

文章编号: 1002-0268 (2003) 02-0004-03

掺高效减水剂激发剂的大掺量粉煤灰轻交通混凝土路面研究

李大为

(绍兴市交通设计院, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 国内开展高掺量粉煤灰水泥混凝土路面的地方较多, 线路较长的公路上, 尚无修筑路面质量较好的。本文介绍近 3 年来开展高掺量粉煤灰水泥混凝土路面课题研究的情况。通过近 1km 实地试验说明粉煤灰替代 40% 水泥, 加入减水剂、激发剂的混凝土具有后期强度很高, 工作性与耐磨性等较好的特点。

关键词: 粉煤灰; 路面; 研究

中图分类号: U416.216

文献标识码: A

Study on Cement Concrete Pavement with High Percentage Fly-ash, High Efficient Water Reducer and Stimulator in Light-load Traffic Road

LI Da-wei

(Shaoxin Communications Design Institute, Zhejiang Shaoxin 312000, China)

Abstract: There were a lot of tests in cement concrete pavement construction with high percentage fly-ash but there is no one succeeded in long highway. This paper introduces the procedure and the result of the theme, cement concrete pavement with high percentage fly-ash, in last 3 years. The test road is about 1 kilometer with 40% percentage of cement was replaced by of fly-ash. This kind pavement with water reducer and stimulator has the characteristics of high late- strength, good work ability and high wearing resistance.

Key words: Flyash; Pavement; Study

1 问题的提出与粉煤灰混凝土作用机理

粉煤灰混凝土在国外历史较久。早在 1914 年, 粉煤灰已用于混凝土中, 以后又广泛用于水坝、码头、公路。在国内, 将粉煤灰用于混凝土中也有 40 余年了。但公路上使用较晚, 特别是用于水泥混凝土面层中。

公路中用粉煤灰通常有几个途径: 路基填料; 路面基层; 低掺量粉煤灰 (占水泥总量的 25% 以下) 水泥混凝土路面面层。

粉煤灰掺入水泥混凝土中的作用效应早期是物理填充微集料效应, 这种微集料效应表现为抗压、抗折强度与粉煤灰掺量成反比, 即粉煤灰掺量越大, 早期抗压、抗折强度越低; 后期因粉煤灰中 SiO_2 和 Al_2O_3 含量大, 同水泥水化释放出的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用形成不

溶、安全的 CaSiO_3 , 提高了强度, 即粉煤灰的活化效应促进混凝土的抗压、抗折强度的提高, 特别是抗折强度的提高。粉煤灰混凝土中, 水泥用量减少, 则砂率降低, 有利于水泥浆对骨料界面的包裹, 改善了水泥浆与骨料界面的结合强度, 这也就是粉煤灰混凝土后期抗折强度提高的机理的主要点。而微集料效应, 当粉煤灰活化作用开始后, 粉煤灰的微细颗粒均匀分布于水泥浆体中, 对骨料界面的包裹比单纯水泥浆体更好, 结合强度更高, 因此, 抗折强度更高, 改善了混凝土的脆性。粉煤灰水泥混凝土具有很多优点已被工程实践证明, 其缺点主要是早期强度较低。这一点正是公路建筑中不允许的。

高掺量粉煤灰水泥混凝土 (简称 HFCC) 路面比低掺量粉煤灰水泥混凝土路面更能显示其优越点。

HFCC 之特点是: 1. 粉煤灰作为混凝土的组分来配制, 如同水泥、砂、石子等; 2. 要求用化学的 (外加剂、激发剂等) 或物理的 (如振动碾压等) 方法, 减少水胶比, 提高早期强度与设计强度; 3. 经济效益与改善混凝土性能更明显。

HFCC 路面在国内也有一些地方作过科研试验, 但有的操作失误, 路面损坏, 有的早期强度太低, 不适用于公路应用, 有的未在实地试验。据笔者所知, 至今尚无一处已通过省级以上的科技成果鉴定, 所以, 普遍推广就无从谈起了。

所以, 开展此项科研是很有必要的。

2 试验概况与主要技术经济指标

本课题于 1998 年末提出, 1999 年列入浙江省交通科技发展专项资金项目。我们选定嵊州市作为试验地点, 基于当地未铺装的县乡道多达 400 余 km, 推广的效果较好, 当地有积极性。考虑到国省道交通量大, 试验时干扰大; 上报手续多; 如路面试验不良, 影响面大。所以, 具体路段未选在国省道上, 而选定在县道上。但这并不影响试验结果及成果的推广。

试验路在上虞章镇至嵊州清风公路, 嵊州段 16 + 426~ 17+ 347, 长 885m, 其中 16+ 462~ 16+ 962 长 500m 为 HFCC 路面, 16+ 962~ 17+ 347 长 385 m 为普通混凝土路面。本路段, 紧靠曹娥江边, 上方为山, 按山岭重丘 4 级公路改造 (其实应属微丘地形)。交通量与路面弯沉值作了测定。水泥混凝土路面宽 5 m。按 2×2.5 m 分块, 长 4 m 分块, 厚 20 cm, 横坡 1.5%, 最大纵坡 5%, 最小平曲线半径 20 m 1 处。

3 试验情况

3.1 室内试验 (1999 年 12 月至 2000 年 3 月)

1. 材料情况

(1) 水泥 浙江交通水泥厂生产山石牌 425 号普通硅酸盐水泥, 力学性能指标见表 1。

(2) 粉煤灰 绍兴钱清电厂, 主要化学成分与品质指标见表 2。

水泥的力学性能				表 1
抗折强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)		
3d	28d	3d	28d	
5.3	7.9	30.8	54.9	

粉煤灰主要化学成分							表 2
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	烧失量	
44.29	31.77	3.78	5.03	1.7	0.44	7.8	

(3) 砂 表观密度 2.63g/cm³, 细度模数 2.5, 中

砂, 级配符合标准要求。

(4) 碎石 最大粒径 31.5mm, 连续级配, 表面密度 2.66g/cm³。

(5) 外加剂 采用高效减水剂, 经对多个厂家不同型号产品在 HFCC 的工作性试验, 得出其工作效果, 最后选用浙江五龙化工股份有限公司生产的 ZWL-III300 型固体高效减水剂。

(6) 激发剂 为保证 HFCC 具有较高的早期强度, 激发粉煤灰的早期水化活性, 课题组自行研制了 ZDJ-I、ZDJ-II、ZDJ-III、ZDJ-IV 等 4 种。

(7) 水 纯净自来水。

2. 混凝土工作性与配合比试验情况
基准混凝土配合比见表 3。

基准混凝土实验室配合比					表 3
编号	1 m ³ 混凝土各材料用量 (kg)				实测坍落度
	水泥	水	砂	石子	
J	385	185	586	1244	30

在此基础上, 按粉煤灰等量替代水泥 30%、40%、50% 与分别外加 3 kg 减水剂做试块。在此基础上, 外加 7.7 kg 激发剂 (两种) 做试块。

3. HFCC 强度试验

对上述种类试块进行抗压强度 (7d、14d、28d、90d) 与抗折强度 (14d、28d) 试验。

4. 混凝土实验室配合比及其力学性能

(1) 混凝土实验室配合比, 见表 4。

混凝土实验室配合比							表 4
编号	1 m ³ 混凝土各材料用量 (kg)						
	水泥	粉煤灰	水	砂	石	减水剂	
F403	231	154	157	586	1244	3.0	7.7

(2) 混凝土实验室配合比的抗压与抗折强度, 见表 5。

混凝土实验室配合比抗压与抗折强度					表 5
编号	抗压试验 (MPa)			抗折强度 (MPa)	
	7d	14d	28d	14d	28d
F403	28.7	35.5	42.8	4.77	5.14

(3) 混凝土实验室配合比耐磨度 F403 的 28d 耐磨度 1.37> 基准混凝土的 1.35 (F403 比基准混凝土耐磨性稍差)。

(4) 韧性 28d 龄期折压比 (即抗折强度/抗压强度), F403 为 0.12> J 的 0.11。

综合分析, F403 的早期抗压强度 (7d) 为基准混凝土的 92.9%; 28d 时, 前者为后者的 101.9%; 14d、28d 时, 抗折强度前者为后者的 109.66% 与

108.90%，达到预期目标。

3.2 工地试验

1. 混凝土配合比 水泥 100 kg、粉煤灰 66.7 kg、水 44.5 kg、砂 266.5 kg、碎石 549.3 kg、减水剂 0.013 kg、激发剂 0.33 kg。

2. 混凝土试验结果 试块，龄期 7d、28d、56d、90d，抗压、抗折强度见表 6。

试验路段混凝土试块强度一览表 表 6

制作日期	抗压/抗折强度(MPa)				备注
	7d	28d	56d	90d	
11.7	21.7/3.6	28.3/4.1	30.3/4.5		
11.13	21.7/3.6	28.1/4.0	31.1/4.5		I
11.14	21.9/3.7	27.4/4.0	31.8/4.6		
11.18	30.5/4.2	32.9/4.7	34.2/4.7		
11.21	30.3/4.3	33.8/4.7	34.6/4.8		II
12.24	21.8/2.9	28.6/4.0		33.2/4.9	
12.27	22.3/2.9	27.2/4.1		33.6/5.0	I
12.29	29.0/4.1	31.3/4.7		35.1/5.0	
12.30	29.2/4.3	31.6/4.9		33.9/4.9	II

备注：I 为 HFCC，16+462~16+962 段；II 为基准混凝土，16+962~17+347 段。

完工后 220 天，现场取圆柱形样，做劈裂试验，折算后得 I、II 类混凝土的抗折强度分别为 5.7MPa、5.1 MPa。

根据室内试验与野外试验情况得到如下结果：

1. 早期强度（指 7d 龄期） 抗折强度野外试验 HFCC 11 月份试块为普通混凝土的 85% 左右；室内试验抗压强度，HFCC 为基准混凝土的 92.9%。鉴于野外试验，试块在工地浸水养生。11 月、12 月份、1 月份平均气温分别为 11.9℃、8.6℃、6.1℃，明显影响强度提高，但 11 月份的试块还是满足预期目标。

2. 28d 龄期强度 野外试验抗折强度，11 月份试块 HFCC 接近基准混凝土；室内试验抗压、抗折强度前者均超过后者。

3. 56d 龄期的强度 野外试验抗折强度 11 月份试块 HFCC 达到设计强度，并接近基准混凝土强度。

4. 90d 龄期强度 野外试验抗折强度，12 月份试块明显超过 4.5MPa 的设计强度，并与基准混凝土相同。

5. 220d 龄期的强度 野外试验抗折强度 HFCC 超过设计强度达 26.7%，比基准混凝土强度高 11.7%。

6. 在强度增长时，气温对 HFCC 的影响明显地比基准混凝土大。在平均气温 8.6℃ 的 12 月份，前者不再增长，后者还有增长。

7. 耐磨度 28d 龄期室内试验，HFCC 耐磨度略高于基准混凝土。从有关资料也证实，粉煤灰掺入

后，随着抗折强度的提高，耐磨度也线性增长。

4 经济分析

基准混凝土与 HFCC 的成本分析，得出基准混凝土 175.75 元/m³，HFCC159.3 元/m³。

经济分析可见，在通常情况下，在离粉煤灰产地运距 50 km 内，HFCC 比基准混凝土单位投资节省。当然投资节省的多少，同当时水泥单价、粉煤灰单价密切相关。而其他材料条件是同等的。

5 结论

综上所述，HFCC 应尽可能在气温较高的季节施工；不同地点，由于各种材料品质不同，必须先做好最佳配合比试验；施工严格按有关规定进行；40% 粉煤灰代替水泥形成的混凝土用于公路是可行的，不仅是节省投资，提高粉煤灰的使用价值，解决粉煤灰的出路，而且混凝土路面的性能也有显著提高，特别是减少与避免早期的温差、收缩裂缝，后期的抗折强度提高，从而延长了路面使用寿命。

HFCC 应有自己的一套技术要求，特别是抗折、抗压强度，不应以 28d 龄期标准养生下的设计强度为标准，而以 56d 龄期为标准，这并非降低标准，而是从 HFCC 强度增长较慢，后期强度增长较快的实际出发。

本课题已于 2001 年 10 月 10 日，经浙江省交通厅主持的科技成果鉴定，被评为国内先进水平。

至于高等级公路上的应用，应在低等级公路上推广一段时间摸索经验后，调整配合比，特别是减水剂、激发剂，再进行试验。

参考文献：

[1] 覃维祖. 粉煤灰在路面混凝土中的应用 [M]. 1998
[2] 覃维祖. 大掺量粉煤灰混凝土与高性能混凝土 [J]. 混凝土与水泥制品, 1995 (2).
[3] 梁晓东. 粉煤灰在高速公路水泥混凝土路面中的应用 [J]. 湖南交通科技, 1999 (4).
[4] 马其盛. 粉煤灰混凝土在南沙大道一级公路路面中的应用 [J]. 中南公路工程, 1998 (1).
[5] 蔡喜棉. 掺粉煤灰水泥混凝土的力学性能 [J]. 华东公路, 2000 (5).
[6] 苏祥宾. 路面混凝土掺粉煤灰的研究 [J]. 公路, 1997 (7).
[7] 李爱美. 粉煤灰对道路混凝土脆性的改善效应 [J]. 中南公路工程, 1999 (4).
[8] 蔡跃波. 高掺量粉煤灰混凝土在公路工程中的应用研究 [J]. 公路, 2000 (1).
[9] 彭文勇. 粉煤灰混凝土抑制碱集料反应的理论 [J]. 公路, 1999 (1).