

·学科进展与展望·

# 固体力学学科发展探讨

詹世革 孟庆国

(国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085)

**[摘要]** 固体力学是整个力学学科中研究规模最大的分支学科。本文对固体力学学科特点与发展趋势、近年来固体力学科学基金申请和资助情况进行了分析,提出了固体力学学科目前存在的问题,给出了促进我国固体力学学科发展的建议和措施。

**[关键词]** 固体力学, 学科发展, 国家自然科学基金

## 1 前言

固体力学旨在认识与固体受力、变形、流动、断裂有关的全部自然现象,并利用这些知识来改善人类生存条件、实现人类目标。固体力学是整个力学学科中研究规模最大的分支学科。自20世纪初以来,固体力学获得了很大发展,出现了许多分支学科,创立了一系列重要的概念、理论和方法。同时在现代工业中扮演了重要的角色,推动了航空、航天、舰船、土木、机械制造等工业的进步和发展。

随着科学技术日新月异的发展,固体力学所涉及对象的复杂性越来越突出,出现了一系列处于科学前沿的新问题和新领域,既为固体力学提供了更多的机遇,也使它面临巨大的挑战,迫切需要我们全面了解国内外当今固体力学学科的最新进展动态、前沿热点、发展方向、新增长点、存在的问题以及薄弱方向等,这将有利于探索在科学技术迅速发展的情况下我国固体力学如何发展、固体力学如何结合国家需求开展基础研究创新工作,有利于思考科学基金资助模式与重点投入的方向。因此,探讨固体力学学科的发展是非常必要的。

## 2 固体力学学科的特点与发展趋势

### 2.1 基础与工程的双重特点鲜明

固体力学作为力学中的一门基础性分支学科,其连续介质基本原理是建立在牛顿力学基础上的,但是愈来愈与20世纪发展起来的物理学、化学、生物学等现代科学密切联系,将其拓展到研究具有较小尺度、多场耦合作用、具有较强各向异性和非均匀性特征的新兴科技领域问题。将现代科学的研究成果引入到固体力

学中,提出固体力学新的原理、建立新的理论、发展新的方法,使得固体力学的基础研究充满旺盛的生命力。

同时,固体力学越来越趋于为工程各领域服务。固体力学是应用力学主体的一部分,旨在发展力学的理论与方法并应用于工程实际中,为国民经济和国防建设服务。重大工程结构(航空航天、能源、交通、信息与微电子、国防与武器装备)及其材料的可靠性、安全性是涉及直接影响到国民经济和社会的可持续发展、国防建设和国家安全、科技现代化的重大问题。在研究内容方面涉及工程材料破坏与工程结构破坏的两个方面。研究工程材料、工程结构和高技术结构的破坏行为,探索其中蕴含的力学规律。探讨降低破坏所造成的经济损失和社会效应的科学方法,建立新的理论、新的设计方法、新的计算方法、新的实验技术,并升华到能够建立新的国家标准和新的结构完整性评估方法和可靠性判据,为设计和改进具有更卓越力学行为和可靠性的工程材料、工程结构和高技术结构提供理论基础与准则。解决各种工程材料的破坏失效表征和工程结构与高技术结构的完整性评价。

### 2.2 广泛的学科交叉性

由于力学理论、方法的普适性,以及力学现象遍及自然界和人类活动的各个层面,因此,一方面作为力学中的一门基础性分支的固体力学必须结合现代数学、物理、化学、生物、材料、微电子学等学科的新概念、新方法,发展其基本理论以研究力与热、电、磁、声、光、化学及生命领域的相互作用,实现从原子、分子的微观结构,到纳米结构、细观显微结构,直至宏观结构的多尺度关联理论框架的建立。

另一方面,固体力学和几乎所有的工程学科(土木、机械、航空航天、材料、交通、能源、电子信息)相

本文于2008年6月17日收到。

交叉、渗透。固体力学创立了一系列重要概念和方法,如连续介质、应力、应变、分叉、断裂韧性、有限元法等,这些辉煌成就不但造就了近代土木建筑工业、机械制造工业和航空航天工业,而且为广泛的自然科学如偏微分方程、非线性科学、材料科学与工程等提供了范例或基本理论基础。

### 2.3 新的学科生长点突出

新兴的科技领域确有许多与传统力学研究的问题十分不同之处。一是研究对象尺度的差异,如纳米科技涉及到了纳米尺度,而生命科学/生物技术已进入蛋白质、DNA等大分子量级,信息科学与技术领域也进入到微米、纳米级的器件设计和制备。二是物体变形和运动不仅由力场而常是由多场耦合作用,如热、电、磁、声、光、化学及电化学等的作用。三是物质常具有较强的各向异性和非均匀性,如纳米碳管、纳米晶体内的原子排列均为各向异性,生物体更是由多种各向异性分子和机体组成的非均匀体,信息和微电子器件也常具有性能差异极大的半导体、陶瓷与金属等多种材料复合而成。因此,固体力学能否投入到上述新兴的科技领域,研究这些领域中出现的与力学相关,但在许多方面又跨越了传统力学研究范围的新问题,并能对新兴领域的工程应用起到关键作用,继续保持作为未来技术科学和工程科学的基础,是当前固体力学工作者面临的一个挑战。

固体力学学科在21世纪具有如下发展趋势:研究对象具有跨尺度和复杂性特征;研究手段将突破传统模式的桎梏,以跨学科、交叉性和系统性为特

色;研究成果对科学技术和社会发展的推动作用和对人类生活质量的提高将达到前所未有的水平。由此可见,随着科学技术的发展,现代固体力学研究对象的复杂性越来越突出,由此带来了一系列处于科学前沿的新问题和新领域。从另一个角度来看,对本世纪重要的科技领域中新问题的研究也将成为固体力学发展的一个重大机遇。

## 3 固体力学各领域科学基金申请和资助情况分析

2001—2007年度固体力学各领域面上项目、青年基金和地区基金申请及资助情况见表1和图1所示。

表1 2001—2007年固体力学各领域基金申请及资助情况

	申请数	资助数	资助率 (%)
A02 力学	5527	1389	25.1
A0202 固体力学	2743	664	24.2
A020201 弹性力学与塑性力学	121	31	25.6
A020202 疲劳与断裂力学	200	34	17.0
A020203 损伤、破坏机理和微结构演化	207	51	24.6
A020204 本构关系	69	19	27.5
A020205 复合材料力学	194	45	23.2
A020206 新型材料的力学问题	383	122	31.9
A020207 极端条件下的材料和结构	51	17	33.3
A020208 微机电系统中的固体力学问题	47	13	27.7
A020209 岩体力学和土力学	306	52	17.0
A020210 冲击动力学	174	51	29.3
A020211 结构力学	88	11	12.5
A020212 结构振动与噪声	135	28	20.7
A020213 结构优化和可靠性分析	142	30	21.1
A020214 制造工艺力学	51	9	17.6
A020215 实验固体力学	167	61	36.5
A020216 计算固体力学	313	65	20.8
A020217 流固耦合作用	95	25	26.3

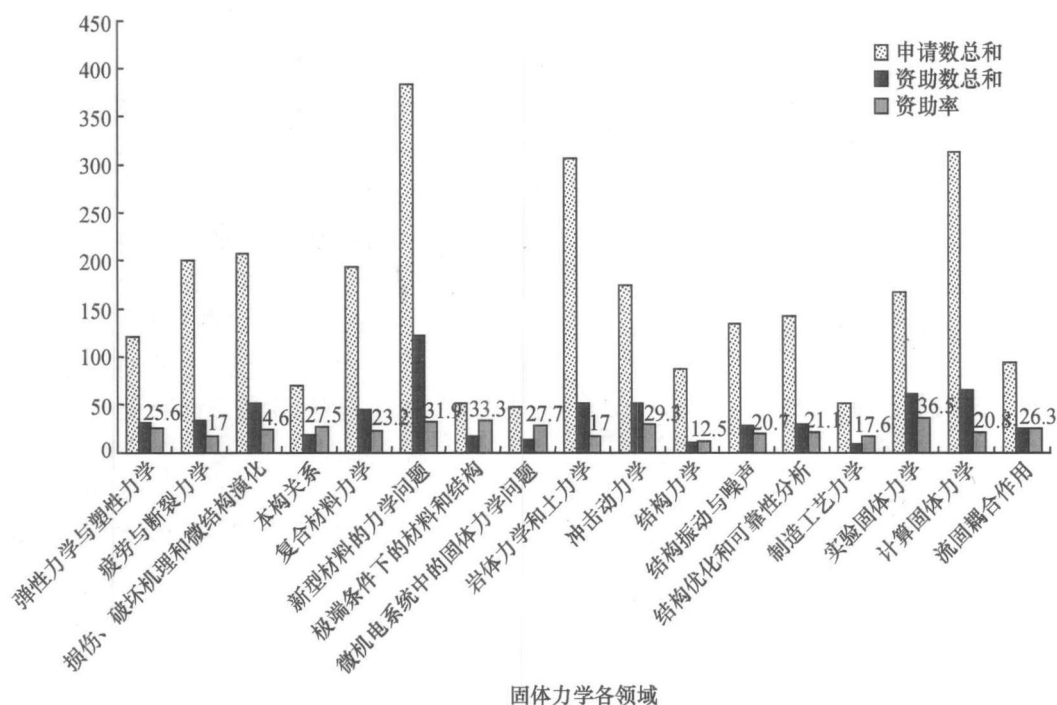


图1 2001—2007年固体力学各领域基金申请及资助情况直方图

从以上数据可以分析出固体力学具有如下特点:(1) 材料科学与工程是近年来发展最快的科技领域之一,它不仅创造了大量高性能新材料和前所未有的加工方法,同时也使传统材料的生产发生了巨大的变化。材料科学的飞速发展,提出了许多与固体力学相关的、亟待解决的、极具挑战性的新问题,固体力学与材料科学相结合已经成为固体力学学科研究的发展趋势。损伤破坏机理和微结构演化、复合材料力学、新型材料的力学问题这些与材料科学密切结合的领域呈现欣欣向荣之势,申请量占固体力学申请量的31.1%,而且我国在固体材料的宏微观力学研究方面有着较好的基础和一定的优势,获资助率较高。(2) 计算科学技术的发展(硬件与软件)为计算固体力学发展提供了良好的外部环境,而固体力学本身的多学科交叉又为计算固体力学发展提供了充足的内部动力。数值模拟已成为固体力学的主要研究方法之一,计算固体力学成为带动固体力学发展的分支学科,在国内形成了较大的研究规模。(3) 岩体力学与土力学的理论基础涉及弹塑性理论、流变学、流体力学、工程地质、矿物学等,它的应用涉及到工业与民用建筑、水利、水电、交通、国防等工程领域,所以研究人员较多,基金申请量较大,但是申请项目中创新性强、有新思想的项目较少,资助率较低。(4) 与工程领域密切相关的冲击动力学、结构力学、结构振动与噪声、结构优化与可靠性分析、流固耦合作用等领域的研究队伍具有一定的规模,基金申请量适中,但结构力学的资助率较低。(5) 在固体力学的跨学科发展中,力学工作者往往先通过固体力学实验获得一些新发现,提出一些新概念,以孕育新理论的形成。因此实验力学研究的进一步扩展是固体力学的重要发展需要。但从分析中我们看到,目前从事理论分析和数值模拟的力学工作者相对较多,从事实验固体力学研究的队伍还有待进一步加强。为了促进实验固体力学的发展,近几年力学科学处在国家自然科学基金项目指南中明确提出“对实验研究给予关注及经费倾斜,尤其鼓励有创新意义的仪器设备研制和改造、新实验方法和技术研究”,加大了对实验固体力学资助的力度,资助率最高,资助强度最大。

#### 4 固体力学存在的问题及分析

目前固体力学学科的薄弱方向及存在的问题为:

##### 4.1 重基础研究、轻应用基础研究

固体力学的前沿学科交叉突出,新的学科生长

点突出(例如,纳米力学、多尺度力学、多场耦合力学、仿生力学等),但面向国家需求的研究有待加强。例如,急需加强面向航天航空材料和结构的关键力学问题的研究。

##### 4.2 与国际计算力学软件相比,差距较大

与国际计算力学软件相比,我国计算力学软件的发展规模及水平有很大的差距,在整体功能与性能上还无法与国外同类先进产品竞争。因此,不但重大工业项目中的工程力学计算几乎全靠进口软件,甚至一般中小设计院也被进口程序所垄断。长期受制于进口软件而没有国家层面的对策,将使我国在力学创新研究和科技竞争中,在国防实力对比上长期处于落后被动的地位。

##### 4.3 实验力学的队伍偏小,轻实验的思想没有根本改变

与理论和计算相比,尽管在国家自然科学基金资助上给予倾斜,以实验为主的研究项目的申请和资助数量所占比例依然偏低。

##### 4.4 在结构材料的发展研究中,固体强度问题还没有根本解决

虽然目前固体力学已经科学地阐明了材料的强度和韧性,使结构材料的发展建立新的基础之上,但是固体强度问题还没有根本解决。然而,从研究问题的角度上来看,目前依然集中于热点问题,而对传统的强度问题领域关注减弱,导致近几年疲劳与断裂力学申请项目的资助率偏低。从研究对象的角度上来看,重材料的力学行为研究、轻工程结构的力学研究,这可以从科学基金项目申请比例的统计中发现,两者差距很大。

#### 5 建议和措施

(1) 自由探索和基础研究是科学新思想、新理论和新方法的重要源泉,是技术进步的基础,也是培养优秀科技人才的土壤。因此,需要以全面发展的观点,通过基金资助营造鼓励创新的条件和环境,长期稳定地处理好固体力学领域的基础研究与工程需求的关系,促进固体力学的新的学科生长点的发展,充分发挥固体力学的基础研究成果对工程技术和国民经济的支撑作用。

(2) 需要对实验力学以及新技术与新表征方法,以及计算力学软件开发和自主产权的国产化与商业化给予重点支持。在国家自然科学基金资助强度逐年提高的客观背景下,应加强对先进科学仪器设备研究的资助力度,加大对实验技术与表征方法

研究项目的支持强度,采用特殊政策加强对计算力学软件开发和自主产权的国产化的资助。

(3) 必须将优秀人才作用的发挥和年轻人才的培养放在极其重要的位置。采取多种方式加大对40岁以下青年学者的支持。如举办40岁以下的青年学者学术沙龙和学术研讨会,为固体力学青年学者提供一个学术交流平台 and 思想碰撞的机会。

(4) 要将研究成果的创新性和所解决的科学、工程问题的重要性列在评价体系中的同等地位。鼓励固体力学学者进入国家重大科学项目与重大工程项目。例如,力学是航空航天支撑学科,而我国航空

航天科技发展是不平衡的,基础研究的技术储备严重不足,其中存在大量的与新材料和结构相关的固体力学问题,而我国固体力学工作者应该更加积极参与、加大投入,做出应有的贡献。

### 参 考 文 献

- [1] 国家自然科学基金委员会数理科学部. 力学学科发展研究报告. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] 中国科学技术协会主编、中国力学学会编著. 力学学科发展综合报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- [3] 国家自然科学基金委员会. 力学—自然科学学科发展战略调研报告. 北京: 科学出版社, 1997.

## DISCUSSION ON THE DEVELOPMENT OF SOLID MECHANICS

Zhan Shige Meng Qingguo

(Department of Mathematical and Physical Sciences, NSFC, Beijing 100085)

**Abstract** Solid mechanics is the largest branch of mechanics. The current situations and research trends of solid mechanics were discussed. The application and supported projects of NSFC in this field were also analyzed. On the basis of these, the suggestions and solutions for the development of solid mechanics were proposed.

**Key words** solid mechanics, disciplinary development, the National Natural Science Foundation

·资料·信息·

## 电磁波集中器研究取得重要进展

东南大学毫米波国家重点实验室崔铁军教授和美国杜克大学 David Smith 教授领导的联合科研小组在电磁波集中器的研究中取得重要进展。2008年6月30日出版的美国《应用物理快报》上刊登了他们的研究成果,并将文中的心形电磁波集中器仿真结果图作为该期的封面。

电磁波集中器是一种能够集中入射电磁波,从而提高电磁波能量密度的新型器件。这种器件在需要高强度场的仪器或装置中有重要的潜在应用,如太阳能电池等。此前,科技刊物报道的圆形电磁波集中器,在实际应用中受到很大限制。该小组将有理B-样条曲线(NURBS)这一数学工具引入到电磁波集中器的研究中,用分段有理B-样条曲线来描述任意物体的几何边界,结合光学变换理论,设计出适

用于任意区域的电磁波集中器,并可用新型人工电磁材料来实现。从而解决了采用PHEMT管来制作的平面波放大器成本高、设计难的问题。这种新型电磁波集中器将为节能、高效地实现平面波放大提供一种新渠道。同时,这种将有理B-样条曲线和光学变换理论结合在一起的设计方法,使得新型人工电磁材料的设计可以程序化,为形成商业软件奠定了基础,这对于新型人工电磁材料的实用化、商业化具有重要的意义。

该系列研究工作得到了国家自然科学基金项目和科技部“973”项目的支持。

(信息科学部 供稿)