

文章编号 1001-8166(2002)04-0487-04

ALB 上焦耳热场的形态分布特征及环境意义探讨

高晓清¹, G. P. Gregori²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 Istituto di Fisica dell'Atmosfera(CNR), Rom e 100039, Italy)

摘 要 利用地磁场 MAGSAT(1980)模型计算了软流圈—岩石圈边界(ALB)上的焦耳热场,分析了它的形态分布特征,并探讨了其环境意义。发现 ALB 上焦耳热高值中心的分布与全球地热带和火山的分布有较好的一致性,焦耳热的水平尺度与地热涡的水平尺度、我国大陆上多雨带的间距及降水量和气温的高相关带的间距相当。低纬地带 ALB 上焦耳热中心的分布与全球平均年最大降水量中心的分布特征有很好的对应。另外 ALB 上全球最大焦耳热中心位于我国青藏高原东南部的热点上。最后,讨论了地磁与气候的可能联系。

关键词 地磁场,焦耳热,地热涡,气候变化
中图分类号 P318 P467 文献标识码:A

地球磁场的存在表明地球内部有电流存在。电流在地球内部运动就会产生焦耳热。焦耳热最终以各种方式释放到大气中。关于地下热量(地温场)对大气的影晌已有许多统计事实和数值模拟^[1-6]。目前的问题是地球内部焦耳热场的特征与地热场(或地温场)的特征有否一致之处?焦耳热场与平均气候场是否有关?这是本文拟讨论的。

1 焦耳热

设电流 J 在一单位面积,厚度为 s 的体积内流动,若取该介质的电导率为 σ (单位为 $Mhos/m$) 则其焦耳热产热率为^[7]:

$$= \sigma \cdot |J|^2 \quad (1)$$

Chapman 等^[8]、Matsushita^[9] 根据发电机理论得出:对地磁场,在一半径为 r 的球壳上,电流函数可表示为:

$$J(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} J_n(\theta, \phi) \quad (2)$$
$$J_n(\theta, \phi) = \sum_{m=0}^n \frac{1}{\mu^4} \frac{2n+1}{n} a \cdot \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1}$$

$\sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\theta + h_n^m \sin m\theta) P_n^m(\cos \theta)$ (3)
在 SI 制中, $\mu_0 = 1, \mu = 1, \sigma$ 为常数,其值为 10^{-7} 。 a 为地球半径, n, m 分别为地磁场球谐展开的阶和级, θ 为余纬, ϕ 为经度。

将 (3) 分解到二维场上,则有:

$$|j| = \left| \frac{1}{r} \sum_{m=0}^n \frac{J_n(\theta, \phi)}{\mu^4} \right| = \left| \sum_{m=0}^n \frac{1}{\mu} \frac{a}{r^4} \frac{(2n+1)}{n} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\theta + h_n^m \sin m\theta) \frac{P_n^m(\cos \theta)}{5} \right| \quad (4)$$

$$|j| = \left| \frac{1}{r \sin \theta} \sum_{m=0}^n \frac{J_n(\theta, \phi)}{\mu^4} \right| = \left| \sum_{m=0}^n \frac{1}{\mu} \frac{a}{r \sin^4 \theta} \frac{(2n+1)}{n} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n m (h_n^m \cos m\theta - g_n^m \sin m\theta) \right| \quad (5)$$

因 $J(\theta, \phi) = j_{\theta} \hat{e}_{\theta} + j_{\phi} \hat{e}_{\phi}$
故 $(j, j) = \left[\left(\frac{1}{r} \sum_{m=0}^n \frac{J_n(\theta, \phi)}{\mu^4}\right)^2 + \left(\frac{1}{r \sin \theta} \sum_{m=0}^n \frac{J_n(\theta, \phi)}{\mu^4}\right)^2 \right] =$

收稿日期 2001-09-04, 修回日期 2002-03-04.

* 基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目“西部生态环境演变规律与水土资源可持续利用研究”(编号:KZCX1-10-02);国家重点研究发展规划项目“青藏高原形成演化及其环境、资源效应”(编号:G1998040800)联合资助。

作者简介:高晓清(1966-),男,甘肃靖远人,研究员,主要从事气候变化与预测的研究。E-mail: xqgao@ns.lzb.ac.cn

$$\frac{2}{0} \cdot \frac{1}{\mu^2} \cdot \frac{s}{r^2} \cdot f(\lambda, \varphi) \quad (6)$$

式中

$$f(\lambda, \varphi) = \left[\sum_{n=1}^n \frac{1}{n} \frac{2n+1}{n} a \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \frac{P_n^m(\cos \varphi)}{5} \right]^2 + \left[\sum_{n=1}^n \frac{1}{n} \frac{2n+1}{n} a \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (h_n^m \cos m\lambda - g_n^m \sin m\lambda) \frac{P_n^m(\cos \varphi)}{\sin} \right]^2 \quad (7)$$

2 ALB 上焦耳热场的计算

Gregori 等^[10]指出:地磁内源场可分为 3 部分,它们分别产生于 内外核边界(ICB);核幔边界(CMB);软流圈岩石圈边界(ALB)。在地磁场模型的高斯系数中分别对应于 $n=1, 2, n=3, 4, \dots, 13$ 和 $n=14$ 。目前在现有地磁场模型中 MAGSAT 模型被认为是最精确的。它是利用卫星测磁资料得到的全球地磁场模型,阶数达 $n=23$ 。这就使我们有可能估算 ALB($n=14$)上焦耳热场的情况。在计算焦耳热时 ρ 和 η 未知。我们假定在 ALB 上 ρ 和

不随时间变化,且全球各处相同。故式(6)改写为:

$$f(\lambda, \varphi) = f(\lambda, \varphi) \cdot \frac{1}{s} = \frac{2}{0} \cdot \frac{1}{\mu^2} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot f(\lambda, \varphi) \quad (8)$$

式中 r 根据现有地震学的结果,取为 6288 km。因正比于 $\frac{1}{r^2}$,故 f 的分布特征与 $\frac{1}{r^2}$ 的一样。

3 ALB 上焦耳热场的特点

图 1 为利用 MAGSAT 模型计算的 ALB 上焦耳热场的分布。由图可见焦耳热高值中心的分布与全球地热带^[11]和火山的分布^[12]有较好的一致性。由图 1 可以算出焦耳热高值中心点之间的平均水平距离为 1290 km。此值正好是地热水平尺度(650 km^[13])的 2 倍,亦即平均两个相邻地热活动中心点的距离。柳艳香等^[11]的统计研究表明:我国大陆上多雨带的间距平均为 1230 km;降水量和气温相关带的高值中心之间的间距约为 1200 km。可见焦耳热场的平均波长与降水场的平均波长近乎相等。Lamb^[14]给出了全球平均年总降水量的分布图,我们把沿赤道附近的最大降水量中心画在图 1 上,可

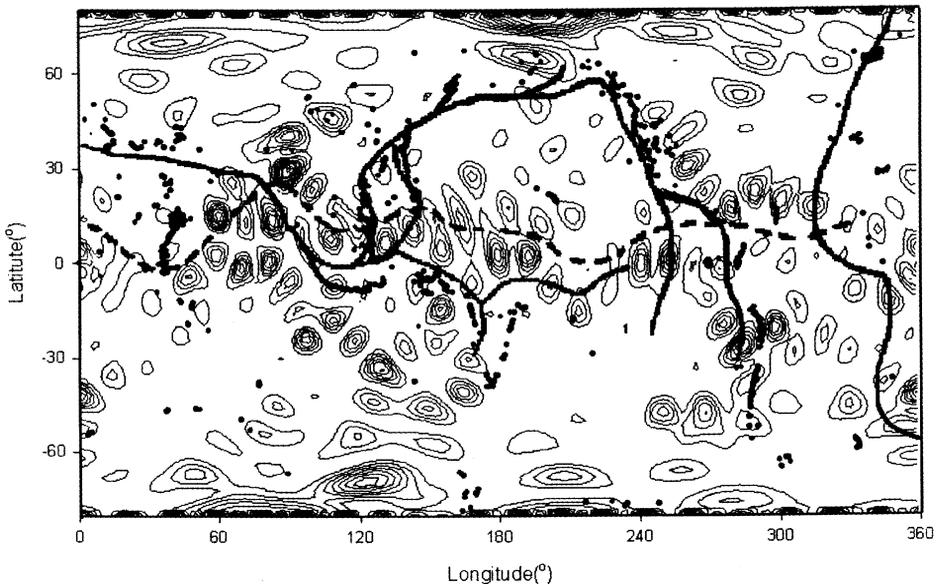


图 1 根据 MAGSAT(1980)模型计算的 ALB 上焦耳热场的分布

说明:等值线为相对单位;黑点表示火山^[12];实线表示地热带^[11];虚线表示最大降水中心带^[14]

Fig.1 the distribution of Joule heat on ALB based on MAGSAT(1980) Model

Note: The contour is in relative unit; Black spot means volcano; solid line means geotherm belt; dash line means the maximum precipitation belt.

见其分布特征与 ALB 上焦耳热中心的分布亦对应较好。从以上结果来看 ALB 上的焦耳热场很可能是控制地表浅层热状况的主要因子,亦即地表浅层地热场的分布是深层地球热状况的直接反映,它通过不断地放热到大气而影响气候变化。

另外,在图 1 上,最大焦耳热中心位于我国青藏高原的东南部。已有的研究表明^[15]:从地磁异常场、重力异常场、温泉发育和地热流场来看,青藏高原东南部是地球上的一个热点。这进一步证明了浅层土壤热流与焦耳热的关系,也说明地磁场通过焦耳热的释放可以影响气候变化。

4 讨论

目前,对地磁与气候的关系研究还处于认证阶段。不少学者在这方面已做了许多工作,揭示了地磁场及其扰动与气象之间的一些统计关系。Roberts 等^[16]发现当低压槽穿过北太平洋、北美地区时,其润度面积指数与地磁事件(磁暴)有显著相关。Sazonov^[17]指出了天气图与地磁等值线分布有相似的现象。King^[18]还发现气候系统与地磁场的相似性表现在大气中的“定常”气压系统亦是随时间西移的。这表明近几十年到百年尺度的地磁场非偶极要素的长期转移和北半球大气环流的行为及其气候效应的一致性。他指出,如果对流层的气压系统的确受控于地磁场,那么过去气候的变化就应该与地磁场的变化有关。

Bucha^[19,20]的工作表明:地磁场不仅与全球气温有很好的对应,而且与大气中 CO₂ 浓度的变化一致。这意味着地磁场变化与大气温室气体有某种联系,其中地球的放气过程可能是连接此二者的纽带。地球放气过程主要有 4 种方式^[21]:火山作用。它是地球放气最明显的形式,有持续性和突发性的特点;地震活动。所有的地震活动都伴随着气体释放,这些过程都与地下热量的大量释放紧密相连,它有突发性的特点;断裂活动及地热带活动。地球上的深大断裂贯穿了上地幔和地壳,成为地幔物质进入地壳及地表的重要通道,也是地热释放的高值区。它们是地球放气的重要通道之一;岩浆侵入作用。岩浆上侵至地壳浅部时能将大量的 H₂O 及其它挥发性组分从地球深部带至地球浅部。Gerlach^[22]给出了全球火山每年喷出的 CO₂ 量,保守估计为 66~175 Mt。Etiopie 等^[23]总结给出了多位作者在不同地区所做的 CO₂ 释放量的调查。一般来说,由土壤的呼吸所导致的 CO₂ 释放量为 600

~3 500 t/km²·a。这与生物成因的 CO₂ 释放量相比在多数情况下是可以忽略的,但在构造破裂带和地热区及 Hydrocarbon-prone 盆地,土壤 CO₂ 释放量可比生物成因的 CO₂ 释放量大 1~3 个数量级。由此可见,与地磁活动密切相关的地气之间的能量和物质交换强烈地影响着局地及全球气候变化。

以上结果表明:地磁—地热—气候变化有内在联系。本文仅从形态特征方面把 ALB 上的焦耳热场与地热带、地震带、火山分布和全球低纬最大降水带进行了初步比较和探讨,是地磁—气候关系研究的一次尝试,今后还有很多工作需要进一步深化。

参考文献(References):

- [1] Xin Jianshi. A summary on the prediction for flood seasons precipitation in 10 years(1975-1984) [J]. Plateau Meteorology, 1985, 4(4): 372-381. [辛坚十. 10年(1975—1984年)汛期降水预报小结[J]. 高原气象, 1985, 4(4): 372-381.]
- [2] Tang Maccang, Zhao Zhenguo, Ma Zhuguo. A summary on the prediction for flood seasons prediction in 10 years(1985-1994) by the method of geosphere-atmosphere interaction [J]. Atmospheric Information, 1995, 1: 1-6. [汤懋苍, 赵振国, 马柱国. “地气耦合法”10年(1985—1994年)汛期降水预报总结[J]. 大气情报, 1995, 1: 1-6.]
- [3] Hu Zeyong, Xiang Wei guo, Tang Maccang. Geothermal anomaly as an important factor to climate anomaly [A]. Comprehensive Study of Cosmic, Earth and Biosphere [C]. Beijing: Science Press, 1989. 257-260. [胡泽勇, 向卫国, 汤懋苍. 地热异常是气候异常的重要因子[A]. 天地生综合研究[C]. 北京: 科学出版社, 1989. 257-260.]
- [4] Gregori G P. Anthropic Control of the Natural Long-Term Climatic Variations: Proposal for a Discussion on Greenhouse Effect Controlled by Geothermal Heat Flow [C]. In: Sindoni and Wong. 1991. 353-360.
- [5] Gregori G P, Martellucci S. Underground record or global climate change [A]. In: Proceeding of the IV Workshop Sull'Atmosfera Antartica [C]. Dorano (Terni, ITALY), Oct. 21-23, 1991.
- [6] Wang W anqiu. Numerical simulation on impact of the soil temperature and humidity anomaly on short-term climate [J]. Atmospheric Science, 1991, 15(5): 115-122. [王万秋. 土壤温湿异常对短期气候影响的数值模拟试验 [J]. 大气科学, 1991, 15(5): 115-122.]
- [7] Wu Daqiu. Theoretical Physics-vol. 3: Electro-Magnetism [M]. Beijing: Science Press, 1983. 38-39. [吴大猷. 理论物理第三册 电磁学 [M]. 北京: 科学出版社, 1983. 38-39.]
- [8] Chapman S, Bartels J. Geomagnetism [M]. Vol. 1 and 2 (2nd edition). Oxford: Oxford University Press, 1962.
- [9] Matsushita S. Solar quiet and lim ar daily variation fields [A]. In: Matsushita S, Campbell W H, eds. Physics of Geomagnetic Phenomena (Vol. 1(3)) [C]. London, New York: Academic Press, 1967.

- [10] Gregori G P, Dong Wenjie, Gao Xiaqing, et al. The separation of the geomagnetic field originated in the core, in the Asthenosphere, and in the crust [J]. *Annali di Geofisica*, 1999, 42(2): 191-209.
- [11] Wang Jun, Huang Shangyao, Huang Geshan, et al. Basic Characteristics of the Earth's Temperature Distribution in China [M]. Beijing: Seismic Press, 1990. 3-4. [王钧, 黄尚瑶, 黄歌山, 等. 中国地温分布的基本特征 [M]. 北京: 地震出版社, 1990. 3-4.]
- [12] Tom Simkin, Lee Siebert. Volcanoes of the World (Second edition) [M]. INC Tucson Arizona: Geosciences Press, 1994. 1-2.
- [13] Tang Maocang, Gao Xiaqing. Some statistic characteristics of "Underground Hot Vortex" in China during 1980-1993 (I)—Spatial-temporal distribution of Underground Hot Vortex [J]. *Science in China (series D)*, 1995, 25(11): 1186-1192. [汤懋苍, 高晓清. 1980—1993 年我国“地热涡”的若干统计特征——I. “地热涡”的时空分布 [J]. *中国科学*, 1995, 25(11): 1186-1192.]
- [14] Lamb H H. Climate: Present, Past and Future, Vol 1 [M]. London: Methuen, 1972.
- [15] Tang Maocang, Zhong Dalai, Li Wenhua, et al. Evidences for the Daxiawan as a hot spot in the Earth [J]. *Science in China (series D)*, 1998, 28(5): 463-468. [汤懋苍, 钟大贵, 李文华, 等. 雅鲁藏布江“大峡湾”是地球“热点”的证据 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1998, 28(5): 463-468.]
- [16] Roberts W O, Olson R H. Geomagnetic storms and wintertime 300-mb trough development in the North Pacific-North America area [J]. *J Atmos Sci*, 1973, 30: 135.
- [17] Sazonov B I. *Glav Geofiz Obs [R]*. Gidrometizdat, 1964.
- [18] King J W. Weather and the Earth's magnetic field [J]. *Nature*, 1970, 247: 131-134.
- [19] Bucha V. Mechanism of the relation between the changes of the geomagnetic field, solar corpuscular radiation, atmospheric circulation and climate [J]. *J Geomag Geoelectr*, 1980, 32: 217-264.
- [20] Bucha V. Solar and geomagnetic variability and changes of weather and climate [J]. *J Atmos Terres Phys*, 1991, 53(11/12): 1161-1172.
- [21] Zhu Yongfeng. Geodegassing as the dominant factor to global environmental change [J]. *Earth Science Frontiers*, 1997, 4(1-2): 152. [朱永峰. 地球的放气作用是全球环境变化的主导因素 [J]. *地学前缘*, 1997, 4(1-2): 152.]
- [22] Gerlach T M. Etna's greenhouse pump [J]. *Nature*, 1991, 352: 352-353.
- [23] Etiope G, Klusman R W. Dose geogas emission in non-volcanic areas contributes to carbon cycle and global climate change [A]. 25th course: Observational Database and Mechanisms of Climate [C]. Etna-Sicily, 21-27 November, 1998.

THE DISTRIBUTION PATTERN OF JOULE HEAT ON ALB AND ITS ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE

GAO Xiao-qing¹, G. P. Gregori²

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, 730000 Lanzhou;
2. Istituto di Fisica dell'Atmosfera (CNR), Rome 100039, Italy)

Abstract: It is well known that the Earth is a self heating planet by its physical and chemical processes inside. From physics, it is a geodynamo, and the electric current exists in it. By Joule rule, this current can produce Joule heat for the resistance of the material in it. The Joule heat distribution field on Asthenosphere-Lithosphere Boundary (ALB) has been obtained by using MAGSAT model. The distribution pattern was analyzed, and its environmental significance was discussed. It is found that the distribution of high value centers of Joule heat on ALB have good corresponding to the distributions of global geothermal zones and volcanoes, and the horizontal scale of Joule heat is very comparative to the horizontal scale of geothermal vortex, to the space distance between rainy belts in China, and to the space distance between the high correlation coefficient belts of precipitation and temperature. The centers of Joule heat match the maximum annual precipitation centers in globe very well. And it is also found that the highest center of Joule heat in globe locates under Tibetan Plateau. These phenomena are of very important to understand the Earth as a whole, and the interactions between spheres. Finally, the possible relation between geomagnetic field and climate change was discussed.

Key words: Geomagnetic field; Joule heat; Geothermal vortex; Climate change.