

抗裂型水泥稳定碎石基层施工

冯 斌

江苏冠盛路桥工程有限公司 江苏 徐州 221000

【摘要】抗裂型水泥稳定碎石基层是路面结构的重要组成部分，本文依据中华人民共和国行业标准《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）、《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2017）、《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG E51-2009），并结合工程实际与相关成功经验，对抗裂型水泥稳定碎石基层施工总结做了简要分析研究。

【关键词】抗裂型；水泥稳定碎石；基层施工

抗裂型水泥稳定碎石基层是一种通过调整水泥稳定碎石配合比，减少 4.75 以下细集料提高水泥稳定碎石基层的抗裂性能，增加基层的承载能力和稳定性。

1 一般规定

(1)水泥稳定碎石路面基层压实厚度不超过 26cm，不小于 15cm。采用集中厂拌混合料，采用摊铺机摊铺、压路机碾压的工艺施工。

(2)水泥稳定碎石混合料采用干质量配合比计算，以集料为 100，水泥剂量外加的外比表示。

(3)水泥稳定碎石基层的施工期宜在冰冻（-3℃~5℃）到来半个月至一个月前结束，施工当天最低气温低于 0℃不宜进行水泥稳定碎石基层的施工，并尽量避免在高温季节施工。

(4)水泥稳定碎石结构层施工时，应遵循下列规定：

①配料应准确，拌和应均匀；

②混合料摊铺应均匀，减少离析；

③严格控制基层的压实厚度和高程，横坡应与面层一致；

④应在混合料略大于最佳含水量约 1 个百分点时进行碾压，直到达到振动击实试验确定的不小于 98%压实度（或标准重型击实试验确定的不小于 100%压实度）。

⑤水泥稳定碎石混合料应采用专用的粒料拌和机集中厂拌生产。施工中应尽可能缩短从加水拌和到碾压的时间，应不大于水泥初凝时间的试验延迟时间。

⑥应采取各种有效措施，防止水泥稳定碎石在施工中出现离析（粗集料集中）和开裂现象。对已经出现的离析和开裂应进行处理，直至将基层铲除重铺。

2 材料要求

(1) 水泥

普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸

盐水泥都可用于拌制水泥稳定碎石混合料，宜采用强度等级不低于 42.5 级的缓凝水泥，水泥初凝时间应大于 3h、终凝时间大于 6h 且小于 10h。水泥其他指标应符合国家相关标准的规定。检测频率为每 250 吨进行一组全套指标检测（不含 28 天强度），每 1500 吨必须检测 28 天强度。

采用散装水泥，在水泥进场入罐时，要停放七天，安定性合格后才能使用；夏季高温作业时，水泥入罐温度不能高于 50℃，否则，应采用降温措施。

(2) 碎石

碎石的最大粒径为 31.5mm，宜按粒径 19-31.5mm、9.5-19mm、4.75-9.5mm、2.36mm-4.75mm 和 0-2.36mm 五种规格备料。也可按照 19-31.5mm、4.75-19mm、2.36mm-4.75mm 和 0-2.36mm 四种规格备料。

碎石压碎值应不大于 28%，4.75mm 粒径以上粗集料针片状含量应不大于 18%（宜不大于 15%）。集料 0.075mm 筛孔通过率应严格控制，粒径大于 19mm 料的 0.075mm 筛孔通过率不大于 1.5%，2.36mm-9.5mm 料的 0.075mm 筛孔通过率不大于 3%，0-2.36mm 料 0.075mm 筛孔通过率不大于 15%。要求在选料期间碎石中小于 0.6mm 的颗粒必须做液限和塑性指数试验，要求液限小于 28%，塑性指数小于 9。在大规模施工过程中可只进行细集料砂当量试验，要求砂当量值≥60%，合成碎石的颗粒组成应符合表 1-1 的规定。每船检测一次集料全套试验，每 2000 吨检测一次筛分及砂当量。

表 1-1 水泥稳定碎石混合料中合成碎石的颗粒组成

| 级配 | 通过下列筛孔(mm)的重量百分率(%) | | | | | | | |
|----|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | 31.5 | 26.5 | 19.0 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 0.6 | 0.075 |
| 基层 | 100 | 95~100 | 68~86 | 38~58 | 22~38 | 16~28 | 8~15 | 0~7 |

(3) 水

凡饮用水皆可使用，遇到可疑水源，应委托有关部

门化验鉴定。

3 准备工作

(1) 应必须配备齐全的施工机械和配件, 做好开工前的保养、试机工作, 并保证在施工期间一般不发生有碍施工进度和质量故障。水泥稳定碎石施工要求单幅梯队摊铺作业, 因而必须配备以下主要机械:

①拌和机。应配置产量大于 400t/h 的拌和机, 要保证其实际出料(生产量的 80%) 能力超过实际摊铺能力的 10-15%。拌和机必须采用定型产品, 并在多个工程中应用, 且用户反应良好。为使混合料拌和均匀, 拌缸要满足一定长度。宜采用五个进料斗, 料斗口必须安装钢筋网盖, 筛除超出粒径规格的集料及杂物。拌和机的用水应配有大容量的储水箱。

所有料斗、水箱、罐仓都要求装配高精度电子动态计量器。所有电子动态计量器应有资质的计量部门进行计量标定后方可使用。

②摊铺机。应根据路面基层的宽度、厚度, 选用合适的摊铺机械。基层施工如采用两台摊铺机梯队作业, 要求两台摊铺机功能一致, 同一机型, 而且机型较新, 功能较全, 新旧程度基本一致, 以保证路面基层厚度一致, 完整无缝, 平整度好。

③压路机。一般情况下至少应配备 20t 以上的(单钢轮) 振动压路机不少于 3 台、26t 或以上胶轮压路机不少于 1 台、双钢轮压路机 1 台以上。压路机的吨位和台数必须与拌和机及摊铺机生产能力相匹配, 使从加水拌和到碾压终了的时间不超过水泥初凝时间的试验延迟时间, 保证施工正常进行。

④自卸汽车。数量应与拌和设备、摊铺设备、压路机及运距相匹配, 且应略大于拌和生产量, 以保证拌和设备的正常运转。

⑤装载机。不少于 3 台。

⑥洒水车。不少于 3 台。

⑦水泥钢制罐仓。可视摊铺能力和水泥的供应能力决定其容量, 水泥钢制罐仓数量不少于 2 个, 每个罐仓容量不少于 80t, 总量要求不少于 150t, 罐仓内应配有水泥破拱器, 以免水泥起拱停流。

以上机械数量至少应满足每个工点, 每日连续正常生产及工期要求。

(2) 质量检测仪器

①水泥胶砂强度、水泥凝结时间、安定性检验仪器

②水泥剂量测定设备

③振动击实成型设备(选用)、标准重型击实成型设备

④水泥稳定碎石抗压试件制备与抗压强度测定设备

⑤标准养护室

⑥基层密度测定设备

⑦标准筛(方孔)

⑧压碎值仪

⑨针片状测定仪器

⑩取芯机

⑪砂当量仪

(3) 底基层的检查与验收

①底基层外形检查

检查内容有高程、中线偏位、宽度、横坡度和平整度。

②底基层检查、修补与验收

应进行压实度和表面松散检查, 凡不符合要求的路段, 应进行返工处理。

4 混合料组成设计

(1) 一般要求

①水泥稳定材料的组成设计包括: 根据规定的材料指标要求, 通过试验选取合适的集料和水泥; 确定合理的集料配合比例、水泥剂量、混合料的最佳含水量和相应的最大干密度。合理的水泥稳定碎石组成必须达到强度要求, 具有较小的温缩和干缩系数(现场裂缝较少), 施工和易性好(粗集料离析较小)。

②为减少基层裂缝, 必须做到三个限制: 在满足设计强度的基础上限制水泥用量, 施工中要求水泥剂量宜控制在 4.0%~5.0%, 不应大于 5.5%; 在减少含泥量的同时, 限制细集料、粉料用量; 根据施工时气候条件限制含水量。施工中基层要求含水量不宜超过最佳含水量的 1.5%。

③混合料应制成直径和高均为 150mm 圆柱试件, 各项试验应按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51-2009) 的有关要求进行。

(2) 混合料组成设计的步骤

①取工地实际使用的集料, 分别进行水洗筛分, 按颗粒组成进行计算, 确定各种集料的组成比例。要求组成混合料的级配应符合表 1-1 的规定。

为保证配制出的混合料具有较好的抗裂性能以及

施工时减少离析的产生, 建议配合比设计时级配曲线按正“S”形调整。

②取工地使用的水泥, 按不同水泥剂量分组试验。根据经验建议基层水泥剂量按 3.0%、3.5%、4.0%、4.5%、5.0% 五种比例进行试验 (以集料质量为 100)。制备不同比例的混合料用重型击实法、振动压实法确定各组混合料的最佳含水量和最大干密度。

③根据确定的最佳含水量, 拌制水泥稳定碎石混合料, 按要求压实度 (基层分别按振动击实标准的 98% 和静压成型标准的 100%) 制备混合料试件, 在标准条件下养护 6 天, 浸水一天后取出, 做无侧限抗压强度。

④水泥稳定碎石试件的标准养护条件是: 将制好的试件脱模称重后, 应立即放到相对湿度 95% 的养护室内养生, 养护温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。养生期的最后一天 (第七天) 将试件浸泡在水中, 在浸泡水之前, 应再次称试件的质量, 水的深度应使水面在试件顶上约 2.5cm, 浸水的水温应与养护温度相同。将已浸水一昼夜的试件从水中取出, 用软的旧布吸去试件表面的可见自由水, 并称试件的质量。前六天养生期间试件质量损失 (指含水量的减少) 应不超过 10g, 质量损失超过此规定的试件, 应予作废。

⑤水泥稳定碎石振动成型 7 天浸水无侧限抗压强度代表值应满足 $R_{代}\geq 4.5\text{MPa}$ 。

⑥试件室内试验结果抗压强度的代表值按下式计算:

$$R_{代} = \bar{R}(1 - Z_a C_v)$$

式中: $R_{代}$ —抗压强度代表值, MPa;

\bar{R} —该组试件抗压强度的平均值, MPa;

Z_a —保证率系数, 高等级公路保证率 95%, 此时

$$Z_a = 1.645;$$

C_v —试验结果的偏差系数 (以小数组)。

⑦取符合强度要求的最佳配合比作为水泥稳定碎石的生产配合比, 用振动成型法求得最大干密度及确定的最佳含水量, 经审批后, 以指导施工。

5 试铺

(1) 正式开工之前, 应进行试铺。试铺段应选择

在经验收合格的底基层上进行, 其长度为 400~600m 左右, 每一种方案试验 200m~300m。

水泥稳定碎石混合料采用中心站集中拌和 (厂拌) 法施工, 由两台摊铺机梯队摊铺作业, 一次碾压密实。试铺路段的拌和、摊铺、碾压各道工序按《公路路面基层施工技术细则》(JTG/TF20-2015) 进行。

(2) 试铺段要决定的主要内容如下:

①验证用于施工混合料的配合比

1) 调试拌和机, 分别称出拌缸中不同规格的碎石、水泥、水的重量, 测量其计量的准确性

2) 调整拌和时间, 保证混合料均匀性

3) 检查混合料含水量、集料级配、水泥剂量、7 天无侧限抗压强度

②确定铺筑的松铺系数 (约为 1.2-1.35)

③确定标准施工方法

1) 混合料配比的控制方法

2) 混合料摊铺方法和适用机具 (包括摊铺机的行进速度、摊铺厚度的控制方式、梯队作业时摊铺机的间隔距离, 一般 8-10m)

3) 含水量的调整和控制方法

4) 压实机械的选择和组合 (试铺时至少选择两种碾压方案), 压实的顺序, 速度和遍数

5) 拌和、运输、摊铺和碾压机械的协调和配合

④确定每一作业段的合适长度 (一般建议 50m-80m)

⑤严密组织拌和、运输、碾压等工序, 缩短延迟时间

检验标准见表 1-2, 其中试铺段的检验频率应是标准中规定正式路面的 2-3 倍。

当使用的原材料和混合料、施工机械、施工方法及试铺路面各检验项目的检测结果都符合规定, 可按以上内容编写《试铺总结》, 经审批后, 即可作为申报正式路面施工开工的依据。

6 施工

(1) 一般要求

①清除作业面表面的浮土等杂物。并将作业面表面洒水湿润。

②开始摊铺的前一天要进行测量放样, 按摊铺机宽度与传感器间距, 一般在直线上间隔为 10m, 在平曲线上为 5m, 做出标记, 并打好导向控制线支架, 根据松

铺系数算出松铺厚度, 决定导向控制线高度, 挂好导向控制线。用于控制摊铺机摊铺厚度的控制线的钢丝拉力应不小于 800N。

③水泥稳定碎石基层的施工期建议在冰冻到来半个月前结束施工, 尽量避免在高温季节施工。

④下层水泥稳定碎石施工结束 7 天后方可进行上层水泥稳定碎石的施工。两层水泥稳定碎石施工间隔宜不长于 30 天。

(2) 混合料的拌和

①开始拌和前, 拌和场的备料应能满足 7 天以上的摊铺用料。

②每天开始搅拌前, 应检查场内各处集料的含水量, 计算当天的配合比, 外加水与天然含水量的总和要比最佳含水量略高。实际的水泥剂量可以大于混合料组成设计时确定的水泥剂量约 0.5%, 同时, 在充分估计施工富余强度时要从缩小施工偏差入手, 不得以提高水泥用量的方式提高路面基层强度。

③每天开始搅拌之后, 按规定取混合料试样抽查级配和水泥剂量; 随时在线检查配比、含水量是否变化。高温作业时, 早晚与中午的含水量要有区别, 要按温度变化及时调整。

④拌和机出料不允许采取自由跌落式的落地成堆、装载机装料运输的办法。一定要配备带活门漏斗的料仓, 由漏斗出料直接装车运输, 装车时车辆应前后移动, 分三次装料, 避免混合料离析。

(3) 混合料的运输

①运输车辆在每天开工前, 要检验其完好情况, 装料前应将车厢清洗干净。运输车辆数量一定要满足拌和出料与摊铺需要, 并略有富余。

②应尽快将拌成的混合料运送到铺筑现场。车上的混合料应篷布覆盖, 减少水分损失。如运输车辆中途出现故障, 必须立即以最短时间排除; 当车内混合料不能在初凝时间内运到工地摊铺压实, 必须予以废弃。

(4) 混合料的摊铺

①摊铺前应将下承层适当洒水湿润。对于基层下层表面, 应采用机械喷洒水泥净浆, 按水泥质量计, 宜不少于 1.0~1.5kg/m²。水泥净浆稠度以洒布均匀为度, 洒布长度控制在摊铺机前 30~40m 为宜。

②摊铺前应检查摊铺机各部分运转情况, 而且每天坚持重复此项工作。

③调整好传感器臂与导向控制线的关系; 严格控制

基层厚度和高程, 保证路拱横坡度满足设计要求。

④摊铺机宜连续摊铺。如拌和机生产能力较小, 在用摊铺机摊铺混合料时, 应采用最低速度摊铺, 禁止摊铺机停机待料。根据经验, 摊铺机的摊铺速度一般宜在 1.0-2.0m/min 左右。

⑤基层混合料摊铺应采用两台摊铺机梯队作业, 一前一后应保证速度一致、摊铺厚度一致、松铺系数一致、路拱坡度一致、摊铺平整度一致、振动频率一致等, 两机摊铺接缝平整。

⑥摊铺机的螺旋布料器应有三分之二埋入混合料中。

⑦在摊铺机后面应设专人消除细集料离析现象, 特别应该铲除局部粗集料“窝”, 并用新拌混合料填补。

(5) 混合料的碾压

①每台摊铺机后面, 应紧跟双钢轮或单钢轮压路机进行碾压, 一次碾压长度一般为 50m~80m。碾压段落必须层次分明, 设置明显的分界标志, 有监理旁站。

②碾压应遵循生产试验路段确定的程序与工艺。注意稳压要充分, 振压不起浪、不推移。压实时, 可以先稳压(遍数适中, 压实度达到 90%)→开始轻振动碾压→再重振动碾压→最后胶轮稳压, 压至无轮迹为止。碾压过程中, 可用灌砂法初查压实度, 不合格时, 重复再压(注意检测压实时间)。碾压完成后用灌砂法检测压实度。

③压路机碾压时应重叠 1/2 轮宽。

④压路机倒车换挡要轻且平顺, 不要拉动基层, 在第一遍初步稳压时, 倒车后尽量原路返回, 换挡位置应在已压好的段落上, 在未碾压的一头换挡倒车位置错开, 要成齿状, 出现个别拥包时, 应专配工人进行铲平处理, 离析部位用细料找补。

⑤压路机碾压时的建议行驶速度, 第 1-2 遍为 1.5-1.7km/h, 以后各遍应为 1.8-2.2km/h。

⑥压路机停车要错开, 相距间隔不小于 3m, 应停在已碾压好的路段上。

⑦严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头和急刹车。

⑧碾压宜在水泥初凝前及试验确定的延迟时间内完成, 并达到要求的压实度, 同时没有明显的轮迹。

⑨为保证水泥碎石基层边缘强度, 应有一定的超宽; 对用方木或型钢模板支撑时, 也应有一定超宽。

(6) 横缝设置

①水泥稳定碎石混合料摊铺时，应连续作业，如因故中断时间超过 2h，则应设横缝；每天收工之后，第二天开工的接头断面也要设置横缝；要特别注意桥头搭板前水泥碎石的碾压。

②横缝应与路面车道中心线垂直设置，接缝断面应是竖向平面。其设置方法：

1) 压路机碾压完毕，沿端头斜面开到下承层上停机过夜。

2) 第二天将压路机沿斜面开到前一天施工的基层上，用三米直尺纵向放在接缝处，定出基层面离开三米直尺的点作为接缝位置，沿横向断面挖除坡下部分混合料，清理干净后，用水泥净浆涂刷横向端面，摊铺机从接缝处起步摊铺。

3) 压路机沿接缝横向碾压，由前一天压实层上逐渐推向新铺层，碾压完毕再纵向正常碾压。

4) 碾压完毕，接缝处纵向平整度应符合表 1-2 规定。

(7) 养生及交通管制

①每一段碾压完成以后应立即进行质量检查，并开始养生。

②养生方法：应将麻布或透水无纺土工布湿润（土工布规格要求不小于 200g/m²），然后人工覆盖在碾压完成的基层顶面。覆盖半小时后，再用洒水车洒水。在 7 天内应保持基层处于覆盖湿润状态，8-14 天内可不覆盖正常洒水养生，每天根据当天气候情况确定洒水遍数（一般情况下每天洒水不小于 4 遍）。养生结束后，必须将覆盖物清除干净。

③用洒水车洒水养生时，洒水车的喷头要用喷雾式，不得用高压式喷管，以免破坏基层结构，每天洒水次数应视气候而定，整个养生期间应始终保持水泥稳定碎石层表面湿润。

④基层养生期不应少于 7d。养生期内洒水车必须在另外一侧车道上行驶，工人手持水龙带，跨过中分带喷洒养生水。

⑤在养生期间应封闭交通。

7 质量管理及检查验收

(1) 一般要求

①水泥剂量的测定用料应在拌和机拌和后取样，并立即（一般规定小于 10 分钟）送到工地试验室进行滴定试验。

②水泥用量除用滴定法检测水泥剂量要求外，还必

须进行总量控制检测。即要求记录每天的实际水泥用量、集料用量和实际工程量，计算对比水泥剂量的一致性。

③水泥稳定碎石的质量控制要求见表 1-2。

表 1-2 水泥稳定碎石基层质量标准

| 检查项目 | 质量要求 | | | | |
|-----------|---|----------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| | 要求值或容许误差 | 质量要求 | 最低频率 | 方法 | 备注 |
| 压实度 (%) | 代表值不小于 98, 极值不小于 94 | 符合技术规范要求 | 4 处/200 米 | 用灌砂法检查 | 采用振动击实标准;若采用重型击实代表值不小于 100, 极值不小于 96 |
| 平整度 (mm) | 不大于 8 | 平整、无起伏 | 2 处/200 米 | 用三米直尺连续测 10 尺, 每尺取最大间隙 | |
| 纵横高程 (mm) | +5, -10 | 平整顺适 | 1 断面/20 米 | 每断面 3~5 点用水准仪测量 | |
| 厚度 (mm) | 代表值-8 合格值-10 | 均匀一致 | 1 处/200 米/车道 | 尺量 | |
| 宽度 (mm) | 不小于设计 | 边缘线整齐, 顺适, 无曲折 | 1 处/40 米 | 用皮尺丈量 | |
| 横坡度 (%) | ±0.3 | | 3 个断面/100 米 | 用水准仪测量 | |
| 水泥剂量 % | ±0.5 | | 每 2000m ² 6 个以上样品 | EDTA 滴定及总量校核 | 拌和机拌和后取样 |
| 级配 (%) | ≥9.5mm ≤4.75mm 0.075mm | ±6 ±4 ±2 | 每 2000m ² 一组 | 水洗筛分 | 拌和机拌和后取样 |
| 强度 (MPa) | 代表值不小于设计值 | 符合设计要求 | 2 组 / 每天 | 7 天浸水抗压强度 | 上、下午各一组 |
| 含水量 (%) | 0~+1.5 | 最佳含水量 | 随时 | 烘干法 | |
| 外观要求 | 表面平整密实、无坑洼、无明显离析； 施工接缝平整，稳定。 | | | | |
| 芯样质量判定标准 | 龄期满足要求后，取出芯样试件要求呈圆柱体，芯样顶面要求完好平整，芯样底部要求缺失部分厚度不超过 1cm，且芯样底部缺失面积不超过底部总面积的五分之一，芯样侧面要求基本密实光滑；达到以上标准即可认为芯样完整。7 天以上，上、下基层芯样能全部取出，中间界面不脱开，即可判定层间粘结良好。 | | | | |

注：(1) 水泥稳定碎石基层 7d 龄期必须能取出完整的钻件，如果取不出完整钻件，则应找出不合格界限，进行返工处理。

(2) 其它质量要求按《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20-2015)执行。

(3) 检测频率除注明者外,系指双车道单幅。

(4) 在测定含水量时,为提高试验速度和效率,也可现场采用炒干法。

8 结语

以上是基本的抗裂型水泥稳定碎石基层施工方法,具体的施工还需根据工程的实际情况和设计要求进行调整。在施工过程中,要根据施工规范和要求,确保施工质量和安全。建议在施工前咨询专业的工程师或施工

方提供的具体施工方案。

【参考文献】

[1]苏军强.抗裂性水泥稳定碎石基层施工技术研究[J].工程建设与设计,2022(17):195-197.

[2]谷静娜.抗裂性水泥稳定碎石基层施工技术研究[J].交通世界,2021(15):112-113.

[3]石帅.某高速公路抗裂型水泥稳定碎石基层技术研究及应用[J].工程技术研究,2021,6(03):66-68.

[4]王立敢.抗裂型水泥稳定碎石基层施工技术研究[J].运输经理世界,2020(16):119-120.