

**8-10 m 地基大口径光学/红外
天文望远镜概览**

目录

第一章 国际地基大口径光学/红外天文望远镜发展战略	1
一、 国际现状	1
二、 国际规划	3
1. 欧洲极大望远镜	4
2. 三十米望远镜	5
3. 巨型麦哲伦望远镜	5
4. 中国巨型太阳望远镜	5
5. 大口径全景巡天望远镜	6
6. 先进技术太阳望远镜	7
第二章 国际8-10m地基光学/红外天文望远镜	8
一、 凯克望远镜(KECK)	8
(一) KECK 科学目标	9
(二) KECK 主要参数	10
(三) KECK 关键技术	11
(四) KECK 后端仪器	11
1. 深河外成像多目标摄谱仪	12
2. 小阶梯光栅光谱仪和成像仪	15
3. 高分辨率光栅光谱仪	16
4. 低分辨率成像光谱仪	18
5. 自适应光学系统	20
6. 红外探测多目标光谱仪	23
7. 第二代近红外照相机	24
8. 近红外光谱仪	25
9. OH 抑制红外成像光谱仪	25
10. 高分辨率的分光仪	25
11. 近红外小阶梯光栅分光计	27
二、 昴星团望远镜(SUBARU)	27
(一) SUBARU 科学目标	28
(二) SUBARU 关键技术	28
(三) SUBARU 基本参数	29
(四) SUBARU 后端仪器	30
三、 甚大望远镜(VLT)	31

(一) VLT 科学目标	32
(二) VLT 科学贡献	33
(三) VLT 关键技术	34
(四) VLT 后端仪器	35
四、 大双筒望远镜(LBT)	36
(一) LBT 科学目标	37
(二) LBT 科学贡献	37
(三) LBT 后端仪器	37
五、 双子天文台望远镜	38
(一) GEMINI 科学目标	39
(二) GEMINI 主要参数	39
(三) GEMINI 关键技术	40
(四) GEMINI 后端仪器	41
六、 巨型麦哲伦望远镜(GMT)	42
(一) GMT 科学目标	43
(二) GMT 关键技术	43
(三) GMT 后端仪器	44
(四) GMT 科学产出	45
七、 霍比 埃伯利望远镜(HET)	46
(一) HET 科学目标	47
(二) HET 主要参数	48
(三) HET 关键技术	50
(四) HET 后端仪器	52
八、 加那利大型望远镜 (GTC)	53
(一) GTC 主要参数	53
(二) GTC 后端仪器	54
九、 南非大望远镜 (Southern African Large Telescope(SALT))	55
(一) SALT 主要参数	56
(二) SALT 后端仪器	56
致谢	57
附录	58

第一章 国际地基大口径光学/红外天文望远镜发展战略

一、 国际现状

地基光学/红外望远镜作为天文望远镜家族的重要成员，在天文观测研究中起到了非常重要的作用。光学/红外天文望远镜作为巡天观测极为重要的研究宇宙深空间的星系形成、分布、结构和演变及其激变物理过程对人类的危害与影响。探索宇宙中是否有生命体及能否利用宇宙为人类的生产和生活服务等一系列问题，使天文和航天学家们迫切需要更大口径的天文望远镜来观测更暗、更小、更遥远的星体和飞行器，以进一步发现新天体和跟踪航天器，并测定其形状、大小、坐标和运动，并用更高分辨率来仔细研究其精细结构的姿态，并通过测光的光谱分析等来进一步揭示其物质构成，物理和化学性质等，使人类对宇宙有进一步的认识。为此世界各国竞相研制大型光学/红外望远镜。

图 1：地基光学/红外望远镜建造年代与口径演化关系。横坐标为建造年代、纵坐标为主镜口径（m），不同的颜色表明不同的国家，红色为美国、蓝色为西班牙、绿色为智利。¹

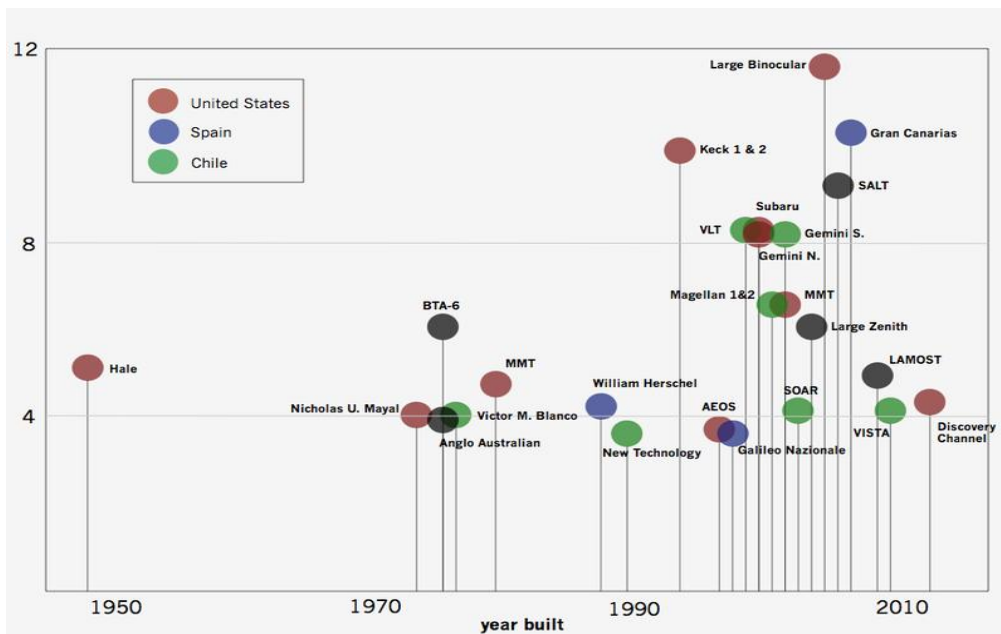


图 1：地基光学/红外望远镜建造年代与口径演化关系

¹https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_optical_reflecting_telescopes#/media/File:Telescopes_Size_and_Year_Built.png

20 世纪 90 年代至今，光学/红外天文观测逐渐进入了以空间 2.4 米哈勃望远镜和一批地基 8—10 米望远镜为主导的精细观测时代。中小望远镜利用大视场优势，配备大规模 CCD 阵列探测终端，使天文观测同步进入广域巡天时代，例如斯隆数字巡天计划。天文研究藉此建立了标准宇宙学框架、恒星结构与演化模型，发现了数百个地外行星系统等。与此同时，主动光学、自适应光学、拼接镜面和光干涉等一批高精尖的观测技术也日臻完善。

未来几年，天文观测能力还将迈上新台阶，进入以下一代空间红外 6.5 米望远镜、地基 30 米级极大望远镜为主导的更加精细的多功能观测时代；也将进入以空间 2 米级、地基 4—8 米级望远镜为主导的更加广域的巡天观测时代。

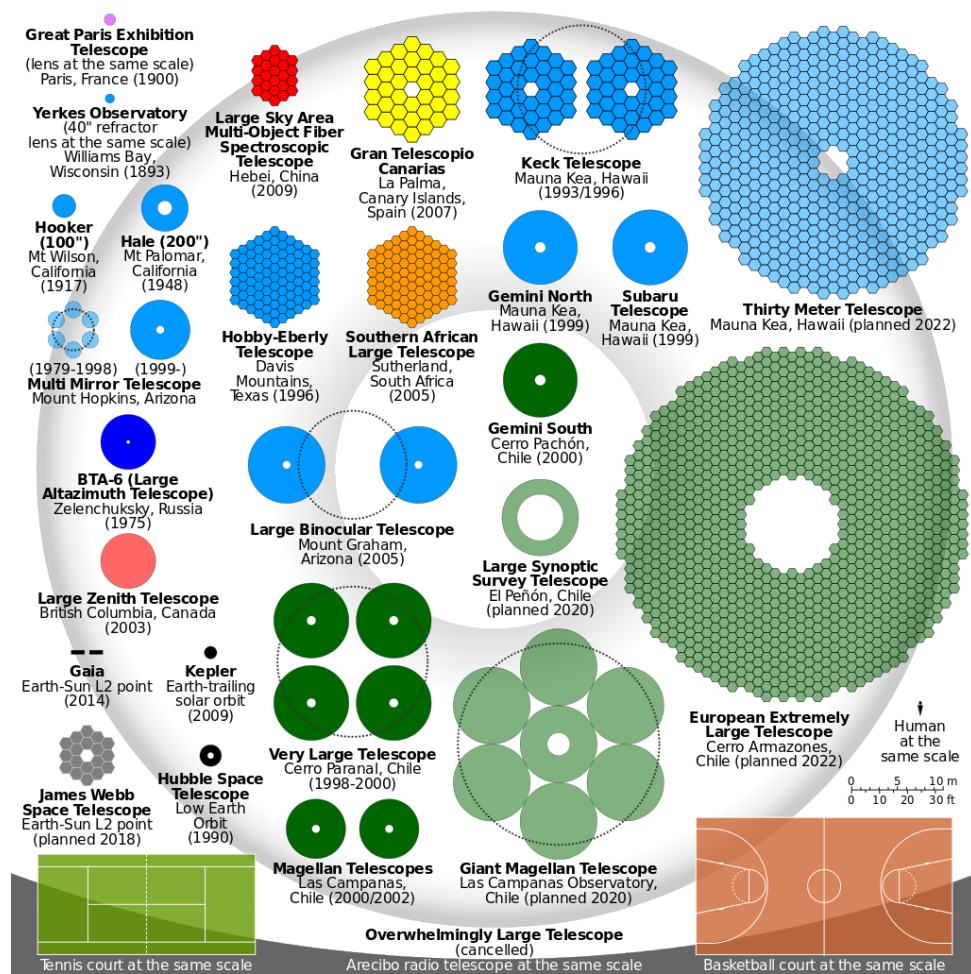


图 2 著名的光学望远镜主镜口径对比

二、 国际规划

2015年5月21日，南非科技部通过2015/16财年预算报告《科学与创新：未来增长的驱动力》。2015/16财年南非科技部的优先领域是：发展人力资本、创建新知识、投资研究与基础设施、鼓励创新；主要投资的旗舰计划包括：平方千米列阵 MeerKAT 天文望远镜的建设。²

2014年10月7日，西班牙科技创新政策委员会发布了《2014年科技基础设施地图》报告，介绍了西班牙主要科技基础设施的情况（56个使用中、3个筹建中），对这些设施的建设和完善提出了以下要求：必须按照高质量要求建设和完成，以更好地推动尖端科技的研发；建设方需竞标通过严格流程选出；设施建设需保证带来可持续的经济效益；设施归国家所有，但科研领域的公共和私营机构都可使用。这些设施主要涉及8个领域，其中第一项为：（1）天文学和天体物理学：加那利和 IRAM 30 米射电望远镜、加那利群岛观测站、卡拉阿托和 Javalambre 天体物理天文台、YEBES 天文中心、坎夫兰克地下实验室。³

2014年8月2日，第40届国际空间研究委员会（COSPAR）学术会议在莫斯科大学开幕。在这个空间科学领域最有影响的综合性国际学术会议上，俄罗斯科学院航天研究所所长泽列内表示，月球和火星研究将是俄罗斯未来十年航天研究的优先领域。泽列内介绍了俄方相关具体工作计划。主要包括：- 2016-2018年，与欧洲航天局联合落实“ExoMars”火星计划相关阶段的任务（项目全称为“Exobiology on Mars”，主要任务包括寻找火星生命的生物标记、研究火星环境以研判未来载人登陆火星的危险性等）；- 2016年，参加由欧洲航天局和日本宇宙开发机构合作开展的“BepiColombo”水星探测项目（该项目以意大利科学家贝皮·哥伦布的名字命名）；- 2017年，发射“光谱-伦琴和伽马射线”（Спектр-РГ）太空望远镜；- 2019年，发射“月球-水珠”（Луна-Глоб）月球探测器；- 2020年，发射在紫外线光谱范围内工作的太空天文台；- 2021-2023年，发射“月球-资源”（Луна-Ресурс）月球探测器的轨道器和着陆器；如条件成熟，俄罗斯将于2024年左右重新发射“火卫-土壤”（Фобос-Грунт）探测器，以完成从火卫-采集土壤并送回地球的任务。⁴

2014年3月，英国政府宣布新增3亿英镑资助三项大科学工程，分别是将

²<http://www.dst.gov.za/index.php/media-room/latest-news/1386-science-and-innovation-driving-forces-for-future-growth>

³http://www.idi.mineco.gob.es/stfls/MICINN/Prensa/FICHEROS/2014/141007_NP_Consejo ICTS.pdf

⁴http://www.cistc.gov.cn/introduction/info_4.asp?column=222&id=85567

建于瑞典的新欧洲中子源，平方公里阵列射电望远镜（SKA），以及欧空局的系外行星探索任务。英国政府决定重新加入世界上最大的天文学工程 SKA，资助金额为 1.19 亿英镑。SKA 将在非洲南部和澳大利亚建立成千上万个射电天线和其他天线，以解决从黑洞的特性和星系的演化到暗能量、宇宙磁性以及第一批恒星的诞生等一系列天文学问题。英国政府在建设的第一期作出了重要的贡献。还有一项名为“柏拉图”任务打造一些仪器。“柏拉图”任务将于 2024 年发射，目的是寻找其他恒星的宜居行星。英国政府将投入 2500 万英镑，这使 11 个英国机构能参与到该项目中。⁵

未来将要建成的大口径望远镜见表 1。

表 1：未来光学望远镜

Name	Aperture diameter (m)	Collecting area (m ²)	First light
European Extremely Large Telescope (E-ELT)	39.3	978	2024
Thirty Meter Telescope (TMT)	30	655	postponed
Giant Magellan Telescope (GMT)	24.5	368	2021
Chinese Giant Solar Telescope (CGST)	8		2020
Large Synoptic Survey Telescope	8.4	35	2019
The Advanced Technology Solar Telescope	4		2018

1. 欧洲极大望远镜

ESO 组织的极端巨大望远镜计划”(Extremely Large Telescope,ELT) 包含“欧洲极大望远镜”(European Extremely Large Telescope,E-ELT (39m)), “30 米望远镜”(Thirty Meter Telescope,TMT)和巨型麦哲伦望远镜 GMT(Giant Magellan Telescope), 主镜口径为 20m-100m。

前期计划建造 Overwhelmingly Large Telescope (OWL) (100m), 由于技术与经费制约, 已经被“欧洲极大望远镜”(European Extremely Large Telescope,E-ELT (39m) 替代

欧洲极大望远镜 (European Extremely Large Telescope, E-ELT) 是欧洲南方天文台 (ESO) 在建的地面光学天文望远镜, 选址智利阿马索内斯山, 主镜直径为 39 米, 由近 800 个六角形小镜片拼接而成, 德国马普地外物理研究所负责开发欧洲极大望远镜的主镜。预计花费 11.7 亿美金。

欧洲极大望远镜项目的建造工作在 2012 年 6 月获得批准, 主要分为两个阶段。在第一阶段用于建造望远镜的主体部分和望远镜的自适应光学系统, 配备中红

⁵<http://news.sciencemag.org/europe/2014/03/u.k.-shower-money-three-big-science-projects>

外成像仪和光谱仪、自适应光学成像仪以及高分辨率光学和近红外积分场光谱仪。

该望远镜将关注系外行星的物理和化学特性、原行星盘和行星形成机制、太阳系历史、超大质量黑洞演化和高红移星系的研究等。同时，还将观测遥远的类地行星，能够对系外行星进行初步观测，确定遥远的恒星系统附近是否存在行星。

2. 三十米望远镜

“三十米望远镜”(Thirty Meter Telescope, TMT)于2014年10月在美国夏威夷冒纳凯阿火山开工建设，由美国、加拿大、日本、中国、巴西、印度等国参与建造，预计2022年运行，项目概算约为10亿美元。

三十米望远镜由492个独立的六角镜组成，主镜直径30米/98英尺，采用拼接镜面主动光学、自适应光学以及精密控制等技术。通过该望远镜，科学家试图观测银河系中央超大质量黑洞，对黑洞周围复杂环境进行观测，验证爱因斯坦的时空理论。

2015年12月2日，夏威夷最高法院撤销了三十米直径的巨型望远镜建筑许可证，认为美国国土资源部错误地将许可证颁发给一个有争议的施工项目。夏威夷法院要求在这个争议案件获得解决和举行听证会之后，才能继续施工建造。

3. 巨型麦哲伦望远镜

“大麦哲伦望远镜”(Giant Magellan Telescope/GMT)于2015年11月11日在智利开工建设，安置地点已经确定为拉斯坎帕纳斯天文台，位于智利赛雷纳东北约115公里的阿塔卡马沙漠，圆顶建筑22层楼高。11个国际合作伙伴已经承诺将投资5亿美元，预计首次开光时间为2021年，全面投入运行时间为2024年。

“大麦哲伦望远镜”包含7个直径8.4米的主镜(还有一个备份)，解析力相当于24.5米的主镜，而集光力等同于21.4米的单镜。美国亚利桑那大学的“史都华天文台镜面实验室”负责制造主观测镜片。

该望远镜将主要用于观测并帮助解决宇宙学、天体物理学等问题，将担负探寻宇宙中恒星和行星系的生成、暗物质、暗能量和黑洞的奥秘，以及银河系的起源等重任，帮助天文学家对太阳系外的行星展开研究。

4. 中国巨型太阳望远镜

中国巨型太阳望远镜计划(Chinese Giant Solar Telescope (CGST))是针对“国家中长期基础设施重点建设规划”、由我国实测太阳物理相关领域多家单位联合提出的。项目目标是通过10年左右时间建设成为世界上空间分辨率和偏振测量

精度最高的、具有国际领先水平的太阳红外和光学望远镜。项目得到了中国科学院和国家自然科学基金委等部门的大力支持，部分预研究已先期启动。

目前国内太阳研究界已经启动了“西部太阳选址”计划，期望利用 4 年左右的时间，在中国境内天文气象条件最好的西部为巨型太阳望远镜和其他下一代太阳观测设备选出最佳观测台址。

5. 大口径全景巡天望远镜

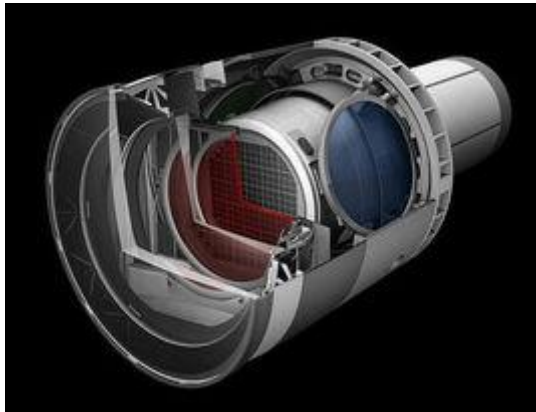


图 3：大口径巡天望远镜摄像机

2015 年 1 月，美国天文学会年会展台上，由华盛顿大学和其他研究机构的科学家开发的一种叫做 LSST (Large Synoptic Survey Telescope) 的革命性新型大口径全景巡天望远镜。该望远镜项目由美国国家科学基金会和能源部共同资助。它可能将在 2021 年开始与公众分享所有数据和图像，任何人都能够用计算机看到。

大口径全景巡天望远镜将安装在美国能源部斯坦福直线加速器中心的国家加速度实验室上，成为大口径全景巡天望远镜的眼睛，揭示空前的宇宙细节，帮助科学家解开一些最大的科学谜团。

大口径全景巡天望远镜的相机将包括一个改变过滤器的机械装置和一个快门。动画展示了这个机械装置的运作情况，它将使这部相机观测不同波长。这部相机将有能力观测从近紫外线到近红外线等不同波长的光。

大口径全景巡天望远镜的 32 亿像素相机将和一辆小型汽车差不多大，重量超过 3 吨。它将以极高分辨率拍摄整个夜空。它拍摄的一张照片将需要 1500 个高清电视屏才能充分展示出来。2015 年初，这部相机的双面主镜/三镜制造完成。与此同时，在智利北部进行的一个传统的奠基仪式标志着建造现场设施的开始。一个近 2000 平方英尺、两层高的无尘室已在斯坦福直线加速器中心建造完成，将为大口径全景巡天望远镜的建造提供帮助。

6. 先进技术太阳望远镜

新技术太阳望远镜（The Advanced Technology Solar Telescope, ATST），是美国 NSF 支持的太阳物理领域的重大设备，投资约 3 亿美元，目前已经进入工程实施阶段，预计 2018 年初光。台址选定夏威夷的 Haleakala，已于去年破土动工。ATST 口径 4 米，是处于工程建设中的最大口径光学/红外太阳望远镜（目前最大口径的太阳望远镜为美国大熊湖天文台 1.6 米 NST，尚在试观测期）。工作波段从近紫外到中红外，拟采用千单元量级的自适应光学系统，将是未来一段时间功能最强大的地基太阳望远镜。目前，在国际上所有在研项目中，仅有我国太阳物理界正在推进的中国巨型太阳望远镜计划的性能指标可以超越它。

第二章 国际 8-10m 地基光学/红外天文望远镜

一、 凯克望远镜(KECK)⁶

凯克望远镜 (KECK) 由两架完全相同的口径 (10 米) 的拼合反射镜——KECK-1 和 KECK-2 组成。位于太平洋夏威夷岛莫纳克亚山顶, 海拔 4270 米, 19.82636°N 155.47501°W。

凯克望远镜(KECK)建造是由美国加利福尼亚大学(University of California)和加州理工学院(California Institute of Technology)发起并建造的, 1996 年 NASA 也加入了凯克望远镜(KECK)项目。



图 4: KECK 外观

凯克望远镜 (KECK) 现在由加州天文研究协会 (California Association for Research in Astronomy) 进行管理, 加州天文研究协会 (California Association for Research in Astronomy) 是一个非盈利组织。观测时间由加州理工学院 (Caltech), 夏威夷大学系统 (the University of Hawaii System)、加利福尼亚大学 (University of California) 和 NASA 来分配。其中加利福尼亚大学 (University of California) 接收来自美国的观测申请, NASA 接收来自全球的观测申请。

凯克望远镜 (KECK) 由美国的企业家凯克 (W. M. Keck Foundation) 捐助

⁶http://www.keckobservatory.org/about/vision_and_mission

约 1.4 亿美元建造的。

◆ **建造年表⁷:**

- 1977 开始设想建设大望远镜
- 1979 通过 10m 望远镜设计
- 1983 Hoffman 资助\$50M
- 1983 Jerry Smith joins 成为项目管理人
- 1983 Keck 提供资助
- 1983 确定两个望远镜的参数
- 1984 Hoffman 去世
- 1984 通过 UC-Caltech 项目
- 1985 Keck 资金到位
- 1985 项目开始建设
- 1990 初光
- 1991 Keck 2 开始建设
- 1994 开始科学观测
- 1996 Keck 2 开始科学观测

(一) KECK 科学目标⁸

凯克望远镜在 2010-2020 期间的观测计划主要倾向于以下领域:

- ◆ 高角分辨率天体物理 (High angular resolution astrophysics)
- ◆ 暗弱目标, UV 到 K 波段高精度光谱. (Faint object, high-precision and

⁷http://www.keckobservatory.org/images/files/podcast/24_5479.pdf

⁸http://159.226.251.229/videoplayer/KeckObs_ProgramsSubcom_RFI.pdf?ich_u_r_i=2d085c2e5fef8a953de08ccf5158ae58&ich_s_t_a_r_t=0&ich_e_n_d=0&ich_k_e_y=1645058909750763542471&ich_t_y_p_e=1&ich_d_i_s_k_i_d=1&ich_u_n_i_t=1

highly-multiplexed spectroscopy from UV to K-band.)

- ◆ 灵活开拓新机遇 (Flexibility to exploit emerging opportunities)
- ◆ 高效运行 (Highly efficient operations)
- ◆ 培养本领域未来领导者 (Training the future leaders of the field)

(二) KECK 主要参数⁹

表 2: keck 望远镜主要参数

部位	参数名称	参数值
望远镜 (Telescope)	光学设计 (Optical design)	Ritchey-Chretien
	结构 (Mount)	Altazimuth
	总体高度 (Overall height)	24.6 meters
	总移动重量 (Total moving weight)	270 tons
	镜子重量 (Total weight of glass)	14.4 tons
主镜 (Primary mirror)	设计 (Design)	Actively controlled, segmented hexagon
	有效直径 (Equivalent diameter)	10 meters
	形状 (Figure)	Concave hyperboloid
	子镜数量 (Number of segments)	36
	子镜直径 (Segment diameter)	1.8 meters
	子镜厚度 (Segment thickness)	75 mm
	子镜重量 (Segment weight)	400 kg
	拼接间隙 (Gap between segments)	3 mm
	子镜材料 (Segment material)	Zerodur low-expansion glass-ceramic
	采光面积 (Light collecting area)	76 square meters
副镜 (Secondary mirror)	焦比 (Focal ratio)	f/1.75
	形状 (Figure)	Convex hyperboloid
穹顶 (Dome)	外形 (Shape)	Circular
	高, 宽 (Height, Width)	30.8 x 37 meters
仪器 (Instrumentation)	移动重量 (Moving weight)	635 tons
	打开时间 (Total air-replacement)	5 minutes
	可见光波段 (Visible band)	0.3 - 1.0 micron
	红外波段 (Infrared band)	1.0 - 27.0 micron
	自适应光 (Adaptive Optics)	1-5 micron IR

⁹<http://spacecraftkits.com/KFacts.html>

(三) KECK 关键技术

- ◆ 由小镜片组合成大镜片，这种技术堪称望远镜的革命，凯克望远镜就是这种新思路的代表作品
- ◆ 价值 740 万美元的的光学自适应系统-可变形反射镜片每秒改变 2000 次-自适应光学(AO)，2004 年凯克天文台在研制了大望远镜激光导星自适应系统。
- ◆ 应力抛光技术使每部分的表面非常光滑，如果像地球那么宽，表面不平整也只有 3 英尺。

(四) KECK 后端仪器¹⁰

表 3: KECK 望远镜当前仪器¹¹

Keck-1	Keck-2
高分辨率光栅光谱仪(HIRES)	DEIMOS (深河外星系成像多目标光谱仪)
低分辨率成像光谱仪 (LRIS)	小阶梯光栅光谱仪和成像仪 (ESI)
红外探测多目标光谱仪-MOSFIRE	第二代近红外照相机 (NIRC-2/AO)
外成像光谱仪 (OSIRIS)	近红外光谱仪 (NIRSPEC)
	KCWI (未来安装)
	NIRES (未来安装)

表 4:KECK 望远镜各仪器 FOV

仪器名称	波段	FOV
DEIMOS (深河外星系成像多目标光谱仪)	VISIBLE BAND (0.3-1.0 Micron)	3.6×3.6 arcmin
小阶梯光栅光谱仪和成像仪 (ESI)	VISIBLE BAND (0.3-1.1 Micron)	Guider Total FOV 3×3 arcmin; 成像模式 (imaging mode) 下的 FOV: 2×8 arcmin (full field) 2.1×3.5 arcmin (for 93×154 mm filters)

¹⁰<http://www.keckobservatory.org/about/instrumentation>

¹¹<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/index.php>

高分辨率光栅光谱仪 (HIRES)	VISIBLE BAND (0.3-1.2 Micron)	A Canon 200 mm 1/1.8 lens provides a 45 by 60 arcsec field-of-view; HIRES camera covers a 6.7 ° diameter field of view ¹² ;
低分辨率成像光谱仪 (LRIS)	VISIBLE BAND (0.3-1.3 Micron)	6×7.8 arcmin
自适应光学系统 (ADAPTIVE OPTICS)	NEAR-INFRARED (1-5 Micron)	
红外探测多目标光谱仪 -MOSFIRE	NEAR-INFRARED (1-6 Micron)	6.1' x 6.1'
第二代近红外照相机 (NIRC-2/AO)	NEAR-INFRARED (1-7 Micron)	
近红外光谱仪 (NIRSPEC)	NEAR-INFRARED (1-8 Micron)	
OH-Suppressing 红外成像 光谱仪 (OSIRIS)	NEAR-INFRARED (1-9 Micron)	

1. 深河外成像多目标摄谱仪¹³

DEIMOS (The Deep Extragalactic Imaging Multi-Object Spectrograph) (深河外星系成像多目标光谱仪) 是目前世界上最先进的光纤光谱仪, 可见光波段、暗弱天体、多狭缝成像的光谱仪。2002 年被安装到 KECK-2 的内氏焦点处。一次曝光可以采集至少 130 个星系的光谱。在 ‘Mega Mask’ 模式下, 使用一种特殊的窄带滤波器, 可以拍摄至少 1200 个目标的光谱。DEIMOS 由 UCO/Lick 天文台设计建造, 首席科学家为 Sandra M. Faber, 项目负责人为 Dave Cowley。

表 5: DEIMOS 的物理和光学特性¹⁴

参数	参数值
位置 (Location)	Right Nasmyth platform, Keck II; removable from focus
布局 (Layout)	Capacity for two cameras fed from common collimator; only one camera presently built
旋转范围 (Rotator)	732 ° rotation (-330 ° < ROTPPOSN < +402 °)
用户访问 (User access)	Slit masks, all gratings and all filters
导星系统 (Guiding system)	One guider; 3.6×3.6 arcmin FOV; slit-viewing and offset modes are both available
摄谱仪弯曲控制 (Spectrograph flexure control)	Two-coordinate beam-steering with closed-loop feedback
弯曲 (未校正) (Flexure)	Dispersion axis: ~20 px peak-to-peak image motion over 360 ° rotation

¹²HIRES: the high resolution echelle spectrometer on the Keck 10-m telescope, Vogt, S.S. *et al.*, 1994, Proc. SPIE, 2198, 362

¹³<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/deimos/>

¹⁴<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/deimos/specs.html>

(uncorrected))	Spatial axis: ~6 px peak-to-peak image motion over 360° rotation Precise amount varies among the sliders
弯曲 (已校正) (Flexure corrected)	<0.5 px image in each axis
光缝掩模 (Slit masks)	11 slots in cassette, with one spot reserved for dedicated focusing mask and 10 available for observer use; cylindrical radius of curvature matched to focal plane curvature
光缝选择 (Slit options)	Slit lets of arbitrary size and orientation
色散元件 (Dispersive elements)	2 slots for 6×8 in gratings
成像选择 (Imaging option)	Silvered flat mirror replaces grating
滤光器 (Filters)	6.25×6.25 in glass filters; 7 slots; BVRIZ, GG400, GG455, GG495, OG550
准直器焦距 (Collimator focal length)	86.50 in
相机焦距 (Camera focal length)	15.00 in
光束直径 (Beam diameter)	6.33 in for 10.95 m primary; 5.79 in for 10.02 m primary
单色光焦比 (Monochromatic f/ratio)	f/2.358 for 11.00 m primary; f/2.586 for 10.02 m primary
多色光焦比 (Polychromatic f/ratio)	f/1.29
探测器刻度 (Scale at detector)	0.00759 arcsec/μm; 0.1185 arcsec per 15 μm px
CCD 探测阵列 (CCD detector array)	8192×8192 px (15 μm px); 2×4 mosaic of 2K×4K CCDs
相机视场角 (Angular field radius of camera)	11.40°
相机透射率 (Camera glass transmission*)	97% for λ > 5200 Å; 88% at 3900 Å; 93% at 4400 Å
总透光率 (Total camera throughput*)	85% at λ > 5200 Å; 77% at 3900 Å (including coatings and transmission)

表 6: DEIMOS 的成像性能¹⁵

参数	参数值
视场形状 (Field shape)	Rectangular with 2 lopped-off corners; sliver out of long side
矩形视场大小 (Outer dimensions of rectangular field)	16.7 arcmin×5.0 arcmin
CCD 间隙失去面积 (Area lost to CCD mosaic gaps)	0.4 arcmin×5.0 arcmin
CCD 像素大小 (CCD pixel scale)	0.1185 arcsec per px (15 μm px)
波长范围 (Wavelength range (imaging))	4000 Å - 10,500 Å
标准滤光器 (Standard filters ¹)	BVRIZ + 2 user filters
6000 Å 的透光率 (Throughput at 6000 Å ²)	40% (including telescope)
成像大小 (Image size)	sigma=1.1 px in center, 1.4px at edge

¹⁵<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/deimos/specs.html>

预期计数率 (Expected count rate ³)	800 e- per sec in V band at 21.0 mag
模式变换 (Mode changes)	120-190 sec changeover between mirror and grating, depending on slider

注意:

1. ~4000 Å 有轻微红移。
2. 透光率指 CCD 的 QE 为 0.6 和所有反射面镀银, 不包含滤光器和空气。
3. V 星等是指通过标准 V 滤光器进入望远镜的光。

表 7: DEIMOS 的光谱学性能¹⁶

参数	参数值
总光缝长度 (Total slit length)	16.7 arcmin
可用光缝长度 (Usable slit length ¹)	16.3 arcmin
光缝数量 (Total number of slitlets)	up to 130 slitlets with 1.5 arcsec gaps
光缝倾斜 (Tilted slits)	up to 30°
CCD 探测器刻度 (CCD detector scale)	0.1185 arcsec per px (15 μm px)
波长范围 (Wavelength range (spectra))	4100 Å -- 11,000 Å
阻挡滤光片 (Order blocking filters)	GG400, GG455, GG495, OG550
光缝宽度 (Slit widths)	User selectable by choice of mask; long-slits will provide variety of fixed widths
光缝宽度设计值 (Design slit widths)	1.0 arcsec nominal, 0.5 arcsec good seeing
典型直线性精度 (Typical alignment accuracy)	0.1 arcsec in both spectral and spatial axes
光栅 (Current gratings (all 6×8 in))	600 l/mm (7500 Å blaze; aluminized); 830 l/mm (8640 Å blaze; gold-coated); 900 l/mm (5500 Å blaze; aluminized); 1200 l/mm (7500 Å blaze; gold-coated);
光栅槽数目 (Number of grating slots)	2 slots available
对应色散 (Corresponding dispersions)	0.65 Å/px, 0.47 Å/px, 0.44 Å/px, and 0.33 Å/px
光谱长度 (Spectral lengths (8000 px))	5300 Å, 3840 Å, 3530 Å, and 2630 Å
半峰全宽分辨率 (FWHM resolutions)	3.5 Å, 2.5 Å, 2.1 Å, and 1.1-1.6 Å for 0.75 asec slit
透光率 (Throughput at 6000 Å ²)	29% (including telescope)
计数率 (Count rate at 6000 Å)	1.0 e- per sec at V = 21.0
预期一小时弱星体信噪比 (Predicted S/N on faint stellar objects in one hour (low resolution) ³)	5 for V = 24.0; 12 for V = 23.0; 21 for V = 22.0
一小时弱星系信噪比 (Achieved S/N on faint galaxies in one hour (high resolution) ⁴)	0.3-0.6 for R = 24.0; 0.6-1.2 for R = 23.0; 1.2-2.4 for R = 22.0; 2.2-4.6 for R = 21.0;

注意:

1. 光缝长度对应探测器像素。
2. 透光率指 CCD 的 QE 为 0.6 和所有反射面镀银。
3. 信噪比指点源在 3600 秒积分, 0.75 角秒光缝, 0.7 角秒在 5500 Å 和 0.65 Å/px 条件下。V 是透过光缝的强度, 假设为 21.25 mag/arcsec。
4. 获得的信噪比为银河系在 3600 秒积分, 1.0 角秒光缝, 在 7000 Å 和 1200G 光栅条件下。R 指总强度, 不包含光缝丢失的量。

¹⁶<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/deimos/specs.html>

2. 小阶梯光栅光谱仪和成像仪¹⁷

ESI (The Echellette Spectrograph and Imager, 小阶梯光栅光谱仪和成像仪) 是一个工作在可见光波段, 可对暗弱天体成像的单缝光谱仪, 1999 年被安装在 KECK-2 望远镜的卡塞格林焦点处。ESI 由 UCO/Lick 天文台设计建造, 首席科学家为 J. S. Miller, 项目负责人为 Dave Cowley。

表 8: ESI 通用技术参数

位置 (Location)	Keck II Cassegrain (f/15)
焦平面刻度 (Focal plane scale)	0.725 mm/arcsec
探测器刻度 (Scale at detector)	0.1542±0.0010 arcsec/pixel
波长范围 (Wavelength range)	0.39–1.1 microns
探测器 (Detector)	MIT-LL 2048×4096 CCD, 15 micron pixels
CCD 灵敏度 (CCD sensitivity)	QE of 10% (at 0.32 m), 61% (0.4 m), 82% (0.5 m), 80% (0.6 m), 77% (0.7 m), 69% (0.8 m), 45% (0.9 m), 11% (1.0 m)
读出电子学 (Readout electronics)	Leach 2 DSP programmable
读出模式 (Readout modes)	Single or dual amplifier; slow, normal, and fast (the default) modes
读出时间 (Readout times)	39 sec (dual-amp, default [fast] speed) 70 sec (single amp, default speed)
读出噪声 (Readout noise)	2.5 electrons/pixel (normal readout speed)
光栅 (Grating)	175 lines/mm, 32.3 °blaze angle
交叉色散 (Cross dispersion)	Two prisms, first used in double-pass mode.
光缝、滤波器固定轮 (Slit/filter wheels)	Three, only first (slit wheel) in focal plane. Five "slots" in each wheel. Each slot can accomodate up to three filters. Normally one slot is left clear in each wheel.
波长校准灯 (Wavelength calibration lamps)	Xe, HgNe, CuAr, quartz
导星仪 (Guider)	Slit viewing with offset field 1024×1024 Photometrics PXL CCD Total FOV 3×3 arcmin. 0.233 arcsec/pixel 50×50 mm filters, initially only ND filter provided.
光栅模式 (Echellette mode)	
波长范围 (Wavelength range)	0.39–1.1 microns
光谱分辨率 (Spectral resolution)	As low as 22.4 km/sec (FWHM) using 0.3 arcsec slit
分辨本领 (Resolving power ($R=\lambda/\Delta\lambda$))	As low as 22.4 km/sec (FWHM) using 0.3 arcsec slit
光缝长度 (Slit length)	20 arcsec
光缝宽度 (Slit widths)	0.3, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 6 arcsec (all on same slit plate, selectable using mask in second wheel)
阻挡滤光片 (Order blocking filters)	None
低色散模式 (Low-dispersion mode)	

¹⁷<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/esi/>

波长范围 (Wavelength range)	0.39–1.1 microns
光谱分辨率 (Spectral resolution)	R=6000 (0.39 microns) to R=1000 (1.1 microns)
光缝长度 (Slit length)	8 arcmin
光缝宽度 (Slit widths)	0.5, 0.75, 1, 1.25, 6 arcsec (each on a separate slit plates). Currently only the 1 and 6 arcsec slits are available.
阻挡滤光片 (Order blocking filters)	None needed; dispersion provided by prisms, which have no higher-order spectra.
光缝掩模 (Slitmasks)	Not available initially.
成像模式 (Imaging mode)	
视场 (Field of view)	2×8 arcmin (full field) 2.1×3.5 arcmin (for 93×154 mm filters)
刻度 (Scale)	0.1542±0.0010 arcsec/pixel
滤光器 (Filters)	B, V, R, I (93×154 mm; 128×212 arcsec FOV) full-field R filter (2×8 arcmin FOV) holders for two 100×100 mm filters (138×138 arcsec) holders for three 50×50 mm filters (69×69 arcsec)
用户界面 (User Interface)	
电子控制 (Control electronics)	intelligent Galil controllers, parallel stage control
计算机 (Computer)	Sun Ultra 2, OpenWindows
图像显示 (Image display)	FIGDISP with tcl/tk GUI
GUI 控制 (Control GUI)	Dashboard (tcl/tk-based)
数据压缩 (Data reduction)	IRAF, IDL, Vista, custom echelle reduction software

3. 高分辨率光栅光谱仪¹⁸

高分辨率光栅光谱仪 HIRES(High Resolution Echelle Spectrometer)是 KECK 望远镜最大、机械最复杂的设备。HIRES 被永久安装在 KECK-2 的内氏焦点处，是一个标准光栅后分散 (grating post dispersion) 的面内阶梯光栅光谱仪。HIRES 把入射星光分解成组分颜色来测量每个颜色通道上精确的强度。HIRES 优异的光谱性能成就了很多突破性发现，如，系外行星探测，大爆炸理论模型的直接证据。

HIRES (High Resolution Echelle Spectrometer)是一个光栅交叉分散、阶梯光栅光谱仪，能够在 0.3 和 1 微米之间操作。虽然狭缝可根据特殊要求进行调节，但是几乎所有的观测者都会选择分辨率大约为 25000 和 85000 之间的缝隙板。因级次分离 (order separation) 分布 6 和 43 角秒之间，所以狭缝在长度上可以实现多种变化。HIRES 当前并不具备多狭缝性能 (multi-slit capability)。

观测者可以使用配置 HIRESb 或者配置 HIRESr。HIRESb 和 HIRESr 使用不

¹⁸<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/hires/>

同的交叉分散器和准直器，对短波和长波观测进行了优化，在 4200 埃两者的效率相等。在夜间，两者之间不可切换。

表 9：高分辨率光栅光谱仪 HIRES 结构参数¹⁹

结构名称	参数
准直光束直径	12'
光栅	1 x 3 mosaic; 12' by 48' in total size; 52.6 gr mmMIN1, R-2.8 echelles.
交叉分散器 (cross disperer)	2 x 1 mosaic, 24' by 16 ' in size
相机 (camera)	a large (30' aperture) f/1.0, all spherical, all fused silica, catadioptric system with superachromatic performance. It spans the entire chromatic range from 0.3 (mu) to beyond 1.1 (mu) , delivering 12.6-micron (rms) images, averaged over all colors and field angles, without refocus.
探测器 (detector)	a thinned, backside-illuminated, Tektronix 2048 x 2048 CCD with 24-micron pixels, which spans the spectral region from 0.3 (mu) to 1.1 (mu) with very high overall quantum efficiency.
光谱分辨率 (spectral resolution)	67,000, 受 CCD pixel 尺寸限制
通量 (overall 'throughput' (resolution x slit width) product)	39,000 arcseconds
峰值效率 (Peak overall efficiency for the spectrograph (not including telescope and slit losses))	13% at 6000 angstrom
视场(FOV: field-of-view)	A Canon 200 mm 1/1.8 lens provides a 45 by 60 arcsec field-of-view; HIRES camera covers a 6.7 ° diameter field of view;

◆ 高分辨率光栅光谱仪(HIRES)的主要相关文章：

➤ 分辨率概述：

HIRES: the high resolution echelle spectrometer on the Keck 10-m telescope, Vogt, S.S. et al., 1994, Proc. SPIE, 2198, 362

➤ 早期科学成果：

An Overview of Science Results from HIRES: the First 6 Years. Vogt, S.S., 2002, ASPC, 270, 5

➤ 通量校正和旋转器：

¹⁹HIRES: the high resolution echelle spectrometer on the Keck 10-m telescope,Vogt, S.S. et al., 1994, Proc. SPIE, 2198, 362

Relative Flux Calibration of Keck HIRES Echelle Spectra. Suzuki, N., et al., 2003, PASP, 115, 1050

➤ **HIRES 曝光计系统**

A comparison of exposure meter systems for three exo-planet hunting spectrometers: Hamilton, HIRES, and APF.

Kibrick, R.I., et al., 2006, Proc. SPIE, 6274, 58

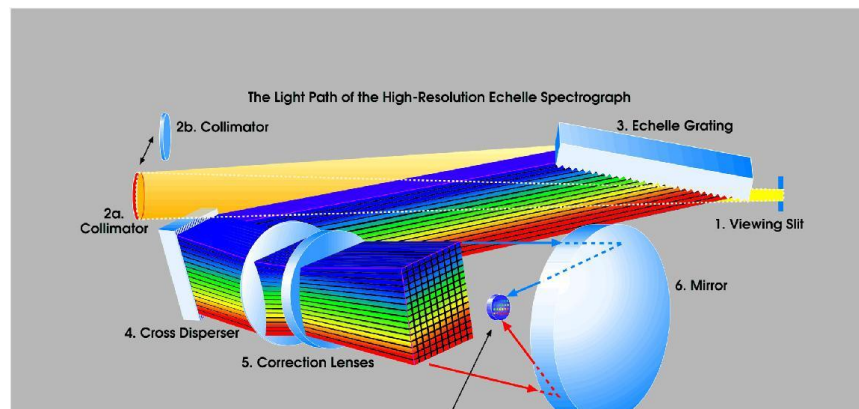


图 5:HIRES 结构示意图

4. 低分辨率成像光谱仪²⁰

低分辨率成像光谱仪 (LRIS, The Low Resolution Imaging Spectrograph) 是一个微光仪器，工作在可见光波段，被安装在 KECK-1 的凯塞格林焦点处。可以获取宇宙中遥远天体的光谱和图像，该仪器配有 red arm 和 a blue arm，可以探测遥远星系的恒星组分、活动星系核，星系团和类型体。低分辨率成像光谱仪 (LRIS) 由加州理工 (Caltech) 建造，项目负责人为 Bev Oke 和 Judy Cohen，后来由 Later James McCarthy 和 Chuck Steidel 负责为光谱仪 LRIS 增加 blue side。

分光片把光分成两路 (two arm), 红、蓝照相机可以同时工作，获取的光谱范围为 3200-10,000 Angstroms。两种模式 (红、蓝) 下的视场 (FOV, field of view) 都是 6×7.8 arcmin.

²⁰<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/lris/>

表 10: 低分辨率成像光谱仪 (LRIS) 结构参数

结构/参数名称	参数
视场 (FOV, field of view)	6×7.8 arcmin
红照相机 (red camera)	原始设计: a mosaic of two LBNL 2k x 4k (原始设计, 2010 年升级为高分辨率 CCD 探测器), 升级后: high resistivity CCD detectors with a pixel scale of 0.135 "/pixel
蓝照相机 (blue camera)	a mosaic of 2 2Kx4K Marconi CCDs and the pixel scale is 0.135 "/pixel
标准成像滤光器 (standard imaging filters)	the UBVGRI passbands, a small number of narrowband imaging filters

光谱分析可以利用一个有多种宽度或者多目标模式的长。光栅 (红光) 和棱栅 (蓝光) 可以产生系统峰值效率为 50% 的 R 从 300 到 5000 的分辨率。可选择偏振测量模块完成分光偏振测量。

◆ 低分辨率成像光谱仪 (LRIS) 的主要相关文章:

- "The Keck Low Resolution Imaging Spectrometer", Oke, J.B., et al.. 1995, PASP, 107, 375.
- "The low-resolution imaging spectrograph red channel CCD upgrade: fully depleted, high-resistivity CCDs for Keck", Rockosi et al.. 2010 SPIE 7735 26.

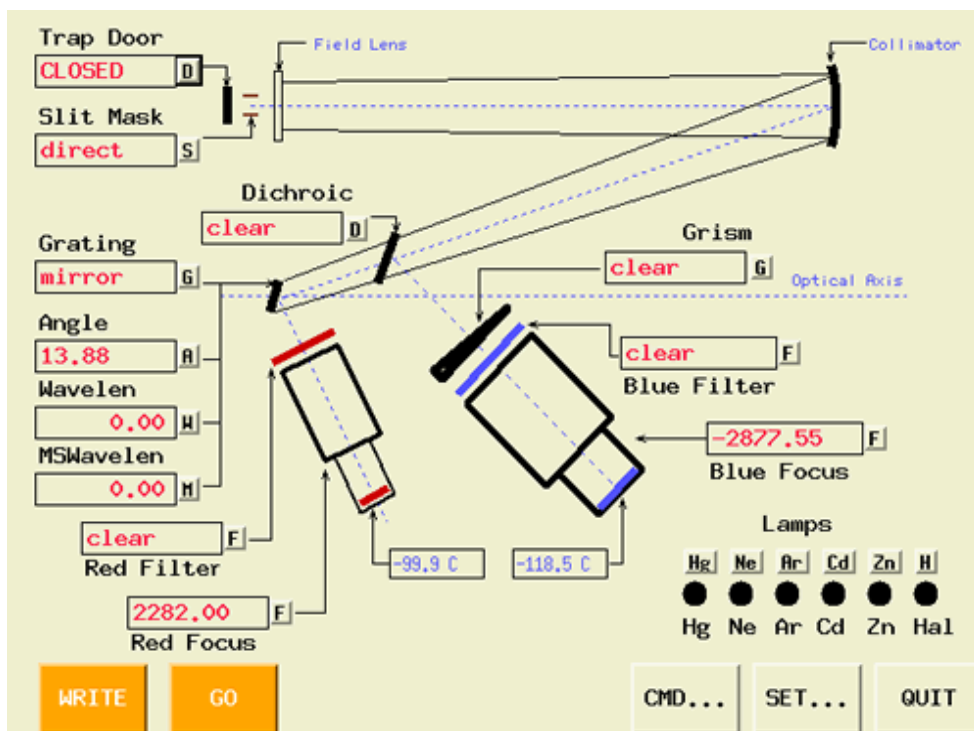


图 6 低分辨率成像光谱仪 (LRIS) 原理图

5. 自适应光学系统

KECK 望远镜的自适应光学系统 (ADAPTIVE OPTICS) 包含两个系统, 分别为 Natural Guide Star Adaptive Optics (NGSAO) 系统和 Laser Guide Star Adaptive Optics(LGSAO)系统, KECK-1 和 KECK-2 皆安装这两种系统. Laser Guide Star Adaptive Optics(LGSAO)系统可用于在 Keck II 上 NIRC2 和 NIRSPA0 和在 Keck I 的 OSIRI 科学观测. KECK-1 仅用于干涉测量, 没有安装科学相机, KECK-2 上安装了一些列的观测仪器设备。²¹

自适应光学系统以每秒 1000 次的效率感知补偿入射星光受到的大气层扰动。使得成像质量得到了大幅度的提升, 使图像质量提高 10 到 20 倍。

²¹http://www2.keck.hawaii.edu/optics/aodocs/ApplOptVol43_29oct2004.pdf

表 11: NGS AO 系统

视宁度中值 (Median to good seeing, on-axis)		
R mag.	K-band Strehl	H-band Strehl
7.0	0.58	0.40
11.0	0.54	0.37
13.0	0.50	0.33
13.5	0.47	0.31
14.0	0.40	0.20
14.5	0.32	0.15
15.0	0.22	-
15.5	0.12	-
16.0	0.05	-

◆ **Natural Guide Star Adaptive Optics (NGSAO) 相关文章:**

- Keck NGS AO performance: M.A. van Dam et al. 2004, *Appl. Opt.*, 43, 5458-5467.
- Adaptive Optics Developments at Keck. Wizinowich, P., et al. 2004, Proc. SPIE Glasgow.
- Keck NGS AO first light paper: Wizinowich, P., et al. 2000, PASP 112, 315-319.
- "Characterization of adaptive optics at Keck Observatory: part II", SPIE, Glasgow, 2004
- "Characterization of adaptive optics at Keck Observatory", SPIE, San Diego, 2003
- SPIE August 2003, San Diego Presentation

Laser Guide Star Adaptive Optics (LGSAO) 系统在 KECK-2 上可以与 NIRC2 (Near Infrared Camera)、NIRSPA0 (Near Infrared Spectrometer) 配合观测, 在 KECK-1 上可以与 OSIRIS 配合观测。²²

Laser Guide Star Adaptive Optics (LGSAO) 系统利用钠激光激发距地面 90 km 的大气层处的钠原子, 产生一颗“人造恒星”, 使得 KECK 的自适应光学系统可以观测天空中 70-80% 的目标, 没有激光的时候只能观测 1% 的目标。

在通常的观测条件下, LGSAO 系统产生的 K-band Strehl ratios 为 30%-40%,

²²<http://www2.keck.hawaii.edu/optics/lgsao/>

可观测到 $m_R = 18$ 的天体。²³

◆ **观测参数说明²⁴:**

(倾斜) Tip-tilt stars to $R=19.2$

(倾斜) Tip-tilt stars to $72''$ (偏离光轴) off optical axis (OSIRIS).

(抖动) Dither of up to $5''$ with LGS on-target.

(抖动) Dither of up to $36''$ with LGS on-axis.

(位置角) Position angle mode for stars $R < 17.5$, when (光瞳旋转) pupil rotation $< 2^\circ/\text{min}$

◆ **Laser Guide Star Adaptive Optics (LGS AO) 主要相关文章:**

➤ **Science**

Wizinowich, P., 2013, PASP, 125, 798.

➤ **Overview**

Wizinowich, P., et al. 2006, PASP, 118, 297.

➤ **Performance Characterization**

M.A. van Dam et al. 2006, PASP, 118, 310.

➤ **Performance of K2 WFC upgrade**

M.A. van Dam et al. 2007, KAON 489.

➤ **LGS AO Astronomy**

Liu, SPIE 2006 Proc., 6272-16

➤ **LGS AO Operations**

Le Mignant et al., SPIE 2006 Proc., 6270-12

➤ **LGS AO Operations**

²³http://www2.keck.hawaii.edu/optics/aodocs/PASP06_MvD.pdf

²⁴<http://www2.keck.hawaii.edu/optics/lgsao/performance.html>

Le Mignant et al., SPIE 2006 Proc., 6272-1

➤ **Angular anisoplanatism in LGS AO**

van Dam et al., SPIE 2006 Proc., 6272-106

➤ **Laser Traffic Control**

Summers et al., SPIE 2006 Proc., 6272-143

6. 红外探测多目标光谱仪²⁵

红外探测多目标光谱仪（MOSFIRE），是一个巨大的真空低温仪器，可以收集多种距离的数以千计的天体光谱信息。在固定的视场下可以筛选甄别出 46 个不同的天体目标，并同时记录下这 46 各目标天体的光谱，当重新选定一个新的视场的时候，该仪器通过真空室内的自动机制可以在 6min 之内重新配置好位于焦平面上的微小狭缝分布。²⁶

红外探测多目标光谱仪（MOSFIRE）于 2012 年被安装在 KECK-1 的卡塞格林焦点处。该仪器由 UCLA, CIT,和 UCSC 合作建造的。

表 12: 红外探测多目标光谱仪（MOSFIRE）参数

结构/参数名称	参数
视场（FOV: field of view）	6.1' x 6.1'
探测器（detector）	Teledyne H2RG HgCdTe detector with 2K x 2K pixels
光缝（slit）	Up to 46 slits using a unique cryogenic robotic slit mask system that is reconfigurable electronically in under 5 minutes

²⁵<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/mosfire/>

²⁶<http://www.keckobservatory.org/about/instrumentation>

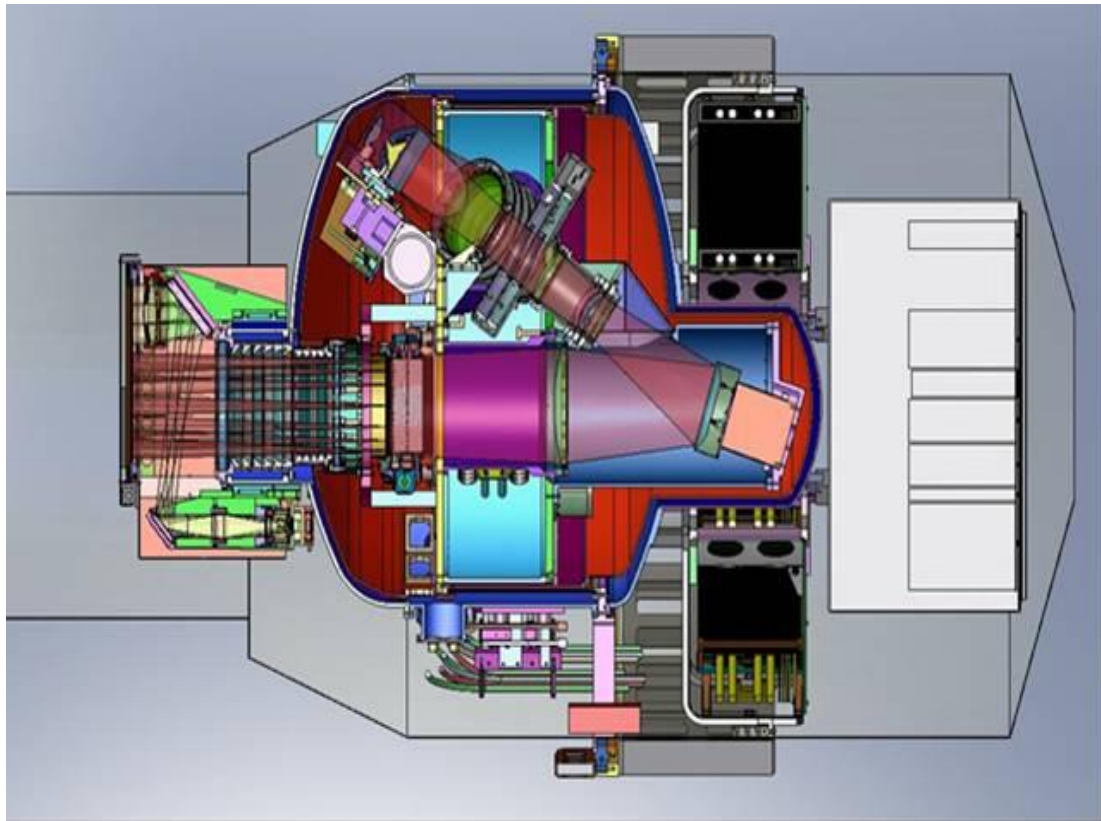


图 7：红外探测多目标光谱仪（MOSFIRE）切面图

7. 第二代近红外照相机

近红外相机的二代相机工作在凯克望远镜的自适应光学系统在 1-5 微米范围内产生最高分辨率的地基图像和光谱。典型的程序包括：太阳系天体的映射表面特征，寻找其他恒星周围的行星，并分析远程星系的形态。

NIRC2 近红外成像仪是为凯克望远镜的自适应光学系统设计的。NIRC2 位于 Keck II 内史密斯平台的左边。仪器工作在 1 到 5 微米，提供三个可选的相机，包括 10、20、40 毫角秒/像素三种。两个滤光轮为滤光器和棱栅提供 18 个位置，焦平面相机提供狭缝和闪动点。一个专门的镜筒为光谱仪提供大棱栅。六个可选的光瞳罩可降低背景噪声。探测器是 1024x1024 的 Aladdin-3 InSb 阵列，有四个读出端输出到 32 通道。

8. 近红外光谱仪

近红外光谱仪主要研究高红移射电星系、位于银河系中心附近星体的运动和类型、褐矮星的性质、星爆星系、活动星系核，星际化学，恒星物理和太阳系科学。近红外光谱仪是为凯克 II 设计的交叉色散的中阶梯光栅光谱仪。近红外光谱仪由 UCLA 近红外实验室设计和制作，是工作在 0.95-5.5 μm 的高分辨率光谱仪。它的分辨本领为在 $\Theta=0.43$ 角秒时为 25000，R 为 0,800。同时提供 R 为 2500 的低分辨率模式。近红外光谱仪由 3 个探测器组成：一个标准的 CCD 导星和偏置导星相机、一个 1-2.5 μm 的近红外狭缝观测相机和一个 1024 x 1024 红外阵列。

9. OH 抑制红外成像光谱仪

OH 抑制红外成像光谱仪 (OSIRIS) 是应用在凯克 I 自适应光学系统上的近红外光谱仪，采用小视野模式在不同波长成像。该仪器可以排除 OH 分子照耀的干扰，从而可以探测比之前弱 10 倍的星体。该仪器采用微透镜阵列采样天空的小矩形区域，分辨率达到了凯克望远镜 10 米的衍射极限，它将提供全频带 (z, J, H, and K) 适中的光谱分辨率 (R~3800)。积分的设计使 2048x2048 红外阵列得到最佳运用，并很好的匹配 AO 目标的紧凑性。

10. 高分辨率的分光仪²⁷

KCWI 安装在凯克 II 的右内史密斯焦点，是可以提供可见光(350-1050 nm) 高分辨率的分光仪，具有可配置的视场和图像分辨率。其主要特点：

高效率 (very high efficiency)

精确天空背景扣除 (extremely accurate sky subtraction)

灵活的图像分辨率 (flexible image resolution)

灵活光谱分辨率 (flexible spectral resolution)

方便的 IDL 数据处理 (convenient IDL-based data reduction pipeline)

光学特性 (Optical Characteristics) ²⁸

²⁷<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/kcwi/>

²⁸<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/kcwi/specs.html>

表 13: KCWI 分光仪特性

位置 (Location)	Left Nasmyth platform, Keck II; removable from focus
带宽 (Bandpass (blue channel))	350 to 560 nm (acceptable performance to 700 nm)
视场(Field of View)	20 arcsec x (8.3, 16.5, or 33) arcsec selectable
望远镜刻度(Telescope Plate Scale)	1.375 arcsec/pixel
探测器刻度(Detector Plate Scale)	0.15 arcsec/pixel
IFU 光瞳阵列半径(IFU Pupil Array Radius)	225 mm
IFU 切分器半径(IFU Slicer Radius)	5200 mm
像差校正(Aberration Correction)	Cylindrical fold mirror
狭缝高度(Slit Height)	14.5 mm
狭缝宽度(Slit Width)	0.25, 0.5, 1 mm selectable
光束尺寸 (Beam Size)	150 mm
准直器焦距 (Collimator Focal Length)	2160 mm
相机焦距 (Camera Focal Length)	305 mm
光栅 (Gratings)	VPH, 250 x 350 mm, selectable
蓝光探测器 (Blue Detector)	e2v 4kx4k, 15 microns pixel, thin, AR-coated CCD
图像分辨率 (Image Resolution)	~ 10 microns RMS (seeing-limited)

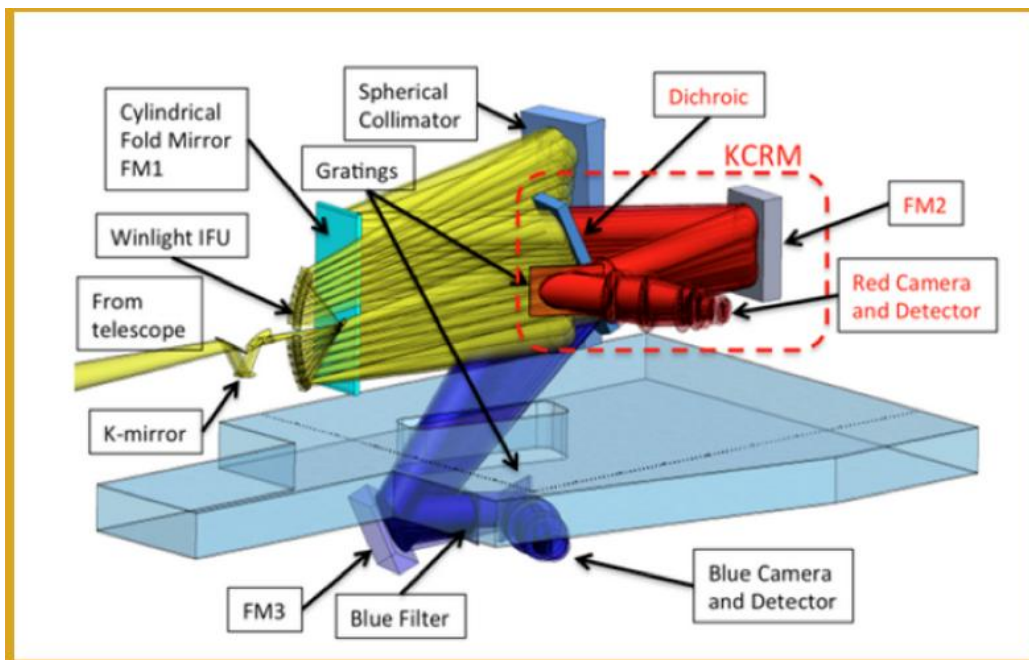


图 8: KCWI 安装位置

11. 近红外小阶梯光栅分光计²⁹

近红外小阶梯光栅分光计 NIRES (Near-Infrared Echelette Spectrometer)是分散安装在凯克 II 右弯曲卡塞格伦端口的近红外光谱仪。它有一个单独的狭缝观测通道，可以实时识别源和近红外导星。另外，一个视场为 1.8' x 1.8'的光学相机偏置导星。NIRES 是 TripleSpec 在 APO 3.5m 和 Palomar 5m 的克隆。在 PIs Keith Matthews 和 Tom Soifer 的领导下,由加州理工学院发展，计划于 2016 年调试。

相关文章：Wilson et al. 2004, SPIE, 5492, 1295

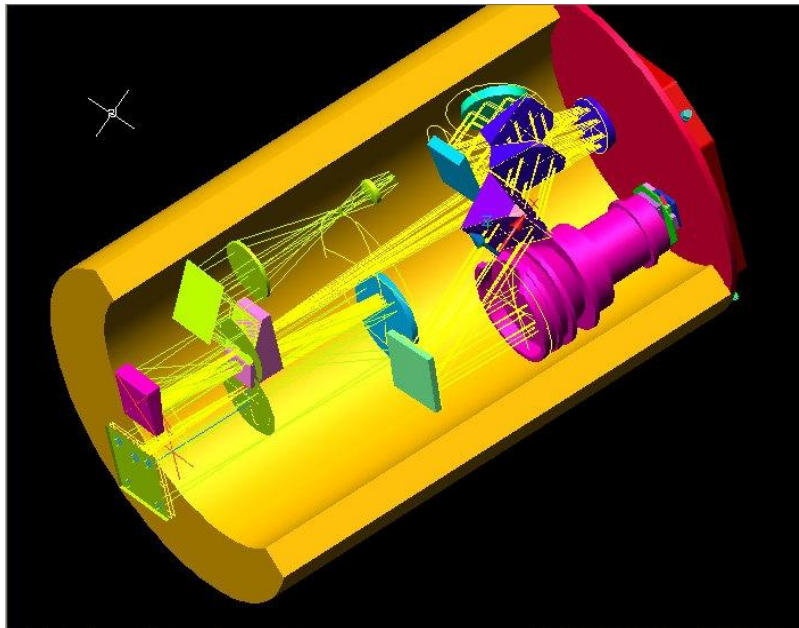


图 9：NIRES 原理图

二、 昴星团望远镜(SUBARU)³⁰

昴星团望远镜 (Subaru Telescope) 是日本国家天文台在美国夏威夷建造的 8.2 米口径光学望远镜，以著名的疏散星团——昴星团命名。是该组织最大的望远镜设备。

昴星团望远镜位于夏威夷莫纳克亚山的山顶上，紧邻凯克望远镜，海拔高度为 4139 米。昴星团望远镜的主镜直径为 8.2 米，焦距 15 米，建成时是世界最大

²⁹<http://www2.keck.hawaii.edu/inst/nires/>

³⁰ <http://space.lamost.org/explore/planetarium/subaru.htm>

的单镜面望远镜。由于采用了薄镜面技术，厚度只有 20 厘米。采用零膨胀玻璃 ULE 制作，重约 22.8 吨，镜面误差不超过 14 纳米，并且安装了主动光学和自适应光学系统。



图 10：昴星团望远镜外观

昴星团望远镜有四个观测焦点，主焦点焦比为 F2.0，卡塞格林焦点焦比为 F12.2，两个折轴焦点焦比为 F12.6。整个望远镜装置采用地平式支架，高约 22.2 米，重约 555 吨。和以往的望远镜不同，昴星团望远镜的圆顶采用了圆柱形，高约 43 米，直径 40 米，并在顶部安装有风扇，以改善空气流动情况。如下图所示。

该望远镜以著名的疏散星团——昴宿星团命名，于 1991 年 4 月开始建造，1999 年 1 月正式开始进行科学观测，总耗资达到 3.7 亿美元。³¹

(一) SUBARU 科学目标³²

天文学家建立昴星团望远镜旨在继续探索宇宙，实现人类的梦想。我们用它来观测第一代星系的形成，调查其他行星系统以确定生命起源。

(二) SUBARU 关键技术³³

主镜是望远镜的心脏，历时 3 年铸造 8.2 米镜胚，抛光和后期处理花费 4 年，是世界上最平滑的单片镜之一。

◆ 主动光学 (Active Optics)

261 个机器手指放入镜子的背面，使望远镜指向任意方向是保持镜子完美。这种技术称为主动光学，使建造大光圈望远镜称为可能。这样镜子可以做薄，具

³¹ <http://space.lamost.org/explore/planetarium/subaru.htm>

³² <http://subarutelescope.org/Introduction/overview.html>

³³ <http://subarutelescope.org/Introduction/tech.html>

有较轻的重量和可操作性。

◆ 精确跟踪 (Accurate Tracking)

昴星团望远镜有足够的强度和刚度保持最初的焦点，望远镜重 500 吨，坐在薄油层并由磁推动线性电动机移动，使得它能够以最小的摩擦顺利和准确地移动。这种设计具有卓越的跟踪和指向精度。

◆ 圆柱形外壳减少湍流 (Cylindrical Enclosure to Reduce the Turbulence)

昴星团望远镜采用了圆柱形外壳设计降低机箱内的空气湍流。流体实验和计算机模拟表明，风围绕圆柱形外壳顺利地流动而不从外部引入湍流。

◆ 节省时间 (Time Saving Innovations)

仪器互换是一个精细的过程，光学元件必须仔细的对齐，电线和冷却液软管连接牢固。在高海拔的环境下，自动化可以帮助工程师快速准确的完成工作。

◆ 保养 (Maintenance)

维护对保持望远镜在最佳状态至关重要。望远镜可以喷干冰雪花到反射镜的表面，以去除灰尘。每隔两年左右的时间，重新镀铝保持反光镜的反射率。

(三) SUBARU 主要参数³⁴

望远镜体积 (Telescope size)

- 高度 (Height) : 22.2 m
- 最大宽度 (Maximum width) : 27.2 m
- 重量 (Weight) : 555 t

主镜 (Primary mirror)

- 有效直径 (Effective diameter) : 8.2 m
- 厚度 (Thickness) : 20 cm
- 重量 (Weight) : 22.8 t
- 材料 (Material) : ULE (ultra-low thermal expansion glass)
- 平均表面误差 (Mean surface error) : 14 nm
- 焦距 (Focal length) : 15 m
- 反射率 (Reflectivity)

³⁴ <http://www.naoj.org/Observing/Telescope/Parameters/>

Foci

- 主焦点 (Primary focus) : F/2.0 (with corrector)
- 卡塞格林焦点 (Cassegrain focus) : F/12.2
- 内史密斯焦点 (Nasmyth foci) : F/12.6 (optical) and F/13.6 (infrared)

附件 (Enclosure)

- 圆柱形外壳和望远镜旋转 (Cylindrical enclosure rotating with telescope)
- 高度 (Height) : 43 m
- 底部直径 (Diameter at base) : 40 m
- 重量 (Weight) : 2000 t
- 外墙 (Outer wall) : Aluminum panel

(四) SUBARU 后端仪器³⁵

昴星团望远镜具有 8 套设备，可以提供光学到中红外全范围成像和光谱。

表 14: SUBARU 光谱能力

仪器 (Instrument)	分辨率 (Resolution)	狭缝长度 (Slit length)	像素范围 (Pixel scale)
COMICS	10000 (0.33")	40"	0.165"
FMOS	500-2200 (1.2"; fiber diameter)	30', multi	--
FOCAS	250-7500 (0.4")	6', multi	0.1"
HDS	100000 (0.38")	10", 60"	0.13"
IRCS	50-1400 (0.15-0.90")	21", 54"	0.020", 0.052"
IRCS	5000-20000 (0.14-0.55")	4.8-9.6"	0.060"
MOIRCS	640-1600 (0.5")	multi	0.117"

³⁵ <http://www.naoj.org/Observing/Instruments/>

表 15: SUBARU 成像能力

仪器 (Instrument)	视场 (Field of view)	像素范围 (Pixel scale)	滤光器 (Filters)
<u>COMICS</u>	42" x 32"	0.133"	15
<u>FOCAS</u>	6' diameter	0.1"	14
<u>IRCS</u>	21,54"	0.020",0.052"	18
<u>MOIRCS</u>	4' x 7'	0.117"	3
<u>Suprime-Cam</u>	34' x 27'	0.20"	12
<u>HSC</u>	1.5 degree diameter	0.16"	5

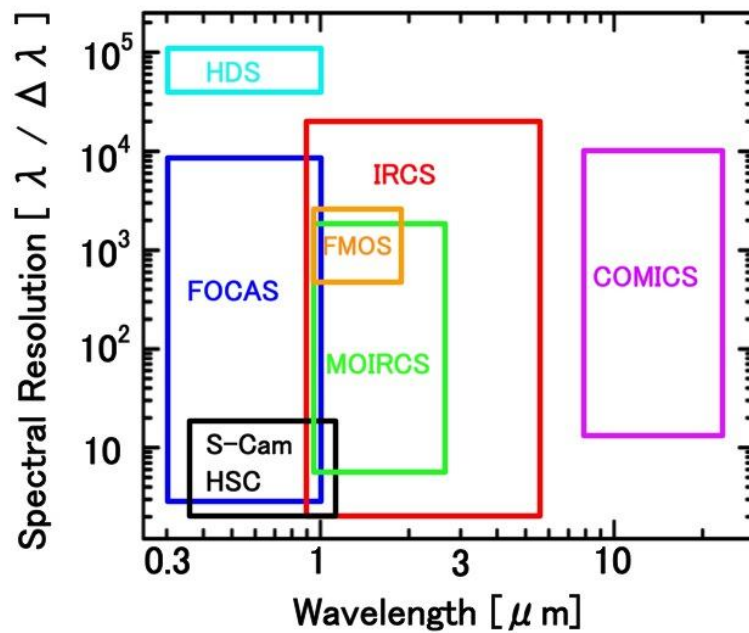


图 11: SUBARU 各个仪器观测波段与分辨率

三、 甚大望远镜(VLT)

甚大望远镜 (VLT) 是由欧洲南方天文台在智利建造的大型光学望远镜, 位于智利安托法加斯塔以南 130 千米的帕瑞纳天文台, 研制工作始于 1986 年, 耗资超过 5 亿美元。

甚大望远镜（VLT）由 4 台相同的 8.2 米口径望远镜组成，组合的等效口径可达 16 米。4 台望远镜既可以单独使用，也可以组成光学干涉仪进行高分辨率观测。每个甚大望远镜的主镜口径均为 8.2 米，重量为 22 吨，厚 18 厘米，下方安装了有 150 个促动器的主动光学系统。望远镜支架采用经纬仪装置，镜筒重量为 100 吨，470 吨重的机架漂浮在 0.05 毫米厚的油膜上，可以灵活地转动。



图 12: VLT 外观

第一架望远镜太阳（Antu）在 1998 年建成，1999 年 4 月正式使用。第二架望远镜月亮（Kueyen）于 1999 年 3 月建成，2000 年 4 月正式使用。第三架望远镜南十字（Melipal）在 2000 年 1 月建成，第四架望远镜金星（Yepun）于 2000 年 7 月建成。2005 年和 2006 年，欧洲南方天文台在甚大望远镜近旁相继建造了 4 台口径 1.8 米的辅助望远镜，它们与 4 台 8.2 米望远镜共同组成甚大望远镜干涉仪（VLTI）。甚大望远镜的建设工作已于 2012 年 2 月全面完成。

（一） VLT 科学目标

- ◆ 测量宇宙学基本参数
- ◆ 推动寻找宇宙第一缕曙光进程
- ◆ 探测及研究星系的形成
- ◆ 揭示星系从形成至今的演化及形变
- ◆ 描绘大尺度结构的产生及演化图景

- ◆ 阐明星系形成与星系核在当前物理状态之间的联系，包括放射性的和非放射性的

- ◆ 从星际媒介中，研究恒星系统和原始行星系统的产生

- ◆ 进一步加深对单恒星、双恒星系统整个生命周期演化过程的理解

- ◆ 寻找系外行星系统，描述其特征并为从空间进行深入的研究做准备

- ◆ 拓宽对太阳系天体的认识

(二) VLT 科学贡献

- ◆ 加速中的宇宙

基于欧洲南方天文台在拉西拉天文台和帕拉纳尔天文台的望远镜对爆发星的观测，两个独立的研究团队证明了宇宙正在加速膨胀，。作为对其研究成果的奖励，获得 2011 年的诺贝尔物理学奖。

- ◆ 第一张系外行星图像

甚大望远镜获得了第一张系外行星的图像。这颗行星的质量是木星的五倍，绕着一颗褐矮星以 55 倍的天文单位为半径的轨道运行。

- ◆ 系外行星光谱及其大气的直接测量

使用甚大望远镜，第一次分析了超级地球的这颗系外行星的大气。这颗叫做 GJ1214b 行星，当其运行到其宿主恒星的前面时，恒星发出的光正好穿透其大气。通过这种方法研究发现其大气几乎是由水蒸气或者浓密的云或霾构成。而在这之前，探测系外行星主要是使用光谱的方法。

- ◆ 宇宙温度的独立测量

甚大望远镜首次发现位于 110 亿光年远的星系存在一氧化碳分子，成为迄今为止天文学家获得如此遥远得时代的最精确温度的测量值。

- ◆ 宇宙中第一代恒星最好的观测证据

天文学家通过甚大望远镜发现宇宙中迄今为止最明亮的星系，而且发现第一代恒星存在其中的强有力证据。而之前对于第一代恒星的预测仅限于理论上。最早的重元素也产生于这些重的、明亮的星体中。这一切成为了我们所看到的天上的恒星的起源，而行星则是绕着这些恒星运行的。

(三) VLT 关键技术

甚大望远镜拥有科学级的极高角分辨率，UT1 拥有纳激光导星设备，采用自适应镜面，可以纠正水平式焦距和凯瑟格林系数。

对于非 A0 望远镜操作，VLT 的全局图像标准是中心强度比率（CIR）----- 真实望远镜的点扩散函数的中心强度与理想望远镜的比值。对于 5% 的最佳凝视度条件，0.4 角秒的 FWHM（半峰全宽）在 500nm 的波长在对天顶的长曝光，与曝光开始时的 CIR 参数相比，在曝光 60 分钟全焦距超过 50%，而在三年后 CIR 的值将超过 80%。影响 CIR 参数的因素包括：光学性能、望远镜和圈层的凝视度、风对镜面及望远镜结构的振动作用、导星与科学目标之间的视运动。即使在没有自适应镜面或者快速导引，在 0.4 角秒凝视度、5% 的凝视全宽半峰值的变差下、通过调整波长和天顶距离，CIR 判据对所有有用波段、90% 天顶角的风速都是满足的。大视场对于 VLT 完成一些基本的科学目标是十分关键的。为了达到这个目的，相比于同轴的性能，允许损失的最大图像质量要小于 10 角分口径的平视场。在折轴镜焦点上，不同衍射图像的 CIR 值的损耗不会超过全波段等晕区大小的 5%。

为了获得高质量的光谱光度和图像，将把大气色散纠正到天顶角 50 度。这样对使用宽带滤波器采集的图像的质量损伤不超过 10%，光谱错误提升率不超过 5%。

0.3-25 微米波长光谱范围光的高通量对于 VLT 实现其科学目标是至关重要的！相比于全时段相比凯瑟格林式、内史密斯式、库德折轴式望远镜，0.32 微米波长的光在不透明瞳孔区的透射率分别高 91%、86%、65%，强度对比率优化望远镜的 0.85 微米波通量下降分别不会低于 91%、86%、65%，而其在波长高于 2 微米的热辐射系数分别低 4%、5%、10%。对于 UV 优化的望远镜，数值高于三倍是可以接受的。

对于使 VLT 得效率最大化，准确的指向和跟踪是至关重要的。在 70 天顶角距内，所有的单元望远镜和可移动辅助望远镜必须在 3 分钟内获取任何目标。高度和方位角在 45 度和 60 度的指向补偿尽可能在 35 秒、相对望远镜编码器在 0.1 角秒。指向模型给出第一束光均方根为 3 角秒及此后三年均方根为 1.5 角秒的完整指向坐标。

使用对准补偿的单元望远镜和可移动辅助望远镜，可以获得 0.5 微米下均方差为 0.10 角秒对准精度的绝对均方差，并提供在 1 度 20 角分（辅助望远镜对应为 10 角分）内的合适参考星，对准全过程花费的时间不会超过 20 秒。对于不使用导星位置信息高于 15s 时间或者使用导星追踪超过 1 小时时间的跟踪，单元望

望远镜的性能将优于 0.05 角秒均方差。如果导星下落到波前倾斜的等晕区，望远镜将提供快速引导来降低导星运动的五分之一。

红外优化的单元望远镜副镜可以在任何天空指向上的 0.1 到 30 角秒区间、至少 5Hz 的 80% 频率占空比获取图像。对于短期（小于 10s）和长期（大于 10s）抛射重复率，在高于 10 角秒情况下相对均方差分别是 0.12% 和 0.3%，在低于 10 角秒情况下相对均方差分别为 0.012 角秒和 0.030 角秒。单元望远镜可以操控的天顶角距为 0.5 至 70 度。当天顶角大于 60 度，邻近的外壳将成为一种障碍。

当使用亮度等级高于 13 的自然导星时，UT1 装备的自适应光学系统得到的斯特列尔比将高于百分之七十凝视度在 0.6 角秒在、2.2 微米到 0.55 微米波段的值。自适应系统的带宽是足够高的，在 0.45 角秒凝视度下可以涵盖 1 微米到 0.55 微米波段。人造的参考星可以在 K 波段提高星空的覆盖率至少 35%，但是同时将降低斯特列尔比最多两倍。

甚大望远镜最重要的特征就是发展了一种端对端的单元望远镜模式，参见 2.9 章。它包含了许多子系统（光学、机械、控制硬件和软件）和环境因素（大气、地震）。这将成为一种非常有用的工具来预测望远镜在不同条件下的性能。

(四) VLT 后端仪器

甚大望远镜（VLT）后端仪器位置分布如图 13。

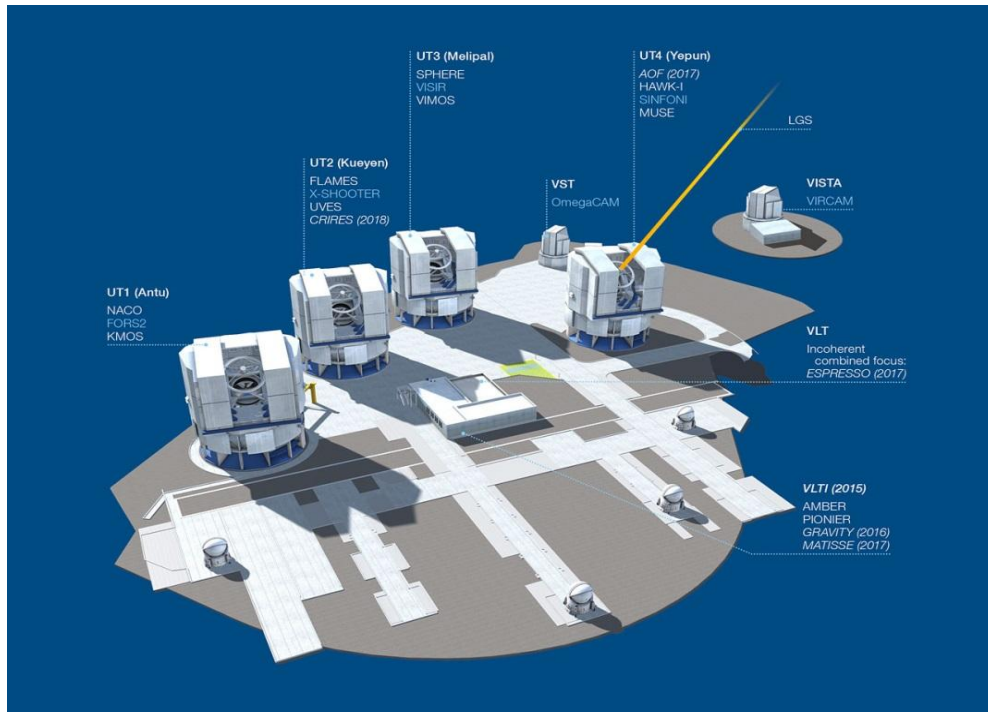


图 13:甚大望远镜（VLT）仪器分布

四、 大双筒望远镜(LBT)³⁶

美国大型双筒望远镜（Large Binocular Telescope，缩写为 LBT）是两台架设在同一机架上的口径 8.4 米的双筒望远镜，等效口径 11.8 米，位于美国亚利桑那州的格拉汉姆山国际天文台。

大双筒望远镜原名哥伦布计划，是一个多国合作项目，参与者有由意大利天文学界、美国亚利桑那大学、亚利桑那州立大学、北亚利桑那大学、密歇根大学、俄亥俄州立大学、明尼苏达大学、弗吉尼亚大学、圣母大学、德国天文学界等。在投资和管理方面，LBT 的国际合作同样复杂。意大利和德国共享该望远镜 3/4 的份额，1/8 的份额属于位于哥伦布的俄亥俄州立大学，另外 1/8 由俄亥俄州立大学和其他 3 所大学共享。整个项目共耗资 1.2 亿美元。

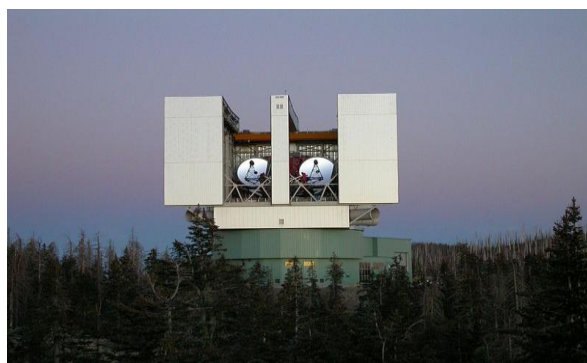


图 14：大双筒望远镜(LBT)

大双筒望远镜的主镜由硼硅玻璃制成，焦比为 1.142，是在亚利桑那大学史都华天文台的镜面实验室浇铸的。两个主镜的焦点合成为一个焦点，等效口径为 11.8 米，并且安装了主动光学和自适应光学系统。如果作为光学干涉仪，大双筒望远镜的最大角分辨率相当于一台口径为 22.8 米的望远镜。望远镜的观测室为方形，架设在直径 23 米的圆形轨道上，观测室四面都有可开合的通风口。

美国大型双筒望远镜 LBT 第一块主镜于 2004 年 10 月建成，并在 2005 年 10 月 12 日开始观测，当时只有一个镜片投入使用，用以观测仙女座中的螺旋星云。第二块主镜在 2006 年 1 月安装完成，2006 年 9 月 18 日开始观测。于 2007 年捕获了首批图像。2008 年，当 2 个镜片同时投入使用后，大型望远镜变得前所未有的强大，天文学家们可以使用新设备以前所未有的精确度探测宇宙的未来。它的 2 个直径 27 英尺的镜片使其拥有了相当于单个直径 39 英尺的镜片的聚光能

³⁶ <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2013/7/280035.shtml>

力，以及直径 75 英尺的望远镜的解析度。³⁷

(一) LBT 科学目标³⁸

L B T 的目标是架设两台 8.4 米的主镜在同一机架上，等效为一个 11.8 米的望远镜，具有 22.8 米望远镜的分辨能力。该项目的可行性研究报告于 1989 年年初完成。在 1992 年，原有的合作伙伴（亚利桑那州，意大利）决定进入到施工阶段，即使可用的资金只足够完成一个主镜。1997 年通过增加 LBTB 和俄亥俄州立大学，该项目开始建设完整的双筒望远镜。该望远镜是在意大利完成，并在 2002 年夏天运往亚利桑那州。

(二) LBT 科学贡献

该望远镜可以观测到数百万光年以外的天体，它的聚光能力远超哈勃太空望远镜，拍摄照片的清晰度也要超过哈勃望远镜约 10 倍。

使用 LBT 拍摄的距离银河系 1.02 亿光年的仙女座中的 NGC 2770 的螺旋星云，通过色彩分析，科学家们可以确定悬浮于这个扁平的发光气体圆盘中数百万恒星的温度。

(三) LBT 后端仪器³⁹

可用仪器 (Instruments available)

³⁷ <http://baike.baidu.com/view/10453929.htm>

³⁸ <http://ast.noao.edu/facilities/other/lbt>

³⁹<http://www.lbto.org/instruments.html>

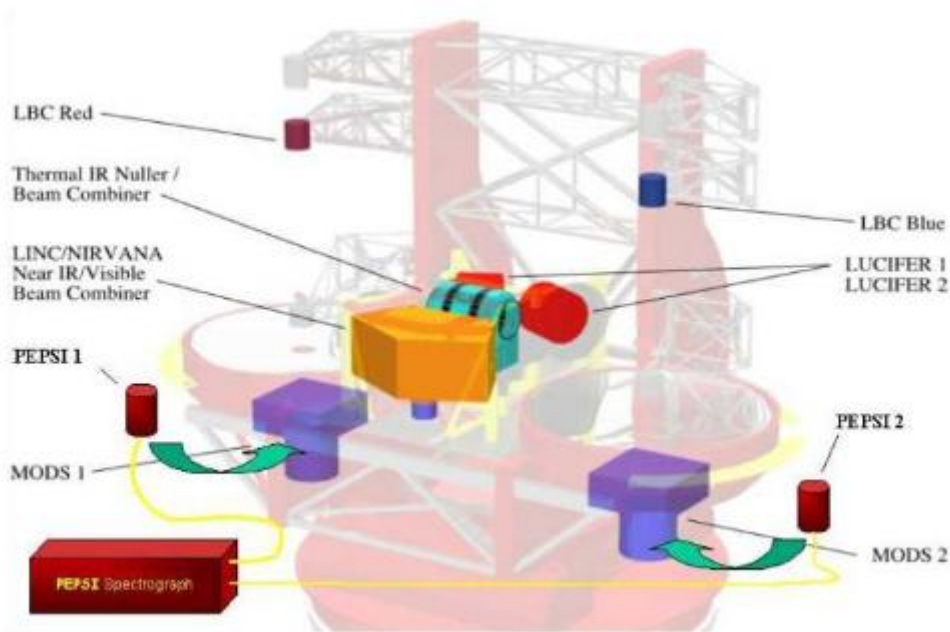


图 15: 大双筒望远镜 (LBT) 后端仪器分布

表 16: 大双筒望远镜 (LBT) 仪器参数

Table 1. LBT Instrument Parameters

Instrument	Focal Station	Modes	Spectral Coverage (μm)	Spectral Resolution	Field of view	Pixel scale
LBC-Blue LBC-Red	Prime	Direct CCD	U,B,V, g,r V,R,I,r,i,z,Y	4-50	$27' \times 27'$	$0''.228$
LUCIFER	Front-Bent	Imager, Longslit, MOS AO	z, J, H, K, K_s J, H, K, K_s	2000-8500 $\sim 30,000$	$4' \times 4'$ $30'' \times 30''$	$0''.12-0''.25$ $0''.015$
MODS-Blue MODS-Red	Direct F/15	Imager, Longslit, MOS	0.32-0.65 0.55-1.1	100-1540 100-1730	$6' \times 6'$	$0''.125$
LBTI	Center-Bent	Nulling/Fizeau Interf Fizeau Interf	8-14 1.5-5	100 350	$12''$ $20''$	0.018 0.011
LINC NIRVANA	Rear-Bent	Fizeau Interferometer	J, H, K_s	5-20	$10-20''$	0.006
PEPSI	Rear-Bent Direct F/15	Spectroscopy Spectropolarimetry	0.39-1.1	40,000 to 300,000	$0''.5-1''.4$	0.165

五、 双子天文台望远镜⁴⁰

双子天文台 (GEMINI) 分为南双子和北双子, 是由美国、加拿大、巴西、阿根廷和智利发起并建造的。双子天文台的国际总部位于夏威夷大学的夏威夷希洛的大学公园小矿脉。南双子天文台位于智利海拔 2715 米的帕琼山山顶上, 距

⁴⁰ <http://www.gemini.edu/sciops/?q=sciops>

圣地亚哥约 500 公里；北双子天文台位于夏威夷的莫纳克亚山上。

双子天文台的管理机构为大学天文研究协会（the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc.）、美国、加拿大、智利、巴西、阿根廷和夏威夷大学，有限制合作伙伴（limited-term partners）有澳大利亚、韩国 K-GMT 科学项目办公室。



图 16 南双子望远镜



图 17：北双子望远镜

(一) GEMINI 科学目标

- ◆ 地面同尺寸望远镜中提供最好的图像质量
- ◆ 从地面获得最佳的红外观测：达到最纯净的画质也就是说最低发射率

(二) GEMINI 主要参数

主镜由每个镜片用 55 块在 1700 度融合而成。

表 17: 双子天文台望远镜基本参数

参数	参数值
光学配置 (Telescope Optical Configuration)	卡塞格林式 (Ritchey-Chretien Cassegrain)
望远镜形式 (Telescope Prescriptions)	GN Zemax model GS Zemax model (GN=MK/Mauna Kea and GS=CP/Cerro Pachon).
主镜: 直径	8.1 m
主镜: 厚度	20 cm
主镜: 重量	22,200 kg
主镜: 表面精度	15.6 nm (rms)
次镜: 直径	1.0m
次镜: 重量	54kg
次镜: 表面精度	Gemini N mirror 17 nm (rms)、Gemini S mirror 13 nm (rms)
次镜: 倾斜校正	200 Hz
次镜: 斩波法	天空任意位置角频率 3Hz、振幅 15 角秒、87% 占空比
卡塞格林焦点有效焦距 (Effective Focal Lengths of Telescopes at Cassegrain Focus)	128.12 m (f/16).
卡塞格林焦点刻度盘 (Plate Scale at Cassegrain)	1.610 arcsec/mm.
焦平面视场 (Field of View at Instrument Focal Plane)	最大 10 角分底部端口、7 角分侧端口
镜面涂层 (Mirror Coatings)	镀银每 3-5 年
通量 (Throughput)	通过主镜、次镜和科学折叠镜的反射率计算
挡板 (Baffles)	可见光模式工作在 12.0 角分直径为 2003mm、IR 模式工作在 3.5 角分直径为 1124.6mm

(三) GEMINI 关键技术

独特的双子座涂层室,使用“溅射”技术应用保护银涂层的双子座镜子提供前所未有的红外线的性能:

(1) 每个望远镜 20 厘米厚的主镜放置在 120 个液压装置上,可以在望远镜跟踪不同天区时保持镜面的最佳形状。

(2) 1 米直径的第二镜可以进行快速的 tip-tilt 改正运动,使得天体光线即使穿过光路过程中受到狂风摇动望远镜或者大气湍流、温度或者密度波动导致图像抖动,改正后仍然可以使得望远镜跟踪划过天空时天体静止稳定地呈现在望远镜焦平面上。

(3) 每个圆顶圆柱形墙体的通风管道可以长达 10 米,以便在主镜上方提供平稳流动的气体以及调节镜面上方空气的温度与室外温度相匹配。

(4) 望远镜都配备有自适应光学系统。

近红外波段的自适应光学系统可以改正大气湍流造成的图像模糊,使图像接近衍射极限(通常比未使用自适应光学系统产生的图像锐利 5-10 倍)。

第二个目标是通过为两个望远镜选择优秀的红外台址(特别是北部的望远镜)以及用银材料来为所有的双子座望远镜镜面镀膜(而不是使用更常用的和更容易应用的铝材料进行镀膜)来实现。镀银膜的望远镜比镀铝膜的望远镜减少了 2-3 倍热红外发射。它们的反射率在波长大于 400nm 以后也比镀铝镜面明显高很多,但镀银的镜面减少了紫外线的性能。双子座望远镜是世界上唯一的主镜镀银的大型望远镜。

(四) GEMINI 后端仪器

表 18: 北双子天文台后端仪器

可见光	近红外	中红外	其他
设备仪器			
GMOS (多目标,长缝 IFU 光谱成像仪)	NIRI (1-5 μm 成像仪)	-	GCAL (设备定标单元)
GRACES (0.4-1.0 μm 高分辨率光谱仪)	NIFS (1.0-2.5 μm 积分视场光谱仪)	-	ALTAIR (设备自然/激光导星自适应光学系统)
-	GNIRS (1-5 μm 长缝和 0.9-2.5 μm 交叉色散光谱仪;以前在南双子座望远镜)	-	-
可选装仪器			
-	-	TEXES* (10-20 μm 高分辨率光谱仪)	-

表 19: 南双子天文台后端仪器

可见光	近红外	中红外	其他
设备仪器			
GMOS (多目标, 长缝 IFU 光谱成像仪)	-	-	GCAL (设备定标单元)
-	GSAOI (高分辨率成像仪以及多层共轭自适应光学系统“GeMS”)	-	GeMS (多层共轭自适应光学系统)
-	GPI (自适应光学成像偏振仪/积分视场光谱仪)	-	-
-	FLAMINGOS-2 (长缝光谱成像仪)	-	-
可选装设备			
DSSI/Speckle (衍射极限光学成像仪)	Phoenix (高分辨率光谱仪)	-	-

六、 巨型麦哲伦望远镜(GMT)⁴¹

大麦哲伦望远镜 (Giant Magellan Telescope, GMT) 安装在拉斯坎帕纳斯天文台, 位于智利赛雷纳东北约 115 公里, 预计在 2020 年完工启用的地基极端巨大望远镜。隶属于“极端巨大望远镜计划”(Extremely Large Telescope, ELT), ELT 项目下在建的还有“欧洲极大望远镜”(European Extremely Large Telescope, E-ELT), “30 米望远镜”(Thirty Meter Telescope, TMT)。

大麦哲伦望远镜包含 7 个直径 8.4 m 的主镜, 解析力相当于 24.5 m 的主镜, 而集光力等同于 21.4 m 的单镜。预计这架望远镜的集光力会是现有仪器的 4 倍, 其中两片镜片已经熔铸好, 安置的山头也已经备妥。

大麦哲伦望远镜的 7 个直径 8.4m 的主镜镜片将以甘菊花的形状被组装在一起：1 个居中，另外 6 个则环绕在其周围。最大的挑战是外围的 6 个镜片都离轴，虽然每个都是相同的，但不是独立的径向对称，天文台通常的抛光程式必须修改。6 个环绕在四周的镜片能够观察到中心镜片不能观察到的任何角度的光线。因此，这种设计令这台望远镜的聚光能力相当于一面直径为 25.6 米的巨型望远镜，功能是当前最大光学望远镜的 4.5 倍，成像清晰度将达到“哈勃”太空望远镜的 10 倍。



图 18:GMT 想象图

美国亚利桑那大学的“史都华天文台镜面实验室”负责制造主观测镜片。第一片镜面于 2005 年 11 月 3 日已经在旋转炉上完成。第二片镜面在 2012 年 1 月 14 日铸造完成，仍在研磨和抛光中。第三片计划在 2013 年开始铸造，需要使用 20 吨的玻璃，并耗时 12-13 周。计划建造 7 个完全相同的离轴镜面和铸造一个备品，因为每一个镜片在使用了 1-2 年后，就需要花上 1-2 周的时间重新镀膜。

(一) GMT 科学目标⁴²

据了解，“大麦哲伦天文望远镜”投入使用后，将担负探寻宇宙中恒星和行星系的生成、暗物质、暗能量和黑洞的奥秘，以及银河系的起源等重任。

(二) GMT 关键技术⁴³

大麦哲伦望远镜拥有独特的设计来取得一系列的优势。它把望远镜的镜面分割成一些迄今为止最大的刚性单块镜面。6 轴的 8.4 米或者 27 英尺部分模块环绕着中心的单轴部分。构成 23.5 米镜面的单望远镜或者 80 英尺---总的集光尺寸为 368 平方米。大麦哲伦望远镜是哈勃空间望远镜的分辨率的十倍。而大麦哲伦望

⁴² <http://www.gmto.org/resources/>

远镜计划是由国际宇宙和科学机构联合领导的。

由于每个镜面的部分都是非球面的，因此镜面的弯曲陡峭倾斜的。镜子的一边比另一边厚，最多可以达到 14mm。

打磨镜面面临的困难就是这个大的镜面必须保证在共同工作时候严格的精度要求。为了满足这样的要求，每一个镜面都要周期性地打磨和测量。这些测量反过来也可以知道打磨工作。

检测这种由于镜面的不对称所带来的补偿的方法是使用激光干涉仪。并不是直接的测量镜面，而是通过让两个镜面成一定的倾斜角，然后让计算机生成全息图。随着非球面的镜面的移动，干涉仪表面就可以展开测量工作。

这在理论上是很完备的，但是实际中却困难重重。弹性的镜面可以被折叠成球型，但是这个球的直径依然达到了 3.8 米。而它必须被放置到距离初始镜面的部分足够远。在镜面实验室中检测台就可以重建来支撑这个大的球体，还可以调节干涉仪光线的宽度。

还有额外的两种方法来调节镜面的形状以及直接抛光镜面：

- ◆ 扫描五棱镜是一种独立检测低阶失常现象的，并且可以尽量防止原理检测的错误
- ◆ 激光跟踪仪可以通过提供独立的高精度半径和像散测量，从而实现镜面的生成和打磨。
- ◆ 剪切检测，通过替换光轴正负 0.5 米的部分，来确定原理检测的精度或者更小的尺度。

(三) GMT 后端仪器⁴⁴

大麦哲伦望远镜的董事会采纳了大麦哲伦望远镜专家顾问组的建议开始了进一步提升其性能的工作。设备的发展要与望远镜的发展以及其自适应光学系统的发展相匹配。下面将概述其四台设备和功能纤维指向系统。

(四) GMT 科学产出⁴⁵

表 20:GMT SPIE 发文

Proc 7735	Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy III
Proc 7735-025	<u>GMTNIRS (Giant Magellan Telescope near-infrared spectrograph): design concept</u> Authors: Lee, S. et al.
Proc 8444	Ground-based and Airborne Telescopes IV
Proc 8444-022	<u>Progress on the Structural and Mechanical Design of the Giant Magellan Telescope</u> Authors: Sheehan, M. et al.
Proc 8444-029	<u>GMT Enclosure Wind and Thermal Study</u> Authors: Farahani et al.
Proc 8444-030	Vibration mitigation for wind-induced jitter for the Giant Magellan Telescope Authors: Glaese, R. M. et al.
Proc 8444-052	<u>Giant Magellan Telescope: Overview</u> Authors: Johns, M. et al.
Proc 8444-075	<u>Phasing Metrology System for the GMT</u> Authors: Acton, S.D. et al.
Proc 8444-114	Modeling seismic behavior of static supports of Giant Magellan Telescope Authors: Kan, F. W. et al.
Proc 8444-117	Development of a fast steering secondary mirror prototype for the Giant Magellan Telescope Authors: Cho, M. K. et al.
Proc 8446	Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV
Proc 8446-050	<u>The instrument development and selection process for the Giant Magellan Telescope</u> Authors: Jacoby, G. et al.
Proc 8446-301	<u>GMTNIRS mechanical design</u> Authors: Beets, T. A. et al.
Proc 8446-289	<u>MANIFEST instrument concept and related technologies</u> Authors: Goodwin, M. et al.
Proc 8446-058	<u>The GMACS spectrograph for the Giant Magellan Telescope</u> Authors: DePoy D. L et al.
Proc 8446-293	Conceptual optical design for GMACS, a wide-field, multi-object, moderate resolution optical spectrograph for the Giant Magellan Telescope Authors: Barkhouser, R. H. et al.
Proc 8446-294	Optomechanical design concept for GMACS: a wide-field multi-object moderate resolution optical spectrograph for the Giant Magellan Telescope Authors: Smeed, S. A. et al.
Proc 8446-052	<u>The GMT-CfA, Carnegie, Católica, Chicago Large Earth Finder (G-CLEF): a general purpose optical echelle spectrograph for the GMT with precision radial velocity capability</u> Authors: Szentgyorgyi, A. et al.
Proc 8446-053	<u>The GMT integral-field spectrograph (GMTIFS) conceptual design</u> Authors: McGregor, P. J. et al.
Proc 8446-059	<u>NIRMOS: a wide-field near-infrared spectrograph for the Giant Magellan Telescope</u> Authors: Fabricant, D. G. et al.
Proc 8446-060	TIGER: a high contrast infrared imager for the Giant Magellan Telescope Authors: Hinz, P. M. et al.
Proc 8447	Adaptive Optics Systems III
Proc 8447-043	Design of a truth sensor for the GMT laser tomography adaptive optics system Authors: van Dam, M. et al.
Proc 8447-054	<u>The Giant Magellan Telescope adaptive optics program</u> Authors: Bouchez, A. et al.
Proc 8447-057	Wavefront sensor design for the GMT natural guide star AO system Authors: Esposito, S. et al.

Proc 8447-135	<u>The Giant Magellan Telescope Laser Tomography Adaptive Optics System</u> Authors: Conan, R. et al.
Proc 8447-136	<u>Optical designs of the LGS WFS system for GMT-LTAO</u> Authors: Wang, M. et al.
Proc 8447-137	<u>Design and Predicted Performance of the GMT Ground-Layer Adaptive Optics System</u> Authors: Hinz, P. M. et al.
Proc 8447-138	<u>The Giant Magellan Telescope phasing system</u> Authors: Bouchez, A. et al.
Proc 8447-187	<u>A prototype phasing camera for the Giant Magellan Telescope</u> Authors: Kanneganti, S. et al.
Proc 8447-202	<u>GMT AO System Requirements and Error Budgets in the Preliminary Design Phase</u> Authors: Trancho, G. et al.
Proc 8449	System Engineering
Proc 8449-005	<u>Systems Engineering Implementation in the Preliminary Design Phase of the Giant Magellan Telescope</u> Authors: Maiten, J. et al.
Proc 8450	Technology Advancements
Proc 8450-031	<u>SCOTS: a large dynamic range reverse Hartmann test for Giant Magellan Telescope primary mirrors</u> Authors: Su, P. et al.
Proc 8450-090	<u>Production of 8.4 m segments for the Giant Magellan Telescope</u> Authors: Martin, H. M. et al.
Proc 8451	Modern Technologies in Space and Ground-based Telescopes and Instrumentation II
Proc 8451-131	<u>GMT software and controls overview</u> Authors: Filgueira J. M. et al.
Proc 9145-47	<u>Overview and Status of the Giant Magellan Telescope Project</u> Authors: Bernstein R. A. et al.
Proc 9147-341	<u>The MANIFEST fibre positioning system for the Giant Magellan Telescope</u> Authors: Lawrence J. S. et al.
Proc 9147-78	<u>A preliminary design for the GMT-consortium large Earth finder (G-CLEF)</u> Authors: Szentgyorgyi A. et al.
Proc 9148-31	<u>The Giant Magellan Telescope Adaptive Optics Program</u> Authors: Bouchez A. H. et al.
Proc 9148-38	<u>Wide field adaptive optics correction for the GMT using natural guide stars</u> Authors: van Dam M. A. et al.
Proc 9152-58	<u>End-to-end observatory software modeling using domain specific languages overview</u> Authors: Filgueira J. M. et al.

七、 霍比 埃伯利望远镜(HET)⁴⁶

霍比-埃伯利望远镜 (Hobby-Eberly Telescope, 缩写为 HET) 位于美国得克萨斯州的麦克唐纳天文台, 口径为 9.2 米, 是为光谱研究而设计的固定机架球面望远镜。霍比-埃伯利望远镜主镜为 11 米乘 12 米的八边形球面, 等效口径 9.2 米, 焦距 13.08 米, 集光面积 77.6 平方米, 由 91 块八边形的子镜面拼接而成, 每个子镜面直径 1 米, 厚 5 厘米, 用零膨胀微晶玻璃制成。

⁴⁶ <http://baike.baidu.com/view/4908399.htm>



图 19:HET 望远镜

霍比-埃伯利望远镜是美国的德州大学奥斯汀分校、宾夕法尼亚州立大学、斯坦福大学、德国的慕尼黑大学、哥廷根大学联合研制的，由麦克唐纳天文台管理和操作，主体部分造价是 1350 万美元。

望远镜机械结构与地面的夹角是 55 度，观测过程中主镜固定不动，通过移动安装焦平面上的终端设备对天体进行跟踪。望远镜的主焦点进行成像和低分辨率光谱观测，用光纤将光引导至望远镜下面的中高分辨率光谱仪上。跟踪视场 12 度，可观测的天空范围是赤纬-10 度 20 分到+70 度 40 分，最长跟踪时间从 45 分钟到 2.5 小时不等。为校正主镜重力造成的形变，望远镜安装有主动支撑系统，镜面下方有 273 个促动器上，每个子镜面下装有 3 个。望远镜圆顶直径 25.8 米，高 30.34 米，圆顶南方有一个高度为 27.3 米的塔形建筑物，用于调整主镜的曲率中心。

于 1996 年 12 月 10 日获得首次观测（开光），1997 年 10 月 8 日投入使用，在 1997 年 9 月 6 日和 1999 年 10 月 1 之间望远镜调试⁴⁷。

（一）HET 科学目标⁴⁸

- ◆ 试运行可观测对象和可行性计算
- ◆ 确定何时 HET 能观测目标天体，也就是，开始第一天，黎明 18 度之前何时可以观测到目标天体的东部轨迹的半个以上，直到最后一天，黄昏 18 度之前目标天体的西部轨迹的半个可观测
- ◆ 确定目标天体最可能的跟踪时间

⁴⁷ http://www.as.utexas.edu/mcdonald/het/het_gen_01.html

⁴⁸ <http://hydra.as.utexas.edu/?a=help&h=20>

- ◆ 为了得到一年中确切的可观测日期，可以使用我们的观测年历，或者以3个月为基准的观测日历
- ◆ 使用 HET 填充因子计算器可以获得改变一个移动孔径的曝光时间的影响

HET 望远镜的建议书分为两个阶段⁴⁹：

- ◆ 第一阶段，主要研究人员要被所在机构的望远镜分配委员会评审，每个望远镜分配委员会对成功的建议可能有不同的要求，我们将帮助你分析什么是真正期望的。
- ◆ 在第二阶段，主要研究人员将提交他们的目标体给 HET 如果望远镜分配委员会确定给时间。HET 观测需要排队，因而所有的观测必须能被 htopx2 识别。我们将提供信息，主要研究人员应该不需要和常驻天文学家联系，但是常驻天文学家也会回答问题。请确保完成所有需要的步骤，确保目标天体可以被调度程序和望远镜识别。

(二) HET 主要参数⁵⁰

◆ 指向 (Pointing)

HET 符合规格要求和指向精度优于 30 角秒。指向被设置在挂载模型里和大概每月会更新，这通过指向 8 个在不同方位的恒星，跟踪器在接近中心的位置 ($X=0$, $Y=0$) 完成。因为 HET 没有被设计指向精度优于 10 角秒，所有的目标天体 (除了最亮的，最分离的) 应该有个证认图，以避免混淆。

◆ 跟踪 (Tracking)

目前，HET 跟踪误差大概为 1 角秒/分钟。这个误差依赖于方位和星等。这被认为是轨道卷曲指向软件修正的特征。对于大多数目标，通过导向器修正补偿这个漂移。

对于移动的目标，轨道补偿对以下目标可行

- ✓ 亮星：导星充分快的调整到位

⁴⁹ <http://hydra.as.utexas.edu/?a=help&h=9>

⁵⁰ <http://hydra.as.utexas.edu/?a=help&h=21>

- ✓ 暗星：导星在一个较亮的星上，然后移动导星每分钟或者半分钟以保证移动的星在位置上。主要研究人员必须提供赤经（RA）和赤纬（DEC）跟踪补偿率（角秒/分钟）。

◆ 采集（Acquisition）

LRS:使用 LRS 成像，成像极限 23 星等，依赖于天空亮度的影响，如雾霾，灰尘，和云。对于光学暗目标，狭缝能转到一个亮星也能在狭缝里的位置，尽管额外的步骤，该方法能缩短设置时间，如果确切的位置角度被提供给赤经。对最暗的目标，对狭缝的盲补偿可以工作：3 个或更多中等亮度的参考星包围目标，目标必须被标出来和所有的目标都有 xy 坐标。

HRS:使用光电倍增管定位光谱仪中光纤探针基准位置。星等限制是 16 等。星等暗于 16 等，但是亮于 19 等的天体能被放到基准标记，它可以标记光纤位置。对于采集相机不能看到的目标（暗于约 18 星等），LRS 成像能和光电倍增管一起在光纤中心。光电倍增管被用来标记光纤中心使用一个区域亮星和用 LRS 成像。这个亮星的位置被记录，暗星被移到那个位置。这个方法增加 5-8 分钟的设置时间。

◆ 自动导向（导星）（Auto-Guiding）

在 LRS 和 HRS 里，科学目标天体不必是导星，导向相机的视场是 LRS 科学芯片视场的约 40%。

对于 LRS 导向相机（LRS 科学），在黑暗天空能看到的导星绝对极限星等是 18 半峰全宽为 1.7 角秒。这个星等的导星是背景上的微小探测。对于那么暗的导星没有聚焦修正。导向视场是 2.4x2.4 角分，中心约在 LRS 的狭缝中心。

对采集模式（HRS 科学），在黑暗天空能看到的导星绝对极限星等是 18.5 半峰全宽为 1.7 角秒。这个星等的导星是背景上的微小探测。对于那么暗的导星没有聚焦修正。导向视场是 2x2 角分，中心约在 LRS 的狭缝中心。

有可能导向在一个静态目标的时间，获得一个移动目标的光谱。通过提供目标移动速率（RA 和 DEC 偏移，单位角秒/分钟），lrs 导向相机能通过软件纠正这些偏移。

◆ 聚焦（Focus）

HET 的聚焦模型可以通过跟踪一颗星的轨迹和记录 LRS 的聚焦修正来确定。这通过一定数目的东西方向的上下倾角来完成。聚焦依赖图在大部分轨迹的范围能被确定的很好，但是在边缘会差一些，尤其是跟踪刚开始时。

如果温度和 SAMS 稳定，这个聚焦模型和焦点在一个轨迹上仅仅需要被调整一次。目前没有温度-聚焦补偿模型。

LRS: 聚焦完成步骤：首先对导向相机进行大概猜测，然后通过 LRS 做一个焦点曲线来精细化。焦点曲线使用默认 0.1 毫米步长设置，和软件对最好的焦点估计求解一个抛物线拟合，可以同时做 6 个焦点序列。在一次观测期间，仅当导星是充分亮时（小于 16 等），可以使用导星的半峰全宽完成焦点修正。视场位置不重要，因为 lrs 导向相机微分焦点样式被精确地确定。

HRS: 每个亮运行，我们设置零点在导向相机和 HRS 仪器之间，使用放置在 HRS 光学路径上的光电倍增管完成。那个月的剩余时间，聚焦被优化导星的半峰全宽（用导向相机）完成。目前，焦点偏置被限制在 0.05 毫米。在一次观测期间，仅使用导星的半峰全宽做焦点修正，如果导星充分亮，星等小于 16 等。

(三) HET 关键技术⁵¹

◆ 主镜 (The Primary Mirror)

主镜由 91 个相同 6 边形组成，每个 6 边形从一边到另一边 1 米长，重 250 lbs (磅)。阵列的调整被安装在每个 6 边形上的三个致动器来调整，精度可以到光波 (218nm) 波长的约 1/3。望远镜是球形，像隐形眼镜，曲率半径 26 米，精度在 0.5mm 以内。一个传感器位于曲率半径的中心，到镜子距离 26m，在 HET 旁边塔的顶端，曲率调整传感塔的中心 (CCAS 或 see-cass)。在傍晚，望远镜被旋转到 CCAS 塔，进行整个阵列的精确整体调整，整个晚上电气化维护。

因为大的光学镜片对成像质量分辨率的精度要求，传统的大望远镜设计必须补偿引力的扭曲影响，当指向不同的目标天体时，反射镜能通过所有的倾斜角移动。因为 HET 在垂直轴上是固定的，它的主镜相对引力是静态的。这完全地排除了变量扭曲问题，也巨大地简化了望远镜的支撑框架。但是，HET 的平衡是要求对跟踪的新的解决方案。

◆ 跟踪 (Tracking)

恒星在天空移动，因为地球旋转，望远镜必须跟踪它们。这通常通过对望远镜方位 (azimuth) 和垂直方向的运动 (高度, altitude) 的驱动来完成。和驱动的坐标一起，整个望远镜移动补偿地球的选装，和望远镜的视点精确地保持在天空的某位置上。HET 跟踪系统在大望远镜上没有先例。目标天体被跟踪通过一

⁵¹ http://www.as.utexas.edu/mcdonald/het/het_gen_03.html

个在反射镜主焦上面 13 米距离的移动仪器包完成。HET 基本上通过目镜做跟踪。作为恒星在天上移动，它的光打到大的静态反射镜上，跟踪仪器包可以移动以获得光，常常能精确地打在焦点的确切位置。

完成跟踪是极度复杂。它结合聚焦和跟踪在一个系统里。如果主镜是平的，跟踪器在单独平行于镜子的平面上移动是足够完成这个任务的。但是，镜子是球面的，焦面也是球面。跟踪器必须在 6 轴坐标系移动才能实现聚焦和跟踪。这个过程要求同时 10 个电机运动才能精确地跟踪一个恒星。

其他也有仪器在跟踪器上，总的重量达 8tons（8 吨）。包括相机，光学纠正，通往光谱仪的光纤（光谱仪位于 HET 下面的地下室）和低分辨率光谱仪。

◆ 光谱学 (Spectroscopy)

HET 被设计用来做光谱学。仪器有三个光谱仪，低、中和高分辨率（Low, medium and highResolution Spectrograph, LRS, MRS and HRS）。低分辨率光谱仪（LRS）位于跟踪器上的主焦点。MRS 和 HRS 位于望远镜下方的可控天气地下室里，通过光纤相连。这种光谱仪的结构可以在仪器间互相快速切换，使它们很好的整合在望远镜观测程序里。

◆ 排队计划观测 (Queue Scheduled Observing)

HET 运行一个排队的计划观测。在这个系统下，望远镜的运行，目标在晚上观测列表的采集是常驻天文学家的主要任务，他们也有优化观测计划的灵活性。这个运行模式对 HET 是很合适的因为它可以使用整个晚上做观测，最大化科学输出。优化的调度克服了望远镜在指定的时间窗口访问指定天空区域的弱点。观测程序功能在大尺度光谱巡天，快速的对新发现的跟踪监测，短期的（爆发性的）天文事件和周期地对某些目标天体的演化光谱重复和长期监测，等方面表现出色。

排队计划观测带来更多的优点。可以对坏天气免疫，因为常驻天文学家有极大地观测时间灵活性，不像授予传统访问观测者的不可替换的时间。第二，常驻观测这提供的观测服务节省整体花费和资源，也避免了部分不常来访问观测者的由于不熟悉造成的仪器使用错误风险。

◆ 桁架 (Amazing Truss)

HET 的许多系统有着令人震惊的精度和创新的工程设计。对主镜的桁架支撑系统是其中之一。桁架被位于德国 Wuerzburg 的 MERO 工厂制造，有着极低的花费。上面显示的钢球自动地铣制在桁架节点，如左边的例子，MERO 获得

专利的连接技术的一部分。

结构由 383 个节点和 1747 支柱构成。很少部分是可以互换的。支柱的制造精度在 0.0004 英寸，大约人类头发的 1/10 粗细。在装运到 Texas 前，桁架被测试组装。在桁架顶端表面的每一个节点都在理论位置上，位置精度优于 0.08 英寸。



图 20: HET 桁架

在麦克唐纳天文台，零部件被一个卡车运抵，然后被 MERO 成员在 6 个星期内组装。在 HET 圆顶和 27000 磅重的主镜下，桁架的变形仅仅 2.5 毫米 (millimeters)。

(四) HET 后端仪器⁵²

⁵² <http://hydra.as.utexas.edu/?a=help&h=3>

八、 加那利大型望远镜（GTC）⁵³

加那利大型望远镜(Gran Telescopio Canarias)位于北半球最佳的观察地点之一:西班牙拉帕尔玛岛纬度:28°45'24 N 和经度:17°53 31'W, 海拔约海拔 2300 米。

西班牙政府、美国佛罗里达大学、墨西哥国立自治大学共同建设。2007 年 7 月 14 日开工, 2009 年 3 月竣工。



图 21: 加那利望远镜 (GTC)

(一) GTC 主要参数

总重量为 400 吨

主镜的重量为 17 吨

有效的收集面积= 73 m²

有效焦距= 169.9 m

规模= 0.82 毫米/秒板

卡塞格林焦点

总载重量= 5100 公斤

2000 公斤的仪器

1100 公斤为单位采集和指导

1200 公斤, 旋转仪器

⁵³ <http://www.gtc.iac.es/GTChome.php>

800 公斤的仪器校准模块和自适应光学

视场=直径为 15 弧分领域

折叠卡塞格林焦点

总载重量= 1000 公斤

看= 5 弧分径场

内史密斯焦点

仪器重量挂肩= 2400 公斤

第二轴承支撑= 7500 公斤仪器重量

视场= 20 弧分径场

(二) GTC 后端仪器

表 21: 加那利大型望远镜后端仪器

仪器和焦点	波长	状态	主要特征
OSIRIS Nasmyth-B (later Cass)	0.36 - 1 微 米 μm	普通用户仪器 2009 年开始运行 在 2018 年中期 GTCAO 到达时被 卸载, 然后移动到主 Cassegrain 站点 (估计在 2019 年中期)	7.8 x 7.8 角分视场 宽-, 中- 和窄-带宽成像 可调滤波成像 快速分光光度测量 长狭缝和多目标光谱学 光谱分辨率 300-2500
CanariCam Nasmyth-A (later Folded Cass-E)	8 - 25 微米 μm	普通用户仪器 2012 年开始运行 将在 2016 年 4 月 EMIR 到达时 被卸载。2017 年中期在 Folded Cass E 站点重新安装到望远镜 上, 和 CIRCE 共享焦站直到 2019 年中期 MIRADAS 到达	26 x 19 角分视场 成像和长狭缝光谱学 光谱分辨率 175-1300 成像和光谱偏振学
CIRCE Folded Cass-E	1 - 2.5 微米 μm	访问者仪器 (佛罗里达大学) 2015 年 9 月开始运行 将和 CanariCam 共享焦站, 直到 2019 年中期 MIRADAS 到达。	3.4 x 3.4 角分视场 成像和偏振学 可升级到光谱学
EMIR Nasmyth-A	1 - 2.5 微米 μm	普通用户仪器 在 2016 年 4 月安装 2016 年 9 月开始运行	6 x 6 角分视场 宽-和窄-带宽成像 长狭缝和多目标光谱学, 通过可 配置冷狭缝 光谱分辨率 3500-4000
HORS Fed from OSIRIS Nasmyth-B	0.4 - 0.7 微 米 μm	访问者仪器 (IAC) 在 2016 年试运行 2016 年 9 月运行	点源光纤光谱学 高光谱稳定性 光谱分辨率 25000
MEGARA Folded Cass-F	0.4 - 1 微米	普通用户仪器 2016 年 12 月安装	3.5 x 3.5 角分视场 (MOS 模式) 14 x 12 角分视场 (IFU 模式)

GTCAO+FRIDA Nasmyth-B	μm	2017年4月运行	光纤光谱学 使用定位光纤同时最多100个目标，光谱分辨率6000-20000
	1 - 2.5 微米 μm	普通用户仪器 在2018年中期安装 2019年中期运行	成像和积分场光谱学 光谱分辨率1500-30000 和GTC自适应光学单元结合，衍射极限性能 成像(视场20x20或40x40角分) 积分场光谱学(直到2.6 x 2.4角分的视场)
MIRADAS Folded Cass-E	1 - 2.5 微米 μm	普通用户仪器 2019年中期安装 2020年早期运行	最多20目标，每个4 x 1.2角分 最多20目标的多目标光谱学 光谱分辨率20000 偏振学

九、南非大望远镜 (Southern African Large Telescope(SALT))

南非大望远镜(Southern African Large Telescope(SALT))始建于2005年底，于2011年9月开始投入使用。从2000年开始，南非于德国、波兰、美国和新西兰的一些研究人员合作，在位于北开普省的南非天文台建造南半球最大的单口径光学望远镜—南非大望远镜萨尔特(SALT)。该望远镜几乎是建造在美国西德克萨斯的和特(HET)望远镜的翻版。主镜将使用跨径11米的正六边形拼镜镜面。但是它的光学系统进行了重新设计以更加充分地利用主镜的聚光面积。



图 22:南非大望远镜(SALT)

(一) SALT 主要参数

穹顶直径 25 米的半球形,重约 30 吨。它旋转时保持快门的开放;圆屋顶热绝缘,以帮助控制白天望远镜腔内的温度。主镜是由 91 1 m 六角镜子段,每一个算一个球形。这些片段一起构成了 11 米直径球形的镜子,在南半球是最大的。用铝作为镜面的反光材料至少每年更换一次。这使所有的段对齐,这样他们近似一个单片球面镜。在不久的将来边缘传感器将被安装在所有镜子段,将监控相对于彼此之间的自己的位置。任何一段的位置变化会检测并纠正,让镜子形状和确保良好的图像质量。

SALT 和 HET 都有一个与其他光学望远镜不同的设计。和 Keck 望远镜类似,主镜由反射镜阵列组成,这个阵列被设计像一个单独的大反射镜一样工作;但是,SALT 反射镜产生一个球形主镜,而不是抛物面形状和经典的卡塞格林(Cassegrain)望远镜相关。每个 SALT 反射镜为 1 米 6 边形,91 个相同的反射镜组成阵列,产生一个 6 边形的主镜,尺寸为 11 x 9.8 meters。为了补偿球形主镜,望远镜有 4-镜球面象差校正(spherical aberration corrector, SAC),这可以提供校正的,平的焦平面,在主焦的视场为 8 角分。

91 个反射镜的每个由低膨胀系数的微晶玻璃构成,能翻转、倾斜和径向移动(tip, tilt 和 piston),这可以适当地准直(调整)他们使其像一个单独的镜子工作。因为镜子是球形的,从对应于镜子的曲率中心位置发出的光将被反射和重新聚焦在相同的位置。因此,望远镜使用位于毗邻圆顶的高塔顶部的曲率准直(调整)传感器中心(Center of Curvature Alignment Sensor, CCAS)。激光往下打在每个区域,测量从每个镜子反射的位置。称为“堆叠(stacking)”的过程允许望远镜运行在反射镜的最优化校正状态。

望远镜的另一个引人注目的地方是,在每次观测期间,镜子保持在固定的海拔高度和方位角,天文目标的图像通过有效载荷跟踪,有效载荷位于主焦和包括 SAC 和主焦仪器。这和 Arecibo 射电望远镜的运行类似。虽然这导致对每个目标而言受限制的观测窗口,但是它大大简化了主镜安装。与一个完全钢结构的望远镜比较,转移复杂性到较小的和较轻的有效载荷跟踪系统,也减少了望远镜建造的整体费用。SALT 有固定的 37 度天顶角,对于麦哲伦云(Magellanic clouds)是最优化的,但是因为完整范围的方位角和天体旋转,SALT 可以观测 Sutherland 站点天空的相当大部分。

(二) SALT 后端仪器

致谢

本报告在研究与撰写过程中,得到了中国科学院国家天文台赵刚研究员的指导,赵刚研究员为报告的整体设计框架及具体分析内容提供了许多重要而详尽的建设性意见与建议,为报告的研究和撰写工作提供了很多专业的指导与帮助,在此表示衷心的感谢!

附录

下表为部分天文望远镜资助项目信息。

表格 1: 部分天文望远镜资助项目信息

项目名称	资助机构	金额 (USD)	开始日期	结束日期	财年	国家	受资助机构	PI
Support for the Kitt Peak National Observatory (KPNO) WIYN 3.5-meter Telescope Facility	NSF	992980	2016/1/1	2018/12/31	2016	United States	Association of Universities for Research in Astronomy, Inc.	Charles Mattias Mountain;
Support for the Kitt Peak National Observatory (KPNO) Mayall 4-meter Telescope Facility	NSF	3100000	2016/1/1	2018/12/31	2016	United States	Association of Universities for Research in Astronomy, Inc.	Charles Mattias Mountain;
MRI Development: Upgrading NIRSPEC for a Renaissance in IR Spectroscopy at the W. M. Keck Observatory	NSF	1351813	2015/10/1	2018/1/31	2015	United States	California Association for Research in Astronomy	Sean Adkins;
Cosmic-ray Physics with IceCube	NSF	413999	2015/9/1	2018/8/31	2015	United States	University of Delaware	Thomas Gaisser;
A Complete Census of the Quasar Population in the Large Survey Era	NSF	85238	2015/9/1	2018/8/31	2015	United States	University of Arizona	Xiaohui Fan;
Leading CanariCam Science Team Mid-IR Astronomy at the 10.4-m GTC	NSF	127805	2015/9/1	2018/8/31	2015	United States	University of Florida	Charles Telesco;
CAREER: Radio and gravitational-wave	NSF	528000	2015/9/1	2020/8/31	2015	United	Texas Tech University	Alessandra Corsi;

emission from the largest explosions since the Big Bang						States		
MRI: Development of Adaptive Optics Upgrade for the CHARA Array - Phase II	NSF	1118493	2015/9/1	2018/8/31	2015	United States	Georgia State University Research Foundation, Inc.	Theo ten Brummelaar;
Balancing Gas Loss, Star Formation, and Black Hole Activity in Cluster Galaxies	NSF	89000	2015/9/1	2018/8/31	2015	United States	Vijayaraghavan Rukmani	Rukmani Vijayaraghavan;
Tracking the Metamorphosis of Galaxy Structures	NSF	381534	2015/8/15	2018/7/31	2015	United States	Johns Hopkins University	Jennifer Lotz;

注：如需更深入的项目资助情况分析及各望远镜后端仪器详细信息，请联系我们。