

掺膨胀剂水泥稳定碎石抗裂性能研究

董玉凯

(漯河市公路管理局, 河南 漯河 462000)

摘要: 水泥稳定碎石的抗裂性能一直是半刚性基层路面路用性能研究中的热点。为了减小水泥稳定碎石的收缩变形量,增强结构的抗裂能力,文中在水泥稳定碎石中掺入膨胀剂,通过相关试验分析了不同膨胀剂掺量下水泥稳定碎石强度、收缩性能的改善程度。结果表明,水泥稳定碎石中掺入适量膨胀剂能在一定程度上抑制裂缝的产生,改善其干缩、温缩变形性能,增强其抗裂性能;最佳膨胀剂掺量为 5%。

关键词: 公路;半刚性基层;膨胀剂;水泥稳定碎石;抗裂性能

中图分类号: U416.216

文献标志码: A

文章编号: 1671—2668(2017)02—0093—03

水泥稳定粒料修筑的半刚性基层具有稳定性好、强度高和承载力大等优点,目前广泛运用于高等级公路基层。但水泥稳定碎石为脆性材料,其抗变形能力低,在温度、湿度骤变的情况下易开裂,进而形成反射裂缝,严重影响路面的使用性能。因此,改善半刚性基层的抗裂性能成为水泥稳定碎石研究的重点和热点。该文将膨胀剂掺入水泥稳定碎石中,对其力学性能、抗裂性能进行试验研究,分析膨胀剂对其路用性能的影响,为工程应用提供指导。

1 配合比设计

1.1 原材料

(1) 水泥。选取河南省某在建公路基层使用的 P.O32.5 水泥,产自河南同力水泥股份有限公司。按照 GB/T 1346—2011《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》对其常规指标进行试验,结果见表 1。

表 1 水泥试验结果

技术指标	指标值
比表面积/(m ² ·kg ⁻¹)	371
细度/%	1.6
初凝时间/min	215
终凝时间/min	380
抗压强度/MPa	3 d 24.3
	28 d 41.3

(2) 集料。水泥稳定碎石中所用粗集料、石屑均产自漯河九联砂石场,依据相应试验规程对其主

要指标进行试验,结果见表 2。

表 2 集料试验结果

品种	颗粒粒径/mm	含泥量/%	表观密度/(kg·m ⁻³)	压碎值/%	针片状含量/%	孔隙率/%
碎石	19.0~31.5	0.4	2 702	17.9	5.4	39.7
	9.5~19.0	0.4	2 709	18.3	6.7	40.2
	4.75~9.5	0.4	2 721	16.5	6.8	41.5
石屑	0~4.75	2.8	2 723	—	—	—

(3) 膨胀剂。选取湖南科达建材科技有限公司生产的膨胀剂。试验前按照 JC 476—2001《混凝土膨胀剂》对其常规指标进行检测,结果见表 3。

表 3 膨胀剂试验结果

技术指标		指标值
细度	比表面积/(m ² ·kg ⁻¹)	489
	1.25 mm 筛筛余/%	0.15
限制膨胀率/%	水中 7 d	0.031
	空气中 21 d	-0.005
凝结时间/min	初凝时间	185
	终凝时间	320
抗压强度/MPa	7 d	25.5
	28 d	46.3

1.2 级配确定

依据 JTG/T F20—2015《公路路面基层施工技术细则》对水泥稳定碎石进行级配设计,各档料的掺配比例见表 4,合成级配曲线见图 1。

表4 水泥稳定碎石的级配

筛孔尺寸/ mm	各档料(mm)的累计筛余/%				合成级配/ %	规范通过率/ %
	19~31.5	9.5~19	4.75~9.5	0~4.75		
31.500	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	90~100
19.000	5.7	100.0	100.0	100.0	85.9	67~90
9.500	0.4	7.5	99.6	100.0	61.8	45~68
4.750	0.4	2.7	8.3	98.9	37.4	29~50
2.360	0.4	0.3	2.7	87.2	31.3	18~38
0.600	0.3	0.2	1.5	41.6	15.0	8~22
0.075	0.1	0.2	1.4	9.7	3.8	0~7
筛底	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	

注:19~31.5 mm : 9.5~19 mm : 4.75~9.5 mm : 0~4.75 mm = 15 : 25 : 25 : 35。

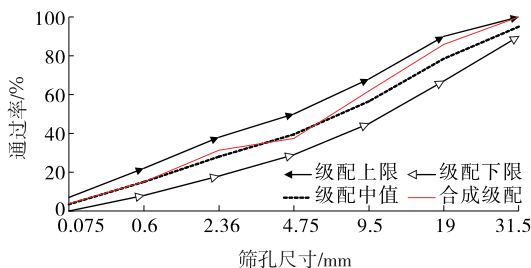


图1 水泥稳定碎石的合成级配曲线

4 档集料按 19~31.5 mm : 9.5~19 mm : 4.75~9.5 mm : 0~4.75 mm = 15 : 25 : 25 : 35 进行合成,通过击实试验得到水泥稳定碎石材料的最佳水泥用量为 5%、最大干密度为 2.287 g/cm³、最佳含水量为 5.5%。

2 掺膨胀剂水泥稳定碎石的强度

适宜掺量膨胀剂与水泥发生反应生成膨胀物质钙矾石,这种物质产生的微膨胀作用在一定程度上抵消了水泥稳定碎石的干缩变形,使混合料更加密实,增强了结构的抗裂性能。为研究膨胀剂的最佳掺量,选取 5 种掺量,分别为 0、3%、5%、7%、10%,按照相关试验规程要求,采用静压成型试件,标准养护达到龄期后进行 7、90 d 无侧限抗压强度和劈裂强度试验,结果见表 5、图 2、图 3。

表5 掺膨胀剂水泥稳定碎石力学强度试验结果

膨胀剂 掺量/%	无侧限抗压强度/MPa		劈裂强度/MPa	
	7 d	90 d	7 d	90 d
0	4.03	5.51	0.41	1.65
3	4.24	5.63	0.44	1.67
5	4.66	6.12	0.48	1.84
7	4.47	5.87	0.46	1.76
10	4.50	5.94	0.47	1.80

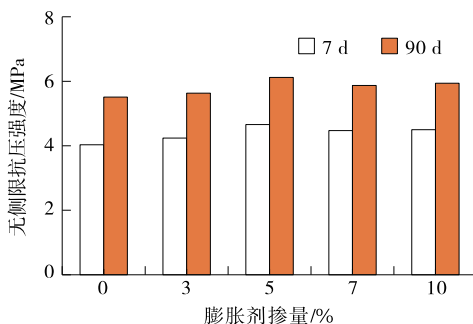


图2 膨胀剂掺量与水泥稳定碎石无侧限抗压强度的关系

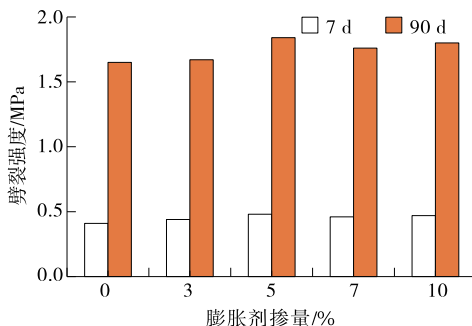


图3 膨胀剂掺量与水泥稳定碎石劈裂强度的关系

从图 2、图 3 可看出:1) 掺膨胀剂水泥稳定碎石的无侧限抗压强度和劈裂强度随着龄期的增加而增大;膨胀剂掺量为 5% 时,7 和 90 d 无侧限抗压强度、劈裂强度都达到最大值,分别比未掺膨胀剂水泥稳定碎石的无侧限抗压强度、劈裂强度提高 15.6%、17.1% 和 11.1%、11.5%。说明掺加膨胀剂对水泥稳定碎石的强度提升有一定作用。2) 无侧限抗压强度和劈裂强度的变化趋势相似,都是随着膨胀剂掺量的增加呈现先增加后逐渐平稳下降的趋势。主要原因是膨胀剂掺量较低时水泥稳定碎石在微膨胀作用下结构更加密实,抵抗荷载破坏的能力得到一定程度增强,无侧限抗压强度和劈裂强度增大;继续

增加膨胀剂掺量,由于水泥用量不变,水化反应的胶结产物不会无限增加,强度趋于稳定。

3 掺膨胀剂水泥稳定碎石的收缩性能

3.1 干缩性能

按照 JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》,采用静压法分别成型 0、3%、5%、7%、10%膨胀剂掺量的水泥稳定碎石中梁试件,试件尺寸为 100 mm×100 mm×400 mm。每组包含 6 个试件,3 个试件用于测定干缩变形,另外 3 个用于测量干缩失水率。试件装袋后放入温度 (20±2)℃、湿度≥95%的养护室养生 7 d,最后一天饱水,到达养护龄期后取出,称取试件的初始长度和初始质量。再将试件连同收缩仪一起放入温度 (20±1)℃、湿度 60%±5%的干缩养护室,每天记录一次读数,精度为 0.001 mm,并称取收缩仪和试件的总质量。试验结果见表 6 和图 4。

从图 4 可知:随着龄期的增长,掺膨胀剂水泥稳定碎石的干缩系数增长幅度比未参加膨胀剂的平缓;膨胀剂掺量为 5%~10%时,水泥稳定碎石的干缩变形改善较明显;同一龄期下,干缩系数随着膨胀剂掺量的增加而减小。表明随着膨胀剂掺量的增加,水泥稳定碎石抵抗干缩变形的能力逐渐增强。

3.2 温缩性能

根据干缩试验及无侧限抗压强度试验结果,选用 0、5%、7%、10%膨胀剂掺量进行温缩试验,根据中部地区的气候条件,温度控制在-10~30℃(基本上代表了中部地区一年的温度变化)。按照 JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规

程》,每组成型 3 个试件,养生 7 d,最后一天保水,然后进行试验,试验结果见表 7。

表 6 掺膨胀剂水泥稳定碎石干缩试验结果

时间/ h	不同膨胀剂掺量(%)下的干缩系数/ [$\times 10^{-6}(\text{m} \cdot \%^{-1})$]				
	0	3	5	7	10
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
48	38.9	30.7	22.6	14.4	15.8
72	39.4	33.6	24.1	15.3	16.2
96	51.5	43.7	29.7	23.6	20.4
120	59.8	52.9	38.8	36.6	25.8
144	70.5	59.5	45.6	43.7	29.7
168	84.0	62.3	48.1	47.5	32.2
192	92.5	73.8	50.7	52.3	33.5
216	106.4	75.1	54.9	56.7	35.5
240	113.5	76.5	62.7	60.5	38.8
264	118.9	78.6	63.9	61.8	42.6
288	126.4	82.8	68.3	63.0	45.8
312	129.7	83.6	72.4	67.5	49.7
336	142.3	90.4	77.7	68.1	52.5
360	149.7	93.8	80.6	72.7	55.5

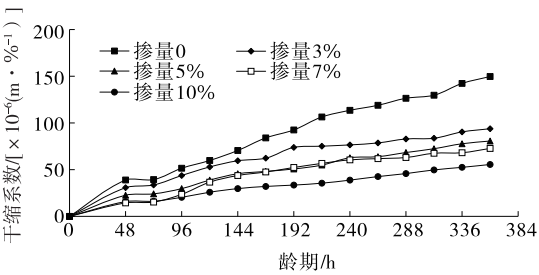


图 4 不同膨胀剂掺量下干缩系数与龄期的关系

表 7 掺膨胀剂水泥稳定碎石温缩试验结果

膨胀剂 掺量/%	各温度(℃)下的温缩系数/[$\times 10^{-6}(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$]				温缩系数平均值/ [$\times 10^{-6}(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$]	温缩系数最大值/ [$\times 10^{-6}(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$]
	20~30	10~20	0~10	-10~0		
0	12.54	13.08	12.97	16.88	13.87	16.88
5	11.25	11.44	11.61	14.17	12.12	14.17
7	10.01	10.58	11.03	13.74	11.34	13.74
10	8.36	9.69	10.12	12.38	10.14	12.38

由表 7 可知:1) 随着温度的下降,温缩系数逐渐增大,温度为-10~0℃时水泥稳定碎石的温缩系数最大,易产生温缩裂缝。2) 随着膨胀剂掺量的增大,温缩系数减小,说明膨胀剂的掺入对改善水泥稳定碎石的温缩性能有一定的作用,膨胀剂掺量越大,温缩系数改善幅度越明显。

4 结论

(1) 随着膨胀剂掺量的增加,各龄期下水泥稳定碎石的无侧限抗压强度和劈裂强度呈现先增加后逐渐平稳下降的趋势;膨胀剂掺量为 5%时,无侧限

(下转第 100 页)

始结构和柔性结构的最大拉应变相近。2) 从增长趋势看,半刚性结构>柔性结构>原始结构>刚性结构,在加载 150 万次之前结构最大拉应变变化相对较快,后期变化缓慢。3) 后期最大拉应变变化很小,基本上处于稳定状态,最终半刚性结构最大拉应变最大,柔性结构次之,刚性结构最小。

由图 12 和图 13 可知:1) 随着结构层深度的增加,原始结构 AC20、ATB30 和基层顶面竖向最大应力减少,结构层中上面层和中面层承受主要压应力,基层承受的压应力很小;随着荷载次数的增加,深度越深,最大压应力越小,压应力变化量越小。2) 图 1 所示原始结构、柔性结构、刚性结构组合内传感器的深度相同,半刚性结构组合内传感器距表面的深度比它们小 2 cm。对比 4 个传感器最大平均竖向压应力,半刚性结构 ATB30 顶面与表面的距离最小,其最大压应力最大,变化速率最快。开始阶段半刚性结构 ATB30 顶面竖向最大压应力最大,柔性结构 ATB30 顶面竖向最大压应力最小,原始结构居于两者之间;随着荷载次数的增加,柔性结构 ATB30 顶面最大压应力超过原始结构,最终两者相差不大。原始结构、柔性结构、刚性结构中,柔性结构 ATB30 顶面最大压应力增长最快,刚性结构与原始结构增长速度相近、刚性结构比原始结构略小。

综合比较,原始设计方案沥青层层底拉应变较小,在动载条件下结构更稳定,其综合性能优于其他结构方案。

4 结论

(1) 无论是动载还是静载,结构层层底最大拉

应变的差异性一致,都由材料属性及结构组合方式所决定。车轮移动和车轮静止情况下,面层的结构动力响应都不同,主要原因是移动荷载造成结构内主应力轴旋转。

(2) 随着荷载次数的增加,层底最大拉应变逐渐增大,到达一定阶段后趋于稳定,设备停止后应变值并不趋于零,说明经过循环加载后产生了残余侧向应力。残余层底拉应变的不断累积最终导致路面结构破坏。

(3) 混合料在荷载反复作用下产生回弹应变和永久应变,随荷载增加,回弹应变和永久应变累积趋于稳定,最终没有恢复的那部分应变就是永久应变。永久应变的最主要表现形式是路表产生车辙。

(4) 原始设计方案沥青层层底拉应变较小,在动载条件下结构更稳定,其综合性能优于其他结构方案。

参考文献:

- [1] 廖云云,黄晓明.ABAQUS 有限元软件在道路工程中的应用[M].南京:东南大学出版社,2008.
- [2] ABAQUS/standard explicit user's manual; Version 6.4 [M].Karlskron & Sorensen Inc,2004.
- [3] Allen J J, Thompson M R. Resilient response of granular materials subjected to time dependent lateral stresses[R]. Transportation Research Record, 1974.
- [4] James M Duncan, Raymond B Seed. Compaction-induced earth pressures under K_0 conditions[J]. Journal of Transportation Engineering, 1986, 112(1).

收稿日期:2016-07-15

(上接第 95 页)

抗压强度和劈裂强度综合增加效果最佳;大掺量的膨胀剂会对强度性能造成损失。

(2) 随着膨胀剂掺量的增加,水泥稳定碎石抵抗干缩、温缩的能力逐渐增强。水泥稳定碎石中掺入适量膨胀剂,与水泥发生水化反应产生钙矾石,该物质能补偿混合料中一部分收缩量,进而改善水泥稳定碎石的干缩、温缩性能。

参考文献:

- [1] JTGE51-2009,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].
- [2] 朱华,刘华钧.膨胀剂对水泥稳定碎石基层的抗裂性能

影响[J].福建建材,2007(4).

- [3] 乔艳妮,徐晓刚,王淑萍.几种外加剂对水泥稳定碎石力学性能的影响[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2006,8(增刊).
- [4] 杨红辉,郝培文,戴经梁.掺膨胀剂水泥稳定碎石路用性能[J].交通运输工程学报,2006,6(1).
- [5] 李艳春,李侠,张攀.膨胀剂及纤维对水泥稳定碎石干缩性能的影响[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2013,37(2).
- [6] 霍铁珍,黄晓明.微膨胀水泥稳定碎石在高等级公路基层中的应用技术研究[J].内蒙古农业大学学报,2009,30(1).

收稿日期:2016-09-08