



第二届全国动力学与控制青年学者研讨会 会议纪要

为了深入交流动力学与控制学科已取得的成果,探讨今后的发展趋势和面临的挑战,促进青年学者间的交流,加深青年学者对履行历史使命的责任感,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联合主办,由陕西师范大学承办的“第二届全国动力学与控制青年学者研讨会”于2008年9月20~23日在陕西西安召开,中国力学学会一般力学专业委员会主任委员张伟教授担任会议主席,陕西师范大学生命科学学院古华光副教授、任维教授等组织该次会议。

本次研讨会参会代表50余人,其中包括特邀代表10人,青年代表40余人,分别来自全国近30个单位。特邀代表包括胡海岩院士等国家杰出青年科学基金获得者6人。青年代表要求为40岁以下的优秀青年学者,绝大多数为国家自然科学基金获得者。

国家自然科学基金委员会数理科学部力学处处长孟庆国研究员和中国力学学会常务理事、中国力学学会一般力学专业委员会主任张伟教授分别代表主办单位基金委和一般力学专业委员会致辞,阐明会议的目的和意义;中国力学学会副理事长、北京理工大学校长胡海岩院士代表中国力学学会致辞,对青年学者今后的工作提出了期望;陕西师范大学副校长萧正洪教授代表承办单位致辞,欢迎与会的各位代表,并介绍了陕西师范大学的有关情况和动力学与控制学科在该校的发展状况。

本次研讨会收到学术论文42篇,在会上做学术报告共36人。内容覆盖了动力学与控制的4个分支学科:非线性动力学、多体动力学、分析力学和航天动力学与控制。不仅涉及学科发展的前沿问题,还涉及了国民经济发展的国家重大工程建设关键技术问题。不仅有高深的理论研究,也有复杂的实验研究。充分体现了与航空航天、机械、建筑、信息、物理、生物等其他学科的交叉与融合。

大会特邀报告8个。国家自然科学基金委员会数理科学部力学处孟庆国作了题为“对力学学科发展的思考”的报告,对我国力学学科的发展状况、发展策略

和存在的问题、力学学科的资金资助情况进行了综述，提出了对力学学科和青年学者发展的建议。胡海岩应邀作了“漫谈动力学实验研究”的报告。该报告回顾了实验研究在经典动力学形成过程中所起的启蒙性、奠基性作用，指出动力学实验在当代工程动力学研究中具有不可替代的重要地位。通过近 20 个实例，介绍了动力学实验对动力学分析、设计和控制研究带来的启发和推动作用，进而呼吁青年学者关注和投身于动力学实验研究。张伟、杨绍普、徐鉴、陈立群、王在华、郭永新也应邀分别作了题目为“高维非线性系统的复杂动力学中的一些问题”、“滞后非线性系统动力学与工程应用”、“时滞诱发的系统动力学行为分析”、“轴向运动黏弹性梁的横向非线性振动”、“求时滞系统 Hopf 分岔周期解的迭代算法”和“物理学与力学中的几何动力学”的报告，介绍了他们在各自研究上所取得的进展和成果。

根据本次与会代表的报告，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

张伟的特邀报告分析了高维非线性系统的复杂动力学的研究现状和主要进展，对于一些工程系统中存在的高维非线性系统的复杂动力学问题进行了举例分析，包括航空航天工程、土木工程和机械工程中的一些高维非线性动力学问题。说明在高维非线性系统中存在着复杂动力学现象，例如多脉冲同宿和异宿轨道和 Shilnikov 型混沌动力学。陈立群的特邀报告总结所领导的课题组在轴向运动黏弹性梁横向非线性振动方面的近期工作。用坐标变换方法建立轴向运动黏弹性梁平面耦合运动控制方程，用数值方法考察两种横向模型与耦合模型的差异，发展了分析连续陀螺系统的渐近摄动法。分别应用多尺度法和渐近摄动法分析黏弹性梁的参数振动和受迫振动，并用差分法和微分求积法对解析结果进行数值验证。利用分岔图和从数据中计算的 Lyapunov 指数等，研究变速运动梁的非线性动力学行为；姚明辉的报告“利用广义 Melnikov 方法研究黏弹性移动梁的多脉冲轨道和混沌动力学”，考虑线性外阻尼和材料内阻尼等因素，利用积分型本构关系，运用广义 Hamilton 原理建立轴向移动黏弹性梁的匀速、变张力情况下的平面非线性运动方程，并对轴向移动黏弹性梁的力学模型的非线性动力学方程进行无量纲化，得到轴向移动黏弹性梁面内横向振动的运动控制方程。为了避免陀螺线性

项和陀螺非线性项所带来的研究困难，直接利用多尺度法和 Galerkin 离散方法对偏微分形式的控制方程进行研究，得到了 1: 2 内共振和主参数共振情况下的平均方程。利用规范形理论对平均方程进行化简，利用近可积系统的广义 Melnikov 方法研究黏弹性移动梁平面内横向振动的多脉冲轨道和混沌动力学。计算多脉冲混沌运动的广义 Melnikov 函数，求解满足开折条件的零点，从而论证了系统会出现 Smale 马蹄意义的混沌。最后，数值模拟黏弹性移动梁的混沌运动。理论分析和数值模拟表明黏弹性移动梁会出现不同形状的 Shilnikov 型多脉冲混沌运动。

曹东兴作了题为“L 型梁结构非线性动力学研究”的报告。论文主要对柔性 L 型梁结构平面振动的非线性动力学特性进行理论和实验研究。(1)首先建立 L 型梁结构平面的运动控制方程，利用多尺度方法对 L 型梁结构的运动方程进行摄动分析，利用数值方法研究其分岔和混沌特性。(2) 建立机械柔性梁结构的振动实验平台，利用实验方法研究 L 型梁结构的混沌振动特性，通过对实验数据进行波形图、相图和频谱分析，确定 L 型梁结构周期运动和混沌运动的振动状态，给出实验条件下该系统产生混沌运动的参数条件。杨晓东作了题为“轴向运动板横向振动固有特性分析”的报告。研究了轴向运动板的横向振动问题。首先利用 Hamilton 原理得到轴向运动板横向振动的运动微分方程，分别利用复模态方法和微分求积法求解沿运动方向及垂直于运动方向的模态、固有频率及临界速度。分析了长宽比及刚度对各阶固有频率及临界速度的影响，讨论了第(1, 2)阶及第(2, 1)阶固有频率之间有趣的联系。分别用多重尺度方法及平均法分析加速度运动板的参激振动问题，研究了各参数对失稳区域及其范围的影响。张正娣作了题为“非线性波动方程解的相互作用”的报告。应用非线性动力学理论，探讨了非线性波动方程的单模态解的性质及存在条件，并进一步考虑这些解之间的相互作用，提出了一种描述方程多模态解的新方法，并在 Vakhnenko 方程中验证了该方法的可行性。计算表明方程的某些单模态解可以通过各种非线性叠加的形式形成方程的多模态解，这些单模态解可以具有不同的性质，如 Kink-wave, Soliton, Compacton 等，也可以具有不同的波速。这些结果为深入研究非线性波动方程的复杂性提供了一个新的途径。

毕勤胜作了题为“含多时间尺度的非线性动力系统的若干问题”的报告。介绍了多时间尺度非线性系统的国内外研究背景和发展趋势,讨论了3类典型的多时间尺度系统的复杂动力学行为,给出了快慢 Lorenz-Stenflo 不同簇发的分岔过程,分析了周期激励下广义蔡氏电路在多时间尺度下不同分岔共存、周期簇发、概周期簇发以及混沌过程中的局部概周期行为,研究了真实化学反应系统中的多时间尺度效应,指出了其中不同振荡、尤其是加周期分岔以及不同混沌簇发的分岔机制。文桂林报告了“基于投影混沌同步的振动抑制技术”。提出了基于投影混沌同步的振动抑制技术,其特点是在机械工程领域正面利用混沌特性。利用混沌的类随机的连续谱特性抑制振动噪声的线谱,利用混沌同步解决机械系统难以维持持续的混沌振动的难题,利用不同系统混沌同步解决驱动系统的构建问题,利用投影混沌同步的比例因子可以任意缩放响应系统的响应幅值的特点,提高隔振系统的隔振性能,解决了传统机械设计以及一般意义的混沌同步方法都无法解决的线谱抑制与隔振性能之间的冲突。李鸿光报告了“摩擦系统的振动试验和实验信号处理”,对电梯滑动导靴与导轨之间的摩擦振动特性进行了实验研究,并利用经验模态分解(EMD)分析了实验信号。首先通过振动实验数据的分析和比较,总结了滑动摩擦力随诸如正压力、相对位移、相对运动速度、润滑状况等参数的变化情况,分析了摩擦力在微滑动和宏观滑动阶段的摩擦特性。然后使用中值滤波和 EMD 相结合的方法处理实验中所测得的摩擦力信号,通过与其他方法得到的结果比较可以看出,EMD 方法能够获得较为合理的、具有物理意义的处理结果,为后续实验建模奠定了基础。

李鹤作了题为“基于径向基神经网络的混沌时间序列嵌入维数识别”的报告,应用自回归移动平均理论建立了混沌时间序列的径向基函数神经网络的预测模型。提出了以粒子群优化算法为基础的径向基函数神经网络训练算法,通过计算不同相空间重构维数下径向基函数神经网络的预测输出与原始混沌时间序列的相关系数的方法,来确定重构相空间嵌入维数的方法。根据上述方法,分析了汉语语音基本因素元音[a]、[o]、[e]、[i]、[u]、[Äu]的非线性动力学特征,计算了6个元音的嵌入维数,重构了它们的相空间,从重构的相空间吸引子来看元音[a]、[o]、[e]、[i]、[u]、[Äu]的时间历程具有混沌运动的特征。王勇作了题为“具有带宽受限的自主控制多车辆系统的稳定性与性能研究”的报告。自主控制多车

辆系统是近些年来自动控制与交通系统研究的热点之一。研究了一类具有传感器和执行器带宽受限的自主控制多车辆系统的稳定性及其在干扰下的系统响应性能。给出了系统在反馈增益参数空间的稳定性区域，同时计算了系统对于外界干扰响应的 H_∞ 范数。

2 时滞或滞后系统的非线性动力学

徐鉴在特邀报告中总结了近年来同济大学动力学与控制研究小组针对时滞系统取得的系列研究成果，其中包括时滞与平衡点稳定性的关系、时滞诱发的系统周期、概周期和混沌运动以及时滞与系统全局动力学的关系，重点从机理上探讨时滞与系统动力学的关系。报告的主要内容有：时滞对系统的定性影响、时滞诱发的双 Hopf 分岔和相应的新的研究方法、时滞吸振器的作用机制和吸振效果、时滞神经网络的动力学以及时滞与吸引域分形的关系等内容。王在华在特邀报告中介绍，时滞系统是一类无穷维动力系统，Hopf 分岔在这类系统中普遍存在。然而要确定分岔方向和分岔周期解的稳定性或求出分岔周期解的近似表达式则是一件相当繁琐的事情，常用的方法是采用中心流形约化方法和规范形理论，涉及大量繁琐的符号计算。为了克服这个困难，王在华针对具有奇对称性的时滞系统，提出了两种迭代求解格式，可以很方便地得到分岔周期解的近似表达式。算例表明在分岔点附近，只需要经过一两次迭代即可求得精度很高的近似周期解；杨绍普的特邀报告“滞后非线性系统动力学与工程应用”，充分阐述了他们在滞后非线性系统中的动力学理论进展，以及工程实际应用。

3 非光滑/约束系统的动力学问题

屈世显所做的题为“一类不连续映象的非线性动力学”的报告，回顾了具有不连续性系统动力学研究的历史及现状，特别介绍了这类系统中由于不连续性与不可逆性相互作用所造成的有新特征的动力学现象，例如：边界碰撞分岔、V 型阵发、由于不连续性和不可逆性相互作用造成的映孔、映孔导致激变、映孔导致的吸引子共存等。并以一个既不连续又不可逆分段线性映象为例，展示了上述现象；龙新华报告了“悬臂梁在谐波振子冲击激励作用下的擦边分岔研究”，向大家介绍了一悬臂梁在周期谐波振子冲击作用下的实验和数值研究。该研究的实验装置由一顶端带有质量块的不锈钢悬臂梁和一边的弹簧-阻尼结构所组成的弹性

约束组成。激振器对顶端质量块的冲击为悬臂梁提供激励力。在实验中，以谐波激振器的频率为控制参数，利用 **Poincaré** 截面构建其分岔图，实验表明该系统不仅存在非光滑擦边分岔，还出现周期二等分岔。采用数值模拟，对该系统动力学方程进行研究，数值模拟结果和实验结果相吻合。郭树起作了“干摩擦振子的双 **stop** 黏滑运动”的报告。阐明简单的摩擦振子蕴含着复杂的黏滑运动。在机械定位系统、轮轨运输系统、制动系统、弦乐乐器等系统中都存在着黏滑运动。然而由于其非线性非光滑特性，数值仿真和理论分析都很困难。文中分析了干摩擦振子的双 **stop** 黏滑运动。双 **stop** 黏滑运动指在一个周期内，发生两次黏结。首先得到了其闭环精确解。在特别情况下，闭环解可以简化为显式解析解。然后给出了闭环解的参数范围。最后用 **Poincaré** 映射分析了其稳定性。吴志强在报告“约束分岔理论及应用研究进展”中介绍，如没有考虑分岔方程中的状态变量的变化，在实际问题中将受到限制(约束)。因约束会导致新的转迁集的产生，忽略约束的作用会导致研究结果的错误。因此开展约束分岔研究，不仅是对分岔理论的发展，也可为上述领域提供新的分析方法。文中简单介绍作者在约束分岔理论和应用方面所做的工作：单、双边约束分岔的奇异性分类及分析，约束含参分岔问题的奇异性分类及分析，复杂约束分岔问题的奇异性分类及分析，模态相互作用问题，**Hopf** 分岔控制，非光滑系统分岔及智能材料减振设计，悬臂梁振动控制和动力学反问题。

4 随机动力学

甘春标在报告“随机吸引子的模拟与噪声诱发的复杂动力学行为的机理研究”中，通过分析简单、广义与插值胞映射以及子分割算法等的优缺点，并结合随机吸引子的定义与庞卡莱映射的一种特殊形式，给出了模拟随机混沌和非混沌吸引子的新思路与新算法。多个数值实例表明，混沌吸引子的产生机理在于非混沌吸引子之间的碰撞与融合，且所产生的途径与确定性情形类似。样本可识化激励所导致的随机吸引子的移动使得截面上的点集更粗、更模糊。陈建兵的报告“基于密度演化理论的非线性随机动力系统最优控制”，首先阐述了非线性随机动力系统分析的密度演化理论。从概率守恒原理出发，结合其随机事件描述和随机动力系统的任意维 **Lagrange** 描述，针对一般随机动力系统，导出了任意维广义密度演化方程。进而，初步提出了基于密度演化理论的非线性随机动力系统最

优控制基本思想。以 8 层框架结构的非线性随机地震反应分析与最优控制为例，说明了所发展方法的可行性和有效性。此外，许勇作了题为“含有噪声的复杂 Lorenz 系统的混沌动力学”的报告。

5 分析力学

郭永新作题为“物理学与力学中的几何动力学”的特邀报告，对物理学和力学中的几何动力学问题作了 5 个方面概述。(1) 简要论述了现代微分几何学在广义相对论与引力规范理论、Maxwell 电磁理论、经典场与量子场的大范围非线性拓扑性质中的应用。(2) 从 Birkhoff 力学的直接普适性出发，阐述了辛几何与 Birkhoff 力学的对应关系，介绍了 Birkhoff 力学在非 Hamilton 系统、非势系统、量子系统的应用，并简要介绍了几何量子化。(3) 分析非完整系统相空间的纤维丛结构，建立 Chetaev 模型和 Vakonomic 模型的几何基础，阐述了几何动力学在运动规划与控制中的应用。(4) 利用动量映射概念，介绍动力学系统的各种对称性约化方法，以及相应的几何相理论及应用。(5) 介绍非自伴随动力学系统的近 Poisson 结构，探究近 Poisson 结构的分解规律，并应用于 Chaplygin 非完整系统和有挠率空间的动力学系统。

6 航天动力学

吴志刚作了题为“卫星编队保持的周期控制方法”的报告。利用椭圆轨道航天器编队相对运动动力学的周期性特点，将周期最优控制和周期 H_∞ 控制方法用于编队的队形保持控制。研究表明：相对于定常控制，周期控制方法可以节省燃料并提高系统性能指标，相对于一般的时变系统控制方法，周期控制方法具有计算量少、容易实现的优点，且控制效果与一般时变控制方法相同。贾英宏报告了“航天器姿态/能量一体化系统动力学与控制”，介绍了航天器集成能量与姿态控制系统(IPACS) 在动力学和控制方面所面临的问题。着重研究了 IPACS 的执行机构||飞轮或变速控制力矩陀螺(VSCNG) 的操纵律设计方法以及功率规划方法，同时在工程应用角度分析了执行机构的参数设计问题以及安装误差的影响问题。对目前尚未解决的动力学与控制问题提出了较为可行的技术方案。孟云鹤的报告“三体平动点动力学与应用研究”首先介绍了作者近年的主要研究工作。其次介绍了深空探测活动的历史、现状以及发展趋势,归纳并分析了所涉及

到的各种新的非二体轨道的概念，对各种轨道的应用进行了说明。报告重点对于三体平动点的概念与原理及其在深空探测中 3 个重要方向的应用进行了阐述，着重对平动点区域的力场特性以及其轨道的非线性特点进行了分析，并报告了平动点轨道保持控制的研究成果。最后，报告对未来平动点技术的应用进行了展望，对我国研究发展三体平动点轨道技术提出了建议。

张景瑞在报告“关于 SGCMG 操纵律的分析比较”中，借助于奇异值分解的理论，在理论层面对航天器姿态控制系统中使用的典型的 SGCMG 操纵律进行了详细的分析和比较研究。文中重点分析了各种操纵律对陀螺构型奇异性和输出力矩误差的影响机理，比较了几种操纵律在逃逸奇异时，奇异值和奇异向量的变化情况，以及这些变化导致的力矩误差。初步分析了各种操纵律脱离奇异的路径。并用仿真算例定量地比较了各种操纵律的性能。所得结果对航天器姿态控制系统设计人员具有重要参考价值。宝音贺西作了题为“国际空轨迹优化大赛及结果”的报告，该竞赛题目基本上以正在规划中的或将来可能实施的深空探测任务为背景，采用切实可行的工程参数和约束条件，对实际的深空探测任务具有重要的指导意义。清华大学航天航空学院组队参加了这三届竞赛，每次比赛都顺利地完成了规定的轨道设计和优化任务，他结合清华大学 3 次参加深空探测国际轨迹优化竞赛的经验，对这 3 次的成绩进行分析总结，从科技体制、高等教育以及研究生的培养等方面进行反思，希望能获得一些启发，为今后的发展提供有益的参考。岳晓奎在题为“基于四元数和航天器姿轨信息的相对位姿确定算法”的报告中，针对空间机动和在轨操作对相对导航的特殊要求，提出了基于视觉信息的相对位姿确定算法。该算法利用四元数结合主动航天器的动力学初始信息对不同时刻的视觉测量量进行处理。该算法降低了雅可比矩阵的阶数，提高了算法的效率，仿真分析同时验证了算法的精度及其稳定性，为空间机动和在轨操作过程中相对位姿的确定提供了有效手段。

7 复杂网络、生物复杂系统和其它复杂系统的力学

段志生作了题为“复杂网络同步分析与控制”的报告。复杂网络同步问题可以分为两个方面，一方面与网络对应的图 Laplace 矩阵特征值相关，另一方面与同步化区域有关。首先从图论的角度，讨论了网络结构参数、加边减边、子图补

图对同步能力的影响。此外，从矩阵稳定性角度分析了同步化区域，结果显示对于任意给定的参数 N 存在网络，其同步化区域可以是由 N 个区域组成的一个不连通区域，这表明网络可以出现间歇性同步。裴利军在其报告“时滞互联网 TCP{RED 拥塞控制系统的动力学研究”中，对一种网络拥塞控制方法进行了详细研究。介绍了网络堵塞的根本原因、解决方法以及所考虑的非光滑拥塞控制系统，完整的求出了所有平衡点，并研究了时滞引起的 Hopf 分岔。指出为了避免拥塞，应该尽可能使系统以大到达速率、小平均队列长度稳定运行，尽量避免周期振荡。发现了该网络拥塞控制算法存在的缺陷，即使在设计许可的范围内，网络仍有可能堵塞，算法需要改进。

王青云报告了“具有时滞和噪声作用的神经元网络的时空同步和时空共振”，表明在小世界神经网络里，随着时滞的增加，神经元能呈现出 zig-zag 波，反相的簇同步和在相同步增强的转迁过程。随着小世界连接概率的增加，神经网络的同步先增强，当概率达到一定程度后，同步保持饱和状态(即同步状态基本不变)。同时研究表明时滞对空间共振有着非平凡的作用。随着时滞的增加，空间共振的优化噪声强度也增加而且呈现一种线性关系。小世界连接概率的增加使得空间共振呈现一种指数减少的趋势。对于这些现象给予了一些理论和物理上的解释。段利霞在其报告“神经元系统的簇放电动力学机理研究”中，介绍了神经系统这一复杂的、高度非线性的系统中神经元电活动的动力学特征，详细研究了神经元模型中二维生理参数空间中放电模式的区域划分。揭示了分岔类型和分岔层次对不同簇放电模式的产生及转迁的影响，建立了参数空间分岔结构与神经元放电模式的产生和转迁之间的关系。报告总结了其在高余维分岔对神经元放电区域和静息区域的划分、不同簇放电区域划分、分岔类型和分岔层次对不同放电模式的产生及转迁的影响等方面的研究进展。

古华光、任维作了题为“生物兴奋节律的非线性动力学实验和理论研究的一些新进展”的报告，介绍了神经放电节律的双参数分岔的实验和数值仿真结果，混沌和随机节律的鉴别，神经放电节律的非光滑分岔，血压压力感受器在静态血压作用下的分岔和动态血压作用下的动态放电以及二者间的联系，初步揭示了感受器神经单纤维编码机制。还介绍了心肌细胞团(网络)的同步化节律形成机制的实验和数值仿真研究。王天舒在报告“双足模型步行中的倍周期步态和混沌步

态现象”中发现，被动行走模型除了具有单周期的运动之外，在一定条件下，无需控制，也能够实现倍周期或者非周期的步态。当模型参数改变时，步态随之改变。应用胞映射方法与 Newton-Raphson 迭代结合来获取被动行走模型周期步态的不动点，消除了迭代方法在初值选取上的随机性，并获得了模型的吸引盆。通过对不同参数的模型的仿真，讨论了参数变化对步态的影响，结果表明，转动惯量增大会导致倍周期步态到混沌步态的产生，足半径减小和质心位置降低也有类似的效果。利用自己设计的实验样机开展相关实验，也验证了倍周期的特性，获得了与仿真结果相近的周期。对此类问题的研究可以为有驱动双足机器人的设计制作提供借鉴和依据。

特邀报告水平高、内容广、内涵深，为青年学者指明了方向，也提供了科研范例。青年代表较高水平的学术报告，充分体现了我国动力学与控制学科青年学者的迅速成长和取得的学术成绩。这些报告具有以下鲜明特点：(1) 总体水平较高，基本上出自国家自然科学基金资助项目；(2) 内容覆盖面宽，涉及多个学科方向，参加会议的代表来自诸多不同的研究领域；(3) 涌现出一些新思想、新观点、新方法；(4) 实验结合理论的研究越来越多；(5) 研讨会上代表提问踊跃，交流热烈，充分达到了会议研讨和交流的目的。这都反映出我国动力学与控制方向有着较深的人才储备，无疑他们今后将取得更多、更突出的成绩。

除了学术报告，本次研讨会还进行了 2 个小时的座谈会，就动力学与控制学科的发展前景、青年学者如何发展、基金申请等一系列问题进行了广泛地讨论，代表们各抒己见，充分表达了自己意见和建议。特邀代表孟庆国、张伟、杨绍普、陈立群、王在华、郭永新、任维等就多个方面的问题与青年代表充分交流了自己的看法。最后，中国力学学会一般力学专业委员会主任委员张伟教授代表中国力学学会一般力学专业委员会就会议的效果、学科发展、人才培养等问题进行了总结。会议商定第三届全国动力学与控制青年学者研讨会于 2009 年在内蒙古财经大学召开。