



## 材料与结构蠕变研究近况

——国际理论与应用力学联合会第5届结构蠕变研讨会简介

杨挺青

华中理工大学力学系, 武汉 430074

### 1 引言

随着金属在高温的、电磁的和化学动力条件下的广泛使用, 聚合物、生物体、地质材料、复合材料和智能材料的迅速发展, 材料和结构与时间相关的力学性能、破坏机理及失效准则的研究日益迫切, 并取得了很多的新进展. 这也为力学和材料科学提出了许多的重要研究内容和新的学科分支, 蠕变力学即为其中之一. 蠕变力学考虑材料时间相关的力学行为, 表征材料的蠕变强度, 研究一定载荷下物体的变形、应力和位移随时间变化的现象与过程, 估算材料和结构的蠕变寿命, 进行合理设计.

蠕变力学在航空航天、动力、化工、机械、能源、地下工程中有广泛的应用, 我国蠕变力学的研究, 在金属材料、聚合物及其复合材料、岩土、生物、地学等方面都有相当多的研究成果. 笔者在《力学进展》中的两篇综述“粘弹塑性本构理论及其应用”(1992)、“含裂纹体蠕变断裂理论及其应用研究”(1999), 以及在《现代力学与科技进步》(1997)中的“固体流变学的发展”, 部分地介绍了有关的研究工作. 然而, 或许是因为分散在材料、军工、动力机械、以及其它学科与工程之中, 在力学学科的杂志上发表的成果并不多. 第四届结构蠕变科学研讨会(波兰, 1990)召开时, 参加研讨会的有王仁和杨挺青, 应邀大会报告论文一篇. 当时出国访问的张文在会上报告了在美合作论文. 这些报告论文收入 IUTAM Symposium 系列文献(《Creep in Structures》, M Zyczkowski Ed., Springer-Verlag, 1991).

第四届结构蠕变科学研讨会后, 在我国力学界的努力下, 经过国际上的激烈竞争, 国际理论与应用力学联合会批准中国力学学会举办带缺陷物体的流变学科学研讨会(IUTAM Symposium on Rheology

of Bodies with Defects, Beijing, Sept. 1997). 在基金委重视基础学科前沿研究的思想指导下, “含缺陷流变物体的材料破坏理论”列入力学学科重点项目(19632030), 从中也促进有关蠕变损伤及破坏方面取得了相应的研究进展.

### 2 第5届结构蠕变科学研讨会概况

第5届国际理论与应用力学联合会结构蠕变科学研讨会(Fifth IUTAM Symposium on Creep in Structures; 或简称“结构蠕变2000”)于2000年4月2日至7日在日本名古屋市举行. “结构蠕变2000”科学委员会由日、德、加、荷、英、美、法、瑞典、波兰和中国的著名学者11人组成, IUTAM国际执行局委员、北京大学王仁院士为科学委员会委员. 日本名古屋大学村上澄男(S. Murakami)教授和大野信忠(N. Ohno)教授共同担任本届结构蠕变研讨会主席. 研讨会的地方组织委员会由日本国12位著名人士组成. 协作举办本届会议的有日本国名古屋大学、日本国科学委员会、日本国机械工程学会和日本国材料科学学会.

第5届结构蠕变科学研讨会是国际理论与应用力学联合会每10年才召开一次的有关蠕变的专题研讨会, 前4届会议分别在1960年(美国)、1970年(德国)、1980年(英国)、1990年(波兰)举行. 参加者均由国际理论与应用力学联合会组建的科学委员会直接在世界范围内邀请, 研讨内容多属材料与结构蠕变研究的前沿, 学术水平较高.

参加本届结构蠕变研讨会的代表共80余人, 来自日本、英国、法国、波兰、加拿大、美国、德国、荷兰、俄罗斯、中国、奥地利、比利时、挪威、丹麦、巴西、苏格兰、葡萄牙等17个国家, 日本国的代表人数较多. 大会报告论文共45篇(其中一般报告8

篇),日本以外国家提交的论文约占四分之三;涉及微结构和力学模型,连续损伤力学,蠕变损伤与蠕变裂纹扩展,蠕变与损伤分析中的计算方法,断裂评定与设计,微力学和复合材料,非金属材料蠕变,结构蠕变等方面的内容。

我国参加本届研讨会一人,并作大会报告一篇。论文题目是“粘弹性薄板蠕变屈曲载荷的时间相关性研究”(Time-Dependence of Buckling Load for a Viscoelastic Plate Under Creep Condition)。该文以薄板为例说明:在某一定载荷下,结构可能会经受一定的时间以后突然发生毁塌。这一论述引起许多学者的兴趣和关注。

从总体上说,英、法、德等欧洲各国对于材料与结构蠕变的理论研究及工程应用成果在历届蠕变研讨会都比较多。近20年来日本在本学科领域取得较多的研究进展。

### 3 材料与结构蠕变研究近况

从本届蠕变研讨会看,国际上相当重视材料与结构蠕变研究工作,在蠕变破坏机理、实验技术、应用研究方面都有许多新的进展。

#### 3.1 着重材料的蠕变性能

由于材料的蠕变问题是蠕变研究的基本内容,也是结构蠕变分析的重要根据,历届的结构蠕变研讨会上的论文往往都是以材料的蠕变研究为主。本届在微结构和力学模型,蠕变裂纹扩展,蠕变分析与寿命估算等方面为主要内容,而且仍然是金属材料居多。这可能源于发动机、涡轮透平、化工容器、核动力装置、航天设备中蠕变问题的重要性,研究成果也较多;同时,还源于许多国家颇为重视研究材料的“长期行为”。

工程实际中各种载荷作用和环境条件下的构件蠕变失效,可能是由于所含初始缺陷(微裂纹、空隙、夹杂等)演化和裂纹的扩展,或是缺陷演化、裂纹萌生与裂纹扩展兼而有之。因此,必须运用断裂力学概念描述蠕变裂纹扩展,通过连续损伤力学方法预示蠕变破坏,或结合损伤与断裂分析研究蠕变裂纹问题,讨论材料的蠕变失效。因而在本届研讨会上,有关蠕变损伤分析、蠕变裂纹扩展、蠕变断裂评定与设计的内容占有一定的分量。

#### 3.2 注重实验研究

由于材料的长期力学行为和高温等特殊条件性能的重要性,改进模型需要依据实验结果,实际设计需要有关数据与设计参数,因而在本届研讨会中许多论文都涉及具体材料的试验研究工作。

日本国的实验研究尤为突出,报告的论文几乎都有实验分析。例如,有关奥氏体不锈钢的高温蠕变的实验成果在不同单位多处出现,有3篇论文涉及304不锈钢的高温蠕变实验研究。有多篇论文都介绍了多轴或复合受力的蠕变试验内容。其他如高温条件下铬不锈钢蠕变实验研究、碳纤维增强聚合物基复合材料的各种偏轴蠕变实验等。

笔者报告的合作论文中在理论分析的基础上也介绍了实验验证结果。而且在着手结构试验之前,先进行了材料(高密度聚乙烯)时间相关力学行为的实验研究。其中涉及材料的粘弹性与材料函数的具体确定,引起与会同行的关心和讨论,并对作者的工作加以肯定。

#### 3.3 注重工程应用

材料与结构蠕变的工程应用很广,本届会议报告介绍了许多应用研究成果。如多篇焊接结构的蠕变、蠕变-疲劳的论文往往都是某些工程应用研究;个别像是材料基础研究的论文实是来源于某重要的军备产品。

英国核电部门关于高温蠕变构件工程设计已有其计算规程,简称R5, Goodall与Ainsworth在10年前的上届会议曾进行较系统介绍。该规程共有7部分,其中含蠕变疲劳裂纹起裂与扩展,含缺陷蠕变构件计算。本届会议中Ainsworth介绍了R5的新发展,着重有关缺陷结构蠕变寿命估算内容,包括缺陷评定、蠕变裂纹扩展、蠕变失效、参考应力分析、蠕变寿命评估等。

值得提及的是在新技术、新产品中的应用。日本京都大学有一篇讨论大规模集成电路中由于电流和应力引起的孔穴及其扩展的论文,就是其中一例。

#### 3.4 重视基础研究

蠕变力学主要讨论材料和结构与时间相关的长期力学行为,研究蠕变强度,对材料和结构进行蠕变寿命估算或安全评定,都需要科学论据,进行理论分析。因此,本届会议与历届一样,都很重视基础方面的研究。例如:有关本构模型,单晶、多晶体的蠕变损伤,考虑材料缺陷的蠕变破坏,过应力模型的发展,等等。

### 4 几点感想与建议

笔者参加的两次蠕变力学研讨会,均以欧洲和日本为主,这不一定能全面和深切体现全球的研究工作;也许是传统原因,聚合物及其制品、智能材料的蠕变损伤与破坏研究反映较少;本届美国只有两篇、中国只有一篇论文的情况也许并不说明其研究现状。但

是,日本国和欧洲各国注重材料长期力学行为研究的决策和投入,重视蠕变基础研究和工程应用,都给参加者留下极其深刻的印象。

我国的蠕变力学研究虽有一定的基础,但总的说来仍很薄弱,进展不快,有关学科和行业之间缺乏合作与交流活动,仍旧没有一个相应的组织负责进行统筹安排。如果这种情况不及时改变,必将影响相关基础研究的发展和有关工业技术水平的提高。建议国家自然科学基金委、教育部能利用机遇,协同有关部委,指派某一学会(如中国力学学会或中国化学会、中国力学学会流变学委员会)组织有关活动。

从长远和根本上来看,金属材料的蠕变与蠕变断裂的研究工作仍需加强,这对于提高金属材料及其产品质量、提高材料科学与工业技术水平都有密切关系,在入关以后将明显反映出来。建议国防科工委能

协调发展这方面的工作。

聚合物及其制品、智能材料等的蠕变研究工作体现固体力学、材料科学与工程技术的紧密结合,需要损伤力学、断裂力学、粘弹塑性理论、细观力学、工艺力学等分支学科的相互渗透与交融,有其重要的理论意义与广泛的工程实用前景。建议基金委力学学科在组织研讨会的基础上决策重点支持的方向,以便尽快缩短与国际研究的差距。

近 10 年来,蠕变理论及其应用研究又取得了相当大的发展,蠕变力学所涉及到的材料、结构及工程应用范围都在不断地拓宽。21 世纪的材料、能源、生命与信息科学,以及相关先导工业与工程的需求,必将促使蠕变断裂力学有更迅速的研究进展和更广阔的应用前景。

## 中国力学与新世纪——挑战、机遇与策略

中国青年科学家论坛吉林 2000 联谊会简介

杨 卫 郑泉水

清华大学工程力学系,北京 100084

胡 平

吉林工业大学计算中心,长春 130025

主题为“中国力学与新世纪——挑战、机遇与策略”的中国青年科学家论坛吉林'2000 联谊会于 2000 年 1 月 5 日至 8 日在吉林省吉林市北大湖宾馆举行。来自北京、长春、大连、哈尔滨、兰州、南京、西安的共 12 位在力学及其工程应用方面作出了显著成就的年轻教授出席了本次会议,国家自然科学基金委员会力学处的孟庆国博士作为特邀代表也出席了本次会议。会议发起人和主席之一、中国科协常委、清华大学工程力学系杨卫教授受托代表中国科协领导对会议的召开表示了祝贺并作了热情洋溢的开幕发言。会议对活动形式作了新的尝试,开得十分活跃和紧凑,取得了预期成功。

### 1 背景和目的

力学既是七大基础学科之一,又是应用科学和工程技术的基础。20 世纪在力学理论支撑下取得的工程技术成就不胜枚举,在解决新的工程技术问题及向

其他学科渗透中,力学丰富了本身。我国从两弹一星到深潜弹道导弹核潜艇的研制,从长江大桥到长江三峡的建设,力学学科都作出了不可或缺的重大贡献。力学对中国现代科学发展所负有的特殊使命,造就了如钱学森、周培源、钱伟长、郭永怀等一批杰出的力学家。通过力学工作者多年的不断辛勤耕耘,使中国力学在国际力学界一直保持着较先进的地位。对 1998 年 SCI 源库中所有 44 种力学期刊的国际联机检索统计表明:1990~1999 年间中国力学学科的世界排名为第 7 名;而中国总的 SCI 收录论文数则为世界第 12 名。美国工程科学院至今共有过四名中国的外籍院士,其中二名与力学相关,即力学家郑哲敏先生和已故的桥梁学和力学家茅以升先生。

我国学者在多个力学主流研究方向和领域保持着一支活跃在国际学术研究前沿的研究队伍。在我国特定的国情、条件和资源条件下,中国的力学研究具有天然优势。海外的中国力学学者已成为一支举足轻