

# 国际基于立方星平台的空间科学发展态势及启示

时蓬, 苏晓华, 王琴\*, 范全林

中国科学院国家空间科学中心空间科学与深空探测规划论证中心, 北京 100190

**摘要** 空间科学主要是基于航天器平台获取实验数据、实现科学发现的重大前沿基础研究。中国实施了“悟空”“慧眼”等一批较大的科学卫星任务。阐述了国际上重要科学发现和成果, 提出当前国际上已认识到立方星在空间探索与发现中的重要作用; 总结了美欧等航天强国和机构已实施和论证的若干立方星科学探测计划及取得的有影响力的原创科学成果, 以及中国立方星技术演示验证和商业航天已取得的进展; 提出了中国空间科学界应进一步关注立方星的发展, 利用立方星平台开展研究, 与传统大中型空间科学卫星形成互补, 增强并拓展相关领域的探测能力, 有效降低任务难度并缩短研制周期, 促进中国空间科学取得更多重大发现和突破。

**关键词** 空间科学; 立方星; 科学卫星

空间科学以航天器为主要工作平台, 研究发生在日地空间、太阳系乃至整个宇宙空间的物理、化学及生命等自然现象及其规律, 是人类进入太空时代的科技里程碑<sup>[1-2]</sup>。进入 20 世纪, 在地面台站、气球和火箭观测及长期理论研究的基础上, 1958 年 1 月 31 日, 美国“探索者 1 号”科学卫星的宇宙射线实验发现了地球辐射带, 并经“探索者 3 号”“探索者 4 号”“先锋 3 号”等 3 次后随科学任务的确认, 证实了

存在有内、外两条辐射带(即范-艾伦辐射带)环绕地球<sup>[3]</sup>, 该发现成为太空时代的第一个重大科学发现, 标志着空间科学的正式诞生。

空间科学虽然是一门年轻的学科, 但是由于它进入空间、规避地球重力和大气层的影响, 为回答长期困扰人类的重大前沿问题提供了新的观测窗口和认知手段, 包括黑洞、暗物质、暗能量和引力波的直接探测, 太阳系的起源和演化, 太阳活动及其

收稿日期: 2019-05-16; 修回日期: 2019-08-26

基金项目: 中国科学院战略研究和决策支持系统建设专项项目(GHJ-ZLZX-2019-06-2); 空间科学(二期)先导专项预先研究项目(XDA15010000)

作者简介: 时蓬, 副研究员, 研究方向为空间科学发展战略规划, 电子信箱: shipeng@nssc.ac.cn; 王琴(通信作者), 副研究员, 研究方向为深空探测战略规划, 电子信箱: wangqin@nssc.ac.cn

引用格式: 时蓬, 苏晓华, 王琴, 等. 国际基于立方星平台的空间科学发展态势及启示[J]. 科技导报, 2019, 37(21): 63-72; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.21.006

对地球环境的影响,地外生命探索等<sup>[4]</sup>。近60年来,空间科学探测与研究的重大发现与突破,不断改写了人类关于宇宙的教科书<sup>[5]</sup>。

空间科学目标的实现离不开航天器平台的技术进步和繁荣。一般认为,空间科学任务承载着重大科学目标,需要较大的卫星平台搭载定制的有效载荷。例如慧眼卫星质量2.5 t,美国詹姆斯·韦伯太空望远镜(JWST)质量为6.2 t。随着立方星平台的诞生和成熟,为太空探索又提供了一种新的途径和手段。但中国基于立方星开展空间科学探测,还处于利用已有平台参与国际合作的起步阶段,尚未有国内科学家提出中国原创和主导的,利用立方星/星座开展多手段、大范围的多点空间科学探测的计划,这一现状亟待改变。

## 1 立方星是航天器平台发展的新增长极

就卫星平台的质量而言,国际上一般将质量为500~1000 kg的卫星称为小卫星,10~100 kg的称为微卫星,1~10 kg的称为纳卫星,0.1~1 kg的称为皮卫星,小于0.1 kg的称为飞卫星<sup>[6]</sup>。1999年,美国加

州州立理工大学和斯坦福大学学者提出了质量为1 kg、结构尺寸为10 cm×10 cm×10 cm的1个立方体星单元(1 U),以及由若干个单元(n U)组成的纳卫星概念<sup>[7]</sup>。微/纳卫星和立方星,是从质量和几何尺寸等维度对卫星平台的描述。立方星概念一经产生,即在国际掀起研究热潮。2003年世界第一批立方体星成功发射,开启了空间演示试验与应用阶段。2013年用于商业和科学研究的立方星数量成倍增加,成为立方星快速发展的新起点。2014年立方星入选Science“世界十大科学突破”,指出“小小立方星,可做大科学”<sup>[8]</sup>。

立方星结构尺寸不等,小的有0.25 U,大的有27 U,甚至更大,图1为荷兰ISIS公司的典型立方星结构<sup>[9]</sup>。截至2019年4月,已发射的立方星中3 U的立方星占比最多,达到近1/3;其次为1 U,占比接近1/5。从资助机构上看,近年来商业航天发展迅猛,首先商业立方星占比超过50%,其次是高校、政府机构以及国防部门(图2)<sup>[10-11]</sup>。此外,美国发射的各个尺寸立方星数量比较均衡、尺寸相对较小、功能相对较强,中国的立方星在尺寸上仍偏大,在技术层面与美国相比有一定差距。

从应用领域上看,立方星已应用到技术验证、

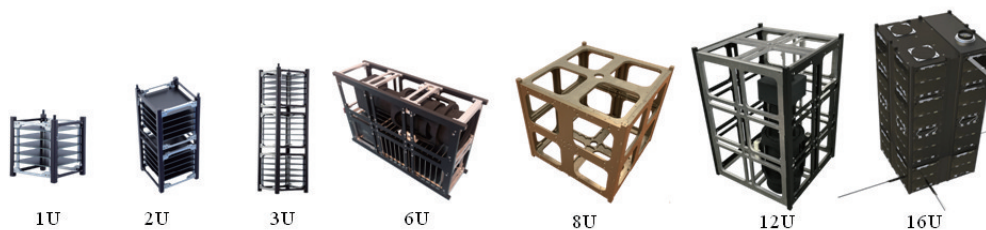
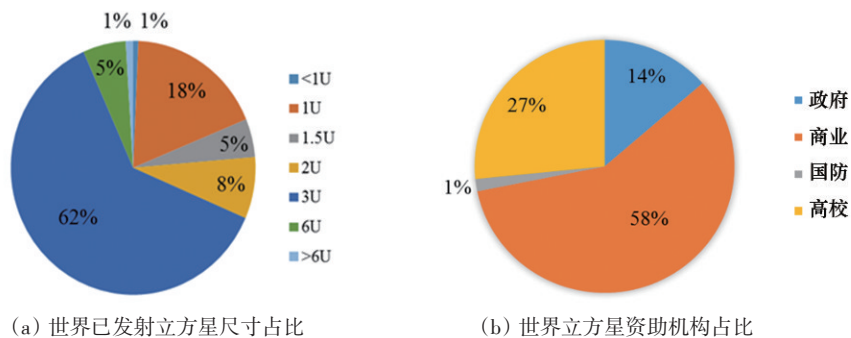


图1 ISIS公司典型的立方星结构

Fig. 1 Typical CubeSat structure of ISIS



(a) 世界已发射立方星尺寸占比

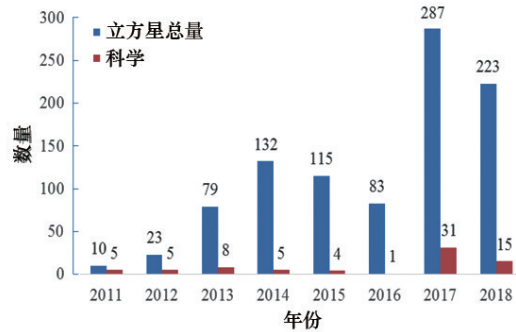
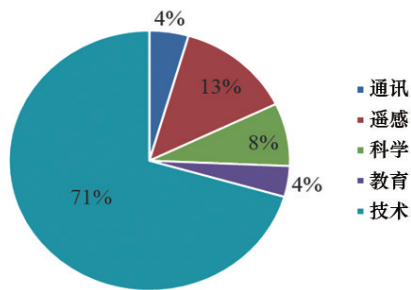
(b) 世界立方星资助机构占比

图2 立方星尺寸与资助机构占比

Fig. 2 Proportion of size and funding agencies for launched CubeSats

卫星通信、遥感成像、科学探索、高校教学、国防应用、科普等各个领域。其中,用于技术验证的占比最多<sup>[10-11]</sup>,达到71%,其次遥感应用占比13%,而用

于科学方面的仅占8%,如图3(a)所示。近两年来,用于科学研究的立方星数量大幅增长<sup>[10-11]</sup>,预期未来其发射数量仍将保持增长趋势,如图3(b)所示。



(a) 已发射立方星应用领域占比

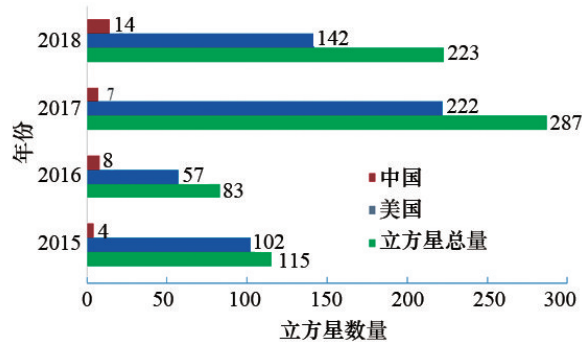
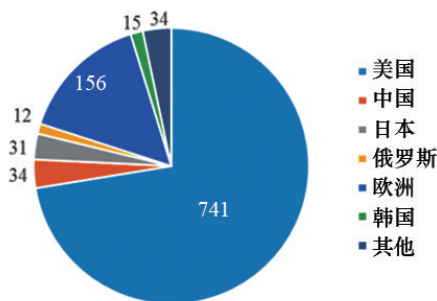
(b) 2011—2018年用于科学应用的立方星数量

图3 已发射立方星应用领域占比及科学应用立方星数量

Fig. 3 Proportion of applications and scientific numbers for launched CubeSats

从立方星发射的国家来看,截至2019年4月,美国处于遥遥领先的地位,总共发射了741颗立方星<sup>[10]</sup>,占全球的73%;中国发射立方星数量位居世界第二,共有34颗,占比3%,但在数量上跟美国相比存在相当大的差距,如图4(a)所示。但是,中国

发射的立方星数量总体呈上升趋势,在发射总量中的占比呈逐年增加的趋势<sup>[10]</sup>。尤其是2018年,全球包括美国在内,在发射数量减少的情况下,中国依然保持了增长趋势,如图4(b)所示。



(a) 各国发射立方星数量占比

(b) 中美近四年发射立方星数量对比

图4 各国发射立方星数量及中美发射立方星数量对比

Fig. 4 Proportions of different countries and comparison between China and United States for launched CubeSats

截至2019年6月,全球共发射微小卫星1186颗,其中立方星1088颗<sup>[10]</sup>。尤其是近5年来,世界范围内每年成功发射的立方星数量连续超过100颗,最近两年来发射量更是总共超过了500颗,立方星已成为航天活动的重要发展领域和新增长极

(图5)。与此同时,中国的立方星技术日趋成熟,应用领域主要集中在技术验证制造和发射能力已位居国际前列,为利用立方星开展科学探测奠定了基础。

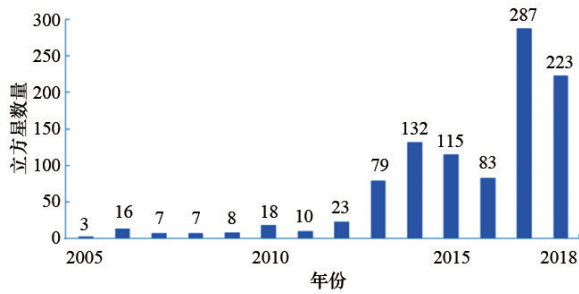


图5 2005—2018年世界立方星的发射数量

Fig. 5 Numbers of launches of the world CubeSat from 2005 to 2018

## 2 国际科学界已认识到立方星在空间科学探测中的作用

美国国家航空航天局(NASA)、国家研究委员会(NRC)、国家科学基金会(NSF)、国际策略研究中心(CSIS)以及国际空间研究委员会(COSPAR)、国际空间研究所(ISSI)等国际机构,通过发布研究报告<sup>[12-16]</sup>、组织国际会议研讨<sup>[17-18]</sup>等多种形式,梳理和剖析了立方星用于空间科学的优势和劣势,讨论了立方星在空间科学和探测领域的发展路线图(图6)。



图6 NRC、CSIS和COSPAR积极推动立方星用于空间科学和探测的报告

Fig. 6 Reports of cubeSats for space science and exploration promoted by NRC, CSIS and COSPAR

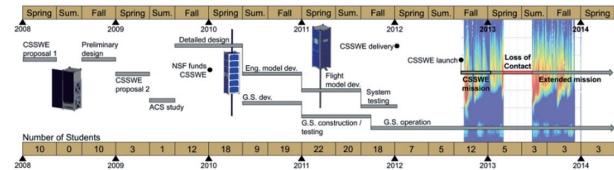
### 2.1 已取得重要科学发现和成果的立方星任务

#### 1) 空间天气实验立方星(CSSWE)。

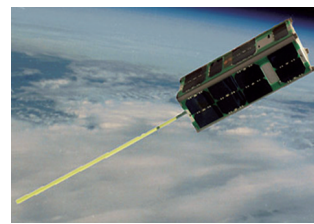
“探索者一号”发现了地球辐射带的存在:外辐射带主要是高能电子,主要来自太阳风;内辐射带主要是高能质子。一种理论认为,银河系的高能宇宙线进入地球磁层,与高层大气中的原子碰撞产生“反照中子”,之后衰变为质子和电子以及反电子中微子,这个过程被称为宇宙线反照中子衰变

(CRAND)。反照中子的绝大部分动量会分配给新产生的质子,后者被地球磁场捕获后,就成了内辐射带中高能质子的来源。但是60余年过去了,没能真正探测到CRAND过程中形成的电子,这也成为困扰空间物理学家的未解之谜。

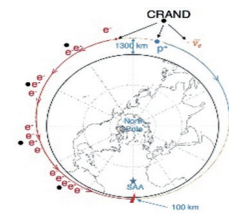
美国科罗拉多大学波德(Boulder)分校李忻璘研制了3 U立方星CSSWE,致力于揭示地球辐射带电子变异特性的观测,成功得出了这一难题的答案<sup>[19]</sup>,如图7(a)和图7(b)所示。CSSWE测量了地球辐射带上的高能质子和电子通量,首次在内辐射带直接探测到了CRAND过程形成的高能电子,并证实这些电子的确来自中子衰变,其相关成果发表在《Nature》上,如图7(c)所示<sup>[20]</sup>。



(a) CSSWE研制与科学发现历程



(b) CSSWE在阿拉斯加上空的轨道运行情况示意



(c) 发现内辐射带边缘电子来源于反照中子示意

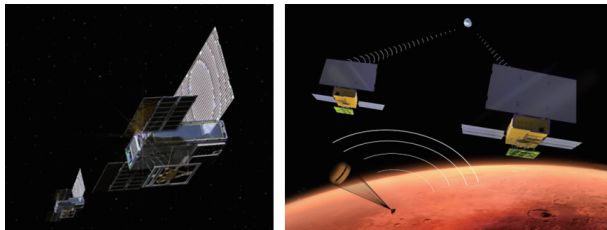
图7 空间天气实验立方星研制运行及科学发现示意

Fig. 7 Development, orbit and scientific illustration of CSSWE

#### 2) 火星洞察号立方星伴星(Marco-A/B)。

2018年,以卡通明星“瓦力”(Wall-E)和“伊娃”(Eva)名字命名的6 U“双胞胎”迷你卫星——“火星立方星一号”A和B(Marco-A/B, Mars Cube One-A/B)与“洞察号”(InSight)同行,成为首批进入行星际空间的立方星,它们承载着小型化深空通信设备的测试任务,完成了多项通信和飞行导航实验,并在“洞察号”进入火星大气、下降和着陆时,把

远距离遥测结果直接发回了地球。除此之外, MarCO-A 在飞越火星的过程中还利用无线电信号, 进行了反推火星大气成分的科学探测; MarCO-B 在“洞察”号着陆后不久便传回了拍摄的火星图像(图 8)<sup>[21]</sup>。MarCO 立方星任务的成功表明, 立方星能够为大型深空探测任务提供支持, 这为立方星的应用开辟了新机遇。



(a) “火星立方星一号” A 和 B 示意  
(b) 实现“洞察号”与地球之间深空通信中继示意

图 8 Marco 立方星结构示意图与通信示意  
(图片来源: NASA)

Fig. 8 Structure and communication relay illustration of Marco

### 3) QB50 项目。

QB50 项目是欧盟主导的基于立方星的国际合作项目, 比利时冯·卡门流体力学研究所(VKI)是项目大总体, 德国大气物理研究所(IAP)是项目科学总体。该项目是迄今最大规模的 200~380 km 高度的地球低热层大气低成本、长时间、多点原位探测, 获得的低热层数据能够进一步完善地球大气模型, 具有重要的科学价值<sup>[22]</sup>。首先, 它凸显了立方星空间科学任务“用很少的钱做很大的事”的特点, 该项目仅以 800 万欧元的投资就牵引了世界 90 多个国家、地区和机构参与, 其中多数为高校, 产生了巨大的国际影响。其次, 该项目致力于“人类几乎未做过的事”——探测人类尚未深入涉足的低热层大气, 带动了国际立方星项目的发展。

QB50 项目计划由 50 颗立方星组成星座, 实际发射 38 颗卫星, 包括 2 颗技术试验卫星和 36 颗科学探测卫星(图 9)。技术试验星开展项目可行性和有效载荷先导试验; 科学探测星分为 4 类: 10 颗携带由英国伦敦大学学院马拉德空间科学实验室(MSSL)研制的“离子和中性质谱仪(INMS)”, 用于

测量离子和中性粒子; 14 颗携带由德国德累斯顿工业大学(TUD)研制的“原子氧通量探测器(FIPEX)”, 用于测量低热层氧原子和氧分子的分布; 10 颗携带由挪威奥斯陆大学(UiO)研制的“多针朗缪尔探针(mNLP)”, 用于测量低热层等离子体的电子温度、密度等重要信息; 2 颗携带离轨装置, 在轨演示“阻力帆”离轨技术。中国西北工业大学、哈尔滨工业大学、南京理工大学、国防科技大学等高校研制的立方星<sup>[23]</sup>, 参与了地球大气低热层多点原位探测国际合作, 在轨运行 1 年半时间, 取得了很多科学成果。



图 9 QB50 两次发射任务介绍

Fig. 9 Introduction of QB50 two missions

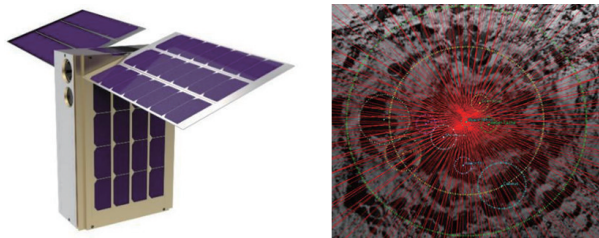
## 2.2 正在研制的月球和小行星探测立方星任务

### 1) 月球极区氢测绘(LunaH-Map)。

LunaH-Map 由亚利桑那州立大学负责设计、研制和运行, 质量约 13.6 kg, 将是太空发射系统(SLS)与猎户座飞船的首飞(EM-1)发射的立方星之一。EM-1 将搭载 13 个 6 U 大小的立方星, 全部用于开展环月任务, 部分任务还将达到月球以远区域<sup>[24]</sup>。LunaH-Map 到达月球轨道后将进行为期 60 天的科学探测, 利用两个中子光谱仪探测月球南极水冰, 绘制近月表的氢分布, 有望生成迄今为止月球水冰最详细的分布图, 揭示水冰的深度和分布的新细节, 为未来载人月球任务奠定基础(图 10)<sup>[25]</sup>。

### 2) 天火立方星任务(SkyFire)。

SkyFire 是洛克希德·马丁公司研制的 6 U 立方星, 将搭载 EM-1 任务发射<sup>[26]</sup>。它将首次采用全新的红外相机技术, 拍摄月球表面及其环境的图像; 完成飞越月球和数据收集后, 还将进行拓展的基于立方星的技术演示, 包括机动和操作, 支撑未来载人深空和火星探测任务中瓶颈问题的解决(图 11)。



(a) LunaH-Map 结构概念 (b) LunaH-Map 将开展的科学探测, 黄圈表示 LunaH-Map 高度为 8 km; 绿圈表示 LunaH-Map 高度为 12 km

图 10 LunaH-Map 结构及科学探测范围示意

Fig. 10 Structure and orbit ground track of LunaH-Map

### 3) 小行星起源卫星 AOSAT。

AOSAT 是亚利桑那州立大学研制的一个体积为 3 U 大小的科学实验室, 将成为世界上第一台立方星的离心机<sup>[27]</sup>。它将在立方星上进行一系列独特的科学和技术试验, 以回答太阳系如何形成和了解小行星和彗星表面动力学的基本问题<sup>[28]</sup>(图 12)。

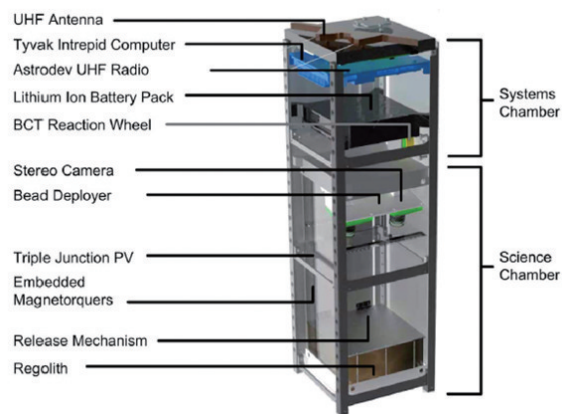


图 12 AOSAT I 设计(图片来源: NASA)

Fig. 12 Concept image of AOSAT I (Credit: NASA)

据不完全统计, 世界上基于立方星平台已开展空间科学任务多达 127 项<sup>[10]</sup>, 覆盖了空间天文、空间物理与太阳物理、空间地球科学、行星科学、空间生命等多个领域。

## 3 美欧航天强国重视发展立方星空间科学任务

美欧等航天强国或机构充分认识到了立方星

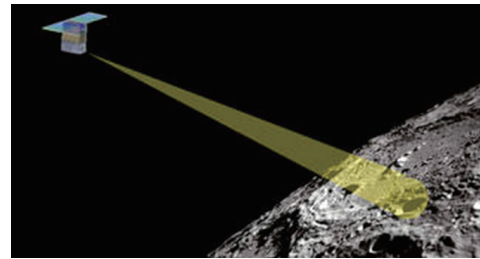


图 11 洛克希德·马丁公司的 SkyFire 立方星收集月球表面数据示意(图片来源: NASA)

Fig. 11 Concept image showing Lockheed Martin's SkyFire CubeSat, which will characterize and collect lunar surface data

在空间科学任务中的独特作用。从 2010 年开始 NASA 就实施了“立方星发射倡议(CSLI)”<sup>[29-30]</sup>, 每年为 1~6 U 立方星提供免费搭载机会, 表明基于立方星的科学研究应用越来越受到重视。NASA 还通过“百年挑战”项目中设立的“立方星探索挑战赛”为立方星提供搭载深空探测任务机会<sup>[31]</sup>, 使其能够在月球附近和更远深空执行先进的空间操作。

在 2017 年第 48 届月球与行星学会大会上, NASA 资助了 10 个利用小型卫星开展金星、月球、小行星、火星探测的项目, 其中多个项目均是基于立方星平台开展科学探测。例如马里兰大学的立方星紫外实验 CUVE 项目<sup>[32]</sup>, 利用 12 U 立方星, 测量紫外线吸收以及夜辉排放的金星大气动力学(图 13); 史密松天体物理天文台的立方星 X 射线望远镜 CubeX 项目<sup>[33]</sup>, 利用 12 U 立方星绘制月球的元素组成, 理解月球形成和演化史(图 14); 戈达德太空飞行中心的漩涡之上月球大气双卫星天文台 BOLAS 项目<sup>[34]</sup>, 使用 12 U 立方星调查月球的氢循环(图 15); 约翰逊宇航中心的科学和勘探立方星小行星遭遇战 CAESAR 项目<sup>[35]</sup>, 用 6 U 立方星群评估小行星的属性, 研究其物理结构、形成和演进史等(图 16)。2018 年, NASA 启动“天体物理学微型卫星研究”计划 ROSES, 面向天体物理学家征集利用小型卫星进行宇宙天体物理研究的建议<sup>[36]</sup>, 2019 年 6 月, NASA 宣布两个日球层立方星任务正式实施<sup>[37]</sup>。

2018 年, 欧洲空间局(ESA)公布了“如果一颗立方星被发往月球, 它能做什么?”为主题的探月立

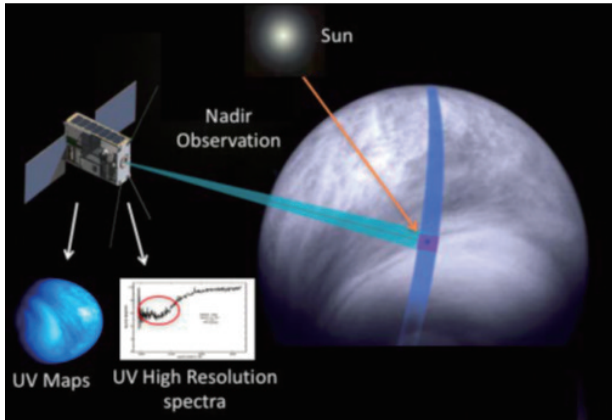


图 13 CUVE 任务概念  
Fig. 13 Art concept of CUVE

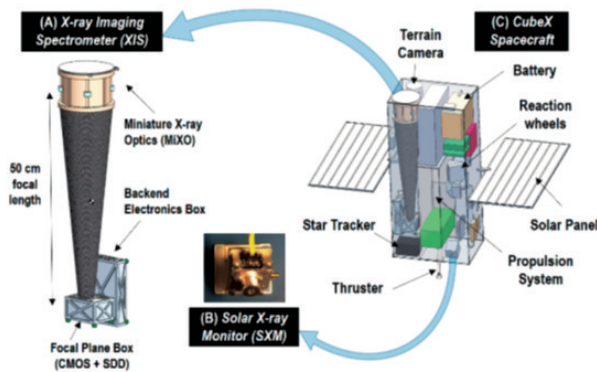


图 14 CubeX 的任务载荷  
Fig. 14 Two instruments onboard CubeX

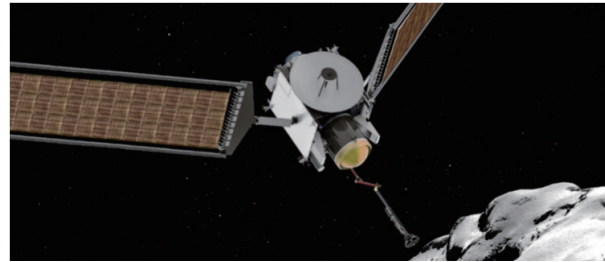


图 16 CAESAR 任务概念(图片来源: 维基百科)  
Fig. 16 Art concept of CAESAR

方星挑战赛的两个获胜方案:一是月球陨石撞击影响探测器 Lumio<sup>[38]</sup>,在月球背面地月 L2 点运行,探测月球夜间明亮的陨石撞击闪光,绘制陨石撞击全貌;二是月球挥发物和矿物测绘轨道器 VMMO<sup>[39]</sup>,聚焦月球南极附近永久阴影区的火山口,搜寻未来载人登月感兴趣的水冰和其他挥发物沉积物,同时测量月球辐射(图 17)。

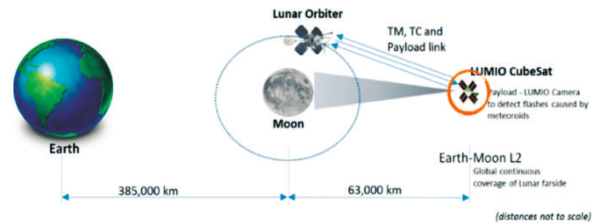


图 17 Lumio 任务概念图  
Fig. 17 Art concept of Lumio mission

日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)利用国际空间站的日本实验舱“希望”号 Kibo 多次释放立方星 Kibocube<sup>[40]</sup>(图 18),吸引了多个新兴航天国家的参与,2019年正面向国际社会开展第 5 轮任务征集。

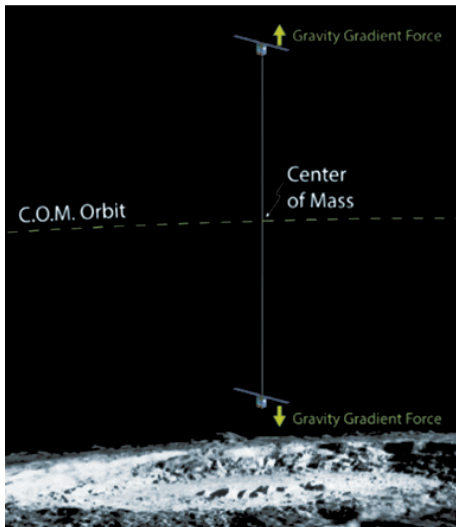


图 15 BOLAS 的双星探月过程(图片来源: NASA)  
Fig. 15 Two CubeSats, connected by a miles-long tether, would gather measurements on the moon

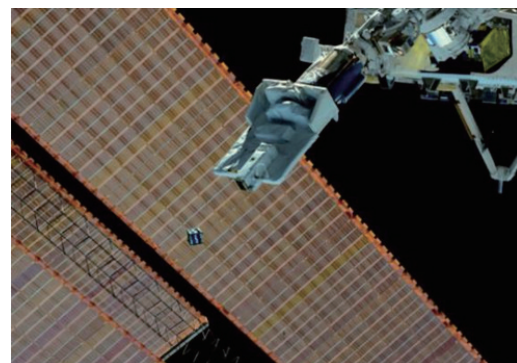


图 18 国际空间站 Kibo 舱释放 Kibocube(图片来源: JAXA)  
Fig. 18 Successful deployment of 1KUNS-PF (Kenyan Satellite, selected as first round of KiboCUBE) from Kibo

## 4 结论

中国立方星平台及载荷等相关技术日趋成熟,基于立方星参与了国际上部分空间科学探测项目。“十二五”期间以“悟空”“墨子号”等为代表的空间科学卫星产出了一批重大科学成果<sup>[41-43]</sup>,但这些卫星仍属于传统意义上的中型或大型卫星,未见中国原创和主导的利用立方星的空间科学探测计划。建议国内空间科学界进一步关注立方星的发展,利用该平台开展研究,与传统大中型空间科学卫星形成互补,增强并拓展相关领域的探测能力,有效降低任务难度并缩短研制周期,促进中国空间科学取得更多重大发现和突破。

### 1) 推进多点探测,获取多样化数据。

在现有大型卫星任务和地面观测设施基础上,立方星可以用作有针对性的空间科学探测工具,通过多个立方星构成星座,实现高频率、多手段、大范围的多点原位测量,增加观测区域,实施更多的科学观测任务,进一步有效提升观测能力。以空间物理和太阳物理领域为例,基于立方星平台既可以开展独立探测,也可以构成多点测量的星座/集群,聚焦不同探测目标,全面开展高能粒子、等离子体、太阳磁场、地球磁层、电离层和中高层大气等原位测量,为研究太阳—地球系统耦合关系提供多样化探测数据。

### 2) 补充探测手段,提高探测分辨率。

利用立方星平台,可以填补空间科学的很多空白,有效弥补传统大卫星进行探测的局限性,实现大型科学卫星与立方星(群/座)协同探测的互补,以及天基立方星探测与地基台站观测的协同。以空间地球科学领域为例,通过立方星多点或星座探测,可以在全球尺度上为极端天气监测、气溶胶或空气质量测量、全球植被及海洋观测,提供比单个大卫星更高的时间分辨率和多样化的探测数据,实现更全面的研究分析。此外,立方星开发周期较短,能对地球科学领域新的空间观测需求和相关新技术的使用进行更及时地响应。

### 3) 开展概念验证,培育重大空间科学任务。

为进一步推动中国空间科学的发展,中国应加

强对空间科学原创性想法和概念的培育力度,可部署立方星用于概念检验和关键技术验证。利用立方星成本低、研制周期短的优势,迅速佐证科学设想,消除科学家对空间技术验证的“畏难感”,有效降低任务难度,为推动空间科学重大任务立项奠定基础。以空间天文领域为例,立方星可以用于新兴的时域天文学观测,作为专用航天器长时间凝视某个感兴趣的天体或天域目标,还可以通过构成星座或阵列,进行多孔径干涉测量。此外,立方星可以作为新技术验证和传感器测试平台,降低大型空间天文台的研制与应用风险,为基于大卫星平台的空间天文观测任务提供先导技术验证。

## 参考文献(References)

- [1] 吴季. 空间科学任务及其特点综述[J]. 空间科学学报, 2018, 38(2): 139-146.  
Wu Ji. Characteristics and managements of space science missions[J]. Chinese Journal of Space Science, 2018, 38(2): 139-146.
- [2] 范全林, 王琴, 白青江. 2018年深空探测热点回眸[J]. 科技导报, 2019, 37(1): 52-64.  
Fan Quanlin, Wang Qin, Bai Qingjiang. Review of 2018 global deep space activities[J]. Science & Technology Review, 2019, 37(1): 52-64.
- [3] List of covers of Time magazine (1950s)[EB/OL]. [2019-03-15]. [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_covers\\_of\\_Time\\_magazine\\_\(1950s\)#1959](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_covers_of_Time_magazine_(1950s)#1959).
- [4] 吴季. 2016—2030年空间科学规划研究报告[M]. 北京: 科学出版社, 2016.  
Wu Ji. 2016-2030 Space Science Planning Research Report[M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [5] 范全林, 白青江, 王海名, 等. 从诺贝尔奖看空间科学对科技强国的贡献[J]. 科技导报, 2018, 36(15): 8-12.  
Fan Quanlin, Bai Qingjiang, Wan Haiming, et al. The Nobel Prize as an indicator of space science's contribution to world science and technology power construction[J]. Science & Technology Review, 2018, 36(15): 8-12.
- [6] 李明. 微小卫星发展的若干思考[J]. 航天器工程, 2016, 25(6): 1-5.  
Li Ming. Perspective on development of micro-small satellites[J]. Spacecraft Engineering, 2016, 25(6): 1-5.
- [7] Shkolnik E L. On the verge of an astronomy CubeSat revo-

- lution[J]. *Nature Astronomy*, 2018(2): 374–378.
- [8] Eric H, et al. Breakthrough of the year runners-up[J]. *Science*, 2014, 346(6216): 1444–1449.
- [9] ISIS– Innovative solutions in space[EB/OL]. [2019– 03– 15]. <https://www.isispace.nl>.
- [10] Nanosatellite & CubeSat database[EB/OL]. [2019– 03– 15]. <https://www.nanosats.eu>.
- [11] Gunter’s space page[EB/OL]. [2019–04–15]. <https://space.skyrocket.de>.
- [12] Trends in small satellite technology and the role of the NASA small spacecraft technology program[EB/OL]. [2019–03–15]. [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nac\\_march2017\\_blal\\_ida\\_sstp\\_tagged.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nac_march2017_blal_ida_sstp_tagged.pdf).
- [13] Lal Z, et al. *Achieving science with CubeSats: Thinking inside the box*[M]. Washington DC: The National Academies Press, 2016.
- [14] Jorgensen T M. *Doing science with University Cubesats* [C]//The 11th Appleton Space Conference. UK Oxfordshire, 2015.
- [15] Querejazu D, Randazzese L. *Small satellites, big missions* [R]. A report of the CSIS Defense–Industrial Initiatives Group, 2017.
- [16] Millan R M, Von Steiger R. *Small satellites for space science: A COSPAR roadmap document*[R]. 2017.
- [17] ISSI forum performing high–quality science on CubeSats [EB/OL]. [2019–03–15]. <http://www.issibern.ch/program/Forums/Program%20for%20ISSI%20CubeSat%20Forum.pdf>.
- [18] 8th interplanetary CubeSat workshop[EB/OL]. [2019–03–15]. <https://icubesat.org>.
- [19] CSSWE[EB/OL]. [2019–04–05]. <http://lasp.colorado.edu/home/csswe>.
- [20] Li X L, Selesnick R, Schiller Q. Measurement of electrons from albedo neutron decay and neutron density in near–Earth space[J]. *Nature*, 2017(552): 382–385.
- [21] Messier D. Two tiny ‘CubeSats’ will watch 2016 Mars landing[EB/OL]. [2019–04–02]. <http://www.space.com/29-489-marco-cubesats-mars-landing-2016.html>.
- [22] QB50[EB/OL]. [2019–04–02]. <https://www.qb50.eu>.
- [23] 何慧东, 李绍坤, 张召才. QB50 项目成功发射, 航天国际合作再立典范[J]. *国际太空*, 2017(11): 55–59.  
He Huidong, Li Zhaokun, Zhang Zhaocai. QB50 project successfully launched, and become a model for international cooperation in space[J]. *Space International*, 2017 (11): 55–59.
- [24] LunaH–Map[EB/OL]. [2019–04–02]. <http://lunahmap.asu.edu>.
- [25] Harbaugh J. LunaH– Map: University–built CubeSat to map water–ice on the moon[EB/OL]. [2019–04–03]. <https://www.nasa.gov/feature/lunah-map-university-built-cubesat-to-map-water-ice-on-the-moon>.
- [26] Mahoney E. NASA Selects lockheed Martin’s SkyFire CubeSat for EM– 1 secondary payload[EB/OL]. [2019–04–03]. <https://www.nasa.gov/feature/nasa-selects-lockheed-martin-s-skyfire-cubesat-for-em-1-secondary-payload>.
- [27] Mahoney E. NASA Announces university CubeSat space mission candidates[EB/OL]. [2019–04–03]. <http://www.nasa.gov/content/nasa-announces-sixth-round-of-cubesat-space-mission-candidates/#.VQMFLflht8E>.
- [28] Lightholder J, Thoesen A, Adamson E, et al. Asteroid Origins Satellite (AOSAT) I: An on–orbit centrifuge science laboratory[J]. *Acta Astronautica*, 2017(133): 81–94.
- [29] NASA’s CubeSat Launch Initiative[EB/OL]. [2019–04–05]. [https://www.nasa.gov/directorates/heo/home/CubeSats\\_initiative](https://www.nasa.gov/directorates/heo/home/CubeSats_initiative).
- [30] Jackson S. NASA announces tenth round of candidates for CubeSat space missions[EB/OL]. [2019–04–06]. <https://www.nasa.gov/feature/nasa-announces-tenth-round-of-candidates-for-cubesat-space-missions>.
- [31] Wilson J. STMD: centennial challenges[EB/OL]. [2019–04–06]. [https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial\\_challenges/index.html](https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/index.html).
- [32] Cottini V, Aslam S, D’Aversa E, et al. CUVE–Cubesat UV experiment: Unveil Venus’ UV Absorber with Cubesat UV mapping spectrometer[C]//European Planetary Science Congress, Riga, Latvia, 2017(11): 771–772.
- [33] Hong J, Romai S, et al. CubeSat X–ray telescope (CubeX) for lunar elemental abundance mapping and millisecond X–ray pulsar[C]//49th Lunar and Planetary Science Conference, Texas, United States, 2018.
- [34] Jenner L. NASA studies tethered CubeSat mission to study lunar swirls[EB/OL]. [2019–04–06]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/nasa-studies-tethered-cubesat-mission-to-study-lunar-swirls>.
- [35] Nakamura M K, Bermúdez L, et al. The CAESAR new frontiers mission: Contamination, recovery and curation [C]//49th Lunar and Planetary Science Conference, Texas, United States, 2018.
- [36] NASA solicitation and proposal integrated review and evaluation system[EB/OL]. [2019–04–07]. <https://nspires.nasaprs.com/external/solicitations/solicitations!closedPas>

- lmit.do.
- [37] 白青江, 范全林. 美国两个日球层物理小型科学任务致力于揭秘空间天气影响[J]. 空间科学学报, 2019, 39(4): 415-416.
- Bai Qingjiang, Fan Quanlin. Two small-scale physics missions of United States dedicated to revealing the effects of space weather[J]. Chinese Journal of Space Science, 2019, 39(4): 415-416.
- [38] Topputo F, Massari M, Bigg J. LUMIO: Lunar meteoroid impact observer[C]//iCubeSat workshop, Cambridge, UK, 2017.
- [39] Kruzelecky R V, Murzionak P, Lavoie J, et al. VMMO lunar volatile and mineralogy mapping orbiter[C]//48th International Conference on Environmental Systems, New Mexico, 2018: 1-20.
- [40] The university of Nairobi hands the first KiboCUBE CubeSat over to JAXA under UNOOSA-JAXA KiboCUBE programme[EB/OL]. [2019-04-07]. [http://global.jaxa.jp/press/2018/01/20180119\\_kibocube.html](http://global.jaxa.jp/press/2018/01/20180119_kibocube.html).
- [41] Ambrosi G, An Q, Asfandiyarov R. Direct detection of a break in the teraelectronvolt cosmic-ray spectrum of electrons and positrons[J]. Nature, 2017, 552: 63-66.
- [42] Yin J, Cao Y, Li Y H, et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers[J]. Science, 2017, 356(6343): 1140-1144.
- [43] Collaboration V, Collaboration I P N, Collaboration S. Multi-messenger observations of a binary neutron star merger[J]. The Astrophysical Journal Letters, 2017, 848(2): 1-59.

## Review on the global efforts in advancing space science with the CubeSats

SHI Peng, SU Xiaohua, WANG Qin\*, FAN Quanlin

Space Science and Deep Space Exploration Study Center, National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract** Space science encompasses all major frontier basic researches that base on spacecraft platforms to obtain experimental data and realize scientific discoveries. China has started to develop scientific satellites such as DAMPE, HXMT. The international scientific community has recognized CubeSats to have important effect on deep space exploration. The occident and institutions support CubeSat's scientific research, and have implemented some missions. Significant progress of CubeSat platform has also been made in China's commercial space and space technology demonstrations, which has laid an important foundation for scientists to make breakthroughs in space science.

**Keywords** Space science; CubeSats; scientific satellite ●



(责任编辑 卫夏雯)