

# 无力场的运动学特征

胡文瑞

李中元

(中国科学院力学研究所)

(中国科学技术大学)

## 提 要

无力场在太阳物理中是常遇到的,特别是色球和日冕活动区中,那里的磁场位形都应该是无力场。通常认为,磁力线的扭绞过程可以将势场变为有电流的无力场,从而在活动区中储存能量。在我们碰到的太阳大气活动的实际问题中,磁雷诺数  $R_m \approx 10^3 \gg 1$ ,所以对这种条件下的无力场必须作专门讨论。本文利用冻结型无力场的一般结果,讨论了太阳大气中等离子体的运动状况及无力场的运动学特征。

将无力条件表示为

$$\Delta \times \vec{B} = \alpha(t, \vec{r}) \vec{B}, \quad (1)$$

其中无力因子  $\alpha(t, \vec{r})$  是时间和位置的函数。磁场冻结条件为

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \Delta \times (\vec{V} \times \vec{B}), \quad (2)$$

磁场无源条件为

$$\Delta \cdot \vec{B} = 0 \quad (3)$$

在运动学问题中求解无力场位形就归结为讨论 (1) — (3) 所描述的解的性质。

通过推算和分析,本文得出如下几点结论:

(1) 对于太阳上定常的等离子体旋转运动,在轴对称无力场的每个磁面 ( $\psi =$  常数) 上,角速度是不变的。

(2) 而对于非定常的旋转运动的无力场,当角速度随时间变化时,也不会导致子午磁场的变化;这时的环向电流和子午场都不会随时间而变化。

(3) 如果不包括对称轴在内,则旋转运动可以扭绞磁力线,使环向磁场分量增强。在物理上,这相当于对称轴附近是非无力场(如压力较大),而外部区域为无力场。

(4) 如果包括对称轴在内的区域中,那不仅仅子午场,而且环向磁场也不会随时间而改变。这时,纯粹的旋转运动不可能增强太阳上的子午场和环向场,轴对称无力场的磁场位形是不能被纯旋转运动所维持的。

(5) 由此种种无力场的特征告诉我们,在讨论黑子区、太阳磁力线管、太阳活动区等冻结型无力场的范围,在讨论纯旋涡运动对储能过程中,还必须同时考虑子午流场和磁场的耦合作用,以及不定常的变化过程。

# The Kinematical Features of a Force-Free Magnetic Field

Hu Wènrui

Li Zhongyuan

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

## Abstract

In this paper, the kinematical features of an axial-symmetric force-free magnetic field are discussed. It is generally believed that the energy may be stored in the active region by twisting the potential magnetic field into the force-free magnetic field by current. The analysis shows that this process is impossible if the magnetic field is regular at the symmetric axis.