

文章编号:1007-4112(2001)02-0015-03

## 聚丙烯纤维混凝土弯曲疲劳性能

陈拴发

(长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:**将聚丙烯纤维掺入普通道路混凝土可以大幅度提高混凝土的弯曲疲劳等路用性能,并通过试验建立了聚丙烯纤维混凝土的疲劳方程。结果表明,聚丙烯纤维不但能使混凝土的强度提高,更主要的是在大应力作用下,可成倍地提高混凝土的弯曲疲劳寿命。

**关键词:**聚丙烯纤维;水泥混凝土;弯曲疲劳特性

**中图分类号:**U414.18 **文献标识码:**A

## The Concrete Flexural Fatigue Property by Adding Polypropylene Fiber

CHEN Shuan-fu

(College of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Adding polypropylene fiber to cement concrete can increase the concrete pavement performance, improve the flexural fatigue property. The flexural fatigue model of polypropylene fiber concrete is established through tests. Test and analysis results indicate that polypropylene fiber can not only reinforce the strength of concrete, but also obviously promote the flexural fatigue life by the great stress.

**Key words:** polypropylene fiber; cement concrete; flexural fatigue property

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<sup>[1]</sup>。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<sup>[1,2]</sup>。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。20世纪80年代中期,美国军队工程师团,为解决其军事工事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。本文将通过采用聚丙烯纤维来进行道路混凝土的疲劳寿命的试验研究,以期对聚丙烯纤维混凝土的结构尺寸设计、疲劳寿命预测以及使用安全性评估提供一定的参考依据。

## 1 原材料配比及试验方法

## 1.1 原材料

水泥:秦岭 425R 普通硅酸盐水泥,物理力学性质符合规范要求。

碎石:1~3 石灰岩,连续粒级,级配良好。

砂:灞河砂,级配良好,细度模数 2.86。

减水剂:UNF-5 高效减水剂。

聚丙烯纤维:采用美国网状聚丙烯纤维(Fibermesh),其物理力学特征见表 1(见下页)。

## 1.2 混凝土配合比

本配合比按重交通量的水泥混凝土路面设计,即设计抗折强度为 5.0 MPa,每立方米水泥混凝土各材料用量及相应的坍落度见表 2(见下页)。

## 1.3 试件制作与养护

本试验混凝土试件尺寸采用 150 mm · 150 mm

收稿日期:2000-11-02

作者简介:陈拴发(1963-),男,陕西长武人,长安大学讲师

表 1 聚丙烯纤维的物理化学性能

吸水性	无
密度	0.91
纤维长度/mm	12~51
熔点/℃	160~170
燃点/℃	590
毒性	无
抗拉强度/MPa	560~770
弹性模量/MPa	3500

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

< 150 mm 的立方体试件和 150 mm × 150 mm × 550 mm 的小梁试件,按表 2 配合比分别配制普通混凝土与聚丙烯纤维混凝土,强制式搅拌机搅拌,试件经振动成型后 24 h 脱模,标养至 28 d 龄期测定其抗折强度与抗压强度,并在 28 d 后分别进行弯曲疲劳试验。

#### 1.4 疲劳试验方法

疲劳试验机采用美国 MTS(850 型)电液伺服式疲劳试验机,试件按三分点法加荷(图 1)。试验前先对试件反复预加 5 kN 荷载,以消除因接触不良而造成的误差。

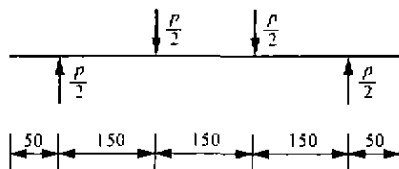


图 1 疲劳试验荷载位置图

(1)加载模式:应力控制。

(2)加载波形和加载频率:加载波形采用连续正弦波形(图 2)。试验中为加快速度,相邻波形间未插入间隙时间;同时为避免长时间试验可能出现零点漂移而引起的脱空现象,从而对试件产生冲击作用,

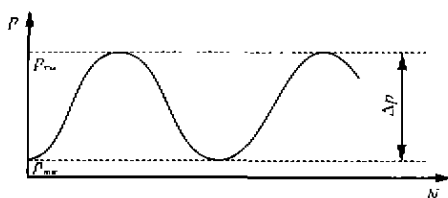


图 2 疲劳试验加载示意图

本试验设置正弦波荷载的最小荷载  $P_{min}$  为最大荷载  $P_{max}$  的 10%,即荷载循环特征值  $\rho = P_{min}/P_{max} = 0.1$ 。加载频率选用 10 Hz,相当于车辆行驶速度 60 km/h。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 抗折强度与抗压强度

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

表 3 两种混凝土 28 d 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	5.34	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普通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%。

### 2.2 弯曲疲劳特性

聚丙烯纤维混凝土的应力比与疲劳寿命间的关系应具有与普通混凝土相似的形式<sup>[5,6]</sup>,即

$$\sigma/s = \alpha - \beta \lg N_f$$

式中: $\sigma$  为疲劳强度(MPa); $s$  为静载一次作用下的极限弯拉应力(MPa); $\alpha$ 、 $\beta$  为回归参数,由试验条件、加载方式及材料特性等因素决定; $N_f$  为疲劳破坏次数。

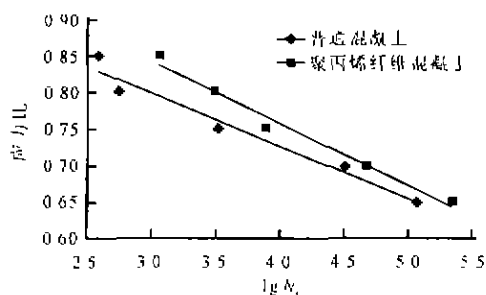
本试验对疲劳方程的建立所采用的方法正是基于这一点而进行的。表 4(见下页)列出了普通混凝土与聚丙烯纤维混凝土的弯曲疲劳试验结果。由于混凝土属于非均质材料,弯曲疲劳试验中的数据具有较大的分散性,即在同一应力比作用下, $m$  个相同试件可能会得到  $m$  个完全不同的疲劳寿命,故在数据分析中采取适宜的技术处理是必要的。本研究采用 WEIBULL 建议的方法<sup>[5]</sup>。表 4 即是经过 Weibull 法处理后具有 90% 存活率的弯曲疲劳数据。

图 3(见下页)表示普通混凝土与聚丙烯纤维混凝土的应力强度比与弯曲疲劳次数关系曲线。

从试验结果可以看出,聚丙烯纤维混凝土的回归参数  $\alpha$  值明显高于普通混凝土,提高了 8.34%,

表4 混凝土抗折疲劳试验结果

混凝土类型	应力比	疲劳次数	疲劳方程
普通混凝土	0.85	386	$\sigma/s = 1.0143 - 0.0718 \lg N_f$ $r = 0.980$
	0.80	554	
	0.75	3312	
	0.70	31443	
	0.65	113671	
聚丙烯纤维混凝土	0.85	1139	$\sigma/s = 1.0989 - 0.0854 \lg N_f$ $r = 0.990$
	0.80	3076	
	0.75	7666	
	0.70	47286	
	0.65	216500	

图3 聚丙烯纤维混凝土与普通混凝土  $\sigma/s - \lg N_f$  的关系曲线

说明聚丙烯纤维混凝土的抗折疲劳性能增强;同时也可以看出,聚丙烯纤维混凝土的回归参数  $\beta$  值也明显高于普通混凝土,提高了 18.94%,这说明聚丙烯纤维混凝土的疲劳曲线变陡,疲劳寿命随应力变化的敏感程度也有所增加。另外,通过建立的弯曲疲劳方程计算两种混凝土的理论疲劳寿命可以发现,随应力比的增大,聚丙烯纤维混凝土的疲劳寿命将成倍的增长(见表5),即聚丙烯纤维混凝土在重交通荷载作用下具有优良的使用寿命;从表6同样可以看出,当  $N_f = 10^6$  时,混凝土的疲劳强度也有较大幅度的提高。由此可见,聚丙烯纤维使混凝土的疲劳性能有所提高,但同时也提高了混凝土的应力敏感程度。

表5 混凝土理论抗折疲劳寿命比较

应力比	理论疲劳次数		疲劳寿命增长率
	普通混凝土	聚丙烯纤维混凝土	
0.85	194	821	323.2%
0.80	965	3162	227.7%
0.75	4797	12175	153.8%
0.70	23847	46877	96.6%
0.65	118556	180485	52.2%

表6 当  $N_f = 10^6$  时混凝土各组的应力比及疲劳强度

混凝土类型	应力比 $\sigma/s$	疲劳强度/MPa
普通混凝土	0.5835	3.27
聚丙烯纤维混凝土	0.5864	3.57

### 3 结 语

(1)与普通混凝土相比,掺加  $0.9 \text{ kg/m}^3$  聚丙烯纤维的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。

(2)更为突出的是,聚丙烯纤维混凝土具有优良的弯曲疲劳性能,尤其在高应力比下,与普通混凝土相比,疲劳寿命可成倍增长。

#### 参考文献:

- [1] 孙伟,高建明. 路用钢纤维混凝土抗折疲劳特性研究[J]. 东南大学学报, 1991, (2).
- [2] 方福森. 路面工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1990.
- [3] 华渊,张少波,姜雅清. 混杂纤维混凝土弯曲疲劳性能的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 1997, (4).
- [4] 陆善后,施钟毅,林贤熊. 钝削钢纤维混凝土疲劳性能[J]. 建筑材料学报, 1998, (4).
- [5] WEIBULL W. A statistical theory of strength of materials [J]. Royal Academy England Science, 1939, (15).

[责任编辑 孙守增]