

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

## 中国塔里木地块的视极移曲线\*

李燕平<sup>1)</sup> 李永安<sup>2)</sup> 张正坤<sup>3)</sup> 翟永健<sup>4)</sup> 李 强<sup>2)</sup> 高振家<sup>2)</sup>

Robert Sharps<sup>1)</sup> Michael McWilliams<sup>1)</sup>



塔里木地块的视极移曲线由泥盆纪,晚石炭世,二叠纪,早三叠世和侏罗-白垩纪古地磁极联线构成。(D:  $P_{lat} = 16$ ,  $P_{long} = 165$ ,  $A_{95} = 4$ ; C<sub>3</sub>:  $P_{lat} = 41$ ,  $P_{long} = 160$ ,  $A_{95} = 4$ ; P:  $P_{lat} = 61$ ,  $P_{long} = 177$ ,  $A_{95} = 9$ ; T<sub>3</sub>:  $P_{lat} = 69$ ,  $P_{long} = 183$ ,  $A_{95} = 11$ ; J-K:  $P_{lat} = 65$ ,  $P_{long} = 214$ ,  $A_{95} = 6$ ) 根据古地磁研究,塔里木地块在泥盆和二叠纪之间俯冲到哈萨克斯坦地块之下。塔里木,华北和华南的缝合年代在早三叠世和早白垩世之间,相对于西伯利亚,塔里木地块自白垩纪之后有较大的东向运动。

### 一、引言

由于最近几年新的古地磁资料的出现,使我们对中国大地构造演化有了进一步的认识<sup>[1,2,3,4,5]</sup>。这些新的古地磁资料主要是从华北和华南地块得到的,与中国东部相比,作为中国西部的主要构造单元塔里木地块还极少古地磁资料。塔里木地块是中国的内陆块体,北邻哈萨克斯坦地块,对于中国及欧亚大陆大地构造演化的完整解释均依赖于塔里木地块的视极移曲线。本文总结了近年来从塔里木地块所得的古地磁极资料,并讨论了这些结果的构造含义,各个古地磁极的详细研究结果已经或即将分别发表。

### 二、地质背景

中国是由华北、华南和塔里木 3 大块以及它们之间的古生代、中生代褶皱带构成的(图 1)。中国的西域是由北部的塔里木地块和南部的许多地体组成。塔里木地块处于天山和阿尔金-昆仑山之间,其中心部分一般认为是太古界核心,被元古代和显生宙以来的地层所覆盖。地块边缘部分出露的地层为震旦纪的碎屑岩、火山岩和冰碛岩,上覆地层为古生代的碳酸盐岩和海相碎屑岩,中新世为红层及西部局部地区为灰岩。

\* 本课题得到国家加速查明新疆地质矿产资源办公室、美国国家基金会、斯坦福大学中美地质交流中心、中国国家科学基金会和中国地质科学院的资助。

1) 美国斯坦福大学地球物理系。

2) 中国地矿部新疆地矿局地质研究所。

3) 中国地质科学院地质所。

4) 中国地质大学。

本文 1988 年 10 月收到,王毅编辑。

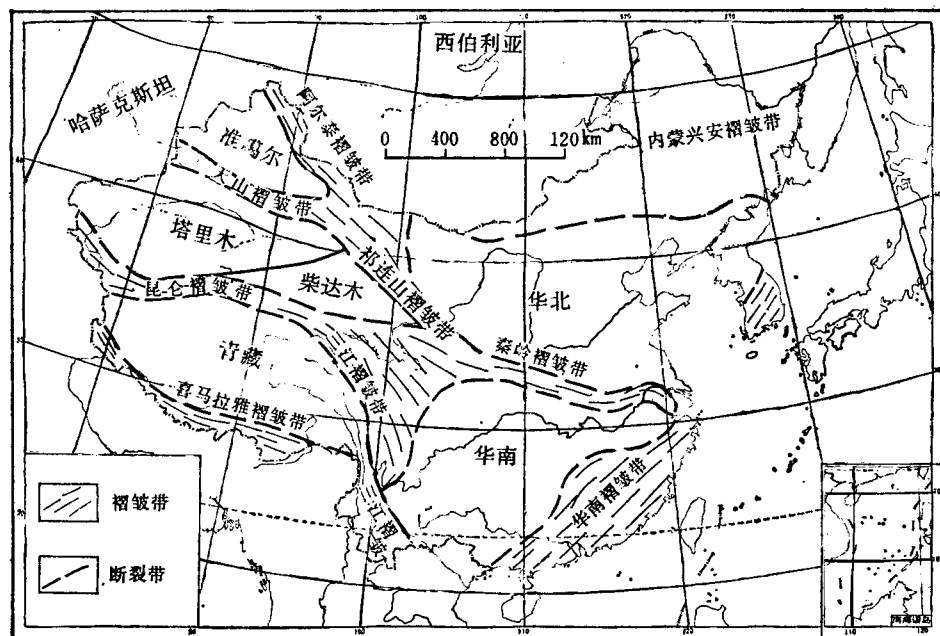


图 1 中国大地构造略图

Fig. 1 Sketch of tectonic of China

所有的古地磁研究都是在塔里木盆地北部进行的,具体地说,古生代的古地磁极来自柯坪-巴楚地区,中生代的古地磁极来自拜城-库车地区。这两个地区的地层出露良好,并有详细的野外地质资料,适合于进行古地磁研究。印度和西藏于始新世碰撞,并使这一地区的构造活化,如本区发生的推覆构造。因此我们尽可能把采样剖面分置在多个推覆体上,从而得到同一年代的平均古地磁极。

### 三、古地磁极

#### (一) 泥盆纪

在苏巴什,阿恰和音干 3 个地层剖面上共采取了 60 块标本(均为红层)。音干剖面(图 2)上所得的泥盆纪古地磁极位于二叠纪(倒转的卡亚曼极性期)和泥盆纪(正向的)古地磁极之间,结合岩石磁学资料,我们认为这一剖面的泥盆纪古地磁方向尚未完整地二叠纪重磁化中分离出来。同样,我们认为原来发表的从音干剖面以东 20 km 的四石厂剖面得到的晚泥盆世古地磁极<sup>[6]</sup>,也未完全消去二叠纪重磁化影响。其余的剖面给出了正负极性及其方向一致的古地磁结果,但不同于任何泥盆纪之后的古地磁方向,因此,我们认为它是原生的。

#### (二) 晚石炭世

晚石炭世古地磁极是 3 个灰岩剖面(95 个定向标本)的结果<sup>[7]</sup>。从音干剖面砂岩采样点所得的古地磁方向与二叠纪古地磁方向及晚石炭世古地磁方向<sup>[6]</sup>均无明显的差异,因

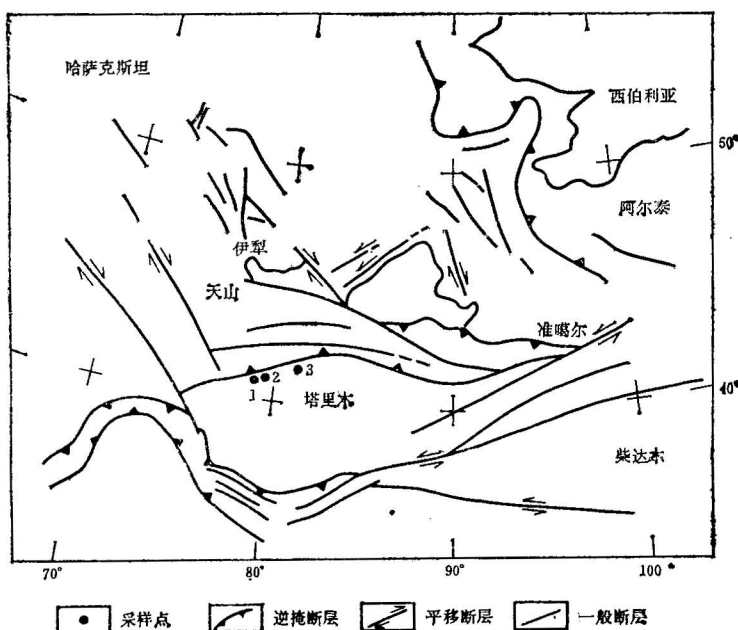


图 2 塔里木及邻区构造略图

Fig. 2 Sketch of tectonics of Tarim and its adjacent units

采样地点: 1. 柯坪(苏巴什剖面); 2. 音干-四石厂剖面; 3. 库车剖面

Sampling localities: 1: Kalping (Subasi section); 2: Ying'an-Sishichang section; 3: Kuqa

此, 音干剖面 and 四石厂剖面晚石炭世的古地磁资料没有加入最后极的计算, 所有其他的采点都给出一致的倒转极性(卡亚曼极性期)方向, 这一方向以 99% 的可信度通过褶皱检验<sup>[8]</sup>。基于这些特征, 我们认为其剩磁可能是成岩时形成的。

### (三) 二 叠 纪

早二叠世的古地磁极样采自 4 个剖面, 其中 3 个剖面(音干, 66 团和四石厂, 见图 2)包括玄武岩和熔岩的结果。音干和 66 团剖面的古地磁极在统计意义上没有差别, 因此我们平均了这两个剖面的结果, 得出一平均极。苏巴什剖面(图 2)的样品采自灰岩和砂岩, 四石厂剖面采自灰岩和玄武岩<sup>[6]</sup>。从 3 个采样地点(巴楚, 三岔口和音干)的基性岩脉中, 得到了晚二叠世的古地磁极<sup>[9]</sup>。所有二叠纪的古地磁方向均为倒转极性, 并通过了褶皱检验。在库车以北 60 km 的红层剖面中(图 2), P. McFadden 等<sup>[10]</sup>建立了二叠纪末的古地磁极。尽管这些采点相距甚远, 但各个极之间的一致性较合理, 表明分离所得的特征剩磁分量为原生的, 各个极之间的差异可能主要是由二叠纪期间的极移造成的, 也可能由以下几种原因造成: (1) 各个采点之间的相对运动; (2) 地磁场的长期变化没有被足够地平均掉; (3) 次生剩磁没有完全被消除掉。由这 4 个二叠纪古地磁极平均所得的极与整个极移曲线的形态吻合得很好。不过, 这一平均极可能低估了二叠纪期间的视极移的意义。由于这一平均的二叠纪古地磁极来自大量的标本、不同的岩性和分隔甚远的地质剖面。无疑, 它是目前塔里木地块视极移曲线中最可信的古地磁极。

## (四) 三 叠 纪

从塔里木地块已得到了两个三叠纪古地磁极,它们均来自库车地区。P. McFadden 等<sup>[10]</sup>报告的三叠纪古地磁极来自库车以北 60 km 处。在他们的研究中,具有正负两种极性,并且磁性特征可与世界其他地区三叠纪初的磁性柱相对比。因此,他们分离而得的古地磁方向是原生的,但这一剖面的年代是不精确的,是与准噶尔盆地相当的地层对比而确定的。在拜城地区 (41.8°N, 82°E), 于砂岩夹层的泥灰岩中采取了 9 块标本,从这些标本中未能获得稳定的剩磁方向。在库车 (41.6°N, 83.5°E, 17 个采点) 和阳霞 (41.5°N, 83.8°E, 1 个采点) 地区,从红层与砂岩夹层的泥灰岩中共采取了 18 块标本,尽管大多数标本已被严重磁化,但仍可从 6 个采点中分离出 1 个具有正反极性的特征剩磁矢量。这一矢量在 99% 的置信水平上通过了褶皱检验。我们所采的三叠纪红层的年代也是不详细的。P. McFadden<sup>[10]</sup> 所得的早三叠世的古地磁极与我们所得的略有差异,但这一差异主要反映在磁偏角上。可以发现我们所采样的主要剖面相对于 P. McFadden 等人采样剖面约呈 20° 的逆时针旋转,考虑到库车地区构造的复杂性和年代不够精确,我们没有将两个三叠纪的极进行平均。由于 P. McFadden 等所得的早三叠世古地磁极更接近塔里木视极移曲线,故在我们的解释中,采用了这一早三叠世古地磁极。

## (五) 晚侏罗世—晚白垩世

拜城晚侏罗世—早白垩世砂岩剖面中的古地磁极与库车晚白垩世红层剖面中的极相似<sup>[11]</sup>。因此,这两个极在一起加以平均得到了一平均白垩纪极。同一连续剖面正负极性

表 1 中国塔里木地块的古地磁极  
Table 1 Paleomagnetic poles of Tarim, China

| 年 代                            | 采 点                    |                         | 古地磁极                   |                         | K   | A <sub>95</sub> | N<br>(采点数或剖面数) | 稳定性<br>检验 | 资料来源 |
|--------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-----|-----------------|----------------|-----------|------|
|                                | 纬度<br>S <sub>lat</sub> | 经度<br>S <sub>long</sub> | 纬度<br>P <sub>lat</sub> | 经度<br>P <sub>long</sub> |     |                 |                |           |      |
| K <sub>2</sub>                 | 41.6                   | 83.5                    | 66                     | 214                     | 114 | 9               | 4              | R         | [11] |
| J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> | 41.8                   | 82                      | 65                     | 209                     | 62  | 9               | 6              | R         | [11] |
| J-K                            | —                      | —                       | 65                     | 214                     | 66  | 6               | 10             | FR        | [11] |
| T                              | 42.1                   | 83.2                    | 59                     | 160                     | 26  | 13              | 6              | FR        | [本文] |
| T <sub>1</sub>                 | 42.1                   | 83.4                    | 69                     | 183                     | —   | 11              | 6              | R         | [10] |
| P <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> | 42.1                   | 83.4                    | 72                     | 188                     | —   | 6               | 16             | R         | [10] |
| P <sub>2</sub>                 | 42.1                   | 83.4                    | 73                     | 191                     | —   | 7               | 10             | R         | [10] |
| P <sub>2</sub>                 | 39.8                   | 78.8                    | 66                     | 181                     | 61  | 4               | 21             | FR        | [9]  |
| P <sub>1</sub>                 | 40.5                   | 78.8                    | 65                     | 163                     | 128 | 4               | 11             | R         | [29] |
| P <sub>1</sub>                 | 40.7                   | 79.3                    | 55                     | 172                     | 66  | 4               | 21             | R         | [29] |
| P <sub>1</sub>                 | 40.6                   | 79.5                    | 57                     | 190.1                   | —   | 5               | 26             | R         | [6]  |
| MP                             | —                      | —                       | 61                     | 177                     | 98  | 9               | 4              | FR        | [本文] |
| C <sub>3</sub>                 | 40.5                   | 78.8                    | 41                     | 160                     | 823 | 4               | 3(19)          | FR        | [7]  |
| D                              | 40.5                   | 78.8                    | 16                     | 165                     | 29  | 4               | 44             | RC        | [28] |

F: 褶皱检验; C: 接触烘烤检验; R: 倒转检验; K: 精度参数; A<sub>95</sub>: 95% 置信圆半径。

F: fold test; C: baked contact test; R: reversal test; K: precision parameter; A<sub>95</sub>: radius of the 95% confidence cone

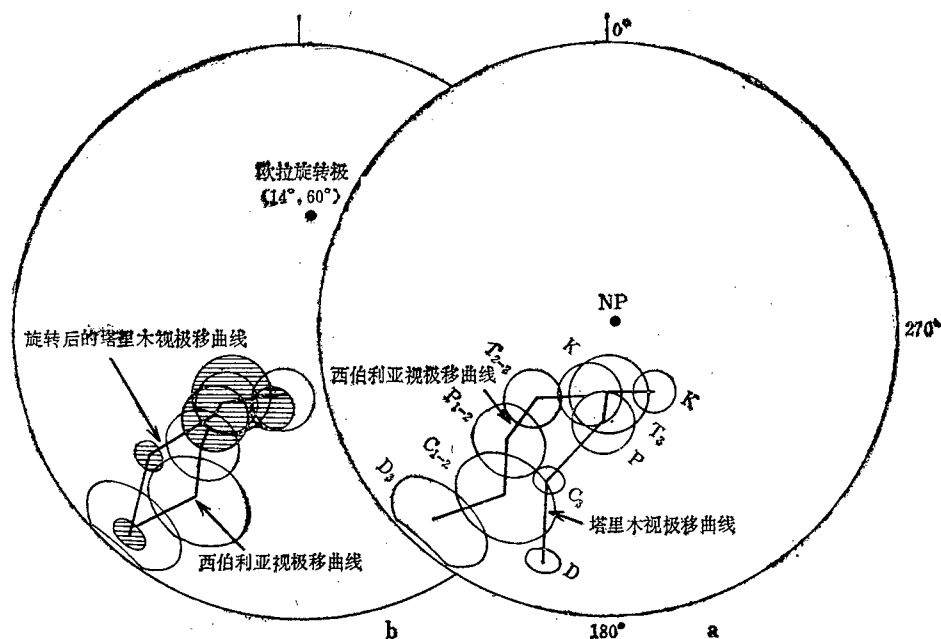


图 3 等面积极投影图 (a) 塔里木地块视极移曲线 (b) 塔里木地块视极移曲线绕欧拉旋转极 ( $14^{\circ}\text{E}$ ,  $60^{\circ}\text{N}$ ) 顺时针旋转  $26^{\circ}$  之后的曲线和西伯利亚地块的视极移曲线

Fig. 3 Equal area stereonet of pole positions. (a) APW path of Tarim; (b) APW path of Tarim after rotating  $26^{\circ}$  clockwise about an Euler pole at  $14^{\circ}\text{E}$   $60^{\circ}\text{N}$  and APW path of Siberia

K: 白垩纪<sup>[11]</sup>, T<sub>3</sub>: 晚三叠世<sup>[10]</sup>, P: 二叠纪, C<sub>3</sub>: 晚石炭世<sup>[7]</sup>, D: 泥盆纪<sup>[28]</sup>, 西伯利亚地块视极移曲线<sup>[26]</sup>, NP: 现代地理北极。

K: Cretaceous<sup>[11]</sup>, T<sub>3</sub>: Late Triassic<sup>[10]</sup>, P: Permian<sup>[this study]</sup>, C<sub>3</sub>: Late Carboniferous<sup>[7]</sup>, D: Devonian<sup>[28]</sup>, APW Path of Siberia. NP: present geographic north pole.

的出现,产状校正到层面后方向离散性显著的改变,表明特征剩磁方向为原生的。

除了上述各地质年代的古地磁极外,目前我们正在进行震旦、寒武、奥陶纪和早中石炭世的古地磁研究,这些年代地层的剩磁较为复杂需要更进一步的工作。

总的说来,一个初步的视极移曲线已经从塔里木地块得到(表 1, 图 3),所有的极至少有一个野外稳定性检验。这一视极移曲线是否能代表整个塔里木地块尚需检验。但根据地层和古生物对比,认为泥盆纪以后塔里木地块已成为统一的块体。因此,我们能用现有的古地磁数据来推断塔里木地块的构造演化过程及其与邻区的关系。

#### 四、塔里木地块的构造演化历史

根据表 1 所列的塔里木地块的古地磁极,和图 3 的视极移曲线,塔里木地块自泥盆纪以来由南向北移动并做顺时针的旋转(图 4)。泥盆纪时,塔里木地块位于低纬度区,苏巴什剖面 ( $40.5^{\circ}\text{N}$ ,  $78.7^{\circ}\text{E}$ ) 的古纬度从泥盆纪起始的  $10^{\circ}\text{N}$  变化到剖面终止时的  $19^{\circ}\text{N}$ , 这一古纬度的变化表明,塔里木地块在泥盆纪以来向北移动,在泥盆纪和晚石炭世之间,塔里木地块向北移动了  $18^{\circ}$ , 并顺时针旋转了  $46^{\circ}$ 。一个板块如果它的一端俯冲到另一

板块之下,由于板块向下俯冲的作用力(Slab pull)较大,它的运动速度往往较快<sup>[12]</sup>。因

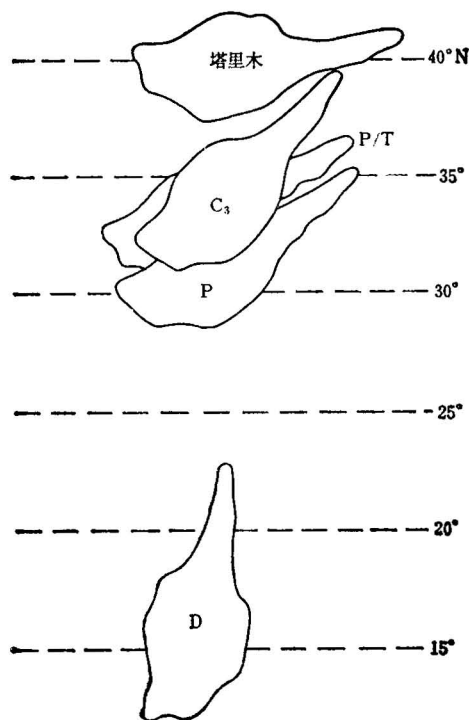


图4 塔里木地块在各地质年代的古纬度和取向

Fig 4 Paleolatitude and orientation of the Tarim block in various geologic times.

数据来源: D: 泥盆纪<sup>[13]</sup>, C<sub>3</sub>: 晚石炭世<sup>[7]</sup>, P: 二叠纪<sup>[本文]</sup>; P/T: 晚二叠世—早三叠世<sup>[10]</sup>。

Data Sources: D: Devonian<sup>[13]</sup>; C<sub>3</sub>: Late Carboniferous<sup>[7]</sup>; P: Permian<sup>[This study]</sup>; P/T: Permo-Triassic<sup>[10]</sup>

塔里木地块在二叠纪末与哈萨克斯坦与西伯利亚和华北地块相碰撞。但是,这些构造单元上的晚二叠至早三叠世的古地磁极相互之间并不完全吻合(图5),表明早三叠世之后,各个地块之间仍存在相对运动(中至晚三叠世的古地磁极目前尚未从华北、塔里木和哈萨克斯坦地块上得到)。尽管它们之间这时可能在纬度上已不存在大的差异,但是,从塔里木地块所得到的白垩纪古地磁极与华北、华南的白垩纪极相一致,表明中国大陆的主要构造单元(塔里木,华南和华北)当时已固结到一起<sup>[11]</sup>。这样,塔里木、华南和华北地块之间的聚合、合并一定发生在中晚三叠世和侏罗纪,由于目前尚缺乏这些地块上详细的中晚三叠世至侏罗世的古地磁极资料,更精确的合并年代尚无法得到。

中国和西伯利亚的白垩纪古地磁之间存在着差异<sup>[11]</sup>。这一差异的一种解释是白垩纪之后,中国和西伯利亚之间曾存在显著的相对运动。

塔里木和西伯利亚地块之间的相对运动。从图3我们可见塔里木和西伯利亚地块的视极移曲线的形态颇为相似,只不过塔里木地块的视极移曲线更偏向东面,显然,对于这

此,在这期间,塔里木地块的迅速北移运动表明,塔里木地块那时所在的板块正向北消减到哈萨克斯坦板块之下。天山石炭纪大面积喷发的火山岩和构造活动,肯定了这一消减过程的存在。但是,在晚石炭世和二叠纪之间,北向移动已不存在(图4),但仍有26°的顺时针旋转,表明塔里木地块在这一时期由于与哈萨克斯坦地块的碰撞已开始减速。更详细的碰撞模型将依赖于从塔里木和哈萨克斯坦地块得到更可信的石炭纪和二叠纪的古地磁极,我们认为泥盆纪和二叠纪之间,塔里木地块所做的顺时针旋转也是由碰撞造成的。最初的碰撞在东端开始,塔里木地块和哈萨克斯坦地块之间的残余海的闭合过程,也就是塔里木地块这期间顺时针旋转的过程。这一结果与柯坪-阿克苏地区古地理和沉积相研究的结果是一致的。古地理和沉积相研究表明,石炭纪和早二叠世时,古海洋是朝西北方向开口的<sup>[13]</sup>,构造迁移观点也认为南天山地区的火山活动和构造活动随时间变化由东往西迁移<sup>[14]</sup>。

## 五、亚洲东部的固结

有关亚洲东部的聚合和固结时代,至今尚无统一的认识<sup>[1,2,5,6,15-18]</sup>,大多数学者认为,

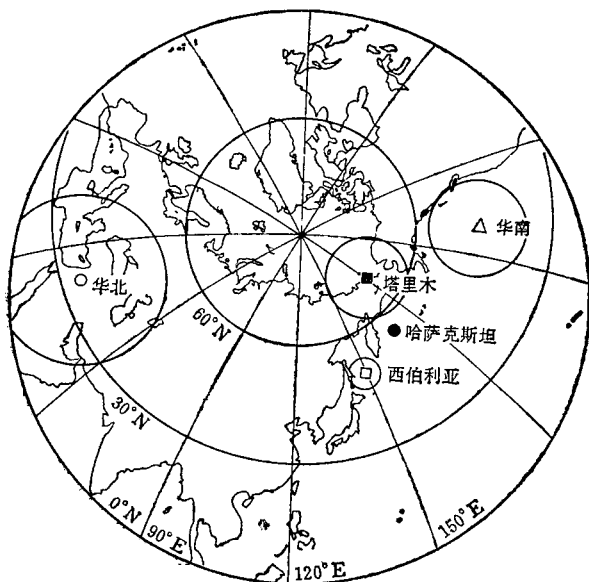


图 5 塔里木、华北、华南、哈萨克斯坦和西伯利亚地块早三叠世的古地磁极

Fig. 5 Paleomagnetic poles of the Early Triassic from Tarim, North China, South China, Kazakhstan and Siberian blocks.

■: 塔里木<sup>[10]</sup>, ○: 华北<sup>[2]</sup>, △: 华南<sup>[2]</sup>, □: 西伯利亚<sup>[26]</sup>, ●: 哈萨克斯坦<sup>[26]</sup>.

■: Tarim<sup>[10]</sup>; ○: North China<sup>[2]</sup>; △: South China<sup>[2]</sup>; □: Siberia<sup>[26]</sup>; ●: Kazakstan<sup>[26]</sup>

一现象的简单、直观的解释是自白垩纪之后,塔里木地块相对西伯利亚地块向东移动了。

为了建立塔里木地块相对于西伯利亚地块的东移位移量,从而能说明塔里木和西伯利亚地块视极移曲线的差异,我们用一有限旋转来重建塔里木地块向东运动之前的位置。在重建过程中,我们假定西伯利亚地块是固定的,因此古地理重建之后的塔里木地块的位置仅仅是相对西伯利亚地块而言。这是因为同时西伯利亚本身也在另一个绝对参考系中(如地球自转轴或热点参考系)运动。我们也可以固定塔里木地块而旋转西伯利亚地块,但无论固定哪一个地块而旋转另一个地块,它们边缘的地质效应(扩张或挤压)是一样的。

## 六、欧拉旋转极

小圆技术已用于从视极移曲线中找欧拉旋转极<sup>[22]</sup>,但是,目前塔里木和西伯利亚的视极移曲线尚不完善,不具备采用小圆技术来分析的条件,欧拉旋转极的选择也依赖于人们对所研究的块体的构造历史的理解。如果塔里木和西伯利亚地块在各地质年代的构造关系(即扩张与挤压历史)已为人所知,那么人们就可以用这些已知的地质资料来建立欧拉旋转极,检验这两个地块上视极移曲线的可信性。另一方面,如果塔里木和西伯利亚地块上的视极移曲线十分精确的话,则可通过比较两极移曲线来推断这两个地块的构造演化历史。但是,由于人们对塔里木和西伯利亚地块之间的构造演化过程的理解,以及这两个地块上的视极移曲线均有缺陷,因此,我们的古大陆重建在目前的状态下仅仅是初步

的。我们采用了 3 对古地磁极 (白垩、三叠和二叠纪) 来寻找描述塔里木和西伯利亚之间相对运动的欧拉旋转极, 采用这些年代的古地磁极来寻找欧拉旋转极的原因是有足够的地质证据, 表明塔里木地块在二叠纪末时, 已增生到 (不一定固结到) 西伯利亚地块<sup>[13,14,19,20,21]</sup>。

我们采用平均拟合误差角度  $\theta_m$  来衡量拟合的好坏,  $\theta_m = \{\text{总和} |P_i - P_{ri}| / n\}$ , 其中  $P_i$  为西伯利亚地块上的古地磁极,  $P_{ri}$  为同时代的旋转后的塔里木地块上的古地磁极,  $|P_i - P_{ri}|$  为角距离,  $n$  为参加拟合的古地磁极对数 (在此  $n = 3$ )。经过几次试验后, 我们选择具有局部最小拟合误差角度  $\theta_m = 4.3^\circ$  的欧拉旋转极及旋转角度, 该欧拉旋转极位于  $E_{lat} = 60^\circ N$ ,  $E_{long} = 14^\circ E$ , 旋转角度为  $26^\circ$  (顺时针)。由于我们仅采用 3 对极进行拟合, 所选择的有限旋转不是唯一的; 在相同的平均拟合误差角下, 我们倾向于欧拉旋转极靠近塔里木地块, 从而使所要求的塔里木地块相对西伯利亚地块向东移动的位移量较小。这种方法是较保守的, 图 3(a 和 b) 给出了西伯利亚地块和塔里木地块 (原始的, 经过上述旋转之后) 的视极移曲线。在这种古陆重建模型下, 目前位于塔里木盆地中心的一点 ( $38^\circ N$ ,  $82.5^\circ E$ ) 在相对西伯利亚地块未做东移运动时, 位于  $27^\circ N 64^\circ E$ , 换言之, 自白垩纪之后, 塔里木地块已向东移动大均  $2114 \text{ km}$ 。林金录等<sup>[2]</sup>通过比较华南和西伯利亚地块的视极移曲线, 得出相对西伯利亚; 华南地块向东移动了  $4300 \pm 1200 \text{ km}$ , 尽管林金录等建议的东移运动的位移量尚需进一步的地质资料来证实, 但我们从塔里木地块得到的古地磁数据也表明它相对西伯利亚地块做了东向运动, 虽然我们所需的位移量仅为华南地块位移量的一半。鉴于塔里木和西伯利亚地块白垩纪的古地磁极尚有差别, 我们认为这一相对运动显然是发生在白垩纪以后。印度和西藏的碰撞是这一东向运动的根本起源。前人的研究表明<sup>[22,23]</sup>, 几个主要走向滑动断层在亚洲新生代的构造活动中起着关键的作用。根据亚洲的大多数东西走向滑断层是左旋的这一特点, 人们认为亚洲地壳的这一形变方式是印度板块与西藏碰撞, 并不断渗入欧亚大陆的结果, 造成中国大部分地区被推向东部。这一运动方向与我们从古地磁数据推得的结论是一致的。塔里木地块之北也存在左旋走向滑动断层, 但是这些断层的断距均不是由古地磁数据所推得的位移量<sup>[24]</sup>。一种可能性是原先的走向滑动断层变成了推覆断层。因此, 沿这些断层上的精确走向滑动位移量很难根据现代的地震反演和野外观察得到。随着从塔里木和西伯利亚地块得到更多的第三纪古地磁数据, 我们将能够确定精确的移动时间。

## 七、中亚地区的地体演化历史

塔里木地块是中亚较大的和较重要的构造单元, 对比它的视极移曲线和地体上的古地磁资料, 能加深对中亚地区一些地体的构造演化历史的理解。从柴达木地体所得的古地磁资料表明, 该地体在晚石炭世时已与塔里木地块位于相同的纬度区, 但石炭纪之后可能相对于塔里木地块顺时针旋转了  $87^\circ$ 。西天山 ( $41^\circ N$ ,  $70^\circ E$ ) 中石炭世至早三叠世的古地磁数据表明, 该地区这一时期实测的磁倾角与从塔里木视极移曲线预测的相一致, 而磁偏角存在系统的差别 (图 6)。这一差别表明西天山相对塔里木逆时针旋转了近  $70^\circ$ <sup>[25]</sup>。同样位于天山褶皱带内的伊犁地块寒武、奥陶纪灰岩的中生代重磁化方向也表明同样数量和方向的旋转<sup>[2]</sup>。尽管这些地体旋转的机制尚不清楚, 但很可能这些旋转伴随



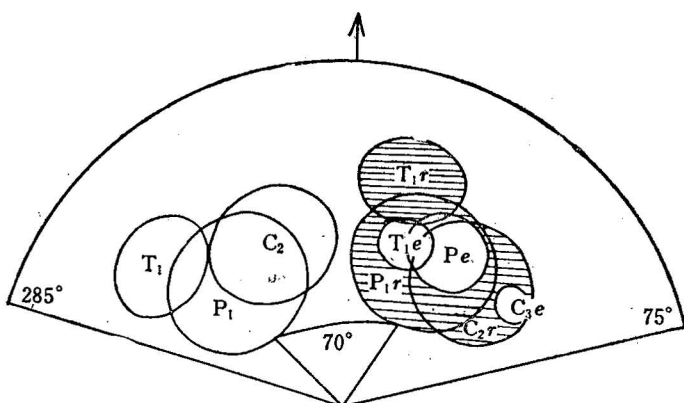


图 6 西天山实测古地磁方向 ( $C_2$ ,  $P_1$ ,  $T_1$ ) 与作  $70^\circ$  顺时针旋转后的相应的方向 ( $C_{2r}$ ,  $P_{1r}$ ,  $T_{1r}$ )。

Fig. 6 Measured paleomagnetic directions of the Middle Carboniferous to early Triassic ( $C_2$ ,  $P_1$ ,  $T_1$ ) from Western Tianshan ( $70^\circ\text{E}$ ,  $41^\circ\text{N}$ ). The shadow regions ( $C_{2r}$ ,  $P_{1r}$ ,  $T_{1r}$ ) are these directions after rotating  $70^\circ$  clockwise about a vertical axis.

$C_{3e}$ ,  $P_e$ ,  $T_{1e}$  为从塔里木地块视极移曲线预测的晚石炭世, 二叠纪, 早三叠世的古地磁方向  
 $C_{3e}$ ,  $P_e$ ,  $T_{1e}$  are Early Triassic, Permian and Late Carboniferous expected directions from the APW path of the Tarim block at the same location

着该地区的一些大的走向滑动断层。

在我们进行这一合作项目中, 项目的发起人之一 Allan Cox 教授不幸去世, 我们深表惋惜与怀念; 我们感谢谭承泽教授对本项目的帮助和支持。

### 参 考 文 献

- [1] McElhinny, M., Embleton, B., Ma, X. and Zhang, Z. K., 1981, Fragmentation of Asia in the Permian. *Nature*, Vol. 293, pp. 212—216.
- [2] Lin, J., Fuller, M. and Zhang, W., 1985, Preliminary Phanerozoic polar wander paths for the north and south China blocks. *Nature*, Vol. 313, pp. 444—449.
- [3] Kent, D., Xu, G., Huang, K., Zhang, W. and Opdyke, N., 1986, Paleomagnetism of Upper Cretaceous rocks from south China. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 79, pp. 179—184.
- [4] Opdyke, N., Huang, K., Xu, G., Zhang, W., and Kent, D., 1986, Paleomagnetic results from the Triassic of the Yangtze Platform, *J. Geophys. Res.*, Vol. 91, pp. 9553—9558.
- [5] Zhao, X., and Coe, R. S., 1987, Paleomagnetic constraints on the collision and rotation of North and South China, *Nature*, Vol. 327, pp. 141—144.
- [6] 白云虹、程国良、孙青格、孙宇航、李永安、董玉杰、孙东江, 1984, 新疆塔里木地块晚古生代古地磁极移曲线及其地质构造含义. *地震地质*, 第 7 卷, 第 1 期, 第 72—80 页.
- [7] 翟永健、张正坤、李永安、李强、李燕平, McWilliams, M., Cox, A., Sharps, R., 1988, 塔里木地块晚石炭世的古地磁研究. *现代地质*, 第 2 卷, 第 1 期, 第 43—56 页.
- [8] McFadden, P., and Jones, D., 1981, The fold test in Paleomagnetism. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, Vol. 67, pp. 53—58.
- [9] Li, Y., McWilliams, M., Cox, A., Sharps, R., Li, Y. A., Gao, Z., Zhang, Z. K., and Zhai, Y., 1988, Late Permian paleomagnetic pole from dikes of the Tarim craton, China, *Geology*, Vol. 16, pp. 275—278.
- [10] McFadden, P., Ma, X., McElhinny, M., and Zhang, Z. K., 1988, Permo-Triassic magnetostratigraphy in China: northern Tarim. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 87, pp. 152—160.
- [11] Li, Y., Zhang, Z. K., McWilliams, M., Sharps, R., Zhai, Y., Li, Y. A., Li, Q., and Cox, A., 1988, Mesozoic

- Paleomagnetic Results of the Tarim craton: Tertiary Relative Motion Between China and Siberia?, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 15, pp. 217—220.
- [12] Gordon, R., Cox, A., and Scott, O., 1984, Paleomagnetic Euler poles and the apparent polar wander and absolute motion of North America since the Carboniferous, *Tectonics*, Vol. 3, pp. 499—537.
- [13] 张致民、吴绍祖、高振家、肖世禄、巴合特汉, 1983, 新疆柯坪一带晚石炭世—早二叠世沉积模式的探讨. *新疆地质*, 第1卷, 第1期, 第9—20页.
- [14] 任纪舜、姜春发、张正坤、秦德余, 1980, 中国大地构造及其演化. 科学出版社.
- [15] Klimet Z. M., 1983, Speculations on the Mesozoic plate tectonic evolution of eastern China, *Tectonics*, Vol. 2, pp. 139—166.
- [16] Zhang, Z. M., Liou, J. G., and Coleman, R. G., 1984, An outline of the plate tectonics of China, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 95, pp. 295—312.
- [17] Mattauer, M., Matte, Ph., Malavieille, J., Tapponnier, P., Maluski, H., Xu, Z. Q., Lu Y. L., and Tang, Y. Q., 1985, Tectonics of the Qinling Belt: build-up and evolution of eastern Asia, *Nature*, Vol. 317, pp. 496—500.
- [18] Lee, G., Besse, J., Courtillot, J., and Montigny, R., 1987, Eastern Asia in the Cretaceous: New paleomagnetic data from South Korea and a new look at Chinese and Japanese data, *J. Geophys. Res.*, Vol. 92, pp. 3580—3596.
- [19] Gao, Z., and Wu, S., 1984, Tectonic development of Precambrian-Palaeozoic Tarim Massif, *Kexue Tongbao*, Vol. 29, pp. 1523—1526.
- [20] 王鸿桢、刘本培, 1981, 中国中元古代以来古地理发展的轮廓. *地层学杂志*, 第5卷 第2期, 第77—89页.
- [21] 张良臣、吴乃元, 1985, 天山大地构造演化历史. *新疆地质*, 第3卷, 第1—14页.
- [22] Molnar, P., and Tapponnier, P., 1975, Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision, *Science*, Vol. 189, pp. 419—426.
- [23] Tapponnier, P., Peltzer, G., Le Dain, A. Y., Armijo, R., and Cobbold, P., 1982, Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine, *Geology*, Vol. 10 pp. 611—616.
- [24] Molnar, P., and Deng, Q., 1984, Faulting associated with large earthquake and the average rate of deformation in central and eastern Asia, *J. Geophys. Res.*, Vol. 89, pp. 6203—6227.
- [25] Khramov, A., Gurevich, E., Komissarova, R., Osipova, E., Pisarevsky, S., Rodionov, V., and Slautsita is, I., 1985, Paleomagnetism, microplates and Siberian plate consolidation, *J. of Geodynamics*, Vol. 2, pp. 127—139.

## APPARENT POLAR WANDER PATH OF THE TARIM MASSIF IN CHINA\*

Li Yanping<sup>1)</sup>, Li Yong'an<sup>2)</sup>, Zhang Zhengkun<sup>3)</sup>, Zhai Yongjian<sup>4)</sup>, Li Qiang<sup>2)</sup>, Gao Zhenjia<sup>3)</sup>, Robert Sharps and Michael McWilliams<sup>1)</sup>

### Abstract

The APW path of the Tarim massif consists of geomagnetic poles of the Devonian, Late Carboniferous, Permian, Early Triassic and Jurassic-Cretaceous ( $D:P_{lat} = 16, P_{long} = 165, A_{95} = 4, K = 29; C_3:P_{lat} = 41, P_{long} = 160, A_{95} = 4, k = 823; P:P_{lat} = 61, P_{long} = 177, A_{95} = 9, K = 98; T_3:P_{lat} = 69, P_{long} = 183, A_{95} = 11; J-K:P_{lat} = 65, P_{long} = 214, A_{95} = 6, K = 66$ ). Based on the APW path it is concluded that the plate of the Tarim massif was subducted beneath the Kasakstan massif between the Devonian and Permian. This process was basically ended by the end of the Permian. The Early Triassic poles of the Tarim, North China, South China and Siberia massifs were different from each other, suggesting the existence of post-Early Triassic relative motion among them, whereas the Cretaceous poles of them were consistent, indicating that no significant relative motion existed among them after the Cretaceous. The APW path of the Tarim massif is similar in form to that of the Siberia massif, except that the former systematically deviates to the east relative to the latter. To make these two paths overlap, one must rotate the former clockwise for  $26^\circ$  about the Euler pole at  $14^\circ E$  and  $60^\circ N$ , with respect to the latter. Tectonically, it means that the Tarim massif moved for about 2000km eastward with respect to the fixed Siberia massif.

### 作者简介

李燕平,男,杭州人,1959年生,1982年长春地质学院毕业,1984年以来在美国斯坦福大学地球物理系古地磁专业攻读硕士、博士学位及博士后研究。通讯地址: Department of Geophysics Stanford University Stanford CA94305 U.S.A.

\* This study was funded by the state office for the Acceleration of Prospecting of Geology and Mineral Resources in Xinjiang, the U. S. National Foundation, the Sino-U. S. Geological Exchange Center of Stanford University, the China National Scientific Foundation and the Chinese Academy of Geological Sciences.

1) Department of Geophysics, Stanford University, U. S. A;

2) Institute of Geology, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources;

3) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences;

4) China University of Geosciences.