

Meng Weijuan, Le Guiming, Lin Zhaoxiang, Zhang Yong, Yang Xingxing. Distribution of CMEs in different angular width and its relationship with the phase of sunspot numbers in solar cycle 23. *Chin. J. Space Sci.*, 2013, **33**(3): 225-230

第 23 周不同角宽 CME 的分布及与 太阳黑子数位相的比较^{*}

孟伟娟^{1,2} 乐贵明^{1,2} 林兆祥¹ 张咏^{2,3} 杨星星^{2,3}

1(中南民族大学 武汉 430074)

2(中国气象局国家空间天气监测预警中心 北京 100081)

3(南京信息工程大学 南京 210044)

摘要 统计分析了 1996—2008 年期间 CME 数量随角宽的分布, 将几个典型角宽的 CME 数量随时间变化的特征与太阳黑子数随时间变化特征进行比较. 分析结果表明, 角宽为 $0^\circ\sim 180^\circ$ 的 CME 占 CME 总数的 95% 以上, 全晕 CME 占 2.83%, 角宽 $301^\circ\sim 359^\circ$ 的 CME 数量非常少. 角宽 $0^\circ\sim 60^\circ$ 的 CME 有三个峰值, 与太阳黑子数随时间变化的特征不吻合. 角宽为 $121^\circ\sim 180^\circ$ CME 的数量无双峰分布. 全晕 CME 的分布具有明显的双峰结构, 第一个峰值出现在 2001 年, 第二个峰值出现在 2005 年, 与太阳黑子数的变化不同步.

关键词 太阳活动, 日冕物质抛射, 角宽, 太阳黑子数

中图分类号 P 353

Distribution of CMEs in Different Angular Width and Its Relationship With the Phase of Sunspot Numbers in Solar Cycle 23

MENG Weijuan^{1,2} LE Guiming^{1,2} LIN Zhaoxiang¹
ZHANG Yong^{2,3} YANG Xingxing^{2,3}

1(South-Center University for Nationalities, Wuhan 430074)

2(National Satellite Meteorology Center for Space Weather, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

3(Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044)

Abstract In this paper we statistically analyzed the distribution of the numbers of CME with different angle width during the period of 1996—2008. Then we obtained the relationship between the number of CME with some typical angle width varying with time and that the sunspot numbers varying with time. The analytical results indicate that the numbers of CME within angle width $0^\circ\sim 180^\circ$ make up 95%, full-halo CMEs make up 2.83%, and the quantities of CME within angle

* 国家自然科学基金项目资助 (41074132, 41274193, 40931056)

2012-12-03 收到原稿, 2013-02-17 收到修定稿

E-mail: mwj2006@126.com. 通讯作者 乐贵明, legm@nsmc.cma.gov.cn

width $301^{\circ}\sim 359^{\circ}$ make up very little proportion of all CMEs. The CMEs of angle width $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ have three peaks, which doesn't match the characteristics of sunspot numbers varying with time. There is no two-peak distribution of the numbers of CME within angle width $121^{\circ}\sim 180^{\circ}$. Moreover, the distribution of full-halo CMEs has a typical two-peak structure, with the first peak appearing in 2001 and the second peak appearing in 2005, which is not synchronized with the distribution of sunspot numbers.

Key words Solar activity, CME, Angular width, Sunspot numbers

0 引言

日冕物质抛射 (CME) 是大量太阳物质脱离日冕进入行星际空间的现象, 是非常剧烈的太阳活动. 有些 CME 在日冕运动过程中产生日冕激波, 激波加速粒子导致太阳高能粒子事件发生. CME 进入行星际空间后成为行星际日冕物质抛射 (ICME), ICME 和其驱动的激波到达磁层时, 如果有足够强的动压和行星际南向磁场就会导致磁暴, 形成恶劣的空间天气. 绝大多数大磁暴是由 CME 引起的^[1-3], 第 23 太阳活动周内绝大多数大磁暴的行星际源为 CME^[4]. 大的缓变型太阳高能粒子事件也与 ICME 有关^[5], 因此, CME 是主要的空间天气扰动源, 也是研究关注的焦点. 自从 SOHO 卫星的大视场日冕仪 LASCO 开始对 CME 进行观测后, 获得了大量 CME 观测资料, 包括 CME 的速度、角宽等一系列信息. 利用这些资料, 开展了许多相关研究. 需要指出的是, LASCO 观测到的 CME 速度、角宽度等参数都是真实值在天空平面的投影, 即表观速度、角宽度等.

太阳黑子被认为是光球层浮现磁通量的一种现象, 其在一个太阳活动周内通常有两个峰值, Gnevyshev^[6-7] 从观测上研究了一个太阳活动周期间太阳黑子数出现两个峰值的物理机制. CME 是一个非常剧烈的太阳活动过程, 其与太阳黑子数的变化是否同步, 有关这一问题, Kane^[8] 将 CME 按照不同角宽进行了分类, 将角宽为 $0^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 的 CME 定义为非常弱 CME, 角宽 $36^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的 CME 为弱 CME, 角宽 $71^{\circ}\sim 105^{\circ}$ 的 CME 为强 CME, 而角宽大于 105° 的 CME 为非常强 CME. 其研究结果指出, 非常弱和弱 CME 与太阳黑子数的变化不同步, 强和非常强的 CME 没有出现明显的双峰分布. 需要说明的是, 文献 [8] 未研究第 23 太阳活动周期间 CME 数量随角宽的分布, 其研究的时段为 1997—2003, 因此, 这不是一个完整的太阳活动周.

第 23 周观测到的 CME 数量巨大, 这些 CME 的角宽范围均在 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$. 本文对整个 23 太阳活动周期间 CME 数量随角宽的分布及特征进行统计分析, 进而研究了强 CME 特别是角宽为 360° 的 CME 的双峰分布特性, 并选择出几个典型角宽的 CME 数量与太阳黑子数随时间的变化特征进行比较. 为使分析简化同时又使分析结果有意义, 本文主要针对角宽范围分别为 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$, $61^{\circ}\sim 120^{\circ}$, $121^{\circ}\sim 180^{\circ}$, $181^{\circ}\sim 240^{\circ}$, $241^{\circ}\sim 300^{\circ}$, $301^{\circ}\sim 359^{\circ}$ 以及角宽为 360° 的 CME 进行了统计分析.

1 数据分析

依据 LASCO 的 CME 列表, 可以得到各种角宽 CME 的数量, 通过对 CME 数据的整理和分析, 将得到的不同角宽 CME 信息列于表 1. 从表 1 可以清楚看出, 1996—2008 年期间, 角宽 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的 CME 总数占有所有 CME 的 71.04%, 角宽 $61^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 的 CME 总数占有所有 CME 的 20.06%. 这说明, 角宽 $0^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 的 CME 数量占有所有 CME 的 91% 以上, 而角宽 $121^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 的 CME 比率低于 9%. 其中, $121^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 的 CME 比率为 4.38%, 360° 角宽的 CME 比率为 2.83%, 最少的为 $301^{\circ}\sim 359^{\circ}$ 的 CME, 仅占总数的 0.04%.

每年 CME 总数随时间的变化与太阳黑子数年均值随时间变化的对比如图 1 所示, 从表 1 和图 1 可以看出, CME 每年的总数有三个峰值, 第一个峰值为 1659, 出现在 2000 年; 第二个峰值为 1700, 出现在 2002 年, 两个峰值的时间间隔为 1 年; 第三个峰值为 1442, 出现在 2007 年.

每年角宽为 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的 CME 个数与太阳黑子数年均值随时间变化的对比如图 2 所示, 从表 1 和图 2 可以看出, 角宽 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ CME 每年的总个数有三个峰值, 第一个峰值为 1058, 出现在 2000 年. 第二个峰

表 1 第 23 太阳活动周 (1996—2008 年) 期间不同角宽 CME 的统计信息
 Table 1 Statistic information of CMEs in different angular width during solar cycle 23 (1996—2008)

年代	0°~60°	61°~120°	121°~180°	181°~240°	241°~300°	301°~359°	360°	0°~360°
1996	156	34	9	2	0	0	4	206
1997	228	115	16	4	1	0	17	384
1998	445	201	25	8	5	1	29	714
1999	549	327	84	22	7	0	27	1016
2000	1058	425	94	21	3	0	58	1659
2001	882	405	105	34	10	0	63	1499
2002	1136	387	91	23	9	2	52	1700
2003	757	272	51	13	7	0	30	1130
2004	743	245	57	13	3	1	40	1102
2005	912	201	52	19	6	0	59	1249
2006	911	97	13	8	3	0	14	1046
2007	1357	70	8	1	1	2	3	1442
2008	819	31	9	2	1	0	1	863
总数	9953	2810	614	170	56	6	397	14010
总比率/(%)	71.04	20.06	4.38	1.12	0.39	0.04	2.83	100

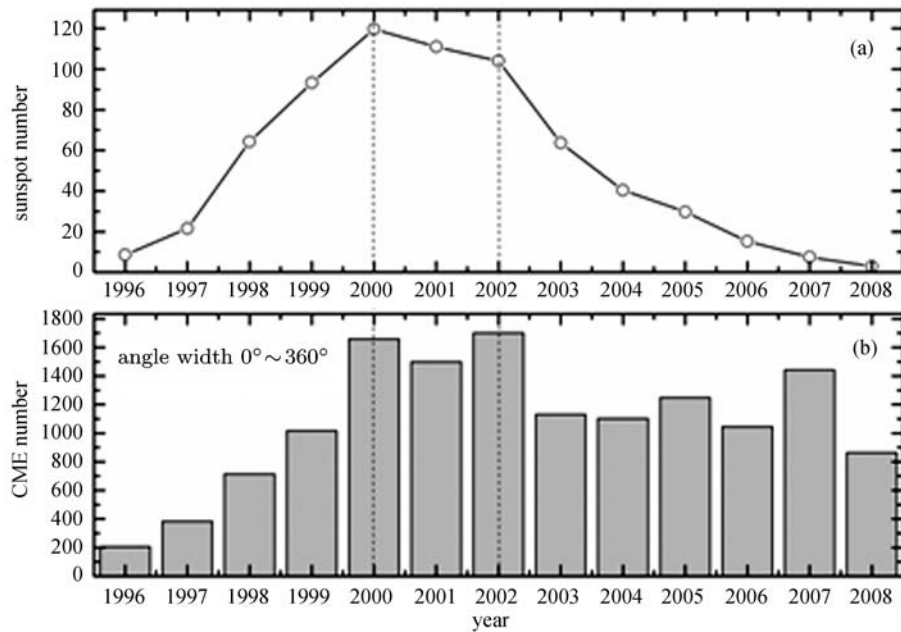


图 1 每年 CME 总数 (b) 与太阳黑子数年均值 (a) 的比较

Fig. 1 Comparison of the average numbers of sunspot (a) and CME (b) in different years

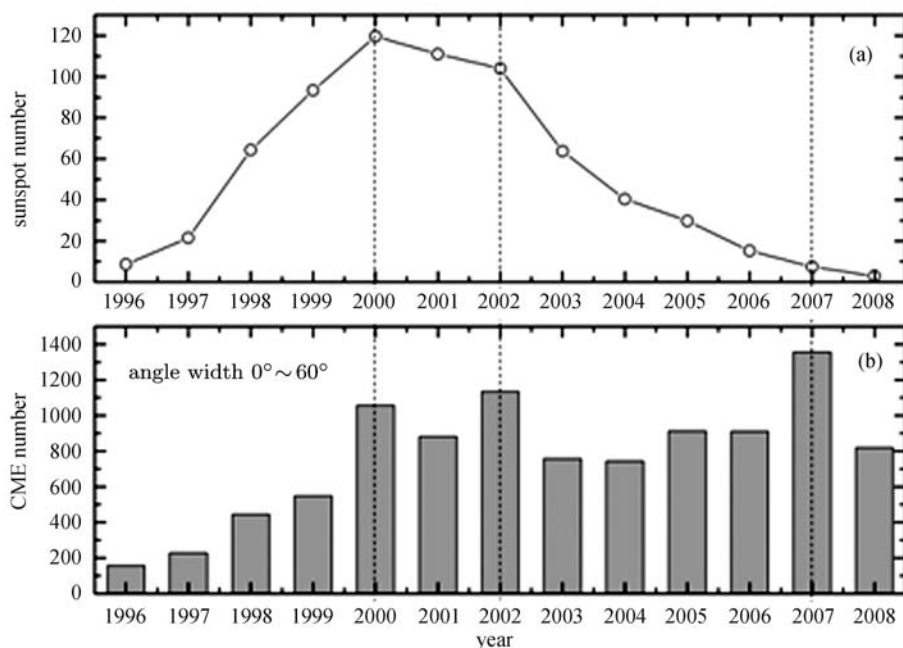


图2 每年角宽 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ CME 总数 (b) 与太阳黑子数年均值 (a) 的比较

Fig. 2 Comparison of the average numbers of sunspot (a) and CME (b) within $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ in different years

值为 1136, 出现在 2002 年, 第一个峰值与第二个峰值的时间间隔为 2 年. 第三个峰值, 也是最大的峰值为 1357, 出现在 2007 年. 角宽 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ CME 的个数在 2007 年达到 1357 是一个比较异常的现象, 因为 2007 年太阳活动水平非常低, 在如此低的太阳活动条件下产生如此多的 CME 是非常特殊的情况.

文献 [8] 将角宽 $71^{\circ}\sim 105^{\circ}$ 的 CME 称为强 CME, 且指出强 CME 无明显的双峰结构. 由于文献 [8] 只分析了 1997—2003 年期间的 CME, 因此, 是否整个 23 周强 CME 均没有双峰结构, 图 3 给出了角宽为 $121^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 的 CME 数量与太阳黑子数的比较. 从图 3 可以看出, 角宽 $121^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 的 CME 数量在第 23 太阳活动周期间确实无双峰分布结构, 这一结果与文献 [8] 强 CME 无明显双峰分布特征的结果是一致的.

角宽为 360° 的 CME 又称为全晕 CME, 每年全晕 CME 的个数与太阳黑子数年均值随时间变化的对比如图 4 所示, 从表 1 和图 4 可以看出, 全晕 CME 的个数有两个峰值, 第一个峰值为 63, 出现在 2001 年. 第二个峰值的个数为 59, 出现在 2005 年, 第一个峰值与第二个峰值的时间间隔为 4 年.

2 结论与讨论

通过对 1996—2008 年期间不同角宽 CME 数量的统计分析, 可以得到如下结论.

角宽分别为 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$, $61^{\circ}\sim 120^{\circ}$, $121^{\circ}\sim 180^{\circ}$, $181^{\circ}\sim 240^{\circ}$, $241^{\circ}\sim 300^{\circ}$, $301^{\circ}\sim 359^{\circ}$ 以及 360° 的 CME 分别占 CME 总数的 71.04%, 20.06%, 4.38%, 1.12%, 0.39%, 0.04% 以及 2.83%. 第 23 太阳活动周期间角宽 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的 CME 数量出现三个峰值, 第一个峰值与第 23 周太阳活动的峰年吻合, 第二个峰值出现在 2002 年, 第三个峰值出现在太阳活动水平非常低的 2007 年. 角宽为 $121^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 的 CME 数量随时间的分布没有双峰结构. 全晕 CME 数量随时间的分布有两个明显的峰值, 第一个峰值出现在 2001 年, 第二个峰值出现在 2005 年, 两个峰值的时间间隔为 4 年.

角宽为 $121^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 的 CME 数量随时间的分布没有双峰结构, 与文献 [8] 所提出的强 CME 没有双峰结构的观点是一致的. 由于全晕 CME 的第二个峰值出现在 2005 年, 而文献 [8] 只分析了 1997—2003 年期间的 CME 数据, 这可能是文献 [8] 未发现全晕

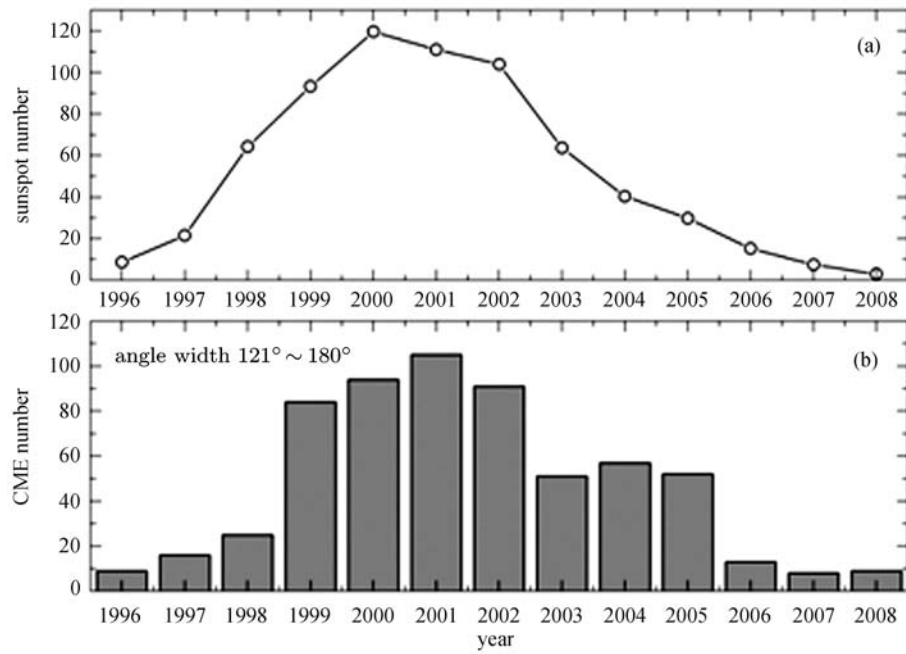


图 3 每年角宽 121°~180° CME 总数 (b) 与太阳黑子数年均值 (a) 的比较

Fig. 3 Comparison of the average numbers of sunspot (a) and CME (b) within 121°~180° in different years

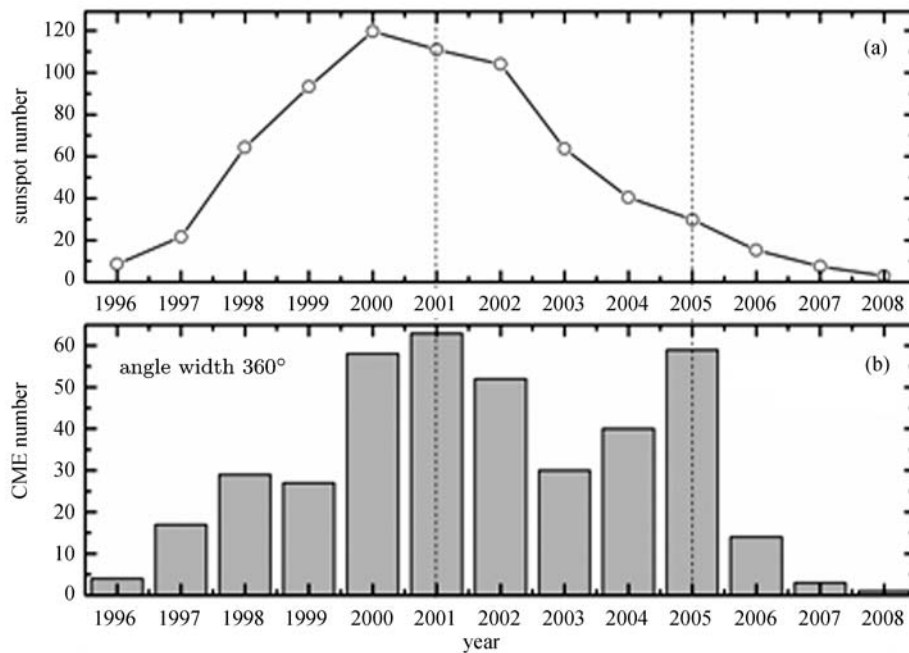


图 4 每年全晕 CME 总数 (b) 与太阳黑子数年均值 (a) 的比较

Fig. 4 Comparison of the average numbers of sunspot (a) and full-halo CME (b) in different years

CME 数量随时间变化具有双峰结构的原因. 本文分析表明, 即使有双峰甚至三峰分布, 不同角宽的 CME 随时间变化的步调也是不一致的.

本文的太阳黑子数采用了年均值, CME 的数量采用一年的总数, 因此, 图 1 中每年所有角宽 CME 的数量以及每年角宽 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的 CME 数量的第一个峰值都与太阳活动峰年的时间吻合. 全晕 CME 第一个峰值出现时间比第 23 周太阳活动的峰年要晚, 这与 Yan 等^[9]得出的太阳耀斑峰值晚于太阳黑子数峰值的结论是一致的. 如果要较为精确地分析 CME 数量随时间分布与太阳黑子数随时间变化的相位差, 应采用 CME 的月均值, 这一工作有待进一步研究.

大约有 32% 的 CME 很难在大视场日冕仪观测的图像中进行确认^[10], 因此, 本文的统计并不包括这一部分 CME 信息. 但是从本文统计结果可以看出, 角宽 $0^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 的 CME 占总数的 91% 以上, 因此, 本文统计结果及不同角宽 CME 数量的变化与太阳黑子数的比较是可信的.

CME 是空间天气主要的扰动源, 尤其是全晕 CME, 非常大的磁暴均与全晕 CME 有关^[4]. 全晕 CME 具有很多特征, 例如速度快^[11]、对地指向好并可用于磁暴预报^[12]. 因此, 对 CME 尤其是全晕 CME 的研究是非常重要的.

致谢 本文 CME 的资料取自 http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/, 太阳黑子数取自 <http://sidc.oma.be>.

参考文献

- [1] Gosling J T, McComas D J, Phillips J L, Bame S J. Geomagnetic activity associated with Earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections [J]. *J. Geophys. Res.*, 1991, **96**:7831-7839
- [2] Tsurutani B T, Gonzalez W D. The interplanetary causes of magnetic storms: A review [J]. *Mag. Storms Geophys. Monog.*, 1997, **98**:77-89
- [3] Richardson I G, Cliver E W, Cane H V. Sources of geomagnetic storms for solar minimum and maximum conditions during 1972—2000 [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 2001, **28**:2569-257
- [4] Zhang J, Richardson G, Webb D F. Solar and interplanetary sources of major geomagnetic storms ($Dst \leq -100$ nT) during 1996—2005 [J]. *J. Geophys. Res.*, 2007, **112**, A10102, doi:10.1029/2007JA012891
- [5] Reames D V. Particle acceleration at the Sun and in the heliosphere [J]. *Space Sci. Rev.*, 1999, **90**:413-491
- [6] Gnevyshev M N. On the 11-year cycle of solar activity [J]. *Solar Phys.*, 1967, **1**:107-120
- [7] Gnevyshev M N. Essential features of the 11-years solar cycle [J]. *Solar Phys.*, 1977, **51**:175-183
- [8] Kane R P. Latitude dependence of the variations of Sunspot Group Numbers (SGN) and Coronal Mass Ejections (CMEs) in cycle 23 [J]. *Solar Phys.*, 2008, **249**:369-380
- [9] Yan X L, Deng L H, Qu Z Q, Xu C L. The phase relation between sunspot numbers and soft X-ray flares [J]. *Astrophys. Space Sci.*, 2011, **333**:11-16
- [10] Wang Y, Chen C, Gui B, Shen C, Ye P, Wang S. Statistical study of coronal mass ejection source locations: Understanding CMEs viewed in coronagraphs [J]. *J. Geophys. Res.*, 2011, **116**, A04104
- [11] Zhang Qingmin, Guo Yang, Chen Pengfei, Ding Mingde, Cheng Fang. Why are halo coronal mass ejections faster [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2010, **10**:461
- [12] Kim R.S, Cho K S, Moon Y J, et al. Forecast evaluation of the Coronal Mass Ejection (CME) geoeffectiveness using halo CMEs from 1997 to 2003 [J]. *J. Geophys. Res.*, 2005, **110**, A11104, doi:10.1029/2005JA011218