

// 工程建设新技术丛书

纤维

混凝土技术及应用

XIANWEI
JISHU

JIASHU
JING

徐至钧 编著

2
中国建筑工业出版社

工程建设新技术丛书

纤维混凝土技术及应用

徐至钧 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

纤维混凝土技术及应用 / 徐至钧编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2003

(工程建设新技术丛书)

ISBN 7-112-05583-0

I. 纤... II 徐... III. 纤维增强混凝土

IV. TU528.572

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 101671 号

工程建设新技术丛书
纤维混凝土技术及应用
徐至钧 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
新华书店经销
北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 17¼ 字数: 462 千字

2003 年 2 月第一版 2003 年 2 月第一次印刷

印数: 1—2,000 册 定价: 26.00 元

ISBN 7-112-05583-0
TU·4903 (11201)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书主要介绍纤维混凝土的试验研究、作用机理、物理力学性能，并介绍了杜拉纤维应用于我国的工程实例，在刚性自防水结构上应用纤维混凝土的经验，喷射纤维混凝土的应用，纤维用于沥青混凝土路面以及不同纤维在工程其他领域中的应用等。书中还汇集了 20 个重大工程和特殊工程应用纤维混凝土的工程实例。整本书全面系统地介绍了纤维混凝土技术的新进展。

本书可供土木、水利、交通、路桥、港口等设计、研究与施工部门、工程技术人员参考使用。

* * *

责任编辑 郭 栋

序

改革开放 20 年来,建设规模持续扩大,城市高层建筑崛起,现浇混凝土增长很快。混凝土外加剂(尤其是高效减水剂)应用日趋普及,混凝土由塑性、干硬性向流动性方向转化。现浇混凝土的坍落度一般可达 $120 \sim 180 \pm 30\text{mm}$,确保了混凝土运输和浇灌的质量。日本冈村甫教授发明的“自密实”高性能混凝土是用流动直径(flow diameter)计量的。我国混凝土结构使用的平均强度已从 80 年代的 C20~C30,工厂预制的预应力构件混凝土强度有的达 C40 提高到 C30~C40。C50 以上的高强混凝土已在高层建筑、大跨度桥梁和预制构件中得到了日益广泛的应用。应用当地砂石资源和企业的技术、设备条件,配制和应用 C60 混凝土的技术,已为多数大中型企业所掌握。而管桩(广州羊城管桩厂)混凝土达 C100(1994 年 8 月,我在该厂与吴中伟教授主持的鉴定会时翻阅了他们较长一段时间检验记录 C 大于 100,但他们对外只宣称 C100)、轨枕等预应力混凝土制品或构件,还应用了 C80~C100 混凝土。按照工程需要和施工要求,加入相关组分的外加剂对混凝土进行改性,已为广大混凝土工程技术人员所掌握。高强、早强、抗冻、缓凝、微膨胀(或补偿收缩)、泵送等混凝土新品种随之产生,使混凝土的材性和施工性能得以改善。钢纤维、碳纤维和尼龙纤维、聚丙烯纤维等各种纤维混凝土,已在工程中应用,也拓展了混凝土材料的应用范围。预拌混凝土的发展和高科技的应用,使混凝土工程质量得到提高。在现浇混凝土结构中,无粘结预应力楼盖和曲线张拉的预应力桥面板得到了迅速的发展。全国每年施工的无粘结预应力混凝土楼盖已超过 500 万 m^2 。

近几年来,人们在经济建设中重视贯彻可持续发展战略,混凝土强度已不再成为追求的主要目标,混凝土耐久性和可施工性渐渐成为人们关注的焦点,研究开发高性能混凝土、防裂纤维混凝土、绿色混凝土备受宠爱。

当前要加强对纤维混凝土工程实例和设计应用方法的介绍和宣传,拓展纤维混凝土的应用范围。钢纤维混凝土在我国已经发展了近30年(请参考《工业建筑》1983年第12期P1~7),研究应用其他纤维混凝土也有10多年历史,从事纤维混凝土研究应用的科技人员逐年增多,但应用范围仍然不广,绝大部分设计单位和科研单位的工程技术人员仍对纤维混凝土特别对其他纤维混凝土还缺乏了解,尤其是对结构设计方法不甚熟悉,因而推广应用有困难,这就需要广大同仁在各种场合去宣传,去介绍,去帮助科技人员应用纤维混凝土结构。

现徐至钧教授级高级工程师编著了《纤维混凝土技术及应用》一书汇集了各部门在应用纤维混凝土方面的经验和科研成果,无疑对推进纤维混凝土的设计与施工有着重要意义。同时,还希望纤维混凝土委员会带头向各委员单位征集其在纤维混凝土及纤维水泥制品方面的经验和科研成果,特别是应用型科技项目的介绍和适用范围、技术经济效益及应用前景等,整理汇编通过出版社正式出版,向土木工程界的广大科技人员介绍,扩大影响,让更多的人了解和应用纤维混凝土的研究成果。通过我们的奉献和努力,必能缩短这个进程。

总之,依靠优良的产品和结构性能和显著的技术经济效益,才能让越来越多的人接受纤维混凝土,应用纤维混凝土,促进纤维混凝土在工程领域的推广和发展。

丁水钧

2002年12月于南京

前 言

近 10 多年来，纤维混凝土在改性混凝土中已承担越来越重要的角色，特别是单丝聚丙烯纤维更以其成本低及改善混凝土性能的显著效果，受到了工程界的欢迎。尤以美国希尔兄弟化工公司生产的杜拉纤维（DURAFIBER）为代表，在技术上进行了重要的改进，具有高强的抗老化能力，对酸、碱、紫外线等具有极高的抵御能力。杜拉纤维的化学稳定性使其在混凝土中能够长期保持良好的工作性能，可以有效地控制混凝土塑性收缩及沉降裂纹问题，大大改善混凝土的抗裂、抗渗性能，有效提高抗冲击及抗冻能力。而目前国产聚丙烯，还处在开发试验、批量生产和试点应用阶段。

在国外，美国、加拿大、澳大利亚、日本、韩国、墨西哥以及东南亚等国家，聚丙烯纤维大量用于地下工程防水，工业与民用建筑的屋面、墙体和地面，以及公路及桥梁工程中。由于其在混凝土中拌合容易、分布均匀，效果显著，已成为工程界日益喜爱的高性能混凝土材料。

聚丙烯纤维近年在国内如广东、深圳、湖北、北京、重庆等全国几十个省、市、地区也被使用在各种工程上，受到了国内工程界的欢迎。国家建材测试中心已经对产品进行了有关性能的测试，一些单位结合产品的技术特点，针对自己的工程项目也进行了有关测试及工程实践，效果十分令人满意。

聚丙烯纤维是一种单丝纤维，与钢纤维、玻璃纤维、尼龙纤维、碳纤维等同为混凝土增强用纤维，在水泥基体中起到的主要作用是：阻止基体中原有的微裂缝的扩展并延缓新裂缝的出现；提高基体的变形能力并从而改善其韧性与抗冲击特性。不同纤维

各有自己的技术特性，所增强的方面各有所长，亦各有所短。纤维混凝土是一种新的材料，只有充分发挥材料的复合效应，才能综合解决工程中所遇到的问题。

聚丙烯纤维的适用范围目前在国内外的应用实例中，主要用于铺覆路面、桥面、城市立交桥，以有效提高其抗裂能力及改善疲劳特性；工程上如大体积混凝土，高性能混凝土，结构性自防水以及屋面、地面、内外墙的抗裂、抗渗；隧道、矿井等的衬砌薄壁结构等。

河北建筑科学研究院完成了“喷射合成纤维混凝土物理力学性能的试验研究”，将聚丙烯纤维掺入喷射混凝土，充分发挥喷射混凝土和聚丙烯纤维混凝土的优良性能，研究表明：喷射合成纤维混凝土除具备喷射混凝土基本力学性能外，能显著提高混凝土的抗裂、抗渗、抗冲击性能，具有较高的粘接强度和良好的耐久性，可延长建筑物的使用寿命和维修周期，其社会和经济效益显著。通过工程的实际应用，与普通喷射混凝土相比，具有增加一次性喷射厚度、降低回弹损失等特点。喷射合成纤维混凝土是集喷射混凝土和纤维混凝土优良性能于一体的新型混凝土，其工艺合理、质量可靠、技术可行，在地下工程、薄壁结构工程、维修加固工程、岩土工程、防护工程等土木建筑领域推广应用前景广阔。

有的单位结合工程实际，利用和发挥产品的特性，拓宽聚丙烯纤维应用范围。将纤维应用到板缝抹灰、内外墙抹灰保温等方面，经过冬季气温变化的考验，效果也十分理想。有的还将聚丙烯纤维用于水泥预制件，减少预制件断裂损失；有的装修公司利用聚丙烯纤维的特性来解决房屋装修墙面和顶板干缩裂缝等问题，为将聚丙烯纤维添加到水泥以外的材料拓宽了思路。

但从1998年6月建设部科技发展促进中心，召开“杜拉纤维”技术推广会上，不少专家呼吁要求政府有关部门对新产品新技术的使用，要尽快制订技术规范和技术标准，可4年多时间已经过去，规范和标准还没有着手制订。按照现行政策，各部门都

应订有一套行业规范，成为下属设计和建设部门的指导意见和规定。其他规范原则上只能借鉴使用。因此，各部门的行业规范纳入纤维混凝土相关内容与否在某种意义上制约着纤维混凝土的进一步发展，目前大量的试验研究资料和工程应用实例说明编制规程的条件已经成熟，建议由国家各部、委进行协调工作，同时各委员单位在自己所属行业内尽最大努力争取能将纤维混凝土纳入相应的设计、施工规范。纤维混凝土一旦订入行业规范，将会出现一个更加快速的发展局面。

当前为了弥补上述问题的不足。本书在编写过程中，把已发表于各类技术杂志及其他文献上有关纤维混凝土的研究与应用进行整理汇集成篇，使广大工程技术人员在推广使用纤维混凝土有书可循。

本书主要介绍聚丙烯纤维混凝土的试验研究、作用机理、物理力学性能，并介绍了美国的“杜拉”纤维应用于我国的工程实例，在刚性自防水结构上应用纤维混凝土的经验，喷射纤维混凝土的应用，聚酯纤维用于沥青混凝土路面以及聚丙烯等不同纤维在工程其他领域中的应用等。书中还汇集了 20 个重大和特殊工程应用纤维混凝土的工程实例。全面介绍聚丙烯纤维混凝土的技术新进展，可供设计、研究与施工部门、工程技术人员的参考，对加快纤维混凝土的发展将起到一定的促进作用。

新技术、新产品的推广，说到底也是一个效益和利益的问题。以推广聚丙烯纤维混凝土为例，从工程项目角度可能有时会增加一定的成本，但如果能从设计上挖掘潜力，调整性能与成本配置，可以做到成本不变或仅有微小增加，却减少或者延缓了维修，从而换取了长远的经济效益和社会效益。从我国的建筑工程来看，只顾眼前而忽视或放弃长远效益的事例比比皆是。解决这个问题，要解决各级人员的思想认识，同时要靠技术进步。

本书在编写过程中得到了香港恒律发展有限公司董事长骆丽女士、王齐先生与北京恒律公司龚益经理（研究员）、中国建筑材料科学研究院沈荣熹教授级高级工程师（工学博士）等协助和

支持。在本书编写过程中引用了各种论文、书籍及参考文献，在此谨向原作者致谢。同时还得到下列同志的支持：本书第十章由下列第一作者陆守稳、范永法、罗赤字、陈斌、王玉棠、詹国良、舒华彬、路来军、刁天祥、申纯良、吴菊珍、葛其荣、蔡文胜、杨德福、刘鲁强、蒙云、马华堂、吴富平、张志军等提供了资料，在此一并表示感谢。

书中不妥之处，尚祈各界读者朋友不吝指正。

目 录

序

前 言

第一章 纤维混凝土的发展前景	1
第一节 纤维混凝土	1
第二节 纤维混凝土研究与应用回顾	2
第三节 纤维混凝土的基本特征	6
第四节 纤维的品种与性能	8
第五节 对纤维产品的要求	10
第六节 聚合物纤维混凝土的研究和应用现状	14
第七节 连续纤维补强加固混凝土结构物的发展趋势	17
第八节 合成纤维混凝土的发展趋势与展望	20
第二章 纤维混凝土的作用机理	24
第一节 几种主要纤维的物理力学性能	26
第二节 合成纤维在混凝土中的作用	27
第三节 低掺率合成纤维在混凝土中的作用机制	35
第四节 低掺量合成纤维在混凝土中的效应分析	43
第五节 合成纤维在混凝土中的效果和机理综述	50
第三章 从混凝土的发展看控制裂缝的方向	61
第一节 高性能混凝土技术的进展引起了一些新问题的出现	61
第二节 商品混凝土工程的早期裂缝的分析	66
第三节 混凝土碳化对钢筋的影响	72
第四节 混凝土构件裂缝成因的分析	91
第五节 专用聚丙烯纤维有效改善混凝土的抗裂、抗渗等 性能的方法	95

第四章 纤维混凝土物理力学性能的研究	100
第一节 聚丙烯纤维水泥基复合材料抗裂性与干缩开裂性能研究	100
第二节 聚丙烯纤维水泥基复合材料物理力学性能研究	107
第三节 聚丙烯纤维对混凝土抗拉强度的影响	113
第四节 杜拉纤维混凝土强度标准	121
第五节 低弹性模量纤维混凝土的剩余弯曲强度	126
第六节 纤维改性混凝土的试验研究与应用	136
第七节 聚丙烯纤维混凝土耐气候老化性能试验研究	143
第八节 聚丙烯纤维混凝土抗冲耐磨试验研究	150
第五章 杜拉纤维 (Dura fiber) 是混凝土/砂浆抗裂抗渗的卓越手段	158
第一节 杜拉纤维的功能及作用机理	159
第二节 杜拉纤维的主要用途	164
第三节 施工操作与使用说明	166
第四节 产品主要参数	167
第五节 产品质量标准	168
第六节 主要测试数据	168
第七节 工程参数	173
第八节 建议掺量	174
第九节 国内应用杜拉纤维的部分工程项目	174
第六章 结构刚性自防水纤维混凝土的研究与应用	192
第一节 结构刚性自防水新材料纤维混凝土	192
第二节 纤维混凝土防裂、抗渗的实验研究	198
第三节 地下室防水技术的探讨	204
第四节 聚丙烯纤维混凝土的防水性能及其应用	209
第五节 聚丙烯纤维混凝土在防水工程中的应用	213
第六节 聚丙烯纤维混凝土组合防渗新技术的应用	219
第七章 喷射纤维混凝土	225
第一节 喷射混凝土的施工工艺	225

第二节	喷射混凝土技术的最新发展	228
第三节	喷射混凝土与喷射纤维混凝土的主要特性	237
第四节	喷射纤维混凝土的原材料及其配合比选择	251
第五节	湿喷工艺操作要点	254
第六节	喷射纤维混凝土在修复加固工程中的应用	258
第八章	聚酯纤维用于沥青混凝土的路面	264
第一节	热沥青专用合成纤维	264
第二节	聚酯纤维在沥青混凝土增强纤维路面应用性能检测	268
第三节	纤维增强沥青混凝土与沥青混凝土强度对比试验	276
第四节	聚酯纤维用于沥青混凝土的研究	282
第五节	广东省道路水泥混凝土的现状	285
第六节	杜拉纤维在混凝土路面施工中的应用	289
第七节	有关沥青纤维混凝土路面的压实施工	292
第八节	纤维混凝土在四川桥梁中的应用	295
第九节	成本效益分析	303
第九章	聚丙烯等不同纤维在工程其他领域中的 研究与应用	305
第一节	不同弹性模量的纤维对高强混凝土力学性能 的影响	305
第二节	低掺量 PA6 短纤维水泥基材料的力学性能及 耐久性	310
第三节	PA6 短纤维对水泥基材料塑性开裂的影响及其 工程应用	314
第四节	聚丙烯纤维自密实混凝土的研究及应用	319
第五节	聚丙烯纤维增强钢丝网混凝土薄板力学性能试验 研究	327
第六节	纤维改性水泥基材料的热性能研究	334
第七节	建筑物墙体裂缝的产生原因及控制措施	342
第八节	聚丙烯纤维在墙面水泥砂浆抹灰中的应用	346
第九节	低掺量聚丙烯纤维在混凝土（砂浆）中的阻裂作用	350

第十节 纤维复合修补材料	354
第十一节 EPS 保温砂浆性能的影响因素分析	357
第十章 工程应用实例	367
工程应用实例一 杜拉纤维在高层建筑转换层结构 C50 高强 混凝土中的应用	367
工程应用实例二 杜拉纤维混凝土在深圳市市民中心工程上 的应用	371
工程应用实例三 石化工程焦炭塔框架大厚板采用杜拉纤维 混凝土	377
工程应用实例四 聚丙烯纤维在广州新中国大厦工程中的应用 ..	384
工程应用实例五 杜拉纤维应用于预应力转换梁的施工技术	387
工程应用实例六 杜拉纤维在蓝海洋工程中的应用	393
工程应用实例七 广州名汇商业大厦纤维高性能混凝土的应用 ..	401
工程应用实例八 杜拉纤维在重庆世界贸易中心地下车库地坪 工程中的应用	407
工程应用实例九 聚丙烯纤维混凝土在以色列驻华大使馆工程中 的应用	413
工程应用实例十 聚丙烯膜裂纤维混凝土在北京北四环万泉河 立交桥工程中的应用	416
工程应用实例十一 露天架空游泳池采用聚丙烯纤维混凝土	422
工程应用实例十二 宁波白溪水库二期面板聚丙烯纤维混凝土 试验研究与工程应用	430
工程应用实例十三 微膨胀聚丙烯纤维混凝土在武汉西北湖广场 地下车库中应用	437
工程应用实例十四 纤维混凝土在地铁车站结构自防水施工中的 应用	440
工程应用实例十五 200m 级面板堆石坝面板材料改性研究	448
工程应用实例十六 聚合物纤维混凝土在渠道防渗中的应用	454
工程应用实例十七 聚丙烯纤维混凝土在桥梁工程中应用	462
工程应用实例十八 聚丙烯纤维混凝土在路面工程中应用	470
工程应用实例十九 改性聚丙烯纤维混凝土在高寒地区工程中	

的应用 476

工程应用实例二十 核电站废料桶采用纤维混凝土的研制技术
及质量控制 480

附录 纤维混凝土性能的检测与试验 489

第一节 纤维混凝土拌合物的试验 489

第二节 纤维混凝土硬化体的检测与试验..... 499

参考文献 532

第一章 纤维混凝土的发展前景

本章主要回顾了国内外在纤维混凝土基本性能和几类常用纤维增强混凝土的应用研究状况，其中重点叙述聚丙烯纤维混凝土的应用现状，提出未来纤维混凝土的发展方向应当发展高性能纤维混凝土。

第一节 纤维混凝土

混凝土是土木建筑工程最重要的材料。自 1824 年水泥问世及随之诞生的混凝土与钢筋混凝土以来，至今已有 100 多年的历史。混凝土工程技术总是伴随着工程建设的需要和科学技术的发展而进步。在开始阶段，人们使用高流动性混凝土，而获得的强度却很低。后来，配制成塑性和流动性混凝土，强度和使用都有所改善。到 20 世纪中叶，水泥混凝土技术的进步和设备的进一步改进，使混凝土又向干硬性或半干硬性方向转变，配制的强度更高，施工难度也随之增加。由于外加剂技术的进步，混凝土拌合物向塑性和流动性方向发展。混凝土强度和流动度得以兼顾，工程质量和速度同时得到提高。近 10 多年来，人们又把耐久性作为混凝土追求的主要目标，并引入超细活性掺合料，作为混凝土的重要组分，从而发展了具有高耐久性、高流动性和体积稳定性，并且有一定强度的混凝土，即高性能混凝土。高性能混凝土是 21 世纪混凝土技术发展的重点和方向。

但混凝土的固有弱点是因脆性而容易产生裂缝。高强混凝土的抗拉强度与抗压强度之比仅为 6%（当混凝土的强度等级超过 C45 时），脆性显著，塑性明显下降，因为脆性破坏会随时产生，

高强混凝土结构的跨度不能增幅太大。当结构受弯时，荷载等于破坏荷载的 15% ~ 20% 时就开始产生裂缝（这时钢筋的应力远小于屈服极限），随着裂缝扩展会造成结构物抗渗性能等的降低，以致使用寿命缩短；在结构设计时因裂缝宽度的限制，高强建筑材料的优越性得不到充分应用。因此，混凝土性能的提高显得十分重要。

其实，现代混凝土除了要达到高抗压、高抗拉等要求外，还要容易施工，并能长期保持高强、高韧性、高抗渗性等性能，这就导致了高性能混凝土（High Performance Concrete，或 HPC）的出现。纤维混凝土是在对混凝土改性过程中应运而生的，目前常用的几种纤维混凝土有：钢纤维混凝土（SFRC）、玻璃纤维混凝土（GFRC）、碳纤维混凝土（CFRC）以及合成纤维混凝土（SNFRC）。

事实上，利用纤维增强混凝土并非当代的新设想，早在民间便有了将稻草或毛发混合拌入泥浆中制造土坯或土墙的经验，至于利用人造纤维来改善混凝土的性能，则还是最近十几年才逐渐出现的思路和做法。

总之，纤维混凝土是以水泥净浆、砂浆或混凝土作基材，以非连续的短纤维或连续的长纤维作增强材所组成的水泥基复合材料的总称，通常简称为“纤维混凝土”。

目前在实际工程中已使用的纤维混凝土的主要品种为钢纤维混凝土、碳纤维混凝土与聚丙烯纤维混凝土。但都处于研究与发展阶段的则有钢纤维混凝土、碳纤维混凝土与一些高弹模合成纤维混凝土。本书重点介绍用聚丙烯纤维增强的纤维混凝土。

第二节 纤维混凝土研究与应用回顾

自从有水泥混凝土以来，裂缝问题一直困扰着人们，不少学者企图从不同的途径来解决收缩裂缝，至今掺膨胀剂的补偿收缩混凝土在建筑物防渗抗裂控制方面的研究和应用较多。工程实践