

反向赤道电集流与磁层扰动*

沈 长 寿

(北京大学地球物理系, 100871)

资 民 筠

(中国艺术研究院)

摘 要

对印度 Trivandrum 站第21太阳活动周内地磁 H 分量分析表明, 不仅在磁扰日及其随后的静日内, 强磁扰对赤道电集流有显著作用, 即使在持续静日期间, 较弱的磁扰仍然对赤道电离层有很大影响. 磁静日昏侧出现反向(西向)电集流是正常现象, 弱磁扰是使此反向电流消失的可能机制.

关键词 反向赤道电集流, 磁层扰动

一、引 言

对磁静日赤道电集流的研究发现, 在晨、昏区经常出现地磁 H 分量低于夜间值的现象. 这应是西向电流的地磁效应. 与 Chapman 首次提出的赤道电集流概念^[1] 相对照, Gouin 和 Mayaud^[2] 称此为反向赤道电集流. Rostogi^[3] 的统计分析表明, 反向电集流在晨侧 06—08LT 的年均出现率为 6%, 而午后 14—18LT 则为 14%. 在不同经度的台站观测差异较大, 如印度赤道区晨侧的反向电集流出现率更高些. 对于不同经度、不同太阳活动期和不同季节, 反向电集流的变化规律也各异, 甚至出现个别相反的统计结果.

大致公认的结论是^[4], 晨区反向电集流在两分日更为频现; 与太阳活动性的关系随(台站)经度而异, 在印度站有近于正比的趋势. 总体说, 晨侧反向电集流较弱, 但较有规则地出现; 而午后的反向电流强度较大, 变化不很规律, 故常称之为“事件”, 在太阳活动低年期内其出现率更高. 按季节说, 则是夏季出现率高, 而冬季电流幅度大的“事件”更多.

从上述现象的复杂性可以推论, 形成反向电集流的机制包含多种过程. 至今讨论较多的有两类, 一属全球尺度机制, 如潮汐风各波模的特定组合^[5], 另一为局地性的, 如某地上空风场的某种垂直结构, 或重力波的适当作用, 均有可能造成局地的西向电集流^[6]. 但是, 要用这些机制解释上述统计结论都会遇到很大困难.

本文用 21 太阳活动周期内印度 Trivandrum (下称 Tri, 0.88°S, 148.24°E GM) 地磁 H 分量日变化的统计分析, 考察反向赤道电集流出现率及平均强度随太阳活动性及季节的变化, 并提出了一种新的可能机制: 静日内的弱磁扰对午后反向电集流的消失有重

* 国家自然科学基金资助课题.

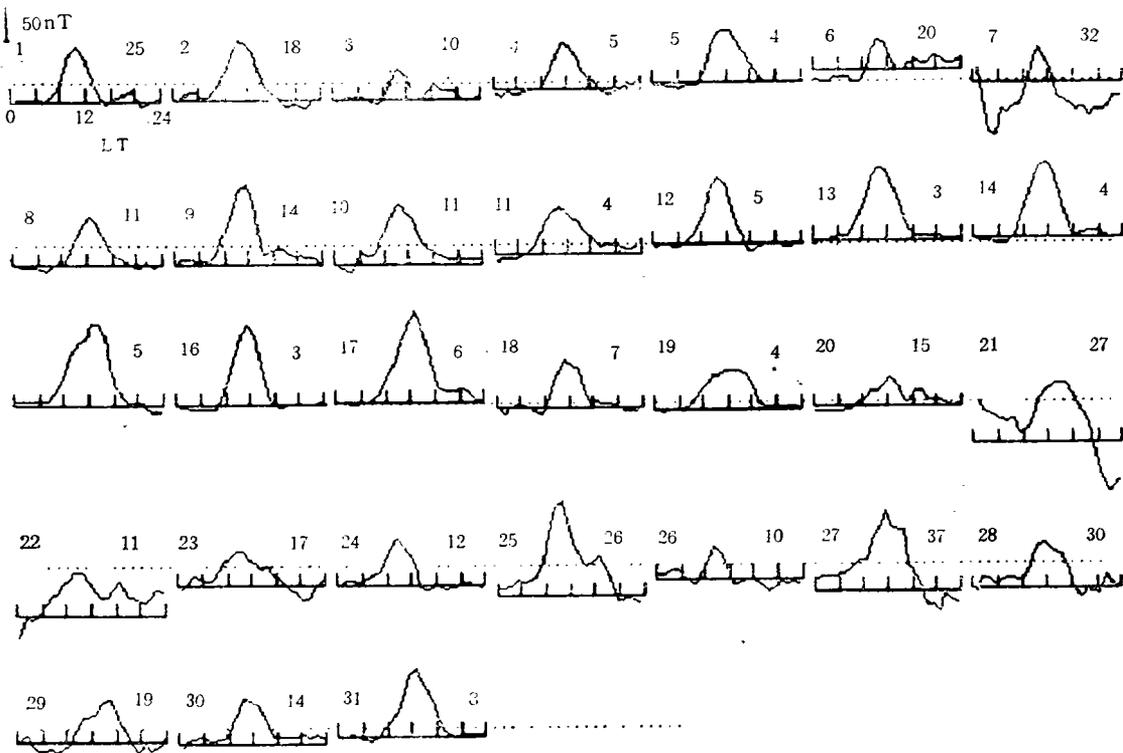
本文于 1994 年 6 月 23 日收到.

要作用。对太阳活动下降年(1982年),还采用了埃塞俄比亚的 Addis Ababa (下称 AA, 5.19°N, 110.97°E GM) 资料进行了对照比较。

二、资料分析及统计结果

1. 基线和静日的选取

取用 Tri 站 1979(高年)、1985年7月—1986年6月(低年)和 1982(下降年),以及 AA 站 1982 年的地磁 H 分量记录,首先对各年分月画出 H 值的逐日变化,并以 00 和 23LT 的均值作为基线,如图 1。以往学者对基线的选取各异,并无统一标准。基线的高低对反向电集流出现的计数有很大影响,但在讨论其 11 年太阳活动周期及季节变化等相对分布(百分出现率)时,并无太重要作用。图 1 中还用虚线给出每月 5 个国际磁静日的 00 和 23LT H 均值的平均位置。可见,它与多数静日的基线大致上是接近的。



The number at left side of each curve shows the date and that at right side is the value of A_p

图 1 1986 年 1 月 Tri 站 H 分量的逐日变化

Fig. 1 Diurnal variations of H -component at Trivandrum in January 1986.

图 1 中全月内磁扰日(日指数 $A_m \geq 20$ 或 $A_p > 10$) 共 15 天,其 H 分量日变形态都较复杂。首先是基线明显偏低,其次是 H 值低于月均基线(虚线)的时段长、幅度大,即全天内西向电流成分很大。此外,继强磁扰后的静日(如图 1 中的 3 日、26 日)内,往往全

天内 H 值也很小, 且形态复杂。虽属静日, 其实磁扰影响仍很大。统计中将这些日子也全都剔除。因此, 本文中静日的选取标准是当天 $A_p \leq 10$ (或 $A_m < 20$), 且前一天的 $\Sigma K_p < 25$ 。

2. 反向电集流的出现率

按太阳活动高年、低年和下降年, 对晨、昏侧出现反向电集流(H 值低于基线)和全天内 H 值很小、变化复杂的事件分别计数。季节划分是: 冬季从 11 月 16 日至 2 月 28 日, 夏季为 5 月 16 日至 8 月 31 日, 其余 5 个月为分季。表 1 是百分出现率的统计结果, 其中 n 是入计的静日天数。

表 1 反向电集流的百分出现率

	Trivandrum												Addis Ababa			
	1979				1985年7月—1986年6月				1982				1982			
	n (天)	晨 (%)	昏 (%)	全天 (%)	n (天)	晨 (%)	昏 (%)	全天 (%)	n (天)	晨 (%)	昏 (%)	全天 (%)	n (天)	晨 (%)	昏 (%)	全天 (%)
冬季	51	69	29	16	52	42	46	13	27	74	26	26	28	54	36	14
分季	60	73	23	5	85	38	45	6	44	50	9	0	27	60	55	0
夏季	48	73	27	10	63	37	71	5	22	50	50	5	44	38	54	0
全年	159	72	26	10	200	39	54	8	93	57	24	9	99	53	49	4

表 1 表明, 晨侧反向电集流出现较有规律, 与太阳活动性近于正比关系, 相隔两个多时区的 Tri 和 AA 两站 1982 年的情况相似。此结果与 Gouin 和 Mayaud 对 AA 站资料分析相符^[2]。昏侧‘事件’出现率在高年小于低年, 也与已有结论一致。但下降年内出现率却低于高年, 可见, 它与太阳活动性之间不是简单的线性反比关系。

从季节分布看, 晨侧反向电集流除 1982 年冬 Tri 站出现率较高外, 基本上是各季内均匀分布, 而昏侧的出现率只在高年内较为均匀, 其它两年中都是夏季内‘事件’更为频繁, 而且 1982 年中 Tri 和 AA 两站的情况不尽相同。

关于‘全天性事件’的选取更带较大的主观性。如中午峰值明显降低(低于常值之半), 或日变形态复杂则入选。显然, 这类全天内都有较大西向电流成分的事件日多数在冬季出现。

3. 各年、各季赤道电集流的平均变化

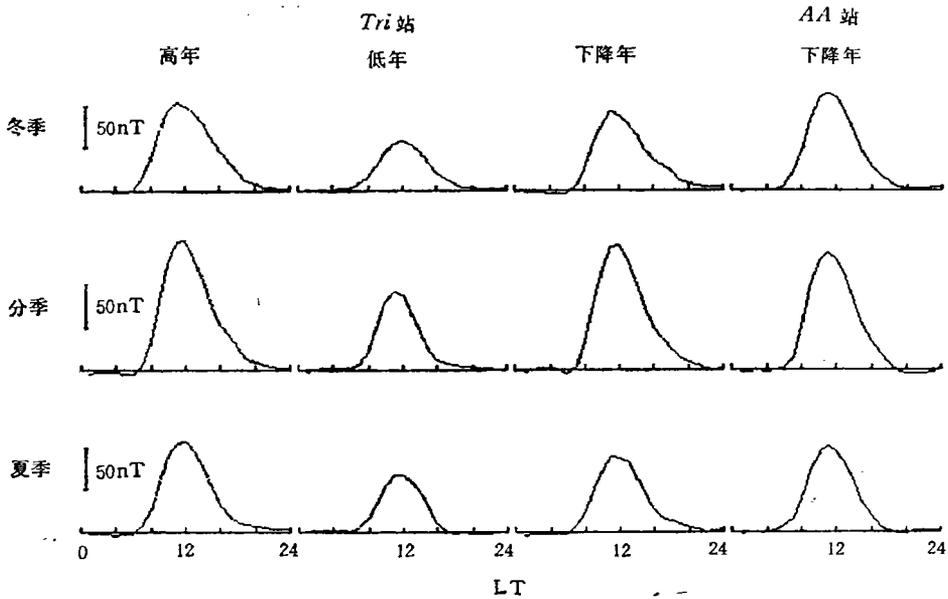
对不同太阳活动年份中所选静日各小时 H 分量, 按季节分别求出均值, 结果示于图 2。由图 2 可总结出以下的平均特性:

(1) Tri 站两分季的赤道电集流平均强度比冬、夏季值都大。

(2) 太阳活动高年(1979)和下降年(1982) Tri 站均有晨侧反向电集流出现。AA 站 1982 年的晨侧反向电流幅度很小。低年期 Tri 站也难(平均)出现。

(3) 只有在低年的夏季, 才明显地呈现昏侧反向电集流, 但其它两年中 Tri 站的夏季午后电集流下降速度也比其它季节更快。

对于 AA 站 1982 年分季内昏侧的较大西向电集流, 目前还无法判断它属特殊情况, 还是规律现象。



Top part is for December solstice, middle-equinoxes and bottom-June solstice

图 2 各年、各季内, H分量的平均日变化

Fig. 2 Average variations of H-component at Trivandrum in years of high, low and medium solar activities, and at Addis Ababa in 1982

表 1 仅反映反向赤道电集流的出现频数, 图 2 则还包括了反向电集流的强度。两者结合后, 能更全面地分析其变化规律。

三、形成反向电集流的磁层耦合机制

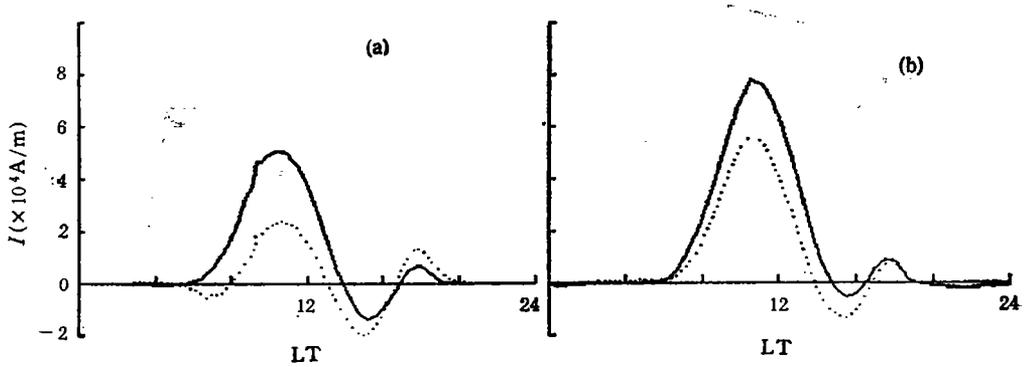
迄今关于产生反向电集流的全球性、或局地机制仅能解释某些个别“事件”。若要令人信服地说明不同经度、不同太阳活动年份和不同季节的统计特征, 还需寻找新的可能机制, 而且很可能是多种机制的综合结果。

磁层耦合就是一种可能的机制。在磁扰日和紧接扰日的静日内, 由于很强的磁层(动力)耦合和环电流的影响, 会使西向赤道电集流成分增加。本文则强调, 在连续的磁静期间, 来自磁层的较弱电动耦合仍然会对赤道电集流日夜分布起明显作用。但它不是增强西向电流, 而是使昏侧反向电集流消失的可能机制。

若采用简单的电导率模式和全日潮汐风场求解南北半球对称的发电机方程, 则所得赤道电集流日夜变化中, 晨昏侧均不出现反向电集流^[7]。Forbes^[5]用潮汐风各波模特定组合的风场求解的结果, 得到了特定条件下晨昏侧有反向电流。

HWM-90 风场经验模式是各潮汐波模组合加上热层环流的实际(平均)结果, 同时采用 IRI-90 和 MSIS-90 经验参数计算的电导率分布, 并求解发电机方程, 算得的赤道电集流分布如图 3 中虚线所示。图中午后 14—18LT 内“正常地”呈现有反向电集流。即使是磁静日, 磁层扰动依然经常发生, 只是强度较弱而已。虽然耦合到电离层高度上的扰动

形态较复杂, 但肯定会使高纬边界电位不再为常值。若采用与扰日类似的极盖边界电位分布 $\phi = \phi_0 \sin \varphi$ (φ_0^E 与经度有关, 因日下点经度对应 $\varphi = 0$, 故又称 φ 为时角, 弱磁扰取 $\phi_0 = 30\text{kV}$) 为高纬边条件, 分别在高、低年条件下求解方程, 所得电集流分布如图 3 中实线所示。可见, 高年期间昏侧反向电集流已基本消失。



(a) For low solar activity ($R = 15$); (b) For high solar activity ($R = 185$)
 — $\phi_0 = 30\text{kV}$; $\phi_0 = 0\text{kV}$

图 3 模式计算的赤道电集流日夜分布

Fig. 3 The calculated equatorial electrojet

由此看来, 午后出现反向电集流是现实大气平均情况下经常存在的正常现象, 不出现反向电集流则是静日内仍有磁层弱扰动耦合的结果。当然, 极盖边界上的驱动电位不一定是简单的正弦分布, 受此影响的赤道电集流将呈现更为复杂的形态。

四、讨 论

反向电集流的出现率在晨昏侧有很大不同。对 Tri 站分析表明, 晨侧出现率与太阳活动程度呈正比, 而昏侧却近于反比。由此可设想, 两者的驱动源各不相同。从季节看, 一方面低年夏季的昏侧反向电集流出现率可高达 71%, 但每次的西向电流幅度都较小; 另一方面, 冬季则常有西向幅度较大的‘事件’出现。表 1 也表明, 全天内赤道电集流形态有很大变化的‘事件’也多集中在冬季。由此推断, 产生冬、夏反向电集流的机制也不尽相同。总之, 观测事实说明, 试图用单一机制解释所有统计特性看来是不可能的。

过去的研究都认为反向电集流是不受磁扰影响的静日现象。无论是用不同潮汐波模组合的风场驱动电离层发电机效应, 还是中性风或重力波的某种垂直结构下的局地源机制, 都认为正常静日内不存在西向电流区域, 反向电集流是特定条件下的产物。但上述两机制均不能解释反向电集流在不同太阳活动期和不同季节内的各种统计特性。

为此, 本文提出了另一种可能性。既然在现实大气的平均风场和电导率分布下, 由发电机理论导出的赤道电集流分布在昏侧出现西向电流, 可见这应是经常存在的正常现象。磁静日内磁层弱扰动耦合能使赤道电集流分布发生很大变化。比如, 极盖边界上电离层驱动电位呈简单的正弦分布, 就能使昏侧反向电集流基本消失, 即通常认为是‘正常’的电

集流分布。

太阳活动高年时,午后西向电流更弱,静日内的弱磁扰则相对频繁,从而昏侧出现反向电集流的机会也比低年时更少。在一年中,夏季热层风控制作用更强,磁扰影响相对小些,故反向“事件”出现率更高些。

至于冬季西向电流幅度较大的事件,以及全天内东向电集流都较弱、且分布形态复杂的事件,很可能还受到来自低层大气的各类波动(包括与平流层突然增温有关的行星波等)的影响。此问题有待于专门深入考察。晨侧反向电集流的机制也还有待探讨。

参 考 文 献

- [1] Chapman, S., *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol. A*, Vol. 4, p. 368, 1951.
- [2] Gouin, P. and P. N. Mayaud, *Annals. Geophys.*, Vol. 23, p. 41, 1967.
- [3] Rastogi, R. G., *J. Geophys. Res.*, Vol. 79, p. 1503, 1974.
- [4] Mayaud, P. N., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 39, p. 1055, 1977.
- [5] Forbes, J. M., *Rev. Geophys. Space Phys.*, Vol. 19, p. 469, 1981.
- [6] Raghavarao, R. and B. G. Anandarao, *Ind. J. Radio Space Phys.*, Vol. 16, p. 54, 1987.
- [7] 沈长寿和资民筠,地球物理学报,第 35 卷,第 685 页,1992.

THE EQUATORIAL COUNTER ELECTROJET AND THE MAGNETOSPHERIC DISTURBANCES

Shen Chang-shou

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Zi Min-yun

(The Academy of Arts of China)

Abstract

The data of geomagnetic H -component from Trivandrum, India, during 21-th solar cycle have been analysed. A new possible mechanism is introduced in discussion of the counter electrojet. The ionospheric disturbance dynamo and the ring current may drive strong westward ionospheric current on disturbed and following days. On the other hand, during quiet days the weak magnetospheric disturbance could impel the afternoon counter electrojet to disappear and this should be a normal phenomenon on real quiet days.

Key words Equatorial counter electrojet, Magnetospheric disturbance