

太阳物理光学仪器的新进展

艾国祥

(中国科学院北京天文台 北京 100080)

摘 要

对过去三年来(1990.9—1993.8),太阳物理光学仪器的进展作了简要的综述。它主要包括高空间分辨率设备,磁像仪和偏振器,二维光谱仪,大型望远镜和大型观测网,以及空间系统等五个方面。这些进展表明,太阳物理的观测技术和方法正处在具有历史意义的重大转变之中,即运用并推动现代光学,现代接收与处理系统,以及空间技术的重大发展的历史阶段。

1 高空间分辨率设备

各种各样的高空间分辨率设备,包括实时帧选择器^[1],相关跟踪器^[2],自适应光学^[3]和斑点偏振干涉法^[4]等等,这些设备已分别运行于德国的真空塔式望远镜^[5],瑞典真空太阳望远镜和 Sacramento 峰真空塔式望远镜^[3,6],这些设备的运用,显著地改善了空间分辨率,允许接近仪器衍射极限,即 $0''.3$ 的观测。一个具有218mm连续表面和61个调整器的反射镜^[7]和一个具有91个调整器的薄镜面自适应光学日冕仪^[8],目前正在建造。对地基望远镜具有重大意义的是,由Dunn和其合作者在 Sacramento 峰太阳天文台建造的自适应光学系统,在1991年秋,第一次令人信服地证实了实时的像改进^[9]。

另一个有重要意义的进展是, Keller 等运用斑点偏振法,在瑞典设于 Canary 岛上的50cm真空太阳塔上,用两个通道像同时观测,由强光通道像改正弱光的磁敏通道像,成功地实现了窄带 Stokes V 的像复原,报道了大约200km的磁细节的观测^[10]。

2 磁像仪和偏振器

NASO/NSO 光谱磁像仪(能同时获得磁通量,视线速度,连续强度,等值宽度和谱线深度;每个像元的空间尺度为 $1''.1$,光谱元为 $0.03\text{--}0.04\text{\AA}$;全日面像需时为1h左右,局部区为1.5—5min左右),从1992年4月份开始运行,代替了原有的512通道磁像仪^[11,12]。HAO/NSO 先进的 Stokes 偏振器(像元空间分辨率为 $0''.4 \times 0''.4$ 左右,光谱元为 0.012\AA ,每次光谱的积分时间为4s,一个 $85'' \times 85''$ 局部区的观测时间为16min),

估计在 1993 年中将成为一个使用者仪器^[13]。

视频磁像仪正在日益普及,这很类似 50 年代和 60 年代 Lyot $H\alpha$ 滤光器色球望远镜普遍使用的情形。在瑞典的真空太阳望远镜上已装配了带有像相关跟踪器的高分辨视频磁像仪,每个像元为 $0''.1 \times 0''.1$ ^[14]。日本国立天文台的耀斑望远镜(四个镜筒的组合望远镜,由 $H\alpha$ 和白光(口径 15cm)和矢量磁场和速度场(口径 20cm)),使用 3 个 Lyot 滤光器($H\alpha$ 0.5Å; FeI 6303Å, 1/8Å; FeI 6337Å, 1/5Å)以及三组宽视场 KD*P 电光调制器,已于 1991 年投入使用^[15,16]。一个类似日本的望远镜正在韩国天文台建造,台湾也在建造视频磁像仪,所用为一个万能滤光器(4600—6600Å,带宽为 0.05—0.125Å)。两个全日面的视频磁像仪,在北京天文台^[17]和日本国立天文台相继建成^[18],其时间分辨率为 1min 左右。两个采用实体 Fabry-Perot 滤光器的视频磁像仪相继在 APL/NSO 和 Mees 太阳天文台建成^[19],跟着正在建的是印度 Udaipur 太阳天文台^[20]。对滤光器视频磁像仪和光栅 Stokes 偏振器的测量结果进行了比较,无论纵场和横场,其形态高度一致。在定量上,纵场很好地一致,横场方向基本一致,但横场数值由于使用谱线中的饱和效应不同,信噪比不同,纵场对横场的干扰不同,归算方法不同,不同谱线 Faraday 旋转不同,观测时间的差别以及空间分辨率等等的不同,而有较大差别^[21,22]。一个磁光滤光器已用于日本国立天文台的全日面速度场观测^[18]。运用线偏振对于 Paschen 线限(8600Å附近)的 Stark 加宽的关系,测量太阳等离子体中宏观电场的电像仪进行了实验,它采用旋转半波片和红外偏振器测偏振,但是由于光谱仪的信噪比太低,未获得肯定结论,有待于提高信噪比,进一步实验。北京天文台怀柔站已在建造一架 8600Å 的双折射滤光器,以进行具有高信噪比的视频电像仪实验^[23,24]。

红外的偏振器有很大优势,已对 1.56μ FeI 线和 12.32μ MgI 线的 Stokes I, Q, U, V 谱线轮廓进行了观测。目前可用的红外探测器阵已发展到 1— 1.5μ 的 640×488 像元; $1.5—5\mu$ 的 256×256 像元;以及 $5—24\mu$ 的 58×62 像元^[25]。一个工作波长为 $1—2.5\mu$, 像元大小为 $60 \times 60\mu^2$, 量子效率为 70% 的 128×128 HgCd1 红外阵列,已用于获得两维磁场像^[26]。另外,一个波长为 He II 10830Å,带宽为 0.5Å 的双折射滤光器,正在北京天文台建造^[27]。

3 二维成像光谱仪

以光栅为基础的两维光谱仪,典型的是 NASA/NSO 的光谱磁像仪^[11],日益普及,并随着 CCD 照相机的发展而日益提高性能。瑞典太阳望远镜的成像光谱仪能在 5s 左右以每像元 $0''.1 \times 0''.22$ 的空间分辨率,完成 $25'' \times 25''$ 区的观测^[1]。类似系统也已在 Mees 太阳天文台运行^[28]。在中国,南京大学太阳塔望远镜^[29]和云南天文台新的 50cm 太阳望远镜^[30,31]也建立了类似系统。一个以万能双折射滤光器与 Fabry-Perot 干涉仪相结合的两维光谱仪,具有 0.02—0.03Å 的光谱分辨率,已经完成^[32]并将使用于 THEMIS(法国 90 cm 望远镜)。一个德国光谱分辨率为 0.03Å,观测区域为 $20''—40''$,观测时间为 2s 的类似设备也正在建造^[33]。

一个新的光谱像仪器(多通道的光栅往返相消面源系统),目前正运行于德国真空塔望远镜,这是法国 Mein 等人在墨东天文台所建造类似设备的一个发展,它能同时提供在许多波长上的(典型的是 20 个)许多像,可分别运用多条或两条谱线上,光谱分辨分别为 0.26, 0.13, 0.06Å 和局部带宽分别为 0.13, 0.06, 0.03Å^[34,35]。一个多狭缝的耀斑和日珥光谱仪,已运行于印度 Udaipur 太阳天文台^[20]。一个二维实时偏振光谱仪(同时的连续的空间和光谱信息),具有 64 个通道(可调范围 4200—7000Å;带宽 0.018—0.05Å,波长的同时覆盖为 1—3.2Å),正在怀柔太阳站制造^[36,27]。

4 大型光学望远镜和大型观测网

从 1991 年开始,LEST(地基最大型太阳望远镜)已开始设计工程的细节,其中包括自适应光学系统^[37]。两种成像的 Stokes 偏振器,已被瑞士的科学家和工程师提出来用于 LEST, ZIMPOL I(楚里士偏振计)能同时获得 Stokes, Q, U 和 V,但要用三个调制 CCD 接收器^[38], ZIMPOL II,采用微透镜阵技术,仅用一个调制 CCD 接收器,能同时获得 4 个 Stokes 参数^[39]。预计 THEMIS(法国 90 cm 太阳望远镜)将在 1996 年投入运行^[35]。

提出了一个概念性方法,采用专门的一些透红外蒙面,放在大望远镜入射孔径之前,作成干涉仪,以实现红外的高空间分辨率观测^[40]。

IRIS(点源国际日震网)在 1991 年已投入运行,预计将至少持续到 2001 年。它是由 7 个国家的 8 个站组成的太阳振荡观测网,采用钠共振腔测量低阶模(0—3),低阶模能探测太阳核心的重力引起的振荡^[41]。美国主持的 GONG 是另一个太阳振荡观测网,由 6 个站组成,用 256 × 256 CCD 观测太阳二维 Doppler 像,企图获得低于 200 阶以下各种模式,预计于 1995 年完成^[42]。台湾清华大学周定一教授正在建立一个由 3—6 个站组成的全球日震网,目前已在 Canary 岛和怀柔站建立两个站,另一个正在大熊湖建立。它是通过 CaI 3933Å 线的强度来研究振荡,可获得 10—800 阶的高阶模。

采用超级抛光的反射物镜的 15cm 日冕仪正在建造,另一个口径 1m 级的日冕仪也在进行概念性预研究^[3]。一个口径 45cm 的开放的塔式望远镜(塔架和望远镜结构都是开放的,以图减少来自塔和望远镜的热湍流),正在建造。这是一个新颖的实验,试图降低建造高分辨望远镜和光学干涉仪的费用和复杂程度,如真空系统和真空窗受热形变等问题^[43]。

5 空间光学望远镜

OSL(轨道太阳实验室)已完全被 NASA 所取消,但是日本提出了建造口径 80cm 的空间太阳望远镜(Solar-B)的新建议^[44,45],在中国也在对口径 1m,并带有 H α , 紫外, 软 X 射线像 4 个小望远镜的空间望远镜,进行预研究,并开展 67cm 的气球和流动高分辨率光学望远镜的设计,作为空间望远镜的中间实验^[27]。

SOHO (太阳和日球天文台) 是 ESA 和 NASA 为国际日地计划的合作项目。卫星指向精度 $1''$ (在 15min 内), 计划将于 1995 年发射到离地球 $1.5 \times 10^6 \text{ km}$ 的日地连线上的 Lagrangian 点。SOHO 有 12 套仪器, 分别用于探索太阳内部, 外层大气 ($1.1-30 R_{\odot}$) 和对太阳风实地测量, 总重 1.35 kg, 功耗 750 W, 预计 1995 年发射并运行 2—4 年^[46,47]。

SIMURIS (极高分辨成像, 太阳系和恒星光谱干涉仪项目) 是欧洲科学家提出的一个项目, 由一个 $4 \times 20 \text{ cm}$ 的干涉仪 (2m 基线, 能观测太阳的分辨率为 10 km(紫外)—50km(可见光)), 一个为 Doppler 成像和偏振测量成像的 Fourier 变换光谱仪和三个附属仪器 (紫外照相机, He II 304Å, 多层紫外望远镜) 组成。它已成为自由空间站 (Space Station Freedom) 的评估项目。ESA 已提供经费来进行详细的设计研究, 目前空间干涉仪已进展到工业上详尽研究的程度^[48,49]。

近三年来, 太阳物理光学仪器和有关技术的发展, 表现出新概念、新技术层出不穷, 归根结底是当代空间技术和微电子学技术 (计算机) 的进步和突破引起的。它推动了现代成像光学和物理光学, 现代接收与处理系统, 以及天文空间技术的历史性发展, 这个发展将在 10—20 年之内完全改写太阳物理观测技术和由此引起太阳物理观测和分辨的突破。与此同时, 也不难看出, 这些开始运用于太阳物理的方法和技术, 已出现反过来促进空间技术和微电子学技术发展的势头, 并做出贡献。充分认识这种趋势, 将会促进我国太阳物理的学者, 规划新的太阳设备和改造已有设备, 以迎接我国随着经济大发展跟随之而来的太阳物理应有的大发展。

参 考 文 献

- [1] Scharmer G, Lofdahl M. *Adv. Space Res.*, 1991, 11 (5): 129
- [2] von der Luhe O. *Adv. Space Res.*, 1991, 11 (5): 275
- [3] Dunn R, Smartt R. *Adv. Space Res.*, 1991, 11 (5): 139
- [4] Keller C, von der Luhe O. *Astron. Astrophys.*, 1992, 261: 321
- [5] Soltau D, *Adv. Space Res.*, 1991, 11 (5): 133
- [6] Acton D, Smithson R. *Appl. Opt.*, 1992, 31: 3161
- [7] Dunn R, Streander G, Hull E et al. *SPIE conf. on active and adaptive opt. syst.*, 1991, 1542: 88
- [8] Clampin M, Durrance S, Golimowsk D. *SPIE conf. on active and adaptive opt.syst.*, 1991, 1542: 165
- [9] Stenflo J. *LEST Ann. Rep.* 1992: 1992
- [10] Keller C. In: Zirin H et al eds. *The magnetic and velocity fields of solar active regions*, Proc. of IAU colloq. No.141, Beijing, 1992, ASP conf. series 46, San Francisco: ASP, 1993: 3
- [11] Jones H, Duvall T, Warvey J. *Solar Phys.*, 1992, 139: 211
- [12] Jones H. In: Zirin H et al eds. *The magnetic and velocity fields of solar active regions*, Proc. of IAU colloq. No. 141, Beijing, 1992, ASP conf. series 46, San Francisco: ASP, 1993: 156
- [13] Lites B. In: Zirin H et al eds. *The Magnetic and velocity fields of solar active regions*, Proc. of IAU colloq. No.141, Beijing, 1992, ASP conf. series 46, San Francisco: ASP, 1993: 173
- [14] Lundstedt H, Johannesson A et al. *Solar Phys.*, 1991, 132: 233

- [15] Ichimoto K, Sakurai, T *et al.* In: Zirin H *et al* eds. The magnetic and velocity fields of solar active regions, Proc. of IAU colloq. No.141, Beijing, 1992, ASP conf. series 46, San Francisco: ASP, 1993: 166
- [16] Ichimoto K *et al.* Lecture Notes in Phys., 1991, 387: 320
- [17] Ai Guoxiang. In: Zirin H *et al* eds. The magnetic and velocity fields of solar active regions, Proc. of IAU colloq. No. 141, Beijing, 1992, ASP conf. series 46, San Francisco: ASP, 1993: 149
- [18] Sakurai T. In: Sakurai T, Hirayama T, Ai Guoxiang ed. Proc. of the second Japan-China seminar on solar phys. , Sagamihara, 1993, [s.l.]: National Astro. Obs. of Japan, 1994: 11
- [19] Rust D, O'Byrne W. In: November N L ed. Solar polarimetry. Sunspot, NM, USA: Natl. Solar Obs., 1991, 11. 74
- [20] Bhatnagar A. private communication, 1993
- [21] Wang H, Varsik J, Zirin H *et al.* Solar Phys., 1992, 142: 11
- [22] Ronan S, Orrall Q, Mickey L *et al.* Solar Phy., 1992, 138: 49
- [23] Moran T, Foukal P. Solar Phys., 1991, 135: 179
- [24] Foukal P, Hinata S. Solar Phys., 1991, 132: 307
- [25] Deming D, Hewagama T, Jennings D *et al.* In: November N L ed. Solar polarimetry. Sunspot, NM, USA: Natl. Solar Obs., 1991, 11. 341
- [26] Mcpheson M, Lin H, Kuhn J. Solar Phys., 1992, 139: 255
- [27] Ai Guoxiang. In: Zirin H *et al* eds. The magnetic and velocity fields of solar active regions, Proc. of IAU colloq. No.141, Beijing, 1992, ASP conf. series 46, San Francisco: ASP, 1993: 149
- [28] Penn M, Mickey D, Canfield R *et al.* Solar Phys., 1991, 135: 163
- [29] Fang C *et al.* In: Sakurai T, Hirayama T, Ai Guoxiang ed. Proc. of the second Japan-China seminar on solar phys., Sagamihara, 1993, [s.l.]: National Astro. Obs. of Japan, 1994: 102
- [30] Zhang B, Deng Y, Li Y. In: Sakurai T, Hirayama T, Ai Guoxiang ed. Proc. of the second Japan-China seminar on solar phys., Sagamihara, 1993, [s.l.]: National Astro.Obs. of Japan, 1994:122
- [31] Xuan J, Lin J. Solar Phys., 1993, 144: 307
- [32] Bonaccini D, Stauffer F. Astron. Astrophys., 1991, 229: 272
- [33] Bendlin C, Volkmark, Knee F. Astron. Astrophys., 1992, 257: 817
- [34] Mein P, Rayrole J. Astron. Astrophys., 1991, 248: 669
- [35] Rayrole J, Mein P. In: Zirin H *et al* eds. The magnetic and velocity fields of solar active regions, Proc. of IAU colloq. No. 141, Beijing, 1992, ASP conf. series 46, San Francisco: ASP, 1993: 170
- [36] Ai Guoxiang, In: November N L ed. Solar polarimetry. Sunspot, NM, USA: Natl. Solar Obs., 1991, 11: 113
- [37] Hange ϕ . LEST Ann. Rep., 1992: 1991
- [38] Keller C, Aebersold F, Egger U *et al.* LEST Tech. Rep. 1992, 53
- [39] Stenflo J, Keller C, Povel H. LEST Tec. Rep., 1992, 54
- [40] Koutchmy S, Restaino R. Solar Phys., 1992, 142: 359
- [41] Fossat E. Solar Phys., 1991, 133: 1
- [42] Pintar A. Bull. Am. Astron. Soc., 1991, 23: 1032
- [43] Hammerschlag R, Zwaan C. The Ann. Rep. 1992 of the Sterrekundig Inst., the Netherlands, 1992
- [44] Hirayama T. Proc. of the first China-Japan seminar on solar phys., Kunming, 1991, Kunming: Yunnan Astron. Obs., 1993: 292
- [45] Hirayama T. In: Scientific requirements to future solar physics space missions, ESA Publ., 1993 B, in press
- [46] Guyenne J *et al.* The SOHO Mission, ESA SP-1104, 1989
- [47] Lemaire P. Adv. Space Res., 1991, 11 (5): 169

- [48] Dame L, Acton L, Bruner M *et al.* *Adv. Space Res.*, 1991, 11 (5): 267
- [49] Rutten R, Dame L. In: Zirin H *et al* eds. *The magnetic and velocity fields of solar active regions*, Proc. of IAU colloq. No. 141, Beijing, 1992, ASP conf. series 46, San Francisco: ASP, 1993: 184

(责任编辑 刘金铭)

New Progress in Optical Instrumentation for Solar Physics

Ai Guoxiang

(*Beijing Astronomical Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract

The progress in optical instrumentation for solar physics in the past three years(1990.9–1993.8) is introduced briefly. It involves high spectral resolution devices, magnetographs and polarimeters, 2-D spectrographs, large telescopes and large systems, and space instruments. The progress shows that the observing technology and methods for solar physics are going to be on the turn of significant importance, that is, to use and motivate modern optics, modern receiving techniques and processing system, and space technology.