第21卷 第2期 空 间 科 学 学 报 Vol.21, No.2
2001 年 4 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Apr., 2001

1998 年 5 月磁暴事件期间全球电离层响应形态与机制的研究 *

张满莲 尚社平 郭兼善 罗熙贵
(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要

利用全球 40 余个电离层台站的 f_0F_2 观测数据，采取对经度进行分区处理的方法，通过计算各台站 f_0F_2 参数对其月中值的偏离百分比，对 1998 年 5 月大磁暴期间的电离层扰动形态进行了分析，并对可能的扰动机制进行了探讨. 结果表明本次磁暴事件中，在磁暴主要活动相期间的电离层扰动与暴环流理论所描述的电离层扰动特征相符，但在恢复相后期欧洲扇区台站出现的正相扰动似不能用暴环流理论来解释，它可能与对应期间的行星际条件（太阳风与行星际磁场）的变化有关.

关键词 电离层暴—扰动形态—扰动机制—全球响应

1 引 言

自从发现了电离层暴 [1] 以来，人们对电离层暴（本文所说的电离层暴主要是指电离层 F_2 层暴）进行了广泛的研究（参见参考文献 [2] 及其内所引文献）. 尽管人们在这一领域做了很多工作，但这一现象的许多性质却至今仍不很清楚，表明了该现象的极其复杂性. 早期人们对大量的电离层暴进行了统计研究（参见文献 [3] 及其内所引文献），得到了电离层暴的基本扰动形态：在磁暴急始后，中高纬地区的 f_0F_2 一般会有几小时上升，然后大幅度下降并可持续几天的时间. 进一步地又总结出了电离层暴形态随经纬度、季节的分布规律. 一般来说，高纬地区主要以负相暴（f_0F_2 的暴时值低于正常情形时的值）为主，低纬地区以正相暴为主，而中纬夏季与高纬相似以负相为主，冬季则以正相为主. 这是对大量的电离层暴进行统计平均后所得到的电离层暴扰动形态. 人们后来的研究表明电离层对磁暴的响应形态不仅有经纬度效应和季节差异，还存在南北半球的不对称性[4]，对磁暴开始时的世界时与地方时也有关系[5−8]. 另外，在太阳活动高年与低年也有不同的响应[9]. 实际上，单个电离层暴的行为与前述的统计平均形态有很大的差异. 可以说，在单个的磁暴中，没有两个电离层台站记录到的行为会是一模一样的，而同一台站在两次相似的地磁暴中记录到的电离层响应行为也不一样. 因此，对单个电离层暴进行个例研究就很有必要. 在这方面，张奇伟等人 [10] 利用东亚地区 12 个中低纬电离层台站的测高仪数据对 1978 年 8 月磁暴期间的电离层扰动进行了研究，而马淑英等人 [11] 利用亚太地区多个电离层台站

* 国家自然科学基金资助项目 (49704057)
中国科学院空间天气学开放研究实验室
2000-10-18 收到原稿， 2001-02-20 收到修定稿

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

的 f_0F_2 资料对 1989 年 3 月和 10 月发生的两次大磁暴事件期间的电离层扰动进行了研究. 这两个研究中所用的资料主要是集中在一个经度链附近或在某个经度区域内, 故而不能反应不同经度区域的电离层对同一磁暴事件的反应差别. 本文将利用分布于全球的 40 多个电离层垂测台站的 f_0F_2 观测资料对 1998 年 5 月磁暴期间的电离层扰动形态进行分析和对可能的扰动机制进行探讨.

1998 年 5 月 2 日的太阳暴事件触发了包括强磁暴和电离层暴在内的一系列地球物理事件. 图 1 是这次事件期间各行星际参数 (行星际磁场 B 、 B_x、B_y、B_z, 太阳风速 v、压力 P 及质子数密度 $N_{\rm p}$) 和地磁指数 (Dst、Kp 和 a_p) 的变化情形. 根据 Dst 指数的变化情形, 1998 年 5 月的地磁暴特征大致如下: 世界时 5 月 2 日凌晨左右开始一个小的磁暴初相, 接着 (大约在 5 月 2 日 3—4 时左右) 进入一个较弱的主相, 5 月 2 日 17 时左右达最负值 -100 nT 左右), 然后呈恢复状态, 但未等完全恢复, 从 5 月 2 日午夜 5 月 3 日凌晨开始 Dst 指数就一直维持在 -70 nT 左右之间, 到 5 月 4 日凌晨, Dst 指数急剧下降进入磁暴的强主相阶段, 并很快就降到 -210 nT 以下, 然后开始恢复, 恢复过程经过最初的快速恢复阶段后就进入了慢速阶段, 持续时间达好几天之久. 因此, 这次事件实际上是一个弱中磁暴叠加上一个强磁暴, 情况比较复杂. 若按章公亮 [12] 对磁暴形态的分类, 可将本次磁暴事件大致归为 S(C) 型延迟强主相磁暴. 本文将利用分布于全球的 40 余个垂测台站的 F_2 层临界频率 f_0F_2 参数, 对本次磁暴活动期间电离层的扰动形态进行研究和机制分析.

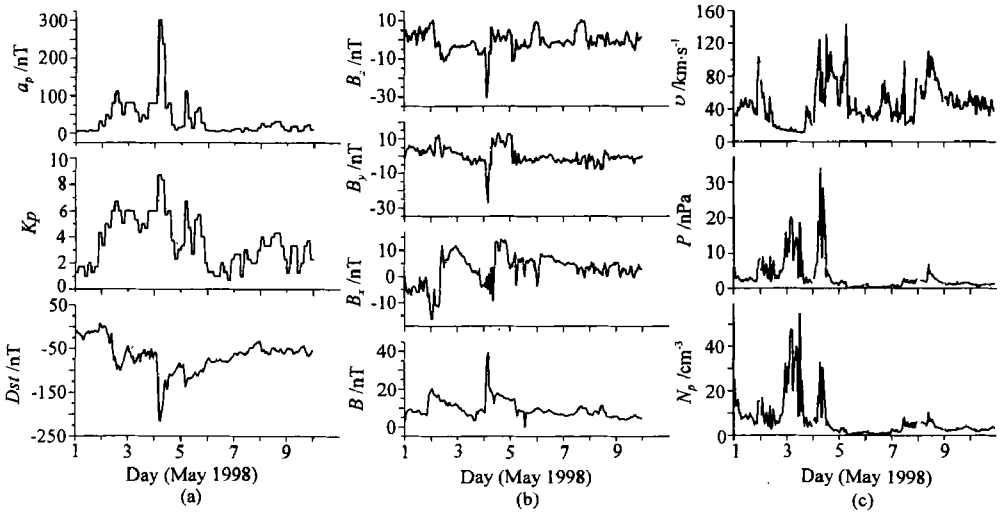


图 1 1998 年 5 月 1—10 日期间的地磁指数和行星际参数: (a) Dst、Kp 和 a_p 指数; (b) 行星际磁场 B、B_x、B_y 和 B_z; (c) 太阳风速度 v、动压 P 和质子数密度 $N_{\rm p}$

Fig.1 The geomagnetic indices and inter-planetary parameters during May 1—10, 1998; (a) Dst, Kp and a_p indices; (b)Interplanetary magnetic field (IMF) B, B_x, B_y and B_z; (c)Solar wind velocity v, dynamic pressure P and proton number density $N_{\rm p}$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表 1　数据来源台站名称及其地理与地磁坐标

	台站名称	台站代码	地磁纬度 (°N)	地磁经度 (°E)	地理纬度 (°N)	地理经度 (°E)
区域 1	Kiruna	KI167	65.1	116.4	67.8	20.4
	Lerwick	LE061	63.0	89.8	60.8	358.8
	Lycksele	LY164	62.5	111.7	64.6	18.8
	Uppsala	UP158	58.3	106.9	59.8	17.6
	Leningrad	LD160	56.1	118.3	60.0	30.7
	Juliusruh/Rugen	JR055	54.3	99.7	54.6	13.4
	Chilton	RL052	54.1	83.2	51.6	358.7
	Moscow	MO155	50.4	123.2	55.5	37.3
	Rostov	RV149	42.4	120.3	47.2	39.7
	Rome	RO041	42.3	93.2	41.8	12.5
	El Arenosillo	EA036	41.4	72.3	37.1	353.3
	Sofia	SQ143	41.0	103.9	42.7	23.4
	San Vito	VT139	40.2	97.4	40.7	17.9
区域 2	Salekhard	SD266	57.4	149.7	66.5	66.5
	Podkamennaya	TZ362	50.8	165.4	61.6	90.0
	Novosibirsk	NS355	44.2	158.9	54.6	83.2
	Ahmedabad	AH223	13.8	214.8	23.0	72.6
区域 3	Magadan	MG560	50.9	211.6	60.0	151.0
	Petropavlovsk	PK553	44.9	219.9	53.0	158.7
	Manzhouli	ML449	38.4	186.5	49.6	117.5
	Beijing	BP440	28.8	174.1	40.0	116.3
	Osan	SN437	26.2	195.0	37.2	127.1
	Chongqing	09429	18.2	177.1	29.5	106.4
	Chung-Li	CL424	13.8	190.9	24.9	121.2
	Guangzhou	GU421	11.8	183.5	23.1	113.4
区域 4	Thule/Qanaq	THJ77	88.8	12.5	77.5	290.8
	Narssarssuaq	NQJ61	70.9	38.5	61.2	314.6
	Goosebay	GSJ53	64.4	14.0	53.3	299.2
	Wallops Is.	WP937	49.2	353.9	37.8	284.5
	Boulder	BC840	48.9	318.7	40.0	254.7
	Bermuda	BJJ32	43.5	7.1	32.4	295.3
	Point Arguello	PA836	42.3	302.4	34.6	239.4
	Dyess	DS932	42.0	326.7	32.4	260.3
	Eglin Afb	EG931	41.1	341.2	30.4	273.3
	Puerto Rico	PRJ18	29.8	3.5	18.5	292.8
区域 5	Darwin	DW41	−22.9	202.7	−12.4	130.9
	Townsville	TV51R	−28.5	220.4	−19.3	146.7
	Learmonth	LM42B	−33.0	185.3	−21.9	114.0
	Camden	CN53L	−42.0	227.6	−34.0	150.7
	Hobart	HO54K	−51.4	225.9	−42.9	147.2
	Port Stanley	PSJ5J	−40.6	10.3	−51.6	302.1

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 方法与数据

本次事件的分析采用了全球 40 余个台站的 f_0F_2 小时值数据资料. 表 1 列出了这些台站的名称、台站代号及地理与地磁坐标. 根据台站的分布, 我们将这些台站划分为 5 个区域, 每个区域中台站的地理坐标覆盖范围大致为: 区域 1 (40.0°N—70.0°N, 350.0°E—50.0°E); 区域 2 (20.0°N—70.0°N, 50.0°E—100.0°E); 区域 3 (20.0°N—60.0°N, 100.0°E—200.0°E); 区域 4 (15.0°N—80.0°N, 200.0°E—350.0°E); 区域 5 (10.0°S—45.0°S, 100.0°E—150.0°E). 另外, 还有一个台站 (Port Stanley), 它在地理分布位置上不属于上述任一区域, 但由于该台站所处位置的地磁条件很特殊 (处在磁异常区), 该台站的数据记录又很全, 因此我们也将此台站的数据包括在内. 在分析中每个区域中的台站将按地磁纬度从高到低自上而下排列. 分析方法采用对 f_0F_2 参数求其对月中值 (monthly median value) 偏离的百分比:

$$\Delta f_0F_2(\%) = (f_0F_2 \text{ 当日值} - \text{月中值})/\text{ 月中值} \times 100\%.$$

本文将仅关注大尺度的扰动特征, 为此, 将对 Δf_0F_2 进行 12 h 的滑动平均滤去由声重波等引起的小时间尺度的扰动, 以突出显示电离层暴的大尺度扰动特征.

3 结果与分析

图 2—6 给出了上述划分的 5 个区域中各台站的 f_0F_2 参数对其月中值的偏离百分比 $\Delta f_0F_2(\%)$. 在这些图中, 横轴为时间, 所标数字为从 1998 年 5 月 1 日算起的天数, 纵轴是 f_0F_2 参数对月中值的偏离百分比 $\Delta f_0F_2(\%)$. 图中对应纵轴上标数为 "0" 的各水平直线代表各台站的偏离值为 0, 曲线若处在该水平直线以下, 则表示偏离值为负 (负相扰动), 反之偏离值为正 (正相扰动).

区域 1

由表 1 可见, 这一区域的台站都处在中、高纬度. 图 2 给出了该区域各台站的分析结果. 从图中可看出, 该区域台站上空的电离层在本次磁暴期间其扰动特征主要呈现负相扰动. 5 月 2 日该区域台站基本上都呈现出了小的负相扰动, 接着很快地恢复为原值, 有些纬度不是特别高的台站 (如 Rome、Sofia 和 Rostov 等台站) 出现了小的正相扰动. 高纬台站在恢复为初始值后马上又开始负相扰动, 且持续时间很长, 达数天之久, 直到 5 月 6 日或 7 日才结束恢复到原来的值. 而在纬度相对较低 (中纬或低高纬) 的台站, 在 5 月 2 日的晚些时候或 5 月 3 日也开始了持续期较长的负相扰动, 但开始时间比高纬台站晚, 而结束时间却比高纬台站来得早. 因此, 在磁暴强烈活动相期间, 该区电离层的 f_0F_2 扰动主要呈负相, 负相开始时间随纬度的降低而延迟, 而负相结束的时间却随纬度增高而延后. 这看起来与由热层-电离层暴环流 [13−18] 引起的暴时电离层效应的典型表现相一致. 由此看来, 该区负相暴的主要原因可以说是由磁暴期间由于极区能量的注入而产生的热层暴环流引起的中性大气组份 (主要是原子/分子组份比例变小) 的改变, 从而使 F_2 层化学反应的复合率增大导致电子浓度减小所致. 在这一区域中, 我们还发现了一个其他 4 个区域所没有的现象, 即负相结束后该区域的几乎所有台站在 5 月 7—8 日 (主要是 7 日) 都

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

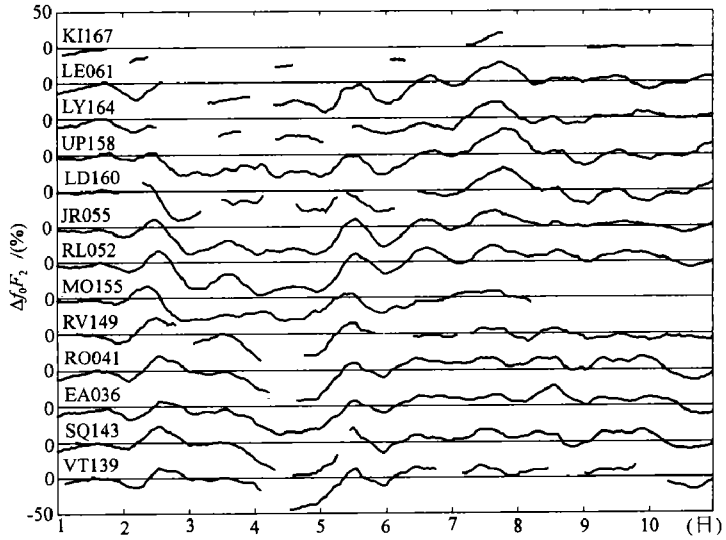


图 2　1998 年 5 月 1—10 日区域 1 台站 f_0F_2 参数偏离月中值的百分比

Fig.2　Percentage deviation of f_0F_2 from its monthly median value during May 1—10, 1998 for Region 1 stations

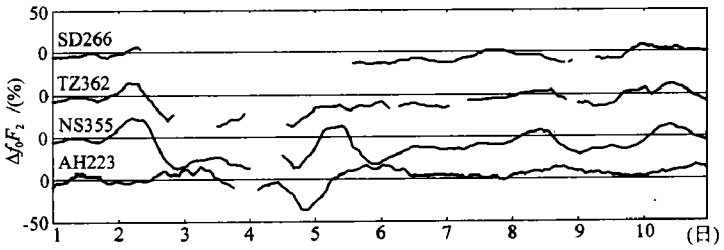


图 3　1998 年 5 月 1—10 日区域 2 台站 f_0F_2 参数偏离月中值的百分比

Fig.3　Percentage deviation of f_0F_2 from its monthly median value during May 1—10, 1998 for Region 2 stations

出现了正相扰动，而且这种正相扰动似乎在纬度越高的地方 (磁纬 50.0°N 以上的台站) 就越明显. 中、低纬台站在磁暴恢复相后期出现正相扰动是比较正常的现象，但对高纬台站出现这种情形却不常见. 这种现象似乎也很难用暴环流理论来解释. 仔细检查这一期间的各种行星际介质参数：行星际磁场 (IMF)、太阳风速、离子动压、以及太阳风质子数密度发现，太阳风速度在 5 月 7 日有些起伏，而 IMF 的 B_z 分量在这一天的后半日突然从一小的负值变为一个相对较大的正值，到 5 月 8 日就在正负之间摆动. 而离子动压和太阳风质子数密度也在相同期间比先前有所增大. 因此，我们估计该区域电离层在 5 月 7 日出现较为明显的正相扰动与这些行星际条件的变化有关.

区域 2

区域 2 只有 4 个台站. 由图 3 可以看出，区域 2 的高纬台站 (磁纬大于 50.0°N 的

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Salekhard 和 Podkamennaya 台站) 在本次磁暴活动期间呈负相扰动. 而中纬台站 (磁纬 44.2°N 的 Novosibirsk 台站) 表现为正负相相间, 先是在 5 月 2 日前半日为正相扰动, 接着是持续 2 天多的负相扰动, 到 5 日又出现一小的持续时间不到半天的正相扰动, 接着又是负相. 而低纬台站 (Ahmedabad, 磁纬 13.8°N) 表现的也是正负相相间的扰动形态, 不过它与中纬 Novosibirsk 台站表现的正负相相间的扰动形态有所不同: 其主要负相扰动开始时间比 Novosibirsk 台站的晚一天左右 (5 月 3 日才开始), 持续期间也较短, 且恢复后就只表现为正相扰动了. 这一区域与区域 1 不同之处在于: 区域 1 较高纬度的台站在 5 月 7—8 日出现的正相扰动没有在该区的台站中出现.

区域 3

该区域主要包括亚太地区 (北半球) 的台站. 从图 4 所示的结果看, 这一区域台站的数据记录不是很全. 但从有记录的数据迹象可以看出, 在较高纬度的台站呈现的是负相扰动. 而中低纬台站表现为正负相相间或主要以正相扰动为主.

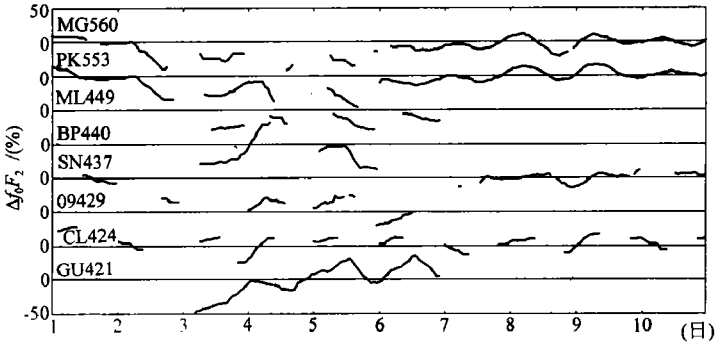


图 4 1998 年 5 月 1—10 日区域 3 台站 f_0F_2 参数偏离月中值的百分比

Fig.4 Percentage deviation of f_0F_2 from its monthly median value during May 1—10, 1998 for Region 3 stations

区域 4

该区域台站包括了中纬到高纬的北美洲地区台站. 其结果如图 5 所示. 从图 5 所示结果可以看出, 这一区域台站的表现与前面各区的均有所不同. 这一区域所有台站在磁暴的主活动期间均表现为负相暴. 且持续期间很长. 而且, 除 Eglin Afb 台站 (磁纬 41.1°N) 外, 其余所有台站在负相扰动前都可以说并没有出现正相扰动. Prolss[17] 认为中纬电离层暴负主相前的正相扰动是由热层暴环流前锋的赤道向扰动风浪所引起的, 由于风从极区向赤道方向吹, 使电离层向上抬升到化学反应复合率较小的高度, 从而使电离层峰值电子浓度 (或临频 f_0F_2) 增大. 但这种暴环流前锋的风抬高作用机制只在白天较为有效, 在晚上期间效果不明显. 所以一般来说, 在中纬, 白天发生的暴会先正后负, 晚上发生的则在负相暴前一般不出现正相. 而从本次磁暴的 Dst 指数看, 5 月 2 日的小磁暴其初相发生时该区域所处的地方时为晚上, 而区域 1 却处在白天, 故而区域 1 的中纬在负相暴前出现正相扰动, 而区域 4 在负相暴前不出现正相扰动也就不难理解了. 另外, 在 5 月 7—8 日, 除 Goosebay(磁纬 64.4°N) 台站外, 其余台站都没有像区域 1 中的台站那样出现明显的正相扰动, 只是在中纬度台站有正负相间的趋势而已.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

区域 5

该区域台站全部处在南半球, 图 6 显示了该区域各台站的结果. 与相同扇区的北半球结果图 4 对比, 可以看出, 南半球台站的响应行为与北半球的很不一样. 该区域的台站在 5 月 6 日前除 Hobar(磁纬 51.4°S)、Darwin(磁纬 22.9°S) 和 Port Stanley(磁纬 40.6°S, 注意它所处的经度扇区与其他台站不同) 三台站在 5 月 4 日有持续期不长的负相扰动外, 其他时间和台站均表现为正相扰动. 从 5 月 6 日开始, 除 Camden(磁纬 42.0°S) 和 Hobart(磁纬 51.4°S) 呈正负相相间的扰动外, 其余台站却都呈现正相扰动.

以上是对各区域台站的分析. 值得一提的是, 南半球 Port Stanley 台站其地理位置在纬度上与区域 1 中北半球的 Chilton 台站相同, 都是 51.6°(经度相差约 56°), 但一个处于

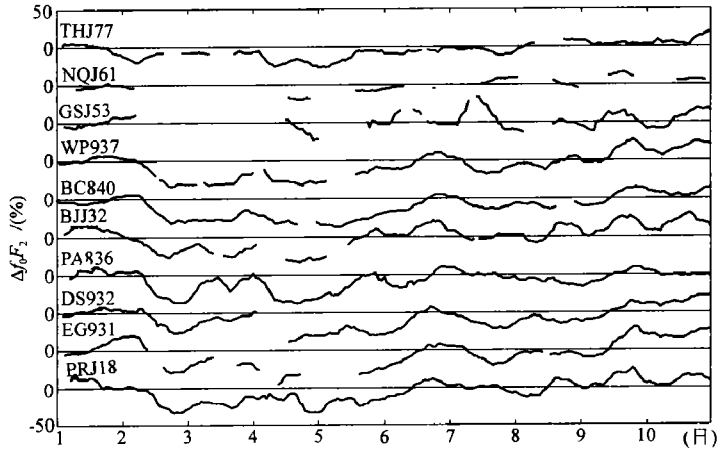


图 5　1998 年 5 月 1—10 日区域 4 台站 f_0F_2 参数偏离月中值的百分比

Fig.5　Percentage deviation of f_0F_2 from its monthly median value during May 1—10, 1998 for Region 4 stations

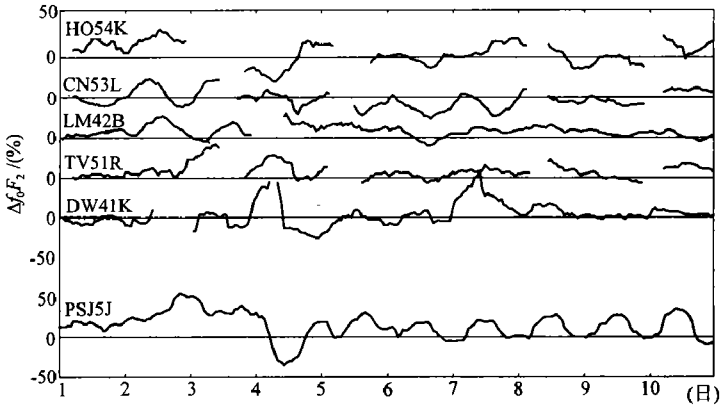


图 6　1998 年 5 月 1—10 日区域 5 台站 f_0F_2 参数偏离月中值的百分比

Fig.6　Percentage deviation of f_0F_2 from its monthly median value during May 1—10, 1998 for Region 5 stations

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

南半球, 一个处于北半球. 可以明显地看出这两个台站对本次磁暴事件的响应截然不同. Chilton 台站的负相扰动时间从 5 月 2 日就开始, 并持续了 3 天多的时间才结束, 而 Port Stanley 台站却在 5 月 4 日之前都是正相扰动, 它只在 5 月 4 日大约对应磁暴活动最为剧烈的一段不长的时间才出现负相扰动, 且持续期不长, 很快就恢复为正相扰动并一直持续.

4 讨 论

关于电离层暴的扰动机制, 经过了几十年的研究, 现在人们较为普遍接受的是 "热层暴环流" 这一学说. 暴环流理论最初是由 Duncan[13] 提出的, 并由后来的人加以发展与完善. Prolss[2,17] 对它进行了综合, 形成了一个比较完整的图像. 根据这一理论, 电离层暴效应的扰动机制与电离层和热层大气之间的耦合密切相关. 他认为白天发生的初期正相暴效应是由热层大气的行扰 (TAD) 及其所携带的大尺度风系环流的变化引起的, 而负相暴效应归因于中性大气成分组成的改变. Fuller-Rowell 等人最近利用耦合热层电离层模式 (CTIM) 对暴环流效应进行了模拟 [15,16,19]. 其结果与 Prolss 描述的情景相符. 根据他们的模拟结果, 在磁暴期间, 极光沉降与对流电场大为增强. 极光沉降使离子密度与大气电导率大大增加, 而由对流电场引起的等离子体运动通过碰撞迫使中性大气也运动起来, 并通过焦尔加热使能量耗散在大气层中, 引发热膨胀并形成水平的温度和压力梯度. 压力梯度在高纬驱动起发散的风场, 发散风场引发垂直向上的风并将 "富含分子成份" 的大气 (也叫成份扰动带 (composition disturbance zone) 或成份凸团 (composition bulge)) 携带到较高的高度. 这种富含分子成份的 "成份凸团" 一旦形成后就受暴环流和背景环流的风场所控制. 白天暴环流所携带的赤道向风场与背景环流的极向风场方向相反, 使极向风场减弱或反转, 夜间暴环流所携带的赤道向风场则与背景环流的极向风场方向相同, 使夜间的赤道向风场增强, 其结果导致热层上升, 形成穿过等压面的气流, 空气的向上运动使中性气体的成份组成发生变化, 使等压面上的平均分子质量增大, 也就是中性分子 / 原子的比例 (主要是 $[N_2/O]$) 增加. 中性分子原子比例的增加将导致 F_2 层离子电离率的减少, 同时使离子化学反应中的损失率增大, 最终导致离子 (电子) 浓度的减少, 产生所谓的电离层负相暴效应. 这种作用在夜间以及在地磁极所处的经度处最为明显. 而在白天或与地磁极所处的经度相差 180° 的经度上这种作用效果最不明显. 因此发生磁暴时如果地磁极所在的经度正好处在夜间, 那么该经度上的电离层负相暴效应将最为显著. 根据我们的结果, 除了 1 区台站在磁暴恢复相后期出现的正相扰动外, 本次磁暴事件中电离层的主要扰动特征与暴环流理论所描述的特征很相符.

5 结 论

基于以上的分析, 对于本次磁暴所对应的电离层 F_2 层暴, 我们得到以下主要结果:

1. 北半球中、高纬度台站在磁暴活动相期间主要表现为负相扰动. 负相扰动的开始时间随纬度的降低而延后, 而结束时间却相反, 即纬度越高, 负相扰动结束时间就越晚.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

这是由热层-电离层暴环流引起的暴时电离层效应的典型表现.

2. 中纬台站如果在磁暴开始时处在白天, 则在出现负相扰动之前先有一正相扰动; 若在磁暴开始时是处在夜间, 则在出现负相扰动前不出现正相扰动. 这种负相暴前的正相扰动是由热层暴环流前锋的赤道向扰动风浪的抬升机制所引起的. 对于高纬台站, 在负相扰动前不出现正相扰动.

3. 南半球除个别台站在 5 月 4 日出现持续时间不长的负相扰动外, 主要呈现正相扰动.

4. 对于本次磁暴, 在北半球, 负相扰动的波及区域也到达了低纬度地区, 但其负相扰动的持续时间比中、高纬度地区的负相扰动持续时间短.

5. 处在区域 1 的台站在 5 月 7 日 (处在磁暴的恢复相) 期间出现了正相扰动, 且纬度越高似乎越显著, 而同样的现象却没有在其他几个区域的台站中出现. 这一现象似不能用暴环流理论来解释, 可能与对应期间的行星际条件 (太阳风与行星际磁场) 的变化有关.

致谢　本项研究所用电离层数据资料全部由美国 NGDC 数据中心和 World Data Center for Solar-Terrestrial Physics at the Rutherford Appleton Laboratory 提供, 作者在此表示感谢!

参　考　文　献

[1] Appleton E V, Ingram L J. Magnetic storms and upper-atmospheric ionisation. *Nature*, 1935, **136**:548—549

[2] Prolss G W. Ionospheric F-region storms. In: Volland H ed. Handbook of Atmospheric Electrodynamics. Vol.2, Boca Raton: CRC Press, 1995. 195—248

[3] Matsushita S. A study of the morphology of ionospheric storms. *J. Geophys. Res.*, 1959, **64**(1):305—321

[4] Rodger A S, Wrenn G L, Rishbeth H. Geomagnetic storms in the Antartic F-region. II. Physical interpretation. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1989, **51**(11/12):851—866

[5] Thomas L, Venables F H. The onset of the F-region disturbance at middle latitudes during magnetic storms. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1966, **28**(3):599—605

[6] Mendillo M. A study of the relationship between geomagnetic storms and ionospheric disturbances at mid-latitudes. *Planet. Space. Sci.*, 1973, **21**(2):349—358

[7] Balan N, Rao P B. Dependence of ionospheric response on the local time of sudden commencement and the intensity of geomagnetic storms. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1990, **52**(4):269—275

[8] 王劲松, 肖佐. 中纬电离层暴负相开始时间与磁暴主相开始时间的对应关系. 空间科学学报, 1994,**14**(3):191—195

[9] Wrenn G L, Rodger A S, Rishbeth H. Geomagnetic storms in the Antarctic F-region. I. Diurnal and seasonal patterns for main phase effects. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1987, **49**(9):901—913

[10] 张奇伟, 郭兼善, 章公亮. 磁暴期间中低纬电离层暴形态和物理机制分析. 空间科学学报, 1993, **13**(4):262—270

[11] Ma S Y, Xu L, Yeh K C. A Study of ionospheric electron density deviations during two great storms. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1995, **57**(9):1 037—1 043

[12] 章公亮. 磁暴形态类型与行星际磁云特征. 中国科学 A 辑, 1990, **11**(10):1 068—1 078

[13] Duncan R A. F-region seasonal and magnetic-storm behaviour. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1969, **31**(1):59—70

[14] Rishbeth H. F-region storms and thermospheric circulation. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1975, **37**(7):1 055—1 064

[15] Fuller-Rowell T J *et al.* Response of the thermosphere and ionosphere to geomagnetic storms. *J. Geophys. Res.*, 1994, **99**(3):3 893—3 914

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

[16] Fuller-Rowell T J *et al.* On the seasonal response of the thermosphere and ionosphere to geomagnetic storms. *J. Geophys. Res.*, 1996, **101**(2):2 343—2 353

[17] Prolss G W. On explaining the local time variation of ionospheric storm effects. *Ann. Geophys.*, 1993, **11**(1):1—9

[18] Rishbeth H. How the thermospheric circulation affects the ionospheric F_2-layer. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1998, **60**(14):1 385—1 402

[19] Field P R *et al.* Modelling composition changes in F-layer storms. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1998, **60**(5):523—543

THE GLOBAL IONOSPHERIC RESPONSE TO THE GEOMAGNETIC STORM EVENT DURING MAY 1998

ZHANG Manlian SHANG Sheping GUO Jianshan LUO Xigui

(*Center for Space Science and Applied Research, The Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080)

Abstract

Using the ionospheric characteristic parameter f_0F_2 observed in more than 40 ionosonde stations distributed over the world, the response of the ionosphere to the geomagnetic storm event during May 1998 is studied by calculating the percentage deviation of the daily f_0F_2 value from its monthly median value for these stations which are divided into 5 regions according to their longitudinal distribution. The results showed that the characteristics of the ionospheric disturbance during the active phase of the storm can be explained by the storm circulation theory, but it seems that the positive disturbance appearing in the European region during the late recovery phase could not be attributed to this explanation.

Key words Ionospheric storm, Disturbance morphology, Disturbance mechanism, Global response

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com