我国天文大设备的现状与未来专题·评述

中国地基大太阳望远镜

刘忠^{①*}, 邓元勇^②, 季海生^③, 黎辉^③

① 中国科学院云南天文台, 昆明 650011;

② 中国科学院国家天文台, 北京 100012;

③ 中国科学院紫金山天文台, 南京 210008

*联系人, E-mail: lz@ynao.ac.cn

收稿日期: 2012-08-21; 接受日期: 2012-12-04; 网络出版日期: 2012-12-10

国家自然科学基金(批准号: 11078004, 11078005 和 11178005)、中国科学院重要方向性项目(编号: KJCX2-EW-T07)和国家重大基础研究计划(编号: 2011CB811400)资助项目

摘要 随着中国太阳物理及空间科学的发展, 地基大型光学和红外太阳观测设备已成为中国不可或缺的科研装置. 本文首先从太阳物理研究及空间灾害性天气预报的角度阐述了发展大型地面太阳观测设备的必要性, 回顾了近年来我国及全球地基太阳望远镜的现状, 介绍了欧美下一代大型地基太阳物理观测设备的主要构想及计划, 重点叙述了由我国太阳物理界共同提出的中国大型地基太阳望远镜计划及其关键技术和试验, 最后介绍了该计划(包括台址勘选)的进展状况.

关键词 太阳物理, 望远镜, 日冕仪, 太阳活动, 空间天气预报

PACS: 96.60.-j, 95.55.Cs, 96.90.+c

doi: 10.1360/132012-709

1 引言

作为宇宙中一颗正常的主序星, 太阳的演化和发展与其它类似恒星并无太大差别^[1]. 然而, 如果从地球与太阳的关系来看, 太阳活动的周期性变化以及突发的太阳活动将对地球及其它太阳系内的行星带来较大的影响, 这种影响不仅仅是短暂而易于恢复的(例如地磁爆和其他电离层扰动), 太阳的长周期变化还将会影响到地球的大气圈及气候变迁, 进而对地球表面生态系统的演变产生决定性的影响.

尽管一次典型的“剧烈太阳活动”所持续的时间并不算太长, 但由于人类日益依赖于现代技术, 因此,

即便是那些从宏观角度而言属于“短暂而易于恢复”的灾害也会给人类的生活和生产行为带来较大的影响. 熟知的例子包括: 通讯中断、信息安全事故、高纬度电力系统崩溃以及空间探测器受损等等. 为了对太阳活动进行预警和预报以便最大程度地避免“灾害性空间天气”对人类活动的影响, 必须充分了解并掌握太阳活动的规律及与之紧密相关的各种现象的物理本质. 然而, 遗憾的是, 虽然人类对太阳进行了几百年的观测和研究, 至今还不能对灾害性空间天气进行准确预报, 也不甚了解太阳活动的长期变化规律. 从本质上讲, 原因是人类还不清楚太阳爆发的精确物理过程, 甚至还无法确定太阳磁场的形成和

引用格式: 刘忠, 邓元勇, 季海生, 等. 中国地基大太阳望远镜. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2012, 42: 1282–1291

Liu Z, Deng Y Y, Ji H S, et al. Ground-based giant solar telescope of China (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2012, 42: 1282–1291, doi: 10.1360/132012-709

变化规律. 从观测的局限性来看, 主要问题为: (1) 不能清楚地观测太阳光球和色球(流场及磁场)的结构及其演化细节; (2) 无法直接观测太阳的内部结构; (3) 不了解日冕磁场的变化及日冕物质抛射的具体细节. 因此, 对太阳光球、色球和日冕的精细结构进行高分辨率(空间, 时间, 光谱和磁场)的观测就显得尤为重要了.

2 大形太阳望远镜及其科学目标

太阳望远镜的演变历经了数百年的时间, 从早期的光球黑子监测逐渐发展到可进行光谱和单色像(多为色球)观测的专用太阳望远镜. 现代光学太阳望远镜不仅可以进行常规的光球和色球及光谱观测, 也更注重太阳磁场、精细结构以及日冕的测量. 从技术上来说, 现代光学太阳望远镜为了实现其科学目标, 均配备了自适应光学系统、二维成像光谱仪以及高精度磁场测量仪器等设备, 观测波段则覆盖了从极紫外(空间太阳望远镜)一直到中红外(地基太阳望远镜)的宽广范围. 本文重点讨论包括日冕仪在内的大型地面太阳望远镜及其科学目标.

2.1 当代大型太阳望远镜

目前正在运行和即将运行的大型地面光学和近红外太阳望远镜有两种主要形式, 真空望远镜和敞开式望远镜, 其中真空太阳望远镜的典型代表是位

于我国云南天文台抚仙湖太阳观测基地的 1 m 真空太阳望远镜-NVST(New Vacuum Solar Telescope, 图 1)^[2], 敞开式太阳望远镜的典型代表是美国大熊湖天文台(Big Bear Solar Telescope)的 1.6 m 敞开式离轴太阳望远镜-NST(New Solar Telescope, 图 2)^[3,4].

图 3 显示了真空太阳望远镜的基本结构. 太阳望远镜采用真空镜筒的主要原因是为了避免来自太阳的热辐射所导致的镜筒内空气湍动, 这种湍动将造成望远镜成像质量的急剧下降. 真空镜筒是经典的太阳望远镜结构, 与其类似的结构还包括将镜筒内充满惰性气体的密封结构. 真空望远镜面临的限制主要来自真空镜筒的密封窗. 尽管封窗保证了镜筒内部完全没有湍流介质, 但其本身会引入镜面视宁度(Mirror Seeing)和热变形. 为了减少封窗变形带来的像质衰减, 真空封窗的直径往往比望远镜主镜的直径还大, 以中国 NVST 为例, 其真空封窗的直径已达 1200 mm. 考虑到大口径封窗的制造难度以及封窗对红外波段的截止, 较大口径的现代太阳望远镜开始倾向于使用敞开式结构.

为了减少第 1 焦点(F1)附近的热量造成光路内部的严重湍流, 敞开式太阳望远镜可以选择如图 4 所示的离轴光路. 离轴系统还有一个优点, 那就是副镜及其支架不在入射光路中间, 这意味着离轴望远镜可以有一个完全清澈的光瞳(Clear Aperture), 有利于红外观测和自适应光学系统的运行. 目前最成功的敞

图 1 1 m 真空太阳望远镜(NVST)及其拍摄的黑子照片

Figure 1 The New Vacuum Solar Telescope and a sunspot image taken by NVST.

图 2 NST 及其拍摄的黑子照片

Figure 2 The New Solar Telescope and a sunspot image taken by NST.

图 3 典型真空太阳望远镜的结构示意图

Figure 3 Diagram of a traditional vacuum solar telescope.

图 4 离轴的敞开式结构及其热控装置示意图

Figure 4 Diagram of an off-axis system with thermal control box.

开式离轴太阳望远镜是美国的 NST, 其主镜口径为 1.6 m. 虽然离轴光学系统会引入仪器偏振, 影响基

于塞曼效应的磁场测量精度, 但由于结构相对简单且便于进行热控, 美国下一代大型太阳望远镜 ATST (Advanced Technology Solar Telescope) 已经确定选择了这样的结构, NST 的成功极大地推动了下一代大型太阳望远镜的发展.

除了 NVST 和 NST, 现代化的 1 m 量级太阳望远镜还包括瑞典的 SST (Swedish Solar Telescope)^[5], 德国的即将运行的 GREGOR^[6], 法国的 THEMIS^[7] 以及美国的 McMATH^[8] 望远镜. SST 仍然采用了定天镜结构, 经典真空系统, 这架望远镜是首先获得接近衍射极限成像分辨率的 1 m 级太阳望远镜. 1.5 m 口径的 GREGOR 则采用了敞开式的对称光路以期获得更高的偏振测量精度. 采用真空结构的 THEMIS 和早年就建成的敞开式 McMATH 则更倾向于光谱测量. 尽管拥有 1.6 m 的净口径, 严格来说, McMATH 望远镜并不具备现代米量级望远镜的观测能力, 但其在红外光谱测量方面进行了极具科研价值的探索, 为确立下一代大型太阳望远镜的科学目标做出了较大的贡献.

2.2 下一代大型太阳望远镜及其科学目标

依据太阳发电机理论和活动区模型, 太阳磁场在太阳活动中扮演了极为关键的角色. 为了预测耀斑和日冕物质抛射这样的爆发活动, 必须监测从太阳光球到日冕的磁场和流场精细结构及其演化过程.

而有意义的最小磁结构及其对太阳活动的贡献越来越成为关注和争论的焦点. 大约 30 年前, 许多太阳物理学家都相信太阳磁场的基本结构(磁元)约为 $0.1''$ 左右, 这对应了太阳表面约 70 km 的尺度. 也正是因为这个原因, 正在运行的大太阳望远镜的口径均被设计为 1 m 左右. 最近十年, 随着新的加工工艺以及包括自适应光学等新观测技术的发展, 已可用上述几架 1 m 量级的地基望远镜观测到太阳表面(尤其是光球)小于 100 km(约 $0.15''$)的细节(图 5), 这些新的观测结果预示着太阳光球应当有小于 $0.1''$ 的精细结构. 有趣的是, 这些所谓的超精细结构并不仅仅是统计意义上的“基本结构”, 它们与磁场紧密相关, 本身就是太阳活动的重要组成部分. 来自 NST 的最新观测证据表明, 光球磁亮点(Magnetic Bright Points)与日冕中的大尺度结构和活动现象有着紧密的内在联系^[9]. 另一方面, 最近的数值模拟也表明^[10,11], 太阳光球应当具有 $0.03''$ (太阳表面 20 km 左右)左右的磁场超精细结构. 1 m 量级的太阳望远镜已经不能分辨这些超精细结构以及它们的演化过程, 例如: 微尺度的磁重联、光球亮点的结构以及微尺度磁流管的演化等. 这是下一代大型地面太阳望远镜为何选择 4 m 以上口径的主要原因之一.

在下一代大型太阳望远镜计划中, 最具代表性的是美国的 ATST^[12], 它选择了离轴的敞开式结构, 其离轴主镜的有效直径达到 4 m, 光谱将覆盖 0.3–30

μm 的宽广范围, 配备多层共轭自适应光学系统, 可在可见光波段实现衍射极限成像以探测太阳表面 20 km 尺度的细节. ATST 还具备日冕观测模式, 在此模式下将对日冕的磁场精细结构进行测量. 欧洲多国则联合提出建设 EST(European Solar Telescope)^[13] 计划, 该望远镜将采用与 GREGOR 类似的敞开式对称光路, 其科学目标与 ATST 相近, 主镜的有效直径也将达到 4 m. ATST 是最有可能率先建成的超级地面太阳望远镜, 目前, 其设计工作已经接近完成, 项目经费基本落实, 按照计划将于 2017 年左右建成. ATST 将放置于夏威夷群岛的 Haleakalā 山顶. EST 则倾向于放置在西班牙的加那利群岛(Canary Islands).

3 中国下一代大型地基太阳望远镜计划

中国太阳物理学界早在本世纪初就开始酝酿中国下一代大型地基太阳望远镜计划. 2009 年, 该设想正式提交科学院并进行了讨论. 经过讨论, 中国大型地面太阳望远镜计划明确为两项内容: 中国巨型太阳望远镜(Chinese Giant Solar Telescope, CGST)以及中国的大型地面日冕仪计划. CGST 的原型来自于南京大学和紫金山天文台的 4 m 地面太阳望远镜计划(也称为先进地基太阳天文台)、国家天文台提出的 4 m 级敞开式离轴太阳望远镜计划以及云南天文台 2006 年建议的 4 m 级环形太阳望远镜(Ring Solar

图 5 左图黑圈内显示了一些疑似微尺度磁重联的精细结构, 右图显示了太阳光球宁静区的亮点. 资料来自云南天文台 1 m 真空太阳望远镜(NVST)

Figure 5 Left image shows some uncertain micro magnetic reconnection structures (inside black cycle). The right pattern shows many bright points on the quite Sun. These images are both taken by the NVST.

Telescope) 计划^[14]. 大型日冕仪计划则源自美国的 COSMO 计划^[15].

3.1 中国巨型太阳望远镜(CGST)科学目标

CGST 的科学目标主要集中于太阳大气各层次的磁场和流场精细结构及其高时空分辨率演化过程的测量, 光谱覆盖将延伸至 $15\ \mu\text{m}$ 甚至更远的红外波段. 与 ATST 和 EST 相比, CGST 更关注在红外波段对太阳进行高分辨率观测和研究. CGST 将在 $1\ \mu\text{m}$ 波段实现太阳表面 $20\ \text{km}$ 精细结构的观测和研究. 这意味着 CGST 的分辨率口径(Resolution Diameter)应当达到 $8\ \text{m}$. 同时, 由于对暗弱谱线和暗弱单色像探测的要求, 其聚光面积(Collecting Area)不应该小于 ATST 和 EST 的聚光面积. $8\ \text{m}$ 外直径意味着 CGST 有能力在近红外波段观测到 $4\ \text{m}$ 级望远镜在可见光波段才能观测到的太阳精细结构. 例如, CGST 可在 $1.56\ \mu\text{m}$ 看到 $4\ \text{m}$ 太阳望远镜在 $706\ \text{nm}(\text{TiO})$ 波段才能看到的光球细节. 下面两个科学实例可用来描述 CGST 的主要科学目标:

(1) 探测并分辨太阳的精细和超精细结构. 最近的观测和研究结果显示著名的“日冕加热”难题与光球的精细结构密切相关^[16], 而这些精细结构又与光球磁场有着直接关系. 它们被光球的高速热流(高 Beta 因子等离子体)挤压并快速演化着, 这些精细结构的变化时标非常短, 要观测和研究它们需要秒级时标的甚高分辨率成像. 依据数值模拟, 这样的观测在可见光波段甚至需要好于 $10\ \text{cm}$ 的视宁度. 而如果在近红外波段观测, 由于视宁度正比于波长的 $6/5$ 次方, 情况将会得到改善. 当然, 在近红外波段实现衍射极限并不意味着 CGST 不能在可见光波段进行高分辨率观测. 在这个实例中, 自适应光学和二维成像光谱仪是最为关键的两项技术.

(2) 在不同层面精确探测太阳大气的磁场, 主要目标为高精度的矢量磁场测量. CGST 将在红外波段以较高的精度直接测量塞曼裂距. 由于塞曼裂距正比于波长的平方, 在红外波段测量当可获得更高的精度. 例如, 如果朗德因子(g_{eff})相同, 那么 $10\ \mu\text{m}$ 波段的塞曼裂距将是 $0.5\ \mu\text{m}$ 波段塞曼裂距的 400 倍. 即使考虑到波长与光谱分辨率的线性反比关系以及由此带来的测量精度下降, 在红外波段测量塞曼裂距仍将比在可见光波段灵敏得多. 红外波段有很多谱线可供选择, 例如 1.56 , 10.5 以及 $12.3\ \mu\text{m}$.

另外一个重要的实例是对太阳进行多波段同步观测, 这对理解能量在太阳大气中的传输、存储和释放机制以及研究太阳活动的具体过程非常重要, 这同时也是探索日冕加热机制的主要办法之一. 这个目标也是现行太阳望远镜的主要科学目标, 但 CGST 能提供更高的空间分辨率和磁场测量精度, 尤其在红外波段, 与现行米量级望远镜相比, CGST 将具备较大优势.

CGST 还有许多具体的科学目标, 例如波的探测、局地日震、本影精细结构探测等等. 综上所述, 为满足科学目标的要求, CGST 的性能可以总结为: 高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率以及灵敏的高精度磁场探测能力.

3.2 CGST—8 m 环形太阳望远镜方案

为了满足科学目标的要求, CGST 提出了多个概念设计方案, 其中较具代表性的是 $8\ \text{m}$ 环形太阳望远镜($8\ \text{m Ring Solar Telescope}$)^[17,18], 简称为 $8\ \text{m RST}$, 下面以此方案为例对大型太阳望远镜的设计进行讨论.

作为一架典型的环形干涉(RIT, Ring Interferometric Telescope)^[19,20]望远镜, $8\ \text{m RST}$ 的主镜为外径 $8\ \text{m}$ 的环形, 为了能在中低频(空间频率)部分与 $4\ \text{m}$ 级太阳望远镜具备相同的信噪比, 环形主镜的宽度被确定为 $1\ \text{m}$, 因此, 其聚光面积约为 $22\ \text{m}^2$, 等价于一架 $5\ \text{m}$ 直径的全口径望远镜. 由于主镜是环形的, 与离轴望远镜相比, RST 的副镜也不在入射光路中, 仅有很小一部分副镜支架位于入射光路里, 这同样有利于红外观测. 由于 F1 离入射光路和 M2 的反射光路有足够的距离, RST 也易于进行热光阑的热控设计. 另外, 环形的对称结构消除了(抵消了)光波各偏振态之间的交扰(Cross Talk), 利于高精度的磁场探测和反演. 实际上, 环形系统(图 6)完全可以看作是离轴系统(图 4)绕光轴旋转所形成的一个对称结构. 环形干涉望远镜还有一些有趣的光学特性, 可以参看文献[19,20].

与大多数太阳望远镜一样, $8\ \text{m RST}$ 的基本光学结构也是修正的格里高里系统(Modified Gregorian). 其光学参数如表 1 所示. 为了保证 F1 附近有足够空间以安放热控装置, M2 的直径被设计为 $1.6\ \text{m}$. 除了光学设计(图 7), $8\ \text{m RST}$ 也进行了初步的结构设计并完成了该结构的有限元分析(图 8)^[21,22].

图 6 环形太阳望远镜结构及其热控装置示意图
Figure 6 Diagram of a ring system with thermal control box.

表 1 CGST(8m RST)的光学参数

参数	数值
主镜直径 (Diameter of primary mirror)	8 m
环宽 (Width of primary mirror)	1 m
主镜焦比 (F/D of primary mirror)	1
聚光面积 (Collecting area of primary mirror)	22 m ²
副镜直径 (Diameter of secondary mirror)	1.6 m
光谱覆盖 (Spectral range)	0.3–15 micron
分辨率 (Spatial resolution)	< 0.03 arc sec
偏振精度 (Polarization sensitivity)	~ 10 ⁻⁴ I _C

图 7 CGST(8 m RST)光学设计图
Figure 7 Optical layout of CGST(8 m RST).

8 m RST 的主镜有两种形式,一种是拼接的环形主镜,由 24 面约 1 m² 的梯形子镜拼接而成,另外一种形式是 1 个完整的环形.环形的拼接与凯克望远镜的拼接不同,仅用边沿传感器(Edge Sensor)是不够的,必须补充子镜的环向倾斜探测.数值模拟表明,补充了倾斜探测后,环形拼接主镜可以实现主动保持并在 1 μm 波段实现衍射极限成像.有关设计和数值模拟详见文献[23,24].整体环形主镜不需要拼接和主动保持,但需要主动光学副镜.8 m RST 的自适应光学[25]以及共轭自适应系统(MCAO)的数值模拟也已

图 8 CGST(8 m RST)3D 示意图
Figure 8 3-Dimensional sketch of CGST(8 m RST).

完成,结果显示,环形孔径的自适应光学系统和 MCAO 均是可行的.

8 m RST 仅是 CGST 目前的主要方案,但并不是惟一的.还有几个尚待进一步推进的备选方案,包括一个类似 GMT^[26](Giant Magellan Telescope) 望远镜的 6 镜面干涉望远镜(有效直径 6 m),一个类似 NNTT^[27](National New Technology Telescope) 的 4 镜面干涉望远镜(有效直径 6 m)以及一个拼接封窗的 4 m 真空望远镜(图 9).与环形望远镜方案相比,6 镜面干涉望远镜的优点是拼接单元少,但由于子镜较大,拼接难度将相应增加,而中空区域的缩小也会对望远镜热量和镜面视宁度的控制产生影响.类 NNTT 方案是一个典型的菲索型干涉仪,每个望远镜都可以独立工作,各自的热控也是完全独立的,由于各子望远镜具有完全独立的光学系统,孔径综合难度较大,设计视场也不易达到要求.拼接封窗将更有利于解决望远镜热控及大封窗难以加工的问题,拼接也较易于实现,但封窗材料的透过率特性难以兼顾可见光和红外波段,不利于 5 μm 以上波段的红外观测.

3.3 CGST 的仪器

因为要满足科学目标的要求,CGST 的仪器设计和研制也将是一个巨大的挑战.这些仪器包括多层共轭自适应光学系统、F-P 滤光器、傅立叶光谱仪、

图 9 其它三个候选的 CGST 方案
Figure 9 The other optional schemes of CGST.

红外大色散光谱仪、偏振分析器阵列、磁像仪、高分辨率多通道相机、二维实时光谱仪^[28]以及光纤阵列光谱仪等先进设备, 其中二维实时光谱仪和光纤阵列光谱仪是较为独特的两台仪器. 二维实时光谱仪是一台多通道双折射滤光器型的磁像仪, 它可在一段较窄的光谱范围内进行实时的二维光谱测量. 例如, 在线心和线翼同时获得 8 幅单色像(图 10). 而光纤阵列光谱仪则是包含了上万根光纤的 IFU(Integral Field Unit)阵列, 配合上高精度的偏振分析器, 它将对太阳表面的精细结构进行高时间分辨率的二维向量磁场测量. CGST 的后端将放置三层以上仪器平台(图 11), 几乎所有观测仪器都将放置在这些层叠的平台上.

3.4 中国日冕磁学望远镜(COSMO-C)计划

日冕是太阳大气的最外层, 也是观测和研究日

冕物质抛射(CME)等剧烈太阳活动的主要区域. 在太阳演化的现阶段, 日冕的活动和变化是日地空间关系和空间天气变化的重要因素. 例如, 剧烈的日冕活动和爆发将抛射出携带巨大能量的等离子体, 而朝向地球的等离子体将会影响地球磁层, 导致磁暴和亚暴, 引发电离层剧烈扰动、极光等现象. 理论分析和众多空间灾害性事件均表明, 强烈的空间天气效应会导致卫星失效、通信中断、导航、跟踪失误、电力系统损坏、甚至直接危害人类的健康与生命. 为了观测和研究日冕, 人类建造了多台日冕仪, SOHO(Solar and Heliospheric Observatory)搭载的日冕仪是空间日冕仪的代表, 而位于夏威夷的 SOLAR-C(Scatter-free Observatory for Limb Active Regions and Coronalae)则是现代地基日冕仪的代表. 随着现代太阳物理对日冕观测的要求, 日冕仪也在不断发展, 更高精度的日

图 10 8 通道二维实时光谱仪对 1 条谱线的采样
Figure 10 8-channel 2-Dimensional real-time spectrograph can sample a line at the same time.

图 11 CGST 多层仪器平台示意图

Figure 11 The sketch of the instrument platforms.

冕磁场测量成为现代日冕仪追求的主要科学目标.

磁场是日冕活动的决定性因素, 日冕磁场测量是研究耀斑、日冕物质抛射(CME)等太阳活动现象的主要观测手段, 同时, 日冕仪对解决日冕加热问题也非常有用. 虽然 CGST 也包括了日冕观测模式, 但这种模式更多地是太阳望远镜对日冕观测的一个延伸. 一架具有足够聚光能力并能进行较高精度磁场测量的大型地面日冕仪才是解决日冕磁场测量问题的最佳选择. 将大型日冕仪与 CGST 分开考虑的另外一个原因是候选台址通常难以同时满足光学望远镜和日冕仪对天文台址参数的不同要求. 例如, 大型日冕仪对天空亮度(日晕)的要求远高于大型光学和红外望远镜, 而后者对视宁度的要求则远高于日冕仪. COSMO-C(Coronal Solar Magnetism Observatory of China)的主要科学目标是: 日冕矢量磁场测量、日珥及高色球磁场测量、边缘耀斑及 CME 监测等. 几个典型的科学观测实例包括: 电流片和磁绳的观测研究、日冕磁场在整个太阳活动周期内的变化、耀斑和磁重联在 CME 触发中的作用以及 CME 激波在何处加速粒子等等.

COSMO-C 包括以下 3 个折射式日冕仪: 1.5 m 大口径日冕仪 (LC), 它将利用 Fe XIII 1074.7 和 1079.8 nm 两条日冕禁线以及 He I 1083.0 nm 色球发射线进行日冕磁场测量; 0.2 m 白光 K 冕日冕仪 (K-Coronameter) 用于进行 CME 形成及早期加速观测; 0.2 m 色球日珥磁场测量仪(ChroMag)则可在日面和边缘外观测 He I 587.6 nm 和 1083.0 nm 以及 H α 谱线, 该日冕

仪具备测量磁场和 Doppler 位移的能力. COSMO-C 计划采取与美国联合设计、联合研制的方式, 将与美国 COSMO 望远镜在主体设计上保持一致性, 而局部则将按照中国太阳物理学家的研究目标进行相对独立的设计和改造.

4 中国大太阳望远镜计划现状

4.1 选址

中国大太阳望远镜的选址工作于 2010 年正式开始实施, 主要考察区域为中国西部的高原地区. 与以往太阳选址不同, 现代选址可以获得更多来自地面和空间(卫星)的数字化信息和数据, 这些信息为候选区域的划定以及选址策略的选择提供了重要的参考依据. 选址参数充分考虑了 CGST 和 COSMO-C 的科学目标并适当侧重于红外观测, 主要天文参数包括: 大气视宁度、大气等晕角, 大气相干时间, 湍流层分布状态, 近地面温度结构常数分布, 大气透明度(日晕光度)、大气积分水汽, 大气尘埃计数, 大气折射等; 气象参数主要包括: 日照, 云量, 气温, 相对湿度, 风速风向等. 表 2 是经过多次讨论后确定的主要指标. 目前, 一个由云南天文台、紫金山天文台及国家天文台联合组成的西部选址队正在川滇藏交界处的高原地区以及以西藏阿里地区为中心的两个候选区域进行天天气象参数测量, 所使用的设备包括: 便携式视宁度测量仪, 白日差分像运动视宁度测量仪 (SDIMM)^[29]、日晕光度计^[30]、闪烁仪、积分水汽测

表 2 主要选址指标

Table 2 The primary parameters of site survey

序号	条件
1	平均视宁度(r_0)>8 cm, 30%以上观测时间 >10 cm
2	大气相干时间>3 ms, 等晕区 >3 arcsec
3	平均积分水汽≤6 mm, 季节差≤5 mm
4	可持续观测 3 h 以上的晴日数 >250 d, 日照时间 >2500 h
5	20%可观测时间内, 在 1.1 R_{sun} 处和 1 μm 波长天空亮度 <20.0 μBsun , 对于日冕仪, 该指标提高为<10 μBsun
6	风向相对固定, 平均风速小于 6 m
7	址点海拔约为 3000–4200 m
8	其余参数

量仪以及自动气象站等, 选址工作预期于 2015 年完成.

4.2 项目现状

为推动项目项目进展, 2010 年成立了三个委员会, 分别是专家委员会、科学委员会及项目推进委员会. 项目推进委员会又下设了科学目标组、望远镜方案组、仪器设计组、选址组等多个工作组. 目前, 中国大型太阳望远镜项目已被中国国家自然科学基金

委员会列入天文学科的中长期发展规划, 中国科学院也将其列入2016–2030年的重大基础研究项目并向国家发改委进行推荐. 与项目相关的多项研究工作(包括项目预研、选址、红外探测器以及仪器研制等)得到了国家自然科学基金委员会、中国科学院重要方向性项目以及财政专项的资助. CGST 在多个重要的国际学术会议上进行了报告, 以 8 m RST为主的方案已完成多项初步设计和关键技术试验.

致谢 中国地基大太阳望远镜计划由中国太阳物理界共同提出, 主要建议单位为: 中国科学院云南天文台、中国科学院国家天文台、中国科学院紫金山天文台、南京大学、南京天文光学技术研究所以及北京师范大学等单位, 参与合作的国外机构和个人包括: 新泽西理工学院王海民研究团队, 西瑞士应用科学大学的 ZAGO Lorenzo 研究团队, 美国高山天文台 TOMCZYK Steve 研究团队以及 BECKERS J.M.教授等多位科学家, 作者谨对上述单位及个人表示感谢. 感谢方成院士、艾国祥院士、潘君骅院士等对推动项目做出的不懈努力. 感谢 CGST 团队的所有成员. 最后, 作者谨代表所有项目成员, 向工作在西部高原的全体选址队成员致以敬意.

参考文献

1 Fang C. Recent progress of solar physics research in China. *Res Astron Astrophys*, 2011, 11(12): 1377–1402

2 Liu Z, Xu J. 1-meter near-infrared solar telescope. In: *First Asia-Pacific Solar Physics Meeting ASI Conference Series*, 2011. 2: 9–17

3 Goode P R, Cao W, BBSO Team. The 1.6 m off-axis new solar telescope (NST) in big bear. *Proc SPIE*, 2012, 8444: 8444-1

4 Cao W, Gorceix N, Coulter R, et al. Scientific instrumentation for the 1.6m new solar telescope in big bear 2010. *Astron Nachr*, 331: 636–639

5 Scharmer G B, Bjelksjo K, Korhonen T K, et al. The 1-meter Swedish solar telescope. *Proc SPIE*, 2003, 4853: 341–350

6 Schmidt W, VonderLuhe O, Volkmer R, et al. The GREGOR solar telescope on Tenerife. *arXiv*: 1202.4289

7 Xu Z, Hénoux J C, Chambe G, et al. Multiwavelength analysis of the impact polarization of 2001 June 15 solar flare. *Astrophys J*, 2005, 631: 618–627

8 Pierce A K. McMath solar telescope of the Kitt Peak National Observatory. *Appl Opt*, 1964, 3: 1337–1346

9 Ji H, Cao W, Goode P. Observation of ultrafine channels of solar corona heating. *Astrophys J Lett*, 2012, 750: L25

10 Stein R F, Nordlund Å. Solar small scale magneto-convection. *Astrophys J*, 2006, 642: 1246–1255

11 Stein R F, Lagerfjard A, Nordlund Å, et al. Solar flux emergence simulations. *Solar Phys*, 2011, 268: 271–282

12 Keil S, Rimmele T, Wagner J, ATST Team. Advanced technology solar telescope: A status report. *Astron Nachr*, 2010, 331(6): 609–614

13 <http://www.iac.es/proyecto/EST/>

- 14 Liu Z, Jin Z Y, Lin J, et al. Introduction to the 30 m ringy interferometric telescope (in Chinese). *Astron Res Tech*, 2006, 3(1): 64–72 [刘忠, 金振宇, 林京, 等. 30 米环形干涉望远镜. *天文研究与技术*, 2006, 3(1): 64–72]
- 15 Nelsona P G, Tomczyka S, Elmorea D F, et al. The feasibility of large refracting telescopes for solar coronal research. *Proc SPIE*, 2008, 7012: 701231
- 16 Wedemeyer-Böhm S, Scullion E, Steiner O, et al. Magnetic tornadoes as energy channels into the solar corona. *Nature*, 2012, 486: 505–508
- 17 Liu Z, Jin Z. Simulation of Chinese Giant Solar Telescope. *Proc SPIE*, 2011, 8336: 833609
- 18 Deng Y Y, CGST Group. Introduction to the Chinese Giant Solar Telescope. In: *First Asia-Pacific Solar Physics Meeting ASI Conference Series*, 2011. 2: 31–36
- 19 Liu Z, Jin Z, Li Y, et al. Introduction to the 30m Ring Interferometric Telescope. *Proc SPIE*, 2006, 6267: 62672L
- 20 Liu Z, Dai Y, Jin Z, et al. The conceptual design and simulation of 30m RIT. *Proc SPIE*, 2008, 7012: 70120E
- 21 Dai Y, Yang D, Zago L, et al. Dynamic analysis of active control system for CGST. *Proc SPIE*, 2012, 8449: 8449-46
- 22 Zago L, HEIG-VD, Yang D, et al. Preliminary design and integrated modeling of the Chinese Giant Solar Telescope structure. *Proc SPIE*, 2012, 8444: 8444-117
- 23 Dai Y, Liu Z, Jin Z, et al. Active control of a 30m ring interferometric telescope primary mirror. *Appl Opt*, 2009, 48(4): 664–671
- 24 Yuan S, Lin J. The simulation of the local seeing in segments active alignment. *Proc SPIE*, 2011, 8336: 833601
- 25 Dai Y, Lin J. Modeling and analysis of ring telescope. *Proc SPIE*, 2011, 8336: 833607
- 26 Johns M. The Giant Magellan Telescope (GMT). *Proc SPIE*, 2008, 6986: 698603
- 27 Beckers J M. Interferometry with the MMT and NNTT. *ESO Conference Workshop Proceedings*, 1988, 29(2): 879–886
- 28 Ai G X. Progress in measurement of solar magnetic fields. *Proc 141th IAU Colloquium*, 1993, 46: 149–155
- 29 Liu Z, Beckers J M. Comparative solar seeing and scintillation studies at Fuxian lake solar station. *Solar Phys*, 2001, 198(1): 197–209
- 30 Liu Y, Shen Y, Zhang X, et al. Using a new sky brightness monitor to observe the annular solar eclipse on 15 January 2010. *Solar Phys*, 2012, 279(2): 561–572

Ground-based giant solar telescope of China

LIU Zhong^{1*}, DENG YuanYong², JI HaiSheng³ & LI Hui³

¹Yunnan Astronomical Observatory, CAS, Kunming 650011, China;

²National Astronomical Observatories, CAS, Beijing 100012, China;

³Purple Mountain Astronomical Observatory, CAS, Nanjing 210008, China

Ground-based giant facilities with capabilities of both visible and infrared observations has played essential role in solar observation, to meet the requirement of the present-day solar physics and Space weather research. It significantly throws light on our understanding of the Earth-Sun relation and predicting its effects on the terrestrial environment. We firstly review the present status of the existing ground-based solar telescopes over the world and programs of new generation telescopes in USA and European countries. This paper aims to overview the project of next generation ground-based solar telescope of China, including its scientific goal, key techniques, experiments, site-survey and the current situation.

solar physics, telescope, coronagraph, solar activities, space weather

PACS: 96.60.-j, 95.55.Cs, 96.90.+c

doi: 10.1360/132012-709