

河北省燕山超基性岩带的岩体类型及其成矿作用

陈森煌 张祯堂 刘道荣 包志伟

提 要 燕山超基性岩带位于华北地台北缘,形成于中、晚元古代,属阿拉斯加型环带状镁质—铁质超基性岩。岩带中发育两种主要岩体类型:纯橄岩(橄榄岩)—透辉岩(闪辉岩)型和透辉岩(闪辉岩)—角闪岩(辉闪岩)型。两类超基性岩体系上地幔岩深部熔融分异不同期次侵入地壳的块体,第一类岩体含铬铁矿床,与纯橄岩相关系密切,矿石富铁贫铝,与豆荚状铬铁矿和层状铬铁矿有明显差异;第二类岩体含铂族矿床和铜镍铂钨硫化物矿床,与透辉岩相和闪辉岩相关系密切。上述三类矿床的成矿阶段和成矿作用不同,分别受岩浆熔离作用、晚期岩浆结晶作用和岩浆期后热液作用的控制。

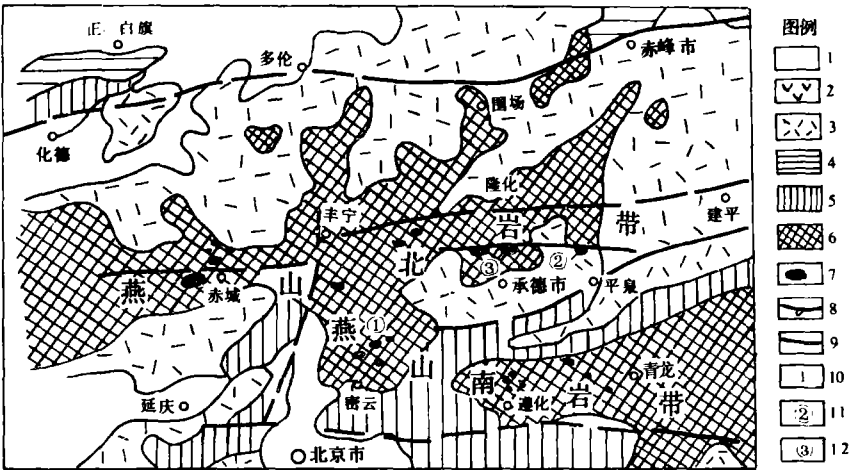
关键词 镁质—铁质超基性岩 铬铁矿床 铂族矿床 铜镍铂钨硫化物矿床 岩浆演化系列和成矿系列。

1 超基性岩的分布和形成年代

河北省燕山地区超基性岩分布于华北地台北缘,地理座标为东经 $115^{\circ}\sim 119^{\circ}$,北纬 $40^{\circ}\sim 41^{\circ}20'$ (图1),按其侵位的构造部位和地层,区内1700余处岩体可划分为南北两个岩带。燕山南带沿怀柔—遵化—迁西深断裂带侵位到密云群和迁西群的变质岩系(Ar)中,主要岩体有红石湾、放马峪、平顶山、毛家厂等。燕山北带沿赤城—丰宁—隆化深断裂带侵位到单塔子群变质岩系(Pt₁)中,主要岩体有小张家口、吕合堡、团榆树、红石砬、高寺台和罗匠沟等。

燕山南带位于密云隆起区和马兰峪——山海关隆起区,围岩时代为晚太古代,超基性岩强烈蚀变,片理发育;燕山北带位于沉降带,围岩时代为早元古代,超基性岩蚀变较弱,片理不太发育,其侵位时代应比南带晚,根据1987年我们在南带放马峪岩体和北带罗匠沟岩体采集岩石样品所做的全岩 Sm—Nd 同位素等时线分析结果(表1,图2,3),表明它们的形成年代分别在中、晚元古代。

沿放马峪岩体 B₁剖面系统采集五个不同岩相的岩石样品,经化学分离,由 VG354质谱仪测定的全岩 Sm—Nd 同位素等时线年龄值为 $2010\pm 155\text{Ma}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始值 $A=0.510004$,



图例说明: 1. 第四系 2. 新生代喷发岩 3. 中生代火山岩 4. 古生代地层 5. 中上元古代—早古生代地层 6. 太古代基底 7. 超基性岩 8. 板块俯冲消减带 9. 断裂带 10. 放马峪岩体 11. 罗匠沟岩体 12. 高寺台岩体

图1 河北省燕山地区超基性岩分布略图

Fig. 1 A sketch showing distribution of ultrabasic rocks in Yanshan Area.

$\epsilon_{\text{NDT}} = -0.25$, 用同样方法在罗匠沟岩体 I—II 剖面上采集的五个岩石样品测定的全岩 $\text{Sm}-\text{Nd}$ 同位素等时线年龄为 $881 \pm 29 \text{Ma}$, $A = 0.511506$, $\epsilon_{\text{NDT}} \approx 0$, 两组岩石样品测定的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始值与球粒陨石的初始值都很接近, 说明超基性岩体的源区为上地幔。

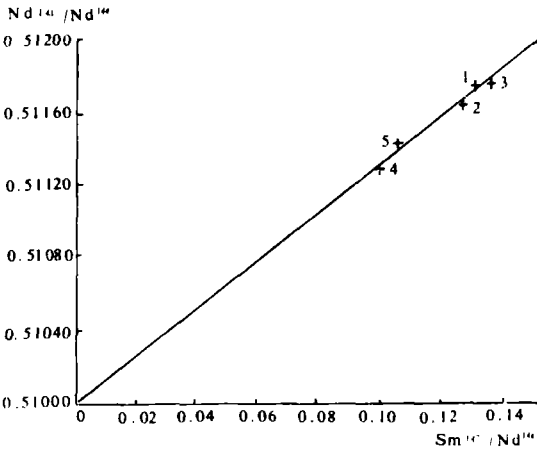


Fig. 2 Sm-Nd isochron of Fangmayu rock body (whole rock).

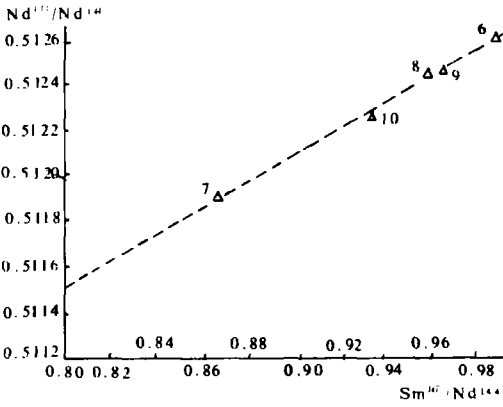


Fig. 3 Sm-Nd isochron of Luojianggou rock body (whole rock).

表1 燕山岩带超基性岩全岩 Sm-Nd 同位素等时线年龄分析数据

Talbe 1 Sm-Nd isotope analysis and isochron values of the Yanshan ultrabasic rock belt(whole rock)

顺序号	样号	采样位置	岩石名称	分析结果 (ppm)						A	等时线年龄(Ma)
				Nd	¹⁴⁴ Nd	Sm	¹⁴⁷ Sm	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd		
1	BⅡ-2	放马峪岩体BⅡ剖面	单辉辉橄岩	2.417±0	0.003988	0.516±1	0.000515	0.511740±12	0.129137	0.513004	2010±155
2	BⅡ-9		纯橄岩	0.503±0	0.000830	0.104±0	0.000104	0.511637±14	0.125301		
3	BⅡ-24		单辉橄橄岩	2.259±0	0.003727	0.501±5	0.000500	0.511760±13	0.134156		
4	BⅡ-28		橄橄辉石岩	1.870±0	0.003085	0.303±3	0.000303	0.511286±5	0.098217		
5	BⅡ-29		二辉橄橄岩	6.543±3	0.010798	1.128±1	0.001125	0.511429±10	0.103630		
6	I-22	罗匠沟岩体I-I剖面	透辉岩	2.196±0.1	0.000814	0.679±3	0.000678	0.512603±15	0.187100	0.511506	881±29
7	I-4		辉橄岩	4.504±0.7	0.003623	0.497±9	0.000497	0.511900±5	0.066900		
8	I-20		含磁铁矿磷	22.388±1	0.036930	5.820±4	0.005805	0.512430±7	0.157200		
9	I-10		灰石透辉岩	20.501±1	0.033817	5.561±0	0.005547	0.512445±8	0.164000		
10	I-14		闪辉岩	60.297±6	0.099460	13.203±12	0.013169	0.512247±6	0.132400		

分析单位:中科院贵阳地化所一室

2 超基性岩体类型

燕山岩带中超基性岩体普遍具有环带状构造,岩体中央出露纯橄岩—橄橄岩相,边缘出露透辉岩—闪辉岩—角闪岩相,与阿拉斯加环带状超基性岩的岩体构造和岩相组合类似。按岩体的岩相组合和矿化特征,可划分两种岩体类型,一是纯橄岩(橄橄岩)—透辉岩(闪辉岩)型岩体,含铬铁矿床,主要分布于燕山南带西段(平顶山、放马峪岩体)和燕山北带东段(高寺台、罗匠沟岩体),二是透辉岩(闪辉岩)—角闪岩(辉闪岩)型岩体,含铂族矿床和铜镍铂钯硫化物矿床,主要分布于燕山北带西段(小张家口、团榆树、红石砬等岩体)。

纯橄岩(橄橄岩)—透辉岩(闪辉岩)型岩体发育两套岩相组合,即位于岩体中心部位的纯橄岩—辉橄岩—橄橄岩镁质—镁铁质超基性岩岩相带,可称中央岩相带,以及位于岩体边缘的透辉岩—闪辉岩铁质超基性岩岩相带,可称边缘岩相带。中央岩相带的岩石以含橄橄石、斜方辉石和铬尖晶石为特征,原生矿物普遍蛇纹石化,其中的纯橄岩是铬铁矿的成矿母岩,赋存浸染状铬铁矿及多量副矿物铬尖晶石,辉橄岩和橄橄岩一般不含矿,但放马峪岩体的橄橄岩含有较多单斜辉石和铬尖晶石,成为含铬二辉橄橄岩。边缘岩相带的岩石以含透辉石、角闪石、磁铁矿、磷灰石为特征,不含橄橄石和斜方辉石,铬尖晶石稀少,岩石蚀变较弱,局部蛇纹石化和次闪石化。透辉岩和闪辉岩普遍含有较多磷灰石,磁铁矿副矿物(2—5%)。两个岩相带的接触关系清楚截然,在岩石种类、矿物成分和岩石蚀变程度上有明显差异,推测这两类岩体是超基性岩浆深部分异不同期次侵入的产物。

透辉岩(闪辉岩)—角闪岩(辉闪岩)型岩体只发育一套铁质超基性岩岩相组合,即相当于第一类岩体的边缘岩相带。此类岩体以透辉岩和闪辉岩为主,位于岩体中部,岩体外侧出露辉

闪岩和角闪岩,岩石蚀变较弱,以含透辉石、次透辉石和角闪石为特征,普遍含较多磷灰石、磁铁矿和少量榍石等副矿物,产有铂族矿床和铜镍铂钨硫化物矿床,铂族矿床位于透辉岩底部,铜镍铂钨硫化物矿床则赋存在闪辉岩内。

3 超基性岩岩石化学、矿物学和地球化学(表2,3,4,图4,5)

纯橄岩 呈暗绿色,风化面为灰绿色或灰紫色,具纤维变晶结构和网环结构,由蛇纹石、橄榄石残晶和铬尖晶石组成,局部含少量斜方辉石(绢石)或单斜辉石。纯橄岩中橄榄石大多数为镁橄榄石, F_o 值为91.06~93.09。罗匠沟岩体纯橄岩中橄榄石较富铁,为贵橄榄石, F_o 值为88.91。纯橄岩的岩石化学成分多数富镁质, M/F 值为7.11~10.26,少数富铁质, M/F 值仅5.94,但 CaO 含量都很低,小于0.5%,金属离子总含量较高,与硅的比值(B/S)在1.80以上。

辉橄岩和橄橄岩 有斜辉辉橄岩、二辉辉橄岩、斜辉橄橄岩和二辉橄橄岩等。岩石呈灰绿色—暗绿色,具假斑状构造和纤维变晶结构,矿物成分较富铁质,大部分橄榄石为贵橄榄石, $F_o = 89.04 \sim 89.73$,斜方辉石主要为古铜辉石, $En: 88.40, Fs: 11.10, Wo: 0.5$;少数为顽火辉石, $En: 90.31, Fs: 9.10, Wo: 0.5$;单斜辉石为透辉石, $En: 46.37 \sim 48.09, Wo: 48.64 \sim 49.42, Fs: 3.27 \sim 4.21$ 。岩石化学成分较纯橄岩富铁和富钙, M/F 值为4.37~6.88, CaO 含量0.38~18.34%, B/S 值较低,仅1.12~1.72。

透辉岩和含磷灰石、磁铁矿透辉岩 这两种岩石呈渐变接触关系,第一种透辉岩位于岩体内侧,与橄橄岩直接接触,界线清楚。岩石较新鲜,蚀变弱,呈灰绿色,具粒状变晶结构,矿物重结晶现象明显。主要矿物成分为透辉石($Wo: 46.54 \sim 48.24, En: 47.35 \sim 48.09, Fs: 4.36 \sim 5.34$)和次透辉石($Wo: 48.55, En: 36.83, Fs: 14.62$)。第二种透辉岩含有较多磷灰石(2~5%)和磁铁矿(3~5%),并有少量榍石和锆石副矿物。透辉岩的化学成分富硅富钙贫镁, SiO_2 含量大于51%, CaO 含量大于20%, MgO 小于20%, B/S 值低,仅1左右。

闪辉岩 出露于透辉岩外侧,呈渐变接触关系。岩石呈灰绿色,蚀变弱,具粒状镶嵌结构,主要由透辉石和普通角闪石组成,此外还含有较多磷灰石和磁铁矿,有的达到磷、铁矿化品位。岩石富铁富铝成分,但 CaO, MgO 含量比透辉岩低, M/F 值低,在1左右。

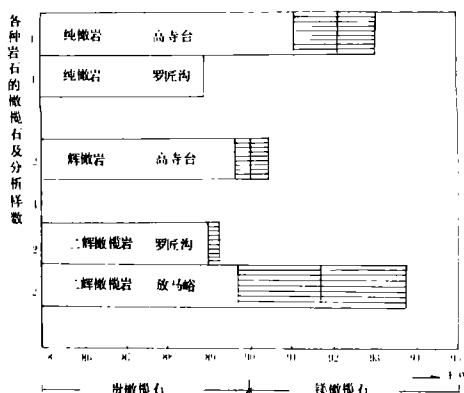
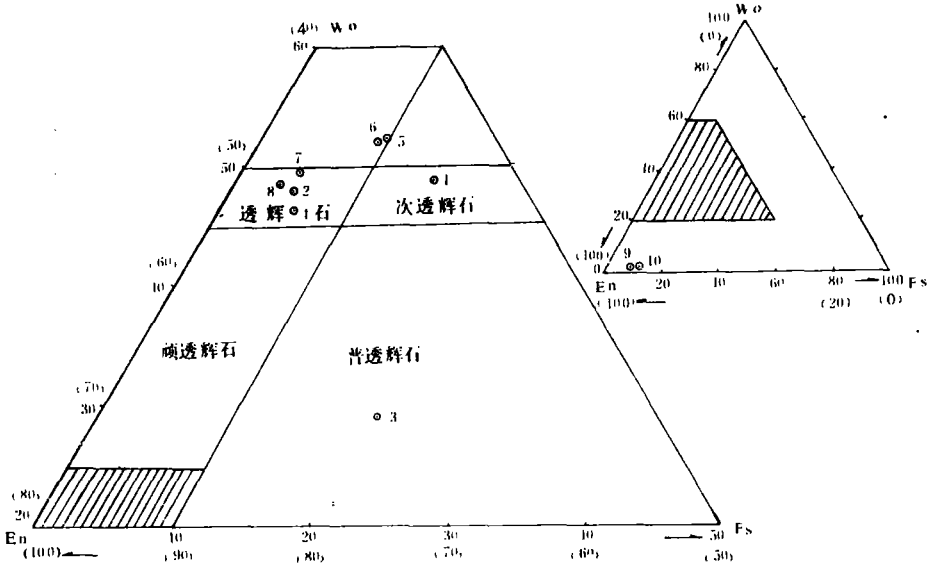


图4 燕山岩带超基性岩橄榄石 $Mg_2SiO_4(Fo)$ 变化图解

Fig. 4 Variation plot of $Mg_2SiO_4(Fo)$ in olivines of the Yanshan ultrabasic rock belt.



图例说明: 1—2. 高寺台体 3—7. 罗匠沟岩体 8—10. 放马峪岩体
图5 斜方辉石(右)和单斜辉石(左)化学组分投影图

Fig. 5 Project plot of composition of enstatite and clinopyroxene.

表2 燕山岩带超基性岩岩石化学成分及其特征比值

Table 2 Petrochemistry comparison of rock bodies in the Yanshan ultrabasic rock belt

岩体	高寺台					罗匠沟					放马峪		红石砬	
岩性	纯橄岩	辉橄岩	二辉 橄橄岩	透辉岩	闪辉岩	纯橄岩	辉橄岩	二辉 橄橄岩	透辉岩	含磷灰 石磁铁 矿透辉 岩	纯橄岩	二辉 橄橄岩	透辉 岩	角闪岩
样品数	14	9	1	1	1	4	4	1	1	4	3	3	6	2
SiO ₂	34.24	38.12	49.62	51.84	38.00	37.07	37.38	40.72	52.35	34.24	35.80	39.29	40.01	41.62
TiO ₂	0.03	0.06		0.06	2.64	0.06	0.07	0.11	0.26	1.59	0.07	0.13	1.20	1.49
Cr ₂ O ₃	0.60	0.60	0.38	0.54	0.01	0.06	0.05	0.18	0.24	0.01	2.74	1.47	0.04	0.15
Al ₂ O ₃	0.13	0.20	1.24	1.00	10.32	0.19	0.29	0.66	1.54	5.47	0.70	2.12	4.32	11.32
Fe ₂ O ₃	5.34	7.86	4.13	1.67	11.54	8.16	10.22	9.25	3.51	17.23	8.16	3.46	10.11	7.96
FeO	2.37	2.51	3.91	1.83	10.10	2.27	1.38	1.82	2.10	7.78	4.93	8.30	5.55	6.25
MnO	0.15	0.13	0.02	0.08	0.15	0.22	0.19	0.22	0.12	0.22	0.10	0.14	0.19	0.24
MgO	40.94	37.02	18.66	19.40	12.35	38.43	36.34	32.95	17.82	9.58	34.01	32.48	11.18	11.76
CaO	0.19	0.44	18.34	20.71	10.34	0.55	0.38	3.14	20.65	18.60	0.22	2.16	19.86	12.54
K ₂ O	0.01	0.03		0.03	1.09	0.03	0.03	0.01	0.03	0.28	0.03	0.07	0.26	1.88
Na ₂ O	0.06	0.13		0.36	1.91	0.12	0.12	0.01	0.41	0.35	0.07	0.15	1.06	1.92
H ₂ O ⁺	15.77	12.01	1.96	1.63	2.00	10.85	11.91	10.36	1.29	1.10	11.50	7.41	1.24	1.29
Sum	99.83	99.11	98.16	99.15	100.45	98.01	98.36	99.43	100.38	98.99	98.35	97.18	95.02	98.87
M/F	10.26	6.88	4.37	10.46	1.07	7.11	6.13	5.79	6.05	0.73	5.94	5.07	1.36	1.56
B/S	1.98	1.70	1.12	1.08	1.73	1.80	1.72	1.52	1.08	1.83	1.82	1.63	1.44	1.43

* 据中科院贵阳地化所四室1974年资料,余为本院实验室分析测试资料。

注:M/F 为岩石中 Mg、Fe 原子数比值;B/S 为岩石中总金属离子数与 Si 离子数比值。

表3 橄榄石的化学成分(重量%)

Table 3 Calculation of chemical composition of olivine (percentage) and cation numbers

岩体	高 寺 台						罗 匠 沟			放马峪		
岩性	纯 橄 岩			辉橄岩			纯橄岩	辉橄岩	二辉橄岩	二辉橄岩		
成分	样号	Y-3	Y-2	H-31	H-16	H-10	E ₃ d-14*	1-31	罗补-4	罗补-6	F ₃₋₄	F ₅₋₃
SiO ₂		38.16	36.92	41.00	41.41	40.98	40.22	41.69	38.33	38.92	38.20	38.90
TiO ₂		0.01	—	—	—	0.08	0.05	—	—	—	—	—
Cr ₂ O ₃		0.05	0.06	0.06	0.21	0.01	0.05	0.07	0.01	—	0.12	0.29
AlO ₃		0.03	0.01	—	—	—	0.19	—	0.06	0.05	0.02	0.08
Fe ₂ O ₃		—	—	—	—	—	0.67	—	—	—	—	—
FeO		7.08	8.00	7.22	8.49	9.08	9.12	10.11	10.85	12.47	6.31	10.40
MnO		0.12	0.14	—	0.23	0.18	0.10	0.22	0.25	0.37	0.06	0.09
MgO		53.49	52.84	48.92	48.56	48.27	47.25	47.55	49.48	47.96	53.36	50.97
NiO		0.27	0.33	0.10	—	0.27	0.29	0.08	—	—	0.35	0.26
CaO		0.10	0.11	0.22	0.09	0.21	0.33	0.01	0.05	—	0.03	0.03
K ₂ O		0.04	—	—	0.05	0.10	0.03	0.22	—	—	—	—
Na ₂ O		0.21	—	—	—	—	0.04	—	0.05	—	0.11	—
F ₀ 分子数%		93.09	92.17	92.35	91.06	90.45	89.65	88.91	89.04	89.27	93.78	89.73

* 单矿物化学分析,余为电子探针分析

分析单位:本院化验室和电子探针组。

角闪岩 出露于岩体最外缘,岩石呈灰绿色,蚀变较弱,具板状变晶结构,由普通角闪石及少量磷灰石、磁铁矿组成,岩石成分富铁、铝、钙、M/F比值1.50左右。

各类超基性岩的稀土元素和微量元素含量也有明显变化(表5,图6)。纯橄岩、辉橄岩强烈亏损稀土元素,其总量 ΣREE 仅1~3ppm,重稀土含量更低(LREE/HREE)_N=2.85~6.92, (La/Yb)_N=3.43~13.86,微量元素Cr、Ni含量较高,Ti、K、Na含量较低。二辉橄岩和不含磷灰石、磁铁矿透辉岩的稀土含量中等, ΣREE 在10ppm左右,较富集轻稀土元素, (LREE/HREE)_N

=3.54~6.05, (La/Yb)_N=6.01~13.65,Cr、Ni、Ti、K、Na含量与纯橄岩相似。含磷灰石、磁铁矿透辉岩和闪辉岩明显富集稀土元素, ΣREE =75~80PPm,轻、重稀土比值较低, ($\text{LREE}/$

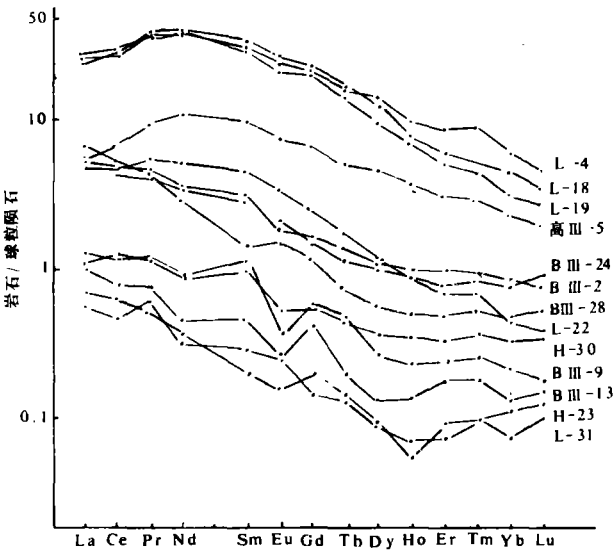


图6 燕山岩带超基性岩稀土元素分配型式

Fig. 6 REE patern of the ultrabasic rock belt.

HREE)_N=2.36~3.36, (La/Yb)_N=4.14~9.83, Cr, Ni 含量低, Ti、k、Na 含量明显增高。不同岩石的稀土含量虽有明显差异, 但稀土分配模式都呈轻稀土富集型, 表明本区超基性岩石都来源于上地幔岩, 在局部熔融作用过程中稀土元素和微量元素都已发生分馏和分异作用, 导致镁质、镁铁质和铁质超基性岩在化学成分、矿物成分和稀土元素、微量元素含量上的差异。

表4 辉石成分(重量%)和组分计算表

Table 4 Chemical composition of pyroxene minerals

岩体	高寿台		罗 匠 沟					放马峪		
	透辉岩		含单辉 纯橄岩	透辉岩	含磷灰石 磁铁矿辉 石岩	含单辉 纯橄岩	二辉 橄橄榄岩	二辉橄橄榄岩		
样 成 份	H-35	H-17	I ₂₉	I-22	I-19	I-31	罗补-6	F ₃₋₁	F ₃₋₅	F ₅₋₁
SiO ₂	50.00	53.94	54.91	52.53	49.85	50.60	54.10	51.72	56.79	56.33
TiO ₂	0.37	0.06	0.10	0.17	0.82	0.82	0.08	0.09	0.06	0.03
Cr ₂ O ₃	0.09	0.33	0.05	0.23	0.04	0.05	0.52	0.23	0.27	0.18
Al ₂ O ₃	2.74	0.45	2.46	0.73	4.17	3.15	1.03	0.68	0.52	1.02
FeO	8.37	2.73	10.74	3.47	5.64	5.21	2.64	2.12	6.32	7.44
MnO	0.44	0.04	0.56	0.08	0.15	0.14	0.04	0.05	0.08	0.08
MgO	12.46	16.88	16.95	17.96	13.47	13.65	16.56	17.82	35.67	33.56
NiO		0.07	0.13	0.01	0.15	0.09		0.07	0.06	0.04
CaO	22.84	23.94	12.93	23.53	25.21	24.90	23.75	24.60		
K ₂ O		0.04	0.23	0.06	0.05	0.10	0.01		0.26	0.24
Na ₂ O	0.17	0.16	0.34	0.33	0.03		0.44	0.29	0.04	0.01
W ₀	48.55	48.24	29.42	46.57	51.94	51.86	49.42	48.64	0.59	0.50
E _n	36.83	47.35	50.38	48.09	38.76	39.48	46.37	48.09	90.31	88.40
Fs	14.62	4.36	20.24	5.34	9.30	8.66	4.21	3.27	9.10	11.10

分析单位:本院同位素室电子探针组

4 超基性岩的矿化作用

4.1 铬铁矿床成矿特征

4.1.1 矿体规模、形态产状和分布

燕山南、北岩带中已发现四处中、小型铬铁矿床(放马峪、平顶山、毛家厂、高寺台)和一处铬铁矿化(罗匠沟)。都分布在第一类岩体中央岩相带的镁质超基性岩中,矿体直接围岩为纯橄岩、局部在辉橄岩和橄橄榄岩中也发育铬铁矿化。矿体形态产状变化较大,多呈透镜状、脉状,似

脉状和不规则状,与纯橄岩呈渐变关系,主要矿体、矿体群多赋存在岩体膨大部位的中、下部位,成群出露。单个矿体的规模一般长度几~几十 m,最长317m,厚度几 cm~几 m,最大厚度30.60m,延深几~几十 m,最大延深370m。

表5 燕山岩带超基性岩稀土元素含量(ppm)
Table 5 REE analysis of the ultrabasic rock belt

岩体	高寺台			罗 匠 沟					放 马 峪				
岩性	纯橄岩	辉橄岩	透辉岩	纯橄岩	透辉岩	含磷灰石 磁铁矿 透辉岩	含磷灰石 磁铁矿 透辉岩	闪辉岩	纯橄岩	二辉橄辉岩			
样号	H-23	H-30	高Ⅱ-5	1-31	1-22	1-19	1-18	1-4	B _N -9	B _N -13	B _N -2	B _N -24	B _N -28
Y	0.172	0.586	5.946	0.154	1.430	11.027	13.500	18.500	0.442	0.188	2.059	1.609	0.906
La	0.208	0.324	1.738	0.305	1.396	8.705	7.900	7.500	0.409	0.174	1.629	1.680	2.106
Le	0.496	1.029	5.466	0.614	3.494	23.444	23.000	23.000	1.018	0.401	3.733	3.427	3.816
Pr	0.061	0.140	1.079	0.088	0.621	4.046	4.500	4.400	0.152	0.075	0.559	0.494	0.531
Nd	0.232	0.500	6.235	0.252	2.928	20.937	22.000	21.500	0.578	0.182	2.120	2.054	1.751
Sm	0.040	0.188	1.798	0.083	0.814	5.508	6.800	6.000	0.213	0.208	0.596	0.549	0.268
Eu	0.012	0.036	0.520	0.018	0.230	1.553	1.900	1.750	0.027	0.018	0.142	0.147	0.110
Gd	0.051	0.130	1.700	0.037	0.639	5.021	6.700	6.300	0.146	0.120	0.438	0.410	0.294
Tb	0.007	0.021	0.240	0.006	0.078	0.589	0.810	0.730	0.024	0.010	0.066	0.059	0.037
Dy	0.029	0.116	1.370	0.028	0.392	2.878	3.700	4.200	0.087	0.043	0.382	0.315	0.186
Ho	0.004	0.023	0.248	0.005	0.060	0.473	0.560	0.680	0.016	0.010	0.071	0.061	0.037
Er	0.019	0.066	0.604	0.015	0.142	1.030	1.250	1.800	0.049	0.038	0.206	0.171	0.108
Tm	0.003	0.011	0.091	0.003	0.022	0.138	0.070	0.300	0.009	0.006	0.031	0.028	0.019
Yb	0.021	0.062	0.407	0.014	0.084	0.584	0.880	1.200	0.044	0.027	0.179	0.153	0.102
Lu	0.004	0.010	0.59	0.003	0.012	0.080	0.100	0.150	0.006	0.005	0.026	0.024	0.018
ΣREE	1.187	2.656	21.555	1.471	10.912	74.986	80.170	79.51	2.718	1.317	10.178	9.572	9.389
(L/H) _N	4.29	2.85	2.01	6.92	3.75	3.36	2.65	2.36	3.46	2.31	3.54	3.86	6.05
(La/Yb) _N	6.60	3.43	2.82	13.86	11.08	9.83	5.95	4.14	6.19	4.23	6.01	7.20	13.65

测试方法:等离子光谱

测试单位:湖北省地质实验研究所

4.1.2 矿石类型和矿物成分

大部分为浸染状矿石,且以稀疏浸染状—中等浸染状矿石为主(铬尖晶石含量小于30%),其次有豆状矿石,瘤状矿石和斑杂状矿石,局部出现致密块状矿石。矿石结构以半自形—自形细粒结构为主,次有显微网环结构和它形不等粒结构。主要矿石矿物成分为铬尖晶石和少量磁铁矿,黄铁矿。脉石矿物以蛇纹石为主,次有橄榄石残晶、辉石、滑石、蛭石和绿泥石等。矿石品位低,富铁贫铝,Cr₂O₃含量一般小于20%,最高达41.2%,Al₂O₃含量仅3~4%,全铁含量(FeO)=10~21%,铬铁比值低,为1~1.8。

4.1.3 铬尖晶石类型 造

矿铬尖晶石和副矿物铬尖晶石都是富铁贫铝低铬,属富铁铬铁矿和富铁铬铁矿类型(局部为铬铁矿)。与豆荚状铬铁矿床的铬铁矿、铝铬铁矿类型(富铬富铝低铁)和层状铬铁矿床的铬铁矿、富铁铬铁矿类型(富铁富铬贫铝)都有差别。根据高寺台、罗匠沟、放马峪、平顶山四个矿区铬尖晶石成分电子探针分析结果(表6),可看出铬尖晶石的 Al_2O_3 含量低而稳定,一般为6~8%,最高11.6%; $\langle\text{FeO}\rangle$ 含量高而且变化范围大,一般为24~43%,最高大于50%; Cr_2O_3 含量低变化大,一般为37~48%,最高达57.96%; MgO 含量低,一般为7~11%; $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$

比值多小于0.5,各种氧化物含量变化具有一定关系,其中造矿铬尖晶石的铬铁比值明显高于副矿物铬尖晶石。 $\text{Cr}/\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}$ 比值稳定,多介于0.78~0.83之间(图7), $\text{Cr}/\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}$ 与 $\text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mg}$ 呈反比关系(图8)。 Cr_2O_3 与 $\langle\text{FeO}\rangle$ 呈反比关系(图9),与豆荚状铬铁矿的 Cr_2O_3 与 Al_2O_3 的反比关系明显不同。

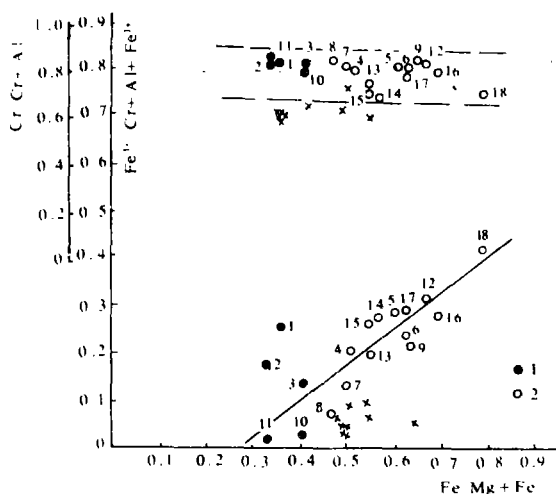
4.1.4 铬铁矿成矿条件和成矿作用

本区铬铁矿体都产于第一类岩体中央岩相带偏基性的镁质超基性岩中,直接围岩为纯橄岩。含矿岩相富镁质和含铬丰度高是两个互相关连的主要成矿条件。在岩浆系列中,只有非常富镁而贫钛的岩石才富铬,铬与镁质纯橄岩熔融体伴生在一起,促使Cr的化合价大大提高,Cr的配位数则降低,使Cr-O的结合能提高,有利于岩浆中的成矿物质聚集形成含铬熔融体。本区几个成矿岩体的 Cr_2O_3 平均含量都较高(高寺台为0.47%,平顶山为2.25%,放马峪为2.73%,镁质岩相的 Cr_2O_3 含量更高,接近和超过实验资料表明的形成含矿熔融体的2%临界值,这是本区铬铁矿成矿的必要和有利条件。

根据铬铁矿体与围岩的渐变关系,矿体的形态产状和矿石结构特点,表明铬铁矿体是在晚期岩浆结晶阶段形成的,即在岩浆中已经形成含矿熔融体的条件下形成。造矿铬尖晶石含铁率低于围岩中铬尖晶石的含铁率,两者差值约15~20%,含矿熔融体比围岩的结晶温度较低,成矿阶段较成岩阶段晚。本区铬铁矿体由浸染状矿石组成,说明成矿物质在含矿熔融体中的聚集程度不高,这可能受到岩浆分异条件和结晶条件的限制。

4.2 铂族矿床成矿特征

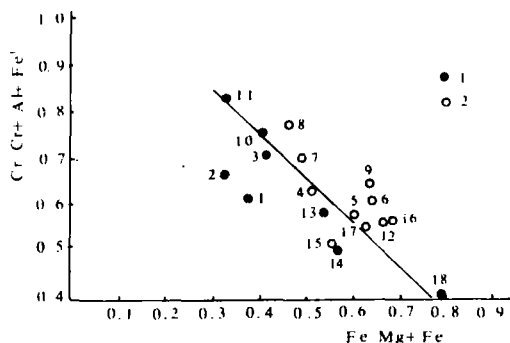
燕山岩带中与超基性岩有关的铂族矿床种类较多,主要有透辉岩型 Pt-Pd 矿床(红石砬岩体);闪辉岩型 Cu-Ni-Pt-Pd 硫化物矿床(红石湾岩体);闪辉岩—透辉岩型 Cu—Pt—Pd 硫化物



图例说明:1. 造矿铬尖晶石 2. 付生铬尖晶石

图7 燕山岩带铬尖晶石成分变化图解

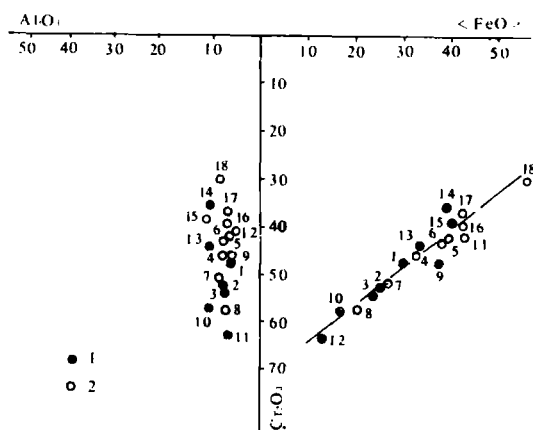
Fig. 7 Variation of Cr-spinel compositions of Yanshan ultrabasic rock belt



图例说明:1. 造矿铬尖晶石 2. 付生铬尖晶石

图8 燕山带岩尖晶石成分变化图解

Fig. 8 Variation plot of spinel compositions of Yanshan ultrabasic rock belt.



图例说明:1. 造矿铬尖晶石 2. 付生铬尖晶石

图9 燕山超基性岩带铬尖晶石成分变化图解

(据白文吉方法)

Fig. 9 Variation plot of Cr-spinel composition of Yanshan ultrabasic rock belt.

矿床(铁马、孤山子岩体)和纯橄岩型 Cr—Pt—Os—Ir 矿床(高寺台岩体)。具有工业意义的是与铁质超基性岩关系密切的前两类矿床。

透辉岩型 Pt—Pd 矿床:红石湾含矿岩体出露于燕山北岩带中段,呈 NEE 向延伸 5Km,宽度 100~400m,面积 0.76Km²。岩体中部出露透辉岩相,向外依次为闪辉岩相,辉闪岩相和角闪岩相。透辉岩是成矿有利岩相,宽几十~百余 m,主要由透辉石组成,含少量普通辉石和磷灰石、磁铁矿、榍石等副矿物。矿体产于透辉岩与闪辉岩接触带底部,含矿围岩发育阳起石化、绿帘石化等蚀变现象。矿体呈透镜状,成带分布。单个矿体长几十~几百 m,厚度几~几十 m。矿石中铂族矿物主要为硫铂矿和砷铂矿、少量为砷铋铂矿、含铂砷铋矿、砷铋铂矿、粗铂矿等,粒度 0.1~0.4mm,呈浸染状分布在辉石解理和粒隙中,部分充填绿帘石脉的裂隙。矿石中金属硫化物不发育。矿石的 Pt+Pd 含量一般为 0.5~1 克/吨。富矿石中 Pt+Pd>2 克/吨, Pt/Pd 比值大,在贫矿石中为 10~70,在富矿石中为 5~7。

闪辉岩型 Cu—Ni—Pt—Pd 硫化物矿床:红石湾含矿岩体位于燕山南岩带西段,呈 NE 向延伸长度 700m,宽度 400m。主要含矿岩相为角闪斜方辉岩和角闪单斜辉岩,岩石富铁贫镁, M/F 比值 2~3,为铁质超基性岩。矿体呈透镜状产于闪辉岩中,近矿围岩发育次闪石化、绿帘石化和黄铁矿化,金属硫化物非常发育。矿石中铂矿物主要有硫铂矿、砷铂矿、其次有铋铂矿,砷铂矿和硫铂矿等。主要赋存在黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿和镍黄铁矿等金属硫化物中,这些含 Pt、Pd 金属硫化物呈浸染状充填造岩矿物(辉石、角闪石)的粒隙和解理中。矿石的 Pt+Pd 含量一般为 0.5~1 克/吨。Cu 含量为 0.08~0.15%,最高含量 Pt:1.73 克/吨, Pd:1.53 克/吨, Cu:1.01%,与透辉岩型不含硫化物的铂矿床对比, Pd 的含量大量增加, Pt/Pd 比值为 1 左右。矿石中还含少量 Ni、Co、Au 可综合利用。

表6 铬尖晶石成分(重量%)和组分计算表

Talbe 6 Chemical composition of Cr-spinels

岩体	高 寺 台									罗 匠 沟			放 马 峪					
	铬铁矿			纯 橄 岩				辉橄岩			浸染状铬铁矿	纯橄岩	铬铁矿	二辉橄橄岩				
样号	Y ₆	Y ₇	H-18	I	Ⅱ	Ⅲ	H ₂₂	H-31	H-10	I-56	I-31	I-29	F ₄	F ₂	F ₃	F ₁	F ₂₋₁	F ₅
SiO ₂	0.01	0.20	0.07	0.32	0.23	0.46	0.30	0.20	0.29	0.17	0.37	0.31	—	—	0.10	0.18	1.08	0.05
TiO ₂	0.17	0.54	0.50	0.15	0.51	0.74	0.53	0.17	0.56	0.16	0.09	0.79	0.59	0.89	0.52	0.74	—	0.31
Cr ₂ O ₃	47.61	52.30	53.18	46.09	42.25	42.79	52.19	57.76	47.06	57.96	63.46	41.88	44.68	36.93	39.53	40.08	38.82	29.56
Al ₂ O ₃	6.82	8.20	8.12	7.83	6.54	7.57	8.36	7.77	6.68	11.12	7.73	6.05	11.21	11.67	11.59	7.49	7.21	9.05
Fe ₂ O ₃	—	—	—	15.64	21.97	17.78	—	—	—	—	—	—	15.21	—	—	22.54	22.11	—
FeO	30.59	24.89	24.26	18.64	19.71	22.06	26.37	21.32	37.18	16.49	13.00	43.81	19.79	39.86	40.20	22.06	22.41	57.05
MnO	4.24	0.30	0.39	—	1.65	0.86	0.47	0.49	0.81	0.94	0.68	0.71	0.24	0.34	0.35	0.61	—	0.27
MgO	11.56	14.09	11.82	9.66	7.30	7.24	10.22	10.58	7.06	11.92	13.36	6.15	9.33	8.87	9.32	6.24	7.51	3.92
NiO	0.04	0.15	0.16	—	—	—	0.27	0.07	0.34	0.21	0.20	0.13	0.13	0.18	0.21	—	—	0.15
CaO	—	—	0.10	0.15	1.10	0.11	0.01	0.20	0.02	—	0.17	0.01	—	0.01	—	—	—	0.07
Cr ₂ O ₃ /(FeO)	1.55	2.10	2.19	2.03	1.52	1.12	1.98	2.71	1.27	3.51	4.88	0.96	1.33	0.93	0.98	0.95	0.92	0.52
Cr/Cr+Al	0.835	0.811	0.815	0.798	0.812	0.791	0.807	0.833	0.825	0.778	0.846	0.820	0.726	0.680	0.697	0.782	0.783	0.687
Cr/Cr+Al Fe ³⁺	0.619	0.669	0.707	0.634	0.579	0.603	0.706	0.774	0.647	0.751	0.835	0.560	0.587	0.494	0.512	0.564	0.551	0.395
Fe ³⁺ /Cr+ Al+Fe	0.259	0.175	0.132	0.205	0.287	0.238	0.125	0.07	0.217	0.027	0.013	0.317	0.192	0.273	0.266	0.279	0.297	0.426
Mg/Mg+Fe	0.637	0.677	0.586	0.483	0.398	0.369	0.508	0.536	0.361	0.594	0.664	0.334	0.457	0.435	0.451	0.320	0.373	0.206

I :粗粒纯橄岩(5个样品平均值),Ⅱ :中粒纯橄岩(4个样品平均值),Ⅲ :细粒纯橄岩(3个样品平均质)—河北省原401队资料

余为本院同位素室电子探针组分析资料。

纯橄岩型 Cr—Pt—Os—Ir 矿床:高寺台含矿岩体出露在燕山北岩带东段,岩体呈 EW 向延伸,长度达7Km,最宽处1140m,由纯橄岩—橄榄岩岩相带和透辉岩—闪辉岩岩相带组成,铂族矿物与铬铁矿共生,均产于纯橄岩中,铬铁矿石含 Pt、Os、Ir 等铂族元素,含量与铬铁矿的品位成正比,一般为0.01~0.1ppm,未达工业品位,原生铂族矿物有等轴钨铀矿、铂钨铀矿,硫钨铀矿、粗铂矿和铁铂矿等。

上述三种铂族矿床(化)分别产于燕山岩带镁质和铁质超基性岩中,表明在岩浆演化过程中,铂族元素已发生分离,Os、Ir 亲氧,与部分 Pt 残留在镁质超基性岩浆中,与 Cr 一起富集成含矿熔融体,于晚期岩浆阶段结晶成矿,而亲硫性强的 Pt、Pd 大部分被带入铁质超基性岩浆中,并进一步富集于岩浆期后含硫化物或不含硫化物的热液流体中,这些含矿热液流体使含矿围岩发生热液蚀变作用,并充填硅酸盐矿物,金属硫化物的解理和粒隙,分别形成不含硫化物的透辉岩型 Pt—Pd 矿床和较晚期与金属硫化物共生的闪辉岩型 Cu—Ni—Pt—Pd 硫化物矿床。

5 结语

a、燕山岩带超基性岩分布广泛,形成时代较早(中、晚元古代),属阿拉斯加型环带状镁质—铁质超基性岩。可划分两种岩体类型:纯橄岩(橄榄岩)—透辉岩(闪辉岩)型岩体和透辉岩(闪辉岩)—角闪岩(辉闪岩)型岩体。根据稀土元素含量和分配模式,这两类岩体都来源于上地幔岩。上地幔岩由于不同程度的局部熔融作用形成铁质和镁质超基性岩浆,前者富含钙、铝、铁成分和挥发组分,富集稀土元素和 Pt、Pd 元素,在侵位过程中结晶分异形成以含透辉石、角闪石、磁铁矿、磷灰石为特征的铁质超基性岩(透辉岩—闪辉岩—辉闪岩—角闪岩岩相带);镁质超基性岩浆则在较高局部熔融程度下形成,富含镁、铬、镍成分和富集 Os、Ir 等元素。强烈亏损稀土元素,在结晶过程中形成含橄榄石、斜方辉石、铬尖晶石为特征的镁质超基性岩(纯橄岩—橄榄岩岩相带)。从第一类岩体中央和边缘两个岩相带的清楚截然接触关系以及单独出露第二类岩体,推测镁质和铁质超基性岩浆在深部可能已经分离,在构造侵位过程中复合在一起或单独出现。上述两个岩相带的各类岩石种类正是源于上地幔岩的镁质—铁质超基性岩浆演化系列产生的岩石系列。

b、燕山岩带超基性岩中发育铬铁矿床(含 Pt、Os、Ir),铂族矿床(Pt、Pd)和铜镍铂钯硫化物矿床,分别产于纯橄岩、透辉岩和闪辉岩中。Cr(Os、Ir)—Pt、Pd—Cu、Ni、Pt、Pd 成矿系列也是镁质—铁质超基性岩浆演化系列的产物,在上地幔岩局部熔融过程中,铬铁矿、铂族元素和铜镍等成矿物质也发生了分离作用,亲氧的 Cr、Os、Ir 主要富集在镁质超基性岩浆中,形成含矿熔融体,于晚期岩浆阶段结晶分异成矿,由于含矿熔融体未脱离母岩相,遂在纯橄岩中形成浸染状含钨铈铬铁矿床。亲硫的 Pt、Pd、Cu、Ni 等成矿物质大部分被带入铁质超基性岩浆,并进一步富集于岩浆期后的热液流体中,在岩浆期后热液作用阶段充填围岩的矿物间隙,形成不含硫化物的透辉岩型铂钯矿床以及含硫化物的闪辉岩型铜镍铂钯硫化物矿床。

参考文献

- 1 Maraknshev A A, 超基性岩成矿作用的某些问题,宋琦译自《mineralium deposita》,14(1)1979
- 2 戈德列夫斯基 M M, 利哈切夫 A П, 含矿超基性岩浆的形成条件及演化,《国外地质科技》,V. 3, 1983
- 3 魏明秀, 铬尖晶石的晶胞参数与成因特征,《地质科学》,(4)1980
- 4 叶大年, 一个与铬铁矿富集有关的巨型实验,《地质科学》,(1)1980
- 5 王恒升, 白文吉, 中国铬铁矿床成因, 科学出版社, 1983
- 6 Irrine T N, Chromium spinel as a petrogenetic indicators,《Canadian Journal of earth Sciences》,14(1)1967

THE ROCK TYPES AND METALLOGENESIS OF YANSHAN ULTRABASIC ROCK BELTS, HEBEI PROVINCE, CHINA

Chen Senhuang Zhang Zhentang Liu Daorong Bao Zhiwei

Abstract

Yanshan ultrabasic rock belt, which were formed at Middle-Late Proterozoic period, locates in the north margin of the North China Platform consisting of Alaska concentric Zoned type rock bodies. Zone patterns are: dunite (peridotite)-diopsidite (amphibole pyroxenite), diopsidite (amphibole pyroxenite)-amphibolite (pyroxen amphibolite). All the ultrabasic rocks are the partial remelting products of upper mantle material. Chromite deposits generally occur, closely related to dunite, in the massives with the first zone pattern. Ores are quite different from podiform and layered form Cr-deposits. They are characterized by high Fe and Low Al. Evidences show that Pt—Pd concentrations and Cu—Ni—Pt—Pd sulfide ore deposits might occur about phase of diopsidite and amphibole pyroxenite in the massives with second zone pattern. The mentioned mineralizations may be controlled by magmatic segregation, late magmatic crystallization and post-magma hydrothermal processes respectively.