

# 基于个体智能的群集动力学 演化分析与控制研究\*

文 / 张海涛<sup>1</sup> 周 涛<sup>2</sup> 李春光<sup>3</sup>

(1 华中科技大学, 湖北 武汉 430070 ;

2 电子科技大学, 四川 成都 610054 ;

3 浙江大学, 浙江 杭州 310027)

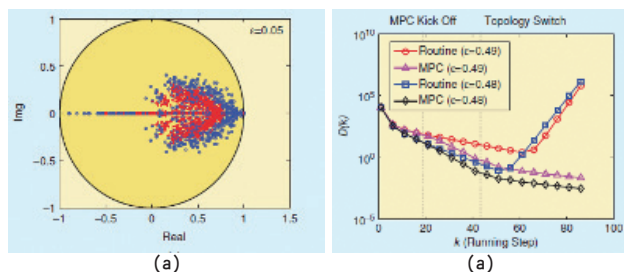
DOI: 10.3772/j.issn.1009-5659.2016.15.039

自然界生命群集中低等个体智能可以激发协调的群集涌现行为, 群集动力学系统演化分析与协同控制是美国《科学》杂志 2014 年世界十大科技前沿研究之一, 在无人机编队、敏捷制造、深空深海探测、智能电网等领域具有可观的应用前景。美国科学院院士 H.E.Stanley[Phys.

Rev.E 84, 046115, 2011] 指出“探索群集同步机制对科学和技术发展具有重大意义”。但由于群集的快速切换、不确定性和阵发性, 尚缺乏系统的演化过程建模、分析和控制理论, 研究难度大。本项目在涌现行为建模、自组织构型相变机理分析、人类群体动力学行为分析、群集内部通讯网络传播与同步控制等方面取得了突破性进展, 系统地发展了群集演化建模、分析、控制和决策方法。

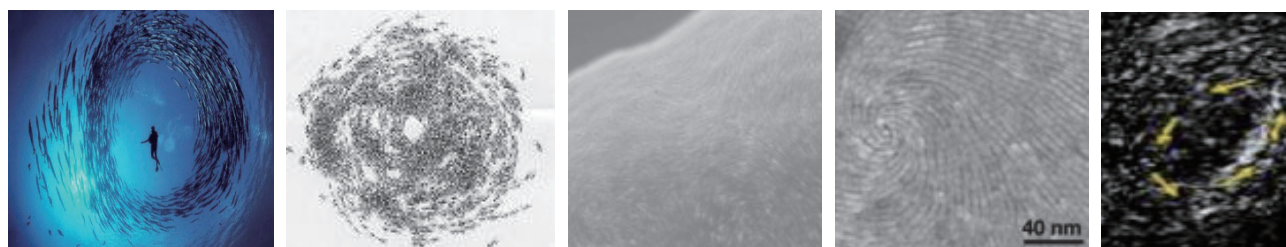
## 主要科学发现:

① 发现了预测智能对群集协同的加速作用和对通讯成本的缩减效应 (图 1), 揭示了人类群体行为的记忆性和阵发性规律, 阐明了个体活跃性与人类群体统计特征的关联特性; ② 揭示了个体间排斥和跟随作用对群集构型相变过程的影响规律 (图 2、3), 阐明了循环往复运动的群集动力学系统的涡旋构型协同机制 (图 4), 为群集编队构型协同提供了控制理论支撑; ③ 揭示了人类群体同步能力和连接强度之间的关系规律, 阐明了人类群体系统中通信网络同步和信息传播的动力学特性, 夯实了人群行为分布式控制与决策的理论基础。



(a) 群集内部预测机制对系统谱半径的压缩作用  
(蓝点和红点分别为传统控制和预测控制的特征值谱分布)  
(b) 连接网络拓扑切换下的同步指标曲线  
(红线和蓝线为传统控制, 紫线和黑线为预测控制)

图 1



(a) 鱼群涡旋

(b) 蚁群涡旋

(c) 变形杆菌涡旋

(d) 碳纳米杆涡旋

(e) 肌动蛋白丝涡旋

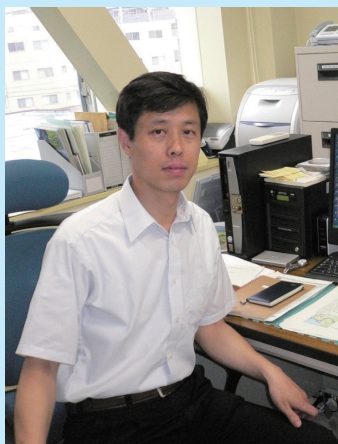
图 2

(下转第80页)

\* 湖北省自然科学一等奖。

特征、渗流特性等关键参数的确定、围岩分级和稳定控制提供了技术支持。在本项目成果支持下,众多高难度铁路隧道、公路隧道、矿山巷道成功避免了围岩大变形

和大体积塌方等工程灾害事故的发生,保障了施工安全,缩短了建设工期,产生了显著的经济效益。<sup>[CSTA]</sup>



#### 项目负责人简介:

蒋宇静, 山东科技大学教授, 博士生导师, 矿山灾害预防控制国家重点实验室(培育)主任, 国家“千人计划”特聘专家, 国家教育创新团队学术带头人, 国家杰出青年基金(B类)获得者。主要从事岩土工程和矿业工程相关的科研和教学工作, 提出的新理论和创建的新方法在隧道与地下工程、矿山资源开采、水利水电等工程领域得到了广泛应用。研究成果出版学术专著8部, 发表高水平科研论文260余篇, 其中科学引文索引收录56篇, 工程索引收录165余篇, 授权发明专利37件(专利号同上), 相关成果被ISRM岩石节理实验方法等国际规范所采用。近3年来, 获得山东省技术发明一等奖、山东省科技进步一等奖、中国岩石力学与工程学会技术发明一等奖、国家教育自然科学二等奖等科技奖励。

(上接第77页)

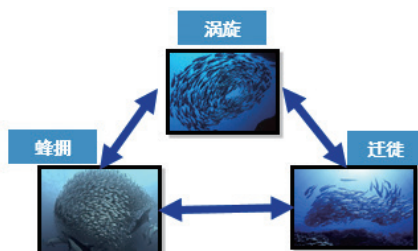
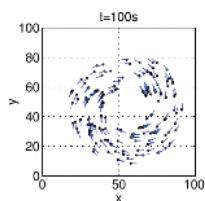
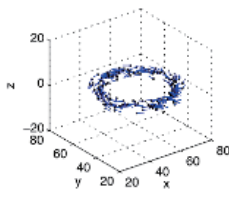


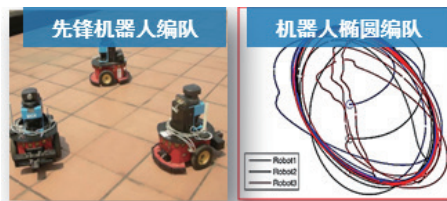
图3 自然界群集的3种典型构型(蜂拥、涡旋、迁徙)相变



(a) 二维涡旋



(b) 三维涡旋



(c) 机器人椭圆编队

图 4

被哈佛、麻省理工、剑桥、加州理工、橡树岭国家实验室等机构的学者他引869次, SCI他引421次。20篇主要论著他引1816次, SCI他引766次, 被PNAS和PRL他引6次, 被IEEE汇刊和IFAC汇刊他引56次。成果得到了美国科学院院士Pfaff、Stanley、美国工程院院士Anderson、Murray、Basar、德国科学院院士Schellnbuber、欧洲科学院院士Kurths、Ron以及23位IEEE会士的多次正面评价。负责人应美国科学院

长邀请在中美青年科学前沿会议上做大会报告, 在麻省理工、剑桥等国际著名机构演讲10余次。成员获得国家自然科学优秀基金2项、入选国家青年拔尖人才3人、全国百篇优博1人、中国青年科技奖1

项目7次获得了国家自然科学基金资助。8篇代表作中含1篇ESI高引用论文, 截至2014年7月1日

人、爱思唯尔2014年高被引学者2人、《科学中国人》年度人物杰出青年科学奖1人、新世纪人才3人。<sup>[CSTA]</sup>