

攻坚海拔之巅的飞行难题

——我国高原航空运行技术取得创新突破

◎本报记者 叶青

“落地了！”近日，当国产客机ARJ21稳稳地降落在塔尔库什干红旗拉普机场跑道上时，参与试飞人员的心中都深深松了一口气。

塔尔库什干红旗拉普机场海拔3258米，是我国最西端的机场，也是新疆海拔最高的民用机场。国产客机ARJ21此次成功完成高原机场运行试飞，充分验证了我国高原航空运行技术的有效性与突破性。客机运行范围可覆盖所有高原机场，为未来开辟更多航线奠定坚实的基础。

实现三大关键技术突破

高原机场是指海拔高度在2438米(8000英尺)及以上的机场。我国是拥有高原机场的民航大国，其数量占全球的50%左右，全球海拔最高的6个高原机场均在我国境内。

高原航线运行极具挑战性。“由于高海拔影响，飞机在起降阶段发动机推力会衰减40%以上，飞机的真空速度增加25%以上，飞机性能严重下降。加上高原地区的机场周围地形复杂，山脉众多，导致飞机起降航路狭窄，对飞行员的越障和控制精度要求极高，操纵飞机的难度和压力巨大。”中国南方航空集团副总经理高飞介绍。

特殊场景验证难，地理环境构建难，特情试飞风险大，特情场景难复现，成了高原运行的一道坎。针对飞机起降能力受限、环境预测手段不足以及验证场景缺失等问题，中国南方航空集团、中国商用飞机有限责任公司、腾讯公司及中国民航飞行学院、中国民航科学技术研究院等单位共同发起“国产客机高原运营与验证关键技术及应用”项目，完成三大主要技术创新，开创了高原运行研制的新模式。三大创新包括突破国产客机高原起降能力难点、构建了高原人一机一环综合验证装备和运行技术体系、首创高原复杂场景预测与构建技术。

高原机场的地形复杂、气象风险高，机组必须经过大量的飞行训练以具备过硬的飞行技术能力。今年1月，由南航翔翼公司研制的A320NEO全动飞行模拟机顺利通过中国民用航空局D级鉴定，意味着该平台高原特殊环境和特情场景全动模拟机成功面世。

“针对国外仿真平台特例化、不通用问题，模拟机专用操作系统基于跨机型、多帧频、智能化开放性架构，使平台的仿真精度提高了10倍。”南航翔翼公司模拟机项目负责人杨磊表示。

该模拟机充分发挥架构优势，攻克了人一机一环多系统、多物理场耦合模型构建技术，逼真地模拟飞机的起飞、降落等各种飞行姿态和动作，拥有高原EBT场景训练等九大国内首创特色功能，首创了根据飞训数据构建训练场景技术。



中国南方航空集团研制的全动飞行模拟机。受访单位供图

提出结冰高效能保护机制

高原飞行面临着起降、失速、结冰等挑战。其中的飞机结冰问题在民航业历来受到重视。如果机体在飞行途中结冰，将造成重大安全隐患。为确保ARJ21能适应各种环境，保证飞行安全，团队决定使用危险系数最高的冰型开展结冰试验。

“我们‘环球追冰’，往返3万公里，寻找最严酷的结冰环境。”中国商飞公司工程总师、ARJ21飞机型号总设计师陈勇说，“最初，我们的飞机是不能满足要求的，比如迎角传感器就出现过被冻结的情况。但在试验试飞中一个个发现问题，一个个及时解决，使飞机的性能大幅提升了。”

通过仿真计算、风洞试验、地面和空中自然结冰状态下的试验试飞，团队找到机翼翼面、发动机唇口和风扇结冰、冰块脱落等规律，攻克了25项与结冰试验验证相关的技术难题。

实现高原安全起降，也是一个严峻考验。飞机在严重结冰状态下着陆，所需的着陆速度大幅增加，容易导致重着陆等事故发生。针对飞机飞行中无法探测冰是否脱落的问题，团队提出了一种高效能的结冰保护机制，设计出一整套主动、静态结冰界面冻结试验方法，揭示了冰层在不同情况下的特征和变化规律。

该技术依托先进的冰层探测系统，已在国产大型客机C919、C929成功部署，能够准确地测量飞机表面的冰层厚度和状态，并通过科学的算法分析，判断冰层是否已完全脱落。

“以往，飞行员们只能依靠经验和直觉来判断飞机结冰的脱落情况。但这种主观性的判断往往存在一定误差。如今，我们的保护机制能够以科学准确的方式告知飞行员飞机是否已彻底脱冰。该技术的出

现将彻底改变飞行员在结冰环境下的操控方式。”陈勇介绍，在明确得知冰脱离后，飞行员可以降低进场速度。运用此项技术后，飞机平均进场速度降低17节。

视景系统真实模拟复杂环境

正在飞行中的大型客机，遭遇严重气流剧烈颠簸，机长沉着应对，稳健操控飞机。然而，刚恢复平稳飞行一会儿的飞机，又突然警报声大作，机长再次迅速紧急处理……“太逼真了！”这是国产自研模拟机专用高等级视景系统带给机长的真实感受。

基于高原复杂地域特点，南航联手腾讯公司，基于自研游戏引擎共同研发了模拟机专用高等级视景系统，通过建立地形环境的高精度程序化模型，仿真复原20多种高原复杂地形场景，在生成速度、精度方面，比国外技术提高了10倍。该技术可模拟高难度飞行、飞机系统故障、恶劣天气等情景，为飞行员提供逼真的驾驶训练体验。

“面对庞大的地形数据规模和对实时渲染性能的高要求，视景系统成功攻克数据并行处理和流式加载的技术难题，100平方公里级别的地形数据在毫秒级别内完成加载。”腾讯互动娱乐事业群研发效能部引擎技术中心负责人吴羽介绍。目前，该系统建模及渲染技术已获国内发明专利18项，支持国内多个高原和高原机场，未来还将支持国内更多机场的高精度数字模型生成。

该项目经由8位院士组成的专家团队评估，认为其“整体技术达到国际先进水平，部分国际领先”。近三年来，该项目直接创造经济效益达57亿元人民币。利用该项目的关键技术及装备，未来我国民航领域将可开展针对高原飞行的专业训练，确保高原运行安全。

人形机器人设计组装“大工厂”研制成功

科技日报讯(记者陆成宽)记者2月21日获悉，中国科学院自动化研究所乔红院士团队近日成功研制人形机器人设计组装“大工厂”。“大工厂”可以快速设计构建人形机器人硬件和软件系统，目前已设计出多台人形机器人样机，初步实现了面向不同场景的技术验证。

人形机器人设计组装“大工厂”可以充分融合智能、机构、部件、控制和决策等单元技术，快速生成各类人形机器人系统，为

形成人形机器人技术标准和产业化，及在人类难以到达的环境中进行人形机器人自生产、自构建、自进化打下基础。

面向自适应室外复杂地形、抗未知干扰的需求，“大工厂”通过人工智能赋能，设计构建了可实现全身姿态准确跟踪与平衡控制的仿生高动态机器人、可实现室内外各种复杂地形自适应与稳定运动的多地形适应机器人，以及可实现批量化机器人鲁棒控制与不同环境适应

能力的高爆发运动机器人。

面向进一步探索人类运动特性、精准操作机理的科学研究需求，基于人类肌肉骨骼系统的肌肉非线性特性、肌肉分布特征、运动皮层一小脑一脊髓回路控制等机理，“大工厂”构建了可实现高柔顺、高精度运动的类人形机器人。

此外，面向人形机器人在室内场景完成多类任务的智能化需求，“大工厂”在机器人系统中融入了中国科学院自动

化所自主研制的紫东太初多模态大模型，构建了高并发推理人形机器人。这种机器人可为智慧工厂作业、家庭生活服务提供重要支撑。

未来，研发团队将继续紧密围绕构建人形机器人技术和产业创新链的总体目标，不断突破关键技术、培育重点系统、拓展场景应用、营造产业生态、强化支撑能力，提升我国人形机器人产业的国际竞争力和影响力。

新方法让构建液体器件像搭积木

◎本报记者 金凤

流动的液体，也能像搭乐高积木一样一块一块地垒起来？

近日，记者从东南大学获悉，该校生物科学与医学工程学院教授顾志泽、副研究员杜鑫团队提出一种液体微流理论，构建了一种可以编辑液体器件内部结构的方法。该方法通过液滴与液滴之间的排列组合，可快速组装出不同构型的液体结构。相关成果近日发表于国际学术期刊《自然·化学工程学报》。

液体流动无形。基于液体构建的功能性器件，已经渗入人类的生产生活、科学研究如新能源、医学诊断、生物培养等各个方面。

“液体器件构建的常规方法，是采用固体容器将流动的液体限定在特定位置。”在杜鑫看来，传统构建方法需要提前设计、制备好所需的固体容器，耗时长且成本高。在液体器件的实际使

用过程中，经常会遇到使用效果不佳、需要重新设计器件结构的问题，或者在实验过程中，临时期望改变液体结构，引入更多参数和功能到器件中的情况。常规的基于固体壁的液体容器，结构不可更改，需要不断再设计、再制备，反复迭代才能满足上述需求。

杜鑫以微流体芯片为例说：“微流体芯片可以模拟人体血液、细胞、组织等生理环境，对药物的吸收、代谢和毒性进行研究。在生物制药领域，微流体芯片的应用主要集中在新药研发和药物筛选。一款微流体芯片的制作包括流道设计、模板制备、模块贴合封装等步骤。单个微流体芯片的开模加上制备，常常耗资上千元、耗时数天。如果芯片制作完成后更改芯片内部结构，为时已晚。”

那么，能否发明出一种液体器件，既可以变身为各种不同样式的液体器件，满足不同的使用场景，又可以在使用过程中根据使用者的需求，实时改变器件结构？

受乐高积木玩具启发，顾志泽研发团队提出了液体积木理念。

“为了能将液体积木化，我们设计出均一化的、3D打印的柱状阵列。向柱状阵列中特定位置连续滴加液滴，就可以快速形成不同构型的液体结构。同时，通过对柱状阵列中的液滴进行截断、移除、再添加，又可以实时、快速地改变液体结构。”顾志泽介绍，这种液体器件的快速制备与实时重构方法，可大幅度提升液体器件相关领域的生产、研究效率。而且，根据液体积木理念制备出的液体器件，是一个全开放式的结构。采用一片疏水纸，即可将之前的液体流道截断，还可以通过移液枪移除不需要的液体单元，添加新的液体单元，完成流道重构。

杜鑫介绍，运用液体积木理念，对于简单的液体结构，科研人员可采用移液枪加液的方式灵活制备。而应对复杂的结构，他们还开发出了自动化装置，可在数分钟内完成复杂流道的快速制备。

“该技术不仅可用于制备连续相的流体结构，还可用于构建离散相的多相液体结构，并精准控制液-液界面。液体器件制备过程仅需数分钟，花销很低。”杜鑫说，无论是二维还是三维液体结构，工作人员都可通过该技术进行快速制备。所适用的液体包括水溶液、离子液体、液态金属等多种液体。

顾志泽团队目前正在从事器官芯片的研发。器官芯片是将人源细胞或干细胞注入薄薄的高分子基底材料，通过给基底材料输送氧气、培养液，让细胞在材料中呼吸、生长，最终长成类似的人类器官组织。

在研究团队看来，液体积木所展现的可重构理念，弥补了目前器官芯片结构固定、无法根据微器官生长过程来协同改变自身结构的局限。

“目前，团队正尝试利用液体积木理论构建动态器官芯片，再现生命体生长、发育过程中的动态过程，构建出新一代高仿生、自适应器官芯片。”顾志泽说。

成果播报

化学反应驱动的微马达在油水界面显著加速

科技日报讯(记者罗云鹏)记者2月23日从哈尔滨工业大学(深圳)获悉，该校材料科学与工程学院教授王威团队发现，化学反应驱动的微马达可在油水界面显著加速。该发现揭示了微马达与环境之间复杂的物理化学相互作用，并为微马达在复杂环境中的实际应用打下基础。相关研究成果近日发表于《美国化学会志》。

制造能够在微米尺度自主游动的机器人是纳米技术发展的终极目标之一。微纳米机器人的核心组件是能够将环境中储存的能量转化为动力的微马达。

微马达的主要能量来源包括通过化学反应释放的化学能和环境中的声、光、电、热、磁等能量。

王威介绍，利用化学反应驱动的微纳米机器人，因能随时随地从环境中提取燃料，无需外界供能，在复杂环境中具有独特优势。

研究团队发现，相较于实验室常见的液固界面，化学反应驱动的微马达在油水界面能够加速3倍至6倍。微马达运动时并没有嵌入油水界面内，而是紧贴界面、漂浮在水层内。

“化学反应在油水界面会加速，从而使微马达变快。”王威说，“相反也可以利用微马达速度，监测界面处反应速率，从而提供一种原位、可视测量复杂环境中化学反应速率的方法。”

该发现将为仿生材料、活性物质、微纳米机器人等领域发展提供新思路。

马铃薯低温糖化关键基因活跃之谜揭开

科技日报讯(实习记者洪敬谱)记者2月22日从安徽农业大学获悉，该校园艺学院教授朱晓彪团队与国内外团队合作，揭开了马铃薯低温糖化关键基因活跃之谜。该项研究成果为研究植物逆境应答相关基因的调控和适应提供了很好的模型系统。相关研究成果近日发表于植物学领域期刊《植物细胞》。

马铃薯块茎含水量较高，通常在低温下贮藏，以减少发芽和病害带来的严重损失。然而，低温贮藏时因编码的液泡转化酶能将蔗糖水解成还原糖，引起“低温糖化”，进而导致马铃薯油炸产品中潜在致癌物质——丙烯酰胺含量的显著增加，严重威胁人类健康。

研究人员发现，液泡转化酶基因在马铃薯低温糖化过程中起关键作用。其在常温块茎中近乎沉默，但在低温块茎中变得异常活跃。研究人员从先前构建的马铃薯“全基因组超敏感位点图谱”中发现液泡

转化酶基因的第二个内含子存在一个超敏感位点。通过对该内含子进行剖析，研究人员发现了一个长度仅为200个碱基的增强子(命名为Vlnvln2En)。该增强子在马铃薯低温块茎中也异常活跃。

与启动子不同，增强子对基因的调控没有方向性，且能够调控距离很远的基因。那么本研究发现的增强子是否对液泡转化酶基因自身起调控作用呢？

“为了揭开这个谜底，我们运用基因编辑技术创造了缺少该增强子的马铃薯新材料。有趣的是，马铃薯新材料低温块茎中的液泡转化酶基因变得近乎沉默，且油炸薯片颜色也明显变浅了。这意味着潜在致癌物质也变少了。”朱晓彪说，这一证据有力地证实了该增强子对液泡转化酶基因自身起调控作用。

目前，研究发现的增强子Vlnvln2En已提交申报相关专利。



河北昌黎县新集镇西庄村农民在田间收获马铃薯。

新华社记者 杨世尧摄

我国水电工程首次应用1000兆帕级高强钢

科技日报讯(记者李丽云 实习记者朱虹)记者2月23日获悉，哈电集团哈尔滨电机厂有限责任公司(以下简称哈电电机)研制的天台抽水蓄能电站首台钢管岔管预组装项目近日顺利通过验收。这是我国水电行业首次将1000兆帕级高强钢应用于工程中。其整体质量达到国际先进、国内领先水平。

天台抽水蓄能电站位于浙江省天台县，额定水头724米，单机容量425兆瓦。电站总装机容量1700兆瓦，共安装4台425兆瓦的单级混流可逆式机组，全部由哈电电机研制。

钢管岔管是水电站中用于连接压力钢管主管与支管的重要结构部件，主要作用是将上游压力钢管的水输配到两台或更多机组中。

据介绍，采用更高强度等级、更小壁厚度的钢板，可以减少钢管岔管的重量和焊接量，进而缩短施工时间降低施工成本，更好地实现电站高水头、大水能的目标。与传统的800兆帕级钢板相比，应用1000兆帕级钢板可减重约20%，且焊材使

用量相应降低，施工时间可减少10%。

2019年，哈电电机对1000兆帕级高强钢焊接技术进行科研立项，并对焊接过程进行了系统研究，攻克了钢板焊接的冷裂纹敏感性、焊接线能量及保护气体配比等一系列技术难题。

先进的技术水平、成熟可靠的焊接工艺，为此次天台1000兆帕级高强钢引水管的焊接制造，提供了有力的技术支撑。焊缝无损探伤一次合格率达99%以上，确保了钢管岔管生产达到精品标准。

哈电电机还将4G数字化焊机群控系统应用于天台钢管岔管的异地焊接管控环节。系统可将采集到的焊接数据实时传输回厂内服务器进行实时监控分析，实现了工地现场与厂内同质化管理，且焊接过程工艺参数全程可追溯。

1000兆帕级高强钢成套焊接技术，将进一步提高我国高水头、大容量机组的制造水平，为实现“双碳”目标贡献更大力量。