

### 在茫茫宇宙中寻找宜居行星,中国科学家拟对银河系类地行星开展“普查”

# 地球2.0:人类第二个家园会是“流浪地球”吗?

■本报记者 许琦敏

浩瀚宇宙中,地球是人类迄今所知唯一拥有生命的行星。在银河系的千亿恒星中,有没有类似地球的行星也存在有生命?或者会不会有宜居的类地行星,可以成为人类在地球以外的第二个家园?

进入21世纪,面对地球上人口爆炸、气候变化、资源耗竭等一系列生存挑战,伴随深空探测技术的发展,人类开始尝试大面积搜索宇宙中的类地行星。如今,中国科学家也将加入到搜寻队伍中。

在中国科学院战略先导项目“地球2.0”支持下,来自中科院上海天文台、微小卫星创新研究院、上海技术物理研究所、西安光学精密机械研究所和中国科技大学的100多位科研人员,联手开展技术攻关,以期在四年后将望远镜送入太空,对银河系中的类地行星开展“普查”。

科学家预计,此次大范围搜索将能找到约5000个类地行星、约200个流浪行星(不围绕任何恒星转的行星),还有十几个“地球2.0”(适宜人类居住的类地行星)。

## 寻找“地球2.0”

### 人类已走到关键路口

行星是宇宙中最基本的天体之一,也是生命和文明的摇篮。宇宙中是否存在其他的智慧生命?是否存在另一个人类宜居的地球?对行星的探测及其形成演化的研究,承载着人类渴望揭开生命起源奥秘、寻求地外生命的强烈愿望。

近20年来,随着深空探测技术和系外行星研究的飞速发展,以及一系列相关关键技术逐步成熟,人类已经走到了发现“第二个地球”的关键路口。

“地球2.0”项目负责人、中国科学院上海天文台葛健教授介绍,人类要寻找的“地球2.0”得符合两个“相似”——恒星与太阳相似,行星与地球相似。因此,天文学家把行星半径为0.8-1.25个地球半径、处于恒星系宜居带的类地行星称为“地球2.0”。

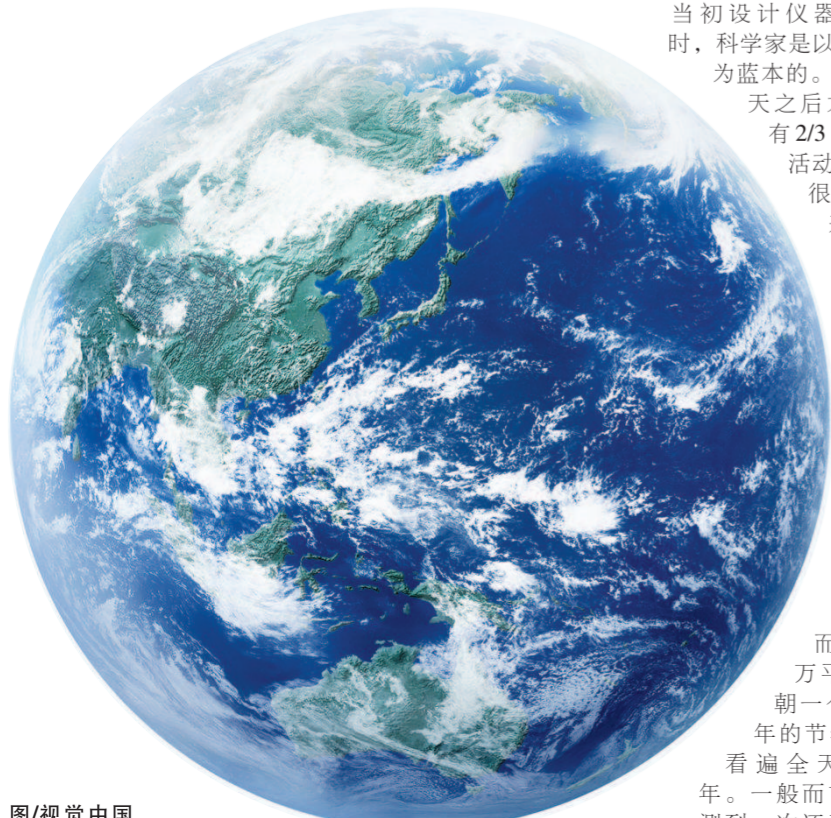
其实,这样的条件非常苛刻。葛健解释,如果行星半径不足0.8个地球半径,那它很可能留不住行星表面的大气层,人类肯定无法长期居住;如果行星半径太大,那么过重的质量会导致其表面到处有火山喷发,同样无法具备产生生命的稳定环境。此外,这颗行星还须处于恒星系中不太冷也不太热的“宜居带”。

尽管条件严苛,但以宇宙之广袤,能够入围的行星也应该不少吧?根据一项理论研究,如果太阳系具有代表性(但遗憾的是,最新观测结果表明,太阳系的行星在银河中不具有代表性),那么在46亿年前太阳系诞生时,宇宙中只有约12%可能适合人类居住的行星产生,即使再过60亿年太阳寿命终结,这个诞生宜居行星的进程仍将继续。也就是说,宇宙中的类地行星还没有大量产生。

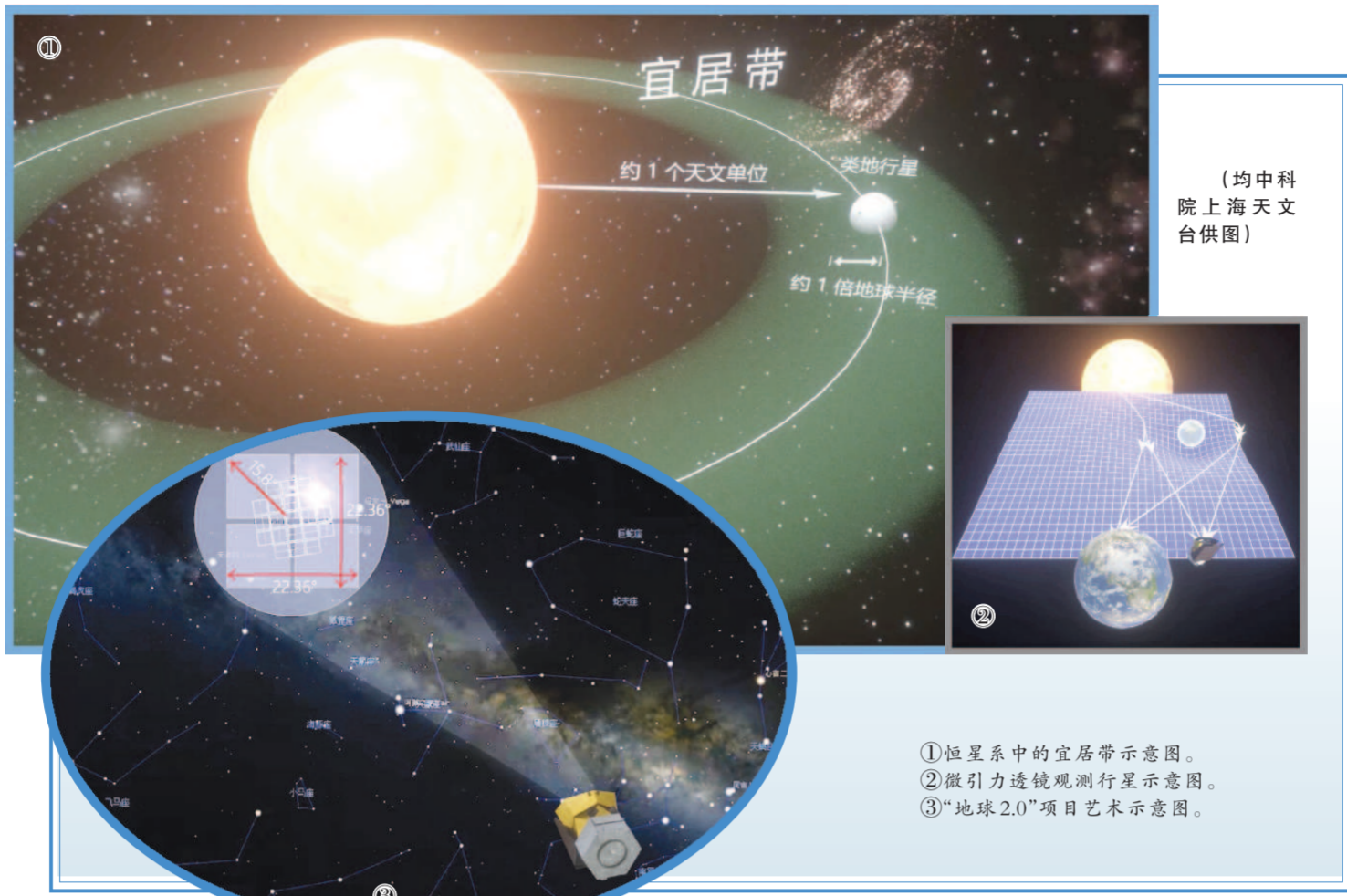
自初中读了美国宇宙学家乔治·伽莫夫的《从一无到有》,葛健就对了解太阳系行星起源以及生命是否在宇宙中普遍存在等问题,产生了浓厚兴趣。在兴趣的指引下,他从中国科学技术大学近代物理系毕业后,前往美国亚利桑那大学攻读天文学博士。

1995年,葛健正在攻读博士时,两位瑞士天文学家米歇尔·麦耶和迪迪埃·奎洛兹宣布,他们发现了太阳系外热木星行星(两人因此获得2019年诺贝尔物理学奖)。于是,葛健决定在博士研究工作完成后,投身系外行星的寻找。

2006年,他主导的科研团队利用全新技术光学干涉光谱仪,在距离地球约100光年的地方,捕捉到了一颗围绕幼年恒星运转的系外行星“ET-1”,由此成为第一个发现系外行星的华人天文学家。2018年,他和团队经过130次以上的观测和后续数据合并分析,在《星际迷航》故事中新波克家乡的波江座40A恒星周围,发现了一颗类似瓦肯星的行星,



图/视觉中国



(均中科院上海天文台供图)

- ①恒星系中的宜居带示意图。
- ②微引力透镜观测行星示意图。
- ③“地球2.0”项目艺术示意图。



## 宜居带

宜居带指一颗恒星周围的一定距离范围,在这一范围内,恒星传递给行星的热量适中,水可以以液态形式存在。一般认为,液态水是生命出现和存续不可缺少的因素。因此,如果一颗行星恰好落在这一范围内,那么它就被认为有更大的机会拥有生命或至少拥有生命可以生存的环境。

在许多恒星系中,这样的宜居带可能只有窄窄的一条,就像太阳系八大行星,与地球相邻的金星、火星都不适合人类生存。

被称为“超级地球”。

2009年,美国国家航空航天局(NASA)发射开普勒太空望远镜,核心目标是发现类太阳恒星周围的宜居类地行星,这也是人类第一次对银河系行星种群进行普查。

## 开普勒的遗憾

### 给后来者留出探索空间

令人遗憾的是,开普勒望远镜升空仅四年,就发生了故障。天文学家对此感到无比惋惜,同时也开始酝酿新的银河系“普查”。2018年,NASA发射凌日系外行星勘测卫星(TESS),以接替开普勒。欧洲空间局紧随其后,于2019年成功发射CHEOPS望远镜。

2018年发现“超级地球”后,葛健就希望中国的科技力量能够加入到未来的银河系“行星普查”中。

经过仔细分析研究,葛健和团队认为,开普勒任务未能实现核心科学目标有两个主要原因:一是对恒星活动噪声认识不足,二是仪器的噪声偏高,“当时天文学家对恒星和行星的认识还不够深入,直到望远镜上天之后才发现”。

葛健解释,开普勒寻找行星主要用的是“凌星法”,也就是行星经过恒星表面时所引发的恒星表面的微弱光度变化。

当初设计仪器的探测指标时,科学家是以太阳的活跃度为蓝本的。可当开普勒上天之后才发现,大约有2/3的待观测恒星活动要比太阳剧烈得多。这样一来,观测的噪声非常大,一些小的凌星信号就会被无情淹没。

再者,开普勒望远镜的视场只有100平方度(月亮的视面积约为0.5平方度),而全天约为4.1万平方度。按照朝一个方向观测一年的节奏,开普勒要看遍全天需要400多年。一般而言,行星只观测到一次还不能确认,要

观测到三四次才行。因此,开普勒能够观测的主要是公转周期在一年以内的行星,对于周期超过一年的就无可奈何了。

如此一来,开普勒任务虽然开启了人类寻找太阳系外行星的先河,却给后来者留下了巨大的探索空间。



## 行星凌星法

凌星法是一种观测行星的方法。其观测原理是在凌星期间,恒星的亮度因前方行星遮挡而减弱,并且这种亮度减弱现象的出现是周期性的,由此便可探知恒星周围有行星存在。

根据产生凌星现象时恒星亮度变化,再结合其他的一些后续观测和计算的方法,天文学家就能比较准确地分析推测出系外行星的大小、质量和密度,以及行星轨道及质量参数等。

该方法是目前应用最广泛、测量精度最高的观测系外行星的方法。

观测到三四次才行。因此,开普勒能够观测的主要是公转周期在一年以内的行星,对于周期超过一年的就无可奈何了。

如此一来,开普勒任务虽然开启了人类寻找太阳系外行星的先河,却给后来者留下了巨大的探索空间。

## 独创“搜星利器”

### 超大视场+超高精度

2019年,在中国科学院“空间科学(二期)”战略性先导科技专项的总体部署下,葛健召集了几十位科学家和技术人员,开始筹划“地球2.0”项目。

经过一年多预研,项目整体方案最终确定:科学卫星将搭载自主研制的6台30厘米口径、500平方度广角凌星望远镜,1台30厘米口径、4平方度微引力透镜望远镜,发射到日-地拉格朗日L2点处,利用超大视场和超高精度的光学测光,对银河系内类地行星进行大规模普查。

“凌星法”和“微引力透镜法”观测对小质量行星探测具有高度敏感性,“地球2.0”项目将首次结合这两种先进的观测方法。

“我们原先设计7台256平方度的望远镜都用凌星法来观测,优化设计后,每台凌星望远镜的视场增加到500平方度,这样每台望远镜的搜寻能力也就相应提高了一倍。”葛健介绍,后来经清华大学天文系主任毛淑德教授建议,项目方案作了调整,空出一个载荷位置,放置微引力透镜望远镜,对准银河系中心观测。

葛健说,银河系中心的恒星密度非常大,尽管单个恒星和前景目标,包括恒星和行星,能对准发生微引力透镜效应的概率很小,但银心附近数量庞大的恒星大大增加了发生微引力透镜事件的总量,“这样我们就有机会发现不少质量较小的行星,甚至‘流浪地球’”。

“开普勒望远镜口径大约1米,视场做到100平方度已经是极限了。但我们创造性地用6个30厘米的较小望远镜来实现500平方度的超大视场观测,同时让6台望远镜观测同一个视场的目标,并将观测的数据叠加,从而实现一个较大口径望远镜的观测深度。”葛健说,这样既实现了超大视场,又实现了观测深度的要求,也就可以看到更多星星。

“地球2.0”项目使用了我国自主研发的CMOS传感器,它的噪声非常低,可帮助“地球2.0”卫星比开普勒看得更深,同时这也是人类首次将CMOS用于太空超高精度测光观测。

此外,在卫星姿态方面,团队已完成卫星飞轮隔震系统的地面试验验证,将于今年4月开展在轨验证;在超高精度测光相机技术方面,已完成单探测器相机空间样机的实验



## 微引力透镜法

微引力透镜法的原理是,遥远的星光在穿过系外行星系统时,会受到行星的引力发生偏折放大,以此可以探测非常遥远的系外行星,以及流浪行星。

当背景光源与观测者之间有恒星行星系统经过时,恒星行星系统的质量会造成其周围时空的弯曲,从而使背景光源的光线发生汇聚,观测者接收到的光线强度会突然增强,引起类似透镜的效应。如果有行星在绕恒星公转时,观测者接收到的光变曲线就会变得不稳定,出现一个异常的“峰”。通过寻找光变曲线上异常的“峰”,天文学家就能间接推知行星的存在。

室组装,开展了性能的初步测试,探测器噪声达到预期要求;卫星载荷的温控能力也从开普勒10°C上下的变化幅度降到0.6°C以内,大大降低了温度变化带来的仪器测量噪声。

有了如此“搜星利器”,葛健对项目充满信心满满:它不仅可以获得开普勒望远镜5倍的视场,仪器噪声比开普勒低20倍,同时还能通过使用先进的相控阵天线下数据,解决了开普勒数据下载不畅的难题。总体而言,“我们的巡天能力将是开普勒望远镜的10到15倍”。

## 超越开普勒

### 建最大类地行星样本库

“地球2.0”项目目前已组建起了由国内外30多所大学和研究室的200多位天文学家参与的卫星科学团队,完成了卫星的科学目标研究,卫星载荷、超高精度导航和卫星平台的设计方案也均已完成。

业内专家认为,“地球2.0”项目实施后,将会使人类获得最大的类地行星样本库。尽管人类迄今仍未发现一个“地球2.0”,但科学家们确信“地球2.0”的存在。因为,通过开普勒望远镜,科学家们在一些较安静的亮星周围,已经找到了300多个周期短(少于20天),但大小与地球类似的固体行星。

“这些行星很可能是在原恒星气体盘完全消散后碰撞而成,因此和地球起源最为类似。”葛健说,这些被称为“亚地球”的行星如果位于宜居区内,很有可能就是我们一直想搜寻的“地球2.0”。

而且,通过对各类类地行星样本进行深入分析,天文学家有望揭开类地行星和流浪行星的起源之谜。通过后续地面和空间望远镜的观测,测量和研究太阳系外类地行星的质量、密度,以及它们上面的大气、海洋和宜居性特征,甚至有望发现系外生命迹象,将系外行星科学研究跃升到“地球时代”。

根据项目时间表,今年年底前,团队预计将完成全部技术攻关和实验室验证。项目顺利立项后,可在2023年着手进行卫星的制造。2026年底前将可发射入轨。再经过三到六个月的调试,望远镜最早可在2027年夏天开始目标搜寻。

葛健预计,开始搜寻两年后,可能会有一些早期发现,到2031年整个项目的基本任务将完成。根据部分模拟,项目预计将能找到约5000个类地行星,约200个流浪行星,以及十几个“地球2.0”。

长期以来,欧美在光学空间系外行星探测方面表现出强大实力。葛健希望,通过这个项目,中国可以打开新局面,在未来的国际空间系外行星领域引领世界。在他看来,找到“地球2.0”只是第一步,或许还可能通过后续观测找到有生命的系外行星。

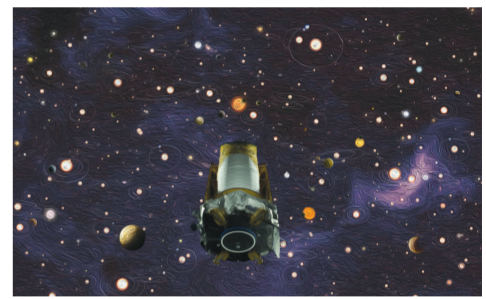
## 搜寻系外行星的人类“眼睛”

### 开普勒太空望远镜

NASA设计用以发现类地行星的太空望远镜。它于2009年发射升空,是人类探索太阳系外行星的一个重要里程碑。

开普勒任务是在绕太阳的轨道上,观测十多万颗恒星的光度,检测是否有行星凌星的现象(以“凌星法”搜寻行星)。为了尊崇德国天文学家约翰内斯·开普勒,它被称为开普勒太空望远镜。

开普勒是NASA低成本发现计划的一项任务。可惜的是,开普勒仅升空四年就发生重大故障,最终于2018年开启休眠模式。在近十年的搜索过程中,开普勒已经扫描了超过15万颗恒星,发现了4000多颗已被确认的系外行星和潜在的行星候选者。



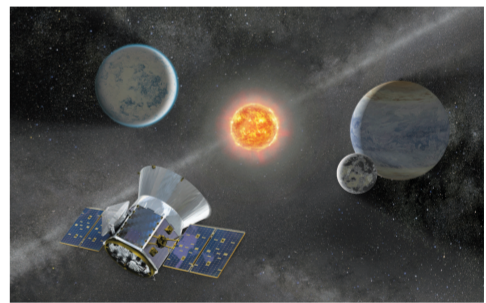
开普勒太空望远镜观测示意图。(来源:NASA网站)

## 凌日系外行星勘测卫星

凌日系外行星勘测卫星(TESS)是NASA最新的系外行星搜寻项目,以接替开普勒太空望远镜。根据任务计划,TESS要对至少20万颗恒星进行观测,最终能发现围绕在明亮恒星周围的数千颗新的短周期系外行星。

2018年4月,TESS搭乘SpaceX公司的猎鹰9号火箭成功发射升空。它高1.5米,太阳能帆板收起时直径约1.3米,重363千克,比大多数太空探测卫星小巧,其尺寸介于一台冰箱与一台“洗衣烘干一体机”之间。

2019年7月,TESS发现了73光年外的3颗太阳系外行星,其大小介于地球和海王星之间。太阳系内没有此类行星,研究人员认为,新研究填补了行星形成过程中“缺失的一环”。



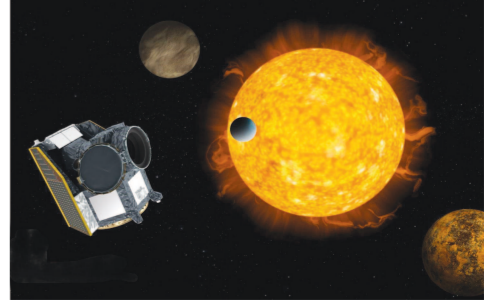
TESS 插画。(来源:NASA网站)

## 基奥普斯系外行星表征卫星

基奥普斯系外行星表征卫星(CHEOPS)望远镜由欧洲空间局于2019年在法属圭亚那欧洲航天发射中心发射升空。其任务是对开普勒和TESS等早期太空望远镜发现的遥远系外行星进行详细的后续观测研究。

这是第一个致力于研究已知附近有系外行星的明亮恒星的卫星,以便在行星经过其主恒星前对行星的大小进行高精度观测。它所配备的仪器光度测量能力达到20ppm。专注于超级地球到海王星大小范围内的行星,它获得的数据能够推导出行星的体积密度。

今年1月,CHEOPS望远镜发现了一颗橄榄球形的系外行星。这颗编号为WASP-103b的行星位于大力神座,其大小几乎是木星两倍,质量是木星的1.5倍,它绕主星运行的周期不到24小时。WASP-103b的主星比太阳大1.7倍,这颗行星已经被它的主星的强大引力变成了橄榄球形。



CHEOPS望远镜艺术示意图。(来源:欧空局网站)