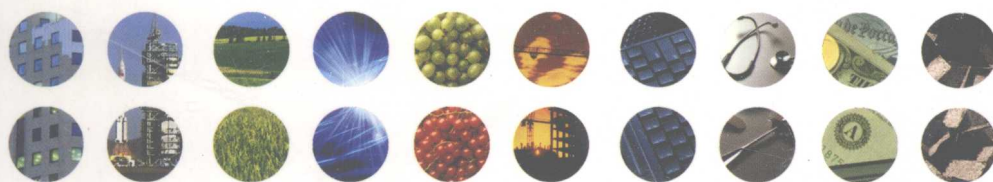




2020年

周光召 主编



2020 2020 2020

 中国科学技术出版社

中国科学技术发展研究

下

2020年 中国科学和技术发展研究

下

周光召 主编



中国科学技术出版社
·北 京·

目 录

上 册

2020 年中国生命科学和技术发展研究	
生命科学和技术综合专题组	(3)
2020 年中国环境科学和技术发展研究	
环境科学和技术综合专题组	(55)
2020 年中国信息与电子科学和技术发展研究	
信息与电子科学和技术综合专题组	(100)
2020 年中国材料科学和技术发展研究	
材料科学和技术综合专题组	(168)
2020 年中国能源科学和技术发展研究	
能源科学和技术综合专题组	(243)
2020 年中国交通科学和技术发展研究	
交通科学和技术综合专题组	(318)
2020 年中国空间科学和技术发展研究	
空间科学和技术综合专题组	(384)
2020 年中国制造科学和技术发展研究	
制造科学和技术综合专题组	(440)
2020 年中国工程科学和技术发展研究	
工程科学和技术综合专题组	(474)
2020 年中国农业科学和技术发展研究	
农业科学和技术综合专题组	(559)
2020 年中国城市发展建设科学和技术研究	
城市发展建设科学和技术综合专题组	(602)
2020 年中国健康与医疗科学和技术发展研究	
健康与医疗科学和技术综合专题组	(685)
2020 年中国地球科学与探测技术发展战略研究	
地球科学与探测技术综合专题组	(702)
2020 年中国海洋科学和技术发展研究	
海洋科学和技术综合专题组	(726)
2020 年中国安全科学和技术发展研究	
安全科学和技术综合专题组	(751)

下 册

数学发展长远规划的调研报告	
中国数学会	(821)

2020 年中国力学科学技术发展研究	
中国力学学会	(826)
2020 年中国地理科学技术发展研究	
中国地理学会	(861)
2020 年中国地球物理学发展研究	
中国地球物理学会	(877)
2020 年中国地震科学技术发展研究	
中国地震学会	(894)
2020 年中国生物物理学发展研究	
中国生物物理学会	(902)
2020 年中国心理学发展研究	
中国心理学会	(912)
2020 年中国资源科学技术发展研究	
中国自然资源学会	(922)
2020 年中国青藏高原科学技术发展研究	
中国青藏高原研究会	(936)
2020 年中国机械制造业高技术化战略发展研究	
中国机械工程学会	(942)
2020 年中国水力发电科学技术发展研究	
中国水力发电工程学会	(950)
2020 年中国空气动力学发展研究	
中国空气动力学学会	(957)
2020 年中国仪器仪表科学技术发展研究	
中国仪器仪表学会	(963)
2020 年中国计量科学技术发展研究	
中国计量测试学会	(970)
2020 年中国地球空间信息科学技术发展研究	
中国测绘学会	(985)
2020 年中国钢铁科学技术发展研究	
中国金属学会 中国钢铁工业协会	(994)
2020 年中国化学工业信息化发展研究	
中国化工学会	(1006)
2020 年中国石油化工科学技术发展研究	
中国化工学会	(1054)
2020 年中国土木工程科学技术发展研究	
中国土木工程学会	(1070)
2020 年中国纺织科学技术发展研究	
中国纺织工程学会	(1148)
2020 年中国风景园林学发展研究	
中国风景园林学会	(1162)

2020 年中国历史文化遗产保护领域科学和技术发展研究	
中国文物保护技术协会	(1170)
2020 年中国粮油科学和技术发展研究	
中国粮油学会	(1184)
2020 年中国植物保护科学和技术发展研究	
中国植物保持学会	(1193)
2020 年中国作物科学和技术发展研究	
中国作物学会	(1202)
2020 年中国水土保持科学和技术发展研究	
中国水土保持学会	(1217)
2020 年中国草业科学和技术发展研究	
中国草学会	(1227)
2020 年中医药现代发展的战略研究	
中华中医药学会	(1234)
2020 年中国药学发展研究报告	
中国药学会	(1244)
2020 年中国生物医学工程科学和技术发展研究	
中国生物医学工程学会	(1250)
2020 年中国营养科学和技术发展研究	
中国营养学会	(1265)
2020 年中国麻风病防治科学和技术发展研究	
中国麻风防治协会	(1277)
2020 年中国免疫学发展研究	
中国免疫学会	(1291)
2020 年中国土地科学和技术发展研究	
中国土地学会	(1298)
2020 年中国菌物学发展研究	
中国菌物学会	(1305)
2020 年中国惯性技术科学发展研究	
中国惯性技术协会	(1310)
2020 年中国病理生理学发展规划纲要	
中国病理生理学会	(1321)
2020 年中国大气科学与观测技术发展研究	
中国气象学会	(1325)
2020 年中国生物科学和技术发展研究	
中国生物工程学会	(1342)
2020 年天津市船舶工业科学和技术发展研究	
天津市科协	(1398)
2020 年中国化学工业科学和技术发展研究	
天津市科协	(1404)
2020 年中国海水利用科学和技术发展研究	
天津市科协	(1417)

2020 年内蒙古科学和技术发展研究	
内蒙古自治区科协	(1425)
2020 年江西省科学和技术发展研究 江西省科协	
2020 年江西省农业生物科学和技术发展研究	
江西省植物学会	(1494)
2020 年江西省公路科学和技术发展研究	
江西省公路学会	(1505)
2020 年江西省气象科学和技术发展研究	
江西省气象学会	(1530)
2020 年江西省软件产业科学和技术发展研究	
江西省计算机学会 江西省软件行业学会	(1537)
2020 年江西省水土保持科学的创新与发展	
江西省水土保持学会	(1566)

数学发展长远规划的调研报告

中国数学会

一、世界数学科学发展前沿动态与特性

数学发端于研究现实世界中的数量关系和空间形式。数学在其发展过程中,本身会形成许多深刻而有意义的问题,它们通常并不受来自外部的明显影响,但其结果却都有不可预见的应用机遇。例如,群论在结晶学中的应用,黎曼几何和张量分析恰好为广义相对论提供所需的工具,图灵等对数理逻辑的研究为现代程序存储计算机奠定了理论依据,由积分几何中的拉东变换导出的算法成为现实医学扫描技术的关键,纽结理论成为了解 DNA 结构的必不可少的纽带和工具,类似这样的例子不胜枚举。另一方面,现实世界中提出的各种问题也是推动数学发展的重要动力。生命科学、信息科学、计算机网络、经济与金融、社会与经济管理等自然科学和社会科学的各个领域,不断地对数学提出新的课题与挑战,极大地刺激和推动了数学的发展。

近年来数学的发展呈现出如下一些特征。

(一) 数学各分支学科的交叉、融合与扩展

不同领域的数学思想与方法相互融合,导致一系列重大成果的产生。著名的 Fermat 问题的解决就是如此。在一些十分有活力的研究领域中,代数的、分析的、几何的、拓扑的甚至是随机的方法结合在一起,不同领域的数学家们又重新意识到他们正在从事着一项共同的研究。这种发展充分展示了数学内部的统一性,而这种学科的交叉又为数学的发展带来新的活力和生长点,扩展了传统的数学。

(二) 数学正向几乎一切知识领域、生产领域渗透和交叉

近几年来数学发展的另一趋势是其应用范围快速扩展,除数学物理外,数学化学、生物数学、经济数学、金融数学、数理地质学、数理语言学、数值天气预报、数学考古等一系列边缘科学的涌现,表明数学的应用已突破传统的范围而向人类一切知识领域渗透。数学对生产技术的应用也变得更加直接,并产生巨大的经济效益。例如:以计算流体力学为基础的数值模拟已成为飞行器设计的有效工具;以调和分析为基础的小波分析直接应用于通讯与石油勘探等领域;运筹学与统计学在现代大规模生产的管理决策、产品质量的控制中起着越来越大的作用。近年来以数学建模为核心的工业数学成为有广泛影响的应用领域。

(三) 数学已成为一切重大技术发展的基础

电子计算机本身的发明及当今计算技术的发展都以数学为其理论基础。随着电子计算机技术的广泛应用,数学在各技术领域中的应用发生了空前的变化,渗透到人类社会生活的方方面面。从医疗器械 CT 到中文印刷排版的自动化,从飞行器的模拟设计到指纹或签字的识别,从石油勘探到金融风险分析……,形成了形形色色的新奇技术,其中无不凝聚着数学理论和研究的成果。

现代数学这种空前广泛的渗透与应用,与纯数学领域(核心数学)的发展密切关联。数学仿佛是冰山,冰山在水面之下的部分是纯数学领域,水面之上为尖点,那是我们可以看见的数学向其他领域

的渗透和应用。如果没有水下大得多的部分,水面之上的尖点将会消失。

在当今科学技术迅猛发展的时代,数学的重要意义在欧美科技发达国家受到日益增长的空前重视。以美国为例,美国前总统科学顾问爱德·大卫认为“当今被如此称颂的高技术本质上是数学技术”。美国政府非常支持 2003 年度财政预算中提高数学科学预算的提议,将数学预算从 2002 年的 2.829 亿美元增长到 2003 年的 3.262 亿美元(即增长了 15.3%)。国家科学基金会(NSF),国防部(DOD),能源部(DOE)这三个机构为数学科学研究提供主要的资金来源。其他一些机构也在数学研究上有投资,其投资项目与其机构本身的发展相关。这些机构包括美国航空和宇航局(NASA),美国国立卫生研究院(NIH),美国环保署(EPA)和国家科技信息情报机构(NIST)等。

美国联邦政府机构近年来对数学投入的增长情况(见表 1)。

表 1 美国联邦政府机构对数学科学的预算

(单位:百万美元)

项 目	2001 年实际	2002 年预算	2003 年要求	2002~2003 年 变化	2002~2003 年 变化(%)
NSF-数学科学司	121.4	151.5	181.9	30.4	20.1
国防部-空军科研部	32.7	32.6	32.5	-0.1	-0.3
国防部-ARO	26.4	26.4	26.4	0.0	0.0
国防部-国防部高级研究计划局	16.3	25.0	33.3	8.3	33.2
国防部-国家安全局	1.7	2.3	2.5	0.3	11
国防部-海军研究局	12.5	13.2	13.4	0.2	1.5
国防部总计	88.6	99.5	108.1	8.7	8.7
能源部-应用数学	27.1	32.0	36.2	4.2	13.2
所有机构总计	238.2	282.9	326.2	43.3	15.3

数据来源:美国管理及预算办公室,机构预算材料。中国科学院文献情报中心提供。

美国自然科学基金会(NSF)把数学科学作为 2003 年重点支持的 6 个优先领域之一。这 6 个优先领域及其内涵详列如下:

1. 纳米科学与工程

主要探索分子和原子级现象,开发更易于应用的新技术。新近的研究发展已开始涉及与我们生活息息相关的各个部分,包括新材料和其他有发展前景的创新技术。

2. 环境生物复杂性

该优先领域利用交叉学科的最新科技,研究生物学、社会学和物理地学系统之间的相互作用。

3. 信息技术研究

该优先领域支持对软件、网络、可量测性和通讯等方面的深入研究,以改善收集、存储、分析、共享和显示信息的途径。

4. 21 世纪人才培养

该优先领域支持以下活动:扩展基础知识学习基地;开拓信息技术的潜力,使学习更容易、更有效;将关于学习和技术的新理念融入到正规教育 and 非正规教育中。

5. 数学科学

数学在科学与社会中的作用已越来越广泛,当今的科学工程的发现都与数学科学相关联。该优先领域重点支持基础数学和统计学的研究、数学科学与其他学科的合作研究以及数学教学。

6. 人与社会动力学

目的是帮助人们和组织机构更好地理解变化发生的原因和细节,以及导致变化和定义变化的行为和思维动力学、认知结构和社会结构,从而使他们从容地应对深刻、快速的变化。

表 2 美国自然科学基金会数理部 1999~2003 年实际拨款、计划拨款和预算 (单位:百万美元)

年度 项目	1999		2000			2001			2002			2003		
学 科	实际 拨款	占年 总拨款 (%)	实际 拨款	占年 总拨款 (%)	拨款 增长率 (%)	实际 拨款	占年 总拨款 (%)	拨款 增长率 (%)	计划 拨款	占计 划拨款 (%)	计划 增长率 (%)	预算 拨款	占预 算拨款 (%)	预算 增长率 (%)
数 学	100.7	13.7	106	14.0	5.3	121.4	14.2	14.5	151.5	16.5	24.8	181.9	19.3	20.1

从表 2 可以看出,NSF 数理学部对数学拨款在 1999 年占总拨款的 13.7%,在 2003 年上升到 19.3%,在 2002 年拨款计划增长率为 24.8%,2003 年预计增长率为 20.1%。

根据中国科学院文献情报中心提供的资料,NSF 计划到 2006 年对数学科学创新项目预算要达到 4 亿~5 亿美元(2003 年为 1.819 亿美元)。数学重大创新项目有三个组成部分:①支持基础数学科学;②支持数学和其他科学的联系;③支持数学教育。第一部分是最重要的组成部分,它同时包含纯粹数学和应用数学。第二部分首先集中考虑的主题是:处理和分析巨大数据集,对不确定性进行处理和建模,对复杂的相互作用的非线性系统的建模。促进数学科学和生物科学之间的联系也纳入了该项目。

二、我国数学研究的现状和问题

数学是中华民族所擅长的学科,我们在古代数学的发展中做出过辉煌的贡献。在近代和现代也涌现了一批为数学发展做出杰出贡献的国际一流数学家。改革开放以来的二十多年是我国历史上数学事业发展最繁荣的时期,研究队伍迅速扩大,研究论文急剧增多,取得了许多具有国际影响的重要成果,中国人在国际数学界的地位不断地提高。2002 年我们成功地召开了国际数学家大会,国内外同行一致看好中国数学的发展。从研究队伍和发表文章的数量看,我们已经是数学大国,但我们距离世界数学强国还有一定的距离。

环顾世界,所有的经济大国和科技大国,必然也是数学强国。中国作为一个发展中的大国,无论是适应当前国民经济结构战略性调整的现实需要,还是满足未来经济社会发展的科学技术和人才支撑,都无法依赖于他人。当今世界迅猛发展的高技术本质上是数学技术,无论是自然科学还是社会科学,要获得真正完善的发展,都必须成功地运用数学这一强有力的工具。因此,我们必须重视数学的发展,在数学科学领域赶上世界先进水平,建立起立足于本国的科研力量,加强原始创新,并最终拥有自主知识产权,在经济全球化和科技全球化的格局中自立于世界先进民族之林。

三、我国发展数学学科的战略目标和重点方向

为了提炼数学学科的前沿问题和重点发展方向,我们必须做好充分的调查研究,精心组织,集思广益。现将目前调研阶段的有关情况汇报如下。

1. 中长期科技发展规划建议

中国科学院数学物理学部的院士们在中长期科技发展规划咨询意见(征求意见稿)中有如下建议:

院士们还特别提出,应该看到作为一门基础学科的数学,与其他自然科学的基础学科有较本质的区别。数学在人类认识自然,描述自然规律和人类思维上的作用是非常巨大的,而且在实际应用

上,数学也起着越来越大的作用。一定要对基础数学和应用数学的发展给以足够的重视。

2. 数学学科的发展战略

最近,国家自然科学基金委员会数理学部多次组织有关专家讨论数学学科发展的战略目标和中长期规划。根据我们的理解,专家们有如下一些共识:

(1) 作为数学学科发展的基本战略,要重视核心数学前沿问题的研究。

(2) 根据国际科技发展动态和数学学科的发展态势,要重视不确定性与离散问题的数学建模、理论和方法的研究。

(3) 面向国家战略需求,要重视国家安全与国防建设中的数学问题。

(4) 作为高技术发展的基础,要重视科学与工程计算的研究。

(5) 要重视生命科学与信息科学中的数学理论与方法的研究。

专家们还建议在作规划时可以参考科技部 2001 年发布的《中国基础学科发展报告》数学学科部分和科技部《国家重点基础研究项目》(973 项目)“核心数学的前沿问题”项目建议书。

3. 四个主攻方向

《中国基础学科发展报告》数学学科部分选择了以下四个主攻方向。

(1) 核心数学。

(2) 非线性问题的数学理论和方法。

(3) 科学与工程计算。

(4) 应用数学。

4. 9 个前沿问题

《核心数学的前沿问题》选择了以下 9 个前沿问题。

(1) 数论与代数几何。

(2) 群与代数及其表示理论。

(3) 整体微分几何。

(4) 流形和复形的拓扑学。

(5) 现代分析。

(6) 随机分析和无穷维分析。

(7) 非线性偏微分方程。

(8) 变分理论与几何分析。

(9) 动力系统。

5. 发展规划

最近,中国科学院数学与系统科学研究院制定了发展规划(讨论稿)。该规划共分四个方面:①面向国际科研前沿方面提出 13 个重点学科领域:分析数学、数论、代数与几何拓扑、几何分析、理论计算机科学、运筹学、系统控制、概率统计、微分方程与数学物理、系统管理、离散数学、计算数学、科学与工程计算和数学机械化;②在交叉学科方面提出 11 个新的学科增长点;③面向国家战略需求方面提出 5 个研究重点;④培养和造就大批数学高级人才。

参考文献

- 1 21 世纪初科学发展趋势,科学出版社,1996
- 2 世界科技研究与发展. 2000,22(6)
- 3 《核心数学的前沿问题》973 项目计划任务书. 2000
- 4 (中科院科技发展“十五”计划)基础学科发展规划. 2000,12
- 5 科技部、基金委,中国基础学科发展报告. 2001,4

- 6 基础科学学科发展动态(2002 年度调研报告). 科学院文献情报中心
- 7 中国科学院文献情报中心. 基础科学学科发展动态,2003,1
- 8 国家自然科学基金委员会. 情况交流,(30)
- 9 中科院数学学部. 中长期科技发展规划咨询意见(讨论稿). 2003,8
- 10 中国科学院数学与系统科学研究院科研发展规划(讨论稿). 2003,8

执 笔 人:马志明

学术秘书:任南衡

2020 年中国力学科学技术发展研究

中国力学学会

序

(一) 概述

17 世纪,牛顿力学作为第一门精密科学的出现,极大地推动了数学、天文学的发展,从而启动了近代自然科学;力学是力与运动的科学,它与诸多的工程技术,如:航空、航天工程、能源工程、环境工程、化学工程、材料工程、土木工程、机械工程等有着极其紧密的关系。因此,力学是自然科学和技术科学的先导学科之一,具有基础科学与技术科学的双重属性,这种双重属性得到国际科技界的认同。

从 19 世纪开始,力学作为一门独立学科逐渐从物理学分离出来。物理学着重研究物质和时空的结构,力学则研究离散和连续介质的运动、变形、破坏、对流、扩散等动力学过程。力学在经济发展、社会进步和工程需求的强劲推动下,获得迅速发展,并不断丰富着学科自身的内容,形成了固体力学、流体力学和一般力学等传统的学科分支,并在与其他学科的相互渗透、融合中形成了一些新兴的交叉学科,如:高温气体动力学、物理力学、爆炸力学、结构力学、电磁流体力学、地球物理流体力学、环境流体力学、生物力学、微机电系统动力学、制造力学等等,在人类认识自然、适应自然,从事工程建设以及实现经济和社会的可持续发展中发挥着日益重要的作用。在力学理论支撑下取得的工程技术成就不胜枚举,在 20 世纪,人类从第一次动力飞行到人造卫星上天,实现载人航天,并进行深空探测就是一个范例。

(二) 我国力学学科发展现状分析

我国的近代力学事业始于 20 世纪 50 年代。从那时起,力学对中国现代科学发展和国民经济建设负有特殊使命,并做出了巨大贡献。从两弹一星到深潜弹道导弹核潜艇的研制,从长江大桥到三峡水利电力枢纽的建设,从三次采油到大型水轮发电机组的制造,从天气、灾害的预报到环境治理,无不反映力学的理论在生产实践中的巨大作用,无不凝聚着力学工作者和相关学科的科学家的共同心血。

50 年来,在我国建设发展过程中,党和政府十分重视力学的研究,造就了以钱学森、周培源、钱伟长、郭永怀为代表的一批杰出的力学家,促进了整个力学事业的飞速发展,使我国跻身于国际学术界的先进行列。目前,我国在国际理论与应用力学联合会(IUTAM)中有 4 名理事,1 名大会委员会委员,1 名执委会执委候选人。我国的力学期刊数已达 20 余种,其中进入 SCI 的刊物 3 种。我国已经经常主办和承办各种国际力学学术会议,仅近 20 年中国力学学会举办的国际会议就达 100 余个,国外参会代表超过 5000 人,如中国力学学会自成系列的国际会议有国际流体力学会议、国际实验力学会议等,承办的国际例会有第 20 届稀薄气体动力学学术会议、第 13 届等离子体化学学术会议、亚洲流体力学会议、国际计算力学大会等,有的会议规模达到千人,还承办过 6 个 IUTAM 的 Symposium 和 2 个 Summer School,现在正在申办“2008 年世界力学家大会”(即 IUTAM 大会)。50 年来,在各研究机构 and 高等院校建设了系列的空气动力学、水动力学、材料力学、结构力学的实验设施,成立了

诸如:非线性力学,湍流、微重力流体力学,高温气体动力学,物理海洋学,海洋工程力学,高速水动力学,两相流、计算流体力学,计算物理,大气边界层、计算地球物理流体力学、破坏力学等与力学相关的国家和部委实验室。目前,中国力学学会会员总数超过2万人,从事与力学有关研究的两院院士有60余名。从事力学基础性研究的固定人员队伍约2000~3000人。

力学是我国有传统优势的学科之一,也是一门独立的重要学科。我国学者钱学森、周培源、钱伟长、郭永怀、胡海昌等,在国际上享有盛誉。他们在喷气推进、湍流理论、空气动力学、板壳理论、航空工程、工程控制论、物理力学、广义变分原理等方面,以及李四光在地质力学、冯康在有限元法和辛算法方面所做的开创性贡献,赢得了世界力学界的尊重。我国力学学者王仁、程耿东被4年一度的IUTAM大会邀请作1小时大会专题报告,表明我国在地球动力学和拓扑优化领域具有重要国际影响。原子弹、氢弹的爆炸成功及其小型化技术的掌握,中远程导弹的发射升空及洲际导弹技术的掌握,表明我国在爆炸力学、空气动力学的研究具有世界先进水平。我国在泥沙运动力学方面的研究具有特色,在板块运动和地球构造动力学等方面具有国际水平。海外的中国力学学者已成为一支举足轻重的力量,目前国际力学界40岁左右最出色的学术带头人多来源于中国内地。我国力学研究的优势领域为:①在湍流、流动稳定性、复杂流动等流体力学领域,在本构关系、断裂、宏微观力学、计算结构力学与优化设计、光测实验力学等固体力学领域,在运动稳定性、非线性振动、结构振动与控制等一般力学领域,在爆炸力学、微重力科学等交叉学科领域,保持着一支活跃在国际学术研究前沿的研究队伍。②在板壳理论、广义变分原理等要求数学很强的力学分支取得多项开创性成果。③由我国特定条件和资源而决定的力学研究优势领域。

但从总体上看,目前与国际先进水平还有一些差距,主要表现在:近年来系统的、原创性的、重大成果并不多;在力学实验方面,实验设备和测试技术水平都还不够先进;力学研究与工程实际和交叉学科的结合上,不管是体制上还是实践上都尚存在不少亟待解决的问题。

(三) 2020年力学学科发展目标

20世纪末,我国实现了国民经济生产总值翻两番,2003年,我国人均GDP达到1000美元。目前我们又朝着全面建设小康社会,并逐步达到中等发达国家的目标奋斗。因此,未来20年内,为适应社会经济全面、协调、可持续发展的要求。我国在航空航天、海洋工程、动力能源、交通运输、矿产资源开发、污染治理与环境保护、沙漠化防治与水资源利用、化工、生物、医药等诸多方面,面临许多紧迫的发展课题,在学科发展方面,物理科学、数学科学、地球科学、生命科学、信息工程、材料工程、机械工程、环境工程、能源工程、国防科学与技术等领域都提出了大量非常重要又非常复杂的问题,需要用力学深入研究,加以解决,比如:

(1) 湍流;跨物质层次和多尺度的力学理论、纳米力学;非线性、远离热力学平衡态和其他复杂介质的力学行为。

(2) 高维非线性动力系统;高性能计算;应用于物理和生命科学的数学。

(3) 地球界面过程;气候预测的力学模型;地幔对流与火山、地震、成矿的畸理地球构造动力学。

(4) 生物医学工程中的关键力学问题;鸟和鱼类运动及仿生学,分子层次的生物力学。

(5) 纳电子学与能带工程;薄膜与多层膜的力学行为;微结构演化。

(6) 固体的强度与破坏;多场耦合;超轻多功能材料;材料制备中的力学问题。

(7) 主动控制与智能结构;微机电系统的力学;全系统虚拟化与智能化的力学设计(虚拟工程、虚拟设计、虚拟制造);多目标优化。

(8) 大气、水体、土壤污染的预报;环境、灾害的预防;人类活动和大型工程的环境影响;生产安全保证;可靠性理论。

(9) 煤的高效燃烧;清洁燃烧;风能;地热能;太阳能;生物质能等可再生能源与未来新能源的开发利用。

(10) 核禁试后的武器系统模拟技术(超高速、超高压、超高温等极端条件下的力学行为的定量描述,多物质混合的计算力学模拟,核武器虚拟实验);空天安全与空天攻防(空天飞行器、亚轨道技术与空天融合、星座动力学和自主导航、精确打击和突防能力);载人航天与0深空探测(交会对接、探月工程);战略潜艇(减噪、减阻);第4代战机与干线客机。

在21世纪,力学体系孕育着重大变革。国际理论与应用力学联合会(IUTAM)在2000年世纪回顾评估报告中提出下述新兴力学应用领域:微机电系统和机电学;主动控制;食品技术;药物输送系统;制药;植物学;生物系统;农业环境科学;信息科学。作为响应,IUTAM成立了4个新的跨学科的工作委员会来研讨力学的发展,现有的9个工作委员会为:非牛顿流力学和流变学;动力系统和机电学;材料力学;材料加工;计算流体力学和固体力学;生物力学(IUPAP, IUBMB, IUBS, IUPESM, IUPS);力学中的微纳米尺度现象(IUPAP, IUMS);地球物理和环境力学(IUGG, IUGS, IUSS);力学教育(IUHPS, IMU)。

综上所述,从国家需求和学科本身发展来看,在20年内,力学学科的发展呈如下趋势:

(1) 跨越从连续介质到原子/分子物质层次和从宇宙尺度到微细观尺度的多尺度力学理论和实验技术的发展;

(2) 非线性力学理论、计算和实验,包括:高温、高压、高应变率环境、湍流、存在分离、漩涡及其相互作用的复杂流动,有物质内自由度激发、远离化学/热力学平衡态的力学现象研究等;

(3) 光、热、电、磁、力多场耦合作用和与生命科学、天文气象、化工制药等多学科交叉的力学问题研究;

(4) 与国民经济可持续发展密切相关的环境力学与灾害力学研究,如地震、台风、森林火灾、病虫害防治、大气污染治理等;

(5) 与国家安全有关的重大力学问题,例如:高速、高机动性空天飞行器,水面和水中兵器的力学问题,精确制导兵器、激光、微波、动能等新概念武器的相关力学问题;

(6) 国家重大工程建设项目中的关键力学问题,如:核电站、高坝、大桥、采矿、高层建筑、高速列车、输油管线、高压输电、沙漠改造、节水农业等;

(7) 高新技术发展中的重大力学问题,如:微系统动力学、微加工制造技术、智能材料与结构、生命科学等,其中涉及大量力学问题;

(8) 与信息技术和计算机发展相结合而形成的新的力学分支学科,如:计算流体力学、计算结构力学、功能梯度材料的设计、制造技术、智能化虚拟模拟实验技术等。

对上述问题应结合学科发展、工程实际需求和我国的具体条件做出适当安排,并确定重点和优先研究领域如下:

2003~2020年中国力学学科的优先研究领域为:湍流和复杂流动;纳米力学;亚轨道技术与空天融合;分子层次的生物力学;跨物质层次的固体变形和强度理论;多尺度计算力学和虚拟仿真;高维动力系统的复杂运动和控制;生物医学工程;制造技术的关键力学问题;国家安全的关键力学问题;环境与灾害预测的关键力学问题。

2003~2010年的优先研究领域为:非定常流与涡运动的机理与控制;湍流运动的特征、机理和模拟;高维非线性系统的复杂动力学与控制;空天飞行器的基础科学问题研究;跨物质层次的固体变形和强度理论;纳米固体力学与纳米器件制备;多场、多相、非均匀、非连续介质的力学行为;多物质相互作用的动力学演化;多尺度模拟与多目标优化;制造技术的关键力学问题;生物组织的应力与生长;蛋白质结构的分子层次力学表征;鸟和鱼类的运动机理;典型医学诊断、治疗过程的定量化力学模拟;人类活动诱发的环境演化;断续不均匀介质中的灾害发展过程;计算非线性力学;复杂流动的高性能计算。

总之,湍流和固体的强度和破坏仍然是力学研究的基本问题,但在工程应用中,极端、复杂条件下(高温、高压、高速、非平衡;多尺度、多相、多组分、多场耦合)各种介质的力学行为是新世纪对力学

工作者的挑战。鉴于过去 50 年老一辈力学家奠定的坚实基础和目前国家的经济发展水平和实力,可能对科学研究和人才培养给予相当强度的支持和投入,我们认为,经过 20 年的努力,中国力学应当、也有可能缩小同美国、俄罗斯两个领先国家的差距,并在发达国家如:英、法、德、意等诸国中逐渐居于领先地位。

(四) 实现 2020 年发展目标的重大措施和建议

(1) 力学是关于力与运动的科学,它同物理学有明确的分野。力学不仅是航空、航天工程的主要支撑学科,而且对于认识非线性和混沌现象起了关键作用。它促进了数学、计算、天文学、动力气象学、海洋物理学、水利科学、生物力学等学科的发展。不仅是通常的工程技术,即使是高技术要实现规模生产,也离不开机械装置。力学学科对于促进科学发展和推动工程技术进步的作用是不可取代的。因此,必须保持力学学科是一门独立的基础科学的长期稳定地位。

(2) 增加和合理安排对力学及其交叉学科研究的投入。力学的研究方向要根据学科发展趋势和国家经济建设的需求,结合国家经济实力和国情,突出重点,做出“有所为,有所不为”的抉择。大部分的力量和经费应该投入与国计民生和国家安全直接有关领域的研究。也要关注远期的基础和探索性研究;学科的交叉、融合,相互渗透,往往是新技术、新学科的生长点,因此,在制定规划时要特别注意交叉学科的发展。

(3) 钱学森、郭永怀、庄逢甘规划建设空气动力学研究发展中心为我国半个世纪来的航空、航天事业发挥了重大作用。因此,应当高瞻远瞩地及时做出重大实验装备的规划,加大重要的基础设施、装备和配置先进测量仪器的投入,研究所和高等院校要发挥各自的优势,分工合作,使我国力学实验设备进入世界先进行列。

(4) 建立公正、公平、合理的科研成果和科学人才的评价体系。把研究成果的创新性和所解决科学问题的重要性列在评价体系的首要地位,发表论文的数量和期刊的档次也是评价指标之一,促进原创性有国际影响成果的涌现。优秀人才的评价标准是:创新思想、研究水平、组织能力和学术作风。

(5) 合理规划力学人才的培养。在一流的高等院校,应以培养有创新思想的高素质的力学理论研究人才,以弥补当前理论分析人才的不足;多数学校可以结合某一具体工程技术方向来培养力学人才,这样做,可以发挥各高等院校自己的特色,提高我国工程技术水平,也能满足国家日益发展的经济建设的需求。

一、力学—生物学耦合及其应用

(一) 意义和需求

生物系统既是一个化学系统,亦是一个物理系统。作用力广泛存在于生物系统的各个领域和层次。力学—生物学耦合作为存在于生命体各层次的普遍现象,人们对其规律的认识远未达到以生物化学为出发点的、传统生命科学研究水平。其重要性不仅来自于对不同力学环境下生命现象和生物学过程认识的需求,而且也是重大技术发展的基础。在基础层面上,蛋白质间相互作用的力学—化学耦合是功能蛋白质组学的重要研究内容,在蛋白质结构基础上定量认识蛋白质结构—功能关系取决于其结合与解离动力学及其作用力影响规律。认识单个细胞的力学行为及其与周围环境(如细胞、基质、表面等)相互作用对循环生理、肿瘤转移、疾病模式等具有重要意义,而关于亚细胞组元动力学过程的定量认识是构建细胞与分子水平信息整合的桥梁。干细胞的自我更新、高度增殖和多向分化能力为修复或替代组织、器官的缺陷或伤残提供了可能,而认识在模拟生理条件下力学因素影响其运动、增殖、分化和凋亡规律是临床应用的必要基础。心血管病作为危害人类生命健康最严重的疾病之一,其发病学基础和基本病理过程与血液流动、血细胞和血管的变形、血液和血管的相互作

用等力学因素密切相关。此外,飞行与游动的力学效应对动物的生理学、生态学、动物行为及进化具有重要影响。

在应用层面上,力学—生物学耦合是药物设计、生物微系统、组织工程、心血管疾病防治以及人造机器等应用领域的重要基础,具有重大技术发展背景。对游离或束缚的生物大分子与分子探针相互作用定量规律的充分认识将有助于蛋白质芯片、芯片实验室和细胞生物微系统的建立和有效应用,以及药物设计平台(尤其是药物与靶标的亲和性和活性中心的筛选)的建立。组织工程之所以受到普遍重视是因为它是一个巨大的产业,而能否产业化的关键除了细胞生物学和材料科学外,还取决于力学可控工程化培养和组织力学性能检测的成熟程度。空间生命科学研究是适应人类认识空间(空间实验室、空间站、登月计划、火星探测等)和外星移民的需求,微重力环境下细胞生物学响应是空间细胞生物学的基本科学问题,而空间生物技术及其地面应用将有助于药物筛选、肿瘤疾病模式建立等方面。心血管疾病(诸如动脉粥样硬化、血管狭窄等)治疗需要基于血流动力学与血管重建的评价平台,而计算机辅助手术在骨整合和康复领域中的应用预示着基于应力分析、有限元模拟和图像处理的技术平台在临床治疗中的巨大潜力。利用仿生力学原理改进人造机器将有助于微型飞行器、机器昆虫、机器鱼等重要战略领域的发展。

总之,以促进人类健康为目标、以重大技术需求为背景的力学—生物学研究符合当前及今后相当时间内的科技发展趋势,体现着生命科学与工程科学交叉融合特点和由宏观向微观深入、宏观与微观相结合的发展大趋势。我国目前已在细胞—分子生物力学、组织工程力学问题、力学可控细胞三维培养、血流动力学及心血管工程、骨力学和仿生力学等领域有良好的基础研究积累,并在临床预防、治疗、预后等方法学和诊治技术与装备研发等应用领域做出了有益的贡献。一批受过良好交叉训练的青年人才队伍已经成为其主力军。已建立了先进的实验平台、技术平台和临床检测系统。为今后研究工作的开展提供了良好的基础。

(二) 研究内容

近期(2010年以前):

(1) 分子—(亚细胞)—细胞层次的生物力学及其整合规律。

(2) 骨科、口腔和康复工程领域面向病人的计算机辅助手术 CAS(Computer—Aided—Surgery) 中的关键生物力学技术问题。

远期(2020年以前):

(1) 血管疾病发病机理的生物力学基础和应用研究。

(2) 飞行与游动的生物运动力学和仿生技术。

(三) 关键科学问题

本着“有所为、有所不为”的原则,建议在分子—(亚细胞)—细胞生物力学、计算机辅助的关键生物力学技术、血管疾病发病机理的生物力学基础与应用、飞行与游动的生物力学等方面开展重点研究。

1. 分子—(亚细胞)—细胞层次的生物力学及其整合规律

由宏观向微观深入、宏观与微观相结合是当今生物力学发展的大趋势。作为生命体的基本单元,细胞层面上力学—化学—生物学耦合效应的研究,形成了多学科交叉、结合的焦点;其主要研究内容包括在不同力学环境下细胞发育、生长、增殖、分化,细胞对作用力的感受、响应及其与周围环境(细胞、基质、界面等)的相互作用,生物学模式的形成等生物学过程规律。作为主导细胞生物学变化的大分子,蛋白质的力学—化学—生物耦合效应研究,促进了对蛋白质结构—功能关系的进一步认识。其主要研究内容包括生物大分子的力学行为及其与化学过程的关联、耦合,构象变化以及力学—化学信号转导,不同力学环境下生物大分子间(如抗体/抗原、受体/配体等)特异性相互作用的定量测

定和物理描述及结合与解离的反应动力学规律,分子马达/分子灯塔的调控规律等。此外,作为连接细胞与分子层次的桥梁,亚细胞(细胞器)水平的动力学过程及其调控规律研究将为生物信息整合提供必要的基础数据和研究方法。

关键科学问题:

- (1) 个体细胞力学行为(运动、变形、黏附、分裂、铺展等)的定量检测及模型化。
- (2) 力对干细胞分化、增殖和凋亡,以及力学与化学因素协同作用对细胞粘附分子表达和信号转导的影响规律。
- (3) 蛋白质间相互作用动力学、结构-功能关系及功能态,以及作用力影响受体-配体解离的定量描述和物理图谱。
- (4) 力作用下亚细胞组元动力学行为,以及与细胞和/或分子层次的信息整合。
- (5) 微重力环境下细胞的生物学效应,以及力学可控的细胞/组织三维培养新技术。

2. 骨科、口腔和康复工程领域面向病人的计算机辅助手术 CAS(Computer - Aided - Surgery)中的关键生物力学技术问题

近年来,基于现代计算机辅助设计(CAD)、辅助制造(CAM)及计算机图像识别和三维重建技术的面向病人的 PISA (Personalized Implants and Surgical Aids)或 CAS(Computer - Aided - Surgery)技术无疑成为骨科、口腔和康复工程临床领域的重要发展方向。以口腔种植牙手术为例,种植牙手术由于在患者的颌骨中种植人造牙根(即种植体),以颌骨和种植体作为支持和固位,比传统假牙有固位好、咀嚼效率接近于真牙、美观舒适、无异物感、对发音影响小等优点,近年来越来越多地被临床所采用。然而,尽管在术前都经过仔细的计划,种植牙手术还是经常失败,比如常见的种植体松动和脱位等。这些手术的失败,除了生理、病理性原因外,种植体的构型设计、手术的具体操作,以及植入后引起的应力环境的巨大改变和种植体周围骨的适应性重建都是重要的因素。

现有大量研究都表明,了解种植体及周围骨中的应力分布,对建立从生物力学角度评价种植牙手术的方法有重要意义。由于实验的局限性,有限元应力分析被广泛用于牙种植体及周围骨中应力分布的仿真计算。由于几何形状的复杂性,牙种植体及周围骨的有限元建模仍然是一项很艰巨的工作,现有的有代表性的三维有限元模型都是由 CT/MRI 图像,采用基于几何描述的方法建立的。然而,这种基于几何描述的方法,在定义非规则的、尤其是内部有空洞和分叉的多连通物体时比较困难。现有的种植牙及颌骨的有限元模型,要么是依靠手工定义单元节点及它们相互之间的关系,要么采用断层图像外轮廓线的识别(手工或自动),然后用有限元软件包(如 ANSYS, ABQUES 等)进行自动网格剖分。在一些研究中,往往对于种植体周围的颌骨只取一个六面体或几何规则的骨块。这种简化在机理性的理论研究中是合理的,然而不能反映患者个体颌骨的真实几何信息和骨状态,因而无法直接用于临床对手术进行预测、评价。显然,在此领域里现有的以基础研究为基本意图的有限元建模方法不适宜于建立包含应力分析的 PISA 软件系统。基于体素的有限元建模方法是随 3D 图形图像技术的发展而出现的一种新的建模方法,适用于拓扑结构复杂的对象的自动建模。为了建立包含应力分析的 PISA 软件系统,本文根据体素有限元的建模要求,针对目前临床应用最多的骨内种植体(Endosseous Implant),开发了适合牙种植体及颌骨特点的体素有限元建模平台。

关键科学问题:

- (1) 骨整合的生物力学:展载荷对植入体骨整合关系、植入体对周围骨重建影响的生物力学研究。
- (2) 基于体素的有限元建模和求解算法的研究。
- (3) 骨生长、吸收、改建的数值仿真算法研究。
- (4) 口腔正畸、修复等领域的多层次(宏观、细胞等层次)口腔生物力学研究;骨、软组织损伤、愈合、重建的生物力学研究。
- (5) CAS 生物力学应用软件和仪器开发,开发 1~2 项生物医学工程软件和 1~2 项各具有独立