

下一代天文望远镜及巡天任务(下)

黄 晨¹, 王建军¹, 薛 莉¹, 赵琳峰²

- (1. 北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094;
2. 中国洛阳电子装备试验中心, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 对国际上已完成的光学/红外天文望远镜进行了回顾和总结, 详细论述分析了正在研制建设的下一代天文望远镜, 主要包括科学目的、光学结构、搭载仪器、性能参数等。重点对下一代天文望远镜的光学设计/口径、站址/轨道进行了总结归纳, 其在地基/天基协作观测、器件模块化通用化、观测结果大数据分享等方面展示了自身的技术特点和发展趋势。借鉴国外经验, 结合我国实际情况可形成自身优势特色领域。同时在长期规划制定、开放民间资本等方面提出几点思考和建议。

关键词: 天文望远镜; 光学结构; 红外相机; 巡天观测; 天体物理

中图分类号: TH751 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201645.0313001

Next generation of astronomical telescope and survey mission II

Huang Chen¹, Wang Jianjun¹, Xue Li¹, Zhao Linfeng²

- (1. Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing 100094, China)
2. China Luoyang Electronic Equipment Testing Center, Luoyang 471003, China)

Abstract: International completed optical/infrared telescopes were reviewed, and the construction of the next generation of telescopes was analyzed, including scientific purposes, optical structure, carry instruments, performance parameters and so on. This paper was focused on the summarization of optical design/diameter and site/orbit of next generation astronomical telescope. Their collaboration observation of ground-based/space-based, modular universal design, observation result big data sharing etc shows the technical characteristics and trend. Combining lessons from abroad with the reality of our country, our own advantages can be formed. Some thoughts and suggestions on long-term planning, private capital opening and others were put forward.

Key words: astronomical telescope; optical structure; infrared camera; survey; astrophysics

收稿日期: 2015-07-20; 修订日期: 2015-08-23

作者简介: 黄晨(1987-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事光学特性测量、空间目标监测等方面的研究。

Email: huangchenyau12006@163.com

0 引言

宇宙以电磁波的形式给我们提供了巨大的信息，其中很大一部分是以人眼或可见光望远镜观察不到的红外波段存在。本世纪初，美欧发布了各自的未来天文科学发展计划，规划了多项下一代地基、空间(可见光/红外)天文望远镜，其综合性能较目前的天文望远镜有大幅提升。随着这些望远镜投入观测将革命性地改变我们对宇宙的认识，并将产生一系列影响深远的科学发现。同时下一代天文望远镜的设计理念、探测方式等也代表了未来的发展方向，对我国的天文望远镜及巡天计划发展具有一定借鉴价值。文中对美国国家航空和宇航局 NASA、欧洲航天局 ESA、欧洲南方天文台 ESO、日本宇宙航空研究开发机构 JAXA 等主导正在进行研究建设的下一代天文望远镜及巡天任务主要包括科学目的、技术特点、搭载仪器等方面进行了分析对比研究。

1 欧洲航天局 ESA

ESA 已完成空间红外望远镜，如图 1 所示。经过评估和竞争欧几里德任务 Euclid 和柏拉图 PLATO 任务脱颖而出列入未来的研制计划中。

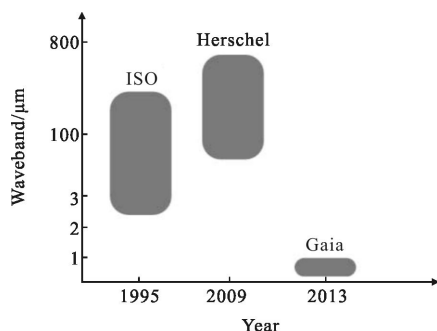


图 1 ESA 已完成天文望远镜

Fig.1 Finish projects of ESA

1.1 欧几里德任务 Euclid

欧几里德 2012 年 6 月正式立项，目前计划于 2020 年发射升空^[1]。此项由 ESA 主导、NASA 参与的任务将研究宇宙膨胀和大爆炸历史并绘制整个银河系外天空的宇宙大尺度结构地图。Euclid 主镜为 1.2 m，设计寿命 6 年，设计概念图如图 2 所示。搭载可见光成像仪 (VIS) 和近红外光谱仪和光度计 (NISP)，如表 1 所示。

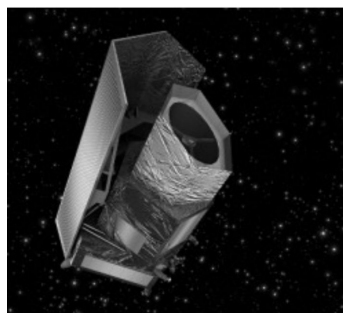


图 2 Euclid 概念图

Fig.2 Concept chart of Euclid

表 1 Euclid 搭载仪器参数

Tab.1 Parameters of Euclid instrument

Name	FOV	Wavelength/nm	Detector	Comments
VIS	0.787'×0.709'	550-900	36 arrays 4 kray CCD	
NISP	0.763'×0.722'	Y(920-1146); J(1 146-1 372); H(1 372-2 000)	16 arrays 2 k× 2 k HgCdTe	Imaging photometry
		1 100-2 000		1 100-2 000

1.2 行星凌日和恒星振荡任务 PLATO

PLATO 任务于 2007 年提出，预计 2022~2024 年发射。与 NASA 的 TESS 类似作为 Kepler 升级版，如图 3 所示。PLATO 目的是发现和研究大量的系外行星系统，特别是在类似太阳的恒星周围的可居住区域的类地行星。PLATO 同时也研究恒星上的地震活动，精确描述行星的宿主恒星。

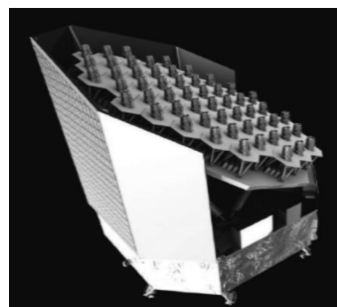


图 3 PLATO 概念图

Fig.3 Concept chart of PLATO

PLATO 搭载仪器包括 32 个“标准”望远镜^[2]，在白光下工作并提供大视场，监视暗于 8 星等的恒星。

外加两个“快速”相机,监视 4~8 星等的恒星。工作波段在 500~1 050 nm,每个相机拥有 1 100°×1 100°视场,直径为 120 mm(32 相机等效口径 678.8 mm),探测器为 4CCD,每个 CCD 尺寸为 4 510×4 510,像元尺寸为 18 μm。

2 欧洲南方天文台 ESO

ESO 已建成甚大望远镜 VLT,由 4 台相同的 8.2 m 口径望远镜组成。目前,ESO 主导的欧洲极大望远镜 E-ELT 将是世界上最大的光学/近红外望远镜,如图 4 所示。他将大大推动天体物理学知识,能够详细的研究包括其他恒星周围的行星、宇宙中最早物体、超大黑洞、主导宇宙的暗物质和暗能量的性质和分布^[3]。

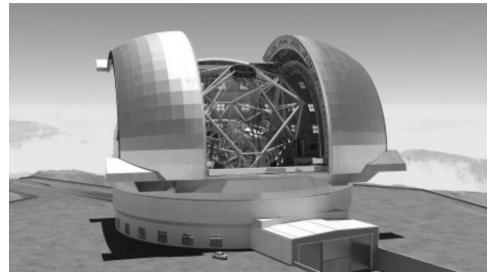


图 4 E-ELT 概念图

Fig.4 Concept chart of E-ELT

望远镜有创新的五镜面设计(三镜同轴消像散+用于自适应光学的两块折叠反射镜)^[4-5]。主镜将由 798 个 1.4 m 六面镜组成,主镜口径为 39 m。基建将于 2013 年开始,预计 2024 年开始工作。目前 E-ELT 已经确定的设备如表 2 所示。

表 2 E-ELT 搭载仪器参数

Tab.2 Parameters of E-ELT instrument

Name	Detector array	Spectral resolution	Wavelength	Field of view	Comments
EAGLE	4 k×4 k	R-4 000;R-10 000		38'	10 spectrometers
MICADO	16 arrays 4 k ×4 k	(R-5 000) for the LM and N bands;(R-100 000) in the LM bands	0.8-2.5 μm	53"× 53"	9 different observing modes
METIS	4 k×4 k	R-4 000,R-10 000,R-20 000	2.9 -14 μm	18"× 18"	4 integral field units
HARMONI	4 k×4 k	R-130 000	0.47- 2.45 μm	5"×10" in 40mas	4 spectrometers
CODEX	12 k×4 k	R=130 000	0.37-0.71 μm		
SIMPLE	4 k×4 k	R=125,3 000 and 20000	0.84-2.45 μm		IFS
EPICS	4 k×8 k		0.695-0.8 μm	1.37"×1.37"	EPOL
OPTIMOS-DIORAMAS	3 arrays 4 k×4 k	R-300; R-3 000	0.37-1.6 μm	6.78'×6.78'	4 spectrometers
OPTIMOS-EVE	Optical: 3 arrays 4 k× 4 k; IR: 4 arrays 6 k× 6 k	R-5000; Higher: 15 000 and 30 000	0.37-1.7 μm		2 spectrometers in the optical and 2 in the infrared

3 日本宇宙航空研究开发机构 JAXA

日本国家天文台 NAOJ 及 JAXA 在过去完成了多项地基、空间天文红外望远镜项目,如图 5 所示。2007 年 JAXA 提出并与 ESA 合作的宇宙和天体物理空间红外望远镜(SPICA)项目,后因分歧 ESA 于 2013 年中止合作。2014 年,JAXA 重启 SPICA 国际合作,仍以 JAXA 为主导但 ESA 占有更大的比重,如图 6 所示。SPICA 科学目的主要是星系的诞生和

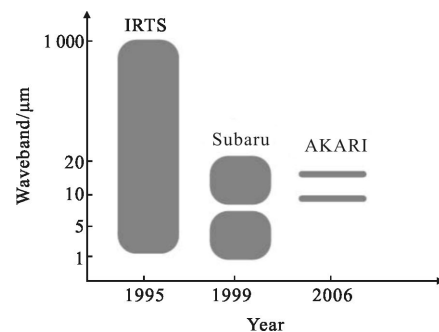


图 5 NAOJ、JAXA 已完成天文望远镜

Fig.5 Finish projects of NAOJ, JAXA

演化, 恒星和行星系的诞生和演化和星际物质的演化。SPICA 主镜口径 3.2 m^[6], 工作波段在 20~210 μm, 搭载的仪器如表 3 所示。

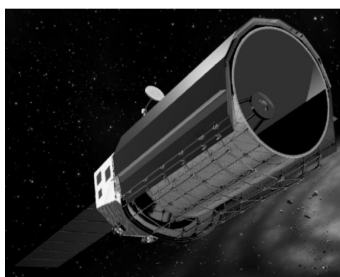


图 6 SPICA 概念图

Fig.6 Concept chart of PICA

表 3 SPICA 搭载仪器参数

Tab.3 Parameters of SPICA instrument

Name	Function	Wavelength	FOV	Detector
SPICA Mid-infrared instrument (SMI)	Imaging channel Spectrograph channel	20~37 μm S(20~37 μm), L(27~37 μm)	5'×5' 150"×3" (slit)	1 k×1 k
SPICA far-infrared instrument (SAFARI)	Imaging fourier-transform spectrometer	34~210 μm: SW34~60; MW60~110; LW110~210	2'×2'	43×43; 34×34; 18×18

4 其他下一代天文望远镜

巨型麦哲伦望远镜(GMT)是下一代超级巨型地基望远镜的成员, 计划于 2021 年开始试运行。GMT 独特的设计拥有几个优势^[7-9]: 分块镜面组成的望远镜; 6 个离轴 8.4 m 围绕一个中心同轴镜面, 组成主镜口径为 24.5 m, 整个面积为 368 m², 工作波段在 0.32~25 μm。GMT 如图 7 所示, 配置的科学仪器如表 4 所示。



图 7 GMT 概念图

Fig.7 Concept chart of GMT

表 4 GMT 搭载仪器参数

Tab.4 Parameters of GMT instrument

Name	Instrument	Wavelength /μm	Spectral resolution	FOV
GMACS	Optical multi-object spectrometer	0.3~1.0	5 000	9'×18'
NIRMOS	Near-IR multi-object spectromete	1.0~2.5	3 500	5'×7'
QSPEC	Optical high resolution spectrometer	0.3~1.1	65 000	3"
NIRS	Near-IR high-resolution spectrometer	1.0~5.0	120 000	3"
MIISE	Mid-IR imaging spectrometer	3.0~25.0	1 500	40"
HRCAM	Near-IR AO imager	1.0~2.5	1 500	2'×2'
GMTIFS	NIR AO-fed IFU	1.0~2.5	5 000	3"

5 分析

下一代天文望远镜的光学设计、站址、轨道等如表 5 所示, 其口径及建成年份如图 8 所示。

表 5 下一代天文望远镜技术特点

Tab.5 Characteristic of next generation astronomical telescope

Name	Optical design	Site/Orbit	Style
LSST	Three-mirror modified Paul-Baker	Cerro Pachon Chile	Ground-based
TMT	Ritchey-Chrétien	Mauna Kea Hawaii	Ground-based
GMT	Aplanatic Gregorian	Cerro Campanas Chile	Ground-based
E-ELT	Novel five-mirror scheme	Cerro Armazones Chile	Ground-based
WFIRST-AFTA	Three-mirror anastigmat,	28.5 inclined GEO	Space-based
NEOCam	-	Sun-earth L1	Space-based
TESS	-	HEO	Space-based
JWST	Three-mirror	Sun-earth L2	Space-based
Euclid	Three-mirror Korsch	Sun-earth L2	Space-based
PLATO	-	Sun-earth L2	Space-based
SPICA	Ritchey-Chrétien	Sun-earth L2	Space-based

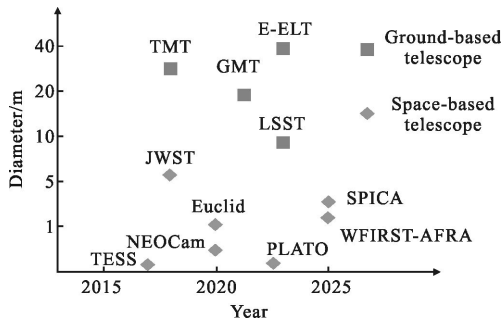


图 8 研制中的下一代天文望远镜

Fig.8 Next generation astronomical telescope in development

6 探讨与思考

6.1 发展现状趋势及技术特点

纵观国外下一代天文望远镜及巡天计划我们可以找到以下技术特点和发展趋势:

(1) 深度探寻宇宙,研究宇宙起源,寻找类地星球和地外生命。同时也开始关注地球自身安全如 NEOCam,寻找发现并描述大部分潜在危险接近地球的小行星。地基、空间天文望远镜协作观测搜寻,广域搜索与精细观测相结合。如 JWST、TESS 提供目标供 TMT 的光谱仪进行详细研究。

(2) 科技的进步与革新使得下一代的望远镜拥有前所未有的光学口径。地基 GMT、TMT、E-ELT 采用镜面拼接技术主镜口径分别达到 25 m、30 m、39 m,天基 JWST 口径也达到 6.5 m,并采用了更为轻质的铍为主镜材料。光学机构大都采用三镜结构,设计采用多相机阵列进行观测搜寻,可在大视场搜寻并保证高动态范围测光精读(如 TESS、PLATO)。拥有更大的探测器(阵列),更高的分辨率和更为精细的光谱分辨率。

成熟技术延续,系统模块化通用性。例如 TMT 相当一部分仪器继承于 Keck 望远镜。Euclid 搭载仪器部分继承了 Gaia 和 JWST。地基望远镜配置的仪器灵活,依据科学研究需求而决定。空间天文红外望远镜将轨道位于日-地轨道拉格朗日 L1、L2 点位置,采用被动制冷,能最大消除杂散光影响,提供无阻挡的视野和热辐射稳定的环境。

(3) 美欧(NASA、JPL、ESA)仍主导了关键器件(CCD、光谱仪等)的研发。在进行广泛的国际合作的同时,为保证各自在领域内的领先地位亦存在某种

程度上的竞争关系,如 TMT 与 E-ELT,WFIRST 与 Euclid,TESS 与 PLATO 有着相似的科学目标。

(4) 资源共享,天文观测大数据云处理。以 LSST 为代表,将与 Google 合作开发一种数据公开可查询的新模式,供科学家和民众分享望远镜的最新数据,使其成为一个互联网上的望远镜。

6.2 对我国的借鉴与思考

(1) 参与下一代天文望远镜的研制。经过对 GMT、TMT、E-ELT 深入考察,TMT 在时间进度、技术风险、资金筹备上都更为科学、明确和成熟,其要求的“实物贡献”参与方式也更有利于我国科学技术发展。2009 年,中国科学院国家天文台获得参与 TMT 项目的“观察员”地位。目前中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,中国科学院光电技术研究所,中国科学院理化技术研究所,中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所,天光所等单位承担了三镜系统(M3S)、激光导星以及部分子镜等研制加工工作。借鉴 TMT 模式,拓展国际合作,积极参与下一代空间天文望远镜研制,推进我国空间天文望远镜的研制。

(2) 选择突破方向,取得领先。在欧美强势主导之外,日本在空间长波红外观测亦发挥重要作用。我国以 LAMOST 为代表,在大规模光学光谱观测和大视场天文学研究方面居于国际领先的地位。在积极进行国际合作同时,在前沿领域形成自身优势和特色。

(3) 公开征集意见,制定长期计划。美欧制定了今后十年至二十年的天文发展研究计划,指导规划下一代的天文望远镜研制。以 Astro2010 为例,在调研前期广泛公开征求科学和项目白皮书,获得更多有创意的项目建议,得到业界广泛认同,并进行独立的成本和技术评估 CATE。对候选项目评审分级,根据各方评估和需求竞争选出研制项目。

(4) 开放民间资本参与。地基、天基天文望远镜耗资巨大,国外除了主管机构、科研院校出资之外,财团基金会、私人捐赠等占有不小的比例,如 Keck、LSST。我国亦可考虑引入民间资本参与下一代天文望远镜等天文项目研发。

7 总结

文中回顾各国地基、天基(可见光、红外)天文望远镜及观测巡天计划的情况,分析下一代天文望远

镜的光学结构、探测性能等技术特点,结合我国实际情况对我国在下一代天文望远镜研制中提出建议和思考。目前下一代天文望远镜已在如火如荼的研制当中,在可预见的将来,这些“观天巨眼”将带给我们更多关于浩瀚宇宙未知的信息。

参考文献:

- [1] Laureijs R, Racca G, Stagnaro L, et al. Euclid mission status [C]//SPIE, 2014, 9143: 91430H.
- [2] Demetrio Magrin, Matteo Munari, Isabella Pagano, et al. PLATO: detailed design of the telescope optical units [C]//SPIE, 2010, 7731: 773124.
- [3] González J C, D'Odorico S, Ramsay S, et al. E-ELT phase-A instrument studies: a system engineering view [C]//SPIE, 2014, 7738: 77381G.
- [4] Ramsay S, D'Odorico S, Casali, et al. An overview of the E-ELT instrumentation programme [C]//SPIE, 2010, 7735: 773531.
- [5] Lizon J L, Gonzalez J C, Monroe, et al. First concept for the E-ELT cryogenic infrastructure [C]//SPIE, 2010, 7739: 773927.
- [6] Takao Nakagawa, Hiroshi Shibai, Takashi Onaka, et al. The next-generation infrared astronomy mission SPICA under the new framework [C]//SPIE, 2014, 9143: 91431I.
- [7] Burge J H, Kot L B, Martin H M, et al. Design and analysis for interferometric measurements of the GMT primary mirror segments [C]//SPIE, 2006, 6273: 627337.
- [8] Matt Johns. The Giant Magellan Telescope (GMT) [C]//SPIE, 2008, 6986: 698625.