

王秋军,杜爱民,赵旭东等. 1998 年 8 月 6 日亚暴期间极光电集流指数 AE 的特征分析. 地球物理学报, 2009, **52**(12):2943~2950, DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.12.002

Wang Q J, Du A M, Zhao X D, et al. Manifestation of the AE index in substorms on August 6, 1998. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2009, **52**(12):2943~2950, DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.12.002

1998 年 8 月 6 日亚暴期间极光电 集流指数 AE 的特征分析

王秋军^{1,3}, 杜爱民^{1,2*}, 赵旭东^{1,3}, 罗 浩^{1,3}, 徐文耀¹

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

2 中国科学院空间科学与应用研究中心空间天气学国家重点实验室, 北京 100190

3 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘 要 极光电集流指数(AE)被广泛用来定量描述由电离层电流引起的极光带地磁活动. AE 指数也是宏观描述亚暴事件强度和发展过程的一个主要指标, 它的优点在于简单直观和快速. 本文对 1998 年 8 月 6 日系列亚暴事件的极光活动、电流体系和 AE 指数的形态特征进行了分析. 结果表明, 伪亚暴期间虽然 AE 指数大于 500 nT 且有快速增长和缓慢恢复的形态, 但是极光没有明显的极向或者赤道向的扩展, 极区电流体系主要呈现对流特征; 伪亚暴和亚暴期间 AE 指数的形态变化没有本质区别, 但电集流中心的位置有很大差异. 我们进一步分析了台站分布对 AE 指数计算的影响, 探讨了伪亚暴和亚暴期间磁场扰动最大值所处的磁地方时的差异.

关键词 AE 指数, 亚暴, 极光电集流, 伪亚暴, 磁地方时

DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.12.002

中图分类号 P353

收稿日期 2009-04-26, 2009-10-13 收修定稿

Manifestation of the AE index in substorms on August 6, 1998

WANG Qiu-Jun^{1,3}, DU Ai-Min^{1,2*}, ZHAO Xu-Dong^{1,3}, LUO Hao^{1,3}, XU Wen-Yao¹

1 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2 State Key Laboratory for Space Weather, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract Auroral electrojet index (AE) is usually used to quantitatively describe the activity of the geomagnetic field in the polar region. AE is a means to identify the level of a substorm as well. In the present paper, we analyze the characteristics of aurora, ionospheric current system and the AE index. It is noted that for the pseudo-breakup events the variations of AE (>500 nT) clearly show the sudden increase and slow decrease phases. However, aurora does not expand poleward or equatorward, and the ionospheric currents present the features of the magnetic convection. We mainly focus on investigating what time the AE could be used to identify the substorm.

Keywords AE index, Substorm, Auroral electrojet, Pseudo-breakup events, Magnetic local time

基金项目 973 计划(2006CB806305), 国家自然科学基金(40772086, 40536029)和国家科技支撑计划课题(2008BAC35B01) 资助.

作者简介 王秋军, 女, 1981 年生, 2006 年毕业于中国地质大学(北京), 硕士研究生, 主要从事空间电流方面研究. E-mail: wqj119@163.com

*** 通讯作者** 杜爱民, 男, 1970 年生, 副研究员, 主要从事地磁与磁层物理学方面的研究. E-mail: amdu@mail.iggcas.ac.cn

1 引言

AE(Auroral Electrojet)指数最初是在 1966 年由 Davis 和 Sugiura 提出用来描述极光带大尺度电流活动的一类指数^[1]. AE 指数的大小是利用北半球沿极光带分布的 10~13 个台站观测到的地磁变化水平分量 H 的最大值(AU)和最小值(AL)计算所得^[2]. AE 指数与极光电集流强度呈正比^[3]. AE 指数的意义在于通过指数的大小和变化趋势就能直观快速判断亚暴的强度和发展过程,这给研究带来很大的方便性. 指数只能描述宏观和全球的物理过程. 用 AE 指数描述亚暴时会碰到一个问题就是如何快速区分亚暴和伪亚暴. 本文主要目的在于尝试通过分析亚暴和伪亚暴期间 AE 指数的差异为以后改进 AE 指数提供一些基础.

Elvey 首先提出了伪亚暴的概念,用来描述极光弧的破碎,而没有极向和赤道向扩展的极光活动^[4]. 伪亚暴具有真实亚暴的大部分观测特征:粒子注入、偶极化、电流中断、电流片变薄、地面磁场扰动达到几百纳特、 Π_2 地磁脉动、磁尾重联等. 粒子注入和偶极化的强度与亚暴膨胀相期间一样强. 但是,伪亚暴事件中,等离子体片扩散时间短^[5];伪亚暴是局部的而没有全球扩展现象^[6];电流中断区域很小,在等离子体片内部就可闭合^[7];重联也是非常局部,不产生开放磁通量和等离子体团. 伪亚暴与真实磁暴的最大区别就在于伪亚暴的极光和电离层电流没有极向扩展现象^[7]. Pu 等(1997 年和 2001 年)的亚暴综合模型清晰地解释了亚暴的触发物理过程及其伴随的物理现象^[8,9],这个模型与观测吻合很好,也涵盖了电流中断和近地中性线模型的主要物理思想.

由于很多亚暴事件中缺少极光观测和磁层内部物理量的观测,这给空间天气监测和预报带来困难. 地面地磁台站具有连续、快速和稳定的特点. 作为亚暴的主要特征之一,极光电集流在地面磁场有很好的表征^[6]. 亚暴膨胀相期间,西向电集流经常在午夜附近增强,随后平均电集流中心向晨侧移动^[10~13]. Clauer 等^[14]通过研究西向电集流在夜侧的出现位置,描述了亚暴活动过程.

AE 指数的计算会受到台站分布和亚暴发生位置的影响^[14]. 由于极光电集流活动只是局限于极光椭圆带内有限的经度范围内,因此台站只有分布合理且足够密集才能比较真实可靠地反映极光电集流的活动. 然而目前的 AE 指数台网离这一要求还有

很大的距离. 而且有些台站并不是一直都处于工作状态,这就可能导致一些数据的缺失. 当所选台站之间的经度跨度较大时,如果在此经度范围内出现极光电集流的极大值,这就可能观测不到极光电集流的现象. 而在亚暴发生时台站不可能随着极光向低纬移动^[15~18],使得 AE, AL, AU 指数反映不出这种变化,失去了它本来的意义.

Allen 和 Kroenhl^[19]用沿不同经度分布的 11 个台站的磁记录作了广泛的统计研究,发现西向电集流指数——AL 指数通常由处于 03:00 MLT 的台站获得. Kamide 等^[20]统计了很多亚暴事例,随着 AL 指数增大,AL 指数的贡献台站中心趋于 03:00 MLT 之前,然后移动到早晨一侧^[20].

本文利用分布在 $50^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 之间的 10 个地磁台站的数据,计算了 1997~2002 年 6 年中 17 个典型亚暴事件的 AE 指数、AU 指数和 AL 指数. 通过分析极光图像,我们将这些事件分为两类:亚暴和伪亚暴^[21]. 在亚暴和伪亚暴事件中,本文研究了各个台站对 AL 指数的贡献,即计算某时刻 AL 指数时,地磁变化最大的台站所在位置和磁地方时. 结果表明,从 AE 指数的大小和形态上不能甄别亚暴和伪亚暴. 而且,亚暴和伪亚暴事件中各个台站对 AE 指数的贡献也具有很大差别.

2 事件分析

2.1 计算 AE 指数的台站分布

本文利用 ABK, BRW, CMO, YKC, FCC, PBQ, NAQ, IRT, SOD, WNG 这 10 个台站地磁水平分量 H 中消去此台站月背景值,将这些地磁水平分量 H 变化曲线按世界时画在一起,曲线族的上、下包络线分别是 AU、AL,上下包络线之差是 AE 指数,即 $\text{AE}=\text{AU}-\text{AL}$. 如果给定某一时刻(UT),所有台站测得的地磁水平分量的最大值 AU 减去最小值 AL,就得到了此时刻的 AE 指数. 我们计算了 1998 年 8 月 6 日的 AE 指数,并将其与 KYOTO 以及 AMIE 计算的 AE 指数作了对比. 计算 AE 指数所用到的 10 个台站的经纬度分布见表 1 所示. 台站的直观分布图见图 1.

从图 1 中可以看出这些台站都位于 $52^{\circ}\text{N}\sim 72^{\circ}\text{N}$ 之间,除了 IRT, SOD, WNG 三个台站之外的 12 个台站是最初定义计算 AE 指数所使用的台站. 由于这些台站并不是一直都处于工作状态,因此通常不能同时得到所有这些台站的数据. 本文计算 1998 年

表 1 计算 AE 指数所用到的 10 个台站经纬度分布

Table 1 Geomagnetic coordinates of the 10 stations for calculation of the AE index

台站代码	台站名称	地理纬度(°N)	地理经度(°E)
ABK	Abisko	68.4	18.7
BRW	Barrow	71.3	203.4
CMO	College	64.9	212.2
FCC	Fort Churchill	58.8	265.9
IRT	Irkutsk	52.3	104.5
NAQ	Narsarsuaq	61.2	314.6
PBQ	Poste-de-la-Baleine	55.3	282.2
SOD	Sodankyla	67.4	26.6
WNG	Wingst	63.8	9.1
YKC	Yellowknife	62.5	245.5

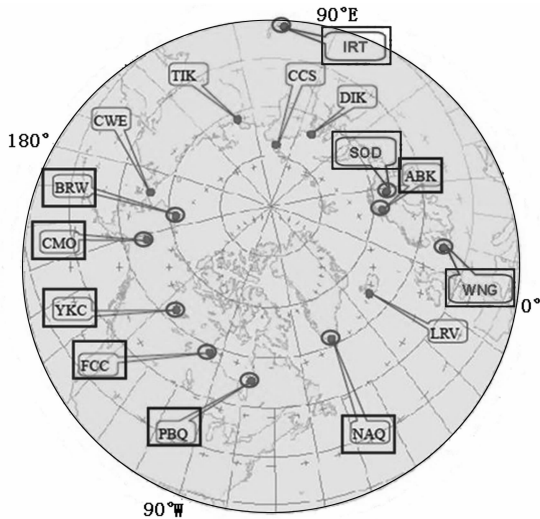


图 1 计算 AE 指数用到的 10 个台站(方框圈出)的分布

Fig. 1 Positions of the 10 stations for calculation of the AE index

8 月 6 日 AE 指数时只得到了这 12 个台站中 7 个台站的数据, 这样计算 AE 指数必然会造成一些信息的丢失. 为了能更全面地反映地磁扰动信息, 本文又选了另外 3 个邻近的可以得到地磁数据的台站, 分别是 SOD、WNG、IRT, 使它们尽量在经度上均匀分布. 即使是这样, 在 $105^{\circ}\text{E} \sim 212^{\circ}\text{E}$ 之间仍然没有台站, 而且新加上的 WNG、IRT 这两个台站所处的地磁纬度偏低.

2.2 Polar UVI 极光观测

图 2 为利用 10 个台站的地磁水平分量计算的 1998 年 8 月 6 日的 AE、AU 与 AL 指数和 KYOTO 世界数据中心利用 8 个台站计算的 AE、AU 与 AL 指数. 其中横轴为世界时, 纵轴为地磁水平分量的变

化. 我们计算的 AE、AU、AL 指数分别用绿线、红线、蓝线表示, KYOTO 计算的 AE、AU、AL 指数用黑线表示. 通过比较发现两者计算的 AE 指数相差很小, 指数的变化基本一致.

如图 2 所示, 08:30~09:00 UT、09:30~11:00 UT、12:00~14:00 UT 等 3 个时间段, AE 指数大于 500 nT, 有快速增长和缓慢恢复的过程, 从指数看发生了 3 次亚暴事件. 为了进一步诊断亚暴事件的发生过程, 图 3 给出了 Polar 卫星的极光图像. 从图中可以看到极光在 08:29 UT 点亮后, 随着时间的推移, 极光向赤道方向移动, 没有向极区扩展, 没有看到亚暴膨胀相开始的极光扩展特征, 具备伪亚暴期间的极光特征.

2.3 台站分布对 AE 指数计算的影响

图 4 展示的是对 AL 指数作出贡献台站的地地方时分布. 图中横轴为世界时. 图 4a 的纵轴代表的是用地磁水平分量计算的 AE 指数、AU 指数和 AL 指数的强度. 图中不同颜色的竖线代表此时刻对 AL 指数作出贡献的不同台站, 每一种颜色代表一个台站. 图 4b 的纵轴为对 AL 指数作出贡献的台站(彩色的点表示)所处的磁地方时, 阴影部分表示 AE 指数大于 500 nT 时发生的 3 个事件. 第一个事件发生在 08:30~09:00 UT, 极光没有极向扩展. 在此事件中对 AL 指数作出贡献的台站是 PBQ, 此台站所处的磁地方时是 03:20~03:55 MLT. 大约在 08:43 UT, AE 指数达到最大值, 881 nT, AL 指数达到最小值, -848 nT, 此时刻 PBQ 台站处于 03:38 MLT. AE 指数表明西向电集流于 08:43 UT 达到最大值所对应的磁地方时为 03:38 MLT.

图 5a 为 AMIE 模型输出的电流矢量等值线图、电场矢量等值线图和电导率等值线图. AMIE 是第一个通过综合使用高度积分的 Pedersen 和 Hall 电导率的直接和间接观测来修改统计的电导率和极光能量通量模型^[22]. 在电流矢量分布图中, 箭头方向代表电流的方向, 箭头的长短代表电流的大小. 电场矢量分布图中, 箭头方向表示电场矢量方向, 箭头的长短代表电场矢量的大小. 皮德森电导率分布图中, 黑色圆点表示测电导率台站所在的位置, 箭头代表由地磁数据反演出的对流方向和强度大小. 电场矢量在 08:34 UT 达到最大值, 皮德森电导率在 08:35 UT 达到最大, 电流矢量在 08:35 UT 达到最大值.

从台站分布图上可以看出, 电流最大值出现在 62°N 附近, 磁地方时为 02:00 MLT. 此时的 AE 指数主要来自于 PBQ 台站的贡献, PBQ 台站的地

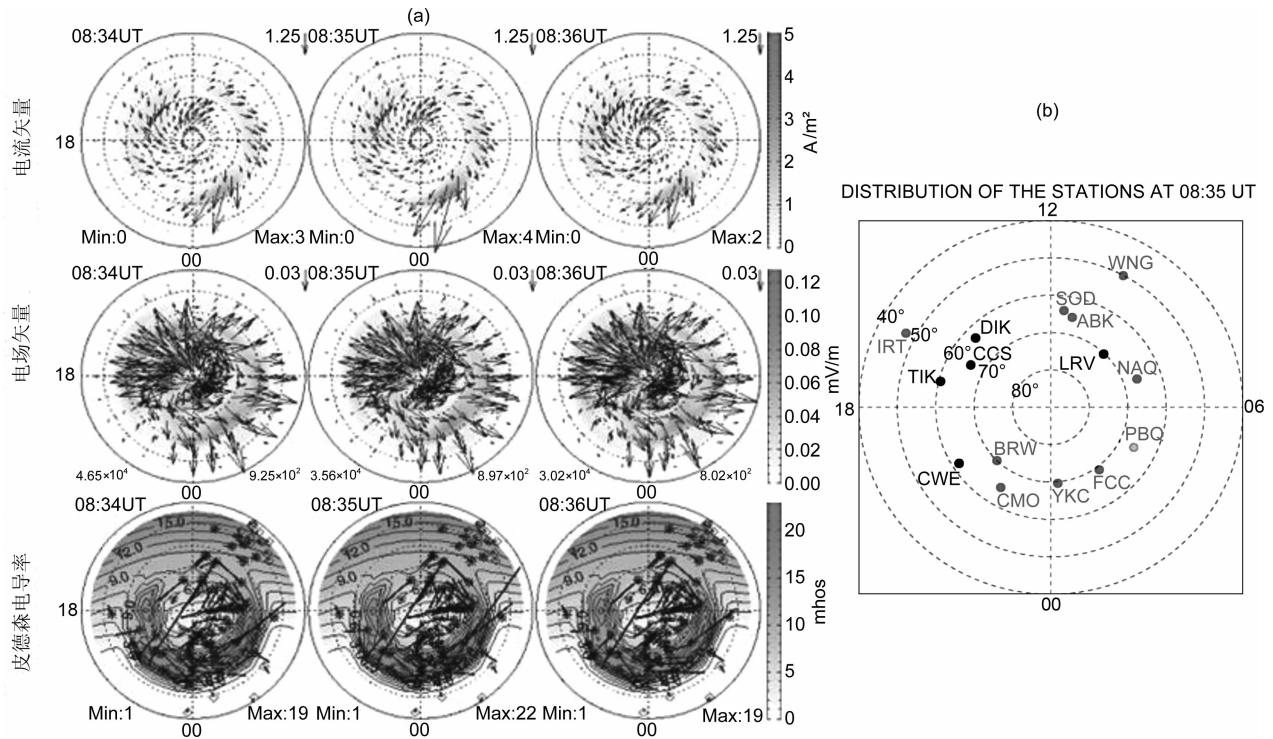


图 5 1998 年 8 月 6 日 (a) AMIE 的北半球水平电流、电场和电导率; (b) 08:35 UT 台站磁地方时分布
(a) 中各个物理量的最大值和最小值分别在底部的左侧和右侧, 箭头的长度和方向分别表示各个物理量的强度和方向。

(b) 中灰字代表计算 AE 指数时用到的台站, 灰点为此时此刻对 AL 指数的贡献台站, 黑字代表没有用到的台站。

Fig. 5 (a) Horizontal current, electric field and electric conductivity of Northern Hemisphere on August 6, 1998 from AMIE;
(b) Magnetic local time locations of the stations at 08:35 UT August 6, 1998

(a) The maximum and the minimum of the physical quantities are separately located at the left and the right side of the bottom. The direction and the length of the arrows indicate the direction and the intensity of the physical quantities. (b) Gray letters indicate the stations of calculating AE index, gray dot indicates the contributing station to AL, black letters indicate the unused stations.

地方时为 03:30 MLT. 由于贡献台站所处的位置与电流最大的位置不重合, 因此 AE 指数在 08:35 UT 时没有达到最大值, 而在 08:43 UT 达到最大。从电流矢量图可以看出, 电流分布主要呈现对流图案, 没有西向浪涌和 Harang 间断区的出现。

第二个事件发生在 09:25~11:18 UT 之间, 图 2 中的 AE 指数图表明膨胀相的时间为 09:25~10:09 UT. 对 AL 指数作出贡献的台站为 CMO 台站, 其所处的磁地方时为 22:10~22:54 MLT. AE 指数达到最大的时刻为 09:45 UT, 此时对 AE 指数作出贡献台站的磁地方时为 22:30 MLT. 这个区域通常为 Harang 间断区的位置, 有很强的场向电流流出电离层, 进而形成亚暴电流楔, 标志亚暴膨胀相的开始。图 6 中的 AMIE 水平电流数据表明, 在 09:45 UT 水平电流达到最大值, 其所处位置的磁地方时为 22:30 MLT. 水平电流最大的位置于 09:54 UT 开始移动, 并移动到磁地方时的午夜之后 02:00 MLT 左右。但对 AE 指数贡献的台站并没有在此时刻相应地移动, 而是直到 10:10 UT

对 AL 指数贡献的台站才跳到 FCC 台站, 此时它所处的磁地方时在 03:35 MLT. 也就是说 AE 指数在此对电极流的反映有一个 16 min 的延迟。在 10:15 UT (01:45 MLT) 对 AL 指数贡献的台站又从 FCC 移动到 YKC 台站。其原因是因为电集流最大的位置为磁 60°N 附近, 而 YKC, FCC 台站都处于磁 70°N, 这就导致了 AE 指数没有反映电极流的最大值。

第三个事件发生在 12:22~13:59 UT, 对 AL 指数作出贡献的台站为 CMO 台站, 此台站所处的磁地方时为 01:07~01:19 MLT. 如图 7b, AE 指数达到最大值时刻为 12:25 UT (01:10 MLT), 之后对 AL 指数作出贡献的台站跳到 PBQ (07:30 MLT), 然后又跳到 FCC 台站 (06:04 MLT), 最后贡献台站在 PBQ 和 FCC 台站之间切换。

图 7a 为 AMIE 的水平电流分布图。从图 7a 中可以看到水平电流在 12:25 UT 达到最大, 也就是 AE 指数最大时水平电流达到最大。但是水平电流最大的位置为 05:00 MLT 附近, 这与 AE 指数达

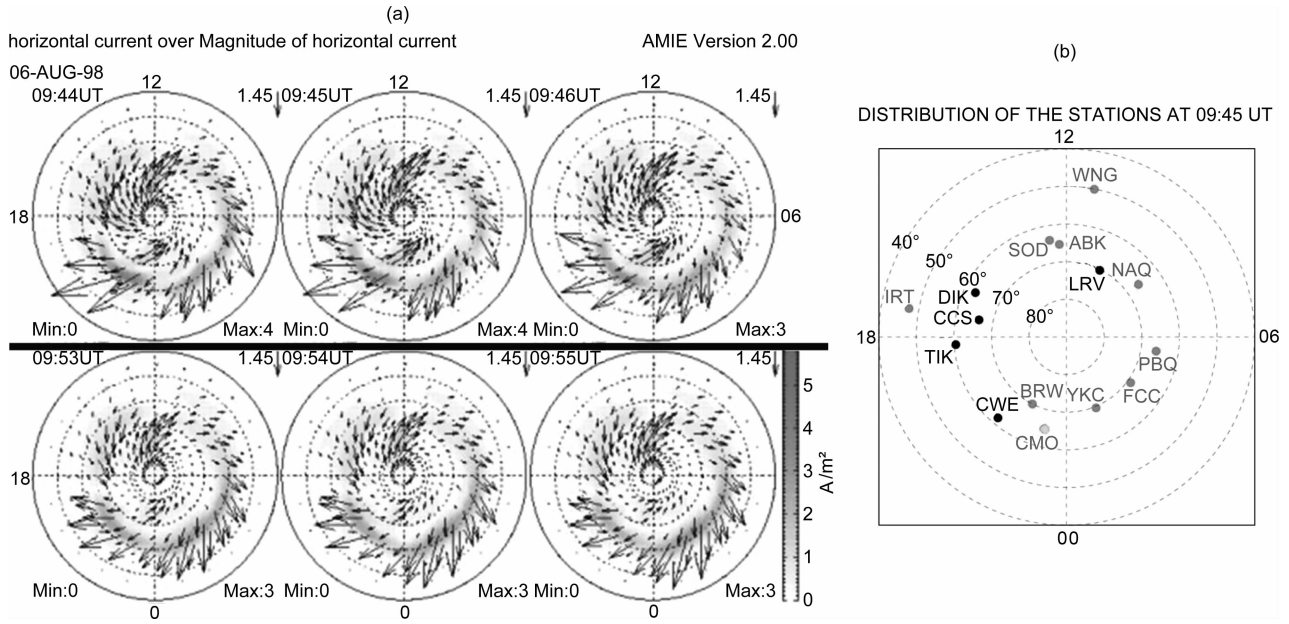


图 6 1998 年 8 月 6 日 (a) AMIE 的北半球水平电流; (b) 09 : 45 UT 台站磁地方时分布
 (a) 中水平电流最大值和最小值分别在底部左侧和右侧,箭头的长度和方向分别表示水平电流的强度和方向。
 (b) 中灰字代表计算 AE 指数时用到的台站,灰点为此时刻对 AL 指数的贡献台站,黑字代表没有用到的台站。

Fig. 6 (a) Horizontal current of Northern Hemisphere on August 6, 1998 from AMIE;

(b) Magnetic local time locations of the stations at 09 : 45 UT August 6, 1998

(a) The maximum and the minimum of the horizontal current are separately located at the left and the right side of the bottom. The direction and the length of the arrows indicate the direction and the intensity of the horizontal current. (b) Gray letters indicate the stations of calculating AE index, gray dot indicates the contributing station to AL, black letters indicate the unused stations.

到最大值时贡献台站的 01 : 10 MLT 有 4 h 的经度差. 其原因是因为在磁 72°N 附近的 05 : 00 MLT 的地方没有台站分布. 这个地磁活动可能为伪亚暴事件.

对 AU, AL 作出贡献台站的磁地方时分布如图 8 所示. 图 8a 的横轴表示 AU 指数, 纵轴表示对 AU 指数作出贡献台站的磁地方时; 图 8b 的横轴表示 AL 指数, 纵轴表示对 AL 指数作出贡献台站的磁地方时. AU 指数代表了东向电集流的极大值, AL 指数代表了西向电集流的极大值. 从图 8a 可以看到东向电集流极大值出现在磁地方时的 11 时到 20 时, 也就是下午. 从图 8b 可以看到西向电集流的极大值出现在磁地方时的 20 时到凌晨的 6 时, 也就是夜侧和晨侧.

2.4 地磁场南北分量和东西分量的特征

为了进一步研究东西向电流对 AE 指数的影响, 我们利用磁场的南北分量 X, 按照定义 AE 指数同样的方法来计算 1998 年 8 月 6 日的 AE_x (图 9), 以及对这分量作出贡献的台站分布和磁地方时分布. AE_x 即利用北半球沿极光带分布的 10~13 个台站观测的地磁水平分量的南北分量 X 的变化曲线按世界时画在一起, 曲线族的上、下包络线分别是 AU_x 、 AL_x , 而 $AE_x = AU_x - AL_x$.

图 9 的横轴为世界时, 图 9a 纵轴表示利用地磁水平分量 X 的强度变化计算的 AE_x 、 AU_x 和 AL_x 指数, 图 9b 纵轴表示磁地方时. 可以看到, 第一个事件发生时, 西向电集流最大值出现在凌晨 04 : 00 MLT 附近的台站. 第二个事件中当 AE_x 最大时, 西向电集流最大值出现在子夜的台站. 第三个事件发生台站一部分在子夜, 然后又跳到晨侧. 这些结果进一步表明, 伪亚暴事件期间, 西向电集流最强的地方出现在晨侧, 亚暴期间电集流最大值出现在子夜前的台站.

3 结论与讨论

本文分析了 1998 年 8 月 6 日系列亚暴事件的极光活动、电流体系和 AE 指数的形态特征.

(1) 第一个事件中 (08 : 30~09 : 00 UT), 极光极向扩展特征不明显, AMIE 模型输出的电流矢量表明极光电集流 AL 指数的贡献台站没有处在午夜附近 (22 : 00~01 : 00 MLT), 而主要位于 03 : 20~03 : 55 MLT. AE 指数达到最大值的时刻比 AMIE 模型输出的电流矢量达到最大值的时刻要晚 8~9 min. 两者达到最大值时所处的磁地方时也不重合.

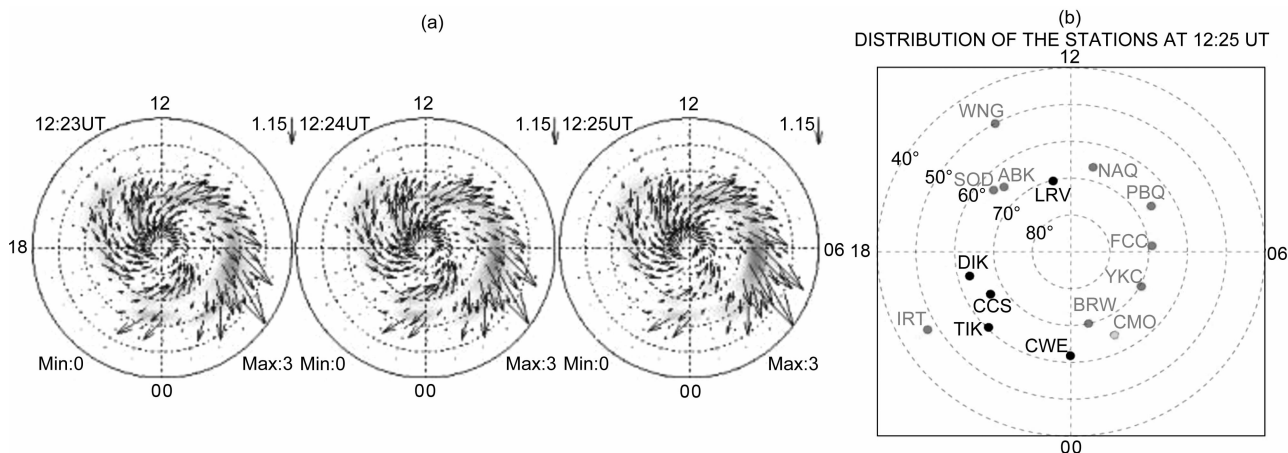


图7 1998年8月6日(a) AMIE的北半球水平电流;(b)12:25 UT 台站磁地方时分布
图注说明同图6.

Fig. 7 (a) Horizontal current of Northern Hemisphere on August 6, 1998 from AMIE;
(b) Magnetic local time locations of the stations at 12:25 UT August 6, 1998
Note is the same as Fig. 6.

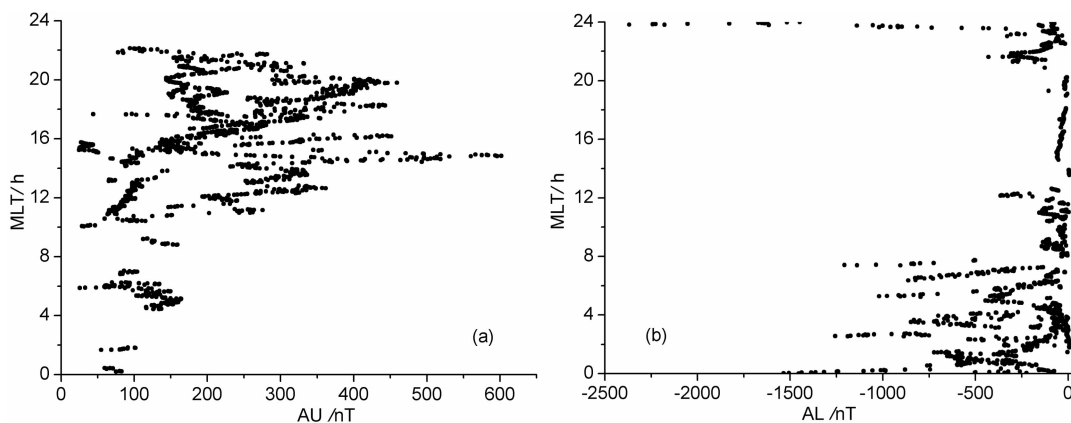


图8 1998年8月6日对指数作出贡献台站的磁地方时随AU和AL指数的变化
Fig. 8 Variation of magnetic local time of the contributing station to the AU and the AL index

(2)第二个事件中(09:30~11:00 UT), AE 指数达到最大值的时刻与 AMIE 模型输出的电流矢量达到最大值的时刻基本相同,并且对 AL 指数作出贡献的台站处在子夜前,这与亚暴发生时极光电集流的变化一致。但是随着时间推移,对 AL 指数作出贡献的台站发生变化的时刻比 AMIE 模型输出的电流矢量的最大值位置发生移动的时刻要晚,原因是因为电集流有向低纬移动的特征,而台站不能随着电极流的移动也相应地向低纬移动。

(3)第三个事件中(12:00~14:00 UT),对 AL 指数作出贡献的台站开始在子夜附近,后来移动到了早晨,而且 AE 指数达到最大值时对 AL 指数作出贡献台站的位置与 AMIE 模型输出的电流矢量严重偏离,这也是因为在电流最大值的附近没有台站。

第一个事件发生在1998年8月6日08:30~09:00 UT之间,发展时间相对较短,极光活动很弱,极光电集流最强的地方在极隙区附近,整个对流图案呈现磁层对流特征。Akasofu在1964年提出伪亚暴是短时极光伴随的类似亚暴事件,但不能发展成强亚暴^[24]。它们可能为亚暴的前兆^[10]、平静期或者稳态磁层对流时的孤立事件^[5]。因此,这个事件具备了这些伪亚暴特征。但亚暴活动是储存在磁层(磁尾)内部的能量向极区突然释放的过程。为了进一步探讨能量的太阳风-磁层-电离层耦合过程和能量释放过程,我们分析了太阳风参数和同步轨道的粒子注入及偶极化特征。

图10给出了1998年8月6日ACE卫星观测到的行星际磁场 B_z 、太阳风速度、GOES卫星观测计算出的地磁偶极场倾角和LANL卫星观测电子

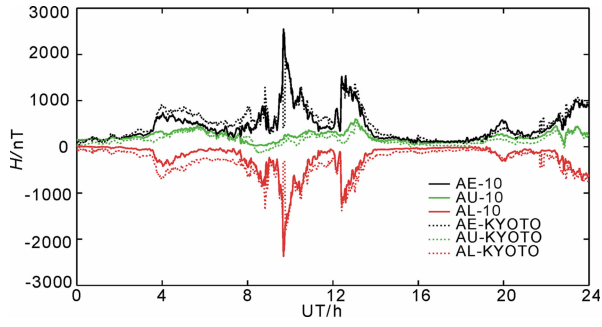


图 2 1998 年 8 月 6 日 KYOTO 和本文计算的 AE, AU, AL 指数

AL-10, AE-10, AU-10 表示作者用 10 个台站计算的指数, AU-KYOTO, AL-KYOTO, AE-KYOTO 表示 KYOTO 利用 8 个台站计算的指数.

Fig. 2 The AE, AU, AL index from KYOTO and from this paper on August 6, 1998

AL-10, AE-10, and AU-10 indicate the indices calculated from 10 stations in this paper, while AU-KYOTO, AL-KYOTO, and AE-KYOTO indicate the indices from KYOTO 8 stations.

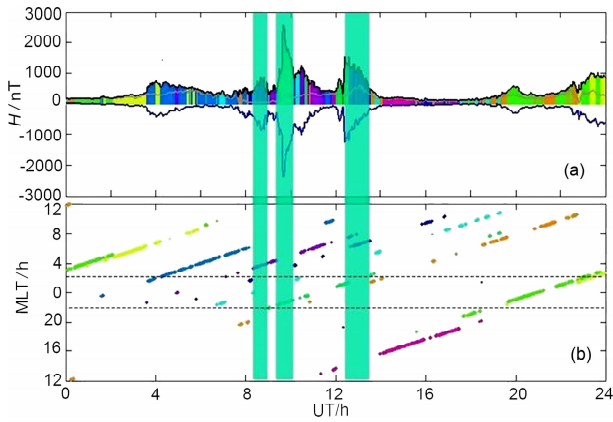


图 4 1998 年 8 月 6 日 AE, AU, AL 指数和对 AL 指数作出贡献的台站以及作出贡献台站的磁地方时分布不同的颜色代表对 AL 指数作出贡献的台站及其所处磁地方时.

Fig. 4 AE, AU, AL indices on August 6, 1998, the contributing station to the AL index and the distribution of the magnetic local time of the contributing station

Different colors indicate different contributing stations to the AL index and different magnetic local time of the contributing station

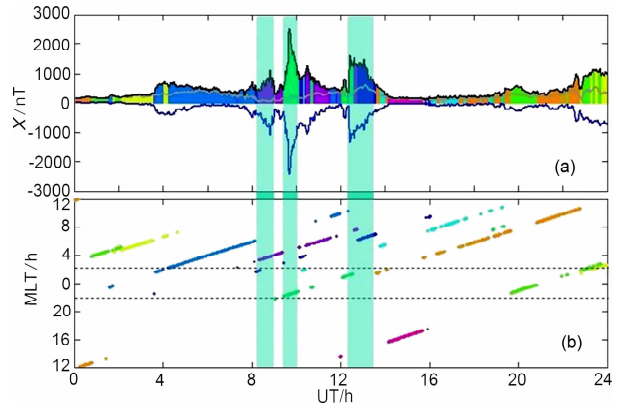


图 9 1998 年 8 月 6 日 AE_x, AU_x, AL_x 指数和对 AL_x 指数作出贡献台站的磁地方时分布

Fig. 9 AE_x, AU_x, AL_x indices and the distribution of the magnetic local time of the contributing station to the AL_x index on August 6, 1998

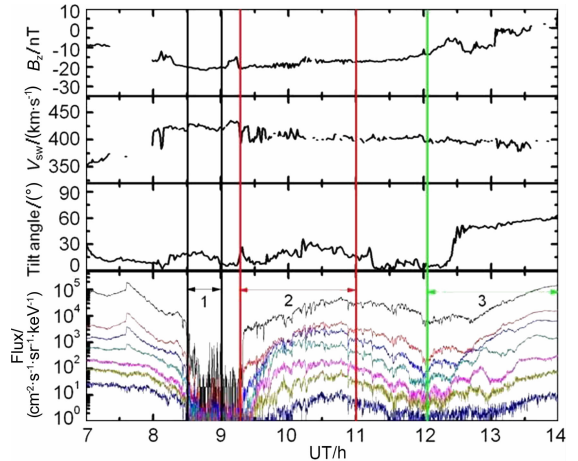


图 10 1998 年 8 月 6 日 ACE 观测的行星际磁场 B_z 、太阳风速度 V_{sw} 、同步轨道卫星 GOES8 的磁尾偶极场倾角和 LANL 卫星观测的电子通量

Fig. 10 Interplanetary magnetic field B_z , solar wind velocity V_{sw} , dip angle of magnetotail dipole field of synchronous orbit satellite GOES8, electron flux observed by satellite LANL. Black, red, and green vertical lines mark out the first, the second, and the third event, respectively.

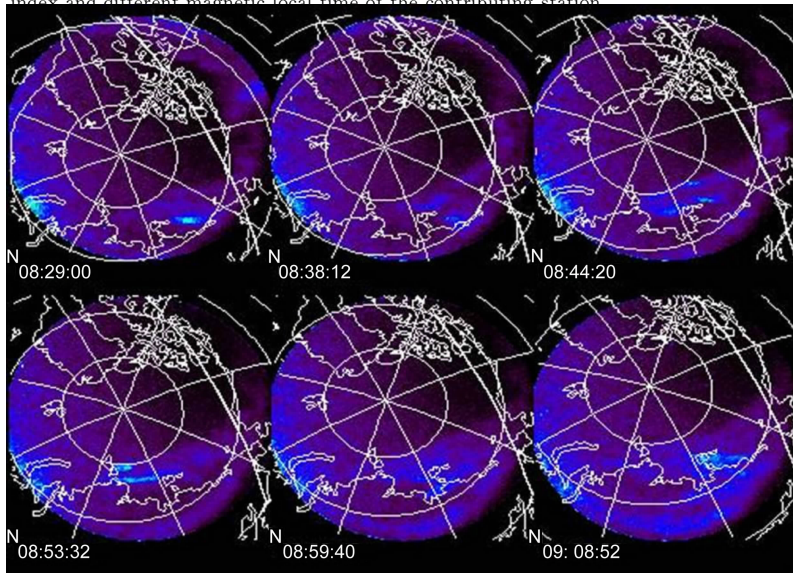


图 3 Polar 卫星的 UVI 极光图像

Fig. 3 Auroral images from Polar satellite

通量.从图中可以看出本文所分析的这三个事件都是磁云条件下产生的^[25].第一个事件发生在行星际南向磁场持续增强阶段,第二个事件发生在 B_z 减小期间,而第三个事件发生在磁场开始转北过程中.从偶极场倾角看,第一个事件偶极化最弱,磁尾正在变薄,第三个事件的偶极化最明显.第一个事件的质子和电子通量有明显下降.在第二个亚暴事件爆发时,质子和电子通量迅速增加,第三个事件的通量增强最显著.

参考文献(References)

- [1] Davis T N, Sugiura M. Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations. *J. Geophys. Res.*, 1966, **71**: 785
- [2] 徐文耀. 地磁学. 北京:地震出版社,2003
Xu W Y. Geomagnetism (in Chinese). Beijing: Seismological Press, 2003
- [3] 徐文耀,陈耿雄. 极区电离层电流与极光电流指数关系的定量分析. 中国科学 D 辑,2004,**34**(4):291~297
Xu W Y, Chen G X. On the relationship between Polar ionospheric currents with the auroral electrojet indices. *Science in China (Series D)* (in Chinese), 2004, **34**(4): 291~297
- [4] Elvey C T. Problems of auroral morphology. *Proc. Nat. Acad. Sci., Wash.*, 1957, **43**: 63
- [5] Sergeev V A, Yahnin A G, Rakhmatulin R A, et al. Permanent flare activity in the magnetosphere during periods of low magnetic activity in the auroral zone. *Planet. Space Sci.*, 1986,**34**:1169
- [6] Nakamura R, Baker D N, Yamamoto T, et al. Particle and field signatures during pseudobreakup and major expansion onset. *J. Geophys. Res.*, 1994,**99**:207
- [7] Ohtani S, Anderson B J, Sibeck D G, et al. A multisatellite study of a pseudo-substorm onset in the near-Earth magnetotail. *J. Geophys. Res.*, 1993,**98**: 19355~19367
- [8] Pu Z Y, Korth A, Kremser G. Plasma and magnetic field parameters at substorm onsets derived from GEOS 2 observations. *J. Geophys. Res.*, 1992,**97**: 19341~19349
- [9] Pu Z Y, Korth A, Chen Z X, et al. A global synthesis model of dipolarization at substorm expansion onset. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 2001,**63**: 671~681
- [10] Koskinen H E J, Lopez R E, Pellinen R J, et al. Pseudobreakups and substorm growth phase in the ionosphere and magnetosphere. *J. Geophys. Res.*, 1993,**98**: 5801~5813
- [11] Akasofu S I, Ahn B H, Kamide Y, et al. A note on the accuracy of the auroral electrojet indices. *J. Geophys. Res.*, 1983,**88**(A7):5769~5772
- [12] Kamide Y, Akasofu S I. Notes on the auroral electrojet indices. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 1983,**21**(7):1647~1656
- [13] Kamide Y, Kokubun S. Two-component auroral electrojet: importance for substorm studies. *J. Geophys. Res.*, 1996,**101**(A6):
- [14] Clauer C R, McPherron R L, Searls C. Solar wind control of the low-latitude asymmetric magnetic disturbance field. *J. Geophys. Res.*, 1974, **79**: 2811
- [15] 高玉芬. 对 AE 指数的讨论——是否适用于磁层相空间重构. 地震地磁观测与研究,1998,**19**(1): 58~63
Gao Y F. Discussion for AE index—whether it fit for magnetospheric phase space reconfiguration or not. *Seismomagnetic Observation and Research* (in Chinese), 1998,**19**(1): 58~63
- [16] Akasofu S I. Physics of Magnetospheric Substorms. Hingham: 1977
- [17] 洪明华,濮祖荫,王宪民. 亚暴期间高纬黄昏—子夜扇区极光弧增亮与衰减及其与 IMF 的关系. 地球物理学报,2001, **44**(1): 12~23
Hong M H, Pu Z Y, Wang X M. High-latitude auroral arc during substorm brightening and weakening and the relationship with IMF. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2001,**44**(1):12~23
- [18] Chen G X, Xu W Y. Auroral electrojet oval. *Earth Planets Space*, 2003,**55**: 255~261
- [19] Allen J H, Kroehl H W. Spatial and temporal distributions of magnetic effects of auroral electrojets as derived from AE indices. *J. Geophys. Res.*, 1975,**80**:3667
- [20] Kamide Y, Robinson R M, Akasofu S I, et al. Aurora and electrojet configuration in the early morning sector. *J. Geophys. Res.*, 1984,**89**:389
- [21] Gjerloev J W, Hoffman R A. Substorm behavior of the auroral electrojet indices. *Annales Geophysicae*, 2004, **22**: 2135~2149
- [22] Tsurutani B T, Gonzalez W D, Kamide Y. Magnetic Storms. Geophysical Monogr. Ser. 98, AGU, Washington, 77
- [23] Lu G, Baker D N, McPherron R L, et al. Global energy deposition during the January 1997 magnetic cloud event. *J. Geophys. Res.*, 1998,**103**:11685
- [24] Akasofu S I. The development of auroral substorm. *Planet. Space Sci.*, 1964,**12**:273
- [25] Tsurutani B T, Gonzalez W D. The interplanetary causes of magnetic storms: a review. In: Tsurutani B T, Gonzalez W D, Kamide Y eds. Magnetic Storms. AGU Monograph, Wash. D. C., 1997,**98**:77