

古特提斯多岛洋洋—陆俯冲: 木孜塔格蛇绿岩的矿物学证据

兰朝利^{1,2}, 李继亮², 何顺利¹

1. 中国石油大学石油工程教育部重点实验室, 北京 102249

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

摘要: 前期研究认识到新疆东昆仑木孜塔格蛇绿岩形成在俯冲带环境. 为了进一步研究该俯冲带的类型, 对新疆东昆仑木孜塔格蛇绿岩变质橄榄岩的岩石学和矿物学特征进行了分析. 薄片观察发现变质橄榄岩的橄榄石以变质残余、变质重结晶和斜方辉石熔融结晶3种结构存在, 但探针分析发现它们具有稳定且低 F_o 值(87.8~89.5); 斜方辉石发育变质残余和熔融残余结构, En 较低(88~90), Al_2O_3 含量变化大(2.90%~5.13%); 尖晶石为他形—半自形结构, 其 $Cr^{\#}(=Cr/(Cr+Al))$ 集中分布在0.508~0.723和0.100~0.118两个范围内. 根据这些来自岩石学和矿物学的证据, 并结合该蛇绿岩的构造背景与时代, 认识到该蛇绿岩形成在大洋向具有厚陆壳的大陆弧俯冲的俯冲带环境, 为新疆东昆仑地区古特提斯多岛洋洋—陆俯冲的结果.

关键词: 木孜塔格; 蛇绿岩; 橄榄石; 尖晶石; 洋—陆俯冲; 古特提斯.

中图分类号: P618; P619

文章编号: 1000-2383(2007)03-0322-07

收稿日期: 2006-05-18

Ocean-Continent Subduction within the Paleotethyan Archipelagic Ocean from Muztag Ophiolite

LAN Chao-li^{1,2}, LI Ji-liang², HE Shun-li¹

1. CMOE Key Laboratory of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

Abstract: The former studies show that the Muztag ophiolite outcropped in the East Kunlun area of Xinjiang Uygur Autonomous Region formed in the supra-subduction zone environment. The petrological and mineralogical characteristics of metamorphic peridotites of this ophiolite are analyzed in order to further study the type of the subduction zone. Thin-section observations show that the olivines of metamorphic peridotites exist in three textures: metamorphic relict, metamorphic recrystallization and orthopyroxene melting crystallizations. Microprobe analyses show that they have stable and low F_o range of 87.8–89.5. The orthopyroxenes show metamorphic relict and melting relict textures, with low En of 88–90 and a wide range of Al_2O_3 content of 2.90%–5.13%. The spinels develop xenomorphic-semi-automorphic textures, with $Cr^{\#}(=Cr/(Cr+Al))$ mainly distributing in two ranges of 0.508–0.723 and 0.100–0.118, respectively. Based on the petrological and mineralogical evidences together with the era and tectonic setting of the Muztag ophiolite, it can be concluded that the ophiolite formed in the supra-subduction zone where the oceanic crust subducted down to the continental arc with thick continental crust, and resulted from ocean-to-continent subduction within the Paleotethyan archipelagic ocean in the East Kunlun area of Xinjiang Uygur Autonomous Region.

Key words: Muztag; ophiolite; olivine; spinel; ocean-to-continent subduction; Paleotethyan.

新疆东昆仑木孜塔格蛇绿岩沿东西走向的木孜塔格—鲸鱼湖断裂带断续分布(图1), 主要包括变质橄榄岩和堆晶岩2个单元(Molnar *et al.*, 1987), 并与火山岩和硅岩呈构造混杂接触(潘裕生, 1989; 潘裕生等, 2000; 兰朝利等, 2001). 前期曾对该蛇绿岩的时代、类型以及与蛇绿岩混杂共生的火山岩和硅岩的构造环境等进行过研究(兰朝利等, 2001; 兰朝利等, 2002a; 兰朝利等, 2002b; 兰朝利等, 2002c), 认识到该蛇绿岩形成于俯冲带环境. 然而, 该蛇绿岩究竟形成在何种俯冲带呢? 本文报道了对该蛇绿岩变质橄榄

岩中橄榄石、斜方辉石和尖晶石的探针分析结果, 并深入分析了它们指示的俯冲带构造环境类型.

1 变质橄榄岩岩石学特征

木孜塔格蛇绿岩的变质橄榄岩遭受了强烈的蛇纹石化, 原岩结构大多难以保存, 仅在局部保存了尚未蚀变的原生结构. 通过仔细的野外及室内工作, 仅发现了尚未蚀变的二辉橄榄岩和尖晶石斜方辉石橄榄岩.

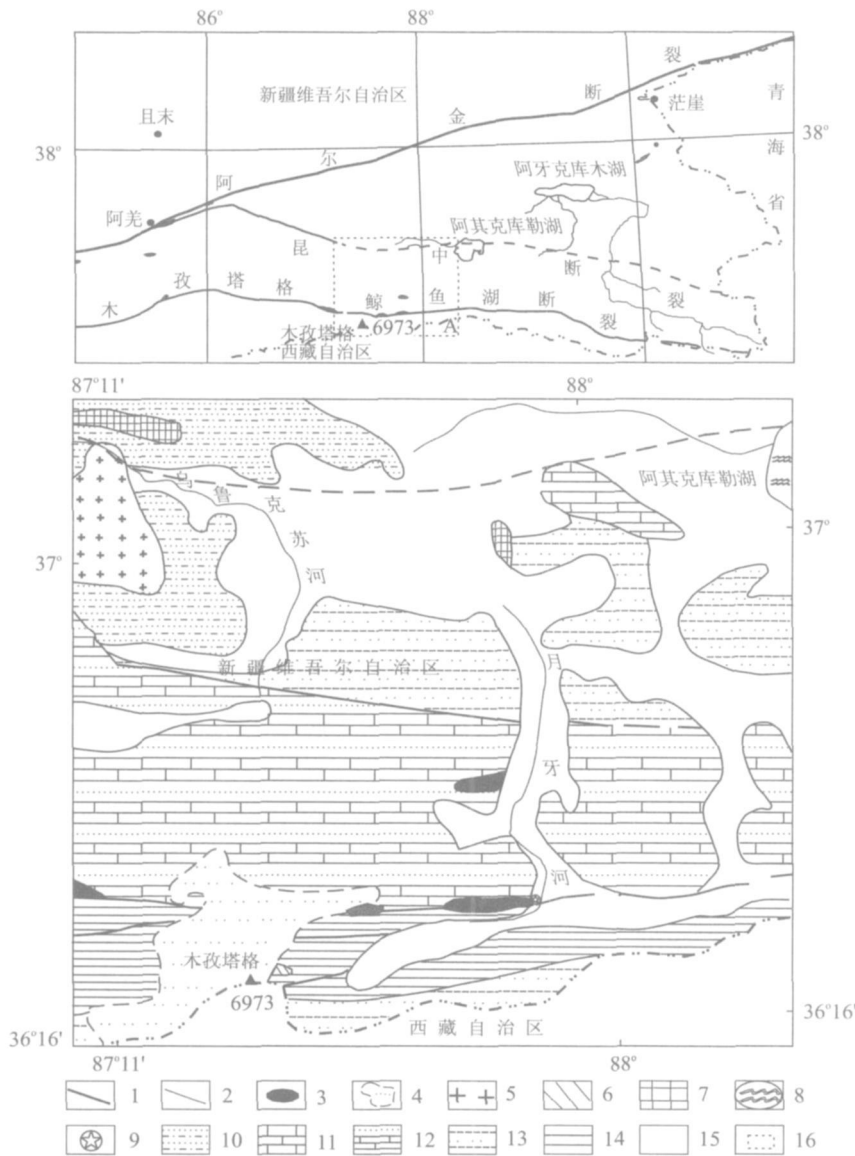


图1 研究区地质简图(据新疆地质矿产局, 1993)

Fig. 1 Geological sketch map of the studied area

- 1. 深断裂; 2. 一般断裂 3. 超基性—基性岩; 4. 冰川及雪被; 5. 钾长花岗岩; 6. 花岗斑岩; 7. 二长花岗岩; 8. 湖泊; 9. 采样点; 10. 志留系; 11. 泥盆系; 12. 石炭系; 13. 二叠系; 14. 三叠系; 15. 新生界; 16. 工作区

二辉橄榄岩呈灰褐色,他形粒状变晶结构,块状构造,由橄榄石(65%~80%)、斜方辉石(20%~35%)和少量的单斜辉石(5%~10%)和微粒级磁铁矿(<5%)组成;橄榄石呈2种粒级出现,粗粒级橄榄石呈板状,见橄榄石特有的裂纹,长轴可达数毫米,粒内变形常见波状消光和肯克带;细粒级橄榄石呈近等轴状,粒径小于1mm,彼此镶嵌组成嵌晶结构,无粒内变形组构,充填在粗粒的、具粒内变形组构的橄榄石和斜方辉石之间,为橄榄石和斜方辉石熔融重结晶的产物,其成因为橄榄岩在变质变形过程中重熔或是交代熔体与橄榄岩反应形成;斜方辉石大多为中—粗粒的残碎斑晶,其外形不规则,大者长轴可达10mm以上,波状消光和肯克带发育;部分斜方辉石中见单斜辉石的出溶叶片;亦可见少量自形的中细粒短柱状斜方辉石;此外,部分斜方辉石发育了熔融残余结构(王希斌等,1987;王永峰等,2005),表现为斜方辉石颗粒边界呈港湾状,细粒的新鲜橄榄石呈舌状或枝杈状伸入斜方辉石港湾中,这是斜方辉石不一致熔融转变为橄榄石的结果,表明二辉橄榄岩经历了部分熔融作用。

尖晶石方辉橄榄岩呈暗绿色,鳞片粒状变晶结构,块状构造,蛇纹石化较强烈,主要为橄榄石(45%~65%)、斜方辉石(15%~20%)和尖晶石(5%~15%),以及少量斜方辉石出溶的小颗粒单斜辉石;橄榄石和斜方辉石与上述二辉橄榄岩中橄榄石和斜方辉石特征相似;尖晶石以2种形式产出,一种呈红褐色或黄褐色,他形一半自形状,单颗粒分布或组合成集合体,颗粒内裂纹发育,其内充填了蛇纹石,尖晶石的边缘被薄层黑褐色铁—铬铁矿包裹;另一种呈黑褐色或褐红色,尖晶石呈蠕虫状,与已蚀变的辉石共生,构成了地幔橄榄岩特有的后成合晶结构,反映其经历了部分熔融作用。

2 变质橄榄岩矿物学特征

变质橄榄岩中出现的主要矿物包括橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和尖晶石,其中,橄榄石、斜方辉石和尖晶石的矿物学特征如下:

2.1 橄榄石

对木孜塔格蛇绿岩而言,橄榄石仅出现在变质橄榄岩中,其探针分析结果见表1。镜下研究表明,该变质橄榄岩中橄榄石以3种形式出现,即具变质组构的残晶、重结晶作用形成的小颗粒、斜方辉石不

一致熔融形成的小颗粒。然而,尽管橄榄石在变质橄榄岩中出现的形式较为多样,但探针分析表明其成分变化不大,其MgO(46.83%~49.27%)相对较低,Fo为87.8~89.5,平均88.8,均属贵橄榄石,这样的Fo范畴是前大洋裂谷,如Zabargad岛和红海中的橄榄石所常具有的(Bonatti *et al.*, 1986; Bonatti and Michael, 1989),明显较典型的蛇绿岩(如我国的丁青和双沟)以及弧前橄榄岩中橄榄石的Fo值低(Dick and Fisher, 1984; Parkinson and Pearce, 1998; Ishii *et al.*, 1992; 张旗等, 1992),也明显低于我国大多数含铬铁矿蛇绿岩的变质橄榄岩中橄榄石的Fo值(王希斌等, 1987; 鲍佩声等, 1999)。在南非的Vredefort构造中心,被解释为出露的上地幔物质的橄榄石甚至具有更低的Fo值(87.1)(Hart *et al.*, 1990)。

2.2 斜方辉石

木孜塔格蛇绿岩变质橄榄岩的二辉橄榄岩中斜方辉石的探针分析结果见表2。从表2中可见,斜方辉石的En为88~90, Fs为10~11,属顽火辉石。斜方辉石的Al₂O₃含量为2.90%~5.13%,但多介于3%~5%之间,具有大洋(如大西洋)橄榄岩中斜方辉石的成分(Dick and Fisher, 1984; Michael and Bonatti, 1985; Shibata and Thompson, 1986; Bonatti and Michael, 1989),或是具有从前大洋裂谷到洋中脊橄榄岩斜方辉石的成分(Michael and Bonatti, 1985; Bonatti *et al.*, 1986; Bonatti and Michael, 1989),指示了橄榄岩的低程度亏损性质。

2.3 尖晶石

尖晶石仅出现在木孜塔格蛇绿岩的变质橄榄岩单元中,本文仅挑选其中具他形一半自形结构的、抗后生改造的尖晶石进行探针分析,分析结果见表3。探针分析表明,木孜塔格蛇绿岩尖晶石的Cr[#](=Cr/(Cr+Al))为0.100~0.723,变化范围非常大,且尖晶石明显可分为2类,第一类尖晶石的Cr[#]为0.508~0.723, Mg[#](=Mg/(Mg+Fe²⁺))为0.538~0.645,第二类尖晶石的Cr[#]为0.100~0.118, Mg[#]为0.704~0.735(图2)。其中,第一类尖晶石跨越了从<0.6到>0.6的范围,指示宿主岩石可能经历了从洋中脊到岛弧环境的变化过程(Zhou and Robinson, 1997; Arai and Matsukage, 1998; Proenza *et al.*, 1999),而第二类尖晶石具有很低的Cr[#],可能指示了前大洋裂谷环境(Bonatti and Michael, 1989)。

表 1 橄榄石成分分析(%)

Table 1 Analysis of olivine compositions

岩性	二辉橄榄岩					尖晶石方辉橄榄岩			
	OMC		MR		MRC	OMC		MRC	
橄榄石结构	m7-1-2	m7-2-1	m7-2-2	m7-3	m7-4-2	m7-5-2	m17-6	m17-10	m17-11
SiO ₂	39.74	40.06	39.87	39.74	40.03	40.02	40.32	40.36	40.03
TiO ₂	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.14
FeO	10.55	10.76	11.72	11.19	11.56	10.86	10.14	10.29	10.11
MnO	0.24	0.11	0.27	0.25	0.25	0.26	0.07	0.05	0.02
MgO	48.81	49.27	47.16	48.12	46.83	48.93	48.36	48.78	48.13
CaO	0.00	0.11	0.00	0.05	0.01	0.04	0.04	0.00	0.01
CoO	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.21	0.15
NiO	0.66	0.79	0.47	0.55	0.36	0.92	0.45	0.35	0.45
K ₂ O	0.00	0.06	0.02	0.00	0.02	0.03	0.04	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.16	0.24	0.19	0.23	0.28	0.14	0.32	0.07	0.29
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V ₂ O ₅	0.12	0.03	0.09	0.12	0.11	0.09	0.01	0.00	0.00
合计	100.41	101.42	100.02	100.26	99.46	101.38	100.96	100.11	99.36
Fo	89.2	89.1	87.8	88.5	87.8	88.9	89.5	89.4	89.5

注: M.R. 变质残余结构; MRC. 变质重结晶结构; OMC. (斜方辉石)熔融结晶结构; 本文所分析橄榄石、斜方辉石和尖晶石均在中国地质大学(北京)电子探针室完成。

表 2 斜方辉石成分分析(%)

Table 2 Analysis of orthopyroxene compositions

岩性	尖晶石方辉橄榄岩			二辉橄榄岩		
	m17-11	m17-10	m17-6	m7-5-1	m7-6-3	m7-6-1
SiO ₂	53.92	54.43	55.09	53.48	54.50	53.61
TiO ₂	0.06	0.00	0.09	0.23	0.00	0.08
Al ₂ O ₃	4.44	4.11	3.62	5.13	2.90	4.33
Cr ₂ O ₃	0.18	0.28	0.26	0.50	0.33	0.27
FeO	6.60	7.28	7.28	6.46	6.67	6.80
MnO	0.17	0.00	0.00	0.27	0.00	0.28
MgO	31.85	31.97	32.91	32.03	33.5	32.6
CaO	0.46	0.21	0.32	0.53	0.23	0.24
CoO	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
NiO	0.06	0.17	0.06	0.23	0.20	0.00
K ₂ O	0.03	0.06	0.02	0.01	0.00	0.02
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43
P ₂ O ₅	0.40	0.46	0.23	0.29	0.41	0.32
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V ₂ O ₅	0.29	0.02	0.00	0.00	0.10	0.01
合计	98.57	98.99	99.88	99.16	98.84	99.01
Wo	0.9	0.4	0.6	1.1	0.4	0.5
En	88.8	88.3	88.4	89.9	89.6	89.1
Fs	10.3	11.3	11.0	10.1	10.0	10.4

注: 斜方辉石为变质残余结构。

3 讨论

总结起来, 对木孜塔格蛇绿岩变质橄榄岩, 可获得如下矿物学证据: (1) 橄榄石的 Fo 低, 为 87.8 ~ 89.5, 具有前大洋裂谷环境橄榄岩的特征; (2) 斜方

辉石的 En 较低, 为 88 ~ 90, 其 Al₂O₃ 变化大, 为 2.90% ~ 5.13%, 具有前大洋裂谷到洋中脊环境橄榄岩的特征; (3) 尖晶石可分为 2 类, 第一类的 Cr[#] 为 0.508 ~ 0.723, 可能指示了从洋中脊到岛弧的构造环境演化, 第二类的 Cr[#] 为 0.100 ~ 0.118, 可能形成在前大洋裂谷。显然, 根据单一矿物成分无法对木孜塔格蛇绿岩变质橄榄岩的构造环境做出合理解释, 必须将橄榄岩的 3 种矿物成分综合起来进行研究方可得出可信结论。

Arai (1994) 曾根据橄榄岩中橄榄石与尖晶石的成分关系, 即橄榄石—尖晶石地幔序列(OSMA)表征了橄榄岩的构造环境, 在该序列中, 不同构造环境的橄榄岩占据了不同的位置。其中, 陆下地幔(如日本大陆弧下地幔)橄榄岩的典型特征是 Fo 为 88.7 ~ 90.4, Cr[#] 为 0.09 ~ 0.15, 而前大洋裂谷, 如 St. Paul's Rocks、南大西洋、Zabargad 岛以及红海(Bonatti *et al.*, 1986), 具有与陆下橄榄岩相似的成分关系, 因此它们不是代表了大洋地幔而是大陆地幔的残片。木孜塔格蛇绿岩变质橄榄岩的 Fo 为 89.1 ~ 89.5, 显然, 其第二类尖晶石代表的橄榄岩可能形成在前大洋裂谷环境(Bonatti and Michael, 1989)或陆下地幔环境(Arai, 1994)。相比之下, 对第一类尖晶石所代表的橄榄岩, 由于该区目前尚未发现与其相佐证的橄榄石和辉石, 因此其环境

表 3 尖晶石成分分析(%)

Table 3 Analysis of spinel compositions

岩性 尖晶石结构	尖晶石方辉橄榄岩											
	他形—半自形											
编号	m24-1	m24-2	m24-3	m24-4	m24-5	m24-6	m24-7	m24-8	m24-9	m24-10	m24-11	m24-12
SiO ₂	0.27	0.31	0.23	0.24	0.14	0.43	0.22	0.22	0.32	0.23	0.24	0.37
TiO ₂	0.07	0.17	0.18	0.26	0.34	0.35	0.00	0.07	0.22	0.02	0.00	0.38
Al ₂ O ₃	13.83	17.76	18.32	16.61	18.38	16.44	27.16	14.35	18.17	26.40	26.60	21.93
Cr ₂ O ₃	53.90	49.67	48.49	51.13	50.08	50.66	41.87	54.32	48.94	42.06	42.58	46.69
FeO	18.57	18.56	18.53	18.95	18.60	18.84	15.98	19.53	18.90	15.98	15.74	18.18
MnO	0.17	0.04	0.01	0.00	0.25	0.32	0.00	0.04	0.35	0.10	0.00	0.02
MgO	11.72	11.38	11.51	11.57	11.76	10.98	14.32	11.25	11.46	14.02	13.91	12.49
CaO	0.00	0.03	0.02	0.01	0.07	0.01	0.05	0.07	0.01	0.02	0.09	0.06
CoO	0.06	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
NiO	0.31	0.19	0.10	0.79	0.07	0.52	0.02	0.15	0.00	0.06	0.36	0.00
K ₂ O	0.00	0.03	0.03	0.00	0.16	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
Na ₂ O	0.77	1.00	0.74	0.00	0.00	0.21	0.15	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.01	0.00	0.05	0.11	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.09
ZnO	0.17	0.62	0.13	0.00	0.14	0.32	0.11	0.00	0.13	0.35	0.00	0.00
V ₂ O ₅	0.16	0.08	0.14	0.18	0.00	0.05	0.10	0.00	0.19	0.09	0.11	0.07
合计	100.01	99.86	98.57	99.85	99.99	99.20	99.99	100.00	99.02	99.38	99.77	100.34
Cr [#]	0.723	0.652	0.640	0.674	0.646	0.674	0.508	0.717	0.644	0.517	0.518	0.588
Mg [#]	0.614	0.609	0.591	0.544	0.559	0.539	0.645	0.538	0.558	0.630	0.630	0.560

注: Cr[#]=Cr/(Cr+Al); Mg[#]=Mg/(Mg+Fe²⁺).

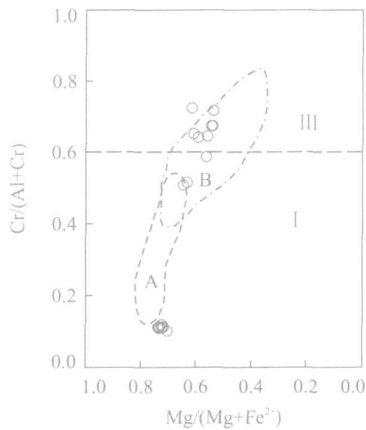


图 2 尖晶石的 Cr/(Al+Cr)-Mg/(Mg+Fe²⁺) 构造环境判别(据张旗等, 1992; Dick and Fisher, 1984)

Fig. 2 Discriminating diagram of Cr/(Al+Cr)-Mg/(Mg+Fe²⁺) of spinel for tectonic setting

A. 深海橄榄岩; B. Mariana 海沟镁铁—超镁铁岩; I. 阿尔卑斯 I 型橄榄岩; III 阿尔卑斯 III 型橄榄岩

指示意义有待于进一步研究。因此,对木孜塔格蛇绿岩变质橄榄岩来说,它更可能形成在大陆弧下地幔环境。据前所述,变质橄榄岩中具残余组构的橄榄石和斜方辉石熔融形成的橄榄石具有相同的 Fo 值,这也表明橄榄岩中的斜方辉石熔融更可能形成在大洋向大陆下俯冲的环境,因为大陆地幔的富集性质

会使得熔融新生的橄榄石与原始橄榄石的成分差别不大;而如果俯冲发生在洋内,则新生橄榄石的 Fo 比原始的残斑状橄榄石低,因为这种俯冲带地幔是经历了洋中脊熔融后的亏损地幔,如菲律宾的 Luzon 弧(Schiano *et al.*, 1995)。

新疆东昆仑地区在石炭纪早期曾沿多条断裂带开裂,形成了没有统一洋壳的大洋,洋盆中保留了许多陆壳地块或岛链,属古特提斯多岛洋的一部分。木孜塔格蛇绿岩变质橄榄岩的橄榄石、斜方辉石和尖晶石成分表明,与苏鲁碰撞带的陆—陆碰撞俯冲不同(许志琴等, 2006),木孜塔格蛇绿岩更可能是形成在古特提斯多岛洋中,如日本这样的具有厚陆壳的陆块弧下地幔环境,在这种俯冲带环境,地幔楔主体是富集的但又是均一的,一部分橄榄岩可能更亏损,在后来的部分熔融过程中,亏损的橄榄岩经历了再次熔融,形成了高 Cr[#]的尖晶石,为洋—陆俯冲的结果。最终,在蛇绿岩构造侵位过程中,经历了再次熔融的橄榄岩和未经熔融的或熔融程度不高的橄榄岩比邻混杂出露,蛇绿岩的原始层序被完全破坏。

References

- Arai, S., 1994. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation. *Chemical Geology*, 113: 191-204.

- Arai, S., Matsukage, K., 1998. Petrology of a chromitite micro-podiform Hess deep, equatorial Pacific: A comparison between abyssal and alpine-type podiform chromitites. *Lithos*, 43: 1—14.
- Bao, P. S., Wang, X. B., Peng, G. Y., et al., 1999. Chromite ore-deposits in China. Science Press, Beijing, 350 (in Chinese).
- Bonatti, E., Ottonello, G., Hamlyn, P. R., 1986. Peridotites from the island of Zabargad (St. John), Red Sea; Petrology and geochemistry. *Journal of Geophysical Research*, 91: 599—631.
- Bonatti, E., Michael, P. J., 1989. Mantle peridotites from continental rifts to ocean basins to subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 91: 297—311.
- Dick, H. J. B., Fisher, R. L., 1984. Mineralogic studies of the residues of mantle melting: Abyssal and alpine-type peridotites. In: Kornporobst, J., ed., *Kimberlites, II. The mantle and crust-mantle relationships*. Elsevier, Amsterdam, 295—308.
- Hart, R. J., Andreoli, M. A. G., Smith, C. B., et al., 1990. Ultramafic rocks in the centre of the Vredefort structure (South Africa): Possible exposure of the upper mantle? *Chemical Geology*, 83: 233—248.
- Ishii, T., Robinson, P. T., Maekawa, H., et al., 1992. Petrological studies of peridotites from diapiric serpentinite seamounts in the Izu Ogasawara-Mariana forearc, Leg 125. In: Freyer, P., Pearce, J. A., Stokking, L. B., et al., eds., *Proceedings of the ocean drilling program scientific results 125*. College Station, TX: Ocean Drilling Program, Plenum Press, New York, 445—486.
- Lan, C. L., 2001. Petrological and geological characteristics of ophiolites at the east Kunlun area of Xinjiang and their implications for tectonics [Dissertation]. Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences, Beijing, 116 (in Chinese).
- Lan, C. L., Li, J. L., He, S. L., et al., 2002a. Mineralogical evidence for subduction zone ophiolite, Muztag, east Kunlun of Xinjiang. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 22(3): 1—4 (in Chinese with English abstract).
- Lan, C. L., Li, J. L., He, S. L., et al., 2002b. Nb-enriched basalts found in Muztag ophiolitic mélangé, eastern Kunlun mountain, Xinjiang. *Geology and Prospecting*, 38(3): 55—59 (in Chinese with English abstract).
- Lan, C. L., Li, J. L., He, S. L., et al., 2002c. Geochemistry of cherts within Muztag ophiolitic melange and their tectonic setting discussions. East Kunlun Mountain, Xinjiang. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(Suppl.): 302—306 (in Chinese with English abstract).
- Lan, C. L., Wu, J., Li, J. L., et al., 2001. A preliminary age determination of the Muztag ophiolite and its relationship with adjacent Paleotethys. *Progress in Nature Science*, 11(3): 256—260 (in Chinese with English Abstract).
- Michael, P. J., Bonatti, E., 1985. Peridotite composition from the North Atlantic: Regional and tectonic variations and implications for partial melting. *Earth and Planetary Science Letters*, 73: 91—104.
- Molnar, P., Burchfiel, B. C., Zhao, Z., et al., 1987. Geological evolution of northern Tibet: Results of an expedition to Ulugh Muztagh. *Science*, 235: 299—305.
- Pan, Y. S., 1989. A preliminary study on the regionalization of the structures in the Kunlun mountains region. *Journal of Natural Resources*, 4(3): 196—203 (in Chinese with English abstract).
- Pan, Y. S., Wen, S. X., Sun, D. L., et al., 2000. The geological evolution of Karakunlun-Kunlun mountain. Science Press, Beijing, 525 (in Chinese).
- Parkinson, I. J., Pearce, J. A., 1998. Peridotites from the Izu-Bonin-Mariana forearc (ODP Leg 125): Evidence for mantle melting and melt-mantle interaction in a supra-subduction zone setting. *Journal of Petrology*, 39(9): 1577—1618.
- Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J. C., et al., 1999. Al and Cr-rich chromites from the Mayari-Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotite in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94: 547—566.
- Schiano, P., Clocchiatti, R., Schimizu, N., et al., 1995. Hydrous, silica-rich melts in the sub-arc mantle and their relationship with erupted arc lavas. *Nature* 377: 595—600.
- Shibata, T., Thompson, G., 1986. Peridotites from the Mid Atlantic Ridge at 43°N and their petrogenetic relation to abyssal tholeiites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 86: 54—76.
- Wang, X. B., Bao, P. S., Deng, W. M., et al., 1987. The ophiolites in the Xizang Autonomous region. Geological Publishing House, Beijing, 1—67 (in Chinese).
- Wang, Y. F., Zheng, Y. Y., Jin, Z. M., 2005. Microstructures and rheology of harzburgites from Dongqiao, northern Tibet. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(1): 52—60 (in Chinese with English ab-

stract).

Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Geological Publishing House, Beijing, 163—165 (in Chinese).

Xu, Z. Q., Qi, X. X., Yang, J. S., et al., 2006. Deep subduction erosion model for continent-continent collision of the Sulu HP-UHP metamorphic terrain. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(4): 427—436 (in Chinese with English abstract).

Zhang, Q., Zhang, K. W., Li, D. Z., 1992. Mafic-ultramafic rocks in the Hengduan Mountain regions. Science Press, Beijing, 216 (in Chinese).

Zhou, M. F., Robinson, P. T., 1997. Origin and tectonic environment of podiform chromite deposits. *Economic Geology*, 92: 259—262.

附中文参考文献

鲍佩声, 王希斌, 彭根永, 等, 1999. 中国铬铁矿床. 北京: 科学出版社, 350.

兰朝利, 2001. 新疆东昆仑蛇绿岩岩石学、地球化学特征及其大地构造意义. 中国科学院地质与地球物理所[博士学位论文], 116.

兰朝利, 吴峻, 李继亮, 等, 2001. 木孜塔格蛇绿岩时代的初步确定及其与邻区古特提斯(Paleotethys)关系探讨. 自然科学进展, 11(3): 256—260.

兰朝利, 李继亮, 何顺利, 等, 2002a. 新疆东昆仑木孜塔格俯冲带蛇绿岩——地幔橄榄岩尖晶石证据. 矿物岩石, 22(3): 1—4.

兰朝利, 李继亮, 何顺利, 等, 2002b. 新疆东昆仑木孜塔格蛇绿混杂岩中发现富 Nb 玄武岩. 地质与勘探, 38(3): 55—59.

兰朝利, 李继亮, 何顺利, 等, 2002c. 新疆东昆仑木孜塔格蛇绿混杂岩中硅岩的地球化学特征及其构造环境探讨. 地球科学——中国地质大学学报, 27(增刊): 302—306.

潘裕生, 1989. 昆仑山区构造区划初探. 自然资源学报, 4(3): 193—206.

潘裕生, 文世宣, 孙东立, 等, 2000. 喀喇昆仑山—昆仑山地区地质演化. 北京: 科学出版社, 525.

王希斌, 鲍佩声, 邓万明, 等, 1987. 西藏蛇绿岩. 北京: 地质出版社, 1—67.

王永峰, 郑有业, 金振民, 2005. 西藏东巧方辉橄榄岩的显微构造特征及其流变学意义. 地球科学——中国地质大学学报, 30(1): 52—60.

新疆地质矿产局, 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 163—165.

许志琴, 戚学祥, 杨经绥, 等, 2006. 苏鲁高压—超高压变质地体的陆—陆碰撞深俯冲剥蚀模式. 地球科学——中国地质大学学报, 31(4): 427—436.

张旗, 张魁武, 李达周, 1992. 横断山区镁铁—超镁铁岩. 北京: 科学出版社, 216.