

文章编号:1671-8879(2007)06-0024-05

聚合物水泥混凝土的路用性能

熊剑平¹, 申爱琴¹, 魏越强², 祁秀林²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 惠州市公路管理局, 广东 惠州 516004)

摘要:聚合物水泥混凝土复合式路面是一种新型的路面结构形式。通过室内试验,研究了聚合物水泥混凝土(PCC)的力学性能、收缩性能以及抗渗、耐磨等性能,并与普通水泥混凝土进行性价比对比,评价了复合式路面的经济性。研究结果表明,随着聚合物掺量的增加,PCC在抗折强度提高的同时刚度降低,断裂性能上升,耐疲劳与抗冲击等动力学性能均有明显改善,抗渗、耐磨、抗腐蚀等性能也有大幅度提高。理论计算表明,PCC复合式路面的寿命明显高于普通水泥路面。

关键词:道路工程;聚合物水泥混凝土;复合式路面;路用性能;经济性

中图分类号:U416.216

文献标志码:A

Road performance of polymer cement concrete(PCC)

XIONG Jian-ping¹, SHEN Ai-qin¹, WEI Yue-qiang², QI Xiu-lin²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Huizhou Administration of Highway, Huizhou 516004, Guangdong, China)

Abstract: Polymer Cement Concrete Composite Pavement (PCCCP) is a new pavement structure. The mechanical characters of PCC, such as drying shrinkage and anti-infiltration, abrasion resistance, is studied. The economic features of the PCCCP are analyzed by comparison with the normal cement concrete on the road performance and cost. The results show that: if the binder ratio of the polymer increase, the flexural strength and break energy of PCC would be enhanced, the rigidity reduce, the dynamics performances such as fatigue resistance and impact resistance also are remarkably improved, and the durabilities such as anti-infiltration, abrasion resistance, erosion resistance are improve obviously. It is known that the life of the PCCCP is much longer than the normal cement concrete pavement. 5 tabs, 8 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; polymer cement concrete; composite pavement; road performance; economic features

0 引言

普通水泥混凝土存在脆性大、抗冲击及抗疲劳能力弱和耐车轮磨耗磨光性能差等缺点,将其应用于路面面层,易过早出现断板及表面结构破坏等病

害,因而限制了其在高等级公路中的应用。采用聚合物对混凝土进行改性,并利用聚合物水泥混凝土(PCC)优良的路用性能铺设复合式路面,是对传统水泥路面进行改善的新技术之一^[1-2]。

20 世纪 50 年代,国内外先后对 PCC 的路用性

收稿日期:2006-09-12

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200431881202)

作者简介:熊剑平(1979-),男,安徽广德人,博士研究生,E-mail:xiongjianping179@163.com。

能进行了一些研究,并用于桥面修补或铺装^[3-10],但在路面中的应用较少。文献[1-2]提出了使用 PCC 与普通混凝土结合修筑复合式路面,既能利用 PCC 优良的路用性能,提高路面的使用品质,又使工程造价增幅不大,诸多优点足以说明,PCC 将在今后的路面修筑中得到广泛的应用。本文通过室内试验与计算,修筑了 PCC 复合式试验路面,通过性价比计算,分析了复合式路面的经济性。经过一年多的运行,试验路路面运行状况良好,无论是路表面质量还是行车性能,都远远优于同期建造的普通水泥路面。

1 原材料配比及试验方法

1.1 原材料性能

水泥选用广东惠州生产的罗浮山 42.5# 普通硅酸盐水泥,28 d 抗折强度 8 MPa;细集料选用河砂,细度模数为 3.02;粗集料选用粒径为 5~40 mm 的石灰岩碎石;聚合物选用上海产 SD622S 羧基丁苯乳液;消泡剂为消泡剂 F111 与消泡剂 A334 混掺配制;混合料搅拌用水为自来水。

1.2 配比

将所有混凝土的坍落度均控制在 1~3 cm,并由此确定不同聚合物掺量 PCC 的水灰质量比,室内试验^[1]确定的 PCC 的配合比及最佳振动时间及养护方式见表 1。

表 1 PCC 的配合比和养护方式

类型	编号	P/C	W/C	减水率/%	振动时间/s	养护方式
基准	H ₀	0	0.43		60	标准养护
PCC	H ₁	0.05	0.36	17	90	前期 3 d 标养 后期干养护
	H ₂	0.10	0.31	28	90	全龄期干养护
	H ₃	0.15	0.25	42	90	全龄期干养护

注:P/C 为聚灰质量比;W/C 为水灰质量比,水灰质量比包括聚合物乳液含水质量分数。

1.3 试验方法

抗弯拉强度、抗压强度、弹性模量、抗渗试验、耐磨试验均参照《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ 053-94)方法测定。

混凝土的弯挠性能在 MTS 试验机上测定,初度采用计算弯挠曲线下包络面积而得,并以断裂时混凝土的挠度表征断裂挠度。

疲劳试验在 MTS 试验机上测试,采用应力控制模式正弦波形加载。加载频率为:当应力水平小于 0.85 时选用 15 Hz;大于 0.85 时取 1 Hz。

冲击试验使用土工重型击实锤,自由锤击固定在抗折支座上的小梁中心,并测试试件初裂时冲击

锤的冲击次数 n_1 与初裂韧性 W_1 ($W_1 = n_1 mgh$);试件断裂时冲击锤的冲击次数 n_2 与断裂韧性 W_2 ($W_2 = n_2 mgh$)。其中, m 为冲击锤的质量; g 为重力加速度(9.8 m/s^2); h 为下落高度。

收缩试验在室内进行,将试件固定于铁架上,使用千分表测定。

耐腐蚀试验,采用满 28 d 龄期的聚合物水泥砂浆(PMA)和 PCC,分别在 5% 的稀盐酸、稀硫酸中浸泡 28 d 及 50 d,并以 PMA 的抗折强度与 PCC 的抗压强度损失率作为耐腐蚀性能评价指标。

2 室内试验结果与分析

2.1 强度

PCC 的抗弯拉强度与抗压强度测试结果如表 2 所示。

表 2 PCC 的强度

编号	P/C	抗弯拉强度/MPa			抗压强度/MPa			压折比		
		7 d	28 d	90 d	7 d	28 d	90 d	7 d	28 d	90 d
H ₀	0	4.11	5.17	5.50	41.0	49.1	52.4	9.97	9.50	9.53
H ₁	0.05	4.31	5.43	6.53	35.1	41.3	42.5	8.14	7.61	6.51
H ₂	0.10	5.20	6.76	7.71	37.0	44.0	45.1	7.12	6.51	5.85
H ₃	0.15	5.94	7.35	8.83	39.6	47.3	48.9	6.67	6.44	5.54

由表 2 可知:①与普通混凝土类似,PCC 的强度随龄期的增加而增长,28 d 后强度增长率更高;②随着聚合物掺量的增加,PCC 的 28 d 抗弯拉强度相对普通混凝土提高了 5%~42%,但抗压强度略有降低;③PCC 的压折比相对普通混凝土有所降低,表明其脆性减小,且柔性增加。

2.2 弹性模量

PCC 的 28 d 抗弯拉弹性模量与 3 d、28 d 动弹性模量测试结果见表 3。

表 3 PCC 的刚度与弯挠特性

编号	P/C	28 d 抗弯拉弹性模量/GPa	动弹性模量/GPa		28 d 极限拉应变/ 10^{-5}	90 d 初度/(N·m)	90 d 断裂挠度/mm
			3 d	28 d			
H ₀	0	31.06	47.692	49.306	16.7	28.990	1.480
H ₁	0.05	29.88	43.318	44.068	18.2	40.212	1.641
H ₃	0.10	30.21	40.713	42.745	22.4	63.142	1.969
H ₄	0.15	27.12	39.411	41.198	27.1	70.005	2.144

由表 3 可知:①PCC 的动弹性模量与抗弯拉弹性模量总体上均随聚合物掺量的增加而降低,但动弹性模量降低的幅度更大,当 $P/C=0.15$ 时,PCC 的 28 d 动弹性模量相对普通混凝土降低了 17%,但 28 d 抗弯拉弹性模量只降低了 13%;②PCC 的极限拉应变随聚合物掺量的不同,相对普通混凝土提高了 5%~42%,说明其抗变形能力明显增强。

2.3 弯挠性能

PCC 的弯挠曲线见图 1, 韧度与断裂挠度的计算结果见表 3。

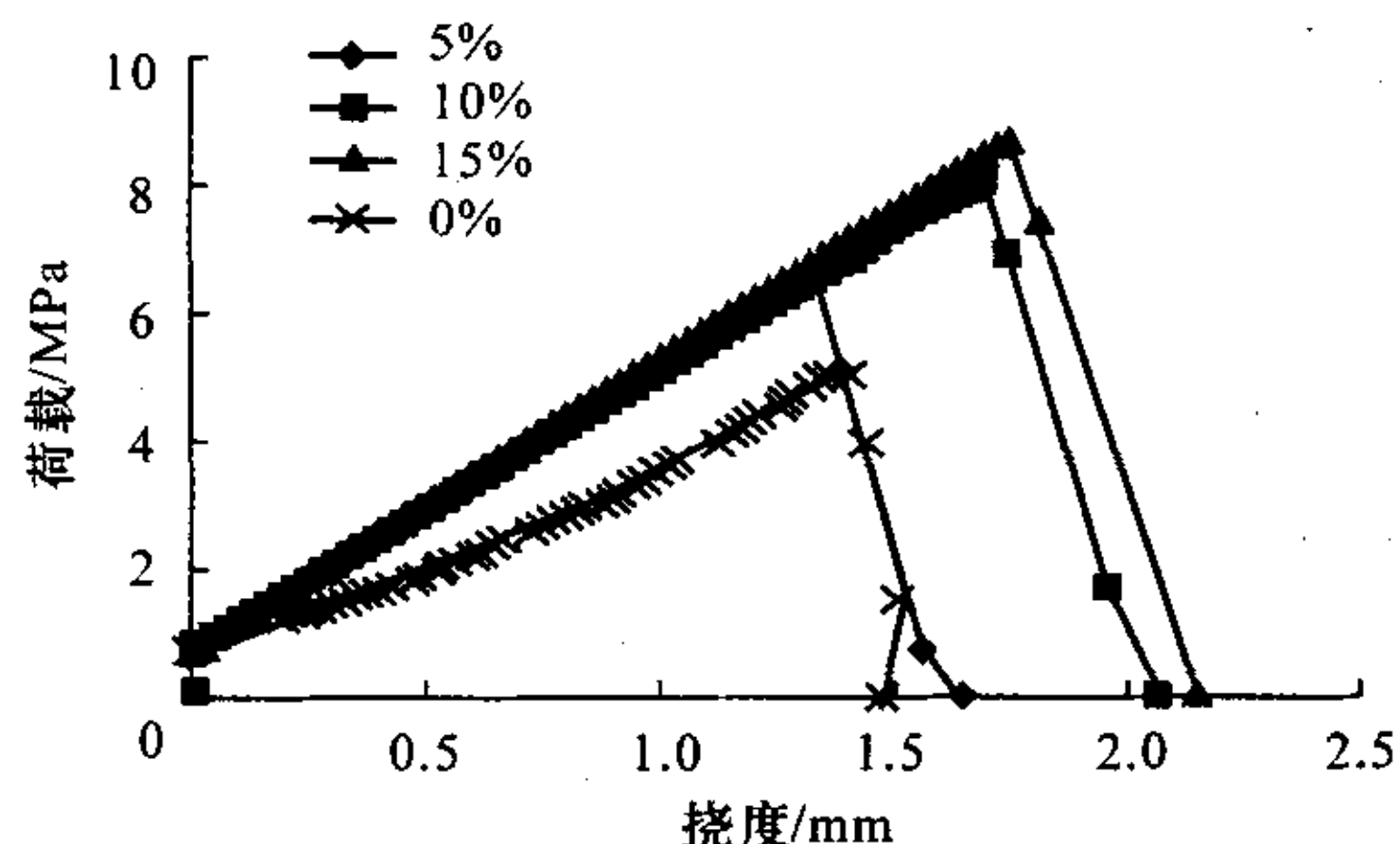


图 1 PCC 的弯挠曲线

由图 1、表 3 可知:①PCC 的韧度即断裂能量明显高于普通混凝土, 增长幅度为 39%~142%;②随着聚合物掺量的增加, PCC 的断裂挠度不断增大, 最高可相对普通混凝土提高 45%;③当 P/C 由 5% 增至 10% 时, 聚合物对混凝土弯挠性能的改善效果最为显著, 表明随着 P/C 的增大, PCC 的变形能力增加, 逐渐呈现出柔性断裂的特征。

2.4 疲劳性能

在同应力比(0.2)、不同应力水平条件下对 PCC 进行疲劳试验, 描绘出 PCC 在不同应力水平条件下的疲劳寿命, 如图 2 所示。

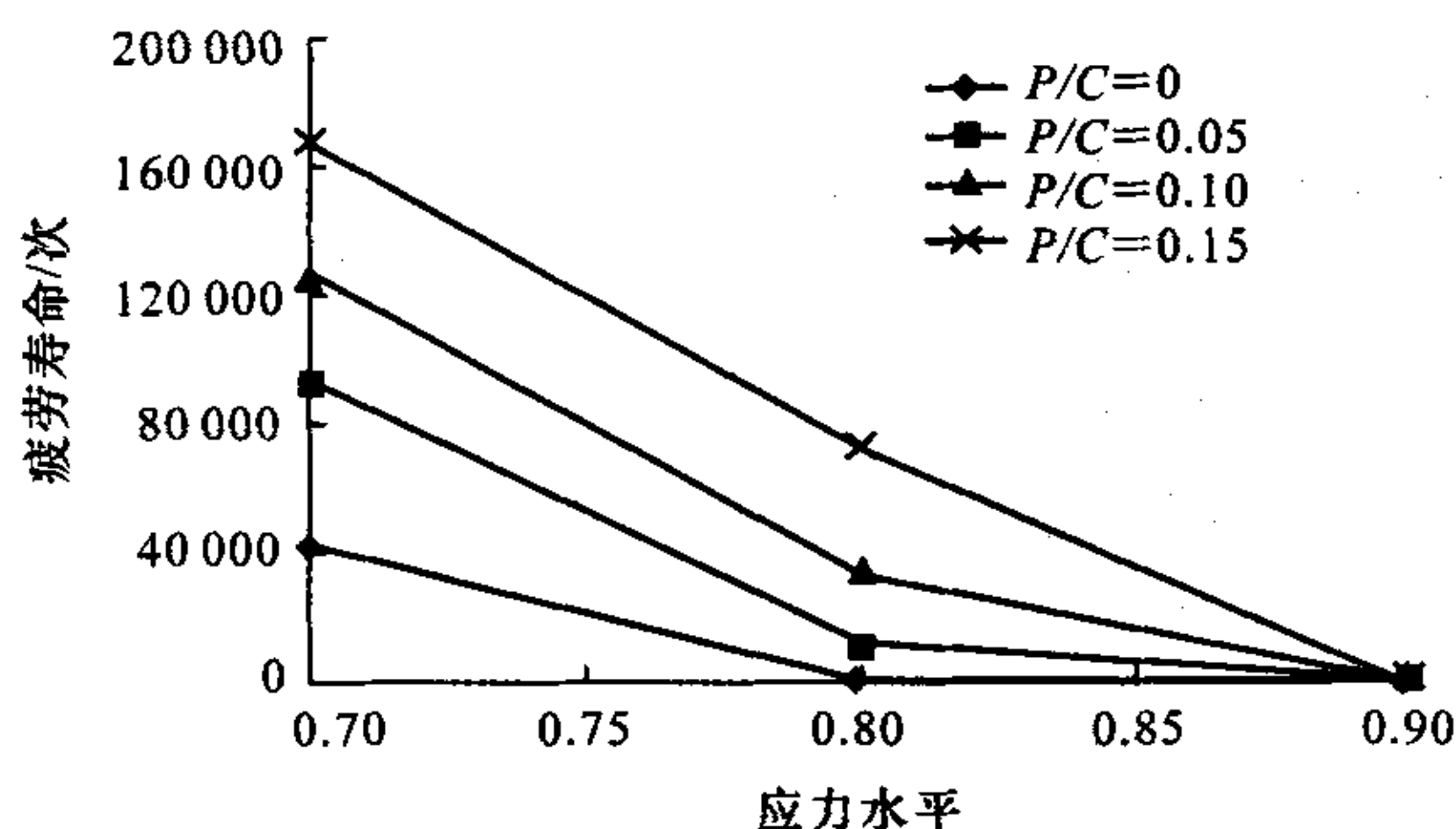


图 2 PCC 的疲劳寿命

由图 2 可知:①掺入少量聚合物即能明显改善混凝土的疲劳性能, 当应力水平较高时, 效果更为明显, 如当疲劳应力水平为 0.8 且 $P/C=0.05$ 时, PCC 的疲劳寿命相对普通混凝土增长了 23.01 倍;②当聚合物掺量大于 10% 时, 继续掺入聚合物对低应力水平条件下混凝土疲劳寿命的改善程度有所降低, 但当应力水平大于 0.8 时, 聚合物的改性作用非常显著, 当 P/C 由 10% 增至 15% 时, PCC 的疲劳寿命大大增加。

2.5 抗冲击性能

PCC 的抗冲击试验测试结果见图 3。

由图 3 可知:①PCC 的抗冲击能力随聚合物掺量增加而提高的趋势十分明显, 当 $P/C=0.15$ 时,

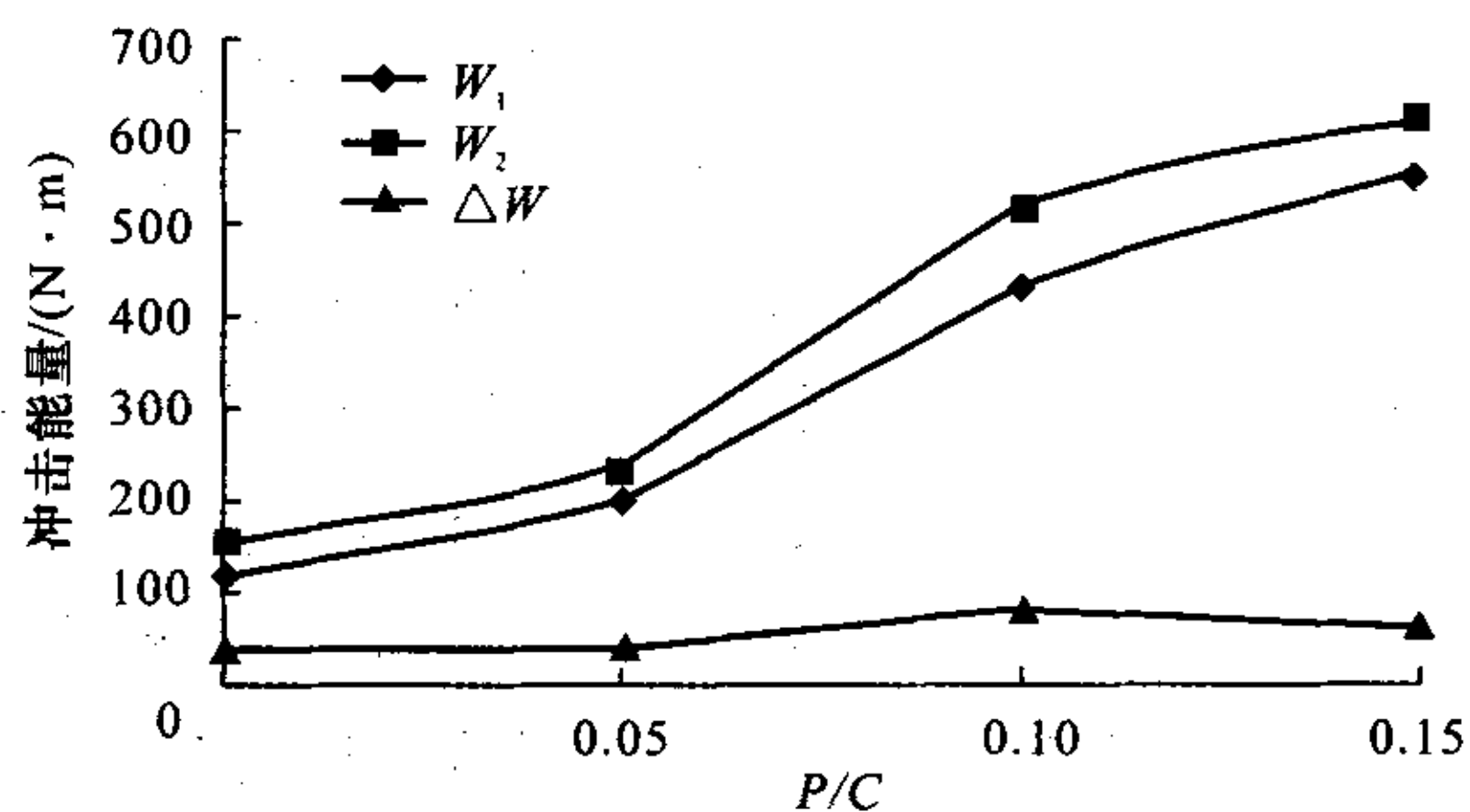


图 3 PCC 抗冲击性能

PCC 的初裂韧性和断裂韧性相对普通混凝土分别提高了 250% 和 210%;②PCC 初裂后继续吸收冲击能量的能力随聚合物掺量的增加持续提高, 即在开裂后仍能保持很好的完整性。PCC 的抗冲击能力的提高, 表明其开裂后仍能承受动荷载冲击作用, 在路桥面应用有独特的优势。

2.6 耐久性能

2.6.1 抗渗性能

PCC 的 24 h 渗水高度见图 4。

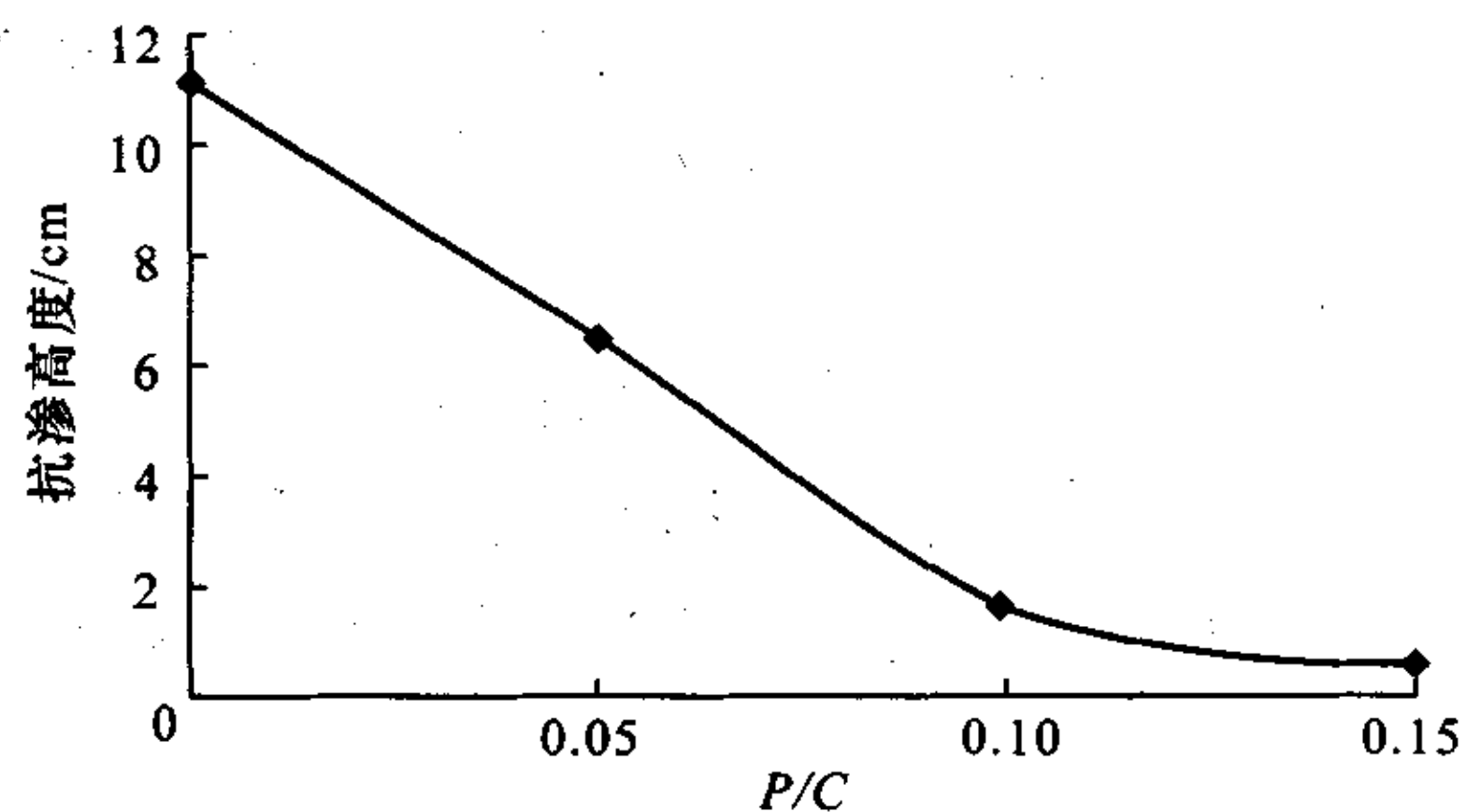


图 4 PCC 渗水高度

由图 4 可知:①PCC 的抗渗能力随聚合物掺量的增加迅速提高, 当 $P/C=0.15$ 时, PCC 的抗渗高度降至 0.5cm, 相当普通混凝土的 5%;②当 $P/C<0.10$ 时, PCC 的渗水高度随聚合物掺量增加而降低的幅度较为明显, 而当 $P/C>0.10$ 时, 该趋势有所减缓。

2.6.2 耐磨性

混凝土路面的耐磨性主要指路表面砂浆的耐磨性, 对聚合物水泥砂浆(PMA)的磨耗试验测试结果见图 5。

由图 5 可知:①PMA 的磨耗质量损失率总体上随聚合物掺量的增加单调降低;②当 P/C 由 0 增至 0.15 时, PMA 的磨耗质量损失百分率迅速降低, 从 6.73% 迅速降至 0.92%, 降低了 7.32 倍。

2.6.3 干缩性能

PCC 的干缩量随龄期延长的趋势见图 6。

由图 6 可知:①PCC 的干缩量随龄期的延长而增大, 前期较大, 后期较小, 聚合物的掺入对混凝土的前期干缩, 尤其 1 d 干缩量的改性效果最为明显;

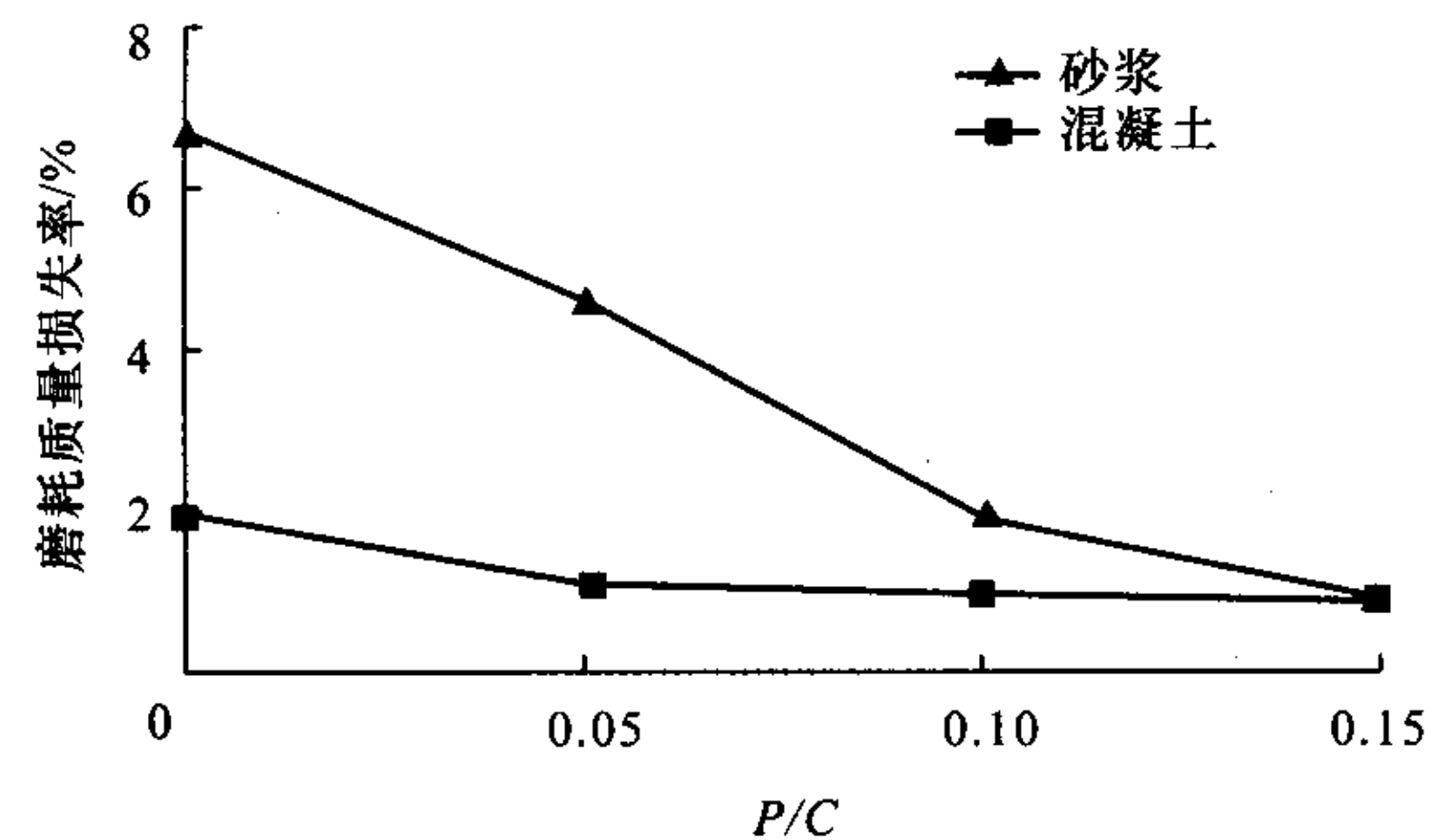


图 5 PMA 的磨耗质量损失率

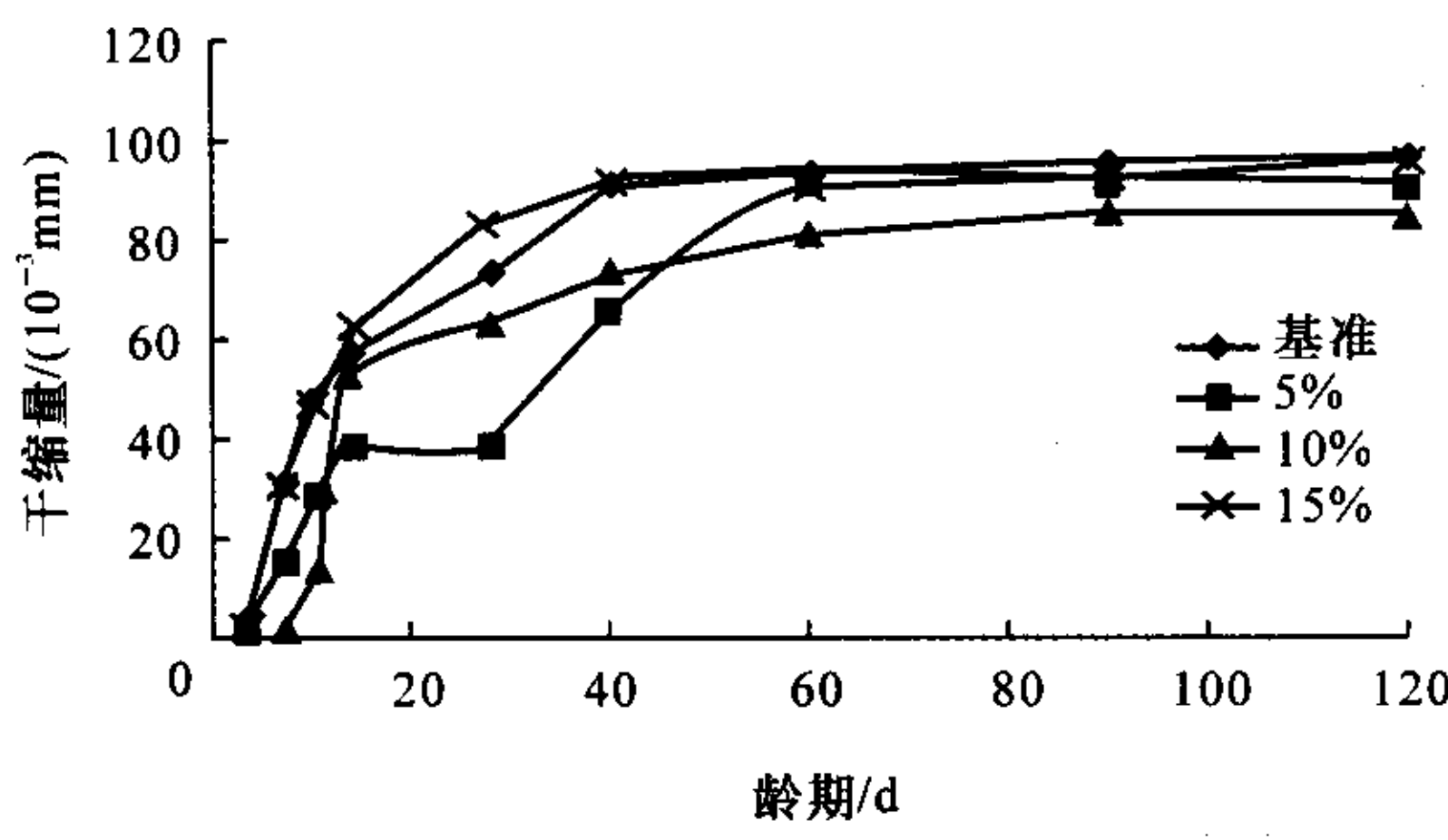


图 6 PCC 的干缩性能

②PCC 的干缩量随聚合物掺量的增加先降后增, $P/C=0.10$ 时最小,但当 $P/C=0.15$ 时,PCC 的干缩量与普通混凝土接近。

2.6.4 耐腐蚀性能

PCC 的耐腐蚀试验测试结果见图 7。

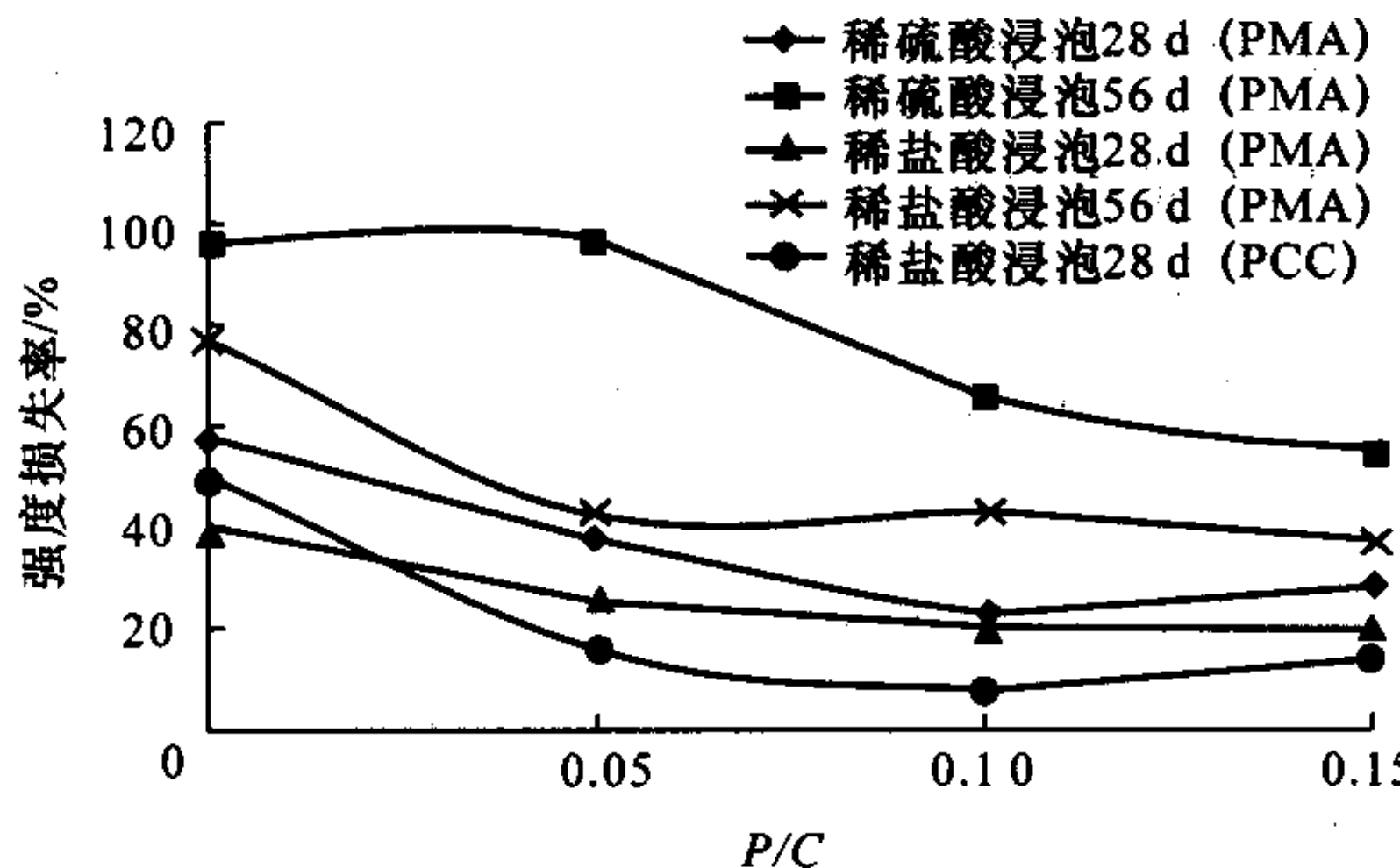


图 7 PCC 的强度浸泡损失率

由图 7 可知,PMA 和 PCC 的耐酸腐蚀能力总体上均随着聚合物掺量的增加而提高,虽然并非完全线性对应,但相关性良好。当聚合物掺量由 0 增至 10% 时,PCC 的抗压强度损失率从 61% 降至 26%,抗腐蚀性能有明显改善;当 P/C 进一步增大,耐腐蚀性能没有明显增长。PMA 的抗弯拉强度也有类似规律,说明聚合物的掺入大大提高了水泥基材料的耐腐蚀性能。

3 PCC 复合式路面的经济性评价

3.1 复合式路面的结构设计

通过室内试验与理论计算,确定 PCC 复合式路面结构如图 8 所示。

路表面	
PCC 上面层	8 cm
普通水泥混凝土下面层	17 cm
6%水泥稳定碎石基层	20 cm
3%水泥稳定碎石底基层	18 cm
土基	

图 8 PCC 复合式路面结构

3.2 经济性评价

PCC 的成本高于普通混凝土,如果单纯使用建造成本来评价其合理性与可行性,往往会忽视由于混凝土路用性能提高所带来的长期效益,导致评价的错误。性能价格比(PCB,简称性价比)是材料改性后所达到的路用性能与材料成本的比值,定义为单位人民币的材料性能,其公式为

$$\text{性价比} = \left[\sum_{i=1}^n k_i f_i \right] / C \quad (i = 1, 2, \dots)$$

式中: k_i 为路用指标各指标权重系数,各指标权重系数取值见表 4; f_i 为路用性能指标值(相对普通混凝土的比值,普通混凝土取 1.00),分别表示 PCC 的抗折强度、韧度、抗冲击能力、弯拉应变、腐蚀强度损失率相对基准混凝土的比值,对于压折比、抗渗高度、耐磨、收缩取相对基准混凝土比值的倒数; C 为路面造价成本。

PCC 路面在施工上仅需要额外增加少量人员劳力费用,在此可忽略不计。对 PCC 复合式路面性价比的评价结果见表 4、表 5。

表 4 PCC 路用性能评价结果

类型	路用性能									总评
	力学性能					其他路用性能				
	抗折强度	压折比	破裂性能	极限弯拉应变	抗冲击	粘结强度	抗渗	耐磨	耐腐蚀	
权重	0.20	0.10	0.20	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	1.00
普通混凝土	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PCC	1.42	1.47	2.42	1.62	3.10	1.72	22.40	7.32	1.58	5.632

注:以上各指标均以性能提高为正

表 5 PCC 复合式路面性价比评价结果

类型	普通混凝土路面	复合式路面
性能	1.0	4.53
成本	1.0	2.71
性能/价格	1.0	2.08

由表 5 可知,虽然 PCC 复合式路面的造价高于普通混凝土路面,每公里单元初期造价相当于普通混凝土路面的 2.71 倍,但其性能价格比却是普通混凝土路面的 2.08 倍,表明 PCC 复合式路面的最终

成本收益比更高,加上考虑到减少了因路面造成的交通阻塞的经济损失,则 PCC 复合式路面的经济性更为合理,应用前景更为广阔。

4 结 语

(1)PCC 的力学性能相对普通混凝土有明显改善,表现为:随着聚合物掺量的增加,其抗折强度相对普通混凝土提高了 5%~42%,压折比、动弹性模量和抗弯拉弹性模量持续降低,韧度和断裂挠度最高增长了 142%与 45%。PCC 抗弯折能力的提高与断裂性能的改善,表明其具有向柔性材料转化的趋势。

(2)PCC 的动力学性能也有较大幅度的提高。掺入少量聚合物就能显著改善混凝土的疲劳性能,特别是,当应力水平大于 0.8 时,聚合物掺量的增加可以大大提高 PCC 的疲劳寿命。PCC 的抗冲击能力随聚合物掺量增加而提高的趋势也十分明显,当 $P/C=0.15$ 时,其初裂韧性和断裂韧性相对普通混凝土分别提高了 250%和 210%,且初裂后吸收冲击能量的能力也持续提高。

(3)PCC 的耐磨与抗渗性能也得以明显改善,其磨耗质量损失率和渗水高度最大相对普通混凝土降低了 7.31 倍与 20 倍。PCC 的干缩量随聚合物掺量的增加先降后增,在 $P/C=0.10$ 时最小,对混凝土早期干缩的改性效果最为明显。PCC 的耐酸腐蚀能力总体上均随着聚合物掺量的增加而提高,当聚合物掺量由 0 增至 10%时,其抗压强度损失从 61%降至 26%,抗腐蚀性能有明显改善,但当 P/C 进一步增大,耐腐蚀性能没有明显增长。

(4)PCC 复合式路面的性能价格比是普通水泥混凝土路面的 2.08 倍,成本收益比小,经济性更加合理。

参考文献:

References:

- [1] 熊剑平. 聚合物改性水泥混凝土路用性能研究[D]. 西安:长安大学,2005.
- [2] 申爱琴. 新型混凝土路面材料及施工工艺研究[R]. 西安:长安大学,2005.
- [3] Lombois B, Colombet P, Halary J L, et al. Kneading and extrusion of dense polymer cement pastes[J]. Cement and Concrete Research, 2006,36(11):2 086-2 097.
- [4] 罗立峰. 钢纤维增强聚合物改性混凝土的冲击性能[J]. 中国公路学报,2006,19(5):71-77.
- LUO Li-feng. Steel fiber reinforced polymer modified concrete impact behaviors [J]. China Journal of Highway and Transport,2006,19(5):71-77.
- [5] 申爱琴,朱建辉,王晓飞,等. 聚合物改性超细水泥修补混凝土结构物微裂缝的性能及机理[J]. 中国公路学报,2006,19(4):46-53.
- SHEN Ai-qin, ZHU Jian-hui, WANG Xiao-fei, et al. Performance and mechanism of polymer modified superfine cement for microcrack mending of concrete structure[J]. China Journal of Highway and Transport,2006,19(4):46-53.
- [6] 杨晓华,俞永华. 水泥-水玻璃双液注浆在黄土隧道施工中的应用[J]. 中国公路学报,2004,17(2):68-72.
- YANG Xiao-hua, YU Yong-hua. Application of cement-silicate double solution grouting in loess tunnel construction[J]. China Journal of Highway and Transport,2004,17(2):68-72.
- [7] 李祝龙,吴德平,张亚洲. 公路工程聚合物水泥基材料的耐久性能[J]. 交通运输工程学报,2005,5(4):32-37.
- LI Zhu-long, WU De-ping, ZHANG Ya-zhou. Durabilities of polymer cement materials in highway engineering[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2005,5(4):32-37.
- [8] 孙增智,申爱琴,胡长顺,等. 聚丙烯酰胺改性混凝土的弯曲疲劳特性[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(4):13-16.
- SUN Zeng-zhi, SHEN Ai-qin, HU Chang-shun, et al. Flexural fatigue property of polyacrylamide modified concrete [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005,25(4):13-16.
- [9] 姚红云,梁乃兴,孙立军,等. 羧基丁苯聚合物改性混凝土性能及其机理[J]. 建筑材料学报,2005,8(1):30-36.
- YAO Hong-yun, LIANG Nai-xing, SUN Li-jun, et al. Property study of SD622S polymer modified concrete and the analysis of modification mechanism [J]. Journal of Building Materials,2005,8(1):30-36.
- [10] 李 建,王培铭,王 茹. 丁苯乳液改性水泥砂浆的力学性能与体积密度[J]. 建筑材料学报,2005,8(6):705-709.
- LI Jian, WANG Pei-ming, WANG Ru. Mechanical properties and bulk density of styrene butadiene copolymer emulsion(SD622S) modified cement mortar [J]. Journal of Building Materials, 2005, 8(6):705-709.