辽东后仙峪地区元古界超镁橄榄岩岩石学及其成因

肖荣阁[1], 刘敬党[2], 吴 振[1], 王 斌[1], 冯佳睿[1]

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 辽宁化工地质勘查院, 辽宁 锦州 121000)

摘要: 超镁橄榄岩是作者在辽东大石桥后仙峪地区发现并命名的一种新类型岩石, 是以镁橄榄石分子组成为标准而定义、阳离子过剩的一种岩石。由于阳离子过剩而形成独立的铁镁氧化物矿物, 因此岩石的主要矿物为镁橄榄石、硅镁石、水镁石及磁铁矿。该超镁橄榄岩中矿物呈粒状、板状结构, 具有角砾状火山喷发构造、类鬣刺状熔岩冷凝构造及团块状熔离构造。岩石具有分层现象, 下部为镁橄榄岩, 上部为磁铁矿硅镁石岩, 其中含有镍黄铁矿, 并构成海绵陨铁结构。岩石学研究表明这是一套富镁质超基性火山岩, 相当于科马提岩, 作为辽东硼矿的容矿岩石, 它为镁硼酸盐矿床的形成提供了丰富的镁质来源。

关键词: 辽东大石桥; 超镁橄榄岩; 科马提岩; 硼酸盐矿床

中图分类号: P588. 12 文献标识码: A 文章编号: 1000- 8527(2007)04- 0638- 07

Lithology and Genesis of the Paleozoic Ultra-Mafic Peridotite of the Houxianyu District in Eastern Liaoning

XIAO Rong-ge[1], LIU Jing-dang[2], WU Zhen[1], WANG Bin[1], FENG Jia-rui[1]

(1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*
2. *Liaoning Chemical Geology Prospecting Institute, Jinzhou, Liaoning 121000, China*)

Abstract: Ultra-mafic peridotite is a new type of rock found in the Houxianyu district, Dashiqiao, eastern Liaoning and named by authors based on molecular components of forsterit, a rock containing excess cations. Cation surplus results in formation of independent Mg-Fe oxides such as forsterit, humite, and magnetite, in ultra-mafic peridotite which occurs as granular and tabular, with the structures of breccia volcanic eruptive, cooled spinifix pillow lava texture and massive liquation texture. The rock is of lamination with lower part being forsteit and upper part magnetitic humitite, with minor amount of pentlandite forming texture of iron-bearing sponge. Lithological study shows that it is a suit of Mg-rich basic volcanic rock, equivalent to kamatitie, which provides a great volume of magnesium for the deposition of Mg-rich borate deposit.

Key words: Dashiqiao of eastern Liaoning; ultra-mafic peridotite; kamatitie; borate deposit

辽东大石桥地区是世界著名的菱镁矿及镁硼酸盐矿床的产地, 研究镁质岩石成因对判别镁硼酸盐矿床、菱镁矿矿床的成因及辽东裂谷的演化具有重要意义[1-2]。

根据岩石化学分析[3], 辽宁大石桥后仙峪地区古元古界镁橄榄岩中明显存在镁金属离子过剩的现象, 其中铁镁阳离子组分与硅酸组分结合成橄榄石后仍有剩余, 可以形成镁硅酸盐和氟化物复盐矿物、硅镁石、游离铁镁氧化物水镁石及磁铁矿, 因此定义为超镁橄榄岩。超镁橄榄岩是硼酸盐矿床的主要容矿岩石, 其在原始富集及岩石蚀变过程中释放出的铁镁质成分, 与硼酸盐溶液结合形成镁铁硼酸盐矿物。

根据野外岩性产状观察和室内岩石学的系统

收稿日期: 2007- 05- 20; 改回日期: 2007- 10- 15; 责任编辑: 戚开静。

基金项目: 辽宁省国土资源厅项目; 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室开放基金项目(GPMR200646)。

作者简介: 肖荣阁, 男, 教授, 博士生导师, 1949年出生, 矿床学专业, 主要从事矿床地球化学的教学和研究工作。

Email: rgxiao@cugb.edu.cn。

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

研究，超镁橄榄岩具有火山喷出岩的特征，类似超基性火山喷出岩，即类科马提岩，推测是一种海底岩浆喷发成因的镁质岩浆岩。

1　研究现状

黄作良等[4]在 1999年、冯本智等[5-6]在 1994年和 1998年、张秋生[7]在 1988年认为辽东大石桥后仙峪地区镁橄榄岩是由沉积镁质碳酸盐岩经过区域变质而形成，而王秀璋[8]在 1974年认为橄榄石类矿物为早期镁矽卡岩产物，极少为区域变质产物。由于辽东一些地区镁质大理岩与镁橄榄岩紧密共生，其成因互相联系，也有人对含硼岩系中富镁大理岩的成因提出火山岩—超基性熔岩变质成因的认识，但是没有系统地研究[9]。

这两种成因认识，即由碳酸盐岩变质为镁橄榄岩和由镁橄榄岩变质为镁质大理岩都与变质作用有关，均存在无法解释的现象：如果是镁橄榄岩变质为大理岩，需要在封闭条件下加入大量的 CO_2，释放出 SiO_2。在大石桥局部地段确实存在由橄榄岩蚀变为蛇纹岩，再蚀变为大理岩的现象，但是不能解释全部大理岩的成因；如果是由大理岩变质为镁橄榄岩，需要在开放条件下释放出 CO_2，加入 SiO_2。这两种变质作用在局部地段是可以发生的，但是要发生大量转变，则与一般的区域变质作用相矛盾，并且在镁质岩石的上、下围岩及矿区内也没有见到 SiO_2的增加或减少现象，因此这两种镁橄榄岩的成因认识是不准确的。

作者在野外调查时发现，古元古界含硼岩系中超镁橄榄岩分布广泛，是大石桥后仙峪硼矿床的主要容矿岩石，在宽甸地区、凤城地区含矿白云岩、蛇纹岩中都见有变余镁橄榄岩残留体。后仙峪地区镁橄榄岩厚 100多 m(图 1，图版Ⅰ－1)，与上覆浅粒岩呈整合接触。本文重点研究大石桥后仙峪地区的超镁橄榄岩岩石学特征及其成因。

2　超镁橄榄岩矿物学

该区超镁橄榄岩的主要矿物成分为镁橄榄石(Mg_2SiO_4)，其蚀变后形成黑绿色蛇纹石和金云母。本文依据矿物化学成分计算了橄榄岩的主要矿物分子式，为了便于比较说明，这里对化学性质相近、可以形成类质同象的 Si、Ti、Al离子进行合并归一，以此为基础计算二价离子及三价铁离子的总量，并对此分子式与橄榄石的标准分子式进行比较，分析元素含量的变化特征。

根据橄榄石化学成分分类(表 1)，橄榄石中 Fe_2SiO_4端元组分含量为 6.6%时，属于镁橄榄石，主要产于后仙峪地区；Fe_2SiO_4端元组分含量至 15.6%时，属于贵橄榄石，产于翁泉沟地区。

2.1　镁橄榄石

肉眼观察镁橄榄石为黑绿色，它形等轴粒状，大部分呈细粒状，粗大者粒径约达 1 cm，少部分呈自形锥状，(010)面解理发育。

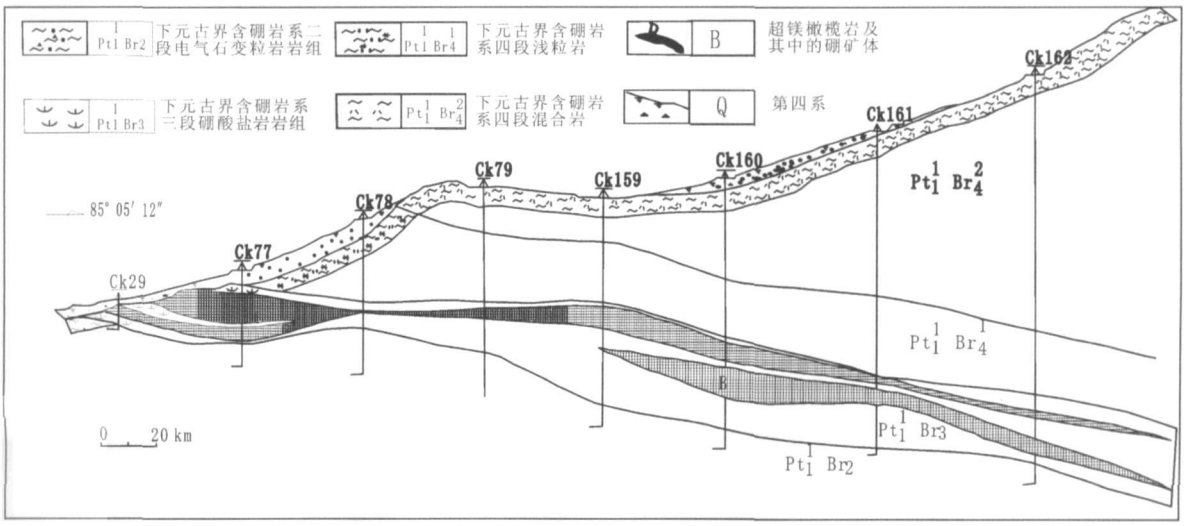


图 1　后仙峪地区 22号勘探线剖面图

Fig. 1　Profile chart of the No. 22 prospecting line in the Houxianyu district

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

镁橄榄石在镜下呈无色, 无双晶, 裂隙发育, 大部分为自形—半自形晶(图版Ⅰ-2), 粒径一般为 0.1~ 1.0 cm。王秀璋[8] 1974年在费氏台下测得 $2V=(-)68°\sim(+)86°$, $Ng=1.686\ 8$, $Np=1.640\ 0\sim1.663\ 5$(误差均为 ±0.002 5), $Ng-Np=0.025\ 5\sim0.029\ 6$。

化学成分分析结果表明: 镁橄榄石富 MgO, 贫 FeO, 同时含少量的 Cr_2O_3(表 2)。据化学成分分析, 剔除相应的杂质组合后计算出的化学式为:

$$(Mg_{1.84}Ca_{0.04}Fe^{2+}_{0.16}Fe^{3+}_{0.01}Mn_{0.01}Ti_{0.001})_{2.073}SiO_4 \quad (1)$$

$$(Mg_{1.85}Ca_{0.02}Fe^{2+}_{0.13}Fe^{3+}_{0.01}Mn_{0.00}Ti_{0.001})_{2.019}SiO_4 \quad (2)$$

$$(Mg_{1.78}Ca_{0.00}Fe^{2+}_{0.16}Fe^{3+}_{0.00}Mn_{0.00}Ti_{0.002})_{1.948}SiO_4 \quad (3)$$

电子探针分析结果显示, 本区中镁橄榄石的矿物化学特征稳定, 其化学式可以表示为: $(Mg_{1.75\sim1.90}, Fe^{2+}_{0.10\sim0.16})_{1.90\sim2.06}SiO_4$, 晶体颗粒分带性不明显, 边缘处的铁镁含量略高, Fo 值为 92~ 95(表 2)。

2.2 贵橄榄石

贵橄榄石是含铁较高的橄榄石, 在后仙峪地区较少见, 矿物呈黑绿色、细粒状, 个别大者粒径达 1 cm 左右, 为半自形—自形晶; 镜下观察为无色, 个别微显黄色, 一般无双晶, 个别有简单的双晶出现, (010)面解理发育。它与镁橄榄石的区别为: 贵橄榄石中的 Fe_2SiO_4端元含量较高, 密度、$2V$较大。王秀璋[8]在 1974年研究了贵橄榄石的折射率, 认为折射率较高($Ng=1.689\ 0\sim1.704$, $Np=1.660\sim1.682$, 误差均为 ±0.002 5)。

根据贵橄榄石的化学分析结果(表 1), 计算出的化学式为:

$$(Mg_{1.91}Ca_{0.03}Fe^{2+}_{0.28}Fe^{3+}_{0.03}Mn_{0.00})_{2.25}(SiTi_{0.001}O_4) \quad (4)$$

从橄榄石的化学成分分析可知, 矿物中二价阳离子的总量高于橄榄石中的理论值, 说明阳离子过剩。根据元素化学性质, 铁比镁更易游离出来而形成独立的铁矿物, 尤其是在后仙峪地区橄榄岩的上部, 橄榄石中阳离子明显过剩, 这是出现独立铁镁氧化物矿物的重要标志, 而在翁泉沟矿区则恰好发现了独立的磁铁矿层。

2.3 硅镁石簇

习惯上将硅镁石簇矿物列入硅酸盐类矿物, 实际上它是由 Mg^{2+} 与 $(SiO_4)^{4-}$ 和 F^- 构成的复盐, 通式为 $nMg_2SiO_4\cdot MgF_2$, 其中 $n=1$、2、3、4, 随着 Mg_2SiO_4和 MgF_2层数比例的不同(即 n不同), 而

表 1 镁—铁橄榄石类的化学分析结果(w_B/%)

Table 1 The results of chemical analysis of Mg-Fe peridotite(%)

采样点	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Li_2O	Na_2O	K_2O	烧失量	总量
东台子	38.53	0.06	0.14	1.40	7.52	0.42	47.36	1.54	0.02	0.05		1.32	99.58
后仙峪	40.73	0.04	–	1.17	6.43	0.15	50.24	0.85				0.53	100.48
后仙峪	41.52	0.09	–	–	7.83	0.23	49.38	0.02		0.64	0.64	0.17(Cr_2O_3)	
翁泉沟	36.21	0.04	0.18	3.20	12.12	0.05	46.02	1.04		0.04		1.07	100.01

注: 数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试。

表 2 后仙峪地区镁橄榄石的电子探针分析结果(w_B/%)

Table 2 The results of electron probe analysis of Mg-peridotite in the Houxianyu district(%)

点号	样号	矿物	SiO_2	TiO_2	MgO	FeO	MnO	CaO	K_2O	Cr_2O_3	总量	Fo
N1	WY13	板状橄榄石	41.63	0.06	49.51	7.85	0.12				99.16	92
N2	WY13	橄榄石	41.97	0.25	49.26	7.16	0.25	0.08			98.95	92
N4	WY19	橄榄石(早)	41.93		49.25	7.80	0.16	0.12			99.27	92
N5	WY19	橄榄石(晚)	42.32	0.08	49.49	6.90	0.21		0.04		99.04	93
N6	WY20	橄榄石	41.53		49.29	8.09	0.34	0.01			99.26	92
N8	WY20	细粒橄榄石	42.06		48.84	7.92	0.02		0.02		99.06	92
N9	WY21	橄榄石(早)	41.96		49.90	7.42	0.19		0.08		99.54	92
N10	WY21	橄榄石	41.84	0.06	49.32	7.71	0.55				99.49	92
N14	WY33	橄榄石	42.68		51.41	4.96	0.02				99.07	95
N17	FJ11	橄榄石	41.83		49.87	7.13	0.23			0.20	99.26	93
B1	WY20	橄榄石(中心)	40.94	0.10	50.77	7.31	0.24	0.06		0.07	99.49	93
B2	WY20	橄榄石(边上)	40.49		51.36	7.75	0.11			0.03	99.74	92
平均			41.77	0.11	49.86	7.33	0.20	0.07	0.05	0.10		92

注: 数据由中国地质大学(北京)地学实验中心探针室 EPMA-1600型电子探针仪测试。

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

形成块硅镁石、粒硅镁石、硅镁石和斜硅镁石等不同矿物。

后仙峪地区的硅镁石岩主要集中分布在硼镁石化的镁橄榄岩的上部，与硼镁铁矿及磁铁矿共生(图版Ⅰ-3)，其中矿物以斜硅镁石为主，其次为粒硅镁石。

硅镁石呈黄绿色、黄白色，为细—中粒集合体，粒径一般为 0.1~0.5 mm，最大达 5 mm，一般为半自形，具不完全(100)解理。镜下观察多为不同程度的褐黄色，多色性显著，*N*g—无色，*N*p—黄褐色。大部分具有双晶，其中以平行(100)的聚片双晶为主，也见有(102)或(101)的简单双晶和(100)与(102)或(101)构成的复合双晶，(+)2*V*= 56°~86°，*N*p∧001= 7°~20°，*N*g = 1.650 5~1.676 7，*N*p= 1.621 0~1.650 0(误差均为 ±0.002 5)，*N*g-*N*p= 0.023 5~0.048 0。

根据岩石化学分析结果(表 3)和橄榄石的分子式，计算得到硅镁石的分子式：

$$(Mg_{2.04}, Fe^{2+}_{0.11}Fe^{3+}_{0.02}, Mn_{0.00}, Ca_{0.02})_{2.21}SiO_4(F_{0.26}) \quad (5)$$

$$(Mg_{2.10}, Fe^{2+}_{0.07}Fe^{3+}_{0.02}, Mn_{0.00}, Ca_{0.03})_{2.23}SiO_4(F_{0.23}) \quad (6)$$

$$(Mg_{2.03}, Fe^{2+}_{0.07}Fe^{3+}_{0.01}, Mn_{0.01}, Ca_{0.02})_{2.14}SiO_4(F_{0.22}) \quad (7)$$

$$(Mg_{2.21}, Fe^{2+}_{0.11}Fe^{3+}_{0.01}, Mn_{0.01}, Ca_{0.00})_{2.34}SiO_4(F_{0.24}) \quad (8)$$

从上式看出，二价阳离子明显过剩，可以形成硅镁石。根据斜硅镁石的分子式计算得到其化学式如下：

$$Mg_{1.00}[O_{0.16}F_{1.07}(OH)_{0.61}]^{-}_{2.00}\cdot 4(Mg_{1.78}Ca_{0.0022}Mn_{0.005}Fe^{3+}_{0.045}Fe^{2+}_{0.108})_{1.965}Si_{1.02}O_4 \quad (9)$$

$$Mg_{1.00}[O_{0.09}F_{0.88}(OH)_{0.93}]^{-}_{2.00}\cdot 4(Mg_{1.785}Fe^{3+}_{0.0375}Fe^{2+}_{0.07}Ti_{0.01}Ca_{0.0325})_{1.935}Si_{0.97}O_4 \quad (10)$$

$$Mg_{1.00}[O_{0.24}F_{0.89}(OH)_{0.64}]^{-}_{2.00}\cdot 4(Mg_{1.81}Fe^{3+}_{0.025}Fe^{2+}_{0.07}Ca_{0.0025}Al_{0.053})_{1.98}Si_{1.02}O_4 \quad (11)$$

一般认为，硅镁石主要是热液交代成因，如果出现在硅酸盐岩体与镁质大理岩接触的矽卡岩中，可以成为矽卡岩的矿物成分。而在镁橄榄岩中热液交代形成硅镁石需要大量的镁质来源，或者释放出大量的 SiO_2，而本区这种现象并不明显，由此可见，本区的斜硅镁石具有岩浆矿物的特征。

2.4　水镁石

后仙峪地区水镁石可以分为交代成因和充填成因两种类型。蛇纹石金云母化橄榄岩中释放出氧化镁而形成的水镁石，一般与蛇纹石、金云母共生。独立充填的水镁石在镁橄榄岩上部层位中与硅镁石、橄榄石共生，一般呈乳白色团块状或者网脉状集合体分布(图版Ⅰ-4)。

水镁石呈白色、鳞片状、块状或小板状体，一组解理发育。镜下观察为无色、片状，一般为平行消光，负延长，一轴晶(+)，干涉色为一级灰，在同一薄片的垂直方向显波状消光，且各段的干涉色也不同，干涉色最高达二级蓝褐，*N*o= 1.565 0±0.002 5。

水镁石的出现是镁硅酸盐岩浆中阳离子过剩出现游离 MgO的反映，是超镁橄榄岩浆熔离分异作用形成的镁过剩岩浆结晶矿物。

2.5　磁铁矿

磁铁矿是硼镁铁矿建造的主要矿石矿物之一。交代成因的磁铁矿可分 2期：早期磁铁矿稍晚于硅镁石，颗粒较大；晚期磁铁矿属于硼镁铁矿、镁—铁橄榄石、硅镁石族矿物的分解物，呈细分散粒点状，均匀分布，与纤维状硼镁石及蛇纹石相互交织，在个别矿床还见更晚的磁铁矿—黄铁矿(或碳酸盐)脉，其中磁铁矿胶结了破碎的黄铁矿。

磁铁矿为黑色，镜下为无色，均质体，均未见双反射及内反射，偶尔见到磁铁矿被黄铁矿包裹交代的现象。

本区硅镁石与磁铁矿共生，可能与传统认识不同，存在一种特殊的铁镁质过剩的硅酸盐岩浆，形成岩浆成因的硅镁石岩石，属于岩浆期熔离分异形成富氟镁岩浆结晶成因。

根据本区岩石矿物组成分析，镁橄榄岩是由一种铁镁过剩的超铁镁橄榄岩浆熔离而成岩，其

表 3　后仙峪地区斜硅镁石的化学成分与国外资料对比(w_B/%)

Table 3　Comparison of chemical composition of clinohumite with that of abroad data(%)

样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	H_2O^+	H_2O^-	CO_2	P_2O_5	F^-
LD1	36.77	0.06	0.14	2.14	5.01	0.18	50.14	0.85	1.65	0.38	0.08	0.24	3.05
LD2	36.68	0.48	痕量	2.04	3.24	0.06	51.87	1.17	1.44	0.18	–	–	2.65
LD3	37.26	0.10	0.82	0.70	3.14	0.26	50.46	0.86	0.79	0.18	–	–	2.60
芬兰哈门基拉	36.53	0.26	0.22	0.56	5.04	0.34	54.16	–	1.52	0.04	–	–	2.74

注：数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试。

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

镁橄榄岩可以称为超镁橄榄岩。

3 岩石类型及结构构造

3.1 岩石类型

根据矿物组成及产状分析，超镁橄榄岩可以划分为镁橄榄岩和磁铁硅镁石岩两种类型：前者主要分布在超镁橄榄岩层的中下部，呈灰黑色，为致密块状构造，蛇纹石化较强，局部包裹水镁石团块，是遂安石、硼镁石矿化的主要岩石，形成块状、花斑状金云母遂安石硼镁石矿石。后者主要分布在超镁橄榄岩层上部，灰黑色，粗晶—巨晶块状构造，含有硼镁铁矿化磁铁矿，局部均匀分布镍黄铁矿，呈现海绵陨铁结构(图版Ⅰ－5)，其中包裹硼镁铁矿团块及透镜体，镍黄铁矿的出现可以作为典型幔源岩浆的熔离分异来源的重要证据。硅镁石岩是硼镁铁矿与细脉状硼镁石矿化的主要岩石，其中含有水镁石团块。

3.2 岩石结构

超镁橄榄岩在形成之后经历了变质和变形作用的强烈改造，使原有岩体的形态、产状、矿物成分及结构构造都发生了明显变化，原生组构残留较少，而以强烈发育的变质—变形结构构造为主。

(1)自形结晶结构。岩石中橄榄石等矿物均呈中粗晶粒状结构、板状结构或自形粒状嵌晶结构(图版Ⅰ－6)，这是中细粒状镁橄榄石岩的特征结构；矿物颗粒接触界线平直，无相互交代现象，说明这些矿物是同时结晶的，是静态结晶作用的反映。自形板状—柱状结构，是板状镁橄榄石特有的结构，单晶呈板状或者柱状，为自形—半自形，集合体呈束状、放射状，有的晶体呈波状消光，反映岩石形成之后在外力作用下发生了动态重结晶作用。这种自形结晶结构是原始岩浆结晶还是后期次生结晶增大形成，还需要系统地研究。初步分析认为这两种结晶作用都是存在的。

(2)它形交代结构、充填结构。这是蚀变岩石中最常见的结构，可分为：①交代残余结构，镁橄榄石被蛇纹石交代，镁橄榄石呈孤岛状(边界港湾状)分布于蛇纹石中；②交代假象结构，蛇纹石交代镁橄榄石而保留镁橄榄石的粒状晶体假象；③它形充填结构，热液矿物沿裂隙充填形成不规则晶形。在弱蛇纹石化的镁橄榄岩中，蛇纹石化以及析出的磁铁矿沿橄榄石的裂隙分布；在强蛇纹石化的镁橄榄岩中，析出磁铁矿分布于蛇纹石集合体的外围，在单偏光镜下观察，可看到磁铁矿呈网状，网孔明显显示出粒状橄榄石的外形。

(3)变形结构。岩石形成之后经历多次构造变形，岩石变形结构比较明显。脆性变形中的碎裂结构是在岩石矿物受到张性应力时出现的，在本区角砾状、反角砾构造的超镁橄榄岩和蛇纹岩中可见这种结构。韧性变形结构表现为在板状橄榄石中有波状消光、变形带、扭折带、机械双晶等特征。

3.3 岩石构造

(1)厚层块状构造。镁橄榄岩及玄武岩的层理均不明显，常显示为厚层块状，呈均匀的灰黑色或灰绿色面貌，蛇纹石化后显示为灰绿色或灰白色。

(2)变余角砾状构造。角砾呈棱角状、次棱角状以及近圆形，与周围胶结物界线清楚，少数呈犬牙交错状，角砾直径一般为1至数厘米，角砾构造发育处蚀变较强，角砾边缘大部分形成环状蚀变边，内部蚀变较弱，岩石外貌上显示结核状球砾状构造(图版Ⅰ－7)。组成角砾及胶结物的矿物在镜下可见粒状变晶结构和板柱状变晶结构，说明该超镁橄榄岩在变质前为喷发角砾岩。

(3)变余球粒构造。一些岩石中球粒状构造比较发育，一般呈椭球体，部分呈结核状，具定向排列，球粒及结核体间呈三角格架状孔隙，被碳酸盐矿物充填。球粒及结核体的存在表明海底火山喷口附近为局部的动荡环境，由海底火山活动喷出的富镁、铁质的岩浆受到自生富镁质的碳酸盐溶液的交代，成为以镁橄榄石为核心、以富镁的碳酸盐岩为圈层的结核[10]。

(4)变余条带状构造。橄榄岩中条带宽1至数厘米，由镁橄榄石残晶、叶蛇纹石和磁铁矿组成，因含铁量的不同而显示出绿色—黑色条带。条带界限平整，与地层界线平行，延伸较远，条带代表变余的层状构造，是由流动性大的超基性的岩流变质而成的。条带构造主要表现为硅酸盐矿物与磁铁矿互相构成不规则条带。

(5)变余类鬣刺构造。鬣刺构造被认为是科马提岩特有的岩石构造，但是本区很难见到典型的构造形式，在野外岩石露头面上有一些定向的束状构造，薄片中也可以见到一些板状橄榄石定向排列的构造类似科马提岩的鬣刺构造，而在蛇纹石化蚀变的橄榄岩中比较常见(图版Ⅰ－8)，与科马提岩的鬣刺构造接近，因此可以把这种构造称为类

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

鬣刺构造。分析这种类鬣刺构造的成因，主要与岩浆原始喷发环境有关，综合其他方面的资料，本区超镁橄榄岩浆应该是深水下喷发，因此其结晶速度缓慢，结晶颗粒较粗。其次，鬣刺构造中裂隙发育，易于发生热液交代导致蛇纹石化蚀变，并且热液活动也有利于橄榄石发生重结晶形成次生加大晶体。有一些类鬣刺构造可能属于后期构造挤压形成的平行裂隙构造。

(6)变余包含构造。橄榄岩中包含有碳酸岩、水镁石及磁铁矿团块，本区橄榄岩岩浆熔离过程中，橄榄岩与团块两种岩石界限分明，与后期蚀变成因特征不同。以往一般认为水镁石是后期热液交代成因的矿物，但是考虑到在浅成高温喷发环境中，碳酸盐中的碳酸根极易挥发，可能会保留残余的钙镁氧化物，后期水化作用会形成水镁石，因此镁橄榄岩中包含的一些水镁石有一部分应该属于原生岩浆熔离产物。镁橄榄岩中也包含磁铁矿，在后期形成硼镁铁矿的橄榄岩及辉石橄榄岩，分布在镁质橄榄岩层的上部，这是岩浆熔离分异形成的分层现象。具有包含构造的橄榄岩及玄武岩蛇纹石化蚀变明显，很少见到新鲜岩石，全部为含碳酸岩、磁铁矿及水镁石的蛇纹岩。

4　超镁橄榄岩的成因

从上述超镁橄榄岩的岩石学、矿物学特征分析，超镁橄榄岩的岩石矿物组合稳定、单一，具火山喷流构造，作为一个独立的地质体整合于火山—沉积岩系中，说明岩石为裂谷环境下喷出的火山岩。其岩石主要化学成分富 MgO，贫碱，镁铁含量比较高，显示其来源可能是熔融程度较高的地幔残余再次熔融的结果。其岩石化学特征与 N.T.Amdt和 E.G.Nisbet等[11]在 1985年阐述的科马提岩特征有很大相似性。

本区成岩过程是地幔橄榄岩经历较强程度的部分熔融，分离出拉斑玄武岩，尔后残余相又经历重熔，形成富镁低铝的科马提岩质的岩浆，在裂谷环境下喷发，又经岩浆熔离成岩，早期为镁橄榄岩浆喷发，晚期为超镁铁岩浆喷发，形成明显的熔离分层。超镁橄榄岩浆中的 Mg　Fe阳离子成分过剩，在适当条件下形成独立的含 MgO、Fe_2O_3 的矿物，是辽东大石桥硼镁石及硼镁铁矿中的重要镁铁质来源之一。

参考文献:

[1] 董清水，冯本智，李绪俊，等. 辽宁海城—大石桥超大型菱镁矿矿床形成的岩相古地理背景 [J]. 长春地质学院学报，1996，26(1)：69－73.

[2] 李驭亚，刘国春，郑宝鼎. 中国滑石、菱镁矿矿床 [M]//《中国矿床》编委会. 中国矿床(下册). 北京：地质出版社，1994：497－538.

[3] 刘敬党，肖荣阁，王文武，等. 辽东硼矿区域成矿模型 [M]. 北京：地质出版社，2007.

[4] 黄作良，王濮，冯本智. 辽吉硼矿床矿物学 [M]. 北京：地质出版社，1999.

[5] 冯本智，邹日. 辽宁营口后仙峪硼矿床特征及成因 [J]. 地学前缘，1994，1(4)：235－237.

[6] 冯本智，卢静文，邹日，等. 中国辽吉地区早元古代大型—超大型硼矿床的形成条件 [J]. 长春科技大学学报，1998，28(1)：1－15.

[7] 张秋生. 辽东半岛早期地壳与矿床 [M]. 北京：地质出版社，1988.

[8] 王秀璋. 东北内生硼矿床的矿物组成和矿床成因研究 [M]. 北京：科学出版社，1974.

[9] 肖荣阁，大井隆头，费红彩，等. 辽东地区沉积变质硼矿床及硼同位素研究 [J]. 现代地质，2003，17(2)：137－142.

[10] 邹日，冯本智. 营口后仙峪硼矿容矿火山—热水沉积岩系特征 [J]. 地球化学，1995，24(S1)：46－54.

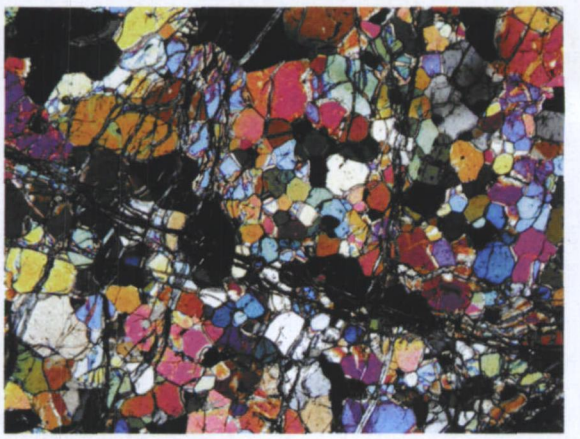
[11] Amdt N T，Nisbet E G. 科马提岩 [M]. 颜秉纲，王炳熙，白文吉，等译. 北京：地质出版社，1985.

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

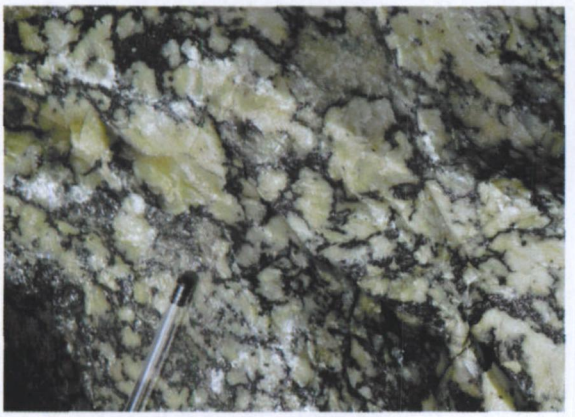
肖荣阁等：辽东后仙峪地区元古界超镁橄榄岩岩石学及其成因 图版 I



图版 I－1 大石桥后仙峪矿区巨厚层镁橄榄岩



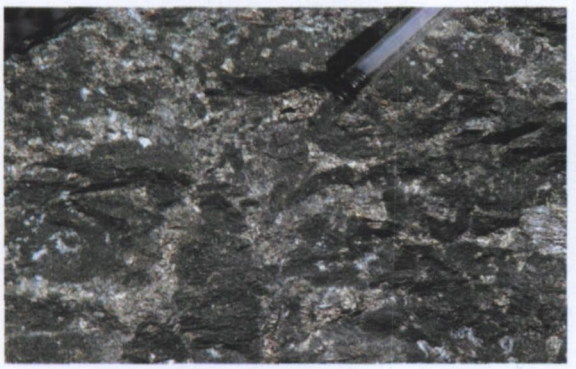
图版 I－2 镁橄榄岩显微照片，正交偏光，3 mm×4 mm



图版 I－3 大石桥后仙峪矿区硅镁石岩



图版 I－4 蛇纹石化水镁石橄榄岩，白色团块为水镁石



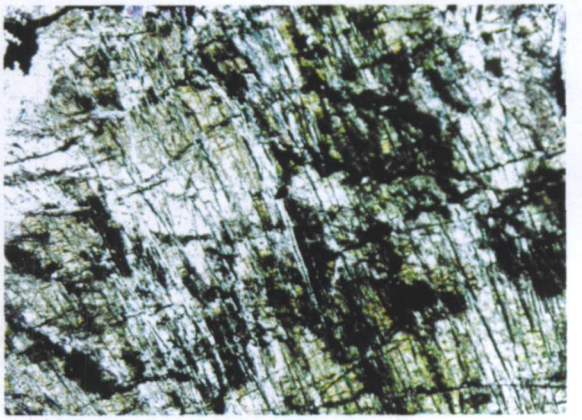
图版 I－5 辉石橄榄岩中的镍黄铁矿，海绵陨铁结构



图版 I－6 板状镁橄榄岩显微照片，正交偏光，3 mm×4 mm



图版 I－7 蛇纹石化水镁石橄榄角砾岩



图版 I－8 橄榄岩变余鬣刺构造，正交偏光，3 mm×4 mm

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