

# 陕西省自然科学奖公示信息

(2025年度)

## 一、项目基本情况

项目名称	复杂工业网络环境下的动态系统鲁棒控制
主要完成人	张萌；邢兰涛；胡建晨；吴争光；苏宏业
主要完成单位	西安交通大学、浙江大学

## 二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
-------	--------	------	---

提名意见：

项目全面研究了复杂工业网络环境下的动态系统鲁棒控制方法，为复杂工业网络约束下不确定动态系统的控制问题提供了有效的解决方案，为实际工业控制系统的稳定性研究提供了坚实的理论基础和技术支持。

项目研究成果代表作全部发表于Automatica、IEEE Transactions on Automatic Control等控制领域国际顶级期刊。项目成果先后有18篇论文入选ESI高被引论文，获得包括IEEE ICPS、IEEE SmartGridComm Workshop、ICICIC、ICGNC等6次国际会议最佳论文奖或提名奖，得到22位国内外院士和65位IEEE/IFAC Fellow等权威专家的正面评价与肯定。第一完成人获教育部高层次青年人才奖励计划、陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖、吴文俊人工智能优秀青年奖、中国自动化学会优秀博士论文提名奖等荣誉。

该项目成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省自然科学奖提名条件，特提名为陕西省自然科学奖一等奖。

说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。

## 二、提名意见（适用于专家提名）

姓 名			
专家类型	<input type="checkbox"/> 国家最高科学技术奖获得者 <input type="checkbox"/> 中国科学院院士 <input type="checkbox"/> 中国工程院院士 <input type="checkbox"/> 国家科学技术奖获奖项目第一完成人（需注明获奖等次） <input type="checkbox"/> 省最高科学技术奖获奖人（或 xxxx 年省科学技术最高成就奖、xxxx 年基础研究重大贡献奖获奖人） <input type="checkbox"/> Xxxx 年省科学技术奖第一完成人（需注明获奖等次）	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
责任专家	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
提名意见：			
说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名人应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

### 三、项目简介

实际工业系统如能源电力、智能制造、流程工业等均为典型动态系统，通常具有强非线性、多耦合、大滞后和参数不确定等固有特性。随着现代工业过程对控制系统稳定性、可靠性及安全性等的要求不断提高，工业控制系统本身及环境存在的信息网络约束严重制约着系统整体性能，而传统控制方法难以满足现代工业系统控制需求。因此，深入研究复杂工业网络环境下动态系统的鲁棒控制问题具有重要的理论意义与应用价值。

本项目面向实现工业控制系统自主可控的国家重大战略需求，在国家973计划、国家自然科学基金重点项目和面上项目等资助下，针对复杂网络环境下的动态系统共性问题深入开展了特性描述、状态估计、控制设计和性能分析等研究，揭示了系统非线性、传感器数据难以获取、通信资源受限等因素对控制系统性能的影响机理，建立了综合反映系统非线性、随机性与不确定性等动态特性的精确模型，提出了完善的复杂工业网络环境下的动态系统鲁棒控制方法，研究成果得到国内外同行的高度认可。项目主要发现和创新点包括：

1) 提出基于能量函数的无源控制方法，揭示了传统无源控制方法在物理系统控制设计中存在的能量耗散障碍机理与功率塑造等无源化方法的局限性，突破了互联控制及功率塑造等无源化方法对系统参数的限制，在镇定系统平衡点的同时实现了对多系统的输出调节，形成了能够有效针对非线性动态系统的统一无源控制框架。

2) 提出一种新型动态输出反馈控制律，通过以维度更高的动态观测器转移矩阵代替观测器增益作为决策变量，构造了可用凸优化方法求解的输出反馈预测控制优化问题，克服了以往针对此类问题需采用观测器增益作为决策变量而导致的采用迭代方法求解非凸优化难题，在改进控制效果的同时将计算效率提高一个数量级以上。

3) 提出控制器和事件触发机制联合设计新方法，解决了不确定严格反馈非线性系统的输出反馈事件触发控制难题。通过将控制信号变化特性融入到触发条件的阈值设置中，建立了状态观测器、自适应控制器和事件触发机制的联合设计新框架，突破了传统方法对输入状态稳定假设条件的依赖，开辟了研究不确定非线性系统事件触发控制问题的新路径。

该项目共发表研究论文100余篇，其中72篇发表于IEEE汇刊和Automatica、18篇入选ESI高被引论文，获得包括IEEE ICPS、ICGNC等6次国际会议最佳论文奖或提名奖，成果得到22位院士和65位IEEE/IFAC Fellow等国内外权威专家的正面评价与肯定。5篇代表作全部发表于Automatica、IEEE TAC等控制领域权威期刊。项目完成人张萌是教育部高层次青年人才奖励计划、吴文俊人工智能优秀青年奖和陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖获得者。邢兰涛是国家自然科学基金优秀青年项目（海外）获得者。

## 四、客观评价

【限2页。围绕科学发现点的原创性、公认度和科学价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价内容要有客观依据，主要包括国内外同行在重要学术刊物（专著）和重要国际学术会议等公开发表的学术性评价意见，国内外重要科技奖励等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。】

- 1) 美国工程院院士、IEEE Fellow、美国麻省理工学院计算机科学与人工智能实验室 主任Daniela Rus教授在其文章（IEEE Control Systems Magazine, vol. 43, pp. 30-65, 2023）中表示，申请人关于机械系统PD控制的最新成果可以被用来进一步提高机器人系统的性能和鲁棒性。（英文原文：Latest advancements in PD control of mechanical systems [123] – [125] can be also adapted to further improve performances and robustness.）。注：文献[125]为代表性成果[1]。
- 2) 欧洲控制协会前主席、IEEE Fellow、荷兰格罗宁根大学工程中心主任J.M.A. Scherpen教授在其文章（2018 IEEE Conference on Decision and Control, pp 5634-5639, 2018）中表示，她的工作在申请人的基础上进行。（英文原文：The main contribution of this note is the use of alternate storage functions to extend the applicability of the PID-PBCs reported in [18] – [20] to a more general class of systems, namely, gradient-like cyclo-passive systems.）。注：文献[19]为代表性成果[1]。
- 3) IEEE CSS变结构系统与滑模技术委员会主席、法国国家信息与自动化研究所国际主席，墨西哥国立自治大学Leonid M. Fridman教授在其文章（Control Engineering Practice, 101: 104486, 2020）中表示，执行器故障可以通过申请人成果中的模糊信息系统方法进行处理。（英文原文：The faults are also evaluated by means of tri-valued and fuzzy information system approaches (see An, Liu, Wang, & Wu, 2015; Bartyś, 2013; Korbicz, Koscielny, Kowalczyk, & Cholewa, 2004; Zhang, Shi, Shen, & Wu, 2020; Zhao, Wang, Yan, & Shen, 2019 for more details).）。注：文献Zhang, Shi, Shen, & Wu, 2020为代表性成果[5]。
- 4) 波兰科学院院士、波兰科学院洛兹分院副主席、洛兹理工大学Andrzej Bartoszewicz教授在其文章（IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 16, no. 11, pp. 6837-6847, 2020.）中，将申请人在优化控制方面的成果作为代表进行介绍。（英文原文：Many researchers ([18] – [24]) have also proposed the design methods of conventional and optimal control strategies for NCS using event-triggered and time-triggered approach.）。注：文献[23]为代表性成果[5]。
- 5) 加拿大工程院、科学院双院院士，IEEE、IFAC Fellow，阿尔伯塔大学Tongwen Chen教授在其论文（IEEE Transactions on Automatic Control, 2018, 64(8): 3423-3430）中指出申请人的工作具有更放松的条件（英文原文“we refer to some recent work with relaxed assumptions, see, e.g., [27] and [28] for state and output feedback cases”）。注：[28]为代表作[2]。
- 6) IEEE Fellow，美国德克萨斯 A&M 大学（卡塔尔分校）Tingwen Huang教授在其论文（Science China Information Sciences, 2020, 63(5): 1-15）中指出[32]解决了状态不可测情况下的事件触发自适应控制问题（英文原文“Xing et al. [32] extended this adaptive event-triggered control strategy to the output feedback control, such that the problem of unmeasurable states was solved.”）。注：[32]为代表成果[2]。

**五、代表性论文专著目录**  
**(不超过 8 条，其中代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部)**

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	他引总次数	检索数据库	知识产权是否归国内所有
1	PID Passivity-Based Control of Port-Hamiltonian Systems	IEEE Transactions on Automatic Control	张萌, Broja Pablo, Romeo Ortega,刘之涛, 苏宏业	2018 年 63 卷 4 期 1032-1044 页	2017 年 7 月 26 日	刘之涛	张萌	张萌, 刘之涛, 苏宏业	69	Web of Science	是
2	Event-Triggered Output Feedback Control for a Class of Uncertain Nonlinear Systems	IEEE Transactions on Automatic Control	邢兰涛, Changyun Wen, 刘之涛, 苏宏业, 蔡建平	2019 年 64 卷 1 期 290-297 页	2018 年 4 月 5 日	刘之涛	邢兰涛	邢兰涛, 刘之涛, 苏宏业, 蔡	265	Web of Science	是
3	Adaptive backstepping control for a class of nonlinear systems with non-triangular structural uncertainties	IEEE Transactions on Automatic Control	蔡建平, Changyun Wen, 苏宏业, 刘之涛, 邢兰涛	2017 年 62 卷 10 期 5220-5226 页	2016 年 11 月 11 日	蔡建平	蔡建平	蔡建平, 苏宏业, 刘之涛,	76	Web of Science	是

4	Output feedback robust MPC for linear systems with norm-bounded model uncertainty and disturbance	Automatica	胡建晨, 丁宝苍	2019年108卷10848-10857页	2019年7月12日	丁宝苍	胡建晨	胡建晨, 丁宝苍	28	We b of Sci enc e	是
5	Static Output Feedback Control of Switched Nonlinear Systems with Actuator Faults	IEEE Transactions on Fuzzy Systems	张萌, Peng Shi, 沈超, 吴争光	2020年28卷8期1600-1609页	2019年5月28日	沈超	张萌	张萌, 沈超, 吴争光	115	We b of Sci enc e	是
合 计									553		
补充说明（视情填写）：											

## 六、主要完成人情况表

姓 名	张萌	排 名	1
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献：  提出了能够始终保证闭环系统无源性的能量函数控制方法，避免了限制传统无源控制方法应用的能量耗散障碍问题，完善了通过能量塑造方法建立闭环系统无源性的理论体系；提出了逆向配置系统期望互联和阻尼矩阵的能量函数塑造方法，克服了正向配置导致需要求解伪逆矩阵的设计缺陷，从根本上提高了经典设计模式的灵活性，降低了偏微分方程的求解难度并且最终得出的控制器形式更加简洁实用；提出了能够维持系统功率平衡的输入输出坐标变换并给出了保证坐标变换可行性的充要条件，突破了互联控制及能量塑造等无源化方法对系统参数的限制，形成了能够有效针对非线性系统的统一无源控制框架。是代表作 1 和 5 的第一作者。			

姓 名	邢兰涛	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	山东大学		
完成单位	浙江大学		
对本项目主要学术贡献： 提出控制器和事件触发机制联合设计新方法，解决了不确定严格反馈非线性系统的输出反馈事件触发控制难题。通过将控制信号变化特性融入到触发条件的阈值设置中，建立了状态观测器、自适应控制器和事件触发机制的联合设计新方法，突破了经典结果对 ISS 假设条件的依赖，开辟了研究不确定非线性系统事件触发控制问题的新路径。是代表作 2 的第一作者和代表作 3 的第五作者。			



姓 名	胡建晨	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献：  首次针对范数有界不确定系统设计了动态输出反馈模型预测控制，通过以状态转移矩阵作为决策变量，构造了凸优化问题，克服了以往针对此类问题需采用观测器增益作为决策变量而导致的优化问题非凸，需要采用迭代方法求解的难题，大大降低了计算量。是代表作 4 的第一作者。			

姓 名	吴争光	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	浙江大学		
完成单位	浙江大学		
对本项目主要学术贡献： 提出结合最低下界引理与分段李雅普诺夫泛函优化时变时延边界，最大限度降低了稳定性判据保守性，放宽了控制器设计对系统参数的要求从而为异步控制方法的实际应用奠定了理论基础；提出基于隐马尔科夫模型的异步控制设计方法，解决了系统状态和运行模态不确定情况下的状态估计问题，突破了传统控制器设计方法依赖于精确系统状态及系统运行模态的局限性。是代表作5的合作作者。			

姓 名	苏宏业	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	浙江大学		
完成单位	浙江大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>在系统运行模态不确定或真实模态难以获取的情况下保证了闭环系统的稳定性，避免了传统设计方法对精确系统运行模态与系统状态的依赖。提出的李雅普诺夫函数完全利用了所有当前时刻和下一时刻的被控系统及控制器模态信息，充分提升了控制器参数求解条件的可行性，降低了控制器设计引入的保守性及其对被控系统的参数要求。是代表作1、2、3的合作作者。</p>			

## 七、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>针对工业网络环境下动态系统的建模与控制难题，从稳定性与系统能量变化关系的角度出发，根据物理规律并利用哈密顿模型对非线性系统建模，提出了基于能量函数的无源控制方法，利用无源参数化输出设计控制器保证所有正的控制器增益都能够有效镇定闭环系统平衡点。通过第一积分简化偏微分方程并替代卡西米尔函数保持系统状态与控制器状态函数之间的流型不变性，克服传统无源控制方法普遍存在的能量耗散障碍问题。结合功率调控与庞加莱引理简化偏微分方程结构或将其转化为常微分方程，从根本上降低偏微分方程的求解难度并最终得出简洁实用的解析控制器形式，形成了能够有效针对非线性系统的无源控制理论及应用方法。</p>	

单位名称	浙江大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>针对带有非三角结构不确定性的非线性系统，提出了基于反步法的鲁棒自适应控制设计方法，使得反步设计方法的应用领域得到进一步拓宽。在虚拟控制器设计的每一步中，利用不等式缩放将非三角结构不确定性引起的不确定影响分离并累计到控制器设计的最后环节。此外，将控制信号通过量化编码后传至执行器，采用扇形区间约束量化误差并将非线性量化误差处理转化为范数有界的参数性不确定问题，最后通过合理得参数设计对系统不确定性影响进行了整体有效抑制。</p>	

## 完成人合作关系说明

本项目完成人之间有很深的学术渊源，项目第一完成人张萌于2013年至2018年期间在浙江大学攻读博士学位，2018年至今在西安交通大学工作。第二完成人邢兰涛和第四完成人吴争光是第一完成人张萌的博士课题组成员，一直保持着密切的学术合作。第三完成人胡建晨一直在西安交通大学读博和工作，与第一完成人张萌隶属于同一研究团队。第五完成人苏宏业是第一完成人张萌、第二完成人邢兰涛和第四完成人吴争光的导师。

项目组成员的合作成果丰富，张萌与苏宏业共同发表了本项目的代表性论文1；张萌与吴争光共同发表了本项目的代表性论文5；张萌与胡建晨共同完成4篇论文和2项专利，胡建晨完成代表性论文4；邢兰涛与苏宏业共同发表了本项目代表性论文2和3。

### 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	证明材料
1	合作发表学术论文	张萌, 苏宏业/1,5	2013-2023	PID Passivity-Based Control of Port-Hamiltonian Systems	代表性论文 1
2	合作发表学术论文	张萌, 吴争光/1,4	2013-2023	Static Output Feedback Control of Switched Nonlinear Systems with Actuator Faults	代表性论文 5
3	合作发表学术论文	张萌, 胡建晨/1,3	2018-2023	An Off-line Fuzzy Model Predictive Control Approach Using Cache	合作论文 1
4	合作发表学术论文	邢兰涛, 苏宏业/2,5	2013-2023	Event-Triggered Output Feedback Control for a Class of Uncertain Nonlinear Systems	代表性论文 2
5					
.....					
(不限 条目)					