

第七届全国动力学与控制青年学者学术研讨会报告综述¹⁾

魏克湘^{*,2)} 王立峰[†] 詹世革[†] 张攀峰[†] 徐鉴^{**}

^{*}(湖南工程学院机械工程系, 湘潭 411101)

[†](国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085)

^{**}(同济大学航空航天与力学学院, 上海 200092)

摘要 简要介绍了第七届全国动力学与控制青年学者学术研讨会的会议情况, 对各位学者所做的报告内容进行了综述, 给出了一些建设性的建议和意见.

关键词 动力学与控制, 青年学者, 学术研讨会

为了深入交流动力学与控制学科的最新研究进展、探讨学科今后的发展趋势和面临的挑战性科学问题, 促进青年学者之间的交流与合作, 解决国家建设和大型工程中的动力学与控制关键问题, 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动力学与控制专业委员会共同主办、湖南工程学院承办、长沙理工大学和湖南科技大学协办的“第七届全国动力学与控制青年学者学术研讨会”于 2013 年 7 月 26—29 日在湖南张家界成功召开. 中国力学学会动力学与控制专业委员会主任徐鉴教授担任会议主席, 湖南工程学院魏克湘教授具体负责会务事宜. 来自全国 30 多所高校及科研院所的 50 余位代表参加了本次研讨会, 其中有中科院院士 1 人、国家杰出青年科学基金获得者 7 人, 以及该领域 40 岁以下获得过国家自然科学基金的优秀青年学者 40 余人.

开幕式由中国力学学会动力学与控制专业委员会主任、同济大学徐鉴教授主持. 中国力学学会理事长、北京理工大学校长胡海岩院士代表力学学会致辞, 对本次会议及参会的青年学者提出要求与希望. 国家自然科学基金委员会数理科学部副主任孟庆国研究员代表主办单位致辞, 阐明研讨会的目的和意义. 湖南工程学院副院长宁立伟教授代表承办单位致欢迎辞, 并简要介绍了该校的教学和科研情况以及该校动力学与控制学科的发展状况.

本次研讨会共安排了 5 个大会特邀报告. 胡海岩院士做了题为《航天器结构动力学研究进展》的报告, 以如何进行科学研究选题为主线, 以所完成和在研的一些航天器结构动力学研究项目为具体案例, 详细介绍了怎样在科研工作中提炼科学问题、开展创新研究, 使青年学者们受益匪浅, 为解决青年学者在科研起步阶段所面临的困惑、选定正确的研究方向提供了一些很好的指引和启迪. 刘德顺教授做了题为《大型风电机组系统建模与控制》的报告, 从风电机组气动特性、载荷特性、变桨距系统动力学与控制、关键零部件优化设计等几个方面介绍了他们团队最近几年所做的工作和取得的成果, 并对风电机组今后的发展趋势和研究重点进行了展望. 文桂林教授做了《特种装备若干动力学与控制问题与思考》的报告, 结合其研究团队近年完成的或正在预研的若干特种装备研发工作与实践, 探讨基础理论研究与应用研究相辅相成的关系, 揭示实际工程中的动力学与控制机理、规律和本质特征, 讨论并展望动力学与控制学科与其他力学学科方向、新型结构设计、智能控制技术等交叉融合的新视野以及服务国家工程的新思路. 张文明博士和杨晓东博士分别做了题为《微机电谐振器动力学研究现状及若干问题探讨》、《时变参数结构非线性动力学理论分析和实验》的报告, 介绍了近年来在各自研究领域中所取得的进展和成果.

本文于 2013-10-15 收到.

1) 国家自然科学基金资助项目 (11242017).

2) E-mail: kxwei@hnie.edu.cn

本次研讨会报告内容丰富,涵盖了非线性动力学与控制、多体动力学、航空航天动力学与控制、以及复杂网络动力学与控制等动力学与控制的多个分支学科,充分体现了动力学与控制学科与航空航天、机械、建筑、信息、物理、生物等其他学科的交叉与融合,主要可归纳为以下几个方面:

1 非线性系统复杂动力学与控制

随着超高频率、多功能、超精密微机电谐振器的超速发展,其呈现出的尺度效应、新现象与新特征,对能量传递规律与耗散机理、动力学理论与方法研究都提出了新的挑战。张文明博士在特邀报告《微机电谐振器动力学研究现状及若干问题探讨》中,分析了目前微机电谐振器动力学研究中的热点和难点,介绍了他们在微机电谐振器的能量耗散机理、非线性效应、复杂激励等方面所做的工作和取得的最新成果,并对今后的工作进行了展望。

丁虎在报告《含单向离合装置的轮带系统非线性周期响应》中,探讨了含单向离合器的轮-带动力驱动系统动力学。计入单向离合器的弹性特征和单向功能及传动带抗弯刚度的影响,建立两轮-带驱动系统的分段非线性连续-离散混杂动力学模型。探讨了系统的非线性共振频率以及稳态响应。发现单向离合器软化了轮-带驱动系统,传动带的弦线模型和梁模型对系统稳态响应的预测存在很大的差异。

乐源的报告《利用 OGY 方法控制单自由度碰撞振动系统的混沌行为》,考虑了一个具有单面碰撞约束的单自由度碰撞振动系统,建立了系统的 Poincaré 映射。当 Poincaré 映射的雅可比矩阵有一个特征值从 -1 处穿越单位圆时,稳定的周期轨道失稳,通过倍化分岔直到混沌。利用 OGY 控制方法对碰撞振动系统的混沌进行控制。

刘畅在报告《构造 Birkhoff 函数(组)的参数调节法》中,根据偏微分方程的 Cauchy-Kovalevski 可积性定理,将欠定的 Birkhoff 方程组转化为以 Birkhoff 函数组为未知变量的完备的偏微分方程组,提出了构造 Birkhoff 动力学函数的参数调节法,并讨论了与已有的构造方法之间的关系。根据动力学系统的物理性质对两类可调参数做适当的限定进一步简化了补偿方程,使得 Birkhoff 函数组与可调参数之间的关系更加直观。

申永军在报告《半主动隔振系统的解析研究》中,以可控阻尼具有不同变化规律的单自由度半

主动隔振系统为例,考虑到控制系统不可避免的时滞,研究了如下 3 个问题:(1)动力系统的求解问题,即通过近似解析方法建立系统的近似解;(2)稳定性问题,即系统参数以及时滞对稳定性的影响;(3)控制优化问题,即如何合理选择参数,从而提高振动控制效果。

王立峰的报告《碳纳米管热振动研究》基于统计物理方法中的能量均分原理和连续介质力学 Euler 梁模型及 Timoshenko 梁模型,研究了单壁及双壁碳纳米管的热激振动。研究表明采用 Timoshenko 梁模型能更好的预测碳纳米管热振动的固有频率及均方根振幅。并对能量均分原理在研究碳纳米管热振动问题时的适用性进行了探讨。

王连华的报告《弹性地基梁的精细化建模及共振动力学》,主要介绍了弹性地基梁的精细化建模理论。从能量变分的角度诠释了二次弯矩的非保守特性,分析地基模型对固有特性的影响。此外,讨论了全基模态离散中调谐方程系数中的共振特性以及对称特性,从土-梁系统的非保守特性的角度,揭示了二次弯矩破坏了这两种特性的根源。介绍不同共振情况下复杂的非线性动力学以及非保守特性、截止频率以及边界条件对共振动力学的影响。

王琳的报告《非线性涡激振动及其能量利用的几个问题讨论》,研究了圆柱体结构涡激振动的幅值调节和能量利用问题,构建了压电悬臂梁-圆柱体组合结构的涡激振动能量采集系统,提出采用两个斜置的线性弹簧来调节圆柱体的涡激振动幅值,还发现时滞位移反馈项可有效地增大涡激振动的幅值和频率。

王炜在报告《非圆截面弹性细杆模型简化方法研究》中,引入复矢量基构造新的复数形式 Kirchhoff 方程,将复规范形的设解思想融入弹性细杆数学模型中,考虑截面非对称性摄动因素的影响,形成了以截面扭矩为未知量的单变量二阶常微分方程,并且进一步完善了有效抗弯刚度理论及其在系统简化、降维过程的应用,为融合定量分析方法与奇异性理论展开环状 DNA 分子的拓扑构形及功能研究奠定了基础。

魏克湘的报告《基于 ANSYS 的压电俘能器建模与仿真分析》,以典型的悬臂梁式压电俘能器为研究对象,利用 ANSYS 建立其机电耦合作用有限元分析模型,仿真分析压电材料尺寸、排布方式以及外界载荷激励方式对俘能器输出性能的影响规律,为悬臂

梁式压电俘能器的结构设计与优化提供理论基础。

文浩的报告《基于 Hermite-Birkhoff 插值的无约束非线性最优控制间接算法》，以 Hermite-Birkhoff (HB) 插值法为基础，设计无约束非线性最优控制问题的间接求解算法，实现了边界条件和边界微分方程的“双配置”。其主要思路如下：首先通过伪线性化方法将非线性最优控制问题转化成一系列线性边界值问题；通过 HB 插值，采用不同的插值基函数对状态和协态变量进行离散，将连续时间线性边界值问题转化为一组可依次求解的线性方程组。最终通过算例分析对该方法的有效性进行了验证。

2 航空航天及多体动力学与控制

开展航空航天领域动力学与控制的研究在航空航天技术的发展中有着举足轻重的作用，其目的在于发展有效的方法促使航空航天器在各阶段平稳可靠地运行。航空航天及多体动力学与控制的研究方法覆盖理论分析、数值仿真，以及实验模拟等诸多方面，研究内容十分丰富。胡海岩院士在特邀报告《航天器结构动力学研究进展》中，结合他多年来在航天器结构动力学的最新研究成果和他多年的航空航天动力学分析与控制的经验，从科学研究选题、太阳帆结构动力学问题、多柔体动力学建模与计算、太阳帆自旋展开数值模拟和太阳帆自旋展开地面实验等 5 个方面，为大家展示了我国航天器动力学的发展现状。

杨晓东的特邀报告《时变参数结构非线性动力学理论分析和实验》，从航空领域中的伸展型变形机翼及航天领域中的大型空间可展机构的实际工程中，提炼出时变参数连续体动力学的科学问题。通过解析方法、数值仿真和实验方法，探讨时变参数结构的位移、振动、颤振及屈曲，并分析可能出现的非线性特定物理现象。

高长生的报告《远程机动弹头单滑块质量矩和喷气组合 BTT 控制问题研究》，针对远程再入机动弹头单控制执行机构存在的各种工程问题，提出了一种新型的质量矩和喷气组合 BTT 控制模式，采用这种控制模式既能避免气动舵控制所带来的高速气流舵面烧蚀问题，又能利用质量矩控制最大限度地减少喷气控制的燃料消耗。然后，根据这种新型控制模式的特点，提出了一种易于工程实现的组合控制策略。最后，通过数值仿真分析验证了组合控制策略及控制律的有效性。

龚胜平报告了《太阳帆变形对动力学的影响》，对太阳帆的变形对光压力、姿态和轨道的影响进行了分析，研究了建模变形量与轨道和姿态的变化量之间的关系，探讨了太阳帆精确动力学建模过程中应如何合理考虑太阳帆的变形。

罗亚中的报告《航天器相对运动非线性特性分析》，将非线性动力学的方法引入对航天器相对运动问题的分析。基于二体和目标航天器圆轨道假设，推导了航天器直角坐标系和球坐标系的非线性相对运动方程；从系统的奇点、特征值着手，对非线性系统的稳定性进行了分析；分析了航天器相对运动的混沌现象及其对实际飞行任务的影响。

谭述君在报告《临界阻尼比法在火箭 POGO 振动稳定性分析中的探讨》中，探讨了临界阻尼比法在液体运载火箭 POGO 振动稳定性分析中存在的问题和局限性。以单推进剂-单发动机模型火箭为例，采用闭环特征值法导出了耦合系统稳定的充分必要条件。结果显示，阻尼对耦合系统稳定性的影响是非线性的，增加结构阻尼反而可能降低系统稳定性，甚至不稳定。并指出耦合强度因子是导致 POGO 系统不稳定的直接因素。

张景瑞在报告《带有多个调谐质量阻尼器的新型飞轮隔振系统研究》中，将多个调谐质量阻尼器布置在传统被动隔振平台上，作为一种新型的飞轮隔振系统，既可实现六自由度的振动隔离，又能适应飞轮的变速特性以保证系统的安全性。分析了该类新型隔振系统的动力学特性及其与卫星之间的耦合特性，并对调谐质量阻尼器参数进行多目标优化。最后通过数值仿真形式验证了新型隔振系统的有效性。

张美艳的报告《液体火箭 POGO 振动的类结构分析方法》，建立了液体火箭推进系统的类结构模型，推导了火箭推进系统与结构耦合的动力学方程，计算了液体火箭 POGO 振动的复特征值及箭体-推进耦合系统在随机激励下的时域响应。

丁洁玉的报告《柔性多体系统混合智能优化设计研究》，在前期基于一阶、二阶灵敏度分析的多体系统动态优化设计方法、多体系统动力学智能优化方法和微分/代数方程时间离散变分数值计算方法研究的基础上，针对使用绝对节点坐标建模的柔性多体系统，探讨遗传算法、粒子群算法、差异演化算法等智能优化方法在柔性多体系统动力学优化设计中的应用，并结合灵敏度分析探讨混合智能优化设计

方法,以期避免早熟收敛,提高智能寻优计算效率。

贾英宏的报告《基于控制力矩陀螺的大型柔性结构振动抑制方法》,从以下方面系统地研究了带有 CMGs 的柔性结构的振动抑制问题。首先,使用 Kane 方法建立了系统动力学模型。其次,假设系统中 CMGs 框架做小范围运动,将动力学方程线性化并做了模态分析。再次,使用陀螺柔性模态的正交性,将系统线性化的动力学方程解耦,分析了系统的能控性和能观性,研究了 CMGs 的优化配置问题。最后,基于 Lyapunov 方法,设计了角速度反馈控制律以实现振动抑制,通过数值算例证明了控制律的有效性。

马新娜的报告《轴承故障下高速机车系统的动力学行为研究》,以轮对轴承早期故障下的高速机车系统为研究对象,结合试验测试和理论分析,建立了高速机车轴承早期故障动力学模型。并在此基础上,分析了轮对轴承早期故障下高速机车系统的动力学行为和非线性特征,以及轮对轴承故障对高速机车系统振动控制效果的影响。

3 随机与时滞系统非线性动力学与控制

陈建兵的报告《复杂多自由度结构随机响应与可靠性的概率密度演化分析》,首先讨论了土木和海洋工程等领域中随机性的来源与工程动力激励的随机模型、非线性的来源与表现形式及经典随机动力学遇到的困难。在此基础上,阐述了概率密度演化理论的基本思想及最新进展。最后,举例说明了所发展的理论在超高层建筑与大型海上风力发电系统整体动力可靠性分析中的成功应用,指出了需要进一步研究的问题。

靳艳飞在报告《周期势系统的随机共振研究》中,针对有色噪声激励下周期势系统的随机共振问题进行了研究,利用随机能量方法,建立了系统的随机能量平衡方程,分析系统输入能量和输出能量之间的关系,利用外力对系统所作的功和相位来刻画系统的随机共振现象。研究发现随着噪声强度的增加,系统的状态在出相和入相间相互转换,系统出现随机共振现象。

马少娟的报告《基于 Poisson 增长的离散 Logistic 模型的随机稳定性及 Hopf 分岔研究》,首先根据离散随机函数空间的 Charlier 多项式正交展开理论,有效地利用了多项式逼近将含有随机参数的随机离散动力系统约化为等价确定性系统,再结合确定性离散系统的稳定性及 Hopf 分岔理论对随机一维及滞

后 Logistic 模型的随机稳定性及 Hopf 分岔进行了分析。研究结果表明随着随机强度和随机变量参数的变化,模型的渐进稳定性及分岔临界值均发生相应地漂移。

孙中奎的报告《基于统计复杂测度的随机共振研究》,基于信息论测度研究了双稳系统的随机共振问题。首先利用统一色噪声推导了系统信噪比的近似表达式;其次定义并计算了系统的统计复杂性测度和标准 Shannon 熵;最后研究了系统的随机共振行为。研究结果表明:信息论测度在对随机共振的研究中是非常有效的;在产生随机共振时,系统并不是简单的周期态,而是处于复杂的运动之中。

王怀磊的报告《基于延迟反馈的典型 Sprott 系统的混沌控制》基于时滞系统的 Hopf 分岔理论,引入延迟反馈控制器,对两个典型 Sprott 电路混沌系统实现了混沌控制。首先分析了 Sprott N 和 Sprott F 系统在不稳定平衡点附近的特征根与反馈增益、延迟量的变化关系以及参数可控区域。然后考虑回路潜伏时间对延迟反馈控制性能的影响。最后引入低通滤波器过滤控制信号提取过程中可能产生的额外高频信号,使得延迟反馈控制的控制性能有不同程度的提高。

许勇的报告《非线性系统的逻辑随机共振研究》,基于随机共振理论和噪声的严重影响,研究了非线性领域中新出现的逻辑随机共振及其应用,讨论了逻辑随机共振与随机共振的区别与联系,其产生的机理与噪声作用机制,目前存在的问题与进一步的研究内容。通过非高斯噪声激励下的一维 FHN 模型及单基因网络中验证了逻辑操作的存在,以成功率作为逻辑随机共振的测度,以平均首次通过时间合理解释了非高斯噪声不同于一般高斯噪声的作用机制,为逻辑随机共振在生物学系统的深入研究和应用打下一定的基础。

杨永锋在报告《泰勒级数展开法在含随机参数碰摩转子系统中的应用》中,建立了含随机参数的碰摩转子的动力学方程,以 SD 振子为例证明了泰勒展开法对该类系统具有良好的精度,并运用二元泰勒展开法对碰摩转子的碰摩力项进行处理,为运用正交多项式逼近法研究含随机参数碰摩转子的随机混沌奠定了基础。

赵艳影的报告《宽频带时滞动力吸振器的优化设计及减振性能分析》,研究了采用时滞动力吸振器来抑制扭转振动系统的振动问题。首先,针对被动

减振系统的动力吸振器物理参数进行优化设计,获得了较好的减振效果.其次,对主动减振系统,以主系统的振幅最小为优化目标,采用遗传算法对反馈增益系数和时滞两控制参数进行优化,优化后的系统在较宽的外激励频带内获得了很好的减振效果.

4 生物网络、复杂网络动力学与控制

康艳梅的报告《福克-普朗克方程系统的线性响应:朝向次扩散情形的推广和应用》,在介绍反常扩散的意义和背景的基础上,着重介绍了她们在推导次扩散福克-普朗克方程系统的线性响应特性、发展周期势外力场中次扩散的波动谱密度的半解析算法等方面的工作.

申建伟的报告《受噪声和时滞作用的 MicroRNA 调控网络的动力学机制的研究》,对 microRNA 在噪声和时滞作用远离平衡态时的各种动力学分岔行为及其控制方法进行了研究,给出了这些分岔行为产生的条件及其控制这些行为的方法,进而把分岔的概念和细胞周期网络中产生癌症的相关机理联系起来,利用这些理论结果解释相关文献中给出的 microRNA 调控细胞产生癌症的的机制,并分析出治疗这种病变的理论方法.

孙晓娟的报告《噪声激励下多层次神经网络放电的动力学行为特性研究》,以多层次神经网络为研究对象,借助非线性动力学与数值仿真的手段,研究并分析噪声环境下神经网络放电的动力学行为特性.研究结果显示,子网络间的周期耦合可以诱使多层次神经网络发生簇同步转迁现象,并且还存在着适当大小的耦合强度和频率,使多层次神经网络的放电相干性达到最优.

谢勇在报告《不同拓扑类型的簇放电神经元之间的同步行为》中,研究发现由同步容易程度相差很大的不同拓扑类型的两个簇放电神经元耦合,随着耦合强度的增加,首先达到簇放电同步,当耦合强度足够大时甚至可以达到膜电位完全同步,并且同

步后的放电类型更接近容易同步的簇放电类型.而由同步容易程度相近的不同拓扑类型的簇放电神经元情形,在耦合强度逐渐增大的过程中,出现相当复杂的放电行为.

杨卓琴在报告《具有 3 个不同时间尺度的电耦合胰腺 β 细胞模型的组合簇放电》中,利用最小的 phantom 簇放电模型,以两个电耦合胰腺 β 细胞的具有簇同步的组合簇放电为研究对象,在三维空间中,分别考虑了中慢变量和慢慢变量作为分岔参数的多层次的快慢动力学分析,研究了这两个时间尺度不同的慢变量如何共同或单独地控制着这种组合簇放电的复杂动力学行为.

上述报告内容不仅涉及学科发展的科学问题,而且涉及国民经济发展的国家重大工程建设关键技术问题,具有总体水平较高,内容覆盖面宽,以及理论分析、高性能计算与精细化试验三者有机结合等鲜明特点,体现了青年学者在工程基础与学科前沿的探索精神.研讨会期间代表们思路活跃、讨论热烈,充分实现了会议研讨和交流的预期目的.

本次研讨会最后进行了半天的集体座谈.詹世革研究员就动力学与控制学科发展、重点关注领域和基金资助形势等和与会代表进行了交流.徐鉴教授、王在华教授、黄志龙教授、彭志科教授和文桂林教授等分别结合自身经历就科研、生活、学习等多个方面的问题与青年学者交流了自己的成功经验.青年学者们结合自己的研究方向,就创新研讨会内容与形式,进一步加强动力学与控制青年学者之间的交流与合作,面向国家重大需求的前提下,进一步凝练和挖掘深层次的科学问题等展开了热烈的讨论,给出了一些建设性的建议和意见.最后,国家自然科学基金委员会数理科学部副主任孟庆国研究员进行了本次会议的总结,肯定了本届研讨会成功,并对下届研讨会提出了期望.本次研讨会商定第八届全国动力学与控制青年学者研讨会由北方民族大学承办,于 2014 年在宁夏银川召开.

REVIEW OF THE SEVENTH NATIONAL SYMPOSIUM ON DYNAMICS AND CONTROL FOR YOUNG SCHOLARS¹⁾

Wei Kexiang^{*,2)} Wang Lifeng[†] Zhan Shige[†] Zhang Panfeng[†] Xu Jian^{**}

^{}(Department of Mechanical Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101, China)*

[†](Department of Mathematical and Physical Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China)

*^{**}(School of Aerospace and Mechanics Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)*

Abstract This paper brief introduced the seventh national symposium on dynamics and control for young scholars. Reports of this symposium were reviewed, and some constructive suggestions were put forward.

Key words dynamics and control, young scholars, symposium

Received 15 October 2013.

1) The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (11242017).

2) E-mail: kxwei@hnie.edu.cn