



第十一届国际断裂力学大会 (ICF11) 简介与断裂研究的前瞻

余寿文¹ 冯西桥¹ 杨亚政²

¹ 清华大学工程力学系破坏力学教育部重点实验室, 北京 100084

² 中国力学学会, 北京 100080

第十一届国际断裂力学大会 (11th International Conference on Fracture, ICF11) 于 2005 年 3 月 20 日 ~ 25 日在意大利都灵 (Turin) 召开. 本文对这次大会的内容加以简单介绍, 并对本次会议所反映的断裂研究与应用的发展趋势进行简要评述.

大会的开幕式与闭幕式各有两个特邀报告. 开幕式报告的主题是关于与多尺度断裂相关的分形与相似律的研究, 闭幕式报告是关于金属导线的电致失效、损伤与断裂的多尺度计算方法, 彰显了以往与现在断裂研究的几个重要问题. 此外, 还有 8 篇大会邀请报告. ICF11 共发表了来自 52 个国家的 1016 篇论文, 这些论文涉及 36 个不同的断裂研究领域.

两个开幕式报告为: (1) B. B. Mandelbrot 做了题为“断裂表面粗糙度的分形分析与综合以及复杂性与无序的重整”的报告. Mandelbrot 是分形几何的创始人, Fractal 一词以及分维等概念都是他创造的. 他首先回顾了分形理论发展的历史, 揭示了反映断裂表面粗糙度的新的内禀度量, 论述了粗糙度分形几何的描述方法并解释了某些与断裂相关的新的研究方向, 彰显了分形理论在多尺度描述中的重要性. (2) G. I. Barenblatt 是断裂力学研究中 Dugdale-Barenblatt 模型的提出者之一, 对尺度律理论也做出了很大贡献, 他报告的题目是“疲劳与断裂的尺度现象”. 他首先从达芬奇和伽利略等意大利著名学者的工作开始, 回顾了结构强度与湍流的研究历史. 他简要讨论了断裂问题中一些经典的尺度现象, 并由此出发说明尺度律往往依赖于所做的一些基本假设, 因此, 对这些假设的适用性应该进行仔细校核, 否则将得出不同形式的尺度律, 甚至会丧失问题所固有的尺度律. 他发表了标度律的一般分类方法, 介绍了现代相似性分析中的一些基本概念, 如中间渐近、完全相似和不完全相似. 列举了疲劳与断裂中存在的的不同相似, 对这类问题, 标度律不能从单靠量纲分析来获得, 其“异常量纲”幂次的确定需要更复杂的分析, 由此指出了 Paris 疲劳扩展速率公式中的幂指数不是材料常数.

两个闭幕式报告为: (1) H. Abe 的报告题目是“金属导线的电致迁移破坏”. 随着微电子器件的微细化, 金属导线越来越细, 电流密度和器件本身的温度越来越高, 电致失效问题越来越突出. Abe 的研究组对金属导线中电子风引

起的各种电致迁移和失效机制进行了系统的研究, 提出了一种电迁移损伤的控制参数——原子流散度 (divergence of atomic flux, DAF), 利用这一概念可以比较准确地预测金属导线的寿命和破坏位置. (2) R. de Borst 报告了关于损伤与断裂问题的现代的区域离散化方法. 指出有限元、有限差分等标准的区域离散化方法主要适用于连续体, 而不太适用于扩展或演化类型的间断问题. 他详细评述了最近发展起来的一些处理间断问题的离散化方法, 包括无网格法、间断伽辽金法、以及考虑单元分离的有限元法等, 这些方法比传统的有限元法、界面单元法等能够更方便、更准确地模拟扩展间断问题. 他通过裂纹扩展的一些数值算例对上述方法进行了比较, 说明了这些离散化方法的应用前景, 尤其强调了在非均匀介质材料的应用.

其他的大会邀请报告的内容简述如下:

(1) 国际断裂大会的荣誉主席 T. Yokobori (日) 的报告题目为“20 世纪后半叶国际断裂大会对断裂研究的贡献”. 他回顾了断裂大会 (ICF) 成立 40 年以来对断裂研究的重要贡献, 指出在 21 世纪可预期从复杂系统科学的角度来解决强度与断裂的问题.

(2) G. Maier 等 (意) 报告了“断裂力学中的反分析”. 他首先介绍了基于实验的计算机模拟并通过数值模拟与实验测量差别的最小化来确定待定参数的反分析方法. 他以结构工程和微技术领域中的几个典型实例阐述了反分析方法在断裂力学中的应用: 其一是准脆性材料的 3 点弯实验, 用电子散斑方法测量了位移场, 然后将 I 型粘着区裂纹模型和对称的伽辽金方法相结合, 通过反分析确定材料的 4 个断裂参数; 其二是将楔形劈裂试验和卡尔曼滤波方法相结合, 确定大坝混凝土材料的随机断裂参数; 其三是大坝混凝土材料的物理化学老化参数的反分析, 进行了两个平行孔的充压实验和在位观测, 并通过计算比较了梯度算法和人工神经网络方法; 其四是通过微压痕实验的反分析进行各向异性材料和薄膜涂层的参数表征. 他强调了在断裂力学的工程应用方面, 实验、模拟和反分析方法的综合运用的重要性.

(3) W. Gerberich 等 (美) 邀请报告的题目为“断裂长度尺度的纳米测量”. 首先, 从历史发展的角度阐述了断裂力学的应用领域的拓宽, 介绍了在微电子、磁记忆、MEMS 器件等纳米结构所引发的一系列全新的尺度律问题, 包括最小

尺度上材料的流动应力、断裂应力和弹性模量。介绍了1970年以来发展起来的测量纳米尺度上材料参数的3种先进工具——透射电镜(TEM)、扫描探针显微镜(SPM)和声发射(AE),通过大量例子说明了这些方法在变形、断裂、摩擦、磨损等方面的应用,并展示了关于铜薄膜和纳米盒、硅纳米球和纳米塔、金刚石薄膜和纳米层状结构的研究结果。

(4) 高华健(德)报告了“断裂力学概念在生物系统纳米结构中的应用”。颇具新意地报道了其研究组在骨类生物材料和昆虫黏着方面的最新研究结果。他用断裂力学的概念说明了纳米尺度对于这些结构实现其优异性质所起的关键作用,骨类材料中矿物质的纳米尺寸使其具有容许缺陷存在而不影响材料整体性能的特性,而壁虎腿上的纳米凸起导致了极强的黏着强度。他还介绍了相关的理论模型和数值模拟工作。

(5) A. Pineau(法)报告了“25年来断裂局部方法的进展:理论与应用”。他综述了用于结构材料断裂韧性预测的断裂局部方法(local approach of fracture, LAF),介绍了韧性破坏和脆性解理断裂的微观机制分析的断裂局部方法,认为对于脆性断裂,材料行为不受损伤影响;而对于韧性断裂,应该将损伤演化与本构方程相耦合。他用断裂局部方法研究了钢的韧脆转变现象,讨论了二相粒子、晶界等因素对钢断裂的影响。此外,他还用这种方法研究了其他一些问题,如加载速率和预应力、焊缝残余应力、焊缝与界面的失配、暖预应力、辐照脆化等对断裂的影响。

(6) Y. Murakami(日)报告了“氢对于燃料电池系统中的金属疲劳性质的影响”。他讨论了燃料电池系统的氢环境下金属对疲劳寿命问题,重点研究了马氏体不锈钢和铬钼合金,指出氢对疲劳强度与疲劳寿命有着重要的影响。

(7) G. Williams(英)报告了“断裂分析的基础——总体能量法”。他认为总体能量平衡和能量释放率是描述裂纹扩展的最有效方法。以均匀拉伸的板条、受弯梁等为例,对静态和动态裂纹扩展的能量方法进行了评述,并说明了瞬态动力效应。他以剥离问题、用刀片切割软物体(如豆腐)等问题为例进一步说明了能量方法的应用,包括塑性变形等引起的能量耗散。他还强调将能量方法与局部破坏分析方法相结合,将有更广阔的应用。

(8) A. J. Rosakis(美)的“实验室地震”报告了在地震研究方面的有趣而重要的研究成果,主要包括地震动力学与动态剪切破坏这两个正在研究中的地震学课题。Rice(2001)曾指出,摩擦律的选取对于所预测的过程具有十分重要的影响,因此需要对计算的可靠性进行仔细校验。Rosakis及其合作者在实验室中进行了模拟动态剪切断裂过程的模型实验,以观察新的物理现象,并为理论分析和计算结果提供校验的基础。用高速照相机、光弹性方法和红外成像方法进行记录,用两个光弹板材料(Homalite)模拟层错,用预压缩方法模拟地质载荷,用爆丝方法激发动态开裂。用上述方法研究了破坏特征(破坏速度、破坏模态等)对远场双轴载荷、层错与压缩方向的倾角、层错界面的摩擦性质等因素的依赖关系。报道了相同材料之间的界面和异质材料之间的界面实验结果,通过异质材料的界面实验,可以模拟波速失配条件。他还报道了在存在界面摩擦情形下对于自发非相关的超剪切破坏、从亚瑞利波速转变到超剪切波速的断裂过程的观察结果。其研究结果说明在一定条件下,超剪切断裂在大地震中是可以实现的。在实验室中部分观察到地震的超剪切断裂是

断裂实验朝向解释自然界地震现象的重要进展,引起与会者的浓厚兴趣。

大会有16个平行的分会场,总共分228个分组报告单元。共安排了38个分组邀请报告,我国杨卫院士做了题为“高能原子簇冲击及其引致损伤的多尺度分析”的邀请报告。

大会内容共分为45个专题,分别为:航空与航天、分析模型、生物力学、陶瓷、复合材料、计算力学、混凝土与岩石、腐蚀、损伤力学、坝、脱粘、耐久性、电子材料、失效分析、疲劳、功能梯度材料、地球物理与地质构造、玻璃、高温与蠕变、历史性与纪念性建筑、氢脆、冲击与动力学、反问题、机电系统(MEMS)、金属材料、细观或介观尺度、复合型、纳观或微观尺度、无损检测与监测、非线性断裂力学、油气生产与分布、物理问题、铁路、增强混凝土、可靠性、尺度律与尺寸效应、智能结构与材料、表面处理、薄膜、焊接、木材。各个专题的论文数量迥异,多的有40~70篇,分成好几个分组报告与讨论,少的只有3篇,与其它分组合并组成分会场。从这些专题可以看到:既有传统的断裂研究的专题,也有近年来发展良好而且今后将有较大增长的与信息、生物、新材料相交缘的断裂研究问题,也有与从原子到纳-微-细-宏观各个尺度的断裂专题和尺度律与尺寸效应的研究。

从本次大会的邀请报告,分组论题与大会新任主席Ravi Chandar的闭幕式发言中,可以综观断裂研究的新的特点:

(1) 断裂研究与纳米材料和器件、信息、生物等工程领域紧密联系,并呈现多尺度建模与跨尺度联接的力学-物理学-材料学紧密交缘的特点;

(2) 断裂研究作为客观世界复杂性研究的一部分,呈现集成化、系统化的特点。它与工程科学、安全保障、保险与法律、设计-检测与识别-安全保障一体化相结合,逐步形成损伤-断裂的系统科学;

(3) 发展中国家的断裂研究与应用紧密结合,使断裂的科学更广泛地为经济发展与人类安全服务,成为国际断裂大会密切关注的问题;

(4) 在关注常规结构与材料的断裂研究——安全保证学科发展的同时,断裂研究正朝着扩展研究疆域的新阶段进步,人们还密切关注可持续发展所呼唤的化学-物理-力学的断裂交缘研究,除了开展对与仿生与生物材料的断裂研究外,研究者还能在实验室中模拟“人工地震”的断裂过程,即对工程-生物-自然等各类材料与结构开展新的拓展式的断裂研究活动;

大会论文集共收录中国代表的论文49篇。建议今后凡我国未能出席会议但已收入文集(或安排在大会口头或壁报)发表论文的代表,应尽早通知大会秘书处。会议出版了论文摘要与论文全文的光盘。

大会还颁发了每4年一度的国际断裂大会荣誉会员的证书,本届共颁7人:Bank-Sills(以色列),R. Dodds(美),F. Erdogan(美),A. S. Kobayashi(美),B. R. Lawn(美),J. G. Williams(英),余寿文(S. W. Yu, 中)。会议选举了第12届国际断裂大会(ICF12)的主席R. Chandar(美),副主席:B. Karahaloo(英),A. Carpinteri(意)和R. Goldstein(俄)。我国S.W. Yu(余寿文)当选为新一届执行委员,秘书长与司库仍分别由T. Yokobori(日)和D. Taplin(英)担任。

会议通过ICF理事国代表投票表决,决定第十二届国

际断裂大会 (ICF12) 于 2008 年 7 月在加拿大渥太华 (Ottawa) 召开, 并将于 2005 年由理事国代表通过电子投票表

决是否同意 ICF12 常务理事会关于 ICF13(2012 年 5 月) 在中国北京举行的建议.

第五届连续系统振动国际研讨会 (ISVCS-V) 简介

陈立群

上海大学力学系, 上海 200444

第五届连续系统振动国际研讨会 (5th International Symposium on Vibrations of Continuous Systems) 于 2005 年 7 月 25 日 ~ 29 日在德国 Berchtesgaden 市召开. Berchtesgaden 市位于德国阿尔卑斯山国家公园的中心, Königssee 湖畔. 会议会场在该市市政厅, 当地报纸报道了会议召开的消息.

会议主席是 A W Leissa 教授. 所有与会者都是由会议主席特邀参加. 29 位报告人分别来自美国 (6 人)、英国 (4 人)、加拿大 (3 人)、中国 (3 人)、德国 (3 人)、日本 (3 人)、意大利 (3 人)、以色列 (1 人)、韩国 (1 人)、新西兰 (1 人) 和波兰 (1 人). 除笔者外, 另两位来自中国的报告人是香港城市大学林志华教授和 (台湾) 国立交通大学黄炯宪教授. 首位报告人由抽签产生, 然后按报告人姓氏的字母顺序安排报告. 会议报告的详细摘要及报告人简介合订为论文集, 论文按报告人姓氏的字母顺序排列, 论文集主编是 A H Nayfeh 教授.

会议报告大致可分为下列几个方面. 部分报告是关于振动问题的一般分析方法和研究历史, 报告人多为比较资深的教授. 包括:

- (1) Hutchinson J R. The crosswise method in vibration
- (2) Ilanko S. Recent advances in asymptotic modeling in vibration analysis
- (3) Leissa A W. The historical bases of the Rayleigh and Ritz methods
- (4) Plaut R H, Virgin L N. Vibration analysis of post-buckled elastica beams, columns, pipes, and loops
- (5) Rega G, Srinil N. Internally resonant dynamics of suspended cables: model validation, nonlinear normal modes, reduced order approximations
- (6) Singh A V, Muhammad T. Vibration and buckling of plates by p-type method
- (7) Williams F W, Denny D, Djoudi M S, Yuan S. A new relationship between linear and transcendental eigenproblems

有多篇报告是关于板和壳的振动分析和优化设计, 这方面的报告有:

- (1) Carrera E. A unified formulation to assess various theories for the free vibration analysis of homogeneous and multilayered plates
- (2) Eisenberger M, Shufrin I. Free vibration of variable thickness skew plates

(3) Huang C S, Nieh K Y, Yang M C. In-plane analysis of vibration and stability of a loaded arch with variable curvature

(4) Lee W K. Corrected solvability conditions for non-linear asymmetric vibration of a circular plate revisited

(5) Lim C W, Leung A Y T, Li Z R, Wei G W. High-mode frequency analysis of thick shallow shells using DSC-Ritz method

(6) Nagai K I, Maruyama S, Yamaguchi T. Experiments of modal interaction on chaotic oscillations of an annular plate with initial deflection

(7) Nartia Y. Layerwise optimization vs. heuristic global optimization in vibration design of laminated composite plates

(8) Pellicano F, Amabili M, Svramov K. Dynamic stability of shells: theories and experiments

部分报告涉及压电材料, 功能梯度材料, 以及微机电系统等超出传统的振动分析的内容, 具体为

- (1) Cupial P. Three-dimensional natural frequency analysis of piezoelectric shells of revolution by the Ritz method
 - (2) Dong S B. Modal date for a layered piezoelectric cylinder and their applications
 - (3) Nayfeh A H, Younis M I, Abdel-Rahman E. Dynamic analysis of MEMS resonators
 - (4) Scemann W, Sauter B, Yi Y, Gausmann R. Ultrasonic moter based on longitudinal and torsional vibration
 - (5) Sharma C B, Naeem M N. Natural frequencies of rotating and non-rotating FGM circular cylindrical shells
- 陀螺连续体振动问题比较受到重视, 这方面的报告有:
- (1) Asokanthan S F, Cho J. On rotating ring dynamics: instabilities under harmonic velocity perturbation
 - (2) Chen L Q. Stability and vibration of a nonlinear beam with subcritical axial speed
 - (3) Ouyang H. Vibration of an atomising disc excited by a growing distributed mass
 - (4) Wu X, Parker R G. Modal properties of planetary gears with an elastic continuum ring gear
 - (5) Sato Y, Nagamine T. Wire-screen belt vibrations in a paper machine