

# 环太平洋地震带与柯里奥利力

杨学祥 尤洪亮

(长春地质学院, 长春 130026)

**摘要** 柯里奥利力是地球自转的一种惯性力。它使垂直下降的物体向东偏转, 垂直上升的物体向西偏转, 是形成环太平洋地震带中东西两岸构造应力差别的根本原因。

**关键词:** 地球自转 环太平洋地震带 俯冲带 弧后扩张 柯里奥利力

## 1 问题的提出

据郭增建等人(1994)的研究<sup>[1]</sup>, 对于7级以上的大震来说, 柯里奥利力(以下称柯氏力)在断层面上引起的压应力或张应力可达  $10^6$  dyne/cm<sup>2</sup>。这足以对地壳的构造运动产生影响。环太平洋地震带中东西两岸的构造差别就是一个十分明显的实例。现在对刘池洋(1993)提出的如下问题<sup>[2]</sup>进行讨论:

(1) 一般认为岛弧处于挤压应力作用之下, 而其后的边缘海盆为扩张成因。弧后的扩张中心约在火山岛弧之后 150—200 km 处。挤压与扩张这两种应力如何在较短距离内发生转换和共存?

(2) 西太平洋的贝尼奥夫带一般倾角较陡, 且向深部更陡, 而东太平洋则相反, 原因何在?

(3) 为什么边缘海广泛发育在太平洋西缘, 却不见于太平洋东岸? 在南美西海岸, 同样的俯冲作用为什么却造成了安第斯型大陆边缘?

由于上述问题有明确的方向性, 所以它应该与地球由西向东自转有关。孙殿卿和高庆华(1982)曾指出, 地表面洋壳、陆壳以及水圈、气圈的运动都带有明显的方向性, 这些运动的方向不是与地球的自转轴平行就是垂直, 这一极其重要的现象并未引起地质学家应有的重视。不过近年来随着新资料的不断积累, 纬向和经向的线状构造已引起世界上许多地质学家的关注<sup>[3]</sup>。应用地球自转惯性力来解释如上问题, 这就是本文的出发点。

## 2 地球自转中的一种惯性力——柯里奥利力

在匀速转动参照系中, 有两种惯性力。其一是惯性离心力, 其二是柯氏力。设直角坐标系中的 Z 轴为地球自转轴, 且 Z 轴正向为北极方向, 则地球自转角速度  $\vec{\omega}$  为一矢量, 其大小为  $7.2921 \times 10^{-5}$  rad/s, 其方向为 Z 轴正向。当质量为 m 的物体在地表纬度为  $\varphi$  处以速度  $\vec{v}$  作垂直运动时, 地球自转所产生的柯氏力为<sup>[4]</sup>

$$\vec{f}_k = 2m \vec{v} \times \vec{\omega} \quad (1)$$

其大小为

$$f_k = |\vec{f}_k| = 2m|\vec{v}||\vec{\omega}|\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = 2m\nu\omega\cos\varphi \quad (2)$$

其方向满足从矢量 $\vec{v}$ 到矢量 $\vec{\omega}$ 的右手法则。当物体垂直上升时柯氏力的方向是向西的,当物体垂直下降时,柯氏力的方向是向东的。

设纬度为 $\varphi$ 处一平行于赤道面的平面截地球面得一圆,其半径为 $r=R\cos\varphi$ ,其中 $R=6,371$  km,为地球平均半径,其上有一段长为 $l$ 的圆弧以速度 $\nu$ 向地心垂直下降。由公式(2),弧长一质量微元所产生的柯氏力为

$$f_k = 2dm \cdot \nu \cdot \omega \cdot \cos\varphi \quad (3)$$

所产生的力矩微元为(注意 $r$ 与 $f_k$ 垂直)

$$dM = r \times f_k = 2dm\nu\omega r\cos\varphi = 2\rho\nu\omega R\cos^2\varphi dl \quad (4)$$

其中质量微元 $dm = \rho dl$ , $\rho$ 为线密度。因为所有力矩微元的方向都是 $Z$ 轴正向,可累加求和,总力矩为

$$M = \int_0^l dM = \int_0^l 2\rho\nu\omega\cos^2\varphi \cdot R dl = 2\nu\omega\rho R l \cos^2\varphi \quad (5)$$

产生的等效力为

$$P = \frac{M}{r} = \frac{M}{R\cos\varphi} = 2\nu\omega\rho l \cos\varphi = 2m\nu\omega\cos\varphi \quad (6)$$

其中 $m = \rho l$ 为弧长 $l$ 的质量。由于重力作用,地表任何形式的水平运动,实际上都是绕地心的转动。(2)式和(6)式表明,通过定轴转动的力矩传递,质点的柯氏力和同一纬度弧长的柯氏力可以用同一公式计算。

### 3 柯氏力的地质作用

剥蚀沉积是地表的主要地质现象。它削平大陆的高地并把物质沉积在陆缘沿海低地。地壳均衡作用使载荷减少了的大陆高地上升,载荷增加了的沿海沉积带下降。在柯氏力的作用下,上升的大陆高地向西运动,下降的沿海沉积带向东运动。大陆西缘的沉积带在下沉过程中向东运动,与上升中向西运动的大陆高地相挤压,形成大陆西部的挤压带,大洋板块的俯冲则加剧了这一挤压作用。大陆东缘的沉积带在下沉过程中也向东运动,与上升中向西运动的大陆高地相分离,形成大陆东部的引张带。沉积带在东移中产生边缘海,并与洋壳的俯冲带相遇,形成火山岛弧(见图 1)。这就可以解释岛弧东西两侧挤压与扩张这两种应力如何在较短距离内发生转换和共存。也可以解释为什么边缘海广泛发育在太平洋西缘,而不见于太平洋东岸;在南美洲西海岸,同样的俯冲作用为什么却造成了安第斯型大陆边缘。还可以解释上升较快的大陆为什么有明显的西移运动。

柯氏力对俯冲带和地幔对流同样也起作用。东太平洋的俯冲带和下降地幔流在偏东下沉俯冲时产生向东的柯氏力 $f_k$ ,它使俯冲带的倾角变缓,向东的挤压作用也变得更强烈,从而形成大陆西岸的强挤压带;西太平洋的俯冲带和下降地幔流在偏西下沉俯冲时产生向东的柯氏力 $f_k$ ,它减弱了向西的挤压作用,使偏西下插的俯冲带向东偏转,从而使倾角变陡,并引起俯冲带的后撤<sup>[8]</sup>(见图 1)。这是西太平洋的贝尼奥夫带一般倾角较陡且向深部更陡的原因。

柯氏力在使下降的地幔流向东偏转的同时,也使上升的地幔流向西偏转。向西偏转的地幔上升流将拖曳岩石圈底部向西偏转,从而产生岩石圈相对下地幔的西向漂移。马宗晋等人

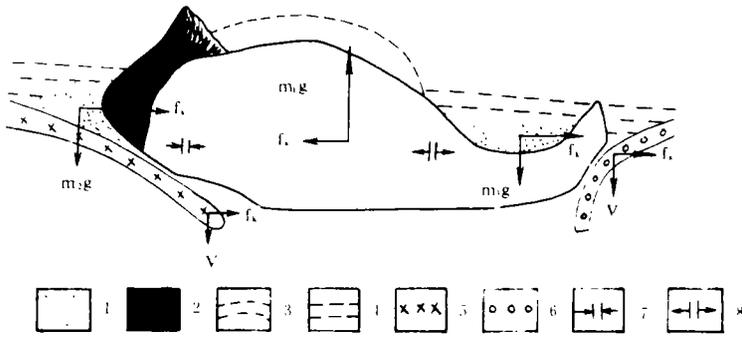


图1 剥蚀沉积中的柯氏力

$m_1$  剥蚀质量  $m_2+m_3$  沉积质量  $f_c$  柯氏力  $v$  俯冲速度  
 1 沉积带 2 造山带 3 剥蚀层 4 海水 5 倾角变缓  
 6 倾角变陡 7 挤压 8 引张

Fig. 1 Coriolis force during denudation and sedimentation.

(1992)根据 Gripp 等人建立的 HS2—NUVEL—1 模型,曾指出过岩石圈的这种西向漂移运动<sup>[5]</sup>。

事实上,大陆东西边缘的这两种典型构造并非同时发生在图 1 所示的同一大陆上。其原因之一是并非大陆的东西两侧都存在俯冲带,其原因之二是下沉的速度不同,产生的柯氏力的大小也不同。由公式(6)可知,等效柯氏力的大小与下沉速度成正比。取下沉速度为地震时地壳破裂速度,即  $v=20 \text{ m/s}^{[1]}$ ,当  $\varphi=0^\circ, l=100$

$\text{km}, \rho=2,670 \text{ kg/m}^3$  时,等效柯氏力为

$$P_{\text{赤道}} = 2\rho l v \omega = 2 \times 2,670 \text{ kg/m}^3 \times 100,000 \text{ m} \times 20 \text{ m/s} \times 7.2921 \times 10^{-5} \text{ rad/s} = 7.8 \times 10^5 \text{ Pa}$$

可见,突变式地震产生的升降运动,其柯氏力大到可以使地壳破碎的程度。反之,如果升降是通过缓慢的渐变来实现,如每年升降 1 cm,即  $v=3.17 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ ,则等效柯氏力为  $P_{\text{赤道}} = 1.23 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 。这两个数字悬殊的对比说明,为什么环太平洋地震带的柯氏力作用那么明显,东西两岸构造差异那么大;而大西洋两岸因不是地震带,构造差异就不那么明显。

#### 4 简短的结论

典型的全球构造特征表明,在解释地球表面新构造运动的各种现象时,地球自转的因素不容忽视。用柯氏力来解释环太平洋构造带的东西差异,是对板块理论的最好补充。本文的论证支持了马宗晋等人(1992)的如下结论:分层的和质量非均匀的地球在其转动的变化中产生的惯性力,终究是在考虑全球构造运动分布时不能忽视的一种动力作用因素<sup>[6]</sup>。因此,柯氏力是强震和强余震的重要力学原因。

(本文 1994 年 12 月 28 日收到)

### 参考文献

- 1 郭增建,陈家超. 柯氏力与强余震讨论. 西北地震学报, 1994, 16(2): 96.
- 2 刘池洋. 对弧后扩张作用的探讨. 地质论评, 1993, 39(3): 187—193.
- 3 孙殿卿, 高庆华. 地质力学与地壳运动. 地质出版社, 1982. 190, 195—201.
- 4 顾建中. 力学教程. 人民教育出版社, 1979. 51—54.
- 5 石耀霖, 王其允. 俯冲带的后撤与弧后扩张. 地球物理学报, 1993, 36(1): 38—43.
- 6 马宗晋, 高祥林, 任金卫. 现今全球构造特征及其动力学解释. 第四纪研究, 1992, (4): 293—305.

## CIRCUM—PACIFIC SEISMIC BELT AND CORIOLIS FORCE

Yang Xuexiang and Zhu Hongliang

(*Changchun University of Earth Sciences, Changchun 130026*)

### Abstract

Coriolis force is a inertial force in earth rotation. It makes the fall body turn to east and the rising block turn to west. This is the reason why in the circum-Pacific seismic belt, the tectonic zones of western Pacific are different from those of eastern Pacific.

**Key words:** Earth rotation, Circum-Pacific seismic belt, Subduction zone, Back-arc spreading, Coriolis force