

尊敬的作者，您好！

您的论文在《物理学报》2014 年第 63 卷第 16 期发表，现将该文的电子抽印本发给您留存。文章的引用参数请见页眉。

《物理学报》的发展离不开国内作者的大力支持，为进一步提高我刊的国际影响力，同时更好地宣传您的工作，建议您和您的研究团队及时向同行介绍您的文章，参加国内外学术会议或者发表文章时，关注您在我刊发表的相关论文。


在这里列出了学报近两年刊登的与您研究领域相关的部分文章，希望可以为您今后的研究工作提供一些参考。

非常感谢您对《物理学报》的支持！

《物理学报》编辑部


Willis 环脑动脉瘤系统的混沌分析及随机相位控制

古元凤，肖剑

2014, 63(16): 160506. 全文:  [PDF](#) (835KB)


基于液体晃动干扰观测器的航天器混沌姿态 H_∞ 控制

秦利，刘福才，梁利环，侯甜甜

2014, 63(9): 090502. 全文:  [PDF](#) (535KB)


混沌神经网络的动态阈值控制

张旭东，朱萍，谢小平，何国光

2013, 62(21): 210506. 全文:  [PDF](#) (1468KB)


基于共振参数微扰法的 SEPIC 变换器的混沌控制

李冠林，李春阳，陈希有，张效伟

2013, 62(21): 210505. 全文:  [PDF](#) (4990KB)


参数不确定永磁同步电机混沌系统的有限时间稳定控制

唐传胜，戴跃洪

2013, 62(18): 180504. 全文:  [PDF](#) (1094KB)

不确定混沌系统的多项式函数模型补偿控制

曾喆昭，雷妮，盛立程

2013, 62(15): 150506. 全文:  [PDF](#) (331KB)

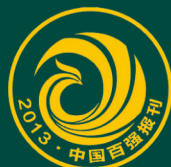
ISSN 1000-3290

物理学报

Acta Physica Sinica

2014.16 第 63 卷 第 16 期

[http: // wulixb.iphy.ac.cn](http://wulixb.iphy.ac.cn)



中国物理学会
中国科学院物理研究所

Chinese Physical Society

Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

物 理 学 报

第 63 卷 第 16 期 2014 年 8 月

目 次

总论

- 160201 一类非线性耦合系统的复合型双孤子新解 套格图桑 伊丽娜
- 160501 基于信息熵的社交网络观点演化模型 黄飞虎 彭舰 宁黎苗
- 160502 系统非对称性及记忆性对布朗马达输运行为的影响 王飞 谢天婷 邓翠 罗懋康
- 160503 空时非对称分数阶类 Langevin 棘齿 周兴旺 林丽烽 马洪 罗懋康
- 160504 基于量子粒子群算法的自适应随机共振方法研究 李一博 张博林 刘自鑫 张震宇
- 160505 具有对应分段系统和指数系统的新混沌系统的 Hopf 分岔控制研究 ... 张玲梅 张建文 吴润衡
- 160506 Willis 环脑动脉瘤系统的混沌分析及随机相位控制 古元凤 肖剑
- 160507 基于不确定性变时滞分数阶超混沌系统的滑模自适应鲁棒的同步控制
..... 吴学礼 刘杰 张建华 王英
- 160508 用于混沌时间序列预测的组合核函数最小二乘支持向量机 田中大 高宪文 石彤
- 160701 用于空间 X 射线通信的栅极控制脉冲发射源研究
..... 马晓飞 赵宝升 盛立志 刘永安 刘舵 邓宁勤

核物理学

- 162301 等待点 $N = 82$ 附近核素 β^- 衰变寿命的研究 陈泽 张小平 杨洪应 郑强 陈娜娜 支启军
- 162302 有效液滴模型对超铅区结团放射性的研究 圣宗强 舒良萍 孟影 胡继刚 钱建发
- 162303 使用 α 粒子轰击天然镱靶制备 $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ 同质异能素及样品 γ 能谱分析
..... 屠小青 周荣 代飞 杨天丽 杨朝文
- 162501 离线测量钍快中子裂变反应率方法 ... 冯松 刘荣 鹿心鑫 羊奕伟 王玫 蒋励 秦建国
- 162801 一维贫铀/聚乙烯交替系统中 D-T 中子诱发的 $^{232}\text{Th}(n, \gamma)$ 反应率的测定与分析
..... 羊奕伟 刘荣 蒋励 鹿心鑫 王玫 严小松

原子和分子物理学

- 163101 3d 过渡金属 Co 掺杂核壳结构硅纳米线的第一性原理研究
..... 廖建 谢召起 袁健美 黄艳平 毛宇亮
- 163201 不同动能的 $^{129}\text{Xe}^{26+}$ 与 Au 表面作用产生的 X 射线谱
..... 梁昌慧 张小安 李耀宗 赵永涛 肖国青
- 163202 Eu^{20+} 入射 Au 靶发射 Eu L-X 射线产额与动能的相关性
..... 李耀宗 张小安 梁昌慧 赵永涛 周贤明
- 163601 $\text{Al}_2\text{S}_n^{\pm}$ ($n = 2-10$) 团簇结构特征和稳定性的密度泛函理论研究
..... 吕瑾 杨丽君 王艳芳 马文瑾

电磁学、光学、声学、传热学、经典力学和流体动力学

- 164101 基于 Newmark 算法的任意磁化方向铁氧体电磁散射时域有限差分分析
..... 王飞 魏兵 杨谦 李林茜

- 164102 含卷浪Pierson-Moscowitz谱海面电磁散射研究 李文龙 郭立新 孟肖 刘伟
- 164201 小宽带光谱色散匀滑光束传输特性研究
..... 刘兰琴 张颖 耿远超 王文义 朱启华 景峰 魏晓峰 黄晚晴
- 164202 应用改进的物理光学法和图形计算电磁学近似算法快速计算导体目标电磁散射特性
..... 朱艳菊 江月松 张崇辉 辛灿伟
- 164203 连续相位板面形的随机特性研究 吕晨 张蓉竹
- 164204 基于旋转相位编码与照明光束匹配的叠层衍射成像算法研究 ... 王治昊 王雅丽 李拓 史祎诗
- 164205 模拟回火马尔可夫链蒙特卡罗全波形分析方法 尹文也 何伟基 顾国华 陈钱
- 164206 在远离光子晶体光纤零色散波长的正常色散区入射飞秒脉冲产生四波混频及孤子效应的实验研究
..... 李建设 李曙光 赵原源 韩颖 陈海良 韩晓明 周桂耀
- 164207 基于多光子脉冲内干涉相位扫描法对飞秒激光脉冲进行相位测量和补偿的研究
..... 赵冠凯 刘军 李儒新
- 164208 湍流介质折射率结构常数 C_n^2 对双半高斯空心光束传输特性影响的研究
..... 陈薪羽 董渊 管佳音 李述涛 于永吉 吕彦飞
- 164209 激光波长对拉曼散射水温遥感系统测温精度及探测深度的影响
..... 任秀云 田兆硕 孙兰君 付石友
- 164301 声悬浮过程的格子Boltzmann方法研究 解文军 滕鹏飞
- 164302 幂函数型单势阱随机振动系统的广义随机共振 季袁冬 张路 罗懋康
- 164501 变质量Chetaev型非完整系统Appell方程Mei对称性的共形不变性与守恒量
..... 张芳 李伟 张耀宇 薛喜昌 贾利群
- 164701 临界流喷嘴喉部氢气等熵指数解析计算与进化回归方法 丁红兵 王超 赵雅坤
- 164702 生物过滤器中非均匀性流动的数值研究 项蓉 严微微 苏中地 吴杰 张凯 包福兵

气体、等离子体和放电物理

- 165201 托卡马克装置中高能离子的直接损失 牟茂淋 刘宇 王中天 陈少永 唐昌建
- 165202 反场构形的二维磁流体力学描述 李璐璐 张华 杨显俊

凝聚物质:结构、力学和热学性质

- 166401 晶体相场法研究预变形对熔点附近六角相/正方相相变的影响 员江娟 陈铮 李尚洁 张静
- 166801 纳米FePt颗粒: MgO多层复合薄膜的外延生长、微观结构与磁性研究 吴建邦
周民杰 王雪敏 王瑜英 熊政伟 程新路 Marie-José Casanove Christophe Gatel 吴卫东
- 166802 退火温度对Cu:ZnO薄膜绿光发射的影响
..... 贾相华 郑友进 尹龙承 黄海亮 姜宏伟 朱瑞华

凝聚物质:电子结构、电学、磁学和光学性质

- 167101 立方相 $\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{TiO}_3$ 和 $\text{K}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{TiO}_3$ 的电子结构和结构不稳定性的第一性原理比较研究 ...
..... 周树兰 赵显 江向平 韩晓东
- 167201 SiO_x ($x = 1.3$) 薄膜的优化阻变特性与退火温度的关系探究
任圣 马忠元 江小帆 王越飞 夏国银 陈坤基 黄信凡 徐骏 徐岭 李伟 冯端
- 167301 利用同步辐射光电子能谱技术测量ZnO/PbTe异质结的能带带阶
..... 蔡春锋 张兵坡 黎瑞锋 徐天宁 毕岗 吴惠桢 张文华 朱俊发
- 167302 界面电子转移对量子点荧光闪烁行为的影响
..... 吴建芳 张国峰 陈瑞云 秦成兵 肖连团 贾锁堂

- 167501 冲击波诱导Nd₂Fe₁₄B磁相变的理论计算研究 鲁峰 陈朗 冯长根
- 167502 Co掺杂对Mn₃Sn_{1-x}Co_xC_{1.1}化合物的磁性质、熵变以及磁卡效应的影响
..... 闫君 孙莹 王聪 史再兴 邓司浩 史可文 卢会清
- 167503 取向易面各向异性羰基铁粉体的高频磁性研究 霍天旭 乔亮 王涛 李发伸
- 167504 L₁₀-FePt 合金单层磁性薄膜的微磁学模拟 李正华 李翔
- 167505 不同易轴取向对Nd₂Fe₁₄B/Fe₆₅Co₃₅ 磁性双层膜的微磁学模拟
..... 彭懿 赵国平 吴绍全 斯文静 万秀琳
- 167701 空位对纤锌矿型AlN自发极化影响的最大局域化Wannier函数方法研究
..... 牛海波 陈光德 伍叶龙 耶红刚
- 167801 溶剂效应对β胡萝卜素分子电子振动耦合的影响
..... 徐胜楠 刘天元 孙美娇 李硕 房文汇 孙成林 里佐威
- 167802 PCDTBT作为发光层的有机电致发光器件研究
..... 陈海涛 徐征 赵谔玲 赵玲 刘志民 高松 杨一帆 刘志方 申崇渝 徐叙蓉
- 167901 金属壁与介质窗之间次级电子倍增效应的研究 张雪 王勇 范俊杰 朱方 张瑞
- 167902 变组分AlGaAs/GaAs透射式光电阴极分辨力特性分析
..... 邓文娟 彭新村 邹继军 江少涛 郭栋 张益军 常本康
- 167903 酞菁铜与MoS₂(0001)范德瓦耳斯异质结研究
..... 曹宁通 张雷 吕路 谢海鹏 黄寒 牛冬梅 高永立

物理学交叉学科及有关科学技术领域

- 168101 衬底位置对化学气相沉积法制备的磷掺杂p型ZnO纳米材料形貌和特性的影响
..... 冯秋菊 许瑞卓 郭慧颖 徐坤 李荣 陶鹏程 梁红伟 刘佳媛 梅艺赢
- 168201 锂离子电池SnSb/C复合负极材料的热碳还原法制备及电化学性能研究
..... 李娟 汝强 胡社军 郭凌云
- 168701 具有列维飞行与布朗运动特征的循环竞争博弈及物种稳定共存条件
..... 王栋 唐长庆 田宝国 曲亮生 张金春 狄增如
- 168702 硬X射线微分相衬成像的噪声特性分析 ... 黄建衡 杜杨 雷耀虎 刘鑫 郭金川 牛憨笨
- 168801 三结太阳电池在非均匀光照下光斑强度和覆盖比率的优化研究
..... 梁齐兵 舒碧芬 孙丽娟 张奇溜 陈明彪

ACTA PHYSICA SINICA
Vol. 63, No. 16, August 2014

CONTENTS

GENERAL

- 160201 **New complexion two-soliton solutions to a kind of nonlinear coupled system**
Taogetusang Yi Li-Na
- 160501 **Opinion evolution model of social network based on information entropy**
Huang Fei-Hu Peng Jian Ning Li-Miao
- 160502 **Influences of the system symmetry and memory on the transport behavior of Brownian motor**
Wang Fei Xie Tian-Ting Deng Cui Luo Mao-Kang
- 160503 **Spatiotemporally asymmetric fractional Langevin-like ratchet**
Zhou Xing-Wang Lin Li-Feng Ma Hong Luo Mao-Kang
- 160504 **Adaptive stochastic resonance method based on quantum particle swarm optimization**
Li Yi-Bo Zhang Bo-Lin Liu Zi-Xin Zhang Zhen-Yu
- 160505 **Anti-control of Hopf bifurcation in the new chaotic system with piecewise system and exponential system**
Zhang Ling-Mei Zhang Jian-Wen Wu Run-Heng
- 160506 **Analysis of the Willis chaotic system and the control of random phase**
Gu Yuan-Feng Xiao Jian
- 160507 **Synchronizing a class of uncertain and variable time-delay fractional-order hyperchaotic systems by adaptive sliding robust mode control**
Wu Xue-Li Liu Jie Zhang Jian-Hua Wang Ying
- 160508 **Combination kernel function least squares support vector machine for chaotic time series prediction**
Tian Zhong-Da Gao Xian-Wen Shi Tong
- 160701 **Grid-controlled emission source for space X-ray communication**
Ma Xiao-Fei Zhao Bao-Sheng Sheng Li-Zhi Liu Yong-An Liu Duo Deng Ning-Qin

NUCLEAR PHYSICS

- 162301 **β^- -decay half-lives for waiting point nuclei around $N = 82$**
Chen Ze Zhang Xiao-Ping Yang Hong-Ying Zheng Qiang Chen Na-Na Zhi Qi-Jun
- 162302 **Systematic calculations on cluster radioactivity half-lives of trans-lead nuclei with effective liquid drop model**
Sheng Zong-Qiang Shu Liang-Ping Meng Ying Hu Ji-Gang Qian Jian-Fa
- 162303 **Isomer $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ prepared by using α particles to bombard a natural ytterbium target and analysis of high purity Ge γ spectrum**
Tu Xiao-Qing Zhou Rong Dai Fei Yang Tian-Li Yang Chao-Wen

(Continued)

162501 **Determination of thorium fission rate by off-line method**
Feng Song Liu Rong Lu Xin-Xin Yang Yi-Wei Wang Mei Jiang Li Qin Jian-Guo

162801 **Determination of $^{232}\text{Th}(n, \gamma)$ reaction rate induced by D-T neutrons in one-dimensional alternate depleted uranium/polyethylene shells**
Yang Yi-Wei Liu Rong Jiang Li Lu Xin-Xin Wang Mei Yan Xiao-Song

ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS

163101 **First-principles study of 3d transition metal Co doped core-shell silicon nanowires**
Liao Jian Xie Zhao-Qi Yuan Jian-Mei Huang Yan-Ping Mao Yu-Liang

163201 **X-ray spectrum emitted by the impact of $^{129}\text{Xe}^{26+}$ of the different kinetic energies on Au surface**
Liang Chang-Hui Zhang Xiao-An Li Yao-Zong Zhao Yong-Tao Xiao Guo-Qing

163202 **Correlation of Eu L X-ray yield with kinetic energy based on the impact of Eu^{20+} on solid Au target**
Li Yao-Zong Zhang Xiao-An Liang Chang-Hui Zhao Yong-Tao Zhou Xian-Ming

163601 **Density functional theory study of structure characteristics and stabilities of $\text{Al}_2\text{S}_n^\pm$ ($n = 2-10$) clusters**
Lü Jin Yang Li-Jun Wang Yan-Fang Ma Wen-Jin

ELECTROMAGENTISM, OPTICS, ACOUSTICS, HEAT TRANSFER, CLASSICAL MECHANICS, AND FLUID DYNAMICS

164101 **Newmark algorithm in the finite-difference time-domain analysis of ferrite magnetized in an arbitrary direction**
Wang Fei Wei Bing Yang Qian Li Lin-Qian

164102 **Modeling and electromagnetic scattering from the overturning wave crest**
Li Wen-Long Guo Li-Xin Meng Xiao Liu Wei

164201 **Propagation characteristics of small-bandwidth pulsed beams with smoothing by spectral dispersion in high power laser system**
Liu Lan-Qin Zhang Ying Geng Yuan-Chao Wang Wen-Yi Zhu Qi-Hua Jing Feng Wei Xiao-Feng Huang Wan-Qing

164202 **Fast computation of electromagnetic scattering characteristics from conducting targets using modified-physical optics and graphical electromagnetic computing**
Zhu Yan-Ju Jiang Yue-Song Zhang Chong-Hui Xin Can-Wei

164203 **Surface stochastic characteristics of continuous phase plate**
Lü Chen Zhang Rong-Zhu

164204 **Ptychographical imaging algorithm based on illuminating beam matched with rotational phase encoding**
Wang Zhi-Hao Wang Ya-Li Li Tuo Shi Yi-Shi

164205 **A new full waveform analysis approach using simulated tempering Markov chain Monte Carlo method**
Yin Wen-Ye He Wei-Ji Gu Guo-Hua Chen Qian

(Continued)

- 164206 **Experimental research of four-wave mixing and soliton effects in a photonic crystal fiber pumped femtosecond pulses at the wavelength located normal dispersion regime away from the zero dispersion point**
Li Jian-She Li Shu-Guang Zhao Yuan-Yuan Han Ying Chen Hai-Liang Han Xiao-Ming Zhou Gui-Yao
- 164207 **Spectral phase measurement and compensation of femtosecond laser pulse based on multi-photon intra-pulse interference phase scan**
Zhao Guan-Kai Liu Jun Li Ru-Xin
- 164208 **Effects of turbulent medium refractive index structure constant C_n^2 on the propagation characteristics of double-half hollow Gaussian beams**
Chen Xin-Yu Dong Yuan Guan Jia-Yin Li Shu-Tao Yu Yong-Ji Lü Yan-Fei
- 164209 **Effects of laser wavelength on both water temperature measurement precision and detection depth of Raman scattering lidar system**
Ren Xiu-Yun Tian Zhao-Shuo Sun Lan-Jun Fu Shi-You
- 164301 **Study of acoustic levitation by lattice Boltzmann method**
Xie Wen-Jun Teng Peng-Fei
- 164302 **Generalized stochastic resonance of power function type single-well system**
Ji Yuan-Dong Zhang Lu Luo Mao-Kang
- 164501 **Conformal invariance and conserved quantity of Mei symmetry for Appell equations in nonholonomic systems of Chetaev's type with variable mass**
Zhang Fang Li Wei Zhang Yao-Yu Xue Xi-Chang Jia Li-Qun
- 164701 **Analytical calculation and evolutionary regression method for isentropic exponent of hydrogen gas at the throat of critical nozzle**
Ding Hong-Bing Wang Chao Zhao Ya-Kun
- 164702 **Numerical study on the heterogeneous flow in porous biofilters**
Xiang Rong Yan Wei-Wei Su Zhong-Di Wu Jie Zhang Kai Bao Fu-Bing

PHYSICS OF GASES, PLASMAS, AND ELECTRIC DISCHARGES

- 165201 **Prompt loss of energetic ion in tokamak**
Mou Mao-Lin Liu Yu Wang Zhong-Tian Chen Shao-Yong Tang Chang-Jian
- 165202 **Two-dimensional magneto-hydrodynamic description of field reversed configuration**
Li Lu-Lu Zhang Hua Yang Xian-Jun

CONDENSED MATTER: STRUCTURAL, MECHANICAL, AND THERMAL PROPERTIES

- 166401 **Effect of predeformation on the transition from hexagonal phase to square phase near the melting point using phase field crystal method**
Yun Jiang-Juan Chen Zheng Li Shang-Jie Zhang Jing
- 166801 **Epitaxial growth micro-structure and magnetic studies of FePt nanoparticles: MgO multi-layer composite thin films**
Wu Jian-Bang Zhou Min-Jie Wang Xue-Min Wang Yu-Ying Xiong Zheng-Wei Cheng Xin-Lu Marie-José Casanove Christophe Gatel Wu Wei-Dong

(Continued)

- 166802 **Influence of annealing on green luminescence from Cu : ZnO thin films**
*Jia Xiang-Hua Zheng You-Jin Yin Long-Cheng Huang Hai-Liang Jiang Hong-Wei
Zhu Rui-Hua*

**CONDENSED MATTER: ELECTRONIC STRUCTURE, ELECTRICAL,
MAGNETIC, AND OPTICAL PROPERTIES**

- 167101 **Electronic structures and phase instabilities of cubic $\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{TiO}_3$ and $\text{K}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{TiO}_3$: a first-principles comparative study**
Zhou Shu-Lan Zhao Xian Jiang Xiang-Ping Han Xiao-Dong
- 167201 **Dependence of annealing temperatures on the optimized resistive switching behavior from SiO_x ($x = 1.3$) films**
*Ren Sheng Ma Zhong-Yuan Jiang Xiao-Fan Wang Yue-Fei Xia Guo-Yin Chen Kun-Ji
Huang Xin-Fan Xu Jun Xu Ling Li Wei Feng Duan*
- 167301 **Band offsets of ZnO/PbTe heterostructure determined by synchrotron radiation photoelectron spectroscopy**
*Cai Chun-Feng Zhang Bing-Po Li Rui-Feng Xu Tian-Ning Bi Gang Wu Hui-Zhen
Zhang Wen-Hua Zhu Jun-Fa*
- 167302 **Influence of interfacial electron transfer on fluorescence blinking of quantum dots**
*Wu Jian-Fang Zhang Guo-Feng Chen Rui-Yun Qin Cheng-Bin Xiao Lian-Tuan
Jia Suo-Tang*
- 167501 **Shock induced $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ magnetic transition based on molecular field theory analysis**
Lu Feng Chen Lang Feng Chang-Gen
- 167502 **Effects of Co doping on the magnetic properties, entropy change, and magnetocaloric effect in $\text{Mn}_3\text{Sn}_{1-x}\text{Co}_x\text{C}_{1.1}$ compounds**
Yan Jun Sun Ying Wang Cong Shi Zai-Xing Deng Si-Hao Shi Ke-Wen Lu Hui-Qing
- 167503 **High-frequency magnetic properties of planar anisotropy carbonyl-iron particles**
Huo Tian-Xu Qiao Liang Wang Tao Li Fa-Shen
- 167504 **Micromagnetic modeling of L1_0 -ordered FePt magnetic thin films**
Li Zheng-Hua Li Xiang
- 167505 **Micromagnetic simulation and analysis of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Fe}_{65}\text{Co}_{35}$ magnetic bilayered thin films with different orientations of the easy axis**
Peng Yi Zhao Guo-Ping Wu Shao-Quan Si Wen-Jing Wan Xiu-Lin
- 167701 **Influence of vacancy on spontaneous polarization of wurtzite AlN: a maximally localized Wannier function study**
Niu Hai-Bo Chen Guang-De Wu Ye-Long Ye Hong-Gang
- 167801 **Solvent effects on the electron-vibration coupling constant of β -carotene**
*Xu Sheng-Nan Liu Tian-Yuan Sun Mei-Jiao Li Shuo Fang Wen-Hui Sun Cheng-Lin
Li Zuo-Wei*
- 167802 **Organic light-emitting devices based on PCDTBT as emitting layer**
*Chen Hai-Tao Xu Zheng Zhao Su-Ling Zhao Ling Liu Zhi-Min Gao Song
Yang Yi-Fan Liu Zhi-Fang Shen Chong-Yu Xu Xu-Rong*
- 167901 **Multipactor phenomenon between metal and dielectric window**
Zhang-Xue Wang-Yong Fan-Jun-Jie Zhu-Fang Zhang-Rui

(Continued)

167902 **Resolution characteristic of graded band-gap AlGaAs/GaAs transmission-mode photocathodes**

Deng Wen-Juan Peng Xin-Cun Zou Ji-Jun Jiang Shao-Tao Guo Dong Zhang Yi-Jun Chang Ben-Kang

167903 **The van der Waals heterostructure of CuPc/MoS₂(0001)**

Cao Ning-Tong Zhang Lei Lü Lu Xie Hai-Peng Huang Han Niu Dong-Mei Gao Yong-Li

INTERDISCIPLINARY PHYSICS AND RELATED AREAS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

168101 **Influences of the substrate position on the morphology and characterization of phosphorus doped ZnO nanomaterial**

Feng Qiu-Ju Xu Rui-Zhuo Guo Hui-Ying Xu Kun Li Rong Tao Peng-Cheng Liang Hong-Wei Liu Jia-Yuan Mei Yi-Ying

168201 **Lithium intercalation properties of SnSb/C composite in carbonthermal reduction as the anode material for lithium ion battery**

Li Juan Ru Qiang Hu She-Jun Guo Ling-Yun

168701 **Cyclical game coupling with Levy flight and Brownian motion and stable coexistence conditions of species**

Wang Dong Tang Chang-Qing Tian Bao-Guo Qu Liang-Sheng Zhang Jin-Chun Di Zeng-Ru

168702 **Noise analysis of hard X-ray differential phase contrast imaging**

Huang Jian-Heng Du Yang Lei Yao-Hu Liu Xin Guo Jin-Chuan Niu Han-Ben

168801 **Optimization of light spot intensity and coverage to a triple-junction solar cell under non-uniform illumination**

Liang Qi-Bing Shu Bi-Fen Sun Li-Juan Zhang Qi-Zi Chen Ming-Biao

Willis环脑动脉瘤系统的混沌分析及随机相位控制*

古元凤 肖剑†

(重庆大学数学与统计学院, 重庆 401331)

(2014年3月17日收到; 2014年4月8日收到修改稿)

研究了Willis环脑动脉瘤系统各参量对系统的影响. 计算了含有随机相位的Willis环脑动脉瘤系统的Lyapunov指数, 分析了随机相位和不同噪声强度对Willis环脑动脉瘤系统的影响. 对相图、Poincaré截面的分析表明, 可以利用随机相位对Willis环脑动脉瘤系统进行控制.

关键词: 脑动脉瘤, 随机相位, 混沌控制

PACS: 05.45.Gg, 05.45.Pq

DOI: 10.7498/aps.63.160506

1 引言

脑动脉瘤是由于多种原因造成脑动脉血管壁上的异常膨出, 多形如囊状. 由于瘤壁不健全, 常发生破裂, 引起蛛网膜下腔出血, 临床表现为急剧起病的剧烈头痛、呕吐、意识障碍、脑膜刺激症和血性脑脊液. Willis环(颅底动脉环)是脑动脉瘤的高发区, 因此通过研究Willis环上的脑动脉瘤的数学模型来分析和控制脑动脉瘤的形成和生长非常必要.

Willis环脑动脉瘤系统是一类近些年才发展起来的具有代表性的非线性生物系统, 该系统建立在临床观测和体外模拟实验基础之上, 具有较强的生物和医学背景. 该系统以脑动脉瘤内的血流速度为研究对象, 通过血流动力学参数反映脑动脉瘤的发展情况.

早在1971年, Austin^[1]就采用乳胶和橡胶作为原料进行脑动脉瘤的实验, 他把整个脑动脉瘤视为一个电路结构, 利用电路的理论知识对动脉瘤内的血流速度进行研究, 得到了第一个脑动脉瘤模型. 文献[2, 3]分别用不同的方法提出了Willis环脑动脉瘤的不同数学模型. 文献[4, 5]改进了Austin提

出的脑动脉瘤数学模型, 提出含有阻尼项的Willis环脑动脉瘤模型. 文献[4]用不同于文献[5]的方法证明了Willis环脑动脉瘤模型至少存在一个周期为 $2\pi/\omega$ 的周期解. 文献[6, 7]研究了更具有一般性的脑动脉瘤模型的周期解和概周期解, 从理论上解释了脑动脉瘤患者周期性偏头疼的原因. 杨翠红和朱思铭^[8]用Mel'nikov方法得到了脑动脉瘤模型存在Devaney混沌的条件.

在混沌系统控制的实现中, 最大限度地利用混沌的特性, 对于确定控制目标和选取控制方法非常关键. 1990年, 美国Maryland大学的Ott, Grelogi和Yorke^[9]提出了把小参量扰动控制量加进混沌系统, 使系统状态控制在某一不动点上的OGY控制法. 二十多年来, 混沌控制得到蓬勃发展, 人们提出了多种控制混沌的方法, 如反馈控制、自适应控制、延迟反馈控制、滑模变结构控制、优化控制和模糊控制等^[10]. 周小安等^[11]基于混沌信号的统计特性, 提出了一种通过改善混沌信号的空间关联性实现混沌控制的新方法. 于洪洁和郑宁^[12]提出了基于稳定性准则的半周期延迟非线性反馈控制混沌的方法. 龚礼华^[13]提出了自适应脉冲微扰控制混沌系统的方法. 张晓丹等^[14]选择反馈增益矩阵设计一类混沌控制器成功地控制了金融风险系统的

* 中央高等学校基本科研基金(批准号: CQDXWL-2012-007)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: xj4448@126.com

混沌行为. Gholizadeh 等^[15]提出了基于有限时间控制理论和优化速度控制混沌的方法. 闵富红和马美玲^[16]提出一种基于继电特性函数的准滑动模态控制方法, 对电力系统进行混沌振荡抑制, 使系统快速平滑地到达控制目标. 1995年, Qu 等^[17]发现相位对混沌的控制作用. 此后, 文献^[18, 19]将随机相位应用到混沌控制之中. 在此基础上, 李爽等^[20]利用随机相位实现了 Duffing 系统的混沌控制. 也有部分学者讨论了 Willis 环脑动脉瘤系统的控制问题. 对于参数可变的 Willis 环脑动脉瘤系统, 李医民和于霜^[21]基于自适应控制思想, 通过构造参数自适应律实现了两个参数可变的 Willis 环脑动脉瘤系统的同步. 针对具有不确定性的 Willis 环上的脑动脉瘤系统的控制问题, 彭书华等^[22]提出了一种自适应模糊滑模控制方法. 肖剑等^[23]通过一个线性控制器实现了 Willis 环脑动脉瘤系统的双同步.

不同于已有文献, 本文采用控制变量法讨论脑动脉瘤系统^[4,5]各参量对脑动脉瘤系统的影响, 将随机相位控制法应用于脑动脉瘤系统的混沌控制中. 由于 Lyapunov 指数是刻画混沌的重要指标, 本文通过基于 Matlab 的 Let 混沌工具箱计算出脑动脉瘤系统的 Lyapunov 指数, 进而根据 Lyapunov 指数符号的改变确定混沌的演化. Willis 环脑动脉瘤系统是一个二维非自治系统, 有 3 个 Lyapunov 指数, 只要其中有一个为正即可说明系统处于混沌状态. 本文还结合相图和 Poincaré 截面的演化, 表明利用随机相位进行混沌控制是可行的.

2 Willis 环脑动脉瘤系统的参数分析

1971 年, Austin^[1]通过实验建立了下列 Willis 环脑动脉瘤模型:

$$\ddot{x} + \alpha x - \beta x^2 + \gamma x^3 = F \cos(\omega t). \quad (1)$$

1993 年, 曹进德和刘天一^[4]改进上述模型, 得到了比较切合实际的具有阻尼项的脑动脉瘤模型

$$\ddot{x} + \mu \dot{x} + \alpha x - \beta x^2 + \gamma x^3 = F \cos(\omega t). \quad (2)$$

这里, x 为脑动脉瘤内的血流速度; \dot{x} 为血流变化率; \ddot{x} 为血流变化的加速度; 系数 α, β, γ 的取值与血流阻力及血管壁的弹性有关; μ 为血流阻尼系数,

$$\mu = \left(\frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{\alpha}{R_2 R_3} \right),$$

其中 $R_i (i = 1, 2, 3)$ 为身体不同部位血液流动的阻抗, C_1 为动脉管壁强度; F 为脉冲压,

$$F = \frac{F_1}{C_1 R_1 R_2},$$

其中 F_1 为血压振幅; ω 为心率的倒数; $F \cos(\omega t)$ 为中心血压的变化率. 需要说明的是, 这些参量都与人的生理构造和动脉瘤状况有关, 通称为生理参量.

经实验发现, 选取不同的参量值对系统的影响不同, 而瘤内血流速度是影响瘤破裂的重要原因. 本文采用控制变量法讨论不同生理参量对脑动脉瘤系统的影响, 重点讨论脉冲压 F 、阻尼系数 μ 、心率倒数 ω 三种参量对脑动脉瘤的影响.

2.1 在稳定状态下和不稳定状态下系统的特征

下面研究在稳定状态下和不稳定状态下系统的特征. 对于系统 (2), 要求其原函数的难度很大, 因此我们对该系统进行数值仿真, 观察系统在不同参量值下的变化.

2.1.1 在稳定状态下

首先研究脑动脉瘤在稳定状态下系统的特征, 参量值取为 $\mu = 0.1, \alpha = 1, \beta = 3, \gamma = 2, F = 0.01, \omega = 1$.

在上述给定的参量值下系统 Lyapunov 指数随时间的变化曲线如图 1(a) 所示. 从图 1(a) 可以看出, 当 $t > 10$ 时, $L_1 < 0, L_2 < 0, L_3 = 0$, 表明系统是稳定的. 为证实这一点, 图 1(b)–(e) 分别给出了系统的血流变化曲线、相图、时间历程及 Poincaré 截面. 从图 1(b) 可以看出, x 和 \dot{x} 经过一小段时间后马上被限制在一个小范围内做周期性波动, 振幅很小, 只有 0.2 左右. 由图 1(c) 相图也可以看出, x 和 \dot{x} 收敛于一个小范围内做周期性摆动. 由此可知, 当选取上述参量值时, 脑动脉瘤内的血流流速长时间内保持在一个很小且固定的范围内做周期性波动, 其振幅相当小, 可以近似认为流速恒定. 这种流速和流速变化率都稳定的状况对于脑动脉瘤患者是十分有利的, 说明病情稳定, 脑动脉瘤不易破裂.

2.1.2 在不稳定状态下

下面研究在不稳定状态下系统的混沌特征, 生理参量值取为 $\mu = 0.1, \alpha = 0.9, \beta = 3, \gamma = 2, F = 0.1, \omega = 1$. 图 2 是脑动脉瘤在不稳定状态下

的Lyapunov指数谱、 $x-t$ 和 $\dot{x}-t$ 曲线、相图、时间历程、Poincaré截面。

图2(a)给出了参量值为 $\mu = 0.1$, $\alpha = 0.9$, $\beta = 3$, $\gamma = 2$, $F = 0.1$, $\omega = 1$ 时的Lyapunov指数谱, 由此可以看出, 当 $t > 50$ 时, $L_1 > 0$, $L_2 < 0$, $L_3 = 0$, 脑动脉瘤系统处于混沌状态. 由图2(b)—(e)给出的血流变化、相图、时间历程及Poincaré截面可见, 此时系统的运动轨线非常混乱. 从图2(b)可以看出, x 和 \dot{x} 随着时间增长并没有表现出恒定或者稳定的周期, 而是毫无规则, 振幅不定, 摆动剧烈. \dot{x} 在 -1 至 2 之间随意摆动说明动脉瘤内的血液流速紊乱. 从图2还可以看出: 相图中的轨线并不收敛, 出现了混沌的情况; 时间历

程图很不规则, 没有确定的规律; Poincaré截面具有一定的形状和层次结构. 这些特征充分说明在上述参量取值条件下系统(2)处于混沌运动状态.

2.2 影响混沌的因素分析

在分析脑动脉瘤内产生血流混沌的因素时, 我们主要是从 μ , F , ω 等生理参量上进行研究, 这些生理参量表征了不同的血流流动状态, 通过改变它们的取值研究系统是否产生混沌. 我们采用控制变量法进行分析. 以生理参量 $\mu = 0.1$, $\alpha = 1$, $\beta = 3$, $\gamma = 2$, $F = 0.01$, $\omega = 1$ 作为初始值, 当研究某一参量时, 只让该参量变化, 而其余参量保持正常值.

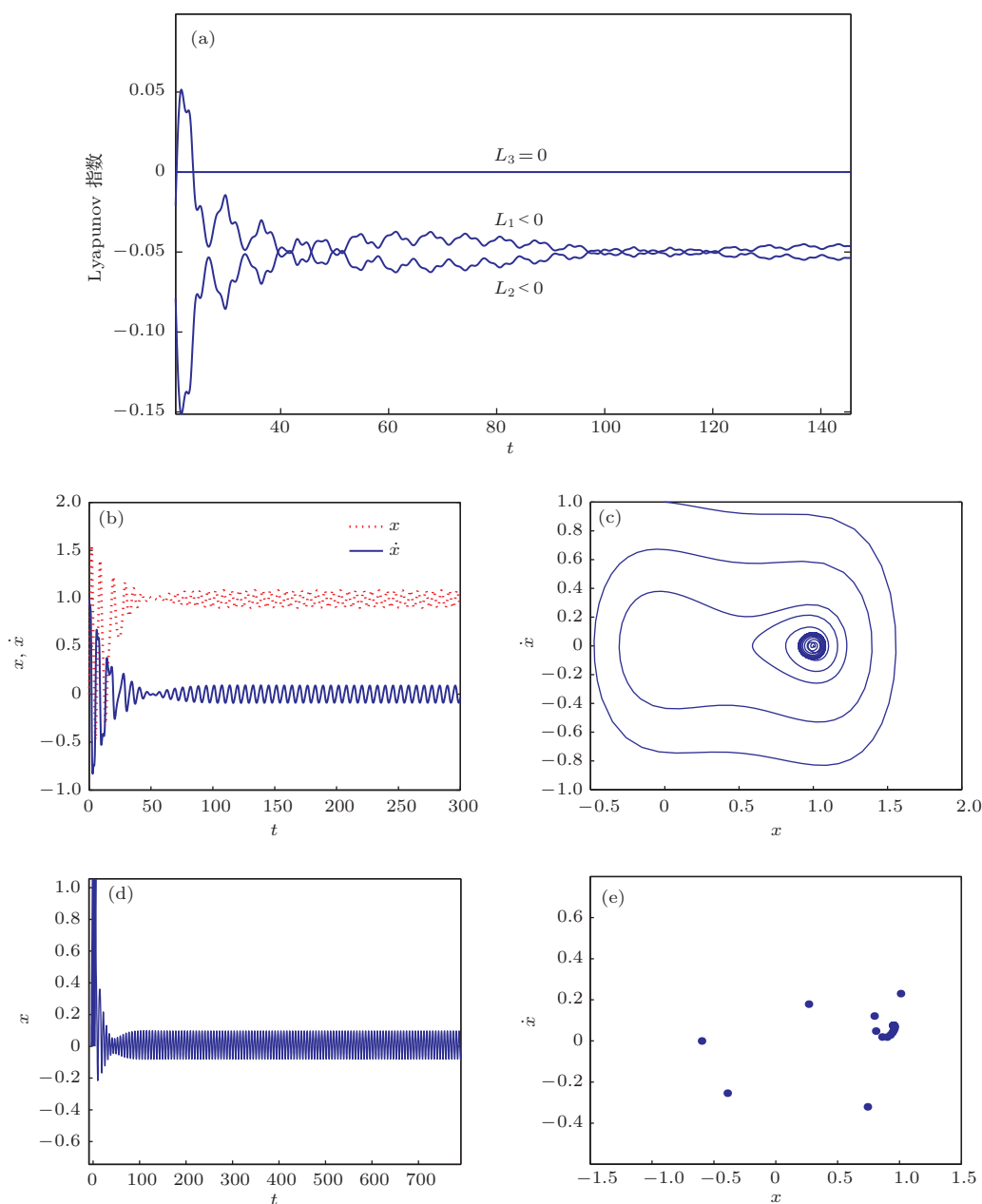


图1 脑动脉瘤在稳定状态下的Lyapunov指数谱、 $x-t$ 和 $\dot{x}-t$ 曲线、相图、时间历程、Poincaré截面 (a) Lyapunov指数谱; (b) $x-t$ 和 $\dot{x}-t$ 曲线; (c) 相图; (d) 时间历程; (e) Poincaré截面

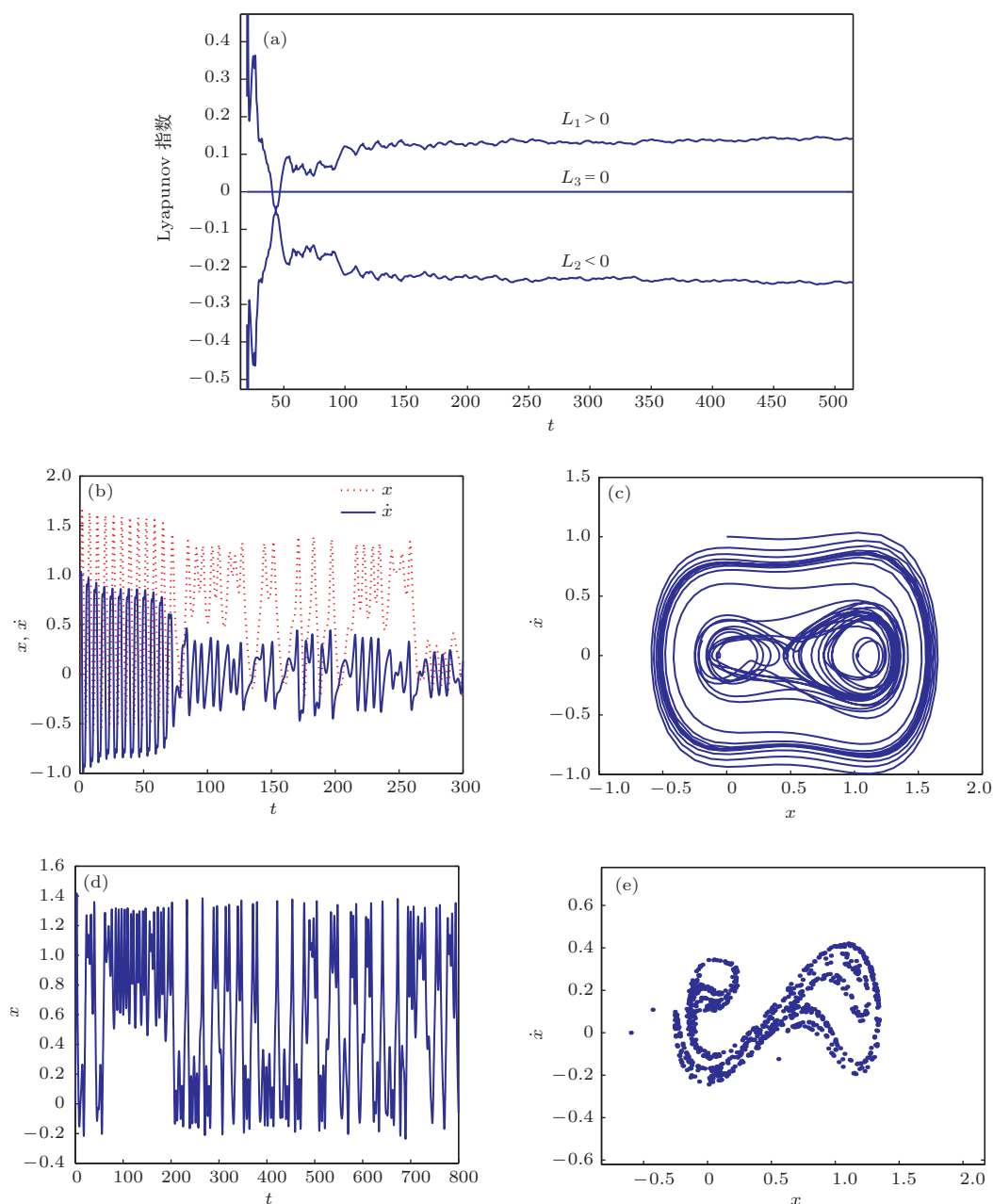


图2 脑动脉瘤在不稳定状态下的 Lyapunov 指数谱、 x - t 和 \dot{x} - t 曲线、相图、时间历程、Poincaré 截面
 (a) Lyapunov 指数谱; (b) x - t 和 \dot{x} - t 曲线; (c) 相图; (d) 时间历程; (e) Poincaré 截面

2.2.1 脉冲压的影响

将系统 (2) 中生理参量取初始值 $\mu = 0.1$, $\alpha = 1$, $\beta = 3$, $\gamma = 2$, $\omega = 1$, 得到

$$\ddot{x} + 0.1\dot{x} + x - 3x^2 + 2x^3 = F \cos t. \quad (3)$$

这里脉冲压的影响主要是指血压对脑动脉瘤系统的影响. 我们应用混沌分岔图 (Feigenbaum 图) 来研究脉冲压 F 对脑动脉瘤系统的影响.

图 3 是脑动脉瘤系统的 x - F 混沌分岔图, 图 4 是脑动脉瘤系统的 \dot{x} - F 混沌分岔图. 从图 3 和图 4 可以看出, 流速 x 和流速变化率 \dot{x} 一直处于混

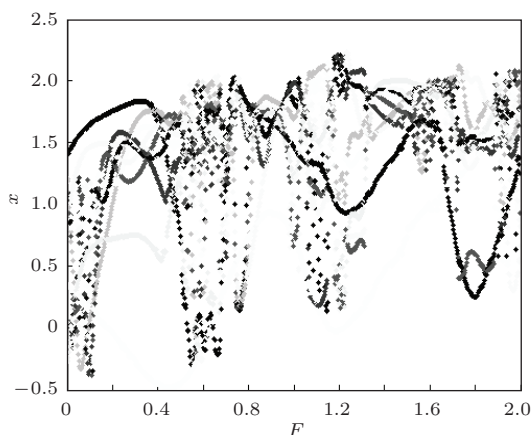
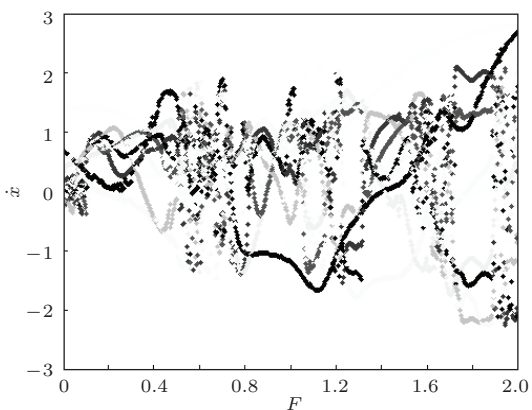
沌状态. 脉冲压 F 的微小改变都能显著地影响混沌的状态. 这说明, 当血压保持稳定时, 脑动脉瘤内的血流也比较平稳. 反之, 如果血压不稳定, 就会导致瘤内的血流处于混沌状态, 脑动脉瘤易发生破裂.

2.2.2 血管阻力和脑动脉瘤阻力的影响

将系统 (2) 中生理参量取初始值 $\alpha = 1$, $\beta = 3$, $\gamma = 2$, $F = 0.01$, $\omega = 1$, 得到

$$\ddot{x} + \mu\dot{x} + x - 3x^2 + 2x^3 = 0.01 \cos t. \quad (4)$$

这里的血管阻力集中体现在阻尼系数 μ 上, 该系数表征了血管和动脉瘤对血液流动的阻碍作用. 实际上, 动脉瘤对血管阻抗产生的影响微小, 可以忽略, 即可将 R_1 和 R_3 视作常数, 变化的仅仅是动脉瘤所形成的阻抗 R_2 . 在医学研究上, 当动脉瘤较大时, R_2 变大, 使 μ 变小. 下面控制其他参量不变, 只是 μ 从0到2变化, 得到相应的混沌分岔图. 图5是脑动脉瘤系统的 $x-\mu$ 混沌分岔图. 从图5可以看出: 当 $\mu > 0.2$ 时, 流速收敛值在 $x = 0$ 和 $x = 1$ 附近做周期摆动, 并且 μ 越大越稳定; 当 $\mu < 0.2$ 时, 则会进入混沌状态. 图6是脑动脉瘤系统的 $\dot{x}-\mu$ 混沌分岔图. 从图6可以看出: 当 $\mu > 0.2$ 时, 流速变化率在 $\dot{x} = 0$ 附近做周期摆动, 说明脑动脉瘤系统稳定; 当 $\mu < 0.2$ 时, 则会进入混沌状态. 由此可知: 动脉瘤越大, 其阻尼系数 μ 越小, 瘤内血流越容易进入混沌状态; 动脉瘤很小时, 血流较稳定.

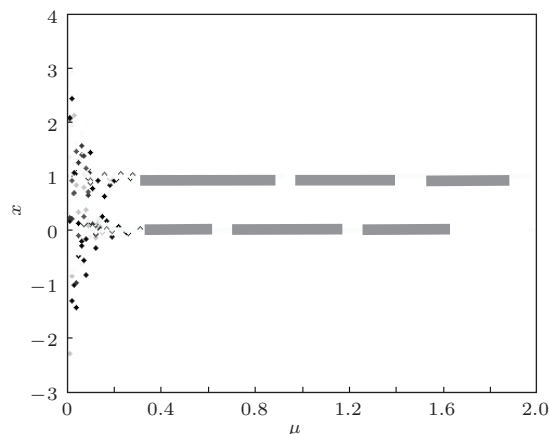
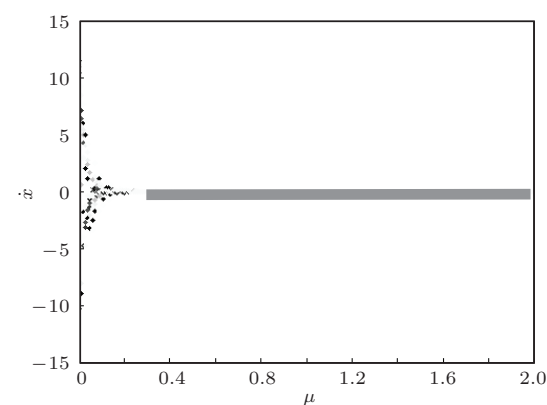
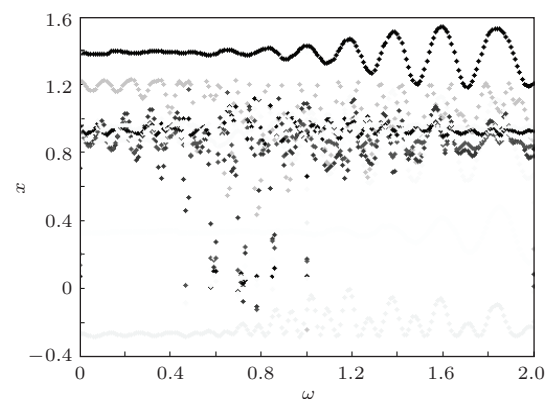

 图3 脑动脉瘤系统的 $x-F$ 混沌分岔图

 图4 脑动脉瘤系统的 $\dot{x}-F$ 混沌分岔图

2.2.3 心率倒数的影响

将系统(2)中生理参量取初始值 $\mu = 0.1$, $\alpha = 1$, $\beta = 3$, $\gamma = 2$, $F = 0.01$, 得到

$$\ddot{x} + 0.1\dot{x} + x - 3x^2 + 2x^3 = 0.01 \cos(\omega t). \quad (5)$$

心率倒数是指中枢血压的频率, 即心脏跳动的频率. 图7是脑动脉瘤系统的 $x-\omega$ 混沌分岔图, 图8是脑动脉瘤系统的 $\dot{x}-\omega$ 混沌分岔图. 从图7和图8可以看出, 流速和流速变化率进入周期摆动阶段.


 图5 脑动脉瘤系统的 $x-\mu$ 混沌分岔图

 图6 脑动脉瘤系统的 $\dot{x}-\mu$ 混沌分岔图

 图7 脑动脉瘤系统的 $x-\omega$ 混沌分岔图

2.2.4 脑动脉瘤系统的混沌状态特征

就系统(2)的构造而言, 在极混乱的速度场中脑动脉瘤更易发生破裂. 由以上分析可知, 系统(2)的混沌状态表征的是血流不稳定, 适当调整 F, μ, ω

这三个参量的取值, 就可以避免系统出现混沌. 我们发现脑动脉瘤系统的混沌状态有以下两个特征: 一是混沌状态的出现具有拟周期性; 二是混沌不是一个特殊状态, 而是普遍存在的, 只是混乱程度上有所区别.

3 利用随机相位实现脑动脉瘤系统的混沌控制

为了研究随机相位对脑动脉瘤系统的影响, 在系统(2)中加入随机相位后将系统改写成如下的形式:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + \mu\dot{x} + \alpha x - \beta x^2 + \gamma x^3 \\ = F \cos(\omega t + \sigma \xi(t)). \end{aligned} \quad (6)$$

这里 $\xi(t)$ 为标准 Gauss 白噪声, σ 为其强度. $\xi(t)$ 满足 $E\xi(t) = 0$, $E\xi(t)\xi(t+\tau) = \delta(\tau)$, 其中 $\delta(t)$ 为 Dirac δ 函数. 将系统(6)改写成如下二阶线性方程组:

$$\dot{x}_1 = x_2,$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 = -\mu x_2 - \alpha x_1 + \beta x_1^2 - \gamma x_1^3 \\ + F \cos(\omega t + \delta \xi(t)). \end{aligned} \quad (7)$$

选取参量值 $\mu = 0.1$, $\alpha = 0.9$, $\beta = 3$, $\gamma = 2$, $F = 0.1$, $\omega = 1$, 则系统(7)变为

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 = -0.1x_2 - 0.9x_1 + 3x_1^2 - 2x_1^3 \\ + 0.1 \cos(\omega t + \delta \xi(t)). \end{aligned} \quad (9)$$

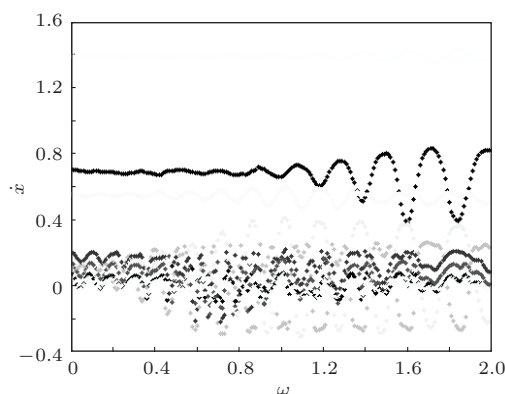


图8 脑动脉瘤系统的 x - ω 混沌分岔图

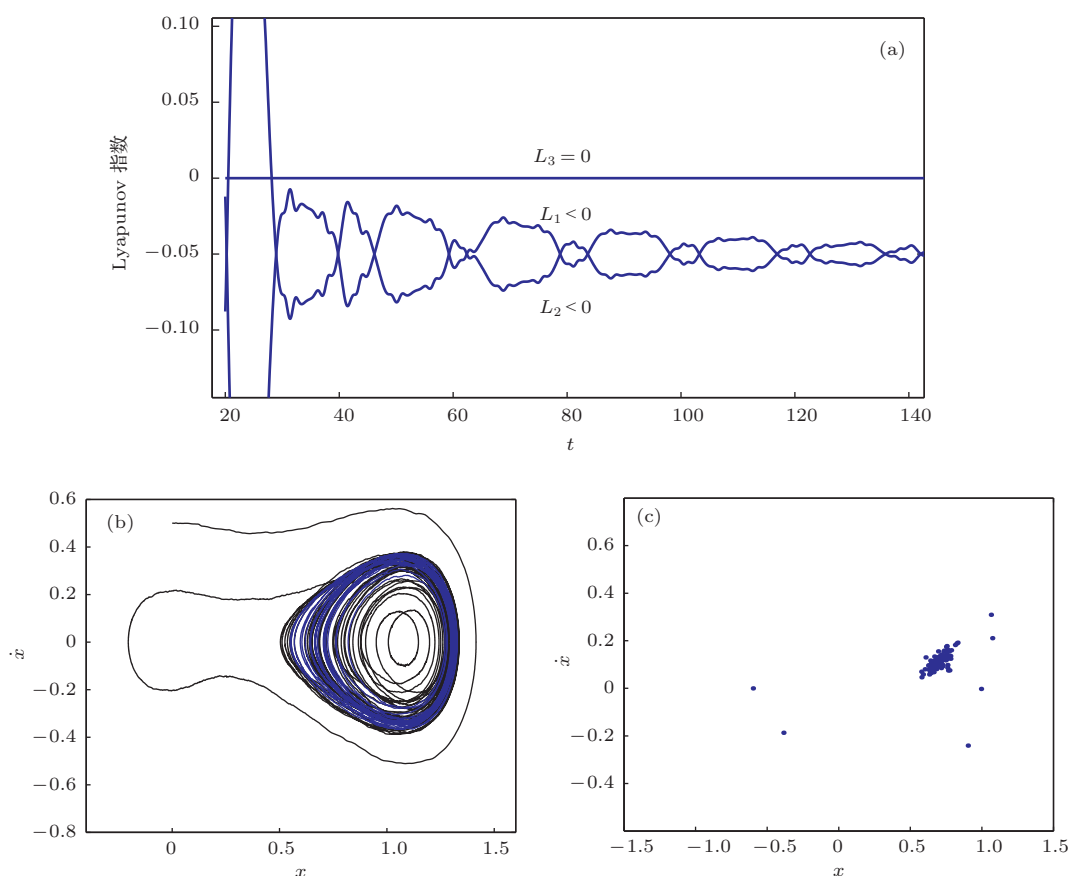


图9 加入随机相位后脑动脉瘤的 Lyapunov 指数谱、相图、Poincaré 截面 (a) Lyapunov 指数谱; (b) 相图; (c) Poincaré 截面

本文选取了不同的噪声强度进行模拟, 噪声强度 σ 依次取为 0.000001, 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.002, 0.0025, 0.004, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 1 dB. 考虑到随机因素的影响, 数值模拟多次, 求得系统 Lyapunov 指数谱. 从模拟结果看, 选取噪声强度在临界值 $\sigma_c = 0.0025$ dB 左右, 能够使系统在较短的时间达到稳定状态, 且系统的摆动幅度较小. 因此, 我们取噪声强度 $\sigma = 0.0025$ dB, 其他参量取值条件为 $\mu = 0.1$, $\alpha = 0.9$, $\beta = 3$, $\gamma = 2$, $F = 0.1$, $\omega = 1$, 对系统进行混沌控制, 得到系统 (8) 的 Lyapunov 指数谱、相图和 Poincaré 截面如图 9 所示.

将图 9 与图 2 进行对比可以看出, 在对系统 (2) 进行随机相位控制后, 原来系统在相空间内混乱的相轨被控制成为周期轨道, Poincaré 截面上的混沌吸引子变为稳定吸引子, 当 $t > 30$ 时 Lyapunov 指数随时间的推移没有出现正数. 这说明利用随机相位可以对脑动脉瘤系统进行控制.

4 结 论

本文研究了稳定和不稳定两种生理状态下脑动脉瘤系统的血流现象. 研究表明, 当个体处于这两种不同生理状态时, 会出现两种不同的结果, 一种是血流运行为有序周期摆动, 另一种是血流运行为无序运动. 利用控制变量法研究了各个参量对脑动脉瘤系统的影响, 说明脑动脉瘤在极混乱的速度场中更易破裂. 最后, 利用随机相位控制方法对脑动脉瘤系统进行控制. 对 Lyapunov 指数谱、相图、Poincaré 截面的分析表明, 随机相位的扰动能够实现对混沌的控制, 使脑动脉瘤系统从混沌状态转变为有序状态. 另外, 随机相位控制在强度较小的情况下即可实现, 这在实际使用中既可节省能量, 同时也更为方便简单.

参考文献

[1] Austin G 1971 *Math. Biosci.* **11** 163

[2] Hillen B, Hoogstraten H W, Post L 1986 *J. Biomech.* **19** 187
 [3] Nieto J J, Torres A 1995 *J. Biol. Syst.* **3** 653
 [4] Cao J D, Liu T Y 1993 *J. Biomath.* **8** 9 (in Chinese) [曹进德, 刘天一 1993 生物数学学报 **8** 9]
 [5] Nieto J J, Torres A 2000 *J. Neurosci.* **177** 18
 [6] Feng C H 1998 *J. Biomath.* **13** 61 (in Chinese) [冯春华 1998 生物数学学报 **13** 61]
 [7] Yang Q G, Jiang Y L 2000 *J. Biomath.* **15** 313 (in Chinese) [杨启贵, 江佑霖 2000 生物数学学报 **15** 313]
 [8] Yang C H, Zhu S M 2003 *Acta Sci. Nat. Univ. Sunyatseni* **42** 1 (in Chinese) [杨翠红, 朱思铭 2003 中山大学学报 (自然科学版) **42** 1]
 [9] Ott E, Grelogi C, Yorke J A 1990 *Phys. Rev. Lett.* **64** 1196
 [10] Guan X P, Fan Z P, Peng H P, He Y H 2001 *J. Yanshan Univ.* **25**(Supl) 1 (in Chinese) [关新平, 范正平, 彭海鹏, 何宴辉 2001 燕山大学学报 **25**(Supl) 1]
 [11] Zhou X A, Qian G B, Qiu S S 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 3974 (in Chinese) [周小安, 钱恭斌, 丘水生 2006 物理学报 **55** 3974]
 [12] Yu H J, Zheng N 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 3782 (in Chinese) [于洪洁, 郑宁 2007 物理学报 **56** 3782]
 [13] Gong L H 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3502 (in Chinese) [龚礼华 2005 物理学报 **54** 3502]
 [14] Zhang X D, Liu X D, Zheng Y, Liu C J 2013 *Chin. Phys. B* **22** 030509
 [15] Gholizadeh H, Hassannia A, Azarfar A 2013 *Chin. Phys. B* **22** 010503
 [16] Min F H, Ma M L 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 210505 (in Chinese) [闵富红, 马美玲 2013 物理学报 **62** 210505]
 [17] Qu Z L, Hu G, Yang G J, Qin G 1995 *Phys. Rev. Lett.* **74** 1736
 [18] Lei Y M, Xu W, Xu Y, Fang T 2004 *Chaos Solitons Fractals* **21** 1175
 [19] Xu Y, Mahmoud G M, Xu W, Lei Y M 2005 *Chaos Solitons Fractals* **23** 265
 [20] Li S, Xu W, Li R H 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1049 (in Chinese) [李爽, 徐伟, 李瑞红 2006 物理学报 **55** 1049]
 [21] Li Y M, Yu S 2008 *J. Biomath.* **23** 235 (in Chinese) [李医民, 于霜 2008 生物数学学报 **23** 235]
 [22] Peng S H, Li D H, Su Z, Li H D 2010 *Comput. Eng. Appl.* **46** 245 (in Chinese) [彭书华, 李邓化, 苏中, 李华德 2010 计算机工程与应用 **46** 245]
 [23] Xiao J, Ma Z Z, Yang Y H 2013 *Sci. World J.* **2013** 159194

Analysis of the Willis chaotic system and the control of random phase^{*}

Gu Yuan-Feng Xiao Jian[†]

(College of Mathematics and Statistics, Chongqing University, Chongqing 401331, China)

(Received 17 March 2014; revised manuscript received 8 April 2014)

Abstract

In this paper, we investigate the influence of each parameter of Willis chaotic system on the system, and calculate the Lyapunov exponent of Willis chaotic system containing chaotic phase. The analysis of the influence of chaotic phase on the Willis system shows that the random phase can control chaos. We also analyze the differences in intensity among various noises. Finally, the effectiveness of the above method is verified through the analysis of integrating phase portraits and Poincaré surface.

Keywords: cerebral aneurysm, random phase, chaos control

PACS: 05.45.Gg, 05.45.Pq

DOI: [10.7498/aps.63.160506](https://doi.org/10.7498/aps.63.160506)

^{*} Project supported by the Fundamental Scientific Research Foundation for the Central Universities of China (Grant No. CQDXWL-2012-007).

[†] Corresponding author. E-mail: xj4448@126.com

公 告

为实现录用稿件的提前在线全文出版, 我刊采用单篇论文给定编码的目录方案, 编码的设置按照文章的 PACS 代码的前两位数字及稿件录用时间的先后排序.

《物理学报》已加入“中国知网”优先数字出版, 录用文章将先于印刷版期刊在中国知网 www.cnki.net 在线优先发布, 如果作者不愿优先出版可在版权协议里补充说明, 如无补充说明, 编辑部将视为同意授权.

《物理学报》编辑部

物 理 学 报 (WULI XUEBAO)

(半月刊, 1933 年创刊)

2014 年 8 月 第 63 卷 第 16 期

版 权 所 有

ACTA PHYSICA SINICA

(Semimonthly First Published in 1933)

Vol. 63 No. 16 August 2014

© 2014 Chinese Physical Society

编 辑 物 理 学 报 编 辑 委 员 会
(北京 603 信箱 邮政编码 100190)

主 编 欧 阳 钟 灿
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 物 理 学 会
中国科学院物理研究所
(北京 603 信箱 邮政编码 100190)

出 版 中 国 物 理 学 会
印 刷 装 订 北 京 科 信 印 刷 有 限 公 司
总 发 行 处 北 京 报 刊 发 行 局
订 购 摇 处 全 国 各 邮 电 局
国外总发行 中 国 国 际 图 书 贸 易 总 公 司
(北京 399 信箱 邮政编码 100044)

广告经营许可证 京海工商广字第0335号

Society Edited by the Editorial Board of

ACTA PHYSICA SINICA

Address of the Editorial Board

c/o P. O. Box 603, Beijing 100190, China

apsoffice@iphy.ac.cn <http://wulixb.iphy.ac.cn>

Editor-in-Chief Ouyang Zhong-Can

Published by Chinese Physical Society and

Institute of Physics, Chinese Academy of
Sciences

P. O. Box 603, Beijing 100190, China

Distributed by China International
Book Trading Corporation

P. O. Box 399, Beijing 100044, China

ISSN 1000-3290

国内邮发代号: 2-425

国内统一刊号: CN11-1958/O4

国外发行代号: M52 定价: 120 元

公 开 发 行