

冰路飞天向未来

中国自主极地遥感小卫星发展历程

程晓

9月12日11点26分,我国首颗专用于极地遥感观测的小卫星——冰路卫星(又名“京师一号”),从太原卫星发射中心成功升空入轨。

我国是航天大国,却一直没有一颗专门用于地球两极观测的卫星。这颗有史以来

的极地卫星,是我国航天技术走向发达和我国积极参与全球治理的必然。

卫星在中秋的前一天发射,国内极地领域科学家们沉浸在一片喜悦和欢呼之中,然而,这一天却来之不易。

2001年,虽已进入新世纪,彼时我国航天技术还十分落后。一幅30米分辨率的美国陆地卫星影像在中国遥感卫星地面站定价4000元;5米分辨率的法国SPOT

卫星影像要价3万元。其时,笔者从武汉大学考入中国科学院遥感应用研究所攻读博士学位。为了开展极地遥感研究,笔者写了几十页的报告跟欧洲空间局申请了4幅欧洲资源卫星ERS所拍摄的南极格罗夫山地区的雷达影像。同时求助郭华东院士,通过他作为日本JERS-1卫星科学顾问的数据配额,获得了JERS-1卫星拍摄的同一地区的雷达影像。

利用这6幅来之不易的南极雷达影像,笔者完成了我国首篇极地雷达遥感博士论文,开创了双频干涉雷达方法,揭示了南极格罗夫山地区复杂的冰流场,研究工作得到了国际同行的高度认可。

2008年,北京举办奥运会,美国宣布其陆地卫星系列数据完全免费,欧空局也紧随其后宣布其所有卫星数据免费,这是全球遥感界划时代的事件,遥感应用技术也因此得到了快速发展。

近年来,随着航天技术的高速发展,我国卫星遥感技术也取得了长足进步,高分、资源等系列卫星基本实现了我国国土区域遥感数据的自给自足。然而,我国在全球遥感观测领域还存在明显不足,对于两极特殊区域的观测则尤其缺乏,几乎完全依赖欧美甚至日本的卫星,这与我国航天大国的地位不相称。

2013年底,我国极地破冰船“雪龙”号在南极冰海被困,我国各路遥感卫星都或多或少开展了针对性的侦察观测,然而在营救的最后窗口时间发挥关键作用的仍是国外免费开放的卫星数据。

2014年底,习近平总书记指出“认识南极,保护南极,利用南极”。在这个指导思想引领下,我们下决心发展我国自主的极地遥感卫星,首先提升认识南极的能力。我们团队认

真研究国内外现有极地卫星的优缺点,提出了极地遥感卫星星座的设计方案,即采用数十颗低成本小卫星组成太空星座的“鸽群”模式,以实现到极地地区的高重访连续观测。同时还提出100米级分辨率大带宽轨道设计,目标是解决目前国际先进卫星尚无法探测到的一日内极地冰雪快速变化过程。

有了这些设计,我们就开始四处游说,一方面找投资,一方面找卫星制造商。投资方面,我们先后得到了科技部社会发展科技司和北京师范大学的支持,得以启动5公斤级微纳卫星平台的研制(研制代码:BNU-1),这让我们非常振奋。

为了找钱说应该不愁了,可万万没想到更困难的是寻找合适的卫星制造商。国家级卫星研制单位对这种千万级的“小玩意”大多表示不感兴趣,因为利润太低,且他们认为没有显示度;而一般的卫星初创私人企业虽然非常积极,但他们的解决方案和技术成熟度难以达到我们的要求。山重水复疑无路,柳暗花明又一村,直到2017年底我们遇到中国长城工业总公司以及深圳东方红海特卫星有限公司。

此时海特已经成功研制了“微景一号”小卫星平台,这是一款性能和稳定性都大大优于微纳立方卫星的15公斤左右的小卫星平台,当然其成本也远高于微纳卫星。虽然我们能付的钱仅有微景小卫星平台成本的1/3,长城和海特仍然决定接单支持,共同发展我国首颗极地遥感卫星。

从零开始,没有可以借鉴的先例,卫星研制也一波三折。我们的设计对光学相机镜头的打磨提出了极高的要求。在验收实验时,我们发现大视场相机存在明显的光谱偏移和几何畸变。此时已是2018年末,非常接近发射时间窗口12月中旬。只能成功,不能失败,我们毅然决定重做。中国科学院长春光学精密机械与物理研究所也因此提出了新的解决方案,新镜头产品在很大程度上解决了上述光谱和几何问题。

然而,好事总是多磨,就在万事俱备、整装待发时,卫星发射时间却一再被迫推迟,一共推迟3次累计9个月。原因有主星载荷需重做、同轨火箭发射失利等等。这期间我们的焦灼可想而知。国际同行也多次来信咨询卫星发射和投入使用时间,希望共享卫星观测数据。

由于这是一颗极地科学驱动的遥感卫星,所以我们决定数据完全免费。但卫星数据得到更好应用的前提是数据能够及时上传、处理和分发。中国科学院在卫星研制同时还积极推动北极卫星地面站的建设,地面站建设也得到科技部和北师大的共同支持。

同时,我们还与我国首家商业遥感卫星公司——光卫卫星技术有限公司合作研制了卫星的地面处理系统,这是为了能够在卫星有限的寿命里更多更好地获取数据,更快更专业地向科学用户提供中国自主的极地遥感数据。

卫星取什么名呢?我们面向社会开展了征集活动,最耳熟能详且暗合投资人名字的就是卫星的“乳名”——京师一号,而大名称最终确定为“冰路”卫星。“冰路”的英文为Ice Pathfinder,即“冰之探路者”,寓意对极地冰雪研究的探路者,或者“冰上丝绸之路”的探路先行者。

中秋之际,“冰路”飞天,“善昧”人间,深情守望。

十八年来,我国极地科学家从向国外购买极地遥感卫星数据到自主研发发射极地遥感卫星,这是我国航天遥感技术飞速发展的写照,也是我国走向世界、作为负责任大国参与极地和全球治理的必然。(作者系中山大学测绘科学与技术学院院长)

望远镜

“月船2号”何以功亏一篑

■本报见习记者 池涵

印度第二次探月任务“月船2号”探测器携带的“维克拉姆”着陆器,原计划于9月7日登陆月球,但是在距离月面2.1千米处,与地球失去通信联系,印度首次月面“软着陆”尝试失败,可谓“功亏一篑”。

虽然此次“月船2号”的软着陆尝试失败了,印度空间研究组织(ISRO)和美国国家航空航天局(NASA)的科学家们仍在尝试恢复联系,并对事故原因展开调查。其载有8台科学载荷的轨道器仍在运行,预计将继续服役7年。

令人扼腕的失败

中国航天系统科学与工程研究院高级工程师洪远在接受《中国科学报》采访时指出,“维克拉姆”着陆器在进入、下降与着陆过程中发生失败,很可能是着陆器提前着陆导致撞击损毁。而引发故障的直接原因可能有三:

一是制导与导航系统问题。制导与导航是软着陆任务的核心,从绕月飞行到弹道式进入,再到精准着陆,制导与导航系统的任何计算偏差都可能导致任务失败。

二是着陆推进系统问题。着陆器推进系统包括8个50N姿态控制火箭和5个800N制动发动机,推进系统需要按程序指令精准动作,才能保证着陆的准确性与安全性。

三是电子元器件问题。核心传感器或控制器的电子元器件,可能因质量问题,错误安装或太空辐射出现故障或失效,也会导致任务失败。

“月船2号”历时40多天的奔月过程都进展顺利,在最终的“软着陆”环节出现故障,实在令人遗憾。那么,为什么要选择“软着陆”,其实施的难点又在哪里呢?

中国工程院院士张履谦告诉《中国科学报》,考虑到月球着陆器上携带的仪器、设备、月球车的产品安全及正常使用,以及后续采样任务的顺利完成,要采用“软着陆”方式。

“软着陆”需要利用火箭的反推力起到减速的作用来实现。要实现“软着陆”,必须在着陆器即将落地前启动发动机,使发动机的推动力与月球表面的重力加速度相互抵消,着陆器匀速缓慢下降。

张履谦说,为了不让着陆器砸在月球上,还要求着陆器与月球表面的倾斜度小,着陆器四个腿周围不能有直径太大的石块,这需要预先对登陆地点进行详细勘探。

有报道称,在“月船2号”的“软着陆”过程中,其自动控制系统出现故障,导致其翻了一个筋斗,将用于减速的火箭翻到了身后,速度反而增加了15—25米/秒,最终失控。

自主研发为主导的登月尝试

洪远告诉《中国科学报》,此次“月船2号”任务基本采用印度本国技术,着陆技术、巡视技术均为自主研发。与2008年“月船1号”探月任务携带的11个有效载荷相比,其所携带的13个科学有效载荷(轨道器8个、着陆器3个、巡视器2个)完全由印度自主研发。部分载荷功能强大,如轨道器携带的相机是迄今为止所有月

球任务中分辨率最高的相机,分辨率达到0.3米,比此前最高分辨率的NASA“月球勘察轨道器”(0.5米分辨率)还要高。

近些年来,印度在大推力火箭的研制方面也进步显著。其原有的GSLV-MK2火箭同步转移轨道运力仅有2吨多,而此次发射的GSLV-MK3型运载火箭地球同步转移轨道的运载能力达到了4吨。据了解,除此次登月工程外,GSLV-MK3型运载火箭还将作为印度载人航天工程“Gaganyaan”的载具。

即便如此,该型火箭的运载能力仍显不足,“月船2号”要进入奔月轨道,只好采取耗时更长、过程更复杂的多次变轨方式。据中国航天系统科学与工程研究院研究员陈杰介绍,火箭首先将探测器发射到近地点180千米、远地点40000千米的超同步转移轨道。然后每隔几天探测器都会在近地点点火,持续提高探测器的远地点轨道高度。这种操作大约要持续十余天,通过多次变轨,把探测器的远地点从4万千米提高到38万千米左右,然后再经过5天的奔月飞行接近月球轨道。

从接近月球到成为围绕月球旋转的卫星,“月船2号”需要数天时间进行多次月球轨道刹车,最终进入100千米的环月轨道。

被竞相追逐的月球

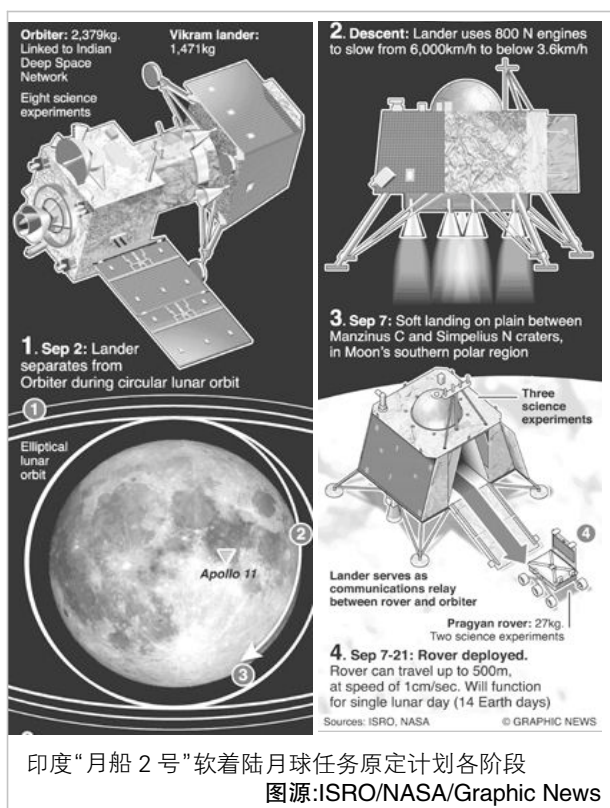
虽然“月船2号”的“软着陆”尝试遗憾地失败了,但是不少国家仍开启了各自的登月计划。人类希望能够在其他星球上建立“第二家园”,张履谦认为,“应该以距离地球最近的月球为起点,进行登月探索,在月球建立基地、实验室等。月球能上得去,去其他星球也就具有技术基础。”

洪远认为,月球作为距离地球最近的天体,有望成为人类探索太空的前哨基地。月球南极由于存在永久阴影区,可能蕴藏水冰,将成为建立月球科研基地的重要资源。印度“月船1号”探测器通过对月球阴影区的光谱分析发现了氢元素,间接表明可能存在水。

2018年,美国学者发表论文指出,在月球南北纬70度以上的永久阴影区内存在多个含有水冰的区域。因此,探测月球南极、发现水资源将成为月球探测的重要任务之一。

失败难掩积极性

据了解,印度“月船2号”探测任务总成本为97.8亿卢比(约合1.42亿美元),探测器成本为60.3亿卢比(约合8743万美元),发射成本为37.5亿卢比(约合5437万美元)。印度探月项目成本大幅低于其他国家的探月项目。如日本2007年实施的“月亮女神”探月计划投入约4.68亿美元;美国2012年实施的“圣杯”探月计划投



印度“月船2号”软着陆月球任务原定计划各阶段 图源:ISRO/NASA/Graphic News

入约5亿美元。但是,项目成本高低并不直接决定科学探测任务的成败。陈杰认为,在计划周期和计划资金投入背景下,完成预定任务目标的科学探测任务,均可视为成功的任务。

洪远认为,与2008年印度首次执行的月球探测任务相比,印度自主实施的“月船2号”探测任务更为复杂,虽然此次着陆任务失败了,但为下降与着陆技术、热控技术、原位探测技术等关键技术突破积累了经验。对印度后续月球、火星乃至其他天体探测任务奠定技术基础。

组织实施“月船2号”探测任务也为印度开展大型科技工程项目积累了经验,并带动了印度航天基础设施的建设。例如,印度建成基于现有卫星测控系统的深空测控网,以航天技术为代表的科技发展还将推动印度国民经济的持续发展。而以美国“阿波罗”登月技术为例,通过直接或间接成果转化,航天领域资金投入与效益回报比达到1:7。

“从印度国内反应来看,这项任务受到了印度全国的高度关注,失败不但没有遭受过多质疑,印度从上而下反而都在安慰和鼓励航天科学家们,让我们看到了印度凝聚的民族自信。”陈杰说,“尤其是印度总理莫迪抱着因失败而痛哭的印度空间研究组织主席西万博士,对他进行安慰和鼓励的场面令人动容。”

“生活总有起伏,但国家为你们自豪。”莫迪对印度科学家们说道。这种成熟的姿态表明,印度对航天的高风险有了更深入的认识和耐力。从航天技术的发展角度讲,印度勇于开展月球探测的勇气和信心值得尊敬。

纵览

“大到不可能”的中子星

天文学家发现了迄今为止最大的中子星,这是一颗距离地球约4600光年的快速旋转的脉冲星。这个破纪录的天体正在“生死边缘”徘徊,它接近中子星理论上可能的最大质量。

中子星(大质量恒星变为超新星后的压缩残骸)是宇宙中已知密度最大的“常规”天体。从技术上讲,黑洞的密度更大,但“远非常规”。单是一块方糖那样大的中子星物质就可达1亿吨,约相当于地球全部人口的质量。尽管天文学家和物理学家几十年来一直在研究这些天体,但关于其内部特征仍有许多谜团:碎中子是否会变成“超流体”并自由流动?它们会分解成亚原子夸克或其他奇异粒子的混合物吗?重力超过物质形成黑洞的临界点是什么?

一个天文学团队利用美国国家科学基金会(NSF)格林班克望远镜(GBT),让我们离这些答案更近了一步。

北美毫微米引力波天文台(NANOGrav)物理前沿中心的研究人员发现,一颗名为J0740+6620的快速旋转毫秒脉冲星,是迄今所测量到的质量最大的中子星,其质量相当于太阳的2.17倍,但直径却仅有30公里左右。这种测量方法接近单个天体在不将自身挤压为黑洞的情况下质量和紧凑程度的极限。最近,激光干涉引力波天文台(LIGO)观测到的中子星碰撞产生的引力波表明,2.17个太阳质量可能非常接近这个极限。

“中子星神秘且令人着迷。”美国弗吉尼亚大学研究生、夏洛茨维尔国家射电天文台博士生Thankful Cromartie说,“这些城市大小的天体本质上是巨大的原子核。它们是如

此之大,以至于其内部呈现出奇异的特性。找到物理和自然上允许的最大质量的中子星,可以让我们了解天体物理学中这个原本无法触及领域的很多知识。”

脉冲星得名于它们从磁极发射出的两束无线电波。这些光束像灯塔一样扫过空间。有些脉冲星每秒旋转数百次。由于脉冲星以如此惊人的速度和规律自转,天文学家可以把它们当作宇宙中的原子钟。这种精确的计时有助于天文学家研究时空的本质,测量恒星物体的质量,加深对广义相对论的理解。

这个双脉冲系统与地球的关系近乎平行,这种宇宙精度为天文学家计算这两颗恒星的质量提供了一个途径。

当这颗脉冲星从其白矮星伴星后经过时,信号的到达时间会出现细微的延迟(约为千分之一秒)。这种现象被称为“引力时延”。根据爱因斯坦的广义相对论,从本质上讲,白矮星的引力会轻微扭曲它周围的空间。这种扭曲意味着,来自旋转中子星的脉冲在绕着白矮星导致的时空扭曲运动时,会走得远一点。

天文学家可以利用这种延迟计算白矮星的质量。一旦知道其中一颗在轨天体的质



中子星例图 图片来源:Peter Jurik / Adobe Stock

量,精确确定另一颗的质量就相对简单了。这篇近日发表于《自然—天文学》的文章是与Cromartie的博士论文相关的一篇文章。她的博士论文提出,在共同轨道的两个特殊点观测这个系统,从而精确计算中子星的质量。

“这个双星系统的情况构成了一个绝妙的宇宙实验室。”NRAO天文学家、文章共同作者Scott Ransom说,“中子星有一个临界点,当其内部密度达到极端时,其引力就会超过中子抵抗进一步坍缩的能力。”

“我们发现的一颗‘质量最大’的中子星都让我们更接近于确定那个临界点,并帮助我们了解这些令人难以置信的高密度的天体。”Ransom补充说。(冯维维编译)

相关论文信息:https://doi.org/10.1038/s41550-019-0880-2

动态

化学“指纹”泄露巨恒星年龄

本报讯 一颗巨星的年龄往往是其最难测量的特征之一,但一种新方法却能揭示这个谜底。天文学家开发出一种技术,通过分析恒星发出的光的化学“指纹”,来测量其年龄。

科学家不能通过直接观测来揭示恒星的年龄。相反,他们通常会通过比较恒星的观测结果和预测这些天体在其一生中如何演化的模型的结果来进行推断。例如,一些恒星最终会膨胀成巨星。

意大利佛罗伦萨大学的Giada Casali和同事发现了另一种方法。他们分析了包括新墨西哥斯科拉曼多峰斯隆基金会望远镜等收集的数据,并计算了恒星的碳氮比。这些元素通常产生于恒星的核心,并在恒星膨胀成巨星时上升到其表面。

研究小组使用传统方法将这些天体的特征与模型预测相比较,推断出36个“星系团”成员的准确年

太阳耀斑环项上方结构研究获进展

本报讯 中科院云南天文台博士生蔡强伟、研究员林隽及合作者发现,在太阳的极紫外图像中观测到的耀斑环项上方的扇形结构(SAF),有可能是能够对带电粒子进行有效加速的终止激波存在的区域。相关成果近期发表在《英国皇家天文学会月报》上。

太阳耀斑是太阳系中最剧烈的爆发现象之一,同时也是有效的粒子加速器,能够将大量带电粒子加速到相对论速度。在已有的太阳耀斑模型中,终止激波经常被用来作为粒子加速的可能驱动因素。目前关于终止激波的考察主要是通过理论研究、数值实验和射电观测等方面进行。利用光学(尤其是紫外和极紫外)成像观测对终止激波进行研究的工作还很少。另外,SAF所处的空间位置一般也被认为是同种高能粒子源(诸如硬X射线源、射电源、微波源)是一致的。

蔡强伟等揭示了在SAF的高温结构(达1000万开尔文)中有终止激波形成和存在。该高温结构存在于太



斯隆基金会2.5米望远镜的观测结果让科学家将一颗恒星的化学指纹与其年龄联系起来。

龄——每个“星系团”都包含大致相同年龄的恒星。然后,他们利用这些结果校准了恒星年龄与碳氮比之间的关系,由此产生了一个“化学时钟”,可以用来估计任何一颗巨恒星的年龄。(冯维维)

相关论文信息:https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935282

太阳耀斑环项上方结构研究获进展

阳耀斑期间磁重联电流片的底部和耀斑环系统的顶部之间,这一新发现是通过将磁流体动力学的计算机模拟结果与由多个高分辨空间望远镜对2017年9月10日发生的大耀斑的观测结果相结合而实现的。

该研究为引起太阳耀斑的磁重联过程的动力学分析提供了新的物理学见解。新的模拟结果表明,SAF经历了准周期振荡。这可以通过极紫外波段的太阳耀斑的相关观测得到证实。这种振荡特征意味着太阳耀斑期间的磁能释放和转换是以脉冲形式、类似突发的方式进行。这可能是由于电流片中的磁重联区域高度湍动且具有间歇性特征所导致的。计算机的模拟结果清晰地再现了耀斑环系统顶部出现的终止激波,这也表明在分析、研究、解释复杂的太阳爆发现象时数值模拟是很重要的。(冯丽妃)

相关论文信息:https://doi.org/10.1093/mnras/stz2167