

主编寄语



郑南宁

人工智能从诞生以来，理论和技术日益成熟，与其他领域的交叉融合趋势不断加强。在此背景下，智能、控制与数学三者的交叉融合成为了科研人员的研究热点之一。智能是系统应对不确定性的能力体现，是自动化产业和系统科学发展的必然趋势。控制是智能系统的核心与目的，数学是实现智能与控制的关键工具和手段。

目前智能化已经走到了学科舞台中央，随着人工智能和大数据的不断发展，新的事物及其变化规律不断地涌现，传统的基于机理建模和统计建模的方法已远远不能满足实际的需求。如何寻求和挖掘数学和控制的潜力促进人工智能系统的发展，反过来借助人工智能技术促进数学与控制学科自身的发展，是亟待解决的重大挑战。

作为自动化领域科研人员快速了解学科前沿和最新研究，探讨热点方向和交流学术进展的平台，智能自动化学科前沿讲习班是由中国自动化学会主办的高端学术交流活动，每期围绕一个热点专题，邀请该学科方向从事前沿工作的专家学者作学术报告，并与参会者交流讨论。本期《通讯》专刊聚焦的主题是“智能、控制与数学”，为大家分享了西北工业大学潘泉教授题为《基于变分贝叶斯的联合优化及其在现代信息融合处理中的应用》的报告，中国地质大学（武汉）陈鑫教授题为《仿人音乐机器人关键智能技术》的报告，北京科技大学贺威教授题为《扑翼飞行机器人的控制系统设计与研究》的报告。

在此向贡献稿件的各位专家表示衷心的感谢！希望本专刊专题能为读者了解智能、控制与数学领域提供一定的借鉴。○

特刊 / Special Issue

- 004 春华秋实，硕果累累
——祝贺《中国自动化学会通讯》出刊 200 期 / 郑南宁
- 005 不忘初心，方得始终
——祝贺《中国自动化学会通讯》发刊 200 期 / 王飞跃
- 009 控制论：或关于在动物和机器中控制和通信的科学 / 龚育之
- 012 中国智能控制 40 年 / 蔡自兴

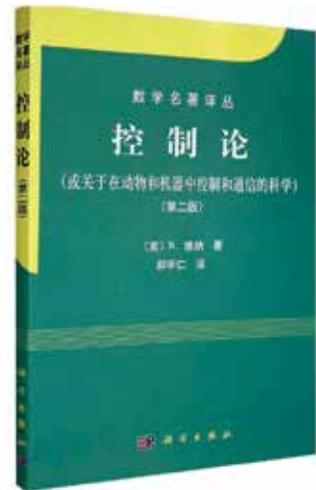
专题 / Column

- 029 基于变分贝叶斯的联合优化及其在现代信息融合处理中的应用 / 潘泉
- 035 仿人音乐机器人关键智能技术 / 陈鑫
- 040 扑翼飞行机器人的控制系统设计与研究 / 贺威

智库建设 / Think Tank

- 046 新一代智能制造将从根本上引领新一轮工业革命 / 周济
- 048 有人 / 无人系统自主协同的关键科学问题 / 陈杰 辛斌
- 054 工业物联网：基本概念、关键技术与核心应用 / 王飞跃 张军 张俊 王晓

P009



P040

P054



P035



科普园地 / Science Park

- 068 爱犯错的智能体
——视觉篇（一）：视觉倒像
- 071 爱犯错的智能体
——视觉篇（二）：颠倒的视界
- 075 爱犯错的智能体
——视觉篇（三）：看不见的萨摩耶

形势通报 / Voice

- 078 习近平：培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人
- 082 国务院关于推动创新创业高质量发展打造“双创”升级版的意见
- 092 怀进鹏：共促科学素质建设 共创人类美好未来

学会动态 / Activities

- 096 中国自动化学会应邀参加 IFAC 理事会及相关会议
- 097 中国自动化学会智库赴甬调研
- 099 开放共享 智汇海曙——“2018 国家智能制造论坛”于宁波成功召开
- 105 区块链可信 制造业升级——“区块链技术在制造业中的应用高峰论坛”于南京成功举办
- 108 第八期智能自动化学科前沿讲习班在北京成功召开

党建强会 / Party Building

- 112 中国科协召开《中国共产党纪律处分条例》专题学习报告会
- 114 重温入党志愿 传承革命精神——复杂、学会党支部双融双聚联合党日活动
- 115 CAA 党员先锋队在行动
——八月未央，我们一直在路上



P068



P099



P114

编者按

《中国自动化学会通讯》自1980年1月创刊以来，严格遵守国家出版法规，坚持办刊宗旨和编辑方针，不断完善期刊内部管理制度，提升出版质量。2018年10月，恰逢《中国自动化学会通讯》发刊整200期。为此，期刊编辑部设立特刊，分享了中国自动化学会副理事长郑南宁院士、副理事长兼秘书长王飞跃研究员对本刊寄予的期望以及学会特聘顾问、副理事长、理事、所属期刊编辑部为本刊题写的贺词，分享了龚育之先生所作的《控制论：或关于在动物和机器中控制和通信的科学》和中南大学蔡自兴教授所作的《中国控制40年》文章。



春华秋实，硕果累累

——祝贺《中国自动化学会通讯》出刊200期

文 / 中国自动化学会理事长 郑南宁

春华秋实，在一个硕果累累的时节，《中国自动化学会通讯》迎来了发刊200期华诞。借此机会，我们谨向所有关心和支持本刊发展的专家、学者、科技工作者以及投稿作者致以衷心的感谢和崇高的敬意。

从无到有，从季刊到双月刊，《中国自动化学会通讯》一路走来，脚步愈来愈坚定，质量愈来愈优秀，内容愈来愈多样，影响也愈来愈深远；从1980年到2018年，《中国自动化学会通讯》始终秉持为科技工作者及广大学会会员服务宗旨，一路向上，矢志不渝。

风起扬帆时，能者立潮头。

我们创刊于二十世纪八十年代，成长在百花齐放、百家争鸣的科技黄金年代，在自动化技术和产业发展的潮起潮落中，我们思考着专业发展的方向，传播着国内外前沿的科技动态，为广大科技工作者宏观了解自动化、信息与智能科学领域各学科方向研究进展和发展趋势提供平台。

岁月流金，盛世华年。当时间的车轮滑过2009年，我们欣喜回眸，再次看到了它的影子——这一年《中国自动化学会通讯》正式复刊；借着改革的春风，我们不断进行改版升级，在2010年将《中国自动化学会通讯》拓展为正式国际刊；随后，从季刊到双月刊，从固定栏目到创新形式，每一步，都离不开主管单位和主办单位的厚爱和支持，离不开编委会的辛勤和努力，离不开各界同仁的关心和支持。

时光荏苒，岁月如歌。值此《中国自动化学会通讯》发刊200期之际，衷心感谢各界同仁与广大科技工作者对本刊的关心与支持。未来的道路中，我们将始终以服务会员为宗旨，心怀感恩，凝神聚力，化期待于行动，承厚愿为努力，助力《中国自动化学会通讯》更上一层楼。○

不忘初心， 方得始终

——祝贺《中国自动化学会通讯》发刊 200 期

文 / 中国自动化学会副理事长兼秘书长 王飞跃

2018 年，注定是不平凡的一年。这一年，《中国自动化学会通讯》复刊整 10 年，本期又恰逢出刊第 200 期。

不忘初心，方得始终。沿着历史的年轮，回望 2009 年，正值中国自动化学会的换届年，这一年，学会新一届领导班子锐意进取，在继承中求创新，在改革中求发展，学会各项工作呈现出了新的面貌；也是在这一年，秉持着为学会会员服务的宗旨和信念，《中国自动化学会通讯》正式复刊了，至今不知不觉间走过了第十个年头，刊发了整整 200 期。

复刊以来，《通讯》忠实地记录着自动化学科发展的脚步，密切关注着领域的最新研究和发展趋势，也全方位展示了学会和分支机构的各项工作，使其不仅成为联系学会和会员的桥梁，学会对外宣传的窗口，更是一面高扬的旗帜。

回首这十年，我们感念老一辈科技工作者的殷殷嘱托，上级部门和领导的热切关怀，全体编委会成员的辛勤努力，科技工作者的鼎力相助，忠实读者的厚爱鼓励……纪念是为了继续前进，是为了开创更加辉煌的未来。

200 期，是一个新的起点。站在新时代新历史新征程，我们将总结历史经验，发扬光荣传统，更好地为广大科技工作者服务，提升学会吸引力和凝聚力，为我国社会经济的发展作出新的贡献！





《中国自动化学会通讯》作为弘扬学科文化、梳理发展脉络、传播科学知识，宣传科研成果，服务人才培养，积极推进学科普及工作，让更多的人了解自动化的工具，发刊已整整 200 期，它用一次次跟随时代的改变，带给我们无数次的惊喜，衷心地希望它能够继续保持这股韧劲，不断向前！

——中国自动化学会特聘顾问、中国科学院院士 吴宏鑫

热烈祝贺《中国自动化学会通讯》发刊 200 期，这是一个新的起点，在这个科技是第一生产力的时代，自动化领域发生了巨大的突破，面对新的目标，我们要树立新的方向，确定新的憧憬。希望《中国自动化学会通讯》有信心接受挑战，用智慧创造辉煌！

——中国自动化学会特聘顾问、中国工程院院士 吴澄

《中国自动化学会通讯》历经多年锤炼，终于迎来了自己的 200 期华诞，祝愿中国自动化学会可以发挥自身优势，让《中国自动化学会通讯》切实担负起时代与广大科技工作者赋予的历史使命与社会责任，继而为中国自动化领域的发展做出贡献，为广大科技工作者创造良好的条件！

——中国自动化学会副理事长、中国工程院院士、东北大学教授 柴天佑

中国自动化学会是中国最早成立的国家一级学术群众团体之一，《中国自动化学会通讯》可以说是其门面，发挥了联结科技工作者的纽带作用，使业界更多地了解到中国自动化学会和控制与工程学科的发展前沿。在《通讯》发刊 200 期华诞之际，祝愿《通讯》更上一层楼。

——中国自动化学会副理事长、中国工程院院士、中南大学教授 桂卫华

热烈祝贺《中国自动化学会通讯》于 2018 年 10 月创刊满 200 期。《中国自动化学会通讯》为我们了解自动化、信息与智能科学技术领域的最新科技成果和发展前沿提供了一个很好的平台，祝愿《中国自动化学会通讯》期刊继往开来，再铸辉煌！

——中国自动化学会副理事长、中国科学院院士

中国空间技术研究院研究员 杨孟飞

衷心期望《中国自动化学会通讯》继往开来，追求卓越，越办越好！

——中国自动化学会副理事长 王成红

《中国自动化学会通讯》是一本高质量学术杂志，办刊 200 期，时刻不忘办刊宗旨，牢牢把握领域方向，在自动化、信息与智能科学紧跟时代步伐，推进科技创新。各种主题和专刊的策划，让相关领域科技从业者，精准掌握技术发展脉络与前沿趋势。愿期刊伴着墨香，永攀高峰，再创辉煌！

——中国自动化学会副理事长、澳门大学讲座教授 陈俊龙

广博信息，记载经典，流传百世，发扬光大。祝贺《中国自动化学会通讯》200 期华诞。

——中国自动化学会副理事长、上海交通大学教授 李少远

三十多年来，《中国自动化学会通讯》不断为自动化及相关领域提供自动化、信息与智能科学领域各学科方向的研究进展和发展趋势，是业内不可或缺的综合刊物！200 期，不仅凝聚了过去的非凡成绩，更代表着一个全新起点。衷心祝愿《中国自动化学会通讯》长帆高挂搏浪前行，辉煌永续前程似锦！

——中国自动化学会副理事长、中国钢研科技集团有限公司党委常委
张剑武

《中国自动化学会通讯》给自动化和智能科学领域的研究者带来了丰富及时的科研进展和动态信息。我从事的只是自动化领域一个分支方向（模式识别）的研究，但《通讯》提供的许多不同方向的信息，对开阔我的视野和促进本方向的研究有很大的帮助。希望《通讯》乘着智能科学技术快速发展的东风，为我们带来更多有益的信息，并不断产生学术争鸣，在学术界和业界产生更大的影响。

——中国自动化学会理事、中科院自动化所研究员 刘成林





《自动化学报》编辑部热烈祝贺《中国自动化学会通讯》发刊 200 期华诞!《中国自动化学会通讯》报道自动化领域的热点研究进展,为业内专家学者提供前沿资讯,有力促进了自动化科学技术的传播,并作为学会信息发布的重要平台,是学会与会员、分支机构联络的纽带。衷心祝愿《中国自动化学会通讯》为自动化科技的发展和成果传播谱写更加绚烂的篇章!

——《自动化学报》编辑部

2018 年 10 月,作为面向自动化、信息与智能科学领域的专业人士,宏观论述自动化、信息与智能科学领域各学科方向研究进展和发展趋势的综述刊物,《中国自动化学会通讯》喜迎第 200 期正式出版!《模式识别与人工智能》编辑部热烈祝贺《中国自动化学会通讯》200 期华诞!祝愿刊物在中国自动化学会的领导下,在未来的道路上百尺竿头更进一步,更好地服务专业人士,为自动化、信息与智能科学领域的发展与进步作出更多的贡献!

——《模式识别与人工智能》编辑部

《机器人》编辑部热烈祝贺《中国自动化学会通讯》于 1980 年创刊满 200 期。《中国自动化学会通讯》为我们自动化、机器人、信息与智能科学领域的读者,提供宏观的研究进展和发展趋势的最新报道,衷心祝愿《中国自动化学会通讯》紧跟时代、创新发展,辉煌成就众目期盼!

——《机器人》编辑部

十月金秋,正是硕果满枝的季节,恰逢《中国自动化学会通讯》迎来发刊 200 期华诞,在此,谨代表《自动化博览》致以诚挚的祝贺!从诞生之日起,《中国自动化学会通讯》就伴随着学会发展的每一段历程,记录并见证着自动化领域各学科方向研究发展的重要足迹。如今,走过 200 期的《中国自动化学会通讯》内容不断丰富,形式不断创新,成功架起了学会与会员、分支机构、业界人士的交流平台,成为联接各方的桥梁与纽带;通过高水平、多角度的内容,成功打造学会对外宣传的“名片”,成为业界更多地了解中国自动化学会、了解自动化、信息与智能科学领域各学科方向研究进展和发展趋势的“窗口”。

衷心祝愿《中国自动化学会通讯》越办越好!为中国自动化学会及中国自动化、信息与智能科学领域各学科发展贡献更多力量!

——《自动化博览》编辑部

控制论·或关于在动物和机器中 控制和通信的科学

文 / 龚育之

《控制论》中译本和它的译者“郝季仁”

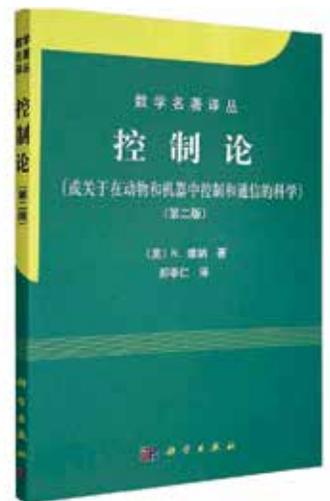
一个有趣的现象，如果问10个自控系的本科学生，“控制论英文是什么？”不知道有没有9个人会说“Control Theory”。这还是自控系，又有多少人知道老三论之一的控制论的来龙去脉，因为大学不教这个，它教你方程、教你公式、教你解题、教你编程，但是更精彩的科学思想，大师们对这些问题宏观的、微观的逻辑上的哲学思考，抱歉，我们都没有思想，怎么教你思想。想电子化这篇文章很久了，今天终于按耐不住，手打上传。Google过相关内容，基本没有，也许还是首发。谨以此文纪念控制论祖师爷及将控制论引入中国的祖师爷们。Cybernetics，词源来自希腊文，在柏拉图的著作中常见，本义是驾船术、操舵术。后19世纪法国物理学家安培也援用过。维纳根据希腊单词，自创该英文词汇以描述其构想，在传入中国的译本中翻译为“控制论”。

《控制论》中译本自1961年初出版以来，至今已过去三十多年了。其间，不时有朋友问我，“你们翻译的那本《控制论》，为什么至今还用假名发表，而不用真实译者姓名呢？”现在，乘本书第四次即将重印之际，我作为尚存的两位译者之一，很愿意写几句话，把当时翻译这本书的由来和经历，向今天的读者作个简单的介绍，既是为学术界提供一点学术史料，也是对已经去世的另两位译者表示一点纪念之情。

我们几个人着手翻译维纳这本名著，还是1956年的事情。

1956年这一年，在我们人民共和国的历史上，在我国科学工作的历史上，在我们许多人个人的历史上，是很值得怀念的一年。“向科学进军”！“百花齐放，百家争鸣”！科学界的精神振奋起来了，科学界的思想活跃起来了。

这一年的1月周恩来总理在党中央召开的知识分子问题会议上作报告，阐述了“现代科学技术正在一日千里地突飞猛进”的逼人形势，特别讲了原子能的利用和“由于电子学和其他科学的





进步而产生的电子自动控制机器，已经可以开始有条件地代替一部分特定的脑力劳动，就像其他机器代替体力劳动一样。”结论是：“这些最新的成就，使人类面临着一个新的科学技术和工业革命的前夕。这个革命，正如布尔加宁同志所说过的，‘就它的意义来说，远远超过蒸汽机和电的出现而产生的工业革命’。”布尔加宁是当时苏联的部长会议主席。

由此可见，当时在苏联，在

中国，都在饶有兴味地讨论用电子自动控制机器代替一部分脑力的新的工业革命的问题。这样的兴趣和讨论，不能不使人注意到最初提出这方面见解（从机器作为人手的延长发展到作为人脑的延长，来看第一次工业革命发展到第二次工业革命）的 N. 维纳和他创立的 Cybernetics，不能不使人对 Cybernetics 重新作出客观的评价。

说重新评价，就是因为以前有过评价。过去的评价不正确，所以需要重新评价。

苏联过去对 Cybernetics 的评价，是根本否定的评价。其代表就是 1953 年第 5 期《哲学问题》杂志发表的题为《Cybernetics 为谁服务》的文章，署名是“唯物主义者”。1954 年苏联两位哲学权威主编的《简明哲学辞典》，收有 Cybernetics

的批判，仅是其中之一。苏联自然科学领域的这些批判，当时中国大都当作“先进的”东西翻译介绍过来了，并且在中国进行了学习和跟随着组织了或多或少的批判。不过，“唯物主义者”的这篇文章却没有翻译介绍过来，因而中国没有进行对 Cybernetics 的批判。现在有些文章常说当时中国跟着苏联也批判过 Cybernetics，这个情况是没有的。这不是因为当时介绍苏联科学的中国人，在这个问题上有什么觉悟和不同的见解，纯粹是因为当时没有注意到。当然，也不能说苏联对 Cybernetics 的批判完全没有介绍到中国来，那本《简明哲学辞典》是出了中译本的，中译本根据原书条目的阐释，把 Cybernetics 译为“大脑机械论”。不过夹在那么一本辞典中的一个条目，不但中国科学界没有注意到，中国哲学界也没有注意到。

中国注意到 Cybernetics，还是受苏联的影响，在苏联对 Cybernetics 重新讨论和评价以后。1954年11月哲学家和数学史家柯尔曼教授在苏共中央社会科学院作了一个题为“什么是 Cybernetics?”的报告，在《哲学问题》1955年第4期发表了。同一期《哲学问题》还发表了数学家索波列夫院士等三人的文章《Cybernetics 的若干基本特征》。这是苏联重新讨论 Cybernetics 的开始。

苏联科学界的这个动向引起了中国的注意。1955年11月、12月《学习译丛》(它是中宣部主办的一个月刊)相继发表关于这个动向的报道和胡平、景松译出的柯尔曼的那篇文章:《什么是 Cybernetics?》。因为译者和译丛编辑部的同志不是学自然科学的，就要在中宣部科学处工作的我为他们校订译文。开初他们还是按《简明哲学辞典》的译法，把 Cybernetics 译为“大脑机械论”。这是受过去错误评价而形成的错误译法，当然不应该沿用。该怎么译呢?我们几个人商量，觉得应该按 Cybernetics 这个词的希腊字源和这门科学的现实内涵来译，就商定译为“控制论”。同期《科学通报》译出索波列夫的文章，也统一用“控制论”这个新译法。由此这个译法传播开来，后来有人建议译为“控制学”，这个译法可能更好，但是“控制论”的译法既已传开，用惯，也就不便更改了。

1956年1月知识分子问题会议报告的起草，其中的有关用语，无疑反映了上述的有关讨论和中国对苏联讨论的介绍和关注。○

来源：人机与认知实验室

这个条目。这篇文章和这个条目对 Cybernetics 的判决词是：“一种反动的伪科学”，在哲学上是“人是机器”的机械论的现代变种，在政治上是为帝国主义服务的思想武器。

大家知道，从1948年李森科在斯大林和联共中央支持下发动批判摩尔根遗传学的运动开始，苏联在自然科学各个部门对许多学说都进行了粗暴而无理的正式批判和哲学批判。对 Cybernetics



中国智能控制 40 年

文 / 中南大学 蔡自兴

人工智能的产生与发展，促进了自动控制向着它的当今最高层次——智能控制（intelligent control）发展。智能控制代表了自动控制的最新发展阶段，也是应用人工智能实现人类脑力劳动和体力劳动自动化的一个重要领域。

自动控制在发展过程中既面临严峻挑战，又存在良好发展机

遇。为了解决自动控制面临的难题，一方面要推进控制硬件、软件 and 智能技术的结合，实现控制系统的智能化；另一方面要实现自动控制科学与人工智能、计算机科学、信息科学、系统科学和生命科学等的结合，为自动控制提供新思想、新方法和新技术，创立自动控制的交叉新学科——智能控制，并推动智能控制的发展。

智能机器（intelligent machine）是能够在各种环境中自主地或交互地执行各种拟人任务（anthropomorphic tasks）的机器。拟人任务即仿照人类执行的任务。智能控制是驱动智能机器自主地实现其目标的过程。或者说，智能控制是一类能够独立地

驱动智能机器实现其目标的自动控制。

为了聚焦研究目前国际上公认的“智能控制”，本文讨论范围局限于讨论基于人工智能理论和生物智能机理的控制，既不包括“广义智能控制论”，也不涉及与智能控制相关但有所区别的“智能系统”“智能化系统”“智能检测”以及一般的“智能自动化”等领域。

结合笔者自身经历，介绍国内外智能控制的简要发展历程，概括中国智能控制基础研究、学术研究和科技研究取得的成果。

智能控制发展过程

智能控制是一门具有强大生命力和广阔应用前景的新型自动控制科学技术，它采用各种智能化技术实现复杂系统和其他系统的控制目标。从智能控制的发展过程和已取得的成果来看，智能控制的产生和发展正反映了当代自动控制的发展趋势，是历史的必然。

智能控制第一次思潮出现于 20 世纪 60 年代，智能控制的早期开拓者们提出和发展了几种智能控制的思想和方法。20 世纪 60 年代中期，自动控制与人工智能开始交接。1965 年，著名的美籍华裔科学家 Fu 等（傅京孙，美籍华人）首先把人工智能的启发式推理规则用于学习控制系统，1971 年 Fu 又论述了人工智能与自动控制的交接关系，由于他的重要贡献，已成为国际公认的智能控制的先行者和奠基人。

20 世纪 60 年代中期至 70 年代中期，中国未能加入早期国际智能控制研究行列。1978 年 3 月，全国科学大会在北京召开，发出“向科学技术现代化进军”的号召，迎来了中国科学的春天。

随着人工智能和机器人技术的快速发展，智能控制的研究出现一股又一股新的热潮，并获得持续发展。各种智能控制系统，包括专家控制、模糊控制、递阶控制、学习控制、神经控制、进化控制、免疫控制和智能规划系统等已先后开发成功，并被应用于各类工业过程控制系统、智能机器人系统和智能制造系统等。

20 世纪 70 年代中期，Feigenbaum 牵头的专家系统开发获得成功，在 20 世纪七八十年代世界范围内取得可观的经济效益。1983 年 Hayes 等提出专家控制系统。1986 年，Åström 等发表了

“专家控制”的相关论文。在 20 世纪七八十年代，中国的专家控制和专家规划系统开发蓬勃发展，出现不少成果。

模糊控制是智能控制的又一活跃研究领域。Zadeh 于 1965 年发表了其著名模糊集合（fuzzy sets）论文，为模糊控制开辟了新的领域。此后，国内外对模糊控制的理论探索和实际应用两个方面，都进行了广泛研究，并取得一批令人感兴趣的成果。

Saridis 对智能控制系统的分类和智能递阶控制作出杰出贡献。他将智能控制发展道路上的最远点标记为智能控制，其团队建立的智能机器理论采用“精度随智能降低而提高”（increasing perception with decreasing intelligence, IPDI）原理和三级递阶结构，即组织级、协调级和执行级，这些思想成为智能递阶控制的基础。智能递阶控制思想对各类智能控制系统具有普遍的





指导作用。

Pitts 等于 1943 年提出一种“似脑机器”（mindlike machine）的神经网络模型。20 多年来，基于神经网络控制的理论和机理已获进一步开发和应用。以神经控制器为基础的神​​经控制系统已在非线性和分布式控制系统及学习系统中得到不少成功应用，中国的神经控制研究与应用成果令人瞩目。

20 世纪 80 年代以来，中国学者先后提出一些新的智能控制理论、方法和技术。周其鉴等于 1983 年发表了关于仿人控制的论文，之后又发展为仿人智能控制专著。吴宏鑫等提出的“航天器变结构变系数的智能控制方法”和“基于智能特征模型的智能控制方法”等，为智能控制器的设计开拓了一条新的道路。蔡自兴等于 2000 年提出和开发了进化控制系统和免疫控制系统，把源于

生物进化的进化计算机制与传统反馈机制相结合，用于控制可实现一种新的控制——进化控制；而把自然免疫系统的机制和计算方法用于控制，则可构成免疫控制。进化控制和免疫控制是两种新的智能控制方案，推动了智能控制研究进入新世纪以来向新的领域发展。

单一智能控制往往无法满足一些复杂、未知或动态系统的控制要求。20 世纪 90 年代以来，特别是进入 21 世纪以来，各种智能控制互相融合，“取长补短”构成众多的“复合”智能控制，开发某些综合的智能控制方法来满足现实系统提出的控制要求。所谓“智能复合控制”指的是智能控制方法与其他控制方法（经典控制和现代控制）的集成，也包括不同智能控制技术的集成。仅就不同智能控制技术组成的智能复合控制而言，就有模糊神经控制、神经专家控制、进化神经控制、神经学习控制、专家递阶控制和免疫神经控制等。以模糊控制为例，就能够与其他智能控制组成模糊神经控制、模糊专家控制、模糊进化控制、模糊学习控制、模糊免疫控制及模糊 PID 控制等智能复合控制。

“多真体系统”（multi-agent system, MAS）是一种分布式人工智能系统，能够克服单个智能系统在信息资源、时空分布和系统功能上的局限性，具备并行、分布、交互、协作、适应、容错和开放等优点，因而在 20 世纪 90 年代获得快速发展，并在 21 世纪以来得到日益广泛的应用。在这种背景下，分布式智能控制系统也应运而生，成为智能控制的一个新的研究领域。

随着网络技术的快速发展，网络已成为大多数软件用户的交互接口，软件逐步走向网络化，为网络服务。智能控制适应网络化趋势，其用户界面已逐步向网络靠拢，智能控制系统的知识库和推理机也逐步与网络接口交接。与传统控制和一般智能控制不同的是，网络控制系统并非以网络作为控制机理，而是以网络为控制媒介；用户对受控对象的控制、监督和管理，必须借助网络及其相关浏览器和服务​​器来实现。无论客户端在什么地方，只要能够上网就可以对现场设备及其受控对象进行控制与监控。智能控制系统与网络系统的深度融合而形成的网络智能控制系统，是

当今智能控制的一个新的研究和应用方向,已成为 21 世纪智能控制的一个新亮点。

进入 21 世纪以来,智能控制在更高水平上复合发展,并实现与国民经济的深度融合。特别是近年来,各先进工业国家竞相提出人工智能、智能制造和智能机器人的发展战略,为智能控制的发展提供了前所未有的发展机遇。中国政府发布的《中国制造 2025》《新一代人工智能发展规划》和《机器人产业发展规划 2016—2020》等国家重大发展战略,为智能控制基础研究及其在智能制造、智能机器人、智能驾驶等领域的产业化注入活力。

中国智能控制科技成果

1967 年,Leondes 等首次正式使用“智能控制”一词。这一术语的出现要比“人工智能”晚 11 年,比“机器人”晚 47 年。可见国际开始研究智能控制的时间较晚。相对于人工智能和机器人学,中国的智能控制研究虽然起步晚于智能控制的发源地美国,但自国际智能控制学科诞生后,就基本上保持紧密跟踪状态,许多研究与国际智能控制前沿研究保持同步,并有所创新。

形成智能控制学科

随着智能控制新学科形成的条件逐渐成熟,1987 年 1 月,在美国费城由 IEEE 控制系统学会与计算机学会联合召开了智能控制国际会议(International Symposium on Intelligent Control, ISIC)。这是有关智能控制的第一次国际学术盛会,中国学者与来自美国、欧洲、日本及其他国家和地区的代表出席了这次学术盛会。提交大会报告和分组宣读的论文及专题讨论,显示出智能控制的长足进展。这次会议及其后续影响表明,智能控制作为一门独立学科已正式登上国际学术和科技舞台。

表 1 历届智能控制与自动化世界大会情况

| 序号 | 大会名称 | 召开时间 | 举行地点 |
|----|-----------------------|-------------------------|------|
| 1 | 第 1 届全球华人智能控制与智能自动化大会 | 1993 年 8 月 26-30 日 | 北京 |
| 2 | 第 2 届全球华人智能控制与智能自动化大会 | 1997 年 6 月 23-27 日 | 西安 |
| 3 | 第 3 届全球智能控制与智能自动化大会 | 2000 年 6 月 28 日-7 月 2 日 | 合肥 |
| 4 | 第 4 届全球智能控制与智能自动化大会 | 2002 年 6 月 10-14 日 | 上海 |
| 5 | 第 5 届全球智能控制与智能自动化大会 | 2004 年 6 月 15-19 日 | 杭州 |
| 6 | 第 6 届全球智能控制与智能自动化大会 | 2006 年 6 月 21-23 日 | 大连 |
| 7 | 第 7 届全球智能控制与智能自动化大会 | 2008 年 6 月 25-27 日 | 重庆 |
| 8 | 第 8 届智能控制与智能自动化世界大会 | 2010 年 7 月 7-9 日 | 济南 |
| 9 | 第 9 届智能控制与智能自动化世界大会 | 2011 年 6 月 21-25 日 | 台北 |
| 10 | 第 10 届智能控制与智能自动化世界大会 | 2012 年 7 月 6-8 日 | 北京 |
| 11 | 第 11 届智能控制与智能自动化世界大会 | 2014 年 6 月 27-30 日 | 沈阳 |
| 12 | 第 12 届智能控制与智能自动化世界大会 | 2016 年 6 月 12-15 日 | 桂林 |
| 13 | 第 13 届智能控制与智能自动化世界大会 | 2018 年 7 月 4-8 日 | 长沙 |

自 20 世纪 90 年代以来，国内对智能控制的研究进一步活跃起来，相关学术组织不断出现，学术会议经常召开。已成立了一些关于智能控制的学术团体，如中国人工智能学会智能控制与智能管理专业委员会及智能机器人专业委员会，中国自动化学会智能自动化专业委员会等。与智能控制相关的刊物，如《模式识别与人工智能》《智能系统学报》和《CAAI Transaction on Intelligence Technology》(《智能技术学报》) 期刊等先后创刊。这些情况表明，智能控制作为一门独立的新学科，已在中国建立起来了。1993 年由中国学者组织召开的首届“全球华人智能控制与智能自动化大会”，后修改更名为“智能控制与自动化世界大会”(World Congress on Intelligent Control and Automation, WCICA)，至今已举行 13 届，说明在中国已经形成智能控制学科，而且对国际智能控制的发展起到很大的促进作用。表 1 简要介绍了历届智能控制与自动化世界大会的情况。

此外，还举办了中国智能自动化学术会议、全国智能控制专家讨论会等，交流智能控制和智能化的研究成果。在其他相关会议上，也有反映国内智能控制、模糊控制、神经控制及其应用研究成果的论文发表。例如，

在 1994 年举行的第二届智能控制专家讨论会上，就有一批大会报告以及其他一些优秀的科技论文宣读，内容十分丰富，反映出中国智能控制的蓬勃发展。又如，在中国智能自动化学术会议上，也有颇具影响的智能控制报告和论文发表。

基础理论与方法研究颇具特色

中国的智能控制研究在跟踪国际发展步伐的同时，也创造了具有中国特色的智能控制研究成果。智能仿人控制、基于智能特征模型的智能控制方法、生物控制论、神经学习控制、智能控制四元结构理论、免疫控制系统、多尺度智能控制等是这些成果的突出代表。

1) 基于智能特征模型的智能控制方法

吴宏鑫及其团队在智能控制理论与方法上取得了创新成果，他们提出的“航天器变结构变系数的智能控制方法”和“基于智能特征模型的智能控制方法”等，为复杂航天器和工业过程智能控制器的设计开拓了一条新的道路。此外，还在交会对接和空间站控制等方面进行了创新研究。其理论方法已应用于“神舟”飞船返回控制、空间环境模拟器控制、卫星整星瞬变热流控制和铝电解过程控制等控制系统。

2) 多学科、多层次、系统化的智能控制方法

王飞跃是国际上较早进入智能控制领域研究的学者之一。他采用多学科、多层次、系统化的研究方法，从交叉性的角度探索智能控制，从结构、过程、算法和实现方面建立了一个解析和完备的智能控制理论，并应用于许多工程中的复杂系统的控制和管理。例如，代理控制方法(agent-based control)、智能指挥与控制体系、智能交通系统、智能空间和智能家居系统以及综合工业自动化等领域。他主持的“智能控制理论与方法的研究”获得 2007 年国家自然科学奖二等奖。此外，王飞跃还提出了“平行控制”思想，是一种从学习控制发展到智能控制的学习控制方法论，将实际系统与人工系统相结合，用人工系统的计算实验完善实际系统优化控制策略，帮助实现对复杂系统的有效控制。

3) 智能控制系统和生物控制论研究

涂序彦也是较早进入智能控制领域研究的学者。1976 年他在国内率先开展了智能控制研究，1980 年主持研制的“模糊控制器”等智能控制器，多次获河北省科技进步奖。1986 年承担国家自然科学基金项目“智能控制系统”，提出“多级自寻优智能控制

器”“多级模糊控制”和“产生式自学习控制”等新方法，还将智能控制应用于冶金等生产过程。撰写了《生物控制论》专著，推动了国内生物控制论研究。

4) 模拟人的控制行为与功能的仿人智能控制

仿人控制 (human-simulated control) 综合了递阶控制、专家控制和基于模型控制的特点，实际上可以把它看作一种混合智能控制。仿人控制的思想是周其鉴等于 1983 年正式提出的，现已形成了一种具有明显特色的控制理论体系和比较系统的设计方法。仿人控制的基本思想是在模拟人的控制结构的基础上，进一步研究和模拟人的控制行为与功能，并把它用于控制系统，实现控制目标。

5) 智能控制四元交集结构理论

智能控制的学科结构理论体系是智能控制基础研究的一个重要课题。自 1971 年傅京孙提出把智能控制作为人工智能和自动控制的 (二元) 交接领域之后，萨里迪斯和蔡自兴分别提出三元交集结构和四元交集结构。这些智能控制学科结构思想，有助于对智能控制的进一步深刻认识。蔡自兴于 1987 年提出的四元智能控制结构 (图 1)，认为智能控制是自动控制 (AC 或 CT)、人工智能 (AI)、信息论 (IT 或 IN) 和运筹学 (OR) 四个子学科的交集。智能控制四元交集结构理论成果，已被收入了《中国大百科全书》。

6) 开发钢铁工业神经学习控制系统

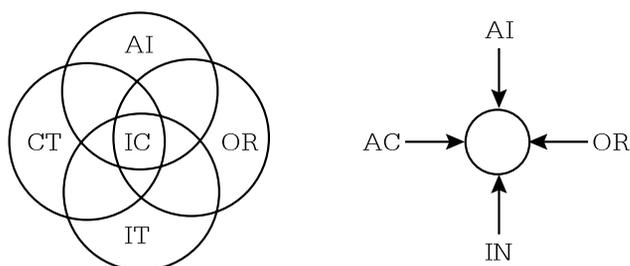
吕勇哉对国际智能控制作出重要贡献。1989 年因把专家系统和知识工程用于工业控制而获美国仪器学会 UOP 技术奖。1996 年和 1995 年发表在美国《Iron and Steel Engineer》杂志的论文《Meeting the challenge of intelligent system technologies

in the iron and steel industry》《Integrated neural system for coating weight control of hot dip galvanizing line》先后获得美国钢铁工程师协会的 Kelly 最优论文奖。后者是世界上第一个用于热浸镀线的神经学习控制系统。1998 年他因“对工业系统建模与智能控制的贡献”而当选 IEEE Fellow。

7) 智能制造过程的多尺度智能控制

李涵雄提出智能制造是个多尺度复杂性和不确定性的过程。一个工厂通常拥有一个以上包含不同过程的生产线。每个过程可能集成多种机器或装备组合。整个制造过程可视为递阶结构，从底层的机器控制，到中层的监督控制和生产调度，再到高层的企业运营。对于不同层级的特性与动力学差异需要不同的连续和离散控制作用。

制造过程具有很多不同类型的装备与系统，集成为展现多尺度动态特性的递阶结构系统。制造控制是一种多尺度建模与控制 (multiscale modeling and control) 任务，涉及底层过程的智能传感、系统离线的优化设计、在线多变量过程控制和高层决策的智能学习等。该领域的系统性工作应当采用自底向上的方法逐步建立起来，从动态建模到系统设计、过程控制和智能监控，再



(a) 子学科交集

(b) 结构简图

图 1 智能控制的四元结构

到全厂管理控制。这个开发任务将是一个长期的挑战。

8) 纳米机器人控制取得新的突破

纳米操作机器人是一种纳米级空间操作的机器人，中国在该领域的研究已取得突破。中国科学院沈阳自动化研究所微纳米课题组利用纳米操作机器人在单分子病毒三维可控操作方法研究方面取得最新科研成果。2005年，中国科学院沈阳自动化研究所建立了国内第一台纳米操作机器人系统，并在此基础上率先开展了与生命科学相交叉的前沿科学研究，在单分子病毒三维操作方面的应用正是该研究的代表。针对该问题，纳米课题组以基于 AFM 的纳米操作机器人为基础，研究了针对腺病毒的三维空间操作控制方法。实验结果表明，利用基于局部扫描技术的三维操作策略，不仅能够实现对病毒分子在三维空间中的自由操作，还能根据设计构筑出全病毒分子的三维纳米结构，这不仅为病毒浸染细胞过程的实时检测迈出了坚实一步，同时为发展基于病毒分子的新型三维纳电子器件提供了技术途径。

专著论文发表丰硕

国际上，美国等国家较早开展智能控制研究，中国也保持同步，出版了一批智能控制专著和论文汇编。其中在 2000 年前出版的有代表性的专著包括：(1)



1993 年出版的《Intelligent control: aspects of fuzzy logic and neural nets》，主要介绍模糊逻辑基础和模糊控制，几乎没有神经控制的内容；(2) 1996 年出版的《Industrial intelligent control: Fundamentals and applications》，主要介绍智能控制基础知识及控制系统建模、估值、优化、故障与诊断，只用很少篇幅（一章）简要介绍神经网络自适应控制、模糊逻辑控制和专家控制等；(3) 1997 年出版的《Intelligent control: Principles, techniques and applications》，是国际上首部全面系统地介绍智能控制各种系统的工作原理、基本技术及其应用的英文专著；(4) 1999 年出版的《Intelligent control based on flexible neural networks》，全书介绍神经网络基本知识和自校正控制，局限于神经网络基础和少量神经网络控制的例子。后 2 部专著由吕勇哉和蔡自兴完成。

如同这个时期出版的其他智能控制专著一样，除了《Intelligent control: Principles, techniques and applications》外，上述专著局限于介绍模糊逻辑和神经网络的基础知识，只着重讨论了逻辑控制或神经控制，未能全面系统地介绍智能控制的各个研究与应用领域。至于智能控制论文汇编，如《Introduction to Intelligent control and autonomous control》《Intelligent control systems: Theory and applications》《Intelligent control systems using soft computing methodologies》，都

是许多智能控制研究者学术论文的汇编，也发挥了重要的参考作用。

中国学者在智能控制研究开发和应用的基础上，发表了许多以智能控制为主题的论著。这些著作总结和交流了智能控制研究成果，对智能控制的进一步研究起到重要的指导作用。自 1987 年人工智能著作开禁以来，全国已编著出版了近 100 部智能控制专著和教材。表 2 列出国内智能控制专著的部分代表作，在一定程

表 2 智能控制专著代表出版情况

| 序号 | 专著名称 | 作者 | 出版社 | 出版年份 |
|----|---|-----------------------|---------------------------|------|
| 1 | 智能控制 | 蔡自兴 | 电子工业出版社 | 1990 |
| 2 | 智能控制系统及其应用 | 王顺晃, 舒迪前 | 机械工业出版社 | 1995 |
| 3 | 模糊控制原理与应用 | 褚静, 等 | 机械工业出版社 | 1995 |
| 4 | Intelligent control: Principles, techniques and applications | Cai Zixing | World Scienlife Publisher | 1997 |
| 5 | 智能控制导论 | 罗公亮, 秦世引 | 浙江科学技术出版社 | 1997 |
| 6 | 智能信息处理和智能控制 | 边肇祺, 郑大钟, 阎平凡, 李衍达, 等 | 浙江科学技术出版社 | 1997 |
| 7 | 智能控制——基础与应用 | 蔡自兴 | 国防工业出版社 | 1998 |
| 8 | 机器人的智能控制方法 | 王灏, 毛宗源 | 国防工业出版社 | 2002 |
| 9 | 仿人智能控制 | 李祖枢, 肖亚庆 | 国防工业出版社 | 2003 |
| 10 | 基于网络环境的智能控制 | 周祖德 | 国防工业出版社 | 2004 |
| 11 | 从复杂到有序: 社神经网络智能控制理论新进展 | 李翔 | 上海交通大学出版社 | 2006 |
| 12 | 网络控制系统 | 张庆灵, 邱占芝 | 科学出版社 | 2007 |
| 13 | 工业智能控制技术与应用 | 孙彦广 | 科学出版社 | 2007 |
| 14 | 未知环境中移动机器人导航控制理论与方法 | 蔡自兴, 贺汉根, 陈虹 | 科学出版社 | 2009 |
| 15 | 复杂网络控制系统动力学及其应用 | 方建安, 唐漾, 苗清影 | 科学出版社 | 2011 |
| 16 | 智能控制在变频传动系统中的应用 | 曾允文 | 机械工业出版社 | 2012 |
| 17 | Key techniques of navigation control for mobile robots un-der unknown environment | Cai Zixing, et al | Science Press | 2016 |

度上反映出中国智能控制的研究成果，对中国智能控制研究和国内外学术交流起到重要作用。

中国学者在国内发表的与智能控制相关的论文数以万计，仅从维普资讯中文期刊服务平台查询到的“智能控制”相关论文，据不完全统计 2004 至今可达 28780 篇。

下面给出一部分值得一提的具有代表性的智能控制论文或者大会报告。

1980 年，涂序彦等编著出版《生物控制论》专著，研究生理调节系统、神经系统控制论、人体经络控制系统。

1981 年，蒋新松在《自动化学报》上发表《人工智能及智能控制系统概述》综述论文。

1983 年，周其鉴、柏建国等在国际会议上发表仿人控制设计的论文，提出仿人智能控制的思想。

1989 年，张钟俊等在《信息与控制》上发表《智能控制与智能控制系统》的综述论文，得到广泛引用。

1991 年，蔡自兴等在中国人工智能学会第 7 届学术大会上作了“智能控制研究的进展”大会报告。

1993 年 8 月，杨嘉墀和戴汝为在第一届全球华人智能控制与智能自动化大会上作“智能控制在国内的进展”的大会报告，全面总结了智能控制在理论方

法研究、控制系统设计和实际应用各方面的进展。

1995 年，杨嘉墀发表了《中国空间计划中智能自主控制技术的发展》论文。

1999 年，宋健在国际自动控制联合会（IFAC）第 14 届世界大会开幕式上作了“Intelligent control: A goal exceeding the century”的报告，对智能控制的最高目标、研究途径和注重创新等给予富有远见的指导。

1999 年吴宏鑫等提出基于智能特征模型的智能控制，2005 年又提出组合自适应模糊控制方法，并用于航天器和月球探测车的控制。

此外，张明廉等、李洪兴等、李祖枢等研究了多级倒立摆的平衡与摆起的自稳定智能控制理论与方法。

科技研究成果显著

在过去 40 年，特别是近 20 年来，中国广大智能控制科技工作者对智能控制进行了多方面研究，取得不俗的科技研究成果。表 3 示出了 2000—2017 年国家自然科学奖、技术发明奖和科技进步奖及吴文俊人工智能科学技术奖（简称“吴文俊奖”）中涉及智能控制奖项的统计。

应用研究成果

如果说中国智能控制的理论基础研究开展还不够广泛深入，那么其应用研究就比较普遍，应用领域也比较广泛，举例简介智能控制在一些行业的应用状况。

1) 在过程控制和智能制造中的应用

从 20 世纪 80 年代开始，智能控制在石油化工、航空航天、



表 3 2000—2017 年智能控制获奖项目统计

| 序号 | 获奖项目名称 | 获奖人员代表 | 第一获奖单位 | 获奖类别与等级 / 获奖年份 |
|----|------------------------------------|--------------|--------------|-------------------------|
| 1 | 智能控制理论与方法的研究 | 王飞跃 | 中国科学院自动化研究所 | 国家自然科学基金二等奖 / 2007 |
| 2 | 混沌反控制与广义 Lorenz 系统族的理论及其应用 | 陈关荣, 吕金虎, 等 | 香港城市大学 | 国家自然科学基金二等奖 / 2008 |
| 3 | 仿生机器鱼高效与高机动控制的理论与方法 | 谭民, 侯增广, 等 | 中国科学院自动化研究所 | 国家自然科学基金二等奖 / 2017 |
| 4 | 基于神经网络逆的软测量与控制技术及其应用 | 戴先中, 孙玉坤, 等 | 东南大学 | 国家技术发明二等奖 / 2009 |
| 5 | 铝电解系统智能控制系统及推广应用 | 冷正旭, 李劫, 等 | 中国铝业公司 | 国家科技进步二等奖 / 2004 |
| 6 | 机器人焊接空间焊缝质量智能控制技术及其系统研究 | 吴林, 陈善本, 等 | 哈尔滨工业大学 | 国家科技进步二等奖 / 2004 |
| 7 | 混合智能优化控制技术及应用 | 柴天佑, 马鸿烈, 等 | 东北大学 | 国家科技进步二等奖 / 2006 |
| 8 | 带钢轧机运行安全保障和生产环节智能控制 | 熊诗波, 杨洁明, 等 | 太原理工大学 | 国家科技进步二等奖 / 2006 |
| 9 | 大型高精度铝合金构件制备重大装备智能控制技术及应用 | 桂卫华, 喻寿益, 等 | 中南大学 | 国家科技进步二等奖 / 2007 |
| 10 | 大型多用途智能控制试验机研制及系统与产业化 | 张建民, 张建卫, 等 | 天水红山试验机有限公司 | 国家科技进步二等奖 / 2009 |
| 11 | 空调器舒适性智能控制技术研究及产业化 | 王友宁, 屈治国, 等 | 青岛海尔空调器有限公司 | 国家科技进步二等奖 / 2015 |
| 12 | 矿山超大功率提升机全系列变频智能控制技术与装备 | 谭国俊, 涂兴子, 等 | 中国矿业大学 | 国家科技进步二等奖 / 2017 |
| 13 | 构建信息科学理论基础, 创新人工智能核心理论 | 钟义信 | 北京邮电大学 | 第 1 届吴文俊奖成就奖 / 2011 |
| 14 | 创建人工智能系统新理论, 开拓人工智能系统新技术 | 涂序彦 | 北京科技大学 | 第 2 届吴文俊奖成就奖 / 2012 |
| 15 | 网络化智能控制与调度方法及其应用 | 王万良 | 浙江工业大学 | 第 2 届吴文俊奖科技进步一等奖 / 2012 |
| 16 | 模糊系统的概率表示与空间四级倒立摆的控制 | 李洪兴 | 大连理工大学 | 第 2 届吴文俊奖创新一等奖 / 2012 |
| 17 | 拓展知识工程核心理论, 创新分布智能理论基础, 构建智能科学理论体系 | 史忠植 | 中国科学院计算技术研究所 | 第 3 届吴文俊奖成就奖 / 2013 |
| 18 | 拓展智能科学理论, 创新智能科学教育, 推动智能科学发展 | 蔡自兴 | 中南大学 | 第 4 届吴文俊奖成就奖 / 2014 |
| 19 | 城市污水处理过程智能优化控制关键技术及应用 | 乔俊飞 | 北京工业大学 | 第 6 届吴文俊奖科技进步一等奖 / 2016 |
| 20 | 一类欠驱动机器人系统的轨迹规划与跟踪控制 | 方勇纯, 孙宁, 张雪波 | 南开大学 | 第 6 届吴文俊奖自然科学二等奖 / 2016 |

冶金、轻工等过程控制中获得迅猛的发展。除了上面讨论过的航空航天领域外，在石油化工领域，将神经网络和优化软件与专家系统结合，应用于炼油厂的非线性工艺过程控制，有效地提高生产效率，节约生产成本。在冶金领域，采用模糊控制的高炉温度控制系统，可有效提高炉内温度控制精度，进而提高钢铁冶炼质量。随着《中国制造 2025》的贯彻执行，中国在智能制造领域的控制必将获得快速发展。

2) 在机器人控制中的应用

目前，智能控制技术已经应用到机器人技术的许多方面。基于多传感器信息融合和图像处理的移动机器人导航控制与装配、机器人自主避障和路径规划、机器人非线性动力学控制、空间机器人的姿态控制等。近年来，智能服务机器人、智能医疗机器人、无人驾驶车辆、物流机器人和其他专用智能机器人已获得快速发展和广泛应用；其中，人机合作控制、非结构环境中导航与控制、分布式多机器人系统控制、类脑机器人控制与决策以及基于云计算和大数据的网络机器人决策与控制等技术正在得到大力开发与应用。用智能控制技术武装机器人，将极大推动机器人行业的发展，提高机器人的智能化程度和行业水平。

3) 在智能电网控制中的应用

智能控制对电力系统的安全

运行与节能运行方面具有重要的意义。在电网运行的过程中，将智能控制技术应用用于电网故障检测、测量、补偿、控制和决策系统中，能够实现电网的智能化，提高电网运行效率。采用模糊逻辑控制技术能够及时发现电网中的安全隐患，提高智能电网应急能力，增强电网的可靠性、抗干扰能力，保证智能电网系统的稳定运行。将专家控制系统应用于电网规划，可以充分利用电力专家的经验 and 知识，不断优化电网的规划质量，提高电网优化效率。

4) 在现代农业控制中的应用

先进设备在中国农业中的应用不断增加，农业生产过程的智能化程度也越来越高。将智能控制技术应用用于农事操作过程中，能够调节植物生长所需的温度、肥力、光照强度、CO₂ 浓度等环境因素，实现对植物生长因素的精准控制，实现规模化的发展和农业最大利益。同时建立农业数据库，使生产者能够大面积、低成本、快速准获取农业信息，根据市场确定农产品数量，实现农业数据处理的标准化与智能化。

5) 智能交通控制与智能驾驶

智能交通是一种新型的交通系统或装置，是人工智能技术与现代交通系统融合的产物。智能交通系统需要具备对驾驶环境和交通状况的全面实时感知和理解的能力，其中具备自主规划与控制以及人机协同操作功能的智能车辆是实现未来智能交通系统的关键。对自动驾驶车辆或者辅助驾驶车辆来说，利用环境感知信息进行规划决策后需要对车辆进行控制，例如对路径的自动跟踪，此时性能优良的控制器成为了智能车辆必不可少的部分，成为智能车辆的关键。

中国在智能驾驶领域取得不少研究成果。例如，2011年7月14日，国防科技大学、中南大学、吉林大学联合开发的自主车辆，完成了中国首次长距离（长沙至武汉）高速公路自动驾驶实验，实现了在密集车流中远距离安全驾驶，创造了中国无人车自动驾驶的新纪录，标志着中国无人车在复杂环境识别、智能行为决策和控制等方面实现了新的突破，达到世界先进水平。2012年7月，军事交通学院研制的 JJUV-3 实验车完成天津 - 北京城际高速公路的自动驾驶实验，具备跟车行驶和自主超车能力。2015年12月，百度无人驾驶车在国内首次实现了城市、环路及高速公路混合路况下的全自动驾驶。

此外，智能控制在智能安防、智能军事、智能指挥、智能家



电、智慧城市、智能教育、智能管理、社会智能、智能军事和智能经济等领域，也已在中国获得日益广泛的应用。

中国智能控制教育与人才培养

智能控制教育和人才培养是智能控制学科发展、科学研究与产业开发应用的重要基础。自 20 世纪 80 年代中期开始，中国部分高校开设了智能控制课程。经过 30 多年的推广、提升与发展，现在中国大部分重点高校的智能科学与技术、自动化 / 自动控制、机械电子工程等专业都开设了智能控制类的本科生和研究生课程。有些课程的教学与教改取得有益经验，已成为国家级精品课程和国家级精品资源共享课程等。表 4 给出中国已出版的主要智能控制教材情况。其中，蔡自兴所著《智能控制》是 1988 年由国家教育部计算机与自动控制教材编审委员会招投标、胡保生主审和评审通过，并于 1990 年由电子工业出版社正式出版的全国统编教材，也是中国首部智能控制系统教材，同时是国际上首部系统全面介绍各种智能控制系统的专著。李士勇等编著的《模糊控制和智能控制理论与应用》则是中国首部智能控制研究

生教材。这些智能控制课程和智能控制教材对于中国智能控制学科建设、科技知识传播和人才培养起到不可或缺的重要作用。

表 5 示出了入选国家级质量工程的智能控制类相关精品课程名单。这些课程仅是全国质量工程国家级课程很小的一部分。例如，国家教育部 2016 年 7 月 15 日公布第一批国家级精品资源共享课 2686 门，其中，本科教育课程 1767 门，高职教育课程 759 门，网络教育课程 160 门。而智能控制类课程虽然榜上有名，但只有 3 门，约占 0.1%。不过，这些智能控制类课程来之不易，已在改革中不断发展壮大，并对全

表 4 智能控制教材代表作

| 序号 | 著作名称 | 作者 | 出版社 | 出版年 |
|----|--------------------------|--------------|-------------------|------|
| 1 | 智能控制（全国统编教材） | 蔡自兴 | 电子工业出版社 | 1990 |
| 2 | 模糊控制和智能控制理论与应用 | 李士勇，夏承光 | 哈尔滨工业大学出版社 | 1990 |
| 3 | 智能控制理论与方法 | 李人厚 | 西安交通大学出版社 | 1994 |
| 4 | 智能控制系统——模糊逻辑、专家系统、神经网络控制 | 王耀南 | 湖南大学出版社 | 1996 |
| 5 | 智能控制理论与技术 | 孙增圻，张再兴，邓志东 | 清华大学出版社，广西科学技术出版社 | 1997 |
| 6 | 智能控制技术 | 易继锺，侯媛彬 | 北京工业大学出版社 | 1999 |
| 7 | 人工智能控制 | 蔡自兴 | 化学工业出版社 | 2005 |
| 8 | 智能控制基础理论及应用 | 张化光，孟祥萍 | 机械工业出版社 | 2005 |
| 9 | 智能控制 | 李少远，王景成 | 机械工业出版社 | 2005 |
| 10 | 智能控制基础 | 韦巍，何衍 | 清华大学出版社 | 2006 |
| 11 | 智能控制理论及应用 | 王耀南，孙炜 | 机械工业出版社 | 2006 |
| 12 | 智能控制原理与应用 | 蔡自兴 | 清华大学出版社 | 2007 |
| 13 | 智能控制导论 | 蔡自兴 | 中国水利水电出版社 | 2007 |
| 14 | 智能控制理论及应用 | 韩力群 | 机械工业出版社 | 2007 |
| 15 | 网络控制系统与应用 | 关守平，周玮，尤富强 | 电子工业出版社 | 2008 |
| 16 | 网络控制技术 | 谢昊飞，李勇，王平，张军 | 机械工业出版社 | 2009 |
| 17 | 智能控制技术 | 罗兵，甘俊英，张建民 | 清华大学出版社 | 2011 |
| 18 | 智能控制导论 | 蔡自兴 | 中国水利水电出版社 | 2013 |
| 19 | 智能控制 | 李士勇，李研 | 清华大学出版社 | 2016 |
| 20 | 柔性智能控制 | 刘丽 | 西安交通大学出版社 | 2017 |

表 5 国家级和部分省部级智能控制课程或项目

| 序号 | 获奖项目 / 课程名称 | 主持人 | 学校名称 | 批准年份 |
|----|--------------------------|-----|------------|------|
| 1 | 全国工科电子类专业优秀教材一等奖 / 智能控制 | 蔡自兴 | 中南大学 | 1996 |
| 2 | 国家级精品课程 / 智能控制 | 蔡自兴 | 中南大学 | 2006 |
| 3 | 国家级精品课程 / 智能控制基础 | 师黎 | 郑州大学 | 2006 |
| 4 | 全国双语教学示范课程 / 智能控制基础 | 师黎 | 郑州大学 | 2007 |
| 5 | 国家级教学团队 / 智能科学与技术教学团队 | 何新贵 | 北京大学 | 2008 |
| 6 | 国家级教学团队 / 智能科学基础系列课程教学团队 | 蔡自兴 | 中南大学 | 2008 |
| 7 | 国家级精品资源共享课程 / 智能控制 | 蔡自兴 | 中南大学 | 2016 |
| 8 | 国家级精品资源共享课程 / 智能控制基础 | 师黎 | 郑州大学 | 2016 |
| 9 | 国家级精品资源共享课程 / 楼宇智能化技术 | 牛云陞 | 天津中德职业技术学院 | 2016 |

国智能控制教学发挥了重要的示范与辐射作用。

“全国智能科学与技术教育暨教学学术会议”自 2003 年以来已举办 12 次，是中国人工智能教育与教学领域具有特色和权威的学术盛会，对于人工智能及其相关学科的教育教学、学科建设和人才培养发挥了关键作用。这个系列会议的一个重要内容就是智能控制教育、教学和教改成果。

2005 年首次在北京大学开设的智能科学与技术专业，已发展到全国 55 所大学，仅这些大学的“智能”专业每年就培养大约 3000 名智能科学技术专业人才。据估计，近 30 年来，全国高校已培养人工智能和智能控制等相关学科的硕士和博士数以千计，本科毕业生数以万计。这些高层次的智能科技人才是中国发展人工智能和智能控制的最为宝贵的财富，必将成为中国智能科技跨越式发展的中坚力量。

中国智能控制研发中存在的问题

中国智能控制在发展过程中出现如下问题。

1) 研究以跟踪为主，创新不够

在智能控制的发展过程中，中国智能控制科技工作者在模糊控制、递阶控制、专家控制、神经控制、多真体 (MAS) 控制、网络控制等领域都能够紧跟国际发展潮流，但自主创新成果尚不够多，国际影响力有待提高。在仿人控制、进化控制和免疫控制等领域，中国学者虽然提出相关思想，为这些领域的开创与发展做出贡献，但跟进力度不足，国际影响需要进一步扩大。国内重复研究的多，创造性研究的少，停留于实验成果的多，能够在工



程上应用的少。需要各方面共同努力，尽快转变这一局面。

2) 缺乏更高水平的研究成果

从前面列出的智能控制科学技术研究成果可以看出，中国智能控制研究虽然已取得一大批值得庆贺的成果，但缺乏更高级别的奖项。在国家科学技术奖中，智能控制研究所获奖项均为国家级二等奖，还没有实现国家级一等奖零的突破。在这些二等奖奖项中，又是以科技进步奖为主，自然科学奖和技术发明奖成果较少。在吴文俊人工智能科技奖中，智能控制研究奖项的科技水平也有需要进一步提高。由此可见，中国智能控制研究的整体水平有待提高，不仅要向更高的国家科技水平前进，而且要努力攀登智能控制研究的国际高峰。

3) 服务国民经济重大战略不够

中国智能控制研究与应用的整体水平不够高的原因，除了研究力度不够和缺乏创新驱动外，还与服务国民经济重大战略不够有关。需要将智能控制的研究、开发和应用与国民经济的重大战略对接，在服务国家重大需求中寻找发展机遇。现在，人工智能出现蓬勃发展的大好形势，国家制定了一系列重大发展战略，特别是《中国制造 2025》和《新一代人工智能发展规划》。智能控制应该也能够在这类国家战略框架内占有一席之地，谋求与人工智



能取得同步发展。

4) 产业化规模和核心技术有待扩大

中国智能控制产业已建立了初步基础，但如同人工智能产业一样，中国的智能控制产业的规模还不够大，关键核心科技的创新能力还不够强，自主知识产权也不够多。

5) 急需培养各层次智能控制人才问题

中国智能控制已有一批领军人才，但不够多，特别是中青年科技骨干有待迅速锻炼成长，需要从国家发展战略角度有计划地培养智能控制各个专业和行业的高素质人才，各层级的人才一个

也不能少。

6) 值得高度重视学风问题

长期以来，在智能控制教材和课程建设中出现一些不正之风；教材抄袭、评优送礼、弄虚作假时常可见。这些做法有失学术公平公正，违背科学道德，不利智能控制学科健康发展，令人痛心。

发展中国智能控制的对策建议

根据中国智能控制的发展历史与现状以及发展机遇和存在问题，现就发展中国智能控制问题提出如下建议，供研究和决策参考。

1) 打牢智能控制科技基础

中国智能控制的科技基础要进一步打牢。一方面要加强智能控制理论基础和方法研究，实现智能控制某些基础和理论研究的突破，为智能控制应用建立可靠基础；另一方面，要建立一批国家级智能控制技术与产业研发基地，为智能控制产业化提供技术保障。

2) 加大国家政策支持力度

建议在现有国家发展战略的基础上，为智能控制提供相应



的政策支持。例如，在《新一代人工智能发展规划》中，专题提供发展我国智能控制的规划；在《中国制造 2025》中考虑智能控制对智能制造的作用和发展策略；在《机器人产业发展规划（2016—2020）》中重点部署智能机器人的控制发展规划。需要把握当前大好机遇，出台鼓励政策，加大政府经费支持力度，吸引社会金融资本投入。

3) 抓住发展机遇实现产业化

在上述国家发展战略的大力支持下，智能控制产业要主动发力，与智能制造、智能机器人等产业密切融合，在服务国民经济发展过程中壮大自身，大力推进智能控制的产业化。智能制造、智能机器人、智能交通、智能家居、智能电网、电动汽车、智能建筑、智能电网、智慧农业及食品加工等行业都需要开发与应用各种智能控制系统，是智能控制的广阔用武之地。

4) 培养智能控制各级人才

智能控制教育是智能控制科技和产业发展以及高素质人才培养的根本保证。中国现有的自动化、智能科学与技术、机电工程等专业和科学与工程等学科已为国家培养了一批智能控制科

技人才，但远未能满足智能控制科技和产业发展的需要。需要在人工智能、智能科学与技术、控制科学与工程等一级学科下，设立智能控制二级学科，培养足够数量的智能控制高素质人才。此外，要建立职业技术学院和技工学校，对口培养智能控制中层科技人才和技术工人，全面保证智能控制产业发展的需求。要特别鼓励民间教育机构开办培训机构，培养智能控制人才。

5) 加强国际科技学术交流

“智能控制与自动化世界大会”已成为国内外智能控制科技与学术交流的重要平台，每届大会都吸引大批海外学者和师生参

加。此外，中国每年有众多的智能控制工作者走出国门参加与智能控制相关的国际学术会议，也有一定数量的学者出国参加智能控制国际合作研究。不过，中国智能控制的国际交流总体上有待加强。有必要加强与国外的智能控制科技合作，共同研究智能控制的基本理论与方法，开发重要的智能控制应用系统。同时，充分利用国内开放的环境，邀请国外高层智能控制专家来华进行合作研究，促进中国智能控制整体水平的进一步提升。

6) 成立智能控制学术组织

迄今为止，国内智能控制学术

和产业组织只有中国人工智能学会智能控制与智能管理专业委员会及中国自动化学会智能自动化专业委员会，还没有一个单一的智能控制学术组织。为适应智能控制科技和产业发展需要，应当筹备成立智能控制学会或智能控制专业委员会，并加强联合，创造条件建立中国智能控制产业联盟，为推动中国智能控制产业的发展服务。

7) 创办全国智能控制刊物

国内还没有一份公开出版的智能控制的科技学术刊物，有必要创造条件，筹备出版《智能控制》之类的期刊，报道与宣传国内智能控制研究开发成果，为国内外智能控制科技与学术交流服务。

8) 加强智能控制科学普及

在已有成绩的基础上，进一步加强智能控制科普工作，包括建立各级智能控制科普基地，鼓励智能控制科普创作，出版智能控制科普作品和科普杂志，举行智能控制系统和智能机器人科普竞赛，举办智能控制夏令营和冬令营活动，普及智能控制知识，培养广大青少年对智能控制科技的兴趣，为中国智能控制的发展培养大批后备军。

结论

结合笔者自身经历回顾智能控制在国内外的的发展过程，归纳中国智能控制的科学研究和科技教育的代表性成果，指出中国智能控制的存在问题，提出发展中国智能控制的建议，可供研究与决策参考。

智能控制已成为自动控制的一个新的里程碑，发展成为一种日趋成熟和日臻完善的控制手段，并获得日益广泛的应用。作为人工智能的一个重要研究与应用领域，智能控制同人工智能一道已进入一个前所未有的大好发展新时期，走上发展的康庄大道。

要认真学习与贯彻习近平总书记对发展中国人工智能的指示，紧密对接《新一代人工智能发展规划》和《中国制造 2025》等国家战略，不失时机地大力发展中国的智能控制科技与产业，高度重视智能控制人才培养，迎头赶超智能控制国际先进水平，为建设中国成为制造强国和智能强国做出历史性贡献。○

(来源：科技导报)

作者简介



蔡自兴，中南大学智能系统与智能控制研究所，教授，研究方向为人工智能、智能控制和智能机器人学。



基于变分贝叶斯的联合优化 及其在现代信息融合处理中的应用

文 / 西北工业大学 潘泉

一、信息融合的定义

信息融合 (Information Fusion) 这一词首先源于美国, 它的研究起源于军事 C3I 系统建设的需求。1984 年, 美国国防部成立了数据融合联合指挥实验室, 该实验室提出了他们的 JDL 模型, 经过逐步改进和推广使用, 该模型已成为美国国防信息融合系统的一种实际标准。JDL 定义信息融合是一种多层次、多方面的处理过程 (包括对多源数据进行检测相关、组合和估计等), 以提高状态和特性的估计精度、实现对战场态势、威胁及其重要程度的实时完整评价。信息融合的一般定义为利用各种信息技术与工具, 对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、优化综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。

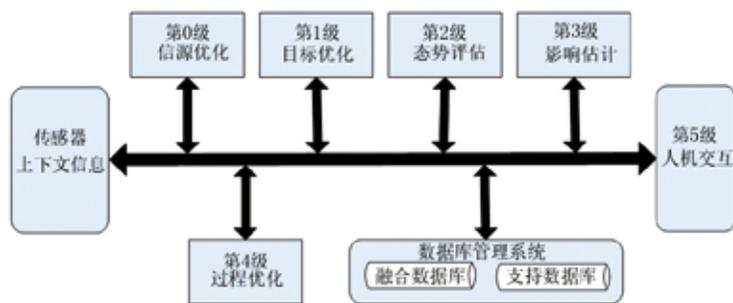
总之, 信息融合的内涵包含了三个方面, 一是各种传感器是信息融合的基础, 二是多源信息是信息融合加工的对象, 三是协

调优化和综合处理是信息融合的核心。较单传感器探测而言, 多传感器融合可以提高性能的可探测性、可信度、扩大时间和空间感知范围等。

信息融合的主要模型是 JDL 模型, 它是一个多层次结构化模型, 包括 0、1、2、3、4、5 层。以一个军事 JDL 模型为例, 如航母, 有雷达、红外线、电子知识测量、敌我识别、声纳、激光, 多数航母, 或者一个群, 一个编队, 也是分级的。在这个分级中我们希望的目标状态、目标属性, 以及整个态势, 就是信息融合。

二、信息融合遇到的挑战

(1) 传统的融合系统得到的观测是建立在公共基准上。可能是房间里电压值和电压不稳, 感觉灯光晃动, 电压怎么不稳了, 需要用 220V 电压表测量出一个值。一个是语义, 一个是空间, 这怎么融合? 肯定要在空间坐标



信息融合主要功能模型——JDL 模型

变换、时间尺度变换、单位制式转换上来进行，可以做定位、预测、属性、分类和识别。比如“山竹”台风就是在城市应急中应用到了信息融合系统。我们提前做了预判，应急方面做得很好，避免了不必要的伤亡。

(2) 对象。从军事角度来讲我们要面对像美国这样的超级大国，这种对象非常复杂，当然我们的手段也很丰富。这种意义上再做信息融合。

(3) 非线性永远存在多模式。多个传感器本身可能带来多模式，比如目标跟踪，目标本来做匀速运动，突然到某个地方开始拐来拐去，从运动来讲原来是一级方程变成现在的二级方程，模式之间来回转换。

(4) 耦合。耦合是非常复杂的，我们在天气好、天气不好的时候都要进行系统的综合，环境和关注对象之间往往存在耦合。

(5) 未知参数。未知参数有系统建模中间的良噪未知、恶噪未知。

(6) 高维数。多目标、多模式、网络化、多未知数必然导致高维数问题。多模式可以用马尔可夫系统近似描述。今天我们重点解决未知参数和高维数问题。

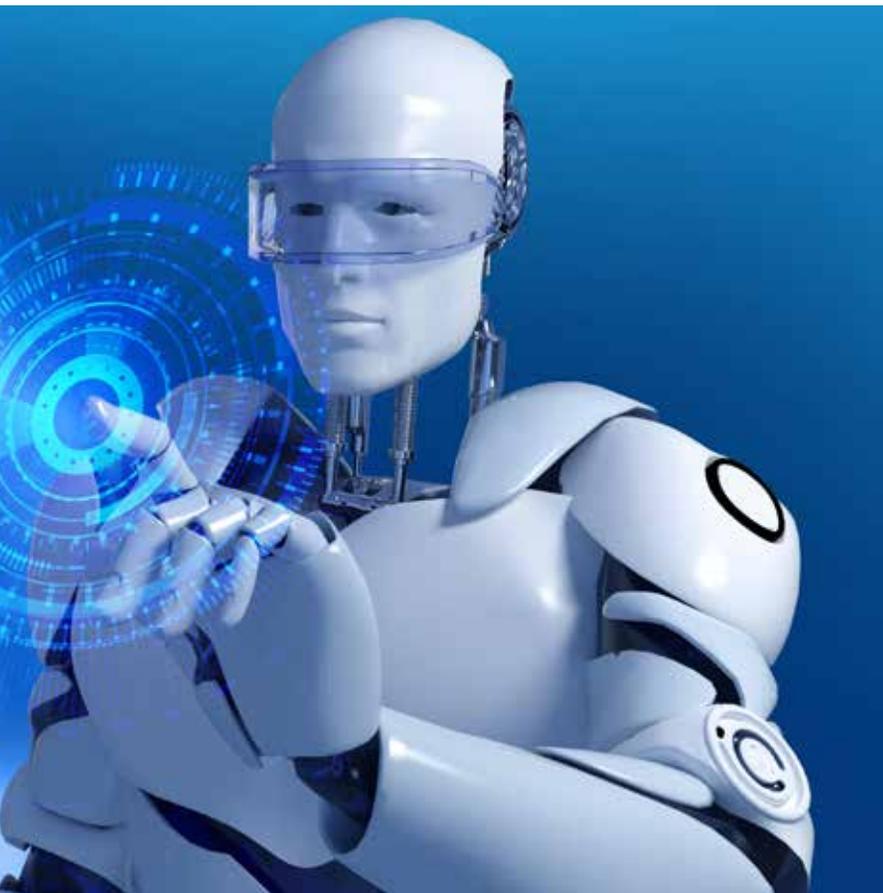
三、一体化融合和联合优化

传统的信息融合系统就是从传感器检测得到一些量测，把这些量测做凝聚，会有一些冗余，



然后把对象及这个量测是不是来自这个对象搞清楚，接下来做状态、属性，依次进行。这种串行分而治之的序贯处理方式的缺陷是，信息利用率很低，如果里面有大量的状态之间、参数之间是耦合，便会使难度增加。第二典型的开环结构，自适应调整非常强，鲁棒性非常差，会存在误差并会累积，若不返回，如何消除误差，这要看设计，设计好就可以消除。针对这些问题目前国际上已经有一些联合优化的框架和方法，可以归成四大类。

一是返回。比如 TBD，是一个信号检测器，所有信号检测器都有一个输出门限，越过门限输出，没有越过门限便认定没有信号。雷达看到目标，把目标附近的点的位置返回到信号检测会发现刚刚用的门限，在那个点位置的噪声很低，没有输出。但有目标，总是有一个门限，它可以降低，可是不能无限降低，输出的虚景杂波很多，都是噪声，能不能把已经确定是目标的附近降低一点门限，相信信噪比会好一些。这样弱小目标就可以形成，大量工程应用就可以得到，把信号弄到这里改一改，一个简单的返



回就可以提高 3 个 DB，这是从状态到点迹聚类。

二是对关联对象识别。既然已经得到了对象的位置、速度所谓状态的属性，也可以对关联对象识别，这两个综合是显而易见的。比如说现在粒子滤波，只用图像跟踪，不能用状态估计值很可惜，这个汽车可能停下来，可能减速，更大概率它可能穿越过这个树林，再加上图像，两个综合起来，就可以很好的处理这个问题。

在这种情况下如果可以做一个风险意义下的估计辨识的统计框架，将不同环节连通起来，便可以处理多种复杂或耦合问题。闭环结构可以提高利用率，而且在不同层次环节间建立不同层次的联合优化，这样可以形成统一的问题。

对于这样一个问题有统一的数学框架，最开始用 EM 方法，最后用贝叶斯 VB 方法。贝叶斯 VB 方法是在解析框架下求解这样一个问题的一种办法。重新把这个问题建模，实际上是要得到某一类的状态，是在一个传感器量测的条件下得到的。这里面引

入一个 S ，信息融合中间有没有目标，目标和量测之间关没关联上，整个模式是不是很多，关联本身若是一个事件问题，目标会不会激动，系统有没有建模的误差等等，这里面有些是离散的，有些是连续的，要求这样一个积分的话，离散和连续需要同时考虑。这样一个数据框架应该说直接去求解还是有很大的挑战，因为它是连续变量和离散变量的一个混合系统。

对于联系变量可能有解析解，也可能有数字解，对于离散变量，可以用排列求和，若用其他方法计算量比较大。两点之间最短路径，最速降线，贝叶斯引入的随机是用熵表述的。变分中间的最大熵，即熵最大下求 X 的最大熵数，是用最大熵求解的变分问题。

在变分贝叶斯中间具体是怎么做的？传统的贝叶斯从左向右推，这是量测，是 X 要求的部分，且求的部分被统称为隐变量。用贝叶斯展开，会发现这个量测，是假设这个系统存在我们可以达到的量测，量测的分布，可以进行迭代，若不能，就要先进行假设。在变分贝叶斯框架中把这个量测放在左边，用相当于全概率的公式，写成一个公式，取对数就变成两个和，这两个和以后就变成两部分，这两部分引入新的测量、度量。第一个度量定义为置信下界。第二部分为相对熵。上文中最大熵有三个熵，分别为

信息熵、相对熵、与交叉熵。三个熵之间有严格的等式关系。

置信下界，展开会遇到平均场分解，展成两项，前面一项是一个过程，这中间如果引入平均场后，就把 Ω 按照隐变量可分解或者可独立的分解形式分解开，这样就出现了两个 Ω ， Ω 实际上就是我们自动的迭代起来的，后面一项还是熵。

置信下界用 KL 散度和信息熵度量，在 KL 散度最小时，置信下界最大。如果量测已知，两个 KL 散度一个信息熵是常值，通过最大化变分分布熵，同时最小化 KL 散度，可以得到整个近似分布，这个近似分布包含所要的全部隐变量。

在这个过程中，一开始总是要选择一个最初分布点，但数学上证明初始的分布点存不存在，要让它最小，就可以形成一个迭代。通过迭代，整个算法收敛到这样的递进模式中。

这中间用到了平均场的方法。考虑到隐变量是高维、耦合的情况，采用平均场理论将变量分解，这个公式中间是假设的，这些变量之间是否有耦合关系不明确。变量分解，耦合关系弱化，平均场理论有两个基本的思想：一个是个体之间局部作用较为全局的作用，是平均场理论可以忽略不计。第二是每个个体之间相互作用非常充分，平均场理论基本思



想变革之间相互作用非常充分，实际就是每一个局部分布的求解过程，分解之后就会分成小的求解过程，每一个过程是交叉迭代进行的，这样就可以把平均场理论个体之间相互的充分作用表示出来，进而得到分解架构。从数学上来讲平均场理论基本上可以认为是收敛。

平均场从物理意义上一定是收敛的，既然得到量测，那么一定存在真实的物理世界产生这个量测，这个真实的物理世界对大部分的控制系统和工程系统，它是一个变分收敛甚至是稳定的。后面一定是存在的，只是这个分布是不是那么贴切的好而已。对于绝大部分系统其实这个分布可能贴切的非常好。

从这个意义上引入平均场，由于平均场本身机理，加上变分贝叶斯的分布，只在分布上，并不在其他地方，所以可以保证算法的有效性。选择参数的时候，最好选择共轭先验模型，这样可以构造联合概率密度函数。接下来就是交互，一边对应的是一个状态的，另一边对应参数的有两个准则，一个是置信下界准则，一个是 KL 散度准则，置信下界准则可以拆分成 KL 散度准则和分布熵准则的。两个箭头循环得到一个下界，这样输出参数结果，整个性能就可以得到保证。

这个领域里面有平均场理论的变分推理的结论，也有参数变分近似与随机变分的研究，还有其他的研究，这些研究都构成了整个变分贝叶斯的方法体系，整个变分计算中间梳理了几个要点：

第一个，在这样一个框架下提供统一的估计与辨识的贝叶斯的框架。

第二个，迭代优化能够有效地解决深耦合问题，从而实现精

细化处理。

第三个，平均场近似将高维隐变量的联合处理转化为多个低维隐变量的迭代处理，从而降低计算量。

对整个公式进行讨论，表示单纯的非线性估计优化问题，可以用传统的方法解 KL 散度。

对于最复杂的情况，不能用平均场分解。在两个相互独立的中间变量中间，引入一个中间变量，再通过中间变量去得到，然后把变分贝叶斯往下再来一遍，这是对于最复杂的情况给出的一个很好的结果。

关于变分分布近似的问题，采用平均场分解，控制计算量，控制计算量采用确定性关系替代随机性的关系，这个形式上有点极端，由于极端使隐变量的波动带来的参数波动得到了抑制，这是一个结果。

第二个是它的形式问题，其实这个形式大部分可以采用高斯等常用分布，并不需要非常复杂的分布。如果与 EM 作分析对比，它们都是单调下降的，只是下降的方式不太一样。VB 是已知先验分布的未知参数被当作隐变量，而 EM 算法中，未知参数是显性的。未知参数满足估计的约束条件，VB 退化为 EM。EM 对低维处理更简单，VB 对更高维处理更好。

表征不确定问题中有两大方法，一个是确定性解析方法，如 VB，另一个是随机采样方法，被认为是 MCMC。计算量中最接近 MCMC 的是 VB，EM 虽然简单但是性能也会下降，这样的 VB 是一个解析的框架，而且有置信下界。对于 MCMC 如果点散的太多计算量很大，计算效率没有 VB 高。

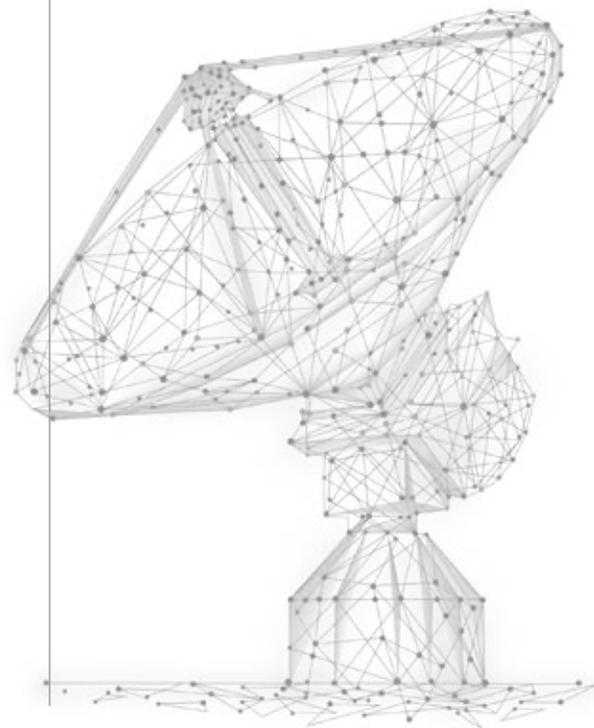
例如，把它用在比较复杂系统中间，这是典型目标跟踪的问题，中间有非线性估计的问题，也有参数辨识的问题。基本上在航迹、量测、混合上有做，现在 EM 已经有所应用，VB 很少。大量信号信息处理都存在类似的问题，VB 是非常有效的框架。这个例子所用的雷达，基本上已解密。这个雷达有一个特点，向天空发射一个波，这个波在天上正好形成一个反射，照到金属上，船、飞机就会飞回，又回到空中，在空中又下来。在 30 兆赫兹的频段，天空有一个层，可以像镜子一样反射，利用这个原理可以设计超远雷达，这部雷达可以覆盖 3500 公里，近的看不到，所以我们国家雷达都在内陆，离海岸一千公里。

美国东西海岸各三部雷达，其他的国家有俄罗斯、法国、澳

大利亚，其中澳大利亚内部雷达是美国帮助制造的，另外就是中国，这个雷达很大，天线阵地，三公里长，一开机便耗费一个小城市的供电。从上往下看，加上 30 兆的波段，所有的隐身飞机都没有意义，它可以一览无余，根本不可能隐身。

但这个雷达有一个问题，就是电离层，有几十公里到几百公里这么高。俄罗斯只有一个电离层，赤道没有电离层，在中间，一般两到四层，20 分钟一大变，50 分钟一小变，关键在于中国国土面积太大，要想探测全部的电离层，需要耗费很大的资金。

那中间位置怎么办？若一个车站跟一个车站差两千公里，可以做一个模型，但电离层本身太



作者简介



潘泉，西北工业大学教授、自动化学院院长，国家保密学院常务副院长，信息融合技术教育部重点实验室主任。主要研究方向：信息融合、目标跟踪与识别、空天平台感知与控制、多光谱偏振图像处理等。获国家科技进步一、三等奖各1项，省部级科技进步奖10项，国家教学成果二等奖1项、省教学成果特等奖1项。出版专著10部、国家级规划教材1部，发表论文400余篇，SCI收录100余篇次。获全国优秀科技工作者、中国青年科技奖、陕西省有突出贡献专家、陕西省优秀教师等称号。任国务院控制科学与工程学科评议组委员、中国航空学会信息融合专委会、机载武器试验与鉴定专委会等副主任。

过复杂，误差自然也会增大。而且这种射线追踪，会产生很多问题。同时这部雷达由于太大，检测率会很低，精度很差，且虚警率高。目标回波沿射线折返，高度依赖电离层，而电离层的结果送给雷达处理一下便结束了。

2012年，我们对于非线性的问题研究发现量测与传播模式关联有很多问题。高维数，由于目标状态、多参数、多路径，四个电离层可以组合，路径很多，多测量，测量空间维度很高，耦合极差。用这个量测做状态估计，必须要用变分贝叶斯，检测、跟踪、建模，可以看到有量测目标存在对象，和量测目标之间关联的对象、量测、电离层传播模式关联的，要求的是一个后验概率。电离层的量测和传播模式之间的相互关系，这显然是可以用变分贝叶斯求解。

根据图模型和平均场理论进行分解，将跟踪与联合优化后验写出来，就可以用KL散度的方法解释。分成三大模块，对具体问题，如何分开，工程上可以先进行处理。

把多路径、多模式、多目标数据关联作为模块一，接下来把目标状态作为一个独立的模块。把参数估计作为独立模块，把参数估计中间存在性、模式作为一个模块，还有关联作为一个模块，这样形成一个迭代的过程就可以解释。

最后想对整个变分贝叶斯的未来发展提几条建议：

第一个希望和MCMC结合解决计算问题，现在已有人进行研究。MCMC能不能帮VB？

第二认知雷达中的认知传感器有很多人在做。现在网络也有人把网络化传感器用变分来做，像这样的一个复杂网络，变分有没有可能发挥作用，解决我们原来复杂网络中间、通讯中间、丢包中间、延时中间的不确定性，因为计算量总体来讲是可控的。

最后一个，数据驱动时代，概率建模已有人在做。模型和数据之间能不能形成相互的驱动？在这样的意义下，有没有可能把更为一般的东西做成一体化的优化框架？

此文围绕国家战略预警系统，介绍了在目标检测、跟踪、识别中的一些工作，对于国家未来作战，也对信息融合会产生一些影响。○

（本文根据作者在第七期智能自动化学科前沿讲习班所作报告速记整理而成）



仿人音乐机器人关键智能技术

文 / 中国地质大学（武汉） 陈鑫

一、智能音乐机器人的研究背景

随着人工智能的兴起，越来越多的人开始研究音乐机器人。具备通信、网络与媒体交互的音乐机器人（Musical Robot）是音乐与科技交叉学科的典型应用，近年来在欧美及日本等国家发展迅速。从音乐角度来讲，研究扬琴音乐机器人的目的是希望能够提供教学示范用的机器人，实现更好的演奏技法的研究，并拓展音乐的表现形式，拓展作曲的新模式。

从智能化演奏需求方面分析，要求扬琴音乐机器人能够通过机器视觉、听旋律实现乐谱的识别；能够理解音乐，懂得基本乐理、看懂各种乐谱；能够创作音乐，融入情感建模，实现即兴作曲和自动伴奏；从演奏呈现模式上，能够通过双臂演奏，用拟人



化的方式演奏音乐。

二、音乐机器人体系结构

1. 硬件体系结构

将机器人的大臂做成平行四边形结构，连杆并联机构，减轻肘部重量，增强整体刚度。在手腕部分，采用数字舵机，重量轻，敲击力度可控。

2. 机器人智能控制结构

基于机器视觉，实时获取纸质乐谱信息，五线谱校正与分离、音符识别，实现对乐谱的实时辨别与编码；拟人化演奏决策，建立人类演奏技法知识库，基于乐谱编码在线决策双臂演奏技法；拟人化轨迹规划，根据人臂末端点对点运动轨迹特征，在操作空间中进行运动轨迹规划，在关节空间中，基于拟人准则对机械臂构型进行规划。

三、基于机器视觉的乐谱识别

基于机器视觉的乐谱识别是

音乐机器人机器视觉拟人化的重要环节之一，对纸质乐谱图像加以处理、分析、识别，最终获得乐谱图形及音乐语义的数字化表达。

乐谱最终目的是通过对纸质乐谱的音高、时值、强度的序列进行编码，编出相应的 MIDI 编码。

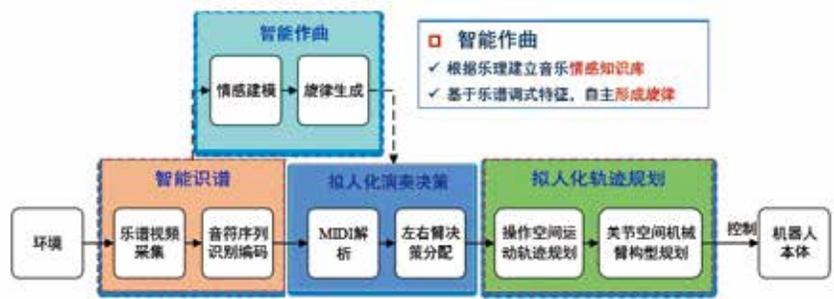
乐谱信息非常丰富，各种各样的符号都有，但是它基本上是比较规范的，只需要找到音符所在的位置即可。采取传统图像处理方法，进行图像识别，图像预处理，图像分离，定五根谱线，最后是音符识别，找到符头、符杆、符杠，进行识别。

首先在图像采集上，为形成稳定乐谱图片，采取多张图谱照片融合，消除环境光影干扰。

第二是谱线矫正。采集的乐谱，有噪声、模糊、倾斜、断裂小线段，要把谱子的位置矫正，采取倾角拟合的方式，做游程分析，游程最长的角度是最合理的，最后找到矫正之后乐谱的形状。

第三是谱线定位与删除，谱线定位是定位基准音高的位置，确定音符音高。谱线删除的目的是分离出嵌入在谱线中的音乐符号，得到独立连通的区域。

首先确定乐谱基础的线宽以及线间隔（两根谱线之间的间隔宽度）。再纵向获得一个切面，在切面上统计所有线条的宽度和粗细，通过最大值，可以找到最好的线宽，黑线的宽度，和两个线



之间的间隔，作为标准的线宽间隔。下面就可以找符头定位了。找到线宽之后，就会知道每一根线所在的空间位置，为了寻找符头进行谱线的删除，把所有谱线从谱上删除。最大问题两个，一是谱线冗余，二是谱线缺失。

对于独立的音乐形状固定，只需要做匹配就可以。对于音符群形式是任意的，组合方式也是任意的，只能通过找到它的符头、符杆、符杠，拆分以后根据符杠组合起来。先把音符群找出来，然后对独立音符进行查找。

具体过程是先对音符做符杆检测。然后再做符头检测和符杠的检测，把它们两个拼合起来找到音符群。先是去掉谱线，把所有的符杆全部去掉，找符头，然后再找符杠，再组合。对于独立音符我们找到这些符号的模板直接做出来就可以了。获得音高、时值、强度，组合起来就可以。

乐谱识别的主要难点在于原始图像增强，怎么把谱线标出来，把缺失符头补齐，这是主要的工作。符号辨识的方法有两个，第一个

是采用对音符群辨识，组合方式。对独立音符采用模板匹配方式就足够了。

以《两只老虎》为测试例子。识别率可以达到 100%。乐谱识别之后，整段上传到机器人里面，进行演奏决策和执行，执行效果较好，较为流畅，对于快音、慢音掌握力度较好。在实际运行中，通过对比乐谱识别与演奏时长，可以看到图像识别在整个演奏过程的占比较低，基本不占用决策和控制的时间，完全可以达到实时的图像识别和乐谱识别的目的。

四、智能演奏决策

人类演奏扬琴的技法具有多样性，且存在技法随机性，不适合采用专家知识库描述扬琴技法。我们结合乐谱信息及专业演奏者的实际技法表现，利用机器学习方法获得决策规则，实现高实时性在线决策。

对谱中的音高和时值编码，将五线谱中的音高信息与音位编码信息对应（以四分音符为例），将四分音符的时值设为 1，其他类

音符的时值按比例推算。然后收集人类演奏决策数据。通过收集人类演奏乐曲过程中针对各个音符的演奏决策结果，如1代表将演奏任务分配至右臂，0代表将演奏任务分配至左臂。同时，综合考虑乐谱中前后音符的音高与时值信息进行演奏决策，建立基于多层神经网络的拟人双臂演奏技法模型，逼近人类演奏模式。构建了神经网络的训练样本库，主要是包括前一个音符的音位和决策结果、当前音符的音位、下一音符的音位，这些共同形成了演奏决策图。

五、拟人化运动轨迹规划

机械臂拟人化运动轨迹规划一般分成三步。第一个是动作捕捉，通过相关设备捕获运动数据，

处理并提取有用帧，复现人体的典型动作，然后建立拟人行为评价指标如舒适度等。第二个是基于模型的逆运动学优化，基于数学模型建立拟人化运动轨迹优化模型，然后获得拟人动作构型序列。第三个是基于相关评价准则的双臂构型决策，通过能量消耗，舒适度等指标，评判拟人动作构型序列，确定敲击构型，拟人度较高。

双臂扬琴音乐机器人拟人化运动轨迹标准是在操作空间上机械臂末端在两点间的运动轨迹略高于琴面的平滑弧线形，两点间的速度曲线呈钟型，起始和终止速度为零。在关节空间上关节角度在限位内变化，关节角速度曲线平滑变化无明显抖动。机械臂在运动过程中的操作构型满足疲劳程度最小，

贴近人类的运动习惯。

操作空间的轨迹，分为三个步骤，第一个步骤做运动轨迹的规划，给出两个适应度，一个是柔顺性原则，确保关节角度平滑变化。第二个以满足达点运动精度为目标，利用PSO优化算法获得离散，或者多个可行最优的构型可行解集。第三步利用RULA准则，对多个可行解进行最优评分，最终确定一个最优机械臂构型，作为机械臂运动终态构型。

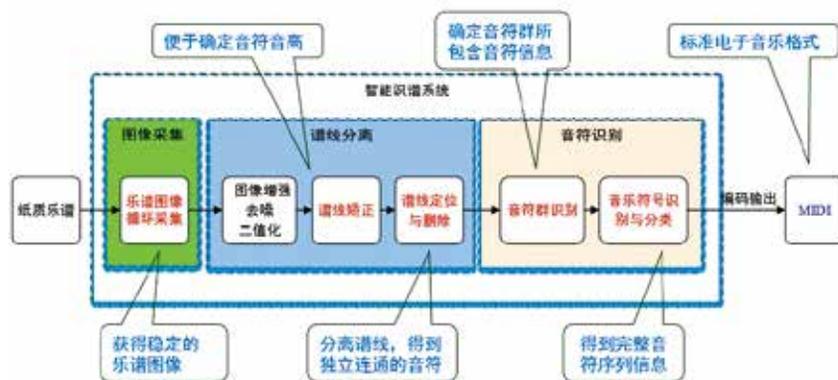
六、智能作曲

智能作曲是音乐机器人对乐曲的二次创作。乐曲结构分为调式、旋律和伴奏。在调式提取时要从乐曲中提取音序要素，识别调式。旋律生成时根据音序要素，繁衍生成新旋律，最终生成新乐曲，满足可听性与相似性。

通过调式决定旋律特征，音乐情绪决定乐曲的表现力，旋律变化矩阵描述旋律特征，最终结合情感建模生成旋律。

首先是调式的提取。参照乐理中的一些规则，提取出重音位置和重音分布，就可以获得这些调式的特征。

每一类音乐的旋律，不同的音高分布具有它自己的特点。把不同音乐音符分布特征提取出来，根据调式不同，把它形成音高转移矩阵。基于矩阵进行繁衍，所谓繁衍就是从里面采样，获得旋



✓ 适应度函数: $f(K)$

$$\mu = \sum_{i=1}^4 [w_i (\theta_i(k) - \theta_i(k-1))]^2, i=1,2,3,4$$

遵循最佳柔顺性原则、确保关节角度平滑变化

$$err(\Delta p) = e(p_{ref} - p) = \|\Delta p\|^2$$

满足达点运动精度

$$\min f(K) = \min(err(\Delta p) + \alpha \mu)$$

w_i : 权重值, p_{ref} : 末端目标点位置, p : 末端实际位置



律的片段，这是音乐创作的过程。

其次，为了获得旋律矩阵，需要建立情感模型，调式可以决定旋律的特征，而旋律的变化矩阵能够描述这种特征。

音乐特征参量包括音量、和声、调式、音高、速度、音色。根据特征的参数化特点，选择音量、音高和速度来判断音乐的愉悦度和唤醒度，建立情感空间模型，实现从音乐特征到情感空间的模糊规则和模糊逻辑，最终形成音乐情感模型。

每一个调式都可以设计一个单独的情感模型。模型划分为九个空间，每个空间定义了六个表情术语。通过文本调查的方式，获得情感模型空间辨识的模糊规则。

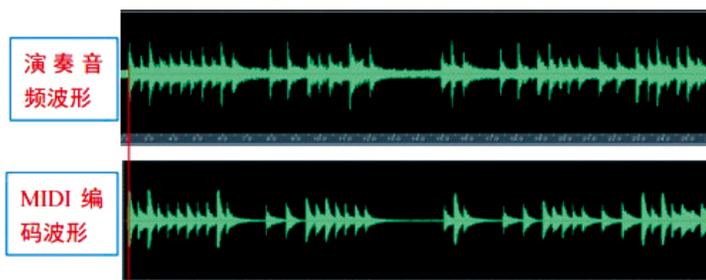
最后，生成旋律时可以根据

调式的音序要素合成多个音，满足可听性。在旋律生成方面加入情感计算，把情感模型放到旋律里面，作为生成旋律要素的一个基础。结合情感模型生成旋律动机，把小片段拼合实现动机发展，形成小旋律。之后通过旋律优化，即对旋律要素的转移矩阵的优化，提升旋律的可听性。

七、基于 ROS 开发的机器人系统

机器人系统基于 ROS 开发。乐谱的识别方式采用一节一节乐谱识别，按照对音符群识别，再对独立音符识别，识别和演奏同时进行，识别完成后，用主题发布的方式，发布给决策节点，由决策节点演奏。识别基本上一行一行进行，识别速度较快。但从演奏的效果来看，不是特别理想，敲击的感觉和连贯性做得还不够。

□ 音频波形对比 (X轴: 时间, Y轴: 音强)



对此，进行了初步分析，上面就是我们实际录制的音频特征，下面是 MIDI 码直接播放出来的音频特征。我们对首音符做了对照。

演奏误差分析，时值误差定义为前一个音符对正以后，当前音符 MIDI 码和实际演奏实际间的误差。时值相对误差是 10% 左右。另外，演奏的累积延时误差在 30 秒的演奏后，大概 30 毫秒。当演奏时间比较长，整体延时效果在一两秒，具有较明显的差异。这个问题出在什么地方？我们认为主要是在指令的延时部分。

第二个扰动特征与演奏难度相关。根据统计，敲击各音，绝对时值误差值是 20 毫秒到 50 毫秒之间，如果是较慢的拍子，人可能听不太出来。但对于快节奏的乐段，可能听出来有些音连不上。如果定义相对误差为绝对时值偏差与节拍时间的比值，可见相对偏差比较高的地方，是因为演奏手臂要进行快速短时间做大跨度的移动。

针对这个问题，可以在技法和演奏时值优化两方面把机械臂执行的能力考虑进去，通过技法和轨迹规划的改进，降低相对偏差的大小。

八、结论与发展

1. 机器人本体——轻量化、高响应、力反馈

扬琴音乐机器人比我们想象的要复杂很多，不仅仅要做点对点决策，还要精细地调理技法的设计，完美地实现乐曲的演奏。这就需要以后的机器人本体能够做到轻量化、高响应、力反馈。

2. 智能演奏——自学习、自适应

智能演奏要经过从拟人化、自我进化，到人机协同三个阶段。拟人化，主要是要实现演奏的实时性和准确性，通过指令序列多目标优化，实现动作执行误差补偿；通过非结构不确定性和时滞相关鲁棒控制，实现变负载运动控制。自我进化主要是指技法的自我学习能力，通过深度网络与强化学习实现最优构型学习，借助机器听觉，实时演奏效果检测与模式识别，通过并行计算实现视觉、轨迹规划、运动控制协调。最后机器与人的协同演奏，通过机器听觉与视觉多源信息融合，进行乐谱乐理与演奏个性的特征提取；借助深度网络与情感计算，实现在线情感辨识；通过异构多智能体同时学习，实现多机器人的协同。○

(本文根据作者在第七期智能自动化学科前沿讲习班上所作报告速记整理而成。)



作者简介



陈鑫，2007年博士毕业于澳门大学，获机电工程学博士学位。2007年9月进入中南大学信息科学与工程学院任职，2013年评为博士生导师。2014年调入中国地质大学（武汉）自动化学院担任教授，博士生导师。2017年获得湖北省“楚天学者”计划特聘教授资助。现为中国自动化学会控制理论专业委员会委员，中国人工智能学会空天系统专业委员会委员，中国自动化学会青年工作者委员会常务委员，中国自动化学会教育工作委员会委员。

主要从事智能控制、机器人和过程控制的研究。主持包括国家“863”计划任务课题、国家自然科学基金面上项目、湖北省杰出青年科学基金项目在内的国家级、省部级等科研项目12项。以第一作者/通讯作者发表学术论文45篇，其中SCI/EI检索34篇。研究成果授权国家发明专利9项，出版专著1部。



扑翼飞行机器人的控制系统设计与研究

文 / 北京科技大学 贺威

一、研究的背景

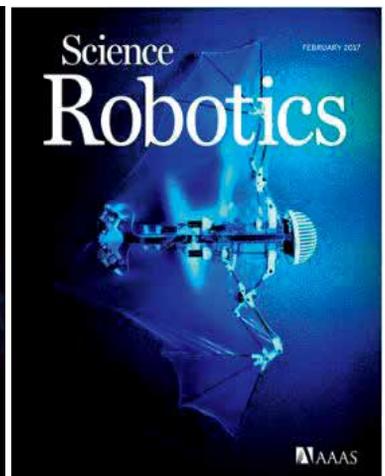
扑翼飞行机器人是一类采用比较新的飞行方式的无人机，主要受昆虫和鸟类启发而设计，最大特点是用翅膀的扑动进行飞行。2018年9月14号，荷兰代尔夫特理工大学有关扑翼飞行机器人 Delfly 的工作作为封面文章发表在《Science》上。2017年美国加州理工大学年仿蝙蝠扑翼飞行机器人 Bat Bot 的相关工作发表在《Science》子刊《Science Robotics》上，此外，国内外还有许多诸如仿鸟、仿蝴蝶扑翼飞行机器人的工作。

大部分无人机，或者叫做飞行机器人，主要有三类，一是固定翼的，如民航或者战斗机；二是旋翼的，如直升机、大疆无人机；第三类采用扑翼的飞行方式，仿照鸟类或者昆虫的飞行方式进行飞行，这是更加有效率的飞行方式，机动性更好，噪音相对来说较小。在军事和一些侦查领域

有非常好的应用，如民用监测，在抢险救灾方面也有很好的应用价值。

2016年美国好莱坞有一部电影《天空之眼》，讲述美国无人机轰炸一个恐怖组织的集聚地，恐怖组织在房间里面密谋恐怖袭击，当时美国军方派了一个仿鸟的扑翼飞行机器人，后来又派了一个仿昆虫的扑翼飞行机器人，到房间内部进行侦查。昆虫飞行伪装性非常好，可以停在房间的屋檐上，监听恐怖组织内部的谈话，将视频传输到外界。由此也说明扑翼飞行机器人具有非常好的应用前景

人类想让机器飞上天，在观察大自然飞行方式时，最先想到的是通过翅膀拍动进行飞行。15世纪90年代身为物理学家和科学家的达芬奇设计了一个草图，采用了人类最早设想的能够飞行的方式，但没有成功。后来由于机械电子的进步，一直到1913年





旋翼无人机



扑翼无人机



固定翼无人机

莱特兄弟首次把载人固定翼的飞机飞上了天空，这是人类历史上第一次成功载人飞行。1923年，发明了军用无人机，在军事领域得到了广泛的应用。一直到2000年，美国DARPA资助加州理工进行扑翼飞行机器人的研究。

荷兰代尔夫特大学自2007年，经过十余年时间研究，在《Science》上发表了一篇关于扑翼飞行机器人的文章，MIT也做了仿鸟的扑翼无人机，德国的Festo公司在近些年也进行了很多关于仿生扑翼飞行机器人的研究，研制出如仿海鸥的扑翼飞行机器人Smartbird，此外还有哈佛大学的仿昆虫的扑翼飞行机器人Robobee，加州理工研制的仿蝙蝠扑翼飞行机器人，华盛顿大学研制的ROBOFLY等。

综上，扑翼飞行机器人的类型主要有两类，一类仿鸟类，比如说德国的Smartbird，模仿的海鸥；第二类仿昆虫类，比如哈佛大学仿蜜蜂、华盛顿大学仿果蝇（不能带电池，用激光束打在上面才可以飞）。

就扑翼飞行机器人主要性能指标来说，仿鸟类的扑翼飞行机器人，质量相对来说比较大，从100克到500克不等，相对来说体积较大，负载能力上有的可以携带摄像头和GPS，续航时间上有大概20分钟的，也有只能飞20秒的。仿昆虫的扑翼无人机质量较小，最低的只有80毫克，非常轻，无法携带更多的电池，飞行距离有限，这类无人机主要用于室内侦查，仿鸟类无人机主要用于室外侦查。

由此可以看出，扑翼无人机续航时间普遍不长，还有很多可以进一步发展的空间。

扑翼机器人仿照鸟类和昆虫的飞行方式，飞行机理更加复杂一些，涉及到流体力学，需要复杂的分析，因此它的模型相对来

说更加复杂一些。

系统设计方面，扑翼飞行机器人主要的优点是灵活度高，飞行效率高。除此之外，仿生的外观带来的隐蔽性也非常重要。

在智能控制方面，主要是自主控制，关于它的优化和刚柔耦合的问题，是当前面临的挑战之一。

二、扑翼飞行机器人平台及实验结果

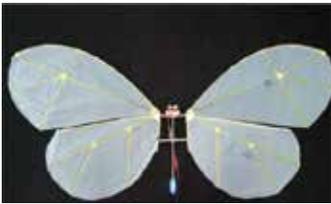
如表一所示，实验室现有五款扑翼飞行机器人。第一款仿海鸥，质量是348克，飞行时间5-7分钟，和smartbird的各项指标比较接近，可以通过尾翼调节飞行的俯仰和偏航。两个翅膀靠一个电机驱动，因此是对称飞行。

第二款翼龙，由公司生产，我们做了自主控制系统，可以让它进行自主室外飞行，质量是450克，续航12分钟，速度更快。可以飞行七八十米高度，可以通过尾翼的调节，在空中维持一个固定的高度。在北京奥林匹克公园

做定高的实验，用自主的控制板装载在无人机上，在奥林匹克公园 50 米定高飞行区域内，采用谷歌地图规划制定一个圆形轨迹，让扑翼飞行机器人在 50 米高度定高飞行，误差为 2-3 米，采用 GPS 和气压计，精度有限，还可以进一步提高。

第三款比较小，重 14.1 克主要进行室内飞行，可以在室内飞行 5-8 分钟，通过我们自主设计的控制算法，在室内进行小范围定高飞行，相关工作在《Science China》上发了一篇文章，通过多摄像头定位系统捕捉扑翼无人机的空中位置，让它在设定高度上进行飞行。采用了带有 12 个红外摄像头的运动捕捉系统，该系统可以获取扑翼机高度信息，通过蓝牙的信号传输，传输到上位机，上位机再传回控制信号，现在采用最简单的 PID 控制，让扑翼机调整它的扑动频率，频率越高升力越大，如果频率降下来，高度相应往下降，这是自主控制定高的一个系统。这个系统由于采用红外摄像头，需要在无人机上贴标记点，这个标记点很轻，贴上去以后对整个飞行没有太大影响，高度信号又可以进行实时的获取，通过上位机的控制信号处理，让它控制翅膀拍动的频率，最后调节它的高度，实验结果最后可以稳定在 0.5 米的高度上进行飞行，误差在零点零几

表 1 实验室现有扑翼飞行机器人性能参数

| 扑翼飞行机器人 | 性能参数 |
|---|---|
|  | 质量: 348g 翼展: 1.70m 躯干长度: 0.68m; 续航时间: 5~7min |
|  | 质量: 450g 翼展: 1.10m 躯干长度: 0.49m 续航时间: 12min |
|  | 质量: 33g 翼展: 0.42m 躯干长度: 0.3m 续航时间: 5~8min |
|  | USTBird 质量: 95g 翼展: 0.80m 躯干长度: 0.52m 续航时间: 15min |
|  | USTButterfly 质量: 90g 翼展: 0.90m 躯干长度: 0.28m 续航时间: 3~5min |

米的范围内。

还有一款自主开发的 USTBird，2016 年研制出第一代，重 100 克，翼展 95 厘米，可以飞行 3 分钟，翅膀是柔性材料构成，这款扑翼机在室外操场进行飞行。2017 年第二代，对整个柔性翼尺寸材料都进行了改进，降低了质量，同时加了碳纤维棒可以增加刚度，刚度增加，扑动的时候升力有明显提升，180 毫安同样电池，可以将飞行时间提高到 8 分钟。2018 年第三代，进一步优化了气

动结构和布局，目前续航时间可达 15 分钟。

第四款和第五款是我们最近集中研究的，一个仿鸟，一个仿蝴蝶。仿鸟的质量为 95 克，可以飞 15 分钟。蝴蝶的设计质量比较轻，没有实际蝴蝶那么小，而是按照比例放大，但是它的翅膀有四个，鸟的翅膀是两个，蝴蝶现在可以在室外飞行 3-5 分钟。

USTBird 在机械方面完全自主设计，采用了柔性翅膀，通过两边翅膀的差动扑动可以进行偏航角控制，较为灵活，摄像头可以携带在扑翼机器人的下部，通过云台设计减少抖动。

仿生蝴蝶，USTButterfly，现在可以飞三到五分钟，左右翅膀按照同一频率拍动，翅膀运动轨迹都有相应的研究，后期我们计划采用四个电机，或者舵机让其差动飞行，这样它的敏捷性和飞行能耗都有一些改变。

目前总体的设计思路：采用仿生机械设计方式，通过系统结构的搭建，包括驱动结构的选取，材料选取，进行系统集成，集成之后搭载摄像头和气压计等，在扑翼机上进行飞行测试，再通过测试结果改进整个系统。

目前采用的材料相对来说比较轻，精度没有做到非常高，外壳和机载的电机连接的部件，均是采用 3D 打印技术。后期将进一步优化各项指标，最关键的是飞行时间，其次是它的敏捷程度，是否可以在空中做一些翻转、拐弯等动作。

不足之处是前期飞行机理和风动实验的研究。现在很多扑翼机是由高校机械系或航空航天系的老师，从飞行机理、空气动力学、风洞实验角度来做的。

USTBird，采用两个独立舵机进行翅膀控制，可以进行差动控制。目前大部分扑翼机器人采用电机进行驱动，包括德国的 Smartbird 都是一个电机带动两个翅膀进行同步飞行，同步飞行敏捷度很难提高，自然界鸟类或者昆虫通过肌肉控制翅膀，它的两个翅膀都可以进行任意的扑动，飞行敏捷度非常高，能量消耗非常低。这些都是需要借鉴参考并做改进的地方。

扑翼机飞行速度如果很快，一旦掉落，会造成严重损毁。扑翼机飞行可在飞上天后，由遥控切换到自主控制，自主进行定高或者测试飞行。在降落时，采用遥控方式，降低速度，慢慢降落。

控制系统，自主控制算法写在飞控板上，实现控制算法的处理。还有图像处理部分，把室外的图像和控制指令通过笔记本，或者台式机，进行信号处理。

在软件开发方面，因为扑翼很多工作需要软件的仿真和测试。振动控制方面，柔性翼是分布参数系统，模型有振动的，有很多 PDE 的模型。位置定位通过百度地图引入软件系统，可以看到扑翼机在空间的位置。另外还有视觉控制系统，在扑翼飞行器机器人需要侦查信息的时候，视觉非常关键，我们进行视觉控制，包括两类，一类是机载摄像头，还有外部的运动捕捉系统，可以检测到扑翼机在室内飞行时候的位置，进行自主的控制。

扑翼机飞行的关键是机理的研究，采用传感器，选择柔性材料，测试如何扇动气动效率高，然后再飞行。通过测试之后，可以减少在室外飞行的失败率，提高成功率。

三、神经网络自主飞行控制

对于扑翼飞行器机器人位置和姿态的控制，采用神经网络的控制方法，做控制方面的一个工作。

采用蜂鸟的模型对扑翼无人机进行了简化，没有考虑它翅膀的柔性，而只是考虑了整个扑翼机的姿态和位置信息。

控制目标是让它的姿态和位置可以到理想的轨迹，主要采用基于神经网络控制的方法。

根据初始条件设定期望的轨迹，做了一个姿态控制，全状态控制的效果，姿态最后可以跟踪

收敛到期望轨迹的附近。位置控制情况比较特殊，模型信息量可以获得，所以直接基于模型控制来做，将转换矩阵带入控制器里，做位置控制，因此它是一个基于模型的控制输入，位置跟踪的仿真效果也是比较好的结果。

除全状态反馈控制外，还有输出反馈控制，有一些速度信息未知时，采用观测器，观测速度量，只需要输出反馈的系统，这是系统结构的方程。先对姿态进行设计，通过观测器的设计，可以进行稳定性分析。位置控制也是如此，基于模型设计可以实现控制效果，做了一个仿真，可以进行较好的轨迹跟踪。

四、振动控制

振动控制的工作，机载航拍晃动非常明显，再加上摄像头分辨率本来比较低，使其很难实现监控和侦查任务。这就需要解决振动抑制的问题，振动有两方面原因，一方面整个扑翼无人机在翅膀扇动的时候，对无人机的机体信息姿态位置有影响，另一方面是飞行过程中各个方向气流的影响，我们现在采用了把柔性翼的模型考虑到整个系统的建模中来，实现振动的抑制，能够提高航拍的质量。

现在用 PDE 方程，建立柔性翼翅膀模型。由于柔性翼振动幅度有一定范围要求，一旦超出一



定范围就会受到损坏。所以振动在一定范围之内，目标抽象为两个，一个是减少它的振动，第二是不能让它振动超长，溢出到一定范围，这里面采用一定的控制方法。

采用分布式控制方法进行振动控制。柔性翼实际上比较复杂，它有两个维度，用哈密顿原理可以得到柔性翼 PDE 方程，分析设计控制器，最后经过仿真实验验证。

针对一个翼的振动抑制问题。柔性翼有两个变量，一个是弯曲的形变量，还有一个扭转的量，它有扭转在空气中就可以减少阻力，扇动扭转也可以进行调节，建模以后是一个 PDE 方程，抑制这个振动，保证在一定的范围。通过哈密顿原理的建模，可以得到这样一个方程，这个方程实际上是四阶方程。这个方程耦合在一起，边界条件有六个，采用的输入装置是电机，在柔性翼的边界，用边界控制两个分布式的量，实际上有一定的挑战性，因为它的耦合相对更加复杂一些，而且它的控制在边界，并不是像动物或者生物的，生物肌肉是分布式，比如说海鸥的翅膀每一个点都有分布，因为肌肉是分布式的，我们设计往往做不到，只能在边界加一个电机，用电机控制转动、扭矩。

两个输入，一个是弯曲的振动，一个是扭转的振动。第二个抑制它一个范围。

采用控制方法经过改进之后得到一个很简单的控制器，这个控制器需要两个量，在柔性翼边界，这个理论上可以得到的，但

为了保证 W 在系统的约束范围之内，没有采用很多复杂的量。

通过稳定性分析直接有这样一个结果，时值无穷大的时候，系统可以调节在这样一个范围之内。有一些系统参数在控制器的设计里面进行一些选取，可以让振动进行比较好的抑制。

第二个控制目标就是如何保证系统约束，通过采用障碍李雅普诺夫函数，不让他超过振动幅度。

如果初始条件符合以上所述，系统便可以满足它约束的范围。通过这样证明，可以得到约束的范围。通过有限差分的方法，振动可以在一段时间内有明显的抑制，而且输出的范围可以预先设定。

柔性翼很多是两个翅膀，两个翅膀融合在一起，有更复杂动力学的模型，控制器设计起来更加复杂。可以将控制器设计得尽量简单，让它只采取边界的量进行抑制，通过选用一个函数，证明对左边和右边都进行了抑制。

据此，设计了柔性翼的振动控制抑制的平台，把柔性翅膀单个柔性翼放在自己制定的架子上，通过控制摄像头，做了柔性翼的实验。后来通过添加了碳纤维棒，对柔性材料进行改进，使抑制变得更加明显。

以上介绍了两种控制方法，一个是振动控制，一个是神经网络自主飞行控制。希望通过控制方法实现非常高效敏捷的飞行。

五、总结和展望

扑翼飞行机器人的研究起步较晚，飞行机理以及整个系统的结构设计等方面还有很多工作要做，如升力和频率之间的关系、翼展和频率关系、柔性翼材料等。降落靠手工控制，自主降落也是后面需要研究的问题。还有一些智能的材料，现在材料还是柔性材料，并不是分布式的智能材料，智能材料可以实现分布式控制。最后还要提高它的飞行效率，它最大优点就是飞行效率更高，如何优化它的整个系统结构，提高飞行效率，让它的续航时间更长，这也需要进行研究。此外，还有多个扑翼无人机协同控制方面的工作以及建模的问题亟待我们解决。○

（本文根据作者在第七期智能自动化学科前沿讲习班上所作报告速记整理而成）

作者简介



北京科技大学自动化学院教授、博导、副院长。2006年和2008年在华南理工大学自动化学院分别获得学士和硕士学位，2011年在新加坡国立大学获得博士学位。发表SCI期刊论文80余篇，申请或授权国家发明专利20余项。目前担任IEEE TCST、IEEE TNNLS、IEEE TSMCA、IEEE/CAA JAS、《自动化学报》、《控制理论与应用》等杂志编委。获2015年国家优秀青年科学基金、2016年WCICA“谈自忠最佳理论论文奖”、2017年英国皇家学会“牛顿高级学者基金”、2017年IEEE SMC学会 Andrew P. Sage 最佳汇刊论文奖、2017年中国自动化学会自然科学一等奖，入选2017年教育部青年长江学者。主要研究方向为：扑翼飞行机器人控制、柔性机器人系统建模与控制、分布参数系统控制。



新一代智能制造将从根本上引领新一轮工业革命

文 / 中国工程院原院长 周济

近日，由青岛市人民政府主办的2018世界互联网工业大会在青岛隆重举行。中国工程院原院长、国家制造强国建设战略咨询委员会副主任、中国工程院院士周济作了题为《以创新为第一动力 以智能制造为主攻方向 扎实推进制造强国战略》的主题演讲。

周济表示，新世纪以来，移动互联、超级计算、大数据、云计算、物联网等新一代信息技术日新月异、飞速发展，并迅速普及应用，形成群体性跨越，这些历史性的技术进步集中汇聚在新一代人工智能技术的战略性突破，新一代人工智能最本质的特征是具备认知和学习的能力，具备生成知识和更好地运用知识的能力，实现了质的飞越。当然，新一代人工智能技术还在极速发展的进程中，将继续从“弱人工智能”迈向“强人工智能”，应用范围将更加泛在。新一代人工智能已经成为新一轮

科技革命的核心技术，正在形成推动经济社会发展的巨大引擎。

周济认为，新一代人工智能技术和先进制造技术的深度融合，形成了新一代智能制造技术，成为了新一轮工业革命的核心驱动力，新一代智能制造的突破和广泛应用将推动形成这次工业革命的高潮，引领真正意义上的工业4.0，实现第四次工业革命。

智能制造有三个基本范式

周济强调，智能制造是我国制造业创新发展的主要抓手、主攻方向。当前，工业互联网、大

数据以及人工智能实现群体突破和融合应用，以新一代人工智能技术为特征的信息化开创了制造业数字化、网络化、智能化制造的新阶段。因此对于信息化技术发展的新阶段，智能制造可以归纳出三种基本范式，一是数字化制造，是智能制造的第一种基本范式，也可以称之为第一代智能制造，上世纪下半夜以来，以数字化为主要内容的信息技术，广泛应用于制造业，形成数字一代创新产品，数字化制造制造系统和数字化企业。20世纪80年代我国企业逐步推进应用数字化制造，取得巨大的技术进步，但是必须清醒的认识，我国大多数企业没有完成数字化制造的转型，我们必须踏踏实实的完成数字化补课，进一步夯实基础。

二是互联网+制造，实际上是互联网+数字化制造，是智能制造的第二种基本范式，也可以称之为第二代智能制造。上世纪末，互联网技术开始广泛应用，网络将人、流程、数据和事物联系起来，重塑了制造的价值链。德国工业4.0和美国工业互联网深刻阐述了数字化网络化制造范式，完美地提出了技术路线，过去这几年我们工业界大力推进互联网+制造，一批数字化制造基础较好的企业实现了转变。

三是新一代智能制造，这是智能制造的第三种基本范式，新一代人工智能技术和先进制造技术的深度融合，形成了新一代智能制造，数字化网络化智能化制造，这是真正意义上的智能制造，将从根本上引领和推进新一轮工业革命。

“智能制造在西方发达国家是一个串联式的发展过程，数字化、网络化、智能化是西方顺序发展智能制造的三个阶段，中国应该发挥后发优势，采取三个基本范式，走一条数字化、网络化、



智能化并行推进的创新之路。”周济表示。

系统集成是新一代智能制造最基本的特征和优势

对于新一代智能制造，周济认为，新一代智能制造是一个大系统，主要由智能产品、智能生产、智能服务三大功能系统以及智能制造云和工业互联网集合而成。

其中，第一，智能产品和装备是新一代智能制造系统的主体。

第二，智能生产是新一代智能制造系统的主线，流程工业在国民经济中占有基础性的战略地位，最有可能率先突破新一代智能制造。而离散型智能工厂将应用新一代人工智能技术将实现加工质量的升级、加工工艺的优化、生产的智能调度和管理，建成真正意义上的智能工厂。机器换人，企业生产能力的技术改造、智能升级，不仅仅可以解决生产一线劳动力短缺和人力成本高升的问题，从根本上提高制造业质量、效率和企业竞争力，因此在今后相当长时间内，企业的生产能力升级，生产线、车间、工厂的智能升级将成为推进智能制造的主要战场。

第三，以智能服务为核心的产业模式变革是新一代智能制造系统的主题。新一代人工智能技术的应用催生了产业模式的革命型转变，产业模式将实现从以产品为中心

向以用户为中心转变，一方面产业模式将从大规模流水线生产转向规模定制化生产，另一方面，整个制造业的产业形态将从生产型制造向生产服务型制造转变。

第四，智能制造云和工业物联网是支撑新一代智能制造系统的基础，随着新一代通讯技术、网络技术、云技术、人工智能的技术发展和应用，智能制造云和工业物联网将实现质的飞跃，为新一代智能制造生产力和生产方式的变革，提供发展的空间和可靠的保障。

第五，系统集成将智能制造各功能系统和支撑系统集成成为新一代智能制造系统，这是新一代智能制造最基本的特征和优势。新一代智能制造内部和外部均呈现系统“大集成”，具有集中与分布、统筹与精准、包容与共享的特性。

“未来二十年是中国制造业实现由大到强的关键时期，是制造业发展质量变革、效率变革、动力变革的关键时期，同时，未来20年，是智能制造这个新一轮工业革命核心技术发展的关键时期。”周济强调。○

（来源：中国电子报）



有人 / 无人系统自主协同的关键科学问题

文 / 北京理工大学复杂系统智能控制与决策国家重点实验室；

北京理工大学智能机器人与系统高精尖创新中心 陈杰 辛斌

1. 引言

有人 / 无人自主协同是指有人系统与无人系统之间在组织、决策、规划、控制、感知等方面既各自进行独立的计算、存储、处理，又通过自发且平等的交互共融，达成共同目标的群体行为。

与单纯的无人系统相比，在有人 / 无人自主协同系统中，人类智能与机器智能的平行交互与融合有利于实现有人系统与无人系统的双向互补，使系统在执行复杂任务时能够更好地适应人类目标导向而产生更优的性能。人 / 机智能的差异性直接导致两类系统的行为差异性。无人系统因无人化而便于实现灵活的设计，容易实现功能的多样化，尤其适合执行繁琐、危险的任务。另外，为适应人类特点而设计的有人系统在结构上与具有同等功能的无人系统也往往存在显著的差异，从而进一步导致两类系统在性能上的差异。两类系统在智能与行为、

功能与性能上的差异性是有入 / 无人自主协同产生双向互补性的重要基础。

有人 / 无人自主协同技术被美军视为一项重要的颠覆性技术。根据美国国防部《2011 - 2036 年无人系统综合路线图》，截止 2010 年 9 月，美军在伊拉克和阿富汗战场总计投入约 8000 个无人地面平台，在超过 125000 个任务中使用。有人 / 无人平台协同正在成为地面作战的主要模式。

美国国防部《2013 - 2038 年无人系统综合路线图》中指出：“在美国全球战略重心重返亚太地区的态势下，建立有人 / 无人协同系统 MUM-T 成为美国国防部的必要使命”。美国安全研究中心

于 2014 年 1 月发布《为机器人时代的战争做准备》，其中指出：“未来将在没有作战人员干涉的情况下自主选择并打击目标，进而催生出自主作战概念”。美军在无人平台投入使用的初期，有人 / 无人平台在共同作战中暴露出了组织混乱、控制不力、行动盲目等严重问题，其根本原因在于有人 / 无人系统的自主协同缺乏控制和优化的有效机制。无人装备已成为我军陆用武器发展的重要方向，已应用于反恐、维稳、排爆、侦察。随着无人化装备投入使用，在体系对抗的现代战争中，逐渐形成了有人 / 无人共同作战的模式。

有人 / 无人系统协同技术大致分为有人 / 无人遥控、有人 / 无人

半自主协同、有人 / 无人自主协同 3 个阶段。在有人 / 无人遥控模式下，无人平台没有自主性，决策与行为完全依靠有人平台。在有人 / 无人半自主协同模式下，无人平台自主完成行为操作，有人平台完成复杂决策操作。在高级的有人 / 无人自主协同模式下，有人 / 无人平台功能对等，协同关系自发形成且强度动态可调。

随着有人 / 无人系统的规模不断增大，节点各异性突出，以往的指控系统无法有效地自组织和管控作战单元。仅依靠机器智能还无法高效指挥有人 / 无人系统的自主协同。无人平台的行为控制能力还无法自主应对苛刻的战场环境。有人 / 无人系统的潜在对手



的攻击和干扰手段多样，安全性面临严重考验。

有人/无人系统的自主协同对分布式智能优化与控制提出了迫切需求，主要体现在4个方面：

动态、抗毁、自组织的有人/无人控制系统架构；

实时、高效、团队化的有人/无人协调指挥决策；

稳定、一致、高精度的有人/无人合作行为控制；

安全、容错、抗攻击的有人/无人协同控制系统。

对应于上述需求，主要的研究挑战表现在：

大规模异构节点与有人/无人系统自主协同的高动态、自组织之间的矛盾；

有人/无人系统自主协同的局部信息获取与全局最优决策之间的矛盾；

人/机智能深度融合与分布式自治系统稳定性之间的矛盾；

分布式系统结构的灵活性与系统控制的安全性之间的矛盾。

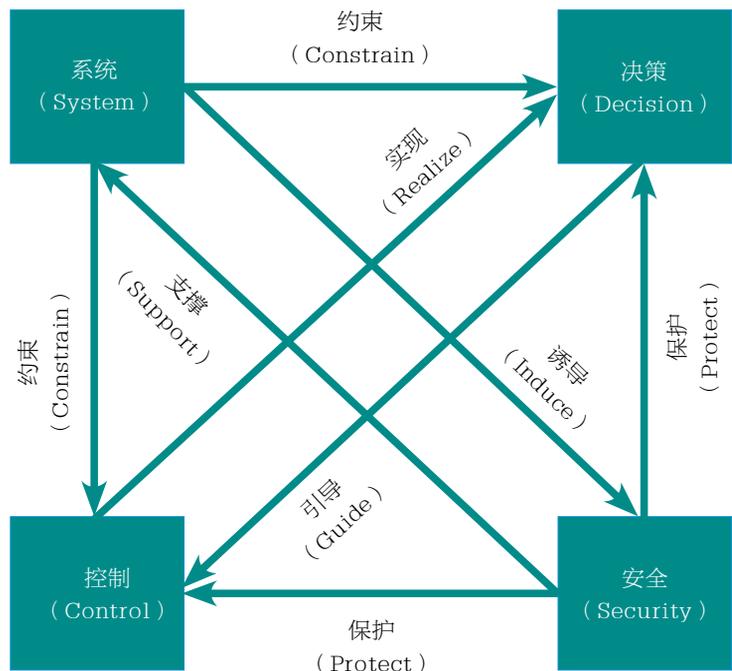
上述研究挑战蕴含了有人/无人自主协同的4个层面的科学问题：

系统层面：有人/无人自主协同的组织架构和协同模式；

决策层面：有人/无人自主协同的任务分配与行为规划；

控制层面：有人/无人自主协同的合作行为控制；

安全层面：有人/无人自主协



有人/无人自主协同系统4个层面的逻辑关系



同的安全指挥控制。

这4个层面之间的逻辑关系如下图所示，其中系统层面通过体系架构的限定作用对决策和控制形成了约束，同时对信息安全层面的问题具有诱导作用；安全层面对整个系统的信息安全具有支撑作用，对决策与控制过程形成信息保护；决策层面对控制层面具有引导作用，而控制层面主要是对决策的实现，同时对决策层面也具有一定的约束作用。

2. 组织架构和协同模式

有人/无人平台差异性大、任务需求各异，急需建立面向协同任务的自主编配模式。有人/无人平台种类繁多、模型各异、区域分散，亟需形成有序、扁平化的指挥体系。任务复杂、多变，环境困难、恶劣，因此指挥体系必须具有灵活性与抗毁性。

需解决的基础问题包括：

面向任务的协同能力建模与自主编配规则建立；

局部信息获取条件下，指控系统体系结构优化设计；

指挥控制体系的抗毁性和动态可重构架构设计。

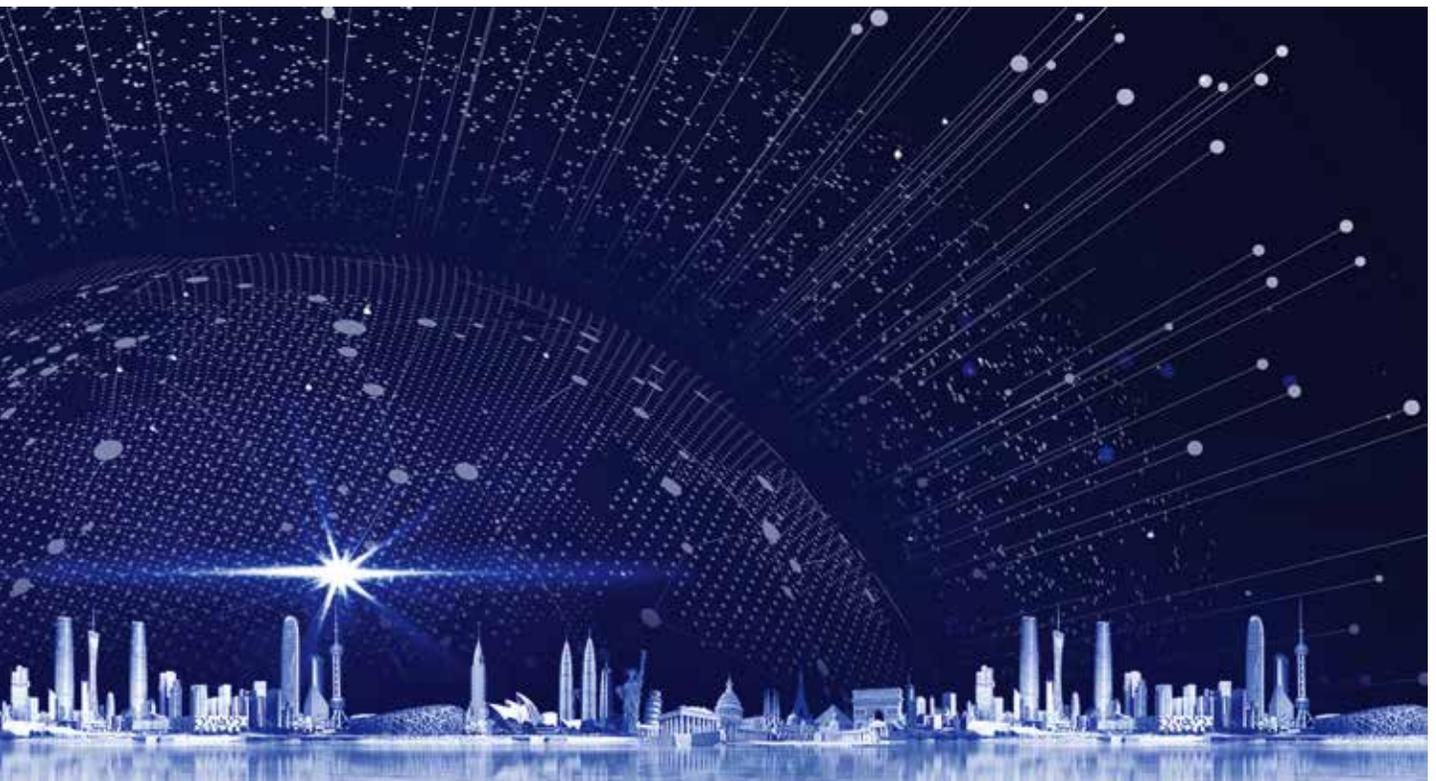
涉及的关键技术包括：

面向任务协同能力建模与自主编配；

核心子网的选取与静态层类型体系结构；

动态重组及抗毁性设计。

实际对象的物理特性复杂、多变，对象的物理特性对于协同能力的影响，对于自主决策的影响，以及对于体系结构的影响还需要精确刻画。需要将有人/无人能力模型设计、体系结构设计与实际对象的物理特性相结合，体现设计与实际对象的物理特性的统一。



3. 任务分配与行为规划

有人/无人系统中个体的智能水平和自主程度不同，难以统一指挥，亟需形成规则化、高效能的协调框架。作战任务复杂、多变，作战环境困难、恶劣，战场信息来源众多、不完整，亟需提高有人/无人系统指挥决策系统的协调性和快速响应能力。

需解决的基础问题包括：

针对动态、复杂的协调指挥决策，设计合理的决策知识体系和智能表征模式；

针对有人系统与无人系统的团队化协调指挥，设计出分布式协调任务分配与指挥决策机制。

涉及的关键技术包括：

协同指挥知识体系及智能表征模式；

基于角色知识的有人/无人协调指挥。

对信息获取的不确定性与不精确性考虑不够。为了实现跨领域知识共享和协同推理判断能力，需要建立协同态势感知与态势共享机制，构建有人/无人双向自然交互，将人的心理模式、计算机模式和环境因素有机融为一体。结合群智能技术的最新成果，集群武器的协同指挥控制也成为新的发展趋势。

4. 合作行为控制

无人系统的自主行为控制能力愈发强大，人与无人系统之间的控制关系须由简单、低效的主从式协同转变为复杂、高效的合作式协同。无人系统的行为既需要与人的行为相互配合，又需要保持适度的自主性，能在人为干预与局部自主间进行权衡。

需解决的基础问题包括：

人为干预的数学建模与意图推理；

合作行为控制器的基本结构设计及其多回路控制稳定性分析。



涉及的关键技术包括：

人为干预意图的理解与建模；

合作行为控制器的设计与实现。

在“一对一”和“一对多”合作行为控制的基础上，对人工干预的性能指标进一步提出了量化需求，干预的性能指标可调、可控。干预方式从连续遥控转变为触发式干预，何时对无人系统施加人为干预、从众多的无人平台中找出最佳干预的节点，都是新涌现出来的问题。将复杂网络与多智能体理论相结合，将提供有效的解决之道。

5. 安全指挥控制

现有的信息安全方法无法完全解决分布式控制系统安全问题，亟需开展与其特点相适应的安全指挥控制研究工作。

需解决的基础问题包括：

攻击策略的数学描述与攻击性能的指标建模；

参考文献

- [1] United States Department of Defense. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011–2036. Report, 2011. <http://www.unols.org/sites/default/files/usroadmap2011.pdf>
- [2] United States Department of Defense. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013–2038. Report, 2013. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a592015.pdf>
- [3] Center for a New American Security. 20YY: Preparing for War in the Robotic Age. Report, 2014. https://fortunascorner.com/wp-content/uploads/2014/05/cnas_20yy_workbrimley.pdf
- [4] United States Air Force. Autonomous Horizons. Report, 2015. [http://www.af.mil/Portals/1/documents/SECAF/Autonomous Horizons.pdf](http://www.af.mil/Portals/1/documents/SECAF/Autonomous_Horizons.pdf)
- [5] Chen J Y C, Barnes M J. Human-agent teaming for multirobot control: a review of human factors issues. *IEEE Trans Human-Mach Syst*, 2014, 44: 13–29
- [6] Kolling A, Walker P, Chakraborty N, et al. Human interaction with robot swarms: a survey. *IEEE Trans Human-Mach Syst*, 2016, 46: 9–26



基于个体模型与拓扑模型的攻击检测与定位；

非合作状态估计与安全补偿控制。

涉及的关键技术包括：攻击建模与设计；攻击检测、辨识与定位技术；弹性状态估计与控制技术。

需要深入研究：如何充分利用有人/无人自主协同过程中产生的冗余交互信息，提高对攻击行为检测的准确率；

如何在一个控制系统的框架下实现攻击和防御的协调统一。

6. 总结

有人/无人系统的自主协同研究可能对未来战争模式产生颠覆性变革。通过深入研究分布式控制与优化、多智能体系统、网络化系统信息安全等技术，有可能大幅提高有人/无人系统自主协同的指挥与控制效率，满足未来协同作战需求，并推动与促进计算机、人工智能、通信、微电子等多学科在基础、技术与应用多层面的交叉融合与协同创新。

来源：《中国科学：信息科学》

工业 智能 网 ： 基本 概念、 关键 技术与 核心 应用

文 / 王飞跃^{①②③}
张军^④
张俊^⑤
王晓^{①②③}

摘要：本文首先阐述了工业网联技术的演化过程，重点讨论了工业智能网产生的技术和时代背景。然后探讨了工业智能网的基本概念、内涵与应用领域。本文详细介绍了工业智能网的关键技术，包括数字虚拟工业技术、新一代知识工程技术、工业资源异构复杂网络管控技术、区块链智能、社会计算、边缘计算等，及其技术平台架构。最后我们以智能工业新模式和工业系统价值挖掘为示例，举例说明工业智能网的应用模式。

关键词：工业智能网 知识自动化 虚拟数字工业 复杂系统理论 区块链 社会计算

自上世纪中期以来，工业技术（Industrial technology）和信息技术（Information technology）融合的过程就已经开始，其进程由于网络技术的发展而加速，而工业控制系统的演化就是这一融合过程的范例。网络化的工业控制主要经历了以下几个阶段：20世纪六七十年代的模拟仪表控制系统、八九十年代的集散控制系统、21世纪的现场总线系统。在这些阶段，技术发展聚焦于在工业现场本地的工业过程信息化与自动化。

2012年，对应网络信息技术的发展，国际工业技术巨头GE（General Electric）公司提出了工业互联网的概念并发表工业互联网白皮书^[1]。在白皮书中，GE将工业互联网的精髓阐述为：智能机器（Intelligent machines）、高级分析（Advanced analytics）、工作人员（People at work）三要素的深度融合。纵观GE的工业互联网，是以工业系统为中心的基于互联网的工业、信息、网络、人机结合的融合技术。

随着科技的飞速发展，物联网（Internet of things, IoT）概念和技术也得到了迅速的普及。物联网理念的起源比较公认的说法是由Kevin Aston在1999年在Procter & Gamble（P & G）的一次演讲中提出^[2]，其工业应用的价值与意义显而易见。对应于物联网技术，工业互联网的概念逐步演变成为工业物联网的概念，但工业物联网（Industrial internet of things, IIoT）的

① 青岛智能产业技术研究院 青岛 266109
② 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 北京 100190
③ 英特尔智能网联汽车大学合作研究中心 北京 100190
④ 北京理工大学 北京 100081
⑤ 武汉大学电气工程学院 武汉 430072

起源却没有公认的结论。2016 和 2017 年，王飞跃教授分别在 IEEE TAB (Technical activity board meeting) 未来方向 IoT 会议和 IEEE 射频识别委员会 (Council on RFID) 上提出设立工业物联网专业工作委员会。2017 年底，IEEE 计算机学会将工业物联网列为 2018 年的十大技术发展趋势之一。

对于从工业互联网到工业物联网的转换过程，GE 在其官网上方面宣称“工业物联网即工业互联网” (“The industrial internet of things (IIoT), also known as the industrial internet”)^[3]，而在同一篇文档里，GE 也承认工业物联网确是工业互联网在客户端的扩展：“One perspective is to think of the Industrial Internet as connecting machines and devices in industries …… On the other hand, the Internet of Things tend to include consumer-level devices ……”

在最近的发展中，工业物联网的概念正迅速取代工业互联网

的概念，无论是在以 GE 为代表的美国工业界还是以西门子、ABB 为代表的欧洲工业界，工业物联网已成为工业网系统的主流技术框架。2017 年 8 月，GE 数字部门 CEO，William Ruh 在官网发表文章“为什么 GE 数字部门定位于工业物联网领袖 (Why GE digital is positioned to lead the industrial internet of things) ”^[4]，而在这篇文章里通篇再未见“工业互联网”字样。西门子工业也将其工业平台 MindSphere 定义为“MindSphere 是基于云技术的、开



放物联网操作系统（MindSphere is the cloud-based, open IoT operating system”）。

图 1 描述了工业网联技术在各个时期的不同发展阶段。我们认为工业互联网是其中的一个重要发展阶段，就是基于互联网技术发展出的联结业务、商务、供应链等信息的网络系统和技术，而工业物联网是其向边缘装置的深入发展。当前的工业物联网技术能在系统感知与控制层次上解决复杂工业系统的管控问题，但是在更高的智能层次上，在系统资源的使用效率、自适应性、自主性、自组织性和安全性上，还缺乏有效的、融合系统工程技术的智能科技。由此，工业物联网应运而生，其使命就是实现工业过程的知识自动化，为新一代的工业智能产业提供智能科技。

工业物联网旨在实现海量工业实体的智能化协同，改变工业生产形态的未来工业基础设施，需要运用新一代技术理念，对不同种类工业实体乃至整个工业网络进行建模和管控，对工业和社会资源进行高效整合，从而实现工业实体的智能化发展。

在工业物联网的架构下，会催生以下的物联网架构，包括：

1) 农业物联网：农业物联网将农业生产的各个物理、流程和知识环节通过智能技术有机地融合成一体，使其能够自动、自主、自适应、自优化运行。逐渐实现从以人的体力和智力为中心、农业装备为辅助设施的生产模式，向以人机协同智能体为中心的，自动化、智能化、知识化农业生产转变。

2) 交通物联网：交通物联网实现交通运输系统中社会、人、交通装备、基础设施、货物、环境等异构交通要素在智能与知识层面上的融合，从而建立起一种可自适应、自优化、自运行的综合交通运输管控系统。

3) 能源物联网：能源的产生、传输、分配、销售是能源工业的核心业务。围绕这些核心业务，能源工业的其他业务也包括公司运营、投资管理、监管法规等。我们期望能源物联网为以上的能源工业组件提供极大提升其工业效率的技术方法和系统平台。

4) 企业物联网：当代企业管理已经从信息管理向知识管理迈进。企业物联网为企业提供知识化和智能化的管理能力，并为管理者提供崭新的管理工具与手段。

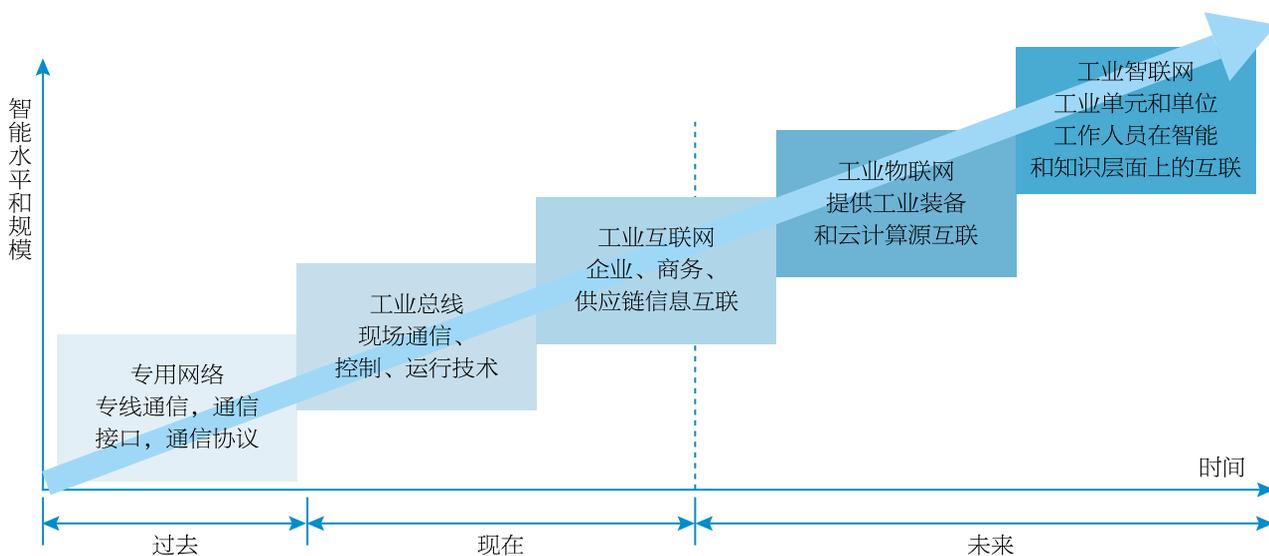


图 1 工业网联技术的演进过程

Figure 1 The evolutionary process of inter-connected industrial technology



5) 社会物联网：旨在基于物联网技术和平台，实现社会和经济的自主优化和管控，基于物理空间和虚拟空间的融合而实现对社会、经济问题的描述、预测、引导，促使向新的智能社会形态的迈进。

因此，工业物联网是一门与工业互联网、工业物联网紧密结合，深度融合的智能技术和知识工程技术，其目标为建立包含人机物在内的智能实体之间知识层次的联结、实现各智能体间知识的互联互通，是一种全新的、直接面向全社会智能的复杂协同数信、感控、知识自动化系统。工业物联网的实施则能够以极高的效率整合各种工业和社会资源，极大地减少工业资源的浪费和消耗，极大地解放工业生产力，拓展即将出现的“软件定义工业”、“类工业领域”“广义工业”“社会制造”“社会工业”等智能产业新形态^[5]。

本文旨在阐述工业物联网的基本概念、关键技术和核心应用，并对其发展和应用进行展望。

1. 工业物联网的基本概念

工业物联网属于复杂系统的范畴，因此本文对工业物联网做一个多方位的定义：

1) 工业物联网作为新兴的科学技术门类：物联网的目标是达成智能体群体的“协同知识自动化”和“协同认知智能”，即以某种协同的方式进行从原始经验数据的主动采集、获取知识、交换知识、关联知识，到知识功能，如推理、策略、决策、规划、管控等全自动化过程，因此物联网的实质是一种全新的、直接面向智能的复杂、协同知识自动化系统理论和工程技术。

2) 工业物联网作为未来工业基础设施：工业物联网是由社会工程系统联合感知与驱动以及多层次一体化通信计算系统支撑的工业系统智能技术系统和知识服务平台。

3) 工业物联网作为工业资源整合配置工具：工业物联网深度融合互联网、物联网、人机交互、大数据、智能技术，实现研发、生产、供应、销售、服务等工业全链条要素的全面联结、协同与智能化，使海量工业智能实体完成社会化知识协同，彻底地改变了工业生产形态，极大地解放和提升社会生产力。

4) 工业物联网作为智能产业经济管控手段：工业物联网的使命是重组各种产业，对其进行建模、分析、管控，使其以难以想象的高效率自主地运转和发展；所有工业实体运行在智能产业网络的虚拟空间中，使得监视和管控各个工业单元的运行状况成为可能，使得分析每一个产业的宏观数据和微观数据成为可能，最终形成真正的数据化、知识化、智能化的智能产业。

具体而言，工业物联网的内涵包括：1) 知识工程与知识自动化：知识自动化^[6-7]，在广义上暂无精确的定义，粗略上可以理解为是一种以自动化的方式变革性地改变知识产生、获取、分析、影响、实施的有效途径。狭义上，

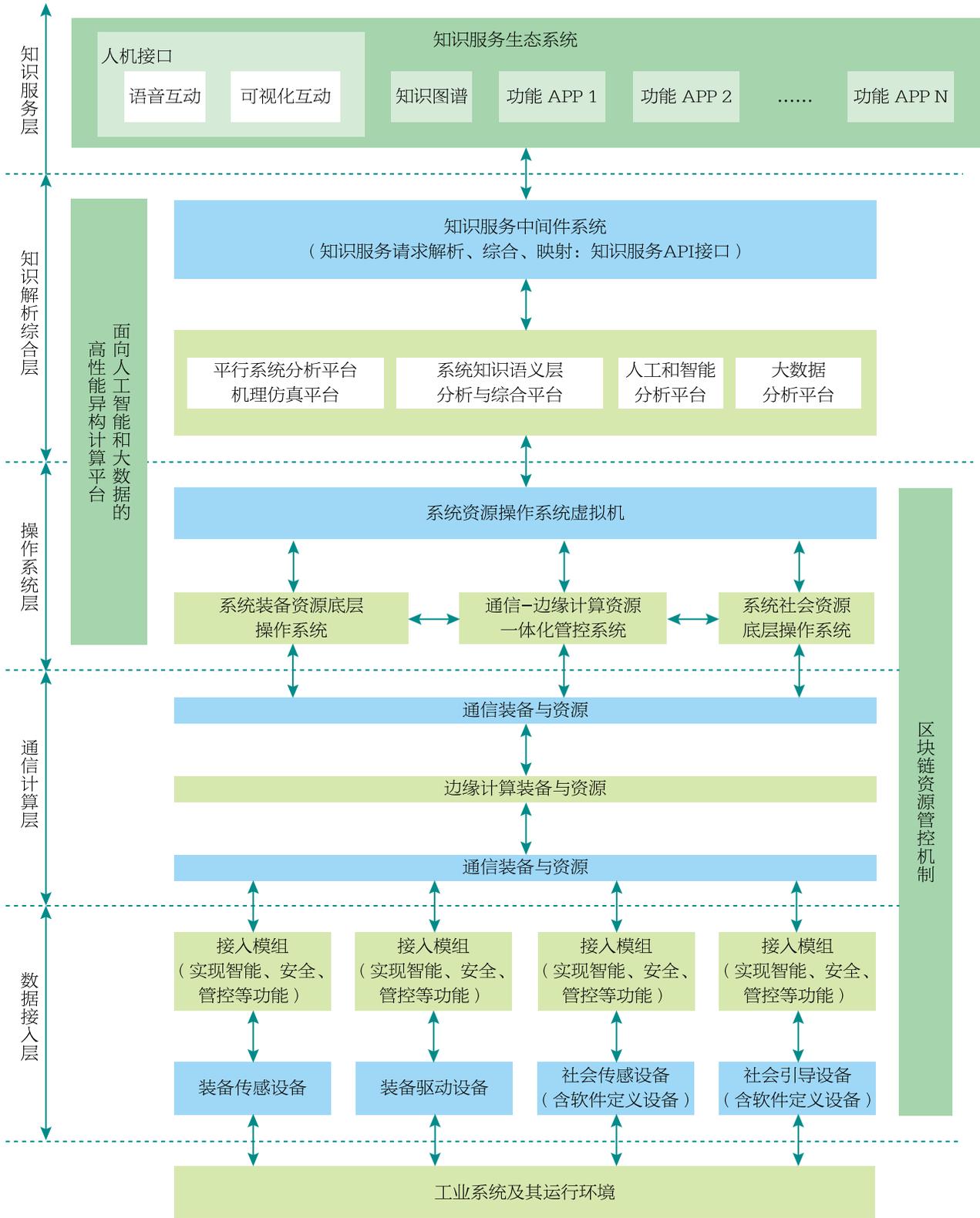


图 2 工业物联网的技术平台架构

Figure 2 Framework of the technological platform of IIoM

知识自动化可认为是广义知识自动化的应用。知识自动化的关键，在于如何将信息、情报等与任务和决策无缝、准确、及时、在线地整合起来，从而实现自动完成各种知识功能与知识服务。这种由知识自动化技术构成的系统，即为知识自动化系统。知识自动化系统不断与真实世界进行行为互动、知识交互，不间断获取海量的不同领域、异构、高度并发的数据。知识自动化系统是一个动态且时变的系统，通过经验知识的获取和积累，不断改变系统内部内容、形态、方法和结构，它用自身的复杂性、时变性来理解真实世界的复杂性和时变性。

2) 虚实纠缠的新兴工业形态：针对传统的工业系统，在信息化、数字化的基础上，通过计算与实验的方法构建出虚拟工业系统。通过传统工业系统与虚拟工业系统的交互，实现建立智能化虚实交互、纠缠的新工业系统，完成对实际工业系统的管理与控制、分析与优化^[8]。

3) 人在环、社会在环的社会工程系统：社会系统由三部分系统构成，即“物理空间”对应的物理工程系统，“赛博空间”对应的人工工程系统以及“社会空间”对应的社会工程系统。根据实际物理工程系统，构建出相应的人工工程系统。人工工程系统基于大数据技术和 AI 技术完成对物理系统的实时控制，两者同时完成对社会

系统的引导^[9]。社会系统同时对物理系统和人工系统完成实时反馈，最终实现物理空间、赛博空间、社会空间的互联互通，共同融合。

4) 工业资源异构网络及其新型管控模式：实际的工业资源，存在着时空尺度异构、实体异构、关系异构等，借助社会传感或物理传感、驱动、通信、计算等技术，构建形成工业资源异构网络。通过智能技术、复杂系统工程技术、区块链智能技术等相关技术手段进行优化、运营、管控。工业资源异构网络功能通过数据中心 / 计算架构处理，转化成知识，并最终形成知识服务。

2. 工业物联网架构与核心技术

工业物联网的技术架构主要由数据接入层、通信计算层、虚

拟操作系统层、知识解析综合层、以及知识服务层组成，其结构如图 2 所示。图 3 中所示是在该体系结构下，新出现的核心技术。本文将工业物联网新出现的架构与核心技术归纳如下。

2.1 数字虚拟工业技术

数字虚拟工业技术基于实际工业设备运行数据，通过学习和优化，建立对应于实际工业系统的虚拟工业系统。借助软硬件接口，两个系统在运行过程中进行信息的交互，协同发展，基于学习过程中累积的知识，逐步完善的虚拟工业系统结合实际运行数据，对工业实体状态进行评估，并设计场景进行演化计算实验对未来态势进行预测，帮助实现对复杂实际工业系统的管理控制，而对实际工业系统实施管控措施

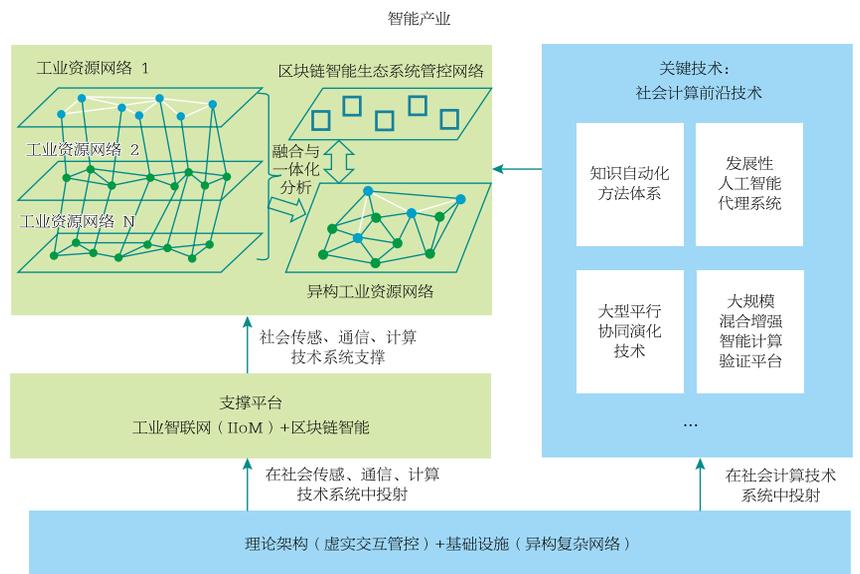


图 3 工业物联网概念架构与核心技术

Figure 3 Illustration of the concepts and core technologies of IIoM

后的实时信息将反馈给虚拟工业系统做后续的评判推演，两个系统随时间不断进行类似的交互反馈^[10]。数字虚拟工业技术的原理及流程如图4所示。

利用数字虚拟工业技术，能够建立虚实纠缠的工业系统，从而可挖掘分析实际运行数据，构建工业设备数字化寿命模型，预判运行状态发展趋势，智能辅助运行人员决策，实现对工业实体的精确描述、实时预测和智能引导^[11]。虚实交互系统的具体设计和交互架构如图5所示。

2.2 新一代知识工程技术

新一代知识工程技术包括单智能体自主获取知识、知识自动化技术和多智能体的知识协同技术。知识自动化，在广义上可以定义为是一种以自动化的方式变革性地改变知识产生、获取、分析、影响、实施的有效途径，其关键在于对原始信息、目标任务与最终决策的自然、准确、在线结合^[12]。知识自动化通过对多尺度时空信息的组织和特征化，揭示数据的低层次内在特征，而后进行知识对象及知识对象属性的提取，获取有知识价值的对象及其属性，构建知识空间，最终实现知识的表示和知识功能的实现。知识的协同技术主要包括知识的协同表征与传递，以及知识的联结与协同运行，它通过建立智能实体之间知识层次的互联互通，

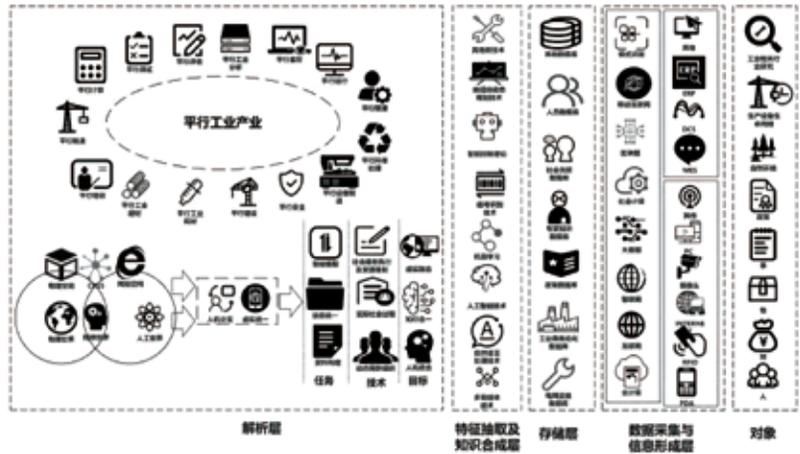


图4 数字虚拟工业技术
Figure 4 Digital virtual industrial technology

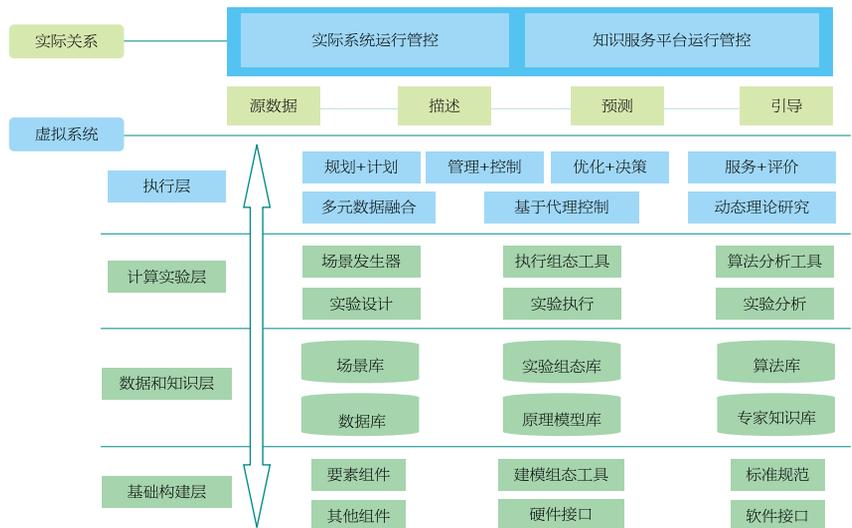


图5 虚实交互系统
Figure 5 Virtual and real interaction system

在联合知识空间中完成知识功能^[13]。如图6所示，人们的社会、经济、技术活动通过“翻译”的方式实现了自然语言与人工语言的智能交互，最终通过智联网的多种协同结构实现了支撑知识服务、完成知识功能、实现知识消费等多种功能。

将新一代知识工程技术运用于工业智联网中，不仅能够基于单个工业实体的实际运行数据，完成在生产过程中的知识发现和表示，进行情景预测和辅助决策，实现单个工业实体的安全运行和工艺调整；更重要的是，能够建立不同工业实体之间的知识联结

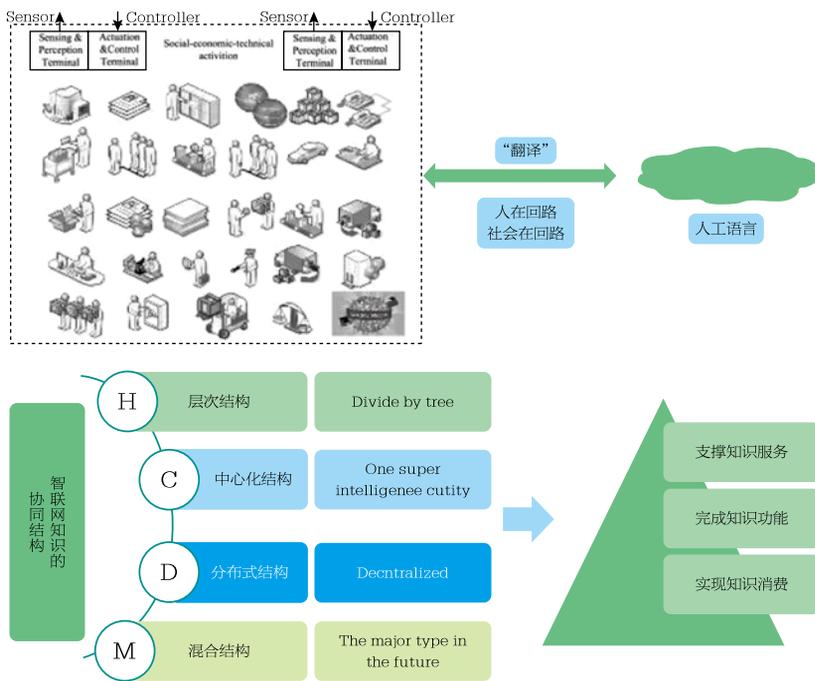


图 6 新一代知识工程技术
Figure 6 New generation knowledge engineering technology

网络，达到工业知识的协同运行，在整个工业体系中完成对全链条工业实体的综合分析和统一决策，实现工业结构整体优化和生产力全面提高。

2.3 工业资源异构复杂网络的建模、分析及管控技术

工业资源异构复杂网络的建模、分析及管控（图 7）借助图处理、深度学习等智能技术，对不同类型的工业资源网络进行数字化建模，基于不同工业资源网络之间的数据映射关系、逻辑关联性等特征进行融合性分析，形成异构工业资源网络，从而对异构工业资源网络产生的各类数据信息进行一体化的挖掘。同时，利

用区块链网络智能合约不可篡改特征和通证属性对建立的工业资源异构复杂网络进行管理和控制。

利用异构网络建模、分析和管控技术，可对海量的不同种类

工业资源进行深度整合、统一管理和信息挖掘，实现高效、安全、准确的分析与控制。

2.4 区块链智能

区块链智能技术是一种广泛应用于社会经济领域的一种新型技术，它包括应用于底层的区块链技术和运作于区块链之上的通证经济体系。如图 8 所示，区块链具有去中心化、自治化、透明不可篡改、可追溯性等特性^[14-15]，其应用使传统上难以流通和商品化的“注意力”与“信用度”成为可以批量化生产的流通商品，革命性地提升经济活动范围与社会效率，区块链技术具有成为智能经济的基石的潜质。通证经济是支撑区块链实现权益快速流动与安全交换的一种机制^[16]，构建改变生产力和生产关系的智能经济模式离不开通证经济体系。利用区块链的特性和通证经济的行为激励作用，社会智能经济体系中良性经济行

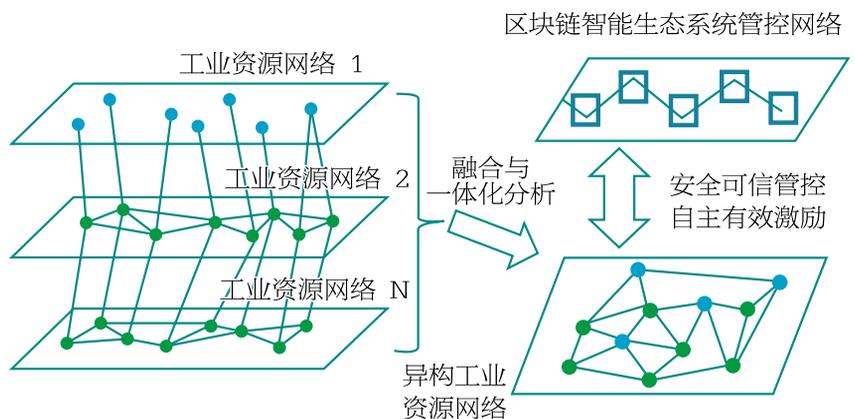


图 7 工业资源异构复杂网络的建模、分析及管控
Figure 7 Complex heterogeneous industrial resource networks

为的参与者会逐步增多，最终会引领社会经济导向，使得整个社会参与者的收益增多。同时，通过经济的激励作用还会优化社会的资源匹配，通过社会认知学习和沟通交流来提高社会效率。

区块链智能技术是智能世界中大数据和人工智能体可靠、可信、安全、高效的联结途径，它利用多代理技术、智能合约和不可篡改的特性实现对工业资源的安全可信管控，利用区块链通证属性对资源进行评估、管理、激励和引导，引导工业生态的健康成长和运行^[17]。基于区块链智能技术架构的工业资源管控系统可以实现对混合异构工业资源网络的一体化建模、调控、优化和管控，最终构建一个完整的智能工业生态系统。

区块链技术可以实现高可信度、无法篡改的分布式数据库需求，而运作在其系统上的通证经济体系又可以通过激励作用对工业资源进行调控、优化和管控，因此可以建立起区块链管控系统对工业资源进行安全可信管控。首先，在工业资源平台服务器上搭建区块链平台，设置准入机制，配置不同的组织关系，并为各个组织配置相应的通道，完成底层基础网络的搭建；其次，针对不同工业资源的特性以及个性化的定制需求，在区块链系统中安装共识机制互异的智能合约，并设

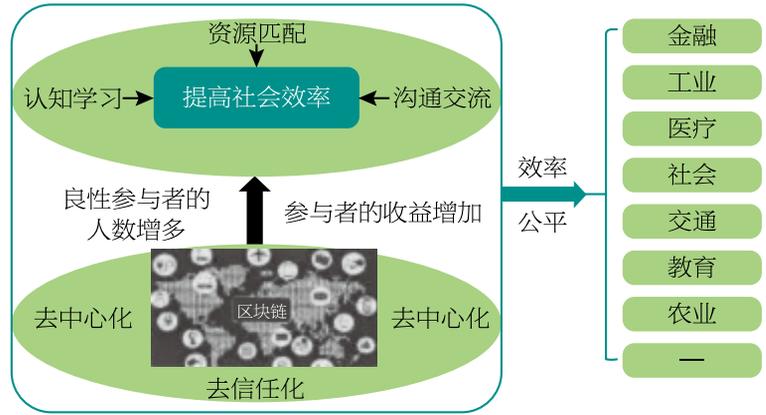


图8 区块链智能技术
Figure8 Blockchain intelligence

置排序节点中的最大区块数量和最大数据量，智能合约的自动执行形成了新型的高效智能工业链形式^[18-19]；最后，采用一定的选择机制让某一组织节点对交易进行打包形成区块，并对该节点配给一定的通证奖励，同时利用大数据分析平台对工业资产进行评估，对评估良好的工业资源配给一定数量的通证奖励，在后续的交易中通证可以作为手续费附加在智能合约中被优先打包成区块，由此对工业生态的健康成长和运行进行一定程度的引导。区块链上的每个组织都会有记账节点来进行分布式记账，并维护全网的一个公共的账本；同时，对于工业资产数据的读写操作均会被记录到区块链中，以实现全方位的安全可信管控。

2.5 社会计算

大数据、物联网、云计算等信息技术的蓬勃发展深刻改变了人与人、人与物、物与物之间的交互方式，社会计算理论^[20-26]作为社会科学和计算科学的交叉融合，侧重于信息技术在社会活动中的应用以及社会知识在信息技术中的嵌入和使用，可有效应对社会及工业问题中的各种复杂动态^[27]。

图9所示为社会计算的整体框架，包含基于开闭源信息能源情报的广泛采集、深度分析、个性化影响、协同产生等多个关键步骤。传统的物理系统通过各类传感器获得系统的物理信号，工程控制论在物理过程的自动化中发挥了极其重要的作用。社会传感器，就是力图将物理系统中传感网络获取物理信号的概念和手段推广到网站、博客、论坛等各类网络空间，用于社会信号的采集，获取所关注的社会信号并从中提取出感兴趣的信息。任何企业运营、社会事务、生产过程等方面的管理，都可以将问题的求解过程扩展

到由物理信号和社会信号共同构成的高维解空间中。其中，融合了物理和社会信号的数据具有海量、形式多样、高度分散等特点，采用分布式文件系统实现对大规模社会数据的存储和管理，通过机器学习、数据挖掘、模式识别、自然语言理解等技术对海量信息进行准确抽取、分析、并以用户可理解的方式展现出来，最终实现信息自动抓取、数据规整、数据量化、自动分类聚类、主题检测等功能，从而为各行各业的决策提供坚实有力的量化支持。

社会计算系统主要包含四个子系统，分别是：大数据存储与计算平台、全方位社会传感系统、智能检索系统、深度挖掘与分析决策系统。互联网数据结构的多样性使得数据的处理复杂化，数据规模的海量性使得计算的巨量化，数据不确定性和动态性使得信息处理工作繁琐化。针对社会信号大规模存储与计算的需求，需要采用计算机集群进行分布式存储，支持各种结构的数据的存储问题，采用并行计算机制可提高海量数据的处理效率，使平台达到功能完善、性能稳定、海量存储能力、高可靠性和高安全性的目标，从整体上保证社会计算平台的工作效率。通过分布广泛的社会传感器，对各种社会信号和社会数据进行不间断的采集和监控。在网络空间中，可采用网络爬虫的手段抓取项目所需的开源信息，对多种 Web 资源的信息内容进行有序抽取和整理，提高数据源的智能选择及情报精确率。在实际的生产管理系统中，建立从数据源到数据库间的信息通道，实现信息的高速无差传输。

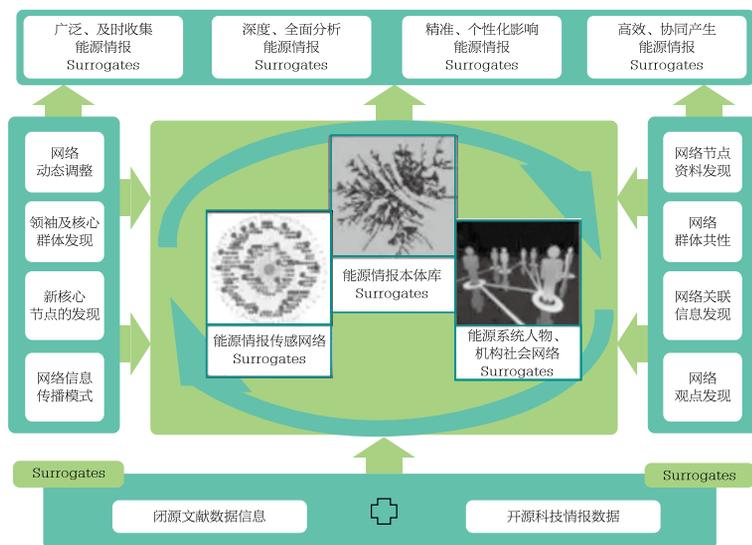


图9 社会计算框架

Figure 9 Architecture of social computing

对于海量数据综合运用查询扩展、知识图谱等技术，构建跨媒体的工业数据智能检索平台，提高数据处理的并行度，实现智能检索。通过机器学习、数据挖掘、模式识别、自然语言理解等技术对海量的社会信息进行准确抽取、分析、并以用户可理解的方式进行展现，为工业数据的分析决策提供量化支持。

2.6 边缘计算

边缘计算作为一种新型计算模式，是实现工业互联网的支撑技术之一^[28]。相较于云计算，其可以实现对工业边缘设备大数据的实时处理，减少了因数据传输给云计算中心带来的网络带宽问题和实时性需求，且边缘计算能够考虑到边缘数据的隐私问题及数据上传时边缘设备电能损耗问题^[29]。边缘计算通过整合工业网络边缘上的计算、存储、网络等形成合一的平台为工业用户提供服务，使得数据在源头侧就能得到有效及时的处理，或者将边缘数据部分处理后将数据传到云计算中心处理，减少点云计算中心的压力^[30]。

边缘计算主要是对工业互联网中边缘设备产生的海量数据进行存储和处理，边缘计算的下行数据代表着云服务，上行数据代表着工业智联服务^[31]。工业网络边缘设备既从云计算服务中心请求内容及服务，也进行数据

存储、处理、缓存及隐私保护等任务。传统的 MapReduce 及 Spark 等数据处理方法处理不了工业边缘设备产生的海量边缘异构数据，构建适合于工业智能网的边缘计算平台至关重要。根据边缘计算产业联盟（ECC）的边缘计算参考架构 1.0，边缘计算包括四个功能域，分别是应用域、数据域、网络域及设备域^[32]。应用域支持行业应用本地化入驻，支撑行业的全生命周期活动、边缘业务的高效运营与可视化管理；数据域对海量边缘数据进行数据分析与呈现，数据聚合与互操作，同时保护数据安全及数据隐私；网络域提供数据的聚合及系统的互联；设备域通过车床、发动机等工业设备来实现工业现场设备的实时智能互联及相关的智能应用。

3. 应用模式举例

3.1 工业智能网催生智能工业新模式示例

工业互联网的高速发展催生了种类繁多的智能工业新模式。图 10 展示了社会化大规模商品定制模式的基本流程，各工业单位通过采用工业互联网的技术，将串行的工业生产流水线拆分成了单一的生产单元，结合区块链智能合约技术，每个生产单元通过智能合约将自己的产品连接进不同的产业链中。消费者可通过在智能终端输入需求数据，制定自

己需要的专属商品，需求确立后，将触发整个生产链的智能合约，生产链中与商品相关的生产单元将通过智能合约实时定义组成多条生产线，完成相应的生产指令。生产完成的产品通过智能合约进行运输，直接送到消费者手中，从而实现商品的社会化大规模定制。同时，消费者还可通过工业互联网技术对商品的原材料、零件生产、拼装运输等流程进行回溯，保证生产过程的透明化，保证商品的高质量和高可信度。

工业资源的管控新模式则是通过工业互联网技术，对传感、控制、信息、计算等不同结构的工业资源网络，进行一体化建模分析、决策和自主运行，实现异构网络的互联互通，并提供准入接口，提高异构网络成为智能工业生态系统的可行性。同时采用分布式管理、智能合约技术以及不可篡改的方法实现对工业资源的安全可信的管理。

3.2 工业智能网催生工业系统价值挖掘新模式

在工业智能网环境下，对工业系统的价值挖掘工作包括对内生价值的挖掘以及对外在资源的挖掘。图 11 阐释了内生价值挖掘过程中采用的相关技术、解决的实际问题以及最终的实现效果。对于工业系统的内生价值挖掘，具体是通过诸如数字虚拟工业技术、知识工程技术、异构复杂网络建模分析技术以及区块链技术

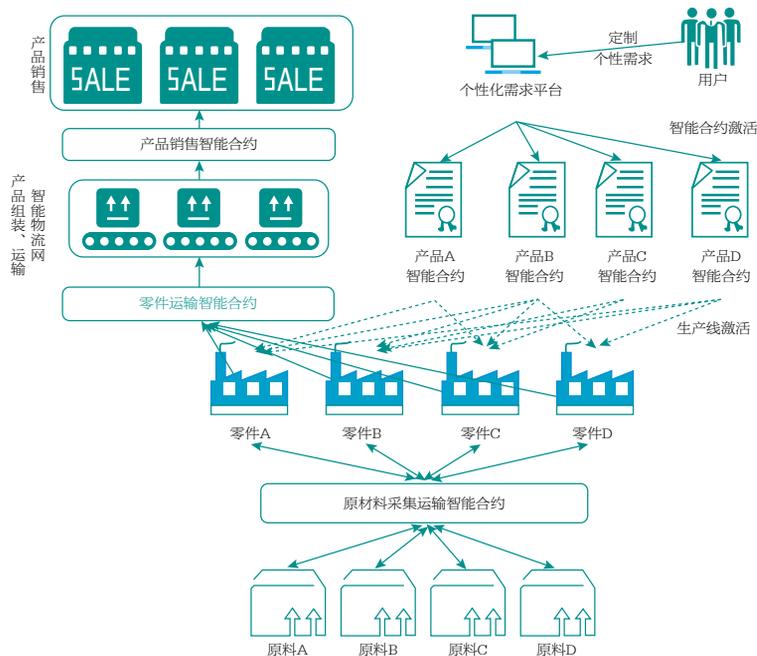


图 10 社会化大规模定制流程图
Figure 10 Socialized massive customization process

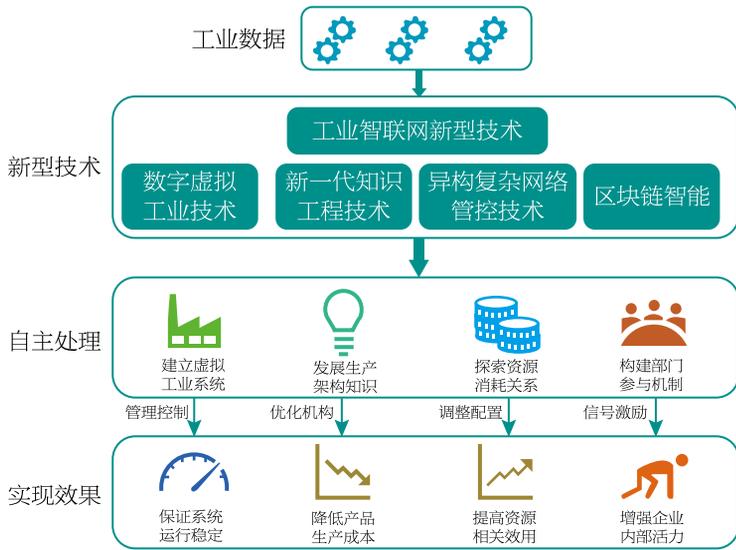


图 11 工业物联网内生价值挖掘
Figure 11 Endogenous value mining IIoM

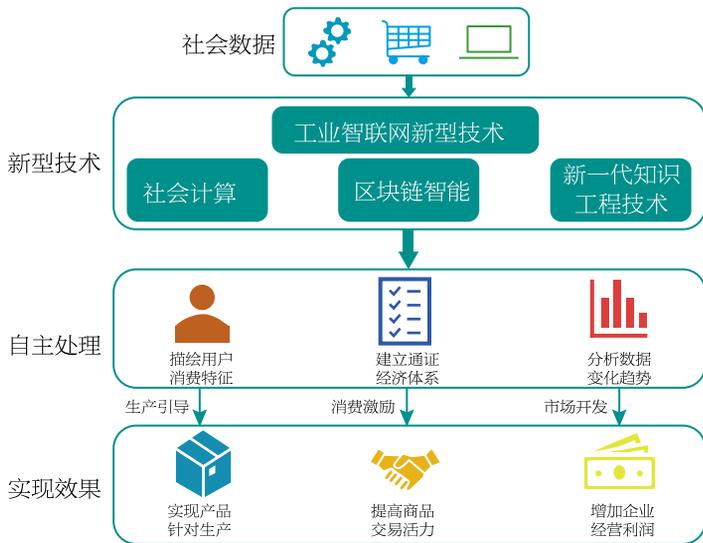


图 12 工业物联网外在资源挖掘
Figure 12 External resource mining of IIoM

等工业物联网新兴技术，并建立虚拟的工业系统模型，模拟分析实体工业运行情况，保证系统运行稳定；通过发现生产架构知识，优化生产结构，降低产品生产成本；通过探索资源消耗关系，合理调整资源配置，提高资源的有效利用；通过构建部门参与机制，建立高效的信号激励制度，增强企业内部的活力。图 12 阐释了在外在资源挖掘过程中使用的工业物联网相关技术及可达到的实现效果，对于外在资源的挖掘，可结合社会计算、物联网数据采

集以及知识工程等技术，通过描绘用户消费特征，以用户消费特征为生产导向，实现商品的针对性生产；通过建立通证经济体系，制定相应的消费激励措施，提高商品交易的活力；通过分析市场数据的变化趋势，提前制定市场开发计划，增加企业经营的利润。

通过智能技术将工业系统的内生价值和外在资源相融合，在保证工业系统数据资源安全可靠的基础上，实现内在优化价值支撑外在产品推广，外在资源导引内在价值发展的良性循环。

4. 结论

本文详细地阐述了工业物联网产生的技术和时代背景、定义与内涵、平台架构与关键技术，以及其应用模式的两个示例。

对于当前的工业系统与技术而言，单个和孤立的智能技术已经取得了一定的成绩，然而，工业系统中即将涌现海量的具有一定智能的实体，而这些实体在智能与知识层面上的如何协同和合作却还是一个开放的问题。如果这个目标能够实现，其对社会生产力的提升和对社会形态的影响，将是难以想象的。因此，工业物联网的大规模研究与开发势在必行，而我们也期望工业物联网将为社会化智能大工业提供一条切实可行而又富有成效的技术路径与顶层设计。○

参考文献

- [1] P. C. Evans, M. Annunziata. Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines [Online], available: <https://www.ge.com/docs/chapters/IndustrialInternet.pdf>, June 15, 2017.
- [2] Wikipedia. Kevin Ashton [Online], available: <https://en.wikipedia.org/wiki/KevinAshton>, September 20, 2017.
- [3] GE Digital. Everything You Need to Know About the Industrial Internet of Things [Online], available: <https://www.ge.com/digital/blog/everything-you-need-knowabout-industrial-internet-things>, December 8, 2017.
- [4] W. Ruh. Why GE Digital Is Positioned To Lead The Industrial Internet Of Things [Online], available: <https://www.ge.com/reports/ge-digital-positionedlead-industrial-internet-things-2/>, December 19, 2017.
- [5] Wang Fei-Yue, Zhang Jun. Internet of minds: the concept, issues and platforms. *Acta Automatica Sinica*, 2017, 43 (12): 2061-2070.
(王飞跃, 张俊. 互联网: 概念、问题和平台. *自动化学报*, 2017, 43 (12): 2061-2070.)
- [6] Wang Fei-Yue. The destiny: towards knowledge automation—preface of the special issue for the 50th anniversary of *Acta Automatica Sinica*. *Acta Automatica Sinica*, 2013, 39 (11): 1741-1743.
(王飞跃. 天命唯新: 迈向知识自动化—《自动化学报》创刊 50 周年专刊序. *自动化学报*, 2013, 39 (11): 1741-1743.)
- [7] Wang Fei-Yue. On future development of robotics: from industrial automation to knowledge automation. *Science & Technology Review*, 2015, 33 (21): 39-44.
(王飞跃. 机器人的未来发展: 从工业自动化到知识自动化. *科技导报*, 2015, 33 (21): 39-44.)
- [8] Li L, Lin Y L, Zheng N N, Wang F Y. Parallel learning: a perspective and a framework. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2017, 4 (3): 389-395. DOI: 10.1109/JAS.2017.7510493
- [9] Wang F Y, Zhang J J, Wang X. Parallel intelligence: toward lifelong and eternal developmental AI and learning in cyber-physical-social spaces. *Frontiers of Computer Science*, 2018, 12 (3): 401-405. DOI: 10.1007/s11704-018-7903-5
- [10] Giacobini M, Brabazon A, Cagnoni S, Di Caro G A, Drechsler R, Ekart A, et al. *Applications of Evolutionary Computing*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. 1-698.
- [11] Dong M X, Ranjan R, Zomaya A Y, Lin M. Guest editorial on advances in tools and techniques for enabling cyberphysical-social systems—Part I. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2015, 2 (3): 38-40. DOI: 10.1109/TCSS.2016.2527158
- [12] Wang Fei-Yue. Software-defined systems and knowledge automation: a parallel paradigm shift from Newton to Merton. *Acta Automatica Sinica*, 2015, 41 (1): 1-8.
(王飞跃. 软件定义的系统与知识自动化: 从牛顿到默顿的平行升华. *自动化学报*, 2015, 41 (1): 1-8. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8930.2015.01.001)
- [13] Wang Fei-Yue, Sun Qi, Jiang Guo-Jin, Tan Ke, Zhang Jun, Hou Jia-Chen, et al. Nuclear energy 5.0: new formation and system architecture of nuclear power industry in the new IT era. *Acta Automatica Sinica*, 2018, 44 (5): 922-934.
(王飞跃, 孙奇, 江国进, 谭珂, 张俊, 侯家琛, 等. 核能 5.0: 智能时代的核电工业新形态与体系架构. *自动化学报*, 2018, 44 (5): 922-934.)
- [14] Zhang Jun, Gao Wen-Zhong, Zhang Ying-Chen, Zheng XinHu, Yang Liu-Qing, Hao Jun, et al. Blockchain based intelligent distributed electrical energy systems: needs, concepts, approaches and vision. *Acta Automatica Sinica*, 2017, 43 (9): 1544-1554.
(张俊, 高文忠, 张应晨, 郑心湖, 杨柳青, 郝君, 等. 运行于区块链上的智能分布式电力能源系统: 需求、概念、方法以及展望. *自动化学报*, 2017, 43 (9): 1544-1554.)
- [15] Ping Jian, Chen Si-Jie, Zhang Ning, Yan Zheng, Yao LiangZhong. Decentralized transactive

- mechanism in distribution network based on smart contract. Proceedings of the CSEE, 2017, 37 (13): 3682-3690.
(平健, 陈思捷, 张宁, 严正, 姚良忠. 基于智能合约的配电网去中心化交易机制. 中国电机工程学报, 2017, 37 (13): 3682-3690.)
- [16] Zhang J, Wang F Y, Chen S Y. Token economics in energy systems: concept, functionality and applications. eprint arXiv: 1808.01261, 2018. <http://econpapers.repec.org/RePEc: arx: papers: 1808.01261>
- [17] Klitgaard T, Reddy R. Lowering electricity prices through deregulation. Current Issues in Economics and Finance, 2000, 6 (14): 1-6.
- [18] Hu Kai, Bai Xiao-Min, Gao Ling-Chao, Dong Ai-Qiang. Formal verification method of smart contract. Journal of Information Security Research, 2016, 2 (12): 1080-1089.
(胡凯, 白晓敏, 高灵超, 董爱强. 智能合约的形式化验证方法. 信息安全研究, 2016, 2 (12): 1080-1089.)
- [19] Yuan Yong, Wang Fei-Yue. Blockchain: the state of the art and future trends. Acta Automatica Sinica, 2016, 42 (4): 481-494.
(袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望. 自动化学报, 2016, 42 (4): 481-494.)
- [20] Wang F Y. Social computing: concepts, contents, and methods. International Journal of Intelligent Control and Systems, 2004, 9 (2): 91-96.
- [21] Wang Fei-Yue. The significance of social computing and its prospects. Communications of CCF, 2006, 2 (2): 8-17.
(王飞跃. 社会计算的意义及其展望. 中国计算机学会通讯, 2006, 2 (2): 8-17.)
- [22] Wang Fei-Yue. Artificial societies, computational experiments, and systems: a discussion on computational theory of complex social-economic systems. Complex Systems and Complexity Science, 2004, 1 (4): 25-35.
(王飞跃. 人工社会、计算实验、平行系统—关于复杂社会经济系统计算研究的讨论. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1 (4): 25-35. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3813.2004.04.002)
- [23] Wang F Y. Toward a paradigm shift in social computing: the ACP approach. IEEE Intelligent Systems, 2007, 22 (5): 65-67. DOI: 10.1109/MIS.2007.4338496
- [24] Lazer D, Pentland A, Adamic L, Aral S, Barabasi A-L, Brewer D, et al. Social science: computational social science. Science, 2009, 323 (5915): 721-723. DOI: 10.1126/science.1167742
- [25] Schuler D. Social computing. Communications of the ACM, 1994, 37 (1): 28-29. DOI: 10.1145/175222.175223
- [26] Yang Q, Zhou Z H, Mao W J, Li W, Liu N N. Social learning. IEEE Intelligent Systems, 2010, 25 (4): 9-11. DOI: 10.1109/MIS.2010.103
- [27] Leskovec J, Huttenlocher D, Kleinberg J. Predicting positive and negative links in online social networks. In: Proceedings of the 19th International Conferences on World Wide Web. Raleigh, North Carolina: ACM, 2010. 641-650 <http://www.mendeley.com/catalog/predicting-positive-negative-links-online-social-networks/>
- [28] Satyanarayanan M. The emergence of edge computing. Computer, 2017, 50 (1): 30-39. DOI: 10.1109/MC.2017.9
- [29] Shi W S, Cao J, Zhang Q, Li Y Z, Xu L Y. Edge computing: vision and challenges. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3 (5): 637-646. DOI: 10.1109/JIOT.2016.2579198
- [30] Shi W S, Dustdar S. The promise of edge computing. Computer, 2016, 49 (5): 78-81. DOI: 10.1109/MC.2016.145
- [31] Shi Wei-Song, Sun Hui, Cao Jie, Zhang Quan, Liu Wei. Edge computing—an emerging computing model for the internet of everything era. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54 (5): 907-924.
(施巍松, 孙辉, 曹杰, 张权, 刘伟. 边缘计算: 万物互联时代新型计算模型. 计算机研究与发展, 2017, 54 (5): 907-924.)
- [32] Edge Computing Consortium. White Paper of Edge Computing Consortium [Online], available: <http://www.eccconsortium.net/Uploads/file/20161208/1481181867831374.pdf>, June 15, 2017.

来源:《自动化学报》

编者按

本期“科普园地”栏目，为大家分享的是复旦大学计算机技术学院张军平教授在其科学网博客所写的“爱犯错的智能体——视觉篇”系列之“视觉倒像”“颠倒的视界”“看不见的萨摩耶”。张军平教授从光学成像、人脸翻转效应、正片负片的人脸识别、正负倒影、人体眼睛构造、心理有意无意忽略以及颠倒视界影响判断等方面分析了人类在视觉上的犯错表现；阐述了人类作为不同于机器的智能体，所犯的很难找到明晰的解释；然而人依赖于情感和心灵的视而不见和熟视无睹，比起单从视觉上发生的，要复杂多，这也是现在人工智能找不到北的原因。



爱犯错的智能体——视觉篇（一）： 视觉倒像



张军平，复旦大学计算机科学技术学院，教授、博士生导师，中国自动化学会混合智能专委会副主任。主要研究方向包括人工智能、机器学习、图像处理、生物认证及智能交通。至今发表论文近 100 篇，其中 IEEE Transactions 系列 18 篇，包括 IEEE TPAMI, TNNLS, ToC, TITS, TAC 等。学术谷歌引用 2600 余次，ESI 高被引一篇，H 指数 27。

机器会犯错，其错要么是因为数据集太少，无法涵盖数据形成的样本空间；要么是由于训练太过精细，导致没办法对新来的样本或数据形成有效预计，俗称为过拟合；要么是模型本身的能力低，结果对样本的刻画能力不足；要么是硬件条件受限，无法完全相关任务。不管哪种错，总是多少能找到原因的。

而智能体尤其是人类的犯错，却有很多缺乏明晰的解释。人类会在很多方面犯错，产生错误的判断，视觉上、听觉上、距离上、认知上、情绪上，甚至人类发育的基础，基因上，都有。为什么这样一种错误频出的智能体，却能凌驾于其他生命成为地球的主宰呢？这些犯错到底有什么用呢？了解这些犯错，说不定能从中找出一些有用的线索，来重新思考人工智能的发展方向。

今天聊聊人类在视觉上的犯错表现。这种犯错常被称为光学错觉，英文叫 Optical Illusion。

先从光学成像说起吧，第一个还没得到完全认识、但却又是最基本的问题，是视觉倒像。小孔成像原理告诉我

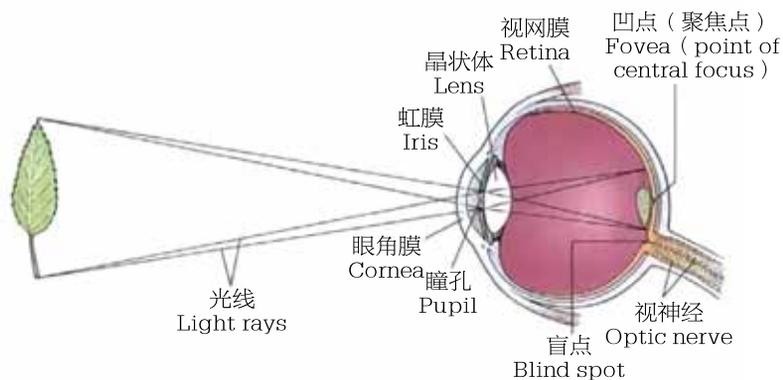


图1 眼睛的小孔成像原理

们，要观测的目标通过瞳孔的凸透镜原理映射至视网膜上，是一个标准的倒像。如果是机器，则可以通过光学变换还原成正常的影像。而智能体似乎并没有光学变换的能力，从视网膜往后联就是视神经元了。人类的视网膜上位于中间位置（俗称中央凹，fovea）的视锥神经和周边的视杆神经主要承担感受光强、颜色和运动状态的功能，似乎没有自动翻转的能力。

假如没有自动翻转成正常或倒着看世界会如何呢？金庸的书籍《射雕英雄传》谈到过。西毒欧阳锋为了学习从黄蓉那弄来的假的《九阴真经》，将全身经脉逆转，结果走火入魔，变成手当足、脚当手来倒立走路。经过一段时间后，他似乎已经习惯这种颠倒的世界。

当然，这是小说中的虚构。但从历史来看，还真有科学家做过这样的尝试。1897年，美国心理学家 George Stratton 发表了《视网膜没有逆转视觉》的论文。在论文中，他详细介绍了关于视网膜倒像的实验。他给自己戴了一幅凸透镜，并把其中一只眼完全遮住。在前四天，本已被凸透镜纠正过来的正像，他看到的却始终是倒的。结果，凭借平时经验拿东西时都会失败和感到别扭。因为影像是倒过来的，而手势却还是按正常的方向去行动，想拿地上的物品手会往上伸，想拿架子上的物品手却往下放。不过到第五天后，他的视觉奇怪地、自发地变成正像了，好像视觉神经已经适应了，他肢体的动作也再次与世界协调了。但再取掉凸透镜后，他发现世界竟然都是颠倒的，之前的正像要再过一段时间才能恢复。换一只眼执行此实验，情况依旧。因此，他断定人的

视网膜并没有把倒像颠倒过来，其功能是在视觉神经的后端实现的。即，视网膜感受的颠倒信号，是在通过视神经传导到大脑皮层的视觉中枢后，在视觉中枢实现自动翻转的。这也是目前学术界的共识。

其实还有个简单的办法可以检验视觉在视网膜位置是倒像的。你读到这里的时候，不妨把手放到下眼皮底下，用手把下眼皮慢慢往上推。你应该能看到一整块模糊掉的字和图往下走，而不是往上。视觉能力强的，说不定在下眼皮遮挡眼睛的过程中，看到上方会出现一块黑斑。这些恰恰就是因为光学视觉倒像造成的。

后期有很多科学家想重复他的实验，不过比较遗憾地是，没有人观察到过倒像还能适应后翻



图2 视觉倒像实验 [Wiki]

转的现象，更多地是表示能够适应颠倒过来的世界。

不过也有科学家在尝试中发现，如果戴那种会导致变形的眼镜时，类似哈哈镜，有些人的视觉会自动纠正一些没注意到的变形的位。而取下眼镜后，看到的世界反而变得扭曲了。这似乎表明大脑确实能自适应地纠正一些扭曲。

现实生活中，也有一些人会故意去阅读一些倒过来的书本，他们将其视为提高阅读速度和能力的一种秘技。还有科学家说，通过这种方式，可以刺激大脑形成新细胞，防止衰老。其实大家稍微练练，也不难做到。所以，以后看到倒着看报纸、读书的人或新闻照片时，不要马上就嘲笑，说不定他们真的能这样读。



图4 患有“空间定向障碍”的塞尔维亚女子，眼中世界完全颠倒

另外，作为感官元件，眼睛和其它感觉器官还有点不一样。它是在大脑发育过程中，从大脑细胞中分裂出来的。如果把从眼球到视觉中枢的连接看成是一个深度学习模型，也许可以将这种视频倒像的纠正，理解为大脑处理的端到端表现。

但倒像纠正具体是何时发生的，George Stratton 没有给出研究结论。现有的文献也是说法不一。有说初生儿开始感知的世界是颠倒的，随着大脑发育的逐步完善而慢慢实现的。因为有报道说，有些两三岁的小孩可能喜欢会倒拿玩具，倒读连环画的，并猜测这可能和正视发育未完全有关。还有些人，据说天生就有空间定向现象（spatial orientation phenomenon），看的世界都是颠倒的。也有说倒视能力是与生俱来的，毕竟前者的例子还是很鲜见。

不管怎么说，这个看似极其简单的问题，仍然没有找到统一圆满的答案，不论是它的成因还是发生时间上。○

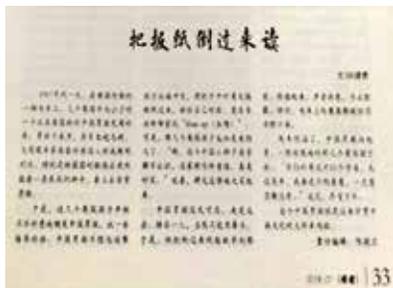
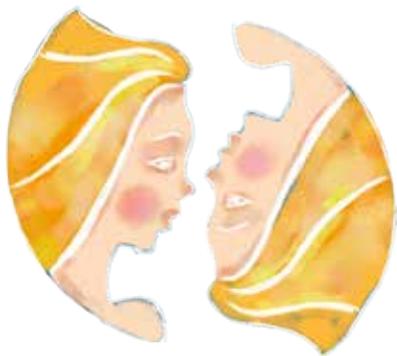


图3 大师辜鸿铭“把报纸倒过来读”的轶事【摘自2018年1月《博爱》】

参考文献

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/George_M._Stratton



爱犯错的智能体——视觉篇（二）： 颠倒的视界

上回讲到，光学倒像这一简单的现象，在何时纠正和如何完成上，还没有形成统一和完美的答案。除此以外，以下三种情况的颠倒视界也会影响人的判断，导致错判或判断障碍，甚至产生光学幻觉。

一、人脸翻转效应（Face Inversion Effect）

图 1 是网络上经常能看到的。左图是一个老太太。但如果把图像颠倒过来后，却能看到一位戴着皇冠的美女。类似的颠倒错觉图还有不少。这类图产生两义性的结果，主要缘于人的视觉系统具有整体结构观和依赖人的先验知识或以往经验。

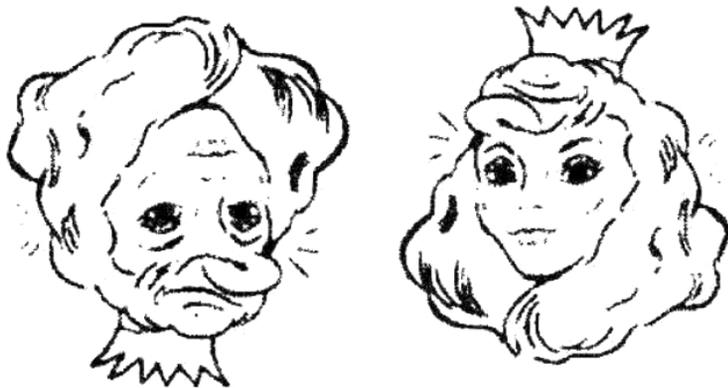


图 1 颠倒错觉中的老太太与美女画像

观看一张人脸图时，人们会自然地把眼睛下面的结构按鼻子、嘴巴、脖子的次序依次排序去联想和匹配，而眼睛上方的结构则往头发、头饰去想象。很少人会不按这样的结构次序来反向思维。它表明，如果忽略了与生活常识中次序相反的细节结构，就有可能产生颠倒错觉。当然，如果你有倒过来阅读的习惯，那么也能从老太太的图上直接看到倒过来的美女。

更有意思的是，某些图像，尤其是人脸，即使只是简单的翻转，也可能导致认知障碍。

1969 年，科学家 Yin 第一个在文献中报道了：翻转脸对于识别的影响要大于其它范畴的图像^[1]。自此以后，很多科学家开始研究人脸翻转效应，并试图

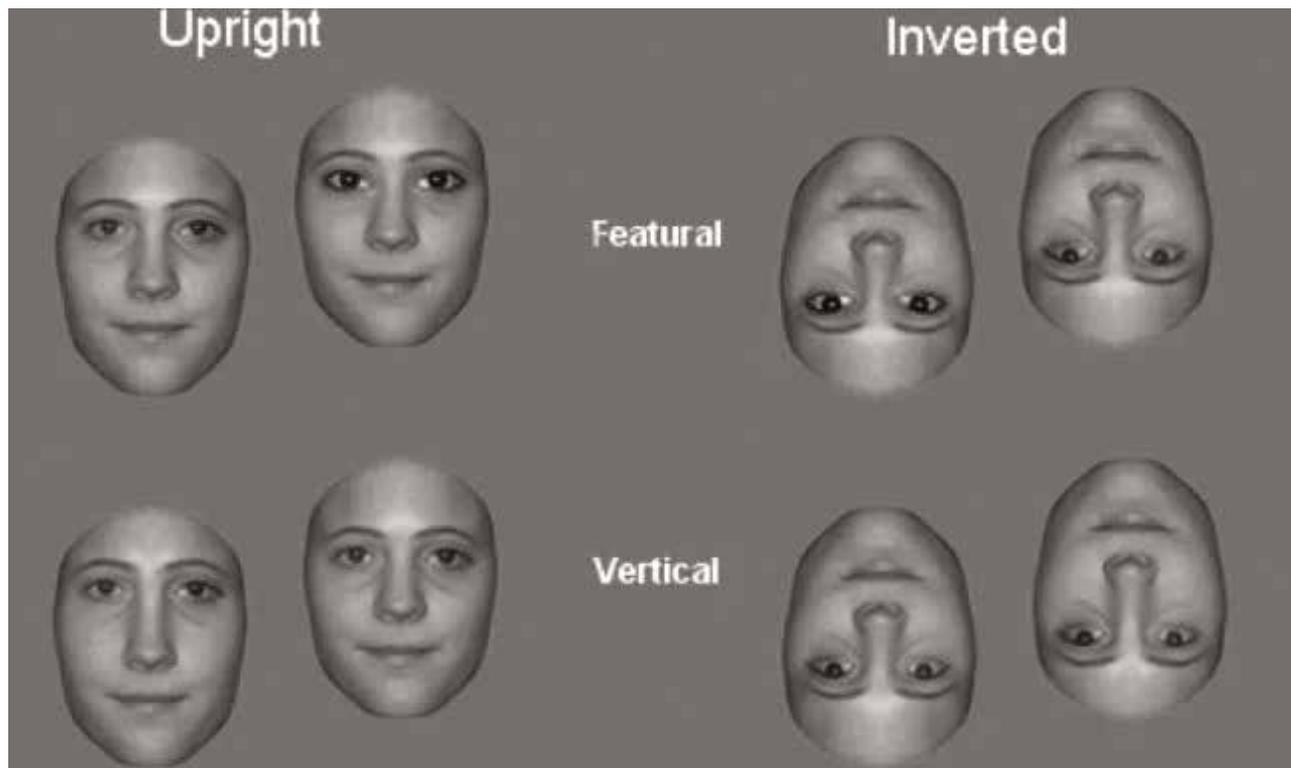


图2 人脸逆转效应，左边，正脸（Upright），右边，颠倒脸（Inverted）；中间的字 Featural 表示“基于特征的”^[2]。第二行表明人脸构型上的垂直（Vertical）距离在翻转后会被错判。

给出合理的解释。

加拿大安大略省女王大学（Queen's University）的三位研究人员 Freire 等曾在 2000 年展开深入研究^[2]。他们首先将多个人脸图像进行统计平均，以形成平均脸。基于对图 2 平均人脸的研究实验，他们分析了人脸逆转效应（Face Inverse Effect）。

他们注意到，在正脸情况下，如果从整体结构或构型（configural）的角度出发，人能够以 81% 的精度区分人脸。当人脸被翻转后，就只有 55% 的识别精度了。而如果要求测试者辨识

人脸上的特征，如眼睛、眉毛、鼻子等，那么翻转的影响就很小。正常脸的识别精度是 91%，翻转了也有 90% 的精度。如果考虑延迟的影响，他们发现隔 1 到 10 秒，让测试者重新去识别，不管是正脸还是翻转脸，在构型上或特征上的差异都能正确识别，人脸逆转效应似乎消失了。从这些实验，他们推断，人脸逆转效应中起主要作用的是构型，即整体结构对识别的影响更大。但这也可以算作构型编码的一个缺陷，比如双胞胎就很难通过构型编码来区分。

由于在时间上和识别率上的差异极其细微，他们还推断，这种构型缺陷主要发生在人脸处理的编码阶段，而不是后面的人脸存储阶段。这与图 1 中我们不容易发现老人图像中隐藏的美女的情况是吻合的。

另外，科学家 Carbon 和 Leder^[3] 在研究中发现，正脸比翻转后的脸的全局信息能更快获得，而在翻转脸后，特征的提取则要先于整体信息进行处理。而要在短时间（如 26 毫秒）处理局部

特征信息，则具有上下文信息的整体结构处理是必要的。

总的来说，翻转效应影响了人对人脸的空间关系，即人脸构型的认知^[4]。但是，人脸翻转效应还没有一个终结者的解释。有兴趣的朋友可以在网络上搜索” Face Inverse Effect”，应该可以查到不少最近的相关文献。

相反，现有的人工智能技术是不用担心翻转对识别性能的影响，尤其在现在引入生成式对抗网络和数据增广技术后。翻转被作为丰富人脸训练数据集的手段之一，因此，不会损害人脸识别算法的预测性能。

但从认知的角度看，这是否意味着我们在提高预测能力的同时，有可能损失了“拟人”的某些认知功能呢？也许可以推断，人脸翻转效应表明，现有的人工智能技术在人脸识别的处理方法上和人在人脸的认知上存在根本的不同。理解这些差异，也许是通向“强”人工智能和混合智能方向的线索之一。

二、正片负片的人脸识别

不仅在图像方向上的翻转会引起认知障碍，甚至对图像做简单的强度翻转也会让原来人脸识别变得更困难。

图3左图是一张正常的人脸，如果对其用中间图的函数做翻转变换，即白变黑、黑变白的简单翻转，则有了右图的负片图像。虽然人在识别和记忆左图人脸时，是不太需要费脑筋的。虽然用的函数变换也很简单，但对于右图，如果没有左图作参照，人可能很难联想其真实的相貌，更不用说作有效识别了。这种差异也许是由于日常生活缺乏负片学习造成的，因为人的视网膜细胞只是感光细胞，只能接受正能量。也许是由于智能体缺乏这一类数

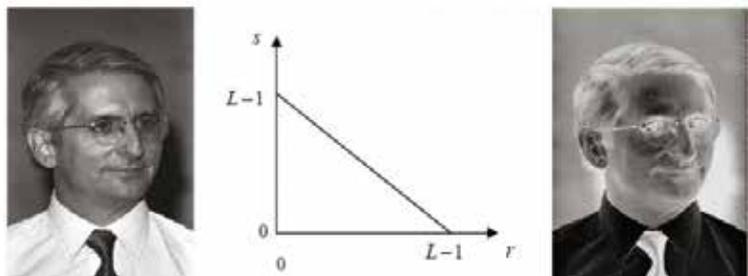


图3 人脸图像的正片(左)和负片(右),以及变换公式(中)。中间图里,横坐标可以认为是输入的图像强度,纵坐标是变换后的强度。斜线是正负片的翻转方式,即白变黑,黑变白



图4 耶稣光学幻觉

学计算的能力,没有演化出有效的办法,可以在大脑自动将中图的简单函数求反,尽管智能体可以实现前一篇中所讲述的、光学倒像的自动纠正。

三、正负倒影

除了以上两种颠倒,人的视觉还有翻转颜色的“特异功能”。如图4所示,如果你盯着这张图中间的四个点静看30秒,再去去看一面白色的墙或屏幕的空白处,或不停的眨眼,你的眼前便会浮现出耶稣的影子。这个影子看上去就是由图上黑色背景内部的部分,通过黑变白,白变黑互补所形成的图像。

至于为什么会有这样的结果,也是众说纷纭。比较靠谱的解释是,这是一种图像烙印(burn-in)或持续性记忆现象。当一个非常明亮的目标处在视野的关注焦点时,会在视网膜上短暂地打上

人物介绍

图3是计算机视觉领域的杰出人物之一，加州大学圣特芭芭拉分校计算机系的Matthew Turk教授。他和Alex Pentland在1971年提出的特征脸(Eigenface)算法，在深度学习兴起前，是计算机视觉领域在人脸识别和其他目标识别中的经典算法之一。目前该算法的学术谷歌引用达17000余次。



烙印。如果随后闭眼或者重复性地眨眼，这个烙印仍然还会持续一段时间。

也有观点说，人的眼睛是由视锥和视杆细胞组成。其中，视锥细胞主要负责环顾四周。如果长期只盯着同一目标，那么视锥细胞就容易工作过度，导致快速疲劳。如果离开盯着的目标后，疲劳的视锥细胞不会迅速将新看到的颜色反馈到大脑，比如新看到的白色墙壁。而大脑还需要对旧的信息进行解释，因为它并没有收到强的、新的信号。

还有观点将其称为视觉后效(Aftereffects in Visual)。即连续注视相同图形之后，会导致感知被影响，随后影响感受到的图形结果。这种知觉现象最早于1925年由E.H. 维尔霍夫发现，后来很多科学家都对这一现象进行了系统的研究^[5]。

这些观点都认同，随着视网膜神经细胞功能的恢复，这个现象会逐渐消退。因为这种现象能带来很多奇特的视觉效果，所以，这或多或少可以解释，为什么大多数艺术馆里都是以白墙来装饰的。

不管怎么说，人眼的这些错觉现象表明，人内在的认知行为，可能比我们现在人工智能所能实现或理解的功能要复杂，需要更多的探索。○

参考文献

- [1] Yin R K. Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*. 1969, 81: 141 - 145
- [2] Freire A, Lee K, Symons LA. The face-inversion effect as a deficit in the encoding of configural information: direct evidence. *Perception*. 2000; 29 (2) : 159-70
- [3] Carbon CC, Leder H. When feature information comes first! Early processing of inverted faces. *Perception*. 2005; 34 (9) : 1117-34
- [4] Rossion B, Gauthier I. How does the brain process upright and inverted faces. *Behavioral and cognitive neuroscience reviews*. 2002, Mar; 1 (1) : 63-75.
- [5] <http://www.baike.com/wiki/图形后效>

看不见的萨摩耶

爱犯错的智能体——视觉篇（三）

家附近曾经有只白色的萨摩耶，大约十二岁，挺安静温顺的，基本不怎么吠叫。听说主人身体不好，有人瘫痪在家，于是就放任其在外乱逛。他虽然个头不小，马路什么都过的好好的。可今年某天他过人行横道的时候，一辆左转的车辆速度和它过马路的速度一致，导致它进入了驾驶员的A柱盲区。等萨摩耶反应过来时，车已经对着它冲了过来，左前轮压了一次，左后轮又压了一次……它躺在车后，无助地颤抖着、哀嚎着。两旁的行人呆呆地看着，我也是……车主坐在车里，没开窗没下车，不知道是何反应。过了一会，狗用力翻身站了起来，摇摇晃晃走起来了，准备回家。大家松了一口气，有人笑着说狗没事了。车主也顺便溜溜开车跑了。可是，狗没走到200米，便慢了下来，实在是走不动了。它的左眼珠早已被汽车压得爆了出来，满嘴的鲜血……于是，它便安静地躺在人行道上，还像平日逛街一样，一声不吭……希望它下辈子，不要走得这么悲惨。

作为智能体，人的视觉和现在的机器视觉是有区别的。其中一个非常特别的区别是，人会根据情况或上下文有意无意地忽略眼中看到的目标。

1999年两位权威心理学专家克里斯托弗·查布里斯（Christopher F.Chabris）和丹尼尔·西蒙斯（Daniel J.Simons）曾做过一次“看不见的大猩猩”的实验。

因为这个传说中心理学史上最强大的“大猩猩实验”，两人因此荣获了2004年的“搞笑诺贝尔奖”。播放的视频中，几个人一起打篮球，要求测试者统计投进篮框的球的数量。当视频播放完，要测试者报告进球数，基本都答对了。但问他们有没有注意到视频中有只人扮的大猩猩从视频中走过，却有不少人没能回想起来。

类似的实验，英国赫特神德大学的心理学怪才、理查德·怀德曼教授（Richard Wiseman）也做过，叫变色纸牌游戏。

两个人在摄像机前表演玩牌的魔术。表演的过程中，身上的衣服、背景、桌布都被换掉了。但由于摄像机关注焦点的变化，观测者只注意了两位“魔术师”手中扑克牌的变化，而视频中已经换掉的材料却压根就没发现。



如果让计算机或利用人工智能算法来跟踪并区分变化内容，会很快发现其中的区别。因为计算机在检测目标时，会考虑像素位置上的强度变化。所以，当视频中出现大猩猩，或者变换桌布、背景、衣服时，都意味着视频帧与帧之间出现了大面积的像素变化。这种变化，很容易超过图像变化程度的阈值，导致被检测和发现。值得指出的是，检测这类变化也是现在做视频摘要、视频关键内容提取的基本手段之一。

反观人类，却容易出现忽略目标的情况。其原因在于，当人关注某个目标时，目标将成像于视网膜的焦点即中央凹区域，而目标周围的内容则分布在中央凹的周边，由视杆细胞来负责感知。而视杆细胞主要负责运动，对具体细节不敏感，所以，大猩猩在这一前提下就被大脑视觉中枢视为没有多大意义的像素点运动，甚至被篮球的运动所掩盖。换衣服、桌布等也是类似的原因。

除此以外，也许是因为人类其实是一种能偷懒就会偷懒的智能体。如果在不经过缜密思维就能保证大部分判断成功的话，人类会倾向于优先采用更简易的判断，而不是进行过多的细致分析。就像平时走路一样，我们也没有像机器人一样去区分路面的高低差异、纹理差异、光强差异，但却能非常有效和快速的形成决策。

即使存在例外，那也是极个别的情况。

这种现象，在日常生活中，是比较危险的。比如交通中，在一个平时很少有人经过的十字路口，驾驶员的关注焦点将是行驶的汽车，其关注点以避让汽车为主。在成年人经常走过的人行横道附近，则驾驶员的关注视角会以成人为主。前者的情况会导致，某天突然出现非机动车或行人时，司机会注意不到，不容易形成应急反应；后者则可能会忽略对矮小目标的关注。

能避免吗？有心理学家指出，如果关注的焦点不变，这种定式思维会一直存在，且很难避免。结果，当驾驶员发现危险来临时，已经缺乏足够的反应时间，极易形成交通事故。

那如何解决呢？最简单的办法就是不要在经常经过的这些路口形成定式思维。但凡碰到这类路线时，不妨想想，这里可能有条看不见的萨摩耶。不妨多变化下关注的视野，如转下头、变换下关注的视野，最大程度地避免这类事故的发生。

一、看不见的盲点

人的视觉不仅有视而不见的特点，也有弥补先天不足的能力。我们的视神经感受周围环境后，还需要将信号送到大脑。送的方式挺聪明，大脑将输送信号的神经元像头发一样扎成一股，左边一股，右边一股，在每个眼球视网膜中央凹偏外约 20 度处集中起来，向大脑输送信号。于是，这个位置就没有感光细胞，形成了生理性盲点，如图 1 所示。

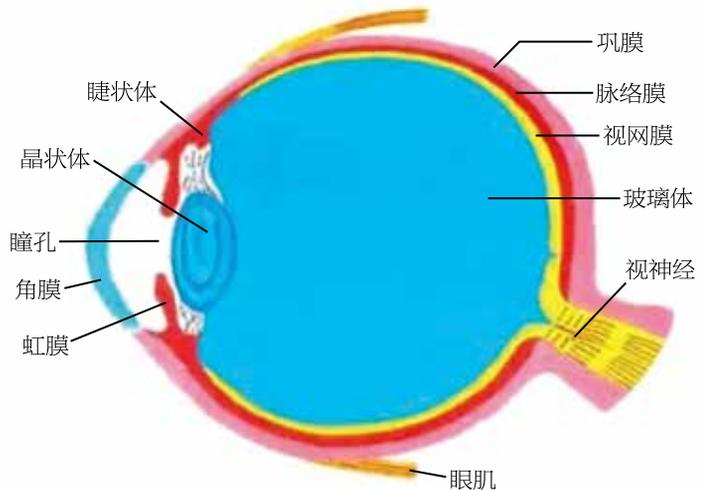


图 1 人眼构造，视神经传输位置没有感光细胞



图2 生理性盲点测试图

要检测盲点的具体位置，不妨试试图2这个经典的盲点测试图。首先，捂住左眼，用右眼盯着图上的圆点，将手机逐渐拉远或拉近，会发现在某个位置时十字会消失。这个位置，对应于你的右眼盲点。类似的，捂住右眼，用左眼盯着右边的十字形，移动手机远近，会发现圆点在某个位置消失了。它对应于左眼的盲点位置。

虽然有盲点，所幸人是双目视觉，所以两只眼睛的盲区会通过双目视觉来相互弥补。结果，日常生活中，人是感觉不到盲点的存在。不过，如果单眼存在眼疾，如患上白内障，那盲点的影响就比较大了，毕竟有个位置的信息是缺失的，这就需要通过多调整视角来消解这个困扰。

二、看不见的笔——单眼与复眼

除了盲点外，还有种情况，人也会对目标视而不见。各位不妨试着拿起一支笔，竖直放在左眼前面。一开始，你会感受到笔对视野造成的遮挡。再将眼睛盯着远处某目标，将笔缓慢远离眼睛，你将会发现这支笔并没有对你看远处的景象形成任何障碍，笔似乎凭空消失了。显然，这并非是生理性盲点造成的。它和人的视网膜结构有关。换句话说，它可以从单眼与复眼的关系来解释。

参考文献

- [1] 克里斯托弗·查布利斯 / 丹尼尔·西蒙斯 [著]，段然 [译]. 看不见的大猩猩. 北京大学出版社，2011年
- [2] 费恩曼，莱顿，桑兹著. 郑永令，华宏鸣，吴子仪等译. 费恩曼物理学讲义（第1卷）. 上海科学技术出版社，2013年

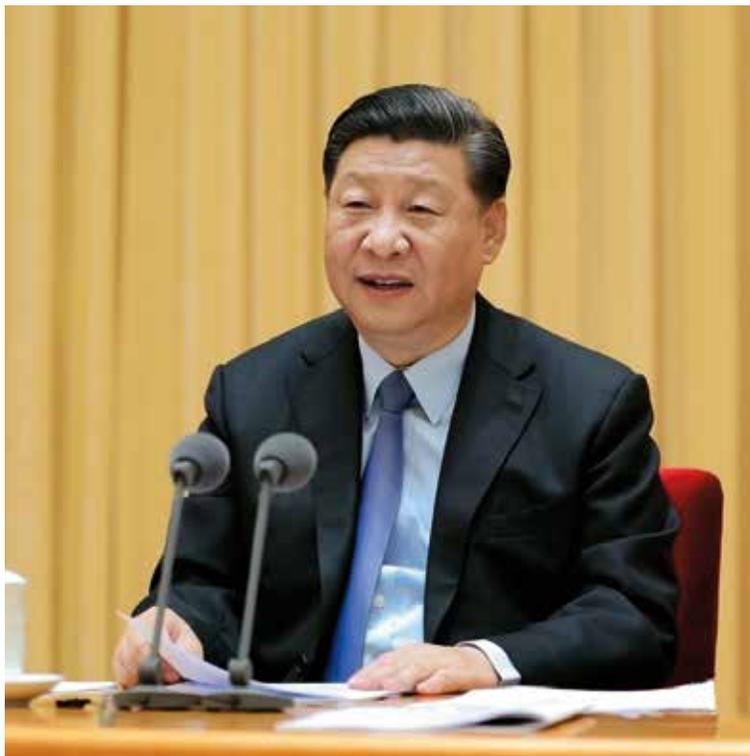
众所周知，人有两只眼睛，而昆虫则是由非常多的小眼睛组成的，俗称复眼，如蜻蜓、苍蝇都有复眼。如果是昆虫的复眼，那么笔是不会对想观测的目标形成遮挡的。因为昆虫的整体视觉是可以通过小眼睛的视角拼接而成，少数几只眼睛的被遮挡不影响全局。可是人是双目视觉，为什么也会有类似的情况呢？实际上，人的视网膜上的感光细胞数量众多，每个细胞都分担了一部分的视觉检测。在处理笔遮挡的任务时，也会通过感光细胞间的相互填充，实现类似复眼的功能。

但要注意的是，人是不可能像昆虫那样演化出复眼的。因为复眼上的每只眼睛，管的视角和频率都很窄。如果要在人的头部形成如同昆虫一样具有全角度检测能力的复眼，著名物理学家费恩曼曾经做过粗略的计算，他的结论是复眼的大小可能会超过现在人类头部的尺寸，结果头很可能承受不了眼睛的重量。

当然，除了这些情况看不见外，人过于关注某些人或事情时会对周围情形视而不见，人不关注某些人或事情时也会视而不见，或熟视无睹。这些依赖于情感和心灵的视而不见和熟视无睹，比起单从视觉上发生的，就要复杂多了，也是人工智能目前还完全找不到北的问题之一。○

习近平

培养德智体美劳全面发展的
社会主义建设者和接班人



全国教育大会 10 日在北京召开。中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平出席会议并发表重要讲话。他强调，在党的坚强领导下，全面贯彻党的教育方针，坚持马克思主义指导地位，坚持中国特色社会主义教育发展道路，坚持社会主义办学方向，立足基本国情，遵循教育规律，坚持改革创新，以凝聚人心、完善人格、开发人力、培育人才、造福人民为工作目标，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人，加快推进教育现代化、建设教育强国、办好人民满意的教育。

9 月 10 日是我国第三十四个教师节，习近平代表党中央，向全国广大教师和教育工作者致以节日的热烈祝贺和诚挚问候。他强调，长期以来，广大教师贯彻党的教育方针，教书育人，呕心沥血，默默奉献，为国家发展和民族振兴作出了重大贡献。教师是人类灵魂的工程师，是人类文明的传承者，承载着传播知识、传播思想、传播真理，塑造灵魂、塑造生命、塑造新人的时代重任。全党全社会要弘扬尊师重教的社会风尚，努力提高教师政治地位、社会地位、职业地位，让广大教师享有应有的社会声望，在教书育人岗位上为党和人民事业作出新的更大的贡献。

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

新华社记者 王晔 摄

李克强在会上讲话。汪洋、王沪宁、赵乐际、韩正出席会议。

习近平在讲话中指出，党的十九大从新时代坚持和发展中国特色社会主义的战略高度，作出了优先发展教育事业、加快教育现代化、建设教育强国的重大部署。教育是民族振兴、社会进步的重要基石，是功在当代、利在千秋的德政工程，对提高人民综合素质、促进人的全面发展、增强中华民族创新创造活力、实现中华民族伟大复兴具有决定性意义。教育是国之大计、党之大计。

习近平强调，党的十八大以来，我们围绕培养什么人、怎样培养人、为谁培养人这一根本问题，全面加强党对教育工作的领导，坚持立德树人，加强学校思想政治工作，推进教育改革，加快补齐教育短板，教育事业中国特色更加鲜明，教育现代化加速推进，教育方面人民群众获得感明显增强，我国教育的国际影响力加快提升，13亿多中国人民的思想道德素质和科学文化素质全面提升。

习近平指出，在实践中，我们就教育改革发展提出一系列新理念新思想新观点，主要有以下几个方面，坚持党对教育事业的全面领导，坚持把立德树人作为根本任务，坚持优先发展教育事业，坚持社会主义办学方向，坚持扎根中国大地办教育，坚持以人民为中心发展教育，坚持深化教育改革创新，坚持把服务中华民族伟大复兴作为教育的重要使命，坚持把教师队伍建设作为基础工作。这是我们对我国教育事业规律性认识的深化，来之不易，要始终坚持并不断丰富发展。

习近平强调，新时代新形势，改革开放和社会主义现代化建



设、促进人的全面发展和社会全面进步对教育和学习提出了新的更高的要求。我们要抓住机遇、超前布局，以更高远的历史站位、更宽广的国际视野、更深邃的战略眼光，对加快推进教育现代化、建设教育强国作出总体部署和战略设计，坚持把优先发展教育事业作为推动党和国家各项事业发展的重要先手棋，不断使教育同党和国家事业发展要求相适应、同人民群众期待相契合、同我国综合国力和国际地位相匹配。

习近平指出，培养什么人，是教育的首要问题。我国是中国共产党领导的社会主义国家，这就决定了我们的教育必须把培养社会主义建设者和接班人作为根本任务，培养一代又一代拥护中国共产党领导和我国社会主义制度、立志为中国特色社会主义奋斗终身的有用人才。这是教育工作的根本任务，也是教育现代化的方向目标。

习近平强调，要在坚定理想信念上下功夫，教育引导树立共产主义远大理想和中国特色社会主义共同理想，增强学生的中国特色社会主义道路自信、理论自信、制度自信、文化自信，立志肩负起民族复兴的时代重任。要在厚植爱国主义情怀上下功夫，让爱国主义精神在学生心中牢牢扎根，教育引导热爱和拥护中国共产党，立志听党话、

跟党走，立志扎根人民、奉献国家。要在加强品德修养上下功夫，教育引导学生在培育和践行社会主义核心价值观，踏踏实实修好品德，成为有大爱大德大情怀的人。要在增长知识见识上下功夫，教育引导学生在珍惜学习时光，心无旁骛求知问学，增长见识，丰富学识，沿着求真理、悟道理、明事理的方向前进。要在培养奋斗精神上下功夫，教育引导学生在树立高远志向，历练敢于担当、不懈奋斗的精神，具有勇于奋斗的精神状态、乐观向上的人生态度，做到刚健有为、自强不息。要在增强综合素质上下功夫，教育引导学生在培养综合能力，培养创新思维。要树立健康第一的教育理念，开齐开足体育课，帮助学生在体育锻炼中享受乐趣、增强体质、健全人格、锤炼意志。要全面加强和改进学校美育，坚持以美育人、以文化人，提高学生审美和人文素养。要在学生中弘扬劳动精神，教育引导学生在崇尚劳动、尊重劳动，懂得劳动最光荣、劳动最崇高、劳动最伟大、劳动最美丽的道理，长大后能够辛勤劳动、诚实劳动、创造性劳动。

习近平指出，要努力构建德智体美劳全面培养的教育体系，形成更高水平的人才培养体系。要把立德树人融入思想道德教育、文化知识教育、社会实践教育各环节，贯穿基础教育、职业教育、



高等教育各领域，学科体系、教学体系、教材体系、管理体系要围绕这个目标来设计，教师要围绕这个目标来教，学生要围绕这个目标来学。凡是不利于实现这个目标的做法都要坚决改过来。

习近平强调，建设社会主义现代化强国，对教师队伍建设提出新的更高要求，也对全党全社会尊师重教提出新的更高要求。人民教师无上光荣，每个教师都要珍惜这份光荣，爱惜这份职业，严格要求自己，不断完善自己。做老师就要执着于教书育人，有热爱教育的定力、淡泊名利的坚守。随着办学条件不断改善，教育投入要更多向教师倾斜，不断提高教师待遇，让广大教师安心从教、热心从教。对教师队伍中存在的问题，要坚决依法依规予以严惩。

习近平指出，要深化教育体制改革，健全立德树人落实机制，扭转不科学的教育评价导向，坚决克服唯分数、唯升学、唯文凭、唯论文、唯帽子的顽瘴痼疾，从根本上解决教育评价指挥棒问题。要深化办学体制和教育管理改革，充分激发教育事业发展生机活力。要提升教育服务经济社会发展能力，调整优化高校区域布局、学科结构、专业设置，建立健全学科专业动态调整机制，加快一流大学和一流学科建设，推进产学研协同创新，积极投身实施创新驱动发展战略，着重培养创新型、复合型、应用型人才。要扩大教育开放，同世界一流资源开展高水平合作办学。

习近平强调，加强党对教育工作的全面领导，是办好教育的根本保证。教育部门和各级各类学校的党组织要增强“四个意识”、坚定“四个自信”，坚定不移维护党中央权威和集中统一领导，自觉在政治立场、政治方向、政治原则、政治道路上同党中

央保持高度一致。各级党委要把教育改革发展纳入议事日程，党政主要负责同志要熟悉教育、关心教育、研究教育。各级各类学校党组织要把抓好学校党建工作作为办学治校的基本功，把党的教育方针全面贯彻到学校工作各方面。思想政治工作是学校各项工作的生命线，各级党委、各级教育主管部门、学校党组织都必须紧紧抓在手上。要精心培养和组织一支会做思想政治工作的政工队伍，把思想政治工作做在日常、做到个人。

习近平指出，办好教育事业，家庭、学校、政府、社会都有责任。家庭是人生的第一所学校，家长是孩子的第一任老师，要给孩子讲好“人生第一课”，帮助扣好人生第一粒扣子。教育、妇联等部门要统筹协调社会资源支持服务家庭教育。全社会要担负起青少年成长成才的责任。各级党委和政府要为学校办学安全托底，解决学校后顾之忧，维护老师和学校应有的尊严，保护学生生命安全。

9月10日，全国教育大会在北京召开。中共中央政治局常委、国务院总理李克强出席会议并讲话。

李克强在讲话中指出，要认真学习领会和贯彻落实习近平总书记重要讲话精神，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，准确把握教育事业发展的新形势新任务，全面落实教育优先发展战略，在经济社会发展规划上优先安排教育、财政资金投入上优先保障教育、公共资源配置上优先满足教育和人力资源开发需要。坚持改革创新，坚持教育公平，推动教育从规模增长向质量提升转变，促进区域、城乡和各级各类教育均衡发展，以教育现代化支撑国家现代化。要着力补上短板，夯实义务教育这个根基，强化农村特别是贫困地区控辍保学工作，完善城乡统一、重在农村的义务教育经费保障机制，着力改善乡村学校办学条件、提高教学质量，注重运用信息化手段使乡村获得更多优质教育资源，在提速降费、网络建设方面给予特别照顾。把更多教育投入用到加强乡村师资队伍建设上，不折不扣落实现行的补助、奖励和各类保障政策，对符合条件的非在编教师要加快入编、同工同酬。前瞻规划布局城镇学校建设，增强容纳能力，加快实现随迁子女入学待遇同城化。同时，要重视发展学前教育、高中阶段教育和民族教育、特殊教育、继续教育等各类教育。

李克强强调，要增强教育服务创新发展能力，培养更多适应高质量发展的各类人才。优化高校区域布局、学科结构、专业设置，坚持以教学为中心，突出创新意识和实践能力，培养更多创

新人才、高素质人才。更加重视、充分发挥高校在强化基础研究和原始创新、突破关键核心技术中的重要作用。大力办好职业院校，坚持面向市场、服务发展、促进就业的办学方向，推进产教融合、校企合作，培养更多高技能人才。提高技术技能人才的社会地位和待遇。

李克强要求，要深化教育领域“放管服”改革，充分释放教育事业发展的生机活力。尊重教育发展规律，充分发挥学校办学主体作用，大幅减少各类检查、评估、评价，加强对办学方向、标准、质量的规范引导，为学校潜心治校办学创造良好环境。积极鼓励社会力量依法兴办教育。鼓励各级各类学校与时俱进创新教育理念和人才培养模式，发展“互联网+教育”，完善吸引优秀人才从事教育的体制机制，提升教师社会地位，让尊师重教蔚然成风。

中共中央政治局委员、中央书记处书记，全国人大常委会有关领导同志，国务委员，最高人民法院院长，最高人民检察院检察长，全国政协有关领导同志出席大会。

中央教育工作领导小组成员，各省区市和计划单列市、新疆生产建设兵团，中央和国家机关有关部门、有关人民团体，军队有关单位，部分高校负责同志参加大会。○

来源：新华社



国务院关于推动创新创业 高质量发展打造“双创”升级版的意见

创新是引领发展的第一动力，是建设现代化经济体系的战略支撑。近年来，大众创业万众创新持续向更大范围、更高层次和更深程度推进，创新创业与经济社会发展深度融合，对推动新旧动能转换和经济结构升级、扩大就业和改善民生、实现机会公平和社会纵向流动发挥了重要作用，

为促进经济增长提供了有力支撑。当前，我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，对推动大众创业万众创新提出了新的更高要求。为深入实施创新驱动发展战略，进一步激发市场活力和社会创造力，现就推动创新创业高质量发展、打造“双创”升级版提出以下意见。

一、总体要求

推进大众创业万众创新是深入实施创新驱动发展战略的重要支撑、深入推进供给侧结构性改革的重要途径。随着大众创业万

众创新蓬勃发展，创新创业环境持续改善，创新创业主体日益多元，各类支撑平台不断丰富，创新创业社会氛围更加浓厚，创新创业理念日益深入人心，取得显著成效。但同时，还存在创新创业生态不够完善、科技成果转化机制尚不健全、大中小企业融通发展还不充分、创新创业国际合作不够深入以及部分政策落实不到位等问题。打造“双创”升级版，推动创新创业高质量发展，有利于进一步增强创业带动就业能力，有利于提升科技创新和产业发展活力，有利于创造优质供给和扩大有效需求，对增强经济发展内生动力具有重要意义。

（一）指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中全会精神，坚持新发展理念，坚持以供给侧结构性改革为主线，按照高质量发展要求，深入实施创新驱动发展战略，通过打造“双创”升级版，进一步优化创新创业环境，大幅降低创新创业成本，提升创业带动就业能力，增强科技创新引领作用，提升支撑平台服务能力，推动形成线上线下结合、产学研用协同、大中小企业融合的创新创业格局，为加快培育发展新动能、实现更充分就业和经济高质量发展提供坚实保障。

（二）主要目标

——创新创业服务全面升级。创新创业资源共享平台更加完善，市场化、专业化众创空间功能不断拓展，创新创业服务平台能力显著提升，创业投资持续增长并更加关注早中期科技型企业，新兴创新创业服务业态日趋成熟。

——创业带动就业能力明显提升。培育更多充满活力、持续稳定经营的市场主体，直接创造更多就业岗位，带动关联产业就业岗位增加，促进就业机会公平和社会纵向流动，实现创新、创业、就业的良性循环。

——科技成果转化应用能力显著增强。科技型创业加快发展，产学研用更加协同，科技创新与传统产业转型升级结合更加紧密，形成多层次科技创新和产业发展主体，支撑战略性新兴产业加快发展。

——高质量创新创业集聚区不断涌现。“双创”示范基地建设扎实推进，一批可复制的制度性成果加快推广。有效发挥国家级新区、国家自主创新示范区等各类功能区优势，打造一批创新创业新高地。

——大中小企业创新创业价值链有机融合。一批高端科技人才、优秀企业家、专业投资人成为创新创业主力军，大企业、科

研院所、中小企业之间创新资源要素自由畅通流动，内部外部、线上线下、大中小企业融通发展水平不断提升。

——国际国内创新创业资源深度融汇。拓展创新创业国际交流合作，深度融入全球创新创业浪潮，推动形成一批国际化创新创业集聚地，将“双创”打造成为我国与包括“一带一路”相关国家在内的世界各国合作的亮丽名片。

二、着力促进创新创业环境升级

（三）简政放权释放创新创业活力。

进一步提升企业开办便利度，全面推进企业简易注销登记改革。积极推广“区域评估”，由政府组织力量对一定区域内地质灾害、水土保持等进行统一评估。推进审查事项、办事流程、数据交换等标准化建设，稳步推动公共数据资源开放，加快推进政务数据资源、社会数据资源、互联网数据资源建设。清理废除妨碍统一市场和公平竞争的规定和做法，加快发布全国统一的市场监管负面清单，建立清单动态调整机制。（市场监管总局、自然资源部、水利部、发展改革委等按职责分工负责）

（四）放管结合营造公平市场环境。

加强社会信用体系建设，构建信用承诺、信息公示、信用分

级分类、信用联合奖惩等全流程信用监管机制。修订生物制造、新材料等领域审查参考标准，激发高技术领域创新活力。引导和规范共享经济良性健康发展，推动共享经济平台企业切实履行主体责任。建立完善对“互联网+教育”“互联网+医疗”等新业态新模式的高效监管机制，严守安全质量和社会稳定底线。（发展改革委、市场监管总局、工业和信息化部、教育部、卫生健康委等按职责分工负责）

（五）优化服务便利创新创业。

加快建立全国一体化政务服务平台，建立完善国家数据共享交换平台体系，推行数据共享责任清单制度，推动数据共享应用典型案例经验复制推广。在市县一级建立农村创新创业信息服务窗口。完善适应新就业形态的用工和社会保险制度，加快建设“网上社保”。积极落实产业用地政策，深入推进城镇低效用地再开发，健全建设用地“增存挂钩”机制，优化用地结构，盘活存量、闲置土地用于创新创业。（国务院办公厅、发展改革委、市场监管总局、农业农村部、人力资源社会保障部、自然资源部等按职责分工负责）

三、加快推动创新创业发展动力升级

（六）加大财税政策支持力度。

聚焦减税降费，研究适当降

低社保费率，确保总体上不增加企业负担，激发市场活力。将企业研发费用加计扣除比例提高到75%的政策由科技型中小企业扩大至所有企业。对个人在二级市场买卖新三板股票比照上市公司股票，对差价收入免征个人所得税。将国家级科技企业孵化器和大学科技园享受的免征房产税、增值税等优惠政策范围扩大至省级，符合条件的众创空间也可享受。（财政部、税务总局等按职责分工负责）

（七）完善创新创业产品和服务政府采购等政策措施。

完善支持创新和中小企业的政府采购政策。发挥采购政策功能，加大对重大创新产品和服务、核心关键技术的采购力度，扩大首购、订购等非招标方式的应用。（发展改革委、财政部、工业和信息化部、科技部等和各地方人民政府按职责分工负责）

（八）加快推进首台（套）重大技术装备示范应用。

充分发挥市场机制作用，推动重大技术装备研发创新、检测



评定、示范应用体系建设。编制重大技术装备创新目录、众创研发指引，制定首台（套）评定办法。依托大型科技企业集团、重点研发机构，设立重大技术装备创新研究院。建立首台（套）示范应用基地和示范应用联盟。加快军民两用技术产品发展和推广应用。发挥众创、众筹、众包和虚拟创新创业社区等多种创新创业模式的作用，引导中小企业等创新主体参与重大技术装备研发，加强众创成果与市场有效对接。（发展改革委、科技部、工业和信息化部、财政部、国资委、卫生健康委、市场监管总局、能源局等按职责分工负责）

（九）建立完善知识产权管理服务体系。

建立完善知识产权评估和风险控制体系，鼓励金融机构探索开展知识产权质押融资。完善知识产权运营公共服务平台，逐步建立全国统一的知识产权交易市场。鼓励和支持创新主体加强关

键前沿技术知识产权创造，形成一批战略性高价值专利组合。聚焦重点领域和关键环节开展知识产权“雷霆”专项行动，进行集中检查、集中整治，全面加强知识产权执法维权工作力度。积极运用在线识别、实时监测、源头追溯等“互联网+”技术强化知识产权保护。（知识产权局、财政部、银保监会、人民银行等按职责分工负责）

四、持续推进创业带动就业能力升级

（十）鼓励和支持科研人员积极投身科技创业。

对科教类事业单位实施差异化分类指导，出台鼓励和支持科研人员离岗创业实施细则，完善创新型岗位管理实施细则。健全科研人员评价机制，将科研人员在科技成果转化过程中取得的成绩和参与创业项目的情况作为职称评审、岗位竞聘、绩效考核、收入分配、续签合同等的重要依据。建立完善科研人员校企、院企共建双聘机制。（科技部、教育部、人力资源社会保障部等按职责分工负责）

（十一）强化大学生创新创业教育培训。

在全国高校推广创业导师制，把创新创业教育和实践课程纳入高校必修课体系，允许大学生用创业成果申请学位论文答辩。支



持高校、职业院校（含技工院校）深化产教融合，引入企业开展生产性实习实训。（教育部、人力资源社会保障部、共青团中央等按职责分工负责）

（十二）健全农民工返乡创业服务体系。

深入推进农民工返乡创业试点工作，推出一批农民工返乡创业示范县和农村创新创业典型县。进一步发挥创业担保贷款政策的作用，鼓励金融机构按照市场化、商业可持续原则对农村“双创”园区（基地）和公共服务平台等提供金融服务。安排一定比例年度土地利用计划，专项支持农村新产业新业态和产业融合发展。（人力资源社会保障部、农业农村部、发展改革委、人民银行、银保监会、财政部、自然资源部、共青团中央等按职责分工负责）

（十三）完善退役军人自主创业支持政策和服务体系。

加大退役军人培训力度，依托院校、职业培训机构、创业培训中心等机构，开展创业意识教育、创业素质培养、创业项目指导、开业指导、企业经营管理等培训。大力扶持退役军人就业创业，落实好现有税收优惠政策，根据个体特点引导退役军人向科技服务业等新业态转移。推动退役军人创业平台不断完善，支持退役军人参加创新创业大会和比赛。（退役军人部、教育部、人力



资源社会保障部、税务总局、财政部等按职责分工负责）

（十四）提升归国和外籍人才创新创业便利化水平。

深入实施留学人员回国创新创业启动支持计划，遴选资助一批高层次人才回国创新创业项目。健全留学回国人才和外籍高层次人才服务机制，在签证、出入境、社会保险、知识产权保护、落户、永久居留、子女入学等方面进一步加大支持力度。（人力资源社会保障部、外交部、公安部、移民局、知识产权局等和各地方人民政府按职责分工负责）

（十五）推动更多群体投身创新创业。

深入推进创新创业巾帼行动，鼓励支持更多女性投身创新创业实践。制定完善香港、澳门居民在内地发展便利性政策措施，鼓励支持港澳青年在内地创新创业。扩大两岸经济文化交流合作，为台湾同胞在大陆创新创业提供便利。积极引导侨资侨智参与创新创业，支持建设华侨华人创新创业基地和华侨大数据中心。探索国际柔性引才机制，持续推进海外人才离岸创新创业基地建设。启动少数民族地区创新创业专项行动，支持西藏、新疆等地区创新创业加快发展。推行终身职业技能培训制度，将有创业意愿和培训需求的劳动者全部纳入培训范围。（全国妇联、港澳办、台办、侨办、人力资源社会保障部、中国科协、发展改革委、国家民委等按职责分工负责）

五、深入推动科技创新支撑能力升级

（十六）增强创新型企业引领带动作用。

在重点领域和关键环节加快建设一批国家产业创新中心、国家

技术创新中心等创新平台，充分发挥创新平台资源集聚优势。建设由大中型科技企业牵头，中小企业、科技社团、高校院所等共同参与的科技联合体。加大对“专精特新”中小企业的支持力度，鼓励中小企业参与产业关键共性技术研究开发，持续提升企业创新能力，培育一批具有创新能力的制造业单项冠军企业，壮大制造业创新集群。健全企业家参与涉企创新创业政策制定机制。（发展改革委、科技部、中国科协、工业和信息化部等按职责分工负责）

（十七）推动高校科研院所创新创业深度融合。

健全科技资源开放共享机制，鼓励科研人员面向企业开展技术开发、技术咨询、技术服务、技术培训等，促进科技创新与创业深度融合。推动高校、科研院所与企业共同建立概念验证、孵化育成等面向基础研究成果转化的服务平台。（科技部、教育部等按职责分工负责）

（十八）健全科技成果转化的体制机制。

纵深推进全面创新改革试验，深化以科技创新为核心的全面创新。完善国家财政资金资助的科技成果信息共享机制，畅通科技成果与市场对接渠道。试点开展赋予科研人员职务科技成果所有权或长期使用权。加速高校科技成果转化和技术转移，促进科技、产业、投资融合对接。加强国家技术转移体系建设，鼓励高校、科研院所建设专业化技术转移机构。鼓励有条件的地方按技术合同实际成交额的一定比例对技术转移服务机构、技术合同登记机构和技术经纪人（技术经理人）给予奖补。（发展改革委、科技部、教育部、财政部等按职责分工负责）

六、大力促进创新创业平台服务升级

（十九）提升孵化机构和众创空间服务水平。

建立众创空间质量管理、优胜劣汰的健康发展机制，引导众创空间向专业化、精细化方向升级，鼓励具备一定科研基础的市场主体建立专业化众创空间。推动中央企业、科研院所、高校和相关公共服务机构建设具有独立法人资格的孵化机构，为初创期、早中期企业提供公共技术、检验检测、财税会计、法律政策、教育培训、管理咨询等服务。继续推进全国创业孵化示范基地建设。鼓励生产制造类企业建立工匠工作室，通过

技术攻关、破解生产难题、固化创新成果等塑造工匠品牌。加快发展孵化机构联盟，加强与国外孵化机构对接合作，吸引海外人才到国内创新创业。研究支持符合条件的孵化机构享受高新技术企业相关人才激励政策，落实孵化机构税收优惠政策。（科技部、国资委、教育部、人力资源社会保障部、工业和信息化部、财政部、税务总局等按职责分工负责）

（二十）搭建大中小企业融通发展平台。

实施大中小企业融通发展专项行动计划，加快培育一批基于互联网的大企业创新创业平台、国家中小企业公共服务示范平台。推进国家小型微型企业创业创新示范基地建设，支持建设一批制造业“双创”技术转移中心和制造业“双创”服务平台。推进供应链创新与应用，加快形成大中小企业专业化分工协作的产业供应链体系。鼓励大中型企业开展



内部创业，鼓励有条件的企业依法依规发起或参与设立公益性创业基金，鼓励企业参股、投资内部创业项目。鼓励国有企业探索以子公司等形式设立创新创业平台，促进混合所有制改革与创新创业深度融合。（工业和信息化部、商务部、财政部、国资委等按职责分工负责）

（二十一）深入推进工业互联网创新发展。

更好发挥市场力量，加快发展工业互联网，与智能制造、电子商务等有机结合、互促共进。实施工业互联网三年行动计划，强化财税政策导向作用，持续利用工业转型升级资金支持工业互联网发展。推进工业互联网平台建设，形成多层次、系统性工业

互联网平台体系，引导企业上云上平台，加快发展工业软件，培育工业互联网应用创新生态。推动产学研用合作建设工业互联网创新中心，建立工业互联网产业示范基地，开展工业互联网创新应用示范。加强专业人才支撑，公布一批工业互联网相关二级学科，鼓励搭建工业互联网学科引智平台。（工业和信息化部、发展改革委、教育部、科技部、财政部、人力资源社会保障部等按职责分工负责）

（二十二）完善“互联网+”创新创业服务体系。

推进“国家创新创业政策信息服务网”建设，及时发布创新创业先进经验和典型做法，进一步降低各类创新创业主体的政策信息获取门槛和时间成本。鼓励建设“互联网+”创新创业平台，积极利用互联网等信息技术支持创新创业活动，进一步降低创新创业主体与资本、技术对接的门槛。推动“互联网+公共服务”，使更多优质资源惠及群众。（发展改革委、科技部、工业和信息化部等按职责分工负责）

（二十三）打造创新创业重点展示品牌。

继续扎实开展各类创新创业赛事活动，办好全国大众创业万众创新活动周，拓展“创响中国”系列活动范围，充分发挥“互联网+”大学生创新创业大赛、中国创新创业大赛、“创客中国”



创新创业大赛、“中国创翼”创业创新大赛、全国农村创业创新项目创意大赛、中央企业熠星创新创业大赛、“创青春”中国青年创新创业大赛、中国妇女创新创业大赛等品牌赛事活动作用。对各类赛事活动中涌现的优秀创新创业项目加强后续跟踪支持。(发展改革委、中国科协、教育部、科技部、工业和信息化部、人力资源社会保障部、农业农村部、国资委、共青团中央、全国妇联等按职责分工负责)

七、进一步完善创新创业金融服务

(二十四) 引导金融机构有效服务创新创业融资需求。

加快城市商业银行转型，回归服务小微企业等实体的本源，提高风险识别和定价能力，运用科技化等手段，为本地创新创业提供有针对性的金融产品和差异化服务。加快推进村镇银行本地化、民营化和专业化发展，支持民间资本参与农村中小金融机构充实资本、完善治理的改革，重点服务发展农村电商等新业态新模式。推进落实大中型商业银行设立普惠金融事业部，支持有条件的银行设立科技信贷专营事业部，提高服务创新创业企业的专业化水平。支持银行业金融机构积极稳妥开展并购贷款业务，提高对创业企业兼并重组的金融服务水平。(银保监会、人民银行等

按职责分工负责)

(二十五) 充分发挥创业投资支持创新创业作用。

进一步健全适应创业投资行业特点的差异化监管体制，按照不溯及既往、确保总体税负不增的原则，抓紧完善进一步支持创业投资基金发展的税收政策，营造透明、可预期的政策环境。规范发展市场化运作、专业化管理的创业投资母基金。充分发挥国家新兴产业创业投资引导基金、国家中小企业发展基金等引导基金的作用，支持初创期、早中期创新型企业发展。加快发展天使投资，鼓励有条件的地方出台促进天使投资发展的政策措施，培育和壮大天使投资人群体。完善政府出资产业投资基金信用信息登记，开展政府出资产业投资基金绩效评价和公共信用综合评价。(发展改革委、证监会、税务总局、财政部、工业和信息化部、科技部、人民银行、银保监会等按职责分工负责)

(二十六) 拓宽创新创业直接融资渠道。

支持发展潜力好但尚未盈利的创新型企业上市或在新三板、区域性股权市场挂牌。推动科技型中小企业和创业投资企业发债融资，稳步扩大创新创业债试点规模，支持符合条件的企业发行“双创”专项债务融资工具。规范发展互联网股权融资，拓宽小微企业和创新创业者的融资渠道。



推动完善公司法等法律法规和资本市场相关规则，允许科技企业实行“同股不同权”治理结构。（证监会、发展改革委、科技部、人民银行、财政部、司法部等按职责分工负责）

（二十七）完善创新创业差异化金融支持政策。

依托国家融资担保基金，采取股权投资、再担保等方式推进地方有序开展融资担保业务，构建全国统一的担保行业体系。支持保险公司为科技型中小企业知识产权融资提供保证保险服务。完善定向降准、信贷政策支持再贷款等结构性货币政策工具，引导资金更多投向创新型企业和小微企业。研究开展科技成果转化贷款风险补偿试点。实施战略性新兴产业重点项目信息合作机制，为战略性新兴产业提供更具针对性和适应性的金融产品和服务。（财政部、银保监会、科技部、知识产权局、人民银行、工业和信息化部、发展改革委、证监会等按职责分工负责）

八、加快构筑创新创业发展高地

（二十八）打造具有全球影响力的科技创新策源地。

进一步夯实北京、上海科技创新中心的创新基础，加快建设一批重大科技基础设施集群、世界一流学科集群。加快推进粤港澳大湾区国际科技创新中心建设，探索建立健全国际化的创新创业

合作新机制。（有关地方人民政府牵头负责）

（二十九）培育创新创业集聚区。

支持符合条件的经济技术开发区打造大中小企业融通型、科技资源支撑型不同类型的创新创业特色载体。鼓励国家级新区探索通用航空、体育休闲、养老服务、安全等产业与城市融合发展的新机制和新模式。推进雄安新区创新发展，打造体制机制新高地和京津冀协同创新重要平台。推动承接产业转移示范区、高新技术开发区聚焦战略性新兴产业构建园区配套及服务体系，充分发挥创新创业集群效应。支持有条件的省市建设综合性国家产业创新中心，提升关键核心技术创新能力。依托中心城市和都市圈，探索打造跨区域协同创新平台。（财政部、工业和信息化部、科技部、发展改革委等和各地方人民政府按职责分工负责）

（三十）发挥“双创”示范基地引导示范作用。

将全面创新改革试验的相关改革举措在“双创”示范基地推广，为示范基地内的项目或企业开通总体规划环评等绿色通道。充分发挥长三角示范基地联盟作用，推动建立京津冀、西部等区域示范基地联盟，促进各类基地融通发展。开展“双创”示范基地十强百佳工程，鼓励示范基地在科技成果转化、财政金融、人才培养等方面积极探索。（发展改革委、生态环境部、银保监会、科技部、财政部、工业和信息化部、人力资源社会保障部等有关地方人民政府及大众创业万众创新示范基地按职责分工负责）

（三十一）推进创新创业国际合作。

发挥中国—东盟信息港、中阿网上丝绸之路等国际化平台作用，支持与“一带一路”相关国家开展创新创业合作。推动建立政府间创新创业多双边合作机制。充分利用各类国际合作论坛等重要载体，推动创新创业领域民间务实合作。鼓励有条件的地方建立创新创业国际合作基金，促进务实国际合作项目有效落地。（发展改革委、科技部、工业和信息化部等有关地方人民政府按职责分工负责）

九、切实打通政策落实“最后一公里”

（三十二）强化创新创业政策统筹。

完善创新创业信息通报制度，加强沟通联动。发挥推进大众创业万众创新部际联席会议统筹作用，建立部门之间、部门与地方之间的高效协同机制。鼓励各地方先行先试、大胆探索并建立容错免责机制。促进科技、金融、财税、人才等支持创新创业政



策措施有效衔接。建立健全“双创”发展统计指标体系，做好创新创业统计监测工作。（发展改革委、统计局等和各地方人民政府按职责分工负责）

（三十三）细化关键政策落实措施。

开展“双创”示范基地年度评估，根据评估结果进行动态调整。定期梳理制约创新创业的痛点堵点问题，开展创新创业痛点堵点疏解行动，督促相关部门和地方限期解决。对知识产权保护、税收优惠、成果转移转化、科技金融、军民融合、人才引进等支持创新创业政策措施落实情况定期开展专项督查和评估。（发展改革委、中国科协等和各地方人民政府按职责分工负责）

（三十四）做好创新创业经验推广。

建立定期发布创新创业政策信息的制度，做好政策宣讲和落实工作。支持各地积极举办经验交流会和现场观摩会等，加强先进经验和典型做法的推广应用。加强创新创业政策和经验宣传，营造良好舆论氛围。（各部门、各地方人民政府按职责分工负责）

各地区、各部门要充分认识推动创新创业高质量发展、打造“双创”升级版对于深入实施创新驱动发展战略的重要意义，把思想、认识和行动统一到党中央、国务院决策部署上来，认真落实本意见各项要求，细化政策措施，加强督查，及时总结，确保各项政策措施落到实处，进一步增强创业带动就业能力和科技创新能力，加快培育发展新动能，充分激发市场活力和社会创造力，推动我国经济高质量发展。○

来源：国务院

怀进鹏

共促科学素质建设
共创人类美好未来



一、公众科学素质是人类命运共同体建设的重要基石

科学技术是第一生产力。三百多年前，英国皇家学会成立，科学一度恪守超凡脱俗的原则。随着科技体制化、科研职业化发展，科学逐步走出“象牙塔”，受到国家日益重视，与经济社会发展联系日益紧密。人类文明的每一次重大更迭，都不同程度缘于深刻的科技革命。科技的广泛应用极大解放了社会生产力，带来人们心智的释放和性灵的觉醒，使人类文明大放异彩。

科学普及和科技创新同等重要。习近平主席强调，科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。二者都是集中体现人类智慧的创造性劳动，都关乎人民幸福、国家发展和人类文明进步。科学普及决定知识流动与共享的效率，是国家创新体系的重要组成部分，也是社会发展的重要动力。当代科学普及不仅要体现知识价值、生活价值，还要彰显经济价值、社会价值和文化价值。强基固本才能根深叶茂，厚植沃土才能百花齐放。充分发挥科技支撑发展、引领未来的重要作用，根本之道在于加强科学普及，推动公众科学素质普遍提升。

公众科学素质与人类命运紧密相连。人类从农业时代、工业时代、信息时代迈向智能时代，科学素质对人的全面发展和社会文明进步的重要作用日益凸显。适应知识社会发展，人人应当享有知识获取的基本权利。提升公众科学素质，既是完善人格、开发人力、培育人才、造福人民的基础手段，也是消除迷信、伪科



学、极端思想,实现社会文明、和谐、稳定的重要方面。科学素质建设具有平等性、开放性、普惠性等特质,符合人类发展的共同福祉,最具社会基础,体现全球价值观的“最大公约数”,是各国的利益交汇点。一个国家、地区公众科学素质水平,既构成其文化根基和底蕴,也决定其经济社会现状和未来。科技发展常常面临公众信任的危机,科研诚信、科技伦理等问题不容忽视。保障科技始终服务于人类文明、和平与进步事业,最大的道德判断力量之源是具有良好科学素质的公众。应对人类面临的全球性挑战,消弭知识鸿沟,促进科技、经济、社会、文化协同发展,需要各国携手合作,以提升公众科学素质为实践平台,共同推动人类命运共同体建设。

二、中国推动公众科学素质建设的探索与实践

中国科技文明源远流长。早在夏、商、周时期,天文学知识和青铜冶炼技术就在民间传播,早期教育内容涵盖礼、乐、射、御、书、数等“六艺”,其中“数”是中国最早的科学教育,墨家学派著作《墨经》记载了丰富的科学知识。智慧的先民在经年劳作中创造了历法和节气,造纸术、火药、印刷术、指南针四大发明,对世界文明产生划时代的影响。近代以来,伴随西学东渐,中国科技传播与普及孕育出现代化、体系化的雏形,出现了中国药学会等致力于传播科学技术的机构和团体,为科学普及在中国的发展奠定了重要基础。

中华人民共和国建立后,1950年设立中华全国科学技术普及协会,标志着现代意义的科普植根中华大地。1958年成立以科普为主要职能之一的中国科学技术协会,开启了中国科普事业新的局面。改革开放以来,中国立足基本国情,大力开展全民科普活动。特别是近年来,我们落实习近平主席关于科学普及与科技创新同等重要的战略思想,广泛开展科学普及,推动公众科学素质不断提升。

一是坚持国家使命,强化基础保障。十九大报告强调弘扬科学精神、普及科学知识。《中华人民共和国宪法》明确规定提高全国人民的科学文化水平。《中华人民共和国科学技术普及法》,为提高公民科学素质提供了法律保障。《全民科学素质行动计划纲要》对科普工作作出总体部署,中央组织部、中央宣传部、发展改革委、财政部、农业部等30多个部委联合实施。

中国建成广覆盖、重实效的现代科技馆体系,是21世纪全世界科技馆数量增长最快的国家。平均每一个地市都有一座现代化科技类博物馆。全国科技馆年服务公众5700万人次。流动科技馆基本覆盖尚未建设实体科技馆的县(市)。平均每两个县拥有一辆科普大篷车,服务基层群众2亿多人次。

二是坚持惠民利民,强化普惠服务。中国坚持以科学素质建设增进人民福祉。教育部门不断提高青少年科学教育水平。广大青少年还广泛参与科技创新大赛、“明天小小科学家”等科学活动。“全国科普日”连续举办14年,参与公众超过13亿人次。习近平主席曾多次参加“全国科普日”活动,充分体现对科普工作的关心重视,给予科普工作者巨大的鼓舞和激励。

我们依托全国9万个农村专业技术协会和1450万会员,开展科普及惠农兴村活动,为服务乡村振兴和脱贫攻坚贡献力量。全国164支少数民族科普工作队被誉为“科普轻骑兵”,用民族语言文字播放科普电影、推广科学技术。遍布全国乡村、社区、学校的近3万个“科普中国e站”,用信息化手段打通科普服务“最后一公里”。卫生健康委、市场监管总局、环境保护部、中国气象局等部门聚焦公众最关注的卫生健康、



食品安全等领域，及时提供科普服务。

三是坚持广泛动员，强化社会参与。我们推动“三长制”试点，探索医院院长、中小学校长、农技站站长等“关键人物”进入县乡镇科协组织，当好科学“传播者”、技术“翻译员”、市场“介绍人”，建设开放、全域、普惠、共享的基层科普服务体系。

中国科学院、中国工程院、清华大学、北京大学等 8000 多个科研机构 and 高等学校定期开展公众开放日活动，将学术资源面向社会传播，让公众零距离感受科学之美、创新之妙，年均吸引 860 万人次参观。

中央人民广播电视总台等媒体广泛传播科学精神和科学知识。《青少年科学总动员》等科学节目

掀起关注科技的社会热潮。新华网、人民网、百度、腾讯等互联网媒体纷纷汇集“科普中国”信息化平台，累计建设科普信息资源 24TB，传播量 209 亿人次。

中国科幻大会、中国科普产品博览会成为中国科普产业快速发展的缩影，以全球最大射电望远镜 FAST 所在的贵州平塘为代表的科普小镇正在兴起，科学、文化、艺术、旅游等元素相融相生，打开了科学素质建设的广阔空间。

我们建立了 185 万人的专兼职科普队伍。河北农业大学李保国教授，扎根太行山区 35 年普及推广农业技术，累计增加农业产值超过 35 亿元，被誉为“当代新愚公”。中国科学院老科学家科普演讲团，平均年龄 68 岁，21 年来在全国 1600 多个市、县举办 2.3 万场演讲，惠及听众 800 多万人次。中国女科技工作者为增强人民科学素质发挥了不可替代的作用。“神舟十号”航天员王亚平开展太空授课，与全国 6000 万学生进行天地互动，点亮无数青少年的飞天之梦。

四是坚持开放交流，强化国际合作。以科普为主题的科技人文交流，成为国际和地区合作新纽带。东盟青少年科学英才冬令营和教师论坛、科学教育国际论坛等广受各国欢迎。2018 年“一带一路”青少年创客营吸引 16 个国家 19 支代表队参加，青少年科技创新大赛邀请 50 多个国家和地区的 300 多名青少年和科技辅导员参赛。“中国古代传统技术展览”足迹遍布 13 个国家 23 个城市。国际科普作品展吸引来自 14 个国家和地区的 1500 多件作品参展，丰富了世界科学传播的创意宝库。

中国科学素质建设取得了显著成绩，我们也清醒认识到，中国的科学文化积淀还不丰厚，城乡、区域发展不平衡，优质科普资源供给不充分，社会化市场化机制不完善等问题还比较突出。我们要坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，借鉴国际有益经验，完善科学素质工作体系，以协同化形成科普强大合力，以信息化重构科普服务流程，以国际化实现科普开放提升，为促进全球公众科学素质建设贡献更多中国智慧。

三、以开放合作共创人类社会美好未来

新一轮科技革命和产业变革正在孕育兴起，资源短缺、环境污染、疾病流行、贫困等依然是人类面临的共同难题。一些重要群体、一些国家远未充分享受到科技进步带来的福祉，知识鸿沟

还有加剧的倾向，全球公众科学素质建设任重道远。我们应当顺应时代潮流，努力以合作促进交流互鉴，以交流推动和谐共生。

一是强化战略引导。在文明交流互鉴中，各国都应提供更多普惠优质的科学素质公共产品，增进本国人民福祉，服务世界共同利益。各国应切实把科学素质建设摆在优先发展的战略地位，强化政府责任，调动社会参与，建设适合自身国情的公共科普服务体系，为促进公众科学素质建设注入多元而充沛的动能。

二是培育未来人才。青少年科学素质决定未来，在他们心中埋下科学的种子，为他们的理想插上科学的翅膀，创新动力才能源源不绝。我们应当遵循未来人才成长规律，以增强科学素质促进青少年全面发展和人格完善，引导、保护、激发他们的科学兴趣和想象力，涵养科学精神，厚植创新沃土，让未来的“牛顿”“爱因斯坦”更多涌现。

三是营造良好生态。应当着力解决发展失衡、数字鸿沟等问题，形成开放、包容、普惠、平衡的科学素质建设生态。在倡导科学家履行社会责任的同时，营造更具吸引力的激励制度和社会环境，把科学普及变成科学家创新活动的关键一环，引导科学家

积极与公众对话，形成良好科学文化氛围，助力人类文明进步。

四是拓展开放合作。全球科技界素有同舟共济、权责共担的命运共同体意识。大会汇聚共识，发布《世界公众科学素质促进北京宣言》。我们期待开展更高水平、更加紧密的交流合作，形成有效的国际合作机制和网络。

开放凝众智，合作天地宽。科学昌明、世界繁荣是人类的共同愿景。我们愿与国际社会共同推进公众科学素质建设，不断增进理解、尊重、合作与共赢，共创人类社会美好未来! ○

来源：科技日报



中国自动化学会 应邀参加 IFAC 理事会及相关会议

2018年9月1日—5日，国际自动控制联合会（International Federation of Automatic Control, IFAC）2018年度理事会及相关会议在巴西弗洛里亚诺波利斯召开，同期召开的还有第9届IFAC鲁棒控制设计研讨会（9th IFAC Symposium on Robust Control Design, ROCONC' 18）和第2届IFAC线性参数时变系统国际会议（2nd IFAC Workshop on Linear Parameter Varying Systems, LPVS' 18）。受IFAC秘书处和ROCONC/LPVS联合会议大会主席邀请，IFAC理事会成员（Council Member）、哈尔滨工业大学高会军教授和IFAC经济、商业与金融系统技术委员会副主席、中国科学院自动化研究所袁勇副研究员代表中国自动化学会参加了IFAC理事会及相关会议。

为期三天的理事会详细审议了IFAC技术委员会（Technical Board）、执行委员会（Executive Board）及其下设分支机构的工作报告，听取了2020和2023年



IFAC World Congress大会的筹备情况汇报，并组织了2026年IFAC World Congress大会举办权的竞标答辩与现场评审，参与竞争举办权的包括奥地利、中国、韩国、日本和荷兰共五个国家。

本次IFAC World Congress大会的中国申办方由中国自动化学会副理事长兼秘书长、中国科学院自动化研究所研究员王飞跃担任大会主席。由于王飞跃研究员同期有重要事务，特委托高会军教授代表中国申办方参加了竞标答辩和现场评审过程。高会军教授从中国自动化学界的历史源流、会议成功承办的经验、大会会场选址、组委会成员等多个方面陈述了中国承办IFAC World Congress 2026的可行性和优势。IFAC理事会在综合考虑申



办国历史承办次数和地理位置等因素后，鉴于2023年IFAC World Congress将于日本横滨举行，经IFAC理事会成员投票，荷兰与韩国获得下一轮竞标答辩的机会。本次申办过程中，中国申办方丰富的大会承办经验、国内自动化领域雄厚的学术实力、以及本次竞标答辩的细致准备工作获得了与会评审专家的一致认可，同时为下一次申办大会积累了经验。

IFAC理事会后，高会军教授与袁勇副研究员参加了同期举行的IFAC ROCONC 2018和IFAC LPVS 2018会议，并和与会者就自动控制的若干新领域和研究方向进行了交流。○

学会秘书处 供稿

2018年9月25日—26日，由中国自动化学会、宁波市委人才办、宁波市科学技术协会、海曙区人民政府联合主办的2018国家智能制造论坛在宁波成功召开。为进一步落实“中国制造2025”，助力中国工业转型升级，深化供给侧结构性改革，提升制造业水平，助推宁波市“中国制造2025”试点示范城市的建设贡献力量，学会充分发挥知识密集、人才荟萃的优势，在论坛召开期间，积极组织院士和专家深入宁波智能制造技术研究院、宁波工业互联网研究院有限公司和宁波如意股份有限公司走访考察，为企业和专家搭建平台，服务企业和地方经济发展。

9月25日下午，中国自动化学会智库先后调研了宁波智能制造技术研究院和宁波工业互联网研究院有限公司，专家包括中航工业集团信息技术中心首席顾问

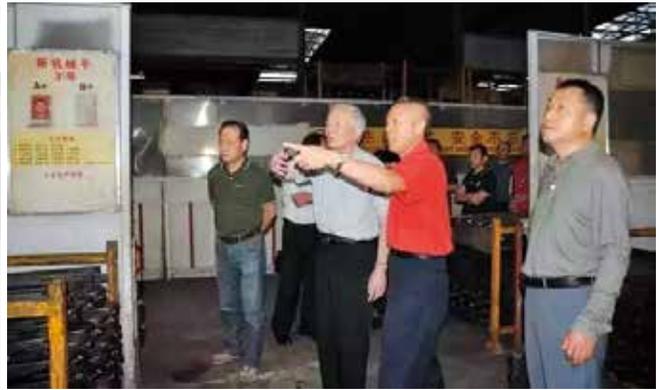
宁振波教授，中国自动化学会副秘书长、东南大学孙长银教授，中国自动化学会副秘书长石红芳，上海市自动化学会秘书长陈坚，上海利驰软件有限公司董事长令永卓，中国自动化学会仪表与装置专委会秘书长石明根，希望森兰科技股份有限公司常务副总经理张树林，宁波和利时数字工厂销售总监黄笑，康奈集团副总经理、研发中心总监沙民生等。

宁波智能制造技术研究院（以下简称“智研院”）工作人员向各位专家介绍了智研院的人员状况、管理团队、研发状况、规划设计等，并展示了“智研院NBMADE工业大数据管理云服务平台”。在随后的座谈会期间，宁波本地制造业企业负责人、企业科技人员介绍了企业在生产、研发及升级转型中的重点、难点，各位专家学者对企业提出的问题一一进行了解答，并对宁波本地



中国自动化学会智库赴甬调研





企业在“中国制造 2025”项目中所做出的努力和成果给予了肯定和鼓励。

在宁波工业互联网研究院有限公司（以下简称“研究院”）调研期间，各位专家听取了研究院在科技创新、人才汇聚、成果转化等方面的成果，并参观了研究院展示区域及办公区域。

9月26日下午，中国工程院院士、清华大学博士生导师、清华大学智能系统研究中心主任吴澄在宁波如意股份有限公司考察。

吴院士听取了宁海县委常委、组织部部长方勤关于宁海情况的介绍，听取了如意公司负责人关

于公司运作情况、公司发展方向、技术难题等情况的介绍，并到生产车间考察，了解公司技术操作、生产情况。之后，吴院士回应了公司技术方面的问题，并对公司的发展方向给以鼓励。吴院士认为如意公司有较好基础、较高的效益，产品方向与自己团队的研究方向有结合点，他会继续予以关注，可能的话加强合作。

清华大学国家CIMS中心主任赵骥，中国自动化学会党支部书记吕爱英，宁波市科协副主席汤丹剑，宁海县科协主席陈海中、副主席薛常良，如意公司董事长储吉旺等陪同考察。

作为学会深化中国科协创新驱动助力工程，服务地方经济发展的重要内容，2018 国家智能制造论坛由中国自动化学会、宁波市委人才办、宁波市科学技术协会、海曙区人民政府联合主办，海曙区科学技术协会、控制网（kongzhi.net）&《自动化博览》联合承办，于2018年9月25日—26日在浙江宁波成功召开。来自全国致力于智能制造及相关领域的研发、生产、使用、创投、媒体等代表300余人参加了此次论坛。○

学会秘书处 供稿

开放共享 智汇海曙

——“2018 国家智能制造论坛”于宁波成功召开



2018年9月26日，由中国自动化学会、宁波市委人才办、宁波市科学技术协会、海曙区人民政府联合主办，海曙区科学

技术协会、控制网（kongzhi.net）&《自动化博览》联合承办的“2018 国家智能制造论坛”于浙江宁波成功召开。来自全国

致力于智能制造及相关领域的研发、生产、使用、创投、媒体等代表300余人参加了此次论坛。





2018 国家智能制造论坛开幕式由宁波市科协党委书记丁海滨主持。



在丁海滨书记介绍与会专家、领导，并播放宁波市海曙区宣传片后，宁波市海曙区区长褚孟形首先为论坛致欢迎辞，褚孟形指出海曙区是宁波市商业、商务活动核心区域，坚持以智能制造为引领，在全市率先出台了“中国制造 2025”的政策意见，聚焦打造智能经济、数字经济、时尚经济三大产业集群，持续加快传统优势产业转型升级，推动战略新兴产业快速发展，吸引了一大批高端人才团队和科研院所落户海曙，如今的海曙已成为创新发展、智能聚焦的新热土。



随后，中国自动化学会副理事长、上海交通大学教授李少远致欢迎辞，李少远指出“中国制造 2025”是开放、包容的体系，智能制造更是落实好计划的关键，尽管目前我国大多数企业、行业智能制造还处于局部应用阶段，但智能制造转型是我国长期坚持的战略任务，制造业向智能制造方向转变，是大势所趋。自 2015 年起，由中国自动化学会主办的国家智能制造论坛，以丰富的论坛形式和精彩的报告内容，助力着中国各地智能制造产业的蓬勃发展。



接下来，中国工程院院士、清华大学教授吴澄为论坛致欢迎辞，吴澄院士指出今年全球制造业格局将面临重大的调整，新一代信息技术与制造业深度融合，正在引发产业变革，智能制造是这个变革的主攻方向。智能制造必须坚持问题导向、统筹规划、突出重点，必须凝聚全社会共识，加快制造业的转型升级，全面提高质量和核心竞争力，从而逐步实现“中国制造 2025”。



最后，由宁波市政协副主席陈安平致欢迎辞，陈安平表示实体经济是宁波发展的优势，制造业作为实体经济的主体也是宁波的当家产业。宁波作为全国首个“中国制造 2025”试点示范城市，制定出台了“中国制造 2025”宁波行动纲要、宁波市建设“中国制造 2025”试点示范城市实施方案和金融支持工业发展 20 条政策，明确提出把发展智能制造作为推动实体经济转型升级、提质增效的主攻方向，积极推动工业化与信息化深度融合，加快打造国内一流的智能制造强市，为建设国内港口名城、打造东方文明之都提供了坚实的支撑。



2018 国家智能制造论坛开幕式结束后，由中国自动化学会会士、特聘顾问、中国工程院院士、清华大学教授吴澄带来第一个主题报告，报告题目为“智能制造，实体经济创新发展中的一个新抓手”。吴院士在报告中指出，随着信息技术的不断进步，智能制造将面临一个新的快速发展的前景，作为制造技术、自动化技术、系统工程与人工智能等学科相互渗透、相互交织而形成的一门综合技术，除了当前的效益外，还将从三个方面深刻影响未来的经济、社会：对物理世界的智能感知和认知将广泛应用，深刻改变人类生活；人的社会分工将面临巨大的变化；无论是政府、企业还是各种社会系统的治理，都将有质的提高。



中国自动化学会副理事长、上海交通大学教授李少远在题为“工业系统优化运行中的数据利用与实时优化求解”的报告中指出，随着生产规模的不断扩大、生产工艺的日益复杂，为了进一步高效生产，绿色环保，企业亟需发展全局优化技术。以炼油企业生产为例，亟需解决的问题主要包括三点：1. 减小单位能耗，达到国际先进水平；2. 提高轻质油收率，优化提高企业效益；3. 减小加工损失率，绿色生产，安全环保，并从工业系统优化运行中的数据利用、优化运行中的实时优化求解、实时优化求解的实践验证三个方面进行了详细阐述。



宁波智能制造技术研究院副总工程师赵朋的报告题目是“区域智能制造的实施路径与实践”。在报告中，赵副总工程师主要介绍了宁波市为贯彻落实“中国制造 2025”和推进制造业高质量发展，以推动区域制造业智能转型和培育智能制造支撑产业为目标，以智能制造示范区建设为抓手，注重智能制造关键技术装备突破，注重智能产品与服务的研发应用、注重智能制造系统集成水平提升、注重智能制造新模式培育推广、注重智能制造基础设施完善、注重智能制造生态系统优化，不断探索形成区域有效推进智能制造的经验、路径和模式，推进区域制造业提质增效与转型升级，培育区域经济增长新动能。最后介绍了宁波智能制造技术研究院为打造宁波海曙区域智能制造，推出的“智云端”工业互联网平台的实践工作。



上海利驰软件有限公司董事长令永卓在题为“让数据成为资产”的报告中指出，这是数字化浪潮越来越汹涌的时代，从大润发被阿里巴巴收购的案例再到美团、高德相继进军共享出行行业，已经表明众多行业已经实现了数字化的转型，对于工业电气行业而言，数字化浪潮既是机遇也是考验。报告中提出了经过服务于电气行业二十多年而总结的数字制造四部曲：数字建模、虚拟仿真、协同制造、柔性定制。将数据、人、机器真正的结合起来，打通企业内部各环节的数据交互，建立行业上下游企业的数据流转基础，为工业电气数字化转型提供助力。



中航工业集团信息技术中心首席顾问宁振波作了题为“智能制造——从三体智能革命说起”的报告。报告中指出，人类的工业革命，每次都历经了几十年甚至上百年的历史，以智能制造为代表的第四次工业革命，也同样是一个漫长的过程。第一次革命是机械化，第二次是自动化，第三次是数字化，第四次是智能化。走向智能的路第一步就是数字化，数字化是智能制造的基础。什么是数字化？就是人类想要做的事要被电脑认识，电脑认识的越多，人类就越可以把更多的时间用于创造性的劳动。当人类把体力劳动交给机器，脑力劳动逐步交给电脑，且机器和电脑互联互通，人类就走向了智能。这个过程中，人脑就是意识人体，机器和物料就是物理实体，人类创造的软件和模型就是数字虚体，三者的互动融合就是三体智能革命。



北京和利时智能技术有限公司副总经理雷志军在题为“和利时数字化车间建设方案与探讨”的报告中，以和利时的电子模块生产车间改造为主线，对当前普遍的数字化车间和智能工厂建设工作进行了说明。智能工厂的建设涉及到基础设施、自动化、信息化等方面的工作，由于多专业交织的技术复杂度，以及多类型供应商的管理难度，使得实际项目在落地上存在诸多困难。对此，雷志军副总经理以实际的建设过程为例，提醒相关业者，重视早期应用场景讨论和系统方案构建的工作，以顺利推进智能工厂建设工作。



在下午的论坛环节中，为大家带来第一场报告的是慈星股份执行董事李立军，报告题目为“智能制造，制鞋行业的新未来”。制鞋行业是中国的传统优势制造业之一，从业人口众多，但近几年随着劳动力成本的大幅上涨，中国制造业的人口红利已不复存在，大量制鞋企业逐步转移到劳动力成本更低的东南亚国家，原来华南地区高度发达的制鞋产业出现了空心化趋势，在此背景下，慈星股份对传统的制鞋工艺和流程进行了大量的研究，把机器人、工业互联网和机器视觉等智能技术，应用到了实际的生产环节，构建了高度自动化的生产体系，使鞋类产品的大规模个性化生产成为可能，劳动生产效率大幅提升，产品质量更加稳定，用工数量也大大减少。



中国科学院自动化研究所研究员谭杰作了题为“人工智能在智能制造中的应用”的报告。报告主要讲述了人工智能技术在制造业中的发展现状，人工智能在制造业中的应用模式及其发展趋势，在智能制造中的应用案例，最后阐述了人工智能对于制造业的价值。



三菱电机自动化 e-F@ctory 战略部战略顾问张浩在题为“三菱电机 e-F@ctory 助力中国智能制造”的报告中，详细介绍了三菱电机在中国事业、规模、业务发展，指出了中国制造业的现状、存在的问题以及相应的解决途径，最后指出了 e-F@ctory 与中国智能制造是边缘计算技术、AI 技术、FA-IT 的结合。



智能制造是基于物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术，贯穿于设计、生产、管理、服务等产品全生命周期，具有自感知、自适应、自决策、自执行等功能新型制造模式。浙江大学教授卢建刚在题为“智能制造评价方法及其在浙江的实践”中指出，当前，我国制造业尚处于机械化、电气化、自动化、信息化并存的状态，位于不同地区、不同行业、不同企业发展不平衡的阶段。浙江省也面临着工业 2.0、工业 3.0 “补课”，又要在工业 4.0 “加课”的双重任务。不同阶段的工业智能化需要不同的顶层设计与实施规划。建立智能制造评价体系，在浙江省分区域、分行业、分企业开展智能制造评价工作，按照地区不同、行业不同、企业发展阶段不同等进行分类并作出有针对性的评价，对科学化、系统化推进浙江省智能制造发展，提升整体智能制造水平具有十分重要意义。



北京机科国创轻量化科学研究院有限公司装备所副所长张倩的报告题目为“筒子纱数字化自动染色成套技术与装备”。报告主要从技术背景和总体思路、创新点及关键技术、目前应用推广等方面介绍了机械总院和泰安康平纳共同研发的筒子纱数字化智能化染色成套技术以及未来筒子纱智能工厂发展设想。



西安交通大学副教授崔健磊为大家带来的报告是“激光智能制造技术与装备”。崔副教授指出，发展高端激光智能制造，是我国实现创新创业和制造业转型升级的重要推手，对推动我国高端制造领域从“中国制造”向“中国智造”“中国创造”迈进，促进我国产业结构升级与优化，做强我国制造业具有重要的战略意义，也是我国“中国制造 2025”战略要求的具体落实。报告介绍了当前发展激光智能制造的背景和趋势，分析了我国在激光智能制造技术研究与产业化体系建设方面的基础及优势，并介绍了本团队在激光高端制造技术与装备方面取得的创新性成果。



带来论坛最后一个报告的是希望森兰科技股份有限公司常务副总经理张树林，他的报告题目是“浅谈智能时代企业的升级转型”。张树林首先介绍了希望森兰公司及其企业文化，随后指出智能时代下制造业企业转型升级要注意的三个要点：不盲目的跟风，做到理性决策，理性投资；紧跟时代步伐，不要拒绝接受新事物、新概念；结合企业的实际情况，围绕制造业的本质，利用先进的工具，帮助企业实现提升。

新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式形成了历史性交汇，为我们实施创新驱动发展战略提供了难得的重大机遇。“中国制造 2025”明确提出“力争用十年时间，迈入制造强国行列”，并将智能制造明确为“中国制造 2025”的主攻方向。目前，国内外的智能制造都处于加速发展时期。宁波是长三角南翼著名的制造业基地，作为

全国首个“中国制造 2025”试点示范城市，被国家赋予探路先行、探索创新的重大使命。近年来，宁波抢抓重大机遇，主动培育新结构，强化新动能，把发展高端装备制造作为“加码”智能制造、提升制造业核心竞争力的“关键之招”，推动产业转型升级，从制造业大市走向制造业强市。2018 国家智能制造论坛的召开促进了智能制造的基础理论研

究、成果原始创新、高技术开发，增强了我国研究水平和实际应用能力，为进一步落实“中国制造 2025”，助力中国工业转型升级，深化供给侧结构性改革，提升制造业水平，助推宁波市“中国制造 2025”试点示范城市的建设贡献了重要力量。○

学会秘书处 供稿





“区块链技术在制造业中的应用高峰论坛”高峰论坛现场

2018年10月13日，由世界智能制造大会组委会主办，中国自动化学会、中国自动化学会区块链专委会、控制网（kongzhi.net）&《自动化博览》、IFAC TC9.1、武汉大学、南京理工大学、南京机器人研究院、南京航空航天大学作为联合执行单位的“区块链技术在制造业中的应用高峰论坛”在南京成功举办。本次论坛以“区块链可信 制造业升级”为主题，逾200位来自智能制造领域专家学者、国际国内科研机构、科研院所研究人员、制造业用户企业主要负责人和技术负责人、自动化设备制造商、高校专业人士、有关政府工作人员、智能制造领域媒体记者参加了本次会议。会议由中国科学院自动化研究所副研究员、青岛智能产业技术研究院副院长袁勇主持。

中国自动化学会会士、特聘顾问、北京控制工程研究所研究员、中国科学院院士吴宏鑫致开幕词，他提出区块链代表着新兴智能技术对于传统社会组织和运作方式的一种颠覆性变革和挑战，近两年来，区块链技术的发展和普及呈现出爆发式增长态势，其速度之快超出了许多专家学者的预期。

区块链可信 制造业升级
——『区块链技术在制造业中的应用高峰论坛』
于南京成功举办



中国自动化学会会士、副理事长、中南大学教授、中国工程院院士桂卫华为大会带来第一个报告“区块链技术助力智能制造及应用于铝电解的若干思考”。首先简要介绍了区块链技术，其次讨论了智能制造面临的一些困境。报告说明了区块链技术有助于解决智能制造的相关难题并以铝电解智能制造为例，探索了区块链技术在智能制造中的应用。

中国自动化学会理事、菲尼克斯电气中国公司副总裁杜品圣的报告题目是“区块链技术与智能制造的发展的探索”，他提出随着工业 4.0 愈来愈得到人们的重视，人们都希望将这些新兴技术应用到工业领域或智能制造中去。几乎每天都有新的理念、概念、战略和规划出现，报告通过人工智能与自动化技术融合的案例作了一些关于将区块链与自动化技术融合在一起思考。

国家智能传感器创新中心副总裁冯翔为现场观众带来报告“区块链在工业生产中的应用”，他提出区块链技术的应用不仅仅局限在金融行业，对实体经济也将产生巨大影响。报告带领听众一起畅游区块链未来在实体经济中可能应用的场景，帮助现场听众开拓思路，更全面深刻地理解区块链技术。

武汉大学电气与自动化学院教授张俊的报告题目是“工业物联网与区块链智能基本概念、关键技术与核心应用”，报告首先阐述工业网联技术的演化过程，重点讨论了工业物联网产生的技术和时代背景。然后探讨工业物联网的基本概念、内涵与应用领域，及其技术平台架构。最后以智能工业新模式和工业系统价值挖掘为示例，举例说明工业物联网的应用模式。

南京理工大学 - 中德智能制造研究院智能制造联合实验室主任戚湧的报告题目是“区块链赋能智能制造创新发展”，他认为，去中心化、去信任、开放性、不可篡改和价值自动传递等是区块链技术的核心特点，这些特点决定了区块链技术具有十分广泛的应用前景。报告针对目前智能制造发展面临的



- 1
- 2
- 3
- 4

1. 中国自动化学会特聘顾问、北京控制工程研究所研究员、中国科学院院士吴宏鑫
2. 中国自动化学会副理事长、中南大学教授、中国工程院院士桂卫华
3. 中国自动化学会理事、菲尼克斯电气中国公司副总裁杜品圣
4. 国家智能传感器创新中心副总裁冯翔

挑战，对区块链与智能制造的有效结合进行探讨，利用区块链技术为智能制造赋能，引领制造业开创革命性的、全新的生产关系，提高生产制造过程的智能化管理水平。

中国科学院自动化研究所副研究员、青岛智能产业技术研究院副院长袁勇的报告题目是“区块链+人工智能的思考”，他提出区块链和人工智能是近年来炙手可热的新技术，就发展现状而言，目前相对中心化的人工智能技术和去中心化的区块链技术存在着相互支撑和互补的关系，有望进一步相互融合、共同发展。随后阐述区块链与人工智能相结合后可能衍生出的分布式人工智能研究以及平行智能研究等新兴领域，并探讨未来融合人工智能技术的区块链技术发展趋势。

区块链技术诞生 10 年以来，经历了百花齐放式的前沿探索、千链竞发式的落地实践，目前已经到了脱虚向实、从虚拟经济走向和融入实体经济的收获阶段。制造业是实体经济的重中之重，制造业与区块链的结合将是未来“智能制造”和“区块链+”战略的大势所趋。作为一种全新的去中心化基础架构与分布式计算范式，区块链技术能够为自动化和智能化等相关产业的发展奠定坚实的数据安全和信任基础，助力打造去中心化、安全可信和可灵捷编程的智能产业新生态。在这种背景下，举办“区块链技术在制造业中的应用高峰论坛”，无疑具有重要的意义。论坛通过邀请以上几位行业内的资深专家，讲解区块链的可信及数据安全等问题，深入探讨了区块链如何推动智能制造的发展，以及在制造业中应用的现状与未来的发展趋势。

正是由于中国自动化学会的积极组织、与主办方的紧密配合，才为 2018 世界智能制造大会带来了一场区块链的知识盛宴。为此，大会特颁发给中国自动化学会“最佳论坛组织奖”，以兹鼓励。○

学会秘书处 供稿

1

2

3

1. 武汉大学电气与自动化学院教授张俊
2. 南京理工大学-中德智能制造研究院智能制造联合实验室主任戚湧
3. 中国科学院自动化研究所副研究员、青岛智能产业技术研究院副院长袁勇





第八期智能自动化 学科前沿讲习班在北京成功召开

2018年10月13日—14日，由中国自动化学会主办的第八期智能自动化学科前沿讲习班在北京成功举办，此次讲习班主题为“人工智能与智能交通”，并由中

国自动化学会副理事长兼秘书长、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王飞跃研究员和清华大学自动化系系统工程研究所所长张毅教授共同担任学术主任，邀请十余位专家进行报告。五十余位来自全国各相关高校、科研院所、企事业单位的相关科研工作人员参加了此次讲习班。



首先由学术主任清华大学自动化系系统工程研究所所长张毅教授致辞。张毅教授代表中国自动化学会对各位参会代表表示了热烈的欢迎，并结合自身的经历对人工智能与智能交通的发展背景和发展现状进行了简要的介绍，希望大家能够在此次活动有所收获。

接着张毅教授为大家带来题为“人工智能与智能交通”的报告。张毅教授的报告从人工智能的基本概念与内涵出发，探讨人工智能在智能交通应用中的困难与挑战，并结合智能交通的最新发展，重点围绕车路协同和自动驾驶等相关技术及其实现，深入地探讨了人工智能的应用前景。

随后由美国密西根大学土木环境系终身教授、滴滴智慧交通首席科学家刘向宏为大家带来题为“Data-Driven Traffic Signal Control”的报告。在当前的实践中，交通信号系统性能测量和参数优化需要手动数据收集和处理，整个过程耗时长且费用昂贵。因此，美国的交通信号系统通常每 3-5 年都需要进行重新定时。刘教授的报告首先讨论了“SMART 信号系统”的研究和开发历程，并指出“SMART 信号系统”可以自动收集和处理现有交通信号系统的高分辨率数据。借助这些高分辨率数据，可以直接测量交通信号性能，并可以自动重新定时信号参数。“SMART 信号系统”为交通工程师监控、管理交通信号系统提供了一个新的工具，它的发展代表了交通信号控制实践的一次重大飞跃。刘教授的报告还讨论了来自联网车辆的轨迹数据的智能交通控制。随着越来越多的可用车辆轨迹数据，对基于基础设施的车辆检测器的依赖性将降低，甚至下一代交通控制系统可能无需检测器。为方便理解，刘教授也通过滴滴车辆轨迹数据研究的案例对此进行了详细的解释。



上午最后一个为大家带来报告的是青岛慧拓智能机器有限公司 CEO、中山大学副教授陈龙，报告题目为“平行驾驶及其在智能矿山领域的应用”。平行驾驶是一种兼具运营管理、在线状态监测、应急驾驶安全接管等功能的先进云端化网联自动驾驶集成解决方案。平行驾驶的数字四胞胎结构包括：物理车、描述车、预测车和引导车。描述车负责建立真实车辆和道路环境的准确模型，预测车旨在对描述车辆的决策和规划作为正确的运算和分析，引导车负责指导真实车辆在不同的驾驶场景中采取正确的行动。报告指出，我国在矿山智能化和无人化的建设方面还存在很多不足，平行理论和 ACP 方法可为矿山智能化和无人化提供有效的解决方案，通过建立描述矿山、预测矿山和引导矿山三个软件定义的虚拟矿山系统可以构建一个完整的实际矿山平行系统，实现对矿山系统的预测、管理与优化。



下午首先由中国自动化学会副理事长兼秘书长、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王飞跃研究员带来题为“交通 5.0: 迈向 CPSS 的智能平行交通体系”的报告。王飞跃教授的报告从 AI2.0、工业 5.0 及 CPSS 的现状讲起，对平行系统进行了简要介绍，并详细介绍了平行驾驶技术的发展。在报告的最后，王飞跃教授对平行交通体系的未来进行了简单的展望。



接下来由浙江大学陈为教授作题为“交通数据可视化”的报告。陈为教授的报告从数据可视化的角度，对交通数据进行分类，并介绍了各类可视化方法。围绕交通规划、交通监管、交通预测等分析任务，讨论可视分析在交通大数据应用中的作用。在报告的最后，陈为教授以城市大脑等为应用背景，介绍了若干交通可视化实例。





第一天最后一个报告来自中南大学王璞教授的“基于大数据融合的动态交通需求估计与人群聚集预警”。交通需求是智能交通领域中的重要基础数据，王璞教授团队建立了一种基于手机数据和多元交通数据融合的动态交通需求估计模型。该模型能够借助手机数据覆盖面全的优点弥补交通数据表征全局交通的不足，通过交通数据能够实时采集的优点弥补手机数据的匮乏，实现千万级人口出行的动态捕捉。另外，王璞教授的报告也指出城市人群聚集在特殊的动态交通需求下形成。人群聚集的地方通常疏导通道有限，当发现人群密度超标时管控措施难以快速疏导人群，所以要建立基于地铁、公交刷卡数据和出租车 GPS 数据融合的人群聚集预警模型，该模型能够在人群聚集发生初期提前数小时对其预警。



第二天首先为大家带来报告的是浙江大学陈喜群研究员，报告题目为“Understanding On-Demand Ride Services: Platform Optimization, Network Evaluation, Behavioral Analysis, and Traffic Prediction”。陈喜群研究员的报告介绍了共享出行系统，其中包括：调度平台优化、网络评估、行为分析及交通行为预测四个方面。



第二个为大家带来报告的是浙江工业大学沈国江教授，报告题目为“大数据驱动的城市智能交通控制技术”。一个城市的道路交通系统每天都在产生并存储着海量的信息，这些信息隐含着状态变动和设备运行等信息。如何有效利用海量离线、在线数据和知识，实现对交通运行的优化控制，已成为控制理论界和交通工程界迫切需要解决的问题。沈国江教授的报告主要介绍了如何利用“大数据+人工智能”来理解交通规律和交通模式，进而形成一套科学有效的交通控制应用技术。报告主要分为四个方面：一是城市交通大数据的分析和处理方法；二是城市交通信号智能控制技术；三是城市交通综合评价指标及体系；四是应用案例分析。沈教授的报告从实际应用角度出发，探讨了如何有效应用大数据来缓解城市交通拥堵和改善城市交通状况。

上午最后一个报告来自北方工业大学刘小明教授的“面向应用的城市道路交通智能控制技术”。刘小明教授的报告基于城市区域交通协调控制实际关联因素分析，在考虑控制鲁棒性及计算复杂性基础上，刘教授团队设计的交通信号自适应准实时分层控制系统，支持人工智能交通控制算法池，达到参考模型驱动、参考模型易替换及可持续优化，并对控制过程中相位差的优化、评价及过渡技术进行了说明。



下午第一个报告来自清华大学李力副教授的“交通流时间序列分析”。李力副教授从趋势分析的角度建立了交通流时间序列异常数据处理、数据压缩、缺失数据补偿、数据预测的统一分析处理算法，并强调了智能处理算法的应用。



下午第二个为大家带来报告的是中国铁道科学研究院集团有限公司袁志明副研究员，报告题目为“人工智能与行车调度”。随着铁路建设的快速发展和铁路科技的不断进步，铁路运输已经成为我国交通运输体系的骨干。行车调度作为铁路运输管理体系的中枢，在提升高铁运输高效性、降低安全事故发生机率、提高突发事件下的快速响应能力方面具有重要的作用。报告从铁路行车调度指挥的应用实践出发，介绍了我国行车调度指挥系统中蕴含的关键理论方法和相关应用技术，探讨了人工智能和大数据背景下的智能行车调度。



此次讲习班最后一个报告来自中国科学院自动化研究所副研究员吕宜生的“生成对抗式网络及其在智能交通系统中的应用”。报告主要介绍了 GAN 的起源和发展历史，并简要介绍了生成对抗式网络在智能交通系统中的应用。○



学会秘书处 供稿

中国科协召开《中国共产党纪律处分条例》 专题学习报告会

9月29日，中国科协党组理论学习中心组召开学习扩大会议暨党课报告会，专题学习《中国共产党纪律处分条例》（以下简称《条例》）。会议由中国科协党组书记、常务副主席、书记处第一书记怀进鹏主持。

中央纪委国家监委研究室副主任苏静应邀作辅导报告，报告全面梳理了修订《条例》的背景和必要性，结合典型案例对《条例》修订的主要内容进行了详细解读，明确了切实抓好《条例》贯彻执行和做深做细做实监督检查的要求，为广大党员和领导干部上了一堂生动的党课。与会党员干部普遍认为，苏静的辅导报告既有历史纵深感又有现实穿透力，对党员干部深刻理解加强新时代党的建设，准确把握党内法规制度，真正把铁的纪律转化为日常习惯和自觉遵循，切实做到“两个坚决维护”具有重要指导意义。

怀进鹏作学习讲评。他指出，重视和加强党的纪律建设是我们党的优良传统。要深刻理解在新

时代背景下修订《条例》的重大意义。《条例》把坚决维护习近平总书记党中央的核心、全党的核心地位，坚决维护党中央权威和集中统一领导作为出发点和落脚点，对深入推进党的政治建设，加强思想建设、组织建设、作风建设、纪律建设和制度建设，全面贯彻落实新时代党的建设总要求具有重要作用。《条例》摆正了纪律和法律的逻辑关系，将执纪和执法贯通和衔接起来，强调



“纪严于法、纪在法前”，使全面从严治党的思路举措更加科学、更加严密、更加有效。党的纪律，既是党内政治文化的制度化形态，也是党内政治文化的重要组成部分。《条例》的修订对发展积极健康的党内政治文化，不断巩固和发展风清气正的良好政治生态具有重要意义，为我们在实际工作中加强党的纪律建设提供了重要的方法指导和实践遵循。

怀进鹏强调，要严格贯彻落实党的纪律建设要求，推进科协全面从严治党向细、向实发展。一要强化纪律教育，抓紧抓实《条例》的学习宣传。各级党组织要切实担负起全面从严治党政治责任，把学习贯彻《条例》作为一项重要政治任务，认真组织广大党员干部尤其是纪检干部逐章逐条学、联系实际学，迅速掀起学习贯彻热潮，督促广大党员干部自觉对照反思、规范言行。各级党员领导干部要发挥关键少数的“头雁效应”，以身作则、率先垂范。二要坚持执纪必严、违纪必究，让制度“长牙”、纪律“带电”。各级党组织要认真抓好《条例》的贯彻执行，对党员干部

的苗头性、倾向性问题及时提醒处置，让“咬耳扯袖、红脸出汗”成为常态。各级纪委要认真履行党章赋予的职责，强化监督执纪问责，深化运用“四种形态”，加强日常管理监督，把党员党组织学习贯彻《条例》情况纳入纪律监督、巡视监督范围，推动《条例》各项规定落到实处。三要坚持党建与业务相结合，强化没有脱离政治的业务，也没有脱离业务的政治。要有效运用2014年中央对科协巡视的成果，开展对整改效果的检查和评估，建立完善的纪律问责机制，层层压实整改责任，在此基础上全面推进科协党组巡视工作，做到一届任期内巡视全覆盖、首轮巡视检查出来的问题及时整改，坚决整治“庸懒散浮拖”现象。要把讲政治、守纪律融入到科协“1-9·6-1”工作格局中，不断推动智库、学术、科普三轮驱动，进一步增强科协组织的政治性、先进性、群众性，提高各级党组织的创造力、凝聚力、战斗力，不断营造全身谋事、健康向上的科协文化。

徐延豪、孟庆海、陈刚、吴海鹰、束为、项昌乐、宋军、王守东等党组书记处领导同志，机关各部门和直属单位党员干部800多人参加学习。○

来源：中国科协



2018年9月14日，中国自动化学会党支部和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党支部联合组织了以“重温入党志愿，传承革命精神”为主题的双融双聚党日活动。中国自动化学会党支部书记张楠带领学会党支部党员，参观了位于门头沟的平西情报交通联络站旧址陈列馆，重温党的历史，缅怀革命先烈，接受爱国主义和革命传统教育。

平西情报交通联络站纪念馆，位于北京市门头沟区妙峰山镇涧沟村，于2009年4月正式开馆，是北京第一个公开展出的、以情报战线为主题的展览馆。党支部党员跟随讲解员，了解到平西情报站在那硝烟弥漫、战火纷飞的时代，数百名情报人员不畏艰险、不怕牺牲、跋山涉水、风餐露宿、夜以继日地战斗在秘密交通线上，为民族独立、国家解放和人民幸福立下了不可磨灭的历史功绩。

通过参观，党员们又一次体会到革命胜利的来之不易，决心要继承革命先辈的遗志，学习革命先辈不怕牺牲、英勇斗争的精神和甘于奉献的优良传统，在平凡的工作岗位上发挥共产党员的先锋模范作用，争做国家利益的忠诚卫士。○

学会党支部 供稿

重温入党志愿 传承革命精神

——复杂、学会党支部双融双聚联合党日活动





CAA 党员先锋队在行动

——八月未央，我们一直在路上

走过如花的春，经历似火的夏，流金的八月也悄然结束。在丹桂飘香的八月，中国自动化学会党员先锋队仍旧满怀激情，“以永不懈怠的精神状态和一往无前的奋斗姿态”，继续在为科技工作者服务的道路上昂扬前行着。

八月，是学会学术活动硕果累累的时节。不仅于8月22日—23日在厦门召开了2018新一代人工智能高峰论坛，还在8月25日—26日于西安举办了第一届中国认知计算与混合智能学术大会。两场学术会议活动，吸引了认知建模与计算、混合智能、先进感知、智能机器人、无人智能驾驶等领域海内外知名专家学者参会，共同交流相关研究领域的最新成果和发展趋势。

会议期间，学会党支部充分发挥党的政治优势、组织优势和



群众工作优势，通过合理分工，发挥各自所长，带领志愿者服务在会议的各个环节，在保证大会顺利进行的同时，提升了服务水平和质量，得到了与会代表的一致肯定与赞扬。

志愿服务是培育和践行社会主义核心价值观的重要载体，是建设服务型基层党组织的重要载体，是共产党员发挥先锋模范作用的重要载体。学会党支部成员在实际工作中，充分发扬了担当精神，切实树立了服务意识，真正发挥了好党员的先锋模范作用，进一步增强了学会党支部成员的积极性和凝聚力。○

学会党支部 供稿

2019中国自动化大会 (CAC2019)

2019年11月1-3日 中国 杭州



中国自动化大会是由中国自动化学会主办的国内最高层次的自动化领域大型综合性学术会议，2019中国自动化大会的主题为“智能自动化承载未来”，将于2019年11月1-3日在杭州召开。本次大会由浙江大学承办。

中国自动化大会将为全球自动化、仪器仪表、智能制造、信息与智能科学领域的专家学者和产业界的同仁展示创新成果、展望未来发展的高端学术平台，加强不同学科领域的交叉融合，引领自动化、仪器仪表、智能制造、信息科学、智能科学与技术的发展。

智能自动化承载未来

征文范围

本次大会将设立8个专题、29个征文领域。热忱欢迎全国各高等院校、科研院所和企业事业单位中从事自动化、仪器仪表、智能制造、信息与智能科学理论与技术研究的科技工作者积极投稿，特别希望征集能反映各单位研究特色的学术论文。各专题除特邀报告外，将从投稿中遴选优秀论文做专题会场报告。

大会专题

- T1 智能化技术
- T2 控制理论与系统科学
- T3 人工智能与数据科学
- T4 智能制造与系统工程
- T5 智能感知与仪器装备
- T6 智能系统与机器人
- T7 工业控制系统信息安全
- T8 智慧生活与未来

投稿要求

1. 来稿未曾公开发表过，具备真实性和原创性。请勿涉及国家秘密。
2. 凡投稿论文被录用且未作特殊声明者，视为已同意授权出版。
3. 论文篇幅限制4-6页。
4. 中英文论文稿件格式模板请浏览会议官网自行下载。
5. 投稿须登录在线投稿系统提交，投稿时请注明论文所属大会专题和征文领域。

征文领域 (包括但不限于)

1. 基于大数据的学习、优化与决策
2. 基于大数据的建模、控制与诊断
3. 工业机器人与服务机器人
4. 智能制造与高端自动化系统
5. 新能源控制与绿色制造技术
6. 智能电网控制系统
7. 智能控制理论与方法
8. 智能计算与机器学习
9. 图像处理与计算机视觉
10. 空间飞行器控制
11. 船舶自动控制与综合操控
12. 无人系统的信息处理与控制
13. 网络集群与网络化控制
14. 多智能体编队与协同
15. 医学图像、生物信息与仿生控制
16. 脑机接口与认知计算
17. 先进传感技术与仪器仪表
18. 无线传感网与数据融合
19. 工业互联网架构、理论与方法

20. 故障诊断与系统运行安全
21. 复杂系统理论与方法
22. 复杂系统的平行控制和管理
23. 社会计算和社会系统管理
24. 类脑智能与深度学习
25. 流程工业智能优化制造
26. 物流系统与自动化
27. 车辆控制与电动化
28. 海洋环境监测与仿真
29. 其它

时间节点

投稿开始时间：2019.4.1
征稿截止日期：2019.6.1
录用通知日期：2019.8.1
论文终稿日期：2019.9.1

论文出版

大会将出版CAC2019论文集 (U盘版)。2013年以来的历届会议英文论文全被IEEE Xplore收录，并被EI检索。经过专家评审，本届大会部分优秀论文将被推荐到IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica、《自动化学报》、《控制理论与应用》、《机器人》、《信息与控制》等国内外SCI、EI收录权威期刊发表。

<http://www.cac2019.org>

