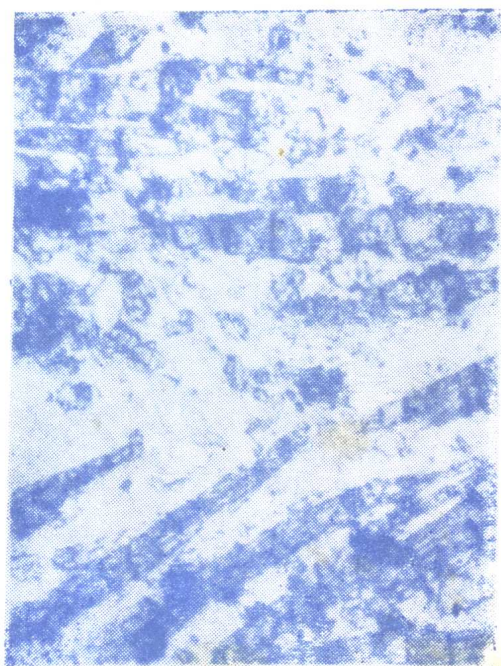


矿物学岩石学论丛

4



地质出版社

85
34

矿物学岩石学论丛

(4)

武汉地质学院矿物学岩石学论丛编辑部 主编

地 质 出 版 社

敬贺池际尚教授从事地质科学 与教育事业49周年

池际尚教授是我国著名的地质学家、岩石学家和地质教育家，中国科学院学部委员、全国政协委员、我院前副院长。她早年留学美国，获博士学位。新中国诞生后，她毅然回



池际尚教授在实验室工作

到祖国，几十年如一日，把全部学识和才干无私地奉献给振兴中华的事业。她治学严谨，不求虚名，特别重视研究和解决社会主义建设的急需课题，不懈地进行实践和探索，在我国岩浆岩岩石学、岩组学等学科的发展中，在寻找我国原生金刚石矿床和岩浆型磷矿床的研究中，做了大量开拓性的工作，为地质学和岩石学的发展作出了重要贡献。她严于律己，朴实无华，海人不倦，育才无私，辛勤耕耘，培育了一

批又一批新中国的地质人材。池际尚教授一直深受广大师生和地质学界敬重，堪称后辈的榜样。

值此池际尚教授70寿辰之际，本刊特发表她的部分学生的科研论文，以表祝贺！

祝愿池际尚教授如松柏常青，为祖国作出更加辉煌的贡献！

(A133/05

目 录

河北省大麻坪幔源包体橄榄石位错特征的透射电子显微镜研究·····	郑伯让等 (1)
汉诺坝陆相枕状熔岩特征及其形成的岩浆动力学机理·····	邱家骧等 (10)
汉诺坝玄武岩中超镁铁岩包体及其推导的上地幔性质·····	邓晋福等 (18)
电熔锆刚玉砖中玻璃相的研究·····	翁润生 (31)
内蒙温都尔庙地区蛇绿岩套中残留单斜辉石的岩石学意义·····	许传诗 (38)
四川盐边基性-超基性杂岩体矿物化学的地质意义·····	沈上越等 (58)
✓ 岩浆中晶出的单斜辉石地质温度和压力计·····	赵海玲 (70)
广东省新生代玄武岩岩石特征及其成因初探·····	曾广策 (80)
汉诺坝玄武岩岩浆形成和演化的定量模型估算及成因探讨·····	李昌年等 (91)
宿松群变质作用过程及其温压条件·····	桑隆康 (101)
华北唐山上寒武统砾屑灰岩岩石特征及成因探讨·····	徐安顺 (112)
┘ 山东金伯利岩金云母初步研究·····	赵 磊 (120)
汉诺坝玄武岩的稀土元素地球化学及其岩石成因·····	马昌前等 (130)
北京延庆小张家口中生代熔结凝灰岩成因类型·····	朱勤文 (140)
与铁矿浆成矿作用有关的 $\text{FeO}-\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}-\text{CaMgSi}_2\text{O}_6-\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 四元系内两液相的实验研究·····	袁家铮 (152)
内蒙古锡盟新生代玄武岩的成因研究·····	杨建军 (163)
河南西峡县蛇尾秦岭群石榴石-黑云母地质温度计和石榴石-斜长石-矽线 石-石英地质压力计研究·····	陈能松 (174)
黑龙江省五大连池及邻区富钾火山岩和超镁铁岩包体的岩石学特征·····	廖群安 (183)

CONTENTS

Preliminary Study of Transmission Electron Microscope of Dislocation from Mantle-Derived Olivine at Damaping, Hebei Province	<i>Zheng Borang et al.</i> (8)
Features of Continental Pillow Lava in Hannuoba, and its Magma- dynamic Mechanism of Formation.....	<i>Qiu Jiaxiang et al.</i> (17)
Ultramafic Nodules in Hannuoba Basalts and the Nature of the Upper Mantle Inferred from the Nodules.....	<i>Deng Jinfu et al.</i> (29)
The Study of Glassy Phase in Electromelted Bricks of Containing Zirconia Corundum.....	<i>Weng Runsheng</i> (36)
The Petrological Significance of Relict Monopyroxene in the ophiolite Suite of Onder Sum, Nei Mongol.....	<i>Xu Chuanshi</i> (57)
Geological Significance of the Mineral Chemistry in Basic-Ultrabasic Complex in Yanbian, Sichuan Province.....	<i>Shen Shangyue et al.</i> (69)
Geothermobarometer of Clinopyroxene Crystallizing from Magma	<i>Zhao Hailing</i> (78)
Petrological Characteristics and Primary Discussion on the Origin of the Cenozoic Basalt in Guangdong Province.....	<i>Zeng Guangce</i> (90)
A Calculation of Quantitative Generation-Evolution Model and Genesis Discussion of Basaltic Magma in Hannuoba.....	<i>Li Changnian et al.</i> (100)
The Process and <i>p-t</i> Condition of Metamorphism of Susong Group	<i>Sang Longkang</i> (110)
A Preliminary Study on the Feature and Origin of the Upper Cambrian Intrarudite, Tangshan, North China.....	<i>Xu Anshun</i> (119)
A Preliminary Study on the Phlogopites in Kimberlites of Shandong	<i>Zhao Lei</i> (128)
Rare Earth Element Geochemistry and Petrogenesis of the Hannuoba Basalts.....	<i>Ma Changqian et al.</i> (138)
The Petrogenetic Types of Mesozoic Ignimbrites, Xiaozhangjiakou, Yianqing, Beijing.....	<i>Zhu Qinwen</i> (151)
Experimental Investigation of Two Liquids in the $\text{FeO}-\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}-$ $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6-\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ System in Relation to the Ore-Forming Process of Iron Ore Magma.....	<i>Yuan Jiazheng</i> (161)
A Study of the Petrogenesis of the Cenozoic Basalts, from Ximeng,	

Nei Mongol.....	<i>Yang Jianjun</i> (172)
Study on the Garnet-Biotite Geothermometers and the Garnet-Plagioclase-Sillimanite-Quartz Geobarometers of Qinling Group in Shewei Area, Xixia County, Henan Province.....	<i>Chen Nengsong</i> (181)
Petrological Characteristics of Potassium-Rich Volcanic Rocks and Their Ultramafic Inclusions from Wudalianchi and the Neighbouring Area, Heilongjiang Province	<i>Liao Qunan</i> (197)

河北省大麻坪幔源包体橄榄石位错特征的透射电子显微镜研究

郑伯让 金振民 金淑燕 吕反修

(武汉地质学院) (北京钢铁学院)

一、引言

关于位错现象的研究,早在60年代初,李四光教授在研究岩石变形时,就曾经强调过〔1〕。由于橄榄岩包体是来自上地幔的“使者”,尤其是二辉橄榄岩包体,它很好地保留了上地幔微结构特征。所以,近二十年来,地质学家和地球物理学家为了认识上地幔的流动机制,开展了对橄榄石位错构造的研究〔2-5〕。最近何永年等对中国东部一些地区幔源包体的显微构造进行了研究,并取得了有益成果〔6〕。通过对位错特征研究可以估算上地幔流变学参数,推导橄榄石流变机制(包括滑移系和蠕变控制因素)以及上地幔应力场和变形历史。目前,国内橄榄石位错研究方法大多侧重于氧化缀饰法和化学浸蚀法。尽管这两种方法有观察视域大,操作方便的优点,但是对了解位错细节和确定柏氏矢量却有困难。本文运用透射电镜方法对大麻坪橄榄石位错特征进行了初步研究,估算上地幔流变学有关参数。这个成果,实际上是地球科学和材料科学有关人员在这个边缘领域中合作的一个初步尝试。

二、样品地质背景及特征

1. 样品地质背景 河北张家口地区晚第三纪玄武岩广泛分布通称汉诺坝玄武岩。该玄武岩岩体主要沿着承德至张家口东西向断裂带产出,以裂隙式火山活动为主。玄武岩同位素年龄值为20Ma〔7〕。本次研究样品是取自该区大麻坪地段的二辉橄榄岩包体。

2. 样品特征 岩石主要是尖晶石二辉橄榄岩,呈黄绿色,中粗粒结构,块状构造。据35块薄片统计,主要组成矿物的黄绿色橄榄石(65%)、顽火辉石(20%)、铬透辉石(12%),其次为尖晶石(3%)。据电子探针测定,橄榄石化学成分如表1。

3. 包体主要结构 原生粗粒结构、残斑状结构及粒状变晶结构三种。对岩石薄片进行综合观察对比,结果表明,本区包体的结构变化序列相应地反映了上地幔橄榄岩的演化过程:原始静态条件→塑性流动剪切变形→构造重结晶作用。

变形橄榄石滑移系特征:大麻坪包体橄榄石广泛发育有扭折带。这种扭折带是岩石在高温塑性流动过程中位错滑移、滑动面弯曲的产物。它说明了橄榄石的变形特征,而且根据扭折带可以确定滑移系统。Raleigh等(1965)曾经阐述,用橄榄石扭折带的几何形态来确定橄榄石滑移系统〔8〕,其基本原理如图1所示。根据上述原理,我们对本区二个样

品中具有典型扭折带的橄榄石颗粒，进行费氏台光性测定，并进行投影确定其滑移系为(010) [100]，详见图2、3。将该资料与Carter (1970) 所做的二辉橄榄岩流变学实验结果比较，本区橄榄石滑移系(010) [100]的形成温度应高于1000°C [9]。

表 1 大麻坪绿帘角闪岩体橄榄石化学成分

Table 1 Chemical composition of mantle-derived olivine from Damaping

氧化物(%) 样 号	SiO ₂	MgO	FeO	CaO	MnO	NiO	K ₂ O
D-151	41.282	48.540	8.830	0.035	0.222	0.306	0.003
D-149	41.397	49.482	8.628	0.000	0.070	0.505	0.000

注：分析者，武汉地质学院北京研究生部电子探针实验室陈进。

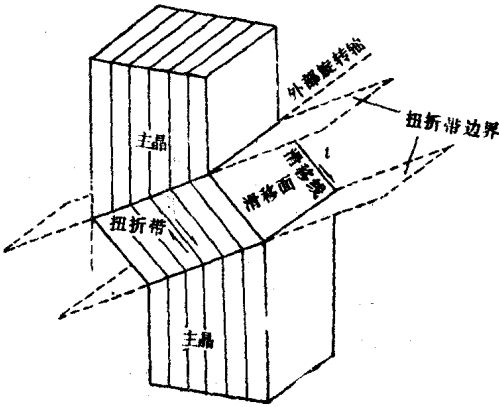


图 1 扭折带几何学与滑移系关系
Fig.1 Relationship between kink bands and glide system

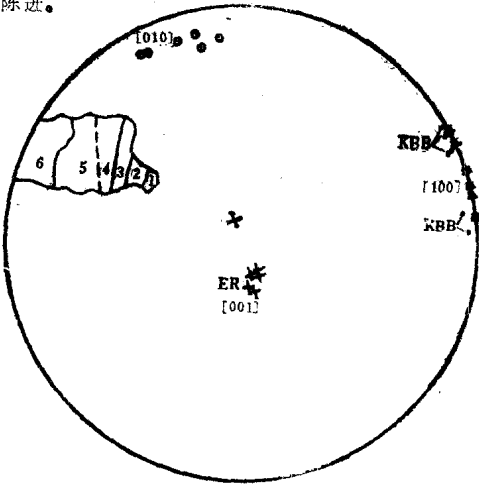


图 2 橄榄石扭折带光性方位与滑移系关系
(D-4) KBB—扭折带边界；ER—外部旋转轴
Fig.2 Relationship between the optical orientation of kink bands in olivine and glide system (D-4)

三、实验方法

透射电镜是目前研究矿物晶体缺陷(位错)的一种有效工具。现将本次实验方法简述如下：

1. 超薄样品制备 为了便于在100—200 kV透射电镜下观察，矿物薄膜厚度应为1000—3000 (10⁻¹⁰m)。矿物制样，当前最常用的是离子轰击减薄法。制样程序要点如下：首先将矿物样品制成一般光学显微镜用的30μm 无盖载玻璃薄片；用3mm铜网粘住所要研究的矿物，并小心地将铜网支撑环与薄片分离；把矿物薄膜铜网放入GL—69型离子减薄仪或Galton—600型减薄仪中进行减薄，直至试样中心部

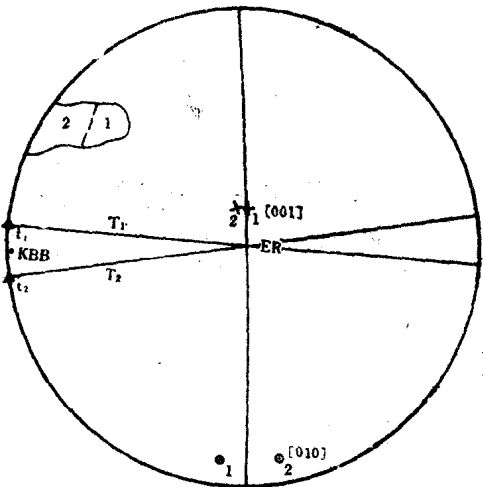


图 3 橄榄石扭折带光性方位与滑移系关系 (D-5)
KBB—扭折带边界 ER—外部旋转轴
Fig.3 Relationship between the optical orientation of kink bands in olivine and glide system (D-5)

分出现一些孔穴。这些孔穴的边缘薄区就是电镜所要观察的区域。为了获得有效的超薄片，特别要注意，样品开始减薄时采用 30° 掠射角，当快要穿孔时，要降至 15°C ，以防试样破裂。

2. 位错观察 矿物位错观察通常采用明场法和暗场法。为了能得到精确图象，应当使安装在电镜倾斜台上的薄片，必须准确地相对入射电子束进行定位。通过上述两种方法，拍摄位错组态图象，以确定位错类型及观察橄榄石亚晶粒边界、重结晶颗粒、出溶原理等特征。

3. 变形参数定量测定 透射电镜的主要目的之一，是对晶体缺陷（位错）进行定量测定。本次实验主要测定以下几个方面：

(1) 亚晶粒或特征结构（如滑移带，扭折边界，双晶边界等）方位测定。

(2) 位错密度测定 位错密度 (ρ) 是估算橄榄石流动应力值参数之一。它通常是在橄榄石明场象 (BFI) 照片上系统测定。统计位错密度方法有二种^[10]：第一种是位错出露端点法，该方法简单，准确性好，而且不需要测定试样薄膜厚度；第二种是交点分析法，这种方法主要是对位错密集的照片使用比较好，然而，要通过较麻烦的方法测定试样薄膜厚度。本次实验采用第一种方法。经测定，大麻坪橄榄石位错密度为 $2.3 \times 10^7 - 2.8 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ ，平均位错密度为 $2.57 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 。

(3) 位错柏氏矢量测定：柏氏矢量 (b) 是描述位错特征的一个重要参量， b 值的测定为确定位错性质和滑移系类型提供确切依据。根据位错不可见判据准则（即 $g \cdot b = 0$ ），可以确定 b 值。因此，在透射电镜实验中，找出操作反射 g 是测定 b 值的前提。本次实验测定 b 值的主要步骤如下：

① 在明场象条件下，观察某位错并拍下此明场象照片。例如图4中，A、B区域内位错和C区域内的Morie条纹都是清晰可见的。

② 倾斜试样，使图4中位错消失，再拍下此明场象（图5），在B及AB之间位错尚有衬度残余。

③ 使试样保持不动，作原来有位错的电子衍射图谱，则在衍射图谱照片上出现强衍射

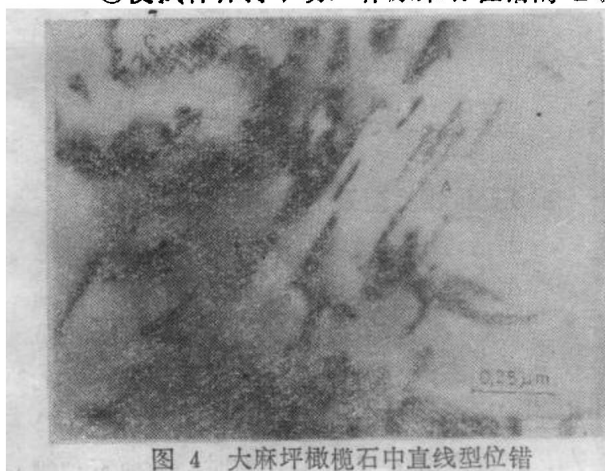


图4 大麻坪橄榄石中直线型位错

明场象 (D2-151) Philips 400T

Fig.4 Linear dislocation of mantle-derived olivine from Damaping, BFI (D2-151)

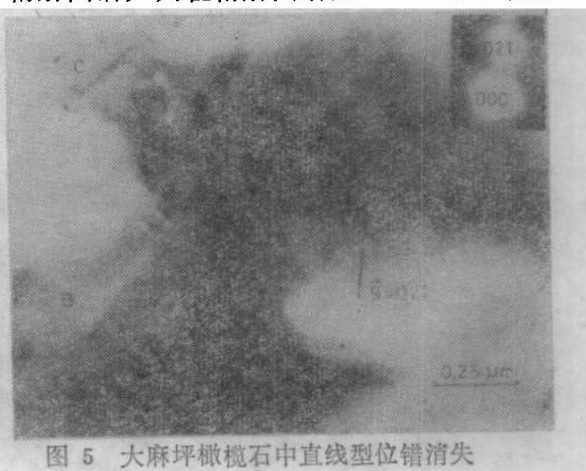


图5 大麻坪橄榄石中直线型位错消失

明场象 (D2-151) Philips 400T

Fig.5 disappear of linear dislocation of mantle-derived olivine from Damaping, BFI (D2-151)

斑点，即为 g_1 。

④将试样倾斜一个角度，如明场象下该位错仍不出现，再拍下相应的电子衍射图谱，标定出 g_2 。柏氏矢量 b 是由 $b \parallel g_1 \times g_2$ 所决定。例如图4中 $g = 122$ ，图5中 $g = 021$ ，根据 $b = 0$ 可知 $b = [100]$ 。

(4) 电子衍射图谱指标确定，透射电镜所获得衍射图谱（即衍射斑点图），是晶体倒易点阵的结果。它为矿物超结构和位错取向提供研究基础。现以大麻坪D3-229橄榄石样品为例，简述衍射图谱标定方法。根据电子衍射图谱图6，绘制该图谱上的衍射斑点位置及特征平行四边形。这里值得注意的是，选择平行四边形原则是用最短边和次短边矢量构成（图7）。同时在该图中测量中心斑点到衍射斑点之间距离及有关夹角，如图7中： $R_1 = 6.17\text{mm}$ ， $R_2 = 8.83\text{mm}$ ， $R_3 = 11.8\text{mm}$ ， $\alpha = 79^\circ$ ， $\beta = 47^\circ$ ；将这些参数连同橄榄石晶胞参数值，输入具有计算斜方晶系指数程序的电子计算机内，自动求解。该图衍射斑点是通过计算机自动求解，分别确定各衍射斑点指标值。然后，将已标定指数的图7，与同一方式所获得位错图象对比，即可以得出位错相应方向，图8中位错方向经标定结果为 $(1\bar{1}2)$ 。



图 6 大麻坪橄榄石电子衍射图谱 (D3-229)
Fig.6 diffraction pattern of mantle-derived olivine from Damaping (D3-229)

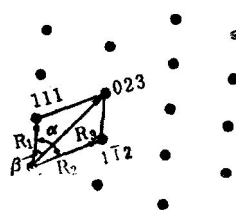


图 7 特征平行四边形图 (D3-229)
Fig.7 Characteristic parallelogram diagram (D3-229)

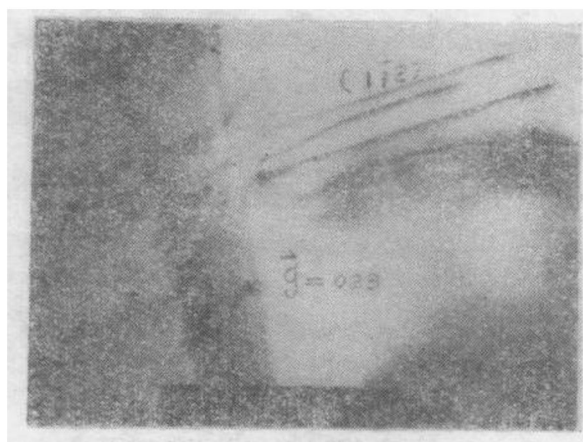


图 8 大麻坪橄榄石中直线型位错 (D3-228)
Fig.8 Linear dislocation of mantle-derived olivine from Damaping (D3-228)

四、实验结果与讨论

1、位错类型及其组态特征

根据透射电镜观察结果，本区橄榄石位错类型及其特征主要表现形式有以下几种：

(1) 平直型位错（图4.8）。此为常见的位错形态，有一定方向，形成条带。据人工变形试验证实，在应变速率为 10^{-5} — 10^{-8} /s，温度在 600 — 700°C 左右时，橄榄石位错通常是以直线型为主，且严格平行于低指数方向，以螺旋位错形式出现。图8中，发育的长而平直的位错平行于 $(1\bar{1}2)$ 方向。

(2) 弯弓型位错 (图9)。单个位错在延长方向上发生弯曲, 呈半环状, 甚至发生强烈弯曲。位错弓弯一般是在800°C以上开始形成的。

(3) 位错环和位错缠结 (图9、10)。位错强烈弯曲, 局部形成位错环, 或形成高密集的位错缠结。位错环和位错缠结的出现, 反映了橄榄石在高于1000°C温度下, 经受了位错蠕变塑性流动, 它是橄榄石高温位错的典型标志。

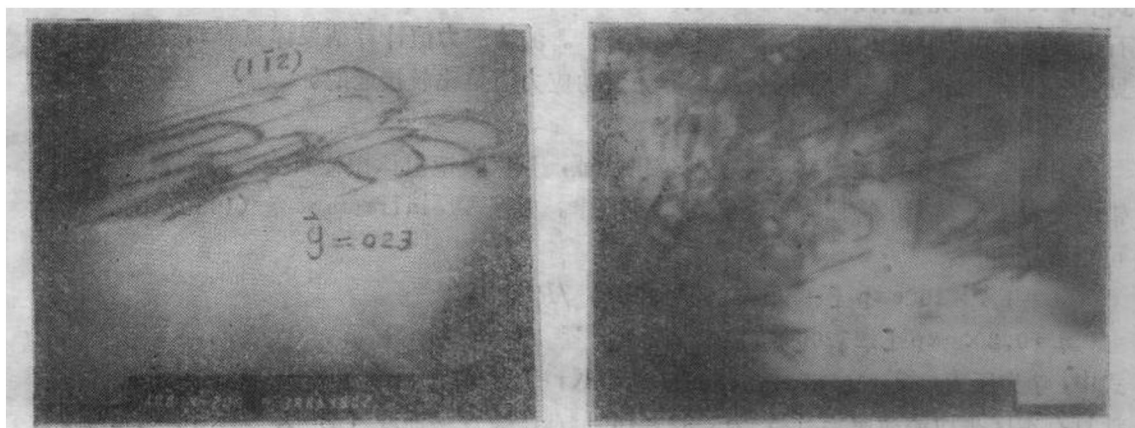


图9 大麻坪橄榄石中弓弯位错 (D-207)

图10 大麻坪橄榄石中位错缠结 (D-233)

Fig.9 The bending dislocation of mantle-derived olivine from Damaping (D-207)

Fig.10 Dislocation tangles of mantle-derived olivine from Damaping (D-233)

除上述三种之外, 尚还有纵横两组位错线交识而成的位错网; 由单个位错沿一定方向斜列而成的位错列; 在变形橄榄石晶体滑移面上, 位错呈列地塞积在亚晶界 (或晶界) 前, 形成位错塞积群。值得注意的是, 塞积群的特性说明了应力集中现象, 它能促使相邻晶体屈服, 有利于发生塑性流动。

2. 上地幔流变学参数的计算

上地幔流变学参数包括温度、压力、深度、流动、应力、流动速率及粘滞度。这些参数可以大体上反映该区幔源包体所处的上地幔物质的构造物理特征。通过初步研究和估算, 其结果如下:

(1) 温度 (t) 和压力 (p)

利用幔源包体的辉石地质温度计和地质压力计计算包体平衡温度和压力 (邓晋福, 1980) [11]。本次采用了Mercier方法 [12], 对两个样品分别计算, 求得包体平均平衡温度为1156°C, 压力为 26.1×10^8 Pa。

(2) 深度 (z)

根据压力p, 可利用Avelallemant等 (1980) 的公式, 换算深度值 (z), 计算公式为

$$z = 4.2 + 3.03 \times p \text{ (km)}, \text{ 经计算结果, 相当于深度83km。}$$

(3) 流动应力值 ($\sigma_1 - \sigma_3$)

包体橄榄石变形显微构造参数 (包括位错密度), 亚晶粒度和动态重结晶颗粒大小等) 是岩石稳态蠕变流动作用产物。金属物理理论和岩石变形实验表明, 利用这些参数可

以计算上地幔深度所承受的流动应力大小。本文主要是利用电镜方法测定五个样品的位错密度，分别采用以下三个经验公式进行计算：

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 9 \times 10^{-5} \times \rho^{0.5} \quad \text{据Goetze (1975) [2]} \quad (1)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = K G b \rho^{0.5} \quad \text{据Toriumi (1979) [13]} \quad (2)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 2 \times 10^{-5} \times \rho^{0.6} \quad \text{据Durham (1977) [14]} \quad (3)$$

式中， $K=3$ （无量纲系数）； $G=0.65 \times 10^{11} \text{Pa}$ （橄榄石刚度）； $b=5 \times 10^{-8} \text{cm}$ （橄榄石中位错柏氏矢量）； ρ 为位错密度（ cm^{-2} ）。流动应力值计算结果详见表2。从该表可见同一位错密度，用三种不同公式计算为流动应力值是比较接近的。

(4) 流动速率（ $\dot{\epsilon}$ ）和粘滞度（ η ）

用光学显微镜测定滑移系类型及位错特征，该区幔源包体橄榄石变形机制是以高温位错蠕变为主，其变化特征，可遵循高温流动律。根据Avelallemant等（1980）的公式，可以估算 $\dot{\epsilon}$ 和 η 。

$$\dot{\epsilon} = 1.7 \times 10^9 \exp \left[- (125200 + 320p) / R T \right] \sigma^{3.2}$$

$$\eta = 0.2 \times \exp [125200 + 320p / R T] \sigma^{-2.2}$$

式中， p 为压力； $R=1.987 \times 4.1868 \text{J/mol} \cdot \text{K}$ ； T 为温度（K）； σ 为流动应力值。通过计算，本区平均流动速率（ $\dot{\epsilon}$ ）为 $5.82 \times 10^{-13} / \text{s}$ ，等效粘滞度（ η ）为 $6.8 \times 10^{18} \text{Pa} \cdot \rho$ 。

表2 由位错密度估算流动应力值表

Table 2 Flow stress estimated from dislocation density

样号	位错密度（ cm^{-2} ）	流动应力（ 10^8Pa ）	计算公式
151	2.7×10^7	467	(1)
		506	(2)
		576	(3)
149	2.5×10^7	450	(1)
		480	(2)
		540	(3)
104	2.3×10^7	431	(1)
		461	(2)
		522	(3)
259	2.8×10^7	476	(1)
		515	(2)
		587	(3)
163	2.5×10^7	450	(1)
		480	(2)
		540	(3)
平均值	2.57×10^7	501	

3. 讨论

透射电子显微镜是研究矿物晶体缺陷的有效方法,然而,透射电镜观察是微米级的,代表性不足;制样程序复杂;在样品加工过程中也有可能导位错产生或消失。因此,用透射电镜观察样品要结合野外地质背景,样品要有代表性和一定数量;尽可能用高压透射电镜观察较厚的样品,其位错更能够反映整体物质构造。同时要把透射电镜与氧化法和浸蚀法结合起来,对同一矿物进行综合研究,这样,才能获得更加可靠的资料。

在测定位错密度时,要考虑测定方法和数据的可靠性。因为在复杂地质作用过程中,晚期构造变形叠加或退火作用会导致原始显微构造(包括位错密度)的变化。例如,曾在金伯利岩橄榄岩包体中发现,静态重结晶作用的影响,使其位错密度由 10^7cm^{-2} 降到 10^5cm^{-2} 。近几年来,位错分期和高温、低温位错叠加现象已引起人们的重视。

在计算流动应力值时,公式本身尚未考虑到温度、水分等因素对位错密度的影响。所以,在选择计算上地幔流变学参数的经验公式时,要尽可能采用与实验成果相类似的天然变形显微构造参数。实验材料及变形试验条件与自然界环境也不安全相同。因此,机械地硬套经验公式,显然是不合适的

五、结 论

1. 通过透射电镜和光学显微镜研究,本区二辉橄榄岩包体的结构、构造、滑移系和位错组态特征,都反映了上地幔固态流变特点。

2. 变形橄榄石以(010) [100] 高温滑移系类型为主。

3. 橄榄石位错柏氏矢量(b)经测定结果为[100]。

4. 本区幔源包体的变形条件:

$$t = 1156^\circ\text{C}$$

$$p = 2.6 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$z = 83 \text{ km}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 501 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\dot{\epsilon} = 5.82 \times 10^{-13} / \text{s}$$

$$\eta = 6.8 \times 10^{18} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

这个结论与我国一些地区(辽宁汪清包体、河北平泉包体,山东蓬莱包体,江苏女山包体等)和世界其他地区(下加利福尼亚包体,夏威夷包体,日本目泻包体等)包体资料是接近的。在本课题研究过程中,武汉地质学院测试中心杨光明,国家地震局地质研究所何永年、北京钢铁研究总院李树强、陆鸿修、王尚宽等同志给予热情帮助,李昌年同志提供了部分标本,在此一并致谢。

参 考 文 献

[1] 王小凤等,1985,阿尔金断裂带中乌苏肖变形石英的位错组态特征和差异应力的估算,中国地质科学院地质力学所刊,第5号,145—149。

[2] Raleigh, B., and Kirby, S., 1970, Creep in the upper mantle, Mineral. Soc. Amer. Spec. pap. 3, 113-121.

[3] Goetze, D., et al., 1970, Laboratory study of dislocation climb and diffusion in olivine,

J. Geophys. Res. vol. 78, 5691-5971.

[4] Green, H. W. II, 1976, Plasticity of flow in peridotite, in "Electron Microscopy in Mineralogy", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

[5] Gueguen, Y., 1979, Dislocation in mantle peridotite nodules, Tectonophysics, Vol. 39, No. 1, 231-254.

[6] 何永年, 1985, 幔源包体橄榄石位错构造研究及上地幔塑性流动, 构造地质论丛, 第5期, 15-25.

[7] 冯家林, 1980, 大麻坪超基性-基性岩球堆积体, 河北地质学院院报, 第1期.

[8] Raleigh, B., 1965, Glide mechanisms in experimentally deformed minerals, Science, Vol. 150, 739-741.

[9] Carter, N. L., and Raleigh, C. B., 1969, Principal stress directions from plastic flow in crystals, Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 80, 1231-1264.

[10] Hirsch, H., et al., 1977, Electron microscopy of thin crystals, New York, 470.

[11] 邓晋福等, 1980, 中国东部某些地区碱性玄武岩中包体温度, 压力计算, 地质论评, 第26卷, 第2期, 112-120.

[12] Mercier, J.-C. C., 1976, Single-pyroxene geothermometry and geobarometry, Amer. Miner. Vol. 61, No. 78, 603-615.

[13] Toriumi, M., 1979, Relation between dislocation density and subgrain size of naturally deformed olivine in peridotites, Contrib. Mineral. Petrol. Vol. 68, 181-186.

[14] Durham, M., et al., 1977, plastic flow of oriented crystals of olivine, J. Geophys. Res. Vol. 82, 5755-5770.

PRELIMINARY STUDY OF TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE OF DISLOCATION FROM MANTLE-DERIVED OLIVINE AT DAMAPING, HEBEI PROVINCE

Zheng Borang Jin Zhenmin Jin Shuyan

Lü Fanxiu

(Wuhan College of Geology)

(Beijing Institute of Iron and Steel)

Abstract

In this paper preliminary study of dislocation structure and glide system of lherzolites is done by means of Transmission Electron Microscope (TEM) and optical microscope. According to characteristics of deformation induced microstructure and estimation, rheological parameters of the upper mantle for this region have been calculated as follows:

flow stress	$\sigma_1 - \sigma_3 = 501 \times 10^5 \text{ Pa}$
strain rate	$\dot{\epsilon} = 5.82 \times 10^{-13} / \text{s}$
viscosity	$\eta = 6.8 \times 10^{18} \text{ Pas}$
temperature	$t = 1156^\circ \text{C}$

confining pressure $p = 26 \times 10^8 \text{ Pa}$

depth $z = 83 \text{ km}$

These dislocation substructures and glide system of (010) [100] indicate that the mantle-derived olivine in this area has undergone steady state flow of high temperature under the condition of the upper mantle, and the flow mechanism presents dislocation creep.

汉诺坝陆相枕状熔岩特征及其 形成的岩浆动力学机理

邱家骧 马昌前 李昌年

(武汉地质学院)

枕状熔岩多见于海相细碧岩系中，而在陆相火山岩中罕见。在汉诺坝玄武岩区，邱家骧于1955年即研究了集耳石坝一带的陆相枕状构造；1982年马昌前又作了详细的地质观察，并进行了室内测试、鉴定。在此基础上，作者总结了本区枕状熔岩的地质学、岩相学及地球化学特征，并首次用岩浆动力学观点，探讨了枕状熔岩的形成机理。

一、地质学特征

汉诺坝玄武岩为新第三纪中新世典型的裂隙式喷发产物，又是新生代以玄武岩命名的标准地层之一。拉斑玄武岩较多，而碱性玄武岩较少；以溢流相为主，而爆发相罕见；陆相旱地喷发占优势，而河湖相水下喷发仅见于本区东部集耳石坝一带的个别玄武岩层中。

以集耳石坝的玄武岩剖面为例。该剖面厚约87m，产状为 $NE50^{\circ}/25^{\circ}$ 。以玄武岩为主，玄武岩厚84.7m，共有9次喷发（其中拉斑玄武岩7次，碱性玄武岩2次）。玄武岩中夹有河湖相沉积层，厚约2.3m，主要由新生代玄武岩淬碎玻璃屑、晶屑及中生代流纹质砾石混合堆积的火山碎屑沉积岩组成。该层中见有垂直于层理生长的小树干（直径0.5cm）遗体及平行层理的褐铁矿结核层。枕状熔岩由拉斑玄武岩组成，它发育于被剥蚀的碱性玄武岩之上，而位于河湖相沉积层的中下部。枕状熔岩体厚12.5m，剖面上不同部位的枕体，一般上凸，下平，但其形态、直径及含量各有不同（图1）：

顶部：枕状体为椭球状，直径为20—40cm，占岩石的30%左右。

中部：枕状体为椭球状或长柱状，直径较大，一般为30—140cm，含量也较多，多达50%左右。

底部：枕状体较小，且很少，直径多为20cm，含量常不足10%。枕状体呈椭球状—扁球状。在底部还见有层状节理。

总的来看，玄武质熔岩喷到河湖水体之后，突然淬火，由于表面张力的作用，形成塑-固态的球状体。由于熔岩内部仍然为液态能继续向低处流动，从而拉伸为椭球状及长柱状。可能中部比顶、底部的熔岩冷却更慢，所以更易形成较大、较多的枕状体；由于更易于流动缘故除形成椭球体外，还出现长柱状体。

枕状体的长轴具定向排列现象，其产状为 $NE5-20^{\circ}/40^{\circ}$ 。其长轴倾向与该处熔岩NNE向流动方向是一致的；而其倾角（ 40° ）则比玄武岩层的倾角（ 25° ）大 15° ，这个特

点, 与一般海相枕状体的连续叠积、倾角变大, 是一致的。枕状体与层理所交的锐角指向, 反映了枕状熔岩的流动方向。

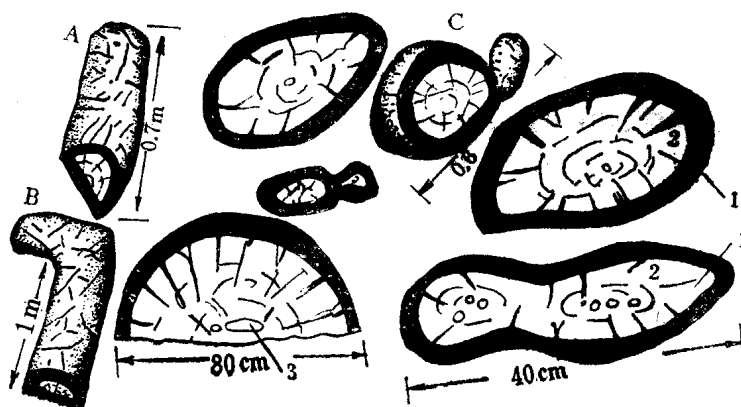


图 1 枕状体外形及剖面素描图

Fig.1 Sketches of outline and section of pillow lavas

枕状体多数为单体, 个别为母子连生体。而且可以看出, 小的子体, 是由大的母体外壳冷缩裂开后流出的液态熔岩, 再次淬火所形成。

二、岩相学特征

枕状体由拉斑玄武岩组成。主要矿物为贵橄榄石 ($Fo = 90-78$)、普通辉石 ($En_{45}Fs_{19}Wo_{36}$)、拉斑长石 ($An = 60-72$) 及玄武玻璃 ($N = 1.577-1.590$)。根据枕状体的颜色及岩性特征可大致分为三个岩相带: 边缘带、过渡带、中心带。边缘带最薄, 中心带最厚, 过渡带居中。过渡带与中心带的界线是逐渐变化的, 但和边缘带则有明显区别。三个带呈同心环状分布。不同带的岩相特征如下:

1、边缘带: 是枕状体淬火边缘。黑色, 厚1—3cm; 玻基斑状结构, 斑晶的粒度为0.8—2mm, 含量在25%左右; 岩石中斜长石多, 常成针状。岩石具贝壳状断口、玻璃—油脂光泽, 外貌酷似黑曜岩。具不规则之龟裂纹, 偶呈六边形裂开。其表皮由于风化及水化较强, 多变为褐黄色。边缘带中斑晶及微晶 (尤其是针状斜长石微晶), 多平行或半平行于枕状体的外壳排列。气孔直径较小, 大小一般为1mm, 呈椭圆形或不规则状, 孔壁粗糙, 无一定排列方向, 约占岩石的5%。

2、过渡带: 浅灰—浅黄灰色, 厚5—15cm。斑状结构, 基质为间隐结构。斑晶粒度加大, 大小为1—2.5mm, 含量也增多, 占岩石的40%左右。斑晶以橄榄石、斜长石为主, 橄榄石裂纹发育, 自形晶多; 斜长石多为针状, 个别板状, 近于平行排列, 并与枕状体外壳方向一致。气孔变大也变多, 一般为1—4mm, 占岩石的20%。气孔多呈不规则的椭圆形, 长轴也平行于枕状体外壳。常见方解石充填。

3、中心带: 黑色—紫黑色, 厚约20cm, 有的更厚。斑状结构, 基质为拉斑玄武结构。斑晶粒度及含量变大, 一般为1.5—3mm, 占岩石的50%左右。斜长石多为针状及板状, 单斜辉石增多。气孔圆形为主, 充填物较少, 孔壁圆滑。气孔含量变少, 一般小于