

# 混凝土用高性能聚丙烯纤维 的开发研究

王恒涛 郭春庭 戚新云

(衡水 河北衡水金虎化纺总厂技术开发中心 053000)

[内容摘要]: 利用改性高聚物树脂对聚丙烯切片进行改性, 然后用烷基磷酸乙醇铵进行表面处理, 开发研制出一种有效解决混凝土工程开裂等系列问题, 提高抗渗性能、抗冲击性、抗冻融等的一种高科技建筑材料。

[关键词]: 功能纤维 改性剂 聚丙烯 混凝土

## 1、前言

混凝土用高性能聚丙烯纤维通过采用高分子量聚丙烯切片为基本原料, 通过添加改性高聚物树脂, 经过特殊生产工艺及表面处理, 且纤维截面为异型, 能与水泥材料混合的高性能纤维。该纤维加入混凝土中, 可提高混凝土的抗裂、防水、抗渗、抗冲击及抗震、抗冻、耐磨等性能, 对提高混凝土的内在质量作用明显。混凝土用高性能聚丙烯纤维具有以下特征:

1. 1 高耐碱性: 混凝土中碱性集料和水泥水化产物呈强碱性。而聚丙烯纤维具有高度的化学稳定性, 既耐酸又耐碱, 从而避免了因为物料之间交叉的化学反应使得混凝土内发生不良变化。

1. 2 自分散性: 混凝土中所用的纤维, 在水泥集体中必须具有良好的自分散

性, 即不结团, 不集束。只有这样的纤维才能在实际的混凝土工程中推广应用。该纤维经过烷基磷酸乙醇铵进行表面处理, 纤维表面附有 0.1—3% 的表面处理剂烷基磷酸乙醇铵, 使其在水泥中具有良好的分散性, 不结团, 不集束。

1. 3 安全无害: 混凝土中所掺加的纤维必须对人体无害。该纤维所用原料为聚丙烯切片, 无毒、无害, 其生产过程中不发生任何化学反应。而且, 该纤维不会扎伤或碰伤人体, 在施工过程中是绝对安全可靠的。

1. 4 粘结性好: 纤维与水泥基体的界面要有一定的粘结强度, 这主要取决于纤维本身材质的特点, 还受纤维表面形状和粗糙程度的影响。该纤维在生产过程中将 0.1—3% 的聚脂类改性高聚物添加到聚丙烯中, 该聚合物与混凝土具有较好的粘结性, 且纤维断面

为异型，以增强与混凝土的握裹力。

1.5 粗细适中；掺入混凝土中的纤维，其长径比大于临界值时才能对水泥基体产生明显的增强效果。在均匀分散的前提下，纤细而挺实的纤维具有更好的抗裂增强性能。该纤维长径比适中，加入水泥中能产生良好的增强效应。

1.6 弹性模量；纤维与水泥基体的弹性模量相比，其比值越高，则受荷时纤维分担的应力也越大，纤维的作用也就越明显。该纤维具有较高的弹性模量，在混凝土受负荷时能充分发挥其作用。

混凝土用高性能聚丙烯纤维是近年来随着我国建筑业向高层、大型发展，人们对混凝土高性能化意识的逐渐增强，应运而生的新的混凝土用高性能纤维品种。它是利用聚丙烯切片热塑性、质轻、耐化学腐蚀、优良机械性能，而制得的一种解决混凝土工程开裂等系列问题的新型功能材料。高性能聚丙烯纤维的化学稳定性使其能够在混凝土中长期保持良好的性能，从而有效控制混凝土塑性收缩和沉降引起的裂缝问题，改善混凝土的抗裂、抗渗性能，提高抗冲击和抗冻能力。对改善建筑工程质量和提高混凝土工程的耐久性卓有成效。

英国、美国、丹麦、法国等 20 世纪 70 年代开始对该纤维技术的开发研究，尤其美国、英国与丹麦研究最早，

产品也较丰富。例如：美国希尔兄弟化工公司生产的“DURAFIBER”和英国与丹麦合资的英丹纤维工业有限公司生产的“Kolesu”。

20 世纪 70 年代中期美国开发成功聚丙烯膜裂纤维，在与混凝土拌合过程中可分裂成为若干细纤维束，且束内纤维展开成为相互牵连的网络，其中单丝直径为 48-62 微米，使用此种纤维不仅有助于降低单丝的直径，并且还可使纤维体积率减少至 0.1% - 0.2%。近十几年来，美国在混凝土工程中广泛使用加有低掺合成纤维（聚丙烯单丝、聚丙烯膜裂纤维与尼龙纤维等）的预拌混凝土。

在中国，纤维混凝土的大规模应用是从玻璃纤维和钢纤维混凝土起步的。20 世纪 70 年代抗裂纤维技术传入我国，目前与美国、英国等国家相比虽有一定差距，但也开发出了一些产品。如：南京化工集团利用无机、有机化合物处理或涂层方法制成改性聚丙烯纤维，用于混凝土的抗裂；湖北葛洲坝水利水电工程集团，涉及混凝土及砂浆用改性聚丙烯抗裂抗渗纤维，其截面为星型，单纤长度 5—21mm 等。

由于高性能纤维本身的特性，使其在工业与民用建筑、道路与桥梁工程、水利工程及其它建筑工程方面应用较广泛。而开发利用烷基磷酸乙醇铵对聚丙烯纤维进行表面处理，此技

术可填补国内这方面的空白，弥补聚丙烯纤维性能上的缺陷。

## 2、高性能混凝土专用聚丙烯纤维的制备方法

改性高聚物树脂由专用螺杆挤压机熔融后，输送至聚丙烯熔体中充分混合，然后经熔融纺丝、计量、冷却、上油，通过热辊拉伸，然后经过烷基磷酸乙醇铵的溶液均匀处理，再经烘干集束后，切成 4.8-19mm 的短纤维。此方法的优点为：工艺路线简便，便于操作，成本较低，可实现连续化生产，其工艺难度取决于聚丙烯切片及改性高聚物树脂的选择及配比。

## 3、高性能混凝土专用聚丙烯纤维的功能及其机理

### 3.1 阻裂

混凝土用高性能聚丙烯纤维的加入可以大大减少甚至彻底消除宏观（肉眼可见的）裂缝产生。

阻裂的机理是由于均匀散布的高性能聚丙烯纤维在混凝土中呈现三维网络结构，当混凝土中任何一条裂缝产生，并可能向任何方向发展时，都会遇到横亘在他前方的一条纤维，使裂缝的发展受阻。故而也就减少甚至完全阻止了混凝土中裂缝的产生。

### 3.2 抗渗

由于大大减少了水泥基体中的连通裂缝，故可有效阻止外界水分侵入。

由于混凝土体内大量均匀散布的短纤维呈现三维乱向分布，事实上可以起到阻断混凝土内毛细作用的效果。这是纤维混凝土具有较高抗渗性能的主要原因。细小的纤维可以填充混凝土中原有的孔隙或洞穴，阻断了渗水通路。相当于提高了混凝土的密实度。具有较高密实度的混凝土或砂浆通常具有较高的抗渗能力。高性能混凝土的抗渗试验结果如下：

试件编号		1	2	3	4	5	6	7	8
纤维体积率 (%)		0	0.55	0.77	1.1	0	0.55	0.77	1.1
渗水高度	测定值 (mm)	48	15	18	14	55	20	15	14
	相对百分比 (%)	100	31	38	29	100	36	27	25

### 3.3 耐火性

当在火焰中炙烤的混凝土结构温度上升到超过聚丙烯的熔点时，纤维融化形成供给水汽从混凝土内部逸出

的通道，避免了构件在火灾环境下发生爆裂。

另外，该纤维的加入还可提高混凝土的抗拉耐压、耐磨、抗疲劳、抗

冲击、抗冻融、抗碳化等综合性能。

#### 4、高性能聚丙烯切片及改性高聚物树脂的选择

高性能混凝土专用聚丙烯纤维的主要原料是一种特殊规格的聚丙烯切片，它要求切片的分子量为 22—27 万、分子量分布小于 3，等规度大于 96%，熔融指数 18—25。以保证正常纺丝生产及产品的内在指标和外观质量。

改性高聚物树脂是一种特殊的添加剂，该添加剂应用于混凝土用高性能聚丙烯纤维需与水泥粘结性好并具有较好的熔融可纺性。该聚合物为一种或一种以上的聚酯或聚碳酸酯，或其组合物。聚酯类聚合物为双酚 A 型聚碳酸酯、卤代双酚 A 型聚碳酸酯、聚苯二甲酸酯磷酸酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚（二甲基硅氧烷）聚碳酸酯嵌段共聚物或其一种以上的组合。改性聚丙烯纤维中的聚酯类聚合物的分子量优选 3.5 万、重量百分含量优选为 0.5—3%，通过对其特性及生产特点的分析研究，最后我们选定某公司生产的改性高聚物树脂。

#### 5、高性能混凝土专用聚丙烯纤维研制小试

混凝土用高性能聚丙烯纤维研制，对高性能纤维各项性能指标比较严格。纤维的本身性能可直接影响到混凝土的性能质量。聚丙烯切片与改性剂的配合比，及其搅拌均匀性，可直接影响到成品纤维的质量及生产成

本。另外，我国现生产烷基磷酸乙醇铵的厂家很少，其产品采购和稀释度成为很难解决的问题，从而导致该纤维无法组织规模生产。我们通过对几家烷基磷酸乙醇铵的试验，确定使用某公司生产的烷基磷酸乙醇铵，并在此基础上进行稀释度试验，确定配比度，完成小试。

小试主要工艺条件及物检结果：

改性剂在聚丙烯切片中占：2.7%

烷基磷酸乙醇铵：2.6%

纺丝速度：580 米/分

侧吹风速度：0.38 米/秒

纺丝可纺性：前断—1 次，后断—无，换头—1 次。

物检结果：相对密度：1 g/cm<sup>3</sup>；

抗拉强度：360Mpa；弹性模量：3786Mpa；极限伸长率：15%。

#### 6、高性能混凝土专用聚丙烯纤维研制中试

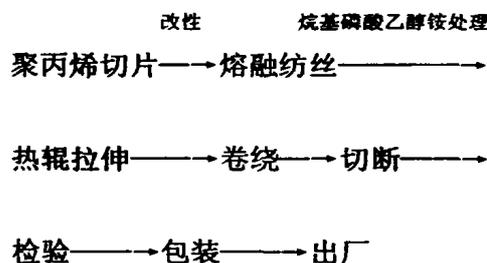
##### 6.1 确定产品的品种及主要技术参数

开发研制高性能混凝土专用聚丙烯纤维主要的应用目标是建筑用混凝土行业，根据建筑工程的需要将纤维经切丝机切成 4.8~19mm 的短纤维。

主要生产品种：按长度分为 4.8mm、8.5mm、19mm。三种规格的纤维在混凝土中的分散性能完全相同，产品的主要技术参数见下表：

材料	聚丙烯	抗拉强度	≥276Mpa
纤维类型	束状单丝	安全性	无毒材料
密度	0.91g/cm <sup>3</sup>	吸湿率	<0.1%
吸水性	无	抗酸碱性	极高
熔点	168℃	燃点	580℃
导热性	极低	旦尼尔	15±2(g/9000m)
导电性	极低	弹性模量	3793Mpa
拉伸极限	15%	自分散性	好

### 6. 2 确定高性能混凝土专用聚丙烯纤维工艺流程



### 6. 3 主要工艺条件及工艺难点

高性能混凝土专用聚丙烯纤维根据其混凝土中的独特性能，制定出以下主要工艺条件：

- ① 将 0.1~3% 的聚酯类改性高聚物树脂与聚丙烯切片均匀搅拌，经纺丝高温为 280℃ 的螺杆熔融挤出。
- ② 纤维通过油轮均匀吸附烷基磷酸乙醇铵水溶液进行表面处理，经表面温度为 150 度的热辊高倍拉伸后，纤维

表面吸附有 0.1—3% 的烷基磷酸乙醇铵。

③ 纺丝速度：600 米/分，断裂强度：7.5CN/dtex。

④ 侧吹风速度一般为 0.25—0.45 米/秒。

工艺难点：

- (1) 改性高聚物树脂在聚丙烯树脂中的均匀分散。
- (2) 螺杆温度及压力控制，侧吹风风温、风速控制。
- (3) 热辊温度及拉伸倍数的控制，烷基磷酸乙醇铵水溶液的浓度控制。
- (4) 整个生产工艺的高质量稳定。

### 6. 4 试验结果

以连续式纺丝机生产试验线，在常规工艺基础上，对工艺条件进行相应调整，纺制长度为 4.8mm 的短纤维。其成品按国家标准进行物理检验及分级，测试结果如下：

对长度 4.8mm 的纤维物理性能测试结果

批号	纤度 dtex	断裂强度 Mpa	抗拉强度 Mpa	初始模量 Gpa	等级
0319	899	454.4	270	4.18	一等
0320	900	456.2	280	4.19	优等
0326	900	455.8	272	4.20	优等
0328	897	453.8	258	4.16	二等
0403	899	454.6	269	4.19	一等
0404	898	453.2	267	4.09	二等
0405	899	455.2	268	4.19	一等

#### 6.5 改性高聚物树脂的加入对生产混凝土用高性能聚丙烯纤维的影响

由于该纤维的特殊要求,其生产工艺与普通纺丝工艺有所不同,其螺杆温度远远高于普通纺丝温度,牵伸倍数也大于普通高强丝牵伸倍数,改性高聚物树脂在聚丙烯切片中的均匀程度直接影响纺丝质量,由于人工搅拌的均匀性较差,导致生产工艺的不稳定,我们采取了将改性高聚物树脂用一套单独的注入系统使其熔融后注入纺丝机的主螺杆,在螺杆中与熔融的聚丙烯切片均匀混合,这样,再调整整个工艺参数保证了混凝土用高性能聚丙烯纤维的稳定生产。

改性高聚物树脂的加入对成品丝的质量基本无影响,在适合的工艺条件和稳定的工艺控制下,混凝土用高性能聚丙烯纤维的各性能指标均达到预期的效果。

#### 7、经济效益与社会效益

##### 7.1 经济效益

混凝土用高性能聚丙烯纤维的生产与其它聚丙烯纤维相比,只是增加了改性剂的采购和表面处理剂的采购及加工处理成本。其它成本未有大的出入。每年生产混凝土用高性能聚丙烯纤维 1000 吨,由于该纤维的附加值,售价按同类产品售价增值 2 万元/吨计算,预计年可增加产值 2 千万元。

##### 7.2 社会效益

由于混凝土用高性能聚丙烯纤维的加入有效提高混凝土的综合性能,且价格低廉,施工方便,为国内基础设施建设工程质量提供了可靠的保障。该纤维的开发研制将给建材业带来一次新材料应用的技术革命,并且填补国内空白,可替代进口,节省大量外汇,社会效益显著。

#### 8、结论

(1) 混凝土用高性能聚丙烯纤维项目于 2002 年列入国家经贸委技术创新计划, 现已完成中试, 可批量生产。

(2) 混凝土用高性能聚丙烯纤维的研制成功, 将填补国内空白, 在国内同行业中处于领先地位。

(3) 混凝土用高性能聚丙烯纤维经国家质量监督检验中心检测, 其断裂强度 454.4Mpa, 断裂伸长率 20.16%, 其物检指标达到国家一等品水平, 能够适用于生产。

(4) 成品经用户试用, 效果良好。它在混凝土中极易均匀分散, 抗裂效果显著, 强度明显提高, 同时提高了混凝土的抗渗性和密实性, 它将具有良好的开发研究价值和广阔的市场前景。

随着纤维在基础建设工程上逐渐使用, 以及工程界对纤维质量要求日益提高, 混凝土用高性能聚丙烯纤维正逐步向高质量、多品种方向发展, 以满足基础实施建设的需求。

\* \* \* \* \*

### 第十二次全国新型纺纱学术 研讨和生产经验交流会 征文通知

各市纺织工程学会, 有关单位:

第十二次“全国新型纺纱学术研讨和生产技术经验交流会”计划于 2004 年在我省举行。为此我们将本次会议的征文提纲发给贵单位, 希望各市学

会向本地区拥有相关新型纺纱设备的生产单位和机械制造单位及学校、研究单位广泛征集论文, 并经初审后集中寄到省纺织工程学会, 希望予以配合。

#### 一 征文范围

1 这次征文的新型纺纱包括转杯纺纱、喷气纺纱、摩擦纺纱、包缠纺纱、赛络纺纱、集聚纺纱等。

2 新型纺纱国内外发展动态与趋向。

3 有关新型纺纱的主机、专配件、纺织工艺、纺纱产品、原料的开发、成纱机理和纱线结构与纺纱质量等方面的理论与实践的研究与总结。

#### 二 征文提纲

1、探讨我国新型纺纱快速、持续、健康和合理发展的途径与措施。

2、新型纺纱的新技术、新工艺、新产品方面的研究开发成果和经济效益分析。

3、新型纺纱机理和成纱结构特性研究中的新理论、新成果。

4、提高新型纺纱成纱质量和利用新型纺纱的纱线开发最终产品的体会与实践。

5、探讨配套、合理地引进国外先进的新型纺纱设备和技术(产品开发, 经济效益)。

6、转杯纱、喷气纱、集聚纱等新型纱线的质量标准探讨, 提高成纱质量的措施。

(下转 20 页)

涤效果会更好, 因为硬水含有大量的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  遇到海藻酸钠会生成海藻酸钙或海藻酸镁沉淀在布的表面, 使布面光泽不一, 甚至出现褶子, 造成疵病。

结束语:

织物经整理后, 各项指标均达到或超过客户要求, 而且手感柔软。干摩 3-4、湿摩 3、缩水(经向-3%, 纬向-12%) 强力(经向 705, 纬向 285) N/5x20cm、皂洗 4。实践生产证明, 通过我们的努力, 弹力织物这一新品种印花开发得非常成功!

\* \* \* \* \*

(上接 16 页)

7、新型纺纱的技术、产品和设备的发展趋势及应用前景。

8、应用新型纺纱线(如转杯纱、喷气纱、集聚纱等)加工的后道工序要求。

9、新型纺纱(转杯纺、喷气纺、集聚纺等)前纺的合理配置与半制品质量控制要求。

10、喷气纺纱生产实际使用的经验总结、产品开发、设备运转和维护, 及其在我国的发展前景探讨。

11、新型纺纱主机的研究、设计、制造的发展趋势与新技术和新水平。

12、转杯纺纱机关键件系列化中的新进展、新成果。

13、转杯纺在探索新纤维原料、开发中、细支, 低捻针织纱的最新成果和

技术措施及社会、经济效益分析, 转杯纺纱在装饰和产业用方面的开发等。

14、摩擦纺纱及其它新型纺纱(如涡流纺、赛罗纺、平行纺等)的生产技术、产品开发、新机研制等。

三、征文要求

1、文稿一式两份, 在4000-10000字以内。文稿最好打印成文, 或者用方格纸手写, 字迹清楚, 图文必须对照, 照片需交纳底片, 请作者自留底稿, 送审稿一律不再退还。

2、在全国期刊上未公开发表过的文章。

3、文稿请于2003年8月10日前寄省纺织工程学会, 经专家初审后集中报中国纺织工程学会棉纺织专业委员会新型纺纱学组。文稿经过复审通过后, 将按“论文”和“交流资料”汇总出版《第十二届全国新型纺纱学术会议论文资料集》。并向参加会议的论文、交流资料的作者颁发证书。

\* \* \* \* \*

河北太行纺机公司

FB411 型毛纺粗纱机性能(封面)

▲适用于毛、麻和化纤的纯纺或混纺, 纤维的长度 60mm-120mm, 滑溜牵伸达 320mm

▲取消成型机构、锥轮机构及张力微调装置

▲通过 CCD 检测张力, 实现恒张力纺纱

▲新型牵伸结构, 确保纺纱质量

▲自动润滑系统, 减轻了人工劳动强度