

公路工程水泥稳定碎石基层施工技术研究

兰 强

中交一公局第一工程有限公司 吉林 四平 136501

摘 要：水泥稳定碎石骨料主要是由水泥、碎石、水和胶质填充原料以及灰浆组合而成，将这种骨料应用于道路工程基层施工建设中有利于加固路基，确保路基填充质量，延长道路公路工程使用寿命。加强道路公路工程安全建设，必须着重控制水泥稳定碎石基层施工技术质量，精选优质原材料，在正式施工之前，综合考虑水泥稳定碎石骨料质量问题，分析影响施工质量的外在因素，并结合分析结果制订解决对策。系统论述道路公路工程中水泥稳定碎石基层施工技术要点，希望能为道路公路工程建设提供参考与借鉴。

关键词：道路公路工程；水泥稳定碎石；基层施工技术

作为半刚性的无机结合类稳定材料，水泥稳定碎石具有较好的板体性、较高的力学性能、较强的水稳性以及抗冻性，因而在公路工程项目建设施工中得到了广泛的应用。但是由于水泥稳定碎石基层施工受原材料质量、施工工艺等一系列因素的影响，导致水泥稳定碎石基层在施工结束后出现了较多的质量问题，不仅影响了路面结构强度，对于行车的舒适及安全也十分不利。

1 公路工程水泥稳定碎石基层施工技术研究分析重要性

水泥稳定碎石基层作为公路工程的核心承重结构层，其施工技术研究对保障道路耐久性、安全性和经济性具有关键作用，重要性主要体现在以下方面：

1.1 结构承载与耐久性能提升。荷载传递核心层，基层承担70%以上的车辆荷载传递功能，直接影响路面抗变形能力与疲劳寿命。水泥稳定碎石基层通过形成整体板体结构（整体厚度可达30-40cm），显著提升抗拉伸和抗冲击强度，预防早期下沉、龟裂等病害。抗裂性能优化，通过振动拌和法提升混合料均匀性，配合比设计中严格控制水泥剂量（3%-6%）和最佳含水量（偏差 $\pm 1\%$ 时，7d无侧限抗压强度下降15%-20%），可减少收缩裂缝生成概率。

1.2 施工工艺标准化与技术创新。大厚度摊铺技术突破，采用大功率摊铺机一次性摊铺35cm厚基层（松铺系数1.30），取代传统分层施工，解决层间结合薄弱问题，形成连续整体结构，提升施工效率50%以上。全过程质量控制，拌合阶段：全封闭料棚存储（料池 ≥ 5 个），冷料仓加高隔板防串料，计量设备定期标定；摊铺阶段：双机联铺配合铝合金标高轨道+27#槽钢侧模支护，基准线精度控制 ± 5 mm内；压实工艺：振动压实法结合“慢速多遍”碾压（前两遍1.5-1.7km/h，后续2.0-2.5km/h），

压实度 $\geq 98\%$ 。

1.3 质量保障与经济性价值。减少全周期维护成本，透水性设计可降低40%水损害风险，延长大修周期；规范养护（覆盖洒水7天，封闭交通）避免强度损失，保障设计使用寿命。试验段研究的必要性，试验段施工（如零道高速案例）可验证混合料配比合理性、压实机械组合方案及工艺参数，为大规模施工提供科学依据，避免返工损失。

1.4 行业规范推动与技术适配性。交通运输部《公路路面基层施工技术细则》明确大厚度摊铺技术要求，推动振动拌和、五全管理（全覆盖、全落实、全受控、全保证、全过程）等标准化作业普及，适应复杂地形（如山区桥隧路段）的高强度需求。

2 公路工程水泥稳定碎石基层施工技术研究分析

以下是公路工程水泥稳定碎石基层施工技术的综合分析：

2.1 材料要求水泥与集料配比：水泥用量通常为混合料的3%-6%，砂率控制在30%-36%；集料压碎值 $\leq 30\%$ ，粒径 ≤ 31.5 mm，含泥量 $\leq 5\%$ ，级配需连续且0.075mm颗粒含量 $\leq 5\%$ 。混合料性能：7天无侧限抗压强度标准：机动车道 ≥ 3.5 MPa，非机动车道 ≥ 2.5 MPa。最佳含水率需通过击实试验确定，拌和时含水率略高于最佳值0.5%-1.0%。

2.2 质量控制要点。压实度：基层压实度 $\geq 98\%$ ，检测采用灌砂法或钻芯法，每200m取1组试件。养生：碾压后立即覆盖土工布保湿养生 ≥ 7 天，每日洒水3次保持湿润，期间禁止通车。环境控制：施工气温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ ，雨季停工防雨，混合料拌和至碾压完成不超过水泥初凝时间（通常2小时内）。

2.3 常见病害防治。裂缝防治：优化级配（接近级配

范围中值),控制水泥用量;养生结束后及时铺筑下封层,减少水分蒸发。弹簧土处理:翻浆路段挖除软土,换填碎石+石灰/水泥改良,分层夯实后铺设土工膜隔水。离析控制:摊铺机加装橡胶挡板及反向叶片;运输车分三次装料(前→中→后)减少离析。

3 公路工程水泥稳定碎石基层施工工艺流程

公路工程水泥稳定碎石基层施工需严格遵循工艺流程,核心环节如下:

3.1 施工准备。路基处理,下承层(路床或底基层)表面需平整坚实,清除松散土块、杂物,车辙及软弱区域需翻挖修补并重新碾压达标,洒水湿润表面增强层间粘结。测量放样,全站仪放出中线及边线(直线段每10m、曲线段每5m设桩),边线外20cm设置直径3mm钢丝基准线,标高精度控制在 $\pm 5\text{mm}$ 内。材料准备,水泥:选用初凝 $> 3\text{h}$ 、终凝6~10h的42.5级普通硅酸盐水泥,散装水泥入罐前检测安定性;集料:分4档级配(如19~31.5mm、9.5~19mm等),压碎值 $\leq 26\%$,针片状含量 $\leq 20\%$;配合比:通过振动压实试验确定水泥剂量(基层5%~7%)、最佳含水量及最大干密度。

3.2 混合料拌合与运输。集中厂拌,专用稳定土拌合设备拌制,拌合时间 $\geq 60\text{s}$;严格控制水泥剂量及含水量(略高于最佳值0.5%~1.0%),防止离析。运输覆盖,自卸车分“前-中-后”三次装料,覆盖篷布防水分流失,运输时间 $\leq 2\text{h}$ 。

3.3 摊铺工艺。基层处理,摊铺前撒布水泥净浆(水灰比 $\geq 0.5:1$),增强层间粘结,撒布长度30~40m。双机联铺,两台摊铺机梯形排列同步作业,间距5~10m;前机走钢丝基准线,后机走滑靴+铝合金标高轨道;松铺系数1.30(大厚度摊铺35cm)。边部支护,外侧立27#槽钢模板,钢钎固定防涨模;中缝设侧模,螺旋布料器埋入混合料深度 $\geq 2/3$ 。

3.4 碾压成型。压实分三阶段:初压:23t双钢轮压路机静压1~2遍,速度1.5~1.7km/h;复压:25t振动压路机弱震→强震共4~6遍,速度1.8~2.5km/h,轮迹重叠1/2;终压:胶轮压路机收面2遍,消除轮迹;边角用小型压路机补压。压实度 $\geq 98\%$,延迟时间 $\leq$ 水泥初凝时间(通常2h内)。

4 公路工程水泥稳定碎石基层施工质量评定与检测方法

水泥稳定碎石基层施工质量评定与检测需严格执行规范标准,重点控制以下核心环节:

4.1 强制性检测项目与标准。压实度检测,方法:灌砂法(每200m每车道测4处);核子密度仪辅助快速

检测(非验收依据);标准:压实度 $\geq 98\%$ (重型击实标准);控制要点:碾压终了时间 $\leq$ 水泥终凝时间(一般2h内),碾压组合为“静压+弱震+强震+胶轮收面”。无侧限抗压强度,方法:钻芯取样后饱水养护7天,压力机加载至破坏;标准:7d强度 $\geq 3.5\text{MPa}$ (一级公路基层);取样频率:每工作日2组(上/下午各1组)。厚度与几何尺寸,厚度检测:钻芯法或尺量法,每200m测1处允许偏差:代表值-8mm,极值-15mm;宽度/横坡:钢尺测量宽度(每40m测1处),水准仪测横坡(每100m测3断面)。

4.2 辅助检测项目及方法。平整度,3m直尺连续量,尺19, $\leq 8\text{mm}$,每200m测2处;水泥剂量,EDTA滴定法, $\pm 0.5\%$ (设计值),每2000 m^2 取样6次;级配,水洗筛分,符合设计级配曲线范围,每2000 m^2 取样1次;含水量,烘干法, $\pm 1\%$ (最佳含水量),每日2次。

4.3 验收判定规则。主控项目:压实度、强度、厚度任一不合格即判定该段不合格;外观质量:表面平整无松散、轮迹、坑洼,边线顺直无翘曲;资料完整性:需提供配合比报告、压实记录、强度试验及养护日志。

5 公路工程水泥稳定碎石基层养生及环保措施

以下是公路工程水泥稳定碎石基层养生及环保措施的核心要点,依据施工规范与实践经验整理:

5.1 养生技术措施。覆盖保湿,碾压完成后立即覆盖透水土工布或麻袋,保持湿润状态至少7天;采用喷雾式洒水车养护,禁用高压水枪(避免冲刷基层)。分层施工时,下层需覆盖养护 ≥ 7 天后方可铺筑上层,铺筑前下层表面应保持湿润并撒布水泥浆增强粘结。温度与时效控制,气温低于 5°C 时停止施工,冬季需采用保温材料(如草帘)覆盖并减少洒水频次,防止冻胀破坏。养生期内始终保持表面湿润,极端高温天气增加洒水频次(每日 ≥ 4 次)。交通管制,养生期间封闭交通,洒水车需在另侧车道行驶;若必须开放,重车限速 $\leq 30\text{km/h}$ 并铺设钢板分散荷载。养生结束清扫基层后,方可喷洒透层油或铺筑沥青面层。

5.2 环保专项措施。扬尘治理,施工现场100%围挡封闭,主要道路100%硬化;易扬尘物料全覆盖,土方作业同步开启雾炮降尘。运输车辆离场前冲洗轮胎,渣土车100%密闭运输,严禁带泥上路。资源节约与减排,优先选用工业废渣(粉煤灰、矿渣)替代部分水泥,减少碳排放;细骨料采用机制砂替代天然砂。使用电动或混合动力低噪设备,夜间施工避开居民休息时段。水资源保护,拌和站排水系统设置沉淀池,废水经处理达标后排放;低温施工时防止用水结冰。雨季施工前疏通排

水沟,及时清除下承层积水,避免泥浆流入水体。废弃物管理,分类收集施工垃圾,可回收材料(如废钢筋)专区堆放;废弃混凝土块破碎后作路基回填。养生废水经沉淀池处理后循环利用,避免直排污染水体。生态恢复,表土剥离后集中堆放并覆盖,用于后期绿化;干旱河谷区域优先种植灌草恢复植被。

施工避开生态敏感区,必要时设立隔离带保护原生植物。

5.3 新材料与新技术应用。养护剂替代:干旱地区可采用混凝土养护剂(按1:3兑水稀释喷洒),减少用水量并提升表层密实度。界面增强技术:掺入造纸白泥与赤泥混合粉体替代矿粉,显著提升基层抗水损害能力。执行要点:养生期湿度、温度双控是强度发育关键;环保需落实“六个百分百”(围挡、覆盖、硬化、冲洗、湿法作业、密闭运输)。

5.4 安全管理要点。人员与设备安全,培训持证:电工、机械操作人员持证上岗,新入场工人需经安全培训(含应急演练)。设备防护:拌和机加装安全锁,螺旋布料器设置防护罩;碾压区域设警示隔离带。用电安全:定期检修电缆,配电箱防水防漏电,夜间施工照明全覆盖。现场施工安全,交通管控:施工路段设置警示牌,社会车辆绕行;便道平整无碎石,避免车辆打滑。分层作业:摊铺机与压路机保持10m以上安全距离;边缘压实使用小型设备防倾覆。接缝安全:横向接缝处安排专人指挥机械转向,纵向接缝错台部位立警示桩。特殊工况应对,雨季:暴雨前撤离低洼区设备,雷电时暂停露天作业;复工前检查边坡稳定性。

低温:室外气温 $<5^{\circ}\text{C}$ 时停止施工,设备液压系统更换防冻液,人员配备防滑装备。

5.5 环保与安全协同管理混合料拌和,封闭大棚降噪防尘,定期检修拌和机传动部件;运输过程,篷布全覆盖防撒漏,车辆限速、弯道警示;摊铺碾压,喷雾降尘,及时清理散料,划定机械作业区,人员禁入;养生期覆盖养生减少水资源消耗89%封闭交通,设置路障。

5.6 关键控制指标环保达标,施工噪声 $\leq 65\text{dB}$ (昼间),扬尘浓度 $<1.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

固体废弃物回收率 $\geq 90\%$,废水处理达标率100%。安全目标,事故率 $\leq 0.5\%$,应急演练频率 ≥ 1 次/季度。设备故障率 $<5\%$,安全培训覆盖率100%。

综上所述,水泥稳定碎石基层作为公路工程的核心承重结构层,其施工技术研究对保障道路耐久性、安全性和经济性具有关键作用,水泥稳定碎石基层技术研究不仅解决传统分层施工的层间脱离、离析等问题,更通过材料改良(如水泥碎石土4:10:26配比提升底基层强度)、工艺创新和设备升级,实现道路全寿命周期成本优化与安全性能跃升,是公路工程高质量发展的核心技术支撑。

参考文献

- [1]陈阳.水泥稳定碎石基层摊铺碾压施工技术研究[J].四川水泥,2023(7):169-171,186.
- [2]熊云斌.市政施工中水泥稳定碎石基层施工技术的研究与实践[J].科学技术创新,202(15):138-141.
- [3]王辉.市政道路施工中水泥稳定碎石基层施工技术的实践[J].建筑技术开发,2023,50(6):94-96.
- [4]郝胜.浅谈道路工程建设中多孔玄武岩水泥稳定碎石基层施工[J].四川水泥,2023(6):250-252.
- [5]海煜轩.水泥稳定碎石基层施工技术在高寒地区道路建设中的创新应用[J].四川水泥,2023(5):229-231.