

## 低剂量水泥稳定级配碎石基层材料收缩性能分析

付志国

(湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 对不同水泥掺量的骨架型、连续型级配碎石进行室内试验,并与半刚性水泥稳定级配碎石进行对比,分析水泥掺量对级配碎石抗裂性能的影响和低剂量水泥稳定级配碎石的收缩特性。结果表明,各类型级配碎石的收缩系数均随水泥掺量的增大而增大,骨架型级配水泥稳定碎石的抗收缩性能好于连续型级配碎石,不同水泥掺量级配碎石混合料 28 d 龄期时的收缩系数小于 7 d 龄期时,但变化规律相似。

**关键词:** 公路;低剂量水泥级配碎石;收缩性能;抗裂性能

**中图分类号:** U416.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2018)01-0082-05

水泥稳定级配碎石作为一种路面基层材料,由于其具有强度高、刚度大和整体性好的特点,在公路工程中得到广泛应用。但随着使用年限的增长,会出现收缩性能较差、易发生收缩裂缝和干缩裂缝等问题,且在行车荷载作用下容易反射到路面形成反射裂缝,影响路面的使用寿命。已有学者通过降低水泥稳定碎石中的水泥剂量来提高级配碎石的抗裂性能。该文通过对不同水泥掺量、不同级配类型水泥稳定级配碎石进行试验,对比分析低剂量水泥级配碎石和半刚性水泥稳定碎石的收缩性能,为路面基层材料设计和工程应用提供参考。

## 1 试验原材料与试验方法

### 1.1 试验材料

水泥采用湖南韶峰水泥集团有限公司生产的 325<sup>#</sup> 普通硅酸盐水泥,其技术指标见表 1。集料为石灰岩,其物理力学指标见表 2。试验用水为自来水。各材料的技术指标均满足规范要求。

**表 1 水泥的主要技术指标**

项目	试验结果
安定性	合格
抗压强度/MPa	3 d
	17.2
	28 d
	33.6
抗折强度/MPa	3 d
	4.32
	28 d
	6.97
凝结时间/min	初凝
	100
	终凝
	165
表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	3.11

**表 2 集料的物理力学指标**

粒径/mm	针片状含量/%	砂当量/%	压碎值/%	塑性指数
26.50	0.0	—	—	3.6
19.00	3.9	—	—	
16.00	0.8	—	—	
13.20	3.9	—	—	
9.50	2.3	—	23.6	
4.75	7.5	—	—	
3~5	—	133.7	—	
0~3	—	132.5	—	
规定值	<20	≥60	<26	<9

选择规范推荐的骨架密实型和连续型级配碎石展开试验并进行对比分析,各级配碎石的筛孔通过率见表 3。

### 1.2 试验方法

在级配碎石混合料中分别掺加 1%、2%、3% 和 5% 的水泥,按照最佳含水量制作级配类型分别为骨架型和连续型的试件。将混合料分层装入试模中捣实,在压力机上以 300 kN 的成型压力将试模的上压块压入试模内,静压 5 min 后卸载,脱模,得到 5 cm×5 cm×24 cm 小梁试件。将成型好的试件用塑料袋密封,放在标准养护室中进行保湿养生,养生龄期分别为 7 和 28 d。试验时将试件泡水 24 h,根据 JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》中的方法分别进行干缩试验和温缩试验,干缩试验观测时间为 72 h;温缩试验温度为 20~—30℃,每 10℃ 为 1 个温度差,分为 5 个温度区间。

表 3 两种级配碎石的通过率

级配类型		通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%												
		31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
骨架	合成级配	99.8	89.0	66.6	50.7	42.8	40.9	31.0	19.3	12.6	9.9	7.5	6.4	5.5
密实型	级配范围	100	85~95	66~80	44~56	37~48	38~41	28~38	18~28	12~20	8~14	5~11	3~9	0~6
连续型	合成级配	100	99.8	94.2	87.4	74.8	66.2	36.1	22.2	14.5	11.4	8.6	7.4	6.3
	级配范围	100	99~100	75~95	66~88	59~82	46~71	30~55	18~40	13~32	9~25	6~20	3~13	0~7

2 收缩试验结果分析

2.1 失水率随时间的变化

不同龄期各类型级配碎石的失水率随时间的变化见图 1~4。

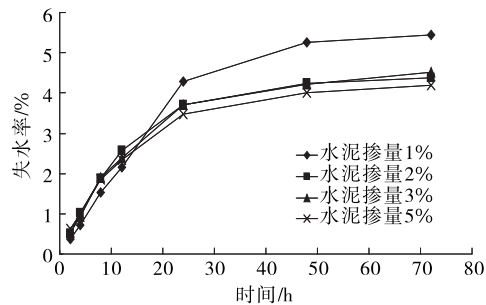


图 1 7 d 龄期骨架型级配碎石的失水率随观测时间的变化

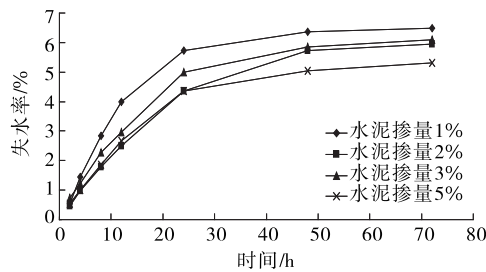


图 2 7 d 龄期连续型级配碎石的失水率随观测时间的变化

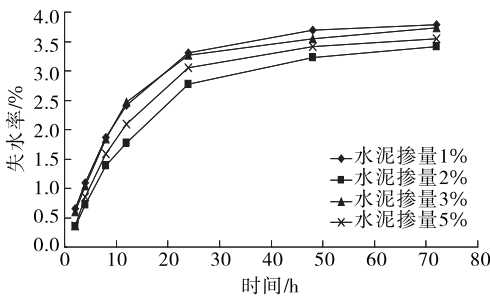


图 3 28 d 龄期骨架型级配碎石的失水率随观测时间的变化

由图 1 和图 2 可知:两种级配类型水泥级配碎石的失水率均随着观测时间的延长而增大,且主要发生在 48 h 内,48 h 后失水率增幅较缓慢;失水率

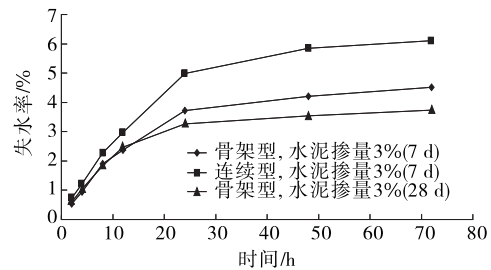


图 4 不同级配和养护龄期碎石的失水率随观测时间的变化

均随着水泥掺量的增加而减小,这是因为水泥掺量增加,水分多用来参与其水化反应,相应的失水率有所降低;在相同观测时间条件下,同一水泥掺量下连续型级配碎石的失水率高于骨架型级配碎石,这是因为骨架型级配细集料较少,空隙率相对较大,相应试件内部的孔隙较多,试件内部孔隙中的水不易散发,导致其失水率较低。

由图 3 和图 4 可知:对于骨架型级配碎石,龄期 28 d 试件的失水率低于龄期 7 d 试件,这是因为在养生过程中,时间越长,试件内部的水分散发越多,失水率降低。总的来说,连续型级配碎石(7 d)的失水率最大,骨架型级配碎石(7 d)的失水率次之,骨架型级配碎石(28 d)的失水率最小。

2.2 应变量随时间的变化

不同龄期各类型级配碎石的应变量随时间的变化见图 5~8。

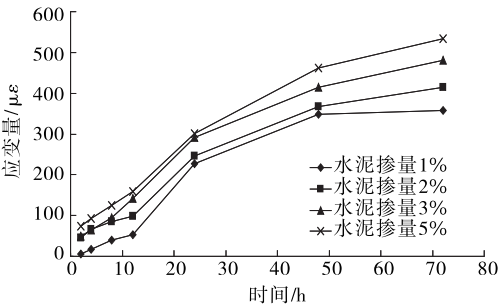


图 5 7 d 龄期骨架型级配碎石的应变量随观测时间的变化

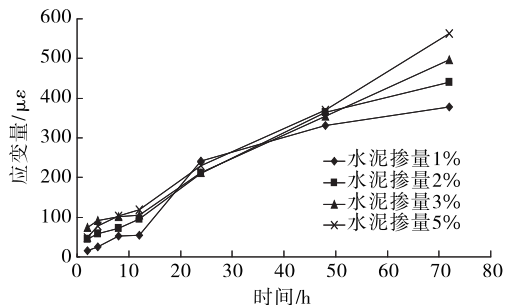


图6 7 d龄期连续型级配碎石的应变量随观测时间的变化

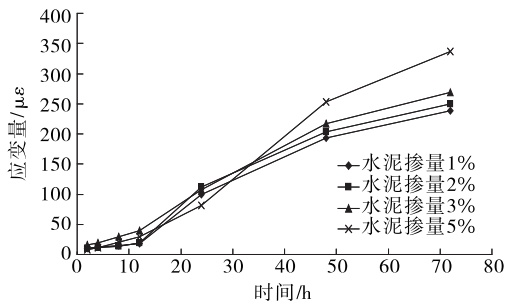


图7 28 d龄期骨架型级配碎石的应变量随观测时间的变化

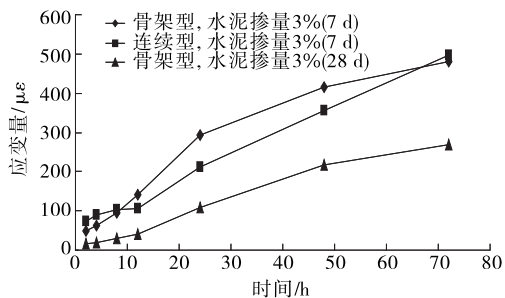


图8 不同级配和养护龄期碎石的应变量随观测时间的变化

由图5和图6可知:两种级配类型碎石的应变量均随着时间的增长而增大,随着水泥剂量的提高而增大。观测时间72 h时,水泥掺量5%时的应变量比水泥掺量1%时的应变量高将近50%,说明水泥掺量会直接影响级配碎石基层的收缩性能。骨架型级配碎石48 h后的应变量增幅变小,而连续型级配的应变量增幅较大,说明骨架型级配碎石的抗收缩性能比连续型级配碎石好。

由图5和图7可知:龄期28 d试件的应变量小于龄期7 d试件,这是由于前者的水泥水化反应已较充分,收缩性能基本稳定,故应变量较小。

由图8可知:水泥掺量均为3%时,龄期7 d骨架型级配碎石的应变量最大,连续型级配碎石次之,龄期28 d骨架型级配碎石最小。

### 2.3 应变量随失水率的变化

不同龄期各类型级配碎石的应变量随失水率的变化

变化见图9~12。

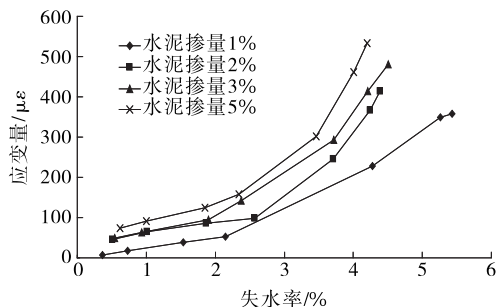


图9 7 d龄期骨架型级配碎石的应变量随失水率的变化

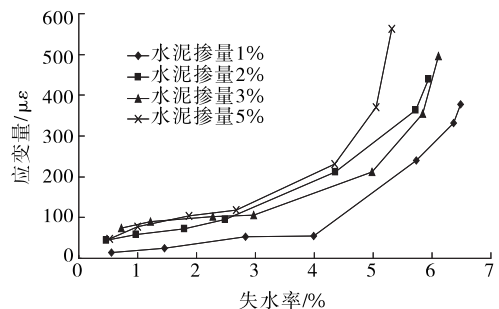


图10 7 d龄期连续型级配碎石的应变量随失水率的变化

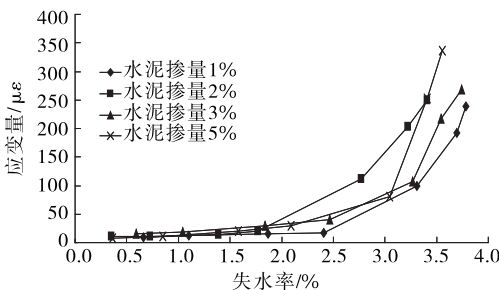


图11 28 d龄期骨架型级配碎石的应变量随失水率的变化

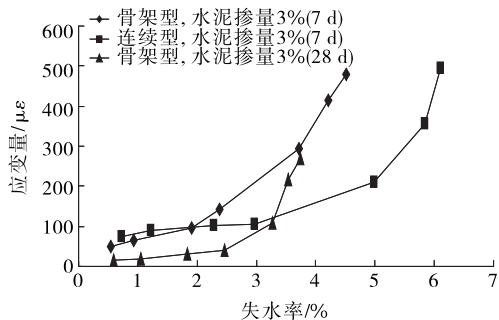


图12 不同级配和龄期碎石的应变量随失水率的变化

由图9~11可知:各类型级配碎石的应变量均随着失水率和水泥掺量的增大而增大。失水率小于2%时,应变量均较小,但之后应变量急剧增大。

由图12可知:28 d龄期骨架型级配碎石的失水率最小,应变量也最小。这是因为28 d龄期试件的

水泥水化反应较充分,且水分蒸发达到最大值,稳定性最好,其失水率及应变量较小。7 d 龄期两种级配类型混合料试件的失水先发生在表面,然后从试件内部慢慢蒸发,骨架型级配由于骨料间相互嵌挤整体强度较高,且试件内部孔隙较多,水分不易蒸发,而连续型级配在内部水分蒸发后骨料间骨架支撑变弱,故在相同失水率下骨架型级配碎石의 应变量比连续型级配碎石的小。

## 2.4 干缩系数随时间的变化

不同龄期各类型级配碎石的干缩系数随观测时间的变化见图 13~16。

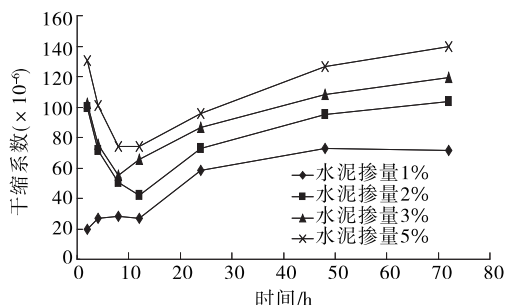


图 13 7 d 龄期骨架型级配碎石的干缩系数随观测时间的变化

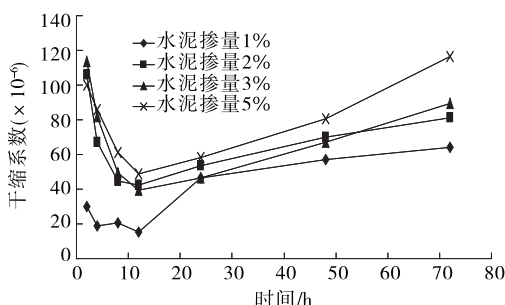


图 14 7 d 龄期连续型级配碎石的干缩系数随观测时间的变化

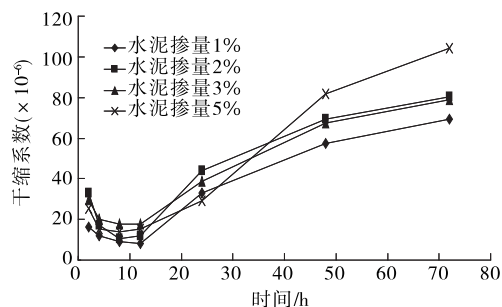


图 15 28 d 龄期骨架型级配碎石的干缩系数随观测时间的变化

由图 13~14 可知:各类型级配碎石的干缩系数

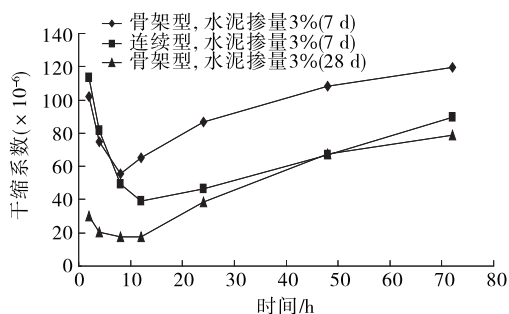


图 16 不同级配和龄期碎石的干缩系数随观测时间的变化

均随着观测时间的增长先减小后增大,随着水泥掺量的增大而增大,水泥掺量对级配碎石的收缩性能有着显著影响。

由图 13 和图 15 可知:28 d 龄期骨架型级配碎石的干缩系数均小于 7 d 龄期的。这是由于试件干缩主要发生在成型后的初期,试件在养生 28 d 后变形较小。

由图 16 可知:水泥掺量 3% 情况下,龄期 7 d 骨架型级配碎石的干缩系数最大,连续型级配碎石次之,龄期 28 d 骨架型级配碎石最小,这是由于干缩系数的计算公式所致。相同应变量条件下,连续型级配碎石的失水率大于骨架型级配碎石,故其干缩系数较小。

## 3 温缩试验结果分析

不同龄期各类型级配碎石的温缩系数随温度的变化见图 17~20。

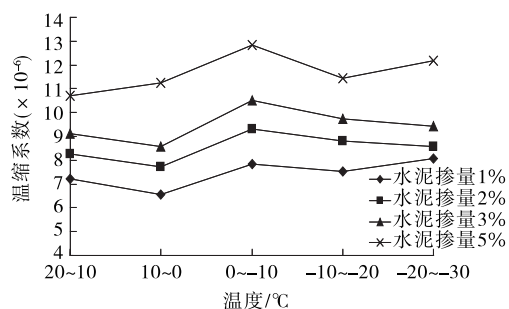


图 17 7 d 龄期骨架型级配碎石的温缩系数随温度的变化

由图 17 和图 18 可知:两种类型级配碎石的温缩系数随着温度的下降表现出相似的变化规律,且均随着水泥掺量的增加而增大,可见降低水泥剂量可有效降低级配碎石基层的温缩系数。两种类型级配碎石的温缩系数最小值均出现在 10~0 °C 时,这是由于试件烘干后内部依然有少许水分存在,温度下降至 0 °C 时,水开始结冰膨胀,膨胀作用与试件的

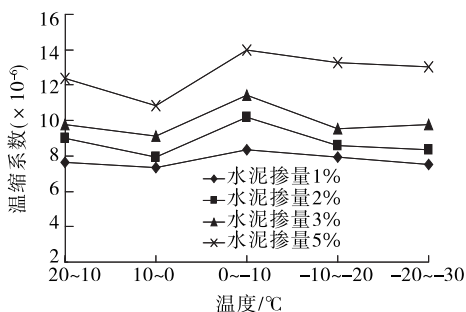


图 18 7 d 龄期连续型级配碎石的温缩系数随温度的变化

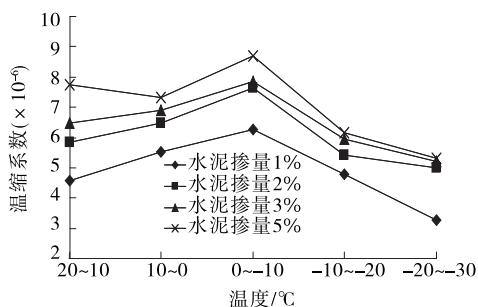


图 19 28 d 龄期骨架型级配碎石的温缩系数随温度的变化

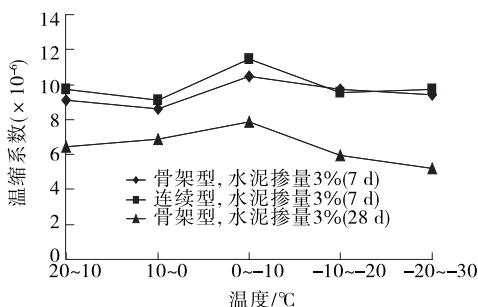


图 20 不同级配和龄期碎石的温缩系数随温度的变化

收缩变形相互抵消,故温缩系数最小。

由图 19 可知:28 d 龄期骨架型级配碎石的温缩系数随温度的降低先增大后减小,在  $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$  时温缩系数最大,说明半刚性基层在冬季容易产生温缩裂缝;其温缩系数比 7 d 龄期的两种级配类型碎石的温缩系数小。

由图 20 可知:水泥掺量 3% 情况下,龄期 7 d 骨架型级配碎石的温缩系数小于连续型级配碎石,这是由于试件在降温过程中产生收缩应力,骨架型级配中的粗颗粒相互嵌挤使其应力作用减小,级配碎石混合料的变形减小。

## 4 结论

(1) 各类型级配碎石的收缩系数均随水泥掺量的增大而增大,7 d 龄期骨架型级配碎石在水泥掺

量 2%、3%、5% 时的干缩系数分别为水泥掺量 1% 时的 1.43、1.65 和 1.93 倍,温缩系数是水泥掺量 1% 时的 1.19、1.34 和 1.64 倍,可见水泥掺量对稳定级配碎石基层的收缩系数有着较大影响。

(2) 骨架型级配水泥稳定碎石的抗收缩性能比连续型级配的好,这是因为骨架型级配的粗集料较多,粗集料的嵌挤咬合作用使混合料的整体刚度增大,收缩变形减小。

(3) 龄期 28 d 时不同水泥掺量级配碎石混合料的收缩系数小于龄期 7 d 时,但变化规律类似,说明混合料在铺筑前期易发生收缩变形,需注意级配碎石基层的初期养护。

## 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,1998.
- [2] 张玉宏,王松根,李昶.低剂量水泥稳定粒料的基本性能[J].岩土力学,2005,26(11).
- [3] 白琦峰,刘玲,胡伍生.低剂量水泥稳定碎石基层性能研究[J].中外公路,2006,26(6).
- [4] 李再新.低剂量水泥稳定碎石混合料强度特性研究[J].山西建筑,2007,33(12).
- [5] 霍轶珍,黄晓明.低剂量水泥稳定碎石试验研究[J].交通运输研究,2009(5).
- [6] 张敏江,薛常安,于保阳.低水泥剂量稳定级配碎石综合收缩性能评价指标的研究[J].公路交通科技:应用技术版,2015(9).
- [7] 张登良,郑南翔.半刚性基层材料收缩抗裂性能研究[J].中国公路学报,1991,4(1).
- [8] JTG E51—2009,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].
- [9] 秦川,胡先磊.抗裂型水泥稳定级配碎石基层配比设计及施工控制[J].公路与汽运,2017(3).
- [10] 江照伟,梁乃兴.水稳碎石沥青路面基层最小厚度研究[J].公路与汽运,2014(5).
- [11] 王雪莲,徐永钢,李锋燕,等.基于均匀设计的刚性基层沥青路面破损机理三维有限元分析[J].公路与汽运,2017(6).
- [12] 李海滨.基于半刚性基层适应性的沥青路面结构研究[D].西安:长安大学,2010.
- [13] 武金婷.半刚性基层合理层位与合理厚度研究[D].西安:长安大学,2009.
- [14] 于保阳,王宇,张丽萍.低剂量水泥稳定碎石混合料收缩性能试验[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2016,35(3).

收稿日期:2017-06-27