

ISSN 0001-5733

地球物理学报

ACTA GEOPHYSICA SINICA

第35卷 增刊

Vol. 35 Supplement

1992

中国地球物理学会编辑
地质出版社 出版

地球物理学报

第35卷 增刊

目 录

关于 IRI-86 模式提供的赤道异常形态的合理性	沈长寿 资民筠 (1)
三维大气运动的非线性Lyapunov稳定性判据	罗德海 (9)
大地形对基本气流的强迫影响	游性恬 李一平 徐延锋 (19)
高空大气环流与地球自转	杨志根 (27)
考虑大震破裂过程复杂性的经验格林函数法	刘鹏程 胡聿贤 林 皋 周克森 (34)
曲面破裂震源模型	徐文跃 钟时杰 白武明 (46)
恢复地面位移的数字滤波方法	李鸿吉 (59)
转换界面结构对远震PS波波形特征的影响	臧绍先 吴忠良 (65)
用转换波法探测海城震区的深部构造	赵国敏 吴忠良 (75)
S* 波的进一步研究及S _u 波的发现	周家纪 周熙襄 赵鸿儒 (88)
龙羊峡水库地壳分层结构及其周缘地震危险性	 闵祥仪 郭建康 李清河 周民都 盛国英 (97)
水库诱发地震发震应力分析	胡 平 胡毓良 (105)
地壳温度压力条件下岩石变形网络的实验研究	王子潮 王绳祖 王 威 (114)
超高压下陨石状态参数的实验研究	刘长泰 耿乃光 (125)
全球岩石层应力场的有限元模拟	李志雄 傅容珊 黄建华 (132)
动态大地测量边值问题及其球面解	夏哲仁 许厚泽 (142)
重力学奇异积分新算法	边少峰 董绪荣 (152)
论重力地形及均衡改正中的最佳半径	郭会庄 刘定和 刘立言 孙志浩 王崇镐 (161)
大气潮S ₂ 波对重力固体潮观测的影响	张昭栋 郑金涵 冯初刚 (169)
承压井水位对井口空气压力变化的响应	张昭栋 郑金涵 张广城 (176)
用重力仪进行航空重力测量	张善言 (183)
中国及邻近地区卫星磁异常的球冠谐和分析	安振昌 马石庄 谭东海 (188)
用等效偶极源方法计算中国地区卫星磁异常	 徐元芳 D.J.Kerridge D.R.Barraclough (198)
非均匀场源对地磁感应的影响	高 文 (203)
电偶源频率电磁测深中两种比值视电阻率的联合反演	(211)
分层线性模型的大地电磁反演	(218)
山东蒙阴胜利一号金伯利岩管的磁性特征及其意义	(231)
松山反极性时末期的地球磁场倒转	 葛同明 徐 行 樊利民 刘 坚 文思郁 梁春艳 (239)

松辽地块白垩纪地层的磁倾角数据及其构造分析	方大钧 张兆华 金国海 陈汉林 程学儒 高瑞琪 谢锦龙 (250)
北京周口店太平山剖面磁性地层及其地质意义	金增信 刘 椿 曹伯勋 (259)
计算磁性体下端埋深问题	熊光楚 (265)
地磁测量三轴磁通门磁强计自适应校准	董大群 李 斌 (272)
ZRT型直线热敏地震通用记录器	郑炳钧 马定洪 姚安康 (280)
岩石破裂时的电磁辐射	王炽仑 杨仲乐 陈以旭 周金才 黄景汉 金祥瑞 (287)
水压致裂数据与原地应力的关系	潘立宙 崔力争 (292)
盐岩水压致裂破裂压力的研究	肖长富 阳友奎 吴 刚 邱贤德 周时光 (302)
双相介质半空间中瑞利波的研究	赵凤文 (310)
流体饱和度、频率、流体类型对岩石弹性波速度影响的实验研究	沈联蒂 史 诤 (322)
薄互层地震研究的一个途径	李国治 储雪松 王建民 (332)
应用Radon变换进行长波长剩余静校正	傅旦丹 (341)
电磁波井间层析技术在城建工程中的应用	冯 锐 陈家庚 郭强绪 周海南 郝锦琦 姚存英 (348)
电磁波传播测井仪探测深度的理论研究	吴信宝 潘威炎 (358)
短论	
遗传算法在地球物理反演问题中的一些应用	石耀霖 (367)
电离层D区中C层的进一步认证	杨克俊 (372)
E-F ₁ 谷区电子有效复合系数的一个经验剖面	陈耀武 徐秀娟 (377)
几个光化反应对低纬100—200km间电子密度的贡献	徐秀娟 陈耀武 (380)
用地磁静日变化研究深部电导率的单台Z/H法	陈伯舫 (384)
孕震岩体性质对地震频度异常的影响	梅世蓉 许昭永 庄灿涛 舒燕华 包一峰 (391)
最大熵谱法研究东北地学断面地壳磁结构	赵连福 胡耀峰 牛 雪 董宝忠 (397)
关于新型材料地磁脉动仪的研制	张永荣 朱岗昆 (403)
一种数字磁化率仪	王力波 (409)
一个PE-PC地球物理勘探微机工作站	张 清 刘绍中 柳朝阳 (416)
综述	
突变理论在地学中的应用	王延韞 康仲远 (420)
讨论	
评Spector等效论及有关居里面反演方法	安玉林 (431)
球层与板体的重力关系及其对中间层改正的意义	孙和清 (439)
微球聚焦测井的数学模型研究	吴信宝 潘威炎 (444)
γ 测井曲线及其 V_{τ} 影响	沈建国 (451)
对地震烈度的看法	钱培风 (456)
关于《地震过程动力学行为和可预报性问题研究》一文中两个问题的讨论	洪时中 (462)
GP算法应用于地震研究的有关问题——答复洪时中同志	胡 平 杨培才 李 卫 (464)

ACTA GEOPHYSICA SINICA

Vol. 35 Supplement

Contents

- About the Reasonableness of the Equatorial Anomalous Morphology
Provided by IRI-86.....*Shen Chang-shou Zi Min-yun* (8)
- Nonlinear Lyapunov Stability Criteria in Three Dimensional Atmospheric
Motion..... *Luo De-hai* (18)
- The Influence of the Large Scale Orographic Forcing on the Basic Flow
..... *You Xing-tian Li Yi-ping Xu Yan-feng* (26)
- The Atmospheric Circulation in the Stratosphere and Lower Mesosphere
and the Earth Rotation..... *Yang Zhi-gen* (33)
- An Empirical Green's Function Method with Considering the Faulting
Process Complexity.....
..... *Liu Peng-cheng Hu Yu-xian Lin Gao Zhou Ke-sen* (45)
- A Curve-Fracture Model of Earthquake Source
..... *Xu Wen-yue Zhong Shi-jie Bai Wu-ming* (58)
- A Digital Filter Technique for the Recovery of Ground Displacement
..... *Li Hong-ji* (64)
- Effect of the Structure of Discontinuities on Teleseismic *PS* Waveforms
..... *Zang Shao-xian Wu Zhong-liang* (74)
- Deep Structure of the Haicheng Area by Teleseismic *P-to-S* Converted
Waves..... *Zhao Guo-min Wu Zhong-liang* (87)
- Further Research of the *S** Wave and Discovery of the *S_n** Wave
..... *Zhou Jia-ji Zhou Xi-xiang Zhao Hong-ru* (96)
- The Study of the DSS at Longyangxia Region and the Estimation of
Seismic Risk *Min Xiang-yi*
Guo Jian-kang Li Qing-he Zhou Min-du Sheng Guo-ying (104)
- Analyses on Reservoir Induced Earthquakes Generating Stress
..... *Hu Ping Hu Yu-liang* (113)
- An Experimental Study on Deformation Networks of Rocks at Crustal
Pressures and Temperatures
..... *Wang Zi-chao Wang Sheng-zu Wang Wei* (124)
- The Experimental Study on State Parameters of Meteorite under Ultra-
High Pressure..... *Liu Chang-tai Geng Nai-guang* (131)

A Similation of the Global Lithospheric Stress Field by Finite Element Method.....	<i>Li Zhi-xiong Fu Rong-shan Huang Jian-hua</i> (141)
The Geodynamic Boundary Value Problem and Its Spherical Solution.....	<i>Xia Zhe-ren Xu Hou-tze</i> (151)
A New Evaluation Approach to the Singular Integrals in Gravimetry.....	<i>Bian Shao-feng Dong Xu-rong</i> (160)
On Optimum Radius of Terrain and Isostatic Correction in Gravity Survey.....	<i>Guo Hui-zhuang Liu Ding-he Liu Li-yan</i> (168)
The Effect of Atmosphere Tide on the Observation of the Gravity Tide (S_2)	<i>Zhang Zhao-dong Zheng Jin-han Feng Chu-gang</i> (175)
The Response of Water Level in Pressure Well to Pressure Variation in Well Air.....	<i>Zhang Zhao-dong Zheng Jin-han Zhang Guang-cheng</i> (182)
Using Gravimeter to Carry out Airborne Gravimetry.....	<i>Zhang Shan-yan</i> (187)
Spherical Cap Harmonic Analysis of Satellite Magnetic Anomaly in Chinese and Adjacent Region.....	<i>An Zhen-chang Ma Shi-zhuang Tan Dong-hai</i> (197)
The Crustal Magnetic Anomaly Field over China Derived by An Equivalent Source Method.....	<i>Xu Yuan-fang D.J.Kerridge D.R.Barracclough</i> (202)
Source Effects on Geomagnetic Induction.....	<i>Gao Wen</i> (210)
The Joint Inverse of Two Ratio Apparent Resistivities in Frequency Electromagnetic Sounding with Horizontal Electric Dipole	<i>Lin Chang-you Wu Yu-xia</i> (217)
Magnetotelluric Inversion of Linear layered Earth	<i>Fang Sheng Luo Yan-zhong</i> (230)
The Characteristics and Significance of Shengli No.1 Kimberlite Tube in Mengyin, Shandong Province	<i>Meng Xiao-hong Tan Cheng-ze Xu Tong-chun</i> (238)
The Reversal of Geomagnetic Field in Late Matuyama Chron.....	<i>Ge Tong-ming</i>
	<i>Xu Xing Fan Li-min Liu Jian Wen Si-yu Liang Chun-yan</i> (249)
Paleomagnetic Inclination Data and Its Tectonic Significance of Cretaceous Formations from Songliao Block, Northeastern China	<i>Fang Da-jun Zhang Zhao-hua Jin Guo-hai</i>
	<i>Chen Han-lin Ye De-quan Cheng Xue-ru Xie Jin-long</i> (258)
The Magnetostratigraphy of Taipingshan Quaternary Section in Zhoukou-dian Beijing and Its Geological Singnificance	<i>Jin Zeng-xin Liu Chun Cao Bo-xun</i> (264)
Magnetic Inversion of Bottom Depth of Bodies	<i>Xiong Guang-chu</i> (271)

Adaptive Calibration of Tri-axial Fluxgate Magnetometer for Geomagnetic Measurement.....	Dong Da-gun Li Bin (279)
Development of the Type ZRT Linear Thermo-Sensitivity Seismic Popular Recorder.....	Zheng Bing-jun Ma Ding-hong Yao An-kang (286)
Electromagnetic Radiation during Rock Fracture	Wang Chi-lun Yang Zhong-le
.....	Chen Yi-xu Zhou Jing-chai Huang Jing-han Jin Xiang-rui (291)
On the Relation between Hydraulic Fracturing Data and In-Situ Stresses	Pan Li-zhou Cui Li-zheng (301)
Research on Breakdown Pressure of Hydrofracturing in Salt Rock	
.....	Xiao Chang-fu Yang You-kui Wu Gang Qiu Xian-de Zhou Shi-guang (309)
A Study on Rayleigh Wave in Two-Phase Medium	Zhao Feng-wen (321)
The Influence of the Degree of Saturation, Frequency and Fluid Type on Elastic Wave Velocity in Rocks—An Experimental Study.....	
.....	Shen Lian-di Shi Ge (330)
A New Method of Seismic Study of Thin-Bed Cyclothems	
.....	Li Guo-zhi Chu Xue-song Wang Jian-min (340)
The Long-Wavelength Residual Static Correction by Radon Transform	
.....	Fu Dan-dan (347)
Application of Geotomography to Civil Engineering in Urban.....	
.....	Feng Rui Chen Jia-geng Guo Qiang-xu Zhou Hai-nan Hao Jin-qi Yao Cun-ying (357)
Theoretical Study of the Depth of Investigation for Electromagnetic Wave Propagation Tool.....	Wu Xin-bao Pan Wei-yan (366)

Short Contributions

Some Applications of Genetic Algorithm in Geophysical Inversion Problems.....	Shi Yao-lin (371)
Further Evidence of C Layer in the Ionosphere D-region	Yang Ke-jun (376)
An Empirical Profile of Electron Effective Recombination Coefficients in the E-F ₁ Valley.....	Chen Yao-wu Xu Xiu-juan R.J.Hung (379)
Contribution of Several Photochemical Reaction to Electron Density in 100—200km Region at Low-latitudes.....	Xu Xiu-juan Chen Yao-wu (383)
Deep Conductivity Investigations Using the Single-Station Z/H Method for S _q Data.....	Chen Po-fang (390)
Effect of Rockmass Characteristic of Preparing Earthquake on the Anomaly of Pre-shock Seismic Frequencies	Mei Shi-rong
.....	Xu Zhao-yong Zhuang Can-tao Shu Yan-hua Bao Yi-feng (396)

Crust Magnetic Structure of Geoscience Transect in Northeast China Researched by Using M.E.S	
.....Zhao Lian-fu Hu Yao-feng Dong Bao-zhong Niu Xue (402)	
Studies on A New Magnetic Core Sensor of the Induction Magnetometer	
.....Zhang Yong-rong Tschu Kang-kun (408)	
A Digital Magnetic Susceptibility Meter (Kappa-Bridge)	
.....Wang Li-bo (415)	
PE-PC Geophysical Exploration Workstation.....	
.....Zhang Qing Liu Shao-zhong Liu Chao-yang (419)	

Reviews

The Application and Prospect of Catastrophe Theory in Earth Science	
.....Wang Ting-yan Kang Zhong-yuan (430)	

Discussions

Pass Judgment on Spector's Theory of Spectrum Equivalence and Methods of Curie Surface Inversion in Connection with the Theory	
.....An Yu-lin (438)	
The Gravity Relationship of Spherical layer and Slab as Well as Its Significance to the Intermediate Layer Reduction	
.....Sun He-qing (443)	
The Numerical Model Study of the Microspherically Focused Log	
.....Wu Xin-bao Pan Wei-yan (450)	
γ -Logging and It's $V\tau$ -influnce.....	
.....Shen Jian-guo (455)	
On the Earthquake Intensity.....	
.....Qian Pei-feng (461)	
Two Problems for Use of GP Algorithm.....	
.....Hong Shi-zhong (463)	
Some Problems about Applying GP Algorithm to Seismic Investigation ——Reply to Mr. Hong Shi-zhong	
.....Hu Ping Yang Pei-cai Li Wei (466)	

关于IRI-86模式提供的赤道异常 形态的合理性*

沈长寿

资民筠

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

(中国艺术研究院, 北京 100009)

摘 要

本文采用IRI-86的 $N_{\max}F_2$ 参数, 对地磁子午圈 $185^\circ E$ 剖面上的赤道异常形态进行了分析。结果表明, 太阳活动高、低年期间异常双峰的季变化、日变化各有不同特点, 综合热层风、热层大气成分输运、电离层等离子体漂移、扩散等理论, 可解释大部分形态变化的原因。对磁经 $100^\circ E$ 剖面的类似分析说明赤道异常有明显的经度效应。这再次表明中性大气运动对异常形态有重要影响。

用我国地面台站实测资料与模式值对比表明, 模式值的形态变化趋势是可信的。但实测的北峰强度及其北移的范围要比模式值偏大。

关键词 电离层赤道异常, 双峰的变化形态, 热层环流和成分输运。

一、引 言

由于地磁轴与地转轴间的偏离, 我国地区的磁纬一般比地理纬度约低 11° , 从而海口(地理纬度 $20.0^\circ N$, 磁纬 $7.8^\circ N$)、广州(地理纬度 $23.1^\circ N$, 磁纬 $11.9^\circ N$)一带正处于电离层 F_2 层赤道异常区北峰的移动范围。北峰位置及其变化规律不仅对赤道异常的研究极为重要, 也是了解中、低纬电离层形态必不可少的部分。我国电离层地面站链处于磁经 $185^\circ E$ 附近, 对此剖面上的异常形态研究更有现实意义。

关于 F 层赤道异常的变化规律, 在国外已有不少研究^[1, 2]。从机制说, 一般认为它是 E 层发电机电场导致的赤道区等离子体垂直漂移, 然后在 F 层沿磁力线向南北扩散的综合结果, 通常形象地称为“喷泉效应”。从基本形态看, 同一磁子午面内赤道南北两侧的 $N_{\max}F_2$ 从上午开始形成双驼峰的分布, 双峰间的槽在磁赤道附近。峰宽是上午增大、午后减小, 峰的强度则与赤道电集流强弱密切相关^[2]。最大峰宽和峰、槽处 $N_{\max}F_2$ 之最大比值, 在太阳活动低年期均约出现在 $14:00 LT$, 而高年期间可推迟到 $20:00 LT$ 附近。

目前已知, 赤道异常的形态及变化规律受到热层风和大气成分输运的重大影响。控制此影响的太阳辐射是随地理位置而变化的, 故对地磁南北而言是非对称的。这又使不同磁经剖面上的赤道异常形态有很大差异, 即所谓的“经度效应”^[3]。此“经度效应”在我国台站链的具体表现, 以及如何从热层-电离层耦合角度去进行物理分析, 均是很重要的研究内容。

我国处于同一磁经附近、可供直接分析北峰形态变化的仅4个地面站(主要为海口、广州

* 国家自然科学基金资助的课题。

本文1990年12月1日收到, 1992年3月4日收到修改稿。

两站), 不足以讨论异常的复杂变化规律。为此, 本文借助国际上广泛使用的经验模式 IRI-86^[4] (International Reference Ionosphere-86, 国际参考电离层, 1986年版) 所提供的分布值作为基础背景进行探讨, 检验经验模式是否反映了基本物理过程所期待的结果。并通过与我国台站实测资料的对照, 来分析模式值结论与实际变化间的偏离情况及可能的原因。

二、磁经185°E上赤道异常区 $N_{\max}F_2$ 分布及其随季节和太阳活动的变化

1. 变化形态

图1a给出了太阳活动高年(取1969年的相应的太阳黑子数12月滑动平均值)3个季节(春: 3月; 夏: 6月; 冬: 12月)电离层 $N_{\max}F_2$ 值沿磁经185°E在磁纬 $\pm 40^\circ$ 之间的分布。由于此剖面的 $\pm 40^\circ$ 上的地理经度差小于 2° , 故各纬度间的时差不大于8 min。可以认为图中以相同世界时、每隔 5° 磁纬取一 $N_{\max}F_2$, 并连接而成的曲线, 其地方时也是相同的。自下而上的曲线分别为磁赤道时间是10:00, 12:00, 14:00, 16:00和18:00 LT的 $N_{\max}F_2$ 模

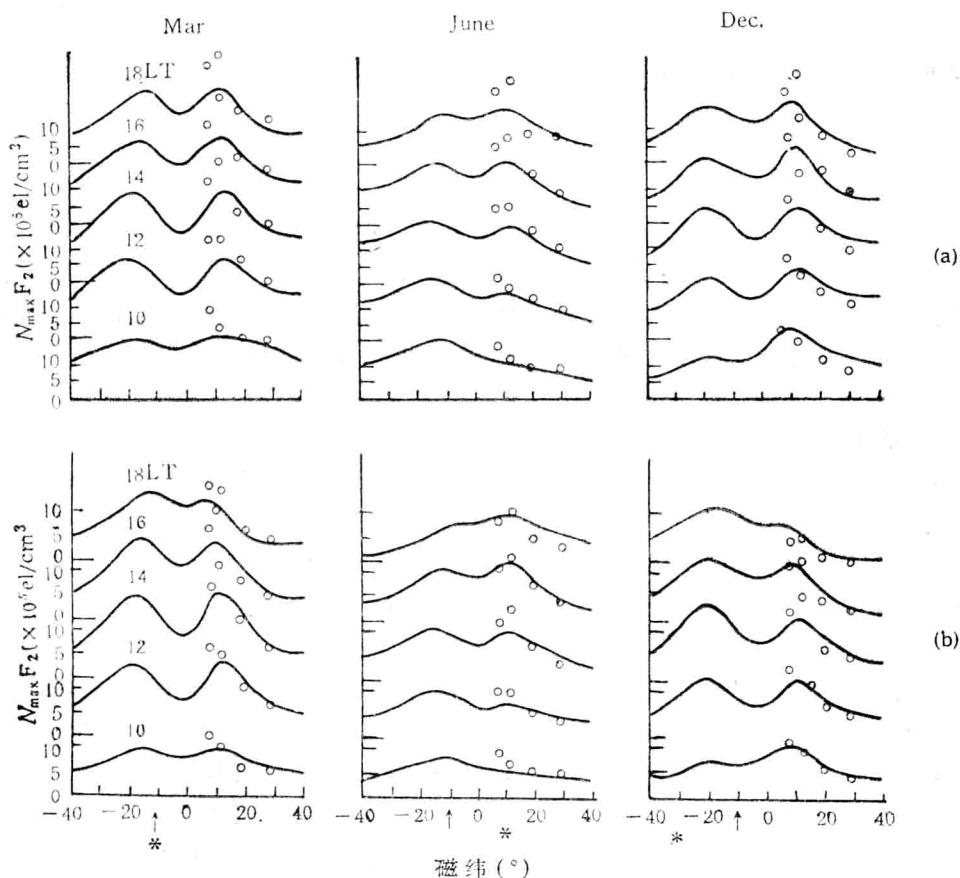


图1 磁经185°E剖面上, 春、夏、冬季、5个地方时的赤道区 $N_{\max}F_2$ 分布
(a)太阳活动高年期; (b)低年期。

式值。曲线附近的小圈，由南至北分别表示海口、广州、武昌（磁纬 19.9°N ）和北京（磁纬 29.0°N ）4站实测临频月中值换算的 $N_{\max}F_2$ 。关于小圈与曲线偏离的讨论留到下面再进行。图1b给出了太阳活动低年（取1976年的相应参数）时的类似分布。图中横坐标下面的箭头（↑）指出地理赤道的位置，而星号（*）表示中午日下点的磁纬。

从图1中双峰形态看，太阳活动高年期间，夏季南峰强于北峰；冬季则反之，特别是傍晚前后北峰不但不减弱，反而有所发展。与之大致相反，太阳活动低年时，夏季午后北峰略强，冬季则南峰更高。春季情况均与冬季相近，但南北峰比较对称，且高年时春季双峰能维持到子夜以后（18:00LT后的北峰情况参见图4a）。

2. 物理讨论

IRI-86是个经验模式，能否反映基本物理过程所预期的结论也是检验此模式可信度（合理性）的一种方法。就目前所知，影响上述异常双峰复杂形态变化的物理因素有热层风、成分输运和F层发电机理论^[5]等。下面我们用这些基本物理过程来定性地考察和分析模式所提供的赤道异常的变化规律是否合理。

磁静日的热层风主要有两部分组成：日变化分量(u)方向是从白天(午后15:00—16:00LT)高压中心吹向夜间；年变化分量(U)是从夏半球吹向冬半球的热层大气全球环流。两者叠加的实际风系自然与地方时、季节有关，也随太阳活动程度而变。

春、秋季为年变化风向转换季节，日变化分量南北向也较对称，故分日期间赤道异常的控制过程主要是“喷泉效应”，热层风的影响较小，从而出现了比较对称的异常双峰分布。冬、夏则不同，热层风对F层等离子体沿磁力线扩散有不对称的作用，造成南、北峰形态的明显差别。图2给出了冬季热层风作用的示意情况。

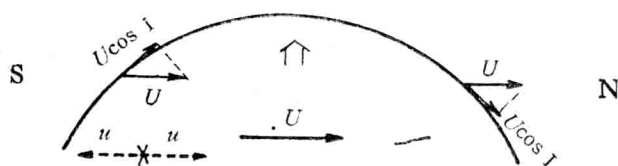


图2 冬季热层风对F层等离子体沿磁力线扩散的作用

图2中↑表示在E层发电机白天东向电场作用下，赤道电离层等离子体的垂直向上漂移（“喷泉”）。 U 为从（磁）南半球（当地夏季）穿越赤道向北的热层风速。*为中午日下点，即图1中横坐标下*的位置。午后热层风日变化分量大致为从此点吹向南北（见图2中虚线 u 。因为此剖面内磁经与地理经圈基本一致）。图中曲线为磁力线。 U 在磁力线的切线分量 $U \cos I$ （ I 为磁倾角）为等离子体的扩散速度。

对于太阳活动高年情况，全球风系 U 的作用在南半球（ U 的上游）是削弱了“喷泉效应”中的扩散作用，从而使这里的 $N_{\max}F_2$ （比无风时）降低。在北半球（ U 的下风区）正相反。于是有可能出现如图1a中12月份那样的北峰比南峰高的分布形态。类似地，对夏季情况的讨论可解释造成图1a中6月份 $N_{\max}F_2$ 分布的原因。

冬夏差异的本源是地磁轴与地转轴不相重合。冬季中午日下点（*）磁纬大于 30°S ，所以午后大部分地区 u 与 U 同向，即 u 加强了 U 的作用；夏季（*）位于 10°N 附近，磁纬北于 10°N 地区内 U 与 u 的作用是相反的，即热层风对 $N_{\max}F_2$ 分布的影响减弱了，其结果是夏季时赤道

异常南峰的相对增强不如冬季北峰那样明显。

此外,热层全球环流还把夏半球内原子氧占较大比例的中性大气输运到冬半球,从而使那里出现更多的 O^+ 。这就是已经熟知的冬季电离层 $N_{\max}F_2$ 大于夏季值的所谓“反常”的主要原因。当然,这也是赤道异常中冬季峰值高于夏季峰值的原因之一。

热层风效应还表现在赤道槽的移动方向上。冬季槽位置日变化是上午在(磁)赤道附近,下午移到北半球;夏季则相反。与双峰强弱情况类似,槽移动的距离也是夏季比冬季小些。

在太阳活动低年,冬、夏的 $N_{\max}F_2$ 模式值分布(图1b)与高年时的相应情况(图1a)有较大的不同。这仍可由热层风及有关理论说明。低年时电离层电子密度偏低,离子对中性大气运动的曳力变小,因此热层风速比高年时期要大。这样,在冬季(磁)南半球虽然环流风系应使从赤道扩散来的等离子体要少一些,但与此同时,较大风速从北半球(当地夏季)输运来更多的氧原子,经电离后仍能维持较高的南峰。在北半球则不同,虽然风会加强“喷泉”的扩散效果,成分输运也有利于 $N_{\max}F_2$ 增高,但较大的中性风将使这里的等离子体以更快的速度($U \cos I$)沉降到低电离层去。特别是低年的 $h_{\max}F_2$ 要比高年时低许多,即等离子体沿之扩散的磁力线管很短。它们快速地沉降到低高度而复合消失,这正是低年冬半球峰值偏低的原因。

夏季情况与冬季正好相反,不再赘述。

三、赤道异常的经度效应

图3给出磁经 $100^\circ E$ (磁赤道处的地理经度约 $30^\circ E$)子午圈内,太阳活动高年时赤道异常区 $N_{\max}F_2$ 的模式值分布。低年的情况类似,不再给出。显然,这与图1a磁经 $185^\circ E$ 剖面上的分布有很大差别,特别是冬季情况。这表明模式能反映出赤道区F层形态结构明显地随经度而异^[3]。

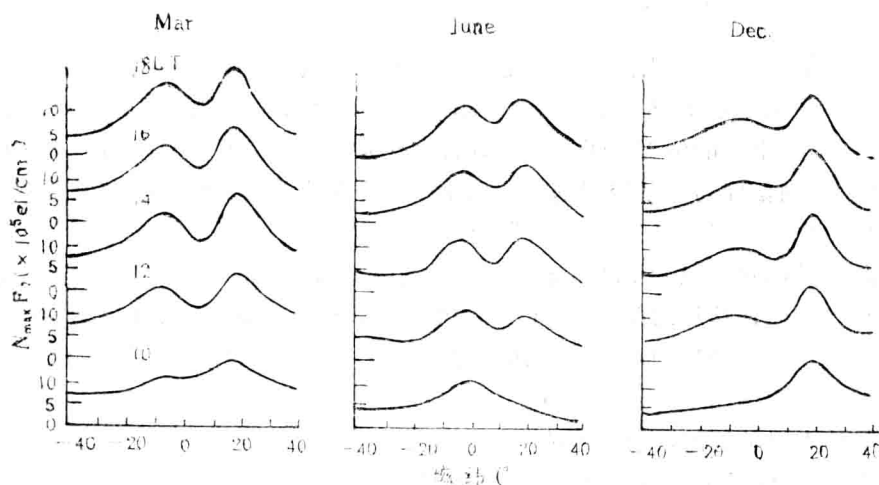


图3 同图1a, 但为磁经 $100^\circ E$ 剖面上的 $N_{\max}F_2$ 分布

造成这种经度差异的原因,很可能与风系分布对地磁南北的非对称有关。地理经圈 30°E 在赤道附近与磁经圈 100°E 的交角略大于 10° (中国 120°E 与磁经 185°E 间交角仅约 1°),故磁赤道两侧热层风分布很不对称。太阳辐射加热高层大气是控制热层风系的主要因素,各点加热状况与其地理位置有关。地理与地磁子午圈偏离使赤道两侧风速在磁子午圈上的投影出现明显的不对称^[5],这种效应已为许多不对称性的观测事实所揭示。如 $N_{\max}F_2$, $h_{\max}F_2$ 和顶部电离层电子浓度在磁赤道南北的不对称分布^[6],夜气辉辐射强度的不对称^[7],以及由于中性风驱动等离子体沿磁力线上升时的绝热冷却和穿越赤道后沿磁力线下降时的加热(如图2所示)所造成的南北温度不对称分布^[8]等。

四、赤道异常分布的日变化

图4给出太阳活动高年和低年(分别取1969和1976年相应参数)条件下,磁子午圈 185°E 上从磁纬 10°S 至 30°N 间的 $N_{\max}F_2$ 分布。自左至右仍分别为春(Mar.),夏(June)和冬(Dec.)的情况。垂直方向共24条曲线是在不同世界时(间隔1h)的 $N_{\max}F_2$ 分布。每条曲线其磁赤道上的地方时标记于春季(Mar.)曲线的右侧。曲线是每隔纬度 2° 的模式值 $N_{\max}F_2$ 连接而成的。曲线附近4个小圈仍表示我国4台站实测的相应值。

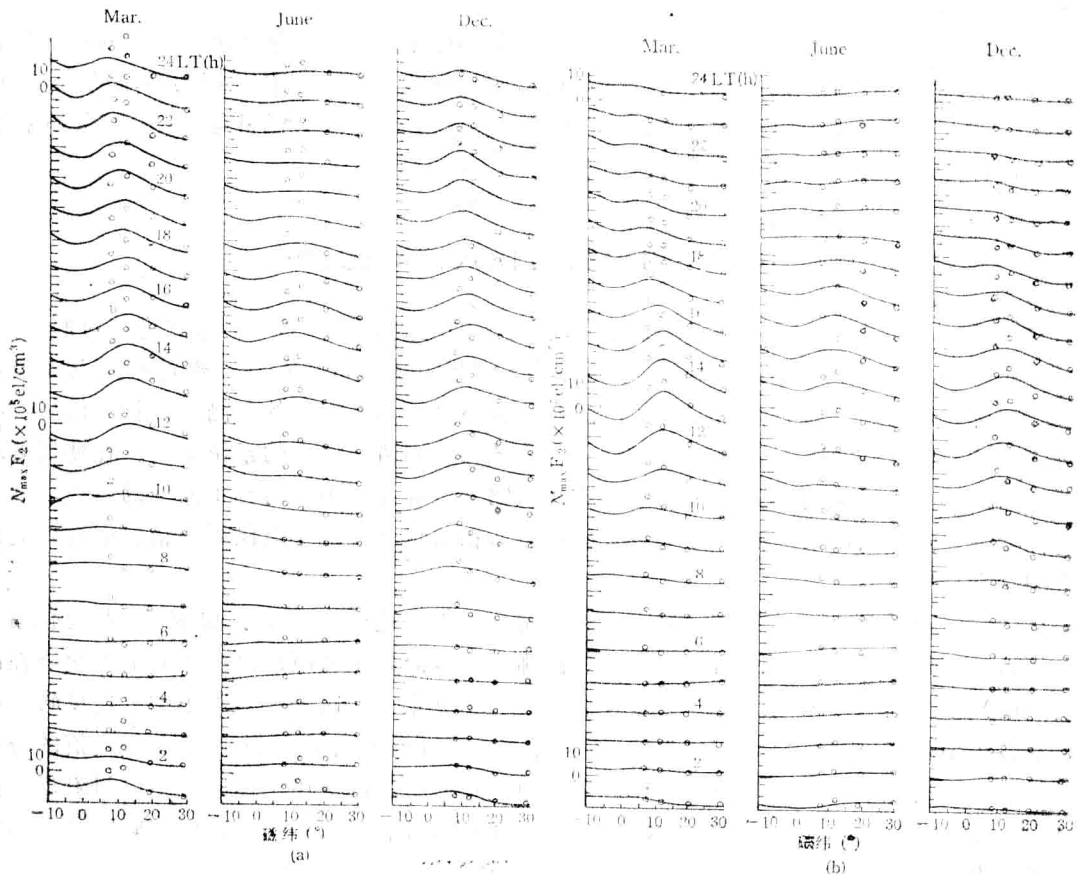


图4 春、夏、冬三季,磁经 185°E 剖面内 $N_{\max}F_2$ 分布的日变化
(a)太阳活动高年;(b)太阳活动低年。

由图4a可见,春季上午09:00LT已形成明显的双峰,14:00LT北峰达最强,傍晚后仍不减弱,一直维持到子夜后01:00LT。冬季情况与之类似,但上午北峰出现更早,子夜后已很弱。夏季则由于南峰强于北峰(见前讨论),到中午才出现明显的北峰,并在18:00LT后逐渐减弱、消失。

图4b给出了太阳活动低年时的 $N_{\max}F_2$ 分布日变化。与高年相比,大致趋势有许多相似之处。与图1a、b一样,图4a、b中纵坐标尺度是不同的,即图1b和图4b中的 $N_{\max}F_2$ 是相对地放大的了。

低年与高年的明显差别在于:高年春、冬两季的北峰持续到20:00LT后还很强,而低年时在15:00LT后即逐渐减弱。此现象与 F_2 层发电机电流通经离子分布不均匀界面的情况有关^[9]。高年时,傍晚前后自西至东有很大的离子浓度梯度,并建立起一个东向极化电场,以维持电流的连续性。若通过此极化电场的磁力线向下延伸到达的E层仍处于日照条件、并能充分导电,则能把此极化电场‘短路’掉,即通过场向电流使E层、F层的电路连接。若E层电导率已很低(夜间),则无短路效应,于是此东向极化电场将导致很强的垂直向上漂移。此向上漂移叠加在E层发电机驱动的‘喷泉’上,正是傍晚后北峰不减弱、并维持到子夜后的主要原因。上述现象已为Jicamarca非相干散射雷达观测所证实。按此推理,日出前应有向下的垂直漂移。但黎明F层电子密度很低,西向极化电场就很弱,除个别日子能观测到向下漂移加强外,平均而言无此效应。

太阳活动低年或夏季情况, $N_{\max}F_2$ 很小,极化电场弱,因此也观测不到傍晚后北峰仍维持较强的现象。即使是高年期,春季北峰的持续时间也比冬季更长,因为冬季傍晚F层磁力线有一端与处于夏季有日照的E层相连,从而‘短路’了赤道区(已日落)F层的东向极化电场,这样北峰的减弱和消失就比春季更早。

五、实测资料与模式值的比较

对上述185°E剖面上赤道异常模式形态,可用我国电离层站实测资料与之进行对照,图1和图4中的小圈为各相应情况下我国4个台站的实测换算值。可以看到,模式值大体上反映了实际的变化趋势。北京和武昌站观测值仅略微偏小,但海口、广州的实测值有较大偏高。我们过去的统计分析^[10, 11]也曾表明这一结果,即低纬实测值有较大的系统偏高。在使用要求精度较高的场合应考虑对模式值的修正。本文从物理过程分析出发得到了同样的结论,并表明这种低纬偏离在太阳活动高年时更为明显(图1a和图4a);低年时仅春季情况中有较大偏离(图1b和图4b)。

从图4a还可看到,海口尤其广州,实测值偏高,午后达最大,春季更甚。从变化趋势看,海口、广州两站实测值的相对大小,无论哪个季节都是午前海口值更大(上午北峰在海口或更南),午后则是广州站的值大(北峰移至广州或更北)。这一相对大小的再次反转的时间,在各季节不同:冬、夏均在21:00LT前后,春季可延迟到子夜以后。在模式值的分布曲线上,虽也反映了与之类似的日变化规律,但模式值的北峰在中午前就移至广州附近,傍晚18:00LT后已明显地向南回移。这就是说,北峰在我国海口、广州一带的实际驻留时间比模式所给出的更长,或者说,实际峰值北移要比模式情况更北些,特别是春季。

图4b表明,低年时北峰实际北移也比模式反映的更远。但从变化趋势看,低年的观测值

与模式值的总体相符情况要比高年时更好些。

关于IRI-86模式 $N_{max}F_2$ 值在低纬有系统偏低的事实也曾为顶部电离层观测所证实^[12]。这里我们从不同角度出發, 不仅再次肯定偏低的事实, 而且指出了可能的物理原因。至于广州站实测值(比海口)偏离更大的原因, 还有待进一步探讨。

六、小 结

1. 电离层赤道异常是由等离子体垂直上漂, 然后沿磁力线向南北扩散等机制造成的。但对其复杂形态变化的解释必须考虑热层风和大气成分输运, 以及F层发电机等的作用。

热层风主要由年变化分量和日变化分量两部分组成。年变化分量伴有大气成分输运, 它具有全球环流的特性。热层风对赤道异常南、北峰的不对称及其季节变化起主导作用。

太阳活动高年时, 尤其是春季, 北峰值在午后继续增强, 傍晚后才缓慢减弱, 且一直维持到子夜以后, 这可归于F层发电机的作用, 而发电机的驱动力仍是中性大气的运动。

总之, 热层-电离层耦合的研究对全面了解电离层赤道异常形态及其他现象是必不可少的。

2. 从上述物理过程出发, 考察、分析IRI-86模式所提供的电离层赤道异常变化形态, 是对此模式合理性评估的一种新的有效方法。结果表明, 模式所给的有关信息是较为满意的, 能反映出目前所知的主要物理过程所预期的内容。与我国地面电离层站实测资料进行比较表明, 模式大体上给出了相似的变化趋势。关于低纬地区模式值 $N_{max}F_2$ 系统偏低的事实, 从物理过程分析, 其可能原因是异常北峰实际移动范围要比模式值更北一些, 峰强也更高一些。

参 考 文 献

- [1] Rajaram, G., Structure of the equatorial F-region, topside and bottomside—a review, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **39**, 1125—1144, 1977.
- [2] Raghavarao, R., Sridharan, R., Sastri, J.H., Agashe, V.V., Rao, B.C.N., Rao, P.B. and Somayajulu, V.V., The equatorial ionosphere, in "WITS Handbook, V.1", 48—93, Ed. by C.H.Liu and Belva Edwards, Available from the SCOSTEP Secretariat, University of Illinois, Urbana, IL 61801, USA, 1988.
- [3] Walker, G.O. and Strickland, A.E., A comparison of the ionospheric equatorial anomaly in the East Asian and the American regions at sunspot minimum, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **43**, 589—595, 1981.
- [4] Bilitza, D., IRI: Recent development, *Radio Sci.*, **21**, 343—347, 1986.
- [5] Rishbeth, H., Dynamics of the equatorial F-region, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **39**, 1159—1168, 1977.
- [6] Thomas, L., The F₂-region equatorial anomaly during solstice periods at sunspot maximum, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **30**, 1631—1640, 1968.
- [7] Thuillier, G., King, J.W. and Slater, A.J., An explanation of the longitudinal variation of the O'D (630nm) tropical nightglow intensity, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **33**, 155—158, 1976.
- [8] Hanson, W. B., Nagy, A. F. and Moffett, R. J., OGO6 measurement of supercooled

- plasma in the equatorial exosphere, *J. Geophys. Res.*, **78**, 751—756, 1973.
- [9] Rishbeth, H., The F-region dynamo, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **43**, 387—392, 1981.
- [10] Shen Chang-shou and Zi Min-yun, A statistical comparison between critical frequencies predicted by IRI-86 and observed in China, Yun-nan Observatory, Special Issue II, 103—114, 1990.
- [11] Chen Zhong-sheng and Shen Chang-shou, Comparison between the IRI-86 and the ionospheric data of China, Yun-nan Observatory, Special Issue II, 115—127, 1990.
- [12] Bilitza, D., Rawer, K., Pallaschke, S., Rush, C.M., Matuura, N. and Hoegy, W. R., Progress in modeling the ionospheric peak and topside electron density, *Adv. Space Sci.*, **7/6**, 5—12, 1987.

ABOUT THE REASONABLENESS OF THE EQUATORIAL ANOMALOUS MORPHOLOGY PROVIDED BY IRI-86

Shen Chang-shou

(Geophysical Department, Peking University, Beijing 100871)

Zi Min-yun

(The Academy of Arts of China, Beijing 100009)

Abstract

The parameter $N_{\max}F_2$ from IRI-86 is used to analyse morphology of the equatorial anomaly on profile 185°E GM. The results show that the seasonal and diurnal variations of anomalous crests have different features during high and low solar activity periods. Most of anomalies could be explained by theories of the thermospheric wind, of the transportation of atmospheric components and of the drift and diffusion of ionospheric plasma. The similar analyses for the profile of 100°E GM indicates that the longitudinal effect of the equatorial anomaly is very clear. This proves again that the motion of neutral air plays an important role in this anomalous morphology.

The comparison of observation from ground stations of China with model values of $N_{\max}F_2$ shows that the trend of the equatorial anomaly presented by IRI-86 is reasonable. But the observed amplitude of northern anomalous crest and the range of its poleward movement are larger than that provided by model.

Key words Anomaly of the equatorial ionosphere, Variable morphology of anomalous crests, Thermospheric circulation and transportation of air components.

三维大气运动的非线性 Lyapunov 稳定性判据

罗德海

(成都气象学院, 四川成都 610041)

摘 要

本文通过构造三维大气运动中守恒的Hamilton函数,在此基础上我们可建立一个积分不变的Lyapunov泛函,再使用变分法求得了三维大气运动所满足的非线性Lyapunov稳定性判据。

关键词 三维大气运动, Hamilton函数, Lyapunov泛函, Lyapunov稳定性判据。

一、引 言

自从60年代Arnold^[1]首创用变分原理来研究流体运动的稳定性问题后,变分法的应用受到了极大的重视,在Arnold和Dikii^[2]求出了二维正压流体的稳定判据后,Blumen^[3]进一步给出了三维斜压准地转运动的稳定性判据。近年来,许多学者在用变分原理来研究流体运动的稳定性方面作了大量的工作,特别是美国学者Holm等^[4]和Abarbanel等^[5]通过构造Hamilton守恒量来研究磁流体和一般性流体运动的稳定性问题,取得了大量的结果;我国曾庆存^[6]在Arnold方法的基础上发展了一种广义变分法,求得了不同模式大气运动的非线性不稳定判据。但是对于三维旋转流体的稳定性问题,到目前为止仍未得到完善的解决,本文的目的在于研究这个问题。

二、三维原始方程和Lyapunov泛函

对于绝热、无摩擦的三维大气运动,其运动方程为

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{V}}{dt} + f\mathbf{k} \times \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - g\mathbf{k}, \\ \frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla \cdot \mathbf{V} = 0, \\ \frac{ds}{dt} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla$, $\mathbf{V} = iu + jv + kw$, $\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$, u 、 v 、 w 分别为 x 、 y 、 z 方向上的速度分量, i 、 j 、 k 分别为 x 、 y 、 z 方向上的单位矢量, f 为柯氏参数, ρ 为大气密度, p 为气压, g 为重力加速度, s 为比熵。

设 D 为大气中某一空间区域, $\mathbf{n}$ 为区域边界 ∂D (∂D 表示区域 D 的边界, 可参见文献

[5]) 上某一面元 ds^* 的法向矢量, 并且有 $\oint_{\partial D} \mathbf{V} \cdot \mathbf{n} ds^* = 0$, $\oint_{\partial D} \delta \mathbf{V} \cdot \mathbf{n} ds^* = 0$ 。

由方程 (1) 我们可得

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V} = -\nabla \left(\frac{|\mathbf{V}|^2}{2} + gz \right) - \frac{1}{\rho} \nabla p, \\ \frac{dq}{dt} = \frac{\partial q}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla q = 0. \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\boldsymbol{\omega} = f\mathbf{k} + \nabla \times \mathbf{V}$, $\nabla \times \mathbf{V}$ 为相对涡度, $q = \frac{1}{\rho} \boldsymbol{\omega} \cdot \nabla s$ 为 Ertel 位涡。

对于绝热大气运动, 其热力学方程为

$$T ds = de - \frac{p}{\rho} d\rho \quad (3)$$

其中 $e = c_v T$ 为比内能, T 为大气温度。在 (3) 式两边同乘 ρ , 则有

$$\rho T ds = \rho de - \frac{p}{\rho} d\rho = d(\rho e) - ed\rho - \frac{p}{\rho} d\rho = dE - h d\rho, \quad (4)$$

其中 $E = \rho e = \rho c_v T$, $h = c_p T$ 为比焓。因此由 (4) 式可得

$$dE = \rho T ds + h d\rho, \quad \rho T = \frac{\partial E}{\partial s}, \quad h = \frac{\partial E}{\partial \rho}, \quad p = \rho^2 \frac{\partial (E/\rho)}{\partial \rho} \quad (5)$$

(5) 式中已使用了 $\rho h = E + p$ 。再由 (5) 式可得

$$dh = T ds + \frac{1}{\rho} d\rho = \left(T + \rho \frac{\partial T}{\partial \rho} \right) ds + \frac{c_s^2}{\rho} d\rho, \quad (6)$$

其中 $c_s^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho} = \rho \frac{\partial h}{\partial \rho}$ 为绝热声速。

利用 (6) 式, 可将 (2) 式改写为

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V} = -\nabla \left(\frac{|\mathbf{V}|^2}{2} + gz + h \right) - T \nabla s, \\ \frac{dq}{dt} = \frac{\partial q}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla q = 0. \end{cases} \quad (7)$$

由方程 (1), 我们可得守恒的 Hamilton 函数为

$$H(\mathbf{V}, \rho, s) = \iiint_D \left\{ \frac{1}{2} |\mathbf{V}|^2 \rho + E + \rho \phi \right\} dx dy dz, \quad (8)$$

其中 $E = \rho e$ 为内能, $\phi = gz$ 为重力位势。

在绝热大气中, 由于 s 和 Ertel 位涡 q 是守恒的, 因而 s 、 q 的任意函数 $F(s, q)$ 也是守恒的, 在这种情况下, 我们可以构造两个积分不变的 Casimir 泛函为

$$C_A = \iiint_D \rho F(s, q) dx dy dz, \quad C_B = \lambda \iiint_D \rho q dx dy dz, \quad (9)$$