2.5 m大视场高分辨率望远镜

方成^{1,2*}, 顾伯忠³, 袁祥岩³, 丁明德^{1,2}, 陈鹏飞^{1,2}, 戴子高^{1,2}, 李向东^{1,2}, 施勇^{1,2}, 谢基伟^{1,2}, 白金明⁴, 屈中权⁴, 郝奇^{1,2}, 郭洋^{1,2}, 程鑫^{1,2}, 李臻^{1,2}

1. 南京大学天文与空间科学学院, 南京 210046;

2. 南京大学现代天体物理教育部重点实验室, 南京 210046;

3. 中国科学院南京天文光学技术研究所, 南京 210042;

4. 中国科学院云南天文台, 昆明 650011

*联系人, E-mail: fangc@nju.edu.cn

收稿日期: 2018-09-04; 接受日期: 2018-10-24; 网络出版日期: 2019-02-01

国家自然科学基金(编号: 11533005, 11703012, 11733003)和江苏自然科学基金(编号: BK20170629)资助项目

摘要 为了显著提升我国太阳物理研究水平、满足国家对空间天气监测和预报的重大战略需求, 同时兼顾夜间时域天文学观测的需要, 我们建议研制一架2.5 m大视场高分辨率望远镜(WeHiT). 它将是世界上首架既做白天高分辨率太阳观测又做夜间大视场巡天观测、具有重大创新设计的特殊望远镜. 它的科学目标覆盖了太阳物理、时域天文学、星系物理和太阳系外行星物理等天文领域的前沿热门课题, 可为我国、特别是高校的天文学家提供一流的观测资料. 特别是, 作为全世界最大的轴对称太阳望远镜, 具有比所有大型太阳望远镜更大的视场, 可提供前所未有的太阳活动区高分辨率资料, 在太阳活动区和太阳爆发现象(特别是耀斑和日冕物质抛射)的研究中有望取得突破性成果, 并为我国空间天气学研究提供宝贵资料; 作为中国时区的大口径、大视场望远镜, 对于持续严密监控超新星、伽玛暴和大质量双黑洞等时变天文现象十分重要, 将填补国际上的空白, 提供在中国时区的第一手观测资料; 同时在窄波段星系巡天、临近星系研究及系外行星搜索等许多领域提供宝贵的高质量资料.

关键词 天文望远镜, 太阳物理, 超新星, 伽玛暴, 时域天文学

PACS: 95.55.Cs, 96.60.-j, 97.60.Bw, 98.70.Rz, 95.80.+p

1 引言

天文学是一门观测性的科学. 历史上, 几乎所有的天文学重大成果都与观测上的重大发现有关. 进入21世纪, 对天体的大视场巡天、高分辨率和时变观测成为研究天体形成和演化的重要手段.

在太阳观测方面, 目前世界上最大的太阳望远镜是美国大熊湖天文台的口径1.6 m望远镜GST, 它是偏轴式的. 此外, 目前世界上4架口径1 m以上的大型太阳望远镜(见表 1), 视场最大只有2'–3', 不足以观测太阳整个活动区和耀斑、暗条等大尺度结构, 在研究对空间天气造成严重影响的日冕物质

引用格式: 方成, 顾伯忠, 袁祥岩, 等. 2.5 m大视场高分辨率望远镜. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 059603
Fang C, Gu B Z, Yuan X Y, et al. 2.5 m wide-field and high-resolution telescope (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 059603, doi: 10.1360/SSPMA2018-00313

表 1 国际上大型太阳望远镜的参数

Table 1 Parameters of the large solar telescopes in the world

参数	NVST(云台)	GREGOR(德国)	GST(美国)	NLST(印度)	DKIST(美国)	EST(欧洲)	WeHiT(中国)
口径	1.0 m	1.5 m	1.6 m	2.0 m	4.0 m	4.0 m	2.5 m
主镜焦比	2.45	1.7	2.4	1.75	1.75	1.5	1.5
视场直径	3'(无AO)	2.5'(无AO)	3'(无AO) 1'(有AO)	3'(无AO)	3'(无AO) 1'(有AO)	2.8'(无AO) 1.5'(有AO)	7'(有GLAO) 1.5'(有AO)
光路对称性	轴对称	轴对称	偏轴	轴对称	偏轴	轴对称	轴对称

抛射(CME)方面也有很大的限制. 而太阳活动会严重影响空间天气环境, 导致地磁层和电离层受到极大的干扰, 对航空航天、通信导航等产生很大的影响(图 1). 这样, 研制一架大口径、大视场、高分辨率太阳观测的望远镜对于显著提升我国太阳物理研究水平具有重大的科学意义, 对满足国家在空间天气监测方面的重大战略需求也有重要意义.

在恒星和星系观测方面, 虽然国际上已建成十余架口径10 m级的望远镜, 中国科学院已有一架口径2.4 m的通用型望远镜, 但它们视场都比较小(仅30'–40'), 不足以开展巡天观测以获得很大的观测样本. 而目前大型的夜天文望远镜对于研究当前世界上十分热门的时域天文学也缺乏优势. 因此, 大口径、大视场且主要从事时域天文学观测的巡天望远镜成为重要的发展方向, 对于满足天文学科发展的需要具有重大意义.

图 1 (网络版彩图)太阳耀斑和日冕物质抛射造成地球附近灾害性空间天气示意图

Figure 1 (Color online) Sketch of catastrophic space weather caused by solar flares and coronal mass ejections.

因此, 为了在太阳活动区和太阳爆发现象(特别是耀斑和日冕物质抛射)的起源和演化研究中取得突破性成果; 严密监测时变天文现象, 提供在中国时区的第一手观测资料, 在超新星和伽玛射线暴(简称伽玛暴)的监测和特性研究、发现和研究超大质量黑洞潮汐引力破坏事件(TDE), 双超大质量黑洞的搜寻和认证, 以及银道面系外行星和宜居行星搜索等重大前沿科学问题上取得重大成果; 同时在窄波段星系巡天、临近星系研究等许多领域提供宝贵的高质量资料, 明显提高我国天文学的研究水平, 显著提高高校培养优秀天文人才的能力, 十分有必要建造一架具有特色的大型高效望远镜. 这样一架昼夜兼用的望远镜可充分发挥观测效力, 同时也可显著节省研制和运行管理的费用. 据此, 我们建议研制一架口径2.5 m大视场高分辨率望远镜(Wide-field and High-resolution Telescope, WeHiT).

2.5 m大视场高分辨率望远镜的鲜明特色是: 它将是世界上最大的轴对称太阳望远镜; 也是世界上首架既做白天高分辨率太阳观测、又做夜间大视场巡天观测的、具有重大创新设计的高效望远镜. 它将开展视场达7'的高分辨率太阳观测, 开展国际上十分热门的时域天文学(时变天文现象)的精细观测, 以及国际上首次基于窄波段和深曝光的大视场星系巡天和国际上有特色的银道面太阳系外行星和宜居行星搜索等.

2 拟解决的重要科学问题

2.1 太阳物理的重大科学问题

太阳磁场是太阳活动的根源. 对太阳磁场的产生、分布和结构的研究是了解太阳活动的核心任

务. 磁场的演化和自由能的积累是导致太阳爆发的起因, 磁流体不稳定性可能是触发太阳爆发的因素, 而爆发过程的能量释放则来源于磁重联过程^[1]. 日冕加热的能量来源于光球磁场足点的扰动, 但是能量的释放和输运机制并不清楚^[2], 因此, 多层次、高分辨率的磁场测量是太阳物理研究中的重大科学问题.

太阳耀斑是太阳大气中最剧烈的活动现象之一. 对耀斑的观测已发展至全波段, 对耀斑物理机制的认识也在逐步发展. 近年来, 由于Hinode, SDO和IRIS卫星的高精度观测, 耀斑的色球和光球物理过程的研究重新获得重视. 太阳耀斑研究的核心问题是磁重联的触发过程、电流片结构、能量传输机制、辐射和光谱诊断、白光耀斑起源等. 未来对耀斑大气多波段、多层次的研究将成为热门课题.

日冕物质抛射(CME)是太阳系里规模最大和最为剧烈的爆发过程. 它将大量的物质和磁场抛入行星际空间, 对日地空间物理环境产生巨大的影响. 尤其是对地的CME事件, 对地球周围的空间环境(也称为空间天气)造成强烈扰动(图 1). 驱动CME爆发的能量最初来自于光球以及光球以下的对流层. 因此, CME的爆发源区特征、爆发前活动区的磁场和动力学演化、CME的触发机制等关键科学问题, 都亟需进一步的探索.

太阳大气中还存在各类尺度较小的活动现象, 如微耀斑、埃勒曼炸弹、针状体等, 由于其数目众多, 在太阳大气能量平衡中可能占有举足轻重的地位. 特别是色球加热和日冕加热这个经典的难题, 很可能与微小的活动现象相关. 此外, 太阳大气中各类波动现象(特别是阿尔芬波)可能是能量从里到外传输的载体. 随着近年来高分辨率观测技术的发展, 小尺度太阳活动和波动现象的研究已成为重要的前沿科学问题.

2.2 时域天文学研究的重大科学问题

时域天文学是新兴的天文学研究领域, 国际上许多下一代望远镜都将开展时域天文的研究. 利用新的技术来探索新的物理规律、发现新的天文现

象, 将对整个天文学的发展带来重大影响. 宇宙中各种短时标(从天至年)的天文现象普遍存在. 然而当前已有的观测设备对于这个新的参数空间的探索能力非常有限. 新的参数空间意味着重大新发现的机会. 为此, 国际上已经规划建设若干台时域天文望远镜, 而中国还没有可用于河外时域天文研究的大视场望远镜. 时域天文学研究的重要课题包括:

(1) 超新星代表了特定类型恒星演化到晚期产生的灾变爆发现象. 超新星的观测对宇宙学、星系演化、恒星形成与演化和粒子加速等诸多领域的研究有极其重要的意义. Ia型超新星的观测首次提供了宇宙加速膨胀直接的、也是目前最好的证据, 证实了暗能量的存在. 核坍缩超新星对理解大质量恒星晚期演化、中子星和黑洞的形成和广义相对论十分重要. 超新星产生了宇宙中的重元素、尘埃和宇宙线, 爆炸产生的激波触发(或阻碍)了周围星际物质中的恒星形成过程, 它们对星际物质的能量输入是影响星系演化的重要因素.

(2) 伽玛暴是来自宇宙空间的一种短时标的伽玛射线剧烈爆发现象, 涉及黑洞和致密天体的形成或并合、超新星爆发、吸积、喷流、激波、星际介质、恒星形成区、宇宙线等众多天体物理领域. 伽玛暴还可为宇宙学的研究提供有力工具. 所有这些都使得伽玛暴的研究受到了国内外众多天文学家的关注.

(3) 近年来发现了超大质量黑洞潮汐引力破坏(TDE)事件. TDE的发现和完整光变曲线的测量可用来检测强引力场下的引力理论, 也可用于测量黑洞的自旋. 还有, 如果发现短周期的、具有强引力波辐射的双超大质量黑洞, 则可以为直接探测引力波提供观测目标, 如我国的FAST射电望远镜. 此外, 星系作为宇宙物质分布的基本结构, 为理解宇宙物质最主要的组成部分——暗物质和暗能量提供了重要手段.

(4) 系外行星是当前天文的研究热点之一. 探测和研究系外行星的目的在于更好理解行星的起源和演化这个基本问题, 并在宇宙中搜寻适合生命存在的行星. 目前太阳系外行星研究关注的课题主要包括对行星形成过程的研究, 及对行星形成后行星系统动力学演化的研究两大方面. 前者主要包括对

行星样本进行统计学研究; 后者主要包括行星轨道参数的演化和分布, 特别是多行星系统的轨道构型. 这对我们了解太阳系的演化和最终归宿有重大意义. 上述两个主要课题, 都建立在对大样本的统计研究上. 人类目前尽管已经发现了4000多颗太阳系外行星和行星候选体, 但要得到更多具有统计学意义的结果, 还需要进一步完善行星样本库, 特别是对不同距离(星等)和不同物理性质主星周围行星系统的采样.

应该强调指出, 利用2.5 m大视场高分辨率望远镜研究时域天文学, 可充分发挥我国独特地理位置的优势, 取得重大的科学成果. 当前地面光学/近红外望远镜在地球24个时区里的覆盖还有不少空白之处, 其中在中国大陆覆盖的时区还没有联网望远镜. 全球联网望远镜系统(Las Cumbres Observatory Global Telescope Network)的2架2 m望远镜分布在夏威夷和东澳大利亚地区, 其他9架1 m望远镜也只分布在智利、南非、东澳大利亚和美国德克萨斯地区, 而没有在中国时区的望远镜. 这对于需要持续严密监控天文现象的研究是一个非常大的缺陷. 2.5 m大视场高分辨率望远镜将填补国际上的空白, 提供在中国时区的巡天观测资料. 此外, 我们国家十三五将立项的12 m光学/红外望远镜主要用于暗弱天体的光谱观测. 2.5 m大视场望远镜在科学上可以与拟建设的12 m光学/红外望远镜进行很好的配合. 前者可通过大视场深度巡天发现许多重要的时变现象如超新星爆发及黑洞潮汐瓦解事件并获得其光度演化信息, 而其光谱证认和后续光谱观测则可以利用12 m望远镜来进行.

综上所述, 2.5 m大视场高分辨率望远镜将集中在以下两个重大科学前沿问题上取得显著成果:

(1) 重点研究太阳爆发的触发机制和动力学演化, 完整地观测太阳耀斑、日冕物质抛射和暗条爆发的源区、浮现及演化过程, 获取太阳大气不同层次(光球、色球和低日冕)的高分辨率和高测量精度的亮度场、矢量速度场和矢量磁场, 结合空间观测资料, 可望在太阳爆发的储能过程、触发机制、能量释放和传输过程、辐射和动力学演化, 以及各种小尺度太阳活动、太阳大气波动、太阳大气精细结构等方面的研究做出重大的科学贡献, 并为空间天

气预报服务, 满足国家对空间天气研究的战略需求.

(2) 在有重要科学意义的时域天文观测和研究领域取得重要成果. 望远镜的大视场巡天能力和快速准确指向性能使它成为当今世界上热门的时域天文学研究的利器, 可用于超新星和光学瞬变星的搜索和观测、伽玛暴的多波段观测、黑洞潮汐瓦解事件(TDE)的发现、引力波光学对应体的观测、双超大质量黑洞的搜寻和认证, 以及系外行星的观测研究等. 特别是, 由于我国地理位置所在时区的特殊性, 这些观测资料对时域天文学研究是不可缺少的.

此外, 预期2.5 m大视场高分辨率望远镜还将在以下两个科学前沿问题上取得重要成果:

(1) 在国际上开展很有特色的基于窄波段的大视场星系巡天, 深入研究大质量星系和大质量黑洞的演化. 窄波段数据将极大提高星系红移测量的精度, 结合窄波段的流量测量为星系研究提供更大样本的数据, 从而推动星系领域研究的发展.

(2) 开展国际上有特色的银道面太阳系外行星搜索, 在矮恒星(如: 褐矮星、白矮星等)周围发现一大批太阳系外行星, 丰富太阳系外行星的样本. 这将有助于我们了解行星系统和主星的相关性; 理解不同恒星环境对行星系统形成和演化的影响; 通过多波段高精度测光观测和星震学研究获取太阳系外行星系统中主星的准确物理参数以及行星轨道的特征参数, 为系外行星研究提供第一手的观测资料.

3 国内外同类观测设备的研究现状和发展趋势

3.1 太阳观测设备的现状和发展趋势

太阳物理观测设备和研究在近十年来得到了较大的发展. 地面观测方面, 我国已建成了一批中小型的太阳观测设备, 主要包括(以运行年代为序): 南京大学太阳塔^[3], 口径为60 cm的塔式太阳望远镜, 可在H α , Ca II 8542 Å和He I 10830 Å 3个波段获得太阳活动的二维成像光谱; 中国科学院国家天文台怀柔观测基地, 太阳多通道磁场望远镜^[4], 可进行太阳光球和色球磁场以及速度场的观测; 中国科学院云南天文台抚仙湖观测基地,

1 m真空太阳望远镜(NVST)^[5], 可进行高分辨率的单色像、光谱和磁场观测; 光学与近红外太阳爆发探测望远镜(ONSET, 南京大学)^[6], 可在3个波段($H\alpha$, He I 10830 Å、连续谱3600/4250 Å)进行全日面/局部像观测; 中国科学院国家天文台明安图观测基地: 新一代厘米-分米波日像仪^[7], 可在超宽频带范围(0.4–15.0 GHz)同时以高空间分辨率、高时间分辨率和高频率分辨率观测太阳动力学过程及探测日冕大气. 另外, 国家天文台、紫金山天文台和云南天文台还拥有一批有特色的仪器, 包括全日面矢量磁场望远镜、太阳斯托克斯光谱望远镜、太阳射电宽动态频谱仪、 $H\alpha$ 精细结构望远镜、多通道近红外太阳光谱仪等. 目前国际上1 m以上的太阳望远镜共有4架, 包括美国大熊湖天文台1.6 m太阳望远镜(GST)^[8]、位于加那利群岛的德国1.5 m太阳望远镜(GREGOR)、瑞典1 m太阳望远镜(SST)^[9]和我国的1 m真空太阳望远镜(NVST). 正在建设中的大望远镜有美国国立天文台4 m太阳望远镜(DKIST)^[10]. 规划中的大望远镜包括: 欧洲的4 m太阳望远镜(EST)¹⁾和印度的2 m太阳望远镜(NLST)^[11]. 图2给出2.5 m大视场高分辨率望远镜与国内外大型太阳望远镜性能的比较.

近年来, 利用国内外这些大型太阳望远镜的高分辨率观测资料, 在太阳宁静区米粒结构、网络内磁场和网络磁场特性、黑子本影和半影的精细结构、耀斑和日冕物质抛射(CME)爆发机制和磁重联过程等诸多方面取得了很多成果. 但是, 特别应该指出, 为了追求更高的分辨率, 现有或正在计划研制的

太阳望远镜视场一般只有3'或更小. 在采用自适应光学获取更高分辨率时, 视场更缩小为1'左右. 这使它们难于完整地观测太阳活动区以及耀斑和CME这类大尺度的太阳爆发现象, 也难以全面完整地观测与耀斑和CME有密切关系的暗条的形成和爆发现象. 因此, 可以预见, 2.5 m大视场高分辨率望远镜不仅是国际上最大的轴对称太阳望远镜, 而且可以获取太阳大气不同层次的高分辨率和高精度的亮度场、矢量速度场和矢量磁场, 在完整地观测研究太阳活动区和太阳爆发现象方面具有独特的优势.

未来几年, 太阳物理研究将更多依赖于地面和空间望远镜的发展. 观测上, 将追求高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率和高偏振测量精度, 追求尽可能大的观测视场, 追求多波段和多层次观测, 在理论上重点解决太阳活动和太阳爆发的机制、日冕和色球加热机制、太阳发电机等重大的科学问题^[12,13]. 应当指出, 目前国际上的大型太阳望远镜只能满足高分辨率的要求, 视场都不大; 而我国目前的太阳观测设备更是不能满足太阳物理发展的需求. 因此, 研制2.5 m大视场高分辨率望远镜是一个战略选择, 对我国太阳物理的发展和跻身国际一流行列具有重大意义. 图2给出了2.5 m大视场高分辨率望远镜与国内外大型太阳望远镜性能的比较. 可见, WeHiT在大视场高分辨率观测方面有明显的优势.

特别需要指出的是: “先进天基太阳天文台”卫星(ASO-S)已获国家立项, 并列入中国科学院先导专项A十三五计划, 拟在2022年前后发射. 将是我国第一颗太阳观测卫星, 主要的科学目标是研究“一磁二暴”, 即研究太阳磁场、太阳耀斑和日冕物质抛射的成因及其相互关系^[14]. 它的载荷包括: 全日面矢量磁像仪、莱曼阿尔法望远镜和太阳硬X射线成像仪. 而2.5 m大视场高分辨率望远镜则是在光学波段对太阳活动区磁场、太阳耀斑和日冕物质抛射进行高分辨率观测研究. 因此, 在科学目标上与ASO-S是密切互补的, 可望取得重大成果. 在时域天文学方面, “空间多波段光变天体监视器”卫

图2 (网络版彩图)2.5 m大视场高分辨率望远镜与国内外大型太阳望远镜性能的比较

Figure 2 (Color online) Comparison of the characteristics between WeHiT and other large solar telescopes.

1) Phase III Report 110511. doc: EST: EUROPEAN SOLAR TELESCOPE, 2011

星(SVOM)已于2014年启动工程研制,计划在2021年发射. SVOM的主要科学目标是发现和快速定位伽玛暴、全面测量伽玛暴的辐射性质,并利用伽玛暴研究暗能量和宇宙的演化. 它还可以发现和观测多类剧烈耀发天体和暂现源. SVOM十分需要地面望远镜的配合作后续观测. 因此, 2.5 m大视场高分辨率望远镜完全可以与ASO-S和SVOM密切配合,使我国在太阳爆发活动及伽玛暴、超新星等时域天文学的研究上取得一批世界领先的重大成果.

3.2 时域天文学及恒星和星系观测设备的现状和发展趋势

3.2.1 超新星研究

超新星的研究是天体物理多个重大研究计划中的核心课题. 近年来,我国学者利用国家天文台80 cm望远镜、山东大学威海分校1 m望远镜、紫金山天文台盱眙观测站大视场望远镜、BATC大视场施密特望远镜和南极冰穹A的AST3望远镜开展了近邻超新星的巡天,并利用郭守敬望远镜(LAMOST)的大样本光谱巡天数据寻找超新星. 国际上一些大的巡天项目的开展,如PTF, Pan-STARRS, SDSS和SNLS等,导致发现的超新星数量大幅度增加,其中包括发现了一些新的类型或者次型的超新星爆发. 这些发现在一定程度上改变了对恒星演化或者双星演化终点的认识. 当前的观测研究表明核心塌缩超新星远不止之前提出的II型和Ib, Ic型3种. 依据光谱中氢线或者氦线的不同特征以及光变曲线的特征,它们可以分成更多的次型如IIP, IIL, IIn, IIb, Ibn等. 最近发现的超亮超新星(SNLS)由于其极高的辐射光度(光学波段的峰值星等可达到-23等)引起了天体物理学界的广泛关注. 这类超新星有可能在研究宇宙早期第一代恒星的形成和演化以及宇宙早期膨胀历史中扮演着重要角色.

超新星宇宙学通过比较不同红移的超新星视亮度来精确测量其相对距离. 目前需要解决的主要问题是减小样本数据的测量误差和提高探测深度,从而进一步提高宇宙学参数的测量精度. 例如人们发现Ia型超新星宿主星系的平均性质在不同红移

处发生了变化,而即使光谱正常的Ia型超新星在近邻宇宙中也被发现可能源于不同的前身星系统(如金属丰度、年龄或者质量). 这些发现意味着Ia型超新星的前身星性质有很大可能随红移发生演化. 只有通过近邻星系Ia型超新星的多样性观测(测光和光谱)及其物理起源的详细研究才能澄清超新星测距中存在的系统误差效应. 此外,绝大部分近邻超新星是通过有选择地重复观测单个星系发现的,这有别于当前高红移超新星的发现模式. 带来的影响是观测到的事件倾向于发生在明亮的、富金属星系中,而近几年的无定向目标的巡天已经在一些小的、低光度和贫金属星系中发现了不少特殊类型超新星. 因此,有必要统一获取两个样本的巡天观测模式,以减少由于高低红移样本不匹配而带来的宇宙学参数测定的系统误差. 对核坍缩超新星来说,金属丰度对大质量恒星超新星爆发前的演化有重要影响,如星风损失、铁核质量和组成、转动等. 对核坍缩超新星的极早与跟进观测,对于现在仍然不甚清晰的不同质量、不同金属丰度的大质量恒星晚期演化导致的超新星子类型以及有关致密星的产生机制,能提供关键的证据和启迪.

3.2.2 伽玛暴研究

自20世纪60年代发现伽玛暴以来,伽玛暴研究引起了国内外众多天文学家的高度重视. 目前,对于伽玛暴的物理特性触发机制和起源已有许多研究结果. 伽玛暴的各向同性能量可高达 10^{52} – 10^{54} 尔格(1尔格= 10^{-7} J),且其中涉及整体洛伦兹因子大于100的极端相对论性宏观运动,火球模型由此成为伽玛暴的标准模型. 在此框架下,伽玛暴的多波段余辉总体上得到了较合理的解释. 但是,伽玛暴研究中还有很多很基本的问题远没有弄清楚,例如:极端相对论性的运动是如何产生的;主暴阶段的瞬时光学辐射和极早期余辉如何产生;伽玛暴的暴周环境如何;伽玛暴及余辉中有哪些辐射机制在起作用;伽玛暴发生时是否伴随着强烈的引力波辐射;GeV高能光子是如何产生的;余辉中的大量特殊光变现象该如何解释;为何很多伽玛暴的X射线余辉和光学余辉有着不同步的衰减行为;光学暗的伽玛暴、低光度伽玛暴、超长伽玛暴、孤立余辉等不同

类型的事件是否有着完全不同的前身星天体和爆发机制; 伽玛暴是否是可靠的宇宙学标准烛光, 等等.

这些将是2.5 m大视场高分辨率望远镜特别关注的研究课题. 伽玛暴主暴持续期间的瞬时光学辐射有时非常强, 例如, 观测到的最亮瞬时光学辐射达到5.3星等(即GRB080319B), 几乎肉眼都能看到. 对瞬时光学辐射的研究, 有助于理解伽玛暴的内激波过程和辐射机制. 但由于伽玛暴在天空中不同方向上随机发生, 持续事件又很短, 因此观测起来很困难. 目前虽然观测到光学余辉的伽玛暴达数百个, 但只有10个左右伽玛暴被观测到瞬时光学辐射, 给理论研究带来巨大挑战. 因此, 对瞬时光学辐射开展观测是非常重要的努力方向.

极早期余辉指主暴结束后数百秒内的伽玛暴余辉. 这一阶段, 余辉虽然快速衰减, 但相对来说还比较明亮, 非常适合中小型望远镜进行观测. 相反, 大型望远镜由于操作复杂, 反应慢, 视场又小, 反而不容易开展观测. 对极早期余辉开展研究, 有助于了解伽玛暴中心引擎的复杂活动过程和后续爆发机制, 了解辐射区的磁场位型.

3.2.3 星系研究

星系研究在过去半个世纪取得了丰硕的研究成果. 在光学波段, 我国已经完成了一系列重要的观测项目, 如BATC大视场施密特望远镜巡天开展了类星体的搜寻以及邻近星系的宽波段测光等. 下一步, 北京-亚利桑那巡天将开展5000平方度的光学波段巡天, 进一步探索星系和类星体. 利用国家天文台的2.16 m和云南天文台的2.4 m望远镜, 我国天文学家开展了关于各种亮类星体和星系的研究. 国际上开展了各个电磁波段的巡天, 如著名的光学波段巡天(SDSS)从2000年开始, 已经完成了三代巡天, 未来的7年里将开展第四代巡天. 国际下一代光学波段的大视场巡天(LSST)也即将投入试观测. 在射电波段, 我国上海天文台的天马望远镜已经建成. 世界上最大的单天线射电望远镜(FAST)也已建成, 计划中的原子氢巡天在广度和深度上都将是国际领先的. 除了单镜, 国际上也开展了干涉阵的巡天观测, 在红外和高能波段也开展了一系列观测. 这些工作确立了

星系的基本性质、星系演化的基本趋势、宇宙的基本结构等. 但是, 对星系的理解还只是冰山一角, 提高观测的深度和广度是下一步星系研究的趋势. 同时, 探索通过不同参数空间(如时域)来研究星系也是未来的计划之一.

巡天观测是研究星系的重要手段. 过去20年星系研究的巨大进步很大程度上要归因于各种巡天计划的完成. 然而目前窄波段的大视场巡天在国际上还非常有限. 相比较于宽波段巡天, 窄波段数据将极大提高星系红移测量的精度; 相比较于光谱巡天, 窄波段巡天能够高效完成更大天区上的观测, 还能测定给定天区内所有天体的红移. 红移的精确测定结合窄波段的流量测量将为星系研究提供更大样本的数据, 从而为推动该领域的发展奠定必要的基础.

国际上最近几年开始或计划的窄波段巡天已经有几个. 其中, Hickson等人^[15]利用NASA的3 m轨道碎片天文台完成了20个平方度的窄波段巡天, 波长包括了16个从4550–9480 Å的滤光片, 在Sloan-r波段处的等效深度大约是20.5 ABmag. Alhambra巡天^[16]利用西班牙Calar Alto天文台的3.5 m望远镜巡天了4个平方度的天区, 所使用的滤光片包括了20个从3500–9700 Å均匀分布的中等宽度(300 Å左右)的滤光片, 以及标准的JHK近红外宽滤光片. Yang等人^[17]利用中心波长为4030 Å和宽度为45 Å的窄波段完成了12个平方度的巡天, 等效Sloan-r波段的曝光深度为25.3 ABmag, 主要科学目标是寻找红移为2.3左右的Ly α blobs. 目前国际上正在进行的最大天区窄波段巡天是PAU巡天^[18]. 该巡天利用40个宽度为125 Å的窄波段滤光片. 它们的中心波长从4500–8500 Å均匀分布. 该巡天等效的SDSS-r波段的深度是25 AGmag. 计划完成的天区面积目前有一定的不确定性, 大约是200个平方度.

综上所述, 尽管国际上已经开展了一定数量的中窄波段巡天, 但是这些工作在巡天面积上相对来说比较小, 一般不超过十几平方度, 目前还在进行的PAU巡天也只有100–200平方度. 利用2.5 m望远镜可开展兼顾曝光深度但同时具有大面积的窄波段巡天: 覆盖波长范围从3500–9000 Å, 巡天面积达到1000平方度, 使用大约5–10个窄波段, 等效SDSS-r波段上的曝光深度约为24 ABmag.

3.3 系外行星探测的现状和发展趋势

我国在太阳系外行星探测方面起步较晚,但最近几年发展迅速. 2004年,中国科学院国家天文台与日本国立天文台天文学家利用探测主星视向速度变化的方法,通过联合观测,在400颗中等质量的红巨星周围搜寻系外行星,并分别于2008和2009年发现第一颗褐矮星和第一颗行星. 2007年云南天文台、中国科技大学、南京大学与美国佛罗里达大学合作,为丽江2.4 m望远镜安装行星探测仪器,利用视向速度方法进行行星探测. 初步的观测表明其视向速度探测的精度(对8–10等左右亮星)在10 m/s左右,还有提高的余地. 2008年位于南极海拔最高点(冰穹A点)的昆仑站正式建立,我国首架南极望远镜CSTAR也开始运行. CSTAR由4台口径为15 cm的望远镜组成,其中一台为白光,另外3台分别配备r, i, g滤光片. 目前在CSTAR的数据中已找到世界上首批在南极天区发现的十余颗系外行星候选天体. 新的AST3项目计划在南极安装3台50 cm大视场巡天望远镜,可以观测银道面或球状星团等密集星场区域,提升系外行星的探测效率. 2011年,第一架AST3望远镜已成功安装,并于2012年的极夜采集了超过10万张高分辨率图片. 第二台AST3望远镜已于2015年安装在昆仑站. 如果全部3台望远镜都投入观测,届时我国在南极的太阳系外行星探测工作将走到世界前列.

目前国内外系外行星探测与理论研究特征和趋势有:

(1) 行星探测从地面发展到空间,地面搜寻以小望远镜组网为主. 2009年之前的系外行星探测主要是利用视向速度方法,利用大口径望远镜,如HARPS(智利的ESO 3.6 m望远镜)以及北天的HARPS-N, Keck 10 m望远镜,澳大利亚AAT (3.9 m)等. 近年来,利用行星掩食主星来探测行星的凌星方法得到了很大的发展. 空间望远镜是探测行星凌星事件的最佳设备. 如法国领导的CoRoT计划、美国的Kepler和TESS空间望远镜;而地面的凌星探测则以大视场的巡天望远镜组成覆盖全球的网络,以弥补单站点的观测窗口问题,例如WASP, OGLE(微引力透镜和凌星), HAT & HAT-South等,都

取得了很好的成效.

(2) 行星物理特征研究以空间望远镜为主,辅以地面大型望远镜. 近年来,通过Hubble, Spitzer等空间望远镜和VLT等地面大望远镜,利用多波段测光或光谱连续观测恒星在掩食期间和前后信号强弱的变化,已经获得了数个行星的光谱,并通过模型拟合表明行星大气中存在甲烷、二氧化碳等成分.

(3) 宜居类地行星的搜寻和研究仍是目前系外行星探测的首要目标. Kepler探测到的一些位于宜居区的行星候选体中,有不少可能具有固体表面. 由于Kepler探测到的行星候选体大多主星较暗,并且处于宜居区的类地行星的视向速度大多在1 m/s以下,接近目前国际视向速度方法的极限,因此这些行星的存在还没有被完全确认.

目前国内外同类的夜天文大视场多色测光或光谱巡天的望远镜有很多架,而国内大口径测光望远镜(口径2 m以上)只有兴隆的2.16 m望远镜和高美古观测站的2.4 m望远镜,且用于多色测光的视场不到20',效率低. 4 m级郭守敬望远镜(LAMOST)具有大视场多色测光的能力,但是目前专做光谱巡天,无法开展测光观测. 因此国内天文界也急需一台大视场多色测光的巡天望远镜.

4 设计方案和主要技术指标

4.1 设计思想和主要技术指标

2.5 m大视场高分辨率望远镜是一台集太阳观测和夜天文观测于一身、具有重大创新设计和若干突出亮点、能迅速对准目标、可远程控制与观测的高效望远镜. 望远镜观测内容涵盖: 太阳物理、时域天文学、高能天体物理、星系物理、行星科学等领域. 创新的光学系统具有共用主镜的两套独立光学系统,兼顾夜天文大视场(1.5°)与太阳大视场(7')观测,将是全世界独一无二的特殊望远镜,也是世界上最大的轴对称太阳望远镜. 独特的日夜切换机构,可实现计算机控制在太阳和夜天文两套光路自由切换,使望远镜实现远程控制和自动观测. 望远镜主要光学技术指标见表2.

表 2 主要光学技术指标

Table 2 Main optical characteristics

项 目	太阳观测光路	夜天文观测光路
有效口径	2500 mm	2500 mm
有效焦距	F/7.5, F/50	F/3.45
视场	7' (GLAO)	1.5°
空间分辨率	0.1''–0.2'' (FOV 7') 0.06'' (FOV 1.5')	0.37''/15 μm
探测器	成像观测: 6K×6K CMOS 光谱观测: 4K×4K CCD	4个6K×6K CCD
宽视场光谱仪		视场: 7' 光谱分辨率2000 范围: 365–750 nm

4.2 技术方案和初步设计

2.5 m大视场高分辨率望远镜的研制将立足国内技术,利用南京天光所和云南天文台等单位在天文设备和仪器研制方面的经验及南京大学等科学观测方面的优势,充分发挥国内各天文单位的专家咨询作用,同时兼顾国际合作.本望远镜项目组已经过了3年多的酝酿和准备,召开了多次专家咨询和方案评审会,已经完成了基本的方案设计.今后将进一步完善望远镜主系统和终端仪器的光机电方案设计与分析,开展关键技术攻关和技术评估,进行光机电系统的加工和研制;最后进行整机装配和调试及试观测运行等.

4.2.1 太阳观测及夜天文小视场光路

2.5 m大视场高分辨率望远镜借鉴了我国2.16 m望远镜中的SYZ折轴光路设计,对经典三镜太阳望远镜系统进行了改进:通过一个较小的折轴反射镜将副镜反射过来的光线转折到高度轴上,通过高度轴上的椭球镜将系统焦距由F/7.5转换至F/50。相比于NLST, GREGOR等太阳望远镜的三镜系统,本方案采用较小的折轴反射镜,不会遮挡恒星观测光路的光线,并可以有效缩短望远镜镜筒长度,减小格里高利系统镜筒较长的缺点(图3)。

太阳观测光路的三镜系统与恒星观测光路共用了主镜焦点. 太阳观测光路需要在主焦点上放置视场光阑和反光镜(需要制冷), 恒星观测光路则需要

在主镜焦点上放置平面转折镜,所以在主镜焦点位置需要一个转换装置.

折轴系统焦面上可以放置大型的仪器或实验装置,如高分辨光谱仪,自适应光学系统等,也可以使光束延伸出去与其他望远镜的光组成光干涉系统.传统望远镜中折轴系统和卡塞格林系统或格里高利系统用不同的副镜,转换时不仅复杂且往往引入准直误差.20世纪60~70年代在设计我国2.16 m望远镜时,苏定强院士提出了折轴系统和卡塞格林系统共享同一块副镜的思想,得到了国际天文光学专家的高度评价.本项目中借鉴了2.16 m望远镜的设计思想,在主副镜组成的格里高利焦点F₂之后300 mm处增加一块小平面反射镜把光线引入高度轴平台,通过设计中继镜形成了F/50的折轴焦点,光路如图4所示.为了在7'的圆视场内获得0.1''~0.2''的高分辨率,拟采用GLAO自适应光学系统,它包含5个波前探测器,每个对应视场为1'.波前探测器孔径数为9×9~15×15,波前探测帧频为1500~2000 Hz,像素采样率为0.6''~1.0''/象元.目前此系统的设计还在进一步完善中.

根据望远镜的科学目标,折轴系统中太阳观测终端设备完成以下观测功能:

360, 430.5 nm和TiO 705.8 nm连续谱直接成像观测光路,通过滤光片转换切换,对应6K×6K CMOS, 5'×5'视场;将光束分为(656.3±0.3), (1083±0.2) nm两路光进行滤光器成像观测;在846.0–850.2和1075.0–1085.0 nm波段,利用Stokes光谱进行磁场观测, 365–750 nm波段的夜天文图中低色

图3 (网络版彩图)太阳观测光路图

Figure 3 (Color online) Layout of the WeHiT solar observing system.

散宽视场光谱仪单独工作.

4.2.2 大视场巡天光路

大视场巡天光路采用苏定强院士提出的折反式改正器系统光路, 像场改正器由有丰富经验、参与美国4 m太阳望远镜(DKIST)设计工作的梁明博士设计, 完全达到了指标要求, 并使这种特殊的夜间观测系统得以实现(图4和5). 表2列出夜天文大视场巡天光路主要技术参数. 本系统光路沿光线方向依次包括主镜(直径2500 mm, F/1.5), 平面转折镜, 副镜(直径1150 mm)和焦前改正镜组(直径约355 mm×746 mm, 包括大气色散改正镜和像场改正透镜和滤光片), 视场 $1^\circ \times 1^\circ$, 系统焦比3.45.

图4 (网络版彩图)2.5 m大视场高分辨率望远镜光路图

Figure 4 (Color online) Layout of the 2.5 m telescope.

图5 (网络版彩图)2.5 m大视场高分辨率望远镜改正器系统光路图

Figure 5 (Color online) Layout of the correlation system of the 2.5 m telescope.

这种折反射改正镜, 吸收了牛顿系统的特点(但牛顿系统不改变像差和焦比), 又吸收了格里高利系统的特点, 这是一个全新的光学系统, 我们把它称为苏-格里高利系统. 该系统具有镜筒短, 不需切换改正镜组, 焦点在镜筒侧面, 使用和更换新仪器方便, 避免了CCD发热的影响等优点.

考虑到大气色散在子午和弧矢方向的不同, 大视场巡天光路光学系统进行了优化设计, 确保不同天顶距像质在全波段 1.5° 圆视场的80%范围内光能满足小于 $0.5''$, 达到最佳状态.

4.2.3 望远镜结构系统设计方案

2.5 m大视场高分辨率望远镜主要由4个系统21个模块构成: (1) 光学与镜面磨制系统; (2) 望远镜结构系统; (3) 望远镜控制系统; (4) 焦面仪器系统; 每个系统根据功能要求下设数个模块, 涵盖了望远镜建设的全部工程内容.

现代望远镜是集光机电等多学科先进技术的精密仪器, 望远镜结构系统是望远镜的主体框架, 是光机电结合的桥梁(图6), 承担了以下主要功能: 把光学系统各个部分及焦面仪器连接在一起, 形成一个完整的观测系统; 调整镜面位置, 精确定位镜面位置, 保持光学系统良好性能; 通过多轴运动机构, 使望远镜精确指向、跟踪天体; 调整焦面仪器与光学系统焦点的位置; 日夜观测的快速切换; 焦面仪器的切换.

2.5 m大视场高分辨率望远镜总体构成包括: 跟踪机架模块, 镜筒模块, 镜面支撑模块, 焦面机构模块, 主动准直模块, 光路切换模块, 温控模块, 拟采用地平式机架结构. 地平式跟踪机架由水平调整机构、方位轴系、叉臂、高度轴系、安全保护机构组成. 镜筒模块包括主镜室、下镜筒、中间块、上桁架四部分. 主镜支撑机构是望远镜中的关键部件, 直接关系到光学系统的成像质量. 主镜支撑机构包括主镜支撑、底支撑、侧支撑、中心定位机构四个部分. 副镜采用六点Whiffle-tree悬挂底支撑. 主焦透射改正镜及ADC镜面支撑采用钢镜室, 设置五维调整机构, 可精确调整镜面位置. ADC镜框安装于两套同轴轴系上, 采用齿轮消除传动.

图 6 (网络版彩图) 2.5 m 大视场高分辨率望远镜结构示意图
Figure 6 (Color online) Sketch of the structure of the 2.5 m telescope.

本架望远镜不同于其他望远镜的特点是其多功能性: 兼顾夜天文观测和太阳观测. 由于日夜观测不同的焦比和视场要求, 光学系统中采用了共用主镜的两套独立系统. 夜天文观测的主焦反射镜和太阳观测光路的F1反射光栏在同一位置, 是实现日夜切换的关键点. 拟采用交替平移出对应光路, 实现两条光路的电动快速切换. 采用过渡箱体和二重叶片分段支撑结合的方案, 完美解决了挡光问题, 并采用平移切换、交替切入的方案, 实现日、夜观测光路的电动切换, 而无需拆装更换任何部件.

4.2.4 望远镜控制系统设计方案

2.5 m望远镜控制系统包含望远镜控制子系统TCS(Telescope Control System)、望远镜观测子系统(包含远程观测Remote Control System, RCS)、OCS(Observation Control System)、随动圆顶控制子系统DCS(Dome Control System). 其中TCS控制系统承担了望远镜本体所有运动机构的驱动与控制、指向跟踪与校正、内部各个子系统的通讯, 与其他分系统的通讯等. 在保证精度的前提下, 设计上着重于可靠性. OCS观测子系统可以根据观测计划来开展实际观测, 并记录相关数据. 远程控制RCS通过互联网对望远镜和随动圆顶实现控制, 可以对望远镜

本体的驱动控制进行某些必要的远程诊断. 圆顶控制子系统DCS实现圆顶随动跟踪.

2.5 m大视场高分辨率望远镜是一个高度集成的系统, 因此在设计时着重关注高精度、分布性、实时性、可靠性、安全性和开放性等方面. 系统采用分布式、多层次、主从式的控制结构, 由中央处理计算机完成信息的发布与收集, 本地控制单元完成实时性的伺服任务. 工业以太网连接本地控制单元和中央处理计算机, 进行实时性要求较低的信息和数据交换. 望远镜控制充分利用互联网的优势, 望远镜本体的电气系统可以实现远程故障诊断和维护.

4.2.5 焦面仪器系统设计方案

焦面仪器分系统包括夜天文大阵面CCD相机模块、太阳观测偏振测量模块、太阳光谱仪模块、太阳成像观测模块以及夜天文光谱仪模块.

(1) 夜天文大阵面CCD相机采用英国e2V公司4片6K×6K、象元大小15 μm 的芯片拼接, 外接圆与四边之间拼接6个1K×2K CCD芯片, 用于导星和像面检测.

(2) 太阳观测偏振测量模块

偏振测量系统由偏振校正系统(前)和偏振分析器(后)构成. 偏振校正系统进入光路后分别产生标准的线偏振和圆偏振信号(斯托克斯 Q, U, V), 供检测偏振分析器的偏差, 并通过获得的穆勒矩阵进行改正. 偏振分析器则对接收到的辐射偏振状态进行分析. 偏振测量系统的测量目标是太阳大气活动区及其周围区域的辐射偏振光谱, 通过反演这些形成于不同高度层次的光谱得出活动区矢量磁场和其他物理量的分层结构. 根据已知的活动区及其周围宁静区的磁场强度的估计, 偏振测量精度在两个观测波段(846.0–850.2, 1075–1085 nm)需要达到 8×10^{-4} .

根据偏振测量的特点和多功能观测的需要, 偏振校正系统和偏振测量系统处于不同的光学链位置上. 偏振校正系统放置在F2附近. 由于引导光学的等效焦比是F/7.5, 偏振校正元件较薄, 不需要准直光路. 偏振分析器安装在库德平台上以便满足多功能测量的要求. 其具体位置位于光谱仪色散后的成

像系统中.

偏振校正系统. 偏振校正系统结构(适合于两个波段: 846.0–850.2, 1075–1085 nm): 由分别进入光路的6块偏振元件和空洞(不做偏振改正时使用)组成. 各光学元件口径应大于F2附近光路瞳径. 6块标准偏振元件中的4块为线性偏振片, 与参考方向分别成 0° , 45° , 90° , 135° 的线性偏振片, 另外两块分别为左旋和右旋圆偏振片, 它们的通光口径均为 30 mm.

偏振分析器. 由调制器和检偏器组成. 调制器将辐射中包含的各偏振态光子数以一定的比例调制混合成(根据设定的相位延迟和快轴所处的方位角)一种特定偏振态(一般是线偏振), 而检偏器则检测和分离出从调制器出射的特定偏振态的光子. 最终偏振态分析是根据记录若干次从检偏器出射的两个光束强度(光子数)后的解调结果. 由于偏振分析器位于色散元件之后, 每一个窄波段分别对应一台, 故不需要在宽波段范围内具有高效率的设计, 仅需要在所对应的窄波段范围内具有高效率的偏振分析器.

调制器由两片铁电液晶(FLC), 一块相位可变延迟器(LCVR)和立方偏振分束器构成. 其中 FLC 和 LCVR 进行相位调制, LCVR 还承担实现偏振光学开关的作用. 线性检偏器对调制后的两个偏振态相反的线偏振光束进行分离. 偏振分析器光学结构如图 7 所示. 偏振分析器处于库德平台光谱仪光栅色散之后的准直光路中, 处于第一位置的是

滤光片, 将紫外和更短波长的辐射挡在光路外以便之后的液晶不受紫外线伤害, 随后是两块 FLC, 在立方偏振分束器之前是 LCVR. 通过偏振分束器之后两束偏振态相反的光束分别成像于两台 CCD 上.

根据以上的设计, 我们选取两片 FLC 延迟量在所选波段分别达到 $1/4$ 和 $1/2$ 波长(0 电压时), 通过对两片 FLC 的方位角进行通常的设置(0, 22.5), 而 LCVR 的方位角为 0, 便可得到在所选波段具有 100% 的理论测量效率. 一个完整的调制周期可以通过在 FLC 两端加电压使其延迟量改变分别为(0, 0), (0, 45) 和 (45, 45). 此外, 由于采用约化偏振光学开关, LCVR 的方位角在 0° – 180° 变化时完成的光学开关转换在每天观测前后才进行采数, 因而将磁场测量的时间分辨率提高 1 倍, 并将数据存储空间节约了 1 倍.

5 讨论和结论

在科学层面, 这架望远镜的科学目标集中在太阳物理和时域天文学领域, 也涉及高能天体物理、星系物理和系外行星研究中的前沿热门课题. 在太阳观测方面, 实现视场($7'$)大大超过目前国际上大型太阳望远镜视场(小于 $3'$)的高分辨率观测, 在太阳活动区和太阳爆发现象的起源和演化研究方面取得突破, 在太阳活动精细结构、太阳大气的能量输送和加热研究方面取得重大成果; 开展我国时区内时域天文学的观测, 在超新星和伽玛暴等快速变化天体的搜寻和观测上取得突破, 在窄波段深曝光巡天观

图 7 偏振分析器光学结构

Figure 7 Optical structure of the polarization analysis.

测方面取得国际领先的成果;在系外行星观测方面,重点搜寻银道面附近的系外行星和宜居行星,并开展统计研究.所有这些是很有创新的想法和课题.

在技术层面,望远镜采用苏定强院士提出的、前所未有的创新光学设计方案,能够方便地切换太阳观测光路和夜天文观测光路;夜间观测系统中的像场改正器由著名光学专家梁明博士设计,完全达到了要求的成像质量,并使这种特殊的夜间观测系统得以实现;在设计中又创新地考虑了望远镜的整体布局、热控等关键问题.

基于以上的科学思想和创新的技术方案,本望远镜的鲜明特色是:

(1) 兼顾太阳高分辨率观测与夜天文大视场观测于一身的创新设计思想,望远镜建成后将是世界上最大的轴对称太阳望远镜,也是全世界独一无二的高效多功能望远镜.

(2) 将太阳高分辨率观测视场由常用的 $2'-3'$ 提升至 $7'$,使其可以用高分辨率完整地观测整个太阳活动区,完整地观测太阳耀斑、日冕物质抛射和暗条爆发的源区的浮现及演化过程,获取太阳大气不同层次(光球、色球和低日冕)的高分辨率和高测量精度的亮度场、矢量速度场和矢量磁场.结合空间观测资料,有望在太阳物理、特别是太阳活动区物理研究中取得突破性进展.太阳观测的主光路是全反系统,可配置光学到红外不同观测波段的终端仪器.

(3) 在时域天文观测和研究领域(包括超新星、伽玛暴、TDE等)取得突出成果;开展国际上首次基于窄波段、深曝光的大视场星系巡天,深入研究大质量星系和大质量黑洞的演化;开展国际上有特色的银道面太阳系外行星和宜居行星搜索,发现一大批太阳系外行星.夜天文大视场光路通过一组折反

改正器把主焦点移至镜筒外的创新设计,有效缩短镜筒长度,解决主焦大透射改正镜加工、支撑困难、挡光比大和CCD发热影响视宁度等问题,更利于相机的安装、调试与维护.

(4) 创新光学系统+独特交互切换结构+远程控制技术的结合,使望远镜真正成为一台远程控制下多功能互联网+望远镜,在少量现场运控维护人员支撑下,在运控中心实现远程观测.

望远镜的研制工作将主要在南京大学、南京天文光学技术研究所和国家天文台云南天文台进行.科学目标和技术要求由南京大学和云南天文台把握,设计工作由南京天文光学技术研究所完成,望远镜总装和测试主要工作将在南京天文光学技术研究所完成,CCD探测器的相关技术、实验和工作将在南京大学完成.南京大学具有开发和使用CCD探测器的多年经验,正在建立先进的CCD实验设备和良好的测试环境.

南京天文光学技术研究所拥有望远镜新技术研究室、太阳仪器研究室、天文光谱和高分辨成像技术研究室、镜面技术研究室、大口径光学技术研究室、望远镜工程中心和南极天文技术中心7个科研部门和中国科学院天文光学技术重点实验室,在新概念望远镜光学系统的研究、非球面大口径高精度镜面研制技术、主动光学技术、巨型望远镜相关技术等具有国际前沿的技术优势.研究所拥有大型高精度驱动试验平台、4 m数控磨镜机、3.6 m环抛机、WYKO干涉仪、真空镀膜机、30 m垂直检验台、温度巡测仪、环境测试实验平台、望远镜装配调车间等,均可服务于本项目的研制.南京天文光学技术研究所于1998年首批进入中国科学院知识创新工程,2003年通过了ISO9001:2000国际质量管理体系认证.

致谢 向参与2.5 m大视场高分辨率望远镜方案讨论和评审的所有专家表示衷心的感谢.

参考文献

- 1 Chen P F. Coronal mass ejections: Models and their observational basis. *Living Rev Sol Phys*, 2011, 8: 1
- 2 Yang K E, Longcope D W, Ding M D, et al. Observationally quantified reconnection providing a viable mechanism for active region coronal heating. *Nat Commun*, 2018, 9: 692

- 3 Fang C, Huang Y R. The solar tower telescope of Nanjing University and its multiple solar spectrograph. *Acta Astronom Sin*, 1983, 24: 189
- 4 Ai G X, Wang J X, Ji P W. Observations of solar magnetic and velocity fields at HSOS. In: *Proceeding of the Third SOHO Workshop: Solar Dynamic Phenomena and Solar Wind Consequences*, Estes Park, Colorado, USA, 26–29 September 1994 (ESA SP • 373, December 1994)
- 5 Liu Z, Xu J, Gu B Z, et al. New vacuum solar telescope and observations with high resolution. *Res Astron Astrophys*, 2014, 14: 705–718
- 6 Fang C, Chen P F, Li Z, et al. A new multi-wavelength solar telescope: Optical and Near-infrared Solar Eruption Tracer (ONSET). *Res Astron Astrophys*, 2013, 13: 1509–1517
- 7 Yan Y, Chen L, Yu S. First radio burst imaging observation from Mingantu Ultrawide Spectral Radiograph. *Proc IAU*, 2015, 11: 427–435
- 8 Cao W, Gorceix N, Coulter R, et al. Scientific instrumentation for the 1.6 m New Solar Telescope in Big Bear. *Astron Nachr*, 2010, 331: 636–639
- 9 Schmidt W, von der Lühe O, Volkmer R, et al. The 1.5 meter solar telescope GREGOR. *Astron Nachr*, 2012, 333: 796–809
- 10 Keil S L, Rimmele T R, Oschmann J. et al. Science goals and development of the advanced technology solar telescope. In: Alexander V S, Elena E B, Alexander G K, eds. *Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity*, IAU Symposium, Vol. 223. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004. 581
- 11 Hasan S S. The Indian National Large Solar Telescope (NLST). *Proc IAU*, 2009, 5: 499–504
- 12 Low B C. Field topologies in ideal and near-ideal magnetohydrodynamics and vortex dynamics. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2015, 58: 015201
- 13 Choudhuri A R. Starspots, stellar cycles and stellar flares: Lessons from solar dynamo models. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2017, 60: 019601
- 14 Gan W, Deng Y, Li H, et al. ASO-S: Advanced Space-based Solar Observatory. In: *Proceedings of the SPIE, Solar Physics and Space Weather Instrumentation VI*. 2015. 96040T
- 15 Hickson P, Mulrooney M K. University of British Columbia-NASA multi-narrowband survey. I. Description and photometric properties of the survey. *Astrophys J Suppl S*, 1998, 115: 35–42
- 16 Moles M, Benítez N, Aguerri J A L, et al. The alhambra survey: A large area multimediu-band optical and near-infrared photometric survey. *Astron J*, 2008, 136: 1325–1339
- 17 Yang Y, Zabludoff A, Tremonti C, et al. Extended Ly α nebulae at $z \approx 2.3$: An extremely rare and strongly clustered population? *Astrophys J*, 2009, 693: 1579–1587
- 18 Martí P, Miquel R, Castander F J, et al. Precise photometric redshifts with a narrow-band filter set: The PAU survey at the William Herschel Telescope. *Mon Not R Astron Soc*, 2014, 442: 92–109

2.5 m wide-field and high-resolution telescope

FANG Cheng^{1,2*}, GU BoZhong³, YUAN XiangYan³, DING MingDe^{1,2}, CHEN PengFei^{1,2},
DAI ZiGao^{1,2}, LI XiangDong^{1,2}, SHI Yong^{1,2}, XIE JiWei^{1,2}, BAI JinMing⁴,
QU ZhongQuan⁴, HAO Qi^{1,2}, QUO Yang^{1,2}, CHENG Xin^{1,2} & LI Zhen^{1,2}

¹*School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing 210046, China;*

²*Key Laboratory of Modern Astronomy & Astrophysics, Nanjing University, Nanjing 210046, China;*

³*Institute of Nanjing Astronomical Optical Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China;*

⁴*Yunnan Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011, China*

We propose to construct a 2.5 m wide-field and high-resolution telescope (WeHiT). It will be the first facility in the world with a special innovative design and can conduct both high-resolution solar observations and the wide-field night sky survey. Its scientific objectives cover solar physics, time-domain astronomy, galactic astrophysics, and exoplanet science, all of which are recent hot topics in astronomy. The telescope can provide top-ranked data for Chinese astronomers. In particular, as the largest on-axis solar telescope in the world with wide-field than all large solar telescopes operating at present, it can provide unprecedented high-resolution solar data, which can help us obtain breakthrough achievements in the study of solar active regions and solar eruptions, such as solar flares and coronal mass ejections (CMEs). The data are also very useful for the study of space weather. As a large telescope in the China time-zone, the telescope is very unique in continuously monitoring short-time transient events by filling the gap in the time-zone. Furthermore, it can provide valuable high-quality data of the narrow-band extragalactic survey, nearby galaxy study and exoplanet survey. Moreover, the telescope is a top-level one which can make essential contribution to training the graduate and undergraduate students majoring in observational astronomy.

telescope, solar physics, supernovae, γ -ray bursts, sky survey

PACS: 95.55.Cs, 96.60.-j, 97.60.Bw, 98.70.Rz, 95.80.+p

doi: [10.1360/SSPMA2018-00313](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00313)