

朱日祥:我国地球与行星系统科学研究正处于“突破的前夜”

■本报记者 胡琅琦



自然灾害频发、极端天气接连出现、全球气候变暖……即便是普通人也会关注未来地球究竟会如何演化，我们该如何应对地球系统的变化。而对科学家来说，想要回答这些问题，需要“探索宇宙，理解地球，用好地球”。

地球科学是一门既研究过去、阐述地球演化历史，又面向未来，为人类可持续发展提供解决方案的基础性、综合性、系统性科学。最近 10 年，尤其是近 5 年来，地球科学研究正快速转型。那么，地球科学前沿问题究竟是什么？科学家要如何从交叉与融合中获得科学原创？

当前，正是中国地球科学整体走向国际引领地位的关键时期，也是在全球性资源能源研究、环境治理与灾害防治等重大课题方面，为全人类贡献更多原创性成果的难得机遇。为此，我国地球科学的学科发展又该如何布局，优先发展哪些方向？

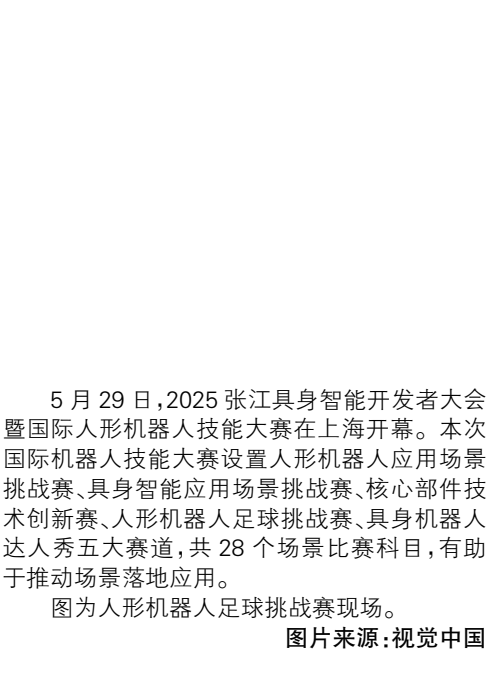
发挥学术引领作用、组织开展学科战略研究、促进地球科学长远发展一直是中国科学院地学部(以下简称地学部)院士们的重要职责。围绕这些问题,《中国科学报》专访了地学部常委会主任朱日祥。

《中国科学报》:过去 5 到 10 年间,地球科学领域最大的突破和转变体现在哪些方面?目前,中国在这些方面的研究处于怎样的水平?

朱日祥:过去 10 年间,地球科学最大的突破是逐步从传统地球科学向地球与行星系统科学的转变,近 5 年尤为突出。

地球系统科学概念虽于 20 世纪 80 年代中期提出,但实际上可以把 20 世纪 60 年代板块构造研究看作“固体地球系统科学”的开端,而 20 世纪 80 年代开始的全球变化研究则是典型的“表层地球系统科学”研究。此前两类研究缺乏交叉协同,致使学科发展及解决社会需求遇到瓶颈,因为环境、资源和灾害问题均为固体与表层地球系统相互作用的结果。这使科学界深刻意识到,必须把地球固体和流体圈层看作一个整体来研究,才能解决人类和国家面临的重大需求。此理念转变助力近 10 年地球科学在资源、环境和灾害问题上发挥巨大作用,极大提高了人类社会发展的可持续性。

当然,今天我们离真正打通深时隧道、跨越地球与行星多圈层科学研究还有一定距离,但相关研究已成为国际地球科学领域争相抢夺的学术制高点。



图为国际人形机器人足球挑战赛现场。

图片来源:视觉中国

美国慈善家捐赠 9000 万美元支持理论物理研究



本报讯 当大多数研究人员因美国政府削减科研经费感到焦虑时,理论物理学家们收到了一个好消息。莱因韦伯基金会 5 月 29 日宣布,将捐赠 9000 万美元,在 3 所顶尖研究型大学和一家私立机构设立理论物理研究机构。

莱因韦伯基金会由软件行业发家致富的慈善家 Larry Leinweber 创办,此次的捐款主要为研

究生以及从事博士后研究的人员提供支持。Leinweber 在美国密歇根州的一个农场长大。他一直对科学,特别是物理学着迷,但并没有将这作为自己的职业,而是在大学毕业后成为一名程序员,后来创办了公司。Leinweber 一直通过基金会助力科学研究,比如为美国密歇根大学和密歇根州立大学的数十名本科生提供莱因韦伯软件奖学金。

美国芝加哥大学是莱因韦伯基金会此次设立理论物理研究所的大学之一。“这对我们来说是一份宝贵的礼物。”该校理论物理学家 Dam Thanh Son 表示,“这将为研究人员提供资金,所

以我认为影响还是相当大的。”他指出,有了这笔捐款,芝加哥大学物理系应该能将理论物理博士后人数增加约 50%,即从大约 12 人增加到 18 人。除芝加哥大学外,莱因韦伯基金会还将在美国麻省理工学院和加利福尼亚大学伯克利分校设立理论物理研究所,并在美国普林斯顿高等研究院设立莱因韦伯理论和量子物理论坛。

上述 4 个实体研究机构将加入美国密歇根大学于 2017 年成立的莱因韦伯理论物理研究所。Leinweber 希望这些机构能够紧密合作,共同确定优先研究事项。

徐锐

改革开放 40 多年间,我国地球科学发展迅猛,已整体进入国际第一方阵。近 10 年来,我国的许多研究,如克拉通破坏与资源能源效应、陆地生命演化、季风－干旱系统演变、青藏高原、边缘海形成与演化等,可以说达到了国际引领水平。近 5 年来,我国在打通时间尺度、跨越地球固体－流体圈层的地球系统科学研究方面丝毫不逊色于国际学术界,取得了一批非常重要的成果,在不少方面引领了国际同类研究的发展趋势。

《中国科学报》:大数据、人工智能(AI)如何与传统地球科学研究方法深度融合,从而推动学科发展?

朱日祥:打通深时隧道、跨越地球与行星多圈层研究面对的是巨复杂系统,要求科学范式变革。从方法学层面讲,大数据和 AI 的发展是实现地球科学范式变革、促进学科发展的关键之一。

目前,大数据和 AI 在地球科学的许多领域发挥了重要作用,因为传统地球与行星科学依赖观测、实验和数值模拟,但面临数据异构、计算成本高和复杂系统存在不确定性等挑战,而 AI 技术能够高效处理多源数据,挖掘隐藏规律,并优化或替代部分物理模型。这方面已经有很多例子,比如在资源能源勘探开发领域,深度学习可自动识别卫星影像中的矿化带,提高填图效率;在地震监测中,AI 技术能直接从波形数据检测微震事件;在气候预测方面,AI 技术已经可实现高精度天气预报。

随着深地专项的实施,如何从海量大数据中创新地球科学理论是地球科学在 AI 新时代面临的重大挑战。利用 AI 创新解决学科发展与数据处理技术涉及的基础理论问题,是避免我国地球科学陷入“原材料出口国”的有效途径。

值得指出的是,AI 技术不是万能的。在未来地球科学的发展中,海量数据的整合与管理、关键新数据的获取、耦合固体－流体－人类圈层过程 AI 模型的发展必须齐头并进,才能真正占领未来地球科学的方法学术制高点。

《中国科学报》:在未来空间探索,应对全球气候变化、能源革命,以及防灾减灾等国家重大需求下,我国的地球科学如何优化布局?哪些领域方向是未来 10 年的战略重点?对中国而言存在哪些机遇和挑战?

朱日祥:跨越不同时间尺度、整合地球固体－流体圈层的地球系统科学研究不仅是未来地学基础理论的突破口,还对满足深空探测,应对全球气候变化、能源革命及防灾减灾等国家重大需求至关重要。比如,深空探测的重要目标之一就是研究行星宜居性的演化及生命起源等问题,而对早期地球系统的研究是解决上述问题的关键。又比如,太阳系的火星、金星和地球在

形成初期非常相似,但后来却“分道扬镳”,其原因还是科学的未解之谜。

就应对气候变化来讲,目前在我们认知框架的顶层逻辑起点上,有一些科学问题并未根本解决,需要耦合行星－地球固体－流体圈层的系统过程开展研究。比如,我们仅研究地球表层和流体圈层碳元素的循环是不能从根本上解决大气二氧化碳演化问题的,因为行星与地球系统的物质循环互相牵制、联动。又比如,如果我们不能回答地球上为什么会有冰期,就不能说很好地了解了地球的气候系统,自然也不能准确预测未来。从地球演化的角度讲,人类排放的二氧化碳对地球气候系统仅仅是短暂的扰动。其实大气和海洋的碳含量仅占地球系统可循环碳的 1%~5%,研究气候系统不能忽略地球内部 95%~99%的碳。我们对地球碳循环过程、机制及其演化还缺乏精准认识,这是“碳中和”面临的理论挑战之一。

我国在地球与行星系统研究领域已经有非常好的基础,目前可以说处于“突破的前夜”。未来应该在研究范式变革的基础上,强化打通时间尺度、跨越多圈层的科学理念,继续加大支持力度,有望使中国的地球科学整体上处于国际引领地位。换句话说,以地球与行星系统科学基础理论突破为先导,带动资源能源、环境和灾害研究的突破,应当是未来研究布局的核心所在。具体而言,流体 / 挥发分是地球与行星的血液,它不仅将物质、能量的传递与大规模构造变形联系起来,而且控制着人类所需资源能源的形成与富集,地球上现有的矿物中有 2/3 是在生命出现之后形成的,从地球与行星系统的角度研究战略性大宗与稀有矿产资源的形成机制,是回应国家战略需求最重要的前沿科学问题。

当然,我们也面临一系列挑战,包括基础研究投入需要加大、跨学科人才依然短缺等。未来 10 年,我们应以前所未有的力度加强对地球与行星系统科学基础研究的投入和支持,克服功利主义,提升跨学科人才培养力度。在目前的国际学术态势下,这是中国地球科学整体走向引领国际学术前沿,为解决人类资源能源问题以及灾害防治等问题作出更多原创性贡献的难得机遇。

(下转第 2 版)



天问二号任务发射圆满成功

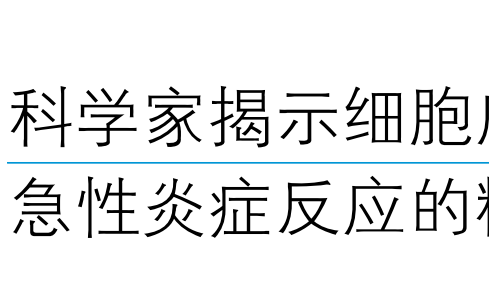
我国开启小行星探测与采样返回之旅

本报讯(记者甘晓 通讯员蔡金曼)记者从国家航天局获悉,5 月 29 日 1 时 31 分,我国在西昌卫星发射中心用长征三号乙 Y110 运载火箭,成功将行星探测工程天问二号探测器发射升空。火箭飞行约 18 分钟后,将探测器送入地球至小行星 2016HO3 转移轨道。此后,探测器太阳翼正常展开,发射任务取得圆满成功。

天问二号主要任务目标是对小行星 2016HO3 进行探测、取样并返回地球,此后将对主带彗星 311P 开展科学探测。小行星 2016HO3 是人类目前发现的地球准卫星之一。

天问二号任务工程目标是突破弱引力天体表面取样、高精度相对自主导航与控制、小推力转移轨道设计等一系列关键技术,二是为小行星起源及演化等前沿科学研究提供探测数据和珍贵样品。科学目标则聚焦于测定小行星和主带彗星的多项物理参数,一是测定小行星和主带彗星的轨道参数、自转参数、形状大小、热辐射特性等物理参数,开展轨道动力学研究;二是开展小行星和主带彗星的形貌、物质组分、内部结构以及可能的喷发物等研究;三是开展样品的实验室分析研究,测定样品物理性质、化学与矿物成分、同位素组成和结构构造,开展小行星和太阳系早期的形成与演化研究。

此次发射任务圆满成功,仅仅是天问二号任务漫长探测过程的“第一步”。天问二号任务技术难度大,工程风险高,共包含发射段、小行星转移段、小行星接近段、小行星交会段、小行星近距探测段、小行星采样段、返回等待段、返回转移段、再入回收段、主带彗星转移段、主带彗星接近段、主带彗星交会段、主带彗星近距探测段等 13 个飞行阶段。其中,小行星探测和采样返回包括 9 个阶段,发射段顺利完成后,探测器进入小行星转移段,这一阶段将持续约 1 年,其间需实施深空机动、中途修正等操作,直至距离小行星约 3 万公里处。随后依次进入小行星接近段、交会段、近距探测段,在近距探



测段按照“边飞边探、逐步逼近”原则,对小行星开展悬停、主动绕飞等探测,确定采样区后进入采样段。完成采样任务后,探测器将经历返回等待段、返回转移段,在返回转移段接近地球,返回舱与主探测器分离,之后独自进入再入回收段,预计于 2027 年底着陆地球并完成回收。主探测器则继续飞行,前往主带彗星 311P,开展后续探测任务。

探测器上共配置了中视场彩色相机、多光谱相机、可见红外成像光谱仪、热辐射光谱仪、探测雷达、磁强计、带电粒子与中性粒子分析仪、喷发物分析仪、窄视场导航敏感器、激光一体化导航敏感器、旋转射高光谱相机等 11 台科学设备。这些先进设备将助力探测器在飞行过程中对小行星和主带彗星进行探测,获取科学数据。

天问二号任务由工程总体和探测器、运载火箭、发射与回收、测控、地面应用五大系统组成。国家航天局探月与航天工程中心承担工程总体工作,负责任务的总体设计和实施管理;中国航天科技集团空间技术研究院牵头承担探测器系统研制;中国航天科技集团运载火箭技术研究院负责运载火箭系统研制;中国科学院国家天文台牵头承担地面应用系统研制。

(如 NFIL3)与它的空间距离变近,在 HSF1 和 BRD4 的协同工作下,NFIL3 等基因的转录增强,从而产生更多 NFIL3 蛋白质。而 NFIL3 蛋白质是转录抑制因子,相当于炎症反应的“刹车片”,能有效抑制炎症因子的过度产生。

研究团队对巨噬细胞进行体外实验时发现,遭遇高热与细菌感染刺激时,成功组建 nS-Bs 的巨噬细胞能显著提升 NFIL3 蛋白质产量,使炎症因子可控表达,而人为破坏“应急指挥部”则会导致炎症因子表达失控,产生过度保护性反应。

脓毒血症是感染引发的全身性炎症反应综合征,病死率高。研究团队在临床样本中发现,脓毒血症患者体内有 nSBs 激活,且 NFIL3 基因与 SatIIIRNA 表达量和 nSBs 活跃度呈正相关。此外,SatIIIRNA 表达高的患者生存率更高,提示 SatIIIRNA 可能作为脓毒血症精准治疗分型标志物。这为此类炎症疾病的治疗提供了潜在靶点。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.05.003>

“应急工作站”的建立使得一些重要基因

当细胞遭遇高热等“生存危机”时,细胞核内会迅速组建“应急工作站”——nSBs。在此过程中,转录因子 HSF1 蛋白质快速定位到异染色质区域,指挥生产出高度重复的 SatIIIRNA。这些 RNA 分子如同应急工作站的钢架结构,吸引包括 HSF1 和转录调控因子 BRD4 等众多蛋白质“工程师”前来组装,最终建成结构有序的 nSBs。

智能化养猪助力育种领域全新探索

■印遇龙 刘炎

随着人工智能(AI)、自动化等技术的持续突破,利用传感器进行数据采集与高速传输,并通过物联网存储海量数据,正持续推进智能化养殖业发展,逐渐成为推动育种向精准化、高效化、智能化转型的核心驱动力。

从整个养殖产业看,目前智能数据采集技术已在环境智能监测与调控、个体识别及行为监测、体重及体尺测量、精准饲喂等方面有了广泛应用。环境智能监测与调控方面,现有的智能环境监测设备可精确捕捉环境中的任何不稳定变化,并在第一时间发出警报和调控指令,提醒养殖人员及时关注异常环境指标,及时干预。

在个体识别及行为监测方面,对猪行为的识别能及时监测猪的状态,精准记录生长数据、识别外来猪种、检测体温等;基于构建的疾病模型,结合猪的外观、体温、行为、粪便情况和进食量,可初步判断猪是否患有疾病,加快疾病发现和诊治进程,防止疾病蔓延。

在体重、体尺测量方面,当前可利用猪的三维图像或者深度图像提取体尺的特征点,再通过三维点云图像的坐标预估体重和体尺。基于 LabVIEW 的移动测量系统、手持式 RGB-D 相机等成果,研究者打破了摄像机数量有限、无法全覆盖等困难局面,利用较高的定位精度和测量精度,为猪体尺、体重的智能化测量提供了新思路。

精准饲喂方面,一般包括信息采集、饲料精准配制和智能饲喂 3 个环节。一些养猪企业可通过收集猪的数据进行数学建模,分析现阶段的营养需要,建立动态营养需要模型。饲养人员结合营养需要、成本、适口性多种因素,利用计算机配方软件,快速且准确计算出合适的饲料配方,按照采集后数据生成的饲喂曲线,

进行少量多次的反馈式饲喂。除在日常生猪养殖中应用外,智能数据采集技术还作为核心技术应用到猪育种的研究中,当前已开展或未来一段时间仍需进一步突破的应用场景主要涉及 3 个方面。一是基因组数据的深度挖掘与分析。首先是基因组选择育种,借助基因芯片和高通量测序技术,快速、准确检测猪的基因组信息,并构建高精度猪基因组图谱,实现对优良性状相关的基因标记挖掘,为基因组选择育种提供数据支持。其次是基因组学与表型的关联,机器学习模型结合基因组序数据,可以挖掘基因与生产性能之间的复杂关联,实现精准选育。二是多组学数据整合与复杂性状解析。通过对多组学数据进行整合,全面解析猪的复杂性状,不仅可构建完整的“基因－性状”调控机制网络,还能揭示不同基因和环境因素共同影响性状表现的机制。三是智能遗传评估与选种选配。智慧数据采集技术结合大数据分析技术和 AI 算法,对大量数据进行深入挖掘,实现对猪遗传性能精准评估,为预测后代性能和选种选配提供科学依据。种猪育种全过程的数字化管理,能减少部分人工成本和数据误差。

面向未来,随着 5G、量子计算等技术的发展,AI 与生物育种将深度融合,猪育种将更加深入基因等的研究,迈向智能时代,实现从“经验驱动”向“模型驱动”的转化,构建“智能猪场－精准育种－绿色养殖”的全新模式,为全球粮食安全与生态平衡提供坚实保障。

(印遇龙系中国工程院院士、中国科学院亚热带农业生态研究所首席研究员,刘炎系唐人神集团股份有限公司育种总监,本报记者王昊昊采访整理)



发射现场。郭文彬 / 摄 国家航天局供图

测段按照“边飞边探、逐步逼近”原则,对小行星开展悬停、主动绕飞等探测,确定采样区后进入采样段。完成采样任务后,探测器将经历返回等待段、返回转移段,在返回转移段接近地球,返回舱与主探测器分离,之后独自进入再入回收段,预计于 2027 年底着陆地球并完成回收。主探测器则继续飞行,前往主带彗星 311P,开展后续探测任务。

探测器上共配置了中视场彩色相机、多光谱相机、可见红外成像光谱仪、热辐射光谱仪、探测雷达、磁强计、带电粒子与中性粒子分析仪、喷发物分析仪、窄视场导航敏感器、激光一体化导航敏感器、旋转射高光谱相机等 11 台科学设备。这些先进设备将助力探测器在飞行过程中对小行星和主带彗星进行探测,获取科学数据。

天问二号任务由工程总体和探测器、运载火箭、发射与回收、测控、地面应用五大系统组成。国家航天局探月与航天工程中心承担工程总体工作,负责任务的总体设计和实施管理;中国航天科技集团空间技术研究院牵头承担探测器系统研制;中国航天科技集团运载火箭技术研究院负责运载火箭系统研制;中国科学院国家天文台牵头承担地面应用系统研制。