

中国探月工程走过20年

九天揽月 探索不止

●刘 嶠

2004年1月23日，中国探月工程正式立项。今年，“嫦娥工程”迎来20周年。

20年来，从给月球拍照片，到首次在月球背面登陆，再到成功带回月壤，中国已顺利完成“绕、落、回”三步走战略目标，为人类月球探索事业作出了杰出贡献。

如今，中国人九天揽月的梦想仍在继续。随着中国探月四期工程的实施，全球参与的国际月球科研站和载人登月，将逐渐成为可能。

从绕月到落月

月球探测是国际宇航界深空探测领域的第一站，也是中国航天界深空探测领域的首选。21世纪伊始，中国作出实施探月工程的重大战略决策，确定“绕、落、回”三步走总体规划。2004年，探月工程正式立项，计划在2007年实现绕月探测，2013年前后实现月面软着陆探测与巡视探测，2020年前后实现月面采样返回。

2007年10月24日，中国第一个月球探测器——嫦娥一号顺利升空，迈出了“绕月”的第一步。中国探月工程月球科学应用首任首席科学家欧阳自远院士说，嫦娥一号在轨工作494天，获取了中国首幅月面图像和120米分辨率全月球立体影像图、高程图、月表元素含量分布图等，2009年3月1日受控落月，圆满完成“绕月”任务。

嫦娥一号掌握了绕月探测技术，初步构建了月球探测的航天工程体系。进入探月二期工程后，中国围绕“落月”，突破了一系列关键技术。2010年，嫦娥二号获得国际最高7米分辨率全月影像图，此后环绕探测日地拉格朗日L2点，并对700万公里外的图塔蒂斯小行星进行高精度飞越探测。2013年，嫦娥三号成功落月并开展月面巡视勘察，实现中国首次对地外天体的直接探测，把玉兔号的足迹刻在了月球上。

从采样返回到探索月背

2020年12月17日，嫦娥五号怀揣取自月球的土壤返回地球，这是人类时隔40多年后再次完成从月球采样返回的壮举。

嫦娥五号完成了中国首个无人月球采样返回任务，

虽已入春，但室外温度依旧不高，人们健身后大量出汗，容易着凉感冒。相较户外运动，室内运动较少受到天气影响。因此用合适的室内健身项目替代户外运动，成为不少人的选择。

近年来，在科技助力下，一系列“硬核”运动装备让室内锻炼更高效、有趣。

LED 跑道：
影子“陪跑”与运动者竞速

一个人在室内跑步，略显枯燥。如果有了互动与竞争，会是怎样的体验？LED跑道或许可以给出答案。

运动者穿上装有传感器的跑鞋，踏入LED跑道。此时，跑鞋内传感器立即与位于跑道一侧的LED屏幕连接，并通过射频信号追踪运动者的足迹，记录其跑步时间、运动状态等信息。

当运动者跑完一圈进入下一圈时，他会在身旁的LED屏幕墙上看到一个投影。投影的移动速度是运动者上一圈的跑步速度。此时，LED跑道上的运动者正在和



在第四届吉林雪博会现场，参观者体验室内滑雪机。

新华社记者张楠摄

自己赛跑。运动者每跑完一圈，都能在位于终点的屏幕上看到自己的成绩。

当运动者跑过投影，他就超越了自己。这时投影会改变策略，以运动者的历史最快速度跑，督促其不断超越自己。

如果运动者没看到信息也不要紧，跑步成绩会被记录在相关App中。

LED跑道还设置了互动模式。研发人员在LED跑道程序中加入了虚拟人物，里面有国家纪录保持者，还有其他优秀跑步运动员。运动者可以根据自己的需要，选择与这些虚拟人物进行比赛或与其相伴训练。

因此，就算是一个人在LED跑道上跑步也不会感到无聊。此外，运动者还可以跟着世界体育健将学习正确的跑步姿势，长此以往练着练着说不定哪天就超过这些运动员。

滑雪模拟训练器：
打破地域、季节滑雪限制

近年来，大众对滑雪运动热情高涨，但滑雪运动受季

一突破月面采样、月面起飞上升、月球轨道交会对接与样品转移、跳跃式再入返回等关键技术。嫦娥五号带回1731克月球样品，是世界单次采样量最大的无人月球采样任务。嫦娥五号任务实现了探月工程“绕、落、回”三步走规划的完美收官，为中国未来月球与行星探测奠定了坚实基础。

近年来，围绕嫦娥五号带回的月球样品，科研人员取得多项研究成果。例如，通过对月球样品研究，测定年轻的玄武岩形成时间为20.30亿年，揭示了月球“晚年”演化历史；在月球晚期岩浆活动成因方面，推翻了岩浆源区富含放射性元素提供热源、富含水降低岩石熔点的主流假说；发现了第六种月球新矿物“嫦娥石”等。

目前，中国已开始实施探月四期工程，并把嫦娥四号作为探月四期的首次任务。2018年底，嫦娥四号顺利升空，并在月球背面的冯·卡门撞击坑完成了软着陆，率先揭开了月背的神秘面纱。玉兔二号月球车登陆月球，在月背留下了人类第一道车辙。

探索月球背面有什么意义？专家介绍，月球背面始终背对地球，屏蔽了地球的无线电、闪电和极光等干扰信号，在月球背面独特的电磁环境条件下，开展低频射电观测研究，有望取得行星际激波、日冕物质抛射和空间传播机理等方面的原创性成果。此外，月球背面与正面的地质特征存在很大差异，探索月背将促进对月球早期演化历史的新认知。

从建科研站到载人登月

今年上半年，中国探月工程四期的第二项任务嫦娥六号将实施发射，执行月球背面采样返回任务。目前，嫦娥六号正在文昌航天发射场进行相关测试，为实施发射作准备。

嫦娥六号任务将突破月球逆行轨道设计与控制、月背智能采样和月背起飞上升等关键技术，实施月球背面自动采样返回，同时开展着陆区科学探测和国际合作。今年上半年，鹊桥二号中继通信卫星将率先发射，实现月面探测器和地面站之间的通信，为嫦娥四号、嫦娥六号、嫦娥七号和嫦娥八号等任务提供中继支持。

迄今为止，人类进行的10次月球采样返回均位于月球正面，月球背面整体上相对月球正面更为古老，且存在月球三大地体之一的艾特肯盆地，具有重要科研价值。嫦娥六号任务预选着陆区位于月球背面南极—艾特肯盆地，有望发现并采集不同地域、不同年龄的月球样品。

一位滑雪爱好者戴上传感器设备，在12米长的钢制滑雪台上摆动双臂滑行。该爱好者身前的电子屏幕上显示着模拟滑雪赛道以及场景。

这套室内多自由度模拟滑雪训练系统，可提升滑雪爱好者回转、滑行等专项动作的训练效率。该系统主要研发人员告诉记者，这套系统包括模拟滑雪训练平台、六自由度平台、运动形态识别与位姿测量系统和用于展示滑雪场景的电子大屏。使用者可以选择不同竞赛项目，进行“过旗门”“大回转”“小回转”等训练。

LED 跑道、滑雪模拟训练器、智能发球机……
“硬核”装备相伴 室内运动添趣

●何 亮

是一个巨大的风机，最高风速可以达到255.6公里/小时。

透过际华园室内跳伞系统的玻璃窗，记者看到训练有素的跳伞爱好者在倒飞、旋转，也看到经过培训的小朋友在教练员的陪护下悬浮于空中。

际华园室内跳伞系统相关负责人介绍，与室外跳伞运动相比，室内跳伞运动安全系数高且成本较低，想体验飞行的零基础“小白”也可以尝试。

智能发球机：
永不疲倦的教练员

一手握紧球拍，一手抛球，只需1秒，多个乒乓球便被球拍打出，直抵球台对面，让接球者应接不暇……在刚刚过去的寒假，这位名为“庞伯特”的乒乓球智能发球机几乎每天都在不知疲倦地发球。

记者在上海体育大学训练馆看到，几位小学生在挥汗如雨地打乒乓球，变换着步法想接住每一个球，而球台另一侧的“庞伯特”则不停向他们发出一个个高速旋转、落点刁钻的球。

上海体育大学相关负责人介绍，“庞伯特”的发球技巧高超，发球落点精准，线路随意。它可以根据不同水平乒乓球爱好者的训练要求，制定专属训练方案，帮助他们提升球技、强身健体。

相关研发人员介绍，“庞伯特”可以被用于多球训练。多球训练是由教练不停发形式多样的球，使练习者达到熟练某一动作的方法。不管是刚入门的新手还是有一定水平的专业选手乃至国家队队员、世界冠军，都需要多球训练来提升打球水平。有了“庞伯特”，教练就能从发球工作中“解放”出来，把更多注意力放在纠正训练者步伐、动作上。

“庞伯特”不光会发球，还能当教练。“‘庞教练’的观察力很强。”相关研发人员告诉记者，它内置的分布式双目视觉系统可以及时捕捉乒乓球和参与者的运动轨迹。借助人工智能算法，它能够分析乒乓球的轨迹和参与者的动作，根据分析结果给出训练建议，帮助调整技战术策略。

如今，“庞伯特”已经在中国国际工业博览会、世界人工智能大会等大型展览上亮相。但目前“庞伯特”的使用人群比较有限，如何让它得到进一步普及，是产品开发者正在解决的问题。

“未来，它会走进更多社区、学校，还会走进普通家庭，陪着广大乒乓球爱好者一起训练，体验体育运动的乐趣。”“庞伯特”开发者说。

当然，安全是训练的前提。记者看到，室内多自由度模拟滑雪训练系统研发人员在滑雪台前设置护栏，还为滑雪者配备了安全绳。如果滑雪者在左右滑行时不慎摔倒，滑雪台上的光学传感器可以及时感知，并立即暂停设备，确保人员安全。

室内跳伞系统：
让更多人体验飞行快乐

身着飞行服和头盔，脚踏运动鞋，站在风洞出口处的“飞行员”随着号令一个接一个地跃入风洞。在风力的作用下，他们挥舞双臂，努力保持平衡，体验飞行的快乐……

近些年，一项充满乐趣和挑战的体育运动——室内跳伞受到越来越多年轻人的追捧。

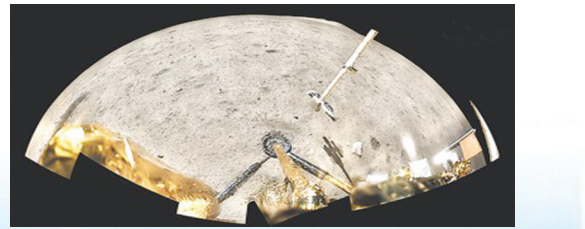
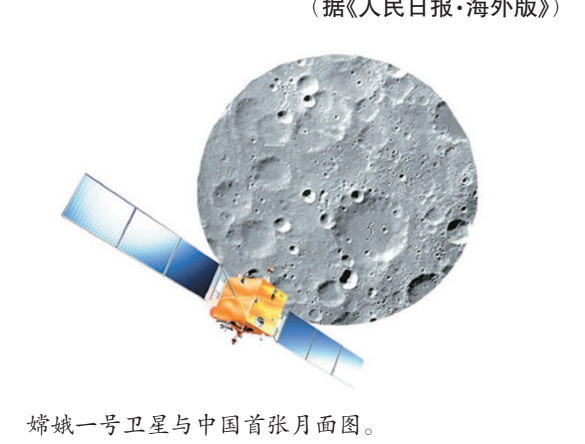
室内跳伞利用空气动力学原理，通过人工控制气流，让体验者在风洞内飞起来，达到与室外飞翔同样的效果。参与者可以通过改变身体重心，在空中做出各种动作。

位于重庆市渝北区的际华园，有一个直径4.3米、高12.88米的圆柱状室内跳伞系统（风洞飞行舱），一张巨大的安全网将舱室分开。参与者在网面上方飞行，网面下方

在国际合作方面，嫦娥六号任务搭载了法国的氦气探测器、欧空局的负离子探测器、意大利的激光角反射镜、巴基斯坦的立方星等4个国家的载荷和卫星项目。同时，中国正在加快推进国际月球科研站大科学工程，希望更多国际伙伴加入，共同拓展人类认知疆域，为和平利用太空、推动构建人类命运共同体作出贡献。

未来，中国还将发射嫦娥七号和嫦娥八号，最终建立月球科研站和实现载人登月。中国探月工程总设计师吴伟仁院士介绍，嫦娥七号计划2026年前后实施发射，主要任务是到月球南极寻找月球存在水的证据；嫦娥八号拟于2028年前后发射，主要任务是勘查月球上的资源，并对资源的再利用进行实验。

令人期待的载人登月，中国已于2023年正式立项，相关任务已经启动，计划先期开展无人登月飞行，并在2030年前实现中国人登陆月球。



嫦娥一号卫星与中国首张月面图。

嫦娥五号着陆器和上升器组合体全景相机环拍成像。

本文图片均系资料图

“落地了！”近日，当国产客机ARJ21稳稳地降落在塔什库尔干红其拉甫机场跑道上时，参与试飞人员的心里都深深松了一口气。

塔什库尔干红其拉甫机场海拔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此次成功完成高高原机场运行试飞，充分验证了我国高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个高高原机场均在我国境内。

高高原航线运行独具挑战性。“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，开创了高高原运行研制的新模式。三大创新包括突破国产客机高高原起降能力难点、构建了高原人一机一环综合验证装备和运行技术体系、首创高高原复杂场景预测与构建技术。

高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，意味着首台高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、不通用的问题，模拟机专用操作系统基于跨机型、多航频、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。

提出结冰高效能保护机制

高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，设计出一整套动、静态结冰界面冻粘试验方法，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。该技术的应用将彻底改变飞行员在结冰环境下的操控方式。”陈勇介绍，在明确得知冰脱落后，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。利用该项目的相关技术与装备，未来我国民航领域将开展针对高高原飞行的专业训练，确保高高原运行安全。（据《科技日报》）



中国南方航空集团研制的全动飞行模拟机。

受访单位供图