



## 第一届全国动力学与控制学科青年学者研讨会简介

黄志龙<sup>1</sup> 甘春标<sup>1</sup> 张伟<sup>2</sup> 孟庆国<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 浙江大学机械与能源工程学院, 杭州 310027

<sup>2</sup> 北京工业大学机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022

<sup>3</sup> 国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085

动力学与控制(原一般力学)为一门应用性很强的基础学科, 主要研究离散或连续系统中的动态响应与控制问题。近年来, 随着科学与工程技术的迅速发展, 国内外对动力学与控制的研究越来越活跃。通过与生物、信息、航空航天、建筑、机械等其他学科的交叉与融合, 我国学者在动力学与控制的理论和应用研究方面已取得了许多新进展, 逐步在缩小与国外先进研究水平的差距。进入 21 世纪以来, 国家按照轻重缓急和紧迫程度, 就支持关系国民经济发展的国家重大工程建设关键技术、重大引进技术消化吸收、军民两用技术等亟待解决的重大技术问题及战略问题等, 对今后科技发展的重点领域和优先发展主题进行了重新部署。如何结合动力学与控制学科自身的特点, 配合国家“十一五”科技发展规划, 解决或部分解决相应重点领域与优先发展主题中的力学特别是动力学与控制方面的问题, 也自然成为摆在本科领域中的学者面前的一大主题。

为了深入交流和探讨动力学与控制学科已取得的成果、今后的发展新趋势和面临的挑战性科学问题, 加深青年学者对履行历史使命的责任感, 促进青年学者间的交流, 由国家自然科学基金委员会数理科学部发起, 国家自然科学基金委员会数理科学部和中国力学学会一般力学专业委员会主办的“动力学与控制青年学者学术研讨会”于 2007 年 5 月 31 日~6 月 3 日在浙江杭州顺利召开。本次研讨会由浙江大学黄志龙教授负责组织, 甘春标教授协助会议的承办工作。研讨会邀请到了若干著名学者以及从事动力学与控制研究的 29 位优秀青年学者, 为他们提供了一次深入交流、寻求合作的机会。

在本次研讨会上, 浙江大学校长杨卫院士为参加本次研讨会的各位学者介绍了浙江大学的概况, 并做了题为“低维结构的分子动力学”的特邀报告, 详细介绍了他们研究小组用超级计算机对碳纳米管等用分子动力学模拟所发现的一些新现象。国家自然科学基金委员会数理科学部力学科学处孟庆国研究员做了题为“力学学科资助模式分析”的特邀报告, 就力学学科现状分析、力学学科存在的问题、力学需重点关注

的领域、力学学科资助模式分析、建议和措施等 5 个方面做了详细的阐述。报告提出, 目前动力学与控制学科领域的研究内容过于集中, 根据实际需求凝练重要科学问题、解决科学问题的能力不强, 因此急需加强面向国家安全、高新技术及重大工程装备等国家需求而开展的理论与方法的研究。国家杰出青年科学基金获得者、中国力学学会一般力学专业委员会主任委员张伟教授在其特邀报告“动力学与控制十一五规划”中, 详细介绍了规划纲要、建议优先资助的领域及重要科学问题, 大体包括以下几方面的内容: (1) 高维非线性系统的复杂动力学、全局分叉和混沌动力学; (2) 时滞系统的非线性动力学与控制; (3) 随机系统非线性动力学与控制; (4) 复杂作用下新型材料结构和连续体的非线性动力学; (5) 流体-弹性体-刚体耦合系统动力学与控制; (6) 含有碰撞和非光滑/非完整约束的变结构系统动力学与控制; (7) 极端状况下重大装备中的非线性振动与控制; (8) 复杂网络系统的非线性动力学; (9) 微/纳尺度系统动力学与控制等。

根据本次与会的青年学者的报告, 研究内容主要可归纳为以下几个方面:

### 1 非线性系统的复杂动力学

张伟在其学术报告“非线性非平面运动悬臂梁的多脉冲混沌运动”中介绍了近年来对非线性非平面运动悬臂梁主共振-主参数共振-1:2 内共振情况的多脉冲同宿轨道和混沌动力学的研究结果。通过计算单脉冲、多脉冲同宿轨道的 Melnikov 函数以及满足开折条件的零点, 论证了系统会出现 Smale 马蹄意义的混沌, 数值地得到了悬臂梁的二维和三维混沌图、二维波形图和 Poincaré 截面图, 并进一步对方形截面悬臂梁进行了混沌振动实验研究, 首次在方形截面悬臂梁空间振动中发现了多脉冲跳跃轨线。吴志强的报告“非线性动力学理论与应用研究若干问题”给出了复杂非线性动力学的几何结构框架, 弄清了复杂性层次, 提出全局轨道网络衍生的动力学行为是非线性动力学研究的重点和难点。报告总

总结了揭示非线性系统大范围动力学行为的“全局分析”的方法和途径,并指出:非线性动力学工程应用的突破,依赖于工程级规模的分岔分析软件开发。毕勤胜在其报告“非线性系统的复杂性”中,探讨了初始相差引起的非线性系统的复杂性及耦合内共振非线性系统的复杂性,分析了两耦合混沌系统之间内共振条件下的混沌相位同步现象,发现混沌相位同步存在两个不同的门槛值,指出相位混沌同步现象的产生或消失与耦合系统的 Lyapunov 指数之间存在一定的关系,并讨论了参数激励混沌系统中的不同比率的混沌相位同步。王勇在其报告中介绍了高速公路车流的最显著的动力学特征:流量并不是密度的单调递增函数,自由流动和阻塞流动的相互转变是灾变性的,并且存在迟滞回线。其通过建立一个包含主路车流与进出口车流相耦合的拟稳态交通流模型,利用 Galerkin 截断而将其变为 4 阶非线性常微分方程。基于此模型,从动力学角度分析了迟滞回线现象:自由流动和阻塞流动的相互转变过程是亚临界 Hopf 分岔和双环(double-cycle)分岔。张正娣应用非线性动力学理论,探讨了非线性波动方程的解的存在性,分析各种非线性因素、边界条件以及拓扑空间中可能存在的奇异线对系统解的结构尤其是各类孤立子的影响,并进而讨论了各种扰动对其行为的影响及其各种不同解之间的相互作用过程,揭示其复杂动力学行为的一般性规律和可能存在的新现象。姚明辉在其报告中首先介绍了研究多脉冲轨道和混沌运动的两种解析方法:能量相位法和广义 Melnikov 方法。鉴于在四维相空间中很难给出对系统动力学行为的直观的几何描述,因此其分别利用能量相位法和广义 Melnikov 方法从不同的几何角度研究了多脉冲轨道和混沌动力学。通过近几年的研究,这两种方法已经得到了改进和推广,并利用这两种方法的推广形式分析了面内载荷和横向载荷联合作用下四边简支薄板的多脉冲轨道和 Shilnikov 型混沌运动。

## 2 时变或时滞系统的非线性动力学与控制

吴志刚的报告“时变系统控制的哈密顿系统正则变换与生成函数方法”基于经典分析力学中哈密顿系统的正则变换和生成函数理论,研究了线性时变系统最优控制和  $H_\infty$  鲁棒控制的理论与计算问题。报告的具体内容包括:利用第二类生成函数的性质构造了新的时变控制律形式,避免了末端时刻出现无穷大的反馈增益;证明了生成函数方法与传统方法所得到的状态反馈  $H_\infty$  控制器的等价性;利用正则变换导出了控制律计算的保结构算法,以求解包括时变 Riccati 微分方程在内的耦合矩阵微分方程组。李鸿光在其报告“滞回系统的非线性动力学分析和实验信号处理”中,简单介绍了滞回系统的工程背景、国内外研究进展、滞回振动系统的渐近解法以及分叉与混沌行为。报告指出,在研究中应当关注滞回系统的试验建模方法,从非线性振动理论和信号分析两方面进一步研究滞回机械系统中的特征提取和参数识别问题。

## 3 随机系统非线性动力学

黄志龙的报告“随机激励的强非线性系统响应的一些研究进展”首先简要介绍了随机激励的耗散的哈密顿系统理论的研究内容及研究方法,然后提出用等价单自由度强非线性随机系统的精确平稳解代替原系统的精确平稳解的求解新方法,得到了几类新的非能量依赖的单自由度强非线性随机系统的精确平稳解,最后利用广义谱和函数建立了具有分数阶导数阻尼的单自由度强非线性系统的随机平均法,并用随机平均方程得到了系统的稳态概率密度及李亚普诺夫指数的解析表达式。甘春标在其报告“周期激励导向下噪声诱发的点集蔓延型混沌途径”中,介绍了工程应用或实验中所采集信号的杂乱性这一现实背景,提出对杂乱信号进行随机非线性动力学识别这一研究课题及其潜在的应用。报告总结了其近年来的部分研究成果,给出了一些对随机非线性振动系统的动力学分析的理论及数值研究方法以及杂乱信号的部分分类和相应的识别手段,并指出了在周期激励导向下非线性振动系统中由噪声诱发的通向混沌的一些可能途径。许勇在其报告中介绍了目前非线性随机动力学的研究现状:主要结果是在 Gauss 白噪声激励下得到的,而 Gauss 色噪声或非 Gauss 噪声激励下的随机动力学研究较少。其针对一类在 Gauss 色噪声激励下的非线性复微分方程,利用随机平均法分离了系统的快变与慢变过程,结合摄动法和算子理论给出了可解性条件,得到了系统的精确平稳解,并推广了白噪声情形的结果。

## 4 复杂作用下微机电等系统的非线性动力学

张文明的报告“微机电系统(MEMS)动力学与控制”通过结合微机电系统(MEMS)中呈现出的尺度效应和新特征,介绍了此系统对动力学理论和方法所提出的一些新挑战,如静电驱动 MEMS 中的吸合效应、刚度软化效应、微转子系统中的滑流效应等。报告指出,随着高精密、复杂 MEMS 的超速发展,对其动力学与控制方面的研究提出了越来越高的要求,也提出了许多值得关注的科学问题, MEMS 动力学与控制的研究正逐渐成为一个新的前沿方向和研究领域。张志谊在其报告“重质流体中的结构振动与声辐射控制”中,为大家介绍了其近年来在此领域的主要研究内容以及研究成果,包括:复杂结构中的振动传递与声辐射规律;流固耦合振动的时域分析方法;高阶系统的振动与声辐射控制方法;结构与控制中的非线性因素对声辐射控制的影响等。

## 5 含有碰撞和非光滑/非完整约束的变结构系统动力学与控制

王天舒在报告“柔性多体碰撞系统的模态时变性研究”中,介绍了用模态法建立含点面接触碰撞的系统动力学方程,并与行波法和有限元法的结果进行了验证和对比。其研究结果表明,碰撞引起柔性体的力边界条件变化和应力波传播是导致模态时变性的两个原因,它们在常见的频繁碰撞和斜

碰撞问题中凸现出来,从而影响了模态法进行动力学分析的精度,说明将模态法应用于柔性多体系统碰撞问题的研究具有较大局限性。申永军介绍了对齿轮系统的非线性动力学的部分研究进展,分析了齿轮系统非线性动力学分析中常用的3类方法:解析方法、数值方法和实验方法,重点讨论了通过不同方法得到的不同动力学现象,同时介绍了其在该领域所取得的一些成果以及今后在该领域深入研究的一些新思想。郭树起在研讨会上介绍了不连续动力学系统解的存在性、唯一性和稳定性。首先,向量场的不连续性使得解可能不存在,此时需要扩展解的概念,Caratheodory解和Filippov解是其中的典型代表。其通过引入微分包含,给出了典型的唯一性和存在性定理;其次,为判断解的稳定性,引入了非光滑分析的工具,并主要介绍了Lipschitz函数的广义梯度和下半连续函数的近次微分;最后建立了广义的Lyapunov定理和Lasalle不变原理。

## 6 复杂网络系统的非线性动力学

古华光在其报告“可兴奋系统兴奋节律的非线性动力学特性的实验和理论研究”中,对非线性动力学在生物节律方面的应用进行了详细的介绍,报告总结了其在神经和心脏节律在参数空间的分岔序列结构、噪声对神经和心脏节律分岔点的影响、神经放电随机自共振机制、神经和心脏的随机节律和混沌节律的鉴别与区分、神经放电动态节律形成的分岔机制和神经编码机制以及心肌细胞团的节律形成(网络)等方面的研究进展。王青云的报告“神经网络的时空动力学”为大家介绍了神经系统这一复杂的、多层次的、与噪声关联和具有时滞特性的网络系统。报告指出,此系统的非线性动力学行为复杂且丰富,而时空动力学是非线性神经动力学所研究的热点问题且面临着巨大的挑战。报告总结了其在一维神经网络的序簇同步和复杂波动、噪声对二维格子神经网络同步和序及其时空斑图演化的作用等方面的研究进展,给出了序簇同步的变迁过程和复杂波动的演化趋势,并得到了一些新颖的非线性结果。谭宁在报告中指出,网络可看作是研究复杂系统的最基本模型。其利用离散动力学模型,研究了复杂网络系统的演化方式及功能网络设计。通过数值模拟和分析,发现网络中的收敛路径的存在主要依赖于系统不动点的类型,进而对吸引子类型与网络拓扑结构之间的关系

进行了探讨,并解析地得到了设计“具有指定全局不动点”的最简网的充要条件,指出模块设计是设计“具有收敛轨道”的网络的充分条件。

## 7 航空航天领域的动力学与控制

岳晓奎的报告“基于机器视觉的空间目标识别和相对定姿”首先介绍了空间探索中出现的在轨维护、燃料加注、机动变轨/规避、目标跟踪/抓捕/打击等一系列空间操作新问题,指出目标的快速、精确相对定轨/定姿是解决上述问题的关键。其在报告中提出了基于机器视觉的目标识别与相对导航这一研究思路,给出了基于数学形态学和航天器动力学的目标特征提取与相对定姿新算法,为解决同类空间应用问题提供了重要价值。张景瑞在其报告“灵敏小卫星部分执行机构失效时的姿态控制问题研究”中,首先介绍了航天器姿态控制系统的数学模型和三轴姿态稳定控制率设计问题,进而给出了MCMGs的灵敏小卫星部分陀螺失效时的奇异性分析和带来的控制系统设计,并通过数值仿真对比分析了失效前后的姿态控制效果。其仿真结果表明:一个陀螺的失效大大降低了MCMGs的力矩输出能力,导致了更多显奇点的出现。角动量包络也明显的变小,而陀螺群将很快饱和。报告最后指出,陀螺群的操纵率设计是一个需要进一步研究的问题。陈务军的报告“空间可展结构展开动力学分析理论方法和问题”介绍了其在新型空间可展结构体系及航天应用技术、相关结构设计、非线性结构力学分析理论以及动力学分析理论方法等方面的研究成果。其通过建立有效的空间可展构架系统的展开动力学模拟方法,开展了基于可展构架体系的非线性展开的动力学分析的理论与方法的研究,同时进行了大型复杂空间可展结构系统的展开动态过程的模拟分析。宝音贺西的报告“深空探测中的非线性动力学与控制问题”介绍了深空探测任务设计中相关的非线性动力学与控制问题,并指出其中的一些共性的、科学性的问题,如:拉格朗日点Halo轨道动力学与控制、不变流形上的轨迹设计、小推力遍历探测、姿-轨-结构耦合非线性动力学问题等等。

由以上参加此次研讨会的青年学者的报告内容可了解到,目前在动力学与控制学科领域,吸引了越来越多的有着良好研究基础和发展态势的青年学者,他们在此领域已经取得了有一定影响的研究成果。通过国家所提供的更好的科研条件与技术平台,无疑他们今后将取得更多更突出的成绩。