

钢纤维水泥基复合材料纤维 定向规律及力学性能研究

陈卓异 陈为锋 李 伟 主编

图书在版编目—建议数据

钢纤维水泥基复合材料纤维定向规律及力学性能研究 / 陈卓异 陈为锋 李伟 主编. —澳门:

澳门科学出版社, 2026.09

ISBN 978-99996-58-14-0

I. ①钢… II. ①陈… ① 纤维增强混凝土、纤维水泥制品

IV. ① TU528.572

依据《中国图书馆分类法》提供分类参考数据。

钢纤维水泥基复合材料纤维定向规律及力学性能研究

陈卓异 陈为锋 李伟 主编

ISBN 978-99996-58-14-0

责任编辑: 彭 俊

责任校对: 何幸宜

装帧设计: 何幸宜

出版发行: 澳门科学出版社

地 址: 澳门南湾大马路恒昌大厦 11 楼 F 座

网 址: <https://www.mospbs.com>, <https://moaj.mospbs.com>

总 机: +853-62961666

印装公司: 澳門翰林出版集團有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印 张: 9

字 数: 160 千字 印 数: 1~3000

版 次: 2026 年 09 月第 1 版

印 次: 2026 年 09 月第 1 次印刷

如有缺损质量问题, 请联系本社销售中心。

版权所有, 违者必究



编委会

主 编：陈卓异 陈为锋 李 伟

副 主 编：张天泽 郭勇军 张云峰

作者简介

主编 陈卓异

陈卓异(1985年5月-),男,湖南邵阳人,中共党员,工学博士,长沙理工大学土木工程学院教授、博士生导师。入选湖南省芙蓉计划青年人才,中国知网土木工程学科1%高被引学者,茅以升工程教育奖获得者。

主编 陈为锋

陈为锋,新疆北新路桥集团股份有限公司重庆北新钱双建设发展有限公司董事长、法定代表人;专业领域:土木工程建筑、高速公路建设与管理。

主编 李 伟

李伟,新疆北新路桥集团股份有限公司重庆北新钱双建设发展有限公司,路桥技术骨干。

作者简介

副主编 张天泽

张天泽, 湖南省高速公路集团有限公司, 发表论文 8 篇。

副主编 郭勇军

郭勇军, 新疆北新路桥集团股份有限公司重庆北新钱双建设发展有限公司, 路桥技术骨干, 发表专利 5 项。

副主编 张云峰

张云峰, 安徽宿固高速公路有限公司法定代表人、董事长、总经理。路桥技术骨干。

前言

钢纤维水泥基复合材料自20世纪问世以来,历经半个多世纪的发展,已成为现代土木工程领域不可或缺的重要建筑材料。从最初苏联学者尝试将金属纤维掺入混凝土,到Romualdi“纤维间距理论”的提出,再到如今广泛应用于桥梁铺装、隧道衬砌、机场跑道等重大工程,钢纤维混凝土的研究与应用始终伴随着人类基础设施建设的发展步伐。然而,在长期的研究与实践中,一个核心问题始终困扰着工程师与科研人员:如何让钢纤维在水泥基体中有序排列,使其增强作用得到最大程度的发挥?

传统的钢纤维混凝土中,纤维呈随机乱向分布,仅约40%的纤维能在受力过程中有效发挥作用,这无疑造成了材料性能的浪费。为解决这一难题,国内外学者提出了离心成型、人工定向、流动诱导等多种方法,但或因工艺复杂,或因效果有限,始终未能实现理想的控制效果。磁场定向法的出现为这一问题提供了新的解决思路。自沈荣熹先生于1984年首次通过磁场诱导实现钢纤维定向排列以来,这一技术逐渐成为研究热点。然而,传统磁场定向法依赖于通电螺线管内部的均匀磁场,构件尺寸受限于螺线管内部空间,难以应用于实际工程中的大型构件。

基于这一背景,自主研发了一种外部梯度磁场定向设备,通过E型铁芯与直流电螺线管的组合,将磁场引导至线圈外部,实现对钢纤维的有效定向。这一突破打破了传统磁场定向的空间限制,为定向钢纤维混凝土的工程化应用开辟了新路径。本书正是围绕这一核心技术,系统探讨梯度磁场作用下钢纤维水泥基复合材料的纤维分布规律与力学性能。

全书内容涵盖两大主线:一是从磁场仿真与实验验证入手,通过COMSOL Multiphysics建立精确的磁场模型,揭示E型铁芯对磁场的引导与增强机制;二是以含砂率和定向时程为关键变量,系统研究细骨料含量与磁场作用时间对钢纤维定向效

果的影响规律。在此基础上,进一步探讨定向钢纤维水泥基复合材料的抗折强度与弯曲韧性,建立纤维分布与宏观力学性能之间的内在联系。

本书的完成凝聚了课题组成员多年的心血。从最初设备的研发调试,到数百个试件的制备测试,再到海量扫描图像的分析处理,每一个环节都离不开团队的协作与坚持。特别要感谢课题组所有为本书做出过贡献的伙伴们。还要感谢所有为本书提供参考文献的学者们,正是站在巨人的肩膀上,我们才能看得更远。

全书共分七章。

第一章介绍了钢纤维混凝土的国内外研究现状,明确本书研究的目的、意义与主要内容。第二章研究了钢纤维水泥基复合材料的含砂率和定向时程影响规律。第三章建立了钢纤维水泥基复合材料细骨料的影响机制和定向机理。第四章试验研究了定向钢纤维水泥基复合材料弯曲性能。第五章通过COMSOL Multiphysic对梯度磁场进行仿真模拟。第六章明确了梯度磁场下细骨料钢纤维水泥基复材纤维定向影响机制。第七章揭示了梯度磁场下钢纤维水泥基复材定向机理。

全书由陈卓异统稿。第一章由张云峰撰写,第二章由陈卓异撰写,第三章由陈为锋撰写,第四章和第五章由李伟撰写,第六章由张天泽撰写,第七章由郭勇军撰写,研究生朱书麟等对本文的录入、绘图和英文校对等进行了细致工作。

感谢新疆北新路桥集团股份有限公司、长沙理工大学、湖南省高速公路集团有限公司的支持。由于时间和作者水平有限,书中一定存在缺点和不足,恳请专家和读者批评指正。

陈卓异

2026年6月于长沙

目 录

第1章 目录

第1章 绪论

1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	5
1.3 本文研究内容和技术路线	12

第2章 钢纤维水泥基复合材料的含砂率和定向时程影响规律

2.1 引言	19
2.2 钢纤维磁场定向设备	20
2.3 试验方案	22
2.4 定向时程、含砂率与 CT-X 射线扫描图像关系	27
2.5 定向时程与钢纤维定向规律	32
2.6 含砂率与钢纤维定向规律	36

2.7 本章小结	37
第 3 章 钢纤维水泥基复合材料细骨料影响机制和定向机理	
3.1 引言	40
3.2 电磁定向理论	41
3.3 COMSOL 仿真实论	44
3.4 混凝土试样对磁场强度的影响规律	48
3.5 细骨料阻挡钢纤维转向机理研究	55
3.6 本章小结	58
第 4 章 定向钢纤维水泥基复合材料弯曲性能研究	
4.1 引言	60
4.2 试验方案	61
4.3 弯曲性能试验研究	63
4.4 定向钢纤维水泥基复合材料弯曲性能试验结果分析	66
4.5 本章小结	72
第 5 章 基于 COMSOL Multiphysics 梯度磁场仿真模拟	
5.1 引言	74
5.2 铁芯磁化原理	75
5.3 COMSOL 仿真模拟	77
5.4 E 型铁芯作用下磁场分布特性	83
5.5 梯度磁场仿真与实测对比	94

5.6 本章小结 96

第 6 章 梯度磁场下细骨料钢纤维水泥基复材纤维定向影响机制

6.1 引言 99

6.2 梯度磁场中钢纤维旋转行为 100

6.3 实验方案 103

6.4 X-ray 扫描方案 107

6.5 结果与讨论 108

6.6 本章小结 113

第 7 章 梯度磁场下钢纤维水泥基复材定向机理

7.1 引言 115

7.2 仿水泥砂浆中钢纤维转动行为 116

7.3 试验方案 118

7.4 结果与讨论 120

7.5 本章小结 132

第1章 绪论

1.1 研究背景与意义

混凝土是当代最重要的土木工程材料之一,因具有优良的抗压性能,广泛的应用到房屋建筑、桥隧工程、水利港口等重要的工程建筑。自19世纪发明以来,便得到了广泛的运用,到了20世纪50年代末,减水剂的发明与运用后,混凝土的应用得到了更为快速的发展^[1]。随着时间的推移和混凝土的大范围使用,混凝土抗拉性能低、变形能力差、脆性易开裂等缺点暴露出来。这些缺点会严重影响到混凝土的使用寿命,为了改善这些缺陷,研究人员将玻璃纤维、有机合成纤维、碳纤维以及钢纤维等纤维材料,掺入水泥基体中形成复合材料^[2],以提高混凝土力学性能。

“十四五”时期对建筑行业发展进行新规划,低碳、绿色、高性能等成为建筑材料的主要理念,纤维混凝土作为高性能混凝土的代表,其较于普通混凝土有更为优良的拉伸延性、耐久性、抗折抗弯性能^[3]受到研究人员青睐,并运用到桥梁、道路工程,以解决正交异性钢桥面疲劳问题、负弯矩桥面板开裂、湿接缝浇筑等实际工程难点。随着全国乃至全世界基建工程不断推进中,不可否认,纤维混凝土已成为了新时代高性能混凝土的“主力军”,研究人员不断将其用于各类工程,并追求更出色的力学性能。

ECC混凝土、钢纤维水泥基复合材料虽然在抗拉、抗折等力学性能上优于普通混凝土,但是在长期的使用当中,提升的效果并不是非常理想,就如钢纤维水泥基复合材料,钢纤维在水泥基体中随机乱向分布,其方向系数只有0.405^[7],这意味着仅仅只有40%的钢纤维在受力过程发挥作用,钢纤维水泥基复合材料并没有把钢纤维的优良抗拉性能发挥到极致,增强增韧效果大打折扣,造成材料属性过剩。若将钢纤维沿

2019

历史机遇 · 打造交流合作基地

Historic Opportunity · Build Communication And Cooperation Bases

· 粤港澳大湾区 · 发展规划纲要

解读2019年新发布《粤港澳大湾区发展规划纲要》

★★★★

大湾区规划 · Introduction

《粤港澳大湾区发展规划纲要》明确了澳门“一个中心、一个平台、一个基地”的三个定位，即：建设世界旅游休闲中心、中国与葡语国家商贸合作服务平台，**打造以中华文化为主流、多元文化共存的交流合作基地。**

It further clarified the three orientations of "one center, one platform and one base" of Macao, namely, to build a world tourism and leisure center, a business and trade cooperation service platform between China and Portuguese-speaking countries, and to build an exchange and cooperation base with Chinese culture as the mainstream and multicultural coexistence.

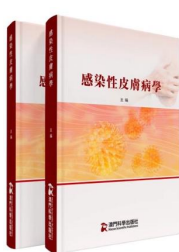


全球发行 · Publishing worldwide



由于国内自费书没有实际销售，出版社不会实际发行，属于非正式出版物，因此国内自费书绝大部分是属于非正式出版物。国际出版即便在没有销售市场的情况下也可以在海外发行上架。世界上其他地方（包括中国）的读者可以通过海外电商平台进行订购和销售。

Since there is no market for self-funded books in mainland China, mainland publishing houses will not actually issue them, so most of self-funded books in the Mainland are informal publications.



- 呼吸系統基本基礎與臨床 Fundamentals and clinic of respiratory diseases
- 臨床腫瘤護理學 Clinical oncology nursing
- 感染性皮膚病學 Infectious dermatology
- 內分泌系統疾病 Endocrine system disease



- 實用小兒內科學 Practical pediatric internal medicine
- 消化系統疾病診療學 Diagnosis and treatment of digestive system diseases
- 現代中醫診斷學 Modern diagnostics of traditional chinese medicine
- 皮膚修復與再生 Skin repair and regeneration

出版流程 · Publishing Process

出版流程快速简便，在填写基本信息、签订合同并支付费用后，IBPC将原始内容进行校对、排版及封面设计；在经过多次校对后，提交申请国际书号；可根据实际需求进行印刷和馆藏存档，最后上架发行。全程专人沟通指导，以极高性价比的方式出版属于自己的作品。

The publishing process is simple and convenient, after filling in the basic information, signing the contract and paying the fee, IBPC will conduct proofreading, typesetting and cover design. After multiple proofreading, submit the ISBN application. According to the actual needs, we will arrange printing and collection archiving, and finally put on the shelves and issued.

检索服务 · Retrieval Service

IBPC的检索服务可提供出版物国际注册文件及出版物所在地的图书馆检索证明，为作者提供证明文件支撑。同时，优秀图书将推荐至国际数据库中收录，提升出版物的认可度。

IBPC can provide retrieval service including the registration documents and the library search certificate. Meanwhile, excellent books will be recommended for inclusion in authoritative databases to enhance the recognition of publications.

销售协议 · Sales Agreement

作者签订销售合作协议后，IBPC可提供多种上架渠道，包括官网、京东、天猫、亚马逊、当当网等平台，可销售纸质印本与电子图书等形式，并按照合作协议进行利润分成。

After the author signs the sales agreement, IBPC can provide a variety of sales channels, such as the official website, JD & T-mall overseas Purchase, Amazon and other platforms, printed paper and electronic books are available, and the authors share the profits according to the sales agreement.



填写信息
Information Filling



签订合同
Contract Signing



支付费用
Payment



提交书稿
Submitting



内容校对
Proofreading
内容排版
Content Layout
封面设计
Cover Design



申请书号
ISBN Apply



印刷出版
Printing



馆藏存档
Archives



上架发行
Publication

澳门科学出版社 MOSP

“以服务青少年及青年科学才俊为己任，
打造国际性的科学技术交流平台”

正规国际出版，首选澳科出版

- 学术著作/个人作品 - 优质
- 中华“强国文化”输出战略 - 翻译后国际出版
- 数字教材 - 教材出书 & 数字化媒体上线

所有优质内容，均可申请出版减免资助。

所有澳门本土内容，均可申请出版减免资助；

澳门总部

电话：0853-62961666（澳门）

邮件：book@mospbs.com

地址：中国澳门南湾大马路恒昌大厦F座11楼

网址：www.mospbs.com（英文）| moaj.mospbs.com（中文）

特别提醒：MOSP所有业务均有出版社的正规盖章合同，
若有任何疑问，可联系出版社编辑确认。