

下一代天文望远镜及巡天任务(上)

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。分析了下一代天文望远镜的技术特点、发展趋势。借鉴国外在计划制定、工程应用等方面的经验, 结合中国实际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/IRLA201645.0217006

Next generation of astronomical telescope and survey mission (I)

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: The international completed optical/infrared telescopes were reviewed and summarized, the construction of the next generation of telescopes was analyzed, including scientific purposes, optical structure, carry instruments, performance parameters and so on. The technical characteristics and development trend of the next generation of telescopes were studied. Lessons from abroad were drawn in such aspects as planning, engineering application, combining with the reality of China, some thoughts and suggestions were put forward.

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

收稿日期: 2015-06-10; 修订日期: 2015-07-15

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: huangchenraul2006@163.com

0 引言

宇宙以电磁波的形式给人类提供了巨大的信息,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。20 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人们对宇宙的认识,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。参考文献[1]对典型的天文红外望远镜及巡天计划进行了详细分析研究。但对于下一代可见光/红外天文望远镜及巡天计划,国内尚未进行系统全面的分析研究。

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 未来十年天文研究计划

美国科学院在 2010 年公布了《天文学与天体物理学的新世界和新地平线》^[2](NWNH) 最新研究发展计划。报告对空间望远镜和地基望远镜的天文学与天体物理学在 2010~2020 年间的发展进行调研,并推荐应该优先发展的领域供资助单位、科学界及公众参考。

欧洲航天局 ESA 在 2005 年提出的宇宙愿景^[3] Cosmos vision2015-2025 是目前 ESA 长期的空间科学任务计划。它指导 ESA 未来 20 年科学任务完成及提供稳定的需求。按照规模将项目分为 S、M、L 级,通过评审和竞争确定开发研制和实施的项目。

2 美国国家航空和宇航局 NASA

美国在地基、天基天文望远镜研制和巡天观测一直处于领先地位。以 NASA 为主导规划并研制了众多天文望远镜项目,1986 年发射了第一颗天文红外卫星 IRAS 并成功进行了首次巡天观测,之后又发射 COBE、WISE、Spitzer、MSX 等多颗天文卫星;地基完成了 2MASS、Keck、LBT 等天文望远镜项目,如图 1 所示。目前,NASA 规划了 6 项下一代天文望远镜

项目。

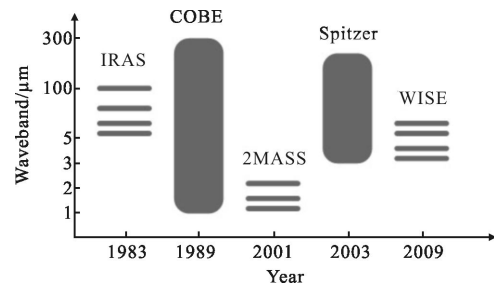


图 1 NASA 已完成天文望远镜

Fig.1 Finished projects of NASA

2.1 詹姆斯·韦伯空间望远镜 JWST

JWST 作为哈勃望远镜(Hubble Space Telescope, HST)的继任者,2002 年以 NASA 前任局长詹姆斯·韦伯命名^[4],如图 2 所示。JWST 由 NASA、ESA、加拿大太空署 CSA 合作完成。科学任务包括:寻找最早的恒星和星系;地图星系的演化,研究宇宙中的恒星和行星的形成,宇宙中寻找潜在的生命。

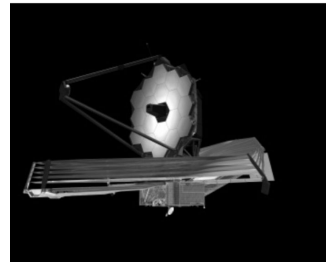


图 2 JWST

Fig.2 JWST

JWST 口径 6.5 m,由 18 块六角镜片拼接,焦距 131.4 m,波段 0.6~28 μm,光学分辨率 0.1"。JWST 上采用了多项新技术,包括折叠拼接主镜,发射后调整形状;超轻量化的铍光学系统;能够探测到极弱信号的探测器;光谱仪目标编目选择的微快门设计等。搭载 4 个仪器在集成科学仪器模块(ISIM),如表 1 所示。

表 1 ISIM 搭载仪器参数

Tab.1 Parameters of ISIM

Name	Wave-length /μm	FOV	Spectral resolution	Detector
NIRCam	0.6-5	2.2'×4.4'	R~4;	Short 0.6-2.3 μm
			R~10;	4k×4k;
NIRSpec	0.6-5	3.4'×3.6'	R~100	Long 2.4-5.0 μm
			R~1 000;	2 k×2 k
			R~2 700	

续表 1

Continued Tab.1

Name	Wavelength / μm	FOV	Spectral resolution	Detector
MIRI	5-28	1.3'×1.7'	R>2 400 5-10 μm ; R>1 600 10-15 μm ; R>800 15-28 μm NIRISS: R~150,	2 arrays 1 k×1 k SiAs
FGS/ NIRISS	0.8-5	2.2'×2.2'	1-2.5 μm ; R~660, 0.7-2.5 μm ; FGS:R~100 at 1.5-4.9 μm	NIRISS:2 arrays 2 k×2 k; FGS: 2 k×2 k

2.2 大型巡天望远镜 LSST

LSST 有 4 个主要的科学研究目的:探索暗能量和暗物质,巡视太阳系,瞬态光学天空以及对银河系进行绘图^[6],如图 3 所示。其子系统多采用当今领先技术:拥有世界上最大 32 亿像素相机,同时浇筑主镜、第三反射镜,两块非球面光学表面在一个底座上等。LSST 采

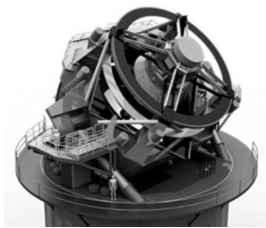


图 3 LSST
Fig.3 LSST

用改进的三镜式 Paul-Baker 光学系统,主镜口径达 8.4m(有效口径 6.5m),焦距 1.18,视场 9.5°×9.5°。配置

3.2 亿像素相机,探测器为 189 个 4 k×4 kCCD,像元尺寸 10 μm 。目前处于基建阶段,将于 2022 年开始正式观测,巡天面积 30 000°,在 6 个波段成像覆盖 320~1 050 nm。

2.3 30 m 望远镜 TMT

TMT 于 2003 年开始设计,目前技术已成熟。项目的设计阶段在 2009 年 3 月结束,而后进入前期建设阶段,于 2014 年 4 月在夏威夷 Mauna Kea 山顶进入正式建设阶段。TMT 用于天文学中了解恒星和行星,揭开银河系历史和宇宙大尺度结构天体的发展。TMT 为 Ritchey-Chretien 结构由 492 块 1.45 m 子镜组成主镜^[6],波段在 0.31~28 μm ,直径为 30 m 的望远镜,如图 4 所示。TMT 采用大量先进技术,其中相当一部分仪器设备继承 Keck 望远镜^[7]。TMT 工作和 JWST 将密切相关,TMT 的光谱仪对 JWST 提供的目标进行更详细的研究。

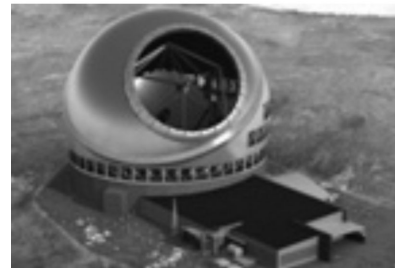


图 4 TMT
Fig.4 TMT

TMT 在未来十年将部署不同的仪器灵活以应对科技发展,目前已配备了“初期光线”(Early light)和“第一个十年”(First decade)仪器,如表 2 所示。

表 2 TMT 搭载仪器参数

Tab.2 Parameters of TMT carrying instrument

	Name	Wavelength/ μm	Field of view/slit length	Spectral resolution	Comments
Early light instrument	IRIS	0.8-2.5;0.6-5(goal)	<3" IFU; >15" imaging	>3 500;5-100(imaging)	NFIRAOS
	WFOS	0.31-1.0;0.3-1.5(goal)	>40' 2;>100' 2(goal);Slit length>500"	1 000-5 000; >7500 at 0.75"(goal)	Seeing-Limited(SL)
	IRMS	0.95-2.45	2' field 46 deployable slits	R=4 660 at 0.16" slit	NFIRAOS
	HROS	0.31-1.1;0.31-1.3(goal)	5" slit length	50 000	SL
First decade instrument	IRMOS	0.8-2.5	3" IFUs over >5'diameter field	2 000-10 000	MOAO
	MIRES	8-18;4.5-28(goal)	3" slit length;10" imaging	5 000-100 000	MIRAO
	NIRES	1-5	2" slit length	20 000-100 000	NFIRAOS
	PFI	1-2.5;1-5 (goal)	1" outer, 0.05" inner	R≤100	10 ⁸ contrast;
	WIRC	0.8-5.0;0.6-5.0(goal)	30" imaging field	5-100	

2.4 广域红外巡天望远镜 WFIRST

广域红外巡天望远镜 WFIRST 在美国 2010-2020 年天文计划中排名第一。科学任务包括:系外行星,暗能量搜寻,银河系及系外巡天。WFIRST 最初设计为 1.3~1.5 m,结合了三个被提议的望远镜,微透镜行星搜寻者(MPF),联合暗能量任务/Omega(JDEM-Omega),近红外巡天者(NIRSS)。但在 2012 年 NASA 从国家侦察局(NRO) 获得两块 2.4 m 望远镜主镜,2013 年其中一块作为 WFIRST 基准,美国天文界惊喜地发现其用哈勃相当的观测质量能获得 100 倍于哈勃望远镜的观测天区,这项任务成为了“聚焦天体物理的望远镜资产”

WFIRST-AFTA[®]。2013 年研究小组提出了 WFIRST-AFTA 最终版本报告,如图 5 所示。WFIRST 搭载大视场仪器和日冕仪,如表 3 所示。



图 5 WFIRST-AFTA

Fig.5 WFIRST-AFTA

表 3 WFIRST-AFTA 搭载仪器参数

Tab.3 Parameters of WFIRST-AFTA carrying instrument

Name	Function	Wavelength/ μm	Field of view	Detector
Wide-field instrument	Wide-field channel	Imaging:0.76–2.0 μm ; Spectroscopy:1.35–1.95 μm	0.281° \times 0.281°	4 k \times 4 k,HgCdTe
	Integral field unit(IFU)	0.6–2.0 μm	3 \times 3.15"	–
Optional coronagraph	Integral field spectrograph	0.4–1.0 μm	2.5" at 1 μm	–

2.5 近地天体相机 NEOCam

近地天体相机 NEOCam^[9]是一个新提议的任务,旨在发现和描述的大部分潜在危险接近地球的小行星的空间红外任务。NEOCam 的主要科学目标:对现在的近地天体(NEO)的影响进行风险评估;研究太阳系小行星的起源和最终命运;寻找最适合将来机器人和人类探索的近地目标 NEO。

NEOCam 由一个在两个红外波段工作的 50 cm 口径望远镜和一个广角红外相机组成,如图 6 所示。NEOCam 将进行 4 年的基本观测,搜寻 2/3 直径大于 140 m (大到足够造成重大伤害的地区事件影响)的近地物体。对 NEO 大小进行精确测量,包括位置、形状、旋转状态和轨道。

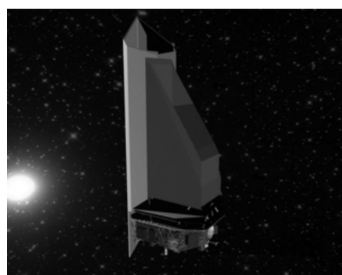


图 6 NEOCam

Fig.6 NEOCam

2.6 凌日系外行星搜寻卫星 TESS

NASA 的开普勒 Kepler 任务显示了星系里存在着大量的行星^[10],但是大多数位于开普勒行星轨道的恒星距离太远阻碍进一步研究。TESS 任务将寻找凌日系外附近明亮的恒星,将有价值的目标提供给大型地基望远镜、JWST 等进行更精细的特性跟踪,如图 7 所示。TESS 将监视 500 000 邻近的行星,关注与地球或超级地球相似尺寸的行星。搭载的科学仪器包括:4 个宽视场 CCD 相机,每个相机视场为 24° \times 24°,有效口径 100 mm,镜工作波段在 600~1 000 nm,采用 MIT 林肯实验室 CCID-80 低噪声低功耗探测器,拥有 16.8 \times 10⁶ 像素。

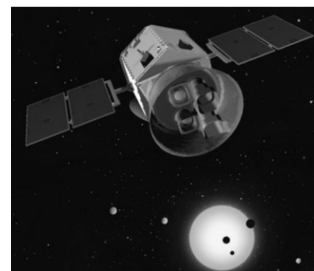


图 7 TESS

Fig.7 TESS

参考文献:

- [1] Mampel J, Ruff J, Junker F, et al. Fundamental Accretion and Ejection Astrophysics [C]//Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey, 2009:4726-4731.
- [2] Board S S. Panel Reports-New Worlds, New Horizons in Astronomy and Astrophysics [M]. USA: National Academies Press, 2011.
- [3] Huang Chen, Wang Jianjun, Gao Xin, et al. Survey for foreign infrared astronomical telescopes [J]. *Laser & Infrared*, 2013, 43(3): 236-239. (in Chinese)
- [4] Lightsey P A, Atkinson C, Clampin M, et al. James Webb Space Telescope: large deployable cryogenic telescope in space[J]. *Optical Engineering*, 2012, 51(1): 011003.
- [5] Stubbs C W, High F W, George M R, et al. Toward more precise survey photometry for PanSTARRS and LSST: measuring directly the optical transmission spectrum of the atmosphere [J]. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 2007, 119(860): 1163.
- [6] Luc Simard, David Crampton, Brent Ellerbroek, et al. The TMT Instrumentation Program[C]//SPIE, 2010, 7735: 773523.
- [7] David Crampton, Luc Simard, David Silv, et al. Early light TMT instrumentation[C]//SPIE, 2008, 7014: 70141D.
- [8] McMurtry C, Lee D, Beletic J, et al. Development of sensitive long-wave infrared detector arrays for passively cooled space missions[J]. *Optical Engineering*, 2013, 52(9): 091804.
- [9] Ricker G R, Latham D W, Vanderspek R K, et al. Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) [C]//Bulletin of the American Astronomical Society, 2010, 42: 459.
- [10] Ricker George R, Win Joshua N, Vanderspek Roland, et al. Transiting Exoplanet Survey Satellite(TESS)[C]//SPIE, 2014, 9143: 914320.