

平南幔源包体中橄榄石的显微构造研究及其意义

孔 华^{1,2} 马 芳³ 金振民² 欧新功¹

(1. 中南工业大学地质系, 长沙 410083; 2. 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074; 3. 北京大学地质学系, 北京 100871)

摘要: 平南玄武岩中的尖晶石二辉橄榄岩包体的平衡温度为 930~980 ℃, 平衡深度为 59~74 km, 包体中橄榄石的扭折带滑移系多为 (010) [100], 但也有 (001) [100] 的滑移系类型; 斜方辉石的滑移系为 (100) [001], 它们均为高温低应变速率下的滑移系, 说明该区的上地幔主要是在高温低应变速率条件下经历了塑性变形作用。橄榄石位错组态多样, 有自由位错、位错壁、位错弓弯、缠结、{110} 滑移带, 反映了上地幔的塑性变形特征。根据位错壁的大小估算, 上地幔差异流动应力为 24.5~42.1 MPa, 流动速率为 $2.93 \times 10^{-17} \sim 8.36 \times 10^{-16} \text{ s}^{-1}$, 有效粘度为 $1.72 \times 10^{23} \sim 2.80 \times 10^{24} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 特征与中国东部新生代上地幔较为一致, 反映同处于拉张环境。

关键词: 尖晶石二辉橄榄岩包体; 上地幔; 位错; 平南。

中图分类号: P588.1; P542⁺.5 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)01-0007-06

作者简介: 孔华, 男, 副教授, 1968 年生, 1996 年毕业于中南工业大学, 获博士学位, 现从事岩石学及显微构造研究。

二辉橄榄岩包体是来自上地幔的使者, 它很好地保留了上地幔的微结构特征, 对其显微构造的研究, 可以揭示上地幔的塑性流动状态。近 20 年来, 许多学者对中国东部幔源包体显微构造及上地幔动力学进行了研究^[1~3]。广西平南地区的二辉橄榄岩包体的显微构造研究尚是空白, 笔者对包体中主要矿物的组构进行了测定, 用氧化缀饰法对橄榄石的位错构造进行了观察, 并估算了该区的上地幔差异流动应力。

1 地质背景

广西平南县马练双田碱性玄武岩中产有深源岩石包体, 寄主玄武质岩石的展布主要受北东向构造带控制, 马练岩体是平乐沙子一金秀龙标—平南双田岩带的一部分, 该岩带北延至湖南境内则为新田—宁远—道县基性岩带, 该构造岩带可能是郃庐断裂的南延部分^[4]。岩体呈岩筒状, 中心为钾质粗面玄武岩, 向外变为碧玄岩, 再向外为喷发角砾岩, 角砾主要由围岩组成, 其胶结物为具气孔构造的碧玄

岩^[7]。其中碧玄岩含尖晶石二辉橄榄岩包体及变粒岩、片岩等地壳包体, 钾质粗面玄武岩不含包体。它们的全岩 K—Ar 年龄为 50 Ma^①, 因其中含有橄榄石和辉石的捕掳晶, 实际年龄要小于 50 Ma^[8], 是新生代的产物。

2 寄主玄武岩特征

碧玄岩具斑状结构, 基质为玻璃质—显微隐晶结构。斑晶矿物主要为镁橄榄石+透辉石, 含量约 10%, 半自形—他形粒状结构, 基质主要为镁橄榄石微晶、玻璃质及显微隐晶质。岩石中常含橄榄石和辉石的捕掳晶, 顽火辉石捕掳晶常具反应边结构。

3 二辉橄榄岩包体的岩石矿物学特征

3.1 岩石学特征

尖晶石二辉橄榄岩呈圆球状, 与寄主玄武岩界线清楚, 矿物颗粒粗大, 肉眼可见, 按 Frey 超镁铁岩分类属 I 型包体^[7]。本次研究用费氏台测定了 3 个样

收稿日期: 2000-05-11
基金项目: 原地质矿产部项目 (No. 9501109); 国家自然科学基金项目 (No. 40002018); 中南工业大学青年科学研究基金。

①孔华. 华南部分地区上地幔、下地壳岩石物质组成及流变学研究. 中国地质大学(武汉) 博士后研究报告, 1999.

表 1 橄榄岩包体的矿物化学成分

Table 1 Minerals' chemical composition of lherzolite xenolith

%

矿物	橄榄石 Ol				斜方辉石 Opx				单斜辉石 Cpx			尖晶石 Sp			
	Mfl	M-5	M-7	MT	Mfl	M-5	M-7	MT	M-5	M-7	MT	Mfl	M-5	M-7	MT
SiO ₂	39.98	41.38	41.17	41.63	56.61	57.12	56.13	56.78	52.29	53.25	52.05	0.01	0.00	0.00	0.00
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08	0.00	0.06	0.00	0.13	0.21	0.09	0.08	0.09	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	0.00	0.04	0.00	0.00	3.07	2.38	2.39	3.35	3.03	5.03	5.65	47.51	34.55	53.11	54.83
FeO	7.56	7.20	8.41	8.33	5.11	4.98	5.33	2.94	1.93	1.99	2.23	10.36	13.28	10.05	9.53
MnO	0.02	0.06	0.06	0.14	0.13	0.01	0.02	0.12	0.01	0.02	0.04	0.09	0.13	0.09	0.10
MgO	50.19	50.21	50.17	50.38	34.32	34.04	32.84	34.35	16.93	15.71	16.02	19.66	16.41	19.45	19.97
CaO	0.05	0.01	0.03	0.02	0.40	0.47	0.31	0.43	21.74	21.67	21.11	0.00	0.00	0.00	0.01
Na ₂ O	0.04	0.04	0.00	0.06	0.06	0.01	0.06	0.01	0.83	1.41	1.65	0.03	0.01	0.01	0.03
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.06	0.06	0.30	0.39	0.26	0.36	0.87	0.67	1.17	20.49	33.76	16.06	14.94
NiO	0.12	0.16	0.12	0.31	0.03	0.09	0.01	0.03	0.00	0.02	0.01	0.10	0.11	0.13	0.24
总计	97.98	99.10	100.02	100.96	100.11	99.49	97.42	98.38	97.76	99.98	100.06	98.34	98.33	98.92	99.66
Fe	92.20	92.60	91.40	91.50											
Fa	7.80	7.40	8.60	8.50											
Wo					0.80	0.90	0.60	0.90	47.40	48.50	48.60				
En					91.60	91.60	91.10	94.60	51.30	48.90	51.40				
Fs					7.60	7.50	8.30	4.50	1.30	2.70	0.00				

注: FeO 为探针分析值, 中国地质大学(武汉)测试中心探针室分析.

品的矿物组构, 其样品特征如下: Mf5. 不等粒结构, 橄榄石有压扁拉长现象(图版 I, 1), 镜下见有包橄结构, 尖晶石和辉石中均可见小颗粒的橄榄石被包裹, 矿物组成为橄榄石(75%) + 斜方辉石(18%) + 单斜辉石(5%) + 尖晶石(2%). 橄榄石, 粒状, 2.7 ~ 3.0 mm, 2V = 80° ~ 88°. 橄榄石按颗粒大小分为两期, 大颗粒扭折带发育(图版 I, 2), 小颗粒无扭折带, 显示了一种静态恢复的特征. 斜方辉石, 柱状, 柱长 0.3 ~ 4.0 mm, 2V = 66° ~ 80°, 有单斜辉石的出溶叶片, 叶片与主晶解理交角 30°, 同样发育有扭折带, 一般只扭折为两片(图版 I, 3). 单斜辉石, 半自形柱状, 柱长 3.3 mm, 解理多不完全. 尖晶石, 形状不规则, 多分布在辉石周围, 呈棕褐色. 包体边缘的辉石多与寄主玄武岩发生交代反应, 形成细粒 Ol + Py + 玻璃质的集合体. M1-2f2. 不等粒结构, 橄榄石的压扁拉长现象较 Mf5 弱. 橄榄石扭折带较发育. 斜方辉石, 同样发育有扭折带. Mf2. 原生粒状结构, 矿物微弱定向, 橄榄石扭折带不发育.

3.2 包体矿物组成及化学成分

尖晶石二辉橄榄岩的矿物组成(表 1)主要为四相即 Ol + Hy + Di + Sp. 其中橄榄石多为镁橄榄石, 端元组成为 w(Fo) = 0.914 ~ 0.926, w(Fa) = 0.074 ~ 0.086, 但其光学测定有负光性, 说明部分为贵橄榄石; 斜方辉石的端元组成 w(Wo) = 0.006 ~ 0.009, w(En) = 0.911 ~ 0.946, w(Fs) = 0.045 ~ 0.083, 为顽火辉石; 单

斜方辉石端元组成 w(Wo) = 0.474 ~ 0.486, w(En) = 0.513 ~ 0.489, w(Fs) = 0.000 ~ 0.027, 属透辉石, 其 w(Cr₂O₃) = 0.67% ~ 1.17%, 为铬透辉石; 尖晶石的 $8 < 100 \times [w(\text{Cr}) / w(\text{Cr} + \text{Al})] = 15.4 \sim 22.4 < 25$, 属低铬尖晶石, 一个样品的 $100 \times w(\text{Cr}) / w(\text{Cr} + \text{Al}) = 40$, 属铬尖晶石.

综合而言, 二辉橄榄岩的平衡温度为 850 ~ 950 °C, 平衡压力 18 ~ 22 MPa, 平衡深度为 60 ~ 80 km(表 2). 玄武岩浆的起源深度(59 km) 小于包体的平衡深度, 说明地幔在岩浆喷发前曾发生过上隆. 在 Mercier^[17] 的 p-t 图解中, 本区的地温位于大洋地温线和大陆地温线之间, 接近于由大地热流值 60 mW/m² 推导的地温线^[18], 比中国东部上地幔地温线稍低^[3, 19].

4 二辉橄榄岩的显微构造

已知上地幔的主要造岩矿物为橄榄石、斜方辉石和单斜辉石. 它们的光学主轴与结晶轴方向的关系为橄榄石: Ng // a, Np // b, Nm // c; 斜方辉石: Nm // a, Np // b, Ng // c; 单斜辉石: Nm // b, Ng ∧ c = 38° ~ 48°, Np ∧ a = 22° ~ 32°. 因此只要在费氏旋转台上测出各光学主轴, 就可根据它们之间的关系得到各结晶轴的方位.

表 2 二辉橄榄岩的平衡温度、压力、平衡深度
Table 2 Balanced temperature, pressure and depth of lherzolite

样品	$t/^\circ\text{C}$										$p/10^8\text{Pa}$			h/km
	$t(\text{WB})$	$t(\text{W})$	$t(\text{K})$	$t(\text{LD})$	$t(\text{SS})$	$t(\text{BK})$	$t(\text{WS1})$	$t(\text{WS2})$	$t_{\text{En}}(\text{M})$	$t_{\text{Di}}(\text{M})$	$t(\text{Xu})$	P_{En}	P_{Di}	
Mf1				936	883	856	885	826	942			18.2		59
M-5	1 076	962	1 036	950	1 023	880	1050	926	961	1 404	870	22.2	29.9	71
M-7	1 014	897	874	906	999	816	991	875	911	964	812	14.9	12.2	45
MT	1 088	947	963	950	988	868	961	976	958		855	22.8		74
S-2 *									907		1 030		24	77

* 据文献[7]。*t*(WB) 为 Wood 和 Banno 二辉石温度计^[9], *t*(W) 为 Wells 二辉石温度计^[9], *t*(K) 为 Kretz 单斜辉石温度计^[10], *t*(LD) 为 Lindsley 和 Dixon 斜方辉石中的 Ca 含量温度^[11], *t*(SS) 为 Sachtleben 和 Seck 斜方辉石—尖晶石温度^[12], *t*(BK) 为 Brey 和 Kohler 斜方辉石中的 Ca 含量温度(假定 $p=15\times10^8$ Pa)^[13], *t*(WS1) 为 Witt-Eickchen 和 Seck 斜方辉石—尖晶石温度^[14], *t*(WS2) 为 Witt-Eickchen 和 Seck 斜方辉石中 Cr 和 Al 含量温度^[14], *t*(M) 为 Mercier 单斜辉石温度计^[9], *t*(Xu) 为单辉石温度计^[15]。平衡深度计算据 Ave' llement(据文献[16]) 的公式 $h=4.2$ (km) + 3.03 (km/MPa) $\times p$ (MPa)。

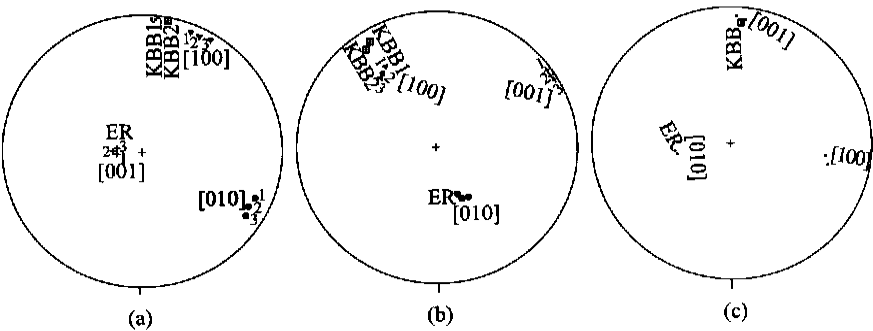


图 1 橄榄石和斜方辉石的滑移系

Fig. 1 Measured slip system of olivine and orthopyroxene
a. 橄榄石的扭折带滑移系; b. 橄榄石的扭折带滑移系; c. 辉石的扭折带滑移系

4.1 橄榄石的组构测定

由于橄榄石是上地幔岩石中的主要造岩矿物,研究它的显微构造可以推测上地幔的流变学状态。包体中橄榄石的扭折带较发育,它是岩石塑性变形的微观标志,本次研究测定了橄榄石及辉石的扭折带滑移系,并对橄榄石组构进行了测定。

橄榄石的扭折带的滑移系,经光学测定多为(010)[100](图 1a),但也有(001)[100]的滑移系类型(图 1b),它们均为高温低应变速率下的滑移系,说明该区的上地幔主要是在高温低应变速率条件下经历了塑性变形作用。斜方辉石的滑移系为(100)[001](图 1c),它也是高温低应变速率下常见滑移系。

本文重点测量了 3 个薄片的主要造岩矿物橄榄石的结晶轴的组构方位(图 2)。Mf2 样品的矿物结晶轴方位优选不明显,这与其岩石结构为原生粒状结构相吻合;样品 Mf5 的 *a*, *b*, *c* 轴极密程度较高,该样品薄片在光学显微镜下扭折带十分发育,表明其塑性变形较强;Mf1—2 样品的 *b* 轴极密明显,而 *a*, *c* 轴极密弱,这与橄榄石的扭折带较发育相吻合,即

存在明显的(010)滑动面。总体上如果样品变形强烈,则 *a* 轴极密在线理出露点或附近, *b* 轴极密垂直于线理, *c* 轴极密在中心点附近,有小角度偏斜。

橄榄石组构发育程度与变形程度的关系表明,塑性变形是产生晶格方位优选的主要原因,组构的极密取向特征也与绝大多数上地幔橄榄岩一致,即在变形样品中[100]轴出现明显的极密,极密点在叶理面上平行于线理,它代表了上地幔变形物质塑性流动的方向。

4.2 橄榄石的位错特征

本文用氧化缀蚀法研究了橄榄石的位错组态及特征。观察显示橄榄石的位错组态主要有以下几种类型(见图版 I, 4—8): (1) 自由位错。几个样品中均不同程度地发育有密集型自由位错,它们是在高温变形过程中未排列成倾斜位错壁的随机分布位错。(2) 位错壁。在塑性变形过程中橄榄石的一系列刃型位错按几何学边界需要,通过滑移和攀移作用排列而成(100)或(001)倾斜位错壁,其中(100)位错壁最发育,本区常见紧密型、细而长的密集螺旋型位错垂直

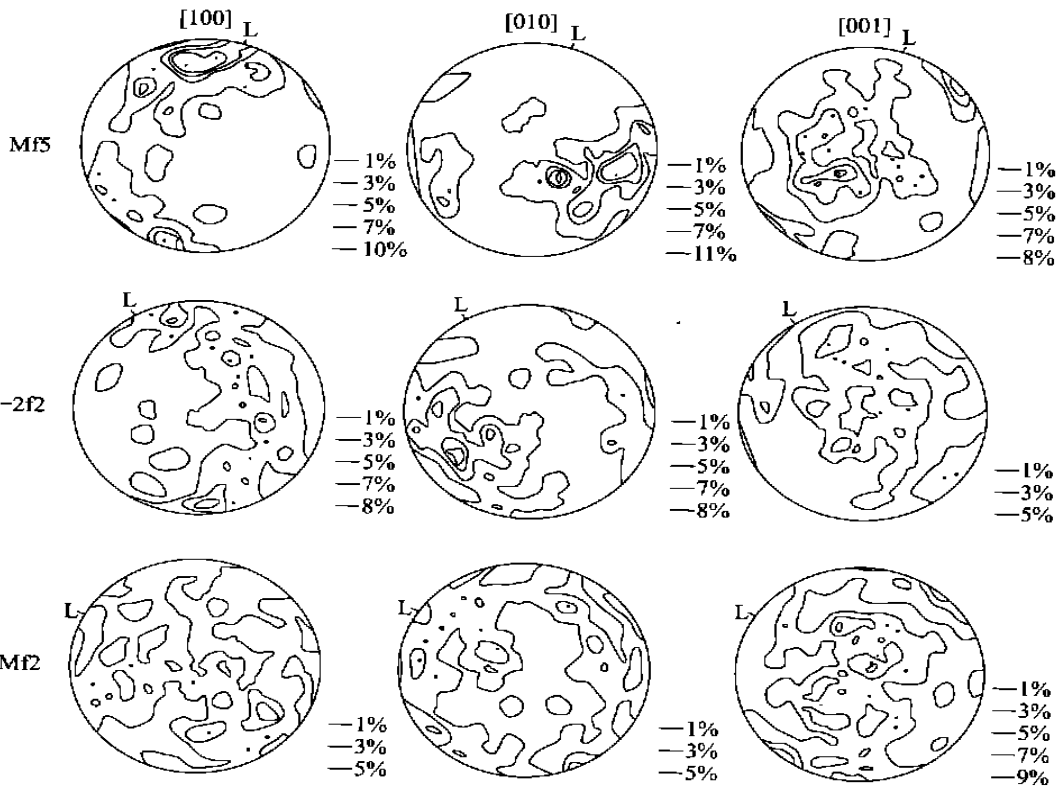


图 2 尖晶石二辉橄榄岩中橄榄石的优选方位

Fig. 2 Preferred orientation of olivine [100] ,[010] ,[001] in spinel ilherzolite

下半球投影,等值线:1%—3%—5%—7%,Mf5. 90 颗;M1—2f2. 85 颗;Mf2. 100 颗.L. 线性

表 3 平南新生代上地幔流动应力估算

Table 3 Calculation of differential flow stress						
产地	样号	亚颗粒平均 间距 $d/\mu\text{m}$	估算应力 σ/MPa			
			A	B	C	D
平南	97MT	34. 77	42. 1	93. 5	70. 5	22. 4
平南	97M01	59. 76	24. 5	54. 4	29. 4	10. 0
平南	97M03	38. 20	38. 3	85. 1	60. 6	19. 5
中国东部		30~60	20~60	40~90	20~70	8~30

古应力计算公式: A. Toriumi; $\sigma=1\,462.5\,d^{-1}$; B. Gueguen 和 Darot; $\sigma=3\,250\,d^{-1}$; C. Ross 等; $\sigma=100\times(28\,d^{-1})^{1.613}$; D. Karato 等; $\sigma=(280\,d^{-1})^{1.49}$. 以上公式转引自文献[2],中国东部据文献[3].

于位错壁分布.(3) 弓弯. 平直型位错在塑性流动中产生弓弯,而两端被轧钉在位错壁上,位错中部向前滑移,形成半月形环状构造.(4) {110} 滑移带. 它是叠加在早期高温低应力[100] 螺型位错之上的低温高应变速率的滑移系列密集滑移带.

位错的发育及位错壁的出现说明该区上地幔的变形行为具有高温蠕变和高温稳态流动的特征(表 3, 4).

据 Ave' llemant 等^[20] 研究,不同构造环境中幔源包体具有不同的地幔流变学参数特征. 将上述

表 4 平南新生代上地幔流变学参数

Table 4 Rheological parameters of upper mantle beneath Pingnan area						
样号	$t/^{\circ}\text{C}$	$p/10^8\text{ Pa}$	深度/ km	差异流动 应力 $\Delta\sigma/$ MPa	流动速率/ s^{-1}	有效粘度 $\eta/$ ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
97MT	980 22. 8	74	42. 1	8.36×10^{-16}	1.72×10^{23}	
97M01	930 18. 2	59	24. 5	2.93×10^{-17}	2.80×10^{24}	
97M03	960 22. 2	71	38. 3	2.77×10^{-16}	4.66×10^{23}	
台湾 海峡 *	1 096 23. 0	74	28. 0	2.55×10^{-14}	4.81×10^{20}	
河北 大麻坪 *	1 156 26. 1	83	50. 1	5.82×10^{-13}	6.80×10^{18}	

* 据文献[5, 16].

流变学参数投入 $\sigma-H$, $-\lg \epsilon-H$, $\lg \eta-H$ 等图解中均落入大陆拉张带和裂谷带附近,表明该区上地幔在新生代处于拉张环境.

5 讨论及结论

运用多种温压计计算的橄榄岩包体的平衡温压

条件为: $t=930\sim 980\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p=18.2\times 10^5\sim 22.2\times 10^5\text{ Pa}$. 其中运用徐义刚建议的公式^[13] 计算的温度为 $850\sim 870\text{ }^{\circ}\text{C}$, 地幔地温比中国东部稍低, 这说明该区的地幔性质与中国东部有所区别. 中国东部地幔地温普遍高于大洋地热增温曲线, 而该区则低于大洋地温, 但两者都比较接近大洋地温. 中国东部在新生代处于大陆内部拉张的背景下, 在深部则表现为软流圈的抬升和岩石圈的强烈减薄. 这种伸展拉张的程度从沿海到内陆有所减弱, 因此比较而言本区深部软流圈的抬升可能并不十分明显.

橄榄石的组构特征表明, 橄榄石的晶格优选与橄榄岩的宏观变形程度密切相关, 即橄榄石的变形程度越强, 其优选极密也就最显著, 橄榄石 $[100]$, $[010]$, $[001]$ 三个结晶主轴的优选极密趋向特征也与其他地区相同, 表明橄榄石的变形客观上反映了地幔的变形特征. 包体中橄榄石的扭折带发育, 以 $(010)[100]$ 滑移系为主, 反映了一种高温塑性变形特征, 而 $\{110\}$ 位错滑移带则反映了晚期低温变形的叠加, 这说明该区地幔经历了多期塑性变形, 变形行为较为复杂. 地幔的差异流动应力为 $24.5\sim 42.1\text{ MPa}$, 流动速率为 $2.93\times 10^{-17}\sim 8.36\times 10^{-16}\text{ s}^{-1}$, 有效粘度为 $1.72\times 10^{23}\sim 2.80\times 10^{24}\text{ Pa}\cdot\text{s}$, 与中国东部新生代地幔特征大体一致, 反映同处于拉张构造环境.

参考文献:

- [1] 何永年, 林传勇, 史兰斌. 五台山东台沟深源包体橄榄石位错研究[J]. 岩石学研究, 1983, 3: 67~76.
- [2] 金振民, Green II H W, Borch R S. 橄榄石显微构造和中国东部地幔流动应力[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1989, 14(增刊): 69~78.
- [3] 金振民, Green II H W, Borch R S, 等. 幔源包体和中国东部现代弧后热结构标志[J]. 中国科学(B 辑), 1993, 410~416.
- [4] 金振民, Ji S C, 金淑燕. 橄榄石晶格优选方位和上地幔各向异性[J]. 地球物理学报, 1994, 37: 469~477.
- [5] 金振民, 金淑燕, Green II H W, 等. 台湾海峡上地幔流变学状态及其构造意义[J]. 地质学报, 1995, 69(1): 31~41.
- [6] 王京彬. 道县虎子岩岩体及其包体的地球化学特征和构造意义[J]. 湖南地质, 1991, 10(1): 52~58.
- [7] 刘春芳. 湘南—桂北地区中生代玄武岩及上地幔包体岩石学研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 1995.
- [8] 穆治国, 刘玉林, 黄宝玲. 细粒橄榄石晶粒对中国晚新生代橄榄玄武岩 K—Ar 定年的影响[J]. 科学通报, 1998,

43(7): 764~766.

- [9] 张儒瑗, 从柏林. 矿物温度计和矿物压力计[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 23~122.
- [10] Kretz R. Transfer and exchange equilibria in the portion of the pyroxene quadrilateral as deduced from natural and experimental data [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1982, 46: 411~421.
- [11] Lindsley D H, Dixon S A. Diopside-enstatite equilibria at $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 to 35 kb [J]. Am J Sci, 1976, 276: 1285~1301.
- [12] Sachtleben T, Seck H A. Chemical control of Al-solubility in orthopyroxene and its implication on pyroxene geothermometry [J]. Contrib Mineral Petrol, 1981, 78: 157~165.
- [13] Brey G P, Kohler T. Geothermobarometry in four-phase lherzolites I. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers [J]. J Petrol, 1990, 31: 1353~1378.
- [14] Witt-Eickchen G, Seck H A. Solubility of Ca and Al in orthopyroxene from spinel peridotite: an improved version of an empirical geothermometer [J]. Contrib Mineral Petrol, 1991, 106: 431~439.
- [15] 徐义刚. 适用于幔源包体的地质温度计[J]. 岩石学报, 1993, 9(2): 167~179.
- [16] 郑伯让, 金振民, 金淑燕, 等. 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[J]. 矿物学岩石学论丛, 1988, (4): 1~9.
- [17] Mercier J-C C. Single pyroxene geothermobarometry [J]. Tectonophysics, 1980, 70: 1~37.
- [18] Chapman D S, Pollack H N. Regional geotherms and lithospheric thickness [J]. Geology, 1987, 15: 241~244.
- [19] 徐义刚. 中国东部上地幔地温线及其地质意义[J]. 中国科学(B 辑), 1995, 25(8): 874~881.
- [20] Avé Lallemant H G, Mercier J-C C, Carter N L, et al. Rheology of the upper mantle: inferences from peridotite xenoliths [J]. Tectonophysics, 1980, 70: 85~113.

图版说明

1. 二辉橄榄岩(M5)中橄榄石的压扁拉长(NE 方向), 正交, $\times 18$
2. 二辉橄榄岩(M5)中橄榄石的扭折带, 正交, $\times 18$
3. 二辉橄榄岩(M5)中辉石的扭折带, 正交, $\times 18$
4. 橄榄石中的自由位错, 单偏光, $\times 280$
5. 橄榄石中的位错壁(97MT), 单偏光, $\times 180$
6. 橄榄石中的交叉滑移构造(97MT), 单偏光, $\times 180$
7. 橄榄石中的位错弓弯及位错缠结(97M01), 单偏光, $\times 280$
8. 橄榄石中的 $\{110\}$ 滑移带(97MT), 单偏光, $\times 180$

OLIVINE MICROSTRUCTURES FROM MANTLE-DERIVED XENOLITH IN PINGNAN COUNTY, GUANGXI

Kong Hua^{1,2} Ma Fang³ Jin Zhenmin² Ou Xingong¹

(1. *Department of Geology, Central-South University of Technology, Changsha 410083, China*; 2. *Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 3. *Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: The equilibrium temperature of the mantle-derived spinel lherzolite xenolith in the basalt in Pingnan County, Guangxi lies between 930 and 980 °C, and its corresponding equilibrium depth between 59 and 74 km. The kink-band sliding system of the olivine in the mantle-derived xenolith is often (010) [100], but sometimes (001) [100]. However, the kink-band sliding system of orthopyroxene is (100) [001]. All these sliding systems occurred both at the high temperature and at the low strain rate, indicating that the upper mantle of the region experienced the plastic deformation both at the high temperature and at the low strain rate. Varieties of dislocations are present in the olivine, such as free dislocation, dislocation wall, dislocation bow, tangle, and (110) sliding system, indicating the plastic deformation features of the upper mantle. The size of the dislocation is used to estimate the following features of the upper mantle: the differential flow stress 24.5–42.1 MPa, the flow rate $2.93 \times 10^{-17} - 8.36 \times 10^{-16} \text{ s}^{-1}$, the effective viscosity $\eta 1.72 \times 10^{23} - 2.80 \times 10^{24} \text{ Pa} \cdot \text{s}$. All these upper-mantle features are in agreement with those in the Cenozoic eastern China, showing that they both occurred in the same tensile environment.

Key words: spinel lherzolite xenolith; upper mantle; dislocation; Pingnan.

