

文章编号:1672-9331(2018)04-0009-08

级配对低剂量水泥改性级配碎石性能的影响

周志刚¹, 王梓龙², 蒋少稀³

(长沙理工大学 道路结构与材料交通行业重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘 要: 为了探讨级配对低剂量水泥改性级配碎石性能的影响,促进低剂量水泥改性级配碎石基层结构的推广应用,参照相关规范中水泥稳定碎石和级配碎石的级配范围,选择了 4 种具有代表性的级配制备低剂量水泥改性级配碎石,进行了无侧限抗压强度、抗压回弹模量及 CBR 试验,干缩和温缩试验,液塑限和渗水试验,对比分析了不同级配的低剂量水泥改性级配碎石的路用性能及其随龄期的变化规律。研究表明,级配对低剂量水泥改性级配碎石路用性能具有明显的影响,粗集料偏多会降低无侧限抗压强度和抗压回弹模量,而细集料偏多会降低 CBR 值;级配对干缩性能与温缩性能的影响具有相似规律,增加粗集料、减少细集料,有利于控制碎石基层收缩裂缝的产生;无论哪种级配,低剂量水泥改性级配碎石均具有良好的渗水性能和水稳定性。综合比较,宜选择粗细集料均具有一定含量的骨架密实型级配用于低剂量水泥改性级配碎石。

关键词: 低剂量水泥改性级配碎石; 级配; 龄期; 力学性能; 收缩性能; 渗水性能; 水稳定性

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Effect of gradation on performance of low-dose cement modified graded gravel

ZHOU Zhi-gang¹, WANG Zi-long², JIANG Shao-xi³

(Key Laboratory of Road Structure and Material, Ministry of Transport of PRC, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to study the effect of gradation on the performance of low-dose cement modified graded gravel, and to promote the popularization and application of low-dose cement modified graded gravel base structure, four representative gradations are selected for preparation of low-dose cement modified graded gravel with reference to the grading range of cement stabilized macadam and graded gravel in the relevant specifications. To compare and analyze the road performance of low-dose cement modified graded gravel with different gradations and its variation rule with age, the unconfined compressive strength, compressive rebound modulus and CBR test, dry shrinkage test and temperature shrinkage test, liquid-plastic limit test and water seepage test were carried out. The results show that the gradation has obvious influence on the road performance of low-dose cement modified graded gravel. The excessive coarse aggregate will reduce the unconfined compressive strength and the compressive rebound modulus, while the fine aggregate will reduce the CBR value. The effects of gradation on dry shrinkage and temperature shrinkage are similar to each other. Increasing coarse aggregate and reducing fine aggregate are beneficial to control the shrink-

收稿日期: 2018-10-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51378084); 广西交通科技计划项目(桂交综合发[2010]109 号)

通讯作者: 周志刚(1966—), 男, 湖南长沙人, 长沙理工大学教授, 博士生导师, 主要从事道路工程方面的研究。

E-mail: zhou_zgcs@sina.com

age crack in gravel base. No matter what kind of gradation, low-dose cement modified graded gravel has good performance on water permeability and water stability. In summary, it is suitable to select skeleton dense gradation with certain content of coarse and fine aggregate for low dose cement modified graded gravel.

Key words: low-dose cement modified graded gravel; gradation; age; mechanical properties; shrinkage performance; water permeability; water stability

半刚性基层因其具有较高的强度,良好的板体性能、稳定性和抗冻性能,能够充分利用当地材料等优点,已成为我国的主要路面结构形式。然而,半刚性基层也存在一些固有的缺陷,如:易产生干缩和温缩裂缝、排水性能较差、对重载有很强的敏感性等,从而影响了半刚性基层沥青路面的使用状况和服务水平。研究发现,采用级配碎石作为半刚性基层和沥青面层之间的过渡层,在功能上能同时起到防止和减少半刚性基层反射裂缝和改善路面内部排水条件的双重作用^[1]。但是,级配碎石承载能力较弱、塑性变形较大,容易导致沥青路面车辙破坏和沥青面层疲劳破坏,且级配和杂质等的质量难以保证,水稳定性相对较差。为了既能保证其适当的承载能力,又能有效发挥其技术优势,同时兼顾经济性,可考虑采用低剂量水泥改性级配碎石基层。

低剂量水泥改性级配碎石是一种在性能上介于水泥稳定碎石与级配碎石之间的路面基层材料,它既有适当的强度,又有良好的抗反射裂缝和渗水性能^[2-4]。王天亮等^[5]的研究表明,较大粒径土颗粒的缺失会削弱水泥稳定碎石的冻胀敏感性,提高渗透性,降低其强度和水稳定性,而水泥的掺加能有效弥补粒径缺失导致的强度降低现象。文献^[6]的研究指出,水泥剂量的变化对水稳碎石的干缩、温缩系数的影响具有一定的规律性。周志刚等^[7]根据结构分析和现场检测,进一步论证了低剂量水泥对级配碎石基层性能的改善作用。彭波等^[3]通过分析不同力学性能随水泥剂量变化的大小增幅关系,推荐水泥微粘结级配碎石水泥剂量的合理范围为2%~4%。级配是水泥稳定碎石性能的主要影响因素^[8],但级配对低剂量水泥改性级配碎石的强度、收缩等方面性能的影响如何,就此开展的研究工作相对较少,因此作者

选取具有代表性的4种不同级配混合料,进行不同龄期下的无侧限抗压强度、抗压回弹模量及加州承载比(CBR)试验,干缩和温缩试验,液塑限和渗水试验,系统分析低剂量水泥改性级配碎石的路用性能随级配和龄期的变化规律。最后经综合比较,推荐适用于低剂量水泥改性级配碎石的最佳级配,以实现级配碎石与水泥稳定碎石的优势互补,降低二者自身缺陷带来的不良影响。

1 低剂量水泥改性级配碎石配合比设计

碎石为现场加工的石灰岩机制碎石,压碎值为24.2%,针片状含量为16.5%,砂当量为73.1%,不同粒径集料表观密度为2.628~2.750 g/cm³。

根据《公路路面基层施工技术细则》(JTJ/T F20—2015)^[9]和《公路沥青路面设计规范》^[10]中关于水泥稳定碎石和级配碎石的级配范围,考虑强度及排水性能等方面的要求,来选择低剂量水泥改性级配碎石室内试验的级配范围。选取设计规范中水泥稳定碎石级配范围下限作为级配A,此级配与骨架密实型级配碎石的级配下限接近;选取设计规范中水泥稳定碎石级配范围的上限,并结合连续型级配碎石基层级配和施工技术细则进行适当调整后的级配作为级配C;借鉴沥青混合料设计方法——SAC法设计骨架密实型结构的级配B,并与施工现场级配D共同组成室内试验用的4种级配(如表1所示)。级配B、D属于骨架密实型结构,级配A偏向骨架空隙型结构,级配C偏向悬浮密实型结构。根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ—E51—2009) T 0804—1994方法,对4种级配混合料进行击实试验,确定混合料的最大干密度和最佳含水量,结果如表2所示。

表 1 试验用 4 种级配碎石

Table 1 Four kinds of grade gravel used in test %

级配	筛孔(mm)通过率							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
A	100.0	85.0	68.0	38.0	22.0	16.0	8.0	2.0
B	100.0	95.0	76.0	44.7	30.0	21.4	11.0	4.0
C	100.0	100.0	87.0	59.0	41.0	26.0	15.0	7.0
D	100.0	93.0	85.6	58.5	36.5	22.1	10.9	4.5

表 2 击实试验结果

Table 2 Result of compaction test

级配	最佳含水率/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)
A	3.94	2.26
B	4.30	2.33
C	4.50	2.36
D	4.30	2.30

2 液塑限试验

在路网工程中,由于工程造价和技术水平等方面的制约,级配碎石往往难以清除泥土杂质,因此会对碎石材料的水稳定性造成不利影响。可考虑在级配碎石中掺入低剂量水泥以改善其水稳定性。将 4 种级配碎石材料及其掺入 2% 水泥的混合料,以及级配 B 碎石掺入不同剂量水泥后的混合料,筛选 0.5 mm 以下的细料作为试验材料,采用联合液塑限测定仪进行液塑限的测定。测试结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 掺入水泥前后级配碎石的液塑限测试结果

Table 3 Liquid-plastic limit test results of graded gravel before and after cement modified %

原料	级配	液限	塑限	塑性指数
原混合料	A	18.7	16.9	1.8
	B	18.2	16.3	1.9
	C	17.9	16.1	1.8
	D	16.8	15.1	1.7
2%水泥 剂量	A	22.1	21.3	0.8
	B	20.6	19.8	0.8
	C	21.9	21.3	0.6
	D	23.0	22.6	0.4

表 4 不同水泥剂量下级配 B 混合料的液塑限测试结果

Table 4 Liquid-plastic limit test results of graded B mix with different cement dosages %

水泥剂量	液限	塑限	塑性指数
0.0	18.2	16.3	1.9
1.0	19.1	17.7	1.4
2.0	20.6	19.8	0.8
3.0	22.2	21.9	0.3

从表 3 可以看出,未掺入水泥的原混合料的塑性指数为 1.7~1.8,均满足规范^[9,10]对液限和塑性指数的要求。不同级配混合料之间的塑性指数差异性较小,级配对塑性指数的影响不是很明显。而在掺入了 2% 水泥后,其塑性指数均明显降低,说明掺入水泥对混合料的水稳定性有着很大的改善作用。而掺入水泥后的液限增加,是因为取样时破碎了试件,筛分出了 0.5 mm 以下的细料,此时细料含量比破碎前有所增加。

表 4 显示,级配 B 混合料的塑性指数随水泥剂量的增加而降低;当水泥剂量为 3% 时,其塑性指数已降低到 0.3%。由此可见,掺入水泥后极大地降低了级配碎石混合料的塑性指数,提高了其水稳定性能。

3 力学性能试验分析

3.1 无侧限抗压强度

根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG—E51—2009),分别对 2% 水泥掺量时的 4 种低剂量水泥改性级配碎石在 7,14,28,60 d 龄期的试件进行无侧限抗压强度试验。由于混合料的公称最大粒径为 26.5 mm,故采用 $\phi 150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 的圆柱形试件。试件在最佳含水量、98% 压实度下静压成型,加载速率为 1 mm/min,压到规定尺寸后稳压 2 min 以防止试件反弹。由于试件材料中掺入低剂量水泥,故在试件成型 6 h 以后脱模,以防止试件脱模时松垮。脱模后将试件进行包裹,放置于养生室中,其养生温度控制在 $(25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试验结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出,4 种级配的混合料无侧限抗压强度随着龄期的增长而不断增大,在 28 d 龄期之前强度的增长幅度比较大,在 28 d 龄期之后强

度增长相对比较缓慢。这是因为水泥胶结材料在前期进行水化反应形成较强的粘聚力,后期水化反应远弱于前期,以致后期的强度增长幅度较小。在7 d和14 d龄期时,B、C、D三种级配混合料的强度相差不大,且均大于A级配混合料。这是因为A级配混合料中粗集料含量最高,细集料含量较少,无法填充粗集料形成的骨架空隙,混合料在低水泥剂量下的粘聚力小,其强度主要取决于粗集料骨架嵌挤摩阻力,造成其强度相对较小。而既有一定的粗集料构成骨架结构、又含有适量的细集料形成填充和粘结作用的B级配混合料,则表现出了较高的强度。随着龄期的继续增长,强度的差异性逐渐明朗,强度大小依次为: $B > D > C > A$ 。

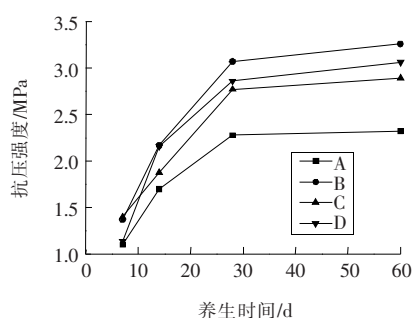


图1 4种级配低剂量水泥改性级配碎石
无侧限抗压强度随龄期的变化

Fig. 1 Variation of unconfined compressive strength of four kinds of low-dose cement modified graded gravel with age

由图1可知,对于级配B、D两种骨架密实型结构的低剂量水泥改性级配碎石,尽管它们的7 d龄期无侧限抗压强度约为1.4 MPa,但其60 d龄期无侧限抗压强度超过了3.0 MPa,达到了设计规范^[10]中重、中交通等级的水泥稳定集料基层7 d龄期强度要求,其中,级配B混合料的长期强度接近特重交通的水泥稳定集料基层7 d龄期强度要求,级配C混合料的60 d龄期无侧限抗压强度接近满足设计规范^[10]中重、中交通等级的水泥稳定集料基层7 d龄期强度要求。

3.2 抗压回弹模量

根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG-E51-2009),采用顶面法测定不同龄期(7,14,28,60 d)下低剂量水泥改性级配碎石的抗压回弹模量。

试验前用水泥砂浆将试件上下表面的坑洼处补平,然后将待测试的试件浸水24 h,从水中取出后用布擦干放在加载底板上,先进行两次加载卸载预压,使加载顶板与试件表面紧密接触。采用电子千分表记录回弹变形,将预定的单位压力分为5等份作为每次施加的压力值。施加第一级荷载(预定荷载的1/5),待荷载作用达1 min时,记录千分表的读数,同时卸去荷载,让试件的弹性变形恢复,卸去荷载后0.5 min时记录千分表的读数。施加第二级荷载(为预定荷载的2/5),方法同前,待荷载作用时间为1 min时记录千分表的读数,卸去荷载,卸去荷载后0.5 min时记录千分表的读数。依此类推,试验结果如图2所示。

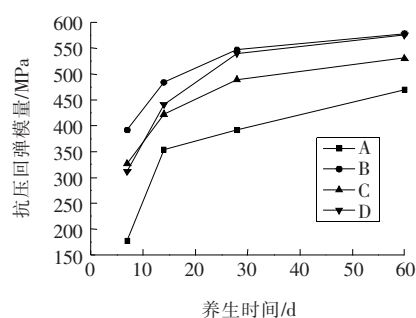


图2 4种级配低剂量水泥改性级配碎石
抗压回弹模量随龄期的变化

Fig. 2 Variation of compressive rebound modulus of four kinds of low-dose cement modified graded gravel with age

从图2可以看出,4种级配的抗压回弹模量在7~14 d龄期阶段增长得比较迅速,由于水泥掺量较低(仅为2%),所以其在14 d龄期之后,特别是28 d龄期后,抗压回弹模量的增长幅度逐渐变小,在28~60 d这个阶段趋于平稳;60 d龄期时,B级配混合料和D级配混合料的抗压回弹模量最大,其次为C级配混合料,而A级配混合料的最小。这说明级配对低剂量水泥改性级配碎石的抗压回弹模量的影响较大,级配偏粗时抗压回弹模量较低。其原因与无侧限抗压强度的一样。

由图2可知,4种级配混合料60 d龄期的抗压回弹模量均超过了450 MPa,其中,级配B、D混合料的抗压回弹模量达到了575 MPa,均超过了设计规范^[10]中级配碎石基层的抗压回弹模量的要求。

3.3 CBR

根据试验所得的最大干密度和最佳含水量进行制件,压实度为 98%,在龄期到期前 4 d 进行泡水,水面应高于试件顶部 2.5 cm 左右。测定其泡水膨胀量,考虑到碎石材料膨胀量不大,采用千分表进行测定。在泡水结束后,静置 15 min 让其排水,然后测量试件的高度差。试验结果如表 5 和图 3 所示。

表 5 4 种级配低剂量水泥改性级配碎石的

CBR 试验膨胀量值

Table 5 Expansion amount of CBR test of four kinds of low-dose cement modified graded gravel %

	级配			
	A	B	C	D
膨胀量均值	0.018 5	0.023 4	0.029 5	0.025 1

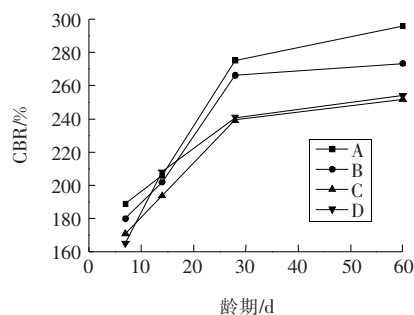


图 3 4 种级配低剂量水泥改性级配碎石 CBR 值随龄期的变化

Fig. 3 Variation of CBR values of four kinds of low-dose cement modified graded gravel with age

从表 5 可以看出,改性级配碎石的膨胀量很小,可不考虑其影响。

图 3 表明,随着龄期的增长,各级配的 CBR 值相应增加,7~14 d 龄期与 14~28 d 龄期两个阶段的 CBR 值增加幅度较快;当龄期达到 28 d 之后, CBR 值的增加幅度较小。级配对 CBR 值的影响比较明显,不同龄期的 A 级配混合料的 CBR 值均大于其他 3 种级配混合料的 CBR 值,在 60 d 龄期时 A 级配混合料的 CBR 值比最小值(C 级配)高 20.4%,两者的极差较大。4 种级配混合料的 CBR 值大小依次为 A>B>D>C。由此可见,如果级配偏细将导致 CBR 值变小。而在无侧限抗压强度方面,级配 A 的最小。由于级配 A 混合料属于骨架孔隙型,粗集料多而细集料少,而级配 C

属于悬浮密实型,粗集料少而细集料多,显然 CBR 所表征的强度机制与无侧限抗压强度的有所不同, CBR 反映的是小尺度局部范围的贯入作用效果,而无侧限抗压强度反映了混合料的整体受力。

由图 3 可知,4 种级配混合料的 60 d 龄期的 CBR 值几乎都超过了 250%,远高于技术规范^[9,10]对级配碎石的技术要求。

4 收缩性能试验分析

水泥稳定碎石容易产生干缩和温缩开裂,从而会影响其结构的整体性,可能会导致沥青面层开裂。研究表明,采用低剂量水泥可有效降低水泥稳定碎石基层收缩开裂的可能性^[3]。这里进一步对比分析级配对低剂量水泥改性级配碎石收缩性能的影响。

4.1 试件制作

在试验确定的最佳含水量和最大干密度条件下,制作 2%水泥剂量、98%压实度的梁式试件,用于收缩试验。试件的尺寸为长×高×宽=400 mm×100 mm×100 mm。采用压力机静压成型,静压 6 min 以上,脱模后用塑料薄膜包裹养生,养生室温度为(25±2)℃。

4.2 干缩性能

试件在达到养生龄期后,将饱水后的试件表面水分擦干,采用游标卡尺测定其初始长度。长度应重复测定 3 次,将其算术平均值作为其基准长度测定值。

用水泥胶砂填补试件长轴端凹点(正好补平即可),等其凝固后使用 502 胶粘结有机玻璃片,待 502 胶结后将千分表夹具固定在收缩仪上,然后测定其收缩变形。每天记录千分表读数,直至其含水量基本不再变化为止。在 15 d 左右时,试件的质量变化相当微小,故以 15 d 作为试件收缩测试期。4 种级配混合料试件养生 7 d 后的干缩试验结果如图 4~7 所示。

从图 4 可以看出,混合料中的水分在前期损失快而后期变化小,试件中的水分大部分在前 9 d 内损失完成,然后进入相对平稳的阶段。除了 B 级配混合料第八天后水分的损失仍有所增加之外,其余试件水分的损失和级配没有明显的相关关系。

从图5可以看出,随着时间的增加,4种级配混合料的干缩应变逐渐增加,在第十天左右增长趋于平缓。细集料含量多的C级配混合料的干缩应变在整个阶段均大于其他3种级配混合料,B、D两种级配混合料在初期(前7d)具有相似的干缩应变趋势;粗集料较多的A级配进入稳定阶段相对较早,最终的干缩系数也是最小的。

从图6可以看出,在干缩的初始阶段,4种级配混合料的干缩系数均不稳定,大小不断变化,大约在第十天时干缩系数趋于一个稳定值,4种级配混合料的干缩系数的差异性明显,大小排序为 $C > D > B > A$ 。

从图7可以看出,随着失水率的增加,B、C、D三种级配混合料的干缩系数呈先增大后降低的趋势,当失水基本完成后又呈增加的趋势;而A级配混合料的干缩系数变化相对较为平缓。这是因为级配A混合料中细集料少,水泥的水化反应较为简单,完成较为迅速。

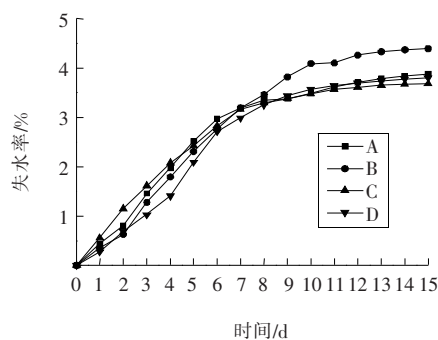


图4 4种级配低剂量水泥改性级配碎石失水率随时间的变化

Fig. 4 Variation of water loss ratio of four kinds of low-dose cement modified graded gravel with time

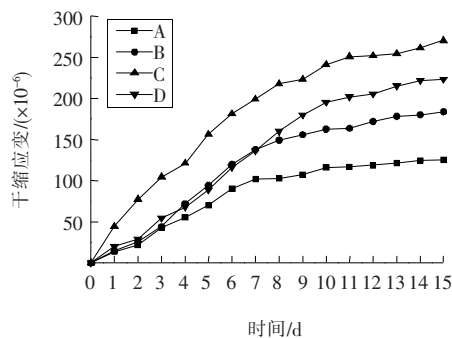


图5 4种级配低剂量水泥改性级配碎石干缩应变随时间的变化

Fig. 5 Variation of dry shrinkage strain of four kinds of low-dose cement modified graded gravel with time

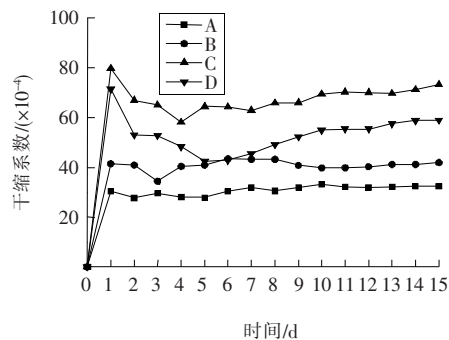


图6 4种级配低剂量水泥改性级配碎石干缩系数随时间的变化

Fig. 6 Variation of drying shrinkage coefficient of four kinds of low-dose cement modified graded gravel with time

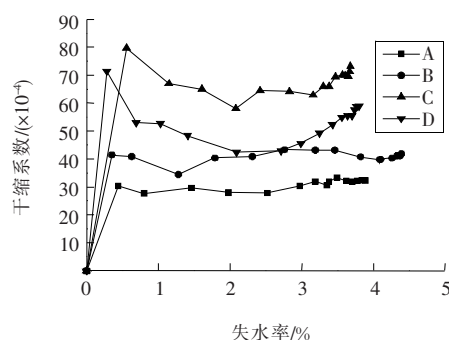


图7 4种级配低剂量水泥改性级配碎石干缩系数随失水率的变化

Fig. 7 Variation of drying shrinkage coefficient of four kinds of low-dose cement modified graded gravel with water loss ratio

从平均干缩系数上来看,C级配混合料的平均干缩系数最大,为 67.8×10^{-6} ,最小的为A级配混合料的,为 30.9×10^{-6} ,可见级配变化对干缩系数的影响是非常明显的。随着细集料的增加、粗集料的减少,干缩系数增长较大。对于低剂量水泥改性级配碎石,适当减少细集料的含量能够在一定程度上减少干缩裂缝的产生,且低剂量水泥改性级配碎石的干缩系数远低于水泥稳定碎石的干缩系数。

4.3 温缩性能

温缩性能试验试件的处理与干缩试验的相同。试验前先将试件放入 105°C 的烘箱中烘10h,使试件中没有自由水存在。烘干后将试件放于干燥通风的地方至常温。根据试验路地区的气候特点,取温缩试验的温度变化范围为 $45 \sim 5^{\circ}\text{C}$,降温梯度为 10°C ,降温速率为 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$,保温时

间为 2 h。试验从高温开始,逐渐降温,并测定试件相应的收缩量。

从图 8 可以看出,4 种级配混合料的温缩系数随着温度的降低而逐渐减小,高温时的温缩系数远大于低温时的温缩系数;粗集料较多的骨架空隙型的 A 级配混合料的温缩系数最小,而细集料较多的 C 级配混合料的温缩系数相对较大。此规律与干缩系数相同,同样说明了细集料的存在对低剂量水泥改性级配碎石的收缩有显著的影响。此外,所测试的温缩系数为 $(4.0 \sim 43.0) \times 10^{-6}$,远低于水泥稳定碎石的温缩系数。

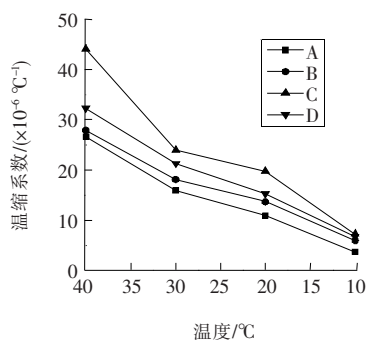


图 8 4 种级配低剂量水泥改性级配碎石
温缩系数随温度的变化

Fig. 8 Variation of temperature shrinkage coefficient
of four kinds of low-dose cement modified
graded gravel with temperature

5 渗水性能试验分析

低剂量水泥改性级配碎石中因掺入的水泥剂量低,粒料之间的粘结性不强,其初期具有一定的板体性,后期经过施工车辆等其他外载荷的作用,其板体性消失,形成松散粒径。若级配合适,其排水性能可优于半刚性基层材料。下面对不同级配的改性级配碎石进行渗水试验,检测其渗水系数,研究级配对其渗水性能的影响。

渗水系数的测定仪器为路面材料渗水仪(将其底座直径改为 100 mm),试件采用 $\phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 的圆柱体试件,压实度为 98%。为了减少试验误差,制作 2 个试件测定渗水系数,取其平均值作为检测结果,同时测定其空隙率。

从图 9 可以看出,A 级配混合料的渗水性能最佳,C 级配混合料渗水性最差。将渗水系数与

空隙率进行线性回归,其相关系数为 0.927,说明改性级配碎石的渗水性能与空隙率具有良好的线性相关性,级配的变化对改性级配碎石的渗水性能影响明显。《透水水泥混凝土路面技术规程》(CT135—2009)^[11] 中规定,当渗水系数达到 500 mL/min 以上时能很好地达到设计的要求,所以 A、D 两种级配混合料的渗水性能可达到透水路面的要求,而 B 级配混合料属于中等渗水,C 级配混合料的渗水性相对较差。

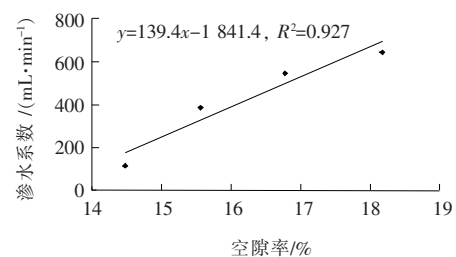


图 9 4 种级配低剂量水泥改性级配碎石
渗水系数随空隙率的变化

Fig. 9 Variation of water permeability coefficient
of four kinds of low-dose cement modified
graded gravel with Void ratio

6 结论

1) 粗集料偏多会形成骨架空隙型混合料,从而降低低剂量水泥改性级配碎石的无侧限抗压强度和抗压回弹模量。为了提高无侧限抗压强度和抗压回弹模量,宜采用粗细集料均具有一定含量的骨架密实型级配。

2) 细集料偏多会降低低剂量水泥改性级配碎石的 CBR 值。为了提高 CBR 值,宜增加粗集料的含量。

3) 级配对干缩性能与温缩性能的影响具有相似的规律。增加粗集料、减少细集料,有利于降低低剂量水泥改性级配碎石的收缩性能,控制碎石基层收缩裂缝的产生。细集料偏多时,低剂量水泥改性级配碎石初期的干缩性能随时间的变化不稳定。

4) 低剂量水泥改性级配碎石具有良好的渗水性能,采用粗型级配可使之达到透水路面排水性能要求。

5) 无论哪种级配,掺入低剂量水泥均能有效

降低级配碎石的塑性指数,提高其水稳定性。

此外,低剂量水泥改性级配碎石的强度、模量等力学性能在养生初期变化较大,一般28 d龄期后趋于稳定。B级配混合料的综合性能一般优于其他3种混合料,可考虑采用SAC级配设计方法用于低剂量水泥改性级配碎石设计。

总之,低剂量水泥改性级配碎石尽管强度达不到水泥稳定碎石的程度,但与级配碎石相比,具有更高的强度和抗变形能力,并能改善级配碎石的水稳定性,同时又保留了级配碎石的抗裂和排水性能,不失为一种优良的基层材料。

〔参考文献〕

- [1] 郑健龙,周志刚,张起森. 沥青路面抗裂设计理论与方法[M]. 北京:人民交通出版社,2002
ZHENG Jian-long, ZHOU Zhi-gang, ZHANG Qi-sen. Theory and method of anti-crack design for asphalt pavement[M]. Beijing: The People's Communications Press, 2002.
- [2] 熊鹰. 水泥掺量对碎石基层路用性能影响的研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2007.
XIONG Ying. The research on the effect of doses of cement on the pavement performance of macadam base[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2007.
- [3] 彭波,李龙刚,尹光凯,等. 低水泥剂量稳定碎石级配组成设计与性能研究[J]. 公路,2018,63(5):26-33.
PENG Bo, LI Long-gang, YIN Guang-kai, et al. Gradation composition design and performance study of low dose cement stabilized macadam[J]. Highway, 2018, 63(5): 26-33.
- [4] 周军霞. 低水泥含量级配碎石路用性能试验研究[J]. 硅酸盐通报,2016,35(12):4292-4296.
ZHOU Jun-xia. Experimental study on frost heaving behaviors of low-cement graded crushed stone[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2016, 35(12):4292-4296.
- [5] 王天亮,宋宏芳,郭卓豪,等. 水泥掺量和颗粒级配碎石基床冻融特性影响的试验研究[J]. 岩土工程学报,2017,39(12):2180-2186.
WANG Tian-liang, SONG Hong-fang, GUO Zhuo-hao, et al. Freeze-thaw characteristics of subgrade macadam fillings influenced by cement content and grain-size composition[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(12):2180-2186.
- [6] 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):283-288.
YU Bao-yang, WANG Yu, ZHANG Li-ping. Low doses of cement stabilized macadam roadbase-shrinkage performance research[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2016, 35(3): 283-288.
- [7] 周志刚,曾勇,孙绪康. 沥青路面水泥改性级配碎石力学性能研究[J]. 交通科学与工程,2012,28(03):8-12.
ZHOU Zhi-gang, ZENG Yong, SUN Xu-kang. The mechanical performance of cement modified graded crushed rock applied in the basement of asphalt pavement [J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2012, 28(3): 8-12.
- [8] 蒋应军,李明杰,张俊杰,等. 水泥稳定碎石强度影响因素[J]. 长安大学学报:自然科学版,2010,30(4):1-7.
JIANG Ying-jun, LI Ming-jie, ZHANG Jun-jie, et al. Influence factors of strength properties of cement stabilization of crushed aggregate[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(4):1-7.
- [9] JTG/T F20-2015,公路路面基层施工技术细则[S]. 北京:人民交通出版社,2015
JTG/T F20-2015, Technical guidelines for construction of highway roadbase [S]. Beijing: The People's Communications Press, 2015.
- [10] JTG D50-2017,公路沥青路面设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2017
JTG D50-2017, Specification for design of highway asphalt pavement[S]. Beijing: The People's Communications Press, 2017.
- [11] CJJ/T135-2009,透水水泥混凝土路面技术规程[S]. 北京:光明日报出版社,2010.
CJJ/T135-2009, Technical specification for pervious cement concrete pavement[S]. Beijing: Guangming Daily Press, 2010.