

我国未来十年大科学装置发展预测—地面光学/红外望远镜

王亚男 崔向群

2006 年 12 月 30 日

南京天文光学技术研究所

1. 本学科前沿领域当前的情况

随着光学、计算机、自动控制和精密机械等领域科学技术的发展，天文望远镜制造技术也有了飞跃地提高。由于主动光学、自适应光学、拼接镜面技术、光干涉等新技术的成功，上个世纪 90 年代建成了多个 8—10 米级望远镜。这些望远镜的问世，观测到许多新的天文现象。发现了上百个太阳系外行星，非常遥远，其光线来自恒星和星系开始形成的第 1 个时期的星系，暗物质和暗能量等。这些研究发现中，有很多问题人们还不明白，要进一步探索更多的宇宙秘密，需要光收集能力更强，分辨率更高的更大的望远镜。拼接望远镜 Keck I 和 Keck II 的成功，避免了 8 米以上大镜坯制造上的困难，为建造更大的望远镜提供了技术上的可能性。自适应光学的成功，为地面望远镜得到衍射极限像质提供了可能性。于是极大望远镜（Extremely Large Telescope，简称 ELT）已成为观测天文学和天文技术科学领域中最活跃的热点之一，目前有几个 30 米或更大的望远镜在研究中。

现存的 8—10 米级地面望远镜和正在研制和准备研制的更大的望远镜的科学目标基本上都差不多，即测量宇宙的基本参数，探测和研究星系的形成和演化，大尺度的生成和发展，太阳系外行星的研究，暗物质和暗能量，黑洞等。工作波段都是光学和红外。都配有自适应光学系统。仪器有高、中、低分辨率光谱仪，红外光谱仪，多目标光谱仪等。

2. 国际现状和未来十年发展预测

1.) 国际上现有的和研制中的大望远镜

当前国际上现有的 8—10 米级地面望远镜有：

欧洲南方天文台（ESO） Very Large Telescope (VLT)

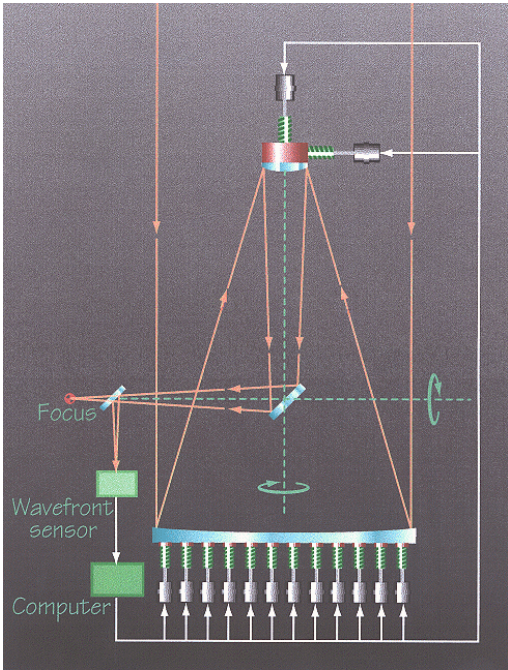
VLT 是欧洲南方天文台研制的，安装在智利的 Cerro Paranal。是第一架应用主动镜面的 8 米望远镜（第一架用主动镜面的望远镜是 VLT 的中间实验望远镜 NTT（3.5 米）。

1983 年开始研制，1999 年开始观测，2002 年全面运行。2001 年进行自适应光学的验收。2004 年完成了大部分第一代仪器，开始第二代仪器的研制。观测波段 0.3-26 微米。

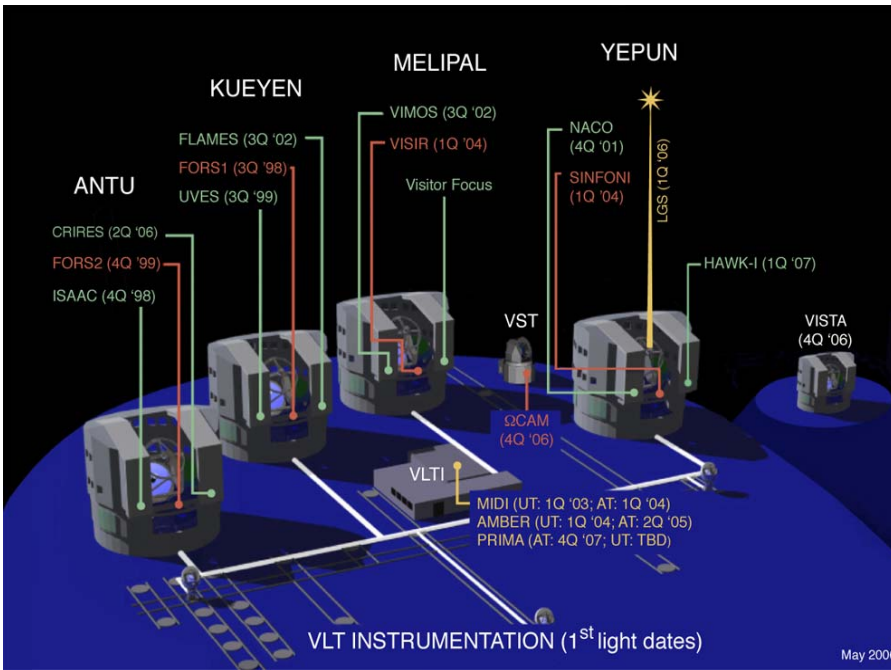
经费约 4 亿马克（预算，实际上用多少不知道）。

VLT 由 4 个口径 8.2 米的单元望远镜组成，集光能力相当于一个 16 米的望远镜。每一个单元望远镜都是一个独立的望远镜。单元望远镜通过其干涉仪（VLTI）形成一个干涉阵，最长基线 200 米。每个单元望远镜有两个 Nasmyth 焦点和一个 Cassegrain 焦点。Nasmyth 焦点焦比 $f/15$ ，视场直径 30'。Cassegrain 焦点焦比 $f/13.6$ ，视场直径 15'。Cassegrain 焦点与 Nasmyth 焦点之间转换时，用主动光学技术改变主镜的曲率半径和圆锥常数达到改变焦比的目的。

VLT 有 4 个口径 1.8 米的辅助望远镜，一个口径 2.6 米的宽视场（1.5°）望远镜（VST），一个 4 米的红外宽视场望远镜（VISTA）。现在有 3 个辅助望远镜、11 个科学仪器、两个专用的巡天望远镜已完成，VST、VISTA、第 4 个辅助望远镜和几个新仪器即将完成。自适应光学系统于 2002 年投入使用，又研制了一个新的激光导星设备 LGSF，2006 年 1 月出光，正在试运行。现在 4 个 8.2 米的单元望远镜和 3 个辅助望远镜通过 VLTi 形成的干涉阵正在正常运行。



VLT 主动光学系统



VLT 及其它辅助望远镜

参考文献

- (1) Jason Spyromilio, “The VLT”, Proc. SPIE, Vol. 4837, 2003
- (2) David R. Silva, Robeco Gilmozzi, Bruno Leibundgut, and Gautier Mathys, “VLT science operations: the first year”, Proceedings of SPIE Vol. 4010 (2000) •
- (3) Jason Spyromilio, Roberto Gilmozzi and Roberto Tamai, “Paranal: the VLT and VLTI in operation”, Proc. of SPIE, Vol. 5489 (SPIE, Bellingham, WA, 2004)
- (4) VLT 白皮书 (Whitebook)
- (5) F. Comerón, G. Mathys, A. Kaufer, O. Hainaut, R. Hanuschik, M. Romaniello, D. Silva, P. Quinn, “VLT Service Mode operations at 7 years”, Proc. of SPIE Vol. 6270, 62700X, (2006)

Gemini 望远镜

Gemini 是一个国际合作的天文计划，参加制造的国家有美国、英国、加拿大、澳大利亚、阿根廷和巴西。参加观测的国家除上述六个国家外还有智利。有两个相同的望远镜，一个放在北半球夏威夷的 Mauna Kea 山，另一个放在南半球智利的 Cerro Pachon。夏威夷的 1998 年出光，1999 年开始观测，智利的 2000 年出光，2001 年开始观测。

主要参数：

主镜通光口径 8 米，只有卡塞格林 (Cassegrain) 焦点，R-C 系统，系统焦比 $f/16$ 。

有主动光学控制系统和自适应光学系统，在近红外波长达到接近衍射极限的像质。

经费 1.76 亿美元 (US\$176M)。

目前大部分仪器已在运行，少数仍在制造中，预计 2007 年将完成。



参考文献

- (1) Maft Mountain, Richard Kurz, Jim Oschmann, “THE GEMINI 8-M TELESCOPES PROJECT”, SPIE Vol. 2199 / 41, 1994
- (2) Douglas A. Simons, Joseph B. Jensen, Celine d’Orgeville, Peter M. Gray, Manuel Lazo, Rolando Rogers, Michael P. Sheehan, John K. White, “Past, Present, and Future Instrumentation at Gemini Observatory”, Proc. of SPIE Vol. 6269, 626906, (2006)

Subaru 望远镜

日本，日本国家天文台建造，1991 年开始，1997 年安装在夏威夷的 Mauna Kea，1999 年 1 月出光，2000 年投入观测使用。

主镜口径 8.3 米（通光口径 8.2 米），有一个卡塞格林（Cassegrain）焦点，两个耐斯姆斯（Nasmyth）焦点和主焦点。主焦比 $f/2$ ，卡塞格林焦点焦比 $f/12.2$ ，耐斯姆斯焦比 $f/12.6$ 。

工作波段为 $0.3\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$

经费为 38 兆日元。

第一代仪器 8 台已完成。

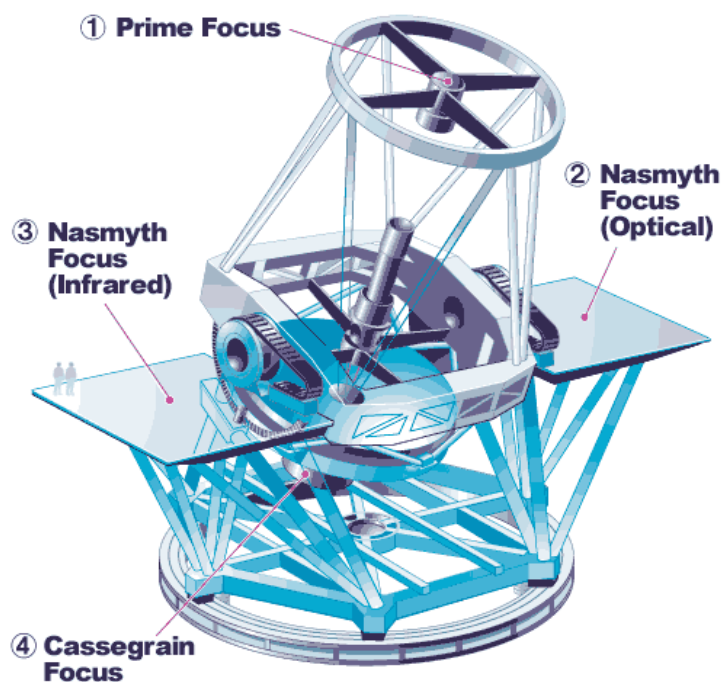


Illustration by Takaetsu Endo, taken from Nikkei Science 1996

参考文献

- (1) Hiroyasu Ando and Subaru Project Team, "Subaru Telescope-status report-", Proc, SPIE, Vol.4837, 2003
- (2) Norio Kaifu, "SUBARU project: current status", SPIE Vol. 2199, 1994

Large Binocular Telescope (LBT)

由美国、意大利和德国的一些研究所和大学合作研制的。1992年开始制造，2002年完成，2005年出光，因两块自适应副镜损坏，目前只有主焦点可以进行试观测。安装在美国亚利桑那州的Graham国际天文台。

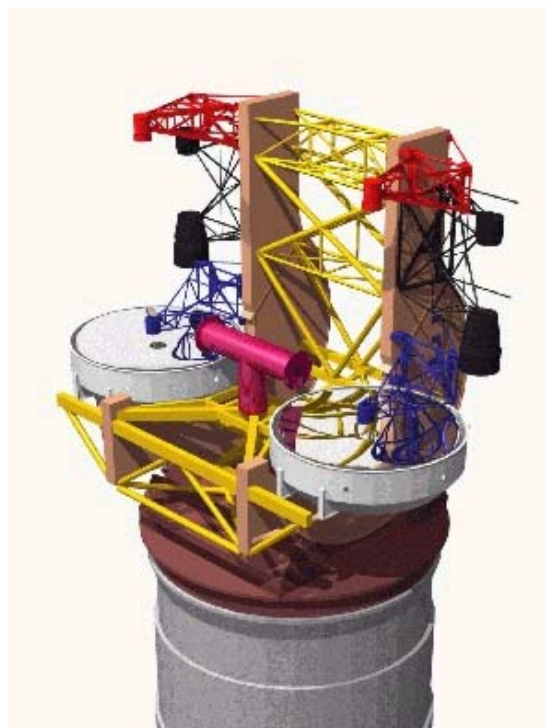
造价\$120M。

两个口径8.4米的望远镜，装在一个装置上，主镜中心相距14.417米。两个望远镜形成干涉阵时，集光能力相当于一个11.8米的望远镜，分辨率相当于一个22.8米的望远镜。

主镜实际口径为8.417米，主焦比 $f/1.142$ ，是抛物面。采用格里高里系统，系统焦比 $f/15$ 。红外波段视场 $4'$ ，光学波段视场 $10'$ 。两个主镜分别有不同的主焦点改正器，分别用于UBVH和VRIE波段。

仪器：红外成像/测光（ $\lambda=2\sim 30\mu$ ），大视场多目标光谱仪（ $\lambda=0.3\sim 1.6\mu$ ），干涉成像（ $\lambda=0.4\sim 400\mu$ ），高分辨光谱仪（ $\lambda=0.3\sim 30\mu$ ）。

2006年主要研制自适应光学和几个其它仪器。



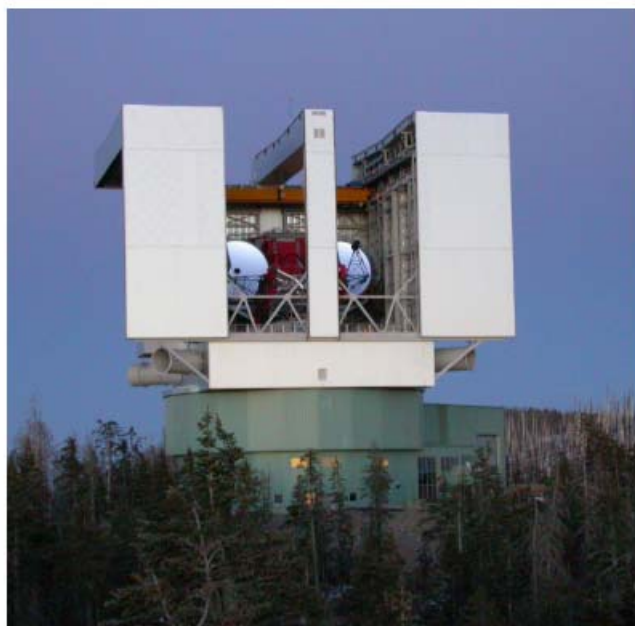


Figure 7. This photo shows the telescope and enclosure with two primary mirrors open to the sky for observing. The left primary mirror (right in the photo) has the LBC-Blue camera in position at prime focus while the right swing arm (left in the photo) is swung out in the maintenance position. Each of the two shutter openings is 10-meters wide. Dead trees on the ridge in the background were burned in the Nuttall-Gibson forest fire in July 2004.

参考文献

- (1) F. Pedichini, E. Giallongo, R. Ragazzoni, A. Di Paola, A. Fontana, R. Speziali, J. Farinato, A. Baruffolo, C. Magagna, E. Diolaiti, F. Pasian, R. Smareglia, E. Anaclerio, D. Gallieni, P. G. Lazzarini, "LBC: the prime focus optical imagers at the LBT telescope", Proceedings of SPIE Vol. 4841 (2003)
- (2) John M. Hila and Piero Salinari, "The Large Binocular Telescope Project", Proceedings of SPIE Vol. 4837 (2003)

Keck

Keck 望远镜是美国加利福尼亚大学、加利福尼亚理工学院和 NASA 合作研制的一对口径 10 米的望远镜 (KeckI 和 KeckII)，是第一架拼接镜面望远镜，安装在夏威夷的 Mauna Kea 山上。

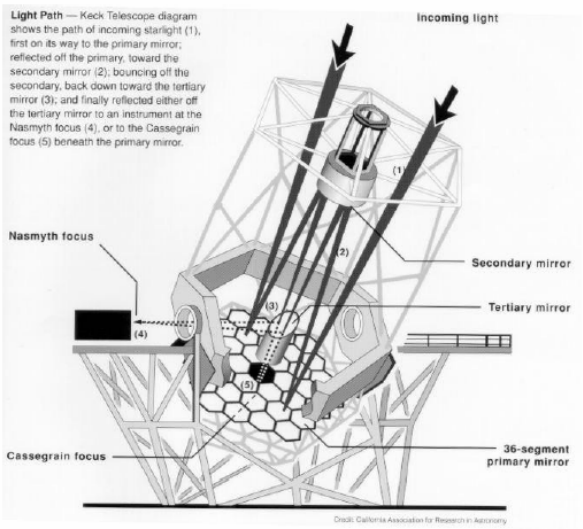
KeckI 和 KeckII 分别于 1993 年和 1996 年投入科学运行。

费用：KeckI \$93.5M, KeckII \$77.7M。KeckI 的仪器\$14.6M, KeckII 的仪器\$14.2M。

Keck 望远镜的光学系统是 R-C 系统，主镜口径 10 米，由 36 块对角径 1.8 米的六角形子镜构成。主焦比 $f/1.75$ 。有 3 个副镜，分别给出 $f/15$ 、 $f/25$ 和 $f/40$ 的焦比， $f/25$ 和 $f/40$ 的焦比用于红外观测。有一个卡塞格林焦点和两个耐斯姆斯焦点放置大仪器 and 需要重力稳定的仪器。另外有 4 个经平面镜折叠的卡焦放大小仪器。

36 块子镜用位移传感器和位移促动器调整并维持共相，即使 36 块子镜相当于一块大镜面，得到的像质为像斑的 FWHM 值为 0.3”，中值为 0.58”。

Keck 望远镜周围还有 4 个 1.5 米的小望远镜，用 Keck 望远镜的干涉仪（KI）将两个望远镜和小望远镜的光进行干涉，最长基线为 140 米，得到更高的分辨率。现在每年可观测 30 个夜晚。Keck 望远镜已有两个自适应光学系统在进行常规的科学观测。已发表了多篇不同课题的文章。10 多年来，Keck 望远镜有了一套仪器，观测波段 0.3-27 微米，作出了惊人的天文发现。其科学产出证明了拼接镜面的成功。由于领先的天文科学要求领先的技术，现在仍在更新校准方法和开发新的方法。下一步的工作主要是针对高分辨率天文学、新的仪器、高效率运行。



Keck 望远镜光学系统



Keck 望远镜

参考文献

- (1) Jerry E. Nelson and Peter Gillingham, “An Overview of the Performance of the W. M. Keck Observatory”, SPIE Vol. 2199, 1994
- (2) Gerald M. Smith, “Keck II status report”, Keck II status report, SPIE Vol. 2871, 1997
- (3) Peter Wizinowich, Rachel Akeson, Mark Colavita, et al, “Recent Progress at the Keck Interferometer”, Proc. of SPIE Vol. 6268, 62680N, (2006)
- (4) David Le Mignant, Randall D. Campbell, Antonin H. Bouchez, “LGS AO operations at the W. M. Keck Observatory”, Proc. of SPIE Vol. 6270, 62700C, (2006)
- (5) Peter L. Wizinowich, “Optical engineering at Keck Observatory: design and performance of the telescopes, adaptive optics and interferometer”, Proc. of SPIE Vol. 6034, 603401, (2006)
- (6) Ian S. McLean and Sean M. Adkins, “Instrumentation Development at the W. M. Keck Observatory”, Proc. of SPIE Vol. 6269, 626903, (2006)

Hobby-Eberly Telescope (HET)

美国，是美国德克萨斯大学、宾夕法尼亚州大学、斯坦福大学（Pennsylvania）、Georg-August-Universität 和 Ludwig-Maximilians-Universität 合作的项目。

HET 是一个特殊的望远镜，主镜是球面镜，倾斜放置，光轴与铅垂线成 35° 角。主镜可在水平方向旋转，在不同的方位角时，光轴指向不同的天区 δ 。可观测的天区范围为 $-10^\circ 20' < \delta < 71^\circ 40'$ ，是同一台址普通望远镜的 70%。

经费\$16M

1996 年 10 月出光，1999 年开始运行。2001 年开始一个 “Completion Project”，分两个阶段。第一阶段包括 Dome seeing，子镜初始准直、子镜准直的保持等方面的改进。第二阶段包括设备热性能的管理、改善产出量、改善望远镜性能、仪器方面的进一步的工作等。总费用 US\$24M，运行费\$1.3M。

主镜是拼接镜面，口径 11 米，由 91 块对边距离 1 米边缘厚度 50 mm 的六角形子镜构成，光瞳直径 9.2 米。主镜共焦，不要求共相。

主镜是球面镜，曲率半径为 $R=26.165$ 米，用 4 块反射镜组成的改正器校正球面镜的球差。观测时，球面镜不动，改正器装在一个跟踪架上，在主焦点处沿焦面移动，跟踪观测天体。主焦面曲率半径 13.08 米，跟踪时要保持改正器的光轴与主镜的法线（CoC）一致。视场直径 $4'$ 。系统焦比 $f/1.45$ ，工作波段 $0.35\sim 2.5\mu\text{m}$

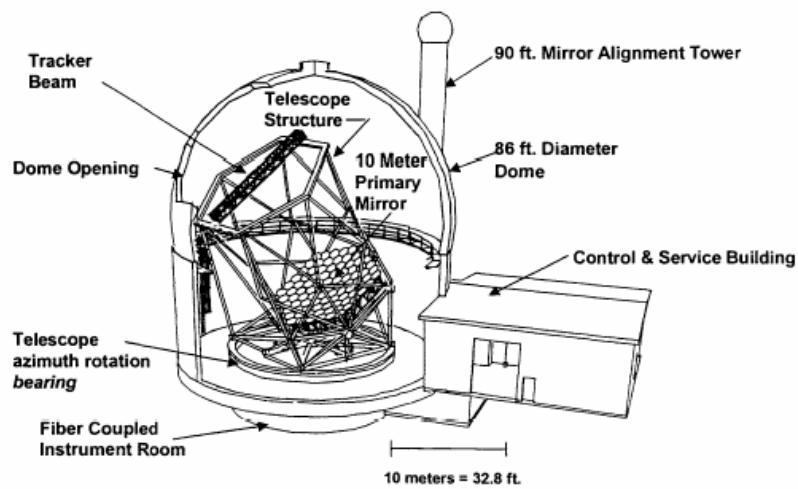


Figure 2. The HET Facility



HET 外观

参考文献

- (1) L.W. Ramsey, M.T. Adams, T.G. Barnes, J.A. Booth, M.E. Cornell, J.R. Fowler, N. Gaffney, J.W. Glaspey, J. Good, G. J. Hill, P. W. Kelton, V. L. Krabbendam, L. Long, P. J. MacQueen, F. B. Ray, R.L. Ricklefs, sage, T.A. Sebring, wi. Spiesmad, M. Steiner, "The early performance and present status of the Hobby-Eberly telescope", SPIE Vol. 3352, 1998
- (2) John A. Booth, Mark T. Adams, Edwin S. Barker, Frank N. Bash, James R. Fowler, John M. Good, Gary J. Hill, Phillip W. Kelton, David L. Lambert, Phillip J. MacQueen, Povilas,

Palunas, Lawrence W. Ramsey, Gordon L. Wesley,” The obby-Eberly Telescope: Performance upgrades, status, and plans”, Proc. of SPIE.Vol. 5489 (SPIE, Bellingham, WA, 2004)

- (3) John A. Booth, Marsha J. Wolf, James R. Fowler, Mark T. Adams, John M. Good, Phillip W.Kelton, Edwin S. Barker, Povilas Palunas, Frank N. Bash, Lawrence W. Ramsey, Gary J. Hila, Phillip J. MacQueen, Mark E. Cornell, Edward L. Robinson, “ The Hobby-Eberly Telescope Completion Project”, Proceedings of SPIE Vol. 4837 (2003)
- (4) Robert K. Jungquist, “Optical design of the Hobby-Eberly Telescope Four Mirror Spherical Aberration Corrector”, SPIE Vol. 3779, 1999

Southern African Large Telescope SALT (SALT)

SALT 是南非的大望远镜，是一个国际合作项目，有 6 个国家，11 个单位参加。1999 年批准，2001 年破土动工，2005 年开始科学运行。

望远镜费用为\$19.854M，第 1 批仪器 5.65M，10 年运行费 11.5M。

SALT 基本上是 HET 的 copy，但也有些不同的地方。

主镜口径 11 米的球面，由 91 块对边距离 1 米的子镜构成。主镜倾斜放置，光轴倾斜 37° ，观测天区为 $-75^\circ 22' < \delta < +10^\circ 37'$ 。

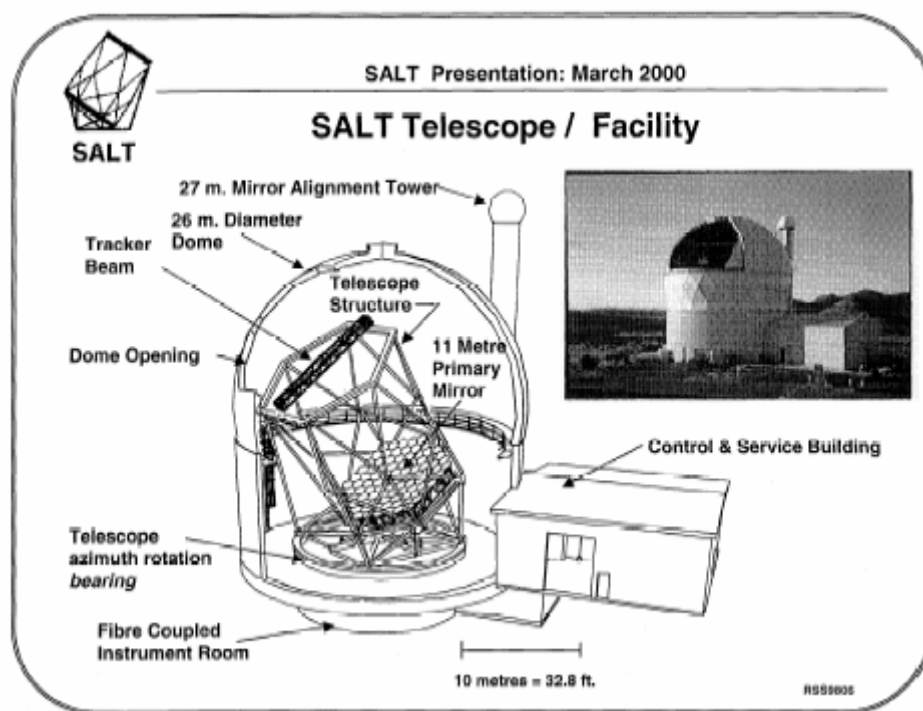
工作波段 $\lambda 0.3 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 。

主要参数：入瞳口径 11000mm，主镜曲率半径 26165mm，焦距 46256，焦比 f/4.2，视场主镜 $8'$ 。主镜共焦，不要求共相。

像质指标：50%光能量集中度 $< 0.6''$ ，80%光能量集中度 $< 0.9''$ ，包括 dome seeing，不包括大气 seeing，中等天顶距大气 seeing 的 FWHM 为 $0.9''$ 。

球差改正器（SAC）装在主焦点处的跟踪器上，由 4 块反射镜组成。M2、M5 和 M4 是圆锥曲面，M3 是高次非球面（到 8 次方项）。最大镜面口径 600 mm。有大气色散改正器（ADC）

第一代仪器中高速光学成像仪（SALTICAM）和一个通用的多用途光谱仪 Robert Stobie Spectrograph 已完成。第 3 个仪器，高色散光谱仪（HRS）将于 2008 年完成。



SALT 及其设备

参考文献

- (1) Arek Swat, Darragh O'Donoghue, Jian Swiegers, Leon Nel and David Buckley, "The optical design of the Southern African Large Telescope (SALT)", Proceedings of SPIE Vol. 4837 (2003)
- (2) Bob Stobie, Kobus Meiring, David Buckley, "Design of the outhern African Large Telescope", Proc. of SPIE Vol. 4003, 2000
- (3) J. G. Meiring, D. A. H. Buckley "Southern African Large Telescope (SALT) Project: Progress and Status after Four Years", Proc. of SPIE Vol. 5489 (SPIE, Bellingham, WA, 2004)
- (4) Darragh O'Donoghue, "The Correction of Spherical Aberration in the Southern African Large Telescope (SALT)", Proc. of SPIE Vol. 4003, 2000

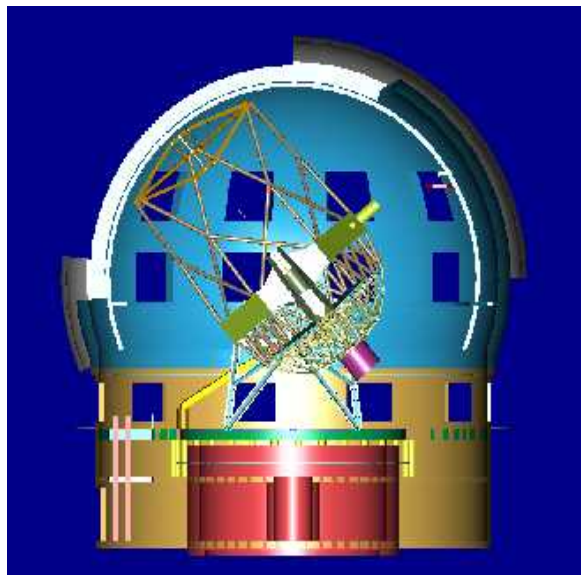
Gran Telescope Canarias(GTC)

基本上是复制 Keck 望远镜，西班牙建造，安装在加纳利群岛 La Palma。原计划于 2003 年开光，现拖期至 2006 年底（现在已到年底，还没有 first light 的消息）。

造价 120 亿西班牙比塞塔。

口径 10 米望远镜，由 36 块对角径 1.9 米 的六角形子镜构成。工作波段 $\lambda 0.3 \sim 25\mu$ 。主镜为抛物面，用主动光学控制各子镜的倾斜、位移和面形。有一个卡焦，两个耐斯姆斯焦点，还有 4 个用平面镜转折的卡焦。焦比 $f/17$ ，视场直径 $25'$ 。将来还有主焦点，视场直径 $40'$ 。

仪器：成像光谱仪，多目标近红外光谱仪，高产出可见光成像和低色散积分光谱仪。



参考文献

- (1) J.M.Rodriguez Espinosa & P.L.Hammersley, “The GTC 10 m Telescope”, Preprint submitted to Elsevier Preprint, 2000

2.) 未来十年发展预测

(1) 现有大望远镜未来十年发展预测

现有的 8—10 米大望远镜都在正常运行，用这些望远镜得到了很多天文上的新发现，揭示了一些前所不知的宇宙秘密，发表了许多文章。第 1 代仪器，有的望远镜已全部完成投入使用，有的接近全部完成，第 2 代仪器也开始制造。预计未来十年中，这些望远镜都将进一步完善

和改进，使其达到更高的水平，以适用更高的科学目标的要求。

(2) 国际上下一代望远镜——极大望远镜 (ELT)

目前国际上有几个口径 30 米及 30 米以上的极大望远镜正在设计或准备中，按照计划在未来十年都将完成。

Thirty Meter Telescope (TMT)

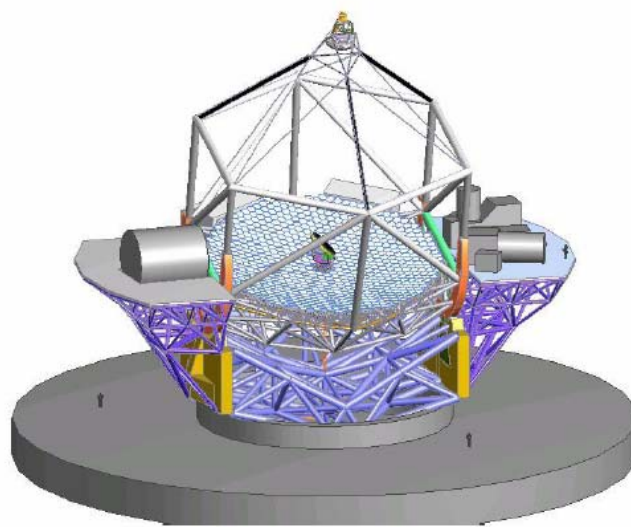
美国，由 CELT (加利福尼亚大学和加州理工学院设计方案)、GSMT (NOAO 和 New Initiatives Office 设计方案)、VLOT (加拿大设计方案) 3 个大项目合并演变出来的。

2006 年进行关键概念和经费评估，预计 2009 年开始制造，2015 年出光。2006 年评估之后，即开始设计早期用的仪器。

经费 US\$700M。

主镜口径 30 米，主焦比 $f/1$ ，等晕的格里高里 (Ge)，系统焦比 $f/15$ 。主镜由 738 块 1.2 米的子镜构成。主镜主动控制系统用边缘位移传感器和位移促动器，基本上是 Keck 的放大。

仪器：红外成像光谱仪，宽视场光学光谱仪，中红外阶梯光栅分光仪，红外多目标光谱仪，行星形成成像仪，近红外阶梯光栅分光仪，高分辨光学分光仪，和宽视场红外照相机。



TMT 结构、Nasmyth平台及仪器示意图

参考文献

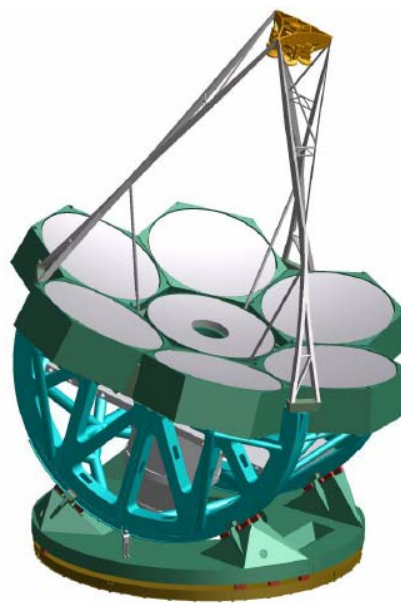
- (1) Jerry Nelson, Gary H. Sanders, “TMT Status Report”, Proc. of SPIE, Vol. 6267, 626728, (2006)
- (2) Larry Stepp, Stephen B. Strom, “The Thirty-Meter Telescope Project design and development phase”, Proceedings of SPIE Vol. 5382 (SPIE, Bellingham, WA, 2004)
- (3) George Z. Angeli, “Systems engineering for the conceptual design of the Thirty Meter Telescope”, Proc. of SPIE Vol. 6271, 62710F, (2006)

The Giant Magellan Telescope (GMT)

美国，GMT 协会中包括华盛顿的 Carnegie 学会，斯密松（Smithsonian）天体物理天文台，哈佛大学，麻省理工学院，德克萨斯 A & M 大学，亚利桑那大学，密歇根大学，德克萨斯大学（奥斯丁）和澳大利亚国立大学。

预计 2016 年开始科学运行，已完成概念设计

主镜口径 25 米，等效口径 21.5 米，由 7 块 8.4 米的圆形子镜构成，等晕的格里高里(Gregory)系统。主镜焦距 18 米，主焦比 $f/0.7$ ，系统焦距 $f/8$ 。直接在格里高里焦点的视场直径 $8'$ ，像质 RMS 优于 $1''$ 。加改正器后视场直径 $20' \sim 24'$ ，对小于 1μ 的波段像质 RMS 优于 $0.1''$ 。有大气色散改正器，可补偿天顶距 50° 的大气色散。副镜为自适应镜面。



GMT 的 CAD 模型

参考文献

- (1) Matt Johns, “The Giant Magellan Telescope (GMT)”, Proc. of SPIE, Vol. 6267, 626729, (2006)
- (2) Matt Johns, Roger Angel, Stephen Slichtman, Rebecca Bernstein, Daniel Fabricant, Patrick McCarthy, Mark Hillips, “Status of the Giant Magellan Telescope (GMT) Project”, Proc. of SPIE, Vol. 5489 (SPIE, Bellingham, WA, 2004)

E-ELT

由原来欧洲南方天文台(ESO)计划研制的一个口径100米的大望远镜Overwhelmingly Large Telescope (OWL)和瑞典、西班牙、爱尔兰、芬兰和英国合作研制的口径50米的望远镜Euro50合并，共同研制一个口径为30米~60米之间的望远镜，暂时定名为E-ELT。

2006年12月得到5700万欧元经费，批准开始此项目，争取3年后开始建造，2017年完成。估

算造价为8亿欧元。

科学目标：行星和星系：外行星，拱星盘。恒星和星系：恒星星族，黑洞。星系和宇宙论：最高的红移星系，动态测量宇宙膨胀。

基本要求：主镜口径30米~60米之间，系统焦比为 $f/10$ 或 $f/20$ ，不晕视场 $10'$ ，在K波段 $4'$ 视场内达到衍射极限。后截距大于 0.5米，焦面曲率不要太大，最好是平焦面。有几个仪器平台并能快速转换，最好有重力稳定的仪器平台。

主焦比为 $f/1$ ，光学系统设计时口径取为42米，包括906块1.45米的子镜。系统焦比取为 $f/15$ ，有5个方案：（1）R—C系统，（2）格里高里系统，（3）有3个自适应镜面的系统，（4）球面主镜，（1）5镜面系统。每个方案各有优、缺点，尚未最后确定。

参考文献

- (1) Isobel Hook, Gavin Dalton, Roberto Gilmozzi, “Scientific Requirements for a European ELT”, Proc. of SPIE. Vol. 6267, 626726, (2006)
- (2) Report presented by the ELT Telescope Design Working Group, 2006

3. 国内的现状和发展预测

1.) 现状

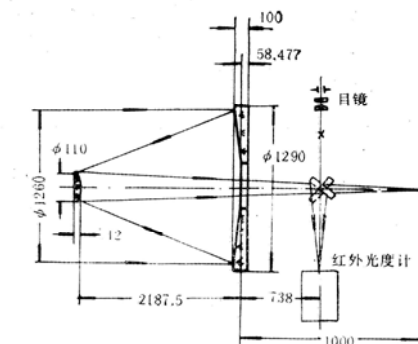
国内现有的口径大于 1.2 米的望远镜有 1.26 米红外望远镜、1.56 米天体测量望远镜和 2.16 米天文望远镜。

1.26 米红外望远镜

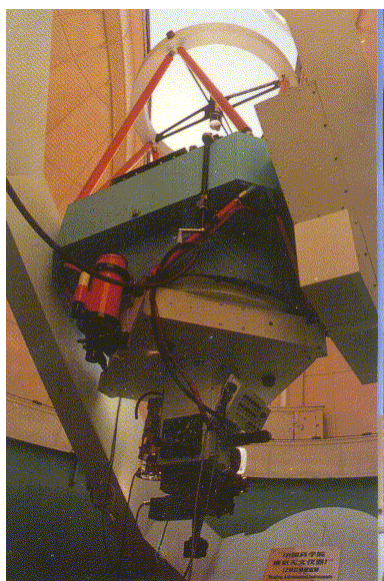
北京天文台提出，南京天文仪器厂研制的，1982 年开始，1988 年完成。安装在国家天文台兴隆观测站。用于红外波段。1991 年获国家科技进步二等奖

主镜口径 1.26 米，主焦比 $f/2$ 。光学系统采用R—C系统。系统焦比 $f/30$ ，视场 $10'$ 。副镜摆动振幅大于 $40''$ 。望远镜采用了较轻型的结构设计，首次采用了较薄的镜面，其口径造价比是较高的。利用副镜摆动技术，可以从很强的天空背景光中探测出红外天体辐射。

由于该望远镜没有很好的探测器，作用受到限制。



光学系统图



观测中的 1.26 米红外望远镜

参考文献

- (1) 姚正秋, 周必方, 汪达兴, “1.26 米红外望远镜”, 天文学报, 1990 年, 第 31 卷, 第 3 期
- (2) <http://www.bao.ac.cn/>

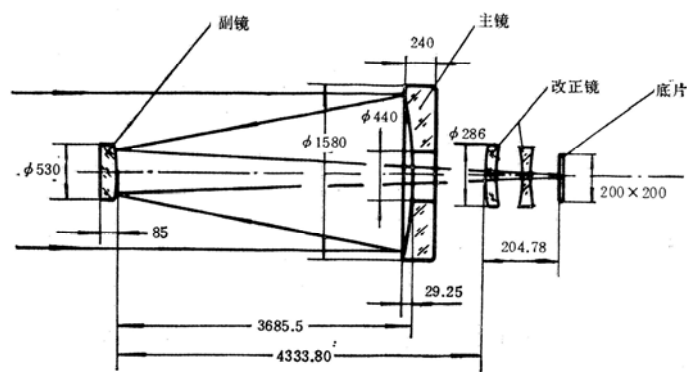
1.56 米天体测量望远镜

1.56 米光学望远镜是中国科学院上海天文台研制的, 安装在上海天文台的佘山基地。1987 年完成, 1989 年投入使用, 获 1992 年国家科技进步一等奖。

主镜口径为 1.56 米, 主镜焦比 $f/1.33$, 光学系统采用 R-C 系统, 焦距为 15.60 米。配有像场改正器。不加改正器时, 卡塞格林焦点的视场为 $30'$, 加改正器后, 视场直径为 1° 。

望远镜配有 CCD 照相机和卡焦摄谱仪, 可作成象和光谱工作。此望远镜虽然最早设计为天体测量用望远镜, 但配合 CCD 和摄谱仪等终端设备, 实际观测课题已扩大到天体物理领域。当前的研究领域主要包括 Blazar 光变的研究; 活动星系核的国际联测; 星团的运动学和动力学研究; 球状星团小变幅新类型变星; 类星体短时标光变的探测; 土星和天王星卫星定位观测; 射电源光学对应体的精确测定; 激变变星的观测; 以及太阳系小天体的观测, 如彗星等。

由于该望远镜在大城市近郊, 灯光污染的影响不能发挥太大的作用。但是经过努力, 1.56 米望远镜自建成以来, 已获得一些观测成果。以此望远镜为主要观测手段的“星团、星系团成员的严格统计确定及其天体物理应用”获得 1998 年中科院自然科学二等奖; 苏梅克-列维 9 号彗星撞击木星的观测研究”获得 1996 年上海市科技进步二等奖; “土星卫星的轨道研究”获得 1997 年中科院自然科学二等奖。



光学系统图



1.56 米望远镜在佘山

参考文献

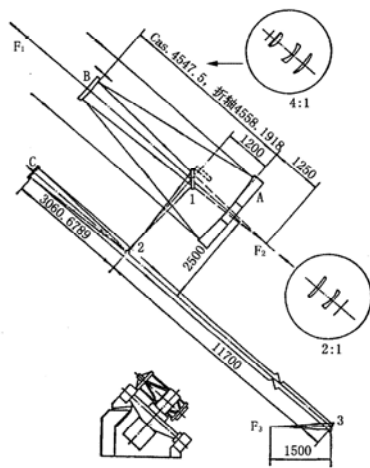
- (1) 王兰娟, 叶稚凤, 饶永梅, “1.56 米天体测量望远镜的光学系统”, 天文学报, 1991 年, 第 32 卷, 第 1 期,
- (2) <http://center.shao.ac.cn/>

2.16 米天文望远镜

2.16 米望远镜是中国科学院南京天文仪器研制中心、中国科学院北京天文台和中国科学院自动化研究所研制的, 安装在国家天文台兴隆观测站, 是目前国内最大的天文望远镜, 也是远东最大的光学天文望远镜。1958 年提出, 1987 年在南京天文仪器研制中心装配车间出光, 1989 年投入观测使用。获得 1998 年国家科技进步一等奖。

自 1989 年运行以来，通过 2.16 米望远镜取得了一大批优秀的天文成果：到 1998 年 10 月已发现了 500 多个活动星系核，包括 200 多颗类星体，一些类星体在宇宙学研究上具有重要意义；证认并研究了我国发现的 29 颗超新星，其中一些特殊的超新星引起了全世界天文界的关注；取得了一大批特殊变星的观测资料，2.16 米望远镜的投入运行使我国天文观测研究走出了银河系，由光度测量进到了光谱观测，上了一个新台阶。它是我国天文学和天体物理学研究的最主要的观测设备。

主镜口径 2.16 米，主镜焦比 $f/3$ 。有卡塞格林焦点、折轴焦点和主焦点 3 个焦点。卡塞格林焦点采用 R-C 系统，系统焦比 $f/9$ ，配有像场改正器，可以直接在卡焦工作，也可以在加改正器后的焦点工作。加改正器后系统焦比 $f/9.0038$ ，视场直径 $53'$ ，像质达到国内外同类设计的最好水平。折轴系统是与传统折轴系统不同的创新的系统，与卡塞格林焦点转换时，不需要更换副镜而且可以同时消除球差和彗差，而传统折轴系统只能消球差。主焦点系统焦比 $f/3.1473$ ，视场 $50'$ 。现在的 2.16 米望远镜上，尚未使用主焦点。



光学系统图



2.16 米天文望远镜

参考文献

(1) 苏定强,周必方,俞新木,“中国 2.16 米望远镜的主光路系统”,中国科学 A 辑,1989 年第 11 期

(2) <http://www.bao.ac.cn/>

大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜 (LAMOST)

这是一个正在研制中的大望远镜,是国家大型科学工程重大项目。1997 年通过立项批准,2001 正式开工,计划 2008 年完成。是世界上最大的大口径兼大视场的望远镜,也是世界上第一架在一块大镜面上同时应用主动变形镜面和拼接镜面技术,并且有两块大拼接镜面的望远镜。LAMOST 成功后,将打破大口径望远镜很难具有大视场的局面,也为在极大望远镜中子镜的面形和位置同时主动控制提供了技术上的可行性。

经费:¥2.35 亿

科学目标: LAMOST 主要作光谱巡天工作,通过大天区河外天体红移巡天,作宇宙大尺度结构、星系的性质和演化、类星体、多波段样品的证认和恒星、银河系的研究等工作。

LAMOST 是一个特殊的反射施密特望远镜,由非球面改正板、球面主镜、和焦面组成。球面主镜固定不动,光轴倾斜与地面成 25° 角,改正板放在其球心。由改正板的转动对天体进行跟踪。能够观测的天区为 $-10^\circ < \delta < 90^\circ$ 。焦面上的星象由 4000 根光纤,送到 16 台光谱仪作光谱观测工作。

球面主镜和非球面改正板都是拼接镜面。主镜由 37 块对角距离 1.1 米的子镜构成,拼接成的镜面为长 6.67 米,宽 6.05 米的六边形。改正板由 24 块对角距离 1.1 米的子镜构成,拼接成的镜面为长 5.72 米,宽 4.4 米的六边形。主动控制两个镜面共焦。改正板在主动控制共焦的同时,还要主动控制面形,使其随时改变以满足校正球差的需要。这样的镜面在世界上是史无前例的。

主镜曲率半径为 40 米,平均焦比为 $f/5$,视场直径 5° ($\delta > 60^\circ$ 的天区为 3°)。

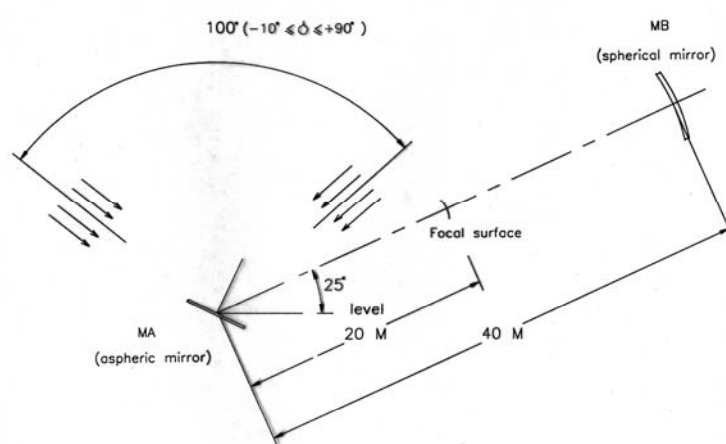
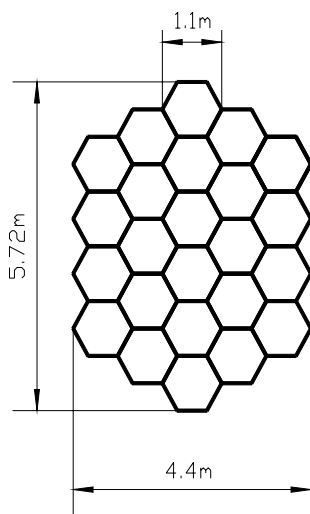
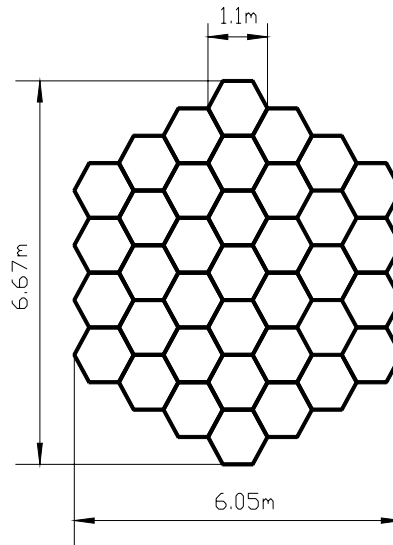


Fig. 1 The Optical System of LAMOST



M_A -非球面改正板



M_B -球面主镜



LAMOST 建筑和圆顶外观 (2006 年 12 月 4 日)

参考文献

- (1) Shou-guan Wang, Ding-qiang Su, Yao-quan Chu, Xiangqun Cui, and Ya-nan Wang, "Special Configuration of a very large Schmidt telescope for extensive astronomical spectroscopic observation", APPLIED OPTICS, Vol. 35, No. 25, 1996
- (2) 大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜 (LAMOST) 项目可行性报告, 1997 年
- (3) Ding-qiang Su, Xiangqun Cui, Ya-nan Wang, and Zhengqiu Yao, "Large Sky Area

2.) 未来十年发展预测

(1) 现有大望远镜未来十年发展预测

我国自主研制的现有的 2.16 米天文望远镜、1.56 米天体测量望远镜和 1.26 米红外望远镜在完成后都发挥了很大作用,得到了许多天文成果,预计未来十年中都将进一步配备更先进的仪器,应用最新的技术,使其发挥更大的作用。

目前正在研制的主镜口径 6.67 米 X6.05 米、平均通光口径 4 米的大视场望远镜 LAMOST 即将完成。投入使用后,将会随着科学技术的发展,采用最新的技术不断进行技术更新。近期将配备高分辨光谱仪。十年之内还可能配备大面阵 CCD 开展成像观测。

另外,云南天文台购买了一架英国 TTL 公司的口径 2.4 米的望远镜,安装在云南丽江的高美古观测站。预测十年内将配备多台先进的终端仪器,开展天体物理的研究工作。

(2) 我国的下一代地面光学/红外望远镜

随着我国经济建设的迅速发展,在第十一个五年计划中,国家批准的天文学大型观测设备已达十亿人民币量级。可以预测,下一个五年计划(即十二.五)国家仍有很大的可能支持相同经费,甚至更多的经费建设包括地面的大型天文观测设备,以适应天文学发展的需要。

在我国西部高原建造下一代地面光学/红外望远镜

我国西部青藏高原有广阔的地域,具有晴夜数多,水汽含量少,大气透明度高,灯光污染少等优点。国家天文台在第十个五年计划中就开始组织并开展了西部选址工作,应将在本次五年计划中有选址结果。根据预测,我国的西部,包括青藏高原不仅有非常好的适合安放大口径毫米波、亚毫米波的天文台址,还有适合大型光学/红外望远镜安放的台址。

预测 10 年内,我国将在西部高原建造:

(i) 一架口径大于 10 米—20 米的大型光学/红外望远镜

充分利用我国西部的优秀天文台址,在成功建造 LAMOST 的技术基础上,用最简洁高效经济的方案建造一架这样的望远镜,可以马上改变我国光学天文望远镜集光面积在世界上的排名,使我国的天文科学研究条件和技术装备与国家的经济实力相匹配,尽快利用大口径望远镜开展宇宙早期的研究和太阳系外行星探测等现代天文学前沿的研究。

(ii) 一架参考 30—50 米光学/红外望远镜的技术建造的 30—50 米的亚毫米波望远镜

亚毫米波观测波段,也是探测早期宇宙的重要观测波段之一。建造一架 30—50 米口径亚毫米波望远镜的费用是同样口径光学望远镜的 6—8 分之一。充分利用我国西部高原的优秀天文台址,结合极大口径(30 米以上)光学红外望远镜方案和关键技术预研基础,以及建造 LAMOST 的拼接镜面主动光学技术基础和我国亚毫米波超导接收机的技术优势,建造一架 30—50 米口径亚毫米波望远镜,不仅在科学上与国际上的亚毫米波望远镜阵 ALMA 互补,使我国的亚毫米波天文学走到国际前沿,同时对我国建造 30 米—50 米极大口径光学望远镜来说也是中间实验。

这些大型天文设备的研制, 不仅将大大的推动我国基础科学的研究到国际前沿, 提高国民素质和国家地位, 还可以促进我国相关高技术的发展, 为国家经济建设 and 国家安全作出贡献。

在地球的南极冰穹A建造望远镜

2004 年 J. Lawrence 等在 Nature 上发表文章, 声称在南极冰穹 C (Dome C) 找到地球上最好的天文台址: Dome C 的平均视宁度 0.27 角秒, 而且其他条件, 如水汽含量、红外背景、晴夜数都非常好, 另外还可连续观测。它吸引了全球天文学家的注意。已有一系列的国际会议讨论在 Dome C 放置什么样的天文仪器。

同年年底至 2005 年初, 我国南极科考队首先到达了海拔 4093 米的冰穹 A (Dome A), 引起了全世界天文届的注意。目前, 我国天文届联合海洋局极地研究中心, 成立了中国南极天文中心, 参加国际极地年 (IPY) 的中国计划 (PANDA), 利用我国在 Dome A 投资 2 亿元建南极内陆科考站的良机, 2007 年开始在 Dome A 安放小望远镜, 进行天文选址和试观测。

预测 10 年内, 我国与美国、澳大利亚等西方国家合作, 将在南极 Dome A

(i) 与国际合作建造 4 米级的望远镜

利用南极极好的视宁度, 一架 4 米口径的望远镜就可以等效在目前世界上最好台址的 8—12 米口径的望远镜, 并且可以进行连续 100 多天的观测, 同时可以开展红外天文学的观测工作。

(ii) 建造 2 米级的 LAMOST (实现全天球巡天)

同上, 利用南极内陆冰穹 A 的极优秀的视宁度, 花 LAMOST 的 3 分之一的经费, 建造一架 2 米口径的望远镜 (包括 400 根光纤, 8 台光谱仪) 就可以开展与在兴隆 4 米口径同样的光谱巡天工作, 与 LAMOST 一起, 实现全天球的巡天。

参考文献

- (1) <http://www.bao.ac.cn/>
- (2) Ding-qiang Su, Ya-nan Wang, Xiangqun Cui, “Configuration for Chinese Future Giant Telescope”, Jr., Proc. of SPIE Vol. 5489 (SPIE, Bellingham, WA, 2004)
- (3) 崔向群, “对我国研制亚毫米波望远镜的设想”, 中国天文学会 2006 年上海学术年会
- (4) Proceedings of Conference on Wide Field Survey Telescope at Dome C and A (3–4 June 2005, Beijing), edited by Cui Xiangqun and Wang Lifan,
- (5) Xiangqun Cui, Yongheng Zhao, Yanan Wang and Guoping Li, “2-m LAMOST-type telescope for the Antarctica”, Proc. Of SPIE, Vol. 6267, 62671J, 2006
- (6) 中国科学院知识创新工程重要方向项目可行性研究报告—南极冰穹A的天文选址及天文观测

4. 大科学装置立项前的预研究

随着天文学对大望远镜的需求, 极大望远镜的研制成为国际上的热门课题。极大光学/红外望远镜在立项前的关键技术预研究主要有以下几个方面:

- 瞄准天文学前沿的科学目标预研究
- 新概念望远镜总体方案预研究
- 极大望远镜的镜面技术：大量非圆形离轴非球面子镜的磨制和检测
- 拼接镜面主动光学和镜面支撑：非圆形子镜的共相技术
- 自适应光学技术
- 恒星光干涉技术
- 大面积低读出噪声光学/红外探测器

随着 LAMOST 在 11.5 期间建成，我国在技术水平上与国际上的先进水平的差距将大大缩短，在有些方面，如：镜面技术、薄镜面主动光学和镜面支撑方面将达到国际先进水平。我国还需努力发展和研究的是：拼接镜面的共相，大批量高精度非圆形偏轴非球面的磨制技术，自适应光学，光学/红外望远镜干涉成像，以及大面积低读出噪声光学/红外探测器相关的技术。

1.) 科学目标的预研究

技术的革命往往给天文学带来新的跨越，但天文学探索宇宙永无停止的追求高灵敏度和高分辨率的需求对天文望远镜和仪器的相关技术发展是永久的驱动力。极大望远镜的科学目标对望远镜的方案、参数确定都是根本性的意义。另外，我们的科学目标是与国际上的其他国家一样呢还是另有特色？也是值得思考的。近年来我们的望远镜方案预研究突出了大口径大视场，在 2005 年 IAU 的极大望远镜学术会议（IAU S232）获得一些国际同行的赞同。

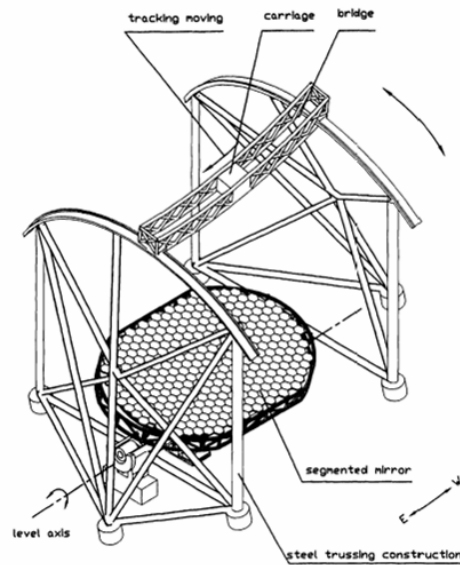
2.) 望远镜方案预研究

目前（在 2000—2006 年间）南京天文光学技术研究所的研究小组提出了几个极大望远镜方案（均以 30 米口径为例）：

(i) 中星仪式望远镜方案

研究了几个不同的中星仪式望远镜方案，其中方案之一是：

主镜是球面镜，固定放置，像差改正器和探测器装在主焦点处的跟踪架上。主镜由约 330 块对角距离 2 米的子镜构成，南北方向 30 米(有效口径 30m)，焦比 $f/1.5$ 。对天体中天前后 1.5 小时跟踪观测。观测时，主镜固定不动，由跟踪架带着改正器的移动对天体进行跟踪。为了减少渐晕，主镜东西方向延长到 45.3 米。主镜可绕水平轴转动，对准不同的天区。可观测天区范围为 $-45^\circ < \delta < +45^\circ$ 。改正器由两块反射镜组成，视场直径 $5'$ 。为了提高观测效率，可在主焦点处放 2~3 个改正器同时跟踪 2~3 个天体。也可以用光纤或反射镜将天体的像从主焦点引到地面上的仪器上。

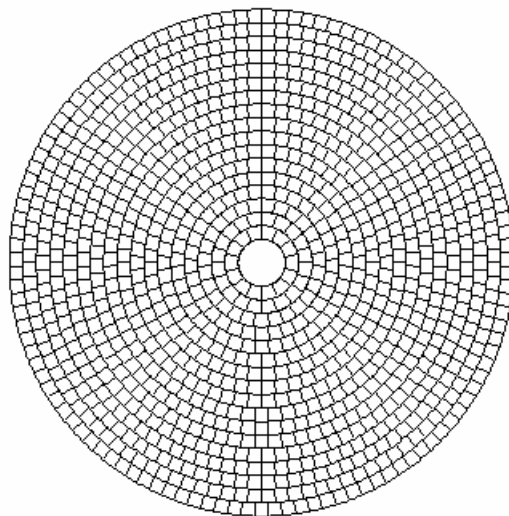


中星仪式望远镜装置

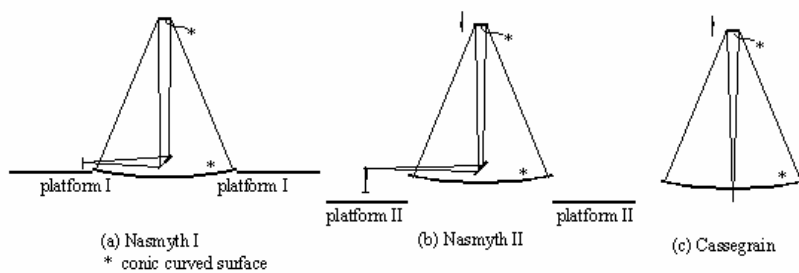
(ii) 中国未来大望远镜 (CFGT)

主镜口径 30 米，由 1122 个圆环形子镜构成，主焦比 $f/1.2$ 。有两个耐斯姆斯系统（耐斯姆斯系统 I 和耐斯姆斯系统 II），卡塞格林系统，折轴系统和大视场系统。有 4 个耐斯姆斯平台。耐斯姆斯系统 I，耐斯姆斯系统 II 和卡塞格林系统都用同一块副镜，都是 R-C 系统。用于光学和红外波段。

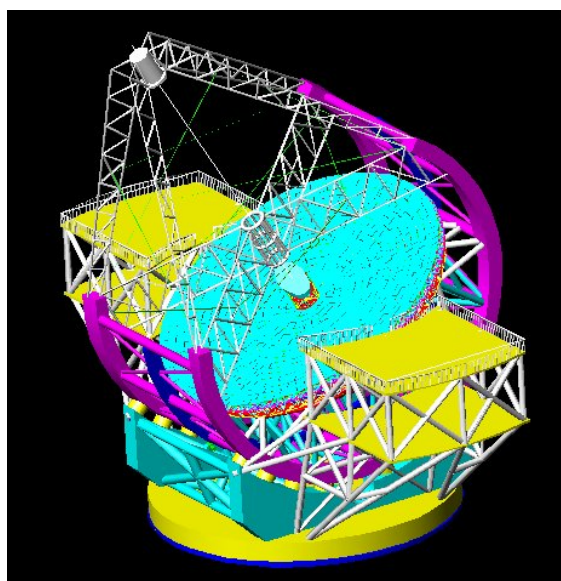
耐斯姆斯系统 I，耐斯姆斯系统 II 和卡塞格林系统视场都是 $8'$ ，焦比分别为 $f/19$ 、 $f/23.83$ 和 $f/14.58$ 。3 个系统之间相互转换时，用主动光学方法改变主镜和副镜的面形，并使副镜作小量移动，使光学系统满足所要求的焦距和像质。折轴系统焦比 $f/200$ ，视场直径 $3'$ 。可与其它望远镜形成干涉阵。还有一个视场直径 $20'$ 的大视场系统，可连接多目标光谱仪。



圆环形子镜拼接成的主镜



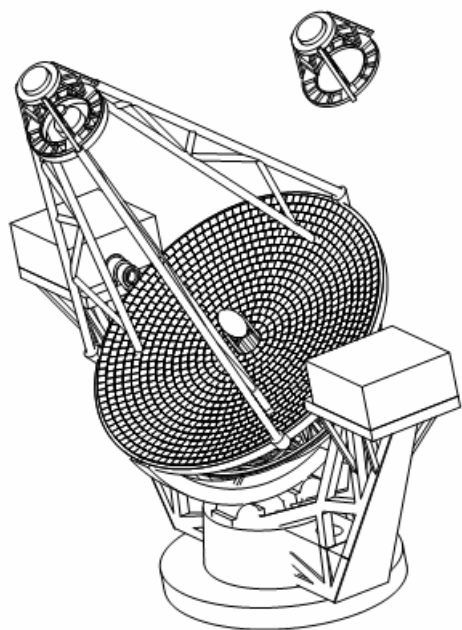
光学系统图



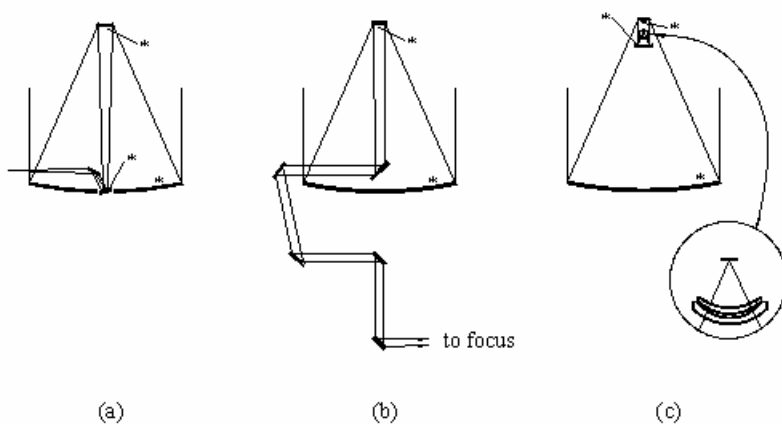
计算机模拟的 30 米望远镜

(iii) CFGT 方案二

口径30米，焦比 $f/1.2$ ，由1095块圆环形子镜构成。有耐斯姆斯（Nasmyth）系统，折轴系统和大视场系统。耐斯姆斯系统是一个新型的系统，它由主镜、副镜、一个稍微倾斜的非球面第三镜和一个倾斜的平面第四镜组成。其最主要的优点是像质特别好，在 $9.8'$ 视场内达到衍射极限（ $\lambda=0.5\mu$ ）。折轴系统焦比 $f/200$ ，视场直径 $1'$ ，也是R—C系统。折轴系统用一个新的副镜，由耐斯姆斯系统转换到折轴系统时，一方面换一个副镜，一方面用主动光学技术改变主镜子镜的面形、倾斜和平移，使主镜和副镜形成一个新的R—C系统，所以折轴系统有很好的像质。大视场焦比 $f/1.2$ ，视场直径 $25'$ ，可校正大气色散。



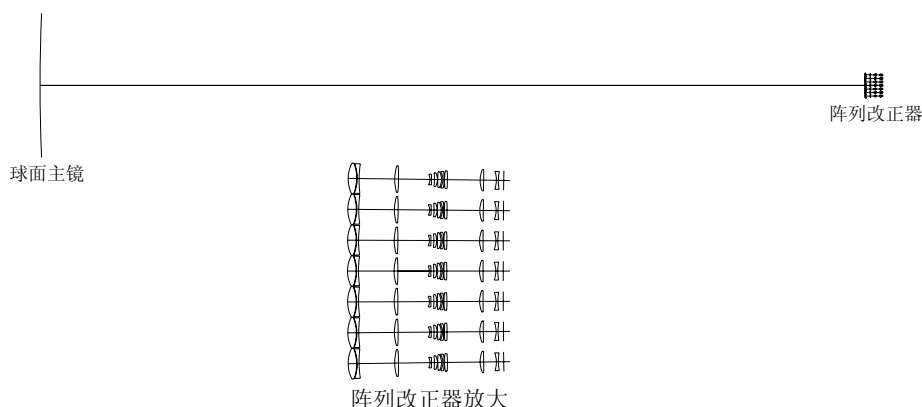
CFGT 方案二的三维立体图



CFGT 方案二光学系统

(iv) 用阵列改正器的大视场大口径望远镜方案

我国的LAMOST突主镜为球面镜，入射光瞳放在球心时，通过入射光瞳的任意方向的光束都与平行于光轴的光束有相同的性质，都只有球差，可以用相同的改正器校正球面镜的球差。本方案即利用这一特点，在主镜焦面附近，放置一个改正器的阵列，其中每一个改正器都比较小，改正一个小范围的视场。所有被校正的小视场加起来就是一个大视场。只要增加小改正器，就可增加视场。如果不考虑挡光的话，这种望远镜的视场可以增加到很大。由于改正器的口径很小，没有大望远镜改正器所遇到的折射材料问题，在这种改正器中可很方便的加进大气色散改正器。



参考文献

- (1) Ding-qiang Su, Ya-nan Wang, Xiangqun Cui, "Configuration for Chinese Future Giant Telescope", Jr., Proc. of SPIE Vol. 5489 (SPIE, Bellingham, WA, 2004)
- (2) 苏定强, 王亚男, 崔向群, "一个巨型望远镜方案", 天文学报, 2004 年, 第 45 卷, 第 1 期
- (3) Ding-qiang Su*, Xiangqun Cui, Ya-nan Wang, "Configurations for extremely large telescope with spherical or aspherical primary mirror", Proceedings of SPIE Vol. 4004 (2000) •
- (4) Shou-guan Wang, Ding-qiang Su and Qi-qian Hu, "Two Telescope Configurations for China", Proceedings of SPIE, Vol. 2199 (1994)

3.) 极大望远镜的镜面技术

成千块非圆形离轴非球面镜面拼接成一块30米—100米口径的望远镜主镜是极大望远镜的突出特点。怎样在研制望远镜的10年左右的时间里磨制出这么多的非圆形离轴非球面镜面是极大望远镜一个关键。

一种方法是用复制法或预应力环抛技术磨制大批非圆形离轴非球面子镜;其中用主动抛光盘磨制复制法所需的母模;离子束抛光作为复制法母模或预应力抛光的子镜的精抛:

(1) 复制法

复制法是先做一个模板,面形与被加工镜面的面形相反,然后用它去复制出所要求的镜面。此技术对于大批量的子镜拼接的极大口径望远镜镜面的子镜磨制特别有用。

目前天光所已成功发展了口径 200 毫米的圆形非球面的复制方法,正在发展口径为 400 毫米的圆形非球面的复制技术。

(2) 预应力环抛技术

极大口径的望远镜,主镜的曲率半径一般都在 30 米以上,因此可以用环抛机加预应力抛光技术来大批量的磨制。

目前南京天光所获得国家自然科学基金支持发展预应力环抛技术。

(3) 主动抛光盘技术

主动抛光盘技术是近年来因天文望远镜的口径越来越大,焦比越来越快而发展起来的一种能够根据需要抛光盘面实时地主动变形成为偏轴非球面来磨制大口径非球面高精度天文镜面的磨制技术。非球面表面的曲率不仅各点不一致,而且同一点的径向与切向曲率也不相同,所以经典的大的抛光盘不可能使其表面形状始终与所接触的非球面表面形状相吻合;常用的小磨盘抛光的致命缺点是解决不了高频切带,抛光效率也低。而主动抛光盘技术正好解决这些难题。与传统方法相比,它具有较高的磨削速率和较大范围内的自然平滑(无切带)。这是一种用计算机控制的磨镜技术,通过它可以像加工球面一样来加工一个深度的非球面。此项技术可应用于直径2米以上的天文镜面和直径几十米的巨型天文光学/红外望远镜子镜的复制法的磨制。

南京天文光学技术研究所已研制成功主动抛光盘,并用它磨制了一块直径910毫米,焦比F/2的抛物面镜,得到了很好的结果(为2005年获国家科技进步二等奖的成果之一)。目前正在为2.5米数控磨镜机研制1米的主动抛光盘。

(4) 离子束抛光技术

离子束抛光技术是美国天文光学专家 Aden Meinel 的发明专利(很多年前已释放)。适合于光学镜面的精抛光。美国 Kodak 公司的专家说:将离子束抛光作为精抛,放松了常规抛光的精度要求,使得非球面抛光更容易了。美国的10米口径 Keck 望远镜主镜的子镜切割成六角形后面形变坏,后采用离子束抛光精修子镜面形到要求(由于切割后面形变形太大,除此之外,镜面支撑处还加了变形校正)。

南京天光所在所基金和国家自然科学基金的支持下正在发展离子束抛光的工艺。

(5) 超薄镜面磨制技术

采用单块大口径镜面的地面望远镜(包括自适应副镜)和空间望远镜都需要超薄镜面,因此超薄镜面磨制技术也是需要预研和发展的关键技术。

以上镜面技术包括:镜面材料、磨制工艺、镜面检测、镜面支撑等方面的新技术。

参考文献

- (1) 崔向群,高必烈,汪达兴,朱永田,杨世海,朱政,王磊,夏自立,“一种大口径大非球面度天文镜面磨制新技术”,光学学报2005年25卷第3期
- (2) 崔向群,李新南,张振超,夏自立,李焱平,王佑,“大口径天文薄镜面磨制试验”,光学学报2005年25卷第7期
- (3) 高必烈,对主动抛光盘在加工、测量状态下盘面的变形及提升的数学分析,光学学报,2005年25卷第4期,pp525~532
- (4) 朱政、高必烈、李新南、刘鸣,主动抛光盘磨制非球面的工艺与面形检测,光学技术,2005年第3期
- (5) 汪达兴、李颖、杨世海、高必烈,主动抛光盘磨制非球面控制技术的研究,光学技术,2005年第3期
- (6) Yi Zheng, Ying Li, Lei Wang, Daxing Wang, "Method of Stressed Lap Shape Control for

Large Mirror Fabrication”, Proc. of SPIE Vol. 6273, 62730D, (2006)

- (7) R.Gilmozzi, B.Delabre, The future of filled aperture telescopes: is a 100m feasible? SPIE, 1998, Vol. 3352
- (8) 朱政, 李德培, 陆翡翠, 乔撩云 “Mirror replication technique”, SPIE 会议论文集, 1999.10, VOL. 3782, P. 546-553

4.) 主动光学与镜面支撑

上个世纪90年代开始, 中国科学院南京天文光学技术研究所相继对薄镜面主动光学和拼接镜面主动光学进行了研究, 得到了成功的试验结果, 分别于1994年和1999年获得中科院科技进步二等奖。在LAMOST研制过程中, 在大口径主动光学实验装置上, 用LAMOST的一对子镜进行了主动光学试验, 对天上的星做跟踪闭环实验, 得到成功。本实验望远镜装置获2006年国家科技进步一等奖。这一实验的成功, 对LAMOST和将来研制口径几十米的巨型望远镜都有重大意义。

在LAMOST研制过程中, 对主动镜面和拼接镜面的支撑系统做了许多研究, 并在LAMOST上实际应用。LAMOST研制成功后, 这些技术都可直接用于口径更大的巨型望远镜。但是对于极大口径的光学/红外线望远镜追求的不仅是大口径的集光能力, 还要追求大口镜的高的衍射分辨率。所以, 还需要预研究大量的(千块左右)子镜的共相的主动拼接镜面技术。

另外, 望远镜的口径越大, 主镜支撑桁架的重力变形将造成子镜在径向和圆周方向的较大的位移, 以至于子镜的位置控制达到五维, 因此还需要预研五维运动的主动控制的子镜支撑系统。

参考文献

- (1) Su Ding-qiang Jiang Sheng-tao Zou Wei-yao Yang Shi-mo Yang Shu-ying , Zhang Hai-ying and Zhu Qi-chao, “Experiment system of thin-mirror active optics”, SPIE Vol. 2199 , 1994
- (2) Ding-qiang Su. Wei-yao Zou. Zhen-chao Zhang. Yuan-gen Qu.and Shu-ving Yang, “Experiment system of segmented-mirror active optics”, Proceedings of SPIE Vol 4003, 2000
- (3) Xiangqun Cui*, Yeping Li, Xiaoyu Ni, Dehua Yang , Zhengqiu Yao, Guoping Li and Yuefei Wang, “The active support system of LAMOST reflecting Schmidt plate”, Proceedings of SPIE Vol. 4837 (2003)
- (4) Yang Dehua, Gu Bozhong, Cui Xiangqun, Structural Analysis of the Reflecting Surface System of a Large Astronomical Telescope, Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol. 17, No.3, 2004, pp 415-419
- (5) Ding-qiang Su and Xiangqun Cui, Active optics in LAMOST, Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, Vol. 4 (2004), No. 1, 1-9

5.) 自适应光学技术

由于极大口径的光学/红外线望远镜追求的不仅是大口径的集光能力, 还要追求大口镜的高的衍射分辨率。除了望远镜的光学系统要达到通光口径的衍射极限外, 在焦面仪器前面还必须有自适应光学系统校正大气扰动。

恒星的自适应光学技术不仅面对着目标十分的暗弱，还面临许多新的问题，如：30米以上口径的极大望远镜的子孔径已达几千上万；另外，为了得到较大的视场，最近以来开始发展分层共轭的自适应光学技术（MCAO），以及多个激光导引星的自适应光学系统（MLGS）。可见，极大望远镜的自适应光学系统是一个非常复杂系统，在许多具体的技术方面都面对着挑战。

在分层共轭的自适应光学系统中，望远镜的副镜本身或望远镜中的其他镜面作为分层之一的自适应可变形镜已在目前的6-8米望远镜上开始应用，因此，大口径自适应可变形镜的相关技术也变得十分重要，包括：高超薄的大口径镜面的磨制、新型促动器、高达几百赫芝的大口径可变形镜的校正控制、支撑和支撑系统的阻尼。

无论如何，极大口径望远镜所需要的自适应光学系统将给使自适应光学技术飞快的发展，也许将带来全新的概念和技术出现。

参考文献

- (1) Xiangyan Yuan, Xiangqun Cui, Genrong Liu, Yong Zhang, Yongjun Qi, “Low-order AO system in LAMOST”, Proc. of SPIE Vol. 6272, 62723O, (2006)
- (2) <http://www.noao.edu/dir/ao/>

6.) 恒星光干涉技术

(吴桢)

要提高望远镜的分辨率，通常的办法是增大望远镜的口径，但是这样的代价是较大的。人们为了用较少的代价获得高分辨率的办法就是恒星光干涉的方法。根据干涉仪的光束合成方式，可以将干涉仪分为两种不同的类型：(1) 采用像面合成的斐索干涉仪 (2) 以及采用瞳面合成的迈克尔逊干涉仪。

斐索干涉仪

包含若干个子孔镜，它们构成了一个事实上的公共主镜，从主镜出来的光被合成到公共次镜。由于从每个子孔镜出射的光被合成在次镜的公共焦面上，就如同一个单孔径望远镜。为了达到单个望远镜的衍射极限，共相阵必须同时和自动实现下面两个功能：第一，每个望远镜的成像必须重叠在一定的精度，即重合精度必须大大小于综合望远镜的分辨率；第二，每个望远镜的成像必须共相，共相精度小于一个波长。必须在望远镜的整个视场上满足这两点。

斐索干涉仪需要预研究的关键技术包括：干涉阵结构、波前传感器（自适应光学技术和主动光学技术）、光束合成器、图像重构技术以及CCD探测技术。

迈克尔逊干涉仪（长基线恒星光干涉仪）

目前，长基线恒星光干涉技术已经成长为天文观测的主流观测技术。H. Fizeau在1868年首先提了恒星光干涉的概念，光干涉可被用于恒星角直径的测量。1891年迈克尔逊利用光干涉方法首次成功地测出了木星4颗卫星的角直径。长基线恒星光干涉仪起源于1920年迈克尔逊测量了Orionis的角直径。由于缺乏高灵敏度的条纹探测器，直到1970年中期，随着新技术如探测器、激励器、伺服控制系统等的出现，干涉技术获得了新生。一大批地基迈克尔逊型干涉仪相继诞生，并取得了令人瞩目的成果。

长基线恒星光干涉仪需要预研的关键技术包括：干涉阵结构、波前校正系统（自适应光学以

及主动光学技术)、延迟线技术、条纹跟踪技术、光束合成系统、控制系统以及大气色散校正系统。

随着长基线恒星光干涉技术的发展,不断有新的技术被用于这个领域,提高灵敏度的极限和校正精度。这些新技术包括:用于光束传输以及延迟补线的单模光纤技术、用于光束合成的集成光学技术、新的探测技术以及对于不同的天文物理目标,产生的新的干涉方法。

对于天文观测,迈克尔逊型干涉仪能够获得比斐索型干涉仪更高的分辨率。

7.) 大面积低读出噪声光学/红外探测器

至今为止,大面积低读出噪声光学/红外探测器在我国仍然几乎是发展的初期阶段。特别是大面积低读出噪声红外探测器还是空白。是我国急需发展的关键技术。

5. 国际合作

在未来十年的极大口径光学/红外望远镜上,欧洲南方天文台台长关于42米E-ELT与我国天文界已有口头上的合作意向。美国30米TMT也多次表示希望与我国合作。但至今没有很大的进展。估计主要是他们自己还没有真正定下来。一旦确定,合作将会有具体的内容。

我国2007年开始在南极冰穹A建科学考察站。美国、澳大利亚、意大利、法国等都感兴趣,希望与我国合作,特别是美国和澳大利亚。目前我国已成立南极天文中心,作为国际合作的平台,并且在选址和试观测方面已开始实质性的合作。