第 28 卷 第 3 期　　地 质 科 学　　Vol. 28, No. 3
1993 年 7 月　　SCIENTIA GEOLOGICA SINICA　　July, 1993

西准噶尔萨尔托海蛇绿岩中尖晶石二辉橄榄岩中橄榄石的位错构造及其意义

赵 中 岩
(中国科学院地质研究所 北京 100029)

摘要 西准噶尔萨尔托海蛇绿岩中的尖晶石二辉橄榄岩的形成温度约为 1100℃，压力 1.6GPa。氧化缀饰和透射电镜观察，揭示了橄榄石的位错密度为 $2.5\times10^{9}/cm^{2}$，(100) 位错壁间距为 10μm 左右。计算得到的古应力为 115—154MPa，应变速率为 2×10^{-11}，古生代大洋上地幔粘滞度为 2.37×10^{19}P，与新生代大洋上地幔比较，古生代大洋上地幔有低粘滞度和高应变速率的特点。

关键词 位错构造　古应力　地幔粘滞度

80 年代以来，利用橄榄石位错构造推测上地幔流变性质的工作取得了很大进展。然而，这一工作主要集中于对大洋和大陆碱性玄武岩中二辉橄榄岩包体的研究，对蛇绿岩的二辉橄榄岩研究甚少。本文报道蛇绿岩二辉橄榄岩中橄榄石位错构造特点，并讨论其形成的温度压力环境，古应力状态和古大洋上地幔的粘滞度。

分析样品采自西准噶尔萨尔托海蛇绿混杂岩。该蛇绿岩代表了晚古生代大洋残片，是碰撞造山过程中仰冲到准噶尔板块之上的(赵中岩，1992)。二辉橄榄岩呈团块状产于蛇纹石化的方辉橄榄岩中，风化面有瘤状凸起。岩石内片理与围岩片理不一致。

1 岩石结构构造和矿物化学成分

1.1 结构构造：

镜下观察，橄榄石已强烈地蛇纹石化，残晶占 40%—50%，呈残碎斑状结构。蛇纹石呈网格状穿插在橄榄石残斑之间(照片 1)。橄榄石有波状和带状消光，肯克带和亚晶界构造。从几个相邻的残斑处于同一消光位估计，橄榄石原生晶体应在 3—5mm 以上。斜方辉石自形晶保存较好，长 3—5mm，部分被蛇纹石交代，有的具有机械双晶(照片 3)。单斜辉石和铬尖晶石呈他形晶，并常形成文象交生结构。

1.2 矿物成分

二辉橄榄岩的岩石化学特点已另有报(赵中岩，1992)。从 2 个橄榄石和 2 个辉石矿物对的电子探针分析结果来看(表 1)，橄榄石为镁橄榄石 (Fo 90.6 和 Fo 90.3)，化学成分变化不大。斜方辉石为顽火辉石 (En 90.6和 En 90.7)，成分变化也不大。单斜辉石变化较大，一个为镁普通辉石，一个为透辉石。单斜辉石的变化反映了它们结晶于不同阶段。

2 橄榄石的位错构造

2.1 自由位错

氧化缀饰法揭示的自由位错特点是密度大，分布不均匀(照片 2)。透射电镜 (TEM) 观察到的刃

本文于 1991 年 2 月收到。
赵中岩，男，43 岁，助理研究员，构造物理专业。

位错和螺位错都很发育，分布不均匀。刃位错短且有弓弯(照片 5)，螺位错长且平直(照片 4)。用交线法 (Hirsch et al., 1965) 求得平均位错密度为 $2.5\times10^{8}/cm$。

表 1 橄榄石和辉石化学成分

Table 1 Chemical analyses of olivine and pyroxene

矿物对			1		2	
矿 物	橄 榄 石		斜方辉石	单斜辉石	斜方辉石	单斜辉石
SiO_2	41.81	40.95	56.04	55.67	56.68	52.37
TiO_2	0.05	0.03	0.00	0.09	0.00	0.00
Al_2O_3	0.00	0.00	2.61	0.47	2.51	2.80
Cr_2O_3	0.02	0.05	0.22	0.80	0.78	1.16
FeO	9.10	9.16	5.97	1.09	5.97	2.11
NiO	0.46	0.40	0.16	0.11	0.00	0.33
MnO	0.00	0.00	0.22	0.07	0.24	0.04
MgO	48.75	48.22	32.17	21.87	32.50	15.51
CaO	0.03	0.00	0.86	19.80	1.09	25.20
K_2O	0.10	0.04	0.00	0.01	0.03	0.04
P_2O_5	0.04	0.10	0.19	0.00	0.10	0.17
总量	100.36	98.95	98.44	99.98	99.90	99.73

2.2 倾斜壁:

氧化缀饰法揭示了橄榄石中(100)位错壁十分发育。壁间距离小，在 8—20μm 之间，大部分在 10 μm 左右。位错壁有分叉合并现象(照片 2)。TEM 观察，位错壁由同符号位错等间距平行排列组成(照片 6)。也见到自由位错向位错壁攀移现象。

除上述二种高温蠕变构造外，还可以看到与低温蠕变有关的位错纠缠和与快速滑动有关的滑移带。它们叠加在高温蠕变构造之上。

3 温度、压力、古应力和上地幔粘滞度

3.1 温度和压力

用不同方法计算的单辉石和二辉石的平衡温度和压力列于表 2。从计算的结果看，二辉石对给出的结果比较接近，在 1260—1300℃ 之间。单辉石温度计除一例外，均在 1062—1123℃ 范围内。与已发表的文献比较 (Mercier, 1980b)，单辉石法给出的结果比较合理，而二辉石对方法给出的温度偏高。压力计算结果相差很大，其中 1.65GPa 比较合理，其它二个数值过高，已超出尖晶石二辉橄榄岩的稳定

表 2 二辉橄榄岩平衡温度和压力

Table 2 Equilibrium temperature and pressure of lherzolite

计算方法	Sachtleben et al., 1981		Mercier, 1980b				Wells, 1977		Wood et al., 1973	
矿 物	单斜辉石		单斜辉石		斜方辉石		二 辉 石		二 辉 石	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
P(GPa)	—	—	3.62	—	2.94	1.65	—	—	—	—
$T^0(C^0)$	1062	1113	1277	—	1082	1123	1259	1261	1298	1300

域、在石榴石二辉橄榄岩的压力范围。

3.2 古应力

上地幔的古应力状态可以用橄榄石的位错密度、(100)位错壁间距和动态重结晶颗粒大小与应力之间的经验公式求得。因本区橄榄岩蛇纹石化比较强烈，矿物呈残碎斑状，原始颗粒大小已难辨认，所以仅能采用位错密度法和位错壁间距法计算古应力。用 3 个密度法公式计算的结果是：(1) 154.2MPa (Kolhstedt et al., 1974)；(2) 0.219MPa (Durham et al., 1977)；(3) 0.325—0.578 MPa (Guegen et al. 1980)。可以看出，不同的公式计算的结果相差很大，表明经验公式不够成熟，特别是(2)和(3)只有 0.2—0.6 MPa，压力显然过低。用位错壁法的 5 个公式计算的结果是：(1) 146 MPa (Toriumi, 1979)；(2) 115 MPa (Mercier et al., 1977)；(3) 325 MPa (Guegen et al., 1980)；(4) 525 MPa (Ross et al., 1980)；(5) 143 MPa (Karato et al., 1980)。这些计算结果相差不大，特别是(1)、(2)、(5) 3 个结果比较接近，且与位错密度法(1)的结果相符合，可以代表古应力的强度。从上述二种方法计算结果看，位错密度法不同公式计算的结果相差 4 个数量级，而位错壁法计算的结果相差不大。因此，用位错壁法计算古地幔的应力状态比位错密度法要好。这与 Jin et al. (1989) 的结论一致。

3.3 应变速率与粘滞度及其意义

橄榄石是上地幔的主要造岩矿物，其流变性质基本上代表了古大洋或大陆上地幔的流变性质 (Mercier, 1980a)。萨尔托海的二辉橄榄岩是西准噶尔晚古生代大洋上地幔的残片，其橄榄石的流变学特点基本上反映了当时古大洋上地幔的流变学特点。上地幔的流变速率和粘滞度可以用下式计算 (Mercier, 1980a)：

$$\dot{\varepsilon} = 2.69 \times 10^{12} \times \sigma^{3.5} \exp[-(63000 + 1610\ P)]/T$$

$$\eta = 10^{10} \times \sigma / 3\dot{\varepsilon}$$

式中 $\dot{\varepsilon}$ 为应变速率，σ 为古应力 (GPa)，η 为粘滞度 (P) P 为压力 (GPa)，T 为温度(K)。在计算中选用的温度为 1123℃，压力 1.646GPa，古应力 0.143GPa。计算的结果，流变速率为 2.01×10^{-11}，粘滞度为 2.37×10^{19}P。与已发表的新生代大洋地幔和各种大地构造环境下的大陆地幔流变数据比较，西准噶尔晚古生代大洋地幔有低粘滞度和高应变速率的特点。这一结果是否具有普遍性，有待进一步研究。

4 结论

本区二辉橄榄岩的形成温度约为 1100℃，压力 1.6GPa。氧化缀饰和 TEM 研究揭示了各种位错构造。位错密度为 $2.5 \times 10^{8}/cm^{2}$，位错壁间距为 10μm 左右。计算得到的古应力为 115—154MPa，应变速率 2×10^{-11}，粘滞度 2.37×10^{19}P。反映本区晚古生代大洋上地幔比新生代各种构造环境的上地幔有低粘滞度和高应变速率的特点。

何永年、林传勇、沈步明、马鸿文分别在 TEM 和温压计算方面给予帮助，在此表示感谢。

参 考 文 献

赵中岩. 1992. 西准噶尔萨尔托海蛇绿岩岩石化学特征及其大地构造意义. 见：徐贵忠、常承法编：大陆岩石圈构造与资源. 北京：海洋出版社. 47—63.

Durham W B, Goetze C, Blake B. 1977. Plastic flow of oriented single crystals of olivine: 2. observation and interpretations of the dislocation structures. J Geophys Res., 82: 5755—5770.

Guegen Y, Darot M 1980. Microstructure and stress in naturally deformed peridotite. Rock mechanics, suppl 9: 159—172.

Hirsch P B, Howie A, Nicholson R B, Pashley D W. 1965. Electron Microscopy of Thin Crystals. Butterdworths, London.

Jin Z M, Green II H W. 1989. Microstructures of olivine and mantle stress from xenolith, China. Tectonophysics, 169: 23—50.

Karato S, Toriumi M, Fujii T. 1980. Dynamic recrystallization of olivine single crystals during high temperature creep. Geophys. Res. Lett., 7: 4649—4652.

Kolhstedt D L, Goetze C 1974. Low stress and high temperature creep in olivine single crystals. J. Geophys. Res., 14: 2045—2051.

Mercier J-C C. 1980a. Magnitude of continental lithosphere stress infered from rhyological petrology. J. Geophys. Res., 85, B11: 6293—6303.

Mercier J-C C. 1980b. Single pyroxene geobarometry. Tectonophysics, 70: 1—38.

Mercier J-C C, Anderson D A, Cater N L. 1977. Stress in lithosphere: inference from steady state flow of rocks. Pure and Applied Geophysics, 115: 199—226.

Ross J V, Ave Lallemant H G, Cater N L. 1980. Stress dependence of recrystallized grain and subgrain size in olivine. Tectonophysics, 70: 39—62.

Sachtleben T, Seck H A. 1981. Chemical control of Al-solubility in orthpyroxene geothermometry. Contr. Mineral. Petrol., 78: 157—165.

Toriumi M. 1979. Relation between dislocation density and subgrain size in naturally deformed olivines in peridotite. Contr. Mineral. Perol., 68: 181—186.

Wells P R A. 1977. Pyroxene thermometer in single and complex systems. Contr. Mineral. Petrol., 62: 129—139.

Wood B J Banno S. 1973. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxeneclinopyroxene relationships in simple and complex systems. Conr. Minral. Petrol., 42: 109—124.

DISLOCATION STRUCTURES IN OLIVINE FROM SPINEL LHERZOLITE OF SARTOKAY OPHIOLITE AND THEIR SIGNIFICANCE IN UPPER MANTLE RHEOLOGY

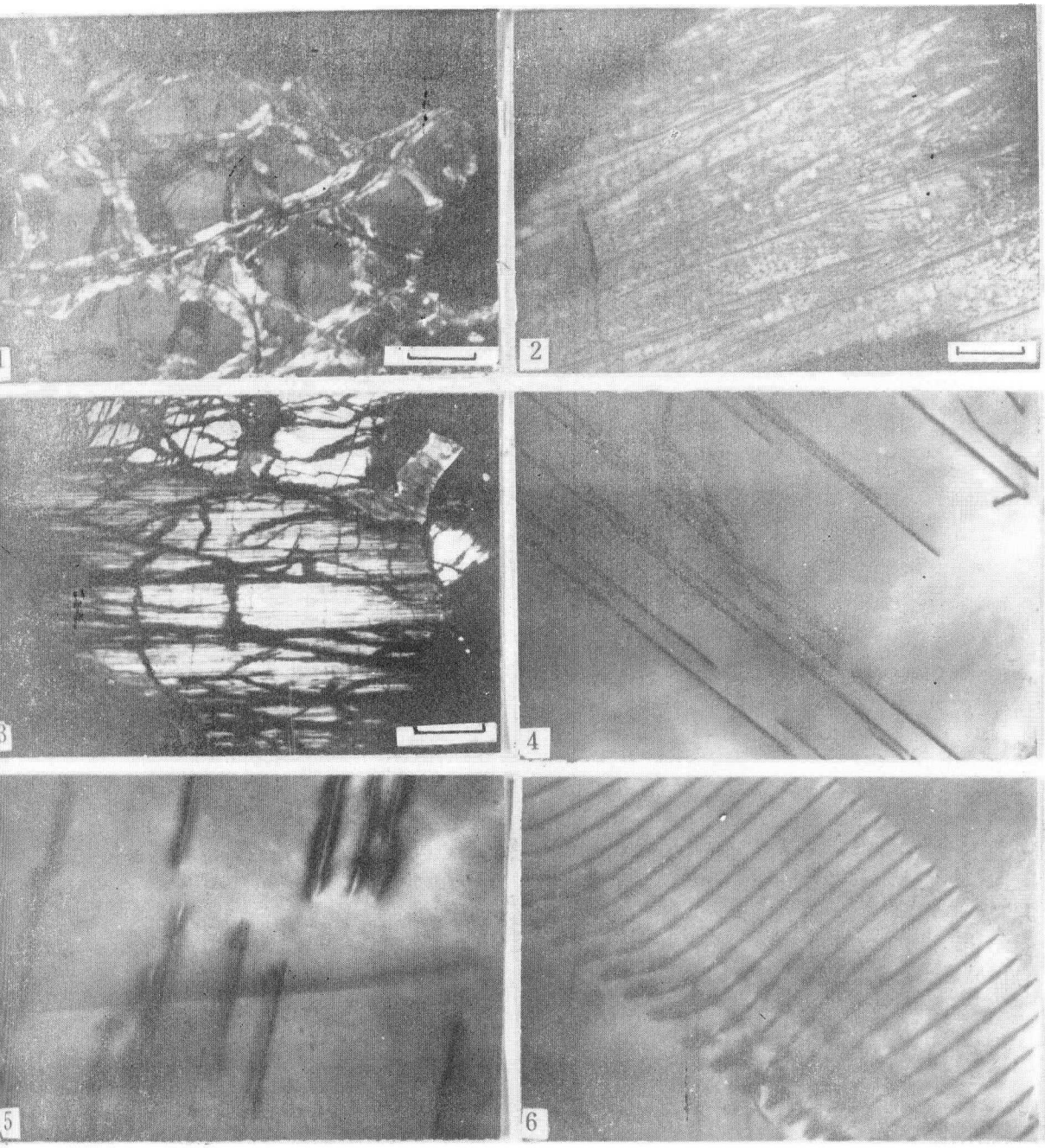
Zhao Zhongyan

(*Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing* 100029)

Abstract

Sartokay ophiolite is a Late Paleozoic tectonic melange in the Western Junggar region, Xinjiang, China. Oxidation decoration and TEM study of olivine from spinel lherzolite of the ophiolite suggest that dislocation density in the olivine is $2.5\times10^{8}/cm^{2}$ and (100) tilt wall spacing is 0.01 mm. Single pyroxene thermobarometer gives 1100°C and 1.6GPa. Paleostress estimated is about 115—154 MPa, strain rate 2×10^{-11} and viscosity for the upper mantle 10^{19} Poisson. In comparison with the published data, the mantle in Late Paleozoic had a lower visscosity and higher strain rate than in Mesozoic and Cenozoic.

Key words Dislocation structure, Pealeaostress, Viscosity of mantle



1. 被蛇纹石化的裂隙切割及网格状的橄榄石具有残斑结构和[illegible]，标尺 0.13mm。
2. 氧化法揭示的橄榄石位错构造。近等间距平行排列的(100)位错壁和在壁间不[illegible]的[illegible]位错([illegible]点)，有[illegible]位[illegible]分[illegible]，标尺 0.03mm
3. 斜方辉石中发育的机械双晶纹，标尺 0.5mm
4. 透明电镜揭示的[illegible]位错，放大 2 万倍(以下同)。
5. 刃位错，个别有弓弯(左下)
6. 由同符号位错等间距平行排列形成的位错壁构造。