

2022 年度海南省科学技术奖提名公示内容

自然科学奖

项目名称	批次工业过程先进控制性能优化基础理论
提名等级	二等奖
提名单位	海南师范大学
提名意见	<p>该项目主要研究批次过程优化控制问题。重要的科学发现点如下： 1) 提出了一种依赖于时滞区间上下界的反馈结合迭代学习控制的二维控制器设计解决方案，能广泛适用于具有时变时滞与不确定性的批次生产过程。2) 创造性地提出了一种基于平均停留时间的反馈控制结合迭代学习控制的二维控制器设计方案，以保证执行器故障、区间时变时滞和干扰情况下多阶段批次生产过程控制回路的稳定。3) 率先提出对批量生产过程建立一种新型的扩展非最小化状态空间模型，创新地发展了包含预测函数控制和线性二次型优化控制方法，通过控制器的设计可以调节系统状态和误差变量，建立了一个保证闭环鲁棒稳定性的充分条件，从而解决了现有的控制方法在批次过程操作中会受到非重复性时不变和非重复性时变故障影响的突出问题，攻克了批量生产过程在恒定和时变制动器故障下的一些控制与优化难题。</p> <p>该项目已经在批次过程的优化建模、性能检测、容错控制、质量预测与控制等领域取得了重要成果，在批次过程控制的模型化理论、数据驱动的质量控制与预测理论方面取得了突破性进展，提出的学术观点及其研究方法为国内外学术界所公认和广泛引用，施引者包括来自 20 余个国家的学者，包括 20 多位国内外科学院和工程院院士、IFAC/IEEE Fellow，本项目有力地推动了本学科的发展。</p> <p>基于以上理由，特推荐该项目申请海南省自然科学奖二等奖。</p>

项目简介

批次生产广泛应用于化工、医药、生物制品、现代农业等领域，其产品质量的稳定与提高对整个行业经济效益起着不可忽视的重要作用，为此，生产过程必须实现稳定、高精度与高性能运行。随着工业的发展，生产规模的扩大和生产步骤的复杂化，批次生产过程对产品质量的要求日趋严格，其生产过程的工艺流程和运行机理日趋复杂，急需更加有效的建模、控制、性能监测与产品质量测量等手段，以满足工业过程高性能稳定运行的需求。由于时间延迟、执行器故障等诸多生产过程不确定性的影响，亟需发展先进、安全、稳定和准确的批次过程控制与质量预测方法来实现控制的稳定性、质量预测的准确性以及实时性能的优化，这是目前本领域国际研究的前沿挑战性课题。

项目组针对上述前沿问题，建立了批次过程的新型先进优化控制方法。主要发现点包括：1) 突破性地提出了一种依赖于时滞区间上下界的反馈结合迭代学习控制的二维控制器设计解决方案，能广泛适用于具有时变时滞与不确定性的批次生产过程，建立了等价二维（2D）时滞系统，创新性地通过定义二维 Lyapunov 函数，建立了新的基于延迟区间的稳定性和稳定条件，从而克服了传统控制方法可能会导致系统不稳定的根本缺陷，率先发展了针对具有不确定性和区间变时滞的批次过程二维控制器设计方法。2) 创造性地提出了一种基于平均停留时间的反馈控制结合迭代学习控制的二维控制器设计方法，以保证执行器故障、区间时变时滞和干扰情况下多阶段批次生产过程控制回路的稳定。3) 率先提出对批量生产过程建立一种新型的扩展非最小化状态空间模型，创新地发展了包含预测函数控制和线性二次型优化控制方法，通过控制器的设计可以调节系统状态和误差变量，建立了一个保证闭环鲁棒稳定性的充分条件，从而解决了现有的控制方法在批次过程操作中会受到非重复性时不变和非重复性时变故障影响的突出问题，攻克了批量生产过程在恒定和时变制动器故障下的一些控制与优化难题。

围绕项目的主要科学发现，共计发表 SCI 期刊论文 180 余篇，均发表在过程控制顶级期刊 Journal of Process Control、IEEE 汇刊、化工领域顶级期刊 AIChE Journal、Chemical Engineering Science 和 Industrial & Engineering Chemistry Research。由国际知名出版社 Springer 出版英文专著二部 (Iterative learning stabilization and fault-tolerant control for batch processes、Model Predictive Control-Approaches Based on the Extended State Space Model and Extended Non-minimal State Space Model)，在国内出版了专著“非线性预测控制与工业应用”。受到了二十多个国家知名学者的肯定和积极评价，包括中国、美国、德国、加拿大、波兰等国科学院和工程院院士，以及 20 多位 IFAC Fellow 和 IEEE Fellow 等。受邀在化工过程建模与控制等相关会议做关于系统建模与控制的大会/特邀报告 10 次，这些成果有力地促进了过程控制学科方向的理论发展。

代表性论文（专著）目录

序号	论文（专著）名称/ 刊名/作者	年卷页码 （××年 ××卷 ××页）	发表时间 （年 月 日）	通讯 作者 （含 共同）	第一 作者 （含 共同）	国内 作者	他 引总 次数	检索 数据 库	论文署 名单位 是否包 含国外 单位
1	Iterative Learning Stabilization and Fault-Tolerant Control for Batch Processes/Springer /Wang, Limin; Zhang, Ridong; Gao, Furong	2020 年	2020-03-05	Wang, Limin	Wang, Limin	王立敏; 张日东; 高福荣			否
2	Robust delay dependent iterative learning fault-tolerant control for batch processes with state delay and actuator failures/Journal of Process Control/Wang, Limin; Mo, Shengyong; Zhou, Donghua; Gao, Furong; Chen, Xi	2012 年 22 卷 1273 - 1286 页	2012-07-08	Gao, Furong; Chen, Xi	Wang, Limin	王立敏; 莫胜勇; 周东华; 高福荣; 陈曦	25	web of Science	否
3	H_{∞} design of 2D controller for batch processes with uncertainties and interval time-varying delays /Control Engineering Practice / Wang, Limin; Mo, Shengyong; Qu, Hongyi; Zhou, Donghua; Gao, Furong	2013 年 21 卷 1321-1333 页	2013-07-05	Gao, Furong	Wang, Limin	王立敏, 莫胜勇, 瞿弘毅, 周东华, 高福荣	23	web of Science	否

4	Average dwell time-based optimal iterative learning control for multi-phase batch processes/ Journal of Process Control / Wang, Limin; He, Xiao; Zhou, Donghua	2016年40卷 1-12页	2016-02-11	Zhou, Donghua	Wang, Limin	王立敏, 何潇, 周东华	20	web of Science	否
5	Robust iterative learning control with applications to injection molding process /Chemical Engineering Science/ Gao, Furong; Yang, Yi; Shao, Cheng	2001年56卷 7025-7034页	2001-12-1	Gao, Furong	Gao, Furong	高福荣, 杨毅, 邵诚	55	web of Science	否
6	Robust Iterative Learning Fault-Tolerant Control for Multiphase Batch Processes with Uncertainties/Industrial &Engineering Chemistry Research/ Wang, Limin; Sun, Limei; Yu, Jingxian; Zhang, Ridong; Gao, Furong	2017年56卷 10099-10109页	2017-07-12	Wang, Limin; Zhang, Ridong	Wang, Limin	王立敏, 孙丽美, 于晶贤, 张日东, 高福荣	10	web of Science	否
7	Predictive Functional Control for Linear Systems under Partial Actuator Faults and Application on an Injection Molding Batch Process/Industria	2014年53卷 723-731页	2013-12-19	Gao, Furong	Zhang, Ridong	张日东, 鲁仁全, 薛安克, 高	23	web of Science	否

	l& Engineering Chemistry Research/ Zhang, Ridong ; Lu, Renquan; Xue, Anke; Gao, Furong					福荣			
8	New design of state space linear quadratic fault-tolerant tracking control for batch processes with partial actuator failure/Industrial & Engineering Chemistry Research/ Zhang, Ridong ; Gan, Liangzhi; Lu, Jingyi ; Gao, Furong	2013 年 52 卷 16294-16300 页	2013-10-22	Gao, Furong	Zhang , Ridong	张日东, 甘良志, 卢静宜, 高福荣	25	web of Science	否
合计							181		
主要完成人	王立敏, 排名 1, 教授, 海南师范大学; 周东华, 排名 2, 教授, 山东科技大学; 张日东, 排名 3, 教授, 杭州电子科技大学; 高福荣, 排名 4, 教授, 香港科技大学 陈曦, 排名 5, 教授, 浙江大学								
主要完成单位	1.单位名称: 海南师范大学 2.单位名称: 清华大学 3.单位名称: 杭州电子科技大学 4.单位名称: 香港科技大学 5.单位名称: 浙江大学								