

极移与构造运动

李 普

(中国地质科学院地质力学研究所)

摘 要 真极移现象已由古地磁学家观测到,数量级约为 $1^\circ/\text{Ma}$,它还得到流变学的证明。一个大陆的视极移减去真极移等于该大陆在地幔上的运动。笔者用真极移模型研究了华北中生代地壳运动,其结果与地质证据相容。此外还求出 200Ma 以来华北陆块的纬度变化和方位角变化,得出华北陆块受地幔的作用使纬度变化比其方位角变化稍大,证明华北大地构造有其方向性特征。

关键词 地球自转动力学 古地磁学 真极移 构造运动

0 引言

地球自转轴会在地球内大尺度地漂移,这个想法起源于地质学家的想象力^[1,2]。直到 1863 年物理学家才开始研究这一课题。虽然,在本世纪 50 年代古地磁学曾在大陆漂移的应用上取得成绩,但个别学者却忽略了这一问题。1969 年有人提出准刚体自转模型^[3];1974 年才提出用“真极移”这个术语来表示地极漂移,但所指内容同现在的不一样。1981 年有的文献提出地轴相对地幔运动的概念,但对真极移术语的用法仍不一致^[4]。1991 年,法国人在固定非洲坐标系里绘上 200Ma 以来的假想热点极移路径和综合古地磁极路径。这两条路径之差就是地磁极相对地幔的运动,但通常说成是地球自转极相对地幔的运动(滚动),其数量级为 $1^\circ/\text{Ma}$ ^[5],这就是目前常引用的数值。J. Besse 和 V. Courtillot 研究了地磁极相对地幔的运动情况,认为 200—180Ma 最快;180—110Ma 停滞;110—50Ma 又快;50—10Ma 停滞又急转弯;10Ma 以来又快。这样的变化,同地磁场倒转频率的大小和偶极子强度的大小基本一致。除有一个例外,主要大陆的离散在 180—110Ma 停滞期内。他们解释这些现象的理论是地幔 D" 层的厚度变化会控制地核对地幔的热流,而热柱引起地幔对流的加剧。用古地磁方法测出的是某一陆块的视运动量,扣除真极移量后才是这个陆块在地幔上的运动,叫作绝对运动。由于研究真极移要用热点坐标系,而 200Ma 以前没有这种资料,所以也就没有真极移的数据。1994 年有人根据某个时期内真极移的长度大于各板块的视运动长度时,它们的视极移路径应相似的公理,把在晚奥陶世、志留-泥盆纪界线和晚泥盆世的几个主要大陆的视极移路径的急转弯,推测为一次大的真极移^[6]。

在地球自转动力学中,研究地质历史时期内的极移与研究现代极移所用的方程式一样,但在具体处理问题时有 3 点不同,所以地球自转轴相对地幔有大幅度($1^\circ/\text{Ma}$)的位移。这 3

点是:(1)地球的层状粘弹性模型。上下地幔的粘性不同,弹性随深度变化;(2)以地幔球体为计算极移的对象,但研究物理过程和力学效应时包括岩石圈和水圈(冰川);(3)把极移当作一个物理过程,在百万年的尺度上研究质量的重新分布。

人们研究岩石圈(地壳)运动问题时,总想对平均岩石圈的运动做出回答。有的书上称岩石圈相对地幔向西运动,并举出一些地质现象作为证据。例如,由大洋板块扩张极接近地理极,便推出岩石圈和地幔都绕自转轴旋转的判断。但按一定的规则逐步在地幔上复原大陆后,实测的结果是:平均岩石圈的旋转极从 120Ma 以来在印度洋北部移动^[7]。由中国北方玄武岩的分布可知,从渐新世到中新世,中国北方大陆向东南漂移了约 600Km^[8]。

1 真极移在中国大地构造上的应用

1.1 中国的古地磁资料

笔者用扬子板块上的一条视极移路径来作分析^[9],可是这条路径缺少对燕山运动很有意义的早侏罗世的数据,只好用弧形曲线延长法来内插。内插后的路径在早古生代有一个封闭回线。这和推测在古生代中期的真极移急转弯有些出入,原因或是数据不精确,或是扬子板块在那时的视运动大于真极移。这条路径在晚二叠世、早三叠世和早侏罗世都有一个急转弯,早白垩世以后与欧亚视极移路径一致。若不考虑真极移的概念,可把扬子板块的运动解释为主要是向北移动,但从泥盆世到晚石炭世曾向南移动了 14°,而早侏罗世到早白垩世则向南移动约 6°。

1.2 根据真极移模型做的解释

因为真极移路径是绘在固定非洲坐标系里,需要换算到现代地理坐标系里才能应用。不过 0—40Ma 的一段可直接从固定非洲坐标系里读出,作为近似值,即向格陵兰方向移动约 10°;从 40—110Ma 的数值是沿着相反方向移动约 20°^[10]。在这以前,由于板块运动的原因,没有统一路径,应由各板块分别换算。笔者换算得到华北板块 120—180Ma 的一段方向为与东经 105°线相交偏东约 20°的一条线,向偏北方向移动约 5°;180—200Ma 的一段,方向为沿东经 105°经线向南移动约 10°^[11]。笔者是用吴尔夫网换算的,步骤如下:(1)在真极移图上指定以 110°E 为基线,量出 200—180Ma 的弧长为 12°,与基线的夹角为 22°;再以 130°E 为基线,量出 180—120Ma 的弧长为 5°,与基线的夹角为 160°(顺时针方向);(2)让 200Ma 的数据点沿着经线上升 25°就到地轴北端,然后让地幔沿着 88°E 向东半球转动 12°;(3)让 180Ma 的数据点沿着经线向上移动 15°到地轴北端,这次经线的数值稍有变化;再让地幔沿着这条大圆呈偏西 20°的角向西半球转动 5°。最后根据《中国东部白垩纪-第三纪板块运动示意图》,把 200—180Ma 的真极移面定为通过现代地理坐标 105°的经线。求偏角变化时假定太原和刚果之间的距离变化不大,令 200Ma 的地磁极位置为 A 点,离开 A 点向南 33°为 B 点;再令 180Ma 的地磁极位置为 C 点,离开 C 点向南 32°为 D 点,测出 $\angle ADC$ 为 4°。令 120Ma 地磁极位置为 E 点,离开 E 点向南 59°为 F 点,测出 $\angle AFE$ 为 8°。110Ma 以来可用球面三角公式计算。真极移的数值还不能定量应用,笔者在换算过程中也是粗略估计的,但从所得结果中能够提出几点有意义的问题:(1)从 200Ma 顺推到 120Ma,同从现代反推到 110Ma,两个偏角值仅差 4.5°,两纬度值仅差 5.4°,可以认为一致。真偏角的变化同视偏角变化看上去没有关系,大体上在 120Ma 以前同方向变化,110Ma 以后反方向变化。这意味着板

块的转动受地幔转动的影响小。真纬度的增减同视纬度的增减大体上成反方向关系。这意味着板块在南北方向的运动滞后于其下的地幔运动；(2)由于 120Ma 以前磁偏角变化同方向，所以绝对偏转的幅度比视偏角的幅度小；而 110Ma 以后两个磁偏角的变化反方向，所以绝对偏转的幅度比视偏角的幅度大。总起来说，自 200Ma 以来华北板块磁偏角在现代正北方向偏东 20° 以内变化。由于真纬度增减的变化同视纬度增减的变化大体成相反的关系，所以绝对纬度增减的幅度比视纬度增减的幅度要大。加上绝对磁偏角的变化在 20° 以内，所以造成华北板块上同南北方向有关的构造。不过笔者是按中朝板块在早侏罗世与西伯利亚板块拼合的情况换算的^[11]，若按前面引用的扬子板块的古纬度制约华北板块的古纬度，即认为在早侏罗世以前两板块已经拼合，仅是早侏罗世和中侏罗世的古纬度比在欧亚视极移路径上换算的(专业上叫期望值)低，但上述结论基本不变。此外，真极移还有两种效应；(1)地球形状调节^[12]。由于地球自转极在地面上移动到新的位置，所以形状极也要调整到这个位置，同时赤道隆起带也要调整到同自转轴垂直的方向上。直观地可以想到，这种调节在真极移面通过的高纬地区和赤道带最大。根据这个道理，可以解释新疆、黑龙江和西藏的燕山期褶皱带同属于一个构造体系；(2)地球动力学地形^[13]。当发生真极移时出现动力学地形波动，其结果形成现代赤道带大地水准面的长波图案。根据这一效应可以解释中国中部侏罗纪地层受到强烈干扰的现象；(3)大的真极移或许以振荡方式开始，这是笔者类比地磁倒转的振荡模型做的猜想。试图解释蒙古造山带巨型推覆构造的位移主要向南、也有向北的现象。

2 构造运动等活动激发极移

地质历史时期中的地球质量重新分布会引起真极移，按激发源的深度不同可分 3 类：(1)板块消减带的激发。数学模型采用 200Ma 以上到 450Ma 的时段，以观测时间效应。考虑上、下地幔的粘滞性差别，670km 处是相变面或化学界面的不同，最后用现代赤道带大地水准面的长波异常来控制。这类理论也适用于地幔对流为激发源的情况；(2)造山作用的激发^[14]。以喜马拉雅山和西藏高原在非均衡条件下的垂直运动为实例。因为原作者采用的模型简单，只能对真极移作数量级的估计；(3)冰川后回跳的激发^[15]。这种机制研究得比较早。原则上说，冰川引起极移，而极移又影响构造，所以在地球自转动动力学的意义上，把冰川现象同大地构造联系为因果关系。

3 讨论

3.1 真极移与自转形变在解释构造现象上的不同

从几何思维来说，发生一次真极移时，地块在真极移大圆上纬度变化最大，在这个大圆的极点方向变化最大。与这不同，自转形变的二次调和项(有人称做“变形力”)却与纬度有关。用真极移模型解释凸向南的弧形构造时，因为同一纬度带上受的力大小逐次变化，只需假定岩石圈和地幔界面上的力学性质均匀。用自转形变模型来解释时，因为同一纬度带上受力大小一样，则需假定在某一纬度上，岩石圈和地幔的界面上有两处阻力较大。

3.2 极移与日长变化

兰伯克认为：现代极移同日长变化在许多情况下可以分开研究。我们认为在短期内(如

100—200a),极移同日长变化是可以分开研究的,但在某些情况下可能出现交互耦合,而在地质历史时期内则不能分开研究。我们根据角动量守恒定律,可以把极移同日长变化的关系描写成这样:当地球自转轴在地球中的位置改变时,等效于使转动惯量增大,从而使自转速率变小(即日长增加);同时离心力对地球各部分的作用也随之改变,从而引起地球形状的改变,使形状轴向自转轴靠近(在地质时期的大幅度极移上说是重合)。这也等效于转动惯量变小,从而使自转速率增大(日长变短)。只有自转速率的变化而无极移的情况是质量沿自转轴对称分布的特例,自转形变就采取这样的模型。

3.3 陆块的垂直运动

构造地质学中仅把板块的碰撞带定为垂直运动,板块内部只有水平运动。从真极移的模型来说,形状调节作用和地球动力学地形主要是垂直运动,在板块内也会发生。

3.4 大陆分布格局不需外力

以地球自转为机制的大地构造学说有大陆会集中在赤道带的缺点,采用地球形状调节的假说就克服了这个缺点^[12]。

4 结束语

真极移的概念是由地质学家提出的,后来物理学家和地球物理学家参加研究。现在需要地质学家从应用方面来研究。本来,“实践—认识—实践”是很自然地认识过程,但因真极移的概念比以前想象的要复杂得多,不少地质学家还有许多疑问。由本文的结果可以说明真极移的模型是可以应用的:

(1)用 200—120Ma 真极移模型所得结果,同燕山运动中的经向构造和纬向构造是相容的;

(2)用 200Ma 以来的真纬度变化和视纬度变化比较,真方位角变化和视方位角变化比较,可以得出华北板块在子午线方向上受地幔影响大的论断。

本文力图说明真极移模型同自转形变模型的理论差别。笔者提出用真极移模型解释板内构造的思路是陆块在大尺度上的三维运动。而且,支持大陆分布格局不需外力的论断。笔者推荐在地质学中应用真极移的概念,理由是在中国及周边有许多真极移的地质现象。虽然新概念能推动科学发展,但科学家提出或发展一个新概念,却包含着研究者的洞察力这样一个问题(上田诚也语)。由于笔者从事的专业限制,在地球自转和地质上的用语和论述难免有误,敬请批评指正。

参 考 文 献

- 1 芒克 W. H, 麦克唐纳 G. J. F, 地球自转. 李启斌等译, 北京: 科学出版社, 1976.
- 2 兰伯克 K. 著, 李永生、胡辉译, 地球自转的变化. 北京: 地震出版社, 1988.
- 3 Ricard Y, Spada G, Sabadini R, Polar wandering of dynamic earth, *geophys. J. Int.* 1993, 113: 284—298.
- 4 Jurdy D M, Reference frames for plate tectonics and uncertainties, *Tectonophysics*, 1990, 182: 372—382.
- 5 Besse J. Courtillot V, Revised and synthetic apparent polar wander paths of the African, Eurasian, North American and Indian plates, and true polar wander since 200Ma, *J. Geophys. Res.*, 1991, 96(B3): 4024—4055.
- 6 Van der Voo R. True polar wander during the middle Paleozoic? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1994, 122: 239—243.

- 7 Lithgow-Bertelloni C. et al, Toroidal-poloidal partitioning of plate motions since 120Ma, *Geophys. Res. Lett.*, 1993, 20: 375-378.
- 8 邓晋福等, 中国北方大陆下的地幔热柱与岩石圈运动. *现代地质*, 1992, 6: 267-274.
- 9 Seguin M K, Yongjian Zhai, Paleomagnetic constraints on the crustal evolution of the Yangtze block, Southeastern China. *Tectonophysics*. 1992, 210: 59-76.
- 10 Ricard Y, Isostatic deformation and polar wander induced by redistribution of mass within the Earth, *J. Geophys. Res.*, 1992, 97(B10): 14 223-14 236.
- 11 李普, 华北中生代地壳运动解释的新尝试. *地质论评*, 1993, 35: 390-394.
- 12 Bostorm R C, Figure adjustment and tectonics during polar wander; the flowing-apart of Gondwana, *Tectonophysics*, 1990, 182: 392-402.
- 13 Spada G, Sabadini R, Boschi E, True polar wander affects the Earth dynamic topography and favours a highly viscous lower mantle. *Geophys. Res. Lett.*, 1994, 21: 137-140.
- 14 Vermeersen L L A, Sabadini R, Spada G, Vlaar N J, Mountain building and Earth rotation. *Geophys. J. Int.*, 1994, 117: 610-624.
- 15 Spada G. True polar wander and long-wavelength dynamic topography. *Tectonophysics*, 1993, 223: 3-13.

PALAR WANDER AND TECTOGENETIC MOVEMENT

Li Pu

(*Institute of geomechanics, CAGS*)

Abstract The large displacements of the Earth rotation axis with respect to the entire mantle on a geologic time-scale, called true polar wander (TPW), is detected by paleomagneticians, and its order of magnitude is about $1^\circ/\text{Ma}$. TPW is supported by mantle rheology. Apparent polar wander (APW) of a continent minus TPW equals motions of this continent across the mantle. The author has studied Mesozoic crustal movements in North China with the TPW model, with the result that the variation of the latitude is greater than the variation of the azimuth relative to the mantle for North China Block since 200Ma. This is compatible with geologic evidence. It indicates the tectonic structures of North China had been definitely oriented. And the arc structures with the apex facing the south will have a different explanation for their existence with the TPW model than with the rotational deformation model.

Key words dynamics of the Earth's rotation, paleomagnetism, true polar wander, tectogenetic movement

作者简介

李普, 1927年生, 研究员, 长期从事古地磁学研究。通讯地址: 北京市海淀区中央民族大学院南路 11 号地质力学研究所。邮政编码: 100081。