

中国自动化学会通讯

COMMUNICATIONS OF CAA

第 9 期

2023 年 09 月

第44卷 总第240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 国家智能车发展论坛



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 9 月 30 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

当前世界百年未有之大变局深度演进，汽车产业也迎来了百年大变革。从技术层面看，智能网联新能源汽车与新材料、5G、大数据、人工智能等颠覆性的技术广泛融合，正在成为继智能手机之后下一个技术创新的主体。从产业层面看，发展智能新能源汽车不仅成为车企竞争的新赛道，也成为大国产业竞争的重要抓手，关键核心技术领域前瞻性的创新突破，使得中国智能新能源汽车产业逐步取得了领先优势。中国智能车大会暨国家智能车发展论坛是国家自然科学基金委员会信息科学部和中国自动化学会于2015年创办的品牌学术活动，旨在推动我国人工智能基础研究领域重要里程碑计划——国家自然科学基金委员会重大研究计划“视听觉信息的认知计算”，有力促进了我国智能车基础理论研究、成果原始创新和高技术开发，增强我国智能车自主研发技术水平和实际应用能力，促进智能车技术产业化应用，推动其在能源、交通等领域的深入应用和产业转型升级。目前已成功举办6届，已成为全国从事智能车辆与自动驾驶相关领域研发、生产及应用机构的科研和工程技术人员进行学术交流与技术研讨的重要平台。

中国自动化学会于2023年7月1-3日在广州南沙举办2023中国智能车大会暨国家智能车发展论坛。本次论坛由国家自然科学基金委员会信息科学部和中国自动化学会共同主办，香港科技大学（广州）和西安交通大学共同承办，中国自动化学会网联智能系统专业委员会（筹）、中国自动化学会智能车工作委员会、中国自动化学会车辆控制与智能化专业委员会、中国自动化学会集成自动化技术专业委员会、广东省汽车智能网联发展促进会共同协办。大会通过线上、线下相结合的形式召开，来自智能车及相关领域学术界、产业界的同仁500余人现场参会，1021.8万余人次线上观看。

本期专刊聚焦“中国智能车大会暨国家智能车发展论坛”，为大家分享了中国自动化学会理事长郑南宁院士和广东省科协党组成员华旭初同志的论坛开幕式致辞。重点介绍了中国自动化学会理事、同济大学教授陈虹的“汽车控制与智能系统”，腾讯智慧交通副总裁施雪松得“数字孪生与交通OS双轮驱动—打造有获得感的智能网联”两个大会报告和香港科技大学（广州）郑心湖副研究员的“网联智能下的多车协同感知与多模态感知信息融合”专题报告。

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智能车相关领域新的探讨与思考。



口述历史 / Oral History

- 004 口述历史系列访谈
——我国飞航技术专家 黄瑞松

专题 / Column

- 008 中国自动化学会理事长郑南宁院士：一个伟大的科技成果的诞生，离不开持之以恒的决心和探索
- 009 广东省科协党组成员华旭初：加快将广东建设成为全国新能源汽车之都
- 010 汽车控制与智能系统 / 陈虹
- 014 数字孪生与交通 OS 双轮驱动—打造有获得感的智能网联 2.0 / 施雪松
- 019 网联智能下的协同感知 / 郑心湖

观点 / Viewpoint

- 024 蒋昌俊院士：中国式创新需要坚持系统论观念
- 026 高文院士：发展算力网要迎接直连和调度两大挑战

科普园地 / Science Park

- 028 社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（六）
/ Anuradha M. Annaswamy、Karl H. Johansson、George J. Pappas
- 039 社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（七）
/ Anuradha M. Annaswamy、Karl H. Johansson、George J. Pappas





P051



P052

学会动态 / Activities

- 050 第 41 期中国科协全国学会秘书长沙龙在京召开
- 051 中国自动化学会十一届二十五次理事长、四十一一次秘书长、一届十六次监事长工作会议成功召开
- 052 CAA 重庆大学学生分会成立大会在重庆大学举行
- 054 CAA 中南大学学生分会成立大会成功召开
- 057 CAA 北京工业大学学生分会成立大会成功召开
- 060 长沙市科协一行来访中国自动化学会
- 061 2023 中国机器人大赛暨 RoboCup 机器人世界杯中国赛 - 安徽省赛、华南区域赛、河南省赛及专项赛圆满结束!
- 064 中国自动化学会专家咨询工作委员会换届会议成功召开



P060

- 066 第 38 届中国自动化学会青年学术年会在合肥顺利闭幕
- 069 2023 年第五届中国建筑机器人技术大会成功举行

党建强会 / Party Building

- 071 扎实推动教育强国建设
- 075 中国自动化学会十一届十三次党委工作会议成功召开
- 076 中国自动化学会办事机构党支部召开习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育专题组织生活会

形势通报 / Voice

- 077 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于进一步加强青年科技人才培养和使用的若干措施》
- 079 制造业技术创新体系建设和应用实施意见



P063

口述历史系列访谈

——我国飞航技术专家 黄瑞松

导
语

秉承尊重历史、以史为鉴、弘扬传承的理念，中国自动化学会于 2015 年特别打造“口述历史”系列访谈栏目，走访学会和自动化学科发展息息相关的老一辈科学家，探寻心灵深处的记忆，记录心路历程的点滴，为当代自动化领域科技工作者了解历史、传承老一辈科学家的宝贵科学思想和精神财富提供有益借鉴。

本期学会采访的是黄瑞松院士。黄瑞松，我国飞航技术专家，中国工程院院士，中国自动化学会特聘顾问、第八届、九届常务理事，曾任中国航天科工集团公司三院总体部主任、三院科技委主任、三院副院长、中国航天科工集团公司科技委副主任等职务，长期从事飞航导弹武器研制和预

先研究工作，历任多型导弹武器系统总体副主任设计师、副总设计师、总设计师、总指挥等职务，为中国飞航导弹武器事业的发展做出了突出贡献；主持了我国飞航仿真工程建设，积极组织和推动 CAD/CAM 技术的开发研究工作，对导弹研制发挥了重要作用；组织深入研究高超技术，对高超

技术的发展奠定了重要基础。

一、战乱年代，点燃从军报国梦

黄瑞松 1938 年 7 月出生于江苏宜兴和桥镇西锄村的一个普通农民家庭。宜兴位于江苏、浙江、安徽三省交界处，环境优渥、历史悠久，其中的和桥镇更是宜兴四大镇之一，曾是“千叶小舟云集，八方商贾过往”的繁华商埠。西锄村地处溇湖之滨，长达 50 公里的河道纵横交错。黄瑞松的家，就地处这条河的边上。

1938 年，是日本发动侵华全面战争的第二年，也是南京大屠杀惨案发生的第二年，这风景如画的家乡，不可避免地处在战火纷飞的年代，遭受了日军的烧杀抢掠。

回想起学生时代经历的黄瑞松，印象最深的便是黑压压的碉堡和明晃晃的刺刀。地处溇湖畔的西锄村随着宜兴的陷落，一度成为中日军队交战的前线。日



图 1 黄瑞松院士接受中国自动化学会采访
(从左至右分别是：吕爱英、王坛、张楠、黄瑞松、叩颖)

寇的碉堡就在黄瑞松就读的西锄小学的操场边上，距离黄瑞松的家也不过 500 米。也正是因为离得近，黄瑞松的家里不断受到日寇的骚扰和洗劫，甚至在一次扫荡中，黄瑞松的父亲被逮住殴打差点死于非命。

面对气焰嚣张的侵华日军，毛泽东同志提出要在沿江沿海一带组织游击战争，太滬地区成为赫赫有名的抗日根据地，新四军在黄瑞松家乡一带也和日寇打起了游击，扫荡与反扫荡此起彼伏。黄瑞松家里也就经常住进新四军，在他们英勇顽强的抗争精神的感染下，在西锄小学进步思想的教育下，黄瑞松从小便意识到要保家卫国，必须要有强大的武器装备，“强国梦”就像一颗种子深埋在他的心中。

梦想是方向，执行是力量。心怀强国梦的黄瑞松，一直想要参军报国。于是，他在西锄小学积极表现，早早成为了一名少先队员；在刚满 13 岁抗美援朝招募志愿者时，积极报名参军，但因年纪小没被接收；在高三临近高考时，又报名空军飞行员，但因体检不合格没能入选。

虽几次尝试，几次落选，但这不仅没有磨灭黄瑞松参军的火种，反而更加激发了他从军的愿望。终于，在高考前，中国人民解放军军事工程学院去学校招生，黄瑞松凭借优异的成绩顺利被预



图 2 初入哈军工时的黄瑞松

录取；又凭借高考的稳定发挥，最终收到了哈军工的录取通知书，走上了国防现代化建设的道路。

二、艰苦奋斗，实现飞航梦

中国人民解放军军事工程学院（简称“哈军工”），是在 1952

年由毛泽东主席批准创办的，院长为陈赓大将，学校的教学计划也是由毛主席亲自审阅的。“决定战争的因素是人，但武器装备对战争起着重要的作用，因此建造现代化武器装备，提升我国的军事工程技术就变得尤为重要。”

1955 年 10 月 8 日，被誉为“中国航天之父”、“中国导弹之父”的钱学森终于踏上了祖国的土地。1956 年，国家组建中国第一个导弹研究单位——国防部第五研究院，钱学森担任首任院长。1957 年，哈军工正式设立导弹专业。黄瑞松学的就是有翼导弹控制专业，并成为第一批中国导弹的科技工作者。

尽管有了世界顶级专家，仍然改变不了中国航天事业“一穷二白”的现状。在欧美国家严格的技术封锁下，要引进国外器材



图 3 哈军工毕业留念（后排右二为黄瑞松）

都备受制约。大学本科学习期间，克服种种困难，经过研究、摸索、计算、分析，终于培养出新中国第一代航天人，黄瑞松是其中的佼佼者。

参加工作后，更多的研究需要黄瑞松到实验基地去，到生产车间去，了解第一手的信息，解决随时发生的问题。导弹基地建在荒山野岭中，那时出行都靠绿皮火车，车厢里到处都是人。黄瑞松随身携带了小马扎，上车后摊开坐下，下车收起来。

除了忙碌、疲劳，更大的挑战来自心理上的压力。“只做不说”，是航天人的基本准则。

我国有 18000 多公里长的海岸线，从两次鸦片战争到甲午战争等，都是从海上入侵，因此海防问题至关重要。黄瑞松进入国防部五院后，便踏上了国防现代化建设的征程中。新中国百废待兴、基础薄弱、一穷二白，没有核心技术，也没有钱购买试验设施，但

国家要强大起来，必须要有自己先进的武器装备。“什么都没有的情况下，我们必须要继续往前走，必须要自力更生，艰苦奋斗。”

为了加强我国的海防能力，国防部五院开始研仿我国第一型飞航导弹“上游一号”，结束了我国海军“有舰无弹”的历史；后又开始自主设计，由黄瑞松牵头负责岸舰导弹“海鹰二号”控制工作，开创了飞航导弹走基本型系列化发展的先河。自此，中国的海防导弹，走出了一条仿制、改型、自行设计的道路。

在随后长达半个世纪的飞航导弹研制工作，黄瑞松重点参与和负责的导弹型号，射程上覆盖了近程、中程、远程，发射平台上涵盖了海（舰）、陆（岸）、空（机），导弹速度包含了亚音速、高亚音速、超音速、高超音速。90 年代黄瑞松带领团队研制了我国第一型具备完全自主知识产权涡喷发动机的导弹——“强国弹”，

成为了我国海军水面舰艇的主战装备；21 世纪初黄瑞松又带领团队研制了我国第一代远程反舰导弹“Y2”，使我国海军第一次拥有了对敌远程目标打击的能力。黄瑞松经常说他的飞航梦就是空天任我飞，海洋任我航，亚超高超，任我飞航。

凭借在我国飞航技术发展和国防现代化建设作出的突出贡献，黄瑞松多次获得国家科技进步奖一等奖、国防科技奖特等奖，并荣获国防科工委一等功、航天奖等众多荣誉称号。2003 年当选为中国工程院院士。

三、面向未来，心系中国梦飞航梦

科技创新，推动人类文明进步的根本动力。新中国成立后，中国的导弹领域几乎是一片空白，在党中央的坚强领导下，在一代代科技工作者的不懈努力下，我们的导弹技术发生了翻天覆地的

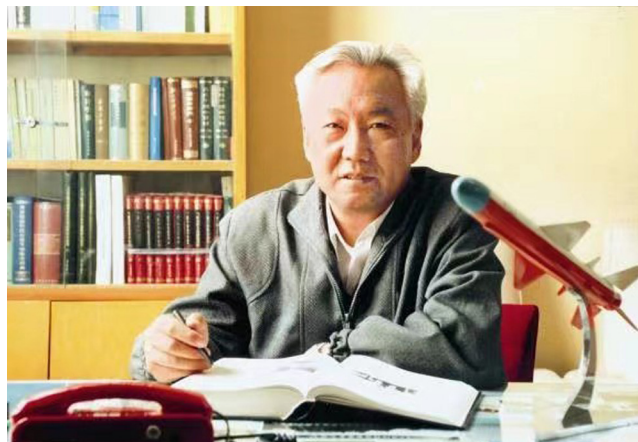


图 4 黄瑞松工作留影

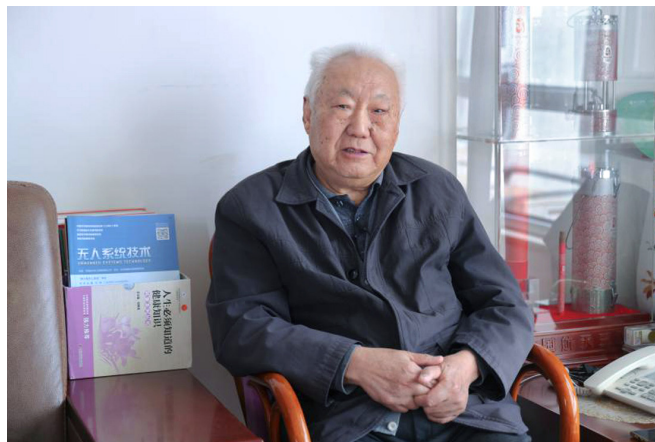


图 5 黄瑞松心系国家发展

变化，不仅短、中、远各种射程齐全，并且核常兼备。

回想起自己的工作科研历程，黄瑞松说自己这一路走来始终坚守自己的初心和使命，为国防事业现代化不断的努力和奋斗。虽然我国导弹技术实现了从无到有，从跟跑到并跑、迈入第一梯队，但自己的飞航梦还没有结束，我国的航天梦还要不断的攀登世界高峰。对于国家科技发展和人才培养，黄瑞松从自己的角度提出了几点建议。

一是要大力开展科技创新。核心技术是买不来的，必须要牢牢掌握在自己手里，面对关键卡脖子问题，看到差距但不纠结于差距，必须坚信“事在人为，关键在为，只要敢为，大有作为”，通过一代一代科技工作者的自力更生必然会推动我国科技自立自强。

二是要加大基础研究投入力度。基础研究尤其是新理论新思想的不断突破，有利于科学技术的长足发展与进步。基础研究离不开大型科学实验装置，科学技术要创新，必须做科学实验，科学实验就必须有手段，要手段就必须有设备。理论研究要与应用技术研究紧密结合，理论需要技术手段进行验证，从而进一步提升理论。

三是要坚持团结协作与时俱进。团结就是力量，飞航导弹研究是一个系统工程，包含了许多专业，需要各个方面的专家

级人才，只有团结协作才能实现技术攻关。黄瑞松在带领团队研制“强国弹”期间，问题层出不穷、试验不断延长，在团队身体和精神遭受双重折磨之时，黄瑞松带领全体人员歌唱“团结就是力量”，这首歌迸发出来的力量让全体队员找回了雄心壮志，最终也顽强与智慧取得了突破性进展，从根本上解决了问题。

四是要坚持“自力更生”培养人才。科技创新的关键在于人。黄瑞松高度重视人才的培养，并有一套自己的人才培养方法，这就是“重思想、严要求、搭平台、有格局”。黄瑞松尤其重视思想教育，认为航天人尤其要大力发扬“热爱祖国、无私奉献，自力更生、艰苦奋斗，大力协同、勇于登攀”的航天精神；失败是成功之母，科技创新必然要经历无数次的失败，年轻人要敢于尝试，敢于勇往直前，尤其是在航天大系统级人才的培养上，在发达国家访问学习并不能获取系统工程知识，反而需要通过反复的工作实践才能学到系统的知识，因此在系统级人才培养上，也要坚持“自力更生”，实践中培养。

在谈到青年科技工作者的培养时，黄瑞松特别感慨的提到，基础研究是不容易出成果甚至可能会面临多次失败，青年学者要有心里准备，要做好长期做冷板凳的准备。但同时，黄院士也呼

吁更多的部门能够关注到基础研究，关注从事基础研究的青年学者，能够给予他们更多的物力财力支持，让他们能够心无旁骛、踏下心来搞科研工作。

作为自动化领域老一辈科学家、中国自动化学会第八届、九届常务理事，黄瑞松也见证和亲历了学会的发展壮大。对于学会的未来发展，黄瑞松特别提到要不忘初心、牢记使命，坚持“与时俱进、解放思想、实事求是、真抓实干”，以问题导向和需求导向为牵引，大力推动基础研究的落地应用，高度重视科技人才培养，持续加大对人才和成果的奖励力度，全面提升社会效益，团结带领更广大科技工作者勇攀世界科技最高峰。

编后语：

在战火纷飞的年代成长，亲历“落后就要挨打”的元老，倾尽一生都在坚守“保家卫国”的信仰。不怕艰苦、不说差距、全力奋斗，这是他面对“科技落后”的态度，也是他一生的真实写照。如今元老虽然年逾八十有多项成果荣誉加身，但在采访中仍旧说自己的飞航梦还没有结束，还要继续为国家奉献。这让我们看到了以元老为代表的老一辈科学家胸怀祖国、矢志奉献的精神，也希望这种精神能够激励新时代的广大科技工作者实现更多“从0到1”的突破，为我国的科技事业添砖加瓦。○

中国自动化学会理事长郑南宁院士：一个伟大的科技成果的诞生，离不开持之以恒的决心和探索



大会主席、中国工程院院士、中国自动化学会理事长、
西安交通大学大学教授郑南宁

群贤毕至、蓬荪增辉。在南沙这片创新的沃土上，我们正在展开一个新的即将使我们能够感到激动和振奋的场面，那就是我们在这里共商中国智能车的发展。让我们把时光的镜头拉回到二十五年前的1998年，我想今天在座的许多专家学者，依然能够记得在1998年，Winds98横空出世，美国加州有两位青年在车库里创建了谷歌，也就是在这一年，极受追捧的华裔青年杨致远把雅虎的业务带到了中国。而在这一年，还有一个重大的事件值得我们记忆，那就是把浏览器中的Web页面设计思路引入到了计算机操作系统，而由此开启了计算机发展的一个新时代。

在这样一个风云激涌的时代中，中国的国家自然科学基金委员会正在组织一批专家在思考中国的信息技术、中国的互联网、中国的人工智能如何发展。在1998年就开始论证要“做什么”，由于专家意见的不一致，来自不同学科的专家很难形成共识。在国家自然科学基金委员会的组织下，我们历经十年，最终形成了视听觉认知计划，也见证了这一重大计划从论证、立项到推进的岁月。

刚才何杰副主任谈到，他和王成红副理事长也是在1998年刚刚到国家自然科学基金委员会参加工作。由此我们可以看到，一个新的学科的发展，或者说一个伟大的科技成果的诞生，离不开持之以恒的决心和探索。从实践中所悟出的道理，对今天参加论坛的青年学者是一个很好的借鉴。

今年ChatGPT的横空出世给我们带来了很多震撼，但是ChatGPT的背后给我们带来的深

刻启示是什么呢？那就是发展一个能改变人类历史的成果，我们需要一批顶级的科学家。有科学家还不行，还需要有一批卓越的工程师，把科学家的追求、学术思想能够在真实的物理世界中成长起来。当然，作为学者而言，他们在工作中不乏新的思考，他们缺的是支持、经费。ChatGPT给我们带来的启示之三，我们要有足够的经费支撑，有了经费支撑还需要有足够的耐心。

我想，ChatGPT给我们带来的启示，对于今天讨论的中国智能车发展也带来了思考，这次的论坛，就是给我们创造一种能够在这里进行碰撞、进行思考、进行探索的极好平台。尽管只有短短的两天，但这短短的两天一定会为我们下一步的发展，乃至国家自然科学基金委员会今后在重大方向的布局，能够提供一些有意义的参考。○

* 大会主席、中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学大学教授郑南宁在2023中国智能车大会暨国家智能车发展论坛开幕式上的致辞节选

广东省科协党组成员华旭初：加快将广东建设成为全国新能源汽车之都

在新一轮科技革命与产业变革的推动下，人工智能与信息通信技术赋能汽车产业。抢抓智能网联汽车的历史发展机遇，将助推我国智能交通和智慧城市的快速发展，实现汽车产业转型升级，建立新的产业生态。当前，我国智能网联汽车产业和技术已经驶入发展快车道，我国智能网联汽车行业规模从2019年的1656亿元预计增长至2024年的13120.4亿元，年复合增长率超50%。在国家政策的指引与5G等新一代信

息技术的迅速普及下，我国智能网联汽车的发展空间十分广阔。

刚刚召开的广东省委十三届三次全会，审议通过了《中共广东省委关于深入学习贯彻习近平总书记重要讲话重要指示精神奋力在推进中国式现代化建设中走在前列的决定》，提出了“锚定一个目标，激活三大动力，奋力实现十大新突破”，强调“坚持实体经济为本、制造业当家，在建设更具国际竞争力的现代化产业体系上取得新突破”。广东特别是广

州是我国制造业重镇，汽车产业是第一大支柱产业，正以做大做强中国品牌为主线，以新能源智能汽车为突破口，深入推进汽车产业供给侧结构性改革，推动汽车产业从规模速度型向质量效益型转变。

省科协作为省委省政府联系广大科技工作者的桥梁和纽带，其中一项重要的工作就是团结凝聚各领域专家和人才，服务经济社会的发展，为科技创新助力。我们将深入贯彻落实习近平新时代中国特色社会主义思想，团结引领广大科技工作者积极投身广东科技创新的实践中，为实现中国制造强国梦而作出新的贡献。同时，我们热切地希望有更多的院士、专家能够深入的关注广东，把更多的技术应用到广东，更多项目落在广东，更多资源带到广东，携手加快建设全国新能源汽车之都。○

* 广东省科协党组成员华旭初在2023中国智能车大会暨国家智能车发展论坛开幕式上的致辞节选



广东省科协党组成员华旭初

汽车控制与智能系统

文 / 同济大学 陈虹

导读：2023年7月2日，2023中国智能车大会暨国家智能车发展论坛在广州南沙盛大开幕。本届大会以“智能交互 驱动未来”为主题，由国家自然科学基金委员会信息科学部和中国自动化学会共同主办，香港科技大学（广州）和西安交通大学共同承办。来自智能车及相关领域学术界、产业界的同仁500余人齐聚一堂，展开思想碰撞和深入交流，共同展望智能车领域前沿趋势，探索科技赋能产业升级之路。本次大会得到了人民日报视频客户端、光明网、新浪、网易等多家媒体的直播支持，线上观看人数突破1021.8万人次。

陈虹教授受邀在2023中国智能车大会暨国家智能车发展论坛中作大会报告。汽车驾驶本质就是控制车辆的运动，需要满足以人为中心的安全舒适、以社会为中心的节能减排和以企业为中心的降本增效。本报告分析汽车控制与智能系统的特征，讨论机器对人类驾驶员感知、决策、规划与执行的增强或替代，介绍关键技术及案例。

一、汽车驾驶的内涵

汽车驾驶本质上是对汽车运动的控制。无论是人工驾驶还是机器驾驶，驾驶的本质任务均未改变，即将汽车从位置A驶向位置B。在操作层面上，驾驶涉及油门、换挡、加速、自动等操作，即对汽车运动方向和驱动力的控制。对汽车运动进行控制需要满足：以人为中心的安全舒适，其中安全是最重要的；以社会为中心的节能减排；以企业为中心的降本增效。显然，这三个要求是冲突和矛盾的。

人类驾驶员驾驶汽车，首先

是依靠视觉和听觉感知周围环境，还有通过身体感知车辆的振动和加速度等车辆运动状态。因此，人类驾驶员对环境的感知并非仅仅依赖于视觉和听觉，还融合了身体对运动姿态的感知。接下来，根据感知、经验、记忆等信息理解环境，用脑完成转向、加减速、挡位等决策。最后，通过手脚执行对方向盘、制动踏板、油门踏板和换挡的操作。

因此，汽车驾驶的自动化是对人类驾驶员感知、决策、执行各功能的增强或者替代。这里，对人类驾驶员执行功能的增强和替代已经在汽车领域得到广泛应

用，例如自动变速箱和自适应巡航系统。自动变速箱能够实现前向行驶时的档位操作的自主决策和执行，而自适应巡航系统能够在有限范围内自主进行加减速决策和执行。也就是说，汽车驾驶的自动化一直在进行中。

SAE（Society of Automotive Engineers）按照适用场景将自动驾驶技术分为L0-L5的等级，如图1所示。实际上，从完全人类驾驶的L0，到解放双脚的L1，以及解放双手、解放双眼、解放大脑，直至完全无人驾驶的L5，这些级别代表着对人类驾驶员感知、决策和执行功能增强或替代的程度。

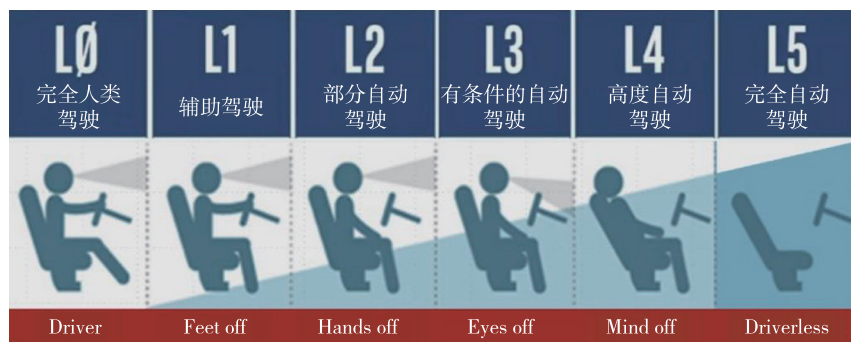


图1 自动驾驶分级

二、汽车驾驶的特征

汽车驾驶的特征包括以下几个方面：首先，在运动动力学方面，汽车表现出高速、刚体、三维运动特性。例如，在转向过程中乘坐者会产生外侧倾斜感，油门踩得过猛会产生后坐感，行驶在不平路面上的垂向颠簸感。这里，一个更为重要的特征是复杂的轮地关系。汽车运动中，轮胎是汽车与地面唯一的接触面，汽车的前进依赖于轮胎力的作用。不论是燃油车还是电动车，无论其控制系统如何，轮胎力是汽车运动的终极控制量。轮胎力在 $x-y-z$ 三维坐标系中有6个分量，而所有控制系统最终都通过这6个量来影响汽车的运动。

轮地关系的复杂性源于轮胎与路面之间的唯一接触面以及胎面和路面的多样性。路面有沥青、水泥、石子等不同材质，还有雨水、冰雪覆盖等情况；轮胎的材质、充气量和磨损等因素也对轮地关系有直接影响。此外，

轮胎力呈现非线性特性，表现为轮胎力会饱和，即在某种程度上无法进一步增加。作为汽车运动的终极控制力，一旦达到饱和，就无法再产生有效的控制。在三维坐标系中，轮胎力饱和可以用一个锥形体来描述，投影在侧纵($y-x$)向上为椭圆型状。

汽车驾驶的第二个特征表现在行驶环境即交通环境的开放性和异构性。交通环境中有不同的交通参与者，行人、摩托车、自行车和机动车等，这些不同类型的参与者使得交通环境具有开放性和异构性。另外，运行环境还受到天气条件的影响，例如雨、雪、雾等不稳定天气，这种多变

的天气状况也增加了运行环境的开放性和异构性。

汽车驾驶的第三个特征表现在汽车系统层面。首先是以力矩为纽带的动力产生、传递、使用过程中的机-电-液-热反应动力学强耦合，如图2所示。不论是燃油车还是新能源汽车，动力系统先将化学能或电能转换为机械能，产生力矩。然后通过力矩传递和速度匹配，将动力传递至车轮，最终用于驱动车辆运动。如果系统还采用了能量回收技术，运动能将再次转换为电能，进而进一步加重了动力学耦合程度。

第二个系统特征涉及人在回路中的几个方面。首先，驾驶员在回路中发挥着重要作用，他们具有多样性，通常是非职业的个体，但又需要处理高速运动的汽车驾驶问题，这是需要考虑的重要特征。其次，乘员也在回路中扮演关键角色。汽车是以人为中心的产品，必须时刻关注乘员的安全感和舒适感。第三，人机博弈是人在回路的第三个方面。车

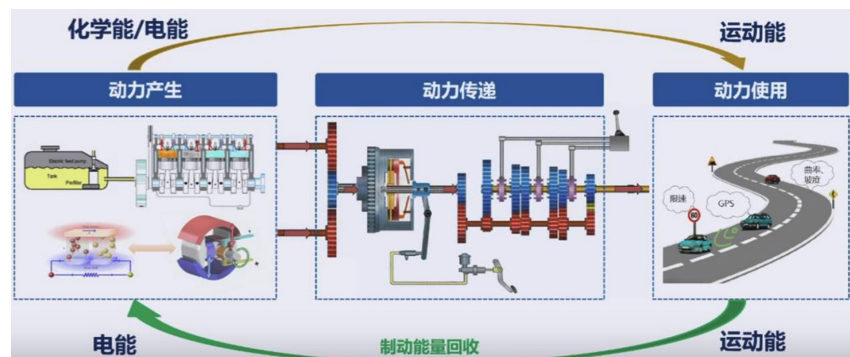


图2 汽车动力产生过程

辆运动只有一个主体，但控制车辆运动却有两个主体，一个是人类驾驶员，另一个是机器电脑也就是控制系统。人类驾驶员和控制系统设计的主观意图都想使汽车运动更好、更安全、更舒适。然而，现实可能是驾驶员和控制系统在争夺驾驶权。最简单的例子是电动助力转向控制系统，如果参数调整不当，可能会产生方向盘“打手”现象。

另外一个系统特征是系统嵌套。汽车系统包括动力系统和运动系统。动力系统包括发动机系统和变速箱系统，而发动机系统又包含气路、油路、点火系统和后处理系统等；运动系统中 ABS、ESC、转向系统也有类似的嵌套结构。在构建自动驾驶系统时，动力控制和运动控制又都成为了执行控制系统。这看似简单，实际上是一个层层嵌套的系统结构。最外层是自动驾驶系统，通过相机、雷达等多模态感知信息构成反馈。

三、智能时代新技术

智能时代的技术特征：泛在感知、数据极大丰富，使得预测更准确；泛在计算、算力显著提升，使得计算更快速，如图 3 所示。比如，车载感知技术的不断进步使得数据量大幅增加，从而提升了车辆轨迹预测的准确性。

预测优化技术在提高数据准确性后，可以应用于预测安全、



图 3 智能感知

预测节能、预测减排等领域。预测安全的动因来源于 2015 年一次特大交通事故，由于车辆速度过快，在上坡道时无法完成需要的转向，造成了重大人员伤亡的交通事故。基于道路的坡度、曲率数据，运用预测优化技术，能够准确预测车辆的运动轨迹，从而及时对车辆进行主动转向或制动，惨剧或可以避免。

在国家自然科学基金委员会重大项目等支持下，围绕极限工况下汽车主动安全系统的建模、侧纵垂运动一体化协同控制与测试评价展开研究。在这项工作中，我们考虑了不同车型不同驱动构型的应用场景，使得系统技术的拓展应用更加方便灵活。从控制架构优化、零动态失稳分析、稳定边界描述，到一体化协同控制算法，全部技术自主可控。最后，在国家授牌测试场进行实车极限工况验证，对控制系统及其算法完成了超过六轮次的迭代优化，通过释放白盒代码，支撑多家自

主品牌车企实现了先进技术的自主与超越。

我们团队在汽车智能技术方面的工作涵盖多个方面，如图 4 所示。首先是人机智能增强，包括机器对人类驾驶员的增强以及人对机器的增强，以期提升自动驾驶汽车的智能水平，实现机器驾驶与人类偏好“对齐”。其次，探索深度学习智能驾驶算法的可解释性，确保驾驶决策的可靠性和安全性，以及评价不同等级自动驾驶汽车的驾驶智能度。最后，针对自动驾驶测评难题，创新了耦合多要素极限特性的实物在环高可信推演技术，自主研发了“软件在环－硬件在环－单车在环－多车在环－实车在环”全链测试工具。这些研究旨在推进智能驾驶技术的发展和安全管理。

对自动驾驶而言，缺乏可解释性导致决策难以理解，进而引发消费者和使用者的不信任。在解释机器学习模型时，使用线性模型是最简单的方法，因为其具有可解释

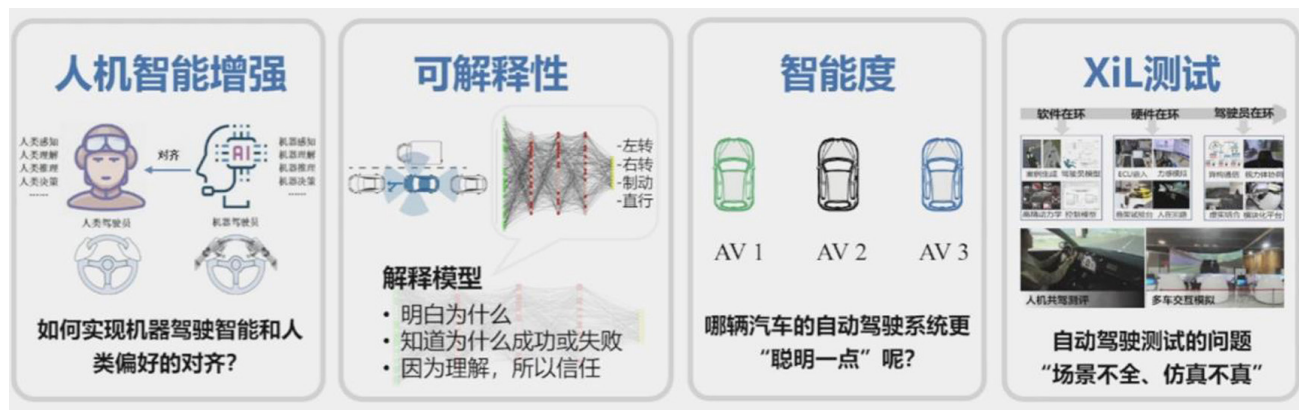


图4 汽车智能技术

性，但其中最困难的部分是设计归因函数。经济学中，Shapley 值可以用来衡量个体的贡献，但将其应用于解释机器学习算法时面临一个基值问题，即如何确定基准值。为此，我们提出了一个 TP 基值的方案，计算个体 Shapley 值，保证获胜团队贡献始终得到正面评价。最后，我们以 DQN 跟车决策模型为例，验证所提出的可解释性方法的有效性。

四、要点回顾与展望

汽车驾驶的本质是对汽车多自由度运动的控制，需要平衡以人为中心的安全舒适、以社会为中心的节能减排，以及以企业为中心的降本增效等三个相互冲突的要求。驾驶的自动化是对人类驾驶员感知、决策和执行等各项功能的增强或者替代。汽车驾驶系统的特征包括高速、三维运动、复杂轮地关系，开放、异构、多变运行环境，机、电、液、热、反应动力学强耦合，人在回路，

以及系统嵌套结构等。

数智时代，更多信息更快计算推动先进算法的车载应用，创造更多的新系统和新功能，赋能汽车社会更安全、更节能、更环

保、更舒适。○

* 本文根据作者在 2023 中国智能车大会暨国家智能车发展论坛上所作报告速记整理而成

作者简介



陈虹，同济大学长聘特聘教授，IEEE Fellow，中国自动化学会会士，中国汽车工程学会会士，国家杰出青年科学基金获得者，曾任吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室主任，现任同济大学电子与信息工程学院院长，兼任中国自动化学会车

辆控制与智能化专委会主任委员等。浙江大学过程控制及自动化仪表专业获工学学士和工学硕士学位，德国斯图加特大学获工学博士学位。近五年，主持国家自然科学基金重大项目“极限工况下汽车主动安全协同控制及应用验证”、国家重点研发计划项目“自动驾驶电动汽车测试与评价技术”和“自进化学习型自动驾驶系统关键技术”等国家和省部级项目。主要研究方向为预测优化控制、汽车控制与自动驾驶、人工智能与应用。

数字孪生与交通 OS 双轮驱动—打造有获得感的智能网联 2.0

文 / 腾讯智慧交通 施雪松

导读：2023 年 7 月 2 日，2023 中国智能车大会暨国家智能车发展论坛在广州南沙盛大开幕。本届大会以“智能交互 驱动未来”为主题，由国家自然科学基金委员会信息科学部和中国自动化学会共同主办，香港科技大学（广州）和西安交通大学共同承办。来自智能车及相关领域学术界、产业界的同仁 500 余人齐聚一堂，展开思想碰撞和深入交流，共同展望智能车领域前沿趋势，探索科技赋能产业升级之路。本次大会得到了人民日报视频客户端、光明网、新浪、网易等多家媒体的直播支持，线上观看人数突破 1021.8 万人次。

施雪松副总裁受邀在 2023 中国智能车大会暨国家智能车发展论坛中作题为“数字孪生与交通 OS 双轮驱动—打造有获得感的智能网联 2.0”的大会报告。腾讯交通以分布式云筑底，部署实时孪生 + 交通 OS 双轮驱动的腾讯核心能力，为交通行业构建一个可计算的数字底座。在智能网联领域，从封闭的测试园区、到半开放及全开放道路场景以及多个双智城市，腾讯在互联网的基础框架建造数字道路，以数字孪生、泛 V2X 云控、C 端触达等为核心能力与优势，全力支持车联网 2.0 与数字孪生城市的智能网联新时代建设。

腾讯公司在智慧交通和智慧出行领域的涉足与其 2018 年的重大战略转型密切相关，该转型促使腾讯充分利用其在消费互联网领域积累的数字技术，旨在通过这些技术支持实体经济的发展和赋能。因此，腾讯成功进入产业互联网时代，并以数字技术的应用推动智慧交通和智慧出行等领域的进步。

一、数字交通的时代机遇

中国作为一个交通大国，拥有广泛的交通网络，包括高速公路、高铁、城市交通轨道和乡村公路等。然而，要成为交通强国，中

国仍面临着一些挑战。为此，自 2019 年起，政府相继出台交通强国建设纲要，其中包括自动驾驶和智能网联等技术规划，以推动交通系统的效率和智能化水平的进一步提升。然而，随着机动车保有量和驾驶人数量迅速增加，道路供给量的增长却相对缓慢，导致供需矛盾，可能引发交通拥堵、效率低下和环境问题等挑战。因此，改善道路供给和交通基础设施，是目前实现交通强国目标的重要措施之一。

腾讯提出了一个基于未来车辆、交通基础设施和人的基本模型，即将人车路三者都纳入云端运行。过去十年 IT 领域高速发展时，

以资源为中心的网格计算和网格资源是主流。然而，现在正在发生一个重大变革，即过渡到以应用为中心的分布式云。分布式云正是未来复杂环境和复杂交通的基石。如何构建非常可靠的网络和云平台，能够安全地运行各种应用，是一个巨大的挑战。分布式云正好利用其弹性和安全能力，为实现这一目标提供了很好的解决方案。

二、实时孪生技术

与传统孪生可视化不同，实时孪生技术将感知、通信、时空计算和渲染相结合，主要目的是将复杂的交通环境甚至一辆车数字

化,尽量用简单的语义描述复杂的场景,以便充分发挥人工智能的能力,如图1所示。实时孪生的数字化结果可用于仿真、推演和AI计算。此外,我们还开发了面向工业互联网的OS系统,包括交通领域的OS系统,它们运行在云上,基于云原生技术。实时孪生和交通OS都面向云原生,与基础设施和物联网进行互联,并为深度提供低代码应用。这样的应用可以累积,就像今天手机上的微信和小程序一样,无论手机是否更换,应用不需要重新配置。这些技术的引入将在未来的行业发展中发挥重要作用,为实现数字化和智能化的交通环境提供强有力的支持。

正是由于其弹性、可扩充性和可靠性,实时孪生和交通OS属于分布式云技术。分布式云由于其物理上的分布广泛,能够实现尽可能多的备份,因此具备强大的网络抗损伤能力。此外,分布

式云充分应用了公有云的运维技术,同时还可以进行私有化部署。如今,在交通的各个方向,广泛地应用了分布式云技术。

云上孪生技术通过与基础设施进行互联,将复杂的交通对象的静态部分(例如地面建筑等)和动态部分(人流、物流等)放在同一空间中进行观察,它涵盖了感知、低时延和高带宽通信、时空计算能力,以及最后的渲染,该综合架构将为交通领域的实时孪生技术带来新的发展机遇。

实时孪生中使用的时空计算技术大部分来源于游戏技术,游戏领域催生了IT领域最先进的技术。在这过程中,腾讯应用了自动化建模技术,例如飞机驾驶舱类似的场景,外部有多个窗口显示实景,要将实景与虚拟场景尽可能融合,对飞行员的识别至关重要,因此采用了大量的自动化建模技术。此外,腾讯还应用了自动化

场景构建技术,游戏中的场景不再手绘,而是通过计算生成。腾讯还拥有开悟平台,在人工智能方向非常有用,支持多智能体的博弈,可用于各种训练和模拟。

实时孪生技术将一个路口、一段道路甚至整个区域都显示在数字世界中,借助传统视觉传感器,我们能够将路口的不变部分,例如标志、标线、红绿灯和障碍物等,定期更新到系统中。而实时发生的车流、人流以及小动物入侵等,也能在这个孪生世界中实时展现。此时,最重要的不再是可视化图像,而是可视化图像中的每一个要素。每一个障碍物、每一条标线甚至每一个人,都可以被计算并准确描述。我们不仅能观察到这些要素的顺态变化,还可以将过去十秒、一分钟甚至一个小时的场景进行描述和分析。

在交通领域中,通过孪生技术,可以在实际感知发生时,将



图1 分布式云的实时数字孪生交通网

结果最大时延控制在 100 毫秒以内。这一技术的实现将带来重要的改变。目前的数字技术依赖于算力和人工智能的进步，但对整个交通仿真的理论结构和体系可能会带来颠覆性的变化。

腾讯的孪生技术结果与互联网、大数据相结合，形成了独特的优势。作为中国最大的位置大数据平台和地图平台，腾讯为包括微信、美团、滴滴、顺丰、京东等在内的各类应用提供位置服务，每年被调用的次数近 2000 亿次，积累了大量位置数据。其中，人流日历和车流日历等数据是重要的应用之一。我们将这些数据与局部区域进行精确划分，并与实时孪生技术相结合，这将极大地发挥出数据的作用。

图 2 是实时孪生技术的一个案例，左边的图是实际场景的照片，而右边的主图像则是孪生技术生成的结果，这项工程正在实施中。道路侧部署了包括雷达和摄像机在内的传感器，通过这些传感器实时孪生出道路上的场景，并将结果展示在大屏幕上。同时，这些孪生结果可以通过公网传输到手机的小程序或车机的 APP 上。我们为每一辆不同的车提供自己的上帝视角或追随视角，这样可以将道路两侧基础设施的数字化与车辆智能化结合起来，让车内乘客可以看到车外的孪生结果。同时，也可以将路上观察到的车辆情况



图 2 交通 OS+ 实时孪生

与车内的孪生结果结合起来，为辅助驾驶提供良好的诱导作用。

由于当前自动驾驶技术的发展是阶段性的，其主要目标是提高交通安全性。目前 90% 的交通事故都是由人的操作引起的，如果能够最大程度地减少人为操控车辆，将能大大降低交通事故发生率并由此导致的人员伤亡。因此，实时孪生技术在车路协同和辅助驾驶方面具有重要作用，有望为实现更安全的交通环境做出贡献。

三、交通 OS

交通 OS 是将孪生技术的结果和人工智能的能力进行管理，类似于手机上的操作系统。手机操作系统负责管理 CPU、GPU 和其他内存、IO 口等资源，而交通 OS 在交通领域也起到类似的作用，其甚至在自动驾驶测试和仿真方面也采用了相同的方法。通过在原生云上构建这样的系统，可以简化了上开发应用的过程，使应用的开发者和创建者能够更简单地开发和运行应用。在工程化方

向上，我们致力于为经济、生产和运营等方面提供服务能力，主要目标是为应用的开发者和创建者降低开发门槛和成本。这样的创新将推动智慧交通和自动驾驶等领域的发展，为未来交通系统的优化和智能化提供支持和帮助。

在 OS 系统上，我们创建了一个高速公路管理系统，用于雾天天气的管理。使用简单的拖拉拽操作就能快速创建应用，并进行模拟和仿真。例如，在高速公路上，雾天天气涉及的相关动作很多，如外场救援、值班人员通知、路段诱导等。利用 OS 系统和孪生技术，再结合低代码的组件和策略引擎，可以将应用的开发成本大幅降低，真实的应用创建时间仅需半个小时左右，相比传统方式成本减少到仅有 1% 甚至更低。这展示了 OS 系统的强大优势，简化了应用开发流程，提高了开发效率和灵活性，加速交通系统的智能化和优化。

在 OS、实时孪生和 AI 能力的组合下，我们能够城市实现

数字化治理、交通组织优化以及红绿灯路口的性能控制优化。腾讯负责将云部署和数字孪生做好，而真正的 AI 能力则由专业的人员和公司来完成。通过这样的整合，能够显著提高整个城市交通组织的效率，实现更智能、高效的交通管理和治理。

将人、车辆和道路放入一个系统中，研究它们之间的相互关系是当前一个比较重要的思想。人在开车时的决策是与车辆的自动化协同博弈，而当车辆行驶在道路上时，它与周围的基础设施也存在相互关系。过去的人机交互（HMI）仅指人与车辆之间的交互，但现在的 HMI 已经扩展到车辆与人、以及周围人车之间的关系。实质上，如果能够为所有出行者提供最大的安全时空，他

们将实现自动驾驶，这是汽车技术的终极目标。然而，在通往自动驾驶的终极目标之前，还有许多过渡阶段，不可能一夜之间实现全部车辆的自动驾驶。因此，我们需要逐步改进和优化交通系统，不断实现智能化和自动化。

在混合驾驶持续长时间的情况下，我们的目标是让每个参与交通的用户都能享受到科技进步带来的红利，实现有获得感的智能交通。用户可以通过微信、小程序、导航等方式获取交通支持的信息，无论是在车上使用 APP，还是在没有 APP 的情况下使用车载小程序，都可以借助现有的通信手段，让用户能够获得最大限度的实时诱导和交通支持。对于那些条件允许的用户，还可以将车辆与实时孪生的结果进行对接，从而进

一步提高交通的智能化水平。

不久前腾讯成功开发了一个驾驶仿真系统，它是一个小型的驾驶模拟器，能够让用户感觉仿佛真实地驾驶在高速公路上。在现实孪生的结果中，我们能够将一辆车注入进去，从而创造出全新的应用场景。该驾驶仿真系统灵活且成本较低，用户能够体验到真实驾驶的感觉，并且可以为数字孪生带来更广阔的应用前景。

除此之外，腾讯还积极参与各地车联网先导区项目，与“双智”城市建设紧密合作，其中包括天津、重庆、襄阳、长沙等地，如图 3 所示。在这些方向上，我们不断积累宝贵经验，并且每个新的建设项目都有不同的升级和改进。在智能网联建设领域，腾讯将提供开放的平台和技术能力，并欢迎更



图 3 腾讯深度参与各地车联网先导区与“双智”城市建设

多的合作伙伴加入进来。我们相信通过共同努力，能够推动智能交通和智慧城市建设取得更加显著的进展，并为人们带来更加便捷、安全、智能的出行体验。

在标准化方向，腾讯也在持续进行建设，特别是在 5G 领域。其中，腾讯在互联网公司中率先提出了 5G 标准的报告，并且研发了首个 5G 车路协同的开源平台。在 5G 专网方面，腾讯的贡献也是举足轻重的，因为如今不再需要像过去那样建立庞大的核心网络机房，而是可以通过云化和核心网优化，以及有限的设备基站构建具有特定需求的专网。5G 专网的应用可以为实时孪生提供优质的通信支持，它将推动智能交通和

城市建设取得更大的进步和成就。未来，腾讯将继续致力于推动 5G 技术的发展，并为智能交通和智慧城市的建设做出更多的贡献。

在智能交通数字孪生系统方面，腾讯是 ITO（物联网技术组织）标准的主导者，并且逐步将这个标准推广到 ISO（国际标准化组织）。在车路协同和泛车路协同方面，我们积极参与了许多标准制定工作。在未来智慧交通和自动驾驶领域，腾讯提供全方位的技术和能力支持。特别是在自动驾驶方向，国际和国内的大公司都在腾讯云上进行自动驾驶的云仿真。腾讯利用自身的算力和 GPU 能力，提供类似于自动驾驶全工具链以及全面的云仿真能力，

而这些能力将为智能交通和自动驾驶的发展提供强大的技术支持和推动作用。

总结来说，腾讯以提供数字化和 AI 能力为核心，在智慧交通和智慧出行领域，与车企、政府以及交通运营企业等紧密合作。在整个过程中，腾讯作为一个生态型的组织，与各类专业机构、高校和应用单位合作，形成产学研生态、生产运营生态和应用开发生态，以最大化和高效运行为目标，共同推动智能交通和自动驾驶技术的发展。○

* 本文根据作者在 2023 中国智能车大会暨国家智能车发展论坛上所作报告速记整理而成

作者简介



施雪松，腾讯智慧交通副总裁，毕业于南京工学院无线电工程系（现东南大学信息科学与工程学院）无线电技术专业，留校任教后从事无线电通信的教学科

研工作，曾获教育部科技进步一等奖。作为汽车电子行业的连续创业者，施雪松自 1998 年创业以来，主导设计了国内第一款车规级 DVD 光盘驱动器，在车载关键零部件的研发与经营管理方面具有丰富的经验。作为斑马网络首任 CEO，主导了中国第一辆互联网汽车网联系统的量产落地，推动了智能网联汽车发展。2018 年加盟腾讯，作为车联网业务行业专家，指导团队推出腾讯随行等创新性车联网产品。2020 年开始，担任腾讯智慧交通副总裁，全面

负责腾讯智慧交通业务，带领腾讯与蜀道集团、广州地铁集团、招商港集团等交通骨干企业建立深度合作，推出穗腾 OS、交通实施孪生等行业标杆产品，并牵头 17 项、参与 80 多项人-车-路-网-云-图相关标准制定，不断推动智慧交通网络、平台和应用的全链路标准体系构建，打造智慧交通生命体。同时，施雪松还担任公路学会专家委员会委员等职务，致力于为公路数字化转型升级搭建交流平台，推动行业标准建设。

网联智能下的协同感知

文 / 香港科技大学（广州） 郑心湖

导读：2023年7月2日，2023中国智能车大会暨国家智能车发展论坛在广州南沙盛大开幕。本届大会以“智能交互 驱动未来”为主题，由国家自然科学基金委员会信息科学部和中国自动化学会共同主办，香港科技大学（广州）和西安交通大学共同承办。来自智能车及相关领域学术界、产业界的同仁500余人齐聚一堂，展开思想碰撞和深入交流，共同展望智能车领域前沿趋势，探索科技赋能产业升级之路。本次大会得到了人民日报视频客户端、光明网、新浪、网易等多家媒体的直播支持，线上观看人数突破1021.8万人次。

郑心湖博士受邀出席2023中国智能车大会暨国家智能车发展论坛并在“网联智能车技术及应用专题论坛”作题为“网联智能下的多车协同感知与多模态感知信息融合”的报告。近年来，随着无人驾驶技术的发展以及传感器性能和深度学习技术的不断提高，车辆的环境感知能力有了显著的突破。然而，由于实际驾驶场景要比现有的数据集复杂得多，动态变化更频繁，从而导致仅依靠单车视角的感知数据难以获得全面的环境感知结果，无法满足完全自动驾驶对动态环境的突然变化做出及时响应的基本需求。与单车感知相比，网联车辆之间合作交换感知信息，有望更全面、更准确地感知环境，本报告将介绍多车多视角多种信息源的信息融合方面的研究进展。此外，现实世界中的不确定因素，如恶劣的道路环境或极端天气，也会影响传感器收集的数据质量，导致感知算法的异常输出。本报告进一步探索一种可衡量神经网络感知环境变化能力的评估方案，并基于此实现多车辆目标检测语义融合，力图克服单车感知的局限性，提高自动驾驶车辆应对环境突变的能力和可靠性。

网联技术的重要性在于单体智能无法全面获取环境的整体信息，而复杂多变的道路环境使高度自动驾驶技术难以实现。为此，我们必须进行技术革新，避免盲目跟随。通过网联技术，车辆间以及车辆与基础设施之间可以高效通信和信息交换，提高自动驾驶系统的安全性和稳定性。中国应当担当技术引领者的角色，积

极推进网联技术的革新，探索不同的发展途径，为实现更安全、高效、智能的出行方式做出积极贡献。

一、网联、多车多模态

网联技术带来的好处有多方面。首先，它能实现未来高度无人驾驶和更高效的交通，让车辆出行更主动、更安全。高度无人

驾驶也将为用户提供个性化服务。其次，网联使智能车辆成为道路信息来源，提供全面的路况和交通信息，实现真正意义上的智慧交通。通过高效通信和信息交换，车辆可以协同行驶，减少事故和拥堵，实现更安全、便捷、智能的出行方式。网联技术的推广将给用户带来更安全、高效、智能的交通体验，为城市交通管理和

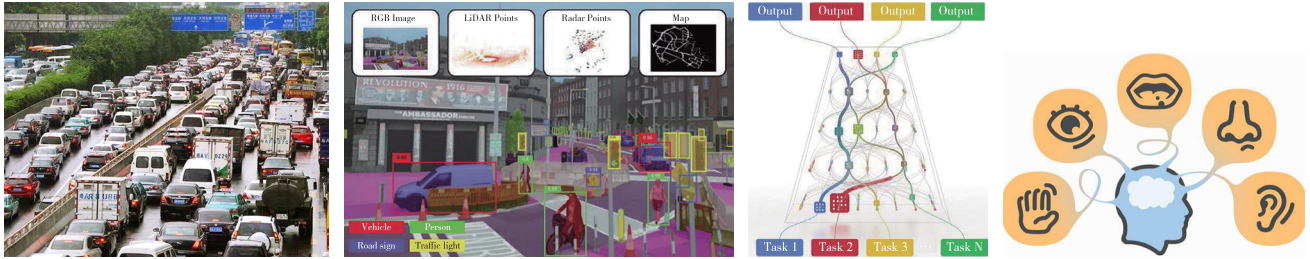


图1 实车多模态总的“多”

规划带来更大的便利和效益。

多车多模态主要涵盖以下几个方面：如图1所示，首先，多车指的是道路上车辆数量众多，经常发生交通拥堵的情况，包括各种类型的车辆，从普通小车到大型卡车，涉及车辆的智能化和网联化程度的不同。其次，多模态指的是使用多种传感器来获取数据，这些传感器产生的不同数据模态。多任务是指自动驾驶面临多种任务，包括感知环境、做出决策、预测轨迹和执行行驶等。最后，多策略是指为了有效处理多模态数据和多任务，需要采用不同的感知融合策略，包括前融合、后融合、特征融合和混合融合等方法。这些方面都是在自动驾驶技术发展中需要解决的重要问题。

二、网联智能下的协同感知

（一）多车多传感器融合

高度无人驾驶是实现未来智能交通的重要关键技术，而环境感知则是自动驾驶系统的核心技术和必要条件。为了实现环境感知，传感器起着重要的基础作用，但面临着单一传感器局限性的问

题。另外，由单车智能向多车智能转变，也需要解决如何有效利用多车感知结果，以应对遮挡等情况对全局环境感知能力的影响。

针对单一传感器局限性，我们的方法是利用占用栅格地图来统一多传感器数据的信息表示形式，从而实现数据的融合。通过使用连续的占用概率分布来关联地理区域，将图像数据和点云数据转换为具有一致性表述的占用栅格地图数据形式，而不是孤立的检测点。这样的优势在于能够提供连续的地理信息，并且可以更高效、实时地进行多车数据融合。采用密度估计的方式来实现占用概率的估算，并将分布的概率融合到占用栅格地图上。在融合后的地图中，颜色越深表示占用概率越大，这样的地图形式能够更直观地反映不同地理区域的占用情况。

整体的算法框架是在单车级别进行多传感器的融合，在生成了占用栅格地图之后，会对它进行多车的信息传输，然后完成多车多传感器的融合，如图2所示。

在实验设计方面，主要采用MATLAB工具箱，并选取了一个

典型的遮挡场景进行仿真。该场景持续时间为4.45秒，旨在测试主车的换道操作及对被遮挡车辆的评估能力。我们使用了栅格地图来处理主车的感知数据，并通过这种方式有效地对被遮挡车辆进行评估。

在进一步的实验中，我们选择了典型的T型交叉路口场景进行多车融合测试，如图3所示。在该场景中，主车和其他车辆进行了多传感器融合，得到了主车本地的占用栅格地图和其他车辆的融合占用栅格地图。通过选取主车和1号车辆进行融合观察，不同车辆的占用栅格地图具有显著的不同轮廓信息。在本地占用栅格的表示中，可以观察到其不确定性非常大，而在融合之后，不确定性逐渐降低，说明多车融合结果能够提供更加准确和稳定的信息。通过利用占用栅格地图，可以基于地理信息和占用概率实现多车OGM融合，从而实现更全面的环境感知，并提供更完整的车辆轮廓信息。

在真实世界的实验中，我们使用了一个真车场景，该场景是一个十字路口的左转场景，如图

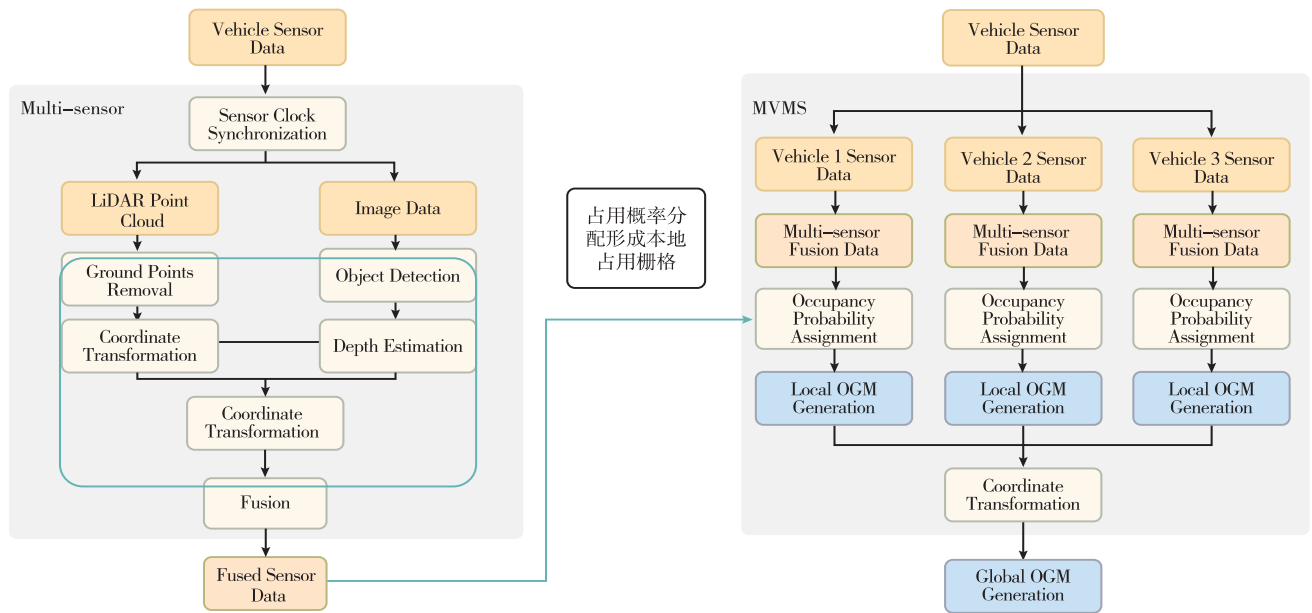


图2 算法框架

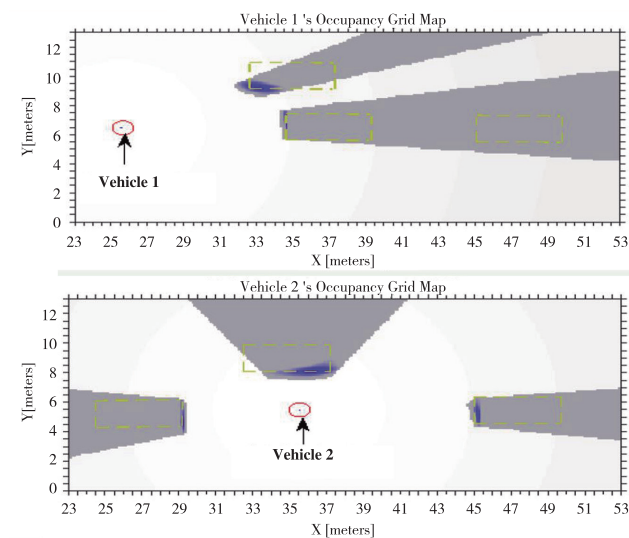


图3 仿真示例结果

4所示。在该场景中，红色车辆是主车，它希望完成左转，需要对即将转入的车道上的障碍物进行感知。然而，主车只能观测到1号车辆，而1号车辆却可以成功感知到2号和3号车辆。通过我们提出的多传感器融合和多车多传感器融合的算法框架，主车能够实时感知到转向后车道上的3辆车。因此，我们的多车感知融合方案能够为主车提供实时的环境感知信息，从而证实该方法在真实场景中的有效性。

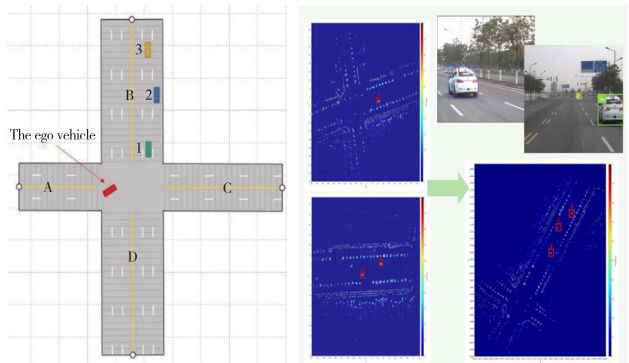


图4 真实世界测试结果

(二) 基于感知置信度的多车信息融合

正如前面所述，自动驾驶面临的环境具有多元性、差异性和动态性的特征，这导致感知结果的不准确。在网联智能下的多车感知融合中，目前面临着两个主要问题。第一个问题是如何应对环境差异和环境变化对感知结果的影响。由于不同车辆感知环境的差异，感知结果可能会出现偏差，因此，需要开发适应不同环境的感知算法，以提高感知结果的准确性和鲁棒性。第二个问题是如何判断多数据源感知结果的可靠性。在多车感知融合中，我们收集了多个数据源的感知信息，但不同数据源之间可能存在冲突或误差。为此，需要设计可靠的数据融合算法，以判断和融合

来自多个数据源的感知结果，从而提供更可信的环境感知信息。

针对环境的多元性、差异性和动态性对自动驾驶感知结果的影响，我们提出了环境敏感度（ES）作为目标检测网络的评价标准，以衡量其不同环境下的感知性能。同时，基于置信度的评估方法结合了环境敏感度和不同种类感知输出的影响因子，用于判断多车感知结果的可靠性。

为构建置信度的评估方法，首先需要获取环境敏感度，用于衡量不同环境对目标检测网络的影响。我们选择不同的目标网络模型，并在不同环境下进行测试，通过环境特征的类间差异和类内差异来计算环境敏感度。同时，还考虑其他影响因子，如输入数据的异常程度，使用概率密度的估计方法进行衡量。此外，为评估训练集表现的能力，以 Recall 作为数值评价，以及当前目标检测的性能，基于检测结果来综合构建置信度评估方法。

评估的过程相对直接，主要采用数据处理方法，包括数据降维和概率密度的加权估计，用于

处理数据的异常情况。而置信度的计算过程则综合考虑了多种因素的影响，最终得出量化的标准，这些标准将有助于我们在未来构建更完善的多车感知融合方案。

在多车感知融合方案中，数据预处理是关键步骤。坐标转换是必要的，因为不同车辆的相对位置不同，需要将它们的感知结果转换到统一坐标系中。数据关联是将多车感知结果进行匹配和关联的过程，确保不同传感器获取的感知结果正确地对应同一辆车。通过坐标转换和数据关联，可以为多车融合提供准确、一致的感知信息，为后续的融合处理提供基础支持。

我们的置信度融合方案采用两步骤的过程。首先进行位置的融合，统一多车的目标检测框，确保位置信息准确一致。然后将分类概率进行融合，综合目标检测结果和置信度评估的加权值，得到综合可信度高的多车感知结果。

在实验结果中，我们首先对环境敏感度进行了评估，如图 5 所示。实验选取了 6 种不同的目

标检测网络，并在 5 种不同的环境条件下对其环境特征的分类敏感度进行了评估。最后的结论是，具有更高环境敏感度的目标检测网络在训练期间能够更好地区分不同的环境特征，从而拥有更优秀的性能。

在多车融合实验中，我们简单假设主车视角只能观测到 4 个检测框，然而实际情况下，主车周围可能有更多车辆存在。为了实现更全面的环境感知，需要引入协同车辆的概念。通过增加一个协同车辆，可以让主车与协同车辆共同进行感知，从而实现多车感知的协同作用。

在本实验中，我们通过设置多个不同场景来评估多车融合方案的性能。这些场景包括强光、阴影、左转、车辆遮挡、斜坡以及远距离或低分辨率等情况。强光场景下，主车可能受到强烈光线的影响，而阴影场景可能导致环境变暗，从而影响感知结果。左转场景涉及对转向后车道上障碍物的感知。车辆遮挡场景下，大型车辆前方的遮挡区域可能造成视野盲点。斜坡和上下坡的场

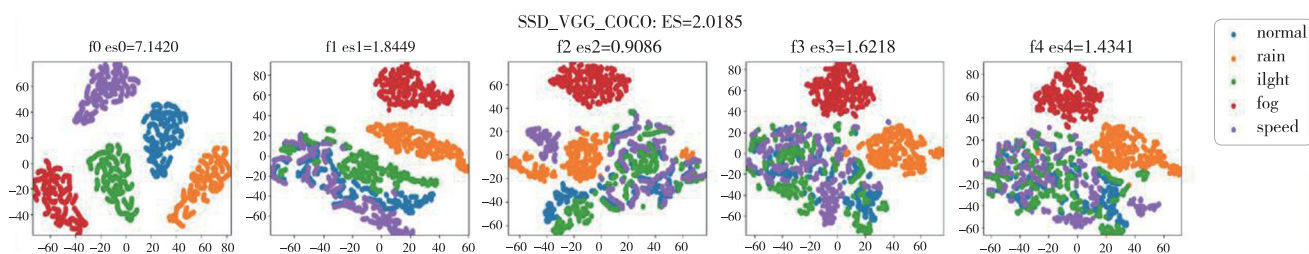


图 5 环境敏感度结果

景会改变路面角度,进而影响环境感知。而远距离或低分辨率的情况可能导致目标检测困难。针对这些多样的场景,我们的多车融合方案可以实现协同感知,从而提高整体的环境感知能力,并更准确地感知复杂场景下的车辆和障碍物。

根据实验结果可以发现,使用多车融合后,目标检测数和平均精度都得到了显著的提升。为了验证置信度的结果,我们选择了两种不同的场景。在直行场景中,多车融合与直接使用目标检测网络输出的结果差异不大。然而,在更加复杂的场景中,多车融合在一定距离范围内显著提升了感知的平均精度。

多车多传感器结合利用占用栅格图融合多传感器数据,将其统一为连续的地理信息表示形式,实现更高效、实时的多车数据融合。这种多模态多来源的融合提供了更全面的环境感知信息。在多车融合中应用了感知置信度,通过引入环境敏感度作为衡量目标检测网络性能的评价标准,并结合感知输出的影响因子构建置信度评估方法,从而实现更准确的信息融合。

三、未来展望

未来的发展方向非常多样,很新的方向可以探索,比如将2D占用栅格拓展为3D占用栅格,以

实现更加精细的环境感知。同时,考虑引入新的感知模态,例如毫米波雷达的数据,以进一步增强感知能力。另外,可以探索新的融合方式,如BEV融合、通用多模态配准和多视角融合。为了更真实地模拟车辆通信场景,还需要考虑高架路的交汇处等隔音板形成的通信障碍物,以便更准确地评估感知和通信任务的完成情况。未来感知的发展将趋向于通信和感知的集成化与一体化,以利用感知辅助下的通信任务的实现。

在网联智能背景下,协同感知将从多模态数据的收集到多车

多模态感知的融合拓展应用的发展。这将实现全域感知和精确预测,为无人驾驶端到端任务提供输出。通过感知辅助通信和通信辅助感知,即协同感知,我们最终将实现通信感知一体化的目标。这意味着感知和通信将紧密结合,共同协作,以实现更高效、更可靠的智能交通和无人驾驶技术。最终,协同感知的发展将推动整个网联智能领域的进步和创新。○

* 本文根据作者在2023中国智能车大会暨国家智能车发展论坛上所作报告速记整理而成

作者简介



郑心湖博士是香港科技大学(广州)系统枢纽智能交通学域的助理教授,副研究员,博导。他于明尼苏达大学双城分校获得电气和计算机工程博士学位。主要研究兴趣包括应用不同形式的数据、优化和机器学习等技术,在智能交通系统和与智能交通系统相关的智能系统中进行数据挖掘,

特别是多模态数据融合与分析,多智能体的信息融合,多智能体协同感知与控制,以及无人智能系统。他在同行评审期刊和会议上发表论文19篇,包括IEEE Internet of Things Journal、IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems、IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems、Neurocomputing等,并同时担任期刊审稿人。他目前也担任IEEE Transactions on Intelligent Vehicles的Associate Editor。

蒋昌俊院士：中国式创新需要坚持系统论观念

加快战略性、前瞻性、颠覆性、基础性技术创新，在量子信息、太赫兹等世界前沿领域取得一批原创性、颠覆性成果，全面提升自主创新和自主可控水平，在科技自立自强中展现新作为，这是中国航天面向世界科技前沿和重大战略需求的题中应有之义。

中国式创新，需要科学的理论方法来支撑，需要坚持系统论观念。以钱学森同志为代表的几代航天人，在为国家创新研制生产导弹武器、火箭与卫星等国之重器的同时，坚持和运用辩证唯物主义，创造了航天系统工程思想理论方法，这是航天人时刻运用和实践的工作方法与工具。

系统论观念的精髓是“整体大于部分之和，追求系统性增益”。中国航天事业在国力一穷二白、工业基础孱弱、“没有第二个人见过导弹”的情况下艰难起步。正是在系统论观念的指导下，中国航天“用功能和性能指标不那么先进的元器件设计制造出了世界一流水平的系统装备”，在最短时间内，用最小投入，实现了复杂工程的规模化协同作战，取得了令世界瞩目的巨大成就。

实践表明，航天系统工程是坚持系统观念的成功实践，坚持系统观念是我国航天事业成功发展的重要法宝。而系统论的要义是精准把握“矛盾的对立统一”关系。从哲学上讲，矛盾不可能消除，只能转化或和解。坚持系统工程论，必须用矛盾剖析方法来解构问题场景中的复杂交织关系，通过增维或降维问题的边界条件，在新的解题维度上达成矛盾的统一性。比如，我们在研究“网络安全问题”时发现，网络空间广泛存在内源性安全矛盾，其内生特征决定了矛盾问题不可能“彻底消除”，只能通过问题场景维度变换实现“条件规避或危害阻断”。

换言之，传统的“亡羊补牢”“尽力而为”的“保镖式”附加防御范式，不可能解决“未知的未知”网络威胁或破坏问题。必须转换思维视角、方法论和实践规范，以“结构决定安全”的系统工程论为指导，敢于进行网络安全范式创新乃至数字产业生态转型，才可能在“有毒带菌”的网络空间内实现“有质量保证”的安全目标。

任何一种理论的产生，任何一种技术的突破，都是从实践中萌发，并着眼于解决实际问题。2017年，我国科学家为解决数字经济转型中的基础性问题，提出了在上海建设“大数据试验场”的构想，一方面试图解决大数据领域科学计算问题以及数据智能涌现的工程技术问题；另一方面着力解决数据要素流通、数据价值激活等产业发展中的堵点、痛点。大数据时代，数据是基础性战略资源，定性与定量相结合的大数据试验场的运用，为解决跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨行业数据综合利用问题提供了基础实验环境，有助于加快实现“数据到决策、数据到研发、数据到生产、数据到智能”的创新。

今天，我们在面临“卡脖子”困境时，也可以借助系统工程思维来解决问题。比如，在突破芯片困境时，完全可以开辟一条功能等效、换道超车的新路径，通过构建“晶圆级架构”，用软件定义晶上系统的软硬件协同处理方法，弥补我国在工艺技术层面的短板。○

来源：光明日报

作者简介



蒋昌俊，1962年5月生于安徽安庆，计算机专家。1995年在中国科学院自动化所获博士学位。同济大学教授、博士生导师，Brunel University London 名誉

教授、英国工程技术学会会士等。曾担任同济大学副校长、东华大学校长。长期致力于网络金融安全的研究，是我国该领域带头人。金融安全是国家安全的重要组成部分，网络交易风控是金融安全的重大挑战问题，蒋昌俊攻克了系统风险防控既快又准的重大技术难题，主持建立了我国首个网络交易风险防控体系、系统及标准，为我国在该领域成为国际“领跑者”作出了开拓性贡献。作为项目负责人先后承担了国家自

然科学基金（重大计划集成、重点、杰青等）、973、863、国际重点合作项目和国家重点研发计划项目等50余项。以第一完成人获国家技术发明奖二等奖1项、国家科技进步奖二等奖2项、HOPAN CHING YI Award等。以第一发明人获中、美发明专利等77件、国际PCT 21件。发表学术论文300余篇（含ACM/IEEE汇刊72篇），中英文学术专著5本。荣获2016年全国优秀科技工作者和2020年全国创新争先奖状。

重 要 通 知

关于召开第二十五届中国科协年会 通用人工智能创新发展论坛的通知

为贯彻落实中共中央政治局会议“要重视通用人工智能发展，营造创新生态，重视防范风险”会议精神，抢抓大模型发展机遇，进一步加快人工智能技术落地应用，高质量打造以大数据为驱动的人工智能通用技术产业链，推动安徽通用人工智能领域实现创新引领，助力安徽建设具有影响力的人工智能研发与产业高地。通用人工智能创新发展论坛以“智能涌现 生成未来”为主题，围绕认知智能大模型的迭代升级及产业生态的构建组织相关领域专家交流研讨，为进一步加快通用人工智能产业发展建言献策，推动人工智能技术落地应用，高质量打造以大数据为驱动的人工智能通用技术产业链，推动人工智能产业创新发展。详情请点击：https://mp.weixin.qq.com/s/pzsoAe875l_g2rpei2ViuQ

高文院士：发展算力网要迎接直连和调度两大挑战

在8月19日举行的2023中国算力大会、第二届西部数谷算力产业大会主论坛上，中国工程院院士高文以《智能算力助力数字经济高质量发展》为题发表演讲。高文认为，算力不仅对数字经济很重要，其实对GDP的发展就非常重要。此前清华大学和IDC咨询联合发布的《2022-2023全球计算力指数评估报告》显示，2021年、2022年全世界GDP和算力是正相关的。“美国计算力指数比中国多，中国大概是美国的70%左右，而GDP和美国也差这样的距离，排在后面的日本等这些国家GDP排序完全和算力指数排序是对等的。换句话说，算力就是生产力，有算力就会有GDP。总而言之，如果是算力不行，GDP肯定不行。怎么样把算力转换成GDP，这里有一定的文章可做。”

中国在算力增长方面是全世界最强劲的。高文表示：“我们的算力增长的速度是年均13.5%，而美国只有5%，其他国家都没有我们强。”高文判断，未来算力的强力供给，很可能会像今天的电力一样，随着算力到处输出，使得整个经济发展速度非常快。“当

然，为了做到这点需要有算力网络，只有算力还不行，要把算力输送到最需要的地方。”

高文认为，中国“东数西算”其实有点像“西电东送”，是希望把西面算力送到东面，最后使得这些算力低成本地供给给需要方，这当然是一个非常好的想法。“这件事要想做到，要像提供电网一样提供算力网，然后把算力送过去。所以要直连或者以最经济、最便宜的办法把算力送过去，让需要方用到的和在本地用到的是一样的，这是一个非常好的目标，我们把这样的目标叫作中国算力网。”简单点说，如果可以把算力像电力一样送到需要的地方，这个网就叫算力网。

好的算力网需要迎接诸多技术挑战。高文认为，第一个挑战是连接挑战，具体涉及连接延迟和超宽带问题。就连接延迟而言，算力网是时间敏感网络，“比如将宁夏银川、中卫的算力送到福建、青岛，最小延迟是多少？网络连接的最小物理延迟现在是每200公里需要1毫秒，这是在用光纤直连、中间没有任何交换的情况下，实际上这个延迟在

中途可能会有些放大。每200公里1毫秒，2000公里就是10毫秒，4000公里就是20毫秒，这是现在物理上能做到的。”高文认为，延迟优化还有提升空间。即把光纤变成空心光纤，就能实现300公里1毫秒，这也是实验室里正在攻关的课题。就超宽带来看，要想把数据非常通畅地送来送去，带宽要够。而鹏城国家实验室一个主攻课题就是要提供100T-1000T的带宽技术。

第二个挑战是调度。算力能不能调度，能调度到什么程度？至少现阶段调度对于“西电东送”是很重要的，包括绿电能不能上网。对于算力来讲，很重要的一点是和调度关联的能力能不能相位对上，或者能不能在需要的时候上，不需要的时候别上，“不能不需要的时候上了很多，需要的时候没有，所以调度问题很关键。”高文认为，算力的调度尤其难。

据高文介绍，迄今算力有三类。一是云算力，比如说现在宁夏中卫、银川做的很多算力项目，是运营商或者大的云服务商提供的云算力。这类算力很重要。第二类叫智能算力，这是最近几年

刚出来的，比如训练大模型需要的智能算力。第三类叫超级算力或超算算力，主要涉及国内很多超算中心的算力。“这三类不同算力配送的时候完全是不同体系架构，因为用户类型是不一样，所以现在只能分类输送，也就是说分成三种不同的算力封装输送。”高文认为，三种不同的算力要怎样进行调度是现阶段面临的挑战。远期来看，他判断希望在于混合算力，“火电、太阳能发电、风电同样都从电网送过去，虽然现阶段的算力得分类输送，但将来也是要混合输送的。”

要想做好混合输送，高文强调，第一点是全国大的算力中心之间一定要有超宽带宽、超低延迟的网络直连。“这叫算力信息高速公路或者叫算力高速公路。连接靠高速公路，而算力调度靠云原生网络。云原生是近几年很重

要的概念，有云原生软件、云原生网络，这是算力调度起来最关键的核心技术，我们一定要进入云原生网络时代。”

云原生网络最核心的是云。以前最核心的是网络，以后会是云。因为现在的网络是由三个网络构建起来的，比如 IP 网、接入网、主干网。以后云原生把三个网融合到一起，其中最核心的就是云。所以要把 IP 承载网、无线接入网这些都“融化”到云里去，数据中心的网也是。

第二点是算力的进步。高文介绍到，目前鹏城国家实验室正在提升算力供给能力，已经完成了云脑 2 项目，拥有 1000P 算力，相当于 50 万台服务器。“我们现在做云脑 3，具有 16000P 算力，相当于 800 万台服务器，这个算力将来会提供给‘东数西算’国家智能超算使用，为了做这个

事我们设计了中国算力网。”据高文介绍，中国算力网已经迭代了两个版本：先 C2NET 0.1 做了很多标准化的工作，也做了长距离的连接。长距连接已经完成的 110T，可以传输 2000 公里的实验在实验室里做完了；现在正在做的是 C2NET 1.0，希望能把国内“东数西算”工程节点以及其他智能节点连接起来，用“特高压”的概念把所有的算力节点连起来提供使用，可以跨地域，也可以做异构的一些使用。

高文总结到，要让真正的算力、中国的算力能够发挥它的最大效用，对 GDP 直接产生作用，就要解决两个技术难题：一是直连，包括高速直连和超宽带宽直连；二是算力调度。要解决好这些问题，需要各方携手共进。○

来源：人民邮电报

作者简介



高文，北京大学博雅讲座教授。1982 年于哈科大获得学士学

位，1985 年于哈工大获得硕士学位，1988 年和 1991 分别获得哈工大计算机应用博士学位和东京大学电子工程博士学位。1991 至 1995 年就职于哈尔滨工业大学，1996 至 2005 就职于中国科学院计算技术研究所，2006 年至今就职于北京大学。IEEE Fellow、ACM Fellow、中国工程院院士。他的研究领域为多媒体和计算机

视觉，包括视频编码、视频分析、多媒体检索、人脸识别、多模态接口和虚拟现实。他最常被引用的工作是基于模型的视频编码与基于特征的对象表达。他先后出版著作七本，发表 280 余篇期刊论文、700 余篇国际会议论文。先后多次获得国家科技进步奖、国家技术发明奖、国家自然科学基金等学术奖励。

在过去的几十年里，控制学科在理论上蓬勃发展，在工程上应用范围不断扩大。一个自然的问题是未来 10 年控制学科有哪些新挑战和新机遇，最近 IEEE 控制系统学会等联合发布了一份报告：《2030 年的控制：社会尺度挑战下的路线图》，本期“科普园地”，让我们听听他们的看法。

社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（六）

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

翻译 / 王鸿宇

计算模式的创新在控制系统领域产生了巨大的影响。更快捷、更精炼、更普遍的计算浪潮已经改变了控制系统的设计和实现。过去三十年的互联网技术发展，已然描绘出网络化和分布式控制的新蓝图。虽然网络和计算技术的发展将持续影响控制系统，但在这一章中，我们会探讨在未来十年中，可能重塑控制系统的科技趋势。

首先，我们讨论 AI 和大数据的崛起。虽然 AI 和控制系统的目标在概念上一致，但 AI 基础设施的最新进展以及新兴的 AI 模型框架都为控制领域带来了新的机遇。毕竟在与控制完全不同的交通领域，我们正见证着第二次电气化革命，那么控制方面同样会因此而焕发生机。其次，作为一种更具开拓性的趋势，生物学可能会

成为构筑工农、能源和医疗功能系统的新基石。而控制正是用于生物工程系统建模和鲁棒性设计中的一种关键方法。

最后，机器化和自动化的重点正在从室内工业机器人向野外机器人过渡，这无疑为控制系统带来了新的挑战。本章的每一节都会描述控制系统的发展趋势和机遇，以及对未来发展的建议。

3.1 节 人工智能与大数据

本节作者：

John Baras, Mykel J. Kochenderfer, James Anderson, Luca Schenato

一种具有能感知环境并做出最优化决策的智能体被称为 AI。半个世纪以来，控制系统已经构造了一个严格的理论框架，用于在模式化的环境中解决这一问题。

在接下来的 30 年里，我们预计控制系统将与人工智能融合，使用大数据分析技术提供的海量信息，将强大的自主系统部署在人类居住的现实环境中。

摘要

人工智能、大数据和机器学习的出现在工业 4.0 的过程中发挥了重要作用。这些领域的突破为我们提供了更强的自主权、近乎实时的决策和智能化的基础设施。尽管有许多成功案例，但仍存在许多严重的故障以及可靠性和鲁棒性问题，尤其是在人机交互的背景下。在动态和不确定环境中提供性能保障和鲁棒性边界这一领域，控制工程可以提供严格的理论和可行的算法。在本章中，我们将讨论控制系统和人工智能如何协同发展，以解决社会层面的工程问题。

3.1.1 引言

人工智能是一个涉及设计和构建智能体的领域，这些智能体可以感知环境并采取影响环境的行动^[1]。尽管在某种程度上人工智能社区是独立发展的，但它们与系统和控制理论有着深刻的联系。人工智能领域随着1956年达特茅斯夏季人工智能研究项目而形成，约翰·麦卡锡、克劳德·香农、马文·明斯基、赫伯·西蒙和艾伦·纽厄尔等学者在该项目中讨论了能够展现智能的机器的制造方法^[2]。

人工智能的一个重要组成部分是机器学习(ML)^[3]，其中数据用于构建模型^[4]。人工智能的重大突破伴随着“大数据”革命^[5]而来。大型数据集^[6]在许多领域实现了突破^[7]，尤其是在计算机视觉^[8]和自然语言处理^[9]方面。机器学习方法影响了控制界的方法，反之亦然^[10]。在ML之外，人工智能在其他领域也可以与控制理论协同作用，包括知识表示和知识推理(KRR)^[11]。

人工智能正在继续朝着许多不同的方向发展。本节将总结人工智能和大数据领域的一些重要技术和科学趋势，这些趋势可能对控制系统的发展有益。此外，本节还将简要地介绍一些重要的挑战和机遇，为控制界做出贡献。

3.1.2 技术趋势

人工智能和大数据有几个

技术趋势，可能有助于控制系统工程。

硬件：低成本的硬件设备常用于大型数据集的储存和处理，随着硬件的性能提升，人工智能有望实现重大进步。在通常情况下，ML应用模型和用于决策的神经网络，都具有许多层和神经元。优化这些神经网络中的参数以实现给定任务（如分类或控制）的标准方法是随机梯度下降^[12]。GPU和TPU^[13]等计算架构可以帮助提高计算梯度的效率，从而训练超大网络^[14]。最近芯片设计方面也出现了一些创新。例如，所谓的“神经形态”芯片使用了一种模仿神经元和突触的生物学设计^[15]。这样的设计可以在显著降低能源成本的同时提供更大的并行性。

软件：训练神经网络是计算梯度的关键。已经有了软件进步，使得用户不仅可以容易地计算神经结构的梯度，还可以简单地计算通用软件程序的梯度。自动微分已经存在了几十年^[16]，但已经出现了一些软件包，使从业者能够有效地定义计算模型和优化参数^[17]。其中包括PyTorch^[18]和TensorFlow^[19]，一直是大型机器学习系统的核心。

模拟框架：人工智能社区推动了许多高质量模拟框架的开发，其中许多是开源的。OpenAI Gym^[20]已成为强化学习的标准

工具包。它包含一组交互式基准问题，为评估不同的强化学习算法提供了一个通用界面。物理引擎MuJoCo^[21]在机器人研究中得到了广泛应用。ROS^[22]作为一种机器人操作系统，不仅极大加快了学术机器人研究的步伐，并在工业场景中得到了广泛的应用。

云计算：人工智能社区从云计算基础设施中受益匪浅。在大型数据集上进行训练通常需要大量的计算资源，而这些资源可能只是偶尔需要。因此，对于众多研究院和公司来说，除了购买和维护自己的基础设施（只在突发情况下使用）外，将云计算作为另一种选择，已经成为一种强劲的趋势。在云计算中，资源被集中起来，用户只需要为他们使用的计算资源付费。尽管人工智能的重大进展仍由拥有大量计算资源的工业研究实验室（如谷歌和微软）领导，但AWS、Azure和GCP的云计算资源的可用性使学术机构能够做出贡献。云计算技术还允许人工智能应用程序轻松地将最初的研究原型扩展到部署的系统中。

3.1.3 科学趋势

人工智能和大数据领域的一些科学趋势也可能有助于控制系统工程的发展。

强化学习：人工智能的一个子领域，即强化学习，涉及学习如何在动态环境中选择动作以在最

大程度上强化信号的问题^[23, 24]。尽管这一领域的起源可以追溯到几十年前，但最近它引起了广大研究者极大的关注，尤其是能够训练神经网络，根据像素数据在人类竞争水平上玩雅达利游戏^[25]。强化学习还导致机器在围棋中击败了最优秀的棋手^[26]，多年来，人们一直怀疑这是人工智能无法企及的。此外，强化学习在合作决策方面的应用也取得了重大进展^[27]。

神经架构：人工智能界已经探索了各种各样的神经网络模型，以解决递归网络中的可扩展性和梯度估计等基本问题。此类架构的示例包括长短期存储器（LSTM）^[28]、门控递归单元（GRU）^[29]、变换器^[30]和生成对抗性网络（GAN）^[31]。这些体系结构中的许多可以用于控制系统。

可信人工智能：人工智能的许多早期成功都是在非安全关键领域。然而，人们越来越认识到，人工智能技术有助于建立高风险系统，如自动驾驶和飞机防撞^[32]。与传统技术相比，人工智能有可能对现实世界中固有的各种不确定性来源提供更大的鲁棒性。主要研究工作正在可解释性^[33]和验证性^{[34][35]}方面进行。

3.1.4 挑战和机遇

前面的章节说明了许多令人兴奋的新硬件和软件技术，在这

些技术中，控制系统有潜力推动人工智能和大数据这一广泛领域的根本进步。人工智能准备做出重大贡献的潜在下游应用如此之多，我们不试图一一列举。然而，本路线图第2章中描述的每个社会领域都在这个范围内。特别是，控制工程在帮助分析、设计和更好地理解神经网络架构方面具有独特的地位；提供一个原则性框架，用于揭示人工智能算法的稳定性并将其纳入其中；并为复杂的人工智能驱动应用程序提供可验证的安全保障。本节的其余部分分析了控制工程师在控制、人工智能和大数据快速发展的交叉点上面临的挑战和机遇。

设计神经网络：如前一节所述，已经设计并推广了许多不同的神经网络架构。一个关键问题是，我们如何为给定的任务选择合适的体系结构？或者，一旦选择了一个体系结构，我们如何针对手头的任务对其进行优化？例如，网络应该有多少个隐藏层，应该使用什么激活功能？

更进一步，我们能否以有原则的方式设计神经网络架构，从而简化验证过程？目前，由于设计空间是离散的和非结构化的，因此没有系统的理论来解决这些问题^[36]。控制领域的研究，有利于解决这些悬而未决的问题。特别是，联合设计和模型简化技术可以提供一套可行的方案。联合

设计旨在优化传感器和制动器布局 and 通信拓扑的一些子领域^[37, 38, 39]，而在给定允许的失配误差的情况下，模型简化技术可以用于搜索更简单的网络结构^[40]。

从更一般的情况来看，控制系统架构设计的方法（见第4.E节）可以为神经网络的设计提供更深入的见解。

物理启发学习：人工智能和机器学习的许多目标应用（如计算流体力学^[41]和气候建模^[42]）涉及从物理过程或实验中收集的输入/输出样本数据，并构建从输入空间到输出空间的映射。这必须以允许网络对不可见的数据进行分类或预测未来输出。这一领域最大的挑战之一是，所产生的模型（例如，由神经网络的权重和架构编码）无法直接考虑过程的基本物理过程。例如，不可能强迫网络对守恒定律、牛顿定律或热力学定律进行建模。作为一种特殊情况，可以考虑一个通过牛顿第二定律 $F=ma$ “精确”建模的简单机械系统。在控制工程中，数据驱动建模和系统识别之间也存在同样的压力。令人惊讶的是，实现物理现实模型的最有前途的方法之一与最基本的控制策略有着共同点：在频域中工作^[43]。

联邦学习：联邦学习（FL）方法^[44]的开发，旨在赋予分布式优化算法所需的属性，以适应训练数据存储在一个设备上的情况，

从而确保数据隐私^[45]。每个设备上都在进行学习,并且基于客户端-服务器通信模型,只有来自设备的摘要统计数据才会发送到服务器。然后,服务器计算一个平均值,并将该平均值广播给所有客户端。因此,参与设备不必共享其数据,但它们能够从聚合模型中受益^[46,47]。FL的使能特征,是允许:

1. 数据和设备异构性:跨客户端保存的数据不需要是独立同分布的(IID)。此外,参与设备将具有不同的计算和存储容量配置文件。

2. 减少通信开销:在客户端和服务器之间发送的信息最少,并且没有端到端的数据交换。

3. 部分参与:FL算法将抵抗客户端退出和失败。这一点很重要,因为手机等客户端设备经常且不可预测地失去连接。控制和FL之间存在明显的协同关系。具有上述特性的分布式优化算法^[48,49]对于合成网络系统的分布式控制器是必需的^[50,51]。此外,FL所表现出的通信效率和鲁棒性是大规模CPS的分布式控制器所追求的^[52]。相反,网络控制领域的理论可以用于开发和分析FL算法的通信鲁棒性方面。随着数据隐私变得越来越重要,物联网(IoT)变得越来越广泛,FL和控制之间的相互作用将迅速加强。

真实世界的鲁棒性仿真:如

第3.1.2节所述,人工智能研究的副产品之一,尤其是强化学习,是具有高质量应用程序编程接口(API)的高保真模拟引擎的财富。这些环境允许在物理现实环境中对从特定数据集开发的基于人工智能的算法进行测试。通常情况下,当在更复杂的环境中进行模拟时,算法会以惊人的失败告终。利用反馈为环境不确定性模型提供鲁棒性是控制工程的主要内容。在过去的几十年里,为线性、非线性、混合和随机动力系统产生了丰富的鲁棒控制框架。最近,这些发展已经进入了无模型范式。将这些技术纳入并扩展到人工智能管道中,是控制工程如何对人工智能产生直接和实质性影响的一个典型例子。

分布偏移:ML已被证明在许多复杂的应用领域表现异常出色,如计算机视觉、自动驾驶和两足机器人。然而,在实践中经常被打破的核心假设是,用于训练和测试的数据遵循相同的分布。而当面临分布外输入时,无法保证系统将如何执行^[53,54]。事实上,许多ML管道产生的系统在面对不可见的测试数据或部署到真实世界的系统时会发生灾难性故障。分布偏移是阻碍人工智能系统在野外部署的主要障碍之一。基于学习的方法设计的反馈控制器已被证明在许多应用中优于传统的基于模型的控制器^[55,56]。这种结

果通常发生在任务环境和/或要控制的系统难以精确建模的场景中。

然而,由于受控系统的行为将与开环系统的行为不同,关闭工厂周围的回路和学习的控制器可能会产生分布偏移。控制理论有丰富的工具可以帮助减少分布偏移的影响,包括模型验证和实验设计、鲁棒优化和基于安全的控制。

神经符号方法:神经符号化人工智能可以通过在过程中添加基于经典规则的(符号)人工智能来改善神经网络做出决策的方式。受神经科学、人类感知和认知研究的启发,理解人脑的大规模神经网络如何创建、存储和使用概念一直是人工智能研究中的一个长期挑战^[57]。使用符号的能力是人类智力的一个决定性特征。然而,神经科学尚未解释灵活表征和操纵抽象概念的基本神经回路机制。基础学习理论的研究表明,学习过程是在学习新概念、压缩现有知识以发展有意义的知识增强步骤之间演变的。知识压缩可以减少内存,快速恢复知识和信息,并快速将新特征和概念与已知(存储)特征和概念进行比较。

这对于系统和控制问题尤为重要,因为数据和模型涉及大量的轨迹、模型以及形式和象征上的异构性。神经符号编程^[58]是一个新兴领域,它连接了深度学习

和程序合成领域。与经典的机器学习一样，目标是从数据中学习函数。然而，这些函数被表示为除了符号基元之外还可以使用神经模块的程序，并且使用符号搜索和基于梯度的优化的组合来诱导。与端到端深度学习相比，神经符号编程可以提供多种优势。程序有时可以自然地代表长期的程序性任务，这些任务很难使用深度网络来执行。神经符号表示通常比神经网络更容易解释和形式化验证。编程语言的限制可以作为一种正则化形式，并导致更具普遍性和数据效率的学习。组合编程抽象也可以是跨学科任务重用学习模块的一种自然方式。

分布式学习和控制：最近的技术进步导致了具有传感和计算能力的设备的广泛使用，包括手机、医疗设备、车辆和智能传感器。这些设备成为丰富数据的来源，并使机器学习能够在一系列以前无法访问的场景中应用。在传统的集中式方法中，这些设备收集的数据将被传输到中心位置，并在那里用于驱动学习算法^[59]。然而，这种集中式设置需要传输大量数据（可能会使网络负担过重），并可能使用户面临隐私风险，尤其是来自个人设备的数据。

另一方面，分布式学习范式提供了一种很有前途的替代方案，在该方案中，这些具有计算能力的设备可以通过处理本地来源的

数据并相互通信来合作学习模型。采用去中心化的观点将使控制界能够在多智能体系统的广泛文献基础上，从共识算法到分布式优化和分布式控制^[60]，设计新的分布式学习方法并分析其性能。反过来，这些分布式学习算法可以通过在分布式协作场景中实现基于数据的控制来补充传统的控制技术的不足^[61]。

对年轻研究人员的建议：现在，专门研究控制的学生参加机器学习、数据科学、强化学习和人工智能课程是很常见的。同样，这些领域可以从集中和分散的控制系统中受益匪浅。将迭代算法视为动力系统的初步尝试表明了这种跨学科方法的前景。系统思维和概念可以提供更多东西。在短期内，相关主题包括：

- 系统复杂性度量的开发和应用
- 硬件和学习架构的严格特征以及由此产生的性能和鲁棒性的权衡
- 跨多个时间尺度的决策

影响长期目标需要解决基本问题，如：

- 分布转移问题 · 模拟与现实差距的缓解
- 将符号（基于规则）人工智能和简单的基于物理的模型纳入数据驱动的机器学习 workflow。

随着从控制和决策的角度研究人机系统和以人为中心的人工智能，克服这些障碍至关重要。这些努力有望为 ML 和 AI 在控制

中的使用创造一种更综合、更量化的理论和方法。这将塑造和支持可信自主和人机系统这一新兴领域。

对于资助机构来说：

随着人类和机器越来越多地融入社会技术系统（如元宇宙），增加资助可能会对生活、工作、社会、经济、气候和健康的各个方面产生巨大影响。短期需求包括：

- 扩大人机系统和以人为中心的人工智能的研究组合，用于涉及单个和多个个体的控制和决策系统
- 支持人机和以人为核心的人工智能系统的实验试验台
- 促进与人类行为和神经科学专家的联合

项目需要解决的理论障碍，我们需要做出长期承诺，评估人工智能（和控制）技术的好处和风险。

长期需求包括：

- 支持跨学科项目，这些项目可以解决长期接触社交媒体对青少年的负面影响，并开发减轻风险的方法
- 综合系统科学和工程方法、方法，以及综合这些复杂系统的软件套件，并在一定程度上保证预期和鲁棒的行为

当可行性高的 AI 系统完全部署于现实世界时，会出现与仿真接近的鲁棒性问题，而对这些

领域进行支持将有助于解决这类问题。

3.2 节 万物电气化

本节作者：

Andrew Alleyne, Jakob Stoustrup, Aranya Chakraborty, Thomas Parisini, Lucy Y. Pao

越来越多地使用电能来满足人类需求是一个长期的大趋势，它影响到社会的各个方面，包括交通、制造和住房。控制科学家和工程师将通过高效可靠的方式优化管理关键能源资产，在适应持续增长方面发挥关键作用。

摘要

全球趋势预示着为满足社会需求，电气化基础设施的需求将增加。这种需求有的是靠由政府间的授权来减少我们的集体碳足迹，而另一些则是由市场力量驱动的。由电气化系统提供服务的能源需求比例正在稳步增加，没有趋于平缓的迹象，通过管理现有的基础设施无法满足预计的需求。本节提倡在运输和制造等关键行业以及社会各领域中，实现发电、存储、消费和再利用的智能耦合。例如，专注于供暖的系统（如区域供暖系统）可以与提供电力的系统相结合，改善能源在各个领域之间的流动。如果控制得当，由此产生的系统体系可以优化宝贵能源的利用。虽然这些复杂系统的连接和控制本身无

法满足能源匮乏的世界日益增长的需求，但这种拟议的方法可以确保将资源的消耗降至最低。此外，这种方法使有计划地部署新资源成为可能，进而减少对新基础设施的投资需求。因此我们建议在未来投资具体的控制相关的领域，在安全、弹性和可靠的前提下，实现向万物电气化的过渡。

3.2.1 简介

电气化驱动因素

电气化是指通过电力为系统或过程供电，尤其是当电力作为其他能源的替代品时。目前，几乎所有领域都在实现电气化。这一趋势有几个驱动因素，这些因素在不同行业的重要性不同。根据世界经济论坛^[62]的说法，电气化对脱碳至关重要，而脱碳反过来又能减少人为因素对全球气候的影响。脱碳主要涉及用可再生能源替代化石燃料，如风力发电、光伏发电、水力发电等。目前，大多数能源都不使用电力，全球能源使用中只有约 15% 是电力。然而，电力所占的比例显然在稳步增加。推动进一步电气化的部分原因是政府法规，特别是签署《巴黎协定》的政府^[63]。

在许多行业，电动化的动力也是出于对性能和生产力的考虑^[64]。例如在农业领域，人们已经意识到，电动机械在性能、生产力、安全性以及环境影响方面都优于传统机械。类似的优势在一系列

市场领域中积累。

电气化趋势

电气化已经成为许多行业的一大趋势，包括交通、制造、建筑、农业和能源行业本身。电气化逐渐成为各个领域的重要组成部分，并将在可预见的未来继续发展。

能源领域的电气化

目前，世界能源中只有一小部分（约 15%）由电力产生。然而，这一比例在全球范围内正在迅速增长。2021 年，风力发电占全球发电量的 6.59%，与 2010 年的 1.66% 相比，几乎呈指数级增长^[65]。据估计，风力发电的发电量至少是目前全球电力消耗量的 40 倍，相当于总能源使用量的至少 5 倍。光伏发电也呈指数级增长，从 2010 年占全球能源产量的 0.15% 增长到 2021 年的 3.7%^[66]。2020 年，全球能源消耗量为 557 EJ。光伏发电理论上可以提供的电能相当于世界当前能源消耗量的 3 到 90 倍^[67]。

随着风能和光伏发电的平准化成本下降，它们的将持续保持增长。虽然稳态百分比贡献是未知的，但很明显，它们在全球能源结构中的作用将继续增加。值得注意的是，水电和核能等其他可再生能源和低碳能源构成了发电的剩余贡献。然而，在过去 10 多年中，它们在市场中的份额增长速度远不及风能和光伏。

地面车辆运输的电气化呈指数级增长,从2010年占全球汽车销量的不到0.01%增长到2021年占全球销量的8.6%以上。鉴于运输排放约占全球二氧化碳排放量的五分之一,这是一个至关重要的趋势。电气化水平的提高贯穿于所有交通方式,包括海运、航空、铁路和公路。即使全电力推进不是机动性模式,电气系统在这些系统上的使用也大幅增加。在海洋系统中,远程运输仍在很大程度上依赖化石燃料,但这种燃料现在用于运行小型微电网,为电力推进系统和辅助负载供电。从而构造了一个更高效的移动系统。

在意识到运输能源以化学形式能非常有效地储存后,一个重要的趋势将是继续发展可以利用电力(如风能和太阳能)生产液体燃料的技术(例如,通过电解和随后对生产的氢气进行催化)。这一途径的一个新兴术语是Power-to-X(P2X)。目前的投资为数亿美元,这一数字在未来十年可能会增加至少一个数量级。如果成功,这将加速电气化在交通应用中更广泛的普及,尽管还有一些剩余的CO₂排放成本。

工业领域的电气化

工业采用的多种工艺,目前由电力以外的能源形式提供。2017年,电力估计占行业总能耗的21%^[64]。对于工业机器人和

机械来说,电力的使用率正在接近100%。电气化在其他过程工业的渗透主要与所涉及的工业过程的温度范围有关。对于低温过程(如洗涤、漂洗和食品制备),电气化已经具有很高的渗透性。这同样适用于中温工艺(如干燥、蒸发、蒸馏和活化等)。对于高温工艺(如石油化工中的蒸汽重整和裂解),已经进行了适度的电气化。具有成熟电气解决方案的低温、中压和高温工艺约占所有工业过程的50%^[64]。对于超高温工艺,即1000℃以上的工艺(如在熔炉中融化玻璃、在热轧带钢机中再加热板坯以及煅烧石灰石用于水泥生产),电气工艺目前处于研究或试验阶段,但正在迅速发展,如下例所示。

电气化在工业领域取得进展的一个范例是绿色钢铁生产。钢铁需要大量的能源投入:2018年,钢铁行业使用了33.57 EJ的能源,占钢铁制造成本的很大部分,从20%到40%不等^[68]。从原材料制备到铸造、轧制和精加工,所有工艺都需要非常高的温度。例如,高炉和电弧炉(EAF)的运行温度在1500至1600℃左右。国际能源署(IEA)在概述2020年实现更可持续炼钢的技术路线图时,建议将直接电气化作为核心技术之一。描绘了一个最先进的炼钢厂,其中实施了两绿色电力电子解决方案,说明了

电气化对钢铁行业的重大影响。强调了两个要素:i)感应加热炉(RHF)和ii)电弧炉(EAF)的高性能实时控制。这两种解决方案都是通过电力电子设备的高速非线性控制实现的。

对于RHF,使用感应板坯加热方法,工作放电温度为1250℃,功耗为320千瓦时/吨,典型装机功率为15兆瓦。感应电加热不仅在表面加热,而且可以将热量直接注入板坯的核心,从而提高了效率。对于图B的系统,通电RHF可以节约25%的总功率,并防止了72kg/(吨钢)的CO₂排放。电弧炉通过更换串联电抗器、专用电炉变压器和静态伏安无功(VAR)补偿器来运行,并通过电力电子电流发生器实时控制电弧电流的行为。该解决方案每吨可节省约50千瓦时的等效能源,节约10%的电能,每吨钢材可减少约150公斤的CO₂排放。

证明电气化的数字规模令人印象深刻。更令人印象深刻的是,曾经被认为不在电气化可行性范围内的工业过程领域,也成功接受了电气化系统的引入。随着技术的进步,行业渗透的障碍逐渐减少,电气化将不可避免地出现在未来生活的每一个角落。

3.2.2 现状

正如之前所讨论的,电气化是所有行业的持续发展趋势,并且在大多数领域都在加速。这一

转变所涉及的技术数量和种类令人咋舌。正如本路线图中其他几章所述，对于这类技术中的绝大多数，控制工程发挥着重要作用。与机械或化学系统相比，电气化系统具有更容易与基于信息的系统集成这一明显优势。基于计算机的传感、通信和控制系统是我们控制系统技术基础设施的核心。由于传感和指挥都已经在其系统当中，因此它们比其他系统更为先进。这与机械系统不同，在机械系统中，必须将行为转换为用于感测的电气系统，或者必须将电气系统转换为驱动机械的部件。

全球电气化趋势带来的一个主要挑战是更新电力基础设施所需的巨大容量。从 15% 的能源使用规模扩大到接近全电力覆盖，将需要对当前的电力基础设施进行巨大的扩展，这一工程在财政预算上令人望而却步。为了避免所需投资和资源的激增，控制系统可以在促进智能操作和领域耦合方面发挥关键作用。

基础设施的智能运营

智能运营提供了减少过剩发电和存储容量需求的机会。为了始终满足消费需求，一个没有智能操作（即控制）的设计将导致发电和输电能力被峰值消费值所控制。任何具有高度可变性的发电源（如风能和太阳能）都需要巨大过量发电和储存能力。智能

地控制基础结构的组件可以减少所需的容量。

以降低峰值的方式控制消耗（“调峰”）将降低发电和运输需求。同样，当发电量超过消耗量时，控制储存可以通过储存能量（在相反的情况下消耗能量），减少对过量发电的需求。还可以通过适当控制存储容量或控制时间平滑来减少对能量传输的需求。最后，可以以类似的方式使用发电容量的可控部分，通过适当控制存储水平来降低输电容量。

基础设施之间的扇区耦合

在确保能源相关基础设施的利用率方面，扇区耦合具有巨大潜力。为了实现这一点，可能需要在层次结构中建立一个全新的控制级别。扇区耦合主要基于两个能源相关基础设施之间的能源转换。当 A 的发电量过剩，而 B 的发电量不足时，将能源从基础设施 A 转换为基础设施 B，可以减少对联合基础设施系统中整体过剩发电、储存和能源传输能力的需求。通过控制基础设施之间的转换：

- 发电所需的容量可以通过在峰值需求情况下应用转换来减少
- 存储所需的容量可以通过在下游基础设施中应用存储和消耗能力来减少
- 输电所需的容量可以通过将转换应用作为“虚拟存储”来减少，从而获得时间平滑

3.2.3 展望

近中期（5-10 年）

未来几年，预计当前的电气化趋势将持续下去。我们设计、建造和运营的独立工程系统将在应用时，将越来越多地依赖电力应用作为能量存储、传输和转换的主要模式。

因此，电气化的近中期前景是可观的。电气化的大部分影响将增加关键领域内各个系统的功能。在交通运输领域，电动汽车将变得更加普遍和强大，在未来 10 年内，电动汽车约占所有新车销量的三分之一至二分之一。考虑到一辆典型汽车的使用寿命长达十年，电动汽车和化石燃料汽车在未来十年都将保持平衡。即使没有电气化更换，作为主要推进的内燃机，及车辆中的许多辅助负载都将电气化，如转向辅助、制动和暖通空调等^[69]。随着发动机引气逐渐被子系统的电驱动所取代，其他机动系统中（如飞机）也出现了类似的趋势^[70]。

本章开头强调的其他领域也是如此。

在每个领域中，工程重点预计是使电气化系统运行良好。随着市场渗透率的提高，新的机会将会出现。再次以电动汽车为例，可以将有能力将充电系统、电力输送系统和车辆联网，以创建更高效的整体系统。目前已经有许多关于实现电动汽车和本地电网

的源、汇和存储集成的各种方法的研究^[71, 72]。考虑到当前的消费者偏好和立法, 尚未部署足够的电动汽车来提供大规模验证。许多先前的研究都依赖于假设来执行基于模拟的优化和决策。在接下来的五到十年里, 这些假设中的一些将得到验证, 其中许多将被推翻, 一些新的途径将出现, 而这些途径几乎不可能被控制领域提前识别。

由于电气化程度的提高, 个别行业的改善将超越电气化流动性, 包括制造业(如之前的钢铁厂例子), 以及建筑系统、云计算基础设施和其他固定行业。在近中期内, 这些要素将提高与光伏、核能、风能、水力和化石燃料等初级生产和储存系统的协调能力。其中一个关键是电网结构的不断演变, 包括微电网作为结缔组织, 会实使跨领域的合作更加紧密。

在最简单的形式中, 电网就是一个网络。“电网”一词是指包括发电、输电和配电在内的完整基础设施。就电气点、总线以及负载和计量设备的数量而言, 配电网的规模更大, 而输电网络的拓扑结构更复杂, 因为它们通常与其他区域输电网络互连, 以提供更大的电力流动冗余。这种互连也为馈电分配网络提供了更高的可靠性。输电网络必须有效地管理发电和耗电, 因为一个区域的停电或耗电高峰可能会对网络

的另一个区域产生不利影响。

目前的电网没有最优地容纳可再生能源。在近中期内, 电网可以利用先进的通信技术和信息, 将电力从供应商最优地传输和分配给消费者, 从而解决这些问题。此类正面的例子包括: i) 集成双向通信, ii) 先进的传感和驱动, iii) 先进的电力电子设备及其控制方法, iv) 电力市场, 以及 v) 改进的接口和决策支持, 以在面临关键紧急情况时监测和控制电网^[73]。随着现有技术的发展和新技术的开发, 这些功能将继续演变。这些技术的类型、配置和实施以及相关信息的使用也将需要在每个电网操作层进行隐私和网络安全保护。

显然, 在向万物电气化过渡的关键时期, 控制科学家和工程师的作用至关重要。这是控制领域采用结合理论、大规模计算和实验实施为一体的“大帐篷”哲学的绝佳机会。通过这种包容性的方法, 我们的领域将随着电气化发展而影响世界的状态。

长期(>10年)

在促进电气化、推动领域内部和跨领域的有效变革方面, 控制将发挥关键作用。能够在这些不同的领域之间进行通信, 并将能源作为源、汇和存储元件进行共享, 这将使我们的系统能通过适当的管理来提高效率和弹性。跨不同市场的互联网络需要持续

关注才能实现。例如, 通过电气化空间调节将建筑物用作虚拟存储元件, 以平衡可再生能源发电的可变性。类似地, 汽车系统可以作为实际的存储元件一起使用, 将多个单独的车辆聚集在一起, 以平衡电网负载, 稳定电网频率, 甚至减少发电峰值。

这种大规模的互连将需要可扩展的基于网络的控制设计和验证工具, 这些工具能够抵御异常情况, 无论这些情况是良性的还是恶意的。每个扇区网络都有自己的特点。例如, 制造系统的能源和电力配置与建筑系统截然不同, 中国的电动汽车系统在使用模式上可能与斯堪的纳维亚半岛的电动汽车非常不同。控制工程师的能力是理解每个领域的需求, 制定管理部门子系统的决策工具, 并与相关部门的其他决策工具连接。虽然从概念上看, 人们正进行一些努力构造这些大规模网络, 但从长远来讲, 如何在实践中部署高性能的系统, 并实现安全保障, 依旧需要我们努力探索。当然, 遵循工作法规和政策也是跨部门运作的一个重要方面。

3.2.4 控制系统科学家和工程师的机会目标

控制系统科学家与工程师有机会对未来的电气化社会产生影响。更加电气化和智能化的农业系统将以更高的效率养活一个拥

有 100 亿人口的星球。这包括更智能的田间农业以及城市附近蓬勃发展的垂直农业。对于电气化程度和自主性提高的建筑，也可以采用类似的方法。炼钢的例子表明，即使是最艰辛的制造业前沿，也越来越容易获得电力。未来十年，包括空中、陆地和海上模式在内的整个移动领域都将通过电气化进行改造^[74]。可电气化的范围之大，无法进行详细的描述，只能举例说明。

在这里，我们用交通和建筑两个领域，作为例子来讲述控制领域准备如何开展有影响力的工作。建筑是社会大量能源的汇集地，能源消费占比估计高达 40%^[75]。在建筑系统中，能源模式应用于各种功能：从空间调节到照明，再到计算系统等等。同样，交通运输是能源的主要消耗领域，占能源消费的近 30%。如果把建筑系统聚合到一起，就可以将其视为具有固定拓扑结构的能源节点网络。同样，车辆是一个能源节点网络，具有基于移动性的不断变化的拓扑结构。事实上，我们能在给定区域中将这两个网络聚合成更大规模的系统，以提供比单独的建筑或车辆更高的灵活性和效率。建筑系统可以用于通过控制其电气功能来创建虚拟能源。通过从基线减少使用量，我们相当于实现了添加源的效果。

电动汽车网络也可以用作存储、源和汇的聚合网络，以平衡可再生能源的生产或其他社会领域的需求。事实上，能源可以在建筑物、车辆和电网之间无缝传输。需要的是模块化和可扩展的决策策略，包括弹性和应急策略，以实现这些协调网络的优化利用。从概念上讲，这可以通过对建筑行为、电网使用、生产周期和车辆运行的假设来实现。事实上，我们社会中的许多人都以不同程度的实用性解决了这些问题。控制系统是实施所必需的，它牢固地建立在分析理解的基础上。当然，这种领导力必须与市场和政策协调一致，而市场和政策往往会掩盖技术方面的考量。

3.2.5 方法

迄今为止，有许多不同的工具和技术被用于控制电气化系统。在此我们将重点研究未来可能产生重大影响的方法。

首先是第 4.1 节中引入的学习和数据驱动方法的概念。由于能源系统基础设施具有长的时间常数和生命周期，未来将使用的许多系统已经存在，并且有充足的机会收集大量历史数据。将海量数据与通信和计算能力的增长耦合，使得机器学习中的许多高级算法既可以集中执行，也可以在边缘执行。当前的 ML 算法，包括多层深度学习算法，能够在其学习的数据集中进行插值，以快

速做出决策，如网络内的分布式资源分配，如第 3.2.4 节所述。此外，ML 的新兴“基础模型”提供了更大的潜力，可以在学习数据集的参数之外进行外推，并比以前的算法更好地处理异常边缘情况。跨网络的学习和数据驱动控制将是成功抓住电气化潜力的关键。随着社会电气化领域连通性的增加，机遇和风险也随之而来。信息滥用的风险和隐私问题是关键。因此，部署将在第 4.3 节中引入的方法——弹性、安全和隐私——对于实现更高的电力效率和效率至关重要。跨领域网络的方法可以显式地权衡一个部门（如运输）的能力（如来源）与制造业等另一个部门中的能力（例如汇），从而利用一些以弹性为重的方法。这种通过网络的物理资产捕获和利用弹性的能力需要适当的算法来实现。将控制与经济 and 公共政策结合，在整合这些网络时，企业信息与个人信息的价值会形成一个有趣的权衡。同样，控制科学家应该是这一问题的领导者，负责与政策制定者一起探索各种可能性。

最后，第 4.5 节中介绍的体系结构和控制方法将是至关重要的。如上所述，一个由物理网络组成的多物理网络将出现，所有这些网络都通过通信和弹性网格连接。通过多个较小参与者的聚集或由某种自上而下的标准集，可能会

出现某种多级层次结构。在这种结构中，可能使用数据驱动学习的大规模优化将在更高的聚合级别上发挥作用。较低级别可能会使用现有的基于模型或数据驱动的方法的组合，并将通信提升到更高级别。通信、传感和控制架构的协同设计以及物理网络的设计（例如，充电站布局和电网存储的大小和布局）将是控制引领积极变革的绝佳机会。

3.2.6 结论

目前，几乎所有社会领域都在促进电气化。这一趋势不仅受到脱碳需求的推动，还受到性能和生产力提高承诺的推动。大多数行业都有潜力将能源消耗的很大一部分转移到电力上。然而，大规模的电气化转换同样带来了许多重大的挑战，包括在基础设施投资的现实目标范围内管理电力容量等。随着各部门逐步实现电气化，管理电力基础设施需求快速增长，控制技术对此来说至关重要。

在将智能操作应用于电网组件时，将需要应用控制技术，最

大限度地减少发电、储存和输电的容量需求。对于某些行业来说，这种业绩的提高可以在中期实现，还有些行业会比其他行业更快。从长远来看，控制技术将在扇区耦合中发挥关键作用，从而进一步实现这些目标。我们预计，在更遥远的未来（>10年），一个智能耦合网络将为全球社会提供目前无法列举的服务和好处。由于这些巨大的可能性，现在是成为一名专注于电气化的控制工程师的最佳时机。

对年轻研究人员的建议：

社会的持续电气化是一个长期的趋势，将影响所有市场部门。一个主要的技术挑战是协调在多维度空间和时间上运行的不同能源、汇和存储系统。需要对控制系统进行研究，以优化现有和未来能力的大规模利用和协调。此外，还需要研究，如何将这些系统的受控运行与其构建和部署相协调。这是一个广泛而深入的多学科控制挑战，在面对不确定性和潜在的对抗性外部因素时，将突破分散网络上的分布式决策、

优化和计算的极限。考虑中的系统将具有数以百万计的状态和决策变量，且它们都有严格的操作约束。刚刚进入控制系统领域的研究人员正处于产生长期影响的绝佳境地。

对于资助机构：

开发和部署支持社会电气化的控制系统对于实现长期全球脱碳目标至关重要。在过去的几十年里，人们对网络分布式决策进行了大量投资，其中社会领域电气化可能是一个关键应用。为了进一步推进我们的脱碳努力，我们需要进行转化，将已经开发的许多算法和方法以不同程度转化为现实世界中的实践。除了必要的数理分析外，这种实践还应包括促进部署的激励措施和政策。我们应该同时采用增量策略和高风险/高回报策略，以快速确定哪些策略在实践中有效。这些筹资工作应长时间持续展开，以应对部署过程中出现的新挑战。政府对转化研究的投资需要与商业投资相协调，以优化部署时间表。○

社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（七）

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

翻译 / 王鸿宇

3.3 节 工程生物学

本节作者：

Neda Bagheri, Mustafa Khammash, Richard Murray

在过去的 20 年里，工程生物学已经成为一个令人兴奋的领域，它利用工程工具来优化有益生物系统的设计。控制理论有可能推动工程生物学在农业、医疗保健和能源等广泛领域的应用。

摘要

工程生物学领域（也称为生物工程或合成生物学）旨在更好地理解生物系统，并将组件设计成能够执行有用功能的生物电路。路线图的这一部分描述了控制理论在工程生物学中应用的机会，并阐述了该应用领域带来的一些独特挑战。我们专注于细胞和分子工程，强调生物科学和各种工程领域交叉点的潜在研究领域。这些感兴趣的领域包括工业和环境生物技术、食品和农业、卫生和医学以及能源。关键挑战包括生物系统的多尺度、随机和时空建模；建模管理的稳定性和不确定性；设计更好地支持可组合性、

模块性、可扩展性和互连性的工具；以及设计更复杂的多细胞系统。新兴应用包括代谢工程和工业生物技术、工程活性材料、个性化医学、活神经元细胞控制、环境修复和可持续农业等。

3.3.1 什么是工程生物学？

工程生物学是指利用工程遗传元件进行各种操作。这些操作的范围从环境传感和修复到生物化学合成，再到理解、检测和预防疾病。工程化生物系统的典型工作流程包括设计生物回路（或代谢途径）以实现特定功能，然后可以将其“编译”成一组 DNA 序列，这些序列代表实现所需的各种蛋白质和其他分子（例如，参见^[76, 77]）。DNA 可以商业合成并转化为执行遗传程序的活细胞，或者在无细胞环境中实现，无细胞环境在非生命环境中执行生物学的核心过程（例如转录和翻译）。

与其他工程学科一样，工程生物学涉及设计、实现和测试的迭代（称为设计 - 构建 - 测试 - 学习，或 DBTL，循环），包括使用控制领域熟悉的建模和分析工

具。反馈在自然生物系统的运行中起着至关重要的作用，但它在工程生物系统中的应用仍处于初级阶段。生物系统的工程化可以在各种不同的尺度上进行（从分子到生态系统），也可以与非生物组件相结合，例如基于硅的计算。虽然工程生物学的大部分领域都专注于提供有用的设备和系统，但工程生物学的工具也可以用来更好地理解自然系统，并预测跨尺度的涌现动力学。

2019 年工程生物学研究联合会（EBRC）研究路线图^[78]总结了正在积极探索的工程生物学的一些应用：

- 工业生物技术：专注于工程生物学的工业应用，包括生物基产品的制造，使可持续的制造过程具有成本竞争力，加快新产品和技术的创新和发现，并以经济可行性所需的规模生产产品。
- 环境生物技术：专注于能够在陆地、空气、水中的人文景观中部署生物工程系统的技术，用于修复、自然资源管理、环境监测和物种管理。
- 粮食和农业：专注于影响我们如

何养活地球上的人和动物的工具。工程生物学为支持不断增长的人口获得更多不同类型的食物、应对粮食安全和需求的变化以及减少气候变化和城市增长的影响提供了独特的手段。

- 健康与医学：专注于与人类和动物种群福祉相关的工程生物学应用。工程生物学在该领域的应用重点是预防和根除疾病，支持长寿和生活质量。
- 能源：侧重于工程生物学技术的应用，以促进清洁和低负担能源，并减少总体能源消耗。生物可以通过为发电和生产高能量密集的运输生物燃料提供生物质，成为可再生能源。它还可以用于优化工艺以使用更少的能源。

近年来，许多新技术实现了这些应用领域的进展，其中包括促进各种生物体遗传操作的CRISPR/Cas9系统^[79]，允许遗传变化在群体中传播的基因驱动的发展^[80]，以及基因测序和合成能力的快速提高^[81]。

工程生物学有许多潜在的伦理、法律和安全方面的考虑，这些都是工程生物学界活跃的讨论方向。欧洲复兴开发银行为该领域制定了一套指导性伦理原则^[82]：i) 利用工程生物学造福世界，ii) 权衡研究的益处与潜在危害，iii) 将正义纳入工程生物学的各个方面，iv) 共享研究，v) 保护个人和研究人员的自由，vi) 支持研

究人员和其他利益相关者之间的公开交流。这些原则建立在各个司法管辖区一套完善的指导方针和法规的基础上，这些指导方针和条例旨在以保护人类健康和环境的方式安全地操纵生物（参见^[83]中的第2章，了解美国生物技术监管协调框架的审查）。

3.3.2 控制对工程生物学的贡献

最近的几篇文章综述了控制理论对工程生物学领域的贡献，包括Del Vecchio等人^[84]、Hsiao等人^[85]和Khammash等人^[86]。与其他工程领域一样，高级反馈是一种宝贵的工具，可以为不确定性提供鲁棒性，并设计闭环动力学以满足性能需求。它还作为一种机制，通过提供模块或子系统的所需动态（相对独立于与其连接的其他模块的详细动态）以及通过减轻宿主细胞资源共享的负面影响来增强模块性。控制理论观点为各种应用程序提供了有用的建模、分析和设计工具。

生物系统本质上是嘈杂的，并且从一个细胞到另一个细胞、从一个生物体到另一生物体都是高度可变的。这在实现生物控制器方面提出了挑战，但也为使用这些控制器来减轻噪声和可变性的影响提供了机会。生物分子电路动力学的随机建模利用了随机过程和随机模拟的丰富工

具。与其他学科的一个重要区别是，高斯过程通常不太适合潜在的随机机制。基于随机微分方程（化学Langevin方程）和基于Kolmogorov的技术（化学主方程），已经开发了随机模拟和降阶随机模型。细胞中的反馈控制机制可以提供衰减甚至利用噪声的途径，但必须考虑到控制组件本身是高度可变的（并且精确的感知机制供不应求）。

反馈和控制概念的一个特别重要的用途是理解和最小化细胞中工程生物回路的负担和负载（“追溯力”）效应。通过利用反馈，可以将上游成分与下游负载隔离，管理细胞资源的使用，并提供自适应设计，以根据可用资源调节遗传元件的表达。

构建反馈控制系统的另一个重要概念是使用“对立”机制来提供反馈信号^[88]。这些机制已被证明可以实现对细胞噪声“抵抗”的分子积分反馈控制。这种积分反馈的结合赋予了生物分子系统鲁棒完美自适应的重要特性，实现了对参数和动态不确定性具有鲁棒性的设定点跟踪和恒定扰动抑制。

工程生物学的一种最新方法是将基因控制系统与计算机控制系统相结合。这些系统将生物分子传感和驱动的优势与现代计算的优势相结合。计算机控制的遗传系统可用于设计的快速原

型设计、集成的“硅细胞”设备或个性化医学中的各种应用（例如，使用生物分子传感和驱动，使用整个系统的生理模型耦合到MPC）。

控制技术在疾病和其他生理状况的诊断和治疗中也很有用，特别是在个性化医学的背景下（另见第2.B节中的相关材料）。

胰腺模型与MPC相结合，能够对糖尿病患者的血糖进行准确的实时预测和管理^[89]。最优控制已应用于患者特异性药代动力学和药效学模型，以设计治疗慢性粒细胞白血病的药物给药策略^[90]。这补充了工程生物学在嵌合抗原受体（CAR）T细胞疗法设计中促进的用于管理可溶性肿瘤的开创性工作。同样，正在开发实体瘤微环境的新生空间模型，以预测体内肿瘤生长和耦合血管动力学，提供了一个计算机试验台，以帮助揭示驱动突发动力学的规则，并在治疗患者之前评估治疗干预的有效性^[91]。大型高分辨率模型（例如用于表征微环境的模型）在优化和控制方面的计算成本可能很高。控制理论中的模型简化工具与机器学习相结合，正在被整合以减轻这一负担。尽管在预测方面取得了巨大进展，但传统的非线性常微分方程（ODE）模型仍有丰富的空间来指导我们对人体的理解，并作为假设生成的工具。Muldoon等

人训练了这样一个模型，以揭示免疫细胞是如何激活和驱动自身种群动态的^[92]。

3.3.3 控制与生物学交叉点的挑战和机遇

控制有许多机会对生物系统产生重大影响。这些机会包括更好地理解自然界中的生物系统，以及利用生物组件设计和实现新的电路、途径和系统。它们还包括将工程生物系统与其他技术相结合，如电子、材料和机械系统。最近的技术进步，特别是基于CRISPR的技术的发展^[79]和合成定制DNA的能力的提高^[91]，提高了这些机会的可行性。

纵观这些不同的前景，有许多共同的挑战必须克服，这可能会带来新的见解和控制方法。在本节中，我们总结了在新兴的工程生物学应用中使用控制的方法所面对的一些挑战和机会。

生物网络中的随机性和不确定性建模：生物系统的一个关键特征是存在于大范围尺度上的大量随机性和可变性^[93, 94, 95]。控制理论中开发的许多用于理解随机性的工具可能需要进一步开发，以处理高度非高斯随机性（例如，分子结合的泊松过程和多峰分布响应）。反馈提供了一种在需要时减少变异性的机制，但它也可以用来调整分布反应，以利用生物学维持“赌注对冲”策略的能力，防止环境发生巨大变化。到目前

为止，关于这些情况下响应分布演变的推理已经使用了不一定根据设计需求调整的数值方法。需要进行更多的研究，为分析和设计提供有用的数学框架和工具。

生物系统的多尺度和多物理建模：生物系统在各种空间尺度（从分子到生态系统）和时间尺度（从微秒到几个世纪）上运行，这些尺度之间的相互作用既复杂又重要^[96, 97]。有效的建模、分析和设计必须考虑多个尺度的生物、化学、信息和物理特性，它们之间有很强的相互作用。为了设计与我们在其他领域（航空航天、化学处理、电子等）看到的设计相媲美的复杂生物系统，我们可能需要允许不同抽象层的数学框架，在这些抽象层中，这些不同的方面可以部分分离。虽然我们在这些其他领域的经验将是相关的，但自然生物系统的整合程度如此之高，以至于很难将这些影响分离出来，这反过来又限制了我们将组件和子系统有效组合成大规模复杂网络的能力。

空间和时空特性：对生物分子反馈系统的一种简单看法是，它是在混合良好的环境中发生的一组化学反应。许多现有的工程生物系统利用这种简化的假设作为操作的基础。生物功能在空间域中的分布，以及空间和时间响应的耦合，是未来进步的重要途径。早期的应用可能包括对混合

良好的细胞群体的分散控制，但更先进的应用将涉及时空策略，包括复杂系统的工程元素之间的传输、信号传导和巨大的异质性。

鲁棒性和可预测性：反馈系统的一个关键特性是它们能够通过设计和性能（快速响应、小误差等）提供鲁棒性。生物系统中的一个重要因素是环境依赖性（资源共享、噪声、生长条件、遗传环境），工程生物电路需要新的方法来克服这一问题。其他问题包括避免突变逃逸和将负担影响降至最低的新方法（例如，低拷贝数控制）。其中许多问题是生物系统特有的，因此可能需要新的控制范式。

更好更快的生物设计工作流程：工程生物学当前成果的主要驱动因素之一是 DBTL 周期的改进。快速原型设计和测试工具使设计周期越来越快，成为迭代和探索设计空间的一种手段。随着我们的系统变得越来越复杂，我们必须开发更复杂的工作流程，通过建模、模拟和测试实现工作系统的快速开发和部署。通过使用控制工具和控制社区提供的视角，可以实现对更自动化和可重复的设计工作流程的需求。

可组合性、模块化、可扩展性、互连性：为了构建能够在现实世界环境中运行的生物系统，有必要创建能够组合并按预期运行的组件和子系统。目前的生物

组件不具备这一特性：很难让一个实验室产生的电路或通路在另一个实验室发挥作用，甚至更难将一个小组产生的电路和通路集成到另一个小组正在构建的系统中，而不需要大量的返工。在其他学科中，反馈是提供模块化系统的推动者，该模块化系统在面对不确定性时提供所需的动力学，包括它们所连接的其他系统的不确定性。反馈很可能会类似地提供关键工具之一，以实现工程生物学中的组合、模块化、可扩展性和互连。

更复杂功能的设计：与我们在其他学科中看到的先进控制技术相比，目前在工程生物学中使用反馈和控制是相对初级的。许多工程生物控制系统由简单的反馈回路组成，只有几个元件。随着我们探索更复杂的控制生物学应用，有必要开发更复杂的功能，允许过滤、估计、预测、适应、优化和其他高级功能。这将需要使用模块化和可编程架构来实现复杂功能的全新方法。

多细胞系统的设计和控制：到目前为止，工程生物学的大部分工作都着眼于相对简单的系统，在这些系统中，单个物种被设计来执行所需的功能。大自然清楚地表明，多细胞系统具有丰富的功能。控制理论中的工具可以为大型系统中不同类型细胞之间的相互作用提供关键见解，以及允

许不同细胞类型之间功能分离的设计方法^[98, 99]。特别是，分散控制的原理可以阐明没有主决策者的细胞亚群如何协调和驱动更高级别的反应。生物系统的“系统工程”最终将不得不解决其他学科的控制从业者每天面临的各种问题。

除了面向控制的技术面临的这些广泛挑战外，生物控制工程师还可以在许多新兴应用中发挥关键作用。

代谢工程和工业生物技术：反馈控制可以提供调节基因表达的新方法，以优化代谢途径，从而提高产量，对底物变化具有鲁棒性，并能够处理有毒中间体。这种基因表达的调节可以通过使用过程控制技术的生物反应器上的外部反馈回路来实现，但也有机会在基因水平上将生物反应器与回路耦合。应用范围从高价值化学品到先进的生物制品（例如，使用中国仓鼠卵巢 [CHO] 细胞制造具有反馈控制的生物制品以提高产量）。

工程生活材料：最近对开发工程生活材料的投资使材料能够以不同的方式做出反应，包括对环境刺激和破坏做出反应。控制也将有助于调节将肌肉和神经细胞等生物材料与非生物材料整合在一起的软设备的功能。通过仔细调节发育过程，可以使用控制方法来指导新组织和器官的工程。

个性化医学：人们对使用“设计细胞”生产或提供治疗方法越来越感兴趣。例如，Krawczyk 等人^[100]的最新结果描述了一种生物电子界面，该界面使用无线电刺激细胞来促进胰岛素的释放。其他例子包括可用于感知和 / 或调节肠道微生物以及更广泛应用（如组织工程）中的条件的工程微生物。需要更好地了解微生物组及其如何影响免疫系统和大脑功能，这需要从系统的角度来看待。类似地，干细胞分化的新方法可能能够利用控制系统来调节分化。

活神经元细胞的控制：最近在开发直接控制活脑细胞的侵入性和非侵入性技术解决方案方面所做的努力为控制工程师的贡献提供了一条有前途的道路。最近的一个革命性进展是光遗传学的发展^[101]，这是一种利用基因修饰使光（通过光纤）能够感知和驱动特定靶向神经元的技术。通过昆虫和小鼠等基因工程生物体，可以对神经元进行修饰，以表达光敏离子通道^[101]，从而控制神经元活动（例如，为了神经调控的目的，打开或关闭选定的神经元^[102]）。这种方法可以增加对神经科学和潜在治疗应用的理解，以及控制（生物）神经网络行为的途径。

环境修复和可持续农业：与在肠道微生物组中使用工程微生物类似，土壤中的工程微生物可

以用于多种目的。其中包括毒素的检测和修复，以及通过检测土壤条件和通过释放小分子触发植物反应来改善作物的生长条件。在土壤中使用工程微生物需要实现所需功能的回路和途径，同时对潜在的大环境波动（温度、含水量、pH 值等）具有鲁棒性。它还需要新的方法来确保开放释放（相对于封闭使用）产品的安全性^[83]。这些努力与减缓气候变化的目标密切相关，详见第 2.1 节。

随着我们继续与生物学家、生物工程师和数据科学家合作，工程生物学为控制界带来了许多关键挑战和机遇。

对年轻研究人员的建议：

控制理论有着航空航天、化学、电气、信息和机械工程的历史渊源，它融合了 STEM 学科的技能，能够实现广泛而有影响力的应用。这使控制处于一个很好的位置，可以为生物学的新兴领域做出重大贡献。更多的学生和教师需要参与工程生物学，以确保控制社区能够在未来十年内为这一不断发展的领域提供信息。需要新的课程、合作和想法，将控制理论的现有结果和方法与新的应用联系起来，并将控制理论扩展到包括生物系统的专门方法。

对于资助机构：

未来十年应增加对工程生物学的投资，以加速创新并扩大生物经济的范围，生物经济已经被

公认为全球经济的一个重要关注领域。工程生物学与健康、财富和环境的相关性，以及控制理论在设计能够在不确定条件下运行的大型系统中的关键作用，证明有理由对能够产生有意义进展的研究进行更多投资。

3.4 节 现实世界中的机器人

本节作者：

Dimos V. Dimarogonas,
Dawn Tilbury, Karl H.
Johansson, Tor Arne Johansen

随着传感和计算技术的进步，机器人对环境的感知和推理能力不断增强。而控制领域所面临的挑战包括提高非结构化、动态环境时的稳定性，在极不稳定的情况下证明闭环操作的可行性，确保人类活动的安全。

摘要

机械装置和电源技术的最新进展使机器人得以进一步发展，它们可以操纵物体，并在所处环境中驾驶、行走和飞行。有臂杆、腿或轮子的移动机械手可以拿起包裹，在房间或城镇里移动。机器人能够在建筑工地、灾区甚至外太空等危险环境中作业。然而，为了让新一代机器人在实践中成功完成任务，必须解决三个整体控制挑战。首先，现实世界的环境是动态和非结构化的，不像传统的制造环境那样，使用重复和规划好的操作。因此，控制策略

必须提高对不可预见的条件和干扰的抵御能力。其次，传统的鲁棒控制解决了结构不确定性问题，但在实践应用中过于保守。考虑到实际环境中巨大的不确定性，闭环控制系统必须能够以可行的方式运行。第三，机器人必须在人类周围安全运行，并获得人类的信任。尽管可能不如刚性机器人准确和高效，柔性机器人本质上却更安全，未来，多机器人系统将部署在复杂的环境中，通过分布式计算和通信来实现最终目标。

3.4.1 引言

20 世纪 60 年代，机器人开始被引入制造厂。他们能够以更高的准确性执行重复性任务，使人类工人摆脱枯燥甚至危险的劳动。有了高功率，机器人可以举起整个车辆，有了高速率，他们可以挑选和放置小部件。然而，这些强大而快速的机器人无法感知周围环境并对其做出反应，因此在 20 世纪的大部分时间里，机器人都被严加管束，以保护工人免受可能导致伤亡的意外遭遇。

在 21 世纪，机器人正被解放到更广阔的环境中运行。有了感知环境的能力，他们可以移动，能够与人类协同工作。计算、通信、传感和储能领域的进步正在加速这一转变。服务机器人、自动驾驶汽车、无人机、手术机器人和野外机器人正在结构化程度

较低的环境中工作，同时承担更复杂和更关键的任务，其应用领域从日常琐事和社会应用到战争和地外探测。

在本节中，机器人拥有传感器来观察周围环境并测量其位置，并通过感知来获得对环境理解。它能够对自己的选择进行推理，制定决策，然后采取行动与环境交互，包括与其他机器人协同。举例来讲，一个简单的机器人可以是自动吸尘器，而无人驾驶汽车则是一个更为复杂的机器人。

3.4.2 使能技术

感知

传感和计算技术的进步使感知技术取得了巨大发展，并为控制模式提供了新的视角。多模传感将音频和视频信号与激光扫描和触觉反馈相结合，有望进一步增强机器人的感知能力。

在相对开放的户外环境中，机器人和车辆通常可以借助全球导航卫星系统（GNSS）进行自我定位。如今，这通常可以通过实时运动学和差分校正服务提供厘米级的绝对精度。然而，由于多径信号阻塞、电磁干扰或网络攻击，全球导航卫星系统服务可能被拒绝或降级。

虽然惯性导航通常用于提供高速率运动估计和短期 GNSS 退化和中断的恢复能力，但当 GNSS 被长时间拒绝时，需要额外的辅助传感器。比如基于无线电波和

声波的本地导航辅助，但这取决于必需的基础设施。

基于成像传感器（视觉和红外相机、激光雷达等）的视觉里程计和同时定位与测绘（SLAM）方法的是机器人和自动驾驶汽车的一个非常活跃的研究领域。在足够可见的未知环境中，这些传感器无需任何支持基础设施。它们还可以通过检测、识别和跟踪环境中的特征和物体，如道路、地标、未映射的静态和动态障碍物，提供态势感知。传感器收集的这些信息常用于相对和绝对导航辅助、碰撞避免和自主控制，可以引导机器人在探索其环境时朝向感兴趣的特征或对象。对环境的感知可以被纳入各种时空模型、地图、网格、图形和 3D 世界表示中，通常被称为“数字孪生”。这是基于感知的控制基础，在这种控制中，传感器探索未知环境，同时收集数据以满足最终用户的需求。其中一个关键应用是信息驱动控制，对时空场进行自适应采样，以检测具有高浓度污染或价值资源的热点。

尽管在过去十年中，基于感知的控制取得了重大进展（例如 [103, 104, 105, 106]），机器人已被证明在某些任务和环境中比人类表现更好，但很明显，人类对世界有着更全面的理解，而机器人还无法理解我们所构建的世界模型。人类大脑的能力远远超过了机器

人将其感知与世界模型融合的能力。这导致机器人对风险的理解有限，态势感知不完整，预测不准确。

因此，我们现在很少看到完全自主活动的机器人：它们的使用通常需要一定程度的人力监督控制、监督或协助。强化学习和深度学习等机器学习技术正在提高我们对机器人和车辆实施更好的基于感知的控制能力。剩余的关键问题是这些方法和模型的透明度有限，因此与可解释人工智能相关的问题仍然需要探究。

操纵

过去十年，机器人操作的关注点已经转向软体机器人^[107]。这一概念试图克服部署着应用控制算法（如阻抗控制器或逆运动学控制律）的传统刚性机械手以及最近的柔性/柔顺机械手的固有限制，采用这些算法的变体来应对额外的被动自由度。软硬件的交互提升了安全性，但也有其自身的局限性^[108]。硬件设计直接阻碍了诸如扰动抑制和运动模拟等高级因素的实现。

然而，这导致对非软机械手的电流控制器的有限交互能力的进步的需求越来越大。已经探索了专注于效率和鲁棒性的不同控制技术。其中包括瞬态控制器（如基于屏障的技术和规定的性能控制）、具有增强的扰动抑制能力的基于模型的控制器（如鲁棒

非线性模型预测控制器 [NMPC] 和自适应控制器）以及为规定的任务模拟人体运动的学习技术（如从演示中学习）。这些不同的研究路线将产生能够以基本感知能力执行越来越精细的任务的控制器^[109]。与环境以及与其他人类和/或机器人代理的有效交互，预计将改变我们对哪些应用对于技术成熟是可行的看法^[110]。与其用单个机器人的控制器代替大规模生产设施中的人工操作员，或者在具有保守安全保证的有限任务中协作，高效的人机协作的控制解决方案应该让公众更容易获得机器人操作。这也适用于移动操纵，这带来了处理移动基座和机器人操纵器之间耦合的额外挑战，以及基座额外自由度的计算^[111]。

足式机器人

足式机器人最近走出实验室进入现实应用场景，很大程度上是由于四足和双足机器人商业平台较多。随着这些机器人的可用性和部署的增加，控制领域获得了许多机会。从建模方面来看，这包括行驶类混合系统模型。从控制的角度来看，足式机器人在现实世界中的部署需要这些控制器对不确定的环境（例如，不同的地形类型）具有鲁棒性。最后，必须将感知添加到反馈回路中，使足式机器人能够对他们移动的世界进行推理。

无人机

无人机系统（Unmanned Aerial Systems, UASs）在过去十年中已经显著成熟，现在已经有了广泛的应用。虽然小型旋翼和固定翼飞机在早期占主导地位，但无人多旋翼飞行器在今天最为常见。它们之所以受欢迎，是因为成本低、操作简单，适用于航空摄影和基础设施检查等许多场合。无人固定翼飞机仍然具有更高的速度、航程和续航能力，垂直和水平安装螺旋桨相结合的混合设计正在出现，以实现用户友好的垂直起降（VTOL）能力，同时保留固定翼飞机的优势。无人机的控制主要采用手动遥控和自动控制相结合的方式，并预先规划路线。目前这一领域对专业飞行员的需求正在逐渐减少，这使得越来越多的用户可以使用无人机。

超视距（BVLOS）需要安全的系统和程序来限制碰撞和损坏的风险。这对监管、空中交通管制、适航性认证、飞行员能力和操作概念都有影响。尽管由于技术相对不成熟，高水平的自主性今天可能会被利益相关者视为一种风险，但它也有可能成为确保高水平安全的有效解决方案。需要对自主性和相关技术进行广泛研究，以使超视距飞行能够在具有挑战性和不友好的环境中进行，例如在没有卫星导航依赖^[112]的

情况下，在强风和湍流、结冰条件和黑暗的环境中，同时对内部故障和外部干扰提供必要的容错性。

无人机行业还希望将飞行摄像机和传感器（例如，用于测绘、监视和检查）扩展到更繁重的任务中，如运输（例如，人员、医疗用品和货物）和操纵（例如，维护、修理和施工）^[113, 114]。此时故障的后果将更为严重，因此对准确和有弹性的传感、控制和自主性的研究将比以往任何时候都更加重要。

数字孪生

几十年来，仿真一直被用于评估潜在的机器人解决方案，并收集数据用于控制系统，以对后续驱动做出实时决策。高性能计算、高速网络以及大容量和云数据存储的进步使这些模拟数据能够以新的方式应用于改善机器人和自动化系统的控制。数字孪生是一个最新的概念，它包含了物理对应的多个方面，以帮助做出决策，改善运营成果。

数字孪生一词已被用于许多领域。在这里，我们采用了^[115]的定义，即数字孪生是真实事物的某种程度的复制品，存在于网络世界中，其目的是影响其真实对应物存在的环境的某个方面，融合了模型和主题专业知识，并依靠模型和数据（历史和实时）来实现其目的。

由机器人采集的大量数据，无论是在现实世界中还是在工厂车间，都可以被存储，而不是每次采样都被覆盖。这些数据可以用来建立预测模型。实时流数据可以与过去的数据进行比较。在制造厂中，可以将同一机器的同一工艺、同一工厂的不同机器的同一工艺进行比较，甚至可以将不同工厂的类似工艺进行比较。这些潜在比较的多个维度使得漂移和趋势能够被检测到并可能被校正。

仿真模型可以实时运行，并与来自物理系统的实时数据流进行比较^[116]。这些模拟模型可以根据第一性原理，使用物理和化学来构建，也可以使用历史数据来构建。仿真模型的输出可以与实时流数据进行比较，并用于检测可能发生的异常或故障。实时数据还可以用于在操作系统中发生漂移或小变化时更新模型。

使用数据驱动和数字孪生方法在未来面对的挑战包括：

- i. 模型开发和调优模型的自动化，以减少主题专家建立这些系统所需的时间。
- ii. 开发将系统过程中的自然漂移和预期漂移（应导致模型更新）与异常或故障行为（应触发对系统操作员的警报）分离的方法。
- iii. 将置信区间的改进方法融合在仿真模型的预测中，纳入物

理系统中固有的自然不确定性。

iv. 对数字孪生中广泛存在的多物理场和多尺度分量模型的数值进行易处理和精确地降阶建模和构造。

3.4.3 控制的挑战

机器人在现实世界中面临的高级控制挑战是：

- 处理具有未知扰动的真实世界数据（感知和多模态感知）
- 不确定性下的可验证正确性
- 信任和安全

现实世界操作中的弹性、反应性和可重构性

随着机器人在新的环境中运行，在控制和规划及其融合领域中需要提高弹性、反应性和可重构性。除了传统的鲁棒控制方法，还需要对包括离散事件和剧烈的环境变化（例如，阳光到暴风雪或沥青到泥浆）在内的潜在扰动进行建模。与这些未知环境相关的不确定性以及该不确定性通过机器人控制的传播必须能够被量化和操纵，以便能够做出恰当的控制和规划决策。

建筑工地是半结构化环境，“智能建筑”旨在将其自动化到尽可能高的程度。这一概念起源于柔性自动化，即通过机器人和机器人的按需重新配置，在单个制造现场生产各种不同的商品。这一想法被应用到建筑垂直领域，那里的产品通常有一个批量（一次性生产）。虽然建筑工地仍然依赖

体力劳动，但未来的愿景是利用自动化来加快生产周期，提高质量，同时降低人类风险、碳排放和成本。控制面临的挑战涉及到将高层规划和灵活、低层次的控制应用到适配当前领域的分布式解决方案中，解决方案还需要解决整个系统架构中不同施工运营商的异质性问题。

外层空间、亚陆地和水下领域的结构和不确定性更低。这些环境比较偏远，对人类来说并不友好，因此机器人和自主系统在这些领域的应用非常令人感兴趣。其设计必须能够在有限的功率、通信和导航能力下生存和运行。在水底和地下领域，可能完全缺乏基础设施和服务，因此高度自治可能是唯一的选择。因此，对感知、态势感知、人工智能和容错控制的研究对于实现这些环境所需的弹性自主至关重要，因为在这些环境中，操作员或助手不便进行干预^[117、118]。

此外，无论是用于行星探测、海洋科学、海底采矿还是在轨卫星维护，这些领域都需要具有强大软硬件的机器人系统。机器人技术让我们以更低的成本更容易获得这些环境，并有助于太空和海洋的民主化。除了对机器人系统本身的研究外，还需要对其有效载荷、仪器、采样系统、机电一体化以及与机器人平台的交互进行研究。

不确定性下的可证明正确性

考虑到与不同环境相关的巨大不确定性，以及这些操作的关键性，机器人只能执行认证过的安全行为。传统的鲁棒控制方法可以处理结构化的不确定性，但可能导致控制方法过于保守。机器人系统的设计和建造必须能够在不断变化的条件下做出适当的反应。必须考虑与机器人本身、其能力（包括传感和移动性）和约束（包括计算和功率）相关的不确定性。

必须考虑环境的限制，包括传感、计算和功率限制。计算整体控制问题的解决方案所需的时间很重要，因为现实世界中的机器人需要实时操作。需要开发功率和时间更高效的算法。

传感、计算和数据管理方面的最新进展促进了智能系统发展，为其提供了更大的自主权和灵活性。这些新兴的控制系统激发了复杂的控制目标，这些目标超越了经典控制理论中追求的标准目标（即稳定性、不变性和最优性）。例如，一个复杂的目标是控制连接的自动驾驶汽车在交通交叉口汇合，同时确保安全和燃油经济性约束。安全是这里的首要目标，同时，这些系统和用户之间需要灵活的合作。这种控制目标的复杂性要求自动化和正确的技术来验证或合成控制器，以满足控制系统的新兴应用。

通过仔细整合控制理论和计算机科学的概念，例如形式化方法和假设保证规则，可以实现解决上述问题的有前途的方法^[119、120]。形式化方法允许在多重复杂约束条件下，以有效、实时和用户友好的方式定义动态系统的任务和目标。在过去的十年里，线性时间逻辑（LTL）^[121]等形式语言已被证明具有足够的表达能力，可以在各种机器人场景中捕获许多重要属性。最近，还引入了量化特征的信号时序逻辑（STL）^[122]。为了提供可能的安全性，引入了控制屏障功能作为防护的拓展^[123]。

优化也可以成为一个以系统的方式实现特定目标和约束的有力手段。虽然已经取得了进展，但目前的方法仅限于在结构化程度较高的环境中执行任务。因此我们需要付出更多的努力来开发能够在非结构化和动态环境中处理现实问题的控制算法。需要解决的进一步挑战是可扩展性（数量增加、异构、动态对象和代理）和不确定性（复杂或不可预测的动力学），这可能需要机器人系统实时重新规划和适应。

有人类参与的信任和安全

机器人操作的社会适用性，尤其是在日常生活中的实施，给人类带来了一些新的考虑因素。其中包括安全保障等硬约束，以及舒适、信任和可接受性等软

约束。

传感、计算和驱动方面的进步使机器人能够通过适当的控制方法在人类周围更安全地运行。机器人必须能够感知包括人类在内的环境，并做出合理的预测，从而在不造成伤害的情况下规划自己的行为 and 路径。尽管在这些领域已经取得了很大进展，但人类可能是不可预测的，环境也是动态的。开发确保人机交互安全操作的控制策略仍然是一个挑战^[124]。

未来，人类和机器人有望在许多领域和模式上进行合作。一些机器人可能由人类教导如何执行特定任务，如组装或烹饪。其他机器人可以在中风后的身体恢复甚至教育环境中教导或帮助人类。人类和机器人也可能成为队友，努力实现在灾区寻找受害者或在医院照顾病人的共同目标。

随着机器人硬件在功能和感知方面的提高以及计算能力的不断增强，机器人将能够与人类合作，并有可能使我们的生活更加安全和丰富。

随着感知、定位、规划和控制功能作为自动驾驶的组成模块日趋成熟，20 世纪 20 年代的自动驾驶研究重点已转向系统可靠性和安全性^[125]。涉及人类行为预测的情境理解，纳入交通行为不确定性的风险意识规划是实现安全高效人机交互的两个主要方面

^[126]。交通中不确定性的多模态性质是风险意识规划中广泛的研究领域^[127]。部分可观测马尔可夫决策过程 (POMDPs)、概率可达集计算和鲁棒不变集计算等方法被用于解决存在不确定性问题的安全性^[128]。这些研究方向最终有助于建立一个高度自主的交通系统，通过有计划的共享使用，提高安全性，改善残疾人的进城准则，减少碳排放和个人拥有车辆的需求。与此同时，如何将这此方法扩展到更大规模和分布式实现仍然是一个悬而未决的挑战。

多机器人系统 (MRS) 的设计和部署是一个基本挑战，因为单体机器人通常可以获得有限的资源。在集中式方法中，机器人团队通常被认为是一个复合机器人系统，可以应用单体机器人运动规划算法。由于多机器人状态空间的高维性，当机器人数量增加时，集中式方法在计算上往往不切实际。尽管近几十年来在多机器人系统的分布式控制方面做出了重大努力^[129, 130]，但仍有许多方向需要改进。在分布式方法中，所有机器人在控制方面是同构的，并且在决策过程中完全自主，因此这一方法更有希望构造大规模多机器人系统。工作在动态变化环境中的多机器人系统的关键在于任务的安全性。因为硬件和操作的修复通常很困难，甚至不可能，所以解决故障所付出

的成本是非常昂贵的。

当与人类进行显性或隐性互动时，安全的重要性就更加明显了。为了使多机器人系统能够安全地处理更复杂的任务，需要一个有效的框架将团队应完成的任务归纳为全局规范，并生成低级别的分式控制算法。因此，存在复杂规范的异构多机器人系统控制将是未来的一个关键研究领域^[131]。

为了充分发挥 MRS 的潜力，我们需要对这些系统中传感、通信和执行之间的相互作用有一个基本的了解。在复杂和动态的环境中，可能有一些任务相互冲突，甚至无法实现。在这种情况下，预计整个 MRS 将能够根据实时环境信息重新配置其计划，从而最大限度地满足整个团队的目标。此外，当任务对机器人来说依旧太过复杂时，人类和机器人之间的协调方式需要进一步探索。

制造

自动化技术已经在制造业中应用了一个多世纪，包括大规模生产、装配线和输送机。机器人是半个世纪前引入的，这极大地扩展了机器的功能。包括机器人技术在内的自动化制造为高质量生产带来了高产量和低成本。

特别是，自动化可以执行具有低差异的高度可重复的操作。这些高度自动化的系统通常在机器人周围安装防护措施和安全传感器，使在工厂工作的人免受机

器强大的高速运动的影响。尽管许多最重复和最危险的操作都是自动化的，但仍需要人工进行设置、维护、故障排除和灵巧的组装。一个完全自主的“熄灯”工厂仍然存在于未来的愿景当中。

最近制造业的正在从大规模生产转向大规模定制，在这种情况下，许多不同的型号都在一家工厂生产，甚至是个性化生产，从装配线上下来的每一种产品都是为单个消费者生产的（“一个批量”）。这些趋势启示我们，为了制造不同类型产品、有效协调生产并保持大规模生产中的低成本优势，我们需要开发一系列物理机器，还要能够在控制和数据方法等方面取得进展^[132]。

在传统的制造控制体系中，有机会在各个层面提高生产效率、质量并降低成本^[133]。层次结构的最低级别包括工厂中单个机器、机器人、输送机等的控制器。下一级升级包括通过 PLC（可编程逻辑控制器）协调这些元件。尽管更改计算机数控机床的 G 代码或将新的机器人程序下载到机械臂很简单，但需要新的控制方法来实现下一级的灵活性。目前，只能通过 PLC 程序同步系统的控

制程序进行更改，但确保这些更改产生满意的解决方案很难实现。目前，大多数生产多个产品的大批量生产线从一开始就设计为生产一套产品，而重新配置以添加新产品仍然是一个挑战。

在层级的更高级别，有机会通过控制以解决生产系统的监控和监督问题。预测性维护有可能增加工厂的正常运行时间，并显著降低计划外停机的成本。实现这些解决方案所需的大量数据的可用性正在提升。能够利用来自同一台或多台机器的实时和历史数据，同时包括上下文因素以及人类和人工智能的方法开始具有前景。

向大规模定制和个性化生产的转变将需要快速适应不断变化的需求，并与客户、分销商和供应商进行更好的协调。在供应链的各个层面，都有重大的机会制定包括预测模型在内的估计和控制策略，以实现更具响应性、弹性和可靠性的制造系统。这将使客户能够在需要时以合理的成本获得他们需要的产品。

对年轻研究人员的建议：

现实世界机器人技术面临的巨大挑战之一是使机器人变得有

效、稳定和安全。这对于我们接受机器人并充分发挥机器人在社会中的潜力至关重要。我们建议关注更高层次的控制，包括感知、情境感知、自主性、人工智能和数字孪生的使用。我们还需要机器人、计算机科学、其他工程学科以及伦理和安全等社会科学领域的科学家之间的跨学科合作。

对于资助机构来说：

为了实现机器人在现实世界的非结构化、动态和不确定环境中运行的前景，需要进行基础研究，以推进控制领域的前沿发展。虽然传统的鲁棒控制保证了在结构化环境中的性能，但必须为非结构化和动态不确定性开发新的弹性和反应控制框架。我们需要创建实时表征和感知环境的方法，以及被证明能够在动态情况下正确运行的控制框架。研究的另一个关键推力是人类和机器人在这些动态环境中的合作，同时确保安全并获得人类操作员的信任。

积极的结果将提高生产力和效率。短期研究可以专注于建筑工地、制造厂和仓库等半结构化环境，而长期研究可以与人类一起解决开放环境问题。○

第41期中国科协全国学会秘书长沙龙在京召开

2023年8月31日，第41期中国科协全国学会秘书长沙龙在京召开。本次沙龙紧密结合学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育，认真落实中国科协党组、书记处关于深化学会发展重大问题研究的指示要求，以“新形势下中国特色一流学会建设”为主题，邀请全国学会秘书长进行交流研讨。中国科协党组成员、书记处书记张桂华出席并致辞。

民政部社会组织管理局二级

巡视员张军、华北电力大学教授朱晓红、北京科技大学副教授唐德龙等围绕中国特色科技社团的发展特点与趋势作主题报告。中国自动化学会等4个全国学会、上海市科协等2个省级科协从组织凝聚力、学术引领力、社会公信力、国际影响力及优化学会布局等方面作经验交流。

与会代表围绕学会画像、学会布局优化、服务科技经济融合等主题分组开展交流研讨。大家表示，专题报告有深度有高度，典型

经验可借鉴可复制，对于“什么是中国特色一流学会，如何建设中国特色一流学会”有了更深入的了解，将牢牢把握团结奋斗的时代要求，围绕中心、服务大局，加快推动学会高质量发展，更好地服务和支撑中国式现代化建设。

本期沙龙由中国科协科学技术创新部主办、中国自动化学会承办。68个全国学会的秘书长和部分省级科协学会部部长参加沙龙。○

学会秘书处 供稿



图1 会议现场

中国自动化学会十一届二十五次理事长、四十一次秘书长、一届十六次监事长工作会议成功召开

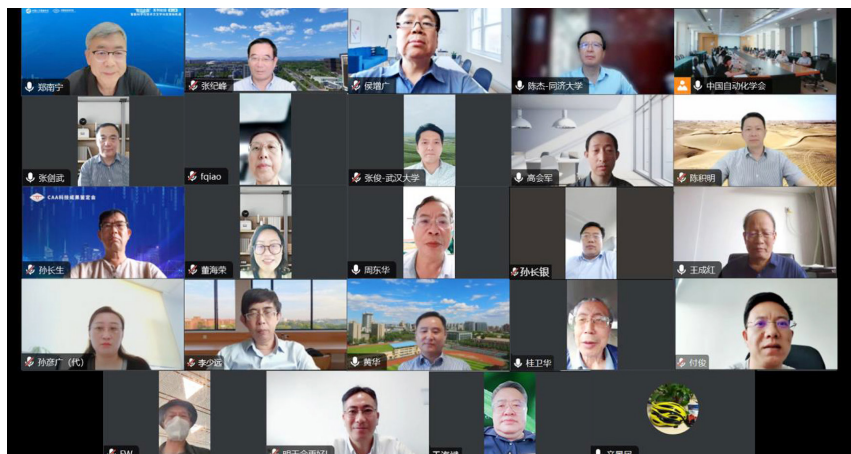


图1 线上参会代表

中国自动化学会于2023年9月12日以“线上+线下”结合的形式在北京成功召开了十一届二十五次理事长、四十一次秘书长、一届十六次监事长工作会议，学会理事长郑南宁院士，副理事长陈杰院士、桂卫华院士、杨孟飞院士、王成红、侯增广、李少远、于海斌、张纪峰、张剑武、周东华，监事长王飞跃，秘书长张楠，副秘书长陈积明、邓方、董海荣、付俊、高会军、黄华、李实、乔非、石红芳、孙长生、孙长银、孙彦广、谢海江、辛景民、王坛、张俊、赵延龙出席会议。会议由郑南宁理事长主持。

学会秘书长张楠首先从组织建设、出版宣传、会员服务、分

支机构管理、公共服务、科普宣传、科技奖励、学术会议、国际事务等方面就2023年7-9月重点工作进行汇报，并重点汇报了中国自动化学会换届方案情况。

在具体议题讨论环节中，重庆邮电大学魏旻教授汇报了2023

中国自动化大会的筹备情况，与会代表就2023中国自动化大会的大会报告人、论文投稿、专题论坛等事宜进行充分讨论，并提出相关建议。随后，会议对分支机构创建换届、CAA学生分会成立等相关事宜进行审议，并举手表决。

会议最后，学会理事长郑南宁院士作总结发言。他在充分肯定学会秘书处近阶段工作的同时，强调学会一定要深刻领会习近平总书记关于新质生产力的重要指示，要整合人工智能、物联网、云计算等新一代信息技术资源，以科技创新引领自动化产业高效能、高质量发展。○

学会秘书处 供稿



图2 线下参会代表

CAA 重庆大学学生分会成立大会在重庆大学举行

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”。在高度重视青年人才培养的战略布局下，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。

2023年9月11日上午，CAA重庆大学学生分会成立大会在重庆大学虎溪校区图书馆报告厅顺利举行。本次会议由中国自动化学会主办，重庆大学自动化学院承办，汇聚了众多自动化学界的专家学者和热爱自动化科学的青年学生，旨在为广大学子提供更多学术交流和实践机会，推动自动化领域青年学生的创新发展。

中国自动化学会秘书长张楠介绍了成立中国自动化学会学生分会的背景和意义，并宣读《关于同意 CAA 重庆大学学生分会召开成立大会的批复》，对重庆大学学生分会成立表示热烈祝贺。中国自动化学会会士、常务理事，重庆大学自动化学院学术委员会主席宋永端教授发表致辞，强调学院一直高度重视与中国自动化学会的合作与交流，将全力支持学生分会的发展，为学生分会提供良好的学术指导和资源支持。

大会选举产生丰宇宸、谢涵宇、赵丹丹、唐恬、张天赐 5 名 CAA 重庆大学学生分会第一届执



图1 成立大会合影留念



图2 张楠秘书长宣读《关于同意 CAA 重庆大学学生分会召开成立大会的批复》



图3 中国自动化学会会士、常务理事，重庆大学自动化学院学术委员会主席宋永端教授致辞

行委员会成员。随后，中国自动化学会秘书长张楠向重庆大学自动化学院院长苏晓杰授予会牌、会旗，标志着中国自动化学会重庆大学学生分会正式成立。

中国自动化学会重庆大学学生分会是全国首个成立的高校学生分会，将携手重庆大学学子一道，奋力探索学术前沿，筑牢科学研究根基，拓展项目应用场景，为中国自动化领域广大青年学子和科技工作者搭建学术交流和合作的新平台。○



图 4 CAA 重庆大学学生分会授牌仪式



图 5 张楠秘书长为首届 CAA 重庆大学学生分会指导委员会成员颁发聘书

表 1 CAA 重庆大学学生分会第一届指导委员会名单

任职	姓名	单位	职称 / 职务
顾问	尚文雅	重庆大学自动化学院	团委书记
顾问	孙少欣	重庆大学自动化学院	助理研究员
顾问	田羽锋	重庆大学自动化学院	助理研究员
顾问	冯 飞	重庆大学自动化学院	副研究员

表 2 CAA 重庆大学学生分会第一届执行委员会名单

任职	姓名	单位	年级
担任主席	丰宇宸	重庆大学自动化学院	博士研究生 2020 级
候任主席	谢涵宇	重庆大学自动化学院	博士研究生 2023 级
执委	唐 恬	重庆大学自动化学院	研究生 2021 级
执委	张天赐	重庆大学自动化学院	研究生 2021 级
执委	赵丹丹	重庆大学自动化学院	博士研究生 2020 级

学会秘书处 供稿

CAA 中南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”。在高度重视青年人才培养的战略布局下，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。

2023年9月18日下午，CAA中南大学学生分会成立大会暨青年人才交流会在中南大学新校区信息楼108报告厅顺利召开。中

国工程院院士、中国自动化学会副理事长、中南大学教授桂卫华，中国自动化学会秘书长张楠、副秘书长王坛，中国自动化学会理事、中南大学自动化学院院长阳春华，中南大学自动化学院副院长王雅琳、教授罗彪、李勇刚、黄科科、副教授罗旗舞，辅导员周一苇以及优秀青年教师代表出席本次会议。会议由副教授罗旗舞和研究生会主席马润洲主持。

会议伊始，中国工程院院士、中国自动化学会副理事长、中南大学教授桂卫华致开幕辞，明确CAA中南大学自动化学会的成立

宗旨，鼓励自动化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。中国自动化学会秘书长张楠宣读《关于同意CAA中南大学学生分会召开成立大会的批复》。中国自动化学会理事、中南大学自动化学院院长阳春华作院领导致辞，明确了这次大会的主要任务和分会建设，并对中南大学学生分会的未来致以热烈期盼。

秉承公平、公正、公开的原则，在充分了解候选人背景的基础上，大会组织学生代投票选举CAA中南大学学生分会执行委员会成员。统票结束后，工作人员宣读选举结果，院长阳春华公布CAA中南大学学生分会指导委员会与执行委员会名单。

随后，由中国自动化学会秘书长张楠主持授牌、授旗仪式，并为CAA中南大学学生分会指导委员会与执行委员会成员颁发聘书。第一届CAA中南大学学生分会主席邢友朋进行就职宣誓。

中南大学自动化学院副院长王雅琳教授致闭幕词，对与会的领导表示了崇高的敬意和衷心感谢，并对分会的各位代表提出工



图1 成立大会合影



图2 桂卫华院士致辞



图3 张楠秘书长宣读《关于同意 CAA 中南大学学生分会召开成立大会的批复》



图4 阳春华院长致辞

作要求。至此，此次大会圆满闭幕，CAA 中南大学学生分会正式成立。

这次大会始终洋溢着民主、团结的气氛，是一次鼓舞人心的大会，是一次团结带领广大会员勤奋学习、求实创新、努力开创分会新局面的大会。

中国自动化学会中南大学大学学生分会是全国首批成立的高校学生分会，总会给予厚望，在制度建设、组织架构、工作流程等方面起到模范榜样的作用，为后续学生分会的成立提供样板参考。CAA 中南大学大学学生分会将带领广大会员按照总会的工作格局和要求，加强理论学习，培养国际视野、中国情怀和时代精神，既要有理论水平又要接地气，响应历史使命的呼唤，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做出贡献，为实现中华民族的伟大复兴而努力奋斗！



图5 张楠秘书长向中南大学自动化学院授牌



图6 张楠秘书长为第一届 CAA 中南大学学生分会指导委员会与执行委员会成员颁发聘书



图7 王雅琳副院长致闭幕词

表 1 CAA 中南大学学生分会第一届指导委员会名单

任职	姓名	单位	职称 / 职务
顾问	王雅琳	中南大学自动化学院	教授、副院长
顾问	罗旗舞	中南大学自动化学院	副教授
顾问	周一苇	中南大学自动化学院	辅导员

表 2 CAA 中南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	邢友朋	中南大学自动化学院	研 2022 级
候任主席	张龙政	中南大学自动化学院	本 2020 级
执委	李昕哲	中南大学自动化学院	研 2021 级
执委	马炜烨	中南大学自动化学院	研 2022 级
执委	范宇轩	中南大学自动化学院	本 2021 级
执委	吴佳莉	中南大学自动化学院	研 2022 级
执委	杨鸿宇	中南大学自动化学院	研 2022 级

学会秘书处 供稿

重 要 通 知

2023 国家工业软件大会招展火热进行中！

国家工业软件大会是由中国自动化学会主办的国内工业软件领域综合性学术会议，旨在积极响应国家重大战略需求，强化科技创新和产业链供应链韧性，加快解决“卡脖子”问题，大力推动自主可控工业软件推广应用。2023 国家工业软件大会将于 2023 年 10 月 27-29 日在浙江省湖州市龙之梦会议中心（太湖古镇）召开，大会内容形式丰富，包括开幕式、特邀报告、大会论坛、专题论坛、特色展览等。为全面展示工业软件技术成果及应用，加强工业软件与产业深度融合发展，现面向工业软件企业、高校、研究院招展。详情请查看：<http://www.caa.org.cn/article/192/4124.html>

CAA 北京工业大学学生分会成立大会成功召开

青年兴则国家兴，青年强则国家强。习近平总书记高度重视青年科技人才队伍建设，多次提到青年科技人才在科技创新和科研攻关中的重要地位，支持青年科技人才在国家重大科技任务中“挑大梁”、“当主角”。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。

2023年9月24日下午，CAA北京工业大学学生分会成立大会

暨典型资源智能循环论坛在北京工业大学平乐园校区理科楼 M844 顺利召开。本次会议由中国自动化学会主办，北京工业大学承办。

中国自动化学会副理事长王成红，中国自动化学会秘书长张楠、副秘书长王坛，中国自动化学会理事、北京工业大学副校长乔俊飞，北京工业大学信息学部副主任张利国，以及自动化行业专家们出席本次会议。会议由北京工业大学教授李方昱主持。

会议伊始，中国自动化学会

副理事长王成红致开幕辞，强调中国自动化学会成立学生分会的初衷，鼓励学会会员积极投身自动化领域的研究与应用，期待中国自动化学会北京工业大学学生分会在推动自动化学科发展、助力科技事业等方面取得卓越的进步。中国自动化学会秘书长张楠宣读《关于同意 CAA 北京工业大学学生分会召开成立大会的批复》。中国自动化学会理事、北京工业大学副校长乔俊飞致辞，介绍了北京工业大学信息学部现有



图1 成立大会合影留念



图2 王成红副理事长致开幕辞



图3 张楠秘书长宣读批复



图4 乔俊飞副校长致辞

资源，明确学生分会成立的意义，并对中国自动化学会北京工业大学学生分会的发展寄予厚望。

根据CAA北京工业大学学生分会章程及选举条例的规定，在充分了解候选人背景的基础上，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CAA北京工业大学学生分会执行委员会成员。

随后，中国自动化学会秘书长张楠向北京工业大学信息学部副主任张利国授予会牌、会旗，

并为CAA北京工业大学学生分会第一届指导委员会与执行委员会成员颁发聘书。CAA北京工业大学学生分会指导委员杜胜利副教授为志愿者颁发荣誉证书。

第一届CAA北京工业大学学生分会主席张嘉成进行就职宣誓。候任主席孙晨暄致闭幕辞，对与会的领导表示了崇高的敬意和衷心感谢，并表示未来工作将秉持着为同学们服务的初心，努力推动学生分会的发展，为分会会员提供学习、交流、展示自我才华的



图5 分会会员代表投票选举

平台。至此，此次大会圆满闭幕，CAA北京工业大学学生分会正式成立。



图6 CAA北京工业大学学生分会授牌仪式



图7 张楠秘书长为首届CAA北京工业大学学生分会指导委员会成员颁发聘书



图8 张楠秘书长为首届 CAA 北京工业大学学生会执行委员会成员颁发聘书

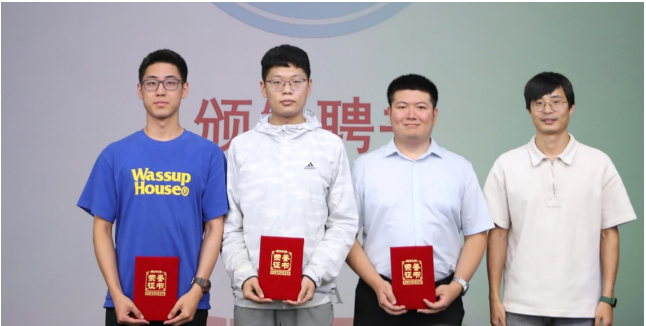


图9 指导委员杜胜利副教授为志愿者颁发荣誉证书



图10 分会主席张嘉成进行就职宣誓



图11 分会候任主席孙晨暄致闭幕辞

CAA 北京工业大学学生会分会是全国首批成立的高校学生分会，总会寄予厚望。未来，CAA 北京工业大学学生分会将在中国自动化学会和北京工业大学的支持下，积极开展学术交流，注重交叉学科学研究，推动科研成果转化，为自动化及相关专业的学生们提供更多的实践和发展平台。○

表1 CAA 北京工业大学学生会指导委员会名单

任职	姓名	单位	职称 / 职务
顾问	杜胜利	北京工业大学信息学部	副教授
顾问	侯莹	北京工业大学信息学部	副教授

表2 CAA 北京工业大学学生会第一届执行委员会名单

任职	姓名	单位	年级
当选主席	张嘉成	北京工业大学信息学部	博士研究生 2020 级
候任主席	孙晨暄	北京工业大学信息学部	博士研究生 2021 级
执委	冯成成	北京工业大学信息学部	博士研究生 2021 级
执委	王玉爽	北京工业大学信息学部	博士研究生 2022 级
执委	盛宏	北京工业大学信息学部	硕士研究生 2021 级

学会秘书处 供稿

长沙市科协一行来访中国自动化学会

2023年8月29日，长沙市科协党组书记、副主席郭瑞，长沙市科协副主席陶红，长沙市院士专家服务中心主任朱世超，长沙市望城区科协党组书记、主席严璐等一行8人来访中国自动化学会。中国自动化学会秘书长张楠、副秘书长王坛，中国自动化学会办事机构党支部副书记吕爱英及秘书处相关同志进行了接待。

会上，双方共同观看了中国自动化学会六十周年宣传片，全

方位了解学会的发展历史、学术交流、人才培养、会员服务、科普活动等方面工作。

张楠秘书长对长沙市科协一行的来访表示热烈欢迎。长沙市科协党组书记、副主席郭瑞，副主席陶红等充分肯定了中国自动化学会与长沙市科协一直以来长期合作并取得的成效。同时表示，长沙市近两年来大力扶持和推动人工智能产业的发展，希望进一步引入中国自动化学会等国家级学会资源，依托人工智能等重点

产业领域凝聚科技创新力量，以自动化产业实际需求，落地学会服务站等资源。

交流会上，双方进一步围绕自动化学术会议落地、企业服务、人才培养等内容进行了充分探讨，希望未来双方进一步加强交流，在推动科技创新资源优势互补、服务地方产业转型升级、科技成果转化等方面加强合作，共同推进长沙地区产业高质量发展。○

学会秘书处 供稿



图1 参会代表合影

2023 中国机器人大赛暨 RoboCup 机器人世界杯中国赛 – 安徽省赛、华南区域赛、河南省赛及专项赛圆满结束！

由中国自动化学会主办的 2023 中国机器人大赛暨 RoboCup 机器人世界杯中国赛安徽省赛、华南区域赛、河南省赛及专项赛圆满落幕。

2023 年 8 月 12 日 - 8 月 15 日，中国自动化学会机器人竞赛与培训部、中国自动化学会机器人竞赛工作委员会、安徽省机器人学会、中国科学技术大学共同承办的“2023 中国机器人大赛暨 RoboCup 机器人世界杯中国赛安徽省赛”在位于安徽合肥的中国科学技术大学高新校区成功举办。本次安徽省赛举办了 3 个大项，4 个小项的竞赛，吸引了来自包括安徽大学、安徽工业大学等全国知名高校在内的 8 所学校的 16 支优秀队伍、66 名科技精英学子参与此次大赛，产生了 7 支冠军队伍、6 支亚军队伍。

2023 年 8 月 14 日 - 8 月 16 日，中国自动化学会机器人竞赛与培训部、中国自动化学会机器人竞赛工作委员会、赣南科技学院共同承办的“2023 中国机器人大赛暨 RoboCup 机器人世界杯



图 1 2023 中国机器人大赛暨 RoboCup 机器人世界杯中国赛安徽省赛开幕式现场

中国赛华南区域赛”在位于江西赣州的赣南科技学院成功举办。本次华南区域赛举办了 9 个大项，14 个小项的竞赛，吸引了来自包括广州大学、广东工业大学、福州大学、南昌大学、江西理工大学、赣南科技学院等全国知名高校在内的近 30 所学校的 130 支优秀队伍、超过 500 名科技精英学子参与此次大赛，产生了 14 支冠军队伍、12 支亚军队伍、10 支季军队伍。

2023 年 8 月 18 日 - 8 月 20 日，中国自动化学会机器人竞赛与培训部、中国自动化学会机器人竞赛工作委员会、洛阳理工学

院共同承办的“2023 中国机器人大赛暨 RoboCup 机器人世界杯中国赛河南省赛”在位于河南洛阳的洛阳理工学院王城校区成功举办。本次河南省赛举办了 5 个大项，19 个小项的竞赛，吸引了来自包括洛阳理工学院、河南科技大学、河南农业大学、郑州大学等全国知名高校在内的 13 所学校的 52 支优秀队伍、154 名科技精英学子参与此次大赛，产生了 17 支冠军队伍、17 支亚军队伍、9 支季军队伍。

2023 年 8 月 24 日 - 8 月 26 日，中国自动化学会机器人竞赛与培训部、中国自动化学会机器



图2 2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛安徽省赛比赛现场



图3 2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛华南区域赛比赛现场

人竞赛工作委员会、北京工商大学共同承办的“2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛专项赛”在位于北京的北京工商大学成功举办。本次专项赛举办了10个大项，16个小项的竞赛，吸引了来自包括北京工商大学、同济大学、中国地质大学、南京航空航天大学、北京信息科技大学等全国知名高校在内的170

余所学校的610支优秀队伍、超过2500名科技精英学子参与此次大赛，产生了16支冠军队伍、16支亚军队伍、16支季军队伍。

RoboCup机器人世界杯中国赛是RoboCup机器人世界杯的正式地区性赛事，1999年中国自动化学会举办首届RoboCup机器人世界杯中国赛，并于2006年发展为RoboCup国际联合会

认定的最有影响力的五大国际区域赛之一。同年开始，该项赛事每年与“中国机器人大赛”合并举办，冠名为“中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛”，赛制为每年举办一次，至今已成功举办24届。本次安徽区域赛、华南区域（赣粤闽）赛、河南区域赛及专项赛，选拔出各赛项参加本年度中国机器人大赛暨

2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛华南区域（赣粤闽）赛合影留念

中国·赣州 赣南科技学院
2023年8月15日



图4 2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛华南区域赛全体合影



图5 2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛河南省赛组委会合影



图6 2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛河南省赛部分参赛队合影



图7 2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛专项赛服务机器人项目场地



图8 2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛专项赛旅游机器人项目场地

RoboCup 机器人世界杯中国赛总决赛的参赛队。

作为我国面向大学生、研究生开展，影响力最大、综合技术水平最高的机器人学科竞赛之一，

该赛有助于培养学生专业知识、创新意识、团队协作能力和综合素质全方位提升，致力于推进机器人相关学科，特别是自动化、机器人、人工智能等学科的发展，

促进经过大赛历练的学生们不断走上科研、教学、创业的道路，为祖国的科技事业发展发挥自己的力量。○

大赛组委会 供稿



图9 2023中国机器人大赛暨RoboCup机器人世界杯中国赛专项赛组委会合影

中国自动化学会专家咨询工作委员会换届会议成功召开

2023年9月1日，中国自动化学会专家咨询工作委员会（ECC）换届会议以“线上+线下”相结合的形式在北京成功召开。中国自动化学会张楠秘书长、王坛副秘书长、专家咨询工作委员会名誉主任委员孙柏林等出席会议。

首先，中国自动化学会秘书长张楠宣读了学会对专家咨询工作委员会换届的批准与支持，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，为推动自动化领域研究和应用作出积极贡献。

随后，全体参会人员听取了第四届专家咨询工作委员会主任



图1 线上参会代表

委员、中国空间技术研究院杭州中心研究员王迎春对第四届专家咨询工作委员会工作的总结和换届筹备情况的汇报。他表示，专家咨询工作委员会是中国自动化学会为解决企业自动化与信息化建设，学术交流和技术咨询等需

要而设立的。委员会自2002年成立以来，接受委托，承担科技论证、评估、咨询、科技成果鉴定、科技文献的编审，开展企业自动化、信息化系统与工程的技术咨询，并面向企业进行继续教育和技术培训工作，普及科学技术知



图2 线下参会代表

识,同时配合中国自动化学会及相关专业委员会,共同开展国际科技交流活动,发展同国外科技社团和科技工作者的友好往来,举办国际会议、讲座等,促进国际间科技合作。主办多届“全国自动化企业发展战略论坛”“全国自动化与信息化科研项目申报研讨会”,协办“工业控制系统信息安全产业峰会”“工业 4.0 与机器人产业未来发展方向及应用峰会”等,积极搭建交流平台,为专家委员提供展示机会。

在之后的投票选举环节中,共选举产生 46 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。其中,中国空间技术研究院杭州中心人工智能分中心副主任王迎春当选主任委员,清华大学自动化系副主任鲁

继文、和利时科技集团有限公司中央研究院总工程师朱毅明、同济大学电子与信息工程学院教授乔非、四川安控科技股份有限公司总工程师卢铭当选副主任委员,中国自动化学会自动化博览杂志社孙凝当选秘书长。

选举结束后,第五届专家咨询工作委员会主任委员王迎春代表新一届专委会感谢中国自动化学会以及各位委员对专委会工作的支持,并汇报了下一步工作计划。未来专委会将积极壮大专家队伍,推动在技术、市场、知识产权等领域的合作交流,促进产学研用合作,搭建自动化领域信息交流、应用推广、展览展示平台,发挥纽带与桥梁作用,共同推进工业自动化产业发展。

接着,与会代表畅所欲言。

专委会名誉主任委员孙柏林将军对第四届专委会的工作予以了充分肯定,希望新一届专委会多举办线下研讨活动,为专家与企业搭建更多的交流平台;多发展新委员以壮大专委会的力量。第四届专家咨询工作委员会副主任委员兼秘书长、控制网主编石红芳对新一届专委会负责人和委员表示祝贺,并回顾了专委会二十余年的发展史,历届专委会领导为专委会的发展作出了颇多贡献。乔非、鲁继文、卢铭、卓明、张龙、贾克斌、徐强、林伟、刘娜、汪道辉、贾磊、夏东培、王金宝、丛力群、董春利等专家积极发言,对专委会的未来发展提出了宝贵的意见和建议。

伴随着对新一届专委会的期望,中国自动化学会专家咨询工作委员会换届会议圆满结束! ○

附第五届中国自动化学会专家咨询工作委员会名单

负责人名单(按姓氏拼音排序)

主任委员:王迎春

副主任委员:鲁继文、卢铭、乔非、朱毅明

秘书长:孙凝

委员名单(按姓氏拼音排序)

晁涛、丛力群、董春利、关新平、郭增、华祖银、嵇月强、贾克斌、贾磊、李莉、林伟、刘磅、刘翠玲、刘凯、刘娜、刘沛宇、刘强、刘振兴、卢铭、鲁继文、陆剑峰、马学童、毛宇丰、齐永和、乔非、石红芳、孙凝、唐仕正、汪道辉、王金宝、王伟、王文海、王迎春、夏东培、谢辰承、谢胜利、徐斌、徐强、徐伟、于龙、于重重、张龙、张稳稳、赵峙尧、朱毅明、卓明

CAA 专家咨询工作委员会 供稿

第 38 届中国自动化学会青年学术年会在合肥顺利闭幕

2023 年 8 月 27 日至 29 日，由中国自动化学会、中国自动化学会青年工作委员会主办，安徽大学、安徽大学人工智能学院承办的第 38 届中国自动化学会青年学术年会（YAC 2023）在合肥翡翠湖迎宾馆隆重举行。本次会议设有自动化和人工智能领域密切相关的 6 个会前特邀大会报告、7 个大会报告、84 个高层次人才论坛和优秀青年学者论坛特邀报告以及 282 篇会议论文口头报告和张贴报告。大会就自动化和人工智能领域的前沿问题进行研讨和思辨，促进相关学科的交流、发展和融合，促进新方向、新领域、新应用的产生，为青年教师、青年科技工作者及博士生、硕士生等海内外青年才俊构建了一个重要的学术交流平台。



图 1 会前专题会合影

8 月 28 日上午，本届青年学术年会正式开幕。中国自动化学会副理事长王成红研究员、安徽大学校长匡光力教授、中国自动化学会青年工作委员会主任贺威教授分别致开幕词。中国自动化学会副秘书长、安徽大学副校长、大会主席孙长银教授主持大会

开幕式。

本届青年学术年会邀请到 7 位知名专家学者做大会报告，分别是工程院院士、中国自动化学会荣誉理事东北大学柴天佑教授，中国科学院院士、中国自动化学会常务理事、哈尔滨工业大学 / 南方科技大学段广仁教



图 2 合影留念

授,中国工程院院士、中国自动化学会常务理事、同济大学蒋昌俊教授,中国自动化学会常务理事、华中科技大学曾志刚教授,中国自动化学会副秘书长、哈尔滨工业大学高会军教授,中国自动化学会常务理事、北京航空航天大学吕金虎教授,中国自动化学会理南开大学方勇纯教授。会前组织了无人系统专题6场特邀大会报告,分别是中国工程院院士、中国自动化学会常务理事、湖南大学王耀南教授,中国工程院院士、合肥工业大学杨善林教授,中国自动化学会副理事长王成红研究员,北京航空航天大学郭雷教授,同济大学郑庆华教授,中国自动化学会常务理事、清华大学孙富春教授。13位专家学者在三天的时间里为与会嘉宾带来了多场信息量丰富、专业性强、学术水平高且与时俱进的精彩报告,报告内容涉及多领域的研究进展、理论和应用问题。

此外,会议邀请了海内外自动化、人工智能、无人系统、信息技术等相关领域的杰出青年学者等500余人线下参会,包括中国自动化学会副理事长、中国科学院沈阳分院院长于海斌研究员,中国自动化学会常务理事、山东大学张承慧教授,清华大学张涛教授,中国自动化学会常务理事、安徽大学宋永端教授,中

国自动化学会理事、中国科学技术大学康宇教授,中国自动化学会常务理事、北京交通大学董海荣教授,西北工业大学王震教授、广东工业大学李鸿一教授、浙江大学吴争光教授、东南大学曹向辉教授等知名专家学者出席会议。

本届会议还设有“科技、产业、教育融合发展”、“时代变革与自动化青年使命——从ChatGPT说起”2个圆桌论坛、“自动化学报前沿热点论坛”、“CAA青年科学家论坛”、“国家高层次人才论坛”和“优秀青年学者论坛”等11个特邀报告论坛和“复杂动态系统建模与控制”、“自主无人系统感知与控制技术”、“复杂系统分析与控制”、以及“艺术与人工智能”、“无人系统弹性决策与安全控制”、“信息物理系统及其网络安全”等11个特邀专题以及论文海报展示环节。

8月28日下午,西安交通大学兰旭光教授,华中科技大学张海涛教授,浙江大学陈剑教授,中国自动化学会理事、中国科学院自动化研究所魏庆来教授,东南大学温广辉教授,国防科技大学程光权研究员,东北大学刘腾飞教授,中国科学技术大学秦家虎教授,中国科学院自动化研究所程龙研究员,中国航空研究院邢晨光研究员,南京信息工程大学葛泉波教授,西北工业大学刘

准钊教授,西南交通大学黄德青教授,南京航空航天大学杨浩教授,南开大学张雪波教授,华南理工大学张通教授,上海交通大学王贺升教授,北京工业大学韩红桂教授,浙江大学赵春晖教授,上海大学彭艳教授,北京化工大学王友清教授,清华大学汪小我教授,深圳大学李坚强教授,华南理工大学丛杨教授,华南理工大学刘屿研究员,中南大学王雅琳教授,北京航空航天大学胡庆雷教授,浙江大学程鹏教授,同济大学高炳钊教授,东南大学虞文武教授,南京理工大学马倩教授,安徽大学何舒平教授,广东工业大学何昭水教授,华东理工大学严怀成教授,火箭军工程大学司小胜教授,东北大学王琦教授,北京理工大学张金会教授,大连理工大学吴玉虎教授,中国矿业大学代伟教授,东北大学杨涛教授,北京航空航天大学王卓教授,武汉科技大学陈曦副教授,南京航空航天大学王寅教授,上海交通大学刘哲副教授,南方科技大学孔贺副教授,北京大学梅文俊研究员,北京航空航天大学左宗玉教授,中南大学罗彪教授,浙江工业大学张文安教授,中国科学院自动化研究所吴正兴研究员,中国人民解放军空军工程大学吕茂隆助理教授,安徽大学王晓教授,北京师范大学赵博副教授,重庆大学赵

晶雷副教授，西北工业大学孟中杰教授，四川大学李彬教授，中国科学院自动化研究所蒲志强研究员，长春工业大学董博教授，湖南大学缪志强副教授，广州大学赵志甲教授等青年才俊为与会嘉宾带来精彩纷呈的特邀论坛报告。

8月29日下午，大会组织了“优秀青年学者论坛”、“无人系统弹性决策与安全控制”、“信息物理系统及其网络安全”、“基于强化学习的先进机器人控制系统设计、仿真和应用”、“数据驱动的优化、控制方法及其应用”、“网络协同控

制与智能博弈”、“机器人控制与感知”、“复杂系统的学习、优化与控制”等特邀专题论坛。同时举行了论文口头报告环节。

会议期间，中国自动化学会青年工作委员会主任委员、北京科技大学贺威组织召开了青年工作委员会年度工作会议。会上报告了2023年度青年工作委员会相关工作进展、本次会议的筹备情况以及新委员增选情况。在新增委员表决环节，新申请委员自我介绍后，经表决通过2023年新增委员73名。大连理工大学控制科学与工程学院院长吴玉虎教授介

绍了第39届中国自动化学会青年学术年会的筹备情况。

本届大会全方位分享和解读了自动化领域最新的前沿学术成果，为自动化领域的青年学者们提供了深入探讨交流的平台。大会的成功举办，将进一步推动自动化、人工智能、机器人以及无人系统等前沿领域的融合交叉和科学研究的进步发展，推动了自动化与人工智能相关应用的发展和落地，加强了自动化领域青年人才交流合作，为青年人才蓬勃发展奠定基础。○

CAA 青年工作委员会 供稿



图3 青工委年度会议

2023 年第五届中国建筑机器人技术大会 成功举行



图1 会议现场

2023 年 9 月 3-4 日, 2023 年第五届中国建筑机器人技术大会在东北大学国际学术交流中心隆重召开。大会由中国自动化学会建筑机器人专业委员会主办, 东北大学承办。来自全国 41 所高校、23 家企业、6 所科研院所的 300 余位专家学者参加会议。

东北大学副校长张皓, 建筑机器人专委会主任、西安交通大学教授曹建福, 河北科技大学校长、教授李铁军, 山东大学教授李贻斌, 同济大学教授何斌, 北京建筑大学教授王亚慧, 苏州科技大学教授付保川, 西安建筑科

技大学教授马宗方、于军琪, 上海交通大学教授王景川, 陕西建工控股集团未来城市创新科技公司综合管理部部长王启泽, 中建安装集团公司总工程师樊现超, 中亿丰数字科技集团公司总工程师汪丛军, 沈阳新松机器人自动化股份有限公司技术执行总监杜振军, 国彪电源集团公司董事长孙毅彪, 中国建筑东北设计研究院国家级建筑设计大师、教授郭晓岩, 沈阳吕尚科技有限公司总经理彭会军, 新松教育科技集团首席运营官 Andy 潘, 及东北大学科研院院长徐伟, 机

器人学院副院长贾子熙等出席会议。

3 日上午, 大会开幕。东北大学机器人学院教授吴成东主持开幕式。张皓致辞。他以东北大学百年奋斗历程为切入点, 介绍了学校鲜明的办学特色, 与国同行的发展历程, 以及在机器人领域取得的丰硕成果。他表示, 恰逢东北大学建校 100 周年, 欢迎专家学者来访学校, 加强与学校的联系, 促进产、学、研、用有机结合。他强调, 建筑机器人是传统建筑业转型升级的核心要素, 希望与会专家学者进一步搭建建筑机器人创新技术研发平台, 构建建筑机器人创新人才培养体系, 为我国建筑机器人技术赶超世界先进水平提供坚实基础。

曹建福代表建筑机器人专业委员会致辞。他表示, 本次大会致力于多学科交叉和产学研融合, 建筑机器人是建造方式升级的重要力量, 具有广阔的发展前景, 希望与会代表广泛开展技术交流, 促进技术提升, 推动建筑机器人领域快速发展。

吴成东、李贻斌主持大会主

旨报告。报告人李铁军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介绍了建筑机器人的发展前景。报告人曹建福回顾了建筑机器人发展历程，介绍了团队近年在关键技术和机器人系统开发方面取得的成果，并对未来发展提出了思考。王景川介绍了面向动态场景应用的机器人导航控制技术。何斌分析了 ChatGPT 对智能制造产生的深远影响。杜振军从沈阳新松机器人公司发展历程出发，阐释了对建筑机器人行业发展的思考。

3 日下午，智慧智造与 BIM 系统论坛、建筑机器人新技术与应用论坛、建筑机器人青年学者论坛在分会场举办。刘今越、高海龙、田鹏刚、孙毅彪等专家学者分别围绕 BIM 驱动的机器人自主作业规划、BIM 应用创新与工程实践、基于 BIM+CIM 的数字孪生平台建设、智慧建筑类机器

人的市场与需求等内容作主题报告。汪丛军展示了中亿丰智能建造体系与智能装备应用实践，马宗方介绍了基于智能感知的建筑机器人研究与应用，宋银灏阐释了机器人驱动的智能建造业务场景探索。张夷斋、孙宁、周诚、方正分别作题为“基础设施表现检测特种机器人”“欠驱动起重机器人智能控制与应用”“无人驾驶推土机关键技术研究”“面向于地下建造环境的全自主探测与铲运机器人关键技术研究”主题报告。伍洲介绍了智能建造中大规模时空优化关键问题及算法，陈鹤展示了面向大尺寸货物运送的运载机器人安全控制研究，潘觅说明了系统创新与建筑机器人的联系，隋葵介绍了工程结构检测与试验辅助机器人技术研究。

4 日上午，与会专家学者参观了沈阳新松机器人自动化股份有限公司，对公司坚持自主创新，

拓展应用场景，跑出中国“机器人+”速度表示赞赏。

据悉，中国自动化学会建筑机器人专业委员会第一届委员会全体会议暨第二届委员会换届预备会议在 9 月 2 日举办。曹建福作第一届建筑机器人专业委员会工作总结。大会宣读了中国自动化学会分支机构换届规定，并推荐了第二届专业委员会委员及分支机构负责人。

本次建筑机器人大会得到多家机器人、智能建造、建筑机器人、BIM 技术开发等领域企业的支持。相关企业向与会专家学者展示了最发达的技术、最先进的成果、最与时俱进的应用成果，并与专家学者进行深入交流。大会将深入贯彻落实习近平新时代中国特色社会主义思想，不断夯实科学理论基础，积极为党育人、为国育才，为建设科技强国贡献力量。○

CAA 建筑机器人专业委员会 供稿



图2 合影留念

扎实推动教育强国建设



图1 2018年9月10日，全国教育大会在北京召开。中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平出席会议并发表重要讲话，代表党中央向全国广大教师和教育工作者致以节日的热烈祝贺和诚挚问候

今天，中央政治局进行第五次集体学习，内容是建设教育强国。安排这次学习，目的是贯彻落实党的二十大部署，总结我国建设教育强国的进展和成就，分析面临的形势和需要解决的问题，探究我国建设什么样的教育强国、怎样建设教育强国这一重大课题，扎实推动教育强国建设。

纵观人类历史，教育兴则国

家兴，教育强则国家强。世界强国无一不是教育强国，教育始终是强国兴起的关键因素。建设教育强国，是全面建成社会主义现代化强国的战略先导，是实现高水平科技自立自强的重要支撑，是促进全体人民共同富裕的有效途径，是以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴的基础工程。

重教尚学是中华民族世代传

承的优良传统，是中华民族生生不息的内在动力。新中国成立以来，我国教育事业走过了由旧到新、由小到大的非凡历程，实现了从文盲大国向教育大国、从人口大国向人力资源大国的转变。党的十八大以来，党中央坚持把教育作为国之大计、党之大计，作出加快教育现代化、建设教育强国的重大决策，推动新时代教育事业取得历史性成就、发生格局性变化。我国已建成世界上规模最大的教育体系，教育现代化发展总体水平跨入世界中上国家行列。据中国教育科学研究院测算，我国目前的教育强国指数居全球第23位，比2012年上升26位，是进步最快的国家。这充分证明，中国特色社会主义教育发展道路是完全正确的。

当今世界，新一轮科技革命和产业变革深入发展，围绕高素质人才和科技制高点的国际竞争空前激烈。我国在建设教育强国上仍存在不少差距、短板和弱项，实现从教育大国向教育强国的跨越依然任重道远。

党的二十大报告把教育科技

人才单独成章进行布局，吹响了加快建设教育强国的号角。我们要建设的教育强国，是中国特色社会主义教育强国，必须以坚持党对教育事业的全面领导为根本保证，以立德树人为根本任务，以为党育人、为国育才为根本目标，以服务中华民族伟大复兴为重要使命，以教育理念、体系、制度、内容、方法、治理现代化为基本路径，以支撑引领中国式现代化为核心功能，最终是办好人民满意的教育。我们要全面贯彻党的教育方针，坚持以人民为中心发展教育，主动超前布局、有力应对变局、奋力开拓新局，加快推进教育

现代化，以教育之力厚植人民幸福之本，以教育之强夯实国家富强之基，为全面推进中华民族伟大复兴提供有力支撑。

第一，培养担当民族复兴大任的时代新人。培养什么人、怎样培养人、为谁培养人是教育的根本问题，也是建设教育强国的核心课题。我们建设教育强国的目的，就是培养一代又一代德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人，培养一代又一代在社会主义现代化建设中可堪大用、能担重任的栋梁之才，确保党的事业和社会主义现代化强国建设后继有人。浇花浇根，育人育心。

要坚持不懈用新时代中国特色社会主义思想铸魂育人，着力加强社会主义核心价值观教育，引导学生树立坚定的理想信念，永远听党话、跟党走，矢志奉献国家和人民。要坚持改革创新，推进大中小学思想政治教育一体化建设，提高思政课的针对性和吸引力。网络已成为广大青少年学习生活的重要空间，要提高网络育人能力，扎实做好互联网时代的学校思想政治工作和意识形态工作。

第二，加快建设高质量教育体系。当前，我国教育已由规模扩张阶段转向高质量发展阶段。



图2 2023年5月31日上午，中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平来到北京育英学校看望慰问师生，向全国广大少年儿童祝贺“六一”国际儿童节快乐。这是习近平在科学教室同小学生们亲切交流

要坚持把高质量发展作为各级各类教育的生命线,加快建设高质量教育体系,以教育高质量发展赋能经济社会可持续发展。建设教育强国,基点在基础教育。基础教育搞得越扎实,教育强国步伐就越稳、后劲就越足。要推进学前教育普及普惠安全优质发展,推动义务教育优质均衡发展和城乡一体化。基础教育既要夯实学生的知识基础,也要激发学生崇尚科学、探索未知的兴趣,培养其探索性、创新性思维品质。要在全社会树立科学的人才观、成才观、教育观,加快扭转教育功利化倾向,形成健康的教育环境和生态。建设教育强国,龙头是高等教育。放眼全球,任何一个教育强国都是高等教育强国。要把加快建设中国特色、世界一流的大学和优势学科作为重中之重,大力加强基础学科、新兴学科、交叉学科建设,瞄准世界科技前沿和国家重大战略需求推进科技创新,不断提升原始创新能力和人才培养质量。要建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国,促进人人皆学、处处能学、时时可学,不断提高国民受教育程度,全面提升人力资源开发水平,促进人的全面发展。

第三,全面提升教育服务高质量发展的能力。要把服务高质量发展作为建设教育强国的重要任务。当今时代,人才是第一资

源,科技是第一生产力,创新是第一动力,建设教育强国、科技强国、人才强国具有内在一致性和相互支撑性,要把三者有机结合起来、一体统筹推进,形成推动高质量发展的倍增效应。要进一步加强科学教育、工程教育,加强拔尖创新人才自主培养,为解决我国关键核心技术“卡脖子”问题提供人才支撑。要系统分析我国各方面人才发展趋势及缺口状况,根据科学技术发展态势,聚焦国家重大战略需求,动态调整优化高等教育学科设置,有的放矢培养国家战略人才和急需紧缺人才,提升教育对高质量发展的支撑力、贡献力。要统筹职业教育、高等教育、继续教育,推进职普融通、产教融合、科教融汇,源源不断培养高素质技术技能人才、大国工匠、能工巧匠。

第四,在深化改革创新中激发教育发展活力。从教育大国到教育强国是一个系统性跃升和质变,必须以改革创新为动力。要坚持系统观念,统筹推进育人方式、办学模式、管理体制、保障机制改革,坚决破除一切制约教育高质量发展的思想观念束缚和体制机制弊端,全面提高教育治理体系和治理能力现代化水平。教育公平是社会公平的重要基础,也是建设教育强国的内在要求。要把促进教育公平融入到深化教育领域综合改革的各方面

各环节,缩小教育的城乡、区域、校际、群体差距,努力让每个孩子都能享有公平而有质量的教育,更好满足群众对“上好学”的需要。教育评价事关教育发展方向,事关教育强国成败。要紧扣建设教育强国目标,深化新时代教育评价改革,构建多元主体参与、符合我国实际、具有世界水平的教育评价体系。要加强教材建设和管理,牢牢把握正确政治方向和价值导向,用心打造培根铸魂、启智增慧的精品教材。教育数字化是我国开辟教育发展新赛道和塑造教育发展新优势的重要突破口。我国互联网上网人数已达10.67亿人,要进一步推进数字教育,为个性化学习、终身学习、扩大优质教育资源覆盖面和教育现代化提供有效支撑。

第五,增强我国教育的国际影响力。要根据国际形势发展变化,完善教育对外开放战略策略,统筹做好“引进来”和“走出去”两篇大文章,有效利用世界一流教育资源和创新要素,使我国成为具有强大影响力的世界重要教育中心。要积极参与全球教育治理,大力推进“留学中国”品牌建设,讲好中国故事、传播中国经验、发出中国声音,增强我国教育的国际影响力和话语权。要坚持扩大教育对外开放不动摇。深入贯彻总体国家安全观,把牢教育对外开放正确方向和安全

底线。

第六，培养高素质教师队伍。

强教必先强师。要把加强教师队伍建设作为建设教育强国最重要的基础工作来抓，健全中国特色教师教育体系，大力培养造就一支师德高尚、业务精湛、结构合理、充满活力的高素质专业化教师队伍。要立足教育强国建设实际需要，加大教职工统筹配置和跨区域调整力度。要弘扬尊师重教社会风尚，提高教师政治地位、社会地位、职业地位，使教师成为最受社会尊重的职业之一，支

持和吸引优秀人才热心从教、精心从教、长期从教、终身从教。要加强师德师风建设，引导广大教师坚定理想信念、陶冶道德情操、涵养扎实学识、勤修仁爱之心，树立“躬耕教坛、强国有我”的志向和抱负，坚守三尺讲台，潜心教书育人。

建设教育强国是全党全社会的共同任务。要坚持和加强党对教育工作的全面领导，不断完善党委统一领导、党政齐抓共管、部门各负其责的教育领导体制。中央教育工作领导小组要把建设

教育强国作为总抓手，加强顶层设计、统筹协调、整体推进、督促落实。各级党委和政府要始终心怀“国之大者”，坚持教育优先发展，在组织领导、发展规划、资源保障、经费投入上加大力度。学校、家庭、社会要紧密合作、同向发力，积极投身教育强国实践，共同办好教育强国事业。全党全国各族人民要坚定信心、久久为功，为早日实现教育强国目标而共同努力。○

来源：求是



图3 2023年9月6日至8日，中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平在黑龙江考察。这是7日上午，习近平在哈尔滨工程大学考察时，同师生代表亲切交流

中国自动化学会十一届十三次党委工作会议 成功召开

2023年8月31日，中国自动化学会十一届十三次党委工作会议以线上线下结合的形式成功召开。会议由中国自动化学会党委书记、理事长郑南宁院士主持。

会议期间，各位委员围绕中国自动化学会换届方案、中国自动化学会发电专业委员会捐赠申请等相关议题踊跃发言，充分讨论，切实统筹学会当前和长远发展，积极建言献策，最终形成一致意见。

郑院士在总结发言中指出，新形势下，学会应把握时势，趁势而上，认真落实党的二十大关于群团组织改革与建设的重要指



示，积极对标国际一流学会建设，切实履行好服务广大科技工作者

的职责使命，积极助力我国自动化国产自主可控。○

学会理事会党委 供稿



《电气传动》再次被收录为中国科技核心期刊（2023版）

2023年最新中国科技论文统计结果发布，《电气传动》再次被收录为“中国科技核心期刊”（中国科技论文统计源期刊）。中国科技核心期刊（中国科技论文统计源期刊）是由科技部中国科技信息研究所研制的国内权威的科技期刊评价体系。学科范畴主要为自然科学领域，是国内公认的科技统计源期刊目录。中国科技核心期刊的选取经过了严格的同行评议和定量评价，是中国各学科领域中较重要的、能反映本学科发展水平的科技期刊。该评价体系具有较高的科学性、广泛性和权威性，它是评价科技期刊及其论文学术地位和影响力的一个重要依据。详情请查看：<http://www.caa.org.cn/article/191/4128.html>

中国自动化学会办事机构党支部召开习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育专题组织生活会

2023年9月25日,中国自动化学会办事机构党支部召开习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育专题组织生活会。中国自动化学会办事机构党支部书记张楠、副书记吕爱英、学会副秘书长王坛、石红芳及支部全体党员与积极分子参加会议。会议由党支部副书记吕爱英主持。

党支部书记张楠强调,深入开展学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育,是当前和今后一个时期必须抓紧抓实的重要政治任务。要深入学习

贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想,深刻领悟“两个确立”的决定性意义,增强“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”,牢牢把握主题教育“学思想、强党性、重实践、建新功”的总体要求,努力在以学铸魂、以学增智、以学正风、以学促干等方面取得实实在在的成效。

在张楠同志的带头引导下,全体支部党员和积极分子纷纷联系思想和工作实际依次发言,全面剖析在习近平新时代中国特色

社会主义思想主题教育中取得的收获和存在的不足,从理论学习、政治素质、能力本领、担当作为、工作作风、廉洁自律等6个方面开展了严肃而深刻的批评与自我批评。

最后,张楠同志表示党支部要将以此次专题组织生活会为新起点,坚持在理论学习上一以贯之,在调查研究上务求实效,在推动发展上持之以恒,扎实做好专题组织生活会“后半篇文章”,持续巩固深化主题教育经验成果,努力将其转化为推动中国自动化学会高质量发展的实际成效,在新时代新征程中展示新担当、实现新作为。

通过本次会议的集中讨论学习,支部党员干部进一步领会和把握了习近平新时代中国特色社会主义思想的世界观、方法论和贯穿其中的立场观点方法。在未来的工作中,将持续加强党的创新理论武装,不断攀登新的思想高峰,向着强国建设、民族复兴的宏伟目标昂扬奋进。○



参会代表合影

学会理事会党委 供稿

中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于进一步加强青年科技人才培养和使用的若干措施》

为深入贯彻党的二十大精神，落实中央人才工作会议部署，全方位培养和用好青年科技人才，中共中央办公厅、国务院办公厅近日印发了《关于进一步加强青年科技人才培养和使用的若干措施》（以下简称《若干措施》）。

《若干措施》强调，要坚持党对新时代青年科技人才工作的全面领导，用党的初心使命感召青年科技人才，激励引导青年科技人才大力弘扬科学家精神，传承“两弹一星”精神，继承和发扬老一代科学家科技报国的优秀品质，坚持“四个面向”，坚定敢为人先的创新自信，坚守科研诚信、科技伦理、学术规范，担当作为、求实创新、潜心研究，在实现高水平科技自立自强和建设科技强国、人才强国实践中建功立业，在以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴进程中奉献青春和智慧。

《若干措施》提出，要引导支持青年科技人才服务高质量发展。鼓励青年科技人才深入经济社会发展实践，结合实际需求凝

练科学问题，开展原始创新、技术攻关、成果转化，把论文写在祖国大地上。落实事业单位科研人员创新创业等相关政策，支持和鼓励高等学校、科研机构等选派科研能力强、拥有创新成果的青年科技人才，通过兼职创新、长期派驻、短期合作等方式，到基层和企业开展科技咨询、产品开发、成果转化、科学普及等服务，服务成效作为职称评审、职务晋升等重要参考。

《若干措施》明确，支持青年科技人才在国家重大科技任务中“挑大梁”、“当主角”。国家重大科技任务、关键核心技术攻关和应急科技攻关大胆使用青年科技人才，40岁以下青年科技人才担任项目（课题）负责人和骨干的比例原则上不低于50%。鼓励青年科技人才跨学科、跨领域组建团队承担颠覆性技术创新任务，不纳入申请和承担国家科技计划项目的限项统计范围。稳步提高国家自然科学基金对青年科技人才的资助规模，将资助项目数占比保持在45%以上，支

持青年科技人才开展原创、前沿、交叉科学问题研究。地方科技任务实施加大对青年科技人才的支持力度。深入实施国家重点研发计划青年科学家项目，负责人申报年龄可放宽到40岁，不设职称、学历限制，探索实行滚动支持机制，经费使用可实行包干制。

《若干措施》要求，国家科技创新基地要大力培养使用青年科技人才。国家科技创新基地要积极推进科研项目负责人及科研骨干队伍年轻化，推动重要科研岗位更多由青年科技人才担任。鼓励各类国家科技创新基地面向青年科技人才自主设立科研项目，由40岁以下青年科技人才领衔承担的比例原则上不低于60%。青年科技人才的结构比例、领衔承担科研任务、取得重大原创成果等培养使用情况纳入国家科技创新基地绩效评估指标，加强绩效评估结果的应用。

《若干措施》提出，要加大基本科研业务费对职业早期青年科技人才稳定支持力度。根据实际需要、使用绩效、财政状

况，逐步扩大中央高校、公益性科研院所基本科研业务费对青年科技人才的资助规模，完善并落实以绩效评价结果为主要依据的动态分配机制。基本科研业务费重点用于支持35岁以下青年科技人才开展自主研究，有条件的单位支持比例逐步提到不低于年度预算的50%，引导青年科技人才聚焦国家战略需求，开展前沿科学问题研究。鼓励各地通过基本科研业务费等多种方式加大经费投入，加强对高等学校、科研院所职业早期青年科技人才的支持。

《若干措施》提出，要完善自然科学领域博士后培养机制。提升博士后培养质量，合理确定基础前沿和交叉学科领域博士后科研流动站和工作站数量，合理扩大自然科学、工程技术领域博士后规模。国家科技计划项目经费“劳务费”可根据博士后参加项目研究实际情况列支，统筹用于博士后培养。强化博士后在站管理，设站单位和合作导师应创造条件支持博士后独立承担科研任务，培养和提升博士后独立科研能力。支持符合条件的企业设立博士后工作站，扩大数量和规模，强化产学研融合，在产业技术创新实践中培育青年科技人才。

《若干措施》提出，要更好发挥青年科技人才决策咨询作用。

高等学校、科研院所、企业等各类创新主体要积极推荐活跃在科研一线、负责任讲信誉的高水平青年科技人才进入国家科技评审专家库。国家科技计划（专项、基金等）项目指南编制专家组，科技计划项目、人才计划、科技奖励等评审专家组，科研机构、科技创新基地等绩效评估专家组中，45岁以下青年科技人才占比原则上不低于三分之一。高层次科技战略咨询机制、各级各类学会组织应根据需要设立青年专业委员会，推动理事会、专家委员会等打破职称、年龄限制，支持青年科技人才多层次参与学会组织治理运营。

《若干措施》要求，要提升科研单位人才自主评价能力。高等学校、科研院所、国有企业等要根据职责使命，遵循科研活动规律和人才成长规律，建立和完善青年科技人才评价机制，创新评价方式，科学设置评价考核周期，减少考核频次，开展分类评价，完善并落实优秀青年科技人才职称职务破格晋升机制。高等学校、科研院所、国有企业主管部门要坚决破除“四唯”和数“帽子”倾向，正确看待和运用论文指标，形成既发挥高质量论文价值，又坚决反对单纯以论文数量论英雄的氛围。合理设置机构评价标准，不把论文数量和人才称号作为机构评价指标，避免层层

分解为青年科技人才的考核评价指标。

《若干措施》要求，要减轻青年科技人才非科研负担。持续推进青年科技人才减负行动。科技项目管理坚持结果导向、简化流程，高等学校、科研院所健全完善科研助理制度，切实落实科研项目和经费管理相关规定，避免在表格填报、科研经费报销等方面层层加码，不断提升信息化服务水平，提高办事效率。减少青年科技人才个人科研业务之外的事务性工作，杜绝不必要的应酬活动，保证科研岗位青年科技人才参与非学术事务性活动每周不超过1天、每周80%以上的工作时间用于科研学术活动，将保障青年科技人才科研时间纳入单位考核。行政部门和国有企事业单位原则上不得借调一线科研人员从事非科研工作。

《若干措施》提出，要加大力度支持青年科技人才开展国际科技交流合作。支持青年科技人才到国（境）外高水平科研机构开展学习培训和合作研究。支持青年科技人才参加国际学术会议，鼓励青年学术带头人发起和牵头组织国际学术会议，提升青年科技人才国际活跃度和影响力。

《若干措施》要求，要加大青年科技人才生活服务保障力度。高等学校、科研院所、国有企业

结合自身实际，采取适当方式提高职业早期青年科技人才薪酬待遇，绩效工资和科技成果转化收益等向作出突出贡献的青年科技人才倾斜。各类创新主体加强对青年科技人才的关怀爱护，保障青年科技人才休息休假，定期组织医疗体检、心理咨询活动，探索建立学术休假制度，营造宽松和谐的科研文化环境。各地要重视并创造条件帮助青年科技人才解决子女入托入学、住房等方面的困难。

《若干措施》强调，要加强对青年科技人才工作的组织领导。各级党委和政府要把青年科技人才工作作为战略性工作，纳入本地区经济社会发展、人才队伍建设总体部署，建立多元化投入保障机制和常态化联系青年科技人才机制，抓好政策落实，为青年科技人才加快成长和更好发挥作用创造良好条件。用人单位要落实培育造就拔尖创新人才的主体责任，结合单位实际制定具体落实举措，制定完善青年科技人才培养计划，加强青年科技人才专业技术培训，做到政治上充分信任、思想上主动引导、工作上创造条件、生活上关心照顾，全面提升青年科技人才队伍思想政治素质和科技创新能力。○

来源：新华社

制造业技术创新体系建设和应用实施意见

为贯彻落实党中央、国务院关于推动制造业高质量发展的决策部署，全面准确把握产业技术现状，有效开展技术攻关、成果转化和先进适用技术推广，实施制造业技术创新体系（以下简称技术体系）建设和应用，优化创新资源配置，支撑产业基础能力建设，打造体系化竞争新优势，实现高水平产业科技自立自强，加快新型工业化进程，特制定本实施意见。

一、总体要求

（一）指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻落实党的二十大精神，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，构建新发展格局，坚持系统观念，围绕制造业典型产品的关键技术、物料清单、重点生产企业等技术供给线，以及研发设计工具、生产制造装备、标准、质量、管理服务、关键软件等技术支撑线，构建系统化、标准化的技术体系。依托技术体系，找准产业技术短板和强项，

全面支撑产业科技创新工作，促进创新链、产业链、资金链、人才链深度融合，推动产业基础高级化、产业链现代化，有力支撑制造强国、网络强国、数字中国建设。

（二）基本原则

系统思维，科学分析。围绕重点产业典型产品生命周期，全面厘清技术体系发展现状，精准定位技术短板弱项和长板优势，针对性开展关键核心技术攻关和先进技术推广。

企业主导，多方联动。加强供需联动，充分调动龙头企业积极性，发挥各类创新平台作用，深化产业链上下游、产学研协同，促进技术体系建设和推广应用。

央地协同，分类实施。面向国家战略发展亟需，围绕重点产业，聚焦典型产品构建技术体系。充分调动地方政府积极性，因地制宜推动优势特色产业技术体系建设。

动态监测，定期更新。适应新形势新要求，开展技术体系动态监测，定期更新技术体系，

为动态调整技术攻关方向、防范产业链供应链风险、制定相应措施提供支持。

（三）工作目标

到 2025 年，形成一套科学适用、标准规范的制造业技术创新体系构建方法，基本建立涵盖制造业各门类重点产业典型产品的技术体系，分类分级建立短板技术攻关库、长板技术储备库及先进适用技术推广库。通过有效应用，技术体系效能初步显现，产业科技攻关更加全面和精准，科技成果产业化和新技术推广更有成效，标准、质量、关键软件等产业基础能力建设显著增强；在指导地方开展产业链强链补链、区域产业集群发展等方面成效显著；引导企业供应链风险管理水平不断提升，企业技术研发体系持续优化。

到 2027 年，建成先进的制造业技术创新体系，全面形成横向协同、纵向联通的技术体系网络。技术体系全面应用于产业科技攻关、成果转化和新技术推广，有效指导地方制造业技术创新和产业集聚发展，有效引导企业建立先进的研发体系和科学的供应链管理体系，为制造业科技自立自强和高质量发展提供重要支撑。

二、技术体系建设

技术体系用“1295”来概括，即：按照产品生产流程或产品组成环节构建 1 套环环相扣的评估

分析框架，围绕产业技术供给和支撑 2 条主线，形成关键技术、物料、企业、研发设计、制造装备、质量、标准、管理服务、关键软件 9 张清单，依据技术成熟度和制造成熟度模型，对比国内外差距，形成 5 个评估等级。

（一）技术体系构成

1. 关键技术

梳理分析典型产品中包含的主要技术，包括主要特征指标、国内外技术发展情况、技术发展差距等，全面反映技术发展状况，形成关键技术清单。

2. 物料

梳理分析典型产品关键技术涉及的关键材料、元器件或零部件等物料，包括国内外主要物料的比较、物料来源的多元化与稳定性等，全面反映供应链物料情况，形成关键物料清单。

3. 企业

梳理分析典型产品关键物料的主要生产企业，包括产品市场占有率、企业规模、企业分布、上下游协作及专利情况等，全面反映生产企业发展水平，形成重点生产企业清单。

4. 研发设计

梳理分析典型产品研发设计过程中使用的主要软硬件工具，包括国内外研发设计企业、研发设计能力及工具应用水平等，全面反映研发设计工具发展现状，形成典型产品研发设计工具清单。

5. 制造装备

梳理分析典型产品生产过程中所使用的制造装备，包括国内外制造装备生产水平、生产企业、市场应用和发展差距等，全面反映制造装备的发展状况，形成主要制造装备清单。

6. 质量

梳理分析典型产品管理过程中涉及的质量管理与控制情况，包括生产过程中所使用的质量工程技术、检测装备与仪器、质量工具软件等，全面反映典型产品质量现状，形成质量清单。

7. 标准

梳理分析典型产品生命周期过程涉及的主要标准，包括各类标准、标准主要制定机构、标准缺失度等，全面反映标准体系建设及标准实施情况，形成主要标准清单。

8. 管理服务

梳理分析典型产品生产过程中所需的数字化、绿色化等管理服务，包括国内外数字化与绿色化解决方案服务商、公共服务平台配套成熟度与国内外服务能力差距等，全面反映管理服务发展水平，形成管理服务清单。

9. 关键软件

梳理分析典型产品生产和应用中使用的业务管理类、生产控制类、基础通用类等关键软件，包括国内外关键软件主要服务商、软件应用水平和发展差距等，全

面反映关键软件发展现状，形成关键软件清单。

（二）技术体系评价等级

技术体系评价包括9个方面的总体评价和具体评价，按照技术成熟度和制造业成熟度设置5个等级，全面反映产业链关键技术的发展水平、基础共性程度、差距和赶超难度（依据技术成熟度，将关键技术又分为无自主能力的技术、需产业化的技术和成熟的可大面积推广的技术3类）；物料的国内外差距和供应商来源多样性稳定性；企业的整体水平和上下游协作水平；研发设计工具的成熟度、差距和赶超难度；生产制造装备和质量工程技术的差距和赶超难度；管理与公共服务的数字化发展水平、绿色化发展水平、公共服务平台配套成熟度等。

三、技术体系评估、更新与拓展

（一）科学评估

工业和信息化部根据技术体系建设的全面性、实时性、精准性、先进性等实际情况进行综合评估。适时对技术体系在支撑科技攻关、制定项目指南、项目过程管理、鉴定验收评价等应用情况开展评估。地方工业和信息化主管部门根据需要对技术体系在科技攻关支撑度、招商引资影响力、社会与经济效益贡献度、企业能力建设等方面的建设及应用情况进行评估。

（二）动态更新

建立技术体系信息监测服务平台，对技术体系进行动态监测，根据技术发展、产品迭代与行业应用情况，及时更新技术体系。同时，动态调整短板技术攻关库、长板技术储备库及先进适用技术推广库，定期编制技术体系诊断分析报告，根据监测结果，对技术体系建设成效进行验证。地方工业和信息化主管部门根据技术发展情况和产业布局需求，动态更新本地区技术体系的建设情况。

（三）合理拓展

针对重点行业典型产品涉及的断点和卡点，采取类比推理“剥洋葱”的方法，运用技术体系方法进一步深入挖掘问题和研究评估，逐步完善形成环环相扣、层层深入的技术体系架构，以全面识别、精准定位断点卡点，找准攻关和技术推广的发力点。同时，通过梳理厘清不同产业链间的关联性，凝练基础共性问题，进一步形成可信息互通、协同合作的技术网络体系。

四、技术体系应用

（一）支撑关键核心技术攻关

支撑制定科技攻关项目指南，精准确定攻关项目。依据技术体系中短板弱项，按照技术评估等级，围绕典型产品涉及的核心技术、制造装备、质量及关键软件等，梳理关键技术问题，建立关键核

心技术攻关目录，做到全面准确，防止漏项和重复立项。与科技创新重点研发计划、重大科技专项等衔接，有效支撑产业基础再造工程和重大技术装备攻关工程。

（二）支撑科技成果产业化

依据技术体系和技术评估等级确定成果清单，分类开展产业化工作，围绕重点行业典型产品，加强与现有载体的对接，避免无效的成果转化。坚持以企业为主体，产学研协同，充分发挥体制机制优势，形成产业化合力。依托制造业创新中心、重点实验室、质量评价实验室等产业共性技术平台，加强中间试验能力建设和产业化综合保障服务。

（三）支撑推广先进适用技术

应用技术体系，精准识别长板优势，形成先进适用技术推广目录。针对行业特点开展技术推广，实现全行业技术进步，有效提升质量效益，加速推进数字化转型，实现高端化、智能化、绿色化发展。充分发挥行业组织和专业机构作用，用好标准、认证等工具，加强供需对接，匹配、共享资源，形成工作联动，不断提升技术推广的质量和效率。

（四）支撑产业技术基础能力建设

依据技术体系，系统梳理产业技术基础能力，支撑标准制定和推广，充分发挥标准引领作用。支撑质量检测、试验能力建设，

持续提升产业质量技术和管理水平。支撑计量能力建设，不断提高测量的精度和有效性。支撑科技成果、产业信息和知识产权能力建设，为产业技术进步和高质量发展提供有力保障。

（五）支撑区域产业发展

依据区域产业技术体系，全面反映区域内产业发展情况，精准开展产业链补链强链，优化区域产业布局和创新资源配置，针对性开展招商引资，培育和引进优质企业，形成高水平创新型产业梯队。统筹区域内产业基础能力，为优化投资环境、夯实产业发展基础、实现产业分工深化和集聚发展提供有效支撑。

（六）支撑企业技术研发和供应链管理

企业依据自身技术体系，准确评估企业技术研发和供应链管理状况，找准技术优势和短板，优化研发管理体系，有效开展技术研发，促进技术进步，保持竞争优势。加强供应链管理，持续

优化合格物料和供应商，建立健全风险预警和防控机制，统筹安全、效率和成本，不断完善供应链管理体系。

五、保障措施

（一）加强统筹协调

工业和信息化部加强对技术体系建设工作的组织领导，强化技术体系与产业政策法规的衔接，充分发挥龙头企业作用，统筹行业协会、产业联盟、高校、科研院所、专业智库等力量，形成工作合力，推进创新链与产业链、资金链、人才链深度融合。建立央地协同、多方联动的工作机制，地方工业和信息化主管部门组织本地区的技术体系建设和应用。

（二）强化基础保障

加强产业技术基础服务平台、重点实验室、标准化技术机构等支撑能力，充分发挥技术优势，有效支撑技术体系建设与应用。面向行业、地方和企业，开展多层次的技术体系构建方法和应用培训。依托

技术体系信息监测服务平台，为技术体系构建、评估、更新、拓展和应用提供支撑和服务。

（三）注重数据安全

提高对技术体系相关数据的安全防范意识，持续提升数据安全保障能力，建立先进的数据安全管理机制，按规定进行分级分类管理，规范数据收集、更新和分析等行为。定期对技术体系建设和应用工作开展数据风险评估，对相关服务平台进行安全监测，防范数据安全风险。

（四）推进开放合作

强化跨地区、跨行业、跨部门技术体系共建共享与交流合作，促进产业链上下游深度协作、创新资源优势互补。充分发挥技术体系作用，加强国际技术交流合作，在技术、物料、供应商、产业基础能力和服务等方面开展精准对接，持续加强市场、规则等方面软联通，稳步扩大标准等制度性开放，支撑新发展格局构建。○

来源：工业和信息化部科技司



《智能科学与技术学报》成功入选“中国科技核心期刊”！

昨日，中国科学技术信息研究所召开了“2023年中国科技论文统计结果发布会”，《智能科学与技术学报》被收录为“中国科技论文统计源期刊”，成功入选“中国科技核心期刊”！这是今年本刊继入选中国科学引文数据库（CSCD）核心库后获得的又一殊荣！详情请点击：https://mp.weixin.qq.com/s/pzsoAe875l_g2rpei2ViuQ



中国自动化学会

会员服务（具体请参见中国自动化学会官方网站）

·个人会员

1. 免费或优惠获得自动化领域学术刊物；
2. 免费或优惠参加学会及学会分支机构主办的学术活动；
3. 发布个人所获奖励奖项或其他荣誉等成就；
4. 优惠参加学会提供的继续教育培训；
5. 在符合条件的情况下，优先推荐作为学会各类奖项和评选的候选人；
6. 高级会员、会士有向本学会推荐高级会员及会士的权利。

·团体会员

1. 在学会会刊及相关宣传媒介发布专利、项目成果信息；
2. 优先获得学会提供的技术咨询服务，产品展示、技术培训服务；
3. 优先获得学会提供的成果鉴定、项目验收、奖项申报服务；
4. 优先获得学会提供的人才推荐、宣传和推广服务。

会费标准

·个人会员

1. 预备会员：一次性收取注册费50元
2. 普通会员、高级会员、会士：200元/年

·团体会员（只缴纳其中一项，以最高标准为准）

1. 事业单位、科研院所、高等院校、社会团体等
 - A. 团体会员单位：5000元/年
 - B. 理事单位（常务理事单位、副理事长单位）：10000元/年
2. 企业(公司)等
 - A. 团体会员单位：10000元/年
 - B. 理事单位：30000元/年
 - C. 常务理事单位：50000元/年

加入我们

1. 进入中国自动化学会官方网站：<http://www.caa.org.cn/>，在会员专区进行注册
2. 登陆会员系统<http://member.caa.org.cn/>直接注册



扫码进入CAA官网



扫码进入CAA会员系统



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