

中国自动化学会通讯

COMMUNICATIONS OF CAA

第12期

2023年12月

第44卷 总第243期

主办：中国自动化学会

<http://www.caa.org.cn>

E-mail: caa@ia.ac.cn

京内资准字2020-L0052号

2023中国自动化大会

China Automation Congress

自主可控强实体 新质生产创未来



扫描二维码
关注官方微信



扫描二维码
关注官方微博



中国自动化学会通讯
Communications of CAA



主管单位 中国科学技术协会
主办单位 中国自动化学会
编辑出版 中国自动化学会办公室



关注官方微信



关注官方微博

主 编 | 郑南宁 CAA 理事长、中国工程院院士、
西安交通大学教授

副 主 编 | 王飞跃 CAA 监事长、中国科学院自动化
研究所研究员

杨孟飞 CAA 副理事长、中国科学院院士、
中国空间技术研究院研究员

陈俊龙 CAA 副理事长、欧洲科学院院士、
华南理工大学教授

编 委 | (按姓氏笔画排列)

丁进良 王 飞 王占山 王兆魁 王庆林
王 坛 邓 方 石红芳 付 俊 吕金虎
乔 非 尹 峰 刘成林 孙长生 孙长银
孙彦广 孙富春 阳春华 李乐飞 辛景民
张 楠 张 俊 陈积明 易建强 周 杰
赵千川 赵延龙 胡昌华 钟麦英 侯增广
姜 斌 祝 峰 高会军 黄 华 董海荣
韩建达 谢海江 解永春 戴琼海

刊名题字 | 宋 健

地 址 | 北京市海淀区中关村东路 95 号

邮 编 | 100190

电 话 | (010) 8254 4542

传 真 | (010) 6252 2248

E-mail: caa@ia.ac.cn

http: //www.caa.org.cn

印刷日期 | 2023 年 12 月 31 日

发行对象 | 中国自动化学会会员及自动化领域科技工作者

本刊声明

◆ 为支持学术争鸣, 本刊会登载学术观点彼此相左的不同文章。来稿是否采用并不反映本刊在学术分歧或争论中的立场。每篇文章只反映作者自身的观点, 与本刊无涉。



郑南宁

中国自动化大会是由中国自动化学会创办的自动化、信息与智能科学领域顶级综合性学术会议，致力于为国内外相关领域的专家学者和产业界的同仁提供展示创新成果、展望未来发展的高端学术平台，加强不同学科领域的交叉融合。十四年来，中国自动化大会走过了杭州、长沙、武汉、济南、西安、上海、昆明、厦门等地，汇聚众多两院院士、Fellow 学科带头人、企业家等高层次人才，形成多项咨询建议；2013 年以来会议论文被 E1 收录，带动了整个自动化学科的发展。2023 年是全面贯彻落实党的二十大精神开局之年，是实施“十四五”规划承前启后的关键一年，站在这样的历史节点，举办中国自动化大会恰逢其时，意义非凡。

2023 年 11 月 17-19 日，由中国自动化学会、重庆市科学技术协会主办，重庆邮电大学承办的 2023 中国自动化大会在重庆悦来国际会议中心举办。本届大会以“自主可控强实体 新质生产创未来”为主题，邀请了 10 余位院士和 300 余位长江杰青、高校和科研院所的校长、院长等学术精英与会，3000 余名来自学术界和产业界的本领域专家、学者、学生等参会，2467 万人次在线观看了直播。大会共设 7 场大会主旨报告、1 场高峰对话和 38 个专题论坛，涵盖智能网联新能源汽车、先进制造与工业互联网、智能机器人、智慧教育、智慧能源、脑机智能等多个前沿热点领域，250 余位专家学者作专题报告。本届大会共接收会议论文 1500 余篇，10 余家行业知名厂商赞助支持。

本期专刊聚焦“2023 中国自动化大会”，为大家分享了中国自动化学会理事长郑南宁院士的大会开幕式致辞。重点介绍了中国工程院院士、合肥工业大学教授杨善林的“AIGC 的科学基础与应用展望”以及重庆邮电大学党委副书记、校长，重庆市科学技术协会副主席高新波的“图像跨域重建理论与方法”2 个大会报告。

在此向贡献稿件的各位专家学者表示衷心的感谢！希望本刊专题能为读者带来关于自动化与人工智能相关领域新的探讨与思考。



专题 / Column

- 004 在 2023 中国自动化大会上的致辞（节选）
/ 郑南宁
- 005 在 2023 中国自动化大会上的致辞（节选）/ 李林
- 006 在 2023 中国自动化大会开幕式上的致辞（节选）
/ 李雷霆
- 007 流程工业模拟仿真软件的现状和展望 / 杨善林
- 012 图像跨域重建理论和方法 / 高新波

观点 / Viewpoint

- 017 中国自动化学会理事长郑南宁院士：培养人才，
就是要引导人才看向未来
- 018 中国工程院院士倪光南：拥抱开源，与世界协
同创新

学术前沿 / Academic Frontier

- 021 探讨 AI for Science 的影响与意义：现状与
展望 / 王飞跃 缪青海 张军平 郑文博 丁文文
- 026 基于状态识别的高炉料面视频关键帧提取方法
/ 黄建才 蒋朝辉 桂卫华 潘冬 许川 周科

科普园地 / Science Park

- 041 社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（十一）
/ Anuradha M. Annaswamy、Karl H. Johansson、
George J. Pappas
- 048 社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（十二）
/ Anuradha M. Annaswamy、Karl H. Johansson、
George J. Pappas





P060

学会动态 / Activities

- 058 第一届物联网技术与应用前沿论坛圆满召开
- 059 中国自动化学会建筑机器人专委会换届大会暨建筑机器人发展与人才培养研讨会在西安建大举行
- 061 中国自动化学会综合智能交通专业委员会换届会议成功召开
- 063 第五届中国自动化学会系统复杂性专业委员会换届会议成功召开
- 064 中国自动化学会智能建筑与楼宇自动化专业委员会换届大会成功召开

学生分会 / Student Branch

- 066 中国自动化学会清华大学学生分会成立大会成功召开

- 068 中国自动化学会南京航空航天大学学生分会成立大会成功召开
- 070 中国自动化学会山东科技大学学生分会成立大会暨智能化创新人才培养论坛成功召开
- 072 中国自动化学会中南大学学生分会成功举办 UNLIMIT 青年学术沙龙活动

党建强会 / Party Building

- 074 中国式现代化关键在科技现代化
- 075 释放创新动能引领新质生产力发展

形势通报 / Voice

- 077 国家科学技术奖提名办法
- 080 科技伦理审查办法（试行）



P058



P073

在 2023 中国自动化大会上的致辞（节选）

文 / 中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学教授 郑南宁



中国自动化学会作为中国学术界的国家一级学会，已经走过了62年的历程。在这62年中，中国自动化学会不断发展壮大，见证了中国自动化学科从跟随到并进再到引领的过程。自动化犹如一棵参天大树，孕育了许许多多的新兴学科，成为中国在经济和科技发展中一支重要的战略力量，为中国自动化的发展作出了不可替代的贡献。

早在上世纪40年代，控制论的创立者维纳就提出用机器模拟人的思维和行动，控制论也被认

为是第一次将人工智能与行为主义相联系的理论。受控制论的启发，行为主义提出了模拟动物的进化机制来使机器具有自适应的本领。由此，符号主义、联结主义、行为主义这三大流派贯穿于人工智能发展的各个阶段。

人工智能和自动化密切相连，水乳交融，自动化成为人工智能应用的广阔舞台，而人工智能给自动化注入了智能的灵魂，使得我们构造的自动化系统具有像人一样的思维和行动，像人一样能自主适应环境、做出决策，让自

动化系统达到前所未有的智能化水平。

自动化学科、自动化技术的发展已经渗透到我们人类几乎所有的生产生活之中。站在新一轮的科技革命和产业变革的起点，自动化技术充满着无限可能，从我们当前的发展来看，自动化和计算机已经成为支撑人工智能技术发展的两大支柱。今后的时代是人机共融的时代，自动化技术在这个时代中扮演着核心作用。

在新一轮的产业变革中，自动化技术具有战略性和不可估量的作用，在未来的发展中充满着无限的机遇和挑战。一年一度的自动化大会实际上就是在迎接这个挑战，希望我们能够把我们的智慧，在这样的平台中充分交流，相互启发，产生更多新的灵感来推动中国科技和经济的发展。短短的两天，在时间长河中是不足为道的，但是思想的碰撞、灵感的闪现往往就是一瞬间，交流就像一个无形的网络，一定会涌现出我们意想不到的创新火花。○

在 2023 中国自动化大会上的致辞（节选）

文 / 重庆邮电大学党委书记 李林

重庆邮电大学是国家布点设立并重点建设的邮电高校之一，是工业和信息化部与重庆市共建的一所特色鲜明、优势突出，在信息通信领域具有重要影响的高水平大学。长期以来，学校在服务国家重大战略、行业进步和区域经济社会发展中，开拓创新，锐意进取，体现了自己的社会责任与担当，被誉为“中国数字通信的发祥地”。近年来，学校依托重庆市“人工智能+汽车”学科群，紧扣时代发展主题，大力推进有组织的人才培养、科学研究、社会服务，在工业互联网与智能制造、自动驾驶与智能网联汽车等方面形成鲜明特色优势，制定了我国工业自动化领域第一个拥有自主知识产权的EPA国际标准，研制出全球首款工业物联网核心芯片与系列SOC芯片，建成国家首批现代产业学院—重庆邮电大学工业互联网学院。学校控制科学与工程学科成为重庆市“十四五”一流学科，自动化、测控技术与仪器、电气工程及其自动化本科专业成为国家一流专业建设点，培育出全国黄大年式教师团队、全国五一劳动奖章获得者等；建有国家地方联合实验室、科技部“一带一路”联合实验室、教

育部重点实验室、重庆市高校重点实验室、重庆高校工程研究中心等18个高端研发平台，主持承担国家重大重点项目20余项，与韩国、美国、加拿大等国家的相关单位和华为、中兴、长安汽车、中科院

沈阳自动化所等知名大型企业、科研院所建立了长期稳定的友好合作关系，对国家创新发展战略实施，对重庆市“33618”现代制造业集群体系构建和“智能网联新能源汽车”万亿级主导产业集群形成提供了坚强的人才保障和智力支持。

当前，无论是在传统产业智能化转型升级的进程中，还是在新兴产业飞速发展的进程中，智能技术都担当着重任，自动化将有力引领战略性新兴产业和未来产业的发展，对加快形成新质生产力提供强大动力。此次大会顺应新时代新发展新要求，面向网络强国、数字中国、数字经济等国家战略需求，以“自主可控强实体，新质生成创未来”为主题，聚焦自动化发展，拥抱智能新时代，共话产业新未来，为全球相关领域的专家学者和产业



界的同仁提供展示创新成果、展望未来发展的高端学术平台，必将再次加强学科交叉融合，共促发展新机遇，引领科技新风向。

我们相信，在中国自动化学会的指导支持下、在各位专家学者的分享交流、思想碰撞中，此次会议将是一次高水平、高层次、有特色、有亮点的学术盛会，必将促进新方向、新领域、新应用的产生，必将带来广泛而深远的积极影响。重庆邮电大学将以本次大会为契机，加强与各兄弟高校、企业以及科研机构之间的交流合作，加强与各位专家、学者的交流互鉴，携手推进自动化和信息与智能科技领域的人才培养、科研平台建设、科技成果转化等方面的创新发展，为推动学术进步、科技发展、产业繁荣，实现高水平科技自立自强贡献智慧和力量。○

在 2023 中国自动化大会开幕式上的致辞（节选）

文 / 重庆市科协党组书记、副主席 李雷霆



当前，新一轮科技革命和产业变革突飞猛进，学科交叉融合不断发展，科学研究范式发生深刻变革，科学技术和经济社会发展正在加速渗透融合。中国自动化学会坚持举办的中国自动化大会，为全球自动化、信息与智能科学领域的专家学者和产业界人士提供了展示创新成果、展望未来趋势的高端学术平台。特别是今年的大会，以“自主可控强实体、新质生成创未来”为主题，非常契合习近平总书记关于“加快形成新质生产力，增强发展新动能”的重要指示要求，必将推动自动化学科发展迈向更高水平、

更宽领域、更深层次，对培育发展战略性新兴产业和未来产业产生重要而积极的影响。

重庆作为中西部地区唯一的直辖市，在国家区域发展和对外开放格局中具有独特而重要的作用。当前，全市上下正在深入贯彻落实党的二十大精神，加快建设现代化新重庆。市委、市政府高度重视科技创新和产业发展，我们聚焦建设具有全国影响力的科技创新中心，确定了建设数智科技、生命健康、新材料、绿色低碳四大科创高地的目标；我们围绕建成国家重要先进制造业中心，正在着力打造以智能网联新能源汽车、新一代电子信息

制造业、先进材料三大万亿级主导产业为牵引的“33618”现代制造业集群体系。

重庆的科技创新和产业发展，迫切需要自动化、智能化、数字化的有力支撑。本次年会层次高、专业强、规模大，汇聚了业内众多院士专家，搭建了碰撞思想、交流互鉴的难得平台。我们衷心希望，各位院士专家在深入开展学术交流的基础上，能够结合实际为重庆相关学科和产业发展“把脉问诊”，提供宝贵的真知灼见。我们真诚期待，大家能够利用这次来渝参会的机会，在重庆多走走、多看看，与重庆的高校、科研院所和科技企业深入沟通，寻求广阔的合作空间，为现代化新重庆建设助一把力、加一把油！

科协是科技工作者之家。重庆市科协愿以举办本次大会为契机，进一步深化与中国自动化学会的合作，依托中国科协“科创中国”平台，为广大科技工作者搭建干事创业的舞台，共同服务地方经济产业发展，推动创新链、产业链、人才链有效贯通起来，真正让自动化赋能千行百业、赋能未来世界。○

流程工业模拟仿真软件的现状和展望

文 / 合肥工业大学 杨善林

导读：2023年11月17-19日，由中国自动化学会、重庆市科学技术协会主办，重庆邮电大学承办的2023中国自动化大会在重庆悦来国际会议中心举办。本届大会以“自主可控强实体 新质生产创未来”为主题，邀请了10余位院士和300余位长江杰青、高校和科研院所的校长、院长等学术精英与会，3000余名来自学术界和产业界的本领域专家、学者、学生等参会，2467万人次在线观看了直播。大会共设7场大会主旨报告、1场高峰对话和38个专题论坛，涵盖智能网联新能源汽车、先进制造与工业互联网、智能机器人、智慧教育、智慧能源、脑机智能等多个前沿热点领域，250余位专家学者作专题报告。本届大会共接收会议论文1500余篇，10余家行业知名厂商赞助支持。

杨善林院士受邀在2023中国自动化大会中作题为“AIGC的科学基础与应用展望”的大会报告。深度学习问世以来，人工智能的发展突飞猛进，逐步从纯粹的学术研究向大规模应用迈进。特别是2022年，文本生成、图像生成、三维模型生成等一系列应用级人工智能内容生成（AIGC）算法问世，标志着人工智能初步具备了数字化内容生产的能力，并正在突破逻辑推理、常识认知等诸多门槛，逐步迈向通用人工智能。本报告在回顾人工智能发展历程、总结当前进展的基础上，着眼于剖析人工智能的科学基础，从认知科学、决策科学等对其发展的关键作用着手，深入探讨人工智能是如何从生物学领域的启发向计算机科学领域的实现迈进的。随后杨善林院士讨论了AIGC技术在自动驾驶、日常生活及军事领域的革命性应用。最后，展望了AIGC技术在新时代的发展模式。

人工智能在多个领域的应用中，可以概括为个体智能和群体智能两个方面。个体智能主要涉及感知、理解、决策和控制等过程智能，而这些过程则具备多种方法和技术。另一方面，群体智能的研究则集中在协同关系和博弈关系两大方向，对应着各自的理论和方法。在整体上，当前智能发展大致可划分为机器智能和数据智能两类。机器智能通常体

现在载体中，例如人形机器人；而数据智能则围绕数据及其处理方法展开。这两者之间存在良好的融合可能性，未来人形机器人有望整合数据智能，从而提升其智能水平。

一、AIGC的科学基础

1950年，图灵发表《计算机与智能》，最先讨论计算机与智能的关系。1951年，马文明斯基

提出理论，创造了能模拟人脑神经网络的人造神经网络，并因此在1969年获得图灵奖。1956年，达特茅斯会议上，“人工智能”概念正式诞生。生成式人工智能自2016年阿尔法狗击败围棋冠军后，便得到了快速发展。2017年，谷歌推出了核心组件，为后续发展奠定基础。从2018年至2023年，GPT1到GPT4的发展广为人知，至此，AIGC人工智能内容生成火



图1 人工智能发展历程

遍全球，人工智能发展历程如图1所示。

科学家和生物学家发现，猫的视觉系统构建了一个复杂且深层的神经网络，其层数至今尚未完全研究清楚，如图2所示。这个视觉系统中，浅层神经网络只能处理简单的信号，而随着层级的加深，神经网络可以识别更为复杂的信号。这个规律的发现意

味着视觉系统是一个深度的神经网络，与过去发现的单层结构有着根本的不同。这一突破性发现深化了对生物视觉系统的理解，为神经科学领域带来了重大进展。

因为生物学中的这一发现，计算学家们开始构建模拟生物神经网络的深度神经网络，致力于人工智能模仿生物系统。许多科学家在这个领域做出了大量工作，

其中包括杨立昆等人的贡献。通过这些工作，深度神经网络得以问世，2016年战胜围棋冠军的算法采用的是这种深度神经网络。

认知科学在启发AIGC发展过程中发挥着重要作用，如图3所示。相比从生物学出发所需的时间，认知科学研究过程相对较短，更加贴近现实，尤其适合中国学者。认知科学是一个探究人脑或心智工作机制的尖端学科。1975年，美国斯隆基金启动了对认知科学的投资，学者们整合了哲学、心理学、语言学、人类学、计算机科学和神经科学等六大学科，共同研究一个核心问题：信息在认知过程中是如何传递的。这六大学科之间相互交叉，形成了十一个二级交叉学科，这些交

The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1981

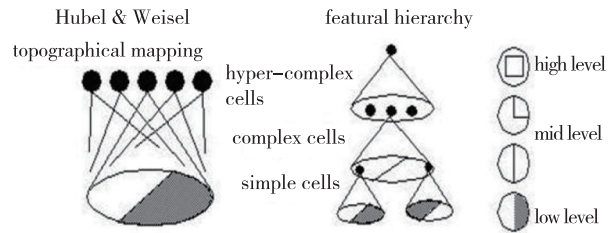
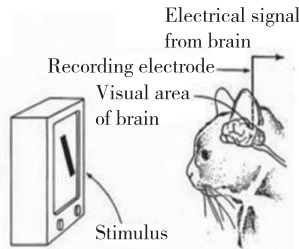
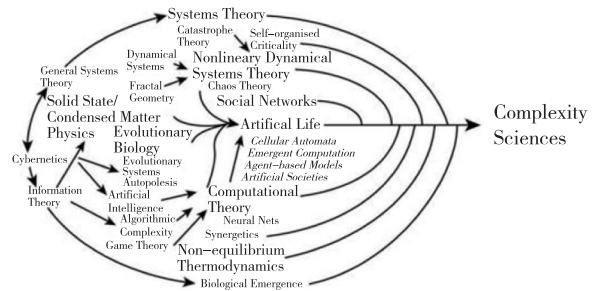
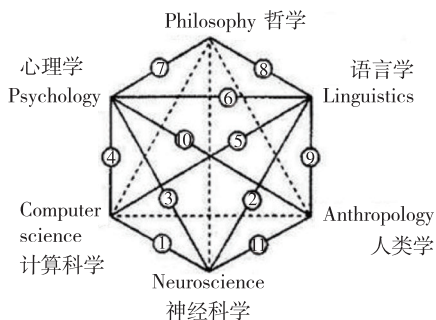


图2 视觉系统信息处理机制的发现



研究内容：感知觉、注意、记忆、语言、思维与表象、意识

图3 认知科学与AIGC

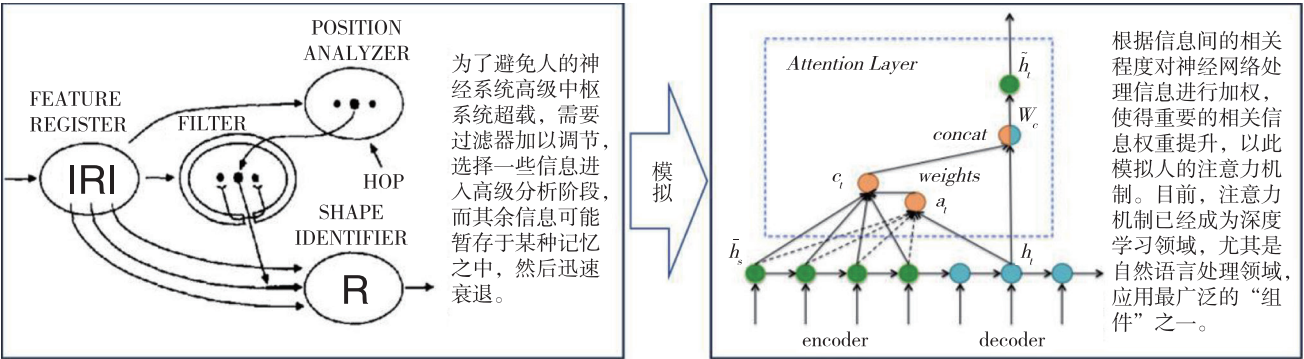


图4 策科学与AIGC

叉学科在六个顶点之间形成了二级交叉学科。这些构成了当前认知科学的基本框架, 认知科学的这种跨学科合作和综合性研究为AIGC的发展提供了重要启发。

认知科学对于当前大模型的贡献与生物学的贡献同样重要, 其核心概念是注意力机制, 这一机制本身就是认知过程的一部分。图4是一篇关于人类认知过程研究的文章结论, 数理学家用计算机可执行的模型描述了人体认知过程的注意力机制。注意力机制可以分为自下而上和自上而下两种。自下而上指的是当人突然面

临某个需要解决的问题时, 注意力会全然集中在这个问题上, 而忽视其他事物。自上而下则是目标导向的, 带有特定任务, 人们为实现某个任务集中精力, 并取得成功。在模型构建方面, 这两者存在着显著差异。

决策科学是建立在现代自然科学和社会科学基础上的, 研究决策原理、决策程序和决策方法的一门综合性学科。它是现代科学技术在复杂的社会因素中高度发展的结果, 体现了人类社会的运行规律、文化环境与价值观念。决策即选择, 如何选择最合理的

解决方案。为了做到这一点, 人们需要综合各方面的信息, 以做出最符合基本共识的决策, 这是一项极具挑战性的任务。

围绕这些研究内容, 许多科学研究最终演化成了我们所用的算法, 纳入了当前的大型模型中。在这一领域, 算力不仅仅是简单的计算机处理能力的堆叠, 更重要的是它如何适应人工智能的发展, 并持续进行新型算法的研究。CPU芯片的性能提升使得它可以执行各种算法, GPU在图像处理方面具备强大的性能, 但其通用性相对较差。而现在, 出现了

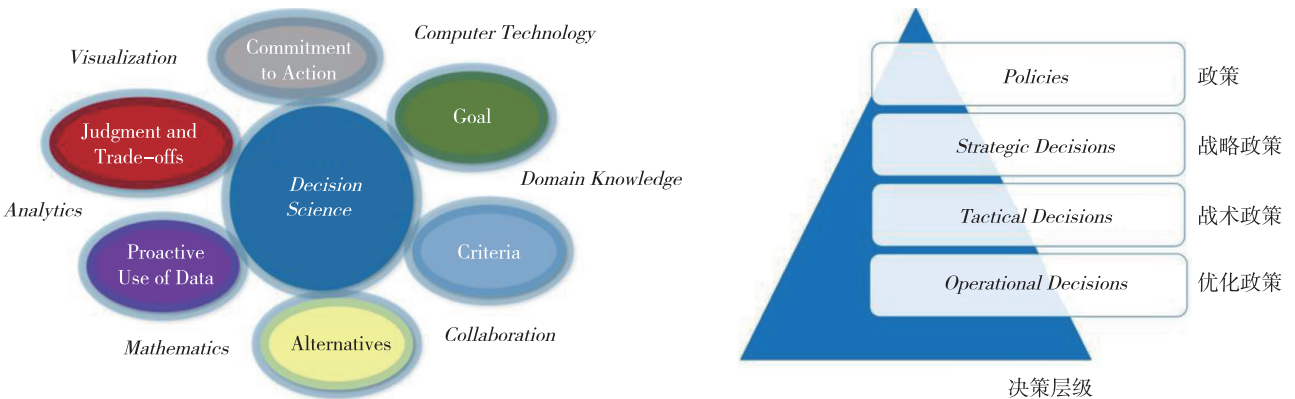


图5 人工智能发展历程

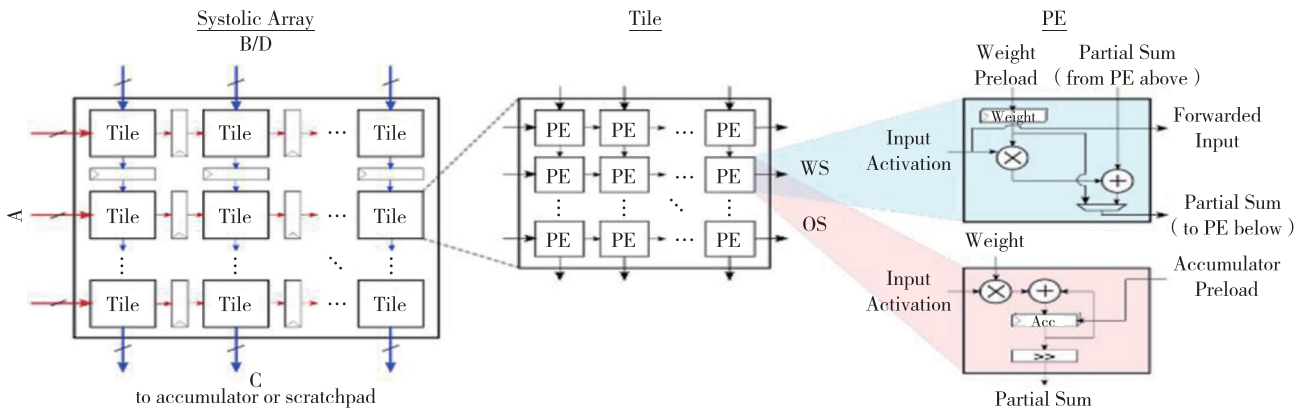


图6 算力技术—NPU

NPU，这是一种专门为神经网络计算而构建的处理器，如图6所示。相比传统CPU和GPU，NPU在特定AI任务上能提供更高的能量效率，更低的推理延迟，常用于移动设备和边缘计算。NPU的能耗仅为常规系统能耗的3%，并且专注于神经网络的运算，其在人工智能领域具备很大的应用潜力。

二、流程模拟软件发展趋势

中国在人工智能和自动化领域面临着如何应用人工智能生成式技术进行创新的挑战。在应用

AIGC时，深刻理解原理至关重要，必须在实际应用中深入探索其原理，同时推动理论与实践的相互促进，以形成良性发展的循环。我们的实验室进行汽车需求分析与洞察工作，利用神经网络建立大型模型，将各种需求输入便可得出计算结果。另外，汽车外观设计也涉及到这方面的工作。日本的丰田公司就在汽车外观设计过程中，不仅仅考虑了外观美观，还充分考虑了诸如风阻等因素。他们通过一种生成的方式设计整车外形，外观不仅外观出色，还能计算出相应的风阻大小。通

过汽车的CAD图形和数学模型，大型模型能够自动进行空气动力学计算。在这个端到端的过程中，只需提供一些数据，系统便可立即给出计算结果，无需中间人为干预，如图7所示。

端到端的自动驾驶，与常规的自动驾驶有所不同。传统自动驾驶依赖感知、理解、决策和控制等过程来实现自动驾驶，而这种方式则利用司机开车全过程的录像来训练大型模型。它本质上通过数百万份录像来教导模型如何驾驶，马斯克在今年7月份的一次会议上提到，经过200万份

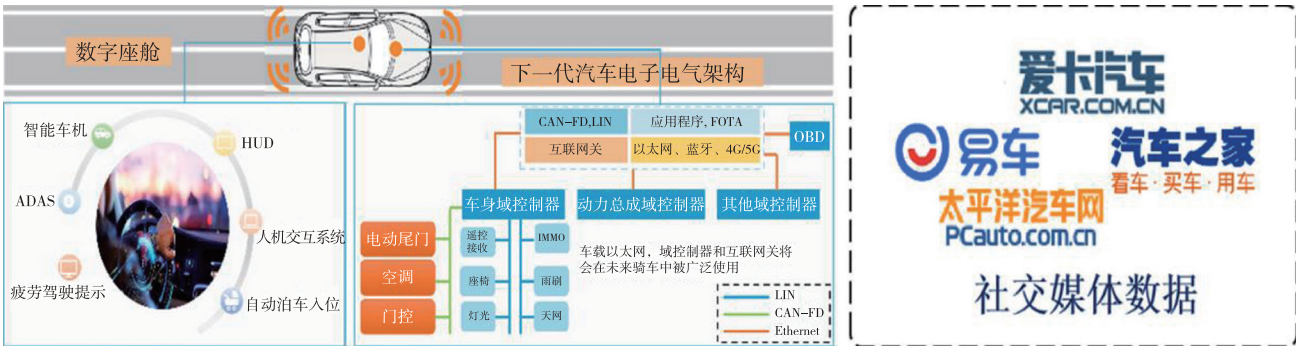


图7 汽车需求分析与洞察

录像的训练，模型基本上可以正常工作。当使用 300 万份录像进行训练时，车辆的驾驶性能会显著提升。而通过 1000 万份录像进行训练，效果将变得令人难以置信。因此，未来的应用前景非常广泛，但最大的挑战在于如何找到最优质的驾驶员录像来进行模型训练。

在现代战争中，人工智能生成式技术具有巨大的应用潜力。

AIGC 技术能够生成解决方案，让指挥机构下达指令，战斗部队执行任务。这种发展趋势带来了许多新规律，特别是科学技术、工程和产业之间的融合，形成了完整的科技战略供应链。

AIGC 是在长期的科学与技术积累的基础上形成和发展起来的。从新科学发现、到新技术发明、再到新产品研发和新产业形

成的循环发展速度越来越快，科学、技术、工程、产业之间的供求关系明显地表现出供应链的特征。我们需要按照供应链的特征规律构建 AIGC 的创新生态，力争在该领域做出我们独有的贡献与成就。○

* 本文根据作者在 2023 中国自动化大会上所作报告速记整理而成

报告人简介



杨善林，合肥工业大学教授，中国工程院院士，长期从事决策科学与信息系统技术领域的科学研究和人才培养工作。现任合肥工业大学学术委员会主任、“大数据流通与交易技术”国家工程实验室主

任、“智能决策与信息系统”国家地方联合工程研究中心主任、“过程优化与智能决策”教育部重点实验室主任、“数据科学与智慧社会治理”教育部人文社会科学重点实验室主任。

获国家科技进步奖二等奖 2 项，教育部自然科学奖一等奖 1 项，教育部人文社会科学奖一等奖 1 项，省部级科学技术进步奖一等奖 6 项。获国家级教学成果奖二等奖 3 项，全国优秀教材奖。在国内外重要期刊和国际学术会议上发表学术论文 400 余篇，撰写出版学术著作 5 部，授权发明专利 50

余项。

获全国五一劳动奖章、留学回国人员成就奖、首届全国创新争先奖、国家级高等学校教学名师奖、全国模范教师、全国教材建设先进个人。获复旦管理学杰出贡献奖、成思危全球奖、中国系统工程学会“系统科学与系统工程终身成就奖”等荣誉。兼任《中国大百科全书（第三版）》管理科学与工程卷主编，中国管理现代化研究会轮值理事长，中国优选法统筹法与经济数学研究会名誉理事长，管理科学与工程学会名誉理事长等。

图像跨域重建理论和方法

文 / 重庆邮电大学 高新波

导读：2023 年 11 月 17–19 日，由中国自动化学会、重庆市科学技术协会主办，重庆邮电大学承办的 2023 中国自动化大会在重庆悦来国际会议中心举办。本届大会以“自主可控强实体 新质生产创未来”为主题，邀请了 10 余位院士和 300 余位长江杰青、高校和科研院所的校长、院长等学术精英与会，3000 余名来自学术界和产业界的本领域专家、学者、学生等参会，2467 万人次在线观看了直播。大会共设 7 场大会主旨报告、1 场高峰对话和 38 个专题论坛，涵盖智能网联新能源汽车、先进制造与工业互联网、智能机器人、智慧教育、智慧能源、脑机智能等多个前沿热点领域，250 余位专家学者作专题报告。本届大会共接收会议论文 1500 余篇，10 余家行业知名厂商赞助支持。

高新波教授受邀在 2023 中国自动化大会中作题为“图像跨域重建理论和方法”的大会报告。跨域图像，又称异质图像或跨模态图像，是指同一目标通过不同传感器所获得的不同形态的图像。而图像跨域重建则是指利用跨域图像之间的内容关联性和表达互补性，由一个域的图像生成另外一个域的图像的过程。报告中高新波教授以人脸画像 – 照片合成和图像超分辨率重建为例介绍图像跨域重建的概念、理论与方法。首先阐述了跨域图像重建产生的背景、意义和社会需求，进而分享了图像跨域重建的研究现状以及所在团队在此方向上的最新研究进展。最后介绍了跨域图像重建在其他领域的推广应用。

重庆邮电大学自 1998 年设立了控制理论与控制工程二级学科硕士点，并在 2011 年获得了一级学科硕士点资格。在信通和计算机一级学科博士点下，学校设立了网络化控制和模式识别等二级学科博士研究方向。此外，我们建立了国内首批的现代产业学院和工信部智能汽车专精特新产业学院。学院拥黄大年教授优秀教师团队，并构建了十大科研和教学平台，其中包括三个国家级平台。自动化学院还牵头承担了十

项国家重点研发计划项目，相关成果获得了国家技术发明奖和科技进步奖等奖项。本次报告重点介绍本学科在模式识别与智能系统方向的近期研究成果——图像跨域重建理论和方法。

一、前言

图像翻译是指图像和文本之间相互生成的过程，包括两种情形：从图像生成文字，以及由文字生成图像和视频。跨域图像重建是由一种类型的图像生成另一

种类型图像的图像，它涵盖了不同传感器获取的图像、不同分辨率、不同光谱以及不同模态的图像生成，如图 1 所示。跨域图像重建依赖于图像内容之间的相关性和表达之间的互补性，利用这些特性来实现不同类型图像之间的相互转换。

二、画像 – 照片合成

图像跨域重建具有广阔的应用场景，以人脸识别为例，传统的人脸识别是将摄像头捕获的人

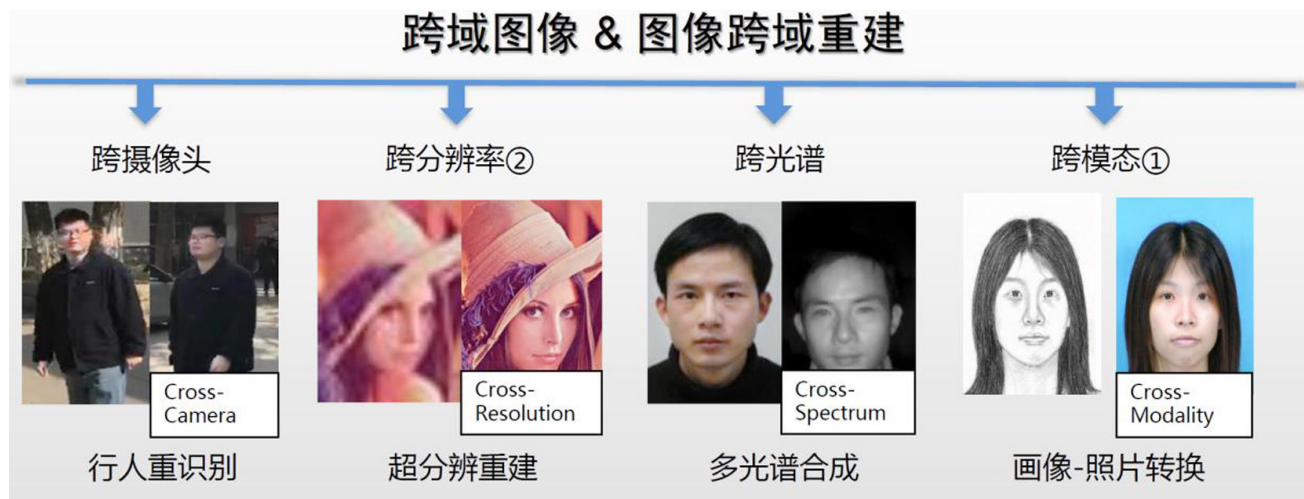


图1 跨域图像与跨域图像重建

物信息转换到信息空间，并通过特征匹配来实现人脸识别。然而，在实际应用中，监控摄像头往往拍摄到的图像质量较低，像素模糊或光线暗淡等情况下，传统的人脸识别技术可能无法准确识别目标。在此情况下，我们可以利

用模糊的监控图像和画家的经验知识获得人脸的画像，然后通过图像跨域重建技术生成相对应的清晰照片，如图2所示。

结合物理空间、信息空间和人的认知空间，形成基于三元空间融合的人脸识别新范式，从而

解决了在极端情况下人脸识别技术遇到的问题。其中画像生成还主要是借助画家的经验来完成，随着 ChatGPT 技术的发展，可以通过人机交互提供更多的提示词，加速画像的生成过程，减轻人工画像的负担。即便生成了更

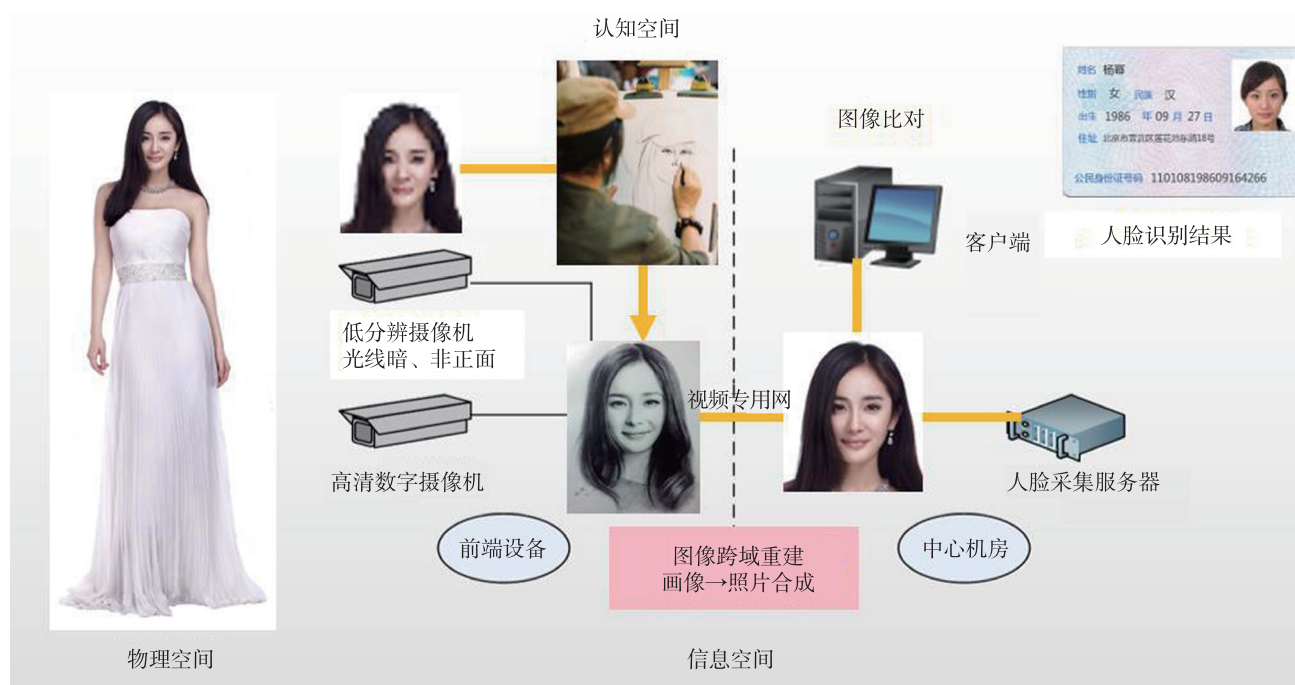


图2 基于三元空间融合的人脸识别新范式

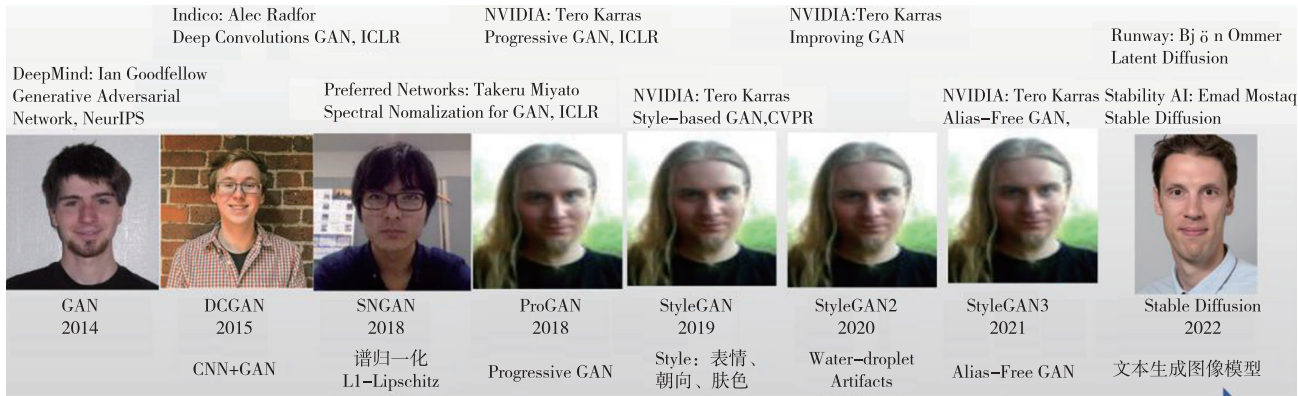


图3 图像生成方法的演化

清晰的画像，直接进行人脸识别依然是不够准确的，因为画像与照片之间的存在着模态差异。因此，必须首先完成画像 - 照片合成，这就是图像跨域重建一个重要的应用场景。

画像 - 照片合成方法的研究经历了不同的发展阶段，包括数据驱动和模型驱动的方法等。随着时间的推移，图像生成技术经历了从最初的 GAN 到今天的扩散模型的演进，如图 3 所示，所生

成的图像质量越来越逼真。

但是，目前这些图像生成方法一方面需要画像 - 照片成对的大量的训练样本，另一方面生成模型越来越复杂，不适合在边缘端轻量化部署。为此，首先我们基于经典的 CycleGAN 模型，通过环一致性损失可以在画像域度量所生成照片和画像之间的差异，从而解决了现有图像生成方法依赖画像 - 照片训练样本对的问题。为了进一步提高生成照片

的质量，我们引入了协同损失的概念，目的是在维持环一致性的同时，保持画像 - 照片合成过程的可逆性和对称性。协同对抗损失的引入使得系统性能得到了显著提升。为了进一步实现模型的轻量化，我们通过知识蒸馏或者知识迁移用复杂的教师网络训练处一个轻量化的学生网络，从而可以实现画像 - 照片合成的轻量化实现。

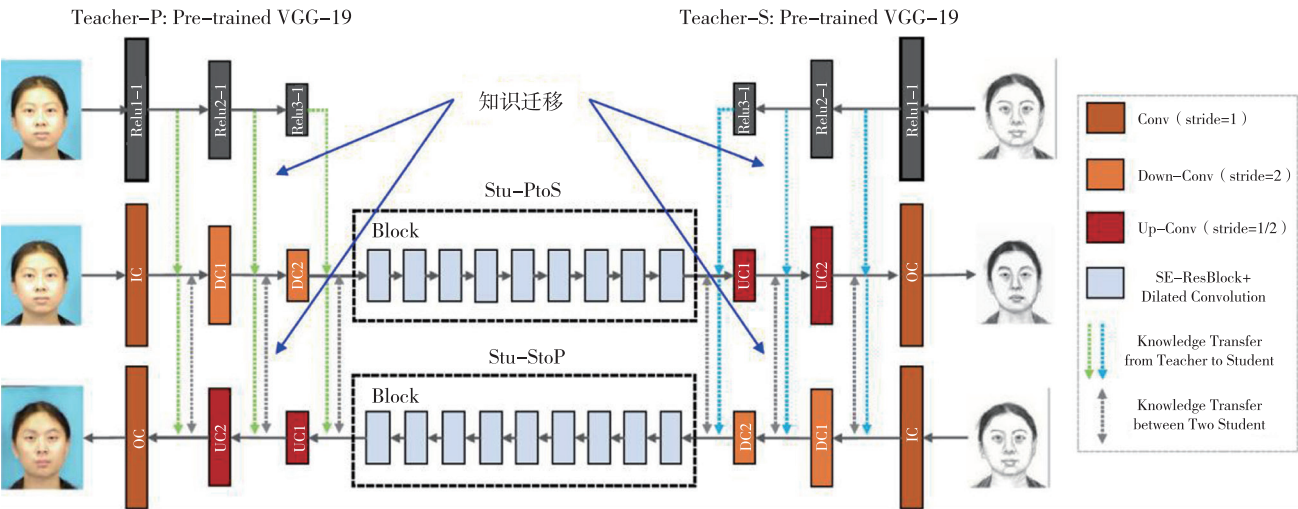


图4 基于知识迁移的人脸照片 - 画像合成的轻量化模型

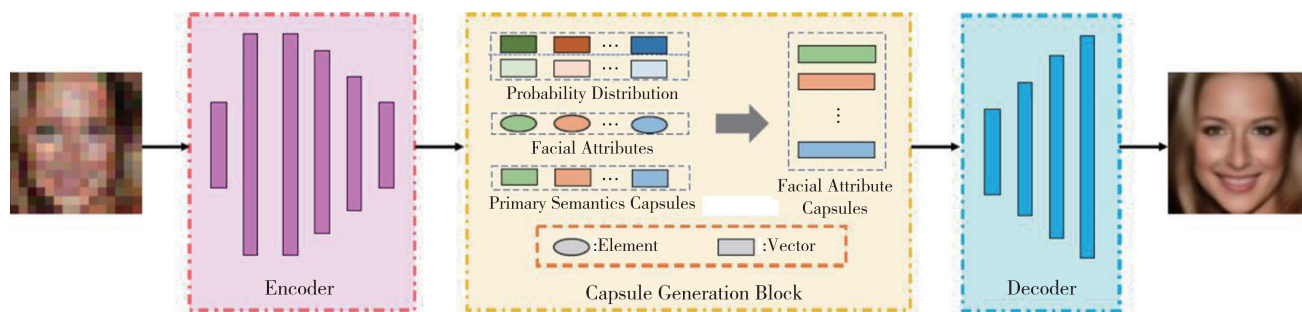


图5 基于胶囊网络的噪声人脸图像超分辨重建模型

三、图像超分辨重建

图像的超分辨重建是指通过计算成像的方式提高图像的分辨率，从而突破相机的分辨率物理极限或者消除图像的噪声。特别是当一幅或者一系列低分辨率图像，通过超分辨重建技术最终可以得到清晰的高分辨率图像。目前，图像超分辨重建的方法有很多，但是面对噪声污染的人脸图像，这些方法往往都不能奏效。为此，我们引入了胶囊网络的概念，以人脸属性和先验概率分布相结合的方式构建出一种新型的胶囊结构，以提高人脸超分辨方法对于噪声和模糊的鲁棒性。与现有的基于向量的表示方法相比，基于胶囊的表示模型能够有效地减少由于任务本身的模糊和噪声所引入的歧义，对于噪声和模糊具有强鲁棒性。

如图5所示即为我们提出的基于胶囊网络的噪声人脸图像超分辨重建模型。不同于以往的局部特征，新的方法采用胶囊特征

的概念，将各种统计特征、概率分布和面部属性特征等相结合，这种胶囊特征具有较强的抗干扰能力，通过整合这些特征形成一个综合的面部属性胶囊，极大地提高了特征的鲁棒性，也因此使得超分辨重建的效果更加出色。

我们所提出的跨域重建技术有着广泛的应用场景。在医学图像领域，能够实现序列图像中间帧的重建，以及CT和核磁图像之间的相互转化。另一方面，跨域重建技术也可以生成不同的绘

画风格的图像，比如可以将一幅照片转化为莫奈或者梵高的油画，如图6所示。在遥感领域，我们能够基于多光谱遥感数据重建任意谱段的遥感图像，在可见光遥感图像中更可以实现去云或去遮挡区域，从而通过跨域重建技术生成出完整的遥感图像。

四、总结

图像跨域重建是人工智能领域中跨媒体智能的一个分支，也称为图像翻译。其核心功能在于

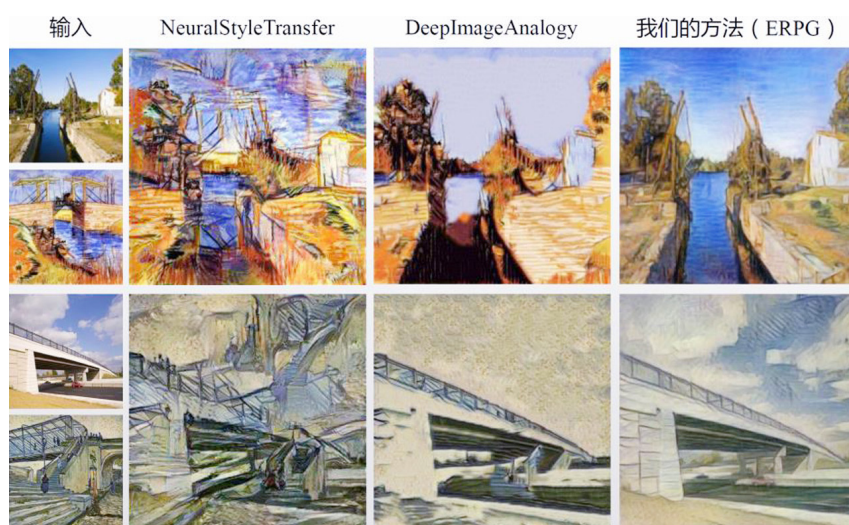


图6 基于图像跨域重建技术由照片生成不同风格的图像

能够从一种图像模态生成另一种图像模态。未来，该技术有望与大模型和 ChatGPT 等相结合，通过语言提示进一步提升图像转换的性能。然而，在实现图像转换

的过程中，如何确保生成图像的可信度、可靠性和可解释性，如何保证大模型不产生幻觉，这是一个重要的挑战性问题。因此，我们急需研究具有可信可靠和可

解释的跨域图像重建的高性能模型。○

* 本文根据作者在 2023 中国自动化大会上所作报告速记整理而成

报告人简介



高新波，男，工学博士，教授，博士生导师，国家级人才入选者。现任重庆邮电大学党委副书记、校长，重庆科协副主席，重庆邮电大学控制科学与工程学

科负责人。作为团队负责人分别入选教育部长江学者创新团队、科技部重点领域创新团队。作为主要骨干入选中国自动化学会自动化与人工智能创新团队奖、国家自然科学基金委创新研究群体。主要从事人工智能、机器学习、计算机视觉和模式识别等领域的科研与教学工作。近年来，主持包括国家自然科学基金杰出青年科学基金、重点项目等研究课题 30 余项，发表学术论文 300 余篇，出版专著 3 部、教材 4 部，授权发明专利

60 余项。先后获得国家自然科学二等奖、全国创新争先奖状，以及省部级科学技术奖一等奖 5 项。

现为第十四届全国政协委员，中国科协第十届全国委员会委员，教育部科技委委员、教学指导委员会委员，IEEE、IET、AAIA、中国电子学会、中国计算机学会、中国人工智能学会会士，中国电子学会理事、国际合作工作委员会副主任委员，中国高等教育学会常务理事，重庆市青年科技领军人才协会会长。



第二！2023 年 11 月科协系统科普新媒体传播榜

近日，中国科协发布 11 月科协系统科普新媒体传播榜。中国科协科普部联合中国科协信息中心共同开展“一体两翼”科普信息化评价工作，采用大数据技术自动抓取 215 个全国学会、32 个省级科协的自有网络平台以及主要第三方平台的科普信息数据，结合科普中国资源使用和传播情况，定期发布科协系统科普新媒体传播榜（前 20 名）。

中国自动化学会位列第二！较 10 月上升了一名！详情请查看：<https://www.caa.org.cn/article/191/4333.html>

中国自动化学会理事长郑南宁院士： 培养人才，就是要引导人才看向未来

教育者非为以往，非为现在，而专为未来。

当前，人工智能大模型的发展令人惊叹，怎么能及时把最新科技成果纳入课堂教学，让学生探究性、创新性地学，教师研究性地教，应该是当前创新人才培养应秉持的基本原则。

从2018年起，我就在构思人工智能本科专业的知识体系及课程设置。时至今日，西安交通大学已经完整培养出两届人工智能本科毕业生。

在这个过程中，有收获，也有遗憾，需要不断查找问题和差距。比如今年，我们取消了该专业本科新生的大学物理课。“怎么能取消物理课呢？”很多人心存疑虑。

实际上，“取消”是一种蝶变——我们专门开设了“现代物理与人工智能”“统计物理与机器学习”课程，还新增了“生成式AI与大语言模型”“先进自动驾驶技术与系统”“创新设计思维”3门课程。在“现代物理与人工智能”中，加入了量子力学与量子计算、

相对论与电磁学、物态与凝聚态物理等内容。

为何如此？这是因为，我们应该引导学生看向未来，让他们了解人工智能的挑战和机遇在哪里：随着算力指数级的增长，到21世纪中叶，全球40%到50%的能源几乎都会消耗在大模型上。对人类而言，这是不可承受之重。如若不能放弃算力增长的需求，那就要找寻新的算力源泉。

除了当前所使用的硅基材料，从物理材料上开发新的计算基材，这仿佛打开了一扇门，一场令人兴奋而又披荆斩棘的挑战开始了！要让人工智能专业的学生有这个意识，就要引导他们主动沿着这个方向去思考、去探索。

不仅如此，人工智能专业还应设有控制论与人工智能课程，引导学生去思考“控制在人工智能中的重要性”。这是因为，从人工智能的起源上说，维纳的《控制论》在其产生和发展中发挥了不可替代的作用。面向未来，实现人与机器的自然交互与控制，

人类和客观世界才能融为一体。因此，让学生理解人工智能与控制之间的关联至关重要。

在教学中，人工智能专业的数学课也要改革，计算机科学与人工智能的数学基础课程，应该包括矩阵分析、图的基本概念、优化与运筹等内容。值得注意的是，有些数学课应由人工智能专业的老师教授，如此，课程内容才更生动具象，而不只是抽象的公式推导。

当前，有一种普遍的认知——人工智能产生于计算机，是计算机学科所属的二级学科。实际上，这是很片面的看法，人工智能人才的培养，需要帮助学生建立全面正确的认知。

人才培养是一个缓慢、优雅而美妙的过程，它不是注满一桶水，而是点燃一把火，打开一扇门，点燃学生内心探索未知的火种，帮助他们走向未来，为我国加快实现高水平科技自立自强提供重要支撑。○

来源：光明日报

作者简介



郑南宁，工学博士，IEEE Fellow，中国工程院院士（1999年当选），西安交通大学教授、人工智能与机器人研究所所长、人机混合增强智能全国重点实验室主任。现任中国自动化学会理事长，国际模式识别协会（IAPR）理事会成员，中国人工智能教育联席会理事长，科技部新一代人工智能战略咨询委员会专家组副组长。郑南宁教授长期从事计算机视觉与模式识别、人工智能系统及其先进计算架构、自动驾驶等研究，建立的视觉场景理解的立体对应的 Markov 模型与视觉注意力统计学习方法成为计算机视觉领域代表性工作。获国家科技进步奖二等奖（1991年、1996年），国家技术发明奖二等奖（2007年），国家自然科学奖二等奖（2016年），何梁何利科学技术奖（2001年），以及全国先进工作者（2020年），全国杰出教学奖（2020年），陕西省最高科学技术奖（2020年），吴文俊人工智能最高成就奖（2022年），高等教育（研究生）国家级教学成果一等奖（2022年）等。其团队获国家自然科学基金委员会“创新研究群体科学基金”首批资助（2000年），IEEE 智能交通协会杰出研究团队奖（2014年）等。

中国工程院院士倪光南：拥抱开源，与世界协同创新

开源已经有 40 年左右的发展历史。开源的核心价值是科学开放和人类知识共享精神的体现，开源对整个信息技术和产业的发展产生了巨大的推动作用。

开源已经成为信息技术生态的主流趋势

当前，开源已经成为信息技术生态的主流趋势，成为全球协同创新的新模式和推动信息技术快速发展的强大动力。

国际上开源技术生态体系已经形成，越来越多的企业加入开源大军之中。Redhat 调查了全世界 1250 位全球 IT 领导者，其中 90% 的 IT 领导者正在使用企业开源软件。尤其是在软件领域，开源的比例不断增加。Black Duck Software 审计了超过 1000 个商业代码库，发现其中的 96% 含有开源组件，同时越是新兴的行业开源的比重越大。

今天，从我国开源现状来看，我国已经有一大批优秀的企业走向世界的信息技术舞台，他们积极拥抱开源，乘开源潮流，在人工智能、大数据、物联网、云计算、区块链等新一代信息技术领域积极创新、贡献中国智慧和中国力量。我国也有一大批的工程师活跃在世界开源社区，为世界开源的发展作出了积极的贡献。例如以华为为代表的中国开发者对 Linux 内核的贡献量分别在 5.10、5.14 和 6.1 版本中居全球贡献第一位。全球最大开发者社区 2021 年度报告显示，按照区域或者国家来划分，全球总开发者数量中，美国共有 1355 多万，中国共有 755 多万，全球排名第二，印度排名第三。发展趋势表明，

随着我国进入信息技术高速发展期，未来中国的开发者人数会越来越多，整个开源人才市场供不应求。

我国十分重视数字技术开源发展

当前我国已经开始重视开源，支持开源，发展开源。“十四五”规划提到，支持数字技术开源社区等创新联合体发展，完善开源知识产权和法律体系，鼓励企业开放软件源代码、硬件设计和应用服务。有人说这是我国发展开源的元年，规划促使我国开源事业进入了一个全新的发展阶段。

OpenHarmony 的开源是中国开源发展中的一个重要的里程碑，其发展十分迅猛。开源鸿蒙在基金会的协同下，在各界的影响力不断提升。这是第一个由中国自己主导和开发的拥有庞大用户群体的开源操作系统，目前鸿蒙生态用户已经超过 7 亿，已经有 100 多家企业为鸿蒙系统开发原生应用。

2019 年，开放原子开源基金会发布 openEuler 开源项目。目前 openEuler 开源社区已经有包括 Intel、AMD 和英伟达等在内的国际企业加入，拥有超过万名的开源贡献者，达到全球 210 万次的下载量，成为全球开发者最关注的开源项目之一。相信在不

久后，openEuler 社区将成为全球顶级的开源社区之一，这是中国开源界和全球开发者协同作出的重大贡献。这充分说明，开源作为科学开放共享精神的一种体现，已经成为全球业界的共识，只要我们加强对开源的投入和贡献，开源不仅可以更好地推进科技进步，也是中国加速融入世界创新网络、参与全球科技治理的有效途径。

开源模式已从软件领域走向硬件领域

同样，开源模式已经从软件领域走向了硬件领域。

近年来，国际上一种新兴的开源精简指令集架构 CPU（RISC-V），为我国掌握芯片产业发展主动权提供了机遇。RISC-V 架构由美国加州大学伯克利分校计算机科学部门于 2010 年发布，他们采取开源模式推出了一种通用的计算机芯片指令集，既降低了进入芯片行业的门槛，也符合未来万物智联时代的技术发展趋势，目前已经有越来越多的国家、企业、高校、科研院所和用户拥抱 RISC-V 架构。

RISC-V 对发展我国芯片产业同样有重要意义。众所周知，CPU（中央处理器）架构是芯片产业链和芯片生态的龙头。CPU 架构不仅决定了 CPU 芯片本身的性能，而且在很大程度上引领

了整个芯片产业和产业生态，尤其是对设计人才培养、设计工具（EDA）、芯片 IP 库、芯片应用生态等方面有重大影响。

近几年国产 CPU 发展很快，但是在占据世界芯片主要市场份额的 CPU（或称为“主流 CPU”）方面仍很难打破既存的 x86 和 ARM 两种架构的垄断。为此，我国在发展芯片产业时要抓住开源发展的新潮流，抓住新一代科技革命和产业变革发展机遇，用好开源的创新模式，结合我国举国体制和超大规模市场优势，聚焦开源 RISC-V 架构发展芯片产业，大力发展壮大 RISC-V 产业生态，争取在万物智联的新时代中，推动 RISC-V 快速发展成为世界“主流”CPU，形成 x86、ARM 和 RISC-V 三分天下的格局。

中国已经进入开源大国，我们有望从开源大国走向开源强国。当今世界，新一轮科技革命正在重塑全球创新版图，重塑全球经济结构。为此，中国要在全球开源领域中发挥自己应有的大国作用，中国对开源社区的贡献要不断增加，从而大大提升中国对世界的科技贡献指数。要在国家政策上作出尝试和探索，加大对开源的投入，要发展具有国际影响力的开源基金会、开源社区和开源项目，同时还要注重高校开源人才的培养，大力发展开源教育等。

建立完善的产学研用一体化开源人才培养体系

人才是发展的基石。开源人才不仅可以带动中国开源的发展，还可以融入全球科技创新网络，通过“增加贡献”的方式逐渐拥有话语权和主导权。

中国是全世界大学生毕业人数最多的国家，据统计，2022年中国高等院校毕业生数量已达到1076万人（引自“教育部和智研咨询整理”）。中国科技研发的人才结构为金字塔结构。以庞大的技术本科、硕士、博士毕业生为基础，具有国内外高学历教育背景和成熟的专业经验的研发人员

为塔尖。中国正在成为全球高科技研发体系中的重要部分，这一庞大的技术队伍如果能与开源模式相结合，就能使中国人才数量优势得到充分的发挥。

据了解，中国目前已经有非常多高校开展了一些开源课程培训，但还没有形成规模，形成制度。为此，建议发挥举国体制优势，在政策上引导高校系统地推进开源教育，要以全球视野谋划人才培养方式，激活国家创新动力，要统筹规划建立完善的产学研用一体化开源人才培养体系，培养更多的大学生开发者参与到开源社区贡献当中，要针对国家发展的重大需求，进行针对性开源人

才培养，以支撑各产业发展的人才需要。

综上所述，开源是世界的，也是中国的，拥抱开源、学习开源、发展开源、用好开源，符合历史潮流、符合国家战略、符合产业需要。开源创新是我国实现技术积累和取得技术突破的有效举措，是参与全球科技创新网络 and 科技治理的有效途径，我们要与世界开发者协同，发展开源、注重开源人才培养，为世界科技创新贡献中国智慧、中国方案、中国力量。○

来源：中国电子报

作者简介



倪光南，中国工程院院士，中国自动化学会会士，计算机专家，主要从事计算机及其应用的研究。1939年8月出生于浙江省

宁波市。1961年毕业于南京工学院。1994年当选中国工程院院士。1961年毕业于南京工学院（现东南大学），一直在中国科学院计算技术研究所工作。1981-1983年在加拿大国家研究院（NRC）任访问研究员，1985-1995年任计算所公司（1989年改名为联想集团）总工程师。五届企国青联特邀委员，八届国人大代表，八届、九届企国政协委员。曾参与研制我国自行设计的第一个电子管计算机（119机）。上世纪六、七十

年代开展汉字处理和字符识别研究，首创汉字输入中应用联想功能。作担任计算所公司联想集团总工期间，主持开发了联想式汉字系统、联想系列微型机，分别于1988和1992年然得国家科技进步“等奖，联想集团即以联想式汉字系统起家并由此而得名。此后，一直致力于发展自主可控的信息核心技术和产业，2011年和2015年分别获得中国中文信息学会和中国计算机学会终身成就奖。

探讨 AI for Science 的影响与意义：现状与展望

文 / 王飞跃 缪青海 张军平 郑文博 丁文文

摘要：以 ChatGPT 为代表的新一轮人工智能技术浪潮正推动人类社会全面变革，科学研究范式正加速转换，一场人工智能驱动的科学（AI for Science, AI4S）革命正在到来。分析了 AI4S 的基本概念和特点，从数学、物理、生物、材料等角度简要综述了 AI4S 的发展现状。大力发展 AI4S 对提高国家竞争力、发展社会经济、加强技术储备都具有十分重要的意义。为更好地推动我国 AI4S 的发展，以下两点十分关键：一是变革当代的教学与教育，倡导 AI for Education 和 Education for AI；二是以 DAOs 和 DeSci 为基础建立适应“新科学研究范式”的“新组织方式”和“新科研生态”，为 AI4S 研究提供公开、公平、公正的可持续性支持。

关键词：人工智能驱动的科学；分布式自主科学；分布式自治组织与运营

0 引言

为了贯彻落实《新一代人工智能发展规划》，科学技术部会同国家自然科学基金委员会近期启动“人工智能驱动的科学”（AI for Science, AI4S）专项部署工作，引起广泛关注。专项部署工作紧密结合数学、物理、化学、天文等基础学科关键问题，围绕药物研发、基因研究、生物育种、新材料研发等重点领域，借助 AI4S 的学科交叉特色，促使甚至迫使传统学科变革，加速迈向交叉化新学科大发展的时代。

本文首先分析 AI4S 的基本概念和主要特点，随后从数学、物理、生物、材料等角度简要综述

AI4S 的进展。鉴于 AI4S 对国家竞争力、社会经济、技术储备等具有十分重要的意义，推动 AI4S 快速、良性发展至关重要。为此，笔者认为民众教育和科研生态是发展 AI4S 不可忽略的问题：一是教育先行，大力倡导 AI for Education (AI4E) 和 Education for AI (E4AI)，变革当代的教学与教育模式，以适应 AI 时代的发展要求；二是要建立适应“新科学研究范式”的“新组织方式”和“新科研生态”，以分布式自治组织与运行 (decentralized autonomous organizations and operations, DAOs)^[1-2] 和分布式自主科学 (decentralized science, DeSci)^[3-4] 为基础打造新科研体系，为

AI4S 研究提供公开、公平、公正的强力支持。

1 AI4S 概念、特点和意义

1.1 AI4S 基本概念

AI4S 主要指应用智能科学与技术促进传统科学研究变革^[5]。AI4S 当前的特色是通过人工智能、机器学习、推理等方法处理和分析大量数据，高效发现数据之间的关联，帮助科学家克服“维数灾难”，更快、更准地理解复杂的自然现象和社会现象。AlphaGo 和 ChatGPT 之后，现有 AI 技术和成果表明，AI4S 能够帮助人类发现数据中隐藏的规律，有效地助力科学家提出新假设、获得新发现^[6]。同时，AI 也

可以用于创建模拟系统和预测模型，引导科学家测试新理论、发现复杂系统的行为^[7]。

1.2 AI4S 主要特点

首先，AI4S 可以处理和分析大量的科学数据，克服“维数灾难”。牛顿正是在前人的研究和观测数据之上提出了万有引力定律，但当今海量的科学数据远超个人能力。AI 技术可以有效地处理从实验、观测和模拟中获得的数据，并从中提取模式、趋势等重要信息，帮助科学家发现新的现象和规律，推进科学研究的进展，加速更多新时期“牛顿”的诞生。

其次，AI4S 可以提供高效的科学计算和模拟，这对于研究复杂的自然现象和复杂系统至关重要。科学家可以使用 AI 技术创建高度准确的模型，进行大规模并行模拟，使它们能够预测和测试新的假设，从而加速科研探索的迭代演进。

最后，AI4S 更加突出作为科学家的人的核心和关键作用，强化交叉学科和新文科的主导性，直面其社会和生态效应，提倡人类命运共同体，这正是以 DAOs 和 DeSci 为代表的新科学和开放运动的本源和实质诉求^[8-10]。这一点，似乎被许多注重技术的人士忽略，但必须引起我们的深入思考和积极回应。

1.3 AI4S 的重要意义

AI4S 能够提高科学研究的效

率和准确性，帮助科学家在更短的时间内做出更多的发现和进展。AI4S 正加速推动科学研究的范式转移，一场改变世界格局的科学革命正在发生。

从国际竞争的角度看，AI4S 能够快速提高国家的科技实力，AI 和 science 将相互促进，为各国的科学研究提供更大的竞争优势，加速形成高科技壁垒。不能有效加速 AI4S 研究的国家，将在这场变革中掉队，最终处于十分被动的地位。从发展经济的角度看，AI4S 将加快各个学科领域的基础研究，促进行业应用，科学技术的进步势必会推动现有行业的发展，创造新的行业、新的就业机会。从技术储备的角度看，AI4S 有助于建立和完善科学技术体系，提高技术储备和创新能力。

以新材料研发为例，人工智能所带来的数据、算力和算法是“AI+ 材料科学”的三大技术核心。数据方面，原始数据主要来自高通量实验及计算，经过多轮数据清洗，最终获得可建模的数据，并储存于数据库中。算力方面，GPU、云计算等资源为“AI+ 材料科学”提供了重要的计算支撑。随着高性能计算设备及云计算等的发展，算力已逐渐不再成为制约其发展的决定性因素。算法（核心）方面，使用人工智能技术的材料研发，能够在物性预测和新材料研发过程中，基于更强的数据分析能力，同时

利用知识工程技术，根据人类知识经验自动优先选择最能提供实验合成和测试所需信息的化合物，减少材料科学家耗费在数据分析、大规模文献查阅和实验等工作上的时间。此外，机器学习已被证明可以有效加速材料的研发进程，通过机器学习获得的材料模型及机理，可用于材料发现设计。材料模型建立在足够多且质量高的数据之上，建模步骤包括选择合适的算法，从训练数据中进行训练，进而做出准确的预测。

2 AI4S 发展现状

AI4S 虽然最近才被广为关注，特别是在我国正成为焦点，但其在国际上已通过 DAOs 和 DeSci 蓬勃兴起。DAOs 针对产品开发，DeSci 针对基础研究，这两者的特色是基于智能科学与技术、区块链和智能合约的数字组织和数字治理^[11-15]。实际上，AI4S 可追溯到 AI 的创始年代，例如早期华人哲学家和数学家王浩利用原始的 IBM 计算机进行定理证明，催生了计算复杂性科学；AI 创始人纽厄尔和司马贺于 1956 年提出了“逻辑推理家（logic theorist）”程序，他们用今日看来简陋的机器，几分钟就证明了罗素和怀德海费尽十余年心血在其三卷本数学巨著《数学原理》中包含的主要数学定理。近几年来，在深度学习的大力推动下，

AI4S 在数学、物理、生物、材料等领域更是取得了许多令人瞩目的重大进展^[5]。

2.1 数学领域 (AI for math)

在数学领域, 求解偏微分方程是流体力学、空气动力学、交通流建模等领域的共性难题。2017 年以来, 科学家尝试使用机器学习、ResNet、seq2seq 模型等技术求解偏微分方程, 获得了更快更准的结果^[16]。2021 年 DeepMind 开发了基于机器学习的框架, 用于引导数学家寻找新模式和证明新定理的直觉灵感。数学家和 AI 研究人员的合作带来了两项发现: 一个是 Knots 理论, 监督学习模型帮助找到了两种不同类型的结 (knot) 之间的新关系, 从而证明了一个全新的定理; 另一个是 Kazhdan-Lusztig 多项式的证明, 这个问题已经被提出 40 年之久, 最终在 AI 的帮助下得以证明。该框架验证了人工智能帮助数学家的新范式。

2.2 物理领域 (AI for physics)

在物理领域, 除了实验数据采集、预处理和分析之外, 人工智能方法还帮助科学家设计实验、优化参数。高能物理是最早引入人工智能辅助研究的领域。1990 年代, 粒子物理学界就组织了一系列高能与核物理人工智能研讨会, 报道了使用神经网络和符号人工智能进行事件选择和微扰理

论计算的成果。2014 年, 人工神经网络赢得了 ATLAS 实验中识别希格斯玻色子的挑战。2015 年, CERN 成立了机器学习工作组来处理大型强子对撞机产生的海量数据。AI 方法的一些新进展, 如生成式对抗网络 (generative adversarial network, GAN) 已被用于更快的事件和探测器模拟。最近, DeepMind 在 *Nature* 上发表了他们的工作: 通过深度强化学习对托卡马克等离子体进行磁控制。2022 年报告称, 物理学家使用包含多年实验收集的 4 618 个样本的数据集的神经网络, 找到了质子中存在隐内魅夸克 (intrinsic charm quarks), 即隐性内含粲夸克的证据, 这一发现可能会改变量子色动力学的教科书。

2.3 生物领域 (AI for biology)

在生物医学领域, AlphaFold 是继著名的 AlphaGo 之后人工智能领域的又一大成就。从 2016 年开始, DeepMind 通过构建人工智能系统来挑战蛋白质结构 3D 预测任务, 这对于揭示蛋白质的性质至关重要。AlphaFold 基于大约 100 000 种已知蛋白质的序列和结构训练, 增强了预测新蛋白质形状的能力, 将预测误差缩小到原子尺度, 而计算时间从数年缩减到数分钟, 效率得到了显著提升。DeepMind 宣布 AlphaFold 数据库中超过 2 亿个蛋白质结构预测

向世界各地的科学家提供开放访问, 这将大大加速包括药物在内的多项重大研究。AlphaFold 并不是唯一可以预测蛋白质结构的人工智能系统, RoseTTAFold、ProtENN 也是 AI4S 的杰出代表, 生物界正在使用像 AlphaFold 这样的系统来改进医学, 推进针对疑难疾病药物的发现。

2.4 材料领域 (AI for materials)

在材料领域, 人工智能改变了传统以实验和经验为主的材料研发模式。2011 年美国提出“材料基因组计划” (materials genome initiative, MGI), 旨在解码材料的不同组成成分和性能的对对应关系, 通过结合计算工具平台、实验工具平台和数字化数据 (数据库和信息学) 平台, 借助高通量计算、大数据、人工智能等技术, 有效整合现有的材料研究力量和设备, 将高通量实验工具的效能发挥到最大, 缩短材料研发周期, 降低研发成本至少 50%。2016 年 *Nature* 发布了哈佛福德学院和普渡大学的研究成果, 科研人员利用机器学习算法, 用“失败”的实验数据预测了新材料合成, 意味着机器学习将改变传统的材料发现方式。通过整合元材料 (metamaterials)、虚拟材料、计算材料, 平行材料正通过计算机建立“小材料、大模型”, 利用机器学习和平行智

能技术,根据所需要的性能预测和引导候选材料,提高新材料的研发速度和效率,降低研发成本,提高安全性、可靠性和经济性。

应该说, AI4S 专项部署工作,并不是催生下一轮风口,因为人工智能并没有又一次进入低谷,而是被新技术进展再次推向新的高峰。在 AI4S 方面,除了数学、物理和生物等领域之外,人工智能还被用于许多学科。来自 AI 和科学领域的科学家正在研究 AI4S 的前沿领域。正如我们所见,人工智能在科学研究中的角色随着深度学习的繁荣发生了变化。早期,人工智能方法只是作为辅助工具,帮助分析实验数据。如今,人工智能方法已被视为更复杂任务的关键技术,包括定理证明、结构设计和知识发现。

3 探索 AI for Science 之 DAOs

3.1 科学突破,教育先行

人工智能技术的快速发展,特别是 Chat GPT^[17-20]等大模型在内容生成、艺术创作等领域的突破,加快了社会变革。确实有一些重复性的工作可能会被取代,这引起了不少人的担忧。然而,正像百年前的工业革命和半世纪前的信息产业革命展示的一样,作为群体的我们根本无须担心,历史和现实也不许我们担心,特别是担心也根本没有任何用途。工业革命,机器没

有取代农民,但让许多农民成为工人;信息革命,计算机没有取代工人,但让许多工人成为软件工程师;智能革命, AI 更不会让我们失业,而且,就像百年前的“杰文斯悖论”表明的:人工智能将需要更多的人工,为我们提供更多更好的工作。当然,为了缓解时下民众的焦虑和现实问题,社会各界可以采取以下措施。

首先,引导社会对人工智能的认知和理解。通过舆论宣传,让人们认识到,电灯取代蜡烛、汽车取代马车、电动机取代蒸汽机,每一次技术革命都有很多行业消失,但同时创造出更多的行业,带来更多的机会。

其次,投资新兴产业。人工智能中的机器学习、深度学习等技术促进了新产业的诞生,社会各界可以投资新兴产业,支持小微企业和初创企业,鼓励创新和创业。这些产业需要更多的人才,有更多的就业机会和更好的待遇。

第三,为社会全体提供人工智能驱动的专业及相关行业的教育、科普和培训,帮助人们获取新技能和知识,以适应新的工作和市场需求。实际上, AI4S 的基础和关键是 AI4E 和 E4AI,变革当代的教学与教育已成为刻不容缓的任务。

3.2 HANOI: AI for Science 之道

AI4S 的良性发展,必须要有适应“新科学研究范式”的“新组

织方式”和“新科研生态”。当前,一些新思想和新技术的出现,为 AI4S 范式创新带来了机遇。例如,由 Web3、区块链及智能合约技术驱动的 DeSci 浪潮正在带来科学研究组织方式的变革^[21-22]。

随着人工智能研究进入快速迭代阶段,人们呼吁建立新的研究机制来克服传统科学合作中的问题,例如缺乏透明度和信任等。DeSci 致力于为科学家创建一个开放、分布、透明和安全的网络,以共享数据、信息和研究成果,直接采用数字化、水平化治理,使科学家能够以更公开和公平的方式一起工作。DAOs 是 DeSci 的实现方式,为人工智能的创新和应用提供了新的组织形式。DAOs 是一种通过代码运作,运行在区块链网络上的数字组织。DAOs 通过智能合约进行数字化治理运维,这意味着 DAOs 的成员拥有决策和执行行动的投票权,使其成为一个透明和公正的系统。

为了应对上述挑战并利用新机遇,学术界基于 DAOs 已经完成了一系列工作,笔者也提出了人在环路的交互智能元宇宙框架^[23],作为新时期助力 AI4S 研究的基础。目前,DeSci 已成为世界范围的时代潮流,必须引起关注。为此,笔者提出 HANOI 框架,这是一个包含人类(human)、人工世界(artificial world)、自然世界(natural world)的有组织化的智

能 (organizational intelligence) 研究范式, 以 DAOs 和 DeSci 为基础, 同时为 AI4S 和 Science for AI (S4AI) 的研究提供公开、公平、公正的可持续性支持^[24]。

4 结束语

尽管人们对 AlphaGo、Alpha Fold、ChatGPT 这样的进步感到兴奋, 但在 AI4S 成为流行范例之前, 我们还有很长的路要走。而且, 教育必须先行, 否则将无法持续。首先, 人工智能与各个科学学科之间的知识差距是显而易见的, 研究人员必须有一个学习曲线来学习另一边的技能。而且, 人工智能研究人员学习科学中特定领域知识的学习曲线或许更陡峭, 因为建立一个全新背景的知识体系更加困难。相反, 在大多数 AI4S 案例中, 最受欢迎的工具是深度学习模型, 它相对容易掌握。其次, 目前还没有一个将人工智能与某一科学领域相结合的通用框架。然而, 在 AI 领域, 工具和平台已经很成熟并且易于使用, 特别是 ChatGPT 发布之后, AI 的大众化前所未有。当然, 在科学领域, 也有许多在特定领域里被广泛使用的成熟软件。无论如何, 我们必须以“小问题、大模型”的理念, 以“小任务、大设计”的原则, 通过 AI 开发并利用更多像 AlphaFold 和 ChatGPT 这样的智能系统来辅助

科学研究。我们相信, 弥合差距的各种各样的通用平台将在不久的将来出现, 使 AI4S 成为科研的主流, 使 S4AI 成为教育的主体。

2014 年, 在青岛智能产业技术研究院成立之初, 王飞跃^[25]提出以平行科学作为可持续智能产业和智慧社会的基础与保障, 利用数字人理论科学家和机器人工

程师构建平行物理、平行化学、平行材料、平行生物、平行医学、平行经济、平行艺术、平行哲学等, 相信随着 AlphaGo 和 ChatGPT 等智能技术的进一步深入和普及, 特别是 DeSci 和 AI4S 的发展壮大, 平行科学将成为新的科学范式。○

来源: 智能科学与技术学报

作者简介



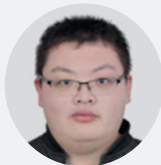
王飞跃 (1961—), 男, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室主任, 主要研究方向为平行系统的方法与应用、社会计算、平行智能、知识自动化。



缪青海 (1979—), 男, 中国科学院大学人工智能学院副教授, 主要研究方向为智能系统、平行智能、机器学习等。



张军平 (1970—), 男, 复旦大学计算机科学技术学院教授, 主要研究方向为人工智能、计算机视觉、图像处理。



郑文博 (1995—), 男, 武汉理工大学计算机与人工智能学院副研究员, 主要研究方向为计算机视觉与机器学习。



丁文文 (1990—), 女, 澳门科技大学澳门系统工程研究所博士生, 研究助理, 主要研究方向为 DAOs、DeSci、平行智能与平行管理。

基于状态识别的高炉料面视频关键帧提取方法

文 / 黄建才 蒋朝辉 桂卫华 潘冬 许川 周科

摘要：高炉料面视频关键帧是视频中的中心气流稳定、清晰、无炉料及粉尘遮挡且特征明显的图像序列，对于及时获取炉内运行状态、指导炉顶布料操作具有重要的意义。然而，由于高炉内部恶劣的冶炼环境及布料的周期性和间歇性等特征，料面视频存在信息冗余、图像质量参差不齐、状态多变等问题，无法直接用于分析处理。为了从大量高炉冶炼过程料面视频中自动准确筛选清晰稳定的料面图像，提出基于状态识别的高炉料面视频关键帧提取方法。首先，基于高温工业内窥镜采集高炉冶炼过程中的料面视频，并清晰完整给出料面反应新现象和形貌变化情况；然后，提取能够表征料面运动状态的显著性区域的特征点密集程度和像素位移特征，并提出基于局部密度极大值高斯混合模型（Local density maxima-based Gaussian mixture model, LDGMM）聚类的方法识别料面状态；最后，基于料面状态识别结果提取每个布料周期不同状态下的关键帧。实验结果表明，该方法能够准确识别料面状态并剔除料面视频冗余信息，能提取出不同状态下的料面视频关键帧，为优化炉顶布料操作提供指导。

关键词：高炉，料面现象，显著性区域，状态识别，关键帧提取

高炉炼铁是将含铁原料（烧结矿、球团矿等）在焦炭、石灰石以及从炉底鼓入的热风作用下还原成铁的复杂冶炼过程。在高炉冶炼过程中，炉料（烧结矿、球团矿、焦炭等）在热风浮力和自身重力的作用下会形成料面，炉料在发生复杂物理化学反应后会形成熔融铁水并从铁口排出，同时炉顶会周期性撒入炉料，并维持料面在一定的高度范围内^[1-2]。炉内料面运动状态是高炉运行过程的关键参数之一，对于指导炉顶布料操作、防止异常工况的发生具有重要的意义。然而，高炉

是一个大型的黑箱子，由于炉内高温高压、密闭弱光、强粉尘等恶劣的冶炼环境，现场难以掌握炉内料面状态。

为了监测炉内反应状况，现场会在高炉炉顶安装视频监测设备，如红外热成像仪^[3]、炉顶可见光摄像机以及高温工业内窥镜^[4]。红外热成像仪通过红外成像原理获取炉顶料面的温度信息，能够在一定程度上获取料面反应状态，但是容易受到高温煤气流的影响，且损失了料面纹理信息；为了监测炉内料面反应程度，一般会在高炉炉顶安装可见光摄像机，然

而由于炉内粉尘和高温煤气流的遮挡，只能拍摄到炉内的溜槽等极其有限的信息。高温工业内窥镜是一种新型的料面视频采集设备，其采用内窥式可见光成像技术近距离深入炉内实时获取料面视频。考虑到高炉布料是周期性、间歇性的，采集到的料面视频也呈现出周期性变化的规律。此外，料面视频存在信息冗余、图像质量参差不齐等问题，现场人员需要花费较多的时间去检索视频中的关键信息，如果在后期对所有视频帧都进行分析处理会大大降低效率并影响结果。研究高炉料

面视频关键帧自动提取方法能够从大量的料面视频中筛选出清晰的、稳定的视频帧,提高后期视频处理的精度和效率。

视频关键帧的提取是减少视频冗余、剔除无效重复信息的重要手段,在视频检索、视频压缩存储、视频摘要、视频分类、工业视频监控等领域具有广泛的应用^[5]。现有的视频关键帧提取方法可以分为基于图像特征的方法^[6]、基于镜头检测的方法^[7-8]、基于聚类的方法^[9]、基于运动信息的方法^[10]、基于学习的方法^[11-13]等。基于图像特征的方法通过图像的颜色、纹理、亮度等底层特征,计算这些特征的差异并与设定的阈值做比较,这种方法计算量比较大,计算效率并不高;基于镜头检测的方法先将其分成许多镜头,并选取第一帧、最后一帧以及中间固定的几帧作为关键帧,这种方法计算量小,但提取的关键帧数目相对固定,且没有考虑视频内容;基于聚类的方法先根据聚类算法将相似的帧划分为同一类,然后从不同类别中选取具有代表性的视频帧,在关键帧提取中应用比较广泛。Singh等^[14]提出了一种对光照变化和运动鲁棒的镜头边界检测方法,基于局部二值模式傅里叶直方图(Local binary pattern histogram Fourier, LBP-HF)特征和自适应阈值检

测出视频关键帧。为了提高轻轨视觉定位的精度,一种基于像素显著性分数的关键帧提取方法被提出,通过滑动窗口提取当前帧图像块的显著性分数,从而筛选出关键帧,为场景跟踪提供合适的检索窗口^[15]。文献[16]提出了一种基于时空分析的运动状态自适应视频关键帧提取方法,通过分析目标运动状态并选择运动状态变化的视频帧作为关键帧。Gharbi等^[17]提出一种基于兴趣点、可重复性网络和模块化的局部描述方法,并引入图聚类提取关键帧,以最小化视频的信息冗余。Lai等^[18]提出一种时间约束聚类算法,对内容相似的帧进行分组,并选择了显著值最大的视频帧作为关键帧。Wu等^[19]提出了一种基于高密度峰值搜索(Video representation based high density peaks search, VRHDPS)聚类算法的视频表示方法,并将聚类中心判定为关键帧。Chu等^[20]提出了一种共聚类方法,通过识别视频中共享的相似镜头来同时总结相同主题的视频。

随着神经网络的发展,越来越多文献研究基于深度学习的关键帧提取方法^[21-22]。为了解决视频关键帧提取存在的上下文注意力不足和分布不一致的问题, Ji等^[23]将监督视频摘要表述为序列到序列的学习框架,提出了一

种注意力和分布一致性学习方法,利用真实的带标注的视频训练并预测视频帧的重要性分数,从而获得关键帧。Abed等^[24]构建了带标签的人脸图像数据集,采用卷积神经网络(Convolutional neural network, CNN)有监督预测人脸图像质量,并将其作为关键帧提取的依据。为了更好地帮助运动员训练以及裁判打分,一种用于运动视频的深度关键帧提取方法被提出,该方法以标有运动员前景和背景区域的图像为数据集,通过全卷积网络提取运动员的感兴趣区域,并基于卷积神经网络估计每个帧的概率,将概率最大的帧判别为关键帧^[25]。Muhammad等^[26]提出了一种基于深度学习的工业监控场景下的视频关键帧提取方法(Deep learning-based resource-constrained video summarization, DeepReS),采用ORB(Oriented FAST and rotated BRIEF)特征和卷积神经网络获得候选关键帧,并根据用户需求筛选出熵值高的视频帧。针对以查询为中心的视频摘要任务, Xiao等^[27]提出了一种由局部注意力机制和查询相关性计算模块构成的卷积分层注意力网络,计算视频镜头与查询之间的相似性,从而生成视频关键帧。Zhou等^[28]将视频关键帧提取描述成顺序决策的过程,提出了一种基于

强化学习的深度摘要网络 (Deep summarization network, DSN), 设计了一个无标签的多样性 - 代表性奖励函数, 获得具有多样性和代表性的视频关键帧。尽管深度学习方法在视频关键帧的提取上表现出较好的性能, 但是一般依赖于充足的训练数据来学习视频帧中的重要帧的特征, 大多数方法需要对视频进行大量的人工标注, 模型的泛化性和可解释性不强, 并且缺乏对视频的全局理解。考虑到高炉炉内恶劣的冶炼环境, 且料面形貌会受到高炉冶炼操作、高炉尺寸、工况、布料周期等因素的影响, 料面形貌具有多样性和不确定性, 很难构建完整的料面视频数据集, 标签数据也难以获得, 因此深度学习方法并不适用于高炉料面视频关键帧的提取。此外, 与一般场景视频关键帧提取不同的是, 从周期性变化且质量不稳定的高炉料面视频获取关键帧更加复杂, 其对反映炉内运行状态、优化高炉炉顶布料操作具有重要的指导意义。由于高炉料面视频的特殊性, 本文定义的高炉料面关键帧为视频中不同状态下的中心气流稳定、清晰、无炉料及粉尘遮挡且特征明显的图像序列。

为从大量视频中自动准确提取清晰稳定的高炉料面图像, 本文提出基于状态识别的高炉料面视频关键帧提取方法。首先基于高温工业内窥镜采集高炉冶炼过程的料面视频, 并对料面视频进行分析, 将料面分为静止、缓慢下沉、快速下沉三个状态。为剔除视频的冗余信息, 计算料面图像显著性区域的关键特征, 并提出基于局部密度极大值高斯混合模型 (Local density maxima-based Gaussian mixture model, LDGMM) 聚类的方法识别料面所处的状态, 根据料面所处的状态实现每个布料周期不同状态下中心气流稳定、清晰、无炉料及粉尘遮挡且图像特征明显的关键帧的自动判别。

1 高炉料面视频采集及分析

1.1 料面视频采集系统

在高炉冶炼过程中, 通常炉顶的温度会达到

200~400 ℃, 中心局部温度可能会达到 600~800 ℃。由于炉料下降与煤气流的相对运动, 会产生大量的粉尘和噪声, 而高炉冶炼过程中产生的高温煤气流有毒有害, 不能随意排出, 因此高炉需要严格密闭, 炉内无法提供额外的光源条件。高炉炉顶高温高压、密闭弱光、强粉尘多噪声的恶劣环境特点, 导致清晰的料面图像难以获取。为了克服炉内恶劣的冶炼环境并采集到高炉冶炼过程中的料面视频, 采用了某炼铁厂安装的一套实时高炉料面视频采集系统^[29]。该系统包括用于采集炉内料面视频的高温工业内窥镜、保证设备长期稳定运行的水-气双冷却管、用于信号传输的光纤及防爆控制箱、位于中控室的上位机等, 如图 1 所示。得益于采集系统的冷却装置及具有极强的微光成像能力的光学性能^[30], 料面采集系统能够在高温高压密闭弱光的炉内环境中安全稳定运行并实时采集高炉冶炼过程中的料面视频, 设备安装的实物示意图如图 2 所示。

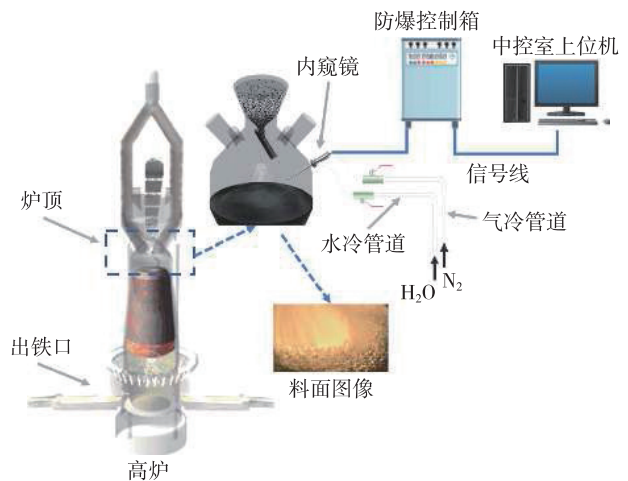


图 1 料面视频采集系统

通过高炉料面视频采集系统采集到了大量高炉冶炼过程中的料面视频, 为现场操作人员认识炉内料面反应状况、指导炉顶布料操作提供了直观的视频图像信息。

1.2 料面反应新现象

高炉炼铁是一个周期性加料、间歇性出铁的复杂

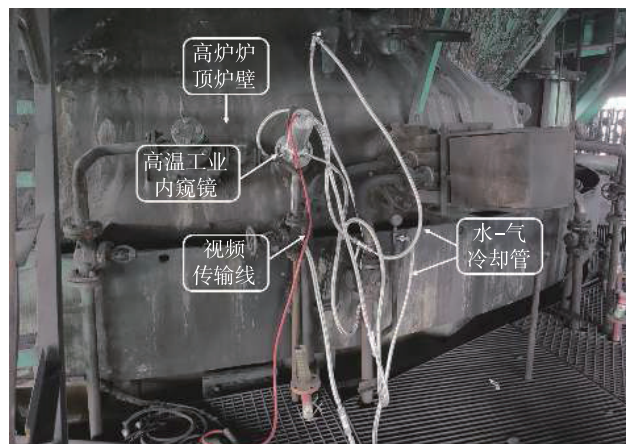


图2 设备安装图

生产过程,可以将高炉一个布料周期分为布料过程和布料间歇,其中布料过程包括环形布料和中心加焦,而高炉运行过程中炉料会在焦炭等助燃剂的作用下及炉底鼓入的热风环境中发生复杂的物理化学反应,并生成铁水从铁口排出。通过安装的高炉料面视频采集系统采集到的料面视频清晰地监测到炉料周期性的反应过程,并揭示了料面变化新现象。图3给出了采集到的某炼铁厂2#高炉一个布料周期内的料面反应现象。

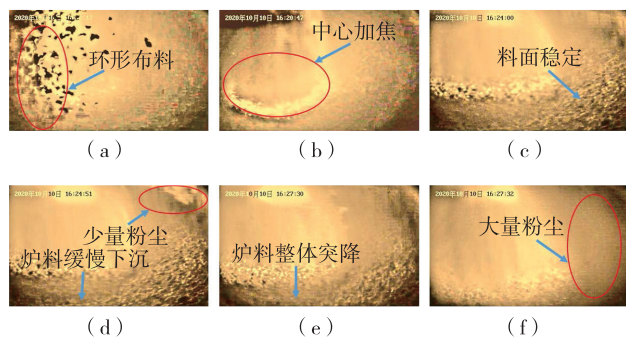


图3 一个布料周期内的料面反应现象

在高炉布料过程中,当料面料位到达预设的最低位置,通过设定的布料矩阵将炉料环形撒入炉内,此时炉料会遮挡料面有效信息,如图3(a)所示。在加料之后会将焦炭以另一个布料矩阵撒入高炉中心,中心气流逐渐变窄,并最终被焦炭完全遮挡,如图3(b)所示。随之,中心气流宽度会逐

渐变大,反映了中心加焦能够改善料面中心的透气性。此时料面会存在一段时间的布料间歇,料面视频较清晰,炉料颗粒清晰可见。从采集的料面视频可以发现,在正常工况下,料面存在静止、缓慢下沉、快速下沉三种不同的状态,一般来说,静止料面图像清晰度最高,如图3(c)所示。炉料缓慢下沉会产生少量的粉尘,而快速下沉会由于运动导致图像出现一定的模糊,在快速下沉之后,会出现大量的粉尘遮挡住料面的有效信息,如图3(d)~3(f)。此外,从图3中可以发现,布料过程的料面有效信息被遮挡较多,而布料间歇的料面图像清晰度要高于布料过程。采集到的料面视频监测了高炉冶炼过程中料面变化的新现象,为现场操作人员认清炉内反应状况提供了重要的信息。

考虑到高炉炼铁是一个大时滞、慢变的过程,高炉布料具有周期性和间歇性,并且料面形貌与布料制度、炉况等因素有关。为了更全面地分析料面视频的特征,采用抽帧方式(每间隔600帧抽取一帧,即采样频率为3帧/min)展示了高炉一个布料周期约为6min的料面视频帧,如图4所示。图4(a)~4(h)是高炉布料过程的料面图像,图4(i)~4(r)是高炉布料间歇的料面图像。在高炉布料过程,料面变化较大,视频中的炉料由少到多,并逐渐遮挡整幅图像,采用环形布料一定圈数之后,料面粉尘量增大;而在中心加焦之后,料面气流宽度变窄,而炉内无额外光照,料面图像中充满噪点,缺乏有效信息。相比于布料过程的图像,布料间歇的图像更加清晰、直观,包

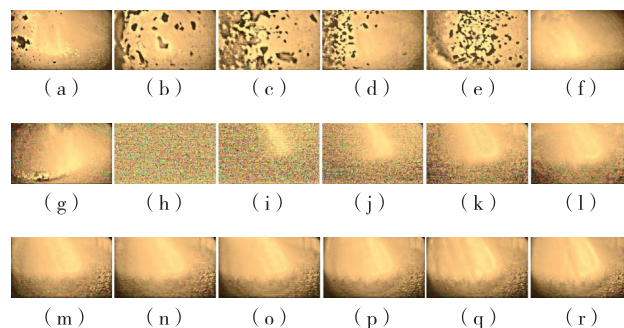


图4 一个布料周期内料面视频帧

含的料面有效信息更加丰富, 这是为布料操作提供信息反馈及后续图像分析的主要数据来源。

与一般场景视频不同, 料面视频具有状态多变(静止、缓慢下沉、快速下沉)、形貌多样(中心平坦型、中心井口型、中心喷溅型等)、图像质量不一(周期性变化, 布料过程图像清晰度低, 有效信息较少; 而布料间歇图像清晰度较高, 能够监测到炉内反应状况)、信息重复冗余(料面是慢变的, 视频中存在很多重复、冗余的帧)等特点。从现场采集的料面视频无法直接用于分析理解, 且如果对所有视频帧都进行处理会大大降低效率并影响处理的结果, 为此有必要研究一种能够自动从料面视频中提取关键帧的方法。考虑到料面所处的状态与高炉炉况及图像清晰度息息相关, 将料面所处的状态作为关键帧提取的依据更加符合视频的特征及现场的需求。

2 高炉料面视频关键帧提取

2.1 料面显著性区域关键特征提取

为了从周期性变化、质量不一、状态多变的高炉料面视频中提取出关键帧, 本文将不同状态下中心气流稳定、清晰、无炉料及粉尘遮挡且特征明显的图像定义为视频关键帧。料面图像的特征点密集程度及像素位移大小与高炉料面的运动状态具有很强的相关性。一般来说, 料面图像特征点越密集, 像素位移越小, 料面下降越慢, 料面越稳定; 而图像特征点越稀疏, 像素位移越大, 料面下降越快, 料面越不稳定。为此本文选择料面图像特征点密集程度及运动的像素位移作为料面视频关键帧提取的两个关键特征, 其中特征点的密集程度采用特征点数目表示, 图像运动的像素位移用平均光流矢量表示。

基于高温工业内窥镜拍摄的料面图像如图 5(a) 所示, 高炉炉内恶劣的冶炼环境导致料面图像与一般场景图像不同。料面图像包含煤气流区域、炉壁区域等非料面区域和料面区域, 并且不易分割, 其中料面区域是本文的兴趣区域。图像中煤气流区域过曝,

而远离煤气流区域偏暗。在计算料面关键特征时, 非料面区域会对特征提取的精度造成影响, 且高炉炉内煤气流是变化的, 基于经典的光流法计算出的料面图像光流矢量具有一定的误差。受启发于人类的视觉注意力机制, 为了提高关键特征提取的精度和效率, 首先对图像进行显著性检测, 选择图像中具有重要信息的区域^[31]。本文定义图像中亮度均匀、纹理明显的料面区域为显著性区域, 并基于图像像素间的颜色特征、纹理特征、亮度特征以及空间特征的差异度作为显著值计算的依据。像素 p_i, p_j 间的总体差异度 $d(p_i, p_j)$ 定义如下

$$d(p_i, p_j) = \frac{\sum_{t=1,2,3} d_t(p_i, p_j)}{1 + \alpha d_s(p_i, p_j)} \quad (1)$$

其中, $d_1(p_i, p_j), d_2(p_i, p_j), d_3(p_i, p_j)$ 分别表示料面图像像素 p_i, p_j 之间的颜色特征、亮度特征和纹理特征的欧氏距离, $d_s(p_i, p_j)$ 表示像素 p_i, p_j 之间空间特征的欧氏距离, α 表示一个常数, 定义为 3。式(1)可以理解为显著性区域是颜色特征、亮度特征、纹理特征差异较大并且位置相对集中的区域。

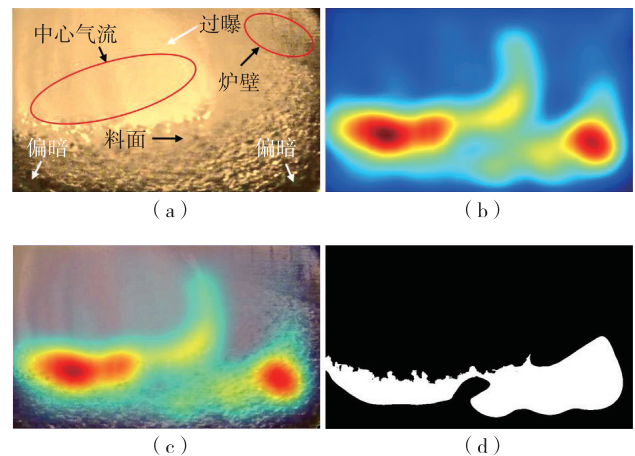


图 5 料面显著性区域提取

在得到像素间的差异度之后, 像素 p_i 的显著值 S_i 可以表示为

$$S_i = 1 - \exp\left(-\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L d(p_i, p_l)\right) \quad (2)$$

其中, p_i 表示以像素 p_i 为中心的 8×8 邻域内的像素点, $d(p_i, p_i)$ 越大, S_i 越大。

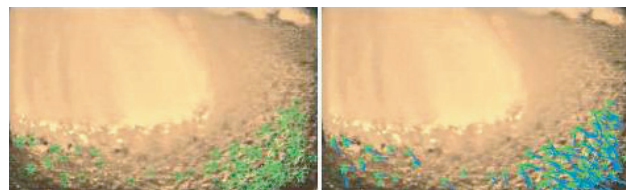
料面显著值计算结果如图 5 (b) 和 5 (c) 所示, 其中红色越深, 表示显著值越大, 蓝色越深表示显著值越小。为了进一步减小煤气流区域对精度的影响, 采用 OTSU 阈值分割方法对料面图像进行二值化, 将料面图像分为煤气流区域和非煤气流区域, 并作为掩膜剔除掉显著性区域的煤气流区域, 定位的显著性区域的位置如图 5 (d) 中的白色区域。

在定位料面显著性区域之后, 考虑料面运动越快, 光流矢量越大, 而由于运动, 图像清晰度会有所下降, 从而检测到的特征点数目减少, 因此计算特征点密集程度和特征点光流矢量作为料面运动状态识别的关键特征。特征点集合及特征点光流矢量集合如式 (3) 和式 (4) 所示, 提取结果如图 6 所示

$$K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_m\} \quad (3)$$

$$F = \{f_{k_1}, f_{k_2}, f_{k_3}, \dots, f_{k_m}\} \quad (4)$$

其中, K 表示料面图像特征点集合, F 表示图像的特征点光流矢量的集合。



(a) 提取的特征点

(b) 特征点光流矢量

图 6 提取的特征点及其光流矢量

2.2 基于局部密度极大值 GMM 的料面状态识别

在获取料面图像显著性区域的特征点密集程度及特征点运动的像素位移之后, 需要基于关键特征从视频中判别出料面所处的运动状态。考虑到高斯混合模型 (Gaussian mixture model, GMM) 可以拟合任意数据的分布, 而传统的 GMM 对于初始值的选

取十分敏感, 容易因初始值的选取不佳而陷入局部最优, 无法获得准确的结果。为了准确识别料面所处的状态, 本文提出了 LDGMM 料面状态识别方法, 可以在无参数的条件下基于数据分布特征, 找到局部密度最大的点, 并作为 LDGMM 输入的初始值, 以加快 LDGMM 迭代的速度, 优化 LDGMM 拟合的结果, 具体步骤如下:

1) 考虑到正常工况下, 料面是相对稳定的, 料面发生整体运动, 为了简化运算, 以特征点平均光流矢量作为某个时刻料面的运动像素位移

$$f = \frac{1}{m} \sum_{a=1}^m \sqrt{u_a^2 + v_a^2} \quad (5)$$

其中, f 表示特征点平均光流矢量, m 表示图像特征点的数目, u_a, v_a 分别表示图像特征点 a 的像素位移水平分量和垂直分量。

2) 由于料面视频中包含不稳定的状态, 在布料、加焦和炉料快速下沉后会激起大量的粉尘。料面的有效信息被炉料或者粉尘遮挡, 此时料面图像的特征极其不明显, 给定较小的表征特征点数目阈值剔除这个时刻的数据 (通过大量的实验, 本文的阈值选择了 10, 即 $T_0 = 10$), 然后采用等置信概率剔除其他时刻的一些异常值, 并对特征点数目及像素位移矢量进行归一化处理

$$\begin{cases} |d_0 - m(d)| > w \times s(d) \\ d^* = \frac{d_i - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \end{cases} \quad (6)$$

其中, w 表示肖维勒系数, $d_0, m(d), s(d)$ 分别表示数据离群点、均值、标准差, $d^*, d_i, d_{\min}, d_{\max}$ 分别表示归一化后的数据、归一化前的数据、数据最小值和最大值。

3) 在数据预处理之后, 总共获取了不同布料周期不同状态下的料面图像数据 1500 个, 采用核密度估计函数得到数据分布的概率密度图, 核密度估计函数如下

$$f_h(d) = \frac{1}{nh} \sum_{j=1}^n K_h\left(\frac{d-d_j}{h}\right) \quad (7)$$

其中, $f_h(\cdot)$ 表示核密度估计函数, $K_h(\cdot)$ 表示核函数, h 表示平滑参数, 满足 $h > 0$, d 表示观测值, d_j 表示第 j 个样本, n 表示样本的总数。

特征点光流概率密度分布如图 7 所示, 其中不同的颜色表征数据的密度大小。可以发现, 所提取的料面关键特征 (特征点密集程度和平均光流矢量) 基本满足对角分布规律, 即特征点越密集, 平均光流矢量越小; 特征点越稀疏, 平均光流矢量越大, 获取的料面图像关键特征能够被比较明显地分为三个密集分布。根据光流矢量的分布可以得到概率密度分布直方图, 如图 8 所示, 可以得到三个概

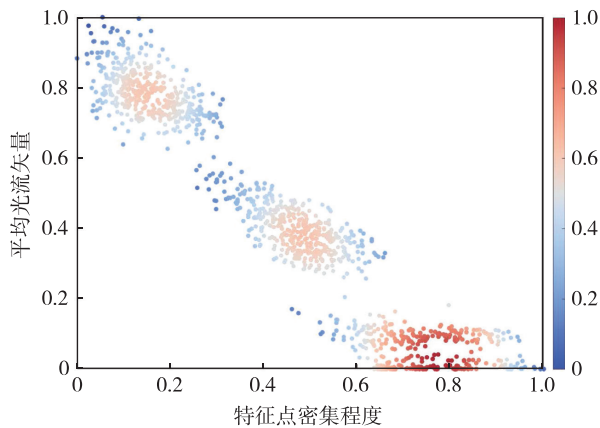


图 7 特征点密集程度和平均光流矢量的概率密度分布图

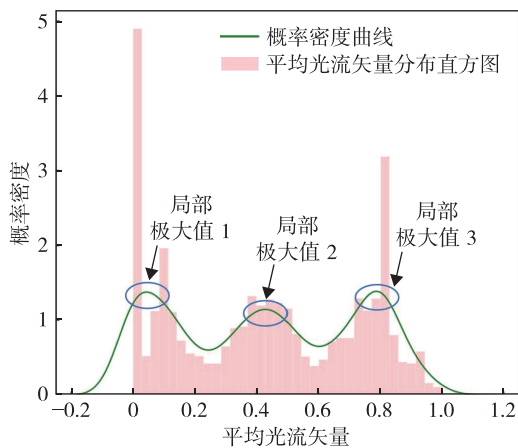


图 8 特征点平均光流矢量概率分布直方图

率密度局部极大值, 作为 GMM 的初始聚类中心。值得注意的是, 这是一种非参数估计方法, 可以在不知道具体类别数目的前提下仅根据关键特征的数据分布来估计出数据的概率密度分布, 并从中获得高斯分布数量和局部密度极大值

$$C = \{c_1(n_1, f_1), c_2(n_2, f_2), c_3(n_3, f_3)\} \quad (8)$$

其中, C 表示局部密度极大值点集合, c_1, c_2, c_3 表示三个局部密度极大值点, $(n_1, f_1), (n_2, f_2), (n_3, f_3)$ 表示三个局部密度极大值对应的特征点密集程度及平均光流矢量。

4) 将上一步获取的局部密度最大的三个点作为初始的聚类中心, 根据局部密度极大值设定 GMM 参数的初始值, GMM 的概率密度函数如下

$$P(x) = \sum_{\gamma=1}^K \alpha_{\gamma} p\left(\frac{x}{\mu_{\gamma}}, \sum_{\gamma} \right), \sum_{\gamma=1}^K \alpha_{\gamma} = 1 \quad (9)$$

其中, $P(x)$ 表示 GMM 的概率密度函数, $p(\cdot)$ 表示单个高斯模型的概率密度函数。 $\alpha_{\gamma}, \mu_{\gamma}, \sum_{\gamma}$ 是 GMM 的三个参数, 分别表示当前帧属于类别 γ 的概率、第 γ 个高斯分布的均值和协方差矩阵。

采用期望最大化 (Expectation-maximization, EM) 算法对 GMM 参数进行更新, 直至似然函数达到最大, 模型收敛

$$f(\alpha_{\gamma}, \mu_{\gamma}, \sum_{\gamma}) = \arg \max_{\alpha_{\gamma}, \mu_{\gamma}, \sum_{\gamma}} L(\alpha_{\gamma}, \mu_{\gamma}, \sum_{\gamma}) = \arg \max_{\lambda=1}^n \ln P(x_{\lambda}) \quad (10)$$

其中, $f(\alpha_{\gamma}, \mu_{\gamma}, \sum_{\gamma})$ 表示模型优化的目标函数, $L(\alpha_{\gamma}, \mu_{\gamma}, \sum_{\gamma})$ 表示对数似然函数, x_{λ} 表示第 λ 个数据。

图 9 给出了 5 次采用经典 GMM 和所提方法训练过程, 可以发现 GMM 平均需要 41.4 次更新才能达到最优, 并且容易陷入局部最优, 而所提聚类模型只需要迭代 13 次就可以迅速达到最优, 一定程度上验证了所提模型是高效准确的。

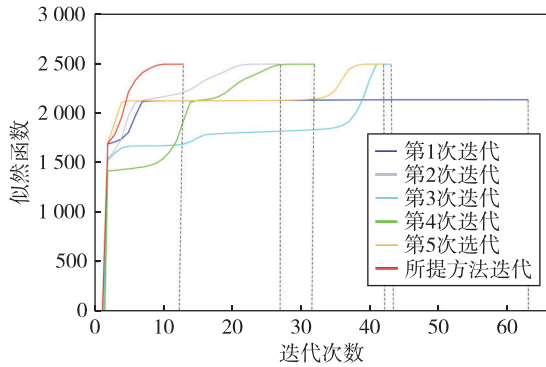


图9 不同方法不同训练过程似然函数变化情况

2.3 基于状态识别的料面关键帧提取

料面所处的状态是提取关键帧的主要依据,在识别料面所处的状态后,可以根据后期不同的处理需求,得到满足不同条件的关键帧集合,本文提取了不同状态下中心气流稳定、清晰、无炉料及粉尘遮挡且特征明显的帧。

考虑到高炉炉顶布料操作是周期性、间歇性的,且操作制度在不同周期会有所改变,采集到的高炉料面视频在不同的布料周期的形貌、图像清晰度等具有较大的区分度,不能对整个料面视频直接进行关键帧提取。为此,本文根据布料周期对料面视频进行镜头分割。值得注意的是,高炉布料周期 T 并不是固定的,且 T 未知,周期不能简单地根据时间进行划分。从采集的料面视频可以发现,高炉由布料间歇到布料的切换过程中,图像特征变化明显,图像有效信息降低,清晰度明显下降。本文基于复合帧间差异度函数获取料面视频中的突变帧进而实现料面视频不同周期的识别,其中复合帧间差异度函数由视频帧的熵、平均梯度、特征点密集程度的差异组成。

$$\begin{cases} E = -\sum_{i=1}^{n_k} p(x_i) \log_2 p(x_i) \\ G = \frac{\sqrt{2}}{2(w-1)(h-1)} \sum_{x=1}^{w-1} \sum_{y=1}^{h-1} \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \\ N = \frac{m - m_{\min}}{m_{\max} - m_{\min}} \end{cases} \quad (11)$$

其中, E, G, N 分别表示视频帧的熵、平均梯度和特征点密集程度; $p(x_i)$ 表示灰度值出现概率; w, h 表示图像的宽和高; I 表示图像灰度值; $\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y}$ 分别表示图像水平和垂直方向的梯度; $m, m_{\min}, m_{\max}$ 分别表示当前帧图像特征点数目,最小特征点数目和最大特征点数目。

为了减小视频帧关键特征计算的随机误差,取每秒所有图像熵的平均值、平均梯度的平均值和特征点密集程度的平均值作为当前时刻的特征值,并分别归一化到 $(0, 1]$, 然后进行加权得到计算的结果,计算相邻时刻图像的帧间差异度

$$S_t = \alpha_1 E_t + \alpha_2 G_t + \alpha_3 N_t \quad (12)$$

$$D_t = S_{t+1} - S_t \quad (13)$$

其中, E_t, G_t, N_t 分别表示视频帧归一化后的熵、平均梯度和特征点密集程度。 S_t 表示图像特征值, D_t 表示视频帧间差异度, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 表示权重, 本文取 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1/3$ 。

视频帧间差异度曲线如图 10 所示, 图中给出几个不同时刻下的料面图像。从图 10 可以发现, 在布料或者加焦过程中, 视频帧间差异度较大, 图像有效信息被粉尘或者炉料遮挡; 而在布料间歇料面逐渐稳定, 视频帧间差异度较小, 图像更加清晰。基于视频帧间差异度可以检测到视频的边界帧, 进而对料面视频进行周期划分, 边界帧需要满足以下条件

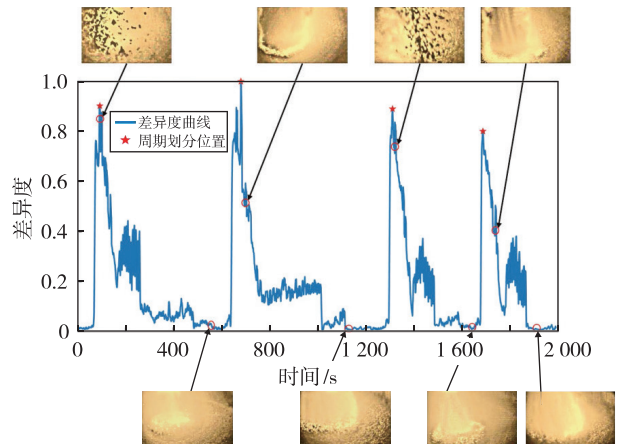


图10 料面视频差异度曲线

$$\begin{cases} D_c \geq T_1, D_{c+1} \geq T_1 \\ t_{c+1} - t_c > T_t \end{cases} \quad (14)$$

其中, D_{c+1}, D_c 表示相邻的两个边界帧, 边界帧的差异度需要大于阈值 T_1 , 并且需要至少间隔 T_t 。以避免同一个布料周期多个边界帧被检测到。 T_1, T_t 是固定的阈值, 通过实验统计得到。

在高炉炉顶布料过程中, 会产生大量的粉尘、噪声, 由于炉料、粉尘、噪声等对料面有效信息的遮挡, 图像清晰度下降, 能够检测的特征点将大大减少, 这一类图像并不适合作为后期处理的数据来源。为了保证所提取的关键帧特征明显、图像清晰, 在关键帧提取前剔除有效信息缺失的料面图像。为了简化运算并提高效率, 统计当前帧的特征点数目 n_t , 并与阈值 T_0 比较, 若 $n_t \leq T_0$, 则不属于关键帧, 直接剔除; 若 $n_t > T_0$, 则当前帧进入下一步判断, 从而剔除特征不明显、有效信息缺失较多的视频帧

$$\begin{cases} n_t > T_0, n_t \in V \\ n_t \leq T_0, n_t \notin V \end{cases} \quad (15)$$

其中, n_t 表示当前帧特征点数目, V 表示初步筛选后留下的图像集合。

计算 V 中视频帧与不同聚类中心的欧氏距离, 获取当前帧所处的状态, 若为静止状态, 则被判定为周期 T 的关键帧集合 A 中的候选关键帧; 若为缓慢下沉状态, 则被判定为周期的关键帧集合 B 中的候选关键帧; 若处于快速下沉状态, 则初步判定为周期 T 的关键帧集合 C 中的候选关键帧

$$\begin{cases} D_i(n_{t_f}, f_{t_f}) = \sqrt{(n_{t_f} - n_{c_i})^2 + (f_{t_f} - f_{c_i})^2} \\ \min D_i(n_{t_f}, f_{t_f}) = \begin{cases} D_1(n_{t_f}, f_{t_f}), t_f \in A \\ D_2(n_{t_f}, f_{t_f}), t_f \in B \\ D_3(n_{t_f}, f_{t_f}), t_f \in C \end{cases} \end{cases} \quad (16)$$

其中, $(n_{c_i}, f_{c_i}), i = 1, 2, 3$ 分别表示静止、缓慢下沉、快速下沉三种运动状态的聚类中心, t_f 表示当前时刻帧, $D_i(n_{t_f}, f_{t_f})$ 表示当前时刻视频帧与三个聚类中心的欧氏距离。

从三个候选关键帧集合中分别将聚类中心对应的视频帧、按照固定采样频率得到的图像作为关键帧, 得到一个周期的关键帧集合

$$\begin{cases} A_t = \{a_{k_1}, a_{k_2}, a_{k_3}, \dots, a_{k_k}\} \\ B_t = \{b_{k_1}, b_{k_2}, b_{k_3}, \dots, b_{k_m}\} \\ C_t = \{c_{k_1}, c_{k_2}, c_{k_3}, \dots, a_{k_n}\} \end{cases} \quad (17)$$

其中, A_t, B_t, C_t 分别表示一个布料周期内的静止、缓慢下沉、快速下沉三种运动状态的关键帧集合。

一个布料周期的料面视频关键帧提取方法如算法 1 所示。在提取了一个布料周期料面视频关键帧之后, 采用相同方法获取不同布料周期的料面视频关键帧, 得到最终的关键帧集合。

算法 1. 一个布料周期的料面视频关键帧提取

输入: n_e, t_f, N_m, T_h // 帧数, 当前帧, 总帧数, 当前周期

输出: A_t, B_t, C_t // 不同状态下的关键帧集合

1) **for** $n_e = 1, 2, 3, \dots, N_m$ **do**

2) **while** $n_t > T_0$ **do**

3) Count $D_t \leftarrow S_{t+1} - S_t$ // 计算帧间差异度

4) **if** $D_c < T_1$ 或 $D_{c+1} < T_1$ 或 $t_{c+1} - t_c \leq T_t$ **then**

5) Set $T_h \leftarrow T_h$

6) Set $\min D_i(n_{t_f}, f_{t_f}) = \begin{cases} D_1(n_{t_f}, f_{t_f}), t_f \in A \\ D_2(n_{t_f}, f_{t_f}), t_f \in B \\ D_3(n_{t_f}, f_{t_f}), t_f \in C \end{cases}$

// 判断当前帧所处状态

7) **else**

8) Set $T_h \leftarrow T_h + 1$

9) Sample from A, B, C // 获得不同状态下的关键帧集合

$A_t \leftarrow \{a_{k_1}, a_{k_2}, a_{k_3}, \dots, a_{k_k}\}$

$B_t \leftarrow \{b_{k_1}, b_{k_2}, b_{k_3}, \dots, b_{k_m}\}$

$C_t \leftarrow \{c_{k_1}, c_{k_2}, c_{k_3}, \dots, a_{k_n}\}$

10) **end if**

11) **end while**

12) **end for**

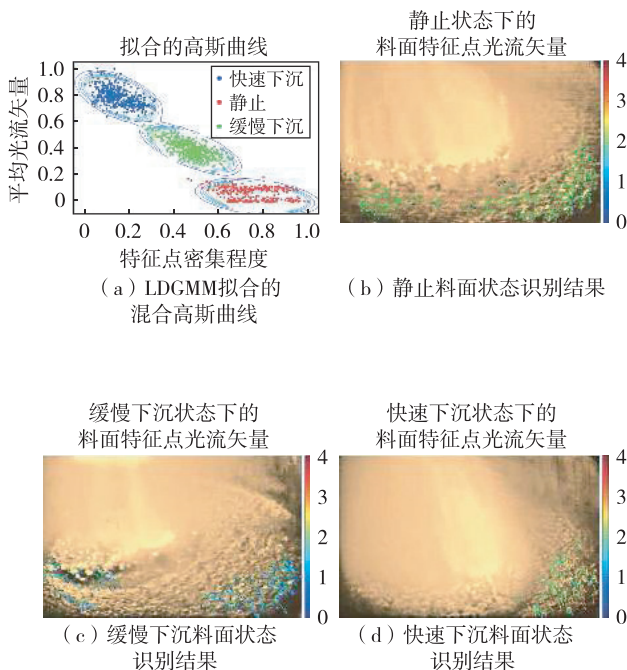
13) **return** A_t, B_t, C_t

3 实验验证与结果分析

本文实验的软件环境: Windows10 操作系统下的 MATLAB R2020a 及 PyCharm 2020; 硬件环境: 处理器为 Intel Core i7-11 700 2.50 GHz, 内存为 32 GB。测试的视频来源于高温工业内窥镜采集到的某钢铁厂 2# 高炉运行过程的料面视频, 采样频率为 30 帧 / 秒, 图像分辨率大小为 828×494 。

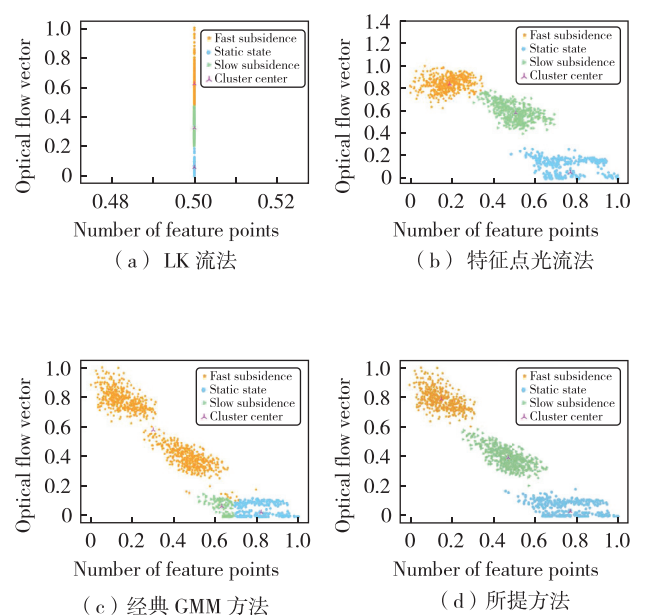
3.1 状态识别的性能分析

在采集高炉运行过程不同布料周期的料面视频之后, 提取图像的特征点并计算特征点光流矢量, 基于所提的 LDGMM 识别当前帧的运动状态, 结果如图 11 所示, 其中图 11 (a) 表示 LDGMM 识别结果, 将高斯分布曲线内或者接近曲线的数据归为一个状态, 从图中可以得出, 三种不同的状态可以比较明显地被区分开。图 11 (b)~11 (d) 分别表示三个不同布料周期中静止、缓慢下沉、快速下沉三种状态的可视化识别结果。为了能够更加直观地区分不同的状态, 采用不同颜色、不同长度的箭头表示料面特征点运动的大小, 其中红色越深, 箭头越长, 表示特征点运动



光流矢量越大; 蓝色越深, 箭头越长, 表示特征点运动的光流矢量越大。从图 11 可以获得料面上不同位置的特征点像素位移大小, 此外, 静止料面能够提取更多的特征点, 其对应的光流矢量较小; 相比于静止料面, 缓慢下沉的料面提取的特征点数量变少, 但光流矢量变大; 而快速下沉的料面光流矢量最大, 提取的特征点数量最少, 直观上说明所提方法能够明显区分出料面的不同状态。

为了验证本文所提状态识别方法的有效性, 进行消融实验, 分别比较 LK (Lucas-Kanade) 光流法、无显著性区域定位的特征点光流法、经典 GMM 算法以及本文方法得到的聚类结果, 如图 12 所示。可以发现, LK 光流法只依据图像的像素位移进行状态的划分, 数据的区分度并不大, 如图 12 (a) 所示; 在不引入显著性区域定位时, 由于图像包含炉壁和煤气流区域, 提取的部分特征点并不在料面区域, 计算的像素位移大小可能会比实际值大, 并且快速下沉和缓慢下沉两个状态分离度不高, 如图 12 (b) 所示; 由于经典 GMM 算法初始的聚类中心是随机的, 若初始聚类中心选择不当, 会使得模型陷入局部最优, 如图 12 (c) 所示; 采用本文所提方法得到的结果中三种状态



的分离较明显，能够快速达到最优的聚类效果，不同状态区分度较大，如图 12（d）所示。

为了评估不同方法的聚类结果，选取戴维森堡丁（Davies-Bouldin, DB）指数、CH（Calinski-Harabasz）指数、轮廓系数（Silhouette coefficient, SC）、分离度（Separation, SP）作为评价指标，比较基于不同方法得到的不同状态的类间距离和类内距离，其中DB 值越小，CH、SC 及 SP 值越大，说明聚类效果越好，评价结果如表 1 所示。从表 1 可以看出，所提方法的 DB 指标值最小，CH、SC 和 SP 指标值最大，综合分析可得所提方法的类间数据最分散，类内数据最集中，状态聚类的效果在这几种方法里是最好的。

进一步地，采用 Cai 等^[32]提出的动态光照下光

表 1 不同方法的聚类效果比较

	指标			
	DB	CH	SC	SP
LK 光流	0.2603	474.41	0.9826	0.6013
特征点光流	0.2867	5 392.80	0.9949	0.7129
GMM	0.1376	1 347.30	0.9816	0.8018
本文方法	0.0010	7 762.36	0.9989	0.9537

流计算方法（Dynamic illumination optical flow computing, DIFlow）、Liu 等^[33]提出的从无标注数据中学习光流自监督网络（Self-supervised learning of optical flow, SelfFlow）及本文所提方法识别相同料面视频的不同状态，不同方法识别不同料面状态的结果如图 13 所示。DIFlow 考虑了光照对

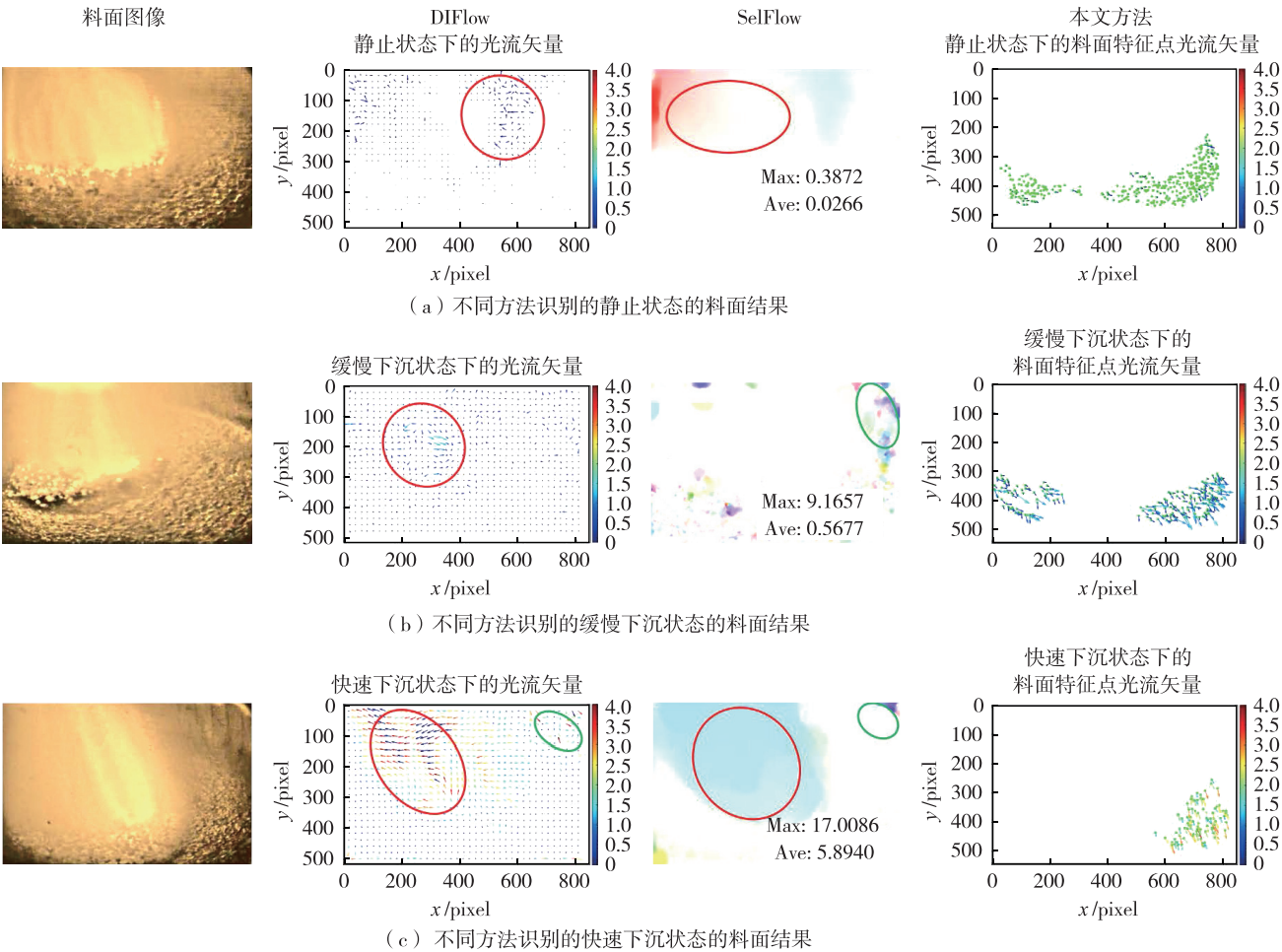


图 13 不同方法识别不同料面状态的对比结果

光流估计的影响,将料面图像均匀地分成图像块,并计算了料面图像块的像素位移;SelFlow 采用无监督深度学习计算方法计算了整幅料面图像的稠密光流。在图 13 中,给出了 SelFlow 计算的最大光流矢量值和平均光流矢量值,并采用不同颜色的椭圆标记出存在较大误差的位置,其中红色椭圆部分表示计算的中心气流的光流矢量,绿色椭圆部分表示计算的炉壁部分的光流矢量。从图 13 可以看出,DIFlow 及 SelFlow 方法会受到中心气流和炉壁等非料面区域的影响,计算的光流结果偏大,料面状态识别的结果并不直观,而本文方法能够极大减少非料面区域对识别结果的影响,可以明显区分出不同的料面状态。

在高炉冶炼现场,为了能够检测料位,一般会在高炉炉顶安装 2~3 个机械探尺。机械探尺通过提尺、放尺、浮尺三个阶段按照一定的采样频率(约 10s 采样一次)来测量料面某个位置上的料位,其中浮尺阶段的数据被认为是真实有效的料面料位值。根据机械探尺的测量值能够得到布料间歇料面的高度,结合相邻采样间隔的机械探尺的测量数据及人工经验获取了料面的状态。采用不同方法的识别结果如图 14 所示,从图中可以发现所提方法的识别状态与真实状态吻合较好,而 DIFlow 和 SelFlow 识别的料面状态与真实状态有较大的偏差,一定程度上验证了所提方法是可靠的,并且优于 DIFlow 和 SelFlow 方法。

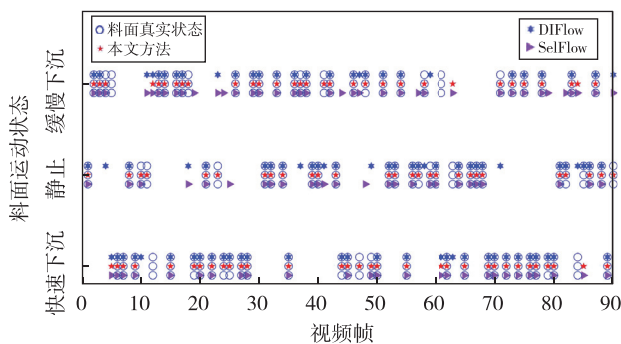


图 14 不同方法识别的不同状态

为了定量验证所提状态识别方法的精度,分别选

取调整兰德系数 (Adjusted Rand index, ARI)、标准化互信息 (Normalized mutual information, NMI)、熵 (Entropy, E)、纯度 (Purity, P) 评价不同方法识别的精度,结果如表 2 所示,其中 ARI、NMI、P 的值越大, E 的值越小,表明与真实结果更接近。从表 2 可得,对于给定评价指标,所提方法均表现出最优的性能,体现了所提的料面状态识别方法准确有效,识别的料面状态的精度高于其他两种方法。

表 2 不同方法的识别精度比较

	指标			
	ARI	NMI	E	P
DIFlow	0.4731	0.5105	1.0125	0.7666
SelFlow	0.4133	0.4276	1.0629	0.7344
本文方法	0.7669	0.7602	0.5212	0.9083

料面的不同运动状态能够反映高炉的炉况和运行效率,若高炉料面基本保持在缓慢下沉状态,则此时调控较好,炉况比较稳定,运行效率较高;若高炉料面长期处于静止状态,则容易发生悬料;若高炉料面长期处于快速下沉状态,则容易发生塌料。为了得到不同状态的识别精度,给出所提运动状态识别方法的混淆矩阵,如图 15 所示。从图 15 可以发现,快速

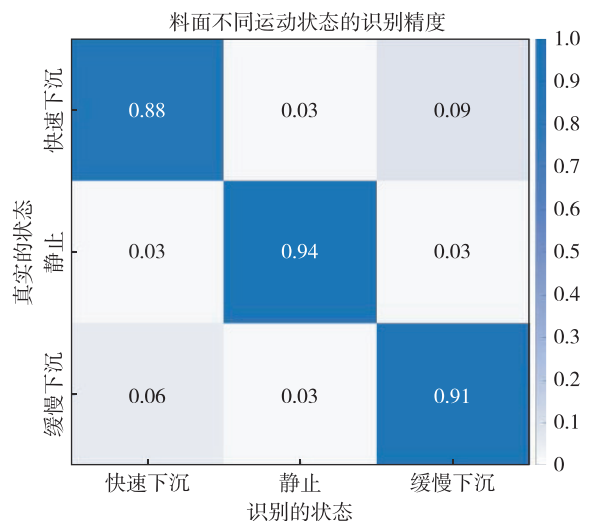


图 15 所提方法的混淆矩阵

下沉、静止、缓慢下沉三种状态的识别精度分别为 87.88%、93.94%、91.18%。其中 9.09% 的快速下沉状态会被识别为缓慢下沉状态，3.03% 的静止状态会被识别为缓慢下沉状态，而 5.88% 的缓慢下沉状态会被识别为快速下沉状态，精度能够满足现场的需求。

3.2 关键帧提取的性能分析

在获取料面状态后，可以根据料面的不同状态筛选出关键帧。为了验证所提关键帧提取方法的有效性和先进性，随机选取一个布料周期为 451 s 的料面视频（共 13 544 帧），采用双阶段镜头边界检测方法（Dual-stage-based shot boundary detection, DSBD）^[14]、DeepReS^[26]、DSN^[28] 及本文方法提取料面视频的关键帧，其中 DSBD 基于提取的 LBP-HF 特征和自适应阈值检测关键帧，DeepReS 和 DSN 采用深度学习方法识别视频关键帧，图 16 给出了不同方法提取的部分关键帧结果。从图 16 可以看出，由于高炉布料过程料面图像变化较大，而在布料间歇料面图像变化不易察觉，DSBD 将料面视频中图像视觉特征变化较大的视频帧作为关键帧，获取了高炉布料过程的料面图像，提取的关键帧图像不清晰，有效

信息遮挡较多，难以反映当前时刻的料面反应状态，且由于高炉是环形周期性布料，在布料阶段图像变化较大，采用 DSBD 方法提取的关键帧仍然有大量的视频冗余。DeepReS 方法能够去除布料过程部分冗余，但是仍然存在布料过程不清晰的图像，无法获取不同状态下稳定的料面图像。DSN 将视频帧的多样性和代表性作为奖励函数，相比前两种方法获取的视频帧更加清晰，但是缺乏对料面视频内容的分析，且仍然存在部分布料过程不清晰的图像。本文方法能够剔除细节模糊、不稳定的图像，同时精简了视频，去除了大量冗余，增加了对料面视频运动状态的分析，提取出清晰的不同状态下的料面图像，对高炉炉顶布料具有一定的指导意义。

为了定量评价关键帧提取方法的性能，以人工提取的关键帧为参考帧，统计提取的关键帧集合的帧数、正确帧数、错误帧数、漏检帧数，并计算查全率 R 、准确率 P 、 $F1$ 值。表 3 给出了采用不同方法提取的一段 2 323 s 料面视频（共 66 332 帧）的结果。

$$R = \frac{n_r}{n_r + n_f} \quad (18)$$

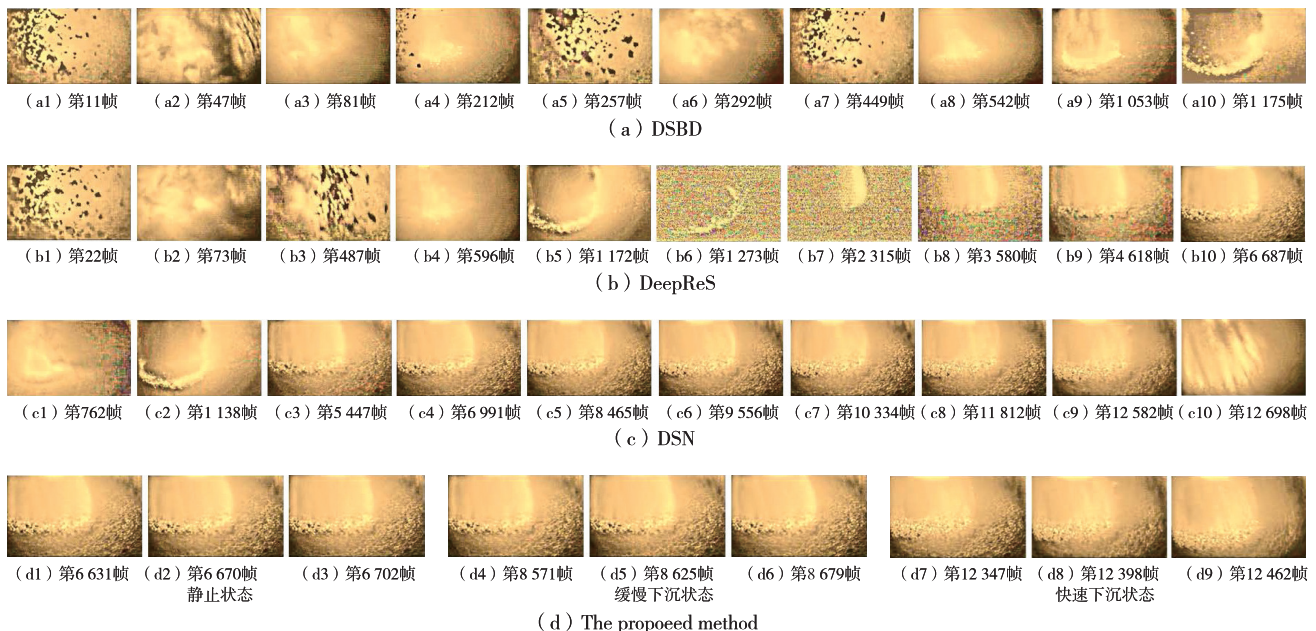


图 16 采用不同方法提取的同一布料周期的部分关键帧

$$P = \frac{n_r}{n_r + n_w} \quad (19)$$

$$F1 = \frac{2PR}{P+R} \quad (20)$$

其中, n_r, n_f, n_w 分别表示正确提取的关键帧数量、漏检的关键帧数量和错误提取的关键帧数量。

表 3 不同方法提取的关键帧精度比较

方法	关键帧	查全率	准确率	F1 值
DSBD	679	60.3%	28.9%	0.3904
DeepReS	451	76.0%	54.8%	0.6366
DSN	394	85.2%	70.3%	0.7705
人工经验	325	—	—	—
本文方法	338	92.0%	88.5%	0.9020

从表 3 可以看出, 受到高炉布料和炉内粉尘的影响, DSBD、DeepReS 和 DSN 提取的料面视频关键帧具有较多的冗余, 存在一定的漏检, 查全率和准确率并不高, 而所提方法所提取的料面视频冗余帧和漏检帧较少, 查全率、准确率及 $F1$ 值均高于其他三种方法, 定量验证了所提方法的准确性和可靠性。

在不同的布料周期, 料面形貌会有所变化, 采用

本文所提的关键帧提取方法提取了不同布料周期的料面视频关键帧, 剔除了布料、加焦等不稳定时刻的料面图像, 图 17 (a) ~17 (d) 分别为 4 个不同布料周期提取的平坦型、井口型、喷溅型、气流发展型的料面图像关键帧。所提取的关键帧能够清晰直观展示高炉不同布料周期的形貌, 为高炉冶炼现场提供极具价值的炉内反应状况信息及布料反馈信息。

考虑到高炉冶炼过程中不同布料周期的料面形貌可能会不同, 采用本文方法提取了 4 个不同布料周期不同典型形貌的料面视频的关键帧, 并分别计算了准确率、查全率和 $F1$ 值, 结果如图 18 所示。从图中可得, 虽然料面形貌有所差异, 但是关键帧提取的准确率、查全率及 $F1$ 值均较高, 且变化并不明显, 说明所提方法在不同布料周期能够准确地提取料面视频关键帧, 且精度受布料周期和料面形貌不同的影响并不大。

4 结论

针对高炉料面视频存在的冗余信息多、图像质量不稳定、状态多变等问题, 本文提出了基于状态识别的高炉料面视频关键帧提取方法。基于显著性区域特征点光流聚类方法识别了料面所处的状态, 并依据料

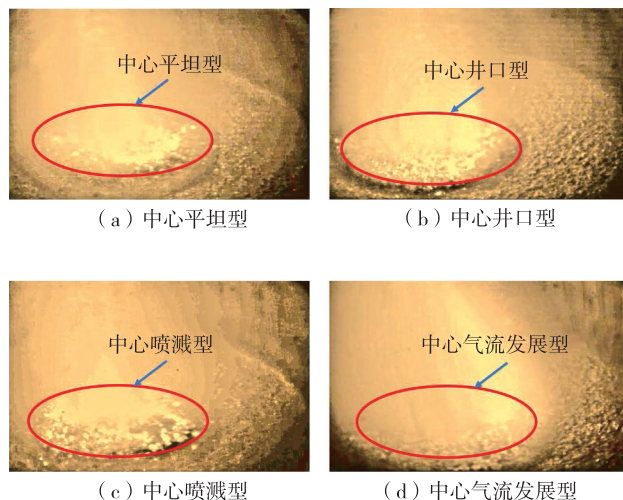


图 17 提取的不同布料周期的关键帧

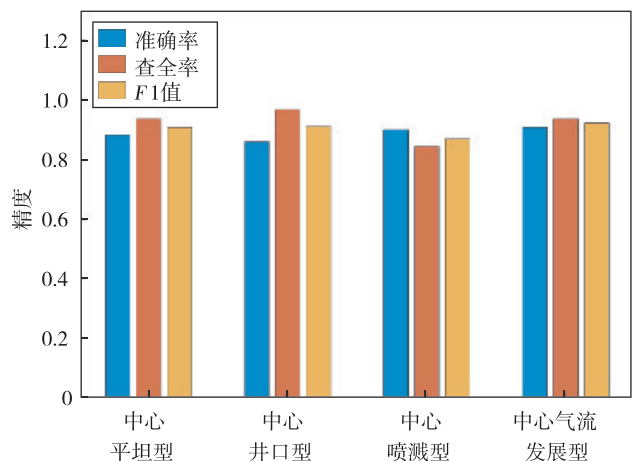


图 18 不同形貌料面视频关键帧提取精度

面状态从冗余、质量不一的料面视频中筛选出不同周期不同状态下形貌变化较大且清晰稳定的关键帧，方便后期图像处理，同时也有利于从大量的料面视频中快速准确地捕获到有效信息。通过大量的对比实验表明本文所提方法能够准确识别料面所处的状态，同时能够从视频中剔除细节模糊、不稳定的视频帧，得到不同状态下中心气流稳定、清晰、无炉料及粉尘遮挡且特征明显的关键帧，为现场操作人员认清炉内反应状况、指导炉顶布料操作提供重要反馈信息。与其他

现有的状态识别和视频关键帧提取方法相比，所提方法结合了料面视频变化特征，性能优越，算法复杂度不高，实用价值高，能够为现场操作人员提供实时清晰的炉内反应过程图像信息，并为炉顶布料提供反馈信息。此外，本文所提方法提供了一种复杂多变且周期性变化的工业视频关键帧提取的有效途径，为其他复杂恶劣环境中视频图像处理提供了新思路。○

来源：自动化学报

作者简介



黄建才 中南大学自动化学院博士研究生。2018 年获重庆大学学士学位。主要研究方向为图像处理，计算机视觉和复杂工业过程参数检测。

E-mail: huangjiancai@csu.edu.cn



蒋朝辉 中南大学自动化学院教授。2011 年获中南大学博士学位。主要研究方向为智能传感与检测技术，图像处理与智能识别和人工智能与机器学习。本文通信作者。

E-mail: jzh0903@csu.edu.cn



桂卫华 中南大学自动化学院教授。1981 年获得中南矿冶学院硕士学位。主要研究方向为复杂工业过程建模，优化与控制应用和故障诊断与分布式鲁棒控制。

E-mail: gwh@csu.edu.cn



潘冬 中南大学自动化学院讲师。分别于 2015 年和 2021 年获中南大学学士学位和博士学位。主要研究方向为红外热成像，视觉检测，图像处理和深度学习。

E-mail: andon@csu.edu.cn



许川 中南大学自动化学院博士研究生。2021 年获中南大学硕士学位。主要研究方向为数据分析，机器学习和复杂工业过程建模。

E-mail: csuxuchuan@csu.edu.cn



周科 中南大学自动化学院博士研究生。2018 年获重庆大学学士学位。主要研究方向为复杂工业过程的数据挖掘、建模与优化控制。

E-mail: zhouke95@csu.edu.cn

社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（十一）

文 / Anuradha M. Annaswamy、Karl H. Johansson、George J. Pappas

翻译 / 北京工业大学 赵兰浩

技术验证与转化

本章作者：

Stefano Di Cairano, Johan Eker, Sonia Martinez, Thomas Parisini, Tariq Samad

工业生态系统需要控制系统。在本节中，我们提出了下一代研究验证的措施和建议，这些措施和建议可以弥合学术界和工业界之间的差距，并有助于开发具有高度社会影响的控制技术和产品。

摘要

在接下来的十年里，控制界（包括学者、年轻专业人士、从业者和企业家）有机会将科学成果转化为对整个社会有益的技术和产品。在本节中，我们将讨论从学术研究到产业吸收和产品开发的路径。我们提供了有关系统和控制对工业重要性的数据，确定了学术界历史上未能参与工业生态系统的关健原因，并讨论了潜在的解决方案。特别关注从实验室的控制到现实世界环境等一系列层面的研究成果验证。我们认为，缺乏验证是技术转让的一个主要障碍，学术界可以在缩小这

一差距方面发挥关键作用。我们进一步提出了一条更好地参与合作创新生态系统的途径。这可以揭示学术界的新研究途径，并最终使控制系统的社会影响发生范式转变。

5.1 引言

系统与控制是一门横向的科学学科，不会直接转化为特定的技术。因此，几十年来，它一直受到理论 / 应用二分法的影响。引用 Steven Low 在《IEEE 控制系统》杂志^[1]上的专栏，“理论和实践之间的差距在实践中比在理论上大得多。”系统和控制转变为整体走向市场战略的前进方向是什么？创业社区会扮演改变游戏规则的角色吗？

在接下来的十年里，控制界（包括学者、年轻专业人士、从业者和企业家）有机会将科学成果转化为对整个社会有益的技术和产品。我们提供了有关系统和控制对工业重要性的数据，确定了学术界历史上未能参与工业生态系统的关健原因，并讨论了潜在的解决方案。特别关注从实验室的控制到现实世界环境等一系列

层面的研究成果验证。我们认为，缺乏验证是技术转让的一个主要障碍，学术界可以在缩小这一差距方面发挥关键作用。

我们进一步提出了一条更好地参与合作创新生态系统的途径。这可以揭示学术界的新研究途径，并最终实现系统和控制的社会影响的范式转变。

5.2 参与工业生态系统

控制系统在航空航天、汽车、生物医学、建筑等众多应用领域和行业领域发挥着核心作用。大量且不断扩大的与控制相关的产品、服务、系统和解决方案证明了该学科的社会重要性。

尽管存在这一事实，或者可能正因为如此，由于满足如此多样化的需求需要对基础理论和方法进行广泛的抽象，目前工业界对控制研究界的参与程度很低。这对双方来说都是不利的：行业需要更长的时间才能从新的研究结果中受益，而且研究工作很少了解现实世界的需求。行业参与度的典型转变是必要和及时的。我们认为，加强控制研究界对行业和应用的理解对于弥合差

距至关重要。在^[2]中，为此列举了对照研究界的 10 条信息。在这里，我们进一步抽象了这些信息，确定了理解的五个关键“维度”。

1. 先进的控制技术在其影响和对其的认知方面有很大差异

2. 控制研究界普遍不知道先进控制的影响

3. 现实世界的成功需要对相关领域的理解

4. 控制技术实施的基础设施和体系结构是具有行业特色的

5. 先进控制不仅仅是反馈控制……这是一种以系统为导向、严谨的心态。

6. 控制科学与新兴技术具有广泛的相关性

7. 企业研发可以（有时）作为学术研究技术转让的桥梁

8. 降低成本是控制行业创新的高度优先事项

9. 经济预期影响行业对研究的投资

10. 行业与学院的脱节延伸到了教育。

在详细阐述理解行业和应用维度时，需要突出不同的行业部门、产品和服务类型、公司，甚至公司内部的不同群体或业务。在每种情况下，都可以应用特定的、通常是特殊的上下文、需求和考虑因素。我们可以定义知识和理解的五个维度，所有这些维度都应该被寻求在工作中产生行业影响的研究人员所跨越：

- 科学：这里我们指的是物理学、化学、生物学或其他科学领域，这些领域是自动化和控制所要解决的问题的基础。例如，在开发非线性石化过程的控制算法时，对反应化学的理解很重要。同样，对于飞行控制，必须了解空气动力学。所涉及的领域不一定是一门自然科学。计算机和通信科学是软件和计算应用的基础，与当今的 CPS 相关。所涉及现象的动力学是用控制系统研究人员熟悉的语言呈现的，当然，这就是数学。因此，工业应用的这一方面完全在这些研究人员的舒适区内。事实上，控制研究者可能会错误地认为，一旦他们掌握了应用领域的科学基础，他们的理解就基本上完成了。
- 工程：在这种情况下，我们指的是与给定应用程序相关的目标、要求和约束。示例包括安全性和可靠性、以控制速度或精度衡量的性能、效率或控制努力、网络安全和成本降低。最后一点值得强调：^[2]中报道的一项最近对行业部门的调查发现，除一个行业外，降低成本是所有行业的三大要求之一（唯一的一个是医疗技术）。然而，大多数控制研究项目的重点是性能和鲁棒性，通常没有考虑降低成本。
- 技术：自动化系统的工程涉及通常特定于行业部门或应用领域的技术平台和组件。这些组件和平

台的部分列表将包括：

- 传感器和执行器，必须了解其局限性和功能
- 计算引擎，可以是嵌入式微处理器、集中式计算设施，以及最近的云托管应用程序
- 通信网络，其带宽和延迟将影响控制设计
- 实时操作系统
- 用户界面行业特定自动化的技术元素通常是标准化的。这些标准通常是开放的，但并不总是全行业的。控制系统和组件的供应商或大公司本身可能要求遵守其规定的通信协议或接口。熟悉技术标准和实践将有助于将研究成果转化为功能产品。
- 经济：任何上市公司的首要目标都是赚钱。公司高层的决策首先考虑到这一目标。无论是用于投资的资金还是用于发展的人员，资源总是有限的，高管们在决策时必须考虑风险 / 回报的权衡。重要的考虑因素包括：一个新的开发项目的商业化成本是多少，预计投资回报是多少？这些数字与其他机会相比如何，无论是否在同一领域？目标应用程序行业是否在增长？如果是，复合年增长率（CAGR）是多少？竞争格局是什么？它是否支持所需的投资？
- 社会学：我们使用这个词有点松散，指的是工业部门的人文因

素。例如，什么类型的操作员或工程师可以安装、调试和维护高级控制解决方案？运营人员的教育水平和组织中博士级资源的可用性可以决定研究开发被纳入商业实践并被束之高阁。劳动力是否加入工会会影响培训需求和对解决方案的接受，这可能导致一个领域失去工作，而另一个领域获得工作。

总之，弥合研究结果与其在行业中的可用性之间的差距是实现结构性行业参与的关键一步。在本章的其余部分，我们将重点关注技术维度和研究 - 验证 - 过渡工作流程，将其作为未来的关键促成因素。

5.3 验证

从基础研究到解决现实问题的道路漫长而复杂。可以通过分析证明新的控制方法相对于标准方法具有显著的优势，但为了获得最终实施者（无论是公司还是政府监管机构）的信任，必须完成广泛的验证工作。在最终的预生产设置中进行实验验证过于耗时且成本高昂。因此，我们通常会采取一系列不断增加复杂性的中间验证步骤，从基于第一性原理和 / 或数据的模拟模型和半实物数字孪生到成熟的实验装置。

虽然在更接近最终目标应用的环境中验证理论结果有明显的经济效益，但验证过程可能会提出原始控制设计尚未理想解决的

问题，从而引发新的研究。除了理论的泛化之外，这些应用程序提供的上下文也是非常宝贵的。它有助于进一步理解事物为什么会以这种方式运作，并使理论能够获得更大的价值。缩小理论及其对现实世界的影响之间的差距，对于吸引新的研究人员和学生进入该领域以及吸引公众也至关重要。这在其他社区是非常有效的。一个例子是 ImageNet 数据集^[3]，它通过提供比较算法和方法的通用基准，有助于推进计算机视觉和机器学习的研究。它也被用于基准测试计算方面，如硬件加速。OpenAI Gym^[4]为评估强化学习算法提供了类似的环境。Kaggle^[5]是一个众包的机器学习研究平台。它开始举办比赛（一直持续到今天），但它也成为了一个公共数据平台，提供广泛的数据集和教程。任何人都可以举办 Kaggle 比赛，并邀请社区参与。尽管一些比赛开始出现在会议上，比如 2020 年国际电子消费品联合会世界大会上，但控制界在很大程度上缺乏这种游戏化（gamification）的研究。

对照出版物在参与 IEEE 的可复制研究计划方面也落后^[6]。

在接下来的三节中，我们将讨论验证基础设施在实现新的控制开发方面的主要组成部分、挑战和潜在好处。我们的目标是可为部署的大规模、真实世界的控

制系统制定验证基础设施的路线图。关键要素包括建议一系列验证步骤，倡导开源验证资源，并呼吁创建可供社区自由使用的标准化测试和基准，以增加控制系统技术的影响。通过验证基础设施，我们指的是整套工具，包括实验硬件、模拟软件、数据集和基准，这些工具可以帮助证明控制方法的好处。

验证过程包括将控制方法应用于基准问题、不同复杂性的模拟、实验室实验试验台和按比例（尺寸和扩展）的实验原型。我们首先简要介绍了专注于这些验证阶段中的一个或多个阶段的各种努力，然后对这些步骤进行了更详细的描述。

5.4 基准和试验台的现状

控制方法或技术有多个层次的验证，从详细的模拟到硬件在环实验和数字孪生，每个都具有不同的精度水平。

控制研究经常利用标准的抽象问题，如倒立摆、（可能）互连的质量弹簧阻尼器系统和（多个）水箱。所有这些示例都可以很容易地表示为控制系统，因此很容易用于控制方法评估。

在评估特定目标应用中的控制方法时，进入实际实验之前的第一步通常是在详细的仿真模型上验证控制方法。在许多情况下，这些模型和工具已经建立并与整个控制和研究社区共享。一些例

子包括用于风力涡轮机和风电场容错控制的基准^[7, 8]，用于过程控制的纸浆厂^[9]，ADMIRE 飞机基准^[10]和 SMAC 工具箱^[11]中的 A320 模型，以及 PSAT^[12]（现在的 Autonomie）中包含的丰田普锐斯模型。有许多用于电网仿真和控制的仿真工具。特别值得注意的是能源国家实验室和 EPRI（电力研究所）生产的产品，其中包括用于配电网模拟的 OpenDSS^[13]和 GridLAB-D^[14]。在这种情况下，模拟模型通常不是可以直接用于控制目的的形式，因此提取适合所应用方法的面向控制的模型需要时间和精力。然而，这些基准提供了有价值的证据，证明控制方法有潜力在现实世界的应用中发挥作用。

数据集对于此类验证也是有效的。在信号处理的许多分支中，验证数据集非常常见；最古老的开放数据集之一是 UCI 机器学习库^[15]。

对于控制而言，使用预先记录的数据集更具挑战性，因为如果被控对象的行为被控制方法改变，数据也需要改变。尽管如此，数据集可以用作实际扰动，用于验证估计和故障检测方法，并确定模拟模型的参数。相关数据集（主要来自电力领域）的一些关键例子是 NREL 关于建筑、电网、太阳能、风能和交通数据的存储库^[16]；PNL 的数据集线器^[17]；

LLNL 和 CityBES 的开放数据倡议^[18, 19, 20]；以及 EPRI 的 EPRI10^[21]。其他例子是 PeMS 性能测量系统（PeMS）数据源^[22]，数据来自加利福尼亚州的大都市地区高速公路；美国国防部的建筑性能数据库（BPD）^[23]；以及用于感知和自动驾驶的 NuScenes^[24]。近年来，通过公共、私人 and 政府的努力，数据集变得越来越可用。在撰写本文时，上述 Kaggle^[5] 返回了 2880 个关于新冠肺炎的数据集，6 个关于机器人导航，22 个关于故障检测。GitHub^[25] 和谷歌的数据集搜索引擎^[26, 27] 是其他很好的数据集来源。商业出版商还提供数据集存储库，如 IEEE DataPort，爱思唯尔的开放数据工具，提供数据集链接的参考文献^[28]，以及通过 ArXiv 提供的软件。

进入物理世界，第一个验证步骤涉及在实验室试验台上实施，该试验台可以在小规模上复制真实的应用系统。例子包括^[29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38]，它们涵盖了汽车、航空航天、机器人和空调应用。在电力系统和能源研究中，有几种工具将硬件作为测试的一部分。一些例子是商业工具 RTDS^[39]、Typhoon HIL^[40] 以及 NREL^[41] 的电网模拟和电力硬件在环。工艺和金属行业中的专有数字双胞胎也越来越普遍，尽管它们使用商业平台，并且不

公开（例如，见 gPROMS 平台^[42]）。

近年来，在提供共享和远程访问的试验台方面取得了成功，这些试验台可以作为实验评估的标准平台。一个例子是麻省理工学院的 SPHERES^[43] 试验台，该试验台允许研究人员通过客座科学家计划（GSP）在国际空间站（ISS）远程部署控制算法。除了由宇航员操作的飞行试验台外，SPHERES/GSP 试验台还包括一个供研究人员在本地运行的模拟器。最近的一个例子是佐治亚理工学院的机器人实验室^[44]，它能够在世界任何地方部署多机器人控制的算法。用户可以使用 Robotarium 仿真 API 在本地测试和开发算法，然后通过上传代码将其部署到实际工厂。代码被无限期地存储，允许以后使用相同的配置重复和验证实验。Duckietown^[45] 提出了一种略有不同的方法，这是一个用于自动驾驶汽车实验的开源平台。这不是一个远程试验台，而是开发标准化本地部署的蓝图。DERConnect 是 NSF 赞助的国家基础设施，用于大规模试验真实和模拟的分布式能源和分布式控制^[46]。这一国家资源目前正在建设中，将远程提供给学术界和工业界的研究人员和从业者。

在转向实际的“类似预生产”测试之前，最终也是最具挑战性

的实验验证利用了开放但有限且可能受到控制的环境中的真实尺寸的试验台。在这些情况下,控制方法部署在一个原型上,该原型与潜在的最终产品非常相似,需要应对与现实生活中遇到的类似条件。但它的运作更为有限,因为一些外部强加的环境是为了激发特定的行为而形成的,但也可能不像现实生活中那样随机和丰富。一些例子(特别来自自动驾驶、智能城市和机器人)是丰田的 Woven City^[47],用于测试未来的智能城市技术, Mcity^[48]用于自动驾驶,竞赛如 DARPA 大挑战^[49]、城市挑战^[50]用于自动驾驶、机器人挑战^[51]和地下挑战^[52]。

5.5 验证步骤和相应工具

新控制方法的验证及其在实际工厂的实施通过多个步骤进行。从基础研究到实际应用,这些步骤根据应用的过程有不同的定义。一个特别著名的例子是美国国家航空航天局的技术成熟度(Technology Readiness Levels)^[53]。TRL 涵盖了美国国家航空航天局航天器从基本原理研究(TRL-1)到最终系统部署(TRL-9)的新技术的演变。较高的TRL自然适应特定的开发组织(通常是公司或政府实体),而学术界、政府和工业界的大多数开放获取研究(以及它们之间的合作)往往涵盖TRL-1到TRL-5

或TRL-6。

每个TRL都需要特定级别的验证,与原型的成熟度、执行的测试类型以及开发这些测试的环境有关。

受TRL的启发,但由于我们专注于开放获取研究领域新技术的验证,结构略有修改,我们在下面列出了一些主要的控制验证级别。他们从基础研究到最终部署组织,即当他们提供了足够的证据表明他们可以在实践中工作时。

1. 方法评估: 这一级别通常包括在相对简单和标准化的基准上进行的模拟研究。这些研究旨在“干净”、不受干扰的环境中确认理论发现,在偏离理论假设时评估该方法的局限性,并为将新技术与现有技术进行比较提供数据。在这里,关键是要有一套适当的、被广泛接受的基准,或者确定具有挑战性的基准,以突出所讨论技术的相关和新颖特性。自然,随着行业标准的进步,这一系列基准也会不断进步。此类集合应在手册中进行充分解释,并在一些(或大多数)标准开发平台(如Python、Julia、MATLAB)的可用开源代码中进行维护。示例:标准控制基准,如倒立摆、水箱系统、质量弹簧阻尼器系统或带柔性轴的直流电机。

2. 应用评估: 之前的验证

步骤应该提供一系列关于新技术将如何处理给定应用的特定问题的假设。它还应解决当前用于该应用的最先进方法的特定局限性(相对于性能、成本、稳健性等)。第二个验证步骤通常包括使用简单的工厂模型进行模拟研究。这些模型与用于控制设计的模型相似,但并不等同;它们可以具有用于快速评估技术的低/中等保真度。在这里,关键是使用足够简单的模拟模型来提供清晰的数据,并且运行简单快速,同时仍然捕捉到最终应用程序最具挑战性的特性。示例:应用的经典模型,如车辆动力学/运动学^[54, 55, 56],航天器运动方程^[57, 58],机器人操作^[59, 60],使用IEEE标准的电路/网络,生物系统^[61]。

3. 性能分析: 这是指在实际实施之前,对新技术对实际计划的更现实模型的潜在影响进行现实的评估。第三步通常包括采用高保真度的工厂模型的模拟,该模型与面向控制的模型相去甚远,可以包括有限元方法、多体动力学、辅助建模语言和面向程序的模拟模型。这些模拟通常执行起来要慢得多。它们还可以在环路中包括有限的硬件。访问真实的模拟模型是至关重要的。它们通常由第三方提供,以避免对结果产生偏见。它们也应该易于连接和使用,以便能够快速开发和分

析结果。模型的可靠性可以通过“调整”来进一步评估，使用目标应用程序（或类似应用程序）的真实或合成数据。示例：在面向模拟的软件包中开发的高保真度模型，用于一般物理，如 Modelica、Simscape、OpenFOAM、COMSOL^[62、63、64、65]，或用于特定应用，如 CarSim、CarMaker 用于汽车^[66、67] 和 Ansys STK 用于航天器^[68]，以及现实生活中的数据集，当可用于应用并适用于开发的功能时，也可能用于校准模拟模型。

4. 原型评估：这包括在受控的实验室环境中，在受到实际工厂典型干扰和缺陷的情况下，对缩放系统上的技术进行评估。该验证旨在验证新技术在物理工厂的运行情况。在实验室环境中，它对典型干扰和缺陷的鲁棒性得到了验证，它的执行也得到了实时验证，并带有真实的通信约束、计算和通信延迟。尽管可以缩小规模，但试验台必须受到干扰和建模误差的影响，这些干扰和建模错误会在实际应用中捕捉到主要的对应误差。它还应该易于管理、修改和扩展。示例：硬件在环设置^[39、40、41、46]，实验室试验台^[29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、45]，以及远程可访问的试验台^[43、44、46]。

5. 原型演示：这是指在有限的、受监控的开放环境中对整个计划进行最终评估。该验证评估

了全尺寸工厂或最小规模工厂在实际条件下的技术运行情况。关键是能够访问一个开放的环境，在这个环境中，可以安全地测试技术，同时由一组在最终应用程序中不可用且不被技术直接使用的资源不断监控。示例：节能/智能建筑的原型^[69] 和智能城市^[47]，自动驾驶汽车的真实测试区^[48、70]，以及^[49、50、51、52] 等比赛。

5.6 验证基础设施的预期特征

^[71] 对传统控制系统试验台进行了很好的概述，根据 Emulab 试验台^[72] 的早期工作，概述了一套成功的工业控制试验台的重要标准：

- 保真度 – 试验台应尽可能准确地表示物理系统。
- 重复性 – 重复实验应产生相同或统计上一致的结果。
- 测量精度 – 监测应准确，不得干扰实验结果。
- 安全执行 – 研究活动不应物理系统和人身安全造成任何破坏性影响。

控制系统研究不断发现新的目标应用，从自动化车辆到智能城市，从合成生物学到社会动力学，从自主航天器到成群的无人机。因此，用于证明新控制方法影响的验证基础设施也必须不断发展。基于控制系统在近中期的已知和预测目标应用，我们概述了除了^[72] 中的那些之外，验证基

础设施应该具有的一些额外特征，以提供有效和令人信服的结果：

1. 多领域：随着系统变得越来越复杂，涉及来自多个机电、生物、信息和人类/社会领域的元素，其验证基础设施应始终支持所有这些领域，或至少支持其中几个领域。因此，研究这些领域的相互作用以及控制方法在每个领域的性能是很重要的。具有多领域特征的例子包括仿生机器人、混合动力/电动汽车、暖通空调/建筑控制、人群运动控制、意见动力学、深空航天器和流行病学。

2. 复杂性可扩展：系统复杂性的另一个维度是系统组成的“部分”及其耦合（例如，多智能体和可能的异构系统、多组分系统、分层控制架构和互联系统。）验证基础设施应该能够扩展和验证这些不同组件之间的交互。例如：救灾机器人团队、联网自动化车辆、自动驾驶软件架构、电网、智能城市和基础设施，以及更广泛的大型 CPS。

3. 实现第一原理和数据的集成：所有应用程序都基于基本物理原理，但没有一个物理原理能够完美地模拟观察到的现实。因此，验证基础设施必须能够实现第一原理建模、基于数据的建模，尤其是基于物理的建模与基于数据的模型的集成（即所谓的数据增强模型设计）。例如：动力系统

(传统和混合动力)、蒸汽压缩循环、机器人和自动车辆运动、人群建模和社会信息动力学。

4. 数字化和网络化架构：控制应用扩展的核心是通过通信网络互连的计算资源的普及：微处理器、嵌入式系统、GPU、边缘计算机和云资源。尽管这些资源广泛存在，但仍然有限，因此验证基础设施需要能够评估软件架构、连接要求、计算负载和通信带宽对控制方法的影响，反之亦然。例如：自动化制造、联网自动化车辆、自主物流、多航天器 / 无人机系统。

5. 可移动边界：每个系统都是更复杂的系统和 / 或环境的一部分，不同的验证阶段可能会为不同地方的建模交互绘制边界线。验证基础设施必须能够移动这些边界线，以模拟系统组件和系统与环境的关系（在初始阶段）或较多（在后期阶段）交互。例如：电动汽车、电网、自动驾驶汽车、蒸汽压缩系统、人类社会互动系统。

6. 快速原型化：与最终应用程序不同，验证基础设施需要易于（重新）编程，以允许快速测试和快速更改方法，而无需花费过多时间来实现控制器。该体系结构应尽可能开放，并允许使用开源软件，可能使用不同的平台进行编码。示例包括：自动代码生成、交叉编译、虚拟化、ROS 集成、模块化体系结构和数字孪生。

5.7 将研究成果转化为创新和产品

前面的章节强调了将研发成果转化为创意并最终转化为产品的关键要素。显著增加控制技术初创公司和衍生公司在创新区的活跃度 1 是一个潜在的颠覆性机会。已经有重要的用例支持这种观点。在全球范围内，创新区将研究人员、早期企业家和企业领导者聚集在一起，在开放的生态系统中工作和生活。创新区的战略和商业模式在过去几年中发生了巨大变化。公司已经从封闭的创新模式转向更开放的方法，即组织在协作网络中工作，并在以前不相关的行业之间形成新的合作伙伴关系。

创新区有别于传统的科学或商业园区。与孵化器不同，它们包括整个生态系统中的各种企业，从初创企业到大公司。它们很适合在不同部门之间趋同的领域开展复杂的多学科活动。作为一种关键的赋能方法和技术，系统和控制非常适合在创新区般的生态系统中发展，具有从一所或多所顶尖大学采购人才和研究成果的有效管道机制。主要机构可以产生巨大的市场价值，尤其是那些“研究密集型”机构。创新区将大小公司、大学和研究中心聚集在一起，以促进关键工业部门的前沿进步。这些生态系统遵循开放创新范式，即不同领域和企业之间的协同作用可以加速发展，并

为市场带来强大的新解决方案。从最初的头脑风暴到产品发布，所有参与者都在整个过程中分享和协作。这种共享包括知识产权（IPR），只有在较高的 TRL 下，不同的公司才能根据其产品定制其活动。这是控制工程等水平技术的理想生态系统。

5.8 结束语

在本章中，我们重点讨论了如何缩小学术研究与产业需求之间的差距。我们发现了从技术到社会学等各个不同维度的障碍，这些障碍在历史上阻碍了研究结果转化为有影响力的产品。我们相信验证将是技术转让的一个关键组成部分，我们已经提出了一种结构化的方法来引入不同层次的验证。这种范式的转变将需要新的通用测试台和用例，以及学者和从业者之间自由合作的新精神。

在本节中，我们列出了一系列关于推进验证领域和促进转化为创新和技术转让的建议。

短期

- 强调验证在基础研究应用中的重要贡献。

利用期刊，例如《IEEE Transaction on Control Systems Technology》和会议，应强调控制研究的验证（尤其是步骤 3-5）。推动以验证为重点的特别会议和特别问题，并使验证在论文征集中可见。

- 重新聚焦 CSS 出版物，包

括 Control Systems Magazine CSM，定期专题报道行业感兴趣的内容和研究人员可以从了解行业观点的文章。或者，可以创建一个新的面向行业 and 应用的出版物。

- 支持与新型控制研究相关的开源代码分发计划。

代码分发将促进结果的再现性，有助于传播知识，加快进展，并加强控制研究最终实施者的信任。

- 为感兴趣的控制专业学生、教师和年轻专业人士提供与行业和创新相关的培训。这可以通过研讨会、短期课程、网络研讨会等方式来实现。这些产品可以涵盖业务基础和创新管理主题，以及行业应用概述。

- 在以研究为导向的控制会议（如 IEEE CSS 和 IFAC）上启动“行业专家”计划，以促进行业参与。该计划可以为选定的行业领导

者提供专业的荣誉，并支持前往我们的会议进行演示和策划讨论。

中期

- 扩展一套标准基准，并向控制研究人员公开具有挑战性的工业应用的数字双胞胎。除了倒立摆、双积分器、水箱控制、连续搅拌釜式反应器、简单的四旋翼机等，新的基准应该能够对新的控制方法进行比较和分析。这些基准应该是现实世界的动机，足够简单，可以对方法进行明确的早期评估，并且足够通用，可以解决未来控制研究的多个方面。

- 促进和支持能够获取、完善、验证和开放分发数据的举措，以配置和校准真实的模拟环境。

鼓励向整个社区提供这些信息将有助于在标准测试基础上对新的控制方法进行进一步的比较分析。

- 支持和鼓励开发共享的、现

实的、小规模的原型，以评估实验室和小型测试设施等安全可控环境中的控制。

实现远程访问将使整个社区受益于测试控制研究成果的标准化方法。

长期

- 聚合、开发和推广高保真度验证平台，尤其是模拟器，专注于现实的开源平台，在将方法转化为现实世界的应用程序时提供高度的财产保护。

- 支持和激励与公司和政府实体建立伙伴关系，以建立更大、更现实的全规模和准全规模试验台。在将技术转让给最终实施者之前，这种受控和监控的环境将提供最强烈级别的验证。

- 促进研究文化的发展，促进高影响力产品的翻译，并一劳永逸地弥合理论 / 实践差距。○

社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（十二）

文 / Anuradha M. Annaswamy、Karl H. Johansson、George J. Pappas

翻译 / 曲阜师范大学 郭俊祺、三峡大学 吴泽彬

6. 教育

本章作者：

João P. Hespanha, Christos

G. Cassandras, Panos J. Antsaklis,
Gireeja Ranade, J. Anthony
Rossiter, Florian Dörfler,
Steven L. Brunton

教育是控制系统发展和繁荣的主要催化剂。本章讨论了大学课程在这一研究领域的变化。它对需要强调的概念和方法以及适

应新一代学生的方法提出了具体建议。

摘要

面对飞速发展的社会挑战，控制系统领域的持续增长和成功，将依赖于在快速发展的社会规模挑战下不断的学习和教育。

虽然我们认识到有必要扩大对中学生和高中生的宣传，但我们认为在科学和工程的所有领域都有更广泛的需求。因此本报告的重点是大学层面的课程改革。我们召集了本领域的专家小组，他们审议后提出了三项关键建议：

1. 控制系统导论课程应强调控制更广泛的适用性（可适用性）。

2. 控制系统课程应尽早是在大学课程中开设，目的是教授更广泛的学生群体基本概念。

3. 鉴于控制系统领域的范围，模块化组织教材可能是传授知识的更有效方式。

这些建议是基于支配 21 世纪技术的系统的控制设计需要新数学模型和方法的认识。特别是对不确定性增加的非线性系统、人机闭环系统以及具有安全性和可恢复性的涌现性的系统。

同样值得特别关注的是具有混合动力学特性的系统，即时间驱动动力学（对于物理过程）和事件驱动动力学（基于计算机和网络组件）的组合。本报告为如何架构和命名新课程，适应新一

代学生，决定要强调不同的概念方法，以及确定可构建课程的合适模块提供了具体建议。我们还包括一个目前正在使用的新的导论课程的例子。

6.1 现状与未来展望

在控制系统领域，我们的总体目标是使系统按照期望的方式运行。显而易见，该领域是由社会感兴趣和依赖的系统驱动的。在研究和发展控制机制时，我们设法理解这些系统的特性和动力学行为。随着全世界需求祈愿的发展演变，这些至关重要的系统变得越来越复杂。我们需要解决的问题不仅更具有挑战性，而且性能期望更苛刻，规格更严格。

确定控制发挥越来越重要作用的应用的关键社会驱动因素包括：

- 哺育世界，数字农业
- 气候变化
- 太空：最后的前沿
- 水下探索
- 生物医学工程和疾病控制
- 共享经济
- 网络安全
- 地缘战略

这些例子横跨航空航天、生物学、经济学等众多学科，说明了控制系统应用范围之广。教育将是应对这些迅速演变的挑战的关键。

教育包括 K-12 级别以及本科和研究生水平的课程。它还超

越了正规课程，进入了填补课程之间空白并满足特定行业需求的专业培训。在这里，我们将我们的探究限制在控制理论与工程的大学水平课程。然而，我们确实认识到有必要对中学和高中学生进行宣传，并在中学后的学习环境中培养创业精神。

在教育方面，培训和行业参与的主题也至关重要，我们请读者参阅第 5 章。

6.2 课程改革

我们的专家小组成员提出了三项重要建议：

1. 控制系统导论课程应强调控制更广泛的适用性（可适用性）。

2. 控制系统课程应尽早是在大学课程中开设，目的是教授更广泛的学生群体基本概念。

鉴于控制系统领域的范围，教材的模块化组织可能是传授知识的更有效方式。

6.2.1 更新第一门控制课程以获得更广泛的适用性

为什么更新控制导论课程是一个重要而迫切的需求？与 20 世纪中后期的技术革新不同，世界上的新兴系统具有非线性、增加的不确定性特征（例如，人机闭环）和混合动力学特征，即时间驱动动力学（对于物理过程）和事件驱动动力学（基于计算机和网络组件）的组合。现在这类系统通常被称为信息物理系统。这

些系统的控制设计需要新的数学模型和方法。

频域与时域方法：频域方法在电气工程中如此普遍，与线性常系数常微分方程（ODEs）有密切联系——这通常是初学者接触到唯一的控制设计方法。但它们可能并不是传达控制的一般性和重要性的最佳方式。在入门课程中，仅仅关注使用传统方法（如伯德图、奈奎斯特图和根轨迹法）设计 LTI 控制器已经不够了。重要的是引入比线性常系数常微分方程描述的系统更通用的系统，包括非线性模型、自动机和混合自动机的结合。对控制系统的现代理解必须针对学生日常生活中的系统，从嵌入在智能手机和便携式医疗设备中的数字控制元件到按需移动和自主无人机团队中的大规模网络系统。

这就提出了一个问题：导论课是否应该强调建模、基于优化的控制、数据驱动的控制和时域方法？尽管讨论巧妙的设计方法可能令人兴奋，因为它使用了在数字化时代之前引入了在频域中使用的近似关系和快捷方式，但这并没有解决当前学生的兴趣。

接受计算方法：传统的控制类课程主要以解析法为主，但在他们的职业生涯中，学生将会依赖计算技术。控制课程不应抵制这种范式转变，而应定位并突出分析与计算之间的协同作用。例

如，经典的超前 / 滞后补偿与数值回路成形技术之间，或动态规划与强化学习之间。这种新方法的主要挑战之一是确定一套基本的计算工具，以解决那些吸引 21 世纪学生想象的问题类型。例如 LMIs、平方和规划（SOS），以及 MPC 的雏形。可以通过 Jupyter Notebooks 或其他工具，在一年级课程中引入最小二乘等计算技术（用于系统辨识或其他数据驱动控制）。

融入机器学习：机器学习和人工智能的兴起为创新控制理论教育提供了另一个机会。毫无疑问，机器学习正在改变我们的现代工程世界，学生表达了对该课业的强烈需求，以使它们能成这个激动人心的未来的一部分。

从数据优化建模的过程显然可以看出，机器学习与系统辨识领域密切相关，后者自 1950 年以来一直是控制理论的基石。在控制理论和机器学习的交叉点上有几个主要的研究机会，每一种都激发了一种崭新而引人注目的课程。“学习控制”是系统辨识的直接苗裔，能够对复杂系统进行数据驱动的特征，这些系统具有挑战性且往往是非结构化的动力学，不容易用简单的解析式表达。

这种数据驱动的方法为自主系统和其他安全关键型应用的认证性和保证带来了新的挑战。最后，处于控制理论和机器学习

交叉点的强化学习是发展最迅速的领域之一，为通用人工智能提供了通衢。学生被这些新技术所吸引，既是因其塑造未来的能力，也是因为基于经典和现代的方法，其在教育中的附加价值具有核心优势。

适应我们的学生：在电脑游戏和智能手机的时代，今天的学生渴望看到控制理论与真正令人兴奋的应用领域的直接联系。他们希望在深入研究技术细节之前，先看到大局。传统的建议——“学几年数学和物理，然后一切都会水到渠成。”——这句话已经行不通了。

它所要求的注意力的持续时间已经大大缩短了。我们不应该哀叹这一新的现实，而应该适应它并采取新的方法——也许是彻底颠覆教学秩序。

当我们无法将控制原理和激发学生兴趣的应用实例联系起来时，我们会抛掉控制系统。与其说这些原理是多么强效，不如说控制领域对我们日常生活的方方面面都如此的重要，我们又退回到控制是“隐性技术”的境地——这一朗朗上口的格言，并不有助于该领域的成长。

为了适应新一代的学生，我们必须记住，现在有相当一部分大学生来自非传统的社区（在许多情况下生活水平积贫积弱的地域）。甚至连“工程”这个词也

可能是陌生的，在社会领域和教育领域其优先顺序可能有相当大的差别。在设计介绍控制原理及其在解决社会需求中的应用的课程时，我们需要对这一事实敏感。虽然尚不清楚该趋势是否与特定的地理区域或社会结构有关，但它无疑是有据可查的，需要我们多加关注。

举个例子，加州大学伯克利分校（University of California, Berkeley¹）的一门名为“信息设备与系统设计”（EECS16AB）的课程采用了模块化方法，如后文6.B.3节所述。它还通过实际应用引入线性代数和控制概念，激发学生进入领域（例如医学成像和断层扫描、GPS设计、脑机接口和机器人学）。这些应用让学生看到控制理论所依据的数学的真正力量。

学生在动手操作的硬件实验室中实际构建这些应用的简化演示。图6.1展示了学生在课程序列中被分配的第一个实验室——医学影像实验室。学生将一系列掩膜投射到他们想要成像的物体上。

通过这样，他们可以像在层析成像装置中一样建立一个线性方程组（未知变量是组成图像的像素），并求解这个方程组来重建图像。这种简化版本的层析成像演示了如何使用线性代数来建模一个系统，同时让学生了解在实际工程环境中发生的事情。矩阵

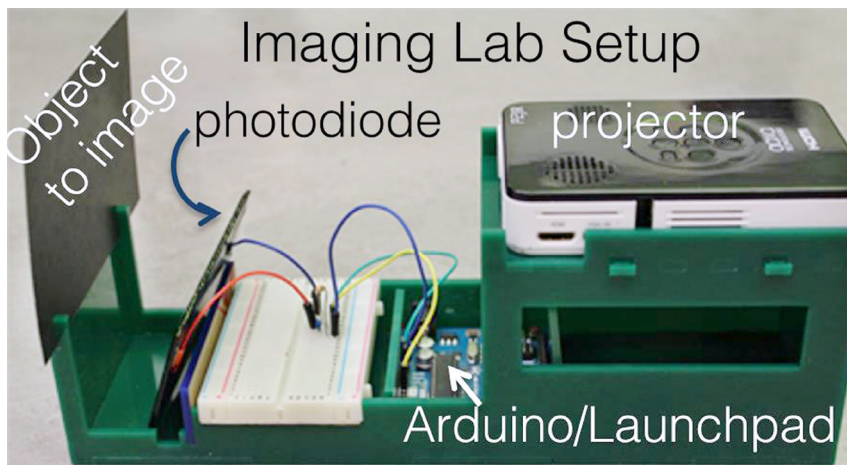


图6.1 EECS16A 成像实验室示意图。投影仪照射物体成像，反射光由光电二极管收集，光电二极管连接 Arduino。通过使用不同的光照掩模，学生收集不同的像素线性组合，并可以使用矩阵求逆来生成图像。

求逆和高斯消元算法本来可能被认为繁琐，也可以通过这样的实际应用来引发。

有意义的新课程标题：一个叫控制系统的选修课程可能没有吸引力。使用“建设自主系统”这样的名称可能更可取。事实上，自治系统是更一般和更宏大的控制系统。它们可以在显著的不确定性下实现许多目标。根据具体机构的课程、优先事项和社区角色，控制系统的导论课程可以采用新的名称。

6.2.2 尽早引入控制系统课程，为了更广泛的受众

控制是生物学、政治学、经济学、工程学等不同领域的重要概念。因此，我们需要大幅拓宽介绍性控制班的目标受众，同时保持该领域作为一个独特学习领域的完整性。

从我们的国际小组中出现的

一个认识是，世界各地的教育体系在班级规模、行业影响、必修与选修课程等方面存在显著差异。在世界上的一些地方，每个工科学生都要上控制理论基础课程。在美国典型的电气工程专业课程中，第一门控制课程往往是大三或大四的选修课，而在机械工程专业，控制概念则嵌入在几门本科课程中。

控制概念的广泛适用性既是优点，也是缺点。为广大学生开设的课程可以从依靠计算模型的简单问题开始，以后再引入数学描述。导论课程不需要深入到理论层面——反而可以把重点放在实用工具和基础概念上。这样的课程改革可以为这个领域吸引新的人才，但现在就需要实施，因为它们需要几年的时间才能产生全面的影响。

需要强调的关键概念：也许

控制中最重要的概念是建模。模型概括了我们对任何感兴趣过程的了解。比方说线性或非线性的 ODEs, PDEs, DES 模型, 如自动机和 Petri 网, 数字仿真, 文字描述, 具有参与规则的数据集等。

线性常系数常微分方程代表了我们所拥有的最简单的数学动力学模型, 由于我们对它们了解很多, 可以作为关键的例子。应该明确的是, 模型总是真实过程的近似值, 过程和环境总是存在不确定性, 而这些不确定因素通常无法直接测量。

为了有效地控制系统的行为, 我们首先需要稳定性, 使得当系统受到扰动 (例如飞机在阵风) 时能够恢复到之前的状态。同理, 为了使系统对大的变化做出反应, 需要有适应性。目前“自适应控制”的定义仅限于较小的变化。适应性需要从更一般的意义上进行教学, 应与故障诊断、控制重构、机器学习等联系起来。学习理论的要素也是现代控制系统的重要组成部分。

控制具有不确定性的系统所涉及的最有力的概念是反馈。重要的是要认识到反馈超越了模型。工程系统 (包括车辆、机器人、制造和化工过程控制)、生物学、经济学、政治学和环境学中的反馈机制无处不在, 可以通过简单的解释和例子介绍。

关键方法: 一个面向广泛受

众的控制系统课程应该从使用状态变量描述的时域方法开始 (如状态反馈方法), 这些方法也可用于时变系统、离散事件系统等等。应继续教授常系数 ODEs 描述系统的方法以及使用传递函数的频域方法。强调优化在控制理论中的作用是很重要的, 它应该与线性规划、动态规划和线性二次调节等有效且流行的方法联系起来。

高度自治系统的新方法包括 CS/AI 方法。它们可以方便地用分层的功能架构来描述, 在这里, 为了实现更高的自主性, 我们需要从规划和学习等领域增加更高层次的方法。然而, 重要的是要明确区分控制和学习的作用。

一个面向广大受众的课程应该最大限度地利用模拟——可能包括能够激发学生参与性和创造性的竞赛 (如图 6.2 所示)。物理实验是可取的, 因为它们给人留下了持久的印象, 并代表了模拟可能无法捕捉到的现实世界的不确定性。然而, 它们更昂贵, 需要更多的维护。另一方面, 仿真更加灵活, 能够表现 (包括可能还不存在的大规模系统) 的多种情况, 真实感更强。对于特殊情况 (例如, MATLAB 和 Simulink 的例子), 有一个公开可用的推荐模拟集合是有益的。

更新后的入门课程会是什么样子? 我们设想一门由若干不同教育模块组成的课程, 如下所述。



图 6.2 一位自豪的一年级学生展示了她在加州大学伯克利分校的 EECS16B 项目的最后一个项目: 一个语音控制的机器人车。本项目使用主成份分析学习语音命令和极点配置来控制小车。

6.2.3 教学经验模块化

模块化方法设计控制导论课程的动机基于以下事实:

- 改变控制课程的主旨需要教师付出巨大的努力。几个基本主题模块的免费可用性——连同模拟例子和实验——将极大地促进新的课程创建过程。
- 想要更新控制导论课程的教师不可能等待新的教材。通过访问 CSS 或 IFAC 网站, 可以下载精心设计的讲义资料模块 (至少是详细的总结和选定的定义与方法) 以及仿真模块 (如基于 MATLAB), 大大方便了这一过程。
- 这些控制模块可以轻松添加到现有课程中, 例如机器人、通信、自动驾驶汽车或电力系统等。

这些模块的数量和深度将取决于分配时间和学生背景。在设计某些主题的适当规模的模块时,

需要花些心思。我们认为, CSS 应与 IFAC 共同成立本科生课程委员会 (IFAC 可能已经有了这样的东西)。该委员会可以评审提交的模块, 认证选定的子集, 以及组织和推荐那些通过认证的模块。

在一个具有广泛吸引力的样品课程中, 将向学生介绍系统建模、传感器和执行器以及决策等基本概念。系统科学的更广泛的作用, 连同控制系统, 应该是这样一门课程的组成部分之一。一个关于“反馈的力量”的获奖模块可以用以将这个传播到其他许多学科。

可能的模块会包含:

- 反馈
- 模型和不确定性
- 线性、非线性和混合 (时间驱动和事件驱动) 系统和简化的数学模型 (例如简化模型、抽象、基于 MATLAB 的计算模型和基于数据的模型)
- 稳定性
- 适应和学习

- 数据驱动控制
- 应用 (例如机器人、自动驾驶、智能电网等)
- 系统和安全等重要新兴课题

将控制系统基本知识模块化, 此理念也是基于我们不断增强的利用技术的能力。例如, 通过以下方式将实验带到学生的家里, 可以大大增强学生的学习体验:

- 小型、廉价硬件的可用性
- 以虚拟实验室的形式在世界各地共享资源的能力

近 20 年来, 随着大规模开放在线课程 (MOOCs)、混合课程以及更普遍的在线教育材料的出现, 教育发生了重大变化。自新冠疫情以来, 这些替代性的教育形式只会加强自己的地位。开放和在线课程材料有几个好处。

在线内容可以是模块化的、灵活的, 并针对特定的子受众进行量身定做, 而不需要为每一种编程语言、数学预备或应用领域的组合提供几个重复的课程。它们还提供了概念的分层访问, 使

学生能够在给定的时间内获得最重要的想法, 无论是 10 分钟、1 小时、1 周, 还是整个大学课程。

因此, 教授们越来越多地利用在线内容为自己的课堂服务。在线内容也意味着, 优质的教育材料并不只提供给富裕和一流院校的学生, 从而实现了教育的民主化。最典型的例子是 YouTube 频道 [youtube.com/@eigensteve](https://www.youtube.com/@eigensteve) 和 [youtube.com/@ControlLectures](https://www.youtube.com/@ControlLectures) (见图 6.3), 这两个频道具有国际观众, 包括农村地区的学生和其他无法获得本领域一流讲座的学生。

除了拓宽访问渠道之外, 在线材料对于那些寻求在自己的时间内提高技能的行业专业人士也很有用。尽管对 MOOCs 如何与面授教育有效共存还没有定论, 但至关重要是, 控制界继续接受和探索这些替代的教育形式, 既要尽可能地提供高质量的教育, 也要拓宽其在精英机构之外的机会和参与程度。

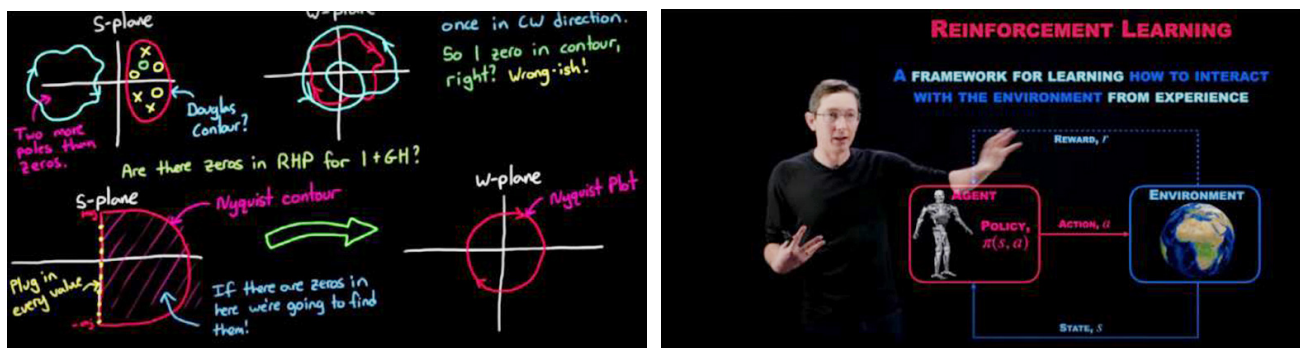


图 6.3 Brian Douglas 在 [engineeringmedia.com](https://www.youtube.com/@eigensteve) 的控制讲座的截图 (左)。
截图来自 Steven Brunton 在 [youtube.com/@eigensteve](https://www.youtube.com/@eigensteve) 的强化学习讲座的截图 (右)。

6.3 在课程改革中创造成功故事

上述三条主要建议擘画了控制系统课程修订的基本结构和内容。鉴于本章范围，我们没有试图解决如何教授建议内容的问题，也没有提供促进这些建议的具体案例研究的样例。然而，就像 1999 年 10 月 *IEEE Control Systems* “NSF/CSS 控制工程教育新方向研讨会报告” pp.53–58 所提到的，我们请读者参考至少一项先前的努力。

读者也被指向 2023 年控制领域年度回顾的一篇综合论文^[1]，其中包括三个具体的例子关于控制系统课程如何被带入 21 世纪在 i) 我们教的主题，并给出不同方面的重点，ii) 我们如何管理授课和学生参与，以及 iii) 我们如何使用实验室练习来支持学生发展。

第一个实例着重介绍了一个大型第一课的整体设计。第二部分着眼于不断扩大的口袋实验室领域，以及它们如何让学生有机会发展独立的学习技能并更深入地理解核心原理。最后的案例研讨了虚拟和远程实验室在支持包容性学习方面的作用。

最后，我们指出 IFAC TC9.4 在控制教育方面的工作已经界定了第一门控制课程（也是唯一的）的内容（参见^[2]），并且目前正在为那些被认为更相关的主题收集现有的网络资源。

对年轻研究人员的建议：

控制系统的导论课程应该强调控制更广泛的适用性。这类课程应该更早地进入大学课程，以便向更广泛的学生群体传授基本的控制概念。鉴于本领域的范围，模块化组织教材可能是传授知识更有效的方式。

对于资助机构：

资助机构可以征求建议，为适合入门课程的不同控制理论主题开发模块。

7. 道德、公平和监管问题

本章作者：

Anuradha M. Annaswamy,
Munther Dahleh, Matin Jafarian,
Françoise Lamnabhi-Lagarigue,
Mariana Netto

控制系统领域在设计技术方面将发挥至关重要的作用，不仅尊重人类的价值观，确保道德和公平，同时符合监管准则，而且还能保护我们的环境和自然资源。

摘要

实际上，控制系统的范围远比过去和现有研究所揭示的要广泛。与伦理、公平、公正和社会责任相关的研究对象明显不足。本章概述了与自治系统的伦理含义、公平和歧视以及与监管问题交叉的一些关键主题。

随着我们社区所致力于解决的问题规模增加，我们所涉及的系统的领域和边界也必然扩展。

当从单一系统转向人类发挥越来越重要作用的系统网络，从特定领域的性能指标转向更大的社会目标时，我们的视角从纯粹的工程转向了更广阔的科学和技术范畴。一系列新兴技术（如人工智能、机器学习、普适感知、物联网以及纳米、神经、基因和生物技术）正越来越多地应用于复杂的工程系统（如智能城市、自动驾驶车辆、先进武器系统和辅助设备）。为了确保在这些领域进行负责任的创新，研究人员需要重点关注伦理考虑。这对于实现更可持续、更公平的未来至关重要。

在本章中，概述了我们已经开始研究一些应用系统和控制工具的相关领域。在这方面出现的问题包括：

- 我们如何制定原则和指导方针，为技术的研究、设计、开发和采用的各个阶段分配具体的职责和责任？
- 在设计和部署这些新技术时，我们如何确保多样性、公平性和包容性？
- 我们应该如何处理不可预见的现象和不完全可靠的结果的系统？
- 我们如何评估和控制新兴技术，特别是自动化的应用对人类和环境的短期、中期和长期影响（物理、心理、生物、社会 and 生态）？
- 我们如何促进各级（包括工程师、其他科学家和政策制定者）

的教育和公众意识，以创造更具有道德意识和负责任的产品和服务？

7.1 自治系统的伦理学

最近，科研界都在致力于制定伦理准则研究。例如，在自主智能系统领域，IEEE 全球自主智能系统伦理倡议组织（A/IS）发布的《Ethically Aligned Design》报告^[1]基于三大支柱，涵盖了伦理和设计的人类学、政治和技术方面：

1. 人类共同的价值
2. 政治自决和数据代理
3. 技术可靠性

这些支柱构成了八个普遍原则的基础，被视为伦理设计的必要条件^[2]：

i. 人权——应建立和运作 A/IS，以尊重、促进和保护国际公认的人权。

ii. 幸福——A/IS 创造者应将增进人类福祉作为开发的主要成功标准。

iii. 数据代理——A/IS 创造者应赋予个人访问和安全共享数据的能力，以保持人们对其具有控制力。

iv. 有效性——A/IS 创造者和操作员应提供证据，证明 A/IS 的有效性和适用性。

v. 透明度——特定 A/IS 决策的依据应始终是公开的。

vi. 问责制——应创建和运行 A/IS，为所有决策提供明确的

理由。

vii. 滥用意识——A/IS 创造者应防范所有潜在的滥用和操作中的 A/IS 风险。

viii. 能力——A/IS 创造者应规定，操作员应坚持安全有效操作所需的知识和技能。

这种总体伦理框架似乎也适用于控制系统对自主系统的方法。我们可以努力确保在问题制定和技术开发的每个阶段都能履行这些原则。

7.2 道德与公平

随着技术的进步，其所带来的好处并没有平等地惠及社会的各个领域。有人认为，技术的发展往往忽视或甚至有害于公平和正义。在资源变得稀缺的情况下，特别是在零和情况下，任何开发出的计算框架都应考虑偏见、公平和正义的概念。有关这些概念的指标应该纳入整体问题陈述和计算解决方案中。这是非常必要的。

一条显著的研究线索是自动化对全球社区的影响^[3, 4]。例如，在^[4]中，强调了“尽管自动化的进步对现代生活和生活质量有重要贡献，但它们也在各个方面引发了关注。如果说技术和社会的联系在过去已经很复杂，那么在当今新兴技术的相互作用中，潜在的复杂性会更加迫在眉睫。”随着自动驾驶汽车、面部识别系统、基因编辑技术、量子加密设

备、机器人系统、外骨骼等新兴技术的出现，相关担忧已经超越了就业损失和不平等问题。自动化的发展迅速导致或加剧了人们对社会影响的更加关切，甚至超出了其带来的好处。在机器人领域，这个问题显然具有重要性^[5]。在更广泛的层面上，美国国家科学基金会（NSF）的倡议着眼于人类技术前沿的未来工作^[6]。鉴于人工智能（AI）和机器学习（ML）的爆炸性增长及其在物理和安全关键基础设施上的应用，所有这些讨论变得紧迫起来。在这个背景下，可以在^[7]中找到一个相关的框架。上述讨论提出了一个更广泛的伦理问题，即新技术提供的服务的所有方面都涉及公平、公正和诚实^[8]。因此，我们的研究所解决的问题必须包括一个关于伦理的整体框架。

7.3 监管问题

任何旨在被社会使用的产品都需要获得监管机构的批准。无论是在医疗保健、机器人、能源还是交通运输领域，世界各国的每个行业都受到适当机构的监督，以确保操作者和公众的安全。随着技术的进步和新产品的出现，技术转型必须考虑监管因素。早期的例子可以在医疗设备领域找到，美国食品药品监督管理局（FDA）作为监管机构负责确保智能医疗设备的安全性、有效性和安全性（请参阅本文档的 2.B

节)。有时,监管法规会与技术并行发展。

例如,针对道路交通的维也纳公约在新的先进驾驶辅助系统(ADAS)设计和部署后进行了修订。这表明技术和法规之间可能存在共同演进,从而实现更高效的社会运作。随着我们社区的研究范围不断深入涉及社会需求的领域,与监管问题的交叉点必将增加。技术进步不仅是渐进的,而且代表着重大突破时,这些交叉点变得更加重要,需要研究来引导和指导政策变革。一个例子是电力网络的当前范式转变。快速去碳化要求政策领域对电力市场结构以及各种新兴利益相关者的所有权、权益和特权进行重要的讨论^[9]。

在各个领域中,安全已成为一种无处不在的系统属性。无论是在机器人技术、自动驾驶车辆还是其他正在经历增加自动化和社会整合的应用中,安全问题至关重要。因此,必须制定、重制或重新审视安全标准,以应对这个不断变化的格局。安全标准由国际标准化组织(ISO)制定和维护。例如,ISO 10218-1:2011预先规定了机器人与其环境之间的安全距离,这导致了更严格的标准 ISO/TS 15066:2016 的出台,以支持人与机器人之间的协作环境。在欧盟,类似的努力正在进行,旨在引入跨所有成员国

的统一法规,以规范无人机在民用领域的操作。在涉及隐私和网络安全的领域,需要仔细解决监管问题。界定数据财产权和解决违规行为造成的损害只是监管机构需要关注的众多问题中的两个。建立激励设计准则将至关重要,以积极保护机器人、人工智能和工业 4.0 领域的基础设施安全。

在伦理和公平的背景下,可以设计特定的法规来确保不发生对有用技术的滥用。除了技术和法规的共同演进,法律和技术追求的平行发展也是必不可少的。

7.4 有控制的交叉

以下是一些需要考虑的重要控制理论问题:

1. 新兴技术的伦理问题:除了自主性,另一项新技术是细胞的重新编程(例如 CRISPR),它引发了严重的伦理困境。重编程是一种与网络学习相互交织的干预/控制新领域(如生物部分所讨论的)。虽然这个领域非常迷人,可以帮助我们消除严重的遗传疾病,但它也引发了关于社会如何运用这种技术的伦理问题,而且这种影响在很大程度上也没有得到很好的理解或赞赏。还有许多其他领域也引发了伦理问题^[4],包括人类增强技术、情感机器人(图 7.1)、社交媒体、网络安全和智能城市、神经技术、合成生物学、量子技术、纳米技术、自主武器(图 7.2)以及虚拟和增

强现实技术。正如^[1]中指出的,一个重要的普遍原则是“自主功能的行为对其操作者应是可预测的,那些创造这些技术的人应了解他们工作的影响,应制定专业道德准则以适当应对自主系统的开发以及意图造成伤害的自主系统,设计者不仅要采取措施确保有效的人类控制,还应积极提供给操作者和指挥官高质量的情境感知。”控制系统在理解机器学习、控制理论和优化等领域中起着重要作用。确保系统的稳健性、精确性和可预测性是解决伦理问题的关键。

2. 平台和内在偏见:平台通常基于设计一个允许多个代理之间交互的系统,并且这些系统通常是根据市场原则设计的。在线广告市场已经成为 21 世纪最大的市场之一。广告市场基本上是拍卖机制,企业(公司)竞争以获得平台上特定用户的访问权限。人们已经注意到,这样的系统可能会导致偏见。其中一个案例就是 STEM 课程的广告。从这些市场收集的数据表明,女性看到的 STEM 广告通常比男性少得多。有趣的是,这不是由于公司偏向男性,而是这些公司无法在激烈的针对女性的零售公司之间的竞争中赢得竞标。在其他平台上也证明了类似的偏见,包括 Zillow 和其他房地产应用程序。

3. 公共信号的设计:控制理

论领域已经探讨了设计私有和公共信号以促使人们按特定方式行动的问题。例如，已经证明发布 COVID-19 感染数据对感染率产生了影响。当感染人们看到数字上升时，他们在与他人互动方面会更加克制，从而产生负面反馈，减轻传播的程度。然而，这些公共信号有时会被错误解读，甚至产生与预期效果完全相反的结果。在设计这些信号时，信号的发布位置以及如何向不同群体呈现，都可以对向公众传递一致信息起到关键作用。

4. 非控制决策的意外后果：

通常，控制决策是为了优化特定的性能目标。我们对性能目标之间的权衡取舍非常熟悉。然而，当人类与这些系统进行交互时，有可能忽视这些权衡。通行费定价就是这样一个问题的例子。通过动态收费定价来实现交通需求管理（原则上是一个适应性控制问题）长期以来一直被认为可能会对低收入人群造

成歧视。这样的后果可能不会直接反映在系统的性能目标中。

建议

对于年轻的研究人员来说：

随着数字生活方式在全球范围内变得更加普遍，社会考虑因素，如伦理、公平、正义和社会责任，变得越来越重要。控制理论在量化这些问题方面有很多作用，尽管它专注于使能技术的基础，但也需要进行新的研究来探索如何进行定量思考、建模和分析，以应对这些社会层面的挑战。

对于资助机构：

资助机构应支持在普及数字技术的背景下解决伦理、公平和社会责任的联合倡议。为了应对未来几十年的社会规模挑战，我们需要更好地理解社会负责任自动化的基本原理。跨学科和跨领域的观点对于工具的综合至关重要。其中，基于控制系统的视角将具有特殊重要性，并需要资助机构更加关注。

结束语

该路线图旨在指导控制系统如何应对巨大的社会挑战。本文件探讨的社会驱动因素、技术趋势、新兴方法以及技术验证和翻译都体现了这一作用。我们确定了控制系统可以采取的途径，以有效应对全球社会面临的挑战。

这份文件是几个社区成员两年努力的成果。所有章节中探讨的主题都反映了我们目前对社区可能需要前进的一些主要方向的理解。虽然我们已经尽一切努力避免出现重大差距和遗漏，但我们肯定会错过某些方法和行动项目。我们鼓励社区在适当的论坛上关注这些差距。

如文件其他部分所述，本路线图旨在为社区提供战略方向，本路线图可作为 IEEE 控制系统社区战略计划的核心。随着我们进入 21 世纪，社会需求发生变化，我们预计新的路线图将适当发展，采用新的方法，并采用新的工具和趋势。○



图 7.1 情感机器人领域的新技术需要与心理学、神经科学和计算机科学中的情感研究人员进行合作^[10]（经许可转载）。



图 7.2 控制系统可以提供补充的专业知识，以确保对自主武器系统进行有意义的人类控制^[11]（由 STM 照片提供）。

第一届物联网技术与应用前沿论坛圆满召开

2023年12月8日至9日，2023年度第一届物联网技术与应用前沿论坛在杭州隆重召开。会议由中国自动化学会工业物联网技术与应用专委会主办，浙江工业大学控制科学与工程学科、浙江工业大学信息工程学院、浙江工业大学网络空间安全研究院承办，滨江区浙工大网络空间安全创新研究院、浙江树人学院信息科技学院协办。会议围绕物联网技术与应用、安全这一主题，探讨现有物联网技术、人工智能技术赋能所面临的挑战，探索新思路、新方法以及新方向。

本次论坛邀请了10余位著名专家学者和产业精英围绕物联网技术与应用作特邀报告和讨论。浙江工业大学洪榛、温震宇、史秀纺，浙江大学研究员顾超杰、浙江树人学院陈友荣教授共同主持了本次论坛。来自国内外10余所高校的100余位本领域专家学者、学生等参加了本次会议。

中国自动化学会副秘书长、工业物联网技术与应用专业委员会主任、浙江大学教授、浙江工业大学副校长陈积明，浙江工业大学信息工程学院院长张文安先后为论坛致开幕辞。陈积明主任

介绍了专委会的筹备和活动组织情况，并希望通过交流沟通推动物联网技术在实际应用中的落地和推广，以及与更多工业场景的结合。随后，张文安院长介绍了浙江工业大学信息工程学院的专业设置和人才队伍情况，并欢迎更多青年才俊的加入。

国家级青年人才、北京师范大学王田教授，IEEE Fellow、新加坡南洋理工大学Chau Yuen教授，国家级青年人才、南京大学戴海鹏副教授，西北工业大学计算机学院周欢教授，浙江工业大学陈博教授，中国地质大学



参会代表合影

(武汉) 计算机学院副院长曾德泽教授, 山东大学李峰教授, 杭州电子科技大学陈媛芳教授, 浙江大学郭秀珍研究员, 武汉大学吴黎兵教授先后作了大会报告, 内容涉及传感云与边缘智能, 智能通信, 智能无缘感知技术研究, 云-边-端网络中基于模型参数选择和激励机制的联邦学习方法研究, 资源约束下的网络化分布式安全融合估计, 边缘原生计算, 分布式智能, 工业边缘高速安全防护与大模型, 环境反向散射系统, 自动驾驶智能系统的攻击与防御等主题。

圆桌会议由浙江工业大学洪榛教授主持, 邀请了 IEEE Fellow、欧洲科学院院士、挪威奥斯陆大学张彦教授、武汉大学吴黎兵教授、山东大学李峰教授、上海纽约大学刘古月教授等作为嘉宾, 围绕 AI 如何赋能 IoT、如何面对带来的安全问题, 以及大模型如何赋能新 IoT 等热点问题进行了深入讨论、交流, 碰撞出了智慧的火花。

在专家学者们精彩的学术报告和热烈的交流中, 大会圆满结束。本次论坛的成功举办, 为物联网领域的交流与合作搭建了一个良好的平台, 为未来的行业合作奠定了坚实的基础。○

CAA 工业物联网技术与应用专委会 供稿

中国自动化学会建筑机器人专委会换届大会暨建筑机器人发展与人才培养研讨会在西安建大举行

2023 年 12 月 9 日, 中国自动化学会建筑机器人专委会第二届委员会换届大会暨建筑机器人发展与人才培养研讨会在西安建筑科技大学隆重召开。来自全国 40 余所高校、20 余家企业的百位专家学者通过线上线下方式参加了会议。

赓续传承, 共谱新篇。按照《中国科协全国学会组织通则(试行)》、《中国自动化学会章程》及《中国自动化学会分支机构工作条例》的有关规定, 12 月 9 日, 中国自动化学会建筑机器人专业委员会第二届委员会换届大会在西建大雁塔校区工科楼三楼报告厅举行。第一届专委会主任西安交通大学曹建福教授代表第一届委员会作工作总结, 中国自动化学会副秘书长、西安交通大学辛景民教授宣读了中国自动化学会分支机构换届批复函。经委员投票, 西安交通大学曹建福教授当选为第二届专委会主任, 上海建工集团股份有限公司总工程师陈晓明、苏州科技大学教授付保川、中国建筑东北设计研究院有限公司首席总工程师郭晓岩、同济大学教授何斌、河北科技大学校

长李铁军、山东大学教授李贻斌、东北大学教授吴成东、西安建筑科技大学教授于军琪、北京建筑大学教授赵光哲当选为副主任, 西安建筑科技大学马宗方教授当选为秘书长。中国自动化学会副秘书长辛景民为新当选的专委会主任曹建福、各位副主任、秘书长马宗方颁发了聘书, 专委会主任曹建福教授为其他委员颁发聘书。秘书长马宗方介绍了新一届委员会重点工作计划。随后, 各委员围绕建筑机器人发展及 2024 年中国建筑机器人技术大会承办方进行充分研讨。大家纷纷表示, 建筑业作为国民经济四大支柱产业之一, 存在经济体量大、从业人员多、建筑工人缺、安全水平低、劳动生产率低等特点, 是目前数字化、自动化程度最低的行业之一。面对新一轮科技革命和产业变革, 建筑机器人是建造方式升级的重要媒介, 住建部、国家发改委等 13 部门联合下发《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》里也明确提出“要加快建筑机器人研发和应用”, 具有广阔的发展前景, 专委会应进一步致力

于多学科交叉和产学研融合，各成员单位应进一步广泛开展交流，促进技术及应用提升，应规划举办建筑机器人大赛、征集典型案例、制定发展路线图等，推动建筑机器人领域快速发展，助力建筑行业智能化转型升级。

高端报告，普及前沿。9日上午，“建筑机器人技术前沿报告会”在该校草堂校区紫阁大礼堂分会场举办，河北科技大学校长李铁军教授从建筑机器人的需求与发展趋势、关键技术探索、研发与实践、产业化思考四个方面作了题为“建筑机器人与智能建造技术”的报告；山东大学李贻斌教授立足于山东大学腿足式机器人研究现状，介绍了N足机器人市场需求、一体化关节设计与特性辨识、模块化双足设计与控制、N足自拼接机器人设计与控制，并表达了对腿足式机器人在建筑建造行业应用的未来展望作了题为“腿足式机器人技术研究”的报告。

论证方案，指导“智能+”。9日上午，机器人工程专业建设研讨会、建筑机器人实验室方案论证会在该校雁塔校区工科楼三楼报告厅举行，西安交通大学曹建福教授、东北大学吴成东教授、同济大学周艳敏教授、北京建筑大学王亚慧教授、赵光哲教授、苏州科技大学付保川教授、河北工业大学刘今越教授、中国建筑西北设计研究院有限公司查波教授级高级工程师等8名行业领域专家、该校信控学院教师代表50余人参加了会议。会上，该校机器人工程专业负责人赵亮从专业定位、课程设置、培养方案等方面汇报了该校机器人工程专业建设情况。该校信控学院专项事务助理徐胜军从学院规划、建设思路、规划方案方面汇报该校建筑机器人实验室筹备情况。与会的高校、企业专家在研讨中从自身专业知识、工作经验、企业需求等方面为西建大机器人工程专业

人才培养及实验室建设提出建设性的宝贵意见建议。

负责人名单（按姓氏拼音排序）

主任：曹建福

副主任：陈晓明、付保川、郭晓岩、何斌、李贻斌、李铁军、吴成东、于军琪、赵光哲

秘书长：马宗方

委员名单（按拼音首字母排序）

柏龙、曹建福、曹晔、查波、常健、陈鹤、陈继文、陈伟、陈晓明、陈义明、陈玥乔、陈珍萍、董振平、方正、付保川、郭锐、郭帅、郭晓岩、何斌、胡楠、黄河、亢洁、雷小康、李国良、李汉舟、李宁、李铁军、李晓钢、李贻斌、梁衍学、刘成、刘富樯、刘今越、刘群坡、罗姗姗、马宗方、孟伟、潘觅、彭会军、彭星光、秦宇、邱甜、史益军、司鹏举、宋科、宋银灏、隋葵、孙彬、孙宁、孙清、唐超权、汪丛军、汪霖、王超群、王发、王国欣、王明明、王萍、王天宝、王晓辉、王亚慧、吴成东、吴攀攀、吴庆祥、吴征天、武经、肖辉、谢陈磊、徐智浩、许庆、闫茂德、严晗、杨冬、杨国庆、杨桐、杨亚龙、于军琪、于晓升、张海涛、张恒超、张江波、张军学、张润梅、张新荣、张阳、张夷斋、张永新、赵光哲、钟波涛、周诚、周尔旦、周凤余、周艳敏、周悦、庄继勇、左磊 ○

CAA 建筑机器人专委会 供稿



会议现场

中国自动化学会综合智能交通专业委员会换届会议成功召开

2023年12月4日，中国自动化学会综合智能交通专业委员会换届会议在北京成功召开。中国自动化学会张楠秘书长、第二届全体候选负责人及候选委员出席会议。

首先，张楠秘书长宣读了学会对综合智能交通专业委员会换届的批复，同时对第一届综合智能交通专业委员会五年来的工作表示感谢和肯定，并希望新一届委员会可以积极开展工作，凝心聚力，促进学术交流与合作，为推动综合智能交通领域研究和应用做出积极贡献。

随后，第一届综合智能交通专业委员会委员、中国科学院自动化研究所吕宜生研究员作第一届综合智能交通专业委员会工作总结报告。他表示，综合智能交通专业委员会旨在团结、联合、组织自动化及智能交通领域的专业人士促进学科及技术的发展，促进科学技术的普及和推广，促进科技人才队伍的发展，促进科学技术与经济的紧密结合，为我国社会主义建设事业做出贡献。专委会自成立以来，积极配合学会开展各类学术活动，多次助力“中国自动化大会”，组织“智能

交通产业化”和“综合智能交通”等专题论坛，多次主办全国交通设备与控制工程专业联盟研讨会；成功主办7届“全国高校智能交通创新与创业大赛”，增强在校大学生的创新创业精神和实践能力，培养在校大学生的职业能力及自主创业意识，为交通强国建设储备优秀青年人才；连续多次参与智能交通培训工作，促进行业技术交流，培养专业人才并推动智能交通领域的发展。若干委员入选了两院院士、国家级人才、CAA会士等，圆满完成第一届任期。最后，他表示感谢学会一直以来的支持指导并期待继续为专委会发展创新提供支持。

随后进行换届环节，共选举产生71位专委会委员，包括主任委员1人、副主任委员7人、秘书长1人。吕宜生当选主任委员，东北大学郭戈、清华大学李乐飞、北方工业大学刘小明、东南大学刘志远、青岛海信网络科技股份有限公司马晓龙、中国铁道科学研究院集团有限公司许伟、北京工业大学赵晓华当选副主任委员，北方工业大学王志建当选秘书长。



线下会场

71 名委员来自清华大学、北京航空航天大学、东南大学、北京交通大学、西安交通大学、东北大学、哈尔滨工业大学、北京工业大学等高等院校，中国科学院自动化研究所、交通运输部公路科学研究院、公安部道路交通安全研究中心、青岛海信网络科技股份有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、百度等科研院所以及一批科技企业，具有一定的广泛性和代表性。

第二届专委会主任委员吕宜生研究员代表新一届专委会对当选的委员及负责人表示祝贺，对中国自动化学会的支持表示感谢，专委会在中国自动化学会带领和指导下，今后在党建、学术会议、前沿论坛、科学普及、智

能交通创新创业大赛等工作方面，将再上新台阶。当选的副主任委员和秘书长均表示未来将继续加强在学术交流、项目合作、科学普及、人才培养等方面的工作，推动专委会在综合智能交通领域产学研合作交流。在其后的自由讨论环节，与会代表畅所欲言为专委会发展出谋划策，对专委会的未来发展提出了宝贵的意见和建议。

第二届综合智能交通专业委员会名单

主任委员：吕宜生

副主任委员（按姓氏拼音排序）：郭戈、李乐飞、刘小明、刘志远、马晓龙、许伟、赵晓华

秘书长：王志建

委员（按姓氏拼音排序）：

陈龙、陈倩、陈志文、褚洪

庆、戴星原、邓天民、丁恒、杜文博、房建武、高振宇、苟超、管青、郭戈、韩庆文、胡隼、胡晓伟、黄龙旺、黄鑫、季青原、金峻臣、金盛、孔祥杰、李海舰、李宏海、李乐飞、李瑞敏、李轩、李振龙、李志帅、刘畅、刘文、刘小明、刘志远、吕宜生、马庆禄、马小平、马晓龙、缪青海、倪训友、裴欣、彭磊、乔昕、任延飞、尚春琳、沈国江、沈甜雨、孙广林、唐少虎、田永林、佟路、王璞、王志建、魏路、文世喜、吴建清、许伟、叶青、余剑峤、袁志明、岳睿、张弛、张慧、张健、张萌萌、赵杭、赵靖、赵敏、赵晓华、钟绍鹏、周敏、朱凤华 ○

CAA 综合智能交通专委会 供稿



《电气传动》再次入选《科技期刊世界影响力指数（WJCI）报告（2023 版）》

中国科协课题《科技期刊世界影响力指数（2023 版）研制》的研究成果《科技期刊世界影响力指数（WJCI）报告》2023 版（以下简称《WJCI 报告》）日前已正式发布。《电气传动》再次成功入选，这也是自第一届《WJCI 报告（2020）》发布起，《电气传动》连续四届入选。详情请查看：<https://www.caa.org.cn/article/191/4312.html>

第五届中国自动化学会 系统复杂性专业委员会换届会议成功召开

2023年12月10日，中国自动化学会系统复杂性专业委员会换届会议在北京会议中心成功召开。第五届专业委员会全体候选负责人及候选委员出席会议。

航天工程大学张占月教授主持本次会议。中国自动化学会监事长、中国科学院自动化研究所研究员王飞跃宣读了学会对专委会换届的批复。王飞跃教授对新一届委员会寄语：希望委员会加强学术交流与合作，为发展系统复杂性研究积极出谋划策，为系

统复杂性学科的发展贡献力量。

接下来的专委会换届投票选举，共选举产生55位专委会委员，包括主任委员1人，副主任委员4人，秘书长1人。清华大学王兆魁教授当选主任委员。中国科学院自动化研究所李娟娟副研究员，郑楠副研究员，南京航空航天大学李爽教授，航天科工集团智能科技研究院江帆高级工程师当选副主任委员。中山大学杨雪榕教授当选秘书长。55名委员来自中国科学院自动化研究所，航天科

工集团智能科技研究院，北京空天技术研究所等研究院所，清华大学，南京航空航天大学，中山大学，国防科技大学，哈尔滨工业大学等高等院校，以及一批人工智能和复杂系统领域的科技企业，具有一定的广泛性和代表性。

选举结束后，新当选的系统复杂性专业委员会主任委员王兆魁教授代表新一届专委会对当选的委员及负责人表示祝贺，对中国自动化学会的支持表示感谢，并展望汇报了新一届专委会的工



合影留念

作计划。他表示未来将继续积极推动自动化,复杂性科学和复杂系统领域内科研工作者的国内外学术交流,为海内外专家、学者、研究生及工程技术人员提供一个学术交流和研讨最新研究成果的平台,促进产-学-研的深度融合,推动国家重大战略研究方向的发展。王兆魁教授还报告了新一届专委会在组织建设,业务水平提升,支撑学会工作等方面的具体工作计划。

专业委员会换届会议结束后,召开了2023空天系统复杂性研讨会。浙江理工大学屠澄轶教授报告了复杂网络化系统的降维及其行为预测方法,提出了一个解析框架,可以把高维网络化系统化简为低维有效系统;中国科学院自动化所郑楠副研究员报告了人机结合的综合集成研讨体系发展,介绍了复杂系统的发展歷程和基于开放的复杂巨系统的提出背景,梳理了人机结合、以人为本、从定性到定量的综合集成方法论体系;国防科技大学陈彬副研究员报告了基于赛博-物理-社会系统的平行博弈推演思考,从平行系统的理论基础出发,从数字孪生到虚实融生的角度解读了数字孪生、平行系统、元宇宙等类似理念的内涵和差异,

讨论了基于CPSS的平行博弈计算支撑的研究工作。委员们针对报告开展了热烈的讨论。

在自由讨论环节,与会代表畅所欲言为专委会发展出谋划策,对专委会的未来发展提出了宝贵的意见和建议。

第五届中国自动化学会系统复杂性专业委员会名单

主任委员:王兆魁

副主任委员(按姓氏拼音排序):李娟娟、李爽、江帆、郑楠

秘书长:杨雪榕

委员名单(按姓氏拼音排序)

崔乃刚、崔庆来、邓浩、翟世东、方青云、高古辉、高嵩、何成龙、黄宇、江帆、李春、李昊、李娟娟、李爽、李思远、李晓冬、李毅波、李瑜、廖守亿、林喆、凌晓冬、刘忠兵、吕彬、罗宗富、孟庆良、缪庆亮、桑栋、宋双永、屠澄轶、汪凌峰、王海明、王雨桐、王兆魁、吴龙庭、吴云华、奚勇、肖轩、薛霄、杨伟杰、杨雪榕、杨雅君、杨勇、杨云云、于晓洲、郁丰、岳程斐、张国东、张俊飞、张亮、张政波、张中峰、赵博、赵岩、郑楠、邹安民

CAA系统复杂性专委会 供稿

中国自动化学会智能建筑与楼宇自动化专业委员会换届大会成功召开

2023年12月15日,中国自动化学会智能建筑与楼宇自动化专业委员会换届会议在北京成功召开。中国自动化学会黄华副秘书长、第六届全体候选委员及候选负责人出席会议。

首先,中国自动化学会副秘书长、北京师范大学黄华教授宣读了学会对中国自动化学会智能建筑与楼宇自动化专业委员会换届的批复,同时黄华副秘书长代表学会对第五届中国自动化学会智能建筑与楼宇自动化专业委员会五年来的工作表示肯定与感谢,并希望新一届委员会能够继续积极工作,凝聚产学研各方力量,促进学术与产业交流合作,为楼宇建筑自动化、智能化发展贡献力量。

随后,第五届中国自动化学会智能建筑与楼宇自动化专业委员会主任委员、北京工业大学信息学部贾克斌教授作任期工作总结报告。专委会自成立以来一直致力于国家建筑楼宇自动化领域的发展,联合高校、建筑设计院、行业企业等相关单位为楼宇控制系统、暖通工程、弱电集成等方面培养了大量技术人才,提供了多次技术咨询服务。多次作为协办单位参与中国国际智能建筑展

等技术交流活 动，专委会荣誉委员北京工业大学教授郭维钧（已故）曾作为国家体育馆（鸟巢）智能建筑工程专家顾问，参与工程全过程、制定开幕式保驾护航方案并亲身参与工作，获得奥运建设指挥部授予的金质奖章。专委会还曾多次助力人社部组织的北京市专业技术人才知识更新工程工作计划项目《人工智能新技术应用案例与未来发展趋势高级研修班》，为社会继续教育提供专委会的技术力量。

随后进行换届环节，共选举产生 52 位专委会委员，包括主任委员 1 人、副主任委员 7 人、秘书长 1 人。北京工业大学贾克斌教授当选主任委员，北京华埠特克科技发展有限公司郭晓元、北京顺天裕技术有限公司李军、北京和欣运达科技有限公司董世运、北京通泰智汇文化科技有限公司张剑霖当选副主任委员，北京工业大学副教授孙中华当选秘书长。52 位委员来自

中国科学院自动化研究所、应急管理部信息研究院、北京工业大学、北京工商大学、天津工业大学、天津城建大学、建设综合勘察研究设计院有限公司、中国建筑一局（集团）有限公司、万科集团等科研院所及科技企业，具有较好的产学研广泛性和代表性。

第六届中国自动化学会智能建筑与楼宇自动化专业委员会主任委员贾克斌教授随后代表专委会新一届委员会对当选委员及负责人表示祝贺，对中国自动化学会的支持表示感谢。贾克斌教授代表专委会对未来工作规划进行了汇报，表示专委会在中国自动化学会的引领下，今后在党建引领、学术交流、科学普及等方面将更进一步，为社会发展作出贡献。随后，新当选的专委会副主任委员、秘书长也分别根据各自工作特点，作了专委会建设发言，表达了对专委会未来蓬勃发展的决心与信心。

第六届智能建筑与楼宇自动化专业委员会名单

主任委员：贾克斌

副主任委员（按姓氏拼音排序）：

董世运、郭晓元、李军、张剑霖

秘书长：孙中华

委 员（按姓氏拼音排序）：

陈军、陈欣、程丽敏、丁险峰、董世运、杜晗、郭晓元、郭耀彤、哈德鹏、韩轩、郇宝贵、黄学慧、贾克斌、季建军、江玮、郎大治、李军、李哲、刘成浩、刘华联、刘文捷、陆宇、吕光新、马国华、马新宇、任红、宋超、宋国栋、宋志强、孙景峰、孙中华、王广、王慧敏、王秀丽、王亚松、王志举、王志强、王卓峥、魏建民、邢素霞、徐斌、杨国庆、于显洲、张剑霖、张继伟、张丽梅、张青、张铁林、张巍、张新强、张智勇、朱彦春 ○

CAA 智能建筑与楼宇自动化专委会 供稿



线下会场

中国自动化学会清华大学学生分会成立大会成功召开

2023年12月9日下午，中国自动化学会清华大学学生分会成立大会在清华大学第二教学楼会议室召开。中国自动化学会副理事长王成红，清华大学自动化系党委书记古瑾、党委副书记尚超、副主任耿华，北京理工大学自动化学院团委副书记、研究生辅导员靳鹏飞，中国自动化学会

北京理工大学学生分会分会主席韩宁，中国自动化学会北京工业大学学生分会主席张嘉成出席本次会议。清华大学自动化系学生代表等40余名参加会议。大会由尚超主持。

会议伊始，王成红致开幕词。他强调以国家青年人才培养的战略与青年学生自身的需求为学生

分会成立的初衷，对清华大学学生分会的未来寄予厚望。清华大学自动化系主任张涛通过视频致辞，他介绍了清华大学自动化系在国内自动化领域取得的一系列成果以及为进一步提高人才培养水平进行的各项改革举措，并对中国自动化学会与清华大学自动化系在学生培养方面的合作进行



成立大会合影留念

了展望并给予了期待。

在学生分会选举阶段，清华大学自动化系硕士研究生李晨曦宣读了中国自动化学会清华大学学生分会组织架构和工作计划，尚超宣读了第一届执行委员会成员候选人简介。根据中国自动化学会清华大学学生分会第一届执行委员会选举办法，在充分了解候选人信息的基础上，经过公开透明的投票和严格的计票程序，本次选举产生了第一届中国自动化学会清华大学学生分会执行委员会成员。计票结束后，计票员章卓凡同学宣读了选举结果，尚超宣读了中国自动化学会清华大学学生分会指导委员会和执行委员会名单。

随后，王成红和古瑾进行授牌、授旗仪式，王成红为中国自动化学会清华大学学生分会指导委员会与执行委员会成员颁发聘书。

仪式完毕，第一届中国自动化学会清华大学学生分会主席李晨曦进行就职宣誓。古瑾致闭幕词，首先他对分会的成立表示热烈祝贺，对王成红副理事长的出席表示衷心感谢，并对中国自动化学会为自动化领域广大青年学生搭建新的交流平台表示大力支持。他指出清华大学自动化系高度重视学生的学术交流、科创活动与综合素质培养，系研究生会在多年前就曾发起过高校自动化研究生会联盟，从2019年开始与

中科院自动化所等兄弟院校的研究生会一起创办了“北京高校人工智能学术论坛”，到今年已经举办了五届。相信在中国自动化学会的大力倡导下，清华大学学生分会将与其他高等院校分会一起，为全国学生会会员搭建高质量的学术交流、联学共建、自我展示的全国性平台。

至此，本次大会圆满闭幕，中国自动化学会清华大学学生分会正式成立。未来，中国自动化学会清华大学学生分会将在中国自动化学会的支持下，积极开展学术交流，营造良好的科研氛围，进而激发同学的科研灵感，推动自动化学科的发展。○

CAA 清华大学学生分会 供稿

表 1 中国自动化学会清华大学学生分会指导委员会名单

任职	姓名	单位	职称 / 职务
顾问	耿 华	清华大学自动化系	长聘教授、副系主任
顾问	鲁继文	清华大学自动化系	长聘副教授、副系主任
顾问	尚 超	清华大学自动化系	副教授、党委副书记
顾问	黄 高	清华大学自动化系	副教授、系主任助理

表 2 中国自动化学会清华大学学生分会执行委员会名单

任职	姓名	单位	年级
担任主席	李晨曦	清华大学自动化系	2022 级硕士研究生
候任主席	李尹硕	清华大学自动化系	2022 级博士研究生
执 委	朱 翔	清华大学自动化系	2022 级博士研究生
执 委	汪 润	清华大学自动化系	2020 级本科生
执 委	刘浩淙	清华大学自动化系	2021 级博士研究生
执 委	赵子远	清华大学自动化系	2021 级本科生

学会秘书处 供稿

中国自动化学会南京航空航天大学学生分会 成立大会成功召开

青年科技人才是我国科技事业发展的中坚力量。习近平总书记在中央人才工作会议上指出“要造就规模宏大的青年科技人才队伍，支持青年人才挑大梁、当主角”。在全力打造青年人才集聚“强磁场”的战略布局下，强化“科教兴国、人才强国”的国策方针，中国自动化学会积极响应国家号召，将学会培育青年人才的责任工作拓宽下沉，在全国高校试点成立学生分会。在中国自动化学会的支持下，南京航空航天大学入选首批学生分会高校。

2023年12月10日，中国自动化学会南京航空航天大学学生分会成立大会暨南航第五届导航制导与控制技术前沿论坛在江苏省南京市成功召开。中国自动化学会会士、常务理事、中国工程院王耀南院士，中国自动化学会会士、监事、中国工程院钱锋院士、中国自动化学会会士、副理事长王成红，中国自动化学会会士、理事、南京航空航天大学校长姜斌教授，中国自动化学会会士、常务理事、上海交通大学电子信息与电气工程学院院长关新平教授，中国自动化学会会士、

常务理事、山东大学控制科学与工程学院院长张承慧教授，中原工学院校长夏元清教授，中国自动化学会理事、东北大学信息科学与工程学院院长杨光红教授，中国自动化学会常务理事、华中科技大学人工智能与自动化学院院长曾志刚教授，中国自动化学会会士、副秘书长、浙江工业大学副校长陈积明教授，中国自动化学会理事、航天五院科技委主任王大珩研究院，中国自动化学会会士、哈尔滨工业大学航天学院院长吴立刚教授，西安交通大学自动化科学与工程学院院长杨



大会合影

清宇教授，东南大学自动化学院院长魏海坤教授，东南大学科研院副处长温广辉教授，南京航空航天大学自动化学院院长陈谋教授出席本次会议。出席会议的还有南京航空航天大学自动化学院教师和学生会员代表。大会由南京航空航天大学自动化学院陈谋院长主持。

会议伊始，中国自动化学会会士、理事、南京航空航天大学姜斌校长致开幕辞，对前来参会的各位专家学者、老师和同学们表示了热烈的欢迎，并对中国自动化学会南京航空航天大学学生分会的发展寄予了殷切的期望。

中国自动化学会王成红副理事长致辞，强调了中国自动化学

会成立学生分会的初衷，鼓励南航学子积极参与学术与科研活动，为中国自动化学会和中国自动化领域做出更大的贡献。

在学生分会选举阶段，南京航空航天大学自动化学院陈谋院长宣读了学生分会执行委员会候选人简介。秉承公平、公正、公开的原则，学生代表投票选举了中国自动化学会南京航空航天大学学生分会执行委员会成员。

南京航空航天大学自动化学院陆宁云副院长宣读了第一届学生分会指导委员会与执行委员会名单，并热烈祝贺当选的老师和同学们。

随后，中国自动化学会王成红副理事长与南京航空航天大学

姜斌校长共同为学生分会授牌、授旗，并为第一届指导委员会与执行委员会成员颁发聘书。

最后，第一届中国自动化学会南京航空航天大学学生分会主席周泽宇进行就职宣誓。至此，成立大会圆满闭幕，中国自动化学会南京航空航天大学学生分会正式成立。

中国自动化学会南京航空航天大学学生分会是全国首批成立的高校学生分会之一，总会给予厚望。未来，学生分会将在中国自动化学会和南京航空航天大学共同指导和支持下，积极开展学术交流，推动科研成果转化，为我国自动化事业的发展做出新的贡献。○
CAA 南京航空航天大学学生分会 供稿

表 1 CAA 南京航空航天大学学生分会指导委员会名单

任职	姓名	单位	职称 / 职务
主 任	姜 斌	南京航空航天大学	教授 / 校长
副主任	陈 谋	南京航空航天大学	教授 / 院长
顾 问	熊 智	南京航空航天大学	研究员 / 院长助理
顾 问	杜 斌	南京航空航天大学	副教授

表 2 CAA 南京航空航天大学学生分会第一届执行委员会名单

任职	姓名	单位	年级
当选主席	周泽宇	南京航空航天大学自动化学院	博士 2020 级
候任主席	任 超	南京航空航天大学自动化学院	博士 2022 级
执 委	王志腾	南京航空航天大学自动化学院	博士 2023 级
执 委	李伟康	南京航空航天大学自动化学院	博士 2023 级
执 委	付 瑶	南京航空航天大学自动化学院	博士 2022 级

学会秘书处 供稿

中国自动化学会山东科技大学学生分会成立大会暨智能化创新人才培养论坛成功召开

2023年12月19日，中国自动化学会山东科技大学学生分会成立大会暨智能化创新人才培养论坛于图书馆求新讲堂召开。中国自动化学会副理事长，青岛科技大学副校长李少远，山东科技大学学生工作部（处）部长、团委书记尹立明，电气与自动化工程学院党委书记庄立臣，院长张焕水，等出席本次会议，300余名会员及师生代表参加会议，电气与自动化工程学院党委副书记兼副院长范俊峰主持。

中国自动化学会副理事长、青岛科技大学副校长、上海交通大学教授李少远致开幕辞，对前来参会的各位专家学者、会员代表表示了热烈的欢迎，并对中国自动化学会山东科技大学学生分会的发展寄予了殷切的期望。他强调了中国自动化学会成立学生分会的初衷，鼓励山科学子积极参与学术与科研活动，为中国自动化学会和中国自动化领域作出更大的贡献。

学生工作部（处）部（处）

长、团委书记尹立明致辞，他期望本次与中国自动化学会的合作，协助中国自动化学会发展的同时，将中国自动化学会学术、社会资源惠及广大山科学子，充分发挥学校平台优势与人才优势，培养综合性自动化人才，期待中国自动化学会山东科技大学学生分会不断发展壮大，成为推动我国自动控制和人工智能技术不断发展进步的重要力量。

在学生分会选举阶段，全体会员通过无记名投票，选举产生

中国自动化学会山东科技大学学生分会成立大会

2023年12月19日 中国·青岛



大会合影

了第一届执行委员会成员。选举结束后，李少远副理事长代表中国自动化学会为山东科技大学学生分会授牌、授旗并颁发聘书。并为第一届指导委员会和执行委员会成员代表颁发了聘书。

随后，第一届中国自动化学会山东科技大学学生分会主席车俊行宣誓。

电气与自动化工程学院党委书记庄立臣致闭幕辞，他对分会的成立表示热烈祝贺，对各位专家学者的支持表示衷心感谢，并对中国自动化学会为自动化领域广大青年学生搭建新的交流平台表

示大力支持。他对当选的执行委员会成员提出要求，要脚踏实地、富有成效地工作，在广大会员中做好模范作用，锐意进取、努力拼搏，争做时代先锋，为我国自动化事业的发展作出贡献。相信在中国自动化学会的大力倡导下，山东科技大学学生分会将与其他高等院校分会一起，为全国学生会员搭建高质量的学术交流、联学共建、自我展示的全国性平台。

中国自动化学会山东科技大学学生分会成立大会后开展智能自动化创新人才培养论坛。论坛由电气与自动化工程学院院长助

理朱延正主持，设置了3场专题报告培训，分别由清华大学孙富春教授、山东科技大学张维海教授、华东理工大学特聘研究员彭鑫教授主讲，内容涵盖控制理论研究、智能教育等方面。

至此，本次大会圆满闭幕，中国自动化学会山东科技大学学生分会正式成立。未来，中国自动化学会山东科技大学学生分会将在中国自动化学会的支持下，积极开展学术交流，营造良好的科研氛围，进而激发同学的科研灵感，推动自动化学科的发展。

CAA 山东科技大学学生分会 供稿

表 1 CAA 山东科技大学学生分会指导委员会名单

任职	姓名	单位	职称 / 职务
主 任	范俊峰	山东科技大学电气与自动化工程学院	教授 / 院党委副书记兼副院长
副主任、学术顾问	朱延正	山东科技大学电气与自动化工程学院	教授 / 院长助理
副主任、行政顾问	郭 婷	山东科技大学电气与自动化工程学院	副教授 / 院团委正科级干部

表 2 CAA 山东科技大学学生分会第一届执行委员会名单

任职	姓名	单位	年级
当任主席	车俊行	山东科技大学电气与自动化工程学院	博士 2022 级
候任主席	殷 壮	山东科技大学电气与自动化工程学院	博士 2022 级
执 委	张 鹏	山东科技大学电气与自动化工程学院	硕士 2021 级
执 委	潘 旭	山东科技大学电气与自动化工程学院	硕士 2022 级
执 委	郭梓源	山东科技大学电气与自动化工程学院	硕士 2022 级

学会秘书处 供稿

中国自动化学会中南大学学生分会成功举办 UNLIMIT 青年学术沙龙活动

为了向广大在校学生提供学术交流的平台，进一步培养和提升广大学生的学术思维和学术习惯，活跃学术气氛，2023年11月22日下午，CAA中南大学学生分会于新校区信息楼三楼智空间举办了“UNLIMIT 青年学术沙龙活动”。

CAA中南大学分会学术委员罗旗舞副教授发起和主持此次活动，中南大学自动化学院副院长

黄科科教授致开幕词。本次活动邀请到四位青年学者出席，他们分别是中国自动化学会理事、中国科学院自动化研究所的魏庆来研究员，电子科技大学梁洪晶教授，西南大学李华青教授以及大连理工大学王东教授。

首先，中国自动化学会理事、中国科学院自动化研究所的魏庆来研究员作了题为“离散时间非线性系统自学习零和对策”的报

告。报告聚焦于自适应动态规划的核心理论和方法，首先深入阐述了自适应动态规划的基本原理，随后深入探讨了该方法的演进历程与发展脉络，同时，报告中也简要描绘了自适应动态规划在实际应用中的潜力与价值。魏庆来教授的此次报告提供了突破离散时间非线性系统领域难题的解决方案，展现了系统在零和博弈环境下自主学习和优化对策的能力。



参会师生合影留念

该研究成果在多领域应用中具有潜在价值，不仅启发了人工智能和复杂系统领域，还为未来智能决策系统与自适应控制提供了新的思路与方向。

其次，电子科技大学的梁洪晶教授围绕“异构无人自主系统的集群协同”进行了详尽报告。该项目提出了一种独特的间歇隐私保护机制，以确保数据安全。为保证系统的瞬态-稳态性能，设计了新型误差转换函数，并融入规定性能控制策略，从而提高了控制精度。最终，该集群协同控制策略在海空交付任务的仿真中经过验证，展现出可行性和有效性。这一报告突显了在无人自主系统领域的创新思维和实践成果，为未来无人系统的安全和控制提供了新的前景和方法。

随后，西南大学的李华青教授就“分布式优化与博弈理论和方法在智能工业中的应用”展开了深入报告。报告全面介绍了智能系统中常见的优化与博弈模型，并强调了它们在现代智能工业中

的关键作用。李华青教授深入探讨了解决复杂问题所需的最佳条件和创新算法设计，重点强调了分布式优化与博弈理论在工业环境中的应用前景。他的演讲涵盖了智能系统中的信息处理方法，并突显了结合分布式计算、智能算法和博弈理论的新兴思路。这些观点和方法对于提升工业生产效率和优化资源利用和风险控制具有重要意义。

最后，大连理工大学的王东教授作了题为“工业机器人的抓手设计和协作控制”的报告。该报告首先分享了甜椒和番茄采摘工作中的抓手设计与轨迹规划，提升了采摘效率与速度。接着，阐述了基于强化学习的机器人抓取物块的策略，展示了智能机器在物体抓取方面的新进展。最后，初步介绍了双臂机器人的协作控制，探讨了机器人间的协作方式与技术。这一报告突显了在工业机器人领域的前沿研究成果，为智能机器人在农业和工业应用中的发展提供了新思路 and 实

践方向。

会后，罗旗舞副教授邀请魏庆来研究员、梁洪晶教授、李华青教授和王东教授四位报告嘉宾参观了我院高端装备精密检测实验室，就光谱分析技术研究、在线检测仪器研制及其产业推广应用等方面开展了深入的交流和探讨。

本次青年学术沙龙中，四位老师的报告提纲挈领，充分激发了与会者们的思考。参与沙龙的学生积极与各位教授展开互动讨论，提出了许多有深度的问题，并展现出对自动化领域的浓厚兴趣。热烈活跃的讨论不仅激发了同学们对于专业知识学习的热情，也极大地促进了学院的学术交流氛围。本次活动为与会学子提供了新的思路和启发，提高了学院内的学子的学术能力，同时也为CAA中南学生分会未来面向全院学子开展更多的学术交流活动奠定了坚实的基础。○

CAA 中南大学学生分会 供稿



热烈祝贺学会会士韩清龙教授被授予澳大利亚工程师协会荣誉会士称号

近日，中国自动化学会会士、澳大利亚斯威本科技大学韩清龙教授被授予澳大利亚工程师协会荣誉会士称号 (Honorary Fellow of Engineers Australia)，以表彰他对工程师专业领域和澳大利亚学界的作出的杰出贡献。详情请查看：<https://www.caa.org.cn/article/191/4311.html>

中国式现代化关键在科技现代化

科技立则民族立，科技强则国家强。习近平总书记指出：“中国式现代化关键在科技现代化。”科学技术现代化一直是我国推进现代化建设的重要内容。从世界现代化历程看，一些国家抓住科技革命的机遇，实现了经济实力、科技实力、国防实力迅速增强，综合国力快速提升，进入现代化国家行列。从我国现代化建设看，高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务，加快实现高水平科技自立自强是推动高质量发展的必由之路。充分发挥科技创新的引领带动作用，实现从以要素驱动、投资规模驱动发展为主转向以创新驱动发展为主，有利于推动经济发展质量变革、效率变革、动力变革，显著增强我国经济质量优势。从国际环境看，当今世界百年未有之大变局加速演进，国际环境错综复杂，科技创新成为国际战略博弈的主要战场，围绕科技制高点的竞争空前激烈。加快科技现代化，有利于我们把关键核心技术掌握在自己手中，牢牢把握创新和发展的主动权，实现安全和发展的有机统一。

党的二十大擘画了全面建设社会主义现代化国家、以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴的宏伟蓝图，提出到2035年“实现高水平科技自立自强，进入创新型国家前列”。这为我们在中国式现代化道路上加强科技创新、推动科技现代化指明了方向。贯彻落实习近平总书记重要讲话和党的二十大精神，要深入实施创新驱动发展战略，加快实现高水平科技自立自强，为全面建成社会主义现代化强国夯实物质技术基础。

完善科技创新体制机制。习近平总书记指出：“要推进科技体制改革，形成支持全面创新的基础制度。”加强科技创新需要有力的体制机制保障。要完善党中央对科技工作统一领导的体制，健全新型举国体制，推动科技创新力量布局、要素配置、人才队伍体系化协同化，优化配置创新资源。深化科技体制改革，加快破除制约科技创新竞争力提升的深层次体制机制障碍，健全完善科技成果评价体系，更好发挥科技成果评价作用，促进科技与经济社会发展更加紧密结合。改革重

大科技项目立项和组织管理方式，实行“揭榜挂帅”等制度，让有真才实学的科技人员有用武之地。

坚持“四个面向”。习近平总书记指出：“加快实施创新驱动发展战略，必须坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，加快实现高水平科技自立自强。”面向世界科技前沿，要加强基础研究，既要突出原创、鼓励自由探索，又要应用牵引、突破瓶颈，从经济社会发展和国家安全面临的实际问题中凝练科学问题，为创新发展提供基础理论支撑和技术源头供给。面向经济主战场，要围绕经济发展和民生改善中的迫切需求，加快以科技创新推动产业发展迈向中高端，实现产业链创新链深度融合。面向国家重大需求，要开展原创性引领性科技攻关，弄通“卡脖子”技术的基础理论和技术原理，加快实现高水平科技自立自强。面向人民生命健康，要聚焦人民关心的重大疾病防控、食品药品安全、人口老龄化等重大民生问题，以科技创新为人民生命健康保驾护航。

统筹教育、科技、人才工作。

习近平总书记指出：“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑。”必须坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力，有力统筹教育、科技、人才工作。坚持以人民为中心发展教育，加快建设高质量教育体系，加强基础学科、新兴学科、交叉学科建设，加快建设中国特色、世界一流的大学和优势学科。优化国家科研机构、高水平研究型大学、科技领军企业定位和布局，形成国家实验室体系，统筹推进国际科技创新中心、区域科技创新中心建设。坚持创新驱动实质是人才驱动，要着力造就拔尖创新人才，加快建设国家战略人才力量，激发各类人才创新活力，聚天下英才而用之，为科技创新和教育发展提供人才保障。

完善科技创新体系。习近平总书记指出：“提升国家创新体系整体效能。”完善科技创新体系，有利于形成推动科技创新的强大合力，提升国家创新体系整体效能。要建立和完善以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系，支持大中小企业和各类主体融通创新。强化国家战略科技力量，以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性引领性科技攻关。扩大国际科技交流合作，始终坚持以全球视野谋划和推动科技创新，更加主动融入国际创新网络。积极培育科技创新文化，大力弘扬科学家精神和专业精神，努力在全社会营造尊重科学、崇尚创新的浓厚氛围。○

来源：人民日报

释放创新动能引领新质生产力发展

近日召开的中央经济工作会议指出，要以科技创新推动产业创新，特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能，发展新质生产力。新质生产力涉及领域新、技术含量高，必须加快释放创新动能，坚持以科技创新引领发展。

深刻认识和把握新质生产力

“新质生产力”是对马克思主义生产力理论的创新和发展，进一步丰富了习近平经济思想的内涵，既有重要的理论意义，又有深刻的实践意义。习近平总书记指出，“整合科技创新资源，引领发展战略性新兴产业和未来产业，加快形成新质生产力”“积极培育新能源、新材料、先进制造、电子信息等战略性新兴产业，积极培育未来产业，加快形成新质生产力，增强发展新动能”。习近平总书记关于新质生产力的重要论述，为我们认识和把握新质生产力提供了根本遵循。

发展新质生产力是推动我国经济实现高质量发展的重要动力。新质生产力有别于传统

生产力，是科技创新在其中起主导作用的生产力，是符合高质量发展要求的生产力。新质生产力以创新为第一动力、智能为重要资源、数据为核心生产要素，是代表新技术、创造新价值、适应新产业、重塑新动能的新型生产力。整合科技创新资源，引领发展战略性新兴产业和未来产业，加快形成新质生产力，是摆在我们面前的重要任务。发展新质生产力，才能为高质量发展注入源源不断的动力，夯实全面建设社会主义现代化国家的基础。

发展新质生产力是抓住新一轮科技革命和产业变革机遇的必然要求。当前，新一轮科技革命和产业变革深入推进，不断有前沿技术和颠覆性技术涌现、成熟、应用和扩散，催生新产品、新服务、新模式、新业态，形成一系列新兴的细分产业。发展新质生产力与新兴产业的培育壮大息息相关，是加快培育经济增长新动能、在新领域新赛道实现跨越式发展的需要。新质生产力将推动产业体系向高质量、高效率、

可持续方向发展，成为推动传统制造业升级的关键驱动力，为制造强国建设提供新引擎。

高水平科技自立自强至关重要

党的二十大报告对加快实施创新驱动发展战略作出重要部署，要求“加快实现高水平科技自立自强”。习近平总书记主持二十届中央政治局第二次集体学习时指出，“加快科技自立自强步伐”。在第十四届全国人民代表大会第一次会议上，习近平总书记强调，“着力提升科技自立自强能力”。习近平总书记的系列重要讲话深刻阐明了科技自立自强的重要性与紧迫性。高水平科技自立自强是形成和发展新质生产力的可靠保证。

科技自立自强是国家强盛之基、安全之要。创新是一个民族进步的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力。实践证明，中国要强盛，中华民族要复兴，就一定要大力发展科学技术，不断提升应对重大挑战、抵御重大风险，维护国家安全和战略利益的实力。加快建设科技强国是全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴的战略支撑。推进科技自立自强彰显我们党把握科技发展主动权的历史自觉，必须深刻洞察时与势，辩证把握危与机，集中力量推进科技创新，努力于危机中育先机、于变局中开新局。

实现高水平科技自立自强，对

于全面建设社会主义现代化国家至关重要，对于立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展，赢得新一轮科技革命和产业变革主动权具有十分重要的意义。只有实现高水平科技自立自强，才能为构建新发展格局、推动高质量发展提供新的成长空间、关键着力点和主要支撑体系，使高质量发展更多依靠创新驱动的内涵型增长。要坚持把科技自立自强作为我国现代化建设的基础性、战略性支撑，开辟发展新领域新赛道，不断塑造发展新动能新优势。

充分发挥科技创新引领作用

发展新质生产力，创新是核心所在。面向未来，必须坚持以科技创新引领新质生产力发展。要加快实现高水平科技自立自强，建设现代化产业体系，推动高质量发展，为全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴注入不竭动力。

一是以科技创新推动产业创新。发挥科技创新对新一代信息技术、人工智能、生物技术、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等产业发展的引领带动作用。加强应用基础研究和前沿研究，特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能。依托新质生产力，推进产业智能化、绿色化、融合化，建设具有完整性、先进性、安全性的现代化产业体系。

二是加快推动制造业重点产业链高质量发展。完善新型举国体制，强化战略科技力量，着力补短板、锻长板、强基础。围绕制造业重点产业链，找准关键核心技术和零部件薄弱环节，集中优质资源合力攻关，推进制造业“智改数转网联”。加强质量支撑和标准引领，提升产业链供应链韧性和安全水平，保证产业体系自主可控和安全可靠，实现高质量发展和高水平安全良性互动。

三是大力推进新型工业化。一方面，加快推动人工智能发展，打造新能源、新材料、生物制造、商业航天、低空经济等战略性新兴产业，开辟量子信息、生命科学、类脑智能、氢能与储能等未来产业新赛道，培育未来经济增长的新动能。另一方面，广泛应用数智技术、绿色技术，加快传统产业转型升级，激发传统产业活力。

四是强化企业科技创新主体地位。发挥科技型骨干企业引领支撑作用，促进科技型中小微企业健康成长，推进创新链产业链资金链人才链深度融合。鼓励发展创业投资、股权投资，打通“科技—产业—金融”链条，促进金融更好地支持科技创新。深化科技体制改革，不断提高科技成果转化和产业化水平，健全科技评价体系和激励机制，为创新人才脱颖而出、尽展才华创造良好环境。○

来源：经济日报

国家科学技术奖提名办法

第一章 总则

第一条 国家科学技术奖实行提名制度，不受理自荐。为明确提名职责和提名方式，优化提名流程，规范国家科学技术奖提名工作，根据《国家科学技术奖励条例》（以下简称《条例》），制定本办法。

第二条 本办法适用于符合相关规定的专家、组织机构、有关部门和地方政府等（以下统称提名者）提名国家科学技术奖的活动。

第三条 国家科学技术奖提名工作应当坚持党的全面领导，遵循党和国家功勋荣誉表彰奖励工作的基本原则，充分发挥奖励对科技创新的激励作用，体现时代性、先进性和代表性，自觉弘扬和践行社会主义核心价值观。

第四条 国家科学技术奖提名工作应当坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，与国家中长期科技发展规划紧密结合，加强对自然科学基础研究和应用基础研究的激励，鼓励前沿技术研究和公益性技术研究，强化对国家重大科技任务、

重大科技基础设施和重大工程的支持。

第五条 提名者应当坚持以德为先，以学术水平为重要标准，秉持科学精神，弘扬良好作风学风，按照《条例》等规定对候选人的政治、品行、水平、作风、廉洁等情况进行审核，严格履行提名、答辩、异议和信访处理等责任。

第六条 国家科学技术奖提名工作应当坚持公开、公平、公正，不受任何组织或者个人干涉，接受科学技术奖励监督委员会、纪检监察部门和社会监督。

第七条 科技部负责国家科学技术奖提名活动的组织工作，相关具体工作由国家科学技术奖励工作办公室（以下简称奖励办公室）承担。

第二章 提名资格

第八条 具备提名资格的专家（以下简称提名专家）包括：

- （一）国家最高科学技术奖获得者（以下简称最高奖获得者）；
- （二）中国科学院院士、中国工程院院士（以下简称院士，不含外籍院士）；
- （三）2000年（含）以后获

得国家自然科学奖二等奖及以上，国家技术发明奖一等奖及以上，国家科学技术进步奖一等奖及以上项目的第一完成人（以下简称第一完成人）。

最高奖获奖者年龄不受限制，院士年龄不超过75岁，第一完成人年龄不超过70岁。

提名专家应当具有良好的学术声誉，模范践行科学家精神，严守科研诚信。

第九条 具备提名资格的组织机构包括：

（一）中华全国总工会、中国科学技术协会、中华全国工商业联合会；

（二）熟悉学科或者行业发展态势、社会声誉良好、管理规范的全 国学会、行业协会等，一般应当承办面向全国的社会科技奖。由科技部在听取相关部门意见、开展第三方评价等基础上确定组织机构名单，向社会公布，实施动态调整。

第十条 具备提名资格的有关部门和地方政府包括：

- （一）中央和国家机关有关部门；
- （二）中央军事委员会科学技

术部门；

（三）省、自治区、直辖市、计划单列市人民政府，新疆生产建设兵团；

（四）香港特别行政区政府，澳门特别行政区政府。

中华人民共和国驻外使领馆（团、处）可以提名中华人民共和国国际科学技术合作奖。

第十一条 涉及国家安全的保密项目仅由中央和国家机关有关部门、中央军事委员会科学技术部门或地方政府提名。

第三章 提名程序

第十二条 奖励办公室应当在每次提名工作开始前向社会公开发布通知启动提名工作，明确提名原则、重点和程序等要求。提名材料提交截止时间应当不早于提名工作通知发布之日起30日后。

第十三条 组织机构、有关部门和地方政府（以下统称提名单位）应当建立规范的遴选机制，提名前以适当方式征求不少于5名相关专业领域专家的意见，审核后择优限额提名。

第十四条 提名者根据国家科学技术奖的标准和条件，提出对奖励种类和等级的建议，各奖种获奖者和奖励等级由评审组织审议决定。

第十五条 提名者对提名材料的真实性和准确性负责，确保支撑提名的数据、指标、学术成

果、候选者贡献以及其他证明材料完整属实，并客观反映学术价值、应用情况和经济社会效益等。提名者应当就候选人政治、品行、作风、廉洁等情况听取其所在单位意见，候选人所在单位应当在征求相关纪检监察部门意见的基础上做好审核把关。

第十六条 候选者所在单位应当按照要求在本单位范围内对候选者基本情况等进行公示。组织机构、有关部门和地方政府提名的，提名单位一般应以适当方式进行公示，专家提名的由奖励办公室组织公示。经公示无异议或虽有异议但在规定的时间内处理完毕且不影响提名的，方可提名。涉及国家安全的保密项目在适当范围内公示。

第四章 提名要求

第十七条 提名专家每人每个评审周期可以提名1项国家科学技术奖。一般应当由3名院士或者5名专家（第一完成人或院士）联合提名，列第一位者为主责专家，与候选人同一法人单位的提名专家不得超过1人。最高奖获奖者可以独立提名；候选人仅为1人的国家自然科学奖或技术发明奖项目，可由1名院士独立提名。

第十八条 提名专家不得作为同年度国家科学技术奖候选人，不得参加本人提名项目的国家科学技术奖评审活动。

第十九条 提名专家应当在本人熟悉的学科领域内提名。组织机构原则上在本学科、本行业范围内限额提名，有关部门原则上在本部门、本系统范围内限额提名，地方政府原则上在本地区范围内限额提名。

第二十条 有关部门和地方政府可指定其负责科技工作的职能部门组织提名工作。香港特别行政区政府、澳门特别行政区政府可指定有关机构组织提名工作。

第二十一条 提名者应当提名真正作出创造性贡献的科学家和一线科技人员，仅从事组织领导、行政管理或辅助服务的人员不得作为国家科学技术奖候选人，担任项目负责人、项目首席科学家等领军技术专家的除外。同一提名项目的候选者应当按照贡献大小排序。

第二十二条 国家科学技术奖提名工作严格按照国家保密法律法规的有关规定，加强保密管理。除涉及国家安全的保密项目外，其他提名材料不得含有涉密内容。

涉及国家安全的保密项目应当根据《中华人民共和国保守国家秘密法》及其实施条例、《军队保密条例》和有关部门制定的相关规定，提供由具有相应定密权限的单位出具的审核意见。

第二十三条 在科学技术活动中有下列情形之一的，相关个人、组织不得被提名国家科学技术奖：

（一）危害国家安全、损害社

会公共利益、危害人体健康、违反伦理道德的；

（二）有科研不端行为，按照国家有关规定被禁止参与国家科学技术奖励活动的；

（三）有科技部规定的其他情形的。

第二十四条 同一候选人或同一科学技术内容不得在同一年度被重复提名国家自然科学奖、国家技术发明奖和国家科学技术进步奖。

第二十五条 提名者和候选者应当按要求参加评审过程中的答辩工作。专家联合提名的，由主责专家参加答辩，如主责专家由于客观原因不能参加答辩，可指定1名提名专家代为参加；组织机构、有关部门和地方政府提名的，可由提名单位委托1名专家代表参加答辩。

第二十六条 在异议和信访处理过程中，提名者应配合奖励办公室进行调查核实，由奖励办公室依规组织审核处理。其中，专家联合提名的由主责专家牵头承担相关工作。相关单位和个人应当积极配合调查核实工作，如实提供有关情况。

第五章 纪律与处罚

第二十七条 提名者在提名工作中应当严格遵守有关工作纪律，不得收取任何费用，不得索取或接受有关单位或个人的任何

财物，不得利用提名者身份谋取任何不正当利益，不得进行任何可能影响评审公正性的活动。

第二十八条 提名者未按照本办法第十五条、第二十五条、第二十六条规定履行相关责任的，按照《条例》及其实施细则等有关规定，由科技部视事实、情节、后果和影响分别给予以下处理：

（一）对违反本办法第十五条规定的，给予通报批评、一定期限内暂停其提名资格等处理。情节严重的，由所在单位或相关部门依法依规给予处分。

（二）对未按照本办法第二十五条、第二十六条规定承担答辩及调查核实责任的，给予通报批评、一定期限内暂停其提名资格等处理。

第二十九条 提名者违反本办法第二十七条规定，在提名工作过程中收取费用、索取或接受财物、利用提名者身份谋取不正当利益或进行可能影响评审公正性活动的，按照《条例》及其实施细则、《科学技术活动违规行为处理暂行规定》等有关规定，由科技部视事实、情节、后果和影响给予通报批评、暂停2至10年直至取消其提名资格等处理，并由所在单位或相关部门依法依规给予处分。

第三十条 候选者及有关单位或个人应当按要求如实向提名者提供相关材料，不得进行任何可能影响提名公平公正的活动。

第三十一条 候选者违反本办法第三十条规定的，按照《条例》及其实施细则、《科学技术活动违规行为处理暂行规定》《科学技术活动评审工作中请托行为处理规定（试行）》等有关规定，由科技部视事实、情节、后果和影响给予以下处理：

（一）对未按要求如实向提名者提供相关材料的，给予通报批评、取消参评资格、2至10年内禁止参与国家科学技术奖励活动等处理。

（二）对进行可能影响提名公平公正活动的，给予通报批评、取消参评资格、2至10年内禁止参与国家科学技术奖励活动等处理，并由相关责任人所在单位或相关责任单位主管部门依法依规给予处分。

第三十二条 科技部建立提名者和候选者科研诚信严重失信“黑名单”制度，对违反本办法规定，有科研诚信严重失信行为的个人、组织，记入科研诚信严重失信行为数据库，并按照国家有关规定实施联合惩戒。

第六章 附则

第三十三条 本办法由科技部负责解释。

第三十四条 本办法自发布之日起施行。○

来源：中华人民共和国科学技术部

科技伦理审查办法（试行）

第一章 总则

第一条 为规范科学研究、技术开发等科技活动的科技伦理审查工作，强化科技伦理风险防控，促进负责任创新，依据《中华人民共和国科学技术进步法》《关于加强科技伦理治理的意见》等法律法规和相关规定，制定本办法。

第二条 开展以下科技活动应依照本办法进行科技伦理审查：

（一）涉及以人为研究参与者的科技活动，包括以人为测试、调查、观察等研究活动的对象，以及利用人类生物样本、个人信息数据等的科技活动；

（二）涉及实验动物的科技活动；

（三）不直接涉及人或实验动物，但可能在生命健康、生态环境、公共秩序、可持续发展等方面带来伦理风险挑战的科技活动；

（四）依据法律、行政法规和国家有关规定需进行科技伦理审查的其他科技活动。

第三条 开展科技活动应坚持促进创新与防范风险相统一，

客观评估和审慎对待不确定性和技术应用风险，遵循增进人类福祉、尊重生命权利、坚持公平公正、合理控制风险、保持公开透明的科技伦理原则，遵守我国宪法、法律法规和有关规定以及科技伦理规范。

科技伦理审查应坚持科学、独立、公正、透明原则，公开审查制度和审查程序，客观审慎评估科技活动伦理风险，依规开展审查，并自觉接受有关方面的监督。涉及国家安全、国家秘密、商业秘密和敏感事项的，依法依规做好相关工作。

第二章 审查主体

第四条 高等学校、科研机构、医疗卫生机构、企业等是本单位科技伦理审查管理的责任主体。从事生命科学、医学、人工智能等科技活动的单位，研究内容涉及科技伦理敏感领域的，应设立科技伦理（审查）委员会。其他有科技伦理审查需求的单位可根据实际情况设立科技伦理（审查）委员会。

单位应为科技伦理（审查）

委员会履职配备必要的工作人员、提供办公场所和经费等条件，并采取有效措施保障科技伦理（审查）委员会独立开展伦理审查工作。

探索建立专业性、区域性科技伦理审查中心。

第五条 科技伦理（审查）委员会的主要职责包括：

（一）制定完善科技伦理（审查）委员会的管理制度和工作规范；

（二）提供科技伦理咨询，指导科技人员对科技活动开展科技伦理风险评估；

（三）开展科技伦理审查，按要求跟踪监督相关科技活动全过程；

（四）对拟开展的科技活动是否属于本办法第二十五条确定的清单范围作出判断；

（五）组织开展对委员的科技伦理审查业务培训和科技人员的科技伦理知识培训；

（六）受理并协助调查相关科技活动中涉及科技伦理问题的投诉举报；

（七）按照本办法第四十三、

四十四、四十五条要求进行登记、报告,配合地方、相关行业主管部门开展涉及科技伦理审查的相关工作。

第六条 科技伦理(审查)委员会应制定章程,建立健全审查、监督、保密管理、档案管理等制度规范、工作规程和利益冲突管理机制,保障科技伦理审查合规、透明、可追溯。

第七条 科技伦理(审查)委员会人数应不少于7人,设主任委员1人,副主任委员若干。委员会由具备相关科学技术背景的同行为专家,伦理、法律等相关专业背景的专家组成,并应当有不同性别和非本单位的委员,民族自治地方应有熟悉当地情况的委员。委员任期不超过5年,可以连任。

第八条 科技伦理(审查)委员会委员应具备相应的科技伦理审查能力和水平,科研诚信状况良好,并遵守以下要求:

(一)遵守我国宪法、法律、法规和科技伦理有关制度规范及所在科技伦理(审查)委员会的章程制度;

(二)按时参加科技伦理审查会议,独立公正发表审查意见;

(三)严格遵守保密规定,对科技伦理审查工作中接触、知悉的国家秘密、个人隐私、个人信息、技术秘密、未公开信息等,未经允许不得泄露或用于其他

目的;

(四)遵守利益冲突管理要求,并按规定回避;

(五)定期参加科技伦理审查业务培训;

(六)完成委员会安排的其他工作。

第三章 审查程序

第一节 申请与受理

第九条 开展科技活动应进行科技伦理风险评估。科技伦理(审查)委员会按照本办法要求制定本单位的科技伦理风险评估办法,指导科技人员开展科技伦理风险评估。经评估属于本办法第二条所列范围科技活动的,科技活动负责人应向科技伦理(审查)委员会申请科技伦理审查。申请材料主要包括:

(一)科技活动概况,包括科技活动的名称、目的、意义、必要性以及既往科技伦理审查情况等;

(二)科技活动实施方案及相关材料,包括科技活动方案,可能的科技伦理风险及防控措施和应急处理预案,科技活动成果发布形式等;

(三)科技活动所涉及的相关机构的合法资质材料,参加人员的相关研究经验及参加科技伦理培训情况,科技活动经费来源,科技活动利益冲突声明等;

(四)知情同意书,生物样

本、数据信息、实验动物等的来源说明材料等;

(五)遵守科技伦理和科研诚信等要求的承诺书;

(六)科技伦理(审查)委员会认为需要提交的其他材料。

第十条 科技伦理(审查)委员会应根据科技伦理审查申请材料决定是否受理申请并通知申请人。决定受理的应明确适用的审查程序,材料不齐全的应一次性完整告知需补充的材料。

第十一条 科技伦理审查原则上采取会议审查方式,本办法另有规定的除外。

第十二条 国际合作科技活动属于本办法第二条所列范围的,应通过合作各方所在国家规定的科技伦理审查后方可开展。

第十三条 单位科技伦理(审查)委员会无法胜任审查工作要求或者单位未设立科技伦理(审查)委员会以及无单位人员开展科技活动的,应书面委托其他满足要求的科技伦理(审查)委员会开展伦理审查。

第二节 一般程序

第十四条 科技伦理审查会议由主任委员或其指定的副主任委员主持,到会委员应不少于5人,且应包括第七条所列的不同类别的委员。

根据审查需要,会议可要求申请人到会阐述方案或者就特定

问题进行说明，可邀请相关领域不存在直接利益关系的顾问专家等提供咨询意见。顾问专家不参与会议表决。

会议采用视频方式的，应符合科技伦理（审查）委员会对视频会议适用条件、会议规则等的有关制度要求。

第十五条 科技伦理（审查）委员会应按照以下重点内容和标准开展审查：

（一）拟开展的科技活动应符合本办法第三条规定的科技伦理原则，参与科技活动的科技人员资质、研究基础及设施条件等符合相关要求。

（二）拟开展的科技活动具有科学价值和社会价值，其研究目标的实现对增进人类福祉、实现社会可持续发展等具有积极作用。科技活动的风险受益合理，伦理风险控制方案及应急预案科学恰当、具有可操作性。

（三）涉及以人为研究参与者的科技活动，所制定的招募方案公平合理，生物样本的收集、储存、使用及处置合法合规，个人隐私数据、生物特征信息等信息处理符合个人信息保护的有关规定，对研究参与者的补偿、损伤治疗或赔偿等合法权益的保障方案合理，对脆弱人群给予特殊保护；所提供的知情同意书内容完整、风险告知客观充分、表述清晰易懂，获取个人知情同意的方

式和过程合规恰当。

（四）涉及实验动物的科技活动，使用实验动物符合替代、减少、优化原则，实验动物的来源合法合理，饲养、使用、处置等技术操作要求符合动物福利标准，对从业人员和公共环境安全等的保障措施得当。

（五）涉及数据和算法的科技活动，数据的收集、存储、加工、使用等处理活动以及研究开发数据新技术等符合国家数据安全和个人信息保护等有关规定，数据安全风险监测及应急处理方案得当；算法、模型和系统的设计、实现、应用等遵守公平、公正、透明、可靠、可控等原则，符合国家有关要求，伦理风险评估审核和应急处置方案合理，用户权益保护措施全面得当。

（六）所制定的利益冲突申明和管理方案合理。

（七）科技伦理（审查）委员会认为需要审查的其他内容。

第十六条 科技伦理（审查）委员会对审查的科技活动，可作出批准、修改后批准、修改后再审或不予批准等决定。修改后批准或修改后再审的，应提出修改建议，明确修改要求；不予批准的，应说明理由。

科技伦理（审查）委员会作出的审查决定，应经到会委员的三分之二以上同意。

第十七条 科技伦理（审查）

委员会一般应在申请受理后的30日内作出审查决定，特殊情况可适当延长并明确延长时限。审查决定应及时送达申请人。

第十八条 申请人对审查决定有异议的，可向作出决定的科技伦理（审查）委员会提出书面申诉，说明理由并提供相关支撑材料。申诉理由充分的，科技伦理（审查）委员会应按照本办法规定重新作出审查决定。

第十九条 科技伦理（审查）委员会应对审查批准的科技活动开展伦理跟踪审查，必要时可作出暂停或终止科技活动等决定。跟踪审查间隔一般不超过12个月。

跟踪审查的主要内容包括：

（一）科技活动实施方案执行情况；

（二）科技伦理风险防控措施执行情况；

（三）科技伦理风险的潜在变化及可能影响研究参与者权益和安全等情况；

（四）其他需要跟踪审查的内容。

根据跟踪审查需要，科技伦理（审查）委员会可以要求科技活动负责人提交相关材料。

第二十条 因科技活动实施方案调整、外部环境变化等可能导致科技伦理风险发生变化的，科技活动负责人应及时向科技伦理（审查）委员会报告。科技伦理（审查）委员会应对风险受益

情况进行评估,提出继续实施、暂停实施等意见,必要时,重新开展伦理审查。

第二十一条 多个单位合作开展科技活动的,牵头单位可根据实际情况建立科技伦理审查协作与结果互认机制,加强科技伦理审查的协调管理。

第三节 简易程序

第二十二条 有下列情形之一的可以适用简易程序审查:

- (一)科技活动伦理风险发生的可能性和程度不高于最低风险;
- (二)对已批准科技活动方案作较小修改且不影响风险受益比;
- (三)前期无重大调整的科技活动的跟踪审查。

科技伦理(审查)委员会应制定适用简易程序审查的工作规程。

第二十三条 简易程序审查由科技伦理(审查)委员会主任委员指定两名或两名以上的委员承担。审查过程中,可要求申请人就相关问题进行说明。审查决定应载明采取简易程序审查的理由和依据。

采取简易程序审查的,科技伦理(审查)委员会可根据情况调整跟踪审查频度。

第二十四条 简易程序审查过程中出现下列情形之一的,应按规定调整为会议审查,适用一般程序:

- (一)审查结果为否定性意见的;
- (二)对审查内容有疑义的;
- (三)委员之间意见不一致的;
- (四)委员提出需要调整为会议审查的。

第四节 专家复核程序

第二十五条 建立需要开展专家复核的科技活动清单制度,对可能产生较大伦理风险挑战的新兴科技活动实施清单管理。清单根据工作需要动态调整,由科技部公开发布。

第二十六条 开展纳入清单管理的科技活动的,通过科技伦理(审查)委员会的初步审查后,由本单位报请所在地方或相关行业主管部门组织开展专家复核。多个单位参与的,由牵头单位汇总并向所在地方或相关行业主管部门申请专家复核。

第二十七条 申请专家复核的,科技活动承担单位应组织科技伦理(审查)委员会和科技人员按要求提交以下材料:

- (一)本办法第九条所列材料;
- (二)科技伦理(审查)委员会初步审查意见;
- (三)复核组织单位要求提交的其他相关材料。

第二十八条 地方或相关行业主管部门组织成立复核专家组,由科技活动相关领域具有较高学

术水平的同行专家以及伦理学、法学等方面的专家组成,不少于5人。科技伦理(审查)委员会委员不得参与本委员会审查科技活动的复核工作。

复核专家应主动申明是否与复核事项存在直接利益关系,严格遵守保密规定和回避要求。

第二十九条 复核专家组应按照以下重点内容和标准开展复核:

- (一)初步审查意见的合规性。初步审查意见应当符合我国法律、行政法规、国家有关规定和科技伦理要求。
- (二)初步审查意见的合理性。初步审查意见应当结合技术发展需求和我国科技发展实际,对科技活动的潜在伦理风险和防控措施进行全面充分、恰当合理的评估。
- (三)复核专家组认为需要复核的其他内容。

第三十条 复核专家组采取适当方式开展复核,必要时可要求相关科技伦理(审查)委员会、科技人员解释说明有关情况。

第三十一条 地方或相关行业主管部门一般应在收到复核申请后30日内向申请单位反馈复核意见。

复核专家组应当作出同意或不同意的复核意见,复核意见应经全体复核专家的三分之二以上同意。

第三十一条 地方或相关行业主管部门一般应在收到复核申请后30日内向申请单位反馈复核意见。

第三十二条 单位科技伦理（审查）委员会应根据专家复核意见作出科技伦理审查决定。

第三十三条 单位科技伦理（审查）委员会应加强对本单位开展的纳入清单管理的科技活动的跟踪审查和动态管理，跟踪审查间隔一般不超过6个月。

科技伦理风险发生重大变化的，应按照本办法第二十条规定重新开展伦理审查并申请专家复核。

第三十四条 国家对纳入清单管理的科技活动实行行政审批等监管措施且将符合伦理要求作为审批条件、监管内容的，可不再开展专家复核。审批、监管部门和科技活动承担单位应严格落实伦理监管责任，防控伦理风险。

第五节 应急程序

第三十五条 科技伦理（审查）委员会应制定科技伦理应急审查制度，明确突发公共事件等紧急状态下的应急审查流程和标准操作规程，组织开展应急伦理审查培训。

第三十六条 科技伦理（审查）委员会根据科技活动紧急程度等实行分级管理，可设立科技伦理审查快速通道，及时开展应急审查。应急审查一般在72小时内完成。对于适用专家复核程序的科技活动，专家复核时间一并计入应急审查时间。

第三十七条 应急审查应有相关专业领域的委员参会。无相关专业领域委员的，应邀请相关专业领域顾问专家参会，提供咨询意见。

第三十八条 科技伦理（审查）委员会应加强对应急审查的科技活动的跟踪审查和过程监督，及时向科技人员提供科技伦理指导意见和咨询建议。

第三十九条 任何单位和个人不得以紧急情况为由，回避科技伦理审查或降低科技伦理审查标准。

第四章 监督管理

第四十条 科技部负责统筹协调全国科技伦理监管工作，有关科技伦理审查监管的重要事项应听取国家科技伦理委员会的专业性、学术性咨询意见。地方、相关行业主管部门按照职责权限和隶属关系负责本地方、本系统科技伦理审查的监督管理工作，建立对纳入清单管理科技活动的专家复核机制，加强对本地方、本系统发生的重大突发公共事件应急伦理审查的协调、指导和监督。

第四十一条 高等学校、科研机构、医疗卫生机构、企业等应履行科技伦理管理主体责任，健全本单位科技伦理监管机制和审查质量控制、监督评价机制，经常性开展单位工作人员科技伦

理教育培训，加强对纳入清单管理的科技活动的动态跟踪和伦理风险防控。

国家推动建立科技伦理（审查）委员会认证机制，鼓励相关单位开展科技伦理审查认证。

第四十二条 科技部负责建设国家科技伦理管理信息登记平台，为地方、相关行业主管部门加强科技伦理监管提供相应支撑。

第四十三条 单位应在设立科技伦理（审查）委员会后30日内，通过国家科技伦理管理信息登记平台进行登记。登记内容包括科技伦理（审查）委员会组成、章程、工作制度等，相关内容发生变化时应及时更新。

第四十四条 单位应在纳入清单管理的科技活动获得伦理审查批准后30日内，通过国家科技伦理管理信息登记平台进行登记。登记内容包括科技活动实施方案、伦理审查与复核情况等，相关内容发生变化时应及时更新。

第四十五条 单位应于每年3月31日前，向国家科技伦理管理信息登记平台提交上一年度科技伦理（审查）委员会工作报告、纳入清单管理的科技活动实施情况报告等。

第四十六条 对科技活动中违反科技伦理规范、违背科技伦理要求的行为，任何单位或个人有权依法向科技活动承担单位或地方、相关行业主管部门投诉

举报。

第四十七条 科技活动承担单位、科技人员违反本办法规定，有下列情形之一的，由有管辖权的机构依据法律、行政法规和相关规定给予处罚或者处理；造成财产损失或者其他损害的，依法承担民事责任；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

（一）以弄虚作假方式获得科技伦理审查批准，或者伪造、篡改科技伦理审查批准文件的；

（二）未按照规定通过科技伦理审查和专家复核擅自开展纳入清单管理的科技活动的；

（三）未按照规定获得科技伦理审查批准擅自开展科技活动的；

（四）超出科技伦理审查批准范围开展科技活动的；

（五）干扰、阻碍科技伦理审查工作的；

（六）其他违反本办法规定的行为。

第四十八条 科技伦理（审查）委员会、委员违反本办法规定，有下列情形之一的，由有管辖权的机构依据法律、行政法规和相关规定给予处罚或者处理；造成财产损失或者其他损害的，依法承担民事责任；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

（一）弄虚作假，为科技活动承担单位获得科技伦理审查批准提供便利的；

（二）徇私舞弊、滥用职权或者玩忽职守的；

（三）其他违反本办法规定的行为。

第四十九条 高等学校、科研机构、医疗卫生机构、企业等是科技伦理违规行为单位内部调查处理的第一责任主体，应及时主动调查科技伦理违规行为，依法依规追责问责。

单位或其负责人涉嫌科技伦理违规行为的，由其上级主管部门调查处理，没有上级主管部门的，由其所在地的省级科技行政管理部门负责组织调查处理。

第五十条 地方、相关行业主管部门按照职责权限和隶属关系，加强对本地方、本系统科技伦理违规行为调查处理的指导和监督，组织开展对重大科技伦理案件的调查处理。

第五十一条 科技伦理违规行为涉及财政性资金设立的科技计划项目的，由项目管理部门（单位）按照项目管理有关规定组织调查处理。项目承担（参与）单位应按照项目管理部门（单位）要求，主动开展并积极配合调查，依据职责权限对违规行为责任人作出处理。

第五章 附则

第五十二条 本办法所称科技伦理风险是指从伦理视角识别

的科学研究、技术开发等科技活动中的风险。最低风险是指日常生活中遇到的常规风险或与健康体检相当的风险。

本办法所称“以上”“不少于”均包括本数。本办法涉及期限的规定，未标注为工作日的，为自然日。

本办法所称“地方”是指省级地方人民政府确定的负责相关领域科技伦理审查和管理工作的省级管理部门，“相关行业主管部门”是指国务院相关行业主管部门。

第五十三条 地方、相关行业主管部门可按照本办法规定，结合实际情况制定或修订本地方、本系统的科技伦理审查办法、细则等制度规范。科技类社会团体可制定本领域的科技伦理审查具体规范和指南。

第五十四条 相关行业主管部门对本领域科技伦理（审查）委员会设立或科技伦理审查有特殊规定且符合本办法精神的，从其规定。

本办法未作规定的，按照其他现有相关规定执行。

第五十五条 本办法由科技部负责解释。

第五十六条 本办法自2023年12月1日起施行。○

来源：中华人民共和国科学技术部



中国自动化学会

中国自动化学会(Chinese Association of Automation, 缩写CAA)于1961年成立,是我国最早成立的国家一级学术团体之一,是中国科学技术协会的组成部分,是发展我国自动化科技事业的重要社会力量。学会现有个人会员9万余人,团体会员单位300余个,专业委员会60个,工作委员会9个,30个省、自治区、直辖市设有地方学会组织,覆盖了我国自动化科学技术领域的各个层面。

中国自动化学会在改革中求发展,不断加强群众组织力、学术引领力、社会公信力和国际影响力。近年来,中国自动化学会重点从学术交流与应用推广、组织建设与会员服务、科技评估与人才评价、课题研究与决策支撑、科学普及与继续教育等方面开拓创新,推动中国自动化科学和事业的发展 and 壮大,成为连接政府、产业、学术、科研、会员的重要纽带,致力于成为国内外有影响力的现代社会团体组织。

学会品牌学术活动

- 中国自动化大会 · 中国认知计算与混合智能学术大会
- 国家智能车发展论坛 · 国家机器人发展论坛 · 国家智能制造论坛
- 青年菁英系列活动 · 智能自动化学科前沿讲习班 · 钱学森国际杰出科学奖系列讲座
- 中国控制会议 · 中国过程控制会议 · 青年学术年会

学会奖励奖项

- CAA科技进步奖 · CAA自然科学奖 · CAA技术发明奖 · CAA自动化与人工智能创新团队成果奖
- CAA科技成就奖 · CAA大学生激励计划 · CAA论文卓越行动工程 · CAA青年托举工程
- CAA教育教学成果卓越行动工程 · CAA科学普及成果

学会主办期刊

- 中国自动化学会通讯 · 自动化学报 · 自动化学报(英文版)
- 信息与控制 · 机器人 · 模式识别与人工智能 · 电气传动
- 自动化博览 · 计算技术与自动化



官方微信



官方微博

地址:北京市海淀区中关村东路95号自动化大厦

网址:<http://www.caa.org.cn/>

电话:010-62522472

传真:010-62522248

邮箱:caa@ia.ac.cn

邮编:100190