

# 水利工程中改性聚丙烯纤维混凝土的研究应用

董建伟<sup>1</sup>, 张国东<sup>2</sup>, 张宏雷<sup>1</sup>

(1. 吉林省水利实业公司, 吉林 长春 130062;  
2. 吉林省水利水电工程局五处, 吉林 长春 130012)

[摘要] 通过多年研究和实践经验, 本文介绍了在聚丙烯纤维的改性和表面处理、增强水泥与混凝土的机理、建设施工方面的独到见解, 并对研究和应用改性聚丙烯纤维混凝土中的若干问题也提出了建议。

[关键词] 水利工程; 聚丙烯纤维混凝土; 研究; 应用

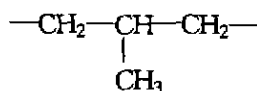
[中图分类号] TV431+.3

[文献标识码] A

吉林省水利实业公司是吉林省率先研究和应用改性聚丙烯纤维混凝土的单位, 研究和应用改性聚丙烯纤维混凝土已有数年, 并且已大量应用于渠道防渗及堤防、水库补强等工程上。

## 1 改性聚丙烯纤维简述

聚丙烯是一种典型的聚烯烃类结晶聚合物。分子结构为:



一般聚丙烯短纤维的主要性能为:

容重 8.829kN/m<sup>3</sup>

弹性模量 1.57~4.41kN/mm<sup>2</sup>

抗拉强度 400N/mm<sup>2</sup>

容重约为混凝土的0.375倍, 弹性模量约为混凝土的0.05~0.15倍、砂浆的0.25倍, 抗拉强度约为混凝土的100倍。

显然, 聚丙烯纤维的抗拉强度虽比混凝土高很多, 弹性模量却很低, 在应力增大的情况下, 聚丙烯纤维在产生全部约束应力之前, 混凝土已达到极限变形, 开始破裂。所以, 用不经特殊改性处理的聚丙烯纤维加入到混凝土中来提高抗压

强度, 效果不很明显, 甚至会降低混凝土抗压强度。

然而, 聚丙烯纤维对混凝土某些方面性能的改进, 特别对韧性及耐久性的改进是令人满意的。试验表明, 聚丙烯纤维与混凝土之间的附着力, 能抑制裂缝的扩展, 在受拉和受压的情况下, 材料破坏的形态与普通混凝土有较大的不同, “聚丙烯混凝土复合材料在冲击强度上的改进是惊人的”。更适用于可能受到冲撞作用的混凝土构件, 以及混凝土受破坏后仍要求有一定的剩余强度和几何形状的地方。

根据实验研究结果, 我们认为:

①聚丙烯纤维抗拉强度大、弹性模量低的特点, 是由其分子结构所决定的, 可通过改变聚丙烯纤维结晶方式能使聚丙烯纤维的刚性增加, 并能有限地提高纤维的弹性模量, 但弹模比  $E_f/E_c$  仍小于1, 对提高混凝土抗压强度的作用不大。

②聚丙烯纤维与水泥石之间的结合力与结合方式, 对聚丙烯纤维混凝土各项技术性能影响较大。

③对聚丙烯纤维的改性, 应当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。

因此, 对聚丙烯纤维进行了以下两个方面的

[收稿日期] 2001-7-12

[作者简介] 董建伟(1960-), 男, 大学本科, 高级工程师, 吉林省水利实业公司总经理。

改性:

①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。我们组织有关化工、化纤专家对此进行了较深入的研究。通过改变熔融后的结晶行为,使聚丙烯纤维刚性增加,弹性模量有一定提高,改善了纤维的和易性、亲介质性。

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。

②对聚丙烯纤维表面进行改性,这对改善混凝土多种技术性能十分重要。

按照目前常见有多缝开裂理论、纤维间距理论和复合力学理论,提高纤维混凝土各项技术性能尤其是抗压强度的基本前提,一是纤维的弹性模量不宜小于混凝土,这样才便于传递应力;二是纤维与混凝土之间要有较牢固的结合力,这样才能产生复合材料的效果。

显然,将聚丙烯纤维的弹性模量提高到大于混凝土的程度是办不到的。所以,我们注重对纤维表面的处理,同时采用了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。

根据我们对所了解的国外聚丙烯纤维的分析和研究,美国产的一些聚丙烯纤维表面带有有机硅材料,而欧洲产的纤维表面一般带丙烯酸酯类材料。有机硅同硅酸盐类材料有较好的结合力,而丙烯酸酯类材料对合成纤维有较好的黏附性,也与混凝土有较好的结合能力。

## 2 用于增强或改善混凝土性能的纤维主要参数

与钢筋混凝土配制中应给出钢筋的参数一样,在配制聚丙烯纤维混凝土时,也必须给出聚丙烯纤维的有关参数。

纤维纤度  $d$ 。纤维纤度是衡量纤维平均粗细程度的指标,单位常见为“分特”(dtex),即百米长纤维的重量(g)。纤度大易于搅拌,纤度小则分散性好。我们采用的是 11~15dtex。

纤维抗拉强度  $T$  与纤维弹性模量  $E$ 。抗拉强度一般常以  $g/dtex$  表示,我们所采用的聚丙烯纤维一般不小于  $4g/dtex$ , 约合  $30kg/mm^2$  左右。纤维抗拉强度及纤维弹性模量大时,产生全部约束应力的过程较短,将有利于抑制混凝土裂纹的产生和发展。

纤维体积率  $V_f$ 。纤维体积率  $V_f$  大时,混凝土的延塑性较好,抗冻融破坏能力强,但过大会使混凝土的孔隙率增加,导致强度的下降,同时搅拌困难。我们采用的  $V_f=0.9\sim 2.0$ 。

纤维长度与长径比。长径比较大时混凝土剩余强度提高,弹性模量降低,长径比较小时有利搅拌。同时,混凝土的成型时间与纤维的长径比呈直线关系。我们采用的长径比为 250:1 和 100:1 两种,长度 11~18mm。

纤维比表面 SFS。复合材料每一单位体积中的纤维总面积,对复合材料受力应变时的基体破坏方式起着决定性作用。纤维分散程度越高、周界面积越大越有利。同时,比表面积决定了对纤维进行表面处理材料的剂量。SFS 可按纤维纤度进行估算。我们采用的聚丙烯纤维比表面积  $SFS \approx 200m^2/kg$ 。

## 3 改性纤维混凝土制备的若干经验

### 3.1 对纤维的预处理

对于未经表面处理的改性聚丙烯纤维,可用相应的有机硅材料,选用特定的溶剂进行溶解后,对纤维进行浸泡或在开松时喷洒于纤维表面,风干后备用。必须注意的是,处理后的纤维忌潮湿,以防有机硅材料水解失效。

### 3.2 制备纤维混凝土

按传统观点,拌有纤维筋材的混凝土水泥含量较高,一般为 350~500kg;粗集料含量低,一般为 350~370kg;为了提高纤维与水泥的附着效率,粗集料粒径要较小,一般不大于 10mm。

按照大连理工大学土木学院黄承奎教授的观点,在通常配比的情况下,加入聚丙烯纤维,同样能达到预期效果。

聚丙烯短纤维混凝土的搅拌,可采用干搅拌、水搅拌两种方法。

总的来看,采用水搅拌的方式效果较好。我们进行的多个工程均采用了水搅拌,除出现少量

结团外,纤维分布较均匀。

### 3.3 水搅拌的关键之处,在于使纤维能够达到饱和状态

改性后的聚丙烯纤维,在水中处于半悬浮状态,颜色迅速变得较深,此时易于在水泥中均匀分布,与水泥结合程度也较好。在试验和实践中发现:纤维在加有表面活性剂(如减水剂)或丙烯酸酯乳液的水中,溶散较快,更容易搅拌均匀。

### 3.4 为减少水泥用量,可加入部分粉煤灰

这样可以改善改性聚丙烯纤维混凝土的和易性,对混凝土抗压与抗弯强度影响不大。宁波白溪水库为每立方米混凝土加水泥245kg时,粉煤灰加45kg。国外尚有水泥290kg、粉煤灰130kg的报道。

## 4 改性聚丙烯纤维混凝土的优点

综合有关试验研究成果,改性聚丙烯纤维混凝土有抗冲击强度较大、抑制干缩裂缝、抗松散性较好、剩余强度较高、磨损较小、减少渗透、抗拉及抗折弯强度有所增加、耐化学腐蚀、抗冻融性较好、抗人为及施工破坏能力强、增加耐久性等优点。利用这些优点,可以制作出适应北方复杂荷载条件、具有一定刚塑结合特点的混凝土材料,增加材料的耐久性,在较大程度上满足了工程要求。

我们经初步实验发现,经过特殊处理的改性聚丙烯纤维,可提高混凝土强度约10%~20%左右。

## 5 国内外聚丙烯纤维混凝土研究与应用的现状

国外对聚丙烯纤维混凝土的研究,开始于20世纪60年代。到了1975年,对聚丙烯纤维混凝土的研究与应用理论达到一个相对成熟阶段。在国际材料与结构实验室联合会1975年论文集《纤维增强水泥与混凝土》上,对有关聚丙烯纤维混凝土的各项性能、计算方法、施工技术等均有关全面的论述。但对聚丙烯纤维表面处理未见论及,对聚合物与纤维相互作用提高混凝土各项技术性能指标仅有只言片语的探讨。

80年代以来,美国、欧洲、韩国以及台湾

的一些企业,生产经过改性的聚丙烯纤维,在土木工程上得到了广泛的应用。较著名的美国FIBRE MESH、DURAFIBRE、欧共体的EUROFIBRE等公司生产的改性聚丙烯纤维,已大量应用于路面、机场、蓄水池、引排水渠道、墙面、广场地面、码头等建筑,目前已在世界上60多个国家和地区得到应用。产品已打入我国市场,在我国西部的一些高速公路上应用较多。韩国的一些产品也在大连等地的立交桥路面上得到应用。

我国于1992年开始,由原中国纺织大学(现东华大学)进行改性聚丙烯纤维的研制,近几年将生产技术推广到江苏、浙江的一些企业,在道路、城市广场等建设中应用较广。东华大学对改性聚丙烯纤维的研究较为深入,已研究出异形截面纤维、表面活性纤维,目前正在研制第四代纤维,即纳米技术改性纤维。

2000年9~12月,经国家有关部门批准立项,在浙江省宁波市宁海县的白溪水库,对面板堆石坝上游表面进行了改性聚丙烯纤维混凝土抗裂防渗处理。该水库大坝长约300m,高约100m,面板改性聚丙烯纤维混凝土1.1万 $m^3$ ,用改性聚丙烯纤维10.1t。于2001年4月通过了国家验收,其中改性聚丙烯纤维混凝土面板达到了国际领先水平。

吉林省对改性聚丙烯纤维混凝土的研究与应用,是从吉林省水利实业公司开始的。1998年在吉林省水利厅的资助下,组织有关单位进行改性聚丙烯纤维的研究,并于当年小批量实验生产出样品后,在吉林省水利厅及厅直有关单位、当地水利局的支持下,相继用纤维混凝土完成了渠道防渗、堤防护砌、水库补强等多项不同类型的工程,进而使改性聚丙烯纤维混凝土得到较大规模的应用。主要有以下工程:

1998年10月全省农田水利现场会期间,吉林省水利实业公司在吉林省梅河口市首次采用聚丙烯纤维混凝土——复合防渗膜进行了渠道薄壁(30~50mm)防渗护砌实验工程,该渠道工程长300m,护砌面积5000 $m^2$ 。

1999年5月吉林省水利实业公司在吉林省九台市用同样方式进行了500m渠道薄壁防渗护砌施工,护砌面积6000 $m^2$ ,效果较好。

2000年,吉林省水利实业公司的吉水土工合成材料研究所对合成纤维及相关高分子材料进

行了更加深入的研究,开始在吉林省榆树市的第二松花江堤防工程上,进行首次聚合物——改性聚丙烯纤维混凝土板块护坡实验工程,护砌长度300m;目前国内尚无聚合物——改性聚丙烯纤维混凝土在堤防工程应用的报道。

同年,协助长春市一大型水库进行了海漫段改性聚丙烯纤维混凝土补强工程,补强面积6000m<sup>2</sup>,该工程采用了两种长径比纤维。

2001年,吉林省水利实业公司总结了渠道防渗的经验和教训,又进一步研究出纳米聚合物——纤维混凝土超薄壁(10~20mm)渠道复合防渗卷材,获得了国家专利。

同年,在长春市一大型水库引水干渠进行了聚丙烯纤维混凝土机制六角砌块防渗护砌工程,护砌面积约5500m<sup>2</sup>。

在这一年还进一步研究了适用于不同纤维的高分子添加剂使用方法,提出了利用纳米级聚合物及有机硅材料对纤维表面进行进一步改性,改善纤维与水泥石界面粘合状况,使低弹纤维混凝土的抗压强度提高的观点,并通过实验得到初步验证。

上述研究成果在吉林省乃至在东北地区水利系统掀起了一股“纤维混凝土热”。省内外很多单位来吉林省水利实业公司进行探讨和交流,索取实验数据和纤维样品,到工地实地考察,并进行了很多类似工程:

吉林省水利科学研究所1999年在吉林省前郭灌区进行了数百平方米渠道防渗护砌实验工程,后于2000年、2001年在吉林省的永舒灌区、白沙滩灌区、海龙灌区等大型灌区的改造中,设计使用了改性聚丙烯纤维混凝土渠道护砌约10余万m<sup>2</sup>。

黑龙江水科所于1999年春到吉林省水利实业公司调研后,进行了纤维混凝土实验工程研究。

辽宁省有关同志1999年购买了10多kg纤维样品进行实验工程研究。

内蒙古自治区的两项渠道防渗护砌工程应用了吉林省水利实业公司提供的聚丙烯纤维。

## 6 吉林省水利实业公司在改性聚丙烯纤维混凝土研究与应用中所做的工作

吉林省水利实业公司近几年来,对改性聚丙烯

纤维混凝土进行了大量的研究与实践。开展了聚丙烯纤维改性及改性聚丙烯纤维混凝土增强水泥与混凝土的机理研究,提出增加改性聚丙烯纤维混凝土强度的“微拉伸”理论,总结出一些应用技术经验,对聚丙烯纤维混凝土耐候性问题的研究以及对改性聚丙烯纤维混凝土发展方向,在不同聚合物与改性聚丙烯纤维联合使用、不同长径比纤维共同使用等方面较为领先。

### 6.1 对改性聚丙烯纤维的研制

在1998年春,组织有关化工、化纤、水工专家,开展了聚丙烯纤维改性及在水利工程上应用的研究。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;在应力——应变图上可以看出,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。

### 6.2 通过大量实验,基本了解了改性聚丙烯纤维混凝土性能和应用的的关键技术与方法

几年来,公司进行了大量的改性聚丙烯纤维混凝土实验研究,总结出有关应用经验和施工方法。在《全国堤防建设研讨会论文集》、《吉林水利》等发表多篇论文。目前我省应用改性聚丙烯纤维混凝土的基本技术,如纤维的合理用量、搅拌方法、薄型混凝土结构护砌等均源于我公司的实验结果。

### 6.3 进行了大量宣传推广工作,促进了改性聚丙烯纤维混凝土技术的应用和推广

公司通过向各级领导、省内外研究设计单位介绍和宣传改性聚丙烯纤维混凝土的优点,在省内外各级刊物上发表研究论文,积极争取实验工程等方式,促进了改性聚丙烯纤维混凝土技术在我省乃至松辽流域三省一区的应用和推广。

### 6.4 填补了改性聚丙烯纤维混凝土在国内水利工程上应用的空白

从在今年5月宁波召开的全国改性聚丙烯纤维混凝土水利工程研讨会上了解的情况看,1998

年10月全省农田水利现场会期间,吉林省水利实业公司在吉林省梅河口市进行的聚丙烯纤维混凝土——复合防渗膜渠道薄壁(30~50mm)防渗护砌实验工程,可能是在全国水利工程中首次采用了改性聚丙烯纤维混凝土。吉林省水利实业公司无意中“吃了第一个螃蟹”。

### 6.5 在改性聚丙烯纤维混凝土理论研究上所做的工作

对改性聚丙烯纤维混凝土改善混凝土各项技术性能指标的机理进行了较深入的研究,提出了改性聚丙烯纤维提高混凝土各项技术性能指标的“微拉伸”理论。

前面已经提到,聚丙烯 $\beta$ 晶态在转变为 $\alpha$ 晶态时纤维表面出现的微孔,提高了纤维的亲介质性,为对纤维进行进一步表面处理创造了条件。

提高混凝土的各项技术性能,就要形成良好的孔结构、界面结构和水化结构。“微拉伸”理论致力于建立良好的界面结构。

英国建筑科学研究中心的A.J.马江内尔在《纤维水泥复合材料的性能》一文中指出:“界面在纤维水泥复合材料的性能演变中起着十分重要的作用。”英国建筑科学研究中心所作的实验表明:玻璃纤维束与水泥基体的黏结强度比聚丙烯纤维高出两倍。所以A.J.马江内尔同时指出:聚丙烯纤维与水泥基体之间的结合可能完全是摩擦性质的,黏结强度取决于纤维表面的粗糙度;而对玻璃纤维来说,与水泥的黏结部分具有化学性质,存在着 $\text{OH}^-$ 离子对 $\text{Si}-\text{O}$ 键的亲核性侵蚀。

这里给予我们第一个启发:设法使聚丙烯纤维表面存在 $\text{OH}^-$ 离子,产生对 $\text{Si}-\text{O}$ 键的亲核性侵蚀,增加聚丙烯纤维与水泥基体的粘和力。显然,某些与聚丙烯有亲和作用的有机硅材料在水解的过程中会产生这种现象。

英国萨里大学J.J.桑斯费尔德在《非钢纤维混凝土的性能与试验》中,提到了一种特殊现象:将乳状聚合物与合成纤维综合使用,使纤维在水泥基体内粘和力增加,提高了混凝土技术性能。同时指出:“对今后的研究工作来说,在混凝土中综合利用纤维的增强作用与聚合物的改性作用,似乎是一个值得付出努力的发展方向。”

这又给了我们第二个启发:进一步对聚丙烯纤维进行染整,使其在增加与水泥基体粘和力的同时,对水泥产生局部改性作用。

我们分析了聚合物改性水泥、聚丙烯纤维改性水泥的特点和不足之处,进一步提出了在聚合物混凝土复合材料理论中,聚合物改性水泥中形成的高分子薄膜未经分子定向,力学性能不佳,宜用改性聚丙烯纤维代替的观点。进而应将聚合物、改性聚丙烯纤维共同使用,并通过有机硅材料增强有机-无机材料间的界面效果,使改性聚丙烯纤维混凝土性能得到进一步改善。

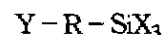
根据上述理论进一步进行了研究,根据实验结果,对经过表面处理的聚丙烯纤维增强混凝土强度的机理,提出了如下解释:

①用纳米级的丙烯酸酯及有机硅材料在纤维表面上形成连续的纳米尺度的粘和点。

对合成纤维进行染整,其中一种有效方法是用丙烯酸酯类胶体将染料牢固黏附于纤维表面。我们采用了近年来有关单位研制出纳米级的丙烯酸酯,其胶粒直径在40~70nm左右,比表面积约 $350\text{m}^2/\text{g}$ ,胶粒可与纤维表面连续、紧密地粘和,形成一个个“微粘和点”。由于这种胶粒直径仅相当于一般丙烯酸酯类胶粒的 $1/10\sim 1/5$ ,使得纤维表面涂胶层厚度也为一般丙烯酸酯类胶涂层的 $1/10\sim 1/5$ ,根据粘和界面理论,粘和效果会更佳。

②通过有机硅材料,将聚丙烯纤维、丙烯酸酯等有机材料与水泥水化后产生的水化硅酸钙进行化学粘和。

有机硅材料的分子基团由两种不同性质的材料构成。选用的有机硅材料通式为:



有机硅材料可在有机和无机材料的界面之间架起“分子桥”,将两种性质悬殊的材料连接在一起;在用溶胶——凝胶方法制成分子水平上混合的有机——无机杂化材料及纳米相复合材料中,能发挥独特的作用。合理选用可以和有机化合物起反应的Y基团,将使复合材料的性能得到提高。在适当的条件下,有机硅材料可使聚丙烯和丙烯酸酯等有机材料与硅酸盐、钢铁等无机材料间的粘和强度有较大的提高。

由于被粘和的有机材料是聚烯烃类和丙烯酸酯类材料,所以Y基团应能与上述材料对应。试验中选用了Y基团对应于聚丙烯、聚乙烯、不饱和树脂;Y基团对应于丙烯酸等;Y基团对应于聚烯烃类的多种有机硅材料。同时,也实验了数种丙烯酸酯材料。

由于聚丙烯纤维黏附了纳米尺度的“微粘合点”，并通过有机硅材料与水泥水化后产生的水化硅酸钙所形成 Si-OH-Si 键，及在适当条件下还能形成更牢固的 Si-O-Si 键，共同构成了如下链接链：

[聚丙烯纤维] - [“微粘合点”] - [Y 基团-R-Si-OH(O)-Si]

它们之间的化学键力使得纤维被“点焊”在水泥石中，而不是简单地被与水泥石的摩擦力所握和。

由地“微粘合点”间距在纳米尺度上，处于“微粘合点”之间的纤维，在纤维混凝土受到外力作用，内部应力增大时，可被牵伸的范围极小，所以经过不大于混凝土出现初始裂纹宽度的“微拉伸”变形后，即可以吸收能量，局部达到拉伸极限，产生全部约束应力，抑制混凝土部分裂纹的发展，减少了水泥水化物晶体间剪切破坏程度，使混凝土抗压强度和韧性指标得以提高。

上述观点，经实验后，在一定程度上得到了初步的间接验证，特别是抗压强度有一定程度的增加。但最终能否成为一种合理的解释，尚有待进一步实验和观察。当然，不排除残存的未水解有机硅与微量聚合物提高了水泥水化程度，使水化结构趋于合理，进而提高了混凝土强度的可能性。

## 7 对聚丙烯纤维混凝土应用中若干问题的探讨

### 7.1 聚丙烯纤维混凝土能否提高抗压强度

一些研究和设计单位认为：聚丙烯纤维能增加混凝土强度，因而减少了混凝土护砌厚度。

我们认为：如前所述，聚丙烯纤维弹性模量很低，纤维在产生全部约束应力之前，混凝土已达到极限变形并破坏，用不经特殊处理的聚丙烯纤维加入到混凝土中来增加抗压强度，效果不明显，但能够明显改善混凝土的韧性指标。

国外一些厂家的聚丙烯纤维的确能增加混凝土抗压强度，但据我们查阅资料和分析研究，发现其纤维表面也含有机硅等材料。关于有机硅材料，我们也曾做过一些研究，它不仅能提高有机、无机材料间的粘合强度，还能改善水泥水化物的界面粘合效果并增加水化程度，在混凝土中

达到一定大剂量（如水泥量的 1‰）时，本身就可以使混凝土抗压强度提高 20% 左右。我们在用有机硅材料处理水泥后进行混凝土实验时，也发现强度在增加。

因此，我们有理由认为：增加聚丙烯纤维混凝土抗压强度的主要因素之一，不是聚丙烯纤维本身，而是某些纤维表面黏附的有机硅等材料。

根据我们的初步实验，在对聚丙烯纤维进行必要的表面处理后，改性聚丙烯纤维混凝土能够增加混凝土的强度。分析其原因，一个可能是符合了我们提出的“微拉伸”理论；再一种可能是纤维表面微量未水解的有机硅和微量聚合物使水泥水化作用增强。

### 7.2 聚丙烯纤维混凝土应当有应用参考标准

前面已提到，与钢筋混凝土配制中应给出钢筋的参数一样，在设计聚丙烯纤维混凝土时，也必须给出聚丙烯纤维的有关参数。目前尚无有关参数的要求和标准。

我们认为：聚丙烯纤维的抗拉强度、弹性模量、长度及长径比、纤维纤度、纤维体积率等是设计和配制聚丙烯纤维混凝土的必要参数，建议应当由有关部门尽早制定。

### 7.3 聚丙烯纤维产品应当有技术和产品质量要求

由于近年来逐渐兴起了“纤维混凝土热”，生产厂家趋之若鹜，但多数对聚丙烯纤维混凝土了解甚少，只知道纤维能加到混凝土中，价格还挺高。已发现如下问题：

一是用廉价的普通聚丙烯纤维（丙纶）充当改性聚丙烯纤维，我们甚至见到一些厂家来推销用于生产无纺布的 51mm 丙纶卷曲丝。

二是用在碱环境下可分解的聚酯纤维（涤纶）充当混凝土用纤维。

三是仅对聚丙烯进行简单的牵伸或膜裂处理。

另外，尚有一些外商代理和国内厂家利用许多单位对改性聚丙烯纤维了解较少的弱点，哄抬纤维价格，影响了改性聚丙烯纤维混凝土技术的推广。

显然，聚丙烯纤维产品技术和质量标准的混乱，势必给工程带来隐患。必须尽早有所规范。

### 7.4 聚丙烯纤维混凝土的耐候性问题

聚丙烯纤维具有很好的力学性能，耐化学侵蚀，无虫蛀，但有四大致命弱点：一是光氧化

问题；二是热氧老化问题；三是高温失效问题；四是低温冻脆破坏问题。

#### 7.4.1 光氧老化问题

聚丙烯纤维对紫外线辐射十分敏感，即便遮光保存，一年内强度也会损失近30%左右。由于聚丙烯纤维埋于混凝土中，不受紫外线照射，故影响不大，但在贮藏时必须十分注意要避免光保存，保存期不宜过长。

#### 7.4.2 热氧老化问题

尽管混凝土表面温度有时较高，但在无氧状态下，聚丙烯纤维有较好的热稳定性。而如果混凝土表面密实度较差，聚丙烯纤维有和空气中氧分子接触的条件时，有产生热氧老化的可能。

#### 7.4.3 高温失效问题

由于聚丙烯纤维软化点在80℃左右，所以在环境温度超过软化点时，聚丙烯纤维将失去原有作用，在温度下降后，聚丙烯纤维仍能基本恢复原性能。然而，国外也有关于混凝土中的聚丙烯纤维在受热融化后，堵塞了混凝土中微小孔隙，减少了混凝土热崩裂破坏程度的报道。

#### 7.4.4 低温冻脆破坏问题

这一点将是影响聚丙烯纤维混凝土性能的十分重要的因素。聚丙烯的最低工作温度，一般在-25℃左右，脆化温度为-35℃~45℃。超过最低工作温度，聚丙烯将产生冻脆加速老化破坏现象，表现为加速聚丙烯老化进程，分子链断裂，纤维粉化。在北方地区，气温达到-25℃以下是

寻常事。而达到低温脆化温度时，聚丙烯纤维的力学性能将受到影响。在黑龙江省肇源等地区及吉林省的嫩江堤防工程中，已出现了多处采用聚丙烯强力丝制成的机织模袋，仅经过一年多的时间，便出现大面积冻脆加速老化现象，机织模袋破烂不堪，布表面粉化，强度犹如旧纸片。在混凝土中使用分子结构相同、仅是结晶行为与表面附着物不同的改性聚丙烯纤维时，应当引起高度重视。

实验与实践证明：改性聚丙烯纤维混凝土对减少混凝土表面微裂纹、提高混凝土韧性指标效果明显，但其抑制混凝土深层裂缝的能力，以及能否因加入改性聚丙烯纤维而减少钢筋用量是令人置疑的，因此不应对其期望过高，乃至迷信。我们认为：加入改性聚丙烯纤维可提高混凝土的耐久性，并可作为混凝土的安全储备和补充，解决用钢筋无法解决的某些问题，不宜作为混凝土材料基本结构元件，独立承担荷载。□

#### 参考文献

- [1] (英) 亚当·内维尔. 《纤维增强水泥与混凝土》[C]. 国际材料与结构实验室联合会, 中国建筑工业出版社, 1975.
- [2] (美) A. L. LANDAU. 《纤维加强混凝土的新发展》[J/OL].
- [3] (英) D.J 汉南特. 《纤维水泥与纤维混凝土》[M]. 中国建筑工业出版社.
- [4] 罗河胜. 《实用聚丙烯》[M].

## Study and application of modified polypropylene fibre concrete in water project

DONG Jian-wei, ZHANG Guo-dong, ZHANG Hong-lei

**Abstract:** The paper introduces the original view of polypropylene fibre modification and surface treatment, reinforcement cement and concrete mechanism, construction, puts forward some propositions on study and application of modified polypropylene fibre concrete.

**Keywords:** water project; polypropylene fibre concrete; study; application