

# 聚丙烯纤维混凝土路用性能研究

陈拴发 张登良

张洁 栾峰

(长安大学公路工程学院, 西安 710064)

(博赛特公司 B. S. T. TECH CO.)

**摘要** 本文研究了聚丙烯纤维混凝土的路用性能, 论述了聚丙烯纤维对道路混凝土的强度、脆性、抗渗性、耐磨性以及温度收缩与弹性模量等性能的影响, 探讨和分析了聚丙烯纤维改善混凝土性能的机理。试验结果表明, 道路混凝土中掺入纤维能明显降低混凝土的脆性, 提高混凝土的抗折强度和耐磨性能。

**关键词** 道路混凝土 聚丙烯纤维 路用性能

水泥混凝土路面主要是承受静载弯曲、动载疲劳以及热胀冷缩温度应力的作用。普通混凝土路面因其脆性特征, 抗拉、抗弯强度低, 阻裂限缩能力差, 按其材料性质进行路面设计必然是路面厚度大, 缩缝间距小, 使用寿命短等问题。为解决这些问题, 常常在普通混凝土中掺加钢纤维、玻璃纤维, 或在混凝土表层铺设金属扩张网等方法予以解决。80 年代中期, 美国军队工程师团, 为解决其军事工程的混凝土结构在炮弹、炸弹的轰击下不易碎裂的问题, 研制和开发了聚丙烯纤维混凝土, 聚丙烯纤维作为一种次要的混凝土加强系统, 比较成功地解决了普通混凝土的弯拉强度低、塑性收缩大等问题, 从而提高了混凝土的耐久性。本文通过对聚丙烯纤维改善道路混凝土路用性能的试验研究, 以其为聚丙烯纤维混凝土在道路混凝土方面的应用提供一定的参考依据。

## 1 原材料性质

水泥: 秦岭 425R 普通硅酸盐水泥

碎石: 1~3cm 石灰岩, 连续粒级, 级配良好;

砂: 瀛河砂, 级配良好, 细度模数 2.86;

减水剂: UNF-5 高效减水剂, 掺量 0.7%;

聚丙烯纤维: 采用美国网状聚丙烯纤维 (Fiber-mesh), 其物理学特征见表 1。

表 1 聚丙烯纤维的物理化学性能

吸水性	无
比重	0.91
纤维长度 (mm)	12~51
熔点 (°C)	160~170
燃点 (°C)	590
毒性	无
抗拉强度 (MPa)	560~770
弹性模量 (MPa)	3500
碱阻抗	碱防护

## 2 混凝土配合比

本配合比按重交通量水泥混凝土路面设计, 即设计抗折强度为 5.0MPa, 每立方米水泥混凝土各材料用量见表 2。

表 2 混凝土配合比 (kg/m<sup>3</sup>)

混凝土类型	水泥	砂	碎石	水	减水剂	聚丙烯纤维	坍落度 (mm)
普通混凝土	345	644	1274	132	2.42	0	23
聚丙烯纤维混凝土	345	644	1274	132	2.42	0.9	18

## 3 聚丙烯纤维混凝土路用性能评价

### 3.1 抗折强度与抗压强度

混凝土的强度试验是将养护到规定 28d 龄期的小梁试件 (150mm × 150mm × 550mm) 按三分点法测定其抗折强度 (加荷速度约为 0.2kN/s), 然后用 150mm × 150mm × 150mm 的试件进行抗压强度试验, 加荷速度为 8kN/s, 试验结果见表 3。

表 3 两种混凝土 28d 强度试验结果

混凝土类型	抗折强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)	压折比 (%)
普通混凝土	6.34	43.81	8.20
聚丙烯纤维混凝土	6.08	46.77	7.69

试验结果表明, 聚丙烯纤维混凝土的强度比同配合比的普通混凝土强度有所增长, 其中抗折强度增长了 13.86%, 抗压强度增长了 6.75%, 试验结果很明显地显示出聚丙烯纤维网能较大幅度地提高混凝土的抗折强度, 同时也使混凝土的脆性有所降低, 降幅达 6.24%。

### 3.2 抗渗性

试验按《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053-94) 中 T0528-94 的规定进行, 成型试件

尺寸为上口直径 175mm, 下口直径 185mm, 高 165mm, 同条件养护至 28d。试验在 HS-40 型混凝土抗渗仪上进行, 试验结果见表 4:

表 4 混凝土抗渗试验结果

混凝土类型	抗渗标号
普通混凝土	S <sub>4</sub>
聚丙烯纤维混凝土	S <sub>11</sub>

很显然, 聚丙烯纤维混凝土的抗渗性能优于普通混凝土, 其抗渗标号增长了 2 个标号, 即聚丙烯纤维混凝土的耐久性比普通混凝土有较大幅度提高。

### 3.3 耐磨性能

本试验采用 TMS-04 型水泥胶砂耐磨试验机, 并按《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053-94) 中 T0527-94 中的规定进行试验。试件尺寸为 150×150×70mm。混凝土养护至 28d 进行试验, 试验前首先将试件提前 1d 从养护室中取出, 自然干燥 12h, 放入 60℃ 的烘箱中继续烘 12h; 然后将试件放在带有花轮磨头的耐磨试验机的水平转盘上, 在 200N 的负荷下磨削 50 转, 并称量试验前后的质量, 按下式计算单位面积的磨耗量。两种混凝土的单位面积磨耗量见图 1。

$$G = \{(M_0 - M_1) / 0.0125\} \times 100$$

式中: G——单位表面积磨耗量(kg/m<sup>2</sup>);

M<sub>0</sub>——试件的原始质量(kg);

M<sub>1</sub>——试件磨削后的质量(kg);

0.0125——试件磨损面积(m<sup>2</sup>)。

试验结果表明, 聚丙烯纤维混凝土耐磨性优于普通混凝土, 耐磨性能提高了 27.13%。

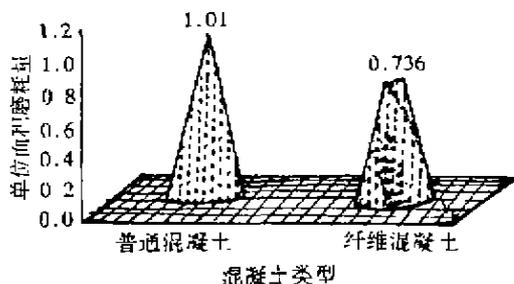


图 1 混凝土耐磨试验结果比较

### 3.4 温度收缩系数

温度收缩系数的测定是在 28d 龄期、尺寸为 150×150×550mm 的混凝土小梁试件上进行的。试验采用 BQ120-80AA 型电阻应变片, 在每个试件两侧分别平行粘贴, 然后将试件置于保温箱中, 从 30℃ 开始降低温度, 每降低 5℃ 保温 2h, 当温度达到

稳定状态时, 利用 DH3815 应变数据采集仪记录数据。测定的结果见表 5 和图 2。

由表 5 和图 2 可看出, 聚丙烯纤维混凝土的平均温度系数接近于普通混凝土, 反映出聚丙烯纤维混凝土在路面结构设计时可以与普通混凝土在接缝方面等同考虑。

表 5 聚丙烯纤维混凝土的温缩性能

混凝土类型	-20~0℃ (平均值)	0~30℃ (平均值)	-20~30℃ (平均值)
普通混凝土	7.837	12.688	11.407
聚丙烯纤维混凝土	7.444	12.793	10.771

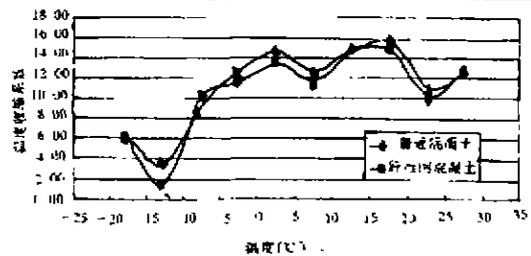


图 2 混凝土温度—温度收缩系数的关系

### 3.5 混凝土的抗折弹性模量

混凝土抗折弹性模量是路面厚度计算和板内应力验算的重要参数之一。本试验按照《公路工程水泥混凝土试验规程》中的“混凝土抗折弹性模量试验”方法进行。试件尺寸为 150×150×550mm, 试件龄期为 28d。试验前将 BQ120-80AA 型电阻应变片, 分别粘贴在每个试件抗折底面, 采用电阻应变仪记录数据。试验中采用 450mm 标距, 三分点加载, 加载时预压至 5kN, 然后采用循环加载方式, 直至应变稳定(前后循环应变读差 < 1×10<sup>-6</sup>)。试验结果见表 6。

表 6 混凝土抗折弹性模量试验结果

混凝土类型	弹性模量(×10 <sup>4</sup> MPa)	极限拉应变(×10 <sup>-4</sup> )
普通混凝土	3.81	1.40
聚丙烯纤维混凝土	3.81	1.60

注: 极限拉应变 = 抗折强度 / 抗折弹性模量。

从试验结果可以看出, 普通混凝土与聚丙烯纤维混凝土的抗折弹性模量基本持平, 但聚丙烯纤维混凝土的极限拉应变却增长了 13.86%, 说明聚丙烯纤维混凝土抵抗破坏的能力有较大的程度的增强。

### 4 聚丙烯纤维改善混凝土路用性能机理

综上所述, 在道路混凝土中掺入聚丙烯纤维后能显著改善混凝土的抗折强度, 提高耐磨性能, 降低

混凝土的脆性。究其原因在于聚丙烯纤维网的阻裂效应。

纤维网是由聚丙烯合成的薄膜条带,加入到混凝土原材料中,在搅拌机的搅拌下,受到水泥、砂石料的冲击混合,成束的纤维会被撕裂成大量单独的纤维,以三维方式均匀地无序分布在混凝土中。研究表明,当每  $m^3$  混凝土中掺入 0.9kg 的 19mm 长的纤维,经搅拌机充分拌和,大约可分散成 710 万根独立纤维,即平均每  $cm^3$  有 7 根,这些无序分布的纤维将使混凝土的性能有较大的改善。

混凝土在凝结硬化初期,由于泌水和沉降以及水泥-水系统最早期水化引起化学减缩,从而使混凝土产生塑性收缩。由于混凝土在塑性阶段的强度很低,当收缩遇到限制产生应力,不足抵抗收缩应力时,就可能产生裂纹。尤其是道路混凝土,当表面蒸发失水的速度过快,超过泌水的速率时,会造成毛细管负压,新拌混凝土的表面会迅速干燥而产生塑性收缩。此时,表面混凝土已相当稠硬,失去流动性,而强度却不足以抵抗塑性收缩受限制面产生的应力时,塑性收缩龟裂总是或多或少地早已潜伏于混凝土当中,从而影响道路混凝土的路用性能。掺入聚丙烯纤维后,大量均匀分布的纤维网限制了混凝土早期不同比重物质的相对运动,减少了混凝土的泌水与沉降,抑制了混凝土中毛细管通道的发展,阻止了塑性裂纹的引发,从而减少了裂缝源的数量,并使裂缝尺度变小,这就降低了裂缝尖端的应力强度因子,缓和了裂缝尖端受力集中程度;同时在受力过程中,又抑制了裂缝的引发与扩展,从而使混凝土的强度、抗渗性和耐磨性能提高。

另外,道路混凝土从无缺陷理想状态来讲,其抗压强度与抗折强度应同步增长,但实践中,混凝土的抗压强度的增幅远大于抗折强度,原因主在于混凝土内部存在不同尺度的微裂缝,而微裂缝对混凝土抗折强度的影响远大于抗压强度,其结果使混凝土的脆性增大。但随聚丙烯纤维的掺入,抑制了混凝土中微裂缝的引发和扩展,减小了裂缝尺度,从而使纤维混凝土的抗折强度提高幅度高于抗压强度,使混凝土的脆性有所降低。

## 5 结论

试验结果表明,与普通混凝土相比,聚丙烯纤维混凝土具有优良的物理力学性能:

(1)与普通混凝土相比,掺加  $0.9kg/m^3$  聚丙烯纤维混凝土不但具有较高的抗压强度,而且能较大幅度地提高抗折强度,使道路混凝土的脆性降低,同时丙烯纤维的掺入使得混凝土的耐磨性及抗渗性能提高,耐久性进一步得到保证;

(2)聚丙烯纤维混凝土的温缩系数略低于普通混凝土,因此在路面结构设计时可以与普通混凝土的接缝方面等同考虑;另外,尽管与普通混凝土相比具有相近的弹性模量,但聚丙烯纤维混凝土的极限拉应变却有较大幅度的增长,表现出良好的抵抗变形的能力。

## 参考文献

- 1 俊毅,陈家华.尼龙纤维增强混凝土的试验研究.混凝土与水泥制品,1998(5)
- 2 方福林.路面工程.人民交通出版社,1990
- 3 华渊,曾艺.纤维混杂效应的试验研究.混凝土与水泥制品,1998(4)

## The Study of the Road Performance of the Polypropylene Fiber Concrete

**Abstract** In this paper, the road performance of polypropylene fiber concrete is studied, the influence of the polypropylene fiber on the strength, brittleness, permeability resistance, abrasion resistance, temperature shrinkage and elastic modulus of the concrete are discussed and the mechanism which polypropylene fiber can improve the concrete is also analyzed. Test and analysis results indicate that mixing fiber into road concrete can decrease the brittleness and promote the flexural strength and abrasion resistance.

**Keyword** Road concrete Polypropylene fiber Road performance