

海洋运动场中的安培力

袁卓建

(中山大学大气科学系)

在南美洲海岸以外有一股寒流,叫做秘鲁寒流,从南往北流动,到赤道附近又向西流去,成为南赤道海流。但是,每年的圣诞节前后,却常常有一股暖流从北往南进入该地区,使海水温度升高。人们称此现象为厄尔尼诺现象。

从厄尔尼诺现象使我想到:与厄尔尼诺现象有关的大规模的东西向洋流运动会不会受到地磁场的影响?

由于海水里含有很多的盐份,是一个电导体,而地球有地磁场,所以海水的流动可以看成是一个导体在磁场里运动。其不仅具有类似大气运动场的特点,还可能具有电磁场的特点。在电磁学理论中,电磁感应定律表明,当穿过回路所包围的面积磁通量发生变化时,回路就有感应电动势产生。感应电动势与磁通量对时间变化率的负值成正比。感应电动势分动生电动势和感生电动势两种。当导体在稳恒磁场中运动时,导体内产生的感应电动势称为动生电动势。如果仅有一段导线在磁场中运动,而没有回路,在这段导线上虽然没有感应电流,但仍可能有动生电动势,(只要导体作切割磁力线运动就会有动生电动势产生)。安培定律认为,载流导体在磁场中要受到磁力的作用,磁场对电流元 $I d\vec{l}$ 的作用力,在数值上等于电流元的大小,电流元所处的磁感强度大小以及电流元 $I d\vec{l}$ 和磁感强度 $\vec{B}$ 之间的夹角的正弦之积。即安培力 $\vec{F} = \int I d\vec{l} \times \vec{B}$ 。 l 为载流导体的长度。此外,楞次定律认为,闭合导线回路中所产生的感应电流,总是使它自己所产生的磁场反抗任何引起电磁感应的变化(反抗相对运动)。如图

1,均匀磁场的平面闭合回路 $ABCD$ 中,线段 $\overline{CD}$ 可沿 $\overline{AD}$ 和 $\overline{BC}$ 以速度 $\vec{v}$ 作无摩擦地滑动,方向向右,并且始终与 $\overline{AB}$ 平行。这时回路上有感应电流 I ,其沿 $ABCD$ 绕行,因而导线 $\overline{DC}$ 中有电流通过。根据安培定律,它要受磁场力的作用,该力为 $\vec{F} = \int_{DC} I d\vec{l} \times \vec{B}$,

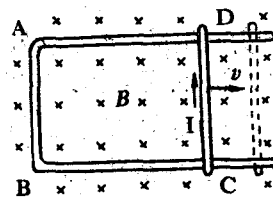


图1 均匀磁场中的平面闭合回路

方向向左。这就是由于导线在磁场中移动,在回路中引起感应电流,从而使运动受阻的一个例子。

磁流发电机的原理(见图2)证明,将气体加热到很高温度(譬如 2500°K 以上)使之电离,

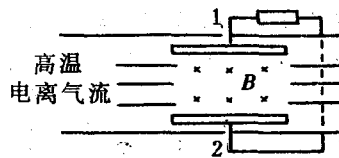


图2 磁流发电机的原理

并让这些等离子体在平行板电极1,2之间通过,速度为 $\vec{v}$,当在这两个平行板电极之间有一个磁场 $\vec{B}$ 时,两电极之间会产生一个大小为 $V B d$ 的电压(其中 d 为电极间距)。

现在来回顾海水在地球上的流动。当海流

运动方向是切割地磁力线的东西方向时,由于海水流动可以看成是导体在磁场中作切割磁力线运动,海流上层和下层之间将有动生电动势产生。类似磁流发电机的工作情况(见图3)。在南赤道海流中,每个自由离子受到的洛伦兹力为 $f_L = (-e)\vec{v} \times \vec{B}$,其驱使负离子从下往上移,最后在海流的上层聚集,而海流的下层聚集正离子;在南极海流中情况正好相反,正离子在海流上层聚集,负离子在海流下层聚集。这样在两海流之间形成了南北方向的电位差,感应电流绕 $abcda$ 流动。这时,这两支海流可视为载流导体在磁场中运动,故它们要受安培力的作用。南赤道海流所受的安培力为 $\vec{F}_E = \int_{bc} \vec{I} d\vec{l} \times \vec{B}$,指向东,即与运动方向相反;南极海流受到的安培力为 $\vec{F}_S = \int_{da} \vec{I} d\vec{l} \times \vec{B}$,指向西,也和其运动方向相反。至于 $\vec{ab}$, $\vec{cd}$, 电流方向与 $\vec{B}$ 平行, $\vec{I} d\vec{l} \times \vec{B} = 0$, 所以安培力为零。按以上分析,这安培力确实由地磁场引起,并且其作用是阻碍海流运动的。

假定以上分析正确,按照磁流发电机类似

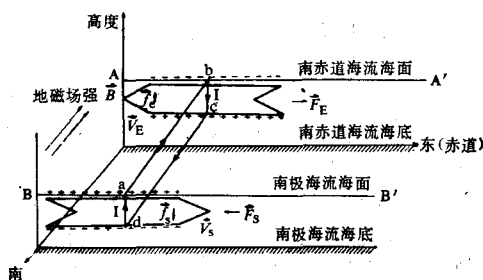


图3 海流上、下层动生电动势示意

情况,则海流上、下层之间的电位差为:

$$U = VBh$$

其中, V 为海流流速, B 为地磁场强, h 为海流的厚度。海水的电阻记为 R , 则安培力为:

$$\vec{F} = \int \frac{VBh}{R} d\vec{l} \times \vec{B}$$

积分号内的被积函数取平均值代之,则有:

$$F = - \frac{VB^2h^2}{R}$$

负号表示安培力方向与 $\vec{v}$ 方向相反。当 R 单位为伏/安; V 为米/秒; B 为特, h 为米时, F 单位为牛顿。

取 $B = 0.32$ 高斯 $= 3.2 \times 10^{-5}$ 特(赵凯华等), 海水电阻率的平均值为 $\rho = 0.6$ 欧米([日]渊·秀隆等), 设 $V = 10^{-1}$ 米/秒, 海流面积 $A = 6.6 \times 10^{14}$ 米² (即海流流经 60 个径距, 流幅为 100 公里), 则海流的电阻为:

$$R = \rho \frac{h}{A} = 0.6 \times \frac{10^3}{6.6 \times 10^{14}} \approx 10^{-9} (\Omega)$$

6.6×10^{14} 立方米的海水可能会受到的安培力为:

$$F_E = - \frac{10^{-1} \times (3.2 \times 10^{-5} \times 10^3)^2}{10^{-9}} \approx 10^5 (\text{N})$$

在赤道附近 1 到 2 个纬距内, 单位质量的科氏力 ($V = 10^{-1}$ 米/秒) 具有量级约为 10^{-7} , 对同样体积的海水言 (6.6×10^{14} 立方米), 其量级约为 10^7 牛顿。可见, 若海洋运动中存在安培力影响的话, 其量级相对其它力而言也不会太大。

THE AMPERE FORCE IN THE MOTION FIELD OF SEA WATER

Yuan Zhuojian

(The Department of Atmosphere, Zhongshan University)

Abstract

Influence of the earth magnetic field on the currents of the sea is imagined based on the idea that the sea water can be considered as an electric conductor moving in the earth magnetic field. By considering the oceanic circulation linking with the phenomenon of El. niño, the order of magnitude of the Ampere force is two or three orders smaller than that of Coriolis force. The function of the Ampere force is to resist the motion of the sea.