

太阳耀斑可能的储能过程

李中元

胡文瑞

(中国科学技术大学) (中国科学院力学研究所)

提 要

一般看法是, 太阳耀斑的能量源于对流层和光球层, 然后逐步堆积到外层的色球和日冕活动区中。所以, 分析太阳大气中能量是如何从低层转移到上层的过程, 以及分析太阳活动区中无力场能量是怎样堆积起来的机制, 显然是讨论耀斑储能过程的中心问题之一。本文从冻结型无力场的基本方程组出发, 不仅仅考虑旋转的环形流场, 更考虑子午流场之间的相互作用, 并具体推算了非定常的时间演化过程。

我们推算出了环向磁场随时间的变化规律, 比如对于最简单的情况可表示为

$$\frac{B_{\theta}^2}{8\pi} = \frac{\alpha^2}{8\pi} \left\{ \int_0^{\infty} [F_1(\xi, t) \frac{Sh[\sqrt{\alpha^2 + \xi^2}(L-Z)]}{Sh(\sqrt{\alpha^2 + \xi^2}L)} + \frac{Sh(\sqrt{\alpha^2 + \xi^2}Z)}{Sh(\sqrt{\alpha^2 + \xi^2}L)} F_2(\xi, t)] r J_1(\xi r) dr \right\}^2$$

这里 α 为无力因子, $J_1(\xi r)$ 为 Bessel 函数, $F_i(\xi, t)$ 为 $J_1(\xi r)$ 的函数, L 为边值。过去人们曾计算过静力学的无力场, 得到磁能随 α 的变化关系, 并把 α 增大使磁能增加的过程看成是太阳耀斑的一种储能机制。但是, 这种分析是很不全面的, 因为这种储能的过程应该是一种不定常的过程, 实质上它不是一种静力学过程。通过我们的计算和讨论, 太阳耀斑的储能过程可以得到一个运动学的图象。由于等离子体的子午运动, 可以将下层的动能传递到太阳上层大气中, 然后转换为磁能。如果还有旋转运动, 更可以使环向磁场增强。这种效应与磁场的耦合, 可以类似于一种使无力因子 α 增大的作用, 从而使磁场随时间变化, 特别是能使环向磁场增强。

另外, 我们又提出了一种子午流场的储能机制。我们这里讨论的是连续式地传递能流过程。推算出活动区中的总磁能为:

$$W_H = \frac{Aa^2R^2}{16b} e^{2bs(t)} (1 - e^{-2bL}) [J_1^2(aR) + J_0^2(aR)]$$

其中 a 、 A 、 b 都是适当的常数。磁能的增加可以理解为, 等离子体向上运动时将下部的能量传递到上部区域造成的。如果一段时间内, 向上运动占优势, 上层活动区就会储存起可观的能量。若在某一段时期内, 持续存在着向上运动的优势 (例如在一天内持续维持 24 米/秒的上流运动的优势), 就可能为太阳耀斑储存起足够的能量。要产生这种上流速度的优势, 虽不会经常发生, 但也不可能十分罕见。

将这些“磁能的储存过程”与“适当的不稳定性导致的爆发过程”结合起来讨论, 就有可能来研究太阳耀斑的许多特征。

The Possible Storage Processes of the Magnetic Energy in Solar Flares

Li Zhongyuan Hu Wenrui

(University of Science and Technology of China) (Institute of Mechanics, Academia Sinica)

Abstract

In this paper, it has been discussed that the magnetic energy may be stored in solar flares. The changes of the kinematical implications of a force-free factor with time and the detailed process of storage energy are analyzed. The limitation of the storage process in solar flares which is given by the static force-free field is pointed out. Finally, a process of storage energy which is maintained by a meridional flow is suggested. Combining those processes of storage energy with some explosion processes triggered the suitable instability, the features of solar flares may be studied.