

# 聚丙烯纤维增强混凝土概述

阎利<sup>1,2</sup>, 万朝均<sup>2</sup>, 王绍东<sup>2</sup>, 黄承亚<sup>3</sup>

(1. 安阳大学建筑工程系, 河南省 安阳市 455000;

2. 重庆大学建筑材料工程系, 重庆市 400045;

3. 华南理工大学材料学院高分子系, 广东省 广州市 510640)

**摘要:**聚丙烯纤维以其极好的化学稳定性和优良的技术经济性能, 在水泥基复合材料中得到日益广泛的应用。系统论述了用于增强混凝土的各种聚丙烯纤维的特点及主要性能, 对国内外聚丙烯纤维增强混凝土的理论研究进展和应用研究进行了概述。

**关键词:**合成纤维; 聚丙烯(PP)纤维; 纤维增强混凝土(FRC); 性能; 进展

**中图分类号:** TU528

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-702X(2003)01-0052-04

## 0 引言

我国以往对钢纤维增强混凝土的研究和应用较多。近年来, 合成纤维作为次级增强材料在混凝土工程中的应用日益增多。常用的合成纤维有: 聚丙烯(PP)纤维、聚乙烯(PE)纤维、聚酰胺(尼龙, PA)纤维、聚丙烯腈(腈纶, PAN)纤维、聚酯(如涤纶, PET)纤维、聚乙烯醇(维纶, PVA)纤维等等。其中, 由PP和PE等烯烃单体的均聚物或共聚物制成的纤维统称为聚烯烃(polyolefin)纤维。同其它聚合物纤维相比, 聚烯烃纤维(特别是聚丙烯纤维)具有耐化学腐蚀、湿强度高、加工性好、质轻、蠕变收缩小、价格低廉和在低掺量下对混凝土的抗裂、增韧效果显著等优良的技术经济性能, 因而在建筑工程中得到越来越广泛的应用。本文对几种用作混凝土增强材料的聚丙烯纤维的特点、聚丙烯纤维增强混凝土的主要性能及国内外研究进展等进行综述。

## 1 聚丙烯纤维及其对混凝土性能的影响

### 1.1 工程上应用较多的几种聚丙烯纤维

#### 1.1.1 经表面改性的束状单丝纤维

未经改性的聚丙烯纤维表面是憎水的, 不利于形成良好的纤维-混凝土基体界面。采用硅氧烷、烷基磷酸盐等表面处理剂对传统聚丙烯纤维进行表面改性, 可以改善纤维在混凝土基体中的分散性, 提高纤维-基体的粘接强度, 充分发挥出纤维增强混凝土的各项优势。如美国歌尔兄弟化工公司

生产的杜拉纤维(Durafiber), 就是对聚丙烯单丝进行特殊的表面处理, 纤维与水泥基体的结合力大大增强, 极大地提高了混凝土的抗裂性、抗冲击性, 目前已广泛应用于道路、桥梁、工业厂房基础以及其它对抗裂要求较高的大体积混凝土工程中。日本三菱石油化学公司则采用化学改性的方法, 采用不饱和羧酸对聚丙烯进行接枝, 以提高聚丙烯纤维在水泥中的分散性, 可以取得良好的效果。丹麦的克裂速纤维(Cemfiber)也属于这一类。

#### 1.1.2 网状纤维

使用在高温高压下为聚合物的良溶剂、但在常温常压下为该聚合物贫溶剂的溶剂对溶解聚合物进行闪蒸纺丝, 可以直接制备出高度原纤化的三维结构的网状纤维。美国纤维网公司(Fibermesh)生产束状网形式纤维的技术比较成熟, 这种纤维目前已广泛应用于包括中国在内的许多国家的混凝土工程中。

#### 1.1.3 微孔纤维

在纺丝过程中添加一定粒度的无机粒子, 进行常规纺丝或膜裂纺丝, 然后进行高倍拉伸, 纤维产生不规则的原纤化, 在纤维表面形成粗糙、不规则的微孔, 从而有利于加强纤维-混凝土界面的粘结。东华大学王依民等<sup>[1]</sup>将 $\beta$ 晶成核剂添加到切片中进行共混纺丝, 拉伸时晶型转变为 $\alpha$ 晶, 导致体积收缩而产生微孔, 制得微孔纤维。

#### 1.1.4 膜裂纤维

用膜裂工艺可生产出原纤化的膜裂纤维。掺入膜裂纤维的混凝土, 纤维与混凝土基体的粘接强度较高, 可以起到增韧、阻裂等综合效果。

表1列出了工程上最常用的2种聚丙烯纤维的基本物理力学性能。

收稿日期: 2002-04-01

作者简介: 阎利, 1975年生, 硕士研究生。地址: 广州市华南理工大学研四宿舍612室, 电话: 020-85294572, E-mail: yanl@nwgz.com。

表1 2种常用聚丙烯纤维的基本物理力学性能

项目	相对密度	纤维长度/mm	直径/ $\mu\text{m}$	抗拉强度/MPa	弹性模量/MPa	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	导电、导热率	耐酸碱腐蚀性
杜拉纤维	0.91	19	48	276	3793	165	低	好
网状纤维	0.91	12~15	-	560~770	3500	160~170	低	好

## 1.2 聚丙烯纤维的掺入对混凝土性能的影响

### 1.2.1 提高混凝土的抗裂性能

经过改性的聚丙烯纤维以很小的掺量掺入混凝土中,就可取得显著的抗裂效果。原因在于:混凝土产生裂纹源之后,高度分散的聚丙烯纤维以及每根纤维表面、两端的微纤在混凝土基体中充分发挥搭接作用和牵制作用,起到“次级加强筋”的效果,从而有效抵制裂纹的进一步扩展。例如体积掺量0.05%的杜拉纤维增强混凝土,抗裂能力可提高近70%。

### 1.2.2 提高混凝土的抗冲击性能

提高混凝土的抗冲击性能是纤维增强混凝土的共同特点。在一定范围内,随着纤维掺量增高,混凝土的抗冲击强度也提高。与其他纤维相比,经过改性的聚丙烯纤维对混凝土的增韧效果更加显著。

### 1.2.3 对抗压、抗拉和抗折强度的影响

与钢纤维等高弹性模量的纤维不同,聚丙烯纤维属于低弹性模量、高延伸率的聚合物纤维,掺入混凝土后对混凝土的抗压强度、抗拉强度和抗折强度的改善作用不显著。当聚丙烯纤维的掺量超出一定范围后,混凝土的这些力学强度甚至还略有降低。

### 1.2.4 提高混凝土的抗冻性能

与普通混凝土相比,掺入聚丙烯纤维后混凝土的抗冻性能可以得到提高。原因在于混凝土中掺入聚丙烯纤维,可以缓解因温度变化而引起的混凝土内部温度应力,当初始裂纹发生后,可以阻止温度裂缝的进一步发展。经25次冻融循环试验后,聚丙烯纤维增强混凝土无分层和开裂等现象发生。

### 1.2.5 提高混凝土的抗渗性能

一般认为,在混凝土中掺入聚丙烯纤维,可以有效地抑制混凝土早期开裂以及微裂纹的进一步扩展,减少混凝土的收缩裂纹,特别是有效抑制贯通裂纹的产生,降低混凝土的孔隙率,提高混凝土的密实度和防水性能。但也有研究表明<sup>[2-3]</sup>,如果聚丙烯纤维与混凝土基体的粘接力不够好,或者纤维的分散程度不够均匀,与普通混凝土相比,也可能导致聚丙烯纤维混凝土的离子渗透量增大。

### 1.2.6 改善混凝土的抗疲劳特性

聚丙烯纤维混凝土的静力弹性模量与素混凝土相比变化不大,但是疲劳变形模量却随着纤维体积掺量的增加而提高。因此,对于需要承受动力荷载的结构(如道路的路面结

构),聚丙烯纤维增强混凝土可以发挥出更好的效果。

## 2 聚丙烯纤维及其增强混凝土的研究进展

国外对聚丙烯纤维增强混凝土的系统研究开展较早。Hughes等<sup>[4]</sup>早在20世纪70年代就研究了掺入原纤化的和单丝的聚丙烯纤维增强混凝土的应力-应变曲线,并且明确指出掺入聚丙烯纤维后混凝土的增韧效果显著。国内关于聚丙烯纤维增强混凝土的研究开展较晚,而且是随着国外聚丙烯纤维在国内建设项目中的大规模应用开始的,目前的研究主要集中于聚丙烯纤维增强混凝土的物理和力学性能的研究。国内合成纤维领域与建筑工程领域的科研机构、生产单位,对改性聚丙烯纤维产品进行联合研究和开发已取得良好的效果。

H. Toutanji<sup>[2]</sup>等研究了聚丙烯纤维增强硅灰混凝土的氯离子渗透性和抗冲击性能(见图1、图2)。其中,抗冲击性能以试件抗冲击的次数表示,抗渗性能以穿透试件氯离子的电荷数(库仑数)表示。

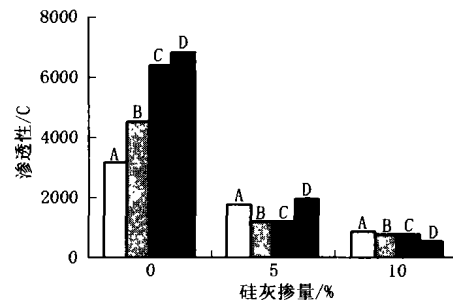


图1 聚丙烯纤维增强硅灰混凝土的氯离子渗透性能

A - 纤维掺量 0; B - 纤维体积掺量 0.1%;

C - 纤维体积掺量 0.3%; D - 纤维体积掺量 0.5%

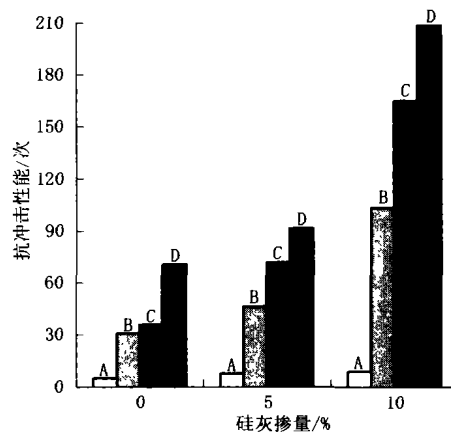


图2 聚丙烯纤维增强硅灰混凝土的抗冲击性能

A - 纤维掺量 0; B - 纤维体积掺量 0.1%;

C - 纤维体积掺量 0.3%; D - 纤维体积掺量 0.5%

由图1可以看出,在不含硅灰的混凝土中掺入聚丙烯纤

维后,混凝土的渗透量随纤维掺量增加而增加;但掺入硅灰后,纤维增强混凝土渗透性大大降低,而且在一定掺量下(10%)渗透量随纤维掺量增加而略有降低。但渗透量的减少并不与硅灰掺量的增加成正比,掺入5%的硅灰可以大幅度减少渗透量,当硅灰掺量从5%增加到10%时,渗透量的减少量并不显著。硅灰降低渗透量的原因,可能是由于水泥基体内聚力的增加,从而使纤维在混凝土基体中得到更加有效地分散。由图2可以看出,掺入硅灰对聚丙烯纤维增强混凝土的抗冲击性能有促进作用,或者说硅灰和聚丙烯纤维的混掺对混凝土的抗冲击性能有正交互作用。但硅灰对未增强混凝土的抗冲击强度并没有显著影响。该研究对聚丙烯纤维增强混凝土在防水工程中的应用很有参考价值。

东华大学与张家港第二合成纤维厂合作开发了直径为40 μm,长度为15 mm,截面形状为圆形的改性聚丙烯纤维<sup>[1]</sup>。其改性途径为:在纺丝过程中,混入改性剂PBT(一种带羟基的亲水助剂)。由于熔体在通过细小的喷丝孔径时具有“附壁效应”,改性剂PBT分子附着在纤维表面,从而制得表面亲水的改性聚丙烯纤维。经改性处理后,纤维表观回潮率从0.04%提高到0.25%。东华大学廖宪廷等<sup>[5]</sup>在研究上述改性聚丙烯纤维水泥复合材料的界面行为时发现,纤维与混凝土基体的界面粘接情况良好,掺入上述聚丙烯纤维的混凝土,耐磨性有很大提高,并且指出耐磨性改善的原因在于纤维对初始裂纹的搭接作用、纤维对水泥基体的牵制作用以及纤维在水泥块剥落时消耗摩擦功。

同济大学马一平等<sup>[6]</sup>研究了改性聚丙烯纤维水泥复合材料的抗塑性开裂性能和基本力学性能。他们采用东华大学提供的改性聚丙烯纤维,分为通过拉丝工艺制得的拉丝聚丙烯纤维、通过膜裂工艺制得的I型和II型膜裂聚丙烯纤维等3种。其中,拉丝纤维的断面为圆形,直径为43 μm。I型和II型膜裂纤维加工工艺相同,基本单元的断面尺寸长×宽均为320 μm×30 μm,但差别在于I型膜裂纤维基本单元之间牵连严重,而II型膜裂纤维基本单元之间分离较好。3种聚丙烯纤维的长度均为15 mm。试验结果表明:聚丙烯纤维的几何形态对水泥砂浆的抗塑性开裂性能有明显影响,拉丝纤维最好,分散程度较好的II型膜裂纤维次之,分散程度较差的I型膜裂纤维最差。纤维掺量对抗塑性开裂性能也有较大影响,当拉丝聚丙烯纤维的体积掺量大于0.10%时,可有效阻止水泥砂浆的开裂。他们的实验结果还验证了聚丙烯纤维增强混凝土抗弯韧性改善的结论。

东南大学孙伟等<sup>[7]</sup>研究了聚丙烯纤维与钢纤维混掺情况下以及掺入膨胀剂的情况下混凝土的收缩和渗透性能。研究表明:不同种类和尺寸的纤维混掺可以不同程度地减少裂纹

源的尺寸和数量;与单独掺入混合纤维或膨胀剂相比,混掺纤维与膨胀剂可以进一步提高抗裂性和渗透性能;并指出上述性能改善的原因在于各种纤维与膨胀剂的联合作用。孙伟等还研究了掺入聚丙烯纤维的高性能混凝土在800℃和1100℃高温下的性能,指出掺入适量的聚合物纤维对高性能混凝土的高温性能劣化无明显不良影响。

广东工业大学朱江等<sup>[8]</sup>以美国、日本、韩国和中国等7家实验室的实验结果为基础,对美国Durafiber聚丙烯纤维增强混凝土(PFRC)的力学性能进行了数值分析,建立了以普通混凝土立方体抗压强度为基础的力学公式,并提出PFRC的强度标准值和设计值。朱江还对聚丙烯纤维增强混凝土的防水性能、路用性能等应用问题进行了研究。

上海市市政工程研究院孙家瑛等<sup>[1]</sup>系统研究了美国Fibermesh网状聚丙烯纤维增强混凝土的各项性能。通过研究不同掺量聚丙烯纤维高性能混凝土的抗冻性、耐磨、抗渗、抗化学侵蚀能力,综述了网状聚丙烯纤维对高性能混凝土耐久性的影响。实验表明,掺入聚丙烯纤维后,混凝土的渗水高度增加。但若与硅灰同时使用,则可以显著提高混凝土的抗渗性。聚丙烯纤维与硅灰同时掺入还可以改善混凝土的路用性能。

太原理工大学武艳霞<sup>[9]</sup>利用激光散斑法对普通混凝土和聚丙烯膜裂纤维增强混凝土切口梁进行研究后发现,掺入聚丙烯膜裂纤维后的混凝土试件在断裂过程区呈不规则的狭长带状形,而且由于微裂纹区的扩展受到限制,使主裂纹的亚临界扩展长度和临界裂纹尖端张开位移增加,从而对材料起到增韧作用。该研究从断裂力学角度讨论聚丙烯纤维增强混凝土的韧性机理,具有一定的理论价值。

### 3 结 语

聚丙烯纤维以其优越的技术经济性能在对抗裂、抗冲击和耐磨等有较高要求的混凝土工程中迅速推广。在我国,用于大体积混凝土抗裂增韧的工程实例有重庆世界贸易中心地下停车场地坪、重庆朝天门广场17 000 m<sup>2</sup>观景台工程、广州南方房地产实业大厦地下工程、广州中水广场地下工程等;用于屋面防水的工程实例有广州花园酒店保龄球馆屋面防水工程、深圳怡宝蒸馏水厂屋面防水工程等;用于路面结构的工程有重庆嘉陵江高家花园大桥桥面及引桥路面、广州北环高速公路维护工程、厦门保税区象屿码头海港软基层路面等。这些采用聚丙烯纤维增强混凝土的工程都满足了特定混凝土性能的要求,取得了良好的技术经济效果,也为今后聚丙烯纤维在我国混凝土工程中的更广泛应用积累了经验。但总的说来,由于我国在改性聚丙烯纤维以及聚丙烯纤维增强混凝土的应用研究领域起步较晚,所完成的研究特别是理

# PP-R 铝塑复合管

黄业利<sup>1</sup>,冯金茂<sup>2</sup>,陈国贵<sup>2</sup>,李月凤<sup>2</sup>

(1. 浙江工业大学建设工程监理公司,浙江省 杭州市 310002;

2. 临海市伟星新型建材有限公司,浙江省 临海市 317000)

**摘要:**PP-R 铝塑复合管具有耐热、耐压、膨胀系数低、连接可靠、施工方便等特点。介绍了 PP-R 铝塑复合管的生产工艺及其与 PE 铝塑复合管、PP-R 管的性能比较,并探讨了该管道在我国开发和推广应用的可行性。

**关键词:**PP-R 管;复合技术;性能;安装

**中图分类号:**TU532\*.61

**文献标识码:**B

**文章编号:**1001-702X(2003)01-0055-02

## 0 前言

20 世纪 80 年代 PP-R 管道在欧洲发达国家率先研制成功,并于 90 年代末期进入中国市场,因该管道具有优良的性能价格比而成为国内建筑给水管道市场的主流,短短几年时间发展极为迅速。随着市场的不断成熟,PP-R 管道逐渐暴露出一些自身难以克服的缺陷,如线膨胀系数较大,用于热水系统时管道易变形;用于主立管时,耐压强度稍嫌不足;用于户外安装时,管材的抗紫外线性能及低温抗冲击性能有待改善等等,以上诸多缺陷已经限制了 PP-R 管道在我国建筑给水市场的进一步推广应用。

据调研,国外许多 PP-R 管道和设备制造商已经致力于

PP-R 复合管道的开发,如 Aquatherm、Banninger、Becker、Battenfeld 和 Extrudex 公司,纷纷推出 PP-R 复合管的挤出设备和管道制品,并在市场上确立了主导地位。此外,在塑料管道应用最为普及的德国,已颁布了 PP-R 复合管道的行业标准 DVGW W542。与传统的 PP-R 管道和 PE 铝塑复合管相比,这类 PP-R 铝塑复合管一方面保留了 PP-R 管道热熔连接的优点;另一方面,从根本上改善了 PP-R 管道存在的上述缺陷。因此,在我国研制开发 PP-R 复合管道,具有广阔的市场前景和良好的社会效益。目前,国内一些 PP-R 管道生产企业已着手开发该类复合管道。

## 1 PP-R 铝塑复合管的生产技术

PP-R 铝塑复合管的关键技术为中间铝层包覆工艺,铝层包覆工艺可以分成以下 3 种:

### 1.1 焊接工艺

根据管材直径的不同,可采用专用的在线装置及挤压法

收稿日期:2002-08-15

作者简介:黄业利,1980 年生,浙江丽水人,技术员。地址:浙江省杭州市定安路 128 号 4 楼,电话:0571-87082337。

论研究还不够深入和系统,因此仍将有大量的研究和开发工作亟待展开。

## 参考文献:

- [1] 王依民,倪建华,潘湘庆. 混凝土防裂用改性聚丙烯纤维工艺研究. 化学建材,1997(4):172.
- [2] H. Toutanji, S. McNeil, and Z. Bayasi. Chloride Permeability and Impact Resistance of Polypropylene-fiber-reinforced Silica Fume Concrete. Cement and Concrete Research, 1998, 28(7):961-968.
- [3] 孙家瑛,陆斌,栾峰. 网状聚丙烯纤维对混凝土渗透性影响研究. 混凝土,2000,(5):46-48.
- [4] Hughes, B.P. & Fattuhi, V.I. Load-deflection curves for fiber-reinforced concrete beams in flexure. Magazine of Concrete

Research, 1997, 29(101):199-206.

- [5] 廖宪廷,何元,杨序刚等. PP 纤维水泥复合材料的界面行为(1)—耐磨性能研究. 建筑材料学报,1999,2(4):324-328.
- [6] 马一平,谈慕华. 聚丙烯纤维水泥基复合材料物理力学性能研究(1)—抗塑性干缩开裂性能. 建筑材料学报,2000,3(1):48-52.
- [7] Wei Sun, Huisu Chen, Xin Luo, Hongpin Qian. The effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance concrete. Cement and Concrete Research, 2001(31):595-601.
- [8] 朱江,苏建波,李士恩. 聚丙烯纤维混凝土的力学性能研究. 广西工学院学报,2000,11(2):60-64.
- [9] 武艳霞. 纤维增强混凝土断裂过程区试验研究. 华北工学院学报,2000,21(3):214-217.

