

JUBINGXI XIANWEI HUNNINGTU KANGLIE
FANGSHEN XINGNENG YANJIU
YU SHIGONG GONGFA

马南湘 编著

聚丙烯纤维混凝土 抗裂防渗性能研究 与施工工法

中国建筑工业出版社

中国土木工程学会工程材料分会
《工程材料》编辑部
2010年10月

中国工程院
中国工程院

聚丙烯纤维混凝土 抗裂防渗性能研究 与施工工法

中国工程院
中国工程院

聚丙烯纤维混凝土抗裂防渗 性能研究与施工工法

马南湘 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

聚丙烯纤维混凝土抗裂防渗性能研究与施工工法/马南湘编著.
北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-112-13760-2

I. ①聚… II. ①马… III. ①聚丙烯纤维-纤维增强混凝土-
抗裂性-研究②聚丙烯纤维-纤维增强混凝土-混凝土施工
IV. ①TU528.572②TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 231015 号

**聚丙烯纤维混凝土抗裂防渗
性能研究与施工工法**

马南湘 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京永峥排版公司制版

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张: 5 $\frac{3}{4}$ 字数: 152 千字

2011 年 12 月第一版 2011 年 12 月第一次印刷

定价: 16.00 元

ISBN 978-7-112-13760-2

(21488)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书通过聚丙烯纤维混凝土的平板中长期抗裂试验、抗渗试验和单轴拉伸力学性能试验分析，研究聚丙烯纤维对提高混凝土中长期抗裂、抗渗等耐久性能的效果和机理，进行了聚丙烯纤维混凝土楼板工程应用实例分析，并对其施工工法的创新历程进行了阐述。本书还结合案例阐述了施工工法的内涵实质，分析了申报国家级和省级工法所需要的条件及资料，可供建筑工程技术人员、相关专业院校师生学习参考使用。

* * *

责任编辑：岳建光

责任设计：张虹

责任校对：刘梦然 陈晶晶

前 言

混凝土的开裂是普遍存在的，它会严重影响混凝土的质量，特别是导致混凝土的耐久性下降。混凝土现浇楼（屋）面板是建筑物结构的重要构件之一。在建筑业已成为我国国民经济的支柱产业的今天，楼（屋）面板的开裂、渗漏问题已成为影响建筑物使用耐久性的问题之一，并成为工程质量投诉的热点问题。现浇楼（屋）面板使用的中、长期抗裂、抗渗等耐久性能也越来越受到业界的广泛重视。

为了探讨解决现浇混凝土楼板中长期非荷载抗裂性的难题，本书分析现浇混凝土楼板中长期裂缝产生的原因，探讨了混凝土结构裂缝产生的机理，通过聚丙烯纤维混凝土的平板中长期抗裂试验、抗渗试验和单轴拉伸力学性能试验分析，研究聚丙烯纤维对提高混凝土中长期抗裂、抗渗等耐久性能的效果和机理。将研究成果应用于实际工程中，以解决现浇混凝土楼板的开裂、渗漏等耐久性问题，提高经济效益和社会效益，具有现实意义。

本书的研究工作有三个主要方面：一是试验研究，主要包括聚丙烯纤维对混凝土中长期非荷载抗裂性能影响；聚丙烯纤维对混凝土抗渗透性能的影响；聚丙烯纤维对混凝土的单轴拉伸力学性能影响。二是聚丙烯纤维混凝土楼板工程应用实例分析。三是利用价值工程原理对聚丙烯纤维混凝土楼板应用的经济、社会效益分析。

研究结果表明：聚丙烯纤维对混凝土早期塑性裂缝和中长期裂缝有较好的抑制作用，对混凝土中长期抗裂性能的提高有较大的贡献，能有效改善混凝土的抗渗性能；聚丙烯纤维混凝

土楼板有良好的实际应用效果，具有较显著的经济效益和社会效益。

聚丙烯纤维混凝土楼板具有良好的抗裂防渗性能，但要在实际工程中充分发挥其显著的经济效益和社会效益，则必须要有先进的施工工法来配套、指导和管理施工。施工工法是把先进技术与科学管理结合起来，经过工程实践形成的综合配套的施工方法。是现代建筑工程施工技术不断发展的产物，是打造企业核心竞争力的利器。《聚丙烯纤维混凝土现浇楼（屋）面结构抗裂防渗施工工法》是作者作为广西大业建设集团公司总工程师主持的多项聚丙烯纤维现浇混凝土抗裂防渗工程施工实践，总结出的一套较好避免楼（屋）面等结构渗漏和开裂现象发生的施工方法。该工法在有关项目施工中得到了非常成功应用，具有较好的经济效益、社会效益和推广前景。该工法技术水平达到国内和广西壮族自治区内较先进水平，被广西住建厅授予2009年度自治区级工法。本书对该工法的创新历程进行了讲解，详细阐述了该工法的工法文本并附该工法申报区级工法的申报书，这些将对读者有一定的启迪和借鉴作用。

工法的广泛应用，能大大提高建设项目的科技含量，促成企业建筑科技的可持续发展，带动整个建筑业的繁荣和发展。本书还给出该工法再次成功用于实际工程并取得良好效果的多个案例。由此完成了工法来自工程实践，并从中总结出有经济效益和社会效益的施工规律，又回到施工实践中去应用，拿来就能用，用了就能成功的良性循环。

如何在看似平常的施工生产经营活动中开发和挖掘提炼出高水平的施工工法是目前困扰建筑企业并亟待解决的问题，作者根据自己多年来主持广西大业建设集团公司的工法建设和给广西建筑施工企业进行工法培训等工作经验，结合部分已获批的广西壮族自治区级工法，给出解决以上难题的思路和典型的案例分析。为推广普及工法知识，本书结合实例阐述了工法的内涵实质，分析了申报国家级和省级工法所需要的条件及资料，

阐述工法对提高企业核心竞争力的作用。这些知识对读者了解工法，推广普及工法，加强工法建设有着现实的意义。

本书第1~6章侧重聚丙烯纤维混凝土楼板中长期抗裂防渗性能的理论研究，第7~8章则是理论指导工程应用的实践，本书具有理论与实践相结合的特点希望能给广大读者提供一些微薄的帮助。

由于本书作者水平有限，不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 问题的提出和研究意义	1
1.2 纤维混凝土的国内外研究现状	2
1.3 聚丙烯纤维混凝土的性能	5
1.4 本书研究的主要内容及意义	9
1.5 本书拟采用的研究方法	11
1.6 本章小结	12
第 2 章 聚丙烯纤维混凝土原材料性能及抗裂试验配合比确定	13
2.1 原材料性能	13
2.2 配合比的确定	17
2.3 本章小结	19
第 3 章 聚丙烯纤维对现浇混凝土楼板中长期非荷载抗裂性能影响的试验研究	21
3.1 现浇钢筋混凝土楼板非荷载裂缝原因分析	21
3.2 现浇混凝土楼板裂缝目前常用的控制措施	25
3.3 聚丙烯纤维对混凝土和易性的影响	26
3.4 聚丙烯纤维对混凝土的抗压强度的影响	29
3.5 聚丙烯纤维对混凝土中长期非荷载抗裂性能的影响	35
3.6 聚丙烯纤维对混凝土抗渗性能的影响	50
3.7 聚丙烯纤维对混凝土单轴拉伸力学性能的影响	57
3.8 本章小结	62
第 4 章 聚丙烯纤维混凝土楼板在实际工程中的应用	63
4.1 聚丙烯纤维混凝土的施工技术	63

4.2	聚丙烯纤维混凝土在住宅楼（屋）面板的局部应用	64
4.3	聚丙烯纤维混凝土在深圳裕侨花园地下室墙板中的应用	72
4.4	聚丙烯纤维混凝土在泰州市联通大厦地下室墙板 工程中的应用	76
4.5	本章小结	78
第5章	聚丙烯纤维混凝土楼板应用的经济效益和社会 效益分析	79
5.1	价值工程原理	79
5.2	经济效益与社会效益分析	84
5.3	聚丙烯纤维混凝土与钢纤维混凝土的经济效果比较	86
5.4	本章小结	86
第6章	结论与展望	87
6.1	结论	87
6.2	进一步的研究设想	90
第7章	工法建设与聚丙烯纤维楼（屋）面结构抗裂防渗 施工工法	92
7.1	我国建筑工程施工工法制度诞生始末	92
7.2	建筑施工工法概念与概况	94
7.3	建筑施工工法的内涵	96
7.4	工法打造施工企业核心竞争力	97
7.5	工法是企业标准的重要组成部分	100
7.6	工法的分类	102
7.7	工法文本编写内容及要求	102
7.8	工法的语言结构	104
7.9	国家级和省级工法申报条件	105
7.10	国家级和省级工法申报的资料	106
7.11	专利申请和申报奖项	107
7.12	建筑企业如何进行工法选题和开发（以部分广西区级施工 工法为例）	107
7.13	我国施工工法建设任重道远、前景光明	121

7.14	“在别人基础上求变革”——聚丙烯纤维混凝土现浇楼（屋）面结构抗裂防渗施工工法创新回眸	123
7.15	聚丙烯纤维混凝土现浇楼（屋）面结构抗裂防渗施工工法文本	124
7.16	《聚丙烯纤维混凝土现浇楼（屋）面结构抗裂防渗施工工法》广西区级工法申报书	144
第8章	聚丙烯纤维混凝土现浇楼（屋）面结构抗裂防渗施工工法工程应用实践	155
8.1	施工企业运用施工工法管理指导工程实践的意义	155
8.2	施工企业管理和应用施工工法的要点	156
8.3	聚丙烯纤维混凝土现浇楼（屋）面结构抗裂防渗施工工法工程应用案例	158
第9章	结 语	167
	参考文献	168

第 1 章 绪 论

1.1 问题的提出和研究意义

水泥混凝土的发展已有 100 多年的历史，其抗压强度高、耐久性好、成本低、来源广等特点使得混凝土是现代工程中用量最多的材料，也是最主要的结构材料。钢筋混凝土结构已成为世界上应用最广泛的结构形式，但混凝土又是一种多孔脆性材料，其自身抗拉强度低、韧性差、极限拉应变很小，因而很容易开裂，混凝土裂纹的存在使水的渗透成为可能等弱点限制了其优势的发挥，混凝土开裂还使结构承载力下降、挠度增加，裂缝同时还是侵蚀介质向混凝土基体渗透、迁移的通道，严重影响了混凝土结构的耐久性。

普通混凝土楼板浇筑后，早期硬化阶段，会因泌水和水分散失而产生早期塑性收缩，使混凝土产生细微龟裂；在硬化后期还会产生干缩裂缝，削弱其整体性。在温度应力及其他外力作用下，还将产生中、长期裂缝，裂缝进一步发展甚至碎裂，从而影响混凝土楼板的耐久性和抗磨性能；而且因裂缝渗水，钢筋容易锈蚀。

现代高新混凝土工程中，混凝土的应用向着高强度、大流动度方向发展。随着混凝土强度和坍落度的提高，水泥的用量不断增加，由此带来的副作用是水化热加剧，混凝土的凝固收缩量加大，收缩应力增大，裂缝数量增多。随着建筑物向大体积、大面积、形状复杂多样的方向发展，及向地下空间的发展，混凝土结构，如楼板结构的内应力大而复杂，裂缝的出现也较以往多得多。因此，从混凝土楼板防水的角度看，除了注重混

凝土楼板的密实度以提高抗渗性外，更应注意由于混凝土楼板抗裂性不足而引起的渗漏，特别是高强度等级的混凝土。

目前，我国正进行着举世空前的大规模基础建设，但是有许多混凝土楼板结构在建期间或建成后出现可见裂缝，影响外观质量，同时影响在侵蚀介质环境中结构运行的耐久性，还使一些结构的使用功能受到影响，暴露出较严重的耐久性问题，寿命低于设计寿命标准。因此，只有认真研究混凝土楼板的抗裂、抗渗性能，解决混凝土楼板结构使用的耐久性，才能使资源得到充分利用，延长建筑物的寿命，延缓因时间推移而带来的结构安全性方面的威胁，保证其正常使用，才能尽可能减少重建和修复费用。

混凝土结构产生裂缝有两类，一类叫做荷载裂缝，它是由外荷载的直接应力和结构次应力引起；另一类叫做变形裂缝（非荷载裂缝），它是结构因温度、膨胀、收缩、徐变和不均匀沉降等因素由变形变化引起。大部分混凝土结构裂缝的原因是变形作用引起的，其几率约占 80% 左右^[1]，为了解决混凝土开裂问题，众多研究人员采用在混凝土中加入某种纤维，如用聚丙烯纤维来改善混凝土抗裂防渗性能，聚丙烯纤维混凝土的中长期非荷载抗裂、抗渗等耐久性能一直受到关注。

混凝土现浇楼板是建筑物的重要结构之一，其使用的中长期抗裂、抗渗等耐久性能越来越受到广泛重视，本书将根据我国现行常用的试验方法来测试和分析聚丙烯纤维对混凝土现浇楼板中长期非荷载裂缝、抗渗及单轴拉伸力学性能（抗拉强度、极限拉应变、最大裂缝宽度）的影响并探讨和分析聚丙烯纤维混凝土在工程中的应用。

1.2 纤维混凝土的国内外研究现状

1.2.1 国外的研究进展及现状

国外对聚丙烯纤维混凝土的研究始于 20 世纪 60 年代^[2]，

英、美等国家首先把切短的聚丙烯纤维掺入混凝土中用以改善混凝土的物理、力学性能。1975 年，在国际材料与结构实验室联合论文集《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 etc 均有较全面的论述。80 年代以后，日本、韩国等国家也对聚丙烯纤维混凝土进行了很多研究，得到了许多有用实验数据^[3]。90 年代，国外许多学者对聚丙烯纤维混凝土的抗裂能力、抗冲击性能、抗弯性能、弯剪性能分别做了研究^{[4][5][6]}，有关纤维混凝土的理论研究逐渐形成。目前，在美国已形成商品化、规模化，美国纤维网公司已在本国和澳大利亚有了一些成功的项目，如澳大利亚的水利大坝、高架桥梁等大跨度、荷载重的大型水利工程。

在工程应用方面，早在 1978 年，英国西部海岸就将聚丙烯纤维剁碎掺入混凝土砌块，用于砌筑防波堤；20 世纪 80 年代初，为解决军用混凝土工事在受炮火攻击后的耐久性问题，美国军队的工程师与美国最大的化工产品企业—合成工业公司的聚丙烯材料专家共同研制出用于混凝土增强的聚丙烯纤维，并大量应用于机场跑道、高层建筑地下室、桥梁桥面铺装等工程中。1994 年，韩国引进了该项工艺技术。美国最大的丹佛机场（总面积超过 53 平方英里，设计年客流量 1.1 亿人次），其机场跑道、停机场机库、地下传输通道等，都采用了掺加聚丙烯纤维网的混凝土，效果良好，路面没有出现龟裂和断裂现象。1989 年，墨西哥最大的建筑项目墨西哥市高级购物中心为了提高建筑物的抗地震破坏能力，全部混凝土结构中（包括板、梁、柱）都掺入了纤维网。据悉，目前美国所用混凝土总量中合成纤维混凝土约占 7%，超过先期研究的钢纤维混凝土（3%）。

1.2.2 国内的研究进展及现状

中国国内，聚丙烯纤维混凝土的研究起步较晚，随着国外聚丙烯纤维在国内重大工程中的规模应用而开始。20 世纪 70 年代纤维混凝土技术传入中国，纤维混凝土的应用是从玻璃纤维和钢纤维混凝土起步的，1986 年成立了中国土木工程学会纤维

水泥与纤维混凝土学术委员会，并在大连召开了第一届全国纤维水泥与纤维混凝土学术会议。从 1986 年至今已经召开了十届纤维水泥与纤维混凝土学术会议。我国于 1994 年前后引进聚丙烯纤维，并逐步在有关混凝土工程中应用，最初由于普通聚丙烯纤维弹性模量低，约束混凝土裂缝的能力比钢纤维差，其在紫外线作用下会迅速老化崩解，极大地限制了在土木工程领域的应用。20 世纪 90 年代，中国纺织大学开始进行改性聚丙烯纤维的研制，近年来国内已有企业生产聚丙烯纤维，改变了以往聚丙烯纤维全部依赖进口的局面，由于国内生产的材料价格较低，质量不比国外产品逊色，相同掺量下可以大大降低工程成本。同时国内许多研究机构、学者对聚丙烯纤维改善混凝土的物理、力学性能作用机理进行了试验研究，如大连理工大学、中国混凝土协会、天津市政、西安公路交通大学等单位对纤维混凝土的研究做了大量的研究工作^{[7][8][9]}。1998 年 6 月 26 日，建设部科技发展促进中心（站）印发《美国杜拉纤维技术研讨会纪要》，由此推开了纤维混凝土应用的崭新局面。据不完全统计，到 2001 年 10 月，在中国境内采用纤维混凝土的工程实例数以千计，工程类型几乎覆盖了工业及民用建筑工程当中所有用到混凝土的场合。目前这种趋势还在发展，深圳等地已将杜拉纤维的使用方法写入《建筑防水构造图集》。

目前，聚丙烯纤维混凝土在国内已经越来越多的应用到工业与民用建筑、道路、桥梁水利、国防等工程中。1993 年，上海市建筑科学研究院开始研究合成纤维在混凝土中的应用，1994 年该院对聚丙烯纤维的性能进行了深入的研究，确定了聚丙烯纤维可以大大地改善混凝土的抗裂性和抗渗性。1996 年，上海瑞安广场地下工程采用聚丙烯纤维混凝土，效果良好，没有发现因干缩而引起的微裂纹和渗漏现象。2000 年 10 月，在上海复旦大学体育中心游泳馆露天游泳池采用聚丙烯纤维混凝土，成功地解决了超长无遮盖架空式混凝土结构的技术难题。2000 年 12 月，宁波白溪水库二期工程采用聚丙烯纤维混凝土浇筑面

板坝获得成功，不仅为提高白溪水库面板坝的质量和耐久性起到了重要的作用，也是我国水利工程混凝土技术的一项具有创新意义的突破。国内最大的水电站——长江三峡电站，最重要的公共建筑——国家大剧院，成渝铁路隧道，以及众多的市政工程、预制构件等都使用了聚丙烯工程纤维，特别对高层建筑中改善高强混凝土的脆性具有重大意义。深圳市已把聚丙烯工程纤维混凝土防水作为地方标准图集的图例，供工业与民用建筑采用。

1.3 聚丙烯纤维混凝土的性能

1.3.1 纤维混凝土概述

1. 纤维混凝土定义

纤维混凝土是以水泥加颗粒骨料为基体，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。

2. 纤维对混凝土性能的改善机理

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）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。当大于临界体积率时，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、断裂性能低的状态，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，提高耐久性。

（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。该理论认为，在混凝土内部存在着不同尺度及不同形状的

孔隙、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。

(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。

3. 聚丙烯纤维的应用前景

混凝土增强纤维一般分为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)。钢纤维应用的效果较好，但价格较高；碳纤维刚度和强度胜过钢纤维，但价格更为昂贵；石棉纤维含有致癌物，易导致鼻咽癌；玻璃纤维与混凝土的混合性不好，易降低混凝土强度，还有易污染环境的问题；聚丙烯纤维具有强度高、耐腐蚀、价格低等优点，应用前景广阔。

4. 聚丙烯纤维与聚丙烯纤维混凝土的配制

(1) 聚丙烯纤维的指标

聚丙烯纤维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。聚丙烯纤维的主要性能见表 1-1。

(2) 聚丙烯纤维的改性

普通聚丙烯纤维具有柔性大、不吸水、易打团、与水泥搅