



2008年8月1日日全食的日冕结构和亮度分布

赵海斌^{*}, 林启生, 陈一平, 晋升, 关震彪, 胡中为^{*}

中国科学院紫金山天文台, 南京 210008;

中国科学院国家天文台, 北京 100012;

台湾鹿林天文台, 桃源 32054;

南京大学天文系, 南京 210008

^{*} 联系人, E-mail: huzhwls@126.com

2009-02-08 收稿, 2009-04-16 接受

国家自然科学基金资助项目(批准号: 10503013, 10778637)

摘要 日冕是太阳的外层大气, 日冕活动影响日地空间环境和太空天气以及地球. 日全食是观测研究日冕的良机. 在2008年8月1日的日全食期间, 我们用 CCD 照相机与天文望远镜组合拍摄了一系列日冕像和日面偏食像. 本文选取部分图像, 进行数字图像处理和分析, 给出初步结果, 揭示日冕的一些活动结构, 测定日冕两极和赤道的亮度径向平滑分布. 虽然太阳活动处于极小期, 但日冕结构仍是不对称的, 不仅显示赤道区比两极区延展, 即使赤道东、西和南、北极区也有较大差别. 赤道东侧的冕流, 尤其东南方的大冕流很显著. 南极区比北极区的冕羽由更多的极射线组成, 这些结构也可由他人观测的及 SOHO 卫星的当天日冕图像佐证. 日冕赤道区和极区的亮度径向分布接近于 Van de Hulst 的太阳活动极小期模型, 但存在因日冕结构而比该模型的明显偏离, 这些日冕结构也显示在日冕的等亮度图上.

关键词
日全食
日冕
冕流
极射线
太阳活动

日冕是太阳的外层大气, 从地球之上的过渡区顶向外延展到几倍太阳半径, 甚至更远. 日冕由稀薄的、完全电离的高温(百万K)等离子体组成, 不仅外流的日冕物质形成太阳风, 而且日冕还有很强的紫外和X射线辐射. 日冕白光亮度主要反映的是K冕——自由电子散射的光球辐射, 可以推求电子密度和温度, 反映日冕活动影响日地空间环境、太空天气以及地球的严重程度, 观测研究日冕活动结构对于航天和日地关系具有重要意义^[1,2]. 在可见光波段, 日冕亮度只约日面的百万分之一, 虽然SOHO卫星上的LASCO日冕仪等可以经常监测日冕, 日全食仍是观

测日冕的最佳机会^[3-8]. 2008年8月1日发生日全食, 我国甘肃和新疆是较佳的观测地区, 很多中外科学家和爱好者奔赴该地区, 进行日冕和日食现象观测^[9].

日冕亮度随高度的变化梯度很大. 用短曝光拍摄の日冕像仅显示日冕下部结构的特征, 而外部很难看到; 用较长曝光拍摄の日冕像可以看出日冕结构特征的较外部分, 但下部则曝光过度而难以辨别^[10-12]. 这次观测我们采用CCD相机得到数值图像, 避免了传统照像乳胶的感光“宽容”范围窄和非线性效应等缺点, 并且观测图像直接可以用于数字处理^[4-8,12,13].

根据日食预报资料^[4]和紫金山天文台历算组推算的我国各地见食情况, 我们分别在甘肃省金晶县、金塔县和嘉峪关进行了日冕的光学观测, 用望远镜加CCD相机拍摄到一系列日冕像和日面偏食减光像. 本文选取其中的部分像(表1), 用计算机图像处理技术提取了信息数据, 初步揭示日冕的一些结构特征和亮度的径向平滑分布.

为了提取日冕结构特征的信息, 我们选择不同曝光量的两组日冕像, 用计算机对每幅图像反复调节参数, 减弱亮度和增强对比度, 确定显著结构特征的高度范围, 然后合成总的日冕形态结构图像(图1), 可以看

引用格式: 赵海斌, 林启生, 陈一平, 等. 2008年8月1日日全食的日冕结构和亮度分布. 科学通报, 2009, 54: 1790~1792

Zhao H B, Lin Q S, Chen Y P, et al. Coronal structure and brightness profile of the total solar eclipse on August 1, 2008. Chinese Sci Bull, 2009, 54, doi: 10.1007/s11434-009-0442-6

表 1 日冕像的拍摄情况

编号	曝光时间/s	开始时刻(UT)	观测地和仪器
L349	0.8	11:16:25	
L350	1/10	11:16:46	甘肃金晶; 望远镜: D 76 mm, F 600 mm; 照相机: Canon EOS KISS, 4272×2848 像素,
L352	1/30	11:17:02	ISO-100
L353	1/200	11:17:10	
M37	1/30	11:14:50	甘肃嘉峪关; 望远镜: D 65 mm, F 102 mm; 照相机: Canon EOS 30D 3504×2336 像素,
M39	1/10	11:15:20	ISO-400

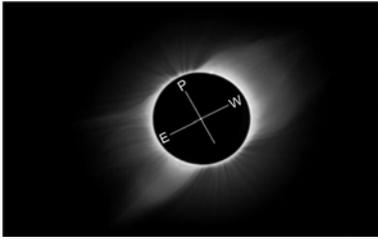


图 1 数字图像处理合成的日冕像, 显示日冕的延展结构(冕流、极射线)特征 P 为太阳北极, E 和 W 为太阳赤道的东和西

到延展的结构特征.

此次日全食处于太阳活动周期第 23 周结束、第 24 周刚开始的极小期或宁静期. 当天没有黑子, 然而, 日冕仍有一些显著的活动结构. 日冕的总形态似蝶形, 其赤道区比两极区亮得多, 且形态呈现相当大的不对称性, 其赤道区西侧亮度高于相应高度的东侧, 而东侧至少有 6 个较清晰的长冕流; 东南方向的长而宽的冕流延展到 $3R_{\odot}$ (太阳半径) 以外; 西侧主要有两个很宽的亮冕流, 下部因交叠而不易识别; 日冕的南北极区显示由“极射线”组成的不对称“冕羽”, 南冕羽至少可见 13 条极射线, 延展到 $1.5R_{\odot}$ 以外, 北冕羽约有 9 条极射线. SOHO/LASCO 日冕仪拍到它们外部(<http://soho.nascom.nasa.gov/pickoftheweek/old/01aug2008>)延展到 $5R_{\odot}$ 以外(图 2). 东南方向的冕流底部依稀看到“冕环”包围着日珥. 与此冕流相对的西北侧日冕却是物质少而较暗的, 飞船在日全食之前几小时拍摄到那里发生过“日冕物质抛射(CME)”事件, 可能跟其

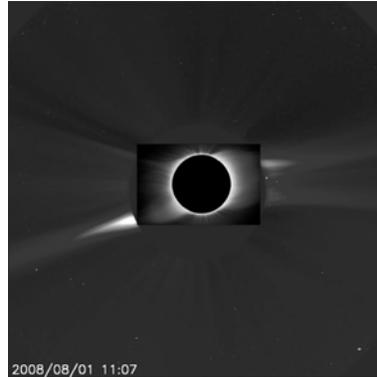


图 2 2008 年 8 月 1 日的 SOHO/LASCO/C2 日冕像(外部)与本文日冕像(中央)组合, 展示一些冕流和极射线延展到 $5R_{\odot}$ 以外

有关的爆发日珥也可以在图 1 上看到. 这些结构特征也从其他观测者的一些图像上得到佐证(<http://www.skyandtelescope.com/community/gallery/skyevents/26053689.html>). 日冕的结构与日面磁场密切相关, 用前几天的磁场资料推算大致预报了这样的结构 (<http://shadow.adnc.net/corona/aug08eclipse/aug08eclipse.html>).

在日冕亮度分布测量中, 选用表 1 所列两组日冕像. 首先对每幅 CCD 图像进行预处理, 即进行暗场、平场及天光改正, 提取日冕各像素的真实(相对)亮度数据. 由于拍摄的是 sRGB 三色混合的彩色像, 为了得到较高精度, 分离出绿色(G)像作亮度测量.

日冕像上的月球形心并不是日面中心, 根据日全食期间月球与太阳的赤经与赤纬变化, 容易推算出日面中心的位置. 按照天文年历的太阳位置表, 可以确定太阳自转轴

方位角. 于是, 可以归算出日冕像所测像素的太阳坐标. 综合这些定位误差及 CCD 像的分辨率, 定位总误差小于 10 角秒或 $0.005R_{\odot}$.

我们主要测定太阳赤道东西两侧和南北极方向的日冕相对亮度径向分布 B_r' . 测量日面减光像的平均相对亮度 H_{\odot}' , 可以用下式归算出以日面平均绝对亮度 H_{\odot} 表示的日冕绝对亮度 B_r [15,16].

$$B_r = B_r' H_{\odot} \tau P^{M(Z_{\odot}) - M(Z)} / H_{\odot}',$$

式中 τ 是减光系数(包括曝光时间比例因子), P 是地球大气透射系数, $M(Z)$ 是“大气质量”, Z_{\odot} 与 Z 分别是太阳和日冕的天顶距. P 由一系列日面偏食像的亮度测量得出. 我们测量各像的赤道东西和两极方向的亮度径向分布, 平滑后汇总, 得到用日面平均绝对亮度 H_{\odot} 表示的日冕赤道区和极区的径向亮度平滑分布(图 3), 亮度的相对误差小于 5%. 日冕的结构可以由等亮度线显示出来(图 4).

本文所得结果表明, 在此次日全食时, 日冕的极区和赤道区的径向亮度平滑分布接近于 Van de Hulst 的太阳活动极小模型 [15], 但仍存在赤道西侧比东侧亮、南极区比北极区亮的不对称性, 冕流和极射线等活动结构特征造成对该模型的偏离. 这些结果明显地不同于太阳活动极大年的 1968 年日食情况 [10,11], 也与太阳活动接近极小的 1997 年 [4,5]、2005 年和 2006 年的日食情况有差别 [6-8]. 某些显著结构值得进一步深入研究.

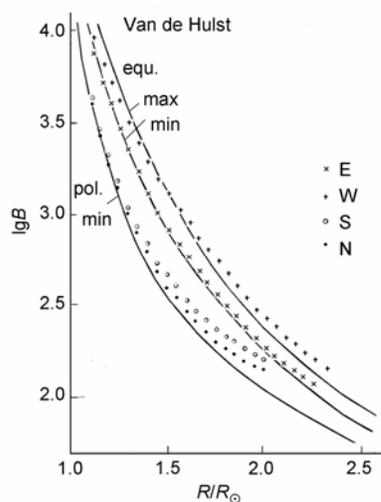


图3 日冕亮度的径向平滑分布

实线为 Van de Hulst 模型, pol., 太阳两极, equ., 太阳赤道, max 和 min 为极大年和极小年. 符号为观测的日冕赤道和极区的亮度平滑值($\lg H_{\odot}=10$)

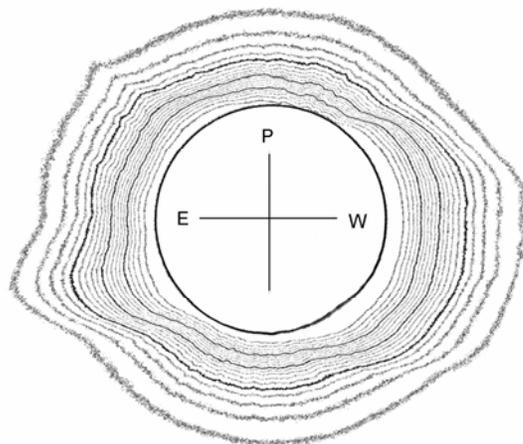


图4 日冕的等亮度线, 显示日冕的不对称和一些冕流和极射线结构

P 为太阳北极, E 和 W 为太阳赤道东和西. 邻线相对亮度差为 12

致谢 感谢紫金山天文台小行星基金会提供资助. 成灼同志提供日食数据, 马文泓提供日冕像, 在此一并感谢.

参考文献

- 1 章振大. 日冕物理学. 北京: 科学出版社, 2000. 1—44
- 2 胡中为, 萧耐圆. 天文学教程(上册). 北京: 高等教育出版社, 2003. 411—418
- 3 Morgan H, Habbal S R. The depiction of coronal structure in white-light images. *Solar Phys*, 2006, 236: 263—272
- 4 Pasachoff J M, Rušin V, Druckmüller M, et al. Fine structures in the white-light solar corona at the 2006 eclipse. *Astrophys J*, 2008, 665: 824—829[doi]
- 5 Pasachoff J M, Kimmel S B, Druckmüller M, et al. The April 8, 2005 eclipse white-light corona. *Solar Phys*, 2006, 238: 261—270[doi]
- 6 Morgan H, Habbal S R. Are fan streamers twisting sheet structures? *Astron Astrophys*, 2007, 465: 695—702[doi]
- 7 Habbal S R, Morgan H, Johnson J, et al. Localized enhancements of Fe+10 density in the corona as observed in Fe XI 789.2 nm during 2006 March 29 total solar eclipse. *Astrophys J*, 2007, 663: 598—609[doi]
- 8 Rušin V, Druckmüller M, Minarvjech M, et al. Intricacies of the fine structure of the eclipse corona. *Astrophys Space Sci*, 2008, 313: 345—349[doi]
- 9 张洪起, 王宜. 21 世纪中国境内的首次日全食科学观测. *科学通报*, 2008, 53: 1767
- 10 胡中为, 崔连竖. 1968 年 9 月 22 日日全食的日冕偏振观测. *天文学报*, 1974, 15: 137—148
- 11 胡中为, 栗蒂, 向英. 两个冕流的光度测量与分析. *云南天文台台刊*, 1979, 3: 40—53
- 12 胡中为. 美妙天象——日全食. 上海: 上海科学技术出版社, 2008. 121—133
- 13 Hu Z W, Li R L, Fang C, et al. CCD polarimetry of the solar corona at the 1997-03-09 solar eclipse. *Chin Astron Astrophys*, 1999, 23: 221—228[doi]
- 14 Espenak F, Anderson J. Predictions for total solar eclipses of 2008, 2009 and 2010. *Proc Intern Astron Union*, 2006, 2: 495—502
- 15 Billings D. *A Guide to the Solar Corona*. London: Academic Press, 1966. 58
- 16 Hu Z W, Fang C, Xu S Z, et al. Structure and photometry of the solar corona at the total eclipse of 1997 March 9. *Chin Astron Astrophys*, 2000, 24: 211—216[doi]