

动力学、振动与控制的研究

第五届全国一般力学学术会议论文集

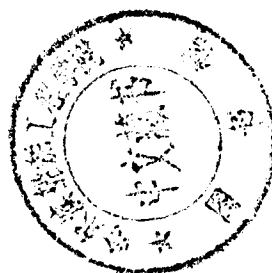
陈 滨 主编

北京大学出版社

动力学、振动与控制的研究

第五届全国一般力学学术会议论文集

陈 滨 主编



北 京 大 学 出 版 社

• 1994 •

新登字(京)159号

图书在版编目(GIP)数据

动力学、振动与控制的研究/陈滨主编。—北京：北京大学出版社，1994.9

ISBN 7-301-02535-1

I.动… II.陈… III.①动力学-振动理论-学术会议-文集②动力学-运动稳定性理论-学术会议-文集 IV.0313-53 032-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第01974号

D201/35

书 名：动力学、振动与控制的研究

著作责任者：陈 滨 主编

责任编辑：李采华 翟 定

标准书号：ISBN 7-301-02535-1/0·339

出 版 者：北京大学出版社

地 址：北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

电 话：出版部 2502015 发行部 2559712 编辑部 2502032

排 印 者：北京大学印刷厂

发 行 者：北京大学出版社

经 销 者：新华书店

787×1092毫米 16开本 25印张 620千字

1994年9月第一版 1994年9月第一次印刷

印 数：0001—1250册

定 价：48元

内 容 简 介

本书是中国力学学会一般力学专业委员会主持召开的第五届全国一般力学学术会议的文集。全书共收录112篇论文，分为分析动力学、非线性动力学与振动、多体系统动力学与机器人、运动稳定性与控制四大部分。这些成果反映了全国一般力学工作者在动力学、振动与控制领域研究的最新成果。

本书可供高等院校师生以及工业技术部门有关研究者参阅。

编 辑 委 员 会

主 编 陈 滨

副主编 王照林 梅凤翔 洪嘉振 陆启韶 陈予恕

序 言

近几年来,我国一般力学界的研究工作取得了重要的进展。1990年,在北京召开了盛大的“国际一般力学(动力学、振动与控制)学术会议”。在这之后,1991年5月在北京召开的第四届一般力学专业委员会工作会议上,确定了在本领域的研究工作中强调重视现代数学方法和计算机应用的方针并广为宣传,推动了学术研究水平的提高。1992年,一般力学专业委员会各专业组全面积极地开展了学术交流活动,分别召开了三个学术会议,出版了三本文集,反映了一般力学界丰硕的研究成果。1993年暑期,在国家自然科学基金委员会力学学科发展战略研究组与中国力学学会一般力学专业委员会共同组织下,在哈尔滨召开了“一般力学发展与展望学术讨论会”,邀请了国内一般力学界各方面的专家,对本领域的各个重要方面的国内外学术研究情况做了深入的总结和分析,并提出了我们需要着重研究的课题。在这次高水平的讨论会上,大家一致认为,将一般力学研究的实质内容概括为“动力学、振动与控制”(Dynamics, Vibration and Control)是恰当的,建议和“一般力学”这个术语并行使用“动力学、振动与控制”这个名称,这样便于和国际习惯的术语接轨,也更便于开展国际学术交流。会议通过认真的讨论和研究,总结出“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”的重要文章。所有这些成果都是非常有价值的,对提高我国一般力学研究的水平有重要的指导意义。这些成果已由科学出版社以“一般力学(动力学、振动与控制)最新进展”为书名正式出版。

在全国一般力学界的积极努力下,1994年10月8日至12日,将在宜昌召开第五届全国一般力学学术会议。这又是我国一般力学学术研究成果的一次大检阅。本文集就是这些成果的汇编。文集共收集112篇论文,分为分析动力学、非线性动力学与振动、多体系统动力学与机器人、运动稳定性与控制四大部分。由于篇幅的限制,论文的录用分为全文和详细摘要两种。我们希望这次盛大的学术交流和本文集的出版能有力地推动全国一般力学学术研究工作的进展,使我们的研究工作达到更高的水平。

中国力学学会办公室与北京大学出版社对本文集的及时出版给予了巨大的帮助,谨致谢忱。

陈 滨

1993年12月

目 录

分 析 动 力 学

广义Birkhoff 系统的几何框架.....	吴惠彬 梅凤翔 吴叶军 (1)
约束条件的实现与非完整非完备力学系统的数学模型.....	薛 纭 (5)
分析力学未来发展中的几个问题.....	赵跃宇 梅凤翔 (9)
正则空间Hamilton原理的一个性质.....	陈 滨 (13)
标准化的碰撞方程.....	孙右烈 (15)
一类非完整系统关于部分变元与关于全部变元稳定性的关系.....	朱海平 梅凤翔 (18)
单参数李变换群对积分一类非完整系统运动方程的应用.....	张永发 梅凤翔 (22)
广义非完整力学系统的非等时变分方程与积分不变量的构造.....	罗绍凯 (27)
耳蜗力学模型研究.....	徐世钰 (33)
广义事件空间中的相对论性 Nielsen 方程.....	朱 琳 (37)
变质量高阶非 Чераев 型约束系统的广义守恒律.....	苏正雷 罗绍凯 (39)
非完整力学系统的 Appell 型 Poincaré 方程.....	范新建 (42)
高阶非完整系统的相对论性新型运动微分方程.....	方建会 (44)
经典力学的一类新型积分变分原理.....	罗绍凯 (48)
非惯性系动力学问题的一种分析方法.....	黄海清 (50)
非完整系统中 $d-\delta$ 运算交换性的判断准则.....	徐振铎 (52)
用 Kane 方法研究高阶非完整系统.....	吕哲勤 (55)
考虑摩擦的物体碰撞问题.....	李翠英 袁士杰 (57)
动点相对运动瞬时曲率半径的矢量证法.....	郭志勇 徐子善 (59)
用奇异函数解分跨等值连续梁.....	刘甲刚 (62)
数控立式车床滑枕、滑座组合刚度分析.....	彭天国 王守信 刘助柏 (65)
弹性变形可恢复性的数学描述.....	黄 平 陈智纯 金以文 胡事民 (67)

非线性动力学与振动

非线性参数激励系统周期分岔研究的若干问题.....	陈予恕 徐 鉴 (69)
强相互作用下旋涡诱发振动的主共振分岔.....	陆启韶 (73)
关于非定常冲击动力系统理论.....	舒仲周 (77)
粒子运动的分形 Newton 理论.....	阎 坤 (81)
非线性动力系统摄动与高阶近似 Melnikov 函数 及其全局分岔.....	霍麟春 张 伟 (86)
非线性参数激励系统的不稳定区域.....	唐 云 (90)
参外激励联合作用下的非线性振动系统的混沌.....	王德石 陈予恕 (94)
受迫 Duffing 振子中混沌运动的控制.....	张 辉 吴洪泰 (99)
两个非.....随机响应.....	朱位秋 黄志龙 (104)

非平稳随机激励下主-从结构的隔振与吸振分析·····	方 同 孙木楠	张天舒(108)
滞后非线性悬挂车辆的垂向随机响应·····	陈恩利 杨绍普 段淑敏	刘献栋(112)
非线性精细迭代时程积分·····		钟万勰(116)
直升机旋翼气动弹性方程与混沌响应·····	王士敏	张光枢(119)
多体系统振动的传递矩阵法的若干问题·····	芮筱亭 刘正福	陆毓琪(121)
粗糙水平面上旋转陀螺的小扰动解·····	孟庆珍	李 骊(125)
考虑电磁非线性机电耦联的动力学问题·····	邱家俊	邱 宇(130)
关于一类延迟系统的平稳振荡·····	赵杰民 黄克累	陆启韶(137)
具有滞后特性 Duffing 方程的异宿分岔·····	张 建	(141)
非线性振动系统的主共振-基本参数共振 ·····	张 伟	霍麟春(145)
动力吸振器用于提高飞机壁板隔声量的研究·····	孙朝晖 孙进才 王 冲	戴 扬(149)
双模数复合材料正交铺设厚层板自由振动中的横向剪切影响 ·····	张根全 赵永刚	阎庆荣(153)
粘弹性地基上粘弹性圆板的动态响应·····	杨东戈	曲庆璋(157)
辨识航行体水动力参数的预报误差法·····	丁文镜	罗仁凡(160)
时变振动系统参数识别数值研究·····	梁艳春 王在中	甄 强(164)
强非线性系统周期解的能量法·····		李 骊(168)
强非线性振动系统的一种渐近解·····	毕勤胜	陈予恕(170)
一类非线性振动系统解之稳定性的讨论·····	支希哲	刘 寒(172)
电磁非线性的拉格朗日-麦克斯韦方程推广 ·····	邱家俊	杨志安(174)
关于符号动力系统中稠密轨道的一点注记·····		谢建华(176)
用范式理论研究常微分方程焦点量问题·····	张琪昌 陈予恕	梁以德(178)
非线性中立型时滞微分方程解的振动性·····	靳明忠 董 莹	李崇孝(180)
具有非对称阻尼的二自由度系统的随机振动分析·····	孙东昌 宋 珍	郑祚馨(182)
旋转状态下偏心底部钻具组合的振动分析·····	刘启洲	王珍应(185)
六轴机车横向运动稳定性分析的矩阵摄动理论 ·····	刘献栋 杨绍普 段淑敏	陈恩利(187)
N 重平面复摆的参数振动·····	殷学纲	陈 刚(189)
大型列管换热器随机动力分析的探讨·····	刘敏珊 董其伍	王学生(192)
静载荷作用下柔韧圆板的大幅度振动·····	杜国君 彭天国	侯密山(195)
弹性地基上大变形矩形板的动力分析·····	曲庆璋 梁兴复	章 权(197)
对称层合简支梁非线性振动分析·····	樊建平 杨文兵	王 乘(199)
复合材料层合板自由振动数值分析·····	樊建平 杨文兵	王 乘(201)
粘弹性地基上无限大板在动载荷作用下的力学分析·····	王 虎 梁兴复	曲庆璋(203)
振动系统时变参数识别分析探讨·····		李湘君(205)
物理参数直接识别法中的若干问题·····		梁艳春(207)

多体动力学与机器人

柔性多体系统动力学方程的递推组集与并行计算·····		史振宽(209)
----------------------------	--	----------

柔性多体系统动力学分析中模态的选取·····	郑吉兵 蔡泰信 张劲夫(214)
柔性体动力学方程的简化·····	王 琪 黄克累 张安厚(218)
双机械臂协调系统动力学方程及特性·····	王兴贵 马兴瑞 邹振祝 邵成勋(221)
柔性机械臂点位运动控制的逆动力学方法·····	费从宇 朱德懋(225)
多弹性体机械臂的鲁棒奇异摄动控制·····	王大力 王照林(230)
双弹性机械臂的预校正控制及仿真·····	任长林 李元春 陆佑方(235)
旋量矩阵法及双臂运动学, 动力学与控制·····	朱 明(238)
轮式移动机器人动力学分析·····	贾书惠 宫国晖 袁曾任(242)
机器人操作手的时间最优控制·····	赵仕荣 陈 滨(247)
多刚柔体系统动力学在车辆系统中的应用·····	吴永桥 黎明发 金伏生(250)
航天工程中的姿态动力学·····	李铁寿(255)
一般力学在排球发球技术中的应用·····	蔡泰信 张劲夫 张晓光 白存儒等(261)
基函数的不同选取对柔性机械臂动力学特性的影响·····	邹建奇 陆佑方 冯冠民(265)
关节较柔性多体系统动力学的部件模态方法·····	李明成 朱世晋 朱 明(267)
柔性机械臂两种动力学模型的比较·····	邹建奇 王 彬 张京军(270)
机器人动画显示软件的改进·····	潘寒萌 张瑞云(272)
约束多体系统的正交投影法·····	齐朝晖 陆佑方 王志选(275)
多体系统动力学符号和/或数值模型的计算机自动生成软件·····	陈建平 朱 明(277)
四元数在机器人动力学中的应用·····	张劲夫(279)
受随机干扰力作用的多刚体系统的动力学分析及随机响应·····	杨明焱 袁士杰(281)

运动稳定性与控制

充液陀螺的稳定性问题·····	刘延柱 包光伟(283)
关于旋转充液腔体永久运动稳定性的基本定理——新动势定理·····	朱如曾 张正平(287)
带挠性梁的充液刚体自旋运动稳定性的进一步研究·····	匡金炉 黄克累(294)
一类旋转充液弹丸角运动的全局分岔分析·····	王照林 李 磊 曾江红 程建华(298)
圆周轨道上的刚-弹耦合系统的运动稳定性·····	程 耀 黄克累 陆启韶(303)
非对称双自旋卫星的动力学方程与姿态稳定性·····	张光枢(306)
具有阻力消除系统的球载落舱的飞行动力学与数值分析 ·····	程建华 黄曙光 曾江红 王照林等(311)
有干摩擦时单自由度陀螺罗盘的运动·····	王洪兰(315)
系统不稳定性基本判据的推广及应用·····	阎醒民 范锦鸾(319)
非线性驻定系统的李雅普诺夫函数构造法·····	张昌波 卢水章 俞洪元(323)
时滞系统实用稳定性的 Liapunov-Razumikhin 直接方法·····	王照林 楚天广(329)
时变线性时滞系统的稳定性·····	阎醒民 马良河(333)
变速运行旋转梁在转动平面上横振动的运动稳定性分析·····	张书顺 曹承佳(337)
二系滞后非线性悬挂的六轴机车的稳定性分析 ·····	段淑敏 陈恩利 刘献栋 杨绍普(342)
模态叠加——Riccati 传递矩阵法 ·····	顾致平 孟 光 支希哲(346)

关于并发神经网络系统鲁棒稳定性的研究·····	蒋耀林 徐健学(350)
自动对接焊应力与变形有限元分析·····	孙明如 董卫真(354)
大型废热锅炉新型高低温管板强度研究·····	董其伍 刘敏珊 樊光福等(358)
离散状态转移矩阵范数判稳法·····	张书顺 曹承佳(362)
具有横向裂纹转子系统的振动特性研究·····	薛 璞(365)
斜弹簧的当量刚度·····	鞠志林(368)
战斗机航炮弹链的动力学仿真·····	李德昌 章定国 谢大雄(372)
矩形物体失去平衡后的运动形式预测·····	张少钦 江泽涛(374)
自适应结构主动控制实验研究·····	王 冲 孙朝晖 戴 扬 孙进才(377)
货运索道曳引索下垂度计算的剪力法·····	罗金榜(379)

CONTENTS

ANALYTICAL MECHANICS

Geometric Frames of Generalized Birkhoff Systems

..... Wu Huibin Mei Fengxiang et al. (1)

Realizations of the Constraint Condition and Mathematical Models for

Nonholonomic Imperfect Mechanical SystemsXue Yun (5)

Some Problems on Analytical Mechanics in the Future

..... Zhao Yueyu Mei Fengxiang (9)

A Property of Hamilton's Principle in the Canonical SpaceChen Bin (13)

Normalized Impact EquationsSun Youlie (15)

Relationship between the Stability of a System Nonholonomic with Respect to

Partial Variables and That to All Variables

.....Zhu Haiping Mei Fengxiang (18)

Integrating One Kind of Equations of Motion of a Nonholonomic System by

Single-parameter Lie Group of Transformation

..... Zhang Yongfa Mei Fengxiang (22)

Nonisochronic Variational Equations and Integral Invariants of Generalized

Nonholonomic Mechanical Systems Luo Shaokai (27)

A Study on the Model of Cochlear MechanicsXu Shiyu (33)

Relativistic Nielsen Equations in the Generalized Event Space Zhu Lin (37)

On the Generalized Conservative Laws of Variable Mass Higher-order

Nonholonomic Systems with Constraints of Non-Chetaev Type

..... Su Zhenglei Luo Shaokai (39)

Appell-Poincaré Equations for a Nonholonomic Dynamical System

..... Fan Xinjian (42)

Relativistic New Form of the Differential Equation of Motion for a Higher

Order Nonholonomic Mechanical System Fang Jianhui (44)

New Integrational Variational Principles in Classical Mechanics

..... Luo Shaokai (48)

A Method of Analyzing Dynamic Problems in the Noninertial Reference

..... Huang Haiqing (50)

A Criterion on the Reciprocity of d - δ Operation in the Mechanics of

Nonholonomic Systems.....Xu Zhenduo (52)

A Study of Higher Order Nonholonomic Systems Using Kane's Equations

..... Lü Zheqin (55)

Rigid Body Collisions with Friction.....	Li Cuiying Yuan Shijie (57)
A Vector Method for Finding the Radius of Curvature of the Relative Motion Path of a Moving Point.....	Guo Zhiyong Xu Zishan (59)
A Method of Calculating a Continuous Beam with Spanwise Cross-sections by Singularity Functions	Liu Jiagang (62)
A Stiffness Analysis for the Composite Structure Including Railhead Ram and Railhead of a Digital by Controlled Vertical Lathe	Peng Tianguo Wang Shouxin et al. (65)
Mathematical Description of the Recuperation Capacity for Elastic Deformations	Huang Ping Chen Zhichun et al. (67)

NONLINEAR DYNAMICS AND VIBRATION

Some Problems on Periodic Bifurcation in a Nonlinear System with Parametric Excitation	Chen Yushu Xu Jian (69)
Main Resonant Bifurcation in Vortex-induced Vibrations with Strong Interaction	Lu Qishao (73)
On the Theory of Nonautonomous Dynamical Systems with Impulses	Shu Zhongzhou (77)
Practical Newtonian Theory of Particle Motions	Yan Kun (81)
Perturbations of Nonlinear Dynamical Systems, Higher Order Approximate Melnikov Functions and Global Bifurcations of Limit Cycles	Huo Linchun Zhang Wei (86)
Instability Regions for Nonlinear Parametrically Excited Systems.....	Tang Yun (90)
Chaos in Nonlinear Systems with Both Parametric and Forced Excitations	Wang Deshi Chen Yushu (94)
Controlling Chaos in a Duffing Oscillator	Zhang Hui Wu Qitai (99)
Stationary Random Response of Two Linearly Coupled Van der Pol Oscillators	Zhu Weiqiu Huang Zhilong (104)
Analysis of Vibration Isolation and Dynamic Absorbing for Primary-secondary Structure under Nonstationary Random Excitation	Fang Tong Sun Mulan et al. (108)
Random Vertical Dynamic Response of Railway Vehicles with Hysteretic Nonlinear Hanging.....	Cheng Enli Yang Shaopu et al. (112)
Nonlinear Time-step Integration with Fine-Iteration	Zhong Wanxie (116)
Aero-elastic Equations and Chaotic Response of a Helicopter Rotor	Wang Shimin Zhang Guangshu (119)
Some Problems on Transfer Matrix Method in the Vibration of Multibody Systems.....	Rui Xiaoting Liu Zhengfu et al. (121)
Solution of a Rotating Top on Rough Horizontal Plane under Small Disturbances	

.....Meng Qingzhen Li Li(125)	
Dynamics of Mechanical and Electromagnetic Coupling with Electromagnetic	
Nonlinearity.....Qiu Jiajun Qiu Yu(130)	
On the Stationary Oscillation of a Class of Delay Systems	
.....Zhao Jiemin Huang Kelei et al.(137)	
Heteroclinic Bifurcation in the Duffing Equation with Hysteretic Characteristics	
.....Zhang Jian(141)	
Primary Resonance-Fundamental Parametric Resonance of Nonlinear Oscillators	
..... Zhang Wei Huo Linchun(145)	
Dynamic Vibration Absorbers Used for Increasing Noise Transmission Loss of	
Aircraft Panels Sun Zhaohui Sun Jincai et al.(149)	
Transversal Shear Effect in Free Vibrations of Thick Cross-ply Laminated	
Plates of Bimodulus Composite Materials	
..... Zhang Genquan Zhao Yonggang et al.(153)	
Dynamic Response of a Viscoelastic Circular Plate on Viscoelastic Foundation	
.....Yang Dongge Qu Qingzhang(157)	
Determining Hydrodynamic Parameters of a Submarine Moving Body with	
Identification MethodDing Wenjing Luo Renfan(160)	
Numerical Study of Parameter Identification on Time Varying Vibration	
Systems..... Liang Yanchun Wang Zaishen et al.(164)	
Energy Method for Computing Periodic Solutions of Strongly Nonlinear systems	
..... Li Li(168)	
A New Asymptotic Solution of Strongly Nonlinear Vibration Systems	
..... Bi Qinsheng Chen Yushu(170)	
A Discussion on Stability for a Kind of Nonlinear Vibration System	
.....Zhi Xizhe Liu Han(172)	
Extension of Lagrange-Maxwell Equations with Electromagnetic Nonlinearity	
..... Qiu Jiajun Yang Zhian(174)	
A Note on Dense Orbits in Symbolic DynamicsXie Jianhua(176)	
Studying the Focal Values of Ordinary Differential Equations by Normal	
Form Theory Zhang Qichang Chen Yushu et al.(178)	
Oscillation of Solutions of Nonlinear Neutral Delay Differential Equations	
..... Jin Mingzhong Dong Ying et al.(180)	
Random Vibration Analysis of a Two Degree-of-Freedom System with	
Nonsymmetric Damping Sun Dongchang Song Zhen et al.(182)	
Vibration Analysis of the Rotary Eccentric Bottom Hole Assemble	
..... Liu Qizhou Wang Zhenying(185)	
A Matrix Perturbation Theory on the Lateral Stability Analysis of a Six-axle	
Locomotive Liu Xiandong Yang Shaopu et al.(187)	

Parametric Vibration of an N -overlap Planar Pendulum	 Yin Xuegang Chen Gang(189)
Study of Random Dynamic Analysis on Large Shell-and-Tube Heat Exchangers	Liu Minshan Dong Qiwu et al.(192)
Large Amplitude Vibrations of Flexible Circular Plates under Static Load	 Du Guojun Peng Tianguo et al.(195)
Nonlinear Vibration Analysis for a Free Rectangular Plate on Elastic Foundation	Qu Qingzhang Liang Xingfu et al.(197)
Analysis of Nonlinear Vibration for Simply Supported Symmetric Laminated Beam.....	Fan Jianping Yang Wenbing et al.(199)
Numerical Analysis of Free Vibration on Laminated Composite Plate	 Fan Jianping Yang Wenbing et al.(201)
Dynamical Analysis of an Infinite Plate on Viscoelastic Foundation under Transient Loading	Wang Hu Liang Xinfu et al.(203)
Research on Identification Analysis of Time-varying Parameters of Vibration Systems.....	Li Xiangjun(205)
Some Problems in Direct Identification of Physical Parameters	 Liang Yanchun(207)

DYNAMICS OF MULTIBODY SYSTEMS AND ROBOTS

Recursive Formulation and Parallel Processing for Dynamic Equations of Flexible Multi-Body Systems	Hong Jiazhen Pan Zhenkuan(209)
Selection of Modes for the Dynamic Analysis of a Flexible Multibody System	 Zheng Jibing Cai Taixin et al.(214)
Simplification of the Dynamical Equation for a Flexible Body	 Wang Qi Huang Kelei et al.(218)
Dynamic Equation and Property of Two Coordinated Robot Arms	Wang Xinggui Ma Xingrui et al.(221)
The Inverse Dynamics Approach of Point-to-point position Control for Flexible Manipulator.....	Fei Congyu Zhu Demao(225)
Robust Singular Perturbation Control of Multilink Elastic Arms	 Wang Dali Wang Zhaolin(230)
The Pre-distort Control of Double Flexible Arm and Simulation	 Ren Changlin Li Yuanchun et al.(235)
Screw-matrices Method and Kinematics, Dynamics and Control Architecture for Two Manipulators Holding a Complex Object	Zhu Ming(238)
Dynamic Analysis for Wheeled Mobile Robot	 Jia Shuhui Gong Guohui et al.(242)
Control of Time Optimal Motions of Robot Manipulators	

.....	Zhao Shirong Chen Bin(247)
Application of Dynamics of Systems of Rigid and Soft Bodies in Vehicles	
.....	Wu Yongqiao Li Mingfa et al.(250)
Attitude Dynamics in Space Engineering	
.....	Li Tieshou(255)
Application of General Mechanics to Volleyball Service	
.....	Cai Taixin Zhang Jingfu et al.(261)
Effects of Different Choices of Basis Functions on Dynamic Behavior of	
.....	Flexible Manipulators
.....	Zhuo Jianqi Lu Youfang et al.(265)
Components Mode Method for Dynamics of Flexible Multibody Systems with	
.....	Revoluce Joints
.....	Li Mingcheng Zhu Shijin et al.(267)
Comparison of Two Models for Flexible Manipulators	
.....	Zhuo Jianqi Wang Bin et al.(270)
A Development of Robot Animation.....	
.....	Pan Hanmeng Zhang Ruiyun(272)
Orthogonal Projection Method in Constrained Multibody Systems	
.....	Qi Zhaohui Lu Yuofang et al.(275)
Computer-automated Generation of Symbolic and/or Numerical Models on	
.....	Dynamics of Multibody systems.....
.....	Chen Jianpin Zhu Ming(277)
Application of Quaternions in Robot Dynamics	
.....	Zhang Jingfu(279)
Dynamical Analysis and Stochastic Response of Systems of Rigid Bodies with	
.....	Stochastic Disturbing Forces
.....	Yang Mingyan Yuan Shijie(281)

STABILITY OF MOTION AND CONTROL

On the Stability of a Liquid-filled Gyroscope	
.....	Liu Yanzhu Bao Guangwei(283)
On the Fundamental Theorem for Stability of Permanent Rotation of Liquid-	
.....	filled Solid Bodies
.....	Zhu Ruzeng Zhang Zhenping(287)
The Stability of the Self-spinning Motion of the Liquid-filled Rigid Body	
.....	with Flexible Appendages—Further Studies.....
.....	Kuang Jinlu Huang Kelei(294)
Global Bifurcation Analyses on the Angular Motion of Rotating Liquid-filled	
.....	Projectile.....
.....	Wang Zhaolin Li Lei et al.(298)
The Stability of Stationary Motion of a Coupled Rigid-Elastic System in a	
.....	Circular Orbit
.....	Cheng Yao Huang Kelei Lu Qishao(303)
Dynamics Equations and Attitude Stability of Asymmetric Dual-spin Spacecraft	
.....	
.....	Zhang Guangshu(306)
The Flight Dynamics and Its Numerical Analysis of the Balloon-Dropeapsule	
.....	with a Resistance Eliminating System
.....	
.....	Cheng Jianhua Huang Shuguang et al.(311)
The Motion of a Gyrocompass with Single Degree-of-Freedom with Dry Friction	
.....	
.....	Wang Honglan(315)
Extensions and Applications of Basic Theorems of Instability	

.....Yan Xingmin Fan Jinluan(319)	
Construction Method of the Lyapunov Function of a Nonlinear Stationary	
System Zhang Changbo Lu Shuizhang et al.(323)	
Liapunov-Razumikhin Direct Method for Practical Stability of Delay Differential	
Systems.....Wang Zhaolin Chu Tianguang(329)	
Stability of Linear Time-varying System with Time Lags	
.....Yan Xingmin Ma Lianghe(333)	
Stability of Motion Analysis of the Flexural Vibration of a Rotating Beam with	
Variable Speed in its Rotation-plane.....Zhang Shushun Chao Chengjia(337)	
Stability Analysis of a Six-axle Locomotive with Hysteretic Nonlinearities in	
Second Suspension System Duan Shumin Chen Enli et al.(342)	
A Mode Summation—Riccati Transfer Matrix Method	
.....Gu Zhiping Meng Guang et al.(346)	
On the Study of Robust Stability of Recurrent Neural Network	
..... Jiang Yaolin Xu Jianxue(350)	
FE-analysis of Stresses and Deformations in Automatic Butt-welding	
..... Sun Mingru Dong Weizhen(354)	
Strength Study of a New Type Tube-Sheet with Higher and Lower Temperature	
Zone on Large Scale Waste Heat Boiler	
.....Dong Qiwu Liu Minshan et al.(358)	
Computational Implementation of Judging the Stability of the Nonautonomous	
System—the Method for Judging the Stability with the Norms of the State	
Transition.....Zhang Shushun Chao Chengjia(362)	
Investigation of Vibration Behaviour for a Rotor with a Transverse Crack	
..... Xue Pu(365)	
Equivalent Constant of a Sloped Spring.....Ju Zhilin(368)	
A Dynamical Simulation of the Battle Plane Bullet Chain	
..... Li Dechang Zhang Dinguo et al.(372)	
Prediction of the Moving Form of a Rectangle Body after Losing Its Equilibrium	
.....Zhang Shaoqin Jiang Zhetao(374)	
Experimental Study on Adaptive Active Control of Structural Vibration	
..... Wang Chong Sun Zhaohui et al.(377)	
Shear Force Method on the Downward Deflection Calculation for a Cable Under	
TensionLuo Jinbang(379)	

广义Birkhoff系统的几何框架*

吴惠彬 梅凤翔 吴叶军

(北京理工大学 北京 100081)

提要 本文对 Birkhoff 系统理论进行了推广,同时用高阶切丛、余切丛等几何理论,建立了广义 Birkhoff 系统的几何框架,并首次将约束引入该系统。

关键词 Birkhoff 系统, 广义 Birkhoff 系统, 切丛, 余切丛, 约束

一、引言

Birkhoff 系统是指运动由 Birkhoff 方程^[1]

$$\left(\frac{\partial R_r}{\partial a^\mu} - \frac{\partial R_\mu}{\partial a^r}\right)\dot{a}^r - \left(\frac{\partial B}{\partial a^\mu} + \frac{\partial R_\mu}{\partial t}\right) = 0, \quad a = (r, Y), \quad \mu = 1, 2, \dots, 2n, \quad (1)$$

其中 B, R , 称为 Birkhoff 函数, 来描述的力学系统。它比 Hamilton 系统更一般, 并且具有一系列的重要性质。因此, 对 Birkhoff 系统的研究已成为数学物理学科, 特别是分析力学的一个近代发展方向, 并已取得一些成果^[1-3], 其中具有代表性的是文献[1], 它所考虑的是一个仅依赖位形和速度, 且不受任何约束的力学系统, 其相空间为 T^*M , 其位形空间为 M 。致于受约束的或系统不仅依赖于位形和速度, 而且还依赖于加速度及广义坐标的高阶导数的相应力学系统, 至今还没有人研究过。

另一方面, 众所周知, 近代微分几何为经典力学的研究提供了很好的工具, 有关这方面的研究已很多^[4-6]。最近, Manuel de León 等采用高阶切丛、余切丛及几乎切几何(almost tangent geometry)的技术建立了受约束的高阶 Lagrange 系统及相应的 Hamilton 系统的几何框架, 并研究了其中的一些性质^[7]。

本文将用类似文献[7]的方法, 建立比 Birkhoff 系统更一般的系统——广义 Birkhoff 系统的几何框架, 该系统不仅依赖于位形和速度, 而且还依赖于加速度、广义坐标的高阶导数, 并受有约束, 由此导出广义 Birkhoff 方程。

二、广义 Birkhoff 系统

称方程

$$\left(\frac{\partial R_r(t, a)}{\partial a^\mu} - \frac{\partial R_\mu(t, a)}{\partial a^r}\right)\dot{a}^r - \left(\frac{\partial B(t, a)}{\partial a^\mu} + \frac{\partial R_\mu(t, a)}{\partial t}\right) = 0, \quad (2)$$

$$a = (r, Y_1, r, Y_2, \dots, r^{(k-1)}, Y_k), \quad \mu = 1, 2, \dots, 2kn$$

* 国家自然科学基金资助课题。

为 k 阶的广义 Birkhoff 方程; 同样地, 运动由它来描述的力学系统称为广义 Birkhoff 系统, 其中 B 和 R_μ 称为广义 Birkhoff 函数, B 代表该系统的总能量. 显然, 当 $k=1$ 时, 方程(2)就退化为方程(1), 即通常的 Birkhoff 系统.

对于方程(1)所确定的 Birkhoff 系统, 其有如下的几何表示^[1]. 令 M 为系统的位形空间, 则 $R \times T^*M$ 为系统的相空间, $\hat{R}$ 为相空间上的任意 1-形式, 它使得 2-形式 $\hat{\Omega} = d\hat{R}$ 满秩. 于是一阶($k=1$)的一般形式的 Birkhoff 方程(1)有整体几何表示

$$i_{\hat{X}}\hat{\Omega} = 0, \quad dt(\hat{X}) = 1, \quad (3)$$

其中 $\hat{X}$ 称为整体表示的一般形式的 Birkhoff 矢量场. 若用局部坐标表示, 1-形式

$$\hat{R} = R_\mu(t, a) da^\mu - B(t, a) dt, \quad \mu = 1, 2, \dots, 2n, \quad (4a)$$

即

$$\hat{R} = \hat{R}_\mu(\hat{a}) d\hat{a}^\mu, \quad (4b)$$

其中 $B = R_0$, $\hat{a} = (t, a)$, $\mu = 0, 1, 2, \dots, 2n$. 于是, 由(3)式可得 Birkhoff 方程的统一形式

$$\hat{\Omega}_{\mu\nu}(\hat{a}) d\hat{a}^\nu = 0, \quad \mu = 0, 1, 2, \dots, 2n, \quad (5a)$$

$$\hat{\Omega}_{\mu\nu} = \frac{\partial R_\nu}{\partial a^\mu} - \frac{\partial R_\mu}{\partial a^\nu}, \quad \mu, \nu = 1, 2, \dots, 2n, \quad (5b)$$

$$\hat{\Omega}_{0\nu} = -\left(\frac{\partial B}{\partial a^\nu} + \frac{\partial R_\nu}{\partial t}\right) = -\hat{\Omega}_{\nu 0}, \quad \nu = 1, 2, \dots, 2n. \quad (5c)$$

当系统为自治系统时, (3)式则简化为

$$i_X\Omega = -dB, \quad (6)$$

其中 X 为整体的 Birkhoff 矢量场, Ω 是 T^*M 上的非奇异的、闭的恰当 2-形式.

同样地, 我们可以建立 k 阶广义 Birkhoff 系统的几何理论. 令 M 为系统的位形空间, 则相空间为 $R \times T^*(T^{k-1}M)$, $\hat{R}_k$ 为其上的任意 1-形式, 它使得 2-形式 $\hat{\Omega}_k = d\hat{R}_k$ 满秩. 于是, k 阶广义 Birkhoff 方程有整体的几何表示

$$i_{\hat{X}_k}\hat{\Omega}_k = 0, \quad (7a)$$

$$dt(\hat{X}_k) = 1, \quad (7b)$$

其中 $\hat{X}_k$ 为整体表示的一般形式的广义 Birkhoff 矢量场. 若用局部坐标表示, 则 1-形式

$$\hat{R}_k = R_\mu(t, a) da^\mu - B(t, a) dt, \quad \mu = 1, 2, \dots, 2kn. \quad (8)$$

于是, 由(7)式可得 k 阶广义 Birkhoff 系统的局部坐标方程, 即方程(2).

类似地, 若系统是自治的, 则相空间为 $T^*(T^{k-1}M)$, 方程(7)就简化为

$$i_{X_k}\Omega_k = -dB, \quad (9)$$

其中, X_k 为 $T^*(T^{k-1}M)$ 中的整体表示的广义 Birkhoff 矢量场, Ω_k 为其上的非奇异的、闭的恰当 2-形式, B 为广义 Birkhoff 函数.

三、带约束的广义 Birkhoff 系统

采用文献[7]中约束的嵌入方法, 下面我们建立带约束的 k 阶广义 Birkhoff 系统的几何理论.

定义 称四元组 $(R \times T^*(T^{k-1}M), \hat{\Omega}_k, B, C)$ 为受约束的 k 阶广义 Birkhoff 系统, 其中 M