

# 聚丙烯纤维在水泥混凝土中的应用

肖耀军 (广东省广业建材产业集团有限公司 510013)

**摘 要:** 本文介绍了聚丙烯纤维的作用机理和提高纤维增强效果的措施, 以及其研究进展和应用状况。

**关键词:** 聚丙烯纤维 混凝土 作用机理 增强 应用

## 1 前言

常见的混凝土增强纤维有钢纤维和非钢纤维两类, 非钢纤维中又分为高弹纤维 ( $F_t/E_c > 1$ , 如碳纤维、石棉纤维、玻璃纤维等) 和低弹纤维 ( $F_t/E_c \leq 1$ , 如尼龙、聚丙烯等合成纤维)。钢纤维效果较好, 成功应用的实例较多, 价格也较高; 碳纤维具有胜过钢纤维的刚度和强度的优良性能, 价格更为昂贵; 石棉纤维应用时间虽然较长, 但最近已被世界卫生组织确定为鼻咽癌的致癌物, 将很快被淘汰; 玻璃纤维在新浇混凝土中不易乱向混合并易受损伤, 从而降低混凝土强度, 同时也有污染环境的问题; 合成纤维近年来发展较快, 主要为聚丙烯纤维。由于聚丙烯 (PP) 纤维具有强度大、耐腐蚀、价格低等优点, 综合起来, 较其他合成纤维如尼龙、芳纶等纤维有一定的优越性。

## 2 聚丙烯纤维的作用机理

聚丙烯纤维是一种新型的混凝土增强纤维, 该纤维的特点是直径小、数量多、纤维间距小、掺混工艺简单、易分散等。在混凝土内掺入聚丙烯纤维, 由于纤维细微, 比表面积大, 每千克聚丙烯纤维连起来的总长度可绕地球 10 多圈, 若分布在混凝土中, 则可使每立方厘米的混凝土中有近 20 条纤维丝, 故能在混凝土内部构成一种均匀的乱向支撑体系。在微裂缝向细裂缝发展的过程中, 必然碰到多条不同向的微纤维, 遭遇到纤维的阻挡, 消耗了能量, 使裂缝难以进一步发展。从宏观上解释, 就是通过高分子微纤维的应力传递, 分散混凝土的定向拉应力, 从而达到抗裂的效果, 提高混凝土断裂韧性和拉伸强度。因此, 聚丙烯纤维能减少混凝土因失水、温差、自干燥等作用因素引起的原生裂隙尺度, 增强混凝土的抗裂能力, 积极有效地改善混凝土的耐久性, 使混凝土高性能化, 且工作机理简单, 适用性广泛, 使用效果显

著, 在工程界受到了越来越多的关注。

## 3 提高聚丙烯纤维增强效果的措施

由于聚丙烯是一种惰性材料, 有不少独特的性能, 如优良的加工性、耐化学品性、热粘性、较高的能量吸收能力、拉伸方向强度高、100% 保湿率、收缩蠕变小、价廉、质轻等。聚丙烯纤维与混凝土基质材料的粘结力较差, 因而提高纤维与混凝土之间的界面作用力是提高纤维增强效果的有效途径。具体方法有以下几种:

(1) 聚丙烯纤维为短纤维, 用量和纤维长短视不同用途而定。短纤维的目的在于改善纤维在水泥混凝土中的分散性, 通过传递应力吸收高能量而有效地抗击冲击力和控制裂缝。纤维含量及类型对加工性能敏感性的关系:  $\ln(t) = A + B\%$ , 其中 A 是与基质组分有关的系数, B 是敏感性系数, 与所用纤维有关, t 是水泥混凝土流动到一定的参考线的时间。

(2) 将短纤维制成铺网或机织物。

(3) 对聚丙烯进行改性, 包括对纤维内部聚丙烯结晶方式的改变和对纤维表面进行处理。

对聚丙烯纤维结晶方式的改变, 使聚丙烯纤维刚性增加, 提高在水泥中的和易性。

普通聚丙烯纤维有柔性大、不吸水的缺点, 因此易打团, 与水泥搅拌较为困难。吉林省水利实业公司吉水土工合成材料研究所对此进行了较深入的研究。根据异相成核理论, 在聚丙烯中加入了成核剂共混材料, 改变其结晶行为, 使聚丙烯在异相  $\beta$  成核剂的作用下, 熔融结晶成  $\beta$  晶或拟六方晶系结构, 由挤出机吐丝后, 再经冷、热牵伸等后处理工序, 使分子未取向部分得到取向和定型。 $\beta$  晶态在转变  $\alpha$  晶态时, 纤维表面出现了部分微孔, 因而提高了纤维的亲介质性, 可与水泥结合得更好; 纤维的弹性模量有所增加; 透过拔丝甬道观察窗, 可看到拔出的纤维较刚挺光亮, 改性增加了纤维的刚

度。同时短切的改性纤维在水中也有一定的分散悬浮性,与水泥的易拌和性得到了改善。对聚丙烯纤维进行类似改性处理及应用于混凝土中,国内外亦有先例,如东华大学、美国的 FIBRE MESH 公司等。

对聚丙烯纤维表面进行改性,常用的方法有化学处理和机械工艺处理。

①多孔化处理。将纤维浸在 20℃ 的 Br<sub>2</sub> 的水溶液中(浓度为 10~11ml/l) 24 小时,再浸入 40℃ 的氨溶液中一小时,冲洗,在室温下干燥;或将纤维浸入 50℃ 的硫酸-重铬酸盐的溶液中 18 小时,然后水洗,室温下干燥。这两种处理方法使纤维表面粗糙多孔,增加了表面积,增加了纤维与水泥基体间的界面作用力;

②表面活性剂处理。将纤维浸在非离子表面活性剂溶液中(Triton X-100,浓度为 0.1%) 10 秒后,在室温下干燥,该处理工艺提高了纤维的表面润湿性能,提高了纤维与基体的相容性;

③氧氟处理。在室温下,用 F<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 的混合气体处理纤维,这样能使纤维表面粗糙,并且增加了纤维表面羰基的含量,使界面间的作用力增强;

④染整处理。采用丙烯酸酯和有机硅材料对聚丙烯纤维进行染整,使之与水泥石之间产生化学键力,在微观尺度上,纤维相邻受力点间距极小,进而使约束应力产生于混凝土出现破坏之前,达到增加混凝土强度的目的;

从处理的纤维增强混凝土的性能测试结果表明,纤维的化学处理提高了纤维与基体间的界面作用力,从而提高了纤维的增强效果。

⑤机械工艺处理。纤维异形化技术有二种:制成 V 形或 Y 形纤维截面或带钩形纤维形态和 PP 纤维原纤化技术以增加纤维与增强基质的接触表面和物理接触力。另外将纤维表面用粗糙的砂纸摩擦,增加纤维表面积和表面粗糙度,并在纤维表面产生微纤,增加了纤维与基体间的界面粘结力,达到提高纤维增强效果的目的。

(4)混杂纤维的应用。单一纤维增强作用是有限的,采用不同性能或不同尺度的纤维混杂增强,能使其在混凝土不同的结构层次和性能层次上充分发挥各种纤维的性能效应,达到逐级阻裂和强化的功能,制成高性能的混凝土。据专家介绍选用了不同尺度、不同性质的纤维(钢纤维、高模量纤维、低模量 PP 纤维),按二元或三元混杂增强水泥基复合材料,得到材料的阻裂及限缩能

力显著提高,与单一纤维增强相比,抗弯初裂强度提高了 30%,较基体可提高 70%以上,28 天龄期的收缩值相对于单一钢纤维增强可降低 65%。另外,碳纤维与 PP 纤维混杂可大大地提高混凝土的疲劳寿命。

#### 4 聚丙烯纤维混凝土的研究和应用现状

国外对聚丙烯纤维混凝土的系统研究较早。在二十世纪 60 年代早期,Goldfein 等人就研究了 PP 纤维体积含量为 0.5% 的增强混凝土的特性,发现其韧性和耐冲击性有所提高,从而引起了研究者们对合成纤维增强混凝土的兴趣。70 年代 Hughes 等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。从国外研究近况来看,对聚丙烯纤维混凝土的研究在基本性能研究的基础上,已有一定延伸。Sydney Furlan Jr. 等对十四根梁做了抗剪试验,指出与素混凝土梁相比,抗剪强度、刚度(特别是在第一开裂期后)和韧性都有提高,同时还研究了箍筋对纤维混凝土梁的影响。G. D. Manolis 等试验了一系列纤维含量不同、支撑条件不同的聚丙烯纤维混凝土板的抗冲击性能及自振周期,发现纤维的引入对混凝土板的抗冲击性能随纤维含量的增加逐渐提高,但对自振周期基本无影响。

目前国内研究主要集中于对纤维混凝土的物理、力学性能的研究:华渊等专家的研究表明,与基准混凝土相比,随着纤维体积率的增加(0%~15%),纤维混凝土的抗压强度变化很小,抗折强度则提高了 12%~26%,韧性也随之增加,提出了聚丙烯纤维混凝土的裂纹发展规律,定性分析了增韧机理。同济大学马一平等研究了改性聚丙烯纤维水泥基复合材料的抗塑性开裂性能和基本力学性能。东南大学孙伟等研究在聚丙烯纤维和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。孙家瑛研究了不同掺量聚丙烯纤维高性能混凝土的抗折强度、脆性和抗冲击性能。戴建国和黄承逵研究了网状聚丙烯纤维混凝土的施工性能、抗压、抗弯性能、韧性、抗渗性、热老化稳定性及收缩性能的试验结果。鞠峰等对高温条件下聚丙烯纤维混凝土抗爆性能进行了研究。曹诚等测试了聚丙烯纤维混凝土的抗冲击和疲劳特性,通过和普通混凝土对比后得出结论:较低掺量的聚丙烯纤维能有效提高混凝土的冲击韧性和抗疲劳性能,改善混凝土的抗动载能力,并对产生上述结果的机理给予了分析。另外,亢景付对聚丙烯纤维阻裂

# 抗渗防裂新品—PP 改性聚丙烯纤维

李桂雄 (广州市第二建筑工程有限公司 510045)

关键词: PP 改性聚丙烯纤维 抗渗防裂 新材料

近年来,建筑物墙身抹灰开裂、外墙渗水等质量问题较为多见。为作好墙体的抗渗防裂,有效方法之一就是在抹灰砂浆中掺加 PP 改性聚丙烯纤维。

## 1 简介

PP 改性聚丙烯纤维为白色短纤维,其比重为 0.9,纤度为  $\phi 6\sim 12\text{mm}$ ,长度为  $15\text{mm}\pm 1\text{mm}$ ,耐酸、耐碱、耐水,具有良好的化学稳定性,掺在混凝土或水泥砂浆中加以搅拌能均匀分布。由于大量的纤维散布在砂浆中,起到分散应力,提高抗拉强度的作用,可以改善和抑制混凝土或水泥砂浆因早期水泥硬化所产生的裂缝,从而有效控制混凝土塑性收缩、干缩等非结构性裂缝。另一方面,分散在混凝土或砂浆内部的纤维形成乱向撑桩体

系,有效阻碍骨料的离析,减少泌水并降低孔隙率,能够大幅度提高混凝土或水泥砂浆的抗渗性。

## 2 用途与用量

### 2.1 用途

- (1)可以用于钢筋混凝土、预拌混凝土和商品混凝土;
- (2)可以用于混凝土地下墙板工程;
- (3)可以用于混凝土地坪薄板工程及地下汽车通道;
- (4)可以用于制造薄型墙板;
- (5)在 C80 或 C80 以上的混凝土中应用,可以改善混凝土耐火、防爆、抗裂性能等;
- (6)可以用于水泥砂浆、混合砂浆、石灰膏中,大大加

增韧的机理进行了初步探讨,并介绍了水泥混凝土早期塑性收缩的发展过程,约束状态下塑性收缩变形及收缩应力的量测方法,聚丙烯纤维的尺寸和掺量对改善塑性收缩裂缝的影响。

在聚丙烯纤维应用方面,朱江分析了聚丙烯纤维混凝土的防水机理,并介绍了广州新中国大厦以及广州南方实业大厦的地下室底板中添加聚丙烯纤维的施工情况。谷章昭、倪梦象等指出尼龙及聚丙烯纤维混凝土具有较好的抗裂性,可提高混凝土的使用功能及耐久性,并已成功地在上海 8 万人体育场看台、地铁工程及东方明珠电视塔等工程中推广应用。苏健波、李志恩介绍了杜拉纤维(即束状单丝聚丙烯纤维)在广州市的东环、西环、南环等高速公路路面的应用,解决了收费站的无磁性要求,满足了路面的抗裂、抗磨、抗冲击等要求。

在重庆、厦门、武汉等地杜拉纤维还大量应用于桥面铺装、软路面等工程。在民用建筑中有效地解决了高强钢管混凝土柱的施工,提高了高强混凝土的延性和韧

性。重庆世界贸易中心在特大型转换层大梁中,应用杜拉纤维增强混凝土成功地解决了高标号大体积混凝土施工中的抗裂和提高韧性等问题。黄一丹介绍在广州正佳商业广场工程大面积混凝土底板采用了聚丙烯纤维混凝土,解决了超长超宽结构中防渗抗裂难题。徐至钧介绍了聚丙烯纤维在墙面水泥砂浆抹灰中的应用情况,指出可提高墙面之抗裂、抗渗、抗冲击能力,外观整洁,节约材料及降低施工成本。

## 5 聚丙烯纤维增强混凝土的展望

从现代建筑和可持续发展观点看,需要发展高性能混凝土,它是当前水泥基材料的主要发展方向,被称为“21 世纪混凝土”。聚丙烯纤维由于能有效地改善混凝土的耐久性,提高混凝土性能而备受青睐。在北美和欧洲,经过 20 年来的工程实践,使用聚丙烯纤维混凝土的技术已日臻完善,聚丙烯纤维已成为改善混凝土性能效果较好的材料之一。在我国,对混凝土增强聚丙烯纤维的研究也越来越受到重视。●