面平整度误差≤5mm/3m，压实度≥96%（重型击实标准）。若下承层存在裂缝、松散等缺陷，需采用水泥砂浆修补或重新压实；表面杂物、浮土需清理干净，并洒水湿润（含水率控制在5%-8%），避免下承层吸水导致混凝土失水过快。例如，某农村公路RCCP施工中，下承层为水泥稳定碎石基层，检测发现局部压实度仅93%，采用振动压路机补压2遍后，压实度提升至97%，表面洒水湿润后再进行混凝土摊铺，有效避免了混凝土底部出现蜂窝麻面。

2. 施工设备调试：碾压混凝土施工需配备专用设备，包括混凝土搅拌站（生产能力≥50m³/h）、自卸运输车（载重量≥15t，车厢需涂刷隔离剂）、摊铺机（履带式，

摊铺宽度3-6m，行走速度2-4m/min）、振动压路机（2台18-21t单钢轮振动压路机，1台20-22t胶轮压路机）。施工前需调试设备参数，例如摊铺机振捣频率控制在50-70Hz，振动压路机振幅调整为0.8-1.2mm，确保设备性能稳定。某高速公路施工中，因摊铺机振捣频率过低（40Hz），导致混凝土初始密实度不足，后续碾压需增加2遍才能达标，调整振捣频率至60Hz后，初始密实度提升10%，碾压效率显著提高。^[2]

3. 测量放样：采用全站仪按设计标高每隔10m设置控制点，摊铺机两侧设置导向基准线（钢丝绳或滑靴），基准线标高需考虑混凝土压实沉降量（一般为2-3cm）。例如，设计路面标高为100.00m，考虑2cm沉降量，基准线标高设置为100.02m，确保碾压后路面标高符合设计要求。

（二）混凝土拌制与运输控制

碾压混凝土拌合物为干硬性，需严格控制拌制时间与运输过程，避免离析或失水：

1. 混凝土拌制：搅拌站需按生产配合比精准计量原材料，计量误差控制在：水泥±1%、骨料±2%、水±1%、外加剂±0.5%。拌制时间从全部原材料投入搅拌筒开始计算，采用强制式搅拌机时，拌制时间≥90s，确保拌合物均匀。例如，某项目中因搅拌时间不足（仅60s），导致混凝土拌合物出现骨料集中现象，摊铺后表面出现明显离析，调整拌制时间至100s后，拌合物均匀性显著改善。

2. 混凝土运输：自卸运输车需覆盖篷布，防止运输过程中水分蒸发（尤其高温、大风天气），运输时间控制在30min内（从出站至摊铺完成）。运输路线需提前规划，避免堵车导致混凝土初凝。例如，某一级公路施工中，因运输路线临时维修，部分车辆运输时间达50min，混凝土到场后维勃稠度增至40s（超出10-30s范围），无法正常摊铺，最终废弃处理，造成经济损失；后续调整运输路线，增设临时便道，确保运输时间控制在25min内，避免了类似问题。^[3]

（三）摊铺与碾压工序控制

摊铺与碾压是决定路面平整度、密实度的核心工序，需严格控制摊铺速度、碾压顺序与碾压参数：

1. 摊铺控制：摊铺机行走速度保持匀速（2-3m/min），避免忽快忽慢导致路面出现波浪形起伏；摊铺厚度根据设计厚度与压实系数（一般为1.2-1.3）确定，例如设计厚度20cm，压实系数1.25，则摊铺厚度为25cm。摊铺过程

中，需安排专人清理摊铺机螺旋布料器两侧的骨料堆积，防止出现“骨料窝”；若出现局部缺料，需采用人工补料（补料需为同配合比混凝土，禁止直接洒水）。某高速公路施工中，摊铺机速度从2m/min突然提升至4m/min，导致局部摊铺厚度不足（仅22cm），碾压后厚度仅18cm（设计20cm），后续通过铣刨后重新摊铺，延误了工期。

2. 碾压控制：碾压分为初压、复压与终压三个阶段，需遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的原则：

初压：采用18t单钢轮振动压路机，静压1遍，速度1.5-2.0km/h，目的是稳定混凝土拌合物，避免复压时骨料推移。

复压：采用21t单钢轮振动压路机，振动碾压4-6遍，振幅1.0mm，频率30-40Hz，速度2.0-2.5km/h，此阶段为密实度关键环节，需确保压实度 $\geq 98\%$ （试验室最大干密度标准）。

终压：采用22t胶轮压路机，静压2遍，速度2.5-3.0km/h，目的是消除振动碾压痕迹，提升路面平整度。

例如，某农村公路RCCP施工中，复压仅进行3遍，检测压实度为96%（未达98%要求），后续增加2遍振动碾压后，压实度提升至98.5%；若终压省略，路面会残留明显的振动轮痕迹，平整度误差达8mm/3m，需重新终压才能达标。^[4]

（四）切缝与养护工序控制

切缝与养护可有效防止路面裂缝，延长使用寿命：

1. 切缝控制：切缝分为缩缝与胀缝，缩缝间距根据混凝土初凝时间与温度确定，一般为4-6m（高温天气取小值，低温天气取大值），切缝深度为路面厚度的1/3-1/4（如20cm厚路面，切缝深度5-7cm）。切缝时间需严格控制，

一般在混凝土初凝后、终凝前（路面表面用手指按压无明显痕迹时）进行，避免切缝过早导致边缘崩裂，或过晚出现不规则裂缝。例如，某项目在混凝土浇筑后4h（高温天气）进行切缝，此时混凝土已终凝，切缝过程中出现边缘崩裂，后续调整切缝时间至浇筑后2h，切缝质量显著改善；若切缝时间延迟至6h，路面已出现2-3mm宽的不规则裂缝，需采用环氧树脂灌缝处理。

2. 养护控制：切缝完成后需立即进行养护，采用覆盖土工布洒水养护或喷洒养护剂养护，养护时间 $\geq 14d$ （高温天气需延长至21d），养护期间路面表面含水率需保持在70%以上，避免混凝土失水过快产生干缩裂缝。例如，某一级公路施工中，因养护期间遭遇连续3天高温（35℃以上），土工布洒水不及时，路面出现1-2mm宽的干缩裂缝，后续采用养护剂+土工布双重养护，每2h洒水1次，未再出现裂缝；养护结束后，路面28d抗折强度达4.8MPa，满足设计要求。^[5]

结语：

碾压混凝土路面凭借高强度、高耐久性与经济性的优势，在公路工程中具有广阔的应用前景，但其施工技术对原材料选择、配合比设计、工序控制与质量检测的要求极高，任何环节的疏漏均可能导致质量问题，影响路面使用寿命。本文通过系统研究发现，原材料选择需严格控制水泥凝结时间、骨料级配与外加剂性能，配合比设计需平衡工作性能与力学性能，施工中需重点控制摊铺速度、碾压参数、切缝时间与养护质量等。当各技术环节均符合规范要求时，碾压混凝土路面可满足高荷载、长寿命的设计需求，其施工质量与使用性能均能达到预期目标。

参考文献：

[1]王强,李华,张宇.高速公路碾压混凝土路面配合比优化与施工质量控制研究[J].公路工程,2021,46(3):85-90.
[2]刘辉,陈燕.碾压混凝土基层沥青路面结构性能与病害防治措施[J].交通科技与经济,2022,24(2):56-61.

[3]赵亮,孙悦.基于耐久性的碾压混凝土路面施工技术改进与应用[J].筑路机械与施工机械化,2023,40(4):45-52.

[4]周琳,吴昊.寒冷地区碾压混凝土路面抗冻性能提升技术研究[J].低温建筑技术,2024,46(5):45-48.

[5]张悦,李阳.智能监测技术在碾压混凝土路面施工中的应用与效果分析[J].现代交通技术,2025,22(2):35-40.