

2019 年度浙江省自然科学奖提名公示表

一、 成果名称 炼油工业过程先进控制理论与产业化应用

二、 提名单位及提名意见

提名单位	浙江省教育厅
提名意见（限 600 字）	
<p>炼油工业过程系统优化与控制是控制科学与工程领域中重要的科学问题。课题组针对该问题进行了细致深入的研究，授权发明专利 54 项，发表 SCI 论文 87 篇，其中 10 篇代表性论文 SCI 总他引 227 次。4 篇论文入选 ESI 高被引论文，1 篇论文入选 ESI 热点论文。论文得到 20 余个国家和地区的院士、IFAC/IEEE Fellow 的正面引用和评价。</p> <p>依托理论开发的相关技术在三大油公司(中石油、中石化、中海油)及中化集团 20 余家企业 200 多套大型炼油化工生产装置成功应用，覆盖千万吨炼油、百万吨乙烯等装置，取得了显著的经济效益。</p> <p>本项目研究内容受到 1 项国家高技术研究发展计划（863 计划），2 项国家自然科学基金项目，1 项浙江省重大科技攻关项目，和 1 项浙江省自然科学基金、科技计划项目的资助。后续受到 1 项国家基金重点项目和 2 项国家自然科学基金的资助，研究成果可为工业系统优化控制、智能决策等提供重要的理论基础。项目组 1 人入选德国洪堡资深学者资助、1 人入选浙江省万人计划领军人才、1 人入选浙江省 151 人才工程重点资助，2 人入选浙江省中青年学科带头人，1 人获得浙江省杰出青年基金资助。</p> <p>提名该成果为省自然科学奖二等奖。</p>	

三、成果简介

成果主要研究内容、科学发现点、科学价值，同行引用及评价等（限 1000 字）

炼油工业过程系统优化与控制是控制科学与工程领域中重要的科学问题。由于不确定性、非线性、时间滞后和系统故障等复杂因素影响，系统的分析和设计是控制领域长期以来最具挑战的前沿问题。

本项目以智能学习方法为工具，从复杂系统多重自由度控制角度，取得了一系列成果。

1) 提出混合建模策略，利用最小二乘法辨识与支持向量机优化策略构建被控对象的非线性模型，进而设计相应的非线性先进控制器，通过求解解析收敛的迭代学习控制律，避免了复杂的非线性优化，提高了参考输入跟踪和负载抗扰动的调整能力；2) 提出了线性迭代递推优化的预测控制方法，稳态和暂态性能分别由工作点和控制器收敛因子决定；基于阶跃响应与非线性优化的建模思想和预测函数控制器设计方法；3) 建立了新的工业过程模型处理思想和改进控制器性能的设计方法。提出具有状态与过程跟踪误差同时调节的控制器参数调整方法，兼顾了过程控制系统的跟踪性能与抗干扰性能；4) 基于“非最小化模型变换”的预测控制方法，通过基于包含误差的非最小化状态空间模型设计预测控制器，可在控制器的设计过程中规范过程跟踪误差与状态变化来调节过程的响应，可提高控制精度，改善动态性能，得到良好的控制效果；5) 基于解耦的控制器设计方法。经过解耦后控制器设计可通过单变量过程模型设计，方便了控制器设计。同时采取有效手段避免过程与模型发生零极点对消和模型/过程失配的影响并给出闭环系统鲁棒性稳定的充分条件，指导控制器的设计。

本项目授权发明专利54项，发表SCI论文87篇，其中10篇代表性论文SCI总他引227次，4篇论文入选ESI高被引论文，1篇论文入选ESI热点论文。论文得到20余个国家和地区的院士、IFAC/IEEE Fellow的正面引用和评价。在代表性论著所在期刊当年Web of Science 数据库被引次数排名中，6篇论文列前30%，4篇前20%。

依托理论开发的相关技术在三大油公司(中石油、中石化、中海油)及中化集团 20 余家企业 200 多套大型炼油化工生产装置成功应用，覆盖千万吨炼油、百万吨乙烯等装置。其中 6 家代表性应用单位统计新增直接经济效益 5 亿元（2011 年取自 6 家应用企业的统计数据，计算区间：2001 年至 2011 年）。

四、第三方评价

评价结论等（限 2400 字）

- 1、IEEE Fellow, IFAC Fellow, 美国过程控制专家, University of California (UCLA) 大学教授 Panagiotis D.Christofides、UCLA大学聚合物与分离研究所所长Yoram Cohen教授在其合著论文 (Desalination, 2013, 316, 154-161) 引用候选人论文评述申请者提出的方法成功解决了困扰焦化炉设定控制与负荷扰动难题。(原文如下, [31]即为申请者的SVM建模与控制论文: The use of SVM is especially useful for developing non-linear controllers as has been demonstrated in recent studies involving membrane based and other industrial processes [31 - 33]. For example, SVM based non-linear predictive functional control design was applied to a coking furnace, improving the regulatory capacity for both reference input tracking and load disturbance rejection compared with traditional PFC and PID control strategies [31].)
- 2、IFAC Fellow, 德国University of Stuttgart的Frank Allgower教授在其论文 (IEEE Transactions on Automatic Control, 2017, 62(7), 3339-3353) 肯定了申请者的方法并将申请者的方法列为代表性的方法。(原文如下, [15]为申请者的论文: Iterative learning control, first proposed by Arimoto et. al. [13], is good at exploiting repetitiveness to improve tracking performance from iteration to iteration [6], [12], [14], [15].)。
- 3、德国汉诺威大学电力系统研究所系主任、卡塞尔Fraunhofer IWES输电电网部主管Lutz Hofmann教授在其论文 (ISA Transactions, 2016, 62, 325-332) 将申请者的论文作为代表性方法加以引用。(原文如下, [11]为申请者论文: Despite the clear advantage of using the ARMAX stochastic model as presented in the example of Fig.1, within many applied works with stochastic candidates of the MPC family it is much more common to find ARX-based simulations and practical essays, even under the consideration of a stochastic design method in the theoretical part. For example, confer all of the following works on long-range stochastic MPC algorithms: Keyser et al. [9], Scattolini and Bittanti [10], Desbiens et al. [11], Najim and Ruiz [12], Karacan [13], Dubay and Abu-Ayyad [14], Zhang et al. [15], Kirches et al. [16], and Belda [8].)
- 4、IEEE Fellow, 清华大学周东华教授在其论文 (Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52, 2661-2671) 中将申请者的方法作为代表性方法加以引用。(原文如下, [11]为申请者的论文: Iterative learning control (ILC) has been increasingly practiced in recent years for industrial processes to realize perfect tracking and control optimization. 7-11 This methodology is in principle based on using repetitive operation information from historical batches to progressively improve tracking performance from batch to batch.)
- 5、香港科技大学教授, 国际塑胶工程师协会会士, 国家千人计划学者Furong Gao教授在其论文 (Industrial & Engineering Chemistry Research, 2016, 55, 8818-8829) 把申请人的方法列为实施先进控制建模的代表性成果。(原文如下, [9]为申请者的论文: Online closed-loop identification is an important and fundamental problem in process control, because it depicts an evolutionary “map” to process control engineers for better understanding the plant, also enabling further controller upgrades such as redesigning controller parameters or setpoints, 1 or even implementation of advanced control strategies such as model predictive control (MPC) 2-9

- 6、波兰科学院自动控制与计算机科学委员会会士Krzysztof Gałkowski 教授在其论文(IET Control Theory & Applications, 2016, 10, 1904-1915) 将申请者的方法作为代表性方法加以引用。(原文如下, [15]为申请者的论文: Model predictive control based ILC schemes were proposed to implement set-point tracking with respect to the input constraints [13 - 16]. Convergence constraints for ILC designs that are robust against process uncertainties were discussed in [17, 18].)
- 7、国际质量学学会院士 (Academician, International Academy for Quality)、美国质量学会会士(Fellow, American Society for Quality), City University of Hong Kong的CHIN, K.S教授在其论文 (Nonlinear Dynamics, 2018, 92, 1001-1021) 中将申请人的方法列为代表性方法。(原文如下, [36]为申请者的论文: It is also possible to use the nonminimal state-space model, in which the extended states consist of input increments, output increments and output signals [35 - 37]. Considering the augmented model method has the advantage of relatively low matrix dimensionality, it is used in this study.)。
- 8、英国自动控制委员会 (UKACC) 执行委员、Lancaster University的C. J. Taylor教授在其论文 (International Journal of Control, 2019, 2939-2951) 中将申请人方法列为代表性方法。(原文如下, Zhang & Gao, 2013为申请者的论文: ……active noise control (Yucelen & Pourboghrat, 2009); and in relation to recent advances in process control (Bigdeli, 2015), such as coke furnaces (Zhang & Gao, 2013)…)
- 9、IEEE Fellow, 澳大利亚the University of Adelaide的P. Shi 教授在其发表于(IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63 (2): 1230-1238) 的论文中将申请人的方法列为化工过程的典型方法。(原文如下, [33]为申请者的论文: Meanwhile, singular systems are frequently encountered in electronic and economic systems, aerospace, and chemical industries [32] - [36]. Hence, there will be a profound meaning applying quantized control to singular systems.)
- 10、德国工程院院士、IFAC 计算机控制技术委副主席、德国VDI/VDE 工业智能体工作组主席, 慕尼黑大学Birgit Vogel-Heuser 教授在其发表于(IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018, 14 (1): 275-282) 的论文中 将申请人的方法列为代表性方法 (原文如下, [26]为申请者的论文: Model predictive control (MPC) approaches can be used for process control, e. g., coke furnaces [26], and high-performance control tasks such as electric drives [27] - [29].)。

五、代表性论文专著目录

序号	论文专著名称/刊名	影响因子	年卷期页码	发表时间(年、月)	通讯作者	第一作者	所有作者	SCI 他引次数	他引总次数	是否省内完成
1	Support vector machine based predictive functional control design for output temperature of coking furnace/Journal of Process Control	3.316	2008 18(5) 439-448	2008.0 6	Ridong Zhang	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Shuqing Wang	35	59	是
2	Neural network based iterative learning predictive control design for mechatronic systems with isolated nonlinearity/ Journal of Process Control	3.316	2009 19(1) 68-74	2009.0 1	Ridong Zhang	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Anke Xue, Jianzhong Wang, Shuqing Wang, Zhengyun Ren	21	28	是
3	Adaptive extended state space predictive control for a kind of nonlinear systems/ ISA Transactions	4.343	2009 48(4) 491-496	2009.1 0	Ridong Zhang	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Shuqing Wang, Anke Xue, Zhengyun Ren, Ping Li	14	17	是
4	A simplified linear iterative predictive functional control approach for chamber pressure of industrial coke furnace/Journal of Process Control	3.316	2010 20(4) 464-471	2010.0 4	Ridong Zhang	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Ping Li, Anke Xue, Aipeng Jiang, Shuqing Wang	21	33	是
5	Modeling and nonlinear predictive functional control of liquid level in a coke fractionation tower/ Chemical Engineering Science	3.372	2011 66(23) 6002-6013	2011.12	Ridong Zhang	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Anke Xue, Shuqing Wang	21	29	是

6	Dynamic modeling and nonlinear predictive control based on partitioned model and nonlinear optimization/ Industrial & Engineering Chemistry Research	3.375	2011 50(13) 8110-8 121	2011.07	Ridong Zhang	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Anke Xue, Shuqing Wang	25	36	是
7	An improved model predictive control approach based on extended non-minimal state space formulation, Journal of Process Control	3.316	2011 21(8) 1183-1 192	2011.09	Ridong Zhang, zhengyun Ren	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Anke Xue, Shuqing Wang, Zhengyun Ren	32	48	是
8	Multivariable decoupling predictive functional control with non-zero-pole cancellation and state weighting: Application on chamber pressure in a coke furnace/ Chemical Engineering Science	3.372	2013 94 30-43	2013.0 5	Furong Gao	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Furong Gao	20	25	是
9	Real-time implementation of improved state space MPC for air-supply in a coke furnace/ IEEE Transactions on Industrial Electronics	7.503	2014 61(7) 3532-3 539	2014.0 7	Ridong Zhang	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Anke Xue, Renquan Lu, Ping Li, Furong Gao	17	23	是
10	Temperature control of industrial coke furnace using novel state space model predictive control/ IEEE Transactions on Industrial Informatics	7.377	2014 10(4) 2084-2 092	2014.11	Ridong Zhang	Ridong Zhang	Ridong Zhang, Anke Xue, Furong Gao	20	33	是
							合计:	227	331	

六、主要完成人员情况

排名	姓名	行政职务	技术职称	现从事专业	工作单位	二级单位	完成单位	对本成果主要科学发现的贡献
1	张日东	无	研究员	化工自动化	杭州电子科技大学	自动化学院	杭州电子科技大学	新型优化建模理论和控制器设计方法
2	王树青	无	教授	化工自动化	浙江大学	控制学院	浙江大学	智能优化建模结构与参数优化
3	王建中	无	教授	检测技术	杭州电子科技大学	自动化学院	杭州电子科技大学	建模的收敛性理论
4	李平	无	教授	化工自动化	辽宁石油化工大学	信息工程学院	辽宁石油化工大学	先进控制器整定
5								

七、主要完成单位情况表

排名	单位名称	对本成果主要科学发现支撑作用情况（限 300 字）
1	杭州电子科技大学	本项目的第一承担单位，在本项目的立项、实施和结题，以及成果评审和奖励申报的整个过程中，起到了积极的组织和协调作用。杭州电子科技大学在人才引进、课题人员配备、经费开支、场地和设备使用等方面都给予了大力支持，并对项目进行指导，建立了紧密的合作研究关系，进一步提升了本项目成果的水平，提高了本项目成果的国际知名度。
2	浙江大学	本项目的第二承担单位，在本项目的立项、实施和结题，以及成果评审和奖励申报的整个过程中，配合第一承担单位起到了积极的协调作用。浙江大学具有严谨的学风和优秀的学术传统，学校积极营造良好的学术氛围，对本项目成果的学术水平有重要的促进和支持。
3	辽宁石油化工大学	本项目的第三承担单位，在本项目的立项、实施和结题，以及成果评审和奖励申报的整个过程中，配合第一承担单位和第二承担单位起到了积极的协调推动作用。辽宁石油化工大学具有严谨的学风和学术传统，学术氛围浓厚，对本项目成果的学术水平有重要的促进和支持。

八、完成人合作关系说明（含情况汇总表）

“炼油工业过程先进控制理论与产业化应用”系张日东、王树青、王建中、李平等合作研究完成。依托以下国家自然科学基金（60804010，61104049，61273101）、国家863计划（2007AA04Z166）、浙江省杰出青年基金（LR16F030004）等。已授权发明专利50余项，发表SCI论文80余篇，其中10篇代表性论文SCI总他引227次。

张日东作为项目规划者和研究者与合作者进行了合作研究。主要进行了新型优化建模理论和控制器设计方法的研究。

王树青教授与张日东合作开展了智能优化模型结构与参数优化等相关理论研究。

王建中教授与张日东合作共同开展了非线性建模的收敛性理论，提出了伴微分方程收敛性判据以及在神经网络建模中的应用。

李平教授与张日东合作共同开展了控制器核心算法的应用研究以及工程化的先进控制器的参数整定。

承诺：本人作为成果第一完成人，对本成果完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：



完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料编号	备注
1	论文合著	张日东, 王树青	2008年至2011年	学术论文	代表性论文 1-7	
2	论文合著	张日东, 王建中	2009年	学术论文	代表性论文 2	
3	论文合著	张日东, 李平	2009年至2014年	学术论文	代表性论文 3、4、9	
4						