

## 聚丙烯纤维混凝土的耐磨损及抗冲击性能研究

刘卫东<sup>1,2</sup>, 王依民<sup>1</sup>

(1. 东华大学纤维材料改性国家重点实验室, 上海 200051; 2. 上海理工大学城建与环境学院, 上海 200093)



刘卫东

**[摘要]** 针对路面混凝土的性能要求, 重点对聚丙烯纤维混凝土进行了耐磨损及抗冲击试验, 讨论了掺入聚丙烯纤维对混凝土抗冲击、耐磨损性能的影响, 并从多个方面分析了聚丙烯纤维混凝土磨损试验中的表现特征, 反映出聚丙烯纤维混凝土的抗冲击、耐磨损性能, 为聚丙烯纤维混凝土性能研究提供了参考依据。

**[关键词]** 聚丙烯纤维混凝土; 抗冲击性能; 耐磨损性能

**[中图分类号]** TU528.572 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1002-3550(2005)01-0043-03

## Resistances of impact and abrasion for polypropylene fiber concrete

LIU Wei-dong<sup>1,2</sup>, Wang Yi-min<sup>1</sup>

(1. Key Lab. of Fiber Materials Modifiacton, Donghua University, Shanghai 200051, China;

2. City Construction &amp; Environment Institute, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** For meeting the performance demands of pavement concrete, key trials for impact resistance and abrasion resistance to polypropylene fiber concrete were taken. It discussed the polypropylene fiber's influencing, and analyzed its features in the trials in various aspects to supply references for utilizing.

**Key words:** polypropylene fiber concrete; impact resistance; abrasion resistance

## 1 前言

道路混凝土的破坏往往是由于长期经受往复冲击动载及循环磨损造成的, 因此在高速公路、机场跑道和桥面铺装等混凝土材料的应用工程中, 抗冲击、耐磨损是混凝土材料很重要的设计指标, 必须从材料性能上解决在重复动荷载作用下的抗冲击和耐磨损性能。混凝土材料的动载疲劳过程是在反复冲击荷载的作用下, 裂缝诱发、扩展、恢复这样不断循环的过程, 在每一循环过程中的损伤程度和持续时间(寿命)主要取决于混凝土材料的结构特性, 即原发裂缝的尺寸和数量及在反复冲击荷载作用下阻止裂缝扩展的能力。混凝土的磨损被解释为是一个断裂过程<sup>[1]</sup>, 即表面材料经过裂纹形成、扩展、失稳扩展直到碎屑脱离基体这一过程, 它与材料本身、磨损方式及条件有关, 分为磨粒磨损和疲劳磨损, 在混凝土路面上移动车轮的冲击、挤压, 使坚硬颗粒产生剪切与犁削作用导致磨粒磨损, 而疲劳磨损是由于混凝土表面不断承受着压应力和拉应力的循环作用, 微裂缝等原发缺陷则成为磨损时周期性扰动力的疲劳裂纹引发源, 最终引起表层的局部断裂、细骨料的脱落而导致结构破坏。

聚丙烯纤维强度高, 耐酸、碱、盐等化学腐蚀, 且价格低廉, 施工工艺简单, 可有效地抑制混凝土的裂

缝, 改善混凝土的抗渗、抗冻等耐久性能, 提高混凝土的抗拉、抗弯强度, 近年来在国内外工程界得到广泛应用。然而, 对于聚丙烯纤维混凝土的耐磨损及抗冲击性能方面的研究, 学术界尚涉及不多, 笔者重点进行了聚丙烯纤维混凝土耐磨损及抗冲击试验, 分析了磨损试验过程中聚丙烯纤维混凝土的特征表现状况, 主要集中研究耐磨损性能与材料参数之间的相关性及其磨损机理, 分析混凝土强度与其耐磨性之间的对应关系, 探讨聚丙烯纤维混凝土抗冲击、耐磨损性能, 可供深入进行聚丙烯纤维混凝土性能研究方面参考。

## 2 原材料及其配合比

水泥: 525号普通硅酸盐水泥, 集料为中砂, 细度模数2.7~3.2, 石子粒径为1cm~2cm, 聚丙烯纤维由上海方大特种纤维有限公司生产<sup>[1]</sup>, 制作聚丙烯纤维是利用熔融聚丙烯在通过细小喷丝孔径时具有的“附壁”效应, 改性剂采用分子带羟基的亲水助剂附着在纤维表面, 使纤维亲水性大大加强, 从而有利于增强其与混凝土界面的结合, 纤维2型是在纤维1型基础上添加特制改性剂, 其抗拉强度分别为285.2MPa和119.8MPa, 伸长率分别为50%和98%, 直径分别为62 $\mu$ m~69 $\mu$ m和32 $\mu$ m~34 $\mu$ m, 聚丙烯纤维混凝土试件参照以往优化的配合比制作, 1型和2型混用时掺量各占50%。如表1所示。

**[收稿日期]** 2004-10-08

**[基金项目]** 本项目得到纤维材料改性国家重点实验室开放基金资助

聚丙烯纤维的弹性模量较低,其断裂伸长率大于混凝土的断裂伸长率,故纤维的掺入提高了混凝土的延性,改善了混凝土的变形性能,混凝土裂缝扩展时,需要消耗能量来克服纤维对裂缝的阻止作用,它对提高混凝土裂后的承载能力起到很大作用,纤维混凝土极限引伸率和弯曲韧性指数的提高,使其弹性模量降低,混凝土变形性能提高,施工时便于混凝土平面板的浇筑成型。

表1 聚丙烯纤维混凝土的配合比  $\text{kg}/\text{m}^3$

材料	分组					
	A	B	C	D	E	F
纤维种类	①	①	②	②	①+②	0
水泥	400	400	400	400	400	400
砂子	900	900	900	900	900	900
石子	900	900	900	900	900	900
水	200	200	200	200	200	200

注:①为东华1型单丝聚丙烯纤维;②为东华2型聚丙烯纤维。

### 3 抗冲击性能试验与结果

采用落锤法进行抗冲击试验,试验方法见图1。试件尺寸为 $\Phi 150\text{mm} \times 64\text{mm}$ ,标准养护28天后进行试验。冲击锤2.0kg,下落高度 $h=900\text{mm}$ ,冲击锤中线与试件中心线对齐,测试时,冲击锤自由落下。依据ACI544委员会推荐的方法计算冲击能量。

$$W = n \cdot mgh \quad (1)$$

式中  $W$ ——冲击能量,  $\text{N} \cdot \text{m}$ ;  
 $n$ ——锤击次数;  
 $h$ ——冲击锤下落高度,  $\text{m}$ ;  
 $m$ ——冲击锤重量,  $\text{kg}$ ;  
 $g$ ——重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ 。

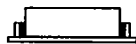


图1 抗冲击试验示意图

试验时,将2kg重的落锤从900mm高度自由落下,当试件出现裂缝时,记录冲击次数,试验计算结果见表2。

测试结果表明:聚丙烯纤维的掺入大大提高了混凝土的抗冲击性能,纤维掺量为 $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ 时,抗冲击能力提高近一倍,纤维掺量为 $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ 时,混凝土抗冲击能力提高三倍以上,纤维掺量为 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 时,混凝土抗冲击能力开始呈下降趋势,可见,对于聚丙烯纤维混凝土抗冲击能力的提高存在一个最佳纤维掺量值。

表2 聚丙烯纤维混凝土抗冲击试验结果

编号	纤维掺量 $/(\text{kg}/\text{m}^3)$	锤击次数 /次	锤击能量 $/(\text{N} \cdot \text{m})$
E	1.2	48	846.7
B	0.9	44	776.2
C	0.9	61	1076.0
D	0.6	18	317.5
F	0	10	176.4

### 4 耐磨损性能试验与分析

#### 4.1 试验标准与设备

本试验参照国家标准《公路工程水泥混凝土试验规程》(JGJ053-94)中,混凝土抗磨性试验(T0527-94)进行聚丙烯纤维混凝土的抗磨损试验。试件尺寸由 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 立方体标准试块,切割成尺寸: $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 70\text{mm}$ ,按表1配合比每组制作四个试件,其纤维体积掺量均为 $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ ;标准养护28天干燥后测试。

采用TMS-04型磨损试验机,磨轮材料为20MnVK钢,经淬火后 $400^\circ\text{C}$ 回火处理,钢轴转速为200转/分,最大正应力为 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

#### 4.2 测试结果

试验时刷净表面浮尘后称重记下相应质量 $m_1$ ,将试件放至耐磨耗试验机上,用夹具将其紧固,在200N负荷下磨50转,然后取下试件称重记下相应质量 $m_2$ 。整个磨损过程应使磨下的粉尘及时吸走,每组花轮刀片只进行一组试件磨耗试验,进行下一组磨耗时更换新的花轮刀片。聚丙烯纤维混凝土磨耗量按式(2)计算,以试件磨损面上单位面积的磨耗量作为评定聚丙烯纤维混凝土耐磨性的相对指标,其结果见表3。

$$G = \frac{(m_1 - m_2)}{0.0125} \quad (2)$$

式中  $G$ ——单位面积的磨耗量( $\text{kg}/\text{m}^2$ );

$m_1$ ——试件的原始质量;

$m_2$ ——试件磨损后的质量。

表3 聚丙烯纤维混凝土磨耗量计算结果

项目	编组					
	F	A	B	C	D	E
纤维掺量/ $(\text{kg}/\text{m}^3)$	0	0.6	0.9	0.9	0.6	0.9
磨耗量/ $(\text{kg}/\text{m}^2)$	3.20	1.80	1.76	1.32	1.48	1.71

注:E组为1型和2型混用其掺量各占50%;F组为普通混凝土。

由表3试验结果分析表明:聚丙烯纤维混凝土的抗磨性与纤维的掺量有关。在一定范围内的聚丙烯纤维掺量越大,则混凝土的抗磨性能越好,磨耗量越低,如A、B两组1型纤维掺量增加,磨耗量降低;D、C

两组 2 型纤维掺量增加, 磨耗量降低更多, 可见加入 2 型聚丙烯纤维的混凝土其耐磨性更优。

聚丙烯纤维混凝土耐磨机理分析<sup>[2]</sup>: 聚丙烯纤维混凝土除了组成材料水泥浆体和粗细骨料对耐磨性的贡献外, 纤维的阻裂效应, 使混凝土在磨损过程中始终保持其整体性, 纤维的连结作用又使骨料之间不致于破损, 保证了聚丙烯纤维混凝土内部结构的连续性, 而材料的整体性直接增强了其抵抗微切削磨损破坏的能力, 因此聚丙烯纤维掺入混凝土中, 对于提高混凝土本身的耐磨性有很大帮助。

#### 4.3 龄期和纤维掺量对材料耐磨性能的影响

在试件养护期间分别取不同龄期以及不同纤维掺量的试块, 进行耐磨性能对比试验。图 2 表示不同试样磨耗量与磨损时间的关系曲线<sup>[1]</sup>, 其中曲线 A 龄期为 7 天, 曲线 A' 龄期为 28 天; 曲线 B 龄期为 7 天, 曲线 B' 龄期为 28 天(掺量均为  $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ , 纤维为 1 型); 而曲线 C 纤维掺量为  $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ , 曲线 D 纤维掺量为  $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ (龄期均为 28 天, 纤维为 2 型)。比较曲线 A 与 A' 和 B 与 B', 由此可以看到: 龄期对纤维增强混凝土材料抗磨损性能都有明显影响, 龄期长的试样磨耗量都明显小于龄期短的试样, 可见龄期增长的同时混凝土强度增加, 其抗磨能力也就相应提高。

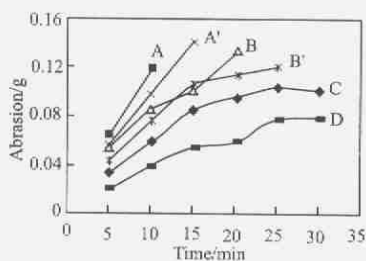


图 2 不同试样磨耗量随时间的变化

从 C 和 D 两曲线还可看到, 聚丙烯纤维混凝土在相同磨损时间下, 纤维掺量多的试块磨耗量均比纤维掺量少的试块小, 且纤维掺量增加(比较曲线 C 和 D)磨耗量逐渐下降, 其减小量在 20% 到 40% 之间, 这说明聚丙烯纤维的加入显著地增加了材料的耐磨损性能。通过对聚丙烯纤维作表面改性处理的 2 型, 显著改善了纤维与水泥基体的粘结力, 试验结果表明改性聚丙烯纤维与混凝土基体有更强的界面粘结作用, 使聚丙烯纤维混凝土的耐磨损性能又有提高。

#### 4.4 磨损表面的形态学分析

用高倍显微放大镜及 400 万像素数码相机, 观测和拍照聚丙烯纤维混凝土磨损过程, 可以发现: 普通混凝土在磨损试验过程中常常出现整块水泥剥落, 随后出现裂缝, 迅速导致整体破碎, 试块不能继续承受磨损荷载, 磨损中整块水泥基体剥落而留下大空洞。从图 3 和图 4 的照片中可以看出<sup>[3]</sup>, 对于聚丙烯纤维混凝土而言, 随着磨损试验的继续, 基体发生裂缝时,

常见有纤维桥架裂缝, 这种桥架作用一方面阻碍裂缝的继续发展, 另一方面纤维也能承受部分载荷, 增大了基体材料的延性, 从而缓解了混凝土材料的破坏程度。随后出现的现象是部分水泥基体从试块中分离, 然而纤维的牵制作用能使其继续停留在试块表面, 承担摩擦荷载。

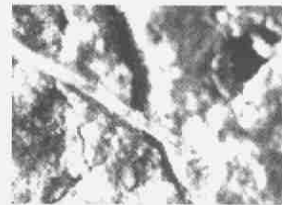


图 3 纤维对裂缝的阻碍作用图



图 4 纤维仍能分离的水泥碎块连接

## 5 结语

混凝土的强度是决定其耐磨性的主要因素, 这从聚丙烯纤维混凝土不同龄期所表现出不同强度的耐磨状况可以看出, 本研究所用表面改性的 2 型聚丙烯纤维性能较好, 它与水泥基体有较强粘结力, 磨损过程中纤维从水泥基体中脱离需要消耗足够的能量, 从而提高了混凝土材料的耐磨损性能及抗冲击性能。总之, 聚丙烯纤维的掺入使混凝土取得显著的增韧和阻裂效应, 纤维不仅抑制了混凝土裂缝的引发和扩展, 而且保证了混凝土基体内部的连续性和整体性, 使得聚丙烯纤维混凝土即抗冲击破坏又具有良好的耐磨损性能。

#### [参考文献]

- [1] 张雪华, 姜正平, 陈鹰. 机场跑道耐冲磨混凝土的研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2002, 34(2): 114-120.
- [2] 秦鸿根, 孙伟. 钢纤维混凝土耐磨特性及机理分析[J]. 混凝土与水泥制品, 1993, (4): 10-13.
- [3] 王依民, 廖宪廷, 何元, 等. PP 纤维水泥复合材料的界面行为一耐磨性能研究[J]. 建筑材料学报, 2000, (2): 324-328.

[作者简介] 刘卫东, 1961 年生, 男, 山东人, 研究员, 从事建筑材料及结构加固与检测科研工作, 发表论文 40 余篇。

[单位地址] 上海市延安西路 1882 号(200051)

[联系电话] 021-62379309; 13671988257