

离心成型钢纤维 混凝土及工程应用

张天光 赵顺波 李凤兰 著

Techniques and Engineering Applications
of Spun-cast Steel Fiber
Reinforced Concrete



科学出版社
www.sciencep.com

离心成型钢纤维混凝土 及工程应用

Techniques and Engineering Applications
of Spun-cast Steel Fiber Reinforced Concrete

张天光 赵顺波 李凤兰 著

河南省高校创新人才培养工程培养对象(2004 年度)研究成果

科学出版社

北京

内 容 简 介

离心成型钢纤维混凝土是作者将钢纤维混凝土应用于离心成型混凝土制品领域获得的一种新型材料品种。全书共分9章,内容包括离心成型钢纤维混凝土的增强机理、力学性能和耐久性能,钢纤维混凝土电杆的离心成型工艺及成品检验和质量控制,离心成型钢筋钢纤维混凝土、预应力钢纤维混凝土电杆的受力性能与设计方法,大型无拉线单叉梁门型预应力钢纤维混凝土杆塔的设计、受力性能试验及工程应用等。

本书可供送变电线路工程以及管桩、管柱、管涵等离心成型混凝土制品设计和生产的技术人员及从事纤维混凝土研究的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

离心成型钢纤维混凝土及工程应用/张天光,赵顺波,李凤兰著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-024227-3

I. 离… II. ①张…②赵…③李… III. 金属纤维-纤维增强混凝土-应用-离心混凝土 IV. TU528.54 TU528.572

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第033705号

责任编辑:任加林 / 责任校对:赵 燕

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年4月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年4月第一次印刷 印张:13 1/4

印数:1—2 000 字数:243 100

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026(HA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

序

经过半个多世纪的研究和工程实践,离心成型混凝土技术已广泛应用于电杆、输水管(涵)、管桩等工程领域,但由于受到原材料、混凝土配合比、离心成型工艺、养护工艺、使用环境与荷载变化等因素影响,目前仍存在一些难以克服的问题。本书作者及其合作者从提高材料性能的角度,探讨将钢纤维混凝土应用于离心成型混凝土制品领域,取得了系列研究成果,主要包括以下几个方面:

在国内外首次研究了离心成型钢纤维混凝土的增强机理,提出了离心成型混凝土中粗细骨料与钢纤维在水泥浆中发生离心沉降的运动规律理论分析模型和沉降速度表达式,并结合试验证明了在混凝土拌合物中呈三维乱向分布的钢纤维,经过混凝土离心成型后转变为沿离心轴为中心的圆筒面二维分布的运动规律和受力机理。这一发现揭示了钢纤维在离心成型混凝土中分布的特点,表明离心成型钢纤维混凝土与一般浇注成型钢纤维混凝土具有不同的增强效果。

通过离心成型钢纤维混凝土环形截面构件基本力学性能试验,分析了钢纤维体积率、钢纤维长度、基体混凝土强度、骨料粒径和级配、箍筋,以及离心成型工艺对离心成型钢纤维混凝土弯曲抗拉强度、劈裂抗拉强度、轴心抗压强度及抗侧压变形能力的提高作用,提出了离心成型钢纤维混凝土弯曲抗拉强度、劈裂抗拉强度的计算方法。

通过抗冻性能试验、耐硫酸腐蚀试验、耐硫酸盐腐蚀试验,证明钢纤维的掺入显著提高了离心成型钢纤维混凝土的抗冻性能及抵抗硫酸和硫酸盐侵蚀的能力。

结合输电线路工程实践,总结了离心成型钢纤维混凝土电杆的生产工艺与质量检验方法,首次进行了大直径离心成型钢筋混凝土锥形杆和等径杆、预应力混凝土锥形杆和等径杆的受力全过程试验,提出了钢筋钢纤维混凝土和预应力钢纤维混凝土电杆的正截面承载力计算方法及正常使用极限状态验算方法。

在国内外首次进行了大型无拉线预应力钢纤维混凝土单叉梁门型杆的设计,采用锥形杆和等径杆组合的结构形式,充分发挥了电杆的截面特性。经过实验室内卧式组装和受力性能试验以及原型杆立式受力性能试验,表明试验与设计计算结果相符。研究成果得到了成功的工程应用,取得了良好的经济和社会

效益。

本书著述成果对钢纤维混凝土在离心成型混凝土制品领域的发展具有重要的推动作用,是对普通钢纤维混凝土的一项技术革新,在钢纤维混凝土离心成型技术理论和成型工艺方面的研究具有创新性。虽然其研究以输电线路电杆为工程背景,但对提高排水管、管桩等离心成型混凝土制品的质量和各种受力性能及耐久性均具有重要的参考价值,应用前景广阔。

赵国藩

中国工程院院士

2008年10月

前 言

钢纤维混凝土是当代迅速发展的新型复合建筑材料,由于其对混凝土具有显著的阻裂、增强和增韧作用,经过多年的研究与工程实践,已得到国内外工程界的认同,在土木、水利、道路桥梁以及隧道等许多工程领域都得到了广泛应用。

离心成型钢纤维混凝土是作者创新性地将钢纤维混凝土应用于电力线路工程电杆、电站构架立柱等离心成型混凝土制品领域获得的一种新型材料。同普通浇筑成型的钢纤维混凝土相比,离心成型钢纤维混凝土在钢纤维类型及技术参数选取、钢纤维分布规律、钢纤维混凝土增强机理、钢纤维混凝土力学和耐久性能等方面具有特殊性。同离心成型混凝土相比,离心成型钢纤维混凝土在混合料配合比设计、离心成型工艺参数设计、制品受力性能设计等方面具有特殊性。经过多年的试验室系列试验研究,以及制品厂试制、生产和工程应用实践,证明离心成型钢纤维混凝土特有的纤维呈沿离心轴为中心的圆筒状二维分布的规律,在提高离心成型混凝土制品抗裂性能、耐久性能和各项受力性能方面均具有优越性,增强效果明显,值得进一步推广应用。

本书总结了作者及合作者多年从事钢纤维混凝土离心成型技术研究及工程推广应用的成果。全书共分9章。第1章对离心成型混凝土的发展状况、制品的常见质量问题及改善措施进行了概括总结。第2章建立了钢纤维混凝土在离心成型过程中的运动模型,从理论上分析了离心成型钢纤维混凝土的增强机理,通过试验研究了离心成型工艺参数(离心时间、速度)、骨料级配、钢纤维长度和体积率、截面配筋等对钢纤维分布形态的影响规律。第3章介绍了离心成型钢纤维混凝土的弯曲抗拉、劈裂抗拉和轴心抗压性能及其强度计算方法。第4章介绍了离心成型钢纤维混凝土在无应力状态下耐硫酸和硫酸盐腐蚀性能、在应力状态下耐硫酸腐蚀性能及硫酸根离子扩散计算模型,以及抗冻性能。第5章概括总结了离心成型钢纤维混凝土电杆的生产工艺,包括钢纤维混凝土的组成材料、配合比设计、钢筋骨架的制作与成型、预应力技术、离心成型工艺、常压蒸养工艺及成品检验与质量控制等。第6章介绍了钢筋钢纤维混凝土电杆的受力性能试验研究成果、电杆的承载能力设计和正常使用极限状态验算方法。第7章介绍了预应力钢纤维混凝土电杆的受力性能试验研究成果,电杆的承载能力设计和正常使用极限状态验算方法。第8章介绍了大型无拉线单叉梁门型预应力钢纤维混凝土杆塔的设计和受力性能

试验成果。第9章介绍了大型无拉线单叉梁门型预应力钢纤维混凝土杆塔的工程应用情况,并结合工程应用进行了经济效益和社会效益分析。

本书作者为河南省电力设计院张天光高级工程师和华北水利水电学院赵顺波教授、李凤兰教授。著述分工:赵顺波编写第1~4章,李凤兰编写第5~7章,张天光编写第8、9章。全书由赵顺波统稿审定。

华北水利水电学院工程材料与结构研究所的潘丽云副教授、李晓克副教授、胡志远高级工程师、李长永讲师、张晓燕讲师、裴松伟实验师、钱晓军助理实验师以及结构工程专业硕士研究生张云国、温世臣、高润东、夏铭、杨晓明、史长城、张吉红、管俊峰、张波等参与完成了本书有关科研试验工作,河南省电力勘测设计院的韩为民、李东亮、郭咏华、付明翔等同志参与完成了有关设计研究工作,河南省电力公司工程部的于旭东、韩文德、宋晓磊、王杰同志以及河南省电力建设总公司的惠旭、张金美等同志对科研成果的工程应用给予了积极支持和热情指导,河南省金源电力有限公司水泥制品厂陈春年厂长、潘运明总工程师等对本课题研究工作给予了密切配合,作者在此一并表示感谢。

中国工程院院士、大连理工大学博士研究生导师赵国藩教授对作者进行钢纤维混凝土离心成型技术的研究和本书的编著工作给予了支持、关心和指导,并欣然为本书出版作序,作者在此谨致衷心感谢。同时感谢中国土木工程学会纤维混凝土专业委员会主任委员、大连理工大学博士生导师黄承逵教授对本课题研究工作给予的热情关注和指导。

由于水平所限,本书不妥和需进一步完善之处,尚祈工程技术界的同仁不吝赐教指正。

作者

2008年9月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 离心成型混凝土的发展状况	1
1.1.1 电杆	1
1.1.2 输水管(涵)	3
1.1.3 管桩	6
1.2 离心成型混凝土制品的工程应用问题	8
1.2.1 离心成型工艺对混凝土组织结构的影响	8
1.2.2 离心成型混凝土制品的纵向裂缝	9
1.2.3 离心成型混凝土制品的耐久性	10
1.3 离心成型混凝土制品质量的改善途径	11
1.3.1 改进离心成型混凝土制品的设计方法,从制品受力性能上 降低出现裂缝的几率	11
1.3.2 严格控制原材料质量和混凝土配制,研究合理的离心成型与 养护工艺	11
1.3.3 研究新型的纤维混凝土材料离心成型技术,从材性本质上 克服离心成型产生的不利影响	12
参考文献	13
第 2 章 离心成型钢纤维混凝土增强机理	16
2.1 概述	16
2.2 钢纤维混凝土混合料颗粒离心运动的基本假定	16
2.3 钢纤维混凝土混合料颗粒的理论沉降速度	17
2.3.1 固体颗粒沿圆周方向转动分析	17
2.3.2 固体颗粒沿径向沉降运动分析	18
2.3.3 固体颗粒沿径向沉降时间分析	20
2.4 钢纤维在混凝土混合料中的离心运动理论分析	21
2.4.1 钢纤维分布方向理论模型	21

2.4.2	钢纤维在离心成型混凝土中的沉降速度分析	21
2.4.3	钢纤维与固体颗粒沉降速度对比	22
2.4.4	钢纤维在混凝土中的受力分析	23
2.4.5	钢纤维在混凝土混合料中的分布方向分析	25
2.5	钢纤维在混凝土混合料中分布规律试验研究	27
2.5.1	钢纤维分布规律主要参数的确定及其意义	27
2.5.2	初次试验成果	28
2.5.3	第二次试验成果	36
2.5.4	试验研究结论	42
	参考文献	43
第3章	离心成型钢纤维混凝土的力学性能	44
3.1	概述	44
3.2	弯曲抗拉性能	44
3.2.1	侧压试验方法	44
3.2.2	初次试验结果分析	45
3.2.3	第二次试验结果分析	48
3.2.4	弯曲抗拉强度计算公式	51
3.3	劈裂抗拉性能	52
3.3.1	初次试验结果分析	52
3.3.2	第二次试验结果分析	54
3.3.3	劈裂抗拉强度计算公式	56
3.4	轴心抗压性能	57
3.4.1	初次试验结果分析	57
3.4.2	第二次试验结果分析	58
	参考文献	60
第4章	离心成型钢纤维混凝土的耐久性能	61
4.1	概述	61
4.2	无应力状态下耐硫酸和硫酸盐腐蚀性能	62
4.2.1	试验概况	62
4.2.2	耐硫酸腐蚀试验结果分析	62
4.2.3	耐硫酸盐腐蚀试验结果分析	64
4.2.4	试件浸泡6个月后的劈裂强度	66
4.2.5	研究结论	67
4.3	应力状态下耐硫酸腐蚀性能	67
4.3.1	试验概况	67
4.3.2	试验结果分析	68

4.3.3 应力状态下中性化深度预测数学模型	71
4.3.4 应力状态下硫酸根离子含量预测数学模型	72
4.3.5 研究结论	73
4.4 抗冻性能	73
4.4.1 试验概况	73
4.4.2 试验结果分析	74
4.4.3 研究结论	77
参考文献	77
第5章 离心成型钢纤维混凝土电杆的生产工艺与质量检验	79
5.1 概述	79
5.2 组成材料及其性能	80
5.2.1 钢筋	80
5.2.2 混凝土	80
5.2.3 钢纤维	81
5.3 钢筋骨架的制作与成型	81
5.3.1 钢筋的基本加工	81
5.3.2 钢筋骨架的制作与成型及质量要求	82
5.4 电杆的预应力技术	84
5.4.1 钢圈的制作	84
5.4.2 预应力筋的镦头	84
5.4.3 预应力筋的张拉	85
5.4.4 预应力筋的锚固与放张	86
5.5 电杆的离心成型工艺	86
5.5.1 托轮式离心成型方法	86
5.5.2 离心成型工艺的效果	87
5.5.3 离心成型工艺制度	88
5.5.4 钢纤维混凝土电杆离心成型工艺特殊要求	89
5.6 电杆的常压蒸养工艺	90
5.6.1 常压蒸养方式	90
5.6.2 常压蒸养工艺制度	90
5.7 电杆成品检验与质量控制	92
参考文献	92
第6章 钢筋钢纤维混凝土电杆试验研究与设计方法	94
6.1 概述	94
6.2 钢筋钢纤维混凝土等径杆的受力性能试验研究	94

6.2.1	试验概况	94
6.2.2	跨中区段正截面受力性能	96
6.2.3	抗裂度	98
6.2.4	纯弯段裂缝的分布形态与裂缝宽度	98
6.2.5	变形	101
6.2.6	正截面的破坏情况	103
6.2.7	斜截面受力性能	104
6.3	钢筋钢纤维混凝土锥形杆的受力性能试验研究	105
6.3.1	试验概况	105
6.3.2	截面变形特征	107
6.3.3	抗裂度	108
6.3.4	裂缝的分布形态与裂缝宽度	109
6.3.5	变形性能	111
6.3.6	破坏情况	112
6.4	钢筋钢纤维混凝土电杆的承载力计算方法	113
6.5	钢筋钢纤维混凝土电杆的正常使用极限状态验算方法	114
6.5.1	抗裂度验算	114
6.5.2	裂缝宽度验算	115
6.5.3	挠度验算	116
	参考文献	118
第7章	预应力钢纤维混凝土电杆试验研究与设计方法	119
7.1	概述	119
7.2	单循环荷载作用下预应力钢纤维混凝土电杆受力性能试验研究	119
7.2.1	试验概况	119
7.2.2	测试成果分析	121
7.3	反复加卸载作用下预应力钢纤维混凝土电杆的受力性能试验研究	127
7.3.1	试验概况	127
7.3.2	测试成果分析	127
7.4	预应力钢纤维混凝土电杆的承载力计算方法	133
7.5	预应力钢纤维混凝土电杆的正常使用极限状态验算方法	135
7.5.1	抗裂度验算	135
7.5.2	裂缝宽度验算	136
7.5.3	变形验算	137
	参考文献	138
第8章	大型无拉线单叉梁门型预应力钢纤维混凝土杆塔设计与试验研究	139
8.1	概述	139

8.2 漯河—淮阳 220kV 线路工程杆塔的结构设计	141
8.2.1 呼称高与设计档距的确定	141
8.2.2 结构设计与构造	142
8.2.3 杆塔基础的设计	146
8.3 杆塔受力性能的实验室内试验研究	146
8.3.1 试验设计	146
8.3.2 安装工况受力性能	153
8.3.3 大风工况杆身的受力性能	155
8.3.4 大风工况叉梁的受力性能	158
8.3.5 大风工况地线支架、横担的受力性能	159
8.3.6 断线工况地线支架、边横担的受力性能	160
8.3.7 断线工况单根电杆的受力性能	161
8.3.8 双杆对拉试验与单杆试验的比较	165
8.4 杆塔受力性能的室外立式试验研究	166
8.4.1 试验概况	167
8.4.2 试验荷载组合	167
8.4.3 杆塔结构变形分析	170
8.4.4 杆身试验结果分析	174
8.4.5 钢结构试验结果分析	175
8.5 杆塔试验与设计计算结果对比分析	176
8.5.1 立式与卧式试验结果对比分析	176
8.5.2 杆身试验与设计计算结果的对比分析	177
参考文献	181
第9章 大型无拉线单叉梁门型预应力钢纤维混凝土杆塔的工程应用	182
9.1 概述	182
9.2 杆塔的组立施工方法	182
9.2.1 施工前的准备工作	182
9.2.2 单杆吊装组立施工	183
9.2.3 人字型抱杆整体起立施工	185
9.2.4 杆塔施工质量要求	187
9.3 工程技术经济效益评价	189
9.3.1 使用条件对比	189
9.3.2 单基比较	190
9.3.3 工程应用比较	191
9.3.4 比较结论	193
参考文献	193

CONTENTS

PREFACES

CHAPATER 1 INTRODUCTION 1

1.1	Development states of the spun-cast concrete	1
1.1.1	Pole	1
1.1.2	Pipe	3
1.1.3	Pile	6
1.2	Application problems of spun-cast concrete products in engineering	8
1.2.1	Effects of spun-cast techniques on the composite structure of concrete	8
1.2.2	Longitudinal cracks of spun-cast concrete products	9
1.2.3	Durability of spun-cast concrete products	10
1.3	Approaches of improving the qulity of spun-cast concrete products	11
1.3.1	Improving the design method and the resistance behaviors of spun-cast concrete products, decreasing the probability of crack appearance	11
1.3.2	Strictly controlling the quality of raw materials and concrete mixture, studying the reasonable spun-cast and wet steam curing techniques	11
1.3.3	Studying the spun-cast techniques of new fiber reinforced concrete, overcoming the unfavourable influence of spun-cast from the material intrinsic qualities	12
	References	13

CHAPATER 2 REINFORCED MECHANISM OF SPUN-CAST STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE 16

2.1	Introduction	16
2.2	Basic symopsis of centrifugal movement of solid particles in steel fiber reinforced concrete mixture	16
2.3	Therotical sedimentation speed of solid particles in steel fiber reinforced concrete mixture	17
2.3.1	Analysis of solid particles rotating along circumference direction	17
2.3.2	Analysis of solid particles sedimentation movement along radial direction	18
2.3.3	Analysis of solid particles sedimentation time along radial direction	20
2.4	Therotical analysis of centrifugal movement of steel fiber in	

concrete mixture	21
2.4.1 Therotical model of steel fiber distribution states	21
2.4.2 Sedimentation speed analysis of steel fiber in spun-cast concrete mixture	21
2.4.3 Comparison of sedimentation speed of steel fiber with that of solid particles	22
2.4.4 Analysis of bearing behaviors of steel fiber in concrete mixture	23
2.4.5 Analysis of distribution states of steel fiber in concrete mixture	25
2.5 Experimental study of distributation regularities of steel fiber in concrete mixture	27
2.5.1 Main parameters expressing the distributation regularity of steel fiber	27
2.5.2 First experimental results	28
2.5.3 Second experimental results	36
2.5.4 Summary of experimental study	42
References	43

CHAPATER 3 MECHANICAL PROPERTIES OF SPUN-CAST STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

3.1 Introduction	44
3.2 Flexural tensile properties	44
3.2.1 Side-compression test method	44
3.2.2 Analysis of the first test results	45
3.2.3 Analysis of the second test results	48
3.2.4 Calculating formula of the flexural-tensile strength	51
3.3 Splitting tensile properties	52
3.3.1 Analysis of the first test results	52
3.3.2 Analysis of the second test results	54
3.3.3 Calculating formula of the splitting-tensile strength	56
3.4 Axial compressive properties	57
3.4.1 Analysis of the first test results	57
3.4.2 Analysis of the second test results	58
References	60

CHAPATER 4 DURABILITY OF SPUN-CAST STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

4.1 Introduction	61
4.2 Resistance properties on sulfuric acid and sulfate corrosion without stress	62

4.2.1	Experimental program	62
4.2.2	Analysis of test results of resistance on sulfuric acid corrosion	62
4.2.3	Analysis of test results of resistance on sulfate corrosion	64
4.2.4	Splitting-tensile strength of specimen immersed for six months	66
4.2.5	Summary of study	67
4.3	Resistance properties on sulfuric acid corrosion under stress state ...	67
4.3.1	Experimental program	67
4.3.2	Analysis of test results	68
4.3.3	Forcast model for neutralization depth under stress states	71
4.3.4	Forcast model for sulfate radical content under stress states	72
4.3.5	Summary of study	73
4.4	Freeze-thaw property	73
4.4.1	Experimental program	73
4.4.2	Analysis of test results	74
4.4.3	Summary of study	77
References		77

CHAPATER 5 PRODUCTION TECHNIQUES AND QULITY CHECKOUT OF SPUN-CAST STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE POLES

5.1	Introduction	79
5.2	Composite materials and their properties	80
5.2.1	Steel bars	80
5.2.2	Concrete	80
5.2.3	Steel fiber	81
5.3	Manufacture and forming of steel bar framwork	81
5.3.1	Basic handling of steel bars	81
5.3.2	Manufacture, forming and quality requierment of steel bar framwork	82
5.4	Prestressing techniques of the pole	84
5.4.1	Manufacture of steel ring	84
5.4.2	End-upset of prestressing bar	84
5.4.3	Tension of prestressing bar	85
5.4.4	Anchorage and tension release of prestressing bar	86
5.5	Spun-cast techniques of the pole	86
5.5.1	Wheel supported type spun-cast method	86
5.5.2	Effects of spun-cast technique	87
5.5.3	Regulation of spun-cast technique	88
5.5.4	Special technical requirements of spun-cast steel fiber reinforced concrete pole	89

5.6	Normal-pressure steam curing techniques of the pole	90
5.6.1	Type of normal-pressure steam curing	90
5.6.2	Regulation of normal-pressure steam curing	90
5.7	Product checkout and quality controlling of the pole	92
	References	92
CHAPTER 6 DESIGN AND EXPERIMENT OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE POLE		94
6.1	Introduction	94
6.2	Experiment of mechanical properties of equal-diameter steel fiber reinforced concrete poles	94
6.2.1	Experimental program	94
6.2.2	Bearing behaviors of normal section in middle-span segment	96
6.2.3	Cracking-strength	98
6.2.4	Crack distribution and crack width of flexural segment	98
6.2.5	Deformation	101
6.2.6	Failure states of normal section	103
6.2.7	Bearing behaviors of diagonal section	104
6.3	Experiment of mechanical properties of steel fiber reinforced concrete conical poles	105
6.3.1	Experimental program	105
6.3.2	Sectional deformation characteristics	107
6.3.3	Cracking-strength	108
6.3.4	Crack distribution and crack width	109
6.3.5	Deformation	111
6.3.6	Failure states	112
6.4	Design method of ultimate resistance of steel fiber reinforced concrete poles	113
6.5	Checking calculation of serviceability states of steel fiber reinforced concrete poles	114
6.5.1	Checking calculation of cracking-strength	114
6.5.2	Checking calculation of crack width	115
6.5.3	Checking calculation of deflection	116
	References	118

CHAPATER 7 DESIGN AND EXPERIMENT OF PRESTRESSED STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE POLE

7.1	Introduction	119
7.2	Experiment of mechanical properties of prestressed steel fiber reinforced concrete poles under sigal cyclic action	119
7.2.1	Experimental program	119
7.2.2	Analysis of test results	121
7.3	Experiment of mechanical properties of prestressed steel fiber reinforced concrete poles under repeted loading	127
7.3.1	Experimental program	127
7.3.2	Analysis of test results	127
7.4	Design method of ultimate resistance of prestressed steel fiber reinforced concrete poles	133
7.5	Checking calculation of serviceability states of prestressed steel fiber reinforced concrete poles	135
7.5.1	Checking calculation of cracking-strength	135
7.5.2	Checking calculation of crack width	136
7.5.3	Checking calculation of defection	137
References		138

CHAPATER 8 DESIGN AND EXPERIMENT OF LARGE PRESTRESSED STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE POLE TOWER WITH X-BRACE

8.1	Introduction	139
8.2	Design of the pole tower of luohu-huaiyang 220kV overhead transmission line	141
8.2.1	Determination of hight and space	141
8.2.2	Structural design and construction	142
8.2.3	Design of pole tower foundation	146
8.3	Laboratory horizontal experiment of mechanical peoperties of the pole tower	146
8.3.1	Experimental design	146
8.3.2	Bearing properties in construction condition	153
8.3.3	Bearing properties of pole in wind condition	155
8.3.4	Bearing properties of X-brace in wind condition	158
8.3.5	Bearing properties of ground wire stand and cross arm in wind	