

中国自动化学会通讯

COMMUNICATIONS OF CAA

第 2 期

2023 年 02 月

第44卷 总第233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

实干笃行启新程 行稳致远谱新篇



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 2 月 28 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。

主编的话



郑南军

大江流日夜，慷慨歌未央。风雨兼程中，中国自动化学会走过了极不平凡的2022年。这一年，学会坚持党建引领，打通人才培养、服务与举荐体系，极大增强了学会对广大科技工作者的引领吸纳，组织凝聚力得到全面增强；坚守学术本源，构建了以“学术期刊—学术会议—科普活动—智库成果”为核心的CAA学术引领体系，学术引领力得到显著提升；秉承专业精神，服务党和政府决策，开展人才培训与评价，组织团体标准研制与科技成果评价，推动社会公信力迈上新台阶；坚持开放合作，不断拓宽国际朋友圈，国际影响力开拓新局面。这一年，虽然任务艰巨繁重，但我们依然把目标刻在心上，把执行视为铁律，把担当作为自觉，拿出了逢山开路的冲劲、闯劲和拼劲，凝神聚力把学会各项工作抓实抓好。

科技是国家强盛之基，创新是民族进步之魂。社会主义现代化强国建设离不开科技支撑。当今世界，自动化已成为人类文明进步和科学技术现代化的重要推动力。面对风起云涌的新一轮科技革命浪潮，自动化不仅迎来了发展新高度，也将引领中国智造迈向更广阔的舞台。2023年是全面贯彻落实党的二十大精神的关键之年，也是中国自动化学会万象更新的奋进之年。开局决定全局，起步决定后势，2023年中国自动化学会会坚定信心、赢得主动，开好局、走好步。

赓续精神血脉，凝聚时代力量。回首昨日，是历史的抵达；重整今天，是崭新的出发。党的二十大已经绘就了宏伟蓝图、吹响了前进号角。2023年将是中国自动化学会攻坚克难、充满挑战的一年，也将是充满希望、播种未来的一年。在这发展的重要节点，中国自动化学会继续用实干创造未来，赢得属于自动化人的精彩！



专题 / Column

- 004 回首 2022 启航 2023: 矢志不渝, 笃行不怠
- 008 日月星辰 感恩相伴——致全体会员的一封信
- 009 中国自动化学会 2023 年工作计划

观点 / Viewpoint

- 010 王飞跃: 未来企业将是“生物人 + 数字人 + 机器人”三类员工共同协作
- 014 张军平: 国内想超越 ChatGPT, 要在编程、硬件、数据上同时使力

学术前沿 / Academic Frontier

- 017 SiC MOSFET 在双向无线充电应用中的开关性能及效率优化研究 / 凌淳扬 刘芳 李昊 赵杨
- 023 空间控制技术发展展望 / 袁利 姜甜甜 魏春岭 杨孟飞

科普园地 / Science Park

- 039 ChatGPT 背后: 从 0 到 1, OpenAI 的创立之路 / Greg Brockman
- 048 ChatGPT 算法原理





学会动态 / Activities

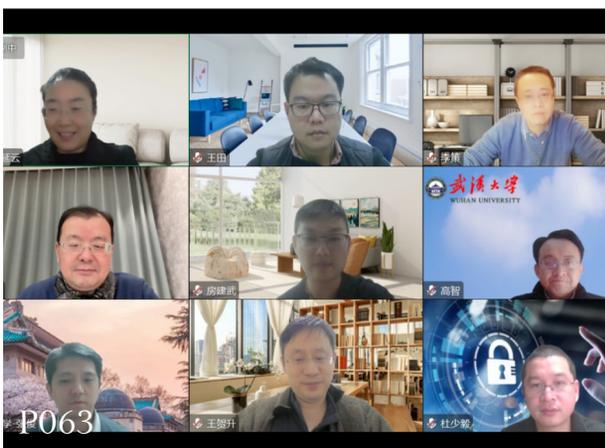
- 058 中国自动化学会积极组织参与 2023 “科创中国” 年度会议
- 059 中国教育科学研究院一行来访中国自动化学会
- 060 第十二期 CAA 会士面对面活动火热召开
- 061 三菱电机自动化（中国）有限公司一行来访中国自动化学会
- 062 中澳建交 50 周年暨 2023 年春节招待会——IEEE/CAA JAS 主编韩清龙致辞
- 063 中国自动化学会混合智能专委会召开未来规划讨论会
- 064 浙江省自动化学会“希望之光”组合式人才帮扶团到苍南开展帮扶活动

形势通报 / Voice

- 065 工业和信息化部等十六部门关于促进数据安全产业发展的指导意见
- 068 “机器人+”应用行动实施方案

党建强会 / Party Building

- 072 习近平在学习贯彻党的二十大精神研讨班开班式上发表重要讲话强调正确理解和大力推进中国式现代化
- 076 习近平在中共中央政治局第二次集体学习时强调加快构建新发展格局 增强发展的安全性主动权



回首 2022 启航 2023：矢志不渝，笃行不怠

寒冬将过，新春赓续。时光的列车飞逝，回望一路相伴的 2022，或泪水或欢笑，或欣喜或感动。站在 2023 年岁首，总有一些画面让人动容，总有一些记忆温润人心，每一次拼搏都闪闪发光，每一次突破皆无限可能。

2022 年是中国共产党领导人民向着第二个百年奋斗目标迈进的重要之年，也是中国自动化学会新甲子开局之年。2022 年，中国自动化学会坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，在中国科协、民政部的关心指导下，在支撑单位的支持下，在各分支机构、省级学会、团体会员和广大个人会员的共同努力下，凝心聚力、务实推进学会各项工作高质量发展，在世界一流科技社团评价中蝉联“五星级社团”，跻身影响指数全球 Top30。

回首过去，展望未来。让我们一同翻看 2022 年的“高光时刻”，带着无限的憧憬和美好的心愿，继续书写 2023 新篇章！

一、坚持党建引领，全面增强组织凝聚力

1. 立根筑魂，夯实党建之基

2022 年，学会立根筑魂，坚持政治引领，全面增强组织凝聚力。学会理事会党委多次开展党史教育、知名科学家讲党课、组织召开“党的二十大精神宣讲报告会”；学会秘书处党支部进行系列主题党日活动、依托 CAA 学习平台常态化党史学习，深入贯彻学习党的二十大精神；不断完善分支机构党小组的工作模式，加强在空间维度上党组织全覆盖的工作落实，截至目前 80% 的分

支机构已建立党小组；持续推进“口述历史”系列访谈，隆重颁发 CAA 六十周年杰出贡献奖，传承弘扬老一辈科学家精神。

2. 以服务温暖人心，实施会员精准服务

学会不断拓宽会员发展途径，探索建立结构分布合理、层级体系完备，高端人才资源丰厚的会员体系。组织开展高级会员和学会会士评选工作，分类分级开展十余次会员特色活动，搭建形式多样的线上品牌活动，2022 年度共举办 23 期云讲座、12 期 CAA 科普大讲堂、10 期会士面对面、9 场青年菁英系列论坛、5 期“我和

优博有个约会”、1 期线上圆桌派等，力争克服一切困难为广大会员提供优质服务，全方位、多层次、宽领域打造有温度的科技工作者之家。

3. 深化治理结构与治理机制改革，持续推进治理方式现代化

学会探索基于自治科学的智慧学会建设新思路，强化章程意识，进一步完善分工合作的决策机构和实体化建设的执行机构，推进治理结构、人事制度、运行机制和工作方式等方面的改革创新。线上线下召开 7 次理事长、监事长工作会议，7 次秘书长工作会议，1 次全体常务理事、理事

会工作会议。2022 年共形成决议 20 余项。

学会不断加强分支机构规范管理，优化升级分支机构管理系统，严格分支机构创建审核流程。2022 年新成立分支机构 1 个，完成分支机构换届 6 个，成功入选中国科协全国学会分支机构示范发展专项项目。截至目前，学会共有 59 个专业委员会，9 个工作委员会，30 个省级自动化学会。

4. 数字化建设全面融入学会治理，开创“智慧学会”新局面

2022 年，学会继续强化数字化建设，致力于打造有温度的“科技工作者之家”。启动 CAA 数字图书馆建设，持续深化官网、微信、微博等平台的广度与深度，重磅推出 CAA 一站式研究生招生平台、CAA 云学院，接长信息化服务手臂，打造高效融媒体传播矩阵，实现学会信息平台与学会业务工作同频共振，2022 学会粉丝数量增加近 4 万人，入选中国科协“智慧科协 2.0”首批试点建设单位。

5. 继续推进学会办事机构实体化建设

2022 年，学会继续推进办事机构实体化建设，探索建设数字化 OA 系统，修订《中国自动化学会采购管理办法》、《中国自动化学会竞赛管理办法》、《中国自动化学会团体标准管理办法》等制度建设，完成了民政部 2021 年度年

检工作与中国科协 2021 年统计调查年报，有效推动学会内控体系建设。

二、坚守学术本源，显著提升学术引领力

1. 以品牌凝聚人才，构筑学术交流高地

2022 年，在常态化疫情防控下，学会创新突破，奋楫笃行，以线上线下相结合方式稳妥有序开展学术交流活动，进一步完善“综合交叉类学术会议—前沿高端类学术会议—分支机构品牌学术会议”等三位一体的学术会议体系，发布《中国自动化学会学术会议推荐目录》，团结带领分支机构、省级学会以及期刊编辑部等线上线下举办千余场学术交流活动，线上观看人数突破 5000 万人次，其中以中国自动化大会为代表的十余个品牌学术活动连续 5 年被中国科协《重要学术会议指南》收录。

尤其是，这一年 2021 中国自动化大会暨 CAA 六十周年会庆活动，历时两年筹备、三地迁移、六天班师，终于在春城昆明绽放光芒，突破历史，受万众瞩目；在常态化疫情防控下，2022 中国自动化大会也在所有自动化人共同努力下，再次创新会议形式，与 1300 万人次科技工作者相聚鹭岛厦门，开创了中国自动化大会的新历史，充分展现了自动

化人直面困难挑战，不断勇毅前行的决心和信心。

2. 夯实一流科技期刊建设，打造品牌系列活动

学会紧跟学科发展趋势，支撑引领原始创新，大力培育以《自动化学报》中英文版为代表的 9 种精品学术期刊。《自动化学报》复合影响因子 6.627，影响因子和影响力指数在所属学科排名第 1；《自动化学报》（英文版）入选中科院期刊分区一区 Top 期刊，最新 SCI 影响因子 7.847，是自动化与控制系统领域唯一的中国主办 Q1 区 SCI 期刊。

此外，学会积极开展智能科学与技术领域基础科学研究评估工作，发布《中国自动化学会推荐学术会议目录》和《中国自动化学会推荐科技期刊目录》，编辑出版《智能控制导论》，预判学科发展趋势，高质量推动自动化学科快速发展。

3. 持续优化人才成长环境，着力搭建人才举荐平台

学会持续完善人才培养、服务、举荐体系，持续优化奖励管理系统，发布《中国自动化学会奖励指南》，重磅设立 CAA 优秀硕士学位论文奖，完善“人物奖—成果奖—论文奖—团队奖”四位一体奖励体系，直通国家奖。2022 年，以线上线下相结合方式完成 CAA 科学技术奖、CAA 青年科学家奖、CAA 自动化与人工

智能创新团队奖、CAA 优秀博士学位论文奖、CAA 优秀硕士学位论文等奖项申报评审工作，奖励申报总数量增长近 40%。同时召开 2021 年度中国自动化大会颁奖大会，表彰 104 项成果、79 位人物、20 家企业、3 个团队及 10 位青托人才。

2022 年，学会继续加大对青年人才的培养力度，持续推进实施“中国科协青年人才托举工程”，加大自筹名额力度，支持 15 名优秀青年人才茁壮成长。

此外，学会不断拓宽人才举荐渠道，积极完成 2022 年最美科技工作者、教育部青年科学家奖、中国青年科技奖、中国科协求是杰出青年成果转化奖推荐工作，为优秀人才脱颖而出铺路搭桥。其中，由学会推荐的华中科技大学伍冬睿教授荣获教育部青年科学奖，北京理工大学邓方教授、浙江大学程鹏教授等 2 人荣获第十七届“中国青年科技奖”。

三、发挥专业价值，强化公共服务能力

1. 推进产学研深度融合，助推区域产业高质量发展

学会发挥人才优势，组建智能产业和智能制造产业科技服务团，问诊把脉十余个科创中国试点城市 200 余项技术需求，制定百余项开发技术研发指南，宣传推广百余项科技成果，促成十余

项技术合作开发意向。尤其学会深耕长沙产业发展，联合联合 26 支科技服务团开展“入湘行动”，落地“科创中国”服务科技经济融合高峰论坛，促成六项签约，成功搭建“政产学研用”跨界合作桥梁，有力推进了产学研深度融合。

2. 完善智库运行机制，产出一批高质量智库成果

学会不断优化“小中心、大外围”的智库运行机制，组建工业控制安全、智慧教育、智能制造决策咨询专家团队，编写制造过程智能化系统等领域前瞻分析和技术预见研究报告，入选“中国科协决策咨询专家团队试点单位”；重点开展工业安全系统典型应用案例库建设工作，聚焦工业、制造、信息技术等应用领域征集 240 余个典型案例，并在 2022 全球工业互联网大会上发布工业安全系统典型案例成果库。2022 年，荣获中国科协“2022 年度学术成果凝练优秀学会”称号。

3. 发挥学会专业价值，提供优质化公共服务

学会积极开展人才培训和评价工作，承接人力资源社会保障部专业技术人员知识更新工程 2022 年高级研修项目，成功举办工业机器人离线编程与虚拟调试技术高级研修班，联合百度公司共同开展第 28 届全国人工智能师资培训；制定《CAA 标准化工作

管理办法》，促进团体标准规范优质化发展，开展《面向网联智能驾驶的测评系统构建规范》等 7 项团体标准研制工作；完善科技成果评价机制，完成 46 项科技成果评价，以专业精神不断提供高质量、优质化的公共服务产品。

四、合力打造“科普之翼”，提升文化传播力

1. 健全科普工作体系，服务公众科学素质提升

积极响应“科普中国”建设，组建中国自动化学会科普报告团，成为中国科协“大手拉小手科普报告汇”成员单位；建立中国自动化学会科技志愿服务总队，积极调动学会在全国组建的科技志愿服务队伍，共同开展高端科技资源科普化实践活动。2022 年，由学会推荐的龙芯自主创新生态基地和镇江智能制造创新研究院成功入选中国科协 2021-2025 年度第一批全国科普教育基地，“北京控制工程研究所空间智能控制暨航天精神教育基地”、“航空工业自控所西迁精神纪念馆”成功入选首批“2022 年科学家精神教育基地”。

2. 组织开展领域系列赛事活动

2022 年，学会在疫情防控常态化背景下，组织开展 2022RoboCup 机器人世界杯中国赛、2022 中国机器人大赛、第

五届菲尼克斯智能技术创新与应用大赛、全国大学生智能汽车竞赛室外专项赛、ABB杯智能技术创新大赛、2022全国智能制造虚拟仿真大赛、“三菱电机杯”全国大学生电气与自动化大赛、第八届台达杯高校自动化设计大赛等多项赛事；由学会推荐的全国青少年劳动技能与智能设计大赛入选教育部《2022—2025学年面向中小学生的全国性竞赛活动名单》；面向未来的青年科技英才队伍，实施“青少年人工智能核心素养模型及测评”项目，积极打造未来科学家摇篮。

3. 丰富科普活动内容与形式，传播“自动化之光”

学会持续开展CAA科普下基层活动，在云南弥勒、浙江省丽水市、山西临县、山西岚县等地建立4所智航助学助教基地；创设CAA科普大讲堂，充分利用全媒体矩阵，开展12期自动化领域科技知识普及活动；丰富科普宣传矩阵，开设知乎科普平台，与科普中国、知乎与科普中国联手

打造“向科学要答案”科普活动，积极参与中国青年报组织的“院士说专业”系列活动，发布近百条科普图文及视频。

2022年，中国自动化学会被中国科协评为“2022年度全国学会科普工作优秀单位”。

五、坚持开放合作，国际影响力开拓新局面

1. 积极参与国际事务，搭建国际交流平台

学会以全球视野谋划和推动学会改革创新，不断拓展链接融通渠道，建设跨界协同的国际创新网络，不断提升学会国际合作能力。2022年，学会承办IEEE数字孪生和平行智能国际会议(DTPI 2022)、网络物理与人类系统会议(CPHS 2022)、2022 IEEE智能交通系统国际会议(IEEE ITSC 2022)，其中，IEEE ITSC 2022是IEEE ITSS智能交通系统学会主办的两大年度旗舰会议之一，是智慧交通领域规格最高、影响力最大的顶级

学术会议。同时，学会邀请诺丁汉大学计算机科学学院院长Jon Garibaldi，欧洲科学院院士、帝国理工学院教授Alessandro Astolfi，加拿大女王大学教授Martin Guay，中国科技大学计算机学院教授Nikolaos Freris，阿卜杜拉国王科技大学教授Charalambos Konstantinou等国外知名专家进行报告分享，加强国际交流，提升学会国际影响力。

2. 积极参与全球科技治理，提升学会对外开放合作能力

学会一直与与国际自动控制联合会(IFAC)、国际模式识别学会(IAPR)等相关国际学术组织保持密切沟通与联系，推荐十余位学会会员参与2026-2029年国际自动控制联合会(IFAC)等国际组织主席竞选及重要领导职务等选任；承接中国科协开放合作示范专项，进一步完善学会海外会员实施细则，建立海外融媒体宣传平台，广泛吸纳近400名海外会员。○

2023年是全面贯彻党的二十大精神开局之年，是我国全面建设社会主义现代化国家开局起步的关键时期第一年，学会将锲而不舍锚定服务国家战略这一时代命题，坚定不移走高质量发展之路，自信自强，守正创新，踔厉奋发，勇毅前行，在向着建设世界一流学会、第二个百年奋斗目标进军的道路上，赓续荣光，奔赴远方！

日月星辰 感恩相伴——致全体会员的一封信

律回春渐，新元肇启。转眼间 2022 已经走进尾声，在即将迎来 2023 之际，中国自动化学会谨向全体会员及科技工作者朋友们致以新年的问候和美好的祝愿！

2022 年是乘风破浪的一年，这一年有困难，有坎坷，更有不惧挑战的风雨兼程和勇往直前的坚毅担当，每一个微小的创新突破，都埋藏着自动化人的热爱坚守。

回望这一年，CAC2021 暨

CAA 甲子华诞，跨山越海、三地迁移、六天班师，在春明昆明绽放光芒，突破历史，受万众瞩目，书写了中国自动化大会的历史新篇章。

回望这一年，CAA 守正创新、凝心聚力，以服务温暖人心，不断完善会员发展与服务机制，赢得了更广大会员和科技工作者的信任与支持，个人会员突破 8.7 万再创新高。

回望这一年，CAA 初心弥

坚、再启征程，在世界一流科技社团评价中蝉联“五星级社团”，向过去的一年交上了圆满答卷。

时光往复，梦想如初。

诚挚感谢您一直以来对 CAA 各项工作的关注、信任与支持，CAA 每一项成绩的背后，无不凝聚着大家的智慧、心血和汗水，因为有您，CAA 未来皆有可期。

愿 2023 年，CAA 与您携手并肩，共赴华章！



长路漫漫，“万”幸有你 | 中国自动化学会微信公众号粉丝突破 10 万啦！

中国自动化学会微信公众号自 2014 年 4 月 25 日账号开通以来共发布 2405 条推文，累计阅读量超过 2000 万。一路走来，真心感谢广大粉丝对中国自动化学会微信公众号的支持与喜爱！从 0 到 10 万+，是每一个可爱的“你”不遗余力为我们送上一个个点赞、评论和转发，每一个 1/10 万，都是一份信任和支持；每一个 1/10 万，都让我们更加坚定前行！

中国自动化学会理事长郑南宁院士领衔的西安交通大学“人机混合增强智能全国重点实验室”获批建设

近期，中国自动化学会理事长郑南宁院士领衔的西安交通大学“人机混合增强智能全国重点实验室”获批建设，这是西安交通大学在信息领域的首个全国重点实验室，将为打造我国人工智能发展优势地位和抢占国际人工智能竞争制高点进行战略布局。详情请查看官网：<http://www.caa.org.cn/article/191/3455.html>

中国自动化学会 2023 年工作计划

一、组织凝聚力全面增强

1. 坚持贯彻党对学会的全面领导，始终把政治建设摆在首位，全面推动分支机构党组织打造党建强会品牌活动，促进党建和业务工作深度融合。

2. 完成理事会党委换届工作，夯实三级党组织体系建设。

3. 弘扬新时代科学家精神，持续开展“口述历史”、“领袖企业访谈”系列访谈活动，塑造自动化学界、产业界模范先锋，营造风清气正、求真务实、勇于创新的良好氛围。

3. 线上线下系统联动推进“自动化科技工作者之家”建设，为 CAA 广大会员提供精准服务，继续开展“云讲座”、“钱学森国际杰出科学家系列讲座”、“CAA YeS 系列活动”、“会士面对面”等特色会员品牌活动。

4. 打通人才培养、服务和举荐通道，做优自动化创新人才成长的教育、培养与服务环境，建立闭环反哺新态势。

二、学术引领力持续提升

1. 完成《自动化学报》中英文刊换届工作，以“高起点新刊”、“一流期刊建设”为抓手，推动期刊建设，突出学术期刊与学术会议融合的学会办刊优势，推动期刊数字化平台建设，强化运营服务能力，提升期刊学术质量和国内国际影响力。

2. 加大以中国自动化大会等品牌会议的科技前瞻研判力度，突出高端学术引领，面向全球征文、引入海外审稿人，推动自动化大会进一步走向国际。

3. 加强科普队伍建设和自动化学科普资源整合，建设自动化科普平台，打造多样化、系列化、内容丰富、吸引力强的科普活动品牌，提升科学传播效果，实现科普基地 - 科普团队 - 科普作品集成与共享。

4. 继续加强学会智库建设，组织开展重大科学问题 / 技术难题征集和学科发展战略研讨，形成高水平咨询报告；依托科技产业

服务团，探索实施区域服务中心推进建设计划，以点带面完善区域合作网络，实现学会服务站与区域服务中心“点面相结合”服务模式。

三、社会公信力迈上新台阶

1. 完成学会换届工作，继续推进秘书长职业化，扩大专职工作人员队伍规模，提升学会办事机构高效运营管理水平。

2. 继续加强学会信息化建设，启动建设中国自动化学会 App，打造一站式线上服务平台，实现资源共享、知识传播与价值提升，迈入“智慧学会”建设新台阶。

四、国际影响力开拓新局面

1. 扩大国际组织“朋友圈”，持续推荐中国科学家参与国际学术组织重要领导职位竞选，拓展全球治理的广度深度。

2. 建设海外宣传平台，持续吸纳海外知华友华科学家及港澳台科学家加入学会，扩大海外会员规模，打造 CAA 高端海外智库。○

王飞跃：未来企业将是“生物人+数字人+机器人”三类员工共同协作

“如果知识工作可以衡量，我们应该如何在此基础上提高知识工作者的生产力？”12月17日，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王飞跃在2023《财经》年会上，针对如何通过人工智能技术提升知识工作的生产效率谈到，将来的企业一定是人机结合的，每个员工跟三个知识机器人一起工作，一个告诉你干什么，一个告诉你可能发生什么事，一个告诉你出了事该如何。

从20世纪初的泰勒革命，到

管理学大师德鲁克，现代化工业将人类的工作分解，以任务推导流程，再用流程催生组织。但在王飞跃看来，知识工作和体力工作有很大区别，由于前者的效率无法衡量，将产生“如何提高知识工作者的生产力”，“如何提高知识工作者的智力行为反应”等一系列难题。

“人工智能及其衍生的工具或将在未来成为知识工作者在知识车间、知识车床和知识流水线上的测量机器。”王飞跃认为，将来，人类劳动力只占5%，机器人

占15%，剩下80%的工作由数字人完成。“以后，每个企业的核心竞争力、核心利润都在场景工程里，多学科的交叉推动运营方式、研发方式变得更加可信、可靠、可用。”

要把这一想象变为现实，应该从何处入手？王飞跃提到，首先要从意识上、哲学上进行变革，实现“平行管理”。他认为，从认知管理、加密管理，到社会管理、生态管理，未来的每个岗位都是智能化的，员工在边缘端干活，在云端策划，“生物人+数字人+机器人”三类平行员工一起分工协作。“我不并认为人工智能用到生产里或管理里就是第一位的要素，反倒是平行管理之于智能产业，就像是科学管理之于现代工业那样重要。”

去年，王飞跃就曾围绕“从数字孪生元宇宙到灵境智能：平行智能与智能产业”主题，回顾了元宇宙概念的由来和相关技术的发展过程，分享了他对元宇宙的观察与思考。他认为，以后所有的管理都会改变，要像控制机器人一样管理人，像管理人一样



控制机器，这就是元宇宙的真谛。在他看来，元宇宙的发展目标是成为“安全、有保障、可持续、能感知、服务于人且智能的”6S世界。“元宇宙”的概念一引到中国，钱学森就给它起了一个非常中国化的名字，把它叫做“灵境”。他认为将来这种灵境科技将改变社会，改变整个人类，必然带来一次新的产业革命。最近是智能控制50周年，我们又把这个东西重新总结，从学习控制到智能控制，最后走向平行控制、平行管理、平行智能。以后所有的管理都会改变，要像控制机器一样管理人，像管理人一样控制机器，这就是元宇宙的真谛。

为什么要这么做？时代变了，AlphaGo之后我们进入一个新的时代，IT大家都说是信息技术，抱歉，AlphaGo之后IT就不再是信息技术（Information Technology）了，是智能技术（Intelligent Technology），缩写都一样，都是IT。二百年前IT是什么？工业技术（Industrial Technology），从今之后，我们要进入一个新的哲学——平行哲学，凡事都是虚实互动，要从以前我们研究的存在、变化到相信，只有相信了才有效果。然后，范式上要从牛顿时代的“大定律、小数据”跳到默顿时代的“小定理、大数据”。怎么来实现？就是由小数据生产出大数据，再从大

数据中提炼出针对具体场景具体问题的精准知识或深度智能，即“小数据——大数据——深智能”的过程将成为智能产业的标准流程。以后你说做智能，如果你不告诉我你怎么把小数据变成大数据，又怎么把大数据变成深智能，如果你不告诉我这“三部曲”，你一定是蒙我。

AlphaGo就干了这件事。它把人类的80万盘棋自我对答变成7000多万盘棋，又把它炼成两张图，回头用这两张图干掉所有人类围棋大师的冠军，再迅速演化一遍，人类小数据小到零，大数据也不到7000万，连3000万都不到。AlphaGo Zero，只用一张图，更小更深，回头又把打败人类围棋大师的AlphaGo以100比0干掉，从头到尾用了不到几天的时间，以后再进化下去几秒都不用，这就是范式的转移。

所以，以后所有的员工都要成为平行员工，你不成为平行员工，你上岗的资格都没有。因为不优化、不绿色、不可持续发展，就没法实现碳中和。所以这么一看，我们进入智能时代的mega trend/meta trend：“三个三”（三个IT、三个世界、三个轴心），“五个五”（五个网络、五种社会、五力合一、五度空间、五类产业）。三个IT一样重要，一个都不能少。为什么我们要开发三个世界？我们都知道两个世界：物

理世界、心理世界（精神世界）。波普尔告诉我们还有个第三世界，就叫人工世界。现在我们要开发人工世界了，所以人工智能热了，所以IT变成“新”IT了。人工世界好在什么地方？无中生有，你也可以有，我也可以有，所以本质上它可以是正和的全球化。我是从这个意义上理解新技术、智能技术这第三波的智慧的全球化的，要实现人类命运共同体，实现多赢包容，这就是我们的发展机遇。

人类为了这个建网，比network更大的网，从Grid 1.0到Grid 5.0，交通网、能源网、信息网、物联网，还需要一张网——智联网，这样一来整个社会形态都变了。这五张网把三个世界先分了又联起来，再联起来跟以前的世界就不一样了。五力合一（数之力、链之力，算之力、网之力、法之力），最后是上“道”，这次上的是“真（TRUE）道（DAO）”。

真（TRUE）= 可信（Trustable）+ 可靠（Reliable）+ 可用（Usable）+ 效益（Effective+Efficient）。我们管理讲两个E，Effective、Efficient，做正确的事、以正确的方式。

道（DAO）= 分布式全中心化（Distributed+Decentralized）+ 自主性的自动化（Autonomous+Automated）+ 组织化的有序性（Organized+Ordered）。

对我来说，“道”不单单是我们区块链的新技术、去中心的自主组织，还是去中心的自主运营，不单是 Organization 还是 Operation，这就是未来的趋势。把我们经典哲学的“道”变成一个技术，变成了工程的要求，所以核心还是它，这就是为什么要从五度空间去做的原因。

这样一来就自然而然进入了工业 5.0，它跟工业 4.0 有天然的联系，都是 CPS 加 ICT，解释不一样，以前的解释停留在工业自动化，我们需要的是知识自动化，所以那个 S 不能少。我们从影子系统开始做，后来做智能家居，1999 年的时候就想做现在所谓的物联网、云计算，后来考虑到它有科学、有技术，所以提出平行系统、平行智能，所以就一直来推这个理念。最初只有我们喊，现在全世界很多人都在喊，今年德国人也开始喊工业 5.0 了。他们又再次发现，20 年之后再次发现，这就是未来的元机器。把三个世界打通，把物理形态的牛顿机和软件形态的默顿机合二为一。这样一来，就能把小数据变成大数据，大数据炼成深智能。这样就会给我们产生新的工作，而不是人工智能让我们 50% 到 70% 的人失业。

将来你去一个公司，它不是人工智能的公司，你不敢去，它要拿你当超算、当计算机用，你

受得了吗？所以将来它会给我们提供大部分的工作，这就是将来的企业，将来的员工——平行员工，要把生物人员跟数字人员跟机器人员合起来，在边缘端、在车间、在现场、在云端结合起来，把战术跟战略结合起来，把物理空间的无序涌现归到虚拟空间的有序收敛，反过来再从虚拟空间涌现发散，到物理空间收敛，形成一个循环，核心知识自动化。

所以将来你一上班有三个机器人，软件机器人懂你了，你们合起来就变成平行员工，合起来就把小数据变成大数据，大数据变成深智能，这些虚拟的知识机器人员才是铁打的营盘，人类只是流水的兵。我们要跳槽、要请假、要退休、要生病，他们永远在，我们只是喂养这些机器人的粮食而已，信息。我们提供它不定性、多样性，它们内化成这个岗位的敏捷性、聚焦能力、向目标收敛，完成任务的能力。所以用老百姓的话说，我们就把“吃一堑长一智”换了个世界。以前在物理世界“吃一堑”碰得头破血流，在知识世界长一智，现在换过来，让你打游戏，在元宇宙里面，把所有的矛盾、把所有东西全暴露出来，虚拟空间我就只“长一智”就行了。低成本、高效率、高智能，这就是趋势。

怎么来完成？这是个科学。

我们要把复杂性科学、跨学科方法、元体系化的智能合三为一。我们一个例子就是矿山。我们现在在做平行矿山，你可以叫它元宇宙矿山，效率摆在这里，现在内蒙古几千万吨的矿山全改造成了平行矿山，让它绝对安全。矿工是工业产业的先锋兵，也是中国革命的先锋（安源煤矿、开滦煤矿大罢工），还让矿工像一百年前那样工作，这样都不人性。我们应该把矿工变成一个精灵，我在北京的大楼里就把内蒙、把世界各地的矿山采了，完全可以实现。工厂电机耗能是整个耗能的 60% 到 70%，我把它变成平行电机、变成元电机，你耗多少能、你排放多少碳，我全给你记下来，我让你上“道”，我让你变成生态电机、社会电机，谁也别蒙谁。

所以，我们要进入虚实分工的未来。我们怎么走到了今天？就靠专业分工。现在已经在热火朝天地做人机分工，下面一定是虚实分工，所以应该以科学的态度认真对待这件事情。对我来说，元宇宙的基石就是区块链，如何构建？还是要回到智能制造。我们要改变我们的思维，从计算思维到平行认知，cybernetics 是怎么起来的？是通过循环因果关系起来的。我们要深入发掘，以前在一个世界循环，让它在三个世界循环，把它跟多学科、跨学科交融合起

来，我们把 What If 跟 If Then 融为一体。三个世界需要三种知识，需要三种意识。西方哲学是围绕着空间与时间产生的，就是 Becoming 和 Being，现在要加入一个 Believing，把托马斯·库恩说的三个“C”（Communication, Comparison, Commensurability）串起来。

最后是三种哲学，显象哲学、过程哲学、平行哲学。三个世界，三种意识，三种哲学，三种知识。所以我们想提高效率，就要面对虚无，我们想活得更好，我们想提高效率，就必须虚实平行，由此走向一个 6S 的世界：Safety，

Security, Sustainability, Sensitivity, Service, Smartness。我们需要物理世界安全、信息空间安全、生态可持续，需要有个性化隐私保护，我们需要提供优质的服务，由此实现一个智能的经济、智能的社会、智能的产业。○

报告人简介



王飞跃，1990 年获美国伦塞利尔理工学院（RPI）计算机与系统工程博士学位。1990 年起在美国亚利桑那大学先后任副教授、副教授和教授，机器人与自动化实验室主任，复杂系统高等研究中心主任。曾任中国科学院自动化研究所副所长，现任中

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、智能科学与技术学报主编、IEEE 智能车汇刊（IEEE Trans.on Intelligent Vehicles）主编、中国自动化学会监事长。2003 年起先后当选 IEEE、INCOSE、IFAC、ASME 和 AAAS 等国际学术组织 Fellow。2007 年获国家自然科学基金二等奖和 ACM 杰出科学家称号，2014 年获 IEEE 诺伯特·维纳奖，2021 年获 The IFAC Pavel J.Nowacki Distinguished Lecturer。主要研究复杂系统、智能控制、智能机器人、无人驾驶、平行智能、平行情报、平行管理、社会计算、知识自动化等领域。

来源：地球能量局

通

知

关于征集 2023 年中国自动化学会团体标准项目的通知

为深入贯彻《国家标准化发展纲要》、《关于促进团体标准规范优质发展的意见》等文件精神，充分发挥中国自动化学会（以下简称学会）团体标准为市场服务、为创新驱动发展服务的能动作用，助力产业高质量发展，促进科技成果转化，根据《中国自动化学会标准化工作管理办法》，现面向全行业公开征集 2023 年度学会团体标准计划项目，具体事项详见中国自动化学会官网：<http://www.caa.org.cn/article/192/3396.html>

张军平：国内想超越 ChatGPT，要在编程、硬件、数据上同时使力

近日，由 OpenAI 开发的 AI 聊天机器人 ChatGPT 引起广泛关注。在推出仅两个月后，ChatGPT 月活用户已经突破 1 亿，成为史上用户增长速度最快的消费级应用程序。

通过一个聊天的对话框，人们可以用 ChatGPT 来闲聊、写代码、写论文、创作音乐……据报道，高达 89% 的美国学生承认在完成作业时用过 ChatGPT，甚至 ChatGPT 还通过了年薪 18.3 万美元的谷歌工程师面试。

ChatGPT 之所以能做到如此智能，是因为在大型语言模型基础上，引入了核心技术 RLHF（基于人类反馈的强化学习），即用强化学习的方法，利用人类反馈信号直接优化语言模型。

“我认为 ChatGPT 已经走在了弱人工智能与强人工智能之间的边界上。”复旦大学计算机科学技术学院教授、博士生导师张军平在接受搜狐科技专访时表示，ChatGPT 比以往的对话模型进步很多，用户可以在一个平台上做很多事情。

一般来说，人工智能可被分

为弱人工智能、通用人工智能和超级人工智能。与只专注于完成某个特别设定任务的“弱人工智能”相比，“强人工智能”也叫通用人工智能，即像人类一样拥有全面智能。

有斯坦福大学学者甚至认为 ChatGPT 背后模型拥有心智，相当于人类 9 岁儿童。

张军平对此持反对意见。他认为，从计算机角度来看，ChatGPT 本质上是程序，看起来像有人的心智，但与真正有心智之间有本质的区别，两者实现的路径完全不一样。“AI 需要消耗巨大的电力、算力，人类大脑工作一天消耗的能量只有 20 多瓦。”

可以看出，ChatGPT 与“人类智能”之间还有一定距离，但已经拥有了强大的语言理解和生成能力。从目前的用户反馈以及进化速度来看，ChatGPT 在商业化方面的机会巨大。

潜在的造富盛宴之下，科技巨头扎堆入场，投资人和创业者蜂拥而至。谷歌发布了 ChatGPT 竞品 Bard，百度推出国产版 ChatGPT 文心一言，美团联合创

始人王慧文出资 5000 万美元创业、希望打造中国的 OpenAI。

不过，张军平对这种跟风式的投入并不看好。“我觉得这件事情是可以去做，但可能需要比较长时间积累。跟风到底有没有突破性的成果能够出来，或者能不能超越 ChatGPT，是值得考虑的。如果我们做出来的东西还跟 ChatGPT 一样，那么意义在哪里？”

事实上，OpenAI 从成立到推出 ChatGPT 花了 7 年时间，其间一共收到了 40 亿美元投资，但直到去年 OpenAI 仍处于亏损状态。

在张军平看来，国内要想做出超越 ChatGPT 的产品，需要在编程、硬件、数据这三方面同时使力。以硬件为例，美国对顶级计算芯片有限制，比如 ChatGPT 用的 Nvidia A100 国内无法获取，这导致算力上会有差距。

以下为搜狐科技与张军平教授的对话实录（经删改）：

Q1：您认为 ChatGPT 处于人工智能发展的哪个层级，是弱人工智能还是强人工智能？

张军平：ChatGPT 可能是在

这两者之间的边界上，正在往强人工智能进化。ChatGPT 相当于是一个平台，但是可以做很多事情，比如聊天、写作业等等，不像以前一个平台只能做一件事情，我觉得比原来的对话模型要进步很多。

Q2: 斯坦福大学有学者认为，ChatGPT 背后模型拥有心智，相当于人类 9 岁儿童，这是如何做到的？您认同他的观点吗？

张军平：这一次说 ChatGPT 出现心智的是斯坦福大学商学院组织行为学专业的副教授 Michal Kosinski，他不是学计算机的，所以看问题角度可能不太一样。

回顾历史，世界上最早的聊天机器人 Eliza 诞生于二十世纪六十年代，当时 Eliza 的发明人在实验时就发现，许多 Eliza 的测试者对该程序产生了情感依恋，他将这种现象称为“ELIZA 效应”，即人类倾向于将机器拟人，或者把机器想象成人类。

从计算机角度来看，无论是 Eliza 还是 ChatGPT，本质上都是程序，只是看起来像有人的心智。用一个比喻来说，我们在造飞机，外界觉得这个东西好像跟鸟类差不多、可以飞，但两者完全不一样。

Q3: 像有心智和有心智之间本质的区别是什么？

张军平：区别其实很大，两

者实现的路径完全不一样。我们现在做人工智能，需要消耗巨大的电力、算力，但人类大脑工作的话，可能一天消耗的能量只有 20 多瓦。在如此少的能量消耗下，人类却可以达到很高的智能，这是计算机暂时无法做到的。

Q4: ChatGPT 的内容目前主要还是网上现有知识的总结和检索，未来有可能进化出自我意识吗？会对人类造成威胁吗？

张军平：现在不需要太担心。如果要进化出自我意识，那么我们首先要定义什么叫意识。从整个人工智能的历史上来看，这个问题大家还没办法回答，我们也不知道自我意识具体是什么，怎么生成的。

人要想了解自己是比较困难的，除非是有个更高维度的东西引导。同理，ChatGPT 是人类编程编出来的，ChatGPT 想把自己搞清楚也很困难。

我认为短时间内不会对人类造成威胁，但是可能对有些人会产生误导，比如过分相信它、依赖它的时候。

Q5: ChatGPT 爆火之后，科技巨头扎堆入场，投资人和创业者蜂拥而至，您怎么看？

一方面，其实 ChatGPT 没有开源，需要重建这个系统的话难度比较高。

另一方面，数据规模达到

如此大的量级可能会比较困难，ChatGPT 收集的数据都来自互联网，大部分是英文，比较容易拿到。但国内很多数据很难拿到，网页不太公开。而且国内有数据安全法，拿到的数据不能够随便向国外输出，有安全隐患。

在硬件方面，美国对顶级计算芯片有限制，比如 ChatGPT 用的 Nvidia A100 国内无法获取，这导致算力上会有差距。我们要突破卡脖子的话，从芯片到显卡都需要做出突破。

想超越 ChatGPT，在编程、硬件、数据这三方面都需要同时使力。

Q6: 美团联合创始人王慧文说要出资 5000 万美元创业，打造中国的 OpenAI。5000 万美元够吗，ChatGPT 算力成本大概是多少？

张军平：ChatGPT 大概用了 285000 个 CPU 和 10000 多颗 GPU，然后在 45TB 的文本数据上去做的训练，训练成本大概是 1200 万美元。

我也不知道 5000 万美元投下去能不能成功，毕竟 OpenAI 从成立到推出 ChatGPT 用了七年时间，并且去年 OpenAI 还处于亏损状态，也曾经遭受过质疑，所以这里面的风险还是蛮大的。

Q7: 这不是一件短期就能做成的事对吗？

张军平：需要比较长的时间

积累，并且跟风式的投入到底有没有突破性的成果能够出来，或者能不能超越 ChatGPT，这可能是我们需要重点考虑的问题。如果我们做出来的东西，还是跟 ChatGPT 一样的，那么到底它的意义在哪里？

Q8: ChatGPT 能创作音乐、写程序、写论文、还能代替搜索引擎一部分功能，从应用角度来说，您认为 ChatGPT 会最先取代哪个行业、哪种职业？

张军平：首先搜索引擎肯定会改变的，以前我们输入单句单字，但是现在有可能会变成一种对话式的搜索引擎。

创作内容方面，ChatGPT 很适合写一些新闻摘要、简报，可能会替代办公室秘书等职业。如果你觉得你的工作电脑也能做得到，就极大可能会被取代。

Q9: 从教育工作者的角度来看，为什么 ChatGPT 没诞生在中国？

张军平：这是一件需要一个

长期性投入的事情，但是我们国内很多做研究的，追求速度、追求发文章的数量，所以深度不够。

并且国内对于创新考核的时间指标定得太短了，企业普遍追求短期利益，3-5 年之内就要出成果。

所以我建议国家可以投入一些更长线的研究计划，比如 5 到 10 年或者更长期，也不要经常短期考核成果，因为中间有可能失败，但最后还是可能会成功。○

来源：搜狐科技

报告人简介



张军平，复旦大学计算机科学技术学院，教授、博士生导师，中国自动化学会混合智能专

委会副主任。主要研究方向包括人工智能、机器学习、图像处理、生物认证及智能交通。至今发表论文 100 余篇，其中 IEEE Transactions 系列 26 篇，包括 IEEE TPAMI, TNNLS, ToC, TITS, TAC, TIP 等。学术谷歌引用近 5000 次，H 指数 33。

出版科普著作《爱犯错的智能体》，该书获得 2020 年中国科普创作领域最高奖，即 2020 年中国科普作家协会第六届优秀作品奖金奖。



2023 “CAA 云讲座”报告人火热征集中!

律回春渐，万象更新。2023 年，“CAA 云讲座”乘势扬帆再启航，现征集线上报告人，欢迎广大科技工作者踊跃报名，让我们在云端相会！具体事项详见中国自动化学会官网：<http://www.caa.org.cn/article/192/3422.html>

SiC MOSFET 在双向无线充电应用中的开关性能及效率优化研究

文 / 合肥工业大学 凌淳扬 刘芳 李昊 赵杨

摘要：SiC MOSFET 器件具备开关频率高、损耗小、耐高温等特性，应用于无线充电中可以显著提升其功率密度及效率。但在无线充电变换器的控制中很容易出现硬开通、硬关断的情况，这会产生额外的开关损耗。同时，在电磁环境和寄生参数的影响下，开关管门级容易因电压过冲、振荡导致加速老化或损坏。基于上述原因对双向无线充电系统中的开关特性、开关损耗及影响开关可靠性的因素进行分析及仿真验证，最后通过对搭建的双向无线系统样机在满功率和半功率点进行不同驱动参数的对比实验，得出了驱动参数对系统传输效率及门级波形的变化趋势，对双向无线充电系统中 SiC MOSFET 的应用和效率优化具有一定参考依据。

关键词：碳化硅场效应器件 无线电能传输 过冲 振荡

随着双碳目标的提出，全球汽车产业在快速电动化的同时又在向着智能化和网联化两个方向布局。无线电能传输技术（wireless power transfer, WPT）从物理上解决了充电时的线缆束缚，它在安全、便捷的同时也是实现无人驾驶的必要条件。随着电动汽车保有量的不断扩大，充电负荷又将对电力系统带来较大冲击，通过双向无线电能传输（bidirectional wireless power transfer, BWPT）等技术进行车网互动是未来发展的一个必然趋势，利用车载电池与电网双向沟通，削峰填谷，可对电网起到一定支撑作用。

SAE J2954, IEC 61980 等标准约束 WPT 系统的运行频率为 85 kHz 左右^[1]。在这个频率下，传统的 Si 器件已经无法满足充电设备在功率密度和开关损耗等方面的要求。作为第三代宽禁带功率器件的代表，碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（silicon carbon MOSFET, SiC MOSFET）具有耐高压、耐高温和开关损耗低等优良特性。然而，由于 BWPT

系统较 WPT 系统更为复杂，一味的追求效率而忽视可靠性问题可能会加速系统的老化，进而导致系统的损坏。

目前，对于无线充电系统的效率研究大多基于控制策略或是磁耦合机构展开，对于变换器侧损耗的研究较少，故结合上述基础，本文将围绕双向无线充电系统中的开关性能与效率进行分析，并通过实验得出变换器的参数对 BWPT 系统传输效率及 SiC MOSFET 开关性能的影响规律。

1 BWPT 系统结构及开关特性

1.1 双边 LCC 补偿拓扑结构

双边 LCC 补偿的 BWPT 变换器拓扑结构如图 1 所示^[2]。其中， U_1 为输入电压， U_2 为负载电压， C_3 和 C_4 为输入侧和负载侧直流电容， $S_1 \sim S_4$ ， $Q_1 \sim Q_4$ 构成原副边全桥变换器电路，磁耦合线圈的原边自感为 L_1 ，副边自感为 L_2 ， M 为互感，谐振腔中，除了两个

磁耦合线圈外, 还包含谐振器件 L_{r1} , L_{r2} , C_{r1} , C_{r2} , C_1 , C_2 。 $i_{1(t)}$ 与 $i_{2(t)}$ 分别为原边变换器桥臂侧电流和副边变换器桥臂侧电流, 而 $u_{1(t)}$ 和 $u_{2(t)}$ 则为原副边 LCC 补偿网络两端电压。

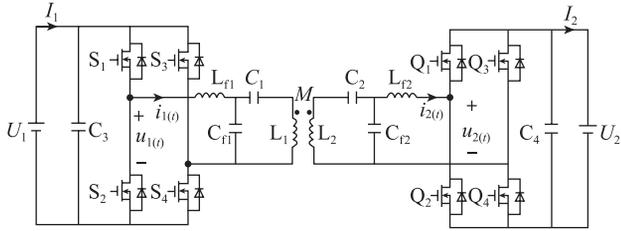


图1 双边 LCC 补偿 BWPT 变换器拓扑图

1.2 BWPT 系统开关特性分析

在 BWPT 系统的控制中, 一般采用移相调制的策略, 在上述拓扑中, 最多可以采用三个自由量的移相控制。定义 α , β 分别为原副边变换器控制波形的内移相角, γ 为原副边变换器控制波形之间的外移相角, 通过对这三个自由度的控制, 可以实现对 BWPT 系统传输功率及传输方向的控制^[3]。系统变换器的开关角频率 ω 等于补偿网络谐振角频率 ω_0 时, 根据基波分析法及 KVL 定律, 可以得到其功率传输表达式:

$$P_{out} \approx \frac{8}{\pi^2 \omega_0 L_{r1} L_{r2}} M U_1 U_2 \sin \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\beta}{2} \sin \gamma \quad (1)$$

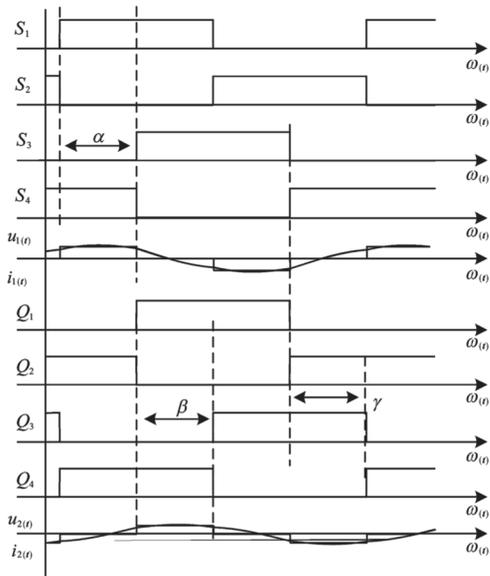


图2 BWPT 控制信号模式图

当 $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=90^\circ$, 系统工作在半功率点, 此时所有开关管均为硬开通, 其对应的控制波形及输出波形模式图如图 2 所示。而在 $\alpha=\beta=180^\circ$ 时, 系统工作在满功率点。

2 BWPT 系统 SiC MOSFET 应用分析

2.1 BWPT 系统损耗分析

在图 1 所述的变换器拓扑图中, 损耗主要分为变换器损耗和谐振腔损耗两部分, 变换器的损耗主要由开关管产生, 而谐振腔的损耗则是由无源器件的内阻产生^[4]。本文主要研究变换器侧的损耗。将变换器的损耗定义为 P_{T_loss} , 其主要由开关损耗 P_{sw} , 正向通态损耗 P_{cr} , 反向导通损耗 P_{cf} 构成, $P_{T_loss}=P_{sw}+P_{cr}+P_{cf}$, 其中

$$P_{sw} = 8 \cdot \frac{1}{2} U_{ds} \cdot I_d \cdot (t_{on} + t_{off}) \cdot f_{sw} \quad (2)$$

$$P_{cr} = 4 \cdot I_{rms_1}^2 \cdot R_{ds(on)_1} + 4 \cdot I_{rms_2}^2 \cdot R_{ds(on)_2} \quad (3)$$

$$P_{cf} = 4 \cdot I_{rms_1'}^2 \cdot R_{sd(on)_1} + 4 \cdot I_{rms_2'}^2 \cdot R_{sd(on)_2} \quad (4)$$

式中: U_{ds} 为开关管两端的电压; I_d 为流过开关管的电流; t_{on} 为开通时间; t_{off} 为关断时间; f_{sw} 为开关频率; I_{rms_1} , I_{rms_2} 分别为流过原、副边开关管的平均电流; $R_{ds(on)_1}$, $R_{ds(on)_2}$, $R_{sd(on)_1}$, $R_{sd(on)_2}$ 分别为原、副边开关管和续流二极管的通态电阻。

2.2 BWPT 系统开关特性分析

在 2.1 节对变换器损耗的分析的表达式中, 开关损耗会受开启和关断的速度影响, 而开启和关断速度又主要由门级开启电阻 $R_{g(on)}$ 和关断电阻 $R_{g(off)}$ 影响, 实际中, 开关速度并不是越快越好, SiCMOSFET 的开关性能亦会受自身的寄生参数如输入电容 C_{iss} 和输出电容 C_{oss} 及 PCB 中的寄生参数加上器件内部的杂散参数, 如共源电感 L_s 、总漏极电感 L_d 、栅极回路的自感 L_g 等影响^[5]。图 3 为典型的 SiC MOSFET 等效驱动开关模型图。

图 3 中, 虚线框内为 SiC MOSFET 内部等效模型, 其中 $C_{iss}=C_{gd}+C_{gs}$, $C_{oss}=C_{ds}$, 由器件本身决定。虚线框外则为驱动外围器件与 PCB 寄生参数。

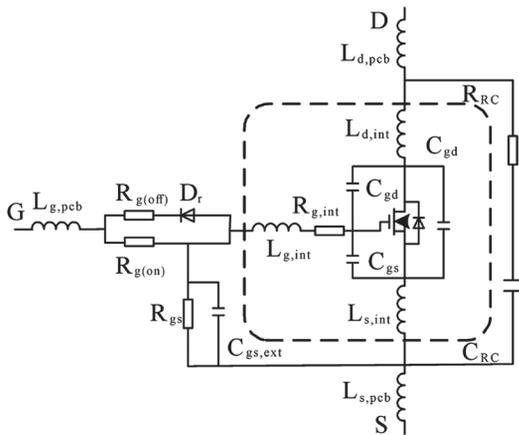


图3 SiC MOSFET 驱动等效模型

在器件开启或关闭时，在寄生电感、寄生电路的相互作用下，形成振荡回路，取 BWPT 系统中的 S_1 、 S_2 为一组半桥，设 L_{total} 为功率回路的寄生电感之和， C_{total} 为功率回路等效并联电容之和， R_{total} 为功率回路寄生电阻之和，可以简化成一个典型 RLC 谐振电路，其振荡角频率为

$$\omega_0' \approx \frac{1}{\sqrt{L_{total} C_{total}}} \quad (5)$$

阻尼率为

$$\zeta = \frac{R_{total}}{2\sqrt{\frac{L_{total}}{C_{total}}}} \quad (6)$$

系统的临界阻尼位于：

$$R_{total} = 2\sqrt{\frac{L_{total}}{C_{total}}} \quad (7)$$

在 BWPT 系统 85kHz 的开关频率下， di/dt 和 du/dt 非常大，巨大的变化率会使寄生电感和寄生电容产生巨大的电压过冲和电流过冲，电压变化率通过已关断开关管的米勒电容 C_{gd} 串入驱动回路，产生漏电流 i_{gd} 并流入 R_g 和 C_{gs} ，如此泄放产生栅极感应电压，形成串扰问题，并影响器件开关，在硬开关时，这种现象更会加剧，具体表现为某开关管开关状态发生改变时，在互补开关管的栅源级产生正负电压尖峰。

对于 SiC MOSFET 而言，其负电压耐受能力

要远低于 Si 器件，如 Wolfspeed 公司的第三代 SiCMOSFET 产品，其关断电压最小值为 $-8V$ ，若驱动采用负压关断，则极易出现因负尖峰超过阈值而导致器件损坏，而正尖峰则可能导致器件二次开通，造成额外的开关损耗及潜在的上下桥臂直通风险。实际中，这些参数均与驱动电路存在关联，因此，驱动电路在 SiC MOSFET 的应用中显得尤为重要。

2.3 SiC MOSFET 开关性能的改善

对于 2.2 节所述问题的分析可知，通过增大门级电阻，在栅源级并联一个额外的电容 $C_{gs,ext}$ ，在漏源加入 RC 缓冲电路均有助于降低串扰，提升驱动电路的可靠性，降低振荡带来的损耗，但这也带来额外的无源损耗及开关损耗，PCB 的优化可以降低回路寄生电感，进而直接降低振荡，在功率模块附近增加一个直流解耦电容 C_{Dec} 也可以减少寄生电感的影响，参照文献^[6]，在功率模块附近并接一个 $0.94\mu F$ 的轴向高频无感电容以改善开关性能。对于使用有源串扰抑制，则需要增加更多的器件，使电路和控制变得复杂。若将这些因素全部考虑，进行量化的最优化分析较为困难。故在下一章节的实验中，将研究不同的门级电阻参数、电容 $C_{gs,ext}$ 的参数、RC 缓冲电路的参数及直流解耦电容 C_{Dec} 对双向无线充电系统在满载和半载两种状态下传输效率及串扰电压的对比。

3 仿真及实验

3.1 实验平台的搭建与主电路参数的设定

搭建了一套以 TMS320F28335 DSP 芯片及 EPM1270T144I5N CPLD 芯片为控制核心的 BWPT 系统样机，其设计指标为： $P_{max}=11kW$ ， $U_1=U_2=0\sim 500V$ ， $L_1=250.3\mu H$ ， $L_2=252.2\mu H$ ， $M=62.74\mu H$ ， $L_{f1}=L_{f2}=28.58\mu H$ ， $C_{f1}=C_{f2}=123.6nF$ ， $C_1=C_2=16.32nF$ ， $C_3=C_4=410\mu F$ ， $f=85kHz$ 。功率管选用 Wolfspeed CCB021M12FM3，其主要参数为： $V_{ds,max}=1200V$ ， $I_d=51A$ ， $R_{ds}=21m\Omega$ ，推荐开启电压 $V_{gs(on)}=15V$ ，最大为 $19V$ ，关断电压 $V_{gs(off)}=$

-4V，最小为 -8V。驱动芯片采用 Broadcom 公司的 ACPL-31JT 商用芯片，它是一个输出电流 2.5A，最大开关速度 250ns 的汽车级隔离性门级驱动器，具备 1.9A 的主动米勒钳位，退饱和和检测，故障保护等功能，此外，在主功率板的设计部分还通过 ANSYS Q3D 软件提取了寄生参数，并在制板前，通过对器件的布局优化，走线的优化，铜皮差分铺设优化等方式进一步降低寄生参数，并最终完成主功率板的制板。主功率板的寄生参数 $L_{d,pcb}=31.65nH$ ， $L_{g,pcb}=46.48nH$ ， $L_{s,pcb}=9.93nH$ 。搭建完成的实验平台样机如图 4 所示。

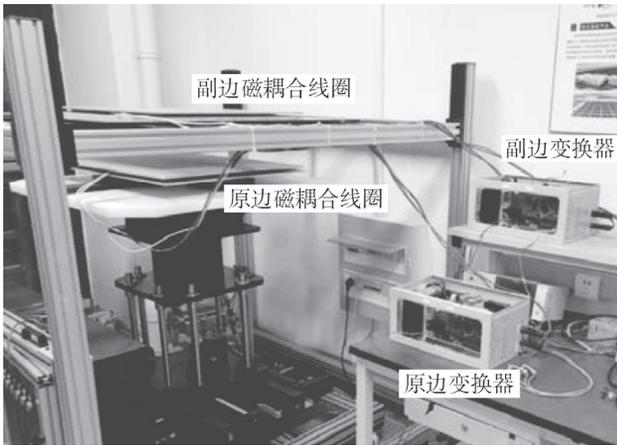


图 4 BWPT 系统实验平台样机

3.2 串扰特性的仿真实验

在 2.2 节中分析了串扰问题，为验证在 BWPT 系统中的串扰特性，本节搭建了双向无线充电 LTspice

仿真模型，忽略 PCB 寄生参数，温度参数不变。选取 $U_1=U_2=300V$ ， $V_{gs(on)}=15V$ ， $V_{gs(off)}=-4V$ ， $R_{g(on)}=2.7\Omega$ ， $R_{g(off)}=2.7\Omega$ 。满功率仿真结果如图 5 所示。

从仿真中可以看出，上管关断时， V_{gs1} 的波形串扰较为严重，而串扰电压峰值是威胁 BWPT 系统变换器可靠性的关键，故在实验中，通过观察原边的 S_1 开关管及副边的 Q_1 开关管的电压波形正负峰值来作为可靠性分析的依据。

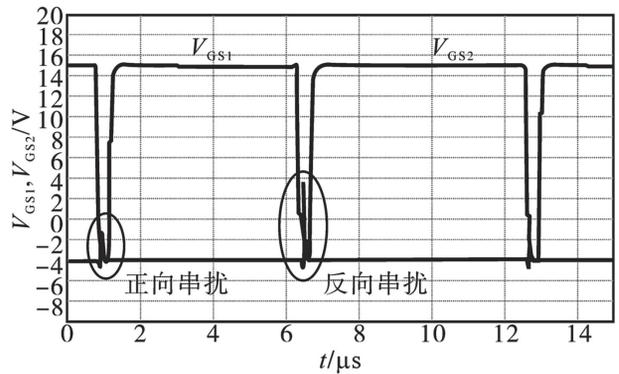


图 5 串扰波形仿真示意图

3.3 改变门级电阻 $R_{g(on)}$ 和 $R_{g(off)}$ 参数的实验

在本节，选取三种不同的门级电阻参数，运用于所有开关管，为确保变参数实验的安全性，选取 $U_1=U_2=100V$ ，此时满功率点功率为 1.1kW，半功率点功率为 550W。其余参数 $V_{gs(on)}=15V$ ， $V_{gs(off)}=-4V$ ， $C_{gs,ext}=3.3nF$ ， $R_{RC}=9.4\Omega$ ， $C_{RC}=1nF$ ， $C_{Dec}=1\mu F$ ，死区时间 100ns。实验结果如表 1 所示。

表 1 改变门级电阻实验结果

门级电阻取值	功率点	S_1 正峰值 /V	S_1 负峰值 /V	Q_1 正峰值 /V	Q_1 负峰值 /V	传输效率 /%
$R_{g(on)}=2.7\Omega$ ， $R_{g(off)}=1.0\Omega$	满功率	-0.3	-6.7	2.2	-6.8	92.7
	半功率	4.4	-7.9	-1.2	-7.0	90.9
$R_{g(on)}=5.1\Omega$ ， $R_{g(off)}=2.7\Omega$	满功率	-0.6	-4.3	1.5	-6.4	94.0
	半功率	2.3	-6.4	-1.5	-6.6	91.8
$R_{g(on)}=10.0\Omega$ ， $R_{g(off)}=5.1\Omega$	满功率	-0.7	-3.2	-0.6	-5.2	93.2
	半功率	1.6	-5.0	-1.8	-4.8	91.6

由实验数据可得,随着门级电阻的增大,串扰电压峰值呈减小趋势,传输效率在 $R_{g(on)}=5.1\Omega$, $R_{g(off)}=2.7\Omega$ 时取得最大。选取半功率点处的两组数据,对比波形如图6所示。

图6a中,较大的门级波形振荡及串扰正峰值是造成额外损耗的原因,而图6b中门级波形振荡显著改善,但也因更慢的开关速度,较最大效率点丢失了一些效率,符合先前的推论。

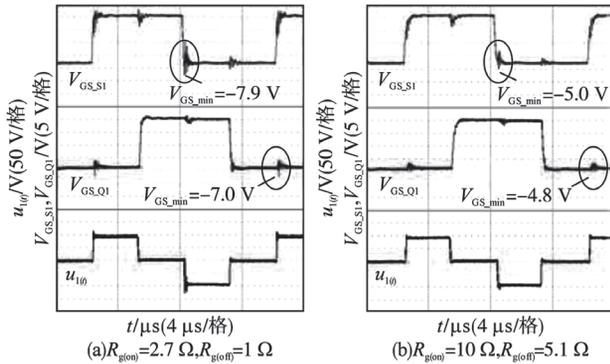


图6 改变门级电阻对比实验图

3.4 改变并联电容 $C_{gs,ext}$ 参数的实验

在本小节,选取三种不同的 $C_{gs,ext}$ 参数,运用于所有开关管,因上一节实验中 $R_{g(on)}=10\Omega$, $R_{g(off)}=5.1\Omega$ 时降低的串扰幅度较大,而丢失的损耗较小,故选取这组门级电阻参数进行本节实验,其余参数保持不变。实验结果如表2所示。

由实验数据可得,在栅源级并联一个电容 $C_{gs,ext}$ 可以有效地吸收串扰正负峰值,对正峰值的吸收效果

表2 改变并联电容 $C_{gs,ext}$ 实验结果

$C_{gs,ext}$ 取值	功率点	S_1 正峰值 /V	S_1 负峰值 /V	S_2 正峰值 /V	S_2 负峰值 /V	传输效率 /%
$C_{gs,ext}=0.0nF$	满功率	0.6	-3.8	2.7	-6.8	93.7
	半功率	3.6	-4.4	0.4	-4.6	92.0
$C_{gs,ext}=1.0nF$	满功率	-0.5	-3.6	1.0	-6.1	93.4
	半功率	2.5	-4.6	-0.6	-5.2	91.8
$C_{gs,ext}=4.4nF$	满功率	-0.8	-3.2	-0.5	-5.6	93.0
	半功率	1.6	-5.0	-1.7	-5.0	91.6

更显著,且对传输效率的影响较小,但若并联的电容选取过大,则会影响 C_{iss} 值,使串扰负峰值不降反增。选取半功率点处的两组数据,对比波形如图7所示。

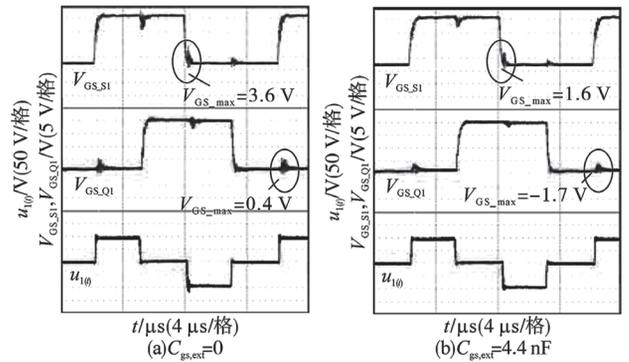


图7 改变并联电容 $C_{gs,ext}$ 对比实验图

3.5 改变 RC 缓冲电路参数的实验

在本节,选取三种不同的RC缓冲电路参数,运用于所有开关管,选取 $C_{gs,ext}=3.3nF$,其余参数保持不变。实验结果如表3所示。

表3 改变 RC 缓冲电路实验结果

RC 缓冲电路取值	功率点	S_1 正峰值 /V	S_1 负峰值 /V	S_2 正峰值 /V	S_2 负峰值 /V	传输效率 /%
无 RC 缓冲电路	满功率	0.1	-3.4	0.3	-5.1	94.2
	半功率	2.4	-5.4	-0.5	-6.2	91.4
$R_{Rc}=9.4\Omega$, $C_{Rc}=0.33nF$	满功率	-0.5	-3.4	-0.4	-5.6	94.1
	半功率	1.9	-5.1	-1.1	-5.3	92.0
$R_{Rc}=9.4\Omega$, $C_{Rc}=2.00nF$	满功率	-0.7	-3.5	-0.7	-5.0	92.7
	半功率	1.5	-5.0	-1.6	-4.6	90.5

由实验数据可得，在漏源级加入 RC 缓冲电路可以一定程度上降低串扰电压的正负峰值，在开关管换相点处尤为显著，但随着 RC 缓冲电路电容取值的加大，吸收效果得到的改善效果有限，且对传输效率有一定影响，选取半功率点处的两组数据，对比波形如图 8 所示。

3.6 改变母线去耦电容 C_{Dec} 参数的实验

在本节，选取三种不同的直流母线去耦电容 C_{Dec} 参数，选取 $R_{RC}=9.4\Omega$ ， $C_{RC}=1nF$ ，其余参数保持不变。实验结果如表 4 所示。

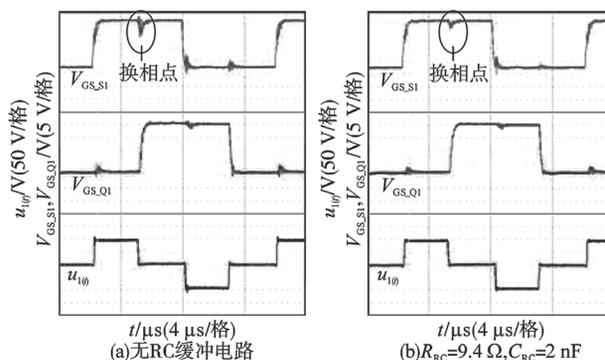


图 8 改变 RC 缓冲电路对比实验图

表 4 改变并联电容 C_{Dec} 实验结果

C_{Dec} 取值	功率点	S_1 正峰值 /V	S_1 负峰值 /V	S_2 正峰值 /V	S_2 负峰值 /V	传输效率 /%
$C_{Dec}=0.00\mu F$	满功率	-1.6	-4.8	-0.4	-6.6	92.8
	半功率	1.4	6.2	-1.4	5.8	91.2
$C_{Dec}=0.47\mu F$	满功率	-1.7	-4.8	-0.5	-6.2	92.7
	半功率	1.3	-6.0	-1.6	-6.0	91.0
$C_{Dec}=0.94\mu F$	满功率	-2.0	-4.8	-1.3	-5.2	93.1
	半功率	1.1	-5.8	-2.4	-5.6	91.2

由实验数据可得，在功率模块附近增加一个直流解耦电容 C_{Dec} 可以一定程度上降低串扰电压的振幅，在开关换相点较为显著，因解耦电容直接作用于寄生参数，实验结果也表明其对传输效率基本没有影响，实验中产生的偏差可以认为是误差所致。选取半功率点处的两组数据，对比波形如图 9 所示。

4 结论

本文针对双向无线充电系统中变换器侧损耗进行了简要的分析，并结合 SiC MOSFET 的特性，对影响其开关性能的因素进行了论述及仿真验证。最后搭建了一台双向无线充电系统样机，对样机进行变参数对比实验，得到了这些参数对双向无线充电系统满功率点和半功率点下的效率及门级驱动波形串扰的影响趋势，这对无线充电系统中 SiC MOSFET 的效率优化及开关性能的改善具有一定指导意义。

来源：《电气传动》

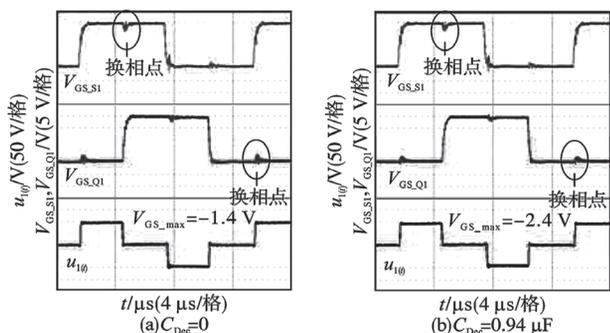


图 9 改变并联电容 C_{Dec} 对比实验图

空间控制技术发展展望

文 / 袁利 姜甜甜 魏春岭 杨孟飞

摘要：控制是航天器在空间环境下自主完成复杂任务的关键技术。首先梳理了中国空间控制技术过去 50 多年来的发展成果，总结划分为航天器姿态控制、姿态轨道控制、“感知-决策-执行”自主控制三个方面，并在综述了各方面主要进展的基础上，围绕超大结构航天器姿态轨道控制、轨道空间博弈控制、网络化航天器集群控制、地外探测智能无人系统控制、跨域航天器自主控制、在轨建造与维护控制 6 个技术方向，提出面临的挑战和需要重点关注的基础性问题，为空间控制技术未来的发展提供借鉴和参考。

关键词：空间控制技术，姿态控制，姿态轨道控制，“感知-决策-执行”自主控制，超大结构航天器，轨道空间博弈，网络化航天器集群，地外探测，跨域航天器，在轨建造与维护

我国自 1970 年 4 月 24 日第一颗人造地球卫星东方红一号成功入轨以来，形成了遥感、通信广播、气象、科学探测与技术实验、地球资源和导航定位等 6 大卫星系列^[1]，实现了空间技术从近地卫星到载人航天、深空探测的跨越式发展。航天活动深刻改变了人类对宇宙的认知，成为促进国民经济发展、提升国家综合实力、推动人类社会进步的强大力量。空间控制技术是空间技术的一个关键组成部分，是完成各类复杂航天活动、服务空间应用和空间科学、拓展宇宙探索边界的使能技术，涉及近地卫星、载人航天器（载人飞船、空间站等）、深空探测器等各类航天器在执行飞行或探测任务过程中的姿

态与轨道控制、在轨及地外星表的操作控制等，其技术水平很大程度上决定了航天器的能力和水平，是各国争相发展的重要技术领域。空间控制同时作为自动控制的重要组成部分，为推动自动控制领域的理论发展和技术进步提供了重要动力。

过去半个多世纪以来，随着航天任务的持续推进和自动化、人工智能等领域科学技术的发展，中国空间控制技术不断取得突破与创新，有效支撑了我国 450 多颗人造地球卫星的入轨及在轨飞行、9 次载人飞行、空间站建设、6 次月球探测以及首次火星探测等任务的成功实施。

本文首先梳理了我国空间控制技术的发展成果，将其划分为

航天器姿态控制、姿态轨道控制和“感知-决策-执行”自主控制三个方面，并分别介绍了各个方面的主要进展情况；在此基础上，围绕我国正在和即将部署实施的重大工程，并结合世界航天的前沿动向，面向空间智能自主控制技术的发展需求，探讨提出了未来需要重点关注的技术方向和基础性问题，为未来空间控制的基础研究和技术发展提供借鉴和参考。

1 空间控制技术的主要进展

我国空间控制技术的发展，与航天活动由近及远、由单一到多样、由简单到复杂的发展过程相辅相成，呈现出从卫星姿态与轨道控制、到载人航天交会与返

回控制、再到深空探测自主控制的发展过程。在不断发展的空间任务需求牵引下，空间控制技术的内涵不断丰富，从最基本的航天器姿态控制，逐步发展为复杂度更高的六自由度姿态轨道控制，以及功能更加综合、自主性更强的“感知-决策-执行”闭环控制，控制系统的功能不断拓展，精稳敏捷性能、对环境不确定性的适应能力、自主应对复杂任务的能力不断提升。本节围绕航天器姿态控制、姿态轨道控制、“感知-决策-执行”自主控制三个方面（其包含关系韦恩图如图 1 所示），介绍我国空间控制技术的主要进展，重点关注在轨应用的相关技术。

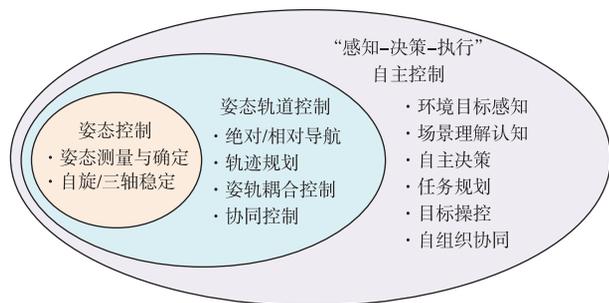


图 1 空间控制技术三个方面包含关系韦恩图

1.1 航天器姿态控制

航天器姿态控制用来保持或改变航天器的运行姿态，是完成在轨既定任务的基本前提。例如，通信卫星的天线指向地球上的某一区域、侦察卫星的载荷相机镜头对准地面、遥感卫星的动中成像任务等。目前，我国累计入轨的人造地球卫星已超过 450 颗，覆盖了遥感、通信、气象、资源、导航、科学等主要领域，遥感卫星载荷的空间分辨率达到亚米级，且具备 1:10000 大比例尺地理测绘的能力，为国民经济发展和国防建设做出了突出贡献。

为适应不断发展的空间应用和空间科学对高品质姿态控制的需求，卫星姿态控制经历了从早期的自旋稳定到三轴稳定的发展过程，控制系统的指向精度、稳定性和机动性能不断提升：卫星姿态确定精度由提升到角秒级量级，三轴姿态稳定度优于 $4 \times 10^{-$

$5^\circ /s$ ，对地指向精度优于 0.003° ，姿态机动能力优于 $10^\circ /s$ 。部分指标优于日本 ALOS (Advanced land observation satellite)、美国 WorldView-4 等先进遥感卫星（其中，ALOS 卫星的指向精度 0.0075° ，姿态稳定度 $2.0 \times 10^{-5} /5s^{[2]}$ ，机动能力 $60^\circ /159s^{[3]}$ ；WorldView-4 卫星的指向精度 0.0046° ，姿态稳定度 $2.8 \times 10^{-6} /s$ ，机动能力 $56^\circ /25 s^{[4]}$ ），达世界先进水平。与此同时，载荷及整星的复杂度不断提升，航天器结构由中心刚体向带有大型太阳帆板、数据传输天线等挠性附件的“中心刚体 + 挠性附件”结构、以及大柔性组合体发展，呈现出大型化、低刚度和挠性化的特点和趋势。

1.1.1 航天器自旋稳定姿态控制

我国首颗人造地球卫星东方红一号采用了单自旋稳定的开环控制方式^[1]，自旋转速为 120 r/min。通过旋转产生动量矩使得自旋轴在惯性空间具有定轴性，这种方式简单可靠，成为早期绝大多数航天器采用的姿态稳定控制方式。在此基础上，东方红二号试验通信卫星及实用通信广播卫星、风云二号气象卫星等均采用了双轴自旋稳定控制^[5-8]，实现了卫星本体自旋稳定和天线机械消旋对地定向稳定控制。其中，天线消旋系统根据星体自旋周期内姿态敏感器的测量信号，驱动载荷平台产生与卫星本体自旋方向相反、大小相等的相对运动。从卫星入轨的星体起旋、主动章动控制、姿态机动、星体转速调整到地球同步轨道的定点捕获和天线消旋对地定向等任务，风云二号气象卫星采用了主动章动控制、姿态-章动联合控制、消旋控制及动平衡调整等技术，最终实现了同步轨道工作运行时星体 98 r/min 的额定转速维持与天线的对地指向精度要求^[8]。双自旋稳定控制技术在保证了星体自旋稳定的同时，又满足了对地通信要求，但自旋或双自旋卫星结构形式（大都为短粗体）制约了卫星有效载荷比和整星能源供给，其在轨运行方式也制约了姿态确定精度和控制性能，特别是自旋角动量与频繁快速的姿态调整需求无法相适应，

故在应用卫星领域自旋稳定控制技术逐渐被三轴稳定控制技术所取代。

1.1.2 航天器精稳敏捷姿态控制

到了上世纪 80 年代末, 随着载荷精度要求的提高, 以及传感器、执行机构、星载计算机等技术的发展, 卫星姿态控制逐渐转向三轴稳定控制 (此前 1975 年发射的我国首颗返回式卫星已验证了三轴喷气对地稳定控制技术), 包括风云一号气象卫星的零动量 / 偏置动量三轴姿态稳定控制^[9]、东方红四号卫星的 V+L 型轮控稳定控制等。进入 21 世纪以来, 航天器的功能和性能要求不断提升, 姿态控制系统的测量精度、控制精度和姿态稳定度的要求不断提升; 而且, 航天器通常需要携带大面积太阳帆板、单 / 多自由度转动的数据传输天线等挠性运动部件。这些大型挠性附件的振动, 以及推力器喷气、太阳帆板驱动机构等大惯量部件扰动, 成为制约航天器姿态控制性能提升的主要因素。

围绕高精度姿态测量的需求, 我国星载传感器 (如: 惯性测量单元、星传感器等) 的精度性能相比研制初期实现了 1~2 个数量级的跨代提升, 其中星传感器的测量精度从几十角秒提升到亚角秒量级。与此同时, 为消除高精度传感器的安装及地面标校误差,

除了采用与载荷共基准的结构设计外, 还发展出基于敏感器在轨测量数据的基准标校方法^[10], 可实现星传感器基准的标校残差小于 0.2''; 提出的两层滤波算法^[11]可同时同时对卫星姿态、陀螺安装偏差、刻度因子误差等进行准确估计。此外, 我国高精度立体测绘卫星中还引入了载荷与星传感器 / 星相机的相对基准测量系统, 实现了对载荷在轨结构变形所引起基准变化的有效测量与补偿。

复杂挠性航天器的高精高稳姿态控制方面, 自抗扰控制 (Active disturbance rejection control, ADRC)^[12-13]、基于干扰观测器的精细抗干扰控制^[14-15]等方法, 为挠性振动、大惯量部件运动等产生的复杂多源干扰的估计和有效抑制提供了有益的解决思路^[16-18]。例如, 文献 [16] 讨论了帆板驱动影响下的卫星姿态高精高稳控制问题, 采用自抗扰控制器估计补偿由帆板驱动和系统不确定性引起的干扰, 并设计步进电机自适应电流补偿驱动器克服驱动机构摩擦力矩和谐波力矩的影响, 实现了对复杂扰动的有效抑制。此外, 面向在轨应用的实际工程任务要求, 发展出了一系列高精高稳姿态控制方法。针对喷气、部件运动等产生的快时变强扰动, 提出了基于零空间自适应规划的姿态与动量自主协同控制方法^[19], 实现了角动量卸

载、动量轮组构型切换、东西位置保持等情况下的高精度姿态控制和观测业务的连续运行, 卫星指向精度由 0.03° 提升到 0.003°, 稳定度优于 $5 \times 10^{-4} / \text{s}$ ^[20]。对于一类带有以固定周期旋转大型载荷的扰动抑制问题, 文献 [21] 设计了一种干扰力矩参数未知情况下的闭环稳定自适应控制算法; 针对带有多自由度运动数据传输天线的高精度指向控制问题, 发展出了兼顾天线指向与星体 $5 \times 10^{-5} / \text{s}$ (3σ) 姿态指向的复合控制方法, 利用所提出的基于模型参数开环与估计闭环的双层补偿控制策略, 大幅提升了对星体姿态扰动的抑制效果, 实现了卫星姿态长期稳定度优于^[22]。为保证天线指向运动全过程角速度的平滑性, 基于预测 - 校正思想提出了具有全局平滑性的指向控制方法^[23-24], 解决了天线起始末端角速度非零的运动控制问题。针对传统太阳帆板步进电机驱动的步进不平稳性造成的扰振问题, 还提出了基于永磁同步电机直接驱动的高刚度高稳定度主动控制方案, 实现了较高的相位裕度及高稳定性, 显著改善了动态性能^[25]随着姿态控制精度、稳定性和机动能力等指标不断提高, 传统卫星平台单级控制回路设计在解决宽频多点多源扰动耦合问题时面临瓶颈。例如, 詹姆斯韦伯太空望远镜 (James Webb

space telescope, JWST) 的指向精度达 $0.3''\sim 0.45''$ 短期姿态稳定度达 $6.2\sim 6.7\text{ mas}$ ^[26], 机动能力 $90^\circ/900\text{ s}$. 星上高速旋转执行机构颤振、帆板/天线驱动机构挠性振动、大挠性载荷在姿态机动过程中的振动等扰动频率范围 $0\sim 300\text{ Hz}$, 且扰动会在卫星平台与载荷结构传播路径上形成复杂时变的叠加和混合; 传统单级控制回路设计将航天器整体作为被控对象, 控制直接作用于各类复杂挠性模态的航天器本体上。受敏感器/执行机构时延及帆板挠性模态的影响, 控制器设计往往无法兼顾高带宽和高稳定裕度, 难以同时满足大范围机动和高稳定度指向的要求。对此, 在前期众多航天器振动控制研究(如, 文献[27-29])的基础上, 发展出航天器多级协同稳定/复合控制方法(如, 文献[30]), 核心是通过在载荷与平台间引入二级控制将姿态控制系统扩维, 提升系统内部扰动的可控可观性, 进而消除复杂干扰的影响, 实现姿态控制系统性能的数量级提升。我国基于磁悬浮技术的双超平台卫星(羲和号太阳观测卫星)^[30]、基于主动指向超静技术的三超平台卫星(北京三号敏捷遥感卫星)等均采用了上述多级协同复合控制技术, 并形成了包括基于空间解耦的单输入单输出线性控制^[31-33]、磁浮平台的主从协同及干

扰补偿^[34-35]、基于主动指向超静平台的隔振与指向综合控制^[36-37]等一系列方法。针对敏捷机动与精稳性能相互制约的问题, 提出了多级协同规划与敏捷机动控制、自适应刚度变阻尼全频段扰动抑制, 解决了机动诱发指向波动、机动中刚度阻尼自主适配等难题, 并在北京三号卫星上进行了在轨验证, 实现了高动态反向推扫等复杂敏捷机动中成像, 创造了单次成像最高幅宽等多项纪录, 已在高分辨率遥感、天文观测等领域展开应用。

对于具备快速、灵活目标探测能力的敏捷航天器(Agile spacecraft)^[38], 需要在较短时间内实现姿态大角度快速机动, 要求其执行机构具备大力矩输出、大角动量和快速响应等特点。以控制力矩陀螺(Control moment gyroscope, CMG)为代表的执行机构逐渐取代了动量轮, 在敏捷航天器中得到广泛应用(常以 $4\sim 6$ 台 CMG 组合的方式提供三轴力矩输出)。CMG 固有的内部摩擦、高频扰动特性等非线性不确定性会直接影响输出力矩的精度, 而且在某些低速框架角组合下还会陷入奇异状态, 导致 CMG 群不再具有三轴力矩输出能力, 进而引发姿态失稳、转速过快情况下的 CMG 失效等风险^[39]。因此, 需要解决 CMG 操纵律设计、奇异规避等问题。文献[40]通

过将 CMG 群安装角作为控制变量, 设计了可变构型的控制力矩陀螺操纵方法; 文献[41-43]提出了动态螺旋搜索矢量调节、奇异规避动态分配等方法, 实现了 CMG 框架角速度去饱和的快速奇异规避, 在轨取得较好的应用效果。除此之外, 围绕姿态机动范围大、稳定时间短等约束下的机动轨迹规划问题, 已发展出最短路径^[44]、型路径^[45]、多项式路径^[46]等多种形式, 其核心是如何在敏感器和执行机构受限条件下, 有效减少姿态快速机动过程中挠性附件产生的振动影响。针对机动过程的高精度高稳定度控制问题, 除处理姿态动力学和运动学强耦合非线性外, 基于递阶饱和控制器^[47], 消除了积分项在姿态误差较大时带来的不利影响; 通过在滑模控制器的前后端引入滤波器^[48], 有效降低了系统抖振; 针对姿态的动态调整需求, 利用冲量等效原理提升了姿态机动过程的稳定度^[49]。

1.1.3 大型组合体航天器姿态控制

以空间站为代表的大型组合体, 其大质量(百吨级)、大惯量、大环境干扰、低频挠性的特点, 以及需要综合调度多个舱段的执行机构实现组合体控制的方式给姿态控制带来了新的挑战^[50-51]。我国“T 字形”三舱组合体构型的空间站建设过程中, 强自适

应变构型柔性组合体控制等技术有利支撑了多达 50 余种构型变化下的空间站在轨安全运行。我国空间站的特殊结构使其惯量高出常规航天器 4~5 个数量级, 环境干扰力矩达到 $0.1\sim 1\text{N}\cdot\text{m}$ 量级, 普通航天器采用的喷气或磁力矩器的角动量卸载方式难以适用。对此, 发展出了空间站大环境干扰下的系统姿态/角动量一体化控制方法^[52-55], 基本原理是采用内模原理辨识空间环境力矩, 且在利用重力梯度力矩进行角动量卸载的同时, 将姿态控制在标称姿态附近。文献[52]提出了力矩平衡姿态控制方法, 实现了单舱入轨后惯性系下的姿态/角动量一体化控制; 文献[53]则给出了轨道系内的姿态控制与角动量管理控制方法。此外, 机械臂进行在轨舱段组装时, 组合体的基频低至 0.01Hz 量级, 对此, 提出了基于高阶结构滤波器的极低频超大型组合体控制设计方法, 实现了机械臂在轨组装或空间站转位过程中的稳定控制^[55]。

另外, 空间碎片清除、燃料补加、在轨维修等任务中, 服务航天器与目标航天器完成捕获连接后构成的组合体的稳定控制问题, 也受到学术界的广泛关注(例如, 文献[56-61])。针对捕获后组合体航天器的质量特性、推力器构型突变等问题, 发展出了改进的状态依赖 Riccati

方程(State-dependent Riccati equation, SDRE)最优控制^[57]、基于自适应动态逆控制的姿态接管控制^[58]、基于超螺旋干扰观测器的有限时间姿态控制^[59]等方法, 可实现目标动力学大范围不确定情况下组合体航天器的姿态稳定控制。文献[60]研究了捕获过程中碰撞扰动对组合体姿态的影响, 提出了基于反作用轮重构的双积分滑模控制方法, 通过控制反作用轮来吸收撞击产生的角动量, 进而实现组合航天器的稳定控制。目前, 组合体航天器姿态稳定控制技术尚处于理论探索和地面实验研究阶段, 在轨实际应用还非常初步。

1.1.4 航天器稳健控制

除了高精度高稳定度、高敏捷机动控制外, 航天器在轨长期、连续、稳定运行对控制系统提出了强鲁棒/稳健控制要求, 需要系统具备故障诊断以及欠配置控制能力(也即: 当执行机构出现故障、系统处于欠配置状态时, 系统仍具备一定的控制能力)^[62, 39]。欠驱动控制是欠配置控制的重要方向, 在欠驱动航天器的可控性与可镇定性分析、欠驱动航天器的姿态控制等方面均开展了相关研究。文献[63]考虑单轴、双轴独立喷气控制的情况, 给出了航天器完整姿态动力学方程全局可控的充要条件; 文献[64]则探讨了欠驱动航天器的可镇定

性问题, 指出: 对于只有两个控制输入的刚体航天器, 由于不满足 Brockett 必要条件, 其动力学方程不能由连续状态回馈渐近镇定。针对欠驱动航天器的喷气控制, 实现了基于滑模控制的速率阻尼^[65], 以及基于“喷气消旋+飞轮机动”分段控制^[66]的姿态稳定。针对欠驱动航天器的角动量交换装置控制, 基于 (ω, z) 参数描述的航天器姿态, 实现了仅带两个反作用轮的全局、渐近自旋稳定控制^[67], 基于多变量优化的思想

构造的 3 台单框架 CMG 欠配置操纵律, 已成功在轨应用^[68], 这是世界上首次仅使用 3 台 CMG 完成的姿态机动控制。除此之外, 提出的 2 台 CMG 与磁力矩器的深度欠配置控制方法^[69], 可进一步提升欠驱动航天器的控制能力。

1.2 航天器姿态轨道控制

区别于仅关注绕质心转动的姿态控制, 航天器姿态轨道控制是同时调整质心位置/速度和绕质心旋转角度/角速度的六自由度运动控制, 还涉及用于生成满足任务要求的航天器飞行轨迹的制导律。航天器再入返回、空间交会对接、多航天器编队飞行、以及在轨维护与操作等任务都会涉及航天器姿态轨道耦合控制。例如, 航天器再入返回飞行需要同时满足动压、过载、热流等过程约束

和着陆点精度等的终端状态约束,以保证进入过程航天器结构和防热安全,实现预定区域内的安全精准着陆。为此,除需要事先进行轨道设计和实际飞行中通过轨道控制保证外,大气飞行中还需要在线调整航天器的倾侧角或者联合调整倾侧角和攻角,控制航天器落点并满足过程中动压、过载、热流等约束^[70]。又如,追踪航天器与目标航天器的交会对接/安全接近与捕获、多航天器的编队飞行等任务都涉及航天器之间的相对运动控制,要求服务星与目标星/多个航天器之间的相对位置和姿态同时满足指定的约束和性能指标。因此,需要解决满足过程、终端、执行能力等复杂约束的制导律设计,以及不确定非线性系统的姿态轨道耦合高精度控制等关键问题。

在此过程中,上世纪80年代孕育发展出的特征建模理论^[71-72],其抓住系统的本质要素建立低阶等效特征模型、进而简化复杂高阶对象控制器设计的思想,为处理复杂高阶不确定非线性系统的控制问题提供了有效手段。基于该理论框架发展出的全系数自适应控制^[73-74]、黄金分割相平面自适应控制^[75-76]等方法,成功应用于飞船和月球轨道返回再入、交会对接等重大任务,对控制理论的发展做出了重要贡献。

1.2.1 再入返回自适应制导控制

我国连续成功实践了神舟系列载人飞船的近地轨道返回再入控制任务,和嫦娥五号再入返回飞行试验器(CE-5T1)、嫦娥五号探测器返回器的月地转移轨道再入返回控制任务,实现了以第一宇宙速度和第二宇宙速度再入返回^[77],突破了跳跃式再入返回控制技术^[78],并且完成了从标准弹道自适应制导方法到自适应预测制导方法的更新换代。2014年以来,自适应预测制导方法先后高精度完成了CE-5T1、嫦娥五号探测器返回器以接近第二宇宙速度的跳跃式再入返回,新一代载人飞船试验船8000 km大椭圆轨道的高速再入返回^[79],以及空间站建设阶段神舟十二号~十四号载人飞船安全再入返回等重大工程任务,开伞点控制精度达到世界领先水平。

再入返回制导控制的难点突出表现在如何应对气动参数的不确定性、飞行器质量特性偏差以及大气密度的较大扰动下的精确能量阻尼,从而满足终端控制精度以及过程中过载、热流等约束。对此,国内外学者在再入飞行的参数辨识、制导回路的自适应调节、轨迹在线快速规划等方面均提出了新的解决思路,以提升轨迹规划和跟踪控制方法的适应性和鲁棒性。

预测校正制导方法不依赖标称轨迹,而是根据终端状态误差获得制导指令的校正量,并结合动压、过载等过程约束和倾侧角、攻角的执行能力约束优化求解得到实际的制导指令,可实现对飞行轨迹在一个较大范围内的调整^[70, 80],相比跟踪标称轨迹制导方法具有更强的自适应性和鲁棒性,受到广泛关注。例如,文献[81]探讨了小升阻比航天器进入制导中倾侧角剖面的参数化方式;学者们还从提升算法效率、引入对参数不确定性的辨识来提升预测精度等不同角度,发展出轨迹规划与闭环制导相结合的数值预测校正^[82]、基于高斯伪谱方法的最优预测校正制导^[83]、基于嵌套式积分算法的航程快速预报^[84]、伪四自由度的预测校正制导^[85]等多种方法。但算法本身的收敛性和可靠性成为了限制其在工程上应用的重要因素。

此外,基于特征建模与自适应控制的理论框架,围绕“预测误差与制导增量之间的比值”这一核心要素,发展出了基于一阶特征模型的自适应预测校正制导方法^[74, 86-87]。其核心是引入预测误差与制导增量的比值作为控制增益,通过建立控制增益(输入)和预测误差(输出)之间的一阶特征模型,并结合增量式制导方式,将制导问题转化为控制问题;同时关注到控制增益随制导过程

时间大范围变化的时变特性,通过引入基于升阻比估计的动态增益变换,大幅减小非标称情况下系统动态增益的变化范围,并结合自适应反馈控制,保证了特征模型的参数辨识及制导算法的收敛性。该方法解决了进入段制导的建模难题,避免了基于迭代的数值预测校正制导方法计算量大、收敛性无法保证的问题^[70]。实际飞行验证表明,该方法具备对小升阻比飞行器、高超声速滑翔飞行器等的精确制导和控制能力。

1.2.2 空间交会与接近停靠控制

空间交会对接是两个航天器在轨道上按预定的位置、速度和时间会合(交会),然后经姿态对准、靠拢直至在结构上连接成一体(对接)的全部飞行动作过程^[88-89]。自2011年11月神舟八号载人飞船与天宫一号目标飞行器首次交会对接任务^[90]圆满完成以来,我国已实施了17次近地轨道的空间交会对接任务和1次月球交会对接任务,经历了自动、手动、到多方位全自主交会对接控制的发展历程,交会对接过程历时由2~3天缩短到约6.5小时甚至2小时,极大提高了飞行性能。

空间交会与接近停靠是完成诸如在轨组建、在轨服务、天体采样返回、载人空间探测等复杂空间任务的关键步骤,从飞行任务上大体分为远距离导引阶段和

接近停靠阶段两个阶段。远距离导引阶段的主要任务是将追踪航天器从入轨初始轨道导引到近距离自主控制段所要求的预定轨道,包括调整两航天器的相位差、缩短相对距离以及消除两航天器轨道面外偏差等。空间交会2~3天策略中,远程导引阶段主要靠地面多次注入变轨脉冲,每次变轨后测定轨时间长,完成远程导引需要20多圈,给航天员和地面飞行控制都造成了较大压力,对远程自主快速导引的需求迫切。追踪航天器和目标航天器初始相位 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 不确定,轨道转移时间受限,控制变量多,燃料消耗受限、轨迹安全性等约束条件多,远程导引终端精度要求高,是典型的星载计算能力约束下的最优化轨迹控制问题。近年来,远程自主快速导引成为研究热点^[91-93]。文献[91]建立了5圈快速交会对接的调相变轨方案,并采用四脉冲修正特殊点变轨算法进行求解,可应对 10° 左右的初始相位角不确定性。文献[89,92]提出了基于多变量协调的全相位自适应动态规划方法、燃料最优制导脉冲求解方法,解决了在轨自主计算变轨脉冲解的存在及唯一性难题。标称情况下,只需要2.5圈就可以完成远程导引自主交会,已广泛应用于空间站工程的货运飞船^[93]、载人飞船和实验舱等。

相对导航方面,由差分卫星

导航设备、微波雷达、激光雷达、光学成像敏感器等多种体制测量敏感器构成的导航系统,可接力实现从数百公里直至对接范围内相对平动、相对转动等状态参数的自主确定。其中,交会对接光学成像敏感器作为百米以内相对位置和相对姿态的主要测量手段,已实现从初代采用主动发光的合作目标到改进后采用被动的合作目标、再到融合激光点云技术的多代升级^[94-97],极大提升了敏感器抗杂散光的能力和可靠性。利用敏感器的观测信息,结合动力学/运动学模型,工程中普遍采用卡尔曼(Kalman)滤波获得相对状态参数的估计值。无迹卡尔曼滤波(Unscented Kalman filter, UKF)等确定性采样滤波以及利用蒙特卡洛(Monte Carlo)数值积分方法的粒子滤波(Particle filter, PF)方法等,在处理非高斯噪声、显著模型偏差问题方面具有优势,已用于空间交会对接导航算法设计。文献[98]提出了基于UKF的交会对接相对导航算法,并给出了稳定性分析。文献[99]通过对过程噪声方差阵的在线辨识,提出了一种自适应确定性采样滤波方法,提高了对噪声不确定性的适应能力。文献[100]提出了一种改进的高斯粒子滤波方法,能够在多种测量噪声情况下实现高精度空间交会相对导航,同时有效降低

计算复杂度。此外,利用深度学习从空间目标的点云和图像测量数据中提取目标特征,进而获得相对位姿估计(如,文献[101-102]),也是当前备受关注的研究方向,在轨应用仍面临数据处理效率、姿态解算实时性和鲁棒性等问题。

空间接近停靠阶段的主要难点是帆板挠性振动大、系统延迟大、姿态和轨道控制耦合、羽流干扰严重情况下的交会对接六自由度精准控制。对此,文献[103]基于视线位置信息的平行接近法,对于横向和纵向同时协调控制,提出一种多变量互相耦合的非线性滑动模态视线制导控制方法,并对同时协调控制进行了存在性和稳定性分析;文献[76]以基于特征模型的智能自适应控制为理论指导,按照黄金分割自适应控制理论计算相平面参数,依据相对距离对控制参数进行修正,提出了基于特征模型的相平面自适应控制方法;该方法具有控制精度高、燃料消耗小、鲁棒适应性好等优点,应用于寻的段、接近段姿态控制,以及最后平移靠拢段六自由度控制,实现了载人飞船、货运飞船等在轨任务的全天时多方位精准对接。此外,文献[104]针对航天器姿态相平面控制系统稳定性分析问题,证明了闭环控制系统存在特定的稳态区域,并给出该稳态区

域的计算公式。

近年来,对合作及非合作故障航天器的在轨修理和回收、碎片清除、燃料补给等在轨服务,以及地外星表取样返回等任务,对空间交会与接近停靠控制技术提出了新的应用需求。文献[105]研究了受控的追踪航天器和失控慢速翻滚的目标航天器的末段交会对接控制问题,提出了基于特征模型的相对位置跟踪控制和姿态同步控制方法。文献[106]讨论了火星采样返回任务火星轨道交会自主导航和制导技术,针对光学自主导航传感器更新频率远低于滤波解算频率的问题,设计了一种连续观测量构造算法,提高了导航精度。

1.2.3 多航天器/星座编队控制

2012年以来,我国先后开展了多次卫星编队构型保持技术在轨试验。在绕飞半径5 km的两星编队飞行试验中,绕飞维持控制修正了绕飞构型的畸变,使漂移速度偏差的绝对值降到mm/s量级^[107-108];此后开展的编队保持试验中,两星间隔0.8~2 km飞行了上百天,验证了前-后编队构型的保持控制技术。

卫星编队构型保持的难点突出表现在需要获取高精度的编队构型参数,其中两星的相对漂移速度是最关键的参数。提出的周期平均漂移速度的估计算法

^[109],实现了对漂移速度的准确估计;基于相对轨道根数的控制方法^[110],实现了对不同编队构型的保持。值得说明的是,当前差分全球导航卫星系统(Differential global navigation satellite system, DGNSS)的位置精度能达到cm量级,速度精度能达到mm/s量级。经过转换到相对半长轴为几米的量级,因此可将编队飞行的半长轴控制在几米的范围内,故而几圈甚至十几圈才需要进行一次保持控制喷气,很好地满足了长期编队构型保持的应用需求。尽管通过对相对漂移速度的高精度估计,可以有效减少编队构型保持的燃料需求,但长期来看,编队构型保持仍然以消耗较多的推进剂为代价。对此,近年来还出现了多种无需推进剂的编队控制方法的探索研究(包括:利用大气阻力差^[111-113]、电磁力^[114]、磁通钉效应^[115]等),展现出良好的应用前景。另外,围绕多星编队飞行协同控制的理论和应用研究(例如,主从式、行为方式及虚拟结构方式的协同控制^[116-117],基于一致性算法的分布式协同控制^[118-119]等),可为未来多星编队飞行的分布式自主控制提供基础。

此外,我国还发展了以时差定位型三星星座系统、环境与灾害监测预报小卫星星座、北斗导航卫星星座、云海卫星星座为代

表的星座系统,其轨道控制需在考虑空间环境的基础上增加星间相对关系约束。目前工程上应用较多的是“控制盒子”方法,通过绝对轨道控制使星座内的所有卫星保持在控制盒子里。铱星星座、全球定位系统(Global positioning system, GPS)导航星座均采用了这种控制策略。云海卫星星座采用了基于虚拟卫星的相对轨道控制策略,以相对于虚拟相位中心的偏差作为控制变量,实现星座整体相对稳定,同时兼顾了燃料消耗和轨控周期两方面的要求。

国内外学者还开展了星座构型保持控制的理论方法研究。在绝对站位星座构型保持控制方面,文献[120]利用线性规划方法精简轨道控制变量,提出了满足星座覆盖要求的单星控制允差;文献[121]以星座轨道面交点碰撞安全为约束,提出了全球导航星座构型维持的“死区”指标;文献[122]在分析了Walker- δ 星座中各卫星位置偏差对在轨任务的影响,提出了以满足星座覆盖性能为目标的星座构型绝对站位保持策略。相对站位星座构型保持方面,文献[123]通过构建导航卫星相对平均轨道高度的轨道偏差,获得轨道控制量;文献[124]研究了星座构型摄动补偿方法。文献[125]分析了全球星座构型发散的原因,并据此给出

了绝对站位和相对站位星座构型控制方法对控制量需求的对比分析,可为设计全球星座轨道和制定运控策略提供参考依据。

1.3 航天器“感知-决策-执行”自主控制

进入21世纪,我国的航天活动开始向更深更远更广阔的太空延伸,为人类探索宇宙奥秘、寻找长久发展贡献中国力量。2007年10月至2020年12月,我国先后实施了6次月球探测任务,成功实现了对月球的环绕、着陆巡视和取样返回探测。2021年5月15日,我国首次火星探测任务天问一号探测器^[126]成功着陆于火星乌托邦平原南部预选区;随后,祝融号火星车开始执行火星表面巡视探测任务。

深空探测任务本身的高度复杂性、地外环境的未知不确定性、以及地面测控时延大导致的高自主性要求等,对控制系统的智能处理能力、自主应对不确定环境和复杂任务的能力需求大幅提升,推动航天器由传统的制导、导航与控制(Guidance, navigation and control, GNC)系统向“感知-决策-执行”(Perception-decision-action, PDA)闭环的自主控制系统^[127]发展。例如,地外探测器的自主避障软着陆过程,需要充分考虑环境因素的影响,通过对着陆区地形的测量和障碍物/危险的识别判断(感

知)、自主选择安全着陆点并规划飞行轨迹(决策)、并基于导航信息进行轨迹跟踪控制和姿态保持控制(执行),当前时刻的动作又会影响环境及下一时刻的感知判断结果,故而构成闭环反馈回路,不断修正实现安全区域的软着陆。又如,巡视器在执行地外星表探测任务时,同样需要对周围环境地形进行测量并识别危险(及感兴趣的探测目标),分析地形的可通行性,并据此规划安全行驶路径,通过位姿确定和运动控制行驶到期望目标点。

与传统的GNC系统相比,航天器PDA闭环控制系统的内涵更加丰富。系统以深度融合的信息物理系统(Cyber-physical systems, CPS)为基础,将空间环境及任务目标作为被控对象纳入闭环控制系统,感知不仅包含航天器自身/相对运动参数确定,还包括航天器与环境目标组成任务场景以及交互过程的理解与认知;决策则根据任务、环境和自身状态生成优化目标和约束条件,基于感知结果自主选择最佳方案;执行在姿态轨道控制和操作控制行为的稳定控制。航天器PDA闭环控制面向的是动态多变、复杂不确定的空间任务,面临系统建模、反馈机制设计、赋能学习、系统行为可信评价等基础性问题。这些问题在此前的研究工作中已有涉及(如,文献[127-129])

等), 本文发展展望部分也会结合未来的空间任务做进一步探讨。这里, 重点介绍“感知-决策-执行”闭环控制框架下的相关技术进展。

1.3.1 地外自主避障软着陆控制

从嫦娥三号月球探测器的首次地外软着陆全自主控制, 到嫦娥四号月球背面崎岖地形的自主避障与软着陆控制, 再到嫦娥五号带有复杂晃动动力学特性的高精度软着陆控制, 我国月球软着陆控制技术逐步走向成熟。而天问一号火星探测器的成功着陆, 又使得该技术从无大气天体扩展到有大气天体, 从单纯的动力软着陆发展为包含大气进入、降落伞减速和动力下降着陆(Entry, descent and landing, EDL)复杂完整过程的全自主控制。

地外天体软着陆过程时间短且任务复杂(如: 月球着陆器要在10多分钟内完成大推力动力减速、姿态调整、着陆点选取、悬停避障等动作, 火星探测器则要在7分钟内完成气动减速、抛大底、安全着陆点选择等10多个动作), 自主性要求高; 而且, 下降着陆过程地外大气、引力、地形等环境特性不确定性强, 自主避障检测及着陆点选取的准确度要求高; 再加上燃料消耗、液体晃动、大气扰动、开伞振荡等因素使着陆器动力学特性变化复

杂, 对控制系统的鲁棒性要求苛刻。地外自主软着陆需要解决着陆区危险地形快速识别、高动态动力下降过程高容错导航与惯性基准快速重构、不确定大干扰高动态系统在线规划自主制导、液体晃动强适用稳定控制等关键问题。

首先, 采用惯性导航作为核心以保证导航系统的自主性, 同时为保证导航精度, 在探测器飞行过程中利用旋转来增强可观性, 实现了对包括安装、零偏、刻度系数在内的陀螺误差的在轨全系数标定^[11], 大幅降低了惯性器件误差对导航精度的影响; 另外, 还采用多子样圆锥效应补偿算法, 抑制了在着陆过程高动态振动环境下的惯导发散速度。以此为基础, 针对火星着陆器动力学角速度变化连续的特点, 提出了一种递归多子样大动态惯性导航方法, 通过对角速度进行多项式拟合, 再利用该多项式完成旋转效应补偿, 进一步提高了大动态下的惯导姿态解算精度^[130]。惯性导航是一种绝对导航方式, 难以直接满足对着陆器相对天体表面运动状态的测算需求。对此, 利用着陆雷达的相对距离和速度测量信息对惯性导航系统进行修正, 最终形成以惯导为基准、辅助多波束测距和测速修正的容错导航方案^[131-132]。针对不同数量波束会影响导航滤波效果的问题, 提出了

基于波束数量监测的自适应阈值调整方法, 具备对多个测距、测速信息源进行故障诊断和波束优化选取的能力, 提高了整个导航系统的精度和可靠性^[133]。此外, 针对火星着陆过程存在的开伞过程喘振等特殊问题, 提出了利用着陆雷达完成导航基准重构^[134]和引力修正的方法^[135], 进一步提高了未知环境下着陆导航系统的性能。

在避障方面, 针对下降过程天体表面情况逐渐清晰的特点, 在嫦娥三号着陆器上首次提出并实现了融合光学图像和三维激光的接力避障方法, 在较远距离利用光学图像视线进行粗障碍识别, 近距离通过激光三维数字高程模型(Digital elevation model, DEM)数据实现精障碍识别, 完成了地外天体自主避障着陆^[136], 并在嫦娥四号上进一步发展完善^[137]。相比月球, 火星着陆的避障过程则更为复杂, 除了规避地形风险以外, 还需要规避分离的伞与背罩, 为此着陆器在线实施了伞-背罩和地形障碍的一体化自主规避策略^[138]。

其次, 着陆过程制导面临着初始人口散布大、下降过程不确定性因素多和任务约束多等诸多挑战。月球着陆仅依靠发动机完成, 为了适应初始轨道、着陆器质量、发动机推力等参数不确定性的影响, 满足到达预定落区的

要求,提出了软着陆多约束自适应动力显式制导方法,能够实现自主的飞行轨迹参数在线优化和目标着陆点调整^[136, 139]。而火星着陆则更为复杂,包含了气动减速、降落伞下降、抛伞、规避机动、避障着陆等飞行过程。为了满足这些需求,提出了大气进入自适应规划与制导、多约束一体化自适应规划与控制策略^[140],实现了火星复杂飞行环境下的开伞状态优化控制、避障及背罩规避的协调一致控制,显著提高了软着陆的安全性及着陆精度。

此外,针对月球着陆过程制导存在目标姿态变化大、干扰力矩大且变化快,以及着陆器角速度受限的特点,提出了分区四元数姿态控制方法,能够根据姿态误差实现角速度跟踪控制和姿态保持控制的切换,实现了姿态的快速机动和高精度控制。为了抑制下降过程姿态和平动机动引起的液体晃动,采用双观测器技术估计晃动干扰力矩的瞬时值和平均值,并根据干扰变化情况对控制器进行重构,大幅增强了控制系统对着陆过程大幅液体晃动的抗干扰能力^[141]。在此基础上,针对火星下降过程中制导对飞行器轴线的指向优先级要求往往高于绕轴线转动的特点,提出了推力指向与滚动姿态解耦与分区姿态规划算法,实现了动力减速过程推力方向的快速跟踪控制和轨迹

的高效高精度控制。针对动力减速过程中存在的快时变大干扰力矩、着陆平台惯量小导致的控制系统时延影响过大等问题,提出了基于干扰力矩快速辨识和实时前馈补偿的姿态控制算法,实现了快速时变大干扰下的鲁棒快速跟踪控制,提高了触火的速度和姿态控制精度^[142]。

1.3.2 地外起飞上升控制

嫦娥五号作为我国首个地外天体采样返回任务,上升器完成了以着陆器为平台的月面起飞上升、进入目标环月轨道,并与轨道器交会对接的飞行过程。由于起飞点位置不确定,需要完成起飞前的自主定位和对准。为此,提出了一种恒星与重力测量相结合的月表自主定位技术^[143]和基于星光测量的对准技术,并发展为具备完整的定位、测姿和导航功能的惯性+天文自主导航系统^[144]。

受实际着陆地形的影响,地外天体起飞平台是倾斜的,相对目标飞行方向任意;且地外天体起飞窗口比较多,探测器需要具备多圈次、多窗口、任意射向起飞的能力;再加上天-地之间信息传输速率和传输量的限制,起飞上升过程的制导律需要具有灵活适应性。为此,嫦娥五号在着陆显式制导的基础上,在起飞前通过预报各关键飞行阶段参数,自主完成对上升各阶段切换控制

参数的规划;在发动机点火后,通过在线监测和估计发动机推力、比冲等状态,自适应调整制导参数^[144],提高了系统对起飞重量、发动机推力等不确定性的适应能力。此外,提出了上升过程中主发动机和姿控发动机的自动组合策略^[145],以及入轨偏差条件下的智能自主应急抬轨策略规划、调度和执行方案^[144],进一步提高上升入轨的安全性。

对于起飞上升过程的姿态控制,为了克服起飞姿态倾斜,需要在起飞时快速将上升器姿态调垂直;而在上升转弯完成后,需要精确和稳定的实现对制导目标姿态的跟踪,且面临推进剂消耗大,上升器的质量、惯量变化大带来的不确定性。对此,采用分段变系数控制器设计来保证实现不同飞行阶段、不同质量特性下的控制品质要求。

1.3.3 地外巡视探测控制

随着玉兔号/玉兔二号月球车、祝融号火星车地外天体表面巡视探测任务的成功实施,自主定位与障碍识别、自主避障路径规划、协调运动控制技术^[146-148]作为其自主应对地外严苛环境和复杂地形的关键技术得到了发展与应用。

地外天体表面没有全球导航卫星系统(Global navigation satellite system, GNSS)等直接定位信号,须依靠惯导、里程计及

视觉相机等车载传感器进行自主定位。工程上常用的是地图匹配方法, 通过将探测器在线获得的地图与事先装载的天体地图底图进行特征匹配, 判断探测器与位置已知特征地物之间的相对距离, 获得绝对位置信息, 其定位精度主要取决于地图底图的分辨率和位置精度。此外, 还发展出了基于天文/惯导的自主定位方法, 利用地外星表测量的恒星矢量和当地重力矢量联合估计得到姿态和绝对位置信息。该方法在嫦娥五号首次使用, 不足是对矢量测量精度敏感, 在月球表面 1 角秒的矢量误差会产生约 10 m 的位置误差, 在火星表面约为 17 m。相对定位方面, 玉兔号采用了基于全运动学的轮速里程计 (Wheel odometry, WO) 方法^[149], 相对定位精度优于 6%。针对车轮滑移和滑转影响 WO 定位精度的问题, 还开展了滑移和滑转的在线估计方法研究^[150-153], 但尚未实际应用。近年来, 随着计算机视觉技术的发展, 视觉里程计 (Visual odometry, VO) 逐渐成为相对定位的主流技术。VO 通过图像前后帧的同名点匹配, 获得相对姿态和位置变化, 在已知初始位姿的情况下, 更新得到当前时刻的位置和姿态。VO 计算复杂度高, 但能够有效克服滑移/滑转带来的 WO 定位误差, 已在好奇号、祝融号等火星车上成功应

用。但长距离行驶时, 相对定位误差会持续累计, 可考虑实时相对定位和绝对位置修正相结合的导航方法。

障碍自主识别方面, 地外星表形貌原始多变, 光照条件恶劣, 且受重量、功耗和算力等资源约束, 巡视器上难以配备大功率激光雷达等传感器。因此, 如何利用有限资源实现复杂光照和地形下障碍的准确识别, 是需解决的关键问题。双目立体视觉 (Binocular stereo vision, BSV) 是一种轻质低耗的感知识别技术, 通过计算左右图像对应点的位置偏差可获得地形的稠密三维几何信息。该方法对地形纹理和光照条件敏感, 对于弱/无纹理或存在干扰光 (光照过亮或过暗) 的情况下, BSV 会因无法匹配或误匹配导致障碍的误识别或漏识别。对此, 玉兔号系列月球车采用了相机和激光点阵器的联合障碍识别方法^[154-155], 激光点阵器在相机视场内投射 18 个激光点, 利用相机图像识别这些激光点并获得地形几何信息, 并据此识别障碍, 首次实现了地外星表阴影区的安全移动探测。

自主避障路径规划基于感知得到的稠密地形信息, 结合巡视器的通行能力进行可通行性建模, 并综合考虑巡视器的运动能力约束 (如, 转弯曲率等), 给出从当前位置到目标位置的安全路径^[149]。

玉兔号月球车首先根据地形坡度、高度和粗糙度给出通行适宜度的量化评价, 建立局部适宜度地图; 然后结合移动效率和安全性对地图上的每条备选路径 (由事先设置的具有一定曲率的弧径组成) 进行综合打分, 输出得分最高路径对应的转弯曲率, 作为运动控制的跟踪弧径。祝融号火星车在此基础上增加了对全局适宜度地图的地形评估算法, 采用全局和局部融合的方法进行适宜度地图构建, 将每次规划路径的距离从 0.5 m 提升到 1 m^[148], 大幅提升了火星车的探测效率。

协调运动控制根据规划路径或地面运动要求、结合巡视器当前位置和姿态信息生成期望线速度和偏航角速度, 并通过逆运动学分解得到转向轮的期望转角和驱动轮的期望转速, 通过对期望转角和转速的跟踪控制, 实现各轮协调运动, 同时会修正由于地形变化、滑移、侧滑等因素导致的巡视器对设定运动轨迹的偏离, 实现对期望轨迹的跟踪。

2 空间控制技术的发展展望

我国正在实施和即将实施地外行星探测、月球科研站、载人登月、在轨服务与维护、大规模星座计划等重大工程任务, 给空间控制技术的智能自主化发展提出了新的需求。与此同时, 世界航天进入新的发展阶段, 太空探

索呈现出新的发展态势。卫星由传统单星向“一星多用、多星组网、多网协同”的体系化、智能化转变,呈现出高性能卫星和微小化卫星的两极发展趋势;太空安全形势日趋严峻,空间战略资源竞争愈发激烈,军民融合发展特征显著,对太空资产的安全防护能力和在轨维护能力需求迫切;深空探测有序推进,探测目标集中在月球、火星和小天体等,同时兼顾太阳系的其他天体,任务类型更加复杂,并向着载人探测的方向发展,对探测器的智能化发展需求不断提升。本节结合这些需求,探讨后续需要重点关注的技术方向和基础性问题。

2.1 超大结构航天器姿态轨道控制

随着对地监测、天文观测等任务对信息获取能力需求的提升,具有超大结构的柔性航天器已成为世界航天未来发展的需要。例如,高轨通信卫星带有需要在轨展开的大型天线、帆板、桁架结构,尺寸达几十米甚至上百米;美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)的薄膜衍射望远镜(Membrane optic imager real-time exploitation, MOIRE)计划,载荷的薄膜主镜直径达10 m~20 m,主镜与成像敏感器之间的距离达到50 m~100 m。此外,为解决能源危机,我国已

开始部署空间太阳能电站,计划于2028年发射首颗技术试验卫星,在2035年和2050年前分别建设MW级空间太阳能电站试验系统和GW级商业空间太阳能电站^[156]。空间太阳能电站配置有超大尺度的可展开主桁架结构(长达数百米甚至上千米),支撑多个模块化的薄膜太阳能电池阵(面积达几千平方米),并与直径达数百米甚至上千米的微波发射天线建立导电连接^[157]。

这种百米甚至千米量级的超大型柔性组合体航天器,不再是传统的本体加挠性帆板、再加载荷的形式,而是载荷尺寸远大于本体,或是载荷与本体间采用大尺寸桁架机构连接,呈现“刚体-挠性-刚体-挠性-挠性”等刚挠混合形式,具有“全局运动叠加全局挠性模态、再叠加局部挠性模态”的拓扑动力学特性,传统的热耦合形变效应不可忽略。航天器上每一点均是刚性姿态运动与挠性变形的复合叠加,传统“中心刚体+挠性附件”的集中式控制难以适用,需要发展超大结构刚挠混合航天器的分布式控制技术,解决超大型刚挠混合航天器的动力学建模、大型挠性附件分布式振动测量、超大结构柔性航天器的分布式振动抑制及闭环系统的性能分析等基础性问题。

2.2 轨道空间博弈控制

近年来,在轨航天器近

距离交汇和碎片碰撞危机事件频发,对在轨太空资产和航天员安全带来极大挑战。例如,2021年3月,“一网-0178”(OneWeb-0178)卫星为规避与“星链-1546”(Starlink-1546)的碰撞风险,采取了主动规避碰撞措施^[158];2021年7月1日和10月21日,出于安全考虑,我国空间站组合体分别对向其主动接近的“星链-1095”(Starlink-1095)卫星和“星链-2305”(Starlink-2305)卫星实施了紧急避碰控制^[129]。面对太空环境安全风险激增给航天器在轨安全稳定运行带来的严峻挑战,世界主要航天国家将太空感知和自主防御能力建设视为未来一段时期的发展重点(如,欧空局(European Space Agency, ESA)已着手发展航天器自主防撞系统^[159])。

空间碎片/失效卫星碰撞、故意卫星干扰等各类轨道威胁目标,通常具有“快小暗弱”等特点,其行为特征不明显且动态不确定性强。如何在不影响自身既定业务的前提下,及时发现并有效地应对各类轨道威胁,是确保航天器在轨安全运行迫切需要解决的问题。对此,需要发展面向博弈对抗等强不确定场景的航天器智能自主控制技术,使其能够在星上资源严重受限的情况下自主感知威胁、自主制定博弈策略

并完成大范围机动规避动作。因此，在“感知-决策-执行”闭环控制的框架下，需要进一步研究可实现资源自组织优化调配的航天器智能自主控制系统架构与模型、面向物理运动体的学习赋能机制及系统行为的可信评价等基础性问题，突破轨道威胁目标的多体制测量与融合感知、多约束下非完全信息博弈决策与规避控制等关键技术。

2.3 网络化航天器集群控制

网络化航天器集群作为分布式卫星系统体系中的一种新模式，是服务未来空间立体监测、小行星探测等众多空间应用的重要发展方向。例如，下一代卫星系统更倾向于采用由异构卫星组成的动态网络化结构，以满足对重访时间、以更高分辨率覆盖大面积或最小化数据访问延迟等的要求^[160]；面向未来小行星带探测任务，美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration, NASA）提出了自主纳米蜂群（Autonomous nanotechnology swarm, ANTS）计划，通过开展群体智能和分布式计算等的研究与应用，提供资源、分工等的自我配置能力，以及分布式系统的自我优化、自我保护和自我修复等能力^[161-162]。

集群系统由大规模具有有限甚至单一功能的独立个体组成，通过网络化通信系统实现个体之

间/个体与环境之间的局部交互作用，并通过群体自组织和智能涌现，构成群体的整体性复杂行为能力，具备复杂多任务的强适应性、在轨自修复和强生存能力。其分布式网络架构、局部信息交互机制、资源的自组织配置、以及个体之间结构和功能的差异性给航天器集群控制带来挑战。对此，需要深入研究航天器集群控制系统的体系架构、大范围空域下的信息获取与协同感知、多约束条件下的分布式协同规划、时变拓扑网络集群系统的分布式协同控制、集群行为的自组织涌现机制等基础性问题。

2.4 地外探测智能无人系统控制

未来的月球科研站、地外行星探测等任务要求地外探测无人系统具备高精度定点超软着陆、高效能自主协同探测等技术能力。例如，我国已正式立项的探月工程四期，计划2030年前在月球南极建设国际月球科研站的基本型，其对着陆点的精度要求至少提升了一个数量级；而且，在未来的国际月球科研站上，将是多个巡视器、着陆器和飞跃器在月球表面连续协调地工作，通过多无人系统的分工协作开展月球资源的开采开发和原位科学研究。NASA-ESA公布的火星样本取回计划（Mars Sample-return Mission, MSR）^[163]，也是通

过着陆器、巡视器、小型直升机等的协作，完成火星样本的收集、转移和返回地球。

一方面，为实现更高的着陆精度和更轻巧的触月控制，需要发展基于月表地形图像、月基/天基信标源等的高精度导航，强终端约束下的在线规划自主制导，基于推力矢量的姿轨耦合高精度控制，基于并联变推力发动机的平动转动协同控制^[140]等技术。另一方面，为解决地外星表环境严苛未知、先验知识欠缺、资源严重受限、通信条件恶劣等现实约束，导致的危险识别难、移动速度慢、作业精度低等瓶颈问题，需要突破复杂未知无约束环境的多传感器协同感知、面向未知环境-自身行为关系的场景理解、复杂地外星表多任务多约束高安全性自主规划、多无人系统的智能协同操作控制、资源受限条件下的轻量化计算、无人系统智能水平评测等关键技术；进一步通过积累经验、持续学习并生成知识，提升无人系统的自主智能水平，实现对动态环境和变化任务的主动适应，从根本上提升地外探测效能。

2.5 跨域航天器自主控制

未来更深远更复杂的深空探测活动等将持续拓展航天器的轨道空间和任务能力（例如，ESA计划2023年发射的木星冰月探测器（Jupiter icy

moonexplorer, JUICE) 将执行对木星及其 3 颗卫星 (木卫二 Europa、木卫四 Callisto、木卫三 Ganymede) 的探测任务), 无疑对具备跨大空域、宽速域飞行能力、长时间在轨运行的跨域航天器提出了发展需求。

跨域航天器控制系统需要具备对不同环境特性轨道空间、不同速度下及其动力学特性等的强鲁棒适应性, 以及对可变执行机构 (甚至可变外形)、变化任务等的强自主适应性, 进而实现在环境、速度、机构、任务等组合变化下的稳定飞行。系统往往呈现出复杂的时变特性和大范围不确定性, 还可能呈现出时间 / 事件混合驱动的混杂动态特性。因此, 需要解决环境 / 任务变化下资源的自组织协调、不同约束条件组合和不同终端控制需求下的制导策略生成、有限计算资源情况下的可靠非线性规划 / 优化求解、域自适应的切换控制策略、跨域航天器系统的动力学建模和闭环性能分析等问题。

2.6 在轨建造与维护控制

面向空间设施的在轨组装建造, 以及寿命末期或故障航天器的故障修复、燃料加注、辅助离轨等在轨维护任务, 服务航天器需要在复杂空间环境下, 利用具有一体化空间感知与执行的部件与载荷等, 与处于非合作慢旋等运动状态、且具有多种构型的目

标航天器建立稳定连接, 并完成诸如拆除、剪切、切割、加注等工序复杂的多类操作任务, 多任务适应性要求高、精细化程度要求高。例如, 我国已将“在轨服务与维护系统”列为国家科技重大专项; NASA 计划 2024 年进行在轨演示的 OSAM-1 (On-orbit servicing, assembly and manufacturing) 项目, 可为通用客户卫星进行在轨燃料补加, 整个过程包括更换末端工具、捕捉与重定位目标卫星、切割包膜、切断绞索、拧开盖子、加注枪抵近插入、燃料加注等多个精细操作任务。

在轨建造与维护控制面临非合作目标特性未知、空间环境存在多源干扰、操作环境非结构化、接触过程动力学复杂多变、作业精准度及安全柔顺性要求高等多方面的挑战。对此, 需要突破多模态感知信息融合与利用、高效的多任务样本采集与利用、可学习的任务表示与关系、虚拟 - 真实策略迁移、多体系统的复合协调控制、人机交互混合智能操控等关键技术^[164], 实现对非结构化不确定环境和复杂多任务适应能力更强、同时兼具精准柔顺作业能力的操作控制。

3 结束语

空间控制技术是提升太空探索能力和太空控制能力的驱动器

和倍增器, 也是科技创新的重要领域。过去半个多世纪, 在不断发展空间任务需求牵引下, 以及自动化、人工智能等学科发展的推动下, 我国空间控制技术实现了从近地卫星到载人航天、深空探测的跨越式发展, 在航天器姿态控制、姿态轨道控制、“感知 - 决策 - 执行”自主控制三个方面均取得了重要突破。本文在综述了中国空间控制技术主要进展的基础上, 结合我国未来的空间任务和世界航天发展前沿, 提出了需要重点关注的 6 个技术方向和基础性问题, 助推未来航天器智能自主控制技术的创新发展。

当前, 各学科交叉融合加快, 新兴学科不断涌现, 为我国空间控制技术的发展创造了重要机遇。随着自动化、新一代人工智能等技术的不断突破, 以及信息科学、数理科学、生物科学、材料科学等领域的持续创新, 必将有力推动航天器控制系统新一轮的创新发展和能力升级, 为解决空间环境未知、任务多变、系统不确定等显著特征下的自主控制问题提供有效方案, 持续推动空间控制技术向智能化、轻量化、通用化等的方向发展, 更好地应对未来动态多变、复杂不确定的空间任务。○

来源: 自动化学报

作者简介



袁利 北京控制工程研究所研究员。主要研究方向为航天器自主控制和鲁棒容错控制。



姜甜甜 北京控制工程研究所高级工程师。主要研究方向为航天器控制和非线性控制。



魏春岭 北京控制工程研究所研究员。主要研究方向为估计理论，控制理论和航天器自主导航。



杨孟飞 中国空间技术研究院研究员。主要研究方向为空间飞行器系统总体，控制系统，控制计算机和可信软件。



2023 中国自动化大会征稿即将启动！3月1日敬候您的来稿！

中国自动化大会是由中国自动化学会主办的国内最高层次的自动化、信息与智能科学领域的大型综合性学术会议，2023 中国自动化大会将于 2023 年 11 月在重庆召开，此次中国自动化大会由重庆邮电大学承办。2023 中国自动化大会将为全球自动化、信息与智能科学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，引领自动化、信息与智能科学与技术的发展。2023 中国自动化大会 3 月 1 日征稿开始！有意向投稿的小伙伴，抓紧时间提前梳理自己的成果吧！具体事项详见中国自动化学会官网：<http://www.caa.org.cn/article/192/3399.html>

近日，ChatGPT 概念几乎火爆全网，引发市场对于算力和人工智能芯片的密集关注。作为人工智能技术驱动的自然语言处理工具，它能够通过学习和理解人类的语言来进行对话，还能根据聊天的上下文进行互动，真正像人类一样来聊天交流，甚至能完成撰写邮件、视频脚本、文案、翻译、代码，写论文等任务，可谓是“上知天文，下知地理”。本期“科普园地”栏目，让我们一起来了解和认识下“ChatGPT”。

ChatGPT 背后：从 0 到 1，OpenAI 的创立之路

文 / Greg Brockman

在高中毕业后的间隔年里，我曾认真学过编程。我读过图灵的《计算机与智能》一书，并深受启发：代码能理解那些编写代码者所不能理解的东西。于是我准备着手写一个聊天机器人。那么写出来有多难呢？

我想创建的是能与正常人对话的机器人，但找了很久，似乎没有人能做出这种机器人。我很快便搁置了这个想法，转而专注于创建那些能真正产生影响的系统。

1 大学研究项目

读大学时，我对编程语言很感兴趣，由此便进入了 AI 的大门。编译器和静态分析器能“理解”那些我理解不了的程序，于是我便常用其来做一些非常有用的事情，比如快速生成代码并检验其是否正确。

我一直想潜下心来去做编程语言研究，却总是受到新的创业点子和新同事的影响。其实我的同事人都还不错，但这些创业想法可就不敢恭维了。无论在哈佛还是麻省理工，我都努力向那些优秀的人看齐，主动融入他们，并与其共建有用的东西。

大三那年，我发现在校创业没有意义，所以我就和那些创业者面谈，汲取经验。与此同时，我终于开始了编程语言研究之旅。我从一位教授那里获得了研究经费，并招募了一些朋友进行静态缓冲超时检测项目。

几周后，帕洛阿托 (Palo Alto)



图 1 Greg Brockman

一家尚未启动的初创公司联系了我。一般情况我会直接删除这种邮件，但此时我也正准备与初创公司会面，所以我们团队就立即点开了邮件，此时我也发现，他们也正是我一直在寻找的那种人。于是我离开学校，这也意味着我们的缓冲超时检测项目就此搁置了。

2 Stripe 生涯

那家公司就是现在的 Stripe。在我的帮助下，公司规模从 4 人扩大到了 250 人；在我离开后的一年里，又继续扩大到了 450 人（当然，这份功劳与我无关）。

此时公司的发展正蒸蒸日上，无论有我没我，都会继续继续做伟大的事情，所以我准备离开 Stripe。我想做的是与优秀之人同行做些有意义的事情，但开

发者基础架构并不是那个我想穷尽余生之力去解决的问题。

然而，我终于还是找到了那个我想解决的问题：创造出安全的人类级别的 AI（human-level AI）。只要这项技术能真正为人类所用，我想一定会引起轰动，并给世界带来积极影响。

在我最终决定离职之前，Patrick 说 Sam Altman 有很好的局外人视角，而且见过很多跟我情况类似的人，应该能给我一些好的建议，让我去和他谈谈。

在与 Sam 交谈五分钟后，他说：看来你是完全准备好离职了，后续事宜有什么需要我帮助的吗？

我说 AI 是我的首选（这绝对是我的人生目标），但还不确定现在是否就是做这件事的最佳时机，而且我也不知道最佳的贡献方式

是什么。

他回答：我们一直在考虑通过 YC（译者注：Y Combinator，美国著名创业孵化器）建立一个 AI 实验室，你或许可以跟我们合作。

3 研究深度学习

大约在这一两周后，我就离开了 Stripe，开始着手深入研究 AI，想要更好地了解该领域正在发生的事情。仅从 Hacker News 上的帖子（例如 <http://karpathy.github.io/2015/05/21/rnn-effectiveness/>）就可以看出：人们对 AI 尤其是对深度学习的关注度越来越高。但在进入该领域时，我仍然是持有合理怀疑的，在投身 AI 之前，我想确定一切都是可行的。

我的第一个目标是弄清楚深度学习到底是什么。然而事实证明这并非易事。例如，deeplearning.net 上只是说“深度学习是机器学习研究的一个新领域，引入深度学习的目的是使其更接近于最初的目标——人工智能”。虽然这听起来很令人兴奋，然而却并没有说清楚到底什么是深度学习。

幸运的是，我有一些从事 AI 行业的朋友：Dario Amodei（曾任 OpenAI 研究主管，现 Anthropic 创始人和 CEO）和 Chris Olah（曾任 OpenAI 技术

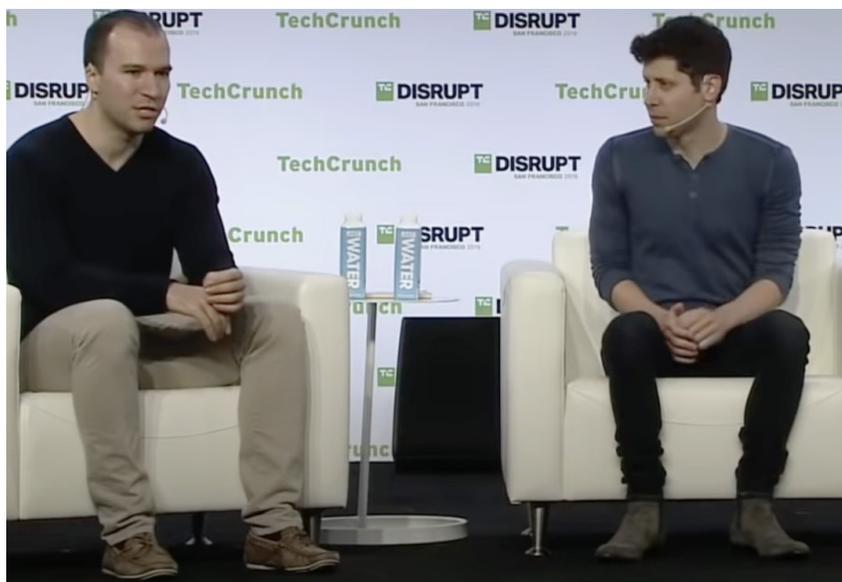


图 2 Greg Brockman 与 Sam Altman

主管，现为 Anthropic 联合创始人)。我向他们征求了一些意见，他们给了我一些很好的入门资源，其中最有用的是 Michael Nielsen 写的书。我读完后还在 Kaggle 上练习了新学到的技能（在第一次比赛时我就拿到了第一名！）。

一路走来，我不断遇到 AI 领域中那些超级聪明的人，并与我大学时最聪明的一些朋友重新建立了联系，例如现在在该领域工作的 Paul Christiano（曾任 OpenAI 研究员，现 Alignment Research Center 创始人）和 Jacob Steinhardt（加州伯克利分校助理教授）。我觉得这是一个强烈的信号。

我了解得越多，就越相信 AI 已准备好散发自己的光芒。深度学习的能力简直令人难以置信，比如，我们现在可以极其准确地对图像中的目标进行分类（2014 年的 XKCD 就已经实现），语音识别非常精准，还可以生成十分逼真的图像。不过虽然这些技术足够新，但到现在为止还没有改变人们的生活方式，它们如今的影响还仅限于支持某些产品实现特定功能。

有一位朋友曾开发过 Facebook News Feed。还记得我曾对他说过这样一句话：简单的算法，大量的数据。每个人都试图兜售很酷的新 AI 算法，但实际上只需要扩展逻辑回归（logistic

regression）就会非常奏效。而他对此持怀疑态度。然后我就拿出了谷歌翻译 App，将其设置为飞行模式，并向他演示了如何直接翻译图片上的文字。他对此印象颇深，并承认简单的算法对此无济于事（这背后主要是深度学习在发挥作用，不过这不是重点，重点是它有效。）

4 创业想法诞生

Sam Altman 在 2015 年 6 月联系我，问我是否已经想好下一步该做什么了，我告诉他目前的计划是明年开一家 AI 公司。然后我们打了通电话，他提到他们正在推进 YC 的 AI 项目。我问：实验室的目的是什么？“建立安全的人类级 AI”，他说。

在那一刻我就知道，他很适合当我下一家公司的合作伙伴。现在很少有人敢于明确尝试构建人类级 AI。我意识到，有时候一项成就只需要有个胆大的人宣布目标，然后合适的人就会加入其中。

大约一个月后，Sam 在门洛帕克（Menlo Park）举办了一场晚宴，参加宴会的有 Dario、Chris、Paul、Ilya Sutskever、Elon Musk、Sam 和其他一些人。

我们讨论了 AI 领域的现状、目前离人类级 AI 还有多远以及实现人类级 AI 还需要的东西等等。整场对话围绕着“什么样的组织

可以最好地确保 AI 的有益性”展开。

答案很明显：必须是非营利组织，因为没有任何利益冲突来影响其使命。此外，这样组织还必须保持在研究的前沿（根据 Alan Kay 的名言，“预测未来的最好方法就是创造未来”）。为此，该组织需要有世界上最好的 AI 研究人员。

所以问题就变成了：是否有可能从头开始创建一个拥有最优秀 AI 研究人员的实验室？我们的结论：还是有机会。

这是我第一次见到 Elon 和 Ilya，我对他们的印象非常深刻。Elon 充满了好奇心，他真诚地征求他人意见并用心倾听每一份回答；而 Ilya 则是技术基础的源泉，他是一位头脑清晰的技术专家，知识广博，视野开阔，并且总是能够深入到当前系统局限性和功能的具体细节。

我请 Ilya 对深度学习给出一个好的定义，以下是他的回答：

有监督深度学习的目标是解决几乎所有“将 X 映射到 Y”形式的问题。X 包括图像、语音或文本，Y 包括类别甚至句子。将图像映射到类别、将语音映射到文本、将文本映射到类别等等，如此种种，深度学习都是非常有用的，而且其他方法无法做到。

深度学习一大吸引人的特点是它在很大程度上是独立于其他

领域之外：在一个领域中学到的许多东西可以适用于其他领域。

深度学习模型中建立了抽象层，这些抽象可以完成工作，但很难理解它们究竟是如何做到的。模型通过使用反向传播算法（简单且高效）逐渐改变神经网络的突触强度来学习。因此，我们可以用极少的代码来构建出大规模复杂的系统（因为我们只需要编写模型和学习算法的代码，而非最终结果）。

晚宴结束后，Sam 送我回城里。我们都认同值得在 AI 领域做点什么。我知道，只有当有人愿意全心全意地弄清楚这究竟是什么，谁又能够加入其中，我们的愿景才会成为现实。那就让我来当这样的人吧。

所以，我明天又要构建一些有影响力的东西了。

5 OpenAI 的愿景

那次晚宴上，我们谈论了成立 OpenAI 实验室。虽然每个来参加晚宴的人都各抒己见，但并没有一个清晰的愿景，而 Elon 和 Sam 则提出了自己的想法：OpenAI 旨在构建安全的人工智能以造福人类。我也想尽可能贡献自己的力量，为了如愿以偿，便开始和 Sam 一起组建团队。

不过我们缺少了一个核心要素，即一位 AI 技术远见者，其直觉和想法可以帮助我们取得突破。

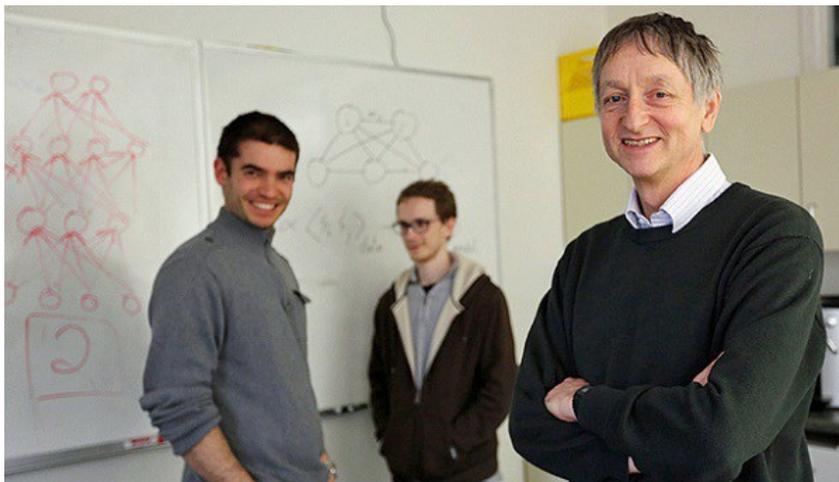


图3 从左右依次为 Ilya Sutskever, Alex Krizhevsky, Geoffrey Hinton

显然，Ilya Sutskever 是最佳人选。Ilya 可以说是一位艺术家，他常常通过机器学习来表达自己的感受（有时也会通过绘画来表达）。Geoffrey Hinton（深度学习教父）曾告诉我，Alex-Net 之所以能引发一场计算机视觉深度学习革命，在于 Alex Krizhevsky 高超的 GPU 编码技能及 Ilya 的信念，即深度神经网络必定会在 ImageNet 竞赛中获胜。（Geoff 对自己贡献的管理技巧感到无比自豪。Alex 非常讨厌写论文，Geoff 告诉他，他在 ImageNet 上的性能每提高 1%，他就可以把论文推迟一周。结果 Alex 拖延了 15 周。）

一直以来，我都认为自己只能与相识多年的朋友共创公司。然而事实并非如此。八月下旬，我和 Ilya 在山景城共进晚餐，当时我就知道我们会一起合作，在此之前，我们也只在七月见过一

次。我和 Ilya 聊得十分投机，尽管我对机器学习研究的了解不多，他对工程和团队建设的认识也没有那么深入，但我们对彼此的成就印象十分深刻，也希望能够相互学习。

我们交流了彼此的看法、汲取了彼此的长处。Ilya 认为，顶级研究人员希望在人工智能组织工作，而该组织致力于为世界创造最佳成果。在我看来，要想解决一些棘手问题，则需将私营企业的资源与学术界的使命相结合。

若无外界干预，人工智能将会像自动驾驶汽车一样发挥自身的作用。一旦人工智能的潜力得以证实，人们就会与之展开合作，而后则是一场场技术竞赛。不过，人类级别的人工智能将会是一种与众不同的变革性技术，有其独特的风险和收益。我们看到了这一机遇：在人工智能领域展开合作，汇集众多顶尖研究人员，以

取得史上最重大的科技突破。

Ilya 和我一直在讨论团队组建方案，直到该方案得以落实。期间，我们讨论了战略（即将从事什么工作）、文化（想雇用的人员，即同等重视工程和研究的人员）和策略（举办每日阅读小组）。Alan Kay 与我们共进晚餐时，向我们讲述了施乐帕洛阿尔托研究中心（Xerox PARC）的故事，包括 Alto 的诞生及用硬件“在未来生存”，这些硬件在十年内将花费 1000 美元。

事后，Ilya 对用餐期间的谈话做了巧妙总结：“虽然 Alan 的话我只听懂了一半，但令人振奋不已。不过这顿饭帮我们验证了许多假设，即怎样才能构建一支能将工程与研究相结合的有影响力的团队。

6 早期团队的招募

由于 Ilya 还在谷歌工作，因此无法帮忙招聘，这一工作就落到了我身上。8 月至 11 月，由我负责创办团队。不过，我对人工智能并不熟悉，不清楚如何招募优秀的研究人员。我首先关注的是 7 月参加过晚宴的人，但不能确认具体人选。

下一步，便是通过人际网络与这些人取得联系，并依次寻求他们的推荐，这与我以往的招聘方式有所不同。对于初创公司而言，首要挑战总是要向候选人

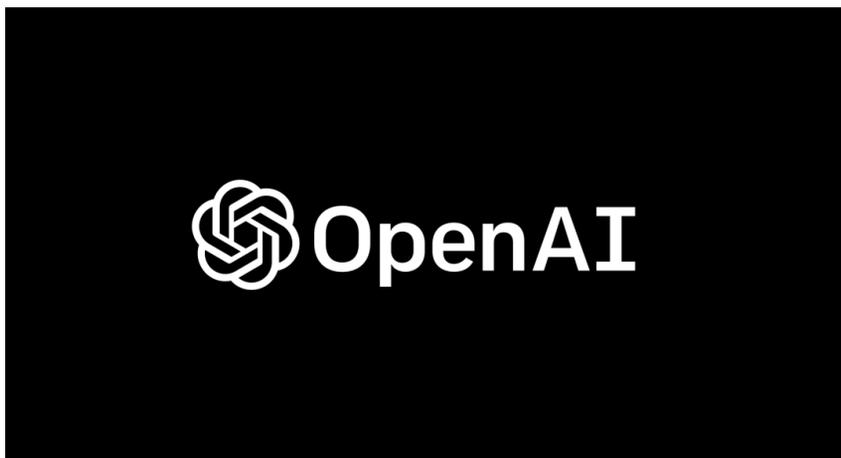


图 4

“兜售”使命，但在 OpenAI，使命立刻引发大家的共鸣。于我而言，挑战在于如何说服候选人相信这个未成形的组织。

人工智能领域顶尖人才的人际网络对我帮助很大。一位朋友引荐我认识 Andrej Karpathy 和 Wojciech Zaremba（OpenAI 联合创始人），由于我并未从事该领域工作，他们对我说的话表示怀疑。Yoshua Bengio 又将我引荐给 Durk Kingma（曾任 OpenAI 研究科学家，现在谷歌研究团队），当时后者对于我的提议表示很感兴趣，不过这种兴趣转瞬即逝。真正的转折点是 John Schulman（OpenAI 联合创始人、研究科学家）的评价，我跟他聊到这一组织的成立，他表示这样的组织正是他所追寻的，能将学术界的开放与使命同私企的资源相结合，因此加入了我们。John 的支持也引起了 Andrej 和 Wojciech 的关注。

招聘工程师相对容易一些。Trevor Blackwell 是一位机器人专家，也是 YC 的合伙人，他一直在与 Sam 讨论我们正在计划的疯狂想法。Vicki Cheung（现 Gantry 联合创始人）是在我们成立赞助机构“YC Research（现为 OpenResearch）”之后申请加入的。那时，我们虽未表明研究领域是 AI，但她深受 YC Research 构架的鼓舞，并表示很乐意参与我们团队的所有工作。

11 月初，虽然我们对创始团队有了更深入的了解，但仍然需要让大家正式加入进来。在 Sam 的建议下，我们邀请了所有候选人去户外漫步。期间，人人都真切地表达了内心想法、观点，才思泉涌（实际上，该地也是 Andrej 提出 Universe 之地）。回程中，一路上交通堵塞。不过几乎没人留意到这一点，因为大家聊得太投入了。



图 5



图 6 我们的第一间办公室（配有白板）

我们给此次活动的参与者都发了 offer，并将 offer 的截止日期设置为 12 月 1 日，这样我们就可以在 12 月初的 NIPS(NeurIPS) 机器学习会议上发布成员加入的消息。

“月末”就这样开始了。Sam、Elon 还有我和每个人都聊了聊，主要是让大家相信这件事的真实性。除了一名完全无意涉足人工智能的工程师外，其他候选人都接受了我们的 offer。

Fred Brooks 在《人月神话》一书中提及了 Robert Heinlein 的故事，该故事讲述了“登月”项目。该项目的总工程师总会被运营任务分散注意力，例如关于运输车或电话的决策，这种情况一直持续到他收到一份报告，据报告显示不再让他负责所有与技术无关的任务。

这一故事给我留下了印象深刻，我认为它同样适用于构建

人工智能的项目。技术领导除了做实际技术工作以外，同时还应该亲自做决策。我不知道自己的工程技能何时才能派上用场，不过在此期间，我决定尽我所能帮 Ilya 分担与研究无关的任务。

2016 年 1 月 4 日，我们整个团队来到第一间办公室（也就是我的公寓）开始工作。讨论中，John 和 Ilya 转身打算在白板上写点些什么，却发现这儿没有白板。我立即给他们买了一块白板，还有一些办公用品。

在一月剩下的时间里，我负责组织团队，帮忙确定哪些人负责哪些工作，以及团队想达成的目标。我们讨论了研究人员需要具备什么品质，践行公司理念，设计并确保面试顺利进行。此外，我们还谈论了愿景、工作方式以及想要达成的目标。我和 Vicki 购买了服务器，创建了 Google Apps 帐户，同时对我们 12 月

启动的 Kubernetes 集群进行了维护。

余下的时间，我阅读了 Ian Goodfellow（GAN 网络发明者）的深度学习的书籍（并写下了书评，由于我的评论比其官方评审员的评论更加全面，给他留下了深刻印象。因此，这也不失为一种招聘策略）。

7 Gym 库

比起使用新的数据集，使用一种新的算法通常能解决机器学习中的问题，Wojciech 建议构建一个库来形成强化学习环境的标准（实际上是动态数据集），现在称之为 Gym。这个代码库的质量很快成为我们迭代速度的高阶段（high-order bit）。二月底，我和 John 讨论了 Gym 的公开发布时间。按照目前的发展情况，他认为可能要到今年年底才能发布。



图7 我们正在用机器学习训练 Fetch 机器人。Gym 支持控制物理机器人和模拟机器人。

一时之间，工程学成了研究进展的瓶颈。Ilya 与我互换角色，由他负责行政工作，这样我就可以专注于技术工作。和 John 考察了这项工作之后，我们知道在四月底之前就能构建好 Gym。

在 Stripe 时，我发现了一个能够直接创建软件系统的可重复模式，即专注于软件，排除一切干扰，从早工作到晚。这样一来便能激励大家贡献自己最好的作品（重要的是，是以输出质量来衡量而不是工作时间）。这是我感觉最有活力的时候：编程就如魔法变成现实一般，我所想象和描述的事情都将成为可能。这种模式产生了 Stripe 信用卡保险库（2010 年构建完毕，也就是在我假期回家的两周内完成的）、信用卡授权流程（在三周内就能建成，而银行构建周期却需要 6-12 个月）和夺旗赛（通常我和其他人都要花三周的时间）。从战术上讲，我可以选择一个“试发行”日期和“正式”发布日期，间隔一两周；我从未选择过“试发行”

日期，但从未错过“正式”发布日期。

随之而来的是从未面临过的挑战。由于我并非该领域的专家，起初，引起了很多摩擦。我会构造一个抽象的框架来帮助 Wojciech 的工作顺利进行，而 John 会发现这一举动阻碍了他的工作进程。但很快，我就了解到哪些决定会影响研究的工作流程（例如人们如何记录指标）以及哪些细节研究人员不会关注（例如人们如何录制视频）。在确定了案例对研究的重要性之后，要保持一定的谦逊，才能做出最佳选择。我通常会提出五个可能的备选方案，John 则会指出其中有四个方案都不行。但大多数设计决策可以通过软件工程的直觉做出，而无需深入了解相关领域。

幸运的是，我不是一个人。大约在 Gym 发布的前六周，曾与我在 Stripe 一起研究 CTF 3 的 Jonas Schneider 联系了我。短短几天时间，我们就在 Gym 上建立了合作关系。因为他人在德国，所以我们通过每日交接最终成功地完成了该项目。对于已经建立好工作关系的人来说，这真的很奇妙，若一切从头开始，我们不会保持如此紧密的工作关系。

总的来说，机器学习系统可视为机器学习的核心之一——通常是一种高级算法，要想理解该算法，至少需要阅读过几章 Ian 的书——涉及大量软件工程的内容。工程可以围绕数据进行改组，提供输入和输出的封装器，或调度分布式代码，这些都会都以黑盒形式与核心（core）连接。我们



图8 Gym 发布后不久，我们在 ICLR（国际表征学习大会）上分发 OpenAI 的 T 恤

在工程和研究方面作出的努力达到一定程度时，机器学习就会取得进步。工程方面每多一分努力（例如减少 Universe 延迟），我们的模型问题就会逐渐变得更容易，并且有机会完成当前研究。

8 Universe 平台

在今年 4 月 Gym 上线后，我和 Ilya 开始调整组织流程。Sam 和 Elon 都会到访公司，提出一些指导意见，我们会根据其指导来

确定团队的结构及目标。

多样、复杂的 AI 环境是必不可少的。Andrej 提出了一个不错的建议，即创建一个 Agent 来控制 Web 浏览器，但这与 Selenium 测试工具有所冲突。



图 9 团队在第一间办公室工作的场景。当时办公室有白板，只是图片中未显示

我开始考虑使用 VNC，以允许 Agent 从像素驱动整个桌面。

但我们发现，这种方法存在许多风险。例如，2013 年 DeepMind 发布的 Atari 文章提出，他们花了 50 个小时从像素训练 Pong 游戏，我们的环境将比 Pong 更难。即使是做小规模实验，我们也需要花几天时间，而且不会取得任何进展。因此，我们设定了一个降低内部风险的目标，即让 Agent 在一小时内学会 Pong（如今我们已取得了突破：十分钟内便能解决 Pong 遇到的问题）。

就像构建 Gym 时那样，我专注于构建 VNC 系统，现称之为 Universe。与 Gym 不同的是，

该项目并非旨在支持我们现有的研究方式，而是提出全新的问题。关于这一点，我们每个团队都有负责人，他们负责照顾自身团队的成员，我们的工程师 Jie Tang 已开始带头招聘。因此，行政这一重担并没有完全落在 Ilya 身上。这十分幸运，因为这样 Ilya 就能为该风险项目的首个版本构建 Agent。

一个从整个动作空间随机抽样的 Universe Agent（即随意点击、按键）。更多表现良好的 Agent 请参阅 Universe 发布的帖子。

Universe 项目耗时相当长，因此，需要合理分配时间来运营项目。我找到了一个平衡点，编

码时，我会将时间进行划分。一次会议会扼杀整个上午 / 下午的生产力，若上午和下午都有会议，我将精疲力竭，从而导致晚间的编码效率大大降低。因此，我开始将会议时间限制在清晨或午餐后，且每天的会议次数低于三次，隔天的会议次数不超过一次。

搭建 Universe 本身就是一项系统研究工作：虽然高级规范很简单（允许 Agent 使用键盘 / 鼠标 / 屏幕），但从来没有人尝试过构建类似的系统。长期以来，人类一直可以用 VNC 控制一台远程机器，但还无法实现以编程方式同时控制数十台机器。

当我们需要衡量系统的端到端延迟时，Catherine Olsson 和

我构建了一个系统来将时间戳嵌入图像中。有时挑战不是技术上的：当研究因为训练数据有限而受阻时，Tom Brown 在 24 小时内就组建了一个外包团队来玩游戏。有时候挑战也可能难以理解，比如当 Jonathan Gray 注意到由于外包人员的笔记本电脑 CPU 较低端，游戏动态可能会与

AI 有所不同。

一天，当我正在努力重组一些 JSON 基准规范时，我意识到：我们需要重新构建这些规范，因为没有人从未尝试过在数千个游戏中对单个 Agent 进行基准测试。在 OpenAI，做艰苦的工作也是最基本的。

在接下来的几个月里，由 Dario

Amodei 和 Rafał Józefowicz 负责 Universe 的研究工作。他们都是夜猫子，我也和他们一起熬过了很多个夜晚，解决研究中遇到的问题。有时我也想在床上睡觉，但每修复一个 Bug 都会使研究加速几个小时。每个人的工作中都有一些非常有用的东西，能让研究人员提出人类此前从未有过的问题。

到发布时，Universe 团队已经有约 20 个人了。Universe 现在是一个旗舰项目，也是我们研究战略的核心部分。Universe 的例子恰好说明“工程”是如何成为当今 ML 研究的瓶颈，这也让我知道为什么有那么几天只想读 Ian 的书了。

9 下一步发展方向

我们现在是一个拥有四十人的公司，需要有人全力来优化团队。自 OpenAI 成立以来，我们一直在寻找合适的首任技术经理。几个月前，Sam 向我介绍了一位特别出色的工程执行人：Erika Reinhardt。Erika 曾在 Planet Labs 担任产品工程总监，现在在和 Sam 一起运营 voteplz.org。在 Planet Labs 时，Erika 是对端到端卫星成像系统了解最深的人之一。她工作努力，自驱力强，总能把事情做好，前同事都说她是所能遇到的最聪明的人。Sam 和我就准备邀请她加入公司。



图 10 Universe 团队在办公室开会



图 11 公司团建，2016 年 10 月

但在选举会和 Universe 发布会上与我们合作时才是她最具魅力的时刻，她发现她的领导技能在这种环境中非常适用。她告诉我：在看到 OpenAI 在参议院举办的首次 AI 听证会上发言的那一刻，她就下定决心要加入 OpenAI。当时 OpenAI 说：我们正处于重大技术变革的开端，此时最重要就是要把握时机。

在 Stripe 时，Marc Hedlund 和我常会遇到他在之前的许多公司中都遇到的问题，所以他喜欢开玩笑说所有公司都一样。就这一点而言，确实有现实依据：

如果将范围缩小一点，就会发现公司都是围绕一个目标来把人组织起来。但每个公司要解决的问题又不一样，这又决定了公司之间会有所差异。

大多数初创公司都是先创造出一种技术，然后随着时间的推移对其进行运营和扩展。OpenAI 是创造新技术的工厂，这意味着我们必须构建公司来创造新事物。我们需要维护基础设施和大型代码库，但它们又满足了我们快速行动、创新和通过结合软件工程和机器学习研究来达到新高度的需求。

在 OpenAI 当 CTO 的这段时光里，我做的正好是我最喜欢做的事：写代码。但即便如此，人仍然是我关注的焦点，所以我在 OpenAI 的故事是与社会的故事，而不是与技术的故事。

在未来，我们团队要继续携手并进，共同应对海因莱因短篇小说中“卡车或电话”的挑战，OpenAI 才能持续发展。在此，我向 Ilya、Sam、Elon 以及为 OpenAI 付出过的每一个人表示衷心的感谢。○

来源：OneFlow

ChatGPT 算法原理

去年 12 月 1 日，OpenAI 推出人工智能聊天原型 ChatGPT，再次赚足眼球，为 AI 界引发了类似 AIGC 让艺术家失业的大讨论。

ChatGPT 是一种专注于对话生成的语言模型。它能够根据用户的文本输入，产生相应的智能回答。

这个回答可以是简短的词语，也可以是长篇大论。其中

GPT 是 Generative Pre-trained Transformer（生成型预训练变换模型）的缩写。

通过学习大量现成文本和对话集合（例如 Wiki），ChatGPT 能够像人类那样即时对话，流畅的回答各种问题。（当然回答速度比人还是慢一些）无论是英文还是其他语言（例如中文、韩语等），从回答历史问题，到写故

事，甚至是撰写商业计划书和行业分析，“几乎”无所不能。甚至有程序员贴出了 ChatGPT 进行程序修改的对话。

ChatGPT 也可以与其他 AIGC 模型联合使用，获得更加炫酷实用的功能。

例如上面通过对话生成客厅设计图。这极大加强了 AI 应用与客户对话的能力，使我们看到了

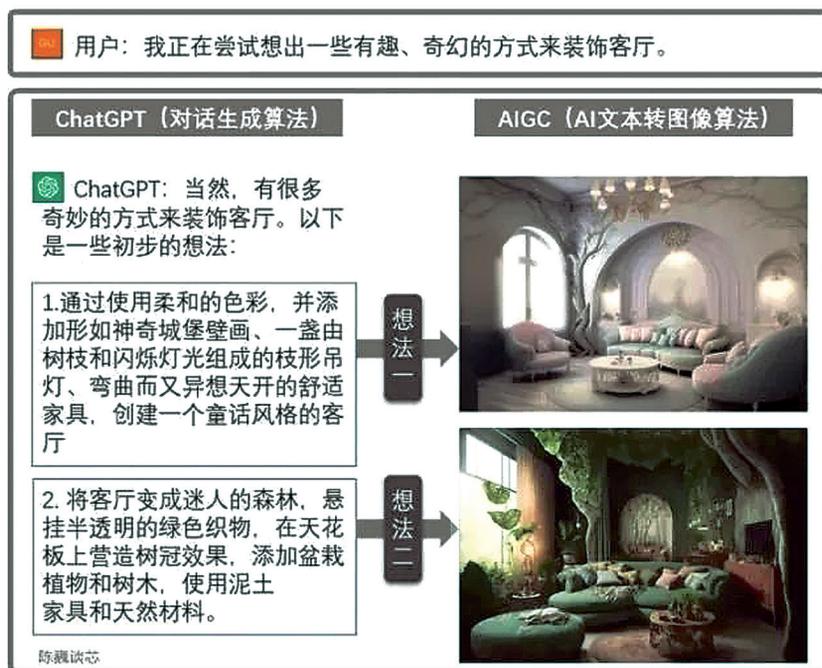


图1 ChatGPT 和 AIGC 的联合使用

AI 大规模落地的曙光。

一、ChatGPT 的传承与特点

OpenAI

1.1 OpenAI 家族

我们首先了解下 OpenAI 是哪路大神。

OpenAI 总部位于旧金山，由特斯拉的马斯克、Sam Altman 及其他投资者在 2015 年共同创立，目标是开发造福全人类的 AI 技术。而马斯克则在 2018 年时因公司发展方向分歧而离开。

此前，OpenAI 因推出 GPT 系列自然语言处理模型而闻名。从 2018 年起，OpenAI 就开始发布生成式预训练语言模型 GPT (Generative Pre-trained

Transformer)，可用于生成文章、代码、机器翻译、问答等各类内容。

每一代 GPT 模型的参数量都爆炸式增长，堪称“越大越好”。2019 年 2 月发布的 GPT-2 参数量为 15 亿，而 2020 年 5 月的 GPT-3，参数量达到了 1750 亿。

1.2 ChatGPT 的主要特点

ChatGPT 是基于 GPT-3.5 (Generative Pre-trained Trans-

former 3.5) 架构开发的对话 AI 模型，是 InstructGPT 的兄弟模型。

ChatGPT 很可能是 OpenAI 在 GPT-4 正式推出之前的演练，或用于收集大量对话数据。

OpenAI 使用 RLHF (Reinforcement Learning from Human Feedback, 人类反馈强化学习) 技术对 ChatGPT 进行了训练，且加入了更多人工监督进行微调。

此外，ChatGPT 还具有以下特征：

1) 可以主动承认自身错误。若用户指出其错误，模型会听取意见并优化答案。

2) ChatGPT 可以质疑不正确的问题。例如被询问“哥伦布 2015 年来到美国的情景”的问题时，机器人会说明哥伦布不属于这一时代并调整输出结果。

3) ChatGPT 可以承认自身的无知，承认对专业技术的不了解。

4) 支持连续多轮对话。

与大家在生活中用到的各类

GPT 家族主要模型对比

模型	发布时间	参数量	预训练数据量
GPT-1	2018年6月	1.17亿	约5GB
GPT-2	2019年2月	15亿	40G
GPT-3	2020年5月	1750亿	45TB
GhatGPT	2022年11月	千亿级?	百T级?



图2 ChatGPT 的主要特点

智能音箱和“人工智障”不同，ChatGPT 在对话过程中会记忆先前使用者的对话讯息，即上下文理解，以回答某些假设性的问题。

ChatGPT 可实现连续对话，极大的提升了对话交互模式下的用户体验。

对于准确翻译来说（尤其是中文与人名音译），ChatGPT 离完美还有一段距离，不过在文字流畅度以及辨别特定人名来说，与其他网络翻译工具相近。

由于 ChatGPT 是一个大型语言模型，目前还并不具备网络搜索功能，因此它只能基于 2021 年所拥有的数据集进行回答。

例如它不知道 2022 年世界杯的情况，也不会像苹果的 Siri 那样回答今天天气如何、或帮你搜索信息。如果 ChatGPT 能上网自己寻找学习语料和搜索知识，估计又会有更大的突破。

即便学习的知识有限，Chat-GPT 还是能回答脑洞大开的人

类的许多奇葩问题。为了避免 ChatGPT 染上恶习，ChatGPT 通过算法屏蔽，减少有害和欺骗性的训练输入。

查询通过适度 API 进行过滤，并驳回潜在的种族主义或性别歧视提示。

二、ChatGPT/GPT 的原理

2.1 NLP

NLP/NLU 领域已知局限包括对重复文本、对高度专业的主题的误解，以及对上下文短语的

误解。

对于人类或 AI，通常需接受多年的训练才能正常对话。

NLP 类模型不仅要理解单词的含义，还要理解如何造句和给出上下文有意义的回答，甚至使用合适的俚语和专业词汇。

本质上，作为 ChatGPT 基础的 GPT-3 或 GPT-3.5 是一个超大的统计语言模型或顺序文本预测模型。

2.2 GPT v.s.BERT

与 BERT 模型类似，Chat-GPT 或 GPT-3.5 都是根据输入语句，根据语言 / 语料概率来自动生成回答的每一个字（词语）。

从数学或从机器学习的角度来看，语言模型是对词语序列的概率相关性分布的建模，即利用已经说过的语句（语句可以视为数学中的向量）作为输入条件，预测下一个时刻不同语句甚至语言集合出现的概率分布。

ChatGPT 使用来自人类反馈



图3 NLP 技术的应用领域

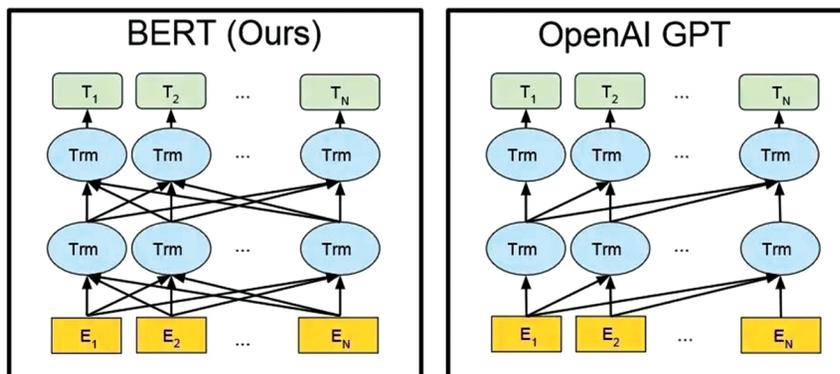


图4 BERT与GPT的技术架构(图中En为输入的每个字,Tn为输出回答的每个字)

的强化学习进行训练,这种方法通过人类干预来增强机器学习以获得更好的效果。

在训练过程中,人类训练者扮演着用户和人工智能助手角色,并通过近端策略优化算法进行微调。

由于ChatGPT更强的性能和海量参数,它包含了更多的主题的数据,能够处理更多小众主题。

ChatGPT现在可以进一步处理回答问题、撰写文章、文本摘要、语言翻译和生成计算机代码等任务。

三、ChatGPT的技术架构

3.1 GPT家族的演进

说到ChatGPT,就不得不提到GPT家族。

ChatGPT之前有几个知名的兄弟,包括GPT-1、GPT-2和GPT-3。这几个兄弟一个比一个头大,ChatGPT与GPT-3更为相近。

GPT家族与BERT模型都是

知名的NLP模型,都基于Transformer技术。GPT-1只有12个Transformer层,而到了GPT-3,则增加到96层。

3.2 人类反馈强化学习

InstructGPT/GPT3.5(ChatGPT的前身)与GPT-3的主要区别在于,新加入了被称为RLHF(Reinforcement Learning from Human Feedback,人类反馈强化学习)。

这一训练范式增强了人类对

模型输出结果的调节,并且对结果进行了更具理解性的排序。

在InstructGPT中,以下是“goodness of sentences”的评价标准。

1. 真实性:是虚假信息还是误导性信息?
2. 无害性:它是否对人或环境造成身体或精神上的伤害?
3. 有用性:它是否解决了用户的任务?

3.3 TAMER框架

这里不得不提到TAMER(Training an Agent Manually via Evaluative Reinforcement,评估式强化人工训练代理)这个框架。

该框架将人类标记者引入到Agents的学习循环中,可以通过人类向Agents提供奖励反馈(即指导Agents进行训练),从而快速达到训练任务目标。

GPT-1 (2018)	GPT-2 (2019)	GPT-3 (2020)	ChatGPT (2022)
<p>12层Transformer,每层12个注意力头</p> <p>OpenAI GPT</p>	<p>在GPT-1的基础上,GPT-2做了以下改进:</p> <ol style="list-style-type: none"> ① GPT-2有48层,使用1600维向量进行词嵌入 ② 将层归一化移动到每个子块的输入,并在最终的自注意力块后增加一层归一化 ③ 修改初始化的残差层权重,缩放为原来的$1/\sqrt{N}$。其中,N是残差层的数量。特征向量维数从768扩展到1600,词表扩大到50257 ④ 	<p>在GPT-2的基础上,GPT-3做了以下优化:</p> <ol style="list-style-type: none"> ① GPT-3有96层,每层有96个注意力头 ② GPT-3的单词嵌入大小从GPT-2的1600增加到12888 ③ 上下文窗口大小从GPT-2的1024增加到GPT-3的2048 ④ 采用交替密度和局部带状稀疏注意力模式 	<p>ChatGPT基于GPT-3.5架构,并做以下优化:</p> <ol style="list-style-type: none"> ① ChatGPT使用来自人类反馈的强化学习进行训练 ② 通过近端策略优化算法进行微调,为信任域策略优化算法带来了成本效益

图5 ChatGPT与GPT 1-3的技术对比

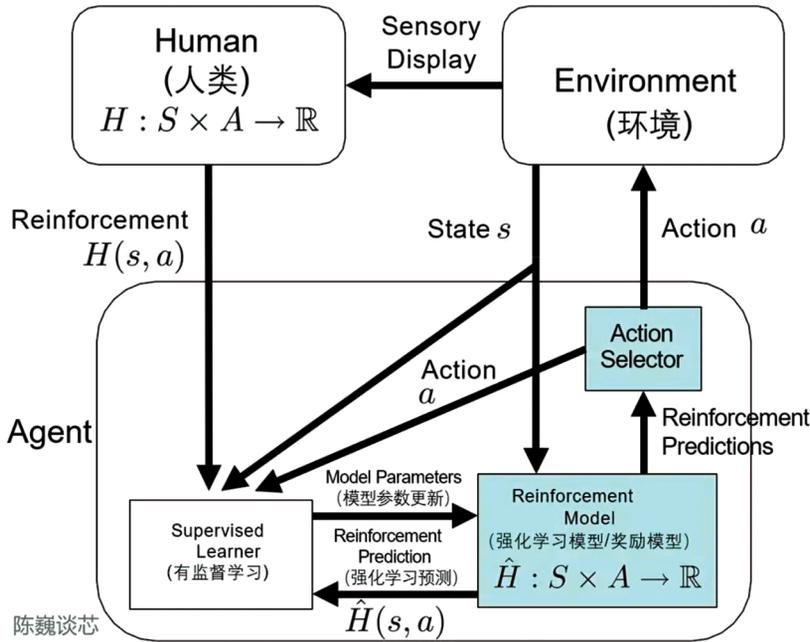


图6 TAMER 架构在强化学习中的应用

引入人类标记者的主要目的是加快训练速度。尽管强化学习技术在很多领域有突出表现，但是仍然存在着许多不足，例如训练收敛速度慢，训练成本高等特点。

特别是现实世界中，许多任务的探索成本或数据获取成本很高。如何加快训练效率，是如今强化学习任务待解决的重要问题之一。

而 TAMER 则可以将人类标记者的知识，以奖励信反馈的形式训练 Agent，加快其快速收敛。

TAMER 不需要标记者具有专业知识或编程技术，语料成本更低。通过 TAMER+RL (强化学习)，借助人人类标记者的反馈，能够增强从马尔可夫决策过程

(MDP) 奖励进行强化学习 (RL) 的过程。

具体实现上，人类标记者扮演对话的用户和人工智能助手，提供对话样本，让模型生成一些回复，然后标记者会对回复选项打分排名，将更好的结果反馈回模型中。Agents 同时从两种反馈模式中学习——人类强化和马尔可夫决策过程奖励作为一个整合的系统，通过奖励策略对模型进行微调并持续迭代。

在此基础上，ChatGPT 可以比 GPT-3 更好的理解和完成人类语言或指令，模仿人类，提供连贯的有逻辑的文本信息的能力。

3.4 ChatGPT 的训练

ChatGPT 的训练过程分为以下三个阶段：

第一阶段：训练监督策略模型

GPT 3.5 本身很难理解人类不同类型指令中蕴含的不同意图，也很难判断生成内容是否是高质量的结果。

为了让 GPT 3.5 初步具备理解指令的意图，首先会在数据集中随机抽取问题，由人类标注人员，给出高质量答案，然后用这些人工标注好的数据来微调 GPT-3.5 模型 (获得 SFT 模型, Supervised Fine-Tuning)。

此时的 SFT 模型在遵循指令 / 对话方面已经优于 GPT-3，但不一定符合人类偏好。

第二阶段：训练奖励模型 (Reward Mode, RM)

这个阶段的主要是通过人工标注训练数据 (约 33K 个数据)，来训练回报模型。

在数据集中随机抽取问题，使用第一阶段生成的模型，对于每个问题，生成多个不同的回答。人类标注者对这些结果综合考虑给出排名顺序。这一过程类似于教练或老师辅导。

接下来，使用这个排序结果数据来训练奖励模型。对多个排序结果，两两组合，形成多个训练数据对。

RM 模型接受一个输入，给出评价回答质量的分数。这样，对于一对训练数据，调节参数使得高质量回答的打分比低质量的

步骤1:

收集演示数据并训练有监督策略



步骤2:

收集比较数据并训练奖励模型



步骤3:

使用PPO强化学习算法针对奖励模型优化策略

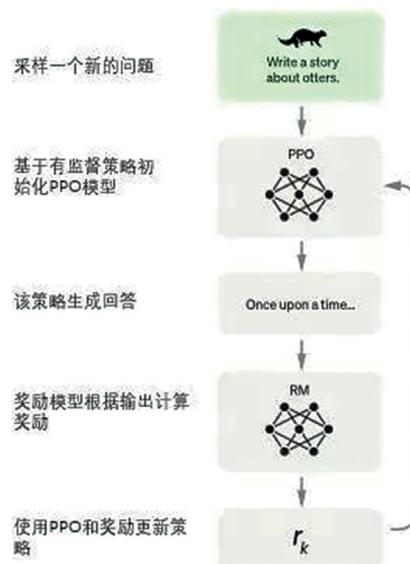


图7 ChatGPT 模型的训练过程

打分要高。

第三阶段：采用 PPO (Proximal Policy Optimization, 近端策略优化) 强化学习来优化策略。

PPO 的核心思路在于将 Policy Gradient 中 On-policy 的训练过程转化为 Off-policy，即将在线学习转化为离线学习，这个转化过程被称之为 Importance Sampling。

这一阶段利用第二阶段训练好的奖励模型，靠奖励打分来更新预训练模型参数。在数据集中随机抽取问题，使用 PPO 模型生成回答，并用上一阶段训练好的 RM 模型给出质量分数。

把回报分数依次传递，由此产生策略梯度，通过强化的方式以更新 PPO 模型参数。

如果我们不断重复第二和第三阶段，通过迭代，会训练出更高质量的 ChatGPT 模型。

四、ChatGPT 的局限

只要用户输入问题，ChatGPT 就能给予回答，是否意味着我们不用再拿关键词去喂 Google 或百度，就能立即获得想要的答案呢？

尽管 ChatGPT 表现出出色的上下文对话能力甚至编程能力，完成了大众对对话机器人 (ChatBot) 从“人工智障”到

“有趣”的印象改观，我们也要看到，ChatGPT 技术仍然有一些局限性，还在不断的进步。

1) ChatGPT 在其未经大量语料训练的领域缺乏“人类常识”和引申能力，甚至会一本正经的“胡说八道”。ChatGPT 在很多领域可以“创造答案”，但当用户寻求正确答案时，ChatGPT 也有可能给出有误导性的回答。例如让 ChatGPT 做一道小学应用题，尽管它可以写出一长串计算过程，但最后答案却是错误的。

那我们该相信 ChatGPT 的结果还是不相信呢？

2) ChatGPT 无法处理复杂冗长或者特别专业的语言结构。

对于来自金融、自然科学或医学等非常专业领域的问题，如果没有进行足够的语料“喂食”，ChatGPT 可能无法生成适当的回答。

3) ChatGPT 需要非常大量的算力（芯片）来支持其训练和部署。抛开需要大量语料数据训练模型不说，在目前，ChatGPT 在应用时仍然需要大算力的服务器支持，而这些服务器的成本是普通用户无法承受的，即便数十亿个参数的模型也需要惊人数量的计算资源才能运行和训练。如果面向真实搜索引擎的数以亿记的用户请求，如采取目前通行的免费策略，任何企业都难以承受这一成本。因此对于普通大众来说，还需等待更轻量型的模型或更高性价比的算力平台。

4) ChatGPT 还没法在线的把新知识纳入其中，而出现一些新知识就去重新预训练 GPT 模型也是不现实的，无论是训练时间或训练成本，都是普通训练者难以接受的。如果对于新知识采取在线训练的模式，看上去可行且语料成本相对较低，但是由于新数据的引入而导致对原有知识的灾难性遗忘的问题。

5) ChatGPT 仍然是黑盒模型。目前还未能对 ChatGPT 的内在算法逻辑进行分解，因此并不能保证 ChatGPT 不会产生攻击甚至伤害用户的表述。

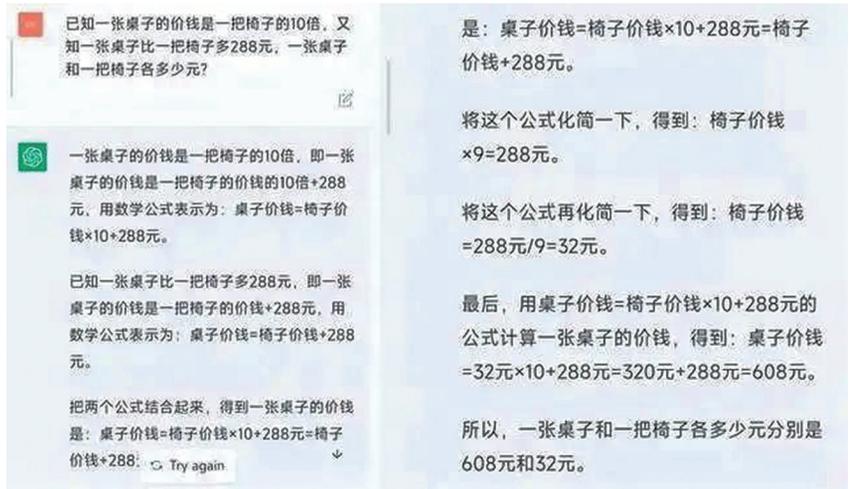


图8 ChatGPT 给出错误的数学题答案

用ChatGPT写Verilog RTL代码



```

module apb_reg_if (
    input wire    pclk,
    input wire    presetn,
    input wire [31:0] paddr,
    input wire [31:0] pwrite,
    output wire    psel,
    output wire    penable,
    output wire    pwrite,
    output wire [31:0] prdata
);

// 地址和数据宽度可配置的寄存器
reg [31:0] regs [0:31];
parameter ADDR_WIDTH = 5, DATA_WIDTH = 32;

// 根据地址选择寄存器
always @(paddr) begin
    psel <= paddr[ADDR_WIDTH - 1:0] == 0;
end
    
```

图9

当然，瑕不掩瑜，有工程师贴出了要求 ChatGPT 写 verilog 代码（芯片设计代码）的对话。可以看出 ChatGPT 水平已经超出一些 verilog 初学者了。

五、ChatGPT 的未来改进方向

5.1 减少人类反馈的 RLAIF

2020 年底，OpenAI 前研究副总裁 Dario Amodei 带着 10 名员工创办了一个人工智能公司 Anthropic。

Anthropic 的创始团队成员，大多为 OpenAI 的早期及核心员工，参与过 OpenAI 的 GPT-3、多模态神经元、人类偏好的强化学习等。

2022 年 12 月，Anthropic 再次发表论文《Constitutional AI: Harmlessness from AI Feedback》介绍人工智能模型 Claude。（arxiv.org/pdf/2212.0807）

Claude 和 ChatGPT 都依赖于强化学习（RL）来训练偏好（preference）模型。CAI（Constitutional AI）也是建立在 RLHF 的基础之上，不同之处在于，CAI 的排序过程使用模型（而非人类）对所有生成的输出结果提供一个初始排序结果。

CAI 用人工智能反馈来代替人类对表达无害性的偏好，即 RLAIF，人工智能根据一套 constitution 原则来评价回复

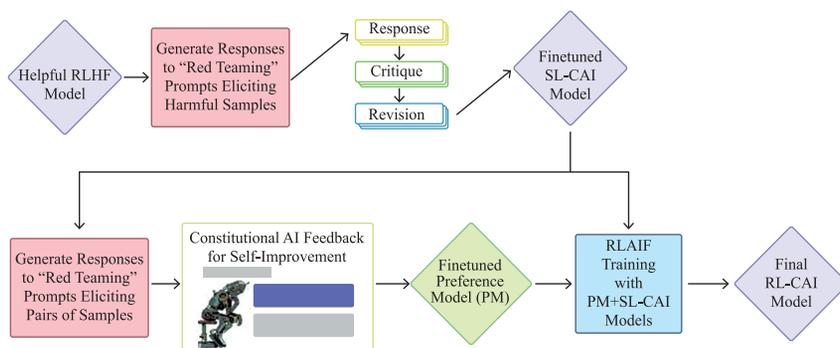


图 10 CAI 模型训练过程

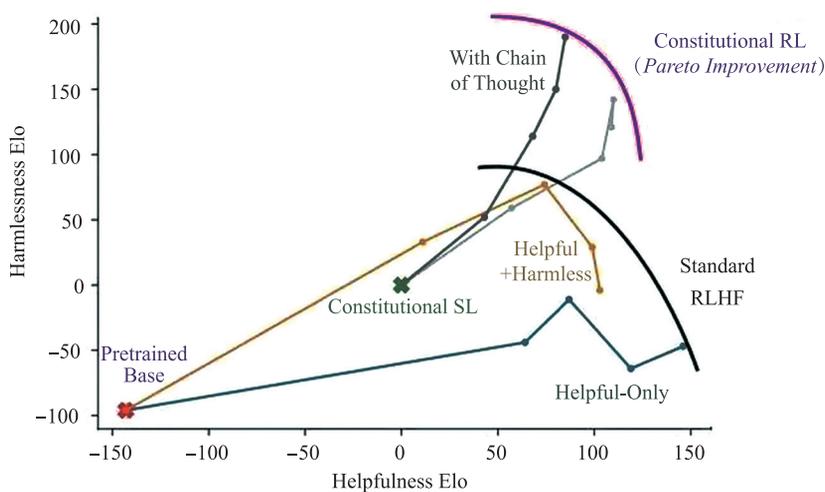


图 11

内容。

5.2 补足数理短板

ChatGPT 虽然对话能力强，但是在数理计算对话中容易出现一本正经胡说八道的情况。

计算机学家 Stephen Wolfram 为这一问题提出了解决方案。Stephen Wolfram 创造了 Wolfram 语言和计算知识搜索引擎 Wolfram | Alpha，其后台通过 Mathematica 实现。

在这一结合体系中，ChatGPT 可以像人类使用 Wolfram|Alpha 一样，与 Wolfram|Alpha “对话”，

Wolfram|Alpha 则会用其符号翻译能力将从 ChatGPT 获得的自然语言表达“翻译”为对应的符号化计算语言。

在过去，学术界在 ChatGPT 使用的这类“统计方法”和 Wolfram|Alpha 的“符号方法”上一直存在路线分歧。

但如今 ChatGPT 和 Wolfram|Alpha 的互补，给 NLP 领域提供了更上一层楼的可能。

ChatGPT 不必生成这样的代码，只需生成常规自然语言，然后使用 Wolfram|Alpha 翻译成精

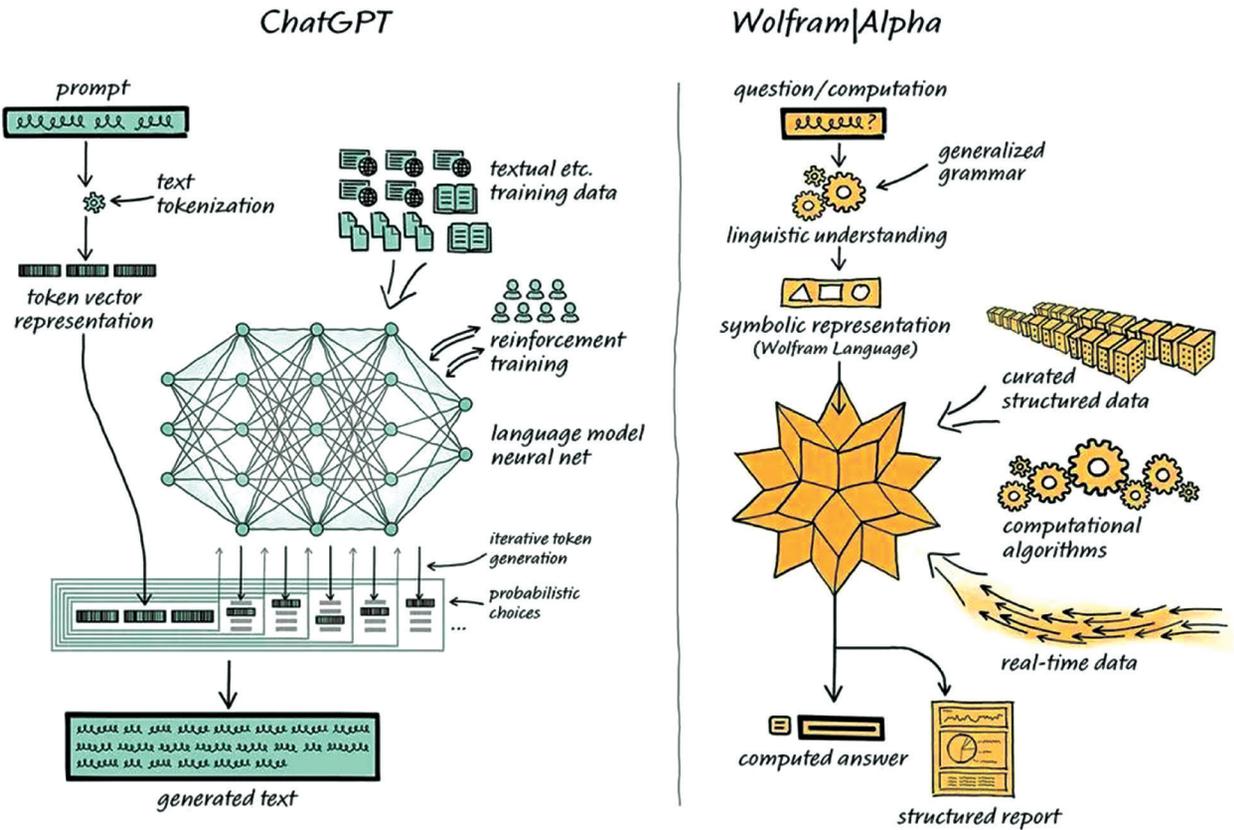


图 12 ChatGPT 与 Wolfram | Alpha 结合处理梳理问题

确的 Wolfram Language，再由底层的 Mathematica 进行计算。

5.3 ChatGPT 的小型化

虽然 ChatGPT 很强大，但其模型大小和使用成本也让很多人望而却步。

有三类模型压缩 (model compression) 可以降低模型的大小和成本。

第一种方法是量化 (quantization)，即降低单个权重的数值表示的精度。比如 Transformer 从 FP32 降到 INT8 对其精度影响不大。

第二种模型压缩方法是剪枝

(pruning)，即删除网络元素，包括从单个权重 (非结构化剪枝) 到更高粒度的组件如权重矩阵的通道。这种方法在视觉和较小规模的语言模型中有效。

第三种模型压缩方法是稀疏化。例如奥地利科学技术研究所 (ISTA) 提出的 SparseGPT (arxiv.org/pdf/2301.0077) 可以将 GPT 系列模型单次剪枝到

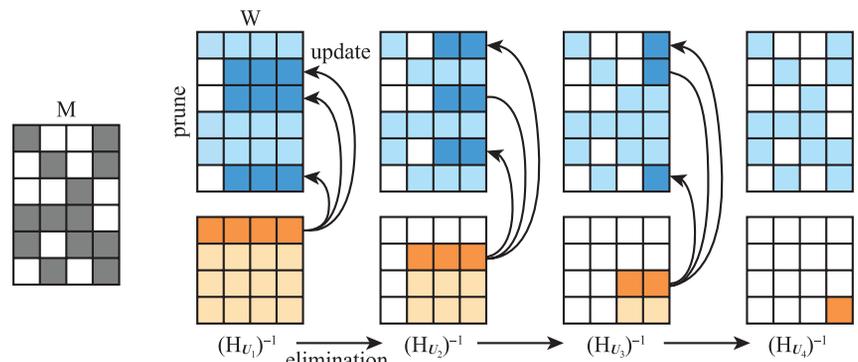


图 13 SparseGPT 压缩流程

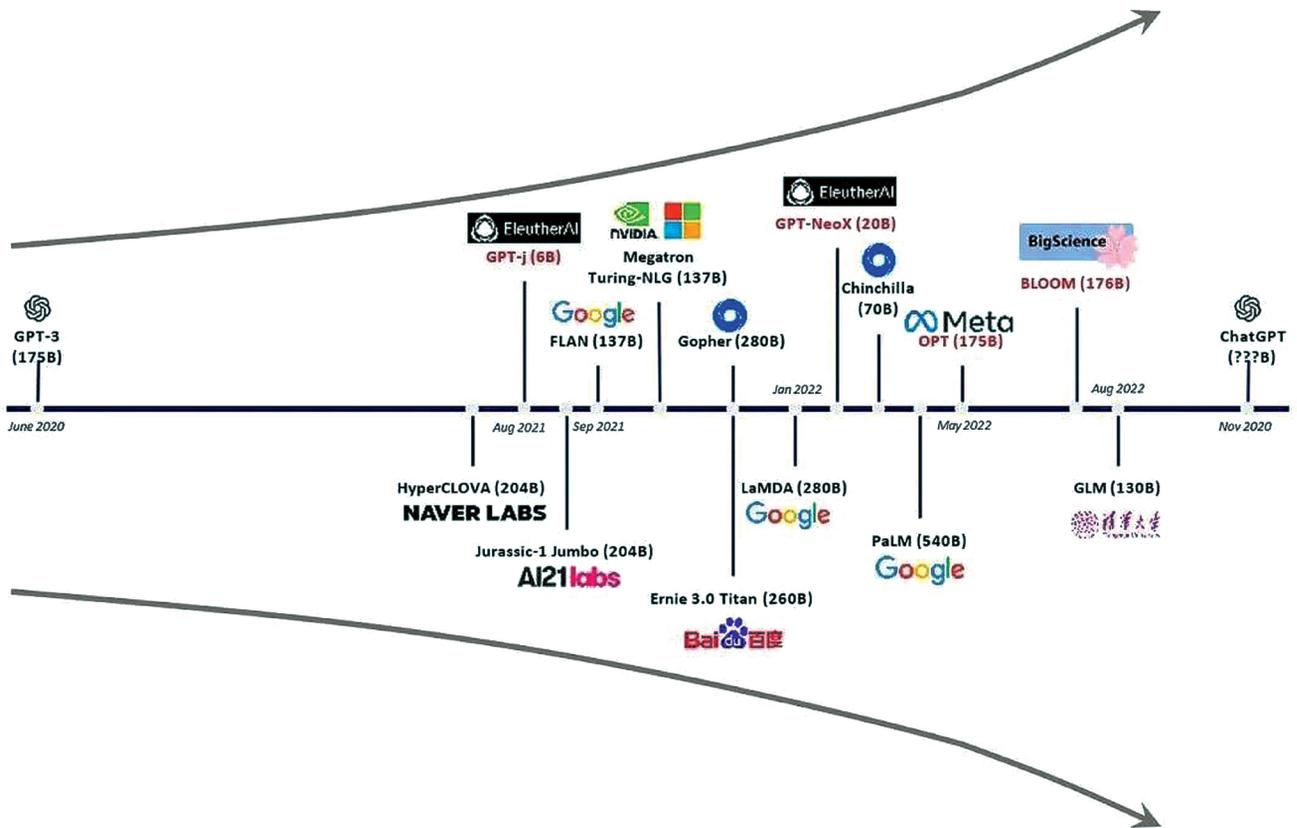


图 14 大模型呈爆发态势（更多的参数 / 更大的算力芯片需求）

50% 的稀疏性，而无需任何重新训练。对 GPT-175B 模型，只需要使用单个 GPU 在几个小时内就能实现这种剪枝。

六、ChatGPT 的产业未来与投资机会

6.1 AIGC

说到 ChatGPT 不得不提 AIGC。

AIGC 即利用人工智能技术来生成内容。与此前 Web1.0、Web2.0 时代的 UGC（用户生产内容）和 PGC（专业生产内容）相比，代表人工智能构思内容的

AIGC，是新一轮内容生产方式变革，而且 AIGC 内容在 Web3.0 时代也将出现指数级增长。

ChatGPT 模型的出现对于文字 / 语音模态的 AIGC 应用具有重要意义，会对 AI 产业上下游产生重大影响。

6.2 受益场景

从下游相关受益应用来看，包括但不限于无代码编程、小说生成、对话类搜索引擎、语音陪伴、语音工作助手、对话虚拟人、人工智能客服、机器翻译、芯片设计等。

从上游增加需求来看，包括

算力芯片、数据标注、自然语言处理（NLP）等。

随着算法技术和算力技术的不断进步，ChatGPT 也会进一步走向更先进功能更强的版本，在越来越多的领域进行应用，为人类生成更多更美好的对话和内容。

最后，作者问存算一体技术在 ChatGPT 领域的地位（作者本人目前在重点推进存算一体芯片的产品落地），ChatGPT 想了想，大胆的预言存算一体技术将在 ChatGPT 芯片中占据主导地位。○

来源：中国投融资

中国自动化学会积极组织参与 2023 “科创中国”年度会议

2023年2月20日，中国科协召开2023“科创中国”年度会议，本次會議的主题是“创新提振发展信心 科技激发产业活力”。会议深入学习贯彻党的二十大精神，落实中央经济工作会议要求，按照中央书记处对中国科协工作的指示精神及中国科协全委会工作安排，坚持守正创新、简约高效理念，集中展现“科创中国”工作成效，对照“科创中国”三年行动计划，全面部署2023年“科创中国”重点任务，凝聚“一体两翼”工作合力，以科创促双创、促增长、促就业，打造更深层次协同、更高质量合作的科技经济融合生

态。中国自动化学会副秘书长陈积明、王坛现场参会，学会秘书处积极组织全体工作人员线上参会。

会上隆重举行了2022年度“科创中国”优秀科技服务团授牌仪式和中国科协求是杰出青年成果转化奖颁奖仪式。中国自动化学会组建的“科创中国”智能产业科技服务团被中国科协评为“2022年度优秀科技服务团”。

大会为表彰全国科技工作者在科技成果转化工作中的优异成绩，经中国科协求是杰出青年奖评审委员会推荐审议，决定授予中国自动化学会副秘书长、浙江大学教授、浙江工业大学副校长

陈积明等10人第二十五届“中国科协求是杰出青年成果转化奖”。全国政协副主席、中国科协主席万钢，国家自然科学基金委员会主任、中国科学院院士、中国科协求是杰出青年奖评审委员会主任李静海为获奖者颁奖。

中国科协求是杰出青年奖评审委员会认为，陈积明教授在多态融合低空飞行器智能监测方面开展创新性研究，取得了一系列原创性技术成果，形成了系列产品和装备，应用于国家重大活动以及重安设施保障，产生了重要的经济社会效益。○

学会秘书处 供稿

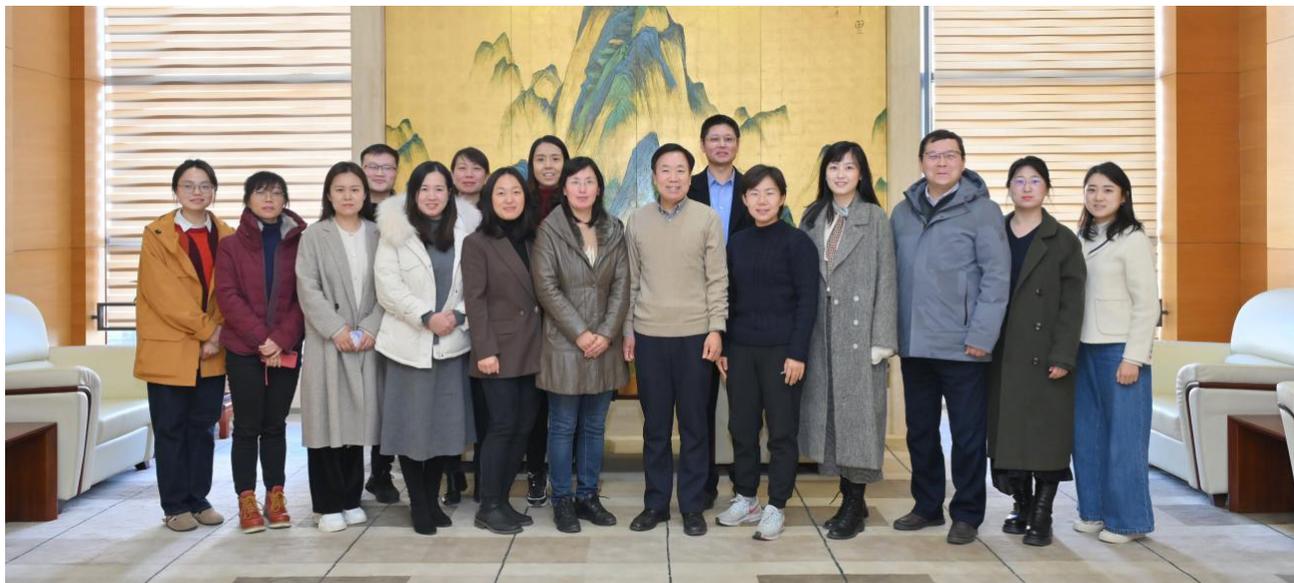


图1 副秘书长王坛作为中国自动化学会代表上台领奖



图2 副秘书长陈积明上台领奖

中国教育科学研究院一行来访中国自动化学会



参会代表合影

2023年2月24日，中国教育科学研究院德育与学校党建研究所副所长赵小红、中国教育科学研究院评估部主任李杨映雪一行8人来访中国自动化学会。中国自动化学会副理事长、中科院自动化研究所研究员侯增广，中国自动化学会秘书长张楠、副秘书长王坛及秘书处相关负责同志进行了接待，双方就学会有关青少年科普活动的开展情况进行了交流。

会上，张楠秘书长对中国教育科学研究院一行的来访表示热烈欢迎，并从发展背景、学术会议、人才培养、科普活动等方面

对学会的整体情况进行了简要介绍。随后双方共同观看中国自动化学会60周年宣传片。

随后学会秘书处相关负责同志详细介绍了学会系列科普活动，重点就入选教育部2022-2025学年中小學生竞赛“白名单”的全国青少年劳动技能与智能设计大赛进行了介绍，双方就大赛背景、组织流程、管理制度等方面进行了深入交流。

中国教育科学研究院德育与学校党建研究所副所长赵小红对中国自动化学会在科技与人才培养融合发展方面作出的努力给予充分肯定，希望中国自动化学会

继续发挥学科优势促进跨学科的人才培养，组织好学会大赛活动，为基础教育高质量发展作出贡献。

会议最后，中国自动化学会副理事长、中科院自动化研究所研究员侯增广表示学会将秉承“公正、公平、独立”的原则，在教育部、中国科协等单位的指导下，对竞赛活动进行科学组织、规范实施和自我监管，进一步完善赛事人才培养体系，推动产教赛紧密融合，培养更多具有创新创业型的优秀人才，为我国自动化事业高质量发展贡献力量。○

学会秘书处 供稿

第十二期 CAA 会士面对面活动火热召开



图1 青岛大学侯忠生教授



图2 青岛大学侯忠生教授作报告



图3 湖南大学电气与信息工程学院副教授冯运主持

CAA 会士面对面系列活动是中国自动化学会为学会会士量身打造的高端学术交流平台，每期活动邀请 1 位或数位学会会士进行专题报告，围绕国际科技热点，聚焦国家创新发展战略需求，前瞻学科领域发展新方向，积极发挥学术引领和科技智库作用，展现重大学术咨询研究成果，引导社会尊崇科学思想和方法，促进公众提升科学意识和素养。

2023 年第二期（总第十二期）会士面对面讲座于 2023 年 2 月 17 日上午成功召开，中国自动化学会会士，理事、IEEE Fellow、青岛大学首席教授侯忠生作题为“无模型自适应控制历史及进展”的报告。

现代控制理论面临的基本问题；无模型自适应控制理论的历史背景、理论基础、框架体系、发展现状、应用领域、学科影响等，其中也包括与 PID、线性系统的自适应控制、以及传统迭代学习控制之间的关系等内容。最后指出基于模型的现代控制理论与数据驱动的无模型自适应控制理论之间的本质差别，以及控制理论未来发展展望。

本次活动由中国科协“青年人才托举工程”入选者、湖南大学电气与信息工程学院副教授冯运主持，通过腾讯会议、CAA 会议小程序、CAA 官方视频号、学会微博官方账号、百家号等平台全程直播，共计近 2 万人次在线观看直播。○

学会秘书处 供稿

三菱电机自动化（中国）有限公司一行来访中国自动化学会

2023年1月31日，三菱电机自动化（中国）有限公司总裁张巍、经营企划室市场部部长王华、北方分公司区域战略科副科长严琼一行来访中国自动化学会。中国自动化学会副理事长侯增广、党支部副书记吕爱英、副秘书长王坛及秘书处相关负责同志进行了接待。

王坛副秘书长从发展背景、学术会议、科技经济融合、人才培养、科技奖励、国际合作等方面对学会的整体情况进行了简要介绍，随后双方共同观看中国自动化学会60周年宣传片。来访期间，王坛副秘书长、吕爱英副书记等陪同张巍总裁一行参观了中国科学院自动化研究所展厅。

张巍总裁介绍了三菱电机的发展现状，双方就未来学术会议、人才培养等合作事项以及后期深入合作方向等进行了商讨，并就学会系列赛事资源整合、赛道划分、影响力提升等事宜展开深入探讨交流。双方一致表示今后将在产学研融合、活动交流等多层面创新合作平台，深化会企合作。

此次洽谈，中国自动化学会与三菱电机自动化（中国）有限公司加深了彼此的了解，为后续全面深度合作奠定了坚实的基础。未来，学会将持续加强与企业的沟通衔接，促进产学研用深度融合，促进科技成果落地，发挥好

桥梁纽带作用，服务创新驱动发展，实现人才集合、技术集成、服务聚力，赋能产业链集群化发展，充分发挥中国自动化学会在服务科技经济融合中的作用。○

学会秘书处 供稿



代表合影

中澳建交 50 周年暨 2023 年春节招待会

——IEEE/CAA JAS 主编韩清龙致辞

2023年1月28日18时30分，中澳建交50周年暨2023年春节招待会在中国驻墨尔本领事馆（75-77 IRVING ROAD, TOORAK

VIC 3142, Melbourne, Australia）举行。中国驻墨尔本代总领事曾建华先，中国驻墨尔本副总领事陈小东先生，中国驻墨尔本

本总领馆教育参赞郭春鸣先生等及澳州政府、工商、科教、文化各界人士，领区华侨华人、中资机构、留学生代表以参加招待会。

大会特别邀请到中国自动化学会会士，《自动化学报》英文刊IEEE/CAA JAS 主编韩清龙教授进行发言。韩清龙教授对代表澳大利亚维州及塔斯马尼亚州华人教育界学者们，向广大在澳华人华侨、中资机构人员和留学生以及各界朋友致以节日的问候和良好的祝愿。

韩清龙教授指出去年12月中澳双方隆重庆祝建交50周年，自两国建交以来，中国已经成为澳大利亚最大国际留学生生源国，中澳两国和人民在文化、科教等领域建立了牢固的互利共赢合作关系和友谊，为两国人民带来了实际利益。

韩教授表示因为疫情，很多面对面的交流计划暂时停止，然而在教育组的卓越领导下，仍然做了大量的工作，取得了优异成绩。希望大家在新的一年里继续为中澳关系发展作出新的贡献。○

学会秘书处 供稿



图1 中国驻墨尔本总领馆举办庆祝中澳建交50周年暨2023年春节招待会



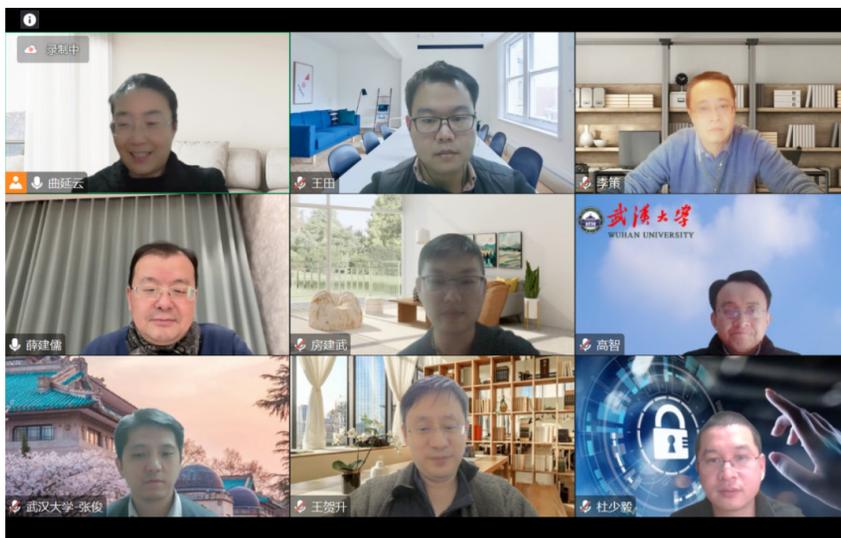
图2 中国自动化学会会士，《自动化学报》英文刊IEEE/CAA JAS 主编韩清龙教授致辞

中国自动化学会混合智能专委会召开未来规划讨论会

2023年2月9日，中国自动化学会混合智能专委会未来五年发展规划工作会召开。

本次会议由工作总结、工作讨论、组织机构分工等多个环节组成。专委会主任委员西安交通大学薛建儒教授，三位专委会副主任委员：上海交通大学王贺升教授、武汉大学张俊教授，副主任委员兼秘书长厦门大学曲延云教授，五位专委会副秘书长：兰州理工大学李策教授、武汉大学高智教授、西安交通大学杜少毅教授、长安大学房建武副教授、北京航空航天大学王田副教授出席会议并参与讨论。会议由副主任委员、秘书长曲延云教授主持。

会上，薛建儒主任带领组织机构全体成员针对三个议题开展讨论：1) 专委会未来五年的发展规划，2) 专委会每年的常规动作和自选动作，做到常规动作有质量自选动作有特色，3) 对组织机构成员的工作进行了分工。第一届专委会在混合智能前沿讲习班、两个机器人顶会的论文预分享会：



线上参会代表

Pre-ICRA、Pre-IROS 等工作上取得了优秀的成绩，在此基础上，第二届专委会应该继承发扬第一届专委会取得的成绩，在国际国内交流、国内外优秀期刊会议上开展工作，开阔新的领域。

副主任王贺升教授提出，专委会在未来五年要发起以混合智能为主题的相关期刊和国际会议，形成常态化的交流平台，邀请领域资深专家进行特邀专栏或者特邀主旨报告。

副主任张俊教授提出专委会在自动化学会的带领下，在相关

的学术组织、出版社发展扩大学术影响力。

副主任曲延云教授提出专委会增设走进企业、走进高校系列活动，形成常态化的委员交流平台。

会议经过讨论，明确了专委会未来五年发展规划和组织分工。

薛建儒教授指出，专委会要团结拼搏、锐意进取，加快建设成有特色的组织，推进和发展新一代人工智能中混合智能基础理论。○

中国自动化学会混合智能专委会 供稿

浙江省自动化学会“希望之光”组合式人才帮扶团到苍南开展帮扶活动

2023年2月18日，浙江省自动化学会“希望之光”组合式人才帮扶团到苍南县开展帮扶活动。浙江大学发展委员会副主席，浙江大学原党委副书记、副校长张宏建教授，浙江大学控制科学与工程学院副院长侯迪波教授，浙江大学控制科学与工程学院智能感知与检测研究所副所长黄平捷教授等到苍南县实地调研智能仪器仪表产业，开展帮扶活动。帮扶团一行走访了苍南仪表集团股份有限公司，了解企业发展现状以及企业在发展过程中存在的问题，交流相关科研项目情况。

实地走访之后，“希望之光”组合式人才帮扶团和苍南县召开

座谈交流会，副县长管素叶出席会议，苍南县府办、县委组织部、县科协、县经信局、县科技局、县人社局等相关单位分管负责人参加会议，会议由县科协党组书记王炜主持。

会上，县科协副主席方飞璋从机制建立、科企互动、需求摸排、对接洽谈等方面介绍了“希望之光”组合式人才帮扶工作开展情况。

接下来，重点聚焦2023年“希望之光”帮扶工作思路，在搭建工作平台、建立人才驿站、设立人才培养基地和人才制度保障等方面展开热烈讨论，并达成共识，形成行之有效的工作思路。

张建宏教授表示，要把苍南仪器仪表产业推进到百亿，任务重、压力大，前期开展过程中也发现很多问题困难，通过此次座谈会，得到县政府的大力支持，进一步达成共识，对接下来

“希望之光帮扶团”工作开展充满信心。“人才帮扶”是一项综合性的系统工程，张宏建教授建议大家紧密协同，从多方面着手把工作做实，例如，牵线搭桥，引进高层次人才或一些新企业，促进产业增大增强；以多种方式培训授课，提升企业管理和自主研发水平；开辟新的发展方向，提升产业竞争力。

最后，管素叶副县长作会议总结。她首先对“希望之光”帮扶团对苍南县仪器仪表产业的发展出谋划策表示感谢，对帮扶团成立以来的帮扶活动以及各部门对接工作表示肯定。她表示，为响应共同富裕示范区建设号召，要真抓实干，县相关部门多方联动，结合自身特色职能，对仪器仪表产业提供更多的人力资源；做好后方保障，提供政策支持，搭建高质量工作平台，精准摸排企业需求，有力助推仪器仪表产业和谐发展和科研成果转化，为加快推动苍南实现跨越式高质量发展、助推苍南实现共同富裕提供智力支持和技术支撑。○

浙江省自动化学会 供稿



交流会现场

工业和信息化部等十六部门 关于促进数据安全产业发展的指导意见

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，全面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，坚定不移贯彻总体国家安全观，统筹发展和安全，把握数字化发展机遇，以全面提升数据安全产业供给能力为主线，以创新为动力、需求为导向、人才为根本，加强核心技术攻关，加快补齐短板，促进各领域深度应用，发展数据安全服务，构建繁荣产业生态，推动数据安全产业高质量发展，全面加强数据安全产业体系和能力，夯实数据安全治理基础，促进以数据为关键要素的数字经济健康快速发展。

（二）基本原则。坚持创新驱动，强化企业创新主体地位，优化创新资源要素配置，激发各类市场主体创新活力。坚持以人为本，维护人民数据安全合法权益，依靠人民智慧发展产业，发展成果更多更公平惠及人民。坚持需求牵引，以有效需求引领产业供给，以深

度应用促进迭代升级。坚持开放协同，注重更大范围、更宽领域、更深层次的开放合作，协同推进全产业链深度融合、共创共享。

（三）发展目标。到2025年，数据安全产业基础能力和综合实力明显增强。产业生态和创新体系初步建立，标准供给结构和覆盖范围显著优化，产品和服务供给能力大幅提升，重点行业领域应用水平持续深化，人才培养体系基本形成。

——产业规模迅速扩大。数据安全产业规模超过1500亿元，年复合增长率超过30%。

——核心技术创新突破。建成5个省部级及以上数据安全重点实验室，攻关一批数据安全重点技术和产品。

——应用推广成效显著。打造8个以上重点行业领域典型应用示范场景，推广一批优秀解决方案和试点示范案例。

——产业生态完备有序。建成3—5个国家数据安全产业园、10个创新应用先进示范区，培育若干具有国际竞争力的龙头骨干企业、单项冠军企业和专精特新

“小巨人”企业。

到2035年，数据安全产业进入繁荣成熟期。产业政策体系进一步健全，数据安全关键核心技术、重点产品发展水平和专业服务能力跻身世界先进行列，各领域数据安全应用意识和应用能力显著提高，涌现出一批具有国际竞争力的领军企业，产业人才规模与质量实现双提升，对数字中国建设和数字经济发展的支撑作用大幅提升。

二、提升产业创新能力

（四）加强核心技术攻关。推进新型计算模式和网络架构下数据安全基础理论和技术研究，支持后量子密码算法、密态计算等技术在数据安全产业的发展应用。优化升级数据识别、分类分级、数据脱敏、数据权限管理等共性基础技术，加强隐私计算、数据流转分析等关键技术攻关。研究大数据场景下轻量级安全传输存储、隐私合规检测、数据滥用分析等技术。建设和认定一批省部级及以上数据安全重点实验室，鼓励产学研用多方主体共建高水

平研发机构、产业协同创新中心，开展技术攻关，推动成果转化。

（五）构建数据安全产品体系。加快发展数据资源管理、资源保护产品，重点提升智能化水平，加强数据质量评估、隐私计算等产品研发。发展面向重点行业领域特色需求的精细化、专业型数据安全产品，开发适合中小企业的解决方案和工具包，支持发展定制化、轻便化的个人数据安全防护产品。提升基础软硬件数据安全水平，推动数据安全产品与基础软硬件的适配发展，增强数据安全内生能力。

（六）布局新兴领域融合创新。加快数据安全技术与人工智能、大数据、区块链等新兴技术的交叉融合创新，赋能提升数据安全态势感知、风险研判等能力水平。加强第五代和第六代移动通信、工业互联网、物联网、车联网等领域的数据安全需求分析，推动专用数据安全产品创新研发、融合应用。支持数据安全产品云化改造，提升集约化、弹性化服务能力。

三、壮大数据安全服务

（七）推进规划咨询与建设运维服务。面向数据安全合规需求，发展合规风险把控、数据资产管理、安全体系设计等方面的规划咨询服务。围绕数据安全保护能力建设与运行需求，积极发展系统集成、监测预警、应急响应、

安全审计等建设运维服务。面向数据有序开发利用的安全需求，发展数据权益保护、违约鉴定等中介服务。

（八）积极发展检测、评估、认证服务。建立数据安全检测评估体系，加强与网络安全等级保护评测等相关体系衔接，培育第三方检测、评估等服务机构，支持开展检测、评估人员的培训。支持开展数据安全技术、产品、服务和管理体系认证。鼓励检测、评估、认证机构跨行业跨领域发展，推动跨行业标准互通和结果互认。推动检测、评估等服务与数据安全相关标准体系的动态衔接。

四、推进标准体系建设

（九）加强数据安全产业重点标准供给。充分发挥标准对产业发展的支撑引领作用，促进产业技术、产品、服务和应用标准化。鼓励科研院所、企事业单位、普通高等院校及职业院校等各类主体积极参与数据安全产业评价、数据安全产品技术要求、数据安全产品评测、数据安全服务等标准制定。高质高效推进贯标工作，加大标准应用推广力度。积极参与数据安全国际标准组织活动，推动国内国际协同发展。

五、推广技术产品应用

（十）提升关键环节、重点领域应用水平。深度分析工业、电

信、交通、金融、卫生健康、知识产权等领域数据安全需求，梳理典型应用场景，分类制定数据安全技术产品应用指南，促进数据处理各环节深度应用。推动先进适用数据安全技术在电子商务、远程医疗、在线教育、线上办公、直播新媒体等新型应用场景，以及国家数据中心集群、国家算力枢纽节点等重大数据基础设施中的应用。推进安全多方计算、联邦学习、全同态加密等数据开发利用支撑技术的部署应用。

（十一）加强应用试点和示范推广。组织开展数据安全新技术、新产品应用试点，推进技术产品迭代升级，验证适用性和推广价值。遴选一批技术先进、特点突出、应用成效显著的数据安全典型案例和创新主体，加强示范引领。开展重点区域和行业数据安全应用示范，打造数据安全创新应用先进示范区，集中示范应用并推广数据安全技术产品和解决方案。

六、构建繁荣产业生态

（十二）推动产业集聚发展。立足数据安全政策基础、产业基础、发展基础等因素，布局建设国家数据安全产业园，推动企业、技术、资本、人才等加快向园区集中，逐步建立多点布局、以点带面、辐射全国的发展格局。鼓励地方结合产业基础和优势，围绕关键技术产品和重点领域应用，

打造龙头企业引领、具有综合竞争力的高端化、特色化数据安全产业集群。

(十三) 打造融通发展企业体系。实施数据安全优质企业培育工程，建立多层次、分阶段、递进式企业培育体系，发展一批具有生态引领力的龙头骨干企业，培育一批掌握核心技术、具有特色优势的数据安全专精特新中小企业、专精特新“小巨人”企业，培育一批技术、产品全球领先的单项冠军企业。发挥龙头骨干企业引领支撑作用，带动中小微企业补齐短板、壮大规模、创新模式，形成创新链、产业链优势互补，资金链、人才链资源共享的合作共赢关系。

(十四) 强化基础设施建设。充分利用已有资源，建立健全数据安全风险库、行业分类分级规则库等资源库，支撑数据安全产品研发、技术手段建设，为数据安全场景应用测试等提供环境。建设数据安全产业公共服务平台，提供创新支持、供需对接、产融合作、能力评价、职业培训等服务，实现产业信息集中共享、供需两侧精准对接、公共服务敏捷响应。

七、强化人才供给保障

(十五) 加强人才队伍建设。推动普通高等院校和职业院校加强数据安全相关学科专业建设，强化课程体系、师资队伍和实习

实训等。制定颁布数据安全工程技术人员国家职业标准、实施数字技术工程师培育项目，培养壮大高水平数据安全工程师队伍，鼓励科研机构、普通高等院校、职业院校、优质企业和培训机构深化产教融合、协同育人，通过联合培养、共建实验室、创建实习实训基地、线上线下结合等方式，培养实用型、复合型数据安全专业技术技能人才和优秀管理人才。推进通过职业资格评价、职业技能等级认定、专项职业能力考核等，建立健全数据安全人才选拔、培养和激励机制，遴选推广一批产业发展急需、行业特色鲜明的数据安全优质培训项目。充分利用现有人才引进政策，引进海外优质人才与创新团队。

八、深化国际交流合作

(十六) 推进国际产业交流合作。充分利用双多边机制，加强数据安全产业政策交流合作。加强与“一带一路”沿线国家数据安全产业合作，促进标准衔接和认证结果互认，推动产品、服务、技术、品牌“走出去”。鼓励国内外数据安全企业在技术创新、产品研发、应用推广等方面深化交流合作。探索打造数据安全产业国际创新合作基地。支持举办高层次数据安全国际论坛和展会。鼓励我国数据安全领域学者、企业家积极参与相关国际组织工作。

九、保障措施

(十七) 加强组织领导。充分发挥国家数据安全工作协调机制作用，将发展数据安全产业作为提高数据安全保障能力的基础性任务，央地协同打造数据安全产业链创新链。各部门要加强统筹协调，形成发展合力，确保任务落实。各地有关部门要强化资源要素配置，推动产业发展重大政策、重点工程落地。

(十八) 加大政策支持。研究利用财政、金融、土地等政策工具支持数据安全技术攻关、创新应用、标准研制和园区建设。支持符合条件的数据安全企业享受软件和集成电路企业、高新技术企业等优惠政策。引导各类金融机构和社会资本投向数据安全领域，支持数据安全保险服务发展。支持数据安全企业参与“科技产业金融一体化”专项，通过国家产融合作平台获得便捷高效的金融服务。

(十九) 优化发展环境。加快数据安全制度体系建设，细化明确政策要求。加强知识产权运用和保护，建立健全行业自律及监督机制，建立以技术实力、服务能力为导向的良性市场竞争环境。科学高效开展数据安全产业统计，健全产业风险监测机制，及时研判发展态势，处置突出风险，回应社会关切。加强教育引导，提升各类群体数据安全保护意识。○

来源：网络安全管理局

“机器人+”应用行动实施方案

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，全面贯彻党的二十大精神，完整、准确、全面贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，着力推动高质量发展，统筹发展和安全，面向人民对美好生活向往以及经济社会数字化发展需要，坚持应用牵引、典型引领、基础支撑，发挥部门、地方、行业等多方作用，以产品创新和场景推广为着力点，分类施策拓展机器人应用深度和广度，培育机器人发展和应用生态，增强自主品牌机器人市场竞争力，推进我国机器人产业自立自强，为加快建设制造强国、数字中国，推进中国式现代化提供有力支撑。

（二）主要目标

到2025年，制造业机器人密度较2020年实现翻番，服务机器人、特种机器人行业应用深度和广度显著提升，机器人促进经济社会高质量发展的能力明显增强。聚焦10大应用重点领域，突破100种以上机器人创新应用技术及

解决方案，推广200个以上具有较高技术水平、创新应用模式和显著应用成效的机器人典型应用场景，打造一批“机器人+”应用标杆企业，建设一批应用体验中心和试验验证中心。推动各行业、各地方结合行业发展阶段和区域发展特色，开展“机器人+”应用创新实践。搭建国际国内交流平台，形成全面推进机器人应用的浓厚氛围。

二、深化重点领域“机器人+”应用

面向社会民生改善和经济发展需求，遴选有一定基础、应用覆盖面广、辐射带动作用强的重点领域，聚焦典型应用场景和用户使用需求，开展从机器人产品研发、技术创新、场景应用到模式推广的系统推进工作。支持一些新兴领域探索开展机器人应用。

（一）经济发展领域

1. 制造业

研制焊接、装配、喷涂、搬运、磨抛等机器人新产品，加快机器人化生产装备向相关领域应用拓展。开发专业化、定制化的解决方案和软硬件产品，积累模

型库、工艺软件包等经验知识，深度融合机器人控制软件和集成应用系统，推动在汽车、电子、机械、轻工、纺织、建材、医药等已形成较大规模应用的行业，卫浴、陶瓷、光伏、冶炼、铸造、钣金、五金、家具等细分领域，喷釉、修胚、抛光、打磨、焊接、喷涂、搬运、码垛等关键环节应用。推进智能制造示范工厂建设，打造工业机器人典型应用场景。发展基于工业机器人的智能制造系统，助力制造业数字化转型、智能化变革。

2. 农业

研制耕整地、育种育苗、播种、灌溉、植保、采摘收获、分选、巡检、挤奶等作业机器人，以及畜禽水产养殖的喂料、清污、消毒、疫病防治、环境控制、畜产品采集等机器人产品。开发专用操控系统、自主智能移动平台及作业部件，推动机器人与农田、农艺、品种相适应，实现信息在线感知、精细生产管控、无人自主作业、高效运维管理。打造丘陵山区、大田、设施园艺、畜牧水产、贮运加工等农业机器人应用场景。加快农林牧渔业基础设

施和生产装备智能化改造，推动机器人与农业种植、养殖、林业、渔业生产深度融合，支撑智慧农业发展。

3. 建筑

研制测量、材料配送、钢筋加工、混凝土浇筑、楼面墙面装饰装修、构部件安装和焊接、机电安装等机器人产品。提升机器人对高原高寒、恶劣天气、特殊地质等特殊自然条件下基础设施建养以及长大穿山隧道、超大跨径桥梁、深水航道等大型复杂基础设施建养的适应性。推动机器人在混凝土预制构件制作、钢构件下料焊接、隔墙板和集成厨卫加工等建筑部品部件生产环节，以及建筑安全监测、安防巡检、高层建筑清洁等运维环节的创新应用。推进建筑机器人拓展应用空间，助力智能建造与新型建筑工业化协同发展。

4. 能源

研制能源基础设施建设、巡检、操作、维护、应急处置等机器人产品。推动企业突破高空、狭窄空间、强电磁场等复杂环境下的运动、感知、作业关键技术。推广机器人在风电场、光伏电站、水电站、核电站、油气管网、枢纽变电站、重要换流站、主干电网、重要输电通道等能源基础设施场景应用。推进机器人与能源领域深度融合，助力构建现代能源体系。

5. 商贸物流

研制自动导引车、自主移动机器人、配送机器人、自动码垛机、智能分拣机、物流无人机等产品。推动5G、机器视觉、导航、传感、运动控制、机器学习、大数据等技术融合应用。支持传统物流设施智能化改造，提升仓储、装卸、搬运、分拣、包装、配送等环节的工作效率和管理水平。鼓励机器人企业开发末端配送整体解决方案，促进机器人配送、智能信包箱（智能快件箱）等多式联动的即时配送场景普及推广。打造以机器人为重点的智慧物流系统，提升商贸物流数字化水平。

（二）社会民生领域

6. 医疗健康

研制咨询服务、手术、辅助检查、辅助巡诊、重症护理、急救、生命支持、康复、检验采样、消毒清洁等医疗机器人产品。围绕神经系统损伤、损伤后脑认知功能障碍、瘫痪助行等康复治疗需求，突破脑机交互等技术，开发用于损伤康复的辅助机器人产品。加快推进机器人和医学人工智能在基础理论、共性关键技术、创新应用等方面的突破，推动人工智能辅助诊断系统、机器人5G远程手术、脑机接口辅助康复系统等新技术新产品加速应用。推动机器人在医院康复、远程医疗、卫生防疫等场景应用。鼓励有条

件有需求的医院使用机器人实施精准微创手术，建设机器人应用标准化手术室，研究手术机器人临床应用标准规范。加强机器人在患者院前管理、院内诊疗及院后康复追踪整体病程服务体系中的应用，助力智慧医疗建设。

7. 养老服务

研制残障辅助、助浴、二便护理、康复训练、家务、情感陪护、娱乐休闲、安防监控等助老助残机器人产品。加快推动多模态量化评估、多信息融合情感识别、柔顺自适应人机交互、人工智能辅助等新技术在养老服务领域中的应用，积极推动外骨骼机器人、养老护理机器人等在养老服务场景的应用验证。鼓励养老领域相关实验基地把机器人应用作为实验示范重要内容，研发推广科技助老新技术新产品新模式。研究制定机器人助老助残技术应用标准规范，推动机器人融入养老服务不同场景和关键领域，提升养老服务智慧化水平。

8. 教育

研制交互、教学、竞赛等教育机器人产品及编程系统，分类建设机器人服务平台。加大机器人教育引导，完善各级院校机器人教学内容和实践环境，针对教学、实训、竞赛等场景开发更多功能和配套课程内容。强化机器人工程相关专业建设，提升实验机器人产品及平台水平，加强规

范管理。推进5G、人工智能、智能语音、机器视觉、大数据、数字孪生等技术与机器人技术融合应用，积极培育机器人校园服务新模式和新形态，深化机器人在教学科研、技能培训、校园安全等场景应用。

9. 商业社区服务

研制餐饮、配送、迎宾、导览、咨询、清洁、代步等商用机器人，以及烹饪、清洗、监护、陪伴等家用机器人，加强应用场景探索和产品形态创新，提高智能硬件与用户交互水平，增强机器人服务价值。推动机器人技术与5G、云计算、智能传感等新技术融合，实现自主导航、自动避障、人机交互、语音及视觉识别、数据分析等功能。积极推动机器人融入酒店、餐厅、商超、社区、家庭等服务场景，满足商业及社区消费体验升级需求，提升商业服务与生活服务的智慧化水平。

10. 安全应急和极限环境应用

研制矿山、民爆、社会安全、应急救援、极限环境等领域机器人产品。增强机器人立体视觉、室外导航定位、多维信息感知、灾害远程警示、机器人鉴权管控等功能，开发机器人对极寒、明火、高温高压、易燃易爆、高海拔低气压、有毒、高湿、积水、高粉尘、辐射、人流多变化大等复杂非结构化作业环境的适应性技术。推进智能采掘、灾害防治、

巡检值守、井下救援、智能清理、无人化运输、地质探测、危险作业等矿山场景应用。推进危险化学品生产装置和储存设施现场巡回检查、值班值守、特殊作业等安全生产场景应用。推广炸药装药、生产制备、包装、装卸运输、在线检测等民爆行业场景应用。推动安保巡逻、缉私安检、反恐防暴、勘查取证、交通边防、治安管控、特战处置、服务管理等社会安全场景应用。加强防爆排爆、消防巡检、工程抢险、海洋捕捞、海上溢油及危化品船舶救援、自然灾害救援、安全生产事故救援、核应急安全救援等危险环境应用。推动空间、水下、深地等极限环境场景应用。

三、增强“机器人+”应用基础支撑能力

（一）构建机器人产用协同创新体系

鼓励产用共建机器人应用领域创新联合体、创新中心等创新机构。支持用户单位参与高转矩密度伺服电机、高动态运动规划与控制、人机交互等机器人产业链核心技术攻关，深入挖掘和释放潜在应用需求，共同开发先进适用的机器人产品和系统解决方案。开展覆盖产品设计、技术开发、工艺优化、批量生产和示范推广全过程的“一条龙”应用创新。

鼓励产用共同参与特种机器人产业链“揭榜”推进活动，带动机器人企业协同攻关和成果转化。完善机器人技术支撑服务，积极推动产融对接、企业孵化、技术转移转化、备品备件服务、技术售后服务等。

（二）建设“机器人+”应用体验和试验验证中心

依托用户、机器人企业和系统集成企业，建设家用、商业、教育、医疗、养老等场景化应用体验中心，提升用户体验，扩大产品消费和推广。依托用户、机器人企业和第三方公共服务机构，建设具备机器人应用技术标准试验验证、质量检测、创新孵化等能力的试验验证中心，加大应用数据积累，提升机器人产品的安全性、稳定性、可靠性、易用性等水平。

（三）加快机器人应用标准研制与推广

依托有关标准化技术组织，建立跨行业机器人标准化工作合作机制，加强跨行业应用领域标准化工作的协调，推动跨行业标准互采。开展重点行业机器人应用工艺流程和专用算法模型、融合设备接口、应用数据安全、人机交互安全等标准的研制与推广。针对特定行业准入要求，加强机器人特殊安全要求和检测方法标准研究。开展机器人新产品通用技术规范、模块化设计与制造、

应用安全与可靠性等标准化工作。推进机器人新兴技术领域专有安全基础标准、产品标准、方法标准等标准化工作。研究制定机器人伦理相关标准规范。加强标准应用实施。推动机器人应用标准国际化合作。

（四）开展行业 and 区域“机器人+”应用创新实践

鼓励行业主管部门结合应用行业发展规划、科技攻关和重点项目建设，开展各行业机器人产品创新和应用示范推广。指导和支持有条件、有需求的地区围绕特色优势产业，开展本地区“机器人+”应用行动。依托龙头企业和产业集群，开发开放机器人成熟、新兴和潜在应用场景，开展协同创新活跃、应用成效显著、推广价值较高的“机器人+”应用创新实践。

（五）搭建“机器人+”应用供需对接平台

建设“机器人+”应用供需对接平台，开展资源共享、信息互通、优势互补的供需对接活动。在成熟应用领域，遴选一批应用成效突出、具有较强影响力的标杆企业和典型场景，加强机器人高端产品供给，提升机器人应用深度和广度。在新兴应用和潜在需求领域，探索采用“揭榜挂帅”

等方式征集机器人应用解决方案，以需求牵引促进供给创新。发布机器人重点技术和产品推广目录，推广线上应用展示样板间。

四、强化“机器人+”应用组织保障

（一）强化组织领导

发挥国家制造强国建设领导小组作用，建立多部门协同、央地联动的工作机制，成立协同推进方阵，分行业、分领域成立由主管部门、行业组织、骨干企业、科研院所以及重点地区政府共同组成的联合工作组。加强对重点行业机器人应用相关规章制度和伦理的研究，开展机器人应用常态化监测跟踪，推动构建适应各行业机器人应用特点的监管体系。

（二）完善政策支持

各相关部门、各地方将机器人应用推广作为科技创新、行业规划、产业政策重点方向，统筹政策、资金、资源予以支持，加大对机器人创新应用的投入力度。科技部门会同机器人发展应用部门联合推动国家科技计划创新成果转化，引导机器人企业加大研发投入，加强知识产权保护。人社部门会同机器人发展应用部门适时开展机器人对就业影响的评

估，及时促进受影响劳动者转岗就业。鼓励央企、国企开放机器人应用场景，建立容错机制，支持企业首购首用。

（三）深化宣传交流

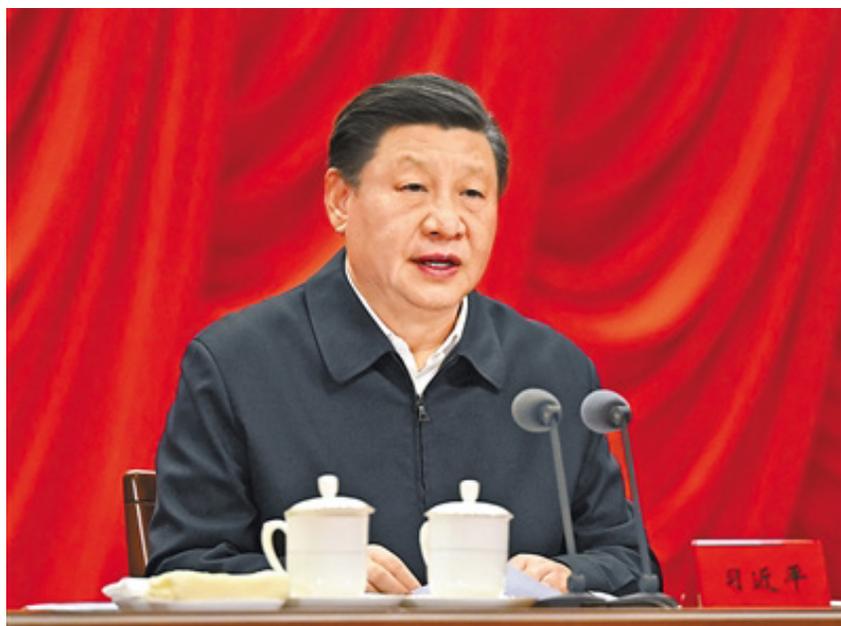
各地方、有关企业和行业组织要及时跟踪、总结、评估应用行动过程中的新情况、新问题和新经验，总结示范带动作用强、可复制可推广的有效做法，宣传应用好典型经验。依托各行业相关大会展会，加强机器人应用成果交流与展示。指导相关单位编写“机器人+”应用年度报告，发布创新应用案例集。充分利用多双边合作机制，推进不同领域机器人产品和解决方案“走出去”，实现合作共赢。

（四）加强人才培养

培养引进机器人应用高端研发人才和标准化人才，加强人才国际交流，打造领军人才和创新团队。鼓励机器人企业、用户单位与普通高等院校、科研院所、职业院校等合作，共建人才实习实训基地，联合开展机器人应用人才培养，提供更多就业渠道。组织细分行业机器人应用技能竞赛，发现和培养更多机器人高素质技术技能人才。○

来源：工业和信息化部

习近平在学习贯彻党的二十大精神研讨班 开班式上发表重要讲话强调 正确理解和大力推进中国式现代化



2月7日，新进中央委员会的委员、候补委员和省部级主要领导干部学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想 and 党的二十大精神研讨班在中央党校（国家行政学院）开班。中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平在开班式上发表重要讲话。

新华社记者 李学仁摄

新进中央委员会的委员、候补委员和省部级主要领导干部学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想 and 党的二十大精神研讨班7日上午在中央党校（国家行政学院）开班。中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平在开班式上发表重要讲话强

调，概括提出并深入阐述中国式现代化理论，是党的二十大的一个重大理论创新，是科学社会主义的最新重大成果。中国式现代化是我们党领导全国各族人民在长期探索和实践历经千辛万苦、付出巨大代价取得的重大成果，我们必须倍加珍惜、始终坚持、

不断拓展和深化。

中共中央政治局常委李强主持开班式，中共中央政治局常委赵乐际、王沪宁、蔡奇、丁薛祥、李希出席。

习近平指出，实现中华民族伟大复兴是近代以来中国人民的共同梦想，无数仁人志士为此苦苦求索、进行各种尝试，但都以失败告终。探索中国现代化道路的重任，历史地落在了中国共产党身上。在新民主主义革命时期，我们党团结带领人民，浴血奋战、百折不挠，经过北伐战争、土地革命战争、抗日战争、解放战争，推翻帝国主义、封建主义、官僚资本主义三座大山，建立了人民当家作主的中华人民共和国，实现了民族独立、人民解放，为实现现代化创造了根本社会条件。新中国成立后，我们党团结带领人民进行社会主义革命，消灭在中国延续几千年的封建制度，确立社会主义基本制度，实现了中华民族有史以来最为广泛而深刻

的社会变革，建立起独立的比较完整的工业体系和国民经济体系，社会主义革命和建设取得了独创性理论成果和巨大成就，为现代化建设奠定根本政治前提和宝贵经验、理论准备、物质基础。改革开放和社会主义建设新时期，我们党作出把党和国家工作中心转移到经济建设上来、实行改革开放的历史性决策，大力推进实践基础上的理论创新、制度创新、文化创新以及其他各方面创新，实行社会主义市场经济体制，实现了从生产力相对落后的状况到经济总量跃居世界第二的历史性突破，实现了人民生活从温饱不足到总体小康、奔向全面小康的历史性跨越，为中国式现代化提供了充满新的活力的体制保证和快速发展的物质条件。

习近平强调，党的十八大以来，我们党在已有基础上继续前进，不断实现理论和实践上的创新突破，成功推进和拓展了中国式现代化。我们在认识上不断深化，创立了新时代中国特色社会主义思想，实现了马克思主义中国化时代化新的飞跃，为中国式现代化提供了根本遵循。我们进一步深化对中国式现代化的内涵和本质的认识，概括形成中国式现代化的中国特色、本质要求和重大原则，初步构建中国式现代化的理论体系，使中国式现代化更加清晰、更加科学、更加可感

可行。我们在战略上不断完善，深入实施科教兴国战略、人才强国战略、乡村振兴战略等一系列重大战略，为中国式现代化提供坚实战略支撑。我们在实践上不断丰富，推进一系列变革性实践、实现一系列突破性进展、取得一系列标志性成果，推动党和国家事业取得历史性成就、发生历史性变革，特别是消除了绝对贫困问题，全面建成小康社会，为中国式现代化提供了更为完善的制度保证、更为坚实的物质基础、更为主动的精神力量。

习近平指出，党的领导直接关系到中国式现代化的根本方向、前途命运、最终成败。党的领导决定中国式现代化的根本性质，只有毫不动摇坚持党的领导，中国式现代化才能前景光明、繁荣兴盛；否则就会偏离航向、丧失灵魂，甚至犯颠覆性错误。党的领导确保中国式现代化锚定奋斗目标行稳致远，我们党的奋斗目标一以贯之，一代一代地接力推进，取得了举世瞩目、彪炳史册的辉煌业绩。党的领导激发建设中国式现代化的强劲动力，我们党勇于改革创新，不断破除各方面体制机制弊端，为中国式现代化注入不竭动力。党的领导凝聚建设中国式现代化的磅礴力量，我们党坚持党的群众路线，坚持以人民为中心的发展思想，发展全过程人民民主，充分激发全体

人民的主人翁精神。

习近平强调，一个国家走向现代化，既要遵循现代化一般规律，更要符合本国实际，具有本国特色。中国式现代化既有各国现代化的共同特征，更有基于自己国情的鲜明特色。党的二十大报告明确概括了中国式现代化是人口规模巨大的现代化、是全体人民共同富裕的现代化、是物质文明和精神文明相协调的现代化、是人与自然和谐共生的现代化、是走和平发展道路的现代化这5个方面的中国特色，深刻揭示了中国式现代化的科学内涵。这既是理论概括，也是实践要求，为全面建成社会主义现代化强国、实现中华民族伟大复兴指明了一条康庄大道。新中国成立特别是改革开放以来，我们用几十年时间走完西方发达国家几百年走过的工业化历程，创造了经济快速发展和社会长期稳定的奇迹，为中华民族伟大复兴开辟了广阔前景。实践证明，中国式现代化走得通、行得稳，是强国建设、民族复兴的唯一正确道路。

习近平指出，中国式现代化，深深植根于中华优秀传统文化，体现科学社会主义的先进本质，借鉴吸收一切人类优秀文明成果，代表人类文明进步的发展方向，展现了不同于西方现代化模式的新图景，是一种全新的人类文明形态。中国式现代化，打

破了“现代化=西方化”的迷思，展现了现代化的另一幅图景，拓展了发展中国家走向现代化的路径选择，为人类对更好社会制度的探索提供了中国方案。中国式现代化蕴含的独特世界观、价值观、历史观、文明观、民主观、生态观等及其伟大实践，是对世界现代化理论和实践的重大创新。中国式现代化为广大发展中国家独立自主迈向现代化树立了典范，为其提供了全新选择。

习近平强调，推进中国式现代化是一个系统工程，需要统筹兼顾、系统谋划、整体推进，正确处理好顶层设计与实践探索、战略与策略、守正与创新、效率与公平、活力与秩序、自立自强与对外开放等一系列重大关系。进行顶层设计，需要深刻洞察世界发展大势，准确把握人民群众的共同愿望，深入探索经济社会发展规律，使制定的规划和政策体系体现时代性、把握规律性、富于创造性，做到远近结合、上下贯通、内容协调。推进中国式现代化是一个探索性事业，还有许多未知领域，需要我们在实践中去大胆探索，通过改革创新来推动事业发展，决不能刻舟求剑、守株待兔。要增强战略的前瞻性，准确把握事物发展的必然趋势，敏锐洞悉前进道路上可能出现的机遇和挑战，以科学的战略预见未来、引领未来。要增强战略的

全局性，谋划战略目标、制定战略举措、作出战略部署，都要着眼于解决事关党和国家事业兴衰成败、牵一发而动全身的重大问题。要增强战略的稳定性，战略一经形成，就要长期坚持、一抓到底、善作善成，不要随意改变。要把战略的原则性和策略的灵活性有机结合起来，灵活机动、随机应变、临机决断，在因地制宜、因势而动、顺势而为中把握战略主动。要守好中国式现代化的本和源、根和魂，毫不动摇坚持中国式现代化的中国特色、本质要求、重大原则，确保中国式现代化的正确方向。要把创新摆在国家发展全局的突出位置，顺应时代发展要求，着眼于解决重大理论和实践问题，积极识变应变求变，大力推进改革创新，不断塑造发展新动能新优势，充分激发全社会创造活力。既要创造比资本主义更高的效率，又要更有效地维护社会公平，更好实现效率与公平相兼顾、相促进、相统一。要统筹发展和安全，贯彻总体国家安全观，健全国家安全体系，增强维护国家安全能力，坚定维护国家政权安全、制度安全、意识形态安全和重点领域安全。要坚持独立自主、自立自强，坚持把国家和民族发展放在自己力量的基点上，坚持把我国发展进步的命运牢牢掌握在自己手中。要不断扩大高水平对外开放，深度

参与全球产业分工和合作，用好国内国际两种资源，拓展中国式现代化的发展空间。

习近平指出，推进中国式现代化，是一项前无古人的开创性事业，必然会遇到各种可以预料和难以预料的风险挑战、艰难险阻甚至惊涛骇浪，必须增强忧患意识，坚持底线思维，居安思危、未雨绸缪，敢于斗争、善于斗争，通过顽强斗争打开事业发展新天地。要保持战略清醒，对各种风险挑战做到胸中有数；保持战略自信，增强斗争的底气；保持战略主动，增强斗争本领。要加强能力提升，让领导干部特别是年轻干部经受严格的思想淬炼、政治历练、实践锻炼、专业训练，在复杂严峻的斗争中经风雨、见世面、壮筋骨、长才干。注重在严峻复杂斗争中考察识别干部，为敢于善于斗争、敢于担当作为、敢抓善管不怕得罪人的干部撑腰鼓劲，看准的就要大胆使用。

习近平最后强调，推进中国式现代化必须抓好开局之年的工作。要全面贯彻落实党中央决策部署，坚持稳字当头、稳中求进，更好统筹国内国际两个大局，更好统筹疫情防控和经济社会发展，更好统筹发展和安全，全面深化改革开放，推动高质量发展，进一步引导经营主体强信心、稳定社会预期，努力实现经济运行整

体好转。

李强在主持开班式时指出，习近平总书记的重要讲话深刻阐述了中国式现代化的一系列重大理论和实践问题，是对中国式现代化理论的极大丰富和发展，具有很强的政治性、理论性、针对性、指导性，对于全党正确理解中国式现代化，全面学习、全面把握、全面落实党的二十大精神，深刻领悟“两个确立”的决定性意义，牢记“国之大者”，增强

“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”，努力在新征程上开创党和国家事业发展新局面，都具有十分重要的意义。我们要认真学习领会，把思想和行动统一到习近平总书记重要讲话精神上来，统一到党中央决策部署上来，扎实抓好本地区本部门本单位各项工作，扎实推进中国式现代化建设。

中共中央政治局委员、中央书记处书记，是二十届中央委员

的其他党和国家领导同志、中央军委委员出席开班式。

新进中央委员会的委员、候补委员，各省区市和新疆生产建设兵团、中央和国家机关有关部门、有关人民团体主要负责同志，解放军各单位和武警部队主要负责同志参加研讨班。各民主党派中央、全国工商联及有关方面负责同志列席开班式。○

来源：人民日报

通

知

关于举办 2023 年“中国智能车未来挑战赛”的通知

2023 年（第十三届）中国智能车未来挑战赛将于今年 6 月 16 日至 17 日在江苏省常熟市举行。本届比赛由国家自然科学基金委员会信息科学部、中国自动化学会主办，常熟市人民政府承办，中国（常熟）智能车综合技术研发与测试中心协办。详见学会官网：<http://www.caa.org.cn/article/192/3493.html>

2023 国家智能车大会暨国家发展论坛征稿火热进行中

2023 中国智能车大会暨国家智能车发展论坛将为促进智能车基础理论研究、成果原始创新和高新技术开发提供开放互融的交流平台，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。现征稿火热进行中！

投稿系统地址：请登录 <http://review.cacpaper.com/#/913/login>

大会官网：<http://caaiv.org/>

习近平在中共中央政治局第二次集体学习时强调 加快构建新发展格局 增强发展的安全性主动权

■ 加快构建新发展格局，是立足实现第二个百年奋斗目标、统筹发展和安全作出的战略决策，是把握未来发展主动权的战略部署。只有加快构建新发展格局，才能夯实我国经济发展的根基、增强发展的安全性稳定性，能在各种可以预见和难以预见的狂风暴雨、惊涛骇浪中增强我国的生存力、竞争力、发展力、持续力，确保中华民族伟大复兴进程不被迟滞甚至中断，胜利实现全面建成社会主义现代化强国目标

■ 近年来，构建新发展格局扎实推进，取得了一些成效，思想共识不断凝聚、工作基础不断夯实、政策制度不断完善，但全面建成新发展格局还任重道远。要坚持问题导向和系统观念，着力破除制约加快构建新发展格局的主要矛盾和问题，全面深化改革，推进实践创新、制度创新，不断扬优势、补短板、强弱项

■ 要搞好统筹扩大内需和深化供给侧结构性改革，形成需求牵引供给、供给创造需求的更高水平动态平衡，实现国民经济良性循环。要加快科技自立自强步

伐，解决外国“卡脖子”问题。新发展格局以现代化产业体系为基础，经济循环畅通需要各产业有序链接、高效畅通。要继续把发展经济的着力点放在实体经济上，扎实推进新型工业化，加快建设制造强国、质量强国、网络强国、数字中国，打造具有国际竞争力的数字产业集群。要全面推进城乡、区域协调发展，提高国内大循环的覆盖面。要进一步深化改革开放，增强国内外大循环的动力和活力

新华社北京2月1日电 中共中央政治局1月31日下午就加快构建新发展格局进行第二次集体学习。中共中央总书记习近平在主持学习时强调，加快构建新发展格局，是立足实现第二个百年奋斗目标、统筹发展和安全作出的战略决策，是把握未来发展主动权的战略部署。只有加快构建新发展格局，才能夯实我国经济发展的根基、增强发展的安全性稳定性，能在各种可以预见和难以预见的狂风暴雨、惊涛骇浪中增强我国的生存力、竞争力、

发展力、持续力，确保中华民族伟大复兴进程不被迟滞甚至中断，胜利实现全面建成社会主义现代化强国目标。

这次中央政治局集体学习，由中央政治局同志自学并交流工作体会，尹力、刘国中、何立峰、张国清、陈吉宁、黄坤明同志结合分管领域和地方的工作作了发言，大家进行了交流。

习近平在主持学习时发表了重要讲话。他指出，近年来，构建新发展格局扎实推进，取得了一些成效，思想共识不断凝聚、工作基础不断夯实、政策制度不断完善，但全面建成新发展格局还任重道远。要坚持问题导向和系统观念，着力破除制约加快构建新发展格局的主要矛盾和问题，全面深化改革，推进实践创新、制度创新，不断扬优势、补短板、强弱项。

习近平强调，要搞好统筹扩大内需和深化供给侧结构性改革，形成需求牵引供给、供给创造需求的更高水平动态平衡，实现国民经济良性循环。坚决贯彻落实扩大内需战略规划纲要，尽快形成完整内需体系，着力扩大有收

人支撑的消费需求、有合理回报的投资需求、有本金和债务约束的金融需求。建立和完善扩大居民消费的长效机制，使居民有稳定收入能消费、没有后顾之忧敢消费、消费环境优获得感强愿消费。完善扩大投资机制，拓展有效投资空间，适度超前部署新型基础设施建设，扩大高技术产业和战略性新兴产业投资，持续激发民间投资活力。继续深化供给侧结构性改革，持续推动科技创新、制度创新，突破供给约束堵点、卡点、脆弱点，增强产业链供应链的竞争力和安全性，以自主可控、高质量的供给适应满足现有需求，创造引领新的需求。

习近平指出，要加快科技自立自强步伐，解决外国“卡脖子”问题。健全新型举国体制，强化国家战略科技力量，优化配置创新资源，使我国在重要科技领域成为全球领跑者，在前沿交叉领域成为开拓者，力争尽早成为世界主要科学中心和创新高地。实现科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略有效联动，坚持教育发展、科技创新、人才培养一体推进，形成良性循环；坚

持原始创新、集成创新、开放创新一体设计，实现有效贯通；坚持创新链、产业链、人才链一体部署，推动深度融合。

习近平强调，新发展格局以现代化产业体系为基础，经济循环畅通需要各产业有序链接、高效畅通。要继续把发展经济的着力点放在实体经济上，扎实推进新型工业化，加快建设制造强国、质量强国、网络强国、数字中国，打造具有国际竞争力的数字产业集群。顺应产业发展大势，推动短板产业补链、优势产业延链，传统产业升链、新兴产业建链，增强产业发展的接续性和竞争力。优化生产力布局，推动重点产业在国内外有序转移，支持企业深度参与全球产业分工和合作，促进内外产业深度融合，打造自主可控、安全可靠、竞争力强的现代化产业体系。

习近平指出，要全面推进城乡、区域协调发展，提高国内大循环的覆盖面。充分发挥乡村作为消费市场和要素市场的重要作用，全面推进乡村振兴，推进以县城为重要载体的城镇化建设，推动城乡融合发展，增强城乡经

济联系，畅通城乡经济循环。防止各地搞自我小循环，打消区域壁垒，真正形成全国统一大市场。推动区域协调发展战略、区域重大战略、主体功能区战略等深度融合，优化重大生产力布局，促进各类要素合理流动和高效集聚，畅通国内大循环。

习近平强调，要进一步深化改革开放，增强国内外大循环的动力和活力。深化要素市场化改革，建设高标准市场体系，加快构建全国统一大市场。完善产权保护、市场准入、公平竞争、社会信用等市场经济基础制度，加强反垄断和反不正当竞争，依法规范和引导资本健康发展，为各类经营主体投资创业营造良好环境，激发各类经营主体活力。推进高水平对外开放，稳步推动规则、规制、管理、标准等制度型开放，增强在国际大循环中的话语权。推动共建“一带一路”高质量发展，积极参与国际经贸规则谈判，推动形成开放、多元、稳定的世界经济秩序，为实现国内国际两个市场两种资源联动循环创造条件。○

来源：人民日报



2023中国自动化大会

China Automation Congress

智联万物强实体 自强自控创未来

主办单位：中国自动化学会

承办单位：重庆邮电大学

中国自动化大会是由中国自动化学会主办的国内最高层次的自动化、信息与智能科学领域的大型综合性学术会议，2023中国自动化大会将于2023年11月在重庆召开，此次中国自动化大会由重庆邮电大学承办。

2023中国自动化大会将为全球自动化、信息与智能科学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，引领自动化、信息与智能科学与技术的发展。

2023中国自动化大会

征文范围

本次大会设多个特色论坛，征文领域近30种。热忱欢迎全国各高等院校、科研院所和企业事业单位中从事相关领域研究的科技工作者积极投稿，特别希望征集能反映各单位研究特色的学术论文或长摘要(summary)。

论文投稿要求

1. 来稿未曾公开发表过，具备真实性和原创性。请勿涉及国家秘密。
2. 凡投稿论文被录用且未作特殊声明者，视为已同意授权出版。
3. 中英文论文篇幅均限制4-6页。

长摘要投稿要求

1. 长摘要需包括研究背景和意义、主要研究工作、实验或仿真、结论以上所有内容。
2. 长摘要论文将被收录进论文集，但不进IEEE Xplore、EI、CNKI等检索，已发表的成果也可以投稿。
3. 长摘要长度不超过4页。
4. 长摘要论文注册费与普通论文相同。

征文领域(包括但不限于)

1. 工业互联网与智能制造
2. 智能网联汽车与交通
3. 空地协同与自主控制
4. 大数据智能化
5. 元宇宙与平行系统
6. 能源互联与绿色制造
7. 机器人智能控制
8. 复杂系统建模、控制与优化
9. 智能控制理论与方法
10. 社会计算与社会系统管理
11. 无人系统的信息处理与控制
12. 多智能体编队与协同
13. 模式识别与人工智能
14. 脑机接口与认知计算
15. 空间飞行器控制
16. 先进传感技术与仪器仪表
17. 船舶自动控制与综合操控
18. 网络集群与网络化控制
19. 医学图像、生物信息与仿生控制
20. 复杂系统理论与方法
21. 流程工业智能优化制造
22. 类脑智能与深度学习
23. 故障诊断与系统运行安全
24. 无线传感网与数据融合
25. 海洋环境监测与仿真
26. 机电液一体化自动化控制
27. 物流系统与自动化
28. 其他

专题会议

1. 学术专题论坛
2. 产业发展论坛
3. 科技奖励论坛
4. 青年人才论坛
5. 教育专题论坛
6. 女科技工作者论坛
7. 期刊出版专题论坛
8. 展览展示

论文出版

大会将出版CAC2023论文集(U盘版)。2013年以来的历届会议英文论文全部被IEEE Xplore收录，并被EI检索。经过专家评审，本届大会部分优秀论文将被推荐到《IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica》、《Digital Communications and Networks》、《自动化学报》、《智能科学与技术学报》和《重庆邮电大学学报<自然科学版>》等国内外SCI/EI收录权威期刊发表。

时间节点

投稿开始时间: 2023.03.01
 征稿截止日期: 2023.06.30
 录用通知日期: 2023.07.31
 论文终稿日期: 2023.08.31





2023 中国智能车大会暨 国家智能车发展论坛征文通知

2023年7月1-3日 | 中国 广州南沙

中国智能车大会暨国家智能车发展论坛 (National Intelligent Vehicle Development Forum) 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。

2023 中国智能车大会暨国家智能车发展论坛将为促进智能车基础理论研究、成果原始创新和高技术开发提供开放互融的交流平台,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。

组织机构:

主办单位:

国家自然科学基金委员会信息科学部
中国自动化学会

承办单位:

广州市南沙区人民政府
香港科技大学(广州)
西安交通大学

协办单位:

中国自动化学会网联智能系统专业委员会
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

投稿须知:

1. 来稿未曾公开发表过,具备真实性和原创性,请勿涉及国家机密;
2. 凡投稿论文被录用且未作特殊声明者,视为已同意授权出版;
3. 中英文论文篇幅均限制 4-6 页。

论文出版:

大会将制作 CAAIV2023 电子版论文集,本次英文论文将被 IEEEXplore 收录。本届大会的优秀论文将有机会被推荐到《IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica》、《自动化学报》、《模式识别与人工智能》、《信息与控制》、《控制工程》等权威杂志。

征文范围 (包括但不限于)

1. 先进驾驶辅助系统;
2. 车辆安全;
3. 车辆环境感知;
4. 环保驾驶和节能车辆;
5. 防撞技术;
6. 行人保护;
7. V2I/V2V 通信;
8. 车联网;
9. 辅助移动系统;
10. 图像、雷达、激光雷达信号处理;
11. 通信和感知一体化技术;
12. 信息融合;
13. 协同定位、感知和认知技术;
14. 车辆控制;
15. 远程信息处理;
16. 人为因素和人机交互;
17. 电动和混合动力技术;
18. 新型接口和显示器;
19. 智能车辆软件基础设施;
20. 其他相关研究领域。

时间节点:

投稿开始时间: 2023 年 2 月 15 日
征稿截止时间: 2023 年 5 月 1 日
录用通知日期: 2023 年 6 月 1 日
论文终稿日期: 2023 年 6 月 15 日





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。学会现有个人会员近9万人,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

- 钱学森奖 ·杨嘉墀科技奖 ·CAA科学技术奖励 ·CAA优秀博士学位论文奖
- 中国自动化与人工智能创新团队奖 ·CAA高等教育教学成果奖 ·CAA青年科学家奖
- 企业创新示范单位 ·杰出自动化工程师 ·小微创业示范单位 ·智慧系统创新解决方案示范单位

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