

河北省自然科学奖

项目名称	非线性时滞生物动力系统的稳定性和全局 Hopf 分支研究
提名单位（专家）	河北省教育厅
项目简介	<p>时滞微分方程因其对客观现象的描述和刻画比常微分方程更加准确和合理而得到广泛关注和研究，并被应用到众多领域，其稳定性和分支问题的研究对相关的具有实际应用背景领域的发展起着关键作用。分支问题是动力系统和非线性微分方程研究中的一个重要问题，它主要研究系统在临界点处随参数变化而发生的拓扑性质的本质改变，其中 Hopf 分支问题是学者们关注的一种重要分支中，因为它的产生会带来周期解的出现，从而会解释很多实际背景中的周期振荡行为。对时滞微分系统的研究中，平衡点的稳定性、周期解的存在性以及分支等问题都具有很强的生物意义，是关注的焦点。近几十年来学者们将分支理论应用于时滞微分方程和时滞反应扩散方程的研究中，进而通过研究分支产生的解来解释自然界中的周期振荡模式，因此，研究时滞(反应扩散)系统的分支理论及其应用是十分必要的。时滞微分方程的分支理论及相关问题自上世纪起已经得到广泛的研究，而空间扩散项以及多时滞的引入给时滞微分方程的分支理论带来了新的挑战。时滞系统是一类无穷维动力系统，不论时滞多么短，系统的状态空间和相空间都是无穷维的，特征方程是含有指数项的超越方程，这使得时滞动力系统分析起来更加困难。对于时滞动力系统人们最关心的中心问题是：如何建立更符合实际的时滞动力系统模型？时滞是否会导致系统失稳而产生周期解？产生的周期解是否是大范围存在的？平衡点是否是全局渐近稳定的？系统是否是一致持久的？针对以上问题，我们得到了一些开创性的研究结果。1. 引入基本再生数，通过分析特征方程的根的分布，首次从理论上证明了具有一般非线性发生率和带有暂时免疫的时滞 SIR 模型周期解的存在性，利用中心流形和规范型理论，给出了周期解性质的显式算法。进一步，考虑潜伏类人群，构建了 SEIR 模型，同时考虑了暂时免疫时滞和疾病的潜伏期时滞。首次研究了具有两个时滞系统平衡点的局部、全局渐近稳定性，局部、全局 Hopf 分支的存在性，以及系统一致持久的充分条件。2. 首次建立了含有指数项具有 Holling III 型功能反应项和捕获项的反应扩散 PZ 系统，对比研究 ODE, PDE, DDE 三类系统，重点考察了时滞、捕获力和毒素释放率对系统的影响，得到平衡点的全局渐近稳定性和最优捕获策略，证明系统不会发生图灵不稳定性，在一定条件下系统存在大范围周期解，正平衡点的不稳定区间随着捕获力或毒素释放速率的增加而减小。首次建立了含有两个指数项的 PZ 系统，将全局 Hopf 分支结果推广到了含有时滞指数项的时滞系统。3. 首次建立了具有三个时滞的捕食食饵系统，通过选择时滞组合参数，获得三时滞系统存在全局周期解的充分条件。本研究对于丰富微分方程定性理论，推动动力系统分支理论的深入发展，以及在肿瘤、血液病治疗，生态保护，环境治理，种群演化，疾病预防，资源利用等方面具有重要理论和实际指导意义。</p>

代表性论文专著目录

1. Zhichao Jiang, Junjie Wei*, Stability and bifurcation analysis in a delayed SIR model, Chaos, Solitons & Fractals, 35 (2008) : 609-619.
2. Zhichao Jiang*, Wanbiao Ma, Junjie Wei, Global Hopf bifurcation and permanence of a delayed SEIRS epidemic model, Mathematics and Computers in Simulation, 122 (2016) : 35-54.
3. Zhichao Jiang*, Lin Wang, Global Hopf bifurcation for a predator-prey system with three delays, International Journal of Bifurcation and Chaos, 27 (2017): 15 pages.
4. Zhichao Jiang, Wenzhi Zhang, Jing Zhang, Tongqian Zhang*, Dynamical analysis of a phytoplankton zooplankton system with harvesting term and Holling III functional response, International Journal of Bifurcation and Chaos, 28 (2018) : 23 pages .
5. Zhichao Jiang, Xiaohua Bi, Tongqian Zhang*, B. G. Sampath Aruna Pradeep, Global Hopf bifurcation of a delayed phytoplankton-zooplankton system considering toxin producing effect and delay dependent coefficient, Mathematical Biosciences and Engineering, 16 (2019): 3807-3829.

主要知识产权证明目录

主要完成人情况表（排名、姓名、技术职称、工作单位、对本项目技术创造性贡献、曾获奖励情况）

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	贡献	曾获奖情况
1	江志超	教授	北华航天工业学院	北华航天工业学院	主要从事(偏)泛函微分方程的理论及其应用研究。负责本项目的整体工作设想、提出研究方案，进行理论探讨，对关键科学问题提出研究方法和手段，发现了一些重要的特性和规律。主要参与了5篇代表作的系统建模、理论分析和数值模拟工作，对于本项目的5个发现点均为主要贡献，提出第一至第五发现点主要内容，全面负责系统建模、理论分析、推导，在提供的5篇代表作中，均为署名作者，是全部代表作的作者，第2、第3篇代表作的通讯作者。	无

2	魏俊杰	教授	哈尔滨工业大学(威海)	哈尔滨工业大学(威海)	主要从事(偏)泛函微分方程的理论及其应用研究。对本项目第一发现点主要内容和第二发现点的部分内容做出了贡献,在5篇代表作中,是第1篇代表作的通讯作者和第2篇代表作的合作者,参与了SIR、SEIR模型的稳定性和分支问题的研究,特别提出第二发现点中的全局Hopf分支的存在可能性。	2010年度教育部高等学校科学研究优秀成果(自然科学)二等奖第一完成人
3	张同迁	副教授	山东科技大学	山东科技大学	主要从事微分方程理论与应用研究。对本项目第4发现点和第5发现点的部分内容做出了贡献,在5篇代表作中,是第4,5篇代表作的通讯作者,参与了PZ系统的稳定性分析和数值模拟工作。	2013、2014年山东省高等学校优秀科研成果奖三等奖第一完成人
4	马万彪	教授	北京科技大学	北京科技大学	主要从事生物动力系统的稳定性研究。对本项目第二发现点的部分内容做出了贡献,在5篇代表作中,是第2篇代表作的合作者,参与了SEIR模型的稳定性和持久性研究,特别在第二发现点中,构造了Lyapunov泛函,来研究平衡点的全局渐近稳定性,并且给出了保证系统一致持久的充分条件。	1992年内蒙自治区科学技术进步一等奖第二完成人
5	王麟	讲师	黑龙江科技大学	黑龙江科技大学	主要从事微分方程建模和数值解研究。对本项目第3发现点的部分内容做出了贡献,在5篇代表作中,是第3篇代表作的合作者,参与了模型建立,算法的数值实现和数值仿真工作。	无

完成人合作关系说明

第 1 完成人江志超(北华航天工业学院), 发表 SCI 论文 42 篇, 作为项目负责人完成了国家自然科学基金项目 1 项, 河北省自然科学基金面上项目 1 项。负责本项目的整体工作设想、提出研究方案, 与第 2, 3, 4, 5 完成人合作, 参与了系统建模、理论分析和数值模拟工作, 对于本项目的 5 个发现点均为主要贡献, 是全部代表作的第一作者, 第 2、第 3 篇代表作的通讯作者。

第 2 完成人魏俊杰(哈尔滨工业大学(威海)), 发表 SCI 论文 167 篇, 主持国家自然科学基金项目 5 项, 2010 年度教育部高等学校科学研究优秀成果(自然科学)二等奖第一完成人, 哈尔滨工业大学研究生教育突出贡献奖。与第 1 完成人和第 4 完成人合作, 参与了 SIR、SEIR 模型的稳定性和分支问题的研究, 特别提出第二发现点中的全局 Hopf 分支的存在可能性, 是第 1 篇代表作的通讯作者和第 2 篇代表作的合作者。

第 3 完成人张同迁(山东科技大学), 至今发表 SCI 论文 50 余篇, 主持山东省自然科学基金 1 项; 山东省高等学校优秀科研成果三等奖第一完成人 2 项。是多篇合著论文的作者, 与第 1 完成人合作, 参与了 PZ 系统的稳定性分析和数值模拟工作, 是第 4, 5 篇代表作的通讯作者。

第 4 完成人马万彪(北京科技大学), 发表论文 130 余篇, 其中 SCI 检索 60 余篇, 总被引 700 余次, 3 篇论文入选 ESI 高被引论文, 联合翻译译著 1 本。主持国家自然科学基金项目 4 项, 是内蒙古自治区科学技术进步一等奖“中立型时滞微分方程解的性态和稳定性的研究”的第一完成人, 是多篇合著论文的作者, 与第 1 完成人合作, 参与了 SEIR 模型的稳定性和持久性研究, 特别在第二发现点中, 构造了 Lyapunov 泛函, 来研究平衡点的全局渐近稳定性, 并且给出了保证系统一致持久的充分条件, 是第 2 篇代表作的合作者。

第 5 完成人王麟(黑龙江科技大学), 发表论文 15 篇, 与第 1 完成人合作, 对本项目第 3 发现点的部分内容做出了贡献, 参与了模型建立, 算法的数值实现和数值仿真工作, 是第 3 篇代表作的合作者。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	备注
1	合作者	江志超, 魏俊杰	2008	Stability and bifurcation analysis in a delayed SIR model	代表论文 1
2	合作者	江志超, 马万彪, 魏俊杰	2016	Global Hopf Bifurcation and Permanence of a Delayed SEIRS Epidemic Model	代表论文 2
3	合作者	江志超, 王麟	2017	Global Hopf Bifurcation for a Predator–Prey System with Three Delays	代表论文 3
4	合作者	江志超, 张文治, 张静, 张同迁	2018	ynamical Analysis of a Phytoplankton zooplankton System with Harvesting Term and Holling III Functional Response	代表论文 4
5	合作者	江志超, 毕晓华, 张同迁, B. G. Sampath Aruna Pradeep	2019	Global Hopf bifurcation of a delayed phytoplankton-zooplank ton system considering toxin producing effect and delay dependent coefficient	代表论文 5
6					
7					
8					
9					
10					