

文章编号: 0451-0712(2006)11-0144-04

中图分类号: U414.101

文献标识码: A

粉煤灰水泥稳定碎石 基层材料的力学和收缩特性

黄煜镔¹, 吕伟民²

(1. 重庆大学土木工程学院 重庆市 400045; 2. 同济大学交通运输工程学院 上海市 200092)

摘 要: 通过对在水泥稳定碎石基层中以粉煤灰等量取代部分水泥的试验研究,考察了粉煤灰水泥稳定碎石的力学性能和收缩性能,结果表明以粉煤灰取代水泥切实可行,不仅具有经济效应,更重要的是具有技术效应,尽管抗压强度、抗拉强度、弹性模量随粉煤灰掺量增加而降低,但在一定范围内,粉煤灰对抗压强度影响很小,而收缩量却显著减少。

关键词: 水泥稳定碎石基层; 粉煤灰; 力学性能; 收缩

目前我国90%以上的高等级公路沥青路面基层及底基层都采用半刚性材料,半刚性基层材料的最

大缺点是抗变形能力低、脆性大,在温度或湿度变化时易产生开裂,形成反射裂缝,进而严重影响路面的

收稿日期: 2006-04-18

[4] Wang Shuxin, Victor C Li. High - early - strength engineered cementitious composites [J]. ACI journal, 2006.

[6] 陈德鹏. 高流动性超早强修补混凝土的研究[D]. 河北工业大学, 2003.

[5] REMR Technical Note CS - MR - 7.3: Rapid - Hardening Cements and Patching Material [A]. The REMR Notebook [M]. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1992.

[7] 覃维祖. 结构工程材料[M]. 清华大学出版社, 2000.

[8] 赵志方, 赵国藩, 黄承逵. 新老混凝土粘结的劈拉性能研究[J]. 工业建筑, 1999, (11).

A Study on Preparing High-Fluidity and Super High-Early Strength Repairing Concrete

CHEN De-peng¹, LIU Chun-lin², ZHAO Fang-ran³

(1. College of Materials Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;
2. College of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;
3. College of Transportation Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: High fluidity and super high-early strength repairing concrete are prepared with sulphate aluminium cement, aminobenzene sulfonamide-type superplasticizer and RF admixture. The compatibility of cement and additives, compressive strength, flexural strength, interfacial bond and freeze-thaw durability of the concrete are studied and used in concrete pavement mending. The results reveal that the concrete have high fluidity and good mechanics performance and durability, which can be used in rapid repair of concrete pavement and traffic can return to open in 5 hours.

Key words: rapid repair; superplasticizer; compatibility; early-strength admixtures

使用性能。作为性能最为优异的半刚性基层材料,水泥稳定碎石也并没有消除半刚性材料的缺点,因此如何进一步提高水泥稳定碎石基层的性能,依然是充分发挥路面结构整体性能的关键之一。

粉煤灰在公路工程中运用广泛,包括以石灰粉煤灰稳定粒料的二灰基层,但二灰基层许多性能较水泥稳定基层差,如抗冲刷性、抗裂性等^[1,2]。尽管在混凝土中采用粉煤灰替代部分水泥的研究已比较广泛和深入,但对于水泥稳定碎石基层掺加粉煤灰的研究却没有得到同样的重视,通过对粉煤灰应用于水泥稳定碎石基层的研究发现:尽管由于粉煤灰对于水泥的替代量少而使粉煤灰水泥稳定碎石基层的经济效益不是非常显著,但相较混凝土而言,少量粉煤灰对水泥稳定碎石基层性能的改善却可能更具潜力。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

水泥为浙江三狮水泥厂的32.5(R)普通硅酸盐水泥,水泥的物理力学性能符合规范要求。粉煤灰采用杭州半山电厂的Ⅱ级灰,颜色灰白,细度筛余量2.4%,密度2.13 g/cm³,需水量100%,其主要化学成分见表1。集料采用杭州闲林料场的石灰石,10~30 mm粗集料的表观密度为2.733 g/cm³,压碎值18.9%,针片状含量12.3%。5~10 mm粗集料的表观密度为2.751 g/cm³,针片状含量10.2%。细集料0~5 mm碎石表观密度为2.711 g/cm³,液限 W_L 为22.2,塑限 W_P 为17.7,塑性指数 I_P 为4.5。

表1 粉煤灰的化学成分

成分	SiO ₂	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	烧失量
含量/%	46.7	0.29	6.02	17.58	1.53	3.42	1.80	6.68

1.2 试验方法

(1)击实试验确定无机结合料稳定土的最佳含水量和最大干密度。采用重型击实标准,参照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94)中T0804—94进行。

(2)无侧限抗压强度参照JTJ 057—94中T0804—94进行。

(3)劈裂抗拉强度和回弹模量试验参照JTJ 057—94中的相关试验规程。

(4)收缩的测定。考虑到水泥稳定碎石基层收缩的内因主要是组分中的水泥与水,因此试验以胶砂

试件代替静力压实试件以便于测定并使数据较准确且离散性小。试件的成型方法参照《水泥胶砂干缩试验方法》(GB 751—81)及《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ82—85)进行,采用40 mm×40 mm×160 mm的胶砂试模,经振动成型后,带模在温度(20±1)℃、湿度≥98%的恒温恒湿雾室养护1 d,拆模后在试件两端粘贴测钉,再于雾室养护12 h后将试件放置于室内自然条件下开始进行收缩量测定。

2 试验结果与分析

2.1 粉煤灰对水泥稳定碎石力学性能的影响

由于半刚性基层设计的主要指标是无侧限抗压强度值。试验首先考察粉煤灰掺量对水泥稳定碎石基层力学性能的影响,在得出抗压强度的同时兼顾到抗拉强度和弹性模量。试验分别以15%、30%、40%、50%的粉煤灰等量取代水泥,试验结果由表2给出。

表2 粉煤灰对水泥稳定碎石基层力学性能的影响

编号	配合比/%	抗拉强度 MPa	抗压强度 MPa	弹性模量 MPa
F1	$C:S:W:FA=$ 5.0:100:5.4:0	0.396	4.67	1 905
F2	$C:S:W:FA=$ 4.25:100:5.4:0.75	0.345	4.33	1 875
F3	$C:S:W:FA=$ 3.50:100:5.4:1.50	0.291	3.84	1 750
F4	$C:S:W:FA=$ 3.00:100:5.4:2.00	—	3.18	—
F5	$C:S:W:FA=$ 2.50:100:5.4:2.50	0.232	2.57	1 434

注:C为水泥,S为集料,W为水,FA为粉煤灰。

试验结果表明:随着粉煤灰掺量的增大,抗压强度、抗拉强度、弹性模量均依次降低,但下降的幅度不同。对于抗压强度,粉煤灰取代量在15%以内时,强度变化并不明显,取代量达到30%时,早期强度也仅降低17.9%,这显著不同于粉煤灰混凝土,妨碍大掺量粉煤灰混凝土应用的最大困难就是早期强度偏低,而在水泥稳定碎石基层中这一现象不再突出。原因在于水泥稳定碎石基层材料强度是由骨料与骨料间嵌挤作用、水泥水化产物以及水泥与骨料间作用共同决定的,由于水泥稳定碎石不同于混凝土,其中的水泥用量少而使水泥的作用并不占绝对的主导作用,因此粉煤灰置换少量水泥并不明显影响无侧限抗压强度。同样,由于半刚性基层材料抗拉强度增长

的主要因素是胶结材,因此水泥用量的减少使抗拉强度的降低比较明显,取代量达到30%时,强度已降低26.5%,但集料颗粒的移动或转动所产生的摩擦力在抗拉强度较低时仍起重要作用,反映在粉煤灰取代量达50%时,抗拉强度的降低(41.4%)却小于抗压强度的降低比例(45.1%),这与集料颗粒的形状和质地有关。

尽管在混凝土中,弹性模量主要与集料的性质有关,但在胶结材很少的水泥稳定碎石中,起粘结作用的胶凝材料的强度对变形的影响远较混凝土显著,反映在粉煤灰取代水泥使水泥稳定碎石基层的弹性模量明显降低。

2.2 温度、湿度对粉煤灰水泥稳定碎石性能的影响

与纯水泥混凝土不同,掺粉煤灰材料的强度发展受其本体和周围环境温湿度的强烈影响,温湿度提高,粉煤灰的火山灰效应显著地加快与提高。Read 和 Malhotra 等人1988年的试验结果表明:在受水化热影响显著的大体积混凝土中,掺粉煤灰混凝土湿养护试件强度在91 d 就超过纯水泥混凝土^[3]。因此,尽管粉煤灰的活性是潜在的,并且由于粉煤灰微细球形的玻璃体结构比较稳定,表面致密不易水化,使粉煤灰的活性发挥主要在后期,一般都在56 d 以后,但环境条件的变化却使早期强度的提高成为可能,这点在水泥稳定碎石基层中尤为重要,因为基层的施工一般均在夏季进行。

试验比较了不同养护条件下粉煤灰水泥稳定碎石性能的变化,一组试件为纯水泥稳定碎石,这作为基准组,以常规方式养护;另一组试件为粉煤灰等量置换50%水泥后的粉煤灰水泥稳定碎石,该组试件分别在标准养护室和在湿度大于95%、最低温度高于32℃的养护室养护6 d 并饱水1 d 后进行力学性能试验,结果见表3。

表3 养护方式对基层材料力学性能的影响

编号	试件与养护条件说明	抗拉强度 MPa	抗压强度 MPa
O	纯水泥试件;标准养护	0.395	4.65
O1	粉煤灰水泥试件;标准养护	0.243	2.81
O2	粉煤灰水泥稳定试件;养护条件:湿度≥95%,最低温度≥32℃	0.316	3.74

由试验结果可见:在湿热条件下养护的粉煤灰水泥碎石强度迅速增长,7 d 强度即已达到纯水泥试件的80%。因此,可以预见在实际施工中粉煤灰水泥碎石的强度将远较试验室试件发展快,并且可以

允许采用大掺量粉煤灰取代水泥而不影响实际承载力,初期强度的略低不会影响基层在短期的使用性能,随着龄期的增长,如90 d,粉煤灰水泥碎石基层将在强度上全面超过纯水泥碎石。笔者的高掺量粉煤灰试验路段在施工验收阶段(不足30 d)已可满足各方面要求,但长期性能仍有待进一步观测。

2.3 粉煤灰对水泥稳定碎石基层收缩的影响

半刚性基层的抗裂性是强度之外的另一个重要指标,尽管抗裂性是一个综合性指标,它与材料的抗拉强度、极限延伸率、弹性模量和收缩、徐变等多种因素有关,并且防止基层收缩裂缝产生的不利影响的措施也多种多样,然而降低基层材料本身的收缩量却是最直接最有效的方法,这可以通过减少用水量、降低水泥用量、增加粗集料含量、减少孔隙率、提高密实度以及降低水的表面张力等途径来实现。采用掺加粉煤灰来取代部分水泥也可取得一定效果。

试验考察了粉煤灰水泥砂浆的收缩性能,分别采用15%、50%的粉煤灰等量置换水泥并与基准组纯水泥砂浆比较,试验结果如表4所示。

表4 粉煤灰掺量对粉煤灰水泥砂浆收缩的影响

编号	配合比/%	收缩量	收缩系数
		mm	×10 ⁻⁶
A1*	C:S:W:FA=10:90:12.5:0	0.075	470.8
A2	C:S:W:FA=8.5:90:12.5:1.5	0.057	358.3
A3	C:S:W:FA=5:90:12.5:5	0.146	912.5

注:C为水泥;S为5 mm以下石屑;W为水;FA为粉煤灰;*组为系列基准组。

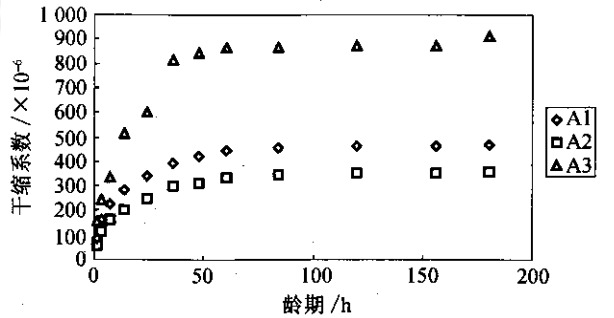


图1 粉煤灰水泥砂浆收缩随龄期的变化

从试验结果可以看出,在粉煤灰取代量较小(<15%)时,粉煤灰使收缩量减小,这可能是因为粉煤灰饱水性好使水分不易散失,并且粉煤灰改变了胶体系统的内部结构,使浆体结构变细并且分布更加均匀;另外水泥水化消耗的水,也随粉煤灰掺量提高而降低,因而收缩减小。但随着粉煤灰掺量的增大,

由于粉煤灰水化较缓慢,大部分水分并未参与水化,这就意味着拌和物的初始水灰比增大,也即相当于增大了拌和物的用水量,因此就表现为随粉煤灰掺量提高,自由水量加大,蒸发失水加大,收缩增加。由此可见粉煤灰掺量存在一最佳值,到某一掺量后,收缩将随粉煤灰掺量的增大而增大。

3 结论

粉煤灰具有三项基本效应,即形态效应、活性效应、微集料效应,由于活性效应的发挥主要是影响长期性能,所以在半刚性基层材料中,首先利用的是粉煤灰的形态效应与填充效应,也即主要是与粉煤灰的物理性状有关。因此,在这种情况下,对于粉煤灰的质量评定及生产控制主要是细度和需水量比,这就扩大了粉煤灰的来源,采用经处理过(如磨细)的Ⅲ级灰也能满足要求,而不要求一定是优质粉煤灰,因此具有广阔的应用前景,对提高经济和社会效益有利。试验结果表明以下几点。

(1)在水泥稳定碎石基层采用粉煤灰取代部分水泥,材料的抗压强度、抗拉强度与弹性模量均有所降低,但变化趋势与混凝土不同。低掺量粉煤灰对抗压强度影响很小,但却较明显降低抗拉强度;当粉煤

灰掺量高时,抗压强度大幅度降低,但抗拉强度下降不再显著;与混凝土不同,粉煤灰取代水泥,明显降低水泥稳定碎石基层的早期弹性模量。

(2)粉煤灰水泥稳定碎石的性能受环境温湿度的影响强烈,温湿度升高,性能明显得到改善,粉煤灰的有益作用在早期即得到发挥,这对于实际施工应用非常有利。

(3)采用粉煤灰取代部分水泥可降低水泥稳定碎石的收缩,但存在最佳掺量,收缩表现为随粉煤灰掺量提高首先降低而后又增大的趋势。

(4)总的说来,在水泥稳定碎石中采用粉煤灰,效果优于混凝土,在性能上具有更大的发展潜力。

参考文献:

- [1] 郭进英,李春宝.粉煤灰在公路工程中的应用[J].粉煤灰综合利用,2000,(4).
- [2] 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.
- [3] Read P, Carrette G G, Malhotra V M. Strength development characteristics of high-strength concrete incorporating supplementary cementing materials [J]. ACI, 1990.

Mechanical and Shrinkage Properties of Base Materials of Fly Ash and Cement Stsbilized Crushed Rock

HUANG Yu-bin, LV Wei-min

(1. College of civil engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. Institute of Traffic and Transportation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Through the study using part of fly ash to replace equal cement on the base of cement stabilized crushed rock, the mechanical and shrinkage properties of the fly ash and cement corporate stabilized crushed rock are tested. The results show that cement replaced by fly ash is practical, and not only has economical effect, but also has some technical advantages. Even if the compressive and splitting tensile strength as well as elastic modulus decreases with improving fly ash percent, the effect of fly ash on compressive strength is little in a certain range but shrinkage reduced evidently.

Key words: base of cement stabilized crushed rock; fly ash; mechanical properties; shrinkage