

西藏蛇绿岩地幔中的主要自然金属矿物

白文吉¹, 杨经绥¹, 方青松¹, 颜秉刚¹, 张仲明¹,
任玉峰¹, 施倪承², 马喆生², 代明泉²

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:在西藏雅鲁藏布江蛇绿岩带的罗布莎蛇绿岩块的豆荚状铬铁矿床中,揭示出一个由70~80种矿物组成的地幔矿物群,包括自然金属、合金、硫(砷)化物、氧化物和硅酸盐等。这些矿物呈包裹体或脉石产于铬铁矿石中,经人工重砂分析,自然元素矿物有自然硅、自然铁、自然锌、自然铅、自然铝、自然铬、自然锡、自然镍、自然钨、自然钛、自然钼、自然铌、自然钽、自然钡、石墨、金刚石、自然金和自然银等。文中选择一些自然元素矿物,探索这些地幔矿物特点以及蛇绿岩和铬铁矿的形成机制。根据共生矿物群以及罗布莎地幔橄榄岩为新鲜的未蛇纹石化的岩石,认为罗布莎自然元素矿物与蛇纹石化作用无关。它们可能是在地核形成时期滞留于地幔中的成核物质,抑或是核-幔之间化学反应的产物,后来被铬铁矿矿浆捕获,并同铬铁矿一起由地幔柱作用和板块作用侵位于浅部并仰冲出露于地表。

关键词:西藏; 蛇绿岩; 铬铁矿; 自然元素矿物

中图分类号:P618.2; P588.12⁺5 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2004)01-0179-09

0 引言

自然元素矿物,尤其已知来自地幔深部的自然元素矿物,更具有研究意义,是地球深部的宝贵金属样品。某些自然元素矿物在地壳中亦可以见到,但是它们与深部地幔中形成的有何不同,这需要与地幔自然元素矿物进行比较才能得知。因此首先能确定某些自然元素矿物衍生于地幔这一点就十分重要。从西藏蛇绿岩地幔岩中选出的自然元素矿物,不单可确定它们的地幔成因,而且推断这些物质可能也是地核物质的组成部分。

对于自然元素矿物,尤其来自地幔的自然元素矿物,资料逐渐增多。最近在远东地区 Koryak 高原蛇绿岩的超基性岩和铬铁矿内发现自然铁、自然铜、自然铬、自然铝、自然锡、自然铅、自然镍、自然锌、自然硅、自然铋和自然碲等自然元素矿物^[1]。

Makeeb (1992)总结了乌拉尔地区蛇绿岩有关的矿物,其中自然元素矿物种类较多,如自然金、自然铜、自然钡、自然银、自然铁、自然铬、自然钼和自然铌等^[2]。在哈萨克斯坦肯皮尔赛(Kompirsai)蛇绿岩铬铁矿中也找到铂族元素合金和几种贱金属自然元素矿物^[3]。可见蛇绿岩的地幔中的自然元素矿物发现得越来越多,它们为大洋地幔环境方面带来很多信息。

1 地质背景

本文报道的赋存自然元素矿物的蛇绿岩豆荚状铬铁矿床,分布在西藏雅鲁藏布江缝合带内。在拉萨市西南200 km处的罗布莎蛇绿岩块由地幔方辉橄榄岩相、堆晶岩相和蛇纹混杂岩相组成(图1)。

罗布莎蛇绿岩块的北侧和南侧均为断层限制,北侧除为断层边界外,还被第三系砾岩覆盖,南侧与三叠系呈断层接触。罗布莎蛇绿岩块为仰冲的古大洋壳的岩片。该岩块东西长42 km,南北向最宽处约4 km,总面积70 km²^[4,5]。

豆荚状铬铁矿床分布在方辉橄榄岩岩相中,矿体呈豆荚状,成群成带出现(图1)。矿体主要由块状

收稿日期:2003-07-15;修订日期:2004-01-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49972073)

作者简介:白文吉(1935—),男,研究员,长期从事镁铁-超镁铁岩及其有关矿产研究工作。

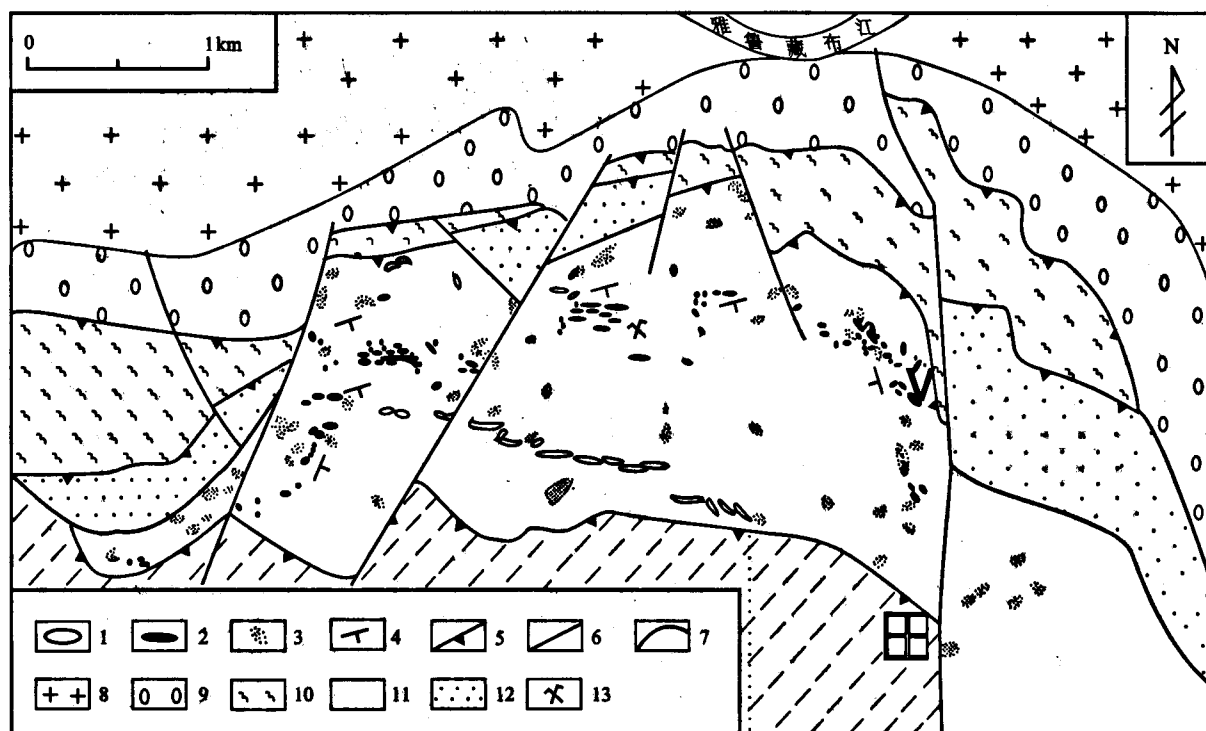


图1 西藏罗布莎蛇绿岩及铬铁矿矿体分布图
(据 Zhou 等, 1996; Bei 等, 2000)

Fig. 1 Geological map of the Luobusha ophiolite showing the distribution of podiform chromitites orebodies
1—辉长岩脉; 2—铬铁矿体; 3—纯橄岩脉; 4—流面产状; 5—逆断层; 6—断层; 7—不整合界线; 8—花岗岩基;
9—第三系砾岩; 10—蛇绿混杂岩; 11—方辉橄岩; 12—堆晶纯橄岩-辉石岩; 13—矿山及取样地点

矿石和豆状矿石组成, 间杂浸染状矿石。该矿床已知矿石储量为 500 万 t, 矿石特点是高 Cr_2O_3 , 铬尖晶石的 Cr_2O_3 质量分数可达 59%~68%。

2 样品采集与分析技术

1996 年研究组在罗布莎铬矿山的井下 (31 号矿体) 采集约 1 500 kg 铬矿石, 立刻包装运往拉萨实验室, 经清洗后粉碎成 1 cm 直径矿块后运往国土资源部郑州矿产综合利用研究所选金刚石。选金刚石及伴生矿物所用设备均无选金刚石和超镁铁岩的历史。选矿机器设备经彻底清洗。

选矿程序, 包括重选、磁选、电选和浮选。最后的精矿在室内手选和双目镜下挑选。选出的大多数自然元素矿物粒径在 0.1~0.3 mm, 许多矿物与铬尖晶石呈连晶。选出的自然金属矿物等, 被镶嵌在铜台上, 并制成光片, 然后在能谱仪上进行系统的成分测定。自然元素矿物成分测定是在北京冶金矿山总院电子探针室进行, 使用仪器为日本日立公司出产的 S-3500N 扫描电镜, 加英国牛津公司出产的 INCA 能谱仪。工作条件加速电压 20 kV, 工作距

离 15 mm, 用 Co 标样或用纯金属标样校正。将能谱分析结果归成 100%。

2.1 自然硅 (native silicon)

罗布莎铬铁矿中的自然硅包体产于碳硅石 (SiC) 中或呈连晶与 Fe_3Si_7 合金共生 (图 2A), 在光片中为暗灰色。经拉曼谱仪分析, 自然硅的位移峰值与单晶硅的相同, 为 520.0 cm^{-1} 。罗布莎自然硅的能谱谱线图见图 3A。自然硅产于阿尔卑斯型或蛇绿岩型的超镁铁岩内, 早期发现于 Oregon Josephine Greek 地区^[6]。在雅库特金伯利岩中的金刚石中有自然硅^[7]。罗布莎豆荚状铬铁矿中的自然硅的化学成分单一, 除个别颗粒含微量 Fe 外, 几乎不含任何杂质 (表 1)。

2.2 自然铁 (native iron)

西藏铬铁矿石中自然铁颗粒粒径大约 100 μm , 有时见有浑圆的珠状外形, 并且被更大的 $(\text{FeMn})\text{O}$ (方铁矿) 包围。一般呈圆粒状外形。罗布莎自然铁含有少量 Mn, 其能谱谱线图见图 3B。

在蛇绿岩和铬铁矿中有自然铁的实例, 如 Koryak 高原的蛇绿岩, 发现自然铁成分: Fe 的质量分数为 98.2%~100%, Cu 的质量分数为 0.01%, Mn

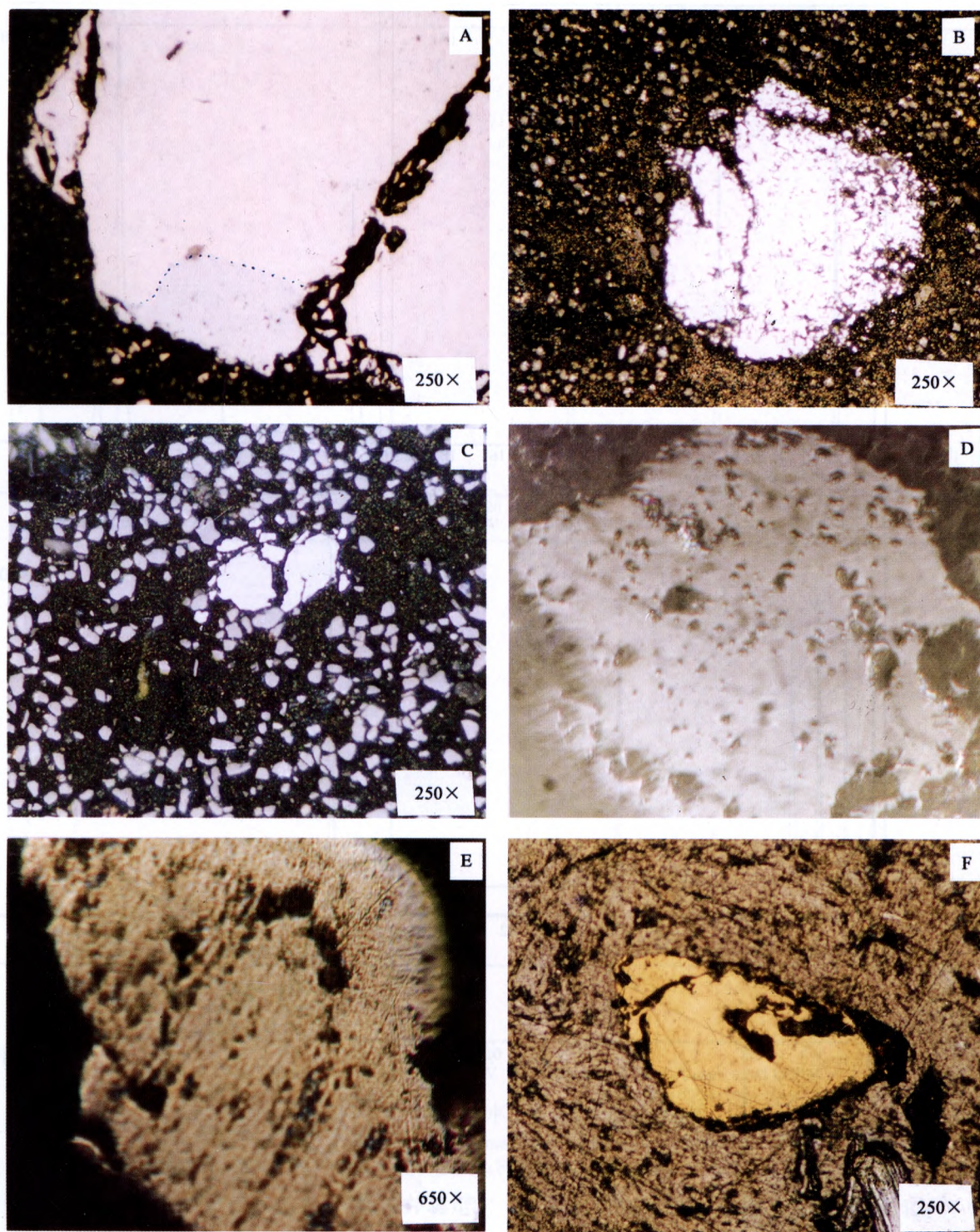


图2 西藏罗布莎铬铁矿中的自然元素矿物反射光下显微相片

Fig. 2 Reflected-light photomicrographs of native elements from chromitite of the Luobusha, Tibet

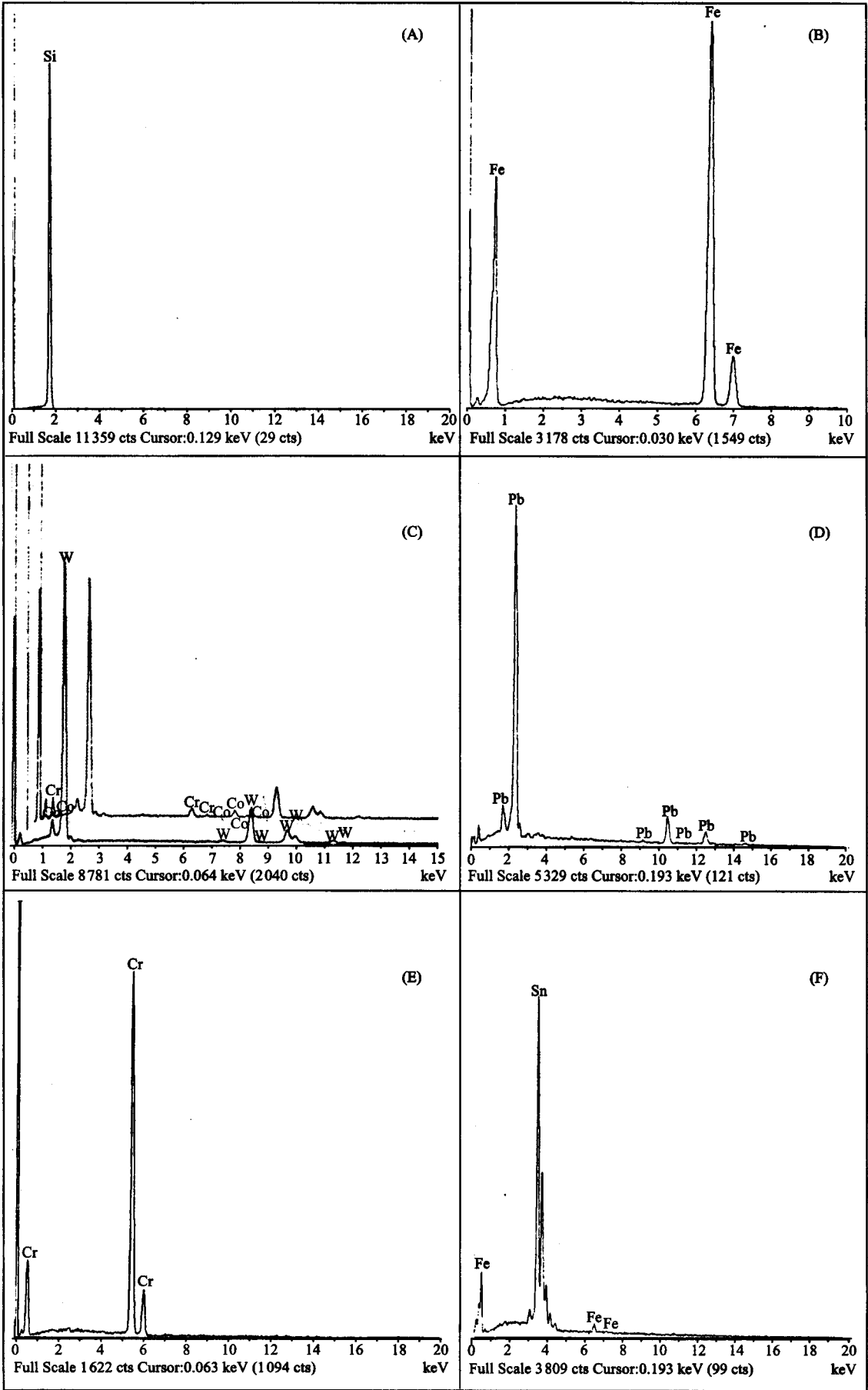
A—自然硅(下部灰色)和 Fe_3Si_7 合金(上部);B—自然钨,由小粒聚集体组成;C—自然铬(中部二粒);D—自然锡;E—自然锌;F—自然金

的质量分数为0.02%~0.71%,Si的质量分数为0.00%~0.09%^[1]。

在罗布莎自然铁颗粒中有呈浑圆的粒状,显示曾经液滴状出现过,它被 $(\text{FeMn})\text{O}$ (锰方铁矿)包

围。含Mn方铁矿的化学成分:MnO的质量分数为20%,FeO的质量分数为80%。

方铁矿的能谱谱线图表明,方铁矿主要含Fe、O和少量Mn。在Tanzania的金刚石中曾发现过方铁



(图接下页)

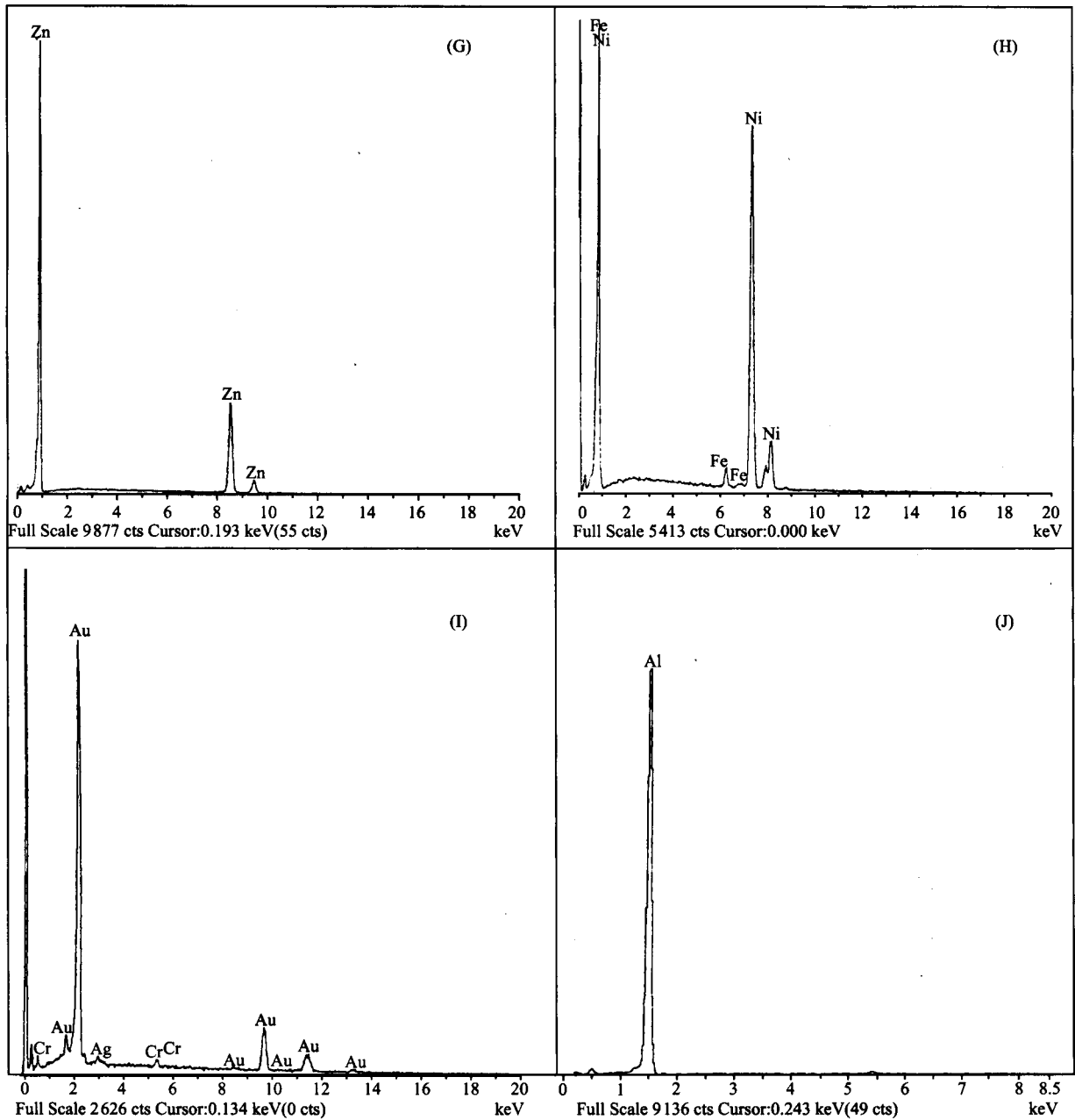


图3 罗布莎铬铁矿中自然元素矿物的能谱图

Fig. 3 Energy spectra for native elements from chromitites in Luobusha, Tibet

A—自然硅; B—自然铁; C—自然钨; D—自然铅; E—自然铬; F—自然锡; G—自然锌; H—自然镍; I—自然金; J—自然铝

矿与自然铁共生,而且方铁矿包裹自然铁,并确定它们形成于大于 670 km 的下地幔^[8]。

2.3 自然钨(native tungsten)

在罗布莎铬铁矿人工重砂中可见到自然钨和钨碳合金。自然钨呈粒状,粒径 50~100 μm 居多,为灰色硬度较高的金属。一个较大颗粒钨由更小的粒状钨组成(图 2B)。自然钨主要成分为钨,但普遍含 Cr、Ni 和 Co 等地幔元素杂质,表明它们具有地幔特征。自然钨化学成分列入表 3 中。

罗布莎自然钨的 Co、Cr 和 W 的 $K\alpha$ X 射线图像表明,Cr 和 Co 分布不均,主要由于小颗粒含 Cr、Co 的差异引起的。钨的能谱谱线图如图 3C。

2.4 自然铅(native lead)

罗布莎铬铁矿石的人工重砂中出现很稀少的自然铅,粒径 200 μm 左右,呈较圆粒状。显微镜下观察为灰色,硬度低,布满纵横裂纹,形成“羽毛”状花纹。裂纹中没有充填其它物质。自然铅能谱图如图 3D。

表 1 罗布莎自然硅化学成分
Table 1 Chemical compositions of native silicon
from chromitite of the Luobusha

样号	w _B /%			误差 (σ)	分子式
	Si	Fe	总计		
38-2-2	100.00	0.00	100.00	0.00	Si
38-2-3	100.00	0.00	100.00	0.00	Si
30-2-8	99.89	0.11	100.00	0.28	Fe _{0.01} Si _{0.99}
38-34	100.00	0.00	100.00	0.29	Si
34-3-1	100.00	0.00	100.00	0.42	Si
4-6	100.00	0.00	100.00	0.34	Si
31-2-10	100.00	0.00	100.00	0.27	Si
32-3-9-3	100.00	0.00	100.00	0.29	Si
32-3-9-4	100.00	0.00	100.00	0.32	Si
38-2-A	100.00	0.00	100.00	0.28	Si
38-2-1	54.19	45.81	100.00	0.46	Fe ₃ Si ₇ 连生体

表 2 罗布莎自然铁的化学成分
Table 2 Chemical compositions of native
iron from chromitite of Luobusha

样号	w _B /%					分子式
	Fe	Si	Mn	Al	总计	
23-17	98.90	0.19	0.91	0.00	100.00	Fe _{0.99} Mn _{0.01}
2-1B	98.08	0.03	0.54	1.35	100.00	Fe _{0.965} Al _{0.03} Mn _{0.01}
16-16	97.73	0.00	0.65	0.00	100.00	Fe _{0.984} Al _{0.01} Mn _{0.006}
2-4	100	0.00	0.00	0.00	100.00	Fe
2-1	100	0.00	0.00	0.00	100.00	Fe
38-22-1	98.95	0.50	0.55	0.00	100.00	Fe _{0.965} Si _{0.01} Mn _{0.01}
38-22-2	99.23	0.40	0.36	0.00	100.00	Fe _{0.98} Si _{0.08} Mn _{0.04}
38-22-3	98.69	0.48	0.87	0.00	100.00	Fe _{0.98} Si _{0.01} Mn _{0.01}
38-10-1	96.77	0.00	3.23	0.00	100.00	Fe _{0.97} Mn _{0.03}

注:误差(% SE)Fe 0.17~0.39, Mn 0.15~1.80。

表 3 罗布莎的自然钨化学成分
Table 3 Chemical compositions of native tungsten
in the Luobusha

样号	w _B /%					误差 (σ)	分子式
	W	Co	Ni	Cr	总计		
21-16-1	98.75	1.25	0.00	0.00	100.00	0.38	W _{0.96} Co _{0.04}
31-16-2	93.04	6.96	0.00	0.00	100.00	0.46	W _{0.82} Co _{0.18}
31-16-3	91.95	4.53	0.00	3.51	100.00	0.29~0.49	W _{0.78} Co _{0.11} Cr _{0.11}
31-16-4	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	W
31-2	98.44	1.56	0.00	0.00	100.00	0.43~8.50	W _{0.95} Co _{0.05}
31-9	98.66	1.63	0.31	0.00	100.00	0.47~40.00	W _{0.94} Co _{0.05} Ni _{0.01}
31-16	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	W
23-16	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	W
39-8	99.79	0.21	0.00	0.00	100.00	0.27~80.00	W _{0.99} Co _{0.01}

罗布莎自然铅的化学成分单一,Pb 的质量分数为 100%,无其他杂质(3 个分析平均)。在 Koryak 高原中的蛇绿岩的地幔岩中发现过自然铅^[1],表明

地幔中有铅赋存。

2.5 自然铬(native chrominum)

罗布莎铬铁矿石的人工重砂中和薄片中都见有自然铬。该矿物在镜下呈灰白色,硬度较高,反射率较高(图 2C)。经电子探针和能谱仪分析,其化学成分单一,2 个颗粒 6 个分析结果,Cr 的质量分数为 100%,无其它成分杂质。自然铬的能谱谱线图也充分表现出单一成分特征(图 3E)。

在罗布莎铬矿石的人工重砂和光片中,早期已发现自然铬^[9],Cr 质量分数为:99.1%~102.8%;粉末 X 射线衍射分析: $a_0 = 2.889 \times 10^{-10} \text{ m}$;硬度:VHN100=1 064~1 114 kg/mm²;反射率:480 μm/62~64 μm,546μm/60~63μm,589μm/59~62μm,656μm/58~61μm。

自然铬也发现于乌拉尔地区蛇绿岩和 Koryak 地区蛇绿岩的地幔橄榄岩和铬铁矿石中^[1,2]。

2.6 自然锡(native tin)

在罗布莎铬矿石的人工重砂中见有少量锡,它为灰色的、硬度很低的粒状矿物(图 2D),粒径 100~200 μm。经能谱仪分析,已知除 Sn 外,尚含少量的 Fe(图 3F)。罗布莎自然 Sn 的化学成分列入表 4。自然锡矿物也在 Koryak 蛇绿岩的地幔岩中存在^[1],表明 Sn 这种低熔点金属也同铅一样赋存在地幔中。

表 4 罗布莎铬铁矿石中的自然锡化学成分
Table 4 Chemical compositions of native tin from
chromitite in the Luobusha Tibet

样号	w _B /%			误差 (σ)	分子式
	Sn	Fe	总计		
38-12-1	97.36	2.64	100.00	0.27	Sn _{0.95} Fe _{0.05}
39-12-2	97.26	2.74	100.00	0.26	Sn _{0.94} Fe _{0.06}
38-13-3	97.10	2.90	100.00	0.27	Sn _{0.94} Fe _{0.06}
38-13-1a	97.79	2.21	100.00	0.18	Sn _{0.95} Fe _{0.05}
38-13-1b	97.48	2.25	100.00	0.18	Sn _{0.95} Co _{0.05}
38-13-1c	97.57	2.43	100.00	0.18	Sn _{0.95} Fe _{0.05}

2.7 自然锌(native zinc)

自然锌呈灰色,反射率较低,粒径 100 μm 左右,选自铬铁矿石的人工重砂中。2 个颗粒径能谱分析多个点表明,该矿物化学成分单一没有其他杂质,Zn 质量分数为 100%,在能谱谱线图(图 3G)也反映了自然锌成分纯净特点。

自然锌在蛇绿岩中产出的另一个地点是 Koryak 高原,除自然锌外,在 Koryak 蛇绿岩中尚发现 Cu-Zn 合金^[1],锌存在于地幔中,也表明地幔乃至地

核的金属组成可能是多样的复杂的。值得注意的是在自然锌大颗粒中包含有一种包裹体矿物(图 2E), (分析点 1、2 为自然锌, 3、4 为包裹体矿物), 该矿物化学成分如表 5。

自然锌中的 2 粒包体在电镜下观察为八面体自形晶(图 2E 黑色), 如果按 O(氧)离子数为 8, 阳离子价数与阴离子氧的价数相比分别为: 14. 41/16. 00 和 15. 89/16. 00, 近于 1。因而该 2 粒包裹体矿物为方锌矿(ZnO)。Cr 杂质出现表明, 该矿物具地幔成因。根据八面体晶形推断方锌矿, 它与方镁石(periclase) 和方铁矿(wustite)一样为下地幔深部的矿物。该矿物有进一步研究价值。

表 5 罗布莎铬铁矿石中自然锌和包体化学成分

Table 5 Chemical compositions of native zinc and inclusions in it from chromitite of the Luobusha

样号	$w_B/\%$					总计	分子式
	Zn	Cr	K	S	O		
38-12-1	100	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	Zn
39-12-2	100	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	Zn
38-12-3	42.50	1.19	0.09	2.97	53.25	100.00	ZnO
38-12-4	38.94	0.99	0.64	4.67	54.76	100.00	ZnO

自然锌的能谱谱线图(图 3G)和方锌矿(ZnO)的能谱谱线图, 都是非常清晰的。

2.8 自然镍(native nickel)

具有强金属光泽、银白色的自然镍, 在反光显微镜下具有浅黄色调, 并为均质矿物。自然镍的颗粒一般为 50~100 μm 直径的粒状矿物。

罗布莎自然镍均含少量铁杂质, 其化学成分列入表 6。自然镍的能谱图如图 3H。

自然镍在西藏北部东巧蛇绿岩的铬铁矿石中曾被发现过, 其分子式: $Ni_{0.763 \sim 0.976} Fe_{0.187 \sim 0.018} Co_{0.05 \sim 0.006}$; 除含 Fe 杂质外, 尚含少量 Co 杂质^[10]。在新喀里多尼亚(New Caledonia)的 Sud 蛇绿岩的铬铁矿中也见到自然镍^[11], 在 Koryak 蛇绿岩块中的岩石中也发现自然镍^[1], 表明自然镍在地幔内普遍存在。

表 6 罗布莎铬铁矿石中的自然镍化学成分

Table 6 Chemical compositions of native nickel from chromitite of the Luobusha

样号	$w_B/\%$			误差 (σ)	分子式
	Ni	Fe	总计		
1-17-1	97.49	2.51	100.00	0.14	$Ni_{0.97} Fe_{0.03}$
1-17-2	97.62	2.38	100.00	0.13	$Ni_{0.98} Fe_{0.02}$
1-17-3	97.56	2.44	100.00	0.13	$Ni_{0.97} Fe_{0.03}$

2.9 自然金(native gold)

罗布莎铬铁矿中的自然金出现于人工重砂中的机会比任何金属矿物都多。自然金呈各种形状, 粒径在 0.3~1 mm 之间较多。在双目镜下观察呈金黄色。罗布莎铬铁矿中的自然金化学成分特点是含有少量金属铬和银(表 7)。

自然金的显微镜下观察(图 2F)表明其反射率较高并呈金黄色。自然金含有杂质 Cr 表明它来自地幔。自然金能谱图为图 3I。

2.10 自然铝(native aluminium)

在罗布莎铬铁矿石人工重砂中偶见自然铝, 为硬度低灰白色金属, 粒径约 100 μm 。自然铝的化学成分除 Al 外, 尚含少量 Cr, 确定 Al 来自地幔。一个颗粒 2 个分析的平均化学成分(质量分数): Al 为 97.46%, Cr 为 2.54%, 总计 100%, 分析误差 Al 为 0.32%, Cr 为 0.422%。罗布莎自然铝分子式: $Al_{0.98} Cr_{0.02}$ 。自然 Al 与自然铁连生。西藏铬铁矿中自然铝的发现表明地幔中含自然铝。自然铝的能谱图如图 3J。

在 Koryak 高原的蛇绿岩中的超基性岩内发现过自然铝^[1]。

3 讨论

在西藏雅鲁藏布江流域分布着规模巨大的蛇绿岩带, 罗布莎蛇绿岩块位于该蛇绿岩带西部, 它主要由地幔方辉橄榄岩、堆晶岩和蛇纹混杂岩相组成^[4, 12, 13]。最近 2 年, 在罗布莎方辉橄榄岩的豆荚状铬铁矿中选取了金刚石、自然元素矿物、合金、硫(砷)化物、氧化物和硅酸盐矿物 60~70 种^[12]。

表 7 罗布莎铬铁矿石中的自然金化学成分

Table 7 Chemical compositions of gold from chromitite of the Luobusha

样号	$w_B/\%$				误差 (σ)	分子式
	Au	Ag	Cr	总计		
7-18-1	88.71	10.26	1.03	100.00	0.17~0.45	$Au_{0.80} Ag_{0.16} Cr_{0.04}$
7-18-2	88.53	10.47	1.00	100.00	0.17~0.44	$Au_{0.79} Ag_{0.17} Cr_{0.04}$
7-18-3	88.61	9.61	1.77	100.00	0.18~0.44	$Au_{0.79} Ag_{0.15} Cr_{0.06}$
7-14-1	92.87	6.28	0.88	100.00	0.17~0.41	$Au_{0.86} Ag_{0.10} Cr_{0.04}$
7-14-2	93.63	6.37	0.00	100.00	0.17~0.38	$Au_{0.89} Ag_{0.11}$
7-17-1	95.77	2.38	1.84	100.00	0.18~0.40	$Au_{0.89} Ag_{0.04} Cr_{0.07}$
7-17-2	95.99	3.40	0.61	100.00	0.18~0.41	$Au_{0.92} Ag_{0.06} Cr_{0.02}$
7-17-3	96.50	3.62	0.00	100.00	0.17~0.39	$Au_{0.94} Ag_{0.06}$

按板块观点来看, 罗布莎蛇绿岩块是古大洋壳和

上地幔的碎块,原形成于板块增生区,后来由于大陆缝合作用而仰冲到大陆上^[14,15]。增生板块是由于热地幔柱活动将深部地幔物质搬运到增生板块区形成的新洋壳和上地幔^[16]。Anderson(1971)认为补给增生板块岩石圈的地幔柱产生于核幔边界(深约2 900 km),即CMB的D'层^[17]。由于该处地核相对于地幔呈高速旋转,旋转的阻力不断转化为热能并积累在核幔边界一带,为地幔柱形成和侵位提供充足的能量^[18]。核幔边界带温度可达3 457 °C^[19]。以罗布莎Os-Ir-Ru合金为例,低压下的熔化温度不过2 570 °C^[6],来自核幔边界带的地幔柱,可以熔化地幔中的硅酸盐和自然元素矿物和合金。地幔柱上升带来了深部地幔物质和铬铁矿。因为上地幔方辉橄榄岩的岩浆活动遗迹十分明显,如罗布莎岩块中纯橄榄岩脉穿切方辉橄榄岩;在显微镜下见到第二世代橄榄石代替局部熔化了了的斜方辉石^[13];在罗布莎地幔方辉橄榄岩中存在球状-角砾状构造的方辉橄榄岩脉(岩墙),即基质为细粒橄榄岩胶结了球状(数cm~数10 cm规模)的橄榄岩块,与Josephine Creek的角砾状岩墙相似^[6,20],这些现象都为地幔柱岩浆活动提供了证据。此外,罗布莎豆荚状矿体由高Cr(冶金级)铬尖晶石(Cr_2O_3 质量分数为59%~68%)组成,而其寄主岩石方辉橄榄岩中铬尖晶石则是高Al(耐火级)铬尖晶石,两者成分完全不同,表明罗布莎铬铁矿体对方辉橄榄岩而言为外来矿块,非就地成因^[12,13]。因而有理由认为是地幔柱带来铬铁矿体及其中的种类繁多的包裹体矿物,包括本文提及的自然元素矿物。

除金刚石外,尚在罗布莎铬铁矿人工重砂或薄片中找到八面体假象蛇纹石^[12,21]和绿泥石,推断它们是硅酸盐尖晶石或钙钛矿的蚀变产物。按实验,这类硅酸盐应来自下地幔^[22,23]。此外,最近我们又在FeNi₃合金中发现了呈细粒八面体产出的方镁石(成分为MgO),在铬铁矿人工重砂中找到含Mn方铁矿(Mn FeO), (FeO)和石英(SiO_2)长柱状交生体。认为后者可能是铁硅酸盐在高压下分解的产物^[24]。上述现象都表明,在罗布莎铬铁矿中存在下地幔超高压矿物组合。

自然元素矿物形成于强还原环境,地幔深部存在自然元素矿物可能是在成核过程中滞留在地幔中的地核物质,被铬铁矿成矿过程吸收于矿石中^[12],后来被地幔柱带到浅部。由于罗布莎地幔岩均为新鲜的方辉橄榄岩,所以它的自然元素矿物形成与蛇

纹石蚀变作用无关。地幔柱的深部作用和板块构造的浅部构造作用以及深部成因铬铁矿捕获并保护了深地幔矿物,才使我们今天可能获得深部地幔的大量矿物信息。

感谢加拿大达霍希(Dalhousie)大学海洋地质中心P. T. ROBINSON教授、西藏地质矿产局巴登珠高级工程师、西藏地质二队、罗布莎铬矿山的领导给予的帮助。在选矿工作中和能谱测定分析工作中,得到国土资源部郑州矿产综合利用研究所和北京冶金矿山研究总院电子探针室的帮助,一并感谢。

References[参考文献]:

- [1] RUDASHEVSKY N S, DMITRENKO G G, MOCHALOV A G, et al. Native metals and carbides in alpine-type ultramafics of Koryak Highland[J]. *Mineral Zh*, 1987, 9 (4): 71-82 (in Russian).
- [2] MAKEEB Б. Минералогия Альпинотипных Ультрабазитов Урал а [M]. Санкт-Петербург: "Наука", 1992.
- [3] MELCHER F, GRUM W, SIMON G, et al. Petrogenesis of giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: A study of solid and fluid inclusions in chromite[J]. *J Petrol*, 1997, 28: 1419-1458.
- [4] ZHOU Meifu. Petrogenesis of the Podiform Chromitites in the Luobusa Ophiolite, Southern Tibet[D]. Dalhousie Univ. Halifax, Nova Scotia, Canada, 1995.
- [5] BAI W J, ROBINSON P T, FANG Q S, et al. The PGE and base-metal alloys in the podiform chromitites of the Luobusa ophiolite, southern Tibet[J]. *The Canadian Mineralogist*, 2000, 28: 585-598.
- [6] BIRD J M, WEATHERS M S. Josephinite: Specimens from the Earth's core[J]? *Earth Planet, Sci Lett*, 1975, 28: 51-64.
- [7] МАВРИШИНЦЕВ В К. Природный Карбид Кремния в кимберлитовых породах Якутии [J]. *Минеральный Журнал*, 1990 (3): 17-26.
- [8] STACHEL T, HARRIS J W, BREY G P. Rare and unusual mineral inclusions in diamonds from Mwadui, Tanzania[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1998, 132: 34-47.
- [9] ZHU Mingyu, LIU Yunxiang. Discovery of native chromium in Xizang(Tibet)[J]. *Chin Sci Bull*, 1981, 26(11): 1014-1017.
- [10] HUANG Yunhui, YUE Shuqin, QIN Shuying, et al. Natural elements and combined minerals[A]. *Mineral Annals of China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000 (in Chinese). [黄蕴慧, 岳树勤, 秦淑英, 等. 自然元素单质及其互化物矿物[A]. 中国矿物志[M]. 北京: 地质出版社, 2000.]
- [11] JOHAN Z. Chromite deposits of New Caledonian ophiolite nappes[A]. PETRASOGECK W. *Chromites*[M]. Athens,

- Greece; Theophrastus Publ S A, 1986. 311-338.
- [12] BAI Wenji, ZHOU Meifu, ROBINSON P T, et al. *Origin of Podiform Chromitites, Diamonds and Associated Mineral Assemblage in the Luobusa Ophiolite, Tibet*[M]. Beijing: Seismological Press, 2000. 98(in Chinese). [白文吉, 周美付, ROBINSON P T, 等. 西藏罗布莎豆荚状铬铁矿、金刚石及伴生矿物成因[M]. 北京: 地震出版社, 2000. 98.]
- [13] BAI Wenji, FANG Qingsong, ZHANG Zhongming, et al. The genesis of Luobusa mantle peridotites in Yarlung Zangbo River ophiolite zone, Tibet[J]. *Acta Petrol et Mineral*, 1999, 18(3): 193-206(in Chinese). [白文吉, 方青松, 张仲明, 等. 西藏雅古藏布江蛇纹岩带罗布莎地幔橄榄岩的成因[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(3): 193-206.]
- [14] DEWEY J F, BIRD J M. The origin and emplacement of the ophiolite suite; Appalachian ophiolites in Newfoundland[J]. *J Geophys Res*, 1971, 76: 3179-3206.
- [15] COLEMAN R G. Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges[J]. *J Geophys Res*, 1971, 76: 1212.
- [16] MORGON W J. Deep mantle convection plume and plate motion[J]. *Am Assoc Pet Geol Bull*, 1972, 56: 203.
- [17] ANDERSON D L, C SAMMIS, JORDAN T. Composition and evolution of the mantle and core[J]. *Science*, 1971, 171: 1103.
- [18] YANG Xuexiang, ZHANG Xiyun. Starting power of plumes[J]. *Global Geology*, 1996, 15(2): 68-74(in Chinese). [杨学祥, 张玺云. 热幔柱的启动动力[J]. 世界地质, 1996, 15(2): 68-74.]
- [19] ZHANG Shaoquan. *An Introduction of Geophysics*[M]. Beijing: Seismological Press, 1988(in Chinese). [张少泉. 地球物理学概论[M]. 北京: 地震出版社, 1988.]
- [20] BIRD J M, WEATHERS M S. Origin of josephinite[J]. *Geochem J*, 1979, 13: 41-55.
- [21] YANG Fengying, KANG Zhiqin, LIU Shuchun. A new octahedral pseudomorph of lizardite and its origin[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1981(1): 52-55(in Chinese). [杨凤英, 康志勤, 刘淑春. 蛇纹石八面体假象及其成因的初步讨论[J]. 矿物学报, 1981(1): 52-55.]
- [22] RINGWOOD A E, MAJOR A. The system Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 at high pressures and temperatures[J]. *Phys Earth Planet Interiors*, 1970(3): 89-108.
- [23] LIU L. The high pressure phase of $MgSiO_3$ [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1976, 31: 200-208.
- [24] BAI Wenji, TAO Shufeng, SHI Rendeng, et al. A new intergrowth consisting of FeO and SiO_2 phases from lower mantle[J]. *Continental Dynamics*, 2001, 6(2): 1-7.

SOME NATIVE METALS FROM OPHIOLITIC CHROMITITES IN TIBET

BAI Wen-ji¹, YANG Jing-sui¹, FANG Qing-song¹, YAN Bing-gang¹, ZHANG Zhong-ming¹,
REN Yu-feng¹, SHI Ni-cheng², MA Zhe-sheng², DAI Ming-quan²

(1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: Some native metal minerals from podiform chromitites of the Luobusha ophiolite in the Yarlong Zangbu ophiolite belt have been discovered, in which about 70~80 types of minerals are present, including native elements, alloys, sulphides, oxides, silicates, and diamonds. These minerals as inclusions are included in the chromitite, which have been collected from separation of a 1 500 kg sample of chromitite, the native element minerals are native silicon, iron, tungsten, lead, aluminum, chromium, tin, zinc, nickel and gold, besides these there are native ruthenium, palladium, silver, osmium, iridium and graphite. Based on these minerals and the mineral assemblage, we suggest that the native element minerals have no relationship with serpentinization in generation, because the mantle harzburgite is fresh and not serpentinized. These native element minerals in the Luobusha chromitites are xenocrysts derived from the deep mantle and were then carried to shallower depths of upper mantle by a rising plume and plate tectonics. They are primary minerals in mantle or core.

Key words: Luobusha, Tibet; ophiolite; chromitite; native element metal mineral

最新地质地理类期刊影响因子和总被引频次排序

(据中国科学技术信息研究所,2003年12月)

名次	期刊名称	影响因子	名次	期刊名称	总被引频次
1	冰川冻土	2.426	1	地理学报	1204
2	地理学报	2.301	2	地质学报	935
3	地质学报	2.133	3	地质论评	850
4	地理研究	1.418	4	岩石学报	711
5	地理科学进展	1.245	5	冰川冻土	674
6	岩石学报	1.197	6	沉积学报	622
7	地理科学	1.020	7	地理科学	587
8	地质论评	0.821	8	地理研究	559
9	极地研究	0.806	9	地质科学	518
10	地层学杂志	0.780	10	矿床地质	392
11	矿床地质	0.769	11	山地学报	377
12	古地理学报	0.759	12	海洋地质与第四纪地质	376
13	沉积学报	0.751	13	石油实验地质	323
14	地质科学	0.689	14	水文地质工程地质	314
15	岩矿测试	0.678	15	地层学杂志	311
16	高校地质学报	0.624	16	岩矿测试	308
17	石油实验地质	0.552	17	地理科学进展	276
18	干旱区地理	0.545	18	地质科技情报	273
19	山地学报	0.528	19	现代地质	271
20	工程地质学报	0.506	20	经济地理	261
21	中国岩溶	0.486	21	地质通报	240
22	海洋地质与第四纪地质	0.479	22	中国岩溶	233
23	现代地质	0.364	23	地质与勘探	209
24	西北地质	0.343	24	高校地质学报	208
25	地质科技情报	0.323	25	新疆地质	201
25	水文地质工程地质	0.323	26	成都理工学院学报	195
27	经济地理	0.315	27	干旱区地理	183
28	地理学与国土研究	0.272	28	工程地质学报	177
29	新疆地质	0.269	29	矿物岩石	156
30	地质力学学报	0.260	30	地理学与国土研究	133
31	矿物岩石	0.256	31	极地研究	125
32	热带地理	0.219	32	铀矿地质	113
33	沉积与特提斯地质	0.210	33	热带地理	109
34	地质与勘探	0.198	34	地质力学学报	96
34	地质与资源	0.198	35	古地理学报	92
34	铀矿地质	0.198	36	西北地质	91
37	成都理工学院学报	0.197	37	华东地质学院学报	76
38	地质通报	0.185	38	地质找矿论丛	68
39	地质找矿论丛	0.126	39	地质与资源	52
40	华东地质学院学报	0.058	40	沉积与特提斯地质	24