

# 聚丙烯纤维混凝土在路桥中的应用

单俊鸿<sup>1,2</sup>, 周明凯<sup>1</sup>, 张美强<sup>3</sup>

(1. 武汉理工大学硅酸盐材料工程教育部重点实验室, 湖北 武汉 430070;

2. 河北工程学院;

3. 中国新型建筑材料工业杭州设计研究院, 浙江 杭州 310003)

**摘要:** 介绍路桥用聚丙烯纤维的主要技术参数, 阐述聚丙烯纤维在提高混凝土抗裂性、抗渗性、抗冲击性、抗冻融性和抗疲劳性中的作用, 并列了一些国内外聚丙烯纤维混凝土在路桥工程中的应用实例

**关键词:** 聚丙烯纤维; 混凝土; 路桥

**中图分类号:** TU 528.572

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-702X(2004)08-0020-03

## 0 前言

聚丙烯纤维混凝土是在普通混凝土的拌合物中加入少量短切聚丙烯单丝纤维或聚丙烯膜裂纤维而制成的水泥基复合材料。20世纪70年代初, 聚丙烯单丝纤维(直径0.22~0.25 mm)开始用于某些混凝土制品中; 20世纪70年代中期, 美国开发成功聚丙烯膜裂纤维(fibrillated polypropylene fibre), 这是一种直径为2 mm以上的束状纤维, 在与混凝土拌合过程中束内纤维展开成为相互牵连的网络; 20世纪80年代初, 美国的一些公司通过表面处理技术, 开发成功可均匀分布于混凝土中的直径为23~62  $\mu\text{m}$ 的聚丙烯单丝纤维, 在混凝土中掺入纤维的体积率为0.05%~0.2%时, 即有明显的抗裂、增韧、抗渗、抗冲击、抗冻融和抗疲劳等优点<sup>[1]</sup>。这些优良的性能在路桥等工程中得到了大量应用, 并取得了比较好的效果。聚丙烯纤维混凝土的研制在我国起步较晚, 在路桥等工程中大面积推广应用还是近几年的事情。本文阐述聚丙烯纤维混

土的一些特点和主要性能, 并列其在路桥工程中的应用。

## 1 聚丙烯纤维与聚丙烯纤维混凝土

### 1.1 聚丙烯纤维

目前, 在路桥工程中采用的聚丙烯纤维大多是经改性处理的束状聚丙烯单丝纤维, 外观为白色, 手感柔滑, 半透明, 搅拌后在混凝土中即成为一根根独立存在的单丝, 其主要技术参数见表1。

表1 路桥用聚丙烯纤维的主要技术参数

项目	特征参数	项目	特征参数
纤维类型	束状单丝	安全性	无毒
密度/( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	0.91	吸湿率/%	<0.1
吸水性	无	抗酸碱性	极高
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	约160	燃点/ $^{\circ}\text{C}$	约580
导热性	极低	分散性	好
导电性	极低	弹性模量/MPa	3800
拉伸极限/%	15	纤维长度/mm	12~19
抗拉强度/MPa	>500	抗老化性	极好
纤维直径/ $\mu\text{m}$	23~62	抗低温性( $-78^{\circ}\text{C}$ )	性能无明显变化

聚丙烯纤维强度高, 能耐酸、碱、盐等化学腐蚀。它密度小, 成本低, 只要掺入混凝土体积的0.05%~0.2%(相当于每1

收稿日期: 2004-03-24

作者简介: 单俊鸿, 男, 1964年生, 江苏镇江人, 副教授, 博士研究生。  
地址: 武汉市珞狮路122号, 电话: 027-87641294

(5) 在保证基体能够密实成型的情况下, 采取相应的措施进一步提高基体密实程度, 可以获得具有良好耐冲击能力的钢纤维RPC。因此, 开发研制RPC, 对于提高抗爆工程、抗震工程等动荷载作用下工程的安全可靠性, 具有十分重要的意义

## 参考文献:

[1] RICHARD P. CHEYREZY M. Composition of reactive powder

concrete[J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25(7): 1501-1511.

[2] Bonneau O, Poulin C, Dugat J, Richard P. Reactive Powder Concrete: From Theory to Practice. Concrete International, 1996, (4): 47-49.

[3] 何峰, 黄政宇. 200~300 MPa 活性粉末混凝土(RPC)的配制技术研究. 混凝土与水泥制品, 2000, (4): 3-7.

[4] 谢友均, 刘宝举, 龙广成. 掺超细粉煤灰活性粉末混凝土的研制. 建材科学学报, 2001, (3): 280-284. ▲

m<sup>3</sup>混凝土中掺0.45~1.8 kg纤维),即可有效抑制混凝土的塑性开裂,明显改善混凝土的物理力学性能。

## 1.2 聚丙烯纤维混凝土

聚丙烯纤维混凝土是一种物理性能和力学性能优良的新型水泥基复合材料<sup>[2]</sup>,它与普通的素混凝土相比,具有较高的抗裂、抗拉、抗折、韧性、抗冲击、耐磨、抗渗、抗冻融和抗疲劳、耐久等性能,且体积密度比普通混凝土小2%左右。聚丙烯纤维在混凝土中的掺量很小,所以聚丙烯纤维加入混凝土后增加的成本有限,但它所带来的效益远远超过其成本的增加。在混凝土中掺加聚丙烯纤维具有以下作用:

### 1.2.1 减少或消除裂缝

据美国加州·韦尔瑞克工程及检测公司进行的聚丙烯砂浆试件抗裂比较试验表明,在每1 m<sup>3</sup>砂浆中掺入1.2 kg以上的聚丙烯纤维后,可见裂缝的消除率几乎可达100%,且在同体积掺量下,较长的纤维有更好的抗裂效果。同济大学的马一平等<sup>[3-4]</sup>的研究表明,纤维直径越小、长度越长,其砂浆抗塑性收缩开裂性能越高,当聚丙烯纤维体积掺量不小于0.1%时,可完全阻止水泥砂浆塑性干缩开裂现象的出现。石家庄铁道学院的华渊等<sup>[5]</sup>在研究聚丙烯纤维增强混凝土的断裂行为时发现,当聚丙烯纤维混凝土梁在弯曲应力的作用下,荷载很小时,见不到宏观裂纹,当荷载增至一定值时,出现可视裂纹,但裂纹间距小,裂纹密,呈多点开裂。这一结果表明,聚丙烯纤维可以将“裂缝分细”<sup>[6]</sup>。聚丙烯纤维在混凝土中的掺量尽管很小,但它可减少或消除混凝土的塑性收缩裂缝、干缩裂缝、温度收缩裂缝和碳化收缩裂缝。这一点在路桥工程中已被大量证明。这主要是由于聚丙烯纤维在混凝土中呈三维乱向分布,且数量大<sup>[7]</sup>(每1 cm<sup>3</sup>混凝土中约有20条纤维丝),可降低微裂缝尖端的应力集中,防止微裂缝扩展,并且防止连通裂缝的出现。同时均布的大量纤维阻止混凝土的离析,提高了混凝土的整体均匀性,不致发生各层的不均匀收缩,从而减少混凝土的内部裂缝。

### 1.2.2 提高混凝土的抗渗性

从上面聚丙烯纤维能减少或消除混凝土裂缝,并且能将“裂缝分细”这一结论来看,聚丙烯纤维可明显改善混凝土的抗渗漏性能。国家建筑材料测试中心按GBJ 82—85进行的杜拉纤维(美国生产的聚丙烯纤维中的一种)混凝土抗渗试验结果如表2所示。

表2 抗渗试验结果

项 目	素混凝土	V <sub>f</sub> =0.05%的杜拉纤维混凝土
渗水高度/mm	50	15

注:水压为1.2 MPa。

表2结果显示,添加聚丙烯纤维后,混凝土的抗渗性能提高了70%。大连理工大学的戴建国等人对体积含量分别为

0.05%、0.1%、0.3%的网状聚丙烯纤维混凝土、素混凝土的抗渗性能在1.3 MPa水压下作了试验,结果表明:掺加0.05%、0.1%的混凝土抗渗能力分别比素混凝土提高40%和48%,而掺加0.3%的提高较少(约8%)<sup>[8]</sup>。这些试验表明:混凝土中掺加适量聚丙烯纤维后,可增加混凝土的致密性,使聚丙烯纤维混凝土透水性降低,混凝土内水分、Cl<sup>-</sup>离子、空气等的转移速率降低,从而提高了混凝土的抗渗能力。

### 1.2.3 提高混凝土的抗冲击性

美国的South Dakota 矿业与工程学院按照美国混凝土学会(ACI)544号委员会规定的落重测试方法对掺和不掺杜拉纤维混凝土的抗冲击性进行了试验,结果见表3。

表3 杜拉纤维混凝土落重法抗冲击测试结果<sup>[9]</sup>

项 目	素混凝土	掺杜拉纤维混凝土		
		V <sub>f</sub> =0.05%	V <sub>f</sub> =0.1%	V <sub>f</sub> =0.2%
初裂冲击次数	30	89	103	148
破坏冲击次数	37	98	114	166

天津市市政工程研究院的曹诚等人也用落重法对聚丙烯纤维混凝土与素混凝土的抗冲击性进行了对比实验,其结果见表4。

表4 聚丙烯纤维混凝土落重法抗冲击试验结果<sup>[10]</sup>

项 目	素混凝土	掺聚丙烯纤维混凝土	
		V <sub>f</sub> =0.1%	V <sub>f</sub> =0.2%
初裂冲击次数	52	293	283
破坏冲击次数	57	306	302

西班牙Eduardo Torroja研究院的F·Puertas等人对水泥砂浆的实验研究表明,掺有0.5%体积率聚丙烯纤维的水泥砂浆的抗冲击次数为23次,而未掺的只有3次<sup>[11]</sup>。这也表明:聚丙烯纤维的掺入对砂浆的抗冲击性有显著提高。

以上试验表明,掺入聚丙烯纤维有助于提高混凝土构造物吸收冲击能量。这是由于聚丙烯纤维组织为纤化网状,与混凝土基体的粘接强度高,当应力自基体传递给聚丙烯纤维时,纤维因变形而消耗能量。再是由于聚丙烯纤维具有良好的延性,极限变形值很大,混凝土一旦开裂,聚丙烯纤维可以阻止混凝土中裂缝的迅速发展。因此,聚丙烯纤维的存在大大提高混凝土的冲击韧性。这一特性对于经常受到冲击疲劳作用的路桥工程中的混凝土结构非常有用。

### 1.2.4 提高混凝土的抗冻融性

抗冻融性是混凝土长期性能和耐久性的重要指标,也是在寒冷地区修筑路桥工程必须考虑的指标。国家建筑材料测试中心按GBJ 82—85对2种不同体积掺量的杜拉纤维混凝土的抗冻性能进行了测试。试验表明,掺入杜拉纤维可有效提高混凝土的抗冻融性能,其结果见表5。

表5 50次冻融循环后混凝土抗压强度比变化比较

项 目	无纤维混凝土	$V_f=0.05\%$ 掺量 混凝土	$V_f=0.1\%$ 掺量 混凝土
	抗压强度比变化/%	-0.63	-0.4

董建伟等<sup>[12]</sup>人的研究表明,加入少量聚丙烯纤维的混凝土经反复冻融100次后强度仍然合乎要求。所以在高寒地区和正负温度变化较大地区的路桥施工中,掺入聚丙烯纤维可以改善工程质量,延长路桥的使用寿命。

### 1.2.5 提高混凝土的抗疲劳性

疲劳性能是设计路桥工程时必须考虑的力学指标,也是确定道路、桥面铺装层厚度及使用年限的重要约束条件。Ramakrishnan等将聚丙烯纤维掺入混凝土中用三点加荷法进行抗疲劳试验,经200万次循环后,素混凝土可承受的最大应力为其抗折强度的50%,而掺有0.3%聚丙烯纤维的混凝土可承受的最大应力为其抗折强度的65%,这说明掺入聚丙烯纤维有助于混凝土抗疲劳强度的提高。

抗裂、抗渗、抗冲击性、抗冻融、抗疲劳等性能,是路桥工程建设时重点考虑的指标,而聚丙烯纤维的加入可以有效改善这些性能,使得路面、桥面铺装层的整体性显著提高,抵抗荷载能力也显著提高。

## 2 聚丙烯纤维混凝土在路桥工程中的应用

(1)武汉长江二桥的桥面铺装层、桥墩维修(纤维掺量 $1.36 \text{ kg/m}^3$ );

(2)长江三峡大坝E-120栈桥引桥路面(纤维掺量 $1.70 \text{ kg/m}^3$ );

(3)新疆喀什七里桥桥面铺装层(纤维掺量 $0.82 \text{ kg/m}^3$ );

(4)广州中心区内环路2.7标高架桥桥面铺装层(纤维掺量 $1.0 \text{ kg/m}^3$ );

(5)甘肃天水昔河大桥桥面铺装(纤维掺量 $0.9 \text{ kg/m}^3$ );

(6)重庆五里店、松树桥、黄花园、湖北黄石李家坊等立交桥铺装层(纤维掺量 $0.9 \text{ kg/m}^3$ );

(7)京珠高速公路广州段、珠海段、中山段、衡阳段、郑州一薛店段收费站路面(纤维掺量 $0.9\sim 1.36 \text{ kg/m}^3$ );

(8)广州海山仙馆人行天桥超薄楼梯(纤维掺量 $0.9 \text{ kg/m}^3$ );

(9)厦门保税区象屿码头、惠州港码头软基层重荷载路面(纤维掺量 $0.8\sim 1.0 \text{ kg/m}^3$ );

(10)重庆滨江路伸缩缝接口(纤维掺量 $1.0 \text{ kg/m}^3$ );

(11)天津至唐山高速公路路面铺敷(纤维掺量 $0.8 \text{ kg/m}^3$ );

(12)京珠高速安新段桥面养护(纤维掺量 $0.9 \text{ kg/m}^3$ );

(13)武汉市轻轨铺装层(纤维掺量 $1.8 \text{ kg/m}^3$ );

(14)江苏润杨长江公路大桥墩(纤维掺量 $0.9 \text{ kg/m}^3$ );

(15)湖北恩施州巴东长江公路大桥及引桥桥面铺装层(纤维掺量 $1.35 \text{ kg/m}^3$ );

(16)加拿大104号高速公路的萨门河大桥的无筋混凝土桥面板(纤维掺量 $0.50 \text{ kg/m}^3$ );

(17)美国等国家采用聚丙烯纤维混凝土铺设50~70 mm的超薄白色路面,用于市区道路、停车场、机场车道、州际公路等(纤维掺量 $1.7 \text{ kg/m}^3$ )。

## 3 结 语

当前全国各地路桥建设工程很多,许多水泥混凝土路面、桥面铺装层在使用过程中常过早出现断角、开裂、碎裂等病害,相信利用聚丙烯纤维混凝土的优良性能,这些病害一定会大大减轻或根除,从而延长路桥的使用寿命,减少维护费用,产生较显著的经济效益。

### 参考文献:

- [1] 龚益,沈荣熹,李清海.杜拉纤维在土木工程中的应用.北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 禹智涛,李士恩,邓天宇.聚丙烯纤维增强钢筋混凝土薄板力学性能的试验研究.混凝土与水泥制品,2002,(4):35-37.
- [3] 马一平,朱蓓蓓,谈慕华.纤维参数对水泥砂浆塑性收缩开裂性能的影响.建筑材料学报,2002,5(3):220-224.
- [4] 马一平,谈慕华.聚丙烯纤维水泥基复合材料物理力学性能的研究(I).建筑材料学报,2000,3(1):48-52.
- [5] 华渊,刘荣华,曾艺.纤维增韧性混凝土的试验研究.混凝土与水泥制品,1998,(3):40-43.
- [6] 王铁梦.工程结构裂缝控制.北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [7] 钟世云,袁华.聚合物在混凝土中的应用.北京:化学工业出版社,2003,9.
- [8] 戴建国,黄承逵.网状聚丙烯纤维混凝土的试验研究.混凝土与水泥制品,1999,(4):35-38.
- [9] Rongxi Shen *etc.* Crack-Arresting Effect of Polypropylene Monofilament Fibre at Small Dosage in Concrete. Proceedings of the International Conference on Fibre Reinforced Concrete, Guangzhou, 1997.
- [10] 曹诚,刘家彬.聚丙烯纤维对混凝土动力学特性的影响研究.混凝土,2000,(5):43-45.
- [11] F·Puertas *etc.* Mechanical and durable behavior of alkaline cement mortars reinforced with polypropylene fibres. Cement and Concrete Research,2003,(33):2031-2036.
- [12] 董建伟,王广宇,裴宇波.改性聚丙烯纤维混凝土及其应用.吉林水利,2000,(9):7-10.

