

# 中国自动化学会通讯

COMMUNICATIONS OF CAA

第 **11** 期

2022 年 11 月

第43卷 总第230期

主办：中国自动化学会 <http://www.caa.org.cn> E-mail: [caa@ia.ac.cn](mailto:caa@ia.ac.cn) 京内资准字2020-L0052号

CAA科普大讲堂



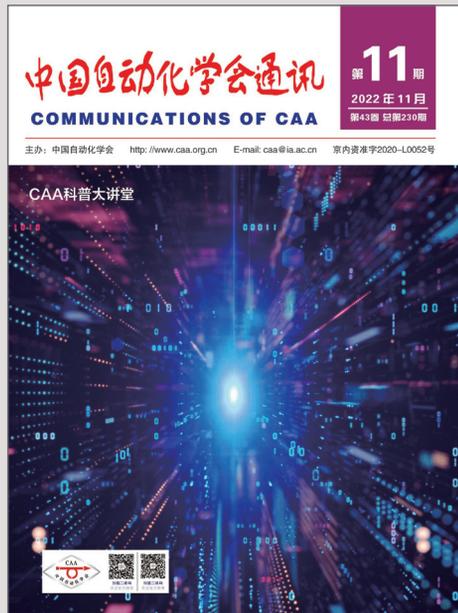
扫描二维码  
关注官方微信



扫描二维码  
关注官方微博



中国自动化学会通讯  
Communications of CAA



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



关注官方微信



关注官方微博

主 编 | 郑南宁 CAA 理事长、中国工程院院士、西安交通大学教授

副 主 编 | 王飞跃 CAA 监事长、中国科学院自动化研究所研究员

杨孟飞 CAA 副理事长、中国科学院院士、中国空间技术研究院研究员

陈俊龙 CAA 副理事长、欧洲科学院院士、华南理工大学教授

编 委 | (按姓氏笔画排列)

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

刊名题字 | 宋 健

地 址 | 北京市海淀区中关村东路 95 号

邮 编 | 100190

电 话 | (010) 8254 4542

传 真 | (010) 6252 2248

E-mail: caa@ia.ac.cn

http: //www.caa.org.cn

印刷日期 | 2022 年 11 月 30 日

发行对象 | 中国自动化学会会员及自动化领域科技工作者

### 本刊声明

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



郑南宁

科技是国家强盛之基，创新是民族进步之魂。当今世界，科技实力直接决定着国家和民族的前途和命运。科技强则国家强，社会主义现代化强国建设离不开科技支撑。只有抓住科技创新“牛鼻子”，走高水平科技自立自强之路，才能赢得竞争优势，掌握发展的主动权。

迈上新征程，党的二十大为科技工作谋划了具有全局性、战略性、前瞻性的行动纲领，对广大科技工作者提出了时代赋予的更高要求。面临以科技强国建设支撑社会主义现代化强国建设的时代重任，面临当前全球新一轮科技革命和产业变革的历史机遇，必须坚持党对科技工作的集中统一领导，把创新摆在我国现代化建设全局中的核心位置，把科技自立自强作为国家发展的战略支撑；坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力，深入实施科教兴国战略、人才强国战略和创新驱动发展战略；必须明确主攻方向，面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康；必须完善体制机制，提升创新主体能力和国家创新体系整体效能，加快建设科技强国，形成具有全球竞争力的开放创新生态。

“科普大讲堂”活动是中国自动化学会特面向学生会员、广大科技工作者及社会公众推出科普活动，每期活动邀请1位或数位教授进行专题报告，充分利用全媒体矩阵，开展自动化领域科技知识普及，弘扬科学精神，增进全国高校自动化相关领域学生及社会大众对科技创新知识的了解，开拓眼界，激发对科学的热情和兴趣，提高科学素养，积极打造学会学术、科普比翼齐飞新格局。

本期通讯将为大家分享上海交通大学李少远教授的《信息技术与人类社会发展》，河海大学物联网工程学院副院长刘小峰教授的《家庭新成员：陪护机器人技术思考》，南京理工大学邹云教授的《闭环看世界》，复旦大学赵卫东副教授的《目标检测在电动车骑手安全帽检测中的应用》，华中科技大学教授、图像信息处理与智能控制教育部重点实验室副主任伍冬睿的《脑机接口：原理与应用》以及科技部工业物联网国际科技合作基地主任、重庆邮电大学自动化学院副院长魏旻教授的《工业物联网技术及应用》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深入讨论和思考，为我国科技事业发展贡献力量。



### 专题 / Column

- 004 信息技术与人类社会发展 / 李少远
- 011 家庭新成员——陪护机器人 / 刘小峰
- 013 控制论与社会：闭环看世界 / 邹云
- 022 目标检测在电动车骑手头盔检测中的应用 / 赵卫东
- 032 脑机接口：原理与应用 / 伍冬睿
- 041 工业物联网技术及应用 / 魏旻

### 学者风采 / Scholars

- 050 郑南宁院士：打造人工智能领域的“百年老店”

- 053 薛禹胜院士：37岁考取研究生，73岁致力于为“双碳”提供科技支撑

### 观点 / Viewpoint

- 056 王耀南院士：智能无人系统技术应用与发展趋势
- 069 王飞跃：平行管理——复杂性管理智能的生态科技与智慧管理之DAO

### 学会动态 / Activities

- 082 数智赋能 共创未来——2022中国自动化大会在厦门隆重举行





093 第37届中国自动化学会青年学术年会在北京顺利闭幕

党建强会 / Party Building

- 098 中共中央关于认真学习宣传贯彻党的二十大精神的决定
- 105 张玉卓：弘扬新时代科学家精神激荡建设世界重要人才中心和创新高地的源头活水

- 088 中国自动化学会工业安全系统典型案例库重磅发布
- 089 2022世界智能制造大会——制造数据与网络安全论坛成功举办

形势通报 / Voice

- 110 关于开展科技人才评价改革试点的工作方案
- 114 国家自然科学基金“十四五”发展规划发布（附优先发展领域115项）



# 信息技术与人类社会发展

文 / 上海交通大学 李少远

导语：2022年4月9日，上海交通大学李少远教授做客“CAA 科普大讲堂”，作题为“信息技术与人类社会发展”的报告。李少远教授结合从古至今人们在生产生活中对自动控制系统装置到理论的实际需求，依托工业革命历史、控制理论与技术发展、工程应用三条主线，深入浅出讲解了自动化理论与技术的发展过程，从物理自动化、信息自动化到知识自动化；控制理论从经典控制理论发展到现代控制理论，控制结构从集中控制到分散控制的发展过程；工程应用也从以绿色生产、碳中和为目标的工业领域（工业生产、军事、航空航天、医疗、交通）扩展到数字经济、电商等新型智能产业领域。重点讨论了随着物联网、大数据、云计算等新一代信息技术的发展，自动化理论与技术作为人工智能的核心技术，不断与其他技术相互融合发展，推动新产业革命呈现出自主能力、协调、重组及扩充、自主学习与维护、人机共存等特征，推动产业进步，助力生产力提升，旨在指出自动化理论与技术将成为推动下一代工业发展的战略指导力量。本次活动由 CAA 普及工作委员会秘书长，中国科学院自动化研究所高级工程师宫晓燕博士主持，近万人次在线观看了直播。

## 一、信息技术的发展

人类社会发展经历四次工业革命。

### 1. 第一次工业革命

第一次工业革命的主要推手是动力的变革，即机械代替人工。在中国的历史发展过程中，包括“四大

发明”等生产装置早早出现，包括漏钟、分水仪、地动仪、指南车等，最为典型的一个工程是都江堰水利工程，在这些装置和工程中都自觉不自觉地有了系统的概念。

第一次工业革命最重要的、标准性的成果是人类进入了蒸汽的时代，由蒸汽机代替了原来的手工劳



图1 我国古代的自动装置



图2 都江堰水利工程是典型的控制系统

动。蒸汽机需要依靠控制运行，使得系统的控制成为必然需求。

维纳在《Cybernetics》这部专著中的核心思想即是控制论定义为研究生命体、机器和社会之间信息和控制的原理，故其定义控制系统时，不仅仅指工程系统，同是广义控制系统。在此系统中，核心问题是利用信息的传播处理、存储和利用实现整个系统的控制任务。由此提出重要概念——反馈。

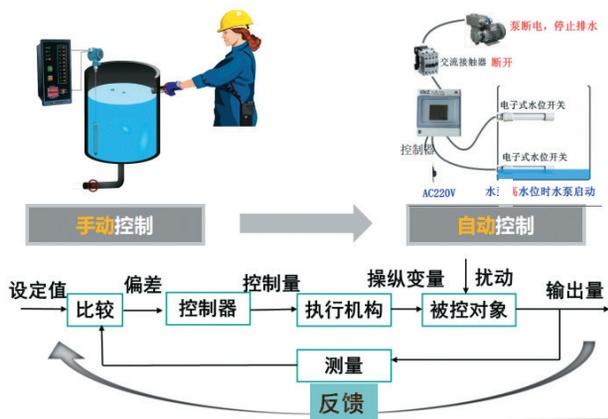


图3 自动控制系统的组成

用系统的观点分析系统控制的要求，首先需要进行建模，形成物理系统的关系。寻找这种因果关系的技术称之为系统的辨识和建模技术。一个模型描述一个系统动态变化的演化规律，在控制系统自动化技术中称之为系统的建模技术。

在建模的基础上实现系统最终目标需要控制器。

**控制：**为了改善系统的性能或达到某些特定的目的，通过对系统输出信号的采集和加工而产生控制信号施加到系统的过程。



图4 自动控制系统设计的基本步骤

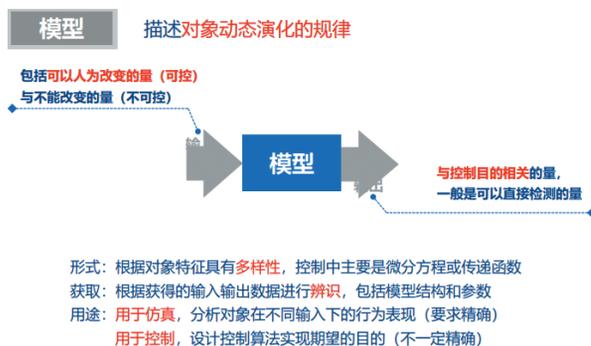


图5 基于模型的控制器设计

该控制器即指根据已知信息及所期望的目标实现一种控制作用的计算。依靠反馈形成闭环的控制系统。控制器可根据系统设定的控制要求，不断地采集系统得到的输出和系统的要求进行比较；产生偏差以后控制器控制单元克服偏差，最终使得偏差趋向于零。趋向于零即系统的输出与设定的目标一致，正是控制系统设计的目的。

## 2. 第二次工业革命

第二次工业革命的核心是内燃机，即电力的变革。

内燃机是一个电力系统的广泛应用。系统越来越复杂，系统控制的目标和要求也相应提高。第一代的控制理论基于反馈的思想、实现简单的回路控制，已经远远不满足需求。

在第二次世界大战结束的背景下，西方主要大国需要研制新式的武器。在新式武器中就需要更多的控制技术，包括火炮、雷达、飞机，整个通信系统的控制。

新式武器研制的需求



二次世界大战中火炮，雷达，飞机以及通讯系统的控制研究直接推动了经典控制理论的发展。

- 自动控制
- 电子技术
- 无线电通讯
- 数理逻辑
- 计算机技术
- 统计学

图6 复杂系统的需求推动控制理论的发展

研制的的需求直接推动经典控制理论向现代控制理论的发展。

1956年 L.S. Pontryagin 提出的极大值原理 ( Maximum Principle )，1957年 R. Bellman 提出的动态规划 ( Dynamic Programming )，1960年 R. E. Kalman 提出的状态空间法、能控能观性、Kalman 滤波，被称为现代控制理论三大基石。

第二代控制理论更是推动了当时的复杂多变量系统的发展，即把控制的思想不仅用在控制工程系统，甚至在生物、社



图7 控制理论的不同分支

会、经济、军事等。

### 3. 第三次工业革命

随着互联网技术的兴起，人类社会进入了信息时代。由于信息技术不断地发展，2000年至今的20余年，人们的生产和生活活动发生了一些颠覆性、革命性的发展。

第三次工业革命以原子能技术、航天技术、电子计算机应用为代表，包括人工合成材料、分子生物学和遗传工程等高新技术。

现在控制系统的结构和控制系统的模式发生着根本性的转变——从原来的集中式控制，向分布式控制

## DCS、智能仪表、网络通讯技术 → 分层递阶控制

### 实现了信息自动化

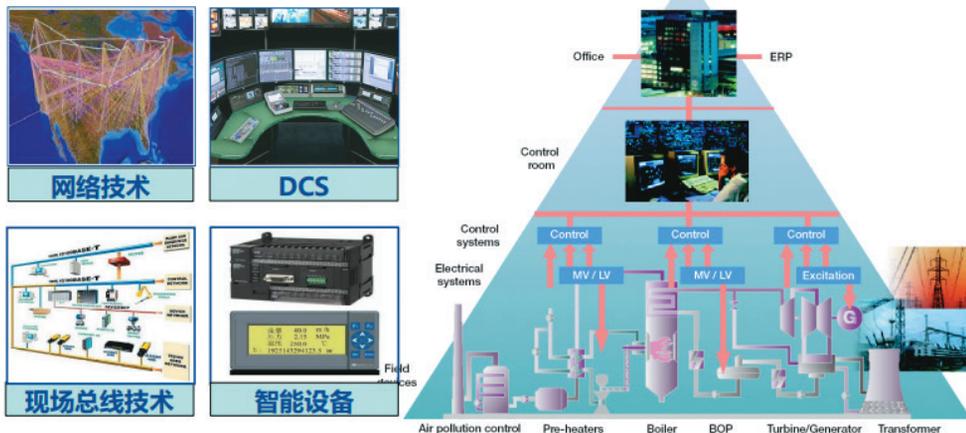


图8 网路技术的发展推动着控制模式的转变



图9 智能控制理论的新发展

模式发生深刻的变化。现在自动化技术已经渗透到人类生产和社会活动的方方面面。正是因为自动化技术的不断地发展，推动了相关产业技术的进步，包括大型炼厂，装配、航天器，航海以及日常的医疗、交通、机器人等，系统变得越来越复杂。反而言之，正是因为有成熟的控制方法、有了成熟的自动化技术，所以能够控制的系统会变得越来越复杂。

控制理论的发展再次印证了：由于生产系统的需要，控制理论的发展不断被推动。从一开始的数字控制系统、模拟控制，到后来的数字控制、智能控制，在自动化技术的发展过程当中，智能一直是很重要的概念。

智能即把人类的知识、数据融合集中起来，去处

**控制论横跨技术、生物、社会和思维等领域，运用统一的科学语言、概念和方法，从信息与控制的角度处理这些领域中的问题，形成了自己的科学体系。**

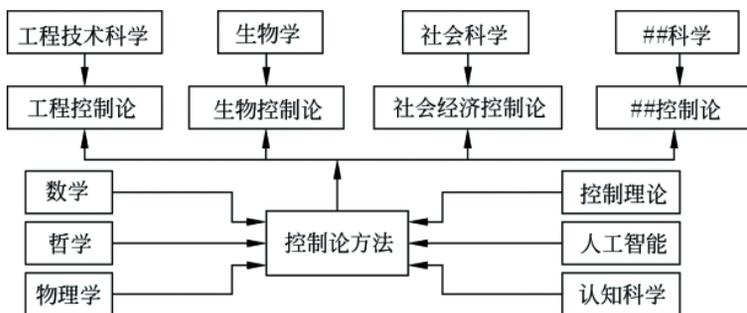


图11 控制论不断推动不同领域学科的发展

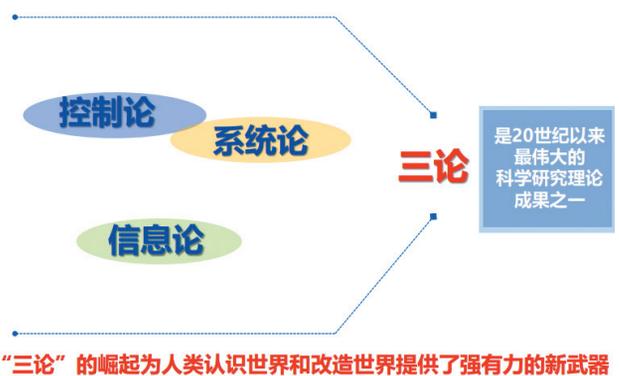


图10 控制论、系统论与信息论

理复杂系统的控制，包括这里的自身控制及鲁棒控制等。控制理论不同的分支，实际上都伴随着实际控制系统要求，推动着控制理论不断的发展。

三论的融合、三论的崛起，为人类认识世界和改造世界，提供了强有力的新的武器。

控制论不仅针对工程科学、工程系统的控制，生物、社会、交通等任何一种科学系统的控制都离不开系统论、信息论、控制论三论的融合。从信息控制的角度来讲，领域问题存在很多的共性问题，形成了独特的科学研究体系。

#### 4. 下一代工业革命

当下热议的物联网、云计算、人

工智能、大数据等，实际上均属于人工智能范畴。

下一代工业革命的发生，一定与信息技术密切相关。

回顾截至目前的几次革命，第一次工业革命是动力的变革，机械代替了人工；第二次是电力的变革，电技术的应用推动实现了新的一次工业革命，有了电、电动机、发动机；第三次工业革命进入了信息时代。现在处在第四次工业革命的前夜，或者是正在发生。所以第四次工业革命的因素，背后技术的推手定是信息技术。

## 二、信息物理系统（CPS）

CPS 系统是面对一个大型的物理系统，在物理系统的基础上，叠加信息网络。信息网络将物理系统的信息通过信息网络传递给当下的云，通过云的计算进行信息的采集、信息的传输、信息的存储、利用、计算，到最后信息的决策。这样一个决策的任务、决策的变量、决策的结果，最后通过信息网络传回到物理系统，执行最后物理系统的动作，通过一些机构最后达到整个复杂大系统的优化控制。

当今世界离不开数据。从数据、信息到决策，伴随着计算机，通讯、光电、篡改器，各学科技术都在不断进步，一些装置、控制设备也逐渐能够满足工业的

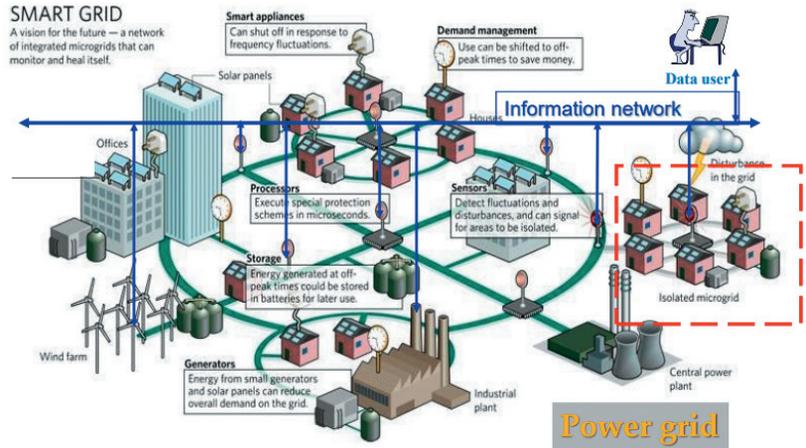


图 12 物理系统与信息网络的融合

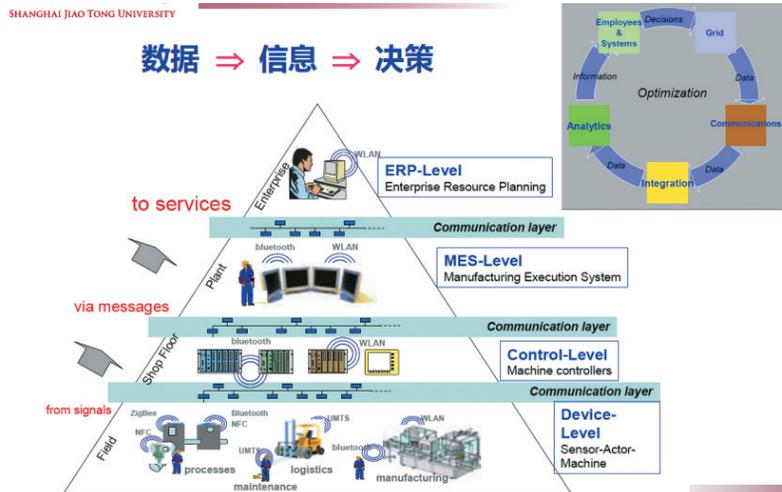


图 13 数据 - 信息 - 决策

## 混合工业控制网络

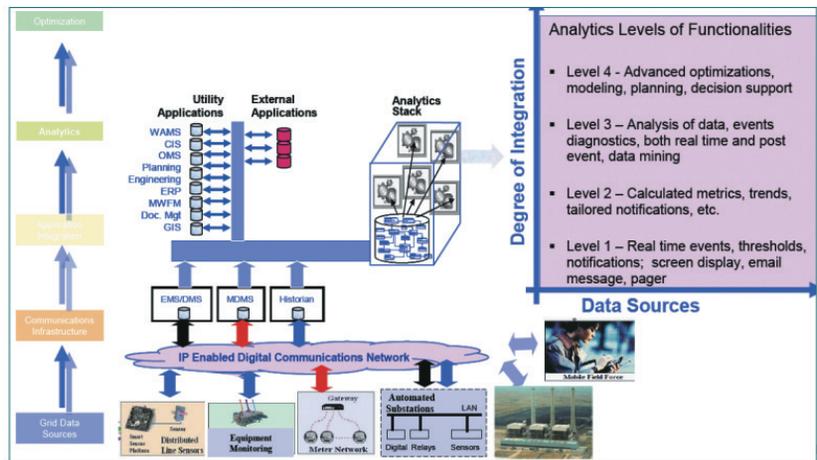


图 14 混合工业控制网络

需求。

工业互联网，即混合工业控制网络，对于网络的要求越来越高。因为控制离不开信息、控制追求实时性，所以在控制的过程中，信息实时十分重要。从控制角度，网络信息存在着丢包、错序等问题，就需要使用控制方法来解决网络通讯中的问题，利用网络传出信息。

### 三、新工业革命

从德国兴起的工业 4.0 白皮书中提到：工业 4.0 技术的核心仍然是 CPS 系统的结构及复杂问题控制系统的结构。其中用到物联网，信息采集等技术，最后实现整个控制系统的适应性，资源优化的配制，工作环境的改造，到最后能够更好的为人类的生产和社会活动、提供更好的产品商业目的。

实现智能工厂和智能生产对实现智能交通、实现智慧城市，不同的角度，不同的行业里面，有不同的一些名称、术语，最终

## INDUSTRIE 4.0

First used in 2011 at the Hanover Fair

European: Industry Development Strategy Guideline for the next decades

### 目标：智能工厂 (Smart Factory)

- 适应性 (Adaptability)
- 资源效率 (Resource Efficiency)
- 工作环境改造 (Ergonomics)
- 客户商业伙伴的集成

### 技术基础：

### Cyber-Physical Systems

### 物联网

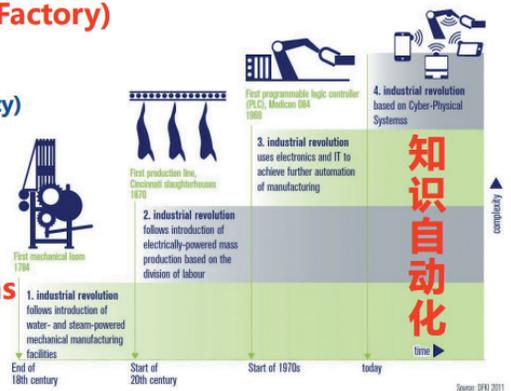


图 15 CPS 的发展推动新一次工业革命

### 智能工厂

- 智能化生产系统及过程
- 网络化分布式生产设施的实现

### 智能生产

- 整个企业的生产物流管理
- 人机互动
- 3D技术在工业生产过程中的应用

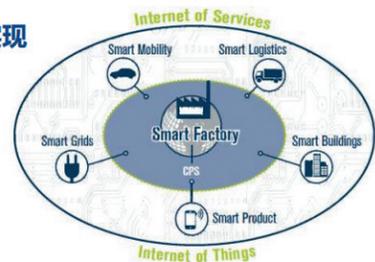


图 16 实现智能工厂与智能生产

#### 智能工厂

#### 特征

- 系统具有自主能力
- 整体可视技术的实现
- 协调、重组及扩充特性
- 自我学习及维护能力
- 人机共存的系统

#### 关键技术

- 无线感测器
- 控制系统网络化
- 工业通信无线化

#### 智能工厂

## Work Smarter, not harder!

#### Computer-Integrated Manufacturing

Real-time and accurate collection of production line data

#### Real-time Production Monitoring

Greater control over the production process

#### Automated Process Control

Reduce the need for manual intervention in the production line

#### Environmental Conditioning and Monitoring

Monitor and control environmental conditions to optimize efficiency

图 17 实现知识自动化

实现生产活动的智能化。

对工业互联网在 CPS 情况下实现整个产业颠覆性的技术变革, 推动行业的进步。在产业中, 自动化技术充当着重要的角色, 起到重要的推动作用。而由于新技术的推动和技术的不断成熟, 推动很多新型行业的诞生, 包括数字经济, 电商、智能驾驶。从自动化技术方面而言, 提升了传统工业的智能化水平; 从另一个角度来看, 很多新型的智能产业诞生, 例如: 云计算, 云服务、云控制, 逐渐形成服务性, 新型高技术的服务行业。

人们的生产和生活活动确实是颠覆性、革命性的发展。新的

## 流程工业过程整体性能最优 INDUSTRIE 4.0

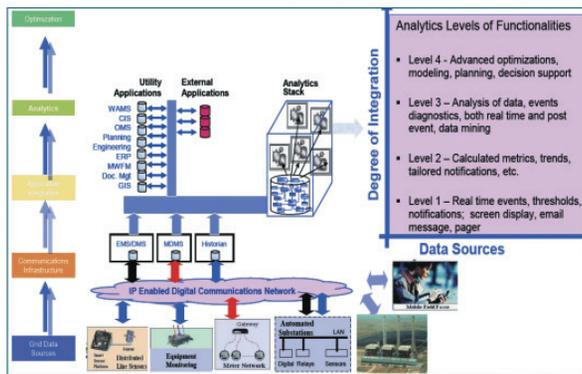


图 18 实现工业过程整体性能优化



开放结构

整体优化

工业革命伴随着系统具有更高自主的能力、整体实现可视化等新的特征。数据及可视化技术实现整个系统协调协作、重组以及可扩充性能, 还需具有自愈能力、

自我学习、维护的能力, 发展做到人机共存等。

新的技术要求结合人们的生产活动必然会发生新的革命性的发展。○

### 李少远简介



李少远, 中国自动化学会会士、副理事长, 中国自动化学会普及工作委员会特聘顾问, 上海交通大学讲席教授, 博士生导师。1987年毕业于河北工学院(现河北工业大学)自动控制系,

1992年在该系获得硕士学位, 1997年南开大学计算机与系统科学系获得博士学位, 2000年上海交通大学控制科学与工程博士后流动站出站后留校, 研究方向为网络化分布式系统的自适应预测控制、满意优化控制和生产全过程系统的优化控制, 主要成果获得2006年上海市自然科学一等奖(第一完成人), 2010年获得首届杨嘉墀科技奖二等奖, 2016年中国自动化学会自然科学一等奖(第一完成人), 2017年国家自然科学二等奖(第二完成人), 2018年国家教学成果一等奖(第一完成人)。2008年获得国

家杰出青年基金资助, 先后获得上海市教学名师和国家级“万人计划”教学名师称号, 入选国家百千万人才计划。

李少远教授现担任中国自动化学会副理事长, 中国自动化学会过程控制专业委员会副主任等职, 担任教育部自动化类专业教学指导委员会副主任, 国务院学科评议组成员(控制科学与工程), 担任“Int. J. System Control and Information Processing”国际杂志主编, 《控制理论与应用》副主编, 及多个杂志的编委。

# 家庭新成员——陪护机器人

文 / 河海大学 刘小峰

导语：2022年4月24日，CAA科普百人团专家、河海大学物联网工程学院副院长刘小峰教授做客“CAA科普大讲堂”，并作题为“家庭新成员：陪护机器人技术思考”的报告。刘小峰教授在报告中指出，随着人口老龄化加剧，未来社会对陪护机器人有着极大的需求，特别是能实现与人自然交互且满足人们情感需求的陪护机器人更受到社会的青睐。结合所带领团队的研究成果，借助于播放研究成果视频等形式，刘教授为广大听众深入浅出讲解了增强陪护机器人的交互性以及交互的自然度的自然语言处理、面部表情识别及意图识别技术，保护使用陪护机器人家庭隐私的联邦学习等关键技术。重点讨论了从技术上如何避免因人机交互不足导致的人机冲突等社会伦理问题及实现人机合作、人机互信等。最后讨论了面向人机共生的主动学习、强化学习、视觉-语言-对齐技术、人机协作等技术及未来发展趋势。刘教授的报告旨在从技术与伦理的角度为大家普及家庭陪护机器人的研发及落地过程中涉及的核心技术及面临的问题与挑战，呼吁人们加强技术公关，关注社会伦理，推动家庭陪护机器人技术的发展及落地应用。本次活动由CAA普及工作委员会秘书长，中国科学院自动化研究所高级工程师，宫晓燕博士主持，共计2.4万人次在线观看直播。

随着我国人口老龄化趋势和家庭少子化现象的加剧，老人生理上和情感上的需求往往无法得到很好的满足，这极大影响老年人的生活质量。智能机器人能够在生活很多方面帮助人们以及交流互动，是十分具有潜力的辅助工具，是应对人口老龄化的重要技术。研究陪护机器人技术成为未来缓解社会老龄化矛盾的迫切需求。本文主要介绍河海大学刘小峰团队在智能陪护机器人方面的一些突出工作。

人与机器人交互是家庭陪护

机器人走进日常生活中的必要功能，其分为物理交互和社会交互两方面。物理交互主要通过人体表现出的物理信息，如语言语音交流、身体姿势、行为动作、手势、触觉等，进行人机互动交流。陪护机器人在日常交互中收集自然和非自然的人-人和人-机器人的互动数据，然后通过先进的机器学习技术实现交互。物理交互前景广阔，当前的预训练模型的泛化能力还有所欠缺，交互的精准度还不够。刘小峰团队提出通过对语言的处理与分析了解用

户的意图，通过自然语言挖掘和分析其意图。针对手势识别提出结合深度信息与两次肤色分割，实现连续手势的截取和关键帧的选取，使用分类树和DTW算法实现上述功能。团队还设计了肌电手环采集装置，通过基于肌电信号的方式来进一步增强手势识别。同时，也设计了针对卧床老人设计的力触觉交互按钮，利用力触觉信号，能够在嘈杂的环境当中，计算得到精准的反馈姿势。团队还研究结合图像、脑电、体感等多模态数据，构建一种新型

跨模态交互，进一步提升交互体验。这些成果发表在 IEEE TIM 以及 Sensor 等期刊上。

社会交互是人与机器人之间旨在满足人的精神需求的交互。然而当前陪护机器人的社会交互功能的社会交互程度不够或者不和谐，常常给人带来困扰，导致机器人的可用性和体验较差。目前对于机器人而言，主要靠视觉检测到交互对象的行为或者运动轨迹，常见的有面部表情识别。刘小峰团队在面部表情识别中，对人的微表情提出了一种基于峰值的深度微表情识别算法。微表情往往会传递一些重要信息，而微表情持续时间短、面部肌肉运动强度低，其数据集采集困难，该工作提出通道注意力方法，结合特别设计的深度神经网络模型，在一些数据集上实现了 SOTA。该成果发表在 IEEE TCDS 上。

对于陪护机器人关注的另外

一个方面就是用户隐私，情感机器人要走进家庭，成天和人类在一起，要搜集人类的数据，隐私如何被保护成为了陪护机器人发展无法绕开的难题。刘小峰团队提出面向家庭陪护机器人的联邦学习算法，通过把本地训练的模型上传到平台上进行处理，再对本地模型实现优化，既保护了用户的隐私，又实现了数据共享。该团队针对家庭环境下机器人采集数据的缺失，以及陪护机器人的情感陪护提出的基于联邦学习算法，工作创造性的提出陪护机器人的隐私保护学习框架，针对数据多样性导致非独立同分布问题也进行了改进和优化。该部分工作发表在 Knowledge Based System 期刊上。

陪护机器人中的人机交互和用户隐私工作，都是为未来陪护机器人走进日常生活中而准备，达到人机共生的目标。人机共生

是人机交互的终极形态，人机交互的动机就是人机共生。人类善于完成一些创造性的工作，能够应对复杂场景和动态变化的信息，而人工智能擅长处理单调重复性、逻辑性较强的工作。人类智能和人工智能可以优势互补，增强复杂困难问题的处理能力。人机合作人在回路的混合智能，人机互信是该技术的基础。刘小峰团队研究通过主动学习、人在回路中的强化学习、视觉-语言-对齐和人机合作-人在回路的混合智能等技术。在工作回路中将人的反馈包括到机器学习模型的训练循环，采集人的示范数据和策略。目前，团队提出了一种基于 GAN 的逆强化学习方法-增强 Generative Adversarial Imitation Learning (GAIL)，利用与人类交互得到的经验，学习人的策略，优化相应的奖励函数，提高智能体的决策能力和学

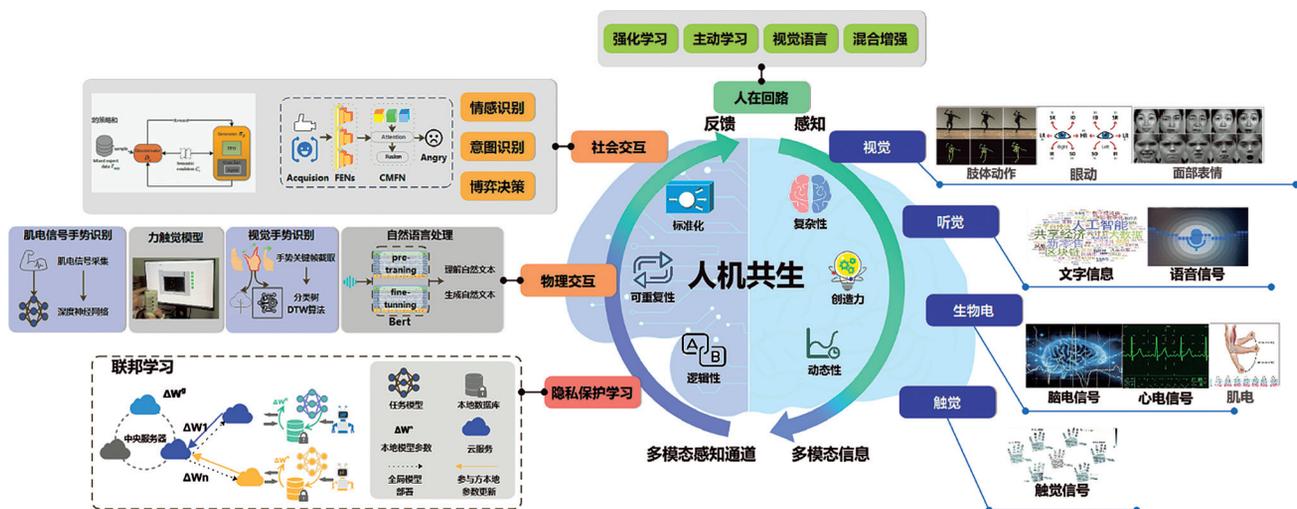


图1 人机共生框架

习效率。

总之，在老龄社会当中迫切需要陪护机器人技术，其中自然交互技术、自然人机交互技术拉近了机器人的社交距离与应用门槛；用户隐私技术，在万物互联，智能机器人提供个性化智能服务的同时保护个人隐私数据；人机共生，人与机器人协同发展，优势互补，构成安全高效的人机生活的环境。○

## 刘小峰简介



刘小峰，西安交通大学博士，2010年晋升教授，2011年被聘为博士生导师。现任河海大学物联网工程学院副院长，江苏省特种机器人技术重点实验室副主任，英国曼彻斯特大学名誉教授。2012年入选江苏省“青蓝工程”优秀中青年带头人、同年获得江苏省六大人才高峰高层次人才。主要研究兴趣为人机交互，社交机器人，生物启发的导航技术，神经工程，物联网。

# 控制论与社会：闭环看世界

文 / 南京理工大学 邹云

导语：2022年5月24日，南京理工大学教授、国务院特殊津贴专家邹云做客“CAA科普大讲堂”，作题为“闭环看世界”的报告。邹云教授在报告中指出，“闭环看世界”其实是一种看世界的方法论，它的精髓在于充分尊重认知对象存在的独立性。邹教授以“农夫与蛇”、“斗米恩、升米仇”的社会现象为例，从控制论的角度给出科学理性的解决措施，深入浅出地阐述了“闭环看世界”与“开环看世界”的区别，反思、检讨与解密“帮助”的人文主义内涵。他提出闭环行为方式活在世上的人，忘记了闭环看世界，才陷入萨特所言“他人就是地狱”的伤害感泥沼。本次活动由CAA普及工作委员会副主任委员、中国科学院自动化研究所高级工程师刘希未主持，共计近3万人次在线观看直播。

反馈是控制论中的基本概念。它是指用结果和目的的偏差来调整行为以消除偏差的过程。在教科书上，反馈是非常典型的一个控制环节。其流程是：将控制结果反向与控制目的做比较，依据其偏差校正控制行为，以最终消除或减少偏差，从而有效地

逼近达成控制目的。在这个过程中，反向关联结果与目的构成了一个环路，也就形成控制论中的闭环。

## 一、反馈的内在精神

作为一种控制论的工具，反馈得以存在的基础是消除偏差，

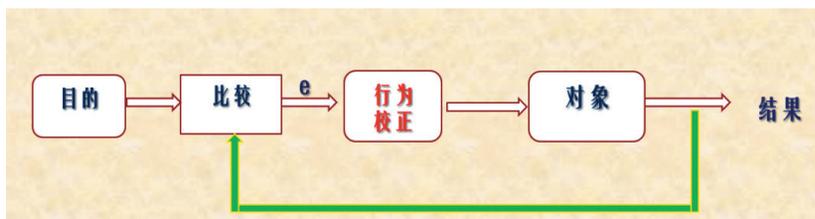


图1 反馈与闭环

而偏差存在的实质是控制者与作用对象之间属于不同的存在。当控制者作为作用主体与被其作用的对象之间产生了偏差时，为了消除这种偏差，需要进行反馈调节。因此，反馈的精神实质是：最大限度尊重对象的独立存在，调整主体使得主体和对象的关系达到一种真实世界里的等同。控制理论的反馈是对行为进行策略的反馈，但任何行为的策略，其建立的基础是对世界的认知基础上，如果认知出现问题，那么该反馈就是虚假的、不起作用的，反馈也就得不到满意结果。所以，如果没有对对象的尊重，就没有实质性的反馈，这就是反馈的内在精神。

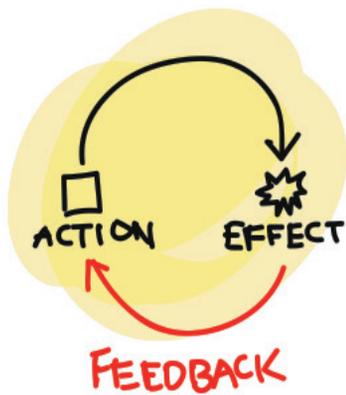


图2 反馈内在精神

## 二、认知模式的分类

从心态上认知模式可以分为两类，一类是尊重认知对象的独立存在性；另一类是忽视认知对象的独立存在性。对于前者，它采取的是闭环认知方式，具有反馈精神。对于后者，它采取的是开环认知方式，其认知的实质不能被结果改变。

如果充分尊重对象或者外部世界的独立存在性，当系统控制出现偏差时，通过反馈校正此前的认知，而后得到的闭环策略的有效性才有可能客观真实的。

## 三、闭环看世界

看世界与研究认知世界是不一样的，研究认知世界时出现错误可以重新开始一轮认知研究，这个反馈和

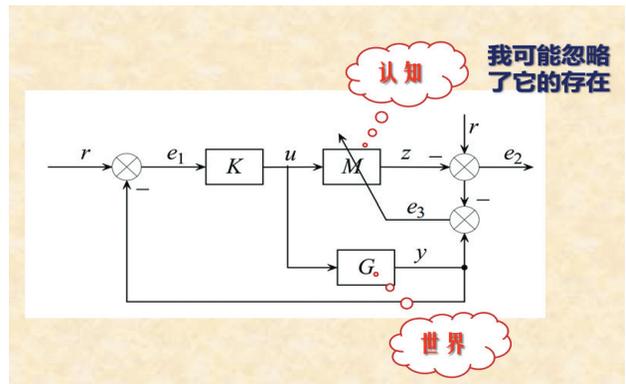


图3 闭环看世界

行为上的反馈闭环是一样的。但是看世界不一样，看世界指的是对某一事物的某一次的认知过程，不涉及再次纠错的机会（实际中很多情况下，可能不再有类似的再次情况发生）。所以，闭环看世界的精髓是充分尊重认知对象的独立存在，而不在于修正认知的方法。其反馈机制可以用下图的反馈调节来表示。

这里，假定本讲座的受众都是控制界的，因此对图中的符号不做详细说明。那么，如果不能充分尊重认知对象（G）的独立存在，当认知（M）出现错误时（偏差  $e_3$  很大），我们就可能忽略该事物存在的合理性。其中，“合理”（rational）不是说“正确”（correct）、“对”（right）或者“有理”（reasonable）等价值观判断，而是指该事物得以存在的自然机理或自然逻辑基础。也即“存在即合理”这句名言里的汉译“合理”的涵义所在。

控制论从哲学上来说，它是行为主义的目的论，根据特定目的对对象进行调整控制，使得对象的行为和目的行为近似一致。而进行该控制的基础是要对研究对象有正确的认知，或者具有符合实际的认知。

## 四、开环看世界

对于开环看世界而言，如图3所示，当认知与世界出现很大偏差时，这种开环认知方式以为可以通过调节改变对象的独立存在本质，达到反馈调节的目的。在开环认知中，认知是固化的，它与世界之间并不是

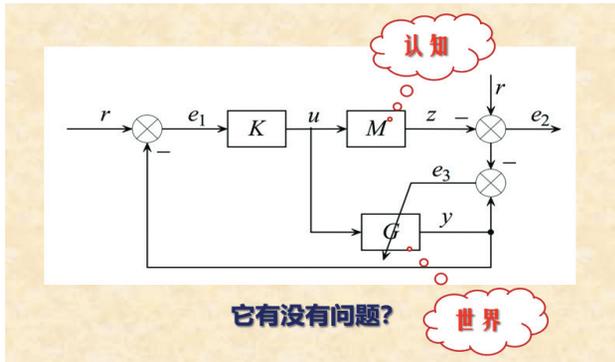


图4 开环看世界

直接关联的，要求认知对象服从认知。在形式上，整个认知的反馈、行为的反馈调节都存在，但由于认知对象内在独立存在并不能被真正调节，因此便形成了虚假或无效的闭环。

### 五、从农夫与蛇谈闭环看世界

农夫与蛇的英文原版最后一句话：The greatest kindness will not bind the ungrateful，翻译为中文是：高贵的仁慈并不能阻止忘恩负义。我们当今流传的版本最后一句话是，绝不要怜悯蛇一样的恶人。这句话说的比较内涵和含蓄，如果用通俗语言解释就是：绝不要去救那些像蛇一样的恶人。两种版本中，高贵的仁慈并不能阻止忘恩负义，这是认知。而绝不要怜悯蛇一样的恶人，这是策略。

第一个版本中，农夫把他以为是人的善意与知恩

图报加诸于蛇的身上，因而没有采取任何防范措施，导致后面悲剧的发生。其根源就在于他用他自己的世界覆盖掉了认知对象，没有尊重认知对象的独立存在性。因此他是开环看世界。

在农夫与蛇故事中，被咬后农夫看世界的模式有变化吗？被咬前，农夫是对蛇的认知用人的善意与知恩图报覆盖。被咬后，他对蛇的认知用人的恶意与忘恩负义覆盖。这是一个极端到另一个极端，但结果却是人的道德理念施加到蛇的身上，蛇的独立存在性被忽略。因被咬而产生的反馈丝毫没有改变农夫看世界的模式，农夫直到死看世界的模式依旧是开环的，他的闭环依旧是虚假的、无效的，无法解决“救蛇悖论”的。因此，如果我们一味地认为结果和目的建立一个反向通道就一定能够纠正偏差的话，那是我们对反馈和闭环的最大误解。

因为农夫看世界是开环的，所以蛇的好与坏，它只是一个道德评判与道德谴责，但常识告诉我们，对一个人的道德谴责、评判，其实是对我们谴责对象的一种要求，也就是说律他。所以，人的道德理念在蛇的任何行为下，最后都是按人的道德理念对蛇做出相应的要求。因此开环是把所有的认知偏差归结到认知对象的不恰当上，而不是归因于自我认知的失去客观上。

当然，也可得到这样的观察：蛇被农夫暖醒时，冬眠被打断。它突然发现自己在一个非常陌生可怕的环境里，惊慌之际本能使然地咬了农夫一口。这个观

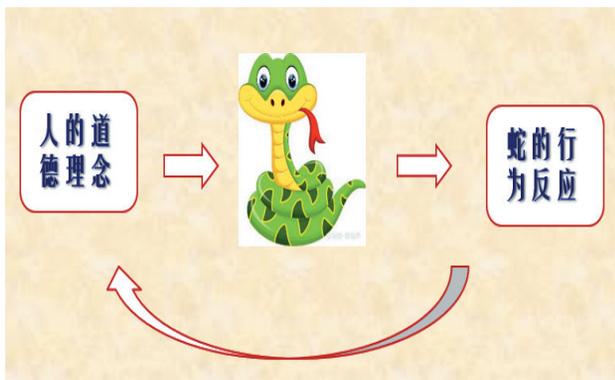


图5 闭环看世界：农夫与蛇

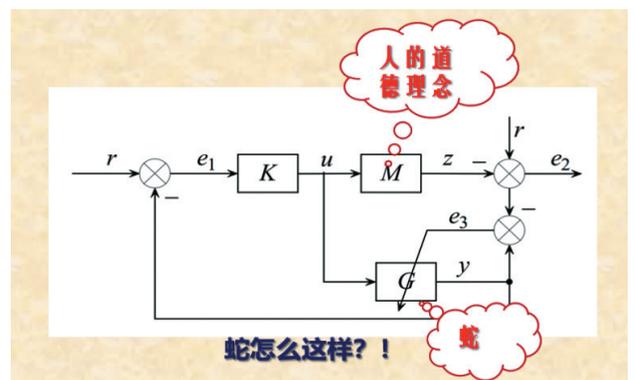


图6 农夫与蛇反馈

察虽然有偏离寓言故事本意之嫌，却也揭示了认知对象作为独立存在可能出现的一种情形。此时，真正的救助应该是将冻僵的蛇放入隐蔽的洞窟里，覆盖上树枝等遮蔽物。当然，这样做的话，根本没有危险性。这个做法必须建立在对蛇的习性充分了解的基础上。事实上，现实世界里类似这样的情形时有发生。

另一个问题：将蛇换做一棵精心照料却砸坏了他的树，农夫会不会有伤害感？对于农夫的伤害感，以蛇为例。

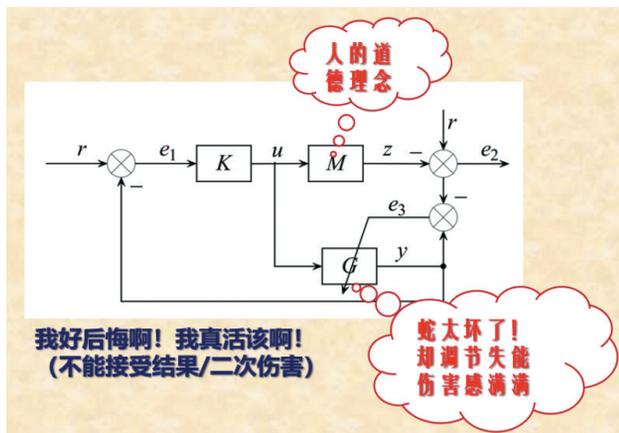


图7 农夫伤害感

农夫的认知是开环的，他认为蛇的行为是不道德的，最后他就对蛇进行道德的谴责。实际上农夫希望蛇能改变，但这是蛇无法改变的天性。这是由于农夫与蛇是同等存在，农夫的内在是由自己的逻辑、理念、道德来运作的，他认为这也应该是蛇的正常行为。

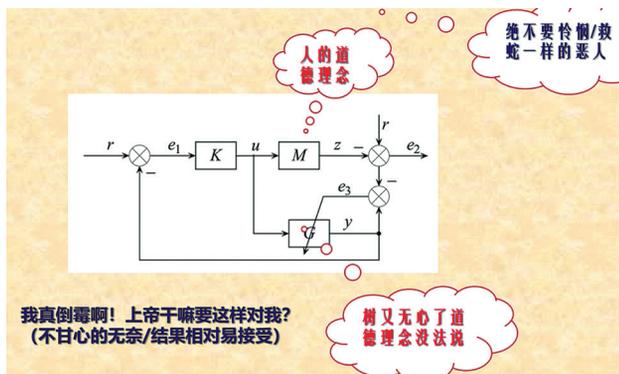


图8 树的伤害感

如此，反过来看蛇的表现，就会觉得蛇不应该这样，而且还拿蛇没有任何办法，蛇依旧活得好好的。这个结果农夫是不能接受的，他甚至觉得这世道和社会是不公平的。这便是农夫的二次伤害。也即伤害感。

而在树的情形，农夫认为树是无心突然倒下的。

在道德理念上，农夫对这个结果可能比较容易接受，他觉得自己比较倒霉，也就是说他更容易接受这个事实。这是为什么呢？

控制论是目的论的行为主义。为了通过某个受控对象实现某个目的，经常会在一定范围内，用一个替代的机理模型描述该对象的行为模式，进而以此机理模型为准设计控制策略去控制实际对象。这就是黑箱方法。从黑箱方法上看，开环看世界的树和闭环看世界的树，它们最终的结果是几乎一样的。在开环看世界里面，树和人的差异太大，因此，树的独立性碰巧得到了农夫应有的尊重。

在控制学中，为了使替代机理模型有效发挥出作用，我们需要将真实对象的各种动态充分的激励出来，然后观察替代效果的优劣。自适应控制中，即使经充分激励使得替代机理都能很好地逼近真实对象的行为模式，并能完美实现反馈调节，它也还是认为替代机理只是个等效的替代，而不是实际对象，其内在机理依旧存在被等效性遮掩住的不同。人类要超越自己，必须对反馈有这样的认知，并把反馈的精神从技术上体现出来，当这种精神发挥到极致时，此时我们就是在用闭环看待世界。

泰戈尔说，“我们看错了世界，却说它欺骗了我们”，这句话诠释了伤害感在我们生活中造成的破坏性。我们可以从以下一个伤害可能很小，但是伤害感极强的例子中看出。在高速公路的服务区，一位女生和邻座一起下车休息，却发现只剩下自己，而大巴已在启动中。由于最终赶上了大巴，实在的伤害可能是很小的，但是伤害感极强。

有趣的是，类似于蛇和树：如果邻座是陌生人，女生会觉得这人不咋样。这个认知会导致二次伤害，

但不大。而若是闺蜜，伤害可能就无法修复，但浅层次维系还是可以的。如果这是男友，分手则几乎是必然的。这是因为用以覆盖他的“他应该…”的认知，导致的二次伤害太大了。

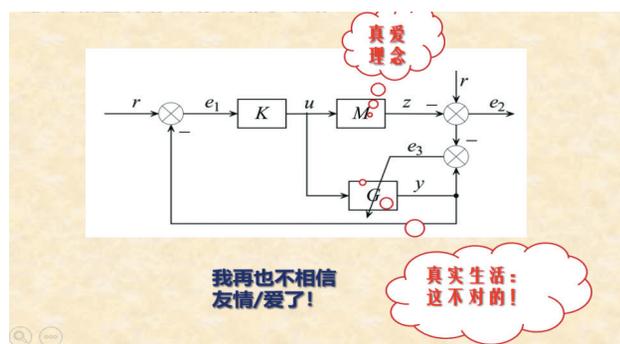


图9 伤害感

这个例子里，女生对真爱和友情的理念是固化了的，因此她只会对真实生活做出评判，最后的结果是我再也不相信友情，我再也不相信爱了。伤害感深重。因此，当我们从尊重认知对象独立存在性的心态来对此评价时，可以说伤害感是自己对自己的二次伤害，他人最多像倒下的树，会带来伤害，但不会带来伤害感，也不会带来二次伤害。这里，是不是很容易看到泰戈尔的名言？并深度折射出开环看世界带来的二次伤害效应？

## 六、闭环看世界：斗米恩、升米仇？

我们常说“斗米恩，升米仇”，顾名思义就是给一个需要帮助的人一斗米，他会感激你的恩情，但是如果给他一升米，恐怕就成了仇人了。这就是“斗米恩，升米仇”字面意思。众所周知，一升是比一斗更多的一个计量单位，为什么给他更多的东西他却越不欢喜呢？

可能的头绪很多，但根本问题恐怕出在对“何为帮助”的认知上。“帮助”不就是对缺乏各种资源的人提供资源补偿么？这个，难道还有歧义？黑格尔说：熟知非真知。何谓帮助，可能还真不是那么简单。因为受助者究竟需求的是什么？他自己也未必真的清楚。

这里先做一个案例观察。

有个女生叫紫云，同时被国内清北和国外普林斯顿录取。因父亲生意失利，家道中落，亲戚朋友无人愿意伸出援手，内心非常纠结：她该如何去上大学？对她而言，怎样的帮助是帮助呢？

情形一：趁火打劫的刘大块头。刘大块头帮助紫云的前提是她要做自己的女朋友。这个显然不是帮助，这是要挟。它试图将受助者拉入更大的危机，当然丝毫没有表现出对受助者的独立存在性尊重。这类对“帮助”的认知显然是一种绝对的开环，而且是极端利己的开环。

情形二：无偿施助者企业家老季。老季认为紫云是优秀人才，决定无偿全额资助。紫云去了理想的大学。可是，故事到此并未结束。后续可能有两个分叉。

分叉一：大学四年，紫云很少联系老季，甚至过年过节也不去拜个年。老季非常伤心：遇到了“白眼狼”了。这个情形里，老季的帮助有个特点：以自以为的受助心理定位覆盖了受助对象的受助反应模式，因此它是一种开环认知下的帮助。这种认知使得老季受到了严重的二次伤害：这里，一次伤害理应不存在，因为经济的援助是无偿的，从一开始就是无代价回馈地给出去的。

分叉二，紫云毕业了在一家经济开发区管委会任职，发展的比较好。老季对紫云非常满意，有亲戚朋友需要帮忙的事就给紫云打电话帮助解决。紫云都会



图10 我当初为什么要渴望帮助

尽量帮他办理，但感觉自己压力越来越大。甚至后悔当初接受了老季资助。而老季发现，紫云越来越表现得勉强，心里非常不适。

情形二里，无论后面情节如何发展，其特征是：这类帮助的核心，是帮助者以其自身道德理念对受助对象的一种主导性认知覆盖，从而忽略了受助对象独立存在性。事实上，这种忽略很严重。它是对受助者独立存在性是一种道德高地自居方式的漠视。因此，这种帮助践行的是一种开环认知意义上的帮助。它带来的，不仅是对资助者的二次伤害，甚至也会对受助者酿成一种潜在的伤害。

情形三：有偿施助者段先生。段先生是一名股票经纪人，他与紫云签订了提供无息或者低息贷款的合同。多年后，紫云回顾这段经历，感慨万千：尽管艰辛，努力是值得的。非常感谢段先生的贷款。



图 11 提供低息贷款

有趣的是，在这个情形，不是无偿资助，受助对象却可持续性地摆脱了纠结。为什么呢？是不是因为对受助者的独立存在性恰巧有了更多的尊重呢？值得深思。联想到情形二，老季是否也可以签订一个“感恩合约”呢？每年至少要感谢几次，过年过节必须如何，探望次数不得少于多少？他会签吗？不会。不仅不会，还避之唯恐不及。

都说“情义无价”，这样的“无价”有价化了，还是情谊？可是，有价的“无偿”，居然潜规则地要

求用“无价的”情谊抵偿，究竟是一种“无偿”，还是一种道德高地自居的隐形索取？伤心？无偿了，怎会伤心？可见，“无偿”、“无私”是虚假的、无效的。开环看世界，认知的“帮助”，相当脆弱，动辄导致伤害感。这也是现实生活中为何总是出现“一方有恩于对方的两人，特别容易反目成仇”现象的控制论机理所在。

情形四：奇特的施助者，退休的王老师。紫云路遇教过自己的王老师。王老师看了一下紫云的情况，仔细思考了一下，帮助紫云分析了相关的情况，提出了自己的建议：报考提前批次的科技类军校。免学费，有生活津贴。教育资源也比较丰富，高端科研涉及的大多是高科技领域。

若干年后，首席军工专家紫云，感慨地说：人生总有遗憾，却有更多幸运。当年能路遇王老师，是命运对她这一生最大的眷顾。这个情形中，没有物质资助，也没有需要回报的情感。然而，无论帮助的效果，还是帮助者与受助者的关系，都达到了空前的完美。



图 12 王老师的疏导

这里，没有一次伤害，更不存在二次伤害。即使紫云忘记了这次路遇，对王老师来说，也是无关紧要。或许，她自己更先忘记了。这又是为什么呢？恐怕更加值得深思：帮助的实质究竟是什么？

同样的窘境，不同的人，不同的心态，对帮助的需求都是不同的：有的人对帮助是渴望的，而有的人觉得自己根本不需要帮助。因为对帮助的需求不一样，所以帮助也很复杂，但是这些复杂之间有一定的共性，从有效帮助到完美帮助，我们可以找到一种充分尊重

受助对象独立存在性的认知：帮助的需求实际上是一种自我心理失衡。



图 13 需求帮助的本质

可见，人需要帮助是因为需求面临断裂，需要借力克服或使之缓解，以使这个断裂导致的心理危机得以平复。因此，真正的帮助都是会尽可能保持或强化、而不是削弱受助者应对危机感的心态与能力的。凡是能够提供满足这样需求的支持，都充分尊重了受助者的内在独立存在性。因此，这样的帮助是闭环视角下的帮助。

## 七、开环和闭环看世界：帮助

另一种情形是：始终认为受助者需要的就是他们

感觉缺乏的，从而帮助就是尽可能提供这样的支持。一旦发现与预想情况的偏差很大（如出现了斗米恩、升米仇现象），因此不会去检讨自己对帮助内涵的认知（或对受助真正需求的探析），而是很自然地认为帮助者品或人性出现了问题。于是从中得出结论：人不能太善良。这是开环看世界的结果。伤害感由此而生。

分析闭环需要有探究帮助的内涵。从斗米恩，升米仇这个故事的经过可以看出，开环认知的“帮助”，没有解决受助者的根本问题，对缺乏的物质一味地加以补偿，一旦超出基本需求范畴，则只会让受助者变得更加脆弱。这样的情况下减少帮助，受助者就会产生深刻的危机感，反过来会反噬受助者。

所以，问题不是什么人不能太善良。根本不存在什么“太善良”，而是人经常地太自以为是。闭环而言，削弱受助者对危机的抗衡强度，最终会伤害受助者。如果帮助的结果是用一种心理危机替代另一种心理危机，那么这个帮助就不能称作真正的帮助。它只是帮助者用自己对受助者响应模式的想当然去覆盖了受助者的独立存在性具有的固有内在特性。

因此，闭环看世界视角之下的帮助，不仅有助于强化帮助的实际效果，而且有助于豁免帮助者做无谓

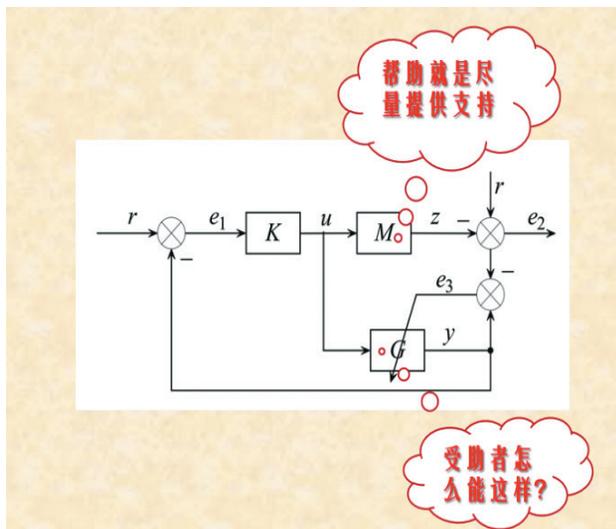


图 14 开环世界的帮助

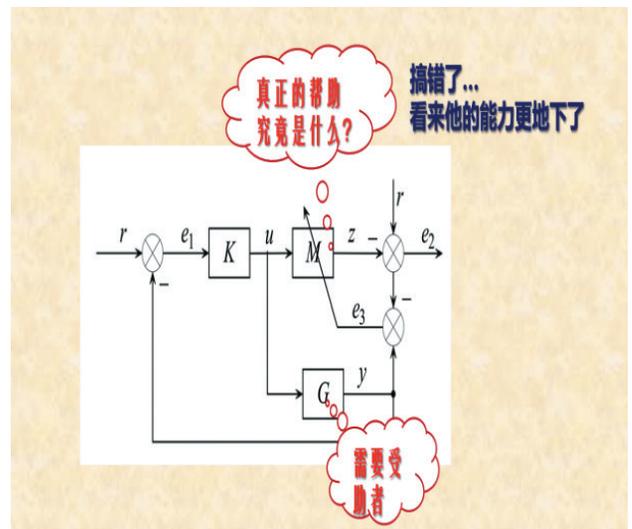


图 15 闭环世界的帮助

的自我二次伤害。

## 八、帮助策略案例

帮助者如何选择帮助的策略，使得该策略下的闭环能够很好的达到帮助的含义，这是值得我们去探索和研究的。真正的帮助是通过恰当的方式和手段以消解或减轻受助者内心严重的困顿与障碍，而不是起到相反的效果。

如前所说，如果在消除严重困顿时，我们把受助者带入了另一种严重困顿，这种帮助不是真正的帮助。所谓的斗米恩，升米仇，实际上是斗米解困，升米毁能。它深刻的加剧了需求导致的心理危机，不是真正意义上的帮助。我们可以从以下两个案例中来分析如何选择合适的帮助策略。

### 案例一：我想帮助她

老师要大家使用英词典学习英语，一本英语词典价格将近好几百元。紫云是班上的班花，一直不舍得购买。这时班上有个男生出于善意想送她一本，但是男生担心自己被别人误认为对女生有意思。

男生询问教授该怎么做，教授告诉他，你怕留有心理负担，就将词典低价转让给她。男生听取了教授的建议找到紫云，问她能不能帮自己一个忙：自己买重了一本词典，书店不让退回，可否低价转让给她？帮助得以完美达成。从这个案例可以看出，无偿帮助未必比有偿帮助更好，有偿帮助在很多情况下可能体现对受助对象独立存在的尊重。



图 16 帮助不是纠结取代

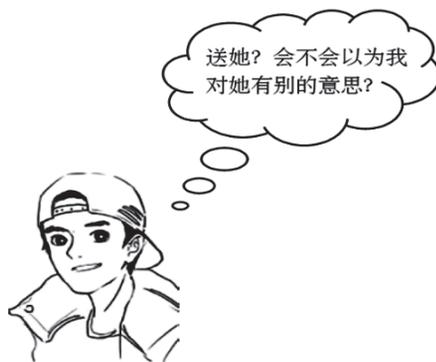


图 17 有效帮助

### 案例二：马歇尔计划

二战结束以后，欧洲一片废墟，世界经济十分萧条。美国为了将欧洲的经济发展起来，以从中获得更大的利益。当时由马歇尔主持提出了一个援助欧洲复兴计划，史称马歇尔计划。马歇尔计划，通俗解释类似于自然科学基金资助，由欧洲的经济实体提出产业振兴计划，经专业的评估机构审核，达到援助要求后批准资助实施。在计划执行的全程，实行阶段检查，每一次合格后才会继续进行援助。马歇尔计划是有偿帮助，但对于美国和欧洲却是一种双赢。

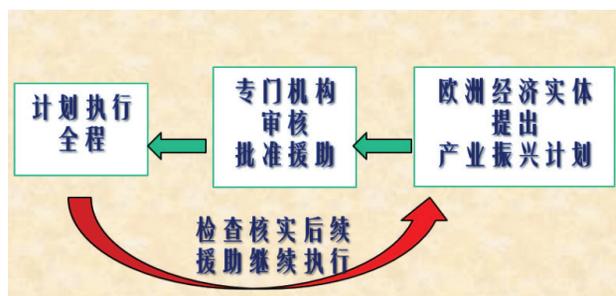


图 18 马歇尔计划

马歇尔计划符合我们提到的闭环帮助，它充分的尊重欧洲经济实体的独立存在，充分发挥了欧洲经济实体自身的作用。马歇尔计划给我们最大的启示，就是用闭环的眼光去看待帮助。如果在外发展很好的人，能够参照马歇尔计划的援助精髓，取代衣锦还乡派发红包的传统做法，由乡民提出可行的生产发展计划，引入审核机制进行精准资助，进而控制承担资助经营

的失败风险、获得成功资助获得的合理红利，对比锦衣还乡所起到帮助的作用应该会更好。

上述帮助计划下，斗米恩，升米仇的问题便不会产生，而且在这个过程中，由于充分尊重受资助者的独立存在性，培育起来的是受资助者应对危机的心态强度与处置能力。这种帮助的内涵是符合闭环认知的核心理念的。

这里，我们再次强调，闭环看世界，帮助不是减弱、而是尽可能的保持与强化受助者具备可持续的危机自洽应对心态的能力，那么到底是人不能太善良？还是人不能太自以为是？

斗米恩，升米仇？这是开环看世界导致的荒谬感，它会对资助者造成深重的二次伤害。

## 九、总结

加缪说：“人生不荒谬，世界也不荒谬，人活在这世上才荒谬的。”意思是说：人的思想是开放、合理的。世界则有它的规律。特别地，每个人是等同的，都有自己的理念、逻辑和认知方式。这些都没问题。然而，人和世界、人和人却都在同一个时空里，相互联系，相互影响，因此产生了荒谬感。

以开环看待世界，看待他人，结果就会造成不断的严重的自我伤害和二次伤害，最后发现这世界上来自他人的，都是法国哲学家萨特的《他人就是地狱》告诉我们的那

样：来自各种伤害感的无尽折磨。

闭环行为方式活在世上的人，忘记了闭环看世界，才陷入萨特所言“他人就是地狱”的伤害感泥沼。所以，我们只有闭环看世界才能设计出真正有效的校正偏差的闭环系统。闭环看世界的精髓就是尊重其它事务的独立存在。它消除荒谬，豁免对自己的二次伤害。

-----  
写在最后：感谢中国自动化学会陶则宇老师，为我不成熟的讲座做了文字整理，并发给我修订。修订了几遍，还是有多处的晦涩难懂。说明对相关控制论机理的领悟，无论对错，粗浅依旧。机理的领悟，只有遇到具体的案例才知深浅。爱因斯坦说：“If you can't explain it simply, you don't understand it well enough”。堪称至理名言。

认知，是一个复杂的过程。这里，自知很重要。比如自知自己非常有限，因此自己的认知必定是不足的，那么就一定不会漠视认知对象的独立存在。哪怕认知不清，也是如此。如是，原本的开环认知也就转化为闭环的了。因此，按照前面的认知类型分类：任何时候，自知，则认知可成闭环。

Only two things are infinite: the universe and human stupidity; and I'm not sure about the universe.  
\_ Albert Einstein. ○

## 邹云简介



邹云，南京理工大学自动化学院教授、国务院特殊津贴专家。1983年于西北大学数学系获理学学士学位。1987年和1990年于南京理工大学分获工学硕士与工学博士学位。现为中国自动化学会荣誉理事，江苏省自动化学会常务理事/学术工作委员会主任，江苏电机工程学会常务理事/可再生能源专业委员会副主任委员，美国数学学会（AMS）终身会员。《控制理论与应用》、《电力工程技术》编委，《系统与控制纵横》副主编，美国数学学会《数学评论》评论员。于国防工业出版社、科学出版社、中国电力出版社和斯普林格出版社合作出版学术专著5部，获教育部自然科学一等奖、二等奖各一项和江苏省科学技术二等奖、三等奖各一项。目前研究兴趣为系统与控制一体化设计理论与方法、风力发电控制理论与技术、多时间尺度系统的分析与综合。

# 目标检测在电动车骑手头盔检测中的应用

文 / 复旦大学 赵卫东

导语：2022年6月12日，CAA科普百人团专家、复旦大学赵卫东副教授做客“CAA科普大讲堂”，为大家带来题为“目标检测在电动车骑手安全帽检测中的应用”的报告。报告中，赵卫东副教授指出为了解决由于有些市民安全意识淡薄，驾驶电动车时不佩戴头盔导致的非机动车交通事故隐患，基于机器学习、深度学习方法，利用YOLO v5目标检测预训练模型，课题组开发了基于目标检测的电动车骑手头盔佩戴检测算法，并最终实现移动端的电动车头盔佩戴检测，辅助执法人员查处非机动车不佩戴安全头盔的行为。在报告中，赵卫东副教授重点结合骑手头盔佩戴检测算法的开发过程，讨论了针对骑手头盔比较小，检测距离远、电动车速度快、自行车与电动车难以区分等问题，利用YOLO v5实现骑手头盔佩戴目标检测的技术与流程，为公众普及机器学习、深度学习在解决目标检测等现实问题流程及应用方法，鼓励大家积极开展机器学习技术应用研究，利用人工智能技术解决诸如交通安全隐患等社会现实问题，赋能社会安全高效发展，助力人民幸福生活。本次活动由CAA普及工作委员会秘书长，中国科学院自动化研究所高级工程师，宫晓燕博士主持，共计约4.4万人次在线观看直播。

交通与我们的生活息息相关，但由于有些市民的安全意识较为淡薄，在驾驶电动车的时候经常不戴头盔，存在较大的安全隐患，从而导致交通事故逐年提高。而目标检测可以在视频或图像当中检测出物体的类型以及位置，于是可以采用目标检测技术，对电动车骑手是否佩戴头盔做出自动检测，从而辅助交警处罚不遵守《交通法》的骑手，以此来达到警示作用并降低交通事故发生率。

## 一、案例内容简介

本项目主要是采用YOLO v5

主流的目标检测的算法，通过对现实生活中电动车骑手的数据进行采集、预处理，然后对于训练的YOLO v5的模型进行再次的训练、调优，从而将其应用到骑手头盔上，最终对电动车骑手是否佩戴头盔进行有效的识别，辅助执法人员查处骑电动车不佩戴安全头盔的行为。

为了增强工程的实用能力，我们把训练好的模型通过NCNN工具将它部署在手机、Pad等移动端的APP上，从而实现边缘端的检测，以此来增强实用性。

## 二、业务背景分析

作为一种便利的交通工具，电动车在我国使用非常广泛。但是电动车的交通事故常年频繁发生，其中一个很重要的原因，除了不遵守交规外，骑手不戴头盔也是一个非常大的原因。众所周知，头盔起到一个保护头部的作用，当骑手跌倒以后，头盔在很大的程度上可以起到一个缓冲、保护的作用。

近年来，国内的一些城市就针对电动车头盔问题开始立法工作，上海在2021年5月1日起，

规定电动车的骑手需要戴安全头盔。但于此同时会带来另一个问题，由于交警的数量有限，不能时刻监督处理这样的违法行为。于是，为了对电动车骑手的行车安全起监督、督促的作用，我们利用人工智能检测的技术开发一款应用 APP，该 APP 能自动的检测行驶在道路上的骑电动车的骑手是否佩戴头盔。如果未佩戴头盔，应用上的语音会发出警告提示骑手，这样不仅可解决交警的压力，而且对电动车骑手的行车安全也起到了监督、督促的作用。

### 三、基本需求

检测电动车头盔并非很简单，因为道路上车流往往比较大，骑手的速度往往比自行车、行人的速度要快，尤其最近几年外卖、快递行业的兴起，道路上骑着电动车的快递小哥也急剧增加。

在识别电动车的问题上，如图 1 所示，电动车骑手头盔目标检测不仅仅要判断图片中是否是“电动车”，还要在图片中标记出“电动车”和“头盔”的位置，然后利用标注工具用边框进行框定。在检测头盔的时候，首先要检测出骑电动车的人，然后再检测这个人的头部是否佩戴了头盔。所以基本的需求并不是简单的检测头盔，而是检测这个头盔是不是佩戴在骑电动车的骑手头上。在我们采集数据样本的时候，怎么

去标注、怎么去选择合适的样本，这是我们需要重点考虑的问题。



图 1 电动车头盔检测

### 四、电动车头盔检测难点

从需求的角度出发，如图 2 所示，输出的是能够检测车流里面骑电动车的骑手，而对于骑自行车的骑手以及检测行人和汽车，我们并不需要进行检测。在检测过程中，以下的几个问题是检测的难点：

第一个，目标头盔可能比较小。在检测的时候，骑手很可能离我们检测的终端距离比较远，头盔在肉眼看来比较小，而远处头盔的大小对目标检测的研究在实际上具有一定难度，此时的问

题就是如何识别小物体，这对于后面选择算法和对算法的优化是非常重要的。

第二个，头盔或者电动车发生部分遮挡。当物体被遮挡以后，能不能准确的把这个电动车识别出来，进而能把电动车的人和头盔识别出来，这在目标识别中是一个比较棘手的问题。

第三个，电动车的速度较快。外卖、快递小哥骑车的速度有时非常快，这就要求检测算法能够在前面两点的基础上，还要能够对识别的算法速度达到一定的要求。

第四个，电动车和自行车难以区分。有些电动的自行车实际上是电动车装上一个驱动装置和电池改造而成的，尤其在远处行驶时，它的外形上面很大程度上和普通的电动车有一定的相似之处。有的自行车的轮子和电动车的轮子一样大小，所以在这种情况下，难点就是如何把电动车和比较特殊的自行车识别出来。在本检测项目中，我们默认加装了电池的自行车就是普通的电动车。



图 2 电动车头盔检测难点

## 五、数据集

为什么要采集数据呢？本项目用的都是预训练的模型，在目标检测中对小物体、遮挡物体的识别，还有在速度方面综合性能要求比较高。在做预训练模型的时候，这些模型并不是为头盔的检测而服务的，尽管它能够检测出来电动车和行人，但它主要是用于日常物体的识别，并不是专门为电动车检测服务的。所以这就要求我们在使用这些预训练模型的时候，还需要采集新的样本去训练，这样才能够达到检测要求。

数据集的采集可以从互联网上使用爬虫技术获取一部分，也可以到街头拿着手机或者相机拍摄采集一部分，如图3所示。采集的样本需要满足机器学习的要求，并且具有代表性，样本的类型也应具备多样性，除了采集常

规没有遮挡的戴着头盔的骑手样本外，非常规的远处的、遮挡着的样本也需要采集。

另外，我们还要对晴天、阴天，甚至雨天等等各种环境下的样本进行采集。因为机器学习输入的样本决定着最终训练处理的结果，对于序列样本集里面少的或者没有的小样本，最终识别的效果就会比较差。因此在数据采集的时候需要把各种角度的、各种距离的、遮挡的和没有遮挡的、戴头盔的和未戴头盔的，各种各样的电动车都进行采集。

采集时需要特别关注的是刚才提到的小样本，当电动车距离摄像头距离较远时，相机的识别可能就会出错。遮挡情况下的电动车图片特征根据机器学习特征获取卷积的原理可能无法提取，最终训练出来的模型可能就会识别出错。像这样情况，如何通过样本让它包含这些所谓的小样本，

让样本里面就包含这样的不完全的样本，从而让机器识别被遮挡部分特征的车辆也是电动车，这些需要选择算法让机器自己学习完成。

因为深度学习在数据分类上采用的是统计学的方法，这就要求样本具有代表性。所以在数据采集的时候，我们不能单纯的追求样本的数量，还要注重样本的完备性。

## 六、数据增强

在数据采集以后，机器学习还需要进行数据增强。由于采集的数据有限，而采集的数据要求尽量具有代表性，但是因为时间、精力、资源的有限性，我们不可能完全达到统计学的要求。这时需要对数据进行一定的预处理，也就是进行数据增强，它对于提高深度学习模型的鲁棒性具有较大的帮助。

不同的识别的算法本身具有一些数据增强的方法，例如，YOLO v5 具有 CutMix 数据增强的方法。当然，也有一些常规数据增强的方法，例如图的旋转、图的缩放、图的剪切、图的模糊化等等，这些都是常见的数据增强类的方法。机器学习的就是训练与目标样本相似的模型，机器利用训练好的模型去识别特定的样本，如果出现其他的样本，这时机器识别的错误率会非常高。



图3 数据集

所以，为了提高模型训练的精准性，需要进行模型训练前的数据预处理。

## 七、数据标注

数据采集完成后，下一步需要进行数据标注。数据标注需要人工手动完成，其原理实际上就是给模型一个导出的信号。目标的检测算法是有监督的，也就是给机器输入一些可以学习的样本。例如，我们需要将图片的每一帧抓取出来之后，手动标注电动车的位置和头盔的具体位置，这样机器便可以根据标注位置进行学习训练。

数据标注有专门的工具，工具名叫 LabelImg，如图 4 所示。Img 是 Image 简写，LabelImg 可以在 anaconda 或者 pycharm 的环境里运行。使用 LabelImg 标注时，需要将每一帧图片中头顶没佩戴头盔的骑手和电动车进行标注。对于骑着自行车佩戴头盔的骑手，《交通法》暂时还没有规定骑自行车的人也必须要戴头盔，这就不需要进行标注。本项目选择的是骑电动车的人戴头盔的图片，所以在标注时至少需要对电动车和骑手进行标注框选。对于一个骑手需要进行两个标注，第一个标注框是头部框，第二个标注框是骑手和电动车这个整体。数据预处理的环节数据标注的主要作用是机器根据标注的结果进

行检测，首先检测图中某一个位置骑电动车的骑手，然后再来检测骑手头上是否戴有头盔。

除了 LabelImg 标注工具外，还有例如精灵标注助手等等一些免费的标注工具。将图片标注之后，电动车骑手的坐标、大小数据信息将会通过输出一个 xml 文档进行存储。XML 文档是一种标准的语言，它可以表示这些数据，也可以共享这些数据。

标注输出结果里人工标注了两个 Object，一个头盔，还有一个骑手，一个 object 名称叫 Helmet，后边是四个矩形框左上和右下的坐标 X、Y 坐标。另外一个 Object 名称叫 Cyclist，这个标签是将人和电动车作为一个整体去标注的，同样在 XML 文档中可以看见矩形框左上角、右下角框的坐标。

## 八、数据划分

预处理除了数据增强，还有数据采集、标注，另外，数据划分也是预处理的一部分。因为数据需要进行训练，训练之后还要进行检验，所以所有的数据将被分成训练集、校验集和测试集三大部分。

校验集主要是在训练的过程评估模型的性能是否比较平稳，当然也可以做一些优化工作，通过校验集校验一下优化的效果。测试集主要是来确定该模型是否可以投入使用。

采集的数据经过标注以后，将进行数据划分，分为 Train、Validation，还有 Test 三个样本集，我们将这些样本集按 80%、10%、10% 的比例去划分，而标注的数据一般存在 Annotation 文件夹下的 XML 文档中。

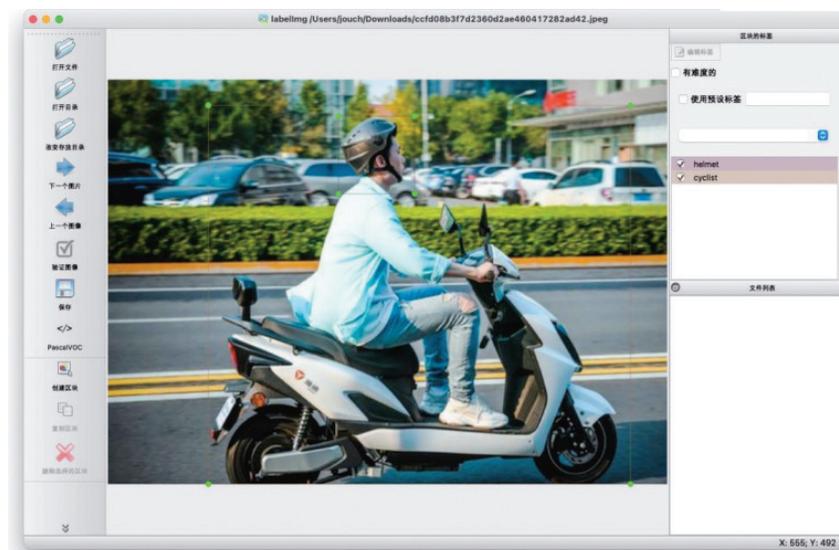


图 4 数据标注

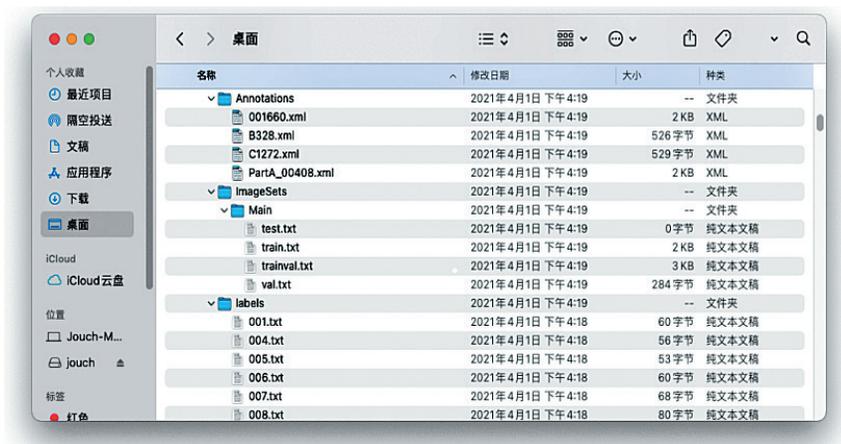


图5 数据划分

在代码中，需要生成对三个数据集进行划分的txt文件，然后利用操作系统的库函数打开该文件，最后生成相应的训练样本，如图5所示。使用If语句判断样本，根据刚才划分的比例，从样本集里面去读文件。代码思路是利用操作系统将训练集、校验集、测试集生成三个文件，然后再写进系统，最后关闭文件。

以上是数据预处理过程，也是数据集的划分部分。划分部分中有一个环节，就是从刚才标注好的xml文档格式存储的样本集中读取位置坐标。它有Xmin、Xmax、Ymin、Ymax四个坐标，顾名思义，X表示最小值、最大值，一个是左上、一个是右下的位置。Y表示最小值、最大值，代表标记框的位置坐标。

坐标在XML文档存储之后会存放在一个txt文件中，这实际上就是作为检测算法的一个重要

导出的信号。训练算法是需要把图输入给神经网络，网络训练完成后，在模型的输出端就会出现物体框的位置，就是上述的四个坐标。将样本标注好以后，样本不仅仅是采集的图片，它还包括输入和输出，输入是图像，输出的是txt文件。所以对于同一张图片，图的名称和标签的文件名以及放的txt文件要一一对应。如果是30号的样本，标签的文件名将会是30号，它对应的图像也将是30号文件。这样对于后面提取数据的时候，就可以从刚才对应的目录取文件和标注，数据进行训练也就会更加精准。

根据工程的要求，一般把原始的数据放一个文件夹，预处理好的数据可以放一个或多个文件夹。训练好的模型也可以放到一个文件夹中，比如说一些权重文件、历史文件，都可以放到不同的目录下面，这样以后便于查找。

## 九、数据集的 anchor 聚类

Anchor 是人工标注的矩形框，在机器学习被称为锚机制。该算法自身就能够预测锚，我们需要把算法预测出来的锚与人工标注的锚进行比较，以此来判断该模型的误差大小，从而构造一个选择函数，然后用梯度下降法去训练模型的参数。

因为采集的样本数量很多，而标注的锚大小、形状都是有差别的。所以在正式的训练之前，我们需要将人工标注的这个锚做一定的聚类。根据研究表明，我们发现KMeans算法可以减少锚的数量，并且又可以提高检测的性能。所以我们可以采用K均值算法，对人工标注的矩形框进行聚类。最终，把一些相似的矩形框进行合并，用聚类中心来代替众多的矩形框。

该算法的主要的步骤就是需要读取标注Annotation的四个坐标，然后用KMeans算法对每一张图片上面的标注进行合并。在代码中，需要将聚类的结果最后存到一个文件里面，图像聚类以后的结果写进文件，再把聚类以后的标注存到另一个文件中，如图6所示。

## 十、数据集配置

下面将进行数据集的配置，数据集配置一般放到有一个叫

```

import xml.etree.ElementTree as ET
from os import getcwd
sets=[('2007', 'train'), ('2007', 'val'), ('2007', 'test')]
classes = ['cyclist', 'hat']
def convert_annotation(year, image_id, list_file):
    in_file = open('VOCdevkit/VOC%s/Annotations/%s.xml'%(year, image_id))
    tree=ET.parse(in_file)
    root = tree.getroot()
    for obj in root.iter('object'):
        difficult = obj.find('difficult').text
        cls = obj.find('name').text
        if cls not in classes or int(difficult)==1:
            continue
        cls_id = classes.index(cls)
        xmlbox = obj.find('bndbox')
        b=(int(xmlbox.find('xmin').text),int(xmlbox.find('ymin').text),
            int(xmlbox.find('xmax').text),int(xmlbox.find('ymax').text))
        list_file.write("%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s\n"%(year, image_id,
            list_file.write(" "+ ",".join([str(a) for a in b]) + ',' + str(cls_id)))
    wd = getcwd()
    for year, image_set in sets:
        image_ids=open('VOCdevkit/VOC%s/ImageSets/Main/%s.txt'%(year,
            image_set)).read().strip().split()
        list_file = open('%s_%s.txt'%(year, image_set), 'w')
        for image_id in image_ids:
            list_file.write('%s/VOCdevkit/VOC%s/JPEGImages/%s.jpg'%(wd, year, image_id))
            convert_annotation(year, image_id, list_file)
        list_file.write("\n")
    list_file.close()

```

图6 数据集聚类

yaml 文件中，这个文件主要是对设置整个的模型配置的参数。

例如打开 ab.yaml 的一个文件，打开以后，我们可以看到训练集、校验集的路径，以及其类别，如图 7 所示。

```

train:/home/nankai02/YOLO v5-4.0/paper data/train.txt
val:/home/nankai02/YOLO v5-4.0/paper data/val.txt
nc: 2
names: ['crack','helmet']

```

图7 yaml 文件

目标检测主要是两部分工作：第一部分，确定位置。第二部分，分类。分类的类别是二元的，骑电动车的骑手的头盔只有戴或者没有戴这两种类别，所以这是一个二元的分类问题。

### 十一、目标检测算法选择

现实中这个模型实际上有几十种之多，如图 8 所示，具体到底选哪一种目标检测的模型根据需求来确定。本项目的需求是识别遮挡情况和远方行驶下骑手的头盔，另外也需要考虑雨天、雾天、雪天等恶劣天气下的头盔识别。这些难点是选择算法重要的依据，因此我们就需要站在巨人的肩膀上面用一些比较成熟的性能比较高的算法。

根据刚才的需求，为了解决刚才所遇到的难点问题，以及考虑系统的综合性能和速度，该项目最终倾向于选择 YOLO v5 算法。因为 YOLO v5 能比较



图8 多种检测算法

好的解决小物体的识别、遮挡物体的识别，以及模糊遮挡物体的识别。

## 十二、YOLO v5 模型结构

图 9 是 YOLO v5 的结构图，其结构在 YOLO v4 的基础上做了一定的拓展，YOLO v5 并不是卷积的追叠，而是带了参差的结构。这就使得我们在使用模型时，可以让图片特征尽量减少损失，这对于模糊的、遮挡的物体可以尽量获得更多的特征。YOLO v5 具有一个 Focus 结构，它的

功能是防止信息损失。第二个是 Backbone 基础网络部分，该网络部分使用了一个 CSP2 的结构，其主要作用是在不同图像特征粒度上卷积，并形成图像特征的卷积神经网络。

另外，YOLO v5 还有一个 Neck 结构，它是一系列组合图像特征的网络层，作用是将图像特征传递到预测层，它的网络结构被称为使用 PAN 结构的双向特征金字塔。该网络结构在浅层上可以尽量少的减少损失特征，并保留小物体的特征。

## 十三、YOLO v5 模型特点

YOLO v5 模型的一个典型特点是数据增强，除了在预处理的时候做的常规的数据增强外，YOLO v5 的算法本身具有大量的数据增强，其中比较引人注目的就是 Mosaic 数据增强，如图 10 所示。

Mosaic 的功能是把多个样本通过一定的缩放、旋转、剪切，把它合成一个大样本。它参考 CutMix 数据增强的方式，采用了 4 张图片进行随机缩放、随机裁剪、随机排布的方式进行拼接，这能较好的解决小目标特征提取的问题。在随机缩放的过程中就增加了很多的小目标，提升了网络的鲁棒性。

YOLO v5 损失函数叫 GIOU，它的作用是在最后环节进行非极大值抑制。网络输出的矩形框往往比较多，而并不是所有框都需投入使用，这时就要用到一定的非极大值抑制。非极大值抑制的方法就是只保留最靠近这个样本的框，其他的框进行去除。

但是如何损失函数设计不当的话，就会出现漏检的情况，如图 11 所示，图中有一个电动车没有被识别出来。但是若采用 YOLO v5 加权的 NMS 非极大值抑制，误差就会得到改善。NMS 非极大值抑制是指并非只取图框的最大 IOU 值，而是对每一个

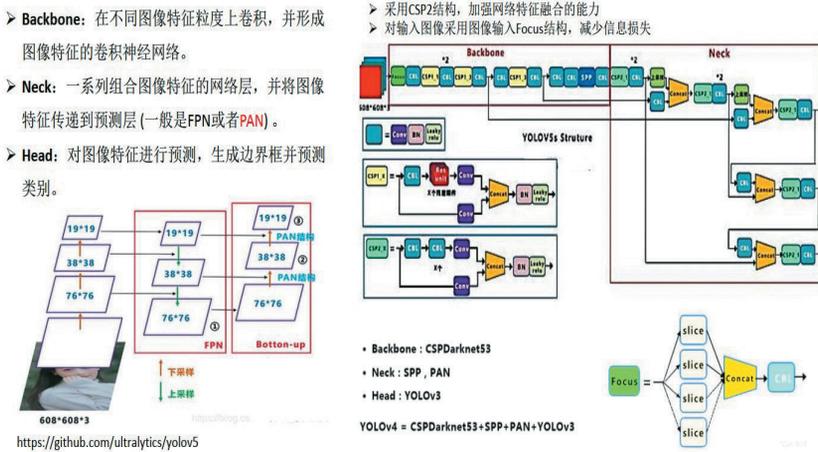


图 9 YOLO v5 模型结构



图 10 YOLO v5 模型特点

IOU 根据它与导出的框的大小进行加权。简而言之，与导出信号框越接近，权重越大，这样最终留下的图框 IOU 值就不是最大的，以此防止了漏检，提高算法的召回率。

在下图中，若左边图框没有使用加权 NMS 非极大值抑制的模型，而右边使用了一个加权非极大值抑制的函数，通过对比可以发现，最终的结果是中间电动车可以被识别。这对于头盔的检测是非常重要的，检测头盔的一个重要的需求是将遮挡的骑电动车的人也识别出来，所以这也是选择 YOLO v5 模型的另外一个

原因。

#### 十四、YOLO v5 模型训练

YOLO v5 在 Github 上已经训练好了，只不过该模型的训练时并不是专门为检测电动车头盔的这个项目而服务的，所以前期工作中我们需要将采集、标注、预处理后的数据做一个继续训练。训练的步骤主要是用 Git 工具将 YOLO v5 预训练模型进行下载，之后通过 pip 通道安装 YOLO v5 第三方库创建虚拟环境。

下图是 YOLO v5 下载到本地以后，在虚拟环境中生成了数据、模型、训练、校验、测试的

python 文件，还有权重文件。为了便于查找，这些文件可以分别地放到不同的目录下面。另外 YOLO v5 的 yaml 配置文件需要进行配置，包括锚的类别、锚的大小。YOLO v5 下的训练文件 train.py，也需要做一些模型的参数配置。首先，在配置文件 train.py 的主函数中需要修改 YOLO v5，选择其轻量型的版本，然后设置训练周期、Deport 次数，步长大小，输入的大小等等。模型的输入是进行过预处理、标注的图片。运行 train 文件以后，需要进行调参和优化。训练好之后就可以用 detect 进行校验集校验，其校验过程是输入一张图片，检测框的大小、位置、标签 Label 输出位置是否符合出现误差。

另外需要注意的一个问题是如何过滤行人、汽车和自行车这些非检测目标。YOLO v5 默认的输出是把所有的汽车、行人、自行车、骑电动车的人全部识别出来的，但是系统的输出是检测骑电动车的骑手是否戴头盔。所以，在 detect 之前需要对 YOLO v5 算法进行修改，将图框输出的结果进行过滤，也即需要判断 Label 是不是 cyclist，如果是的话，算法会显示该矩形框。通过修改代码可以对输出结果也可以用颜色加以区分，如果骑手的头部没有戴头盔，算法会显示红色。如果佩戴的话，以蓝色标注输出。

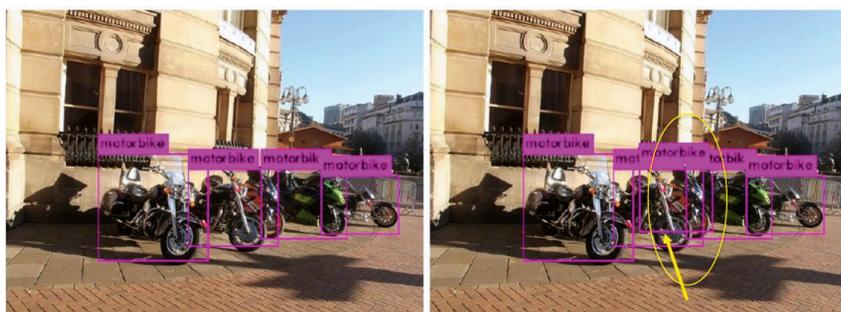


图 11 YOLO v5 模型结构

> data	前天 下午 8:47	-- 文件夹
detect.py	2021年4月1日 下午 4:19	8 KB Python Script
Dockerfile	2021年4月1日 下午 4:17	2 KB 文稿
export.py	2021年4月1日 下午 4:20	4 KB Python Script
hubconf.py	2021年4月1日 下午 4:20	5 KB Python Script
kmeans.py	2021年4月1日 下午 4:20	3 KB Python Script
LICENSE	2021年4月1日 下午 4:17	35 KB 文稿
> models	2021年4月8日 下午 6:33	-- 文件夹
> paper_data	2021年4月8日 下午 6:33	-- 文件夹
README.md	2021年4月1日 下午 4:20	11 KB 文本编辑文稿
requirements.txt	2021年4月1日 下午 4:17	602 字节 纯文本文稿
> runs	2021年4月8日 下午 6:33	-- 文件夹
test.py	2021年4月1日 下午 4:20	16 KB Python Script
train.py	2021年4月1日 下午 4:20	31 KB Python Script
tutorial.ipynb	2021年4月1日 下午 4:19	391 KB 文稿
> utils	2021年4月8日 下午 6:33	-- 文件夹
voc_label.py	2021年4月1日 下午 4:18	2 KB Python Script
> weights	2021年4月1日 下午 4:20	-- 文件夹

图 12 YOLO v5 模型训练

## 十五、YOLOv5 模型应用

模型训练完成，通过性能指标检验之后，下一步是对项目进行部署。本项目基于开源模型，主要工作是选择模型的版本、对模型参数进行配置、调整模型参数，并对输出的结果进行过滤，并结合少量的代码编程。

因为模型是在 PC 端或者服务器端才能运行的，并不能直接在手机端运行。而手机是操作系统，它的数据库跟 PC、服务器上有所不同，所以训练好的模型不能直接在手机上运行。这时需要进行一定的转换，该转换主要分两大步：

第一大步，追加少量的新样本进行预训练，生成 pt 模型文件。

第二大步，经过多轮训练，利用梯度下降法做一些参数修改，将 pt 模型文件通过 onnx 工具转换成一个标准的格式。在深度学习的框架中，常用的框架由 TensorFlow、PyTorch、

Caffe、Candlecandle 等等。不同的框架训练出来的模型它存储的格式是不一样的，所以需要使 onnx 工具转换成一种标准格式。onnx 全称就是开放的神经网络的交换的格式，它可以把 pt 格式的权重文件转换成 onnx 格式。转换完成以后，权重文件扩展名就会变成 onnx 模型。它是专门为手机对神经网络的模型做转换的一种工具，其输入是 onnx 格式的模型，输出的是可以在移动端运行的文件。

由于移动端资源没有 PC 端、服务器端丰富，所以需要要把模型进行轻量化来提升所谓的速度，这就需要将 onnx 进行简化。简化后的 onnx 模型还不能马上部署到移动端运行，为了将简化后的模型在不同的深度学习框架之间共享，还需要进行标准化。最终，将整个模型简化标准化完成后，我们需要将项目部署到手机端 APP 上。

在 Linux 系统中，如图 13

所示，将相关命令逐条运行之后，在右下角切换到 ncnn 目录，运行 make-j4，就可以把 onnx 转换成 ncnn 格式。ncnn 格式的文件包括两个文件，文件扩展名分别是 param 和 bin，代码里是模型结构的相关参数。在手机端运行调用这两个文件，该 APP 就会运行起来。到此为止，手机端调用的文件已经生成。

下一步需要在 Android studio 中开发 android 手机主界面，主界面需设计四个按钮：拍摄、选图、识别、保存，如图 14 所示。该 APP 程序可以在线或者离线检测，识别出来的结果图将保存到手机端。安卓应用的原理比较简单，每一个 Button 对应一个响应函数，主要是调用刚才生成的文件。在 yolo v5 ncnn 中，调用 detect 接口函数后，检测函数就会执行，最终的结果会以图片框的形式展示出来。框选的原则是：配戴头盔的骑手将以蓝色框选，未佩戴头盔的骑手用使用红

```

1  ##依赖项
2  sudo apt-get install build-essential
3  sudo apt-get install cmake git libgtk2.0-dev pkg-config libavcodec-dev libav
4  sudo apt-get install libtbb2 libtbb-dev libjpeg-dev libpng-dev libtiff-dev
5  ##源码编译
6  unzip opencv-2.4.13.6.zip
7  cd opencv-2.4.13.6
8  mkdir build
9  cd build
10 cmake -D CMAKE_BUILD_TYPE=RELEASE -D CMAKE_INSTALL_PREFIX=/usr/local ..
11 make -j8
12 sudo make install
13 sudo ldconfig
    
```

```

1  unzip protobuf-all-3.7.1.zip
2  cd protobuf-all-3.7.1
3  ./configure --prefix=/usr/local
4  make -j4
5  make check -j4
6  sudo make install
7  sudo ldconfig
    
```

```

1  cd ncnn
2  mkdir -p build
3  cd build
4  cmake ..
5  make -j4
    
```

图 13 ncnn 下载配置

框标记。



图 14 YOLO v5 模型结构

下面有另外两种样例，在没有经过过滤样例中，电动车虽然

也能识别，但是有一些行人、骑自行车的人也被识别出来，这就出现了一定的误差。另一个经过过滤、优化的模型中，通过手机拍摄视频可以实时去检测，骑手的头盔佩戴情况，蓝框表示骑手佩戴的头盔，黄框表示电动车的骑手。优化后的模型对于远处的小物体也进行了识别，准确率比未经过滤的情况高很多。

## 十六、总结

为了进一步使科技更好的服务于人类，我们开发出一款具有现实意义的 APP 应用程序。该应用程序利用人工智能中目标检测的技术，实现了对骑手是否佩戴头盔进行检测的功能，以此来帮助执法者管理社会、管理城市，

并减轻他们的压力。

该项目的实现过程比较简单，首先是实现能够准确预测出图片中电动车和头盔位置的深度学习模型，之后将模型部署到便携设备上，最终在移动端性能低的 CPU 的环境下，达到较快地识别头盔的效果。通过对模型的更进一步优化，该项目能够适应高像素设备的数据检测，利用 YOLO v5 的自适应 anchor 和设置通用检测层等方法，适应大小不同的图片输入的检测，并结合实际情况在 APP 上增加实时拍照监测电动车头盔佩戴情况，以及实时保存未佩戴头盔的人员图片的相关功能，以此对电动车骑手起到督促警示的作用。○

## 赵卫东简介



赵卫东，复旦大学计算机科学技术学院副教授。主要负责本科生和各类研究生机器学习与深度学习、大数据核心技术和商务

智能（商务数据分析）等课程的教学，2011 年纽约大学访问学者。商务智能被评为上海市精品课程，获得 2013 年高等教育上海市教学成果奖二等奖。目前主要研究方向包括机器学习、深度学习应用和商务数据分析等。主持国家自然科学基金 2 项、国家重点研发计划子课题、上海市浦江人才以及企业合作课题等 30 多项目。已在 Knowledge and Information Systems, Information Processing & Management, Information

Systems Frontiers, Intelligent Data Analysis, Applied Intelligence 等国内外刊物和学术会议发表论文 100 多篇。出版专著、教材《商务智能（第 5 版）》《机器学习》《机器学习案例实战（第 2 版）》《Python 机器学习实战案例（第 2 版）》等 10 多部。获得上海市 2015 年上海市科技进步二等奖。CDA 三级认证数据科学家，腾讯云、百度云机器学习认证讲师和阿里云 MVP。

# 脑机接口：原理与应用

文 / 华中科技大学 伍冬睿

导语：2022年9月20日，华中科技大学教授、图像信息处理与智能控制教育部重点实验室副主任伍冬睿教授做客“CAA 科普大讲堂”，并作题为“脑机接口：原理与应用”的报告。伍冬睿教授在报告中简要介绍了非侵入式BCI、半侵入式BCI、侵入式BCI的三种脑机接口方式及“一体两翼”的中国脑计划。他指出，脑机接口是大脑和外部设备的直接交互通道，能够研究、测绘、帮助、增强或修复人体认知或感觉运动功能。目前，国内在非侵入式脑机接口算法等方面处于国际领先地位，在半侵入式和侵入式的脑机接口研究方面未来仍有无限可能。本次活动由CAA普及工作委员会秘书长、中国科学院自动化研究所高级工程师宫晓燕主持，共计约4.5万人次在线观看直播。

## 一、大脑基础

过去十年，全球掀起了脑科学研究的热潮。2013年4月，美国总统奥巴马率先宣布了美国的脑计划 BRAIN Initiative，计划内容是从2013年到2025年12年间投入大概50亿美元进行大脑相关的研究。

美国脑计划的研究方向主要有两个，第一个是从神经学、生理学、生物学等的角度来理解大脑的基本运行机制，第二个是根据人类对大脑的理解来研究大脑相关疾病的诊疗技术，例如抑郁症、阿兹海默症、帕金森症等。

2013年的10月，欧盟开始了自己的脑计划 Human Brain Project。欧盟计划从2013年到

2023年的10年间投入10亿欧元进行大脑相关的研究，该计划的核心是研制一个超级计算机来模拟大脑的运行。

从2014年开始，日本也投入3.65亿美元开启了自己的脑计划 Brain/MINDS 的研究。日本的

脑计划目标与美国脑计划的目标比较类似，但是日本脑计划更侧重于从猕猴大脑的简单结构进行研究。

2015年秋天 IEEE（国际电气电子工程师学会）也开始了脑计划 IEEE Brain 的研究。由于



图1 全球脑计划

IEEE 是一个由工程师组成的学会，所以 IEEE 的脑计划更侧重于大脑相关知识的一些工程应用，例如脑机接口。

图 1 是世界上发达国家和地区以及 IEEE 的脑计划。中国的脑计划从 2021 年底正式启动，如图 2 所示。该计划图采用了一体两翼的布局，主体侧重于脑认知功能的神经基础，左翼侧重于大脑相关疾病的诊疗以及脑健康和医疗产业，主要包含认知相关重大脑疾病早期诊断与干预、临床和小区队列数据和样本库等，这与美国脑计划的第二个目标比较类似。

右翼是类脑计算和脑机智能技术，侧重于类脑智能产业。脑机接口属于中国脑计划右翼的部分，这与欧盟和 IEEE 的脑计划比较类似。虽然中国的脑计划正式出台的时间比前面介绍的四个计划晚一些，但是我们的脑计划更加综合具体。

下图为大脑的结构地图，主要结构包括前脑、中脑、后脑、小脑四部分。大脑中产生的命令通过脊髓传递到肢体器官手和脚来执行。

图 4 显示的是大脑的功能地图，人类大脑可以分成不同的脑区，例如，前额叶、后额叶、顶叶、颞叶、枕叶等。颞叶处于耳朵的部位，主要实现听觉功能。前额叶是前额头的部位，主要实现精神系统的管理。视觉功能由

## 中国脑计划

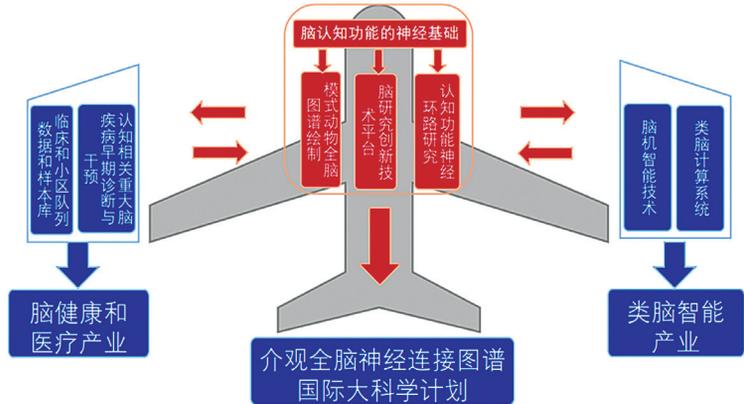


图 2 中国脑计划

## 大脑结构地图

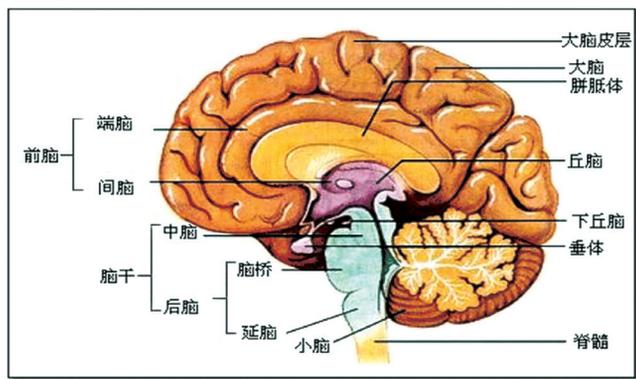


图 3 大脑结构图

## 大脑功能地图

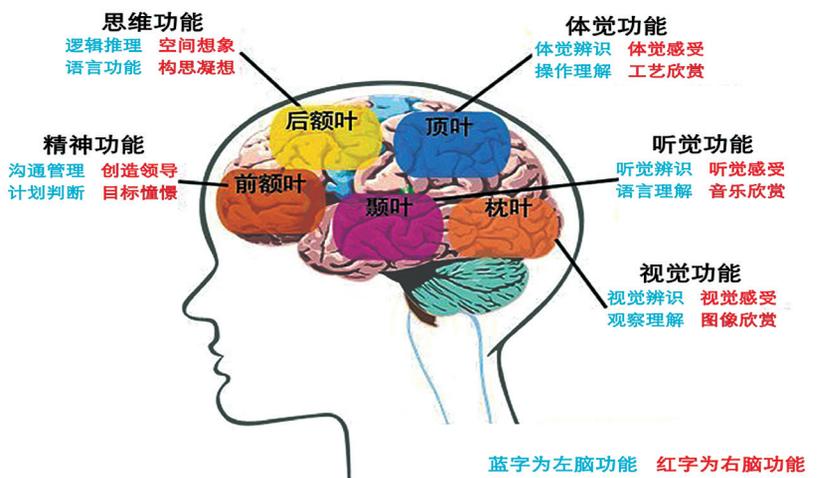


图 4 大脑功能地图

枕叶部位来负责，其位于后脑勺部位，所以眼睛获取物体信息时要穿过整个大脑并到达枕叶才能被处理。

大脑分为左右半球区域，同样的功能左半球与右半球可能同时都具备，但是会有细微的区别。在上图中，蓝色表示的是左脑的功能，红色表示的是右脑的功能。

以视觉功能为例，左脑主要负责视觉辨识、观察理解，例如在路上辨认路人和熟人，这就是左脑比较基础的功能。右脑主要负责视觉感受、图像欣赏，例如有人喜欢抽象画，有些人不喜欢，这可能是右脑功能不一样导致的。通俗地讲，左脑更偏向于理科，右脑更偏向于文科。

大脑具有很强的可塑性，许多功能都取决于后天的训练。2000年，Sharma等人做了这样一个实验：他们把幼年鼯鼠的听觉神经和视觉神经剪断，两者交换以后再结合，也就是说将眼睛接到听觉中枢上，耳朵接到视觉中枢上，实验鼯鼠长大之后仍然发展出了视觉和听觉，这意味着大脑中视觉和听觉的计算方法是通用的。

2009年，Vuillerme和Cuisinier为盲人发明了一套装置，他们将摄像机的输出表示成二维微电极矩阵，并将其放在盲人舌头表面，盲人经过一段时间的学习训练后可以用舌头看到障

碍物。但这并不是说明用舌头就能够看到障碍物，而是盲人用舌头可以分辨这些摄像机输出的微小电压区别，从而把它映射成障碍物，正常人不经过训练的话，很难分辨出其中细微的区别。

2011年，人们发现许多盲人独自发展出一套“声纳”技术，他们可以通过回声来探测并规避大的障碍物。Thaler等人的研究表明声纳技术采用的并不是听觉中枢，而是原来被废置的视觉中枢。现实世界中很多动物像蝙蝠、海豚都是通过声纳来定位和发现障碍物，但它们使用的是听觉中枢。盲人的声纳技术实际上是利用大脑的视觉中枢功能，这也呼应了前面2000年时的研究，即大脑中的听觉和视觉的计算方法可能是通用的。

如果大脑某个半球的一个区域受损，产生功能障碍，随着时间的流逝，另一半球的对称区域就会接替该受损区域，掌管相应的功能。种种研究表明，大脑实际上是一台万用学习机器，同样的学习机制可以适用于完全不同的应用。

## 二、BCI简介

脑机接口简称为BCI(Brain-Computer Interface)，它是大脑和外部设备的一个直接交互通道。直接交互与间接交互具有一定的区别，例如，在微信上给别

人发消息的过程，首先是大脑中已经想好了要给对方发的文字内容，通过手写输入法或者语音来实际输出该文字，然后点击发送将消息发给对方，这实际上是一个间接的交互过程，因为发送的内容在大脑中已经提前想好，但还是需要通过手来进行文字输入。

脑机接口研究的终极目标是进行直接的交互，也即大脑已经产生内容，然后直接通过意念发送给对方，不需要再调用运动器官来进行文字输入。当然现在离直接交互的目标还有一定的差距，但最新研究表明该方法是可行的。

脑机接口可以用于研究、测绘、帮助、增强或者修复人体的认知或感觉运动功能。认知指的是与大脑相关的一些功能，例如，抑郁症、阿兹海默症等等。感觉运动是指恢复肢体的一些功能，例如，通过脑机接口有可能恢复手和脚不能运动的病人。

图5是一个闭环脑机接口系统的架构图，通过各种传感器去采集大脑相关的信号，由于大脑的信号一般是很微弱的，所以需要先进的信号处理来提高它的信噪比，并去除一些伪迹噪声。接下来再通过机器学习解码脑电信号，然后根据不同的应用，设计不同的控制器来控制外部设备，例如，控制轮椅、游戏，进行文字输入，调节情绪，治疗抑郁症等。

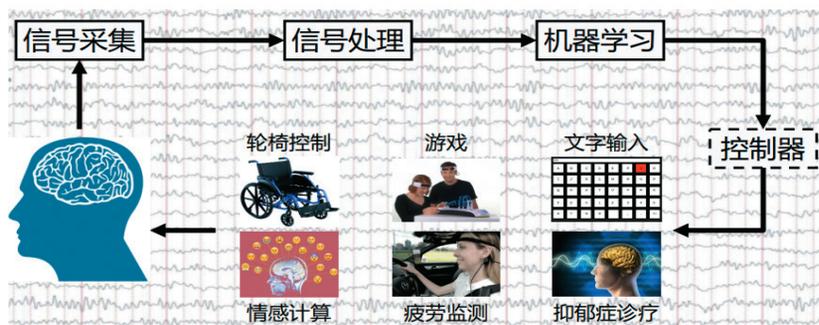


图5 闭环脑机接口系统架构图

历史上 BCI 的研究很早，在早期研究中比较著名的事件是 1969 年耶鲁大学的 Delgado 教授做的公牛实验。他开发出了一种可植入的芯片，该芯片利用无线电刺激大脑，通过遥测技术发送大脑活动的电信号，从而控制受控体自由移动。

图 6 Delgado 教授双手中的两个设备，一个是植入的芯片，一个是外部控制装置，可以给植入的大脑发送命令。图 7 是著名的 Delgado 公牛实验，该实验通过摇控器将电刺激信号传递到公牛脑部的基底节区尾状核，通过在牛的大脑中植入控制芯片，使牛在冲向人的时候，按下遥控器，奔跑中的公牛就会立刻停止。

“脑机接口”这个名词最初是由加利福尼亚大学洛杉矶分校的 Jacques Vidal 教授于 1973 年首先创造的，Vidal 教授被称为是 BCI 的发明者。它在 1973 年发表的论文 Toward Direct Brain-computer communication 中首次提出 Brain-Computer

Interface，该词一直沿用至今。

根据接口的信号来源，脑机接口可以分成三大类，如图 8 所示。

第一类，非侵入式的脑机接

口系统。该方式从大脑头皮表面直接采集脑电信号，所以不需要动手术。它的设备相对而言会比较容易穿戴、并且使用方便，但这种非侵入式脑机接口系统也有实现困难的地方。第一个是它的信号空间分辨率比较差，由于在头皮表面并不能够放置很多的电极，因此就并不能够采集很多通道的脑电信号。

信号空间分辨率比较差的另外一个原因是大脑真正的神经信号是从大脑皮质中产生的，但是这些神经信号要穿过膜状组织、



图6 Delgado 教授



图7 Delgado 公牛实验

## BCI分类

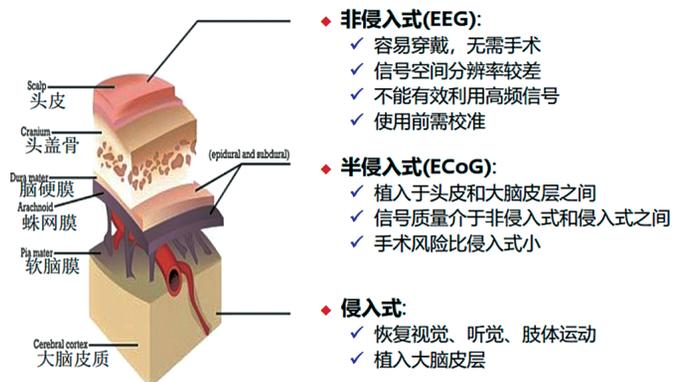


图8 BCI 分类

头盖骨、头皮，到达头皮表面，才能被非侵入式的脑机接口电极采集。在此过程中，大脑皮质中某一个地方神经元的激发传递到头皮表面会向四面八方进行传播，它并不像光线一样沿着某一个直线定向传播，所以某一个地方神经元的活动会在大脑头皮表面被很多电极接收到，这就导致很难发现真正的信号起源的位置，这也是信号空间分辨率比较差的另外一个解释。

另外一个挑战是不能够有效利用高频信号。因为神经元的信号在大脑皮质中产生，它需要经过很多的组织器官才能传播到头皮表面，这些组织器官都是天然的低通滤波器，在信号传播过程中高频的、有用的信号就会被滤掉，所以在头皮表面接收到的脑电信号就只剩下低频的信号，这样会损失较多信号信息并导致解码困难。

最后一个挑战是使用之前需要校准。因为人跟人之间的个体差异很大，对一个用户设计的系统和算法，对另外一个用户来说可能效果就不一定好，所以对每一个新用户都需要进行校准。华中科技大学脑机接口与机器学习实验室的主要研究方向之一就是如何使用更好的信号处理和机器学习方法来加速校准。

第二类，侵入式的脑机接口系统。该方式需要进行脑部手

术，把电极直接植入到大脑皮质中。手术过程中虽然具有一定的风险和代价，但是它可以完成一些非侵入式脑机接口做不到的事情，例如，可以帮助病人恢复视觉、听觉、肢体运动功能等。

第三类，介于非侵入式和侵入式之间的是半侵入式脑机接口系统。它也需要在脑部放置电极，但其电极并没有插在大脑皮质里面，而是覆盖在大脑皮质的表面，所以手术风险比侵入式小，其优点和缺点介于非侵入式和侵入式之间。

图 9 显示的是一些典型的侵入式脑机接口系统传感器，分为 Platform Array、Microwires、Multisite Probe 等。Platform Array 是一个二维的电极阵列，每一个电极就是一个信号通道。Probe 是一个探针电极，其可以输出不同深度的多通道脑电信号。

### 三、非侵入式 BCI

在非侵入式脑机接口系统

中最常用的信号是头皮脑电信号 EEG，它可以通过不同的脑电帽采集，例如，图 10 中有线的脑电帽在使用之前一般需要通过注射器往小孔中打入导电膏，以此来增加头皮和电极之间的导电性，让脑电信号质量更高。当然注射过程时间较长，用户会感觉到不舒服。而现在大家越来越倾向于使用干电极，因为使用干电极可以直接与头皮接触测量脑电信号，无需导电膏，但是其信号质量一般要差一些。

图 10 右边是脑电信号的波形图。脑电信号是多通道的时间序列信号，图中每一行代表一个不同的脑电通道，但一般情况下肉眼是很难分辨出脑电信号的含义，所以需要借助计算机程序来进行分析。

现在的非侵入式脑机接口系统硬件已经进行了简化，它只需要两部分的硬件，例如，利用无线脑电帽测量头皮脑电的信号可以直接通过无线的方式发送到手

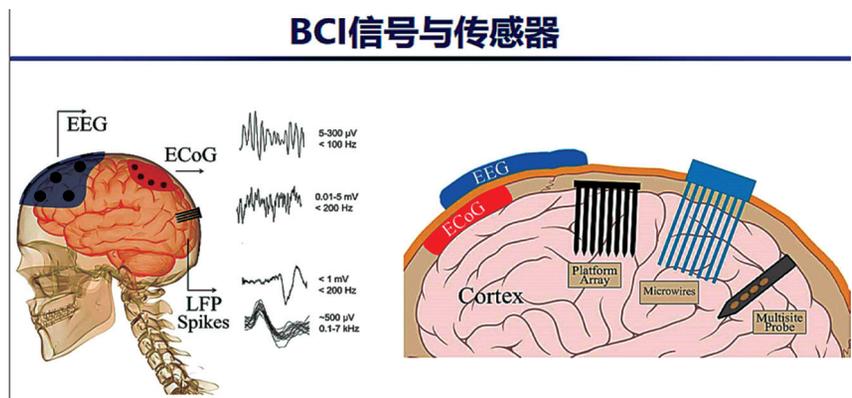


图 9 BCI 信号与传感器



图 10 头皮脑电 EEG

机或电脑，来进行显示、处理和反馈。

非侵入式脑机接口系统可能是目前使用最多的脑机接口系统，它有三种控制策略。第一种基于运动想象：肢体的运动会激发感觉运动皮层，在 EEG 中能感觉到运动振荡，也即当我们动右手的时候，左脑能量会相对减弱一点，由于大脑是对侧控制的，左脑控制右手，右脑控制左手，所以当运动对应肢体器官的时候，在大脑中能够看出来相应的反应。

但是脑机接口系统一般是给残疾人使用的，当他们想使用自己的左手和右手时，只需要在大脑中想象就可实现。脑区通过激发变化产生脑电信号，大脑将这种想象的运动映射成对外部设备的控制命令，这是运动想象策略的基本原理。要自如地实现该过程需要长达数小时或数天的训练。

下图展示的是想象或者实际运动过程中不同的肢体部位激发的大脑区域地图，脚和腿的运动激发大脑顶部的区域，双手的运

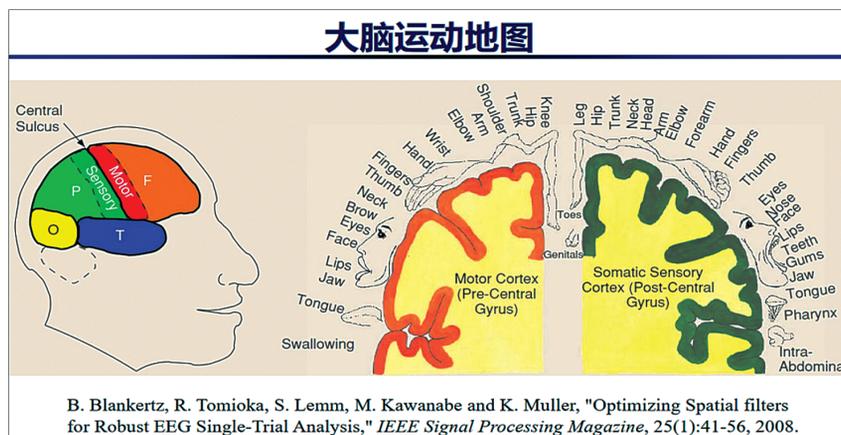
动激发左右脑，舌头运动几份耳朵附近的大脑区域。

运动想象脑机接口另外一个重要的应用是中风康复。病人中风之后肢体的某一个器官便失去运动能力了，但是及时进行康复训练是可以恢复的。使用脑机接口系统可以帮助病人进行更快更好的康复，目前在医院中这种康复系统已经在开展应用。它的基本原理是采用非侵入式脑机接口系统的运动想象控制策略，例如当病人在大脑中想象右手运动时，脑机接口系统就检测这种想象，机器人就会带动他的右手运动。

通过不停的想象，设备会一直带动病人运动，这样就可以慢慢地恢复肢体运动功能。

另外一种常见的控制策略是视觉诱发电位，它是给用户一个视觉刺激以后引起的电位。这里面有两种不同范式，一种是稳态视觉诱发电位（SSVEP），它采用不同频率的信号来刺激视网膜从而引发不同频率的脑电信号。

稳态视觉诱发电位（SSVEP）的一个应用是文字输入。例如，在屏幕上 F1 到 F9 这 9 个字符或者 9 个形状以不同的频率在闪烁，当我们想要输入某



B. Blankertz, R. Tomioka, S. Lemm, M. Kawanabe and K. Muller, "Optimizing Spatial filters for Robust EEG Single-Trial Analysis," *IEEE Signal Processing Magazine*, 25(1):41-56, 2008.

图 11 大脑运动地图

一个字符的时候，我们的眼睛盯着对应的字符，经过较短的时间，我们的大脑中的脑电信号的振荡频率就会趋向于对应字符的闪烁频率，最终通过检测脑电信号主要的振荡频率并与屏幕上字符的闪烁频率匹配，脑机接口系统就会知道用户看的是哪一个字符，以此就可以进行文字输入。

同样的原理，该控制策略也可以用来控制外部设备，例如，华中科技大学脑机接口与机器学习实验室做的一个脑控小车实验，在屏幕上有不同方块在闪烁，不同的方块代表不同的运动方向，小车以恒定的速度运动，用户想让小车往哪个方向拐弯，就只需盯着对应那个方块，脑电信号可以从中检测出用户看的是哪个方向，从而控制小车运动。

还有一种非侵入式脑机接口系统的控制策略是 P300 事件相关电位，它指的是目标刺激出现后大概 300 毫秒，脑电信号里面出现的一个正向的电位峰，这个机理也可以用来做文字输入。如图

12 所示，在屏幕上显示 26 个英文字母加上 10 个数字的键盘，它们组成了一个 6×6 的矩阵，矩阵的每一行或者每一列会随机高亮显示。当用户需要输入某一个字符（比如 P）的时候，他只需将注意力集中在矩阵中的该字母上，当包含有 P 的这一行或者这一列被高亮显示的时候，大脑中就会自发地产生一个 P300 信号，每一行和列都对应一个 P300 信号，行跟列的交叉点就是用户想要输入的字符，所以根据该原理可以用 P300 实现文字输入功能。

另外，非侵入式脑机接口系统还可以进行游戏设计。在游戏中，用户可以通过注意力来控制游戏的运行，从而增加游戏的体验感。

#### 四、半侵入式 BCI

第二大类的脑机接口系统是半侵入式脑机接口系统，该系统使用的信号是皮层脑电图 ECoG，需要进行脑部手术将脑电电极嵌入到大脑皮质的表面，如图 13 所

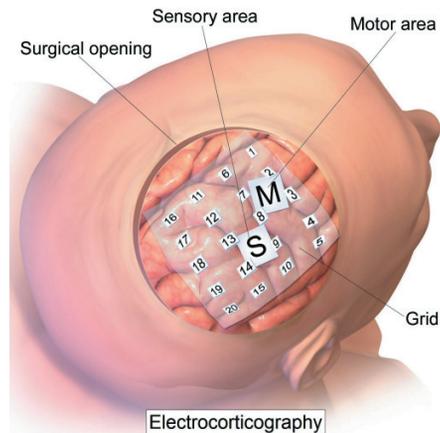


图 13 大脑运动地图

示。由于它并没有像探针一样插在大脑皮层，而是覆盖在大脑皮的表面，所以手术的风险比完全侵入式的小很多。而且因为电极是直接与大脑神经元接触，所以它的信号比头皮脑电 EEG 更精确。

2012 年，加州大学旧金山分校的 Edward F.Chang 教授用皮层脑电图来重构病人听到的内容。通过重构还原出来的声音虽然稍微有些模糊，但还是与原始的声音很接近，实验证明通过皮层脑电信号可以检测出用户听到的声音。

2020 年，Edward F. Chang 教授进一步发展自己的工作，用皮层脑电重构用户说话的语音，例如，在说话的时候采集皮层脑电信号，就可以从皮层脑电中解码出用户说话的内容，甚至用户不需要真的发出声音，在心里面默读也可以用重构技术解析出用户默读的内容。

通过皮层脑电信号，我们

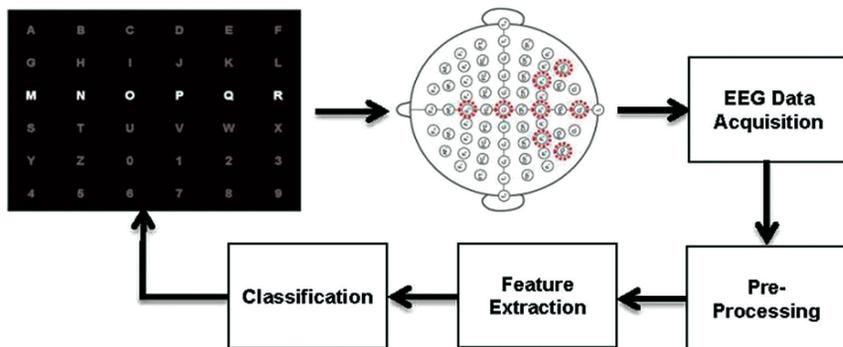


图 12 文字输入原理图

也可以解码出用户当前正在说或者心里正默念的内容。2021年, Edward F. Chang 教授进一步使用皮层脑电来解码出用户心中所想的内容, 技术人员在电子屏幕上对病人进行提问, 病人在心中默想答案, 然后通过半侵入式的脑机接口系统就能够解码出用户心中的答案, 该技术对完全不会说话的病人是非常有用的。

上述介绍的半侵入式脑机接口的应用都是听觉、语言相关的功能, 这种半侵入式脑机接口系统也可以用来恢复运动和触觉功能。对于脖子以下瘫痪的病人, 大脑发生的命令就不能够传送到肢体器官, 使用半侵入式脑机接口系统可以帮助病人恢复下半身的运动功能。当然这需要经过大量的机器学习算法训练才能解码出病人大脑神经元的不同思想所代表的不同的运动, 进而来控制其肢体器官。

## 五、侵入式 BCI

侵入式脑机接口系统需要把电极直接插在大脑区, 它与神经元接触更紧密, 所以可以用来实现一些更神奇的功能。当然它的缺点是手术风险较高, 另外, 传感器也不是一劳永逸的, 现在传感器的使用周期一般是用 2 到 5 年, 超过使用周期传感器就会由于人体的排异反应导致信号质量下降, 此时需要重新进行植入,

这就会面临多次手术的风险。但这种技术可以实现很多实用的功能, 例如, 帮助病人恢复视力、听觉、运动功能等。

侵入式脑机接口系统最成功的一个应用是人工耳蜗, 根据统计显示, 截止 2010 年底全球已有 22 万例的手术。人工耳蜗是一种植入式的听觉辅助设备, 可以使重度失聪的病人产生一定的声音知觉。与助听器等听觉辅助设备不一样, 人工耳蜗的原理不是放大声音, 而是对位于耳蜗内功能完好的神经施加脉冲电刺激进而恢复病人的听觉, 所以这是一种很先进的侵入式脑机接口技术, 如图 14 所示。人工耳蜗包含两部分, 一个是体外部分, 包括麦克风、语音处理器、向植入部分发送指令的信号发射器, 另一个是植入部分, 包括信号接收和解码模块, 以及刺激电极阵列。

侵入式的脑机接口系统同样也可以用来恢复视觉, 该领域的先驱是 William Doherty, 他的皮层视觉脑际接口主要用于后天失明的病人。1978 年, 他给自己的一位男性病人 Jerry 的视觉皮层植入了 68 个电极的阵列, 并成功制造了光幻视, 病人使用视觉皮层后可以在有限的视野内看到灰度调制的低分辨率、低刷新率的点阵图像。

2002 年, Jens 成为接受 Doherty 的第二代皮层视觉假体植入中的第一位病人, 第二代皮层视觉假体的特点是能够将光幻视更好的映射到视野, 创建更加稳定的视觉, 而且光幻视点阵覆盖的视野更大。在接受植入手术后不久, Jens 的视力就得到了较好的恢复, 他可以独自在研究中心附近慢速驾车漫游。

侵入式的脑机接口系统也可

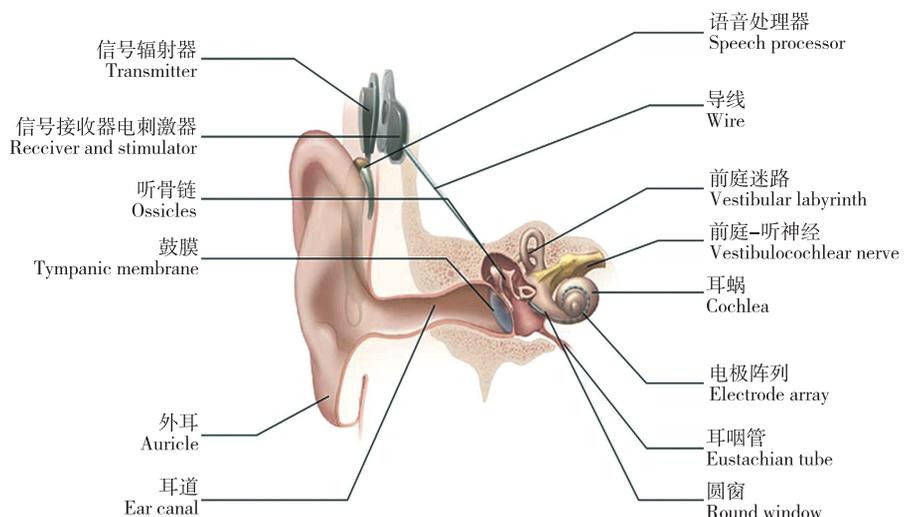


图 14 人工耳蜗

用来实现运动控制。2008年，国外做过这样一个实验，在猴子的脑部植入脑机接口系统，猴子能够通过大脑的信号来控制机械臂，将机械手移动到对应的位置拿到棉花糖，并且放到自己的嘴中。

侵入式脑机接口系统的一个最新的进展是去年斯坦福大学和其它合作机构共同研究的侵入式脑机接口文字输入系统。其进行文字输入要求用户在大脑中想象如何写英文字母，想象的过程会被侵入式电极采集，然后解码出当前想象字符内容，从而输出对应的字符。

## 六、总结

下面简单介绍一下华中科技大学脑机接口与机器学习实验室。实验室于2016年成立，目前有20余位硕博研究生，主要研究方向是脑机接口、机器学习、智慧医疗、情感计算等。我们的理论研究方向主要是机器学习，包括迁移学习、深度学习、主动学习、集成学习、对抗学习、模糊系统等。

实验室的工程应用有很多，但最重要的应用是脑机接口，尤其是希望通过先进的信号处理和机器学习方法来实现精准、安全和隐私保护的脑机接口系统，这实际上是脑机接口系统中的三个

不同的研究方向，如图15所示。精准是指如何更加准确地解码脑电信号，知道用户的心中所想。安全是指怎样能够更安全地解码，让脑机接口系统不容易受到各种攻击，使其性能保持稳定。隐私保护指的是如何保护脑电信号中用户的隐私信息（健康、情绪等）不被泄露，从而使系统更安心。

在脑机接口系统方向，实验室在2019-2022的4年间连续参加了基金委信息科学部、中国电子学会和清华大学共同举办的世界机器人大赛-BCI脑控机器人大赛（中国脑机接口比赛）技术赛，并连续4年获得了全国一等奖和特等奖（全国冠军），如图16所示。



图15 脑机接口研究方向

## 世界机器人大赛—BCI脑控机器人大赛 2019-2022 连续四年全国一等奖

1. 指导单位
  - ▶ 国家自然科学基金委员会
2. 主办单位
  - ▶ 国家自然科学基金委员会信息科学部
  - ▶ 中国电子学会
  - ▶ 清华大学



图16 比赛奖励

## 伍冬睿简介



伍冬睿，华中科技大学人工智能与自动化学院教授、博导，图像信息处理与智能控制教育部重点实验室副主任，国家海外青年高层次人才。主要研究方向为脑机接口、机器学

习、智慧医疗等。发表论文 200 余篇，其中 SCI 95 篇（一作 35 篇，IEEE 汇刊 65 篇），ESI 高引 9 篇，谷歌学术总引用 9900 余次（H=51），爱思唯尔中国高被引学者。授权国际专利 5 项，中国发明专利 13 项，转让 4 项。两个一作算法进入 Matlab Fuzzy Logic Toolbox。获 4 个青年科学奖（2021 中国自动化学会青年科学家奖，2020 USERN Prize in Formal Sciences，2017 IEEE 系统、人和控制论学会首届青年科学家奖，2014 北美模糊信息处理学会首届青年科学家奖），6 个

杰出论文奖（2021 IEEE 神经系统与康复工程汇刊最佳论文奖，2020 IEEE 机电一体化与自动化会议最佳论文奖，2014 IEEE 模糊系统汇刊杰出论文奖，2012 IEEE 计算智能学会杰出博士论文奖，等），2019–2022 连续四年世界机器人大赛——BCI 脑控机器人大赛技术赛全国一等奖或特等奖，2022 湖北青年五四奖章，等。现任 IEEE SMC 学会助理副主席、管理委员会委员和 eNewsLetter 主编，及 3 个 IEEE 汇刊副编。2023 年起将担任 IEEE 模糊系统汇刊（IF=12.253）主编。

## 工业物联网技术及应用

文 / 重庆邮电大学 魏 旻

导语：2022 年 10 月 28 日，科技部工业物联网国际科技合作基地主任，重庆邮电大学自动化学院副院长魏旻教授做客“CAA 科普大讲堂”，并作题为“工业物联网技术及应用”的报告。魏旻教授在报告中详细阐述了智能制造、工业互联网与工业物联网三者的关系。他指出，物联网已经进入万物互联的时代，工业物联网将具有感知、监控能力的各类采集或控制传感或控制器以及泛在技术、移动通信、智能分析等技术融入到工业生产过程各环节，大幅提高工业制造效率，促进工业转型升级。同时，期望未来能够挖掘更多继懂自动化又懂信息化的复合型人才以促进新型技术与传统工业网络深度融合，早日解决网络异构特点导致融合数据多样化、多尺度时延、丢失等诸多问题。本次活动由 CAA 普及工作委员会秘书长、中国科学院自动化研究所高级工程师宫晓燕主持，总计在线播放量约 322 万人次。

什么是工业物联网？顾名思义，就是工业加上物联网。工业指的是将采集的原材料加工成产品的过程。物联网是指将传感器、射频识别技术以及定位感应器各种装置和技术，通过网络的方式实现对各个方向的采集、监控、连接。通过采集声、光、电、力学、化学、位置等传感器信息，实现对物品智能感知、识别、管理和控制。

## 一、智能制造、工业互联网与工业物联网

当今我们已经进入了一个万物互联的时代，传感器网络和传统的移动通信网络给人们的生活带来了很大便利。在现代的智慧物流领域，物联网技术已经在广泛使用，不管在仓储环节还是在运输环节，都可以通过物联网技术对货品温度、湿度，位置等信息，进行实时了解和跟踪。

同时在智能交通领域，物联网也给我们出行带来了便捷。交通出行 APP 可以直接查到车、路的情况，也直接可以对车进行控制。在智能家居、智能安防、智慧小区、环境保护、智能医疗等方面，物联网技术一直在改善我们的生活。特别是在智能家居领域上，用户通过手机上的 APP，可以将家里面的空调、电视机、洗衣机、电饭煲等设备连接绑定，实时观察家中的温度、湿度以及

摄像头的远程监控与控制。在智能制造、工业互联网与工业物联网三个领域中，工业自动化和工业互联网的结合让当今制造业焕发出新的发展生机。

### （一）智能制造的发展趋势

世界工业经历了四次革命，如图 1 所示。第一次工业革命：从 18 世纪 60 年代开始到 18 世纪末，它的标志是蒸汽机的出现，人类自此进入了蒸汽时代。第二次工业革命：20 世纪初内燃机的出现和电气的应用，汽车、飞机随即被发明，人类从此进入了电气时代。第三次工业革命，始于上世纪 70 年代，随着计算机、IT、自动化这些新技术引入到工业领域，人类从此进入信息时代。第四次革命普遍指今天德国的工业 4.0，它是由物联网、人工智能、物联服务、无人驾驶、无人操作，包括机器学习这些新技术为代表的全新一次工业革命。

这四次工业革命的历程中，每一次工业革命的间隔时间都非

常长，少则三四十年，多则一百多年，这是它与其它产业革命的区别之处。而工业革命之所以发展速度比较慢，是因为它有自己的发展特征。

工业从 70 年代开始到今天，引入了物联网以后，传统的生产制造已经进入到了一个智能制造的时代。智能制造的发展趋势可以分为三个阶段，第一阶段是数字化，第二阶段是信息透明化的网络化以及第三阶段智能化。

数字化信息的载体。它是以数字的形式进行存储、传输、加工、处理、应用的技术途径，其本身指的是信息的表示方式和处理方式，同时也强调数据的收集、聚合、分析、应用。

网络化是支撑智能制造的力量。物联网通过扩展，从原先的 PC 和 BC，扩展到移动通信网络。从人和人通信，扩展到了机器和机器通信、物和物通信，通过人机物相互之间的融合，实现工业设备、机器系统的深度融合。单

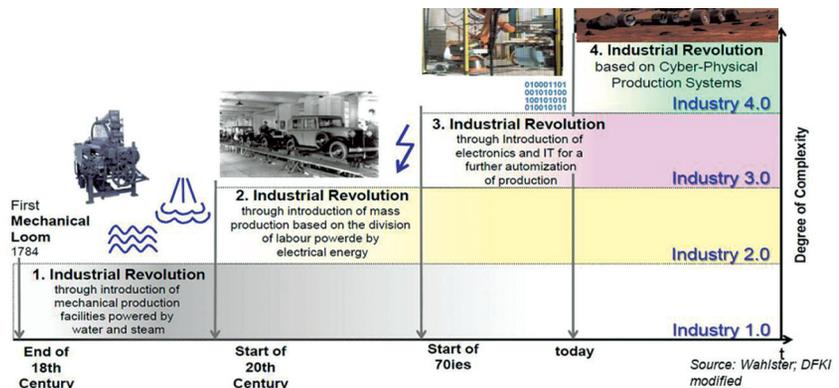


图 1 世界工业革命

一的数字化和网络化无法完成设备之间的联通，必须通过网络的手段将生产的数据进行传输，才能实现工业生产的万物互联。

智能化是工业发展永恒的追求。人工智能作为新一代科技革命和产业变革的重要驱动力量，赋能制造业转型升级，重构生产制造的每一个环节，机器学习、AI甚至元宇宙这些概念融入到生产过程中，重构了自主的智能感知、互联、协作、学习、分析、认知和决策。

传统工业缺少智能决策，工业上的决策是根据工程师的经验和历史的统计来进行决策，现在智能制造的发展趋势是人机协同和机器辅助。工业智能制造是利用先进的生产过程、模式和系统的总称，它是利用新一代信息通信技术、IT技术，制造OT技术、ICT技术来深度融合设计、生产、管理、服务的各个环节，使这些生产方式具有自感知、自决策、自执行、自适应的能力，最终通过智能制造来提升产品的质量和降低成本，从而实现资源消耗的降低。

## （二）智能制造 - 工业互联网 - 工业物联网的辩证关系

下图是工程院研究报告中的智能制造体系架构图，中间红色是工业物联网，外面是工业互联网。从图中可以看到工业互联网其实不是简单的工业 + 互联网，

而是互联的工业系统进行人机物深度融合的网络空间，它关系到企业从设计、生产、运营到维护的端到端的集成，最终在供应商、企业和客户之间形成工业互联的生态。其中使用了很多新的技术，例如，ICT技术、信息通信技术、CPS技术、信息物理系统技术，通信网络、数字孪生、大数据、云计算、增强现实等技术。

工业互联网在智能制造体系下实现了人机物全面的互联，从设计到协作网络，数据链、服务链、远程运维、个性化定制到制造的协作，所有资源结合在一起形成了工业互联网。

图2中间的工业物联网是智能制造的核心，它通过使用各类传感器、控制器、执行器，引入移动通信、网络技术、智能分析技术，融入到生产过程环节，从而通过网络的互联提高制造效率，

改善产品质量，为工业互联网、智能制造提升产能服务。

## （三）不同视角下的工业网络

不同的视角、不同的研究机构、不同的研究者对于工业网络、工业互联网和工业物联网，有各自不同的认识。我们国家目前工业互联网联盟AII发布了工业互联网体系架构2.0图，如下图所示，图中把工业互联网定义成关键的基础设施和新型的应用模式，它通过人机物的全面互联实现全要素、全产业链的全面连接，颠覆了传统的制造模式。

最早自动化控制都是在近端，现在可以实现远程安装、远程控制、远程维护、远程设备管理、远程设备操作，这种网络化控制的手段对于生产、管理、控制系统是非常重要的。所以，网络化控制系统是从人的角度理解的工业物联网。每一个工业物联网从

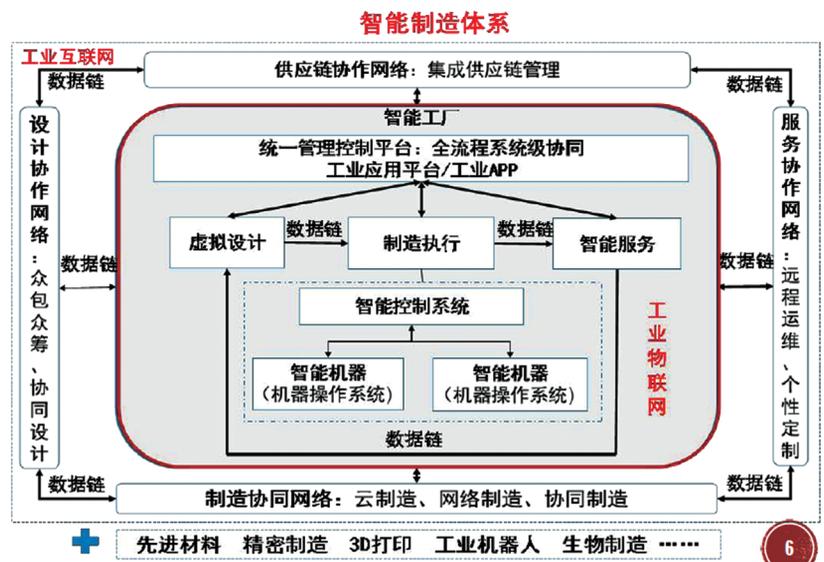


图2 智能制造体系

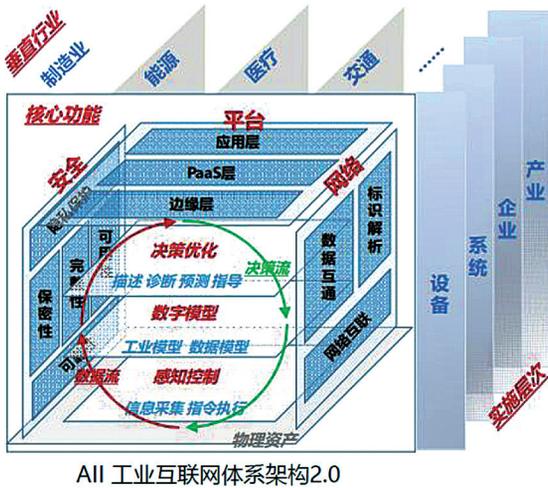


图3 工业互联网体系架构2.0

底层到中间的过程，到生产管理，经营管理层，它对于网络的确定性传输和时延的要求是不一样的。无论是工业物联网还是工业物联网+，都是实现工业物联的一种方式。

万物互联最终目的是实现智能决策，为企业生产、企业决策提供智能支持。通过这种互联能够采集到关键的生产数据、生产参数，通过调整关键的生产参数，实现对于工业运行的优化，最终实现产品质量的提升。

下图是工业物联网在实时性、自动化、确定性方面的原理图，它将工业资源、数据、系统互联，实现工业过程按需执行、工艺合理优化、制造环境的快速适应，最终达到资源的高效利用。

现场工业物联网主要是对工艺生产过程中工艺参数的优化，传统的企业生产时，需要对中间

环节或者产品的最终环节进行实时监视和监控，这些数据利用传统方法是很难抓取到的，甚至采集到数据后，也很难与研发、设计进行互联互通。而工业物联网通过传感器和工业物联网网络，实现了对于最终产品的性能、结果的实时监控，提高了产品的质量。在环境监测方面，通过工业物联网可以进行实时对工厂排放的有毒有害气体和化工厂排放的一些相关的污染源进行控制。在工业物料传输过程和原材料存储、采集、销售过程中，利用RFID技术，通过传感器网络识别技术和网络互联，提高对于原材料的高效配置，同时也可以通过工业物联网的手段

对物流环节，AGV的控制实现有效管控。此外，还可以利用工业物联网技术在矿山开采，油气管道运输这种危险工作环境中安装传感器、实时监控操作人员，进而实现对员工安全信息的管理和生产过程中安全要素的采集。

工业物联网是互联所有人、机、物的参数，最终它的目标是提高制造效率，改善产品质量，降低产品成本和资源消耗。工业物联网落脚在“网”字，工业上的网络不像日常的计算机网络和移动通信网络。它衍生出来了二十多种有线，五、六种工业无线的网络协议，这样、些协议给生产制造商、设备制造商以及用户带来很大的困扰。例如，协议不统一导致厂家在售卖自己的产品时，需要重新在设备中装备这些协议的通信模块。对于用户而言就更麻烦，用户购买了A协议

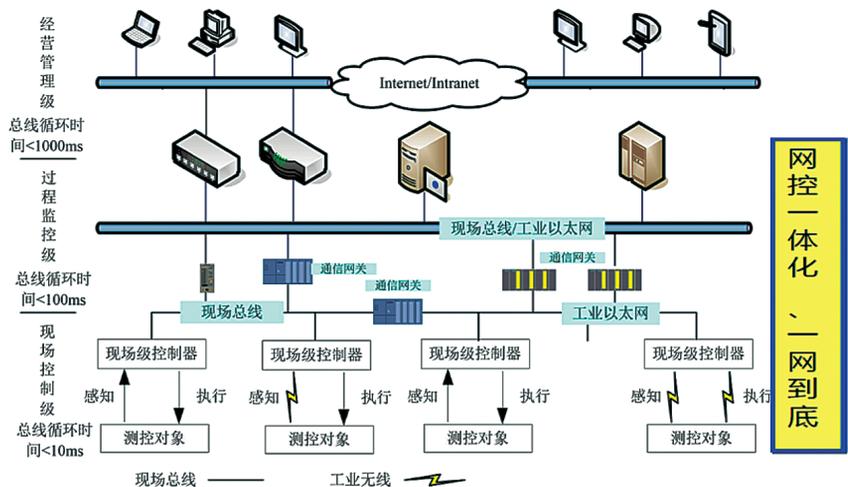


图4 典型的工业物联网系统

的设备，从此以后为了与这个协议的设备互联，他需要一直购买这样的设备。

最近又有一些新的网络，例如 5G+TSN 这样新技术进入到工业网络行列中，这些新兴的技术为工业网络提供了一些新的技术手段，提升了工业网络的质量，但这些网络把原先就非常复杂的工业网络变得更加复杂。

## 二、工业物联网的历史沿革与发展趋势

下图是工业物联网的历史发展进程。从上世纪 60 年代开始，工业仪表、模拟仪表出现，上世纪八九十年代 DCS 系统诞生。20 世纪初，FCS 系统、工业以太网、现场总线慢慢的进入到工业现场领域，再到 2008 年，工业无线技术 WIA-PA、ISA100.11a 兴起。近几年新型 ICT 技术，包含 5G 网络技术、人工智能 SDN 慢慢融入到工业网络当中，工业物联网发展进入到了一个新时代、新阶段。

原先的工业网络是一个封闭的区间，它将多个区域进行了一个物理的隔离或者使用防火墙和网关进行隔离，一方面是为了安全，另外一方面是为了保持网络的金字塔的结构。在这样的情况下，目前它的演进趋势是将传统工业物联网封闭的部署变成一个开放式的、多功能的协同部署。

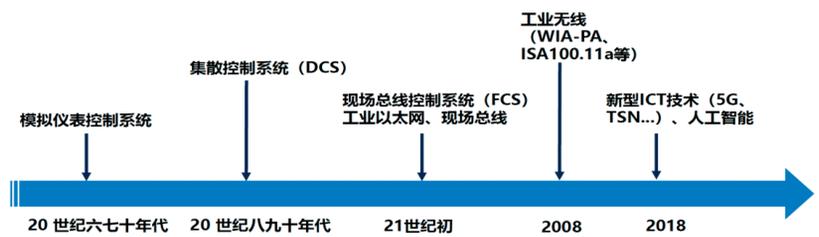


图5 工业互联网历史沿革

如图 6 所示，在解决方案上，为了实现在网络中设备的互通，一个孤立的网络解决方案需要变成一个网络融合的解决方案。在技术手段上，可以实现跨行跨域跨级的无缝融合，但在融合过程中如何解决系统和系统之间的互联互通和互操作的问题，需要一定的标准规范。

从封闭到开放，从孤立到融合，从无法融合到无缝融合，从孤立标准变成融合标准，这之间的国际竞争非常激烈。总结出来有两个非常明显的趋势，一个是现场越来越多的数据需要往上送和往下传，原先这些数据可能只是在 DCS、PLC 进行处理，由于现在现场的数据很多，包括传感器的数据、人员监测的数据，所有数据都需要上传到云平台，通过智能分析、诊断，将数据逐级向下传输。IT 信息

技术和 CT 通信技术越来越向上向下延伸，通过 IT 领域，机器学习、CT 领域的 5G、时间敏感网络、IPv6 这些新技术向上向下延伸，进而慢慢的融入到工业线上。

工业物联网涉及的技术非常多，而智能感知是工业物联网的基础，利用传感器、射频识别这些技术，在面对生产、物流、销售整个环境的海量数据时，用传感器、射频识别、感知的这种技术手段去获取全生命周期不同维度的多元的信息，进而完成信息采集工作。通过网络通信技术，包括工业有线网络，工业以太网、现场总线以及工业无线网络，进

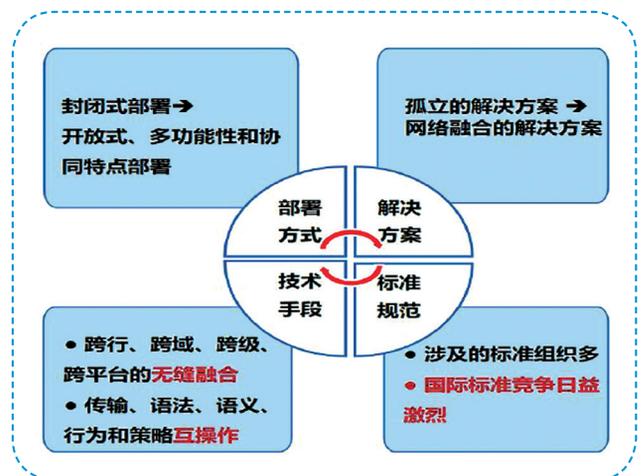


图6 工业互联网工业的演进趋势

行大量数据传输，之后经过数据建模、数据清洗、数据分析，将工业的资源映射到数据空间，从而实现工业现代化。

工业也需要通过云平台、数据分析的手段进行升级提升，但工业难以提取大量的数据，而留在本地的数据无法进行数据处理、数据分析、数据建模、实时分析和迭代优化。有了网络的互通后，安全技术是工业物联网部署的关键，通过加密认证、防火墙、入侵检测的手段能够实现工业物联网部署的安全防护。

有了标准才能推进标准化的实施和标准化的应用，目前工业物联网标准中，IEC、TC104主要针对仪器，电工仪器仪表的一些标准进行制定的，SC65C是针对工业通信的标准，65B是针对传感器方面的标准，65E是针对设备属性和功能的数字化表示的标准。

在2016年，国际标准化组织和国际电工委员会的联合工作组里面也成立了一个物联网与数字孪生分技术委员会。其中设置了一个工业物联网的研究组，长期进行工业物联网的研究。国内TC124、TC78、TC103、TC104这些标准化工作组也陆续发布了一些跟工业物联网密切相关的标准，通过对工业物联网标准进行准化，从而推动工业智能制造发展。

### 三、工业物联网关键技术和应用案例

传统的以太网是基于TCP/IP协议，它是一个尽最大努力传输的网络。在数据传输过程中，路由器会持续将数据包在网络中进行传输，时间长短和数据量大小是未知的。计算机网络在设计之初没有考虑到工业上需要的实时性、确定性的传输。所以，这就导致传统的互联网有一个缺陷，当多用户并发使用网络时，网络流量变化会非常的不规律，并且会造成流量变化的时延。

网络数据包传输的时候，一般计算机网络会进行分包处理，它的路径非常多，由于网络的时延是不确定的，数据包的路径也非常多，这就会造成数据包在网络中传输的路径不确定，可能会造成丢包现象，而在工业上这是不允许出现的。因为工业上要求的是执行器的数据包要确保发给机器，如果机器收不到数据包，无法完成相应的指令操作时，该机器生产出的产品就是次品。

传统以太网是无法进行确定性传输的，这就导致传统计算机网络无法用在工业上，于是就开发自己的网络和协议。比较常见的国际协议标准有Type1 61158，它是一个较为重要的类型。现在工业现场的有线网络协议有Type1到Type20，比较有

代表性是PROFIBUS，主要用于工厂现场级的DP和PA的连接。现在用的比较多的FF工厂级的实时以太网标准是受到很多控制领域工程师和自动化用户认可的。Type4和Type6这两个是有线领域在应用这种专用的总线，其中Type4 P-NET总线目前用在啤酒生产、食品、农业，Type6 SwiftNet网络常用在航空航天。

Type2、Type3、Type7和Type8是在以PLC为基础的控制系统发展起来的标准，其功能较简单，但应用比较广泛。Type1和Type5，是从DCS发展起来的现场总线，功能较为复杂。

在这么多网络标准制定当中，中国也没有缺位。从2000年开始中国的机构和单位一直参与到国际现场总线和工业以太网国际标准的制定，特别是Type14以高速以太网为基础的现场总线标准，它是由浙江大学牵头，中科院、自动化所、清华大学、重庆邮电大学这几个单位一起研制的EPA实时以太网自主知识产权的工业自动化标准，实现了我国在自动化领域国际标准零突破。

Type23 AUTBUS现场总线，它是我国自主知识产权，具有多节点、高带宽、可远距离传输的工业现场总线。由东土科技、神经元、重庆邮电大学等单位联合研制的一个宽带的工业物联网时

间敏感网络标准，它解决了工业物联网的确定性传输的问题，网络结构也具有多节点、高带宽、可远距离传输的特点。

AUTBUS 是一个具有自主知识产权的新的一个标准，它既有传统工业总线的一些优点，也具备传统工业以太网的优点，传输距离非常远，能够通过线性的或者环型的总线结构实现连接。重邮目前与 AUTBUS 北京神经元共建 AUTBUS 联合实验室，搭建了国内首个 AUTBUS 实时宽带总线验证系统。

传统工业自动化，包括工业以太网协议，这些都是时间敏感网络标准。时间敏感网络在融合网络中使用的比较广泛，因为传统 OT 网络本身就是时间敏感网络，当 IT 网络与控制网络的控制流融在一起时，如何保证工厂的确定性传输就变得非常重要，所以时间敏感网络目前是非常重要的一个研究方向。在国内外的一些展会上，大公司也都在推动时间敏感网络的一些应用。重庆邮电大学基于工信部的项目搭建了实现敏感网络的验证平台，目前正在制定相关实现敏感网络的国家标准和国际标准。

工业无线网络也是一个非常重要的发展趋势，因为现场有线特别多，所以，当它出现问题使，维护起来非常不方便，且成本较高。大多数时候，对于现场来说

工业无网络线是最佳选择。但传统的无线和有线网络都是不可靠的传输，而在实际应用中接口带来的不可靠的情况是选择无线的另一个理由，有些场景是无法使用有线的网络，例如，高腐蚀、高温的环境，而有些场景无法使用有线网络，此时就需要按照需求选择相应的网络。

为了应对传统网络无法满足工业的确定性、可靠性、实时性的要求，此时需要设计一个适合工业的抗干扰能力强、能耗低、实时通信好的网络。针对该需求工业领域很多研究人员和科研工作者开发出来了一种针对工业应用的确定性传输的、高可靠

传输的工业无线协议，包括无线 HART、ISA100、WIA-PA、FIA-FA 这些国际标准网络通信协议。

其中 WIA-PA 协议是中国自主制定的工业无线国际标准，如图 7 所示，ISA100 是支持 IPv6 协议的标准，目前正在被一些公司助推。重庆邮电大学在国家项目的支持下也研发了相关的工业无线网络芯片、模块、系统以及软件，参与了 ISA100 标准的制定工作，包括无线系统的集成，并通过了相关的验收和第三方的严格测试，同时该系统在电力、环境监测、水电场景进行了一些实际应用。

OSI layer	Function	WIA-PA
Application	Provides the user with network capable application	AL (Provides the user with network capable application)
Presentation	Converts application data between network and local machine formats	▲
Session	Connection management services for applications	
Transport	Provides network independent, transparent message transfer	▲ or ▼
Network	End-to-end routing of packets, resolving network addresses	NL (Power-optimized redundant path, star and mesh networking)
Data link	Establishes data packet structure, framing, error detection, bus arbitration	DLSL (Hybrid CSMA and TDMA, AFS, AFH, TH) IEEE STD 802.15.4-2011 MAC
Physical	Mechanical / electrical connection. Transmits raw bit stream	PHY (IEEE STD 802.15.4-2011-based radios)

IEC

图 7 WIA-PA 协议栈架构

从通信的角度分析，5G 技术在工业里面目前还无法完全使用。目前传统的无线适用于短距离传输的场景，如果要实现长距离、低时延、可靠的无线传输，需要更可靠更稳定的网络。5G 设计之初就提到其中一个非常重要的要求，就是要满足超高可靠、低时延的性能，只有这样才能推动新的网络通信技术在工业上进行应用。目前从网络层面上通过 IPv6 能够实现各个网络的互联互通，通过 IP 联通所有的工业网络，以此来构建一个多种有线和多种无线的异构系统。

工业网络并不是都用某一种有线和某一种无线，也不是要把无线都取消，最终可能是多网并存的场景。利用网络模块，重庆邮电大学开发了一些网络设备，搭建了自己的实验场景，并在实验产线上进行一些应用，同时我们也把这些设备和这些系统在项目合作单位中进行了现场的验证，最后实验效果非常不错。依托现在承担的国家项目，我们也搭建了测试验证平台，后续也希望这个平台能够对外提供相关的一些公共服务。

另外，5G 和 TSN 也在进行相互融合，如图 8 所示。针对异构网络多协议共存问题，利用 OPC UA 技术，我们团队开展了基于 OPC UA 的异构网络协议适配机制研究，开发了支持工业有线及

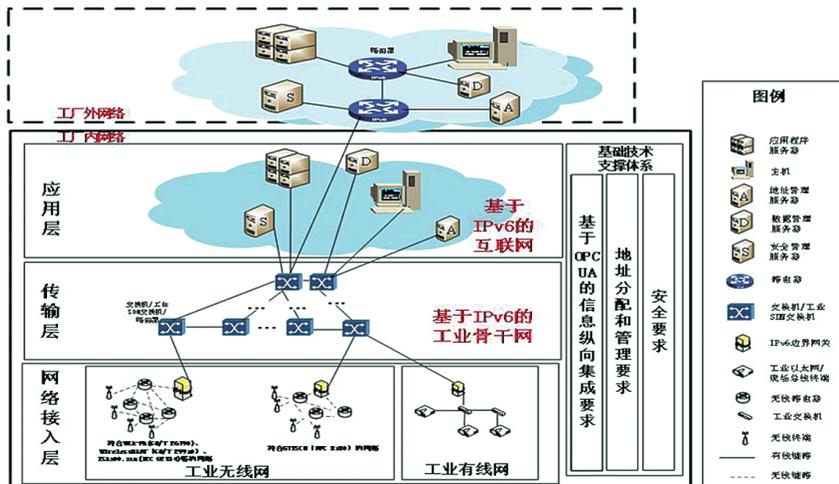


图 8 工业融合网络

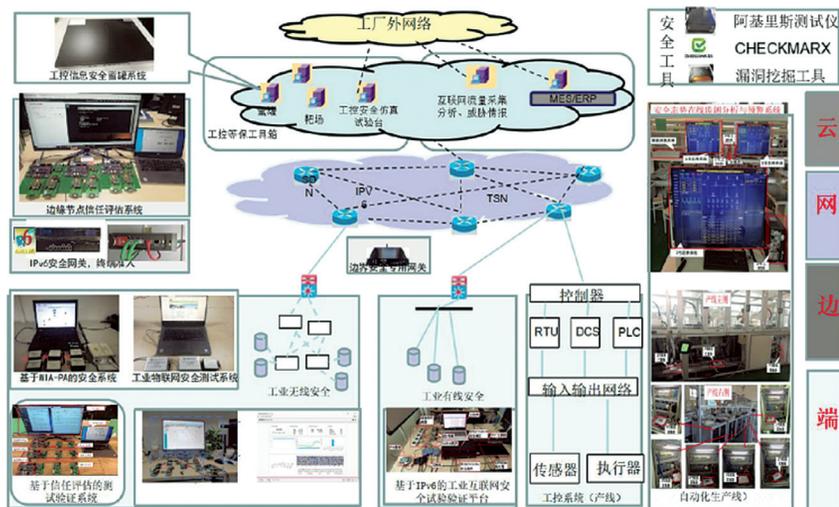


图 9 关键安全技术

无线协议的 OPC UA 转换适配器。通过 SDN 技术实现网络的有效管理和平面化的解耦，我们把控制面、数据面进行分离，实现对网络的跨网时间同步和跨网调度的技术突破。

最终网络和网络、有线和无线、OT 和 IT 都需要进行深度融合。此时，安全关键技术就显得非常重要。现在的安全解决方案是从云、网、边、端多层次多维

度出发，从设备边缘到网、云，如图 9 所示，进行一些低开销的安全协议设定，开发出低代码、低开销的网络技术，从而实现网络安全。

#### 四、工业物联网前景展望和未来挑战

从整体上来看，目前工业物联网的发展前景还是非常好的。主要有以下几点理由：

第一，工业互联网与生产制造深度融合的趋势更加明显，工业网络慢慢的融入到生产过程的各个环节，原先的生产不是每一个环节都带网络的，有一些环节没有覆盖网络。现在有了工业网络的切入和多种形态的工业网络应用的出现，工业资源流动和整合将发挥出巨大的作用。

第二，设备的连接日趋多元化。能够接入网络的设备越来越多，原先的设备可能是无法联网的设备，现在基本上所有的设备都有网络接口，正常的生产数据和维护数据都可以通过网络连接，这就是一个较好的发展趋势。

第三，工业物联网和工业物联网设备的公司将越来越多。由于国家和地方都在大力推动智能制造和工业互联网发展，未来的工业互联网将形成产业链。

第四，网络和设备有可能最后实现分离。5G 进入工业领域之后，设备和网络将不再实现统一接入，网络服务和设备服务会分开进行，网络设备制造商会预留一个网络模块的接口，产品制造商按照用户需求进行相应型号的设备生产，这种分离对设备网络的后续维护是有益的，它会降低

网络设备维护的成本。

第五，工业互联网不仅实现设备的互联，也实现资产的优化，最终提升了产品和用户的期望值。

未来的挑战非常多，因为工业网络用了二三十年的时间才实现了多网络并存、多网络融合的生态。当新的网络技术进入工业领域时，例如，5G 时间敏感网络、SDN、边缘计算这些新的技术如何与工业网络这些传统的技术实现深度融合，这是一个非常重要的关键点。

在人才培养方面，目前高校急需自动化和信息化的复合型人才。所以，重庆邮电大学自动化学院去年年底获批了国家级现代产业学院，目的是推动自动化和信息化复合型人才的培养。

另外，多尺度、多维度、多协议的复杂融合组网也非常困难。传统 1+1 可能比较简单，但出现 2+2、3+3、5+5、8+8、10+10 等组网形式时就很难。传统 1 对 1 的配置模式难以满足一个网络的需求，因为网络中的很多视频流、控制流和非重要的数据流在网络中传输的时候，如何保障传输的确定性，这是一个难题。而对于跨网络的确定性传输就更

难保障了，网络异构以后带来控制自动化的数据多样化、多尺度时延问题也是急需解决的难题。所以，对于工业物联网后续的研究、研发、产业化，到最终落地实施，还有很长的道路。○

## 魏旻简介



魏旻，重庆邮电大学教授，博导，自动化学院副院长，科技部工业互联网国际科技合作基地主任，科技部中国-韩国工业互联网“一带一路”联合实验室执行主任，重庆市学术技术带头人，重庆市英才计划创新创业团队负责人，长期工业互联网的研究工作，牵头国家重点研发计划项目 2 项，工业互联网创新发展工程项目 1 项，曾获重庆市技术发明一等奖。

## 郑南宁院士：打造人工智能领域的“百年老店”

1952年出生的中国工程院院士、西安交通大学教授郑南宁，自幼受父母熏陶，耳濡目染，自己组装矿石收音机，梦想着长大成为一名工程师。

1956年，人工智能在大洋彼岸的达特茅斯会议上诞生，迎来了它的第一次发展浪潮。科学家同聚一堂，描绘着未来人与机器共处的美好蓝图。

郑南宁的成长与人工智能的发展轨迹犹如同步前行、无限趋近相交的两条线。直到1987年，他的“机器视觉中图像分割专家系统的研究”项目获得首批国家自然科学基金青年科学基金（以下简称青年科学基金）的资助。在独立自主的科研道路上，他同人工智能有了交汇，由此开启了他长路漫漫、上下求索的学术征程。

### 青年科学基金打开的一扇门

“把理论研究同实际问题结合起来做学问”这一研究思想贯穿了郑南宁的整个学术生涯。当年，他用青年科学基金资助的4万元经费，研制出一套车辆牌照自动

识别软件系统。

1988年，京石高速北京路段的一个收费站希望开发一套能够自动识别车型大小计费的自动收费系统。郑南宁带着课题组研制出的车型类别识别机器视觉系统，和他的学生一行六人挤在一辆租来的面包车里连夜从西安赶往北京。

“那时是12月，天寒地冻，黄沙漫漫。坐着四面漏风的面包车，我们赶到北京的时候，个个都冻成了‘兵马俑’。”郑南宁笑着回忆说。

住进招待所，他们一刻也不敢松懈。担心路途的颠簸会损坏系统设备，影响第二天的实验，郑南宁带着大家挑灯夜战，调试设备。“我们还引来了招待所管理员大妈的查房。她看到我们几个年轻人在忙碌地捣鼓着设备，说明了情况后，才放心地离开了。”

意外与困难总是不期而遇。无论怎样调试，系统总是显示有问题。一想到几个小时后就要带着设备到现场做实验，大家既焦急又无奈。就在大家束手无策的时候，郑南宁用示波器观测电路

板上信号变化的状态，脑海里突然闪现出一个念头：一定是某块芯片出了问题。大家赶忙换了芯片，系统终于恢复了正常运转。

这项由青年科学基金资助研发的新技术，在当时得到了很好的应用，后来黄河大桥的收费站也验证并应用了这项技术。

“青年科学基金给我打开了一扇门。即使在30多年后的今天来看，当时的研究思考依然具有它的科学价值。它为我后续紧扣人工智能前沿发展创造了更多的发展机遇。”郑南宁由衷地感叹道。

### “后郑老师时代”

大道如砥，大势如潮。郑南宁的学术成长与人工智能的发展轨迹不断重合。

20世纪80年代，人工智能迎来第二次发展浪潮。1986年，郑南宁和他的硕士生导师、西迁教师宣国荣教授共同创建国内首家人工智能专职科研机构——西安交通大学人工智能与机器人研究所，在我国率先开展人工智能科研和高层次人才培养工作，培育人工智能的“生力军”。

20世纪90年代末,人工智能又一次浪潮涌起。郑南宁等相关专家在国家自然科学基金委员会(以下简称自然科学基金委)的组织下,经过10年的深入研讨和顶层设计,凝聚信息、生命和数学等领域专家智慧的“视听觉信息的认知计算”重大研究计划于2008年应运而生,强力支撑了国家在人工智能基础理论研究上的纵深发展,集中反映了自然科学基金委在人工智能领域的高瞻远瞩与战略部署。

从1987年至今,郑南宁在学术上的成长离不开个人兴趣的牵引、国家发展的机遇以及国家自然科学基金项目的扶持,尤其是帮助他走上独立研究道路的第一个国家自然科学基金——青年科学基金。

“它不仅支持了我的研究工作,更提升了我对科学思想、科学方法的认识。如果当年没有青年科学基金的支持,我在学术研究上的坚持与思考将缺乏验证和支撑,也很难想象我今天会有怎样的成长与蜕变。”郑南宁说。

对于青年科学基金的意义,郑南宁有着自己的看法。“它在帮助青年人才凝练、确定未来的学术方向上发挥着至关重要的作用。”他解释道,“在申请青年科学基金时,大家需要凝练出一个科学问题。由于对科学问题内涵认知的不确定性,申请人此后需要

不断验证、探索,由此逐步形成未来的研究方向。”

郑南宁认为,青年科学基金给青年人才提供了一个难得的“试错”机会,帮助他们调整并确定未来的研究方向。

关爱团队年轻人的郑南宁发现,现在的青年科研工作者承受着不小的压力与两难的困境:一方面,科学研究需要科研工作者“甘愿坐冷板凳”,潜心钻研才能取得好的研究成果;另一方面,繁重的科研考核压力犹如“紧箍咒”一般,让大家焦虑得如同热锅上的蚂蚁,项目申报时往往带更多功利性。

如何走出这一冷一热的窘境,郑南宁提议:“不能简单地对科技人才进行量化考核,而是要多管齐下,从大环境上进行改变。要在多部门的共同努力下,建立一个恰如其分的竞争机制,使优秀的学者更加优秀,并支持后进的学者在积极的环境下健康成才,让有追求的学者都能发挥出更大的作用。”他建议,自然科学基金委既要提高青年科学基金项目的资助率,又要对其他资助项目的比例作出合理调整,避免资源浪费。同时,要支持“好奇心驱动的研究”,支持“相信且追寻自身直觉的科学家”,这是有助于成功的创新生态系统的必备要素。

“另外,年轻人身边的小生态

环境也需要改变。”郑南宁发现,团队对青年人才的成长起着至关重要的作用,要大力建设具有学科特色的团队文化。对工程科学而言,团队的智慧与合作显得尤为重要。“我经常同团队讲,现在已经进入到‘后郑老师时代’,我们要有舍小我、顾大家的团队文化,才能建成人工智能领域的‘百年老店’。”

## 探索科研的勇气、迎接挑战的底气与敢打胜仗的硬气

越是遥远的征程,越需要领航的力量。作为我国改革开放后的第一批研究生和公派留学生,郑南宁为了祖国科技事业的发展的需要,毅然放弃了海外优越的条件,返回西安交通大学任教。究其原因,他说始终忘不了母校与导师对他的关爱和培养。

老一辈教师对学生的呵护、对教育事业崇高的追求,不畏艰苦、迎难而上的科学家精神深深地影响和感染着郑南宁。而他不仅传承了老一辈的科学家精神,更是进一步将体育精神与之相融,影响着团队师生。

郑南宁经常利用业余时间同师生一起参加体育锻炼。“最长的一次骑行了140公里,我们从法门寺骑回了西安。”他认为,经常进行体育锻炼不仅可以强身健体、有益大脑、亲近自然,还可以塑造人格,为持续不断地坚持科学

研究提供有力支撑。“我时常同团队的师生讲，要将体育精神牢牢印刻在科学精神里。科学研究是一个追求理性结果的过程，但在追求的过程中往往需要一种‘疯狂’。要有一种无惧挑战、‘着迷’的锲而不舍的科学精神。我们要有坚定探索科研的勇气，要有迎接未来挑战的底气，要有敢打久仗胜仗的硬气。”

靠着勇气、底气与硬气，在郑南宁团队中成长起来的国家级人才总数约占团队人数的 1/3。多年来，他先后获得多项国家级、省部级奖项；获批 26 项国家自然科学基金项目，涵盖大部分类型，包括国家杰出青年科学基金项目、创新研究群体项目等。自 2009 年起至今，依托“视听觉信息的认知计算”重大研究计划，郑南宁发起的“中国智能车未来挑战赛”已成功举办了 12 届，以赛促研，以赛促进，培养了一大批领域内的中青年科技骨干，推动和引领了我国自动驾驶技术的跨越式发展，被称之为中国无人驾驶智能车研发的“黄埔军校”。

如今，郑南宁依旧活跃在教学与科研一线。他坚持每周抽出

两天时间给本科生上课。喜欢和学生探讨人工智能与无人驾驶技术的他始终坚信：“实现完全自动驾驶是一个令人兴奋而又望而生畏的挑战！”

“所谓的令人兴奋，是自动驾驶技术一定会给我们整个社会带来颠覆性变革。然而，当前的无人驾驶技术同人类驾驶相比还存在巨大的差距。”郑南宁充满期待地说，“今后的交通路况，会出现有人驾驶和无人驾驶混行的场景。人类驾驶员在驾驶的过程中会应对交通场景的变化，适时做出驾驶行为的改变，这种人类驾驶行为的变化对无人驾驶系统而言是一种随机的扰动。此外，从统计意义上来讲，无人驾驶是一类不能犯错误的人工智能系统。如何克服这些问题，将是无人驾驶面临的不可忽视的挑战。”

“当一项重大技术发生变化时，一定会产生若干有意义的分支去影响其他领域。”郑南宁说。

未来，人和机器将如何共处？郑南宁的一席话，留给我们无尽的遐思！○

来源：《中国科学报》

## 郑南宁简介



郑南宁，中国工程院院士、中国自动化学会理事长、中国人工智能教育联席会理事长、科技部新一代人工智能战略咨询委员会专家组副组长，曾担任西安交通大学校长。长期从事计算机视觉与模式识别、人工智能系统及其先进架构等研究，为我国人工智能领域的前瞻性战略规划、前沿性技术突破作出了突出贡献。先后获得国家级科技奖 6 项，并获 2020 年度杰出教学奖、“全国优秀教师”、“全国先进工作者”等荣誉称号。

## 薛禹胜院士：37岁考取研究生，73岁致力于为“双碳”提供科技支撑

1978年，出差途中，一则广播让他激动万分：首届硕士研究生招生年龄放宽到38岁。

然而，彼时的他已经37岁。“当时离开考还剩一个月，却要从寻找18年前放下的课本开始，我试问能行吗”。

一个月的废寝忘食，埋头苦读，他以第一名的成绩被水利电力部南京自动化研究所录取，成为该所的首届硕士研究生。

他就是薛禹胜，我国稳定性理论及电力系统自动化专家，中国工程院院士，“守卫电网安全第一人”。

1981年，薛禹胜以全班第一的优秀成绩毕业，留在研究所工作。在水电部为挑选出国培训人才而举行的全国英语统考中，他以榜首的成绩获准首批派往美国著名电力企业学习一年。

当时他认为自己的学术准备还不足，果断放弃了这个机会，把攻克电力系统的稳定性问题作为自己的研究方向，沉下心来进行出国深造前的学术准备。

1985年，选定目标的薛禹胜带着课题“电力系统暂态稳定性

研究”，作为访问学者来到比利时的列日大学攻读博士学位，这是一所国际上著名的以“电”为研究对象的高等学府。

中国幅员辽阔，电网面积大，同时电网稳定问题突出。薛禹胜来之前就曾立志，不仅要取得博士学位，而且要充分利用列日大学关于电力科学研究的丰富文献资料和优良的设备条件，为祖国干出实际成绩来。

一到学校，他就一头扎进文献的海洋，从建立档案入手，理顺世界各国电力系统学术研究的历史与发展。在短时间内，就理清了各学派的理论、主张、发展、特点与不足等。仅3个月的时间，就出色地完成了导师要求的两个课题，令导师对这个来自中国的学生刮目相看。

“稳定性是力学系统的基本问题，不能保证稳定性的系统是谈不上其他品质的。”薛禹胜的主攻目标是“电力系统暂态稳定性量化分析”，这是困扰世界电力系统多年的难题。他在搜集资料与研究中发现，目前各派学说的方法虽各有长处，但都难以投入实际

运行，有的计算精度的难点未突破，有的计算速度跟不上。

在广泛搜集材料，分析前人经验与教训的基础上，薛禹胜想到：能不能吸收已有方法之优点，融合成新的方法呢？比如“等面积法”计算速度较快，但具体应用有限制，如果同具有加权计算能力的“等值法”相结合，那么是不是就可以满足复杂电力系统的要求呢？

为了证实自己提出的方法可行有效，薛禹胜在前人未踏足的道路上大胆跋涉、小心求证。终于在试验新的“扩展等面积法”时得到了结果，这种方法的计算精度完全符合要求，计算速度也较原先的方法快数十倍。

随后，薛禹胜又马不停蹄，用档案资料中搜集的数千道例题，模拟电网运行中的各种不同状态，反复对比验算，结果均符合预期。就这样，“薛氏算法”扩展等面积准则（EEAC）方法诞生了。

1987年，薛禹胜踏上回国征程，他一腔热血，继续投身祖国的电力事业。回国后，他立刻成立了EEAC研究小组，致力于继

续完善和开发 EEAC 实时应用软件，以解决我国大电网的在线暂态安全分析问题。

1992 年，基于 EEAC 的在线稳定评估系统在东北电网投入试运行，在世界上首次实现了对电网进行在线稳定分析和监视，被国际大电网组织确认为世界上首例成功的在线暂态稳定分析和预防控制工程。

1994 年，EEAC 在北京通过应用成果鉴定，在国际上首次实现了电力系统预防性控制的实用化，是国际上电力系统稳定性分析唯一的量化理论及软件，被公认为电力系统暂态稳定分析和预防控制的最佳快速解析方法。

该方法至今仍是国际上唯一得到理论证明并实现工程应用的电力系统暂态稳定性量化分析方法，成功应用于长江三峡水利枢

纽、四川二滩水电送出等重大工程，相关软件包在国外的实际工程中也得到了广泛的应用。

1996 年，“电力系统暂态稳定在线评估技术（EEAC）及其应用”获国家科学技术进步奖一等奖。他将 EEAC 方法抽象为适用于时变非线性运动系统的普适理论，并成功应用到 7 省市 23 台汽轮机组的疑难振动治理，获 2005 年国家科学技术进步奖二等奖。

此后的薛禹胜并没有放慢科研脚步。2004 年，他以广域测量和 EEAC 为核心，提出构建电网的广域监测分析保护控制系统（WARMAP），该系统目前已在我国 90% 的省级以上电网推广应用，建立了该领域中国独有、全球引领的全面优势，对中国电网避免系统范围的大面积停电作出重大贡献。

WARMAP 入选“十一五”江苏省十大自主创新成就，2009 年被国家科技部、发改委和财政部联合认定为首批 243 项国家自主创新产品。

2008 年，中国南方罕见冰灾对电网造成严重性破坏。他带领团队建立起外部自然灾害下电网风险评估和防控体系，将停电防御体系从电力系统内部拓展到台风、雷电、山火、覆冰等外部灾害，将电网防御自然灾害的理念由“事后被动防御”提升为“提前主动防御”。

相关成果已成功应用于华东、西北、江西、云南、湖南、广东、宁夏等省级及以上电网，并获 2018 年度国家技术发明二等奖。

2014 年，习近平总书记提出“四个革命、一个合作”能源安全新战略。为支撑清洁低碳、安全高效的现代能源体系的建设，薛禹胜带领团队不断将研究视角从电力系统拓展至电力市场、碳市场、能源低碳转型等领域，在国际上首先提出了能源的信息物理社会系统（CPSSE）研究框架，开创了多学科交叉融合的能源安全研究新范式，提出电网主动支撑能源转型的整体解决方案，在国家、地区以及能源企业的低碳转型中得到应用。

目前，薛禹胜正带领团队在 CPSSE 框架下探索基于混合仿真的碳达峰碳中和路径协同优化方



薛禹胜院士与工作团队在系统保护实验室



80 高龄的薛禹胜院士在科研一线

法，致力于为中国“双碳”目标的实现提供科技支撑。

在当选为中国工程院院士时，薛禹胜表示“将尽力使自己的工作达到本学科的里程碑水平”。他是这样说的，也是这样做的，不论在国外留学还是在国内工作，

他经常每周工作 100 多个小时。现在，年逾耄耋的他依然坚持在科研一线，致力于为中国电网安全、能源转型与双碳变革事业作出更大贡献。○

来源：国科协创新战略研究院

## 薛禹胜简介



薛禹胜，稳定性理论及电力系统自动化专家，中国工程院院士，国网电力科学研究院名誉院长。薛禹胜于 1963 年从山东工学院毕业；1981 年获得中国电力科学院硕士学位；1987 年获得比利时列日大学博士学位；1995 年当选为中国工程院院士；2000 年被评为全国先进工作者；2011 年获得首届江苏省科学技术突出贡献奖。薛禹胜主要研究方向为：非自治非线性动力系统稳定性；电力系统动态分析与控制；实验经济学在电力市场中的应用。

喜报

## 《自动化学报》影响因子 6.627，影响因子和影响力指数排名第 1

近日，由中国学术期刊（光盘版）电子杂志社有限公司、中国科学文献计量评价研究中心编制的《中国学术期刊影响因子年报》（2022 版）发布。

最新年报数据显示，《自动化学报》复合影响因子为 6.627，首次突破 6，影响力指数（CI）为 1225.569，影响因子和影响力指数在全国自动化技术、计算机技术学科 142 种学术期刊中排名第 1。此外，《自动化学报》的 5 年影响因子达 8.012，是去年的 1.4 倍，WEB 下载量为 38.37 万次。

《中国学术期刊影响因子年报》由中国科学文献计量评价研究中心和清华大学图书馆共同研制，《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社出版，每年发布一次。中国科学文献计量评价研究中心于 2013 年首次提出“影响力指数（CI）”这一综合评价学术期刊影响力的方法，可较全面反映期刊的学术影响力，据此可对某学科期刊的影响力进行排序，其基本原理、计算方法和结果得到国内外学术界和期刊界的认可。

# 王耀南院士：智能无人系统技术应用与发展趋势

导读：智能无人系统作战正在从概念走向实战应用。着眼于未来战场智能无人系统作战任务的需要，在总结陆地无人系统、空中无人系统与海洋无人系统发展现状的基础上，重点阐述其在军用领域的应用，并针对智能无人系统面临的关键难题，以及在未来战场上将面临的实际困难，分析智能无人系统所需要的关键技术，包括复杂环境下自主感知与理解、行为决策与轨迹规划、自主导航与定位、多场景自主技能学习与智能控制、无人集群协同控制与自然人机交互等。同时，针对未来战场上智能无人系统进一步发展将要遇到的问题，从个体增强与集群增强这2个方面出发，详细分析智能无人系统的发展趋势。

## 引言

随着前沿科技加速应用于军事领域，智能无人系统成为现代战争的重要组成部分，世界主要军事强国均高度重视智能无人系统技术在军事领域的应用，在未来，智能无人系统将深刻影响作战方式，颠覆战争规则。而智能无人系统作为前沿科学技术（如人工智能、智能机器人、智能感知、智能计算等）的集大成者，其代表了一个国家科技实力的最高发展水平。所以，在智能无人系统领域开展研究能极大地推动现有军事、民生领域的发展。

当前，无人系统装备已在军事冲突中崭露头角，例如，在土耳其与叙利亚的冲突中，土耳其利用空军装备的安卡-S型长航时

无人机<sup>[7]</sup>和巴拉克塔TB-2察打一体型无人机，对叙利亚政府军进行了打击；俄罗斯国防部也曾公布叙利亚境内的武装分子利用载有爆炸物的无人机对其军事基地展开了集群式攻击；2020年，美国利用一架MQ-9“收割者”无人机袭击了伊朗高级军事指挥官并使其当场毙命。无人作战正在到来，智能无人系统作为未来战场的关键利器，将决定整个战争的胜利归属。

发展智能无人系统不仅会推动现有军事科技的升级与进步，还将带动民用科技的智慧性发展，包括智能交通系统、智慧家居系统、智能制造系统与智能医疗系统等。为了更加科学、快速地发展智能无人系统，各科技大国纷纷出台了一系列有关智能无人系

统发展的规划与路线，力求在智能无人系统领域的发展中抢得先机，夺取制高点。相关的有美国的自主无人系统综合路线图、俄罗斯的国家武器装备计划、英国的国防创新技术框架、中国的新一代人工智能发展规划以及日本的中长期技术规划等。

近年来，从空中到空间、从陆地到海洋，各种类型的智能无人系统大量涌现，世界各强国已经逐步将智能无人系统部署到军队中，并且在一些地区冲突、反恐战场中，智能无人系统的关键作用日益增加。因此，本文将重点从未来战场的军事需求出发，基于未来战场面临的实际复杂环境的挑战，分析智能无人系统发展与应用所需的关键技术，并从军事角度分析个体增强与集群增

强关键技术, 阐述智能无人系统的发展趋势。

## 1 国内外研究现状

智能无人系统概念才提出不久, 目前其研究尚处于初级阶段, 国际上也未形成统一的定义, 暂且将其定义为: 由无人平台及若干辅助部分组成, 具有感知、交互和学习能力, 并且能够基于知识进行自主推理、自主决策, 从而达成目标的有机整体。智能无人系统依据其作用的空间范围, 可以划分为陆地无人系统、空中无人系统和海洋无人系统三大部分。其中, 陆地无人系统主要包括侦察无人车、运输无人车、作战无人车、破障无人车、排爆无人车、无人车编队与指挥系统等; 空中无人系统主要包括侦察无人机、作战无人机、后勤运输无人机以及无人机编队等; 海洋无人系统主要包括侦察无人艇、作战无人艇、后勤运输无人艇、巡逻搜救无人艇、侦察无人潜航器、作战无人潜航器以及岸基支持系统等。本节将从以上3个部分来对国内外智能无人系统的研究现状进行阐述。

### 1.1 国外智能无人系统研究现状

#### 1.1.1 陆地无人系统

陆地无人系统主要用于情报搜集、侦察巡逻、扫雷除障、火力打击、战场救援、后勤运输、

通信中继以及电子干扰等领域, 随着陆地无人系统在战斗中的优势愈发凸显, 针对其的研究愈发受到各国的广泛关注。

美国曾于1993年11月启动“联合战术无人车”项目, 也即“角斗士”无人作战平台项目的前身。2006年, 美国完成了“角斗士”无人作战平台全系统的设计, 并于2007年正式装备海军陆战队。“角斗士”战术无人作战平台是世界上第1款多用途作战无人平台, 搭载的传感器系统有日/夜摄像机、GPS定位系统以及声学与激光搜索系统等, 并装备有机枪、冲锋枪、催泪弹、狙击系统、生化武器探测系统等, 可以在不同的天气和地形下执行侦察、核生化武器探测、突破障碍、反狙击手、火力打击与直接射击等任务。“角斗士”无人作战平台搭载有高机动与高生存底盘, 针对该平台, 还开发了便携式手持控制系统, 并围绕该控制系统的抗干扰性、网络互操作性、小型化与操纵简便化等技术问题完成了一系列开发工作。但因“角斗士”

无人作战平台的装甲防护能力较弱, 执行任务的隐蔽性差, 导致其远程侦察与控制系统面临的干扰较多。除此外, 美国陆军也服役了一些其他的陆地无人系统, 如“蝎子”机器人、“魔爪”机器人等。2017年, 美国陆军制定了《机器人与自主系统(RAS)战略》, 为开展无人作战能力建设提供了顶层规划。图1所示为美国陆地无人系统。

以色列、俄罗斯、英国和德国也相继进行了陆地无人系统的研制工作, 并研发出了一系列先进的产品, 产品列表如表1所示。例如, 以色列研发的“守护者”系列自主无人车可以结合搭载的传感器与融合算法, 自主侦察与识别危险障碍, 执行巡逻、监视与小规模的火力打击任务; 俄罗斯研制的MARS A-800无人车可以执行运输和后勤保障以及跟踪监视等任务, 并可以在执行任务的过程中实现自主路径规划, 规避障碍, 该无人车已在叙利亚战场进行部署。英国和德国对陆地无人系统的研究也开展得较早,



(a) “角斗士”无人车<sup>[33]</sup>

(b) “蝎子”机器人<sup>[34]</sup>

(c) “魔爪”机器人<sup>[35]</sup>

图1 美国陆地无人系统

表 1 各国陆地无人系统

典型平台	研发国家	搭载传感器	功能
“角斗士”无人车	美国	日/夜摄像机、GPS 定位系统、声学 & 激光搜索系统	情报侦察、破障、火力打击等
“守护者”无人车	以色列	摄像机、夜视仪、通信设备	情报侦察、巡逻监视、火力打击等
MARS A-800 无人车	俄罗斯	摄像机、激光雷达	后勤保障、巡逻监视等
Harris T7 机器人	英国	高清相机、触觉传感器、可调节机械臂	拆弹防爆、信息搜集等
“任务大师”武装无人车	德国	电光/红外传感器、监视雷达、360° 环形摄像机、激光雷达测距仪	巡逻监视、危险探测、通信中继、电子干扰等

英国于上世纪 60 年代就推出了手推车排爆机器人，后来又推出 Harris T7 触觉反馈机器人，用于执行拆弹、排爆等危险任务；德国莱茵金属公司开发的“任务大师”地面武装侦察无人车主要用于执行战术监视、危险物检测、医疗后送、通信中继以及火力支援任务。

1.1.2 空中无人系统

空中无人系统主要以单个无人机平台和无人机集群为主。无人机由于具有视野开阔、飞行自由、设备搭载性好等优点，被广泛应用于军事领域，并在近年来的军事冲突中起到了极大的作用。空中无人系统的主要功能包括：情报搜集、侦察监视、诱饵靶机、目标跟踪、战术打击与空中救援等。

美国空军研究实验室（air force research laboratory）于 2000 年提出了针对无人机自主作战的概念，并对无人机的自主程度进行了量化定义，制定了发展规划。无人机自主程度量化内容与发展阶段如图 2 所示。

2003 年，美国将空军和海军的无人作战飞机系统项目合并，启动了“联合无人作战系统”（J-UCAS）项目，开始了对无人作战飞机 X-47B 的研究。2006 年，美海军提出了“海军无人作战航空系统”（N-UCAS）项目，旨在为航母舰载机联队引入无人作战飞机，并继续对 X-47B 开展研究。在 2012—2014 年间，又多次完成了航母弹射、着舰、触舰复飞等试验，

并于 2015 年完成了自主空中加油试验。X-47B 攻击型无人机是一款可以自主操纵、隐身性能好且适用于陆基和舰载的无人作战飞机，具备高航程和高航时的特点，装备有照射雷达、光电制导系统和孔径雷达等先进的传感器，主要功能包括情报侦察、目标追踪、电子战干扰、火力打击等。美国研制的其他空中无人系统，如“全球鹰”、“捕食者”、“猎人”和“大乌鸦”等也已在军队服役，如图 3 所示。

以色列研制的“哈比”无人机配备有反雷达感应器、光电制导系统和导弹，可自主攻击敌方雷达系统，如图 3 所示。

单个空中无人系统在执行任务时容易被干扰和打击从而导致任务失败，而空中无人系统集群则可以弥补这一缺陷，更大程度地发挥空中无人系统的优势。美国国防先进研究计划局（DARPA）针对空中无人

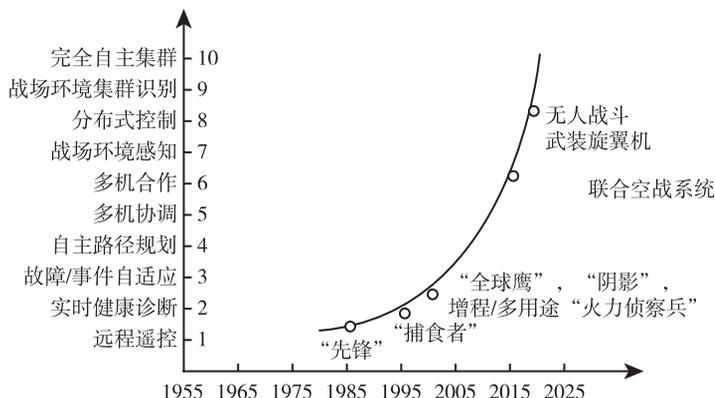


图 2 自主控制水平与无人机自主化趋势

(a) X-47B 无人机<sup>[57]</sup>(b) RQ4 “全球鹰”<sup>[58]</sup>(a) “斯巴达侦察兵”无人艇<sup>[92]</sup>(b) “海上猎人”无人艇<sup>[93]</sup>(c) “哈比”无人机<sup>[59]</sup>(d) MQ1 “捕食者”<sup>[60]</sup>(c) “保护者”无人艇<sup>[94]</sup>(d) “波塞冬”无人潜航器<sup>[95]</sup>

图3 各国空中无人系统

图4 各国海洋无人系统

系统集群先后启动了“小精灵”低成本无人机项目、低成本无人机集群项目、“山鹑”(Perdix)微型无人机机载高速发射演示项目、进攻性蜂群使能战术(OFFSET)项目等,通过开发和测试用于无人系统集群的体系架构、通信系统以及分布式控制算法,发展了无人机集群自主控制系统,并利用人工智能、态势感知、虚拟现实及增强现实等前沿科学技术,提升了空中无人系统集群在战场上的综合作战能力。

### 1.1.3 海洋无人系统

海洋无人系统包括水面无人系统和水下无人系统2类。其中,水面无人系统主要指水面无人艇(以下简称“无人艇”),主要用于执行海上搜救、侦察监视、火力打击、巡逻安防、电子干扰、后

勤保障和诱饵靶船等任务;水下无人系统主要指无人潜航器,与载人潜艇相比,其具有无人员伤亡、高隐蔽性与高自主性等优点,主要用于执行情报搜集、目标监测、战力威慑、火力打击等任务。2018年,美海军发布了《海军部无人系统战略路线图》,2019年,又发布了《海军人工智能框架》,为海军作战与海洋无人系统的发展提供了路线规划与指南。

在水面无人系统方面,美国提出了“美国先进概念技术演示项目”(ACTD),其重要任务之一便是开展“斯巴达侦察兵”无人艇的研究。该项目已于2007年完成,并在伊拉克战区进行了试验。“斯巴达侦察兵”无人艇搭载有无人驾驶系统与视距/超视距通信系统,并搭载有电光/红外搜

索转塔、高清摄像机、导航雷达、水面搜索雷达、全球定位系统接收机等先进传感器,以及舰炮、反舰导弹及反潜感应器等武器,主要用于执行情报搜集、目标监视、信息侦察、反水雷和海上安防等任务,具有一定的自主能力。美国研制的“海上猎人”无人艇搭载有声呐与光电传感器,以及近距、远程雷达探测系统与可扩展模块化声呐系统,主要用于执行识别、监测可疑目标,引导火力打击等任务。美国海洋无人系统如图4所示。以色列研制的“保护者”无人艇主要用于执行情报侦察、可疑目标辨别、战术拦截、电子干扰和精确打击等任务(图4)。俄罗斯研制的无人水面侦察艇可以在母舰的指挥下执行快速巡逻任务并检查、监视指定区域,

搜寻情报。

在水下无人系统方面，俄罗斯研制的核动力无人潜航器“波塞冬”，可携带常规以及核弹头，执行侦察与战略核打击任务，如图4所示。美国研制的“刀鱼”无人潜航器，可以通过发出低频电磁波来扫描可疑物体，搜寻情报；研制的“金枪鱼”-9无人潜航器可携带多种标准载荷，可用来执行近海勘探、反水雷、监视和侦察（ISR）等任务。

### 1.2 国内智能无人系统研究现状

近年来，我国军用智能无人系统发展迅速，本文将从陆地无人系统、空中无人系统和海洋无人系统3个方面进行阐述。

在陆地无人系统方面，国防科技大学与三一重工股份有限公司联合开发了“沙漠苍狼”陆地无人轻型平台，其以履带为动力，搭载榴弹发射器和机枪等武器系统，可以用来执行后勤运输、伤员运送、侦察监测、火力打击等任务。山河智能集团研制的“龙马”系列无人车，具有强大的运输与越障能力。南京理工大学研制的“神行-III”军用地面智能机器人系统，具有较强的自主导航与情报侦察能力。国防科技大学与哈尔滨工业大学等单位联合研制的无人驾驶核化侦察车，具有较高的机动能力与装甲防护能力，搭载的武器系统可以执行火

力打击并具备一定的自主能力。

在空中无人系统方面，成都飞机工业集团研制的“翼龙”系列无人机具有全自主水平起降能力、巡航飞行能力、空地协同能力与地面接力控制能力等，搭载有多型光电/电子侦察设备以及小型空地精确打击武器，可以执行情报侦察、目标跟踪、火力打击等任务。我国研制的“彩虹”系列无人机具有中空长航时的航行能力，可以搭载电子干扰系统与多种武器系统，能执行火力打击、情报侦察、通信干扰、电波干扰等任务；研制的攻击11型无人机具有极强的隐身能力，可以搭载精确的制导导弹，用于执行对地攻击任务。我国空中无人系统如图5所示。

在海洋无人系统的水面无人系统方面，由哈尔滨工程大学牵头研制的“天行一号”无人艇，采用油电混合动力，最高航速超过92.6km/h，最大航程1000km，为目前世界上最快的无人艇。该艇融合了自主感知、智能控制、自主决策等技术，可以实现对周围复杂环境的快速态势信息认知与危险规

避，可以用于执行气象信息监测、地貌测绘、警戒巡逻、情报侦察、火力攻击等任务。由上海大学研制的“精海”系列无人艇具有半自主与全自主的作业能力，可以执行目标侦察、海洋测绘、水质检测等任务。由上海海事大学研制的“海腾01”号智能高速无人艇，搭载有毫米波雷达、激光雷达、前视声呐等传感器，可以执行可疑目标监视、水下测量、海上搜救等任务，具备全自主与半自主航行能力。江苏自动化研究所研发的JARI智能无人作战艇，搭载有光电探测器、四面相控阵等探测设备，同时还搭载有导弹鱼雷等武器系统，可以执行情报搜集、敌情侦察、精准火力打击等任务。由珠海云洲智能科技有限公司等单位联合研制的“瞭望者II”无人导弹艇，搭载有全自主无人驾驶系统及导弹等武器，可以执行敌情侦察、情报搜集、精准火力打击等任务。我国海洋无人系统如图6所示。

在海洋无人系统的水下无人系统方面，西北工业大学研制的“魔鬼鱼”无人潜航器为仿生蝠鲼无人潜水器，已完成了1025m



(a)“翼龙”系列无人机<sup>[106]</sup> (b)“彩虹”系列无人机<sup>[107]</sup> (c)攻击11无人机<sup>[108]</sup>

图5 我国空中无人系统

(a) “精海”系列无人艇<sup>[113]</sup>(b) “海腾”系列无人艇<sup>[114]</sup>(c) JARI 无人作战艇<sup>[115]</sup>(d) “瞭望者”无人导弹艇<sup>[116]</sup>

图6 我国海洋无人系统

的深海测试。哈尔滨工程大学研制的“悟空”号全海深无人潜航器，成功完成了10 896 m的深潜和自主作业试验。我国研制的“潜龙一号”、“海马”号等深海潜水器均已成功完成深海探测任务。

### 1.3 技术现状总结

目前，智能无人系统已逐步应用于军事应用的各个领域，且随着前沿科学技术的发展，智能无人系统在军事领域的应用将日益增多。但在智能无人系统的使用方面，尚未完全实现自主化与智能化。当前，智能无人系统技术在军事领域的应用现状主要分为以下3个部分：

#### 1) 从作战任务的角度：

作战任务从执行简单的侦察监视向主流对抗作战方向发展；战场对抗由人人对抗向人机对抗，

再向人机对抗方式转变；应用环境由结构化环境、实验室环境向真实战场环境转变，并在未来逐步发展成真实环境与虚拟现实相结合的增强现实环境。

#### 2) 从指挥控制的角度：

控制方式从单机简单遥控、程控方式向

人机智能融合交互控制方向发展，不过尚未完全实现自主控制；体系结构由专用化、单一化向通用化、标准化、互操作性方向发展。

#### 3) 从感知决策的角度：

决策方式由单一依靠人来决策向以人为主，人机智能交互决策为辅的方式转变；感知方式由单一依靠传感器获取特征信息，由人来判断目标属性向基于人工智能的目标识别、特征信息获取的方式转变。

## 2 智能无人系统关键技术

智能无人系统作为多学科领域的集大成者，涉及的技术众多，执行的任务多样，且应用场景复杂多变。例如，空中环境多雨、多雾，能见度低，有大风、光照干扰等；陆地环境地形复杂，有

障碍物遮挡干扰和危险污染区域等；海上环境有风浪干扰、船舶摇摆、目标不显著、海岸线不规则等。不同的环境及用途给智能无人系统技术研究和性能的发挥提出了巨大挑战。为适应受限的多变环境，可将智能无人系统关键技术归纳为复杂环境下自主感知与理解技术、多场景自主学习与智能控制技术、多任务集群协同技术、人机交互与人机融合技术、决策规划技术与导航定位技术，本节将主要以海洋无人系统为案例对智能无人系统关键技术进行详细阐述。

### 2.1 复杂环境下自主感知与理解技术

在复杂环境下对环境进行自主感知与场景理解是智能无人系统能够自主作业并形成作战能力的前提，将直接影响任务能否成功完成。针对实际环境的复杂多变，尤其是海面环境的风浪干扰及船舶摇晃等困难，智能无人系统需要完成目标自主选择感知，获取多模态信息，并对信息抽象完整理解等目标。因此，复杂环境下的智能无人系统环境自主感知与理解技术需突破多模态传感器融合自主感知技术，以及复杂场景目标识别与理解技术。

#### 1) 多模态传感融合自主感知技术。

目前，智能无人系统搭载的信息获取传感器主要包括导航雷

达、毫米波雷达、激光雷达、光电载荷等。单一传感器无法直接获取高精度、稠密的场景三维信息，需研究多传感器融合的环境自主感知技术，从而为场景理解提供支撑。多传感器融合是将各种传感器进行多层次、多空间的信息互补和优化组合处理，最终产生对观测环境的一致性解释。在此过程中，要充分利用多源数据进行合理的支配与使用，而信息融合的最终目标则是基于各传感器获得的分离观测信息，通过对信息多级别、多方面组合导出更多有用的信息。通过利用多个传感器相互协同操作的优势，综合处理所有信息源的数据，从而提高整个传感器系统的智能化。海洋自然环境相比陆地与空中环境更为复杂，面临船舶的剧烈摇摆、风浪干扰、光照不均、目标不显著等特殊的挑战，海洋智能无人系统需要依据每种传感器的独特属性来对指定目标进行多传感器信息融合处理，然后结合无人系统内部导航单元与岸基支持系统的电子海图信息，构建海面环境多维立体态势图，执行对指定目标的跟踪、检测、识别与认知任务，最终实现海洋智能无人系统对海面环境的自主感知与完整理解。

2) 复杂场景目标识别与理解技术。

智能无人系统具备作业自主

性的关键在于能有效理解场景与目标信息，而准确理解场景信息主要包括目标语义信息构建与场景文本信息描述。相比陆地与空中环境，海洋自然环境面临风浪干扰、船体剧烈摇摆等独特的困难，这为智能无人系统完整地理解环境信息与准确识别指定目标带来了挑战。利用智能无人系统搭载的激光雷达与高清摄像机等传感器，可以获得海洋环境场景的原始点云信息及图像特征信息，利用基于点云、点云与图像融合的三维目标检测方法，可以实现智能无人系统对场景信息的完整认知及对指定目标的准确识别。基于点云的方法主要包括2种：基于网格或者体素的方法，以及基于点的方法。基于网格或体素的方法是利用体素或者鸟瞰图来将获取的海面不规则的点云转换成规则的表征方式，然后提取点云特征。基于点的方法则是直接在获取的海面原始点云中提取目标特征。基于点云与图像融合的三维目标检测方法，是将激光雷达获得的海面场景中目标的精确坐标与海面图像提供的环境纹理和颜色信息相结合，这样更加有助于智能无人系统对海洋场景目标的精确识别与准确、完整的理解。

## 2.2 行为决策与轨迹规划技术

在实际的、复杂的战争场景中，对于智能无人系统面临的复

杂任务环境与多重任务，必须突破多源异构环境下的行为决策技术、动/静环境下的轨迹规划技术与复杂场景下的轨迹跟踪技术。

1) 多源异构环境下的行为决策技术。

行为决策是智能无人系统实现自主控制的关键。在无人艇不同速度、不同相对距离、不同数据类型的复杂环境下，需要准确提取有效信息来为无人艇下一时刻的决策做出安全可靠的控制指令。首先，提取出具有代表性的环境特征信息，建立足够数量与精确标定的学习数据集；然后，构建基于深度神经网络的决策器，并利用建立的数据库进行学习；最后，利用机器学习算法对构建的决策器进行优化，进一步提高决策精度。

2) 动/静环境下的轨迹规划技术。

轨迹变换是无人艇与无人潜航器最基本的行为。在复杂的战场环境下，根据不同的环境状况规划出一条可行、可靠的轨迹是无人艇与无人潜航器实现智能行驶的关键。该技术主要包括基于多项式的轨迹规划技术、基于多目标约束的轨迹规划技术与基于正、反梯形侧向加速度的轨迹规划技术。

3) 复杂场景下的轨迹跟踪技术。

对规划出的理想轨迹进行跟

跟踪是无人艇与无人潜航器的重要任务，其关键在于解决无人艇或无人潜航器进行目标轨迹跟踪时的高精度与高稳定性控制难题。主要解决方法为：根据无人艇与无人潜航器的运动学与动力学模型，输出对应的执行器控制量来实现对指定目标的实时、准确跟踪，在保证跟踪精度的前提下，实现无人艇与无人潜航器的自主智能转向与各个驱动模块多执行器之间的协调控制。

### 2.3 自主导航定位技术

导航定位系统是智能无人系统的关键组成部分，其可以提供精准、可靠的有关无人艇或无人潜航器的速度与位置等信息。导航系统一般由陀螺仪、加速计、卫星接收器等组成，部分辅以视觉模块，或是基于实际复杂的环境情况搭载先验空间位置图与物理信息传感器等。智能无人系统要实现任务的精准执行，必须突破基于惯性 / 卫星深度信息融合导航定位技术、基于惯性 / 天文信息融合导航定位技术、基于视觉跟踪的导航技术与地球物理辅助导航技术。

1) 基于惯性 / 卫星深度信息融合的导航定位技术。

该技术是将无人艇的惯性信息引入卫星载波 / 码环路，然后利用全自主、短时、高精度的惯性信息辅助卫星接收机信号的更新，从而实现无人艇的惯性导航与卫

星导航的优势互补及最优融合。

2) 基于惯性 / 天文信息融合的导航定位技术。

基于天文的导航系统具有高自主性与不易受干扰的优势，通过利用天文导航输出的信息与初始位置提供的信息，可以推算出无人艇的位置。将惯性导航信息与天文导航信息相融合，可以提高天文导航定位的鲁棒性。基于天文导航辅助的惯性 / 天文组合定位技术已成为无人系统自主导航领域的关键部分。

3) 基于视觉跟踪的导航技术。

由于实际战场环境的复杂性，无人艇会处于复杂的工作环境中，容易受到外界干扰而出现 GPS 拒止的情况，从而使导航系统无法处于组合状态。单独的惯性导航系统精度较低，容易积累误差，长时间的纯惯性导航会使无人艇失去执行任务的能力。而基于视觉的方法却没有时间的误差积累，只需提取到高清相机所获得图像的关键特征，即可通过视觉算法与先验知识获得无人艇与无人潜航器的位置信息。基于视觉的导航算法不易受到干扰，鲁棒性较强，且能弥补在 GPS 拒止环境下由纯惯性导航带来的误差积累，被广泛应用。

4) 地球物理辅助导航技术。

由于海洋独特的环境，无人潜航器需长时间在水下航行，导致无法获取实时、准确的卫星信

号与天文信息。另外，由于水下光照弱等问题，基于视觉的导航方法也受到限制。因此，通过获得海洋内部的先验空间位置图，并利用无人潜航器搭载的物理传感器获取的实地场景信息并进行匹配，可以实现无人潜航器的高精度自主导航。可以利用勘测的海洋固有的地球物理属性的时空分布特征，来制作地球物理导航空间位置图，通过将无人潜航器所搭载的物理属性传感器实地获取的物理特征信息与预先搭载的空间位置图相匹配，可以获得无人潜航器的高精度定位，实现无人潜航器的高精度自主导航。

### 2.4 多场景自主技能学习与智能控制技术

多场景智能控制技术是智能无人系统解决复杂、多变和控制对象不稳定等问题的关键技术，是智能无人系统适应复杂任务需求的有效工具。在复杂的海洋环境下，智能无人系统要完成实时、准确的区域监控、目标跟踪、信息获取与精准打击，就必须突破任务的自主技能学习技术、自主作业交互控制技术，以及类人智能控制的无人系统运动控制技术。

1) 任务的自主技能学习技术。

自主技能学习是指在无人系统与外界交互的过程中，基于先验知识或规则进行学习以完成任务的过程。无人系统作业技能的自主学习本质是模拟人学习认知

的部分过程。智能无人系统利用基于深度强化学习的技术，将深度学习的感知能力与强化学习的决策能力相结合，可实现在海面复杂环境下从高纬度的原始数据信息输入到决策输出的直接控制。智能无人系统自主技能学习主要包括3个方面：一是对海洋表面与海洋内部的复杂环境进行描述，并获得周围环境的初始状态数据信息；二是基于智能无人系统与海洋表面和内部复杂环境的描述方式，进行深度强化学习的数学建模，获得自主技能学习过程的状态价值函数与控制策略函数等关键信息；三是利用智能无人系统与海洋表面和内部复杂环境交互所获得的数据信息，对状态价值函数及控制策略函数进行更新，以使海洋智能无人系统学习出更优的控制策略。

### 2) 自主作业交互控制技术。

智能无人系统在任务的自主学习与控制过程中，需要与海洋表面和内部复杂环境接触形成良好的耦合系统，以保证对海洋表面与内部复杂环境信息的实时、准确获取，并正确、快速进行无人艇、无人潜航器的航行规划、自主航行控制与自主规避碰撞等。智能无人系统自主作业交互控制技术的任务主要包括：智能无人系统交互规则与控制策略的设计；海洋表面与内部复杂环境的建模方法；无人艇、无人潜航器与作

业对象的动力学在线建模及修正；海洋表面与内部复杂环境中虚拟力约束的动态生成及共享控制方法。

### 3) 类人智能控制的无人系统运动控制技术。

类人智能控制的无人系统运动控制是将人工智能与传统控制方法相结合，以解决在实际复杂的海洋战场环境下，无人艇与无人潜航器的稳定精确控制问题，主要包括无人系统智能控制算法的设计与无人系统智能控制策略的设计2个方面。无人系统智能控制算法设计主要包括：分层的信息处理和决策机构；在线的特征辨识与特征记忆；开/闭环控制、正/负反馈控制以及定性决策与定量控制相结合的多模态控制；启发式直觉推理逻辑的运用。无人系统智能控制策略设计则是设计合理的无人艇或是无人潜航器的方案，以满足实际的任务需求。

## 2.5 无人集群协同控制技术

在实际的作战场景中，由于战场环境的复杂性与任务的多样性，单艘无人艇或是无人潜航器通常都无法满足实际任务的需求。单艘无人艇或无人潜航器搭载的设备数量有限，感知视角与区域范围不够全面，导致在执行完整的情报探测、目标跟踪、战场环境感知与全面火力打击任务时不够精确与彻底，因此，由多艘无

人艇与无人潜航器组成的智能无人系统集群协同执行任务就成为必然的趋势。要完成对智能无人系统集群的控制，需要突破智能无人系统集群局部规则控制技术、智能无人系统集群软控制技术、智能无人系统集群领航控制技术以及智能无人系统人工势场控制技术。

### 1) 智能无人系统集群局部规则控制技术。

基于局部规则的控制技术是智能无人系统针对无人艇、无人潜航器集群控制的基本方法，主要在于对无人艇、无人潜航器集群内部个体局部控制规则的指定。局部规则控制技术在一定程度上实现了对海洋无人系统集群的智能控制，但是对于海洋无人系统集群行为与集群模型之间的参数，需要进行大量的实验来获得，并且对参数的取值也非常敏感。所以，要实现智能无人系统完全的智能控制，还需辅助以其他技术。

### 2) 智能无人系统集群软控制技术。

智能无人系统集群的软控制技术主要基于2点需求：一是在智能无人系统集群中，个体之间的控制规则很重要，例如每艘无人艇、无人潜航器的控制与内部作用是整个海洋智能无人系统集群出现群体行为的必要条件；二是智能无人系统集群采用的是局

部通信策略，随着集群系统内无人艇、无人潜航器的增加，不会影响到整个智能无人系统集群的状态。

软控制方法是在不破坏智能无人系统集群内部无人艇、无人潜航器个体规则的前提下，加入一个或多个新的无人艇或是无人潜航器，这些无人艇或无人潜航器按照同样的局部规则来参与整个智能无人系统集群的行动，但本身可控，可以接收外部指令。在接收指令后，这些无人艇或无人潜航器将独立完成相应的任务。智能无人系统集群的软控制方法是在无人系统局部控制规则的基础上，加入一个可以控制的无人艇与无人潜航器，使其对整个无人系统集群产生影响，最终完成对整个智能无人系统群体的控制。

3) 智能无人系统集群领航控制技术。

智能无人系统集群领航控制技术的基本内容是：在整个海洋智能无人系统集群个体保持局部规则的前提下，令集群中少数无人艇与无人潜航器拥有更多的信息量和更强的信息处理能力，并与其他无人艇和无人潜航器通过局部信息交互来起到领导者的作用，从而达到控制整个智能无人系统集群的目的。

4) 智能无人系统人工势场控制技术。

在智能无人系统集群控制

中，只基于局部规则的控制技术难以完成对战场准确、实时的感知，以及对情报信息的搜集获取、对可疑目标的跟踪识别和对敌方区域的精准打击。人工势场控制技术是将物理学中的势能场概念引入智能无人系统集群的控制中，利用势函数来模拟影响单艘无人艇或无人潜航器的内、外作用，而系统集群中的单艘无人艇或无人潜航器则在势函数的作用下行动，最终通过势函数实现对整个智能无人系统的控制。

## 2.6 自然人机交互技术

在实际的战场环境中，智能无人系统面临着操作任务复杂、操作智能化水平低、训练风险大且成本高、设备使用与维修效率低等问题，在这种情况下，就需要提高智能无人系统设备的可控性与智能化，需要突破智能无人系统人机交互技术、智能无人系统增强现实与混合现实技术以及智能无人系统脑机接口技术。

1) 智能无人系统人机交互技术。

智能无人系统人机交互技术是指指挥平台通过图像和语音传感器获取指战员的图像与语音信息，然后利用图像分割、边缘检测、图像识别等算法提取出指战员的手势与眼势等关键信息，随后利用基于深度学习的算法获得指战员的语音信息并传递给指挥平台，从而将指战员的指令下发

给下级作战单位。智能无人系统的人机交互技术可以提高任务操作的智能化以及操作过程的容错率与鲁棒性，从而使指战员的指令能够更加稳定、有效地下发给作战单位。

2) 智能无人系统增强现实与混合现实技术。

智能无人系统增强现实技术是将计算机生成的图像叠加在真实的复杂作战环境中，智能无人系统混合现实技术则是通过在实际作战场景中呈现虚拟场景的信息，在真实的作战环境下在虚拟世界与指战员之间搭起一个交互反馈的信息回路，从而增加指战员对作战环境体验的真实感。智能无人系统虚拟现实与增强现实作为沉浸式人机交互技术的重要发展方向，已有多种不同的真实作战应用场景，可以有效降低训练时的成本与风险，提高作战时设备的使用与维修效率。

3) 智能无人系统脑机接口技术。

脑机接口的主要功能是捕捉人脑在进行思维活动时产生的一系列脑电波信号。在实际作战环境中，智能无人系统脑机接口技术通过对指战员的脑电波信号进行特征提取、功能分类，从而辨别出指战员的意图而做出相应的决策，以此应对复杂的作战任务与突发情况。智能无人系统脑机接口技术可以增强指战员的认知

与决策能力，大幅提升脑机交互与脑控技术，赋予指战员在借助思维的同时具有能操控多艘无人艇与无人潜航器等无人作战设备的能力。

### 3 智能无人系统未来的发展趋势

智能无人系统由于其无人化、自主性、智能性等优点，将出现在未来战场的各个角落，而随着其承担战场任务的增多，将会参与不同的战争场景，导致智能无人系统将面临多项关键性的难题，使其发展受到制约。智能无人系统面临的关键性难题主要有：

#### 1) 环境高度复杂。

智能无人系统具体的应用环境将面临越来越多的要素，非结构化环境下遮蔽物众多、感知视点及范围受限等对智能无人系统的环境感知能力提出了更高的要求。

#### 2) 博弈高对抗。

智能无人系统的战场博弈是取得战场优势的重要手段，作战双方激烈的机动对抗，以及因敌方和战场环境带来的诸多干扰对智能无人系统的机动决策能力提出了新的挑战。

#### 3) 响应高实时。

在未来战场中，作战态势变化剧烈，交战方式将更加灵活多变，需及时应对战场突发事件，这就对智能无人系统的实时响应

能力提出了新的要求。

#### 4) 信息不完整。

在未来战场中，受战场环境的限制以及敌方干扰的存在，智能无人系统的信息获取能力将会受到制约，从而造成态势感知不完备、战场态势信息数据丢失与衰减，导致无法完整获取敌我双方的信息。

#### 5) 边界不确定。

智能无人系统的无人作战方式颠覆了传统作战模式，未来无人作战的陆海空天一体化，以及通过与社会高度交融带来的社会舆情，都将对智能无人系统的无人作战产生影响，从而造成作战边界的不确定性。

基于以上将会面临的各种难题，未来智能无人系统的发展将集中在个体能力增强与集群能力增强2个方面。个体能力增强主要体现在个体认知智能、个体自主作业与算法芯片化等方面；集群能力增强则主要体现在通过通用化架构提升互操作性，以及跨域协同作战、网络安全与人机混合智能等方面。

### 3.1 认知智能适应复杂任务环境

为提高智能无人系统在高度复杂环境下的适应能力，需要增强智能无人系统的个体认知智能。个体认知智能增强主要体现在从个体感知智能向认知智能的转变方面，综合获取的多源传感

信息使得智能无人系统具备人类的语义理解、联想推理、判断分析、决策规划、情感理解等能力。智能无人系统个体认知智能的发展将以脑科学和仿生学等为基础，通过结合知识图谱、人工智能、知识推理、决策智能等技术来实现获取信息的智能理解与准确运用，从而提升智能无人系统对突发事件的高实时响应能力。

### 3.2 自主作业提升单机任务能力

为解决智能无人系统在高度复杂环境下面临的高度复杂任务的难题，需要提高单机的自主作业能力。包括开发基于深度强化学习的决策方法、基于视觉及其他传感器多源信息的自主环境感知与交互方法、基于神经动力学的机器人自主运动规划方法，以及基于人工智能的自主作业方法等，以提升智能无人系统个体的自主环境建模与定位能力、自主决策能力、自主规划能力及自主控制能力，使智能无人系统能够适应复杂的环境并开展自主作业任务。

### 3.3 算法芯片化实现高实时响应

智能无人系统面临的复杂环境对算法、算力提出了较高要求，需要能实时加速计算，实现对战场突发事件的高实时响应。为解决此问题，需要提高智能无人系统个体算法的芯片化水平，即开

发新型架构的存算一体芯片，以提高芯片的算力与算法芯片化水平。可研究基于人工神经技术<sup>[136]</sup>的新型芯片，通过改变数字芯片的二进制计算方式，交换梯度信号或权重信号来使芯片以模拟神经元的方式进行工作，模拟大脑有效处理大数据量的并行计算流，获得超级计算机的并行计算能力，从而极大地提升芯片的算力与算法芯片化水平，解决智能无人系统的高实时响应难题。

### 3.4 通用化的架构提升集群互操作性

为提高智能无人系统面临高度复杂环境的适应能力，以及智能无人系统的维修保障效率，未来智能无人系统将发展标准化的指控框架，提高人机协作的智能性并提高系统的模块化程度。主要体现在：

- 1) 开发通用式的人工智能框架，支持人与机器之间自主、精确、实时的良好耦合与协作关系；
- 2) 提高智能无人系统的模块化与部件互换性，以支持在未来战场中对智能无人系统及其成员进行的快速维修与配置升级；
- 3) 提高数据传输一体化水平，以及在未来战场上数据传输的抗干扰能力，降低数据的被截获率。

### 3.5 跨域协同打破集群应用边界

为提高智能无人系统在高度

复杂环境下的适应能力，解决作战时的边界不确定难题，需要提高智能无人系统的跨域协同作战能力，以弥补单一作战域能力的不足。可通过智能无人系统的跨域协同作战，将各个组件进行优势互补。即利用空中无人系统的搜索范围大、通信距离远等优点，以及陆地无人系统与海洋无人系统续航时间长、稳定性强等优点，将不同组件的优势进行组合，以增加智能无人系统的多维空间信息感知能力，构成异质多自主体协同系统，从而提高智能无人系统完成复杂任务的能力。

### 3.6 安全网络保障集群可靠应用

智能无人系统在未来战场上面临着信息不完整与博弈高对抗的难题，因此需要提高智能无人系统在高对抗环境下的网络安全保障能力<sup>[138]</sup>，提高在应对高复杂、高变化任务时的灵活性与面临高强度网络攻击时的稳定性。对抗环境下网络安全保障能力的提升主要体现在以下几个方面：

- 1) 规划合理的数据权限，以保证数据的安全性与任务执行的灵活性；
- 2) 提高信息保障能力，开发并升级智能无人系统的信息保障产品，备案信息爆炸情况的应对决策；
- 3) 增加网络的深度防御能力，统一网络安全的标准与等级，

构建网络防御的自主性，提高网络攻击下网络的抗打击能力。

### 3.7 人机混合智能提升对抗能力

为解决在未来战场上面临的高实时响应的难题，提高智能无人系统在高度复杂环境下的适应能力，需要将人类与机器的优点进行结合，构成一种新的人机协作的混合智能方式，即发展智能无人系统的人机混合智能<sup>[139]</sup>。智能无人系统人机混合智能是一种由人、机、环境系统相互作用的新的物理与生物相结合的智能科学体系。针对智能无人系统在未来战场上面临的高复杂环境与高实时响应的难题，未来人机混合智能的发展主要体现在以下几方面：

- 1) 信息智能输入。在获取信息的输入端，将无人系统设备传感器客观采集的信息数据与作战指挥人员的主观感知信息相结合，构成一种多维的信息获取与信息输入方式。
- 2) 信息智能融合。获取到多维的数据信息后，通过将计算机的计算数据与作战指挥人员的信息认知相融合，构建一种新的数据理解途径。
- 3) 信息智能输出。将数据信息进行融合处理之后，将计算机的计算结果与作战指挥人员的价值决策相互匹配，从而形成有机结合的概率化与规则化的优化判断。

## 4 结语

智能无人系统由于其自主性、智能性与无人化的特点，在未来战场上将起着日益重要的作用，智能无人系统的发展也将带动智能计算、智能交通、智能制造、智慧医疗、类脑科学等学科领域

的发展。今后，应以实际复杂环境战场的任务需求为导向，结合人工智能等前沿学科的先进技术，对智能无人系统进行总体顶层规划；在陆地、空中以及海洋无人系统中不同的无人系统作战平台上，验证可靠的机载智能感知与智能计算设备，并开发可靠、稳

定的无人系统自主控制、智能感知、智能决策与智能交互等关键技术，攻克智能无人系统的关键难题，不断提高智能无人系统的自主控制、智能感知与智能决策能力。○

来源：中国舰船研究

### 作者简介



王耀南，中国工程院院士，湖南大学机器人视觉感知与控制技术国家工程实验室主任。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。中国自动化学会常务理事、中国图象图形学学会理事长、全国智能机器人创新联盟副理事长、中国人工智能学会监事、教育部人工智能与区块链科技委委员、湖南省自动化学会理事长等。德国洪堡学者、欧盟第五框架国际合作重大项目首席科学家、国家百千万人才工程入选者、国家863计划智能机器人领域主题专家等。2001-2020年担任湖南大学电气与信息工程学院院长，2015-2020年湖南大学机器人学院院长。

长期从事机器人技术与智能控制的教学和科研工作。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”。培养博士70余名（含IEEE Fellow、杰青等），发表IEEE等SCI论文200余篇，出版机器人感知与控制等著作15部，国家发明专利80余项。获得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、全国创新争先奖等荣誉称号。



### 《自动化学报》多篇论文入选高影响力论文

近日，中国知网（CNKI）学术精要数据库基于中国知网资源总库遴选各学科代表性论文，发布了2011-2022年高影响力论文。《自动化学报》共有1543篇论文入选，占本刊同期发表论文量的60.4%；其中，Top1%高被引论文399篇、Top1%高下载论文277篇、Top1%高PCSI论文453篇。详情请查看：<http://www.caa.org.cn/article/191/3168.html>

# 王飞跃：平行管理——复杂性管理智能的生态科技与智慧管理之 DAO

管理是一门如何有效利用资源实现设定目标的艺术和科学。本质上，管理无法成为传统意义上的“纯净”科学，因为人是管理所必须面对的第一因素，其主观性和非理性与科学原理的基本要求相悖。而且，准确并清晰地定义什么是管理也十分困难。然而，毫无疑问，人类的发展史，就是一部人类社会管理的发展史。

更无疑问的是，如果按照西方学者梳理重塑学科历史的思想与方法<sup>[1-5]</sup>，古代中国，远从春秋战国算起，其社会管理的理念与方式在世界管理史上可谓独树一帜，特别是始于春秋定于秦汉的古典《管子》，理应视为管理学以及经济学史上的第一部专著<sup>[6-7]</sup>。实际上，一些西方学者也认为管理作为一个领域本身就起源于古代中国<sup>[8]</sup>。

同《论语》一样，《管子》是由管仲（公元前 723-645 年）的信徒及研究者根据其经商治国的理念与事迹所撰成的文集。无论在理念还是论述上，这部著作与同一时代的中国哲学经典《老子》和军事经典《孙子兵法》都有着密切的联系。相当程度上，管理

就是管子之理：其各种“人君南面之术”，特别是围绕“通货积财，富国强兵”的目标而提出的“以人为本”之基本原则，“静因之道”之认识方法，“清虚为治”之治理思想，以及“察数而知治，审器而识胜，明谋而适胜，通德而天下定”之决策理念，与现代管理学的“规划、组织、领导、控制（POLC）”流程在思想上不谋而合、十分一致<sup>[7, 9-10]</sup>。

管仲治理国家的业绩如何？他使齐国从内政不修、社会混乱之中迅速强盛，成为“春秋第一霸”。《论语》对其政绩的“子曰”是：“管仲相桓公，霸诸侯，一匡天下，民到于今受其赐”。孔子还认为：“微管仲，吾其被发左衽矣”。意思是说：如果没有管仲，我们恐怕还要披头散发穿左衽的衣服，仍未开化。管仲的这些成就，也是他被尊称“管子”的原因。

《管子》开始被归于道家，又被视为法家，结果遍历儒、墨、农、兵各大家之后，最终成为“杂”人所撰的“杂”家经典。这部著作充满简单性与复杂性对立统一的辩证思想，叠简为繁，化繁为简，以特

殊的阴阳之道阐述了当今西方管理专家总结出来的管理真谛：“究其根源，管理很简单。但管理的核心，却是最难掌握的东西”<sup>[9, 11]</sup>。

工业革命的兴起，催生了西方的现代管理科学，同时开启了中外管理的鸿沟。西方现代管理“Management”源于法文“Mesnager”，是马术中驾驭马匹用语。古典管理科学之父，亦为管理过程学派的创始人，是法国矿业工程师亨利·法约尔（Henri Fayol, 1841-1925）<sup>[12-15]</sup>。现代管理史上经典的“管理 14 项原则”，就是在法约尔于 1908 年为纪念法国矿业学会 50 周年所发表的《论管理的一般原则》中提出的。1916 年，他在《矿业学会公报》上发表《工业管理与一般管理》，提出“管理要素”和五项功能“计划 Planning，组织 Organizing，指挥 Commanding，协调 Coordinating，控制 Controlling”（“POC3”）为代表的管理法约尔主义，开启现代管理科学之路。随后，他致力于法国陆军、海军和政府的管理研究。法约尔对管理的最大贡献就是提倡管理

可以而且应该传授，指出创办管理教育和管理理论的必要性和重要性，并身体力行地创办了巴黎中央管理学院。

法约尔对管理的认识和推动，使管理“从黑暗中浮现出来，成了经济和个人生活的重要推动力量”，进而“从一项不可言传的、非正式的偶发活动，变成了一种可以从方方面面详加分析和评论的事业”<sup>[11]</sup>。

在差不多同一时期的美国，按现代管理学之父彼得·德鲁克（Peter F. Drucker, 1921-2005）的观点，是纽约律师伊里休·路特（Elihu Root, 1845-1937，曾任战争部部长和国务卿，参议员，获1912年诺贝尔和平奖）对美西战争（1898年4月25日-1898年8月12日）后的美军烂摊子进行“春季大扫除”并“彻底重组”、重构其行政架构、创立军事学院、成立美军总参谋部等，才迫使美军“首次意识到并系统化地应用起了管理原则”，由此开启了美国管理科学之路，迎来了机械工程师弗雷德里克·泰勒（Frederick W. Taylor, 1856-1915）的科学管理和福特汽车工厂的大规模流水线作业。泰勒在任务计量上的创新和福特在生产方式上的变革，导致企业管理新范式。随之而来的就是上世纪初以西方世界为主的第二次工业革命，使管理迅速成为一门科学和重要的高等教育

专业学科。

泰勒的科学管理方法，以“秒表”的方式解决了生产任务工作量和效率的监测问题，由此“涌现”出现代工业从任务到过程，从过程到组织的企业科学管理结构和模式，在钢铁、汽车和能源等行业取得了巨大的成功。他天真地觉得：“完美的任务带来完美的流程，完美的流程基本上能够带来让公司蓬勃发展的必要结构”<sup>[11, 16]</sup>。同时，泰勒十分执着于管理的职责在于衡量的观念，结果形成管理的泰勒主义，最终使承担相应工作的人员在企业层次中自成体系，产生了“中层管理”阶层，导致“毕生致力于提高效率的泰勒，却创造出了影响企业效率和决策的最大障碍”<sup>[11]</sup>。

自此之后，“成功也是一种失败”，“打破了一种僵化体系，又以另外一种僵化体系取而代之”，差不多成了管理科学研究与实践解不开的“诅咒”和逃不脱的“命运”。

无论如何，法约尔和泰勒之后，特别是第二次世界大战之后，管理科学与工程得到了飞猛进地发展，在传统工业向信息产业转型中发挥了巨大的作用。今天，管理比其它任何学科都更强烈地影响着我们的生活和社会：“没有哪一家组织、哪一种活动跳得出管理的范畴，逃得出管理的掌控”<sup>[11]</sup>。就连管理的学术著作，都在社会上有着文学名著的威望和影响，

管理几乎成了一个受观念和时尚推动的职业。

然而，许多因善用管理创新而兴、因错用管理战略而败的重大事件，如GE, GM, IBM, Motorola, Nokia等著名跨国公司所发生的重大变故，强化了管理的“成功也是一种失败”，甚至“再成功也是一种再失败”的怪圈效应。相当程度上，管理研究与实践也陷入了军事事务历史上所经历的困境，a)“囚笼效应”：即利维坦现象，为提高效率的巨大努力成为约束自己创新的囚笼；b)“红桃皇后效应”：为了保持在原位不动，不得不越跑越快；c)“骨牌效应”：相互关联的系统中，很小的初始能量可能产生一系列的连锁反应；d)“蝴蝶效应”：即混沌现象，远处或久远的微小的变化可以引发整个系统长期巨大的响应；e)“循环因果效应”：成功也是一种失败，是循环因果的变种，更直接的说法是“失败是成功之母”，再加上“成功是失败之父”。此外还有“黑天鹅效应”和“灰犀牛效应”，等等。这一切的后果就是：随着社会的进步，管理科学越来越先进，同时其支撑设施也越来越复杂，管理复杂性“难以想象，管理起来也很头疼”<sup>[17-18]</sup>。在获得巨大成功的同时，让我们面临的管理问题也越来越多，问题也越来越复杂，有效方案的获取甚至何为有效方案之共识的达成也变得

越来越困难。

如何变革管理科学？如何创新管理技术？如何推动管理工程向更好更加可持续的境地发展？每一个时代都应有自己的管理理念和方式。在人工智能技术取得突破性进展，智能科学和技术正在兴起并成为推动社会从工业向智业发展的今天，我们可否为管理科学的研究与实践开设一种新的范式和新的道路？这就是本文讨论的目的和内容。

## 1 平行管理的起源与目标

德鲁克在其 1969 年出版的《不连续的时代 (Age of Discontinuity)》著作中，以惊人的准确性预测了社会的未来发展，并引入了“知识工作”、“知识技术”、“知识经济”、“知识社会”等概念。我们认为，知识工作及知识工作者，正是变革管理的突破口，是推动管理科学的对象从工业企业向智业组织转型的切入点。这一转型的核心与关键，就是如何从泰勒科学管理对体力工作的衡量，转为新的智慧管理对脑力工作的度量，并在此基础上重新审视和处理人与组织的人性与社会问题。

百年前的泰勒时代，“在整个文明世界里，20 个工人里有 19 个都坚定地相信，放慢速度对自己更有利。他们坚信，付出尽量少的劳动换回所得薪酬才是最划算的”<sup>[11, 16]</sup>。结果“磨洋工”现象

普遍，工人因此占了便宜：“监工并不知道一项工作具体要花多长时间才能完成”<sup>[11, 16]</sup>。泰勒打破了这一局面。科学管理方法与技术使体力劳动和生产任务的工作量可测、可观、可设计、可优化、可改进，再加上工业自动化水平的不断提升，迅速引发了管理革命，催生了标准化和规模化工业生产过程及现代企业管理结构。

按德鲁克的观点，百年来泰勒引发的管理革命把体力劳动者的生产力提高了 50 倍，已达到极限。在二十一世纪，体力劳动者固然十分重要，但体力工作已不是新世纪的最大挑战，我们必须把注意力转向脑力劳动或知识工作。可忧的是，自上世纪三十年代起，部分知识工人的生产力不升反降<sup>[19-20]</sup>。因此，如何提高知识工作者的生产力和知识自动化水平，是新世纪管理科学面临的首要问题<sup>[21]</sup>。

特别值得我们注意的是，泰勒最初乐观地认为：“科学管理带来的最大好处还在于以下这一事实：在科学管理下，他们（工人）会把雇主看作自己在这个世界上最好的朋友；老式管理中常见的猜忌和怀疑、工人和雇主之间对立或半对立的状态完全消失了，取而代之的是双方建立起的真挚友谊。”<sup>[11, 16]</sup>。这一“泰勒愿景”不但没有实现，换来的却是世界各进行工业化国家的工人罢工浪潮，甚至引发社会革命。今天看来，原因十分明显，

泰勒主义视工人为工具，把效率置于人性之上，其精益而高效的管理流程，不但没有成为企业走向利润天堂的大道，反而使泰勒的科学管理本身成为许多不道德管理实践的捷径。

过去百年里，许多管理学者对此现象进行广泛而深入的研究<sup>[22-33]</sup>，创立了许多管理人因和行为理论，发明了许多面向管理的社会技术 (Sociotechnical) 方法与工具<sup>[34-46]</sup>，但与本讨论相关的就是直截了当的观察与结论：造成这一现象的主要原因之一是现代管理催生知识工作者，但知识工作什么也没有提供给我们。德鲁克甚至声称：“知识工人完全没什么生产效率”<sup>[11, 19-20]</sup>。

这背后的原因就是：泰勒创造了科学管理衡量体力工作并提高其效率，但没有充分考虑，甚至完全错估了人性及其理性对生产行为与效率改变后的反应。之后的很多补救与改善，比如“X 理论”、“Y 理论”、各种各样的“Z 理论”和“3D 理论”<sup>[35-38]</sup> 尽管取得部分成功和成就，却并没有真正认识到人性理性之复杂性和容纳能力。更为关键的是，没有解决甚至没有涉及如何衡量知识工作这一首要问题。

因此，我们不可能期望这些管理理论与方法不加处理和深化，就成为以知识工作和知识工作者为核心的新世纪智慧管理科学与

技术。在此背景之下，我们提出平行管理方法与技术的根本动机和目标就是：

1) 如何衡量知识任务的工作量？知识工作的“泰勒秒表”存在吗？如果存在，又是什么？

2) 如果知识工作可以衡量，如何在此基础上提高知识工作者的生产力？这一提高的前提和约束必须充分考虑并尊重人性及其理性的容纳能力，寻求个性化工作满足程度与生产效率之间的有机且可持续的平衡。

3) 如何应对知识工作者生产力的提高可能诱发的知识工作者的智力行为反应？我们必须避免泰勒科学管理引发的种种不良现象与后果，坚持以人为本，坚持在人类可持续发展的前提下，新技术必须提升人类福祉，而不是给人类，特别是知识工作者带来更大的责任与负担。

自上个世纪八十年代起，我们从大型工程系统及其智能控制问题开始研究，逐步确定了以融合技术科学与社会科学的复杂性科学作为基础工具，开展复杂系统的控制与管理研究，最终形成了平行管理的基本理念、框架、流程和相应的生态技术体系<sup>[18, 47-57]</sup>。对此，本文将在以下各节展开进一步的讨论。

## 2 管理新思维：基本原理与框架流程

首先，人工智能方法和一般的智能科学与技术的首要且最为重要的应用领域，就是教育与管理。特别是教育的智能化对管理至关重要，因为“管理有别于他人最重要的职能，就是教育职能”<sup>[58]</sup>。更显然的是，知识工作的衡量、知识工作者生产力的提高、知识组织的可持续性智慧管理，从定义上都必须依托于智能科技。为此，我们必须创立不同于传统的管理新思路。

我们认为，目前正在深入研究并取得局部成功应用的基础模型（Foundation Models），即人工智能大模型方法<sup>[59-65]</sup>和平行学习之进一步专业专门化，可为知识工作的量化提供工具，就像“秒表”可为体力工作量化提供工具一样。特别需要指出的是，正在发展的数字人和知识自动化理论与方法可大大提升知

识工作者的生产力水平。而且，平行管理和社会计算将是处理知识工作复杂性，促进管理水平可持续发展的操作平台和分析手段。

新的管理思维主要体现在下面三个方面：

1) 三个世界（Three Worlds）：我们采用卡尔·波普尔（Karl Popper, 1902-1994）关于现实由物理世界、心理世界、人工世界（或虚拟世界）组成的哲学<sup>[66]</sup>，认为“老IT”工业技术是开发第一物理世界的主要工具，“旧IT”信息技术是开发第二心理世界的主要工具，“新IT”是开发人工世界的主要工具。从今以后，三个IT必须同时平行使用来开发和管理我们的整体世界。人工世界本质上就是知识世界，是管理变革所面临的知识工作、知识经济、知识社会之主体。我们相信，未来组织的成员将由三部分组成：a) 生物人，具有本能理性（Intuitive Rationality），约占5%，即人类本身，负责领导组织；b) 机器人，具有适应理性（Adaptative Rationality），约占15%，即智能机器，主导体力工作；c) 数字人，具有计算理性（Computational Rationality），约占80%，即智能程序和信息机器，但按人的形态构造，以人的方式与生物人和机器人交互。如图1所示，三



图1 管理的新境界：三个世界、三类管理者、三种理性

个世界、三类人员、三种理性，这就是我们关于智慧管理的基本假设。

2) 循环因果 (Circular Causality): 如图 2 所示, 我们采用诺伯特·维纳 (Norbert Wiener, 1894-1964) 的循环因果论, 对于传统的机械系统, 循环因果就是我们在控制理论里熟知的反馈原理。然而, 对于有自我意识和自我目标的人类或数字人及智能代理, 其内涵更加复杂, 目前还无法形成共识。我们采用一种技术性广义的循环因果论, 即一系列平行的因果事件, 它们回到原始的起因, 对其进行确认或者修改, 从而产生新一轮的因果事件, 形成特定的对立统一反馈机制。这里, 我们强调智能技术上的对立统一, 如 Encoder 与 Decoder 的对立统一, 从一段话产生一幅画的大模型与从一幅画产生一段话的大模型之间的对立统一。在理念上, 我们置循环因果于三个世界, 希望通过融合针对未发生的虚体世界之 “What IF” 思维与针对正在发生的实体世界之 “IF Then” 经验, 形成新的循环逻辑, 处理 “成功就是一种失败”、“打破了一种僵化体系, 又以另外一种僵化体系取而代之” 等 “管理诅咒 (Management Curse)”。

3) 平行空间 (Parallel Spaces): 我们采用休·艾弗雷特三世 (Hugh Everett III, 1930-1982)

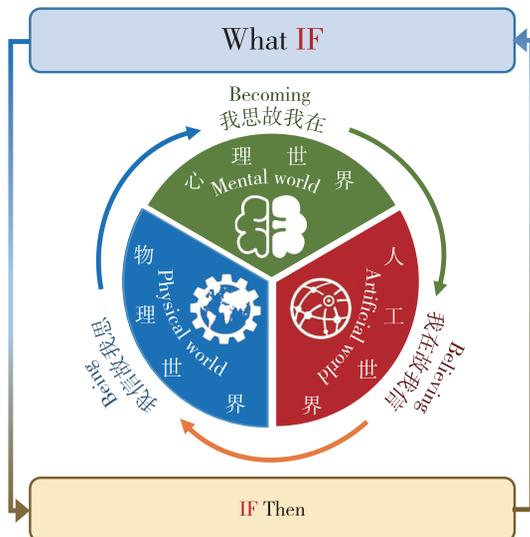


图2 广义循环因果：从机械反馈到有机反馈

对量子力学的多重世界解释 (Many-Worlds Interpretation, MWI), 即平行宇宙 (Parallel Universes), 构建基于三个世界和社会物理赛博系统 (Cyber-Social-Physical 或 Cyber-Physical-Social Systems, CPSS) 的平行空间, 使虚实交互、实虚一体。其核心就是置人于平行空间的主导地位, 确保人类价值引领科技与社会发展, 如图 3 所示, 走上 “真 (TRUE) 道 (DAO)” 即:

TRUE= 可信 Trustable+ 可靠 Reliable+ 可用 Useful+ 效益 Effective/Efficient

DAO= 分布式全中心化 Distributed/Decentralized+ 自主性的自动化 Autonomous/Automated+ 组织化运营性 Organizational/Operational

从而使 “人是万物的尺度” 的哲学信念通过智慧管理成为现实<sup>[67]</sup>。

如果以农业社会农业工作者的思维, 我们无法想象现代工业社会工作者的方式。同理, 如果以工业社会工业工作者的思维, 也无法想象未来智业社会智业工作者的完成方式, 而知识工作只是智业工作的起步而已。以上三点, 就是我们突破已有思维的尝试。

图 4 给出基于这些思维的平行管理的基本框架及主要流程及平台功能, 简述如下:

1) 实体组织: 代表实际被管理的企业或组织, 包括其所涉链条上的核心企业和组织, 以及所处生态中的关键企业和组织。

2) 虚体组织: 代表与实体组织对应的虚拟企业和组织, 可以是一个或多个, 其虚拟形式可以是数字孪生、软件定义、元宇宙、虚拟社会等, 一般统称为人工企业或人工组织。

3) 平行管理: 通过实体组织与虚体组织之间的平行互动, 特别是数据 (经验) 驱动与知识 (规则) 驱动同时进行的平行驱动, 虚拟执行与实际实行同时进行的平行执行, 实现虚实之间的双反馈和双闭环, 使未来影响过去, 过去影响现在, 现在影响未来, 实

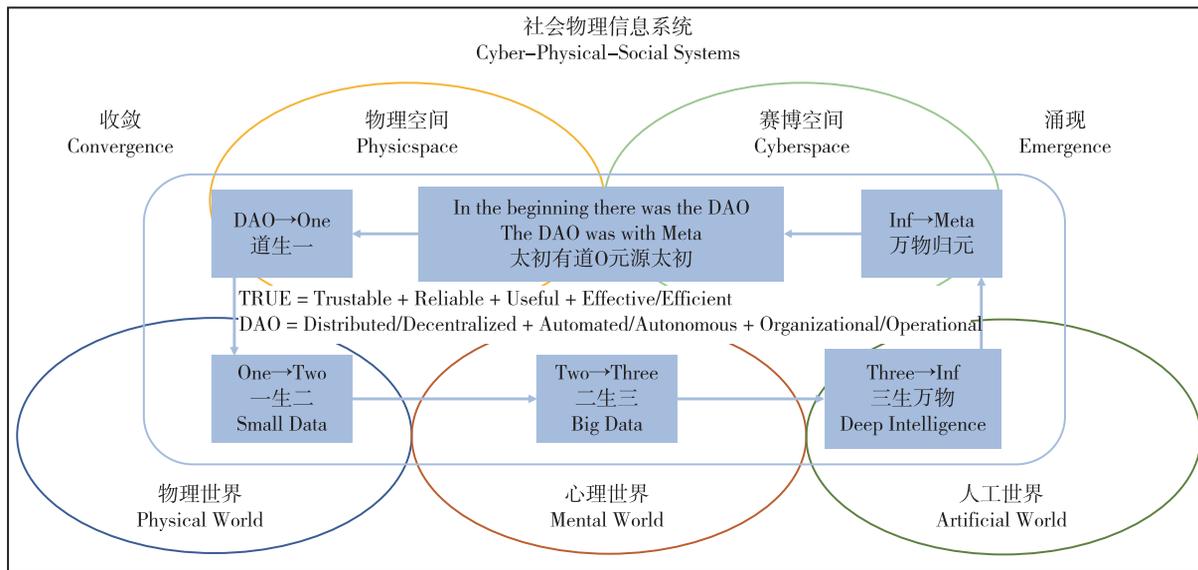


图3 社会物理信息系统 CPSS: 平行空间及真 (TRUE) 道 (DAO) 结构

现基于三个世界广义的循环因果，这就是平行管理的基本原理。目前，平行管理已在 ACP（A 为人工社会，C 为计算实验，P 为平行执行）的框架下形成完备的决策流程和操作平台体系。

4) 学习与培训：这是平行管理的第一个功能模式，即全中心化自主式线上线下（O2O）的管理学习（Management Learning）和管理培训（Management Training）。在此模式里，虚体组织被用来作为一个人与机器同步进行管理学习与培训的“中心”。通过将人工与实际案例或场景的连接与组合，加上管理动漫与交互影视，可使管理者迅速提高管理决策的

能力并增强其领导力。在条件允许的情况下，应以与实际相当的管理系统来处理虚体案例和场景，以期获得更加逼真的效果。同时，虚体组织的管理系统也可以作为实体组织管理系统的“热备份”系统，从而加强其可靠性和应急能力。

5) 实验与评估：这是平行管理的第二个功能模式，主要作用就是把计算机和赛博空间变成管理的社会实验室，从而从管理的小数据生成管理的大数据，再把管理的大数据提炼成管理的深智能，即针对具体问题具体场景的个性化精准知识或“小智能”。通过这一方式，可方便地对不同的管理解决方案进行加速和压力实验，例如在几天内完成几十年的管理方案测试，并进行了几百万次，从而可以估算各种关键绩效指标（Key Performance Indicator, KPI）的均值和方差，或者更复杂的统计分析，作为选择和实施不同管理决策的“数据说话”依据。

6) 决策与指挥：这是平行管理的第三个也是最核心的功能模式，就是通过虚实平行互动的方式实现虚实双反馈双闭环的精准智慧管理，即基于广义循环因果和循环逻辑的平行管理。未来愿景产生“历史”，历史数据生成当前场景，当前管理引导未来业绩，从

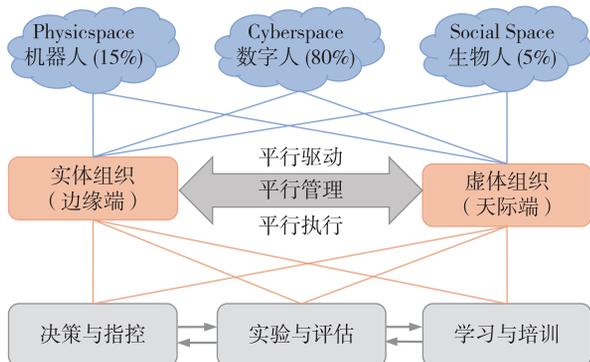


图4 平行管理的基本框架、流程与功能模式

而让实体组织的运营尽可能地沿着虚体组织所刻画希望状态进行,进而实现管理的设定目标。这与要求模型系统逼近实际系统的经典控制问题十分不同,对于管理,我们希望的是消除实体组织的各种问题,使其顺应虚体组织的引导(Prescription),由实变虚,成为符合设定目标的组织,即实际组织必须逼近虚拟组织,否则就是管理的失败。

总之,希望通过管理新思维,利用平行管理方法,使智慧管理成为可描述、可计算、可实验、可估计、可验证、可比较、可执行的可编程管理体系,既能关注各个管理链条,又可支撑整个管理生态。最终,使之具有描述智能、预测智能、引导智能的管理智能,如图5所示,形成“明察其境、身临其境、智汇灵境”的智慧生态化管理平台。其中,组织、指挥、行动、评估同时竞合、同时进行、循环因果、从有限到

无限,从无穷归一。如此,套改古典经济学家阿尔弗雷德·马歇尔(Alfred Marshall, 1842-1924)的名言<sup>[68]</sup>:管理学的麦加,就在经济生态学之中。

### 3 管理大模型:知识工作量与交叉学科

如何在平行管理的框架下创造知识工作的“秒表”,对知识工作进行量化?为此,我们不妨回顾泰勒量化体力工作的历史背景。

当时,整体世界还在从农业社会向工业社会的转型之中。我们没有精确地量化农民的劳作,因为农业生产必须靠天靠地,自然条件千变万化、不可控制。同时作物种类繁多,相关知识和操作方法一直靠言传身教、自我体会,加上当时农民无需定时工作,文化水平相对较低,无法也无必要对农活进行任务分解和分工,所以难以量化。而且,小规模农业生产的量化成本大于收益,不

经济。

然而,在工业社会,工业生产任务的环境、工具和产品形态,加上工人必须按时上下班,使明确分解产品生产的过程和任务成为可能,更为“秒表”衡量工作量创造了条件,由此引发泰勒的科学管理和随之而来的管理科学和工业革命。

因此,为了衡量知识工作,我们必须首先建设智业社会知识生产的环境、工具和产品形态。计算机、软件、工具包、测试系统等工具,相对于知识工作依然太原始,如同农业的传统工具无法用于现代化工业生产一样,我们需要可用于智业生产的“电机”、“机器”、“分布式控制系统(Distributed Control Systems, DCS)”、“企业资源规划(Enterprise Resource Planning, ERP)”,等等。如图6所示,人工智能大模型或基础模型(Foundation Models),以及目前以Transformers为代表的各种各样的“信息机器”和知识图谱等,为我们构造度量知识工作的“秒表”和在此基础上搭建制定知识工作流程与组织的管理操作系统(Management Operating Systems, MOS)以及更一般的面向人类的操作系统(Human-Oriented Operating Systems, HOOS)创造了条件<sup>[69-72]</sup>。

目前,人工智能研发者已

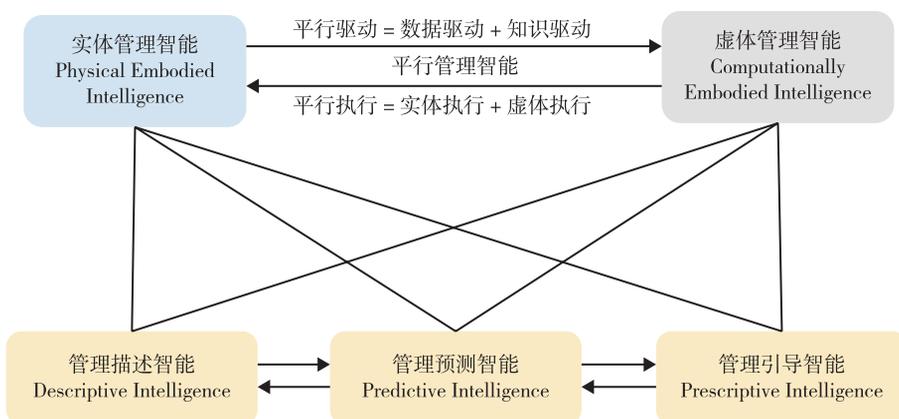


图5 平行管理智能:描述智能、预测智能、引导智能

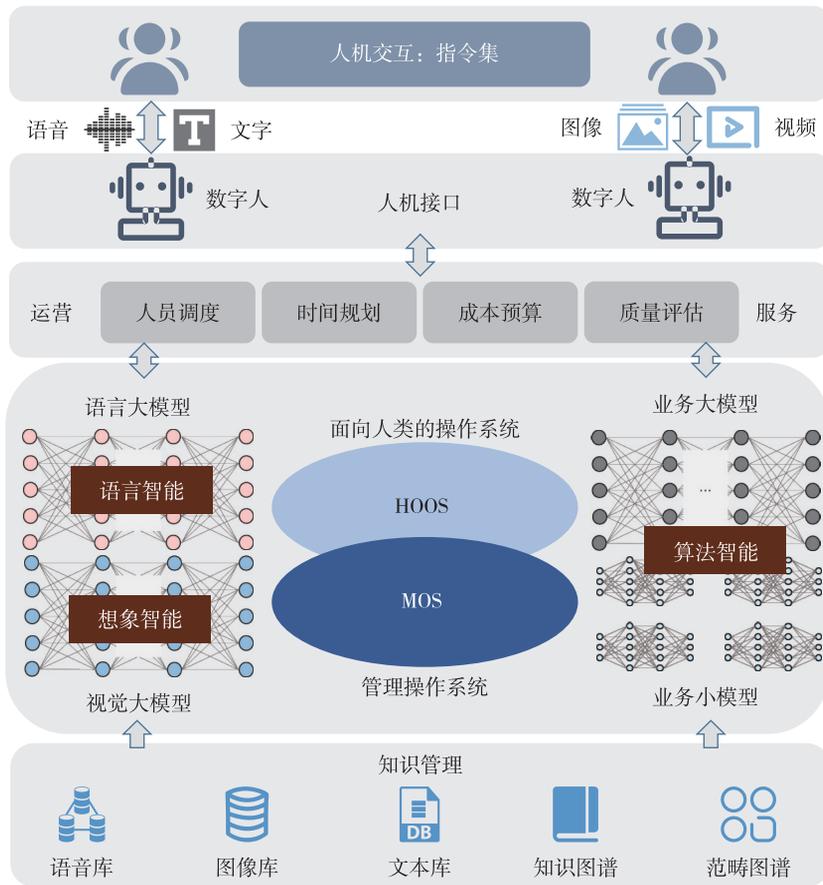


图6 管理基础大模型体系及其操作系统

初步开发了自然语言处理（如BERT、GPT-3等<sup>[61-62]</sup>），视觉大模型（VMoE、ViT等<sup>[59-60]</sup>）、文本生成图像、3D模型、视频（如DALL·E、DreamFusion、Make-A-Video等<sup>[63-65]</sup>）。进一步完善并专门化，再加上针对行业具体业务的大模型，即“小问题、大模型，小任务、大操作”，必将构成衡量知识生产任务的环境与工具，使脑力劳动成为体力劳动，进而加以量化。目前广为应用的RPA（Robotic Process Automation）技术，可以

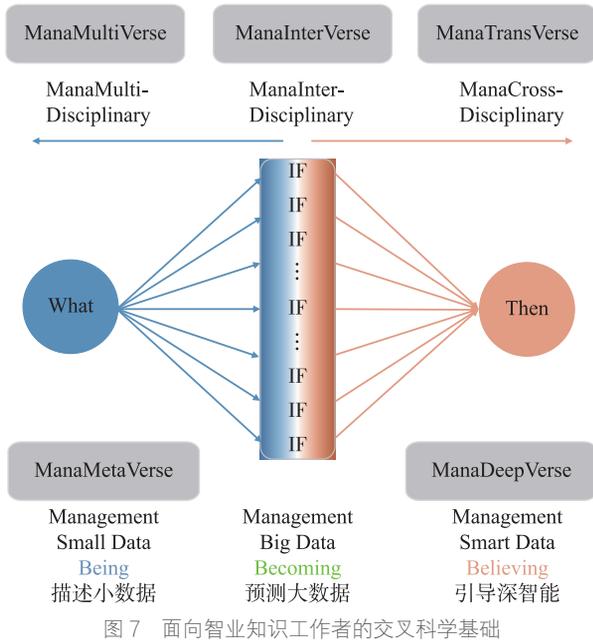
视为这个设想的初步尝试<sup>[73]</sup>。

我们希望这些技术为知识工作的未来带来革命性的变化，开启知识自动化的征程。按文献<sup>[74]</sup>的研究，至上世纪末，“从占产品附加值的百分比来看，知识已经成为占比最重的元素。过去，成本中的80%是物质材料，20%是知识，现在，这个比例是70%对30%”。我们必须加快企业级基础大模型的研发，围绕具体的人工智能业务大模型，构建面向新世纪知识产品生产的平行智能“流水线”，让未来产品附加值的比例

为物质材料5%，知识内容95%。更准确地讲，知识流水线产品的附加值是：生物人创造80%，机器人为15%，数字人占5%，这是实现碳中和目标的必须要求。针对智能工厂、智能油田、智能农业、智能制造等行业，文献<sup>[75-79]</sup>进行了初步的讨论研究。

此外，我们还需要变革教育的方式，以便培养真正的智业时代知识工作者。农业时代由秀才在私塾里教学生背诵经典的做法，无法培养出现代工业所需的人才。同理，目前按学科进行的教学相对未来的要求与秀才教书无异，也无法培养出未来智业社会所需要的人才。如图7所示，我们认为多学科交叉跨越是培养智业知识工作者的必经之路<sup>[80]</sup>。

虚实结合的CPSS或元宇宙技术为此提供了一条可能有效的途径。针对具体管理问题，生物人、机器人和数字人可从具体的ManaMetaVerse出发，在ManaMultiVerse汇集相关的各类学科知识，在ManaInterVerse进行学科知识的交叉融合，在ManaTransVerse产生相应的超学科知识，最后，在Mana-DeepVerse形成具有深度智能，解决具体问题的管理方案。建设这些管理的元宇宙，实现从管理小数据到管理大数据再到管理深智能的流程化知识生产线，是推动知识工作量的重要步骤<sup>[81]</sup>。



#### 4 管理新范式：生态科技与场景工程

为了消除或减少泰勒科学管理取得巨大成功后出现的“成功就是一种失败”等“管理诅咒”和“囚笼效应”等“管理困境”，我们必须设法使复杂性科学的两个核心概念与相应方法在管理科学与工程中对立统一。为此，一条可行的途径就是“开放管理”，清除实质上为封闭垂直式的乌托邦管理愿景<sup>[82-84]</sup>，因为这些愿景在本质上是对人性、理性、智力或至少是对人类之毅力的“非分要求”。通过重构“零星化”管理工程，在智能合约驱动决策的情况下，利用社会

计算、默顿系统、叙述管理、众包众感和人工智能等技术<sup>[85-94]</sup>，让“软”数据实时地融入“硬”的决策生成与执行。只有这样，才可能真正地让利益攸关者能够自由评价和有效反馈，从而切实地介入决策实施和评估过程。

实现这一新愿景的关键是创立更加合适的新社会技术理论与方法。尽管过去百年来有许多针对管理问题的“Sociotechnical Design”和“Sociotechnical Systems”工作，但都无法实时嵌入式地将人纳入设计和运营的过程之中。这一点十分关键，也是挑战所在。融合套改玛丽·福莱特（Mary P. Follett, 1868-1933）、乔治·梅奥（George E. Mayo, 1880-1949）和马克斯·韦伯（Max Weber, 1864-1920）的话<sup>[22, 25, 33]</sup>：人是所有管理活动的中心，也是所有其它活动的中心；对于任何组织，只要其智慧管理的理论或方法不实时嵌入地考虑人类本性和社会动机，其发展就摆脱不了反抗甚至破坏其组织的行为；而且，不充分且个性化地考虑人的理性限制，在改善工作效率和提高工作满意度之间找到平衡点，智业社会的发展将不可避免使人丧失“人性”，就像韦伯对工业发展警告的那样。然而，我们相信，平行智能的Sociotechnical新技术将极大程度地消除这些顾虑，使未来智业组织高效且日新月异的发展。

如图 8 所示和图 9 所示，目前正在兴起的 DAO（Decentralized Autonomous Organizations and

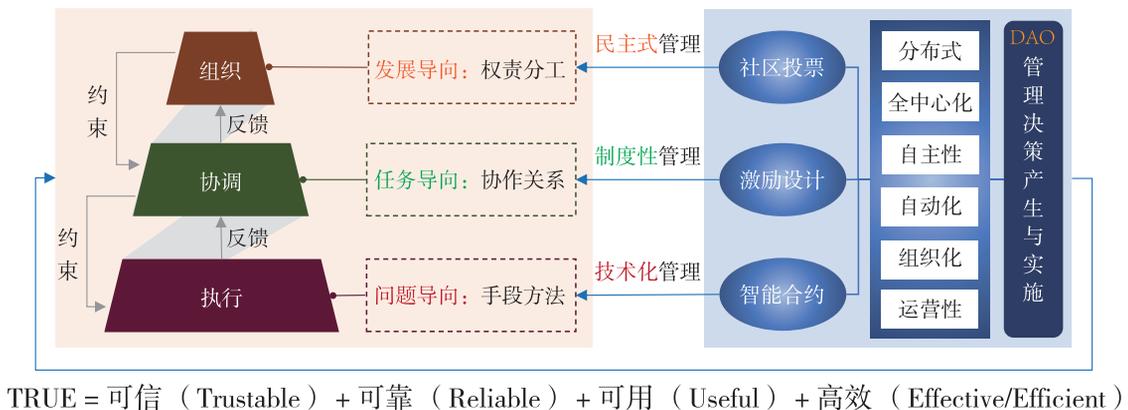


图 8 全中心自主管理科学 DeMana 的 DAO 参考模型

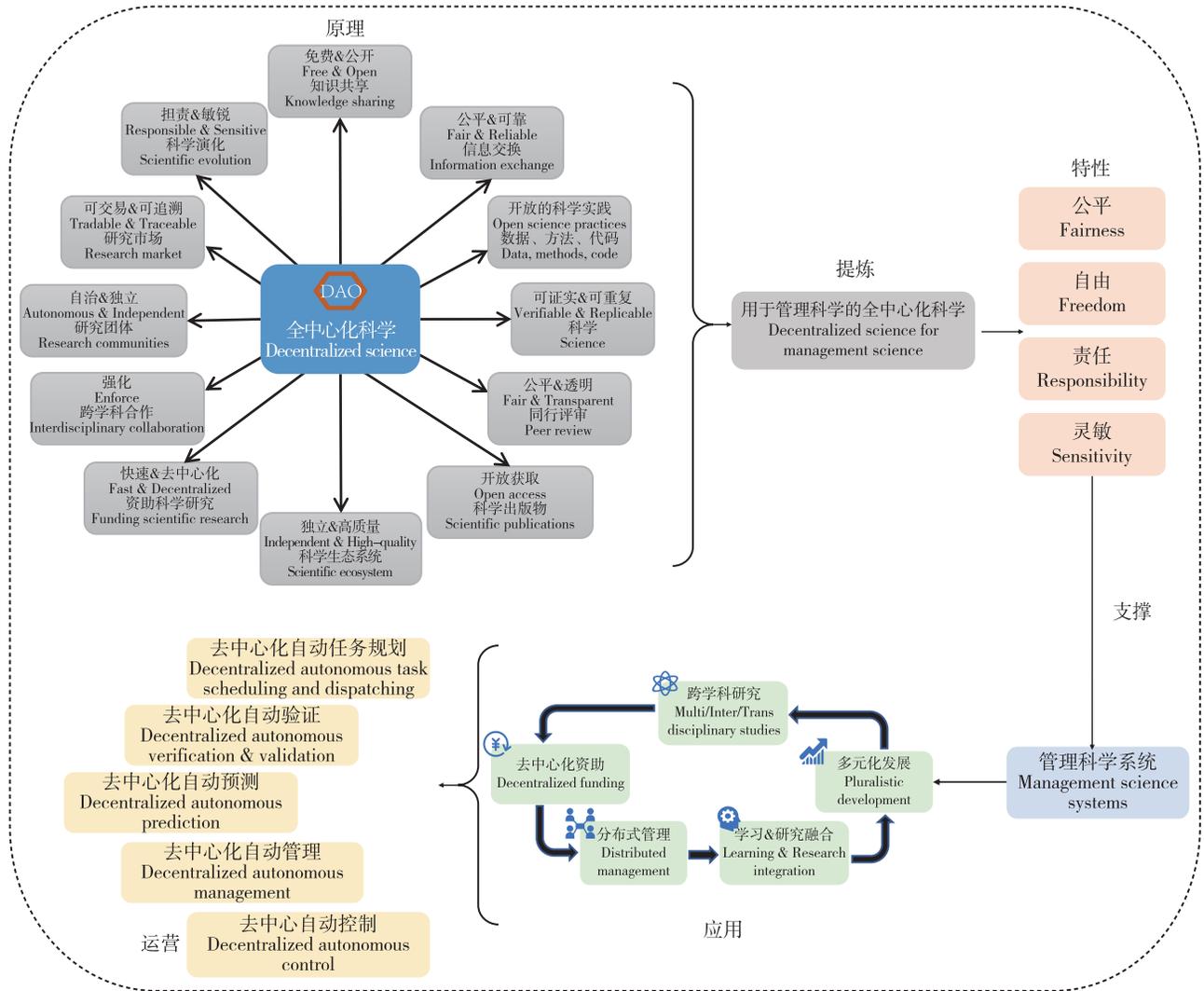


图9 全中心自主管理科学 DeMana 的 DeSci 参考模型

Decentralized Autonomous Operations)<sup>[95-99]</sup>和 DeSci (Decentralized Science)<sup>[100-101]</sup>运动为此提供了技术和科学基础。本质上,它们赋予智慧管理一类新的生态技术:新型的组织技术(Organizational Technology)、协调技术(Coordinational Technology)、执行技术(Executorial Technology),即OCE技术。实际上,这类OCE生态技术源于智能控制的分层递阶系统<sup>[102]</sup>,如图10所示,尽管当时的支撑和理念不足。

如何利用OCE技术去管理经营平行企业和平行组织,实现“6I”智慧,即建设具有认知智能、平

行智能、加密智能、联邦智能、社会智能、生态智能的“6I”管理体系,使智业工作者及其组织和企业进入“6S”境界:在物理世界安全(Safety),在赛博空间安全(Security),在生态体系可持续(Sustainability),个体隐私和权益得到保护(Sensitivity),有良好的服务(Service),有规范合乎人类价值观的智慧(Smartness)。显然,这是值得深入研究的课题,相关工作可参考文献<sup>[103-104]</sup>。

如图11所示,管理场景工程的研发是迈向“6I”和“6S”智慧管理的重要一步。人工智能技术通过特征提取和由此形成的特征工程,实现跨越,产生了深

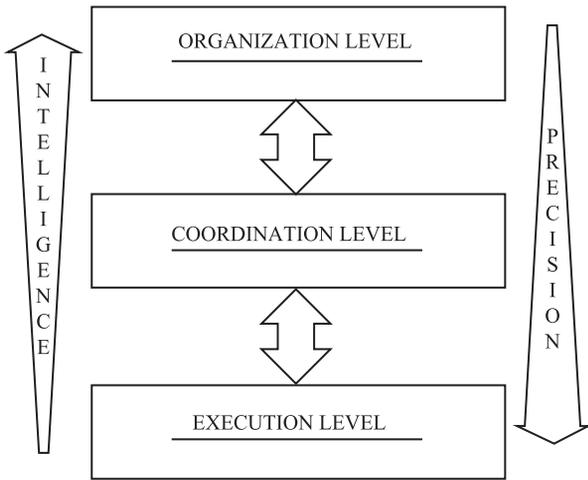


图 10 生态技术的起源：智能控制的分层递阶结构和流程

度学习等变革性技术。其进一步的发展，必须依靠结构化和有序化的特征组织，即场景。因此，场景工程是智能技术，更是智慧管理的新的突破口。

针对管理学科，一个重要的目标就是实现从传统有效的案例教学升华为智能高效的场景工程机器学习

和自动验测。而且，场景工程可使管理从“POLC”迈向“POLC+”：Command+Coordination+Control+Communication+Cognition+Cybernetics+ 具有复杂自适应系统的品性。

管理场景工程可为曾经风行一时的“企业再造 (Reengineering Enterprises)”、“管理再造 (Re-engineering Management)”、“解放管理 (Liberation Management)”、“连续管理 (Continues Managing)”、“连续组织 (Continues Organizing)”、“连续优化 (Continues Optimizing)”，等管理理念提供新的活力，并为“组织学习”、“学习组织”、“学习企业”、“企业学习”等愿景提供强有力的技术支撑。针对场景工程的初步研究，可参考文献 [103, 105]。

未来的企业和社会，必将是基于 DAO、DeSci 和场景工程的 DeEnterprises 和 DeSoc。这样，智业社会的企业和组织就能将其成员从追求业绩的牢笼中解放出来，创造性地扩展个体在组织中的角色和作



图 11 案例的计算化与智能化：从管理的案例教学到管理的场景工程

用，使 DeEnterprises 和 DeSoc 变成产业和整个社会向善发展的巨大力量，正如赫基伯格创造“工作丰富化 (Job enrichment)”理念时所希望的<sup>[106]</sup>。

## 5 管理新哲学：从 3B 意识到 DPP 知识工程

智能科技的发展为未来智慧管理科技的前景提供了无限的可能。但我们必须清醒地认识到，智业时代的管理单凭智能技术远远不够：新管理要求与之相适应的新哲学观念，并开创与之相应的社会新范式。为什么？因为观念十分重要，具有改变世界的力量。

西方哲学从开始至今，千余年来一直围绕着两个“B”展开：存在的“Being”和变化的“Becoming”。从最初两个“B”的严重对立，如巴门尼德认为“Being”是“真理之道”而“Becoming”是“观点之道”，到二者的融合，如阿弗雷德·怀德海 (Alfred N. Whitehead, 1861-1947) 的“实际存在是变化的过程”，最终形成“显象哲学”和“过程哲学”两个类别。我们认为，在两大“B”之外，应当将第三个“B”即相信“Believing”独立列出，分别成为物理、心理、虚理三个世界的主体意识，如图 12 所示，使相信变成一种有保障的禀赋和品质，并以智能科技予以支撑。其目的就是将人类向善的价值观植于技术体系，而不是反之，让智能技术主导我们的思维与价值取向，从而确保智能科技遵守人类伦理道德，使人类社会向善演化，生态系统可持续发展。

为此，我们提出平行哲学<sup>[107-109]</sup>：三个世界、三类意识、三种知识，即 DPP 知识体系，描述知识 (Descriptive Knowledge)、预测知识 (Predictive Knowledge) 和引导知识 (Prescriptive Knowledge)。其核心目的，就是通过新技术使相信的成本大大降低。比如利用区块链智能<sup>[110-114]</sup>、智能合约<sup>[115-117]</sup>、DAO<sup>[95-98]</sup>和 DeSci<sup>[100-101]</sup>等方式，在大

大增加反社会行为成本的同时，保证个人和个体的隐私权和其它正当的权益。最终的目的，就是使“信任 (Trust)”和“注意 (Attention)”成为可大规模经济生产、可大范围经济流通的商品<sup>[107]</sup>，不但扩大我们商品空间的范畴，同时也扩展了我们提高效益的途径，使智业社会真正有别于工业社会，表现出人类社会真正的进步<sup>[21]</sup>。

实质上，管理有别于其它职业的最大区别就是“赋予他人愿景和执行能力”的任务与责任<sup>[31]</sup>。这是“独一无二”的，“归根结底，管理者的定义就在愿景和道义责任”<sup>[31]</sup>。因此，对于管理，如何确立第三个“B”的相信，构建有效可用的哲学新体系和相应的知识管理工作，至关重要。

而且，相信的第三个“B”对于管理领导力的培育有着天然的价值和内在的作用。因为正如华伦·本尼斯所定义的，领导力就是“创造一个引人注目的愿景，并将之转化为行动，逐渐付诸实践的能力”<sup>[118]</sup>。本尼斯认为领导力并不是什么天生或少有的才能，是可以后天造就的，普通人也能够培养出非凡的领导魅力，由此催生了世界各地雨后春笋般的企业领导力教育项目。基于“3B”的理念和 DPP 知识工程，我们可重新定义领导力：设计制造一个使人关注并可信的愿景，并将其转化为实际行动的能力。而且，利用基础模型和场景工程，可以在平行空间的平行企业中对领导力进行衡量，就像知识工作可以衡量一样。

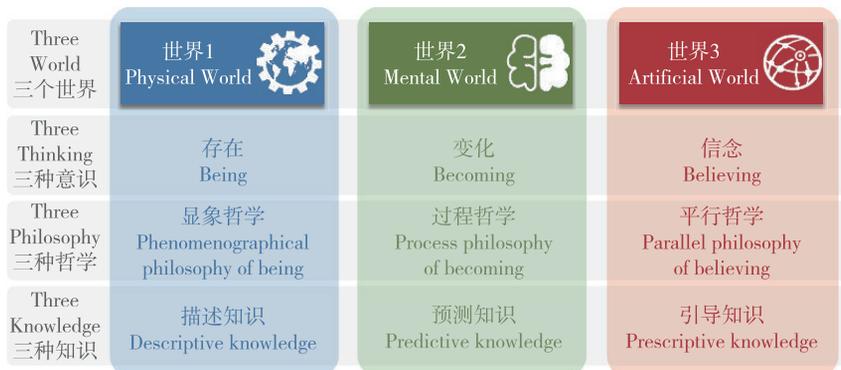


图 12 管理新哲学：三个世界、三类知识、三种哲学

## 6 展望

我们相信,在未来的平行智慧管理体系中,生物人管理者的核心工作是领导机器人管理者和数字人管理者,并在决策生成、推荐、支持等智能系统帮助下进行决策。同时,组织资源设计各种管理场景,巩固其场景工程,培养提升各种企业与组织的管理水平。未来管理的最大挑战就是如何通过机器人和数字人技术,让管理员工有控制机器的精度,同时减少人类的体力和认知负担;又让控制机器有管理员工的智慧,同时减轻运营的经济和生态成本。

为此,我们已经在平行人口和数字人方面做了探索尝试<sup>[118-121]</sup>。平行人口和数字个体可视为未来管理场景的基础设施,其目标是构建真实反映异质个体/人口的虚拟智能体,模拟不同环境、不同认知水平下员工和各级管理者的决策行为模式,从而为人员的组织、管理流程的重构演化提供支撑<sup>[122-123]</sup>。

在平行人口和数字个体的基础上,未来的管理必须基于基础大模型、DAO、DeSci、DeSoc,并与教育体系一体化,成为培养管理者的“大学”和“研究所”。对于这些管理组织,其知识产品就是“平行管理平台”和“数字人管理者”,从1.0到N.0,让一代又一代数字人管理者不断迭代更新,让智慧管理成为不断发展的智慧生态,让结果成为过程。

管子曾说:“万世之国,必有万世之宝”。可惜管仲曾为宰相的齐国,其姜齐田齐相加也不到九百年。齐国早已湮灭在历史长河之中,接下来的秦汉唐宋元明清也都消失为历史,华夏大地的国家至今仍逃不出二三十年就“涅槃”的命运。然而,“周虽旧邦,其命维新”的中华民族历经了五千年后依然屹立在世界民族之林。国已无法万世,族却希望永恒,而民族之兴旺,必然离不开有效的管理。

“万世之族,须有万世之宝”,这就是我们研究平行管理的动机。

### 致谢

1986年,因为研究复杂系统的“组织-协调-执行”分层递阶智能控制,我阅读了泰勒的《科学管理原理》(PSM),开始涉及管理科技。之后许多年,一直是《哈佛商业评论》(HBR)的忠实读者,受益颇多。谨以此文纪念《PSM》出版111周年,《HBR》诞生100周年。特别感谢HBR使案例教学成为管理教育的核心手段,相信在智能科技的支撑下,这应该是未来一般教育的普遍模式。

十分感谢正式启动平行管理基础研究的2005年中国科学院院长特别基金“复杂系统的控制与管理机制研究及其应用(2005-2007)”,以及第一次实施平行管理系统的中国石化集团项目“乙烯生产过程的平行控制与管理系统原型

开发(2007-2009)”。这些工作为2011年正式成立复杂系统管理与控制国家重点实验室奠定了重要的基础。国家自然科学基金委员会的重点项目“基于CPSS的流程工业生产计划知识自动化系统及应用验证(2016-2020)”为平行管理的进一步发展提供了有力的后续支持,在此表示真诚的感谢。

我的研究生田永林、王建功、杨静、刘宇航、韩金朋、郭超、戴星原、王兴霞、赵宸和办公室工作人员李艳芬、宋平、胡小蕾,他(她)们为本文的材料整理和绘图输入给予极大的帮助,李娟娟、秦蕊、叶佩军、王晓、欧阳丽炜、丁文文等博士认真审阅了本文,并提出许多十分宝贵的意见,在此深表感谢。○

来源:自动化学报

### 作者简介



王飞跃,中国自动化学会监事长、中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室主任。主要研究方向为智能系统和复杂系统的建模、分析与控制。

# 数智赋能 共创未来——2022 中国自动化大会在厦门隆重举行

海风拂面，群贤毕集。2022 年 11 月 25-27 日，2022 中国自动化大会在福建厦门国际会议中心酒店盛大开幕。本届大会以“数智赋能 共创未来”为主题，由中国自动化学会、福建省科学技术协会主办，华侨大学、厦门市科学技术局、福建省自动化学会、福建省机械工程学会承办，厦门市科学技术协会、厦门市自动化学会、厦门大学、集美大学共同

协办。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与华侨大学党委书记徐西鹏担任大会总主席。

本届大会以线上线下相结合的方式安排 7 场大会报告、32 场专题论坛，涵盖、双碳、国产化、智能制造等多个前沿热点领域；以线上论文交流方式，围绕工业机器人与服务机器人等 30 个方向，展示论文海报，浏览人数

超万人次，论文接收数量达 1400 余篇；再度开启融媒体平台实时直播，大会累计观看人数突破 1300 万人次，得到了领域内广大科技工作者的广泛关注和支持，引领了自动化、信息与智能科技的蓬勃发展。

大会总主席、中国工程院院士、中国自动化学会理事长、西安交通大学教授郑南宁，中国工程院院士、中国自动化学会特聘



图 1 线上参会代表



图2 线下参会代表

顾问、中国科学院沈阳自动化所研究员王天然，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，中国科学院院士、福建省科学技术协会主席郑兰荪，中国工程院院士、北京邮电大学教授张平，中国科学院院士、中国自动化学会副理事长、中国空间技术研究院研究员杨孟飞，中国科学院院士、华中科技大学教授丁汉，中国工程院院士、中国自动化学会副理事长、同济

大学校长陈杰，华侨大学党委书记徐西鹏，中国自动化学会监事长、中国科学院自动化所研究员王飞跃，中国自动化学会副理事长王成红，中国自动化学会副理事长、中国科学院沈阳分院院长于海斌，中国自动化学会副理事长、上海交通大学教授、青岛科技大学副校长李少远，中国自动化学会副理事长、山东科技大学副校长周东华，中国自动化学会副理事长、华南理工大学教授陈

俊龙，中国自动化学会副理事长、冶金设计研究院有限公司院长、中国钢研科技集团有限公司党委副书记张剑武，中国自动化学会副理事长、中国科学院自动化所研究员侯增广，中国自动化学会副理事长、中国科学院数学与系统科学研究院研究员张纪峰，福建省科学技术协会二级巡视员杨采薇，厦门市科技局局长孔曙光等以线上线下方式出席会议。

大会开幕式由华侨大学副校长、党委常委王丽霞主持。

郑南宁院士在致大会欢迎辞时表示，自动化是人类自古以来永无止境的梦想和追求目标，在人类几乎所有的领域，都深深蕴含着自动化的基因，它已成为现代科学技术与工程领域创新与探索的重要基石之一，成为推动科技跨越发展、社会生产力跃升的重要驱动力量。当今时代，我们比历史上任何时期都更需要强大的科技，而自动化科学与工程作



图3 华侨大学副校长、党委常委王丽霞



图4 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



图5 中国科学院院士、福建省科学技术协会主席郑兰荪



图6 华侨大学党委书记徐西鹏

为重要的创新驱动力量，它肩负着建设科技强国的历史使命。

郑兰荪院士在致辞中表示，科技创新没有终点，面向未来，我们更需自立自强。福建省始终把科技创新作为高质量发展的关键引擎，深入实施创新驱动发展战略，2022中国自动化大会为福建省推动相关产业领域创新发展搭建了良好的交流平台。福建将以本次大会为契机，进一步加强与中国自动化学会的协同联动，搭建高端组织平台、落地品牌学术会议、不断激发科技创新活力，助力福建省科技经济创新高质量发展，同时为我国建成世界科技强国不懈奋斗！

华侨大学党委书记徐西鹏在致辞中表示，2022中国自动化大会以“数智赋能，共创未来”为主题，紧扣科技强国、制造强国、网络强国、数字中国建设等战略，为专家学者、产业同仁提供展示

创新成果、展望未来发展的高端学术平台，共同探讨新时代新征程自动化领域发展的新思路新方法，对提升学科发展水平、助力推进新型工业化和科技强国建设具有重要意义。

在大会报告环节，中国工程院院士、北京邮电大学教授、网络与交换技术国家重点实验室主任张平作题为“构建‘许可web3.0’，发展中国自主元宇宙”的报告，他指出，发展我国元宇宙的精髓在于以“灵境泛在互联网”为抓手、先进网络系统为基座，建立“智简”自主创新体系，构建元宇宙架构。与传统互联网不同，元宇宙是以网络化广义虚拟现实应用为情境，融合网络通

信、新型交互、数字孪生、区块链、人工智能等多种新技术而产生的Web3.0互联网应用环境。基于Web3.0，“灵境协同”能够拓展虚拟世界与真实世界的无限境界，具有实时性、沉浸式，高敏感、超真实等本质属性。元宇宙不仅包括数字化的物理世界、多维度虚拟世界的延伸，而且涵盖了具有高度智慧能力的智能体合集，是“境”与“灵”的统一体。

地外天体探测是人类对月球及以远的天体开展的探测活动，



图7 中国工程院院士、北京邮电大学教授张平



图8 中国科学院院士、中国自动化学会副理事长、中国空间技术研究院研究员杨孟飞



图9 中国自动化学会副理事长、中国科学院沈阳分院院长于海斌

是人类航天活动的重要方向和空间科学技术创新的重要途径，是航天领域当前和未来的发展重点之一。地外天体探测系统工作在远离地球的环境中，具有环境严苛未知、通信距离遥远、先验知识欠缺及资源严重受限等特点，亟需突破在自主智能感知与操控方面的关键技术，解决移动速度慢、作业精度低和危险识别难等突出问题。中国科学院院士、中国自动化学会副理事长、中国空间技术研究院研究员杨孟飞在题为“地外天体探测系统智能感知与操控技术研究”中，重点阐述了在地外复杂场景多源数据融合感知与决策、目标特性不确知的精准操控、轻量化智能计算、具有学习与推理能力的智能系统架构、智能系统学习训练与智能水平评测以及地面试验验证系统等方面的研究进展，并对下一步研究工作进行了展望。

中国自动化学会副理事长、中国科学院沈阳分院院长于海斌作题为“网络时代的工业自动化”的大会报告。报告首先回顾了自动化系统由电子化向网络化演进的历程，介绍了以现场总线和工业无线为代表的工业控制网络技术研究进展，总结了其对工业自动化内涵提升和外延拓展的作用；然后，针对5G、互联网和大数据驱动的工业互联网时代的到来，分析了现阶段发展面临的挑战，在研判未来工业互联网发展趋势和特征的基础上，初步阐述了支撑制造业务全链条自动化的新一代制造自动化体系；最后，探讨了网络时代工业自动化发展值得关注的前沿和热点方向。

中国科学院院士、华中科技大学教授丁汉为大家带来题为“机器人化智能制造”的大会报告。丁院士指出，智能制造是制造业深入实施创新驱动发展战

略的重要引擎，是我国由“制造大国”到“制造强国”跨越的必由之路。机器人化制造是智能制造的前沿发展方向，已成为制造学科前沿研究热点，相关技术为核心的产业变革已初现端倪，最终将通过无处不在的机器人，无处不在的传感，无处不在的智能，实现无处不在的制造。机器人化制造旨在利用机器人柔顺性、灵活性、开放性、易于重构、可并行协同作业等优势，将人类智慧和知识经验融入感知、决策、执行等制造活动中，赋予机器人化制造装备在线学习与知识进化能力，并通过人与机器合作共事，扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动，提高制造装备和系统的适应性与自治性。

大会第二天日程以线上形式召开。中国自动化学会副理事长、中国科学院自动化所研究员侯增



图 10 中国科学院院士、华中科技大学教授丁汉



图 11 中国自动化学会副理事长、中国科学院自动化所研究员 侯增广

广主持会议。

欧洲科学院院士、中国自动化学会常务理事、南方科技大学讲席教授刘德荣，作题为“自动化与工业互联网深度融合发展趋势探讨”的大会报告。报告围绕平行控制、云控制、网络化控制、自适应动态规划等理论展开，讨论了未来智能制造自动化与工业互联网的高度融合发展在社会治理、公共服务、经济金融、自动驾驶、安全、教育、投资等领域的巨大潜力。

欧洲科学院院士、帝国理工学院教授、IEEE TAC 主编

Alessandro Astolfi 作题为“The curse of linearity and time-invariance”的大会报告，报告主要介绍分析了线性时不变系统。

加拿大女王大学教授、Journal of Process Control 主编、IEEE TAC 副主编 Martin Guay 作题为“Output regulation of uncertain systems using extremum seeking control”的大会报告。报告主要分享了极值搜索控制如何实现最优条件的调节，以应对未知环境的影响，同时讨论极值搜索控制在高空伪卫星上的具体应用。

最后，华侨大学副校长、党委常委王丽霞作闭幕式致辞，在致辞中，王丽霞副校长指出本次大会的成功召开，体现了“自动化人”科技报国的坚定信念，体现了“自动化人”直面困难挑战、不断勇毅前行的决心和信心。

华侨大学机电及自动化学院副院长林添良作 2022 中国自动化大会总结，从筹备情况、现场盛况、精彩瞬间、论文接收情况等角度回顾了本场学术盛宴。

大会同期进行了“CAC 杯”交接仪式，2022 中国自动化大会组委会代表——华侨大学机电及自



图 12 欧洲科学院院士、中国自动化学会常务理事、南方科技大学讲席教授刘德荣



图 13 欧洲科学院院士、帝国理工学院教授、IEEE TAC 主编 Alessandro Astolfi



图 14 加拿大女王大学教授、Journal of Process Control 主编、IEEE TAC 副主编 Martin Guay



图 15 华侨大学副校长、党委常委王丽霞

动化学学院院长黄辉，将沉甸甸的“CAC杯”郑重转交给2023中国自动化大会组委会代表——重庆邮电大学袁荣棣教授。2022中国自动化大会将于2023年11月在山城重庆召开，续写自动化大会新篇章。

除大会报告外，今日热点话题精彩纷呈，“大数据知识工程与智慧教育”、“非线性系统控制”、“复杂系统智能决策与平行控制”、“工业物联网创新应用与产业发展”、“实时光谱与图像检测技术与工程应用”等9个专题论坛引爆思想碰撞。在传统线下大会的基础

上，还线上组织了“3D打印与社会制造”、“复杂网络：结构与安全与博弈”、“工业控制国产自主化”、“极区科考机器人技术、系统与应用”等23个线上论坛，吸引了十万余人次观众在线交流与讨论。

余音犹绕梁，未来更可期。CAC2022虽已落幕，日新月异的自动化技术正以前所未有的融合创新、前沿突破迸发出全新活力，在新一轮科技革命和产业变革中迅猛发展，赋能千行百业、赋能未来世界。

中国自动化大会是中国自动化学会主办的大型综合性学术会

议。自2009年由浙江大学承办首次大会以来，历经十余载，现已经成为我国自动控制、仪器仪表、航空航天、人工智能、网络安全、智能制造等领域最具影响力的学术盛会之一。大会充分彰显了自动化科技对全球进入智能时代的重要作用；并以前瞻视角和超前思维推进多领域交叉汇聚，建立各方向有机联动、相互促进的良性循环关系；有效贯通学科链、创新链与产业链，推动自动化领域创新全方位融入国家发展需求。○

学会秘书处 供稿



图 16 华侨大学机电及自动化学院副院长林添良



图 17 CAC 奖杯交接仪式

## 中国自动化学会工业安全系统典型案例库重磅发布



图1 陈俊龙教授现场发布报告

2022年11月7-8日，以“赋能高质量·打造新动能”为主题的2022全球工业互联网大会在沈阳召开。欧洲科学院外籍院士、欧洲科学与艺术学院院士、中国自动化学会会士、副理事长、华南理工大学教授陈俊龙出席大会并发布工业安全系统典型应用案例库。

为贯彻《工业控制系统信息安全防护指南》、落实“十四五”规划纲要“统筹发展和安全”等政策要求，充分发挥先进典型的引领示范作用，加快提升工业互联网安全防护能力，强化工业互联网安全综合保障能力，进一步

推动我国工业安全产业高质量发展，中国自动化学会于2022年开展工业安全系统典型应用案例库建设工作，面向工业控制与安全、TI与OT融合安全、工业互联网安全等十余个方向征集240余个典型案例，主要聚焦工业、制造、信息技术等应用领域的创新解决方案、亟需解决的难点与痛点问题，通过充分发挥先进典型的引领示范作用，旨在构建以

应用案例引领需求增长、以需求增长拉动产业发展、以产业发展带动创新技术成果快速转化的科技经济融合新模式。

安全是发展的前提，发展是安全的保障。下一步中国自动化学会将积极响应新安全格局保障新发展格局的理念，充分依托学会工控系统安全专家团队，瞄准工业系统安全领域薄弱环节，进一步开展基础研究发展战略、关键核心技术发展战略、产品与标准发展战略等，建立工业控制系统安全的人才培养战略，为国家战略决策和技术咨询提供全链条支撑。○

学会秘书处 供稿



图2 报告发布现场

# 2022 世界智能制造大会

## ——制造数据与网络安全论坛成功举办



图1 2022世界智能制造大会——制造数据与网络安全论坛

由江苏省人民政府、工业和信息化部、中国工程院、中国科学技术协会共同主办的“2022世界智能制造大会”于11月22日-25日在江苏省南京市拉开帷幕。大会深入贯彻党的二十大精神，以“数智赋能、链通未来”为主题，举办开闭幕式、专场活动、分论坛、云展会、行业赛事、系列活动等。

大会首日，由中国自动化学会承办的“制造数据与网络安全”专题论坛在南京国际博览会议中心隆重举办。论坛汇聚了众多业内资深专家、杰出企业代表，共同探讨推进工业数据治理。CAA控制理论专业委员会委员、南京

航空航天大学陈谋教授主持论坛。

中国工程院院士、中国自动化学会副理事长、中南大学桂卫华院士作开幕致辞，他强调网络安全作为制造强国、网络强国、数字中国的底座，在未来发展中承担托底的重担，是我国现代化工业体系中不可或缺的重要部分。我国正处于从工业经济迈向数字经济的攻坚阶段，数据与实体经济融合发展的进程

正在提速。为更好地迎接机遇与挑战，在助力工业数字化转型的同时，筑牢网络和数据安全防线，意义深远。

中国工程院中央网信办专家咨询委员会沈昌祥院士带来题为“构建安全可信网络新生态促进数字经济高质量发展”的报告。作为中央网信办专家咨询委员会顾问、国家三网融合专家组成员，沈院士从数字经济时代的机遇与挑战、构建安全可信网络空间新生态、落实等级保护制度，保障数字经济健康发展三个方面进行了详细地阐述。他强调“大数据是钻石矿”，相当于数据废品和垃圾收集处理，来从中发掘知识和本质规律。抢占核心技术制高点，



图2 CAA控制理论专业委员会委员、南京航空航天大学陈谋教授主持论坛



图3 中国工程院院士、中国自动化学会副理事长、中南大学桂卫华院士作开幕致辞



图4 中国工程院中央网信办专家咨询委员会沈昌祥院士作报告

摆脱受制于人。应加快推动我国数字化转型、网络化重构、智能化提升、产业化升级。但是新基建下互网络攻击将从数字空间延伸到物理空间，对网络安全提出严峻挑战，必须筑牢网络安全防线。

南京南瑞信息通信科技有限公司刘苇主任作题为“电力工控系统本体安全防护技术与工作实践”的报告。国际网络空间对抗愈加激烈，乌克兰大停电、伊朗震网病毒、俄乌网络战等事件表明，电力系统正成为网络战主要攻击目标。他强调我国电力工控系统侧重边界防护，系统本体内生防护手段不足，无法有效应对不断涌现的各类供应链和APT攻击，而5G、物联网等新技术应用又使攻击暴露面进一步扩大。同时，网络安全法、等保2.0、关键信息基础设施保护对自主可控、安全可信、国产替代提出了新的要求。因此，亟须开展

电力工控威胁内生防御关键技术研究，并进一步提升系统本体应对高等级威胁的检测和响应能力。

东南大学曹向辉教授作题为“面向控制的信息物理系统隐私保护问题研究”的报告。在信息物理系统中，由于3C（communication、Computation、control）技术的融合，网络与计算空间的隐私保护问题延伸到控制空间。本次汇报首先从组网的角度，介绍了一种无线网络带内安全密钥配对方法；其次，汇报了一种基于乘性噪声的分布式控制系统隐私保护方法，并应用于电网安全控制中。最后他对信息物理系统的隐私保护做以下三点总结：

针对窃听攻击，提出通信与控制融合的动态系统状态隐私保护；针对窃密攻击，提出基于同态加密和联邦学习的隐私保护；针对合谋攻击，提出分布式计算场景中的隐私保护。

中国科技大学计算机学院 Nikolaos Freris 教授作题为“Communication-Efficient Distributed Machine Learning for AIoT”的报告，他提出本次主题研讨会将提出一个基于运营商拆分的分布式优化新框架，该



图5 南京南瑞信息通信科技有限公司刘苇主任作报告



图6 东南大学曹向辉教授作报告



图7 中国科技大学计算机学院 Nikolaos Freris 教授作报告

框架专门针对通信效率和对用户异质性的适应性。该产品是针对凸和非凸问题的一系列异步算法（一阶和二阶），并在收敛速度和通信成本方面进行了严格的分析。他还提出一种用于联邦学习（大型异构网络中的分布式深度学习）的新方法，该方法在收敛速度、通信节省和准确性方面具有最先进的性能。

博智安全科技股份有限公司郑轶副总裁作题为“全面剖析工业安全面临的挑战和解决方案”

的报告。工控系统是工业生产和制造的核心环节，工控安全已成为关键基础设施安全的重要保障，也是国家安全的重要保障。他强调工控系统安全要素包括政策、管理、技术、方案、人才和服务，需要从安全要素出发构建工控安全体系。从工控安全市场层面，为使安全人员能够应对愈加复杂的安全形势和攻防技术，需通过靶场训练测试使工控安全人员技能及设备的建设发展与安全理论革新相适应。

南京中新赛克科技有限责任公司黄旭琪总监作题为“工业领域数据安全管理与运营实践”的报告。她指出了针对如何对海量工业数据进行有针对性的防护，促进工业领域数据安全有序的流动、保障业务应用安全的使用、及时发现潜在数据风险并及时处置等提出一些思考与实践路径。工业领域已成为我国数字化转型与数字经济发展的前沿，随着工业领域数字化转型的推进，工业企业由传统的生产车间的生产制



图8 博智安全科技股份有限公司郑轶副总裁作报告



图9 南京中新赛克科技有限责任公司黄旭琪总监作报告

造逐步转向数字产业化和生产数字化，而数据作为具有生产效益的数字要素，已成为数字化发展的关键。

国家工业信息安全发展研究中心陈雪鸿处长作题为“工业数据安全与评估认证”的报告。她从国家政策与标准、企业数据安全建设现状、常见数据安全评估与认证三方面进行阐述。在信息全球化和数字经济时代，协同制造、个性定制等新模式新业态快速发展，跨企业、跨行业、跨地区的工业数据交换共享需求愈发迫切，促进工业数据安全可信共享已成为提高生产经营效率和加快促进行业发展的重要基础。她提出，目前应加快推动工业数据安全可信交换共享公共服务平台建设，建立数据产权交易规则和标准，形成数据共享交易新安全模式。

西安交通大学刘烜教授作题为“信息物理融合系统的综合安全威胁与防御”的报告。信息物理融合系统是信息网络与各类物理系统的深度融合，在带来极大便利的同时，也将网络安全（Security）引入物理系统，并与各类物理系统的工程安全（Safety）结合，产生新的信息物理综合安全威胁。他阐述了以电力系统为例，从计算机、自动化和电气工程不同学科的视角，分析近年来发生的安全事件，探讨电力系统中信息物理综合安全的威胁机理和防御方法。

King Abdullah University of Science and Technology Charalambos Konstantinou Assistant Professor 作题为 Cybersecurity Challenges for Cyber-Physical Energy Systems 的报告，他概述 KAUST 的安全下一代弹性系统



图 10 国家工业信息安全发展研究中心陈雪鸿处长作报告



图 11 西安交通大学刘烜教授作报告



图 12 Charalambos Konstantinou Assistant Professor 作报告

(SENTRY) 实验室 (SENTRY. KAUST .edu.sa) 的研究，介绍在可再生能源时代不同的方法，为建立安全稳定的网络物理网格做出贡献。

本次“制造数据与网络安全”论坛强化了网络安全和工业数据分类、分级管理，推进了工业数据治理，完善覆盖国家、地方、企业的多级工控信息安全监测预警网络，为企业利用智能制造相关技术开展具体工作提供指引。○

学会秘书处 供稿

# 第37届中国自动化学会青年学术年会在北京顺利闭幕

2022年11月19日至20日，由中国自动化学会主办，中国自动化学会青年工作委员会和北京科技大学承办，安徽大学、南京信息工程大学、北京理工大学协办的第37届中国自动化学会青年学术年会（YAC 2022）在北京西郊宾馆以线上、线下相结合的方式隆重举行。本次会议设有自动化和人工智能领域密切相关的7个大会报告、100余个特邀报告以

及401篇会议论文口头报告和张贴报告。会议邀请了自动化、人工智能、计算机、无人系统等相关领域的中国科学院院士、中国工程院院士、欧洲科学院院士等100余位专家学者全方位分享和解读了最前沿的学术成果，3000多人线上参会，直播观看超5万人次。

11月19日上午，本届青年学术年会正式开幕。中国自动化

学会副理事长、中国科学院数学与系统科学研究院张纪峰研究员，大会主席、北京科技大学副校长张卫冬教授，大会主席、中国自动化学会副秘书长、安徽大学副校长孙长银教授分别致开幕词，他们向会议的召开表示祝贺，向参会人员表示热烈欢迎！青年工作委员会主任、北京科技大学智能科学与技术学院院长贺威教授主持开幕式。



图1 YAC2022开幕式线上合影



图2 YAC 2022 线下会场合影

本次会议邀请到7位知名专家学者做大会报告，分别是中国工程院院士、中国自动化学会常务理事、湖南大学王耀南教授，中国科学院院士、中国科学院自动化研究所乔红研究员，中国自动化学会副理事长、中国科学院数学与系统科学研究院张纪峰研究员，北京大学王龙教授、中国自动化学会常务理事、上海交通大学关新平教授，山东大学李贻斌教授，中国自动化学会理事、浙江大学熊蓉教授。7位专家在两天的时间里为与会嘉宾带来了多场信息量丰富、专业性强、学术水平高的精彩报告，报告内容涉及多领域的研究进展、理论和应用问题。



图3 张纪峰致辞



图4 张卫东致辞

除了精彩的大会报告，本届会议还设有“第24期自动化学报前沿热点论坛”、“第21期CAA青年科学家论坛”、“教育部高层次人才计划学者论坛”、“国家杰青论坛”，“国家海外高层次人才论坛”，“万人计划学者论坛”，“优秀青年学者论坛”、“青年托举论坛”、



图5 孙长银致辞



图6 贺威主持开幕式



图7 王耀南院士作“智能无人系统技术与发展趋势”大会报告

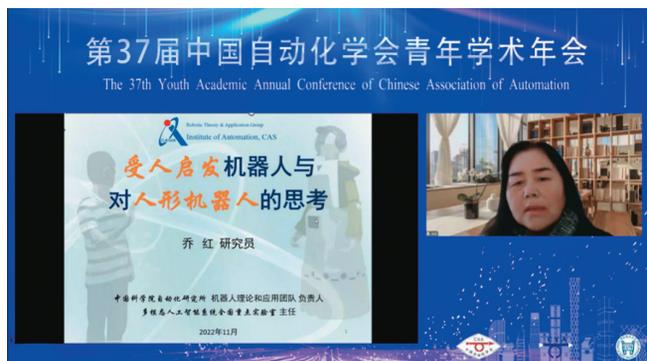


图8 乔红院士作“有限本体有限传感精度的机器人高性能作业——受人启发的机器人系统”大会报告



图9 王龙教授作“网络博弈与群体智能”大会报告

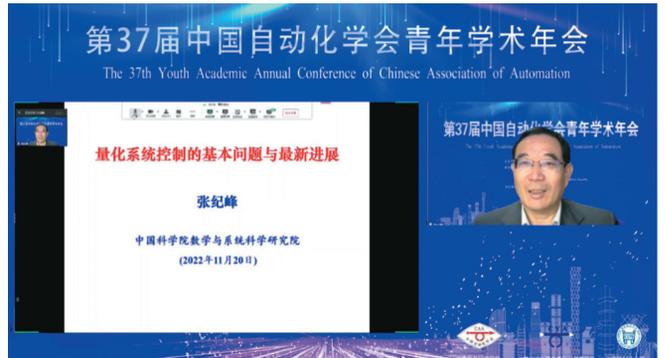


图10 张纪峰研究员作“量化系统控制的基本问题与最新进展”大会报告



图11 关新平教授作“工业网络系统的感知-传输-控制一体化理论与技术”大会报告



图12 李贻斌教授作“液压驱动腿臂协同移动作业机器人关键技术”大会报告



图13 熊蓉教授作“人机知识传递的关键技术研究”大会报告

“CAA 优博论坛”、“博新计划论坛”和“分布参数系统分析与控制”、“无人驾驶车辆智能感知与控制”、“自主无人系统智能控制与应用”等 20 余个特邀报告论坛、特邀专题论坛以及口头报告和论文海报展示环节。

德教授、北京科技大学彭开香教授、东南大学虞文武教授、国防科技大学冯旻赫副教授、中国科学院自动化研究所欧彦副编审、哈尔滨工业大学刘明教授、南京信息工程大学葛泉波教授、中国科学院自动化研究所申抒含研究

11月19日下午，中国科学技术大学陈小平教授、河北工业大学郭士杰教授、中国地质大学曹卫华教授、

浙江大学吴争光教授、东南大学曹向辉教授、华东理工大学唐漾教授、大连理工大学彭海军教授、北京航空航天大学董希旺教授、西北工业大学韩军伟教授、北京航空航天大学宁晓琳教授、北京航空航天大学胡庆雷教授、浙江大学程鹏教授、清华大学耿华教授、昆明理工大学那靖教授、山东师范大学李晓迪教授、南开大学张雪波教授、华中科技大学张海涛教授、燕山大学华长春教授、西安交通大学兰旭光教授、清华大学贾庆山教授、杭州电子科技大学俞俊教授、清华大学鲁继文副教授、中国科学院沈阳自



图 14 部分特邀报告照片

动化研究所从杨研究员、北京邮电大学马占宇教授、华中科技大学伍冬睿教授、北京航空航天大学王卓教授、清华大学游科友教授、北京航空航天大学余翔教授、南方科技大学张巍教授、北京理工大学吕茂斌教授、北京大学梅文俊研究员、意大利米兰理工大学苏航研究员、华东理工大学严怀成教授、广东工业大学周郭许教授、广东工业大学李鸿一教授、

上海交通大学杨博教授、国防科技大学王祥科教授、湖南大学张辉教授、西北工业大学刘准钊教授、大连理工大学吴玉虎教授、郑州大学梁静教授、东南大学温广辉教授、西北工业大学李慧平教授、南京理工大学叶茂娇教授、北京科技大学樊彬教授、北京工业大学李方昱教授、北京航空航天大学屠展副研究员、中国地质大学吴俊东教授等青年才俊为与会嘉宾带

来精彩纷呈的特邀论坛报告。

会议进行了“分布参数系统分析与控制”、“复杂控制系统网络与物理空间安全”、“可穿戴机器人人机交互与协调控制”、“多机器人系统协同决策与控制”、“多智能体系统协同控制与安全性分析”、“面向新型电力系统人工智能创新研究”6个特邀专题报告。

同日下午，组织进行了YAC 2022 优秀论文奖的评选答辩。经



图 15 优秀论文答辩

过同行评议进入优秀论文奖候选的 12 篇论文的作者进行了线上答辩。根据评奖委员会的评审和投票表决，浙江大学王孟志等、西安理工大学穆凌霄等 2 篇论文获最佳理论论文奖；广州大学赵志甲等、南京信息工程大学彭光柱等 2 篇论文获最佳应用论文奖；湖南大学林琼等、南开大学刘赵缘等 2 篇论文获最佳学生论文奖，其他候选论文获最佳论文奖提名。

11 月 20 日下午，大会组织了“CAA 优博论坛”、“青年托举论坛”、“博新计划论坛”、“脑机智能与智能健康”、“无人驾驶车辆智能感知与控制”、“自主无人系统智能控制与应用”、“面向自主机器人的系统设计、建模与先进控制”7 场特邀报告论坛和特邀专题论坛。同时举行了论文口头报告和论文海报展示环节。

会议期间，中国自动化学会青年工作委员会主任委员、北京科技

大学贺威组织召开了青年工作委员会年度工作会议。会上报告了 2022 年度青年工作委员会相关工作进展、本次会议的筹备情况以及新委员增选情况。在新增委员表决环节，新申请委员自我介绍后，经表决通过 2022 年新增委员 89 名。会议讨论并决定了 2023 年中国自动化学会青年学术年会由安徽大学承办。

本届会议全方位分享和解读了自动化、人工智能和机器人等领域最新的前沿学术成果，为

青年学者们提供了深入探讨交流的平台。会议的成功举办，促进了自动化和人工智能等相关领域的学科建设和交叉融合，为推动“智能科学与技术”学科和“人工智能科学与工程”北京高校高精尖学科的发展和加快学校“双一流”建设步伐提供了助力，加强了相关领域青年人才交流合作，为青年人才蓬勃发展奠定基础。○

中国自动化学会青年工作委员会 供稿



图 16 青工委年度会议

# 中共中央关于认真学习宣传贯彻党的二十大精神的决定

为深入学习宣传贯彻党的二十大精神，把全党全国各族人民的思想统一到党的二十大精神上来，把力量凝聚到党的二十大确定的各项任务上来，作出如下决定。

## 一、充分认识学习宣传贯彻党的二十大精神的重要意义

中国共产党第二十次全国代表大会于10月16日至22日在北京举行。这是在全党全国各族人民迈上全面建设社会主义现代化国家新征程、向第二个百年奋斗目标进军的关键时刻召开的一次十分重要的大会，是一次高举旗帜、凝聚力量、团结奋进的大会。大会高举中国特色社会主义伟大旗帜，坚持马克思列宁主义、毛泽东思想、邓小平理论、“三个代表”重要思想、科学发展观，全面贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，分析了国际国内形势，提出了党的二十大主题，回顾总结了过去5年的工作和新时代10年的伟大变革，阐述了开辟马克思主义中国化时代化新境界、中国式现代化的中国特色和本质要求等重大问题，对全面建设社

会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴进行了战略谋划，对统筹推进“五位一体”总体布局、协调推进“四个全面”战略布局作出了全面部署。大会批准了习近平同志代表十九届中央委员会所作的《高举中国特色社会主义伟大旗帜，为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗》的报告，批准了十九届中央纪律检查委员会的工作报告，审议通过了《中国共产党章程（修正案）》，选举产生了新一届中央委员会和中央纪律检查委员会。

习近平同志的报告，深刻阐释了新时代坚持和发展中国特色社会主义的一系列重大理论和实践问题，描绘了全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴的宏伟蓝图，为新时代新征程党和国家事业发展、实现第二个百年奋斗目标指明了前进方向、确立了行动指南，是党和人民智慧的结晶，是党团结带领全国各族人民夺取中国特色社会主义新胜利的政治宣言和行动纲领，是马克思主义的纲领性文献。《中国共产党章程（修正案）》体现了党的十九大以来党的理论

创新、实践创新、制度创新成果，体现了党的二十大报告确定的重要思想、重要观点、重大战略、重大举措，对坚持和加强党的全面领导、坚定不移推进全面从严治党、坚持和完善党的建设、推进党的自我革命提出了明确要求。

党的二十届一中全会选举产生了以习近平同志为核心的新一届中央领导集体，一批经验丰富、德才兼备、奋发有为的同志进入中央领导机构，充分显示出中国特色社会主义事业蓬勃兴旺、充满活力。

学习宣传贯彻党的二十大精神是当前和今后一个时期全党全国的首要政治任务，事关党和国家事业继往开来，事关中国特色社会主义前途命运，事关中华民族伟大复兴，对于动员全党全国各族人民更加紧密地团结在以习近平同志为核心的党中央周围，高举中国特色社会主义伟大旗帜，坚定道路自信、理论自信、制度自信、文化自信，为全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴而团结奋斗，具有重大现实意义和深远历史意义。

## 二、全面准确学习领会党的二十大精神

学习领会党的二十大精神，必须坚持全面准确，深入理解内涵，精准把握外延。要原原本本、逐字逐句学习党的二十大精神报告和党章，学习习近平总书记在党的二十届一中全会上的重要讲话精神，着重把握以下几个方面。

1. 深刻领会党的二十大精神的主题。高举中国特色社会主义伟大旗帜，全面贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，弘扬伟大建党精神，自信自强、守正创新，踔厉奋发、勇毅前行，为全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴而团结奋斗。这是党的二十大精神，明确宣示了我们党在新征程上举什么旗、走什么路、以什么样的精神状态、朝着什么样的目标继续前进的重大问题。高举中国特色社会主义伟大旗帜、全面贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，是要郑重宣示，全党必须坚持以马克思主义中国化时代化最新成果为指导，坚定中国特色社会主义道路自信、理论自信、制度自信、文化自信，坚持道不变、志不改，确保党和国家事业始终沿着正确方向胜利前进。弘扬伟大建党精神，是要郑重宣示，全党必须恪守伟大建党精神，保持党同人民群众的血肉联系，保持谦虚谨慎、

艰苦奋斗的政治本色和敢于斗争、敢于胜利的意志品质，确保党始终成为中国特色社会主义事业的坚强领导核心。自信自强、守正创新，踔厉奋发、勇毅前行，是要郑重宣示，全党必须保持自信果敢、自强不息的精神风貌，保持定力、勇于变革的工作态度，永不懈怠、锐意进取的奋斗姿态，使各项工作更好体现时代性、把握规律性、富于创造性。全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴，是要郑重宣示，全党必须紧紧扭住新时代新征程党的中心任务，集中一切力量，排除一切干扰，坚持以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴。团结奋斗，是要郑重宣示，我们必须不断巩固全党全国各族人民大团结，加强海内外中华儿女大团结，形成同心共圆中国梦的强大合力。

2. 深刻领会过去5年的工作和新时代10年的伟大变革。党的十九大以来的5年，是极不寻常、极不平凡的5年。5年来，以习近平同志为核心的党中央，高举中国特色社会主义伟大旗帜，全面贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，团结带领全党全军全国各族人民，统揽伟大斗争、伟大工程、伟大事业、伟大梦想，有效应对严峻复杂的国际形势和接踵而至的巨大风险挑战，以奋发有为的精神把新时代中国特色社

会主义不断推向前进，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，推动党和国家事业取得举世瞩目的重大成就。党的十八大召开10年来，我们经历了对党和人民事业具有重大现实意义和深远历史意义的三件大事：一是迎来中国共产党成立一百周年，二是中国特色社会主义进入新时代，三是完成脱贫攻坚、全面建成小康社会的历史任务，实现第一个百年奋斗目标。这是中国共产党和中国人民团结奋斗赢得的历史性胜利，是彪炳中华民族发展史册的历史性胜利，也是对世界具有深远影响的历史性胜利。10年来，我们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，党和国家事业取得历史性成就、发生历史性变革，推动我国迈上全面建设社会主义现代化国家新征程。新时代10年的伟大变革，在党史、新中国史、改革开放史、社会主义发展史、中华民族发展史上具有里程碑意义。

新时代10年的伟大变革，是在以习近平同志为核心的党中央坚强领导下、在习近平新时代中国特色社会主义思想指引下全党

全国各族人民团结奋斗取得的。党确立习近平同志党中央的核心、全党的核心地位，确立习近平新时代中国特色社会主义思想的指导地位，反映了全党全军全国各族人民共同心愿，对新时代党和国家事业发展、对推进中华民族伟大复兴历史进程具有决定性意义。“两个确立”是党在新时代取得重大政治成果，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。全党必须深刻领悟“两个确立”的决定性意义，更加自觉地维护习近平总书记党中央的核心、全党的核心地位，更加自觉地维护以习近平总书记为核心的党中央权威和集中统一领导，全面贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，坚定不移在思想上政治上行动上同以习近平同志为核心的党中央保持高度一致。

3. 深刻领会开辟马克思主义中国化时代化新境界。马克思主义是我们立党立国、兴党兴国的根本指导思想。实践告诉我们，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，国内外形势新变化和实践中新要求，迫切需要我们深入回答关系党和国家事业发展、党治国理政的一系列重大时代课题。我们党勇于进

行理论探索和创新，以全新的视野深化对共产党执政规律、社会主义建设规律、人类社会发展规律的认识，取得重大理论创新成果，集中体现为习近平新时代中国特色社会主义思想。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”概括了这一思想的主要内容，必须长期坚持并不断丰富发展。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。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。继续推进实践基础上的理论创新，首先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，切实做到坚持人民至上、坚持自信自立、坚持守正创新、坚持问题导向、坚持系统观念、坚持胸怀天下，在新时代伟大实践中不断开辟马克思主义中国化时代化新境界。

4. 深刻领会新时代新征程中国共产党的使命任务。从现在起，中国共产党的中心任务就是团结带领全国各族人民全面建成社会

主义现代化强国、实现第二个百年奋斗目标，以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴。党的二十大对全面建成社会主义现代化强国两步走战略安排进行了宏观展望，重点部署了未来5年的战略任务和重大举措。这是一项伟大而艰巨的事业，前途光明，任重道远。当前，我国发展进入战略机遇和风险挑战并存、不确定难预料因素增多的时期，各种“黑天鹅”、“灰犀牛”事件随时可能发生。我们必须增强忧患意识，坚持底线思维，做到居安思危、未雨绸缪，准备经受风高浪急甚至惊涛骇浪的重大考验。前进道路上，必须坚持和加强党的全面领导，坚持中国特色社会主义道路，坚持以人民为中心的发展思想，坚持深化改革开放，坚持发扬斗争精神，既不走封闭僵化的老路，也不走改旗易帜的邪路，坚持把国家和民族发展放在自己力量的基点上，坚持把中国发展进步的命运牢牢掌握在自己手中，不断夺取全面建设社会主义现代化国家新胜利。全党必须牢记，坚持党的全面领导是坚持和发展中国特色社会主义的必由之路，中国特色社会主义是实现中华民族伟大复兴的必由之路，团结奋斗是中国人民创造历史伟业的必由之路，贯彻新发展理念是新时代我国发展壮大的必由之路，全面从严治党是党永葆生机活力、走好新的赶考之路的必由

之路。这是我们在长期实践中得出的至关重要的规律性认识，必须倍加珍惜、始终坚持，咬定青山不放松，引领和保障中国特色社会主义巍巍巨轮乘风破浪、行稳致远。

5. 深刻领会中国式现代化的中国特色和本质要求。在新中国成立特别是改革开放以来长期探索和实践基础上，经过党的十八大以来在理论和实践上的创新突破，我们党成功推进和拓展了中国式现代化。中国式现代化，是中国共产党领导的社会主义现代化，既有各国现代化的共同特征，更有基于自己国情的中国特色。党的二十大概括了中国式现代化的中国特色，即中国式现代化是人口规模巨大的现代化，是全体人民共同富裕的现代化，是物质文明和精神文明相协调的现代化，是人与自然和谐共生的现代化，是走和平发展道路的现代化。党的二十大对中国式现代化的本质要求作出科学概括：坚持中国共产党领导，坚持中国特色社会主义，实现高质量发展，发展全过程人民民主，丰富人民精神世界，实现全体人民共同富裕，促进人与自然和谐共生，推动构建人类命运共同体，创造人类文明新形态。这个概括是党深刻总结我国和世界其他国家现代化建设的历史经验，对我国这样一个东方大国如何加快实现现代化在认识上

不断深入、战略上不断成熟、实践上不断丰富而形成的思想理论结晶，我们要深刻领会、系统把握，特别是要把这个本质要求落实到各项工作之中。

6. 深刻领会社会主义经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设等方面的重大部署。在经济建设上，要完整、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，构建高水平社会主义市场经济体制，建设现代化产业体系，全面推进乡村振兴，促进区域协调发展，推进高水平对外开放，推动经济实现质的有效提升和量的合理增长。在政治建设上，要发展全过程人民民主，加强人民当家作主制度保障，全面发展协商民主，积极发展基层民主，巩固和发展最广泛的爱国统一战线。在文化建设上，要推进文化自信自强，建设社会主义文化强国，建设具有强大凝聚力和引领力的社会主义意识形态，广泛践行社会主义核心价值观，提高全社会文明程度，繁荣发展文化事业和文化产业，增强中华文明传播力影响力，铸就社会主义文化新辉煌。在社会建设上，要坚持在发展中保障和改善民生，扎实推进共同富裕，完善分配制度，实施就业优先战略，健全社会保障体系，推进健康中国建设，不断实现人民对美好生活的向往。

在生态文明建设上，要推进美丽中国建设，加快发展方式绿色转型，深入推进污染防治，提升生态系统多样性、稳定性、持续性，积极稳妥推进碳达峰碳中和，促进人与自然和谐共生。

7. 深刻领会教育科技人才、法治建设、国家安全等方面的重大部署。党的二十大把握国内外发展大势，在党和国家事业发展布局中突出教育科技人才支撑、法治保障、国家安全工作。在教育科技人才上，要坚持教育优先发展、科技自立自强、人才引领驱动，加快建设教育强国、科技强国、人才强国，办好人民满意的教育，完善科技创新体系，加快实施创新驱动发展战略，深入实施人才强国战略，不断塑造发展新动能新优势。在法治建设上，要坚持全面依法治国，坚持走中国特色社会主义法治道路，建设中国特色社会主义法治体系、建设社会主义法治国家，完善以宪法为核心的中国特色社会主义法律体系，扎实推进依法行政，严格公正司法，加快建设法治社会，推进法治中国建设。在国家安全上，要坚定不移贯彻总体国家安全观，健全国家安全体系，增强维护国家安全能力，提高公共安全治理水平，完善社会治理体系，坚决维护国家安全和社会稳定。

8. 深刻领会国防和军队建设、港澳台工作、外交工作等方面的

重大部署。在国防和军队建设上，要贯彻习近平强军思想，贯彻新时代军事战略方针，坚持党对人民军队的绝对领导，全面加强人民军队党的建设，全面加强练兵备战，全面加强军事治理，巩固提高一体化国家战略体系和能力，如期实现建军一百年奋斗目标，加快把人民军队建成世界一流军队。在港澳台工作上，要坚持和完善“一国两制”制度体系，落实中央全面管治权，落实“爱国者治港”、“爱国者治澳”原则，落实特别行政区维护国家安全的法律制度和执行机制，支持香港、澳门发展经济、改善民生、破解经济社会发展中的深层次矛盾和问题，发展壮大爱国爱港爱澳力量；坚持贯彻新时代党解决台湾问题的总体方略，牢牢把握两岸关系主导权和主动权，坚持一个中国原则和“九二共识”，团结广大台湾同胞共同推动两岸关系和平发展、推进祖国和平统一进程，坚定反“独”促统。在外交工作上，要始终坚持维护世界和平、促进共同发展的外交政策宗旨，致力于推动构建人类命运共同体，坚定奉行独立自主的和平外交政策，坚持在和平共处五项原则基础上同各国发展友好合作，坚持对外开放的基本国策，积极参与全球治理体系改革和建设，弘扬全人类共同价值。

#### 9. 深刻领会坚持党的全面领

导和全面从严治党的重大部署。全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴，关键在党。我们党作为世界上最大的马克思主义执政党，要始终赢得人民拥护、巩固长期执政地位，必须时刻保持解决大党独有难题的清醒和坚定。经过党的十八大以来全面从严治党，我们解决了党内许多突出问题，但党面临的执政考验、改革开放考验、市场经济考验、外部环境考验将长期存在，精神懈怠危险、能力不足危险、脱离群众危险、消极腐败危险将长期存在。全党必须牢记，全面从严治党永远在路上，党的自我革命永远在路上，决不能有松劲歇脚、疲劳厌战的情绪，必须持之以恒推进全面从严治党，深入推进新时代党的建设新的伟大工程，以党的自我革命引领社会革命。要落实新时代党的建设总要求，健全全面从严治党体系，坚持和加强党中央集中统一领导，坚持不懈用习近平新时代中国特色社会主义思想凝心铸魂，完善党的自我革命制度规范体系，建设堪当民族复兴重任的高素质干部队伍，增强党组织政治功能和组织功能，坚持以严的基调强化正风肃纪，坚决打赢反腐败斗争攻坚战持久战，全面推进党的自我净化、自我完善、自我革新、自我提高，使我们党坚守初心使命，始终成为中国特色社会主义

事业的坚强领导核心。

### 三、认真做好党的二十大精神的学习宣传

学习宣传党的二十大精神，既要整体把握、全面系统，又要突出重点、抓住关键。要把着力点聚焦到习近平总书记是党中央的核心、全党的核心，习近平新时代中国特色社会主义思想是党必须长期坚持的指导思想上；聚焦到党的十九大以来的重大成就和新时代 10 年的伟大变革上；聚焦到把握好马克思主义中国化时代化最新成果的世界观和方法论，坚持好、运用好贯穿其中的立场观点方法上；聚焦到中国式现代化在理论和实践的创新突破上；聚焦到贯彻落实党的二十大精神作出的重大决策部署上；聚焦到以习近平同志为核心的新一届中央领导集体是深受全党全国各族人民拥护和信赖的领导集体上；聚焦到习近平总书记是全党拥护、人民爱戴、当之无愧的党的领袖上。

1. 切实抓好学习培训。紧密结合党中央即将在全党开展的主题教育，面向全体党员开展多形式、分层次、全覆盖的全员培训，组织广大党员干部认真学习党的二十大精神。党中央将举办新进中央委员会的委员、候补委员学习贯彻党的二十大精神研讨班。各级党委（党组）理论学习中心组要把学习党的二十大精神作为

重点内容，制定系统学习计划，列出专题进行研讨。各地区各部门要举办培训班、学习班，集中一段时间对全国县处级以上党员领导干部进行集中轮训，分期分批对党员干部进行系统培训。基层党组织要采取多种形式，组织广大党员干部认真学习党的二十大精神。要把学习党的二十大精神作为党校（行政学院）、干部学院教育培训的必修课，作为学校思想政治教育和课堂教学的重要内容，组织开展对相关教材修订工作，推动党的二十大精神进教材、进课堂、进头脑。在学习培训中，要运用好《党的二十大报告辅导读本》、《党的二十大报告学习辅导百问》等辅导材料。

2. 集中开展宣讲活动。从现在起到明年年初，在全国范围内集中开展党的二十大精神宣讲活动。党中央将组织学习贯彻党的二十大精神中央宣讲团，赴各省区市开展宣讲。各地要参照这一做法，抽调骨干力量组成宣讲团，深入企业、农村、机关、校园、社区进行宣讲。坚持领导带头，中央政治局同志和各省区市、中央各部门主要负责同志在所在地方、分管领域亲自宣讲，各级党政军群主要负责同志带头宣讲，以实际行动带动广大党员干部群众的学习。开展面向党外人士的宣讲工作，增进党外人士对党的二十大精神的认识认同。要着力

增强宣讲的说服力、亲和力和针对性、有效性，紧密联系广大党员干部群众思想和工作实际，把党的二十大精神讲清楚、讲明白，让老百姓听得懂、能领会、可落实。

3. 精心组织新闻宣传。各级党报、党刊、电台、电视台要精心策划、集中报道，大力宣传党的二十大精神，宣传全党全社会对党的二十大热烈反响和积极评价，宣传各地区各部门学习贯彻党的二十大精神的具体举措和实际行动。要充分利用各种宣传形式和手段，采取人民群众喜闻乐见的形式，使宣传报道更接地气、更动人心，引导广大党员干部群众坚定信心、同心同德，埋头苦干、奋勇前进。要积极开展网络宣传，把网络传播平台作为党的二十大精神宣传的重要阵地，坚持分众化、差异化、精准化，开设网上专题专栏，制作推出新媒体产品，开展网上访谈互动，在网络宣传上展现新面貌、新作为，推动形成网上正面舆论强势。要精心组织对外宣传，多渠道宣介党的二十大精神，宣介我国推动经济社会发展的重大举措，充分反映国际社会的积极评价，生动展示我们党和国家的良好形象。

4. 深入开展研究阐释。围绕党的二十大精神，确定一批重大研究选题，组织专家学者深入研究，撰写刊发一批有分量的理

论文章。组织召开系列理论研讨会，交流研究成果，深化思想认识。中央主要媒体要通过推出权威访谈、开设专栏等形式，从不同角度撰写推出相关文章，分析背景、提取要点，进一步延伸阐释深度和广度，各省区市主要报刊理论专版、专刊同步开设相关专栏。针对广大党员干部群众关注的热点问题，各媒体要主动邀请有关部门负责同志，进行深入解读，加强正面引导，回应关切。针对思想理论领域可能出现的模糊认识和错误观点，要组织专家学者撰写重点理论文章和短文短评，及时进行辨析澄清。

#### 四、坚持知行合一，贯彻落实好党的二十大精神作出的重大决策部署

学习宣传贯彻党的二十大精神，要立足我国改革发展、党的建设实际，坚持学思用贯通、知行统一，把党的二十大精神落实到经济社会发展各方面，体现到做好今年各项工作和安排好今后工作之中。

1. 坚决做到“两个维护”。学习宣传贯彻党的二十大精神，要推动全党深刻领悟“两个确立”的决定性意义，增强“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”，以实际行动践行对党忠诚。要健全总揽全局、协调各方的党的领导制度体系，完善

党中央重大决策部署落实机制，确保全党在政治立场、政治方向、政治原则、政治道路上同党中央保持高度一致，确保党的团结统一。要加强党的政治建设，严明政治纪律和政治规矩，落实各级党委（党组）主体责任，提高各级党组织和党员干部政治判断力、政治领悟力、政治执行力。

2. 切实推动改革发展稳定。要把党的二十大精神转化为指导实践、推动工作的强大力量，统筹推进“五位一体”总体布局、协调推进“四个全面”战略布局，紧紧抓住解决不平衡不充分的发展问题，着力在补短板、强弱项、固底板、扬优势上下功夫，推动经济社会持续健康发展。要坚持在发展中保障和改善民生，着力解决好人民群众急难愁盼问题，完善社会治理体系，畅通和规范群众诉求表达、利益协调、权益保障通道，及时把矛盾纠纷化解在基层、化解在萌芽状态。要切实做好新冠肺炎疫情防控工作，落实党中央“疫情要防住、经济要稳住、发展要安全”的明确要求，坚决筑牢疫情防控屏障，最大限度保护人民生命安全和身体健康。

3. 防范化解风险挑战。当前，世界百年未有之大变局加速演进，世界之变、时代之变、历史之变正以前所未有的方式展开，这是改革开放以来从未遇到过的，给

我国的现代化建设提出了一系列新课题新挑战，直接考验我们的斗争勇气、战略能力、应对水平。要保持时时放心不下的精神状态和责任担当，始终做好应对最坏情况的准备，不信邪、不怕鬼、不怕压，知难而进、迎难而上，统筹发展和安全，全力战胜前进道路上各种困难和挑战。要加强斗争精神和斗争本领养成，着力增强防风险、迎挑战、抗打压能力，主动识变应变求变，主动防范化解风险，依靠顽强斗争打开事业发展新天地。

4. 坚定不移全面从严治党。要推动全面从严治党向纵深发展，保持战略定力，始终绷紧从严从紧这根弦，不断解决党内存在的突出矛盾和深层次问题。要全面加强党的思想建设，坚持用习近平新时代中国特色社会主义思想统一思想、统一意志、统一行动，组织实施党的创新理论学习教育计划，建设马克思主义学习型政党。要坚持全心全意为人民服务的根本宗旨，树牢群众观点，贯彻群众路线，尊重人民首创精神，坚持一切为了人民、一切依靠人民，始终保持同人民群众的血肉联系，始终接受人民批评和监督，始终同人民同呼吸、共命运、心连心。要加强实践锻炼、专业训练，注重在重大斗争中磨砺干部，增强干部推动高质量发展本领、服务群众本领、防范化解风险本

领，牢牢把握工作主动权。

## 五、切实加强组织领导

学习宣传贯彻党的二十大精神，是当前和今后一个时期全党全国的首要政治任务。各级党委（党组）要把学习宣传贯彻党的二十大精神摆上重要议事日程，切实加强组织领导。

1. 切实负起领导责任。各级党委（党组）要提高政治站位，按照党中央部署，结合本地区本部门实际，作出专题部署，提出具体要求，着力抓好落实，迅速兴起学习宣传贯彻党的二十大精神的热潮。各级组织、宣传部门和其他有关部门，要在党委（党组）统一领导下，密切配合。组织部门要把学习宣传贯彻党的二十大精神与干部教育培训工作、加强领导班子建设和基层党组织建设结合起来。宣传部门要扎实做好党的二十大精神宣传工作，营造学习贯彻党的二十大精神的浓厚氛围。工会、共青团、妇联等群团组织要充分发挥自身优势，开展各具特色的学习教育活动。要加强工作指导，加强督促检查，及时发现解决存在的问题。

2. 牢牢把握正确导向。要坚持团结稳定鼓劲、正面宣传为主，弘扬主旋律、传播正能量，巩固壮大主流思想舆论，着力用党的二十大精神统一思想、凝聚力量。要严格按照党中央精神全面准确

开展宣传，把准方向、把牢导向，牢牢把握宣传引导的主导权、话语权。要加强对热点敏感问题的阐释引导，全面客观、严谨稳妥，解疑释惑、疏导情绪，最大限度凝聚社会共识。要落实意识形态工作责任制，按照谁主管谁负责和属地管理原则，切实加强对各类宣传文化阵地的管理，防止错误思想言论和有害信息传播。

3. 着力提升实际效果。要坚持贴近实际、尊重规律，紧密联系广大党员干部群众的新期待，努力增强学习宣传贯彻党的二十大精神的影响力感染力和针对性实效性。要创新形式载体，丰富方法手段，善于运用群众乐于参与、便于参与的方式，采取富有时代特色、体现实践要求的方法，在拓展广度深度上下功夫，使学习宣传既有章法、见力度，更重质量、强效果。要充分运用新技术新应用，强化互动化传播、沉浸式体验，努力扩大工作的覆盖面和影响力，让正能量产生大流量。

各地区各部门要及时将学习宣传贯彻党的二十大精神的情况报告党中央。○

来源：新华网

## 张玉卓：弘扬新时代科学家精神 激荡建设世界重要人才中心和创新高地的源头活水

2021年9月，在中央人才工作会议上，习近平总书记明确提出，要深入实施新时代人才强国战略，加快建设世界重要人才中心和创新高地。世界重要人才中心和创新高地的形成和转移，昭示着科学技术与经济社会发展的长周期规律，凸显着思想解放和体制机制创新对先进文化孕育兴起的极端重要性。当前，全球新一轮科技革命和产业变革加速演进，对我们来说是极为难得的历史机遇。科技是国家强盛之基，强国之路的动力在于科技的全面崛起。我们必须把握战略主动，以史为鉴，从中华文明中汲取历史自信，从党的百年奋斗中传承自我革命的精神，不断弘扬科学家精神，为人才创新创造提供强大的精神引领和思想保证，努力创造人类科技文明繁荣发展的中国贡献。

### 一、成为世界重要人才中心和创新高地，是实现高水平科技自立自强的时代标识

马克思把科学首先看成是历

史的有力杠杆、最高意义上的革命力量。对于中华民族创造的闻名于世的科技成果之一，他深刻指出，印刷术“变成科学复兴的手段，变成对精神发展创造必要前提的最强大的杠杆”。近代以来，每一次科技浪潮的兴起，都极大地推动了经济发展和社会进步；每一次科技革命的发生，都孕育催生了一批新兴强国。当前，新一轮科技革命和产业变革重塑世界创新资源配置格局，世界重要人才中心和创新高地形成的基础动力发生深刻变化。

#### （一）世界重要人才中心和创新高地深刻影响强国进程

近代科学诞生以来，几乎每隔一个世纪就会出现一个“世界性意义”的人才中心和创新高地。16世纪，意大利文艺复兴达至高峰，率先开辟近代科学之路。17世纪，英国“光荣革命”确立君主立宪，倡导自然科学，为近代科学发展扫除封建思想障碍。18世纪，启蒙运动的浪潮引动法国大革命，让法国科技一骑绝尘。19世纪，德国通过教育改革带动

近代本国科学兴起，仅用 40 多年就成为欧洲头号工业强国。20 世纪，美国吸纳大量欧洲科学家和思想家，在二战后引领全球科技并成为超级大国。哥白尼、伽利略，牛顿、波义耳，拉格朗日、拉瓦锡，爱因斯坦、普朗克，费米、冯·诺依曼、贝尔等科技巨擘，塑造了国家崛起的驱动器，创造了世界科技文明新高度。世界重要人才中心和创新高地的地理转移见证了国家综合国力消长和强国崛起，其蕴含的内驱动力和底层逻辑给人以深刻启示。从科学繁荣和技术进步维度看，科学因自身及相互的批判而进步，其蓬勃发展首先得益于聚集杰出人才，以优质的创新生态激励其内在的巨大创造活力，并不断扎根于深厚的公众科学素质沃土，以链式反应带来科学思想、创新成果的持续涌现。

### （二）新一轮科技革命和产业变革新赛场孕育全球创新经济地理新形态

新一轮科技革命和产业变革步入蓬勃兴起的朝阳期，与新一轮全球产业分工调整叠加，形成对创新秩序和板块的巨大震荡，突出表现为工业化、信息化的充分发展，人类社会迎来“人机物”三元融合的万物互联时代。新的科研范式前所未有地加速着知识创造，从时间、空间、认知上塑造人类对未知疆域的广阔探

索。跨学科领域交叉融合、集成创新的广度深度前所未有，“跨界、抱团式”创新突破成为主要形态。数字技术有力促进全球范围内思想交流、知识共享和技术合作，科学技术和经济社会加速融合、一体化发展，深刻改变着生产、交换过程和人才、技术、资本等生产要素的流动、配置、集聚。产学研多主体互动、跨领域协同的“结构式创新”为全球化注入新的动力。在百舸争流的创新版图中，把握新赛场主动权的领跑者将率先形成人才中心和创新高地，屹立于世界民族之林。

### （三）建设世界重要人才中心和创新高地是中国特色创新发展道路的历史选择

科技自立自强集中体现了中国道路百年奋斗历程的实践逻辑和历史逻辑。从自力更生、自主创新到自立自强，党领导科技发展所开创的中国道路，始终坚持以人民为中心，以人才为第一资源，以不断解放和发展第一生产力使国家发展紧跟时代步伐，实现科技实力从量的积累迈向质的飞跃、从点的突破迈向系统能力提升，打造了一支大有可为也大有作为的科技人才队伍，为中国发展不断跨越雄关漫道提供了不竭动力。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央立足复杂多变的国际环境，以发展为第一要务，把创新摆在现代化建设

全局中的核心地位，面向世界、面向未来，以建设世界重要人才中心和创新高地的历史担当，为世界科技发展不断注入中国动力。我们必须紧握创新这一发展的根本之钥，深刻领会习近平总书记关于科技创新的重要论述精神，以卧薪尝胆的奋发姿态和“十年磨一剑”的必胜信念，把握百年未有之大变局，推进中国现代化巨轮迎着新一轮科技革命和产业变革的浪潮奋力前行，以新的伟大成就为国家发展和民族复兴赢得主动、赢得优势、赢得未来，不断开辟中国道路和人类文明发展的蓬勃生机和灿烂前景。

## 二、把握创新发展规律和人才成长规律，增强驾驭时代变革的历史主动

建设世界重要人才中心和创新高地，是推动我国从科技大国向科技强国迈进，实现中华民族伟大复兴的关键所在。近代以来，人类社会的文明进步和国家兴衰与科技发展的关联程度超出之前任何时期。由于各种原因，我国多次与科技革命失之交臂，留下深刻教训。直到中国共产党登上政治舞台，终于将民族复兴和科技发展的使命系于一身，培养人才、团结人才、引领人才、成就人才，开启了中国与世界科技革命结缘的新历史篇章。党带领人民的百年奋斗，奠定了我国建设

世界重要人才中心和创新高地的深厚基础；中国特色自主创新道路的不断开拓，更深化了我们对创新发展规律和人才成长规律的认识，为我们在复杂变局中提高战略谋划能力，提供了系统观和方法论。

### （一）强化世界重要人才中心和创新高地建设的国家自信

科技兴则民族兴、科技强则国家强。习近平总书记立足当代科技革命前沿，以历史纵深和全球视野，深刻把握这一执政兴国的发展规律，强调发展是第一要务，人才是第一资源，创新是第一动力，要把创新摆在国家发展全局的核心位置。“三个第一、一个核心”的战略论断深化了科技是第一生产力的思想，把人才、创新在国家发展全局中的位置提升到了前所未有的战略高度，科学阐释了形成世界重要人才中心和创新高地所必须牢牢把握的最活跃、最革命的关键要素和依靠力量。这一国家战略意志的宣示，必将最广泛地动员起一切有生力量投入到这一历史进程中，向着目标的最后达成不懈奋斗。

### （二）强化创新主体的系统动员

习近平总书记多次指出以系统观念推动发展的重要性，强调要遵循创新发展规律，完善符合科技创新规律的资源配置方式，强化科技创新策源功能，做好体

系化技术布局，构建富有吸引力的创新生态系统，激发科技人员积极性；指出科学技术在广泛交叉和深度融合中不断创新，要抓系统布局、系统组织、跨界集成，为我们把握协同创新这一现代科技创新方法论，更有针对性进行科技创新系统布局和科技创新平台的系统安排提供了指南。建设世界重要人才中心和创新高地，根本是要形成各主体、各方面、各环节有机互动、协同高效的国家创新体系，最大限度解放和激发第一生产力和第一资源的活力潜能。习近平总书记关于尊重科技创新的区域集聚规律，因地制宜探索差异化的创新发展路径，加快打造具有全球影响力的科技创新中心，建设若干具有强大带动力的创新型城市和区域创新中心的重要论述，形成了系统动员、科学布局的路线图。

### （三）强化人才发展观的全面落实

习近平总书记在中央人才工作会议上提出“八个坚持”，进一步深化了我们党对人才事业发展的规律性认识，形成了科学的人才发展观，为我们把握建设世界重要人才中心和创新高地的主要矛盾和矛盾的主要方面提供了指南。习近平总书记多次指出，要尊重人才成长规律和科研活动自身规律，建立适应科技创新要求、符合科技创新规律的人才管

理制度，解决人才队伍结构性矛盾，建立健全以创新能力、质量、贡献为导向的科技人才评价体系，优化人才政策，营造有利于创新创业的政策环境，构建有效的引才育才机制，培养造就一大批具有国际水平的战略科技人才、科技领军人才、青年科技人才和创新团队。习近平总书记强调，要高度重视青年科技人才成长，使他们成为科技创新主力军；甘做提携后学的铺路石和领路人，大力破除论资排辈、圈子文化，鼓励年轻人大胆创新、勇于创新，让青年才俊像泉水一样奔涌而出。这些重要论述为我们认识规律、尊重规律、按规律办事，营造“不拘一格降人才”“非常之人”喷薄而出和群贤毕至“济济多士”的繁荣局面指明了方向。

### （四）强化人才工作的精神引领和思想保证

习近平总书记多次指出，科学成就离不开精神支撑，新时代更需要继续发扬以爱国主义为底色的科学家精神，要把科技成果应用在实现国家现代化的伟大事业中，把人生理想融入为实现中华民族伟大复兴的中国梦的奋斗中。习近平总书记殷切勉励广大科技工作者，要树立敢于创造的雄心壮志，敢于提出新理论、开辟新领域、探索新路径，在独创新独有上下功夫，以科技界的良好风尚引领全社会自觉践行社会主

义核心价值观。习近平总书记强调，要更加重视科学精神、创新能力、批判性思维的培养培育，在全社会营造鼓励大胆创新、勇于创新、包容创新的良好氛围。这些重要论述为我们深刻把握科学家精神这一国家创新系统的灵魂和动力之源，引领创新人才适应科技变革潮流，把握大势、抢占先机，不断夯实思想文化基础指明了方向。

### （五）强化开放、信任、合作的创新交流理念

创新不问“出身”。习近平总书记多次指出，发展科学技术必须树立全球视野，要增进对国际科技界的开放、信任、合作，塑造科技向善的文化理念，在开放合作中提升自身科技创新能力，让中国科技为推动构建人类命运共同体作出更大贡献。习近平总书记紧紧把握创新资源全球配置这一生产力发展的客观要求和科技进步的必然结果，强调中国发展需要世界人才的参与，中国发展也为世界人才提供机遇，必须实行更加积极、更加开放、更加有效的人才引进政策，用好全球创新资源，面向世界汇聚一流人才，精准引进急需紧缺人才，构筑集聚全球优秀人才的科研创新高地，形成具有吸引力和国际竞争力的人才制度体系，让各类人才的创造活力竞相迸发、聪明才智充分涌流，形成天下英才聚神

州、万类霜天竞自由的创新局面，加快建设世界重要人才中心和创新高地。

## 三、以科学家精神引领科技工作者积极投身世界重要人才中心和创新高地建设

习近平总书记指出，坚持弘扬科学家精神是做好人才工作的精神引领和思想保证。科学家精神传承了中华文化的“人和”“自强不息”“无信不立”“学贵知疑”等优秀文化基因，在兼收并蓄中汲取世界科学文明的养分，于百年来中华民族的奋起中砥砺昂扬斗志和追梦动力，立体呈现了当代中国科学家创新报国的精神风貌。作为中国共产党人精神谱系的有机组成，爱国、创新、求实、奉献、协同、育人的科学家精神，为中华民族的伟大精神殿堂增添了生动的时代观照，在与伟大时代精神同频共振、相互激荡中，必将进一步感召和激励当代科技工作者在建设世界重要人才中心和创新高地中续写科技报国为民的历史荣光。

### （一）激发家国情怀，增强建设世界重要人才中心和创新高地的历史使命感

爱国是科学家精神的底色，是对新时代人才的第一位要求。实现中华民族伟大复兴是近代以来中华民族最伟大的梦想，牵引着中国科学家的理想信念与现实

选择。个人的梦想只有和国家民族的命运紧紧融在一起，才能焕发惊人的力量、激发不竭的动力。把爱国济民的信念和情怀、进取超越的精神和执着，作为一种进步和昂扬的力量注入中国现代社会，必将激励全社会每一名奋进者，时刻从伟大事业中确定方向和目标，使人生的每一步，因为融入国家发展大局并为之不懈努力，而获得战胜任何困难和阻力的动力源泉，自觉把人生理想融入为实现中华民族伟大复兴的中国梦的奋斗中。

### （二）坚定创新自信，在持续攀登中创造中国科技新高峰

变革时代，勇者胜。科学的征程如星辰大海，向创新“无人区”的不断挺进，激发着创新勇士们不止步于“高原”的斗志。要支持和鼓励广大科技工作者坚持从世界看中国，紧跟世界科技发展大势，不断向科学技术广度和深度进军，以“敢为天下先”的胆略跳出“跟踪模仿陷阱”，远离“鄙秦贬汉笑钟王，越唐迈宋压苏黄”的学术江湖，树立并保持永不止步的进取意识和开创精神，激发并保持永不满足的求知欲和创造欲，培养并保持永远昂扬的自立精神和奋进姿态，敢于逆势而上，敢与国际同行分伯仲、比高下，在坚持“四个面向”中创新创造，推动中国科技贡献向规律级、体系级、科学级迈进。

### （三）坚持求真求实，坚守科研诚信和伦理底线

求实是科学家精神的核心，一切科学成果都是实事求是的产物。要牢牢坚持唯实求是，树立有信仰有敬畏的科研诚信，尊重事实、崇尚理性，在名利浮躁面前不为所动。坚决防止弄虚作假、浮夸的风气在科研领域滋生蔓延，以对国家和人民高度负责的意识，追求真理、勇闯创新“无人区”。要深刻把握科技的社会功能发展规律，前瞻研判科技发展带来的规则冲突、社会风险、伦理挑战，开展负责任的科研，确保科技向善，始终服务人的全面发展。

### （四）弘扬坚守志业、心怀“国之大者”的奉献境界

人民的需要和呼唤，是科技创新的时代声音。奉献从来是最可贵的品质。马克思曾讲到，“科学绝不是一种自私自利的享乐。有幸能够致力于科学研究的人，首先应该拿自己的学识为人类服务”。广大科技工作者要为人民创新、为人民创造，把惠民、利民、富民、改善民生作为科技创新的重要方向，围绕关键领域实现自主可控、提高产业链供应链稳定性和现代化水平，把国家发展蕴含的科研创新呼唤作为强大牵引，把社会主义现代化国家建设的巨

大场景和潜能转化为科技创新、产业创新的新优势，把满足人民对美好生活的向往作为科技创新的落脚点，找真问题、从实处突破，服务社会、忘我献身，勇做胸怀人民、把高水平论文写在祖国大地上的先锋。

### （五）广泛协同交叉，在融通创新中形成集智攻关的强大合力

新一轮科技革命和产业变革的系统性、跨界性、结构性对协同合作提出了前所未有的更高要求。必须以更广阔的视野加强协同，形成集智攻关的强大合力，接好创新和转化的接力棒，实现个性表达和团队协作的和谐，积极构建跨组织跨部门跨学科领域协同、产学研协同、国家战略科技力量协同、跨区域协同等创新协同网络，秉持开放、信任、合作理念，主动创造、构建、引领科技创新对我国发展的新机遇，打通从科技强到产业强、经济强、国家强的通道。

### （六）肩负“甘当人梯”这一科学家面向未来的使命

拥有一大批创新型青年人才，是国家创新活力之所在，也是科技发展希望之所在。要鼓励广大科学家以师长之风甘为人梯、奖掖后学，既做科技前沿的开拓者，又做提携后学的奉献者，大力托举青年人才成长，鼓励更多的后

来者站在自己的肩膀上不断超越，当好青年人才脱颖而出的“开路小工”。要在全社会积极用当代创新文化滋养青年，助力青年树立永不言弃的探索精神、培养创新思维，充分激发他们勇于创造一流的激情和荣誉感，努力让我国科技界的优良学风和精神气质薪火相传，形成对全球人才具有强大磁力的优良创新生态，在新时代创新赛场上不断展现强大生机和活力。爱国、创新、求实、奉献、协同、育人，是推动发展的精神动力，也是改革创新的方法论，搭建着人才成长的阶梯，夯实着国家强盛的路径。人类社会以不断推进人的解放和自由全面发展构筑前行方向，民族的自信源于其全体参与者朝着真理的共同信念协力前行。踏上新征程，我们将牢记习近平总书记嘱托，以与时俱进的精神、革故鼎新的勇气、坚忍不拔的定力，逢山开路、遇水架桥，肩负起时代赋予的重任，深入实施新时代人才强国战略和创新驱动发展战略，努力建设世界重要人才中心和创新高地，推动习近平新时代中国特色社会主义思想在世界文明发展进程中再结硕果。○

来源：《习近平经济思想研究》

# 关于开展科技人才评价改革试点的工作方案

为深入贯彻党的十九届五中全会关于健全科技人才评价体系的重要部署和中央人才工作会议精神，按照中央全面深化改革委员会关于开展科技人才评价改革试点的工作安排，针对人才评价“破四唯”后“立新标”不到位、评价方式创新不到位、资源配置评价改革不到位、用人单位评价制度建设不到位等突出问题，制定开展科技人才评价改革试点工作方案如下。

## 一、总体思路

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面落实党的十九大和十九届历次全会精神，认真贯彻落实习近平总书记关于做好新时代人才工作的重要思想和关于科技创新的重要论述，聚焦“四个面向”，围绕国家科技任务用好用活人才，创新科技人才评价机制，以激发科技人才创新活力为目标，以“评什么、谁来评、怎么评、怎么用”为着力点，以“破四唯”和“立新标”为突破口，以深化改革和政策协同为保障，按照创新活动类型构建以创新价值、能力、贡献为导向的

科技人才评价体系，引导各类科技人才人尽其才、才尽其用、用有所成，为实现高水平科技自立自强和建设世界科技强国提供有力人才支撑。

基本原则：

——坚持问题导向。在重大科技任务、重大创新基地建设等国家重大创新活动中推动人才评价改革落地见效，着力克服“唯论文、唯职称、唯学历、唯奖项”倾向，重点解决好科技人才评价改革落实难等问题。

——坚持分类推进。探索科技人才在承担国家重大科技任务、基础研究、应用研究和技术开发、社会公益研究等创新活动中的评价指标和评价方式，科学客观公正评价人才，形成可推广的经验做法。

——坚持使用牵引。突出国家目标和使命导向，发挥激励作用，坚持谁使用谁评价，以用定评、评用相适，科学使用评价结果，合理衔接科技人才激励，引导各类科研人员服务国家、潜心研究、履职尽责、作出贡献。

——坚持协同实施。加强部门协同和地方联动，充分集成科

技成果评价、科研经费管理、科研相关自主权等现有改革试点政策，在科技人才发现、培养、使用、激励等方面形成改革合力。

试点单位和地方：选择建有国家科技创新基地、承担国家科技任务多、示范效应较好、有较好人才评价基础的科研院所、高等学校或高等学校附属机构，以及科研人员数量较多的农业、卫生健康、水利、工业和信息化等行业领域科研院所，分类开展科技人才评价改革试点工作。同时，选择科研单位相对集中、承担国家任务较多、具备较好基础的部分省市，开展科技人才评价改革综合试点工作。试点单位应具有独立法人资格。

试点期限：2年（自试点实施方案批复之日起）。

## 二、试点任务

坚持德才兼备，把品德作为科技人才评价的首要内容，在加强对科技人才科学精神、学术道德等评价的基础上，按照承担国家重大攻关任务的人才评价以及基础研究类、应用研究和技术开发类、社会公益研究类的人才评

价,从构建符合科研活动特点的评价指标、创新评价方式、完善用人单位内部制度建设等方面提出试点任务,推动人才评价体系更加完善,形成可操作可复制可推广的有效做法。

### (一) 承担国家重大攻关任务的人才评价

1. 突出支撑国家重大战略需求导向,建立体现支撑国家安全、突破关键核心技术、解决经济社会发展重大问题的实际贡献和创新价值的评价指标,重点评价国家重大科研任务完成情况。

2. 完善科研任务用户导向的评价方式,充分听取任务委托方、成果采用方意见。注重个人评价与团队评价相结合。

3. 对承担“卡脖子”国家重大攻关任务、国家重大科技基础设施建设任务等并作出重要贡献的科研人员,在岗位聘用、职称评审、绩效考核等方面,加大倾斜支持力度。

### (二) 基础研究类人才评价

1. 实行以原创成果和高质量论文为标志的代表作评价,建立体现重大原创性贡献、国家战略需求以及学科特点、学术影响力和研究能力等的人才评价指标。破除“唯论文”数量倾向,不把论文数量、影响因子高低等相关指标作为量化考核评价指标,鼓励科研人员把高质量论文更多发表在国内科技期刊上。

2. 按照学科特点和任务性质,科学确定评价周期,着力探索低频次、长周期的考核机制。

3. 探索建立同行评价的责任机制,在专家选用、管理和信用记录等方面建立相关制度,规范同行评价的方式和程序、评价意见反馈等行为。探索引入学术团体等第三方评价、国际同行评价等。

4. 建立完善体现基础研究人才评价特点的岗位聘用、职称评审、绩效考核等相关制度,加大对重大科学发现和取得原创性突破的基础研究人员的倾斜支持。

5. 探索由一线科学家举荐优秀青年科技人才担任重要科研岗位、承担“从0到1”基础研究的机制。

### (三) 应用研究和技术开发类人才评价

1. 以技术突破和产业贡献为导向,重点评价技术标准、技术解决方案、高质量专利、成果转化产业化、产学研深度融合成效等代表性成果,建立体现产学研和团队合作、技术创新与集成能力、成果的市场价值和应用实效、对经济社会发展贡献的评价指标。不得以是否发表论文、取得专利多少和申请国家项目经费数量为主要评价指标。

2. 探索构建专家重点评价技术水平、市场评价产业价值相结合,市场、用户、第三方深度参

与的评价方式。

3. 对承担国家科研任务特别是急难险重科研攻关任务、国家重大科技基础设施建设任务等并作出贡献的科研人员,在绩效考核权重方面予以倾斜,引导优秀科研人员投身国家科技任务。

4. 探索设立科技成果转化岗,重点评价科技成果转化成效,建立高水平、专业化的成果转化人才队伍。

### (四) 社会公益研究类人才评价

1. 突出行业特色和岗位特点,重点评价服务公共管理、应对突发事件、保障民生和社会安全等共性关键技术开发、服务的能力与效果,探索建立体现成果应用效益、科技服务满意度和社会效益的评价指标,引导科研人员把论文写在祖国大地上。突出长期在艰苦边远地区、高危岗位、基层一线和从事科研基础性工作科研人员的贡献。不得设立硬性经济效益的评价指标。

2. 完善社会化评价方式,充分听取行业用户和服务对象的意见,注重政府和社会评价。依据不同科研和服务活动类型确定合理评价周期。

3. 对承担和支撑国家科研任务并作出贡献,成果应用实效显著的科研人员,在岗位聘用、职称评审、绩效考核等方面予以倾斜,引导优秀科研人员投身国家

公益事业。

### （五）地方科技人才评价改革综合试点任务

试点地方政府要围绕本地区科技创新任务和人才队伍建设，以“破四唯”、“立新标”为突破口，组织并指导本地区优势科研单位、新型研发机构深化科技人才分类评价改革，大胆创新人才发现、培养、使用、激励机制，发挥政策集成效应，推动人才、项目、基地、资金一体化配置，有效激发科技人才活力，探索形成可推广可复制的地区经验。

## 三、试点保障措施

有关部门和地方要深入落实科技人才评价改革部署，加强对试点单位的指导、服务和政策支持，压实改革主体责任，强化对试点工作的监督，确保试点工作顺利推进。

科技部作为主责单位要肩负起组织推动责任并率先改革，推动落实科研单位自主权，在科技计划项目评审、科研机构绩效评价、科技人才计划评选中破除“四唯”，突出创新价值、能力、贡献导向。完善“首席科学家负责制”、“揭榜挂帅制”、“赛马制”等项目组织实施中的人才评价机制，发现遴选有实力、能攻关、出成果的优秀科技领军人才和创新团队承担重大科技攻关任务。

教育部、工业和信息化部、

水利部、农业农村部、国家卫生健康委、中国科学院等作为试点单位的主管部门，要结合本部门本行业本领域工作贯彻落实人才评价改革要求，完善行业人才评价机制，赋予用人单位评价自主权。组织并指导所属试点单位积极开展评价改革试点工作，把完成国家任务特别是急难险重科研攻关任务、原创性科学发现、重大技术突破、科技成果转化实效、社会公益服务效益等作为试点单位创新绩效评价的重要内容。教育部要在“双一流”建设和学科评估中科学合理设置评价指标，完善“双一流”建设成效评价动态监测和周期评价。工业和信息化部要构建以产业科技创新为导向的人才评价体系，突出支撑国家重点工程、重大技术和装备科技创新，引导科技人才服务制造强国、网络强国建设。水利部要构建以应用创新为导向的科技人才评价体系，突出效益指标，引导人才服务重大工程建设。农业农村部要构建突出服务“三农”的主责主业和业绩贡献的分类评价体系，向长期扎根基层生产一线从事科研和技术推广服务的科研人员倾斜。国家卫生健康委要构建以临床实践为导向的人才评价体系，探索基于病历备案数据的大数据评价方式，引导人才提升医疗卫生技术能力、服务人民健康。中国科学院要探索通过设

置特聘研究岗位制度，精准激励和稳定支持一批核心和骨干人才潜心从事基础前沿交叉原始创新和关键核心技术攻关。

## 四、组织实施

### （一）建立工作机制

在中央人才工作领导小组统筹协调下，科技部会同教育部、工业和信息化部、财政部、水利部、农业农村部、国家卫生健康委、中国科学院等部门联合推进实施试点工作方案，选择试点单位，明确任务分工，协调解决重点问题，督促试点工作落实，开展评估总结和示范推广。

### （二）编制试点实施方案

试点工作方案印发后，相关主管部门组织试点单位结合本行业本单位特点选择试点内容，编制具体实施方案，鼓励全面试点，突出承担国家重大攻关任务的人才评价；地方制定综合改革试点方案，做好系统设计。试点单位实施方案、地方综合改革试点方案报科技部，由科技部商相关部门研究同意后启动实施。

### （三）推进试点实施

试点单位要切实加强党的领导，履行法人主体责任，充分发扬民主，广泛凝聚共识，在调研基础上研究制定试点实施方案，坚持激励与约束并重，切实建立健全各项规章制度，改进完善岗位聘用、职称评审、绩效考核、

表彰奖励等人才评价相关制度，在加强合理激励的同时，加强对科研诚信、勤勉尽责的监督，强化对学术不端、科研违规违纪行为的约束，引导科技人才潜心研究、担当作为，使试点成果更加有利于本单位事业发展、能力提升、环境优化。

科技部和相关部门要做好试点工作统筹协调，做好改革试点的宣传解读，及时跟踪了解试点工作进展，组织开展试点任务进展情况工作交流，及时研究解决试点过程中出现的重要情况和问题，做到边试点、边总结、边提升。试点工作期满后，由科技部会同相关部门、地方对试点工作

完成情况进行评估，总结经验和典型案例，及时宣传推广。

### 开展科技人才评价改革试点单位和地方名单

科研院所（共12家）：

中国科学院上海微系统与信息技术研究所、中国科学院计算技术研究所、中国科学院数学与系统科学研究院、中国科学院物理研究所、中国科学院过程工程研究所、中国科学院大连化学物理研究所。

中国水利水电科学研究院、南京水利科学研究院、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、中国农业科学院农业基因组

研究所、工业和信息化部电子第五研究所、中国医学科学院北京协和医学院。

高等学校或高等学校附属机构（共9家）：

清华大学、北京大学、浙江大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、西南交通大学、江南大学、四川大学华西临床医学院、哈尔滨工业大学。

地方（共6个）：

上海市、山东省、湖北省、四川省、深圳市、南京市。○

来源：中华人民共和国科学技术部

喜报  
X I B A O

### 祝贺学会副秘书长邓方教授、学会工业控制系统信息安全专委会秘书长程鹏教授荣获第十七届“中国青年科技奖”！

11月12日上午，在温州举行的2022世界青年科学家峰会开幕式上，第十七届中国青年科技奖揭晓并举行颁奖仪式。中国自动化学会副秘书长、北京理工大学邓方教授；中国自动化学会工业控制系统信息安全专委会秘书长、浙江大学程鹏教授获奖。



# 国家自然科学基金“十四五”发展规划发布 (附优先发展领域 115 项)

近日,《国家自然科学基金“十四五”发展规划》正式公布规划全文,共计 21 个章节,完整的阐明了国家自然科学基金委十四五期间的发展方向与相关理念,其中值得注意的是,本次规划公布了完整的 115 项“十四五”优先发展领域,这对于近几年的国家自然科学基金申请具有重要意义。

## “十四五”优先发展领域 (115 项)

“十四五”期间,积极布局一批具有前瞻性、战略性的发展方向,鼓励探索和提出新概念、新理论、新方法,促进科研范式变革和学科交叉融合。引导广大科研人员从国家重大需求和世界科学前沿出发,凝练提出并解决科学问题。

### 1. 代数与几何的现代理论

素数分布;丢番图方程;朗兰兹纲领;群与代数的结构;李理论;表示论与同调理论;代数簇的分类与模空间;流形及度量空间的几何与拓扑;计数几何与

数学物理;多复变超越问题;群上调和分析及几何群论;量子 Grothendieck 纲领;粗 Baum-Connes 猜想与粗嵌入理论;Teichmüller 空间理论。

### 2. 现代分析理论及其应用

Morse 理论和指标理论;调和分析及相关问题;Palis 稠密性猜想;动力系统的稳定性、不稳定性与遍历论;复动力系统的双曲猜想与 MLC 局部连通性猜想;Stein 流形及其全纯映照的基本性质与结构;几何、物理和力学中的偏微分方程;概率与随机分析;量子随机积分的分析理论。

### 3. 问题驱动的应用数学前沿理论与方法

物质科学典型问题的数学建模与分析;机理与数据的融合计算;不确定性量化;量子计算理论;数据科学和人工智能中的优化模型、算法设计与分析;组合优化、整数规划及随机优化;复杂高维数据的统计计算、计算复杂性理论、建模与分析;数据推断的真伪性判定理论与方法;平均场系统的分析、控制、微分博

弈及其数值计算;风险资产和金融风险的建模、模拟与分析;约束最优控制问题;信息技术中的数据隐私保护与安全;工业设计制造中的核心数学方法;脑网络与生物建模分析中的关键数学问题。

### 4. 复杂系统动力学机理认知、设计与调控

面向先进运载工具、重大装备等复杂动力学系统,重点研究动力学正问题中的新理论、新方法和新实验,动力学反问题中的建模与辨识、监测与诊断,动力学设计问题中的系统特性和响应设计、拓扑和参数设计,动力学控制问题中的系统模型降阶与验证、新感知与调控方法等。

### 5. 新材料与新结构的力学

面向航空航天、先进制造、新能源等领域对优异力学性能、特殊功能的新材料和新结构的迫切需求,重点研究新材料的本构理论、破坏理论、多尺度力学行为、新实验与计算方法,新结构的力学设计与分析、安全寿命评估、多功能驱动的设计

方法、智能技术相结合的分析方法等。

### 6. 高速流动的理论、方法与控制

面向航空、航天、航海等领域高速流动中力-热-声的多物理过程、多尺度结构的非平衡态湍流等复杂流动，重点研究流动中多因素耦合作用机制，计算模型的建立与复杂现象的复现，湍流多尺度结构演化机理、时空关联理论和模型，高精度计算方法和实验测量技术等。

### 7. 暗物质、暗能量以及星系巡天研究

围绕宇宙的起源和演化前沿科学问题，重点研究暗物质和暗能量的本质，宇宙网络中的星系形成与演化，超大质量黑洞的起源与演化。

### 8. 银河系、恒星、太阳及行星系统的多信使探测及研究

围绕和人类密切相关的银河系演化和日地环境等前沿科学问题，重点研究银河系、恒星的形成和演化，行星的宜居性，日冕加热的机制，太阳磁场的产生、储能及释能的物理机制与太阳活动预报，天体空间位置精确测定、动力学和应用研究，引力波、宇宙线、中微子的天体源和产生机制，为解决银河系演化、引力波、太阳活动预报、行星科学、空间目标探测及导航等重大科学问题提供理论和观测基础。

### 9. 近地小行星动力学特性及监测研究

近地小行星的起源与演化、物质组成与结构、动力学性质、辐射特性；近地小行星编目、轨道监测与预报关键技术；近地小行星撞击风险以及对地球环境影响的评估、主动防御关键技术。

### 10. 面向下一代望远镜的关键技术研究

围绕天文精确观测面临的关键技术问题，重点研究大口径光学/红外望远镜及科学探测技术，射电望远镜及科学探测技术，空间望远镜及科学探测技术，为主导建设国家重大天文观测设施、取得重大天文发现提供技术支撑。

### 11. 量子材料与器件

围绕量子材料制备、物性研究和器件物理中的基础性重大科学前沿问题，重点研究高温超导等强关联体系，非平庸新型拓扑材料，新型磁性、多铁、光电和热电材料，二维材料及其异质结构，复合材料体系、纳米体系和软凝聚态体系等，深入研究新型量子器件物理与技术，发展多体理论与计算方法，为制备新型量子材料、研制新型量子器件提供理论和基础支撑。

### 12. 量子信息和量子精密测量

围绕量子计算、量子通信、量子传感、量子精密测量等重要领域，重点研究量子计算、量子模拟与量子算法，量子通信实用

化技术及其科学基础，量子存储和量子中继，量子导航、量子感知和高灵敏探测，高精度光钟、时频传递的新原理与方法，空域-时域精密谱学及量子态动力学测量技术，为量子科技领域提供人才储备和科技支撑。

### 13. 复杂结构与介质中的电磁场和声场的机理与调控

围绕复杂结构与介质对电磁场和声场的调控这一科学前沿与重大需求，重点研究具有特定时空序构的电磁/声超构材料及超构表面，电磁/声人工体系中的单向操控，拓扑电磁/声学体系，设计多功能、可重构/调谐的新型电磁/声人工器件，为发现电磁场、声场调控新机理，实现新型光、声器件的研制和应用打下物理基础。

### 14. 基本费米子及其相互作用

围绕基本粒子的质量起源和基本性质，依托粒子物理大科学装置，重点研究中微子质量序和质量；中微子振荡中的CP破坏；夸克混合和CP破坏；轻子物理；重味夸克物理；夸克的稀有衰变和新物理；重子数和轻子数破坏过程和作用力统一，推动粒子物理理论的完善和发展，揭示物质最深层结构及其演化规律。

### 15. 强相互作用力的本质

围绕受强相互作用支配的物质层次中展现的各类对称性和复杂现象，重点研究量子色动力学在高能对撞过程的应用；格点量

子场论及计算；手征对称性的自发破缺和恢复研究；极端条件下 QCD 的对称性性质和相结构探索；奇特态和强子谱学；奇特核、奇异核、超重核以及宇宙中元素合成机制；原子核中的对称性及其破缺机制，深入认识强相互作用力的本质，揭示物质质量来源和元素起源。

### 16. 热核聚变中的关键科学问题

围绕热核聚变能源应用需求，面对全新的等离子体状态，重点研究不稳定性及湍流和输运；边界等离子体物理和控制；多束激光等离子体相互作用；粒子能谱的非平衡特征对粒子能量输运等的影响；高能量密度等离子体界面不稳定性；强耦合等离子体的输运和辐射性质；等离子体混合，提高聚变等离子体行为预测和控制能力，为工程发展提供理论支撑。

### 17. 分子功能体系的精确构筑

面向为发展变革性与战略性功能材料提供物质基础的重大需求，系统研究功能分子、团簇与分子聚集体等物质中原子、分子与基元间相互作用的协同与调控机制，厘清多层次结构与功能间的构效关系，重点关注大分子、超分子等的精确构筑、动态演变及其理论模拟，以及具有结构微/纳体系的自下而上构筑策略和跨尺度结构演化，以期高效、低能

耗、可持续地创造具有丰富功能的新物质。

### 18. 非常规条件下的传递、反应及测量

面向物质的精准构筑、功能的可控调节及其结构认知极限需要对测量手段的迫切需求，重点研究在极端、极限、外场调控或受限空间等非常规条件下的物质转化、能量传递及其反应耦合过程，发展具有极限分辨能力的超高时空分辨表征技术与理论，为物质高效合成、认识自然规律和生命过程提供理论指导和实验手段。

### 19. 物质科学的表界面基础

围绕凝聚态物质的表界面生长控制及结构与性能调控等关键问题，重点研究原子/分子在表界面上的吸附、扩散、生长、组装与反应，表界面对称性破缺、缺陷和掺杂以及异质界面构筑对性质影响的微观机制与作用原理，极端条件下材料表界面物性研究，表界面研究的新技术、新理论和新方法，在原子和分子层次上揭示凝聚态物质的表界面结构与性能关系，实现功能体系的理性设计与制备。

### 20. 分子选态与动力学

围绕有关化学反应本质机理与调控、气相与表界面重要化学过程等方面问题，聚焦多原子反应动态学，表界面化学反应动力

学，分子振动激发态、电子激发态及非绝热动力学等方面研究，以期为燃烧化学、大气化学、星际化学、激光化学以及催化等学科提供理论基础和技术支撑。

### 21. 超越传统体系的电化学能源

瞄准储能技术发展需要，重点发展电化学能源体系变革性技术的基础理论、研究方法和器件系统，推动原理创新和工程技术突破。为电化学能源新原理的发现，新材料体系的构建、可再生能源的规模化利用以及化石能源的绿色转化提供理论和技术支撑。

### 22. 新范式下的分子化学工程

面向化工、新材料领域对本质安全化、绿色化、产品高端化发展的重大需求，重点研究纳微流体原位观测和分子模拟新方法，揭示从分子到纳微尺度的传递反应规律及机制，建立跨尺度的分子工程科学理论，指导实现物质精准转化和产品结构可控，构建从分子到工厂的无级放大新范式，突破核心关键技术，为碳达峰碳中和、下一代大数据中心热管理材料、环境治理插层材料、重大疾病治疗药物等提供理论和技术支撑。

### 23. 多功能耦合的化学传感与成像

围绕复杂体系中化学信息的准确获取，重点研究多功能耦合

的化学传感原理、技术和方法，极微弱传感信号的实时、原位和无损信号辨识与解调，极低能量的复合驱动、高灵敏捕获、传输及解调，多参数、多功能和超高灵敏器件的特性及其外界刺激响应的机理，超高时空分辨光谱技术与成像分析，多维谱学原理与技术，活体的原位和实时分析，具有选择性和特异性的高灵敏、多功能诊疗试剂。为复杂体系的成分、结构与性能表征提供新的科学原理和技术支撑。

#### 24. 免疫与神经化学生物学

围绕免疫学中的重大科学问题，重点关注小分子（包括金属离子）介导的免疫调控与干预，为开发原创性的基于小分子的免疫诊疗技术提供支撑。针对神经行为的化学生物学本质以及相关疾病的致病原因，重点关注化学探针和标记技术、原位实时观测技术、结构生物学技术，促进神经性疾病研究。

#### 25. 绿色合成方法与过程

面向我国制造业绿色改造升级的重大需求，着力发展高效绿色合成方法，基于人工智能与自动合成，实现合成方法的智能化、自动化、集成化，开发高效绿色化学及生物转化策略，推动资源的循环利用，推动高端及重要化学品的绿色智能制造和绿色生物制造，以及再生资源化学与循环化学的工业化应用。

#### 26. 能源资源高效转化与利用的化学、化工基础

面向能源资源转化技术绿色、低碳、高效、智能、多元化方向发展的重大需求，重点研究载能化学物质之间的转化、电/光/热/机械能与化学能之间的转换、能源的化学转化机制与理论、能源资源高效转化与利用的化工基础，为引领能源技术革命和资源高效清洁利用提供理论和技术支撑。

#### 27. 环境生态体系中关键化学物质的溯源与安全转化

面向我国生态环境质量改善和绿色发展的重大需求，重点研究重金属及化学污染物等的广域溯源、赋存形态、界面行为、迁移转化、防控治理、健康危害与生态风险，为环境化学污染物常态及应急状态下的精准管控与治理提供理论和技术支撑。

#### 28. 大数据与人工智能在化学、化工中的应用

面向人工智能、大数据领域的快速发展与化学化工学科交叉融合的重大需求，重点研究化学和化工关键基础数据库的构建及机器学习算法的建立与优化，人工智能在功能分子设计、化学反应与测量、以及系统工程等领域的应用，为功能分子设计与合成、材料结构的快速鉴定、化学反应预测、化工过程优化以及人口健康相关领域，提供完备的基础分

子和材料数据库以及高效、智能、专一性强的机器学习算法和化学新认知和新理论。

#### 29. 新材料的化学创制

为满足信息、能源、医学、环境、制造等领域对核心材料和关键技术的需求，重点发展新材料的分子设计与规模制备，全周期可控的材料绿色制备、再生与循环利用的新策略，实现关键材料及相关技术的突破，催生变革性的新产业和新领域。

#### 30. 地球与行星观测的新理论、新技术和新方法

面向地球关键过程或关键组分观测的技术突破与行星探测的科学前沿，重点研究地球与行星物质的物理化学性质和过程的观测技术、实验方法与计算模拟技术；深空、深地、深时、深海和宜居地球探测技术集成；地球科学大数据的分析、同化、融合和共享技术；地球观测和多源数据融合平台构建及关键技术；纳米地球科学与行星地球科学新技术、新方法及相关仪器设备；多尺度、多参数和跨维度综合分析平台；大质量动能撞击小行星动态响应和能量传递规律、近距离核爆对近地小行星的作用机理、非接触式近地小行星引力牵引作用机理及轨道偏移技术，为建立数据—模式驱动的科学研究范式，革新地球系统多圈层定量集成研究手段提供支撑。

### 31. 地球和行星宜居性及演化

围绕地球与行星多圈层系统中物质和能量的耦合演化过程,以及行星宜居环境的形成和演化过程,重点研究宇宙、太阳系起源与演化;日地空间物理与空间大气;行星大气同位素特征及其对宜居性的影响;行星电离层同位素组成与大气逃逸机制;宜居行星物质来源及挥发分演化;行星宜居性演变的关键地质过程制约;地球和行星环境及生命演化;地表环境灾变及其与太阳及行星活动的关系;近地小行星撞击瞬时作用及引发次生灾害、撞击对地球长期影响、进入大气层热力学与动力学过程。为地球与行星科学的发展和提供多学科融通视角,开辟有效的研究途径。

### 32. 地球深部过程与动力学

围绕地球深部物质、结构和运动信息,以及地球内部圈层之间的相互作用机理,重点研究全球及典型区域深部物质、结构和运动特征;地球深部与浅表系统互馈机理与效应;大陆岩石圈流变演化及其资源、灾害效应;地幔柱的起源、结构成份及其环境效应;地球深部过程及演变对资源环境的控制机制;板块俯冲起始的关键条件和驱动力;俯冲界面岩石圈流变性质与物质变化;板块物质运动的时间与空间轨迹的精确描述技术与方法;地球内/外核的结构与成分;地核的形成

与演化;地球发动机动力学;核幔边界结构与成分,为探索地球深部与表层过程的耦合关系,发现固体地球多尺度运行规律奠定基础。

### 33. 海洋过程与极地环境

围绕海洋多圈层的动力过程、生命、化学过程,特别是深海大洋和极地、陆海交互带对地球系统的调控机制,重点研究海洋动力学及其与生物地球化学、生态过程耦合作用;极地环境快速变化与多圈层相互作用;北极海冰变化与全球气候系统的相互作用;极地冰冻圈快速变化产生的生态环境与重大工程安全;冰盖与冰架热力-动力不稳定性机理;地球南北极与青藏高原气候与环境变化的放大效应机理;深海多圈层物质能量循环及资源效应;高-低纬海洋过程对全球变化的驱动和响应;近海多界面耦合过程;海洋多尺度动力过程与海-气相互作用;深海极端环境下的生命特征、生存极限及适应策略的遗传、生理与生化机制及其结构基础;微生物驱动黑暗深海物质循环、能量流动与生态系统平衡的过程与机制;生命起源及深海生命与地球的协同演化机制;洋-陆边界深部过程及资源效应,为构建海洋多尺度运动理论框架,以及国家陆海统筹、蓝色经济和海洋可持续发展提供科技支撑。

### 34. 地球系统过程与全球变化

围绕地球表层系统各圈层不同时空尺度的演变与运行规律,以及地球系统演变的资源环境效应,重点研究地球多圈层相互作用过程与环境及区域效应;生物与环境协同演化机制;典型地理单元生物地球化学循环与生态、社会和健康效应;地球系统碳转化速率与影响;多尺度气候-水文-土壤-植被耦合机制与模拟;碳循环关键过程对升温 and 大气二氧化碳浓度的敏感性;人类社会排放、土地利用变化和物质循环等对气候系统的反馈;地表系统对生命支撑要素的承载力;气候变化对自然-社会-经济复合系统风险预估与有序适应;海-陆-气相互作用与数值模拟;陆面模式与碳氮循环过程;新一代气候系统与地球系统模式;地球形变与地壳运动、陆海基准、近地空间天气效应及地球内部质量迁移的综合观测与融合分析,为认知地表过程和气候变化与地球生物和人类社会发展的相互作用关系,预测未来的地球表层过程、生物多样性、资源环境及环境变化趋势提供关键科学证据和理论支撑。

### 35. 天气与气候系统与可持续发展

围绕大气中的物理、化学过程,及其与不同圈层的相互作用,发展高精度数值模式,重点研究

大气物理、大气化学过程及相互影响机制；大气能量和物质循环及圈层相互作用对天气气候、大气环境的影响；天文因素对地球气候变化的影响；天气气候、大气环境变化的机制及预报预测理论和技术；气候系统中云和大尺度大气环流及其之间的相互作用；天气气候数据均一化、同化、再分析技术与系统；气候变化与水循环时空变异及机理；天气和气候极端事件与灾害风险形成机制；气候变化的区域响应与适应；气候系统监测平台；大气模式与气候系统，为满足可持续发展需求，增强防灾减灾和应对全球变化能力提供科技支撑。

### 36. 资源能源形成理论及供给潜力

面向实现国家资源安全供给和支撑高质量发展目标，重点研究资源形成与富集机理；深层油气勘探理论与技术；天然气水合物开发理论与技术；地球内部有机-无机相互作用及资源效应；圈层物质循环与成矿；全球典型沉积盆地火山热液、缺氧事件和全球性快速气候变化与富有机质沉积体的关系，在常规油气高效勘探、非常规油气资源“甜点区”预测、战略性紧缺矿产资源富集等方面夯实科技创新的基础。

### 37. 轻质金属材料前沿基础

围绕轻质金属材料强韧化与使役性能综合提高的问题，重点

研究镁合金、铝合金、钛合金等轻质金属材料设计、计算及组织性能调控新技术，原材料成分控制、合金变形机制及塑性加工新理论，腐蚀、摩擦磨损和疲劳等使役行为与防护新机理，为构建轻质金属材料体系化自主研发和保障奠定科学基础。

### 38. 面向 5G/6G 通信的信息功能材料

围绕 5G/6G 通信用关键高性能材料面临的重大需求，优先发展新一代高性能通讯用低损耗电磁介质陶瓷、精密压电、介电、多铁、半导体等新材料，重点研究材料与器件一体化设计新原理、制备新工艺、器件集成及评估新方法，探索新型通讯器件的新概念，如超构、拓扑、突现等，为发展新一代通讯器件提供理论和技术支撑。

### 39. 生物医用高分子材料基础

围绕高端生物医用高分子材料发展面临的问题，重点研究基础生物医用高分子材料，高分子诊断材料，植入介入高分子材料，药用高分子材料，材料的合成新方法，高分子材料与生物活性分子、细胞和组织之间的相互作用，生物医用高分子材料的多功能协同与集成新方法，有效支撑生命健康领域对高分子材料发展的需求。

### 40. 材料多功能集成与器件

### 设计理论基础

面向人工智能、新能源等战略新兴领域对材料多功能集成的重大需求，重点研究材料多功能耦合与集成新原理，功能集成驱动的材料设计新方法，具有奇异功能组合的新概念材料，多尺度、多维度和多自由度相互作用的材料复合体系，为柔性电子、存算一体、精准医疗和极端环境新能源等领域的材料多功能集成与器件设计提供理论和技术支撑。

### 41. 战略性关键金属资源开发利用基础理论

围绕我国战略性关键金属领域面临的资源处理的复杂性难题，重点研究极端/受限环境关键金属矿采矿，低品位资源矿相转化与金属超常富集，共伴生相似元素深度分离，二次资源绿色循环利用，高纯金属制备与材料加工，冶金过程数字化与智能化，海水中战略关键金属资源的分离提取与利用等，建立关键战略金属资源高效开发-高值利用的理论基础与技术体系。

### 42. 低碳能源电力系统与电能高效高质利用理论与技术

围绕碳达峰碳中和战略目标对能源电力系统“源网荷储”全环节低碳化的要求和挑战，重点研究高比例可再生能源电力系统安全稳定运行，规模化高安全电力储能，先进电工材料、器件和装备，电能高效高质转换与变换，

高性能电气计算与数字孪生，综合能源高效利用与能源互联网等新理论、新技术，形成支撑高比例清洁发电和电能利用的基础理论和关键技术体系，助力能源系统深度脱碳。

#### 43. 高性能机电装备设计与制造的科学基础

围绕机电装备功能集成化、性能极端化发展带来的挑战，重点研究复杂机电系统多学科集成，机器人化智能装备基础，核心基础件的高能效、高性能、低噪音和长寿命设计，极端服役环境下装备可靠性与智能运维，精准成形制造，超精密、超高速或超强能场加工，高性能装配与数据驱动的智能制造系统，多维多参数测量与微纳制造，为创新装备制造基础理论和设计方法奠定基础。

#### 44. 高效农机装备设计与理论

围绕作物柔性体和复杂农田环境带来的低可靠性作业问题，重点研究土壤-作物-机器系统互动机制，高效低损作业机构设计理论；探索作业信息快速感知、作业变量有效决策、作业指标精确监测、作业故障精准诊断方法；突破耐磨减阻及高密封性新材料技术，丘陵山区特殊地形适应性作业技术，为农业现代化作业装备提供有效科学支撑。

#### 45. 土木工程基础设施智能化建造、安全服役与功能提升理

### 论基础

围绕土木工程全寿期安全保障与综合性能提升面临的关键问题，重点研究基础设施智能设计建造，高性能材料与结构一体化设计，复杂环境基础设施全寿期性能与韧性提升，既有土木工程结构智能诊断、运维保障与功能提升，高性能土木工程智能化、工业化与绿色化基础理论与关键技术，为国家重大战略基础设施建设提供重要科技支撑。

#### 46. 巨型水网安全基础理论

面向巨型水网灾害风险挑战，重点研究江河中长期水沙演变和预测，巨型水网水文效应与动力学，高效节水和水资源适应性管理理论，水资源空间均衡理论，水工程智能建造与安全服役理论，水灾害风险评估与防控，水生态安全保障理论。探索巨型水网水文-生态-工程-社会耦合机制，形成理论技术体系，为国家水网建设提供基础科学支撑。

#### 47. 城市水循环过程的水质安全保障

围绕水中高风险污染物和传播病原体的控制要求和挑战，围绕城市水系统物质循环与水质变化的耦合过程，重点研究水质安全评价方法和基准制定理论，饮用水的化学、生物与毒性安全及全过程风险控制，污水能源资源转化与多目标循环利用，再生水生态融合、生态循环与水质安

全信息智能管控，为保障水质安全、构建可持续城市水系统奠定基础。

#### 48. 深海与极地工程装备设计和运维基础理论

围绕深海和极地工程装备设计的理论难题，重点研究极端海洋环境演化，多尺度海洋装备动力学、流-固-冰-气耦合、巨系统韧性控制理论，深海与极地动力装备可靠性和水下声学特性，形成海洋开发和探测装备的设计、施工和运维新方法。

#### 49. 新型光学技术

围绕未来光学领域面临的超精密像差控制、超高分辨率探测、极弱信号获取、大容量信息传输等技术挑战，探索新的光干涉、衍射及光谱分析等方法，研究突破光学衍射极限的成像方法，新型纳米光刻光学技术，极端光学检测技术，新型光学材料与核心器件、新型激光技术等，为高端精密仪器、智能装备等产业发展提供关键技术支撑。

#### 50. 光电子器件及集成技术

围绕高速率、低功耗、集成化与智能化光电子器件面临的新问题、新挑战，研究微波光子器件及集成，红外及太赫兹光电子器件，智能光计算与存储器件，光子器件及芯片，异质异构光子集成技术，片上多维光电信息调控技术等，为满足下一代信息技术的发展需求提供有效支撑。

### 51. 宽禁带半导体

围绕宽禁带半导体大失配外延、掺杂与异质集成等难题，研究大尺寸单晶衬底与外延生长，异质结构构筑、集成及物性调控，硅基等异质集成技术，高性能器件制备工艺、模型和可靠性评测方法等，推动核心装备研制，支撑宽禁带半导体器件与系统的发展与应用。

### 52. 电子器件、射频电路关键技术

围绕电子信息系统向空天地海应用拓展带来的新问题，研究极端和复杂应用条件下高性能集成化电子器件、敏感器件以及微波光子器件与系统原理，发展新材料、新架构、新机制的电路、射频模块及天线技术，探索高效电磁计算、电磁波智能调控方法、以及电子信息系统跨越发展新技术，服务国家电子信息产业发展战略。

### 53. 多功能与高效能集成电路

围绕集成电路面临的效能瓶颈及功能融合复杂性等挑战，研究新型逻辑、存储和传感器件，新型计算范式，新材料和跨维度集成技术，以及系统-电路-工艺协同设计、敏捷设计与智能化设计等新工具，研发高端芯片、功能融合芯片及核心装备技术，支撑未来信息系统发展。

### 54. 精准探测与信息融合处理

围绕复杂环境和复杂目标信

息获取与处理的难题，探索多源融合探测成像、多维度稀疏信号处理、智能遥感信息处理与目标识别等新机理、新方法，发展典型环境声信号感知、高维图像及媒体信息等动态协同处理方法，为国家应急响应系统建设及应用拓展提供技术支撑。

### 55. 新型网络及网络安全

为应对网络的可扩展性、时效性和安全性难题，研究多模态智能网络，包括新型的软件定义网络、数据中心网络、云边端融合网络和工业互联网等网络；研究网络安全，涉及新型的量子密码、物联网安全、匿名网络治理、区块链、关键信息基础设施安全和网络内生安全等技术，开展未来网络基础理论研究、底层框架与传输协议相关基础研究，为构筑新一代高效安全可控的网络空间提供支撑。

### 56. 空天地海协同信息网络

围绕空天地海协同信息网络发展需求，研究协同融合网络的信息论基础和通信理论，多尺度、跨媒介信息高速实时可靠传输机制，高移动场景全频谱全覆盖信息网络一体化组网理论与智能管控机理，水下信息感知探测与传输组网基础理论、水下无人装置与水面船舶互联基础理论，服务船联网应用技术研发，有效支撑一体化多业务空天地海信息网络建设及应用。

### 57. 工业信息物理系统

围绕制造过程复杂场景认知、调控和优化决策等难题，研究工业信息物理系统智能构建、信息感知与认知、数字孪生与交互、跨层域协同控制与优化决策、系统安全管控、人机共融风险动态评估与决策等关键技术，有效支撑制造业网络化、智能化发展。

### 58. 安全可信人工智能基础理论

围绕人工智能应用中的安全可信复杂性难题，重点研究大型知识库自动构建、表示与推理等方法，探索自主遂行复杂任务的智能本体理论，建立具备自主学习和进化能力的认知模型，发展通用人工智能算法，支持安全可信人工智能模型验证，有效支撑工业、医疗、公共安全等领域人机混合应用的快速发展。

### 59. 类脑模型与类脑信息处理

为克服构建类脑智能模型等难题，重点研究复杂环境高性能智能视觉传感器及系统技术，对视听感知等生物智能对应脑区的神经网络实现精细模拟，从而构建大脑视觉智能和芯片功能验证方法体系，探索大脑信息处理机理，为类脑自然环境的感知、理解和自主决策奠定理论基础。

### 60. 智能无人系统技术

围绕复杂环境下智能无人系统自主控制、协同、安全等难题，重点研究个体、多体、群系统建

模与多尺度调控等新机制，以及资源受限条件下信息获取、交互与共享，开放环境下态势感知、协同控制与动态博弈，系统本质安全、可信评估与快速自愈等新技术，为实现智能群系统自主协同与安全免疫奠定基础。

### 61. 生物与医学电子信息获取和处理

面向生物电子系统微型化和信息多样化等面临的新挑战，重点研究分子、细胞和生物系统信息融合交互方式，以及光遗传分析等新方法，发展新一代生物电子芯片与微系统技术，形成生物医学传感与影像数据的高灵敏、跨尺度信息检测和处理能力，探索生物信息的本质及演化规律，以及医学信息的新方法、新技术，为提升国民健康水平提供信息技术支撑。

### 62. 生物重要性状与环境适应的进化机制

自然选择、适者生存是进化论的基石和生物学最基本的核心问题，重点研究重要性状起源、进化与人工驯化，全球环境变化对生物重要性状和功能进化的影响，极端环境适应性进化的遗传基础，种间互动关系的进化与协同进化机制，重要类群的基因组系统发育和生命之树重建，物种形成机制等问题，揭示进化规律与机制，为环境变化应对提供理论支撑。

### 63. 病原微生物致病及与宿主互作机制及免疫调节

围绕感染与免疫这一与人民生命健康密切相关的领域，重点研究重要病原微生物的基本生物学特征、变异和溯源，鉴定新发病原微生物，揭示关键致病因子和耐药机制，了解宿主对病原微生物的免疫应答，免疫细胞分化与功能，免疫记忆异质性的分子基础和免疫记忆的形成机制等问题，理解感染性疾病发生机制和免疫机制，为干预策略提供理论基础。

### 64. 细胞命运可塑性与器官发生、衰老和再生的分子基础

围绕再生医学和应对老龄化社会的重大需求，重点研究细胞命运可塑性及发育潜能调控机制，器官发生机制，成体干细胞的鉴定、体外扩增和干性维持，器官再生修复关键功能细胞的鉴定，组织器官稳态维持与衰老机制，类器官和类系统的构建及应用，细胞命运操控等问题，为干细胞治疗、在体修复、器官再造提供理论依据和方法策略。

### 65. 机体功能活动的生物信息流

生物信息流是生命存在的基本特征和生物学的前沿科学问题，重点研究基因的结构、功能、变异、传递和表达规律，核酸修饰与调控，染色质装配及高级结构，表观遗传信息的建立与继承，发

育与衰老相关的遗传和表观遗传调控，细胞对环境信号的响应与记忆，代谢信息流的产生与调控等问题，以揭示生物信息流基本规律，理解其在健康与疾病状态中的意义。

### 66. 生态系统对全球变化的响应与适应

面向全球变化对生态系统的冲击这一日益严峻的国际性挑战，重点研究生态系统多功能性、稳定性及其对全球变化的响应；生态系统不同功能间的协变、区域变异及其调控；性状、物种丰富度与谱系多样性对生态系统的调控；全球变化下植物和微生物互作对多功能性及其稳定性的调控；生态系统固碳能力提升等问题，为打造美丽中国生态环境提供科学基础。

### 67. 林草生物质定向培育与高效利用

面向我国农林剩余物规模化转化与利用的重大需求，重点研究木质纤维碳水化合物复合体结构屏障高效降解与组分清洁分离策略，木质纤维组分分子定向重组与功能化机制，木质素高效分离，降解及构效关系基础，林木次生代谢产物的高效合成及分离，林木特异次生代谢物及林木纤维合成林源蛋白的生物反应器设计与功能评价，优质安全与功能型草产品加工调制的生物学基础，为农林剩余物高效利用和生产高

附加值产品提供理论和技术支撑。

### 68. 食品安全与营养、品质的生物学基础与调控机制

面向人们对食品安全和营养健康日益增长的重大需求，重点研究食品加工及制造的生物学基础与调控机制，食品营养组分与肠道菌群的相互作用，食品安全危害因子的检测与防控机制，优良食品微生物菌种选育与制备，食品感官品质形成机理及调控机制，食品及粮食贮藏与保鲜过程中品质劣变的生物学基础，为高品质健康食品制造提供技术支撑，为保障我国食品安全与人民生命健康提供理论依据。

### 69. 农作物重要遗传资源基因发掘及分子设计育种的理论基础

面向种业自主创新的重大需求和重大科学问题，重点研究重要农作物遗传资源保护、利用与种质创新，农作物野生近缘种的遗传多样性和分化，农作物起源、演化规律与人工驯化，农作物种质资源优良基因规模化发掘和高通量评价，农作物重要农艺性状的遗传机理和基因调控网络解析，农作物品种分子设计和基因组编辑的理论及模型，为农作物分子设计育种以及突破性品种培育提供优异种质和重要基因。

### 70. 园艺作物品质性状形成与调控机理

面向园艺产业从数量扩张到优质高效升级转型的重大需求，

重点研究园艺产品外观、色泽、风味品质、营养物质形成基础与调控，品质形成的级联调控机制及其调控网络，植物激素信号传导与品质形成的交互调控机制，园艺产品品质形成与环境耦合的信号途径与调控机制，基于分子调控网络的品质调节物质的研究，为园艺产品品质调控与营养成分改良提供理论和技术支撑。

### 71. 农业动物重要性状形成的生物学基础

面向畜禽、水产育种效率提升等重大需求，重点研究高效精准育种为导向的组学大数据分析基因组选择方法，动物重要经济性状功能基因挖掘，动物生长、抗病、繁殖、品质等性状形成的生理生化基础，动物表型组智能化、规模化检测新方法和新工具，动物肠道菌群-遗传互作及其对重要性状的调控机理，为畜禽、水产高效育种技术研发和优良品种培育及持续改良提供理论依据和技术支持。

### 72. 农业动物重要疫病病原的生物学

面向重要动物疫病和人兽共患病防控的重大需求，重点研究动物重要疫病的传播机制，流行规律与预警，动物重要疫病病原的结构与功能，动物重要疫病疫源的感染与致病机制，动物新发重要疫病病原的免疫生物学，动物再现重要疫病病原的遗传演化

与变异机制，动物抗新发和再现疫病病原感染的免疫机理，为动物疫病的疫苗、诊断技术、药物设计以及防控策略制定提供理论和技术支撑。

### 73. 重大疾病的共性病理机制

针对重大疾病防治策略的重大需求，探寻复杂疾病共性病理基础，重点研究非可控性炎症的调控机制，细胞能量代谢的稳态调控与失衡机制，细胞异质性与微环境，微生态的动态图谱及其变化规律，遗传因素与环境因素交互规律，组织器官损伤、修复与再生机理，以阐明重大疾病发生发展与转归的共性规律和机制，为疾病防治提供新思路。

### 74. 免疫异常与重大疾病

针对免疫治疗策略应用于疾病防治的重大需求，重点研究恶性肿瘤、感染性疾病、自身免疫性疾病等重大疾病发生发展过程中免疫应答调控的多层次多尺度新机制和规律特征，免疫微环境的构成和动态演变机制，探寻基于免疫应答和免疫微环境的个体化诊疗新策略，为重大疾病免疫治疗提供理论基础。

### 75. 肿瘤发生与演进机制及防治

针对肿瘤精准诊断和个体化治疗的重大需求，重点研究肿瘤多维度表型特征和细胞命运，肿瘤异质性和微环境变化规律及调控网络，寻找肿瘤筛查和早诊新

方法，建立肿瘤治疗新技术和综合治疗新策略，为肿瘤防治提供新思路和新方法。

### 76. 重大慢性病发病机制与防治

针对降低重大慢性病负担、提高患者生存质量的重大需求，围绕心脑血管疾病、内分泌及代谢疾病、慢性呼吸系统疾病等常见重大慢性病，重点研究其致病因素、发病机制和风险预测体系，构建人类疾病动物模型，为重大慢性病的病因预防、早期诊断和精准治疗提供科学依据。

### 77. 重大传染病发病机制、预测预警与防控

针对新发突发传染病风险及常见传染病防控的重大需求，重点研究重大及新发突发传染病的预警、防控及临床救治新策略，病原体的快速分离与鉴定、致病机制，诊断试剂、药物和疫苗开发，为健全和完善重大传染病卫生医疗救治体系和救治服务能力提供理论和技术支撑。

### 78. 脑科学与重大脑疾病

针对我国神经精神疾病高发现状，面向脑科学研究前沿，开展脑结构解析、脑发育及脑功能研究，重点研究脑血管病、阿尔茨海默病、帕金森病等重大脑疾病的致病机理，常见精神障碍性疾病、麻醉、疼痛与成瘾的神经基础，高风险人群的筛选策略及早期精准诊疗技术，为重大

脑疾病的防治提供科学理论与方法。

### 79. 衰老与健康增龄

围绕应对人口老龄化的重大需求，重点研究器官、组织、细胞衰老的生理机制及衰老相关疾病的发生机制与干预策略，延缓组织器官衰老、长寿相关关键因素及机制，老龄化相关健康医疗大数据分析与应用，建立衰老评价体系，发展可穿戴设备和移动医疗技术，为推进老龄化健康和老年疾病的防治提供理论和技术支撑。

### 80. 生殖健康及遗传与罕见疾病

针对生殖健康的重大需求，重点研究生育力建立和维持的关键机制及生育力下降的发生机理，重大出生缺陷和遗传性疾病的病因和发生机制，孕前、孕期、产前筛查诊断和宫内干预治疗技术，妊娠与分娩相关危重症发生机制、早期预警与干预，早产和胎儿生长受限的发病机制及预测、预防，生殖健康研究的新模型和新体系，遗传与罕见疾病的发病机制和防治策略，为提高人口生育力、减少人口出生缺陷和提升人口素质提供保障。

### 81. 儿童重大疾病的发病机制与防治

针对提高儿童保健与疾病诊治水平的重大需求，重点研究儿童恶性肿瘤、遗传代谢内分泌

疾病、心血管疾病、呼吸系统疾病等常见疾病的病因、机制及防治，揭示儿童生长发育规律、疾病谱及其病因构成、发生机制和转归，儿童重大疾病的风险预测、早期筛查和综合管理，为儿童重大疾病的精准防治提供科学依据。

### 82. 急重症、器官移植、康复和特种医学

针对灾害救援、突发应急处置及特殊环境条件下医学保障的重大需求，重点研究多脏器功能障碍的组织器官损伤机制与干预，休克与心肺脑复苏，常见器官移植的基础理论和干预策略，常见致残致畸疾病的康复理论与新型康复技术，航空、航海、极地、高原等特殊环境下机体稳态失衡与疾病发生及干预，为降低急重症和极端环境相关疾病造成的高死亡率、高致残率，改善患者生存质量提供支撑。

### 83. 公共卫生与预防医学

针对加强公共卫生体系建设，提升疾病防控能力的重大需求，重点研究重大传染性疾病和非传染性慢病的流行特征、易感因素与预防策略，重大突发公共卫生事件预警与监测，环境暴露对健康的危害及诊治新策略，生活方式、膳食营养健康与疾病预防，为降低重大疾病及重大公共卫生事件对人民健康造成的危害提供决策依据。

#### 84. 中医理论与中药现代化研究

针对传统中医药服务人民生命健康的重大需求,重点研究证候与病症、藏象与经络等中医理论基础,中医药治未病,经方验方和中医药整体治疗优势病种的科学内涵、系统疗效评价和整合作用机理,中药药效物质代谢,中医药现代化制药和诊疗设备,建立中医药定量化、可读化的表征体系,为促进中医药标准化和现代化、发挥中医在养生保健、疾病康复治疗等方面的优势提供理论和科学支撑。

#### 85. 创新药物及生物治疗新技术

针对人类疾病谱不断演变对创新药物和生物治疗新技术的重大需求,重点研究药物设计和筛选体系,创新药物疗效与毒性评价,发展类器官模型,创建新型生物治疗技术,为新药研制、提升临床治疗水平提供理论依据和技术保障。

#### 86. 智能化医疗的基础理论与关键技术

针对智能化医疗模式对健康医疗大数据获取和分析的重大需求,重点研究健康与疾病状态下组织器官的定位定量数据获取的相关理论与前沿技术,疾病数据资源的规范化和标准化,病理生理特征与临床表型的对应关系,基于人工智能的医学影像、病理、

分子特征一体化识别,大数据风险防控等,为推进健康医疗大数据智慧管理和医疗智能决策提供理论基础与技术支撑。

#### 87. 大数据与人工智能时代的计算新理论与新方法

针对大数据与人工智能时代对传统理论方法的挑战,重点研究大数据统计学基础、基础算法,深度学习的数学理论;时空多尺度特征问题的建模与计算;微观介观模型的不确定性量化;数学物理反问题的分析与计算;E级计算的高效共性优化算法;物联网的建模、分析与控制;网络与信息安全、脑网络与生物网络中的优化问题。

#### 88. 软物质功能体系的设计、调控与理论

面向生命健康领域对高分子材料的重大需求,从高分子材料和生命软物质体系特点出发,跨越软物质从微观分子结构到宏观聚集态功能之间较长的时间尺度和多重的空间维度,重点研究软物质功能体系的设计原理、调控方法、非平衡态热力学等理论描述,提出新概念、挖掘新功能,为创新高分子材料提供基础理论支撑。

#### 89. 生命体系多层次交互通讯的分子基础

面向生命体系化学通讯研究前沿,重点关注不同种属、同一物种不同层级及不同个体的近程

和远程的通讯机制,生物体通讯物质和载体的化学干预和应用,生命体系通讯物质形成的分子基础与相互作用、转化与转运机制,以及对生物生存与功能的影响等,为调控生命体系多层次交互通讯提供理论支撑。

#### 90. 人类活动与环境

面向复杂人-地系统,针对地球环境演化进程及其影响因素,重点研究环境污染过程、调控与修复;生存环境变化与人类社会发展;环境质量演变、预测与管理;污染物的环境风险与健康效应;城镇化与资源环境承载力;人类活动与城乡融合过程、效应及调控;人类活动与资源环境耦合调控;地表环境变化与生态系统服务;综合地域系统演变与要素协同驱动机制;资源环境制衡与风险预警;地表过程致灾机理与链式灾害演化机制;巨灾风险防范与韧性社会范式;地质与工程灾害的致灾机理、识别预警与防控;地理实体与虚拟空间映射下重大突发公共安全事件过程推演;环境变化与人畜共患传染病风险,为认识表层环境宜居性的形成机理与各要素耦合关系提供理论支撑。

#### 91. 面向碳达峰碳中和的能源高效利用与节能减排的科学基础

围绕能源高效利用与节能减排的重大需求以及我国碳减排面临的巨大挑战,重点研究化石能

源低碳利用，可再生能源高效利用，核能安全利用，超高参数循环、高密度储能及能质调控，高耗能产业节能与低品位能源利用新理论，建筑、交通领域节能减排技术，制冷/热泵能效提升、多能互补与智慧能源系统新技术，节能减排基础零部件、基础工艺、关键基础材料，研究高效低成本制氢/储氢/加氢，污染物生成机理与控制新方法，为推动能源革命提供理论和技术支撑。

#### 92. 智能运载系统人-机共享驾驶与车-路-云协同技术

围绕自动驾驶中人-机共享驾驶的协同控制要求与挑战，围绕智能运载系统人-车-路-云耦合机制，重点研究智能运载系统人-机冲突机理，智能运载工具人-机协同理论，面向自动驾驶的车-路协同感知及信息融合，人-车-路-云协同智能驾驶规划、决策与系统优化控制等技术，提升交通系统安全与效率，为实现低成本智能驾驶奠定技术基础。

#### 93. 面向复杂应用场景的计算理论和软硬件基础

为有效克服传统计算模式在人机物三元空间的应用局限，重点研究新型计算理论、人机物融合软件理论与方法、人机协作编程与智能化软件、新型数据库系统、新型计算机体系结构与系统软件、高性能计算与存储架构及系统、计算系统可信保障技术等，

为实现原创性突破、支撑计算技术新发展奠定基础。

#### 94. 大数据与交互计算技术

面向多元异构空间的信息感知与交互等新需求，探索大数据融合、关联计算和知识发现的新机制，研究人机协同的分布式认知模型和交互范式，攻克增强式感知、交互显示、可视分析等关键技术，推动大数据驱动的人机混合智能与机器学习平台建设，从根本上提升智能交互装备的核心竞争力。

#### 95. 认知和感知的神经生物学基础

围绕认知与感知等与生理、心理健康密切相关的神经生物学问题，重点研究神经细胞谱系及环路发育，脑连接图谱结构与功能，突触信息编码机制，感知觉信息加工的基本单元和过程，行为与认知的神经机制，认知与行为的计算建模，注意与意识的产生和调控，心理异常的干预靶点等，为脑健康、心理健康和相关疾病提供机制性理解和策略性指导。

#### 96. 跨时空、跨尺度生物分子事件探测与解析

生物分子事件是生命活动的基础，其探测与理解是生物学的前沿。重点研究生物分子高分辨率结构解析与功能注释，生物超分子及亚细胞器的结构与装配机制，细胞原位水平的生物大分子

结构与动态相互作用，生物大分子分泌机制及代谢调控，生物分子网络，新型多模态跨尺度生物成像技术等，揭示生命活动基本规律，为干预、改造生命活动提供理论指导。

#### 97. 生命体的精准设计、改造与模拟

围绕创建生命体所需的材料遴选、元件构建、工具开发等实际需求，重点研究基因编辑工具与策略，基因元件、调控模块及回路设计，生命机制的定量解析与模拟，智能化生物材料设计，工程化组织器官构建的生物力学和结构基础，功能纳米材料调控生物微环境的时空间构效关系等，为合成生物学、基因改造的农业与医学应用提供理论和技术支撑。

#### 98. 农作物有害生物成灾与演变机制及其控制基础

面向农产品供给安全以及生态安全的重大需求，重点研究农田空间分布、生态变化及有害生物发生规律，有害生物在田间不同生境及作物间的传播流行与转移扩散规律，农作物种植结构调整过程中有害生物暴发成灾机制及其控制基础，病虫识别、侵入寄主植物的机理及调控网络，农作物响应有害生物侵袭的机制和信号传递机理，为农业有害生物灾害的绿色防控提供科学理论和技术支撑。

### 99. 重大外来入侵物种发生机制与防控技术

面向外来入侵物种防控的重大需求，重点研究评估重大危害外来入侵物种的传入、适生、扩散与危害机制机理。构建外来入侵物种监测预警技术体系，研发重大危害入侵物种快速甄别检测与应急处理技术。加快研发高效诱捕、生物天敌等实用技术、产品与设备，建立融合生物防治、物理防治、化学防治、生态修复等的外来物种入侵防控技术体系。为外来入侵物种科学高效防控提供理论和技术支撑。

### 100. 多学科交叉新型诊疗技术

针对我国创新型医学医疗体系建设对多学科技术集成的重大需求，重点研究组织工程、组织器官4D打印、类器官构建、器官芯片等技术的交叉融合及临床应用，重点发展超分辨及可视化医学成像、分子诊断、纳米模拟、医用植入/介入体，以及基于多模态影像的个体化手术规划、导航等医学工程技术，为新型诊疗技术开发及器械研制提供支撑。

### 101. 复杂系统管理

围绕复杂系统管理的规律，重点研究复杂系统的结构及其性质与演化机制，知识和信息融合建模与分析理论，智能优化、仿真、调控与决策，以及复杂系统风险防控理论，为理解复杂系统

管理中微观主体交互活动及其涌现现象提供科学工具。

### 102. 可持续发展中的能源资源与生态环境管理

实现绿色发展是人类可持续发展的需求和重要发展理念，重点研究社会-经济-资源-生态环境系统的复杂特征，经济-资源-生态环境系统协同治理，全球变局下生态环境和资源的风险管理，能源资源系统可持续性转型管理，能源系统减排机制与能源市场运行规律，重大突发事件与资源生态安全等，为我国经济社会发展方式选择提供科学依据。

### 103. 决策智能与人机融合管理

围绕未来人机融合组织的前沿方向，重点研究决策智能的内在机理，决策知识抽取与演绎方法，决策主体智能建模和学习机制，决策生态系统交互演化机理，决策推演与验证方法，智慧管理系统异质参与者的行为机理，混合智能系统的基础理论，混合智能驱动的管理决策理论，混合智能管理系统优化与组织变革等问题，将目前的商务智能(BI)扩展到更广泛的决策智能(DI)。

### 104. 政府治理及其规律

围绕中国的政府治理和管理实践，重点研究中国特色政府治理结构变迁规律，政府-市场-社会协同的公共服务和资源配置理论，中国特色的政策过程，政

府治理体系和治理能力的数字化影响等问题，为数字化时代中的国家治理现代化提供理论保障。

### 105. 全球变局下的风险管理

围绕中国宏观经济和企业的发展中的风险管理问题，重点探索全球变局中关键风险的复杂性，全球供应链安全与风险管理，全球货币体系的演化规律和风险，全球战略资源贸易网络的演化规律，全面对外开放的国家经济安全理论等问题，为国家和企业有效应对风险、制定国家经济安全决策提供科学支撑。

### 106. 巨变中的全球治理

聚焦构建人类命运共同体、展现负责任大国担当，重点研究全球治理体系的转型，关键领域全球治理范式及其演化，全球治理参与机制的基础理论，全球治理的规则/技术/工具体系，中国国家治理与全球治理的互动等问题。

### 107. 全球性公共危机管理新问题

包括新冠肺炎疫情在内的全球性公共危机，对于国家和全人类发展都提出了前所未有的挑战，重点研究公共资源和公共服务系统的应急调度管理，应急资源保障的特殊响应机制设计的管理理论，专业机构与行政机构的应急管理协调决策，危机中的多主体信息行为及其社会影响规律，危机的短期和长期经济影响机理，

后危机时代的企业管理变革及其规律等问题，为公共部门和企业提高应对重大突发危机事件的能力和水平提供科学理论。

### 108. 数字经济的新规律

数字正在成为重要的经济资源和生产方式，因而形成了新的经济形态和规律，重点研究数字经济形态的计量方法、数据资源管理与治理理论、数字技术对经济活动的影响、数字货币理论与技术、数字金融及其风险管理、数字经济规制和监管理论，揭示数字经济的基础理论。

### 109. 中国经济发展规律

围绕中国经济发展的实践问题，重点研究经济发展与宏观调控的关系，经济发展与分配消费关系的演化，政府-市场-社会互动的经济发展规律，中国经济与全球经济的关系及其演变，中国经济所有制的演化规律与作用机制等问题，发现总结以中国为代表的经济体发展规律。

### 110. 企业的数字化转型与管理

围绕企业数字化转型中的管理科学问题，重点研究企业的数字化转型模式与战略，数字时代的企业组织变革，数据智能驱动下的运营管理理论与方法，数字技术下的营销管理理论，数字时代的协同创新管理，平台型企业管理及其生态治理，数字时代的创业管理理论等问题，为企业的数字化生存发展提供科学基础。

### 111. 中国企业的管理和全球化

围绕中国企业管理实践问题，结合中国企业的独特性与新情境，重点研究中国的企业制度和组织管理变迁，社会制度和文化对管理行为的影响机理，企业管理的市场-政府双重驱动理论，企业产权结构演化与企业管理，国际秩序演化下的国际商务新理论，中国企业全球合作网络生态与创新战略重构，中国企业国际化战略与组织变革理论等问题，发现总结具有中国特色且具备普适意义的企业管理新理论。

### 112. 城市管理的智能化转型

智慧城市正在成为城市的未来形态，重点研究城市管理数字资源的开放与共享治理，多部门协同的智慧城市政务治理与管理决策，城市公共服务系统的管理及其智慧转型，韧性城市治理理论等问题，将对城市的智能化转型提供科学理论和技术工具。

### 113. 中国乡村振兴与区域协调发展规律

乡村及城乡协调的区域发展是中国未来巩固减贫成果、推动社会经济健康发展的基础需求，重点研究基于中国扶贫实践的反贫困理论，中国减贫战略的转型规律和治理机制，乡村经济与乡村治理模式变迁规律，乡村规划理论和建设评价关键技术，数字技术对乡村振兴发展的影响规律，中国农业的可持续

续发展路径，城乡融合与区域协调发展机理，区域公共资源和服务的配置与协同优化，区域协同创新的路径及其影响机理等问题，为我国乡村振兴与区域发展，提供科学的理论指导。

### 114. 人口结构与经济社会发展

人口结构不仅是人类发展的结果，同时也是深刻影响未来社会发展极为重要的因素，重点研究人口结构的影响因素和演化机理，人口结构变化的经济社会影响，人口结构变化下的公共治理基础理论，人口结构对企业（微观组织）管理的影响机理，人口结构变化下的社会治理等问题，从宏观和微观两个角度科学地认识人口结构这种“灰犀牛”型慢变量的复杂演化规律。

### 115. 智慧健康医疗管理

数字时代为健康-医疗的一体化管理提供了无限可能，重点研究健康医疗大数据资源的管理与治理，基于混合智能的健康医疗管理，智慧健康医疗的过程管理与优化，智慧健康医疗的平台化运营管理，智慧健康医疗生态系统的演化与协同管理，智慧健康医疗驱动的制度变革与机制创新等问题，为推动实施健康中国战略的宏微观管理机制设计和运行提供科学论据。○

来源：国家自然科学基金委员会



# 中国自动化学会

中国自动化学会( Chinese Association of Automation, 缩写CAA) 于1961年在天津成立, 是我国最早成立的国家一级学术团体之一, 是中国科学技术协会的组成部分; 是发展我国自动化科技事业的重要社会力量。学会现有个人会员近8万人, 团体会员单位近300个, 专业委员会58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、课题研究及决策支撑、科学普及与继续教育等方面开拓创新, 推动中国自动化科学和事业的发展 and 壮大, 成为连接政府、产业、学术、科研、会员的重要纽带, 致力于成为国内外有影响力的现代社会团体组织。

## 学会品牌学术活动

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

## 学会奖励奖项

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

## 学会主办期刊

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



官方微信



官方微博

地址: 北京市海淀区中关村东路95号自动化大厦

网址: <http://www.caa.org.cn/>

电话: 010-62522472

传真: 010-62522248

邮箱: [caa@ia.ac.cn](mailto:caa@ia.ac.cn)

邮编: 100190