



材料科学与工程

我国聚丙烯纤维混凝土工程的研究与应用进展

罗兆辉

(天津城市建设学院 土木工程系, 天津 300384)

摘要:介绍了聚丙烯纤维混凝土的性能,对我国聚丙烯纤维在混凝土工程中的研究进展和应用情况进行了综述,并对聚丙烯纤维混凝土的发展方向进行了展望。

关键词:混凝土;聚丙烯纤维;研究进展;应用

中图分类号:TU528.572

文献标识码:A

文章编号:1006-6853(2004)03-0198-06

水泥混凝土的发展已有 100 多年的历史,该材料因抗压强度高、耐久性好、来源广泛、成本低等特点在土木工程中得到广泛应用。但是混凝土又是一种多孔性的脆性材料,其抗拉强度远远低于抗压强度,韧性差,对冲击、开裂、疲劳的抵抗能力差;且由于裂纹的存在使水的渗入成为可能,从而影响到混凝土抵抗水渗透和抵抗冰冻的能力。多年来人们从原材料、配合比、外加剂、制造工艺、浇捣方法和养护工艺等方面加以研究和改进,取得了很大成果,但是这些方法并未从根本上改变混凝土的性能弱点。

20 世纪 70 年代以来,发展了纤维增强水泥基复合材料,钢纤维、玻璃纤维、合成纤维等纤维材料应用于水泥混凝土中,从多方面来改善混凝土的性能。聚丙烯纤维应用于混凝土中,具有掺加工工艺简单、价格低廉、性能优异等特点,近年来在国内外得到了广泛的推广和应用。

1 纤维混凝土概述

1.1 定义

纤维混凝土是以水泥加颗粒集料为基体,并且用纤维(短纤维)来增强或改善某些性能的混凝土复合材料。纤维在混凝土中一般是乱向分布的。

1.2 纤维对混凝土性能的改善机理^[1-3]

关于纤维混凝土能够改善多种技术性能的机理,目前常见的有以下三种解释。

1.2.1 多缝开裂理论

该理论认为:乱向分布的纤维与混凝土复合后,复合基体开裂后的性能,主要取决于纤维的体积率 V_f 。当 V_f 大于临界体积率 V_{fc} 时,纤维将承担全部荷载,并有可能产生多缝开裂现象,改变了混凝土材料的单缝开裂、断裂性能低的状况,并出现假延性材料的特征。在多缝开裂时,裂缝间距变小,数量增多,裂纹更细,用肉眼不能看见,从而提高了复合材料的韧性,改变了应力-应变状态,提高了耐久性。

1.2.2 纤维阻裂理论

该理论又称为“纤维间距理论”,早期由 Romualdi 等人提出^[1]。该理论认为在混凝土内部存在着不同尺度及不同形状的孔缝、微裂纹和缺陷,当受到外力作用时,这些部位将产生应力集中,引起裂纹扩展,导致混凝土结构的过早破坏。为减小这种破坏程度,应尽量减少裂缝源的尺度和数量,缓和裂缝尖端应力集中程度,抑制裂缝延伸。在混凝土中掺入一定数量的纤维后,在受拉时,跨过裂缝的纤维将荷载传递给裂缝的上下表面,使裂缝处的材料仍能继续承载,缓和了应力集中程度;随着纤维数量的增加,纤维间距减小并密布于裂缝周围时,应力集中就会逐渐减少或消失。

1.2.3 复合力学理论

该理论是基于线弹性、匀质顺向配置连续纤维混凝土复合材料而提出的。纤维不仅能够转移荷载,还能与基体界面粘合。当沿纤维方向承受拉力时,外力通过基体传递给纤维,使纤维混凝土复合材料的抗拉强度

和弹性模量有所增加,从而改善了混凝土的性能.

1.3 纤维混凝土的应用概况

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($E_f/E_c > 1$,如碳纤维、石棉纤维、玻璃纤维等)和低弹纤维($E_f/E_c < 1$,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,但价格较高;碳纤维具有胜过钢材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,降低了混凝土强度,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.由于聚丙烯纤维具有强度大、耐腐蚀、价格低等优点,较其它合成纤维如尼龙、芳纶等纤维有一定的优越性,因此应用前景广泛.

2 聚丙烯纤维与聚丙烯纤维混凝土的制备

2.1 聚丙烯纤维的指标

聚丙烯是由丙烯聚合而成的高分子化合物,是一种结构规整的结晶性聚合物,其英文名称为 polypropylene fiber,简称为 PP 纤维.一般聚丙烯纤维(短纤维)的主要性能包括:密度为 $0.9 \sim 0.91 \text{ t/m}^3$;弹性模量为 $(3 \sim 7) \times 10^3 \text{ MPa}$;抗拉强度为 $300 \sim 600 \text{ MPa}$;极限伸长率为 18%;耐热性能为在 $121 \sim 160 \text{ }^\circ\text{C}$ 连续耐热,熔点为 $165 \sim 170 \text{ }^\circ\text{C}$;化学稳定性是几乎不吸水,与大多数化学品,如酸、碱和有机溶剂接触不发生作用;颜色为乳白色,无味、无臭、无毒.与混凝土比较,容重约为混凝土的 0.375 倍,弹性模量约为 0.05 ~ 0.15 倍,抗拉强度约为 100 ~ 150 倍.

2.2 聚丙烯纤维的改性研究

普通聚丙烯纤维具有柔性大、不吸水的缺点,因此易打团,与水泥搅拌较为困难,在混凝土中分散性差,这也是妨碍聚丙烯纤维应用的重要因素.为此,一些聚丙烯纤维的生产厂家对此进行了较深入的研究^[2],对聚丙烯这种典型的聚烯烃类结晶聚合物进行了改性处理,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;同时短切的改性纤维在水中也有良好的分散悬浮性,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,国内外有很多实例,如东华大学、天津市欣晟建筑纤维公司(欣晟纤维)^[4-7]、华南理工大学^[8]、美国的 FIBRE MESH 公司、希尔兄弟化工公司^[1](杜拉纤维)

等.

2.3 聚丙烯纤维混凝土的制备

拌有聚丙烯纤维的混凝土配比可与普通混凝土相同.聚丙烯短纤维混凝土的制备,大致有下述两种方法:

干拌法——将集料与纤维混合搅拌,使纤维散开,以保证与砂浆更好地粘合,从而提高附着力;搅拌 2 min 后,将水泥和水掺入;如果纤维体积率 V_f 超过 1% 时,应代之以人工搅拌方式.

湿拌法——将纤维放入水量符合设计水灰比的水中,搅拌均匀后,在搅拌水泥与集料时倒入搅拌机,搅拌 4 ~ 5 min.

一些试验研究^[7,9-10]表明,制备聚丙烯纤维混凝土,干拌法的效果强于湿拌法.

3 聚丙烯纤维混凝土的试验研究进展情况

国外对聚丙烯纤维混凝土的研究,开始于 20 世纪 60 年代.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.产品已打入我国大陆市场,在一些高速公路、民用建筑上应用较多.

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.近几年我国生产聚丙烯纤维的厂家逐年增多,聚丙烯纤维已越来越多地在道路、建筑、水坝等工程建设中得到应用.对聚丙烯纤维混凝土的研究也随着生产实践的进展在不断深入.综合有关文献的试验研究成果,聚丙烯纤维混凝土有如下优点.

(1) 抗冲击强度较大,几乎为普通混凝土的两倍.

聚丙烯纤维混凝土复合材料在冲击强度上的提高是惊人的.聚丙烯纤维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.

文献[10]的试验结果表明:在混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维,可以显著地提高混凝土的抗冲击性能(混凝土中掺入 0.6 kg/m^3 聚丙烯纤维,抗冲击强度提高 31% ~ 37%).

(2) 抑制干缩裂缝.

掺入一定量的聚丙烯纤维可以明显地抑制混凝土的干缩裂缝.其主要原因在于:聚丙烯纤维的乱向分布形式大大有助于削弱混凝土砂浆的塑性收缩,收缩的能量被分散到每立方米数千万条具有高抗拉强度而弹性模量相对降低的纤维单丝上,从而极为有效地增加

了混凝土的韧性,抑制了混凝土微细裂缝的产生和发展.同时,无数纤维丝形成的支撑体系,有效地保证了均匀泌水,阻碍沉降裂缝的产生^[10].

文献[6,11]的试验结果表明:聚丙烯纤维混凝土的开裂系数比不掺的减少58%以上,阻裂作用明显.

文献[12-13]的试验结果表明:聚丙烯纤维品种和掺量对混凝土抗塑性干缩开裂能力有明显影响.直径较小的拉丝PP纤维比膜裂PP纤维抗塑性干缩开裂能力要好;随纤维掺量增加,纤维的抗塑性干缩开裂能力随之增加.

(3) 抗松散性较好,剩余强度较高.

聚丙烯纤维混凝土标准试块的高度在材料实验机上被压缩了10%~13%仍未散开,大致保持原几何形状.

(4) 磨损较小.

国外用高速旋转的橡胶轮胎摩擦混凝土试块,模仿在高速公路上汽车对混凝土路面的磨损情况,表明加聚丙烯纤维的混凝土较对比试件减少物料损失17%~34%.

(5) 减少渗透.

掺入聚丙烯纤维后,可以有效控制连贯性裂缝的产生;均匀乱向分布的纤维,可以降低混凝土表面的析水和骨料的离析,降低混凝土的孔隙率和连贯性毛细孔的形成,从而提高混凝土的抗渗性.

文献[5,9,14]的试验结果表明:在相同工艺条件下,随着纤维掺量的增加,混凝土的渗透高度减小.

文献[2]的试验结果表明:聚丙烯纤维混凝土比未加纤维的混凝土抗渗压力增加约20%,混凝土渗透高度减少约26.6%.

(6) 抗拉及抗折弯强度有所增加.

试件在压折时,发生类似于钢筋混凝土的多裂缝型折断,折断速度较慢;抗折强度及极限拉伸强度增加8%~10%;在国外尚有抗折弯强度增加达30%的报道.

(7) 抗冻融性较好.

混凝土中掺入聚丙烯纤维后,孔隙率和连贯性毛细孔相对减少,且可减缓湿度变化引起混凝土内部应力的作用,阻止受冻裂缝的扩展.

文献[11]的试验结果表明:冻融循环150到200次时,普通混凝土已不能满足规范指标要求,而纤维混凝土则都符合规范要求(相对动弹性模量>80%).说明聚丙烯纤维混凝土抗冻标号可从F100提高到F200.

(8) 耐化学腐蚀.

聚丙烯纤维有一定的化学惰性,在酸性、碱性环境下几乎不发生变化;同时,纤维在混凝土内部可避免光氧化.

(9) 消除或减少混凝土中原生裂隙的数量和尺寸^[15].

聚丙烯纤维钝化了原生裂隙尖端的应力集中,使介质内的应力场更加连续和均匀,并随纤维纤维度的增大、混凝土中纤维间距的减小而增强.这种效应不仅能有效阻止混凝土发生塑性开裂,对硬化混凝土的性能也非常有益.

(10) 抗人为及施工破坏能力强.

用500 mm×500 mm×50 mm薄纤维混凝土板($V_f=0.1\%$),自0.6 m高度落于混凝土地面后,一角出现连两角边的贯穿裂缝,长约250 mm.但提起薄板后,裂纹一端板角不脱落,不晃动,保持几何尺寸完整.

(11) 对混凝土抗压强度的影响.

根据参考文献,可以见到两种完全不同的结论.有些文章中所提供的测试结果表明,低掺量聚丙烯纤维用于混凝土中对抗压强度没有显著影响,有些研究结果甚至表明纤维加入后混凝土的抗压强度还略有降低^[16];但是也有相当数量的文章表明,低掺量的聚丙烯纤维对混凝土的抗压强度有一定的增强效果,增强5%~15%.

文献[17]认为,在对聚丙烯纤维进行必要的表面处理,改性聚丙烯纤维混凝土能够增加混凝土的抗压强度.其原因,一种可能是符合了“微拉伸”理论,另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.

4 聚丙烯纤维混凝土的应用情况

综合各参考文献,可以总结出聚丙烯纤维混凝土的适用范围为:①对表面抗裂要求严格的场合;②作为非结构性或作为温差补偿性的加强材料;③要求抗冲击、抗冻、耐磨、抗震性能较强的混凝土;④用于陡坡加固、喷射混凝土、灌浆等,以加强其内部支撑及粘结性能;⑤要求较高抗渗强度的工程,作为刚性自防水材料;⑥要求非磁性加强材料的场合;⑦要求抗碱及抗化学腐蚀的场合.

4.1 聚丙烯纤维混凝土用于工业与民用建筑

聚丙烯纤维可以大大增强混凝土的抗渗和抗裂能力,因此,聚丙烯纤维混凝土可以广泛应用于工业与民用建筑的地下室工程、屋面、停车场、贮水池以及大体积混凝土中.

聚丙烯纤维混凝土已在复旦大学南区体育中心游泳馆(1 100 m³ 混凝土 C30、S8)^[18]、上海国际体操中心地下室墙板与墙顶板(2 200 m³ 混凝土 C35、S8)和上海港泰广场地下室墙板(1 000 m³ 混凝土 C40、S6)等工程中成功应用于刚性防水、大面积的基础底板防裂结构中^[19]。在广州棠下安居工程 800 m² 地下室、新中国大厦地下室工程、50 层的中水广场大厦 4 500 m² 地下室等工程中^[20-21],采用聚丙烯纤维混凝土,大面积的底板均未发现裂缝。

北京住宅集团在某商住楼楼板自密集混凝土中使用聚丙烯纤维,用于混凝土防裂、抗渗,取得了良好的使用效果,尤其是对大面积的构件如楼板等,能有效预防由于塑性收缩或沉降收缩引起的早期开裂。

聚丙烯纤维混凝土也可用于高层建筑的大体积混凝土中,用来减轻混凝土的温度裂缝。如重庆市世界贸易中心的特大型转换梁的截面积为 1 500 mm × 4 500 mm,采用含 0.9 kg/m³ 杜拉纤维的 C60 混凝土,施工效果良好^[22]。

济南某小区 1 号楼是 6 层多功能建筑,结构形式为框架结构,总长度大大超过了《混凝土结构设计规范》规定的伸缩缝最大间距要求,但设计中取消了伸缩缝。主体混凝土梁、板全部采用纤维混凝土(掺量为 0.9 kg/m³),以抵抗非结构性裂缝,并辅助以其它施工措施。竣工后主体结构经质量监督站的核验达到了优良标准,至今未出现任何微裂缝,表明了聚丙烯纤维混凝土良好的抗裂能力^[23]。

在停车场、停机坪、网球场、上人屋面等承重面的施工场合,采用聚丙烯纤维混凝土可以解决抗冲击、抗疲劳等老大难问题,已经在国内有工程实例。

4.2 聚丙烯纤维混凝土用于道路与桥梁工程

聚丙烯纤维混凝土用于铺设桥面、路面等,可以提高其抗渗、抗冻融、抗冲击、抗疲劳等性能,因此在发达国家已广泛应用于高速公路、机场跑道、地铁、桥梁、铁路水泥枕木等方面。

聚丙烯纤维用于公路的路面和高速公路混凝土路面,平整而富有弹性与韧性,公路路面不易起小沟小坑,从而有利于驾驶汽车的平稳安全,而且聚丙烯纤维混凝土公路的使用寿命比一般路面可延长 2 ~ 3 倍。

在混凝土桥面施工中,用聚丙烯纤维代替钢筋网,消除桥面板的早期裂缝,并且不会因喷洒化冰盐水引起钢筋锈蚀而造成桥面破坏。这种做法已经在国内外的很多桥梁工程中应用。

在广州东环高速公路工程中,应用聚丙烯纤维混凝土成功地解决了收费站无磁路面抗裂、抗冲击、耐磨

的问题。该路段采用了在每 m³ C50 混凝土中掺加 0.9 kg 杜拉纤维、路面厚度 33 cm 的方案。在解决工程难题的同时,还因省去一层钢丝网而减少了材料和施工成本。收费站建成投入使用至今,面对繁忙的车流并未对路面造成明显的损坏,使用效果良好。在广东南海鲁岗桥的引桥路面,采用聚丙烯纤维混凝土后,路面由普通混凝土厚度 23 cm 减薄至 19 cm,而且该处为软基层,所铺设的聚丙烯纤维混凝土路面较水泥混凝土路面造价下降 6%^[24]。

4.3 聚丙烯纤维混凝土用于水利工程

与其它工程相比,水利工程在防裂、防渗、抗冻融、抗冲磨和耐久性等方面对混凝土有着特殊的要求。随着我国水工建设中高面板堆石坝、高拱坝、抽水蓄能电站和其它承受高水头和高流速、高含沙水流冲磨的结构物的兴建,以及我国西部大开发战略的实施,在寒冷、干燥、大温差条件下建设的水利工程将越来越多,这些都要求能进一步提高混凝土的上述性能。聚丙烯纤维混凝土在这些方面显示了较强的优越性。

目前聚丙烯纤维混凝土已开始吉林省姆河口市渠道薄壁(30 ~ 50 mm)防渗护砌实验工程^[17]、宁波白溪水库混凝土面板堆石坝二期面板工程^[11]、三峡工程的溢洪道进口,二期面板 1 号、3 号、9 号试验块,导流底孔跨缝板以及泄洪坝段表孔墩墙^[25-26]等工程中进行了成功的应用。

5 聚丙烯纤维混凝土的发展前景

由于聚丙烯纤维混凝土良好的特性,使得其在土木工程中的应用范围将越来越广,发展前景广阔。

5.1 用于高强、高性能混凝土

目前高层建筑的建造大多采用高强混凝土,但高强混凝土的高脆性能影响了其更广泛的使用。作为一种新型的混凝土外加材料,聚丙烯纤维能够较好地解决高脆性问题,使高强混凝土成为高强、高性能混凝土。

5.2 在聚丙烯纤维混凝土中加入粉煤灰

为减少水泥用量,可加入部分粉煤灰,用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^[19]。

5.3 用于喷射的聚丙烯纤维混凝土

聚丙烯纤维混凝土有较高的粘稠性,用于喷射混凝土也较为适当。其优点不仅施工便捷,而且在坡比很大、甚至垂直的场面上也能进行作业;不受其他添加剂的影响,成本较其它加筋材料低廉;可降低混凝土的渗

透性,减少裂缝,增加抗磨损能力.另外,对喷射机械磨损少,施工人员工作强度低.

5.4 耐火混凝土

在混凝土中添加聚丙烯纤维,可以减轻在大火条件下混凝土的严重坍塌,从而形成耐火混凝土.当混凝土中的聚丙烯纤维遇热熔化后,能够形成一个水蒸气通道,从而减小混凝土内部的压力.

日本的两家建筑公司把聚丙烯纤维掺入混凝土中,不仅提高了混凝土的耐火性能,而且可节约建筑物的建设费用及缩短工期.这种混凝土在实验中被置于1 000℃高温下2 h,表现出良好的耐火性能^[27].

5.5 聚丙烯纤维混凝土预制板

英国专家研制成一种新型的混凝土预制板,它以聚丙烯纤维织物为加固材料.这种预制板是这样制成的:在织物上涂一层1 mm厚的水泥浆,然后加一层织物,再涂一层水泥浆,就这样一层一层地加到所需要的厚度.这种预制板比钢筋混凝土预制板更便宜,质量也更轻^[28].

5.6 聚丙烯纤维混凝土的设计标准

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.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,建议有关部门尽早制定聚丙烯纤维产品的技术和质量要求.

6 结 语

随着研究的不断深入,作为一种新型的工程建设材料,聚丙烯纤维混凝土的优越性会不断地为人们所认识和掌握,它将越来越多地应用于建筑、公路、水利等工程建设中.

参考文献:

[1] 龚 益,沈荣熹,李清海. 杜拉纤维在土建工程中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[2] 董建伟,王广宇,裴宇波. 改性聚丙烯纤维混凝土及其应用[J]. 吉林水利,2000,(9):7-10.

[3] 徐至钧. 纤维混凝土技术及应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.

[4] 刘玉桥,李京玲,孙锦镖. 聚丙烯纤维对钢筋混凝土梁抗裂及承载性能的影响[J]. 天津城市建设学院学报,2003,9(4):231-234.

[5] 王书祥,成全喜,任权昌. 改性聚丙烯纤维混凝土抗渗性

能的试验研究[J]. 天津城市建设学院学报,2003,9(4):261-264.

[6] 成全喜,江书杰,孙锦镖. 聚丙烯纤维混凝土抗裂性能试验研究[J]. 天津城市建设学院学报,2003,9(4):265-268.

[7] 杨锦才,成美凤. 改性聚丙烯纤维混凝土的力学性能[J]. 天津城市建设学院学报,2004,10(1):62-64.

[8] 黄承亚,龚克成,李 红. 改性聚丙烯纤维水泥基复合材料力学性能研究[J]. 混凝土与水泥制品,2001,(6):40-42.

[9] 赵 晶,赵亚丁,张桂敏. 改性聚丙烯纤维在混凝土中的应用研究[J]. 混凝土,2000,(5):59-61.

[10] 李光伟,杨元慧. 聚丙烯纤维混凝土性能的试验研究[J]. 水利水电科技进展,2001,21(5):14-16.

[11] 葛其荣,郑子祥,高 翔,等. 宁波白溪水库二期面板聚丙烯纤维混凝土试验研究[J]. 建筑结构,2001,31(9):63-66.

[12] 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(I)[J]. 建筑材料学报,2000,3(1):48-52.

[13] 郭海洋,刘建树,赵 明,等. 改性异形聚丙烯(PP)增强水泥混凝土抗裂性研究[J]. 山东纺织科技,2001,(5):11-13.

[14] 廖宪廷,倪建华,王依民. 改性PP纤维在水泥混凝土中的应用[J]. 江苏纺织,1999,(10):9-11.

[15] 曹 诚,刘兰强. 关于聚丙烯纤维对混凝土性能影响的几点认识[J]. 混凝土,2000,(9):49-51.

[16] 姚 武,马一平,谈慕华,等. 聚丙烯纤维水泥基复合材料物理力学性能研究(II)—力学性能[J]. 建筑材料学报,2000,3(3):235-239.

[17] 董建伟,张国东,张宏雷. 水利工程中改性聚丙烯纤维混凝土的研究应用[J]. 吉林水利,2001,(9):1-7.

[18] 吴菊珍,林国英,顾政民. 聚丙烯纤维粉煤灰混凝土在复旦大学露天游泳池中应用[J]. 粉煤灰,2001,(5):33-34.

[19] 吴菊珍,顾政民,林国英. 聚丙烯纤维在粉煤灰商品混凝土工程中的应用[J]. 粉煤灰,2001,(3):21-23.

[20] 李学章,陈建辉. 耐久纤维在建筑抗裂防水工程中的应用[J]. 房材与应用,2001,(6):31-34.

[21] 朱 江. 聚丙烯纤维混凝土的防水性能及其应用[J]. 新型建筑材料,2000,(2):38-39.

[22] 苏健波,李士恩. 杜拉纤维增强混凝土的力学性能研究[J]. 广东土木与建筑,2000,(1):40-46.

[23] 张希舜,吴宗峰,张庆功,等. 超长建筑应用聚丙烯纤维砼施工技术[J]. 山东建筑工程学院学报,2000,15(3):88-91.

[24] 朱 江. 聚丙烯纤维混凝土在路面工程中的应用研究[J]. 广东工业大学学报,2001,18(2):62-65.

[25] 米 军. 聚丙烯纤维混凝土技术研制成功,并在三峡工

- 程推广使用[N]. 中国水利报, 2001-09-06.
- [26] 朱冠美, 杨松玲. 三峡工程聚丙烯纤维混凝土的试验研究[J]. 人民长江, 2002, 33(10): 39-41.
- [27] 钟 健. 耐火混凝土技术[N]. 建筑报, 2003-07-15(4).
- [28] 杜建东. 英国新型混凝土预制板[N]. 中国建材报, 1996-12-17.
- [29] 王为农, 姜艳书, 张洪福. 改性聚丙烯纤维混凝土在防渗工程上的应用[J]. 产业用纺织品, 2000, (总 112 期): 27-28.
- [30] 朱 江, 苏健波, 李士恩. 聚丙烯纤维混凝土的力学性能研究[J]. 广西工学院学报, 2000, 11(2): 60-64.
- [31] 戴建国, 刘 明, 黄承逵. 聚丙烯纤维混凝土和砂浆的塑性收缩试验研究[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 2000, 16(3): 195-198.
- [32] 陈容辉, 宋敦清. 低掺量聚丙烯纤维在混凝土(砂浆)中的阻裂作用[J]. 建材产品与应用, 2000, (5), 35-36.
- [33] 黄源江, 张宝兰, 方 晖. 掺聚丙烯纤维控制混凝土塑性收缩裂缝的研究[J]. 水运工程, 2000, (11): 1-3.
- [34] 张礼和, 谈慕华, 马一平, 等. PP 纤维水泥界面粘接与抗干缩开裂性能研究[J]. 建筑材料学报, 2001, 4(1): 17-21.
- [35] 徐至钧. 聚丙烯纤维在住宅中的应用[J]. 住宅科技, 2001, (12): 33-35.

Progress of study and application of polypropylene fibre concrete project in China

LUO Zhao-hui

(Department of Civil Engineering, TIUC, Tianjin 300384, China)

Abstract: The performance of polypropylene fibre concrete is introduced. The progress of study and the using situation of polypropylene fibre in the concrete project in China are summarized. Some views on the development direction of polypropylene fibre concrete are put forward.

Key words: concrete; polypropylene fibre; study progress; application