

# 新疆克拉玛依地区百口泉发现尖晶石橄榄岩

陈 博, 朱永峰, 安 芳, 邱 添, 陈艺超

CHEN Bo, ZHU Yong-feng, AN Fang, QIU Tian, CHEN Yi-chao

北京大学地球与空间科学学院/造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871

Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education/

School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

**摘要:**新疆克拉玛依地区出露的早古生代蛇绿混杂岩带规模巨大, 岩石单元出露齐全。白碱滩地区的地幔橄榄岩相对比较新鲜, 单斜辉石、斜方辉石、尖晶石和橄榄石保存完好。研究表明, 白碱滩蛇绿岩就位前, 地幔岩发生了大于 50km 的快速隆升, 且没有发生部分熔融。百口泉地区发现的地幔岩普遍遭受了改造, 辉石多发生了强烈蚀变(透闪石化), 但尖晶石和橄榄石保存较好。百口泉地区出露的地幔岩和白碱滩地幔岩的矿物组成基本一致, 表明它们属于同一蛇绿混杂岩带。百口泉蛇绿岩剖面的揭露, 将该蛇绿混杂岩带的范围向 NE 方向延伸了 35km。

**关键词:**蛇绿混杂岩; 尖晶石橄榄岩; 西准噶尔; 新疆

中图分类号: P588.12<sup>5</sup>

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)07-1017-10

Chen B, Zhu Y F, An F, Qiu T, Chen Y C. The discovery of spinel peridotite in Baikouquan area, Karamay, Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(7): 1017-1026

**Abstract:** The ophiolitic mélange extensively developed in Karamay area consists of ultramafic lenses (mainly peridotite, pyroxenite), pillow-lava basalts and siliceous rocks. The peridotite in Baijiantan area consists of olivine, clinopyroxene, orthopyroxene and spinel, which are generally fresh. Previous studies suggested a fast uplifting more than 50km without partial melting. This paper reports for the first time the discovery of mantle rocks in Baikouquan area, 35km away from Baijiantan. Pyroxene in Baikouquan peridotite has been widely altered, but olivine and spinel remain relatively fresh. The mantle rock in Baikouquan has the same mineral assemblage as the mantle rocks in Baijiantan area.

**Key words:** ophiolitic mélange; spinel peridotite; western Junggar; Xinjiang

2006 年在新疆克拉玛依发现了白碱滩蛇绿混杂岩<sup>[1]</sup>。白碱滩地区蛇绿混杂岩中发育一套主要由深海硅泥质和火山凝灰质复理石沉积构成的深海建造, 含晚奥陶世放射虫<sup>[2]</sup>。白碱滩蛇绿混杂岩被下石炭统火山-沉积岩不整合覆盖, 底砾岩中的砾石成分均为蛇绿混杂岩<sup>[3]</sup>。徐新等<sup>[1]</sup>认为, 白碱滩蛇绿混杂岩向 SW 方向延伸至克拉玛依以西的红浅

区, 向 NE 方向延伸到百口泉地区, 但在克拉玛依红浅区和百口泉地区均没有发现地幔岩块。笔者最近在百口泉地区发现了地幔橄榄岩, 从而在百口泉地区建立起完整的蛇绿岩剖面, 并确认该蛇绿岩带可以从白碱滩延伸到百口泉地区。本文报道首次在百口泉地区发现的地幔岩的地质和岩石学特征, 并对比白碱滩尖晶石二辉橄榄岩的岩石

收稿日期: 2010-12-22; 修订日期: 2011-04-11

资助项目: 国家自然科学基金项目《西天山碰撞后基性侵入岩体岩石和地球化学研究》(批准号: 41072041) 和《变质作用与造山带演化》(批准号: 40821002)

作者简介: 陈博(1985-), 男, 在读博士, 地球化学专业。E-mail: chenbo-geo@pku.edu.cn

通讯作者: 朱永峰(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 地球化学专业。E-mail: yfzhu@pku.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

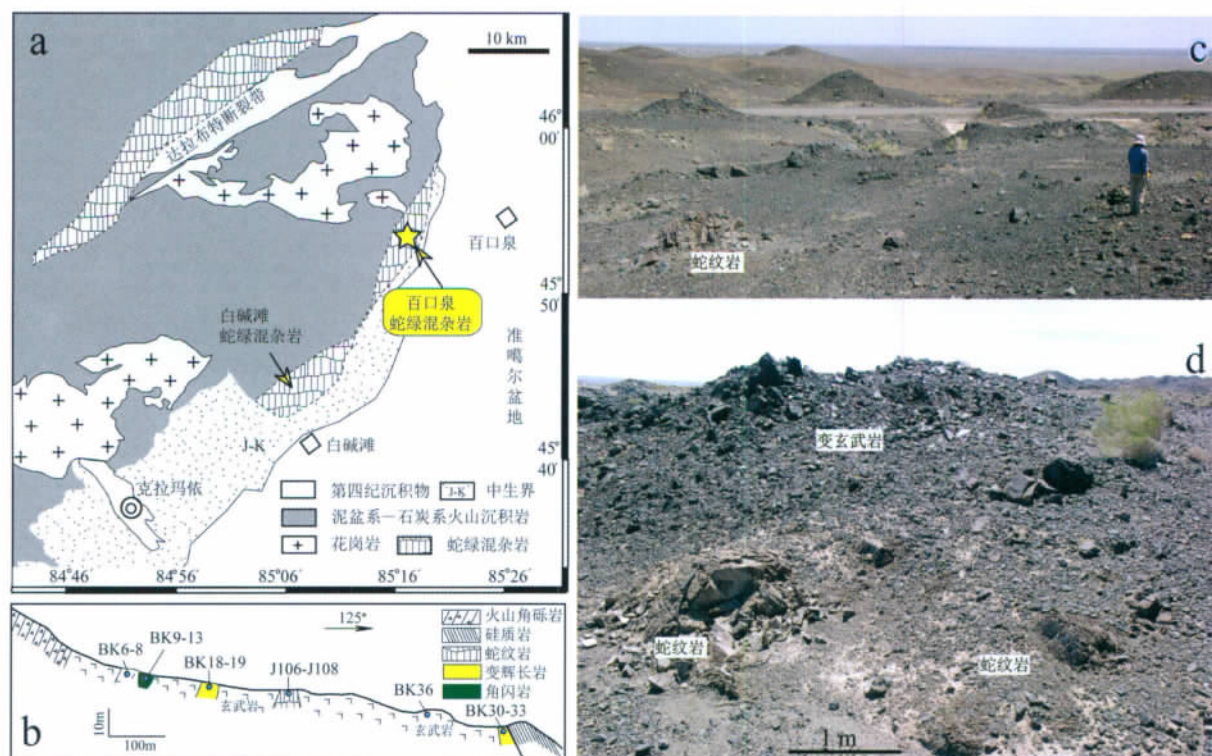


图 1 研究区地质简图和百口泉蛇绿岩露头

Fig. 1 Simplified geological map of the study area and photos of ophiolite outcrop in Baikouquan

a—西准噶尔白碱滩—百口泉地区地质简图；b—百口泉蛇绿混杂岩实测剖面；c、d—百口泉蛇绿混杂岩露头（位于水果 SE 侧山坡洼地），显示蛇纹岩块体与变玄武岩之间的关系，变玄武岩和变辉长岩团块散布在蛇纹岩中，蛇纹岩强烈破碎且明显遭受风化

图版 I Plate I





学特征,讨论白碱滩-百口泉蛇纹岩中地幔岩的地质意义。

1 百口泉蛇纹岩的野外地质特征

百口泉蛇绿混杂岩露头总体走向 NE, 地幔岩出露的长度超过 5km, 向 SW 方向与白碱滩蛇绿岩露头连接(图 1-a)。与白碱滩的蛇绿岩剖面类似, 百口泉地区蛇绿混杂岩中的岩石类型齐全, 超镁铁岩石包括蛇纹石岩和蛇纹石化尖晶石二辉橄榄岩。与蛇纹岩伴生的玄武岩、硅质岩、硅质泥岩、火山凝灰岩等均呈构造混杂状产出(图 1-b)。蛇纹岩均遭受了强烈的风化, 并多被坡积物覆盖, 露头不多见, 也不易识别。然而, 在一些冲沟两侧, 可以观察到出露

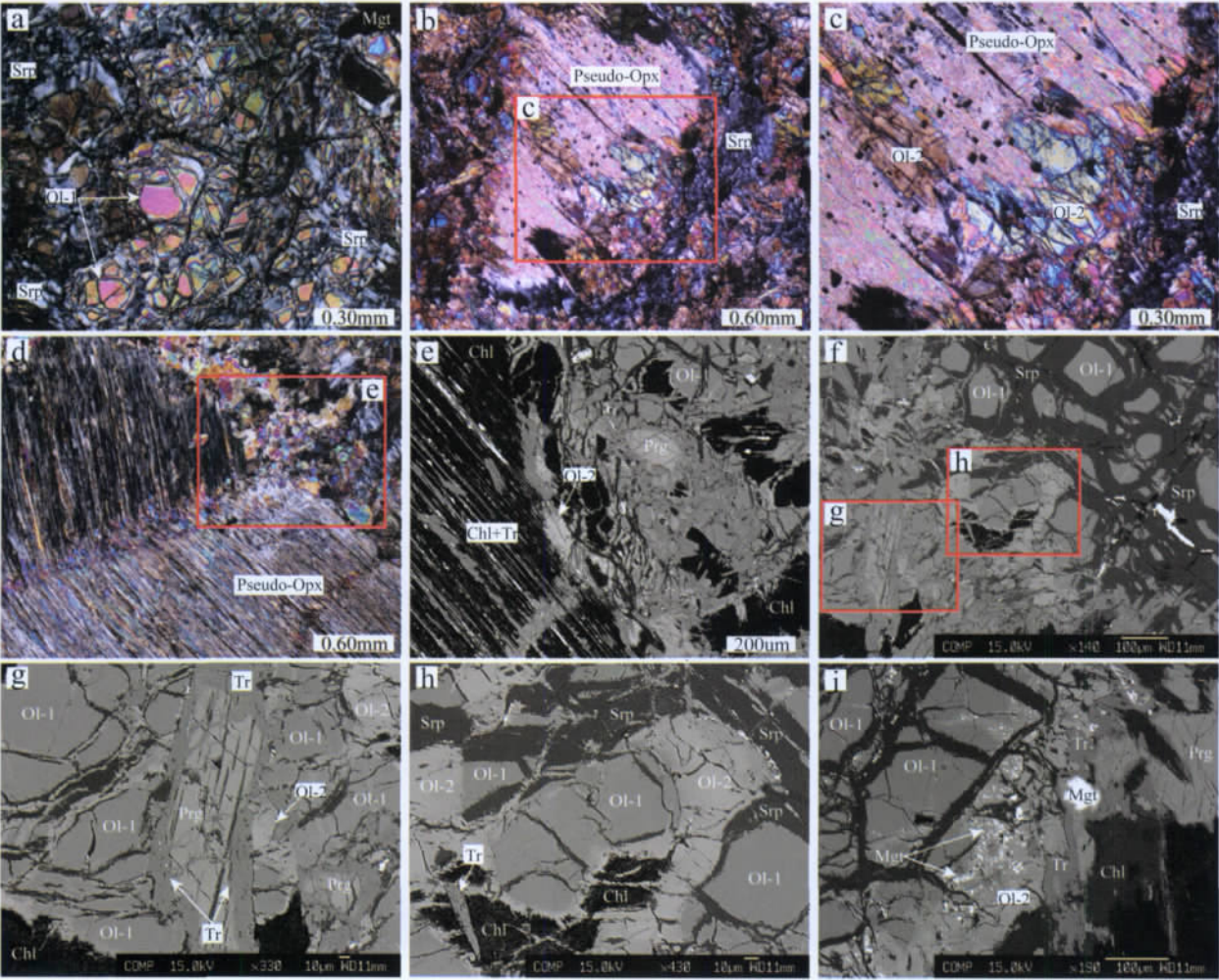
的蛇纹岩露头(图 1-c、d)。这些蛇纹岩一般与变玄武岩和变辉长岩块体相伴产出。

在百口泉水渠 NW 侧的山顶, 笔者发现了一个较好的蛇绿岩露头(图版 )。蛇纹石化橄榄岩与上覆火山岩为构造接触关系(图版 -a、b), 蛇纹石化橄榄岩强烈破碎, 片理很发育, 局部保留着橄榄岩团块(图版 -c)。

2 尖晶石橄榄岩的岩石学特征

白碱滩二辉橄榄岩主要由橄榄石、单斜辉石、斜方辉石和尖晶石组成, 橄榄石和斜方辉石均发生程度不等的蛇纹石化, 橄榄石在一些样品中作为残余矿物出现在蛇纹石中。斜方辉石发生了明显的蛇纹

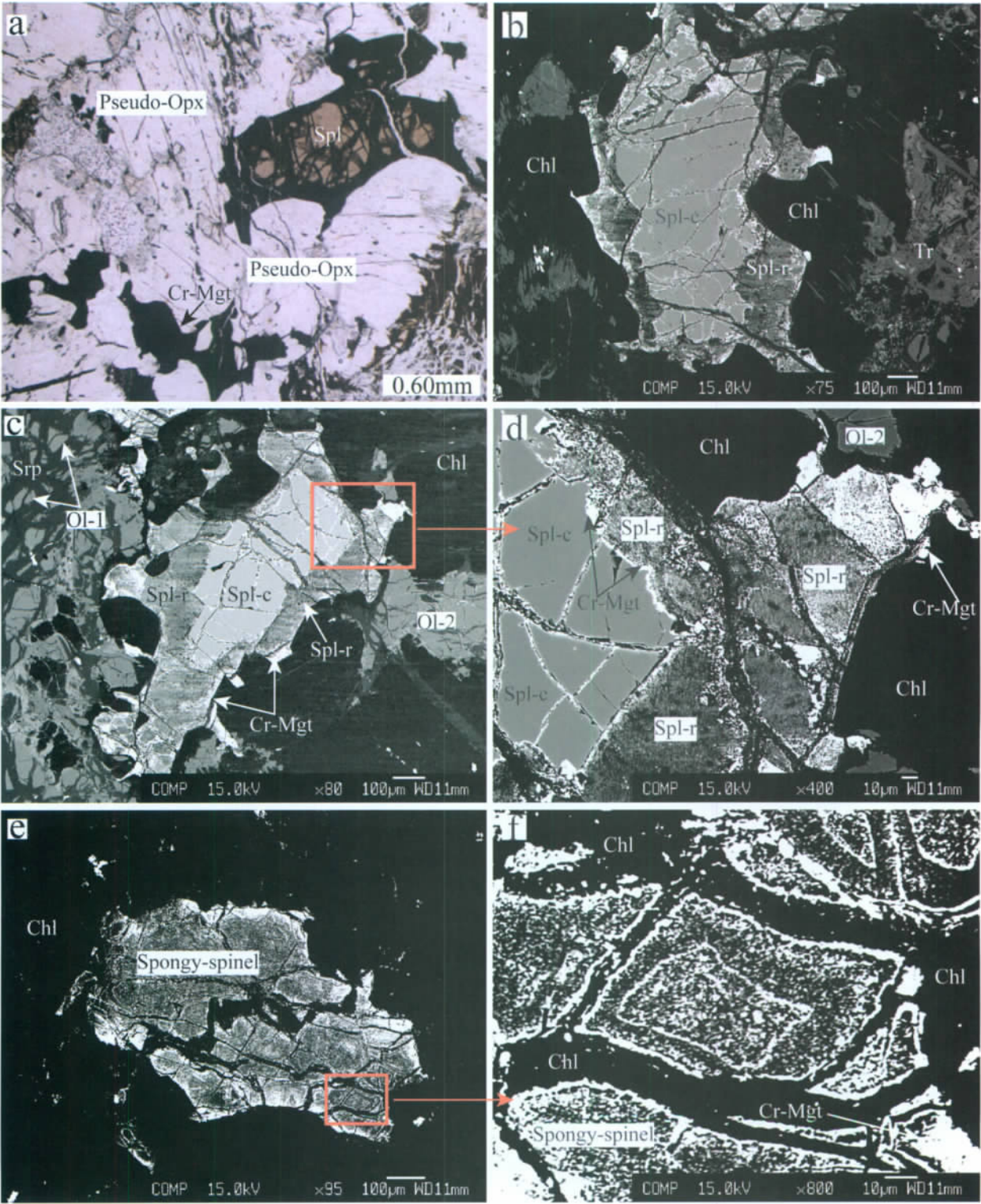
图版 II Plate II



a—局部蛇纹石化的孤岛状原生橄榄石;b、c—次生橄榄石交代斜方辉石(假像);d、e—辉石边部被次生橄榄石和非闪石交代;  
f—h—橄榄石的环带结构和非闪石;i—次生橄榄石中包裹磁铁矿;Chl—绿泥石,Mgt—磁铁矿,Ol-1—原生橄榄石,Ol-2—次生  
橄榄石,Prg—非闪石,Pseudo-Opx—斜方辉石假像,Srp—蛇纹石,Tr—透闪石;a-d 为正交偏光,e-i 为 BSE 电子图像



图版 III Plate III



a—尖晶石核边结构(单偏光);b~d—背散射图像下显示尖晶石的核边结构和边部海绵状结构;核部为均一的尖晶石,边部为铬磁铁矿和海绵状的多矿物集合体;e、f—完全被交代呈海绵状的尖晶石;Chl—绿泥石, Cr-Mgt—铬磁铁矿,Ol-1—原生橄榄石,Ol-2—次生橄榄石,Pseudo-Opx—斜方辉石假像, Srp—蛇纹石,Spl-c—尖晶石核部,Spl-r—尖晶石边部,Tr—透闪石

表 1 百口泉尖晶石橄榄岩中橄榄石的成分分析结果(wt%,以 4 个 O 原子为基准计算)  
Table 1 Representative compositions of olivines in Baikouquan spinel peridotite

	Ol-1	Ol-1	Ol-1	Ol-1	Ol-1	Ol-1	Ol-1	Ol-2	Ol-2	Ol-2	Ol-2	Ol-2	Ol-2	Ol-2
SiO <sub>2</sub>	40.46	40.85	40.80	41.17	40.03	40.78	40.81	40.04	39.90	39.66	39.66	39.76	39.69	40.47
TiO <sub>2</sub>	0.02	0	0.04	0	0	0.04	0.01	0.06	0	0.05	0.08	0.19	0.02	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.02	0.02	0	0	0.02	0	0	0.02	0	0	0	0.04	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0.01	0.01	0.03	0	0	0.03	0.03	0.03	0	0.04	0.07	0.08
FeO	9.85	9.69	9.25	9.03	13.03	9.45	9.29	12.75	13.89	13.44	14.14	14.29	13.66	11.67
MnO	0.12	0.16	0.17	0.10	0.99	0.11	0.13	0.97	1.01	1.00	1.03	1.08	1.08	1.38
NiO	0.38	0.38	0.39	0.35	0.26	0.37	0.37	0.19	0.22	0.21	0.21	0.23	0.27	0.18
MgO	48.28	48.09	48.55	48.70	44.64	48.47	48.54	45.34	44.37	45.06	44.37	44.10	44.55	45.52
Total	99.20	99.30	99.25	99.41	99.03	99.30	99.22	99.47	99.46	99.49	99.54	99.77	99.43	99.39
Si	1.001	1.011	1.008	1.014	1.013	1.008	1.009	1.005	1.008	0.998	1.002	1.004	1.002	1.016
Ti	0	0	0.001	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.001	0.004	0	0
Al	0.001	0.001	0.001	0	0	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0.001
Cr	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0.002
Fe <sup>2+</sup>	0.204	0.200	0.191	0.186	0.276	0.195	0.192	0.268	0.293	0.281	0.299	0.302	0.288	0.245
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0
Mn	0.003	0.003	0.004	0.002	0.021	0.002	0.003	0.021	0.022	0.021	0.022	0.023	0.023	0.029
Ni	0.008	0.008	0.008	0.007	0.005	0.007	0.007	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004
Mg	1.781	1.775	1.788	1.789	1.684	1.785	1.789	1.697	1.671	1.691	1.671	1.660	1.677	1.703
Fo/mol%	89.61	89.69	90.18	90.49	85.01	90.03	90.18	85.47	84.15	84.82	83.89	83.63	84.33	86.14

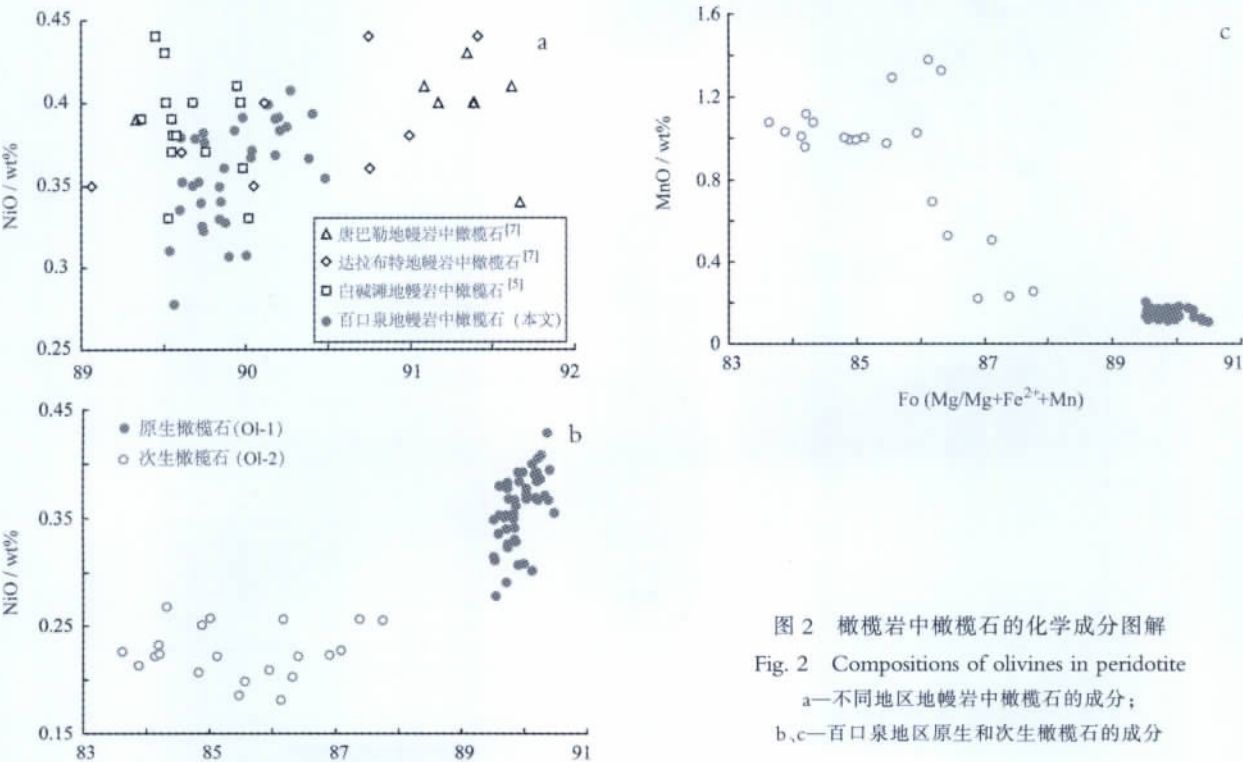


图 2 橄榄岩中橄榄石的化学成分图解  
Fig. 2 Compositions of olivines in peridotite  
a—不同地区地幔岩中橄榄石的成分;  
b、c—百口泉地区原生和次生橄榄石的成分



表2 百口泉尖晶石橄榄岩中尖晶石的成分分析结果(wt%,以 32 个氧原子为基准计算)

Table 2 Representative compositions of spinel in Baikouquan spinel peridotite

Comment	Spl-c	Spl-c	Spl-c	Spl-c	Spl-c	Spl-c	Spl-c	Spl-r	Spl-r	Spl-r	Spl-r	Spl-r	Spl-r	Spl-r
SiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0.27	0.48	0.66	0.36	0.95	1.38	1.76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	59.01	58.99	59.05	59.17	59.07	59.85	59.56	0.07	0.10	0.33	0.06	0.24	0.31	0.47
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.01	0.04	0	0.05	0.08	0.07	0.55	0.47	0.51	0.51	0.76	0.81	0.79
MnO	0.10	0.11	0.07	0.11	0.09	0.13	0.10	0.54	0.38	0.57	0.47	0.68	0.71	0.87
MgO	19.70	20.05	19.71	19.85	19.96	19.97	19.99	0.60	0.72	1.16	0.57	1.29	1.72	2.21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.05	9.14	9.22	8.95	8.83	8.63	8.53	10.34	8.01	10.68	10.05	12.87	12.93	12.43
NiO	0.35	0.45	0.35	0.36	0.43	0.40	0.40	0.15	0.07	0.10	0.08	0.15	0.08	0
FeO	10.60	10.59	10.47	10.55	10.63	10.62	10.72	79.93	81.87	78.48	79.69	75.44	74.06	73.55
Total	98.88	99.46	98.91	99.02	99.09	99.71	99.42	92.51	92.12	92.49	91.80	92.39	92.08	92.10
Mn	0.018	0.019	0.012	0.020	0.017	0.022	0.018	0.141	0.100	0.149	0.125	0.177	0.186	0.226
Mg	6.109	6.183	6.112	6.142	6.170	6.132	6.151	0.279	0.335	0.533	0.264	0.596	0.790	1.009
Cr	1.489	1.494	1.516	1.468	1.447	1.406	1.393	2.540	1.969	2.604	2.485	3.143	3.150	3.013
Si	0	0	0	0	0	0	0	0.085	0.149	0.203	0.111	0.293	0.424	0.539
Al	14.47	14.38	14.47	14.47	14.44	14.53	14.49	0.027	0.035	0.121	0.023	0.086	0.114	0.168
Ti	0.007	0.001	0.007	0	0.008	0.012	0.010	0.128	0.109	0.119	0.120	0.178	0.189	0.182
Ni	0.059	0.074	0.058	0.059	0.072	0.067	0.066	0.037	0.017	0.025	0.021	0.037	0.020	0
Fe <sup>2+</sup>	1.813	1.694	1.824	1.766	1.740	1.785	1.735	7.756	7.799	7.614	7.819	7.660	7.530	7.473
Fe <sup>3+</sup>	0.032	0.138	0.000	0.064	0.103	0.044	0.116	13.01	13.48	12.63	13.03	11.83	11.55	11.38
Spl	90.49	89.81	90.54	90.42	90.30	90.93	90.57	0.17	0.22	0.79	0.15	0.57	0.77	1.16
Chr	9.31	9.33	9.48	9.17	9.05	8.80	8.71	16.31	12.72	16.96	15.99	20.87	21.26	20.69
Mgt	0.20	0.86	0	0.40	0.64	0.27	0.72	83.52	87.06	82.25	83.86	78.56	77.97	78.15
Cr <sup>#</sup>	0.093	0.093	0.095	0.092	0.091	0.088	0.087	0.163	0.127	0.170	0.160	0.209	0.213	0.207
Mg <sup>#</sup>	0.771	0.785	0.770	0.777	0.780	0.775	0.780	0.035	0.041	0.065	0.033	0.072	0.095	0.119

注:依据电价平衡原理计算得到 Fe<sup>3+</sup>;Spl,Chr,Mgt 的单位为 mol%

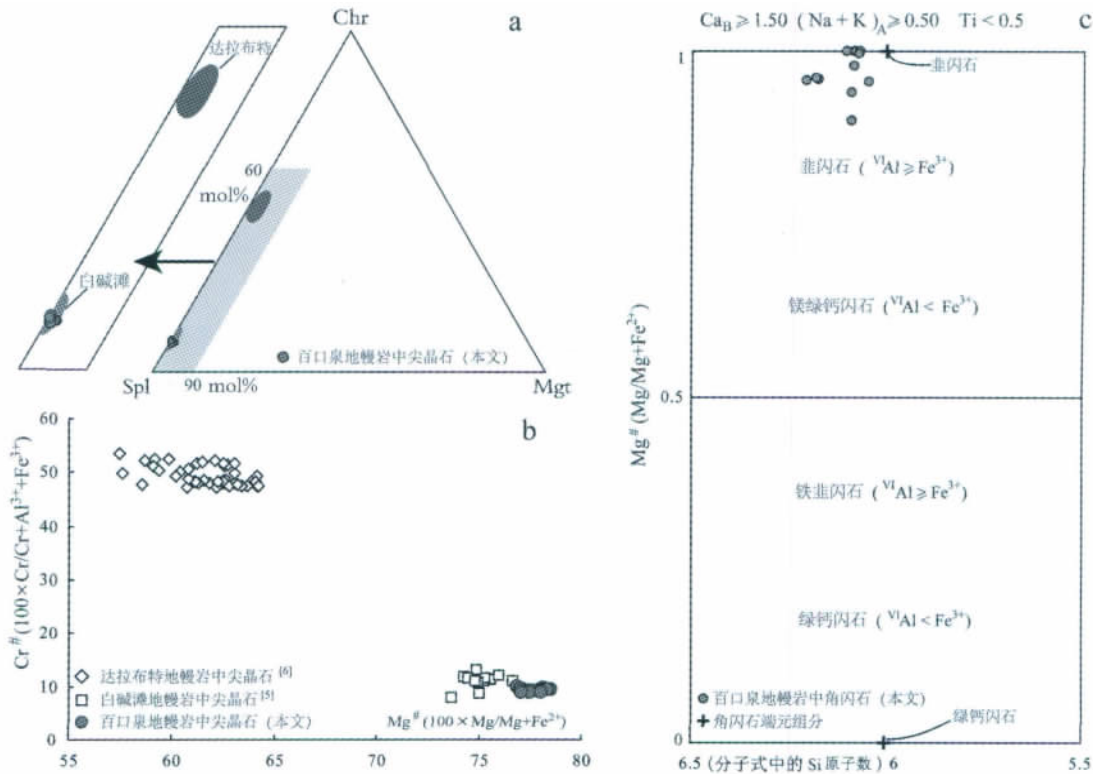


图 3 尖晶石和韭闪石的成分 Fig. 3 Compositions of spinel and pargasite

a—尖晶石端元组分图解;b—尖晶石 Cr<sup>#</sup>-Mg<sup>#</sup>图解;c—韭闪石端元组分图解<sup>④</sup>

表 3 百口泉尖晶石橄榄岩中韭闪石的成分分析结果(wt%,以 23 个氧原子为基准计算)  
Table 3 Representative compositions of pargasite in Baikouquan spinel peridotite

	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg
MnO	0.07	0.09	0.09	0.09	0.11	0.07	0.07	0.09	0.09	0.06	0.12	0.09
Na <sub>2</sub> O	2.97	2.97	3.05	2.64	2.77	2.94	3.12	2.94	3.10	3.17	3.05	2.98
MgO	17.1	17.13	17.36	17.03	17.09	17.39	17.06	17.10	16.60	16.99	17.17	17.24
K <sub>2</sub> O	0	0.02	0.01	0	0.02	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.95	1.05	1.22	0.82	0.85	0.84	0.94	0.90	0.90	0.84	0.92	0.82
SiO <sub>2</sub>	43.4	43.08	42.99	43.28	42.97	42.85	42.85	42.76	42.35	42.31	42.62	43.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.0	14.67	14.55	14.38	14.44	14.49	14.65	14.64	14.85	14.87	14.37	13.62
CaO	11.7	11.16	11.33	12.04	11.52	11.39	12.01	11.78	12.26	11.85	11.47	11.78
TiO <sub>2</sub>	2.21	2.46	1.80	1.89	2.47	2.35	2.42	2.25	2.23	2.36	2.54	2.10
NiO	0.11	0.08	0.09	0.12	0.13	0.09	0.08	0.11	0.09	0.09	0.09	0.15
FeO	4.05	4.00	4.13	3.86	4.03	4.08	3.92	3.96	3.93	3.94	3.97	3.95
Total	96.73	96.75	96.66	96.15	96.46	96.48	97.16	96.55	96.43	96.49	96.37	96.12
Si(T)	6.174	6.083	6.079	6.178	6.101	6.067	6.088	6.083	6.089	6.044	6.070	6.205
Al <sup>IV</sup> (T)	1.826	1.917	1.921	1.822	1.899	1.933	1.912	1.917	1.911	1.956	1.930	1.795
Al <sup>VI</sup> (C)	0.528	0.524	0.503	0.596	0.517	0.485	0.540	0.537	0.605	0.546	0.482	0.503
Ti(C)	0.237	0.262	0.192	0.203	0.264	0.250	0.258	0.241	0.241	0.254	0.272	0.226
Cr(C)	0.107	0.117	0.137	0.093	0.096	0.094	0.106	0.101	0.103	0.095	0.104	0.093
Fe <sup>3+</sup> (C)	0.326	0.563	0.630	0.315	0.489	0.590	0.235	0.394	0.078	0.303	0.457	0.308
Mg (C)	3.626	3.535	3.539	3.623	3.617	3.580	3.613	3.626	3.558	3.617	3.645	3.678
Fe <sup>2+</sup> (C)	0.155	0	0	0.145	0	0	0.231	0.077	0.394	0.168	0.016	0.165
Mn (C)	0.009	0	0	0.011	0.013	0	0.008	0.011	0.011	0.008	0.014	0.010
Ca(C)	0.012	0	0	0.014	0.004	0	0.009	0.012	0.010	0.010	0.010	0.018
Mg(B)	0	0.071	0.121	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn(B)	0	0.011	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca(B)	1.774	1.687	1.715	1.827	1.748	1.728	1.820	1.783	1.879	1.804	1.740	1.788
Na (B)	0.226	0.313	0.285	0.173	0.252	0.272	0.180	0.217	0.121	0.196	0.260	0.212
Na (A)	0.594	0.500	0.552	0.558	0.511	0.534	0.678	0.593	0.742	0.681	0.582	0.615
K (A)	0	0.003	0.001	0	0.003	0.001	0	0.001	0.002	0	0.002	0.003
Mg <sup>#</sup>	0.96	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	0.94	0.98	0.90	0.96	1.00	0.96

注:元素名称后边括号中的字母分别表示角闪石分子式中的 T 位、C 位、B 位和 A 位

石化,蛇纹石一般沿解理和裂理分布。单斜辉石中常见橄榄石包裹体。在比较新鲜的样品中见到橄榄石与单斜辉石、斜方辉石共生。在所有样品中,单斜辉石很新鲜,且均发育出溶结构,出溶条纹或者平直或者发生舒缓的弯曲(类似塑性形变)。斜方辉石也发育出溶结构,出溶叶片为单斜辉石<sup>[5]</sup>。橄榄岩中的尖晶石呈褐色,边部被磁铁矿交代。橄榄石属于镁橄榄石—贵橄榄石,化学成分比较均匀,Mg<sup>#</sup>在 0.84 ~ 0.90 之间变化。尖晶石属于镁铝尖晶石,其中的铬尖晶石组分在 10mol%左右变化,磁铁矿端元组分的含

量小于 1.0mol%<sup>[5]</sup>。  
百口泉橄榄岩主要由橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和尖晶石组成。橄榄石分为 2 类:原生橄榄石(记为 Ol-1)和次生橄榄石(记为 Ol-2)。原生橄榄石被蛇纹石交代呈网格状,残留的橄榄石呈孤岛状分布(图版 一a),蛇纹石化过程中形成的磁铁矿呈尘点状。次生橄榄石分布在原生矿物(包括原生橄榄石和辉石假像)边缘,但也有个别次生橄榄石沿斜方辉石(假像)边缘生长并延伸进入斜方辉石内部(图版 一b、c)。图版 一d、e 展示粗粒斜方辉石边缘生长细粒

呈不规则状的次生橄榄石和韭闪石。次生橄榄石交代原生橄榄石形成了橄榄石的环带结构(图版 f~h),交代成因的橄榄石常包裹磁铁矿(图版 i),这与原生橄榄石蛇纹石化形成的磁铁矿不同。次生橄榄石与韭闪石常在小区内共同出现(图版 f、g),但它们之间没有接触关系,两者边缘都具有透闪石的反应边。

辉石被透闪石和绿泥石交代,保留了原先的晶体形状,其形态与白碱滩地幔岩中的辉石形态相似,粒度粗大,有一定程度的浑圆化,边缘呈小幅度的弯曲状。与在达拉布特地幔岩中看到的高度部分熔融条件下形成的港湾状边界不同<sup>[6]</sup>,百口泉地幔岩中的辉石形态可能意味着该岩石所经历的部分熔融程度较低。尖晶石的形态很不规则,分布在辉石、橄榄石的间隙中。在透射光下尖晶石中心呈棕黄色,边缘呈黑色,不透光(图版 a)。在背散射图像中,尖晶石具有核边结构,核部均一,边部呈筛孔状、海绵状,为多矿物集合体(图版 b~d),部分尖晶石完全转变为海绵状集合体(图版 e、f)。在核部与海绵状边部的结合带、海绵状边部与周围矿物的接触带附近分布形态不规则的铬磁铁矿。后期裂隙切穿了海绵状的边部和均一的核部,裂隙中充填着绿泥石和磁铁矿。

原生橄榄石成分均一, Fo 变化范围很小(89.6 ~ 90.5)(表 1),图 2-a 中对比了百口泉、白碱滩、达拉布特、唐巴勒蛇绿岩带地幔橄榄岩中橄榄石的 NiO 和 Fo 值(橄榄石数据来自文献[5, 7]),除唐巴勒样品中的橄榄石 Fo 值略高外,其它 3 处橄榄岩中的橄榄石成分相近。次生橄榄石与原生橄榄石之间有一定的成分差别:在图 2-b、c 中,原生橄榄石 Fo 值较高、NiO 含量较高(0.28%~0.43%)、MnO 含量很低(<0.2%),而次生橄榄石 Fo 变化范围较大,且其值较低(83.6~87.8)、NiO 含量低(<0.3%)、MnO 含量高(0.2%~1.4%)。尖晶石属于镁铝尖晶石,铬铁矿端元在 10mol%以下, Mg<sup>#</sup> 较高, Cr<sup>#</sup> 较低(表 2),其成分特点与白碱滩地幔岩中的尖晶石相近,而与达拉布特富铬尖晶石具有明显的成分差别(图 3-a、b)。韭闪石的成分列于表 3,在端元图解中接近韭闪石端元组成(图 3-c),相对于一般韭闪石的化学成分,百口泉地幔橄榄岩的韭闪石富含 Cr (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 可达 1.47%),这可能是交代过程中继承了原生辉石矿物的化学特点。

3 讨论

实验研究证实,在不同压力下,随着地幔岩熔融程度的提高,其岩性由二辉橄榄岩转变为方辉橄榄岩,伴随着这一过程,橄榄石 Fo 值和尖晶石 Cr<sup>#</sup> 值升高<sup>[9]</sup>,这是由于在部分熔融过程中,橄榄石中的 Mg 和尖晶石中的 Cr 都倾向于残留在固相中。Arai<sup>[10]</sup>利用橄榄石 Fo 值和尖晶石 Cr<sup>#</sup> 值定义了橄榄石-尖晶石地幔趋势线,以此来表示地幔岩的残余趋势:高度部分熔融的地幔岩(方辉橄榄岩)比低度部分熔融的地幔岩(二辉橄榄岩)具有高的橄榄石 Fo 值和尖晶石 Cr<sup>#</sup> 值。阿尔卑斯型橄榄岩的 Fo-Cr<sup>#</sup> 关系图(图 4)体现了这一趋势。达拉布特和百口泉-白碱滩 2 条蛇绿岩中地幔岩矿物化学上的差异,体现了部分熔融程度的差别:百口泉-白碱滩地幔橄榄岩经历的熔融程度相对很低。考虑到大洋中脊系统下的地幔在减压熔融作用下经历显著的岩浆抽取,百口泉地幔岩的岩石学特点表明其不代表 MORB 源区的亏损地幔。

百口泉地幔岩中的橄榄石发育环带结构,原生高 Mg<sup>#</sup> 橄榄石被次生低 Mg<sup>#</sup> 橄榄石交代,辉石边缘被次生橄榄石环绕。橄榄岩与熔体、流体的反应在蛇绿岩套的地幔岩中广泛出现,达拉布特蛇绿岩中的铬铁矿赋存围岩(纯橄岩)的形成与此有关<sup>[11-12]</sup>。通

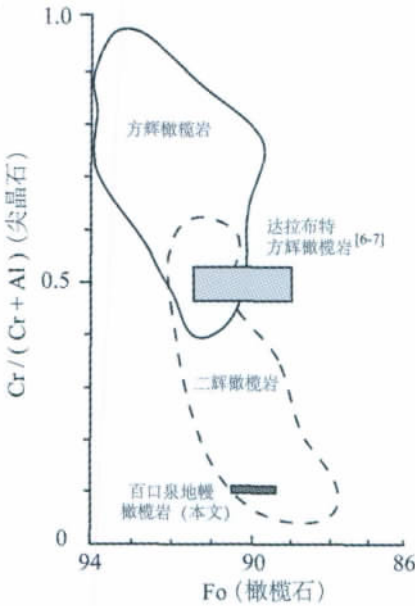


图 4 阿尔卑斯型橄榄岩 Fo-Cr<sup>#</sup> 关系图解<sup>[10]</sup>

Fig. 4 Fo-Cr<sup>#</sup> relationships in alpine-type peridotites



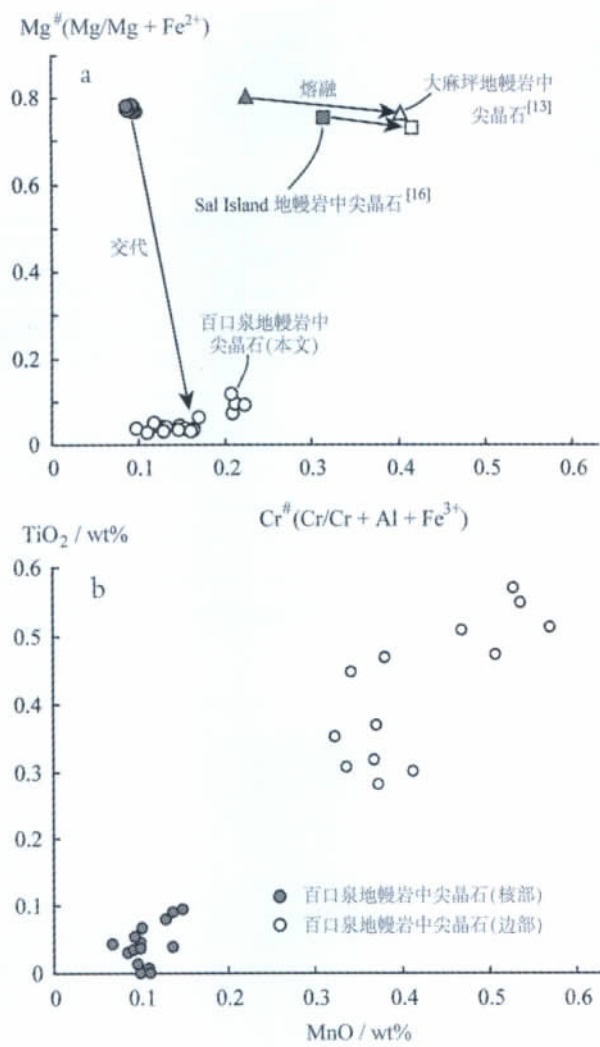


图 5 尖晶石成分的 Cr<sup>#</sup>-Mg<sup>#</sup> 和 MnO-TiO<sub>2</sub> 图解  
Fig. 5 Composition variations of spinel: plot of Cr<sup>#</sup>- Mg<sup>#</sup> and plot of MnO-TiO<sub>2</sub>

常情况下,参与反应的熔/流体相比橄榄岩要富集 Si、Ca、Fe、Mn 而贫 Mg、Ni。因此,次生橄榄石与原生橄榄石相比相对低 Fo 而高 Mn。次生橄榄石包裹磁铁矿(图版 i),这一现象说明磁铁矿是交代作用的产物。

尖晶石广泛发育核-边结构,核部为均一的镁铝尖晶石,是地幔岩的原生矿物,边部为海绵状的多矿物集合体(图版)。这一结构通常被称为海绵状结构或筛状结构,多在碱性玄武岩的地幔捕虏体中发育,如大麻坪、佛得角 Sal 岛、德国 Kassel 地区的碱性火山岩中地幔捕虏体的尖晶石和 2 种辉石的边部都发育<sup>[13-16]</sup>,其成因多为由减压造成的低度部分熔

融<sup>[13]</sup>或由流体交代作用引发的部分熔融<sup>[14-15]</sup>,也有学者认为该结构形成于地幔捕虏体与寄主岩浆的反应<sup>[16]</sup>,然而这种结构在蛇绿岩型的地幔岩中鲜有报道。百口泉地幔岩中的橄榄石发育环带结构,并且出现地幔交代的特征矿物——韭闪石,尖晶石的海绵状边部应该也是地幔交代的产物,交代熔体/流体与尖晶石反应形成铬磁铁矿和海绵状的多矿物集合体,铬磁铁矿与核部均匀的尖晶石相比,Mg<sup>#</sup> 陡然下降,Cr<sup>#</sup> 小幅上升,与部分熔融模式下形成的演化轨迹有明显区别(图 5-a)。在 MnO-TiO<sub>2</sub> 图解中,与原生尖晶石相比,位于海绵状边部的铬磁铁矿的 Mn、Ti 含量明显升高(图 5-b),这与橄榄石的交代现象相似。百口泉地幔橄榄岩的岩相学特点表明存在以下过程:

- 原生橄榄石+熔体→次生橄榄石+磁铁矿
  - 辉石+熔体→次生橄榄石+韭闪石+磁铁矿
  - 尖晶石+熔体→铬磁铁矿+尖晶石海绵边
- 交代产物的化学特征说明交代熔体/流体富 Fe 和具有高的氧逸度。

4 结 论

百口泉地幔橄榄岩矿物组合与白碱滩相似,它们是同一蛇绿岩带的不同露头。百口泉蛇绿岩剖面的揭露,将克拉玛依蛇绿岩带向 NE 方向延伸了 35km。地幔岩中橄榄石出现环带结构,尖晶石边部形成了海绵状结构,韭闪石交代辉石边。地幔岩石中最容易发生熔融的矿物是单斜辉石和尖晶石,百口泉和白碱滩地幔岩中的单斜辉石和尖晶石保存完好,白碱滩地幔岩中还保存着辉石的出溶结构。上述岩石学事实表明,该蛇绿岩带中的地幔岩均没有发生明显的熔融过程。

致谢:徐新研究员(新疆资源环境研究中心)对野外地质调查工作提出了很多好的建议,实验室工作得到毛骞博士(中国科学院矿产资源重点实验室)的协助,特此感谢。

参考文献

[1]徐新,何国琦,李华芹,等. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 470-475.  
[2]何国琦,刘建波,张越迁,等. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定[J]. 岩石学报, 2007, 23(7): 1573-1576.  
[3]徐新,周可法,王煜. 西准噶尔晚古生代残余洋盆消亡时间与构造背景研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3206-3214.

- [4]朱永峰,徐新,陈博,等. 西准噶尔蛇绿混杂岩中的白云石大理岩和石榴石角闪岩:早古生代残余洋壳深俯冲的证据[J]. 岩石学报, 2008, 24(12): 2767–2777.
- [5]朱永峰,徐新. 西准噶尔白碱滩二辉橄榄岩中两种辉石的出溶结构及其地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 1075–1086.
- [6]陈博,朱永峰. 新疆达拉布特超镁铁岩的成因——来自铬尖晶石的证据[J]. 地学前缘, 2008, 15(6): 312–322.
- [7]李行,巩志超,董显扬,等. 新疆西准噶尔地区基性超基性岩生成地质背景及区域成矿特征[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所刊, 1987, 18: 3–131.
- [8]Leak B E, Woolley A R, Birch W D, et al. Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names[J]. Mineralogical Magazine, 1997, 61: 295–321.
- [9]Jaques A L, Green D H. Anhydrous melting of peridotite at 0 – 15 kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1980, 73: 287–310.
- [10]Arai S. Characterization of spinel peridotites by olivine – spinel compositional relationships: Review and interpretation[J]. Chemical Geology, 1994, 113: 191–204.
- [11]Zhou M F, Robinson P T, Malpas J, et al. Podiform chromitites from the Luobusa ophiolite (southern Tibet): implications for melt/rock interaction and chromite segregation in the upper mantle [J]. Journal of Petrology, 1996, 37: 3–21.
- [12]Zhou M F, Robinson P T, Malpas J, et al. Melt/mantle interaction and melt evolution in the Sartohay high-Al chromite deposits of the Dalabute ophiolite (NW China)[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2001, 19: 517–534.
- [13]Zhu Y F. K – and Si – rich glasses in harzburgite from Damaping, north China[J]. Island Arc, 2008, 17: 560–576.
- [14]Carpenter R L, Edgar A D, Thibault Y. Origin of spongy textures in clinopyroxene and spinel from mantle xenoliths, Hessian Depression, Germany[J]. Mineralogy and Petrology, 2002, 74: 149–162.
- [15]Ionov D A, Prikhod'ko V S, O'Reilly S Y. Peridotite xenoliths in alkali basalts from the Sikhote – Alin, southeastern Siberia, Russia: trace – element signatures of mantle beneath a convergent continental margin[J]. Chem. Geol., 1995, 120: 275–294.
- [16]Shaw C S J, Heidelbach F, Dingwell D B. The origin of reaction texture in mantle peridotite xenoliths from Sal Island, Cape Verde: the case for “metasomatism” by the host lava[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 2006, 151: 681–697.