

一般力学（动力学、振动 与控制）最新进展

黄文虎 陈 滨 王照林

主 编

63
13

科学出版社

一般力学（动力学、振动 与控制）最新进展

黄文虎 陈 滨 王照林 主编



科学出版社

1994

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书论述一般力学(动力学、振动与控制)当前国内外发展现状及今后发展趋势。全书由 25 篇文章组成,其具体内容包括:非线性动力学,分叉,混沌,运动稳定性,复杂多体系统动力学及控制,分析力学,天体力学,随机振动,振动主动控制,模态分析及参数识别。

一般力学(动力学、振动与控制)最新进展

黄文虎 陈 滨 王照林 主编

责任编辑 李成香

执行编辑 王家瑶 杨亚政

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国力学学会办公室微机排印小组排版

北京大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994 年 5 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

1994 年 5 月第一次印刷 印张: 12 3/4

印数: 1—1300 字数: 316500

ISBN 7-03-004052-X/O·708

定价: 17.00 元

前 言

国家自然科学基金委员会为了充分发挥基金制对全国范围基础研究和部分应用基础研究的指导作用, 决定开展学科发展战略研究工作, 以便在明确国内外发展状况和趋势, 并结合中国实际的基础上, 形成对各基础学科和应用基础学科的发展战略思想, 为国家自然科学基金委员会制定《项目指南》提供依据, 也为国家科技事业的发展规划提供学术依据。

国家自然科学基金委员会力学学科发展战略研究组和中国力学学会一般力学专业委员会于1993年7月28-30日在哈尔滨共同召开了“一般力学(动力学、振动及控制)发展与展望学术讨论会”。会上提供的25篇专题报告, 从不同方面对近代一般力学学术领域的研究动态及最新进展, 对今后发展的展望进行了较系统、深入而又概括的综述与探讨。这些报告不但对国家自然科学基金委员会力学学科的发展战略提供了科学的基础资料, 而且对我国从事一般力学及其相应学科的广大科技工作者也提供了重要的参考资料。因此将这25篇专题报告编印成论文集出版, 以飨读者。

一般力学是力学三大分支之一, 它是一门基础性学科, 又有很强的应用背景。随着科技的发展, 一般力学的研究对象有了很大的扩展。近代一般力学研究复杂系统的动力学、振动与控制等问题, 这也是当前国际科技界研究的前沿课题之一。现代数学理论和方法的巨大成就为近代一般力学的发展注入了新的血液; 当代大型高速电子计算机和求解大规模问题的有效算法为近代一般力学的发展和进一步的工程应用提供了强有力的手段; 当代高新技术产业, 例如航天、航空等产业的发展, 当前我国经济建设高潮中大量工农业工程项目的建设, 都向一般力学提出了广泛的要求。我们看到, 近代一般力学正面临着一个蓬勃发展的时期, 呈现出旺盛的生命力。我们希望, 我国从事一般力学及其相关学科的科技工作者共同努力, 把握好这一机遇和挑战, 共同促进我国一般力学学科的蓬勃发展。

由于本论文集编辑时间较紧, 并限于编者的水平, 书中会有不当之处, 请广大读者批评指正。

本论文集是在国家自然科学基金委员会数理学部力学学科的组织与支持资助下成书的。中国力学学会办公室对本论文集的出版给予了鼎力支持, 谨致谢忱。

编 者

1993年8月

目 录

我国当前一般力学(动力学、振动与控制)研究的若干重要课题	
.....	黄文虎 陈 滨 王照林 (1)
非线性动力学、分叉和混沌	陆启韶 黄克累 (11)
非线性振动、分叉和混沌的最新进展与展望	陈予恕 (19)
工程动力学中的非线性和混沌	徐健学 (30)
关于分析力学的学科发展问题	梅凤翔 陈 滨 (37)
系统族动力学:问题与特点	黄 琳 王 龙 (46)
复杂控制系统的对称性及相似性结构研究	张嗣瀛 (52)
运动稳定性的研究进展和趋势	舒仲周 王照林 (60)
微重力充液系统大幅晃动动力学及其在航天高技术中的应用	
.....	王照林 张乃恭 (68)
振动、波与辛数学	钟万勰 (75)
柔性多体系统(FMS)动力学研究的若干问题	陈 滨 (91)
多柔体系统动力学研究的若干进展	陆佑方 冯冠民 王 彬 (98)
多体系统动力学中的几个问题	朱 明 (105)
复杂多体系统计算动力学	洪嘉振 (114)
随机振动理论及其应用	方 同 (123)
非线性随机振动理论研究进展及在工程上应用	张相庭 (132)
非线性随机振动理论的近期进展	朱位秋 (140)
振动主动控制研究现况与展望	丁文镜 (147)
复杂结构系统动力学的若干问题	朱德懋 顾仲权 (155)
大型柔性空间结构动力分析研究	郑兆昌 侯之超 (162)
复杂结构的振动分析方法	邹经湘 黄文虎 马兴瑞 (168)
航天器动力学的若干问题	马兴瑞 苟兴宇 邵成勋 黄文虎 (179)
天体力学与航天器轨道力学	刘 林 (193)
冲击动力学的发展与展望	舒仲周 谢建华 (198)
动力学与控制计算机辅助设计中的若干问题	叶庆凯 (205)

CONTENTS

The nowadays urgent problems of dynamics, vibration and control in our country	Huang Wenhui Chen Bin Wang Zhaolin (9)
Nonlinear dynamics, bifurcation and chaos	Lu Qishao Huang Kelei (18)
Theory and applications of nonlinear vibration, bifurcation and chaos ..	Chen Yushu (29)
Nonlinearity and chaos in engineering mechanics	Xu Jianxue (36)
On the developments in analytical mechanics	Mei Fengxiang Chen Bin (45)
System family dynamics: problems and characteristics	Huang Lin Wang Long (51)
The research of symmetrical and similar structure of complex control systems	Zhang Siying (59)
The advance and tendency in the study of stability of motion	Shu Zhongzhou Wang Zhaolin (67)
On the large-scale amplitude sloshing dynamics of liquid-filled system under low-gravity environments and its applications in space technology	Wang Zhaolin Zhang Naigong (74)
Vibration, wave and symplectic mathematics	Zhong Wanxie (90)
Some issues on dynamics of flexible multibody systems	Chen Bin (97)
Recent developments in dynamics of flexible multibody systems	Lu Youfang Feng Guanmin Wang Bin (104)
Some topics in dynamics of multibody systems	Zhu Ming (113)
Computational dynamics of multibody systems	Hong Jiazhen (122)
Random vibration theory with applications	Fang Tong (131)
Recent advances in nonlinear random vibration theory and its application to engineering	Zhang Xiangting (139)
Recent developments in the theory of nonlinear random vibration	Zhu Weiqiu (146)
Present state and prospect of active control of vibration	Ding Wenjing (154)
Some dynamics problems of complex structural systems	Zhu Demao Gu Zhongquan (161)
A research on the dynamic analysis of large flexible space structures	Zheng Zhaochang Hou Zhichao (167)
Vibration analysis methods of complex structure	Zou Jingxiang Huang Wenhui Ma Xingrui (178)
Some problems on spacecrafts dynamics	Ma Xingrui Gou Xingyu Shao Chengxun Huang Wenhui (192)
Celestial mechanics and orbital mechanics of spacecraft	Liu Lin (197)
The advance and tendency in the study of impulsive dynamics	Shu Zhongzhou Xie Jianhua (204)
Some problems in computer aided design of dynamics and control	Ye Qingkai (211)

我国当前一般力学（动力学、振动与控制）研究的若干重要课题

黄文虎

陈滨

王照林

(哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150006) (北京大学, 北京 100871) (清华大学, 北京 100084)

提要 本文论述了一般力学(动力学、振动及控制)在近代科学技术发展中所处的地位,指出了近代一般力学正呈现出旺盛的生命力,同时工程实际也向一般力学提出了广泛的需求.在此基础上对我国当前一般力学(动力学、振动及控制)研究的若干重要课题提出了我们的意见,包括:非线性动力学、运动稳定性、多体系统动力学、近代分析力学以及以振动为主的生产实际中迫切课题的应用基础研究等.最后对一般力学研究提出了几点看法.

关键词 一般力学(动力学,振动与控制),非线性动力学,运动稳定性,多体系统动力学,近代分析力学

一、一般力学在近代科学技术发展中所处的地位

1. 一般力学的研究范围及学科发展概况

一般力学是力学三大分支之一.按照《力学词典》^[1]的说明,一般力学研究牛顿力学的一般原理和一切宏观离散系统的力学现象,还包括某些新兴的学科,如陀螺力学、振动理论、运动稳定性理论、控制理论、机器人学等.国家自然科学基金《项目指南》^[2]则把一般力学的资助范围定为:主要研究宏观离散系统(如质点、质点系、刚体、多刚体系统等)的力学现象,还研究某些与工程技术有关的新兴学科,如动力学、控制与运动的稳定性,非线性力学中的分叉、混沌、突变和孤立子等问题.国际上,近代一般力学的主要研究内容概括为“动力学、振动与控制”.这是当前国际科技界非常活跃的研究领域之一.

一般力学传统的研究范围侧重于宏观离散系统的力学现象.随着科技的发展,近代一般力学的研究范围已有了很大的扩展.除了继续研究力学原理以及动力学一般理论外,近代一般力学的研究对象可以分为三个层次:

- (1) 有限自由度离散系统的动力学、振动与控制;
- (2) 复杂多体系统,即包含多刚体,多柔体,多充液腔的多体系统耦合的动力学、振动与控制;
- (3) 复杂大系统动力学,即包含有机电 - 磁 - 计算机控制与智能以至包含生物体的大系统的研究.复杂大系统是由对自然对象的天体,生物体等到工程对象,如机械,车辆,机器人,航海器,航空器,航天器等抽象而来.其特点是多学科的交叉和各分系统间的强耦合和强非线性,其动力学行为很复杂.复杂大系统的动力学、振动与控制的研究是一般力学的一个重要的研究方向.

一般力学的研究方法是，以力学原理为基础，在一定的力学抽象下，建立理论的、数值的或实验的力学模型。应用数学理论分析，计算机数值仿真或实验等手段，来研究力学系统的规律性。在数学分析方面，应该充分应用现代的数学方法和计算手段。在仿真方面（包括数值仿真，半数值半物理仿真），要解决建模理论，辨识理论，动力学分析和模拟，控制的分析和综合等问题。要重视一般力学的实验研究。

一般力学是一门基础性学科，同时又具有很强的、直接的自然科学和工程技术应用的背景，在近代科技发展中占有重要的地位。

回顾历史，一般力学可以说是近代力学和近代科学技术的始祖。自从 18 世纪牛顿力学建立，以及其后 Lagrange, Hamilton 等人建立的分析力学达到如此完美的境界，一般力学在科学技术发展中曾有过一段辉煌的时代。一般力学发源于天体力学的研究，它对物理学、数学的发展都起到过巨大的推动作用。其后自产业革命以来，在工业技术的发展中，力学曾大显身手。郑哲敏先生 1992 年 12 月 26 日在中国力学学会四届二次理事会上，曾做了一个关于近代力学发展的精辟报告，论述了近代力学的基础性、探索性的超前研究及其对当代产业，例如航空、航天产业发展的主导作用。空气动力学，固体力学等取得的成就令人惊叹；现代新兴学科，诸如生物力学，非平衡态力学等等的进展也引人注目。相形之下，一般力学似乎显得有些黯然失色。一般力学学科究竟应如何发展？它在当代科学发展中究竟处何地位？一般力学将如何重振雄风？都是需要我们深入探讨的问题。

2. 近代一般力学呈现出旺盛的生命力

学科发展的动力，一是由于学科自身发展规律的推动，二是由于工程实际和科学技术发展需求的牵引。在这两方面推动下，近代一般力学正面临着一个蓬勃发展的时期，呈现出旺盛的生命力。应该看到，在国际上，这门学科当前正处于活跃的科学技术发展的前沿。

以一般力学的基础——分析力学而言，纵然经典分析力学在 19 世纪以来已发展到如此完美，在科学技术中曾发挥过如此重大作用，然而近三十年来，分析力学的研究和发展已发生了根本的变化。促进这种变化的主要原因有两个，一个是微分几何的进步，用以得到更几何化、更本质的观点。这种观点充满着物理学（例如规范场论），特别是力学。另一个因素是大范围分析即流形上分析的近代进展，使得近代分析力学又焕发着生命力^[3]。

非线性动力学是最近二三十年来取得突破性发展的一个极为活跃的领域。在 19 世纪末 Poincaré 首先从几何和拓扑学观点对天体力学问题进行定性研究，他的工作和思想对非线性动力学的发展有着深远的影响。本世纪 60 年代以来，随着近代科学技术的迅速发展，许多非线性力学问题急需解决，以及大型高速电子计算机和有效的求解大规模问题算法的出现，使得人们能够对非线性问题进行大量的数值计算和仿真，揭示了极其丰富的非线性动力学现象^[4]。确定性非线性动力学系统的混沌运动的发现，使人们对非线性动力学系统的长期演化行为的认识，进入到一个前所未有的世界。它表明，经典力学体系的动力学具有异常丰富的内涵，而混沌的研究把经典力学体系的动力学推进到一个新阶段。这一巨大的成就，是关于动力学理论具

有基本意义的突破性进展。它对自然科学和工程技术各种非线性领域的研究具有启发性和方法论的普遍意义。当今非线性动力学的研究，无论从广度到深度，都以空前的速度向前发展，成为近代一般力学的一门很重要的分支。

运动稳定性是一般力学的重要分支，它是由 Lyapunov 的工作所奠基的。其后由于控制理论发展的推动，获得了极大的发展，现今其触角已深入到工程技术、自然科学以及社会、经济、生态、管理诸多领域，它的理论和方法，可说已成为耗散结构论、协同论、突变论等横断学科建模的基础^[6]。Lyapunov 关于运动稳定性的奠基工作在科学上如此重要，以至于 1992 年《国际控制杂志》又全文翻译发表了他在 100 年前发表的划时代的经典论文。在力学和控制领域，它在下面几个方面表现得十分活跃。非线性系统的稳定性理论获得了长足的发展，尤其是分叉和混沌的研究更促进了对稳定性的深入研究。由诸如刚体 - 柔性体 - 液体等组成的复杂系统，以及由分散控制的子系统耦合组成的大系统的稳定性理论是当前十分活跃的课题。不确定系统的鲁棒稳定性问题更是当前最活跃的前沿课题。

多体动力学的研究是在空间飞行器和机器人为代表的当代科技发展需求的推动下发展的，并在车辆、飞机等运动物体动力学与控制及机构等诸多领域得到应用。它的发展又是与当代计算机和计算技术的蓬勃发展密切相关的。由于它的巨大的应用价值和理论意义，这个领域在国际上被认为是“目前应用力学方面最活跃的领域之一”。在 1988 年美国关于控制的未来研究方向报告中，把“柔性和混合结构的动力学与控制”列为重点研究项目^[17]。计算机的发展和运用，大大推动了多刚体和多柔性体系统及大型复杂多体系统动力学的发展。

从上面几点极不完全的对一般力学的回顾与展望，可以看出，第一，从一般力学学科自身的发展规律来看，还存在广大的未被认识的世界，有待我们去探索和开发。一个新的发现，例如混沌的发现，往往可以开辟一个崭新的领域。如何把握住这些有长远影响的发展方向，是我们当前的一个重要任务。第二，学科的发展水平，还有赖于当前科学技术的发展水平。新的数学理论和方法，以及当代计算机技术是提高学科发展水平的有力手段。要善于敏锐地运用新的数学理论和方法，来提高一般力学的研究水平。

3. 工程实际向一般力学提出了广泛的需求

工程实际的需求是学科发展的强大的推动力。恩格斯说：“社会上一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”当前我国处在经济建设的高潮，大量的工程项目正在建设中，工程的设计，工程问题的分析处理，产品质量的提高，设备的有效运行和故障排除等等，都提出了大量的一般力学的研究课题。下面略举航天和旋转机械为例。

我国的“八六三”高科技计划和载人航天计划向我国科技工作者提出了大量的研究课题。航天技术面对着诸如高速、高温、高压、高真空、深冷、微重力、高过载、高强度等极端状态，从而要求解决一系列前所未遇到的科学、技术问题。

大型复杂系统是我们所面对的航天器和运载火箭的主要特点。航天器和运载火箭一般由多个刚体和柔性体组成，对它的研究推动了多体系统动力学理论和方法的

发展。如果考虑到飞行器上带有多个液体贮箱，贮箱壁带有柔性，又在微重力环境下工作，再考虑到电池阵板和天线的展开，机械臂的运动，燃料的消耗，液体的晃动，飞轮等控制元件的影响，那么我们面对的将是一个时变的、流-固耦合的、非线性的多柔性体系统，这给一般力学提出了复杂的课题。

航天器所承受的载荷主要是复杂的动态载荷，在发射、在轨运行、返回过程中，要对运载火箭各级发动机点火、燃烧终止、级间分离，对空间飞行器的变轨、姿态调整、各种附件展开、交会对接、组装、再入大气层及着陆撞击等各阶段的动载荷进行响应分析。由于航天器构形复杂，因而模态密集，模态试验和分析较困难，特别阻尼值分散度较大，其中困扰问题之一是非线性问题。这许多复杂的问题都向一般力学提出了很高的要求。

空间飞行器的轨道设计、变轨控制和姿态控制是很复杂的控制问题，特别是控制系统的稳定性是一个十分突出的问题，历史上曾经有过不少因设计不周而出现失稳或降低性能的实例。近年来正在深入研究的鲁棒稳定性理论将为飞行器的稳定性做出重要贡献。

以上讲的是航天技术。实际上在工农业生产中，更存在大量的科技问题，迫切需要一般力学来解决。例如困扰机械产品的振动问题、噪声问题、精度问题、可靠性问题等等，是大至大型汽轮发电机组，小至录音机电机，以及汽车、风扇、洗衣机、电冰箱压缩机等等，无处不遇到的问题。

以汽轮发电机组为例，可以列举迫切需要深入研究和解决的问题有：各种自激振动问题；转子动平衡问题；叶片及叶片组、轮盘耦合系统的动态优化设计问题及失谐叶片模态局部化问题；基础-轴承-转子耦合系统分析；振动的被动控制及主动控制；高速旋转机械振动故障诊断理论及方法研究，等等。

其他还可列举高速汽车的操纵性和稳定性，高速列车的“爬行”问题，舰船的航行稳定性，高耸建筑的抗震设计及振动主动控制，电力设备中的机-电耦合振动，充液管道系统的振动，石油勘探中的地层参数反演方法和井下力学，以及机械制造中的各种振动问题等等。一般力学研究也要适应生产实际的迫切需求，面向工程实际，解决生产难题；同时凭借工程实际的推动力，反过来也能促进一般力学学科本身的向前发展。

二、一般力学研究中的若干重要课题

一般力学(动力学、振动与控制)包含着丰富的研究内容。从学科发展的规律及趋势来看，其中有的领域在国内外的研究更为活跃，形成了若干学科发展的前沿课题，对它们的研究将影响和带动相关学科的发展。这些课题应该成为重点研究的课题。我们认为，一般力学(动力学、振动与控制)基础研究的重要课题为：非线性动力学，复杂多体系统动力学，振动理论，控制理论，运动稳定性理论以及近代分析力学等。在面向工程实际，适应经济建设的需求方面，则以振动问题最为突出，包括复杂系统的模态分析及实验，随机振动，结构的动力稳定性，振动的控制以及振动分析的各种反问题等。当然一般力学研究的重要课题远不止此，还有许多有意义

的问题，不一一列举。

1. 非线性动力学

非线性动力学已从经典的以摄动法、渐近分析的方法研究弱非线性、弱耦合系统的阶段，进入到近代的更深入地研究系统的复杂行为的阶段，中心的问题是分叉和混沌。

分叉不仅揭示了系统的不同运动状态之间的联系和转化，而且与失稳与混沌密切相关，是研究失稳与混沌产生的机理和条件的重要途径。近年来国内外学者进行了大量的研究，提出了多种研究分叉的理论和方法，如奇异性方法，Poincaré-Birkhoff 规范形方法，幂级数法，摄动法，次谐 Melnikov 函数法，后继函数法和 Shilnikov 法等，还有其他多种方法。当前受到研究者关注的课题有：多参数分叉问题，高阶退化系统的高余维分叉问题，对称性破缺系统的分叉，向量场范式理论，特别是退化范式理论等，都取得了重要的进展。

混沌是本世纪重要的科学发现之一，近年来对它的研究十分活跃。我国学者在分叉和混沌领域做出了许多有意义的工作，除了参加国外的学术活动，在国内召开的几次国际和国内的非线性动力学会会议上展示了大量成果。总的说来，对混沌运动的研究还正处在其发展阶段，还远未达到成熟的地步。

当前混沌研究主要在以下四个方面展开^[4,5]：

(1) 产生混沌的机理和途径

从规则运动通向混沌的道路多种多样，至今人们知道了四条典型的通向混沌的道路：倍周期分叉，准周期分叉，间歇过渡（阵发混沌），KAM 环面破裂，还会有其他可能的道路，尚待进一步研究。

(2) 混沌的判据和统计特征

判断或预告混沌出现的方法有多种多样，如数值方法，谱分析方法，利用 Poincaré 映射方法，Lyapunov 指数方法，胞映射法，符号动力系统法等等。由于现在人们对混沌尚未取得完全的共识，而且有时用不同方法判断的结论也有差别，有待更广泛的研究。

(3) 奇怪吸引子和吸引域的几何结构

1963 年 Lorenz 发现的奇怪吸引子，以及其他一系列发现，标志着混沌研究的正式开端。吸引子是耗散系统运动相空间的特征。在耗散系统的运动过程中，相体积是收缩的。耗散系统的混沌经常存在分形结构的奇怪吸引子。确定吸引子及其吸引域边界的分维数有助于判断吸引子的“奇怪性”。

(4) 混沌的控制和应用

此项研究有重要的实际意义。非线性动力学有着丰富的研究内容，分叉和混沌是当前研究的主要内容。还有诸如非线性参数激励振动的复杂动力学行为等一系列需要研究的问题。下面是一些值得加强研究的重要课题^[4]：

1) 继续对各种动力学系统开展深入的研究，包括力学中的参数激励系统、流固耦合振动系统、张弛振动系统、时滞振动系统、碰撞系统以及多自由度多频系统等，以至生态学、生物力学、化学、近代物理学、经济学及社会学中的非线性动力学问

题,全面地分析其复杂的动力学行为,特别是分叉、混沌、吸引子和吸引域等,来丰富非线性动力学的理论和方法;

2) 现代数学理论与方法的应用. 如近代微分几何,光滑映射和流形,李群和李代数,辛几何等,以及奇异性理论,规范形和群论方法等,已在发挥和将发挥更巨大的作用;

3) 高维和无限维动力学系统的分叉和混沌;

4) 混沌运动和随机运动的辨识;

5) 分叉和混沌的控制和应用;

6) 分叉和混沌的有效算法和软件研究,以及非线性振动问题的实验研究.

2. 运动稳定性

力学系统的运动稳定性理论,对线性系统已经比较成熟,如何应用于解决工程实际问题则还有大量工作可做;对非线性系统,则难度较大,并且与分叉、混沌密切相关.对于充液腔体的运动稳定性问题,自从 Rumyantsev 于 50 年代用 Lyapunov 函数进行研究以来,已取得很大进展.我国学者在这方面做了许多工作.王照林等将充液系统视为无限维 Hamilton 系统,应用约化理论得到 Hamilton 结构,应用能量-Casimir 方法分析了充液系统的运动稳定性.最近又发展成为能量-动量方法.当前对微重力,大幅晃动动力学与稳定性也取得了一定的进展.在多体碰撞振动系统方面,我国学者也取得成果.

关于控制系统的输入、输出稳定性,当前的热点有大系统的稳定性和不确定系统的稳定性等.对规模庞大,结构复杂,功能众多,通常由多个互相耦合的子系统组成的大系统,一般采用分解-集结法.在子系统是渐近稳定的条件下,寻求使大系统稳定的内联项需要满足的条件.可以构造矢量 Lyapunov 函数,或是对子系统的标量 Lyapunov 函数加权求和.大系统的另一控制策略是递阶控制,例如高为炳等^[16]采用了动态协调系统的递阶控制来解决大系统的控制稳定性问题.

不确定系统的鲁棒控制是控制理论的一大发展.任何实际系统都具有无法避免的各种不确定性,因而可以说一个实际系统能够运行的基本条件不是它的稳定性,而是它的鲁棒稳定性.鲁棒稳定性的问题已经有多年的研究,提出了多种方法,如基于系统奇异值的方法, H_∞ 的优化设计方法等等.1978年原苏联数学家 Kharitonov 发表了关于区间多项式的四顶点定理的论文,1982年开始引入控制领域,是控制系统鲁棒稳定性理论发展的一个划时代的转机.其后这一思想得到了广泛的研究和发展.我国学者黄琳等人^[7]推广为边界定理,突破了四顶点定理的许多限制,使鲁棒稳定性的研究进一步深入.

在运动稳定性研究方面,下面是一些值得研究的重点课题:

(1) 非线性系统的运动稳定性理论研究;

(2) 刚-弹-液-控制组合的复杂多体系统的运动稳定性理论研究;

(3) 大系统稳定性理论研究;

(4) 不确定系统的鲁棒稳定性理论研究;

(5) 分布参数动力系统的稳定性与镇定的研究.

3. 多体系统动力学

当前多刚体动力学的建模与计算的研究已比较成熟. 当多体系统中包含有柔性体或充液腔时, 其动力学现象就大大复杂化了^[11,15]. 它的特点是系统构件的变形运动(分布参数)和其大的“刚性”运动(离散参数)之间有着复杂的动力学交耦. 这是传统的变形体力学没有深入涉及的领域. 在复杂多体系统动力学的研究中, 要注意其构成多体系统的关节的柔性与非线性效应. 当构件发生大变形运动时, 几何非线性也是重要的因素. 复杂多体系统的控制也有一系列挑战性的课题. 以下的课题值得重点加以研究:

- (1) 复杂多体系统动力学建模方法的研究;
- (2) 复杂多体系统动力学建模的程式化方法与计算效率的研究;
- (3) 大变形及大晃动的复杂多体系统动力学研究;
- (4) 方程求解的 Stiff 数值稳定性的研究;
- (5) 变拓扑结构的多体系统动力学与控制;
- (6) 复杂多体系统动力学中的离散化与控制中的模态截断的研究;
- (7) 多体系统动力学在各种实际问题, 特别在运动体动力学与控制中的应用.

4. 近代分析力学

分析力学是一般力学的理论基础. 一般力学以至整个应用力学各个领域的发展都可以在分析力学的研究中找到它的根源. 分析力学是经典物理的基石之一, 同时和数学理论的发展紧密相联系. 近代分析力学的研究正在把动力学理论推进到本质上的新阶段, 对物理学, 数学以及整个力学有着巨大而深远的科学意义. 以下一些课题值得重点加以研究:

- (1) 约束是分析力学最为重要的概念之一. 对约束的各种情况和各种形式, 建立它的力学理论、数学理论并研究它和系统动力学的关系;
- (2) 力学系统的对称性, 守恒性与积分流形的研究;
- (3) 应用现代数学理论, 发展“几何动力学”理论. 这种发展有可能为非线性动力学, 稳定性理论, 计算动力学奠定坚实的理论基础;
- (4) 无限维分布参数系统动力学和其离散化有限维系统动力学之间的关系和过渡的严格理论.

分析力学的研究需要长期不懈的努力和支持才能取得重要的成果.

5. 以振动为主的生产实际中迫切课题的应用基础研究

一般力学(动力学、振动与控制)研究一方面要按照学科发展的规律, 开展基础研究; 另一方面也要面向工程实际, 参与解决生产实际中的问题, 并且从生产实际中提出课题, 反过来促进学科的发展.

一般力学面向工程实际, 可有几个不同的层次; 第一, 参与解决生产现场的技术问题; 第二, 参与我国重大工程项目的科技攻关; 第三, 参与工程设计的全过程, 为工程设计建立精细的力学模型, 来指导工程设计. 为了能做到以上要求, 必须开展一般力学的应用基础性的研究.

当前我国许多工程项目和产品的设计, 正面临着从静态设计向动态设计的转变,

因此工程实际中提出的迫切课题多数属于与振动有关的问题，可以对下面这些课题结合工程实际的背景开展应用基础研究：

(1) 复杂结构的振动模态分析及试验技术

包括：复杂结构的建模及振动分析方法；振动参数识别的频域方法和时域方法及结构修改；结构的动态优化设计；复杂结构的振动分析软件；复杂结构振动的试验技术等。

(2) 随机振动

- 1) 非线性随机振动分析方法；
- 2) 非平稳随机响应分析；
- 3) 随机系统的稳定性与分叉；
- 4) 随机变量参数系统的振动分析；
- 5) 随机有限元与随机边界元；
- 6) 随机振动系统的可靠性分析。

(3) 自激振动

各种自激振动的研究，如：轴系油膜振荡及气流振荡，压气机喘振，机翼颤振，火箭 POGO 振动，汽车前轮摆振，输电线晃动，结构动力失稳等。

(4) 各种耦合振动问题

如固 - 液 - 控制系统的液体晃动问题；机械 - 电磁耦合系统的振动；气动 - 热 - 弹性 - 控制耦合问题等。

(5) 振动控制

包括：振动的被动控制；振动的主动控制；柔性机械臂振动控制的逆动力学方法等。

(6) 动力学反问题

包括：振动系统参数识别；特征值反问题；微分方程反问题方法在振动系统中的应用；结构振动故障诊断技术等。

三、对一般力学研究的几点看法

1. 一般力学作为基础研究和应用基础研究，第一，要抓住有长远影响的研究方向，并给予较长时间、较系统的支持，以期取得较系统的成果，在国内外占有相应的地位，推动学科的发展，或对生产产生较大的影响。第二，要鼓励和支持那些新的思维，新的概念，新的构思，它们往往孕育着新的学科方向的产生。当然，在这方面也要允许失败。

2. 一般力学的持续深入发展，并不断获得新的生命力，有赖于先进的数学工具和实验手段。要敏感地关注新数学理论和方法，每当引入新的数学理论和方法，就会使一般力学研究占领新的制高点，获得新的生机，取得突破性的进展。同时也要关注日新月异的计算机技术的最新发展，充分利用最新的计算手段。实验技术及实验装备的发展也是突飞猛进，新的商品化的测试仪器不断涌现，为发展先进的实验技术提供了充分的条件。要使理论分析、数值计算和实验研究互相促进。实验研究

往往是发现新的现象和新的规律的一个重要手段。

3. 要注意交叉学科的发展。学科的划分不是一成不变的。随着科技的发展,原有的学科会不断地纳入新的内容。例如,通常连续介质力学不纳入经典一般力学的范畴。但固-流耦合、气动-热-控-弹性力学,以及多柔性体系统动力学的研究,已把近代一般力学的研究范围扩大到某些弹性体和流体,这也是合理的,不能因为门户所囿就不去研究这些系统的动力学行为和稳定性问题。交叉学科往往是新方向、新学科的生长点,应该予以特别的注意。

4. 一般力学的研究也要面向工程实际,从工程实际的大量迫切课题中选择那些具有共性,又能促进生产发展的课题开展应用基础研究,作为生产发展的技术储备和后盾。这些课题的研究往往反过来提出理论课题,促进学科的发展,成为学科发展的动力和源泉。

参 考 文 献

- [1] 力学词典,中国大百科全书出版社,1990
- [2] 1993年度国家自然科学基金指南,中国科学技术出版社,1992,11
- [3] 梅凤翔,陈滨.关于分析力学的学科发展问题.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [4] 陆启韶,黄克累.非线性动力学、分叉和混沌.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [5] 陈予恕.非线性振动、分叉和混沌理论及其应用.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [6] 王照林.运动稳定性及其应用,高等教育出版社,1992
- [7] Bartlett A C, Hollot C V, Huang L. Root locations of an entire polynomials. *It suffices to Check the Edges. Math. Control, Signals and Systems*, 1988,(1):61-71
- [8] 洪嘉振.复杂系统计算动力学.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [9] 马兴瑞,苟兴宇,邵成勋,黄文虎.航天器动力学的若干问题.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [10] 方同.随机振动理论及其应用.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [11] 王照林,张乃恭.微重力充液系统大幅晃动动力学及其在航天高技术中的应用.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [12] 黄琳,王龙.系统族动力学:问题与特点.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [13] 舒仲周,王照林.运动稳定性的研究进展的趋势.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [14] 陆佑方,冯冠民,王彬.多柔体系统动力学研究的若干进展.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [15] 陈滨.柔性多体系统(FMS)动力学研究的若干问题.一般力学发展与展望讨论会,哈尔滨,1993,7
- [16] 施志存,高为柄.大系统的动态递阶控制.自动化学报,1987,13(2)
- [17] Fleming W H(Chairman). Report of the Panel on Future Directions in Control Theory A Mathematical Perspective. Published by the Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, 1988

THE NOWADAYS URGENT PROBLEMS OF DYNAMICS, VIBRATION AND CONTROL IN OUR COUNTRY

Huang Wenhua Chen Bin Wang Zhaolin
(Harbin Institute of Technology) (Peking University) (Tsinghua University)

Abstract In this paper the importance of the field "Dynamics, Vibration and Control"

has been reviewed. It is pointed out that nowadays an exuberant vitality of this field is appearing, and a wide demand of engineering and industry to this field is arising. On the basis of the above mentioned situation a view of our opinion is presented about the urgent subjects of research work in the field of Dynamics, Vibration and Control in our country. They are Nonlinear Dynamics, Stability of Motion, Dynamics of Multibody Systems, Modern Analytical Mechanics, and the basic applied research work featured by vibration problems in engineering and industry, and so on. Finally some opinions about the research work of this field are presented.

Key words General Mechanics (Dynamics, Vibration and Control), Non-Linear Dynamics, Stability of Motion, Multibody System Dynamics, Modern Analytical Mechanics

非线性动力学、分叉和混沌

陆启韶

黄克累

(北京航空航天大学应用数理系, 北京 100083) (中国科学院理论物理研究所, 北京 100080)

提要 本文综述了非线性动力学, 特别是分叉和混沌的主要概念和研究现状, 简要地评述了该领域的发展趋势, 最后对今后研究方向和措施进行了一些讨论.

关键词 非线性动力学, 分叉, 混沌

一、引言

大多数力学问题的本质都是非线性的, 它们一般由非线性方程描述. 自从 17 世纪牛顿奠定了经典力学的基础之后, 到了 19 世纪末, 力学已经形成了相当完整的理论体系. 在此期间, 力学主要放在定量研究上. 对于非线性的力学方程, 人们除了直接寻求它们的封闭形式的分析解之外, 还经常用线性化方法化为线性近似方程去求解. 然而, 理论和实践分析都发现, 非线性方程在大多数情形下不存在封闭形式的分析解; 此外, 线性化方法有很大的局限性, 只有在一定条件下才能给出较准确的结果. 因此这些方法不能满足非线性力学问题研究的需要.

在 19 世纪末, Poincaré 首先从几何和拓扑观点对天体力学问题进行定性研究, 他的工作和思想对非线性科学的发展有着深远的影响. 本世纪 60 年代以来, 随着近代科学技术的迅速发展, 许多非线性力学问题急需解决. 大型高速电子计算机和有效的大规模算法的出现, 使得人们能够对非线性问题进行大量的数值计算和仿真, 揭示了极其丰富的非线性动力学现象. 各种现代数学理论的涌现为非线性研究提供了强有力的理论工具. 于是, 近 20 年来, 非线性动力学无论从广度到深度都以空前的速度向前发展, 成为当前十分活跃的力学分支. 它与其他自然科学和工程技术中的非线性研究紧密联系在一起, 汇成非线性科学的洪流, 对传统的科学观念产生强烈的冲击, 成为近代科学技术的重要前沿领域.

非线性动力学研究非线性力学系统各种运动状态的定性和定量变化规律 (即动力学特性), 尤其是系统的长时间演化行为. 当前非线性动力学的中心课题包括分叉、混沌、分形、孤立子、拟序结构、图象生成和演化等. 概括地说, 非线性动力学的主要任务是探索非线性力学现象的复杂性. 非线性力学系统按照本身的特点, 可以分为 (对时间) 连续或离散的、有限维或无限维的、耗散或保守的、确定或随机的、光滑或非光滑的等类型, 因此非线性动力学涉及十分广泛的范围.

本文主要围绕分叉和混沌的基本概念、研究现状和今后发展趋势作一些述评, 并探讨我国开展非线性动力学研究的方向和措施. 在参考文献中只列出一些重要的专著和综述文章, 读者可以根据它们找到详尽全面的文献目录.

* 国家自然科学基金、国家基础性研究重大项目《非线性科学》和航空科学基金资助课题.