

抗裂型水泥稳定级配碎石基层配比设计及施工控制

秦川, 胡先磊

(云南路建集团 欣业工程质量检测有限公司, 云南 昆明 650200)

摘要: 水泥稳定级配碎石作为基层、底基层材料一直是云南地区半刚性基层的首选,其抗裂能力是一大难题。文中结合云南省平文(平远—文山)高速公路水泥稳定级配碎石基层施工,从配合比设计、施工控制两方面探讨抑制水泥稳定碎石基层收缩裂缝的方法,建议采用骨架密实级配、两次摊铺一次成型工艺进行水泥稳定碎石基层施工。

关键词: 公路;基层;水泥稳定级配碎石;抗裂;配合比设计;施工控制

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)03-0080-04

水泥稳定级配碎石基层具有较大的强度及刚度,同时具备一定的弯曲变形能力,在高等级公路中应用广泛。但裂缝一直困扰着这类基层。随着 JTG/T F20—2015《公路路面基层施工技术细则》的实施,各等级交通流量用基层的 7 d 无侧限抗压强度普遍提高了 1~3 MPa,施工中势必增加水泥用量以提高强度等级,而增加水泥用量将增加水泥稳定级配碎石开裂的几率。目前工程界主要通过级配改善、添加纤维、土工材料补强等措施减少基层开裂,就可操作性及实用性而言,作者较倾向于通过级配改善、施工工艺改进提高水泥稳定碎石的抗裂能力。下面结合工程实例进行探讨。

1 工程概况

云南省平文(平远—文山)高速公路全长 32.5 km,地处滇东南,为典型喀斯特地貌。基层设计为 40 cm 水泥稳定级配碎石,设计采用 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》中骨架密实型水泥稳定碎石级配,7 d 抗压强度设计值为 4.0 MPa,劈裂弯拉强度 >0.6 MPa。根据 JTG/T F20—2015《公路路面基层施工技术细则》,考虑到该项目为重交通等级,将 7 d 抗压强度调整为 5.0~7.0 MPa,最终确定 5.5 MPa 为强度标准值。

2 配合比设计

2.1 原材料

2.1.1 粗集料

采用德厚石料场的石灰岩作为粗集料,母岩抗压强度为 110~130 MPa,按 4 挡材料设置,采用联合破碎机破碎。其性能指标检测结果见表 1。

表 1 粗集料性能检测结果

集料规格/mm	表观相对密度	吸水率/%	<0.075 mm 含量/%	压碎值/%	针片状含量/%
19~26.5	2.711	0.21	0.2	—	10.9
9.5~19	2.715	0.29	0.3	21.5	10.9
4.75~9.5	2.721	0.41	0.5	—	10.9
2.36~4.75	2.723	0.72	0.8	—	10.9
技术要求	≥ 2.5	≤ 3	≤ 1.2	≤ 22	≤ 18

2.1.2 细集料

细集料应重点控制塑性指数及砂当量指标。该项目所用细集料(0~2.36 mm)性能指标检测结果见表 2。

表 2 细集料性能检测结果

检测项目	检测结果	技术要求
表观相对密度	2.697	≥ 2.5
坚固性/%	1	≤ 12
塑性指数	4	≤ 17
砂当量/%	72	> 55
棱角性	34.3	> 30

注:塑性指数使用过 0.075 mm 筛后的试样。

2.1.3 水泥

水泥稳定级配碎石是在级配碎石的基础上添加水泥而成,级配碎石没有裂缝,水泥稳定级配碎石的裂缝是由水泥导致的。添加水泥后,因温缩及成型后干缩作用造成裂缝。针对温缩因素,采用早期水化热小的水泥,选择复合水泥、火山灰水泥、掺粉煤灰类水泥,并通过初凝、终凝试验确定水泥品种,其中凝结时间的判定标准采用道路专用水泥标准。要减少干缩率,则应控制用水量,用水量低则干缩小,

在确定所选水泥符合道路专用水泥的基础上,如具备条件,应通过水泥标准稠度用水量试验选择用水量少的水泥。

关于水泥标号,若采用 42.5 级水泥,其强度高,用量低,但结合当地细集料含粉量低的实际,如果没有细料及水泥浆体对混合料空隙进行填充,水泥稳定碎石的抗冲刷性能将降低;同时 42.5 级水泥的水化热较大,不利于控制裂缝。因此,确定使用 32.5 级水泥。

最终选择拉法基瑞安(红河)水泥有限公司生产的 P.C32.5R 水泥,其性能指标检测结果见表 3。

表 3 水泥性能检测结果

检测项目	检测结果	技术要求
细度/%	1.2	≤10
安定性(标准法)	0.5	≤5
抗压强度/MPa	3 d	≥15
	28 d	≥32.5
抗折强度/MPa	3 d	≥3.5
	28 d	≥5.5
初凝时间/min	420	>180
终凝时间/min	524	<600

2.2 级配范围

采用 JTG/T F20—2015《公路路面基层施工技术细则》中的 C—B—3 型级配,结合咨询方意见,确定按骨架密实级配进行设计,级配范围见表 4。

表 4 级配范围

筛孔尺寸/ mm	通过质量百 分率/%	筛孔尺寸/ mm	通过质量百 分率/%
31.5	100	4.750	27~42
26.5	95~100	2.360	18~30
19.0	68~86	0.600	8~15
9.5	44~62	0.075	0~3

2.2.1 目标曲线的优选

水泥稳定碎石强度主要由矿料中骨架部分及水泥胶结作用提供,如矿料中骨架部分对强度的贡献度大,则可降低水泥用量从而减少开裂几率。从这一指导思想出发,在允许矿料范围内选择靠近级配上限(A组)、靠近级配中值(B组)、靠近级配下限(C组)及粗部靠上、细部靠下的正 S 型级配(D组)进行击实试验,得到最大干密度和最佳含水率,按

98%压实度标准进行无侧限抗压强度试验,相同水泥剂量下无侧限抗压强度最大者为目标级配。

需说明的是:有人认为选择振动成型法制作试件其最大干密度较大。但该项目使用中发现,对粉料塑性指数很小的材料很难进行振实,干密度—含水率曲线很难形成峰值,其原因是含水率达到或超过一定值后,由于这种材料的保水性差,开启振动后水分从试件中流失,不能得到有规律的曲线。这也许是 JTG/T F20—2015 中将击实法定为标准法的原因之一。另外,采用击实法时应采用线性回归方法确定最大干密度及最佳含水率,其值一般比未回归前高。

2.2.2 级配的优选

对级配中值,结合当地 4.0 MPa 强度标准值时水泥用量通常为 4%的经验,按照 4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0%的水泥剂量配料并进行击实,得出最大干密度及最佳含水率。无侧限抗压强度试件按照压实度标准 98%进行制作,初步得出最佳水泥剂量为 4.5%(见表 5)。

表 5 各种水泥剂量下的击实和强度试验结果

水泥剂 量/%	最大干密度/ (g·cm ⁻³)	最佳含水 率/%	7 d 无侧限抗 压强度/MPa
4.0	2.377	4.5	5.4
4.5	2.386	4.8	5.6
5.0	2.391	5.0	5.9
5.5	2.394	5.2	6.2
6.0	2.396	5.2	6.6

经试验,延迟 7 d 对无侧限抗压强度无明显影响。结合延迟时间—无侧限强度影响数据,按 4.5%水泥剂量对剩余 A、C、D 3 组级配进行击实及无侧限抗压强度试验,优选强度高者作为最终目标级配,结果见表 6。由表 6 可知 D 组密度大、强度高,且用水量最小,有利于抑制干缩裂缝,故选择 D 组作为目标级配。

表 6 不同级配的击实和强度试验结果

级配 组号	最大干密度/ (g·cm ⁻³)	最佳含水 率/%	无侧限抗压 强度/MPa	级配 类型
A 组	2.384	5.3	5.5	偏细型
B 组	2.386	4.8	5.6	中值
C 组	2.387	4.8	5.8	偏粗型
D 组	2.390	4.5	6.1	正 S 型

3 施工控制

3.1 施工机械

采用 2 台摊铺机、2 台 22 t 单钢轮压路机、2 台 26 t 胶轮压路机及自卸汽车若干。

3.2 施工方案

采用两次摊铺、一次成型工艺。先用摊铺机摊铺下层,再用 22 t 压路机摊铺并碾压 200 m 后折返进行第二次摊铺、压实;第一层完成后,在铺第二层之前撒水泥浆增强层间结合,使 40 cm 水稳碎石一次成型。摊铺后第二天覆盖土工布,洒水养护至少 10 d。初次试验段施工质量检测结果见表 7。

表 7 初次试验段施工质量检测结果

检测指标	技术要求	检测结果
压实度/%	下层 >98	98.7、99.9、98.8
	上层 >98	97.7、98.0、98.8
无侧限抗压强度/MPa	>5.5	5.7
芯样抗压强度/MPa	>5.5	6.4
水泥剂量/%	4.5±0.5	4.4、4.6、4.5
级配		误差范围内
含水率/%	4.5±1	4.5、4.5
芯样完整性	完整、光滑	完整,但不光滑

分析第一次试验段压实度未能完全达到要求的原因,主要是由于骨架型级配含粉量少,不利于压实,同时第一层未凝固成型影响第二层碾压效果。为提高施工质量,使用 2 台 26 t 单钢轮压路机+2 台 26 t 胶轮压路机进行碾压,先用单钢轮压路机碾压,再用胶轮压路机碾压。摊铺压实后的试验路检测结果见表 8,芯样强度随时间的变化见图 1。

4 施工效果

4.1 裂缝情况

为验证上述配合比设计及施工控制方法的可行

性,每月对已铺段的水稳碎石基层进行检测,最长观测时间达 5 个月,暴露时间从 4 月开始,至 10 月洒布透层之前,涉及段落 10 km,均未发现裂缝。

表 8 第二次试验段施工质量检测结果

检测指标	技术要求	检测结果
压实度/%	下层 >98	99.8、101.1、99.7、100.8
	上层 >98	99.8、99.7、99.6、101.8 100.1
无侧限抗压强度/MPa	>5.5	5.7
芯样抗压强度/MPa	>5.5	6.8
水泥剂量/%	4.5±0.5	4.6、4.4、4.7
级配		在误差范围内
含水率/%	4.5±1	4.6、4.4
芯样完整性	完整、光滑	完整、光滑

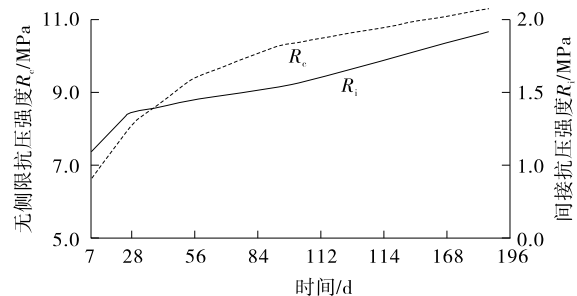


图 1 芯样强度—时间关系曲线

4.2 与密级配效果对比

对使用相似料场和相同工艺的密级配水泥稳定碎石层、骨架密实级配水泥稳定碎石层的施工效果进行对比,其中:A组采用JTJ 034—2000《公路路面基层施工技术规范》中的3[#]级配中值进行设计,设计强度标准值为4.0 MPa,设计水泥用量为4.0%,实际为4.5%;B组采用骨架密实型级配,即该项目使用的级配,设计强度标准值为5.5 MPa,设计水泥用量为4.5%,实际也为4.5%。施工质量检测结果见表9。

表 9 密级配与骨架密实级配效果比较

组别	最大干密度/ (g/cm ³)	无侧限抗压 强度/MPa		完整性	裂缝情况
		7 d	28 d		
A	2.322	4.4	6.5	完整、光滑度欠佳	35 d 后开始出现裂缝,平均 1 道/(150 m),裂缝呈横向分布
B	2.390	5.7	7.9	完整、光滑	4—10 月自然暴晒,从 20 d 观察至 165 d 未发现裂缝

5 结语

该项目水稳碎石基层经历春天的风吹、夏天的湿热、秋天的干燥考验均未出现裂缝,说明其配合比设计及施工工艺对抑制裂缝有效。结论如下:

(1) 原材料。应严格控制混合料中粉料的塑性指数,使用过 0.075 mm 后的试样,其塑性指数应 ≤ 17 ,同时混合料(未含水泥)0.075 mm 通过量控制在 $\leq 3\%$ 。考虑到水稳碎石层后期强度增加较多,应尽量选用 32.5 级水泥。选用初凝时间长的道路专用水泥对减少水化热、抑制裂缝发生有利。

(2) 配合比设计。该项目采用的优选级配曲线的方法简洁、易实现。对是否采用振动压实仪不能一概而论,应视实际效果而定,从干缩理论分析,混合料中最佳含水率低,有利于抑制干缩带来的危害。应重视通过提高压实度增加骨料之间的嵌挤力,从而提高强度,最大限度地减少水泥剂量。同时应重视实际效果,可通过钻芯取样进行抗压强度试验核实其实际效果。对水泥用量,应根据钻芯强度检测结果,在保证钻出完整、光滑芯样的前提下进行微调,确定最佳水泥剂量。骨架型级配中粗骨料对强度的贡献比密级配的大,可进一步减少水泥用量,对抑制裂缝有利。

(3) 施工工艺。两次摊铺、一次成型工艺可增强水稳基层的整体性,更符合柔性路面半弹性空间

设计理论。骨架密实型级配因粉料减少,最佳含水量小,需更大的碾压设备方能压实。应注意洒水保湿养生,其中覆盖土工布的效果比其他方式的好,能及时补充水泥水化过程中消耗的水分,使水化反应大部分在养护期间完成,减少未水化完全的水泥数量,同时通过蒸发带走热量,有利于抑制裂缝。

参考文献:

- [1] 沙庆林.高等级公路半刚性基层沥青路面[M].北京:人民交通出版社,1999.
- [2] 查旭东,曹艳霞,刘国才.抗裂型水泥稳定碎石配合比设计及路用性能研究[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2013,10(1).
- [3] JTG/T F20—2015,公路路面基层施工技术细则[S].
- [4] 唐炯,刘朝辉,沙庆林.重载交通长寿命半刚性基层沥青路面浅析[J].西部交通科技,2007(6).
- [5] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [6] 冯新军,黄河,查旭东.骨架密实型水泥稳定碎石基层的运用[J].公路与汽运,2004(1).
- [7] 温伟标,赵伟,杨海玲.骨架密实型水泥稳定碎石基层配合比设计及施工应用[J].中外公路,2010,30(2).
- [8] 朱梦良,谢成.骨架密实型水泥稳定碎石混合料质量波动规律[J].公路与汽运,2012(2).
- [9] JTG E51—2009,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].

收稿日期:2016—11—22

(上接第 72 页)

程度先增加后减少且效果不佳,掺量过大时甚至可能导致低温性能降低,但整体上还是比普通沥青混合料的低温特性好。

4 结论

(1) 纳米材料对于沥青的改性过程主要是物理变化,也存在较弱的化学变化。

(2) $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$ 纳米材料对沥青混合料水稳稳定性有明显的改善作用,但掺量不宜过大,掺量 5% 时水稳稳定性最佳。

(3) 随着纳米材料的不断掺入,改性沥青混合料的动稳定度呈现先增加后降低的趋势,在复合纳米 $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$ 含量 5% 时达到最大,相比普通沥青混合料增加 82.1%。在高温特性方面,复合纳米 $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$ 对沥青的改善效果很好,在高温条件

下的抵抗车辙性能较强。

(4) 随着纳米材料的掺加,改性沥青混合料的低温性能改善程度先增加后减少且整体效果不佳,掺量过大时甚至可能导致低温性能降低。在低温性能上,纳米材料对于沥青混合料的改善作用一般。

参考文献:

- [1] 王昊鹏,龚明辉,杨军,等.纳米改性沥青研究进展[J].石油沥青,2015,29(3).
- [2] 孙璐,朱浩然,辛宪涛,等.纳米改性沥青制备和路用性能研究[J].中国公路学报,2013,26(1).
- [3] 张金升,李志,李明田,等.纳米改性沥青相容性和分散稳定机理研究[J].公路,2005(8).
- [4] 孙璐,辛宪涛,任蛟龙.纳米改性沥青混合料路用性能[J].东南大学学报:自然科学版,2013,43(4).

收稿日期:2016—11—14