

'94 秋季中国材料研讨会 I

新型功能材料

中国材料研究学会

C-MRS

1

化学工业出版社

'94 秋季中国材料研讨会会议论文集

'94 C-MRS Materials Conference Proceedings

第 I 卷 新型功能材料

Vol. I Advanced Functional Materials

第一分册 智能(机敏)材料、梯度材料、储氢材料

姚 熹 姜德生 袁润章 张允什

中国材料研究学会(C-MRS) 编

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字039号

图书在版编目(CIP)数据

新型功能材料: 94'中国材料研讨会论文集/中国材料研究学会组织编写.-北京:化学工业出版社, 1995.8
ISBN 7-5025-1510-0

I.新… II.中… III.工程材料,功能-材料科学-学术会议-文集 IV.TB39-53

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第09245号

出版发行: 化学工业出版社(北京市朝阳区惠新里3号)

社长: 俸培宗 总编辑: 蔡剑秋

经 销: 新华书店北京发行所
印 刷: 有色金属研究总院印刷厂
装 订: 有色金属研究总院印刷厂
版 次: 1995年6月第1版
印 次: 1995年6月第1次印刷
开 本: 787×1092 ¹/₁₆
印 张: 29 ¹/₂
字 数: 724千字
印 数: 1-600
定 价: 190元

(1分册60元; 2分册60元; 3分册70元)

'94 秋季中国材料研讨会论文集 编辑委员会

顾问：师昌绪 严东生

主任：李恒德

副主任：韩雅芳 吴伯群

委员：（按姓氏笔划排列）

马莒生	甘子剑	刘伯操	刘家浚	李诗卓
朱鹤孙	阮雪榆	邹广田	吴人洁	吴伯群
周 廉	周本濂	陆盘金	姚 熹	姜德生
张兴栋	张允什	张传厉	张荟星	张少卿
张锐生	俞耀庭	侯静泳	柳襄怀	闻立时
胡壮麒	胡黎明	柯 伟	钟家湘	袁润章
徐 僖	徐 懋	海锦涛	章靖国	屠海令
韩雅芳	熊炳昆			

统编人员：侯静泳 韩雅芳

责任编辑：徐 蔓 夏叶清 管德存

前 言

本书是中国材料研究学会(C-MRS)组织编写的《'94秋季中国材料研讨会会议论文集》之一。“'94秋季中国材料研究会”于1994年11月至15日在北京召开。这是我国材料界最盛大的一次跨学科的学术交流会,参加会议的有来自国内102所高等院校、75个科研院所、15个二矿企业及有关领导机关的材料科学家、企业家共1000余人。中国科协主席、中国工程院院长朱光亚到会作了重要讲话,我国材料界的著名科学家师昌绪、严东生、林兰英、钱人元、葛庭燧等应邀在大会上作了学术报告。日本、韩国、美国、法国、英国、澳大利亚等国家的材料科学家也应邀出席了大会并作了学术报告。会议共收到论文1500余篇,除26位在大会上作综合性报告外,另分23个分会进行了学术交流。23个分会分别为:

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| 1. 智能(机敏)材料 | 13. 超塑性及超塑成形 |
| 2. 梯度材料 | 14. 喷射成形(工艺)技术 |
| 3. 新型工程塑料 | 15. 反应加工新技术 |
| 4. 超导(高、低T _c)材料 | 16. 摩擦学材料 |
| 5. 生物医用材料 | 17. 材料的腐蚀与防护 |
| 6. 超硬材料 | 18. 异材连接与封装技术 |
| 7. 薄膜材料与薄膜技术 | 19. 稀土元素在材料中的应用 |
| 8. 储氢材料 | 20. 计算机在材料研究与工程中的应用 |
| 9. 非晶态、急冷与快速凝固材料 | 21. 材料研究新技术 |
| 10. 新型轻金属材料 | 22. 超细材料与技术 |
| 11. 富勒烯球(C ₆₀ 等) | 23. 材料科学前沿 |
| 12. 束流表面改性 | |

本次大会的论文涉及面广,学术水平较高,反映了在上述领域内我国材料研究的最新成就。所有论文均按照规定的评审程序和正式的出版要求进行了审查,最终收集在本论文集的论文共1012篇,分四卷,10分册。

第一卷为新型功能材料(含三个分册);第二卷为低维材料(含二个分册);第三卷为新型材料与表面技术(含三个分册);第四卷为材料加工和研究新技术(含二个分册)。

本书对从事材料开发和研究的科学家、工程技术人员、大专院校师生以及有关领导机关的人员均有重要的参考价值。

全书四卷论文集,作者几千人,汇编成书正式出版尚属首次,缺乏经验,且成书时间甚为紧迫,诸多作者联系不便,不足之处在所难免,祈请各界同仁鉴谅并予以指正。考虑到材料科学和应用技术发展日新月异,拟在日后每召开一次研讨会,即将会议交流论文汇集成册,正式出版,此举还望材料界有关人士予以大力支持。

责任编辑：徐 蔓 夏叶清 管德存

C-ME

'94
秋季
中国
材料
研讨
会

新
型
功
能
材
料

(总

化

TB39-
5649
:1(1

版
社

《新型功能材料》卷包含的内容主要有：智能(机敏)材料、梯度材料、储氢材料、新型工程塑料、生物医用材料及超导材料。其中讨论了自诊断功能机敏材料、自适应功能机敏材料；梯度材料的设计理论和结构优化；储氢材料的吸氢特性、电化学特性；生物活性材料、人工器官材料；高、低温超导材料；以及它们的制备技术、特性、微结构、性能的评定技术与方法、基础理论及工程应用研究等。

'94 秋季中国材料研讨会会议论文集 分卷及各分册名称

第Ⅰ卷 新型功能材料

- 第一分册 智能(机敏)、梯度和储氢材料
- 第二分册 新型工程塑料及生物医用材料
- 第三分册 超导材料及富勒烯球

第Ⅱ卷 低维材料

- 第一分册 薄膜材料与薄膜技术
- 第二分册 非晶态、快凝材料与超细材料及其技术

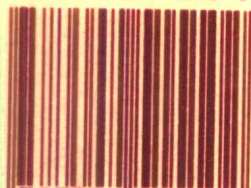
第Ⅲ卷 新型材料及表面技术

- 第一分册 新型轻金属材料及稀土元素的应用
- 第二分册 金属材料的表面改性及腐蚀、防护
- 第三分册 超硬材料与摩擦学材料

第Ⅳ卷 材料加工和研究新技术

- 第一分册 超塑成形、反应合成与加工及异材连接
- 第二分册 材料研究新技术及材料科学前沿

ISBN 7-5025-1510-0



ISBN7-5025-1510-0/Z·53

定价：190 元

(1 分册 60 元；2 分册 60 元；3 分册 70 元)

9 787502 515102 >

目 录

智能(机敏)材料

一种具有状态监测功能的机敏材料系统-----	黄尚廉 涂亚庆 陈伟民 唐 军	(1)
机敏材料中的光纤传感技术研究-----	王向阳 查开德 廖延彪	(9)
智能材料系统的研究与发展-----	杨大智 魏中国	(16)
埋光纤智能复合材料结构应力集中的研究-----	冷劲松 王殿富 杜善义	(21)
混凝土结构内的螺旋线微弯增敏光纤传感器 -----	王先彬 姜德生 吴自退 曹 和 吴宿松 赵丽芳 赵宏声	(27)
嵌入式复合材料光纤应变传感器的研究 -----	王惠文 伍 剑 李乃吉 戴 禄 谢富源	(31)
碳纤维—水泥基复合材料应力传感器的研究 -----	吴自退 赵宏生 赵丽芳 姜德生 王先彬 曹 和 吴宿松	(35)
	邢伟宏 水中和	
光纤复合材料固化监测的探讨-----	伍 剑 王惠文 李乃吉 戴 禄 谢富源	(39)
声波导固化监控-----	曹 和 吴自退 姜德生	(42)
埋入式光纤传感器在重力坝的自诊断应用初探-----	沈大荣 姜德生 李卓球	(47)
智能复合材料损伤自诊断的敏感性研究-----	李卓球 沈大荣 姜德生	(52)
机敏材料检测中,全光纤干涉仪的应用和探讨 -----	吴宿松 姜德生 曹 和 王先彬 赵宏声	(57)
Pt扩散阻挡层对PZT薄膜/si界面反应的影响 -----	朱永法 曹立礼 阎培渝 李龙土 张孝文	(63)
钛酸钡PTC陶瓷的电流—电压特性的研究-----	张 峰 吴正纯 曹泽淳	(68)
有机PTC元件的阻氧层研究-----	王玉崎 王济峨 陈汴琨 唐国宏 张永安	(74)
PTCR热敏电阻新原料的探讨-----	刘 伟 卢培珍 陈汴琨	(79)
ZnO压敏电阻材料中的 $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3 \rightarrow 12\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 相变 -----	邵汇青 高祥洪 曹泽淳 徐寿嵩	(84)
Ti-Ni形状记忆合金焊接金相组织观察-----	卓忠玉 尤力平 郭锦芳	(89)
电色Smart窗-----	申功烈	(94)
多元电致显色膜的制备与性质-----	周梅芳 柯 琪 王芳虹 刘民一 乐 军	(100)
氧化镍薄膜电致变色机理研究-----	潘素璞 毛 骏 杨文言	(105)
实时动态响应全智能抗光震结构的开发研究 -----	杜丕一 马 宁 韩高荣 丁子上	(111)
电流变体材料特性及其工程应用-----	冷劲松 刘彦菊 王殿富 杜善义	(116)
电流变体的近期进展-----	曹 和 王先彬 张圣佩 姜德生	(122)
电流变液的强场非线性介电性质 -----	邱志勇 沈 岩 唐 颐 高 滋 孙 猛 邱经武 余忠泽	(126)
	胡 林 周鲁卫	
一种新型高分子半导体的电流变性质研究-----	沈 岩 孙 猛 邱志勇 周鲁卫	(132)
电流变体静态屈服应力的实验研究-----	孟永钢 刘彩真	(136)
NiTi形状记忆合金支承件基础研究-----	陈 儒 丰 杰	(142)
形状记忆合金增强复合材料梁弯曲的实验研究		

-----孙国钧 吴建生 王志中 张 新	(14)
等离子体制备的纳米 α - Fe_2O_3 的气敏特性-----崔作林 董立峰	(15)
ZrO_2 固体电解质与测氧传感器-----徐永利 张永安 陈济琨 徐跃明 李 彦	(154)
铈醇盐制备气敏传感器材料的研究-----张建成 周海丽 陈雅丽 沈嘉祺	(160)
γ - LiAlO_2 的制备及表征-----王立民 董相廷 赵敏寿	(166)
含NiTi合金带的铝合金复合智能构件的疲劳裂纹扩展特性研究 -----杜彦良 聂景旭 张学仁	(170)
Tb—Dy—Fe 磁致伸缩式光纤磁场传感器 -----黄晓华 姜德生 李 强 曹 和 张一玲 吴宿松 王先彬	(179)
磁致冷机的工质材料-----戴 闻	(181)
用电流变液作激励器的自适应控制结构研究 -----赵晓鹏 高四海 韩天波 罗春荣 周本濂	(189)
智能材料和“智能”材料-----郭懋端 范红梅	(193)
NiTi 形状记忆合金表面改性绝缘及其主动控制振动的研究 -----崔立山 刘玉东 陈骝骥 杨大智	(197)
用溶胶—凝胶方法制备大块钠硼硅系统玻璃 -----向卫东 王中才 赵文兴 杨全祖 王承遇 丁子上 翁文剑	(202)
梯度材料	
功能梯度材料的研究—现状和前景-----张 伟	(208)
热应力缓和型梯度材料的总体结构优化-----张联盟 唐新峰 涂 溶 袁润章	(214)
金属—陶瓷梯度功能材料的热弹塑性分析-----王继辉 邓京兰 张清杰	(219)
热应力缓和型梯度功能材料设计的分析模型及数值计算 -----汪朝霞 张晓丹 葛昌纯	(224)
亚微米功能梯度材料的异常导热性-----范秋林 胡行方 郭景坤	(230)
氮化铁梯度薄膜的制备和磁性研究-----林 川 姜恩永 孙多春 田民波	(236)
TiC/Ni ₃ Al 系复合材料的性能及其FGM结构的优化 -----张联盟 刘 江 涂 溶 袁润章	(240)
TiC-Ni ₃ Al 界面润湿特性及其改善-----涂 溶 李俊国 唐新峰 谢济仁	(245)
爆炸压实+SHS制备Ti/Al ₂ O ₃ 梯度功能材料-----郑子樵 李益民	(250)
稳态温度场下轴对称梯度功能材料的热应力分析-----张晓丹 刘冬青 葛昌纯	(253)
SiC/不锈钢系热应力缓和型FGM的设计和制备 -----孟祥军 王新平 马章林 陈春和	(261)
离心铸造金属间化合物/梯度功能材料梯度分布控制的数值模拟及实验研究 -----张宝生 陈洪升 安阁英	(266)
FGM组元热物性系数变化规律的总结与探讨-----李应有 翁宇庆	(272)
金属—陶瓷梯度功能材料梯度层性质与热应力的关系---邓京兰 王继辉 吴代华	(275)
离心铸造铝铁合金复合管件-----王渠东 金俊泽	(281)
ZrO ₂ -Ni 功能梯度材料界面结构的研究 -----朱景川 尹钟大 茅建富 来忠红 杨德庄 宁小光 李斗星	(287)
钛合金表面等离子喷涂制备ZrO ₂ -Ti系功能梯度涂层 -----尹钟大 向兴华 朱景川 来忠红	(293)

TiC的烧结致密与显微结构-----	涂 溶	谢济仁	张联盟	袁润章	(299)		
TiC/Ni ₃ Al系FGM静态与稳态热应力的二次优化							
-----	沈 强	涂 溶	张联盟	袁润章	(304)		
无压自蔓延高温反应制备Ti/Al ₂ O ₃ 金属陶瓷梯度功能材料							
-----	李益民	郑子樵	吕维洁		(310)		
人工智能在梯度功能材料制备中的应用-----	徐雪艳	穆志纯	汪朝霞	郭丽斌	(313)		
梯度功能薄膜的研究现状及发展趋势-----	侯晏红	乔学亮	吴一平	孙培楨	(317)		
Ti-(Ti,Al)N梯度功能薄膜的研究							
-----	侯晏红	乔学亮	吴一平	陈建国	尹世明	孙培楨	(323)
减压化学气相沉积TiC薄膜的表面形貌研究----	沈 强	李俊国	张联盟	袁润章		(328)	
Ni ₃ Al的SHS合成及其组织与结构控制-----	张联盟	刘 江	涂 溶			(332)	
激光局部加热对Al-Fe系金属间化合物梯度材料抗热冲击性的研究							
-----	张宝生	陈洪升	郭立新	安阁英		(337)	
激光加热烧结梯度功能材料的研究---	张同俊	李星国	李克平	杨君友	朱 俊	(343)	
梯度材料研究回顾与新动向-----	涂 溶	张联盟	袁润章			(347)	
新型阻燃高抗冲聚苯乙烯的研究-----	刘南安	白福臣	杨永宽	巴慧玲		(353)	
金属—陶瓷界面化学结构研究-----	任海蓝	刘韩星	欧阳世翕	王典芬		(357)	

储氢材料

Ca对M_{1-x}Ca_xNi₅系氢化物稳定性的影响

-----	王新华	赖新途	张志鸿	陈长聘	王启东	(363)		
轧制对复合贮氢材料组织和性能影响的若干规律								
-----	周自强	张金龙	葛建生	熊义辉	沈建荣	张巍	(367)	
含第二物相的LaNi ₅ 基金属及其贮氢性能-----	宏存茂	张玉芬	林秋竹				(373)	
表面镀覆处理对氢化物电极循环稳定性的影响-----	孙俊才	严密					(379)	
机械合金化Mg-Xwt%Ni (x=20, 55, 78) 材料贮氢性能研究								
-----	方守狮	梁国宪	王尔德	王晓林			(384)	
钴合金贮氢容量、等温P-C曲线测定-----	罗德礼	沈灿声	黄国强	王英敏			(389)	
氢压缩机制冷系统用TiZrMnCrVFe系多元合金								
-----	高会龙	詹锋	蒋利军	鲍德佑			(393)	
几种镁基贮氢合金的吸氢动力学-----	刘宾虹	陈长聘	赖新途				(397)	
(ZrTi) ₂ 贮氢电极的快速充放电性能和循环稳定性能								
(M=Cr, Mn, Ni, V)-----	杨晓光	张志鸿	王春生	雷永泉	王启东	吴京	(403)	
AB型储氢合金薄膜的制备及其结构研究-----	陈廉	贾宏伟	佟敏	杜金山			(408)	
贮氢材料用作超高压氢源的研究-----	周德惠	刘晓艰	谭云	周顺期			(414)	
氢化物热泵运转速率的试验研究-----	严密	陈长聘	王新华	吴京	王启东		(420)	
MnNi ₅ 基储氢电极材料电化学性能研究-----	盖迎新	唐伟忠					(425)	
稀土系贮氢合金RE(NiCoMnTi) ₅ 的电化学性能								
-----	江建军	张志鸿	王春生	刘卫红	雷永泉	王启东	(428)	
Cu对非晶态Mg ₅₀ Ni ₅₀ 电极电化学性能的影响								
-----	刘卫红	张志鸿	雷永泉	孙大林	江建军	吴京	王启东	(432)
快速充电时MH-Ni电池的气体析出研究								

-----周自强 林根文 翟大程 冯 锋 谢中伟	(436)
电动车用动力型Ni/MH电池开发动向-----詹 锋 蒋利军	(442)
氢化物空调热泵反应器传热性能的研究-----严 密 陈长聘 王新华 王启东	(447)
非晶态Mm-Ni合金薄膜电极吸放氢性能	
-----胡伟康 张允什 宋德英 汪根时 罗道军 汪 筠	(452)
富铈混合稀土储氢合金的制备及Ni-MH电池的相关行为	
-----褚德威 张翠芬 袁国辉 赵 力	(456)
TiNi合金相结构对电化学性能的影响	
-----王春生 张志鸿 杨晓光 江建军 雷永泉 王启东	(461)

一种具有状态监测功能的机敏材料系统*

黄尚廉 涂亚庆 陈伟民 唐军

(国家教委光电技术及系统开放实验室, 重庆大学光电精密仪器系, 630044)

摘 要 本文描述一种在材料中埋入光纤传感阵列, 通过对传感信号的神经网络处理, 实现状态监测的光纤机敏材料系统。基于光纤微弯传感原理, 提出了一种适宜于此系统的光纤传感阵列结构, 以及直接利用传感阵列光纤出射光的光强分布特性的神经网络信号处理方法。重点研究并给出了系统的结构及实现的功能, 以及在混凝土构件上的应用实验结果, 验证了所提方法的可行性与有效性。

关键词 机敏材料系统, 光纤传感, 神经网络信号处理, 状态监测

1 引 言

由于社会发展的需要, 一大批科学家正致力于研究与发展机敏结构或机敏材料系统, 其最终目标是实现智能材料系统与结构^[1-5]。作者认为, 在此系统具有的感知与响应内外环境变化, 实现自检测, 自诊断, 自监控, 自校正, 自修复与自愈合等诸多功能中, 感知功能是最基本的, 对机敏材料系统而言, 首先必须实现材料与结构的状态监测^[6]。

在光纤机敏材料系统中, 如何才能够实现对材料与结构状态的监测呢? 其具体的传感结构及其信号处理的方法又是什么呢? 尤其是其可行性及有效性如何呢? 为此以下将研究并给出一种新型光纤传感阵列及其信号的神经网络处理方法, 以及具有材料与结构状态监测功能的光纤机敏材料系统的结构及功能, 重点研究在混凝土构件上的应用实验情况。

2 传感与信号处理方法

2.1 传感方法

材料与结构的状态变化和损伤通常是由施予其上的力引起的^[7], 光纤力传感器是测量材料与结构受力的一种有效方法。近年来, 对基于光纤微弯损耗原理的力传感器进行了大量的研究。但是, 将微弯光纤力传感器应用于此有如下缺点:

- (1) 对于特定的应用需要设计相应的变形器;
- (2) 由于变形器的作用, 光纤易损坏(断裂);
- (3) 在材料与结构状态探测和损伤估计中, 有大量的点需要监测, 而在材料与结构中埋入如此多的变形器显然是不现实的。

那么能否仅利用光纤自身使其变形, 而不需附加变形器呢? 据此要求, 作者提出了一种新颖的可探测准分布力的光纤传感阵列(图2)^[6]。该传感阵列由许多行列相互垂直的光纤构成。此传感阵列不仅甩掉了变形器, 而且将单点力监测发展为准分布力监测。有如下优点:

- (1) 由于不用附加变形器, 可用于材料与结构的状态探测和损伤估计;

*本文研究受国家自然科学基金资助

- (2) 传感阵列的灵敏度和测量范围可以灵活地改变, 如通过变化相邻光纤之间的间距;
- (3) 最重要的发展是可以在相邻传感光纤之间铺以辅助变形光纤, 并且使它们之间互为备用。

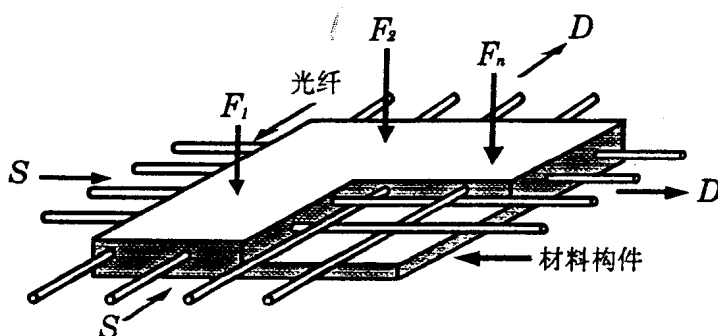


图 1 埋入材料中的光纤传感阵列示意

2.2 信号处理

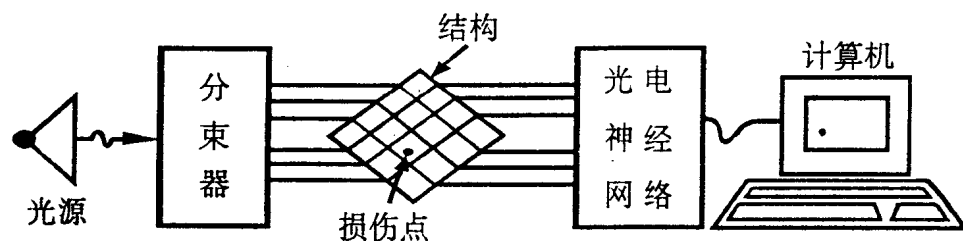


图 2 平板结构中光纤传感阵列信号的神经网络处理

由于实际传感阵列所分布的范围是很大的, 传感阵列输出信号可能是大面积的分布信号或数十甚至成千上万个离散信号, 且多数为非线性, 因此计算与分析工作量很大。依据目前的计算与分析方法是很费时的, 显然不能满足实时监测及控制的需要。神经网络的高度并行性, 容错性及自适应与自组织等特性^[9]为光纤阵列传感信号的处理提供了可能, 由此实现的系统具有简单、直接及容错等优点^[9]。

光纤传感阵列的输出信号经光电转换后作为神经网络的输入信号, 神经网络的输出信号可以是对应光纤阵列传感的传感量, 也可以是它们的某种综合效应的表征。对于平板形的光纤机敏材料状态监测而言(图2), 埋入光纤传感阵列, 主要应解决状态变化点的定位及程度的估计。采用自组织特征映射网络(Kohonen网络)^[10]可以解决定位问题, 因为经过训练后, Kohonen网络的输出可以看成是输入样本特征的一种表达, 对于相近的输入, 其输出响应节点在输出平面上也是拓扑意义下相近的。采用多层感知机网络(BP网络)^[11]可以解决定位及变化程度的估计问题, 因为BP网络的输出值序列既可以训练成表征位置(区域)的代码, 也可以训练成对应监测量的大小(程度)^[12-14]。

3 系统结构及功能

3.1 系统结构

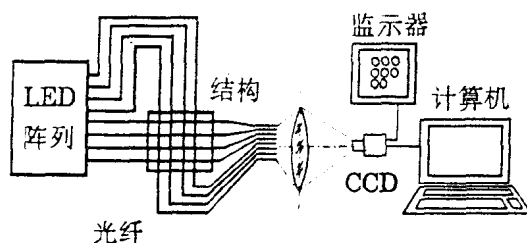


图 3 机敏材料系统结构示意图

图3为作者实现的一种对材料与结构具有状态监测功能的机敏材料系统的结构示意图。与按一般方法构成此系统至少有如下两点不同：

(1) 光源没有用激光器，而是采用了LED。

采用的光源是最廉价的LED，而不是相对昂贵的激光器，这与微弯光纤传感器应采用的光源的分析是一致的^[6]。由于采用的LED与光纤的耦合也较容易，所以作者在实验系统中也没有采用相对较贵的分束器。

(2) 信号的探测没有采用带PIN的光电转换与放大电路，而是采用了面CCD直接探测的方式。

作者在对阵列传感光纤的输出探测中采用了面CCD直接对准光纤传感阵列的输出。之所以没有采用带PIN的光电转换与放大电路是因为一般此类系统传感光纤较多，由于要求并行处理，如果用一般方法必需众多的带PIN的光电转换与放大电路，且需设计与计算机的接口，这是极不经济的，且会大大降低可靠性。作者采用的方法是使面CCD的一部分探测区域与一传感光纤的输出相对应，这样一个面CCD就可以同时探测相当多的传感光纤输出。且可以借用目前已成熟可靠的技术，使阵列传感信号的采集与转换易于实现。

3.2 系统功能

为了方便此实验系统的应用，设计了一系列功能。主要包括以下五类：

(1) 信号模式的采集

主要利用图像板提供的一些基本功能，实现对模式信号的采集。

(2) 模式信号特征信息的提取

用C语言与图像板提供的功能相结合，编制了求取有用信号的边界及每一有用模式信号的程序。

(3) 神经网络训练及计算

用C语言对BP和Kohonen两种神经网络模型针对单点定位，双点定位，单点定位及变化程度估计的各种组合情况，编制了训练和计算的程序系统。

(4) 实验结果数据的误差分析

针对第(3)项功能的不同情况，设计了实验数据的误差分析功能。此功能可以统计任意指定次数测量的各种数据情况，并给出误差分析结果。可以有选择地统计与计算诸如均方值，单次测量的均方差与多次测量的均方差等参量。

(5) 实验结果的显示

编制了直观的实验结果显示程序系统。

目前, 由以上五类功能组成的软件系统用户界面良好, 较方便用户使用。源程序量约500KB。

4 系统实验及分析

钢筋混凝土建筑及结构, 虽然在结构分析与设计方面是高度先进了, 但在测试与监控技术方面仍然十分落后, 特别对于处于灾害性载荷下的建筑设施及要求高度安全和可靠的建筑结构, 如桥梁、水坝、油库、核电站等。发展一种有效的无损检测及在线监控方法与技术, 具有重大的科学意义和巨大的社会效益。

对混凝土而言, 传统的测试技术由于测点有限, 不能正确描述结构状态。特别是现有的传感器体积大, 埋入构件势必影响结构的正常工作。尤其对损伤与灾难性破坏的响应速度慢, 不能实时在线监测建筑及结构的整体安全性。遵循光纤机敏结构的基本思想, 作者提出一种在土建工程中有大量潜在应用前景的新的监测技术——将光纤传感阵列埋入混凝土构件中, 外界的扰动(如载荷、应力、应变、裂纹及蠕变等)调制光纤中传输的光的强度变化, 利用本文提出的技术与方法获得建筑或构件内部状态的空间分布及时间变化信息, 从而实现对建筑及关键构件的状态在线监测与损伤估计, 最终促进智能建筑的出现及土建工程发生革命性变化。

为此, 作者以对机敏蒙皮及埋入光纤传感阵列的石膏构件上的实验研究为基础[15,16], 对混凝土构件中埋入光纤传感阵列以监测构件内部状态变化进行探索性研究。

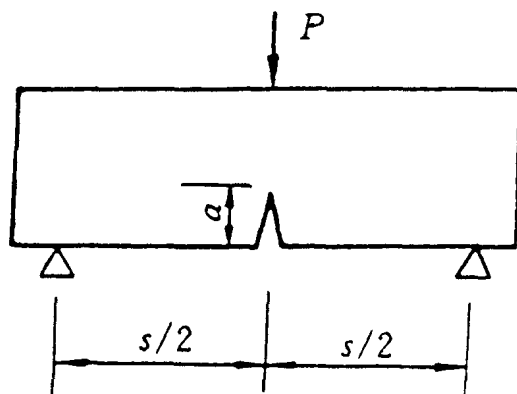


图 4 三点弯曲梁示意图

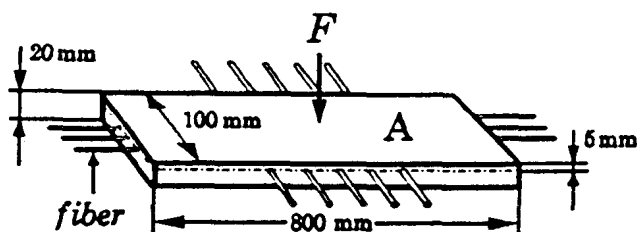


图 5 埋入光纤传感阵列的混凝土构件示意图

由文献[5]的分析可知, 混凝土是由于在外力作用下内部微裂纹的形成、扩展而导致最终破坏的。混凝土的破坏过程与其内部裂缝的发展有着密切的关系。由于

载荷与裂缝的扩展的密切关系，也可以说混凝土破坏的过程与载荷有密切关系。目前混凝土构件实验确定开裂载荷值的方法主要应用的是载荷—挠度曲线判别法，且测定混凝土断裂韧度的标准试件为三点弯曲梁，如图4所示。据此作者对埋入光纤传感阵列的混凝土构件三点弯曲梁进行实验研究。

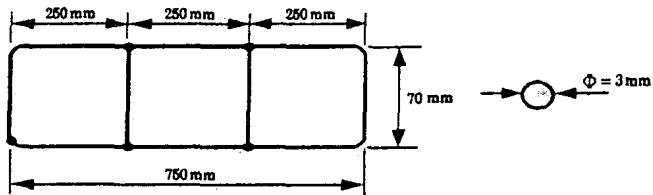


图 6 埋入光纤传感阵列的混凝土构件配筋示意图

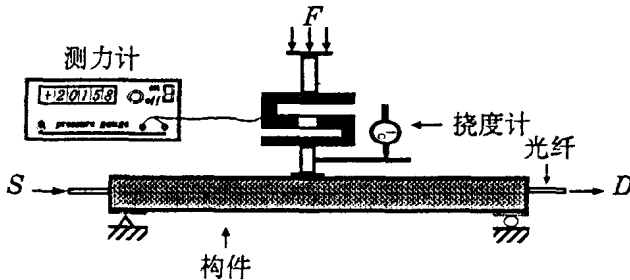


图 7 在混凝土构件上的部分实验装置示意

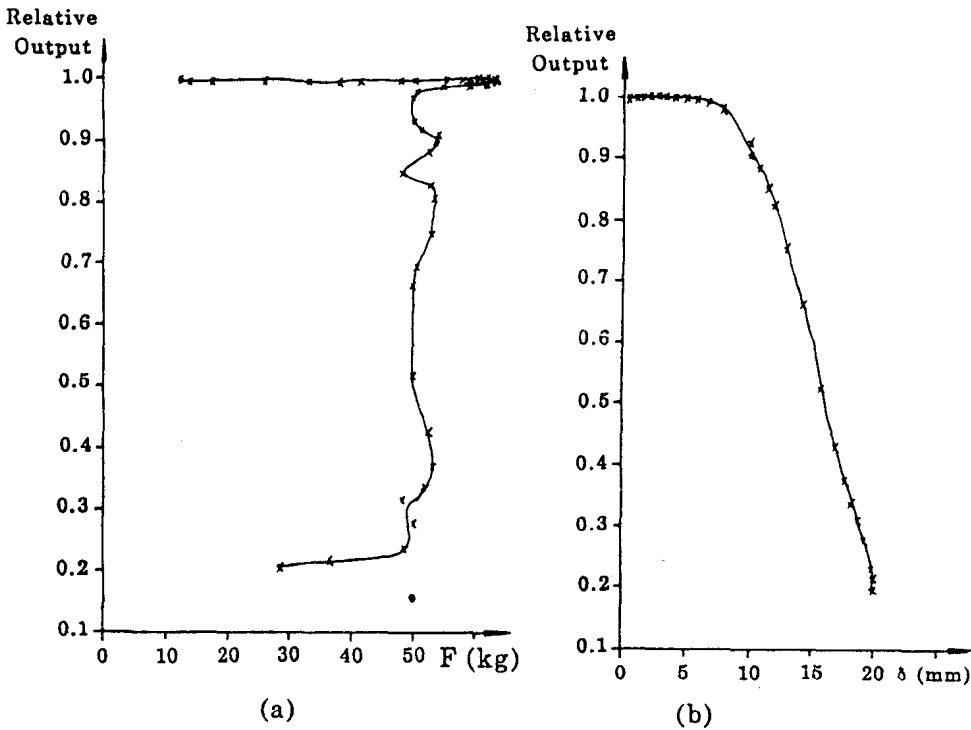


图 8 混凝土构件实验结果(1)

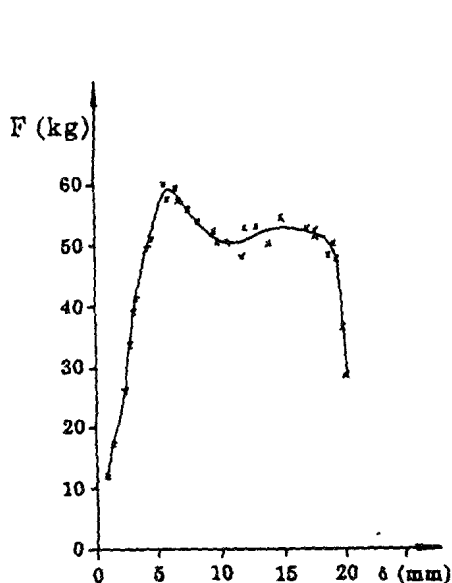


图 8 (c)

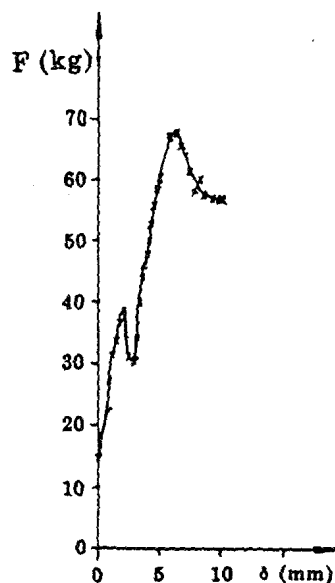
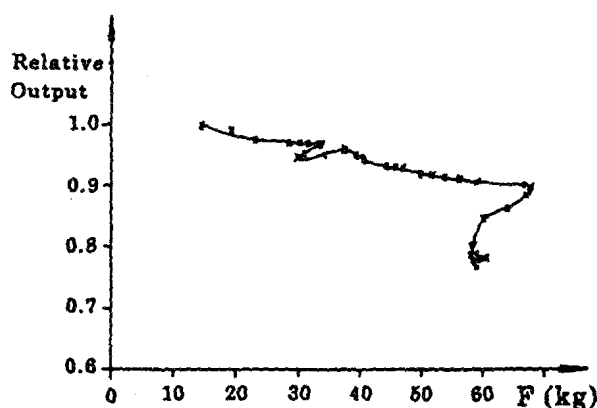
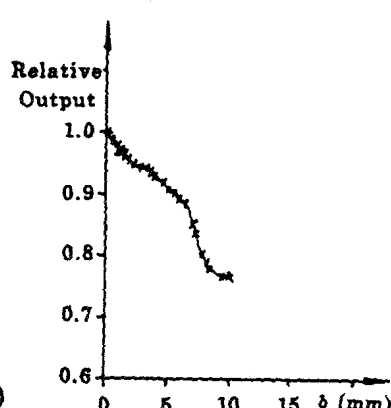


图 9 (c)



(a)



(b)

图 9 混凝土构件实验结果(2)

图5是埋入光纤传感阵列的混凝土构件示意图，图6是实验用混凝土构件的配筋示意图，为了便于实验，作者有意识地减小了配筋强度，水泥与沙的配比也有所减小。图7为对此进行实验的部分实验装置示意图，图中测力计是用数字应变仪经标定(量程 0~200Kg，误差为 $\pm 30g$)而成的，挠度计采用的是百分表($\pm 0.03mm$)。

作者对如图5所示的埋入了光纤传感阵列的混凝土构件进行了不同情况的实验。图8与图9给出了实验得到的不同情况时的荷载——挠度、相对输出光强——荷载、以及相对输出光强——挠度的关系曲线。其中图8是如图5所示的混凝土构件的A面朝上时的实验结果；图9是如图5所示的混凝土构件的A面朝下时的实验结果。图8与图9实验的对应混凝土构件，x方向埋入二次被覆外径为0.8mm的光纤，y方向埋入一次被覆外径为0.25mm的光纤。

值得注意的是,由图9可见, $F=30\sim 40\text{Kg}$ 处实验曲线出现了明显的转折,而作者发现这一转折是与混凝土构件初始出现可观察的裂纹相对应的;图8中挠度较大时($\delta > 6\text{mm}$),沿实验曲线出现的一处或多处转折是与裂纹的进一步产生、发展、及扩展相对应。由此可见,采用的技术与方法,完全有可能用于监测裂纹的发生、发展、及扩展情况。但较详细的情况还需进一步进行全面的深入与细致的研究。

5 结 论

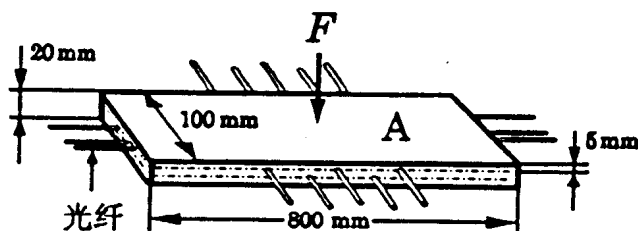


图 10 改进的埋入光纤传感阵列的混凝土构件示意图

由以上所示的实验情况得到的实验结果,作者认为基本上可得出如下结论:

- (1) 当挠度较小时,远离荷载面(即实验时A面朝下)埋入的光纤传感阵列能够监测构件状态变化;而靠近荷载面(即实验时A面朝上)埋入的光纤传感阵列基本上不能用来监测构件状态变化。
- (2) 当挠度较大时,靠近荷载面埋入的光纤传感阵列能够监测构件状态变化;而远离荷载面埋入的光纤传感阵列,此时由于已接近破坏不能用于监测构件状态变化。
- (3) 由于(1),(2)点的互补性,较好的方法是在混凝土构件内靠近上下表面均埋入光纤传感阵列(图10)。当挠度较小时,靠近下表面埋入的光纤传感阵列起作用;而当挠度较大时,靠近上表面埋入的光纤传感阵列起作用。

以上(1),(2),(3)点均是针对一定的传感灵敏度而言的,如果增大灵敏度,以上基本不起作用的方式会有所改变,具体细节有待进一步研究。

必须注意由于混凝土构件的性能离散性较大,且由于条件所限,实验的试件不多,不足完全验明以上结论。进一步的细节关系也还需进行大量的实验研究确定,尤其是应用相关理论进行较为详尽的理论分析。不过有一点还是比较明确的,即光纤传感阵列埋入混凝土构件中对监测其状态的变化,进而进行损伤预报不失为一条崭新的途径;由于有广泛而非常重要的应用前景,因此有十分重要的研究价值。

机敏材料系统的研究与发展,必须依靠工程力学家,应用数学家,材料科学家,信息工程科学家,机械与仪器科学家们之间的通力合作,以及与各专业工程师们的大力协同,才会取得实质性的进展与突破。作者衷心地期望能引起同行们的兴趣,如此,目的也就达到了。