

中国自动化学会通讯

COMMUNICATIONS OF CAA

第 5 期

2022 年 05 月

第43卷 总第224期

主办：中国自动化学会

<http://www.caa.org.cn>

E-mail: caa@ia.ac.cn

京内资准字2020-L0052号

致敬科技工作者



扫描二维码
关注官方微信



扫描二维码
关注官方微博



中国自动化学会通讯
Communications of CAA



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



关注官方微信



关注官方微博

主 编 | 郑南宁 CAA 理事长、中国工程院院士、
西安交通大学教授

副 主 编 | 王飞跃 CAA 监事长、中国科学院自动化
研究所研究员

杨孟飞 CAA 副理事长、中国科学院院士、
中国空间技术研究院研究员

陈俊龙 CAA 副理事长、欧洲科学院院士、
华南理工大学教授

编 委 | (按姓氏笔画排列)

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

刊名题字 | 宋 健

地 址 | 北京市海淀区中关村东路 95 号

邮 编 | 100190

电 话 | (010) 8254 4542

传 真 | (010) 6252 2248

E-mail: caa@ia.ac.cn

http: //www.caa.org.cn

印刷日期 | 2022 年 5 月 31 日

印 数 | 3000 册

发行对象 | 中国自动化学会会员及自动化领域科技工作者

本刊声明

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

主编的话



郑南军

“科学成就离不开精神支撑。”科学精神如漫天璀璨的星火，在每一个发展踌躇的夜晚照亮民族的筑梦之路。他们说，中国人怎么不行？外国人能搞的，中国人也能搞！他们说，中国的饭碗要牢牢掌握在中国人自己的手上！他们是中国科技工作者！他们坚定的脚步从未停止，用穷尽毕生心血，打造中国力量！他们或扎根于基层，或投身于开辟新的道路，在各个领域发出璀璨的光芒，点亮了我们的时代。他们义无反顾地燃烧，以科学家精神创造着光亮，也为我们创造着时代的希望。

中国自动化学会以服务科技工作者、培养科技人才为己任，历年来重视科技人才的培养与举荐工作，通过完善科技奖励体系、搭建学术交流活动、助力科技成果转化等方式，为自动化领域科技工作者提供了一个全面展示与创新成长的平台。为庆祝五四青年节和530全国科技工作者日，本期专刊以“致敬科技工作者”为主题，弘扬传承老一辈科学家精神，聚焦科技创新生力军的所思所想，希望能管中窥豹，一见科技工作者的傲人风采。本期通讯将为大家分享中国自动化学会创始人钱学森先生的伟大事迹和北京工业大学教授韩红桂、清华大学航空发动机研究院副研究员王向阳、火箭军工程大学教授司小胜、香港中文大学（深圳）副教授吴均峰、同济大学特聘研究员雷金龙、浙江大学特聘研究员董山玲等6位中国自动化学会优秀青年科技人才的成长故事。

在此向全体科技工作者致以节日的诚挚问候和崇高的敬意！



P004



P008

专题 / Column

- 004 钱学森：我的归宿在中国
- 007 北京工业大学教授韩红桂：矢志不渝，驰而不息
- 009 清华大学航空发动机研究院副研究员王向阳：扩宽专业面，夯实科研基础
- 011 火箭军工程大学教授司小胜：不忘初心，砥砺前行
- 012 香港中文大学（深圳）副教授吴均峰：勇于创新，乐于探索
- 014 同济大学特聘研究员雷金龙：坚持不懈学习，脚踏实地科研
- 016 浙江大学特聘研究员董山玲：绽放青春，突破自我

观点 / Viewpoint

- 018 吴朝晖：类脑计算——构建“人造超级大脑”
- 020 郑庆华：加快高校毕业生就业数字化建设提升智慧就业服务水平

学术前沿 / Academic Frontier

- 023 图像异常检测研究现状综述 / 吕承侃 沈飞 张正涛 张峰
- 051 构形可变移动机器人的构形评价、优选及变换规划 / 冯婷婷 谭炯钰 谷世超 叶文达 朱海飞 管贻生
- 061 轧机主传动系统自激振动的滑模变结构控制研究 / 张巍巍 师洪涛 王福星 胡庆军

学会动态 / Activities

- 067 中国自动化学会以实际行动献礼全国科技工作者日



P012



P014



P020



P022



P068



P080

- 068 中国自动化学会召开 2022 中国自动化大会推进会
- 069 中国自动化学会青年菁英论坛（长三角地区）成功举办
- 071 中国自动化学会智能制造学科建设与机器人前沿应用论坛成功举办
- 074 CAA 秘书处 2022 年第二期读书学习活动成功举办
- 075 CAA 科普大讲堂系列活动成功举办
- 077 第六期 CAA 会士面对面活动成功召开，播放量突破十万
- 078 中国自动化学会线上活动观看量破百万

领袖企业 / Leader Enterprise

- 079 自主创新强实力，科技护航保安全——专访安控科技工控研究院院长、安控科技董事王彬

会员成就 / Members achievement

- 082 中国自动化学会多名会员荣获第 26 届中国青年五四奖章
- 083 中国自动化学会会员郭书祥教授当选日本工程院外籍院士

科普园地 / Science Park

- 084 如何提高你的学术写作 /James Hayton(詹姆斯·海顿)
- 087 如何准备你的论文答辩 /James Hayton(詹姆斯·海顿)
- 088 如何设计出色的 PPT /James Hayton(詹姆斯·海顿)

形势通报 / Voice

- 091 全国政协副主席、中国科协主席万钢在 2022 年全国科技工作者日主场活动上的讲话
- 092 中国科协党组书记张玉卓：让新时代科学家精神在中华大地扎根绽放
- 098 八部委发布联合行动倡议，支持青年科技人才全面发展

党建强会 / Party Building

- 099 习近平总书记在庆祝中国共产主义青年团成立 100 周年大会上的讲话
- 104 中国自动化学会办事机构党支部召开党员大会



P104

钱学森：我的归宿在中国

在钱学森的心里，国为重，家为轻，科学最重，名利最轻，五年归国路，十年两弹成，他是知识的宝藏，科学的旗帜，是中华民族知识分子的典范。他不仅以自己严谨和勤奋的科学态度在航天领域为人类的进步做出了卓越的贡献，更以淡泊名利和率真的态度诠释了一位科学家的人格魅力。

为国求学路

钱学森报考大学时，数学老师认为他数学学得好，让他报数学系；国文老师认为他文章做得好，让他报中文系；钱学森的母

亲希望钱学森学教育，子承父业；还有一些老师认为钱学森艺术上有天赋，建议他去学画画，学作曲。而这时的钱学森自有主意，做出了他人生的第一次选择：他要学铁道工程，给中国造铁路。

在中学读书的时候，钱学森经常听老师讲到孙中山的《建国方略》，其中在建设方面，孙中山提出要发展交通，尤其要发展铁路交通，让我们国家的铁路像人体的血管一样通向四面八方。那时中国的铁路基本上都是外国人铺设的，中国这方面的人才很缺乏。钱学森受到这种观念的影响，报考了上海交通大学机械工程学院，学的是铁道机械工程专业。

当时，钱学森以入学考试第三名的成绩从北京师范大学附属中学考入上海交通大学。有一次水力学考试后，任课老师金焄教授把考卷发下来讲评：“第一名钱学森，满分。”同学们又羡慕又惊叹地议论着：“哎呀！又是100分啊！”钱学森却

满腹狐疑。因为考完试之后，他就发现自己有一处笔误。钱学森拿到试卷找到那道题，毫不犹豫地举手报告：“金老师，对不起，我不是满分。”老师确认后宣布：“尽管钱学森同学被扣掉4分，但他实事求是、严格要求自己的学习态度在我心目中却是满分，同学们要向钱学森学习。”现在，这份“100分”被改成“96分”的试卷陈列在学校档案馆，成为一代又一代学生学习的榜样。

正当他憧憬着立志做詹天佑那样的工程师时，1932年1月28日夜，“一·二八事变”爆发。日军动用空军狂轰滥炸，由于中国守军没有战场制空权，所以遭受了巨大伤亡。钱学森愤愤地对同学说，现在学铁道机械工程对国家用处不大了，你把铁路刚刚修好，日本飞机一炸就不能用了。为此，钱学森做出了他人生的第二次选择：改学航空工程，当一名航空工程师。

钱学森大学毕业后涉足航空工程。他在回顾学习过程时发现，当时航空工程师的工作依据基本上是经验，很少有理论指导。如果能掌握航空理论，并以此来指



导航空工程，一定可以事半功倍。主意一定，钱学森做出了他人生的第三次选择：从做一名航空工程师转为从事航空理论方面的研究。

钱学森的父亲对此坚决反对。他父亲钱均夫是 20 世纪初的日本留学生，回国后一直从事教育工作。他认为过去的读书人只动嘴不动手，这是人才培养上的错误。他对儿子的培养就是要让他从事工程方面的工作。这个时候的钱学森也就二十五六岁，面对这种情况他很困惑。这时，他后来的岳父、我国近代著名军事理论家蒋百里先生在美国考察，顺便看看老朋友儿子钱学森。钱学森把心中的困惑倾诉给这位军事理论家，没想到蒋百里先生非常支持钱学森，说道：“现代军事发展空军非常重要，我们中国早晚要有自己航空方面的专家，你学航空理论我非常同意，至于你爸爸的想法你不用忧虑，我回去会做通他的工作的。”有了这么一位长辈的支持，钱学森人生的第三次选择成功地实现了。

漫漫归国路

1949 年，当新中国成立的消息传到美国，已成为世界顶级火箭研究专家和美国加州理工学院教授的钱学森按捺不住内心的喜悦，急欲回国，为祖国效力。经过近一年的准备，1950 年 8 月 29

日，钱学森拿到了从洛杉矶返回中国的船票，但他却未能如期登上回国的轮船。

原因是钱学森回国前，曾打电话向美国海军部副部长丹尼尔·金贝尔辞行。放下电话后，金贝尔当即给美国移民局下达了强硬命令：“说什么也不能放他回红色中国。无论在什么地方，他一个人都值三到五个师。”金贝尔一方面深知钱学森的价值；另一方面因为

1950 年 6 月 25 日朝鲜战争爆发，中美两国处于敌对状态，放钱学森回国，无异于放虎归山，徒增中方的力量。

此后，美国对钱学森的政治迫害接踵而来。移民局抄了他的家，在特米尔那岛上将他拘留 14 天，直至收到加州理工学院送去的 1.5 万美元巨额保释金后才释放了他。后来，海关又没收了他的行李，包括 800 公斤书籍和笔记本。开始，钱学森并不知道滞留的日子会持续多久，那些被海关扣留的箱子，他从来没有打开过，一直放在那里。但没想到的是被迫滞留的时间竟然长达 5 年之久。从留学美国的那一刻起，他就告诉自己：“我的根在中国，我的归

宿在中国。”钱学森暗下决心，一有机会就要回到自己的祖国。

在这 5 年的时间里，他四处奔走，寻求机会，争取早日回国，但一直未果。直到 1955 年 6 月的一天，钱学森夫妇摆脱特务的监视，在一封寄给比利时亲戚的家书中，夹带了用香烟纸写的信，请求祖国帮助他们早日回国。同年 8 月 1 日，中美大使级会谈在日内瓦举行，以钱学森写在香烟纸上的信为依据，我国迫使美国政府允许钱学森离美回国。

1955 年 9 月 17 日，钱学森一家登上了“克利夫兰总统号”轮船，启程回国。到北京的第二天，钱学森便带领全家来到了天安门广场，他激动地大声喊道：



“我们终于回来了!”游子历尽险阻终于归家,欢乐与苦难,光荣与屈辱,强烈地撞击着钱学森的心灵,使他悲喜交加。

航天报国路

钱学森回国后,中国科学院安排他到当时我国工业发展水平最高的东北地区参观。当彭德怀元帅得知此事后,让陈赓大将来去哈尔滨见钱学森。彭德怀跟陈赓说:“你见了钱先生就问我们国家能不能造导弹?”还说:“只要钱先生说能造,我们就组织人干;钱先生说不能造,那我们只能等将来了。”在哈尔滨,陈赓问钱学森:“钱先生,你看我们国家能不能造导弹啊?”钱学森回答说:“怎么不能啊?外国人能造,我们中国人为什么不能造?中国人又不比外国人矮一截!”回答得非常干脆。陈赓一下子握住了他的手,激动得不得了,说:“钱先生,我要的就是你这句话呀!”正是这句话让我国开启了建设中国航天事业的征程。

在当时,除了钱学森一个人知道导弹、火箭是怎么回事以外,还有两个人只见过火箭是什么样儿。我国的航天事业就是在这么一个既缺人、又缺钱还缺技术的情况下起步的。到了1986年我国航天事业创建30周年

的时候,花费的研制经费仅180亿元。这只是美国研制同级别

航天器所用研制经费的1/5,但是国家要求完成的任务都实现了——火箭、卫星、返回式卫星,还有中近程、中程、中远程、洲际导弹。

钱学森晚年曾经跟他的秘书说:“我实际上比较擅长做学术理论研究,工程上的事不是很懂,但是国家叫我干,我当时也是天不怕地不怕,没有想那么多就答应了。做起来以后才发现原来做这个事困难这么多,需要付出那么大的精力,而且国家受国力所限只给这么一点钱,所以压力非常大。”钱学森既然以国家需要作为自己的选择,就义无反顾把毕生精力贡献给了我国航天事业。

“两弹一星”的研制成功是新中国由弱变强的标志,是新中国成立后最振奋人心、最为世界瞩目的事业之一。但钱学森本人却把自己的贡献看得很淡。钱学森多次强调:“称我为‘导弹之父’,是不科学的。因为导弹卫星工作是‘大科学’,是千百万人大力协同才搞得出来,光算科技负责人就有几百,哪有什么‘之父’?我只不过是党所领导的、有千万科技工作者参加的伟大科研工程中的一粒小芝麻,算不上什么。一切成就归于党,归于集体!”

“我的事业在中国,我的成就在中国,我的归宿在中国”。钱学森用近一个世纪的人生历程书写了一篇科学报国的壮丽诗篇,创

造了举世瞩目的成就,给我们留下了宝贵的精神财富,这其中最为珍贵的是他那颗饱含深情的拳拳爱国之心。

* 摘编自《钱学森的人生选择》,钱永刚,原载于《光明日报》,2019年6月20日。由魏宗梅整理○

来源:“科学家精神”系列丛书

钱学森简介

钱学森(1911年12月—2009年10月),应用力学、工程控制论、系统工程科学家,中国科学院院士。在应用力学、工程控制论、系统工程等多领域取得出色研究成果,著有《工程控制论》《物理力学讲义》《星际航行概论》《论系统工程》等,为中国航天事业的创建与发展做出了卓越贡献。1986年获国家科学技术进步奖特等奖,1999年被授予“两弹一星”功勋奖章。入选100位新中国成立以来感动中国人物。入选“庆祝中华人民共和国成立70周年大型成就展”1970—1979年英雄模范人物。

青年是什么？1915年《新青年》在发刊词中写道：“青年如初春，如朝日，如百卉之萌动，如利刃之新发于硎，人生最可宝贵之时期也。”在浩瀚的历史云烟中，总有一面属于青春热血的旗帜。青年兴则国家兴，青年强则国家强。当代青年生逢其时，也肩负重任，既是追梦人，也是圆梦人。正值五四青年节，中国自动化学会推出“CAA青年说”活动，特邀采访CAA优秀青年人才，展现青年科技工作者风采，积极传递青春正能量。

北京工业大学教授韩红桂：矢志不渝，驰而不息

韩红桂简介



韩红桂，北京工业大学教授，博士生导师，研究生院副院长、教师学院副院长。现任“数字社

区”教育部工程研究中心主任、“计算智能与智能系统”北京市重点实验室主任、中国自动化学会环境感知与保护专业委员会秘书长等。国家自然科学基金杰出青年科学基金项目获得者（2021年），中国自动化学会青年科学家（2020年）、北京高校卓越青年科学家（2019年）、国家重点研发计划项目获得者（2018年）、国家自然科学基金优秀青年科学基金项目获得者（2016年）、中国科协青年托举人才（2015年）等。

CAA：请您简单介绍一下您的研究项目

2015年，在自动化、信息与智能科学类学会联合申报举荐下，我有幸成为中国科协首批“青年人才托举工程”入选者。得益于

青托项目的积淀，我们团队成员齐心协力，研究出了适合城市污水处理的智能特征建模、智能优化和智能控制等方法，为实现城市污水处理过程智能优化运行提供了技术支撑。通过产学研深度

融合，研发出具有自主知识产权的城市污水处理智能优化控制系统，打破了国外技术垄断，已在全国不同地区、不同工艺的城市污水处理厂得到实际应用，取得了显著的经济效益和社会效益。团队已成为中国自动化学会创新团队（2019年）、教育部黄大年式教师团队（2021年）和国家自然科学基金委创新群体（2021年）的重要组成。

CAA：基于青年人才托举工程项目，您有哪些收获？

得益于青托项目的支持，在科研积累阶段我可以全心投入，潜心研究，获得了具有国际影响力的科研成果。在青托项目期间，入选国家自然科学基金优秀青年科学基金项目，荣获吴文俊人工智能科学技术进步奖一等奖、中国产学研合作创新成果科技进步



系统智能优化运行控制系统，已在华北、华东和华南等不同地区的 20 余家企业成功应用。研究成果获国家科学技术进步奖二等奖（2018 年，第三完成人）、中国发明协会第十二届发明创业人物奖（2021 年，第一完成人）、中国发明协会发明创新一等奖（2020 年，第二完成人）等。

CAA：对于正在科研道路上的广大青年学子，您有什么心得想送给他们的吗？

回首来时路，如果说有什么心得，那就是：矢志不渝，驰而不息。始终坚守你的热情，保有你的初心，在科研的道路上，驰而不息，与大家共勉。○

一等奖、第九届首都“挑战杯”优秀指导教师称号等。

感谢中国科协、中国自动化学会和中国人工智能学会的平台支持，助力我个人稳步成长：在复杂系统智能优化运行控制理论方法和关键技术的研究，特别是智能特征检测、智能自组织控制及全流程协同优化研究方面取得了突破性进展，在自动化学报、IEEE Transactions on Industrial Electronics 等刊物上发表学术论文 86 篇，其中 IEEE 汇刊、IFAC 会刊论文 43 篇（长文 40 篇）；撰写学术专著 3 部；获得授权中国 / 美国发明专利 46 项、软件著作权 45 项；主持制定国家标准 1 项、中国电子工业标

准化技术协会团体标准 1 项、北京资源强制回收环保产业技术创新战略联盟团体标准 6 项；开发出具有完全自主知识产权的复杂



清华大学航空发动机研究院副研究员王向阳： 扩宽专业面，夯实科研基础

王向阳简介



王向阳，清华大学航空发动机研究院副研究员，1986年12月出生，在清华大学航天航空学

院获得本科及博士学位，主要研究方向为飞推综合控制，在航空发动机推力矢量控制、飞推综合控制方面取得了丰硕的科研成果。王向阳入选2015年度中国科协青年人才托举工程，2019年获评“清华大学十佳优秀博士后”，获某科技进步一等奖1项，先后主持或参与支持军委科技为基础加强项目子课题、自然科学基金面上项目等国家级课题10项，以第一/通讯作者身份发表高水平期刊论文8篇，授权发明专利4项。

CAA：您是学会2015年的青年人才托举工程的被托举人，想必在多年求学、工作当中有很多独特的经历和感受。请您谈谈，作为一名青年科研工作者的感觉是怎样的，有没有什么特别的体会？

作为一名青年科研工作者，在选题时要找准方向，需重点考虑两个方面：科学问题是否突出，是否国家急需。垂直起降固定翼飞机在军事领域有显著的用途，但该类飞机具有多种飞行模式且动力系统复杂，技术难度较大，至

今仅有美国F-35B战斗机及“鱼鹰”倾转旋翼飞机等少数机型服役。将非线性、鲁棒等现代控制方法应用于该类飞机存在较多理论及技术问题有待解决，是飞行控制领域的重大挑战之一。基于此，我选定了垂直起降飞机推力矢量系统及飞推综合控制作为研究方向。该方向是国内外学术研究的冷门，以至于发表学术论文时难以找到近3年适合引用的文献，但是坚持做下来，取得了多项有应用价值的理论及技术成果。

CAA：请您简单介绍一下您的研究项目

我主要研究垂直短距起降飞行器飞推综合控制技术。垂直短距起降飞行器包括短距起飞垂直降落战斗机、倾转旋翼飞机和垂直起降固定翼无人机等，能够垂直、接近垂直或在很短距离起飞和着陆，可以部署于中小型舰船、海岛，也可在山地、城市等复杂地形区域起降，是一种在军事和民用领域均有广泛用途的飞行器。在垂直或短距起降飞行模式，该类飞行器依





靠推进系统提供升力和控制飞机姿态的力矩，推进系统调节部件多、工作模式复杂，飞机与推进系统存在强耦合关系，对飞机/推进系统综合控制提出了新的挑战。我先后作为主要完成人承担了海军预研课题，作为课题负责人承担了军委科技委基础加强项目（173）子课题、国家自然科学基金委青年基金等多项国家级课题。

CAA：在科研项目中想必您和团队付出了很大的努力，这之中有什么难忘的故事吗？

在理论研究的同时，我和团队在垂直起降飞行器飞推综合控制方向开展了更结合应用的探索。研究内容涉及航空动力、空气动力学、自动控制等多学科专业知识，在技术研究及试验中遇到了很多难题，经过不懈的努力我们把握住了其中的关键科学问题及技术内涵，探索出了解决该类飞机高效可靠控制的技术途径。

在这个过程中，我有两点感受：一是要持续学习多学科知识。如果你手里只要锤子，很可能看到什么都认为是钉子，而持续的学习，掌握多学科最基本的专业知识，可以让工具箱丰富，理解思考问题的维度扩展。二是要从问题的基本原理出发来思考问题。第一性原理——“每个系统中存在一个最基本的命题，它不能被违背或删除”的思想给了我很多启发。工程技术问题总是非常复杂，解决问题的关键在于从最基础的

原理推理，思考问题的本质，在此基础上大胆假设小心求证。

CAA：对于接下来的工作，您有什么计划？对于未来的职业生涯，您还有着怎样的愿景？

我很喜欢目前的研究工作和岗位，未来将基于目前的研究工作，做的更加深入和扎实。处在青年研究人员向更加成熟的学者过渡时期，我觉得不仅仅要在学术上持续进步，还需要掌握项目管理、系统工程的专业技能，将实验室研究的1~3级技术成熟度的成果与工业部门协同实现4~6级的成熟度。

CAA：您对于广大青年学子有什么寄语吗？

创新的研究成果建立在坚实的专业基础知识之上，坚持基础知识学习，扩宽专业面，进而才能把握研究对象的本质问题，提出创新的技术解决方案。○



火箭军工程大学教授司小胜：不忘初心，砥砺前行

司小胜简介



司小胜，火箭军工程大学教授、博士生导师。2014 年博士毕业于火箭军工程大学控制科

学与工程学科（与清华大学联合培养）。近年来，主要从事随机退化系统剩余寿命预测与健康管理方面理论及应用研究，在 EJOR、RESS、IEEE 汇刊等国内外重要期刊发表论文 50 余篇，2 篇论文为 IEEE 可靠性汇刊/EJOR 近 20/10 年被引最多论文，出版中英文专著各 1 部，谷歌学术引用 6200 余次。先后主持国家自然科学基金优秀青年基金 1 项，完成国家自然科学基金

金面上项目 2 项，获国家自然科学基金二等奖（2019，排名 3）、教育部自然科学一等奖（2018，排名 3）、CAA 自然科学一等奖（2016，排名 3）、CAA 优秀博士学位论文等。目前担任中国自动化学会技术过程的故障诊断与安全性专业委员会及大数据专业委员会委员，国际权威期刊《Mechanical Systems and Signal Processing》编委（Editorial Member）。

CAA：请您简单介绍一下您的研究项目

在学术研究方面，围绕随机退化系统剩余寿命预测与健康管理问题，开展了系统深入的研究，提出了多源不确定性影响下线性随机退化系统剩余寿命自适应预测方法，建立了一类融合多源不确定性的非线性随机退化过程模型，提出了多源不确定性影响下非线性退化系统剩余寿命预测方法；针对大数据、深度学习、智能制造等领域新技术发展，开展了复杂系统剩余寿命预测前沿问

题探索，在剩余寿命预测背景下提出了非失效退化轨迹、最后逃逸时间、延寿控制等新概念、新原理。

CAA：基于青年人才托举工程项目，您有哪些收获？

2017 年，我有幸依托中国自动化学会入选第二届中国科协青年人才托举工程（2016—2018）。项目执行期间，在中国自动化学会、各级领导和托举导师团队的大力支持与关怀下，我在多方面取得了成长和进步。在项目执行

期间，围绕以上研究，主持了国家自然科学基金优秀青年科学基金项目 1 项、面上项目 1 项。以第一 / 通讯作者在领域内重要学术期刊发表论文 20 余篇，受邀在运筹优化领域重要期刊 EJOR 发表了关于剩余寿命预测最新研究进展的综述论文 1 篇，持续扩大了在该领域的学术影响力。

CAA：您还参加过中国自动化学会哪些活动，请您讲述与中国自动化学会的故事。

在我个人成长进步的过程中，

我要特别感谢中国自动化学会提供的交流平台。通过该平台，中国自动化学会为自己创造了诸多高层次的学术交流机会，比如安排自己在2017中国慈溪国家智能制造论坛、2018新一代人工智能高峰论坛、2018年—2020年中国自动化大会等重要会议上做了专题报告，有效扩大了学术影响。此外，通过托举项目，让我能够有更多的机会向托举导师和推荐专家周东华教授、胡昌华教授和雷亚国教授学习，得到了他们的

悉心指导和关心支持，例如：正是在雷亚国教授的举荐和支持下，让我能有机会担任领域内权威期刊《Mechanical Systems and Signal Processing》的编委(Editorial Member)，促进了国际交流与合作。

CAA：对于接下来的工作，您有什么计划？对于未来的职业生涯，您还有着怎样的愿景？

回首过去，个人的成长与进步离不开青托项目的有力支持，

更是通过中国科协和中国自动化学会搭建的学术交流平台，得到了中国自动化学会、学校领导、托举导师、推荐专家以及很多前辈、师长和朋友的关心和帮助，借此机会表示衷心感谢。在今后的工作中，我将不忘初心，砥砺前行，面向复杂系统寿命预测与健康管理领域的重大需求和前沿科学问题，持续开展学术研究和攻关，为国家高水平科技自立自强贡献自己的力量。○

香港中文大学（深圳）副教授吴均峰：勇于创新，乐于探索

吴均峰简介



吴均峰，1987年1月出生，香港中文大学（深圳）副教授。2013年获得香港科技大学电子

与计算机工程系博士学位。主要研究兴趣包括信息物理系统系统安全和隐私、控制网络系统、卡尔曼滤波、信号处理等方面。在IEEE T-AC、Automatica、IEEE T-IT、IEEE T-SP、IEEE/ACM T-Network等领域顶级期刊发表论文40余篇，Google-Scholar引用累计超过2300次。2017年入选中国科协青年人才托举工程，2019年获得日本学术振兴会JSPS

Invitational Fellowship，2020年获得中国人工智能学会吴文俊人工智能技术发明一等奖。现为IEEE高级会员，任中国自动化学会控制理论专委会委员、中国自动化学会信息物理系统控制与决策专业委员、中国自动化学会工业控制系统信息安全专委会委员、中国自动化学会控制理论专委会网络化控制系统学组委员。

CAA: 请您简单介绍一下您的研究项目

在科协和学会的大力支持和帮助下,在托举导师的悉心指导和关怀下,我在面向信息物理系统通信资源受限下的传输资源调度、不可靠通信网络下的网络化系统稳定性分析、开放性网络通信下的系统安全与数据隐私保护等方面开展了面向基础理论和技术应用的创新性研究。在网络化状态估计的资源调度的研究方面,取得了无线传感节点调度与传输路由联合优化、基于信道状态信息的数据传输能量控制、衰落信道下传输功率控制和远程状态估计联合优化等创新成果。在网络化系统的稳定性分析的研究方面,取得了马尔科夫丢包信道下卡尔曼滤波稳定性相变与概率稳定分析等创新成果。在网络化系统安全攻击与数据隐私保护的研究方面,取得了针对数据融合的拒绝服务攻击(DoS)最优策略结构特性分析、考量系统模型关键参数的多方协同信息融合机制设计等创新成果。

CAA: 基于青年人才托举工程项目,您有哪些收获?

感谢中国科协、中国自动化学会,我非常荣幸获得2017年获得中国科协青年人才托举工程项目资助。在托举资助期间,入选国家青年高层次人才计划,获得日本学术振兴会JSPS Invitational

Fellowship,获得中国人工智能学会吴文俊人工智能技术发明一等奖(排名第三)。主持了教育部人工智能算法战略研究项目子课题、国家自然科学基金、浙江大学中央高校基本科研业务专项等项目多个。期间发表国际期刊和会议论文45篇,包括信息论领域顶级国际期刊IEEE T-IT 论文1篇。正式授权中国发明专利10项,申请美国专利1项。作为团队成员,科研成果入选2020年浙江大学十大学术进展。多次指导学生获得大学生创新创业奖,包括浙江省第十六届“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛三等奖、浙江大学“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛二等奖、浙江大学“蒲公英”大学生创业大赛三等奖。

感谢中国科协的“青年人才托举工程”,为青年科技工作者提供了稳定持续的经费保障,鼓励青年学者科研探索,并为我们提供平台性的学术交流和合作机会,让我们有机会与国内外优秀学者开展学术交流,开拓科研合作。站在这个平台上,我们有更多的机会瞭望国家重大需求和世界科技前沿,将基础研究探索和科研目标导向相结合。

CAA: 您还参加过中国自动化学会哪些活动,请您讲述与中国自动化学会的故事。

在学术服务方面,我现为

IEEE 高级会员,担任中国自动化学会控制理论专委会委员、中国自动化学会信息物理系统控制与决策专业委员、中国自动化学会工业控制系统信息安全专委会会员、中国自动化学会控制理论专委会网络化控制系统学组委员。曾多次受邀担任IEEE Conference on Control Technology and Applications, The European Control Conference, IFAC World Congress 等控制领域国际旗舰会议编委;担任中国控制会议(Chinese Control Conference)等控制领域国内知名学术会议编委。受邀多次在中国自动化大会、中国自动化学会青年学术年会做邀请报告。2019中国自动化大会设立青年托举项目专题论坛——“我们的2030:责任与使命”,我担任论坛主席并做报告。在科研的道路上,我将以今天的成绩作为明日的起点。在新的征程中,勇于创新,乐于探索。

CAA: 对于接下来的工作,您有什么计划? 对于未来的职业生涯,您还有着怎样的愿景?

在科研的道路上,是没有平坦大路可走的,只有那崎岖小路上攀登的不畏劳苦的人们,才有希望到达光辉的顶点。行走在科研的这条道路上,枯燥而激动,遥远又漫长。唯有专注,持之以恒,方能登顶。○

同济大学特聘研究员雷金龙：坚持不懈学习，脚踏实地科研

雷金龙简介



雷金龙，1989年2月出生，国家级海外青年人才计划获得者，现任同济大学电子与信息工

程学院“青年百人”特聘研究员、博导。2011年于中国科学院技术大学获得学士学位，2016年于中国科学院数学与系统科学研究院获得理学博士学位，2016—2019年在美国宾夕法尼亚州立大学从事博士后研究。入选中国科协青年人才托举工程，获得第27届“关肇直”奖、上海市青年科技英才“扬帆计划”、上海市人工智能学会青年优秀科技论文奖，主持国家自然科学基金

金青年基金。研究方向是不确定信息下的多智能体网络优化与博弈，以第一作者在控制理论顶刊 IEEE Trans. Automatic Control、运筹学与管理科学顶刊 Operations Research 和 Mathematics of Operations Research、优化方法顶刊 SIAM J. Optimization、及人工智能顶会 NeurIPS 等发表多篇论文。

CAA：您是学会2019年的青年人才托举工程的被托举人，想必在多年求学、工作当中有很多独特的经历和感受。请您谈谈，作为一名青年科研工作者的感觉是怎样的，有没有什么特别的体会？

首先，感谢中国科协和中国自动化学会在项目托举期间对我的支持和帮助，也感谢我的三位推荐人陈翰馥院士、陈杰院士和洪奕光教授在科学研究、项目申请、学术交流等诸多方面给予我

的指导和支持！

本人于2019年回国加入同济大学，同年有幸入选中国科协托举工程，这是我获得的第一个项目，对我是一个极大的激励。托举项目给予资金支持本人多次举办论坛和学术沙龙，包括2021年7月24日—25日在上海举办的“中国自动化学会青年菁英论坛（长三角地区）——智能无人系统理论前沿与关键技术”等。让我有幸认识到了从事智能无人系统及相关领域研究的优秀人才，并

且与不同研究背景的优秀人才交流，让我受益良多。

与此同时，在托举项目的支持和导师们的悉心指导下，三年来我围绕不确定信息下的多智能体网络优化与博弈开展研究，关注分布式学习算法的采样机制设计和定量性能分析理论、模型参数辨识和分布式决策的一体化设计框架、通信机制对时变拓扑和信道噪声下算法性能下界的影响机理等挑战性科学问题。并获得国家自然科学基金优秀青年科学

基金项目（海外）、国家自然科学基金青年基金、上海市青年科技英才“扬帆计划”等项目支持，所著论文获得第27届“关肇直”奖、上海市人工智能学会青年优秀科技论文奖和世界人工智能大会青年优秀论文奖入围奖等。项目执行期间任自动化学会青工委委员和自动化学会女科技工作者委员会委员，并在多个国际国内会议上组织邀请组，包括SIAM Conference on Optimization、Asian Control Conference、中国控制会议、第四届IEEE国际无人系统大会等。

CAA：请您简单介绍一下您的研究项目

本人的研究项目为“不确定信息下的多智能体决策”。自主智能系统为国务院发布的《新一代人工智能发展规划》中指出的人工智能五大技术发展方向之一，而多智能体网络为自主智能系统的重要子领域。复杂多智能体系统中存在的各类不确定性给

多智能体决策带来巨大挑战，如智能体在学习过程中仅能获取非完美局部反馈信息、决策模型未知参数和学习过程非完美反馈信息的耦合、智能体间信息传输通道存在通信噪声及数据丢包等现象。本项目针对智能体仅能观测邻居反馈信息及其带噪声的目标函数信息，设计了基于变尺度采样和采样梯度估计的分布式学习方法并发展了定量分析采样机制对算法收敛速度、采样复杂性、计算复杂性和通信复杂性影响的理论；针对带有未知参数的随机势博弈结合数据驱动的在线学习和最佳对策动力学设计了一类可同时实现均衡学习和参数辨识的异步学习算法框架；构建了稀疏化通信机制和自适应编码-解码器量化通信机制以应对决策过程面临的随机时变通信拓扑和无线通信信道的带宽受限、数据丢包、传输噪声等问题，并揭示了通信机制对算法性能下界的影响机理。

CAA：您是否参加过历届的中国自动化大会，可否请您谈谈您参加中国自动化大会的经历或者讲述您与中国自动化学会的故事？

本人参加过2019年和2020年的中国自动化大会。2020年自动化大会在上海国际会议中心举行，同济大学和上海自主智能无人系统科学中心承办，本人作为组织委员会委员参与部分论文的征稿和审稿工作。此外，也参与2021年自动化大会的组稿和审稿工作。

CAA：对于接下来的工作，您有什么计划？对于未来的职业生涯，您还有着怎样的愿景？

本人将继续关注研究非确定环境下博弈均衡计算和机制设计的分布式学习理论等前沿科学问题。此外，面向服务国家人工智能战略和未来应用场景需求，将博弈建模与分析理论、分布式决策方法等应用于解决大规模人机交互、自动驾驶等场景中的问题。



2021年7月24日—25日Yes论坛合影



我将不忘初心，砥砺前行，全身心去投入到科学研究中，尽全力做出具有创新性的研究成果，为我国的新一代人工智能发展略尽绵薄之力。

CAA：您对于广大青年学子有什么寄语吗？

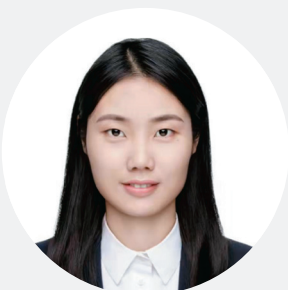
希望广大青年学子坚持不懈学习、打好坚实的基础、领会科技发展的前沿、脚踏实地的科研，成为优秀的科研工作者。○



关肇直颁奖现场

浙江大学特聘研究员董山玲：绽放青春，突破自我

董山玲简介



董山玲，浙江大学特聘研究员，硕士生导师。2014年本科毕业于西安电子科技大

学，2019年博士毕业于浙江大学，2017年9月—2018年9月，美国加州大学河滨分校博士联合培养，2019年—2020年在香港城市大学从事 Research Associate 和 Postdoc 研究工作。致力于网络化控制系统、多智能体系统、水下机器人控制等研究方向，出版英文专著1部，发表SCI论文20多篇，主持国家自然科学基金青年基金项目 and 浙江省自然科学基金重点项目。

CAA：您是中国自动化学会2021年优秀博士论文奖获得者，想必在多年求学、工作当中有很多独特的经历和感受。请您谈谈，作为一名青年科研工作者的感觉是怎样的，有没有什么特别的体会？

我自己认为科学研究是科学知识挖掘、自我发展与完善的一个有机整体。在这个过程中，对自己所在方向进行探究，当有点进步时，会开心、高兴；当没有任何结果时，会有些失落、沮丧，带着对新事物的期望，不断地激励自己再往前多看看，多探寻。



自己的思维逻辑也在整个过程中得到不断地锻炼，一遍又一遍地打磨，想法也会变得更开阔些。

CAA：请您简单介绍一下您的研究项目

博士期间主要进行基于隐 Markov 模型的模糊控制与滤波研究工作。针对网络环境下普遍存在的系统结构或参数发生突然变化、外部噪音干扰、网络资源受限、数据丢失等现象及精确的数学模型难以建立的情况，使用 T-S 模糊方法对一般非线性系统进行模型建模，开展基于隐 Markov 模型的模糊控制与滤波的研究，有助于提高系统的控制精确性、稳定性和鲁棒性等性能，具有重要的理论意义和应用前景。目前，在博士研究基础上，进行智能控制、水下机器人控制等方向研究。

CAA：对于接下来的工作，您有什么计划？对于未来的职业生涯，您还有着怎样的愿景？

接下来，我将继续投入到控制研究中，希望在已有的学术基础上有所突破和创新。在职业生涯上，将做好教书育人的工作，希望通过自己的能力，为学生答疑解惑



惑，为祖国培养优秀的接班人。

CAA：您是否参加过历届的中国自动化大会，可否请您谈谈您参加中国自动化大会的经历或者讲述您与中国自动化学会的故事？

中国自动化大会为科研学术交流提供了一个有效平台，每次会议都有院士、杰青、优青等众多专家学者参加，给会议参与人带来前沿的科学发展方向，并解答许多科学问题，推动了科学的不断进步与创新。

CAA：五四青年节即将到来，您对于广大青年学子有什么寄语吗？

青春是梦想孕育、绽放的季节，是攒足力量、吸足养分去自我突破的最佳时间，望大家抓住！○

吴朝晖：类脑计算——构建“人造超级大脑”

人脑和计算机哪个结构更复杂？计算机可否像人脑一样自我学习与进化？智能机器是否可以像人类一样思考与行动？人类能否打造像人脑一样的“机器脑”？这些你可能想过的问题，都属于类脑计算研究的领域。

类脑计算，是借鉴生物大脑的信息处理方式，以神经元与神经突触为基本单元，从结构与功能等方面模拟生物神经系统，进而构建“人造超级大脑”的新型计算形态。从1945年科学家冯·诺伊曼以大脑为参考提出著名的冯·诺伊曼计算机体系结构，到1948年人工智能之父艾伦·图灵提出用类神经网络方式构建现代计算机的设想，再到2020年浙江大学牵头研制成功亿级神经元类脑计算机，类脑计算研究不断取得进步。类脑计算既充满魅力又面临挑战，它的主要任务不仅是构建结构逼近人脑的网络系统，更在于构造性能媲美人脑的创新生态，为人类展示虚拟脑与生物脑相融合的计算前景。

类脑计算：突破计算能力限制的战略支点

类脑计算属于计算机研究范

畴。1946年，世界上第一台现代计算机诞生，计算机科学与技术从此日新月异。短短几十年间，现代计算机使用的电子器件经历了电子管、晶体管、中大规模集成电路、超大规模集成电路等阶段，持续更新换代。1965年以来，集成电路的晶体管集成度遵循了“摩尔定律”，即一个芯片上可以容纳的晶体管数目在大约18个月后会增加一倍。但时至今日，通过提高集成电路的晶体管集成度来提升计算能力的模式已难以为继。计算芯片的电路线条宽度已细到纳米数量级，相当于只有几个分子的大小。在这种情况下，材料的物理与化学性能的变化将导致半导体器件不能正常工作。因此，如何以新的处理机制解决计算机计算能力限制，成为信息科学发展最为紧迫和最为前沿的问题之一。

通过模仿人脑建造接近乃至超越人类智能的机器是人类的一个朴素理念，也是科学家解决计算机计算能力限制的主要方向之一。与现有计算机相比，人类大脑具有明显优势。一是人类大脑的功耗低，仅有20瓦左右，远远低于现有的计算系统；二是人类

大脑的容错性强，即使少部分神经元死亡，对大脑的整体功能影响不大；三是人类大脑对信息的并行处理能力强，分布于大脑各处的数百亿神经元可同时对信息进行分析处理；四是人类大脑神经网络的可塑性好，可根据环境变化进行自我学习与进化。人脑的这些优势或许平时不易被我们察觉，却是类脑计算研究的重要依据。

类脑计算领域的相关研究，为新一代计算变革带来了希望。以大脑为模仿对象建立新一代计算技术体系，既可以保留计算机的既有优势，又可以叠加人脑处理信息的诸多优势，将有望打破冯·诺伊曼架构的束缚，实现存储处理一体化、超低能耗和超大规模并行信息处理，让结构逼近人脑、性能媲美人脑的“人造超级大脑”成为可能。

类脑芯片：让计算机像人一样聪明的核心技术

细心的人会注意到，自然界有许多体型很小的昆虫，能够实时跟踪物体、导航和躲避障碍物。它们的神经元只有几万、几十万个，与之相比，人类大脑的神经

元数量和复杂功能更令人惊叹。如果能在芯片上模拟这些大脑，必然可以系统提升计算机的整体能力。正是基于这一想法，类脑芯片应运而生，它是建造类脑计算机最关键的部件，可以说是人类大脑的硬件电路形式。类脑芯片主要负责模拟大脑神经元的功能特性、信号传递和学习方式，让计算机在低电能消耗情况下完成感知、学习、记忆、决策等智能任务。

研制理想的类脑芯片，需要在多个学科中寻找突破口。比如从材料层面探索类生物物质，从器件层面构造神经元与突触，从电路层面实现神经网络的连接，从算法层面研究大脑的思考能力，等等。目前，类脑芯片研究有3个主攻方向。

一是寻找工作行为特性与大脑神经元相似的纳米器件。类脑芯片由大量更小的电子器件组成，这些器件每个仅几十纳米到几百纳米大小，被称为纳米器件。长期以来，研究人员不断寻找与构造合适的纳米器件。如一类叫作忆阻器的纳米器件，其纳米夹层中的离子运动可以改变器件的工作状态，这与大脑神经元及突触细胞膜中所包含的离子通道的作用相似。有些忆阻器可以一直保持这样的工作状态，即使断电了也不会丢失，就跟人的记忆一样。

二是设计适合类脑芯片的新

型计算体系架构。有了上亿甚至上百亿个类脑纳米器件后，还要使它们都按照人们需要的行为模式协同工作，即要形成与类脑芯片运行相匹配的体系架构。目前最常见的计算芯片（CPU）均是在冯·诺伊曼体系架构下建立的。这种架构的最大特点是“存算分离”，即存储单元和计算单元是分开的，好比编曲和演奏是分开的。程序员像是作曲家，编程好比编曲，写有程序的存储器就像曲谱本，操作者则像是演奏家，其运算好比演奏，乐器就是具备计算能力的计算单元。一个计算单元可以根据存储器里的不同程序执行不同任务，就像同一台钢琴可以演奏不同曲子一样。与此原理不同的是，生物大脑并不区分存储区和计算区，而是集“作曲家、曲谱本、演奏家和演奏工具”于一体。它是信息的存储者，也是信息的处理者，还是信息的创造者，具有自我学习、思考、创新创造等能力。

三是解决类脑芯片的能效问题。研究发现，人脑是一部能效极高的“计算机”，若用现在的计算机去处理人脑承担的任务，粗略估计需要高达100兆瓦的功耗，是人脑功耗的500万倍。人脑可以低能量消耗运行的原因之一，就是存算一体的机制最大程度减少了数据的传输需求与传输距离，节约了传统计算架构中计算单元

和存储单元间通信所消耗的时间和能量。因此，类脑芯片不仅能够像人脑一样根据外界动态信息做出反应并不断学习，还可以在无信息输入的时候进入“休息”的省电状态。

类脑计算的未来：在学科交叉与突破创新中蓬勃发展

综观全球，类脑研究不断取得新进展。我国于2021年正式启动科技创新2030——“脑科学与类脑研究”重大项目，将大力开展类脑研究。一些发达国家也相继提出类脑研究计划。可以预见，类脑研究将进入前所未有的高速发展期，催生一批新理论和技术成果，引领新一轮科技革命。目前，类脑计算的基础理论和核心技术已取得不少突破。

类脑研究发展迅猛、前景广阔，但总体仍处于起步阶段。特别是要想实现构建“人造超级大脑”的美好愿望，还需突破多个难点。比如世界上单颗类脑芯片仅停留在百万级神经元规模，最大的类脑计算系统也只达到了亿级神经元，而一只小鼠的大脑神经元数量就达到了1亿左右，人脑的神经元数量更是有600亿—1000亿之多。总体而言，基于硬件的类脑计算过程模拟与真实大脑相比仍有不小差距，类脑学习的运作机制与算法研究还很有限。再如目前人类对大脑神经元如何

编码、转导和储存神经信息有较多了解，但尚不了解神经信息如何产生感知觉、情绪、抉择、语言等各种大脑高级认知功能。要让科幻电影里那样的“人类超级大脑”计算机成为现实，仍需研究者久久为功。

正如人类历史上的任何科技成果一样，类脑计算的发展不会一蹴而就。但难点也是突破点、机遇点，随着神经模型、学习算法、类脑器件、基础软件和类脑应用等方面不断取得突破，类脑计算将迎来更为蓬勃的发展态势，为构建“人造超级大脑”带来希望。○

来源：人民日报

吴朝晖简介



吴朝晖，中国科学院院士，中国自动化学会会士，计算机应用专家。浙江大学教授、博导。主要从事计算机领域研究。在服务计算方面，提出了复杂服务计

算理论模型与方法，主持研制了复杂服务计算支撑平台，产生了重大经济与社会效益。在脑机融合的混合智能（Cyborg Intelligence）方面，提出了混合智能体系结构及脑在回路的信息处理模型；发明了多种脑机间智能交互、融合增强的技术方法，主持构建了听视觉增强的大鼠机器人等原型系统，产生了重要国际影响。作为第一完成人，曾获国家技术发明二等奖 1 项、国家科技进步二等奖 1 项、何梁何利科技创新奖，研究成果入选 2016 年中国高校十大科技进展。

郑庆华：加快高校毕业生就业数字化建设 提升智慧就业服务水平

党中央和国务院高度重视信息化建设和数字经济、数字中国建设发展，习近平总书记指出“要运用大数据促进保障和改善民生”“要推动各领域数字化优化升级”。新冠肺炎疫情以来，教育部深入贯彻落实习近平总书记重要讲话精神，将信息技术与教育教学深

度融合，打造全新升级的“国家 24365 大学生就业服务平台”，为学生提供 24 小时不打烊的“云”就业服务，进一步破解高校就业难题，完善高校毕业生市场化社会化就业机制，让信息化这个最大的变量，成为推动高校就业工作高质量发展的最大增量。

推动就业数字化建设迫在眉睫

高校毕业生就业工作作为大学人才培养的重要一环，是党和人民检验高校办学质量的重要成效性指标，抓住就业信息化这个“小切口”，将为推进教育数字化建设奠定基础，进而带动教育事

业的整体发展。

第一，就业形势严峻复杂，推动就业数字化建设迫在眉睫。

受到全球新冠肺炎疫情肆虐等多重因素叠加影响，当前就业形势极为复杂严峻。高校毕业生就业工作已成为全社会就业工作的重点，抓住这个重点，就抓住了就业大局的关键。然而由于业务壁垒、数据孤岛问题仍然突出，仅仅依靠传统信息化手段，难以解决校企供需互动、人岗精准匹配、职业生涯规划、信息资源共享等现实问题，导致学生“就业难”和用人单位“招聘难”，“人等岗位、岗位等人”的问题长期并存。

第二，高校毕业生就业信息化工作为推进数字化建设奠定了基础。

教育部持续深入推进就业信息化工作：2003年，为应对非典疫情对就业的挑战，建设“就业信息网”；2008年，为应对金融危机对就业的影响，升级为“新职业网”；2020年，为应对新冠肺炎疫情，推出“24365校园招聘服务”。各省各高校也在高校毕业生就业工作中，不断加强信息化建设，升级就业网站，扩大互联互通。这些探索与实践，在促进部、省、校三级统筹、实施数字驱动创新发展方面，积累了宝贵经验，为推进数字化建设、实现教育治理体系现代化奠定了坚

实的基础。

第三，当前高校毕业生就业信息化工作存在亟待补齐的短板。

一是管理业务割裂。各高校人才培养系统缺乏一体化设计，招生、培养、就业等高校管理部门“各自为战”，培养与就业不协同、招生与就业不联动，无法实现就业大数据的采集、分析和应用；二是开放机制缺失。高校、政府、企业作为高校就业体系的主体，没有形成系统化的人才培养链条，校内与校外未有机融合、育人与用人未高效对接，优质的人力资源无法得到最大化利用和共享；三是数据共享困难。各级人才培养系统、就业管理系统、用人单位数据管理标准 and 规范不一致，平台间没有互联互通，信息未共享共用，统计难、报送难、核查难仍然成为困扰基层就业工作的痛点。

从技术上破解“人等岗”与“岗等人”的难题

推动就业数字化建设，构建精准就业体系，需要从技术上破解“人等岗”与“岗等人”的难题，做到“四个立足”和“四个支撑”。

一是要立足打通毕业生求职通道，支撑一站式就业管理服务。进一步打破“数据孤岛”，深化数据融合，构建开放的、共享的、一站式的就业管理服务平台，扩

大学生求职意向、薪资和地域需求等就业需求数据以及招聘需求、行业性质、地域分布等用人单位需求数据的采集渠道，面向学生及用人单位提供快捷检索服务；精准分析匹配学生专业特长数据与用人单位招聘岗位数据，面向学生提供精准的岗位推荐服务；支持发布职位、筛选简历、参加招聘会、与毕业生线上互动交流等个性化服务，面向用人单位提供网上一键签约服务。

二是要立足打通学生培养全过程，支撑学生的职业生涯规划服务。全面记录学生从入校到毕业的全过程成长数据，涵盖学生学业成绩、社团活动、项目竞赛、科研成果等在校期间成长数据，为学校建立丰富的人才培养数据库，为学生建立个性化的“成长档案”；基于学生培养过程数据，从学业兴趣、性格特征、职业认知、个人发展等多个维度精准刻画学生职业生涯规划画像，为每位学生指明适配的就业方向，为一线辅导员“精准帮扶”、院长书记“精准指导”、学校领导“精准督导”提供抓手，让就业指导服务更具针对性、科学性和精准性。

三是要立足打通学生就业链条，支撑反馈高校人才培养改革发展目标。以“互联互通”为原则，生成各学院、学科专业、生源地、重点群体就业情况实时

监控和统计，一键上报各级政府部门；同时，招生培养信息、毕业生就业服务信息、用人单位评价等数据要联动，就业结果及时反馈作用于高校学科专业建设、招生和人才培养，形成高效的培养质量反馈机制。

四是要立足历史数据挖掘分析，支撑管理决策服务。激活学校积累的海量历史就业数据的价值，组织大数据、公共管理、社会学等领域相关专家成立课题组，整理改革开放 40 余年以来的毕业生就业数据，贯通、分析历史和现在的就业大数据，展示趋势、挖掘规律，特别是反映人才成长、学校办学特色、社会需求的变化规律，形成多维度的智能应用，从而对进一步研究高校办学、社会人才需求变化等提供决策支持服务，在更高的层面、更宽的广度上利用就业大数据，反馈经济社会发展，实现治理模式向“数治”转变，促进教育治理效能的提升。

用信息化全面赋能大学治理体系现代化

面对信息化时代的要求，西安交通大学主动变革，不断创新，学生就业工作数字化始终走在全国前列。早在 1987 年就开始开展就业信息电子化管理，1996 年建设了毕业生就业信息网，2005 年在全国高校率先实现了网络签约。

近年来，西安交通大学与“国家 24365 大学生就业服务平台”进行技术对接，以实现“学生、辅导员、管理人员全员参与，招生、培养、就业全链条管理，学校、企业、政府部门全方位联动的精准化就业”为目标，研制了国家大学生就业服务平台的“高校版”。一方面充分利用国家平台的优质资源，另一方面结合学校毕业生实际情况，建立部、校一体化的精准就业服务体系。疫情发生以来，西安交通大学利用信息化平台保障了全体毕业生“云”就业，为学生提供“零接触、零疫情、零距离”的精准就业服务，助力学生走上理想职业之路，学校毕业生整体去向落实率始终保持在 99% 以上，就业质量不断攀升，用人单位对学校毕业生工作表现满意度达 99.97%。

面向未来，高校应系统谋划，重点围绕扩大就业、精准辅导、拓展服务等层面，深化与国家 24365 就业服务平台联动，深度挖掘平台资源，深层开发服务主题，加强资源共享，加快平台使用，加大正面反馈，坚持制度和科技创新并重，大力推进教育数字化信息化转型，强化治理、构建规范、涵养文化，用信息化全面赋能大学治理体系现代化，加快高质量发展的步伐。○

来源：中国青年报

郑庆华简介



郑庆华，博士，中国自动化学会会员，西安交通大学常务副校长、教授，国家杰出青年基金获得者，国家自然科学基金创新群体负责人，教育部创新团队和陕西省重点科技创新团队负责人，“计算机网络与体系结构”国家级教学团队负责人。现任西安交通大学副校长，智能网络与网络安全教育部重点实验室主任，国家督学，教育部科技委学部委员，教育部大学计算机教学指导委员会主任。

先后获得中国科协“求是”杰出青年奖、中国青年科技奖、国务院政府特殊津贴专家、宝钢优秀教师特等奖、全国高等学校优秀骨干教师、全国信息产业科技创新先进工作者等荣誉。

图像异常检测研究现状综述

文 / 吕承侃 沈飞 张正涛 张峰

摘要：图像异常检测是计算机视觉领域的一个热门研究课题，其目标是在不使用真实异常样本的情况下，利用现有的正常样本构建模型以检测可能出现的各种异常图像，在工业外观缺陷检测，医学图像分析，高光谱图像处理等领域有较高的研究意义和应用价值。本文首先介绍了异常的定义以及常见的异常类型。然后，本文根据在模型构建过程中有无神经网络的参与，将图像异常检测方法分为基于传统方法和基于深度学习两大类型，并分别对相应的检测方法的设计思路、优点和局限性进行了综述与分析。其次，梳理了图像异常检测任务中面临的主要挑战。最后，对该领域未来可能的研究方向进行了展望。

关键词：图像异常检测，计算机视觉，深度学习，神经网络，背景重构

异常检测是机器学习领域中一项重要的研究内容。它是一种利用无标注样本或者正常样本构建检测模型^[1]，检测与期望模式存在差异的异常样本的方法。异常检测在各种领域中都有广泛的应用，如网络入侵检测、信号处理、工业大数据分析、异常行为检测和图像与视频处理等。

早期的异常检测算法大多应用于数据挖掘领域，而近年来随着计算机视觉和深度学习等相关技术的发展，许多相关工作将异常检测引入到图像处理领域来解决样本匮乏情况下的目标检测问题。

传统的目标检测算法中很大一部分方法属于监督学习的范畴，

即需要收集足够的目标类别样本并进行精确的标注，比如图像的分类、图像中目标的位置以及每一个像素点的类别信息等^[2-3]。然而，在许多应用场景下，很难收集到足够数量的样本。例如，在表面缺陷检测任务当中，实际收集到的图像大部分属于正常的无缺陷样本，仅有少部分属于缺陷样本，而需要检测的缺陷类型又十分多样，这就使得可供训练的缺陷样本的数量十分有限^[4]。又比如在安检任务当中，不断会有新的异常物品出现^[5]。而对于医学图像中病变区域的识别任务，不仅带有病变区域的样本十分稀少，对样本进行手工标注也十分耗时^[6]。在这些情况下，由于

目标类别样本的缺乏，传统的目标检测和图像分割的方法已不再适用。

而异常检测无需任何标注样本就能构建检测模型的特点，使得其十分适用于上述几种情况^[7]。在图像异常检测当中，收集正常图像的难度要远低于收集异常图像的难度，能显著减少检测算法在实际应用中的时间和人力成本。而且，在异常检测中模型是通过分析与正常样本之间的差异来检测异常样本，这使得异常检测算法对各种类型甚至是全新的异常样本都具有检测能力。虽然标注样本的缺失给图像异常检测带来了许多问题和挑战，不过由于上述各种优点，如表1所示，已经

有许多方法将图像异常检测应用在各种领域中。因此，图像异常检测问题具有较高的研究价值和实际应用价值。

随着对异常检测研究的深入，大量研究成果不断涌现，也有许多学者开展了一些综述性工作。如 Ehret 等^[20]根据不同的图像背景，对大量图像异常检测方法进行了综述，不过对基于深度学习的方法还缺乏一定的梳理。Pang 等^[21]和 Chalapathy^[22]等则是从更为广阔的角度对基于深度学习的异常检测方法进行了梳理，不过由于数据类型的多样性，这些工作对异常检测在图像中的应用还缺乏针对性。陶显等^[23]对异常检测在工业外观缺陷检测中的应用进行了一些总结，不过重心落在有监督的检测任务上，对无监督的异常检测方法欠缺一定的整理和归纳。而本文则针对无监督的图像异常检测任务，以工业、医学和高光谱图像作为具体应用领域，对传统和基于深度学习的两大类方法进行梳理。上述三种应用领域都有相同的特点即可使

用的带标注异常样本数量稀少，因此有许多工作针对这几个领域内的异常目标检测问题开展了研究。本文整体结构安排如下：第 1 节将介绍异常的定义以及常见的形态。第 2 节根据模型构建过程中有无神经网络的参与，将现有的图像异常检测算法分为传统方法和基于深度学习两大类并分别进行综述与分析。第 3 节将介绍图像异常检测中常用的数据集。第 4 节将介绍在图像异常检测当中面临的主要挑战。第 5 节将综合图像异常检测的研究现状对未来可能的发展方向进行展望。最后第 6 节将对本文内容进行总结。

1 异常检测的定义

1.1 异常的定义及类型

异常，又被称为离群值，是一个在数据挖掘领域中常见的概念^[24]，已经有不少的工作尝试对异常数据进行定义^[25-26]。Hawkins 等^[25]将异常定义为与其余观测结果完全不同，以至于怀疑其是由不同机制产生的观测值。一般情况下，会将常见的异

常样本分为 3 个类别^[11]：点异常、上下文异常和集群异常。

点异常一般表现为某些严重偏离正常数据分布范围的观测值，如图 1（a）所示的二维数据点，其中偏离了正常样本点的分布区域（ N_1, N_2 ）的点（ O_1, O_2 和 O_3 ）即为异常点。

上下文异常则表现为该次观测值虽然在正常数据分布范围内，但联合周围数据一起分析就会表现出显著的异常。如图 1（b）所示， t_2 点处的温度值虽然依然在正常范围内，但联合前后两个月的数据就能发现该点属于异常数据。

而集群异常，又称为模式异常，是由一系列观测结果聚合而成并且与正常数据存在差异的异常类型。该类异常中，可能单独看其中任意一个点都不属于异常，但是当一系列点一起出现时就属于异常，如图 1（c）箭头所指区域内单独看每一个点的值都在正常范围内，但这些点聚合在一起就形成了与正常信号模式完全不同的结构。

表 1 图像异常检测的应用领域

Table 1 Applications of image anomaly detection

应用领域	具体应用
缺陷检测	各种产品表面缺陷检测，包括布匹 ^[8] 、玻璃 ^[9] 、钢板 ^[10] 、水泥 ^[11] 等纹理表面以及印制电路板 ^[12] 、酒瓶 ^[13] 等物体表面缺陷的检测
医学影像分析	在核磁共振图像 ^[14] 、虹膜图像 ^[15] 、眼底视网膜图像 ^[16] 等医学图像中检测可能的病变区域
高光谱图像处理	海面船舶检测 ^[17] 、地面异常区域检测 ^[18] 、机场飞机定位 ^[19] 等

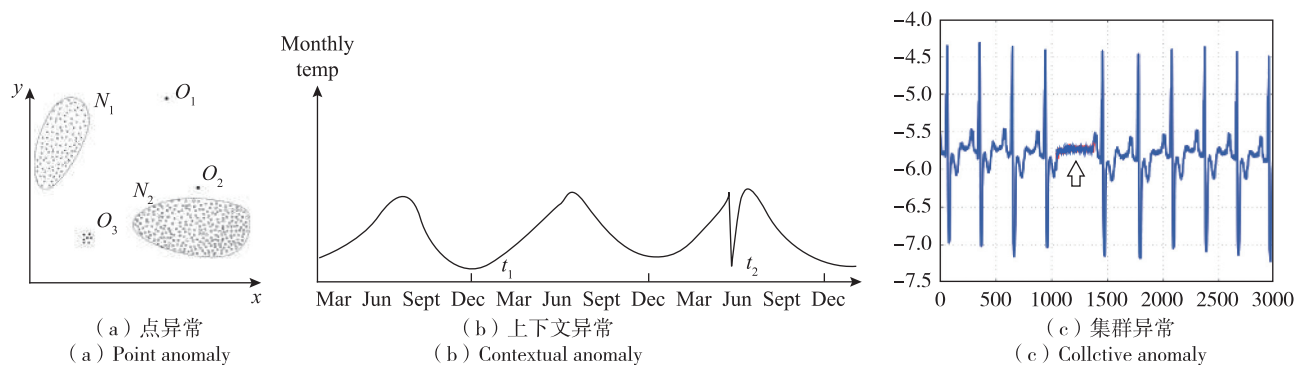


图1 异常的类型^[1]
Fig.1 The type of anomaly^[1]

1.2 图像数据中的异常

图像数据中每一个像素点上的像素值就对应着一个观测结果。由于图像内像素值的多样性, 仅仅分析某一个点的像素值很难判断其是否属于异常。所以在大部分图像异常检测任务中, 需要联合分析图像背景以及周围像素信息来进行分类, 检测的异常也大多属于上下文或者模式异常。当然, 这3种异常类型之间并没有非常严格的界限。例如, 有一部分方法就提取图像的各类特征^[27], 并将其与正常图像的特征进行比较以判断是否属于异常, 这就将原始图像空间内模式异常的检测转换到了特征空间内点异常的检测。

图像异常检测任务根据异常的形态可以分为定性异常的分类和定量异常的定位两个类别。

定性异常的分类, 类似于传统图像识别任务中的图像分类任务, 即整体地给出是否异常的判断, 无需准确定位异常的位置。

如图2左上图所示, 左侧代表正常图像, 右侧代表异常图像, 在第1行中, 模型仅使用服饰数据集 (Fashion mixed national institute of standards and technology database, Fashion-MNIST)^[28] 中衣服类型的样本进行训练, 则其他类别的样本图像 (鞋子等) 对模型来说都是需要检测的异常样本, 因为他们在纹理、结构和语义信息等方面都不相同。

又或者如第2行所示, 异常图像中的三极管与正常图像之间只是出现了整体的偏移, 而三极管表面并不存在任何局部的异常区域, 难以准确地定义出现异常的位置, 更适合整体地进行异常与否的分类。

而定量异常的定位则类似于目标检测或者图像分割任务, 需要得到异常区域的位置信息。在这种类型的图像异常检测中, 测试图像中只有一小部分区域出现了异常模式。而异常定位任务根据具体的图像背景又可分为以下几类, 如图2所示, 其中被圈出部分为异常区域。

1) 均匀背景

均匀背景指一些内容较为

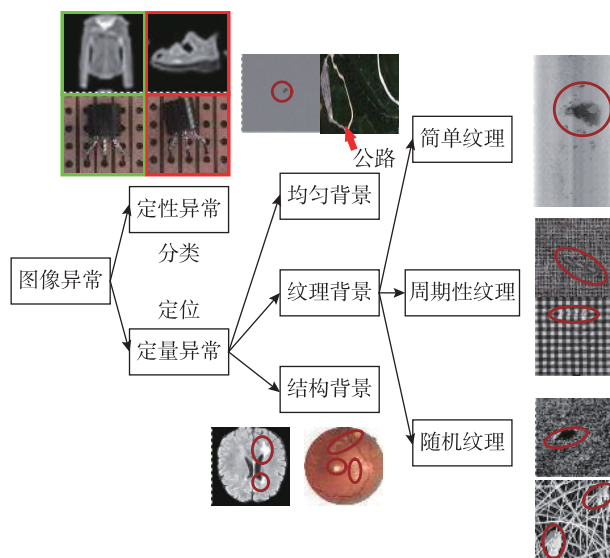


图2 图像异常分类图

Fig.2 The classification of image anomalies

单一的场景，如图 2 中上图所示磨砂玻璃表面对局部缺陷的定位，或者深色山区图像中对盘山公路的定位。这一类背景下的异常检测属于相对简单的检测任务。

2) 纹理背景

纹理背景主要出现在工业生产领域中，根据纹理形态又可以分为简单纹理、周期性纹理和随机纹理 3 种。其中，简单纹理代指因光照和材质反光等因素影响，在原本均匀的物体表面产生的一些非均匀的纹理背景，如图 2 右上所示的钢板表面图像。而周期性纹理则代指各类由大量重复单元组成的具有显著周期性的图像，最具代表性的就是图 2 所示的各类布匹图像。而随机纹理则代指一些由无规则结构组成的图像背景，如图 2 右下图所示的声呐和纳米材料图像。

3) 结构背景

结构背景则是一类更为广泛的图像背景，一般具有结构复杂、个体差异大和语义信息丰富等特点，需要整体进行分析而无法仅依靠局部信息进行异常检测，如图 2 左下图所示的各种医学图像。这类图像背景下的异常检测问题是相对较难的一类检测任务。

2 图像异常检测技术研究现状

一般情况下图像异常检测的目标是通过无监督或者半监督学习的方式，检测与正常图像不同

的异常图像或者局部异常区域。近年来传统机器学习方法已经在图像异常检测领域有了较多的应用，而随着深度学习技术的发展，越来越多的方法尝试结合神经网络来实现图像异常检测。根据在模型构建阶段有无神经网络的参与，现有的图像异常检测方法可以分为基于传统方法和基于深度学习的方法两大类。如图 3 所示，基于传统方法的异常检测技术大致包含 6 个类别：基于模板

匹配、基于统计模型、基于图像分解、基于频域分析、基于稀疏编码重构和基于分类面构建的异常检测方法。而基于深度学习的方法大致包含 4 个类别：基于距离度量、基于分类面构建、基于图像重构和结合传统方法的异常检测方法。

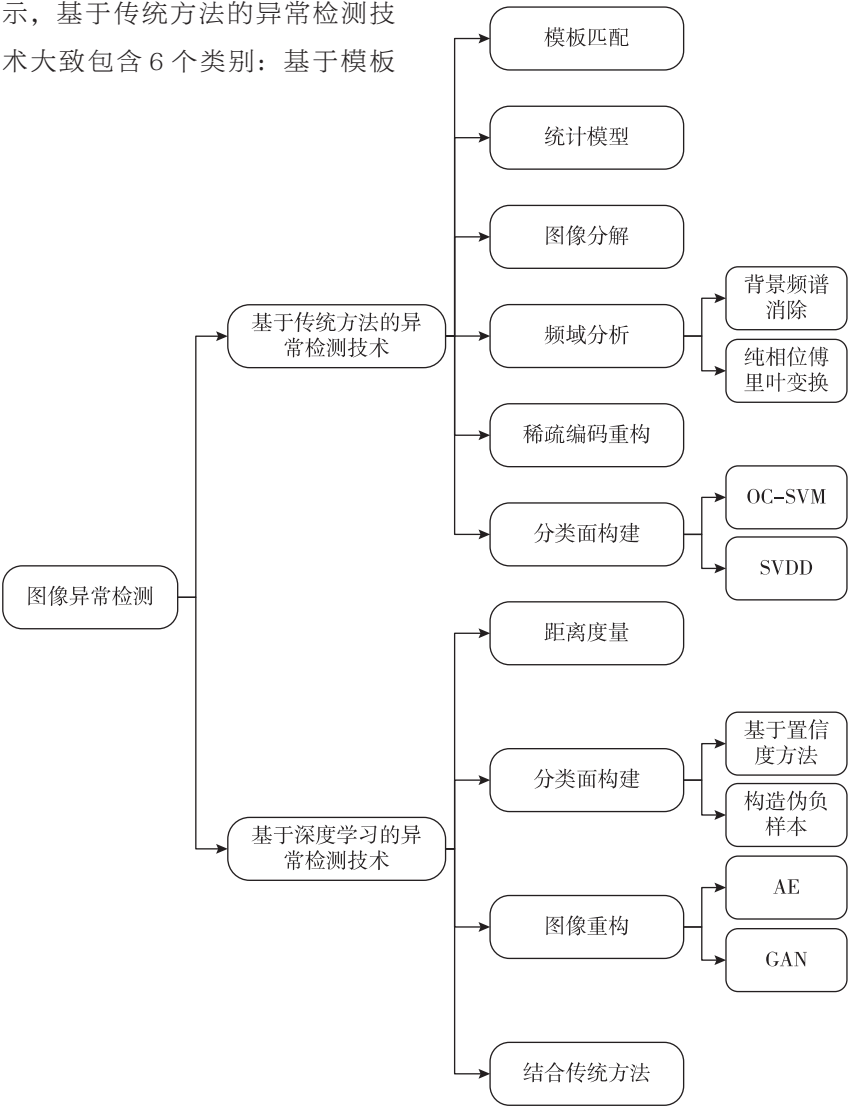


图 3 图像异常检测技术的分类图

Fig.3 The classification of image anomaly detection methods

2.1 基于传统方法的异常检测技术

本文根据检测原理将传统图像异常检测方法分类为以下类别：基于模板匹配、基于统计模型、基于图像分解、基于频域分析、基于稀疏编码重构和基于分类面构建的异常检测方法。传统的图像异常检测算法大多会学习一个模型来描述正常图像，随后在检测阶段根据待检图像与现有模型之间的匹配程度来进行异常检测。

2.1.1 基于模板匹配的异常检测方法

在图像异常检测任务中，最理想的情况是所有的正常图像都高度相似，且异常图像与正常图像之间只会在一小部分区域出现区别。此时，模板匹配是非常有效的一类异常检测方法。得到待测图像和模板图像之间的对应关系后，比较两者之间的差异即可实现异常检测。

图像匹配作为一种计算机视觉中的常见任务，已经得到了充分的发展，根据相关文献的整理^[29]，现有的方法可以大致分为点特征匹配、线匹配和区域匹配3大类别。点特征匹配中，常用有诸如Harris特征^[30]、尺度不变特征变换（Scale invariant feature transform, SIFT）^[31]和仿射尺度不变特征变换（Affine scale invariant feature transform, ASIFT）^[32]等人工设计的

特征提取方法，也有结合机器学习进行特征点提取的改良的加速分割测试特征（Features from accelerated segment test-enhanced repeatability, FAST-ER）^[33]和时间不变学习检测器（Temporally invariant learned detector, TILDE）^[34]等算法。不过由于点特征提取过程中往往存在大量的外点，为了估计准确的几何参数还需要额外的筛选流程去除外点。线匹配中，常用的有均值-标准差线描述符（Mean-standard deviation line descriptor, MSLD）^[35]和条带描述符（Line band descriptor, LBD）^[36]等通过提取直线特征进行匹配的方法，也有Xia等^[37]和Wolfson等^[38]采用的曲线匹配方法。线特征相比于点特征包含更多的场景信息和结构信息，但是也会面临边缘特征不明显和线段断裂等问题。而第3类区域匹配的方法包含最为完整的图像信息，相比于另外两种方法具有更好的鲁棒性。早期的方法包括归一化积相关^[39]和平均绝对差^[40]等算法，近期较为常用的还包括Korman等^[41]提出的快速匹配算法（Fast affine template matching, FAST-Match）和Jia等^[42]提出的适用于彩色图像匹配的彩色快速匹配算法（Fast affine template matching for colour images,

CFAST-Match）。而近年来有一些方法利用深度学习进行区域匹配。如Han等^[43]通过对图像区域进行特征提取和相似性度量以实现图像匹配。也有方法不进行相似性度量，如Balntas等^[44]利用三元损失对网络进行特征提取的训练，相比于传统的特征描述符有更高的提取效率和匹配效果。

而在图像异常检测领域，有许多相关方法利用图像匹配技术进行异常检测。如Chen等^[45]提取了待测图像和模板图像的Hu矩作为特征对三维打印零件进行异常与否的分类。Vaikundam等^[46]先提取了图像的SIFT特征，利用聚类算法进行描述符筛选之后，找到最为匹配的正常图像作为模板来进行异常区域的定位。Herwig等^[47]则是通过中值滤波创建模板图像来检测钢材表面的异常区域。考虑到空域模板匹配方法容易受到诸如光照变化和正常图像间微小差异的影响，Tsai等^[48]将模板匹配过程迁移到了频域，通过比较待检图像和模板图像经傅里叶变换后的频域分量来定位印制电路板（Printed circuit board, PCB）上细微的缺陷。

但模板匹配的方法一般适用于图像采集环境稳定且可控的场景，如图4所示的PCB板表面的异常检测，虽然结构复杂但内容基本保持不变。而更多的情况下，即便是正常图像之间都会存在着

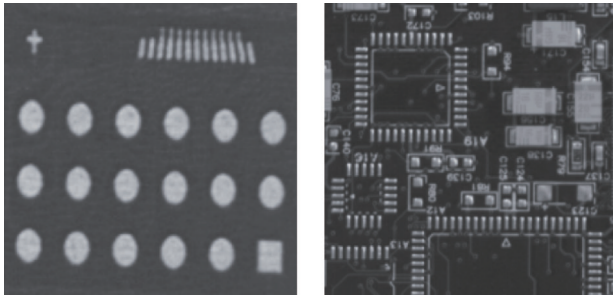


图4 模板匹配的适用场景^[48]

Fig.4 Applicable scenes of template matching^[48]

较多的差异，难以通过模板匹配实现异常检测。

2.1.2 基于统计模型的异常检测方法

这一类方法通常是利用统计模型来描述正常图像中像素值或者特征向量的分布情况，而对于一些远离该分布的图像区域则认定为存在异常。

其中较为常见的方式是利用高斯模型进行描述，比如 Reed 等^[49]提出的 RX (Reed-xiao) 算法就利用高斯分布函数来描述高光谱图像中像素点内信息的分布情况^[50]。然而 1 个高斯分布模型很难描述更为复杂多变的场景，为了进一步地提升建模效果，Veracini 等^[51]通过高斯混合模型对高光谱图像的背景像素进行描述，并通过期望最大化算法来自适应地确定高斯混合模型中子分布模型的数量。Zhang 等^[52]则是利用马尔科夫随机场提升了高斯混合模型的鲁棒性，在钢板表面获得了较好的异常定位效果。

上述方法大多仅对像素点内的信息进行了建模而忽略了区域信息，为了让模型对于孤立的噪声像素点有足够的鲁棒性，有方法同时考虑了像素点的邻域信息来进行背景建模。Goldman 等^[27]首先对局部图像片提取特征，然后再通过构造高斯模型的方式检测异常区域。

此类方法为了估计模型的参数需要一定数量的正常样本，而且这些方法都预先对图像数据的分布做了假设，这在一定程度上降低了该方法的通用性。基于统计模型的方法较为适合图 5 (a) 所示的高光谱图像这种 1 个像素点包含大量信息的特殊图像类



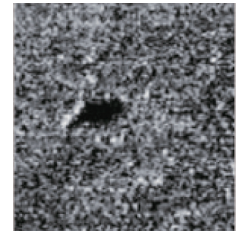
(a) 山区公路图像

(a) Mountain road image



(b) 钢板图像

(b) Steel image



(c) 声呐图像

(c) Sonar image

图5 统计模型的适用场景^[27, 51-52]

Fig.5 Applicable scenes of statistical model^[27, 51-52]

型，因此在高光谱图像中的异常检测问题上衍生出了许多基于 RX 算法的改进方法，如子空间 RX 算法 (Subspace RX, SSRX)^[53] 和局部 RX 算法 (Local RX, LRX)^[54] 等。而对于普通图像类型而言，统计模型的方法在一些背景较为简单的图像中有较好的检测效果，如图 5 (b) 所示的钢板表面图像，而结合特征提取算法也能应用在一些具有一定纹理背景的图像中，如图 5 (c) 所示的声呐图像。但是结构更为复杂的图像往往难以预先假设其数据分布，在模型参数的估计上也有较高的难度，无法保证检测效果^[55]。

2.1.3 基于图像分解的异常检测方法

基于图像分解的方法大多针对的是周期性纹理表面小面积异常区域的检测任务。由于异常区域一般是随机出现的，其周期性较弱，这一特点使其可以与周期性的背景纹理进行区分。

较为常用的方法主要利用了周期性背景纹理低秩性的特点，采用低秩分解将原始待检测图像分解

成为代表背景的低秩矩阵和代表着异常区域的稀疏矩阵^[8]:

$$\min_{L, S} \|L\|_* + \lambda \|S\|_1, \text{ s. t. } F = L + S \quad (1)$$

其中, F 代表原始图像矩阵, L 和 S 分别代表着低秩矩阵和稀疏矩阵。 $\|\cdot\|_*$ 代表着矩阵的秩, $\|\cdot\|_1$ 代表 L1 范数来近似描述矩阵的稀疏度, λ 是一个人工变量。不过, 直接对原始图像进行低秩分解容易受到正常背景变化的影响, 导致其定位精度较低。因此, 一般会先对原始图像进行特征提取, 然后在特征向量构成的矩阵上进行低秩分解以区分正常和异常区域。

其大致流程如图 6 所示, 图中分解得到的稀疏矩阵 S_i 就对应着可能存在异常的区域。Li 等^[8]将原始图像切分成不同图像区域, 并利用 Gabor 变换与方向梯度直方图 (Histogram of oriented gradient, HOG) 提取图像区域的特征, 再利用低秩分解来寻找对应着异常区域的图像块。杨恩君等^[56]则结合布匹图像的基元特征和 HOG 特征作为辅助信息来进一步优化低秩分解的效果。Li 等^[57]联合多通道特征提取和低秩分解算法来进行布匹表面缺陷的检测。Wang 等^[10]在多特征融合的基础上, 结合背景先验知识挖掘和超像素分割的方法, 在钢材表面缺陷分割任务中获得了更为细致的分割结果。

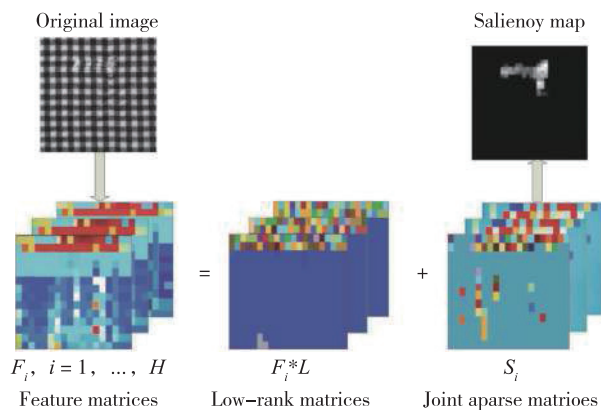


图 6 基于低秩分解的图像异常检测示意图^[57]

Fig.6 Illustration of anomaly detection based on low-rank decomposition^[57]

但是, 原始的低秩分解方法只是将原始图像分解成为了低秩矩阵和稀疏矩阵两部分, 这一过程没有考虑可能出现的加性噪声, 这些噪声同样被保留在了分解出的稀疏矩阵中, 影响后续的异常定位过程。因此, Zhou 等^[58]提出的分解算法 (Go decomposition, GoDec) 将原始矩阵分解成低秩矩阵、稀疏矩阵和噪声矩阵三个部分, 相比于原始的低秩分解方法有更强的鲁棒性。Zhang 等^[59]在 GoDec 的基础上, 充分利用了背景区域的先验知识, 结合马氏距离来检测高光谱图像中的异常区域。Wang 等^[60]在分解布匹图像的过程中考虑了异常区域的局部连续性以保证缺陷形态的完整, 还提出了一种积分机制来进一步提升稀疏矩阵中缺陷的完整性并减少噪声的残留。然而, 在稀疏矩阵中也存在着部分背景区域, 同样也会影响检测的过程。针对这一问题, Yang 等^[61]结合正交子空间投影和自适应权重选取算法来抑制稀疏矩阵中的背景噪声。

基于低秩分解的异常检测算法, 其优点在于完全不需要任何训练样本, 直接可以在待检图像上进行异常区域的检测。不过这一类方法由于涉及到优化过程, 计算量较大, 其检测速度相对较慢, 难以进行实时检测。由于其对背景图像的低秩性假设, 这一类方法适用于如图 7 (a) 所示的布匹^[8]等各种规则纹理表面的缺陷检测问题, 同时, 低秩分解在图 7 (b) 所示的更为复杂的高光谱图像的异常检测中也有应用

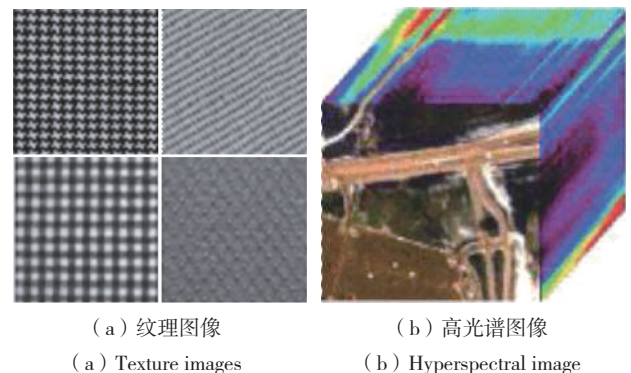


图 7 图像分解的适用场景

Fig.7 Applicable scenes of image decomposition

^[59, 61]，不过需要将原始 $h \times w \times b$ 的三维图像数据重新排列成 $(h \times w) \times b$ 的二维矩阵再进行后续的分析，其中 b 代指频段数。但此类方法对于无周期性或者纹理更加复杂的普通图像并不适用。

2.1.4 基于频域分析的异常检测方法

基于频域分析的方法主要针对的也是规则纹理表面异常区域的检测。不过这一类方法主要是对图像的频谱信息进行编辑，尝试消除周期性背景纹理以凸显异常区域。其中常用的方法包含背景频谱消除和纯相位傅里叶变换法（Phase only fourier transform, POFT）^[62] 两类，前者通过消除背景的背景频谱信息来凸显异常区域，而后者则尝试在逆傅里叶变换时仅利用相位谱以消除重复背景。

1) 早期的方法如图 8 所示，在检测过程中首先利用傅里叶变换（Fourier transform, FT）^[63] 将原始图像转换到频域空间，在幅度谱中将对应着周期性背景纹理的频谱分量去除之后，通过逆傅里叶变换（Inverse fourier transform, IFT）来得到异常区域的位置信息。可以看到，图 8（a）中的斜向纹理在经过傅里叶变换之后会在图 8（b）中被圈出的部分得到较高的频谱分量，按照图 8（c）的方式将这些区域消除后再进行逆变换，从图 8（d）中可以看到原始的纹理背景已经被消除，而属于缺陷的黑色圆点依旧被保留了下来。

Liu 等^[64] 将待检图像与正常图像的频谱作差来进行异常检测，不过该方法更适合背景较为固定的场景，当目标出现旋转等变换时其性能就会受到严重的影响。Tsai 等^[65, 66] 通过删除幅度谱中某些特定的信息来进行纹理图像表面的异常检测。不过该方法只适合于一些均匀或者有方向性的纹理图像，因为这类图像其背景对应的频谱分量比较容易确定。但对于较为复杂的图像，背景区域频谱分量的分布更为复杂，无法直接利用滤波^[65] 等操作来去除。后续的方法尝试用更加自适应的方式来进行异常检测，比如 Zhang 等^[63] 就结合谱减法来尝试检测玻璃表面的缺陷。谱

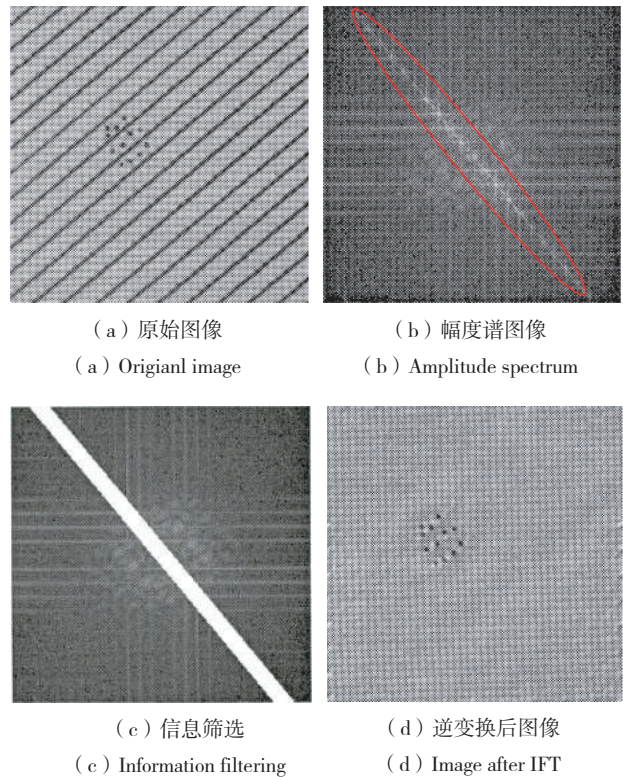


图 8 通过背景频谱消除来进行异常检测^[66]

Fig.8 Anomaly detection based on subtraction of background spectral^[66]

减法^[67] 首先使用特定的滤波器处理幅度谱，随后计算其与原始幅度谱之间的差值，并以该差值进行逆傅里叶变换来得到图像中异常区域。Li 等^[68] 在谱减法的基础上，利用重构后图像的熵来自适应地选择最优滤波器，以此来实现对不同大小目标的检测。不过，谱减法的检测性能与使用的滤波器核有较强的相关性^[68]，需要在模型设计阶段投入大量的精力来设计合适的滤波器核。

2) 第二类比较常用的方法，则是采用 POFT 来消除背景区域。POFT 在对图像进行傅里叶变换之后，抛弃了幅度谱的信息而仅采用其相位谱信息来进行逆傅里叶变换^[69]：

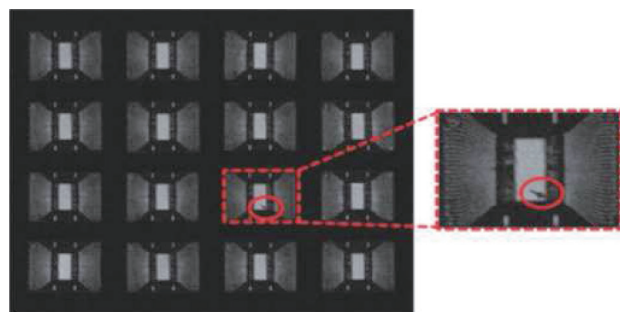
$$F = F\{I\} \quad (2)$$

$$F'(u, v) = \frac{F(u, v)}{M(u, v)}, \quad \forall u \in [0, m], \quad \forall v \in [0, n] \quad (3)$$

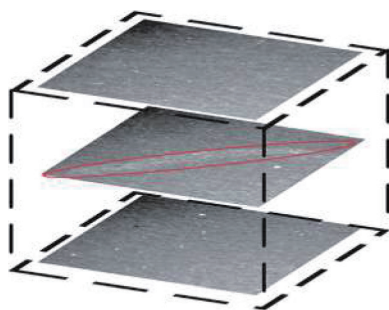
$$I' = F^{-1}\{F'\} \quad (4)$$

其中, I 代表着二维图像矩阵, F 和 F^{-1} 分别代表着傅里叶变换和傅里叶逆变换, $F(u, v)$ 代表着傅里叶变换后的结果 F 在坐标 (u, v) 处的值, 而 $M(u, v)$ 代表着该点处的幅度值。 m 和 n 则分别代表着图像矩阵的行数和列数。处理后的 F' 中仅保留了相位谱的信息, I' 则代表着逆变换后得到的图像。在此过程中能够去除原始图像中全部的周期性纹理部分而保留异常区域, 这一点已经由 Bai 等^[12]进行了数学证明。Aiger 等^[69]在 POFT 的基础上结合自适应阈值的方式自动在逆变换后的图像中分割异常区域。POFT 比背景频谱消除的方法更为便捷, 但对于长线条或划痕这种面积较大且具有周期性的缺陷却无法进行检测。

上述这两种方法由于其本身的特点导致其无法应用在集成电路等无周期性的图像, 有一种解决思路是人工地构造周期性。如图 9(a) 所示, Bai 等^[12]将



(a) 在二维平面中构建周期性
(a) Constructing periodicity in 2D plane



(b) 在三维空间中构建周期性
(b) Constructing periodicity in 3D space

图9 人工构造周期性示意图

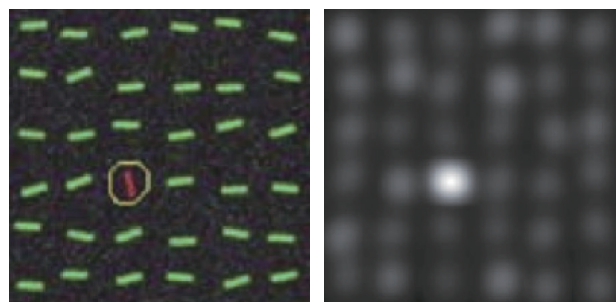
Fig.9 Illustration of artificial periodicity

一系列待测样本以矩阵的形式进行排列, 人工构造出了正常图像的周期性, 由于异常一般不会在一个区域反复出现, 因此不会呈现周期性, 在逆变换后依然能被保留下来。除了在二维空间中排列图像来构建周期性的方法, 也有 Tsai 等^[70]通过将多张图像进行堆叠, 使得正常背景在创建出的图像轴上能够体现出周期性, 如图 9(b) 所示。

相比于别的方法, 基于频域分析的异常检测方法其优点在于计算速度快, 而且不需要事先构建模型, 直接可以在待测图像上进行检测。这使得该方法非常适合实时性要求较高的场景。这一类方法对有周期性且纹理较为简单的图像有较好的检测效果, 比如磨砂玻璃表面^[63]以及图 7 中展示过的布匹图像等, 但依然对图像背景有一定的限制。虽然有一些方法尝试利用人工构造周期性的策略来检测不规则图像, 但是其泛化性能并不好, 仅适用于图像采集环境严格可控的一些工业生产环境中。当样本出现光照变化或者图像内目标出现平移和旋转等变化导致周期性较弱时, 这些方法往往表现不佳, 在正常目标附近也会出现许多干扰, 如图 10 所示。

2.1.5 基于稀疏编码重构的异常检测方法

这一类方法通常是借助稀疏编码^[71-73]的方式对图像进行重构, 并在此过程中学习一个字典来表示正常图像, 然后在测试阶段从重构差异和稀疏度等角度进行异常检测。



(a) 原始图像
(a) Original image
(b) 检测结果
(b) Detection result

图10 周期性较弱时的检测效果^[62]

Fig.10 Detection result in weakly periodic scene^[62]

稀疏编码在模型训练阶段需要学习一个过完备的字典来存储有代表性的特征，并通过线性组合字典中存储的元素来重构输入图像。其特点在于，需要尽可能地选择少的元素的线性组合来表示正常样本，即：

$$\min_{D, \alpha} \frac{1}{2} \|D\alpha - x\|_2^2 + \lambda \|\alpha\|_1 \quad (5)$$

其中， D 为字典， α 是线性组合中的系数向量， x 代表训练集中的正常样本， $\|D\alpha - x\|_2$ 描述了字典对样本的重构误差， $\|\alpha\|_1$ 近似描述了系数向量的稀疏度。这种约束使得字典需要去不断精炼学习到的特征来提升编码过程的稀疏度。字典学习的过程一般会先将原始问题转换成凸优化问题，然后采用 Boyd 等^[74]提出的交替方向乘法来求解。图 11 展示了在纳米材料上进行字典训练和稀疏编码的过程，对于具有线状结构的纳米材料，字典中存储了各种用来描述边缘区域的元素以有效地对正常样本进行重构。而在测试阶段，用学习到的字典对异常样本进行重构时，由于字典仅学习了正常图像的表示方法，对于异常样本就会体现出较大的重构差异，编码向量的稀疏性也较弱。

Liang 等^[72]依据编码向量的稀疏度来进行触摸屏表面的异常检测。Boracchi 等^[71]在稀疏度的基础上联合考虑重构误差来进行纳米材料表面的异常检测。

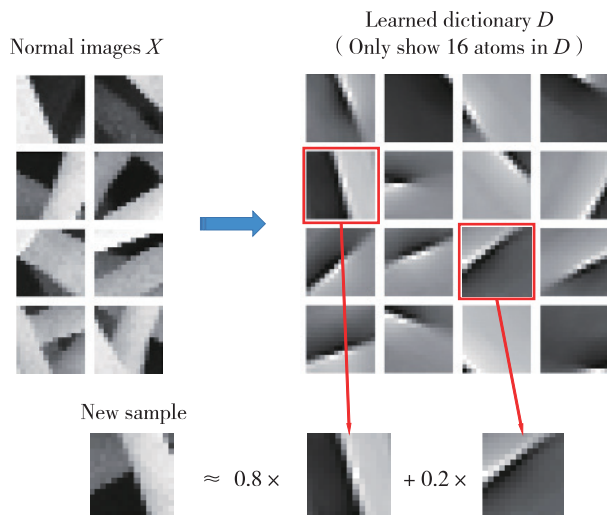


图 11 稀疏编码中的字典^[71]

Fig.11 The dictionary learned in sparse encoding^[71]

Carrera 等^[75]则在传统的稀疏编码中结合了多尺度的策略，对于原始图像进行不同比例的缩放并分别构建字典，通过这种方式来提升对不同大小异常区域的检测性能。Chen 等^[76]在考虑稀疏度和重构精度的同时，对图像局部区域的平滑性同样进行了约束以得到更高质量的字典和重构过程。与稀疏编码比较接近的还有独立成分分析 (Independent component analysis, ICA)^[77]。Sezer 等^[78]借助 ICA 寻找构成正常样本的独立元素作为字典，在测试阶段计算待检图像的编码向量到正常图像的编码向量之间的距离来进行异常检测。

基于稀疏编码的方法相比于前 3 种方法而言，不需要预先对数据的分布做假设，仅使用足够的样本就能很好地学习到正常图像的表示方法，这使得稀疏编码比之前的方法拥有更为广泛的应用场景。在检测各类周期性图像的同时，也能处理具有随机结构的图像，特别是在如图 12 所示的纳米材料表面异常检测中有许多应用。

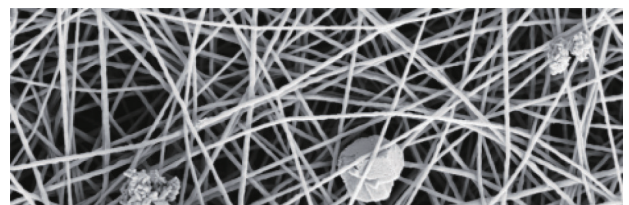


图 12 纳米材料图像^[71]

Fig.12 Image of nanofibres^[71]

不过这类方法依然存在一些不足之处。

首先，稀疏编码的效率较为低下。在测试阶段由于需要通过迭代优化的方式寻找最优的编码向量，在 Carrera 等^[71]的实验中，对于一张 1024×696 像素的图像，迭代求解编码向量的过程需要约 50 秒的时间，这使得这类方法很难直接应用到生产线上进行在线检测。不过也有一些方法尝试结合目标的特点来进行优化，Zhou 等^[13]针对瓶盖表面异常检测的问题建立了可能出现的异常区域的字典来加速迭代寻优的过程。

其次,稀疏编码需要较多的空间来保存字典。为了获得稀疏的编码向量,一般字典都是过完备的,即字典中元素的数量要超过样本的维度。但对于图像数据而言,无论是局部图像区域还是特征向量其维度都比较高,过大的字典不仅会占用较多的存储空间,也会降低算法的运行速度。

2.1.6 基于分类面构建的异常检测方法

基于分类面构建的方法大多是希望能够在正常图像分布区域外构建一个足够紧致的分类面以区分正常样本和潜在的异常样本。较为常用的两类方法为单类支持向量机方法(One-class support vector machines, OC-SVM)^[79-80]和支持向量数据描述方法(Support vector data description, SVDD)^[81]。OC-SVM 通过在高维空间创建超平面来分割正常样本和潜在异常样本,而 SVDD 则创建超球面来包裹绝大部分正常样本以实现异常检测。

图 13 分别展示了 OC-SVM 和 SVDD 构建分类面的示意图,其中实心与空心的点分别代表已知的正常样本和潜在的异常样本。如图 13(a)所示,OC-SVM 采用的策略是将原始数据映射到核函数对应的特征空间之后,在创建分类超平面时最大化超平面到原点的距离并确保大部分正常样本都落在超平面的另一侧。而在检测阶段,落在超平面靠近原点一侧的图像就对应着异常样本。其训练阶段的目标函数可表示为^[82]:

$$\min_{w, b} \frac{1}{2} \|w\|_2^2 - b + c \sum_{i=1}^n \zeta_i, \text{ s. t. } w \cdot \Phi(x_i) \geq b - \zeta_i \quad (6)$$

其中, w 和 b 分别代表了超平面的法向量和截距, ζ_i 是松弛变量, n 代表训练样本的数量, c 则是对应的惩罚因子, Φ 代表投影函数, x_i 代表正常样本。OC-SVM 模型简单而且有较为成熟的优化算法,不过随着样本维度的上升,其效果会受到显著的影响,因此现有方法大多都会先对图像进行特征提取并对得到的特征向量进行异常检测。Amraee 等^[80]提取图像中每一个区域的 HOG 和局部二值模式(Local binary pattern, LBP)等特征,然后借助 OCSVM 对图像

中每一个区域进行异常与否的分析。Azami 等^[83]对脑部核磁共振图像提取多种特征之后,结合 OC-SVM 进行异常区域的检测。

不过 OC-SVM 仅考虑构建一个超平面来进行异常检测,这样一个半开放的决策边界并没有很好地包围正常样本的分布区域,这限制了 OC-SVM 对于异常样本的检出能力。如图 13(a)所示,对于落在与正常样本同一侧的异常样本就无法进行良好的检测。因此另外一类常用方法,SVDD 在分类面的构建过程中进行了更强的约束。SVDD 的基本思想为,利用一个超球面来包裹住全部或者绝大部分的正常样本,并且希望该超球面的半径越小越好,对应的目标函数可表示为:

$$\min_{m, r} \frac{1}{2} r^2 + c \sum_{i=1}^n \zeta_i, \text{ s. t. } \|\Phi(x_i) - m\|_2^2 \leq r^2 - \zeta_i \quad (7)$$

其中 m 为聚类中心, r 为超球面的半径,对应的超球面就是区分正常与异常样本的决策边界,如图 13(b)所示。相比于 OC-SVM, SVDD 使用的超球面进一步提升了分类面的紧致性,获得了相比于 OC-SVM 更加良好的异常检测效果。Zhang^[84]等和 Gurram 等^[85]都将 SVDD 引入到了高光谱图像的异常检测任务中, Liu 等^[86]提出了加速 SVDD 以实现液晶屏表面细微缺陷的实时检测。

不过,SVDD 对数据的分布又做了一个假设,即所有正常样本都满足一个单峰的分布模式,可以用一

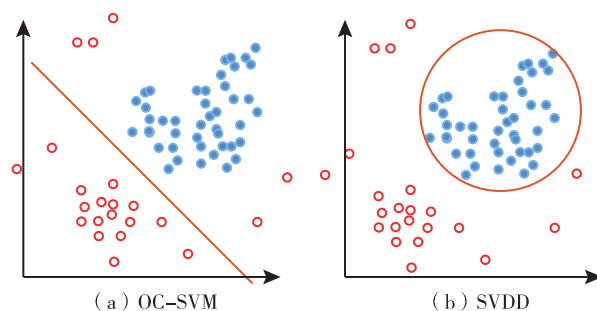


图 13 OC-SVM 和 SVDD 的示意图^[82]

Fig.13 Illustration of OC-SVM and SVDD^[82]

个超球面良好地进行表示。这是一个比较强的假设，虽然也可以通过引入核方法来提升对不同形态分布的拟合能力，但是对于许多图像而言，不同区域的像素值或者特征向量的分布模式完全不同，导致原始数据表现为多分布融合的结果，很难用一个超球面来进行描述。如图 13（b）中的样本点，在超球面的内部还是存在着许多代表着未知样本的空区域。如果异常图像落在这些区域内就很有可能会被判定为正常图像。为了解决这一问题，Liu 等^[87]尝试集成多个 SVDD 模型来描述这种样本分布更为复杂的情况，并利用模糊 c 均值聚类的方式确定子 SVDD 模型的数量及对应的

参数。

基于分类面构建的方法，其优点在于对待测图像类型没有如图像分解或频谱分析那样较高的限制，能够适用于各种类型的图像，而且计算复杂度的问题也有相关的文献工作给出了解决思路。不过也存在一些问题，在处理复杂图像时，核函数的选择可能会成为一个问题。如果选择使用如 Liu 等^[87]提出的多超球面的方法，其各项参数的选择也需要较为精心的设计。而且本质上本类方法属于图像分类算法，无法直接实现异常区域的定位，更适用于一些识别定性异常的场景，面对定量异常，大多需要通过区域划分的方式进行定位，反而降低

了算法的处理效率。

表 2 总结了上述各类基于传统方法的图像异常检测方法的设计思路和优缺点。其中，基于模板匹配的方法十分适合工业生产这类环境可控且目标高度一致的场景，实现了较高的检测精度，但不适用于采集环境多变或者正常图像间存在较大差异的场景。基于统计模型的方法虽然速度很快，但需要一定的训练样本来评估背景模型的参数。基于图像分解的方法则适合训练样本稀缺的场合，可以直接在待测样本上检测异常区域，不过该方法速度较慢。而基于频域分析的方法则兼顾了检测速度和对训练样本的低依赖性，但是由于对背景图像有

表 2 基于传统方法的图像异常检测技术的分类和特点

Table 2 The classification and characteristic of traditional image anomaly detection methods

方法类别	设计思路	优点	缺点	参考文献
模板匹配	建立待测图像和模板图像之间的对应关系，通过比较得到异常区域	方法简单有效，对于采集环境高度可控的场景有很高的检测精度	不适用于多变的场景或目标	[29-48]
统计模型	通过统计学方法构建背景模型	具有详实的理论基础和推导过程，检测速度快	需要大量的训练样本，且仅适用于一些简单背景下的异常检测	[49-54]
图像分解	将原始图像分解成代表背景的低秩矩阵和代表异常区域的稀疏矩阵	具有详实的理论基础且无需训练过程	速度较慢，而且不适合在结构复杂的图像中进行异常检测	[56-61]
频域分析	通过编辑图像的频谱信息来消除图像中重复的背景纹理部分以凸显异常区域	无需训练过程，检测速度很快	还需更详实的理论论证，且仅适用于一些有重复性纹理的图像，通用性较差	[64-70]
稀疏编码重构	借助稀疏编码和字典学习等方式学习正常样本的表示方法，从重构误差和稀疏度等角度检测异常	适用于各种类型的图像，通用性很好	检测时间长，而且需要额外的空间保存过完备的字典	[71-78]
分类面构建	建立分类面将现有的正常样本和潜在的异常样本进行区分	通用性较好，且速度较快	各项参数的选择过程较为复杂	[81-87]

一定的限制, 因此通用性较差, 这也是前 3 类方法的一个通病。而后两类基于稀疏编码和分类面构建的方法适用于各种类型的图像, 具有更高的通用性。但稀疏编码方法在重构阶段非常耗时, 而分类面构建的方法也面临着参数选择困难和定位精度的问题。

2.2 基于深度学习的异常检测技术

近年来, 深度学习在计算机视觉中的各个领域内都得到了长足的发展。相比于传统的方法, 深度学习由于其无需人工设计特征, 算法通用性更高等优点, 已经被广泛引入到了图像异常检测任务当中。现有的方法大致可以分为以下几类: 基于距离度量的方法、基于分类面构建的方法、基于图像重构的方法和与传统方法相结合的方法。

2.2.1 基于距离度量的异常检测方法

基于距离度量的方法, 其核心思想在于训练一个深度神经网络作为特征提取器, 让正常图像所提取到的特征向量的分布尽量紧凑, 即尽可能地减小样本的类内距离。而在测试阶段, 大多数方法计算待测样本的特征与正常特征之间的距离作为度量来进行异常检测。

Ruff 等^[88]提出的深度支持向量数据描述 (Deep support vector data description, Deep

SVDD) 是这一类型中较为常用的一种方法。作者首先在特征空间中人为指定了一个点作为特征中心, 然后以正常样本到该点的距离之和作为损失函数的主体来进行特征提取网络的训练。如图 14 所示, 经过训练网络能够将原始图像空间中的正常样本都映射到特征中心点附近, 而异常样本其对应的特征就可能远离该中心点, 因此根据距离就能判断待测样本是否属于异常样本。

但这种方式存在着较多的限制。首先, 该方法假设正常样本在特征空间中属于一个单峰分布, 即都落在指定的中心点附近。这一假设在一些较为复杂多变的数据集上可能并不成立。这一点从 Ruff 等的实验结果中也能看出, Deep SVDD 对于手写数字数据集 (Mixed national institute of standards and technology database, MNIST)^[89] 的效果十分优秀, 但是对于加拿大高等研究院 (Canadian institute for advanced research, CIFAR) 构建的 CI-FAR-10^[90] 这种更

为复杂的自然图像数据集其性能较为有限。此外, 该方法容易出现模型退化的问题, 即学习到的模型会把所有图像都映射到同一点上, 因此该方法在训练过程中还有许多限制, 比如网络结构中不能有偏置项, 特征中心点需要人工指定并且不可修改, 而且在检测阶段还涉及到了对特征向量的编辑过程, 这些都限制了 Deep SVDD 的应用场景。

不过可以通过额外的训练目标来优化特征提取过程以避免 Deep SVDD 遇到的各种限制^[91]。Perera 等^[92]并没有人工地指定特征中心, 而只是以减小正常样本特征之间的距离为训练目标。不过作者在正常样本的基础上, 引入了 ImageNet 数据集中的样本来构建一个分类的子任务。网络不仅需要减小正常样本特征的类内离散度, 还需要有一定的类间离散度来保证分类性能, 网络需要有较强的语义信息提取能力而不仅仅是将样本映射到某一区域内, 这使得该方法对于复杂的自然图像数据也有较好的性能。

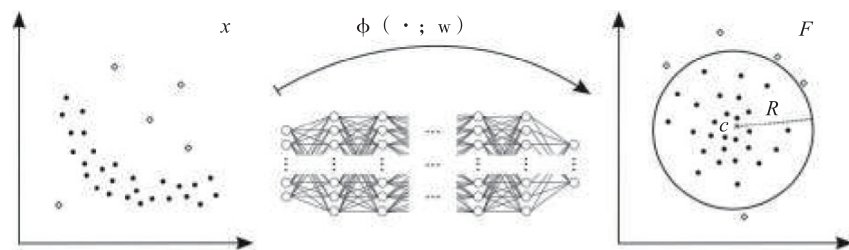


图 14 Deep SVDD 的原理示意图^[88]

Fig.14 Illustration of Deep SVDD^[88]

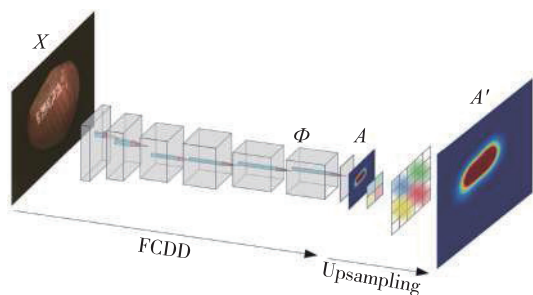


图 15 FCDD 的原理示意图^[96]
Fig.15 Illustration of FCDD^[96]

而 Wu 等^[93]增加了解码模块将特征解码成与输入样本近似的图像，以此来保证所提取到的特征向量有足够的语义信息，避免出现 Deep SVDD 中的模型退化问题。Bergman 等^[94]在 Deep SVDD 的基础之上，利用多种几何变换方法将原本仅有一类的正常图像数据扩增成了多类数据集，并且为每种变换对应的类别都指定了一个特征中心。作者在训练过程中采用了三元损失（Tripletloss）^[95]来强调不同变换方式对应的特征向量之间的可分性。这种方式既避免了模型退化的问题还构建出了多个特征中心点作为分类参考，相比于原始的 Deep SVDD 方法有了显著的性能提升。不过依然需要更加通用的几何变换方式来适应具有周期性或者纹理类的图像^[94]。近期，Liznerski 等^[96]提出的全卷积数据描述（Fully convolutional data description, FCDD）利用神经网络中的偏置项替代 Deep SVDD 中的聚类中心，并且利用全卷积

网络提取图像的特征图来直接定位异常区域，如图 15 所示。

除了用待测样本的特征与正常特征之间的距离来衡量样本的异常程度，还有方式尝试结合距离的方差来进行异常检测。Bergmann 等^[97]同时训练多个结构相同的特征提取网络。而在检测阶段，由于训练过程的随机性，不同的网络会得到不同的特征，根据特征分布的方差来实现对异常样本的检测。此外还有方式尝试利用半监督的方式提升检测性能，因为在实际检测任务中标注少量的异常样本是可行的。Ruff 等^[98]就将少量经过标注的异常样本加入到训练过程中，并且以尽量增大异常样本特征向量分布的熵作为目

标来训练特征提取网络。实验表明这种基于熵的损失函数要优于传统的基于距离的损失函数。

上述这些方法的优点在于简单高效，不过这种方法大多需要事先人工指定特征中心，而且为了避免模型退化需要在训练阶段设计额外的任务。仅设定一个全局特征中心点的方式在一定程度上对图像背景产生了一些约束，在医学图像或者自然图像这些较为多变的场景中，可能难以在保证泛化能力的情况下将全部的图像映射到同一目标点附近。Wu 等^[93]采用的为每种图像区域分别设置中心点的方式并不适合所有图像，而 FCDD^[96]以偏置项作为中心点的方式或许也不适用于待测目标经常出现平移和旋转等变化的场景下的异常定位任务，如图 16 所示。

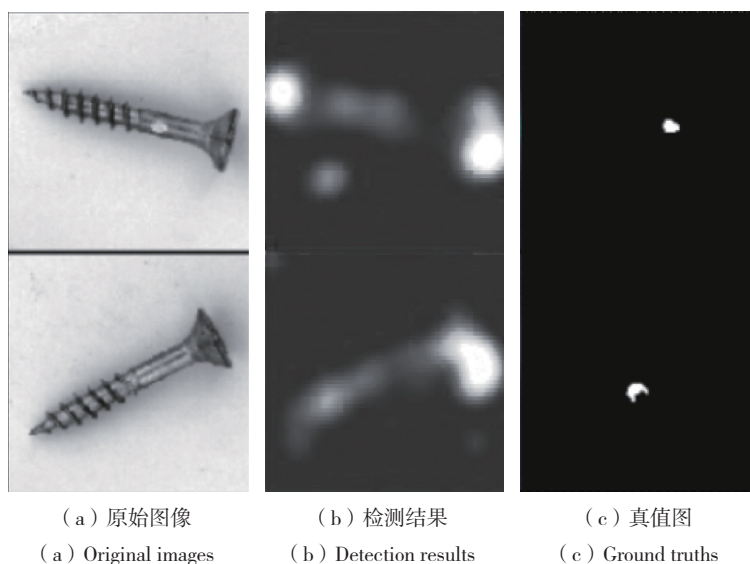


图 16 在旋转目标上的检测效果^[96]

Fig.16 Detection results on targets with rotation^[96]

2.2.2 基于分类面构建的异常检测方法

基于分类面构建的方法，其核心思想在于将单类正常样本转换成多类别样本以训练分类器，通过这种方式来在图像空间中构建分类面，实现对正常样本和潜在的异常样本的分类。常用的基于分类面构建的方法大致包含以下两个类别：

1) 第一类方法将原始单类样本通过几何变换得到多类别样本，并结合在分布外检测 (Out-of-distribution, OOD)^[99] 任务当中比较常见的基于置信度的方法来进行异常检测。

OOD 检测任务与异常检测任务目标非常相似，同样也需要模型对训练过程中未出现过的样本有检测能力，但 OOD 的特点在于训练样本中包含了多个类别，所以可以直接在训练样本上进行多分类的训练。Hendrycks 等^[100] 指出，由于异常样本落在正常样本的分布之外，分类器对异常样本输出的最大 softmax 值往往会低于正常样本的最大 softmax 值，所以可以通过设定阈值的方式区分正常样本和异常样本。由于异常检测中训练集仅包含了一类样本，所以相关工作就尝试通过对正常样本进行变换的方式来构建多类别的训练集。

如图 17 所示，Golan 等^[101] 采用了以翻转、平移和旋转为基础的一共 72 种几何变换方式来处理原始图像，每一种变换方式下得到的图像即为一类样本，以此构建了一个 72 类的分类数据集来训练一个

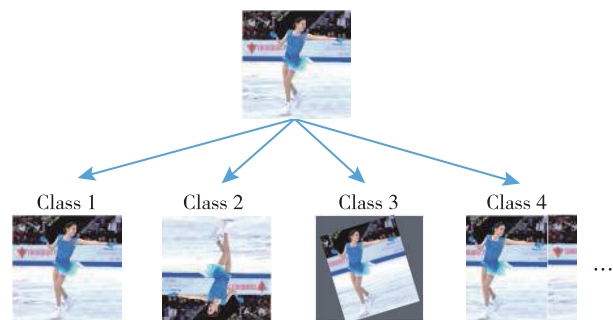


图 17 将单类样本转换成多类样本^[101]

Fig.17 Transforming one-class samples into multi-class samples^[101]

分类网络。在检测阶段，对待检样本进行全部的 72 种变换并分别进行分类，异常样本经过变换之后，网络会无法确定其对应的变换类别，使得分类时输出的最大 softmax 值降低，以此来进行异常图像的检测。Hendrycks 等^[102] 对该方法进行了改进，将原本直接的 72 分类任务转换成了一个多任务 (Multi-task) 模型，在提取到的特征图上进行额外的角度和平移量的分类任务，以此来提升网络特征提取和分类的能力。

第一类方法虽然在 CIFAR-10 等自然图像数据集上取得了优异的成绩，不过存在着一些限制，如图 18 所示，当检测目标为斑马时，网络能够识别图像之间存在旋转的关系。但如果检测目标为具有对称结构或者没有方向信息的纹理图像，比如图 18 第二行所示斑马表面的黑白纹理，网络无法直接从纹理图像中感知到足够大的差异实现旋转角的预测，此时强迫网络输出相应的角度反而会影响网络的训练过程^[101]。类似地，当检测目标本身存在角度上的显著变化时也难以应用上述方法。因此这类方法还需要设计更为通用的变换方式以扩展其应用领域，充分发挥其高精度的优势。此外，也有相关的研究指出，在 OOD 检测任务中，分类模型对异常样本也有可能产生很高的概率值，影响异常检测的过程^[103]，这同样是一个值得进一步研究和改进的内容。

2) 第二类方法则考虑结合传统方法中 OC-SVM 或者 SVDD 的思路，构建尽可能贴合正常样本分布的分类面来进行异常检测。这类方法大多将正常样本当作正样本，并采用额外的辅助样本作为负样本，以此在图像空间中构建正常和异常图像间的分类面。

Oza 等^[104] 利用预训练好的神经网络提取正常图像的特征作为正样本，同时在特征空间中使用以原点为中心的随机高斯噪声向量作为负样本，以此来训练一个分类网络。不过这种方法仅使用高斯噪声作为负样本，负样本比较单一且容易分类，很容易

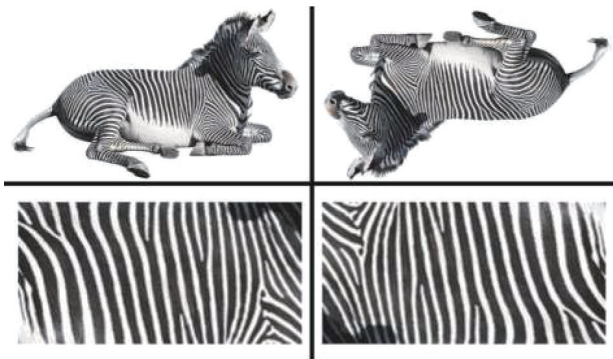


图 18 不同图像上旋转效果对比^[102]

Fig.18 Comparison of rotation on different images^[102]

出现过拟合的问题导致网络无法检测新的异常样本。Hendrycks 等^[105]注意到了随机生成的简单噪声样本的不足，因此从别的图像数据集中选取图像作为负样本来训练分类模型。

然而上述方法在选取负样本时没有考虑到正常样本的分布情况，在这种情况下训练得到的分类效果就无法保证。当选择的负样本距离正常样本较远时，网络容易出现过拟合的现象，导致其无法对真正的异常样本进行分类。而如果选择的样本与正常样本的分布过于相似，也可能出现网络无法训练的问题。

因此，许多方法尝试在正常样本分布区域附近通过生成式模型创建负样本。而生成式对抗网络 (Generative adversarial network, GAN)^[106]是近年来备受关注的生成式模型，有许多方法就结合 GAN 来进行分类器的训练。GAN 的结构如图 19 所示，在 GAN 的训练过程中，目标函数一般可以表示为：

$$\min_G \max_D E_x [\log D(X)] + E_z [\log (1 - D(G(z)))] \quad (8)$$

其中， G 和 D 分别代表生成器和判别器， x 是真实样本， z 是随机的噪声向量， $G(z)$ 即为生成的样本。

为了对抗不断优化的判别器，生成器所生成的图像质量会不断提升，最终能生成清晰且真实的样本图像，而 Sabokrou 等^[107-108]注意到在 GAN 训练的

中期，生成的依然是低质量的图像，鉴于其与正常图像之间存在一定的相似性，此时的判别器正好可以作为一个分类器进行图像异常检测。作者将自编码器作为生成器，并且附加了一个分类网络作为判别器。在自编码器训练过程中作者采用了 Earlystop^[109]的策略，即当重构误差小于特定阈值时就停止自编码器的训练避免生成过于真实的样本，如果过度训练反而会影响判别器对真实异常样本的分类性能^[110]。利用此时的自编码器处理正常样本就能得到大量接近正常样本的合成图像。而判别器为了区分这些样本和正常样本，就需要在正常样本周围构建分类面，足够贴合的分类面为该方法提供了良好的异常检测性能。Yang 等^[110]和 Chatillon 等^[111]也采取了相似的策略，不同的是，Yang 等是通过分析损失函数曲线的方式人工设定 Early-stop 的节点。Chatillon 等是在 GAN 训练完毕之后，选择一部分训练中期的生成器权重，用来生成低质量样本作为分类时使用的负样本，并且还给出了一部分数学上的证明以表达该方法的有效性。Zaheer 等^[112]同样将原始 GAN 中的生成器换成了自编码器，并且将判别器的任务从区分真实图像和生成图像转换成了区分正常图像和异常图像，其中在训练阶段使用的异常图像同样是借助未充分训练的生成器得到的。

这类方法都采用了 Early-stop 来避免生成器过度优化，为此还需要进行反复的实验来确定最优的超参数，这使得这些方法在应用到新的图像类型中时需

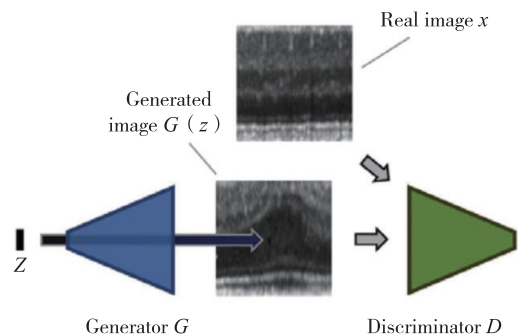


图 19 GAN 结构示意图^[15]

Fig.19 The structure of GAN^[15]

要较长的调参过程。为了让模型能够生成低质量样本又避免反复调参,部分方法开始主动探索对应着低质量样本的区域来生成负样本。Lim 等^[113]尝试在特征空间中生成低质量样本,作者在 GAN 的基础上,对隐变量的分布进行了约束,迫使其分布在原点周围。训练完毕后,距离原点越远的特征向量,其解码后的图像质量就越差。因此,可以通过在该区域内进行采样和插值等方式得到低质量样本以进行分类器的训练。而 Liu 等^[114]则通过修改生成器训练目标来直接生成低质量样本,该方法用一些正常样本中最容易被判定为异常图像的低质量样本来训练生成器,在这种情况下生成器的性能就会被限制,导致其只能生成低质量的样本。不过由于并不是每一批训练样本中都包含低质量样本,所以可能会存在训练不稳定的问题。针对这一点,Ngo 等^[115]改进了生成器训练阶段使用的损失函数,对于判别器能以较高置信度判别正常与否的样本都进行惩罚,迫使生成器生成与正常样本尽量相似又有所区别的低质量样本。Schlachter 等^[116]也采用了类似的思路,不过 Schlachter 并没有利用 GAN,而是通过分析正常样本特征之间的距离将训练样本分成了典型和非典型两类,典型样本特征之间的距离较小而非典型样本特征之间的距离较大。随后在两种样本之间构建分类面,以区分位于非典型样本区域之外的异常样本。

Goyal 等^[117]提出的鲁棒单类别分类(Deep-robust one-class classification, DROCC)是这一类方法的最新工作,作者仅采用了一个分类器进行异常检测,并通过梯度上升自动生成最适合现有数据的异常样本作为负样本。在分类器训练的初期,仅使用正常样本进行训练并希望分类器对全部样本输出相同的结果。而在后续的训练过程中,对于每一个正常样本,都通过梯度上升的方式,在以正常样本为中心半径为 r 的图像空间中寻找潜在的负样本并进行二分类的训练。该方法在各种类型的数据集上都表现出优异的性能。不过该方法依然存在一个需要调节的超参数

r ,而且从实验结果来看不同的半径 r 会对分类器的检测性能产生较大的影响,因此同样需要反复实验来得到最合适的半径。

图 20 展示了上述几种需要构建负样本来训练分类网络的方法示意图。其中(a)~(d)分别展示了利用随机噪声^[104]、利用随机图像^[105]、利用 GAN^[110-115]以及利用梯度上升^[117]来创建负样本的方法。其中实心与空心的圆点分别代表了正常样本与生成的负样本。实线与虚线则分别代表了分类器对正常样本和异常样本的决策边界。而点划线代表着两者之间的不确定区域。曲线上的数字代指分类器的输出值,越高表示分类器越肯定该图像为正常图像,反之亦然。对于(a)和(b)方法,由于随机的噪声或者图像与正常样本之间并没有关联,所以构建出的分类面中存在大量的不确定区域,分类器无法很好地鉴别位于这些区域内的图像进而影响检测性能。而后两种方法都主动在正常图像周围生成低质量图像作为负样本,而且梯度上升的方法更是显式地约束了生成图像到正常图像的距离,这些方法由于采用的负样本更加贴近正常图像,因此训练得到的分类器能够产生更加紧密的决策边界和更小的不确定区域,异常检测精度更高。

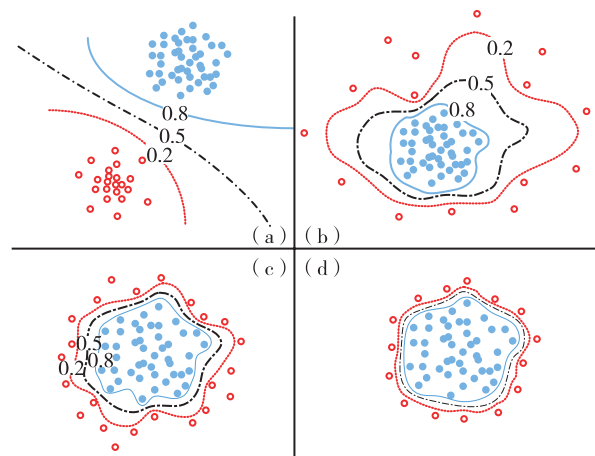


图 20 需要构建负样本的几种方法的示意图

Fig.20 The graphical illustration of the methods based on creating fake-negative samples

然而，这些利用负样本构建分类面的方法存在较多的假设和随机性，大多难以直观地控制所生成负样本的图像质量和分布，虽然 DROCC 尝试通过梯度上升的方式生成负样本，但调参过程较为繁琐。而且这些方法所生成样本的分布特性大多只是在二维或三维空间进行了可视化验证，在更高维的复杂图像或者特征空间中，或许就无法得到理想的紧致分类面，这或许就是第二种方法在精度上略低于第一种几何变换类的方法的原因^[102, 117]。所以，如何更直观有效地设计负样本生成算法使其紧密分布在正常样本周围依然是一个需要解决的问题。

2.2.3 基于图像重构的异常检测方法

基于图像重构的方法，其核心思想在于对输入的正常图像进行编解码，并以重构输入为目标训练神经网络，以此来学习正常图像的分布模式。然后在检测阶段通过分析重构前后图像之间的差异来进行异常检测。根据采取的训练模式，常用的基于图像重构的方法大致包含基于自编码器和基于生成式对抗网络（Generative adversarial networks, GAN）两种类型。

1) 在基于图像重构的方法中，最为常用的网络结构为自编码器（Autoencoder, AE）^[118-119]。仅利用正常样本训练得到的自编码器，在测试阶段能够良好地重构正常图像。而对于存在异常的图像，在图像编码以及后续的重构过程中都会与正常图像产生较大的差异，而差异的大小即为衡量待测样本异常程度的指标。

自编码器的结构如图 21 所示，其一般由 1 个编码器和 1 个解码器组成，且两者的网络结构一般是对称的。其中，编码器在网络前向传播过程中不断缩小特征图的尺寸，以此来删除冗余的信息。而解码器负责对特征进行解码，得到与输入图像相同大小的图像，通过计算重构前后图像之间的差异来训练网络。而在此过程中最为常用的损失函数就是均方误差（Mean square error, MSE）^[120]。MSE 用重构前

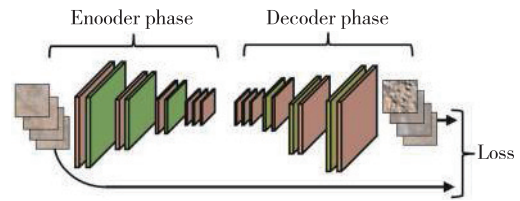


图 21 自编码器的结构^[119]

Fig.21 The structure of autoencoder^[119]

后图像中所有像素点上的像素值之差的平方均值来衡量图像重构的质量。训练结束后，由于瓶颈结构的存在，对于一些异常区域面积较小的样本，自编码器能够在图像编解码的过程中消除异常区域的影响，重构出一张正常图像作为参考，随后可以通过逐像素比较的方式得到异常区域。

很多方法利用自编码器来进行异常检测^[121-123]。Mei 等^[119]利用降噪自编码器来进行纹理图像的异常区域定位，作者将样本切分成一系列小的图像片并分别进行重构。此外，Mei 等还表明结合多尺度的策略^[124]，即在多个不同尺度下对图像进行重构可以有效地提升异常的定位精度。

除了重构误差，近期有一些方法开始利用图像重构中得到的梯度信息来进行异常检测。Kwon 等^[125]指出，重构误差一般仅衡量了在中间层特征空间以及最后的图像空间内的差异。但如果分析梯度差异，则可以从重构网络的任意一层处获取并进行比较，这使得基于梯度的方法能从更全面的角度衡量待测图像的异常程度。此外，Zimmerer 等^[126]表明在异常样本上计算得到的梯度还提供了额外的方向信息辅助分类。对于图像而言，异常图像上计算得到的梯度其实就代表着朝向正常样本的优化方向。这些优点使得梯度向量相比于简单的重构损失能提供更加完备的信息。Zimmerer 等^[126]首先将梯度信息引入到了异常检测任务中，通过计算变分自编码器（Variational autoencoder, VAE）中证据下界（Evidence lower bound, ELBO）相对于输入图像的梯度来进行异常检测。Kwon 等^[125]利用余弦相似度来计算正

常样本梯度向量之间的角度,以此来构建正常样本梯度向量的方向一致性约束。在测试阶段出现不满足该一致性约束的梯度向量时,则认为该图像为异常图像。Chu 等^[127]则从一个全新的角度进行异常图像检测,作者们发现自编码器在以正常样本为主的训练集上训练时,正常图像的重构误差会稳步下降,但异常图像的重构误差则会出现波动。因此,作者通过分析损失函数的变化曲线(Lossprofile)以实现未标记样本中异常图像的检测。

不过,这种基于传统自编码器的图像重构方法存在重构后图像比较模糊的问题。自编码器常用的 MSE 统计了每一个像素点上的重构差异,但由于瓶颈结构的存在,在编解码的过程中会有信息的丢失,导致从理论上来说自编码器无法保证每一个像素点上的像素值都不变。如果迫使 MSE 接近于 0,则会得到一个大致而平均的结果,这就使得重构后的图像容易模糊,在边缘区域会出现较多的差异从而影响后续的异常定位过程。

对于自编码器重构较为模糊的问题,早期方法会尝试采用 VAE 并结合编码后的特征辅助异常检测^[128],或者修改重构阶段的损失函数^[120]来进行改进,不过效果都比较有限。Abati 等^[129]则是在图像重构的基础上,引入

了自回归过程以学习潜在表示的概率分布,并通过最小化隐变量分布的微分熵来训练网络。相比于 VAE,这种更加灵活的隐变量分布提升了图像重构的质量和异常检测的能力。

此外有方法尝试通过修改网络结构的方式优化重构的质量,Zhou 等^[16]通过额外增加一条用来提取图像结构的支路来尽可能地保留输入样本的信息。作者采用预先训练好的网络提取输入样本的结构特征,并且将此特征融合到图像重构的训练过程中。此外,还通过比较重构前后图像结构信息的方式来确保重构图像的质量。

除了重构模糊的问题,基于自编码器的方法还存在着无法保证完全消除输入图像中的异常区域的问题^[11]。当训练样本比较多样化时,自编码器会体现出强大的学习能力并对潜在的异常样本产生过强的适应能力。如图 22 所示,自编码器仅使用了数字 8 进

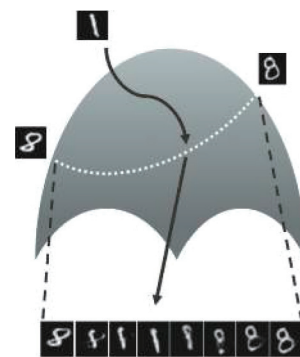


图 22 异常样本的重构示意图^[130]
Fig.22 The reconstruction of anomalous images^[130]

行训练。在编码异常图像数字 1 时,虽然 1 对应的特征向量在特征空间中会远离正常特征向量的分布区域,但重构网络依然重构出了与输入接近的图像,导致其重构前后的差异反而较小,使得一些异常样本被误判成正常样本。针对这一问题,大多方法采用对隐变量进行编辑的方式来解决。Tian 等^[131]尝试利用一个全连接层优化待测图像隐变量,迫使其接近于正常样本的特征向量,以此来保证重构后的图像中不存在异常区域。此外,如图 23 所示,

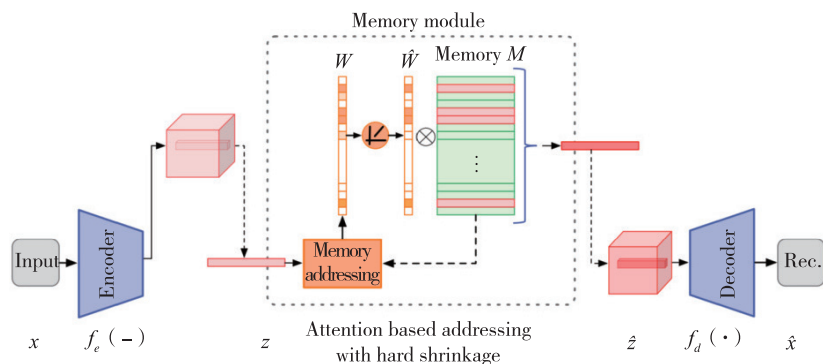


图 23 隐变量编辑示意图^[132]
Fig.23 The editing of latent vector^[132]

Gong 等^[132]提出的记忆强化自编码器 (Memoryaugmented deep autoencoder, MemAE) 在自编码器的基础上, 增加了一个记忆模块, 用来存储最具有代表性的特征向量以提升图像重构的稳定度。

不过该方法存在一个问题就是需要大量的空间存储训练得到的记忆模块, 文章中一共采用了 1000 个记忆向量来保证特征重构的效果。针对这一问题, Park 等^[133]在 MemAE 的基础上, 尝试提升记忆向量学习的有效性。在记忆向量的训练阶段, 结合聚类中类内紧致类间可分的思想, 最小化归属于同一记忆向量的特征的类内距离, 同时提升不同记忆向量之间的可分度。通过增加这两项损失函数, 作者将记忆模块的容量从原先的 1000 个降到了 10 个, 显著提升了算法的效率。除了编辑隐变量, Dehaene 等^[134]采用直接在图像空间内进行迭代优化的方式来消除重构图像中的异常结构, 相比于优化隐变量再解码的方式, 这种直接在图像空间内优化的方式能更好的保留图像的细节。不过, 上述几种方法在检测阶段的优化过程较为烦琐且耗时。而 Yang 等^[11]在隐变量层增加了基于聚类损失的正则项来避免重构出异常区域, 在纹理图像上的效果较好, 但缺乏理论上的保证。

2) 基于 GAN 的异常检测方法大多是利用 GAN 能生成逼真图像的特点^[106], 采用 GAN 来重构出比自编码器更加清晰的图像。而根据其具体重构方式, 又可分为直接利用 GAN 重构以及结合 AE 与 GAN 重构两个类型。

直接利用 GAN 重构的方法考虑到原始的 GAN 仅创建了从隐空间到图像空间的映射关系, 因此采用迭代优化的方式获得重构图像。Schlegl 等^[15]提出的基于 GAN 的异常检测模型 (Anomaly detection with generative adversarial network, AnoGAN) 从某个随机变量开始, 计算该变量生成的图像和待测图像之间的差异, 通过梯度下降的方式迭代优化该随机变量, 使得生成的图像逐渐接近待测图像。由于生成器仅使用正常样本进行训练, 所以理论上仅能生成正常样本。当待测图像中存在异常区域时, 生成器会生成与其尽量接近但属

于正常类别的图像作为参考, 通过计算待测图像和生成图像之间的差异来进行异常检测。Deecke 等^[135]则在此基础上进行了改进, 从多个点开始尝试对待测图像进行重构, 而且在迭代优化过程中, 同时优化隐变量和生成器内部参数, 以此来提升图像重构的质量。AnoGAN 已经在实际检测任务中有了相关的应用^[136], 不过其存在算法效率上的不足。AnoGAN 在检测阶段需要进行多次的迭代优化来生成合适的正常图像作为参考, 迭代优化的过程会显著增加算法的执行时间, 在一些需要实时检测的任务当中就无法应用。

而更多的方法会将 GAN 与 AE 结合, 将 GAN 中对抗训练的思想引入到传统 AE 的训练框架中, 以此来提升自编码器的重构质量。

在异常检测领域, 常见的结合 AE 与 GAN 的方法如图 24 所示, 在自编码器的基础上增加一

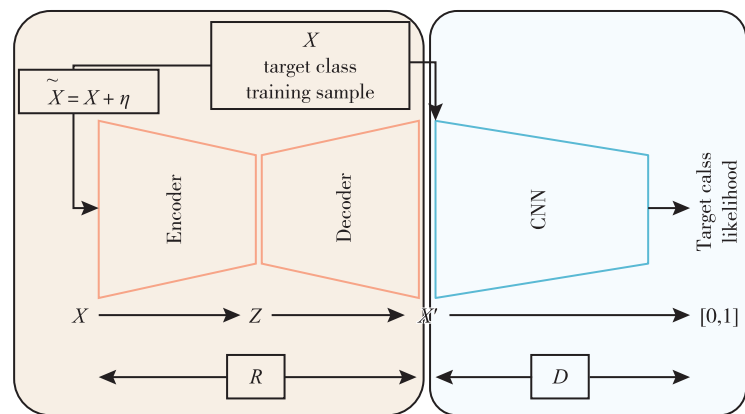


图 24 结合自编码器和 GAN 进行图像重构^[107]
Fig.24 Image reconstruction based on autoencoder and GAN^[107]

个判别器,用来区分重构后的图像和输入的真实图像,通过判别器和重构网络的对抗训练来提升重构图像的质量^[137-139]。Baur等^[140]在VAE的基础上,增加了对抗损失来对医学图像进行更为真实的重构。Akçay等^[141]在传统重构误差的基础上,还统计了重构前后图像经编码器和判别器提取到的特征之间的差异,通过多角度的约束迫使重构后的图像在特征空间和图像空间中都能尽量地与原始图像接近。Schlegl等^[142]直接用GAN中训练好的生成器替换了原始AE中的解码器,以一种更为直接的方式利用GAN强大的图像生成能力来进行图像重构。Tang等^[143]将原本仅用来对图像进行二分类的判别器替换成了一个辅助的图像重构网络,原本判别器执行的二分类任务也转换成了一个重构任务,通过这种更为直观的约束来提升自编码器的重构质量。Venkataramanan等^[144]表示,人们会需要观察整张图像来觉察到哪里是有异常的部分,意味着图像中所有的区域都有助于进行异常检测。因此,作者在结合了VAE与GAN进行图像重构的基础上,计算出了重构过程中的注意力图^[145],并期望注意力图对于所有正常图像区域都能输出高值。而在检测阶段,当图像中出现没有训练过的异常图像模式时,就会表现出低注意

力的情况。

不过在实验过程中,即便是使用正常样本训练得到的GAN,同样也会生成一些低质量的图像^[146],导致在重构图像中可能会残留异常区域。虽然其概率相比于基于自编码器的方法要小,但依然不容忽视。Perara等^[130]发现,自编码器的这一问题主要是由于中间层对应的特征空间中,还存在着能解码出其他类型图像的区域。所以,作者们提出的单类GAN(One-class GAN, OCGAN)通过一种梯度上升的方法,主动地探索并消除中间层特征空间内能解码成其他图像的区域。但毕竟中间层特征向量的空间维度较高,通过这种探索式的策略很难全部覆盖到,这种利用梯度上升的方法可能仅能优化原始特征向量分布区域附近的区域。而且OCGAN在CIFAR-10数据集上的实验表明该方法在较为复杂的图像异常检测任务中优势并不明显。

此外,在某些正常样本数量也极少,经典的重构网络可能会出现过拟合等问题。而GAN也可能无法获得生成多样化数据的能力,因为GAN本身就是一个需要大量数据进行训练的模型,当数据量不足时会严重影响其图像生成的能力。因此,Lu等^[147]借助了小样本学习中元学习^[148]的思想来进行异常图像帧的

检测。作者预先在多个数据集上进行元训练,来得到一组有良好通用性的重构网络权重。而对于新的异常检测环境,仅需要少量正常图像进行几次梯度下降优化就能得到最适合目标场景的检测模型。

图像重构类方法借助重构后的图像,无需采用滑窗或者逐区域分析的方法就可以高效地实现异常区域的定位。

不过,图像重构类方法也有许多值得进一步研究的内容,如正常区域重构误差的问题。由于瓶颈结构的存在,在重构过程中很容易丢失图像细节,导致在重构前后图像比较过程中在正常图像区域出现较大的差异,现有方法往往难以解决这一问题,这一点在结构复杂多样的医学图像中尤为显著,如图25所示虹膜和眼底图像,矩形框代表着存在异常的区域。可以看到重构前后的图像在正常区域内也存在较大的差异,特别是在具有细致纹理的区域。因此也有方法不直接从像素级别的重构误差进行分析,Xia等^[149]针对的是图像语义分割中的异常检测任务,在利用GAN将分割结果重构成正常图像后,通过比较重构前后图像特征间的余弦距离来定位异常目标。

此外还有如何进行大尺度下精细重构的问题。上述许多方法在处理大分辨率图像时大多都会

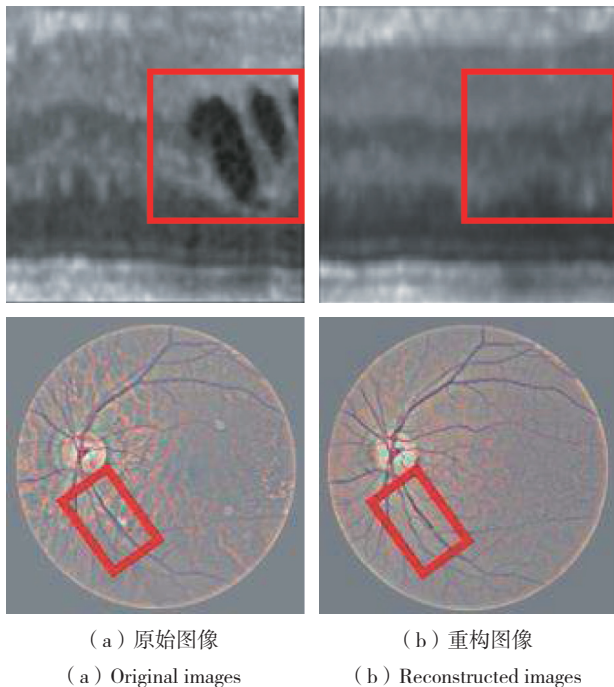


图 25 医学图像的重构^[16, 142]

Fig.25 Reconstruction of medical images^[16, 142]

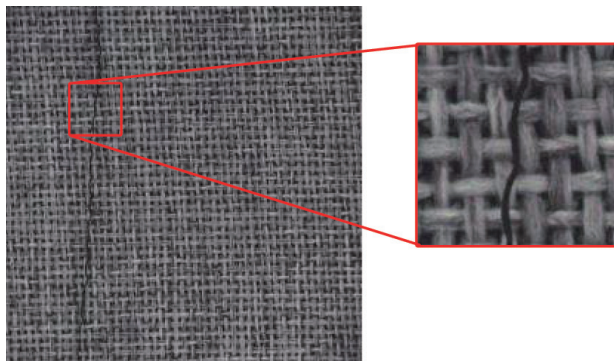


图 26 工业图像中的微小异常^[146]

Fig.26 Tiny anomaly in industrial image^[146]

将原图缩放至较小的分辨率,此时对于异常较为明显的自然图像而言影响不大,但对于如图 26 所示面积占比极小的异常而言,缩放后不仅在原图中难以观测,而且定位过程容易受到正常区域重构差异的影响。而这种小面积异常区域的检测在工业领域内又有较高的需求,因此如何实现大尺度下图像的精细重构或许是值得进一步研究的内容。

2.2.4 结合传统方法的异常检测方法

结合传统方法和深度学习来进行异常检测的方

法,大部分是借助神经网络来实现特征提取,然后通过传统方法对图像特征进行快速分类以实现图像异常检测。Gupta 等^[150]借助用 ImageNet 预训练的网络作为特征提取器,然后借助 OC-SVM 实现对异常图像的分类。Napoleatano 等^[151]对网络提取到的特征利用主成分分析^[152]和聚类算法构建特征向量的字典来进行异常检测。Wang 等^[82]在利用预训练网络进行特征提取的基础上,使用多个超平面和子空间以获得比 OC-SVM 更加贴合正常样本分布的决策边界。

上述这些方法相比于人工设计特征具有更好的效果,不过在自然图像数据集上预训练的网络或许并不适合其他类型比如工业图像和医学图像,在这种情况下就需要利用目标类型的数据集对网络进行特征提取的训练。常用的方式是先利用自编码器进行特征提取,然后计算与正常样本特征向量之间的欧氏距离^[153]以进行异常检测。Sun 等^[154]利用稀疏编码来学习变分自编码器隐藏层特征向量的表示方法,通过特征向量的重构误差来进行异常检测。Alaverdyan 等^[155]在自编码器的基础上结合暹罗网络的思想进行训练,在重构输入图像的同时减小隐变量之间的距离,随后在特征图上构建 OC-SVM 以实现异常区域的定位。Burlina 等^[156]提出了一种更为通用的检测框架,除了使用预训练的网络,还结合 GAN 作为生成式特征提取器,而对于得到的图像特征,则采用 OC-SVM 或者孤立森林^[157]等传统方法进行异常图像检测。Kozarowski 等^[158]则是利用迁移学习的方法学习了从图像特征向量到支持向量机(Support vector machine, SVM)决策面的映射,然后仅使用一张正常图像就可以得到 SVM 的分类面实现异常检测。

大部分上述方法在决策阶段采用了传统的方式,在检测速度上会优于深度学习的方法,相比于传统异常检测方法则有更高的精度和更好的通用性。然而,这类方法在检测精度上要逊于最新的深度学习方法,

表 3 基于深度学习的图像异常检测技术的分类和特点

Table 3 The classification and characteristic of deep learning based image anomaly detection

方法类别	设计思路	优点	缺点	参考文献
距离度量	将正常图像映射到指定区域内,并减小正常特征之间距离,根据待测图像的特征到聚类中心的距离进行异常检测	模型结构简单,适用范围广	模型可能出现退化,需要设计额外的辅助任务,且无法准确定位异常区域	[88-98]
分类面构建	通过几何变换增广现有数据,直接训练分类模型并利用置信度来检测异常	模型训练较为简单,语义信息提取能力更强,异常检测精度很高	几何变换的操作在纹理图像等场景下并不适用	[101-102]
	寻找与正常样本近似的图像作为负样本来训练二分类网络,构建正常图像与潜在异常图像间的分类面	应用场景广泛,异常检测精度高	需要精心设计损失函数和生成的负样本,模型设计复杂	[104-117]
图像重构	利用自编码器等模型学习正常图像的表达式,并根据待测图像的重构误差来进行异常检测	训练阶段无需引入额外的样本,且应用场景广泛,速度较快	一般的方法重构结果较为模糊,且缺乏更为高效可靠的方法避免重构出异常区域	[118-134]
	利用 GAN 来获得更为清晰的图像重构效果	应用场景广泛,异常区域定位精度高	模型训练复杂,而且缺乏理论上的保证	[135-147]
结合传统方法	利用预训练的网络或者自编码器模型对图像进行特征提取,在决策阶段利用传统方法进行异常检测	相比传统方法精度更高通用性更好,且速度较快	在检测精度上略有不足	[150-160]

所以有一种方式是在现有深度学习方法的基础上,在模型训练过程中结合传统方法来进一步提升检测的精度^[159],如Nie等^[160]采用高斯混合模型对自编码器隐变量的分布进行建模,在并不显著影响算法效率的同时提升了模型对全局异常的检测能力。

表3总结了各类基于深度学习的图像异常检测方法的设计思路和优缺点。整体来看,这些方法得益于神经网络强大的学习能力,可以适用于各种纹理和结构下图像的异常检测,因此在检测精度和通用性上要明显优于传统方法。不过相对应的,这些方法也更为复杂,需要设计各种策略

来保证网络的顺利训练。

3 图像异常检测数据集

图像异常检测相关的研究方兴未艾,目前有许多识别定性异常的相关文章是在传统图像分类数据集上开展的,诸如MNIST^[89],Fashion-MNIST^[28],CIFAR-10^[90]等等。而对于定量异常的检测任务,所使用的数据集就与具体的应用领域相关,如表4所示。

在工业外观检测领域,对于织布检测,常用的有TILDA (Textile texture database)^[161]和PFID (Patterned fabric image database)^[162]等数据集。TILDA是最为常用的织布图像

数据集之一,包含8种代表性的纹理图像总计3200张,每种图像提供了正常图像和7种缺陷图像,不过没有提供像素级的标注。PFID则是由香港大学提供的一个包含3种花纹织布的图像数据集,每种图像都提供了数十张正常和异常图像,并且进行了像素级的标注。对于金属表面检测,有MT (Magnetic tile defect datasets)^[163]、RSDDs (Rail surface discrete defects datasets)^[164]和NEU (Northeastern university surface defect database)^[165]等。MT数据集包含5类从不同光照条件下采集到的磁瓦表

表 4 图像异常检测常用数据集

Table 4 Common datasets for image anomaly detection

应用场景		数据集名称	参考文献
工业	布匹	TILDA	[161]
		PFID	[162]
	金属	MT	[163]
		RSDD	[164]
		NEU	[165]
	纳米材料	NanoTWICE	[71]
	综合	MVTec AD	[146]
医学	大脑	BraTS	[167]
	视网膜	AMD	[168]
高光谱	混合	AVIRIS	[169]
		ABU	[170]

面缺陷图像，每类包含数十张缺陷图像并且提供了像素级的标注，同时提供了大量的正常图像作为参考。RSDD 则是一个钢轨表面缺陷数据集，包含两类图像共计 195 张并且提供了像素级标注。NEU 包含了 6 类图像，每类有 300 张热轧带钢表面缺陷图像，不过仅以边界框（bounding box）的形式提供标注，Zhou 等^[166]则是为其提供了像素级的标注。而 NanoTWICE（Nano-composite nanofibres for treatment of air and water by an industrial conception of electrospinning）^[71]是一个常用的纳米材料图像数据集，包含 45 张利用扫描电子显微镜得到

的纳米材料图像，其中 5 张为正常图像，其余 40 张则带有各种缺陷并且提供了像素级的标注。MVTec AD（MVTec anomaly detection dataset）^[146]是一个综合了工业生产中各种常见材质的图像异常检测数据集，包含了 5 种纹理图像和 10 种物体图像，每种图像包含 60 至 320 张正常图像以及几十张带有异常区域的测试图像，并且提供了像素级的人工标注，常用于异常定位方法的验证。而在医学领域，有 BraTS（Brain tumor image segmentation benchmark）^[167]和 AMD（Age-related macular degeneration）^[168]等。BraTS 包含一共 65 张低级别和高级别

神经胶质瘤的多模态核磁共振图像，并且提供了精细的人工标注。AMD 是杜克大学整理的一个针对老年性黄斑病变的大型图像数据集，包含来自 115 个正常眼部和 269 个患者眼部的总计 38400 张谱域光学相干层析扫描图像（Spectral domain optical coherence tomography, SD-OCT），并且提供了精细的像素级标注。而对于高光谱图像则有 AVIRIS（Airborne visible infrared imaging spectrometer）^[169]、ABU（Airport-beach-urban）^[170]等常用数据，囊括了海岸、城市和机场等各种场景的高光谱图像。

除了上述这些数据集，还有很多相关的数据集，但限于篇幅等原因此处不再展示。而 MVTecAD 虽然刚刚于 CVPR-2019 上提出但已经有许多相关方法在其上进行了实验，如表 5 所示。

表中受试者工作特性曲线下面积（Area under receiver operating characteristic curve, AUROC）和区域重叠分数（Per-region-overlap score, PROscore）是常用的两个衡量异常定位效果的指标^[171]。AUROC 中的 ROC（Receiver operating characteristic curve, ROC）是模型在不同分类阈值下真阳性率和假阳性率的变化曲线，而

表 5 各图像异常定位方法在 MVTec AD 上的性能

Table 5 Performance of image anomaly localization methods on MVTec AD

方法	大致思路	定位性能	
		AUROC	PRO-score
AE ^[146]	利用自编码器进行图像重构	0.817	0.790
AnoGAN ^[15]	利用 GAN 中的生成器进行图像重构	0.743	0.443
Iterative Projection ^[134]	在图像重构基础上采用迭代优化寻找最优的正常图像	0.893	—
AESc ^[172]	利用蒙特卡洛对重构网络进行 Dropout 并利用预测不确定性进行异常定位	0.86	—
P-Net ^[16]	在图像重构过程中添加对纹理结构的约束	0.89	—
Uninformed Students ^[97]	联合考虑待测图特征到目标特征之间的距离和方差进行异常定位	—	0.857
CAVGA ^[144]	在图像重构的基础上采用注意力图定位异常区域	0.93	—
FCDD ^[96]	利用全卷积网络提取特征并以偏置项作为特征映射中心	0.96	—
Patch SVDD ^[173]	计算待检图像片和最近似的正常图像片之间的距离进行异常定位	0.957	—
PaDiM ^[171]	用预训练的网络进行特征提取, 利用多维高斯模型进行异常定位	0.975	0.921
SPADE ^[174]	寻找待测样本的 K-近邻正常图像作为参考, 再通过距离度量进行异常检测	0.965	0.917

AUROC 是一个整体的评价指标, 越高说明其模型分类效果越好。不过有文献^[97]指出 AUROC 对于一些面积较大的缺陷会比较宽容, 因此提出了 PRO-score。PROscore 同样也是在一系列阈值下构建性能曲线, 并以曲线下面积作为综合评估指标。不同的是, PROscore 统计的是不同阈值下的区域重叠率 (Per-region-overlap, PRO), PRO 是以二值化后连通域和真值图之间的相对重叠率作为每一个阈值下的模型分类性能。从表 5 中可以看到,

许多方法采用图像重构或者距离度量的方式进行异常区域的定位。虽然前者在速度上更有优势, 但精度上往往不如距离度量类的方法, 这可能是源于图像重构对图像细节的丢失, 也有可能是自编码器容易残留异常区域的问题所导致的。而基于距离度量类的方法则没有上述这些潜在的问题, 特别是 Defard 等^[171]所提出的方法在两个指标上都实现了最高的性能。但从实际的检测结果来看, 该方法速度较慢, 而且会更倾向于提高召回率, 在精准率上的优

势并不明显, 特别是在一些微小缺陷的检测上往往因为异常区域的响应值较低而导致较多的误检现象, 这也表明基于距离度量的方法对于一些微弱异常的检测效果还有待提升。

4 图像异常检测问题面临的挑战

异常检测一般是在没有真实异常样本的情况下进行模型训练, 这种特点使得异常检测任务面临着不小的挑战。

1) 异常样本的未知性。在异

常检测当中，一般仅有正常样本可供使用，由于异常样本的未知性，传统的基于监督学习的目标识别算法难以直接应用到异常检测领域当中。这使得研究人员需要设计新的模型建立方法或者网络训练方法来进行异常检测。而且仅利用正常样本训练得到的异常检测模型对实际异常样本的检测还存在一定的风险，依然可能会遗漏一些人眼认为较为显著的异常目标。

2) 异常定义的不清晰。由于仅拥有正常样本，对于异常的定义存在一定的难度，比如异常程度到多少为异常，如果设定太过严苛，可能会导致很多因噪声而产生的误检出现，而如果太过宽松又会使得一些较微弱的异常项被判定成正常。但又缺乏足够的真实异常样本来辅助这一决策过程，使得现阶段检测方法往往较为严苛，容易出现较多的误检区域。

3) 微弱异常的定位。如第2节所说，图像异常检测一般有分类和定位两个类型。对于异常图像分类任务来说，异常样本和正常样本之间存在明显差异。利用人工设计的特征或者预训练好的神经网络进行特征提取就有望将两者的特征向量区分开。但是对于异常定位任务而言，图像中一般只有一部分区域出现了异常，而且经常会出现面积较小的目标，

比如在工业外观检测过程中可能会出现宽度仅有7个像素的细微异常区域，也可能出现一些对比度较弱的异常区域^[146]。在光谱图像异常检测或者医学图像中病变区域的定位中，目标区域的面积一般都只占整张图像很小的比例，使得异常区域的定位较为困难。

4) 维数灾难。异常检测是一个从数据挖掘领域中发展而来的概念，因此早期的方法也大多是针对低维数据设计的^[79, 81]，而这些方法在面临高维数据时其检测性能会受到严重影响。而图像数据是一个典型的高维数据，即便是最为基础的Mnist数据集，如果仅仅是直接地将其转换成向量也会形成长达784维的向量，这使得一些在数据挖掘中常用的异常检测算法很难直接用于图像数据。

5) 算法的通用性。不同类型的图像数据差别很大，其实际检测的目标也不尽相同，导致现阶段许多异常检测算法是针对某一类图像而开发的。较低的通用性使得现有算法难以应用到新的图像类型当中。

5 展望

本文对近年来图像异常检测方法的发展状况进行了回顾，可以看到针对这一问题已经有了一定数量的研究。关于未来可能的

研究方向，我们认为可以从以下几个角度进行考虑：

1) 构建更为高效的异常检测算法。对于异常检测而言，不仅仅需要对待检图像进行正常与否的判断，往往还需要对异常区域进行定位。比如工业图像表面的缺陷检测，医学图像中病变区域的定位等等。然而，由于在训练阶段没有任何关于异常区域的标注信息，传统的目标检测或者图像分割的方法无法直接应用到异常检测任务中。因此，现有的方法大多采用的是将待检图像切成一系列的图像块，然后分块进行异常与否的二分类来进行异常区域的定位。而且，为了获得异常区域的准确轮廓，这种切分的步长一般较小，会显著影响算法的效率。现有的一些方法比如频谱分析虽然能够同时处理整张图像以实现高效的定位，但该方法对于图像有一定的要求。而基于深度学习的图像重构方法虽然没有上述约束，但重构图像中残留的异常区域会影响后续的检测。因此，如何兼顾检测精度和实时性仍需进一步的探索。

2) 小样本/半监督学习。现阶段的异常检测方法大部分仅利用正常样本来训练模型。但是在实际检测任务中，并不是完全无法获取真实的异常样本。比如在工业外观检测任务中，少量的缺陷样本是可以获取的。而且对几

张缺陷图像进行标注并不会显著地增加训练成本。而且相关文献^[96]初步尝试了在训练过程中引入一张真实异常图像并且获得了一定的效果提升。因此可以考虑结合小样本学习的方法,利用大量正常样本和几张真实的异常样本来进行模型训练以提高性能。而有些异常检测任务面临的是严格无监督的环境^[98],连所用样本是否属于正常样本也不可预知,此时训练样本中存在的少量异常样本就会对模型的训练产生性能上的影响,如果采用半监督的训练方式,对少量正常和异常样本进行标注,可以有效提升模型对潜在异常样本的检测能力。但是这种方法还是会面临一些问题,比如采集到的异常样本显然不可能囊括所有类别,如何让模型兼顾对已知类型和未知类型异常样本的检测能力,也是一个待研究的任务。

3) 更自适应的样本合成方法。在许多相关的文献中^[105, 108, 110]都已经证明了在模型训练阶段,引入各种人工构造的异常图像能有效地提升检测性能。即便构造的异常图像与真实的异常图像并不相同,额外增加的异常图像可以提升分类面的贴合度或者背景重构的稳定度,这都可以增加模型对潜在异常图像的检测能力。但相关文献表明这些额外的异常样本越接近与正常样本模型的性能越好^[105]。然而,相关方法中额外使用的异常图像大多是采集自别的数据集,这些图像一般与正常样本的分布之间存在较为明显的差异。虽然有方法尝试采用梯度上升的方式合成异常图像,但该方法在更为复杂的图像上的结果还有待论证。因此,如何针对各种正常图像自适应地合成异常样本也是一个有待解决的问题。

4) 轻量化网络设计。基于深度学习的异常检测方法得益于神经网络强大的学习能力往往能得到比传统方法更优秀的性能,但代价是需要更多的计算量和更长的处理时间。对于一张待测图像,需要利用深层神经网络提取特征向量以区分正常和异常样本,而且重构类的方法还需要再次经过第二个深层神经网络来重构输入图像。因此,更为轻量化的网络设计能够减少方法的运行时间。此外,大多数方法在验证时硬件条件较好,而实际生产现场要部署同等算力的设备会需要较高的成本,因此,轻量化的网络设计在减少计算量的同时,还能降低对硬件设备的需求,降低在实际应用中的成本。针对这一问题,现阶段常用的有两类方法:

a) 轻量模型设计,设计更为高效的网络计算方法以实现减小模型体积的同时保持性能不变,例如 MobileNet^[175]等。也可以采用知识蒸馏的方式,用复杂网络

的输出作为目标来训练一个更为简单的网络;b) 模型压缩,有通过剪枝的方式剔除冗余的权重以减小模型大小,也有通过网络量化的方式,以牺牲一定精度为代价减小网络参数所占空间,其中二值化模型具有突出的压缩性能,更利于模型部署。

5) 更高精度的异常定位方法。对于异常定位任务,现有的方法大多会采用滑窗的方式将原始图像分解成一系列小的图像区域,然后再利用异常分类的方式对每一个区域进行异常与否的分析。这种分块分析的方式无法精准地定位异常区域,处于异常纹理与正常纹理的交界处的图像区域也很有可能被误判为异常。而对于能直接定位异常的图像重构类方法,又会因自身重构精度的限制,在正常纹理区域也会出现差异,这也会影响对一些微弱异常区域的定位效果。在医学和工业等领域内异常目标的检测中,不仅要关注召回率,异常检测的精准率也十分重要。但从现有方法的效果看,许多方法主要在召回率方面性能优异,因为在实际应用领域中漏检的危害性远高于误检。但如果能够在保证召回率的同时提高精准率,尽可能减少后续人工或者算法的二次处理,异常检测方法将能更广泛地应用在实际领域中。因此,如何精准定位异常区域并减少对正常图像

区域的误判情况，同样也是一个值得研究的问题。

6 结论

图像异常检测的目标是在真实异常样本难以获取的情况下，构建分类模型对潜在的异常图像

进行检测。本文首先介绍了异常的定义和常见的类型。然后按照具体的检测思路，分别对传统的和基于深度学习的图像异常检测方法的发展现状进行了综述和分析，并且给出了未来可行的研究方向。现阶段对于图像异常检测

方法已经有了较多的研究，但依然可以在算法的检测效率、小样本 / 半监督学习以及更自适应的样本合成方法等方面有进一步的发展。○

来源:《自动化学报》

作者简介



吕承侃 中国科学院自动化研究所精密感知与控制研究中心博士研究生。2017 年获得山东大学学士学位。主要研究方向为神经网络，计算机视觉与图像处理。

E-mail: lvchengkan2017@ia.ac.cn



沈 飞 中国自动化学会会员，中国科学院自动化研究所精密感知与控制研究中心副研究员。2012 年获得自动化研究所博士学位。主要研究方向为视觉检测，机器人视觉控制与微装配。

E-mail: fei.shen@ia.ac.cn



张正涛 中国自动化学会高级会员，中国自动化学会智能制造专业委员会委员，中国科学院自动化研究所精密感知与控制研究中心研究员。2010 年获得自动化研究所博士学位。主要研究方向为视觉测量，微装配与自动化。本文通信作者。

E-mail: zhengtao.zhang@ia.ac.cn



张 峰 中国自动化学会高级会员，中国自动化学会智能制造专业委员会委员，中国科学院自动化研究所精密感知与控制研究中心副研究员。2012 年获得自动化研究所博士学位。主要研究方向为机器人控制，机器人视觉控制与微装配。

E-mail: feng.zhang@ia.ac.cn

构形可变移动机器人的构形评价、优选及变换规划

文 / 冯婷婷 谭炯钰 谷世超 叶文达 朱海飞 管贻生

摘要：为提升移动机器人对环境的适应能力，提出了一种适用于车体构形、轮距和轮向可变的轮式移动机器人的构形评价、优选和变换规划方法。该方法以转弯所需半径、通过宽度和稳定角为指标评价不同构形下机器人的移动性和稳定性，然后构建权重系数多目标模型从构形集合中优选与环境特征匹配的构形，再将任意两构形之间的变换规划转化为网络路径搜索问题来求解耗能最少的变换路径。最后，通过实验验证了所提评价指标、构形优选以及变换路径规划方法的合理性和有效性。研究结果可为此类构形可变轮式移动机器人的设计分析和运动规划提供指导或参考。

关键词：移动机器人；构形评价；构形优选；构形变换

1 引言

可变形移动机器人具有特殊的结构设计，可以根据需要改变自身构形，从而在非结构化场景中完成一些复杂的作业任务，例如外星探测、人员救援、危险废弃物清理等^[1-3]。典型的可变形移动机器人包括哈尔滨工业大学研发的UBot^[4]，瑞士仿生机器人实验室研发的Roombots^[5]以及英国谢菲尔德大学研发的HyMod^[6]等。目前，相关研究主要集中在机器人系统开发。该类机器人虽已具有构形变换的潜能，但是普遍缺乏改变构形的依据和规划方法。

构形变换是机器人从当前构

形变换至目标构形的过程，其关键问题之一就是选择合适的目标构形，因而需采用合理的指标对机器人不同构形进行评价，将评价结果作为选择的依据。文^[7]研究和对比了不同构形的地面移动机器人的运行性能，主要讨论了运行特性（动力性指标：平均速度、加速度；平稳性指标：最大和最小加速度差）和通过性（能否通过某一给定路段）两类指标，不涉及机器人构形的变化。文^[8]针对地震辅助救援四足机器人提出了生存能力、运动能力、作业能力以及环境交互能力几项指标，通过分析评价数据指出了四足机器人在设计上的一些不足。文^[9]定量分析和对比了可变形机器人

不同构形的转向能力，但未对其他指标进行研究。从环境适应性角度来看，目标构形优选是基于评价结果从构形集合中选择与环境特征最匹配的构形。由于缺乏合理的构形评价指标及结果作为依据，目前还没有关于移动机器人构形优选的相关研究。

构形之间的变换路径规划也是机器人构形变换的关键问题之一。Zhao等^[10]以构形相似度作为机器人构形变换规划的搜索驱动函数，提出了以较少变换步骤为目标的路径搜索方法。以4个可重构模块组成的地面移动清洁机器人作为对象，文^[11]研究并绘制了机器人7种构形之间重构变换的能耗矩阵，通过仿真与实验验

证了在机器人清扫地板过程中考虑构形重构能耗的意义。构形变换路径规划既要考虑运动约束下的变换可行性,也要考虑变换空间、能耗和效率等综合指标。

综上所述,目前构形可变移动机器人缺乏构形评价参考依据,构形优选难以开展,构形变换路径规划方法也有所欠缺。针对上述不足,本文提出一种适用于构形可变轮式移动机器人的构形评价、优选和变换路径规划方法。首先,列举构形可变移动机器人 Mobot-VC (modular wheeled mobile robot with variable configurations) 的主要构形,提出构形的分类方法和评价指标;然后构建多目标优化模型,实现根据环境特征优选合适的构形;再建立以构形为节点、变换可行性为边、变换能耗为权的构形变换网络图,将构形变换路径规划转化为网络路径搜索问题,从而求解任意两构形间耗能最少的变换路径。最后,通过实验验证本文方法的合理性和有效性。研究方法及其结果可为此类构形可变轮式移动机器人的设计分析和运动规划提供指导或参考。

2 机器人及其运动学模型

2.1 机器人系统

如图 1 所示,本文研究对象为一种车体构形、轮距和轮向可变的新型轮式移动机器人 Mobot-VC。该机器人采用模块化方法搭建,由 6 个关节模块、2 个轮子模块和 1 个小脚轮构成。关节模块包括 I 型(回转)关节和 T 型(摆转)关节 2 种。其中 I 型关节的关节轴线与转动轴重合,T 型关节的关节轴线则与转动轴垂直。具体而言,机器人躯体中部的 4 个 T 型关

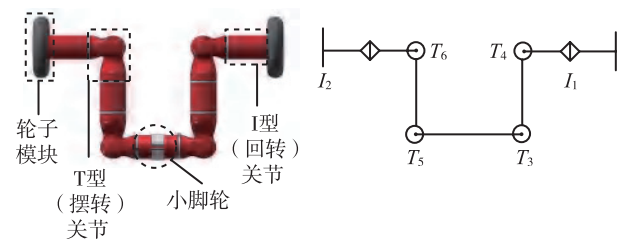


图1 Mobot-VC 机器人及其简图

Fig.1 Mobot-VC robot and its simplified diagram

节的关节轴线互相平行,用于改变车体构形、轮距和轮向;两端各布置一个 I 型关节,作为轮子模块的驱动单元;小脚轮固定安装于机器人车体中间连杆中点的下方,用于支撑机器人的躯体,使之不直接接触地。

Mobot-VC 机器人的主控制器为工控机,操作系统为 ROS (robot operation system)。上述每个关节模块均集成了电机、编码器和伺服控制器。机器人控制采用分布式架构,主控制器通过 USB-to-CAN 方式与每个关节模块的伺服控制器通信,实现每个关节模块的运动伺服控制^[12]。本文构形优选和变换路径规划算法在机器人主控制器中运行。

2.2 运动建模

由于小脚轮为被动轮,且其运动在理论上对机器人变构形运动不产生影响,因此在运动分析过程中可忽略小脚轮的运动。如图 2 所示,在机器人车体中间连杆中心(小脚轮处)建立坐标系。图中 q_i ($i=1, 2, \dots, 6$) 为各关节角, l_0 、 l_1 和 l_2 为各连杆长度, u_j ($j=1, 2$) 为轮子模块的位姿。由机器人运动学推导公式可得轮子模块的位姿^[13]为

$$u_j = \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ \theta_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \cos q_{2j+1} + l_2 \cos(q_{2j+1} + q_{2j+2}) \\ \frac{l_0}{2} + l_1 \sin q_{2j+1} + l_2 \sin(q_{2j+1} + q_{2j+2}) \\ q_{2j+1} + q_{2j+2} + \frac{\pi}{2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, u_1 和 u_2 分别是关于 q_3 、 q_4 及 q_5 、 q_6 的函数。

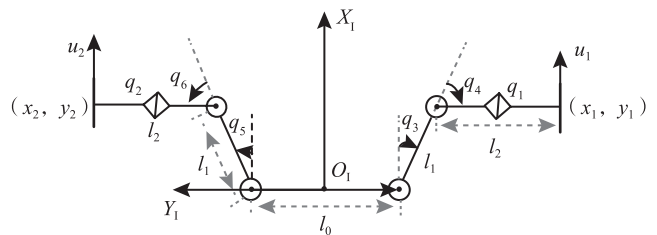


图2 机器人运动建模示意图

Fig.2 Schematic diagram of the robot kinematic modeling

当机器人 4 个 T 型关节的角度发生改变,车体形状、相应的轮距(两轮子模块中心点之间距离)和轮向(轮子模块的方位)均会发生变化。而轮式移动机器人运动必须满足非完整约束,即轮子与地面之间只

有纯滚动而没有相对滑动。因此,如图3所示,图3(a)中关节运动应满足以下速度约束:

$$\begin{cases} \dot{q}_3=0, \dot{q}_4 \cdot l_2=\dot{q}_1 \cdot r_w \\ \dot{q}_5=0, \dot{q}_6 \cdot l_2=\dot{q}_2 \cdot r_w \end{cases} \quad (2)$$

图3(b)中关节运动应满足:

$$\begin{cases} \dot{q}_4=0, \dot{q}_3 \cdot (l_1+l_2)=\dot{q}_1 \cdot r_w \\ \dot{q}_6=0, \dot{q}_5 \cdot (l_1+l_2)=\dot{q}_2 \cdot r_w \end{cases} \quad (3)$$

其中, r_w 为轮子模块半径。

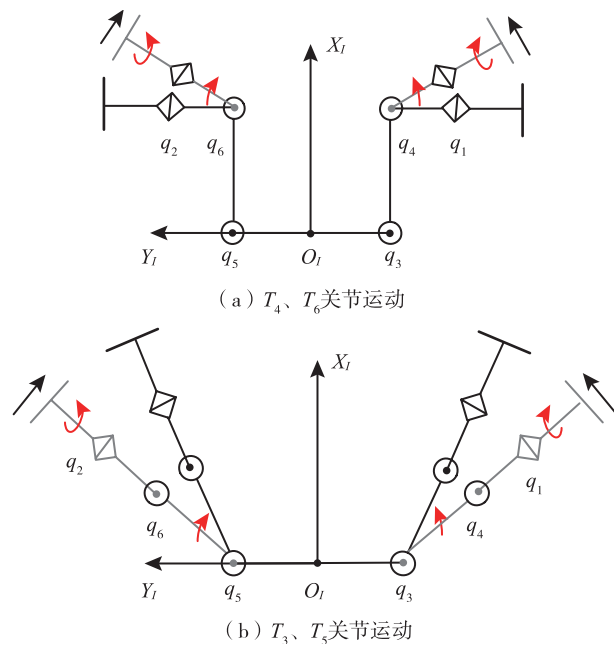


图3 变构形示意图

Fig.3 Schematic diagram of varying the configuration

2.3 构形分类

记机器人某一构形为 c_i , 则其构形集合可表示为 $C=\{c_i|i=1, 2, 3, \dots, m\}$ 。本文将所研究的机器人构形依据两轮子模块轴线的几何关系划分为3大类: 轮轴共线 C_{Co} 、轮轴平行 C_{Pa} 以及轮轴相交 C_{In} 。设两轮子模块的轴线方程分别为 $a_1x+b_1y+n_1=0$ 及 $a_2x+b_2y+n_2=0$, 则构形分类条件为

$$c_i \in \begin{cases} C_{Co}, D \neq 0 \\ C_{Pa}, D=0, D_x \neq 0 \text{ 或 } D=0, D_y \neq 0 \\ C_{In}, D=D_x=D_y=0 \end{cases} \quad (4)$$

式中,

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}, D_x = \begin{vmatrix} -n_1 & b_1 \\ -n_2 & b_2 \end{vmatrix}, D_y = \begin{vmatrix} a_1 & -n_1 \\ a_2 & -n_2 \end{vmatrix}$$

在上述三大类构形基础上还可细分出更多的构形。根据T型关节角取值分别为 0° 、 $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 和 $\pm 135^\circ$, 可列举机器人的构形集合, 去掉对称以及形态相同的构形后, 机器人 Mobot-VC 的主要构形如图4所示。由非完整运动约束可知, 轮轴共线类构形的机器人可直行或转向, 轮轴平行类构形的机器人

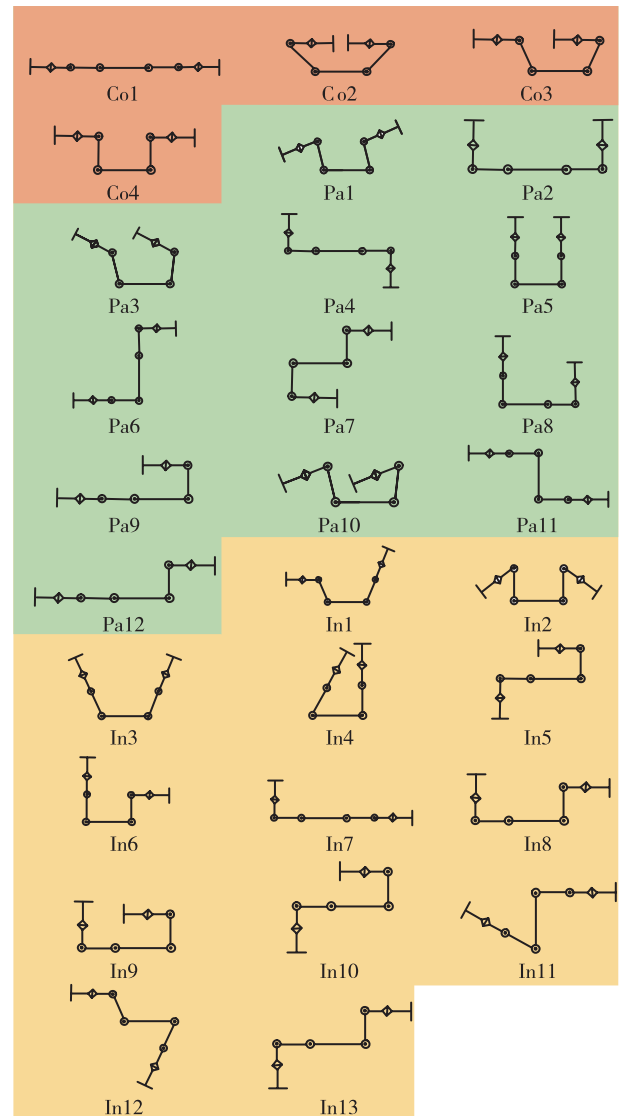


图4 本文研究机器人的主要构形

Fig.4 Main configurations of the robot studied in this paper

只可直行，而轮轴相交类构形的机器人只可转向。

此外，如图 5 所示，同一种构形下，机器人的轮距和轮向可以不相同。

3 构形评价

不同构形的机器人具有不同的移动性和稳定性，本文采用 3 个指标进行分析和评价：1) 转弯所需半径 r ，决定机器人移动的灵活性；2) 宽度 h ，决定机器人可否通过给定的通道；3) 稳定角 ϕ ，决定机器人在移动过程中的稳定性。

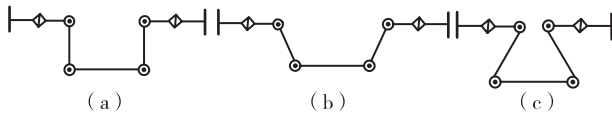


图 5 同一构形、不同轮距的机器人示例

Fig.5 Examples of robots with the same configuration and different track widths

3.1 转弯所需半径

移动机器人转弯时需要一定的空间大小，如图 6 所示，机器人转弯时可视为绕某个点整体转动。其中旋转中心的坐标 (x_A, y_A) 可通过联立两轮子模块轴线方程计算交点获得。而两轮子模块的坐标由式 (1) 可得，其到旋转中心的距离为

$$d_j = \sqrt{(x_j - x_A)^2 + (y_j - y_A)^2}, \quad j = 1, 2 \quad (5)$$

式中，不同构形情况下旋转中心的坐标取值分别为

$$\begin{cases} (\infty, \infty), & c_i \in C_{Pa} \\ (x_j, 0), & c_i \in C_{Co} \\ (x_A, y_A), & c_i \in C_{In} \end{cases}$$

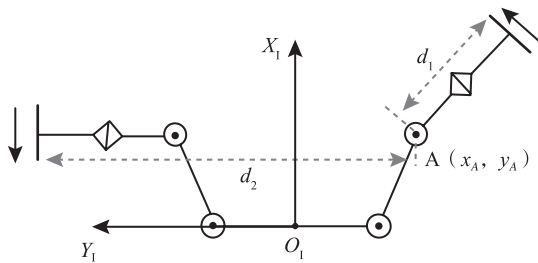


图 6 转弯所需半径分析示意图

Fig.6 Diagram for analyzing the radius required for turning

取两轮子模块到旋转中心更远的距离作为机器人转弯所需的半径：

$$r = \max\{d_1, d_2\} \quad (6)$$

3.2 通过宽度

根据图 7 可知，最小通过宽度的计算公式为

$$h = L \cos \beta + \sigma l_2 \quad (7)$$

式中， $L = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}$ 为机器人轮子模块中心点的连线长度； $\beta \in [0, 90^\circ]$ 为轮子模块中心点的连线与通道截面的夹角； σ 为不同构形的轮距系数，取

$$\sigma = \begin{cases} 1, & \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_2 \text{ 且 } \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2 > 0 \\ 2, & \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_2 \text{ 且 } \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2 < 0 \text{ 且 } L < l_0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中， $\mathbf{v}_1$ 和 $\mathbf{v}_2$ 为轮轴轴线的单位方向向量。

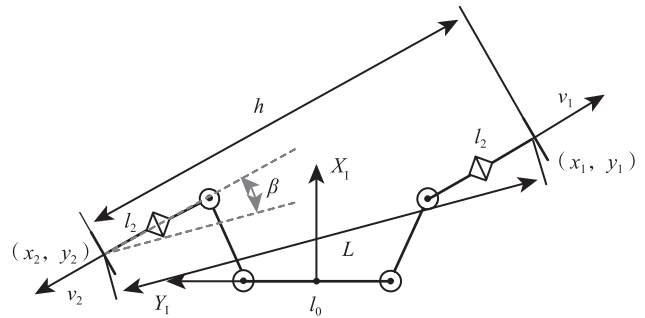


图 7 通过宽度分析示意图

Fig.7 Diagram for analyzing the passage width

3.3 稳定角

本文采用稳定锥方法^[14-15]分析机器人沿边线、角点倾翻的临界角（简称稳定角），以此评价机器人在移动过程中的稳定性。如图 8 所示，取轮子与地面的接触点为稳定锥底面的角点，并记其坐标为 $\mathbf{p}_i$ ($i=1, 2, 3$)；取机器人质心为稳定锥的顶点，并在顶点建立如图 8 所示的坐标系，记重心向量为 $\mathbf{f}_g$ 。则稳定锥底面边线为

$$\mathbf{a}_i = \begin{cases} \mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i, & i = 1, 2 \\ \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_i, & i = 3 \end{cases} \quad (9)$$

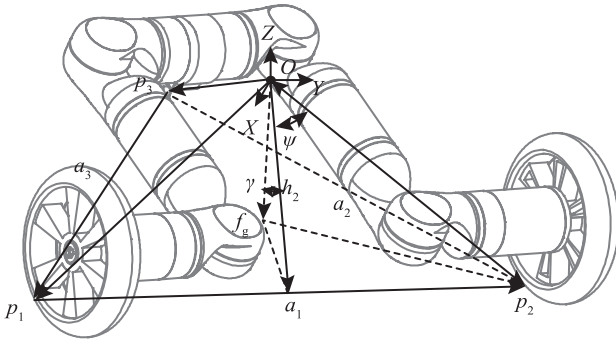


图8 稳定角分析示意图

Fig.8 Diagram for analyzing the stability angle

过重心且与稳定锥底面边线垂直的向量为

$$\mathbf{h}_i = (1 - \hat{\mathbf{a}}_i \cdot \hat{\mathbf{a}}_i^T) \mathbf{p}_{i+1} \quad (10)$$

式中, $\hat{\mathbf{a}}_i = \mathbf{a}_i / \|\mathbf{a}_i\|$ 。则与边线对应的倾翻角为

$$\gamma_i = \lambda_i \arccos(\hat{\mathbf{f}}_g \cdot \hat{\mathbf{h}}_i), \quad i = 1, 2, 3 \quad (11)$$

$$\text{式中, } \lambda_i = \begin{cases} +1, & (\hat{\mathbf{f}}_g \times \hat{\mathbf{h}}_i) \cdot \hat{\mathbf{a}}_i < 0 \\ -1, & \text{其他} \end{cases}。$$

同理, 与角点对应的倾翻角为

$$\psi_i = \varepsilon_i \arccos(\hat{\mathbf{f}}_g \cdot \hat{\mathbf{p}}_i), \quad i = 1, 2, 3 \quad (12)$$

式中,

$$\varepsilon_i = \begin{cases} +1, & (\hat{\mathbf{f}}_g \times \hat{\mathbf{h}}_i) \cdot \hat{\mathbf{a}}_i < 0 \text{ 或 } (\hat{\mathbf{f}}_g \times \hat{\mathbf{h}}_{i+1}) \cdot \hat{\mathbf{a}}_{i+1} < 0 \\ -1, & \text{其他} \end{cases} \quad (13)$$

考虑机器人的全局稳定性, 取稳定锥边线或角点对应的倾翻临界角最小值作为稳定角, 即有:

$$\phi = \min(\psi_i, \gamma_i), \quad i = 1, 2, 3 \quad (14)$$

4 构形优选

将每个机器人构形与上述 3 个指标评价结果关联, 可得构形元组 $\{c_i, h, r, \phi\}$, 其中 h 代表根据式 (7) 计算的通过宽度, r 代表根据式 (6) 获得的转弯所需半径, ϕ 代表根据式 (14) 获得的稳定角。

若给定环境信息, 如过道宽度 H 、无障碍空间半径 R 以及路面倾角 α , 运用多目标优化模型, 即可选

择与环境匹配的机器人构形。利用权系数法建立多目标优化模型:

$$\min F = \omega_1(-h) + \omega_2 r + \omega_3(-\phi) \quad (15)$$

$$\text{s.t.} \quad \begin{cases} 0 < h < H \\ \frac{H}{2} < r < R \\ \alpha < \phi < 90^\circ \end{cases} \quad (16)$$

式中, ω_j 为权重, $\sum_{j=1}^3 \omega_j = 1$, 可采用熵权法^[16]来确定。各评价指标的信息熵可表示为

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (17)$$

式中, $p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$, m 为构形个数, x_{ij} 为采用最小—最大规范化方法处理后的评价结果。进而, 各指标权重为

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{k=1}^3 (1 - e_k)} \quad (18)$$

5 构形变换规划 (Configuration transformation planning)

一方面, 由于轮子模块存在纯滚动约束, 机器人并不能实现任意两构形间的直接变换, 过程中可能需要经过一些中间过渡构形。另一方面, 两构形间变换也可能存在多种中间过渡构形可供选择的情况。为解决上述问题, 本节提出一种基于加权网络模型的构形变换规划方法。

5.1 加权网络模型的构建

为将构形变换规划转化为网络路径搜索问题, 构建以构形为节点、变换可行性为边、变换能耗为权的网络模型 $G^{[17]}$:

$$G = (C, E) \quad (19)$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \cdots & w_{mm} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, & i = j \\ T_{ij}, & i \neq j \text{ 且 } (c_i, c_j) \in E \\ \infty, & i \neq j \text{ 且 } (c_i, c_j) \notin E \end{cases} \quad (21)$$

式中, $C=\{c_1, c_2, \cdots, c_m\}$ 为构形集合, E 为边的集合; W 为能耗矩阵, 其元素 w_{ij} 表示边 (c_i, c_j) 的权, T_{ij} 为从构形 c_i 变换到构形 c_j 所需的能耗。

5.2 构形变化的能耗

构形可变移动机器人的构形由 4 个 T 型关节决定。因此, 分析构形变换所需能耗时只计算 4 个 T 型关节的能耗。机器人的动力学方程一般形式为

$$\tau = H(q) \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \dot{q} + G(q) \quad (22)$$

式中, $q, \dot{q}, \ddot{q}$ 分别为关节角度、角速度和角加速度向量; $H(q)$ 为惯性矩阵, $C(q, \dot{q})$ 为哥氏力和离心力矩阵, $G(q)$ 为重力矢量。

机器人在构形变换过程中所消耗的能量为^[18]

$$T = \sum_{i=3}^6 \int_{t_0}^{t'} \tau_i^2 dt \quad (23)$$

式中, τ_i 表示 i 关节的关节力矩 (关节序号与图 2 对应), t_0 和 t' 分别表示 i 关节运动的起始时间和结束时间。

5.3 基于能耗最小的构形变换规划

对于有权网络模型任意两节点间最短路径的搜索问题, 可以采用 Floyd 算法^[19] (又称为插点法) 一次性获得任意起点到任意终点的最短路径集合。算法流程如图 9 所示。其主要步骤为:

- (1) 根据式 (20) 和式 (21) 构造有权网络模型的能耗矩阵 $W = [w_{ij}]_{m \times m}$ 和路径矩阵 $S = [s_{ij}]_{m \times m}$, 并初始化 $s_{ij}=j$ 。
- (2) 尝试把节点 k 插入到节点 i 和节点 j 之间; 若插入节点后构形变换能耗更少, 则更新能耗矩阵元素 $w_{ij}=w_{ik}+w_{kj}$ 和路径矩阵元素 $s_{ij}=k$ 。
- (3) 遍历所有节点 ($k=1, \cdots, m, i=1, \cdots, m, j=1, \cdots, m$), 重复执行步骤 (2), 得到路径矩阵 S 及对应的能耗矩阵 W 。任意两节点间能耗最少的变换路径即可通过查询 S 和 W 获得。

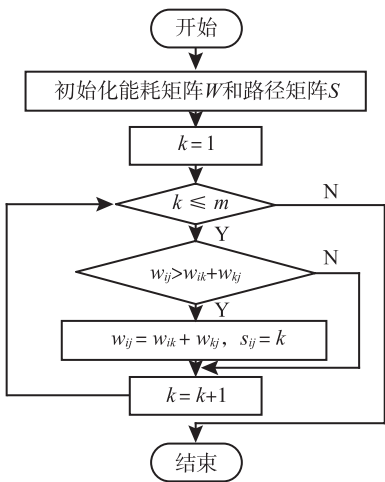


图 9 基于网络路径搜索的机器人构形间变换规划算法
Fig.9 Robot configuration transformation planning algorithm based on network path searching

6 实验与分析

6.1 构形评价分析

本文选取图 4 中 12 种构形作为评价分析的示例, 评价结果如表 1 所示。将各指标计算结果进行最小—最大规范化后绘制出不同构形的性能雷达图, 如图 10 所示。

表 1 部分常用构形评价结果

Tab.1 The evaluation results of commonly-used configurations

构形	通过宽度 h / mm	转弯所需半径 r / mm	稳定角 $\phi / (^\circ)$
Co1	180.0	90.0	2.6
Co2	75.0	82.5	46.3
Co3	96.0	62.5	55.2
Co4	105.0	62.5	59.9
Pa1	120.8	—	49.2
Pa2	36.0	—	66.6
Pa3	75.0	—	69.3
Pa4	36.0	—	2.6
In1	—	75.0	65.9
In2	—	60.0	15.0
In3	—	105.0	74.0
In4	—	85.9	75.8

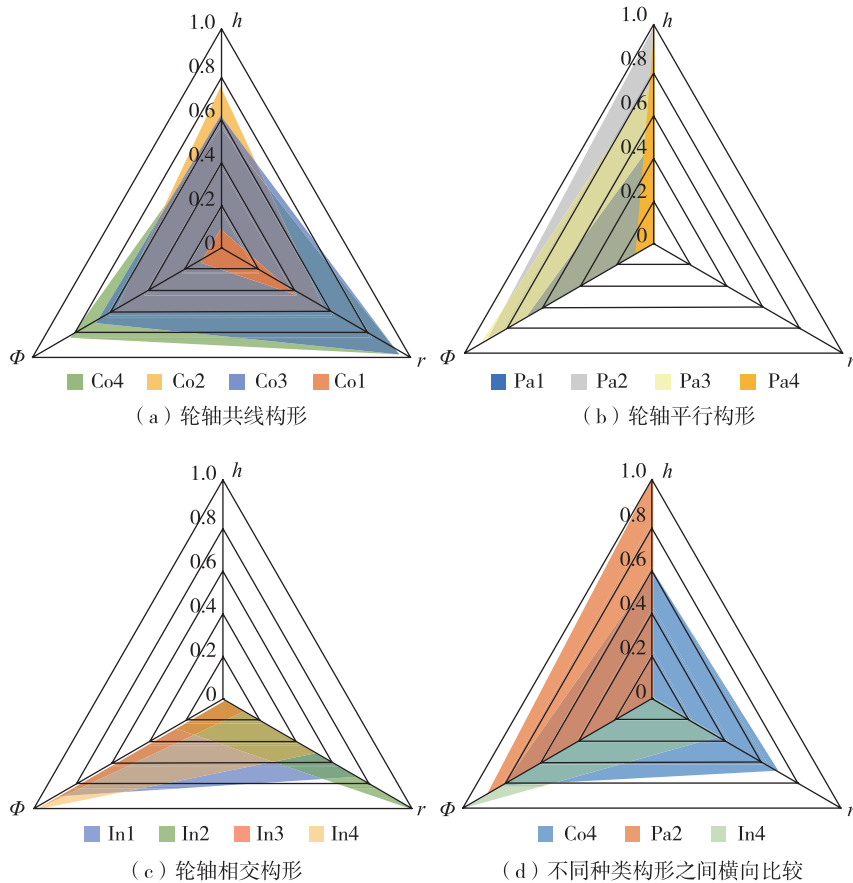


图 10 机器人不同构形性能雷达图

Fig.10 Performance radar chart of the robot with different configurations

根据图 10 (a) ~ (c) 可知, 轮轴共线构形的综合性能 (雷达图面积) 排名为: Co4 > Co3 > Co2 > Co1; 轮轴平行构形的综合性能排名为: Pa2 > Pa3 > Pa1 > Pa4; 而轮轴相交构形的综合性能排名为: In4 > In1 > In2 > In3。将各类别构形中综合性能最好的评价结果绘于一个雷达图中, 得到图 10 (d)。分析图 10 (d) 结果可得:

(1) 构形 In4 相较其他 2 种构形稳定性好, 而另外 2 种指标性能较差。该类构形可实现绕任

意点稳定地做回转运动。

(2) 构形 Pa2 的通过宽度最小, 稳定性较好, 可通过较窄环境。

(3) 构形 Co4 转弯所需半径

最小, 不仅综合性能最优, 同时拥有灵活多变的运动方式。

6.2 构形变换能耗实验

为验证能耗计算模型的正确性, 采集机器人按照指定构形进行变换时的各关节电流、电压以及所用时间, 通过式 (24) 计算实施该构形变换所消耗的能量:

$$T' = \sum_{i=3}^6 |U I_i t_i| \quad (24)$$

式中, U 为电压, I_i 和 t_i 分别为 i 关节的电机电流及运动时间 (关节序号与图 2 对应)。

本文组织了 4 组实验。每组随机选取 2 种构形, 通过式 (23) 计算变换所需的理论能耗, 并在实验中通过式 (24) 获取变换的实际能耗, 结果如表 2 所示。4 组实验中, 构形变换对应的能耗误差约为 -10%。误差主要来源于理论计算时忽略了摩擦以及地形高低等影响。该实验说明式 (23) 可作为构形变换规划所需能耗的计算依据。

表 2 机器人构形变换能耗实验数据

Tab.2 Experimental data of energy consumption for the robot configuration transformation

构形变换	理论能耗 / ($\times 10^3 \text{ J}$)	实验能耗 / ($\times 10^3 \text{ J}$)	误差
Pa5 → Co4	0.826	0.897	-7.92%
Pa5 → Co1	4.086	4.546	-10.12%
Co4 → In2	0.272	0.298	-8.72%
Pa5 → In3	1.382	1.529	-9.61%

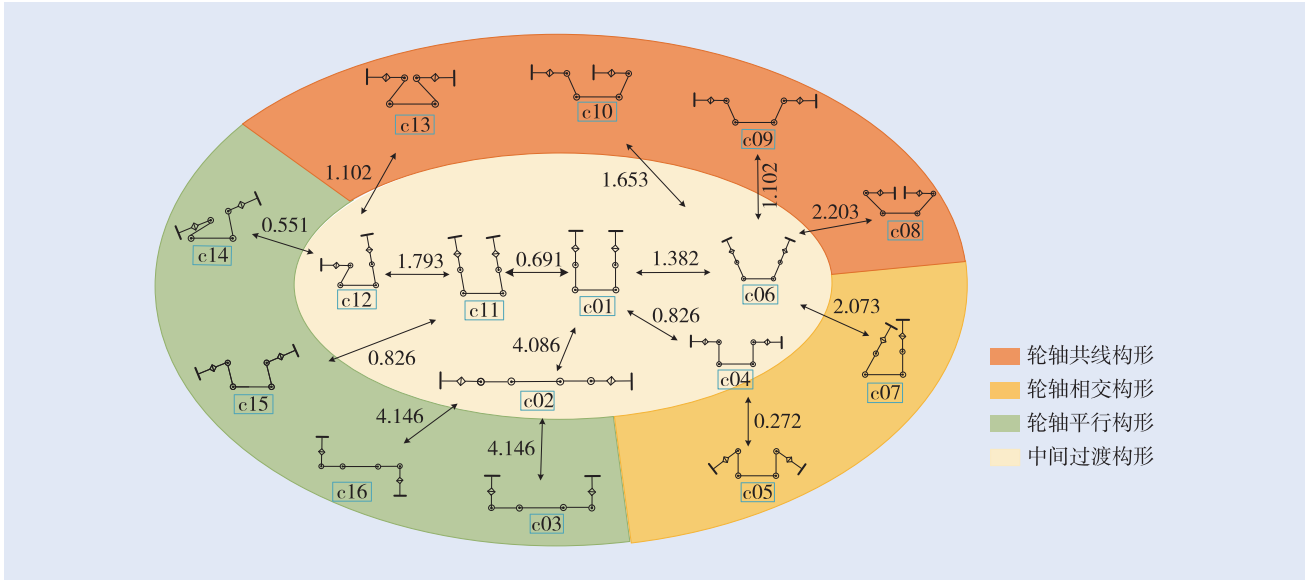


图 11 构形变换网络图
Fig.11 Diagram of the

6.3 构形优选及变换规划仿真

从图 4 中选取部分代表构形，根据非完整运动约束增加必要的中间过渡构形，绘制了如图 11 所示的构形变换网络图。图 11 中，节点为机器人的构形，节点间边的连通性表示两构形可相互变换，边的权值为构形变换的理论能耗；内圈为中间过渡构形，外圈按轮轴共线、轮轴平行和轮轴相交划分为 3 个区域，分别用不同颜色标识。图中的任意 2 个构形都可利用构形变换规划算法得到构形之间变换的过渡路径，且图中任意一个构形都可作为构形规划的起始构形或目标构形。

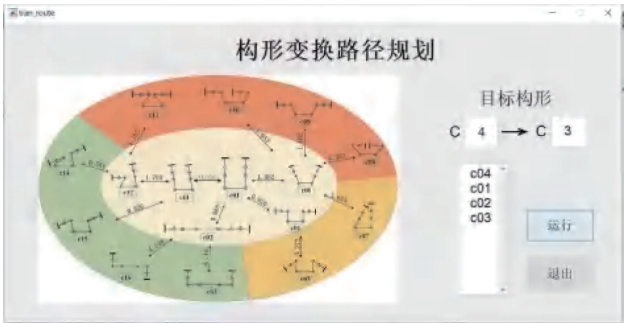
本文利用 Matlab 编写了算法及其界面，用于机器人的构形优选及变换规划，如图 12 所示。图 12 (a) 为将环境信息 (135, 60, 0) 输入构形优选算法界面，得到对应的优选构形 c04；图 12 (b) 为输入 2 个构形 (c4, c3) 至构形变换规划界面，得到构形间变换能耗最小的路径为 c04 → c01 → c02 → c03。

6.4 构形优选及变换规划实验

为展示 Mobot-VC 机器人在本文方法的支持下



(a) 构形优选



(b) 构形变换路径规划

图 12 算法的用户界面

Fig.12 User interface of the algorithm

能够通过改变构形提升其环境适应性，搭建了如图 13 所示的测试环境。该实验环境划分为 A ~ D 四部分 (见图 13 中不同颜色的阴影线)，各部分的结构参数见表 3。为获取机器人运动的实际轨迹，在机器人驱

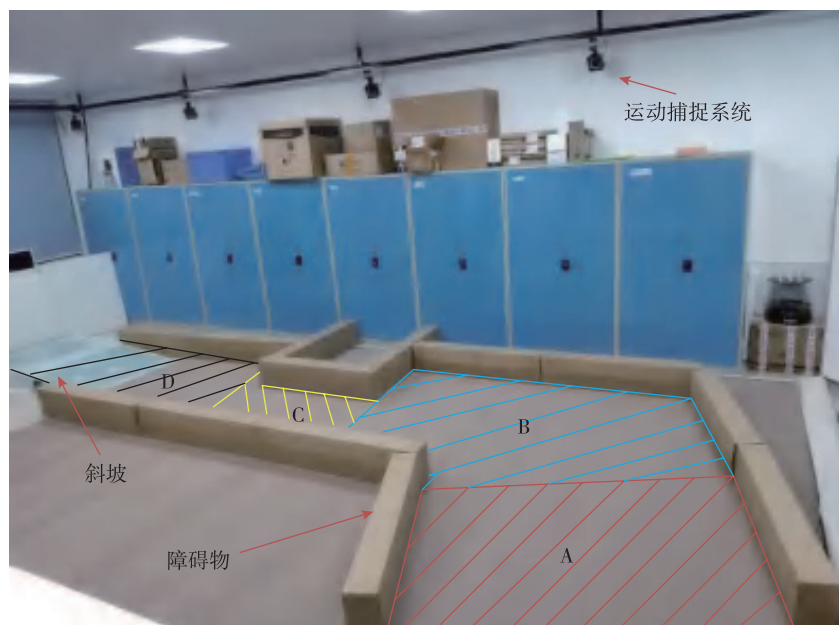


图 13 实验环境

Fig.13 Experimental environment

表 3 实验环境数据

Tab.3 Data of the experimental environment

实验环境	通过宽度 H /mm	转弯所需空间半径 R /mm	路面倾角 $\alpha / (^{\circ})$
A	135	-	0
B	135	60	0
C	50	-	0
D	80	-	20



图 14 构形优选及变换规划实验

Fig.14 Experiment of configuration selection and transformation plan

体中心、两端 I 型关节模块（非旋转部分）分别安装标记，利用运动捕捉系统（OpticTrack，工作范围 $8\text{m} \times 7\text{m} \times 3\text{m}$ ，名义追踪精度 0.1mm ）进行多标记点追踪。

实验开始前给定环境信息，采用传统机器人路径规划算法获得从 A 区到 D 区的运动路径；然后根据环境结构参数通过构形优选，得到机器人在各段路径中的匹配构形；再采用构形变换规划方法分别获得两两构形之间的变换路径；最后一一插补满足式（2）和式（3）的构形变换运动，从而获得机器人从 A 区到 D 区的整段运动轨迹。

图 14 为机器人在构形优选及变换规划运动实验中的视频截图，从图中可知，机器人能根据给定的环境结构参数优选出合适构形，例如通过 C 区狭窄通道、爬上 D 区斜坡时保持稳定性等。若不变换构形，机器人将无法通过 C 区狭窄通道。图 15 所示为机器人各部分的运动轨迹，从图中可见，机器人进行了 4 次构形变换，以适应各区域的环境；机器人躯体中心实际运动轨迹与规划相符，但存在明显的误差累积现象。累积误差的主要原因：机器人两端重量不对称导致两轮子模块与地面摩擦不一致，小脚轮的万向调节功能欠佳导致非轮向摩擦该实验说明机器人能够使用优选的构形及规划的构形变换运动安全、

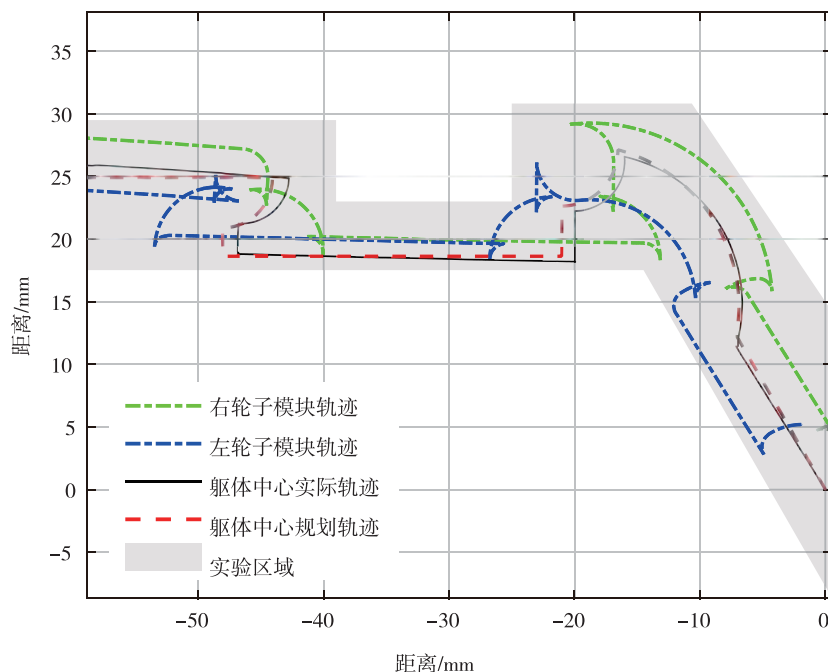


图 15 机器人实际运动轨迹
Fig.15 Actual trajectory of the robot

团队介绍

广东工业大学机电工程学院 BIRL 团队长期从事可重构机器人模块及其系统等研究工作。先后研发了四代机器人关节模块及各种特色功能模块,采用同一套模块化平台搭建了双手爪爬杆机器人、双足爬壁机器人、双足步行机器人、双轮夹巡线机器人及可变构形轮式移动机器人等特色彰显的系统,并基于这些特色系统深入开展了环境感知、运动规划和运动控制等工作。相关工作多次获得机器人领域国际学术会议最佳论文奖,受到国内外同行的关注和追踪。

无碰地通过给定环境。

7 总结

构形可变是本文所研究的机器人系统的特色和优点之一。根据环境结构优选构形并进行构形变换规划,是提升该类机器人环境适应性的有效途径。

本文从构形评价、构形优选及构形变换规划 3 个方面进行了分析和研究,提出了适用于构形可变移动机器人的构形变换规划方法。计算分析表明,轮轴共线构形 Co4 在示例的构形当中综合性能最好;仿真和实验验证了可结合环境特征和构形评价结果进行构形优选,且将构形变换路径规划问题转换为网络路径搜索来解决是可行的;所提出的评价指标和构形变换规划方法可用于这类移动机器人的设计分析和运动规划,提升其环境适应性。

由于篇幅所限,本文仅给出了 3 个构形评价指标,但所提分析思路、构形优选及变换规划方法易于增加更多评价指标,例如瞬时加速性能、制动性能和爬坡性能等^[20]。下一步将为机器人增加环境传感器,研究机器人在线感知环境及同时进行构形变换规划和移动路径规划的问题。○

来源:《机器人》

轧机主传动系统自激振动的滑模变结构控制研究

文 / 张巍巍 师洪涛 王福星 胡庆军

摘要：轧机在轧制过程中，主传动系统会因扭转自激振动产生混沌行为。建立了具有边界振动和间隙的轧机主传动系统自激振动模型，用分岔图和 Poincare 截面分析了扭转自激振动的混沌特性。基于趋近率思想，设计了非奇异 Terminal 滑模控制器，该控制器在参数满足一定条件时避免了奇异问题，同时，提高了趋近滑模面的速度，缩短了调整时间。将设计的控制器用于轧机主传动振动系统的控制，实现了该系统的有限时间稳定。仿真结果表明了该方法的有效性。

关键词：自激振动；Terminal 滑模；指数趋近律

轧机的主传动系统是一个由若干个惯性元件（电机、联轴器、减速机、齿轮座、轧辊等）和弹性元件（连接轴等）组成的“质量弹簧系统”^[1]。轧机在轧制过程中，常常由于打滑使主传动系统产生扭转自激振动而严重影响生产效率，甚至导致该机械系统无法正常运转。为研究轧机主传动的振动问题，文献^[2-3]分析了主传动系统的机电耦合机理，建立了二自由度非线性振动模型，分析了不同参数对振动模态的影响；文献^[4]考虑外激励作用下轧机主传动二自由度非线性模型的振动，分析了实际振动信号的非线性谐振特性，得到了振动幅值与系统阻尼和刚度的关系；文献^[5]考虑间隙、摩擦等分段光滑的动力学特

性的影响，建立了轧机主传动四自由度和三自由度含间隙碰撞模型，通过对系统的解析计算和数值分析，表明该系统在一定的参数条件下具有混沌特性，数值分析得到了系统的混沌分岔图。

由于混沌运动自身的特点，对大多数的机械系统而言，它能产生重要的危害，因此，对机械系统中的混沌运动的控制的研究具有重要的现实意义。为避免混沌现象的发生，控制该非线性振动系统具有期望的动力学特性，文献^[6]利用等效无源控制和比例微分控制将系统控制到稳定的周期轨道，但是系统还不具有期望的动力学特性。目前，国内外学者提出了许多不同的控制混沌的方法，如反馈线性化方法^[7]、比

例-积分-微分方法^[8]、自抗扰控制方法^[9-10]、变结构控制法^[11-12]、模糊控制法^[13-14]等。而 Terminal 滑模（Terminal sliding mode, TSM）控制可使系统的状态在“有限时间内”收敛到平衡点，在滑模面中适当地引入非线性项给系统带来了更好的性能响应^[15]。文献^[16]指出了 Terminal 滑模控制中容易出现奇异问题，对此，文献^[17-18]提出了克服奇异问题的 Terminal 滑模面设计方法，提出了非奇异 Terminal 滑模（non-singular Terminal sliding mode, NTSM）控制方法以进一步改善控制性能。文献^[19]利用自适应控制与 Terminal 滑模控制结合，抑制了扰动对系统的影响。但 Ter-

minal 滑模也还存在自身的缺点：非线性函数的引入使得控制器在实际工程中实现困难；参数选取不当会导致奇异问题；在稳态情况下会产生较大的控制信号。为了防止抖振和控制信号过大的问题，控制器参数的选取就要在此和系统的动态性能之间折衷，从而使系统的收敛速度和调整时间受到限制。

本文针对轧机主传动系统的自激振动混沌控制问题，在分析传统 Terminal 滑模控制奇异问题的基础上，为了改善到达滑模面的速度，设计了基于趋近律的非奇异 Terminal 滑动模态控制器，用于轧机主传动振动系统的控制，实现了该系统的有限时间稳定。

1 轧机主传动系统的振动方程及其混沌行为

轧机主传动系统是一个由若干惯性元件和弹性元件组成的“质量弹簧系统”，系统结构简图及简化力学模型如图 1 所示。

图 1a 为轧机主传动系统简图。如果考虑连接轴的匀速转动，暂不考虑间隙对系统的影响，可将其简化为一个集中质量弹簧系统^[6]。在实际的轧制生产过

程中，系统在稳定加载时不会发生振动现象，连接轴中的转矩变化是静态平稳的，但在咬钢、抛钢、制动、变速等操作的作用下，就会发生不稳定的扭转振动。

轧制过程中轧机因打滑产生自激振动，此时对轧辊受力分析如图 1b 所示。图中， M 为连接轴的驱动力矩； F 和 N 分别为轧辊和轧件之间的动摩擦力和正压力， $F = \mu \cdot N$ ，其中， μ 为动滑动摩擦系数。当滑动速度在 $0.3 \sim 3\text{m/s}$ 时，动滑动摩擦系数可以表示为

$$\mu = -cv + dv^3$$

式中： v 为轧辊与轧件的相对速度； c, d 为常数，由试验确定， $c \in (0.03 \sim 0.09)$ ， $d \in (0.0015 \sim 0.0033)$ 。

用轧辊转动的角度作为变量得：

$$\mu = -c\dot{\varphi} \cdot \frac{D}{2} + d \left(\dot{\varphi} \cdot \frac{D}{2} \right)^3$$

则

$$F = -c\dot{\varphi} \cdot \frac{D}{2} \cdot N + d \left(\dot{\varphi} \cdot \frac{D}{2} \right)^3 \cdot N \quad (1)$$

考虑到作用在轧辊上的力矩平衡时有：

$$J\ddot{\varphi} + M + F \cdot \frac{D}{2} = 0 \quad (2)$$

式中： J 为主传动系统集中质量的转动惯量； φ 为连接轴转动的角度； D 为连接轴的直径。

在不考虑间隙影响的时候， $M = k_0\varphi$ ， k_0 为传动系统扭转刚度。将 M 和 F 相关的表达式带入式 (2)，得到轧辊的运动微分方程为

$$\ddot{\varphi} + k\varphi - \alpha\dot{\varphi} + \beta\dot{\varphi}^3 = 0 \quad (3)$$

其中

$$\alpha = \frac{cN}{J} \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

$$\beta = \frac{dN}{J} \left(\frac{D}{2} \right)^4$$

$$k = \frac{k_0}{J}$$

考虑轧机传动系统的连接轴之间间隙的影响，系统的简化模型如图 1c 所示。图中， e 为系统具有的间

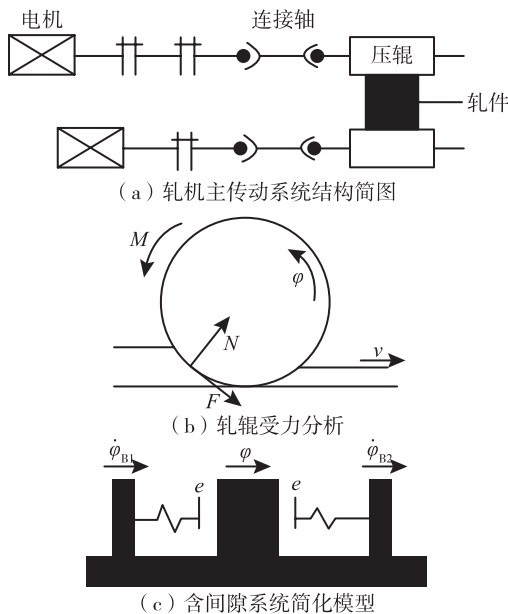


图 1 轧机主传动系统示意图及简化力学模型

Fig.1 Rolling mill drive system schematic and simplified mechanical model

隙；模型的边界作微幅振动， φ_{B1} 和 φ_{B2} 分别为两个边界的运动速率。对边界振动模型作以下假定^[3]：

1) 由于 φ_{B1} 和 φ_{B2} 很小，取 $\varphi_{B1} = \varphi_{B2} = 0$ 时的平衡位置为原点；

2) 边界振动形式为 $\varphi_{B1} = \delta_{B1} \sin(\omega_{B1} t)$ 和 $\varphi_{B2} = \delta_{B2} \sin(\omega_{B2} t + \varphi)$ 。

由于主传动系统之间有间隙，连接轴的驱动力矩 $M(\varphi)$ 为一段线性函数：

$$M(\varphi) = \begin{cases} k_1(\varphi - e - \varphi_{B1}) & \varphi > (e + \varphi_{B1}) \\ 0 & -(e - \varphi_{B2}) \leq \varphi \leq (e + \varphi_{B1}) \\ k_1(\varphi + e - \varphi_{B2}) & \varphi < (e - \varphi_{B2}) \end{cases} \quad (4)$$

轧机振动是一个动态的过程，故式(4)中的常数项对其不产生影响。如果 $\delta_{B1} = \delta_{B2} = \delta$ ， $\omega_{B1} = \omega_{B2} = \omega_B$ ， $\varphi = 0$ ，由假定2)将式(4)改写为

$$g(\varphi) = \begin{cases} \lambda[\varphi - e - \delta \sin(\omega_B t)] & \varphi > [e + \delta \sin(\omega_B t)] \\ 0 & -[e - \delta \sin(\omega_B t)] \leq \varphi \leq [e + \delta \sin(\omega_B t)] \\ \lambda[\varphi + e - \delta \sin(\omega_B t)] & \varphi < [e - \delta \sin(\omega_B t)] \end{cases} \quad (5)$$

其中

$$\lambda = k_1 / J$$

将式(1)和式(5)代入式(2)，并作无量纲变换，令 $\omega t = \tau$ ， $\varphi/e = y$ ， $\bar{\omega} = \omega_B/\omega$ ， $\gamma = \delta/e$ ，有：

$$\ddot{y} + h(\tau, y) - \alpha \dot{y} + \beta \dot{y}^3 = 0 \quad (6)$$

其中

$$h(\tau, y) = \begin{cases} \lambda[y - 1 - \gamma \sin(\bar{\omega} \tau)] & y > [1 + \gamma \sin(\bar{\omega} \tau)] \\ 0 & [\gamma \sin(\bar{\omega} \tau) - 1] \leq y \leq [1 + \gamma \sin(\bar{\omega} \tau)] \\ \lambda[y + 1 - \gamma \sin(\bar{\omega} \tau)] & y < [\gamma \sin(\bar{\omega} \tau) - 1] \end{cases}$$

式(6)即为该振动系统的微分方程。

分析该振动系统参数的变化对系统振动特性的影响。考虑滑动摩擦系数中参数 α 对振动特性的影响，绘制系统在 $\beta = 0.283$ ， $\lambda = 1$ ， $\gamma = 0.5$ ， $\bar{\omega} = 1.11$ 时， $\alpha \in (0.2, 0.7)$ 时的分岔图，如图 2a 所示。当滑动

摩擦系数中参数 $\alpha < 0.25$ 时，系统(式(6))是周期运动，随着 α 的增大，系统运动逐渐过渡到混沌状态，当 $\alpha > 0.65$ 时系统又回到周期运动状态。考虑边界振动幅值 γ 的影响，绘制 $\alpha = 0.35$ ， $\beta = 0.283$ ， $\lambda = 1$ ， $\bar{\omega} = 1.11$ ， $\gamma \in (0.3, 0.9)$ 时的分岔图，如图 2b 所示。可以看出，边界振动幅值很小时，系统运动是周期稳定的；当振动幅值接近 0.363 时，出现了倍周期分岔，并逐渐进入混沌运动状态；之后又出现了概周期运动等多种非线性振动形式。

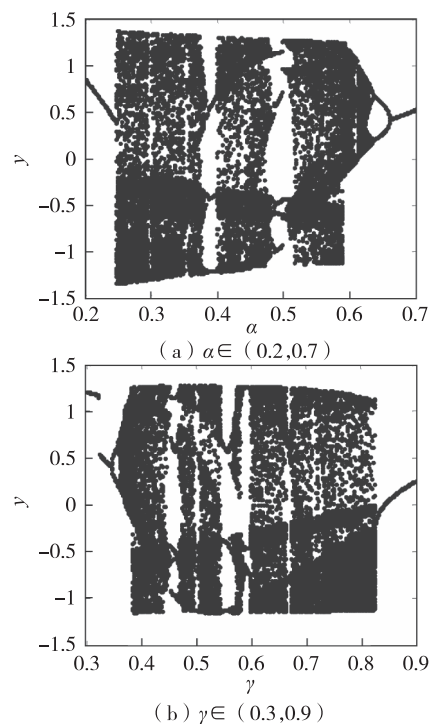


图2 不同参数下的分岔图

Fig.2 Bifurcation diagram with different parameters

为说明边界振动频率对系统运动特性的影响，绘制了边界频率 $\bar{\omega}$ 分别为 0.6，0.9，1.11，1.3 时的 Poincare 截面，如图 3a ~ 图 3d 所示。可以看出，边界振动频率和边界振动幅值对系统振动特性的影响类似， $\bar{\omega} = 1.3$ 时，系统的 Lyapunov 指数为 0.066。可见，轧机主传动系统由于受到非线性摩擦阻力、边界振动和间隙的共同影响，运动形式从稳定的周期运动状态逐渐过渡到混沌状态，之后又出现周

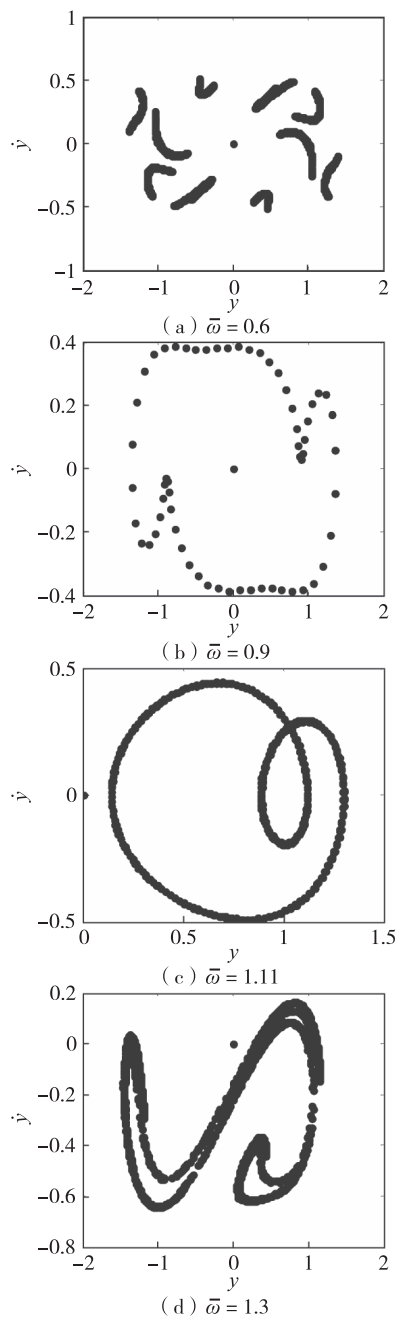


图3 不同边界频率 $\bar{\omega}$ 下 Poincaré 截面

Fig.3 Poincaré map at different boundary frequencies $\bar{\omega}$

期运动和概周期运动等多种非 线性振动形式。为了减弱轧机主传动系统扭转自激振动，避免混沌现象的发生，本文通过设计新的 Terminal 滑模实现对它的混沌控制，将系统控制 到平衡点或使其跟踪给定的信号。

2 基于趋近律的 Terminal 滑模控制

2.1 Terminal 滑模 (TSM) 控制

对上节建立的具有边界振动的轧机主传动 自激振动模型式 (6) 做变换，令 $y=x_1$, $\dot{y}=\dot{x}_1=x_2$ ，得到非线性微分方程组：

$$\begin{cases} \dot{x}_1=x_2 \\ \dot{x}_2=\alpha x_1 + \beta x_1^3 + h(\tau, x_1) \end{cases} \quad (7)$$

其中

$$h(\tau, x) = \begin{cases} \lambda [x_1 - 1 - \gamma \sin(\bar{\omega}\tau)] & x_1 > [1 + \gamma \sin(\bar{\omega}\tau)] \\ 0 & [\gamma \sin(\bar{\omega}\tau) - 1] \leq x \leq [1 + \gamma \sin(\bar{\omega}\tau)] \\ \lambda [x_1 + 1 - \gamma \sin(\bar{\omega}\tau)] & x_1 < [\gamma \sin(\bar{\omega}\tau) - 1] \end{cases}$$

在方程的第二项加入控制，可以看做一个对于二阶非线性系统 (式 (7)) 的控制问题：

$$\begin{cases} \dot{x}_1=x_2 \\ \dot{x}_2=f(x) + g(x) + b(x)u \end{cases} \quad (8)$$

其中

$$x = [x_1 \ x_2]^T$$

式中: x 为系统的状态变量; $f(x)$, $b(x)$ 为 x 的光滑非线性函数, $b(x) \neq 0$; $g(x)$ 为不确定性及干扰, 满足. $\|g(x)\| \leq l_g$, $l_g > 0$; u 为控制输入。

采用传统的 Terminal 滑模控制，其滑模面设计如下式：

$$s = x_2 + \beta x_1^{q/p} \quad (9)$$

其中, $\beta > 0$, p 和 q ($p > q$) 为正奇数。

控制器设计为

$$u = -b^{-1}(x) [f(x) + \beta \frac{q}{p} x_1^{p/q-1} x_2 + (l_g + \eta) \operatorname{sgn}(s)] \quad (10)$$

其中, $\eta > 0$ 。由于式 (10) 中含有 $x_1^{q/p-1} x_2$ 项, 在 $x_1=0$, $x_2 \neq 0$ 时会有奇异问题^[15, 19]。文献^[20]分析了奇异问题发生的条件和到达滑模面及 到达之后趋于平衡态时的收敛速度受限问题, 在文献^[20-21]的基础上, 结合趋近率思想^[22], 本文提出了基于趋近率的 TSM 控制方法, 设计控制器时采用指数趋近律的形式, 在

避免奇异问题的同时,改善趋近滑模面的速度,具体设计过程见下节。

2.2 基于指数趋近律的 Terminal 滑模控制

为克服 Terminal 滑模的奇异问题,可设计滑模面为

$$s = x_1 + \frac{1}{\beta} x_2^{p/q} \quad (11)$$

其中, $\beta > 0$, p 和 q ($p > q$) 为正奇数,且 $1 < p/q < 2$ 。采用式(11)形式的滑模面,在 $s=0$ 时,式(11)相当于式(9)。可以证明,由式(11)得到的控制量中不会出现负幂次方,从而避免了奇异问题。

s 沿解的时间导数为

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \dot{x}_1 + \frac{1}{\beta} \frac{p}{q} x_2^{p/q-1} \dot{x}_2 \\ &= x_2 + \frac{1}{\beta} \frac{p}{q} x_2^{p/q-1} \dot{x}_2 \\ &= x_2 + \frac{1}{\beta} \frac{p}{q} x_2^{p/q-1} [f(x) + g(x) + b(x)u] \end{aligned} \quad (12)$$

取指数趋近律:

$$\dot{s} = -ks - \varepsilon \operatorname{sgn}(s) \quad k > 0, \varepsilon > 0 \quad (13)$$

式中: ε 为系统运动趋近切换面 $s = 0$ 的速率。

令 $\rho(x_2) = \frac{1}{\beta} \frac{p}{q} x_2^{p/q-1}$, 有:

$$x_2 + \rho(x_2) [f(x) + g(x) + b(x)u] = -ks - \varepsilon \operatorname{sgn}(s) \quad (14)$$

化简即得到控制律为

$$u = -b^{-1}(x) \{ \rho^{-1}(x_2) x_2 + f(x) + \rho^{-1}(x_2) [ks + \varepsilon \operatorname{sgn}(s)] + g(x) \} \quad (15)$$

由于 $g(x)$ 未知,控制律中可用 l_g 对不确定性造成的影响限制,同时,为了防止 $x_2=0$ 时控制量为零,在式(15)中加入一个很小的避零常数 ζ ,得到新的控制律为

$$u = -b^{-1}(x) \{ [\rho(x_2) + \zeta]^{-1} x_2 + f(x) + [\rho(x_2) + \zeta]^{-1} [ks + \varepsilon \operatorname{sgn}(s) + l_g \operatorname{sgn}(s)] \} \quad (16)$$

式中: ζ 为很小的正常数, $\zeta > 0$ 。

定理 1: 对系统(式(8)),取滑模面式(11),在控制率式(16)的作用下,系统将在有限时间内到达 Terminal 滑模面,并使得在滑模面上的跟踪误差在有限时间内收敛到零。

证明: 由 s 沿解的时间导数为

$$\begin{aligned} \dot{s} &= x_2 + \rho(x_2) [f(x) + g(x) + b(x)u] \\ &= x_2 - \rho(x_2) \{ [\rho(x_2) + \zeta]^{-1} x_2 + \\ &\quad [\rho(x_2) + \zeta]^{-1} [ks + \varepsilon \operatorname{sgn}(s) + \\ &\quad l_g \operatorname{sgn}(s)] - g(x) \} \end{aligned} \quad (17)$$

ζ 足够小,有 $\rho(x_2) [\rho(x_2) + \zeta]^{-1} = 1$, 式(17)可化简为下式:

$$\dot{s} = -ks - \varepsilon \operatorname{sgn}(s) - \rho(x_2) [l_g \operatorname{sgn}(s) - g(x)] \quad (18)$$

当 $x_2 \neq 0$ 时,由于 $\beta > 0$, p 和 q ($p > q$) 为正奇数,且 $1 < p/q < 2$, 所以有 $\rho(x_2) > 0$, $\dot{s} \leq -ks - \varepsilon \operatorname{sgn}(s) < 0$ 。综合式(13)和式(15)可以看出,Terminal 滑模在趋近滑模面时具有指数趋近律(EAL)。将这种控制律称为基于指数趋近律的非奇异 Terminal 滑模控制(NTSM-EAL)。

2.3 轧机主动自激振动系统的混沌控制

当系统(式(7))的参数为: $\alpha = 0.25$, $\beta = 0.35$, $\gamma = 0.45$, $\bar{\omega} = 1.3$ 时,系统运动状态是混沌的。系统的始状态为 $[0.1, 0]$ 。采用提出的 NTSM-EAL 控制器,控制器参数为: $q = 3$, $p = 5$, $\beta = 1.0$, $l_g = 0.015$, $k = 10$, $\zeta = 0.001$ 。在 150 s 时加入控制信号,系统输出如图 4 所示。图 4a 反映了 s 趋于滑模面 $s = 0$ 的过程,滑模面很快趋于原点,控制器的输出信号如图 4b 所示,控制量的幅值比较小,抖振的幅值维持在 0.5 上下。系统状态在该控制律的作用下也能在很短的时间内趋于平衡点,如图 4c 和图 4d 所示,混沌运动得到了有效的控制。可以看出,提出的 NTSM-EAL 控制算法,可以在保证 TSM 非奇异的前提下,用较小的控制量实现振动系统的稳定。

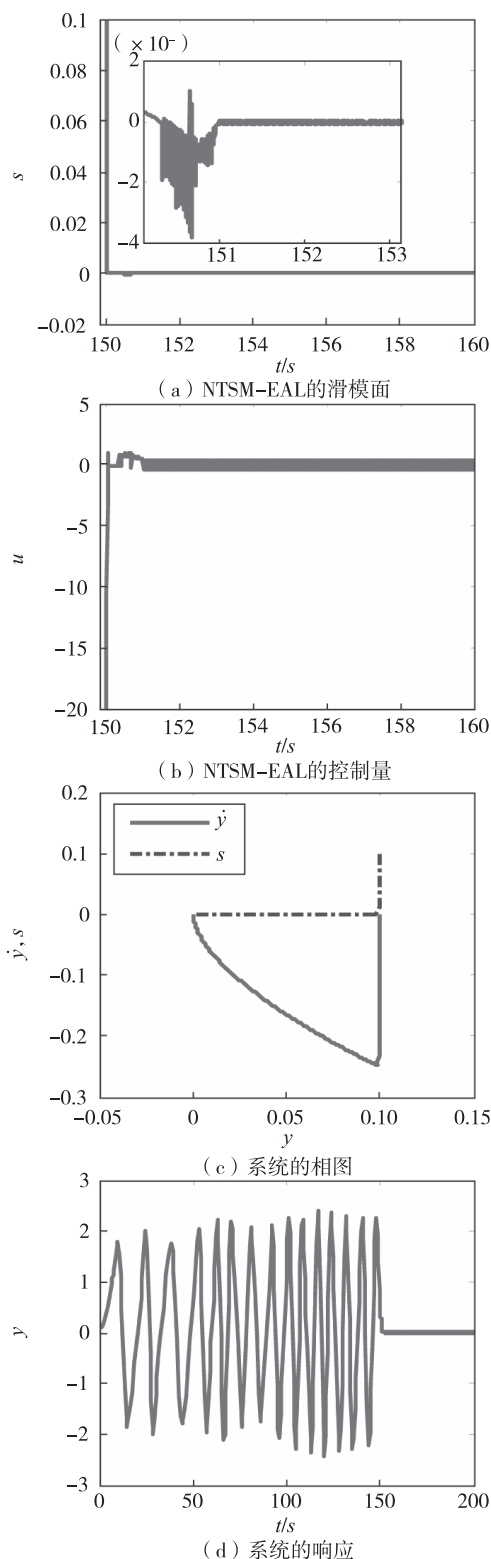


图4 基于NTSM-EAL的轧机主传动自激振动系统的混沌控制
Fig.4 Control of chaos in self-excited vibration of rolling mill systems by NTSM-EAL

3 结论

本文分析了轧机主传动系统扭转自激振动混沌行为。针对传统 Terminal 滑模控制的奇异问题和调整时间问题,结合趋近律思想,为改善到达滑模面的速度,提出基于趋近律的非奇异 Terminal 滑动模态控制器的设计方法,控制器参数满足一定条件时避免了奇异问题,在克服奇异问题的基础上提高了趋近滑模面的速度,缩短了调整时间。将设计的控制器用于轧机主传动振动系统的控制,实现了该系统的有限时间稳定。○

来源:《电气传动》

团队介绍



张巍巍

北方民族大学电气信息工程学院高级工程师
研究方向:轧机振动分析和控制,非线性系统控制



师洪涛

北方民族大学电气信息工程学院副教授
研究方向:非线性系统控制,电力电子系统控制及应用

中国自动化学会以实际行动献礼全国科技工作者日

2022 年 5 月 30 日是全国第六个科技工作者日，中国自动化学会特准备了一系列丰富多彩的活动，以实际行动献礼 530 全国科技工作者日。

活动 1：我为科技工作者办实事 ——“专利制度与专利确权程序” 专题讲座

5 月 20 日 09:30—10:30，中国自动化学会邀请北京德恒律师事务所合伙人，专利代理师桂磊带来题为“专利制度与专利确权程序”的专题讲座，报告围绕浅析专利制度、介绍专利基础知识、专利常见误区、如何获得专利权、如何认定专利侵权等相关内容展开。此次活动通过腾讯会议、CAA 会议小程序、

CAA 官方视频号、bilibili 官方账号、学会微博官方账号、知乎平台及科技工作者之家全程直播，观看人次近 2 万！

活动 2：会员免费入会

5 月 29 日—31 日，申请成为 CAA 个人会员，即可免除一年会费，享受 CAA 会员服务。

活动 3：知识产权保护法律服务热线

2022 年 5 月 23 日—30 日，为深入学习贯彻习近平法治思想，提高科技工作者的法治意识，特开通著作权保护、专利保护、商标保护 3 条电话咨询热线，切实为科技工作者办实事。

活动 4：CAA 线上系列讲座活动

时间	活动类型	报告名称
5 月 19 日 14:00—17:00	CAA YeS	智能制造学科建设与机器人前沿技术应用
5 月 23 日 10:00—11:30	CAA 云讲座	双碳战略与能源转型
5 月 24 日 9:00—10:00	CAA 科普大讲堂	闭环看世界
5 月 25 日 10:00—11:30	CAA 云讲座	自动化专业核心精品课程混合式教学的探索与实践
5 月 26 日 13:30—17:40	CAA YeS	智能学习、控制与应用
5 月 28 日 13:20—16:20	CAA 云讲座	空间机器人在线论坛
5 月 31 日 19:30—20:30	CAA 云讲座	基于 EtherCAT 的六轴协作机器人开发项目分享

学会秘书处 供稿

中国自动化学会召开 2022 中国自动化大会推进会

2022 年 4 月 25 日, 2022 中国自动化大会推进会以线上线下相结合的方式召开。大会主办单位中国自动化学会副理事长王成红、侯增广, 秘书长张楠, 副秘书长王坛及相关工作人员出席会议, 承办单位华侨大学机电及自动化学院院长黄辉、书记黄宁、副院长林添良, 福建省自动化学会秘书长王武, 厦门市自动化学会理事长刘瞰东等线上参会。

首先华侨大学机电及自动化学院教授金福江从大会主题、论

文征集、专题设置等方面详细介绍了 2022 中国自动化大会筹备情况; 会议服务商对大会网站搭建、会场及酒店安排、交通与住宿等协同分工情况进行了汇报。

随后中国自动化学会就目前大会筹备情况及下一步工作内容提出了具体建议。中国自动化学会副理事长王成红提出, 2022 中国自动化大会主题要提高站位, 突出前沿引领性; 报告内容要秉承学术性、前沿性、思想性、战略性原则; 大会筹备要做好预案

机制, 明确分工, 确保大会安全有序稳妥召开。

中国自动化学会副理事长侯增广表示, 要注重相互协调配合, 联动多方资源, 加强工作统筹, 科学周密部署, 细化完善工作方案, 进一步提升大会影响力, 全力以赴完成好大会的各项筹备任务。

会议最后, 中国自动化学会秘书长张楠在总结发言中, 进一步强调了大会筹备工作的重要性, 希望各方人员要在思想上重视、行动上认真, 以高度的使命感和责任感, 精心高质量完成大会筹备工作及会议期间的组织、保障工作, 确保大会顺利召开并取得圆满成功。

2022 中国自动化大会将继续为全球自动化、信息与智能科学领域的专家学者和产业界的同仁提供展示创新成果、展望未来发展的高端学术平台, 加强不同学科领域的交叉融合, 引领自动化、信息与智能科学与技术的发展! ○



2022 中国自动化大会推进会线下会场

学会秘书处 供稿

中国自动化学会青年菁英论坛（长三角地区）成功举办

为庆祝中国共产党建党 100 周年及中国自动化学会六十华诞，中国自动化学会面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，把握大势、抢占先机，设立中国自动化学会青年菁英系列活动（CAA Youth e-Summit，简称 CAA YeS）。

由中国自动化学会主办，中国自动化学会工业物联网技术与应用专委会（筹）、工业信息物理系统省部共建协同创新中心承办的中国自动化学会青年菁英论坛（长三角地区）于 2022 年 4 月 25 日线上召开，并取得圆满成功。

中国工程院院士、中国自动化学会特聘顾问、会士，浙江大学孙优贤教授担任论坛名誉主席，中国自动化学会会士、副秘书长

陈积明教授，重庆邮电大学王平教授担任论坛主席，浙江大学贺诗波教授担任论坛组织主席，浙江大学顾超杰副研究员担任论坛联系人。本次论坛有幸邀请到来自不同地区的 6 位优秀青年专家学者做专题报告。

第一位报告人为来自上海交通大学的陈彩莲教授，报告题目为“工业物联网现场级异构数据协同传输机制设计与实现”。陈教授以工业生产过程监控系统为例，介绍了基于现场级工业网络的分布式动态感知方法与异构数据实时可靠确定传输机制的设计方案，以及匹配工艺的关联特征学习机制和资源预分配策略。

第二位报告人为来自中国科学院沈阳自动化研究所的梁炜研究员，报告题目为“工业无线网

络，制造无限可能”。梁教授介绍了工业无线网络产生和研究的背景、无线网络在工业应用所面临的挑战、工业无线网络研究的总体进展；在此基础上，介绍了团队的主要工作——流程工业国际三大工业无线标准之一的 WIA-PA 标准和国际上唯一面向离散制造业高速控制应用的 WIA-FA 标准；最后简单介绍 WIA-FA 与 WiFi、5G 的性能对比实验。

第三位报告人为来自杭州展晖科技有限公司的董辉，报告题目为“工业互联网设备级的开放式智能控制软件”。董总在工业互联网等新一轮产业变革背景下，着重介绍了如何改变传统工业应用现场设备专用控制器的封闭性，构建开放式网络化工业控制软件及组件。



图 1 上海交通大学陈彩莲教授报告



图 2 中国科学院沈阳自动化研究所梁炜研究员报告

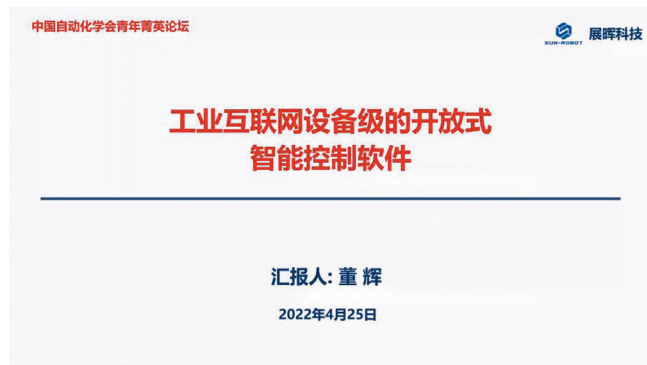


图3 杭州展晖科技有限公司董辉总经理报告



图4 树根互联股份有限公司陈立峰副总经理报告

第四位报告人为来自树根互联股份有限公司的陈立峰，报告题目为“从产业实践看工业互联网平台核心能力”。陈总介绍了面向大型复杂工业场景深度应用时，工业互联网平台面临的挑战和困难，分析了工业互联网平台应该具备的核心能力。此外，分享了国际专业机构对工业互联网的评价维度和意见。

第五位报告人为来自重庆邮电大学的王浩教授，报告题目为“兼容工业以太网设备的TSN技术研究”。王教授介绍了项目团队

在TSN时间敏感网络技术与标准、TSN与实时以太网、TSN测试平台等方面的研究进展，并一同探讨了TSN时间敏感网络技术在工业现场应用。

第六位报告人为来自东南大学的曹向辉教授，报告题目为“面向感知与控制的信息物理系统隐私保护问题研究”。曹教授从组网的角度，介绍了一种无线网络带内安全密钥配对方法；其次，汇报了近期基于加密调度的状态估计系统隐私保护的工作；最后，汇报了一种基于乘性噪声的分布

式控制系统隐私保护方法。

本次中国自动化学会青年菁英论坛邀请各大高校、企业的专家学者结合自身的科研和实践经历对工业互联网等方向进行了不同角度的探讨与分析，引发与会人员深刻思考，使得参会人员受益匪浅。此外，论坛邀请参会人员在线下对于感兴趣的问题进一步交流沟通，促进工业互联网领域理论创新与产业落地的深度融合发展。○

学会秘书处 供稿

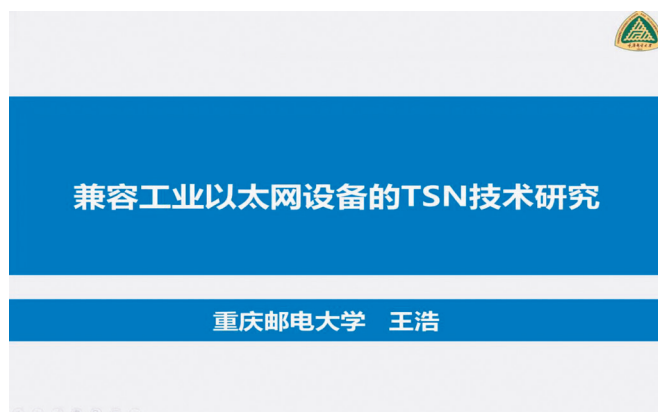


图5 重庆邮电大学王浩教授报告



图6 东南大学曹向辉教授报告

中国自动化学会智能制造学科建设与机器人前沿应用论坛成功举办

由中国自动化学会主办，大世界机器人和机器人大讲堂共同承办的中国自动化学会青年菁英论坛：智能制造学科建设与机器人前沿应用论坛于2022年5月19日线上召开，并取得圆满成功，本期论坛通过钉钉直播、CAA会议小程序、CAA官方视频号、bilibili官方账号、学会微博官方账号、蔻享平台、知乎及科技工作者之家全程直播，播放量近4万人次。

国家十四五规划指出要以工业软件、装备为核心，以数据为基础，强化人才培养，推动智能制造的发展，而智能制造涉及计算机、软件、自动化、工艺应用等多方面的跨学科知识的交叉融

合。本次论坛有幸邀请到中国自动化学会会士、副理事长，上海交通大学教授、博士生导师李少远担任致辞嘉宾，华中科技大学、同济大学及东南大学的三位教授，以及五位机器人领域优秀的科技公司的创始人做专题报告。

第一位报告人是来自华中科技大学的周诚教授，报告题目为“石化建设工程数字孪生”。周教授阐述了数字孪生的内涵及关键技术，并介绍数字孪生在石化建设领域的应用进展，通过孪生模型、柔性组网、感知融合等方面的应用研究，提高石化建设工程的安全风险可感知，可计算，可控制水平。

第二位报告人是来自同济

大学的卢昱杰教授，报告题目是“工程视觉与感知智能”。卢教授介绍了视觉传感技术主要通过多种成像设备完成视觉传感信息的获取、分析与处理等关键任务，基于智能建造的“感知控”三个层次，探求智能视觉、信息感知等关键技术工程项目全寿命周期的研究前沿、当前应用和未来趋势。

第三位报告人是来自东南大学的华好教授，报告题目是“数字营造”。华教授介绍了学院在数字建造领域的研究成果，如木构件的建造、三维打印混凝土建筑等，并分享通过采用计算机编程进行设计，利用数据来驱动机器人等数控设备进行精确地完成加



图1 中国自动化学会会士、副理事长，上海交通大学李少远教授致辞



图2 华中科技大学周诚教授作报告



图3 同济大学卢昱杰教授作报告



图4 东南大学华好教授作报告

工与建造的案例实践。

第四位报告人是来自大界机器人的CEO孟浩，报告题目是“图形化工业软件驱动的虚拟机器人实验室”。孟浩主要介绍了可执行生产的数字孪生工业软件RoBIM拥有设计模型和数据的自动解析、通用的机器人运动规划接口、丰富的视觉算法库、数据驱动的专家工艺库等核心特点，并基于RoBIM与国内高校合作共建智能制造实验室的实践案例。

第五位报告人是来自艾利特机器人的CEO曹宇男，报告题目是“渐次自动化协作机器人量

化之路”。曹宇男介绍了企业在自动化改造过程中面临技术风险高、投资风险大等问题，而采用渐次自动化可帮助实现技术和商务上的风险可控，循序渐进，同时艾利特基于这一理念，已赋能多个制造工厂的柔性化改造。

第六位报告人是来自思灵机器人的联合创始人黎田，报告题目是“用空间机器人技术赋能工业应用的思考”。黎田通过总结空间机器人的关键技术来探讨工业应用面临的难题以及传统机器人技术的局限，并介绍了思灵的高精度力控及力感知技术、机器人

操作系统AgileCore.OS等核心技术，实现传统机器人难以完成的精细操作，并成功应用在医疗、消费电子、3C等行业。

第七位报告人是来自梅卡曼德机器人CEO邵天兰，报告题目是“AI+3D视觉在工业中的实践与探索”。邵天兰介绍了公司在3D感知、视觉和机器人算法、机器人软件等方面等技术积累，并在视觉引导拆码垛、工件上料，自动生成轨迹，装配、定位、货品分拣等场景应用，涉及行业包括：工程机械、物流、快递、电商以及3C等。



图5 大界机器人CEO孟浩作报告



图6 艾利特机器人CEO曹宇男作报告



图7 思灵机器人联合创始人黎田作报告

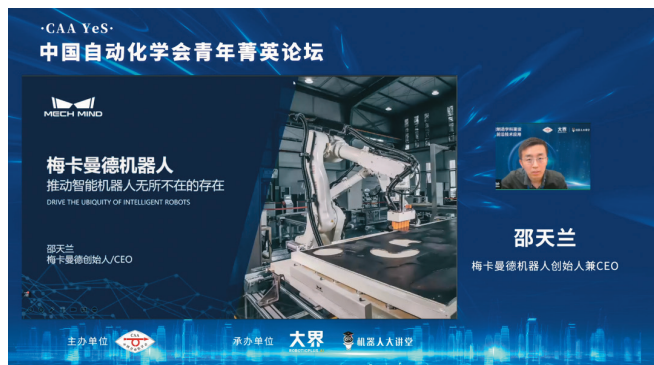


图8 梅卡曼德机器人 CEO 邵天兰作报告

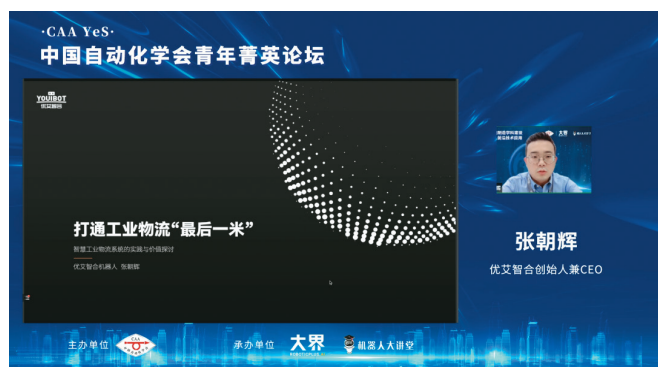


图9 优艾智合 CEO 张朝辉作报告

第八位报告人是来自优艾智合 CEO 张朝辉，报告题目是“打通工业物流‘最后一米’”。张朝辉介绍了兼具移动、视觉传感和操作功能的复合型机器人

成为打通智能物流“最后一米”的最优解，可实现工厂智能制造从原材料入库到成品下线出库整个周期的数据打通和流转闭环。目前优艾智合已在显示面板、PCB、电子元器件、半导体等诸多 3C 相关领域落地复合移动机器人应用。

本次中国自动化学会青年菁英论坛邀请了学界和业界的代表参与探讨与交流，通过结合他们自身的科研成果与落地实践案例，加深了参会人员机器人领域前沿技术的认知度，也为智能制造学科建设和人才培养提供了更多的思路。

学会秘书处 供稿



中国科协网络平台宣传评价 2022 年第一季度排行榜发布，中国自动化学会位列前三

中国科协发布 2022 年第一季度科协系统科学传播榜。中国科协科普部联合中国科协信息中心共同开展“一体两翼”科普信息化评价工作，采用大数据技术自动抓取 210 个全国学会、32 个省级科协的自有网络平台以及主要第三方平台的科普信息数据，结合科普中国资源使用和传播情况，定期发布科协系统新媒体科学传播榜。

中国自动化学会在总排行榜中位列第三，相较 2021 第四季度上涨 7 名！在各大分榜中也保持稳中有升。

CAA 秘书处 2022 年第二期读书学习活动成功举办

学无止境，行在当下。阅读是一次面向远方的修行，书籍是我们的良师益友。书香暖人心，阅读不孤“读”。为贯彻落实习近平总书记致首届全民阅读大会的贺信精神，中国自动化学会秘书处结合当前疫情防控管理实际，倡导秘书处全体成员足不出户，舒缓心理压力，丰富宅家的文化生活，自 2022 年 5 月 17 日起，以“居家静读，书香战‘疫’”为主题，开展了为期 4 天的读书学习活动。活动以每天读书半小时，线上阅读同分享的形式，进一步推进“书香学会”建设，提升文



图 1 CAA 读书会海报

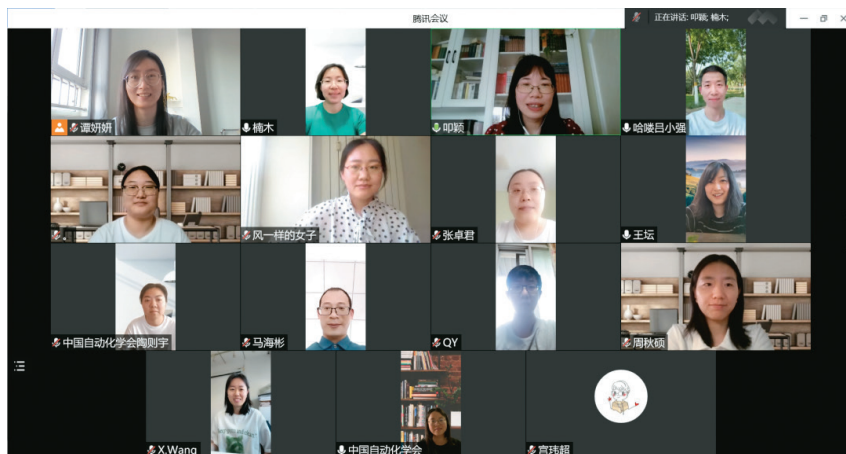


图 2 CAA 秘书处线上阅读同分享

华自信，坚定战“疫”信心。

分享会上，每个人打卡每日阅读情况，将自己对一本书、一篇文章或精彩片段的理解、认识、感悟予以分享。本期分享会重点推荐了《非暴力沟通》、《月亮与六便士》、《平面国》、《强风吹拂》、《人类简史》、《她来自马里乌波尔》、《山居笔记》、《生死疲劳》、《伊索寓言》、《自控力》等书。大家就如何读书、怎样读书展开热烈讨论，大家谈阅读、谈收获、谈工作，尽情分享读书带给自己的收获与快乐，一个个鲜明的观点和思维火花在分享中碰撞、交织并融合，充分展现了自

动化青年敏而好学、积极向上的青春风采。

活动最后，张楠秘书长总结指出此次活动旨在加强秘书处凝聚力，舒缓全体人员的居家压力，同时建议大家不仅要在“居家静读，书香战疫”读书学习活动中读书，更要把读书变成一种良好的习惯，倡导在读书中总结记录自己的所想所悟，与自己来一场心灵对话，以此在丰富生活的同时提高自身文化素养，为打造知识型员工、创建学习型学会打下坚实基础。○

学会秘书处 供稿

CAA 科普大讲堂系列活动成功举办

CAA 科普大讲堂活动是中国自动化学会特面向学生会员、广大科技工作者及社会公众推出科普活动，每期活动邀请 1 位或数位学会会士进行专题报告，充分利用全媒体矩阵，开展自动化、信息化，人工智能与机器学习等领域的科技知识普及，增强社会大众对科技创新知识的了解，激发对科学的热情和兴趣，弘扬科学精神，提升科学素养，积极打造学会学术、科普比翼齐飞新格局。

第三期 CAA 科普大讲堂于 2022 年 4 月 24 日上午成功召开，CAA 科普百人团专家、河海大学

物联网工程学院副院长刘小峰教授作题为“家庭新成员：陪护机器人技术思考”的报告。刘小峰教授在报告中指出，随着人口老龄化加剧，未来社会对陪护机器人有着极大的需求，特别是能实现与人自然交互且满足人们情感需求的陪护机器人更受到社会的青睐。结合所带领团队的研究成果，借助于播放研究成果视频等形式，刘教授为广大听众深入浅出讲解了增强陪护机器人的交互性以及交互的自然度的自然语言处理、面部表情识别及意图识别技术，保护使用陪护机器人家庭隐私的联邦学习等关键技术。重

点讨论了从技术上如何避免因人机交互不足导致的人机冲突等社会伦理问题及实现人机合作、人机互信等。最后讨论了面向人机共生的主动学习、强化学习、视觉-语言-对齐技术、人机协作等技术及未来发展趋势。刘教授的报告旨在从技术与伦理的角度为大家普及家庭陪护机器人的研发及落地过程中涉及的核心技术及面临的问题与挑战，呼吁人们加强技术公关，关注社会伦理，推动家庭陪护机器人技术的发展及落地应用。本次活动由 CAA 普及工作委员会秘书长，中国科学院自动化研究所高级工程师，宫晓燕博士主持，通过腾讯会议、CAA 会议小程序、CAA 官方视频号、bilibili 官方账号、学会微博官方账号及科技工作者之家全程直播，2.4 万人次在线观看直播。

第五期 CAA 科普大讲堂于 5 月 15 日成功召开，CAA 科普百人团专家，湖州师范学院物理实验教学示范中心，浙北 STEAM 教育研究院执行院长呼格吉乐教



图 1 河海大学物联网工程学院副院长刘小峰教授报告

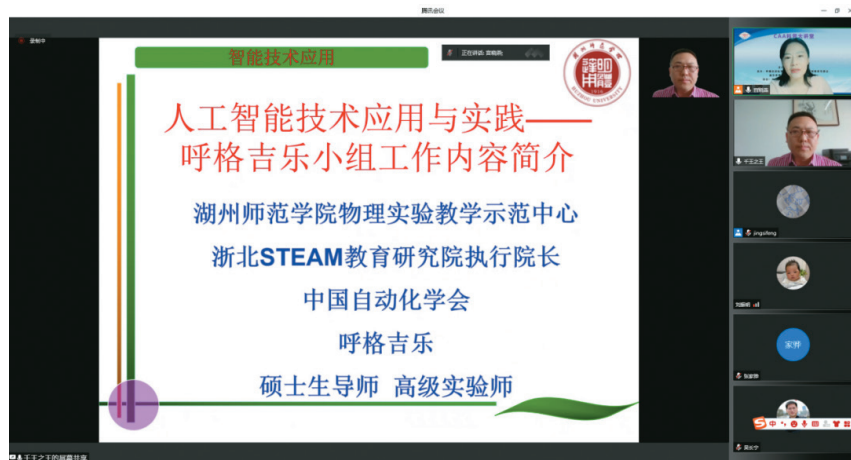


图2 湖州师范学院呼格吉乐教授报告

授作题为“人工智能技术应用实践”的报告。报告中，呼格吉乐教授以四个实践项目为载体，详细介绍了所带领团队在机器换人领域所做的大胆尝试和创新。重点讨论了面临着螺杆滚丝、童车生产、辊筒生产等生产企业生产周期不稳定、用工成本高、工人工作环境差、工人工作强度高及效率低等一系列现实问题，团队

深入生产车间调研，经过多次测试和改进，不畏艰辛攻克生产环境中料堆无规则、机器空转现象、自动喂料准确性待提高、焊缝识别等现实问题，从样机到第三代产业化产品，利用智能技术手段为企业研发出螺杆滚丝自动化进出料机械手，辊筒生产线自动化设备，仿生机械手等智能设备的反复研究-实践历程。一方面为

企业解决生产难题，提高生产效率。一方面将科研成果汇总总结，编制成可供青少年使用的信息技术教材。旨在强调人工智能时代，围绕企业实际需求，加强科研攻关，借助于智能技术，赋能企业发展，助力产业升级，推动社会发展的重要实践意义。本次活动近3万人次在线观看直播。

第六期CAA科普大讲堂于5月24日上午成功举办，南京理工大学教授、国务院特殊津贴专家邹云作题为“闭环看世界”的报告。邹云教授在报告中指出，“闭环看世界”其实是一种看世界的方法论，它的精髓在于充分尊重认知对象存在的独立性。邹教授以“农夫与蛇”、“斗米恩、升米仇”的社会现象为例，从控制论的角度给出科学理性的解决措施，深入浅出地阐述了“闭环看世界”与“开环看世界”的区别，反思、检讨与解密“帮助”的人文主义内涵。他提出闭环行为方式活在世上的人，忘记了闭环看世界，才陷入萨特所言“他人就是地狱”的伤害感泥沼。本次活动由CAA普及工作委员会副主任委员、中国科学院自动化研究所高级工程师刘希未主持，近3万人次在线观看直播。○



图3 南京理工大学邹云教授报告

学会秘书处 供稿

第六期 CAA 会士面对面活动成功召开，播放量突破十万

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

第六期会士面对面讲座于 2022 年 5 月 13 日上午成功召开，中国自动化学会会士、香港中文大学黄捷教授作题为“不确定领航系统的自适应分布式观测器及其应用”的报告，本次活动由 CAA 青年人才托举工程项目入选者、同济大学特聘研究员郭露露主持。

此次活动通过腾讯会议、CAA 会议小程序、CAA 官方视频号、bilibili 官方账号、学会微博官方账号、新浪直播间及科技工作者之家全程直播，观看人次超 10 万！

分布式观测器是一种针对领航系统的分布式动态补偿器，它能够估计领航系统的信号并通过多智能体系统的通信网络将领航系统的信号传递给每个跟随者，因此是处理复杂多智能体系统中各种协同控制问题的有效工具。分布式观测器的开发始于 2010 年，目前已历经三个阶段。第一阶段需假定每个跟随者都知道领航系统的动态特性。2016 年起进入第二阶段，其功能增强到只要要求以领航系统为邻居的跟随者知道领航系统的动态特性。具有此

功能的分布式观测器被称为已知领航系统的自适应分布式观测器。实际应用中，领航系统通常含未知参数，因此自 2017 年以来，黄捷教授团队开始致力于为不确定领航系统开发自适应分布式观测器。这种分布式观测器不仅需要估计领航系统的信号，还需要估计领航系统的未知参数。目前，对于不确定领航系统的自适应分布式观测器的研究仍处于起步阶段，有许多问题仍未解决。在本次报告中，黄捷教授首先对分布式观测器的发展脉络进行概述，继而展望了不确定领航系统自适应分布式观测器的研究进展，报告也展示了自适应分布式观测器的若干应用。○

学会秘书处 供稿



图1 香港中文大学黄捷教授作报告



图2 同济大学特聘研究员郭露露主持

中国自动化学会线上活动观看量破百万

学术无边界，探索无止境。2022年以来，中国自动化学会仍旧突破线上线下界限，多元化构建CAA线上学术交流平台，不仅有妙趣横生的科普讲堂、还有指点迷津的优博分享、更有高端前沿的大咖讲座，得到了广大科技工作者的广泛关注与热情讨论。截至目前，学会共举办了5期会

士面对面、8期云讲座、4期我和优博有个约会、3期科普大讲堂、5期YeS论坛，邀请了60余位专家学者在线分享前沿学术热点、最新研究成果、行业应用、学术经验等内容。

为进一步拓宽线上直播渠道，多元化传播学会线上活动，提升线上会议的影响力和传播力，

2022年学会焕新升级直播平台，构建了集微信视频号、会议小程序、B站、微博、科界等平台为一体的直播系统，为大家提供了一站式会议预约、直播和回看服务。各类线上会议的观看数量也实现历史性突破，累计100万余人次观看。○

1—4月线上学术活动榜单 Top 10

排名	报告题目	播放量
1	刘成林：模式识别研究现状与趋势	9万+
2	中国自动化学会青年菁英论坛（长三角地区）	7万+
3	张涛：智能无人系统发展现状与应用趋势	5.5万+
4	刘小峰：陪护机器人技术思考	5.4万+
5	谢立华：智能感知和定位	5.2万+
6	北京度量科技有限公司：简介几种集群协同控制实验平台	5.1万+
7	伍冬睿：精准、安全、隐私保护的脑机接口	5万+
8	陈德旺：模糊理论之父 Lotfi Zadeh 院士	4.9万+
9	谢世文：我的博士科研感悟	4.7万+
10	李少远：信息技术与人类社会的发展	4.6万+

学会秘书处 供稿

为全面助力我国自动化、信息与智能科学技术发展，记录在中国自动化史上涌现的领袖企业和优秀人才，中国自动化学会于2021年特别打造“领袖企业”系列访谈栏目，描绘我国自动化企业的创新发展、自动化人的匠心与坚守，为当代自动化领域企业的创新发展提供有益借鉴。

自主创新强实力，科技护航保安全

——专访安控科技工控研究院院长、安控科技董事王彬

本期学会专访的是安控工控研究院院长、安控科技董事王彬。王彬，工业自动化专业，高级信息系统项目管理师。现任北京安控工控研究院院长，20余年致力于工业互联网的理论、方法、技术、产品创新和应用，从事工业系统及安全方面的研究，参与了功能安全、网络安全、边缘控制类20余种产品主要设计和研发工作，对工业自动化、数字化、信息化应用领域有深入的理解和研究，在研发应用、系统集成、数据挖掘、信息安全方面有大量工作实践。

CAA：随着智能化时代的到来，安控科技紧跟大数据、云计算、物联网等新兴技术发展。据了解，今年8月安控科技参与了“中俄东线天然气管道工程”的项目，采用了自主知识产权的SuperE50系列的RTU模块，希望您能简单介绍一下该产品。

王彬：安控科技拥有DCS、模块化RTU、一体化RTU、扩展I/O、传感器及仪表等全系列自动化产品。其中模块化RTU，系统结构灵活，适用于中型数据采集系统。一般由电源模块、主控（CPU）模块、通讯模块、IO模块等组成。SuperE50系列RTU是安控科技集多年的控制系统开发、工程经验设计的模块化RTU产品，可实现对工业现场信号的采集和设备的控制。具有以下特点：（1）模块化设计，易于扩展，可多站协调工作，组建复杂系统；（2）工业标准设计，DIN导轨安装结构，方便现场安装；（3）经济可靠、功能强大的通信接口，支持ModbusRTU/ASCII/TCP等通信协议，具有RS232、RS485、Ethernet等通信接口；（4）使用OpenPCS编程开发工具，符合IEC61131-3标准，支持LD、FBD、IL、ST、SFC五种程序语

言；（5）工作温度-40~+70℃，工作湿度5~95%RH，适应各种恶劣环境；（6）通过CE认证，达到EMC电磁兼容3级标准。根据产品特点，目前该产品多应用于管道方面，如油田、气田、城市燃气等控制、监控、采集系统。

CAA：随着工业互联网的蓬勃发展，工业互联网对自动化和信息化发展和融合提出更高更新的要求也产生了新的非传统信息安全问题。安控科技作为工控产品厂商，您是如何看待工业生产运营所面临的安全问题的？

王彬：首先，安全问题备受厂商关注。从前制造生产企业对安全不够重视，随着工业互联时代的到来，工业企业正处于智能化转型升级的关键时期，当工业互联网给我们带来高效高利的时候，安全也会成为安全也将面临前所未有的挑战。2018年4月，习近平在全国

网络安全和信息化工作会议上也发表讲话：“没有网络安全就没有国家安全，就没有经济社会稳定运行，广大人民群众利益也难以得到保障。”此外，安全问题成为发展趋势。随着工业信息化及物联网技术高速发展，以往相对封闭的工业控制系统也逐渐采用通用的通信协议、硬软件系统，工业控制系统越来越开放，并且与企业内网，甚至是与互联网产生了数据交换，带来了安全问题。

对于安控科技有功能安全与信息安全两点：功能模块方面，安控科技设计的一款安全产品——RockE50（SIS）逻辑控制器，该产品具有完全自主知识产权且经过第三方权威认证机构TUV莱茵的SIL2认证，产品硬件水平甚至已经达到了安全等级3级，对提升产业发展具有重大的作用和意义。此外，根据国家安监局116号文件，是安全仪表系统sis发展必然趋势。

信息安全方面，公司于2016年成立了工控安全研究院，引入了领军技术专家，涉及信息安全产品与技术的研发方面，聚焦于工控安全问题的源头。360、奇安信、启明星辰等IT厂商在网络安全领域有较好的积淀，但对于工业控制OT（运用技术），相对掌握不够深。从传统的工业控制厂商来看安全稳定，到计算机、网络层可能安全是有保证的，但是到控制层安全是没有体现的。所以它是不完整的，

所有安全的作用对象都是针对IT，并没有针对OT。所以安控科技的优势强项也是在工业控制系统，所以我们强调的一种理论就是本体安全，产品从出生开始就是一个带信息安全的属性。现在，功能安全跟信息安全也在融合，仪综所已经出了两个安全信息融合的标准，这是一个心得趋势。

CAA：您觉得我国未来在工业生产运营安全方面，还需要有哪些进一步的工作需要展开，还会往哪些方面再进一步深入？

王彬：现在工控安全对各个使用方来说，更多是一种行政式的，非市场性，不是一种市场提供的东西。但是近几年，包括电力、石油领域的安全意识在逐渐快速增强。以前的市场规模会比较小，石油安全可能就在很小的关键设施上。但目前来看，只要是关键基础设施，其实都面临着工控安全，信息安全也越来越广泛，未来我个人感觉是一个很大的市场。

CAA：近年来，绿色环保与可持续发展一直是政府与企业关注的热点，通过科技助力可持续发展，能够构筑一个更加包容、更加绿色环保的智能世界，安控科技也曾通过过硬的技术，助力大港油田国控排放口外排水处理系统的升级，您认为安控科技在绿色智能方面的优势有哪些？



王彬：绿水青山就是金山银山，中国也提出力争2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和。所以制造生产行业也非常关注绿色问题，这在企业的战略规划中占比很重。安控科技关注这几个点：降本、增效、绿色、环保。绿色方面，安科技近几年做了大量的工作。最典型的，以前现场都是用大瓦数、大功率机械设备，而现在现场用电多采用风光互补供电方式。工艺方面，安控科技提出一种自适应的间歇油田抽油算法，提高了油田节能效率。此外，利用二氧化碳驱油技术，把二氧化碳直接通过注到地下的方法进行驱动油，一个方面把碳封此外存了，也是实现了驱油的目的。其中安控科技的自动化技术发挥着很大的作用，这都是绿色的体现。环保方面，安控科技大概2006年开始做环保工作。针对COD和氨氮的检测，设计一种在线监测的检测设备。后面安控科技上市以后，收购了两家企业，一个是新疆三达新技术公司，另外一个是大漠石油，都是做油气田环保，如油污、污水的处理等。

关于大港油田国控排放口外排水处理系统项目，当时大港油田国控外排放口的时候，最早的金银水排放量处理要求不是那么高，有的可能就注到地下去了。但是量很大，处理能力也不够，所以安控科技就来承接这个项目，给他们从工艺结合自动化技术，在线监测再加上自动整个联动形成闭环，这个时候出来的水质就能达到很高，达到老百姓可以把水拿去灌溉庄稼，水的处理达到国家 A 类的标准。安控在绿色环保方面的优势，第一是做的时间长，第二是闭环优势。别人做可能是某一个方面，安控科技从前面的检测，到工艺，到后面的控制是形成一个闭环，它具有这样的优势。第三是专业。对于油田的采出水比较了解，里面的成分怎么处理等。因为有这么几个方面的优势，所以安控科技在绿色环保这一块做得比较好。

CAA：现在国家倡导科技经济融合，提倡科技供给与产业需求相结合，激发科学家与企业家的组合活力，您对此有什么看法或建议？

王彬：这应该是当前的痛点。高校、科研院有很多的最新研究成果，企业想升级换代新一代的智能，但不知道二者存在信息不畅通的问题，当然安控科技也建立了一些院士工作站、科研委员会，做了一些这方面的尝试。现

在智能化落地，往往发现企业里面做算法是很难的，因为企业里应用得更多。企业最缺两个东西：理论和算法，这两点都是高校、研究所、科学站的优势。能否采用一种模式，例如线上学术讲座，让科研工作者将研究成果科普、讲解，方便企业消化吸收再利用，或者把利益模式跟商业模式打通。

CAA：安控科技与中国自动化学会有过多次合作，请您谈谈对学会的印象，对学会您有什么期许？

王彬：安控科技与自动化学会也合作多年，包括加入了自动化学会的下属机构、石油化工专委会等，以及合作《自动化博览》杂志，举办线上学术讲座等。对学会的印象：（1）开放包容，囊括多专业跨领域的交流合作。（2）前瞻性强，专委会紧跟时代热点，

实时发声。（3）服务好，例如疫情防控期间举办的线上自动化学术论坛。

中美贸易战后，中国的自主可控提得越来越多，迫切性也越来越高，安控科技产业链上下游也提出一个问题，目前国产化率也只有 80% 多，仍需提高，很多关键技术仍然卡脖子。所以希望通过自动化学会的平台，把自主可控的产业链条整合起来，发挥力量。目前的市场份额还远远不够，国家关键基础设施的自主可控还没有完全做到，所以能不能围绕自主可控做大文章？以及建立平台组织将科学家与企业融合在一起。

最后，祝福中国自动化学会 60 周年会庆，同心同力同希望，共喜共庆共未来，60 载兼容并蓄，60 载厚积薄发，未来的中国自动化学会定能不断超越自我、再创辉煌。○

安控科技简介

安控科技创建于 1998 年。作为以自动化、信息化技术为核心的智慧产业解决方案运营商和产品提供商，在自动化、油气服务、智慧产业等业务领域提供自主产品及解决方案，持续推动科技创新、产业运营方式的改变。安控科技始终坚持以人为本的人力资源发展战略，建立了一支以

高级工程师和专业研究生为骨干的研发团队，打造了一支经过市场历练的高效经营团队，锻炼和培养了一支优秀的管理团队。安控科技始终坚持自主创新的企业发展战略，已经拥有了商标、专利、软件著作权等各类知识产权百余项，覆盖了所提供的所有自动化产品和控制系统。

中国自动化学会多名会员荣获第 26 届中国青年五四奖章

在建团百年到来之际，为充分发挥青年典型模范带头作用，激励广大青少年踔厉奋发、勇毅前进，以优异成绩喜迎党的二十大胜利召开，共青团中央、全国青联决定，授予马瑜婷等 49 名同志第 26 届中国青年五四奖章，授予首钢集

团冬奥服务保障青年团队等 16 个青年集体第 26 届中国青年五四奖章集体。确认冯韶伟等 73 名同志获第 26 届中国青年五四奖章、中国航天科技集团有限公司第六研究院八〇一所载人航天推进系统部等 17 个青年集体获第 26 届中

国青年五四奖章集体。

热烈祝贺中国自动化学会会员南京大学曹汛教授、西北工业大学王震教授、浙江大学李铁风教授荣获第 26 届中国青年五四奖章。○

来源：共青团中央、全国青联

获奖者简介



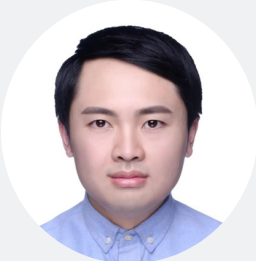
曹汛，中国自动化学会青年人才托举工程入选者，南京大学教授

曹汛，男，汉族，1983 年 10 月出生，中共党员，博士研究生学历，现任南京大学电子科学与工程学院通信工程系主任、教授、博士生导师。他攻克动态光谱成像技术难题，打破国外长期垄断，成功研制国产系列光谱相机装置。他推动光谱预警相机的自主创新，实现对化工泄漏多源动态、全面精准、实时智能的监控预警，有力保障安全生产。他带领科研团队研究的图像编码标准连续两年排名国际第一，被国际标准组织采纳为基准模型。



王震，中国自动化学会会员，西北工业大学教授

王震，男，汉族，1986 年 6 月出生，中共党员，博士研究生学历，现任西北工业大学网络空间安全学院党总支书记，国家保密学院常务副院长、教授。他围绕人工智能和网络空间智能对抗，构建了博弈智能的新理论和新方法，实现了智能决策认知模式与演化规律的精准预测。他研制了多项对抗环境下群体行为智能分析系统，服务于国家重大工程任务，填补了相关领域的多项技术空白。



李铁风，中国自动化学会会员，浙江大学教授

李铁风，男，汉族，1986 年 10 月出生，中共党员，博士研究生学历，现任浙江大学航空航天学院教授。他致力于研究软物质力学与智能机器人，成功实现软体机器人在马里亚纳海沟万米海底操控实验，成果发表 Nature 主刊封面论文，入选 2021 年中国科学十大进展。该研究为极端环境特种机器人与智能装备发展提供了理论方法和技术支撑。

中国自动化学会会员郭书祥教授当选日本工程院外籍院士

日本工程院 (The Engineering Academy of Japan) 成立于 1987 年, 由大学、产业界以及国家所属的研究机关中, 在工程及科学技术相关领域作出杰出贡献, 并具有重要领导和指导地位的人士组成。

郭书祥教授以其在医疗生物用遥控微操作系统和仿生鱼形微机器人等方面的开创性研究工作, 在机械工程领域当选外籍院士。



郭书祥, 博士, 中国自动化学会会员, 日本工程院外籍院士, IEEE Fellow, 北京理工大学教授, 国家海外高层次人才引进计划教授, 教育部“长江学者奖励计划”教授。工业和信息化部融合医工系统与工程重点实验室主任。担任 IEEE ICMA 国际会议的创始大会主席以及《IJMA (机电一体化和自动化) 国际志》主编等学术职务。长期从事微机器

人技术、血管检查微系统、医疗生物用遥控微操作系统等方面的研究工作。在世界上率先开发出直径 1mm 的两种脑血管检查微系统, 其所研制的具有 3 自由度的仿生鱼形微机器人, 属世界首创, 曾在世界权威杂志 New Scientist 上介绍报道。主持省部级以上课题 10 余项, 包括科技部 863 课题和日本国文部科学省重点科研项目 (相当于中国科技部 973 项目)。

1995 年获日本国立名古屋大学机械信息工学博士学位。在日本国立大学学习和工作近 30 年, 2005 年受聘为教育部“长江学者奖励计划”讲座教授。并于 2005–2006 年在香川大学大学任职的同时, 以日本政府派遣的访问教授的身份在加拿大多伦多大学工作。作为首席专家领导一个 20 人的医工学创新团队, 承接日本国文部科学省重点科研项目 (相当于中国科技部 973 项目) – 脑外科手术辅助系统技术的研究 (研究经费 1.9 亿日元, 折合约 1600 万 RMB)。从 1991 年起从事微机器人技术, 血管检查微系统, 医疗生物用遥控微操作系统等方面的研究工作。在世界上率先开发出直径 1mm 的两种脑血管检查微系统, 两种具有良

好反应速度的微泵, 医疗生物工程用遥控微操作器, 多种新型微机器人以及用于身体健康实时检测的一体化的微系统。所研制的具有 3 自由度的仿生鱼形微机器人, 属世界首创, 曾在世界权威杂志 New Scientist (No.2340, p.17) 上介绍报道。在国际刊物上发表论文 480 多篇。获 ISO2000, ICCSE 2003, IEEE ROBIO 2004 和 IEEE ICAL 2008, IEEE ICIA 2011, ICME CME 2013, IEEE ROBIO 2013, IEEE ICIA 2014, IEEE ROBIO 2016, WCICA 2018 国际会议最佳论文奖。为 IEEE ICMA (智能机电一体化和自动化) 国际会议的创始大会主席, IJMA (智能机电一体化和自动化) 国际杂志的创始主编。○

学会秘书处 供稿

 The Engineering Academy of Japan
101 Park Building 1F 2-2-2 Shinjyomachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-0004 Japan
Phone: +81-3-6863-9088 Fax: +81-3-6863-9087 E-mail: guoshuxiang@aej.or.jp

Guo, Shuxiang

has been duly elected
a Foreign Associate
of The Engineering Academy of Japan.

In testimony thereof, the Academy has caused its seal to be affixed to this diploma and the same to be attested by the officers this *thirteenth* day of November in the year *two thousand and twenty*.


President


Associate Executive

Date: 18 January 2021

临近高校毕业季，想必不少同学正在为毕业论文烦恼。本期“科普园地”栏目，为大家分享的是前物理学家 James Hayton（詹姆斯·海顿）在“James Hayton's PhD Academy”（詹姆斯·海顿博士学院）中发表的“如何提高你的学术写作”、“如何准备你的论文答辩”和“如何设计出色的 PPT”系列三篇文章。

詹姆斯·海顿（James Hayton）是一名前物理学家，于 2007 年获得诺丁汉大学的博士学位，也是《博士：一个不寻常的研究、写作和博士生活指南》（“PhD: An Uncommon Guide to Research, Writing & PhD Life”）的作者。自 2010 年以来，他一直在帮助世界各地的博士生克服他们研究和写作中的障碍。



如何提高你的学术写作

文 / James Hayton（詹姆斯·海顿）

第 1 部分：少说！

尽管写作是做学术的一项基本技能，但它很让人头疼。这一点不仅对于学生来说是如此，对于专业的学术研究人员也一样。

写作如此困难的原因之一是，在你写作的每一个要点，在主题、结构、风格、句子结构和单词选择上都有很多的可能性——所有这都需要你来做出决定。

人们试图解决这个问题方法之一是尝试把所有内容都写下来，而不去操心这些选择。通过这种方式，你可以快速扩充内容，但要为你的选择留有余地，因为

稍后你还是需要回来编辑它。

“把所有内容都写下来”的方式有什么问题？

1. 它会变得非常混乱。

你写的越多，整理和删减就变得越困难。一部分原因是我们很难编辑没有结构的东西，还有一部分原因是人们通常发现一旦写下了某些想法，就很难删除它们了。

2. 你会养成不良的习惯。

如果你一直避免做出选择，那么每当你在写作中遇到困难时，你就会将其养成一种习惯性的反应。

因此，你可能永远不会培养“做出选择”的技能或信心，但是当你面临巨大的时间压力时，你还是必须在最后做出所有这些选择。

3. 你将越写越多，没有终点。

如果你试图写下所有内容，那么你将不知道终点在哪里，因为总会有更多你想要添加的内容。

因此，以下我将提出一种完全不同的方法。

约束性写作

与其试图把所有把所有内容都写下来，并将选择留在最后，我们需要做的是设置一些限制。

这样做的原因之一是为了简化，减少可能性。另一个原因是约束帮助你做出其他创造性的决定。一旦你做出了一个决定，做更多的决定就容易多了。

缩小规模

我给你的第一个限制是限制规模。与其考虑写一整章或一篇论文，总共几十万字，不如把它限制在 1000 字左右。这大约是 4 页，虽然不算多，但足以以此开始，也足以传达一些重要的东西了。

缩小范围

所以我们缩小了规模，现在让我们尝试缩小范围并处理一个特定的问题，比如你在研究中使用的特定理论或方法。

所以我们在规模和范围方面设置了一些限制，但我们可以做得更多。

如果我让你写一个 1000 字的特定主题，你可能不自觉地就会尽可能多地塞内容进去，以展示你对这个主题了解多少或读过多少文献。

但这不是本科考试，如果你遗漏了什么就会丢分。这是学术写作，你知道的就是应该比你要求传达的多，你的工作是从你的知识库或文献阅读中选择最相关的信息。

考官希望你做出这些选

择——他们不希望你将所有内容都倾倒在页面上，因为这样他们就必须去做找出重要信息的工作。

所以你必须决定你想对这个主题说什么——你的观点是什么，你想让读者理解什么。

这是一个例子：

在我自己的博士期间，我使用了一种称为近场光学显微镜的技术。你不需要知道这意味着什么，但基本上它有两个方面：理论与实施。

我是一个实践主义者而不是理论家，所以我选择更多地关注实践方面。所以我决定，在写作之前，我只在写作中囊括理论中必不可少的部分——关键原则。

我决定了我想传达什么，我不想传达什么，我把它限制在特定的点上，这意味着我只需要考虑我如何表达它们并将它们联系在一起。

如果有一个我最初打算包含的概念，但我找不到将它与其他概念联系起来的方法，我就把它省略掉。我的默认立场是，“如果有疑问，就把它排除在外”，而不是把所有东西都塞进去。

后来，当我写关于实践的内容时，我囊括了更多内容，但我把它分成几个部分，每个部分都有一个特定的重点和数量有限的清晰、具体的点，而我认为不重要、不有趣和不相关的任何内容

都做了省略。

第 2 部分：缩短反馈周期

在第一部分中，我谈到了对你的写作施加一些限制的重要性，我建议试着写一段大约 1000 字的有特定重点的短文，对你想要囊括和省略的内容都要果断。

所以假设你已经尝试过了，显然 1000 个单词是不够的，你需要扩展你所写的内容，在某些时候，你可能还需要编辑你已经拥有的内容。

如果你已经养成拖到把所有内容都写下来，最后再编辑的习惯，那么在你完成这 1000 字的短文后，可能会马上就写下下一个部分，然后再下一个部分……但是这中间其实有一个至关重要的步骤，能够避免你越写越多。

这一步就是——暂停片刻，阅读你已经完成的内容。

反馈周期 (feedback cycle)

如果你想在任何事情上做得更好，就必须有某种反馈周期——你进行了某种尝试，然后以某种方式对其进行评估，在此基础上进行修正，通过这样的周期你得以做得更好。

对于像写作这样的事情，有很多变量，以至于你很难知道要改变什么来改善你的写作，因此很多人觉得压力很大。他们陷入自我怀疑，这被误认为是完美主

义（但这不是一回事），他们只是通过继续写下去来逃避问题。

但这种压力是一个有用的信号，因为它暴露了你的技能差距。如果你不能阅读、评估和编辑1000字的短文，那么你就没有办法——绝对没有办法——阅读、评估和编辑成千上万文字，特别是当你需要在截止日期（deadline）的压力下尝试这样做时，更是如此。

但是，如果你定期进行小规模练习，你就可以逐渐建立起编辑文章的技能 and 信心。并且如果你开始擅长小规模编辑，你就能在写作时也做出决定和调整，并最终得到一个相当不错的初稿，不需要大量更改即可提交。

培养这种技能和自信需要时间，但如果你想要有任何机会，你就必须阅读你的作品，并且练习编辑它。

正如我所说，影响你写作水平的有很多变量，所以让我们从重要的部分开始。

从重要的部分开始

首先，真的很简单，从错别

字或明显的语法错误开始。这些通常很难在你自己的写作中发现，特别是如果你快速阅读。所以你可以使用电子拼写检查器，但大声朗读你的文章也是一个好主意，因为它让你放慢速度。

如果你大声朗读你的文章，你也会更容易发现冗长啰嗦的表达。大多数情况下，你可以直接删除重复的短语或句子。

你可能还会发现不完整或过于复杂的句子。这种情况，我要么放慢速度并尝试调整，要么再次删减。

最后，参考文献。很多人把这些留到最后，但我必须说，在你写作时检查和添加你的参考文献非常重要。

部分原因是确保你在构建其余论证之前有文献支持你的假设，另一部分原因是防止大量积压的参考文献需要最后查找和添加（这似乎是每个人都低估的工作）。这也是确保你的参考文献系统正常工作的好办法。

现在显然你可以处理其他问题，但如果你只关注这些要点，并且你训练自己缩短编辑周期，

一次只编辑大约1000字，编辑应该就变得不那么可怕了。

阅读和编辑您所写内容的其他好处

1. 它让你养成一部分一部分完成工作的习惯，或者至少让它们处于可提交状态，而不是养成将它们留到最后的习惯。

反过来，这可以给你一种满足感，你知道你已经解决了显而易见的问题，而不是把事情弄得一团糟，还需要以后再来整理。

2. 它可以帮助你记住所写的内容。我有时会和一些从不回顾自己作品的学生交谈，他们已经写了好几个月的章节、论文或提案，但从未编辑过。而且因为他们忘记了他们已经说过的话，所以写作通常是重复之前的内容，而且通常是不连贯的，因为一个好的论点必须建立在之前的基础之上。但如果你不记得你说过什么，你又能做到呢？○

来源：James Hayton's PhD Academy

如何准备你的论文答辩

文 / James Hayton (詹姆斯·海顿)

准备论文答辩的最佳方法是什么？以下小贴士将在答辩前的最后几周为你提供帮助，但真正的准备工作应该在你开始攻读博士学位时就开始了。

长期保持与别人定期讨论你的科研工作是最好的准备。不要让你的论文答辩成为你第一次获得反馈的机会。

了解论文答辩的形式

Know the format of your thesis defence

论文答辩的形式因国家而异。在英国学习时，我的答辩形式本质上是由一名校内专家（了解我的研究）和一名校外专家（不了解我的研究）组成的。在其他国家，公开答辩通常由一整组专家评审和同事、家人和朋友组成。那么，第一个也是最明显的贴士就是确保你了解答辩的形式，比如是否需要准备 ppt 等。

准备和练习你的演讲

Prepare and practice your presentation

如果你必须进行演示汇报，请确认时间限制，以便做好相应

的准备。你不会想要在 15 分钟的演示中展示 100 张幻灯片，也不会想在 1 小时的演示中展示 10 张幻灯片。对于任何演示文稿，最重要的事情就是——练习，以便：

You know the material inside out

1. 熟悉所有要讲的内容

You know how long it takes

2. 知道讲完需要花多长时间

You can refine the presentation

3. 可以优化你的演示文稿

你可以自己练习，也可以找同伴来听，如果可能的话，你应该两者都做。自己练习并在空荡荡的房间里大声说话可能会让人觉得很傻，但克服这种不适是为面对实际听众时的不适做好准备。找同伴来听是获得反馈的好机会，同时你还能知道大家可能会提出什么问题，并做好准备。

可怕的“尴尬问题”

The dreaded “awkward question”

无论你是否需要进行演示汇报，答辩中最可怕的地方之一就是

是可能会被问到一个你无法回答的问题。你也许会尝试阅读大量文献来为此做准备，但由于很难预测考官会问什么，而且你也不可能阅读所有内容，所以这种方法并不总是有效（它可能仅仅会让你意识到你不知道多少）。

你本来就不可能也不应该知道一切。有时，评审会问一个他们自己不知道答案的问题，要么是出于兴趣（因为你才是你所研究问题的专家），要么是因为他们想看看你的思路。当然，你可以实事求是地说“我不知道”，但你也可以说以下这样的话：“我不知道，但我会认为……，这是因为 x 和 y，但你需要……才能得到答案”。这样的回答将表明你有学术思考的能力。“I don't know, but I would think that ... because of x and y, but you would need to do ... in order to find out”。

核心内容

Core content

当然，那些核心内容是你应该知道的，但这是由你自己决定的，而不是评审。在很大程度上，

答辩的内容是由你的论文内容决定的。

当你选择论文中涵盖的内容时，你就是在选择论文答辩的战场，因此最好的策略是坚决只放那些你最了解的内容（不要放那些你也说不清楚的东西）！

慢一点

Slow down

紧张的一个症状是说话非常快，并试图在这种长长的意识流中展示你知道的所有内容，这种意识流会让你偏离问题，直到你忘记实际问题是什么，但你也不知道如何回到正题，所以你一直在说话，这会让你更加紧张。你

将如何摆脱这种恶性循环呢？

试着放慢速度，给自己时间呼吸。试着记住问题，并回到正题。回答完就停止讲话！

但如果你忘记了问题，可以说：“对不起，我扯远了，请再重复一下你的问题好吗？”

评审知道你会紧张

The examiners expect you to be nervous

请记住，评审知道你在论文答辩中会有点紧张，所以如果有可能，他们会帮助你。你可以要求他们重复或澄清他们所提出的问题，停下来想一想也是可以的。如果必要，你也可以喝一口水来缓解紧张。

最后

Ultimately...

成败最主要还是取决于你论文的内容和质量。如果你的研究做得很好，而且你确实实际做了这项工作，那么你在答辩中的紧张表现就不太可能导致失败。一般来说，一旦你的论文被提交，你就无法做太多的事情来影响结果了（正面或负面）。通读你的论文，必要时阅读一两个关键点，练习你的演讲，并相信无论发生什么你都会做好的。○

来源：James Hayton's PhD Academy

如何设计出色的 PPT

文 / James Hayton（詹姆斯·海顿）

无论是大型国际会议、小组会议还是论文答辩，Presentation（汇报）都会是你工作的重要组成部分。如果你的 ppt 做得好，它可以对你所讲的内容起到强烈的视觉强化作用，但要真正做好它却是很困难的。

大多数人都知道“不要在屏幕上放太多文字”之类的基本原

则，但设计好的幻灯片比这要更复杂一些。

你在屏幕上看到的并不是你的观众会看到的

What you see on your screen is not what your audience will see

如果你想确保每个人都能看

到并阅读你的 ppt 内容，你就必须考虑到这些限制条件。

1. 清晰度不同

如果你使用相当现代的笔记本电脑，屏幕在分辨率、亮度 and 对比度方面可能相当不错，但如果你要在超过三名观众面前汇报，你将不可能使用笔记本电脑屏幕。所以需要记住你使用投影仪投

射的图片不太可能与你在创建 ppt 时正在查看的图像一样清晰。

2. 房间布局也很重要

在拥有一排排座位的专用演示大厅中，大多数观众都能一览无余地观看屏幕。但是，通常情况下，你会在一个普通房间中展示，其中一排排座椅高度相同，这意味着大多数人只能看到部分视图。

避免幻灯片上的花哨背景

Avoid fancy backgrounds on your slides

我总是使用纯白色或黑色背景来尽可能地与文本形成对比。白色更容易使用（特别是如果我想打印幻灯片），所以这是我通常的选择，但我也会尝试黑色，这样如果我走到屏幕前，我就不会被投影仪亮瞎。

虽然淡淡的背景色看起来不错，但它并没有任何附加价值。还要避免使用渐变色（它们在你的屏幕上可能看起来不错，但在质量较低的投影仪上可能会出现条纹）。也不要使用照片或任何类型的复杂纹理作为背景。

使用无衬线字体（对应中文黑体）

Use sans-serif typography

你可能能够在自己的电脑上清晰地阅读，但由于投影屏幕比你的电脑屏幕大得多，这会使其他字体（如宋体）看起来有点不清晰，因为它们往往在像素级别上有更精细的细节。

缩放

Zoom out

你还需要确保你的文本足够大，以便坐在大房间后排的观众也能轻松阅读。如果你坐在靠近屏幕的位置，你将能够阅读非常小的文本。但想象一下你坐在一个大演讲厅的后排，那么该文本仍然清晰易读吗？

确保文本可读的一种方法是在设计 ppt 时缩放它来查验。我通常将缩放设置为 40%，以了解房间后

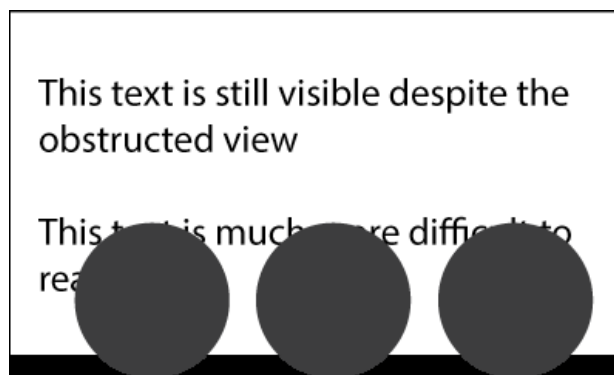
面的观众可能会是什么样子。如果在这种情况下你无法阅读你的文本，或者很难阅读，那么它太小了。

使用幻灯片的上半部分

Use the top half of the slide

除非你知道，你将在一个观众视野开阔的场所做汇报，否则请尝试仅使用幻灯片的上半部分。

这无疑限制了你能在每张幻灯片上放入多少信息，但如果你倾向于在幻灯片中添加大量文本，这可能是一件好事。



确保数字清晰易读

Make sure figures are legible

除了文本，也要确保图表中的任何文字都清晰易读。这可能意味着使用比印刷字体更大的字体，再强调一次，使用黑体。如果要调整图像大小，请小心避免 JPEG 伪影（关于更多图表制作 tips，请关注后续文章）。

不要使用视频或动画（除非你绝对必须）

Don't use video or animation (unless you absolutely have to)

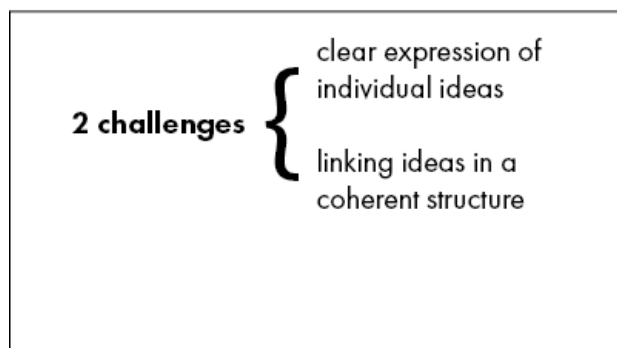
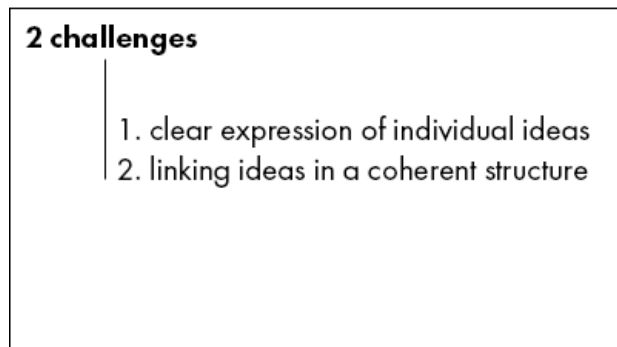
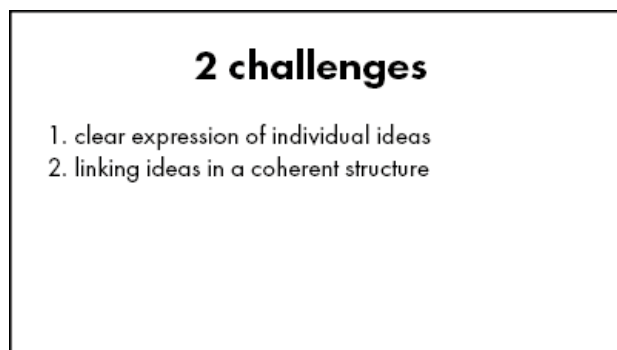
有时你只能使用视频展示作品，但这通常会导致技术问题（特别是如果你使用的是会场电脑而不是你自己的电脑）。所以如果你要在会议上发表演讲，并且绝对必须展示视频，请在演讲前（在休息时间或一天开始时）进行测试，并准备一系列可用作备份的静

止图像。

用于幻灯片转换和使文本从屏幕边缘飞入的内置 ppt 动画毫无意义。

打破典型的 PowerPoint 幻灯片格式 Break the typical PowerPoint slide format

到目前为止，我给出的所有观点都对你的设计施加了限制，但你仍然可以在这些限制内发挥创造力。标题后跟项目符号列表的典型 ppt 格式有点乏味，标题其实不需要那么大的空间。



如果你放弃这种典型的 ppt 布局，则可以尝试不同且有趣的方式呈现相同的信息。在上面的第二个示例中，标题变小并被推到角落，为重要内容提供了更多空间。垂直线增加了一点视觉趣味，并将标题和内容联系在一起。在下面的示例中，强调分为两个方面。两者都比典型的布局（顶部）更有趣，但又不至于过于复杂。

为此，请使用“空白”幻灯片布局并使用文本框在你想要文本的任何位置进行调整。

也许尝试不使用任何文字…… Maybe try using no text at all ...

通常，我们会使用幻灯片作为自己的提示卡。这很好，但观众不需要看到它们。如果你真的想脱颖而出并做一些不同的事情，请试着仅在需要展示图片或图表的地方使用幻灯片。

准备，准备，准备！ Preparation, preparation, preparation!

比制作幻灯片更重要的是适当的准备。练习你的演讲（大声念出来；浏览幻灯片不算数）并确保：

1. 在规定的时间内完成；
2. 你熟悉自己的幻灯片，所以当你移到下一张时并不感到陌生；
3. 你确切地知道你的开场白和结束词是什么（你需要编写这些脚本）

还要记住，你可能无法在你拥有的时间内囊括所有内容。所以试着留下一些空白，让观众提问，如果他们想要了解更多细节。○

来源：James Hayton's PhD Academy

全国政协副主席、中国科协主席万钢在 2022 年全国科技工作者日主场活动上的讲话

各位来宾，全国广大科技工作者朋友们：

今天，我们迎来了第六个“全国科技工作者日”。当前，广大科技工作者坚守抗疫、生产和科研一线，为积极应对疫情防控的严峻考验，为保障人民生命健康，为推动经济发展和社会稳定和国家安全作出了不懈努力与巨大贡献。

全国科技工作者日和全国科技活动周的各项活动也正在蓬勃开展，广大科技工作者深入田间地头、厂矿车间、学校社区，弘扬“研必以报效国家为己任，学必以服务人民为荣”的科技志愿服务精神，以实际行动践行着创新争先、自立自强的时代主题和科技报国、创新为民的初心使

命。在此，我谨代表中国科学技术协会，向广大科技工作者致以良好祝愿和崇高敬意！

党的十八大以来，广大科技工作者坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，大力弘扬科学家精神，涵养优良学风，在建设创新型国家征程中创新争先，为经济社会高质量发展作出了突出贡献。当前，紧抓新一轮科技革命和产业变革的机遇，加快实现高水平科技自立自强，成为塑造未来发展新优势的重要基础。作为自立自强的排头兵，广大科技工作者要更加深刻领会到“创新是引领发展的第一动力，科技是战胜困难的有力武器”的内涵，更加充分认识到不断提升自主创新能力永远是解决问题的根

本之道，更加准确理解加快产学研深度融合、壮大新增长点、培育发展新动能的重要性紧迫性，进一步增强以开放合作应对全球挑战、推动构建人类命运共同体的责任感使命感。

科技是国家强盛之基，创新是民族进步之魂。让我们更加紧密团结在以习近平同志为核心的党中央周围，增强“四个意识”，坚定“四个自信”，做到“两个维护”，以创新、创业、创造的生动实践为建设世界科技强国不断作出新的更大贡献，以优异的成绩向党的二十大献礼。○

来源：中国科学技术协会

中国科协党组书记张玉卓：让新时代科学家精神在中华大地扎根绽放

2016年，习近平总书记在科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上的重要讲话，绘就中国建设世界科技强国的宏伟蓝图。2021年，习近平总书记在两院院士大

会、中国科协第十次全国代表大会上深刻指出，要加快建设科技强国，实现高水平科技自立自强。把握新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局，推动高质量发展，中国科技界正以奋发进

取的姿态，肩负起创新第一动力、人才第一资源的时代重任，在爱国、创新、求实、奉献、协同、育人为鲜明特征的科学家精神指引下，面向世界面向未来，向着实现第二个百年奋斗目标的伟大



自2004年以来，中国科协已连续18年成功举办全国科普日活动，为积极涵养创新生态、提升全民科学素质、服务高水平科技自立自强作出贡献。图为2019年10月18日，甘肃省科协少数民族科普工作队主办的“科技大篷车”巡展系列主题活动走进张掖市甘州区劳动街小学。

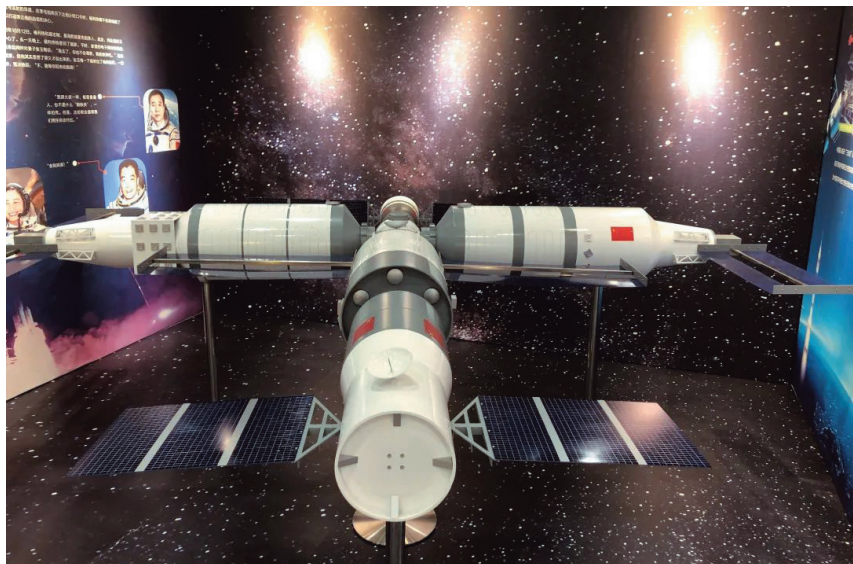
视觉中国 / 供图

征程迈步前行。

一、赓续红色血脉，挺起科技脊梁，勇担中华民族伟大复兴大任

习近平总书记在庆祝中国共产党成立 100 周年大会上的重要讲话中指出：“一百年前，中国共产党的先驱们创建了中国共产党，形成了坚持真理、坚守理想，践行初心、担当使命，不怕牺牲、英勇斗争，对党忠诚、不负人民的伟大建党精神，这是中国共产党的精神之源。”在党的坚强领导下，科技工作者弘扬伟大建党精神，在长期的科学技术实践中养成了中国科学家独特的精神气质，铸造了具有中国风格、中国气派的新时代科学家精神，成为中国共产党人精神谱系的重要组成部分。

矢志科学、许身报国是科技工作者的价值引领。经受新文化运动和五四运动洗礼，以马克思主义为行动指南的中国共产党自诞生之日起就深刻认识到科学技术的重要性，中国共产党的创建者都是“赛先生”的坚定拥护者，号召要重用“科学家来帮助无产者开发实业、振兴学术”。抗日战争时期，仅 1938 年至 1940 年初，从全国各地奔赴延安的知识分子就达 4 万余人，其中不乏科技人才。严济慈、贝时璋、陈省身、华罗庚、邓稼先、钱学森、朱光亚等一批又一批科学家为中华民



2019 年 9 月 26 日，中国科协举办“礼赞共和国”科普展，43 件（套）反映新中国 70 年重大科技成就的大国重器展品齐聚中国科技馆。图为展出的中国空间站模型。

中新社记者 孙自法 / 摄

族救亡图存，披肝沥胆，尤其是在新中国百废待兴之初，他们投身科学报国之路，书写了与党和人民相濡以沫、为共和国科技发展奠基立石的不朽篇章。

扎根实践、学以致用是科技工作者的行动遵循。马克思主义是实践的理论，马克思主义实践观具有鲜明的与时俱进的精神品格。中国共产党始终强调用生动的社会实践团结凝聚广大科技工作者，并以海纳百川的胸怀为各类人才施展才华搭建广阔平台。抗日战争时期，由共产党领导成立的陕甘宁边区自然科学研究会，团结各部门、各行业科技人才在机电、冶铁、土木、航空、数理、化学等 10 余个方向开展科研攻关和学术研究，为边区国防和生产建设服务。1949 年新中国成立后，

面对复杂严峻的国内外形势，党中央向海外知识分子发出“祖国需要你们”的号召，一大批杰出科学家为之感召，克服重重阻力，全身心投入新中国建设，取得了以“两弹一星”为标志的一大批重大科技成果，推动建立了学科齐全的科学研究体系、工业技术体系、国防科技体系、地方科技体系。事实证明，只有坚持中国共产党的领导，才能最大程度上凝聚发挥科技人才的智慧力量，发挥出社会主义制度集中力量办大事、攻难事的优势，实现国家繁荣昌盛。

科技为民、造福人类是科技工作者的不懈追求。中国共产党是中国工人阶级的先锋队，是中国人民和中华民族的先锋队，自成立之初就把为中国人民谋幸福、



2021年6月27日，由香港中联办、香港特区政府、中国科协、紫荆文化集团主办的“时代精神耀香江”之百年中国科学家主题展在香港会展中心举行，吸引大批香港市民参观。

中新社记者 李志华 / 摄

为中华民族谋复兴作为自己的初心和使命。党的十八大以来，广大科技工作者时刻铭记习近平总书记提出的“人民对美好生活的向往，就是我们的奋斗目标”指示要求，接力前行，以只争朝夕的使命感、责任感、紧迫感，在脱贫攻坚、全面建设小康社会、医药卫生、基础设施、科学普及、生态文明、防疫抗疫等方面取得一批重大科技成就，在依靠科技发展和保障民生、促进人的全面发展和国家现代化建设方面创造了中国案例和中国实践，极大提升了民众的获得感、幸福感、安全感。

二、践行科学家精神，激发创新发展内生动力

习近平总书记多次指出，“科

学家精神是科技工作者在长期科学实践中积累的宝贵精神财富”，“新时代更需要继承发扬以国家民族命运为己任的爱国主义精神，更需要继续发扬以爱国主义为底色的科学家精神”。在建党百年之际，科学家精神进入中国共产党人的精神谱系，体现了以习近平同志为核心的党中央对科技工作者的亲切关怀和充分信任，为新时代人才工作指明了方向。

激发家国情怀，传承红色基因砥砺奋斗之志。爱国是科学家精神第一要义，也是对新时代人才的第一要求。从李四光、钱学森、钱三强、邓稼先等一大批老一辈科学家，到陈景润、黄大年、南仁东等一大批新中国成立后成长起来的杰出科学家，都是爱国科学家的典范。只有把个人的梦

想和国家民族命运紧紧融合在一起，才能焕发出惊人的力量，激发出不竭的动力。把祖国和人民的需要和呼唤常记心间，把爱国济民的信念和情怀融入行动，必将激励每一位奋斗者，以进取超越的精神和执着，战胜任何困难和阻力，自觉把人生理想融入为实现中华民族伟大复兴中国梦的奋斗中。

坚定创新自信，勇担科技自立自强重任。惟创新者进，惟创新者强，惟创新者胜。习近平总书记多次强调，构建新发展格局最本质的特征是实现高水平的自立自强，必须更强调自主创新。创新自信是变革时代的前行力量，创新精神已经成为新时代科学家精神的主旋律。广大科技工作者要坚持从世界看中国，紧跟科技发展大势，不断向科学技术的广度和深度进军，树立和保持永不止步的进取意识和开创精神，“胸有凌云志，敢为天下先”。要坚定勇于探索、突破进取的自信，敢于逆势而上，拥有强大的自主创新能力，在“四个面向”中创新创造，在激烈的国际竞争中赢得主动。

坚持求真求实，恪守科学研究的底线原则。实事求是的科学态度是科学家的精神基础，也是新时代科学家精神的本质特征。科学家的优势不仅是智力，更主要的是专注和勤奋，经过不懈努



图片屠呦呦在工作中。新华社发

力和艰辛探索而在某个领域形成优势。要牢牢坚持唯实求是，树立有信仰有敬畏的科研诚信，不为浮躁所动，不为名利所累，真正尊重事实、崇尚理性地面对未知，探索自然、人生和社会之道。要深刻把握科技的社会功能发展规律，前瞻研判科技发展带来的规则冲突、社会风险、伦理挑战，洞悉风险源头，推进人类文明发展。

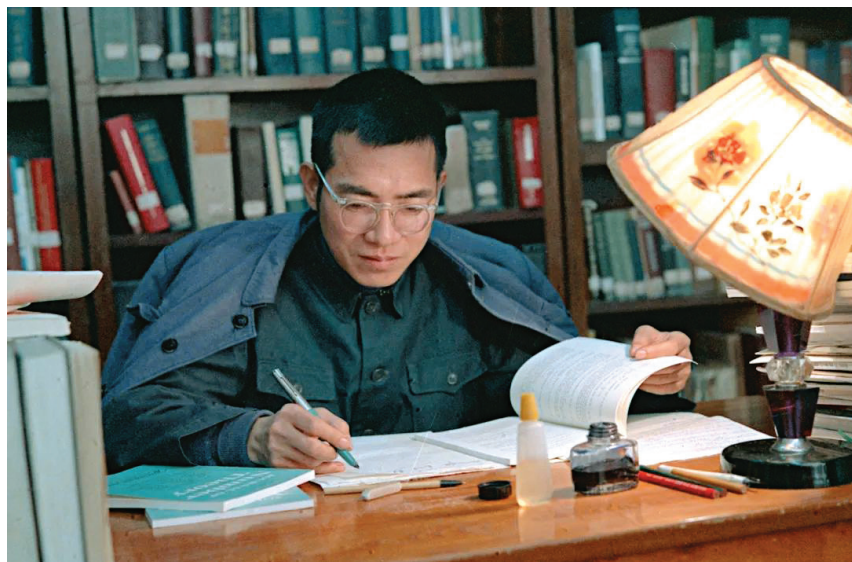
弘扬奉献精神，以实际行动传承人间大爱。科技创新，需要“板凳一坐十年冷”的毅力、“为伊消得人憔悴”的境界、“不破楼兰终不还”的执着和“功成不必在我”的胸怀，没有精神的支撑是很难成功的。中国首获诺贝尔奖的科学家屠呦呦，自1968年以来历经190次失败和无数次坚持，最终取得了青蒿素对疟疾100%

抑制率的成果。正是这种“功成不必在我、功成必定有我”的胸怀境界和坚守担当，才能够实现科技创新的一次次爬坡过坎，闪耀出科技文明的光辉。广大科技工作者要为民创新、为民创造，把“四个面向”作为巨大牵引，把社会主义现代化国家建设潜能转化为新优势，把满足人民对美好生活的向往作为创新攀登的落脚点，真正做到把高质量的论文写在祖国大地上。

以协同之力促进科技创新体系化效能全面提升。“积力之所举，则无不胜也；众智之所为，则无不成也。”我国的高铁自主研发，近30家一流科研机构、院校与近50家骨干企业组成了产学研用密切结合的创新联合体，推动高铁攀上了世界高速列车技术高峰。人工合成牛胰岛素、载人航

天工程、深海潜水器等，无不证明，单打独斗、闭门造车早已不适合当今时代的发展潮流。广大科技工作者必须以更广阔的视野顺应当代科技革命和产业变革的新趋势，把推动学科领域的广泛交叉和深度融合作为创新的重要方法论，强化协同创新，善于集成创新，以开放、信任、合作的理念，形成集智攻关的整体合力，以高效协同推动国家创新体系效能的整体提升，在更高水平上实现科技的自立自强。

弘扬甘为人梯精神，做新时代人才培养的“开路小工”。拥有一大批创新型青年人才，是国家创新活力之所在，也是科技发展希望之所在。千里马常有，而伯乐不常有。为党育才、为国育才，以己为梯、提携后进，是科学大师载誉青史的宝贵品格。1956年，时任清华大学数学系主任的华罗庚收到厦门大学年轻的图书管理员陈景润对他的著作提出改进意见的信件，马上邀请陈景润在全国数学论文报告会上作学术报告。陈景润也因此来到北京，进入中国科学院数学所。十年后，陈景润完成了哥德巴赫猜想，登上了数学王国的顶峰。正是一代代优秀科研人才的育人精神，助力青年树立永不言弃的探索精神，才让我国科技界的优良学风和精神气质薪火相传。广大科技工作者要按照习近平总书记提出的“言



陈景润熬夜攻数学。新华社发

传身教，发扬学术民主，甘做提携后学的铺路石和领路人”重要指示要求，大力培育人才队伍持续壮大、人才辈出的优良创新生态，确保科技事业不断展现强大生机和活力。

三、面向世界面向未来，汇聚建设高水平科技自立自强的磅礴力量

习近平总书记指出，中国科协要肩负起党和政府联系科技工作者桥梁和纽带的职责，更广泛地把广大科技工作者团结在党的周围，弘扬科学家精神，涵养优良学风。立足新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局，中国科协将进一步坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，大力弘扬科学家精神，润物无声，加强对科技工作者的思

想引领，发挥开放型、枢纽型、平台型组织优势，聚焦靶心，争创一流，开放协同，赋能基层，团结广大科技工作者在服务党和国家事业中不断作出扎实贡献。

以强大的思想伟力汇聚爱国奋斗的创新动力，绘好众心向党同心圆。大力弘扬以爱国创新为底色的科学家精神，以历史纵深观照时代，从中华文脉中阐扬科学文化，进一步强化与相关部门单位协同合作，广泛联合地方、行业建好科学家精神教育基地，精心打造科学家博物馆，推出更多反映新时代精神的精品力作，激发全民族创新自信。坚持聚焦青年，在党和国家工作大局中进一步确立科协组织“举旗帜、育新人、兴文化”的地位，推动科学家精神主题话剧走进港澳高

校，增加青年对国家的认同。全面加强党对科技创新和科协组织的领导，依托新时代文明实践中心、党群服务中心和科技文化场馆，广泛开展科技志愿服务，大胆开展模式创新，使之真正成为党联系服务广大群众的“桥头堡”和科技普惠为民助力共同富裕的“催化剂”。

围绕大局生动实践，支撑构建新发展格局。深度融入国家战略区域布局，引学会之水助力创新驱动发展，做好创新链支撑，促进网络化协同，推动打造纵横交错、资源互补、有效协同的创新经济地理新空间，激励广大科技工作者在“四个面向”中创新创造。发挥联接四方、智力汇聚优势，聚焦战略、规划、政策资源，把国家实验室、国家科研机构、高水平研究型大学、科技领军企业等国家战略科技力量广泛联系起来，巩固科技自立自强的战略支点。高质量推动《全民科学素质行动规划纲要（2021—2035年）》实施，推进现代科技馆体系建设，深化青少年科技教育活动改革，打造社会化协同、智慧化传播、法治化建设和国际化合作的科学素质建设生态，夯实进军世界科技强国的社会基础。

优化科技创新生态，激发创新创造活力。深刻领会习近平总书记关于人才工作“八个坚持”



中国科协持续开展“共和国的脊梁——科学大师名校宣传工程”，图为入选并获奖的西北工业大学话剧《寻找师昌绪》演出照。中国科协 / 供图

的重要论断，把科学的评价导向作为识才的关键，搭建“独立客观、标准透明、开放获取”的第三方成果评价指标体系，强化以科技创新质量、绩效、贡献为核

心的评价导向，以最优的创新环境高质量助力世界重要人才中心和创新高地建设。进一步涵养优良学风，面向重点人群持续开展宣讲教育，以只争朝夕不负韶华

的奋斗姿态传承优良学风，推动创新生态持续优化。加快推进建设世界一流的学会群体、科技期刊群，以构建公益性、普惠性国家学术文献服务平台推动开放获取学术资源和开放科学数据，为提高国家创新体系建设效能“储能蓄能”。

拓展对外科技人文交流，增进国际科技界开放信任合作。加快国家科技组织建设，推动在华建立一批新兴或优势领域的国际科技组织，寻找各国共同发展的战略默契点，推动我国接入全球创新网络，主动创造、构建、引领全球化对中国发展的新机遇。探索建立具有中国特色的科技伦理治理体系，深度参与国际科技竞争合作和科技治理，倡导负责任的科研活动，鲜明提出中国科技界的创新主张。推动全国学会开拓民间科技交流渠道功能，使中国科技发展成为人类文明进步的更大贡献者，为人类命运共同体构建注入强劲动力。

立足第二个百年奋斗目标的历史新起点，我们将牢记习近平总书记的嘱托，以与时俱进的精神、革故鼎新的勇气、坚忍不拔的定力，逢山开路，遇水搭桥，肩负历史重任，秉持初心前行，让科学家精神厚植于中华大地，绽放出新时代华光！



科学家精神教育基地——钱学森故居外观 中国科协 / 供图

来源：中国新闻

八部委发布联合行动倡议，支持青年科技人才全面发展

青年科技人才是实现高水平科技自立自强的重要力量和生力军，是实现中华民族伟大复兴中国梦的战略支撑。为贯彻落实习近平总书记重要讲话和中央人才工作会议精神，支持青年科技人才全面发展，中国科协、教育部、科技部、共青团中央、中国科学院、中国工程院、国防科工局、国家自然科学基金委员会联合发出倡议，号召有关单位和社会各界开展支持青年科技人才全面发展联合行动，为加快建设世界重要人才中心和创新高地提供不竭动力。

一、关心青年科技人才所思所想

建设网上科技工作者之家、科技人才信息平台、“一站式”服务平台等党和政府联系青年科技人才的线上平台，健全思想状况调查机制，及时准确把握思想动态。开通心理咨询服务热线，为青年科技人才提供心理辅导和压力舒缓。帮助解决好青年科技人才在创新创业、婚恋交友、老人赡养、子女教育等方面的操心事、烦心事，切实维护其合法权益。

二、大力弘扬科学家精神

扩大科学大师名校宣传工程、学风传承行动等项目支持力度和覆盖范围，提高“最美科技工作

者”、“最美教师”、“大国工匠”等典型宣传中的青年科技人才比例，引导青年科技人才厚植家国情怀，坚定创新自信，弘扬优良学风，扣好学术生涯“第一粒扣子”，把个人理想和科学追求融入建设社会主义现代化国家的伟大事业中。

三、激励青年人才脱颖而出

完善优秀青年科技人才全链条培养体系。加大国家重大人才计划、科技项目、科研基金对青年科技人才的支持力度，进一步增加青年人才托举工程资助数量。加强部委联动，实施表彰奖励提升计划，发挥好中国青年科技奖、中国青年女科学家奖、中国青少年科技创新奖等表彰奖励的典型示范作用。鼓励社会力量设立青年科技人才奖项，促进青年才俊奔涌而出。

四、营造良好创新生态

倡导“亲清”师承关系，破除“圈子”文化，反对导师在学生独立开展的论文、项目和研究中“挂名”。倡导用人单位完善以创新价值、能力、贡献为导向的科技人才评价机制，杜绝简单以论文数量、人才“帽子”、科技奖励和项目承担经历为决定性依据的评价。落实科研人员减负专项行动，破除“官本位”传统思维，

改变“填表式”管理模式，解决评估检查多、会议多、报销难等问题，让青年科技人才把主要精力投入科技创新和研发活动。

五、强化组织建设和平台支撑

各级学会主动吸纳青年会员，支持优秀青年科技人才在学会任职。加强对新型研发机构、创新联合体、企业研发中心、科技型中小企业等科技组织中青年科技人才的联系服务和工作覆盖。强化青年科学家学术沙龙、博士生学术年会等青年学术交流品牌，切实提高青年科技人才在各类学术交流中的参会比例和发言名额。鼓励支持青年科技人才以所学所研开展科技志愿服务，在服务社会中受教育、增才干、作贡献。

六、拓宽国际视野

坚持面向世界、面向未来，支持更多青年科技人才积极融入全球创新网络，深度参与全球科技治理，鲜明提出中国科技界的创新主张和道义值守。支持更多青年科技人才积极加入国际科技组织并发挥作用，在国际交流中当好“科技使者”，讲好中国故事，发出中国声音，大踏步走向世界科技舞台中央。○

来源：中国科学技术协会

习近平总书记在庆祝中国共产主义青年团成立 100 周年大会上的讲话

共青团员们，青年朋友们，同志们：

青春孕育无限希望，青年创造美好明天。一个民族只有寄望青春、永葆青春，才能兴旺发达。

今天，我们在这里隆重集会，庆祝中国共产主义青年团成立 100 周年，就是要激励广大团员青年在实现中华民族伟大复兴中国梦的新征程上奋勇前进。

首先，我代表党中央，向全体共青团员和各级共青团组织、团干部，致以热烈的祝贺和诚挚的问候！

共青团员们、青年朋友们、同志们！

中华民族是历史悠久、饱经沧桑的古老民族，更是自强不息、朝气蓬勃的青春民族。在 5000 多年源远流长的文明历史中，中华民族始终有着“自古英雄出少年”的传统，始终有着“长江后浪推前浪”的情怀，始终有着“少年强则国强，少年进步则国进步”的信念，始终有着“希望寄托在你们身上”的期待。千百年来，青春的力量，青春的涌动，青春的创造，始终是推动中华民族勇

毅前行、屹立于世界民族之林的磅礴力量！

青年的命运，从来都同时代紧密相连。1840 年鸦片战争以后，中国逐步成为半殖民地半封建社会，国家蒙辱、人民蒙难、文明蒙尘，中华民族遭受了前所未有的劫难。一批又一批仁人志士为救国救民而苦苦追寻，一大批先进青年在“觉醒年代”纷纷觉醒。伟大的五四运动促进了马克思主义在中国的传播，拉开了新民主主义革命的序幕，也标志着中国青年成为推动中国社会变革的急先锋。

青春力量一经觉醒，先进思想一经传播，中华大地便迅速呈现出轰轰烈烈的革命新气象。在马克思列宁主义同中国工人运动的紧密结合中，中国共产党应运而生。中国共产党一经诞生，就把关注的目光投向青年，把革命的希望寄予青年。党的一大专门研究了建立和发展青年团作为党的预备学校的问题。1922 年 5 月 5 日，在中国共产党直接关怀和领导下，中国共产主义青年团宣告成立。这在中国革命史和青年运

动史上具有里程碑意义！

坚定不移跟党走，为党和人民奋斗，是共青团的初心使命。一百年来，在党的坚强领导下，共青团不忘初心、牢记使命，走在青年前列，组织引导一代又一代青年坚定信念、紧跟党走，为争取民族独立、人民解放和实现国家富强、人民幸福而贡献力量，谱写了中华民族伟大复兴进程中激昂的青春乐章。

新民主主义革命时期，共青团广泛传播马克思主义，用先进思想启迪青年觉醒、凝聚青春力量，团结带领广大团员青年踊跃投身反帝反封建的工人运动、农民运动、学生运动，积极参加党领导的革命武装，在打倒军阀、抗日救亡、推翻国民党反动统治的伟大斗争中冲锋陷阵，展现出不怕牺牲、浴血斗争的精神风貌。刀光剑影，枪林弹雨，广大团员青年对党忠贞不渝，经受住了生与死的考验，为中国革命胜利贡献了青春、建立了重要功勋！

社会主义革命和建设时期，共青团积极参与中华民族有史以来最为广泛而深刻的社会变

革，组建青年突击队、青年垦荒队、青年扫盲队，开展学雷锋活动，团结带领广大团员青年激发“敢教日月换新天”的豪情，喊出“把青春献给祖国”的响亮口号，向科学进军，向困难进军，向荒原进军，展现出敢于拼搏、辛勤劳动的精神风貌。艰难困苦，千难万险，广大团员青年主动作为、勇挑重担，哪里最困难、哪里就有团的旗帜，哪里有需要、哪里就有团员青年的身影，为祖国建设贡献了青春、建立了重要功勋！

改革开放和社会主义现代化建设新时期，共青团适应党和国家工作中心战略转移，解放思想，锐意进取，广泛开展争当新长征突击手、“五讲四美三热爱”、希望工程、青年志愿者、青年文明号、保护母亲河等一大批青春气息浓烈的创造性活动，团结带领广大团员青年发出“团结起来、振兴中华”的时代强音，在现代化建设各条战线上勇立潮头，展现出敢闯敢干、引领风尚的精神风貌。革故鼎新，建设四化，广大团员青年勇作改革闯将，开风气之先，为改革开放和社会主义现代化建设贡献了青春、建立了重要功勋！

中国特色社会主义新时代，共青团积极投身伟大斗争、伟大工程、伟大事业、伟大梦想波澜壮阔的实践，坚持守正创新、踔

厉奋发，全面深化自身改革，团结带领广大团员青年在脱贫攻坚战场摸爬滚打，在科技攻关岗位奋力攀登，在抢险救灾前线冲锋陷阵，在疫情防控一线披甲出征，在奥运竞技赛场奋勇争先，在保卫祖国哨位威武守护，在党和人民最需要的时刻冲得出来、顶得上去，展现出自信自强、刚健有为的精神风貌。“清澈的爱，只为中国”，成为当代中国青年发自内心的最强音。伟大梦想，伟大使命，广大团员青年自觉担当重任，深入基层一线，让青春在实现中华民族伟大复兴的中国梦中绽放异彩，为党和国家事业取得历史性成就、发生历史性变革贡献了青春、建立了重要功勋！

时代各有不同，青春一脉相承。一百年来，中国共青团始终与党同心、跟党奋斗，团结带领广大团员青年把忠诚书写在党和人民事业中，把青春播撒在民族复兴的征程上，把光荣镌刻在历史行进的史册里。

历史和实践充分证明，中国共青团不愧为中国青年运动的先锋队，不愧为党的忠实助手和可靠后备军！

共青团员们、青年朋友们、同志们！

越是往前走、向上攀，越是要善于从走过的路中汲取智慧、提振信心、增添力量。一百年来，共青团坚定理想信念、矢志不渝，形

成了宝贵经验。这是共青团面向未来、再立新功的重要遵循。

——百年征程，塑造了共青团坚持党的领导的立身之本。没有中国共产党，就没有中国共青团。共青团从诞生之日起，就以党的旗帜为旗帜、以党的意志为意志、以党的使命为使命，把坚持党的领导深深融入血脉之中，形成了区别于其他青年组织的根本特质和鲜明优势。听党话、跟党走始终是共青团坚守的政治生命，党有号召、团有行动始终是一代代共青团员的政治信念。历史充分证明，只有坚持党的领导，共青团才能团结带领青年前进，推动中国青年运动沿着正确政治方向前行。

——百年征程，塑造了共青团坚守理想信念的政治之魂。共青团把青年人组织起来，是在理想信念感召下坚定信仰的结合、科学主义的结合。团的一大就明确提出了建设共产主义社会的远大理想，亮出了社会主义的鲜明旗帜，在一代又一代青年心中点亮理想之灯、发出信念之光，这是共青团最根本、最持久的凝聚力。历史充分证明，只有始终高举共产主义、社会主义旗帜，共青团才能形成最为牢固的团结、锻造最有战斗力的组织，始终把青年凝聚在党的理想信念旗帜之下。

——百年征程，塑造了共青

团投身民族复兴的奋进之力。党的奋斗主题就是团的行动方向。共青团紧扣党在不同历史时期的中心任务，团结带领广大团员青年积极投身人民群众的壮阔实践，在民族复兴征程上勇当先锋、倾情奉献，发挥生力军和突击队作用，使实现民族复兴成为中国青年运动一以贯之的恢弘主流。历史充分证明，只有牢牢扭住为中华民族伟大复兴而奋斗这一主题，共青团才能团结起一切可以团结的青春力量，唱响壮丽的青春之歌。

——百年征程，塑造了共青团扎根广大青年的活力之源。共青团历经百年沧桑而青春焕发，依靠的就是始终扎根广大青年，始终把工作重点聚焦在最广大的工农青年和普通青年群体，把心紧紧同青年连在一起，把青年人的心紧紧同党贴在一起。历史充分证明，只有不断从广大青年这片沃土中汲取养分、获取力量，共青团才能成为广大青年信得过、靠得住、离不开的贴心人。

共青团员们、青年朋友们、同志们！

在中国共产党坚强领导下，全国各族人民万众一心、齐心协力，胜利实现了第一个百年奋斗目标，在中华大地上全面建成了小康社会，正在意气风发向着全面建成社会主义现代化强国的第二个百年奋斗目标迈进。

实现中国梦是一场历史接力赛，当代青年要在实现民族复兴的赛道上奋勇争先。时代总是把历史责任赋予青年。新时代的中国青年，生逢其时、重任在肩，施展才干的舞台无比广阔，实现梦想的前景无比光明。在庆祝中国共产党成立100周年大会上，共青团员、少先队员代表响亮喊出“请党放心、强国有我”的青春誓言。这是新时代中国青少年应有的样子，更是党的青年组织必须有的风貌。

在新的征程上，如何更好把青年团结起来、组织起来、动员起来，为实现第二个百年奋斗目标、实现中华民族伟大复兴的中国梦而奋斗，是新时代中国青年运动和青年工作必须回答的重大课题。共青团要增强引领力、组织力、服务力，团结带领广大团员青年成长为有理想、敢担当、能吃苦、肯奋斗的新时代好青年，用青春的能动力和创造力激荡起民族复兴的澎湃春潮，用青春的智慧和汗水打拼出一个更加美好的中国！

这里，我给共青团提几点希望。

第一，坚持为党育人，始终成为引领中国青年思想进步的政治学校。志存高远方能登高望远，胸怀天下才可大展宏图。火热的青春，需要坚定的理想信念。我们党用“共产主义”为团命名，

就是希望党的青年组织永远站在理想信念的高地上，用党的科学理论武装青年，用党的初心使命感召青年，用党的光辉旗帜指引青年，用党的优良作风塑造青年。新时代的中国青年，更加自信自强、富于思辨精神，同时也面临各种社会思潮的现实影响，不可避免会在理想和现实、主义和问题、利己和利他、小我和大我、民族和世界等方面遇到思想困惑，更加需要深入细致的教育和引导，用敏锐的眼光观察社会，用清醒的头脑思考人生，用智慧的力量创造未来。共青团作为广大青年在实践中学习中国特色社会主义和共产主义的学校，要从政治上着眼、从思想上入手、从青年特点出发，帮助他们早立志、立大志，从内心深处厚植对党的信赖、对中国特色社会主义的信心、对马克思主义的信仰。要立足党的事业后继有人这一根本大计，牢牢把握培养社会主义建设者和接班人这个根本任务，引导广大青年在思想洗礼、在实践锻造中不断增强做中国人的志气、骨气、底气，让革命薪火代代相传！

第二，自觉担当尽责，始终成为组织中国青年永久奋斗的先锋力量。奋斗是青春最亮丽的底色，行动是青年最有效的磨砺。有责任有担当，青春才会闪光。青年是常为新的，最具创新热情，最具创新动力。党和人民事业发

展离不开一代又一代有志青年的拼搏奉献。只有当青春同党和人民事业高度契合时，青春的光谱才会更广阔，青春的能量才能充分迸发。青年是社会中最有生气、最有闯劲、最少保守思想的群体，蕴含着改造客观世界、推动社会进步的无穷力量。共青团要团结带领广大团员青年勇做新时代的弄潮儿，自觉听从党和人民召唤，胸怀“国之大者”，担当使命任务，到新时代新天地中去施展抱负、建功立业，争当伟大理想的追梦人，争做伟大事业的生力军，让青春在祖国和人民最需要的地方绽放绚丽之花！

第三，心系广大青年，始终成为党联系青年最为牢固的桥梁纽带。共青团是党领导的群团组织，也是青年人自己的组织。团的最大优势在于遍布基层一线、深入青年身边。要紧扣服务青年的工作生命线，履行巩固和扩大党执政的青年群众基础这一政治责任，既把青年的温度如实告诉党，也把党的温暖充分传递给青年。要千方百计为青年办实事、解难事，主动想青年之所想、急青年之所急，充分依托党赋予的资源和渠道，为青年提供实实在在的帮助，让广大青年真切感受到党的关爱就在身边、关怀就在眼前！

第四，勇于自我革命，始终成为紧跟党走在时代前列的先进

组织。对共青团来说，建设什么样的青年组织、怎样建设青年组织是事关根本的重大问题。“常制不可以待变化，一途不可以应无方，刻船不可以索遗剑。”共青团只有勇于自我革命，才能跟上时代前进、青年发展、实践创新的步伐。要把党的全面领导落实到工作的全过程各领域，走好中国特色社会主义群团发展道路，聚焦不断保持和增强政治性、先进性、群众性的目标方向，推动共青团改革向纵深发展。要敏于把握青年脉搏，依据青年工作生活方式新变化新特点，探索团的基层组织建设新思路新模式，带动青联、学联组织高扬爱国主义、社会主义旗帜，不断巩固和扩大青年爱国统一战线。要自觉对标全面从严治党经验做法，以改革创新精神和从严从实之风加强自身建设，严于管团治团，在全方位、高标准锻造中焕发出共青团昂扬向上的时代风貌！

“人生万事须自为，跬步江山即寥廓。”追求进步，是青年最宝贵的特质，也是党和人民最殷切的希望。新时代的广大共青团员，要做理想远大、信念坚定的模范，带头学习马克思主义理论，树立共产主义远大理想和中国特色社会主义共同理想，自觉践行社会主义核心价值观，大力弘扬爱国主义精神；要做刻苦学习、锐意创新的模范，带头立足岗位、苦

练本领、创先争优，努力成为行业骨干、青年先锋；要做敢于斗争、善于斗争的模范，带头迎难而上、攻坚克难，做到不信邪、不怕鬼、骨头硬；要做艰苦奋斗、无私奉献的模范，带头站稳人民立场，脚踏实地、求真务实，吃苦在前、享受在后，甘于做一颗永不生锈的螺丝钉；要做崇德向善、严守纪律的模范，带头明大德、守公德、严私德，严格遵纪守法，严格履行团员义务。广大共青团员要认真接受政治训练、加强政治锻造、追求政治进步，积极向党组织靠拢，以成长为一名合格的共产党员为目标、为光荣。

长期以来，广大团干部发扬优良传统，认真履职尽责，为党的青年工作作出了重要贡献。团干部要铸牢对党忠诚的政治品格，高扬理想主义的精神气质，心境澄明，心力茁壮，让人迎面就能感受到年轻干部应有的清澈和纯粹。要自觉践行群众路线、树牢群众观点，同广大青年打成一片，做青年友，不做青年“官”，多为青年计，少为自己谋。要培养担当实干的工作作风，不尚虚谈、多务实功，勇于到艰苦环境和基层一线去担苦、担难、担重、担险，老老实实做人，踏踏实实干事。要涵养廉洁自律的道德修为，心有所畏、言有所戒、行有所止，不断锤炼意志力、坚忍力、自制

力，做一个一心为公、一身正气、一尘不染的人。

共青团员们、青年朋友们、同志们！

革命人永远是年轻。中国共产党立志于中华民族千秋伟业，百年恰是风华正茂。列宁曾经引用恩格斯的话说过：“我们是未来的党，而未来是属于青年的。我们是革新者的党，而总是青年更乐于跟着革新者走。我们是跟腐朽的旧事物进行忘我斗争的党，而总是青年首先投身到忘我斗争中去。”历史和现实都证明，中国共产党是始终保持青春特质的党，是永远值得青年人信赖和追随的党。

在实现中华民族伟大复兴的征程上，中国共产党是先锋队，共青团是突击队，少先队是预备队。入队、入团、入党，是青年追求政治进步的“人生三部曲”。中国共产党始终向青年敞开大门，热情欢迎青年源源不断成为党的新鲜血液。共青团要履行好全团带队政治责任，规范和加强少先队推优入团、共青团推优入党工

作机制，着力推动党、团、队育人链条相衔接、相贯通。各级党组织要高度重视培养和发展青年党员，特别是要注重从优秀共青团员中培养和发展党员，确保红色江山永不变色。

李大钊说过：“青年者，国家之魂。”过去、现在、将来青年工作都是党的工作中一项战略性工作。各级党委（党组）要倾注极大热忱研究青年成长规律和时代特点，拿出极大精力抓青年工作，做青年朋友的知心人、青年工作的热心人、青年群众的引路人。各级党组织要落实党建带团建制度机制，经常研究解决共青团工作中的重大问题，热情关心、严格要求团干部，支持共青团按照群团工作特点和规律创造性地开展工作。

共青团员们、青年朋友们、同志们！

早在两千多年前，孔子就说：“后生可畏，焉知来者之不如今也？”青年之于党和国家而言，最值得爱护、最值得期待。青年犹如大地上茁壮成长的小树，总有

一天会长成参天大树，撑起一片天。青年又如初升的朝阳，不断积聚着能量，总有一刻会把光和热洒满大地。党和国家的希望寄托在青年身上！

1937年，毛泽东同志为陕北公学成立题词时说：“要造就一大批人，这些人是革命的先锋队。这些人具有政治远见。这些人充满着斗争精神和牺牲精神。这些人是胸怀坦白的，忠诚的，积极的，与正直的。这些人不谋私利，唯一的为着民族与社会的解放。这些人不怕困难，在困难面前总是坚定的，勇敢向前的。这些人不是狂妄分子，也不是风头主义者，而是脚踏实地富于实际精神的人们。中国要有一大群这样的先锋分子，中国革命的任务就能够顺利的解决。”今天，党和人民同样需要一大批这样的先锋分子，党中央殷切希望共青团能够培养出一大批这样的先锋分子。这是党的殷切期待，也是祖国和人民的殷切期待！

来源：人民日报

中国自动化学会办事机构党支部召开党员大会

2022年4月28日，中国自动化学会办事机构党支部召开党员大会，党支部书记、秘书长张楠，党支部副书记吕爱英，副秘书长王坛、石红芳及支部全体党员与积极分子参加会议。会议由党支部副书记吕爱英主持。

会议集中学习了习近平总书记在历次中央经济工作会议上的重要讲话精神及中科院自动化所党委的重要指示。党支部书记张楠以“把握新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局”为题讲授党课。党课紧紧围绕习近平总书记经济思想的理论逻辑、历史逻辑、现实逻辑，贯通学会发展的过去、现在和将来。张楠同志指出作为学会工作者要加强理论武装，自觉在思想上政治上行动上同以习近平同志为核心的党中央保持高度一致，坚决贯彻



图1 中国自动化学会办事机构党支部党员大会会议现场

执行党的理论和路线方针政策，牢牢把握自身职责与义务，始终明确为广大科技工作者服务的学会宗旨。在原有工作优势的基础上，把握新发展阶段，贯彻新发展理念，开门办事，推陈出新，砥砺奋进，不断构建学会新发展格局。

在张楠同志的带头引导下，全体支部党员和积极分子也纷纷就“两个确立”、“四个意识”、“四个自信”、“两个维护”、“中央八项规定”、“大力弘扬科学家精神”等内容积极发言。学会副秘书长王坛重点就习近平总书记对群团改革工作的重要指示精神进行传达与学习，指出学会要紧紧围绕增强“政治性、先进性、群众性”，直面突出问题，肩负起党和政府联系科技工作者桥梁和纽带的职责。副秘书长石红芳围绕工作实际，指出在新时期改革开放大的浪潮中，学会发展处于趋势而上的良好发展态势，各位学会工作者要增强自身使命感、责任感，珍惜工作机会，以积极真诚的态度对待本职工作，实现人生价值。

随后，党支部全体党员对照中央和国家机关工委“六对照六



图2 中国自动化学会办事机构党支部合影

看六查”内容要求，进行问题查摆与交流，对工作中存在的不足、问题、改进措施进行了分析，并进行了深刻的自我批评与相互批评。整个会议敢于直言问题，互提改进意见，反映了党支部成员间的团结和良好作风，进一步明确了党支部整改方向。

通过本次会议集中学习，党员们加深了对习近平总书记在历次中央经济工作会议上的重要讲话精神及习近平总书记在《论把握新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局》中重要论述的了解与把握。同时也让党员们加深了自我认知，明确坚持党的领导的重要性，夯实思想基础，充分发挥职能，积极主动作为，为构筑温馨和谐的学会大家庭贡献力量。○

学会党支部 供稿



中国自动化大会是由中国自动化学会主办的国内最高层次的自动化、信息与智能科学领域的大型综合性学术会议，2022中国自动化大会将于2022年11月25日—27日在厦门召开，此次自动化大会由华侨大学承办。

2022中国自动化大会将为全球自动化、信息与智能科学领域的专家学者和产业界的同仁提供展示创新成果、展望未来发展的高端学术平台，加强不同学科领域的交叉融合，引领自动化、信息与智能科学与技术的发展。

2022中国自动化大会

征文范围

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

论文投稿要求

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

长摘要投稿要求

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

征文领域 (包括但不限于)

1. 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、工程机械控制与电动化
28. 海洋环境监测与仿真
29. 机电液一体化自动化控制
30. 其他

专题会议

- 学术专题论坛
- 产业发展论坛
- 科技奖励论坛
- 青年人才论坛
- 教育专题论坛
- 女科技工作者论坛
- 展览展示

论文出版

大会将出版CAC2022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》、《智能科学与技术学报》等国内外SCI/EI收录权威期刊发表。

时间节点

投稿开始时间: 2022.03.01
 征稿截止日期: 2022.06.30
 录用通知日期: 2022.07.31
 论文终稿日期: 2022.08.31

学会网址: <http://www.caa.org.cn/>



中国自动化学会



华侨大学
HUAQIAO UNIVERSITY



中国自动化学会

中国自动化学会(Chinese Association of Automation, 缩写CAA)于1961年在天津成立,是我国最早成立的国家一级学术团体之一,是中国科学技术协会的组成部分,是发展我国自动化科技事业的重要社会力量。学会现有个人会员近8万人,团体会员单位近300个,专业委员会58个,工作委员会9个,30个省、自治区、直辖市设有地方学会组织,覆盖了我国自动化科学技术领域的各个层面。

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

学会品牌学术活动

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

学会奖励奖项

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

学会主办期刊

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



官方微信



官方微博

地址:北京市海淀区中关村东路95号自动化大厦

网址:<http://www.caa.org.cn/>

电话:010-62522472

传真:010-62522448

邮箱:caa@ia.ac.cn

邮编:100190