

第 9 届全国动力学与控制青年学者学术研讨会 报告综述¹⁾

申建伟^{*,2)} 孙中奎[†] 詹世革[†] 张攀峰[†] 徐 鉴^{**}

^{*}(许昌学院应用数学研究所, 河南许昌 461000)

[†](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 简要介绍了第九届全国动力学与控制青年学者学术研讨会的会议举办情况, 对参加此次学术研讨会的各位专家、学者所做的报告内容进行了综述, 并给出一些建设性的意见和建议.

关键词 动力学与控制, 青年学者, 学术研讨会

为了进一步加强动力学与控制学科的最新研究进展的交流, 探讨动力学与控制学科今后的发展趋势与前景、以及面临的挑战性科学问题, 促进该学科领域青年学者之间的交流与合作, 解决新形势下面临的各种动力学与控制关键问题, 由中国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、许昌学院承办的“第九届全国动力学与控制青年学者学术研讨会”于 2015 年 7 月 25—29 日在河南许昌成功召开. 中国力学学会第九届动力学与控制委员会主任、国家杰出青年基金获得者、同济大学徐鉴教授担任会议主席, 许昌学院申建伟教授具体负责会务事宜. 来自国家自然科学基金委员会和全国 30 多所高校及科研院所的 50 余位代表参加了本次研讨会, 包括特邀代表 14 人, 其中有国家杰出青年科学基金获得者 12 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. 开幕式由徐鉴教授主持. 许昌学院副校长黄怡俐教授代表承办单位致欢迎辞, 简要介绍了该校的整体情况. 国家自然科学基金委员会数理科学部力学处处长詹世革研究员代表国家自然科学基金委员会数理科学部致辞, 阐明研讨会的目的和意义. 河南省科技厅科技服务业处处长兼自然科学

基金专项管理办公室主任杨梦琳代表河南省科技厅致辞, 并简要介绍了河南省的科技整体情况以及国家自然科学基金 - 河南省联合基金的情况. 中国力学学会第十届动力学与控制委员会主任、国家杰出青年基金获得者、石家庄铁道大学杨绍普教授致辞, 对本次会议及参会的青年学者提出要求与希望.

本次研讨会共安排了 7 个大会特邀报告. 天津大学王树新教授做了题为《水下自主航行器系统设计与动力学行为的研究》的报告, 王教授以实际深海样机为典型对象介绍了水下自主航行器系统设计的方案以及其动力学特征, 阐释了动力学与控制在水下自主航行器设计方面的重要作用以及他们课题组在水下自主航行器研究方面的进展. 上海大学陈立群教授做了《内共振振动能量采集》的报告, 综述了应用内共振加强振动能量采集的研究进展, 阐述了近年来引起越来越关注的振动能量采集需要解决的关键动力学问题以及加强能量采集的途径. 清华大学宝音贺西教授做了题为《小天体探测动力学与控制》的报告, 阐述小天体研究的背景, 总结最近几年国内外学者在小天体附近轨道动力学与控制方面取得的研究进展, 主要从小行星探测任务中的应用和非线性动力学理论进步两个角度与大家共享前人

本文于 2015-09-30 收到.

1) 国家自然科学基金资助项目 (11442003).

2) E-mail: xcjwshen@yahoo.com

引用格式: 申建伟, 孙中奎, 詹世革, 张攀峰, 徐鉴. 第 9 届全国动力学与控制青年学者学术研讨会报告综述. 力学学报, 2015, 47(6): 1079-1083
Shen Jianwei, Sun Zhongkui, Zhan Shige, Zhang Panfeng, Xu Jian. Review of the ninth national symposium on dynamics and control for young scholars. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2015, 47(6): 1079-1083

的成果,并探讨未来的发展方向.解放军理工大学王在华教授做了题为《轮式倒立摆的时滞反馈控制》的报告,介绍了轮式倒立摆的建模、控制及其动力学方面的基本问题,总结了近年来他们团队在轮式倒立摆的运动控制与控制设计的若干进展.北京航空航天大学王青云教授做了题为《从可计算模型理解癫痫发作的动力学机制》的报告,介绍了通过动力学建模研究神经生理疾病表征的动态行为的机制的背景和可行性,展示了从复杂网络和动力学建模的角度研究癫痫疾病表征的典型非线性动力学行为及其特点的途径,揭示出不同动力学行为转迁的癫痫发作机制.北京工业大学张伟教授做了题为《动力学与控制学科发展与人才队伍建设的一点思考》的报告,张教授通过详实的数据分析了动力学与控制学科中人才队伍现状,通过对比动力学与控制学科近年来在杰青、千人、院士等人才计划中的数量,分析了动力学与控制学科目前面临的困境,从学科发展的角度鼓励年轻人要敢于去挑战新的问题.中国科学院数学与系统科学研究院吕金虎教授做了题为《大数据:网络科学的机遇与挑战》的报告,介绍了复杂网络与大数据发展的历史,重点阐述了位置服务网的技术与挑战、复杂网络的动力学分析与控制、网络科学与工程的核心科学问题等内容,指出了网络科学发展所面临的机遇与挑战,并鼓励年青的博士做研究要面向国家重大战略需求,面向国际学术前沿.本次研讨会报告内容丰富,涵盖了航空航天动力学与控制、非线性动力学与控制、多体动力学、复杂网络动力学与控制以及生物网络系统动力学等多个分支,充分体现了动力学与控制学科与航天航空、机械、建筑、信息、物理、生物等其他学科的交叉与融合.根据本次与会代表的报告,研究内容主要归纳为以下几个方面.

1 航空航天与多体动力学与控制

罗亚中的报告《基于状态转移张量的非线性轨道偏差演化分析方法》针对非线性轨道偏差演化缺乏有效解析分析方法的问题,研究了基于状态转移张量的轨道偏差协方差传播分析方法,以近地快速交会问题为背景,重点探讨了通过状态方程拓维从而有效处理动力学模型参数偏差,以及满足交会地面/自主控制交班点精度要求的初始导航精度设计优化方法,获得相关分析结论可为我国神舟飞船快速交会任务设计提供有益参考.

龚胜平在《多天体系统的Hill稳定性研究》中阐述了利用Hill稳定性研究三体系统的背景以及关键问题,针对特殊的四体系统,他们给出了判定该系统Hill稳定性的判据.

贾英宏的报告《基于控制力矩陀螺的柔性航天器姿态控制与振动抑制》基于陀螺柔性体理论开展,对系统进行了动力学建模与分析,并研究了执行机构的优化配置,之后分别提出了适用于姿态稳定的SAC控制方法和适用于姿态机动的非线性反馈控制方法,并进行了仿真验证.结果表明,在小幅增加系统质量(不到10%)的代价下,可使姿态稳定速度提高一倍以上,柔性部件振动衰减速度提高一个量级.

谭述君的报告《超大柔性空间结构的在轨动力学特性研究》基于大型液体火箭结构模型空间分布的特征,考虑了姿控系统、结构系统与推进系统之间的耦合因素,导出了“姿控-结构-推进”大回路耦合模型,进而应用于我国某型号液体捆绑火箭系统稳定性的研究,指出推进系统与姿控系统之间存在不可忽视的耦合作用,在设计姿控系统时有必要考虑推进系统对姿控系统稳定性的影响.

王怀磊在《应用动能定理对多自由度系统进行建模的进一步讨论》中进一步阐释了动能定理,对动能定理在多自由度系统中应用的范围进行了拓展,并在一定条件下利用微分形式的动能定理对实际系统建模,获得非常好的效果.

丁洁玉在《多体系统动力学几何数值积分方法及优化控制》中介绍了多体系统动力学算法的概况,将多体系统动力学几何数值积分方法应用于多体系统动力学优化控制,与经典数值积分方法进行比较分析,探讨不变量的保持对优化控制的影响.

韩勤锴在《基础运动诱发的转子系统非线性动力学建模与分析》中介绍了实际多种旋转机械装备的转子系统具有运动的基础.基础运动不仅产生多频外载荷激励,而且也使得转子系统出现附加刚度、陀螺和阻尼等时变内部激励.基础运动对高速转子系统的动态特性及其工作可靠性产生重要影响.他们已针对该问题开展了一系列的研究工作.他们将从分析模型以及系统稳态振动响应的时域、频域和时频特性等方面,汇报相关研究成果.

刘畅在《非固定点变分原理在非完整系统中的应用》中主要讨论了端点固定的变分原理和端点非固定的变分原理,由端点固定的变分原理可以导出

Lagrange 方程、Hamilton 方程,利用非固定变分原理可得到另一种动力学理论体系——Hamilton-Jacobi 方程,并将非固定点变分原理应用到非完整约束系统,得到了非完整系统 Hamilton-Jacobi 方程,进而可以在 Hamilton-Jacobi 理论体系内研究非完整约束系统的动力学理论和应用问题。

2 复杂系统动力学与控制

王立峰的报告《石墨烯的低温热振动》基于连续介质板模型,研究了矩形及圆形石墨烯的低温热振动。低温条件下,考虑量子效应预测的均方根振幅明显低于采用能量均分原理所预测的均方根振幅,对于小尺寸的石墨烯、高阶模态情况量子效应更加显著。发展了考虑量子效应的分子动力学方法,用于研究低温条件下石墨烯的热振动问题。

王琳在报告《纳尺度悬臂梁动力学行为的表面效应研究》中讨论了纳米尺度下悬臂输流管(梁)的自激振动、受迫振动以及电场力作用下纳尺度悬臂梁的非线性动力学响应的问题,发现自激振动时,当流速超过一临界值后,悬臂管可出现颤振失稳(Hopf 分岔);若继续增大流速,悬臂管的振动幅值先增大后减小,受迫振动时,表面效应对非线性系统幅频响应曲线的软硬特性有显著影响,在电场力作用下,表面残余应力对纳尺度悬臂梁的吸合失稳行为亦有显著影响。

尚慧琳在《静电微惯性传感器振动系统的建模与全局动力学分析》中针对静电微惯性传感器振动系统,通过对静电微惯性传感器振动系统的建模,和系统的谐振失稳、发散失稳和全局分岔的机制的研究,考虑微尺度下多场耦合引起的力、阻尼和刚度等方面的非线性因素,建立典型静电微惯性传感器的振动系统模型;研究系统的复杂动力学行为与设计参数的关系,清晰破坏微惯性传感器振动系统的动完整性的主因,即吸合不稳定和振动跳变(Safe jump)等分形行为的机制,从而深刻认识微惯性传感器振动系统的复杂动力学行为的机制,并对基于此的电容式微加速度计和振动式微机械陀螺的设计研制产生指导意义。

马新娜在《外圈表面故障的滚动轴承非线性动力学分析》中针对铁路车辆检修过程中,普遍存在同一个滚动轴承多种故障并存的现象。在单通道采集条件下,利用陷波器对信号的过滤作用,提出了滚动轴承复合故障诊断的自适应方法,用于研究轴

承复合故障的分离与诊断问题。通过大量的仿真和实例分析,表明基于陷变器的自适应诊断方法能较好地分离复合故障,具有一定的应用价值。

田瑞兰在《未扰分段轧机辊系系统的分岔特性》中采用奇异性理论、能量原理和拓展的 Melnikov 函数,讨论了分段轧机辊系的分岔特性。非光滑轨道的存在依赖经典异宿轨道、同宿轨道和周期轨道的重新组合,其消失依赖系统各固有参数的变化,诠释了该系统运行不稳定的内在机理,为研究和抑制轧机辊系振动问题提供理论参考。

杨晓东在《适用于时变参数结构瞬态动力学的改进渐近方法研究》中以轴向伸展梁结构为模型,应用改进的渐近方法研究时变参数结构瞬态动力学特性。针对时变参数常微分方程,改进经典的渐近方法,对时变参数系统进行渐近分析,得到了时变参数结构的瞬态动力学行为的解析表达式。把改进渐近方法的解析结果与数值结果进行比较,验证了改进渐近方法的有效性。该方法不仅适用于轴向伸展结构的匀速运动,还适用于加速运动情形。改进渐近方法的提出为时变参数结构瞬态的动力学的分析提供了有效的研究工具。

张美艳的报告《频变阻尼特性的杆状构件动力学模型缩聚方法与应用》提出一种刚度和阻尼特性随频率变化的阻尼杆的动力学模型缩聚方法,给出了有理分式表示的阻尼杆端部刚度解析表达式和只有 22 个自由度的频变特性阻尼杆的动力学缩聚模型,获得比较满意的结果。

康厚军的报告《大跨度斜拉桥多体动力学模型及特性研究》结合斜拉桥振动问题的整体、局部和混合三种模态形式,建立斜拉桥的线性多梁-离散弹簧模型以研究斜拉桥整体振动模态的特性。同时建立多索-浅拱非线性模型,基于对整体模态特性研究的成果,研究斜拉桥的局部和混合模态的振动,揭示斜拉桥可能的非线性振动行为。

王连华的报告《斜拉梁的精细化建模与索力测试》从 Hamilton 变分原理出发,分别对弹性梁与柔性索建立相应的坐标系描述不同结构的运动,确定弹性梁与柔性索各自的动能与势能,然后开展变分分析得到斜拉梁的运动方程。通过对运动方程以及连续性条件进行线性化处理,开展特征值分析,提出更加合理的测试方法。

镇斌在《人行桥侧向振动中振幅跳跃和临界人数现象的机理研究》中提出了解释千禧桥的“跳跃”

现象的两种机制: (1) 利用修正的 Nakamura 模型, 将桥上行人的质量改变视为慢变量, 根据快慢变系统的延迟分岔理论可以解释人行桥侧向振幅的跳跃, 按照分岔点滞后量计算出来的临界人数和经典结论吻合, 但无法解释振幅的回落. (2) 将桥用由两根悬索和一根刚性杆件组成的双线摆模拟, 将行人荷载表示成带相位随机项的简谐波形式, 可以得到非完美周期的 Mathieu 型方程. 相位随机波动的幅度变化会引起解的稳定性的变化. 由此可以完整解释千禧桥侧向振幅的跳跃和回落.

高学军在《车辆稳定性计算中的轮轨接触模型探析》中从车辆稳定性计算方面出发, 简单讨论车辆稳定性计算中涉及的轮轨接触几何关系, 包括线性轮轨接触关系、简单非线性轮轨接触关系和复杂非线性轮轨接触关系, 详细论述稳定性计算中常涉及的 Kalker 线性蠕滑理论、Vermeulen-Johnson 蠕滑理论、Shen-Hedrick-Elkins 蠕滑理论和 Kalker 简化理论 (FastSim) 等, 主要讨论不同的轮轨接触模型的适用性问题.

杨永锋在《旋转悬臂梁系统的动力学建模和仿真》中对带有集中质量的旋转悬臂梁进行刚柔耦合动力学建模, 研究系统存在大范围运动时的动力学行为. 在精确描述柔性梁非线性变形基础上, 利用 Hamilton 原理和假设模态离散化法, 在计入柔性梁轴向变形和二阶耦合项的条件下, 推导出考虑动力刚化项的动力学方程, 分析了其动力学特性.

李富才在《超声导波在高铁轮轴结构中的传播机理及损伤监测》系统介绍了导波在高铁轮轴结构中传播的机理, 采用环形均布的压电晶片网络在结构中激励出超声导波, 并采用解析法、有限元法和试验验证对结构中的对称纵波模式进行分析. 利用损伤所致的波模式转换, 可以进行损伤的识别. 在很大程度上提高了基于导波结构健康监测技术中的最小可识别损伤.

3 随机、时滞系统和生物网络的动力学与控制

许勇的报告《非高斯 Lévy 噪声诱导的复杂动力学研究》给出作者及其团队最近在非高斯 Levy 噪声所诱导的复杂动力学方面的成果, 包括随机分岔、共振和首次穿越等, 特别是发现以往高斯噪声下所不能发现的现象, 研究非高斯与相关噪声对非线性动力学的作用机理、方法和理论. 总结了目前存在的

问题以及可能解决的方法.

孙中奎在《时滞噪声诱导的粒子跃迁行为研究》中研究了时滞噪声作用下一类双稳系统的跃迁动力学. 在绝热近似假设下, 通过建立时滞主方程, 得到了经典 Langevin 模型和时滞 Langevin 模型的功率谱密度和线性响应函数的解析表达式; 通过求解时滞主方程, 进一步得到了时滞噪声作用下 Langevin 模型逃逸速率的分段表达式, 进而推导了该模型的平均驻留时间分布函数. 在此基础上, 深入研究了该类双稳系统的随机共振现象, 讨论了时滞、噪声强度以及信号幅值对系统跃迁行为的影响, 揭示了时滞噪声对粒子在双势井中跃迁行为的重要影响.

赵艳影在《饱和控制及时滞对饱和控制的影响》中报告了采用时滞反馈控制梁的饱和控制的振动问题. 分析了外激励振幅、阻尼系数、非线性反馈控制系数和内共振解谐参数对饱和控制的影响规律. 研究表明, 通过时滞反馈能够控制饱和控制的频率区间漂移并拓宽减振频带宽度. 调节时滞反馈控制增益系数和时滞量能够在某些区域抑制梁的振幅.

靳艳飞在《路面随机激励下半车非线性悬架的振动响应及最优控制》中针对考虑悬架刚度的非线性迟滞特性以及悬架阻尼的非线性半车动力学模型, 研究其在路面随机激励下的振动响应及控制方法, 分析了车辆在随机路面激励下的平稳和非平稳随机振动响应. 基于随机最优控制理论对非线性悬架的平稳和非平稳响应进行主动控制, 研究结果对悬架系统的设计与控制具有实际指导意义.

刘中华作了题为《拟哈密顿系统的瞬态随机响应分析》的报告, 主要介绍了采用拟不可积哈密顿系统随机平均法, 拟可积哈密顿系统随机平均法和拟部分可积哈密顿系统随机平均法对原随机系统进行平均简化, 再应用 Galerkin 方法求解相应的 FPK 方程, 从而得到系统的瞬态概率密度近似解, 对于拟哈密顿系统瞬态响应的求解提供了一种简单可行的方法.

宦荣华在《随机 Markov 跳变系统的动力学与最优控制》中主要研究了具有随机时滞的非线性网络控制系统的稳态响应与随机稳定性. 将随机时滞模型化为连续时间 - 离散状态的 Markov 过程, 网络控制系统转化为同时包含连续和离散变量的混合系统. 基于随机平均法导出混合系统响应概率密度所满足的 FPK 方程组, 并确定了最大李亚普诺夫指数表达

式,得到时滞网络控制系统渐进稳定的充要条件.

茅晓晨的报告《非线性时滞耦合神经网络的复杂力学特性》研究了时滞和非线性联合作用下耦合神经网络系统的稳定性切换和分岔、同步振荡及复杂动力行为.根据空间分解法解耦高维特征方程,给出特征根分布情况的判据,寻找系统出现奇异性的临界参数值,结合中心流形约化法确定分岔点的动力学特性,揭示时滞等参数对于稳定性、同步和异步振荡及其相互间切换的影响.

杨卓琴在《形成长期记忆的基因调控最小模型及其动力学行为》中研究了在转录激活子和抑制子组成的正负反馈网络中,由刺激物 5-HT 的作用导致网络出现单稳、双稳和多稳现象和多重分岔行为,讨论了解释了由分子数目涨落导致的系统不同随机动力学的内在机理,发现 5-HT 的浓度与长期记忆的形成有关.

上述报告内容涉及学科自身发展的前沿科学问题以及国家重大工程建设关键技术问题,研究深入,内容覆盖面广,是理论分析、高性能计算与精细

化试验的有机结合,充分体现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维活跃、讨论热烈、交流充分,达到了本次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.詹世革就动力学与控制学科发展、青年研究学者肩负的重任以及下次研讨会深入交流的方式等问题和与会代表进行了交流.徐鉴、杨绍普、张伟、陈立群、黄志龙、彭志科、文桂林、王青云和宝音贺西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经验,并且提出了建议.青年学者们结合自己的研究方向,就科学研究中的困惑,创新研讨会的内容与形式,凝练和挖掘面向国家重大需求的深层次的科学问题展开了热烈的讨论,给出了一些建设性的建议和意见.最后,徐鉴进行了本次会议的总结,对本届研讨会承办方细致周到的工作表示感谢,并对下一届研讨会提出了期望.本次研讨会商定第十届全国动力学与控制青年学者研讨会由南京航空航天大学承办,于 2016 年在南京召开.

doi: 10.6052/0459-1879-15-366

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

Shen Jianwei^{*,2)} Sun Zhongkui[†] Zhan Shige[†] Zhang Panfeng[†] Xu Jian^{**}

^{*}(Institute of Applied Mathematics, Xuchang University, Henan, Xuchang 461000, China)

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

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

Abstract This paper brief introduced the ninth 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 1 September 2015.

1) The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (11442003).

2) E-mail: xcjwshen@yahoo.com