煎茶岭大型含钴硫化镍矿床微量元素地球化学研究*

Study on Minor Elements Geochemistry in Jianchaling Large Cobalt-Bearing Sulfide Nickel Deposit

王瑞廷[1,2] 赫 英[1] 汤中立[3] 王东生[2] 刘民武[1]

（1 西北大学地质系，陕西 西安 710069；2 西北有色地质勘查局，陕西 西安 710054；
3 甘肃省地质矿产局，甘肃 兰州 730000）

Wang Ruiting[1,2], He Ying[1], Tang Zhongli[3], Wang Dongsheng[2] and Liu Minwu[1]

(1 Department of geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 2 Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals in Northwest China, Xi'an 710068, Shanxi, China; 3 Gansu Bureau of Geology and Mineral Resource, Lanzhou 730000, Gansu, China)

摘 要 通过对煎茶岭大型含钴硫化镍矿床岩、矿石的微量元素地球化学研究，认为该镍矿床的形成与镁质超基性岩体密切相关，岩浆结晶分异、同化混染和硫化萃取对成矿的意义重大，岩浆熔离作用不发育，成因分类上应属岩浆型矿床。其 PGE 含量较低、贫铜，与常见的铜镍硫化物矿床有所不同，成矿具有特殊性。

关键词 煎茶岭 硫化镍 微量元素地球化学 成矿作用

我国西北地区有着丰富的镍、钴、铜等金属的矿产资源，但在秦岭造山带中迄今仅发现一个陕西省略阳县煎茶岭大型镍（钴）矿床，且因其品位较低，自 1970 年发现以来一直也未开采。然而，它作为我国目前已知的唯一与镁质超基性岩有关的镍矿床，以其独特的地质背景、成矿特征和重要的研究意义而受到众多学者的关注，并已取得了不少研究成果（王相等，1996；王平安等，1998）。本文旨在通过对煎茶岭镍矿床岩、矿石的微量元素地球化学研究，探讨其成岩、成矿作用特征和成因类型。

1 区域地质背景及矿床地质特征

区域上煎茶岭镍（钴）矿床位于松潘—甘孜造山带摩天岭褶皱系东部，勉略阳元古隆起区北缘。该区北以略阳-褒河深断裂为界以勉-略蛇绿构造混杂岩带与秦岭造山带南秦岭褶皱系相接，南以汉江深断裂为界与扬子地块龙门山-巴山褶皱带相连，区内北部鱼洞子地体和南部碧口地体对接拼贴构成勉（县）-略（阳）-阳平关（宁强）三角形构造复合地体，同时其内也形成一个金铜镍矿化集中区。该区伴随着秦岭造山带的形成演化，构造岩浆活动频繁强烈，晋宁期发生大规模超镁铁-镁铁质岩浆侵入、侵出作用，超镁铁-镁铁质侵入体主要沿碧口地体与鱼洞子地体拼接碰撞带及其鱼洞子地体内挤压褶皱断裂构造带分布，在区内形成了北东东和北西西走向两个最大的超基性-基性岩带。该期超镁铁-镁铁质侵入岩属于阿尔卑斯型构造侵位超基性岩石组合类型（王相等，1996）。

区内出露地层为太古宙变质结晶基底鱼洞子组、元古宙变质过渡基底接官亭组和震旦-早寒武世浅变质盖层断头崖组。矿区内沿何家岩背斜南北两翼边缘发育近东西的鱼洞子-五房山-西渠沟断裂（F_1^{45}），沿背

*本文受国家重大基础研究发展规划项目（编号：2001CB409805）及西北有色地质勘查局人才基金资助
第一作者简介 王瑞廷，男，1969 年生，博士，工程师，主要从事矿床地球化学及矿产勘查研究。

斜轴部展布略阳-煎茶岭-茶店断裂（F_1^8），以及次级的北东、北西、近南北向断裂组。

煎茶岭复式超基性主岩体沿北东东向与北西西向断裂交汇部位侵入于何家岩背斜东部倾伏端，该岩体东西长 5 km，南北宽 0.3～1.2 km,钻探测深大于 1.1 km，出露面积约 5 km^2，平面上呈中部膨大，向北西、南西分枝，向东收缩的“燕鱼”形态，剖面上呈向南陡倾的岩墙(陈民扬，1994)，其 Sm-Nd 等时线年龄为（927.4±49）Ma（庞春勇等，1993）。超基性岩浆沿主岩体南北侧的北东向和北西向断裂带侵入形成了南、北分枝岩体。超基性主岩体内的晚期侵入体主要有花岗斑岩、钠长斑岩、闪长岩。花岗斑岩长轴近东西向，南界面受断裂限制较平直，北界面呈向北凸出的弧形，东西端延伸浅，中部较大，Rb-Sr 等时线年龄为 400 Ma（庞春勇等，1993）。钠长斑岩主要集中分布在该主岩体中部，呈大致左行斜列的脉岩群，与矿体走向一致，产状上与花岗斑岩相同，均为深部南倾，浅部北倾。经受多期多相变质改造后，现今岩体主要由蛇纹岩、滑石菱镁岩、石英菱镁岩及透闪岩等蚀变岩石组成，岩石 M/F 值为 8.45～11.96，属镁质超基性岩，其原岩可能为纯橄榄岩、斜方辉橄岩等。

煎茶岭大型含钴硫化镍矿床赋存于该超基性主岩体中（图略），矿体皆位于该岩体南部印支期花岗斑岩外接触带弧形断裂蚀变带中，且其成群成带环绕外接触带分布（王相等，1996）。矿床可分为南、北、中 3 个矿化带，且探明的矿体主要集中分布在中带主岩体中段，两侧分枝岩体仅见镍矿化，无工业意义。至今共发现 16 个工业矿体，矿体走向 280° 南西 260° 倾，倾角 68～75° 透镜体状，似层状多层产出，与主岩体产状一致。单个矿体沿走向和倾向均有明显的分枝复合，膨胀收缩现象，受花岗斑岩北接触带向北突出向南倾斜的弧形构造控制，各矿体也呈北凸南倾的弧形产出，在剖面、平面上，矿体产状完全与花岗斑岩北接触带一致。矿体一般控制长度 200～890 m,控制延深 2～700 m，厚度 2～12 m，主要矿体均具有浅部矿体薄，矿石品位低，深部矿体厚度大，矿石品位高的变化规律。

矿石分为硫化镍矿和硅酸镍矿两种，并以前者为主，硫化镍矿石以原生型为主，仅在地表见到少量混合型及氧化型矿石。镜下鉴定表明，矿石主要金属矿物为磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、铬尖晶石、镍黄铁矿、针镍矿、辉镍矿、紫硫镍铁矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等，脉石矿物主要有蛇纹石、绿泥石、透闪石、滑石、铬云母、石英等。全矿床镍钴平均品位分别为 TNi 0.683%、 SNi 0.570%、Co 0.026%，且含有具综合回收利用价值的较高含量的 Au。硫化镍矿石结构为交代残余结构、网脉结构、骸晶结构、似海绵陨铁结构等，以浸染状、斑点状、似条带状构造为主。

该硫化镍矿床以矿体埋藏深，品位低为特点，但含有 TNi 品位大于 1%的占全矿总储量 30%的富镍矿。这些富镍矿体常位于贫镍矿体中、下部和深部位，形态及产状均与贫矿体一致。矿石类型主要有 4 种，即滑镁岩型、蛇纹岩型、菱镁岩型和透闪岩型镍矿石。依据主要金属矿物组合可分为 2 个系列，即磁黄铁矿-镍黄铁矿系列和黄铁矿-针镍矿-辉镍矿系列。

2 岩石、矿石微量元素地球化学特征

2.1 成矿元素地球化学特征

煎茶岭超基性岩体的岩石化学特点是 Ni、Co、Au 等元素含量高，特别以富 Ni 为特征，其 Ni、Co、Au、Cu、Cr 平均含量分别为 1596×10^{-6}、76×10^{-6}、3.1×10^{-9}、29×10^{-6}、1512×10^{-6}。对矿床镍矿石、超基性岩和中酸性岩脉的微量元素分析表明:①煎茶岭镍矿石与蚀变超基性岩微量元素组成特征基本一致，二者均富含 Ni、Co、Cr、Mn 等亲超基性岩的微量元素，而且元素含量彼此接近；②矿石中的 Ni、Cu、Co、S 含量平均比蚀变超基性岩高出一个数量级，表明超基性岩中 Ni（Co）的硫化萃取对成矿具有重要意义；③煎茶岭矿石中蛇纹石的镍含量比无矿岩石中蛇纹石的镍含量低得多，表明硫化作用离解出矿物晶格中的镍并形成部分矿石。

2.2 稀土元素地球化学特征

矿区内蚀变超基性岩和镍矿石的稀土元素球粒陨石标准化配分模式（图 1）显示：① 3 类蚀变超基性岩均富集 LREE, 稀土配分线呈现较缓的右倾趋势；② 镍矿石稀土元素球粒陨石标准化配分模式与蚀变超

基性岩稀土元素配分模式基本一致，均为 LREE 富集型，表明镍矿成矿物质来源与蚀变超基性岩体相同，均来源于深部岩浆；③ 蛇纹岩、滑镁岩、菱镁岩三类蚀变超基性岩的稀土元素球粒陨石标准化配分模式均出现 Gd、Tb 的异常，可能表明成岩过程中有地壳物质的混染。

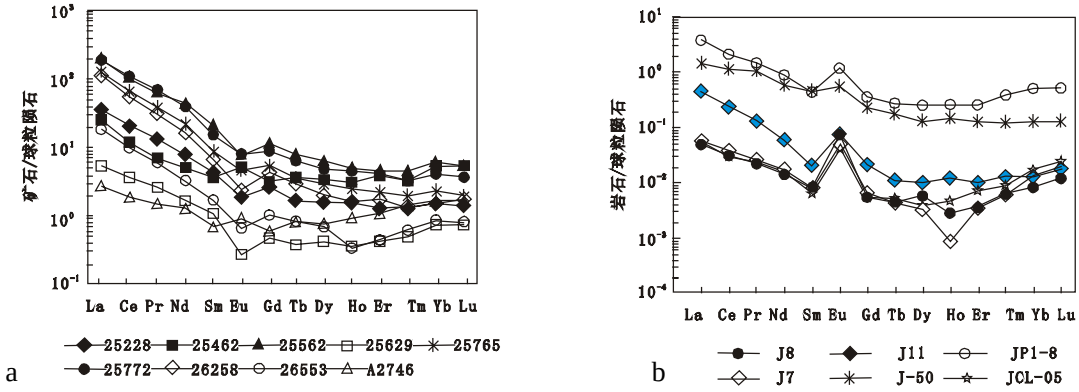


图 1　煎茶岭矿区蚀变超基性岩和镍矿石稀土元素球粒陨石标准化配分模式

a 图：25629 等为矿石样品编号：25629 为菱镁岩型矿石；25765、25772 及 26258 为滑镁岩型矿石；25462 为透闪岩型矿石；25562 为钠长岩型矿石；26553 及 A2746 为蛇纹岩型矿石；25228 为滑石岩型矿石。b 图：J8、J11、JCL-05 为蛇纹岩；J7 为菱镁岩；JP1-8、J-50 为滑镁岩

2.3　铂族元素地球化学特征

该区蚀变超基性岩、中酸性岩和采自镍矿床钻孔岩芯的 9 件镍矿石样品的铂族元素及金的分析结果如表 1、表 2 所示。其球粒陨石标准化 PGE 及金的分布模式表明，矿石的铂族元素配分曲线为向右升高的左

表 1　煎茶岭含钴硫化镍矿床矿石中铂族元素及金含量（$w_B/10^{-9}$）

样号	25228	25462	25562	25629	25765	25772	26258	26553	A2746
Ru	6.39	6.37	5.56	5.95	5.11	9.22	2.19	7.42	6.71
Pd	8.49	2.54	4.77	17.52	8.05	6.43	2.86	14.22	4.11
Ir	2.41	2.33	2.42	2.25	2.8	2.66	1.03	3.04	2.31
Pt	26.54	2.55	3.93	38.69	7.54	2.42	3.04	19.67	27.42
Rh	0.48	0.47	0.47	0.64	0.4	0.59	0.22	0.52	0.78
Au	22.77	12.59	9.48	27.95	15.49	72.11	13.71	19.59	19.62

注：样品由中国科学院地球化学研究所资源环境测试分析中心采用 ICP-MS 完成。样号同图

表 2　煎茶岭矿床超基性岩石中铂族元素及金含量（$w_B/10^{-9}$）

样号	岩性	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au
J-31	叶蛇纹岩	5.9	3.0	6.4	3.0			
J8	蛇纹岩	1.0	1.2	3.0	0.3	<1	1.0	4.2
JN-2	滑镁岩	2.4	2.5	4.3	4.0	6.3	2.5	160
JN-3	滑镁岩	2.7	3.2	4.1	5.0	2.2	3.4	
J-42	滑镁岩	2.2	2.0	6.0	6.0	2.5	1.0	120
JN-1	透闪岩	4.4	5.0	7.0	6.0	2.7	6.1	120
JN-4	花岗斑岩	<1	0.2	<1	<1	0.4	0.5	160
JCD-4	花岗斑岩	<1	<0.1	<1	<0.1	<1	<1	5.9
JN-6	钠长斑岩	<1	0.2	<1	<1	0.9	4.5	120
J-41	蚀变白云岩	6.0	6.6	14.7	7.0	3.1	1.1	14100

注：J8、JCD-4 由国家地质实验中心测试；其它据冉红彦等，1996

倾型，含金、钯较高，具有铂的高峰，Pt/Pd 比值在 0.40～1.67 之间变化，均小于球粒陨石的 Pt/Pd 比值，Pd/Ir 比值在 1.08～7.72 之间变化，均大于球粒陨石的 Pd/Ir 比值，属 Pt、Pd 向下倾斜的配分型。除金外，岩石的铂族元素配分曲线与矿石基本上呈互补关系，含金、铑较高，具有铂、钯的低谷。由于造成 PGE

分异的可能机制有部分熔融、结晶分异和蚀变作用（Barnes，et al.,1985）,因此，说明镍成矿过程与这三种作用有关。但由于一般情况下，热液型镍矿石的 Pd/Ir 值超过 100，而岩浆型镍矿石的 Pd/Ir 值较低（Maier，et al.，1998），故说明大部分煎茶岭镍矿石属于岩浆型，该矿床的形成以岩浆成矿作用为主，并不像前人认为的以后期变质热液交代改造成矿作用为主。

2.4 过渡元素地球化学特征

超基性岩与矿石的过渡金属（表 3）分配模式基本相近，唯一区别在于超基性岩出现 Cu 的低谷，而矿石出现 Cu 的高峰，其原因可能是岩浆作用过程中 Cu 倾向富集于含硫化物相的矿石中，这也说明岩浆作用是镍成矿的主要机制，而与花岗斑岩侵入引起的后期岩浆热液交代改造作用关系不大。另外，本次 Re-Os 同位素年代学研究证明，与煎茶岭镁质超基性岩体有关的煎茶岭镍矿床形成于新元古代，成岩成矿基本同时，亦表明以岩浆成矿作用为主。

表 3 煎茶岭含钴硫化镍矿床岩、矿石中过渡金属元素含量（$w_B/10^{-6}$）

样号	岩性	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
J7	菱镁岩	3.98	19.01	2897	387.32	42824.44	85.90	1695.89	0.27	34.98
J8	蛇纹岩	4.74	16.25	2260	309.86	57625.56	93.14	1954.06	1.19	26.98
J11	蛇纹岩	5.46	11.97	2897	387.32	51131.11	69.02	1852.54	0.50	61.27
ZK-4	蛇纹岩	5.72	19.72	2619	464.79	44240	103.6	2663.50	0.69	22.24
JCL-05	蛇纹岩	5.01	14.41	2902	774.65	39441	90.65	1778.24	1.53	31.20
JCL-06	滑镁岩	3.92	8.00	2734	387.32	38157.79	58.74	1391.53	2.28	32.38
JP1-8	滑镁岩	2.21	16.77	2329	1936.62	55471.11	73.89	1009.10	11.2	38.72
J12	镍矿石	2.50	10.01	6966	309.86	272377.8	230.1	3995.22	430.7	165.4

注：样品由西北大学教育部大陆动力学重点开放研究实验室分析， Cr、Mn、F 为 X 荧光分析结果，其余元素为 ICP-MS 分析结果

综上所述，在分析前人研究资料（陈民扬等，1994；王相等，1996）及本次研究成果的基础上，认为煎茶岭含钴硫化镍矿床为岩浆型矿床，岩浆结晶分异、同化混染和硫化作用对成矿的意义重大。与前人认为其属中酸性岩浆动热再造型或岩浆熔离-热液改造型矿床的观点有所不同。

3 结论

通过以上分析和研究认为：

（1）煎茶岭大型含钴硫化镍矿床的形成与镁质超基性岩体密切相关，岩浆结晶分异、同化混染和硫化萃取对成矿的意义重大，岩浆熔离作用不发育。

（2）该镍矿床 PGE 含量较低、贫铜，与常见的铜镍硫化物矿床有所不同，具特殊性。

（3）煎茶岭大型含钴硫化镍矿床成因分类上应属岩浆型矿床。

参 考 文 献

陈民扬， 庞春勇. 1994. 煎茶岭镍矿床成矿作用同位素地球化学[A]见：陈好寿主编.同位素地球化学研究[C]. 杭州：浙江大学出版社. 56～81.

庞春勇，陈民扬. 1993.煎茶岭地区同位素地质年龄数据及其地质意义[J].矿产与地质， 7（5）：354～360.

冉红彦，黄婉康，甘先平，等. 1996. 蚀变超基性岩金（镍）矿床中的贵金属元素——以云南墨江金矿和陕西煎茶岭金矿为例[]J.地球化学， 25（5）：520～528.

王平安，陈毓川，裴荣富，等. 1996. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造-成矿旋回与演化[M]. 北京：地质出版社. 12～31.

王相，唐荣扬，李实，等.1996. 秦岭造山与金属成矿[M].北京：冶金工业出版社. 272～300.

Barnes S, Naldrett A J, Gorton M P. 1985.The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas[J].Chem.Geol., 53:303～323.

Maier W D, Barnes S J, Teigler B, et al . 1996. Cu/Pd and Cu/Pt of silicate rocks in the Bushveld Complex : Impications for platinum-group element exploration[J]. Econ. Geol., 91: 1151～1158.