

文章编号: 0451-0712(2004)07-0145-05

中图分类号: U416.216

文献标识码: A

金刚砂混凝土配合比设计及力学性能研究

王瑞燕, 吴国雄, 韩春云

(重庆交通学院道路工程系 重庆市 400074)

摘 要: 金刚砂以其良好的耐磨性使得它在工业上得以广泛应用, 但金刚砂在路面使用上仍属少见。能否在金刚砂提高路面的耐磨性的同时, 获得较高的力学强度是值得研究的。以大量试验数据为基础, 对金刚砂混凝土进行了配合比设计和力学性能分析, 以获取具有优良力学特性的金刚砂混凝土。

关键词: 金刚砂; 配合比设计; 力学性能

我国含有丰富的天然金刚砂, 每年都生产并出口大量金刚砂产品。良好的耐磨性使得它在工业上得以广泛应用, 但金刚砂在路面使用上仍属少见。金刚砂是质地坚硬和多棱角的结晶体, 又是一种颗粒严密的高强骨料, 具有化学性稳定、强度高、硬度大和耐磨等优点。能否在金刚砂能提高路面的耐磨性的同时, 获得较高的力学强度是值得研究的。要配制较理想的金刚砂混凝土, 首先应选择与基材强度相适应的金刚砂品种, 对不同金刚砂的标号进行试验配比。其次要选择合适的砂率和水灰比, 还需考虑粉煤灰、硅灰和高效减水剂等的影响。本文试图以金刚砂对混凝土力学强度的贡献为出发点, 以大量试验数据为基础, 给出了金刚砂的类型与掺量, 通过对金刚砂混凝土进行配合比设计和力学性能分析, 来获取具有优良力学特性的金刚砂混凝土。

收稿日期: 2004-03-15

益和经济效益。

(2) 应用地质雷达对高等级公路沥青混凝土路面下、中、上 3 层检测, 可根据地质雷达检测结果, 指导下一步施工, 起到对路面厚度的施工监控作用, 可显著提高路面厚度控制水平, 从而确保公路路面施工质量。

(3) 地质雷达测试技术不仅可应用于公路路面厚度检测, 而且能探测路基空洞、疏松、路面疏松、裂隙等缺陷^[3]。

(4) 地质雷达不仅在公路建设阶段可用于施工

1 配合比设计及室内力学试验

混凝土配合比设计, 按《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ 053-94) 进行。采用 28 d 养护龄期测试强度。

1.1 设计指标及材料选择

1.1.1 设计指标

本文设计的金刚砂混凝土为半干硬性混凝土, 强度优于普通混凝土。具体设计指标如下: 坍落度 0~30 mm; 设计强度 C35。

1.1.2 选用的原材料

(1) 水泥: 采用重庆地维水泥 P.0425 号, 按 GB175-92 检测, 28 d 抗压强度 70.37 MPa, 抗折强度 8.47 MPa。

(2) 粉煤灰: 采用重庆珞璜电厂 II 级粉煤灰。

(3) 机制砂: 表观密度 2.69 g/cm³, 装填密度

质量监控, 在公路养护阶段, 通过地质雷达检测对制定养护和维修计划也具有参考作用。

参考文献:

- [1] 王水强, 等. 市政工程建设中地质雷达的应用[J]. 工程物探, 1998, (2).
- [2] 张高平. SIR-10H 地质雷达在探测溶洞、岩溶分布中的应用效果[J]. 工程物探, 1992, (3).
- [3] 孙朝云. 现代道路交通测试技术、原理与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

1.55 g/cm³,空隙率 42.4%。

(4)粗集料:表观密度 2.70 g/cm³,装填密度 1.54 g/cm³,空隙率 43.0%,最大粒径 20 mm。

(5)金刚砂:选取编号为 1 号、2 号和 3 号金刚砂进行试验。

(6)减水剂:采用 FJW 萘系高效减水剂。

1.2 混凝土配合比

1.2.1 基准配合比

根据《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012—94),进行以抗压强度为指标的路面混凝土基准配合比设计。初步确定: $W=182, C=372, W/B=0.49, S=1\,295, G=554$,和易性较好。主要性能测试结果为:坍落度 $T=6\text{ mm}$,抗折强度 $f_{cf}=$

4.7 MPa,抗拉强度 $f_{ct}=35.3\text{ MPa}$ 。在基准配合比的基础上,进行混凝土配合比正交试验,分别掺加粉煤灰和硅灰,做对比试验。

1.2.2 最优配合比

(1)试验方案及试验结果见表 1、表 2 和表 3。

表 1 因素水平

水 平	因 素		
	W/B	$F/B/\%$	$A/\%$
1	0.44	0	0.8
2	0.49	10	1.0
3	0.54	20	1.2
4	0.59	30	1.4

表 2 $L_{16}(4^4)$ 试验方案设计

因素					28 d 抗压强度/MPa	28 d 抗折强度/MPa	坍落度 T/mm
试验号	$A(W/B)$	$B(F/B)$	$C(A)$	空列			
1	1	1	1	4	41.1	5.9	3
2	1	2	2	3	35.9	5.4	0
3	1	3	3	2	36.7	5.3	20
4	1	4	4	1	33.4	5.2	14
5	2	1	3	3	37.2	5.6	15
6	2	2	4	4	32.6	5.3	6
7	2	3	1	1	30.2	5.1	23
8	2	4	2	2	30.9	5.0	10
9	3	1	4	2	30.8	4.8	5
10	3	2	3	1	30.0	4.5	20
11	3	3	2	4	29.7	4.9	8
12	3	4	1	3	29.3	4.8	12
13	4	1	2	1	28.0	4.9	18
14	4	2	1	2	28.9	4.8	12
15	4	3	4	3	28.7	4.6	19
16	4	4	3	4	23.6	4.4	1

表 3 极差计算结果

因素	抗压强度 f_{cu}					抗折强度 f_{cf}					坍落度 T				
	\bar{K}_1	\bar{K}_2	\bar{K}_3	\bar{K}_4	R	\bar{K}_1	\bar{K}_2	\bar{K}_3	\bar{K}_4	R	\bar{K}_1	\bar{K}_2	\bar{K}_3	\bar{K}_4	R
A	36.9	32.7	30.0	27.3	9.6	5.5	5.3	4.8	4.7	0.8	9.3	13.5	11.3	12.5	4.2
B	34.4	31.9	31.3	29.3	5.1	5.3	5.0	5.0	4.9	0.4	10.3	9.5	17.5	9.3	8.3
C	32.5	31.1	31.9	31.4	1.4	5.2	5.1	5.0	5.0	0.2	12.5	9.0	14.0	11.0	5.0
空列	30.4	31.8	32.8	31.9	2.4	4.9	5.0	5.1	5.1	0.2	18.8	11.8	12.5	9.8	9.0

(2) 试验结果的分析(见表 4)。

表 4 各指标直观分析结果汇总

考核指标	因素主次顺序	正交表中较好条件
抗压强度 f_{cu}	$A > B > C$	A1B1C1
抗折强度 f_{cf}	$A > B > C$	A1B1C1
坍落度 T	$B > C > A$	B3C3A2

通过直观分析,从表 3 和表 4 看出以下几点。

①影响抗压(抗折)强度的主要因素是水灰比,次要因素是粉煤灰掺量,减水剂对抗压、抗折强度的影响因素小;而影响坍落度的主要因素为粉煤灰掺量,减水剂和水灰比是次要因素。

②抗压(抗折)强度随着水灰比的减少而增加。粉煤灰掺量对 T 的影响呈上升趋势,并且有一峰值,超过峰值 T 会减少,可见粉煤灰对 T 的影响存在最优掺量。

③从极差看出,减水剂在 1.2 时 K 最大,此时减水剂对和易性产生的效果最好。

方差分析(见表 5)。

表 5 方差分析(抗压强度 f_{cu})

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值
A(W/B)	$S_A=202$	3	67.3	13.46*	$F_{0.01}(3,3)=29.5$
B(F/B)	$S_B=53$	3	17.7	3.54	$F_{0.05}(3,3)=9.23$
C(A)	$S_D=5$	3	1.7	0.34	
误差 e	$S_e=27$	3	9.0		
总 和	$S_T=287$	15			

表 6 方差分析(抗折强度 f_{cf})

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值
A(W/B)	$S_A=1.71$	3	0.57	14.25*	$F_{0.01}(3,3)=29.5$
B(F/B)	$S_B=0.43$	3	0.14	3.50	$F_{0.05}(3,3)=9.23$
C(A)	$S_D=0.09$	3	0.03	0.75	
误差 e	$S_e=0.22$	3	0.07		
总 和	$S_T=2.45$	15			

从方差分析得出:

①各因素影响抗压和抗折强度的主次顺序为: $A \rightarrow B \rightarrow C$,与前面的直观分析一致;

②水灰比对 28 d 抗压和抗折强度有显著影响,

其他因素不是显著因素;

③本例试验的抗压强度误差为 $\sqrt{9}=3$ MPa,抗折强度误差为 $\sqrt{0.07}=0.265$ MPa,与空列直观分析的极差 2.4 与 0.2 相近。

方差分析的观点认为,只需对显著的因素选择就行了,不显著的因素,原则上可选在试验范围内的任意一个水平。在此,第一个因素为显著因素,最优水平选取该因素最大 K 值所对应的水平,即取 A1;对因素 B 的选取原则上可选择在试验范围内的任意一个水平,下面对因素 B 进一步分析,对 4 个水平进行多重比较。

因素 B 的各水平多重比较。

对抗压强度 f_{cu} 而言,粉煤灰掺量的选定如下:

$$\bar{S}_e=5; f_e=\varphi=3; \bar{K}_1=34.4; \bar{K}_2=31.9;$$

$$\bar{K}_3=31.3; \bar{K}_4=29.3$$

$$\text{查 } q \text{ 表得 } q_{0.05}(m, \varphi)=q_{0.05}(4, 3)=6.82$$

$$q_{0.10}(m, \varphi)=q_{0.10}(4, 3)=5.20$$

$$d_T=q_{0.05}(4, 3)\sqrt{\bar{S}_e/\gamma}=6.82\sqrt{5/4}=6.10$$

$$d_T=q_{0.10}(4, 3)\sqrt{\bar{S}_e/\gamma}=5.82=\sqrt{5/4}=5.81$$

$$\text{计算: } d_{12}=|\bar{K}_1-\bar{K}_2|=2.55; d_{13}=2.1; d_{14}=5.1; d_{23}=0.6; d_{24}=2.6; d_{34}=2.0$$

有 $d_{ij} < d_T$; 同理,对 f_{cf} 亦有 $d_{ij} < d_T$ 。

式中: m 为要比较的水平个数; r 为同水平的试验重复数; \bar{S}_e 为试验误差的均方; $f_e=\varphi(n, l)$ 表示试验误差的自由度; $\bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{K}_m$ 分别为 m 个水平的平均抗压强度。

由多重比较得出,粉煤灰掺量对 f_{cu} 及 f_{cf} 均无显著差异,又考虑降低材料成本,故选用 B_4 ,即掺量 30% 的粉煤灰。

回归分析。

根据试验数据,运用 MATLAB 对数据进行线性回归,得回归方程:

$$f_{cu} = -29.2590 + 0.3737f_{ce} + 24.5556B/W - 27.6281F/B, r=0.87 \quad (1)$$

$$f_{cf} = -2.5516 + 0.3751f_{cef} + 2.4777B/W - 2.9695F/B, r=0.86 \quad (2)$$

式中: f_{cu} 为混凝土抗压强度; f_{cf} 为混凝土抗折强度; f_{ce} 为水泥胶砂抗压强度; f_{cef} 为水泥胶砂抗折强度; B/W 为胶水比; F/B 为粉煤灰与胶凝材料之比;控制抗压强度 $f_{cu} = (35 + 1.645\sigma) = 47.52$, σ 为混凝土的抗压强度标准差,根据大量试验数据得

$\sigma=7.61$; 抗折强度 $f_{cf}=(5+1.645\sigma)=6.62$, σ 为混凝土的抗折强度标准差, 得 $\sigma=0.98$; 实测水泥强度 $f_{ce}=45.1$, $f_{cef}=8.47$, 由多重比较得到的 $F/B=30$, 将这些控制指标代入式(1)、(2)得: $W/B=0.36$ 。

综上所述, 根据强度和工作性的要求, 经过调整后的粉煤灰混凝土基准配合比为:

$$W/B=0.36 \quad A=1.2\% \quad SF/B=30\%$$

以上仅就粉煤灰混凝土为例加以阐述, 硅粉混

凝土道理相同, 从略。硅粉混凝土的最优配合比为:

$$W/B=0.54 \quad A=1.2\% \quad SF/B=10\%$$

1.3 掺金刚砂的混凝土配合比设计及强度测试

通过对普通混凝土配合比、粉煤灰混凝土配合比和硅灰混凝土配合比等对比试验的各因素水平评价、方差分析及回归分析, 最终选择力学性能及工作性都较好的几组, 进行掺加金刚砂的试验, 以制备低塑干硬性混凝土。配合比及测试结果如表 7 和表 8。

表 7 粉煤灰混凝土掺加金刚砂配合比及强度测试

编号	W/B	A/%	F/B/%	金刚砂掺量/%	T/mm	28d 抗压强度/MPa	28d 抗折强度/MPa	掺入的金刚砂编号
1-0	0.36	1.2	30	0	0	38.7	5.90	无金刚砂
1-1	0.36	1.2	30	3	0	51.9	6.32	1 号金刚砂
1-2	0.36	1.2	30	6	0	49.3	6.49	
1-3	0.36	1.2	30	9	0	49.3	7.13	
1-4	0.36	1.2	30	3	0	47.8	6.41	2 号金刚砂
1-5	0.36	1.2	30	6	0	49.5	6.08	
1-6	0.36	1.2	30	9	0	52.4	6.99	
1-7	0.36	1.2	30	3	0	41.3	6.21	3 号金刚砂
1-8	0.36	1.2	30	6	0	39.2	5.87	
1-9	0.36	1.2	30	9	0	50.7	6.84	

表 8 硅灰混凝土掺加金刚砂配合比及强度测试

编号	W/B	A/%	SF/B/%	金刚砂掺量/%	T/mm	28d 抗压强度/MPa	28d 抗折强度/MPa	掺入的金刚砂编号
2-0	0.54	1.2	10	0	6	45.0	6.69	无金刚砂
2-1	0.54	1.2	10	3	5	47.1	7.35	1 号金刚砂
2-2	0.54	1.2	10	6	4	51.0	7.17	
2-3	0.54	1.2	10	9	14	51.4	7.43	
2-4	0.54	1.2	10	3	16	47.7	7.48	2 号金刚砂
2-5	0.54	1.2	10	6	12	49.4	7.70	
2-6	0.54	1.2	10	9	2	51.6	7.49	
2-7	0.54	1.2	10	3	4	52.4	7.78	3 号金刚砂
2-8	0.54	1.2	10	6	4	50.9	7.77	
2-9	0.54	1.2	10	9	4	52.6	7.52	

1.4 金刚砂掺量与水泥混凝土抗折强度的关系(见图 1 和图 2)

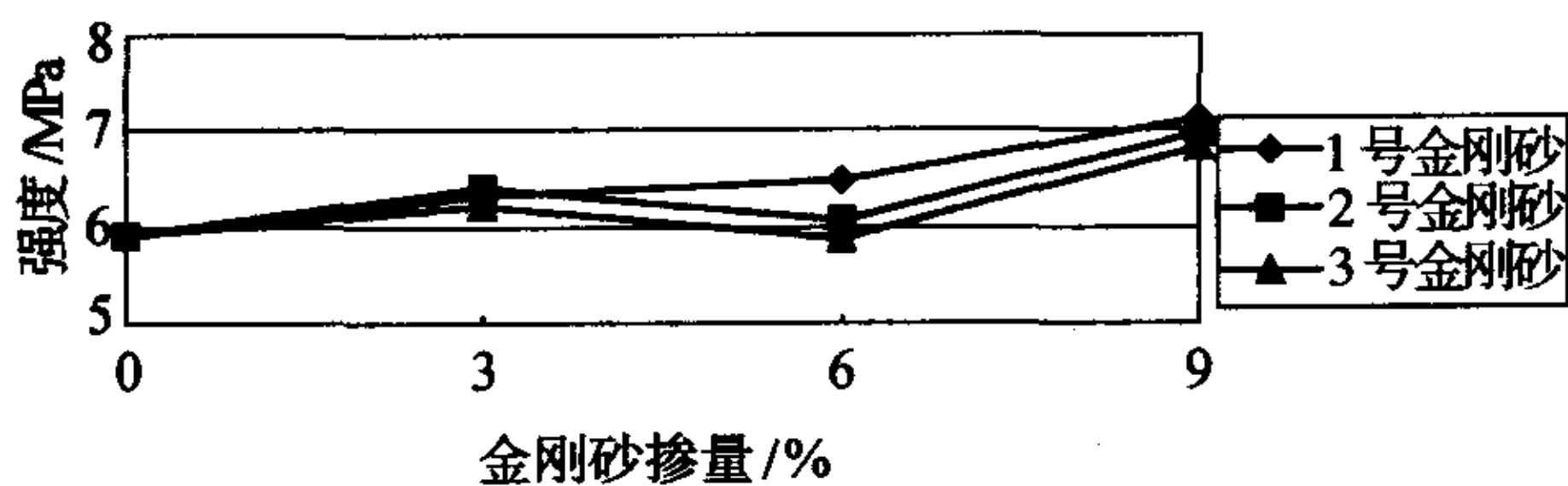


图 1 金刚砂掺量与粉煤灰混凝土抗折强度关系

2 强度分析

由图 1 和图 2 看出, 金刚砂的加入对混凝土力学强度产生显著的影响, 不难发现, 金刚砂混凝土的

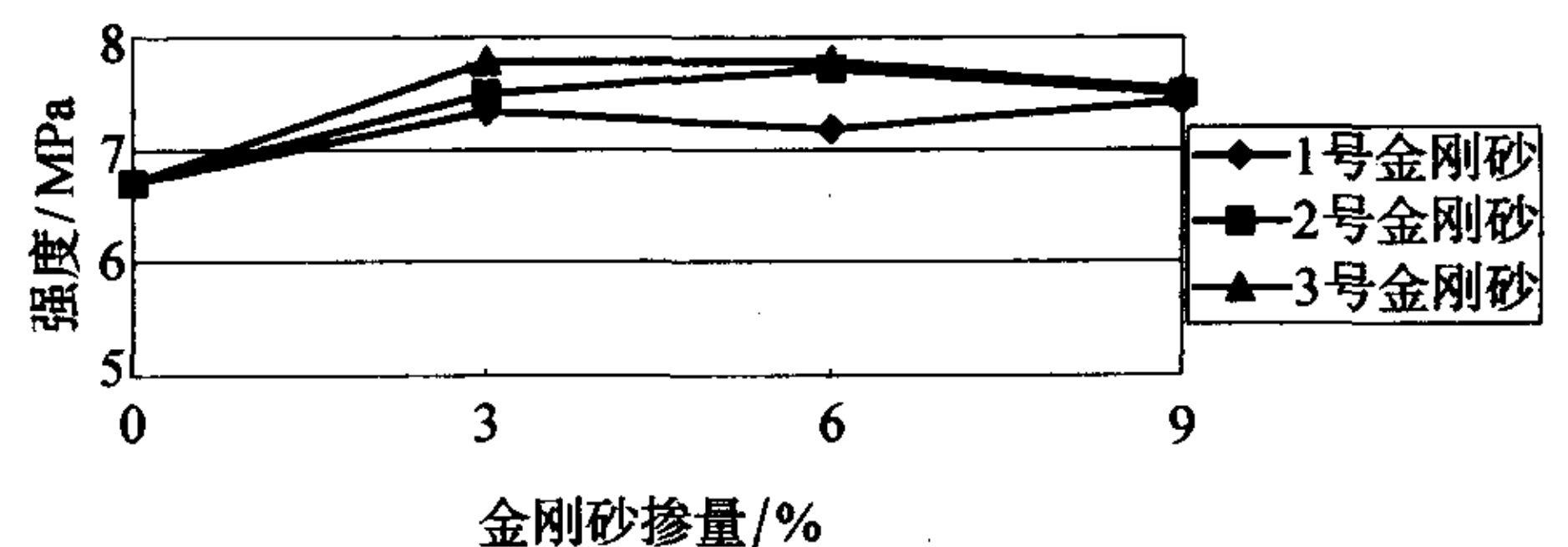


图 2 金刚砂掺量与硅灰混凝土抗折强度关系

抗压、抗折强度普遍高于普通混凝土强度, 抗压强度最大可提高 35%, 抗折强度最大可提高 21%, 这样, 以抗折强度为衡量标准, 选取表 7 和表 8 中有代表性的 1-3 和 2-7 与普通混凝土的 1-0 和 2-0 进行后面的耐磨对比试验。

总之,金刚砂的加入,不仅使水泥混凝土具有良好的工作性,而且随着金刚砂的均匀掺入,使水化产物形成的空间结构的均匀性提高,以金刚砂硬度大和高韧性的特点,加之其与水泥混凝土较好的结合,增强了混凝土的强度。所以,以适量的金刚砂、粉煤灰和硅灰为掺料,能改善混凝土的毛细结构,增强骨料与水泥浆之间的粘结力,加强密实性。

3 耐磨强度检测

经分析,表 7 中的 1-3 和表 8 中的 2-7 的力学性能和工作性都较好,且有代表性,故选不掺金刚砂的 1-0 和 2-0 及掺金刚砂的 1-3 和 2-7 中几组混凝土做耐磨试验,测试结果如表 9。

表 9 磨耗量

编号	磨耗量 $G/(\text{kg}/\text{m}^2)$	编号	磨耗量 $G/(\text{kg}/\text{m}^2)$
1-0	1.33	2-0	2.40
1-3	1.87	2-7	2.00

表 9 中试件的耐磨性试验是在各组材料最佳配比的基础上进行的,经过 28 d 标准养护,考察掺料对混凝土耐磨性的影响。从表中数据可知,各组磨耗量均达到,并远远高于路面混凝土耐磨技术要求 ($3.6 \text{ kg}/\text{m}^2$)。

4 结语

在试验中,为了使金刚砂混凝土路面获得较高的强度和良好的和易性,对各组分进行综合分析,拟订了最优配合比方案。在充分发挥各组分的功效及节约成本的前提下,掺入金刚砂,获得了良好的工作性和抗折及抗压强度。这样,金刚砂混凝土在优良力

学特性的基础上,耐磨强度也大大高于路面混凝土的技术要求。而且通过测算比较,材料的使用年限的提高,将降低长期成本和提高经济效益。应用金刚砂水泥混凝土的正交配合比设计,可以定量地分析水胶比、各掺料掺量和水泥强度等对混凝土强度的影响;线形回归分析的应用,可以将水胶比和掺量等对混凝土强度的影响用一个方程式来表示,既可预测混凝土在试验范围内的强度,又可评估其精度,使混凝土配合比设计简单可靠。

总之,金刚砂混凝土的研究,使金刚砂应用范围大大拓宽。金刚砂混凝土路面不仅能提高收费广场和其他特殊地段(如陡坡路段)的耐磨性能,而且在高等级公路和城市道路的推广和应用中,同样具有重要的价值与意义。

参考文献:

- [1] 吴瑞华,刘琼林. 湖北英山刚玉矿物学研究[J]. 地质论评,1998,44(6).
- [2] 惠荣炎,王秀军. 硅粉混凝土及其应用[M]. 中国铁道出版社,1995.
- [3] 王德民. 掺粉煤灰混凝土配合比正交试验设计及二元线形分析[J]. 混凝土,2002,(10).
- [4] 王足献. 正交设计在混凝土中的应用[M]. 中国建筑工业出版社,1985.
- [5] JTJ 053-94,公路工程水泥混凝土试验规程[S].
- [6] 徐庆飞,胡启芳,等. 道路混凝土掺粉煤灰初探[J]. 华东公路,1995,(2).
- [7] Domone P L J, Soutsos M N. An Approach to the Proportioning of High-strength Concrete Mixes[J]. Concrete International,1994,(10).

A Study on Mixture Ratio Design and Mechanics Performance of Emery Concrete

WANG Rui-yan, WU Guo-xiong, HAN Chun-yun

(Department of Highway Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The emery is widely used in industry because it has well wearing capacity, but the usage of pavements is still rare. The emery can increase the wearing capacity of pavements, but whether it can get the higher mechanics strength that is to deserve to be studied. On the basis of large quantity of experimental data for foundation, the mixture ratio is designed and the mechanics performance of the emery concrete analyzed in order to obtain the emery concrete with good mechanics characteristic.

Key words: emery; design of mixture ratio; mechanics performance.