

杨锐：钛铸强国器

■本报记者 张楠

“奋斗者”号载人球舱在 10909 米深海顶住 2000 头非洲象般的压力，长征五号氢泵叶轮在 -253℃超低温下以超音速旋转，C919 大飞机国产发动机的钛铝叶片划破长空……这些“大国重器”的核心部件上，都凝结着中国科学院金属研究所(以下简称金属所)研究员杨锐团队的执着与创新。

2025 年，杨锐荣获全国先进工作者称号。他的人生轨迹恰似钛合金材料——以坚韧承托使命，以突破定义边界，在“上九天”“下五洋”的征程中，成就科学家与国家需求的同频共振。

深海的“建舱者”

在“奋斗者”号万米载人潜水器的钛合金球舱内壁，一道几毫米宽的焊缝藏着中国深潜技术的突破密码。这个直径 2 米的球舱要承受 110 兆帕水压，相当于 2000 头非洲象产生的压力，而当时国际上最先进的美国“极限因子”号，采用 Ti64 钛合金却仅能实现两人载客，且无法用于常规科考。

“要载 3 人，必须让钛合金强度提高 20%，还得能焊。”杨锐告诉《中国科学报》，在 2012 年接手载人舱材料攻关时，他和团队面对的是技术空白。

杨锐带领团队从合金设计底层逻辑出发，提出“消除焊接脆性”的新思路：以理论计算为指导，调整钛、铝和多种过渡族元素配比，在保持韧性的同时提升强度。仅合金成分调试就经历了 12 轮实验，每轮都要测试本体材料和焊缝退火处理前后的力学性能，团队最终研制出 Ti62A 钛合金。

2019 年，当球舱在洛阳某研究所完成焊接后，随炉样品力学性能全部合格——这是确保万米水压下球舱安全服役 30 年的关键。

2020 年 11 月 10 日，“奋斗者”号抵达 10909 米深海。创下此纪录后不久，中国成为世界上万米下潜人数、次数最多的国家。

杨锐常常感慨建制化科研的能量：“106 位科研人员、200 多名工人跨越 7 个省份，历经 14 道工序，在 3 年零 3 个月里开了 65 次协调会，才让这颗‘深海之心’跳动起来。”这项成果入选“十三五”国家科技创新成就展，成为海洋强国的鲜活注脚。

同样的突破也发生在长征五号运载火箭的“心脏”里。液氢液氧发动机的氢泵叶轮，要在接近绝对零度的 -253℃下以每秒 550 米的速度旋转——比音速还快。

“美国航天飞机因这一技术瓶颈推迟 3 年，我们不能等。”杨锐团队临危受命时，面对的是国内空白的钛合金粉末近净成形技术：叶轮尺寸收缩率高达 33%，精度却要控制在 0.1 毫米

苍穹的“铸心者”

“辽宁年产 8 万吨海绵钛，占全国 40%，但高端钛材要从国外、省外买，再运回沈飞、黎明公司用——这根链条必须接上。”在辽宁工作 40 余年的杨锐，对本地钛产业的“痛点”了如指掌。

2024 年，杨锐牵头的辽宁省科技重大专项“高端装备用金属材料创制”启动，省财政投入 2 亿元、企业配套 3.8 亿元，联合 5 所高校、18 家企业组成攻关联合体，目标直指“原料－加工－应用”全链条贯通。

在沈阳某产业园的车间里，基于杨锐团队技术改造的钛合金紧固件丝材生产线正高速运



杨锐 受访者供图

内，这相当于 3 根头发丝的直径，控制难度远超传统铸造。

杨锐没有走“反复试错”的老路，而是带领团队用计算机模拟粉末致密化过程，提前预测收缩轨迹，再通过实验验证优化。1 年突破关键技术，18 个月交付产品，最终叶轮制造精度比其他同类产品提高 1 倍，氢泵效率达 76.5%，由此彻底解决了我国大推力氢氧发动机“卡脖子”难题。

2016 年长征五号首飞成功后，杨锐团队获五部委联合颁发的“长征五号运载火箭首次飞行任务突出贡献团队奖”。这项底层技术至今仍支撑着嫦娥五号探月、天问一号火星探测等重大任务。“从实验室的模拟曲线到发射场的成功轰鸣，这一步我们追了 15 年。”杨锐说。

在 C919 大飞机国产发动机研制中，杨锐团队创新同样“剑指核心”。钛铝能让发动机叶片减重 50%，但常规铸造技术的表面反应层太厚，无法实现无余量铸造。

他带领团队发明高稳定性氧化钪面层技术，将反应层厚度从 100 微米降至 5 微米，也就是降低了 1 个数量级，在国际上首次实现工业化应用。

如今，这项技术已用于长江 1000 发动机低压涡轮叶片，并支撑长江 2000 发动机研制，是我国商用航空发动机自主化的关键一步。

产业链上的“织网人”

“辽宁年产 8 万吨海绵钛，占全国 40%，但高端钛材要从国外、省外买，再运回沈飞、黎明公司用——这根链条必须接上。”在辽宁工作 40 余年的杨锐，对本地钛产业的“痛点”了如指掌。

2024 年，杨锐牵头的辽宁省科技重大专项“高端装备用金属材料创制”启动，省财政投入 2 亿元、企业配套 3.8 亿元，联合 5 所高校、18 家企业组成攻关联合体，目标直指“原料－加工－应用”全链条贯通。

在沈阳某产业园的车间里，基于杨锐团队技术改造的钛合金紧固件丝材生产线正高速运

转。这条生产线产出的丝材，曾获 2014 年国防科学技术进步奖二等奖，如今已用于多型产品，年产能突破 100 万件，成本较进口降低 40%。

“光有配方不行，得告诉工人怎么轧、怎么焊。”杨锐常带领团队在车间蹲点，把实验室数据转化为“轧制温度 1050℃±5℃、变形量 30%/道次”的具体参数。

这种“从实验室到生产线”的闭环思维，贯穿他几十年的科研生涯。

自 1995 年结束在英国剑桥大学博士后工作回国后，杨锐带领金属所钛合金团队完成近百项国家级任务：从军用钛合金棒材到深海钛合金管材，从航天钛合金锻件到医疗钛合金植入物。

这种“扎根地方、服务全局”的担当，早已融入杨锐的科研基因。上世纪 90 年代回国之际，他放弃前往香港等地工作的机会，回到金属所，正是看中辽宁作为我国金属材料研究重镇的产业基础。

多年来，杨锐团队先后入选国家首批国防科技创新团队、中国科学院首批“青年创新团队特别支持计划”以及科技部重点领域先进钛合金及工程应用创新团队，成为面向国家重大需求不可或缺的战略研究力量。

科学家精神的“钛级传承”

“1976 年元旦，上小学的我读到毛主席《水调歌头·重上井冈山》中‘可上九天揽月，可下五洋捉鳖’，感到热血沸腾。那时怎会想到，40 年后能亲身参与圆这些梦？”杨锐的感慨道出了其科研人生与时代使命的深刻联结。

这份联结体现在敢于突破的勇气里。当年万米载人舱方案有争议，国际上流行透明玻璃舱体，国内不少专家担心“钛合金会落后”。杨锐顶住压力，从断裂力学公式推算钛合金的安全承压能力是玻璃的 84 倍，更适合长期科考。

杨锐所用的公式正是他的博士生导师埃贡·奥罗万于 1948 年在英国卡文迪许实验室修正完善的。当“奋斗者”号完成克马德克海沟国际联合调查等重大任务时，日本《日经亚洲》和美国《海洋技术评论》高度评价称，载人舱使中国在深海探测领域遥遥领先于任何其他国家。

“创新是基于科学的独立判断。”这是杨锐常对学生说的活。

“材料是工业的骨骼，钛合金的韧性与强度，恰如科研工作需要的坚守与突破。”从实验室配方到生产线产品，从剑桥博士后到钛合金领航者，杨锐深耕钛合金领域数十年。如今，他正带领团队攻关新一代耐高温钛合金，目标是支撑高超音速飞行器突破 2000℃耐热极限。

弘扬科学家精神



果蝇免疫研究“可重复性”较高



本报讯 近日，预印本平台 bioRxiv 公布的两篇论文表明，在科学界许多领域存在研究“可重复性危机”的情况下，果蝇免疫研究领域状况良好。这些研究是 ReproSci 项目的一部分，旨在“确定特定研究领域发表的广泛主张是否可验证”。

领衔两项研究的瑞士洛桑联邦理工学院的 Bruno Lemaitre 与合作者，对 50 多年来发表的科学论文中关于果蝇免疫力的 1000 多个观点和主

张进行分析，发现至少 61%是可验证的。

“可重复性危机”源于人们对一些科学工作难以被其他研究人员重复的担忧。目前已有许多验证研究，其中一些结果令人震惊。例如，2015 年的一篇论文指出，100 项心理学研究中有一半以上未通过可重复性测试。而今年初，由 56 个团队组成的联盟调查了数十项巴西生物医学研究，发现只有不到一半的实验结果可验证。

在最新论文中，Lemaitre 和英国埃克塞特大学的 Mark Hanson 等人评估了果蝇免疫领域研究的可重复性。研究人员查看 1959 年至 2011 年发表的 400 篇果蝇免疫领域论文的 1006 个研究结果，寻找支持或反驳每个研究

结果的后续研究。

研究人员关注的是那些使用更先进技术进行广泛复制的实验，或者在该领域知识已进一步拓展的情况下，这些过往研究结果是否仍经得起推敲。

研究人员将上述研究结果分为已验证、未被挑战、受到挑战以及部分验证这几类。结果发现，1006 个研究结果中有 61%是可验证的，且只有 7%不可重复。

研究人员还调查了与可重复性相关的因素，发现其中之一是专业培训。Hanson 指出，如果人们在果蝇免疫领域攻读博士学位或从事博士后研究，他们以后的研究可重复性更高。（徐锐）

2024 年我国人工智能产业规模突破 7000 亿元

本报讯(记者胡璇子)7 月 21 日,中国互联网络信息中心(CNNIC)在京发布第 56 次《中国互联网络发展状况统计报告》(以下简称《报告》)。

《报告》显示,截至 6 月,我国网民规模达 11.23 亿人,互联网普及率达 79.7%;60 岁及以上银发网民规模达 1.61 亿人、农村网民规模达 3.22 亿人。政府高度重视老年群体惠享数字红利,我国老年群体互联网普及率达 52.0%。互联网赋能乡村振兴成效显著,我国农村地区互联网普及率为 69.2%,较 2024 年 12 月提升 1.9 个百分点。

《报告》显示,2025 年上半年,生成式人工智能产品实现了从技术到应用的全方位进步,产品数量迅猛增长,应用场景持续扩展。

我国在人工智能领域影响力显著提升。截至 3 月,共有 346 款生成式人工智能服务在国家互联网信息办公室完成备案。我国人工智能产品涌现引发全球关注,DeepSeek 成为全球用户增速最快的生成式人工智能应用。

生成式人工智能技术不断向具体应用场景纵深渗透。截至 6 月,用户利用生成式人工智能产品回答问题的比例最高,达 80.9%。2024 年我国人工智能产业规模突破 7000 亿元,连续多年保持 20%以上的增长率。国产人工智能产品不仅在千亿级参数规模、多模态能力等方面实现突破,并且与办公协同、教育普惠、工业设计、内容创作等场景深度融合,构建了覆盖多个领域的智能应用生态。

盐碱草地生态治理模式效果显著

“风吹草低见牛羊”景象在松嫩平原重现

本报讯(记者沈春蕾)近日,中国科学院 A 类战略性先导科技专项“黑土地保护与利用科技创新工程”任务“盐碱化草地生产力提升与生态屏障构建模式”,在吉林白城洮北示范区召开了现场观摩与测产会。

该研究任务负责人、中国科学院东北地理与农业生态研究所研究员马红媛在羊草品种选育基地、盐碱地生态治理模式示范区分别系统介绍了项目组在盐碱地精准诊断分级、优质耐盐碱羊草新品种筛选和培育、退化羊草人工草地分区分类建植修复、盐碱羊草地生态－生产功能协同提升等技术研发与模式示范方面的最新进展与成果。

专家组对盐碱化草地羊草植被恢复和生产力提升示范区进行了实地验证考察和现场测产评估。结果表明,项目组突破性研发的中重度退化草地“羊草免耕秋播”创新技术实施 8 年后,羊草覆盖度提高到 90%以上,株高达 110 至 120 厘米,地上生物量鲜重为 9.5 吨/公顷;中重度盐碱地“羊草新品种＋改良剂＋条播修复”技术模式实施 4 年后,羊草覆盖度 90%以上,地上生物量鲜重达 10.5 吨/公顷。而未经过修复的盐碱草地对照区植被以一年生的虎尾草、猪毛蒿等退化植物物种为主,植被总覆盖度低于 60%,地上鲜重平均仅 1.6 吨/公顷,而羊草覆盖度低于 5%。

专家组一致认为,该项目突破了以往盐碱草地治理以粗放人工“种草”工程为主的传统模式,采用“以种适土”和“以土适种”相向而行的“近自



盐碱化草地羊草植被高效恢复示范基地。 项目组供图

然恢复”的系统思维,以苏打盐碱地顶级植物羊草耐盐碱机制和苏打盐碱地土壤障碍形成及消减机理为理论基础,融合创建了中重度苏打盐碱草地“良种培育＋土壤改良＋播种模式革新”创新技术模式。该模式兼具理论基础、品种创新、技术突破和模式革新,示范效果显著,而且要点清晰、成本低、易操作,具有巨大的推广潜力。

几位长期扎根该区域羊草研究的专家认为,此次测产的示范区羊草草地生态景观和地上生产力水平,基本恢复到上世纪七八十年代松嫩平原“风吹草低见牛羊”的天然羊草草地状态。多位专家评价,该修复技术模式为盐碱地生态治理和北方草原原生态屏障保护恢复提供了“样板田”。相关行业主管部门领导高度评价了示范区修复的效果,并表示要从政策管理角度及时将这顶好技术在松嫩平原和全国相关适宜区域进行推介应用。

科研人员为晚期胃癌患者

提供新的靶向治疗思路

本报讯(记者朱汉斌 通讯员赵现廷)近日,中山大学肿瘤防治中心教授徐瑞华领衔全国多中心研究团队,在《自然－医学》在线发表了靶向 CLDN18.2 的抗体偶联药物 SHR-A1904(抗体偶联拓扑异构酶 I 抑制剂)治疗晚期胃癌/胃食管结合部腺癌的 I 期临床试验结果。

“这是全球首批正式发表的靶向 CLDN18.2 的拓扑异构酶 I 抑制剂类 ADC 临床研究。该研究虽处于早期阶段,但意义重大。”论文共同通讯作者徐瑞华表示。

胃癌是我国高发恶性肿瘤,多数患者确诊时已属晚期,治疗手段有限且预后不佳。尽管免疫治疗和靶向治疗为部分患者带来希望,但当前主要靶点适用人群较窄,临床急需覆盖更广泛人群的新型治疗靶点。

作为胃黏膜特异性表达的紧密连接蛋白,CLDN18.2 是极具潜力的治疗靶点。此次 I 期临床研究在中国 19 个中心开展,纳入 95 例经治的 CLDN18.2 阳性晚期胃癌/胃食管结合部腺癌患者,其中 69.5%的患者接受过至少两线治疗,代表了临床中最难治的人群。

“我们采用了三阶段设计,系统评估了

SHR-A1904 的安全性、耐受性及抗肿瘤活性。”论文共同通讯作者、中山大学肿瘤防治中心教授邱妙珍表示,该研究首次验证了拓扑异构酶 I 抑制剂类 ADC 在 CLDN18.2 阳性胃癌中的临床价值,为紫杉类化疗失败或传统方案耐药的晚期胃癌患者提供了新的治疗思路。

研究结果显示,SHR-A1904 安全性可控,未达到预设的最大耐受剂量。在疗效方面,6.0mg/kg 和 8.0mg/kg 剂量组经确认的客观缓解率分别为 24.2%和 25.0%,中位无进展生存期分别达 5.6 个月和 5.8 个月。尤其在 CLDN18.2 中高表达患者中,客观缓解率和中位缓解持续时间表现更佳,为耐药患者带来长期获益希望。

基于现有数据,6.0mg/kg 被确定为后续 II/III 期研究的推荐剂量。目前,团队已启动大规模 III 期临床试验,进一步评估 SHR-A1904 在二线治疗中的疗效,并探索与免疫治疗、化疗的联合方案,以期为患者带来更优的生存获益。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41591-025-03781-w>

新技术实现

从月壤取水后制造燃料

本报讯(记者冯丽妃)中国科学院院士、南京大学教授邹志刚与该校教授姚颖方、香港中文大学(深圳)助理教授王璐等合作,开发了一种可能帮助人类在月球上生存的技术。他们从月壤样品中提取了水,并用于将二氧化碳转化为氧气和燃料。由于减少了从地球运输水和燃料等基本资源的需求,这可能为未来的深空探测开辟新途径。相关研究成果近日发表于《焦耳》。

王璐表示:“月球水提取和光热二氧化碳催化的一体化操作,能够提高能源利用效率,并降低基础设施建设的成本和复杂性。”

从嫦娥五号任务中分析的月壤样本提供了月球表面存在水的证据,作者认为这可能使人类探险者能够利用月球的自然资源满足自身需求,同时避免运输这些资源的成本负担和后勤挑战。然而,此前开发的从月壤中提取水的策略涉及多个耗能步骤,并且没有将二氧化碳分解为燃料和其他必要物资。

研究人员开发了一种技术,既能从月壤中提取水,又能直接利用这些水将宇航员呼出的二氧化碳转化为一氧化碳和氢气,进而用于制造燃料和供宇航员呼吸的氧气。这项技术通过

一种新颖的光热策略实现了将太阳光转化为热能的目标。

研究人员使用嫦娥任务收集的月壤样本、模拟月球环境和一个充满二氧化碳气体的批量处理反应器测试了这项技术。该反应器利用光聚焦系统驱动光热过程。研究团队使用钛铁矿(月壤中报告的几种含水矿物之一)测量光热活性,并分析该过程的机制。

尽管该技术在实验室中取得了成功,但作者指出,极端的月球环境仍存在诸多挑战,如剧烈的温度变化、强烈的辐射和低重力,可能会使其在月球上的应用变得复杂。此外,月壤在自然环境中成分并不均匀,导致其性质不一致,而宇航员呼出的二氧化碳可能不足以提供他们所需的所有水、燃料和氧气。目前的催化性能仍不足以完全支持人类在地球以外的环境生存。

“克服这些技术困难并将降低与之相关的巨大开发、部署和运营成本,对于实现可持续的月球水利用和太空探索至关重要。”姚颖方说。

相关论文信息:
<http://doi.org/10.1016/j.joule.2025.102006>