

水泥稳定碎石基层施工技术 with 质量控制

张 龙

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要：水泥稳定碎石（Cement Stabilized Macadam, CSM）作为一种半刚性基层材料，因其强度高、稳定性好、板体性强、承载能力大以及经济性优等显著优势，在我国高等级公路建设中得到了极为广泛的应用。然而，其施工过程复杂，对原材料、配合比、拌和、运输、摊铺、碾压及养生等环节的控制要求极为严格，任何一个环节的疏忽都可能导致基层出现裂缝、松散、强度不足等病害，进而影响整个路面结构的使用寿命和行车舒适性。本文旨在系统阐述水泥稳定碎石基层的材料特性、配合比设计原理，并深入剖析从原材料准备到最终养生全过程的关键施工技术要点。在此基础上，构建一个覆盖事前、事中、事后的全方位、全过程质量控制体系，以期为工程实践提供理论指导和技术参考，确保水泥稳定碎石基层的工程质量，延长道路使用寿命。

关键词：水泥稳定碎石；基层；施工技术；质量控制；配合比设计

引言

我国交通基础设施建设快速发展，对道路工程质量和耐久性提出更高要求。基层作为路面结构关键层位，其性能影响路面整体承载与使用品质。水泥稳定碎石因力学性能优异、经济性好，成为多等级公路基层首选。但它并非完美，作为半刚性材料，有干缩和温缩特性，水分蒸发或温度变化时易产生收缩应力，超过抗拉强度会产生反射裂缝，削弱基层结构完整性，加速路基和面层破坏。同时，施工不规范，如原材料不合格、含水量控制不佳等，也会导致基层质量缺陷。所以，深刻理解其材料机理、精准掌握施工工艺、建立科学严谨的质量控制体系，是确保其发挥功能、实现道路长寿命目标的核心。

1 水泥稳定碎石的材料特性与作用机理

水泥稳定碎石由一定级配的碎石、适量水泥和水经拌和、摊铺等工序形成整体性强、有抗压和抗弯拉强度的板体结构。碎石构成骨架，水泥浆体填充空隙，经水化反应生成胶凝产物，将骨料粘结，赋予混合料强度和整体性^[1]。其主要技术特性如下：（1）高强度与高模量：7天无侧限抗压强度可达3 - 5MPa以上，能有效分散和传递车辆荷载应力，保护路基。（2）良好板体性：因水泥胶结，整体受力均匀，不易局部变形。（3）水稳性好：抵抗水侵蚀能力强，不易软化或流失。（4）收缩性：干缩和温缩共同作用，是基层开裂的根本原因。（5）抗冲刷性：细集料含量过高或水泥剂量不足时，基层表面在水的长期冲刷下可能发生细料流失，形成坑洞。其强度形成分三个阶段：初始阶段（0 - 2小时），水泥水化，混合料初凝；硬化阶段（2 - 7天），水化持续，

生成大量产物填充空隙，强度快速增长；后期强度增长阶段（7天以后），水化速度减缓，强度缓慢增长并趋于稳定，28天强度常作为最终强度评价指标。

2 水泥稳定碎石基层配合比设计

2.1 设计依据与原则

依据《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）等相关规范。

原则是：（1）骨架密实原则：采用嵌挤型级配，粗集料形成稳定的骨架，细集料和水泥浆填充空隙，既能保证强度，又能减少收缩。（2）最小水泥剂量原则：在满足设计强度的前提下，选用最小的水泥剂量，以控制收缩和成本。（3）最优含水量原则：确定能使混合料达到最大干密度的含水量，这是保证压实度的关键。

2.2 设计流程

（1）原材料试验：对拟用的水泥、碎石、石屑（或天然砂）等进行筛分、压碎值、液塑限、含泥量、有机质含量、水泥标号及初终凝时间等全面检测，确保符合规范要求。（2）级配范围选择：根据工程经验和规范推荐，初步选定1-3组不同的合成级配曲线。理想的级配应使混合料的公称最大粒径（通常为31.5mm或26.5mm）以下的颗粒分布合理，4.75mm以下细料含量不宜过高（一般控制在20%-35%），0.075mm以下粉尘含量应严格控制（通常 ≤ 3%）。（3）确定最佳含水量和最大干密度：对每组级配，按不同水泥剂量（如4%、5%、6%）分别进行重型击实试验，绘制含水量-干密度关系曲线，确定各自的最佳含水量（OWC）和最大干密度（MDD）。（4）无侧限抗压强度试验：在最佳含水量和最大干密度下，制作标准试件（Φ150mm×150mm圆柱体），在规

定条件下(保湿、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$)养生6天,浸水1天后,进行无侧限抗压强度(UCS)试验。(5)确定设计配合比:根据强度试验结果,选择满足设计强度要求(如高速公路基层7天 $\text{UCS} \geq 3.5\text{MPa}$)且水泥剂量最小的那一组配合比作为目标配合比。同时,需考虑施工过程中的变异性,通常会增加0.5%左右的水泥剂量作为生产配合比。

3 关键施工技术要点

3.1 施工前准备

首先,必须对下承层(路床或底基层)进行全面而严格的验收,确保其高程、平整度、压实度、宽度、横坡及路拱等几何尺寸和物理指标均符合规范要求。验收合格后,需彻底清扫其表面的杂物和浮土,并适当洒水湿润,以增强新旧结构层之间的粘结,但要避免形成积水。其次,进行精确的施工放样,恢复道路中线,并在两侧路肩外设置指示桩,通过水平测量在桩上清晰标出基层边缘的设计标高,同时挂设高精度的钢丝基准线,为摊铺机提供可靠的自动找平依据。最后,必须对所有投入使用的机械设备进行周密的配置与调试,确保拌和站、运输车队、摊铺机、各类压路机及洒水车等设备性能良好、数量匹配。特别是拌和站的计量系统,必须经过权威部门的标定,以保证水泥、集料和水的添加精度,这是控制混合料质量的第一道关口。

3.2 混合料拌和

对于高等级道路而言,必须采用集中厂拌的方式生产混合料,这是保证其均匀性和质量稳定性的根本途径。在拌和过程中,水泥、碎石、水的添加量必须严格按照生产配合比,通过自动化系统进行精确计量,其中水泥的称量误差必须被严格控制在正负1%以内。考虑到混合料在运输和摊铺过程中不可避免的水分损失,拌和时的实际加水量通常需要略高于实验室确定的最佳含水量,一般增加0.5%至1.0%,在炎热干燥的天气条件下,这一增量甚至需要进一步加大^[2]。同时,必须保证足够的拌和时间,通常不少于30秒,以确保各种材料充分、均匀地混合,最终得到色泽一致、无灰团、无离析现象的优质混合料。

3.3 混合料运输

应选用大吨位的自卸车,并确保车厢内部干净光滑,必要时可涂刷防粘剂以防止混合料粘附。在装料时,应采用“前-后-中”的多次移动装料法,通过改变卸料点的位置,有效减少混合料在车厢内因重力作用而产生的粗细集料离析现象。运输途中,必须用帆布对车厢进行严密覆盖,这不仅能有效防止水分过度蒸发,还能避免环境污染。更为关键的是,必须严格控制从加水拌

和到碾压终了的“延迟时间”,这个时间窗口绝对不能超过所用水泥的初凝时间,规范通常要求不超过2小时。这就意味着运输距离不宜过长,且现场的调度组织必须高效有序,确保混合料能在最佳状态下被摊铺和压实。

3.4 混合料摊铺

应优先采用两台或更多同型号的摊铺机进行梯队作业,前后间距保持在5至10米,相邻两幅之间搭接5至10厘米,以最大限度地减少纵向接缝的数量和质量隐患。摊铺机在整个作业过程中必须保持缓慢、均匀、连续不间断的行驶状态,速度通常控制在每分钟1.5至2.5米之间,任何停顿或速度突变都可能导致厚度不均或离析。为了保证熨平板前方的物料压力恒定,螺旋布料器内的混合料高度应始终保持在略高于螺旋叶片三分之二的位位置。高程与厚度的控制则依赖于非接触式平衡梁或挂设的钢丝基准线,严禁在摊铺后由人工反复修整表面,因为这种做法极易破坏混合料的均匀性,造成严重的局部离析。一旦在摊铺过程中发现窝状或带状的离析区域,应立即予以铲除,并用新鲜的混合料进行填补。

3.5 混合料碾压

必须严格遵循“先轻后重、先慢后快、先低后高、先静后振、轮迹重叠”的基本原则。一个典型的碾压组合通常包括三个阶段:首先由双钢轮压路机进行一遍静压,起到稳压成型的作用;然后由重型单钢轮振动压路机进行4至6遍的强振碾压,这是达到规定压实度的关键;最后由胶轮压路机进行1至2遍的静压,以消除轮迹,形成平整密实的最终表面。碾压速度也需分阶段控制,初压宜慢(1.5-1.7公里/小时),复压可稍快(2.0-2.5公里/小时),终压则适中(2.5-3.5公里/小时)。具体的碾压遍数必须通过前期的试验段来最终确定^[3]。整个碾压过程应在混合料处于或略大于最佳含水量时进行,若因天气原因导致表面水分蒸发过快,应及时补洒少量水雾。对于横向接缝的处理,应确保其垂直相接,摊铺结束时对末端混合料进行整齐切割,并在下次摊铺前于接缝处涂刷一层水泥浆,以保证新旧混合料之间的牢固连接。

3.6 养生

在碾压完成并经压实度检验合格后,应立即着手进行,理想情况下应在碾压结束后两小时内完成覆盖。目前,效果最佳的养生方法是采用透水土工布进行全覆盖,并用砂袋或U型钉将其牢牢固定,以防止被风吹起。在整个养生期内(通常不少于7天),必须指派专人负责,通过洒水车等方式,始终保持基层表面处于持续湿润的状态,尤其是在高温、大风等恶劣天气下,洒水频

率需相应增加。另一种可行的方法是在基层表面喷洒慢裂型乳化沥青,形成一层封闭膜,既能有效保水又能防止水分蒸发,但需注意此法可能对面层与基层之间的粘结产生影响。无论采用何种养生方式,在养生期间都必须实行严格的交通管制,除洒水车外,严禁一切车辆通行。即使养生期满,在铺设沥青面层之前,也应尽量限制重载车辆的通行,以免对已成型的基层造成损伤。

4 全过程质量控制体系

4.1 事前控制

首要任务是对所有进场的原材料进行严格把关。水泥应选用初凝时间大于3小时、终凝时间大于6小时的普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥,坚决杜绝使用快硬、早强或受潮变质的水泥。碎石则必须洁净、坚硬、耐磨,其压碎值、针片状颗粒含量和软弱颗粒含量等关键指标均需满足规范上限。正式大规模施工前,必须铺筑一段不少于200米的试验段。这段试验路不仅是对生产配合比合理性的一次实战验证,更是检验施工机械匹配性、优化施工工艺参数(如松铺系数、最佳碾压遍数、允许延迟时间等)的宝贵机会。此外,全面而深入的技术交底也是事前控制的重要一环,必须确保每一位参与施工的技术人员和一线操作工人都能清晰理解设计意图、质量标准和具体的操作规程。

4.2 事中控制

在拌和站,应安排专人实时监控各料仓的下料情况以及水泥、水的流量,并定期(如每个工作班)取样,快速检测混合料的级配、含水量和水泥剂量,确保生产过程始终处于受控状态。在施工现场,同样需要专人负责,密切监控摊铺机的作业状态,随时检查摊铺厚度、平整度以及是否存在离析现象。对于碾压工序,不仅要详细记录所采用的压路机类型、碾压遍数、行驶速度和组合方式,更要利用核子密度仪或灌砂法等手段,及时、高频次地检测压实度,确保其代表值不低于98%的重型击实标准^[4]。同时,必须对从拌和加水到碾压结束的延迟时间进行全程跟踪记录,任何超时的混合料都必须坚决废弃,不得用于工程实体。此外,还应随时对中线偏

位、宽度、纵断高程、横坡和平整度等几何尺寸进行抽检,确保其满足规范要求。

4.3 事后控制

在规定的龄期(通常是7天或28天),应按规定频率(如每2000平方米或每个工作班)钻取芯样,通过室内试验检测其无侧限抗压强度,这是评价基层内在质量的最直接证据。同时,芯样的完整性、密实度以及骨料被水泥浆包裹的情况,也能直观反映施工质量的好坏。除了室内试验,还必须进行细致的外观检查,基层表面应平整、密实,不得存在坑洼、松散或人为薄层贴补的现象。对于在养生期间或之后出现的、宽度超过0.2毫米的裂缝,应及时采取灌缝等措施进行处理,防止其进一步发展。在养生期满、面层施工之前,还应进行弯沉检测,通过贝克曼梁或落锤式弯沉仪(FWD)来评估基层的整体承载能力是否达到了设计要求。

5 结语

水泥稳定碎石基层作为现代道路工程的核心组成部分,其施工质量直接关乎道路的服役性能与寿命。本文系统梳理了其材料特性、配合比设计方法,并详尽阐述了从施工准备到养生结束的全过程关键技术要点。在此基础上,构建了一个涵盖事前、事中、事后的立体化质量控制体系,尤其强调了对原材料、配合比、含水量、压实度、延迟时间和养生等关键环节的精细化管控。未来,随着新材料、新工艺、智能化施工装备的不断发展,水泥稳定碎石基层的施工质量和耐久性必将得到进一步提升,为我国交通强国建设奠定更加坚实的基础。

参考文献

- [1]李洋,沈兵.水泥稳定碎石基层施工技术 in 道路施工中的应用策略[J].散装水泥,2026,(02):124-126.
- [2]陈利明,胡泽,杜旭洁.水泥稳定碎石基层施工工艺优化及应用分析[J].散装水泥,2026,(02):242-244.
- [3]张海斌.公路工程中水泥稳定碎石基层施工质量通病及措施[J].广东建材,2026,42(02):157-160.
- [4]牛志平.道路基层施工中水泥稳定碎石施工技术的应用[J].汽车周刊,2026,(02):212-214.