



现代科学技术研究的 若干前沿问题

——现状与发展趋势

西安交通大学博士生协会 编

西安交通大学出版社

现代科学技术研究的 若干前沿问题

——现状与发展趋势

西安交通大学博士生协会 编

李舜酩 谢小鹏 严新平 主编

✓
3
15

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书是西安交通大学博士生奉献给母校100岁华诞的礼物。

全书共分8章,从数学力学、机械、材料、能源与动力、电子与信息、生物医学工程及仪器、电气工程、运输与工程机械等8个大学科论述了60多个研究方向的现状和发展动态。本书选材广泛,内容丰富,论述详实,观点明确。本书的文章均由博士后、博士生与他们的导师合作完成,具有较高的学术价值。另外,每篇文章后均附有大量的参考文献,为读者在相关领域的进一步研究提供了方便。

本书适于在读博士研究生、硕士研究生及相关领域研究人员阅读,也可作为大学生培养科研意识和兴趣的指导书。

(陕)新登字007号

现代科学技术研究的若干前沿问题 ——现状与发展趋势

西安交通大学博士生协会 编
李舜酩 谢小鹏 严新平 主编
责任编辑 林全

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市咸宁西路28号 邮政编码710049)
西北工业大学印刷厂印装
陕西省新华书店经销

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 30.75 字数: 764千字

1996年4月第1版 1996年4月第1次印刷

印数: 1——1000

ISBN7-5605-0672-0/N·5 定价: 50.00元

谨以本书献给

交通大学
100岁华诞
(1896 ~ 1996)

西安交通大学博士生协会

西安交通大学

博士生协会

依靠高新科技
加快经济建设

吴阶平



一九九六年元月题

全国人民代表大会常务委员会副委员长 吴阶平院士 题词

瞄准科技前沿 加强重点
攻关 出成果 出人才

努力攀登科技高峰

题赠《现代科学技术研究的若干前沿问题
——现状与发展趋势》论文集

一九九六年二月 朱光亚

不立前沿
唯望
多采

程安东



西安交通大学博士生导师协会荣誉顾问

陕西省省长程安东教授

题词

拓展现代科学技术
领域，开辟科技发
展新道路。

肖贤成题
一九九六年四月

西安交通大学博士生社会实践总顾问
中共广东省茂名市市委肖贤成书记 题词

顾问委员会

主 任: 潘 季 蒋德明

委 员(按姓氏笔画): 王其平 王建华 史维祥 朱 均
刘志刚 孙国正 孙国基 李开泰 杨鸿森 束鹏程 汪应洛
张复信 陆诗娣 陈宜亨 陈绍汀 金志浩 周龙保 郑南宁
袁富善 徐通模 薛钧义

学术委员会

主 任: 周惠久

副主任: 陈学俊 姚 熹 谢友柏 林宗虎

委 员(按姓氏笔画): 王兆安 王宜义 王笑天 王锡凡
卢秉恒 史耀武 丘大谋 匡振邦 闫桂荣 许庆余 孙祖望
苏俊义 李怀祖 吴业正 吴秀恒 吴序堂 吴洪才 何家雯
汪文秉 沈祖达 张文修 张起森 张景绘 陈金贤 陈康宁
林志航 郑崇勋 赵汝嘉 俞茂宏 姚天祥 贾斗南 徐健学
陶文铨 黄协清 曹惟庆 蒋大宗 程敬之 湛垦华 谢仲生

编辑委员会

主 任: 李舜酩 谢小鹏 严新平

副主任: 谭 琳 杨松岩

委 员(按姓氏笔画): 丁华东 曲庆文 许名尧 杨 晔
别朝红 张 钢 陈立群 邵益勤 常建忠 董小鹏 詹东安

序

自改革开放以来,我国的科学技术有了很大的发展,许多科技工作者在不同的研究领域做出了令人瞩目的成就,使我国科学技术的某些研究领域已跻身于世界先进行列。许多科研项目已经和正在为我国经济的发展、国力的强盛发挥作用。1995年第二次科学大会的召开,提出了优先发展科学技术的国民经济发展战略,这是对我国科学技术发展的一个极大促进,必将推动我国科学技术在20世纪末以及21世纪的进一步发展,提高国家的整体实力。

时值交通大学100周年华诞,西安交通大学博士生协会组织编写了《现代科学技术研究的若干前沿问题——现状与发展趋势》这本书,以总结近些年来某些研究领域、研究方向上所取得的成绩和发展。参加编写的人员是在这些学科方向上进行着探索研究的博士后、博士生和他们的导师们。他们的研究工作深入、学术思想活跃,对自己的研究领域与方向进行总结分析,各有见地,这很好。相信他们会在本书总结已有研究现状和发展趋势的基础上,勤奋攀登,为科学技术的发展做出更大的成绩。

我欣慰地看到,青出于蓝而胜于蓝,一大批年轻的科技工作者正在茁壮成长。在已有研究的基础上,他们将做出更突出、更辉煌的成绩!世界属于不断探索未来的研究者,世界属于世纪之交的年轻人。

中科院院士

周圣久

1996.3

前 言

值交通大学建校100周年之际,有幸在这座著名学府学习的学子们,很想为母校的百年华诞献上一份诚挚的礼物。于是,我们潜心跟踪和总结自己所从事研究领域的热点和前沿问题,满怀热情地编撰了这部以西安交通大学在校博士生们的研究内容为主的著作,作为向母校百年华诞的献礼。

本书涉及应用数学与力学、机械、材料、能源与动力、电子与信息、生物医电、电气工程、运输与工程机械等8个方面的60多个研究方向的现状和发展动态。选材广泛,内容丰富,论述详实,观点明确,重点突出。特别值得一提的是,本书的大多数章节是由西安交通大学博士后、博士生与他们的导师合作完成,清华大学、武汉交通科技大学、山东工程学院和长沙交通学院的部分博士后及博士参加了编写工作,具有较高的学术价值。另外,每一节后均附有大量的参考文献,为读者在相关领域的进一步研究提供了方便。本书适于在读博士研究生、硕士研究生及相关领域的研究人员阅读,也可作为大学生培养科研意识和兴趣的指导书。

本书由西安交通大学博士生协会编,李舜酩、谢小鹏、严新平主编。本书编委会成员作了大量的编辑和校对等工作。

全书由李舜酩统稿。

在本书的组织和编著过程中,参与编写的博士后、博士生们为本书付出了辛勤的劳动;担任本书顾问委员的各位领导为本书的问世给予了大力支持;本书学术委员会的各位院士、教授和专家们非常关心本书的学术质量,特别是中国科学院著名院士、西安交通大学教授周惠久先生亲自为本书作序,我们十分感动。此外,本书的出版得到了西安交通大学党委、行政、研究生院和出版社的大力支持与帮助,得到了武汉交通科技大学、山东工程学院、广东石油化工高等专科学校、长沙交通学院和陕西省科学技术委员会等单位的支持,在此,一并表示感谢。

全国人民代表大会常务委员会副委员长吴阶平院士、中国工程院院长朱光亚院士、西安交通大学博士生协会荣誉顾问,陕西省省长程安东教授和西安交通大学博士生社会实践总顾问,中共广东省茂名市委书记肖贤成同志在百忙中为本书题词,在此我们表示衷心的感谢!

在此,特别感谢许庆余教授在本书编著过程中给予的大力支持!

仪垂杰教授对本书的具体组织和编著过程给予了许多指导和帮助,在此表示十分感谢!

鉴于本书题材极其广泛,而时间仓促、水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

西安交通大学博士生协会

1996年2月16日 于西安

目 录

序

前 言

第 1 章 数学力学学科..... (1)

1.1 局部损伤韧性断裂理论及其应用研究进展.....王铁军 匡震邦 (2)

1.2 统一平面应变滑移线场理论.....杨松岩 俞茂宏 刘春阳 刘剑宇 (20)

1.3 挤压膜动力学及其模型参数识别.....吕 刚 张景绘 (38)

1.4 非线性声学的研究进展与趋向.....赵 翔 徐健学 江 俊 (48)

1.5 双参数有限元方法及其发展.....石东洋 黄艾香 (61)

1.6 非线性经济学的特点与展望.....张永安 湛垦华 (65)

第 2 章 生物医学工程及仪器学科..... (75)

2.1 生物医学声学基本问题及新进展.....徐泾平 吴延军 程敬之 (76)

2.2 非线性动力学现代理论应用在生物医学工程中的进展.....沈 强 蒋大宗 (87)

2.3 应用模糊逻辑理论提高相控阵 B 超图象分辨力的研究.....杜慧洁 卞正中 (95)

2.4 激光技术在微粒测试中的应用及进展.....杨 晔 张镇西 蒋大宗 (102)

2.5 在体检测估计动脉弹性: 现状与发展.....王 静 程敬之 (109)

2.6 精神疲劳测定的研究.....贺太纲 郑崇勋 刘建平 (119)

第 3 章 材料科学与工程学科..... (129)

3.1 表面技术及性能评价新进展.....傅永庆 何家雯 朱晓东 徐可为 (130)

3.2 水热技术在材料科学与工程中的应用与展望.....王秀峰 金志浩 (135)

3.3 二流雾化制粉技术进展.....丁华东 金志浩 (145)

3.4 I C 引线框架材料研究评述.....卫英慧 王笑天 (152)

3.5 陶瓷基复合材料循环疲劳机理.....杨晓华 李 年 金志浩 (158)

3.6 氧化物添加剂对 Si_3N_4 陶瓷烧结过程的影响.....王红洁 王永兰 金志浩 周惠久 (162)

第 4 章 电子与信息学科..... (168)

4.1 神经控制理论及应用的研究进展与展望.....何玉彬 闫桂荣 徐健学 (169)

4.2 初级视觉信息处理研究与进展.....贾天旭 郑南宁 (182)

4.3 微波遥感理论中散射模型的建立.....李淑青 方 静 汪文秉 (190)

4.4 数据库技术的发展及 KDD.....刘路放 胡亚红 谢友柏 (197)

4.5 安全保密研究的过去、现在和未来.....林宣雄 李怀祖 张文修 (205)

第 5 章 能源动力学科..... (213)

5.1 核能——21 世纪人类文明的标识器.....苏光辉 贾斗南 (214)

5.2 气液两相流界面波研究的现状.....李广军 郭烈锦 陈学俊 (223)

5.3 叶轮机中二次流的研究状况及进展.....常建忠 丰镇平 沈祖达 (236)

5.4 流型在气液两相流研究中的意义及现状.....王树众 林宗虎 (251)

5.5	家用冰箱中CFCs物质替代研究的现状与趋势	何茂刚	李沛文	阴建民	刘志刚	陶文铨	(263)
5.6	脉管制冷机的最新进展	许名尧	何雅玲	陈钟颀	吴沛宜		(268)
5.7	研究中子测井的一种新方法——数值模拟方法			张金涛	谢仲生		(276)
5.8	柴油机气缸辐射传热研究	陈 硕	潘克煜	周龙保			(282)
第6章 机械学科							(286)
6.1	计算机集成制造发展概述及我国应用此技术的对策	梅宏斌	林志航	张 钢			(287)
6.2	齿轮连杆机构研究进展	吕传毅	曹惟庆				(296)
6.3	现代摩擦学及其系统研究方法	谢小鹏	谢友柏				(307)
6.4	电磁轴承的发展与应用	陈立群	张 钢	谢友柏			(313)
6.5	核安全技术中核压力容器力学性能在役监视技术研究进展	张新平	史耀武				(322)
6.6	噪声有源控制技术的现状与发展	邵益勤	吕广庆	潘泳东	黄协清		(343)
6.7	现代超声无损检测技术及其进展	马宏伟	张广明	王裕文	薛 锦		(353)
6.8	可拓学及其发展	李占利	卢秉恒	惠延波			(358)
6.9	基于流变学的超薄膜润滑建模方式综述	曲庆文	张 钢	陈立群	朱 均		(364)
6.10	大型旋转机械模糊神经网络诊断技术的研究	张小栋	朱 均	丘大谋			(373)
6.11	非线性转子动力学近代研究	李 立	张家忠	许庆余	郑铁生		(380)
6.12	制造系统的现状与发展	袁清珂	王海燕	赵汝嘉			(385)
6.13	快速成型制造技术	惠延波	卢秉恒	李占利			(391)
6.14	硬齿面加工技术	詹东安	吴序堂				(400)
6.15	结构优化设计的新进展及发展趋势	罗云华	曾庆元	张起森			(406)
第7章 电力电气学科							(422)
7.1	非线性理论在电力系统中的应用	别朝红	王锡凡	张俊芳			(423)
7.2	电力电子装置的谐波抑制和无功补偿研究的新进展	刘进军	王兆安				(430)
7.3	单位功率因数变频器的新发展	董晓鹏	王兆安				(439)
第8章 运输与工程机械学科							(447)
8.1	有源消声及其在车辆噪声控制中的应用	仪垂杰	许国贤				(448)
8.2	汽车内腔声固耦合研究及噪声控制的发展	李舜酩	许庆余				(458)
8.3	现代船舶机械的故障诊断与维修理论研究评述	严新平	谢友柏	萧汉梁			(466)
8.4	近自由表面淹没射流研究与进展	詹德新	吴秀恒	王献浮			(473)
后 记							(477)

第 1 章

数学力学学科

1.1 局部损伤韧性断裂理论及其应用研究进展*

王铁军 匡震邦

西安交通大学工程力学系, 西安 710049

韧性断裂是迄今为止尚未解决的难题之一。本文拟扼要介绍近年来作者在局部损伤韧性断裂理论及其应用研究方面所作的新尝试。同时, 还简要综述这一研究领域的最新进展。

1.1.1 引言

破坏理论研究各种工程结构(航空航天, 核电, 海洋工程, 锅炉, 压力容器, 土建, 机械, 电子器件, 集成电路等)及工程材料(金属, 陶瓷, 岩土, 高分子, 复合材料, 生物材料等)的破坏行为(屈服, 损伤, 断裂, 疲劳, 蠕变, 腐蚀磨损等)。从学科角度讲, 其处于固体力学与材料科学等学科的交叉前沿, 并吸收了当代数学, 物理, 化学等基础学科的最新成果。从应用角度看, 它又直接服务于工程和技术科学, 为各种工程结构的设计工程材料性质的评估提供理论基础, 并为其破坏提供预测手段和防范措施。该项研究具有重大的理论意义, 广阔的工程应用背景和巨大的潜在经济效益。

固体破坏过程包括从变形、损伤的萌生和演化、到宏观裂纹的形成、裂纹扩展到最终失效的整个过程^[1,2]。变形和损伤的研究, 涉及到本构理论和损伤理论, 这是固体力学的核心, 是所有固体力学分析计算的基础。固体的最终破坏则涉及到断裂理论。科学界和工程界为之奋斗了三个多世纪。但迄今为止, 它仍是力学中的两大难题之一^[3]。

固体破坏理论在科学史上可分为三个主要阶段。一是从伽利略时代(17世纪30年代)到二战前(20世纪40年代)的无缺陷理论, 它假定材料是一种理想的均匀连续体, 并以最大应力与材料的许用应力为主要的评价指标。二是本世纪50年代到80年代的宏观缺陷力学, 考虑了材料中不可避免地存在缺陷(如气孔、夹杂、未焊透等)这一事实, 以断裂力学的指标体系为特征。三是80年代以来的宏微观损伤破坏理论, 它充分认识到固体的破坏是由变形、损伤到断裂等依次演化而成, 是损伤累积的结果, 这一物理事实, 定量描述固体破坏的物理过程, 研究宏观破坏与材料微观结构变化的定量关系。由于引入了材料的微观结构、变形的物理机制和损伤特征, 宏微观损伤破坏理论得以进入经典宏观破坏力学所不能企及的深度和广度。它将是90年代乃至下个世纪固体力学领域最引人注目的前沿方向之一^[3]。

传统无缺陷结构强度研究的弱点是显而易见、众所周知的。符合其设计标准的许多构件, 在远没有超限的情况下就发生了破坏。50年代发展起来的线弹性断裂理论在解决高强度材料的脆性破坏方面获得了巨大的成功, 解决了一系列重要的工程实际问题, 创造了巨大的经济效益。随着现代工业的迅速发展, 在诸如锅炉、压力容器、核电设备、海洋平台等重要工业领域, 要求材料具有相当好的韧性。因此, 解决韧性材料的破坏问题就显得十

* 本研究得到了国家自然科学基金、部分地得到了陕西省自然科学基金和机械结构强度与振动国家重点实验室基金的资助

分迫切。过去的20多年中,人们为此付出了巨大的努力,提出了一些韧性破坏理论(如J积分理论、CTOD理论等),解决了一些具体问题。但是,由于这些理论具有很大的局限性,其相关参数的几何相关性及其测量上的困难性等,使得其预测结果与材料的实际响应远不相符,在大多数情况下,尚未取得令人满意的结果^[4]。正如国际《工程断裂力学》杂志主编Liebowitz教授在第七届国际断裂大会(ICF7)荣誉报告中^[4]指出的那样,断裂力学远非一门成熟的学科,涉及材料非线性问题尚需深入研究,最迫切需要付出努力的是建立更为充实的韧性断裂理论。

韧性断裂往往从局部开始,逐步扩展到整体。材料的局部性态对其有决定性的影响。因此,局部化理论是破坏理论的核心,它隐含着局部定义的损伤破坏准则。近十多年来迅速发展起来的损伤理论^[5~14]作为一种局部化方法,是传统韧性破坏理论有希望的替代方法,受到了国际上的极大关注。其处理方法之一,是把含各种缺陷的固体笼统地看成一种含有“微损伤”的“连续”介质,并把这种缺陷的形成、生长、传播和聚合看成是损伤演化过程。通过引入适当的“损伤变量”来代替这种“连续损伤介质”的物理性质,并把损伤作为物质细观结构的一部分引入力学模型中进行分析。这与传统破坏理论只考虑一点的应力状态或只考虑某一较大的缺陷的影响相比,显然是质的飞跃。值得指出的是,局部损伤破坏理论可以描述从变形、损伤到最终破坏的全过程,其关键是对各种典型破坏的物理过程提取适当的力学表征量。该理论对屈服程度(小范围,大范围,全屈服)、变形(小变形,有限变形),以及破坏类型(无裂纹体, I、II、III或复合裂纹体)等无任何附加限制,这是传统理论所无法比拟的,可望成为一种统一的韧性断裂理论,具有广阔的发展前景。

处理韧性断裂的另一类有效方法就是以考虑局部孔洞萌生与长大为特征的细观力学方法^[15~20]。其中最具有代表性的工作是Gurson^[19]在McClintock^[17]、Rice和Tracey^[18]等前人的研究工作基础上建立的考虑孔洞成核、长大对材料塑性行为的影响的较为完整的本构理论。另外,不少学者^[21~25]还在Rice-Tracey^[18]工作基础上,提出了以临界孔洞比为参数的断裂判据。然而,许多实验表明,该临界孔洞比参数不总是一个与应力状态无关的材料常数。因此,还有待进一步的改进。

综上所述,韧性断裂仍是有待很好研究的问题,如何把材料的宏观断裂行为与其微观结构损伤联系起来,建立合适的韧性断裂判据,是目前固体力学和材料科学研究的热点和难点之一,有关这一领域的进展和存在问题的讨论,详见文献^[26]。本文拟首先给出一种局部损伤韧性断裂理论的统一描述,然后介绍一种新的连续损伤韧性断裂理论及其在评估材料断裂延性,评价加工工艺(焊接,热处理等)对材料断裂性质的影响,预测板料成形极限及弹塑性断裂韧性的约束校正等方面的应用。最后介绍一种改进的临界孔洞比韧性断裂理论及其在弹塑性断裂韧性约束校正中的应用。

1.1.2 局部损伤韧性断裂理论的统一描述^[10~13]

韧性断裂是损伤局部化过程,受局部应力和应变状态的影响。考虑到这一点,作者^[10~13]提出了如下的损伤积分

$$W_d = \int F(T, p) dp \quad (1)$$

其中 $T = \sigma_m / \sigma_e$ 是平均应力和Mises等效应力之比, 称为应力三轴度因子, 表示局部应力状态, p 是等效塑性应变, 表示局部变形状态, $F(T, p)$ 是损伤函数, 可通过连续损伤理论, 细观力学或实验等方法确定。 σ_m, σ_e, p 分别由下式给出

$$\sigma_m = \frac{1}{3} \sigma_{kk} = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (2)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{3}{2} s_{ij} s_{ij}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (3)$$

$$p = \sqrt{\frac{2}{3} \varepsilon_{ij}^p \varepsilon_{ij}^p} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2} \quad (4)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 是主应力, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ 是主应变。

从物理上看, 断裂力学中的裂纹可以被看作是细观损伤达到临界值的点的集合。因此, 对含裂纹体或不含裂纹体而言, 可以假定当某一点或某个材料单元的损伤积分 W_d 达到其临界值 W_{dc} 时, 断裂就从此开始。故一般形式的韧性断裂判据可表示为

$$W_d = W_{dc} \quad (5)$$

对裂纹体而言, 特别是复合型断裂, 韧性断裂判据应满足下面两个条件:

(1). 裂纹萌生方向是损伤积分 W_d 取得最大值的方向, 即

$$\left. \frac{\partial W_d}{\partial \theta} \right|_{\theta=\theta_0} = 0, \quad \left. \frac{\partial^2 W_d}{\partial \theta^2} \right|_{\theta=\theta_0} < 0 \quad (6)$$

(2). 裂纹萌生的临界条件是离开裂尖某一特征距离 r_c 处的损伤积分的最大值达到临界值, 即

$$W_d \Big|_{\theta=\theta_0} = W_{dc} \quad (7)$$

其中 θ_0 就是起裂角。

1.1.3 韧性断裂的连续损伤理论及其应用

1 理论描述^[10~13]

作者基于不可逆热力学理论, 曾建立了如下的韧性损伤演化模型^[9]

$$\dot{D} = C f(T) (p - p_0)^{k-1} \dot{p} \quad (8)$$

其中

$$f(T) = \frac{2}{3} (1 + \nu) + 3(1 - 2\nu) T^2 \quad (9)$$

C 和 k 是材料常数, ν 是泊松比, p_0 是损伤萌生应变。从式(8)可选取损伤函数为

$$F(T, p) = k f(T) (p - p_0)^{k-1} \quad (10)$$

代入式(1)有

$$W_d = \int k f(T) (p - p_0)^{k-1} dp \quad (11)$$