反向电集流出现率与大气准两年振荡

陈培仁 马骏
(中国科学院空间科学与应用研究中心,北京 100080)

摘 要

本文分析印度 Trivandrum 地磁台的约两个太阳黑子周期的地磁场水平分量小时值. 在部分地消除了太阳黑子周期及一年周期变化后, 发现了反向电集流出现率的 QBO 调制现象: QBO 东风相反向电集流出现率增加; QBO 西风相反向电集流出现率减小. 据此讨论了反向电集流的形成机制, 认为大气行星波在其上传过程中与太阳半日波或太阴半日波的相互作用,有可能导致两种半日波的放大和相位移动,并最终导致反向电集流的出现.

关键词 反向电集流,大气行星波, QBO

一、引 言

全球地磁台成网后发现,磁赤道处地磁场水平分量的日变幅特别大. 文献[1]认为这是磁赤道上空很窄的纬度范围 ($\pm 3°$) 内E层东西向电流大大增强的结果. Chapman 把这种现象命名为赤道电集流 (Equatorial Electrojet 简称 EEJ)[2]. 火箭实地测量, 得到了赤道电集流的高度剖面及纬度分布[3], 证实人们根据地面磁场观测而推测高空存在赤道电集流的构想是正确的. 尽管火箭和卫星探测是研究赤道电集流的强有力的手段, 但由于代价昂贵数据有限. 所以历来研究赤道电集流的数据主要来自地面的地磁观测.

连续监测磁赤道地磁场水平分量的日变化曲线时, 发现有时候在 16LT 前后地磁场水平分量 H 会急剧下降到低于夜间值. 人们推测这是由赤道电集流反向造成的, 并把这种现象称为反向电集流 (Counter Electrojet, 简称 CEJ)[4]. 几十年来人们对 EEJ 及 CEJ 进行了大量的形态分析和理论研究. 对 CEJ 的形成机制也提出过种种设想. 但仍有不少问题,特别是 EEJ 的剧烈逐日变化及 CEJ 的形成机制[5].

60 年代初, 发现赤道带低平流层纬向环流大致上一年向东一年向西, 形成平均周期约为 27 个月的准两年振荡 (Quasi-Biennial Oscillation),简称 QBO[6,7]. 80 年代在太阳 10.7 cm 辐射流量与低中层大气参数的相关性研究上取得了突破性进展, 发现当区分开 QBO 东风相西风相分别进行相关统计时, 则当东风相为正相关(或负相关)时西风相就变成负相关(或正相关); 若不区分 QBO 东风相西风相进行相关统计, 则二者不相关[8]. 又发现,赤道异常逐日起伏的剧烈程度及赤道电离层泡的出现率也受到 QBO 的调制: 东风相赤道异常逐日起伏加剧, 西风相减弱; 东风相赤道电离层泡出现率增加, 西风相减少[9,10]. 说明 QBO 调制效应不仅限于低中层中性大气, 也存在于低纬赤道带的电离层. 本文研究 CEJ 出现率的 QBO 调制效应,并对 CEJ 的形成机制提出一种新的看法.

本文于 1994 年 4 月 20 日收到.

二、数 据 分 析

全部数据采自印度磁赤道区 Trivandrum 地磁台(磁倾纬度 0.4°S)的地磁水平分量小时值. 时间跨度大约为两个太阳周期，即从 1966 年到 1987 年. 为了统计 CEJ 的月出现率,首先必须确定水平分量夜间值. 有的作者用 22—02LT 4 个小时值平均作为水平分量夜间基线值[11]，有的作者用 00—04LT 四个小时值的平均值作为水平分量夜间的基线值[12]. 其次是如何定义出现 CEJ 事件. 本文使用了四种不同的判据,即在 10—20LT 之间（或 10—18LT 之间）只要有一个地磁场水平分量低于其夜间值 5nT（或 10nT）即认为出现了 CEJ. 结合水平分量夜间值的两种选取方法组合成八种出现 CEJ 的判据. 分别计算每月 CEJ 的出现次数 N，给出 N 随年月变化,如图 1. 图 1 采用 00—04LT 平

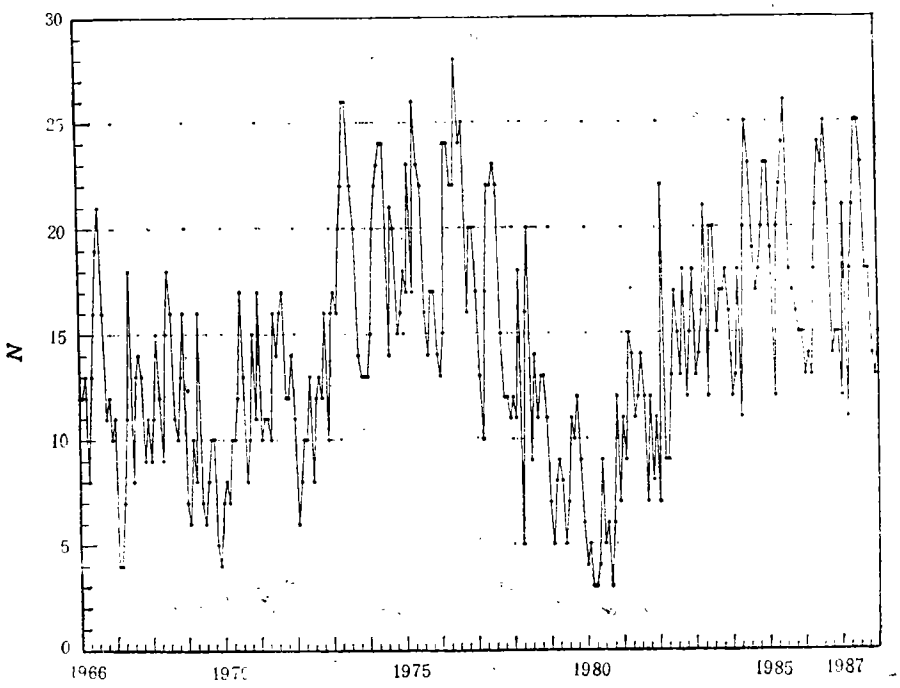


图 1　CEJ 每月出现次数 N 逐月变化

Fig. 1　Time variation of monthly occurrence of CEJ

均值为水平分量夜间基线值，并以 10—20LT 出现低于水平分量夜间值 5nT 定义为出现 CEJ. 从图 1 可以清楚地看出:

1. 太阳活动低年 CEJ 出现次数多,高年则明显减少，即有太阳黑子周期的变化;

2. 夏季出现多,其他季节出现少，即有一年周期的变化. 这和文献的报道一致[13,14]. 使用八种不同的 CEJ 出现判据可以得到八幅 N 随年月的变化图. 八幅图都清楚地显示出太阳黑子周期和一年周期的变化，但看不出准两年周期的振荡. 为了弄清楚究竟有没有准两年振荡,我们将覆盖 18 个 QBO 东风相及西风相区间的 256 个月的 N 作傅氏频谱分析,得傅氏频谱图 2. 该图出现 CEJ 的判据同图 1. 横坐标的刻度为 x,而 $256/x = T$

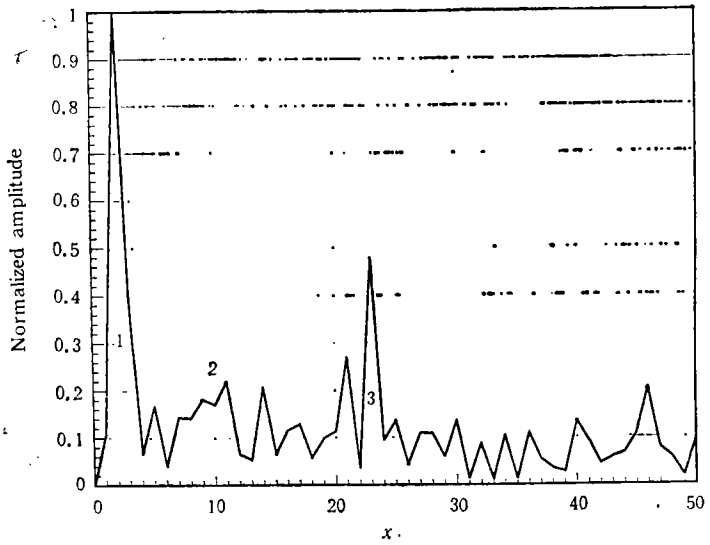


图 2 256 个月的 CEJ 月出现次数 N 的傅氏频谱图

Fig. 2 The Fourier analyiot monthly occurrence of CEJ in 256 months. The criterion of Occurrence of the CEJ is the same as is figure 1. The abscisa scale is x, while $256/x$ represents the period of the component

则代表该谱分量的周期. 图中左边标有数字 1,2,3 的三个高峰(对应于 $x = 2,10,23$) 依次对应于太阳黑子周期变化，准两年振荡及 1 年周期变化. 由图可见太阳黑子周期变化的谱分量最强,一年变化次之,第三才是准两年振荡. 八种判据可以得到八幅十分类似的频谱图，只不过三个峰的相对大小有所差别. 由于采用图 1、2 的判据准两年振荡的谱分量较大,所以后面只讨论这种情况.

为了尽可能地消除太阳黑子周期及一年变化的影响,最大限度地突出准两年振荡,对数据做如下的加工: 首先将各年的 N 按太阳活动低年 (1973—1976, 1983—1987) 中年 (1977—1978,1981—1982)高年 (1979—1980) 分成三组. 求出各组每个月的 $N' = 10N/\bar{N}_i, i$ 代表月份. 如此处理后，N' 的年变化频谱分量基本被消除，而太阳黑子周期的变化也有所抑制. 为了进一步消除太阳黑子周期的影响,首先将太阳黑子数 S 进行加权处理. 即令 $S' = PS$, 权重 P 的值见表 1. 然后作 $S'N'$ 的傅氏频谱图如图 3. 出现 CEJ 的判据同图 1.

表 1

S	$S\leqslant 5$	$5<S\leqslant 10$	$10<S\leqslant 20$	$20<S\leqslant 50$	$50<S\leqslant 100$	$100<S\leqslant 150$	$150<S$
P	10	5	2	1	0.5	0.3	0.25

对比图 2 和图 3 可以看到: 太阳黑子周期变化的频谱分量原来是 QBO 频谱分量的 5 倍,部分消除后变成约 1.4 倍. 一年变化的频谱分量原来是 QBO 的 2.5 倍，部分消除后变成约 0.4 倍.

在 QBO 频谱分量已比较突出的情况下，可以进一步考察 CEJ 的月出现率是否存

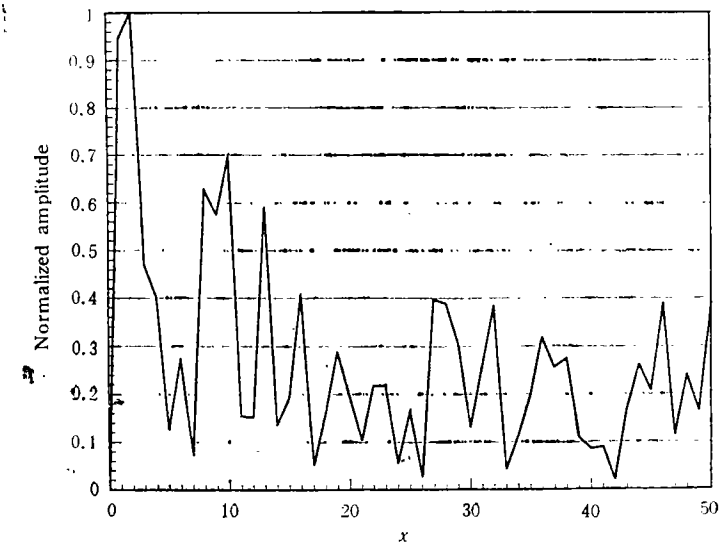


图 3　部分消除太阳黑子周期变化及年变化后的 CEJ 月出现率的傅氏频谱

Fig. 3 Fourier spactrum of monthly occurrnce of the CEJ after partially removed the solar cycle and one year peviod variation. The criteron of occrrence of CEJ is the same one as in figure 1

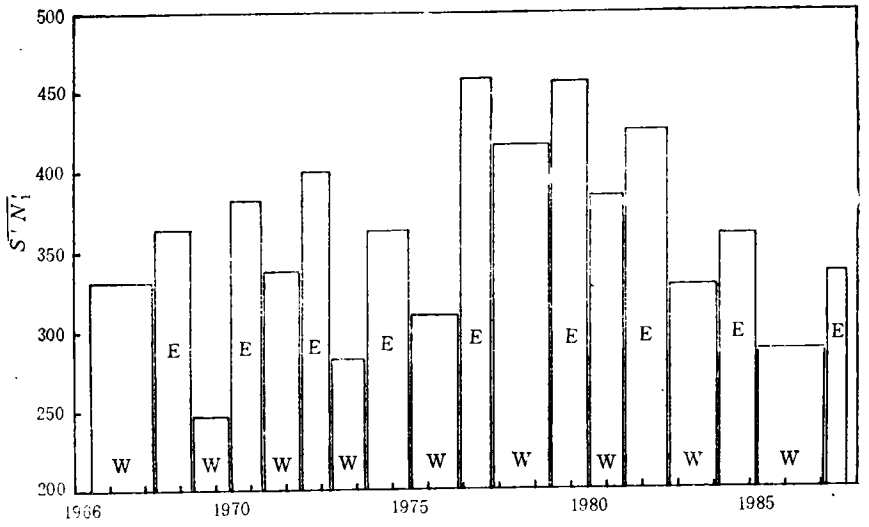


图 4　显示反向电集流月出现率 QBO 调制效应的直方图

Fig. 4 The histogram showing the QBO modulation of monthly occurrence of the CEJ

在 QBO 调制现象。为此首先找出平流层纬向风月平均值随高度变化的剖面图，并根据国际公认准则取 45hpa 高度上东西风向的分界线作为 QBO 东西风相的分界线[15]。从 1966 年 6 月到 1987 年 9 月共 256 个月，其中有 9 组 QBO 东风相，9 组 QBO 西风相数

据. 分别对这 18 组内的数据 $S'N'$ 求平均. 得到 $\overline{S'N'_i}$ $(i=1,2,\cdots 18)$. 图 4 为 $\overline{S'N'_i}$ 的直方图. 图 4 清楚地显示出 CEJ 月出现率的 QBO 调制效应: QBO 东风相反向电集流出现率增加,西风相减小.

三、结果和讨论

在发现了 CEJ 现象后,人们对其形态变化(出现时间的分布、季节变化、太阳黑子周期变化等等)进行了大量的研究[5]. 但是 CEJ 出现率的准两年振荡或 QBO 调制现象却是第一次被发现.

关于 CEJ 的形成机制曾有作者提出过一些设想. 例如可由潮汐风场中太阴半日波形成的西向电流引起[16]. 局地垂直向上的风 (15—20m/s) 可以产生 CEJ[17]. 还有产生 CEJ 的双层电流叠加模式,即流动在 110km 高度上的永远向东的 S_q 电流,及流动在 100 km 高度上与 S_q 无关,且局限于磁赤道上空的附加电流. 此附加电流可以向东也可以向西,当其向西流动且强度很大时即可产生 CEJ 现象[18].

印度学者将 50 个有明显 CEJ 事件的磁静日地磁场水平分量与尽可能相邻的另外 50 个磁静日但没有 CEJ 事件的地磁场水平分量进行对比,发现下午地磁场水平分量的下降必伴随有上午水平分量的增加. 下午低谷出现在 15LT,上午的峰值出现在 10LT. 下午的振幅大约是上午振幅的两倍多[19]. 11 年以后印度学者又在磁赤道处取 60 个含有 CEJ 事件的地磁场水平分量数据及另外尽可能靠近的不含 CEJ 的地磁场水平分量数据,以确保两组数据有基本相同的磁活动指数、季节变化及太阳黑子周期变化. 对两组数据进行谐波分析,分别计算他们的一日波、半日波、1/3 日波的振幅大小及相位. 结果表明: 对于不含 CEJ 事件的数据组一日波振幅总是大于半日波及 1/3 日波的振幅; 对于含有 CEJ 的数据组则半日波及 1/3 日波的振幅都被放大到近似等于甚至大于一日波的振幅. CEJ 越强,则半日波、1/3 日波的振幅越大,最大可以达到一日波的两倍[20]. 由于电流半日波必然是和电场半日波相联系,半日波电场通过喷泉效应必然地会在赤道异常的峰区产生等离子体浓度或 F_2 层临界频率的半日起伏. 印度学者在 1989 年分析赤道异常峰区、谷区的电离层资料果然看到明显的临界频率半日波起伏[21].

上述三篇文章以无可争辩的事实说明 CEJ 事件是由于潮汐波风场中半日波分量(进而电场及电流的半日波分量) 被增强的结果. 实际上以前做的模拟计算也证明只要半日波振幅够大且相位合适就可以产生 CEJ 事件[22,23]. 但是半日波分量在什么情况下会被放大? 是什么机制去增强或放大半日波却至今未明.

我们知道 QBO 现象本身就是大气行星波与背景风场的非线性相互作用的结果. 而最近的研究表明: QBO 东风相对称型的开尔文波容易往上传; QBO 西风相反对称型的罗斯贝波容易往上传[24]. 因此似乎可以认为大气行星波在其上传过程中会与潮汐半日波发生相互作用. 相互作用的结果在有些情况下将导致潮汐半日波被放大而最终产生 CEJ 现象. 本文的分析结果似乎表明: QBO 东风相上传的开尔文波波容易使潮汐半日波放大;而 QBO 西风相上传的罗斯贝波不大容易使潮汐半日波放大,因而导致 CEJ 出现率的 QBO 调制现象. 相应的模拟计算将另文讨论.

参　考　文　献

[1] Egedal, J., *J. Geophys. Res.*, Vol. **52**, p. 449, 1947.
[2] Chapman, S., *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatal., A*, Vol. **4**, p. 368, 1951.
[3] Burrwos, V. et al., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. **39**, p. 125, 1977.
[4] Gousin, P. and Mayand, P. N., *Ann. Geophys.*, Vol. **23**, p. 41, 1967.
[5] Raghavarao, R. et al., WITS HANDBOOK, (Ed. by C. H. Liu and Belva Edwards), Published by the SCOSTEP Secretariat University of Illinois, Vol. **1**, p. 48, 1988.
[6] Reed, R. H. et al., *J. Geophys. Res.*, Vol. **66**, p. 813, 1961.
[7] Veryard, R. G. and Ebdon, R. A., *Meteoral. Mag.*, Vol. **90**, p. 125, 1961.
[8] Labitzke, K., *Geophys. Res. Lett.*, Vol. **14**, p. 535, 1987.
[9] Chen, P. R., *Geophys. Res. Lett.*, Vol. **19**, p. 1089, 1992.
[10] Chen, P. R., *Geophys. Res. Lett.*, Vol. **20**, p. 2351, 1993.
[11] Masahiko, T., *J. Gemag. Geoelectr.*, Vol. **36**, p. 215, 1984.
[12] Somayajulu, V. V., *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol. **40**, p. 111, 1988.
[13] Rastogi, R. G., *J. Geophys. Res.*, Vol. **79**, p. 1503, 1974.
[14] Marriott, R. T. et al., *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol. **31**, p. 311, 1979.
[15] Hagan, M. E. et al., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. **54**, p. 1465, 1992.
[16] Rastogi, R. G., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. **36**, p. 167, 1974.
[17] Raghavarao, R. and B. G. Anandarao, *geophys. Res. Lett.*, Vol. **7**, p. 357, 1980.
[18] Rastogi, R. G. et al., *Indian J. of Radio and Space Phys.*, Vol. **21**, p. 89, 1992.
[19] Bhargave, B. N. and N. S. Sastri, *Ann. Geophys.*, Vol. **33**, p. 329, 1977.
[20] Rastogi, R. G. and A. Patil, *J. Tmos. Terr. Phys.*, Vol. **51**, p. 139, 1989.
[21] Forbes, J. M. and R. S. Lindzen, *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. **38**, p. 911, 1976.
[22] Stening, R. J., *J. Atmos. Aerr. Phys.*, Vol. **39**, p. 1071, 1977.
[23] Hannise, C. et al., *J. Geophys. Res.*, Vol. **86**, p. 253, 1963.
[24] 马骏和陈培仁，空间科学学报，第14卷，第54页，1994.

THE OCCURRENCE OF COUNTER ELECTROJET AND THE QBO

Chen Pei-ren　　Ma Jun

(*Center for Space Science and Applied Research, Academia Sinica, Beijing* 100080)

Abstract

The hourly value of horizontal component of geomagnetic field measured in Trivandrum, India has been analysed. The data length covers about two sunspot cycles. After reducing the variations of solar cycle and one year periodity in the data set, a quasi-biennial variation in the occurrence of Counter Electrojet (CEJ) is revealed: the occurrence of CEJ is increased in the easterly phase of QBO and decreased in the westerly phase of QBO. Based on this discovery, the causative mechanism of CEJ is discussed. It is suggested that, the interaction between the upward propagating planetary waves and solar and lunar semidinal tides, may causes the semidinal tides enlarging in amplitude and shifting in phase, and finally results in the occurrence of CEJ.

Key words Counter electrojet, Atmospheric planetary waves, QBO