中国自动化学会通讯

COMMUNICATIONS OF CAA

第10期
2023年10月
第44卷 总第241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

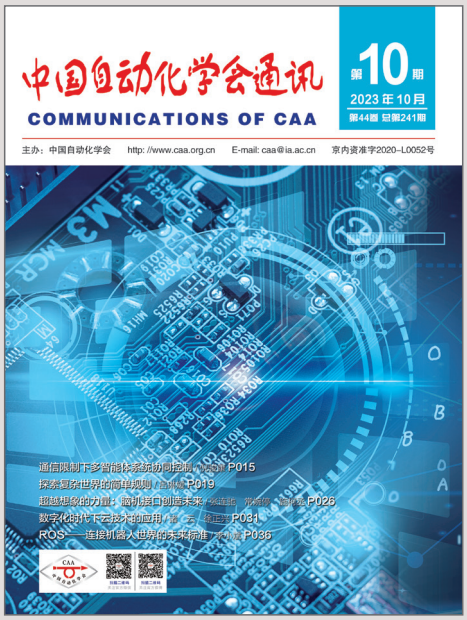
通信限制下多智能体系统协同控制 / 倪骏康 P015
探索复杂世界的简单规则 / 吕琳媛 P019
超越想象的力量：脑机接口创造未来 / 张连驰　常婉停　施柯丞 P026
数字化时代下云技术的应用 / 诸　云　徐正兴 P031
ROS——连接机器人世界的未来标准 / 李小斌 P036

CAA 中国自动化学会

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

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 10 月 31 日
发行对象 | 中国自动化学会会员及自动化领域科技工作者

关注官方微信　　关注官方微博

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

郑南宁

世界强国兴衰变迁的历史表明，一国之国运国势系于对科学的正确认识、对创新的不断追求。创新成为决定国家、民族前途命运、生死存亡的重大问题。一个民族热爱科学的程度，决定了其发展的高度。历史上世界科学中心的五次大迁移都显示了科学普及对创新的支撑作用。

面对世界进入新一轮历史性变革，习近平总书记以深邃的历史眼光、宽广的全球视野，深刻把握创新规律，充分肯定科学普及极端重要的战略地位，开创性地提出“科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。没有全民科学素质普遍提高，就难以建立起宏大的高素质创新大军，难以实现科技成果快速转化”。

为深入贯彻落实国务院《新一代人工智能发展规划》、《全民科学素质行动规划纲要（2021—2035 年）》及《中国科协关于新时代加强学会科普工作的意见》，传播自动化、信息及智能科学领域新知，搭建多主体参与、多样化传播的共建共享平台，打造以“科普专家 + 科普教育基地 + 科普作品 + 科普活动”四位一体的“科普之翼”，中国自动化学会特面向社会广泛征集自动化、信息及智能科学领域科普成果。中国自动化学会通讯将发布征集到的通俗易懂、妙趣横生的科普作品，诚邀您的关注。

本期通讯将为大家分享西北工业大学特任研究员倪骏康的《通信限制下多智能体系统协同控制》，中国科学技术大学吕琳媛的《探索复杂世界的简单规则》，电子科技大学自动化工程学院张连驰、常婉停、施柯丞的《超越想象的力量：脑机接口创造未来》，宝鸡文理学院李小斌副教授的《ROS——连接机器人世界的未来标准》和南京理工大学诸云、徐正兴的《数字化时代下云技术的应用》5 篇文章。

在此向贡献稿件的各位专家学者表示衷心的感谢，期待本刊专题能为读者带来更多更深入讨论和思考，为实现我国高水平科技自立自强贡献力量。

[目录] CONTENTS

口述历史 / Oral History

004 口述历史系列访谈
——我国粉末冶金与先进陶瓷专家 葛昌纯

专题 / Column

015 通信限制下多智能体系统协同控制
/ 倪骏康

019 探索复杂世界的简单规则 / 吕琳媛

026 超越想象的力量：脑机接口创造未来
/ 张连驰 常婉停 施柯丞

031 数字化时代下云技术的应用 / 诸云 徐正兴

036 ROS——连接机器人世界的未来标准
/ 李小斌

观点 / Viewpoint

039 王耀南院士：以科技创新引领“湖南制造”向“湖南智造”转型

041 郑纬民院士：人工智能算力基础设施的设计、评测与优化

科普园地 / Science Park

047 社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（八）
/ Anuradha M. Annaswamy、Karl H. Johansson、George J. Pappas

学会动态 / Activities

058 2023 国家工业软件大会在湖州成功召开

CONTENTS [目录]

064 智能涌现　生成未来——第二十五届中国科协年会通用人工智能产业创新发展论坛在合肥成功召开

068 2023 年第三期 CAA“企·话”沙龙——通用人工智能机遇与挑战在合肥成功召开

071 中国自动化学会秘书长张楠受邀参加全国学会新任秘书长专业化职业化建设研修活动并作专题报告

072 CAA 北京理工大学学生分会成立大会在京召开

074 CAA 浙江工业大学学生分会成立大会成功召开

076 CAA 重庆大学学生分会成功举办“智慧交通与智能控制”暨自动化学院第二届博士生论坛

党建强会 / Party Building

078 建设开放包容、互联互通、共同发展的世界——在第三届“一带一路”国际合作高峰论坛开幕式上的主旨演讲

081 当代中国共产党人的庄严历史责任

形势通报 / Voice

088 算力基础设施高质量发展行动计划

093 推进 5G 轻量化（RedCap）技术演进和应用创新发展

口述历史系列访谈

——我国粉末冶金与先进陶瓷专家　葛昌纯

导语

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

本期学会采访的是葛昌纯院士。葛昌纯，中国科学院院士，北京科技大学材料科学与工程学院教授、粉末冶金与先进陶瓷研究所所长。他是著名的核材料、粉末冶金和先进陶瓷专家，是制造原子弹、氢弹关键材料－浓缩铀－235 复合分离膜制备技术的专题负责人，为我国“两弹一星”事业作出了重要贡献。

一、上下求索，养勤奋赤子心

葛昌纯原籍浙江平湖。1934 年 3 月 6 日出生于上海。当时的葛氏是平湖的望族之首，葛昌纯的父亲葛嗣浈弃官南归，继承祖辈遗志，兴文办学，将其父在世时所创建收藏书画的“传朴堂”苦心经营，使原来藏书的 10 万余卷增至 40 万余卷，其中宋版善本与海内孤本达 4000 余种，尤以地方志为多，蔚为壮观。因藏书甚富，于 1899 年在宅第旁侧新建藏书楼一座，名为“守先阁”，与宁波的天一阁、南浔的嘉业堂并称为“江南三大藏书楼”。1902 年，葛嗣浈在葛家老宅创办稚川学堂，开平湖现代教育之先河，培养了众多名家，影响深远。

图 1

本应在平湖长大、接受教育的葛昌纯，却因日寇侵华而彻底改变了命运。葛宅、稚川学堂和藏书楼毁于一旦，葛嗣浈因气愤而病故。1937 年，年仅三岁的葛昌纯跟着母亲和哥哥逃难到上海，和他的姐姐离别 7 年后才在上海重逢。因生活极度艰难，不得不在上海辗转了四所学校，才完成了小学学业。生活虽然艰难，学习的过程虽然波折，但却更加坚定了葛昌纯从父亲身上学到的“教育兴国”的文化信仰。凭着坚韧的意志、出色的表现，葛昌纯

陆续考入名校南洋模范中学和省立上海中学，为今后的科研工作打下了坚实的国语、英语、数理化基础。

为尽早工作贴补家用，葛昌纯在高二结束后参加了高考，并一举成功考取了唐山交通大学（即今西南交通大学）化学工程系。在著名冶金学家邹元曦（毕业于稚川学堂，平湖第一位中国科学院院士）的鼓励下，怀揣着对母亲和兄姐辛苦养育的感念，对国难频仍的痛心，以及对这个百废待兴国家未来的憧憬，葛昌纯踏上了北上求学之路。1949 年，年仅 15 岁的他，成为新中国培养的第一批大学生，也是全校年纪最小的学生。

在与冶金系学长许晋堃的交往中，葛昌纯对冶金发生了浓厚的兴趣，并于一年后转入冶金工程系学习。凭着勤奋的态度和热爱的心灵，他分秒必争，如饥似渴，取得了非常优异的成绩。因第一个五年计划需要，国家规定全国高校原定 1953 年 7 月毕业的学生一律提前一年毕业。葛昌纯以三年时间完成了四年的课程。毕业后由国家统一分配到重工业部综合工业试验所（今钢铁研究总院的前身）冶金室工作。自此，葛昌纯抱着“科技报国，实干兴邦”的坚定信念，开启了与材料结缘的一生。

从童年到青年，葛昌纯经历了日寇侵华、抗战胜利和新中国成立，国仇家恨、时代的变革与他个人命运紧密相连，“改变国家命运”的理想根植于他的骨肉里，构建了他一生勤奋、顽强和坚韧的生命骨骼。

二、临危受命，打破大国核垄断

铀 -235 是核工业必不可缺的核燃料。制造原子弹、氢弹需要 90% 以上浓度的铀 -235。气体扩散法是上世纪六十年代当时唯一工业化的浓缩铀 -235 的方法。而分离膜是的气体扩散法浓缩铀 -235 的核心元件。分离膜制造难度极大，当时只有苏联、美国、英国掌握其制造技术，为国际绝密技术。1959 年末，苏联赫鲁晓夫撕毁中苏协议，撤退全部苏联专家，带走几乎全部资料。1960 年 6 月中央通过冶金部分别向中科院上海冶金研究所等单位和冶金部钢铁研究总院粉末冶金室（即四室）等单位下达研制用于气体扩散机级联粗料端的管状单层甲种分离膜和用于气体扩散机级联精料端的片状复合乙种分离膜的任务书。年仅 26 岁的葛昌纯临危受命，作为四室五人核心组的成员，被任命为浓缩铀 -235 的核心元件 - 复合分离膜的专题负责人。带领一支平均年龄不到 25 岁的青年队伍，日夜战斗在科研攻关的第一线。

没有资料，没有设备，从何

处开始研究？他一边调查阅读文献，一边带领专题组同志们做实验。为了寻找有关分离膜的文献，葛昌纯几乎跑遍了北京的图书馆、情报所和大书店。为了看懂发达国家的论文和发明专利，他自学日文、德文、法文，经常一手拿着字典，一边看着资料，一边记笔记。白天在实验室做实验，晚上在家里看文献。通过无数次的实验和计算、推导，经历实践、失败、总结、再实践、再失败、再总结…直到成功。葛昌纯在国际上首次提出和系统建立了反映分离膜结构参数与性能参数关系的数学模型和反映复合分离膜性能参数与结构参数和各层性能参数与结构参数关系的数学模型，为研制成功乙种、丁种、戊种和己种复合分离膜奠定了坚实的理论基础。他首次提出和实现了由 20 道粉末冶金新技术工序组合而

成的制造复合分离膜的技术路线，奠定了我国制造复合分离膜坚实的技术基础。1964 年 6 月，钢铁研究总院粉末冶金室率先研制成我国第一种分离膜—乙种分离膜，满足了我国制造原子弹、氢弹、核潜艇和核反应堆的急需。1965 年，葛昌纯被任命为乙种分离膜生产总指挥，带领 600 多人的科研生产团队，在两年时间内完成了乙种分离膜的全部生产任务，为我国“两弹一艇”事业做出了开创性、历史性的贡献。1966 年国庆节，应国务院邀请葛昌纯作为对社会主义建设作出重要贡献的科技工作者，登上了天安门城楼观礼，见到了毛主席、周总理等党和国家领导人。在观礼前，张爱萍上将为在分离膜事业上作出重要贡献的葛昌纯和王承书摄下了珍贵的照片。

国务院国防工业办公室和中共中央国防工业政治部先后于 1963 年和 1967 年发来贺信指出：“实验证明乙种分离膜性能良好，能够满足生产使用需要。这就为我国自力更生地发展原子能事业作出了重要贡献。”“这一任务的完成是你们所取得的巨大成果，是对我国国防工业建设作出的重要贡献。”

1978 年葛昌纯作为第一完成人负责完成的“戊种分离膜的制造技术”获得冶金部科技成果二等奖，出席“全国冶金工业学大庆会议”，受到党和国家领导人的接见。1985 年葛昌纯作为第一发明人的“乙种分离膜的制造技术”获国家发明奖一等奖；1988 年葛昌纯被国家人事部评为“有突出贡献的中青年专家”；1990 年国家教委和国家科委授予他“全国高校先进科技工作者”称号；2020 年中国核工业集团有限公司授予葛昌纯院士“核工业功勋奖章”和“核工业功勋人物”荣誉证书，荣登“核工业功勋人物榜”。

这些经历让葛昌纯深深地认识到，核心技术是买不来的，必须靠自主创新。科研人员要坚持艰苦奋斗、自力更生，要敢于挑战科学难题，以科技创新服务于国家战略需求，为全面建成社会主义现代化强国提供有力支撑。

图 2　1966 年 10 月 1 日国庆节葛昌纯和王承书在天安门城楼上观礼（张爱萍上将拍摄）

三、在粉末冶金领域开拓创新

1. 开展了液相烧结机制的基础研究

在液相烧结（Liquid Phase Sintering，LPS）基础研究方面，W. D. Kingery 的经典液相烧结理论并没有考虑真实压块中液相在固体颗粒间的分布是不均匀的这一事实。研究液相的流动和分布以及隔离孔被液相的充填过程是研究 LPS 机制的一个重要命题。葛昌纯通过系统研究 Fe-Cu 合金真实压块中烧结条件、铜含量、铁粉颗粒大小和成型压力对 LPS 时孔封闭过程的影响，首次提出除颗粒重排、溶解析出外，液相流动、重新分布和充填孔隙是 LPS 致密化的重要机制之一。“Fe-Cu 合金液相烧结的研究”第一次发表在 Proc. 1984 Int. Powder Metallurgy

Conf.（modern Development in Powder Metallurgy Vol.14）。1997 年，A. Martensen 的试验结果印证了葛昌纯的理论分析。

高比重合金由于其高密度、高模量、优良的力学热学和吸收辐射能力，在穿甲弹、陀螺仪和防辐射等方面有重要的军事用途。虽然早在 1938 Smithells 等已报道了对此类合金的研究。但值得注意的是，不仅在烧结机制上长期以来存在着争论，甚至在烧结诸因素对合金力学性能的影响上也存在着截然相反的实验结果，这是材料学家的一个研究热点。葛昌纯系统研究了重合金 90W-7Ni-3Fe 液相烧结机制和热致密化诸工艺因素对显微结构、断裂模式及力学性能的关系，首次在重合金上采用无包套亚固相线热等静压工艺，提出了重合金冷却速率敏感性的机制以及真空处理、热等静压显著提高重合金力学性能的机制是氢由相界的去除和相界结合力的提高。他关于重合金液相烧结研究的论文中提出的主要结论在 1984—1992 年间曾九次被国际权威杂志（Metals Trans.，J. Mat. Sci.，Z. Metalkunde 等）和国际著名粉末冶金专家 R.M.German，H. Danninger 等所引用、肯定或跟踪。

2. 创建起我国第一个纳米材料实验室，研制成功一系列纳米材料

为了研制复合分离膜，建立起了我国最早的纳米材料实验室。当时所建立起来的一系列制取纳米级超微粉末、材料的工艺和测定纳米量级孔径分布的多种方法至今仍有重要的科学价值。

1962—1965 年，葛昌纯为了研制乙种分离膜的需要，提出和实现了一种适用于在空气中自燃的纳米磁性金属粉末的高压静电上粉工艺，解决了纳米金属粉末团聚及在高压静电场中的自燃问题，在国际上首次将此项新技术应用于纳米金属与合金薄膜的批量生产。

上世纪七十年代初，为了研制丁种分离膜，葛昌纯提出和实现了用乙烯丙酮铜在流态化床中包复镍粉形成核壳结构的纳米镍铜合金粉末的新技术。在 857 厂实现了产业化。

3. 上世纪 70 年代葛昌纯领导完成了提高我国还原铁粉质量和全面改造铁粉生产技术的系统研究，为在武钢建立起我国第一个现代化铁粉生产基地奠定了基础

我国钢铁粉末冶金落后的一个重要标志是铁粉生产技术落后和铁粉质量低。为改变我国还原铁粉生产技术落后面貌，葛昌纯在上世纪 70 年代组织钢铁研究总院、天津粉末冶金厂和北京首钢设计院三结合团队，对天津粉末冶金厂的铁粉生产工艺进行全面技术改造。葛昌纯和王泽田、吴思俭、艾明显、王立、刁丽双、高一平等深入天津粉末冶金厂第一线，从改进大隧道窑的加热保温冷却制度着手，对全部生产工序逐个进行技术改造。他提出取消一次性的瓦罐，首次在国内实现了隧道窑装卸 SiC 罐半连续化生产，建起了国内第一台用分解氨作保护气氛的带式二次还原炉，使我国的还原铁粉质量达到国际先进水平。

他向冶金工业部提出在武钢等大钢铁联合企业建立十个现代化还原铁粉生产基地，该建议得到国家计划委员会和冶金工业部的支持。他积极支持武钢铁粉厂厂长李森蓉为在武钢建立我国第一个现代化铁粉基地而努力。在葛昌纯等的铁粉生产技术研究成果和他组织起来的设计队伍的基础上，武钢很快建立起我国第一个现代化还原铁粉生产基地，其铁粉质量和品种均达到国际先进水平。

葛昌纯将自己在还原铁粉和雾化钢铁粉末领域所取得的成就总结在他和韩凤麟合著的《钢铁粉末生产》一书中。国际著名粉末冶金专家 H. Fischmeister 在评价此书时指出：“该书取材新颖，在国际同类书中还没有可与之相比的”。

4. 开拓预合金化粉末热致密化技术，研究开发成功一系列高性能粉末高合金钢和镍基粉末高温合金

高性能粉冶合金钢对于我国

粉末冶金事业具有战略意义。葛昌纯在上世纪七十年代初起开展了用包套粉末热挤压技术制备粉末高速钢 A32 的研究。实验表明，虽然合金元素高达 32%，但热塑性非常好。作为专题负责人，和王洪海、曹勇家等率先在国内开展了粉末高速钢 T15 的研究，在国内首先研制成功全密度、无偏析、使用寿命为熔炼高速钢 M42 的 3—7 倍的粉冶超硬高速钢 T15。他和汤新章、孙向东以 18W4Cr1V 高速钢废削作原料、用粉末锻造技术制备成功插齿刀，在东北某厂实现产业化。葛昌纯提出和组织与北京特殊钢厂王品一课题组合作，在北京特殊钢厂建立起了我国第一台用预应力钢丝缠绕的热等静压机。此项成果获 1978 年全国科学大会奖。1986 年葛昌纯到北京钢铁学院工作后又提出并实现了与钢研总院、川西机器厂合作，建立起了我国第一台双 2000（2000 ℃，2000 大气压）热等静压机。对于提高我国的热等静压技术，开发高性能材料和制品具有战略意义。葛昌纯和夏元洛一起，指导研究生曾舟山和宋箭平分别开展了用水雾化粉末制备粉末高速钢 FM2 和粉末不锈钢 F316L 的研究，研制成功性能可与同牌号熔炼高速钢和不锈钢相比、而工艺流程显著减少和设备、基建投资可大量节约的水雾化粉末高速钢和不锈钢。随后又开发了以节约战略金属钨、钼为目的的高钒磨具钢 FV9，用作粉末冶金模具，寿命成倍提高，并显著减少了磨削对产品原料粉末的污染。在此基础上，葛昌纯和沈卫平、张济山等合作完成了国家 863 项目：“精密喷射成形制备粉末高速钢和粉末模具钢的研究”。他还和清华大学颜永年教授合作指导博士生郭彪完成了粉末锻造汽车连杆的研究。

针对我国航空发动机用粉末冶金涡轮盘研究中存在的问题，2006 年，葛昌纯首次提出并研究利用火花等离子体放电球化技术制备高温合金粉末。他指导研究生制备出球形度好、表面光洁、平均粒度细、粒度分布范围窄、无陶瓷夹杂物的高温合金粉末。葛昌纯首次提出用电极感应熔化气体雾化制粉技术（Electrode Induction Melting Gas Atomization，EIGA）制备超洁净高温合金粉末，与夏敏合作完成了国防科工局民口配套项目“超洁净高性能粉末高温合金研制”（2015 年 1 月—2020 年 12 月），通过了专家组的验收。现正在进行产业化。

葛昌纯对航空发动机用高温合金涡轮盘的短流程、低成本制造技术开展了自主创新的研究。喷射成形技术是近年来获得高速发展的快速凝固技术，它充分利用已精炼的液态金属，经氩气雾化，使半凝固的颗粒在底衬上沉积。快速凝固导致金属的组织细化并消除了宏观偏析，从而大幅度提高了金属和合金的性能。与传统的粉末冶金相比较，喷射成形简化了工序，使生产成本比粉末冶金法降低了 40% 以上。美国 GE 公司最早提出和开发了用电渣重熔 + 喷射成形工艺制取超洁净高温合金涡轮盘的技术，并建立了容量为 1.36 吨的中试装备，但用于制涡轮盘至今没有成功。2012 年葛昌纯同德国 Bremen 大学 H.Fritsching 教授合作进行了喷射成形第一代粉末高温合金 FGH4095 盘锭，获得直径为 184—200 毫米、高度超过 300 毫米、单重 75kg、相对密度达 99% 的盘锭，其收得率超过 70%，并首次以喷射成形 – 热等静压 – 等温锻造 – 热处理工艺制得主要力学性能、显微结构和超声波探伤基本达到 FGH4095 指标。2013 年又进行了喷射成形第一代粉末高温合金 FGH4095M 和第三代粉末高温合金 FGH100L 的研究。前者即使采用喷射成形 – 直接热等静压 – 热处理短流程制备，其主要力学性能也优于 2012 年制备的、以喷射成形 – 热等静压 – 等温锻造 – 热处理长流程制备的 FGH4095 的力学性能；而以喷射成形 – 热等静压 – 等温锻造 – 热处理长流程制备的 FGH4095M，其蠕变性能大幅度高于 2012 年制

备的 FGH4095 的蠕变性能。而以喷射成形制得的 FGH100L，其蠕变性能显著高于美国以氩气雾化制粉 – 热等静压 – 挤压 – 等温锻造 – 热处理长流程制得的、成分基本相同的 LSHR。

葛昌纯在 Bremen 大学和 H. Fritsching 教授等在 φ320mm 轧辊辊芯上喷射成形厚度达 40mm 的高钒钢 FV9 涂层，获得 φ400mm 的 F V9 轧辊。这就为变废为宝、回收利用、修复和改造废轧辊开辟了一条节能节材的新途径。

我国长期以来采用电解法提镍耗能高，采用羰基法提镍可大幅度降低能耗。葛昌纯和滕荣厚、徐教仁、刘思林等和金川、有色金属设计院合作下，负责用羰基法从镍冰铜提取镍和低压合成羰基镍的研究，在实验室获得成功，此项技术较之电解法可节电 94%。

四、在先进陶瓷领域开拓创新

1. Sialon 和 Si3N4 陶瓷的研究

20 世纪 70 年代末，早在钢铁研究院工作期间，葛昌纯就开始了氮化硅（Si3N4）基陶瓷的研究，是我国最早开展氮化硅和 Sialon 研究的学者之一。他首次在国内第一台压力烧结炉中烧结成功以尖晶石作为烧结助剂的抗热震性优良（在 1100℃，水淬 15 次不裂）的 β–Sialon 陶瓷，这种陶瓷被批量用于作热加工模拟实验机的垫块，取代进口的日本 Si3N4 垫块，用于控轧模拟试验机，填补了国内空白。此项成果作为国家“六五”攻关项目“控轧控冷实验室建设”研究成果的一部分，被评为冶金工业部二等科技进步奖。

Si3N4 具有优良的综合性能，被认为是最具发展前途的高温结构陶瓷，特别是应用于燃气涡轮、绝热式发动机及其他高温、高应力部件。目前国内外 Si3N4 陶瓷的主要烧结助剂为氧化铝、氧化钇等氧化物，其在烧结时与 Si3N4 粉末表面的 SiO2 氧化膜反应生成软化点低的玻璃相，导致材料的高温性能和抗氧化性能恶化。美国 Greskovich 用非氧化物助烧剂 BeSiN2，由于玻璃相减少而使 Si3N4 具有优良的高温性能，但 BeSiN2 的毒性是它的致命缺点。

1982—1983 作为洪堡基金会研究员，葛昌纯应 Hans Hausner 教授邀请在 Berlin 工大无机非金属也就是材料研究所从事氮化硅基陶瓷研究期间，在国际上首次提出采用无毒性复合氮化物助（ZrN+AlN）取代氧化物助烧剂，减少了 Si3N4 陶瓷中玻璃相比例并提高其黏度，提高了材料的高温强度和抗氧化性能。

1986 年葛昌纯和夏元洛指导他的研究生陈利民、刘文姗从事无毒性复合氮化物助烧剂 ZrN+AlN 的研究，使无毒性复合氮化物助烧剂 Si3N4 陶瓷的高温抗弯强度 σ1300℃ =750 MPa，σ1300℃ / σ 室温 =94.5%，氧化速率常数 K1300 ℃ =4.00×10–12kg2mm4sec–1，显著高于以 Y2O3+La2O3 为助烧剂 Si3N4 的相应性能（σ1300 ℃ / σ 室温 = 75.8%，K1300℃ =4.04×10–12kg2mm4sec–1）。通过对此类含复合氮化物烧结助剂的 Si3N4 致密化机制和相变过程的研究，葛昌纯提出：由于 Si3N4 表面有 SiO2 薄膜存在，根据 Si3N4–SiO2–AlN–Al2O3–ZrN–ZrO2 行为图（behavior diagram），固相线温度降低，液相成分范围变宽的原理，烧结是以 α–Si3N4 溶解于氮氧化物液相并以 β–Si3N4 形式重新析出的机制使相变快速完成并直接促进致密化。通过对其致密化动力学的研究，确定了此类陶瓷在溶解—扩散—析出过程中，扩散为速率控制过程，烧结时液相体积小和黏度高，因而材料具有优良的高温性能。在这类 Si3N4 陶瓷中，葛昌纯首次发现在一定条件下有 ZrO 相产生，并研究清楚了其生成机制。研究了在 1050—1250℃氧化时灾难性破坏产生的机制，确定了 ZrO 的存在促进了灾难性破坏，但不是其发生的必要条件，找到了避

免灾难性破坏的途径。

国际 Si3N4 陶瓷主要开拓者、英国 D. P. Thompson 博士在审阅了葛昌纯的关于 Si3N4–ZrN–AIN 陶瓷的论文后决定通过英国皇家协会邀请葛昌纯去 New Castle 大学访问并商讨合作研究问题。他在 1992 年 3 月 26 日的邀请信中谈到他对此项工作的评价:“我已非常感兴趣去跟踪你以 AlN 和 ZrN 作为 Si3N4 和 Sialon 陶瓷的添加剂，其结果对发展一族新的高温陶瓷将是非常有前途的”。一向以直言不讳严格要求著称的国际陶瓷界先驱、Sialon 陶瓷发明人 Jack 教授在 1994 年 6 月访问葛昌纯的实验室后，对他在 Si3N4 陶瓷方面的研究写的书面评价中指出:“葛教授已做了极好的研究工作……每个项目都做得很成功。”在以上工作的基础上，葛昌纯又研究开发了非氧化物 – 氧化物复合烧结助剂，使 Si3N4 陶瓷的性能得到进一步提高。在此期间他和夏元洛还指导研究生曾克里开展和完成了无压烧结 Syalon，即以 Si3N4–AlN–Al2O3–Y2O3 系和 Si3N4–AlN–Y2O3 系的 Sialon 陶瓷的致密化研究及其在拉丝模上的应用；指导黄向东完成了以氨解法制备 Si3N4、TiN 和 TiCN 粉末；指导谢建刚完成了氨解法制备氮化硅粉末的研究。指导柳光祖完成了相变增韧 ZrO2 的研究。

2. 发明新型复合 ST–Si3N4 基陶瓷刀片

葛昌纯在以上研究氮化硅基陶瓷的基础上，研究开发出适用于粗、精加工各种高硬材料且通用性强的新型复合 ST–Si3N4 基陶瓷刀片。为了解决氮化硅基陶瓷刀片硬度高难加工的问题，葛昌纯提出 ST–Si3N4 陶瓷刀片的电加工线切割方法，显著提高了 ST–Si3N4 陶瓷刀片的机加工效率。

葛昌纯、夏元洛和陈利民为了建立 ST–Si3N4 基陶瓷刀片中试线，在金物楼后小院盖了两间平房，到北京市的有关企业寻找可以修复利用的废旧设备，自制了大热压烧结炉，修复了企业已报废的平面磨床、周边磨和倒凌磨等设备用于 ST–Si3N4 陶瓷刀片的机加工，之后在校内剑成年产 30,000 片 ST–Si3N4 陶瓷刀片的生产线。他们自行设计和制造的大热压烧结炉，一炉可以制备 5 片直径 100mm 的 ST–Si3N4 陶瓷热压坯，显著提高了生产效率，降低了 ST–Si3N4 陶瓷刀片的生产成本。

为了推广 ST–Si3N4 陶瓷刀片的应用，葛昌纯背着刀片和沉重的钢刀杆，不辞辛苦下厂试验。那时国际上普遍认为，Si3N4 陶瓷刀片是只能加工铸铁和高温合金，但不能加工钢材。葛昌纯通过大量实验，证明他发明的 ST–Si3N4 刀片不但能加工各种高硬铸铁，而且可以加工绝大部分合金钢种的部件。开始时有的厂对 ST– Si3N4 的使用寿命提出质疑。为了排除各种争议，他亲自下厂给技术人员和工人讲解，手把手地教导他们如何正确使用 ST–Si3N4 新型陶瓷刀片。事实证明，ST–Si3N4 陶瓷刀片不仅可以加工钢，而且与硬质合金刀片相比，切削效率提高 3—30 倍。如使用硬质合金刀片加工铸造的高铬铸铁水泵壳体时，要经过退火后加工—淬火、回火后加工 ––磨削，工序多、耗电多、废品多。使用 ST– Si3N4 刀片后省去了这三道工序，实现了以车代磨，大幅度提高了水泵壳体的成品率，经济效益显著。被国家科委等四部委评为 1990 年度国家级新产品、冶金部科技进步三等奖、教育部科技进步二等奖和第七届北京市发明展金牌奖、第五届全国发明展银牌奖和 1988 年国际专利展银奖等三项发明展奖。1990 年，葛昌纯在北京科技大学创办起国内第一个“特种陶瓷粉末冶金研究室”，创建起北京市海淀区工商局批准的一级法人单位“北科大特种陶瓷粉末冶金研究开发中心”。开创了北京科技大学的先进陶瓷粉末冶金的研究和产学研事业。

3. 开拓自蔓延高温合成技术

自蔓延高温合成（Self–propagating High–temperature

Sythesis，SHS）也称燃烧合成（Combustion Sythesis），是20世纪70年代前苏联科学院院士A.Merzhanov等发明的制备先进陶瓷粉体和材料的颠覆性技术。葛昌纯是我国率先开展以SHS技术合成粉体和材料这一前沿领域研究的学者之一。早在20世纪80年代，他就开展了SHS的相关技术的研究。20世纪90年代以来，他先后指导了博士生李江涛、汪朝霞、陈克新、曹文斌、曹永革、燕青芝、沈卫平、王飞、白玲、夏敏，李县辉等10余名博士生，开展了包括SHS合成Si3N4、Mg3N2、AlN、SiC、TiB2、MoSi2等粉末、Si3N4纳米晶须和SiN/SiC/TiCN等复相陶瓷的研究，对SHS合成机制、材料结构、SHS梯度功能材料的设计与制备等方面开展了系统而深入的研究。葛昌纯指导博士生沈卫平和王飞完成了国家863计划项目“高品质Si3N4和TiCN超细粉体的低成本制备技术”（2001AA333080）SHS阿尔法相达95%以上的Si3N4粉末。他在自己设计的60升高压釜中一次合成5公斤、X衍射相分析为纯阿尔法相的Si3N4粉，超过了俄罗斯SHS一次3公斤95%阿尔法相的Si3N4粉。阿尔法相Si3N4粉纯度高于德国Starck Si3N4粉，已供用户使用。博士生白玲研究表明自蔓延高温合成高阿尔法相Si3N4粉烧结活性高，可显著降低烧结温度。

2000年9月21日至24日，葛昌纯主持了由北京科技大学和俄罗斯科学院结构宏观动力学及材料科学研究所（ISMAN）共同在北京召开的第一届中俄双边自蔓延高温合成学术会议，会议的主题是“面向新千年的SHS技术”。参加会议的代表34人，分别来自中国、俄罗斯、白俄罗斯和亚美尼亚四国，共提交论文34篇，反映了各自国家SHS研究的最高水平。这次会议很好促进了中国和俄罗斯等独联体国家在SHS领域的合作。2012年10月23—25日，第二届中俄双边自蔓延高温合成学术会议在北京成功举办。

4. 开拓高分子树脂的低温燃烧合成（Self-propagating Low-temperature Sythesis，SLS）技术

用淀粉来制造具有特殊功用的新材料，一直是近几十年来学术界和工业界感兴趣的课题，这一方面是由于淀粉资源丰富、价格低廉，另一方面是淀粉的可降解性，在全世界都重视环境治理的今天显得尤为重要。如淀粉接枝丙烯酸单体可以制备具有高吸水能力的聚合物材料，称为高吸水树脂。这种吸水树脂具有优异的吸水性和保水性，在个人卫生用品、药物控释系统和工农业方面都有广泛的应用。

2004年葛昌纯和他的博士生燕青芝在两次国家自然科学基金的支持下，研究用SLS制备淀粉接枝丙烯酸吸水材料，经过200多次实验，测试了近600个数据点，终于成功实现了SLS的淀粉接枝改性。测试结果表明，各项性能指标全面优于传统工艺制备的材料。燕青芝、葛昌纯于2005年、2007年先后在国际著名杂志Chemistry-A European Journal（VIP，IF=4.95）、Advanced Functional Materials（IF=7.45）上发表题为“整体大孔聚合物的前端聚合合成（“Frontal polymerization synthesis of monolithic macroporous polymers”）和“淀粉接枝水凝胶的前端聚合合成：温度和试管尺寸对蔓延前端和水凝胶性能的作用”（“Frontal polymerization synthesis of starch grafted hydrogels: Effect of temperature and tube size on propagating front and properties of hydrogels”）。

该项研究成果得到国内外专家的一致好评。中国科学院院士、四川大学高分子研究所所长徐僖教授认为这项工作“为新材料的制备或改善材料性能提供了新的途径”；两院院士王淀佐教授认为本研究“对于发展材料制备技术和丰富材料科学的学术内容，都

具有重要意义”;《欧洲化学》在评审该项成果时，评审专家的书面评审意见指出:“我通常建议稿件需要修改，但是这篇论文不需修改就可以发表!”燕青芝和葛昌纯以此项研究成果申请获得 4 项国家发明专利。

5. 开拓溶胶凝胶低温燃烧合成（Sol-Gel SLS）制备纳米粉体技术

随着结构陶瓷高韧性化的要求和陶瓷器件小型化、高容量的发展趋势，以及工业上对具有特殊的电、光、磁等功能的细晶粒陶瓷的需求，对陶瓷粉体提出了越来越高的要求，制备纯度高、粒度小、化学计量比准确的高品质陶瓷粉体已越来越迫切。纳米粉体由于晶粒细小，具有小尺寸效应、体积效应、表面效应和宏观量子隧道效应、特殊的化学和催化性能使得由纳米颗粒形成的材料在烧结性能、力学性能以及催化活性和光、电、磁等使用性能方面显示出传统材料无可比拟的独特优势和极大的潜在应用价值。纳米材料的出现为克服陶瓷的脆性、提高断裂韧性带来了希望，使电子器件的超小型化制备成为可能。

葛昌纯先后指导胡芳仁、燕青芝、宿新泰、刘中清等博士生开展了包括 BaTio3、ZrO2、Al2O3、TiO2、YBa2Cu4O8 等多种纳米氧化物的 Sol-Gel SLS 纳米粉体的研究。这些研究结果表明：Sol-Gel SLS 兼具有湿化学法的组分均匀和气相法的气—固流动的特点，使该技术制备的陶瓷粉体兼具气相法粉体和湿化学法粉体的优点，即化学计量比准确可调、粉体超细，多在纳米量级（最小的达到 6nm），再加上具有设备和工艺过程简单、操作和原料成本低廉、适用范围广泛、产物组成均匀等工艺优势，在氧化物超细粉体的制备方面具有很大潜力。用 Sol-Gel SLS 既可以制备出耐高温、高强度的结构陶瓷，又可制备出具有电、磁、超导等性能的功能陶瓷，尤其在制备具有复杂组成的多组分氧化物材料如固体氧化物燃料电池材料、高温超导材料、电子陶瓷材料等方面，显示出独特优势。另一个特点是通过优化工艺和过程控制，可抑制团聚体的形成，提高粉体的分散性。Sol-Gel SLS 确实是获得低成本、高质量的纳米陶瓷粉体的较为理想的技术。

葛昌纯是继 SHS 创始人 A. G. Merzhanov 院士之后，同时兼有研究领域广、坚持时间长、创新性成果多的学者。2004 年，葛昌纯当选为世界陶瓷科学院院士。

五、开拓超临界水堆等裂变反应堆燃料包壳管制备技术

在 1964—1986 年研制成功一系列浓缩铀 -235 复合分离膜之后，葛昌纯的目光从“两弹一艇”转向了核能的和平利用。随着我国国民经济的高速增长，我国对能源的需求日益增加，我国长期形成的以煤为主的能源结构的弊端也日益凸显，成为经济发展的制约因素。近年来，我国积极抓节能减排低碳经济已经取得了显著成效。核能以其清洁、安全、高效的特征在世界能源日益紧张的今天引起了各国的重视。核电在全球范围内的发电比重已达到 16%，成为全球电力供应的重要组成部分。从核电站堆型来看，水冷堆是核电站的主要堆型，占全球所有核电站总数的 90% 左右。核电技术已经发展到了第四代，在安全性等方面有了很大的提高，各国开始对六种第四代先进反应堆研究开发，其中超临界水堆是唯一的水堆。

为了推进我国核电的发展进程，欧阳予院士和葛昌纯院士联名向科技部提出建议：建立一个以上海交大程旭教授为项目负责人的 973 项目“超临界水堆的应用基础研究”。研究和开发超临界水堆有利于我国核电事业的发展。超临界水为一种可与氧任意比例混合、高溶解性的非极性气体，对材料的氧化性极强。虽然现有超临界火电厂的传热管材已经积累了较成熟的经验，但由于超临界水堆燃料包壳管壁厚度要求更薄、受强中子辐照，同时需要考虑事故工况安全性要求，因此超

临界水堆对材料提出了更为苛刻的要求。超临界水堆燃料包壳管和堆内构件应满足如下需求：在工作温度范围内（550—650℃，事故工况甚至达到850℃）具有足够高的强度和耐超临界水腐蚀性能；低的应力腐蚀开裂（SCC）敏感性；较低的中子吸收截面；较高的中子辐照稳定性；低辐照肿胀、低辐照脆性、低活化。超临界水堆苛刻的运行工况使得原来用于压水堆核电站的锆合金包壳管由于在超临界水堆的高运行参数下强度和耐蚀性不能满足要求；另外，由于要提高传热系数，葛昌纯成立了由周张健研究组、燕青芝研究组和胡本芙研究组组成的团队，开展微合金化成分设计、模拟计算、超洁净熔炼、引入氧化物弥散强化的粉末冶金技术、控冷控轧技术等的研究，提出、设计、研究和开发了CNS1、CNS2（Chinese Nuclear Steel）和ODS-CNS1、ODS-CNS2系列高温耐蚀钢；并与上海交通大学、中国原子能科学研究院、华北电力大学、苏州热工研究院有限公司合作，评估钢的服役性能，为超临界水堆包壳管提供了候选材料。

六、开拓核聚变堆关键材料的制备技术

受控核聚变堆发电是人们普遍认为的是从根本上解决人类能源危机的一种终极能源。要实现核聚变堆发电，材料问题是决定核聚变能能否开发成功的关键。在聚变堆关键材料中，非常重要的一类材料是面向等离子体材料（Plasma Facing Materials，PFM），它是人类有史以来碰到的工作环境最严酷的材料之一。

早在中国加入国际热核实验反应堆前十年，1996年葛昌纯就富有前瞻性地向国家有关部门提交了名为“耐高温等离子体冲刷的功能梯度材料研究”的建议书，指出其主要用途是核聚变反应堆的第一壁材料。他申报的863项目“耐高温等离子体冲刷功能梯度材料研究”得到科技部863计划批准（715-011-0230，1997.7—2000.12）。经过3年半的努力，葛昌纯带领团队成功制备出6种耐高温等离子体冲刷的功能梯度材料，其中SiC/Cu、B4C/Cu等四种功能梯度材料在国际上属首创。此项成果开拓了功能梯度材料在核聚变领域的应用前景，获2008年中国材料研究学会二等科学技术奖。

2010年他提出国家973计划-ITER计划项目“聚变堆面向等离子体材料的基础研究”，得到科技部批准（2010GB109000，2010—2013）。

通过4年的研究，葛昌纯、燕青芝、周张建、张迎春等提出了适合未来高通量、长脉冲等离子体运行的钨基面向等离子体材料（Plasma Facing Materials，PFM）新的设计思路和制备方法，研制出耐高温等离子体辐照的关键材料，实现了面向等离子体部件（Plasma Facing Components，PFC）在结构设计、界面控制、连接技术、性能检验和评价上的重大突破，阐明了钨-PFM与聚变等离子体的相互作用机制及其辐照损伤机理，为耐辐照钨基PFM的设计研发以及钨基PFC的制备提供指导，培养出一批从事核聚变关键材料与部件研究和应用的优秀人才。这项成果极大推动了我国核聚变材料与部件的研究，掀起了国内对核聚变材料研究的热潮。

七、矢志报国，做科研掌灯人

“奉献”和“爱国”是葛老师不断提及的两个词语。谈到“科技创新”，葛老师讲到：“科研的灵魂是创新。我国的材料水平与发达国家还有一定的差距，我们要始终瞄准国家需求，把科研成果写在祖国的大地上，要敢于创新开展跨学科合作，产出更多国家需要的科研成果。”

人是科技创新最关键的因素。葛老师教书育人三十七年，已经培养了大量的专业过硬的材料学科骨干人才。面对青年人才的培养，葛老师认为更应该重视“德”的教育，只有“先要做好人，才能做好事”，这也为新一代材料人

指引着前行的方向和奋斗目标。

中国自动化学会自 1961 年成立至今，已经走过 60 多年的历程，在历届理事会的领导和推动下，中国自动化学会发生了翻天覆地的变化，无论从会员规模，还是业务活动，都得到了蓬勃发展。提及学会的发展，葛老给予了高度认可，并提到，自动化是人类文明进步和科学技术现代化的重要推动力，对我国建设科技强国具有强大的支撑作用，中国自动化学会近年来通过组织多样化学术交流、开展学科研究等，有力地推动了整个自动化学科的发展。面对未来，葛昌纯希望学会能够继续担起社会重任，助力领域科研发展，为中国未来发展贡献力量。

编后语：

“材料报国，追求第一”是葛老师一生坚持的热忱信念，从青年时代的临危受命，到如今年近九旬的依然活跃，葛老一直从未停下研究的脚步。“国家”是葛老永远追随的信仰，他燃烧自己的一生将家与国紧紧系在一起，让我们感受到老一辈科学家的无穷力量。他们是时代的最美使者，是社会的精神坐标，步入新时代，同样需要我们赓续这种宝贵的精神密码，通往星辰大海，尚在征程之上。

喜报 XI BAO

热烈祝贺中国自动化学会综合智能交通专委会主任吕宜生研究员获 2023 年度 IEEE 智能交通系统杰出研究奖

9 月 24 日—28 日，第 26 届 IEEE 智能交通系统国际会议（The 26th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2023）在西班牙毕尔巴鄂召开。 25 日，大会开幕式颁奖仪式上公布了 2023 年度 IEEE 智能交通系统杰出研究奖（IEEE ITS Outstanding Research Award），中国自动化学会综合智能交通专委会主任、中国科学院自动化研究所吕宜生研究员因在大规模交通系统建模、预测和控制方面做出的贡献获此殊荣。这是时隔 12 年，中国学者再次获得这一奖项。2011 年，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研究员曾获奖，这也是首位中国学者获得该奖项。

IEEE 智能交通系统杰出研究奖由 IEEE 智能交通系统学会设立，授予在智能交通系统相关领域的研究中做出重大杰出贡献的人员，每年授奖不超过 1 人。

详情请查看：http://www.caa.org.cn/article/191/4197.html

通信限制下多智能体系统协同控制

文 / 西北工业大学　倪骏康

摘要：本文介绍了多智能体系统协同控制的概念及应用，通信限制下实际多智能体系统协同控制问题，给出了带宽限制下的事件触发 / 自触发协同控制、传输比特率限制下基于量化通信的协同控制、数据丢包和通信延时下基于预测补偿的协同控制这些常见的协同控制方法解决通信限制下多智能体系统协同控制问题。最后，对通信限制下多智能体系统协同控制未来的研究方向进行了展望。

关键词：通信受限，多智能体系统，协同控制，事件触发控制，自触发控制，量化通信，数据丢包，通信延时，预测补偿控制

1　引言

多智能体系统是由一定传感、计算、执行和通讯能力的个体组成，各个单元通过网络传递信息，互相协作完成任务。多智能体系统的应用研究非常活跃，其涉及领域较宽，这主要是由于系统的自主性、分布性、实时性等特点所决定的。多智能体系统协同控制已经成为控制学科的一个重要的研究热点，其研究包括编队、包围、蜂拥和群集、跟踪、一致等多个方面。多智能体系统协同控制已经应用于集群机器人、编队飞行、智能电网、协同作战、医疗诊断、协同制造、智能物流、无人艇编队等各个领域，如图 1 所示。

多智能体系统将通信、控制和计算与物理系统深度融合，是一种典型的信息物理系统。在多智能体系统中，通信网络的传输比特率、通信带宽、网络资源等

集群机器人　编队飞行　智能电网　协同作战

医疗诊断　协同制造　智能物流　无人艇编队

图 1　多智能体系统协同控制应用领域

有限，随着系统规模的扩大，网络中传输的信息量也会增加，导致系统中容易出现通信延时、数据丢包等不良现象，这些不良网络化现象导致接收信息不及时、不连续、缺失和不准确，降低了协同控制性能，甚至导致多智能体系统失稳，无法完成指定的任务。既然通信限制给多智能体系统协同控制带来这么大的不利影响，如何从控制的角度克服通信限制带来的不利影响？

图 2　常见的不良网络化现象（a）数据丢包（b）通信时延[1]

2　通信限制下多智能体系统协同控制

下面将给出几种常见的协同控制方法解决通信限制下多智能体系统协同控制问题：

2.1　带宽限制下的事件触发 / 自触发协同控制

事件触发 / 自触发控制只有当测量误差超过指定阈值时，才触发通信和控制更新，能够有效降低通信和控制更新频率，降低资源消耗和控制开销，避免了连续频繁通信造成的通信带宽紧张，适合于通信带宽有限的通信环境下多智能体系统协同控制。此外，事件触发 / 自触发控制能给多智能体系统控制带来如下好处：首先，智能体中配备的测量模块、通信模块、微处理器、执行器模块、驱动模块等模块消耗大量的能量，而给智能体提供的能量有限，使用事件触发 / 自触发控制能够降低系统能量消耗，延长任务执行时间和系统寿命；其次，智能体的通信模块、微处理器、执行器模块具有有限的通信、计算和执行能力，事件触发 / 自触发控制能够降低通信和计算量，降低控制开销，使得智能体能够执行所设计的控制方案；最后，当系统运行在稳态并且不受到干扰影响时，无需实时监视系统状态、与邻居智能体通信、以连续方式执行控制指令，事件触发 / 自触发控制可以节约通信资源，提升通信效率。我们在前期工作[2-3]给出了多智能体系统固定时事件触发控制方案。典型的事件触发控制方案如图 3 所示[4]。

2.2　传输比特率限制下基于量化通信的协同控制

实际的多智能体系统通信网络受到传输比特率的限制，无法传输实值信息。在受到传输比特率限制的多智能体系统通信网络中，通常采用量化通信的方式传递信息，在发送端将实值信息量化为有限符号并进行编码，以数字信号的形式传输信息，在发送

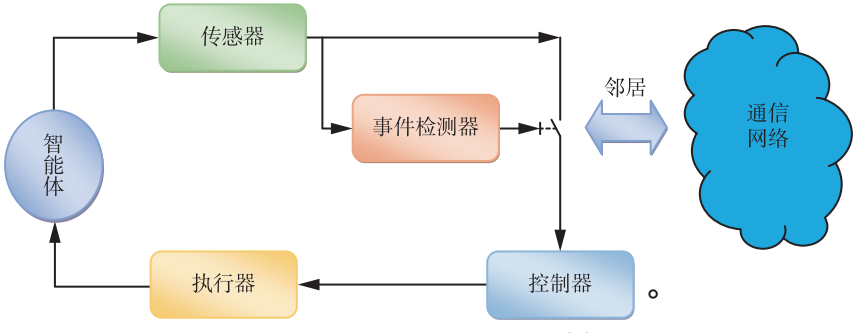


图 3　典型的事件触发控制方案[4]

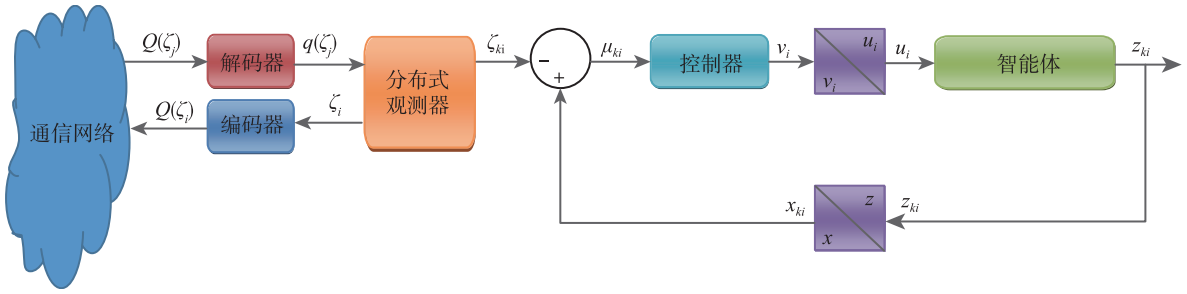


图 4　基于量化通信的协同控制方案

端进行解码，得到实值信息。这种通信方式具有强的反拥塞能力、高的安全性、易于实施和维护、强的鲁棒性和远距离传输等优点。然而，由于量化造成的不精确信息给协同控制协议的设计带来了困难。我们在前期工作[5]中克服了这一困难，提出了基于量化通信的固定时一致性控制方法，实现了传输比特率限制下多智能体系统固定时一致性跟踪，所设计的基于量化通信的控制方案如图 4 所示。

2.3　数据丢包和通信延时下基于预测补偿的协同控制

实际的多智能体系统中，由于过饱和的通信连接、信道衰减、噪声干扰、发射器和接收器之间过远的距离、执行器故障、传感器故障和网络攻击，容易发生数据丢包现象。数据丢包随机改变通信拓扑，引入协同控制误差，降低控制性能，甚至造成系统失稳。此外，在实际多智能体系统中，由于有限的通信容量和通信带宽，当大量信息频繁通过通信连接交互时，容易导致信息碰撞和信息重传，进而导致通信延时。通信延时降低协同控制性能，甚至破坏多智能体系统稳定性。数据丢包和通信延时导致智能体无法及时收到实时信息，这给协同控制协议的设计带来困难。针对网络中出现的通信延时和数据丢包，我们在前期工作[6-7]中设计了一种预测器，预测在数据丢包和通信延时发生后，当前时刻邻居智能体的状态，设计了一种基于预测补偿的协同控制方案，实现了数据丢包和通信延时下多智能体系统固定时一致性跟踪，所设计的数据丢包和通信延时下基于预测补偿的控制方案如图 5 所示。

3　结论与展望

本文介绍了多智能体系统协同控制的概念及应用，通信限制下实际多智能体系统协同控制问题，给出了带宽受限下的事件触发 / 自触发控制、传输比特率限制下基于量化通信的控制、数据丢包和通信延时下基于预测补偿的控制这些常见的协同控制方法解决通信限制下多智能体系统协同控制问题。通信限制下多智能体系统协同控制还有很多值得研究的方向，例如，基于编码器 – 解码器的动态事件触发协同控制、随机丢包环境下事件触发协同控制、通信延时下量化协同控制、其他通信限制下多智能体系统协同控制。

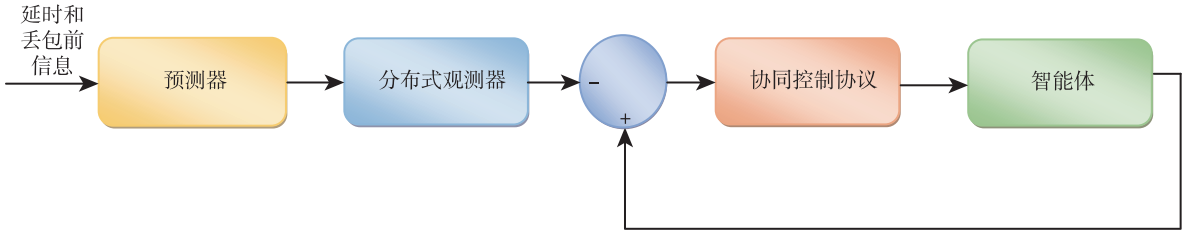


图 5　数据丢包和通信延时下基于预测补偿的控制方案

参考文献:

[1] https://blog.csdn.net/dragon11123123/article/details/114853412

[2] J. K. Ni, P. Shi, Y. Zhao, Q. Pan and S. Y. Wang, "Fixed-time event-triggered output consensus tracking of high-order multiagent systems under directed interaction graphs," *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 52, no. 7, pp. 6391-6405, Jul. 2022

[3] J. K. Ni, F. Y. Duan, P. Shi, "Fixed-time consensus tracking of multiagent system under DOS attack with event-triggered mechanism," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 69, no. 12, pp. 5286-5299, Dec. 2022

[4] L. Ding, Q.-L. Han, X. H. Ge and X.-M. Zhang, "An overview of recent advances in event-triggered consensus of multiagent systems," *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 48, no. 4, pp. 1110-1123, Apr. 2018

[5] J. K. Ni, C. Y. Wen and Y. Zhao, "Fixed-time leader-follower quantized output consensus of high-order multi-agent systems over digraph," *Inf. Sci.*, vol. 587, pp. 408-434, Mar. 2022

[6] J. K. Ni, P. Shi, Y. Zhao and Z. H. Wu, "Fixed-time output consensus tracking for high-order multi-agent systems with directed network topology and packet dropout," *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*, vol. 8, no. 4, pp. 817-836, Apr. 2021

[7] J. K. Ni, Y. Zhao, J. D. Cao and W. L. Li, "Fixed-time practical consensus tracking of multi-agent systems with communication delay," *IEEE Trans. Netw. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 3, pp. 1319-1334, May/Jun. 2022

作者简介

倪骏康，西北工业大学特任研究员，博士生导师。主要从事多智能体系统协同控制、信息物理系统容错控制、固定时控制理论及应用等领域的研究。主持国家自然科学基金面上项目、国家自然科学青年基金、第八届中国科协青年托举工程项目、陕西省自然科学基金、装备预研航天联合基金等项目，在 IEEE TCYB、IEEE TSMCA、IEEE TIE、ACC、IFAC World Congress 等期刊和会议上发表论文 50 余篇，ESI 高被引 6 篇，担任 CCC、IECON 等多个国际会议执行主席、分会主席，担任全国集群智能与协同控制大会、CSIS-IAC 等会议的程序委员会委员。授权发明专利 7 项，软件著作权 2 项，获 2021 陕西省高等学校科学技术研究优秀成果二等奖，担任中科院一区 TOP 期刊 IEEE/CAA JAS 青年编委，中国自动化学会和指挥与控制学会高级会员，担任 IFAC Technical Committee on Large Scale Complex Systems 委员，担任中国指挥与控制学会青工委委员、智能控制与系统专委会委员，担任 Automatica、IEEE TCYB、IEEE TSMCA、IEEE TFS、IEEE TIE 等 40 余个高水平期刊审稿人，入选第八届中国自动化学会青年人才托举工程。

探索复杂世界的简单规则

文 / 中国科学技术大学　吕琳媛

一、复杂世界，简单规则

夕阳下，鸟儿成群舞动，时而疏散，时而聚拢，不断变化着空间排序却能互不相撞，既能飞越障碍也不会彼此失散。鸟群如何在空中舞蹈、鱼群如何在水中变幻？

2021 年，一艘货轮意外在苏伊士运河搁浅，给全球经济带来“多米诺骨牌”式影响，每天由此减少的贸易额高达 90 亿美元，为什么小小一艘货轮能堵住全球供应链？同样地，为什么一条网络谣言可以引爆全网大规模舆情？难道一只蝴蝶轻轻振翅，真能卷起千里之外的一场风暴吗？

这些问题看似毫不相关，但仔细思考就会发现，这些复杂现象均有一个共同点：它们都发生在由大量主体通过相互作用构成的复杂系统中。2021 年诺贝尔物理学奖颁发给了意大利物理学家乔治·帕里西教授（Giorgio Parisi）以表彰他对复杂系统理论的开创性贡献。年轻时的乔治·帕里西教授也曾在罗马火车站，对空中成千上万只鸟儿成群飞翔的景象着迷。他常伫立良久，观察、拍摄鸟群。基于对鸟群的观察数据，帕里西教授用统计物理方法揭开了鸟群飞行的奥秘[1]。原来每只鸟只需要遵循三个最基本的原则，就可以复现鸟群飞翔的奇景。这三个基本原则为：（1）靠近视野中的邻居，每只鸟都希望与视野中的同伴携行；（2）与视野中的邻居保持一致的飞行方向；（3）当与邻居过于靠近时，调整方向，避免碰撞。

所以，鸟群飞行的奥秘不在于每只鸟，而是它们之间的相互作用。鸟群飞行如此复杂，但背后规则竟如此简单！研究鸟群这样的系统时出现一个魔咒：我们惯于依赖的还原论①失效了。

二、什么是复杂系统？

还原论虽然不能理解鸟群的集体行为，但对理解飞机就很有效，尽管飞机的零件也不计其数，功能也眼花缭乱，但只要我们明白每个零件的作用，就能完全理解飞机的飞行原理。我们称飞机这样的系统为复合系统（Complexed systems），而像鸟群、大脑这样的系统，即使我们研究清楚了系统的所有组成部分（如每只鸟、每个神经元），也无法理解系统整体涌现的奇观（如鸟群飞舞、意识涌现），这样的系统就是复杂系统

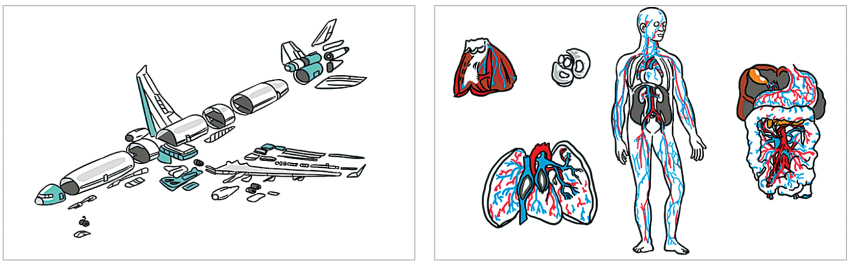


图 1　复合系统与复杂系统

① 还原论（Reductionism）是一种哲学思想，认为复杂的系统、事物、现象可以将其化解为各部分之组合来加以理解和描述。

（Complex systems），如图 1 所示。复杂系统研究旨在解决的核心问题就是探索复杂系统背后的简单、普适规律。

牛顿建立了机械性、确定性的物理王国。像小球从斜面滑下的故事时刻都被牛顿力学牢牢控制。在这个确定性王国里，只要我们给定了系统的初始状态，那万物都将按照确定的规则运行。1961 年的冬天，气象学家洛伦茨（Edward Norton Lorenz）构建了一个精巧的数学模型，希望能预测天气，却意外地发现了另一个世界。计算机千分之二的系统误差（0.0001 秒）竟会得到截然不同的结果。所谓“差之毫厘，谬以千里”。他把这个高度非线性的天气模型输入到计算机中，得到的状态轨迹竟像一只张开翅膀的蝴蝶。于是就有了大家非常熟悉的蝴蝶效应（如图 2 所示），这一效应形象地表现了非线性系统对初值的敏感性，也体现了复杂系统一个有趣的现象——混沌。

实际上，大多数我们熟悉的真实系统，既不是混沌的，也不是完全秩序的，而是处于两者之间，我们称之为混沌与秩序的边缘状态。复杂性科学正是诞生于混沌与秩序边缘的科学。1984 年，在盖尔曼、安德逊和阿罗等人的支持下，一批从事物理、经济和计算机领域的科学家在圣塔菲伊苏区中一个租来的女修道院中组建了圣达菲研究所（Santa Fe Institute）。该研究所如今已经成为世界知名的复杂科学研究中心。以圣塔菲研究所成员为代表的一大批学者，尝试突破牛顿以来的还原论思维桎梏，理解涌现、混沌等复杂系统现象。

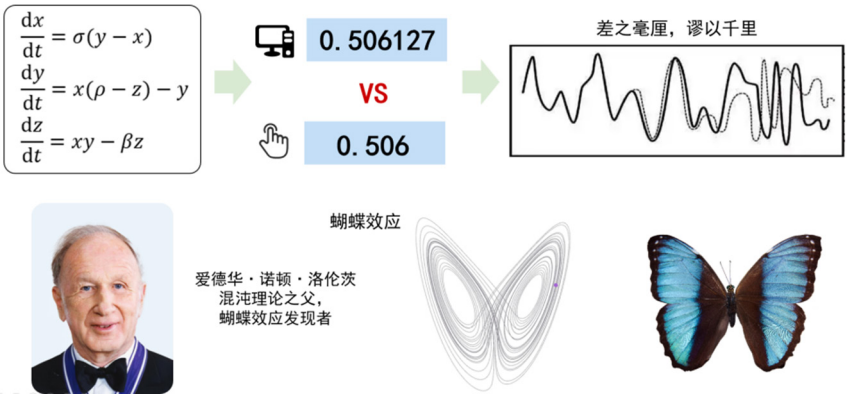


图 2　蝴蝶效应起源

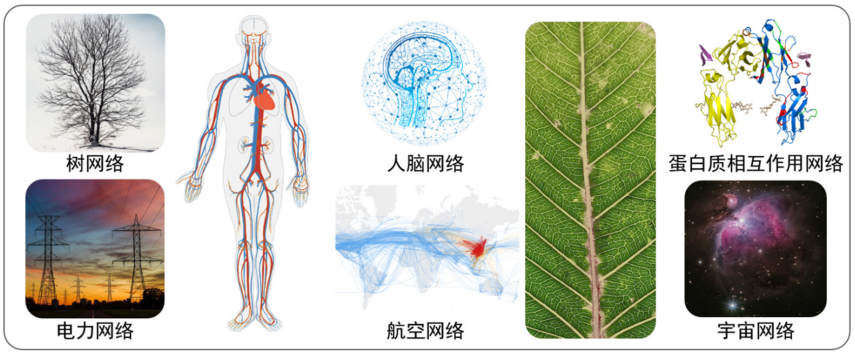


图 3　多种复杂网络实例 ①

三、如何探索复杂世界的简单规则——网络科学

圣塔菲研究所的创始人之一乔治·考温曾说，他们正在开创二十一世纪的科学。如今，未来已来！经过科学家们三十多年来的努力，如今复杂科学又迎来了一个新发展阶段——应用复杂网络来刻画、研究复杂系统。网络科学应运而生。网络科学的核心思路，就是应用复杂网络对各类复杂系统进行建模[2]。在现实世界中，大到全球生态系统和全球物流系统，小到细胞内的蛋白质交互系统，都可以用复杂网络进行建模（如图 3 所示），其中节点表示系统的组成元素，连边表示元

① 蛋白质相互作用网络来自 www.creative-proteomics.com

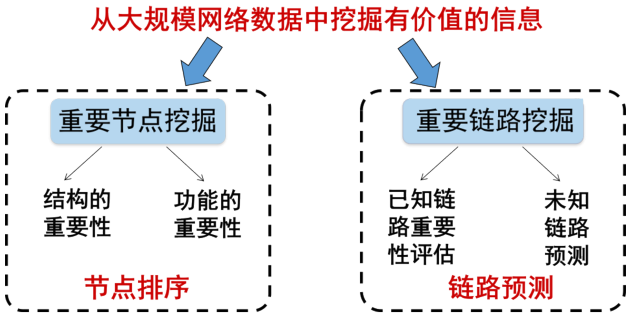


图 4　网络信息挖掘

素之间的相互作用，通过研究系统抽象而成的网络结构及其上的动力学，就可以理解网络所对应的复杂系统的规律。

社交网络是我们日常生活中最为熟悉的网络，每个人作为社交网络中的节点，通过线上线下关系联系起来。回到刚开始的问题，为什么一条网络谣言可以引爆全网大规模舆情，我们又应该从何入手、控制舆情呢？解决这些问题的关键在于在社交平台上找到谣言传播过程中的关键人物，以及识别和切断重要的传播路径。归结起来就是对两个关键科学问题的探索：如何挖掘网络中的重要节点[3]，以及如何挖掘网络中的重要链路[4]。这两个问题的研究在网络科学中被称为网络信息挖掘（如图 4 所示）。

1. 如何挖掘网络中的重要节点?

对于第一个科学问题：如何基于已知的网络信息挖掘出对网络结构和功能产生重要影响的节点，其实是如何对节点进行排序的问题。在解决这一问题的方法中，依据节点的核数进行排序是一种经典的方法（即 K-core 分解[5]），它刻画了节点在网络中的位置。这就像一个剥洋葱的过程，把网络一层一层剥掉，越晚剥掉的节点处于网络中的核心位置，这个节点的影响力也就越大。但这样的方法大多适用于静态的、简单的网络。而在现实生活中我们面对的网络大多数都是大规模、含权、演化、有向的。面对这样的复杂网络时，我们又该如何快速高效地计算核数，挖掘出重要节点呢?

受到科学家 H 指数的启发，我们定义了一个局部 H 算子[6]，将算子 H 作用在有限的实数序列上，得到 $y=H(x_1, x_2, \ldots, x_n)$。H 算子的定义为在实数序列（$x_1$，$x_2$，…，$x_n$），最多找到 y 个不小于 y 的数（如图 5 所示），这个概念与 H 指数的概念完全一致。当我们把 H 算子作用在网络的节点度序列上时，返回的 y 值就称为该节点的一阶 H 指数，将 H 算子进一步作用在某节点的邻居的一阶 H 指数上时，可以得到该节点的二阶 H 指数。经过这样连续的作用，就能得到节点的 H 指数序列。有趣的是，这个序列可以被严格证明为收敛于节点的核数。

因此，通过 H 算子，我们把长期以来被认为毫不相关的三个指标：度、H- 指数与核数联系了起来，我们称这一发现为网络的 DHC 定理[6]（如图 6 所示）。这个定理对于演化、含权、有向网络同样适用。基于该定理就可以通过分布式的方式仅基于网络节点局部的信息快速计算节点的核数，从而快速准确地挖掘出复杂网络中的重要节点。

我们发现，在微博网络中应

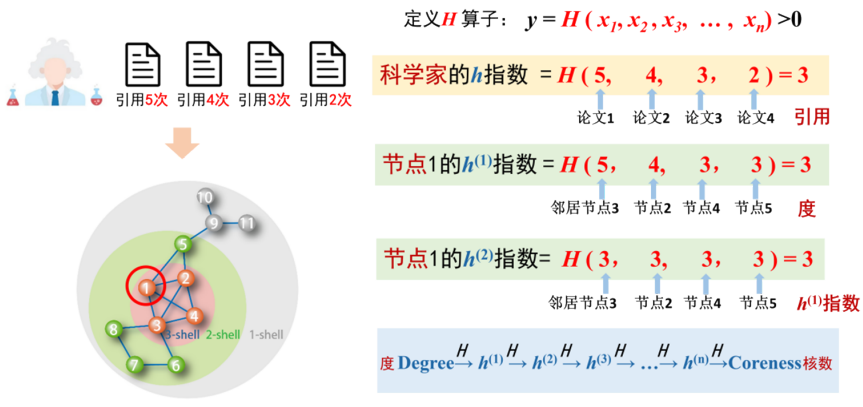


图 5　H 算子定义示意图

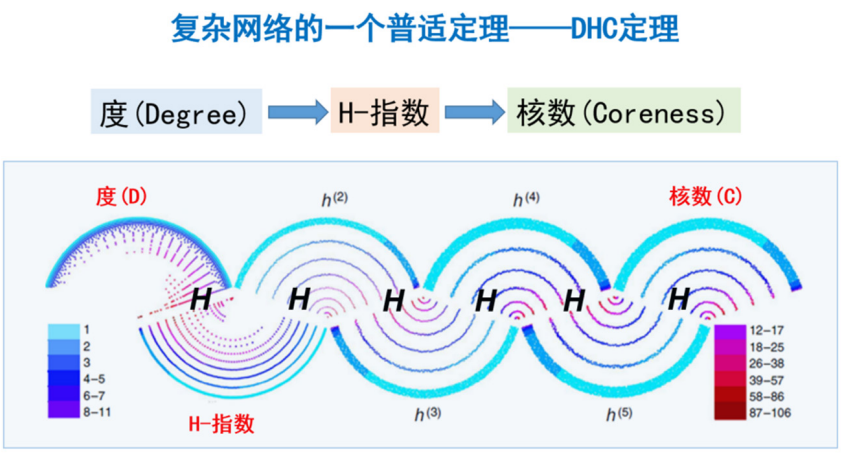


图 6　DHC 定理

用 DHC 定理去识别关键用户，只需要监测不到四万分之一的微博用户就可以跟踪 95% 以上的重大食品安全舆情。此外，这一方法还可以应用在国家创新力分析[7]、重要脑区识别[8]、城市媒体影响力分析[9]等多个领域中。

2. 如何挖掘网络中的隐含链路?

对于第二个科学问题，如何基于已知的网络结构信息和可能的节点属性信息，估计两个未连接节点之间产生连接的可能性？这个问题被称作链路预测，社交网络中的“好友推荐”就是典型的链路预测问题的应用。在链路预测研究中，数据和算法直接决定了预测精度。当获得一个较差的预测结果时，我们就往往会探究怎么设计更好的算法。但却忽略了一个非常关键的问题：分析的数据本身是否是可预测的，即如何刻画网络数据的可预测性。

我们认为，如果随机从网络中抽取出一小部分链路，网络的特征向量空间受到的影响很小，就说明网络是具有规律性的，即可预测性高的。在这种思路的基础上，我们应用类似于量子力学中对哈密顿量做一阶微扰的方法，假定减少或者加入少量链接所产生的微扰，只对特征值有影响，而对特征向量没有影响，这样就可以观察微扰后通过这种办法重构的邻接矩阵和真实邻接矩阵的差异。我们提出了一个度量这种差异的指标——网络的结构一致性[10]。一致性越强则表示该网络的可预测性越大。依据这个思路，我们进一步提出了基于网络结构微扰的链路预测模型（如图 7 所示）。这个方法在预测丢失的链路以及甄别网络中添加的噪音边两方面都明显超过了经典的层次结构模型和随机分块模型等等。相关算法不仅可以用在社交领域的关系预测中，还可以用在乳腺癌、肺癌、心衰等多种致病基因的预测，预测精度高于传统的系统生物学方法[11]。

网络信息挖掘具有非常广泛的应用场景。目前已有部分研究成果应用于网络舆情监控、致病基因预测、医保欺诈识别、电子商务服务等实际系统中，产生了一定的社会经济价值。二十大报告中强调了产业链供应链对于国家安全的重要性，要求着力提升

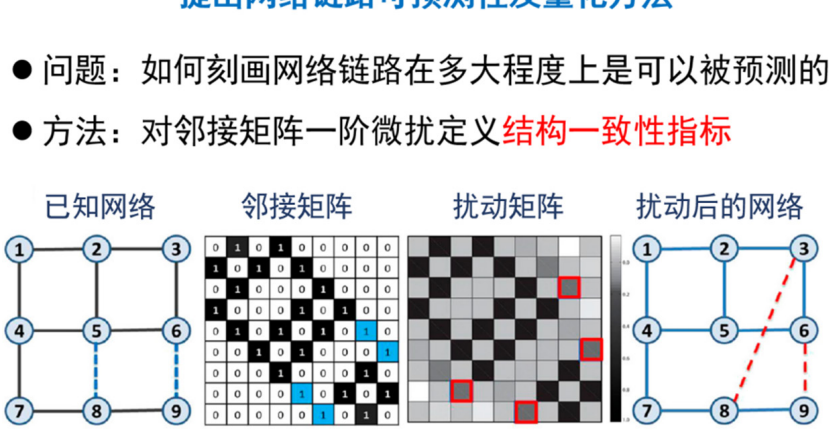


图 7　网络结构一致性计算

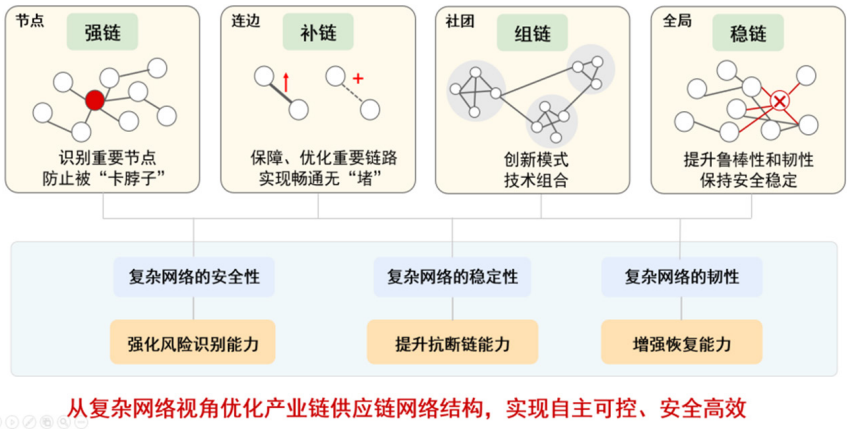


图 8　复杂网络视角优化产业链供应链网络

产业链供应链韧性和安全水平，网络信息挖掘的相关方法也能应用于相关研究中发挥作用。产业链供应链天然就是一张网，可以用复杂网络进行描述刻画（如图 8 所示），其中供应链是上下游企业为实现将产品或服务交付给最终用户而形成的产－销关系网络，产业链是各产业之间依据一定经济技术联系、空间布局形成的相互关联网络。通过构建网络，就可以通过识别重要节点，提前发现可能被“卡脖子”的产业；通过识别重要链路，优化重要链路及提前预警薄弱环节等，结合从微观节点到宏观网络全局的视角，提出产业链供应链的优化升级策略，保障产业链供应链的自主可控和安全高效。

四、网络科学新前沿——从低阶到高阶

图论作为复杂网络的重要基石之一，其源头最早可以追溯到欧拉的哥尼斯堡七桥问题。直到 1998 年小世界网络、1999 年无标度网络的突破性进展，掀起了网络科学过去二十多年的研究热潮。目前，我们在节点和连边层面对网络的结构、动力学、预测和控制有了较成熟的理解。然而随着研究的不断深入，研究人员发现很多现实系统中不仅包含节点对之间的二元关系，还包括以群、组的形式发生的高阶相互作用[12]，比如，一篇学术论文可能是由多名学者共同完成的；生物信号传递、基因表达调节等生命过程需要多种蛋白质的参与；在大脑神经网络中，包括记忆在内的很多认知功能，都依赖于神经元群的编码和信号同步。这种高阶相互作用难以用基于二元交互关系的网络进行很好地描述。当我们回溯网络科学的起源时，会有一些新的思路（如图 9 所示）。我们发现，欧拉另外一个重要贡献——欧拉示性数以及庞加莱的洞公式等研究为网络科学提供了新的思路，可以用来研究多节点相

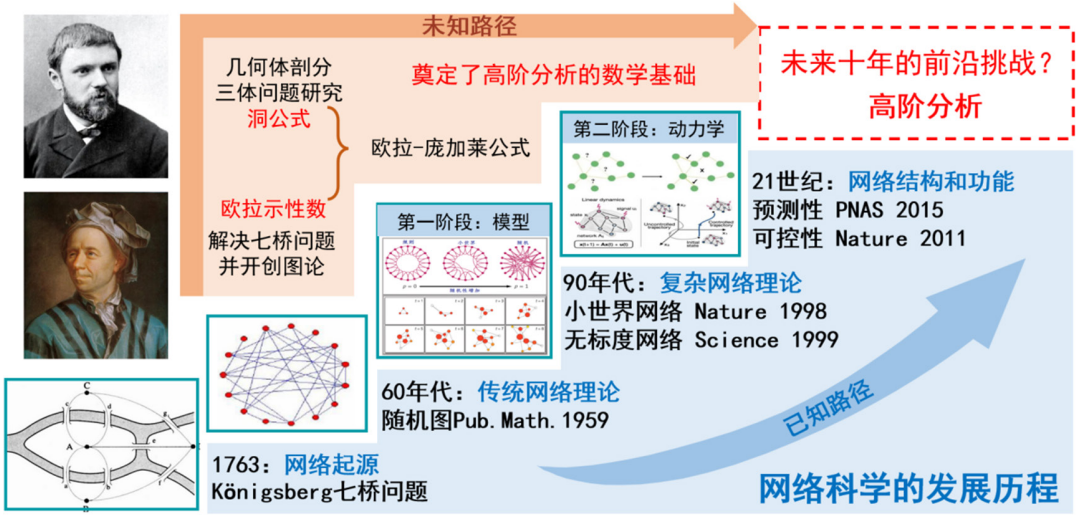


图 9　网络科学发展历程及未来前沿挑战

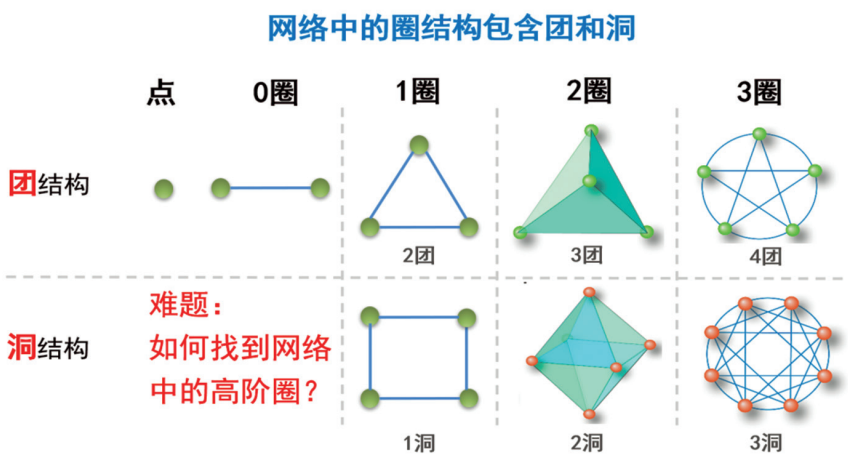


图 10　团、洞结构示意图

互作用的高阶结构和动力学问题，从而将网络科学的研究推进到高阶网络分析的时代。高阶网络分析使我们可以获得对网络的结构和功能更深刻的洞见，并有望在一些已有难题上突破瓶颈、获得新发现。

从社会过程到神经科学的众多复杂系统实例上，高阶拓扑分析都展示出了巨大潜力。网络高阶结构中，最基本的就是圈①结构，包括团②和洞③（如图 10 所示）。而人脑中团和洞，前者作为信息处理和记忆的单元，后者作为跨脑区信息整合和分发的功能基础，对于人脑的并行处理与高级认知活动至关重要[13]。进行网络高阶拓扑分析的首要任务是要找到网络中的高阶结构。但目前为止，关于网络高阶结构的研究还没有形成系统的理论方法。比如绘制大脑完整的高阶结构图谱现在仍是一个巨大的挑战。

寻找网络高阶结构的关键在于，如何计算网络结构。我们借鉴庞加莱对几何体剖分的思想，把网络看成一个几何体，然后对它进行类似的剖分，分解成全齐性子网络[14]。然后再采用一些二元域上的向量空间和边界算子对网络进行描述和计算。基于此，我们就可以计算出网络中的团、洞结构，以及拓扑不变量，最后呼应欧拉 – 庞加莱公式，进一步验证计算的准确度（如图 11 所示）。我们将这套方法应用在线虫的神经网络中，计算出线虫神经网络全部团、洞的数目，绘制了线虫神经网络完整的高阶结构图谱[15]。而这些团、洞结构的生物学意义还有待进一步解读。

应用高阶网络分析来理解大脑会是一个全新的视角。团、洞等高阶结构在大脑中非常关键，这也将促进我们对脑功能相关的神经环路的理解和认识，为临床应用和开发类脑计算框架

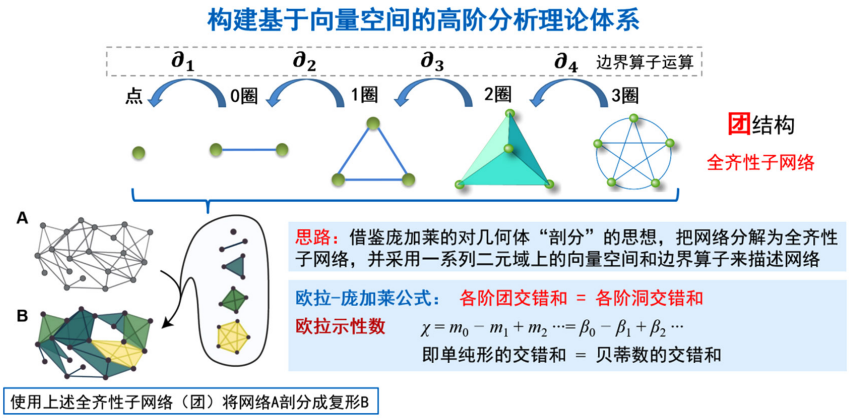


图 11　高阶网络分析理论框架

① 圈（Cycle）：一个由相同起点和终点构成的封闭路径。

② 团（Clique）：无向图中顶点的子集，一个团中每两个不同的顶点必定相邻。也就是说，其导出子图是完全图。

③ 洞（Cavity）：网络中圈的无关等价类中的最小圈。

提供了新思路。比如，我们对孤独症患者大脑神经网络的分析显示，与健康人相比，孤独症患者脑网络中的“团少洞多”。团在一定程度上反映了局部并行处理信息的能力，洞反映了大脑对不同脑区信息整合的能力。这就说明孤独症患者局部并行处理信息的能力有所降低，但是跨脑区信息整合的能力得到提升。但是具体而言，这些团、洞结构如何以特定的组织方式形成，它们与认知和疾病之间究竟有何关联？这都是未来需要进一步研究的重要问题。

图 12　网络科学与人工智能结合的应用场景

在未来，网络科学与人工智能的结合将有着巨大潜力。它不仅有望解决当前的挑战，比如说现代数字化社会的安全和治理问题，同时也将催生一些新的科学问题和应用技术，在社会、经济等众多领域发挥重要作用（如图 12 所示）。从 1984 年圣塔菲研究所成立、复杂性科学诞生，到 2021 年诺贝尔物理学奖授予复杂系统研究，复杂科学在短短几十年里迅速成长，但它仍然像一个青春期的孩子，既稚嫩又代表着未来。复杂科学方兴未艾，中国学者未来可期！

作者简介

吕琳媛，中国科学技术大学网络空间安全学院，教授，博士生导师，国际网络科学学会理事，Erdős–Rényi 奖获得者，2021 年获第三届科学探索奖。长期致力于网络信息挖掘与社会经济复杂性方面的研究，在 Physics Reports、PNAS、Nature Communications，National Science Review 等高水平期刊发表论文 80 余篇，谷歌学术引用 15900 余次。授权发明专利 10 项，两项获腾讯优秀专利奖。出版学术著作 4 部，专著《链路预测》获得第四届中国大学出版社图书奖优秀学术著作一等奖。主持国家自然科学基金委优秀青年基金、交叉学部重大项目课题、科技部科技创新 2030 重大项目课题等多个国家级项目。2018 年入选《麻省理工科技评论》中国 35 岁以下科技创新 35 人，2020 年获中国系统工程学会系统科学与系统工程青年科技奖。

超越想象的力量：脑机接口创造未来

文 / 电子科技大学　张连驰　常婉停　施柯丞

一、引言

2019 年，马斯克创办的 Neuralink 公司首次宣布在猴子身上开展脑机接口设备的测试，为未来的研究铺平了道路。随后，该公司发布了一段展示了一只被植入了脑机芯片的猴子通过心灵感应玩游戏的视频，这一视频引起了社会广泛的关注。2022 年，该公司公布了一只名为 Sake 的猴子，它能够通过意念控制虚拟光标进行打字，这一成就再一次引起了人们对“脑机接口”的激烈讨论。

然而，脑机接口并非首次在猴子意念打字这一事件中亮相。早在许多影视作品中，如《黑客帝国》、《阿凡达》、《盗梦空间》等，就展现了人类对大脑意识工作未来的期盼，设想了脑机接口技术的可能性。甚至在 2023 年我国大型科幻影片《流浪地球 2》中也出现了利用脑机接口技术提取人体意识的桥段，为人们描绘了一个更加高度数字化的未来世界。近年来，国内的科幻热潮不断升温，这些影视作品以及一些科幻文学作品都富含对未来的设想。透过这些影视作品，我们可以发现，我们对未来的设想的一部分是可以通过“脑机接口”这一关键技术来实现。

那么，究竟什么是脑机接口呢？脑机接口具体能够实现什么功能呢？它是否会如电影中那样实现人类的意识直接交流呢？接下来，请随着我们的步伐，一同来揭开“脑机接口”的神秘面纱吧！

二、基础知识

（一）脑机接口是什么？

脑机接口（Brain Computer Interface，简称 BCI）是一种建立在大脑与外部设备之间的直接连接，以实现脑部与设备之间信息交流的技术。通过脑机接口，我们能够直接将大脑活动与计算机、机器人等设备相连接。这就意味着，我们可以通过纯粹的思维，控制外部设备的运动、表达和功能。想象一下，只需轻轻一想，你就能让电视换台，让轮椅自如地移动，甚至可能通过纯粹的脑力，书写文字或绘画图像。

（二）脑电信号产生基础

前文提到，脑机接口作为外界与大脑交流的工具，传递着大脑向外界释放的信息，这些信息便是由脑电信号构成的。那么，我们将形象化说明一下，这些微弱电信号是如何在大脑内产生的，以及这背后的生理基础。

首先，让我们来认识神经元，它们是大脑内部信息传递的基本单元。正是通过神经元间的交互，脑电信号得以诞生。为了更好地理解脑电信号的产生，我们可以将神经元形象比作微小的“漏水袋”。这个“漏水袋”的外表由磷脂双分子层构成，它具有选择性地允许某些微小“客人”（即离子）穿越。这个“漏水袋”通常漂浮在两种不同液体中，从而形成了内外电荷差异。

当神经元受到强烈电信号的刺激，它就像被轻轻戳了一下，此时“漏水袋”的外部突然会开启，内部的钠离子便如涌浪一般涌入，“漏水袋”的电荷瞬间增加。当电荷达到一定程度后，另一种叫做钾离子的微小“访客”门也会迅速打开，钾离子会迅速涌出，从而使电荷减少。这种电荷迅速增加后又迅速减少的过程被称为“锋电位”。它首先在神经元的中心（胞体）和一条长管（轴突）的连接点产生，然后沿着轴突扩散，如同海浪一般传播出去。其他神经元通过树突这种微小的“感应器”

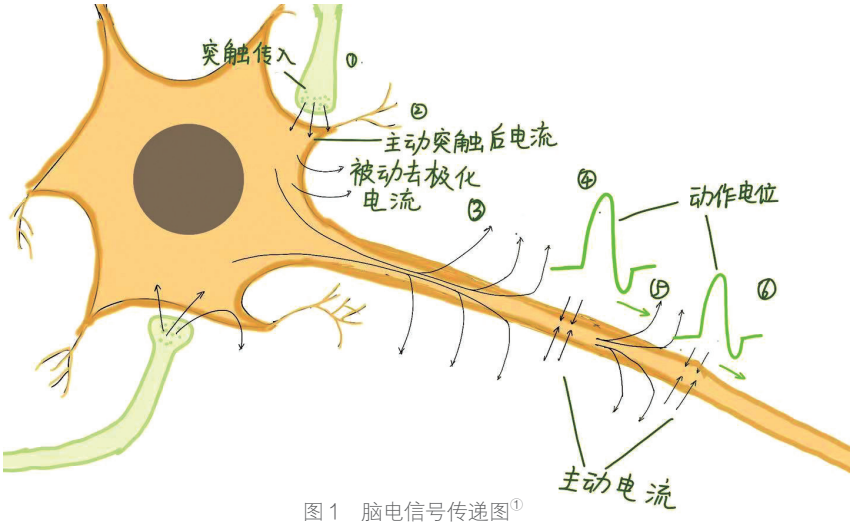


图 1　脑电信号传递图[①]

来感知这一系列电荷变化。

这些神经元通过这种微妙的电信号连接在一起，就如同构成了一条信息传递的高速公路。而脑电信号则类似于身体内的电子邮件，它携带着大脑的指令和信息，向外界传递。通过这种精妙的电信号传递机制，大脑内的信息得以沟通，各种活动、思维和情感等也在其中发生。深入了解这些微弱的电信号，有助于我们更好地探索大脑的奥秘，同时也为开发脑机接口技术打下基础。

三、工作原理

脑机接口技术通过采集不同脑功能区域位置和深度的脑电信号，对其进行一系列数据处理操作，最终实现对大脑活动状态或意图的解码。

在采集信号时，大脑由于受试者自身收到刺激或者受试者本身进行思考进行神经活动，产生脑电信号，通过脑电采集设备进行采集。依据电极所放置的深度，脑机接口分为非侵入式 BCI、半侵入式 BCI 和侵入式 BCI。并且随着深度的增加，采集到的脑电信号的空间分辨率也在逐步增加。一个完整的脑电采集系统包括电极（用于采集信号）、放大器（对采集到的数据进行简单处理以便后期使用）、模数转换器和数据记录计算机。

采集后的信号通常会进行预处理、特征提取、特征分类等数据处理操作。预处理的目的在于处理脑电信号中含有的干扰信号，具体步骤包括滤波、重参考、分段和极限校正、排除或插值坏通道、剔除异常段落、伪迹去除等。随后，经过预处理的信号会传递至特征提取模块，以便发现代表性的特征，从而对信号的含义进行解读。脑电信号的特征可分为四种类型：时域特征、频域特征、时频域特征和空间域特征。常见的特征提取方法包括功率谱密度、连续小波变换和共空间模式（CSP）等。最终，在特征分类模块，依据刚刚提取的特征解码得到信号含义，进而传递到我们输出模块，即控制外部设备进行应用。除此之外，有时我们也会把脑机接口的输出通过某种形式反馈给用户以获得更好的性能或满足某种需求。脑机接口的工作原理如图 2 所示。

四、目前应用

脑机接口技术的应用领域是一个令人兴奋且广泛的领域，它具有多种功效，包括监测、替代、改善恢复、增强和补充。这些应用潜力不仅在康复医疗领域，还延伸至生活、教育、娱乐以及军事领域，展现出巨大的可能性。

（一）康复医疗领域

脑机接口顾名思义是从大脑出发的技术，是随着医学对大脑的研究逐步深入应运而生的。这项技术自然最先应用在了医疗上，而医疗也是目前脑机产业商业应用最成熟、产业规模最大的行业，集中在疾病诊断和治疗领域，已经普及的应用包括肢体运动障碍诊疗、认知与意识障碍诊疗、精神疾病诊疗等

① 图一数据来源为《深度长文：意识的本质到底是什么？意识和自我意识是如何产生的？》

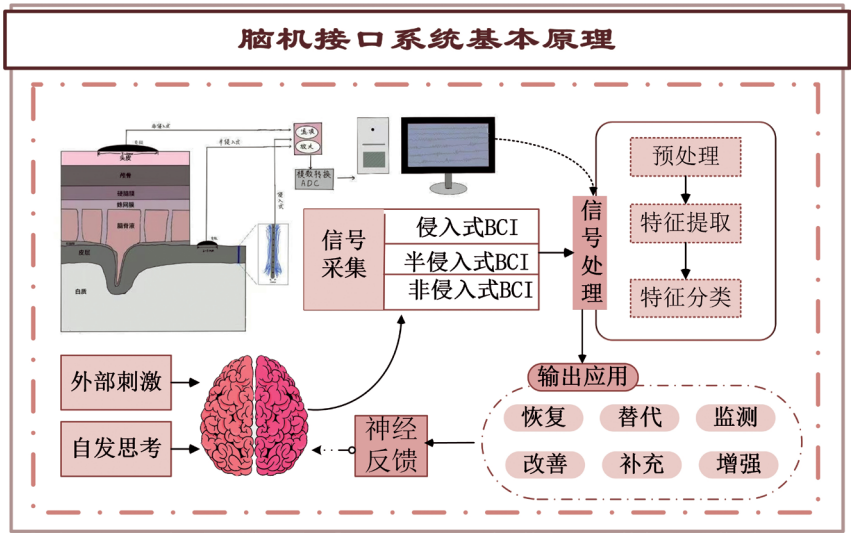


图 2　脑机接口工作原理

方面。在此之上，脑机接口可以促进脑部神经的修复，目前广泛应用于康复医疗领域，潜力巨大。

在肢体运动障碍诊疗方面，脑机接口技术的应用方式主要有两种：一种是辅助性脑机接口，用于帮助患者控制假肢或外骨骼等外部设备；另一种是康复性脑机接口，利用中枢神经系统的可塑性，通过反复作用于大脑，促进神经元之间的联系，实现修复。2022 年 6 月，一家名为 Synchron 的脑机接口公司（这家公司被业界认为是 Neuralink 的最大竞争对手）在美国纽约的西奈山医疗中心采取了一种半侵入式的技术帮助一位渐冻症的患者将自己的思维传达给其他人，从而实现与他人的交流。2023 年 5 月，来自洛桑瑞士联邦理工学院的团队在 nature 期刊发表研究论文，研究接口成功帮助慢性四肢瘫痪患者自然控制腿部在站立、行走、爬楼梯甚至是经过复杂地形时的运动。2023 年 8 月，来自斯坦福大学的神经科学家弗朗西斯·威利特（Francis Willett）的团队和来自加州大学旧金山分校的华裔科学家张复伦团队的两篇研究论文登上 nature 期刊，研究为那些无法说话的人提供了以接近正常说话的速度进行交流的能力。

在认知与意识障碍诊疗方面，脑机接口技术在慢性意识障碍诊疗领域的研究渐有成效，用脑机接口设备获取并分析患者的脑电信号，可以实现意识障碍诊断与评定、预后判断，实现与患者的交流。2020 年 5 月，中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心、中国科学院灵长类神经生物学重点实验室王立平研究组与复旦大学附属华山医院神经外科毛颖 / 吴雪海团队，发表合作研究论文，帮助临床医生对意识障碍患者的意识水平进行诊断和预后判断，为意识障碍患者的临床诊疗提供了新的参考。2021 年 1 月，首都医科大学附属北京天坛医院神经外科意识障碍病区开科，投入运用神经调控、脑机接口等技术帮助意识障碍患者诊疗。对于认知障碍疾病，2016 年美国南加州大学 Theodore Berger 教授团队证实大脑信息可通过硅芯片的电信号进行复制以实现记忆移植，植入芯片可以帮助局部大脑受损、中风和老年痴呆症患者恢复记忆。Elon Musk 的公司 Neuralink 也在研究侵入式脑机接口技术，用于帮助因患上老年痴呆等疾病而失去记忆的人找回记忆。

在精神疾病诊疗方面，脑机接口研究的进步可以提高强迫症、抑郁症、精神分裂症等疑难精神疾病的研究和诊疗水平。部分科研机构和科技公司正在开展相关研究，如 Neuralink 正在探索解决精神分裂症和失忆等精神疾病的方法，Alphabet 的 Amber 项目则旨在通过脑机接口设备获取并分析脑电波，开发帮助诊断抑郁症的方法。基于脑机接口的神经反馈训练在精神疾病康复治疗方面正发挥着积极作用。2020 年底上海瑞金医院成立“脑机接口治疗难治性抑郁症”的临床研究小组，目前已有 26 位患者参与，抑郁状况平均改善 60%。用一个开

关控制人的情绪，只需要打开开关，就能让人或喜或悲，这种似乎是科幻片中的场景已经发生在了脑机接口对抑郁症的临床应用中。

此外，脑机接口在癫痫与神经发育障碍诊疗和感觉缺陷障碍诊疗方面也有多种成熟应用。例如，在癫痫诊疗中，通过脑电输出判断大脑功能和疾病信号，通过脑电刺激或手术切除等方式治疗癫痫网络。2020 年美国贝勒医学院的研究团队通过脑机接口技术成功在盲人脑海中呈现指定图像，帮助恢复视觉。同年，俄亥俄州的研究人员使用脑机接口技术放大脊髓损伤患者手上残余的触觉信号，并传递给大脑，帮助恢复触觉和部分活动能力。2021 年天津大学神经工程团队联合国家儿童医学中心等，在儿童听觉康复方面利用脑电技术提供有效的人工耳蜗植入评估方法。

（二）生活、教育、娱乐领域

脑机接口在生活中的应用也是数不胜数的。脑机接口技术可以运用到教育、娱乐和衣食住行等各个方面。在教育方面，BCI 技术可以用于监测使用者的大脑状态，寻找大脑状态与学习效率的关系，进而建立起个性化地更高效更轻松的学习模式。在娱乐游戏方面，2023 年苹果公司发布的 vision pro 就搭载了脑机接口，通过从传感器获取用户数据来感知用户情绪、预判用户行为，进而提升用户体验。将 BCI 技术与虚拟现实（VR）技术相结合，利用佩戴在玩家头皮上的传感器采集脑信号，然后由解码算法将传输至计算机的信号转化为游戏中待执行的指令，就可以实现用“意念”玩游戏。这不仅提升了游戏的娱乐性，也在很大程度上提升了一些肢体障碍的玩家操作玩游戏的友好度，2023 年 7 月一位脊髓性肌萎缩症患者使用 openbci 公司的脑控 VR 产品 Galea 成功控制了无人机进行一系列操作。在日常生活方面，人们可以借用脑机接口，就像用遥控器一样使用“意念”控制灯、门、窗帘等的开关闭合，更上一层楼则可以接入物联网控制智能家用机器人或智能电器等，还可以将脑机接口与通信系统结合，用于无人驾驶汽车的开发。2022 年 11 月 BrainCo 强脑科技推出了脑机智能安睡仪和智能仿生手，利用脑机接口助力睡眠质量提升和残障人士生活。当然，这些技术不可能说我为了生活的便利专门去做个开颅手术，所以若想将脑机接口技术大规模应用于日常生活，还是要依托与非侵入脑机接口技术，除此之外，还要进一步优化脑电采集设备，增加其便携性和使用的简洁性。

（三）军事领域

说到军事，我们能想到的就是进攻和防守。而脑机接口技术在军事领域的应简单来说也可分为进攻和防守。而总的应用可以包括控脑武器、脑控武器、脑控外骨骼、脑控无人机等以及利用 BCI 检测士兵生理状态和心理状态，对士兵做出合理评估以便发挥更好的作战能力等。

那么控脑武器和脑控武器的差别在哪儿呢？

控脑武器是利用控脑技术研制的一种新型武器。通常指的是通过物理、化学等技术手段，对人脑与神经产生影响的武器。美国空军研究实验室开发出了向大脑中直接输入语句的技术。美国研究人员研制出新型心理幻觉武器，可以摧毁敌方士兵的战斗意志，使得士兵主动缴械投降。以前的战争会有心理战带来“不战而屈人之兵”的效果，而控脑武器这种更加直接的武器将会带来更大效果，但同时也可能给士兵带来不可逆的损伤，倘若被不法犯罪分子利用，将会给社会带来一定动荡。

脑控武器，即由人脑直接控制的武器。换句话来说就是一个是对外界大脑产生影响，一个是大脑对外界产生影响。因而控脑和反控脑的争夺十分激烈。而相较于控脑武器的进攻，脑控武器的防守在一定程度上是使作战样式由“体系作战”向“开源作战”演变，作战平台由信息化“低智”向类脑化“高智”提升，作战主体由“知识战士”向“超级战士”转变。

美国国防部高级研究计划局曾利用脑机接口技术缩短士兵的技

能训练周期，建立“认知技术威胁预警系统”，打造“超级战士”，使得士兵可以在可视范围内快速识别出多个威胁目标。许多国家如俄、日等国也在研发智能武器装备或高智能机器人等，通过探索借鉴人脑运行原理开发具备识别、推理以及判断能力的信息处理系统。

用脑机接口控制外骨骼同样会极大增强士兵能力，提高军事水平。美国国防部高级研究计划局曾将 4 个微电极阵列植入进一位瘫痪患者大脑中负责处理运动功能和手指与手掌感觉的区域，通过将电极与机械臂相连，使患者恢复了触觉，并且能够控制机械臂活动，。利用脑机接口技术培养超级战士，已经不只存在于科幻之中。

除了这些超越认知的技术，脑机接口与无人机的结合应该说是比较好了解的应用了。例如 2020 年 8 月 4 日，阿联酋阿勒艾因大学提出了一种通过使用基于 P300 的脑机接口来控制无人机的新方法，该接口在军事领域可作为辅助技术。主要思想是无人机可以通过士兵的大脑活动使用脑电图（EEG）来控制无人机，以追逐其他无人机并发现隐藏的敌人区域。以及 BCI 用来检测士兵状态也是研究较多的领域。例如，2020 年 3 月 28 日，西班牙格拉纳达大学和美国亚利桑那州立大学基于脑电图数据，评估心里工作负荷变化对执行战斗和非战斗场景的陆军驾驶员大脑活动的影响。美国国防部高级研究计划局（DARPA）也在试验通过在人类大脑中植入特殊芯片，脑控驾驶一个无人机群执行军事任务。

总之，脑机接口技术在各方面都有广泛应用，但是我们必须要注意合理、合法以及符合伦理道德。而当前国内的研究在医疗领域可能更多一些。

五、结语

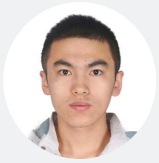
脑机接口技术的不断发展和创新为我们揭示了大脑奥秘的一扇新窗口。通过捕捉微弱的脑电信号，经过精密的处理和解码，我们能够与大脑进行直接交流，实现意念驱动的控制，这仿佛是科幻世界变为现实。从那只操纵游戏的猴子到复杂的运动控制，脑机接口展现了其在医疗、生活、甚至军事等领域的无限潜能。

然而，脑机接口技术的道路上仍然有挑战和待解决的问题。我们需要克服信号干扰、精确度提升等难题，以更好地应对日益复杂的应用需求。同时，关乎个人隐私和伦理的问题也需要严谨的考量和管理。

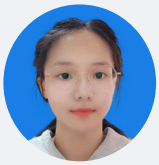
随着技术的进一步突破，脑机接口将继续深刻改变人类与科技的互动方式，为残疾人士带来新的可能，为科学研究提供前所未有的工具，甚至探索我们自身意识和思维的奥秘。未来，随着科学家和工程师的努力，我们或许将迈入一个能够与大脑进行深入沟通的新纪元，为人类创造更加美好的未来。

脑机接口技术，正引领着我们进入一个全新的智能时代，让我们为之期待，也为之努力。

作者简介



张连驰：电子科技大学自动化工程学院硕士生，研究方向为：脑机接口，运动想象，人机交互。



常婉停：电子科技大学自动化工程学院自动化专业本科生，研究方向：脑卒中患者的脑功能网络差异性研究，脑机接口机制研究。

施柯丞，电子科技大学自动化工程学院博士生，研究方向为：脑机接口，外骨骼机器人，人机交互。

数字化时代下云技术的应用

文 / 南京理工大学　诸云　徐正兴

近些年中，在互联网技术快速发展的同时，云技术也得到了极大的发展，并且在如今数字化转型的大背景下，在上海市徐汇区区域健康数字化平台建设的过程中，云技术起到了重要的重要。云技术的出现极大的优化了资源利用率，并成功的实现了动态共享。优化了计算机资源利用率以及促进了产业的升级并为现有资源的分配不平衡问题提供了参考方案。本文以数字化时代为大背景，介绍了云技术的概念以及云技术在国内外的应用情况。研究云技术如何在数字化时代得到更好的发展。

0　引言

2006 年 8 月 9 日，Google 首席执行官埃里克·施密特首次提出了云计算这个概念。科普中国中对云技术（Cloud technologies）的定义是是指在广域网或局域网内将硬件、软件、网络等系列资源统一起来，实现数据的计算、储存、处理和共享的一种托管技术。随着数字经济发展的趋势以及进入了大数据时代，旧有的互联网计算机技术由于资源分配的不平衡已经逐步难以满足大数据时代下数字经济的要求，因此，一种在互联网技术基础上衍生出的云技术逐步得到了应用，由于其极大的优化了资源分配问题以及成功实现了动态共享，因此，云技术得到了各国以及各个企业的重视。在过去 IT 时代，企业为了生存与发展不得不耗费巨资去购买设备技术，并且由于其成本过高，因此对于很多企业来说，使用 IT 技术成本较高，以及实现的目标都是为了自我控制以及自我管理。在未来，大部分新的科技以及新的技术都会应用云技术来实现以达到激发生产力，服务大众的目的。在逐步出现的高新技术中，无论是物联网技术、无人自动驾驶车、无人机、手机卫星地理位置定位亦或者是人工智能，其后台核心都是云端的大脑。数字化时代给传统 IT 企业带来了巨大的冲击，使得传统的 IT 企业进行自我转变成为必然。未来的数字化化经济模式不再以“硬件 + 软件”为主，而是以“数据 + 服务”为核心。

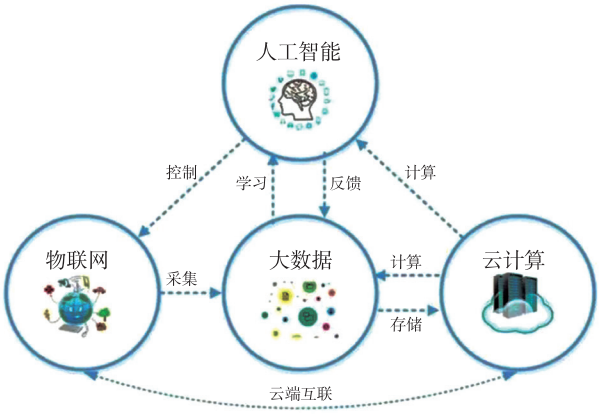


图 1　云计算的原理

1　数字化经济现状

随着疫情在全球的蔓延难以得到遏制，各国实体经济或多或少都受到了影响，数字化经济已经得到了发达国家的重视，发展中国家也聚焦于此，各国相继

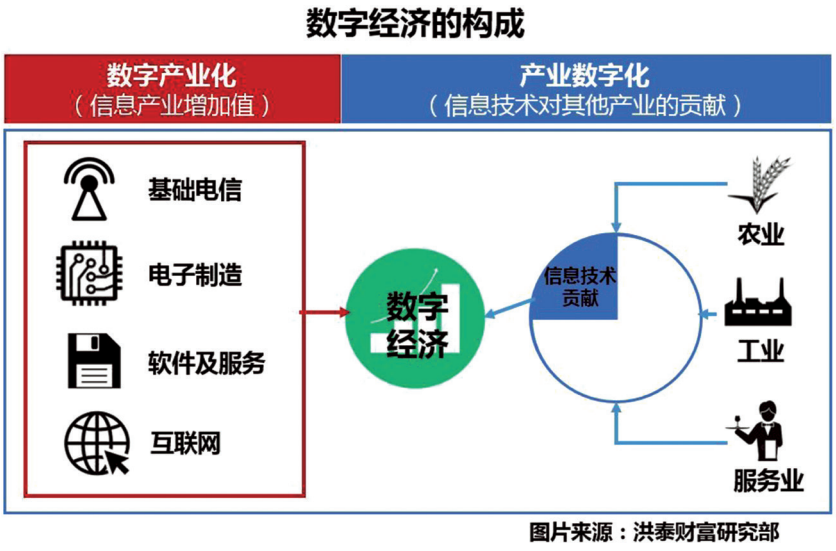


图 2　数字经济的构成

发布关于数字化经济的战略，推进数字化经济在国家经济中的比重。

2021 年 1 月 5 日，上海市人民政府发布了《关于全面推进上海城市数字化转型的意见》[1]，开启了上海市数字化建设升级和深化的新局面。我国“十四五”规划中将“加快数字化发展，建设数字中国”单独设篇，并用 4 个章节明确了国家推进数字化的目标和决心[2]，标志着数字化转型已上升为国家战略。国内华为、腾讯以及阿里巴巴之前云服务器的建立，也大大促进了国家科技在云服务，云计算上的进步。面对占有大份额市场的老牌企业 AWS 的竞争，国内的阿里云继续激进向上，腾讯云凭着人数优势后来而上。同时华为云发展迅速，有着其本身科研能力出众，成员凝聚力强大的因素，并且华为专长硬件基础设施，通信、通讯、数据处理、存储技术有着浑厚的积累，继小米终端后，华为智能终端后来者居上，并隐隐有超过小米的趋势，这些硬件技术是优势；同时，华为不止一次表达了对加强与活动伙伴一起建设华为云并实现共赢的愿景。

2　国内外云技术的发展

2.1　国外云技术发展现状

美国“Nextgov”网站 2022 年 7 月 19 日消息，近期，白宫一份名为《联邦政府使用云计算支持人工智能研发的经验教训》的报告指出，先进的云技术有助于加强人工智能研发。联邦机构想要成功地将云计算系统扩展和应用到现有的基础设施中，可以通过几个关键点来实现，包括指定专家团队、双因素身份认证和加大专业人才培养[3]。报告同时指出，利用云计算技术可以为研究人工智能技术的研究人员提供更好的资源。该报告还概述了各机构在采用云计算技术时面临的共同挑战，特别是与跨部门缺乏资金和人手有关的挑战。报告强调了对更专业化劳动力的需求，建议联邦政府加大投入以培养各级

图 3　云技术

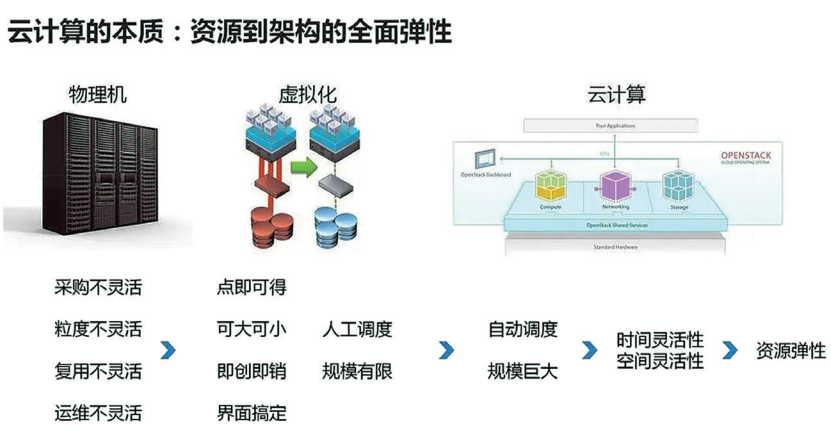


图 4　云计算的本质

云计算系统专业人才，包括终端用户、云架构师和数据科学家。

云技术是在近些年当中发展起来的新兴技术，是一种分布式的计算形态，其主要是以计算机网络为基础，对海量的计算数据进行整合拆分，使其放置于相对应的共享终端中，然后再利用多部服务器对相关数据进行计算和分析[4]，最后将处理得到的允许用户获得或者属于相对应用户的信息进行传输，使用户能够获得更加灵活、高效的网络应用服务。该项技术最大的优势在于，具有较强的计算功能，能够在短时间完成海量数据信息的处理。

2.2　国内云技术发展现状

数字经济发展迅速，在经历了第二次工业革命以后，世界的发展变化迅速，许多曾经的企业巨头湮灭于历史的车轮中，越来越多的企业已经意识到必须在数字化经济得到前所未有的重视的今天，要紧紧抓住云技术这项技术来跟上数字化经济的潮流，那么对于自身企业的转变是不可避免的，需要将自身传统的 IT 行业与其余的行业进行交融联合，实现共赢。在信息化的今天，数据的保护以及处理处于越来越重要的地位，对个人信息的保护处理仍然是未来一段时间的重要基线，那么就要求企业在转变的同时同样需要对大数据的处理、分析、保护方面需要下大功夫来进行相对应技术的升级和优化。

在 2014 年马云就提出了从 IT 时代向 DT 时代进军的策略，所谓的 DT 时代，则是以激发生产力、服务大众为最终目标[5]。对于云技术的探索，由于云技术只有概念的提出，因此，许多企业并不愿意耗费巨资来进行探索，并且由于自身的现状以及对新兴技术的畏惧心理，故而部分企业往往浅尝辄止。在探索数字化经济下的企业主攻方向时，以及在实现从 IT 企业到现在的将 IT 行业与别的行业进行交融双赢的过程中，正如一百个人有一百个哈姆雷特一样，是没有正确答案的，只有企业不断摸索调整找出最适合自己企业的方向。华为公司在《数字化转型，从战略到执行》中指出，数字化转型从战略到执行将经历个人 – 家庭 – 企业 – 城市 – 行业 – 国家这六个角度，国家 – 城市 – 行业 – 企业这四个层次，基础信息化 – 应用数字化 – 全面系统化 – 智慧生态化这四个

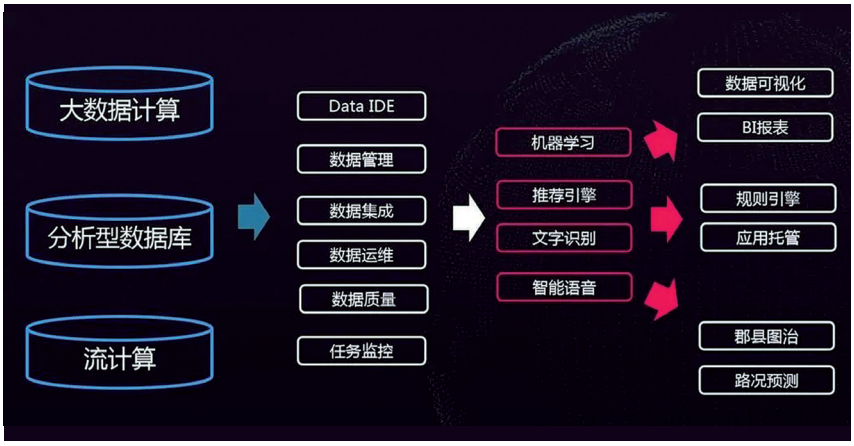


图 5　大数据计算

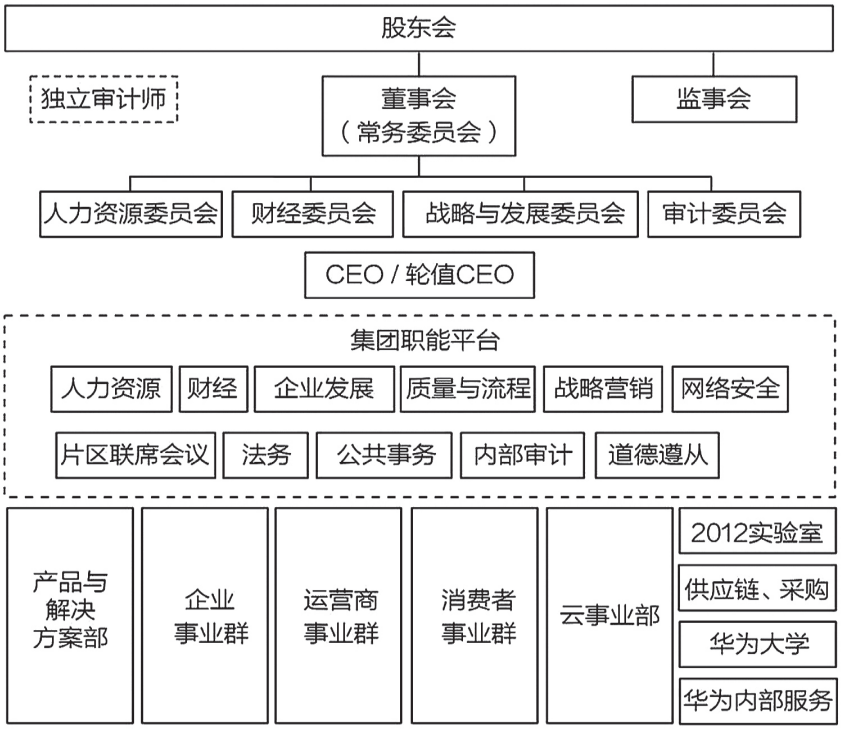


图 6　华为组织架构

阶段的系统性建设路径[6]。今年以来，华为对其云组织架构进行了多次调整，也进行了新的战略规划。就目前的情况而言，云技术为企业服务大众提供了更多的方式，但同时也给企业带来了巨大的挑战以及机遇。

3　云技术的应用前景

随着云技术越来越成熟，云技术的应用领域也越来越广泛。云技术因其高效的资源分配以及资源共享，极大的提高了银行的办事效率[7]，在银行业提升对人民大众的服务能力、优化办事效率、切实为人民着想等方面起着重大作用，农行率先利用云技术建设了集成平台，在农村信用社中，云技术也得到了应用，云技术给农村信用社提供了一个简单高效的平台，优化了农村信用社的资源集成，促进了农村信用社的发展[8]。随着我国医疗改革的深化，医院硬件设备越来越多，软件应用不断增长，数据的堆积越来越大导致成本急剧增加，建立一个能够适应全新的医疗体系的信息化平台成为不可逆转的趋势[9]，云技术使不同的电脑终端可以连接到一个云服务器上，从而实现了资源的共享以及完善了数据库并减少了数据的积压量，不仅在数据的处理分析上得到了保证而且大大减少了成本。云技术现在已经广泛应用到了我们生活之中，目前主要应用到了工业行业、金融行业、医疗行业，铁路交通等领域中[10]。但在运行过程中，仍然不断优化，不断探索以为了给大众更好的服务体验。就目前来说，云计算的应用仍然只能说是一小部分，云计算依旧有着很大的应用空间。

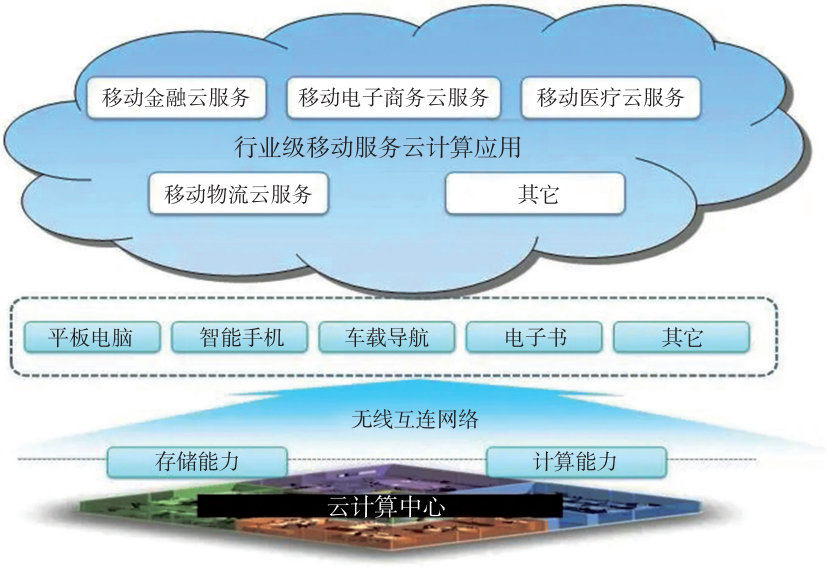


图 7　云技术的应用

4 数字化经济下的机遇和挑战

云技术的出现带来了许多的便利，对于政府来说，应用云技术可以更好更快捷地分析国民信息情况，并且由于人口众多，云技术的出现大大减少了运行成本，从而使得政府更好的了解民生，更好的节省开支用之于民。另一方面，对于企业来说，遭受了疫情的冲击，企业或多或少都受到了影响，但是现在国家乃至全球都开始重视数字化经济对企业来说毫无疑问是个好消息，在为许多大型企业指明了方向地同时，也使许多中小型企业得以拥有一部分其余行业的市场，从而使得许多企业可以稳定这段时间渡过难关。对于企业来说，这是国家给予的一个很好的机会，企业也要顺势而上抓住这个机遇，但同时，大企业也不要忘了这也是个严峻的挑战，如今面对着国外以老牌企业 AWS 为主的一系列跨国公司，他们拥有着抢先一步布局的优势[11]，面对着如此劲敌，企业应该制定正确的企业战略，在云技术方面加大投资开发。在科技飞速发展的今天，一步错则满盘皆输，强如当年诺基亚，如果不紧跟时代发展的潮流，也依旧在手机行业飞速发展的今填一蹶不振，迅速落寞，同时也期望大型企业可以在数字化经济时代激流勇进，在世界中占据一席之地。

5 小结

从云技术的发展现状以及实际应用情况中，可以发现云技术的应用前景有着很大的上升空间，尤其是在政府有着推动数字人民币以及上海市海南市相继大力支持数字经济的情况下。并且纵观世界，各国对数字化经济的重视程度也达到了空前，美国作为世界头号强国，其数字化经济在 GDP 的占比高达 60%，世界上发达国家数字化经济占全球经济比重高达 48%[12]。随着科技的不断发展，在数字化经济快速发展的今天，国家和企业为了顺应数字化经济发展的趋势，推动云技术的发展是必要的，云技术云计算凭借着其低成本高效率的优势正作为一个全新的领域推动着国家、企业的发展，使得能够更好地为人民大众服务。并且云技术也在将和传统的行业进行交融，加强了各个行业之间的联系，也使许多行业换发出新春，虽然云技术有着诸多优势，但是依旧需要重视信息安全问题，在信息化的今天，个人信息得到了极大的重视，当云技术广泛应用于我们生活中的时候，我们仍然需要解决其数据传输问题、用户使用问题等等，需要切实把用户的体验感、满足感以及幸福感放到首位。

作者简介

诸云，南京理工大学自动化学院副研究员，自动化学院学工办兼就业办主任、控制学科博士、博士后、控制学科硕导、中国自动化学会“智向未来”自动化与人工智能百人科普团专家等，入选中国科协科技智库青年人才计划、江苏省就业创业培训专项导师、江苏省辅导员年度人物等，有全国职业生涯规划师 GCDF、国家生涯规划师等资质认证，曾赴美国、加拿大、新加坡、澳大利亚等多所著名大学访学交流，发表论文 70 余篇，申请发明专利 51 项，培养 10 届超 6000 名学生，学生毕业就职于兵器、电科、航空航天、国家电网、车辆交通、互联网、高职院校等。

徐正兴，南京理工大学自动化学院硕士研究生，主要研究方向为控制工程。

ROS——连接机器人世界的未来标准

文 / 宝鸡文理学院　李小斌

近年来随着人工智能和机器人的蓬勃发展，各种相应的比赛也是不断涌现，尤其是中国机器人及人工智能大赛，参与人数和学校更是逐年递增，笔者有幸负责了宝鸡文理学院的该项大赛工作。在指导过程发现，对于 ROS 系统老师和学生了解并不多，仅限于参赛人员，而 ROS 系统在机器人领域的前景和未来又非常可观，于是写下这篇科普文章以引起广大师生、以及关注中国机器人与人工智能领域发展的科技工作者的注意和重视。

ROS（Robot Operating System，机器人操作系统）是一款广泛应用于机器人领域的开源软件平台，它提供了一套完整的工具集合，使得机器人开发者可以更加便捷地进行机器人软件开发。ROS 最初是由斯坦福人工智能实验室（AI Lab）在 2007 年开发的，旨在帮助机器人开发者更方便地编写软件，于 2008 年首次发布，并逐渐得到了越来越广泛的应用。

在过去的十几年中，ROS 经历了多个版本的更新。其中，ROS1 是最早发布的版本，它提供了一套完整的工具集合，包括消息传递、参数服务器、启动系统、插件库等，使得机器人软件开发者可以更加便捷地进行机器人软件开发。ROS2 是 ROS 的下一代版本，它在 ROS1 的基础上进行了一系列的改进，包括实时性、分布式系统、多语言支持等，使得 ROS2 在更多的场景下可以发挥作用。

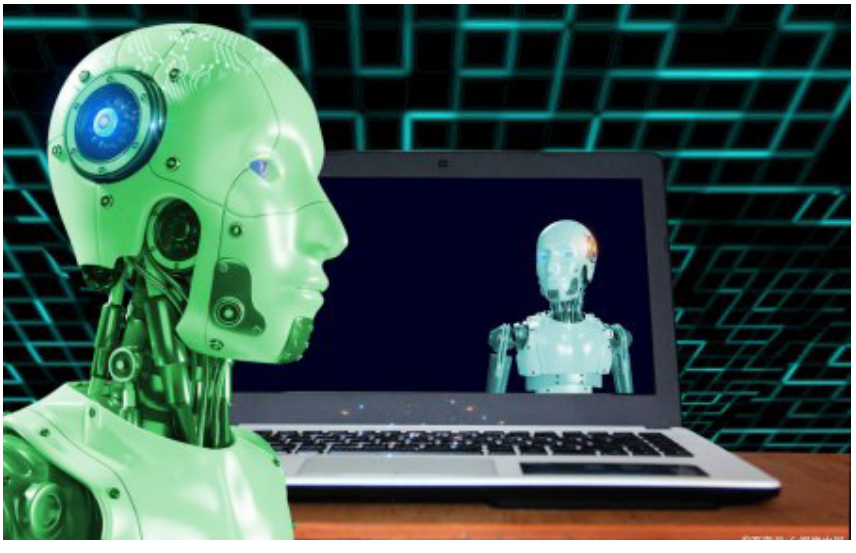


图 1

一、ROS 的优点

开源软件平台：ROS 是一款开源软件平台，任何人都可以自由地使用、修改和分发 ROS 的代码，这使得机器人开发者可以更加便捷地进行机器人软件开发。

模块化设计：ROS 的模块化设计使得机器人软件开发者可以将复杂的机器人软件系统分解成多个模块，使得每个模块可以独立开发、测试和升级，从而提高开发效率和软件质量。

多语言支持：ROS 支持多种编程语言，包括 C++、Python、Java 等，这使得机器人开发者可以使用自己熟悉的编程语言进行机器人软件开发。

大量的工具和库：ROS 提供了大量的工具和库，包括消息传递、参数服务器、启动系统、插件库等，这些工具和库可以大大简化机器人软件开发的过程。

图 2

社区支持：ROS 拥有一个庞大的社区，机器人开发者可以在 ROS 社区中进行交流、分享和学习，从而更好地进行机器人软件开发。

二、ROS 的应用领域

工业自动化：ROS 可以应用于工业自动化领域，例如机器人装配、物流搬运等。

农业领域：ROS 可以应用于农业领域，例如农业机器人、智能农业等。

医疗领域：ROS 可以应用于医疗领域，例如机器人手术、康复机器人等。

家庭服务机器人：ROS 可以应用于家庭服务机器人领域，例如智能家居、智能家电等。

娱乐领域：ROS 可以应用于娱乐领域，例如机器人足球、机器人游戏等。

三、ROS 的局限性

尽管 ROS 是一个功能强大、广泛应用的机器人操作系统，但它仍然存在一些局限性。以下是 ROS 的一些局限性：

实时性能：ROS 的实时性能相对较差，这意味着它不适合一些需要高度实时性能的应用场景，例如在精密的工业自动化或机器人控制等领域。

大小和复杂度：ROS 的规模和复杂度较大，所以在小型或简单的机器人项目中使用 ROS 可能会过于复杂或不必要。

缺乏标准化：ROS 虽然是一种开源的机器人操作系统，但它缺乏标准化。这可能会导致不同的 ROS 包之间的兼容性问题，或者不同的 ROS 开发者之间的代码维护问题。

缺乏安全性：ROS 没有足够的安全机制来防止恶意攻击或黑客行为。这可能会导致机器人系统被攻击或被远程控制。

缺乏可靠性：虽然 ROS 是一个功能强大的机器人操作系统，但它仍然存在某些不可靠的因素。例如，ROS 可能会出现崩溃或死锁等问题。

学习曲线：ROS 的学习曲线较陡峭，需要花费一定的时间和精力来学习和理解 ROS 的概念和技术。

综上所述，ROS 虽然是一个广泛应用的机器人操作系统，但它仍然存在一些局限性。这些局限性包括实时性能、大小和复杂度、缺乏标准化、缺乏安全性、缺乏可靠性和学习曲线等。当使用 ROS 时，需要权衡这些局限性，并根据具体的应用场景选择最适合的机器人操作系统。

四、ROS 的学习方法

官方文档：ROS 官方提供了详细的文档，包括 ROS 入门指南、ROS 教程、ROS 代码库等，机器人开发者可以通过阅读官方文档来了解 ROS 的基本原理和使用方法。

社区教程：ROS 社区中有大量的教程和博客文章，机器人开发者可以通过阅读这些教程和博客文章来了解 ROS 的高级用法和应用案例。

在线课程：有很多机构和网站提供了 ROS 的在线课程，例如 Coursera、Udemy 等，机器人开发者可以通过参加这些在线课程来学习 ROS 的使用方法和应用案例。

实践项目：机器人开发者可以通过实践项目来学习 ROS 的使用方法和应用案例，例如参加 ROS 机器人比赛、开发 ROS 应用等。

总之，ROS 是一款广泛应用于机器人领域的开源软件平台，它具有模块化设计、多语言支持、大量的工具和库、社区支持等优

点，可以应用于工业自动化、农业领域、医疗领域、家庭服务机器人、娱乐领域等多个领域。机器人开发者可以通过阅读官方文档、社区教程、参加在线课程和实践项目等方式来学习 ROS 的使用方法和应用案例。

五、ROS 的发展趋势

人工智能带来的改变无疑是巨大的，它不仅仅只是一场技术变革，而是参与重大的社会经济、教育、思想、文化的变革，使得社会经济、教育、思想、文化发生翻天覆地的变化，带来新的改变和机遇，产生新的形态，人工智能是挑战但更是机遇，ROS 移动机器人的应用更加证明了人工智能的技术潜力。随着机器人技术的不断发展和应用需求的增加，ROS 在未来的发展趋势中也将扮演着越来越重要的角色。以下是 ROS 未来发展的几个趋势：

更加智能化：随着人工智能技术的不断发展，ROS 也将越来越智能化。未来，ROS 将会更加注重机器人的自主性和学习能力，使得机器人可以更加智能地完成各种任务。

更加实时化：在一些特定的任务中，机器人需要保持高度的实时性。因此，未来的 ROS 将更加注重实时性的优化，以满足这些任务的需求。

更加分布式化：在一些场景下，机器人需要同时协同完成多个任务。因此，未来的 ROS 将更加注重分布式系统的设计和实现，以支持机器人的协同工作。

更加多样化：随着机器人应用的不断扩展，未来的 ROS 也将更加多样化。例如，ROS 可能会扩展到更多的硬件平台、更多的应用场景、更多的机器人类型等。

更好的可靠性和安全性：机器人在很多场景下需要保证高度的可靠性和安全性。因此，未来的 ROS 将更加注重软件的可靠性和安全性的设计和实现，以满足这些需求。

图 3

总之，未来的 ROS 将会更加注重智能化、实时化、分布式化、多样化、可靠性和安全性等方面的发展，以满足机器人应用的不断扩展和需求的增加。ROS 移动机器人是一个新机遇，能够改变传统行业的运作模式，提供更为安全、高效的服务，帮助各个企业主降低企业成本，获得更大化的利益。

作者简介

李小斌，工学硕士，宝鸡文理学院副教授，主要研究方向为智能控制与故障诊断技术。有长期从事工业电气自动化设备和各种嵌入式设备的开发、调试和维护经验。主持完成横向项目 4 项，到款经费 45 万元，主持完成陕西省教育厅项目 1 项、宝鸡市科技项目 1 项、校级研究项目 3 项，参与陕西省教育厅项目以及陕西省科技厅项目多项，发表科研论文 20 余篇，获批国际专利近 20 项，主编教材 1 部，获得市级优秀科技成果奖 1 项。

王耀南院士：以科技创新引领“湖南制造”向“湖南智造”转型

2020 年 9 月，习近平总书记来湘考察，勉励湖南打造具有核心竞争力的科技创新高地。湖南省委、省政府牢记总书记嘱托，坚持将科技创新作为引领我省高质量发展的第一动力，通过深入开展“智赋万企”行动，着手搭建具有竞争力的智能化、数字化企业集群。目前，湖南全省已获批国家智能制造示范工厂揭榜单位总数达 11 个，居中部第一。智能制造贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，在加速传统制造业转型升级、催生新产业新业态新模式、打通研发成果产业化“最后一公里”等方面具有无限潜力。

推进数字化转型、夯实智能制造前提基础，利用好机器人产业、加速智能制造发展，发挥好科技成果“沿途下蛋”的高效转化机制作用，是加快我省制造业实现质的有效提升和量的合理增长的有效途径，对于促进我省现代产业体系建设具有重要意义。

推进数字化转型，夯实智能制造前提基础

在新一轮产业变革和科技革命中，信息技术与资本深度融合正加速促进传统产业向智能化、绿色化、融合化方向转型升级，形成了更高水平的生产力，并推动新产业、新业态和新模式蓬勃发展。智能制造并不等于单纯的自动化，数字化转型是实现智能制造的前提基础。推进数字化转型应以数据为核心，深度融合数字技术和实体经济，强化工业互联网等数字基础设施建设，并优化数字经济的治理架构。

推动我省数字赋能现代化产业，一是要制定推动数字经济高质量发展实施方案，建议在数字湖南建设领导小组下成立专项工作组，加强顶层设计，全面梳理产业数字化上下游链通的关键环节，编制数字产业化图谱，明确任务分工，建立工作台账，统筹固根基、扬优势、补短板各项工作，着力提升企业数字化水平；其二，鼓励引导产业投资基金投向数字化重点领域，完善对政府投资基金的考核评价体系，聚焦新一代信息技术、智能制造、智能交通、智慧物流、数字金融产业，以资本为纽带、数字化转型为引擎驱动生产方式、生活方式和治理方式变革；其三，打造支柱产业数字化龙头企业，加快数字产业集群集聚，坚持“招、培、创”相结合，重点打造扶持一批百亿级、千亿级的数字化头部和领军企业，紧紧抓住数字产业这个核心，培育一批掌握关键核心技术、具有生态主导力的产业链“链主”企业。

利用好机器人产业，加速湖南智能制造发展

机器人产业是富有活力与潜力的产业，也是未来推动智能制造发展的引擎。近年来，世界各国非常重视发展机器人产业，纷纷出台相关战略规划，其中以美国、德国、中国、日本等国机器人产业发展最为迅速。比如德国是工业制造大国，通过大力发展智能工厂、智能生产、智能物流机器人，进一步提升了工业竞争力。而我国制造业面临智能化、自动化转型升级和社会老龄化趋势加深、劳动力短缺的双重压力，对机器人的应用需求愈发迫切。

利用好机器人产业加速我省智能制造发展，一是要充分发挥全省机器人产业高能级创新平台作用，精准对接企业需求，探索可复制、可推广的合作模式，更好支撑和服务智能制造高质量发展，加快形成有利于新技术快速大规模应用和迭代升级的良好条件；其二，培育以

市场为导向的研发环境，支持研发机构在工程机械、装备制造、轨道交通等优势领域加强高端机器人研发布局，集中突破人形机器人通用原型机和通用人工智能大模型等关键核心技术，聚焦技术改造、智能制造、科技成果转化、项目投融资等重点领域，培育一批市场服务机构，集聚发展一批解决方案集成服务商；其三，探索形成一批智能机器人应用场景，覆盖经济发展领域与社会民生领域，推动“场景—车间—工厂—供应链”的智能化改造，探索标准化、模块化、精准化的智能机器人推广路径。

充分发挥科技成果“沿途下蛋”的高效转化机制作用

国家大科学装置建设通常是围绕一个高度前沿的科学目标进行，所涉及的研究非常深入，并且建设周期漫长。比如位于长沙城北的大飞机地面动力学实验平台目前土建工程已基本完工，整个项目正处于至关重要的调试阶段，建成后将是世界第二、中国唯一的大飞机地面动力学试验平台，将申报国家大科学装置。在此背景下，充分发挥科技成果“沿途下蛋”的高效转化机制作用就尤为重要，以确保任何阶段的研究成果都能被识别并转化。

为此，一是要依靠科技成果“沿途下蛋”的高效转化机制，建立相关平台，承接大科学装置建设、运行过程中衍生的前沿技术成果转移转化工作，打通前端技术成果转移转化脉络，让关键技术匹配应用场景，让理论研究触及市场需求，赋予创新成果实际价值，力争基建、科研和转化一同发力；其二，鼓励引导上下游企业汇聚研发力量，打通上下游产业链，促进产业链上下游企业沿链聚合、抱团发展，围绕大科学装置形成高效、有序、可持续的研发和应用生态，加强对大科学装置建设过程中仪器企业的招引工作力度，进而带动企业研发资源有效交互、协同创造；其三，确保大科学装置共建共享，探索各城市间共同建设、共同享用、协同创新机制，完善城市间权责对等与利益协调机制，为高水平科研活动提供更好支撑，从宏观层面激励城市间分工合作，集聚创新资源、提高整体创新能力，以更深厚的创新基础参与国际合作。

来源：湖南日报

王耀南简介

王耀南，中国工程院院士，机器人技术与智能控制专家，湖南大学教授，机器人视觉感知与控制技术国家工程研究中心主任。任中国科协委员、中国图象图形学学会理事长、中国自动化学会会士、中国计算机学会会士、中国人工智能学会会士、全国智能机器人创新联盟副理事长、国家自然科学基金委员会专家咨询委员、中国自动化学会常务理事、中国人工智能学会监事、教育部科技委人工智能与区块链技术委员会委员、湖南省自动化学会理事长等。曾任湖南大学电气与信息工程学院院长、机器人学院院长、国家 863 计划智能机器人领域专家、欧盟第五框架国际合作重大项目首席科学家。

长期从事机器人感知与控制技术教学科研工作，成果获国家技术发明二等奖 1 项、国家科技进步二等奖 4 项、国际 IEEE 机器人与自动化领域“工业应用最高奖”，省部级一等奖 12 项。发表国际 IEEE 等 SCI 论文 200 余篇，出版机器人感知与智能控制等著作 15 部，获国家发明专利 90 余项，培养博士 80 余名。荣获国家百千万工程人才、德国杰出洪堡学者、全国高等学校优秀教师、全国五一劳动奖章、全国先进工作者、全国创新争先奖、全国教材建设先进个人等荣誉称号。

郑纬民院士：人工智能算力基础设施的设计、评测与优化

导读：AI 在各种各样的实际场景中都有相关的应用。比如以卷积网络为核心的图像检测，视频检索技术可应用于下游的安防、医疗诊断、自动驾驶等场景；以强化学习为基础的博弈决策技术，可应用于交通规划等领域；Transformer 为核心的自然语言处理技术，可以应用于搜索推荐、智能人机接口等场景。

AI 算力基础设施的重要性

目前，人工智能（AI）是中美科技竞争的重要领域。2020 年 4 月，国家发改委明确将人工智能纳入新基建范围，AI 是新基建之一。而在 2019 年 2 月，美国发布了《维护美国人工智能领导力的行政命令》（Execution Order On Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence），此命令可视为美国国家 AI 战略的里程碑。而在 2020 年 10 月，美国国家 AI 安全委员会又指出：“必须不惜一切代价在 AI 上击败中国”。可见，AI 对于中美未来综合国力的竞争是非常重要的。此外，中美两国在人工智能领域各有优势。从 AI 技术三驾马车：算法、数据、算力来看，中国在大数据领域处于优势地位，但在算法和智能算力领域，中国落后于美国。智能算力的不足严重制约了我国在 AI 领域的创新能力。可以看到，智能 AI 算力在中美科技竞争中占据非常重要的战略地位。

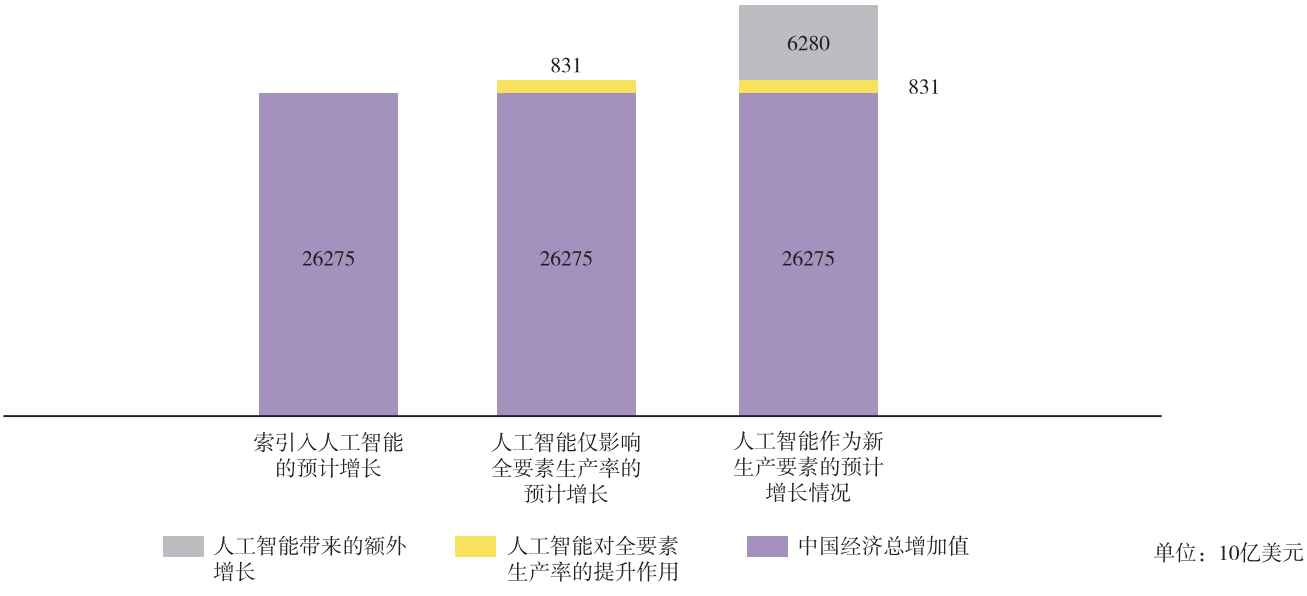
那么，AI 算力究竟为何如此重要呢？除去前面提及的中美竞争的大背景，AI 算力对于我国经济建设、科技建设都有着非常积极的意义。

首先，算力即生产力，算力能够推动经济发展方式变革。据埃森哲和经济学前沿公司分析，预计到 2035 年，AI 将推动我国 GDP 增长 21%。由此可见，算力将成为智能经济的发动机。

其次，AI 算力正在改变基础科学和智能领域的创新模式。比如，AlphaFold2 解决了结构生物学 50 年的难题，AI+HPC 将高能物理计算加速数百倍。

AI 在各种各样的实际场景中都有相关的应用。比如，以卷积网络为核心的图像检测，视频检索技术可应用于下游的安防、医疗诊断、自动驾驶等场景；以强化学习为基础的博弈决策技术，可应用于交通规划等领域；以 Transformer 为核心的自然语言处理技术，可以应用于搜索推荐、智能人机接口等场景。其中最典型的自然语言处理模型，比如 GPT-1、GPT-2、GPT-3，BERT 的发展非常迅速，模型规模从几亿到几千亿再到几万亿参数。以上一切技术都需要 AI 算力来提供支持。

综上所述，AI 算力影响了我们社会的方方面面。因此，构建 AI 算力的基础设施非常重要。



数据来源：埃森哲和经济学前沿公司（Frontier Economics）

图 1　2023 年中国经济增加值

AI 算力基础设施的架构和平衡设计

AI 算力非常重要，对 AI 算力基础设施的架构进行设计，是提升 AI 算力的第一步。

现有算力体系，比如超算系统，主要针对的是 HPC 的应用，而 AI 和 HPC 存在着一些区别。比如，HPC 主要应用于科学和工程计算，像天气预报、核聚变模拟、飞行器设计等，而 AI 主要用于分类、回归、自然语言处理，下游任务主要是安防、互联网搜索推荐、金融风控、智能制造；从运算精度角度来说，HPC 主要为双精度浮点运算，而 AI 主要为半精度浮点运算或者低精度整数运算；从编程角度来看，HPC 主要是基于 MPI 来做并行计算，而 AI 基于 Pytorch、TensorFlow、MindSpore、One-flow、DeepSpeed 等机器学习框架；HPC 的性能指标主要是 HPL、HPCG，而 AI 的性能指标是 MLPerf、AIPerf。传统超算系统对于 AI 系统的支持性不佳。因此，需要针对 AI 的特性来设计新的超算系统。目前，代表性的 HPC 和 AI 系统主要有以下几个：天河 2 号、神威太湖之光、Summit、富岳、Frontier、鹏城云脑 2 等。

其中，鹏城云脑 2 是新一代 AI HPC 系统。该系统包含 4 套华为 Atlas900 系统，4 套系统节点间用 200Gbps 网络互连。鹏城云脑的总半精度计算性能可达 1E flops，双精度可达 1P flops。那么，设计 AI 系统的系统结构要素有哪些呢？我们先来看一下一般大规模计算机系统中是什么样的。一般来说，大规模计算机系统包括四个部分，即处理器、内存、存储与互联网络。

具体来说，AI 算力系统和传统 HPC 系统在各个要素上存在一些联系和区别。

在处理器上，AI 算力系统着重半精度计算性能，面向神经网络运算的优化（如 nVidiaGPU 的 TensorCore）；HPC 系统双精度性能优先，兼顾低精度计算，更大规模机器甚至需要采用 80 位或 128 位高精度。

在互联网络上，AI 算力系统需要高性能参数平面网络（如 nvlink）连接训练单一模型的加速器组（nVidia 8 或 16 卡，华为 4096 卡）；HPC 系统一般从全系

统角度考虑网络拓扑和通信需求。

在存储系统上，AI 算力系统局部高性能存储（NVMe SSD）存放训练数据集（如 GPT-345TB），避免从全局文件系统读取数据造成瓶颈；HPC 系统一般采用 Lustre 等全局并行文件系统，支持 MPI-IO。

结合以上分析，在设计新型 AI 系统时，要重视系统平衡性原则。

计算平衡设计

鹏城云脑 2 原有设计中主要考虑半精度运算性能，双精度运算能力过低，双精度与半精度运算性能之比为 1：1000。

根据科学计算和大模型训练的发展趋势，要改变精度平衡设计的思想，建议增加通用算力，为云脑适应科学计算和更广泛的 AI 算法和应用提供保障。

网络平衡设计

鹏程云脑 2 原有网络设计主要针对 CNN 等算法，未考虑极大规模预训练模型对系统的需求；原有数据平面网络的顶层网络裁剪比为 1：4，对训练数据读取和大规模科学计算支撑不足；建议数据平面顶层网络裁剪比改进为 1：1，华为相应修改了网络连接方式，并增加了顶层交换机，为 IO500 测试多次名列世界第一打下了基础。

IO 子系统平衡设计

鹏程云脑 2 原有系统的本地 NVME SSD 仅通过本地文件系统访问，限制了其应用范围；应将每台服务器上的快速本地 NVME 整合成应用为可见的全局分布式文件系统，并开发高性能 MADFS 并行文件系统，在多次 IO500 测试中获得世界第一。现在，已经有越来越多的城市陆续启动人工智能计算中心建设，让算力无处不在、触手可及！

AI 算力的评测方法

前面介绍了 AI 算力基础设施的设计，除此之外，AI 算力的评测（AI Perf）也是非常重要的。

为什么需要 AI 算力评测呢？

首先，公众需要一个评价指标来回答：哪套系统的人工智能算力更强？

其次，我们需要知道，整个领域的发展状况如何？显然，一个好的指标能够引领领域的健康发展。然而，传统高性能计算机的测试结果与人工智能需要的性能不完全一致。

正如前面所述，HPC 和 AI 所采用的数据精度不同，需要针对 AI 来设计基准评测程序。而现有 AI 基准评测，面临以下几个问题：DeepBench 测试底层人工智能芯片计算的效率，不能反映超大规模系统性能，针对单个芯片，不适用于整机评测；Mobile AI Bench 针对移动端硬件上的模型训练评测，无法体现超算对大规模 AI 应用的性能；MLPerf，采用单一人工智能网络模型，百张加速卡以上规模测试下可扩展性明显下滑，难以支撑在千卡以上级别的系统评测。

为了克服 AI 基准评测的问题，需要实现以下四个目标。

1. 一个统一分数。AIPerf 需要能够报告一个统一分数作为被评测集群系统的评价指标。AIPerf 目前的评价指标是 AIops，即平均每秒处理的混合精度 AI 操作数。使用一个而不是多个分数能方便进行不同机器的横向比较，以及方便向公众宣传。

2. 可变的问题规模。人工智能计算集群往往有着不同的系统规模，差异性体现在结点数量、加速器数量、加速器类型、内存大小等指标。因此，为了适应各种规模的高性能计算集群，AIPerf 能够使用 AutoML 进行问题规模的变化来适应集群规模的变化，从而充分利用人工智能计算集群的计算资源来体现其算力。

3. 具有实际的人工智能意义。具有人工智能意义的计算，例如神经网络运算，是人工智能基准测试程序相较于传统高性能计算机基准测试程序的重要区别，也是能够检测集群人工智能算力的核心所在。

目前，AIPerf 在 ImageNet 数据集上训练神经网络来运行计算机视觉应用程序。在将来，AIPerf 计划将自然语言处理等其

他人工智能任务加入评测范围。

4. 评测程序包含必要的多机通信。网络通信是人工智能计算集群设计主要指标之一，也是其庞大计算能力的重要组成部分。作为面向高性能计算集群的人工智能基准测试程序，AIPerf 包括必要的多机通信，如任务的分发、结果的收集与多机训练，从而将网络通信性能作为最终性能的影响因素之一。

为了实现以上目标，需要设计完善的 AIPerf 机制。目前 AIPerf 主要流程包含 5 个步骤：

1. 主节点持续分配计算任务（包含历史信息）；

2. 计算节点根据历史信息生成新的神经网络训练模型；

3. 计算节点调用后端深度学习框架（MindSpore、Keras、Tensorflow）训练神经网络；

4. 新模型训练完成后，工作节点返回新模型及其精度；主节点更新历史信息；

5. 计算任务异步执行。

深圳鹏城实验室研制的基于 ARM 架构和华为加速处理器的鹏城云脑 2，主机以 194,527 Tops 的 AIPerf 算力荣登榜首。其性能是排名第二的联泰集群 Nvidia 系统性能的 12 倍以上。

百万亿参数超大预训练模型的训练

当前，学术界形成了共识，模型规模与模型效果呈现正相关关系。模型参数达到千亿的大模型，已经能在美国 SAT 考试题目中，实现 60% 左右的正确率。

现有语言大模型已经达到了万亿甚至百万亿的规模。如美国的 GTP 是 11 亿参数（2018 年），GTP2.0 是 15 亿参数（2019 年），GTP3.0 是 1.75 万亿参数（2021 年），GTP4.0 是 1.7 万亿参数。国内的 BaGuaLu 是 174 万亿。因此，探索更大参数量模型的效果具有重要科学意义。预训练模型的计算结构的核心是 Transformer 模型，模型的计算主要集中在：嵌入层（Embedding）、注意力层（Attention）、前馈网络（FFN）。

Transformer 的计算核心为矩阵乘法，因此我们可以利用并行训练技术来加速训练。随着模型规模扩大，训练数据增多，单机训练无法满足参数规模和数据吞吐的需求，并行训练成为大模型的训练“标配”。

比如在国产的新一代神威高性能计算机中，包含了 96,000 个节点、37,440,000 个核心，以及互连网络。神威采用的是新一代体系结构芯片—神威 26010pro，以及支持 MPI 通信的国产自主高速网络，契合了大规模预训练模型的需求。

我们团队在国产 E 级高性能计算机上训练了一个 170 万亿参数的超大规模预训练模型，模型参数与人脑中的突触数量相媲美。在训练这一超大规模预训练模型中，面临四个关键系统的挑战：一是如何选取高效并行策略；二是如何进行高效数据存储；三是如何选取合适数据精度；四是如何实现动态负载均衡。

表 1　八卦炉系统面临的创新挑战

系统挑战	系统创新
针对并行策略问题	设计数据与模型的混合并行策略
针对数据存储问题	设计了分布式参数更新策略
针对混合精度问题	设计细粒度的分层混合精度方法
针对负载均衡问题	设计轻量级高效负载均衡策略

挑战 1：如何选取高效并行策略

不同的并行策略的通信需求和计算模式不同，比如数据并行、模型并行、流水并行、MoE 并行。底层不同的网络拓扑结构会对性能有很大的影响，如何选择合适的并行策略组合是非常大的挑战。

挑战 2：如何进行高效数据存储

以万亿参数的模型为例，如果模型精度是 32 位，模型的参数就有 4T，模型的梯度也有 4T，优化器的更新参数有 8T，计算中间值也有 8T。如果用 V100 训练这个模型，并且把这些数据存储下来，就需要 768 块 V100。那么这些数据如何划分？不同的划分方式对底层的计算和通信也会产生不同的影响，即高效存储相关数据来支持高效训练非常有挑战性。

挑战 3：如何选取合适数据精度

选择合适的数据精度能够有效提高计算性能，降低内存占用。越低精度选取，性能越好，但模型准确度越差，如何选择最优的混合精度策略非常有挑战性。

挑战 4：如何实现动态负载均衡

MoE 训练中，样本通过网关（gate）选取合适专家进行计算，存在负载不均衡问题，影响计算性能，受欢迎的专家会收到几百倍，甚至上千倍的输入数据。

针对上述挑战，我们团队提出相应的解决方案，实现在国产系统的高效并行训练——八卦炉：百万级预训练模型系统。

在上面的基础上，我们团队同时完善神威高性能计算机的基础软件库：实现高效算子库；完善 swTensor，支持混合精度算子优化深度学习框架；深度优化 swPyTorch、优化内存分配器等支持复杂模型；实现分层混合精度策略、支持负载均衡方法。我们团队训练的阿里巴巴图文数据集 M6-Corpus，数据集总规模约 2TB，包含科学、体育、政治、经济等各方面，同时将我们的工作开源成相应的分布式系统 FASTMOE。

如何培养系统人才

算力非常重要，会使用算力的人才同样非常重要。那么，如何培养系统人才呢？

学好课程

两门理解计算机系统基本原理的基础课程。

一门是 CMU（15-213）：Introduction to Computer Systems 教材，A Programmer's Perspective 中文版，深入理解计算机系统（其实只能算简单理解）介绍了程序表示、编译链接、内存层次、内存分配等基础知识，其中的实验有很多精华内容。

另一门是 MIT（6.003）：Computer System Engineering 教材，Principles of Computer System Design 介绍了计算机系统设计的复杂性，抽象、模块化等基本原理，主要以概念为主，实验比较简单。

两门构建操作系统和分布式系统模块的进阶课程。

一门是 MIT（6.828）：Operating System Engineering 学习一个类似 Unix 的代码（xv6）实验——构建一个小操作系统（JOS），包括启动、内存管理、用户环境、抢占式多任务、文件系统、网络驱动等。

另一门是 MIT（6.824）：Distributed SystemsRPC，分布式一致性协议（Raft/Paxos），分布式事务，并发控制实验——实现 MapReduce 系统，分布式、可容错的 KV 存储系统等。

阅读优秀的开源代码和相关的论文

一是学习新的系统构建语言现代 C++，Rust，Go，Scala 等。

二是阅读优秀的开源代码，能为一些开源项目贡献代码，重复造一些轮子。

三是阅读相关的论文，确定感兴趣的方向，阅读相关的论文（SOSP，OSDI，Usenix ATC，EuroSys，SoCC 等）确定要做的系统。

动手实践举例——系统类竞赛

第一个是国际大学生超算竞赛，可以 5~6 人组队参加任务。自行设计搭建计算集群（或使用云计算集群），对于给定的应用进行测试和优化，还包含面试、海报、论文复现、口头报告等环节。使用英语作为工作语言的三大比赛：ASC、ISC、SC。

第二个是“英特尔杯”全国并行应用挑战赛。

第三个是 CCF CCSP 大学生计算机系统与程序设计竞赛。个人可以参赛，通过 CCF CSP 能力认证入围任务，算法题与系统题特点：12 小时 5 题；系统题的得分与选手程序的运行时间相关，性能最高的取得满分。

参加科研项目

“MadFS 分布式文件系统”“千万核可扩展全球大气动力学全隐式模拟”“非线性大地震模拟”“神图”图计算框架等。

人工智能算力是当前人工智能领域发展的关键。我们团队最近几年在 AI 算力基础设施的架构平衡设计，AI 算力的评测方法，百万亿参数超大预训练模型的并行加速都做出了非常大的贡献。我国需要加快 AI 算力基础设施的构建，以及加快系统方面人才的培养。

来源：控制网

作者简介

郑纬民，1946 年 3 月生，清华大学计算机系教授。1970 年毕业于清华大学并留校任教，1982 年获硕士学位。曾任中国计算机学会第十届理事长。

郑纬民院士长期从事并行 / 分布处理、大规模数据存储系统领域的科研与教学工作。曾获国家科技进步一等奖 1 次、国家科技进步二等奖 2 次，国家发明二等奖 1 次。2016 年获何梁何利基金科学与技术进步奖。2016 年获 ACM 戈登·贝尔奖。与合作者一起发表论文 530 余篇，著作 10 部。教学方面长期讲授计算机系统结构课程，2008 年被评为国家级精品课程；已编写和出版计算机系统结构教材和专著 10 本。

院士是我国科学家们的最高荣誉。1994 年 6 月设立的中国工程院院士，是中国工程科学技术方面的最高学术称号，为科学家的终身荣誉。中国工程院院士增选每两年进行一次。今年，中国工程院开展了第 14 次院士增选和第 13 次外籍院士增选，此次共选举产生 75 位院士和 29 位外籍院士。

重要通知

CAC2023 住宿预定系统已开放！优惠房型抢先预定！

2023 中国自动化大会将于 2023 年 11 月 17—19 日在重庆悦来国际会议中心举行，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。

大会会务组为本次参会的嘉宾提供了重庆悦来国际会议中心周边酒店的优惠房型，房源较为紧张，建议您尽早预订。详情请查看：http://www.caa.org.cn/article/192/4179.html

导读

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

社会尺度挑战下的控制：2030 路线图（八）

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

翻译 / 华东理工大学　寇志诚

新兴方法

随着我们进一步进入 21 世纪，社会需求和目标不断演变。我们的底层系统也变得越来越复杂，需要新的分析和综合工具来有效利用先进的技术并实现这些高水平的目标。本章展示了控制系统中正在出现的关键方法。我们专注于五个核心概念：i）学习，ii）安全，iii）韧性，iv）人类，以及 v）架构。第一部分侧重于学习和数据驱动控制之间的交叉点，特别强调可扩展性和动态性。第二部分强调了将安全性及其形式化表示融入自主系统控制的必要性。第三部分涉及 CPS 在网络攻击、极端天气和其他重大破坏后的恢复能力。第四部分将人类置于对话的中心，并解决了在 CPHS 新兴领域中分析和综合控制系统与人类之间的相互作用的技术挑战。最后，第五部分侧重于控制体系结构，旨在解决各种系统及其组件如何互连和交互，以产生理想的社会规模控制系统。

4.1 节　学习和数据驱动控制

本节作者：

Anders Rantzer，Florian Dörfler，Na Li，Nikolai Matni，Lucy Y. Pao，Gireeja Ranade，Angela Schoellig，Claire J. Tomlin，Melanie Zeilinger

机器学习和数据驱动控制在各种尺度上展现出丰富的互动，涵盖了从量子控制和分子动力学到成群的自主机器人和全球能源市场的广泛领域。为了充分发挥这两个学科之间的协同作用，我们需要重新审视系统与控制的基础，特别关注动力学、可扩展性、学习和架构之间的交叉点。

摘要

过去十年来，控制领域取得了一项主要发展，即机器学习与控制系统的交叉与相互作用。基于学习的组件被应用于处理传感器数据，描述系统在不确定环境中的行为，并实现基于上下文和观测数据的决策。这些方法在控制领域的应用已有悠久历史，但随着机器学习技术和方法的进步，也带来了新的机遇和挑战。为了充分利用这些机遇，我们需要重新审视学习和数据驱动控制的理论基础。此外，还需要分析成功的应用案例，以有效地将知识传递给工程的各个领域和下一代学者。现实世界中的应用十分多样化，涵盖了从细胞水平的合成生物学到大型能源网络中的经济激励设计等各个领域。因此，这种

知识传递将是跨学科的，但其核心激活点是系统理论。在这方面，需要解决几个主要的研究挑战。首先，我们需要更好地理解离线计算和在线计算之间的相互作用。其次，必须在动态环境中发展物理知情学习的理论和工具。此外，我们需要验证基于学习的安全关键应用解决方案，并建立更好的理论基础以在探索和开发中进行权衡。最后但同样重要的是，我们需要在控制学习中开发系统理论，探讨系统架构的作用。

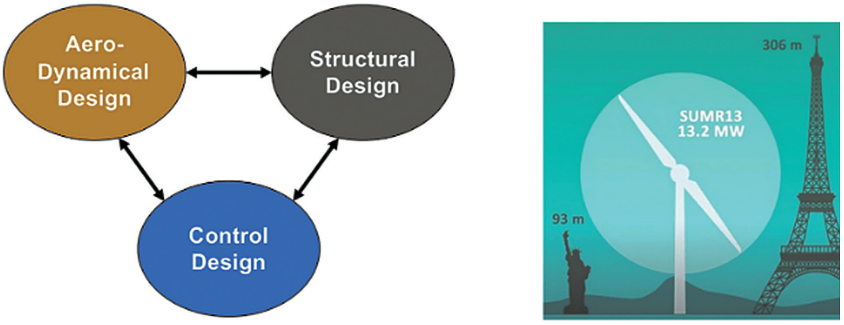


图 4.1　在复杂的系统（如大型风力涡轮机）中挑战系统性能的极限，往往需要在反复的设计过程中针对不同的机械和空气动力学特性进行反复的控制器调整。这是一个重要的应用，最初的自动控制器调谐技术已经开始产生影响，自动控制器调谐的未来发展将使其大有作为。

4.1.1　引言

机器学习和控制系统的交叉应用是一项重大发展。从学习算法处理传感器数据、表示系统在环境中的不确定行为，并基于上下文和观测数据做出决策等事实可以证明这一点。这些方法在控制领域有着悠久的历史，但是由于包括以下技术和方法论进步在内的一系列技术和方法论进步的重新关注，为其带来了新的机遇：

– 廉价高效的传感器，简化了数据收集。

– 功能越来越强大的处理器，支持在线和离线计算。

– 高带宽和低延迟通信的普及。

– 新的机器学习算法能够高效处理庞大的数据集。

– 开源软件和数据生成更高质量、更高效的解决方案。

这些发展正在经典控制环境中创造新的机会。随着数据驱动的反馈控制在广泛的新环境中部署，也带来了全新的挑战。

众所周知，建模和学习的许多方面在静态设置中是不相关的，但在反馈控制领域中至关重要。但当我们试图在反馈环境中利用最近的机器学习算法时，当前学习理论的局限性变得显而易见。因此，下面我们将会介绍一些重要的问题，这些问题将在我们迈向更完整的数据驱动控制系统理论的过程中得到解决。我们将从近期挑战开始，并逐步实现最终目标。

4.1.2　自动调节

在过程工业中，由于存在大量的控制回路，手动调谐显得繁琐且昂贵。自 20 世纪 80 年代以来，自动调谐装置被广泛应用于过程工业中的 PID 控制器。其中最常见的方法是基于简单的继电器反馈实验，该实验提供足够的输入激励，以自动估计基本系统参数，并实现控制器的自动调整。

类似的自动调优在许多应用领域中有潜力提高效率并节省繁琐的手动工作。在建筑暖通空调行业中，由于涉及许多类似的简单控制回路，自动调谐已被视为具有前景。此外，更复杂的系统也可以进行类似的应用。例如，对于大型机械结构如风力涡轮机，其结构和空气动力学特性与控制系统相互交织。现代风力涡轮机的设计和优化成为一个互动过程，在找到成功的联合设计之前，必须多次更新控制器。

自动调整有潜力加快设计过程并带来巨大的节约。汽车行业也是另一个领域，对高度定制的产品需求促使对各种控制回路进行简单快速的调整。

4.1.3　批量学习

与增量学习相对，批量学习意味着算法在离线环境中运行，不会干扰数据收集过程。这种简化的设置广泛用于经典系统识别和迭代学习控制[1]。然而，对于大规模数据集，需要结合现代机

器学习工具以实现高效计算。尽管如此，为了确保在存在不确定性的情况下对复杂任务进行稳健优化，实验和算法的联合设计仍然至关重要。因此，闭环识别、有色噪声、时变系统参数和未建模动力学等已知的困难与学习算法在更理想条件下开发产生了新的挑战。

4.1.4 极值搜索和学习

在自适应和学习系统领域，我们可以看到许多极值搜索的应用机会[2]。随着人们对学习算法（用于包括优化和控制的各种目的）的兴趣激增，我们应该认识到，极值搜索也是一种基于学习（在最小、最有效的学习意义上）、一种无模型和一种基于数据的方法。

极值搜索的实时性能、严格的收敛保证和收敛速度分配能力代表了机器学习和强化学习算法尚未实现的目标。我们希望，一些追求基于学习能力的研究人员和学生会注意到这些潜在的机会，特别是在将无模型学习和优化与基于模型的复杂但物理基础的过程补偿相结合方面。

4.1.5 离线与在线计算

离线计算（设计时间）和在线计算（运行时间）之间的权衡是强化学习中的核心问题，这在模型预测控制（MPC）的背景下已经得到广泛研究。这是因为应用已经从传统的过程控制应用（时间限制为分钟或更小）过渡到汽车工业和电力电子应用等最近的领域（时间限制更为严格）。显而易见，在线计算具有明显的优势，因为规划和执行可以专注于当前情况，并利用来自各种传感器的最新信息。同时，这通常也提高了对模型误差和干扰的鲁棒性。然而，在时间较为紧迫的应用中，由于信息收集和处理的时间有限，我们越来越需要依赖离线制定的计划。除此之外，关注两种模式之间区别的另外一个重要原因是实时发生的不确定性。

因此，这一趋势给新理论和方法的发展提出了以下的一些有趣挑战：

- 成本函数、控制策略以及在线和离线计算之间如何进行动态接口的建立
- 如何定制实时数值方法，使得控制过程具备对时变计算约束的固有鲁棒性
- 如何系统化地收集训练数据
- 如何量化数据对最终控制性能的影响
- 如何分析基于仿真的训练和实验数据

4.1.6 参数与非参数方法

数据驱动控制器的设计是否应该基于参数化对象模型的问题可以追溯到自适应控制的早期。从工程的角度来看，这个模型可以有很多用途，特别是当参数有明确的解释时。除此之外，系统模型也可以在验证、压力测试和故障诊断中发挥出重要作用，并通过结合先验信息来加速学习过程。另外，模型参数信息可以将学习到的策略从一个系统转移到具有类似特征的另一个系统。最重要的是，该模型可以为稳定性和鲁棒性的证明保证奠定分析基础。出于以上目的创建模型，又或者说将数据驱动模型与第一原理模型相结合用于控制，是与基于物理的机器学习密切相关的一个主要挑战。

4.1.7 部分可观测和可控制系统

大多数机器学习算法假设基本变量可以被测量。类似地，大多数关于系统识别和自适应控制的文献都集中在可供操作的控制变量上。然而，在许多应用中，基本变量既不容易测量也不容易操作，但是却需要我们设计反馈控制策略。例如在政府抗击流行病或缓解气候变化，以及控制大规模基础设施系统或在人体内部署癌症治疗等过程中。目前，统计学和几个应用学科正在进行“因果推断”这一方向的研究。然而，在这些方面，开发动态数据驱动控制理论仍然是一个极为重大的挑战。

4.1.8 安全关键应用程序的验证

在引入机器学习的相关技术

之前，安全关键应用软件的验证已经是一个重大的工程挑战，也是一个价值数十亿美元的行业。添加这样的设备使事情变得非常复杂。从形式上讲，文献遵循两条平行的道路，一条是形式的，另一条是语用的。在形式化方面，主要思想是通过严格限制允许的算法集，同时对要控制的系统做出严格的假设，可以证明安全性和其他特性（例如，使用所谓的控制屏障函数）。挑战在于将这种范式扩展到包括神经网络等组件。最有可能的是，只有当我们愿意将注意力限制在特殊类上时，这才有可能实现，因为在训练过程中明确考虑了可验证性。安全和性能的概率证书而不是确定性证书可能是安全关键反馈回路分析的自然目标。

4.1.9 最优探索和开发

激励的作用长期以来一直被认为是自适应控制的一个基本特征。这个想法是，除非你探索所有相关的输入方向，否则你无法让你的模型保持更新。基于不正确模型的反馈可能会恶化，并导致一些不良影响，如爆裂[3]，甚至系统不稳定。同时，激励是昂贵的，可能会对性能产生负面影响，所以你不希望过多地进行激励。这激发了双重控制的概念。在机器学习中，相应的权衡被称为探索与开发。这个想法在定性层面上很容易理解，但完全定量化的理论还远未成熟。

为了理解探索的作用，一个关键的考虑因素是如何根据控制器收到的训练数据来量化控制器的当前能力水平。这包括重新审视系统识别的实验设计技术。在这方面，样本复杂性可能只是一个粗略的衡量标准，因为重要的不仅仅是样本的数量，而是样本的“质量”。

真正的困难发生在勘探和开采交织在一起的时候。重要的是，除非你首先到达状态空间的相关区域，否则无法探索某些状态。因此，开发往往是探索的先决条件。开发，即控制，通常需要在学习之前进行。这个想法在定性上很容易理解，但在理论上很难量化。其中一个困难是，由于高度非线性的学习动力学，统计分析变得复杂。因此，受鲁棒控制和对抗性学习启发的最坏情况分析是一种有价值的补充。

4.1.10 数据驱动的机制设计和信息设计

控制具有许多决策者的大系统与经济理论有着密切联系。一个很好的例子是电力网络，其中价格激励被用作控制变量。其他案例还包括推荐算法和与人类反馈交互的在线广告。因此，利用相关经济理论和工具来进行控制是很自然的选择。机制设计是经济理论的一个分支，探索在信息不完全和个体自利的约束下，如何实现可取的社会或经济结果。同样，信息设计研究结果如何受到信息共享的影响。一个具体的例子是道路网络中的交通流不仅受到费率的影响，还受到与司机共享的信息的设计影响。机制设计和信息设计的理论和方法将对未来可持续社会具有基础性重要性，数据驱动的方法将填补一些缺乏基于第一原理模型的空白。

4.1.11 支持高水平目标的学习体系结构

考虑两种未来的自主系统用例：i）一辆拆弹漫游车被发送到一个陌生的 GPS 和拒绝通信的环境（如洞穴或矿井），其任务是定位和拆除简易爆炸装置，以及 ii）一架参加比赛的自主无人机。

这两个系统都将根据简单传感设备（如惯性测量单元）和更复杂的传感设备（例如相机）的组合输入做出决策。然而，在图 4.2 中概念性地说明了需求的极端多样性，这突出了需要一种有原则的方法来进行体系结构权衡。设计合适的感知 / 行动管道的两种哲学上对立的方法是：i）分层和 ii）端到端。更熟悉的分层（或模块化）方法植根于工程最佳实践，独立设计不同的层（感知、预测、定位、规划、控制），并通过预先指定的（刚性）协议将它们互连。虽然这种方法的好处是众所周知的，但这种方法将层之间的交互限制为团队之间共享的特定规范，

从而限制了端到端优化。因此，所有协议都是有成本的。相比之下，端到端方法在深度强化学习社区中经典上受到青睐，它试图直接从像素（或其他高维感知输入）到动作学习一个优化映射。这样的方法优化了特定应用的完整感知 / 动作流水线，并展示了令人印象深刻的演示，但所得到的系统不透明，难以排除故障，此外，它们通常会阻止将先验知识纳入学习 / 设计中，从而导致样本复杂性增加和算法脆弱。

上面的两种方法可以被视为更广泛的体系结构设计空间的极端点，分层方法优化了可解释性、模块性以及可以说的安全性和稳健性，端到端方法优化了性能和实现的简单性。一个连贯的建筑理论应该允许对整个设计空间进行有原则的探索。许多问题仍未得到解答。例如：可以连接哪些算法？它们的输入 / 输出属性是什么？错误是如何传播的？以一种结构化和定量的方式来分析这种权衡的方式来定义架构设计空间是一个重大挑战。

近年来，在平衡强化学习的适应性和性能与控制的安全性和鲁棒性方面迈出了有希望的第一步。例如，Lyapunov 和障碍约束已被用作强化学习中的安全屏障，而植根于基于模型的鲁棒控制的先验和正则化子已被用于推进无模型强化学习。通过这种方式，机器学习和控制社区正在融合探索中间架构的方法。这些都是应对更大挑战的重要早期努力：如何系统地构建支持安全和稳健性能的体系结构。

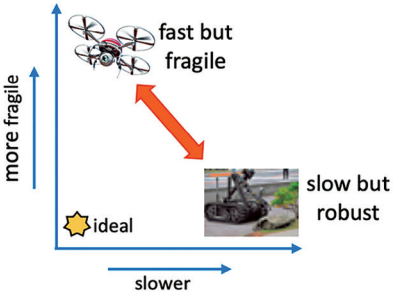


图 4.2　学习架构必须反映这样一个事实：根据动态、环境、目标和约束，应用程序可以有非常不同的稳健性和性能要求。

对年轻研究人员的建议：

学习和数据驱动控制之间的接口是目前最令人兴奋和快速发展的工程领域之一，为满足社会和环境需求提供了巨大的机会。我们建议在进入新兴领域之前先掌握基本的理论基础。反馈控制和系统识别理论已经发展了几十年，其在数学、统计学和计算机科学中的基础与优化理论和机器学习有着共同的基础。我们还建议深入参与特定的应用领域。通常是在学科之间的互动中，最令人兴奋的想法出现了。例如，生物学中学习和控制的自然过程在未来几年可能仍然是工程师的重要灵感来源。

对于资助机构来说：

近几十年来，人工智能和机器学习取得了惊人的成绩，在图像分析、语言处理、医学等领域有着广泛的应用。然而，到目前为止，大多数成功案例都与静态问题有关。仍然存在许多社会和环境挑战，需要在更快的时间尺度上进行学习，动态和反馈将占主导地位。其例子包括能源、水、交通、通信、医疗保健和可持续粮食生产的动态网络。这是系统和控制理论的基础。然而，学习和控制的整合仍处于初级阶段，许多基本问题仍未解决。有了适当的资源，这些做法可以提供巨大的回报，可以以安全可靠的方式收获，造福社会。

4.2 节　安全关键系统

本节作者：

Aaron D. Ames，Koushil Sreenath，Claire J. Tomlin，Paulo Tabuada，Mykel J. Kochenderfer

确保智能和自主系统的安全行为对于建立信任和实现广泛应用至关重要。控制理论给出了安全性的正式表达方式，为合成、测试和保证安全行为提供了范例，可以在实际系统中应用。

摘要

随着智能系统在实际环境中的部署，越来越需要提供保证这些系统不会违反基本安全约束的保证。例如，半自主飞机必须在安全范围内飞行，机器人必须避免与环境障碍物、其他代理系统

和行人发生碰撞。未能提供一般、形式化和可验证的安全行为保证会导致过于应用、领域和平台特定的临时解决方案。如果不考虑边界情况，结果可能是灾难性的：失去公众信心甚至丧失人命。迫切需要开发能够支撑任何先进控制和自主特性设计的安全关键控制方法。这种方法的实际应用范围从自动驾驶汽车和飞机到先进的机器人和医疗设备等。

4.2.1 引言

我们将关注安全的以下三个基本问题：

（1）安全关键控制：在由非线性模型描述的复杂控制系统层面上，实现安全行为的基本手段是什么？

（2）安全关键自主性：复杂的自主系统采用分层架构，将规划、轨迹生成和控制结合在一起。我们如何在这些层面上以及跨层面上保证安全？

（3）安全关键学习：如何将学习与安全关键方法结合起来，给定具有未知组件、不足的模型或感知模块的系统？

解决这些问题可以导致在具有黑盒组件（例如机器学习模块）的系统中的安全性表述，并将安全关键方法应用于人在环路中的安全关键系统。综合考虑这些概念将引发安全关键系统中的开放性问题。在本节中，我们提出了建立在已经在各种系统（例如多机器人系统）上经过验证和实验实现的概念的坚实基础上的关键的开放性问题。[4]

4.2.2 安全概念及其关系

我们的未来将越来越多地充斥着自主系统－从自动驾驶汽车到能够在最小人为干预下进行复杂操作的医疗设备。为了使这些系统能够在人类周围甚至内部运行，我们需要一个严格的安全概念。然而，安全没有单一标准的定义；因此，我们探讨了几个关键概念的定义，并研究了它们之间的关系。安全性的概念将成为理解安全架构的基础，进而用于合成适应性和学习中的安全关键方法。

确定性

安全性的概念最初是在程序正确性的背景下引入的[5]，其中安全性要求“坏”事情不会发生。对于动态系统而言，这相当于确保空间中的“好”区域的前向不变性[6]。也就是说，早期的安全性定义[7]涉及定义一个由不等式给出的安全区域，如 $L=\{x \mid l(x)\geq 0\}$。因此，安全性通过 $l(x)$ 的零超级集进行量化。虽然很容易从安全约束开始定义这样一个安全区域，但如何确保或验证输入约束的系统仍保持在安全区域内则不那么容易。

换句话说，很难找到有界的控制输入来保证系统保持在给定集合内，从而保持安全。解决这个问题的一种方法是计算系统可以从中演化而不离开 L 的所有初始状态的集合（如图 4.3 所示）。这是通过确保在每个时间点上始终存在至少一个控制输入从而使得状态轨迹始终在 L 中来实现的，尽管其中存在扰动。这些初始条件的集合被定义为可行性核 [S][8]，其根源在于可控不变性和相应的可达性[9]。虽然可行性核可以提供严格的安全保证，但计算可行性核的计算复杂度很高。保证安全的另一种方法是通过使用控制屏障函数（CBFs）[10]来实现。在这种情况下，$h(x)$ 的零超级集定义了安全集 $C=\{x \mid h(x)\geq 0\}$，以使在 C 内对控制系统的解满足额外的时间导数 $\dot{h}$ 上的条件。特别地，存在一个控制输入 u，使得对于某个正数 a，$\dot{h}(x,u)\geq -ah(x)$。这确保了状态永远不会离开安全集 C。虽然找到控制屏障函数很有挑战性，但在大多数情况下，可以选择启发式 $h(x)$ 并解决在线优化以找到控制输入 u。安全集 C 及其与 h 的连接如图 4.3 所示。

概率

在某些情况下，我们可能不需要严格的安全保证，而是希望以某个小于 1 的概率 p 满足所需的安全保证。这种情况可能是因为以概率保证在计算上更容易或更现实，或者是因为系统固有的动态或测量是随机的。之所以系统

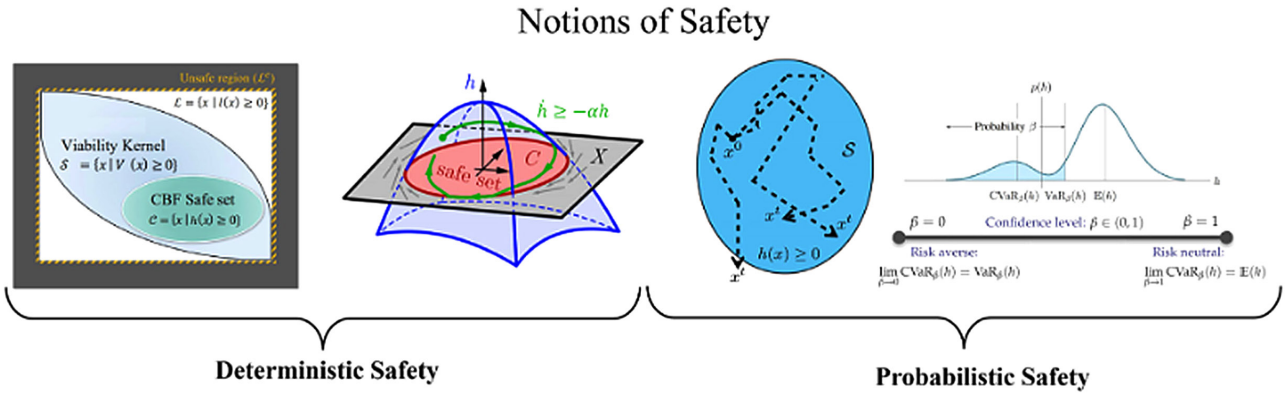


图 4.3　展示了确定性和概率安全的概念。确定性：（左）定义的安全区域 L、S、C 的示意图（图改编自[11]），以及（右）将安全集合 C 定义为控制屏障函数 h 的 0- 超级集合，并说明 CBF 条件确保安全集合的正向不变性（图改编自[12]）。概率性：（左）随机系统演变的示意图，以及（右）风险厌恶的安全概念——h 的均值为正无法捕捉到低概率事件，而风险价值（Value at Risk，VaR）和条件风险价值（Conditional Value at Risk，CVaR）能够捕捉这些风险厌恶的场景（图改编自[13]）。

固有的动态或测量是随机的，是由于模型中的扰动或不确定性或可用概率模型的不确定测量而产生的。实现概率安全保证的一种方法是通过概率安全屏障证书[14]。在这种情况下，给定一个希望以置信水平 p 来确保系统状态保持安全（即保持在安全集 C 内）的条件，可以将机会约束形式化为 $Pr\{x \in C\} \geq P$。如果不确定性可以建模为高斯过程，则存在机会约束的显式解，并可以通过二阶锥优化问题[15, 16]。

随机不确定性也可以在离散时间过程的背景下捕捉到，在这种情况下，可以提出与风险相关的不同安全概念[13]。特别是，对于随机过程的安全集表示为障碍函数 h，可以有多个关于随机过程安全性的概率解释。人们可以考虑 h 的平均值，并将保持该平均值为正的方法形式化，但这并不能正确地捕捉各种情况下的风险，因为在这种情况下可能存在大量的安全违规行为。

在这种情况下，强制执行安全性的控制器是具有中性风险的。受金融和运营研究界的启发，我们可以考虑最坏行为（在分布意义上）来生成风险厌恶的控制器。例如，可以通过条件风险价值（CVaR）来实现，它是更一般的一致性风险度量的具体示例。与确定性情况一样，可以通过 CVaR 概念的控制屏障函数来形式化风险厌恶的方式，即确保 CVaR 的正值性，从而在低概率事件的背景下确保安全。在保证现实世界系统的概率安全性方面，仍然存在着广泛的挑战，其中一个关键例子是了解与分布变化有关的安全性（例如，由于不断变化的天气条件、时间和其他动态变化的因素）。

时间和基于事件的安全概念

在纯确定性或随机性的安全性表述之外，存在着随时间变化或由于基于事件的约束而发生变化的安全性概念。这种形式的约束出现在人机交互[17]中。例如，希望在某个时间间隔内确保安全，之后安全约束可能会发生变化。或者，我们可能希望在达到目标或事件之前确保安全，或者在观察到事件时更改控制器。这些类型的规范可以通过使用时间逻辑来详细捕捉。在这方面，已经广泛研究的具体时间逻辑的流行示例包括线性时间逻辑和信号时间逻辑。除此之外，还存在随机变体。例如，使用分布时间逻辑来捕捉复杂的概率规范。无论在任何情况下，我们都可以通过规范来编码安全性，例如始终保持在安全区域内，或者永远不会进入不安全区域。安全规范可以与其

他约束（如系统最终达到目标）相结合，并以分层的方式进行组合，始终最终达到目标并保持在期望的安全区域内。值得注意的是，在集合定义的安全性方法中部署的方法通常可以转化为这种设置，例如通过使用控制屏障函数和规范（或其片段）；除此之外，可以参见[18, 19, 20, 21]，其中提供了更广泛的工作范例。最后，关于验证和实施时间逻辑指定的安全性的不同方法之间存在着广泛的差异，其中有些方法将连续动态抽象为离散表示，从而能够验证时间逻辑规范[22]。

安全的社会解释

在前述的安全定义中，安全依赖于系统状态空间的区域，而人们则通过统计故障和使用百分比来评估系统的安全性。

例如，在2019年，乘坐汽车的安全性为99.989%[23]，而乘坐飞机的安全性为99.99986%[24]。相比之下，我们只有99.8%的安全性免受心脏疾病的威胁，心脏疾病是导致死亡的主要原因[25]。然而，百分比的范围可能相当大。例如，要将饮用水视为安全，铅的百分比应该低于0.0000015%。另一种度量是安全的“nines”，其中90%、99%和99.9%的安全结果分别具有一个、两个和三个nines的安全性。100%的安全结果具有无限个nines的安全性。可以通过公式 $-log_{10}(1-p)$ 来数学地捕捉安全性的nines，其中 p 是安全结果的概率；有关详细信息，请参见[26]。

了解这些社会解释和安全目标是为了能够合理地部署相关方法并建立公众信任至关重要。例如，在2000年至2009年间，私人交通占年度交通相关死亡人数的82.5%，导致了36,849人死亡[27]。如果自动系统达到类似的安全水平，这对于建立公众信任是否已经足够？或者自动系统必须达到商业交通的安全水平（占年度交通相关死亡人数的14.8%，即同一时期的6,390人死亡）？或者他们必须达到更高的安全水平？这不仅对于合成安全关键方法具有重要影响，而且对于可以围绕这些方法的理解而创建的法规也具有重要影响。

在社会层面上解决安全问题的一种方法是创建捕捉安全特性、提供验证这些特性的具体程序，同时改进对自动系统的信任的标准。这可以通过两种方式实现：优化现有标准和创建新标准。在前一种情况下，可以使用数学表示的安全性（如上述所述）；例如，可以在[28]中找到一个例子，其中使用CBFs来满足ISO/TS 15066标准，并同时最大化性能。或者，可以创建新的安全标准来满足新需求。ACAS X（Airborne Collision Avoidance System X）[29]就是这样的一个例子，它已成为国际标准。该标准通过使用概率安全性的概念结合飞机性能的优化（由马尔可夫决策过程[MDPs][30]编码）形成，并且作为过程的一部分进行了广泛的飞行测试。这代表了通过标准编码安全性的更广泛过程。

4.2.3 安全的支柱

为了量化复杂系统中的安全性，有必要界定安全在不同环境中的作用方式：在控制层面、在更广泛的自主堆栈内以及与学习相结合时。这些不同的考虑因素构成了复杂系统安全的基石。

安全关键的控制在基本层面上，以可证明的方式强制实施安全最好从实时控制的背景中理解，因为这将推动系统的执行进入安全（或不安全）区域。这包括连续和离散时间系统的确定性和概率安全概念。迄今为止，我们已经开发了各种方法来确保系统的安全行为。其中包括来自机器人学界的方法，例如人工势场[32]。控制界也开发了多种方法来确保安全性，包括正向和反向可达集合计算[33]，包括 *Hamilton–Jacobi* 方法[34]，通过成本函数和状态约束强制实施安全性的基于优化的方法；修改现有控制器以确保安全的参考调速器[35]；以及基于抽象的方法[36, 22]。在这些设置中，安全性被构建为前向集合不变性问题（根据确定性安全概念），并且控制器是通过计算的安全集合

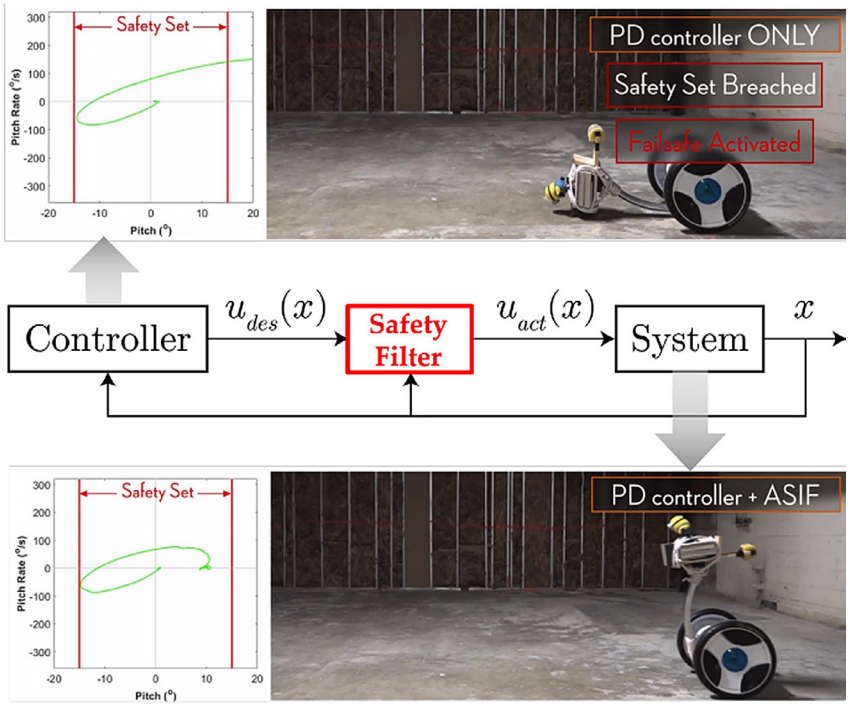


图 4.4　安全过滤器的图示，其中一个名义控制器（可能导致不安全行为）被过滤以产生安全行为。图片改编自[31]。

合成的。

为了给出一个具体的安全关键实时控制的例子，考虑将安全集合定义为函数 h 的零超级级别集合，对应的安全集合为 $C=\{x \mid h(x)\geq 0\}$。

根据对确定性安全性概念的讨论，如果存在控制障碍函数[10]，即对于所有 xEC，存在控制输入 u 使得 CBF 条件 $\dot{h}(x,u)\geq -ah(x)$ 得到满足，则系统是安全的，即集合 C 是前向不变的。这个条件可以用来合成一个安全滤波器[31]，该滤波器采用标称控制器 $u_d(x)$ 并以最小的侵入方式修改它，从而通过解决实时优化问题来保证安全：$argmin_u||ku-u_{d(x)}||^2$，约束条件为 $\dot{h}(x,u)\geq -ah(x)$。对于仿射控制系统，由于是仿射约束，因此结果是一个可以在不到一毫秒内求解的二次规划问题。结果如图 4.4 所示，即使名义控制器是不安全的，应用安全过滤器也会导致系统的安全行为。值得注意的是，这种安全关键的控制范式以及其他方法在底层理论（例如，合成 CBFs、整合输入约束）和实际应用中（例如，底层模型、感知和环境中的不确定性）都存在各种问题。例如，最近的研究利用 Hamilton–Jacobi 方法合成了满足输入约束的 CBFs[11]。

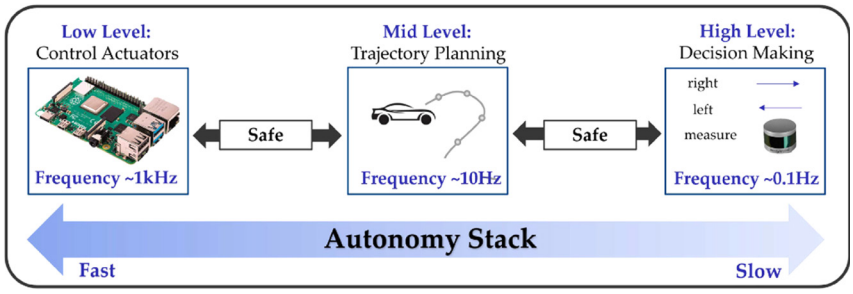


图 4.5　自主性堆栈的图形表示（改编自[37]），其中低层，即实时控制层，显示在左边，最高层，即决策层，显示在右边。

安全关键的自主性

自主系统利用自主堆栈在多个层次上进行规划、感知和行动——从实时控制器到规划和决策。这要求安全性在多个时间尺度和多个模式下考虑，描述系统的演化和每个时间尺度。为此，我们在以下层次上考虑安全性：

低层次：在这个层次上，控制律通过实时控制器直接与物理世界进行交互。在这种情况下，物理世界由连续时间（非线性）微分方程描述。因此，可以应用如前所述的安全关键控制方法。通过数字控制器与物理世界的直接交互导致这些控制器的实际实现，可以通过采样数据或事件触发方法来完成。在安全关键的环境中，必须特别注意确保在采样

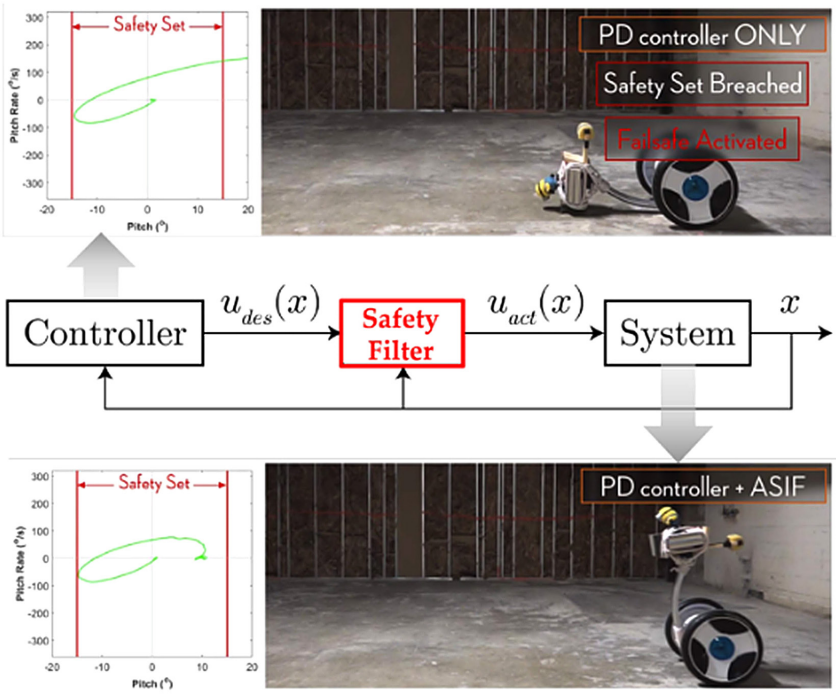


图 4.6　安全过滤器的示意图，其中将一个可能导致不安全行为的名义控制器进行过滤，生成安全行为。图改编自[31]。

或事件间隔中不违反安全性。最后，这个实时层必须以安全关键的方式与自主堆栈中的更高层进行接口。例如，安全关键控制器可能希望跟踪轨迹规划层（通过 u_d）指定的参考信号。必须提供能够跟踪这些参考信号的证明以确保可行性。

中层次：在这个层次上，生成以动态可行的方式编码所需行为的轨迹。这通常被看作是一个优化问题，其中成本函数编码控制目标（和稳定性约束），约束条件强加动力学约束和重要的安全性和输入约束。在最一般的形式中，结果是一个受约束的非线性优化问题。但为了以计算方式实现这一点，通常会利用线性模型（例如，通过顺序线性化）。其结果是一个 MPC，用于生成传递给实时控制层的期望轨迹。这些轨迹由于状态约束的强制执行是安全的，而低层控制器的使用确保了连续动力学层面上的安全性。然后，所需行为从决策层获得。

高层次：决策发生在最高层次（更新速率最慢）。这通常使用离散级别表示，例如系统行为的“网格世界”抽象。这在机器人系统的导航规划中有着悠久的历史，从 RRT 到概率路线图。从确定性的角度来看，可以采用形式方法来确保实现复杂的规范，如通过时间逻辑框架。在随机设置中，可以使用 MDPs 及其变体，例如 POMDPs，来量化决策层面上的不确定性（包括感知和感知模块中的不确定性）。在所有情况下，决策层确定了自主系统实现其总体目标的能力，同时受到安全约束的限制。在这种情况下，安全性可以在规范层面上进行编码（例如，始终避免某些空间区域），或者通过 CBF 的类比来以概率意义上的安全性进行保证，例如风险回避方法（如 CVaR）。在这个层次上做出的决策被传递给自主堆栈以引导中层和最终低层的系统行为。

在安全关键的自主堆栈中，学习面临着独特的挑战和要求[38]。了解学习在自主堆栈的每个层次上的作用非常重要，即与学习相关的决策层次结构。

在低层次，即实时控制层次，执行速度很重要。因此，必须在时间效率和模型准确性之间进行权衡。这种学习必须是高效的执行方式，通常通过学习“残差”项来实现，这些项量化了名义模型与观测数据之间的差距。学习这个残差项可以在环境发生快速变化时实现快速适应。

重要的是，在这个层次上，可以以确保系统物理特性的方式进行学习。例如，在安全关键控制的背景下，可以在安全性“证书”（例如 CBFs）的级别上进行学习，其中学习的残差量化了预期的基于模型的 CBF 值与观察到的 CBF 值之间的差距[39, 40]。这

是一个标量，因此只需要最少的迭代次数来学习。学习的结果也可以在硬件上以快速的循环速率进行部署。在这个层次上，还必须对状态进行估计，可以通过控制中的经典方法来实现，但也可以通过学习来实现，例如，在碰撞避免的背景下，使用视觉来估计深度。

在中层，学习可以用于规划多目标和多步骤任务。具体而言，可以在轨迹生成层次上部署学习，以实现时间窗口内的各种目标。这可以以无模型的方式进行，例如，通过强化学习，或者与基于模型的方法结合使用，例如，学习动力学模型中的残差，然后采用传统的基于优化的方法。在这个层次上，学习还可以与基于模型的控制方法集成，这些方法在时间范围内运行，例如 MPC[41] 和自适应控制[42]。再次强调，这涉及到学习残差动态和 / 或系统参数，并将这些学习到的量中的不确定性编码到约束中[43, 44, 45, 46]。在所有情况下，通过利用结构，可以添加安全关键的约束，并使学习的结果是安全的。例如，可以通过将强化学习视为离散时间动态系统并在学习发生时避免空间中的“不良”区域（例如通过离散时间控制屏障函数）来保证强化学习的安全性。类似地，如果将学习与 MPC 结合使用，可以通过相应优化问题中的状态约束来保证安全性。

在高层，由于通常使用信息丰富的传感器（例如摄像头和激光雷达）获得数据是昂贵且耗时的，因此数据采集成为一个问题。因此，这个层次通常使用感知信息的更抽象表示。在使用摄像头和激光雷达时，通常通过神经网络获得这些表示（例如检测行人或对图像中的对象进行分类）。但是对于这些组件以及它们如何影响安全性的了解不多。因此，可以利用决策层次结构，将昂贵（从数据和计算时间的角度来看）的学习元素应用于最高层次，因为这一层次的操作频率最低。此外，自主堆栈的较快元素可以在处理数据丰富的信息源时保持系统稳定和安全，例如通过测量鲁棒的 CBFs[47]。最后，在最高层次上，可以将安全的概率概念与学习过程结合使用。例如，由于通过感知进行学习而产生的不确定性可以通过上述描述的表示方式（例如 POMDPs）在最高层次上以随机方式编码，从而在相关的协变风险度量的背景下保证安全性。

喜报 XI BAO

第四！2023 年 9 月科协系统科普新媒体传播榜发布

近日，中国科协发布 9 月科协系统科普新媒体传播榜。中国科协科普部联合中国科协信息中心共同开展“一体两翼”科普信息化评价工作，采用大数据技术自动抓取 215 个全国学会、32 个省级科协的自有网络平台以及主要第三方平台的科普信息数据，结合科普中国资源使用和传播情况，定期发布科协系统科普新媒体传播榜（前 20 名）。

中国自动化学会位列第四！与 8 月排名持平。

中国自动化学会始终肩负传播自动化、信息及智能科学领域新知识、提高全民科学素质的重要使命，积极推动自动化、信息与智能科学领域内科普传播协同化、侧重化、多样化发展。2023 年，学会将加强科普队伍建设和自动化学科普资源整合，完善以特色科普品牌活动与系列赛事为一体的自动化科普平台，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。

详情请查看：http://www.caa.org.cn/article/191/4200.html

2023 国家工业软件大会在湖州成功召开

图 1　大会现场

2023 年 10 月 28 日—29 日，由中国自动化学会主办的 2023 国家工业软件大会在浙江湖州盛大召开。大会以“工业软件 · 智造未来”为主题，汇聚了 25 位国内外院士，1500 余位代表与会，共同探讨工业软件领域前沿理论和技术创新应用问题，共同谋划我国工业软件未来发展之道。本届大会由浙江大学和湖州市人民政府主要承办，24 家国家级和省部级重点实验室、工程研究中心和知名自动化科技公司联合承办，24 家国家级和省部级实验室和工程中心联合协办。这是在习近平总书记就推进新型工业化作出重要指示、全国新型工业化推进大会召开后适时举办的一次工业软件领域的高规格产学研用盛会。

中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学教授郑南宁，浙江大学党委书记任少波，湖州市委副书记、市长洪湖鹏分别致辞。同济大学校长郑庆华、省科学技术厅党组书记佟桂莉出席。开幕式由中国工程院院士、中国自动化学会特聘顾问、浙江大学控制科学与工程学院教授孙优贤院士主持。

中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学教授郑南宁在致辞中表示，作为工业世界的神经网络，工业软件不再是单一的工具，而是一个个强大平台，形成了支撑现代工业的生态。新一轮科技革命、产业变革深刻影响着产业生产方式和产业生态，工业软件发挥着举足轻重的作用，改变了世界的发展。2023 国家工业软件大会搭建了交流合作的大平台，期待大家共同探讨工业软件发展前沿和趋势，探索新的研究方向，寻找新的合作机会，共同为我国工业软件行业发展贡献新的力量。

浙江大学党委书记任少波向本次大会的顺利举办表示热烈的祝贺。他表示，培育壮大工业软件是我国主动适应和引领新一轮科技革命与产业变革，坚持走好中国特色新型工业化道路，加快构建现代化产业体系的战略性基础支撑。未来，浙江大学将始终沿着习近平总书记指引的方向，扎根中国大地办大学，加快建设世界一流大学和优秀学科，聚焦工业软件自主研发的国家急迫需求，充分发挥学校多学科综合交

图 2　中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学教授郑南宁致辞

图 3　浙江大学党委书记任少波致辞

叉优势，依托高能级创新平台，提升工业软件人才供给能力，加强战略科学家引领的有组织科研，高水平服务支撑国家新型工业化和现代化产业体系建设。本次大会为提高工业软件领域的协同创新能力，推动科研与产业深度融合搭建了良好的交流平台，期待专家学者们碰撞出更多的思想火花、形成更广泛的共识、取得更丰硕的成果，为我国工业软件自主创新和高质量发展提供更多有益的思路见解。

湖州市委副书记、市长洪湖鹏对与会嘉宾、专家学者的到来表示欢迎，并从人文历史、生态环境、交通区位、营商环境、产业基础等八个方面推介湖州。他说，当前，科技创新已经成为制胜发展的关键变量。本届大会在湖举办，无疑是一种对湖州的信任、厚爱与重托。此次参会嘉宾都是工业软件领域的专家学者和企业精英，不仅引领着新型工业化的潮流，更托举着实业兴邦的重任。真诚希望大家选择湖州、走进湖州，做湖州发展的“最佳合伙人”，在这片创新创业的热土上双向奔赴、彼此成就。

28 日大会报告由中国工程院院士、中国自动化学会副理事长、中南大学教授桂卫华主持。

中国工程院院士、鹏城国家实验室主任、北京大学教授高文在报告中指出，ChatGPT 为代表的 AI 大模型已经对人类经济生

图 4　湖州市委副书记、市长洪湖鹏致辞

图 5　中国工程院院士、中国自动化学会副理事长、中南大学教授桂卫华主持

图 6　中国工程院院士、鹏城国家实验室主任、北京大学教授高文作报告

图 7　中国工程院院士、重庆邮电大学名誉校长邬贺铨作报告

图 8　中国工程院院士、中国自动化学会荣誉理事、东北大学教授柴天佑作报告

活产生了巨大的影响，基于鹏城云脑 II 先进自主 E 级智能算力平台，鹏城实验室训练完成国内首个完全自主可控、安全可控、开源开放的预训练大模型底座——鹏城·脑海，参数级别达到 2000 亿，性能达到国际先进，并且输出内容符合中文核心价值观。作为集成电路设计领域的重要辅助工具，EDA 极大影响着芯片的设计效率和质量。随着通用人工智能技术的发展，AI+EDA 可以通过学习优秀芯片设计经验，提升芯片设计质量和效率，降低芯片设计门槛。鹏城实验室围绕“开源”和“智能”的 EDA 软件，联合中国科学院计算技术研究所和北京大学等国内优势力量，共同构建开源智能 EDA 平台（iEDA），推动智能化芯片设计，助力我国 EDA 算法攻关和芯片技术演进。

中国工程院院士、重庆邮电大学名誉校长邬贺铨作了题为“大模型与小切口”的主旨报告。报告指出，工业互联网由两部分组成，底层是早于工业互联网概念就有的由嵌入式操作系统管理的现场级工控系统，上层是企业级操作系统管理的工业互联网平台及行业应用。工业软件是 AI 大模型赋能工业场景的重要载体，将大模型缩简为 MaaS（模型即服务）模块以小切口方式介入到 PaaS 和 SaaS 间，既丰富了企业级操作系统功能，又降低了中小企业使用大模型的门槛。现场级工控系统是大模型应用的新赛道，但需要以创新来化解实时性和精准性及轻量化的挑战。

中国工程院院士、中国自动化学会荣誉理事、东北大学教授柴天佑的“基于新一代信息技术的工业智能系统及其未来展望”报告分析了工业自动化与信息化系统在工业革命中的作用以及工

图 9　大会现场

图 10　中国工程院院士、中国自动化学会特聘顾问、中国科学院沈阳自动化研究所研究员王天然主持

图 11　中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋作报告

图 12　中国工程院院士、中国自动化学会常务理事、湖南大学教授王耀南作报告

业企业自动化与信息化系统现状和存在的主要问题，提出了工业智能系统的内涵和实现工业智能系统面临的挑战难题，通过将新一代信息技术与复杂工业过程深度融合与协同发展工业智能系统的应用案例，表明新一代信息技术为解决工业智能系统的挑战难题提供了新的途径，最后提出了工业智能系统的研发思路与方法。

29 日大会报告由中国工程院院士、中国自动化学会特聘顾问、中国科学院沈阳自动化研究所研究员王天然主持。

中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋的“流程制造工业软件创新与实践”报告针对我国流程工业高质量发展面临的诸多挑战，从产业链供应链优化和生产制造过程出发，探讨了流程制造工业软件自主创新的思考与实践。报告围绕流程制造智能调控对工业软件自主创新的迫切需求进行分析，提出了工业软件的内涵，提出了流程制造工业软件创新拟解决的前沿科学问题和突破的关键技术，最后，以大型炼化制造过程为例，阐述了流程模拟软件、智能控制软件、实时优化软件、计划调度软件、安环管控软件等创新实践案例。

中国工程院院士、中国自动化学会常务理事、湖南大学教授王耀南的“离散工业制造机器人自动化生产线算法软件”报告指出了离散工业制造机器人自动化生产线算法软件是工业技术生产的核心基础，是工业 4.0 时代下实现制造业转型升级的重要助力，其在高端装备制造、国防军事等领域具有广泛的应用。报告以社会需求和学科特点阐述离散工业制造研究的背景意义与面临的挑战性问题，介绍了目前离散工业制造总体技术路线与关键科学问题，包括中间件技术、工业检测与信息感知、协同作业与自主控制、数字孪生软件系统等方面，最后介绍了离散工业制造的发展趋势与展望。

中国工程院院士、合肥工业大学教授杨善林的“面向高端装备研制的设计制造协同一体化工业软件”报告围绕高端装备研制阶段面临的主要问题、设计制造协同一体化需求、工业软件发展的过程、高端装备设计制造协同一体化工业软件研发的关键发展方向与核心攻关技术等问题开展探讨与交流。报告指出了面向高端装备研制的设计制造协同一体化工业软件是指支持高端装备设计开发、生产制造等研制全过程一体化集成及优化的支撑软件，是制造、信息和管理等技术交叉融合发展的产物，是工业软件的核心组成部分，指出了面向高端装备研制的设计制造协同一体化工业软件是连接数字制造、智能制造、网络制造，实现制造业数字化的基石。

图 13　中国工程院院士、合肥工业大学教授杨善林作报告

图 14　中关村实验室科研总监、奇安信科技集团股份有限公司首席战略官刘勇作报告

图 15　金凯副市长致辞

中关村实验室科研总监、奇安信科技集团股份有限公司首席战略官刘勇的“以‘零事故’为标准，推动工业互联网软件安全体系发展”报告分析了工业软件安全的六方面趋势，包括生产和安全的平衡难以保障、资产的暴露面增加了软件风险的释放、软件漏洞成为重大隐患、勒索攻击带来更加严重的损失、软件供应链成为攻击的新目标、物理隔离的安全方式已经失效，提出了我国工业软件安全的六大风险，包括设计环节、工业软件供应链管理问题、漏洞的风险、人员行为的风险、安全设备为了维护和支持工业软件的安全、安全处置，分析了工业软件安全亟待解决的六大问题，最后结合冬奥“零事故”的经验，分享了对工业软件安全的工作体会。

大会还将围绕设计开发类、生产控制类、运行管理类等专题，开展了 7 个专题论坛，为我国推进工业软件发展出谋划策。同期，大会还特设工业软件展厅，集中展示一大批核心工业软件产品。

大会闭幕式在太湖龙之梦瑞峰国际大酒店天河厅举办，由中国科学院院士、中国自动化学会会士、哈尔滨工业大学、南方科技大学教授段广仁主持。大会主席、中国自动化学会特聘顾问、浙江大学控制科学与工程学院教授孙优贤院士，中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋，中国工程院院士、中国自动化学会副理事长、自主智能无人系统全国重点实验室主任陈杰，中国工程院院士、中国自动化学会常务理事、湖南大学教授王耀南，加拿大滑铁卢大学教授沈学民院士，香港中文大学（深圳）讲座教授崔曙光院士，湖州市人民政府副市长金凯出席会议。

金凯副市长在致辞中，代表湖州市人民政府对大会的成功举办表示热烈的祝贺。他指出，本次大会的召开定能极大地促进和推动湖州的科创能级，赋能湖州的高质量发展，也将对湖州下一步高质量发展的路径选择提供重要的支撑。他表示，希望未来国家工业软件大会能再次回到湖州召开，并欢迎所有院士专家和参会代表届时回到湖州参会。

中国工程院院士、中国自动化学会特聘顾问、第九届理事长、浙江大学教授孙优贤作总结发言。他向省、市、区、县各级领导，两院院士和外籍院士，工控领域企业的领导和工程技术人员，高校、研究院所、自动化企业的领导、专家、师生，以及大会志愿者、媒体和全体工作人员表示感谢。他指出，本次大会是自动化领域参会类型最多，工厂、企业代表参会人数最多，企业董事长、

图 16　中国工程院院士、中国自动化学会特聘顾问、第九届理事长、浙江大学教授孙优贤作总结发言

总经理、总工程师等高层管理者人数最多的大会。本次大会为工厂企业等用户单位，高等学校、科研院所、自动化企业等开发单位，搭建了非常好的交流合作平台。希望所有与会人员将大会上的成果和经验运用到实际工作中，加强核心技术自主创新，推动我国早日从世界制造大国走向世界制造强国。

随后，中国自动化学会副理事长王成红为 25 家承办单位和 24 家协办单位颁发了致谢牌。

闭幕式上还举行了主要承办单位交接仪式。浙江大学控制科学与工程学院党委书记邵之江教授作为首届大会主要承办单位代表将 NISC 杯交接给第二届大会主要承办单位代表中国自动化学会理事、华东理工大学教授、研究生院院长、华东理工大学国家流程制造智能调控技术创新中心主任杜文莉。

中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋代表第二届国家工业软件大会的主要承办单位发言。他指出，首届会议已为国内工业软件发展的总体框架、核心方向和产业生态链等奠定了坚实基础，明年的第二届会议将继续走深走实，面向各行业产业领域关键急需等软件需求，加强在细分领域产品、开源平台软件以及共性算法等交流沟通。他诚挚地邀请、热烈欢迎各位院士、专家、领导和同仁明年莅临上海共话“AI For Engineering”、共谋“工业软件赋能新型工业化”。

工业软件正在成为工业智能制造的核心，被誉为国之重器，是产业基础能力、制造业优化升级的重要组成部分，同时也是数字化转型的基础和关键技术，对于提高生产效率、优化产品质量、实现智能制造具有不可替代的作用。我们要继续深化学术研究，推动工业软件的技术进步和创新发展；我们要加强产学研合作，促进工业软件技术的转化和产业化；我们要积极引导政府政策，优化创新环境，为工业软件的发展提供更好的支持和保障。相信本次大会的成功召开能够进一步推动工业软件在中国的创新与发展，为扎实推进新型工业化汇聚起强大力量。

图 17　交接仪式

图 18　中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋代表第二届国家工业软件大会的主要承办单位发言

智能涌现　生成未来——第二十五届中国科协年会通用人工智能产业创新发展论坛在合肥成功召开

图 1　会议现场

2023 年 10 月 20—21 日，以“智能涌现 生成未来”为主题的第二十五届中国科协年会通用人工智能产业创新发展论坛在安徽省合肥市成功召开。本次论坛由中国科学技术协会、安徽省人民政府主办，中国自动化学会承办，中国电子学会、中国颗粒学会、中国指挥与控制学会、安徽省人工智能产业推进组工作专班办公室（省科技厅）协办，论坛得到了中国科学技术大学、安徽大学、合肥工业大学、安徽省自动化学会的共同支持。论坛通过线上、线下相结合的形式召开，来自相关部门的领导、各高校、科研院所、企业等共计 200 余人现场参会，13 万余人次线上观看。

出席论坛的嘉宾有中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学教授郑南宁，中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋，中国科协党组成员、书记处书记王进展，安徽省政协党组成员、副主席孙云飞，安徽省科学技术厅党组书记吴劲松，欧洲科学院院士、中国自动化学会副理事长、华南理工大学教授陈俊龙，国际欧亚科学院院士、华为云人工智能领域首席科学家田奇，科大讯飞副总裁、研究院院长刘聪，中国自动化学会秘书长张楠，中国自动化学会副秘书长、安徽大学副校长孙长银，中国自动化学会副秘书长、西安交通大学教授辛景民，中国自动化学会副秘书长王坛等。

论坛由中国自动学会副理事长、青岛科技大学副校长、上海交通大学教授李少远主持。

在开幕式环节中，中国科协党组成员、书记处书记王进展致辞，他表示，第二十五届中国科协年会设置通用人工智能产业创新发展论坛是贯彻习近平总书记

图 2　中国自动学会副理事长、青岛科技大学副校长、上海交通大学教授李少远主持

图 3　中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学教授郑南宁致辞

图 4　中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋作报告

重要指示和创新精神的一大举措，并就通用技术产业提出了三点建议：一是加快关键核心技术突破，推进产学研用深度融合，不断提高核心算法、模型和技术水平，更好地服务经济建设和社会发展；二是以场景牵引技术应用落地，构建更加开放的产业生态；三是积极推进人工智能治理，以科技向善增进民生福祉。

中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学教授郑南宁在致辞中表示，我们追求的人工智能，会像人类一样有思维和行动，意味着不仅能解决复杂问题，更重要的是在复杂、动态、不确定的环境和物理世界中进行交互。目前来说，我们还有很长一段路要走。ChatGPT 在技术上发展把人工智能领入了一个新阶段，带来的不仅是技术进步，更重要的是人才需求。一项技术能够为人类带来颠覆性变化的，需要有一流的科学、一批卓越的工程师和充足的经费。我们应当对学者、企业和政府有足够的耐心，唯有这样中国的人工智能才会走向世界的引领地位。

安徽省政协党组成员、副主席孙云飞在致辞中强调，安徽省人工智能发展指数位居全国第六，正处于厚积薄发、大有可为的上升期和关键期。今年 8 月和 10 月，安徽省出台了若干政策和行动，推动安徽通用人工智能产业创新发展。当前安徽正加快建设自力自强的科技强省，诚挚邀请各位嘉宾在安徽能多走走、多看看，寻找更多的交流合作的机会，安徽将不断优化科技创新生态，做好大家的服务员和保障员，真诚欢迎大家把好的项目、好的产品能够落地安徽开花结果，互利双赢，共同推动通用人工智能产业能够创新发展。

在主旨报告环节，中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋带来论坛第一场报告——“工业智能与智能系统前沿”。报告聚焦工业智能与智能系统前沿，探讨了人工智能赋能制造业的关键科学问题和重点推进内容，指出人工智能作为制造业数字化转型的新生产工具，正催生 AI for Engineering 这一工程研发新范式。同时进一步探讨了工业智能的内涵，并提出了工业智能前沿研究的重点内容和总体目标，即：从信息感知本质、信息理解深度和系统行为决策出发，开展跨时空感知与统一表征、多模态信息可解释泛化认知和人机共融决策与动态博弈的基础理论与关键技术研究，实现制造过程高端化、绿色化、智能化运行。

欧洲科学院院士、中国自动化学会副理事长、华南理工大学教授陈俊龙分享了题为”人工智

图 5　欧洲科学院院士、中国自动化学会副理事长、华南理工大学教授陈俊龙作报告

图 6　科大讯飞副总裁、研究院院长刘聪作报告

能的发展趋势与 AIGC 应用的探讨“的主旨报告。报告详细介绍了最近兴起的 AIGC/GPT 系列的人机交互软件机器人的实例。指出目前人工智能的三算（算法、算力、数据）与场景已成为数字经济发展的核心能力之一，是推动数字经济建设、激发数据要素创新活力、加速数字产业化和产业数字化进程的重要力量，重点探讨最近爆红的 AIGC 方面的应用。

科大讯飞副总裁、研究院院长刘聪带来了题为”拥抱通用人工智能新时代“的主旨报告。报告阐释了认知智能大模型技术阶跃对行业的变革式影响，剖析认知智能大模型技术原理，提炼其智能涌现的技术启示以及未来仍需继续攻克的难题。分享了科大讯飞通过大模型在各千行百业落地应用的创新产品及价值体现，总结经验与方法论，为进一步加快通用人工智能产业发展建言献策，推动人工智能技术落地应用。

中国科学院自动化研究所“紫东太初”大模型研究中心常务副主任、武汉人工智能研究院院长王金桥作了题为”视觉大模型的实践与思考“的主旨报告。报告指出，随着自监督学习的预训练模型爆发式发展，以 chatgpt 为代表的语言预训练大模型取得了显著的进步，但是视觉的多任务统一模型存在很多问题丞待解决，报告基于多任务统一学习的视觉自监督预训练大模型学习机制和训练方法，探索了自回归和重建损失的联合优化方法；提出了面向通用物体分割的 FastSAM 的高效方法。

图 7　中国科学院自动化研究所“紫东太初”大模型研究中心常务副主任、武汉人工智能研究院院长王金桥作报告

图 8　复旦大学研究员程远作报告

复旦大学研究员程远分享了题为“复旦大学 CFFF 科研智算平台助力科研创新”的主旨报告。报告重点介绍了复旦大学 CFFF 科研智算平台具体情况，以及通过 CFFF 赋能交叉学科研究方面的典型案例。

为推动科技创新和经济社会发展深度融合，积极响应中国科协“科创中国”品牌活动，中国自动化学会组建产业科技服务团，着力攻克关键核心技术，促进产学深度融合，为把我国建设成为世界科技强国做出新的更大的贡献。本次论坛上，中国自动化学会与科大讯飞签署了战略合作协议，共同探索建立合作机制，促进科技成果转化，推动科技进步与创新驱动发展。

本次论坛组织召开了两场主题为“大模型与生成式人工智能”和“人机混合增强智能”的专题论坛，多位专家学者围绕大语言模型的产学研现状、通用人工智能的发展路径等话题畅所欲言，为我国推进通用人工智能发展出谋划策。为推动科技创新和科技成果落地转化，论坛还安排了一场项目成果路演，与会专家围绕“纺织鞋服无人化工厂的实现及其关键技术”、“园区安全风险评估与智慧管控系统关键技术及应用”、“AI+ 机器人构建智慧医院数字底座”、“产业应用型人工智能人才培养的新模式探索与实践”和“算力内生网络实现通信与算力一体融合”进行了深入交流，探讨了产业发展趋势，拓宽了产品创新思路，促进了学术成果产业化合作，赋能企业创新发展。

第二十五届中国科协年会通用人工智能创新发展论坛旨在贯彻落实中共中央政治局会议“要重视通用人工智能发展，营造创新生态，重视防范风险”会议精神，抢抓大模型发展机遇，进一步加快人工智能技术落地应用，高质量打造以大数据为驱动的人工智能通用技术产业链，推动安徽通用人工智能领域实现创新引领，助力安徽建设具有影响力的人工智能研发与产业高地。

学会秘书处　供稿

图 9　签约仪式

2023 年第三期 CAA“企 · 话”沙龙

——通用人工智能机遇与挑战在合肥成功召开

2023 年初，以 ChatGPT 为代表的生成式人工智能引发广泛关注，人工智能正在从专用智能迈向通用智能，进入了全新的发展阶段。通用人工智能的发展引领了新一代的产业变革，但人工智能在迅速发展的同时，也不可避免带来安全风险、道德和伦理困惑等，如何规范其应用、避免技术失控将成为行业持续关注的问题。

在此背景下，中国自动化学会于 2023 年 10 月 20 日在合肥主办了第三期 CAA“企 · 话”沙龙——通用人工智能机遇与挑战。来自高校和企业的代表们齐聚一堂，共同交流通用人工智能发展现状、未来趋势、面临的困境以及对策建议，为我国人工智能健康有序发展提供重要支撑。

本次沙龙邀请到中国工程院院士，中国自动化学会理事长、西安交通大学教授郑南宁，中国工程院院士、中国自动化学会监事、华东理工大学教授钱锋，欧洲科学院院士，中国自动化学会副理事长、华南理工大学教授陈俊龙，安徽省科技厅人工智能“双招双引”专班工作组副组长吴锐，中国自动化学会秘书长张楠，中国自动化学会副秘书长、安徽大学副校长、东南大学教授孙长银，中国自动化学会副秘书长，西安交通大学教授辛景民，中国自动化学会副秘书长王坛，科大讯飞股份有限公司副总裁、研究院院长刘聪，科大讯飞股份有限公司研究院副院长王士进，中科院自动化所“紫东太初”大模型研究中心常务副主任、武汉人工智能研究院院长王金桥，中国科学技术大学教授赵云波，中科星图集团高级副总裁、星图地球首席科学家唐德可，中科深谷集团创始人、董事长陈锋，合肥工业大学博士、安徽省自动化学会秘书长李鑫，中科院合肥创新院阿拉丁智能创始人何孝珍，京东探索研究院科学家薛超，合肥中科类脑智能技术有限公司刘海峰，南开大学新一代人工智能发展战略研究院讲师刘捷等共计 20 余人参会。

图 1　会议现场

沙龙由中国自动化学会副理事长、青岛科技大学副校长、上海交通大学教授李少远主持。

会上，与会嘉宾围绕当前通用人工智能发展面临的关键技术

难题、大模型应用的场景挖掘及应用以及如何有效防范人工智能带来的知识产权、科技伦理风险等议题进行了深度交流和探讨，同时各自企业根据在人工智能领域的探索和实践情况，分享经验、交换意见。

钱锋院士指出，人工智能在制造业中的应用已经成为一个热门话题，通过将人工智能技术与制造业相结合，可以提高生产效率、降低成本、提高产品质量，同时也可以推动制造业的数字化转型和绿色转型。

陈俊龙院士指出，通用人工智能在工程和行业方面的应用前景是广阔的，然而现在国内批准的通用人工大模型几乎是同一类型，还没有看到通用人工智能的真正用处。提出了将生成式大模型和专用行业大模型结合起来的思路，将其应用到真正具有生产价值的方面，行业未来要更加专注于做专用专业大模型。

针对人工智能和机器人技术的发展，孙长银教授表示，两者的并行融合要考虑技术瓶颈、伦理问题、安全问题等因素。任何高新技术的发展都必定经历一个漫长的过程，要进行不断的研究、探索和创新。同时需要认真考虑技术的可行性、伦理和安全等问题，以确保技术的发展能够真正为人类带来福祉。

当前，安徽正积极抢抓认知智能大模型突破的重大机遇，推进研发攻关、产品应用和产业培育，着力构建开放、创新、活跃的通用人工智能发展生态。吴锐组长表示，安徽省高度重视通用人工智能的发展，介绍了安徽省在通用人工智能方面的发展情况和政策。目前已通过模型的迭代升级、产业生态的建设和专项资金的设立，助力企业紧紧抓住通用人工智能的机会。

此次沙龙还邀请了全国在大模型方面具有代表性的专家以及安徽当地企业代表。

王金桥院长从三点表达了自己的看法，首先，端到端的自动驾驶研究方向是非常有前途的，通过对系统研究和优化，提升自动驾驶的安全性和效率。但是，在实际应用中，需要用更加谨慎的态度对待大模型的决策和控制，以确保安全性。其次，要运用好大模型中的知识表达，让大模型更好地理解和处理各种复杂情况。最后，随着对车载端的计算资源要求越来越高，要不断提升计算资源的性能和承载能力，以满足实际应用的需求。

刘聪副总裁谈到，通用人工智能在发展过程中面临了很多挑战。包括技术本身的挑战，如底座的建设、模型的大小和训练、国产化等问题，如何更好地将通用人工智能与行业相结合，以提高实际应用的效果，对于企业来说至关重要。目前通用人工智能的发展需要不断的研究和探索，需要各行业的共同努力和合作，才能实现更好的应用和发展。

为了能够促进产业的正向循环，唐德可副总裁认为，可以通过通用人工智能和专用人工智能之间的结合来实现，这样不仅可以进一步降低产品的使用门槛，还可使用户体验更加人性化。通用人工智能的研发是一个寡头游戏，可能会出现一些巨头或行业统一的标准规范，这对于整个产业的发展来说，将是一个非常重要的方向。

郑南宁院士在最后总结中表示，通用人工智能需要具备记忆、适应、学习、学习的学习能力和自我意识生存等基本因素，但目

图 2　郑南宁院士作总结

图 3　参会代表合影

前还没有找到一条实现通用人工智能的路径。大模型的涌现能力依赖于数据、分层结构和网络结构自身的特点，要深刻理解应用反哺研究的重要性。同时指出优秀科学家、工程师和充足的经费对于发展颠覆性技术意义重大，科研工作者需要有足够的耐心和深刻的思考；从大学教育方面来说，人工智能教育领域需要不断更新课程体系以适应快速发展的新技术。

此次沙龙活动，不仅深入探讨了通用人工智能以及未来发展等问题，也为与会企业家开启了利用人工智能大模型深化企业转型升级的新思路，提供了多方资源深度合作的新方向。在为推动通用人工智能发展出谋划策的同时，学会也聆听到企业心声，未来学会将积极推动人工智能技术赋能传统产业升级，嵌入实体经济实现高质量发展，促进社会有序运行。同时有针对性的在科技成果转化合作、资源对接等方面提供更多更优质的交流平台，帮助企业解决创新发展过程中遇到的实际问题，不断提升发展韧劲和核心竞争力。我们诚邀更多的行业企业积极参与到 CAA“企·话”沙龙活动中来！

学会秘书处　供稿

喜报 XI BAO

中国自动化学会医疗机器人、能源互联网决策咨询专家团队获批成立！

为深入学习贯彻党的二十大精神，全面落实中国科协 2023 年工作要点，加快建设国家高端科技智库，加强决策咨询战略人才队伍建设，中国自动化学会严格落实《中国科协办公厅关于建立完善决策咨询专家团队的通知》（科协办函智字〔2022〕49 号）要求，于 2022 年成为中国科协首批决策咨询专家团队建设试点单位，成功组建中国自动化学会智能制造、智慧教育、工控安全等三支决策咨询专家团队，并取得良好成效。

在总结试点工作经验基础上，2023 年中国自动化学会根据中国科协要求，进一步加大决策咨询专家团队建设力度，重点聚焦人工智能、机器人、能源互联网等新兴产业及领域组建决策咨询团队。由中国自动化学会副理事长、中国科学院自动化研究所研究员侯增广担任首席专家的医疗机器人决策咨询团队和由中国自动化学会能源互联网专业委员会秘书长、沈阳工业大学副校长孙秋野担任首席专家的能源互联网决策咨询专家团队正式获批！

详情请查看：http://www.caa.org.cn/article/191/4190.html

中国自动化学会秘书长张楠受邀参加全国学会新任秘书长专业化职业化建设研修活动并作专题报告

为落实中国科协年度重点工作部署要求，提升全国学会秘书长的政治素养和专业能力，积极推动全国学会专业化职业化建设，2023 年 10 月 19 日，全国学会新任秘书长专业化职业化建设研修活动在京举办。来自全国学会、协会、研究会的秘书长齐聚一堂，共谋秘书长职业能力提升。

在专题报告环节，中国自动化学会秘书长张楠以“自驱与凝聚——科技服务组织社会化运营的探索”为题，从中国自动化学会工作实践出发，介绍了学会在科技服务组织社会化运营方面的具体举措和最新探索。具体包括以人为本，将人才服务具体落到实处，切实增强组织凝聚力；以品牌凝聚人才，线上线下全面联动；通过多元化的渠道开展活动，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；打造政产学研用交流平台，助力国产自动化自立自强；坚持开放合作，自信传递中国声音，讲述中国故事，树立起我国自动化科技界的良好形象。

关于今后建设科技服务组织社会化的运营目标，张楠秘书长表示，中国自动化学会将坚持目标牵引与需求导向相结合，进一步拓展组织覆盖面，扎实履行桥梁纽带职责，要着眼服务资源下沉和服务能力提升，构建专业化、社会化、网络化的科技服务组织；搭建多层次交流平台，带领广大科技工作者在服务新发展格局、促进科技经济深度融合发展的进程中建功立业，不断提升“四服务”效能。

学会秘书处　供稿

张楠秘书长作报告

CAA 北京理工大学学生分会成立大会在京召开

青年科技人才是我国科技事业发展的中坚力量。为响应习近平总书记在中央人才工作会议上提出的“造就规模宏大的青年科技人才队伍”理念，培养更多具有战略科学家潜质的高层次复合型人才，形成战略科学家成长梯队，中国自动化学会积极响应国家号召，将学会培育青年人才的责任工作拓宽下沉，在全国高校试点成立学生分会。

中国自动化学会北京理工大学学生分会成立大会暨“强青育优”专题论坛于 2023 年 10 月 14 日上午在北京理工大学中关村校区研究生教学楼召开。中国自动化学会副理事长王成红，中国自动化学会秘书长张楠、副秘书长王坛，北京工业大学研究生院副院长韩红桂，中国自动化学会理事、中国科学院自动化研究所研究员魏庆来，中国自动化学会副秘书长、北京理工大学研究生院常务副院长邓方，北京理工大学自动化学院院长夏元清，北京理工大学自动化学院副院长孙健，北京理工大学睿信书院副院长王博，北京理工大学自动化学院党委副书记、副院长史大威以及自动化行业专家学者出席本次会议。

会议伊始，北京理工大学自动化学院院长夏元清致开幕辞，向与会嘉宾介绍了自动化学院的悠久历史以及育人成果。他表示，自动化学院扎根中国大地，瞄准世界一流，CAA 北京理工大学学生分会的创立，定将为优秀创新型青年人才的培育作出更大的贡献。中国自动化学会副理事长王成红致辞，强调了中国自动化学会成立学生分会的初衷，期望 CAA 北京理工大学学生分会履行

成立大会合影留念

职责，鼓励学生会员积极投身自动化领域的研究，为自动化学科发展作出贡献。中国自动化学会秘书长张楠宣读《关于同意CAA北京理工大学学生分会召开成立大会的批复》。中国自动化学会副秘书长、北京理工大学研究生院常务副院长邓方发表致辞，就北京理工大学研究生培养成效以及培养理念向参会嘉宾进行介绍，并对CAA北京理工大学学生分会的发展给予厚望。

根据CAA北京理工大学学生分会第一届执行委员会选举办法，在充分了解候选人信息的基础上，经过公开透明的投票和严格的计票程序，本次选举产生了第一届CAA北京理工大学学生分会执行委员会成员。

计票结束后，主持人宣读选举结果，孙健宣读CAA北京理工大学学生分会指导委员会和执行委员会名单。

选举结束后，张楠、夏元清进行授牌、授旗仪式。张楠为CAA北京理工大学学生分会指导委员会与执行委员会成员颁发聘书。

随后，第一届CAA北京理工大学学生分会主席韩宁进行就职宣誓。候任主席亢健慧致闭幕辞，对与会嘉宾的到来表达敬意，对中国自动化学会和北京理工大学的支持表示感谢，并表示未来工作中CAA北京理工大学学生分会将致力国家自动化领域事业的发展，为全校学生会员搭建青年学生交流、学习、成长、展现自我的平台。至此，本次大会圆满闭幕，CAA北京理工大学学生分会正式成立。

CAA北京理工大学学生分会是全国首批成立的高校学生分会，被中国自动化学会寄予厚望。未来，CAA北京理工大学学生分会将在中国自动化学会和北京理工大学的支持下，积极开展学术交流，营造良好的科研氛围，进而激发同学的科研灵感，推动自动化学科的发展。

表1　CAA北京理工大学学生分会指导委员会名单

任职	姓名	单位	职称 / 职务
顾问	史大威	北京理工大学自动化学院	教授 / 院党委副书记、副院长
顾问	岳裕丰	北京理工大学自动化学院	准聘教授
顾问	付海岭	北京理工大学自动化学院	准聘教授
顾问	高瑞欣	北京理工大学自动化学院	院团委书记
顾问	靳鹏飞	北京理工大学自动化学院	辅导员

表2　CAA北京理工大学学生分会第一届执行委员会名单

任职	姓名	单位	年级
当任主席	韩宁	北京理工大学自动化学院	2021级硕士研究生
候任主席	亢健慧	北京理工大学自动化学院	2023级博士研究生
执委	许能伟	北京理工大学自动化学院	2022级硕士研究生
执委	张庭翔	北京理工大学自动化学院	2022级硕士研究生
执委	李虹增	北京理工大学自动化学院	2023级硕士研究生

CAA北京理工大学学生分会　供稿

CAA 浙江工业大学学生分会成立大会成功召开

青年科技人才是我国科技事业发展的中坚力量。习近平总书记在中央人才工作会议上指出“要造就规模宏大的青年科技人才队伍，支持青年人才挑大梁、当主角”。中国自动化学会积极响应国家号召，将学会培育青年人才的责任工作拓宽下沉，在全国高校试点成立学生分会。

2023 年 10 月 26 日下午，CAA 浙江工业大学学生分会成立大会在浙江工业大学屏峰校区艺术楼报告厅顺利召开。本次会议由中国自动化学会主办，浙江工业大学承办。中国工程院院士、中国自动化学会副理事长、中南大学教授桂卫华，中国自动化学会副理事长王成红，中国自动化学会副秘书长浙江工业大学副校长陈积明，浙江工业大学信息工程学院院长张文安出席本次会议。会议由浙江工业大学教授陈博和陈强主持。

会议伊始，中国自动化学会副秘书长、浙江工业大学副校长陈积明致开幕辞，他表示，浙江工业大学信息工程学院扎根中国大地，瞄准世界一流，浙江工业大学学生分会的创立，定会为优秀创新型青年人才的培育作出更大的贡献。中国工程院院士、中国自动化学会副理事长桂卫华致辞，强调了中国自动化学会学生分会旨在促进自动化科学和技术领域的学术交流、教育、职业发展和合作，期望 CAA 浙江工业大学学生分会将为同学们提供一个丰富多彩的学术和社交平台，帮助大家更好地成长和发展。浙江工业大学信息工程学院院长张文安发表致辞，向与会嘉宾介绍了信息工程学院的悠久历史以及育人成果，并对 CAA 浙江工业大学学生分会的发展给予厚望。

根据 CAA 浙江工业大学学生分会第一届执行委员会选举办法，在充分了解候选人信息的基础上，经过公开透明的投票和严格的计票程序，本次选举产生了第一届 CAA 浙江工业大学学生分会执行委员会成员。统票结束后，浙江

成立大会合影留念

工业大学信息工程学院院长张文安宣读 CAA 浙江工业大学学生分会指导委员会与执行委员会名单。

随后，中国自动化学会副理事长王成红向浙江工业大学信息工程学院院长张文安授予会牌、会旗，并为 CAA 浙江工业大学学生分会第一届指导委员会与执行委员会成员颁发聘书。

第一届 CAA 浙江工业大学学生分会主席沈怡俊进行就职宣誓。浙江工业大学教授陈博致闭幕辞，对与会嘉宾的到来表示感谢与祝福，对中国自动化学会和浙江工业大学的支持表示感谢，并表示在未来工作中 CAA 浙江工业大学学生分会将会鼓励学会会员积极投身自动化领域的研究与应用，履行职责，致力推动自动化学科发展、助力科技事业。

CAA 浙江工业大学学生分会是全国首批成立的高校学生分会，被中国自动化学会寄予厚望。未来，CAA 浙江工业大学学生分会将在中国自动化学会和浙江工业大学的支持下，积极开展学术交流，成为学生们学业和科研的助推器，做好青年学子与总会的桥梁，为大家提供更多的学习资源、科研支持和职业发展机会。至此，此次大会圆满闭幕，CAA 浙江工业大学学生分会正式成立。

表 1　CAA 浙江工业大学学生分会指导委员会名单

任职	姓名	单位	职称 / 职务
顾问	陈　强	浙江工业大学信息工程学院	教授
顾问	陈　博	浙江工业大学信息工程学院	教授
顾问	姜倩茹	浙江工业大学信息工程学院	辅导员

表 2　CAA 浙江工业大学学生分会第一届执行委员会名单

任职	姓名	单位	年级
当任主席	沈怡俊	浙江工业大学信息工程学院	博 2021 级
候任主席	李义甲	浙江工业大学信息工程学院	博 2023 级
执委	李亚倩	浙江工业大学信息工程学院	研 2021 级
执委	毛安杰	浙江工业大学信息工程学院	研 2022 级
执委	江　悦	浙江工业大学信息工程学院	本 2020 级

CAA 浙江工业大学学生分会　供稿

CAA 重庆大学学生分会成功举办“智慧交通与智能控制”暨自动化学院第二届博士生论坛

为促进高校博士生的学术交流和思想碰撞，推进科研创新，促进人才培养，CAA 重庆大学学生分会依托重庆大学自动化学院，联合自动化学院研究团队共同开展博士生论坛。2023 年 10 月 14 日，“智慧交通与智能控制”研讨会暨重庆大学自动化学院第二届博士生论坛在虎溪校区信息技术科研楼 A316 会议室成功举办。论坛包括“特邀专家讲座”和“博士生报告”两部分，分别由自动化学院孙棣华教授和赵敏教授主持。此次论坛邀请 5 位智慧交通与智能控制领域的国家级青年人才受邀作系列讲座，5 位自动化学院博士生作学术报告。本届论坛采用线上线下同步进行的方式，线上吸引了 8000 多人参与论坛。

自动化学院院长苏晓杰为此次论坛做开幕词，对各位专家的莅临表示欢迎和感谢，并预祝论坛顺利举行。在“特邀专家讲座”中，各位专家从不同角度出发，从理论到实践，从宏观到微观，探讨了智慧交通与智能控制领域的前沿知识和实用技术。北京航空航天大学田大新教授就自主智能临地载具的研究思路和关键核心技术做出了深入的探讨和分析，展示了团队在自主智能临地载具系统装备和样机的集成研发、测试验证以及示范应用方面的最新进展；东北大学郭戈教授针对 AI 赋能的网联共享交通出行，就车联网中的车辆通信调度、车辆行车间距和行车路径动态优化设定、车辆队列的协同行驶控制等方面的问题及其解决方案进行了系统的介绍与分析；西北工业大学刘准钆教授详细介绍了先验知识匮乏下 SAR 目标检测、多模态融合开集目标识别、模型与数据联合驱动空中高机动目标跟踪以及不确定环境下目标意图鲁棒推理等方法，并探讨了智能目标认知面临的若干前沿问题；北京航空航天大学董希旺教授分别介绍了集群系统协同控制中的分布式时变编队控制技术与编队跟踪控制技术及编队－合围控制技术，并演示验证了提出技术的有效性；浙江大学朱政研究员分享了团队在网约车、共享单车系统时空运营优化研究中建

图 1　参会代表合影

图 2　专题报告

立马尔可夫决策过程的思路与经验，并探讨了共享出行系统马尔可夫性及建模取舍。

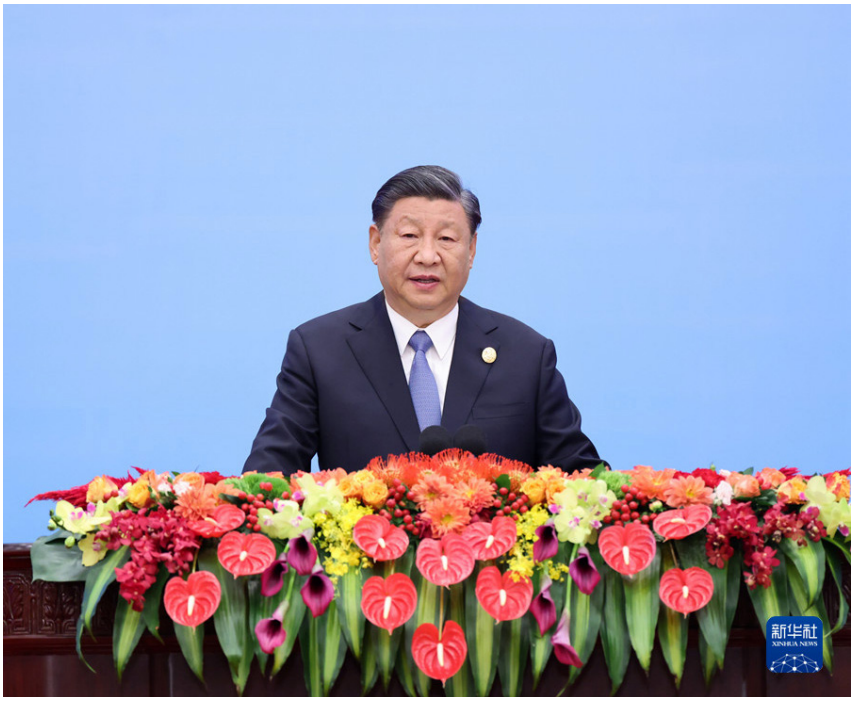
在“博士生报告”中，以周瀚等为代表的 5 位自动化学院博士生分别就故障诊断、运动跟踪控制、多模态行人重识别方法、间歇故障检测与识别方法、混合交通建模与控制策略等方面所取得的进展及其应用现状进行了深层次、多角度、全方位的交流和探讨。与会专家分别进行了深入剖析和点评，并对其研究中遇到的问题、方法与技巧、理论等多个方面针对性地提出了许多启发性的新思路、新方法、新手段。其间，博士生们独立思考、积极提问和交流思想、探寻研究经验，会议现场气氛热烈活跃，进一步激发了大家的学术灵感。

议程结束后，赵敏对论坛全程进行总结，并对各位专家表示真诚的感谢，她希望广大博士研究生要结合专家提出的问题，进行深入的思考，进一步完善研究工作，创造更多的新成果、新思路和新应用。本次论坛紧紧围绕智慧交通与智能控制领域关键学术问题，总结和交流了与会专家各自的最新研究进展和成果，展望了未来的发展方向，通过思想的相互碰撞与融合，帮助我校博士生了解了学术前沿动态，开阔了他们的学术视野，巩固了他们的学术基础，激发了他们的学术热情，提升了他们的创新能力，更为我校博士生探讨新思想、交流新技术、分享新成果提供了一个良好的平台，为我校博士生高质量发展再添新助力！

CAA 重庆大学学生分会　供稿

建设开放包容、互联互通、共同发展的世界

——在第三届“一带一路”国际合作高峰论坛开幕式上的主旨演讲



今年是我提出共建“一带一路”倡议 10 周年。提出这一倡议的初心，是借鉴古丝绸之路，以互联互通为主线，同各国加强政策沟通、设施联通、贸易畅通、资金融通、民心相通，为世界经济增长注入新动能，为全球发展开辟新空间，为国际经济合作打造新平台。

10 年来，我们坚守初心、携手同行，推动“一带一路”国际合作从无到有，蓬勃发展，取得丰硕成果。

“一带一路”合作从亚欧大陆延伸到非洲和拉美，150 多个国家、30 多个国际组织签署共建“一带一路”合作文件，举办 3 届“一带一路”国际合作高峰论坛，成立了 20 多个专业领域多边合作平台。

“一带一路”合作从“大写意”进入“工笔画”阶段，把规划图转化为实景图，一大批标志性项目和惠民生的“小而美”项目落地生根。

“一带一路”合作从硬联通扩展到软联通。共商共建共享、开放绿色廉洁、高标准惠民生可持续，成为高质量共建“一带一路”的重要指导原则。

10 年来，我们致力于构建以经济走廊为引领，以大通道和信息高速公路为骨架，以铁路、公路、机场、港口、管网为依托，涵盖陆、海、天、网的全球互联互通网络，有效促进了各国商品、资金、技术、人员的大流通，推动绵亘千年的古丝绸之路在新时代焕发新活力。

奔行在铁路上的列车，驰骋在公路上的汽车，联通各国的空中航班，劈波斩浪的货轮，快捷方便的数字电商，成为新时代国际贸易的驼铃、帆影。

一座座水电站、风电站、光伏电站，一条条输油、输气管道，越来越智能通达的输电网络，让能源短缺不再是发展的瓶颈，让发展中国家绿色低碳发展的梦想得以点亮，成为新时代可持续发展的绿洲、灯塔。

现代化的机场和码头，通畅

的道路，拔地而起的经贸产业合作园区，催生新的经济走廊，激发新的增长动力，成为新时代的商贸大道、驿站。

精彩纷呈的文化年、艺术节、博览会、展览会，独具特色的鲁班工坊、“丝路一家亲”、“光明行”等人文交流项目，不断深化的民间组织、智库、媒体、青年交流，奏响新时代的丝路乐章。

新冠疫情暴发后，“一带一路”成为生命之路和健康之路。中国向各国提供了上百亿个口罩和 23 亿剂疫苗，同 20 多个国家合作生产疫苗，为共建“一带一路”合作伙伴抗击疫情作出独特贡献。中国在疫情最严峻的时候也得到 70 多个国家的宝贵支持。

共建“一带一路”坚持共商共建共享，跨越不同文明、文化、社会制度、发展阶段差异，开辟了各国交往的新路径，搭建起国际合作的新框架，汇集着人类共同发展的最大公约数。

女士们、先生们、朋友们!

过去 10 年取得的成绩弥足珍贵，经验值得总结。

我们深刻认识到，人类是相互依存的命运共同体。世界好，中国才会好；中国好，世界会更好。通过共建“一带一路”，中国对外开放的大门越开越大，内陆地区从“后卫”变成“前锋”，沿海地区开放发展更上一层楼，中国市场同世界市场的联系更加紧密。中国已经是 140 多个国家和地区的主要贸易伙伴，是越来越多国家的主要投资来源国。无论是中国对外投资，还是外国对华投资，都彰显了友谊和合作，体现着信心和希望。

我们深刻认识到，只有合作共赢才能办成事、办好事、办大事。只要各国有合作的愿望、协调的行动，天堑可以变通途，“陆锁国”可以变成“陆联国”，发展的洼地可以变成繁荣的高地。经济发展快一些的国家，要拉一把暂时走在后面的伙伴。只要大家把彼此视为朋友和伙伴，相互尊重、相互支持、相互成就，赠人玫瑰则手有余香，成就别人也是帮助自己。把别人的发展视为威胁，把经济相互依存视为风险，不会让自己生活得更好、发展得更快。

我们深刻认识到，和平合作、开放包容、互学互鉴、互利共赢的丝路精神，是共建“一带一路”最重要的力量源泉。我曾经讲过，古丝绸之路之所以名垂青史，靠的不是战马和长矛，而是驼队和善意；不是坚船和利炮，而是宝船和友谊。共建“一带一路”注重的是众人拾柴火焰高、互帮互助走得远，崇尚的是自己过得好、也让别人过得好，践行的是互联互通、互利互惠，谋求的是共同发展、合作共赢。不搞意识形态对立，不搞地缘政治博弈，也不搞集团政治对抗，反对单边制裁，反对经济胁迫，也反对“脱钩断链”。

10 年的历程证明，共建“一带一路”站在了历史正确一边，符合时代进步的逻辑，走的是人间正道。我们要有乱云飞渡仍从容的定力，本着对历史、对人民、对世界负责的态度，携手应对各种全球性风险和挑战，为子孙后代创造和平、发展、合作、共赢的美好未来。

女士们、先生们、朋友们!

当前，世界之变、时代之变、历史之变正以前所未有的方式展开。中国正在以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业。我们追求的不是中国独善其身的现代化，而是期待同广大发展中国家在内的各国一道，共同实现现代化。世界现代化应该是和平发展的现代化、互利合作的现代化、共同繁荣的现代化。前行道路上，有顺境也会有逆流。我们要坚持目标导向、行动导向，咬定青山不放松，一张蓝图绘到底。中方愿同各方深化“一带一路”合作伙伴关系，推动共建“一带一路”进入高质量发展的新阶段，为实现世界各国的现代化作出不懈努力。

在这里，我愿宣布中国支持高质量共建“一带一路”的八项行动：

一、构建“一带一路”立体互联互通网络。中方将加快推进中欧班列高质量发展，参与跨里海国际运输走廊建设，办好中欧班列国际合作论坛，会同各方搭建以铁路、公路直达运输为支撑的亚欧大陆物流新通道。积极推进“丝路海运”港航贸一体化发展，加快陆海新通道、空中丝绸之路建设。

二、支持建设开放型世界经济。中方将创建“丝路电商”合作先行区，同更多国家商签自由贸易协定、投资保护协定。全面取消制造业领域外资准入限制措施。主动对照国际高标准经贸规则，深入推进跨境服务贸易和投资高水平开放，扩大数字产品等市场准入，深化国有企业、数字经济、知识产权、政府采购等领域改革。中方将每年举办“全球数字贸易博览会”。未来5年（2024—2028年），中国货物贸易、服务贸易进出口额有望累计超过32万亿美元、5万亿美元。

三、开展务实合作。中方将统筹推进标志性工程和“小而美”民生项目。中国国家开发银行、中国进出口银行将各设立3500亿元人民币融资窗口，丝路基金新增资金800亿元人民币，以市场化、商业化方式支持共建“一带一路”项目。本届高峰论坛期间举行的企业家大会达成了972亿美元的项目合作协议。中方还将实施1000个小型民生援助项目，通过鲁班工坊等推进中外职业教育合作，并同各方加强对共建“一带一路”项目和人员安全保障。

四、促进绿色发展。中方将持续深化绿色基建、绿色能源、绿色交通等领域合作，加大对“一带一路”绿色发展国际联盟的支持，继续举办“一带一路”绿色创新大会，建设光伏产业对话交流机制和绿色低碳专家网络。落实“一带一路”绿色投资原则，到2030年为伙伴国开展10万人次培训。

五、推动科技创新。中方将继续实施“一带一路”科技创新行动计划，举办首届“一带一路”科技交流大会，未来5年把同各方共建的联合实验室扩大到100家，支持各国青年科学家来华短期工作。中方将在本届论坛上提出全球人工智能治理倡议，愿同各国加强交流和对话，共同促进全球人工智能健康有序安全发展。

六、支持民间交往。中方将举办“良渚论坛”，深化同共建“一带一路”国家的文明对话。在已经成立丝绸之路国际剧院、艺术节、博物馆、美术馆、图书馆联盟的基础上，成立丝绸之路旅游城市联盟。继续实施“丝绸之路”中国政府奖学金项目。

七、建设廉洁之路。中方将会同合作伙伴发布《“一带一路”廉洁建设成效与展望》，推出《“一带一路”廉洁建设高级原则》，建立“一带一路”企业廉洁合规评价体系，同国际组织合作开展“一带一路”廉洁研究和培训。

八、完善“一带一路”国际合作机制。中方将同共建“一带一路”各国加强能源、税收、金融、绿色发展、减灾、反腐败、智库、媒体、文化等领域的多边合作平台建设。继续举办“一带一路”国际合作高峰论坛，并成立高峰论坛秘书处。

女士们、先生们、朋友们！

十年栉风沐雨，十年春华秋实。共建“一带一路”源自中国，成果和机遇属于世界。让我们谨记人民期盼，勇扛历史重担，把准时代脉搏，继往开来、勇毅前行，深化“一带一路”国际合作，迎接共建“一带一路”更高质量、更高水平的新发展，推动实现世界各国的现代化，建设一个开放包容、互联互通、共同发展的世界，共同推动构建人类命运共同体！

来源：新华网

当代中国共产党人的庄严历史责任

“党的二十大提出开辟马克思主义中国化时代化新境界的重大任务，强调这是当代中国共产党人的庄严历史责任。我们以这个题目进行集体学习，目的是深化对党的理论创新的规律性认识，进一步明确理论创新的方位、方向、方法，在新时代新征程上取得更为丰硕的理论创新成果。”

中国共产党为什么能，中国特色社会主义为什么好，归根到底是马克思主义行，是中国化时代化的马克思主义行。党的十八大以来，以习近平同志为主要代表的中国共产党人，顺应时代要求，结合新的实际，科学回答了新时代坚持和发展什么样的中国特色社会主义、怎样坚持和发展中国特色社会主义，建设什么样的社会主义现代化强国、怎样建设社会主义现代化强国，建设什么样的长期执政的马克思主义政党、怎样建设长期执政的马克思主义政党等重大时代课题，创立了习近平新时代中国特色社会主义思想，以全新的视野深化了对共产党执政规律、社会主义建设规律、人类社会发展规律的认识，开辟了马克思主义中国化时代化新境界。

2023 年 6 月 30 日，在中国共产党即将迎来 102 周年诞辰之际，二十届中央政治局围绕“开辟马克思主义中国化时代化新境界”进行第六次集体学习，“这是中央政治局深化主题教育理论学习的一项重要安排”。习近平总书记主持学习并发表重要讲话，强调“‘两个结合’、‘六个必须坚持’等推进党的理论创新的科学方法，为继续推进党的理论创新提供了根本遵循”，“要坚持好、运用好”。总书记从“始终坚守理论创新的魂和根”、“及时科学解答时代新课题”、“着力推进党的创新理论体系化学理化”、“注重从人民群众的创造中汲取理论创新智慧”4 个方面，进一步就推进党的理论创新作出深刻论述、提出明确要求。

推进马克思主义中国化时代化是一个追求真理、揭示真理、笃行真理的过程。要把深入学习贯彻习近平总书记《开辟马克思主义中国化时代化新境界》这篇重要文章精神同学习贯彻党的二十大精神结合起来，同学习贯彻习近平文化思想结合起来，同学习贯彻总书记关于推进马克思主义中国化时代化的重要论述结合起来，同深入开展学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育结合起来，坚持用马克思主义之“矢”去射新时代中国之“的”，继续推进“两个结合”，续写马克思主义中国化时代化新篇章。

马克思主义中国化时代化新的飞跃

延安，中国革命的圣地、新中国的摇篮。

2015 年 2 月，延安杨家岭中央大礼堂。正在陕西考察的习近平总书记来到这里，瞻仰党的七大会址。置身当年会场，感悟历史启迪，习近平总书记深有感触：“我们党之所以能够历经考验磨难无往而不胜，关键就在于不断进行实践创新和理论创新。”

2022 年 10 月，党的二十大闭幕不到一周，习近平总书记带领新一届中央政治局常委专程前往延安，瞻仰延安革命纪念地。总书记在历史的回响中思索：“延安革命旧址见证了我们党在延安时期领导中国革命、探索马克思主义中国化时代化的光辉历程，

图1　党的二十大提出开辟马克思主义中国化时代化新境界的重大任务，强调这是当代中国共产党人的庄严历史责任。图为 2022 年 10 月 16 日，中国共产党第二十次全国代表大会在北京人民大会堂开幕。 新华社记者　岳月伟 / 摄

是一本永远读不完的书，每次来都温故而知新，受到深刻教育和启示。”

马克思主义揭示了人类社会发展规律，是认识世界、改造世界的科学真理。拥有马克思主义科学理论指导，是我们党鲜明的政治品格和强大的政治优势，是我们党坚定信仰信念、把握历史主动的根本所在。同时，马克思主义理论不是教条而是行动指南，只有把马克思主义基本原理同中国具体实际相结合、同中华优秀传统文化相结合，坚持运用辩证唯物主义和历史唯物主义，才能正确回答时代和实践提出的重大问题，才能始终保持马克思主义的蓬勃生机和旺盛活力。

马克思主义深刻改变了中国，中国也极大丰富了马克思主义。在这篇重要文章中，习近平总书记回顾党的百年奋斗史，深刻指出：“我们党之所以能够在革命、建设、改革各个历史时期取得重大成就，能够领导人民完成中国其他政治力量不可能完成的艰巨任务，根本在于掌握了马克思主义科学理论，并不断结合新的实际推进理论创新，使党掌握了强大的真理力量。”一百多年来，我们党坚持把马克思主义写在自己的旗帜上，不断推进马克思主义中国化时代化，取得了毛泽东思想、邓小平理论、“三个代表”重要思想、科学发展观、习近平新时代中国特色社会主义思想等重大理论成果，使马克思主义在中国焕发出强大生命力。马克思主义的科学性和真理性在中国得到充分检验，马克思主义的人民性和实践性在中国得到充分贯彻，马克思主义的开放性和时代性在中国得到充分彰显。

新思想指导新实践，新思想引领新征程。党的十八大以来，在习近平新时代中国特色社会主义思想的科学指引下，以习近平同志为核心的党中央统筹中华民族伟大复兴战略全局和世界百年未有之大变局，全面贯彻党的基本理论、基本路线、基本方略，采取一系列战略性举措，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，经受住了来自政治、经济、意识形态、自然界等方面的风险挑战考验，攻克了许多长期没有解决的难题，办成了许多事关长远的大事要事，续写了经济快速发展和社会长期稳定两大奇迹，创造了新时代中国特色社会主义的伟大成就。

实践已经并将继续证明，习近平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，是新时代中国共产党的思想旗帜，是全党全国人民为实现中华民族伟大复兴而奋斗的行动指南，是新时代党和国家事业发展的根本遵循。新时代党和国家事业之所以取得历史性成就、发生历史性变革，最根本的原因在于有习近平总书记作为党中央的核心、全党的核心掌舵领航，在于有习近平新时代中国特色社会主义思想科学指引。“两个确立”，是党在新时代取得

的重大政治成果，是推动党和国家事业取得历史性成就、发生历史性变革的决定性因素，是战胜一切艰难险阻、应对一切不确定性的最大确定性、最大底气、最大保证。新征程上，习近平新时代中国特色社会主义思想必将随着强国建设、民族复兴伟业的全面拓展而不断丰富发展。

“始终坚守理论创新的魂和根”

“马克思主义中国化时代化这个重大命题本身就决定，我们决不能抛弃马克思主义这个魂脉，决不能抛弃中华优秀传统文化这个根脉。坚守好这个魂和根，是理论创新的基础和前提，理论创新也是为了更好坚守这个魂和根。”

“理论创新必须讲新话，但不能丢了老祖宗，数典忘祖就等于割断了魂脉和根脉，最终会犯失去魂脉和根脉的颠覆性错误。我提出守正创新，就是强调既不走封闭僵化的老路，也不走改旗易帜的邪路，这两条路都是死路。”

守正创新是中国特色社会主义新时代的鲜明气象，也是习近平新时代中国特色社会主义思想的显著标识。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央在立场、方向、原则、道路等根本性问题上旗帜鲜明、毫不含糊，着力正本清源、固本培元，高扬了理想信念的旗帜、马克思主义的旗帜、中国特色社会主义的旗帜，确保了党不变质、不变色、不变味。同时，面对快速变化的世界和中国，我们党坚持立破并举，以巨大勇气和魄力推进各方面改革创新，中国共产党的面貌、中国人民的面貌、社会主义中国的面貌、中华民族的面貌焕然一新。在这一伟大实践中创立的习近平新时代中国特色社会主义思想，为发展马克思主义作出了原创性贡献。

“坚持是为了更好地发展，发展也是为了更好地坚持。”在这篇重要文章中，习近平总书记围绕始终坚守理论创新的魂和根，深刻阐明了守正和创新的辩证关系、丰富内涵、实践要求等重大问题。

“坚持马克思主义这个立党立国、兴党兴国之本不动摇”。马克思主义是我们立党立国、兴党兴国的根本指导思想，是党的灵魂和旗帜。习近平总书记反复强调，马克思主义是中国共产党人的“真经”，对马克思主义的信仰，对社会主义和共产主义的信念，是共产党人的政治灵魂，是共产党人经受住任何考验的精神支柱。同时，总书记也鲜明指出，坚持以马克思主义为指导，是要运用其科学的世界观和方法论解决中国的问题，而不是要背诵和重复其具体结论和词句，更不能把马克思主义当成一成不变的教条。我们对待马克思主义，不能采取教条主义的态度，也不能采取实用主义的态度，而是应该以科学的态度对待科学、以真理的精神追求真理。必须坚持一切从实际出发，着眼解决新时代改革开放和社会主义现代化建设的实际问题，运用马克思主义立场观点方法，作出符合中国实际和时代要求的正确回答，更好地推进实践、指导实践。

“坚持植根本国、本民族历史文化沃土发展马克思主义不停步”。只有植根本国、本民族历史文化沃土，马克思主义真理之树才能根深叶茂。党的十八大以来，习近平总书记创造性提出把马克思主义基本原理同中华优秀传统文化相结合，把我们党对中国特色社会主义道路自信、理论自信、制度自信、文化自信的认识提升到一个新高度，对不断开辟马克思主义中国化时代化新境界具有十分重要的意义。总书记明确要求，以马克思主义为指导对中华5000多年文明宝库进行全面挖掘，用马克思主义激活中华优秀传统文化中富有生命力的优秀因子并赋予新的时代内涵，将中华民族的伟大精神和丰富智慧更深层次地注入马克思主义，有效把马克思主义思想精髓同中华优秀传统文化精华贯通起来，聚变为新的理论优势，不断攀登新的思想高峰。

“学习和借鉴人类社会一切优秀文明成果”。一部马克思主义发

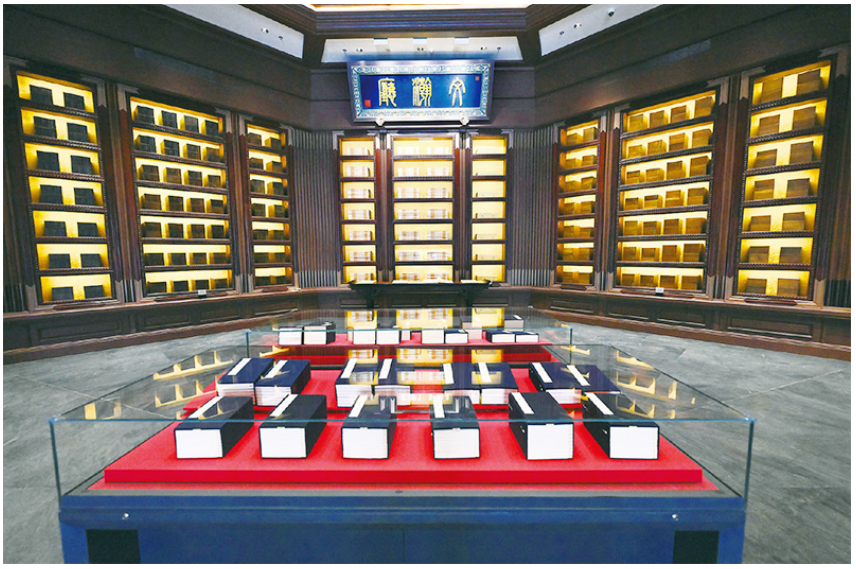


图 2　建设中国国家版本馆，是以习近平同志为核心的党中央作出的重大决策，是文明大国建设的基础工程，是功在当代、利在千秋的标志性文化工程，充分体现了我们党传承发展中华文化的高度自觉、汲取历史智慧更好走向未来的历史主动。图为 2023 年 5 月拍摄的中国国家版本馆中央总馆文瀚厅。 新华社发

展史就是马克思、恩格斯以及他们的后继者们不断根据时代、实践、认识发展而发展的历史，是不断吸收人类历史上一切优秀思想文化成果丰富自己的历史。习近平总书记深刻指出，强调坚守好党的理论的魂和根，并不是要封闭、僵化和保守。马克思主义不排斥一切真理，不管它来自何时、来自哪里，只要是真理性认识，都可以作为丰富和发展自己的养分。总书记明确要求，要拓宽理论视野，以海纳百川的开放胸襟学习和借鉴人类社会一切优秀文明成果，在“人类知识的总和”中汲取优秀思想文化资源来创新和发展党的理论，形成兼容并蓄、博采众长的理论大格局大气象。

“及时科学解答时代新课题”

“一切划时代的理论，都是满足时代需要的产物。用以观察时代、把握时代、引领时代的理论，必须反映时代的声音，绝不能脱离所在时代的实践，必须不断总结实践经验，将其凝结成时代的思想精华。”

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央从理论和实践结合上系统回答了一系列重大问题，为推动党和国家事业发展提供了科学理论指导。比如，提出以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴，提出立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局，提出推动高质量发展，提出使市场在资源配置中起决定性作用、更好发挥政府作用，提出发展全过程人民民主、推进全面依法治国、推进国家治理体系和治理能力现代化，提出坚定文化自信、建设中华民族现代文明，提出推动人的全面发展、促进全体人民共同富裕，提出统筹发展和安全，提出推动构建人类命运共同体、共建“一带一路”，提出坚持和加强党的全面领导、贯彻全面从严治党的战略方针、以伟大自我革命引领伟大社会革命，等等，都是从当代中国和当今世界发展变化出发，经过审时度势、科学判断、深入思考提出来的，是对新的时代课题的科学回答。

实践没有止境，理论创新也没有止境。在这篇重要文章中，习近平总书记围绕“及时科学解答时代新课题”推进理论创新进行了深刻论述，提出明确要求。

“归根到底要体现在回答实践问题、引领实践发展上”。马克思主义是实践的理论，是为了改变人民历史命运而创立的，是在人民求解放的实践中形成的，也是在人民求解放的实践中丰富和发展的。习近平总书记强调，我们推进理论创新是实践基础上的理论创新，而不是坐在象牙塔内的空想，必须坚持在实践中发现真理、发展真理，用实践来实现真理、检验真理。

“推进马克思主义中国化时代化的任务不是轻了，而是更重

图 3　党的十八大以来，习近平总书记多次对坚持和发展“枫桥经验”作出重要指示，推动新时代“枫桥经验”在基层社会治理中焕发勃勃生机。图为青年学子在浙江省诸暨市枫桥镇的枫桥经验陈列馆参观学习（2022 年 8 月 25 日摄）。 新华社记者 徐昱 / 摄

了”。当今世界正在经历百年未有之大变局，处在民族复兴关键时期的当代中国正在经历着有史以来最为广泛而深刻的社会变革，正在推进中国式现代化这一人类历史上非常宏大而独特的实践创新。习近平总书记强调，在“两个大局”加速演进并深度互动的时代背景下，人类社会面临许多亟待解决的共同问题，我国改革发展稳定、内政外交国防、治党治国治军等各个领域也都面临着一系列新的重大课题，中国之问、世界之问、人民之问、时代之问给我们提出的新考题比过去更复杂、更难，迫切需要我们从理论与实践的结合上提交答案。

“让当代中国马克思主义、21 世纪马克思主义展现出更为强大、更有说服力的真理力量”。习近平总书记强调，要牢固树立大历史观，以更宽广的视野、更长远的眼光把握世界历史的发展脉络和正确走向，认清我国社会发展、人类社会发展的大逻辑大趋势，把握中国式现代化的历史沿革和实践要求，在新一轮科技革命、全球经济发展大格局和我国发展的阶段性特征中深化对推动高质量发展、构建新发展格局的规律性认识，在世界马克思主义政党命运比较和我们党长期执政面临的现实考验中深化对党的自我革命战略思想的规律性认识，全面系统地提出解决现实问题的科学理念、有效对策。

“着力推进党的创新理论体系化学理化”

“马克思主义之所以影响深远，在于其以深刻的学理揭示人类社会发展的真理性、以完备的体系论证其理论的科学性。”

19 世纪 70 年代，在反对杜林主义、捍卫马克思主义理论的论战中，恩格斯撰写了《反杜林论》，第一次系统阐述了马克思主义的三个组成部分及其相互联系，论证了马克思主义完备而严整的科学理论体系，有力捍卫和发展了马克思主义。1880 年，恩格斯应保·拉法格的请求，把《反杜林论》中的部分内容改写成一本小册子，名为《社会主义从空想到科学的发展》，对宣传马克思主义起了巨大的作用。

在这篇重要文章中，习近平总书记高度评价恩格斯撰写《社会主义从空想到科学的发展》等论著，称赞这些论著系统阐发马克思主义基本原理，科学论证了马克思主义三个组成部分之间的内在统一性，以深刻的学理捍卫并发展了马克思主义的科学性，以完备的体系避免和修正了对马克思主义的片段化、庸俗化。总书记深刻指出，“这充分说明了体系化和学理化对坚持和发展马克思主义的重要性”，“推进理论的体系化学理化，是理论创新的内在要求和重要途径。”

习近平新时代中国特色社会主义思想，坚持马克思主义立场观点方法，坚持科学社会主义基本原则，深刻总结和充分运用党

百年奋斗的历史经验，继承弘扬中华优秀传统文化精华，根据时代和实践发展变化，以崭新的思想内容丰富发展了马克思主义，形成了系统科学的理论体系。这一思想内涵十分丰富，涵盖新时代坚持和发展中国特色社会主义的总目标、总任务、总体布局、战略布局和发展方向、发展方式、发展动力、战略步骤、外部条件、政治保证等基本问题，并根据新的实践对党的领导和党的建设、经济、政治、法治、科技、文化、教育、民生、民族、宗教、社会、生态文明、国家安全、国防和军队、“一国两制”和祖国统一、统一战线、外交等各方面作出新的理论概括和战略指引。

党的十九大、十九届六中全会提出的“十个明确”、“十四个坚持”、“十三个方面成就”概括了习近平新时代中国特色社会主义思想的主要内容。党的二十大总结提炼和深刻阐述“两个结合”、“六个必须坚持”等推进党的理论创新的科学方法，强调要把握好习近平新时代中国特色社会主义思想的世界观和方法论，坚持好、运用好贯穿其中的立场观点方法。

“十个明确”、“十四个坚持”、“十三个方面成就”，“两个结合”、“六个必须坚持”等，内在贯通、有机统一，凝结着我们党认识世界、改造世界的宝贵经验和重大成果，体现了理论与实际相结合、认识论和方法论相统一的鲜明特色，共同构成了习近平新时代中国特色社会主义思想的科学体系。这一科学体系逻辑严密、内涵丰富、系统全面、博大精深，贯通马克思主义哲学、马克思主义政治经济学、科学社会主义，贯通历史、现实和未来，贯通改革发展稳定、内政外交国防、治党治国治军等各领域，由经济思想、法治思想、生态文明思想、强军思想、外交思想、文化思想等若干部分共同构成，既坚持了老祖宗，又讲了很多新话，为丰富发展马克思主义作出了原创性贡献，为传承发展中华优秀传统文化作出了历史性贡献，为推动人类文明进步事业作出了世界性贡献。

习近平新时代中国特色社会主义思想的发展“是一个不断丰富拓展并不断体系化、学理化的过程”。随着实践进程的深化，党的理论创新成果会越来越丰富。习近平总书记要求：“马克思主义理论研究和建设工程要不断深化理论研究阐释，重点研究阐释我们党提出的新理念新论断中原理性理论成果，把握相互的内在联系，教育引导全党全国更好学习把握新时代中国特色社会主义思想的理论体系。”

“注重从人民群众的创造中汲取理论创新智慧”

“马克思主义是为人民立言、为人民代言的理论，是为改变人民命运而创立、在人民求解放的实践中丰富和发展的，人民的创造性实践是马克思主义理论创新的不竭源泉。”

人民性是马克思主义的本质属性。在这篇重要文章中，习近平总书记再次阐明人民是历史的创造者这一唯物史观的基本观点，鲜明强调“只要我们紧密联系人民群众、经常深入人民群众、紧紧依靠人民群众，真心拜人民为师，诚心向人民学习，虚心向人民求教，就能够得到源源不断的实践力量和理论智慧”。事实正是如此。马克思主义中国化时代化成果，都是党和人民实践经验和集体智慧的结晶，无不源自于人民的智慧、人民的探索、人民的创造。

“人民群众身处实践最前沿，对实践变化感知最敏感、感受最深切，也最聪慧，只要走到人民群众中去，很多百思不得其解的问题就能豁然开朗、找到答案。”党的十八大以来，习近平总书记反复强调贯彻党的群众路线，高度重视调查研究工作，指出“开展调查研究就是走群众路线，没有调查就没有发言权，就没有决策权”。总书记身体力行、率先垂范，以调研开局开路，在考察中聚焦问题、深入基层、深入群众，为全党树立了光辉榜样。比如，总书记走遍 14 个集中连片特困地区，直接到贫困户看真贫、扶

图 4　2023 年 9 月 28 日，中国首条时速 350 公里跨海高铁——福厦高铁正式开通运营。
图为一列运行试验车组驶过福厦高铁湄洲湾跨海大桥（9 月 19 日摄，无人机照片）。新华社记者　魏培全 / 摄

真贫，直接听取贫困地区干部群众意见，不断完善扶贫思路和扶贫举措，不断推进工作，带着感情去抓，带着践行宗旨的承诺去抓，带领全党全国人民打赢了脱贫攻坚战。比如，总书记 2020 年在浙江考察时，发现在疫情冲击下全球产业链供应链发生局部断裂，直接影响到我国国内经济循环，大进大出的环境条件已经变化，由此提出了加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。正是这一着眼全局的战略选择，成为把握发展主动权、重塑新竞争优势的先手棋。

“我们的各项工作实践要走好群众路线，推进党的理论创新也要走好群众路线，决不能闭门造车、坐而论道、流于空想。”在这篇重要文章中，习近平总书记结合正在深入开展的主题教育，从两个方面提出具体要求：一是大兴调查研究，推动各级领导干部树牢唯物史观，强化群众观点和宗旨意识，坚持目标导向和问题导向，走出机关沉到基层一线，广泛倾听人民群众的声音，自觉问计于民、问需于民，运用党的创新理论研究解决好发展所需、改革所急、基层所盼、民心所向的突出问题，同时从人民群众的真知灼见中获取理论创新和实践创新灵感；二是尊重人民首创精神，注重从人民的创造性实践中总结新鲜经验，上升为理性认识，提炼出新的理论成果，着力让党的创新理论深入亿万人民心中，成为接地气、聚民智、顺民意、得民心的理论。

“不断谱写马克思主义中国化时代化新篇章，是当代中国共产党人的庄严历史责任。”坚持聆听时代声音，回应时代呼唤，继续推进马克思主义基本原理同中国具体实际相结合、同中华优秀传统文化相结合，当代中国马克思主义、21 世纪马克思主义必将在中华大地上展现出更为强大、更有说服力的真理力量！

来源：求是

算力基础设施高质量发展行动计划

算力是集信息计算力、网络运载力、数据存储力于一体的新型生产力，主要通过算力基础设施向社会提供服务。算力基础设施是新型信息基础设施的重要组成部分，呈现多元泛在、智能敏捷、安全可靠、绿色低碳等特征，对于助推产业转型升级、赋能科技创新进步、满足人民美好生活需要和实现社会高效能治理具有重要意义。为加强计算、网络、存储和应用协同创新，推进算力基础设施高质量发展，充分发挥算力对数字经济的驱动作用，制定本行动计划。

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，立足新发展阶段，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。以构建现代化基础设施体系为目标，面向经济社会发展和国家重大战略需求，稳步提升算力综合供给能力，着力强化运力高效承载，不断完善存力灵活保障，持续增强算力赋能成效，全面推动算力绿色安全发展，为数字经济高质量发展注入新动能。

（二）基本原则

多元供给，优化布局。坚持多元发展路线，调动各类市场主体积极性，构建通用、智能和超级算力协同发展的供给体系，持续优化算力资源地域布局，加强集约化建设，强化算网存用协调发展，推动新一代信息技术与算力设施融合应用，引导算力运营智能化升级。

需求牵引，强化赋能。坚持市场需求导向，发挥区域比较优势，进一步释放工业、金融等重点行业对算力应用的需求潜力，激发智能算力、边缘算力等全场景应用创新活力，推动算力与实体经济融合发展。

创新驱动，汇聚合力。坚持创新驱动，遵循技术、标准、产业和应用渐次导入的规律，推动核心技术攻关。充分发挥科研院所、高校和企业在技术攻关、成果转化中的创新主体作用，形成技术产业发展合力。

绿色低碳，安全可靠。坚持绿色低碳发展，全面提升算力设施能源利用效率和算力碳效（CEPS）水平。统筹发展与安全，进一步强化网络、应用、产业链安全管理和能力建设，构建完善的安全保障体系。

（三）主要目标

到 2025 年，计算力方面，算力规模超过 300 EFLOPS，智能算力占比达到 35%，东西部算力平衡协调发展。

运载力方面，国家枢纽节点数据中心集群间基本实现不高于理论时延 1.5 倍的直连网络传输，重点应用场所光传送网（OTN）覆盖率达到 80%，骨干网、城域网全面支持 IPv6，SRv6 等创新技术使用占比达到 40%。

存储力方面，存储总量超过 1800EB，先进存储容量占比达到 30% 以上，重点行业核心数据、重要数据灾备覆盖率达到 100%。

应用赋能方面，打造一批算力新业务、新模式、新业态，工业、金融等领域算力渗透率显著提升，医疗、交通等领域应用实现规模化复制推广，能源、教育等领域应用范围进一步扩大。每个重点领域打造 30 个以上应用标杆。

二、重点任务

（一）完善算力综合供给体系

1. 优化算力设施建设布局。按照全国一体化算力网络国家枢纽节点布局，京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝等节点面向重大区域发展战略实施需要有序建设算力设施；贵州、内蒙古、甘肃、宁夏等节点推进数据中心集群建设同时，着力提升算力设施利用效率，促进东西部高效互补和协同联动。加强数据中心上架率等指标监测，整体上架率低于 50% 的地区规划新建项目应加强论证。支持我国企业“走出去”，以“一带一路”沿线国家为重点布局海外算力设施，提升全球化服务能力。

2. 推动算力结构多元配置。结合人工智能产业发展和业务需求，重点在西部算力枢纽及人工智能发展基础较好地区集约化开展智算中心建设，逐步合理提升智能算力占比。推动不同计算架构的智能算力与通用算力协同发展，满足均衡型、计算和存储密集型等各类业务算力需求。

3. 促进边缘算力协同部署。加快边缘算力建设，支撑工业制造、金融交易、智能电网、云游戏等低时延业务应用，推动“云边端”算力泛在分布、协同发展。加强行业算力建设布局，满足工业互联网、教育、交通、医疗、金融、能源等行业应用需求，支撑传统行业数字化转型。

4. 推动算力标准体系建设。加快制定面向业务需求的算力设施、IT 设备、智能运营等方面的基础共性标准，完善相关技术要求、测试方法等，充分发挥标准对产业发展的引领和推动作用。同步探索算力计量、感知、调度、互通、交易等方面标准建设，支撑算网融合产业化发展。

专栏 1　算力供给提升行动

一是持续开展国家算力中心典型案例遴选，鼓励各方主体创新探索智能计算中心建设运营模式和多方协同合作机制。二是举办中国算力大会，凝聚产业共识，开展算力技术、产品、应用的宣传推广，营造算力发展的良好氛围。三是持续发布《中国综合算力指数》，对全国算网存能力进行综合评价。

（二）提升算力高效运载能力

1. 优化算力高效运载质量。探索构建布局合理、泛在连接、灵活高效的算力互联网。增强异构算力与网络的融合能力，通过网络的应用感知和资源分配机制，及时响应各类应用需求，实现计算、存储的高效利用。针对智能计算、超级计算和边缘计算等场景，开展数据处理器（DPU）、无损网络等技术升级与试点应用，实现算力中心网络高性能传输。

2. 强化算力接入网络能力。推动城域光传输设备向综合接入节点和用户侧部署，加快实现大带宽、低时延的全光接入网络广泛覆盖，城区重要算力基础设施间时延不高于 1ms。提升边缘节点灵活高效入算能力，满足企业快速、就近、灵活、高效联接算力需求。

3. 提升枢纽网络传输效率。推动算力网络国家枢纽节点直连网络骨干节点，逐步建成集群间一跳直达链路，国家枢纽节点内重要算力基础设施间时延不高于 5ms。推动超低损光纤部署，优化光缆路由。加快 400G/800G 高速光传输网络研发部署和全光交叉、SRv6、网络切片、灵活以太网、光业务单元等技术应用，实现网络传输智能高效、灵活敏捷、按需随选。

4. 探索算力协同调度机制。推动以云服务方式整合算力资源，充分发挥云计算资源弹性调度优势。鼓励各方探索打造多层次算力调度架构体系，建设可满足各类创新主体开展多元异构算力调度、应用、研发、验证的平台环境。依托国家新型互联网交换中心、骨干直联点等设施，促进多方算力互联互通。

专栏 2　算网融合发展行动

一是探索建设多层级算力调度平台，逐步实现多元异构算力跨域调度编排。二是构建算力互联互通体系，统一算力资源标识和身份认证，依托部省算力互联互通平台开展试点验证。三是建立算网监测机制，开展算力设施运载力评估，打造一批算网城市标杆。四是实施“算力强基揭榜挂帅”，突破一批标志性技术产品和方案，加速新技术、新产品落地应用。

（三）强化存力高效灵活保障

1. 加速存力技术研发应用。围绕全闪存、蓝光存储、硬件高密、数据缩减、编码算法、芯片卸载、多协议数据互通等技术，推动先进存储创新发展。鼓励先进存储技术的部署应用，实现存储闪存化升级，进一步提升我国全闪存技术竞争力。

2. 持续提升存储产业能力。鼓励存储产品制造企业持续提升关键存储部件等自主研发制造水平，打造存储介质、存储芯片、存储系统和存储应用相互促进、协同发展的产业生态。

3. 推动存算网协同发展。加快存储网络技术研发应用，推动计算与存储融合设计，促进存储与网络和计算协同发展，引导合理配置存算比例，实现数据在算力中心内部和算力中心之间的高效流动。

专栏 3　存算协同发展行动

一是开展数据中心存储能力成熟度研究及评价，提升全场景存力服务能力，促进存算网均衡发展。二是鼓励在关键信息基础设施中使用自主的存储设备，通过全闪存储整机带动关键存储部件的国产化应用。三是加强数据中心存力监测，定期发布《中国存力发展报告》。

（四）深化算力赋能行业应用

1. 构建一体化算力服务体系。打造集成多方算力资源和开发平台的算力服务，鼓励各地为中小企业、科研机构提供普惠算力资源，降低算力使用成本和门槛，保障算力使用需求。推动算力在更多生产生活场景的应用落地，支撑个人增强现实（AR）、虚拟现实（VR）设备在社交、娱乐方面的沉浸式场景应用；保障家电控制、环境控制、安防报警等智能家居应用算力供给。提升公共算力支撑能力，满足图书馆、美术馆、体育馆等大型惠民场所智能服务算力需求。持续推进算力对创新应用的支撑，推动算力在元宇宙、数字孪生等新业态拓展应用。

2.“算力 + 工业”。针对“智慧工厂”等场景数据实时计算要求，加快部署工业边缘数据中心，推动算力赋能智能检测、故障分析、人机协作等技术迭代，不断提升不同工业场景业务处理能力。面向原材料、装备制造、消费品、电子信息等领域，围绕工业生产种类特性多、生产时间长、质量要求高等特点，以及安全污染隐患大、智能化水平低等难点，瞄准高端化智能化绿色化方向，逐步构建工业基础算力资源和应用能力融合体系，满足不同类型工业企业在研发设计、生产制造、仓储物流、营销服务等方面的算网存用需求，推动工业企业技术改造、降本增效和绿色化转型，加快推进算力赋能新型工业化建设应用。

3.“算力 + 教育”。鼓励科研院所根据需求适度建设算力资源，有效支撑面向重大项目或课题的开发与创新。推进公共算力资源覆盖校园，鼓励各类高等院校、职业院校积极运用算力平台为学校实习实验实训环境、平台和基地建设及转型发展提供支撑，促进教育公平，全面提升教育体系内在质量水平。

4.“算力 + 金融”。加快算力在金融领域的创新应用，构建多节点并行的分布式算力资源架

构，提供跨地域资源高效管理、核心业务多地多活部署能力。围绕金融市场高频交易等低时延业务场景开发部署智能边缘算力节点，实现金融业务边缘侧数据的筛选、整合与处理，为金融业务发展提供更为精准、高效的算力支持。

5.“算力 + 交通”。面向智慧交通需求，加快“中心 – 区域 – 边缘”多层级算力设施部署，支持感知、通信、控制相关设备的标准化接入与数据汇聚，为道路交通精细化管理、场站枢纽智能运营等跨域综合信息应用以及车路协同自动驾驶、港口矿山自动化生产等低时延高可靠应用提供灵活高效的算力支撑。

6.“算力 + 医疗”。统筹建设国家和省级医疗大数据中心，完善区域全民健康算力平台，支撑“互联网 + 医疗健康”应用体系高质量发展。加快基层卫生健康边缘数据中心建设，强化对各级医疗机构的边缘算力支撑，实现医疗算力资源的有效下沉。

7.“算力 + 能源”。加快建设能源算力应用中心，支撑能源智能生产调度体系，实现源网荷互动、多能协同互补及用能需求智能调控。推动鼓励龙头企业以绿色化、智能化、定制化等方式高标准建设数据中心，充分利用现有能源资源优势，结合自身应用需求，提供“能源流、业务流、数据流”一体化算力。

专栏 4　算力应用创新行动

一是滚动发布《算力产业图谱》《算力强基产品目录》，鼓励行业组织积极开展算力企业交流与产品推广活动，加快算力应用产业化发展。二是组织开展算力赋能评价，推动算力深度赋能千行百业。三是举办“华彩杯”算力创新应用大赛等活动，遴选与行业需求深度结合的算力应用成熟解决方案入库。

（五）促进绿色低碳算力发展

1. 提升资源利用和算力碳效水平。持续开展国家绿色数据中心建设，鼓励企业加强绿色设计，加快高能效、低碳排的算网存设备部署，推动软硬件协同联动节能。支持液冷、储能等新技术应用，探索利用海洋、山洞等地理条件建设自然冷源数据中心，优化算力设施电能利用效率、水资源利用效率、碳利用效率，提升算力碳效水平。

2. 引导市场应用绿色低碳算力。积极引入绿色能源，鼓励算力中心采用源网荷储等技术，支持与风电、光伏等可再生能源融合开发、就近消纳，逐步提升算力设施绿电使用率。加快探索构建市场导向的绿色低碳算力应用体系，推动业务模式、计费模式和管理模式创新。

3. 赋能行业绿色低碳转型。推动算力设施在工业等重点行业发挥应用赋能作用，支撑行业数据分析、动态监测、工艺优化等生产环节创新，促进企业经营活动数字化、智能化发展，助力行业节能减排，构建“算力 +”绿色低碳生态体系，降低社会碳排放总量。

专栏 5　算力绿色低碳行动

一是开展绿色低碳技术、算力碳效模型等研究，开展绿色低碳算力园区评价，发布算力设施绿色低碳发展年度报告。二是构建算力中心、算力应用“碳中和等级”能力指标体系，开展算力设施、算力应用碳效核查与评估。三是引导供电、制冷、服务器、网络、存储等产业链各环节梳理核算碳足迹，发布创新低碳产品与解决方案目录，推进算力应用全产业链节能减排。

（六）加强安全保障能力建设

1. 增强网络安全保障能力。严格落实网络安全法律法规要求，开展通信网络安全防护工作。强化安全技术手段建设，加强对网络流量、行为日志、数据流转、

共享接口等安全监测分析，推动威胁处置向风险预警和事前预防转变，建立威胁闭环处置和协同联动机制，提升威胁处置科学性、精准性和时效性。

2. 强化数据安全保护能力。加强数据分类分级保护，根据监管要求对重要和核心数据实行精准严格管理。制定数据全生命周期安全防护要求和操作规程，配套建设数据安全风险监测技术手段，加强数据安全风险的分析、研判、预警和处置能力。

3. 强化产业链供应链安全。加强产业链协同联动，逐步形成自主可控解决方案，鼓励算力基础设施采用安全可信的基础软硬件进行建设，保障供应链安全。加强关键技术研发和创新，提升软硬件协同和安全保障能力。依托一体化算力应用安全保障体系，形成“云网边端”安全态势感知和网络协同防护能力。推动智能化分析和决策在未知安全风险自主捕捉和防御环节的应用，持续提升算力安全保障能力。

4. 保障算力设施平稳运行。强化算力网络保障，对重要网络设施采用双节点、双路由配置，避免出现单点故障。加强物理设施保护，定期开展巡查巡检，制定应急预案，提高应急处置能力。对重要系统和数据，建立热备双活机制，应用仿真灰度测试、混沌工程等新技术，发掘并消除软件系统潜在隐患。

专栏 6　算力安全保障行动

一是基于算力数据生产和消费需求，进行数据全生命周期保护和管理，实现算网一体的数据高效流转和数据安全防护、计算。二是推动算力建设运营应用安全标准体系建设，多角度推进安全标准研究和应用，开展算力设施安全等级测试，总结安全治理优秀经验。三是聚焦 CPU、GPU、操作系统、存储等关键产品，推动关键技术试点验证，形成标杆应用产品与方案，构建软硬件相互适配、协调发展的生态体系。

三、保障措施

（一）加强统筹联动

加强部门协同，分工做好重点任务组织保障，合力推进算力设施发展。鼓励地方政府结合实际制定针对性强、可操作的实施方案，探索能耗“双控”向碳排放“双控”过渡机制和算力应用综合税收考核机制，因地制宜推动算力设施建设和产业发展。成立算力战略咨询专家委员会，开展前瞻性、战略性问题研究，为算力发展重大决策提供咨询。

（二）加大金融支持

发挥国家级政府投资基金和国家产融合作平台引导作用，鼓励地方探索实施“科技产业金融一体化”专项和“补贷保”联动试点，加大对算力重点项目的支持。推动符合条件的项目申报发行基础设施领域不动产投资信托基金，支持社会资本向算力产业流动。鼓励金融机构加大对绿色低碳算力基础设施的信贷支持力度，支持符合条件的企业发行绿色债券。

（三）深化交流协作

充分发挥产业联盟、标准组织的组织引导作用，促进技术研发、产业化推广、基础设施建设、人才培养等方面的交流与合作。支持国内算力企业走出去，积极拓展国际合作渠道。鼓励国内企业、研究机构、高校在算力技术与标准等方面加强国际交流与合作。

（四）强化平台支撑

完善中国算力平台建设和数据采集机制，推动大型以上数据中心加入网络协同系统，持续加强典型案例的质量评价和跟踪工作。探索算网存资源的协同对接，加强优秀示范、典型案例推广，有效推动产业链上下游技术创新协作、资源共享。

来源：工信部

推进 5G 轻量化（RedCap）技术演进和应用创新发展

一、发展目标

到 2025 年，5G RedCap 产业综合能力显著提升，新产品、新模式不断涌现，融合应用规模上量，安全能力同步增强。

——5G RedCap 技术产业稳步发展。5G RedCap 标准持续演进，技术能力满足多样化场景需求。形成一系列 5G RedCap 高质量产品，打造完整产业体系。推动 5G RedCap 芯片、模组、终端等产业关键环节成本持续下降，终端产品超过 100 款。

——5G RedCap 应用规模持续增长。全国县级以上城市实现 5G RedCap 规模覆盖，5G RedCap 连接数实现千万级增长。5G RedCap 在工业、能源、物流、车联网、公共安全、智慧城市等领域的应用场景更加丰富、应用规模持续提升。遴选一批 5G RedCap 应用示范标杆，形成一批可复制、可推广的解决方案，打造 5 个以上实现百万连接的 5G RedCap 应用领域。

——5G RedCap 产业生态繁荣壮大。建设面向 5G RedCap 产业发展的技术和应用创新平台、公共服务平台，培育一批创新型中小企业。

二、主要任务

（一）推进 5G RedCap 标准制定。制定基于 3GPP R17 版本的 5G RedCap 相关行业标准，明确相关设备的技术要求和测试方法等。支持产业各方积极参与 3GPP R18 及后续版本 5G RedCap 的国际标准制定，增强面向大连接物联场景的技术能力。

（二）构建 5G RedCap 产业体系。推动产业链上下游协同联动，推进 5G RedCap 芯片、模组、终端、网络、仪表等产品研发和产业化，加快 RedCap 与网络切片、高精度定位、5G LAN（局域网）等 5G 增强功能结合，满足不同行业场景应用需求。发挥基础电信企业现网优势，推动 5G RedCap 技术测试和应用验证，通过场景适配加速商用落地。丰富终端类型和产品形态，开展 5G Inside 等生态活动，提升 5G RedCap 终端产品应用兼容性和行业认可度，推动 5G RedCap 芯片、模组成本下降，加快终端商用落地和推广。

（三）加快 5G 网络 RedCap 能力升级。按照适度超前的原则，分阶段分区域推进 5G RedCap 商用，加快主要城市实现 5G RedCap 连续覆盖，提升广域物联业务连续性和可靠性，支撑更多应用场景接入。推动行业虚拟专网应用 5G RedCap 技术，完善 5G 物联能力，更好适配行业特点和满足应用需求。

（四）积极开展 5G RedCap 应用创新。围绕产业数字化、治理智能化、生活智慧化等方面，加快探索 5G RedCap 应用，培育新模式、新业态。推动 5G RedCap 在无线传感、设备控制等生产环节应用，打造更多面向工业、能源、物流、港口、车联网等领域的场景化解决方案，赋能行业数字化转型。推动 5G RedCap 与视频采集、数据传输等融合创新，加快公共安全、智慧城市等领域的应用拓展，促进社会治理能力不断提升。推动可穿戴、智能家居、移动办公等新型终端向 5G RedCap 演进升级，

助力个人应用创新不断涌现。

（五）打造行业领域 5G RedCap 示范标杆。推动行业龙头企业、基础电信企业打造模式创新、成效显著、易复制推广的 5G RedCap 应用示范标杆。通过“绽放杯”5G 应用大赛、工业互联网试点示范项目、5G 工厂名录发布等活动，聚集优秀案例和资源，树立先进典型，引导各行业应用创新发展，加快形成一批实现百万连接的 5G RedCap 应用领域。

（六）构建融通发展的 5G RedCap 生态环境。鼓励基础电信企业、行业龙头企业发挥产业优势，推进 5G RedCap 技术创新，促进产业链上下游协同发展，培育一批 5G RedCap 创新型中小企业，形成大中小企业融通发展格局。发挥 IMT-2020（5G）推进组平台作用，持续推进规范制定、技术测试等相关工作，加快 5G RedCap 产业成熟，推进 5G RedCap 具备商用条件。依托 5G 应用产业方阵，推动各 5G 创新中心搭建 5G RedCap 应用测试床，提供技术咨询、测试认证、供需对接等公共服务。

（七）提升 5G RedCap 安全保障能力。推动 5G RedCap 安全与技术、应用同步规划、同步建设、同步运行。围绕 5G RedCap 产品新特性，加快终端、网络、平台相关安全标准研制，加强 5G RedCap 上线和试商用前的安全风险评估，加快推动态势感知、威胁监测等安全能力落地应用，提升 5G RedCap 安全保障能力。鼓励 5G RedCap 安全相关检测工具、服务平台等研发，推动优秀安全产品和解决方案复制推广。

三、保障措施

（一）强化统筹协调。鼓励地方政府出台配套政策，支持 5G RedCap 网络建设、产业培育、应用创新、安全保障和生态构建，结合各地产业特点推进 5G RedCap 技术与优势行业融合发展，加大对 5G RedCap 中小企业扶持力度，营造良好的创新创业环境和市场氛围。

（二）做好监测评估。研究制定 5G RedCap 发展监测机制，常态化跟踪应用和产业进展，为相关政策制定、产业活动提供决策支撑。开展 5G RedCap 网络质量监测评估，促进网络建设量质并进，有效支撑 5G 应用规模化发展。

（三）加强人才培养。发挥 5G 应用产业方阵、各企业、高校、科研院所的带动作用，培养 5G RedCap、高精度定位、5G LAN、安全保障等相关技术专家，涌现更多 5G 跨行业跨领域的复合人才。

（四）加大应用推广。针对重点行业加强推广 5G RedCap 规模应用的典型案例和示范标杆。推动产业各方加强跨行业对接，通过现场会、宣讲会等多种形式，推广各行业 5G RedCap 应用的成功经验。

来源：工信部

中国自动化学会

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

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

学会品牌学术活动

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

学会奖励奖项

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

学会主办期刊

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

官方微信　　官方微博

地址：北京市海淀区中关村东路95号自动化大厦
网址:http://www.caa.org.cn/
电话：010-62522472
传真：010-62522248
邮箱：caa@ia.ac.cn
邮编：100190