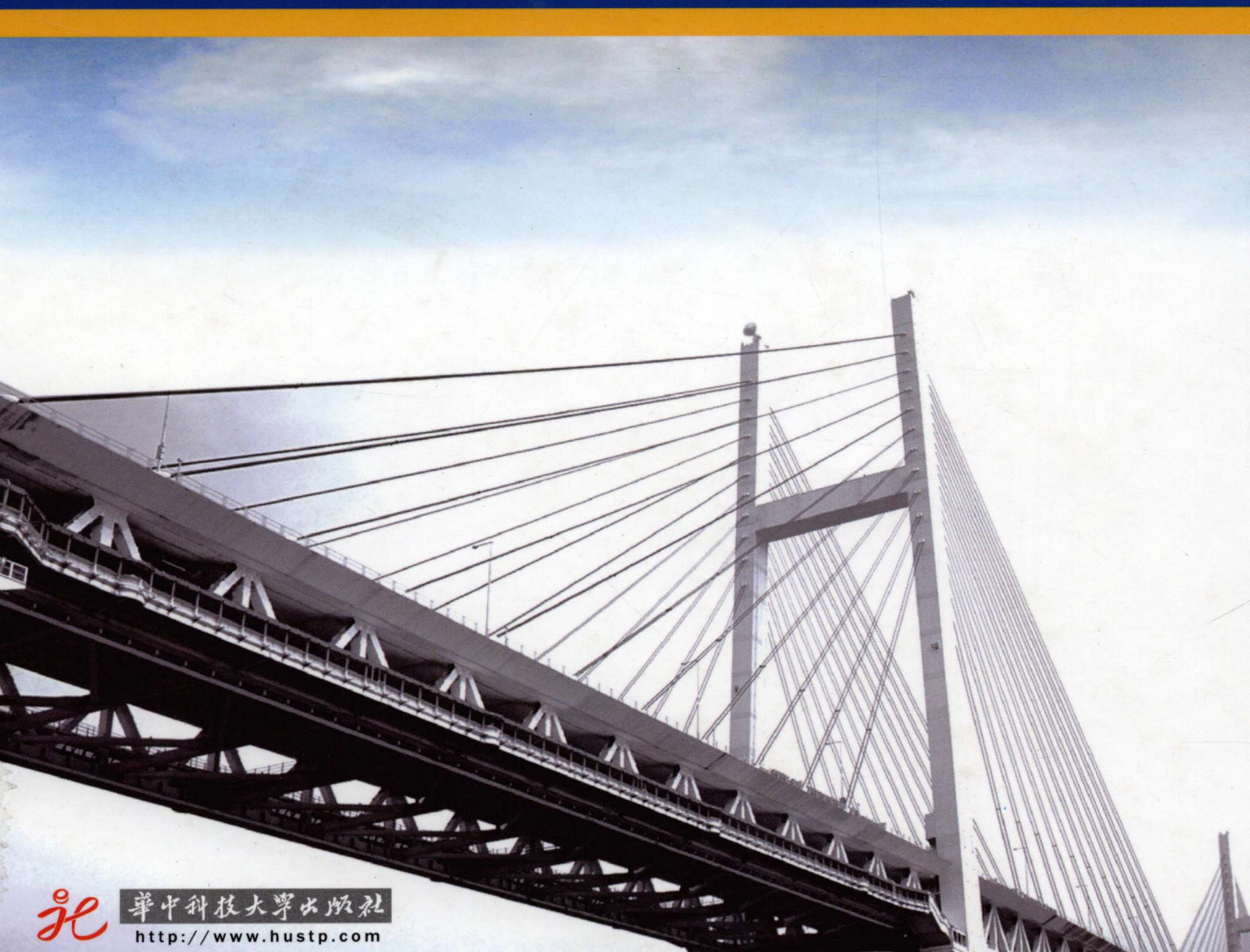


“十一五”湖北省重点图书出版规划项目

智能材料 结构健康监测

Smart materials and structural health monitoring

杜彦良 孙宝臣 张光磊  著



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

智能材料 结构健康监测

杜彦良 孙宝臣 张光磊 编著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书以智能材料与器件为基础,以结构健康监测与控制为目的,较深入、全面地介绍了智能监测技术领域的科研成果与理论体系。

全书分为四篇,共二十一章。第一篇是“光纤传感与监测技术”,介绍了光纤传感元件和技术的理论基础、结构与特性,介绍了预应力筋应力测试技术、缆索智能结构和智能纤维增强复合材料斜拉索结构等;第二篇是“压电传感与监测技术”,介绍了压电传感元件及其特性,介绍了路轮轨力实时监测和桥梁振动监测;第三篇是“形状记忆合金与智能结构”,介绍了基于形状记忆合金的探测裂纹和主动控制裂纹扩展、防松螺母和自动均载传力件,以及自适应无缝线路等方面的研究与应用;第四篇是“典型工程应用”,介绍了结构健康监测技术在典型工程中的应用实例。

本书是著者科研团队多年来研究成果和工程应用的集成,是结构健康监测领域的一本较系统著作,适合于从事智能材料、结构工程等领域的科技工作者、工程技术人员和高等院校相关学科教科书。

图书在版编目(CIP)数据

智能材料与结构健康监测/杜彦良 孙宝臣 张光磊 编著. —武汉:华中科技大学出版社, 2011. 8

ISBN 978-7-5609-6992-3

I. 智… II. ①杜… ②孙… ③张… III. ①智能材料-结构 ②智能材料-检测 IV. TB381

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 041690 号

智能材料与结构健康监测

杜彦良 孙宝臣 张光磊 编著

责任编辑:刘 勤

封面设计:范翠璇

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:23.75

字 数:600 千字

版 次:2011 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:158.00 元



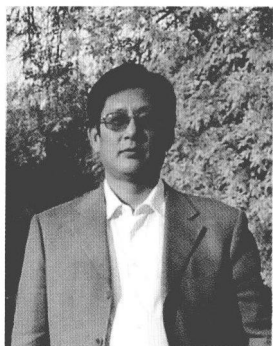
本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

>>> 作者简介

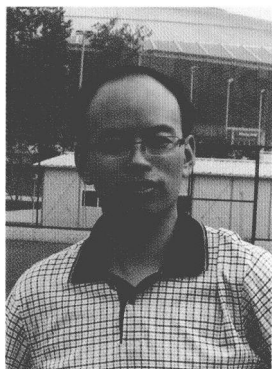
Zuozhejianjie



杜彦良，男，1956年10月生，教授、博士生导师，现任石家庄铁道大学副校长，兼任大型结构健康诊断与控制研究所所长、河北省大学结构诊断与控制重点实验室主任、河北省土木工程特聘岗位“燕赵学者”。长期致力于大型工程结构（设备）安全保障技术研究，在大型工程结构健康监测与可靠性评价、智能材料与结构、TBM施工技术与故障诊断和教育教学研究等方面取得重要成果。获得省部级以上科技进步奖12项，其中获国家科技进步一等奖1项、二等奖2项；获得省部级以上教学成果奖6项，其中国家教学成果一等奖1项，二等奖1项；获国家专利6项；发表学术论文160余篇，其中被SCI、EI等收录60余篇。被评为铁道部、河北省具有突出贡献的中青年专家，河北省优秀省管专家，国家级教学名师和国家杰出专业技术人才。



孙宝臣，男，1961年11月生，教授，现任河北省大型结构健康诊断与控制重点实验室副主任，石家庄铁道学院大型结构健康诊断与控制研究所副所长，河北省中青年拔尖人才。主要从事智能材料、现代传感测试技术、大型结构健康诊断与控制等方面的科学研究和人才培养工作。先后主持或参加国家863计划项目、国家自然科学基金和省部级科研项目19项，获国家科技进步二等奖1项（第二完成人）、省部级科技进步一等奖3项、二等奖3项。发表学术论文70余篇，其中被SCI、EI等收录28篇，获国家专利5项。曾被评为国家机械工业部教书育人优秀教师和中国铁道建筑总公司优秀教师。



张光磊，男，1975年10月生，博士、副教授，现任石家庄铁道大学材料科学教研室主任。目前主要从事先进功能材料的制备与性能研究。先后主持科研项目6项，发表学术论文20余篇，其中被SCI、EI等收录12篇，获国家发明专利3项。

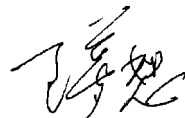
序

大型交通基础设施的安全性、可靠性是关乎国计民生的重大问题。近年来,由于结构性能退化、长期超载服役、自然灾害或其他主客观原因,各种交通基础设施的垮塌事件屡有发生,造成了巨大经济损失和社会影响。如何实时掌握结构健康状态,及时发现并消除安全隐患,避免突发性重大事故发生成为当前亟待解决的重大课题。本书以此为背景,自20世纪90年代起,结合我国重大工程建设与运营安全需求,展开智能材料结构与健康监测的研究,并取得了多项研究成果。

智能材料是国务院颁发的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006年—2020年)的重点开发领域。智能材料是继天然材料、合成高分子材料、人工设计材料之后的第四代材料,是现代高技术新材料发展的重要方向之一。智能材料的研制和大规模应用将导致材料科学发展的重大革命,将支撑未来高技术的发展。将具有特殊力学和物理性能的智能材料复合与基体材料或结构中,构成具有自监测、自诊断、自适应、自修复的智能结构,能够用于大型工程结构的健康监测与安全评价,为实时掌握工程结构的健康状况、及时发现安全隐患、保障运营安全提供重要技术依据。同时,随着大型工程结构健康监测技术的不断发展,不仅对大型工程结构的建设与运营安全提供技术保障,而且对工程结构的可靠性研究与设计提供理论基础。该方向的研究具有重要的理论意义、学术价值和应用前景。

本书是对科研团队长期从事本领域科学研究与工程应用的系统总结,以典型智能材料和器件的研制与性能研究为基础,重点介绍了智能结构与系统的构成和应用,内容包括了光纤传感与监测技术、压电传感与监测技术、形状记忆合金与智能结构、典型工程应用等,形成了一个相对系统的智能材料与结构健康监测体系,充分体现了“理论+实验+应用”的结合,形成了一本较为系统的学术专著。本书能够为工程结构领域的学术研究和工程应用提供理论基础与技术指导。

中国工程院院士



2011年3月

前 言

智能材料是指具有感知环境(包括内环境和外环境)刺激,对之进行分析、处理、判断,并采取一定的措施进行适度响应的智能特征的材料。目前,智能材料的研究经过基础性研究和探索,已在基本原理、传感器研制、驱动器研制、功能器件与复合材料之间匹配技术、智能材料成形工艺技术、智能材料在特殊环境下的性能评价、主动控制智能器件等方面开展了许多工作,取得较大突破。

智能材料与结构系统对大型结构工程的安全与发展起到了举足轻重的作用,特别是大型结构的健康监测与诊断越来越受到社会各界的广泛重视。对已建成的结构和设施采取有效的监测手段和评定其安全状况、修复和控制损伤;对新建结构和设施为了验证其设计理论,确保运营安全,增设长期的健康监测振动和损伤控制系统,已成为世界范围的热点课题。随着结构复杂化、大型化的发展,一旦结构失效将直接危害人的生命安全,为了能够及时地获得结构健康状况的信息,靠对结构进行定期测量无法满足要求。长期实时健康监测系统,是一种长期安装在结构上的传感、数据采集及传输等软硬件系统,它以结构的荷载、环境、响应等为监测对象,为及时评价结构的当前健康状态提供了丰富的资料,并通过损伤监测技术及时对结构的健康状态做出评估。

理想的结构健康监测系统能准确地在此结构安全隐患发生的初期,将其发现并能确定定位及确定隐患的程度,进而提供结构的安全性评估,预测损伤结构的剩余寿命,并对结构安全状态进行主动控制。

20世纪90年代以来,我国新建桥梁总数已占全世界的47%。尤其在跨江、跨海等长大桥梁建设领域,建造了一大批有代表性的跨江特大桥梁,我国已成为名副其实的桥梁大国和桥梁强国。长大桥梁的跨越式发展为交通科技创新提供了新的历史机遇,也提出了新的挑战。跨江大桥不断向大跨径、深水域和外海发展,不仅建设难度大,而且处于特殊的恶劣环境中,维护难度极大增加,一些桥梁已处于“亚健康”状态。为保证桥梁结构的安全性、适用性和耐久性,采用何种技术方法来保证桥梁的健康状况并及时发现安全隐患,避免重大事故发生,确保大桥结构的安全运营,成为亟待解决的重大科学问题。

著者多年来一直致力于智能材料以及大型结构的健康监测与诊断领域的研究,并于1999年组建了我国首家大型结构健康诊断与控制研究所。先后承担了3项国家自然科学基金项目、5项省部级自然科学基金项目及多项国家、省部级科技攻关项目。

著者相继成功研制了用于大型桥梁长期实时监测的“联通式动态挠度仪”、“网络数据采集仪”、“光纤应变传感器”、“光纤温度传感器”及具有自动采集、自动分析处理大型桥梁健康监测体系和“多年冻土路基远程自动监测系统”等,解决了长期在大型工程监测过程中多种信号采集、整合、数据处理及存储、查询等各种技术难题。这些创新成果在芜湖长江大桥、秦沈客运专线辽河大桥、郑州黄河大桥、宁夏吴忠黄河大桥等特大桥建设工程中得到广泛应用,解决了一系列施工生产中的困扰,保证了交通

运输安全,产生了巨大的科技效应,取得了显著的社会经济效益。该项成果获得2008年度国家科技进步二等奖。

针对我国铁路车辆提速后,提速道岔由于振动冲击加大而导致螺栓连续松动,直接影响行车安全等问题,提出了利用形状记忆合金特殊的力学物理特性研制开发防松、防断、均载调节功能的智能传力件。在不改变原结构尺寸的条件下,解决了各种大型结构、设备连接部位的松动、断裂等用现有的传统技术和方法不易解决的技术难题。在具有主动控制损伤、振动的智能材料结构研究方面,先后获得省部级科技进步二等奖2项,三等奖1项。

在长达20多年的科学研究过程中,逐渐形成了一支具有凝聚力、战斗力的团队,结合该方向研究共培养了6名博士研究生,15名硕士研究生。本著作是研究团队多年来理论成果和工程应用的总结,是一个研究团队的成果集成。

本书的特点主要体现在三个方面:一是领域的前沿性——紧密结合社会的发展需要,以大型结构的安全评价和防护为目标,在多项国家自然科学基金和省部级科研项目的资助下,以解决工程实际中的科学问题为核心内容;二是内容的系统性——汇集了著者团队多年的科研成果,结合了国内外的最新研究进展,系统分析和研究了监测领域的几个方向,具有一定的代表性;三是方法与成果的创新性——本书把理论与实际应用相结合,尤其是结合了多项国家重大工程项目,以材料与结构的研究为重点,以结构的健康监测与评价为目标。本书以智能材料研究为基础,以材料在结构监测与控制中的应用为目的,深入系统地介绍了著者的科研成果与理论体系,并结合工程实例,介绍了智能材料在结构健康监测中的实际应用。

全书由杜彦良设计大纲并主持编写。第一篇的参编作者有杜彦良、孙宝臣、张光磊、李剑芝、张文涛、金秀梅等;第二篇的参编作者有杜彦良、张光磊、宋颖、赵维刚等;第三篇的参编作者有杜彦良、孙宝臣、沈英明、李俊良、李海燕等;第四篇的参编作者有孙宝臣、王新敏、苏木标等。张光磊负责资料汇编与统稿。

在本书即将出版之际,特别感谢关心和支持我国智能监测与控制技术发展的王梦恕院士、周丰峻院士、郑颖人院士等专家。感谢湖北省“十一五”重点图书规划项目的支持和华中科技大学出版社编校人员为本书出版所付出的辛苦工作。

智能材料与结构健康监测技术在我国仍处于积累与高速发展阶段。由于时间仓促和作者认识上的局限性,本书疏漏和不当之处在所难免,敬请广大读者不吝赐教。对本书的意见和建议请发送到jgjkjc@163.com。

作 者

2011年3月

目 录

第一篇 光纤传感与监测技术

第 1 章 光纤传感与智能结构	(3)
1.1 光纤与光纤传感器	(3)
1.1.1 光纤	(3)
1.1.2 光纤传感器	(4)
1.2 光纤光栅传感器的应用现状与发展方向	(6)
1.2.1 光纤光栅传感器的应用现状	(6)
1.2.2 光纤光栅传感器的发展方向	(7)
1.3 基于光纤传感器的健康监测与智能结构	(8)
1.3.1 光纤智能健康监测系统	(9)
1.3.2 光纤智能结构	(9)
第 2 章 白光干涉型 F-P 光纤传感器	(11)
2.1 白光干涉型 F-P 光纤传感器的工作原理	(11)
2.2 白光干涉型 F-P 光纤传感器的结构设计及参数分析	(13)
2.2.1 腔长分析	(14)
2.2.2 标距分析	(15)
2.3 白光干涉型 F-P 光纤传感器的制作工艺	(16)
2.3.1 材料的选择	(16)
2.3.2 加工制作装置的设计与选择	(17)
2.3.3 F-P 光纤传感器的制作工艺	(19)
2.4 白光干涉型 F-P 光纤传感器的性能试验	(20)
2.4.1 光纤传感器的应变试验	(20)
2.4.2 传感器的温度试验	(23)
2.4.3 白光干涉型光纤应变传感器的标定试验	(24)
2.4.4 白光干涉型光纤温度传感器的性能考核试验	(25)
2.4.5 白光干涉型光纤应变传感器的性能考核试验	(27)
2.5 白光干涉型光纤传感器信号采集系统	(29)
2.5.1 白光干涉型光纤传感器信号采集系统的硬件设计	(29)
2.5.2 白光干涉型光纤传感器信号采集系统的软件设计	(32)
第 3 章 具有温度自补偿的光纤光栅传感器	(38)
3.1 光纤光栅传感器的传感原理及其理论分析	(38)
3.1.1 光纤光栅的耦合模理论	(38)
3.1.2 光纤光栅应变传感原理及应变灵敏度的理论分析	(41)

3.1.3	光纤光栅温度传感原理及温度灵敏度的理论分析	(41)
3.1.4	光纤光栅温度-应变交叉灵敏度的理论分析	(42)
3.2	基于材料热应力的光纤光栅温度自补偿传感器	(43)
3.2.1	基于材料热应力的光纤光栅温度自补偿机制	(43)
3.2.2	传感器结构尺寸设计	(44)
3.2.3	传感器的应变传感分析	(47)
3.2.4	温度补偿结构设计参数的研究	(48)
3.3	整体式温度补偿结构的光纤光栅应变传感器	(52)
3.3.1	传感器的结构设计	(52)
3.3.2	传感器的封装制作	(55)
3.3.3	基于硬铝合金材料为外壳的光纤传感器的试验结果	(55)
3.3.4	基于黄铜材料为外壳的传感器的试验结果	(58)
3.3.5	对温度补偿结构设计公式的二次修正	(60)
3.4	光纤光栅应变传感器的结构设计及分析	(61)
3.4.1	埋入式光纤光栅应变传感器的结构设计及分析	(61)
3.4.2	表面粘贴式光纤应变传感器的结构设计及分析	(63)
3.5	小型光纤光栅应变传感器的研究	(65)
3.5.1	小型光纤光栅应变传感器的结构设计	(65)
3.5.2	小型光纤光栅应变传感器封装材料热膨胀系数的测定	(67)
3.5.3	小型光纤光栅应变传感器封装工艺的研究	(67)
3.5.4	小型光纤光栅应变传感器的性能试验研究	(68)
第4章	基于光纤光栅传感阵列的预应力筋应力测试技术	(70)
4.1	混凝土结构预应力损失理论分析	(70)
4.1.1	预应力损失计算	(70)
4.1.2	有效预应力计算	(76)
4.2	光纤光栅锚端预应力传感器的设计	(76)
4.2.1	预应力混凝土结构预应力锚端监测原理	(77)
4.2.2	基于光纤光栅锚端预应力传感器的结构设计原理	(78)
4.2.3	光纤光栅锚端预应力传感器的设计	(79)
4.2.4	光纤光栅锚端预应力传感器标定实验	(80)
4.3	基于光纤光栅传感阵列的预应力筋应力测试方法的研究	(81)
4.3.1	钢绞线的结构和性能参数	(81)
4.3.2	光纤光栅与钢绞线的复合及钢绞线应力测量原理	(82)
4.3.3	基于光纤光栅的预应力钢绞线准分布应力应变测试	(83)
第5章	基于光纤光栅传感的缆索应力测试技术	(87)
5.1	缆索监测技术现状分析	(87)
5.2	基于光纤光栅的缆索张力监测系统	(88)
5.2.1	缆索张力监测系统的组成及工作原理	(88)
5.2.2	缆索张力监测系统的特点	(88)
5.2.3	基于光纤光栅的压力传感器研究	(89)

5.2.4	硬件设计	(91)
5.2.5	软件设计	(92)
5.3	基于光纤光栅的缆索分布应力监测系统	(93)
5.3.1	缆索分布应力监测系统的组成及工作原理	(93)
5.3.2	缆索张力监测系统的特点	(94)
5.3.3	信号采集分析处理的系统设计	(94)
5.3.4	缆索结构远程监测功能的实现	(94)
5.4	缆索结构的状态监测试验	(95)
5.4.1	缆索模型及试验系统	(95)
5.4.2	缆索张力测量试验	(96)
5.4.3	缆索应力分布测量试验	(96)
5.4.4	缆索模态参数测量试验	(97)
第 6 章	缠绕式光纤应变传感技术	(99)
6.1	理论基础与分析	(99)
6.1.1	背向散射测试原理	(99)
6.1.2	光纤弯曲损耗理论	(100)
6.1.3	缠绕段光纤的光损耗	(101)
6.2	缠绕式光纤应变传感器的设计及主参数选择	(103)
6.2.1	传感光纤的影响	(104)
6.2.2	传感器结构参数的选取	(105)
6.2.3	传感器分布参数的确定	(105)
6.3	缠绕式光纤应变传感器的测试系统	(106)
6.3.1	敏感段损耗的五点法测量原理	(107)
6.3.2	噪声分析与信息处理	(108)
6.4	缠绕式光纤应变传感器特性试验及分析	(111)
6.4.1	试验系统的构成	(111)
6.4.2	准分布试验加载装置的设计	(111)
6.4.3	缠绕式光纤应变传感器特性试验及分析	(112)
6.5	缠绕式光纤应变传感器分布测试特性	(114)
第 7 章	基于光纤光栅传感的纤维增强复合材料构件监测技术	(116)
7.1	纤维复合材料的制备与性能研究	(116)
7.1.1	组分材料的选择与配比	(116)
7.1.2	碳纤维复合材料制备工艺	(118)
7.1.3	纤维复合材料筋的性能测试及分析	(118)
7.1.4	纤维复合材料筋的锚固实验	(123)
7.2	基于光纤传感的纤维复合材料杆件的传感特性	(125)
7.2.1	杆件的制备工艺	(125)
7.2.2	光纤光栅与复合材料的界面黏结分析	(126)
7.2.3	杆件的传感特性测试与分析	(128)
第 8 章	基于布里渊散射的分布式光纤传感技术	(130)

8.1 分布式光纤传感的测试原理	(130)
8.1.1 布里渊散射原理	(130)
8.1.2 布里渊散射与温度和应变的关系	(132)
8.2 布里渊散射的检测方法	(133)
8.2.1 直接检测法	(133)
8.2.2 外差检测法	(134)
8.2.3 相干外差检测法	(134)
8.3 基于布里渊散射的光纤传感技术研究进展	(135)
8.4 基于分布式布里渊传感的铁路轨道裂纹检测	(137)
参考文献(第一篇)	(141)

第二篇 压电传感与监测技术

第9章 压电材料与压电智能结构	(149)
9.1 压电效应与原理	(149)
9.2 压电陶瓷的智能特性及应用	(150)
9.2.1 压电陶瓷的原理	(150)
9.2.2 压电陶瓷的结构与性能	(151)
9.2.3 压电陶瓷的应用	(151)
9.3 PVDF 压电薄膜的智能特性及应用	(152)
9.3.1 PVDF 压电特性	(153)
9.3.2 PVDF 压电薄膜的应用	(154)
9.4 基于压电传感与控制的智能结构	(156)
9.4.1 振动控制	(156)
9.4.2 噪声主动控制	(157)
9.4.3 结构静变形控制	(157)
9.4.4 结构损伤监测	(157)
第10章 动态应变压电传感特性的研究	(159)
10.1 压电元件对动态应变的传感原理	(159)
10.2 压电元件测量电路分析	(161)
10.2.1 电压放大电路	(161)
10.2.2 电荷放大电路	(162)
10.3 动态应变压电传感理论计算式的建立	(163)
10.4 影响压电传感器性能的主要因素	(164)
10.5 基于压电传感的动态应变监测系统的建立	(165)
10.5.1 动态应变监测系统总体设计	(165)
10.5.2 数据采集与数据处理	(165)
10.5.3 信号处理与分析系统	(167)
第11章 压电应变传感特性的实验研究	(168)
11.1 压电静态应变传感实验	(168)
11.1.1 实验方法	(168)

11.1.2	实验结果	(169)
11.1.3	静态实验结果分析	(170)
11.2	压电动态应变传感特性研究	(170)
11.2.1	实验方法	(170)
11.2.2	实验结果	(170)
11.2.3	动态实验结果分析	(171)
11.3	压电应变传感频响特性分析	(172)
第 12 章	基于压电应变传感技术的桥梁振动监测	(175)
12.1	桥梁结构的振动分析	(175)
12.1.1	桥梁的横向振动	(175)
12.1.2	各种不同支撑的梁横向振动的固有频率和主振型	(177)
12.1.3	梁的各阶横向主振动的动态应变分析	(179)
12.2	压电元件粘贴位置的选择	(181)
12.3	桥梁模拟系统	(181)
12.4	桥梁振动监测系统	(182)
12.4.1	压电传感器的布设	(182)
12.4.2	系统工作流程	(183)
12.4.3	仿真结果	(183)
第 13 章	基于压电传感的铁路轮轨力实时监测	(185)
13.1	钢轨受力的有限元分析和传感器的布设原则	(185)
13.1.1	有碴轨道结构有限元模型	(185)
13.1.2	无碴轨道结构有限元模型	(188)
13.1.3	压电传感器的布设原则	(190)
13.2	基于 PVDF 压电传感技术的轮轨力测试方法	(190)
13.2.1	轮轨之间的作用力	(190)
13.2.2	轮轨垂向力测试原理	(192)
13.2.3	轮轨水平力测试原理	(193)
13.2.4	基于压电传感技术的轮轨力测试公式的推导	(194)
13.2.5	PVDF 压电传感器粘贴偏转角对输出结果的影响	(196)
13.3	PVDF 压电传感动态特性的实验研究	(198)
13.3.1	动态响应特性	(198)
13.3.2	频率稳定性	(199)
13.3.3	抗电磁干扰特性	(200)
13.3.4	零漂特性	(200)
13.4	基于压力传感轮轨力的有限元仿真计算	(201)
13.4.1	轮轨垂向力测试有限元验证	(201)
13.4.2	轮轨横向力测试有限元验证	(203)
13.4.3	轨道结构谐响应分析	(205)
13.5	基于压电传感的铁路轮轨力实时监测系统的设计	(205)
13.5.1	铁路轮轨力实时监测系统的总体设计	(205)

13.5.2	应用软件设计	(209)
13.5.3	基于 Matlab Web Server 远程控制模块的设计与实现	(212)
13.5.4	Matlab Web Server 的组成与工作流程	(213)
13.5.5	基于 Matlab Web Server 的远程监测模块的实现	(213)
参考文献(第二篇)		(216)

第三篇 形状记忆合金与智能结构

第 14 章 形状记忆合金简介		(221)
14.1	形状记忆效应	(221)
14.2	形状记忆合金的工作原理	(222)
14.3	形状记忆合金的类型与应用	(222)
14.3.1	Fe 基形状记忆合金	(223)
14.3.2	Ni-Ti 形状记忆合金	(224)
14.3.3	Cu 基形状记忆合金	(224)
第 15 章 自动探测与主动控制裂纹扩展的智能材料结构		(227)
15.1	Ni-Ti 形状记忆合金丝特征参数的测试与表征	(227)
15.1.1	相变与应力、温度的测试和表征方法	(227)
15.1.2	应力-应变与温度相互关系的测试和表征	(231)
15.1.3	回复力-温度-应变的测试分析和表征	(232)
15.1.4	弹性模量随温度变化的关系	(235)
15.2	Ni-Ti 形状记忆合金薄带材料特征参数的测试与表征	(235)
15.2.1	Ni-Ti 合金薄带相变点的测试	(236)
15.2.2	应力-应变的测试	(236)
15.2.3	材料的拟弹性性能测试	(236)
15.2.4	材料回复力-温度-变形相互关系的测试	(237)
15.3	智能复合构件的复合技术	(238)
15.3.1	智能复合构件的特点	(238)
15.3.2	智能复合构件的构成及其分类	(239)
15.3.3	构件复合中的几个特殊问题	(240)
15.3.4	构件界面间的结合强度	(241)
15.4	智能复合构件的设计分析	(243)
15.4.1	裂纹探测方法	(243)
15.4.2	构件强度计算的依据	(244)
15.4.3	裂纹尖端参量的计算	(244)
15.4.4	Ni-Ti 合金丝智能复合构件的计算	(245)
15.4.5	Ni-Ti 合金薄板贴面智能复合构件的计算	(247)
15.4.6	Ni-Ti 合金带智能复合构件的计算	(250)
15.5	智能复合构件的试验研究	(253)
15.5.1	裂纹的探测试验研究	(253)
15.5.2	主动控制裂纹扩展的静态试验研究	(254)

15.5.3 主动探测和控制裂纹扩展的疲劳试验研究	(256)
第 16 章 自动均载、防松、防断的智能结构	(261)
16.1 研究背景	(261)
16.1.1 螺纹连接松动的原因	(261)
16.1.2 螺纹连接常用的防松方法	(262)
16.1.3 几种新的螺纹连接防松方法	(263)
16.2 Fe 基形状记忆合金防松防断螺母的研究	(264)
16.2.1 Fe 基形状记忆合金防松螺母的基本设计思想	(265)
16.2.2 Fe 基形状记忆合金成分对性能的影响	(266)
16.2.3 热处理工艺和预变形对形状记忆效应的影响	(268)
16.2.4 螺母的结构及加工工艺设计	(273)
16.2.5 Fe 基形状记忆合金防松螺母性能试验研究	(275)
16.3 螺栓组自动均载防断	(280)
16.3.1 基本设计思想	(280)
16.3.2 具有压缩拟弹性的 Ni-Ti 合金智能材料的研制及性能测试	(285)
16.3.3 自动均载传力垫及其性能测试试验	(289)
16.3.4 自动均载传力垫的模拟试验	(291)
16.4 自动均载防断传力垫的工程应用实例	(294)
16.4.1 在内燃机车缸盖螺栓上的应用	(294)
16.4.2 在秦岭隧道全断面掘进机上的应用	(297)
第 17 章 基于形状记忆合金的自适应无缝线路	(299)
17.1 无缝线路	(299)
17.1.1 无缝线路的概念及特点	(299)
17.1.2 无缝线路类型	(300)
17.1.3 无缝线路的研究现状	(301)
17.2 传统无缝线路的稳定性及强度分析	(302)
17.2.1 无缝线路及其胀轨跑道	(302)
17.2.2 无缝线路的强度计算	(304)
17.2.3 无缝线路的稳定性分析	(308)
17.3 自适应无缝线路的设计思想	(313)
17.3.1 自适应无缝线路的设计思想	(313)
17.3.2 简化结构模型的建立	(314)
17.3.3 优化模型的求解与结果	(316)
17.3.4 优化设计数学模型的建立	(317)
17.3.5 优化设计数学模型的求解与分析	(318)
17.4 适用于自适应无缝线路的形状记忆合金设计	(320)
17.4.1 形状记忆合金在自适应无缝线路中的应用设想	(320)
17.4.2 形状记忆合金的功能设计	(320)
17.4.3 形状记忆合金的性能设计	(324)
17.4.4 形状记忆合金的焊接性与耐磨性研究	(326)

17.5	自适应无缝线路的强度及稳定性计算	(331)
17.5.1	自适应无缝线路的强度计算	(331)
17.5.2	自适应无缝线路的稳定性计算	(333)
17.6	自适应无缝线路的研究趋势	(335)
参考文献(第三篇)		(336)

第四篇 工程应用实例

第18章	芜湖长江大桥长期健康监测与报警系统	(343)
18.1	工程概况	(343)
18.2	长期健康监测系统的结构体系与总体目标	(344)
18.3	主要监测内容与监测系统的特点	(345)
18.4	传感器及其通信网络的优化布设	(345)
18.5	控制数据采集的触发方式与监测系统设计的总体要求	(346)
18.6	监测数据采集系统及数据库查询与管理软件设计	(347)
18.7	安全报警系统的功能	(348)
18.8	应用效果	(349)
第19章	郑州黄河大桥远程振动监测系统	(350)
19.1	项目背景	(350)
19.2	建立振动远程监测系统的目标和要求	(351)
19.3	监测内容和系统构成	(352)
19.4	数据采集网络与数据处理方案设计	(352)
19.5	监测数据采集及数据库软件设计	(354)
19.6	监测数据结果	(355)
19.7	应用效果	(355)
第20章	秦沈客运专线辽河大桥监测系统	(356)
20.1	辽河大桥概况	(356)
20.2	光纤传感器在混凝土结构水化热测试中的应用	(357)
20.3	基于光纤传感的混凝土桥梁施工质量监测的应用	(358)
20.4	箱梁的动态测试与分析	(359)
致谢		(362)

第一篇

光纤传感与监测技术

