

研究进展

吕梁-晋北地区晚前寒武纪镁铁质岩墙群 侵位方式的磁组构证据

张 臣 侯贵廷 钱祥麟
(北京大学地质学系)



华北克拉通区内的吕梁-晋北地区广泛发育晚前寒武纪镁铁质岩墙群。该地区近EW向和NW-NNW向岩墙的磁组构测量结果表明,岩墙群磁各向异性与岩墙侵位的关系密切,磁化率的长轴能指示其岩浆侵位的流向。该区的岩墙群的岩浆源位于东侧的燕辽拗拉槽处,岩浆沿岩墙走向以一定仰角由ESE(或E)朝NW-NNW(或W)向流动,具板内裂谷模式。

关键词 岩墙群 拗拉槽 磁组构 侵位方式 吕梁-晋北

1 前言

世界古老克拉通区的共同特征之一就是广泛发育有前寒武纪的镁铁质岩墙群^[1]。对这些岩墙群的综合研究将有助于揭示地球早期地幔物质的演化性质,硅铝质克拉通大地构造动力学环境及大陆岩石圈的演化规律。国际地质对比计划(IGCP)第257项(前寒武纪岩墙群)(1987—1992)的五个科研目标之一,就是研究岩墙群的侵位方式。研究区内晚前寒武纪镁铁质岩墙群,是与中元古代的燕辽拗拉槽构造环境有成因联系^[2,3]。本文对该区晚前寒武纪镁铁质岩墙群进行的古地磁学专题研究,这也是首次应用古地磁学理论中磁化率各向异性,即用磁组构研究华北克拉通晚前寒武纪镁铁质岩墙群的磁组构特征及其与岩浆流动方向的关系,以便进行探讨岩墙群的侵位方式及区域构造成因环境。

2 区域地质概况

华北克拉通区内的晚前寒武纪镁铁质岩墙群,主要分布在吕梁山、中条山、太行山、五台山、晋北、冀西北和内蒙集宁一带。在吕梁山地区,侵入在太古宙至早元古代区域变质岩系中的岩墙群(图1),按其走向可分为两组;一组为近EW或WNW向延伸;另一组为NW-WNW向延伸,岩墙产状陡直,倾角为 $\angle 80^\circ$ — $\angle 90^\circ$ 。在吕梁山的独石河地区可见近EW向的岩墙切割NNW向岩墙,反映了近EW向的岩墙形成较晚。

注:高等学校博士学科点专项科研基金资助项目。

① 张臣,陈亚平,钱祥麟.大同-天镇地区中元古代辉绿岩岩墙群的基本特征及其构造意义.山西地质,1992.

本文1993年5月收到,11月改回,王毅编辑。

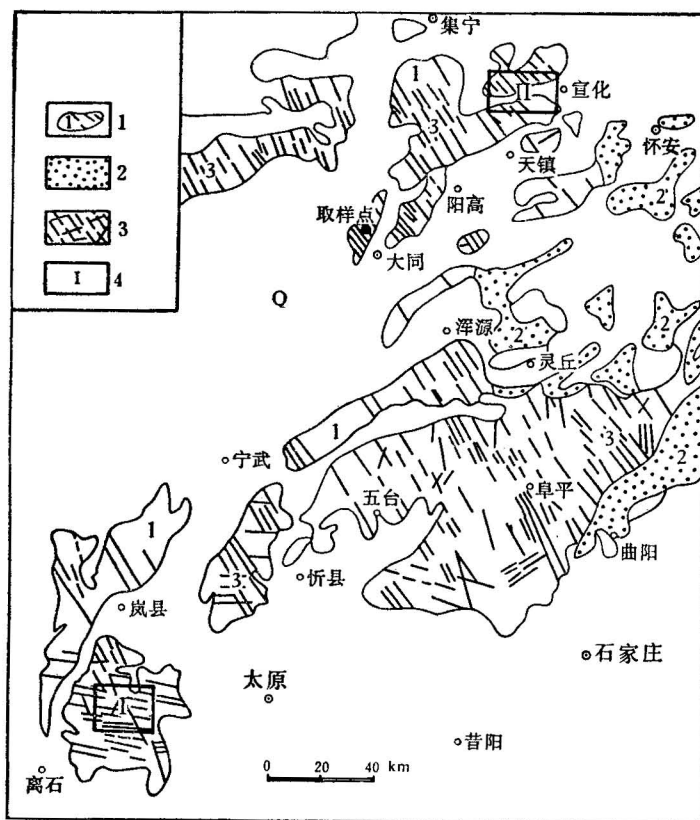


图 1 吕梁-晋北地区晚前寒武纪岩墙群分布图

Fig. 1 Geological map of the mafic dyke swarms in the Mt. Liliang and northern Shanxi regions, North China

1—太古宙和早元古代地层；2—中元古代拗拉槽沉积；3—晚前寒武纪镁铁质岩墙群；4—I II·E采样区（见图2）；5—Q—第四系

1—Archeozoic to Lower Proterozoic strata; 2—Proterozoic strata of the aulacogen; 3—Late Precambrian mafic dyke swarms; 4—sample location; Q—Quaternary system

在晋北地区，侵入在太古宙深变质杂岩系中的岩墙群，总体呈NW—NNW向延伸，吕梁山地区的岩墙走向以EW向为主，其次为NW—NNW向。吕梁-晋北地区岩墙群的走向与近NE向延伸的燕辽拗拉槽走向的角度关系表明，岩墙群的形成与燕辽拗拉槽的演化具有成生联系^[7]。每条岩墙单体一般长几至几十公里，少数超过100km，宽度变化较大，一般不足10m，最宽可达50m。岩墙出现频度一般2—3条/km，密集处可达5—6条/km。岩墙产状陡直，倾角多为80°—90°，均未变形变质。岩墙平面形态从宏观上看多呈直线状延伸，而从局部露头看几乎都具有锯齿状或波状弯曲，充填镁铁质岩墙的裂隙性质具有张性和张剪性特征。

吕梁-晋北地区的NW—NNW向岩墙无论在产状上，还是在元素地球化学特征上都具有很好的 consistency，但与WNW向或近EW向岩墙有一定差异。组成岩墙群的辉绿岩普遍发育良好的辉绿结构，在较宽大的岩墙中可出现辉长结构。岩石主要由斜长石和辉石组成，斜长石主要为拉长石，在较宽大岩墙中可出现中长石，辉石主要为普通辉石，含少量斜方辉石和易变辉石，副矿物主要为磁铁矿和钛铁氧化物。根据岩石化学特征，本区镁铁质岩墙群的岩性属粗玄岩—粗安岩类大陆拉斑玄武岩系列。岩墙群的微量元素为N型MORB标准化配分型式及稀土元素的球粒陨石标准化配分型式，都与燕辽拗拉槽的中-基性喷出岩的微量元素和稀土元素的配分型式相似，表明

两者都形成于大陆裂谷环境^[2]。

吕梁山和晋北地区的镁铁质岩墙群侵入于中元古界长城系并被寒武纪下部地层不整合覆盖, 区内镁铁质岩墙群测定的同位素年龄为1 100—1 700Ma, 其中有1 200Ma 和 1 600Ma 两个高峰值(表1)。岩墙群形成时代与燕辽拗拉槽演化早—中期剧烈火山活动时期具有正相关性, 表明了华北克拉通区内镁铁质岩墙群的形成与板内裂谷作用具有成因联系, 是板内裂谷作用的早—中期产物^[1]。

表 1 吕梁-晋北地区镁铁质岩墙群K-Ar年龄分析结果
Table 1 Analytical K-Ar result from the mafic dyke
swarms of Lüliang-norther Shanxi area

编 号	样品名称	K 含量 %	放射成因 ⁴⁰ Ar		表现年龄		备 注
			摩尔/克	%	Ma		
1	辉绿岩	0.399	2.2229×10^{-9}	54.8	1106 ± 3		大同孤山 NNW 向
2	辉绿岩	1.496	4.3988×10^{-9}	79.3	1195.2 ± 0.5		大同孤山 NNW 向
3	辉绿岩	1.347	5.7889×10^{-9}	90.6	1559.3 ± 0.8		天镇新平堡 NNW 向
4	辉绿岩	2.146	9.5907×10^{-9}	94.5	1600 ± 2		天镇新平堡 NNW 向
5	辉绿岩	2.780	7.714×10^{-9}	98.5	1145.4 ± 0.7		吕梁云顶山 WNW 向
6	辉绿岩	2.000	5.202×10^{-9}	99.1	1091.4 ± 0.5		吕梁方山 WNW 向
7	辉绿岩	2.100	12.50×10^{-9}	99.8	1922.2 ± 1.0		吕梁米峪 NNW 向
8	辉绿岩	0.584	2.910×10^{-9}	92.1	1718.4 ± 0.8		吕梁米峪 NNW 向
9	辉绿岩	0.831	3.745×10^{-9}	98.4	1609.5 ± 1.8		兴和葛胡窑 NNW 向

注: 样品由本文提供, 由北京大学 K-Ar 定年室测定。

3 标本的采集和测试

在计算过程和编写此文时, 参照习惯用法, 用 $K_{\max}$, K_{int} , $K_{\min}$ 分别表示磁化率椭球体的三个主磁化率, 用 $K = \frac{1}{3}(K_{\max} + K_{\text{int}} + K_{\min})$ 表示总磁化率。各向异性度 $P = K_{\max}/K_{\min}$, 磁化率椭球体的面理度 $F = K_{\text{int}}/K_{\max} \cdot K_{\min}$, 形状因子 $T = (2\eta_2 - \eta_1 - \eta_3)/(\eta_1 - \eta_3)$ 其中 η_i ($i = 1, 2, 3$)分别是三个主磁化率值的自然对数。

本文对野外采集的37块定向标本进行了磁组构的研究分析, 它们分属WNW向和NNW向的9条岩墙。 A_{1-3} , B_{1-2} , C_{1-2} , D_{1-8} 采自天镇县新平堡(图1,2); E_{1-3} 采自晋北大同孤山(图1); F_{1-6} , G_{1-7} , H_{1-3} 采自吕梁山地区的刁窝和独石河之间(图2), I_{1-3} 采自中条山地区的永济县介峪口一条NNW向的岩墙(已出图)。其中 A_{1-3} , B_{1-2} , C_{1-2} , D_{1-8} , E_{1-3} , G_{1-1} 和 I_{1-3} 均采自NNW向的岩墙, F_{1-6} 和 H_{1-3} 采自WNW向的岩墙。总之, 这些标本采自不同地区的不同走向的岩墙, 并且对同一岩墙的边部和中部分别取样。尽可能地选采新鲜的标本, 并避开山顶上的孤立露头, 以消除统计分析中干扰因素。野外采样是用磁罗盘和太阳罗盘定向。每块标本在室内加工、成为 $2 \times 2 \times 2 \text{cm}^3$ 并制取成12块左右的样品。然后用卡帕桥磁力仪对每个样品进行测试, 最后用菲舍尔统计法对所测数据进行处理。求得其统计平均值的准确性。

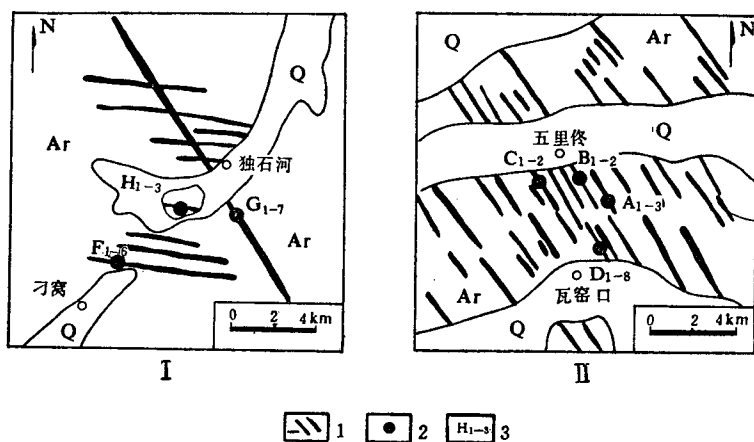


图 2 磁组构样品采集点位置图 (参阅图 1)

Fig. 2 Sampling locations of the magnetic fabric

I—吕梁山刁窝-独石河地区; II—晋北天镇新平堡地区; 1—晚前寒武纪镁铁质岩墙群; 2—样品位置; 3—样品编号
I—Diaowo and Dushihe in the Lüliang region; II—Xinpingpu in Tianzhen county in northern Shanxi region; 1—Late Precambrian mafic dyke swarms; 2—sampling location; 3—sample number

4 测试结果分析

大部分基性岩浆的磁各向异性都是在岩浆内的流动作用下或结晶中的重力沉降下形成的。主磁化率长轴的方向就是磁性矿物集合体长轴的排列方向^[5]。基性岩浆中磁性矿物(如磁铁矿、钛铁矿和钛铁氧化物)的有规律性定向排列是由于岩浆流动而产生的或由于重力分异而成的单晶或集合体,因而可以利用主磁化率长轴的规律性排列推知岩浆流动方向。对于已经发生变形的岩石,由于物性转换或垂直于应力方向上的优势生长而表现出矿物的次生排列,引起应变各向异性。因此,利用磁组构特征,研究其与岩浆流向的关系必须选择未变形变质的岩石。本区晚前寒武纪镁铁质岩墙群均保持初始状态未变形变质,这些岩墙群样品的磁组构各向异性度都比较大,其各向异性度 P 平均值在1.023—1.059之间,与未变形变质的侵入岩的磁各向异性度($P < 1.1$)吻合^[5]。本区的这些岩墙群的特殊性质为研究磁组构的特征及其与岩浆流动方向的关系,为探讨岩墙群的侵位方式提供了研究的可能性。

经对区内不同地区及同一地区不同岩墙和同一岩墙的不同部位的几十块定向标本测试的数据进行计算机处理后,每一标本都可得到一组该采样点的磁组构数据。将所得数据作图解分析,并将每条岩墙(各标本)磁化率椭球体长轴(K_{max})正投影到相应的采样点位置上,标出倾伏向。其结果表明,所有岩墙的磁化率椭球体长轴在空间上呈有规律性的排列,磁化率椭球体长轴排列方向有效地指示了形成岩墙群的岩浆来自本区东侧的NE向燕辽拗拉槽。岩浆沿岩墙走向由ESE朝WNW和由SE朝NW-NNW方向流动。而野外区域地质调查认为,形成的岩墙群的岩浆,沿岩墙走向由SE朝NW-NNW方向注入也证实了这一点。

4.1 WNW向岩墙群的磁组构特征

吕梁山地区的刁窝和独石河之间的近EW向岩墙样品 F_{1-6} 和 H_{1-3} (图3、I、II),示出 F_{1-6} 和 H_{1-3} 样品的磁化率椭球体长轴,在岩墙边部几乎平行于岩墙边界排列略向岩墙中部偏转,表明磁性矿物集合体的长轴排列向岩墙中部高流速区偏转。一般 $F > L$,形状因子 $1 > T > 0$,压扁率

$2>1>1$, 表明以发育磁性叶理为主。磁化率椭球体短轴($K_{\min}$)一般近水平。略向NNE方向倾伏, 表明磁性叶理面在岩墙边部近直立, 并与岩墙边界面近平行; 磁化率椭球体长轴也与岩墙边界近于平行排列, 前者反映岩墙侵位时岩浆流速比较低。磁化率椭球体长轴的倾伏向基本呈ESE向, 倾伏角中等, 表明岩浆流动是以一定仰角(沿岩墙走向)由SE朝WNW向流动。吕梁山地区WNW向岩墙形成时的古地磁场: $D=32.4^\circ$, $I=47.7^\circ$ ^①。发现WNW向岩墙主磁化率长轴空间排列的方向, 与岩浆流动的方向相一致, 而与当时古地磁场方向不一致, 说明岩墙群主磁化率长轴在空间上排列方向, 主要受岩浆流动作用影响, 而受当时古地磁场的影响较小, 只有当岩浆流动作用减弱, 古地磁场对磁性矿物的影响将起主导作用。

4.2 NNW向岩墙群的磁组构特征

样品 A_{1-3} , B_{1-2} , C_{1-2} , D_{1-8} , E_{1-3} 分别采自大同孤山和天镇县新平堡地区, G_{1-7} 采自吕梁山地区的独石河, I_{1-3} 采自中条山永济县介峪口, 均为NNW向岩墙。从图3中Ⅲ—Ⅺ可以看出, 在岩墙边部, 多数样品的磁化率椭球体的长轴排列与岩墙边界夹角较大, 向岩墙中部偏转, 有的几乎近于与岩墙边界垂直, 这可能是由于磁性矿物集合体的长轴在岩墙边缘受阻力滞后, 加之它受岩浆流速梯度影响而趋向于岩墙中部。表明形成岩墙时的岩浆流速相对较高。而在岩墙中部, 多数样品的主磁化率长轴排列方向沿着岩浆流动方向与岩墙边界近于平行, 磁化率椭球体的长轴倾伏向基本为SE向, 倾伏角较缓, 表明岩浆以一定仰角由SE向NNW向流动, 样品 B_{1-2} , C_{1-2} , E_{1-3} , G_{1-7} 中, $F>L$, 形状因子 $1>T>0$, 压扁率 $2>e>1$, 表明以发育磁性叶理为主, E_{1-3} 和 G_{1-7} 磁化率椭球体短轴倾伏角较大, 几乎近于直立, 磁性叶理面近水平, 表明重力沉降作用是主要的, 而流动作用相对较弱。说明该岩墙距岩浆源拗拉槽相对较远或已经侵位到了较浅部位^[5]。样品 A_{1-3} , D_{1-8} , I_{1-3} 中, $F<L$, 形状因子 $0>T>-1$, 压扁率为 $1>e>0$, 表明以发育磁性线理为主, 磁性线理几乎与岩墙边界垂直, 主磁化率椭球体长轴向SE倾伏较缓, 表明岩墙侵位时岩浆近水平的流动作用较强, 岩浆流速可能相对较高。

综上所述, 研究区内不同地区不同方向的镁铁质岩墙的主磁化率长轴排列方向在空间上具有一致性, 都反映了镁铁质岩墙群的岩浆源来自研究区东侧的燕辽拗拉槽, 岩浆沿岩墙走向由ESE朝WNW和由SE朝NNW方向流动。表明了华北克拉通吕梁-晋北地区晚前寒武纪镁铁质岩墙群的侵位方式为板内裂谷模式, 岩墙群的形成与燕辽拗拉槽的演化具有成生联系, 是华北克拉通晚前寒武纪的统一构造动力学环境的产物。这一结论与区域地质调查的结论一致。同一岩墙内的边部和中心部位, 由于岩浆流速梯度不同, 主磁化率长轴排列在空间上各具特性。在岩墙边部, 流速相对较高的岩浆侵位时, 主磁化率长轴排列方向近于与岩墙边界垂直; 流速相对较低的岩浆侵位时, 主磁化率长轴排列方向与岩墙边界近于平行, 中流速的岩浆侵位时, 主磁化率长轴排列方向介于二者之间。而在岩墙中部, 主磁化率长轴排列方向沿岩浆流向与岩墙边界近于平行。这些特征表明磁化率椭球体长轴在岩墙不同部位的空间排列主要受岩浆流速梯度的控制, 而受岩墙形成时的古地磁场作用的影响较小或不明显。

综上所述, 1. 吕梁-晋北地区晚前寒武纪镁铁质岩墙群的磁组构特征, 清楚地表明岩墙群磁化率各向异性度与岩墙侵位时的岩浆流动方向具有密切关系, 磁化率椭球体的长轴空间排列方向能指示岩墙群侵位时岩浆流动的方向。

2. 本区岩墙群的主磁化率长轴空间排列方向与水平方向一致, 显示了岩墙群的岩浆源位于东侧的燕辽拗拉槽, 岩浆沿岩墙走向由SE朝WNW或NNW方向流动侵位, 岩墙群的形成与燕辽拗

① 张宝兴. 吕梁-晋北地区晚前寒武纪岩墙群初步研究. 北京大学地质学系硕士论文, 1988.

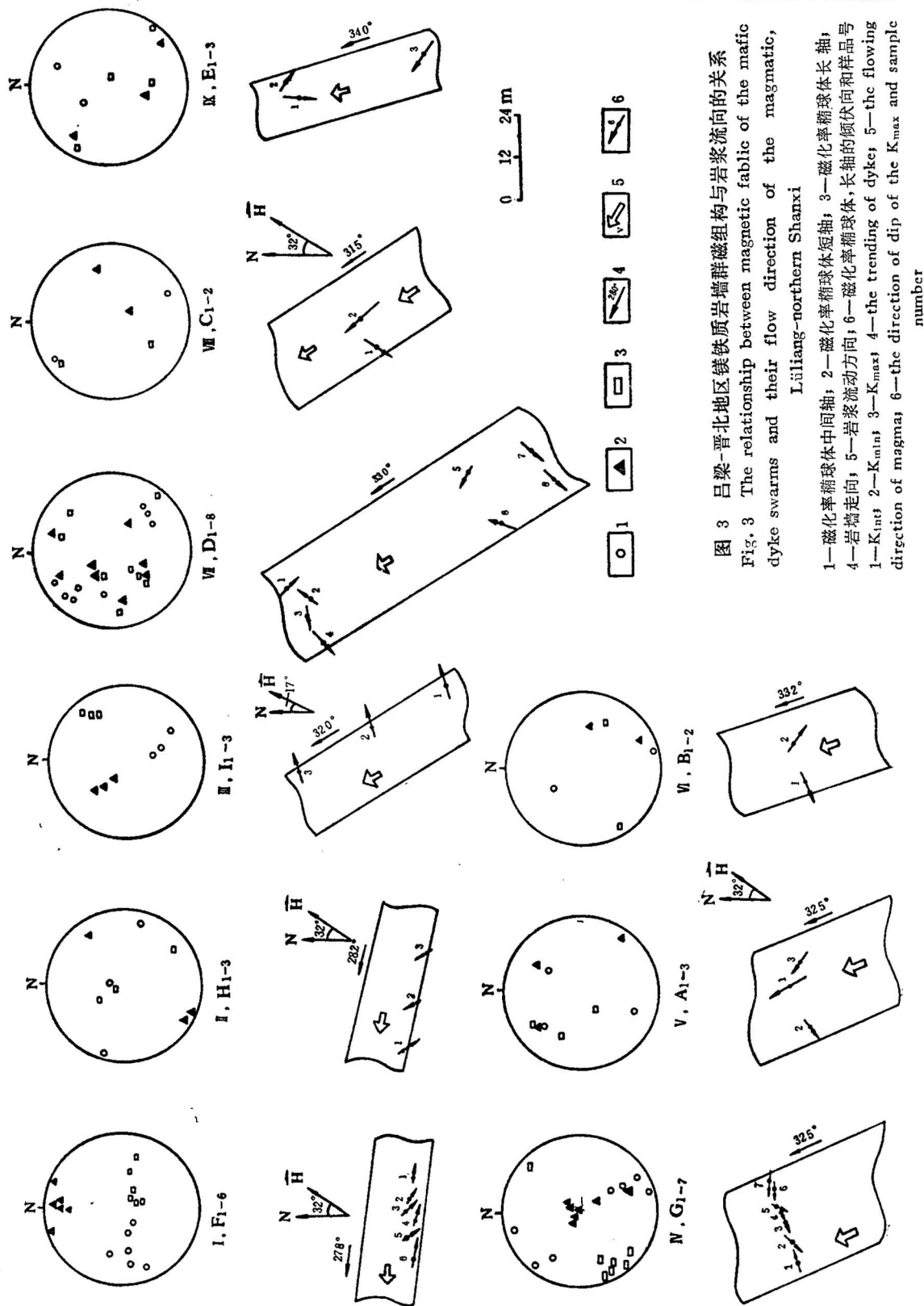


图 3 吕梁-晋北地区镁铁质岩墙群磁组构与岩浆流向的关系
Fig. 3 The relationship between magnetic fabric of the mafic dyke swarms and their flow direction of the magmatic, Liliang-northern Shanxi

1—磁化率椭球体中间轴; 2—磁化率椭球体短轴; 3—磁化率椭球体长轴;
4—岩墙走向; 5—岩浆流动方向; 6—磁化率椭球体, 长轴的倾伏向和样品号
1—K_{int}; 2—K_{min}; 3—K_{max}; 4—the trending of dyke; 5—the flowing
direction of magma; 6—the direction of dip of the K_{max} and sample
number

拉槽的演化具有统一的构造动力学环境, 具板内裂谷模式。

3. 岩墙群主磁化率长轴的排列方向在岩墙边部和中部是不同的, 而且与岩墙形成时的古地磁场方向也有较大夹角, 表明岩墙群主磁化率长轴在空间排列的方向主要受岩浆流速梯度控制, 而受岩墙形成时的古地磁场的影响较小。

本文用磁组构方法探讨缺乏流动构造的晚前寒武纪镁铁质岩墙群的侵位机制, 是一种新的尝试。在完成本文过程中得到了北京大学地质学系林万智副教授和地球物理系刘皇凤副教授的热心指导, 在此谨表谢意。

参 考 文 献

- 1 Hall H C. The importance and potential of mafic dyke swarms in studies of geodynamic processes. *Geoscience Canada*, 1982, 9: 145—154.
- 2 Qian X, Chen Y. Late Precambrian mafic swarms of the North China Craton. In: *Mafic Dyke Swarms*. Edited by H. C. Halls and W. F. Fahrig. Geological Association of Canada Special Paper, 1987, 34: 385—391.
- 3 钱祥麟. 中朝断块区. (张文佑等). 中国及邻区海陆大地构造. 北京: 科学出版社, 1986, 162—174.
- 4 Tarling D H. Principles and Applications of paleomagnetism. Chapman and Hall, London, 1971, 20—100.
- 5 陈亚平, 钱祥麟. 山西吕梁山地区晚前寒武纪镁铁质岩墙群的古地磁学研究. 北京大学学报, 1987, 19(2): 87—99.
- 6 Qian Xianglin. Late Precambrian aulacogens of the North China Craton. Paper of the Conference on Heat & Detachment in crustal Extension on Continental and Planets. Arizona, Oct. 1985, 10—12.
- 7 Fahrig W F. The tectonic setting of continental mafic dyke swarms; failed arm and early passive margin. In: *mafic Dyke Swarms*, Edited by H. C. Halls, W. F. Fahrig, Geol. Assoc. Canada. Sp. Paper, 1987, 34: 331—348.

MAGNETIC FABRIC EVIDENCE OF THE STYLE OF EMPLACEMENT OF LATE PRECAMBRIAN MAFIC DYKE SWARMS IN THE LÜLIANG-NORTHERN SHANXI REGION, NORTH CHINA

Zhang Chen, Hou Guiting and Qian Xianglin

(Department of Geology, Peking University, Beijing)

Abstract

Late Precambrian mafic dyke swarms are developed extensively in the Lüliang-northern Shanxi region of the North China craton. Measurements of the magnetic fabrics of the nearly E-W and NW-NNW sets of dykes in the region indicate that the magnetic anisotropy of the dyke swarms is closely related to the emplacement of dykes. The longest axis of the magnetic susceptibility can indicate the flow direction of dyke emplacement. The magma source is believed to be located in the Yanliao aulacogen of the craton. The magma flowed upward at a certain angle along the trend of the dykes from ESE(or E) to NW-NNW(or W).

Key words: dyke swarm, aulacogen, magnetic fabric, style of emplacement, Lüliang-northern Shanxi

作 者 简 介

张臣, 男, 45岁, 1975年毕业于北京大学地质学系, 毕业后留该校从事区域地质教学和科研工作。现任本校副教授, 邮政编码: 100871。