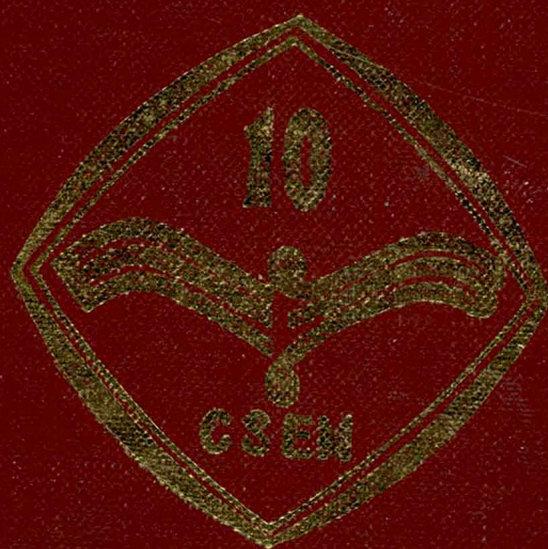


第六届全国实验力学学术会议 论文集

1988. 11 上海

(一)



北京大学出版社

第六届全国实验力学学术会议 论文集

1989. 11 上海

(一)



北京大学出版社.

内 容 简 介

本论文集收入了:电测法(包括静、动态,高、低温和特殊条件下的测量技术和仪器);光弹性法(包括二维和三维光弹性,贴片光弹性,动态光弹性,热光弹性,全息光弹性和光塑性);现代光测力学方法(包括云纹和云纹干涉法,全息、散斑干涉法,焦散线法和光载波技术);声学方法、图象处理及混合法,以及实验力学在工程、生物力学、断裂力学……中的应用等各方面的论文 300 余篇。它们全面、系统的反映了我国近几年最新成果。是实验力学工作者和有关工程技术人员必备的的重要参考书。

全国第六届实验力学学术会议论文集(一)

实验应力分析专业委员会编

*

北京大学出版社出版

(北京大学校内)

北京大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 毫米 16 开本 50.5 印张 1143 千字

1989 年 10 月第一版 1989 年 10 月第一次印刷

印数:001—550 册

ISBN 7—301—01028—1/O·174

**中国力学学会
实验应力分析专业委员会
成立十周年纪念
1979—1989**



中国力学学会
实验应力分析专业委员会委员
(共 32 名)

主任委员	傅梦籛				
副主任委员	伍小平	李伯芹	戴福隆	宋锦良	洪水棕
委 员	云大真	方如华	宁交贤	孙以德	孙燕君
	李华屏	佟景伟	苏先基	邱承昌	张 熹
	周辛庚	季 南	郑长卿	赵清澄	柯敬唐
	顾学甫	陶宝祺	袁振民	钱振明	曹鸿生
	黄正平	梅家福	蒋寅元	董本涵	赖曾美
	楚昆亮				

中国力学学会
第六届全国实验力学学术会议
论文评审委员会委员
(共 26 名)

丁祖泉	于万明	云大真	方如华	宁交贤
伍小平	孙以德	宋锦良	李伯芹	佟景伟
苏先基	苏英坚	杨槐堂	吴克诚	邱承昌
张 熹	周辛庚	洪水棕	赵清澄	徐 铸
秦玉文	曹鸿生	傅梦籛	蒋寅元	董本涵
戴福隆				

祝贺专业委员会 成立十周年



贾有权

1979年7月2日是个难忘的日子，这一天宣布正式成立中国力学学会实验应力分析专业委员会。十年来在全国同行的努力下，在实验力学这个领域中取得了极其伟大的成绩。人才倍出，成果累累。我们的工作为国际友人所称赞，在许多方面达到了国际先进水平。

十年来在专业委员会的努力下，举办了五次全国性的学术会议，两次国际性的学术会议和数十次专题性的会议。从1986年开始创办了《实验力学》季刊，至今已发行了15期，受到国内外好评。此外，还培养了许多硕士生与博士生。实验力学被国家承认为力学中的二级学科。这些成绩是全国实验力学工作者努力的结果，是第一个十周年的成绩。在这科学技术突飞猛进的时代，预祝第二个十周年我们将会取得更大的成果。



热烈祝贺实验应力分析专业 委员会成立十周年及第六届 全国实验力学学术会召开

吴宗岱

值此中国力学学会实验应力分析专业委员会成立十周年及第六届全国实验力学学术会召开之际，谨致以热忱祝贺。

不妨对我们十年来取得的成绩作一简单回顾：我国实验力学工作者的队伍不断壮大，实验力学工作在不同的科学技术部门中迅速发展，这些对于我国科学技术的进步起到了积极作用；在专业委员会的组织和推动下，我国举行了多次专业性和全国学术交流会议，编辑出版了高水平的《实验力学》杂志，组织了北京国际实验力学会议，我国许多实验力学的专家学者多次参加了国际学术交流，我国的实验力学已进入国际舞台。

如果说专业委员会建立的头十年是创业的十年，则未来的十年将是成长壮大的十年。希望专业委员会今后多开展地区性活动，大力帮助边远地区实验力学的发展，多与其他学会合作进行跨学科跨行业的科技活动，加强与国外的学术交流；并且希望专业委员会将有代表参加国际测量联合组织(IMEKO)的 TC15 实验力学专业委员会的工作，推进国际实验力学的发展。

祝贺第六届全国实验力学学术会取得成功。预祝在未来的十年中，我国实验力学工作者将以丰硕的成果贡献给伟大祖国的四个现代化建设，我国实验力学这束科技之花将在我国科技园地中开得更加灿烂。

十年来，中国力学学会实验力学
专业委员会为推动我国实验力学的发展
做出了重要的贡献，谨此表示热烈的
祝贺，深信在下一个十年里，专业委员会
一定会做出更大的成绩。



郑哲敏

一九八八

目 录

十年回顾与前瞻	1
---------------	---

第一部分 电测法

一、应变片、传感器和测试方法

1. 900℃ 单丝式电阻应变计的研究	13
2. 电阻应变计绝缘电阻的研究	18
3. 新型串片散热器制造和模拟工况下应力应变电阻实验研究	26
4. 一种测定金属薄板塑性应变比的组合双悬臂夹式引伸计	31
5. 钢索张力测定的研究	35
6. 索张力测定器的动态特性研究及数据处理	42
7. 采用力学量的土基密实度快速测定法	49
8. 确定应力集中的三应变片测法	56
9. 扭转试样夹头形状对机械性能的影响测试	60
10. 应变电测法确定应力集中系数的研究	64
11. 一种新型的裂纹长度测试技术——裂纹扩展片的研制和试用	68
12. 检测混凝土内部应变的新型元件及其使用效果	73
13. 起跑传感器的原理及其应用	79

二、特殊或动力条件下的测试技术

1. SHPB 测试中试件径向惯效应的进一步研究	86
2. 在冲击拉伸时纤维增强橡胶的动态性能测试	90
3. Hopkinson 装置在提取撞击载荷加载波形中的应用	96
4. T 型管节塑料模型内环加强试验研究	100
5. 动力实验中几个需要注意的问题	104
6. 双击式水轮机转轮电测及其应力分析	109
7. 金属焊接板材超低温工艺弯曲试验技术探讨	115
8. 闵行电厂* 13 炉低温再热器出口集箱管系应力分析实研究报告	117
9. 锅炉汽包运行方式模拟与热应力分析	131
10. 潜艇水下发射导弹时筒口附近压力场测试技术初探	136

三、综述、仪器和应用

1. 智能式屈服强度测定仪器原理与设计	141
2. 便携式农业机械数据采集和现场处理系统	145
3. 应变计测量电桥自动平衡电路原理及应用	150
4. JY—21 型巡检式多通道遥测仪及其在离心叶轮应力测试中的应用	153

5. 冲击条件下临界空穴扩张比参数 V_0C 的测试研究	160
6. WCF 钢动态断裂韧性 $J_{Id}(K_{Id})$ 的测试研究	167
7. 实验力学的应用前景	175
8. 工程设计模型实验	178
9. 广东国际大厦 63 层主楼模型实验静力测量	182
10. 搪玻璃设备残余应力测定及分析	186
11. 巨型钳夹式变压器油箱耳和压柱撞击效应	193

四、电测数据分析处理

1. 多自由度力分布的测试和信号处理系统	197
2. FGP-1A 数字编码飞参地面处理系统的研制	202
3. 智能化应力状态传感器的设计	207
4. 橡胶材料力学参数测试的数据采集和处理系统	211
5. 用沃尔什变换分析振动信号	215
6. 疲劳裂纹扩展长度数据采集及处理装置	220
7. 钢结构静动态试验计算机控制软件包	225
8. 相关分析功能在 HP-3582A 及 HP-85B 联机系统上的开发和实施	229
9. 土三轴实验数值处理系统及应用程序	235
10. 汽轮机叶片动态测试计算机采集与处理系统	243

五、电测法的工程应用

1. 无线电遥测法在挠性膜片联轴器上的应用	247
2. 小口径异种钢管残余应力的测定	253
3. 水灰介质压力管力学量的测量	260
4. 塑料注射成型机的实验研究	267
5. 闸首结构动力模型试验	271
6. 造纸机烘缸应力测试和分析	280
7. 厚板焊接件内部残余应力测量方法的应力应变关系研究	284
8. 高压断路器直流螺管电磁铁控制阀负载的测定	289
9. 运货三轮车改型的对比试验	294
10. MVA500KV 变压器油箱的模型实验研究和动态信号分析	298
11. 江油 240 米高钢筋混凝土烟囱热应力自动测试系统	306
12. UCAM-8 通用数字测量系统在框架安定性试验中的应用	312
13. 应变测量技术在大型变压器油箱真空状态监测中的应用	317
14. 改进的电测解析法应用于压力容器焊接残余应力测定	321
15. 鱼腹式钢筋混凝土吊车梁的应力测定、计算与强度校核	327
16. 建筑扣件实验应力分析和有限元计算	331
17. 大型球罐应力分析在安全评定中的作用	337

18. BW-390-11 型摆线针轮减速机针齿销电测及三维光弹性应力分析的进一步探讨	341
19. 12240 型机车柴油机主付连杆的应力分析	345
20. 微机数据采集处理系统的研制及在钢筋混凝土深梁试验分析中的应用	349
21. 在竖向激励下储液罐模型的提高实验研究	353
22. 在水平激励下储液罐模型的提高实验研究	358
23. 受内压厚壁圆筒和厚壁方筒的应力分布	362
24. 计算机在实验力学电测技术中的应用	366
25. 电测在双击式水轮机载荷谱采集中应用	369
26. 大跨距钢结构弹塑性区域分布、应力、位移的电测技术研究	373
 六、振动、断裂和疲劳实验技术	
1. 多输入振动模态试验与分析的研究	377
2. 空气预热器噪声的实验研究	381
3. 呈三角外形高层楼房的模态分析	386
4. 桩的振动法非破损检测	390
5. 车轴钢表面疲劳小裂纹扩展特性的实验研究	399
6. 金属表面裂纹深度交流电场检测法的轮廓	405
7. 韧性材料动态断裂韧性 CTOD 的实验研究	409
8. 测定高强度螺栓应力腐蚀开裂门槛值 K_{Isc} 的试验方法	413
9. 受拉伸圆杆横向表面裂纹应力强度因子近似式的研究	417
10. 微机在断裂韧性 K_{Ic} 中的应用	423
11. 交流电场法裂纹检测原理及应用	426
 七、电测法在生物力学等方面的应用	
1. 人体脉搏信息处理原理与应用	430
2. 智能生物医学信息检测分析系统的研制	434
3. 人骨盆应力应变分布实验研究	438
4. 颌骨畸形整复 Lefort I 型截骨术应力应变分析	443
5. 体操运动员在平衡木上的动力作用识别	448
6. 游泳运动员踝关节弯矩测定及技术分析	452
7. 动态电阻应变仪测试羊胃的运动	456
8. 有机玻璃的弹性模量与应变率的关系	461
9. 材料力学多功能教学实验台	464

第二部份 光弹性法

一、光弹性实验及应用

1. 焊接残余应力光弹性模拟技术研究·····	468
2. 飞机座舱盖透明件激光散光法内应力无损检测·····	472
3. 一种微双折射测量系统——蟾蜍肌纤维的微双折射测定·····	476
4. 椭圆偏振光的性质及其在光弹性中的应用·····	483
5. 有机硅耐热涂复层——涂复乳胶袋·····	489
6. 箱形桥梁中的几个光弹性试验研究·····	493
7. 一种新型节点的三向冻结法光弹性实验研究·····	497
8. 光弹性实验应力分析在巨型变压器油箱局部选型中的应用·····	504
9. 直筒式液压剪机架三维光弹性应力分析·····	510
10. 推弹臂的静、动态应力分析·····	514
11. 一种研究转子装配应力的方法·····	520
12. 用三维光弹分析接触疲劳失效的力学行为·····	524
13. 软弱地基上拱形围堰的光弹性研究·····	528
14. 机械式起重机滚柱式超离合器外环的实验应力分析研究·····	532
15. Y型管节点光弹应力分析·····	535
16. 齿轮挤压凹模的应力光弹分析·····	539
17. 乌江东风水电站抛物线型双曲拱坝三向光弹性应力分析·····	542
18. 拉伸圆杆凹坑应力场三维光弹性实验研究·····	546
19. 抽油杆凹坑应力场与凹坑容限·····	550
20. 光弹实验中地震荷载的模拟与计算·····	555
21. 漫湾水电站最大坝段三维光弹性实验研究·····	560
22. 流场显示的光弹性比拟法·····	566
23. 光测等力线方法在三维应力分析中的应用·····	569
24. 光弹性等达因法的初步研究 I. 基本原理·····	574
25. 光弹性等达因法的初步研究 II. 实验技术·····	581
26. 改进散光光弹性实验的新方法·····	589
27. I型钝裂纹尖端附近有限变形区应力场的光弹塑性分析·····	594
28. 散光光切片法与三维应力问题·····	598
29. 用光贴片法测量旋转轮盘弹塑应变和应力的方法研究·····	604
30. 纤维初曲率对复合材料固化应力的影响·····	608
31. 包带联接结构光弹性应力分析·····	614
32. 强击机平尾大接头光弹性试验及分析·····	619
33. 测定有机玻璃成型残余应力的新的光弹性方法 II·····	624
34. 测定材料条纹值的一种新方法·····	628
35. 改性胺固化环氧光弹性材料的实验研究·····	631

36. 椎间盘部分切除对腰椎应力影响的光弹性研究	635
37. 人工关节的实验应力分析	642
38. 三维牙颌光弹性模型制作及应用	647
39. 光弹离心机水压加载新方法及其应用	650
40. CSM 型橡胶护舷的光弹性实验研究	654
41. 闽江水口水电站厂坝联接坝体、厂房三维光弹性应力分析	659
42. 球罐表面裂纹的光弹冻结法分析	663
43. 精密剪切下料光塑性试验研究	668
44. 大体积混凝土浇筑温度应力光弹性实验方法的理论研究	673
45. 圆柱扭转的光弹性应力测量研究	677

二、动态光弹性

1. 牙体髓室壁及牙周支持组织的静动态光性应力分析	681
2. 用于染料调 Q 双脉冲红宝石激光器的测时系统	686
3. 复合硬质和复合软质混凝土界面效应的研究	690
4. 自分幅激光全息照相机在动态力学分析中的应用	694
5. 压剪应力场中组合裂纹动态光弹性研究	698
6. 初应力场中多孔爆破研究——控制爆破机理的初步探索之二	704
7. 动态光弹——云纹混合法	708
8. 梯段爆破中瞬态作用和准静态作用的影响	713
9. 动态平面粘弹塑性问题任意点应力的测定方法	718
10. 三弯试件中裂纹扩展的动光弹数值分析及有限元分析	722
11. 新型多火花式高速摄影系统	728
12. 震源应力场的光弹性研究	732
13. 模拟地震波与动态应力条纹对应关系的探讨	738
14. 动态光弹性用于地震波屏蔽效应的探讨	743
15. 彩色摄影在动态光弹性条纹判读中的应用	747
16. 曲裂的动光弹数值分析	751
17. 动应力对裂纹扩展的导向作用	755
18. 组合壳体在冲击载荷作用下动光弹试验研究	760
19. 锤锻模型燕尾动态应力集中的光弹性研究	766
20. 实时光弹性力学及其进展	773
21. 应力波在相同弹模材料有、无粘结力的平面交界面上传播的动光弹分析	777
22. 球面波在不同弹模材料有、无粘结力的平面交界面上传播的动光弹分析	783

* * *

广告	792
----------	-----



十年回顾与前瞻

傅梦藩

(中国力学学会实验应力分析专业委员会)

提 要

1989 年是中国力学学会实验应力分析专业委员会成立 10 周年。本文试图对本专业 10 年来的工作分作(1)专业学科学的发展;(2)应用领域的开拓;(3)健全专业队伍,培育专业人材等方面进行初步的回顾与总结,作为抛砖引玉,供本专业同志共同总结我们专业 10 年来的工作,提出一些个人展望的初步意见,供本专业同志共同研讨。

关键词: 实验应力分析 实验力学 电阻应变测量 电阻应变计 传感器 数据自动采集处理系统 光弹性法 三维光弹性 光弹性贴片法 热光弹性法 红外光弹性法 全息光弹性法 散光光弹性法 动态光弹性法 热加工工艺应力 液体双折射法 光测力学 全息干涉法 散斑干涉法 云纹法 云纹干涉法 焦散线法 光测图象处理 光载波技术 光纤传感技术 声学检测技术 超声波检测技术 声发射技术 声弹性应力测量方法 应力分析混合法 细观力学

1979~1989 年,中国力学学会实验应力分析专业委员会经历了 10 年创业的历程。从开创期走向成长发展阶段。回顾 10 年来的工作的历程,对于今后工作的进一步发展,将是十分有益的。我试就于专业学科的发展,应用领域的开拓,健全专业队伍和培育专业人材等方面进行回顾,作为抛砖引玉,供本专业同志共同总结我们专业 10 年来的工作。

一、专业学科学的发展

经过 10 年的努力,我们专业委员会从开创时以电阻应变测量和光弹性法为主的实验应力分析,发展成为包括含有电学、光学、声学各种实验方法以及实验与计算结合的应力分析混合法的基础研究和应用研究的现代实验力学。现就以下几方面分述如下:

(一)电测技术紧密结合生产,已在实验理论、检测元件(应变计和传感器)、测量和记录装置、数据自动采集处理和控制系统以及恶劣环境下测试技术和方法的研究等方面取得了较高水平和科研成果。

1. 电阻应变计的研制和生产

小标距应变计,已有 0.2 和 0.5mm 的高精度应变计,用于精度可达 0.05% 和 0.03% 的力传感器;高、低温应变计及其配套的有机粘结剂和无机粘结剂,已形成系列,温度可由 $-269^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 、 250° 、 400° 、 550° 、 700° 直至 800°C ,包括单丝式、半桥式、柜架式、焊接式、网状金属基底、聚酰亚胺临时基底等多种型式,其中 700°C 和 800°C 温度自补偿应变计的热输出性能,优于国外相同温度范围的应变计。正在研制的,还有 900°C 和 1000°C 测量静态应变的高温应变计,有在室温下测量应变量大达 10% 的,有在 300°C 温度下在钢材上测量应变量大达 8% 的温度自补偿的大应变应变计;水下应变计,成功地解决了潜艇外壳长期处在海水波浪冲击下试验所需的应变计及其测量,温度可达 250°C 的高温水下应变计;特殊电测元器件,有测残余应力的应变花和钻孔、喷砂装置,以及裂纹扩展片、测温片、应变记忆元件等。传感器方面,已有 0.03% 和 0.05% 的高精度传感器,微压传感器,固态压阻传感器,测量针灸压力和扭矩的传感器等。

2. 应变测量装置和数据自动采集处理系统

研制出高增益、高稳定的放大器,高度稳定的电源,精密数字电压计,多通道数据采集系统等,其中如 YI—ZOP 型智能应变仪具有消除接触电阻变化影响、热电势补偿、应变计非线性修正等功能;DAP—1 型实验数据自动采集处理系统具有较高的精度和较强的分析处理功能,包括预处理、不同域(时、频、幅)的分析功能,以及对数据的复杂加工处理功能(花样采集、显示、绘图、存取数据、搜索、诊断、信号发生等);现有软件如:热应变的采集、修正和应力换算;压电加速度计振动试验数据采集换算和处理;材料机械性能测试;断裂力学 J_{R} 曲线自动测试及拟合,多点静、动态应力测试及换算等;GX—200 型高速(采样速度:20000 次/秒)数据采集、处理及控制系统;飞机结构试验分布式测控系统;实时处理的微机采集处理系统等。

旋转件遥测仪的研制和生产,也取得新的进展,由单一的径向式发展到径向和轴端两种型式;由原来的 4 通道发展到 21 通道;采用光电开关和光电应变标定技术,提高了测试精度;采用自制感应电源,实现外供电,可以长期运行;旋转速度提高到 5000rpm 以上,并由遥测发展到大型轧机轧辊和大型剪板机传动轴等扭矩的长期监测。

3. 电测试验技术和方法

重视恶劣环境条件下测试技术和残余应力测定方法的试验研究,进入“要求高、难度大”的研究领域。高温、高速、高压应变测量,如航空发动机高速旋转零件的高温应变测量;通信卫星旋转抛物面天线模型碳纤维结构试件在同时高低温环境下的热变形测量;核反应堆燃料元件外层套管的热应力试验;大型汽轮机汽缸热应力测量及其密封防护系统;火力发电厂高压加热器的热应力测量;内燃机车活塞热应力和热变形的实测;钢锭模在使用过程中的热应力测定。水下应变测量及其它防护技术,如测量深水潜艇外壳应力及其水密封技术;钛制盔甲式常压潜水器高压水下测定,曾进行水下 300~350m 的模拟试验。高压液下的应变测量技术,如石油钻机防喷器的高压水下实验;大型水轮发电机组、港口大直径钢管桩、超高压容器等许多水下或高压结构的现场应力实测;高压($320\text{Kg}/\text{cm}^2$)固定式换热器管板的应力测定等。

残余应力测量,研制成便携式气流喷砂打孔装置,为硬质材料的残余应力测量提供了条件;用光弹性贴片法测量残余应力,也作了一些工作;用声技术检测残余应力,已开展了

一些探索。

(二)光测力学,理论基础比较巩固,学术思想比较活跃,新技术、新方法不断涌现,呈现百花齐放的局面。

1. 三维光弹性性仍是目前解决工程三维问题最有效的方法,理论和技术都比较成熟,用三维冻结法已解决大量工程问题。光弹性贴片法,研究用聚碳酸酯颗粒为原料,制作出光弹性贴片新材料,并研制出与其相配的胶粘剂,能在实验室内制成不同厚度,各种形状的光弹性贴片,如曲面贴片、栅片、曲面栅等,为光弹性贴片法用于较大范围的弹—塑性应变分析提供了条件。还用光弹性贴片法研制出各种类型的工程实际需要的传感器,用来对设备进行有关参数的标定以及对关键设备进行安全监测。

2. 热光弹性法 研究了耐高温模型材料,如酚醛环氧树脂、聚碳酸酯等,其热稳定温度可达 $120^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{C}$ 。用这些材料制造光敏性模型,可在室温以上实现 100°C 的温度梯度,实现了模型上热载荷的模拟,免除了低温致冷的困难,促进了热光弹性法的发展。近来,还应用偏振全息热光弹性分析温度场,利用全息干涉、散斑等在模型或原型上分析热变形,形成综合的光测热应力方法。

3. 红外光弹性法 用来检测在可见光下不透明的硅单晶体内部的残余应力。研制的红外光弹性仪采用波长为 $1.1523\mu\text{m}$ 的红外激光器作红外光源;红外偏振片是以高分子聚合物为主要原料,经化学处理后,拉制而成的偏振膜(消光率可达 98%,正交透射率在 70%以上); $1/4$ 波片仍用聚甲基丙烯酸甲酯薄片,经定向处理切割而成,并在检偏镜后加设光电转换器,将不可见的应力干涉条纹信息经转换后显示在电视屏幕上,便于观察;另配以计算机处理系统,分析处理所测结果并打印出来。红外光弹性仪可用作硅单晶体内部残余应力的专用设备,用于大规模集成电路生产工艺的质量控制。

4. 全息光弹性法 先后采用石英旋光器和法拉弟旋光器进行全息光弹性实验,有效地解决一些平面应力分析问题,并用全息光弹性法进行三维应力分析,提出一种新的光弹性材料制造和冻结方法,使其应力—光学常数之比, B/A , 不为 -0.5 ;应用双脉冲红宝石激光器和铽玻璃法拉弟旋光器实验研究全息动态光弹性旋光法分解瞬态平面应力。还发展了显微全息光弹性法,测定了聚碳酸酯裂纹端部的应力状态,同时得到全场的和微区的信息。由于在裂端微区 0.1mm 见方的小区域中得到约 5 条等和线,不仅得到了微区中详尽的应力分布,而且以高精度得到应力强度因子 K_I 。

5. 散光光弹性法 研制 JGT—1 型激光散光光弹性仪。用散光光弹性法测定汽轮机叶轮的套装应力、旋转时的综合应力和松动转速,还用激光散光法测定高压缸体的应力。近年来,用散光法确定复合型裂纹应力强度因子 K_I 和 K_{II} 以及激光散光法测量含半圆表面裂纹板的 I 型应力强度因子 K_I ,并对薄壁球形容器内表面裂纹 K_I 进行了规律性研究。

6. 动态光弹性 “六·五”期间,得到国家科委的重点支持。1981 年 12 月在北京召开了首次动态光弹性讨论会。随后研制成我国第一台多火花式动态光弹性仪,后又研制出第二代多火花式高速摄影系统,性能参数有了明显提高,使用范围有所扩大。先后建立起十来个动态光弹性实验研究室;试验光弹性材料的动态力学和光学性能;研究各种动态加载方法(如冲击、枪击、爆炸等)和装置,采用动态光弹性瞬态数据信息(等差线和等倾线)

及以变形协调方程为依据导出的有限差分方程相结合的混合法,求解冲击作用下 Π 型结构的全场应力分量。还结合工程问题,进行地下隧道的动态应力分析、地震波对建筑物的动态响应、应力波对某炮零件强度的影响以及研究动态应力集中(如锤锻模燕尾动态应力集中、脱壳穿甲弹弹体的动态应力集中)和动态断裂(动态曲裂和动态枝裂的研究)问题。

7. 热加工工艺应力与变形的模拟技术 实验得知聚碳酸酯的力学性能随温度变化的规律与钢的热弹性行为有近似的相似性,可以用来模拟钢的热弹性行为,提出热处理淬火过程中钢的热弹性应力与光弹性的相似关系,分析齿轮淬火各参数对热应力分布的影响以及分析模具的瞬时热应力;焊接工艺模拟,用焊接的聚碳酸酯板模拟金属板的焊接。从光弹性分析得出焊接残余应力分布与国外用计算解获得的相符。又从实验得知聚碳酸酯的弹塑性性能,可由温度变化来调节,是一种良好的光塑性材料。在进行热锻件变形场的光塑性模拟研究中,提出光塑性三维应变分析方法;同时还发现聚碳酸酯具有良好的形状记忆性,提出与光塑性分析联合运用的逆网格法,可由同一模型获得热锻件的位移场和应变场;还用塑性材料模拟毛坯锻件与模具的光弹性模型匹配加载冻结,建立起模具的三维光弹性技术,用于“调整螺母模”的应力分析与结构改进,提高模具寿命 2 倍。

8. 液体双折射法 将一种淡黄色粉末状的 Milling Yellow (C. I. Acid Yellow 44) 溶于水中,形成一种具有双折射性能的液体。一般认为该液体之所以产生双折射是由于刚性棒状分子定向排列的结果。目前对于 Milling Yellow 双折射的解释有两种常用的理论,其中第二种理论认为,双折射条纹级次与最大剪应变率成比例,其等倾线方向即主剪应变率方向。这与光弹性原理很相似。所以用光源的波长在 500~900nm 范围内,其透射率约为 70%。记录双折射条纹图是用的圆偏振场,而测量等倾线则用平面偏振场。由于实验结果受浓度、温度等因素影响较大,因此每次实验前都应对溶液进行标定。这种方法适用于求流场的应变率。如需求速度场,还需较复杂的数值运算。

9. 全息散斑干涉法 研究散斑运动规律,发展全息、散斑干涉机理;开展多种试验方法研究,如错位全息干涉法、夹层显微全息技术、高速分幅式全息干涉法、三维密度场的测试(流场和温度场)、白光散斑法、直接散斑法、错位散斑干涉法、多脉冲激光动态散斑法、夹层散斑与显微技术等;研制出适应工作需要的实验仪器设备,如三维条纹读数仪、电子散斑干涉仪、电子错位散斑系统、散斑照相机、全息散斑记录仪、散斑图逐点分析处理设备、现场用直接散斑法记录仪以及光导热塑记录介质和设备等。

10. 云纹及云纹干涉法 云纹法的实验研究,我国开展工作较早,达到较高的水平。运用宝塔效应,提高灵敏度 2~3 个数量级;曲面栅云纹法用于大尺寸结构外形及屈曲等静、动态过程离面位移场的测量。80 年代兴起的云纹干涉法在我国取得很大的进展,具有我国特色,提出以光栅衍射波前干涉理论作为云纹干涉法的理论基础,发展了单光束错位云纹干涉法,使一般用于面内位移场测量的云纹干涉法扩展到三维位移导数场的测量,有可能用于现场实测和动态应力测量;研制的高密度位相型闪耀衍射光栅及贴片云纹干涉法均受到国内外同行的好评和奖励。

11. 焦散线法 1982 年开始研究以来,取得了迅速发展,已能有效地用于静、动态断裂力学参量测定与平面接触问题。为了开展动态焦散线实验,采用新的光路系统,改进