第4卷 第4期 空间科学学报 Vol. 4, No. 4
1984 年 10 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 1984

比斯开湾上空电子总量对磁暴的响应

黄 天 锡
(中国科学院武汉物理研究所)

摘 要

本文论述过去十年中,在英国 Aberystwyth 城观测同步卫星 Intelsat IIF2 和 SIRIO 信标时获得的大西洋比斯开湾上空电子总量对磁暴的响应. 所选择的地磁-电离层暴分属前后两个太阳活动较高周期,主要集中在春秋分阶段和冬夏至阶段. 文中指出,春分期间连续型磁暴使 TEC 在正相效应之后出现加长的凋落周期,集中型磁暴导致 TEC 在正相之后产生凋落周期缩短;春秋分和冬夏至时磁暴伴生的电子总量形态受制于急始时刻与次数、磁暴主相、磁暴指数(即暴时位置和暴情指数)等因素.

一、前 言

英国 Aberystwyth 电离层台 (52.°42N, 4.°05W) 在第 20 周太阳活动峰年下降段对静驻于 7°W赤道上空的同步卫星 Intelsat IIF2 的信标作了法拉第旋转观测,在第 21 周太阳活动峰年对静驻于 15° W 赤道上空的同步卫星 SIRIO 亦作了观测. 两段观测所得到的 420km 高度上代表性电离层的垂足分别是 46.°8N, 4.°5W 和 46.°8 N, 6.°W, 均在东北大西洋比斯开湾地区. 垂足间的距离为 117km, 实际上属于同一海域,前后延绵十年.

表 1 六次典型磁暴参数和太阳黑子平均数

太阳周期	分至期	时 间	急始世界时	最大 Dst	最大 Kp	最高 Ap	黑子数 $\bar{R}_Z$
峰顶段	春分期	1981 年 4 月 11 日	11日0725,11日1339	−291γ	8+	121	156
		1979 年 4 月 25 日	24日2358	−148γ	8	126	141
峰前缘	秋分期	1978 年 9 月 29 日	29日0301	−241γ	8	109	108
		1978 年 8 月 28 日	27日0247	−242γ	8+	124	104
下降段	夏至期	1972 年 6 月 17 日	17日0630,17日1311	−190γ	8+	126	70
	冬至期	1971 年 12 月 17日	17日190517日1418		7+		70

本文选择两次太阳活动峰顶峰缘年间六次典型磁暴-电离层暴进行分析研究. 其中两次属于春分期间, 两次秋分期间, 一次夏至,一次冬至. 现将这六次典型磁暴参数列于表 1. 由表 1 可见, 所测春秋分期间的四次磁暴在这次峰年的峰前缘和峰顶段, 使用

本文于 1983 年 5 月 3 日收到.

SIRIO 卫星信标. 冬夏至期间的两次磁暴属于上次峰年的峰后缘，使用 Intelsat IIF 2 卫星信标.

二、暴情分析研究

1.1981 年 4 月 11 日磁暴和 TEC 的响应

这次磁暴-电离层暴是多年来难得的一次典型地球物理暴变，其 Dst、Kp、Ap 和垂直柱体 TEC 暴情曲线示于图 1. 暴情属不断升高的连续暴. 急始发生在 11 日 7 时与 13 时，嗣后步步升级，至 13 日达−291γ. 急始日昼间 TEC 比月均值（虚线所示）约高 35%. 入夜，仅及月中值的 50%，呈大起大伏状. 次日，昼间 TEC 不能扬起，只达到月均值的 40%. 下午阶段并出现徘徊波动. 在夜间(4 月 13 日电离层日出前)极小值更形凹陷. 12 日和 13 日的 Ap 数分别为 96 和 121. TEC 变化曲线亦较接近. 14 日 Ap 跌至 27，TEC 趋返寻常状态，至 15 日磁静日则相当好地吻合月均曲线. 连续磁暴造成 TEC 陡增之后凋落期间加长. 强地磁活动持续 80 小时，TEC 的正相负相和恢复相共

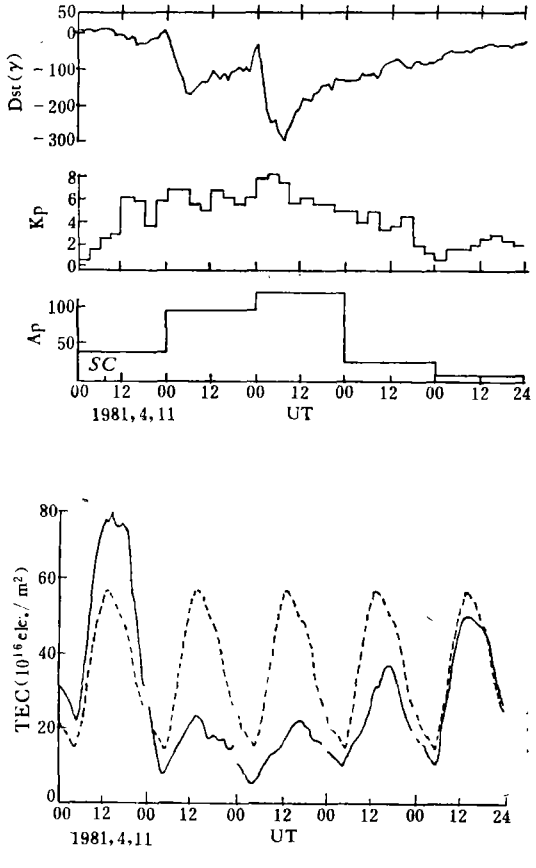


图 1 1981 年 4 月 11 日地磁-电离层暴

Fig. 1 Geomagneto-ionospheric storm on April 11, 1981

延续约 96 小时，饶有意义．

2. 1979 年 4 月 25 日磁暴和 TEC 的响应

本次磁暴的暴情及其 TEC 后效示于图 2．磁情的突出之处在于其集中性．磁暴发轫于 4 月 25 日 0 时前两分，24 日可认为是相当宁静之日，TEC 曲线同月均值甚符合．25 日电离层日出前后，TEC 未见异常．10 时起，TEC 升越月均值，超出约 15%．午后不久即遽落，低于月均值约 30%．25 日的昼间峰呈尖锐型．起伏之后，夜间极小值略低于寻常日，翌日昼间 TEC 只及寻常昼间值的一半．再过一日，即返常态．TEC 对磁暴的响应明显，但后效短促，不及 48 小时．

1981 年 4 月 11 日磁暴属于连续型暴(长暴)，TEC 初始正相之后的负相加长即长期凋落．1979 年 4 月 25 日磁暴属于集中型暴(短暴)，TEC 初始正相之后的负相缩短，即短期凋落，此为值得注意之点．

3. 1978 年 9 月 29 日磁暴和 TEC 响应

这次地磁暴情和电子总量形态示于图 3．由图可见，磁暴之前 Kp、Ap 指数已较高，29 日凌晨 3 时急始后，当日 TEC 昼间峰尖细，且高出寻常日 50% 以上．入夜凋落，极小值低陷．次日昼间及第三日昼间一再升起．共计三次正相，一次负相．此次秋分期的 TEC 正相增多情况显然不同于上述春分期的 TEC 的响应特性．

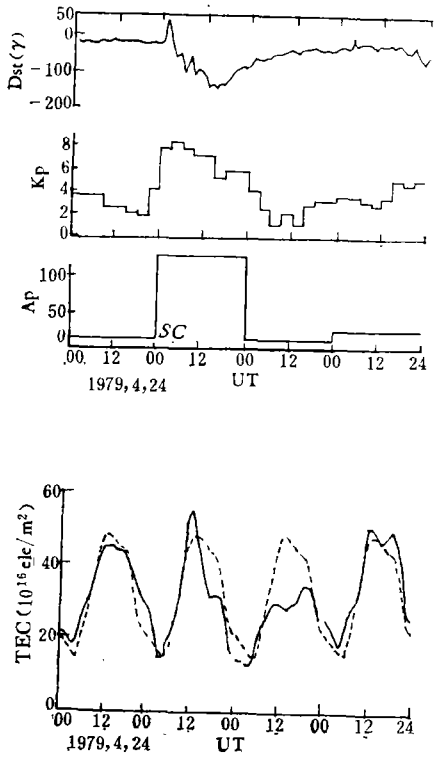


图 2　1979 年 4 月 25 日地磁-电离层暴

Fig　2　Geomagneto-ionospheric storm on April 25, 1979

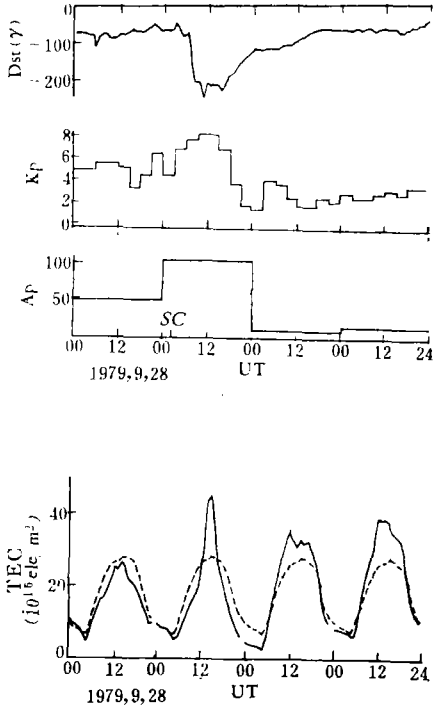


图 3　1978 年 9 月 29 日地磁-电离层暴

Fig.　3　Geomagneto-ionospheric storm on September 29, 1978

4.1978 年 8 月 28 日磁暴和 TEC 响应

本次暴情如图 4 所示. 急始时刻早，出现在 27 日 2 时 47 分，但急始后磁活动未大增,27 日 TEC 昼夜曲线等同寻常. 待磁暴主相来潮后，28 日昼间 TEC 峰值严重凋敝，只及平日的一半. 并且夜间极小值亦处于极低状态. TEC 于 29 日已部分回常态，超过月均值为 20%. 但 30 日尚有余波,又形凋落. 午后回升同午前凋落形成明显对比，结果出现尖瘦型午后峰.

这次磁暴同 9 月间的磁暴主相出现情况不同,而 TEC 行为亦生差异. 9 月 29 日磁暴时 TEC 响应是正相多于负相,8 月 28 日磁暴时 TEC 响应则是正负相交替出现. 9 月时是高尖型，8 月时是低宽型. 虽然两次磁暴发生在相隔一个月的期限里,围绕在秋分两侧,均发物于午夜过后,但主相及暴前暴后形态不同,影响所及，TEC 的响应大异.

比较最近一个太阳活动峰年范围内的春分期和秋分期的 TEC 响应关系说明，二分点情况有所差别. 但考其渊源可能主要是由于急始时刻、主相出现时刻、磁暴持续时间和磁暴形态学等地磁暴情特性差异所使然.

作为参考比较,现将相隔万里之遥、地方时提前 8 小时的武汉台所记录到的 1978 年 8 月、9 月、1979 年 4 月和 1981 年 4 月四次特大磁暴时的 f_0F_2 示于图 5. 由图 5 可见，$f_0F_2(\propto N_m^{\frac{1}{2}})$ 的响应不及 TEC 灵敏. 由于纬度不同,昼夜进程错开，各次磁暴急始与主

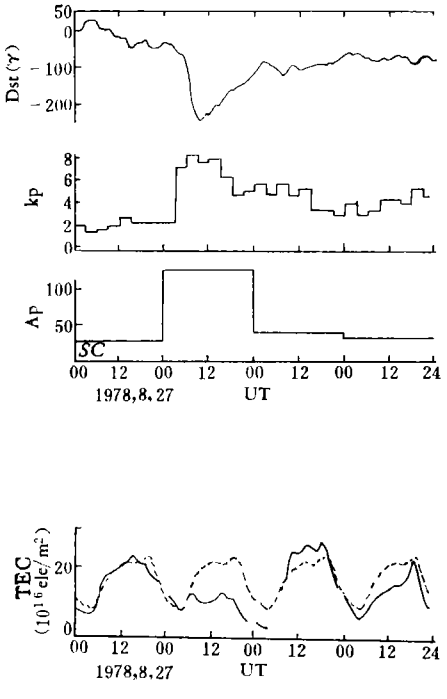


图 4 1978 年 8 月 28 日地磁-电离层暴

Fig. 4 Geomagneto-ionospheric storm on August 28, 1978

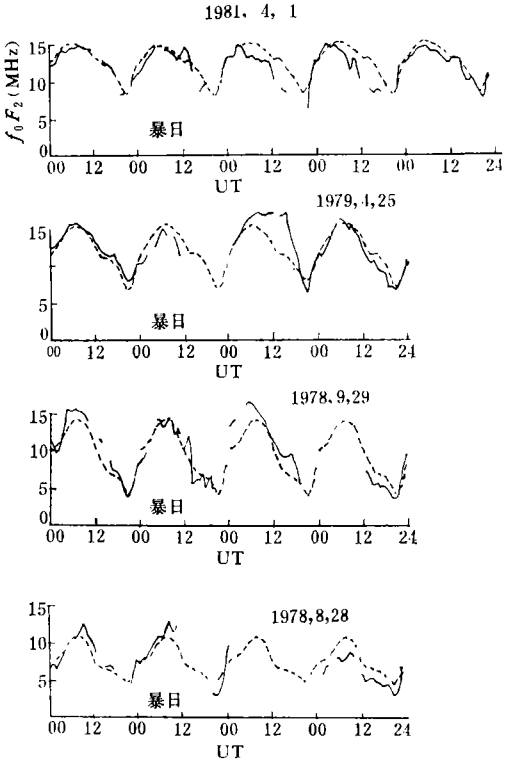


图 5 武汉上空四次特大磁暴期间 f_0F_2 的变化

Fig. 5 f_0F_2 variations over Wuhan during four severe geomagnetic storms

相时刻在时间轴上均向前移动了 8 小时的位置，武汉 F 层暴时形态又别具特色．在比斯开湾 TEC 暴变强烈之处并未见得是东亚中低纬交界区 f_0F_2 响应明显之时，故需进一步研究．曲线若以 $(f_0F_2)^2$ 形式绘出，则可看到暴时 N_m 对月中值的偏离更大，但不管怎样，电离层暴总的形态在欧亚两地仍不相同．

5.1972 年 6 月 17 日夏至期间磁暴和 1971 年 12 月 17 日冬至期间磁暴的 TEC 响应

1972 年 6 月的特大磁暴第一次急始发生在格林尼治时间 17 日 0630，第二次急始发生在同日 1311，磁暴主相出现于 17 日 2030，行星磁情指数 Kp 于 17 日午夜后达到最大值 8^+．这次磁暴时的 TEC 响应见图 6(a)．由图可见，6 月 17 日 TEC 同暴前日无大异．18 日记录虽有缺值，但凌晨极小值深陷，昼间峰凋落之势依然可辨．不过 19 日即恢复完毕，TEC 对磁暴的响应不足 48 小时．值得注意的是，第二次急始发生在 17 日正午过后不久，居然对 17 日昼间的电子总量未产生多大影响，仅导致入夜后电子总量一路跌落及次日昼间不振．

1971 年 12 月的特大磁暴亦有两次急始．第一次急始发生于 16 日 1905，第二次急始发生于 17 日 1418，磁暴主相出现于 17 日傍晚，行星磁情指数 Kp 于 17 日午夜前达到最大值 7^+．这次磁暴时的 TEC 响应见图 6(b)．由图可见，17 日电子总量午前值无异于常日．在第二次急始后，TEC 先作正常的下午时段降落，旋又于电离层日落后 TEC 突起，并几乎达到昼间峰值高度．这种夜间峰是少见的．其后再次降落．18 日拂晓前的极小值比平日低，但昼间峰又高于往日．磁暴之后，未见 TEC 昼间凋落．在这次比斯开湾峰年后下降段 12 月间的磁暴中，TEC 变化未见到有明显的负相和恢复相，但正相较明朗．

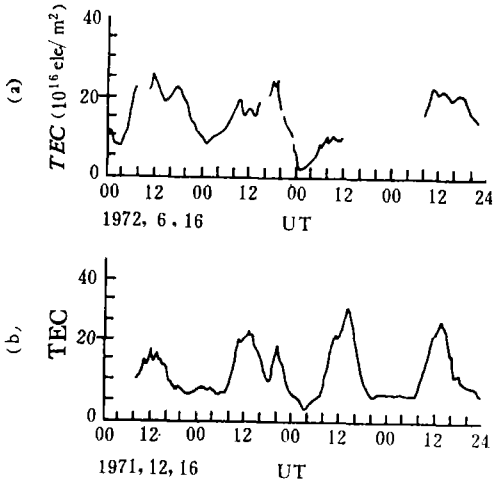


图 6　比斯开湾 1972 年 6 月 17 日磁暴时(a)和 1971 年 12 月 17 日磁暴时(b)的 TEC 响应

Fig. 6 TEC response over the Bay of Biscay to geomagnetic storms on June 17, 1972 (a) and on December 17, 1971 (b)

夏至和冬至期间，TEC 对磁暴响应的形态差异，看来季节因素起了不少作用（两次磁暴的第二次 SC 时刻相当接近）．两者的 TEC 昼间峰呈现倒相之势．

三、结 论

（一）松下祯见(S. Matsushita)[1]在考察四十、五十年代间大中磁暴时期电离层行为后提出，在中纬度地区，电离层峰值电子浓度 N_m 的统计表现，开始时常有一短期增长，跟着有较大的减低，其后逐渐恢复，这是就平均效果而言的．从本文的研究结果来看，对本初子午线扇区中纬度电离层电子总量在六次急始型特大磁暴时的具体分析表明，在前后两个太阳黑子峰年(第 20 周和第 21 周)附近，春分、夏至、秋分、冬至期间的暴时 TEC 响应是不同的，应考虑电离层电子总量作为 2000 km 以下法拉第旋转有效探测区之内的积分电子浓度(电离层剖面积分)，受制于磁暴的急始时刻与急始次数、磁暴主相、磁暴持续时间、磁情指数和季节因素等各方面关系[2]．暴时 TEC 行为可以有几种不同情况，不能一概而论．一种是先增加随后较大地减少，相对而言较多见，另一种则是先降低随后较大地加强；对于特大磁暴来说，尚可遇到大幅度起伏型和昼间维持型[3]．本文分析表明，季节因素的影响的确不少．例如，1972 年 6 月 17 日的夏季磁暴和 1981 年 4 月 11 日的春季磁暴在暴情指数上有许多方面甚为接近，均出现两次急始，一次在清晨 7 时前后，一次在 13 时许，最大 Kp 均为 8^+，最高 Ap 均在 120 以上，但在 TEC 响应方面则很不相同．夏季时的磁暴不易形成 TEC 初相增长，而春季时的磁暴出现 TEC 初相陡挺．比斯开湾以外的其他地区亦有这种类似的季节效应，值得注意[4-6]．

（二）本文观测研究表明，对于同属春分期间的两次典型特大暴例(1979 年 4 月 25 日磁暴和 1981 年 4 月 11 日磁暴)而言，连续型磁暴会导致 TEC 正相之后的长期凋落；集中型磁暴仅产生 TEC 正相之后的短期凋落．连续型与集中型磁暴的 TEC 后效甚不相同．

（三）虽然秋分期间同春分期间太阳天顶角条件相似，磁暴伴生的 TEC 变化形态可以相去甚远，可见暴时位置和暴情特性具有相当重要的地位．远距离隔开的扇区 TEC 同 f_0F_2 或 $(f_0F_2)^2$ 性状不同，说明暴时位置和暴情指数均起作用．

（四）在夏至和冬至期间地磁-电离层暴的暴情分析，显示在同一地理位置上，在相隔整半年的时间里，电子总量的夏型响应和冬型响应基本上有倒相关系，但同时受暴时暴情参数影响．

感谢梁百先教授，龙咸灵教授，Granville Beynon 教授，L. Kersley 博士和 K. J. Edwards 先生的关心、支持与提供原始记录．

参 考 文 献

[1] Matsushita, S., *J. Geophys. Res.*, Vol. **64**, p.305, 1959.

[2] 黄天锡，武汉大学学报自然科学版，第3期，第47页，1983.

[3] Barbara, A. K., M. Devi, K. Rahman and P. Bardoloi, Proceedings of International Symposium on Becon Satellite Studies of the Earth's Environment (Ed. by T. R. Tyagi), National Physical Laboratory Press, New Delhi, India, p. 287, 1983.

[4] Bhuyan, P. K., T. R Tyagi, L. Singh and Y. V. Somayajulu, Proceedings of International Sym-

posium on Becon Satellite Studies of the Earth's Environment (Ed. by T. R. Tyagi), National Physical Laboratory Press, New Delhi, India, p. 271, 1983.

[5] Mendilli, M., M. D. Papagiannis and J. A. Klobuchar, *J. Geophys. Res.*, Vol. **77**, *p.* 4891, 1972.

[6] Mendillo, M. and F. X. Lynch, AFGL-TR-79-0074, Hanscom, Massachusetts, USA, 1979.

The Response of the Ionospheric TEC to Magnetic Storms over the Bay of Biscay

Huang Tian-xi

(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract

This paper deals with the response of total electron content of the ionosphere over the Bay of Biscay, the Northeast Atlantic Ocean, to geomagnetic storms observed at Aberystwyth, U. K., from geostationary beacon satellites Intelsat IIF2 and SIRIO during the last ten years. The magneto-ionospheric storms selected belong to maxima of the 20th and 21st solar periods and are around the equinoxes and solstices. It is outlined that in spring months, the longish TEC depletion period appears after positive phase effect of continuous magnetic storm, and on the other hand, the short TEC depletion follows the concentrative magnetic storm. The TEC morphology associating with storms during equinoxes and solstices is influenced by some storm indices such as sudden commencement time and SSC occurrence frequency, season, storm main phase, *Dst*, *Kp*, *Ap*, etc.