

关于新一代旗舰型科学卫星 WFIRST 发展的分析

白青江, 范全林, 时蓬, 魏海燕

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 中国是航天大国, 但尚无重大科学目标牵引的大型战略性空间科学任务的经验。以美国新一代旗舰型空间天文学任务宽视场红外巡天望远镜(Wide Field Infrared Survey Telescope, WFIRST)为样本, 介绍了其科学目标和有效载荷, 梳理了任务剖面的数次更改和曲折的研发历程。将其与中国科学卫星系列的研制流程进行了比较分析, 以期为中国“十四五”乃至更长远的空间科学任务布局提供参考。

关键词 罗曼空间望远镜; 暗能量; 系外行星; 星冕仪; 空间科学任务

21世纪以来, 中国日益重视科学卫星等航天器平台对空间科学与探索不可或缺的作用。从“十二五”末开始, 悟空号、墨子号、实践十号和慧眼号系列中小型科学卫星先后发射升空, 为中国科研人员开展世界级科学研究奠定了重要的物质技术基础。载人航天和探月工程中, 神舟、天宫、嫦娥的空间科学与应用取得重要进展。但毋庸置疑, 中国空间科学刚刚开始走近世界舞台的中央, 科学产出和国际影响力仍有提升空间, 迄今尚无重大科学目标牵引的大型科学任务的经验。美国作为世界空间科学强国, 其国家航空航天局(NASA)在20世纪以

来实施了以哈勃空间望远镜(HST)等4个旗舰型任务为代表的大型空间天文台计划(Great Observatories), 引领了当代基础科学研究的多项革命性突破^[1]。对标科技强国、航天强国建设要求, 中国也将布局实施若干大型战略性空间科学任务。

NASA的旗舰型任务, 指的是耗资最多、能力最强的大型战略性科学任务。其中, “大型”是指预算基本上在各学科领域最为高昂。通常情况下, 一项天体物理学或行星科学的旗舰型任务预算会超过10亿美元。“战略性”任务指的是, 正如美国科学院(NAS)关于空间科学诸学科(如行星科学)的“十

收稿日期: 2020-08-20; 修回日期: 2020-10-16

基金项目: 空间科学(二期)先导专项预先研究项目(XDA15010000); 中国科学院重点部署项目(ZDRW-KT-2019-1)

作者简介: 白青江, 副研究员, 研究方向为空间科学发展战略, 电子信箱: bqj@nssc.ac.cn

引用格式: 白青江, 范全林, 时蓬, 等. 关于新一代旗舰型科学卫星 WFIRST 发展的分析[J]. 科技导报, 2021, 39(11): 38-45; doi: 10.3981/j.

issn.1000-7857.2021.11.005

年调查”(Decadal Survey)系列报告中阐述的,在多项战略优先级上取得领先的空间科学任务。NASA的4个空间科学领域,即天体物理学、行星科学、日球层物理学和地球科学,都拥有旗舰型任务。旗舰型任务与其他类型任务不同,不用通过竞争遴选程序。任务研发由NASA科学任务部指定喷气推进实验室(Jet Propulsion Laboratory, JPL)或NASA某个研究中心负责,遵循“一事一议”(ad-hoc)模式,无法提前确定发射进程,也没有统一的预算规模^[2]。

美国新一代旗舰型空间天文学任务宽视场红外巡天望远镜(Wide Field Infrared Survey Telescope, WFIRST)属于NASA科学任务部(SMD)天体物理学领域“系外行星探索”计划,由NASA戈达德航天飞行中心(GSFC)管理,现任首席科学家(project scientist)为杰弗瑞·克鲁克(Jeffrey Kruk),他于2017年接替尼尔·盖勒斯(Neil Gehrels,于同年去世,NASA在其去世后将其天文台重新命名为“Neil Gehrels Swift Observatory”),成为该项目首席科学家。2020年5月,NASA沿循惯例,以NASA第一任空间天文学部主任、“哈勃之母”南希·格雷丝·罗曼(Nancy Grace Roman)命名WFIRST,简称罗曼空间望远镜。参与该项目的团队来自JPL、空间望远镜科学研究所(STScI)、红外处理和分析中心(IPAC)以及覆盖全美研究机构的科学团队;主要的工业合作伙伴是波尔(Ball Aerospace)航空航天公司、L3哈里斯(L3 Harris)技术公司和Teledyne图像传感器公司。WFIRST成本上限为32亿美元,如果将5年的科学运行费用和用于技术验证的星冕仪计算在内,将攀升至39.34亿美元。

1 WFIRST 科学任务描述

20世纪与21世纪之交,天文学的2个重大发现持续影响着国际空间科学研究的焦点和热点。1995年,瑞士米歇尔·马约尔和迪迪埃·奎洛兹发现了第一颗围绕类太阳恒星运转的系外行星飞马座51b,使得发现和研究系外行星成为当代天文学最有活力的一个新领域,两人也获颁2019年诺贝尔物理学奖^[3]。2011年的诺贝尔物理学奖授予了3

位美国科学家——萨尔·波尔马特、布莱恩·保罗·施密特(美国、澳大利亚双重国籍)和亚当·盖伊·里斯,以表彰他们1998年通过观测遥远超新星发现宇宙的加速膨胀。1998年,“暗能量”概念由美国理论宇宙学者迈克尔·特纳(Michael Turner)提出,在13年后被物理学界正式接纳,但暗能量的本质仍待揭示,成为当前天文学亟待揭榜的重大科学问题。

有鉴于此,WFIRST被美国科学院2010年《新世界·新视野——天文与天体物理学十年调查》报告推荐为未来大型任务的最高优先级,旨在揭开暗能量、系外行星和红外天体物理学领域的奥秘^[4]。它将于2025年左右发射,运行在日地拉格朗日L2点的拟晕(Quasi-Halo)轨道。设计寿命5年,并支持5年延寿运行,但运载火箭选型尚未确定。

1.1 至关重要的科学目标

NASA对WFIRST寄予厚望,其科学目标聚焦为:开展对星系和星系团的高(银)纬度巡天以及遥远的Ia型超新星巡天,研究暗能量现象;开展系外行星普查,对系外行星进行直接成像和表征的前沿技术进行演示验证。

暗能量的本质决定着宇宙的命运^[5],解释宇宙的加速膨胀是现代科学最大的挑战之一,将掀起一场新物理学革命,世界主要科技强国都在集中优秀科学家的力量,投入巨资开展研究^[6]。WFIRST通过光度和光谱巡天,可对暗能量开展包括超新星、重子声学振荡(BAO)、(弱)引力透镜、星系的红移空间畸变(RSD)等探针方法在内的多重探测,同时测量宇宙的背景膨胀历史和大尺度结构形成历史,有望解答以下难题:宇宙加速膨胀是由暗能量或宇宙尺度上广义相对论的失效造成的吗?如果是由暗能量造成的,其能量密度是否在空间和时间上保持不变,或随着宇宙的历史发生演变?

系外行星的探测和发现正在革新天文学和行星科学,其中对类太阳恒星宜居带类地行星进行直接成像观测和大气光谱分析,将有望捕获系外生命信号,有助于回答“人类在宇宙中是否孤独”问题^[7]。为此,WFIRST将对系外行星开展普查,旨在回答宇宙中地外生命的问题,即:太阳系在宇宙中的普遍性如何?在行星系统寒冷的外部区域,存在什么

样的行星? 什么因素确定了类地行星的宜居性?

根据 NASA 统计,截至 2021 年 6 月,已发现系外行星系统 3271 个、系外行星候选者 6625 个,其中确认的系外行星 4401 个。在确认的系外行星中,75.8% 通过凌星法发现,19.3% 通过视向速度法发现。但作为 WFIRST 的一个核心科学目标,它将通过微引力透镜法和直接成像法来发现和研究系外行星。前者将凝视银河系中心恒星密集的银核区域,通过微引力透镜事件,预期在恒星的宜居带及其外围区域发现小质量的系外行星,以及地球质量的“流浪行星”,克服 Kepler 和 TESS 等空间望远镜凌星法对短周期系外行星的“观测选择效应”,填补系外行星图谱的空缺;后者将利用星冕仪对邻近系外行星或原行星盘进行直接成像,并表征这些行星的大气组分。特别地,迄今通过成像方式发现的系外行星仅 53 颗,其中 47 颗由地面望远镜发现,6 颗由空间望远镜发现,主要是距宿主恒星较远的巨星^[8]。

NASA 声明,WFIRST 将不设专有数据期,所有的观测时间都需要通过竞争申请。在设计寿命内,70% 的时间用于微引力透镜观测,25% 用于一般观测者 (General Observer) 计划,5% 用于星冕仪技术验证。在延寿期内,一般观测者计划很可能变成 WFIRST 的主要内容,涵盖行星科学、恒星物理、星系物理学以及系外天体物理学等。

1.2 极具挑战性的有效载荷

作为一个空间天文望远镜,WFIRST 采用了三镜消像差光学系统 (TMA),其光学设计见图 1,主镜 (T1) 大小与哈勃空间望远镜 (HST) 相同 (直径 2.4 m),但重量仅为 HST 的 1/5。WFIRST 的其他 2 个有效载荷分别是宽视场仪器 (WFI) 和星冕仪 (CGI)^[9]。WFIRST 的 3 个有效载荷协同遂行观测,

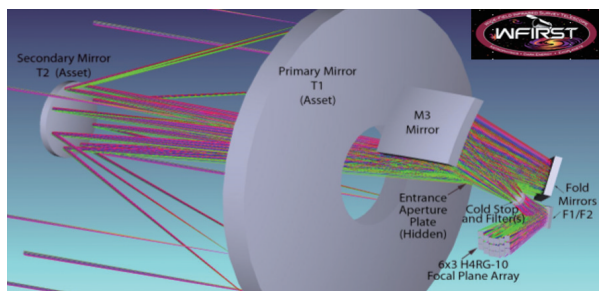


图 1 WFIRST 光学设计 (来源: NASA)

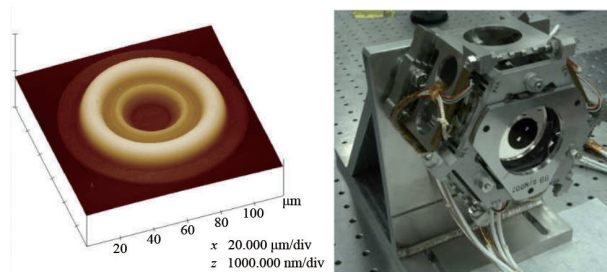
其中 TMA 的主镜负责收集来自宇宙天体/星系的微弱光线/电磁辐射能量,放大它们的角直径、提高分辨率。WFI 和 CGI 两个有效载荷都具有成像和光子 (辐射) 收集器功能,但承载不同的科学目标,两者的交集是系外行星领域。

WFI 是 WFIRST 的主载荷,是一台具有 2.88 亿像素的多波段近红外相机,可开展暗能量观测、系外行星微引力透镜法搜寻,以及近红外巡天等任务。WFI 由 2 套部件构成,一是 1 个照相机及与之配套的 7 个滤光片,可实现从可见光到近红外 (0.48~2.0 μm) 的高精度宽视场成像;二是 2 个能开展无缝光谱分析的光谱仪,分别是棱栅 (Grism) 光谱仪 (1.00~1.93 μm) 和棱镜 (Prism) 光谱仪 (0.75~1.80 μm)。WFI 相机的红外焦平面利用了 10 μm 像素的 4 k×4 k 碲镉汞 (HgCdTe) 红外探测器,呈 6×3 阵列,其视场有效面积达 0.281 平方度,比 HST 红外仪器的视场大 100 倍,可用较少的时间获得更大的巡天区域。WFI 由 GSFC 负责研制^[10]。

CGI 是 WFIRST 的技术验证载荷,属于内置星冕仪,包括 1 台光学相机和 1 个单缝棱镜光谱仪,它们均工作在 0.50~0.80 μm 的可见光到近红外波段。与 WFI 相比,CGI 的视场直径仅 18.3 cm,视场太小不宜巡天,仅能观测固定目标,对邻近的单个系外行星进行高对比成像和光谱学研究,有望拍摄小于 10 pc 的类太阳恒星周围的超级地球及类海王星的图像,为 NASA 下一代旗舰任务,如系外行星宜居空间天文台 (HabEx) 和大型紫外-光学-红外探测 (LUVOIR) 卫星任务,开展邻近宜居类地行星直接成像和表征奠定基础。

CGI 的研发将经历 9 个里程碑,以确保其技术成熟度 (TRL) 达到 WFIRST 要求。CGI 将实现空间望远镜的多个首次:使用数值优化、精密制造的星冕仪掩膜;可进行高阶波前校正的大幅面变形镜;低阶波前传感和控制系统以及用于低通量光子计数的电子倍增 CCD (EMCCD) 图像传感器。CGI 通过更换掩膜和光阑的组合,可在 3 种观测模式之间切换,开展极富挑战性的关键技术验证:利用透射式混合型里奥 (Lyot) 星冕仪开展宽波段成像;利用反射式异形瞳孔切趾型星冕仪实现另 2 种模式,即

微透镜(lenslet-based)积分现场光谱仪(IFS)光谱成像以及原行星盘宽波段成像。图2是里奥星冕仪的掩膜原子力显微镜扫描图像和快速倾斜镜(FSM)实物图。CGI由JPL负责研制^[11]。



(a) 原子力显微镜扫描图像 (b) 快速倾斜镜实物

图2 WFIRST的里奥星冕仪掩膜图像

系外类地行星直接成像探测极具挑战性。对其进行直接成像探测和光谱分析是未来确认系外生命特征信号的关键技术^[12]。CGI的系外行星分辨能力将比HST和詹姆斯·韦伯空间望远镜(JWST)等搭载的星冕仪高2~3个数量级。它利用主动光学技术控制2个各具有48×48个促动器的变形镜,可弥补望远镜镜面上小于一DNA链宽度的微小瑕疵和变形;再通过掩膜对宿主恒星衍射光的抑制,以及光阑的遮挡,实现了CGI优于 10^{-8} 的高对比度成像,最终使得隐藏于宿主恒星耀眼光芒中的系外行星得以现身。

2 WFIRST的发展剖析

WFIRST作为NASA继HST、JWST之后的新一代旗舰型科学卫星,其方案几经修改,并多次面临取消。在多重压力之下,项目团队努力推动其研发进程。目前,已进入全面的硬件生产和测试阶段,即NASA Phase C阶段^[13]。

2.1 任务设计几经修改

WFIRST可追溯至NASA与美国能源部(DoE)的“联合暗能量任务”(JDEM)^[14]。2008年,NASA和DoE签署了JDEM的谅解备忘录,旨在研制用于观测暗能量的空间望远镜。

2010年,《新世界·新视野——天文与天体物理学十年调查》报告将JDEM与另外2个科学任务,

即近红外巡天探测卫星(NIRSS)和微引力透镜行星探测卫星(MPF),整合为WFIRST,并将其推荐为未来大型任务的最高优先级,此时望远镜的设计口径是1.3 m。

2011年1月,美国国家侦察局(NRO)向NASA提出,可以向它提供2架锁眼(keyhole)光学侦察卫星遗留的望远镜。随后,NASA组织科学家论证了这2架望远镜开展空间天文研究的可行性。同年8月,NASA接受了NRO赠予的2架完整、全新的2.4 m口径望远镜。NRO捐赠的唯一条件是禁止使用其开展对地观测活动。虽然NRO认为这些部件对于间谍侦察和情报收集已经过时,但科学家觉得它仍是先进的光学系统^[15]。

2012年,NASA研究发现NRO赠予的望远镜适用于WFIRST项目,遂决定使用其中一个望远镜作为其研制基础,并于2013年修改了原始的1.3 m口径设计方案。在基线设计中,除了宽视场仪器,还包括一个对系外行星直接成像的星冕仪。2012年6月,NASA正式对外宣布这一事件,引发科学界轰动,并将WFIRST名称修改为“宽视场红外巡天望远镜-聚焦天体物理学的望远镜资产”(WFIRST-AFTA)。NASA目前还没有就如何使用赠予的另一架望远镜进行规划和预算,暂时将作为该任务的备份。

2015年,WFIRST的轨道设计由地球静止轨道(GEO)变更为日地L2点^[16],其主要原因是为了充分利用L2点优于地球轨道的空间天文观测环境,不仅便于抑制源于太阳、地球和月球的杂散光,同时也利于WFIRST保持近红外观测必须的深空低温热稳定性,使其获取的数据与运行于低地球轨道(LEO)的HST相比将有10倍的提高。另一个理由是符合NASA对NRO的承诺,WFIRST仅用于观测宇宙星空,不会指向地面。2015年12月,任务通过NASA任务概念评议。2016年2月,NASA批准WFIRST进入策划阶段,并将WFIRST-AFTA重新命名为WFIRST。

2.2 项目研发进程梳理

NASA的空间飞行项目生命周期包括3个任务期、7个研制阶段,如图3所示。其中,3个任务期分

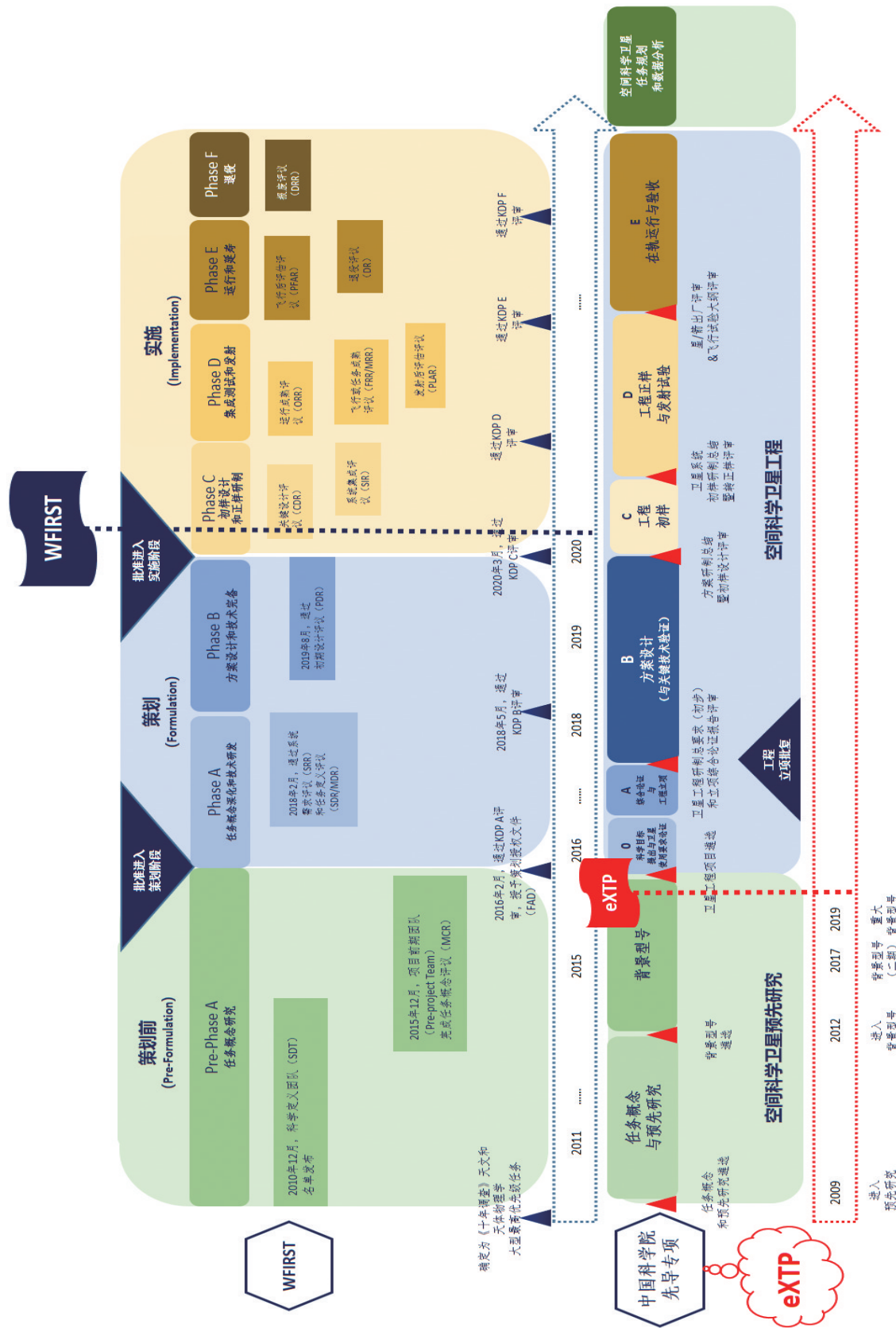


图3 WFIRST 项目生命周期及其与空间科学先导专项对比

别指策划前期(Pre-Formulation)、策划(Formulation)和实施(Implementation)。7个研制阶段中,Prephase A属于策划前期,Phase A和B大致属于策划期,Phase C-F属于实施期^[17]。鉴于中美空间科学任务研制阶段不尽相同^[18],为便于国际交流,本文以中国科学院空间科学先导专项(下文简称“先导专项”)为例,结合大型空间天文望远镜任务“增强型X射线时变和偏振空间天文台”(enhanced X-ray Timing and Polarimetry, eXTP)^[19],在图3中同步对双方研制阶段进行了映射。

2010年12月,NASA发布WFIRST的科学定义团队(SDT)成员名单,进入Pre-Phase A。在此期间,开展了广泛的、满足NASA目标和需求的概念研究,确定管理和技术方法,并遴选可接受的替代方案。2015年12月,完成任务概念评议(MCR)。概念研究完结后,NASA科学任务部主任(MDAA)授予其策划授权文件(FAD)。

2016年2月,WFIRST通过了其研发进程中最重要的里程碑节点,即关键决策点(KDP-A)评审,NASA正式启动任务,进入策划期,也即Phase A和Phase B阶段,批准其进入研制和发射流程。在Phase A,2018年2月,项目团队通过系统需求评议(SRR)对技术方法进行提炼;开展任务定义评议(SDR/MDR),对初步项目方案进行开发。2018年5月,通过KDP B评审,进入Phase B。2019年8月,通过初期设计评议(PDR)。

2020年3月,WFIRST通过KDP C评审,进入Phase C,从此进入实施时期。未来,WFIRST项目还将经历8次任务研制阶段的过程评议和3次关键点评审。

需要指出的是,WFIRST的Phase C不包含中国先导专项正样阶段有效载荷交付后的集成和整星测试阶段,仅为全部初样阶段与部分正样阶段^[20]。就eXTP项目而言,2009年11月,其前身XTP获得空间科学预先研究项目资助;2012年10月,进入空间科学先导专项背景型号;2017年12月,XTP发展成为eXTP,获得空间科学先导专项(二期)背

景型号支持;2019年初再获“重大”背景型号支持,开展了部分方案研究,但尚未开展工程立项前的相关综合论证工作。也就是说,eXTP目前尚未完成图3中的“空间科学卫星预先研究”阶段的全部工作,未进入“空间科学卫星工程”阶段。与WFIRST发展周期相映射,从严格意义上讲,eXTP目前对应于NASA Pre-Phase A阶段。

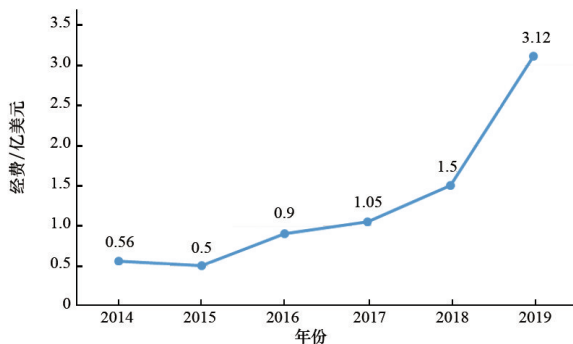
可以看出,WFIRST从2010年进入NASA Pre-phase A,到2020年3月进入全面的硬件生产和测试的Pre-phase C,就已历时10年,这也体现了旗舰型科学任务周期长的特点。

2.3 以退为进获得拨款

2020年2月,美国政府公布了NASA的2021财年预算,高达252.46亿美元,比上个财年增长12%。然而,鉴于JWST任务不断延迟、经费不断攀升,为力保JWST研发及其2021年的发射窗口,NASA建议彻底终止旗舰型任务WFIRST的研发^[21],但2020年12月,美国国会决定为NASA科学任务部增加10亿美元的预算,其中约一半将用于WFIRST任务的研发^[22]。WFIRST先前就已遭遇了数次经费削减,甚至面临被取消的威胁,这次它又峰回路转,摆脱了当前的困境。

以2019财年为例子。2018年2月,在NASA的2019财年预算申请中,WFIRST经费严重缺乏面临取消;原本应于2018年10月表决的2019财年预算由于政府与国会间的政治角力,被拖延至2019年2月,WFIRST“意外”出现在时任美国总统特朗普签署的预算法案中。类似情况不断重演。NASA于2019年3月公布的2020财年预算中,WFIRST再次面临取消。2020年2月公布的NASA的2021财年预算,NASA建议彻底终止该项目的研发。2020年12月27日,特朗普签署了国会通过的2021年预算法案,WFIRST任务获约5亿美元的预算。

然而,该任务却“意外”持续地获得了年度拨款,且年度拨款金额总体呈上升趋势,让人不得不惊诧于NASA“以退为进”力保旗舰型科学卫星的博弈策略。其近年的投资情况如图4所示。



2016—2019年数据分别来自2018—2021财年预算中相应实际到位经费^[23]; 2014—2015年数据来自SPACE.com新闻^[24]

图4 WFIRST任务近年来实际投入

3 结论

罗曼空间望远镜聚焦暗能量和系外行星发现和表征等当代科学前沿最具挑战性的问题,科学家和管理部门已坚持推进10余年。中美国情不同,空间科学发展的道路不尽相同。鉴于美国财年预算等的原因,NASA为这一旗舰型项目的巨额费用采取了以退为进的策略。目前,它已开始全面的硬件生产和测试,进入实施期,并预留了与外置星冕仪——星翳(starshade, 遴选中)在轨编队飞行的机会^[25]。相信罗曼望远镜任务未来能成功实施。

中国有重大科技专项、空间科学先导专项、民用航天等不同的渠道,建设航天强国,未来还会组建空间科学与探索国家实验室。我们期待多方协同,发挥市场经济条件下新型举国体制优势,走出一条中国大型空间科学任务实施的特色之路,围绕极端宇宙条件下物理规律、引力波空间探测和邻近系外类地行星表征等科学前沿,加快论证实施eXTP^[26]、空间引力波探测太极计划/天琴计划等大型科学卫星任务,加快前瞻部署发现地球2.0和邻近系外类地行星表征等项目。

参考文献(References)

[1] 范全林, 白青江. 美国空间科学的发展及其启示[J]. 科技导报, 2019, 37(21): 73-87.
 [2] Large strategic science missions[EB/OL]. [2020-05-11]. https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Strategic_Science_Mis-

sions.
 [3] 胡永云. 寻找太阳系外行星——2019年诺贝尔物理学奖成果简析[J]. 科技导报, 2019, 37(24): 23-29.
 [4] Committee for a Decadal Survey of astronomy and astrophysics, board on physics and astronomy, space studies board, division on engineering and physical Sciences. New worlds, new horizons in astronomy and astrophysics [R]. Washington: The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2010.
 [5] 张新民, 陈学雷. 暗物质、暗能量研究进展及中国的机遇[J]. 中国科学院院刊, 2011, 26(5): 496-503.
 [6] 赵公博. 暗能量和加速膨胀的宇宙[J]. 科学通报, 2018, 63(24): 2422-2428.
 [7] 窦江培, 朱永田, 任德清. 太阳系外行星的研究现状[J]. 自然杂志, 2014, 36(2): 124-128.
 [8] Exoplanet and candidate statistics[EB/OL]. [2020-06-10]. https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts_detail.html.
 [9] Observatory and instruments[EB/OL]. [2020-05-22]. <https://roman.gsfc.nasa.gov/observatory.html>.
 [10] Wide Field Infrared Survey Telescope[EB/OL]. [2020-05-16]. https://nasa.fandom.com/wiki/Wide_Field_Infrared_Survey_Telescope.
 [11] WFIRST space telescope fitted for 'starglasses'[EB/OL]. (2010-09-25) [2020-06-01]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/wfirst-space-telescope-fitted-for-starglasses>.
 [12] 沈宇裸, 窦江培. 太阳系外行星全区域高对比度成像设计与数值模拟[J]. 天文研究与技术, 2020, 17(1): 68-75.
 [13] Universe-studying, planet-finding mission approved by NASA[EB/OL]. (2020-03-02) [2020-04-27]. <https://exoplanets.nasa.gov/news/1630/universe-studying-planet-finding-mission-approved-by-nasa/>.
 [14] Wide Field Infrared Survey Telescope[EB/OL]. [2020-06-05]. https://nasa.fandom.com/wiki/Wide_Field_Infrared_Survey_Telescope.
 [15] NASA has a mission for grounded spy telescopes[EB/OL]. (2012-06-06) [2020-04-27]. <https://www.spaceflightnow.com/news/n1206/04nronasa/>.
 [16] Nancy Grace Roman Space Telescope[EB/OL]. [2020-06-05]. https://en.wikipedia.org/wiki/Nancy_Grace_Roman_Space_Telescope.
 [17] NASA headquarters. NASA space flight program and project management Handbook[M]. Washington: Office of the Chief Engineer, 2014.

- [18] 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.
- [19] Zand J J M, Bozzo E, Zingale M, et al. Observatory science with eXTP[J]. Science China(Physics, Mechanics & Astronomy), 2019, 62(2): 1-42.
- [20] 中国科学院. [2013]299号. 中国科学院战略性先导科技专项空间科学卫星工程项目管理实施细则(暂行)[A]. 北京: 2013.
- [21] Trump's 2021 NASA budget proposal axes 2 telescopes, 2 Earth science missions & STEM grants[EB/OL]. (2020-02-10) [2020-05-11]. <https://www.space.com/nasa-2021-budget-cuts-earth-science-telescopes-stem.html>.
- [22] Congress comes through for NASA science, but not Artemis[EB/OL]. (2020-12-23) [2021-04-29]. <https://www.planetary.org/articles/nasa-fy2021-budget-wrap-up>.
- [23] Budget documents, strategic plans and performance reports[EB/OL]. [2020-05-04]. <https://www.nasa.gov/news/budget/index.html>.
- [24] NASA's next major space telescope project officially starts in February[EB/OL]. (2016-01-07) [2020-04-28]. <https://www.space.com/31533-nasa-wfirst-major-space-telescope-project.html>.
- [25] Starshade to enable first images of earth-sized exoplanets [EB/OL]. (2016-08-25) [2020-05-11]. <https://science.nasa.gov/technology/technology-highlights/starshade-enable-first-images-earth-sized-exoplanets>.
- [26] Zhang S N, Santangelo A, Feroci M, et al. The enhanced X-ray timing and polarimetry mission-eXTP[J]. Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2018, 62(2): 029502.

On the development of NASA's next generation flagship scientific mission WFIRST

BAI Qingjiang, FAN Quanlin, SHI Peng, WEI Haiyan

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

Abstract As a space power, China hasn't launched a large-size mission driven by scientific objectives yet. For a case study, the paper investigates the development of NASA's next-generation astrophysics mission—wide field infrared survey telescope (WFIRST), a flagship/large-size mission. Despite that WFIRST has been confronted with cancellation in NASA FY budgets during the past few years, the project passed a critical programmatic and technical milestone in March 2020, and was given the official green light to begin hardware development and testing (Phase C). In the following May, NASA renamed the telescope after Nancy Grace Roman, i.e., Nancy Grace Roman Space Telescope, which shows the mission's strong vitality. Roman Space Telescope aims to conduct dark energy research, exoplanet search and near-infrared survey, while demonstrating the coronagraph's technology for direct imaging of Earth-like exoplanets. WFIRST fits for the NASA's Vision and Mission, and will strengthen US leadership in space science, and its development somehow provides lessons learned about flagship missions.

Keywords space telescope; dark energy; exoplanet; coronagraph; flagship science mission ●



(责任编辑 王丽娜)