

风积沙混凝土柱 地震损伤试验研究

FENGJISHA HUNNINGTU ZHU
DIZHEN SUNSHANG SHIYAN YANJIU

王尧鸿 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

风积沙混凝土柱 地震损伤试验研究

王尧鸿 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书通过一系列风积沙混凝土柱试件的低周反复荷载试验和风积沙混凝土材料力学性能的试验研究,分析了风积沙的掺入对混凝土基本力学性能的作用机理,揭示了不同风积沙取代率、内置型钢和外包钢管的构造措施以及钢纤维和玄武岩纤维的掺入对风积沙混凝土柱地震损伤性能的影响规律,并建立了部分试件的地震损伤模型。

本书旨在为风积沙混凝土的工程应用提供科学依据,具有一定的实践指导价值,可供相关领域设计、施工、咨询方面的工作人员参考,也可作为相关专业学生的学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

风积沙混凝土柱地震损伤试验研究 / 王尧鸿著. —
北京: 中国水利水电出版社, 2020. 10
ISBN 978-7-5170-8977-3

I. ①风… II. ①王… III. ①沙漠带—钢筋混凝土柱—地震反应分析—试验研究 IV. ①TU375.302

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第207083号

书 名	风积沙混凝土柱地震损伤试验研究 FENGJISHA HUNNINGTUZHU DIZHEN SUNSHANG SHIYAN YANJIU
作 者	王尧鸿 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 274千字
版 次	2020年10月第1版 2020年10月第1次印刷
定 价	68.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

近年来,荒漠化和沙化已成为我国最为严重的生态问题之一。不断扩张的沙漠导致大量有生产能力的土地消失,很多生活在干旱、半干旱地区广阔沙漠边缘的人们,正面临着因为环境变化而流离失所的困境。与此同时,我国正处于土木工程基础设施大规模建设阶段,水泥基混凝土因其性能优越而被作为最主要的建筑材料。随着混凝土使用量逐年增加,混凝土原料资源匮乏成为一个非常严肃的问题。我国中、粗砂资源分布严重不均,中、粗砂资源无论从储量、成本还是从可持续发展的角度来看,都已越来越难以满足当代建设规模的需要。天然砂的过度开采,会使农田、河道遭受严重破坏。如果采用人工砂来替代天然砂,在其生产过程中仍然会对环境造成影响。

在上述形势下,如果能“因地制宜、就地取材”,合理开发并有效利用我国中西部干旱、半干旱地区的风积沙资源,将其大量应用于实际工程中,不仅可以减少荒漠化损失、促进人与自然的和谐发展,还可以节约资源、减少工程用砂的采集与运输成本、降低工程造价,具有显著的社会效益和经济效益。随着我国“一带一路”国家战略实施,越来越多具有战略意义和关系国计民生的基础设施将建设在沙漠腹地,风积沙资源的科学化工程利用已成为目前亟待解决的问题。

本书为推动风积沙资源在土木工程中得以科学、广泛地利用,将风积沙混凝土框架柱作为研究对象,通过一系列风积沙混凝土柱试件的低周反复荷载试验研究和风积沙混凝土材料力学性能的试验研究,分析了风积沙的掺入对混凝土基本力学性能的作用机理,揭示了不同风积沙取代率、内置型钢和外包钢管的构造措施以及钢纤维和玄武岩纤维的掺入对风积沙混凝土柱地震损伤性能的影响规律,并建立了部分试件的地震损伤模型。

本书由内蒙古工业大学土木工程学院王尧鸿编写,经费由国家自然科学基金项目(批准号:51868059)资助。在本书编写过程中,内蒙古工业大学土木工程学院韩青副教授、姜丽云副教授、杨晓明副教授对部分章节的内容提出了宝贵意见,研究生楚奇、张泽平、马小彦、王延鹏、王荷燕、赵蒙、

霍光宗、祁锦参与了对试验数据的整理、分析工作，在此一并表示感谢！
由于作者水平有限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

作者

2020年4月于内蒙古工业大学土木馆

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 荒漠化的威胁	1
1.2 关于荒漠化治理措施的思考	2
1.3 我国工程用砂的现状与问题	4
1.4 风积沙在土木工程领域的应用研究现状及分析	5
1.5 框架结构（柱）地震损伤的研究现状及分析	7
1.6 本书主要研究内容.....	9
参考文献	9
第 2 章 风积沙混凝土材料性能试验研究	13
2.1 风积沙混凝土与钢筋的黏结性能试验	13
2.2 库布齐风积沙对各分级河砂填充效应的研究	21
2.3 库布齐风积沙在混凝土中的活性效应研究	30
2.4 风积沙混凝土应力-应变关系	36
参考文献	39
第 3 章 普通风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	42
3.1 试验用材及试验方法	42
3.2 试验结果分析	45
3.3 本章小结	53
参考文献	53
第 4 章 钢纤维风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	55
4.1 试验用材及试验方法	55
4.2 试验结果分析	57
4.3 本章小结	66
参考文献	67
第 5 章 不同配筋风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	68
5.1 试验用材及试验方法	68

5.2	试验结果及分析	71
5.3	本章小结	83
	参考文献	84
第 6 章	内置方钢管风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	85
6.1	试验用材及试验方法	85
6.2	试验结果及分析	89
6.3	本章小结	97
	参考文献	98
第 7 章	内置圆钢管风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	100
7.1	试验用材及试验方法	100
7.2	试验结果及分析	102
7.3	本章小结	111
	参考文献	112
第 8 章	型钢风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	113
8.1	试验用材及试验方法	113
8.2	试验结果及分析	116
8.3	本章小结	125
	参考文献	125
第 9 章	方钢管风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	127
9.1	试验用材及试验方法	127
9.2	试验结果及分析	130
9.3	本章小结	135
	参考文献	135
第 10 章	圆截面风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	137
10.1	试验用材及试验方法	137
10.2	试验结果及分析	139
10.3	本章小结	145
	参考文献	146
第 11 章	圆钢管风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	147
11.1	试验用材及试验方法	147
11.2	试验结果及分析	149
11.3	本章小结	154
	参考文献	154

第 12 章 玄武岩纤维风积沙混凝土柱地震损伤试验研究	156
12.1 试验用材及试验方法	156
12.2 试验结果及分析	158
12.3 本章小结	169
参考文献	169

第1章 绪 论

1.1 荒漠化的威胁

1.1.1 全球的荒漠化形势

在人类面临的诸多环境问题中，荒漠化是最为严重的灾害之一。

土地荒漠化简单地说就是指土地退化，也称为“沙漠化”。联合国环境与发展大会曾经对荒漠化的概念作了这样的定义：荒漠化是由于气候变化和人类不合理的经济活动等因素，使干旱、半干旱和具有干旱灾害的半湿润地区的土地发生退化。也就是说由于大风吹蚀、流水侵蚀、土壤盐渍化等造成的土壤生产力下降或丧失，都称为荒漠化。

2019年9月2日，《联合国防治荒漠化公约》第十四次缔约方大会在印度首都新德里召开，近两周的会议重点探讨了土地退化和沙漠化问题。在开幕式上，《联合国防治荒漠化公约》执行秘书易卜拉欣·蒂奥指出，人类活动导致的土地退化威胁着全球约32亿人的生计。此外根据联合国环境规划署的估算，全球有1/4的土地受到荒漠化的威胁，面积相当于俄罗斯、加拿大、中国和美国国土面积的总和。全球每年由于土地荒漠化和土地退化造成的经济损失达到420亿美元。尽管各国人民都在进行着同荒漠化的抗争，但荒漠化却以每年5万~7万 km^2 的速度扩大。对于受荒漠化威胁的人们来说，荒漠化意味着他们将失去最基本的生存基础——有生产能力的土地的消失，荒漠化造成的每年消失的土地可生产2000万t的粮食^[1-3]。

干旱可以触发荒漠化，但是人类自身诸如过度耕种、过度放牧、毁坏森林、灌溉不力等活动通常是主要的诱因。荒漠化不再是一个单纯的生态环境问题，已经演变为经济问题和社会问题，它给人类带来贫困和社会不稳定。荒漠化和贫困相互加重，形成恶性循环。贫穷导致短期内对土地和自然资源更不合理的利用和开采；同时，荒漠化威胁食物生产、影响生物多样性、影响政治稳定、导致移民等，又引发和加重了贫困。

1.1.2 中国的荒漠化形势

我国荒漠化形势十分严峻，已成为世界上受到“荒漠化”危害最严重的国家之一。根据国家林业局2015年公布的数据，我国荒漠化土地面积约261.16万 km^2 ，沙化土地面积172.12万 km^2 。荒漠化和沙化已成为我国最为严重的生态问题。随着沙漠的不断扩张，许多村庄都已消失。目前，“沙漠化”已经严重影响到我国广大的干旱、半干旱地区，尤其是内蒙古、宁夏、甘肃、新疆、青海等中西部地区。在这些地区，祖祖辈辈生活在广阔沙漠边缘的人们，正面临着因为环境变化而流离失所的困境，成为环境难民^[4]。

我国分布有众多的沙漠和沙地，其中著名的八大沙漠和四大沙地，包括塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、柴达木沙漠、库姆达格沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、科尔沁沙地、毛乌素沙地、浑善达克沙地、呼伦贝尔沙地。目前我国沙漠、沙地、沙漠戈壁的总面积已占国土面积的10%以上。这些沙漠和沙地主要分布在我国北方干旱、半干旱地区的辽宁、吉林、黑龙江、新疆、西藏、甘肃、青海、宁夏、陕西、内蒙古、山西、河北等12个省（自治区）^[5-7]。

我国风蚀荒漠化土地主要分布在干旱、半干旱地区，在各类型荒漠化土地中是面积最大、分布最广的一种。其中，干旱地区约有87.6万km²，大体分布在内蒙古狼山以西，腾格里沙漠和龙首山以北包括河西走廊以北、柴达木盆地及其以北、以西到西藏北部。半干旱地区约有49.2万km²，大体分布在内蒙古狼山以东向南，穿杭锦后旗、橙口县、乌海市，然后向西纵贯河西走廊的中部—东部直到肃北蒙古族自治县，呈连续大片分布。亚湿润干旱地区约23.9万km²，主要分布在毛乌素沙漠东部至内蒙古东部范围^[8-10]。

土地的沙化给大风起沙创造了条件，导致中国北方地区经常发生沙尘暴甚至强沙尘暴。1993年5月5日新疆、甘肃、宁夏先后发生强沙尘暴，造成116人死亡或失踪，264人受伤，损失牲畜几万头，农作物受灾面积33.7万hm²，直接经济损失5.4亿元。1998年4月15—21日，自西向东发生了一场席卷我国干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的强沙尘暴，途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古、河北和山西西部。当年4月16日飘浮在高空的尘土在京津和长江下游以北地区沉降，形成大面积浮尘天气。其中北京、济南等地因浮尘与降雨云系相遇，于是“泥雨”从天而降。宁夏银川因连续下沙子，飞机停飞，人们连呼吸都觉得困难。

荒凉的沙漠和丰腴的草原之间并没有不可逾越的界线。有了水，沙漠上可以长起茂盛的植物，成为生机盎然的绿洲；而绿地如果没有了水和植物，也可以很快退化为一堆砂砾。而人们为了获得更多的食物，不管气候、土地条件如何，随便开荒种地、过度放牧；为了解决燃料问题，不管后果如何，肆意砍树割草。干旱和半干旱地区本来就缺水多风，现在土地被蹂躏、植被遭破坏，降水量更少了，风却更大更多了，大风强劲地侵蚀表土，沙子越来越多，慢慢地沙丘发育。这就使得可耕牧的土地变成了不宜放牧和耕种的沙漠化土地。土地沙化是环境退化的标志，是环境不稳定的正反馈过程。如不采取根本措施，土地风蚀沙化过程不仅不会自动停止，反而会加剧发展。

1.2 关于荒漠化治理措施的思考

1.2.1 传统治理措施

经过近半个世纪的研究和实践，我国在沙漠化防治方面曾采取过的措施很多，大致可以归纳为以下几个方面。

1.2.1.1 植物治理

一方面可以采取退耕还植治理沙漠化的措施，该措施是基于控制土壤风蚀的原理提出的。各地沙漠化治理的具体做法不尽相同，在沙漠化发生发展比较严重的农耕地区，基本上都是采取把部分已经沙漠化的耕地退还为林地和草地的方法，以达到沙漠化土地恢复的

目的。另一方面，可以在沙漠地区播种沙生植物，以阻止沙漠扩张及改善沙漠土地。沙生植物具有水分蒸腾少，机械组织、输导组织发达等特点，可抵抗狂风袭击，并尽快将水分和养料输送到亟须的器官，其细胞内经常保持较高的渗透压，具有很强的持续吸水能力，使植物不易失水，能够适应干旱少雨的环境。其治理的方法：在沙漠地区有计划地栽培沙生植物，造固沙林；在沙漠边缘地带造防风林，以削弱沙漠地区的风力，阻止沙漠扩张^[11-12]。

1.2.1.2 围栏封育

在草原地区由于牲畜压力过大、过度放牧造成土地沙漠化。因此，沙漠化的治理通常采用“围栏封育”的措施，即把草场划分成若干小区，建设“草库伦”，实行轮牧，使围起来的草地因牲畜压力的减轻或消逝而自然恢复。沙漠化过程的自我逆转能力决定了在沙漠化发展进程中，如果消除人类活动的外界干扰，沙漠化过程就具有了逐渐终止的特性。沙漠化过程的自我逆转能力取决于沙漠化过程发展程度和沙漠化过程发生地区的自然环境特点^[13-14]。

1.2.1.3 机械工程措施、化学固沙措施等

机械工程措施主要包括沙障固沙和机械阻沙，最大的优点是收效快和耗水低，多数工程都持久耐用。化学固沙措施主要包括利用喷洒沥青乳油、土壤固沙剂等高分子材料固沙，利用固沙剂来改变土壤结构，使沙粒固结在一起，形成一层抗风蚀的膜或壳，隔断风力对沙面的直接作用^[15-16]。

自20世纪70年代以来，中国政府累计投入数千亿元人民币，相继启动了三北防护林体系建设、京津风沙源治理、退耕还林、退牧还草、水土流失综合治理等重点生态工程，对沙化重大地区进行集中治理。

我国沙漠化最为严重的地区大多分布在西北农牧交错地带，这里多为旱作农业，其农业产量受气候波动的影响较大，粮食产量和降水量之间存在着较密切的关系。人口压力过大造成的土地沙漠化，实质上是由于人口的过快增长与农业技术和土地承载力相对滞后的矛盾所造成的，是生态环境的脆弱地带，是经济和技术落后的必然产物。人口压力的关键在人口与当地土地承载能力的对比关系上，因此，与当地农业经济技术的发展水平有着密切的关系。我国沙漠化地区，目前大多仍以传统农业为主，生产技术落后，仍维持着广种薄收和只种不养的掠夺式经营方式。这就造成了沙漠化地区的生态系统内物质代谢循环的失调，破坏了生态平衡，从而引起沙漠化的发生和恶化。

目前不少学者认为治理沙漠化的关键是要从导致沙漠化的根本原因入手，突破技术层面的限制，从经济学、生态学和沙漠学相结合的角度，把沙漠化治理与农村经济的发展有机结合起来。目前特别是要与农业经济的发展有效结合起来，通过施用高新技术、改造生产要素条件来提高粮食单位面积产量；通过产业重组、提高技术含量，走农业产业化发展道路。改善农村经济状况，提高农民的经济收入，就可以使沙漠化土地的承载力发生跃迁，从而消除沙漠化产生的根源，使沙漠化土地得以整体逆转^[17-19]。

1.2.2 沙漠资源化视角

我国著名科学家钱学森提出，要在治理沙漠化的过程中更为积极的“用沙”和“治沙”，甚至将沙漠风积沙作为原材料发展成一系列的“沙产业”，将是我们征服沙漠、利用

自然的方向。早在20世纪80年代,钱学森就认为“沙漠是资源”,提出创建“利用阳光、通过生物、延伸链条、依靠科技、对接市场”的沙产业。他提出在沙漠戈壁“不毛之地”利用现代科学技术,包括物理、化学、生物等科学技术的成就,通过植物的光合作用,固定转化太阳能,发展知识密集的农业型产业,在我国大约和农田面积差不多的16亿亩的戈壁和沙漠化的土地上“为国家提供上千亿元的产值”,在占全世界陆地面积1/3的干旱荒漠区“为人类开拓新的食品来源”。沙漠开发利用的潜力巨大,并且已有许多开发的成功经验和失败教训可供借鉴。内蒙古、新疆等地在“沙产业理论”指导下,利用沙漠资源创造了良好的经济效益。实践证明,钱学森首倡的知识密集型沙产业理论,是内涵丰富、思维独特和综合集成的沙漠开发利用战略构架,也符合中西部干旱、半干旱地区自然规律、生态规律和经济规律的发展观念^[20-21]。

受钱学森沙漠资源化视角的启发,对于土木工程行业而言,如果能合理开发并有效利用我国中西部干旱、半干旱地区的风积沙资源(风积沙是被风吹、积淀的沙层,多见于沙漠、戈壁),将其大量应用于这些地区的实际工程建设中,对于统筹区域协调发展和人与自然的和谐发展,构建环境友好型社会无疑具有重要的理论和实践意义。

1.3 我国工程用砂的现状与问题

现阶段我国正处于土木工程基础设施大规模建设阶段,水泥基混凝土因其性能优越而被作为最主要的建筑材料。混凝土是一种由胶凝材料水泥、砂子、石子、水组成的多相复合材料,具有较高的抗压强度,良好的可加工性(可加工成各种形状),较好的防火性能和抵抗环境侵蚀性能,是工程界得到推广使用的最主要原因。砂子是搅拌混凝土用的重要原材料之一,工程所用的砂子通常是天然河砂,因为天然河砂具有含水率适中、颗粒级配良好、含泥量小的特点,用它制作的混凝土能很好地满足工程要求。

自然界中天然河砂的储量本来就非常少,随着工程建设的大量消耗,天然优质河砂越来越少,已经严重影响和制约了混凝土的使用和发展。随着混凝土使用量逐年增加,混凝土原料资源匮乏成为一个非常严肃的问题凸显出来。我国中、粗砂资源分布严重不均,中、粗砂资源无论从储量、成本还是从可持续发展的角度来看,都已越来越难以满足当代建设规模的需要。天然砂的过度开采,会使农田、河道的生态环境遭受严重破坏。《中华人民共和国水法》第三十九条明确规定,国家实行河道采砂许可制度,具体实施办法由国务院规定。靠近长江沿线很多省份建筑用砂中主要使用江砂,现在国家限制从长江采砂,天然砂资源短缺与使用量的矛盾日益突出。从外地运砂,则运费太高,所以必须寻找适宜的砂替代材料。国内有些地区陆续出现以采石场在加工碎石过程中产生的副产品、自然山砂和专门破碎岩石并筛选的人工砂来替代天然河砂,但是使用山砂、石屑和机制砂会破坏环境。如何找到一种能替代天然河砂而又满足工程需求、价格便宜的材料,是工程界目前亟待解决的问题^[22]。

在上述形势下,如果能“因地制宜、就地取材”,科学有效地利用我国中西部干旱、半干旱地区的风积沙资源,将其大量应用于当地的实际工程中,不仅可以遏制荒漠化进程、减少荒漠化损失、促进人与自然的和谐发展,还可以节约资源、减少工程用砂的采集

与运输成本、降低工程造价，具有显著的社会经济效益。随着我国“一带一路”国家战略的实施，越来越多具有战略意义和关系国计民生的基础设施将建设在沙漠腹地或穿越沙漠（“新丝绸之路经济带”倡议所涉及的沿线国家大部分都处于荒漠化严重的地区），风积沙资源的科学化工程利用已成为目前亟待解决的问题。

本书内容聚焦于风积沙混凝土柱的地震损伤试验研究，旨在推动风积沙资源在土木工程中得以科学的推广利用。以下从风积沙的工程应用和框架结构（柱）的地震损伤两个方面介绍国内外研究现状。

1.4 风积沙在土木工程领域的应用研究现状及分析

目前，风积沙资源在土木工程领域的应用研究主要集中在路基（路面）材料和风积沙混凝土（砂浆）这2个方向上。由于“沙漠砂”也称为“风积沙”，以下统一用“风积沙”来论述。

1.4.1 路基（路面）材料

风积沙资源用于路基（路面）材料的可行性，已被不少学者研究证实。李悦等对不同风积沙取代率的沥青及橡胶沥青混合料进行路用性能试验研究，结果表明：风积沙作为细集料应用于道路工程中是完全可行的^[23]。Paige - Green 等对非洲纳米比亚、津巴布韦和安哥拉等国家和地区的风积沙进行研究，发现这些材料虽然不在道路建设规范的考虑之内，但均可以成功用于较低交通流量道路路面的铺设^[24]。Al - Mutairi 等利用在伊拉克战争中被石油污染的风积沙来拌制沥青混凝土，研究结果表明：这种混合料是一种质量优良的沥青混凝土，测试结果符合国际标准，可用于二级公路的施工或用作陡坡路堤的稳定剂^[25]。

为了更科学地将风积沙用于路基（路面）材料，国内外学者也对其力学性能和工程特性进行了研究。刘大鹏等采用新疆荒漠区风积沙，通过90组试样的动三轴试验，研究其动应力-动应变关系，基于试验结果分析了含水率、围压、压实度、荷载作用频率和初始静偏应力对动应力-动应变关系的影响规律^[26]。胡建荣等针对沙漠地区风积沙路基，检测了典型路面病害路段不同深度试样的化学成分，基于土水势原理分析了风积沙路基内盐分与水分的迁移特点，研究结果表明：风积沙路基内部水盐分布随深度先降低后增加，水盐场随深度分布呈现“对勾”状规律^[27]。Fattah 等分析了伊拉克北部风积沙的岩土工程特性、含水量、密度和级配，并对其进行了夯击试验、剪切试验和X射线衍射分析，研究表明：该风积沙用于普通公路或铁路路基是完全可行的^[28]。

针对风积沙路基结构相对松散、稳定性相对差、承载力相对低的缺点，学者通过在风积沙内拌入水泥来予以改进。盛明强等利用水泥作为固化剂固化稳定风积沙，形成水泥固化风积沙地基，并完成了水泥固化风积沙地基中9个扩展基础模型的抗拔试验，结果表明：风积沙水泥固化方法可显著提高风积沙的抗拔承载性能^[29]。郭根胜等在内蒙古地区风积沙特性研究的基础上，研究了水泥稳定风积沙作为道路施工基层材料的抗剪强度，得出不同水泥掺量对风积沙基层抗剪强度的影响规律以及作用机理，试验表明：水泥的掺入

可以显著提高风积沙的抗剪强度^[30]。Susana 等通过在风积沙中拌入水泥来提高其密实度和承载力,并对该材料的水泥掺量、最大干密度、最佳含水量和承载力等各项指标之间的内在联系进行了分析评价,研究表明:将此新型填筑材料用于公路或铁路路基是完全可行的,可以更好地满足路基所需要的承载力和稳定性^[31]。

近年来国内外已有不少将风积沙资源成功应用于路基(路面)材料的工程实践。我国中西部地区部分工程将风积沙资源作为填筑材料应用于铁路、公路的路基以及输水渠道的渠堤,并取得良好效果,如青藏铁路二期工程部分路段、塔里木油田公司塔中4油田工程。Netterberg 等对南非胡普斯塔德地区一条以风积沙为路基的公路进行监测分析,发现该公路虽历经50年的时间,但仍可继续使用且未发现破损迹象,文中建议风积沙路基可在干旱、半干旱地区交通流量较低的公路上推广使用^[32]。

1.4.2 风积沙混凝土(砂浆)

风积沙混凝土(砂浆)是在混凝土(砂浆)拌制过程中,利用风积沙部分代替普通工程砂制作而成的。风积沙组成颗粒较细而且均匀,属于特细砂范畴,其物理化学性质不同于普通工程用砂。近年来许多学者致力于研究如何利用风积沙拌制成力学性能和耐久性能均符合工程建设要求的混凝土(砂浆)。

关于风积沙取代率对混凝土(砂浆)力学性能的影响规律已有不少研究成果。马菊荣等对不同取代率风积沙混凝土进行冲击压缩实验,分析了应变率对风积沙混凝土峰值应力、峰值应变和比能量的影响,揭示了风积沙取代率对风积沙混凝土峰值应力的影响规律^[33]。Sonbul 等对沙特阿拉伯境内的风积沙进行了研究,研究表明这些超细颗粒完全可用于混凝土和砂浆的施工,但是当风积沙取代率达到50%后,混凝土或砂浆的强度会有所降低,针对此情况作者提出了建议配合比供工程应用参考^[34]。Taryal 等在混凝土和水泥砂浆中掺入风积沙等超细砂,对其水灰比、抗压强度、收缩性能等进行了研究,结果表明:掺入超细砂会增加混凝土和水泥砂浆的用水量,超细砂掺入量控制在40%以内时,不会造成强度的下降^[35]。R'Mili 等在自密实混凝土中加入风积沙进行试验研究,结果表明:在风积沙取代率不超过30%时,自密实混凝土的各项工作参数有所提高;在风积沙取代率大于30%时,需要同时增加用水量、加入高效减水剂以满足自密实性能的要求^[36]。

不少学者通过在风积沙混凝土中掺入粉煤灰等外掺料来改善其各项性能,其中最优配合比被视为研究的重点。付杰等研究了粉煤灰掺量和风积沙取代率对风积沙混凝土力学性能的影响规律,结果表明:同等条件下随着风积沙取代率(或粉煤灰掺量)的增加,风积沙混凝土的28d抗压强度和劈裂拉伸强度均呈现先增大后减小的趋势^[37]。陈俊杰等利用正交试验方法对风积沙混凝土抗压强度进行了试验研究,并分析了水胶比、灰砂比、风积沙取代率、粉煤灰掺量和减水剂对混凝土抗压强度和劈裂抗拉强度的影响规律^[38]。李志强等利用正交试验方法对新疆古尔班通古特风积沙混凝土的工程特性进行了试验研究,考察了水胶比、灰砂比、风积沙取代率、粉煤灰掺量和减水剂对风积沙混凝土立方体抗压强度、和易性的影响,并对试验结果进行了极差、方差和因素指标分析,最终确定了风积沙混凝土的最优配合比^[39]。Najif 等在混凝土中同时掺入了粉煤灰矿渣和风积沙,研究不同配合比对混凝土流变性能和力学性能的影响,研究表明:风积沙和粉煤灰矿渣配比为3:1

时混凝土的抗压强度达到最高^[40]。

风积沙混凝土在特殊环境下的耐久性问题也得到了重视和研究。吴俊臣等对风积沙混凝土进行了抗冻性与冻融损伤机理分析,研究表明:风积沙混凝土的冻融损伤规律与风积沙掺量、冻融次数及内部孔隙分布情况有关,在其他条件不变的情况下,风积沙混凝土的抗冻性能随着风积沙掺量的增加而提高^[41]。田帅等通过正交试验研究了水胶比、粉煤灰掺量和风积沙取代率对高强风积沙混凝土高温后抗压强度的影响规律,研究表明:与室温下高强风积沙混凝土抗压强度相比,200℃高温后高强风积沙混凝土强度有所降低,在400~600℃高温后抗压强度有所升高,之后随着温度的升高抗压强度逐渐降低^[42]。刘海峰进行了单掺粉煤灰、单掺风积沙、双掺粉煤灰和风积沙混凝土3d、7d、14d、28d和56d的抗碳化性能试验,分析了粉煤灰掺量和风积沙取代率对混凝土抗碳化性能的影响,结果表明:对于单掺风积沙混凝土,随着风积沙替代率增加,碳化深度呈先减小后增大趋势;对于双掺粉煤灰和风积沙混凝土,在粉煤灰掺量为10%、风积沙取代率为20%时碳化深度最小^[43]。Mohamed等对加入了硫磺(取自石油工业的副产品)、粉煤灰和风积沙的新型硫聚合物混凝土的耐久性进行了分析评价,研究表明:3种材料的同时掺入可以在混凝土中成功利用废弃资源,并使材料具有良好的耐腐蚀性和密实性^[44]。

在以上材料层面研究的基础上,已有学者开展了风积沙混凝土(砂浆)在结构构件中的应用研究。董存等进行了普通钢筋混凝土简支梁和风积沙钢筋混凝土简支梁的正截面受弯性能试验,结果表明:风积沙可以作为建筑用细集料,风积沙混凝土梁表现出与普通混凝土梁基本相似的特性,试验结果与理论计算值吻合较好^[45]。吕志桢等通过试验配制了M5级和M10级风积沙砂浆,并进行了12个多孔砖砌体试件的轴心抗压试验(其中6个试件使用风积沙砂浆砌筑),结果表明:配制出的风积沙砂浆满足和易性和强度要求,使用风积沙砂浆砌筑的砖砌体抗压试件表现出与普通砂砌体抗压试件相似的力学性质^[46]。

1.5 框架结构(柱)地震损伤的研究现状及分析

我国位于欧亚大陆的东南部,东受环太平洋地震带的影响,西南和西北都处于欧亚地震带上,自古以来就是一个地震灾害较多的国家。中华人民共和国成立以来发生在唐山、汶川、玉树等地区的地震灾害给国家和人民造成了巨大的损失。总体上看,我国的防震减灾工作与经济社会发展水平还存在诸多不适应,这需要工程抗震界继续努力,以最大限度地减小地震带给人民群众的生命财产损失。目前地震准确预测还是世界性难题,要减小地震灾害,最关键的措施还是搞好抗震设防,提高工程结构的抗震能力。所以如何通过合理抗震设计,增强工程结构抗震性能便成为国内外土木工程界十分重视的课题。

《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)规定了结构抗震设计中的三个设防水准,允许结构或构件在遭受较严重地震作用时出现不同程度的损伤。在抗震设计中,必须科学、适度地控制结构或构件的地震损伤,因此准确而定量评估结构或关键构件的震损性能成为地震工程领域研究的重点。

在框架结构的地震损伤研究领域,很多学者致力于建立科学合理的结构损伤程度数学表达式,用来对结构损伤进行评估与分析。徐龙河等为了研究地震作用下结构的损伤演化过程,对某 3 层钢-混凝土组合框架结构模型进行弹塑性分析,对经典 Park - Ang 双参数损伤模型进行改进,并利用试验测试数据对损伤模型参数进行拟合,研究表明:修正后的结果应用到损伤模型中能够较好地反映结构的损伤程度,并能定量、连续地描述结构的损伤过程^[47]。于晓辉等通过引入群体结构震害评估中震害指数的概念,结合地震易损性分析得到的结构破坏状态概率,将震害指数的数学期望作为单体结构的易损性指数,选择 8 层和 10 层两组考虑不同抗震设防水平的钢筋混凝土框架结构为研究对象,分析得到结构的地震易损性曲线、破坏状态概率曲线、易损性指数曲线以及结构在小震、中震和大震作用下的易损性指数^[48]。裴强等在振动台试验研究的基础上,研究了地震作用下高层框架结构的损伤性能,以结构刚度折减率为损伤程度指标,并使用结构的频率变化率作为损伤程度识别参数,利用短时傅里叶变换方法对响应数据分析得到结构的模态参数,从而建立损伤程度指标与结构模态参数的函数关系^[49]。Kostinakis 等对中高层建筑地震损伤程度与地震动强度之间的关系进行研究,结果表明层间位移是判断结构损伤程度的重要指标,损伤程度与地震动强度之间的关系需要结合结构自身的特性综合研究确定^[50]。Adnan 等开发出基于人工神经网络的建筑物智能抗震评价系统,可以在任何给定时间内预测建筑物的地震损伤性能^[51]。

柱子是框架结构中关键的竖向构件,是承担地震作用的“主力”。框架结构在强震作用下发生破坏甚至连续性倒塌,是竖向承重构件由于损伤累积而逐步丧失继续承载结构自身重力荷载的能力而导致的,即结构损伤过程也是柱子承载力逐步丧失的过程,所以保证柱子的震损性能对防止框架结构在地震中倒塌极为重要。岳健广等利用水平低周反复加载试验与声发射监测技术,开展了受弯钢筋混凝土柱的宏/微观地震损伤演化试验研究,根据试件损伤演化过程和破坏特征,确定了其损伤性能点;此外利用 Park - Ang 损伤模型,依据 PEER 数据库 55 根 RC 柱的试验结果,统计并分析了试件的概率损伤性能水准^[52]。钟铭为了有效预测地震作用下钢筋混凝土柱的低周疲劳损伤累积程度与损伤后的剩余承载能力,提出了一种基于单调荷载-位移关系并考虑低周疲劳效应的钢筋混凝土柱损伤承载能力简化分析方法,该方法得到的计算值与相关试验值的相对误差处于合理范围之内^[53]。解咏平等通过 18 个不同截面尺寸钢筋混凝土柱的单调和低周反复加载试验,发现基于 Park - Ang 损伤模型得到的损伤指标随截面尺寸的增大而降低,存在尺寸效应,因此基于试验提出了考虑截面尺寸影响系数的 Park - Ang 损伤模型的修正公式^[54]。

在特殊环境下,框架或框架柱的地震损伤性能会存在一定程度的退化。损伤劣化程度是影响结构或构件残余受力性能的主要因素,也是对其进行修复加固的依据。陈宗平等通过静力加载试验对高温后再生混凝土柱(内置型钢)的损伤劣化机理及刚度退化规律进行了研究,结果表明:随着温度的升高、恒温时间的增加,试件的损伤值逐渐增大,再生集料取代率、配钢率、配箍率的变化对其无明显影响^[55]。郑山锁等基于 12 榀酸性大气环境下锈蚀钢框架柱低周反复加载试验结果,进一步研究了其损伤演变特性,提出了锈蚀钢框架柱的双参数地震损伤模型,研究表明:该模型可以较为合理地描述酸性大气环境下锈蚀

钢框架柱地震损伤的产生及其演化过程^[56]。Anoop 等研究了钢筋混凝土框架结构处于钢筋被锈蚀情况时, 结构使用寿命期间的预期地震损伤评估方法, 建议在损伤评估中考虑钢筋面积、屈服强度和极限应变等因素, 并提出了改进的结构损伤指数模型^[57]。

1.6 本书主要研究内容

综上所述, 国内外学者已对风积沙在路基(路面)材料、混凝土(砂浆)中的应用进行了不少研究和工程实践, 为风积沙资源的科学化工程利用打下了坚实的基础。但纵观现有研究成果, 如果能让风积沙资源在我国中西部干旱、半干旱地区建筑工程中得到广泛的应用, 只停留在混凝土材料、砂浆材料的研究层面上还远远不够, 还应深入研究风积沙在建筑结构中如何科学的应用。

此外, 受欧亚地震带的影响, 我国风积沙资源丰富的地区有相当一部分位于高烈度区域。所以我们必须还要考虑: 由风积沙混凝土建造而成的结构及其构件在地震损伤性能方面是否会受到影响, 其中的影响规律究竟如何。

框架结构的建筑平面布置灵活, 能够较大程度地满足建筑使用的要求, 可以广泛应用于我国中西部风积沙资源丰富地区的办公楼、商业建筑当中。而柱子正是框架结构中承担地震作用的关键竖向构件。本书为了科学准确地评价风积沙混凝土柱的地震损伤性能, 通过一系列风积沙混凝土柱试件(包括普通风积沙混凝土柱、钢纤维风积沙混凝土柱、玄武岩风积沙混凝土柱、型钢风积沙混凝土柱、钢管风积沙混凝土柱等)的低周反复荷载试验研究, 研究配合比和设计参数的变化对各柱试件地震损伤性能的影响规律, 并根据柱试件的抗震性能指标研究和破坏全过程分析, 揭示其地震损伤机理, 旨在为风积沙混凝土框架结构的工程应用提供科学依据。

参 考 文 献

- [1] 朱源. 国际环境政策与治理 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2015.
- [2] 赵景波. 荒漠化与防治教程 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [3] 王澄海. 气候变化与荒漠化 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [4] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公报 [Z]. 2015: 1-3.
- [5] 王涛. 中国沙漠与沙漠化 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2002.
- [6] 朱俊凤, 朱震达. 中国沙漠化防治 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [7] 杨晓晖, 张克斌, 慈龙骏. 中国荒漠化评价的现状、问题及其解决途径 [J]. 中国水土保持科学, 2004, 2 (1): 23-27.
- [8] 慈龙骏. 中国的荒漠化及其防治 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [9] 向夏莹. 中国荒漠化治理世界领先 [J]. 生态经济, 2017, 33 (4): 10-13.
- [10] 朱震达. 土地荒漠化——21世纪全球的一个重要环境问题 [J]. 云南地理环境研究, 1994 (1): 23-31.
- [11] 樊胜岳, 高新才. 中国荒漠化治理的模式与制度创新 [J]. 中国社会科学, 2000 (6): 37-44, 206.
- [12] 高中伟, 羊绍武. 荒漠化治理中的主要矛盾及其调整 [J]. 农村经济, 2001 (5): 4-5.