

中国北方造山带岩浆铜镍硫化物矿床及其 地球动力学背景

——以吉林红旗岭矿床为例

郝爱华^{1,2)}, 顾连兴¹⁾, 李绪俊²⁾, 郑远川¹⁾

1) 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学系, 210093;

2) 吉林大学地球科学学院, 长春, 130061

内容提要:中国北方兴蒙造山带东段吉林省中南部产有一系列铜镍硫化物矿床, 红旗岭矿床代表的是早三叠纪同造山期与超镁铁质-镁铁质岩浆作用相关的矿床类型。含矿母岩主要是由辉长岩-二辉岩-橄榄辉石岩-辉石橄榄岩等构成的杂岩体和顽火辉石岩超基性岩脉, 构成星点状-稀疏浸染状-稠密浸染状-斑杂状-致密块状四种矿石类型。硅酸盐岩石的矿物组合为橄榄石+斜方辉石+单斜辉石+角闪石+斜长石, 为钙碱性系列岩石组合类型。岩石化学显示其微量元素富集轻稀土元素和大离子亲石元素 Rb、Ba, 亏损高场强元素 Ti、Nb, 相似于俯冲带拉斑玄武岩, 可能为幔源岩浆混染地壳物质的结果。同位素年代学证实岩体就位时间约为250Ma左右的早三叠纪, 与区域变质和中国北方大面积的同造山花岗岩年龄相似, 暗示了含矿岩体的形成和华北板块与西伯利亚板块碰撞造山作用有关, 是造山挤压过渡期伸展体制下岩浆作用的产物。

关键词: 铜镍硫化物矿床 地球动力学背景 红旗岭矿床 中国北方造山带

国外铜镍硫化物矿床大都发育在构造相对稳定的地台区和地盾区, 集中分布在地盾区的活动带和大陆边缘裂谷带。这些典型的岩浆型 Cu-Ni 矿床, 具有矿体位于镁铁-超镁铁质杂岩体或岩墙的底部, 与镁含量较高的橄榄岩关系密切, 空间上与板内超壳断裂密切相关的特点。相关研究也认为, 岩浆对围岩中硫元素的萃取以及壳源物质的混染作用在成矿过程中也起重要作用 (Naldrett, 1999; Lightfoot et al, 1990)。Naldrett and Cabri (1976) 曾依据镁铁超镁铁质岩产出的构造背景及岩体类型, 将镁铁超镁铁质岩进行了构造-岩石-地质背景分类, 特别地把造山带中的镁铁超镁铁质杂岩体分为同造山型、构造侵位型和阿拉斯加型。

我国的铜镍硫化物矿床数量多、规模小, 绝大多数具有产于地台区或不同时代造山带及其过渡带环境的空间分布特点 (汤中立等, 1996; 刘月星等, 1994)。吉林省的红旗岭及其区域上的漂河川、长仁、彰项等矿床, 有着相似的成矿地质背景, 被认为是相同构造环境下具有相同的成因的系列铜镍硫化物矿床 (陈子诚等, 1984; Fu-yuan Wu et al,

2004)。前人曾对矿床的成矿模式、岩浆熔离作用条件和方式作过较为深入的研究 (秦宽, 1995; 汤中立, 1987; 傅德彬等, 1988; 陈子诚等, 1996; 余传菁, 1985; 郝爱华等, 2002, 2004), 并认为矿床形成于330-350Ma前后的海西期 (秦宽, 1995; 陈子诚等, 1984)。由于这些研究工作大多数是在上世纪80年代以前结合地质找矿展开的, 绝大部分均未涉及矿床形成的构造环境以及含矿原始岩浆性质等问题, 也没有更细致、精确的年代学工作来确定矿床的形成时限。为此, 作者拟通过大量的岩石学、岩石化学和地质年代学工作, 对典型的红旗岭矿床进行解剖, 以阐述矿床形成的地球动力学背景, 揭示含矿岩体形成的构造环境、岩浆源区的性质及其后期演化的一些成因问题, 进一步对中国北方中生代造山带的构造演化-岩浆作用-矿床形成模式。

1 矿床地质简介

红旗岭矿床位于兴蒙造山带东段吉林褶皱带南部边缘, 地理坐标为北纬42°55′; 东经126°30′; 包括产于红旗岭镇120km²范围内岩体群中的诸多矿体

收稿日期 2005-10-27 改回日期 2006-05-10 责任编辑: 郝梓国

作者简介: 郝爱华, 女, 1964年生, 博士, 副教授, 主要从事矿物、岩石、矿床学专业的教学及科研工作。现在南京大学地科系从事博士后研究。

通讯地址: 210093, 南京市汉口路22号南京大学地球科学系, 电话: 025-83687637, Email: aihuaxi@163.com

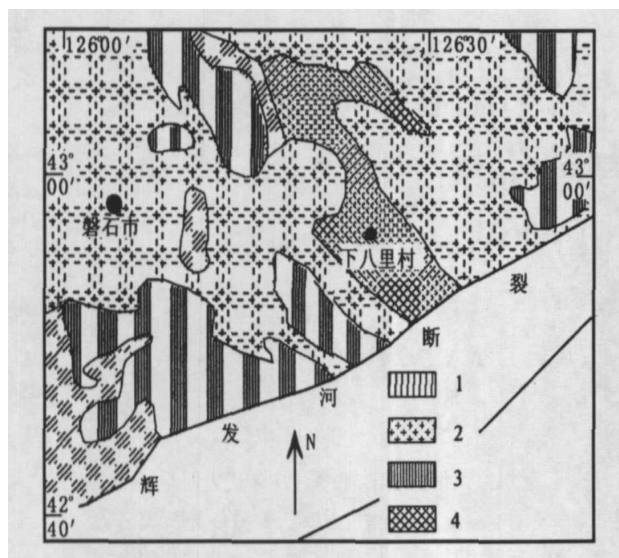


图1 红旗岭地区地质简图

Fig 1 Geological sketch of Hongqiling area

1—中生代盖层 2—中生代花岗岩 3—晚古生代地层;
4—早古生代地层

1—Mesozoic-Cenozoic cover 2—Mesozoic granite 3—late Paleozoic
strata 4—early Paleozoic strata

(图1) 加里东期形成并演化至今的NE走向的辉发河深断裂作为矿田的南部边界,在整个区域地质演化和成矿作用过程中起着非常重要的作用。

矿区出露的地层为下古生界呼兰群,是一套由片麻理走向总体 $310^{\circ} \sim 330^{\circ}$ 的石榴石二云斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、白云母片岩等组成的变质岩系,岩石均发生了强烈的韧性变形。含矿岩体主要侵位于呼兰群下部的石榴石二云斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩中,岩体的延长方向与围岩片麻理走向一致,与围岩呈近整合接触的侵入接触关系。岩体与矿体的赋存空间严格地受NW向断裂构造控制,岩体的往往边部发育几厘米-几十厘米厚的构造片理化带。含矿岩体规模较小,多为面积小于 0.1 km^2 的岩墙、岩脉。其中,最重要的含矿岩体为1号与7号岩体,主要发育星点状—稀疏浸染状、稠密浸染状、斑杂状、致密块状四种矿石类型。

1号岩体位于红旗岭镇附近。岩体总体呈透镜状,中间宽,两头变窄。岩体平均宽200m,北端最大岩埋深约560m,地表出露面积约 0.2 km^2 。岩体由上到下划分为四个岩相,分别为辉长岩相-二辉岩相-含长斜方辉石橄榄岩相-橄榄辉石岩相,橄榄辉石岩为底部的含矿岩相。

辉长岩:呈中粒辉长结构,暗色矿物强烈次闪石化,长石大部分表现出绢云母化蚀变特点。金属硫化物含量甚微,呈极细的乳滴状散布于造岩矿物粒间。

二辉岩:呈半自形中粒结构,橄榄石多呈骸晶,边缘部分蛇纹石化。斜方辉石为 $En=82 \sim 86$ 的古铜辉石,单斜辉石为透辉石。斜长石含量较低,大约为5%。金属硫化物分布广泛但含量甚微,呈星点状分布于造岩矿物粒间。

含长斜方辉石橄榄岩:多呈包含结构和堆晶结构,岩相上部为辉石角闪橄榄岩,向下过渡为含长橄榄岩。主要的造岩矿物组合为橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、斜长石、棕色角闪石、棕红色金云母及部分细粒的含铬尖晶石。斜方辉石通常呈巨大的晶体包裹橄榄石,角闪石有时包裹细粒斜方辉石和橄榄石。斜长石 $An=58 \sim 62$,以填隙矿物的形式存在,含量8%~15%。金属硫化物呈浸染状广泛分布,含量最高可达3%左右,构成所谓上悬矿体。

橄榄辉石岩:呈自形-半自形的等粒结构,局部为包含结构。主要矿物为古铜辉石、贵橄榄石及少量的角闪石、透辉石和基性斜长石。金属硫化物较富集,常构成海绵陨铁状或斑点状矿石。矿石矿物组合为 $Po+Pn+Cp \pm Mt$ 。

7号岩体位于红旗岭镇东南约10km处。岩体平面上呈脉带状,地表出露面积为 0.013 km^2 ,岩体走向 $300^{\circ} \sim 330^{\circ}$;倾向最大延伸520m。岩体顶部常发育少量的苏长岩,主体岩相为斜方辉石岩,占岩体总体积的90%以上,其中的金属硫化物含量可达10%~15%,构成海绵陨铁和稠密浸染型的矿体,体现出岩浆熔离型矿床的组构特征。岩体中、下部赋存矿化很好的辉石橄榄岩脉。

斜方辉石岩主要由斜方辉石和粒间硫化物组成,此外还有少量的橄榄石、斜长石、角闪石和单斜辉石。斜方辉石主要为顽火辉石,含量在70%~80%左右,具有与岩体产状相似的定向排列。部分岩石蚀变强烈,主要为滑石化、次闪石化。矿石矿物组合为 $Po+Pn+Cp \pm Mt$ 。此外,7号岩体下盘还发育致密块状的纯硫化物矿脉,常位于橄榄岩的中、底部或直接侵入到围岩片麻岩中,脉体通常最大长度20~30m,厚度可达2~4m,矿物组合为 $Po+Pn+Cp$,镍黄铁矿常有被拉长的现象,其它矿物也都近定向排列,反映出受定向应力作用的特点。

2 含矿岩体岩石化学及地球化学

2.1 样品的选取及测试

岩石化学分析样品选自1号与7号含矿岩体的不同岩相带,具体岩石名称及岩石的主量元素、微量元素分析结果见表1。所有岩石化学测试工作均在

表1 红旗岭镁铁-超镁铁质岩石化学成分

Table 1 Petrochemical compositions of mafic-ultramafic intrusions in Hongqiling area								
样品	HQV II-5	HQV II-7	HQV II-20	HQV II-21	HQ I-0	HQ I-11	HQ I-18	HQ I-20
岩石名称	斜方 辉石橄榄岩	橄榄 斜方辉石岩	橄榄 斜方辉石岩	斜方 辉石橄榄岩	辉石岩	含尖晶石 角闪辉橄岩	含长橄榄 斜方辉石岩	含长 角闪橄榄岩
岩体	7号岩体	7号岩体	7号岩体	7号岩体	1号岩体	1号岩体	1号岩体	1号岩体
主量元素 (%)								
SiO ₂	40.79	42.32	45.32	45.51	46.98	40.64	41.86	38.47
Al ₂ O ₃	4.06	3.24	7.35	6.41	9.78	7.51	3.55	7.35
TiO ₂	0.39	0.26	0.55	0.96	0.59	0.3	0.24	0.55
FeO ^t	12.07	13.94	13.04	11.39	9.87	10.98	11.57	10.41
MnO	0.14	0.1	0.15	0.17	0.15	0.17	0.16	0.15
MgO	28.25	25.34	24.37	28.02	19.52	30.91	28.90	32.00
CaO	2.67	1.17	3.54	3.55	4.57	4.01	4.68	3.54
Na ₂ O	0.69	0.30	1.27	0.93	1.99	0.87	0.28	1.27
K ₂ O	0.40	0.20	0.62	0.67	0.91	0.15	0.10	0.62
P ₂ O ₅	0.08	0.05	0.16	0.05	0.21	0.05	0.03	0.16
CO ₂	0.97	0.16	0.47	0.52	0.88	0.23	0.78	0.47
H ₂ O ⁺	8.51	4.65	4.78	2.05	3.60	4.55	5.12	4.78
S	1.04	6.75	4.41	0.17	1.12	0.43	1.51	0.69
Total	100.06	98.48	99.18	100.40	100.17	100.8	98.38	100.46
微量元素 (μg/g)								
Rb	12.20	9.10	25.70	19.80	6.90	4.60	3.00	17.5
Sr	198.00	251.00	466.00	105.00	93.80	113.00	39.50	233.00
Ba	90.50	74.90	333.00	153.00	63.20	58.10	44.00	120.00
Cr	3366.0	3503.5	2046.1	1869	4691.3	6766.9	4790.8	1687.7
Co	189.0	570.0	162.0	87.0	146.0	145.0	140.0	370.0
Ni	4980	21900	5760	1330	2090	2250	2060	19000
V	54.9	69.7	84.9	90.2	88.6	97.4	88.2	78.3
Ti	2338	1559	3537	4017	2518	1799	1439	3297
Cu	737	3500	1430	145	457	619	397	5900
Pb	14.20	31.50	29.10	9.30	5.50	9.20	6.60	31.40
Zn	109.0	180.0	96.2	92.0	89.9	84.8	77.2	176.0
U	1.55	3.09	2.45	1.97	0.96	0.30	1.33	3.09
Zr	48.35	36.86	128.4	72.53	43.15	31.92	37.57	97.41
Hf	1.56	0.82	2.93	2.6	1.73	1.70	1.75	2.9
Nb	2.00	1.50	5.30	3.70	2.20	2.80	1.80	3.20
Ta	0.12	0.10	0.40	0.23	0.13	0.18	0.11	0.2
Se	2.24	8.45	2.62	0.39	1.04	1.34	0.99	3.35
Sb	0.29	0.1	0.19	0.26	0.86	0.18	1.63	0.69
As	0.78	0.63	0.59	0.29	0.01	0.52	0.63	0.31
稀土元素 (μg/g)								
La	5.45	3.48	15.65	5.04	2.86	2.69	1.57	8.57
Ce	14.57	9.19	33.50	13.86	6.82	5.54	6.17	19.55
Pr	1.71	1.09	4.18	2.21	1.04	0.82	0.61	2.63
Nd	7.12	4.41	16.41	11.51	5.28	3.45	2.46	11.85
Sm	1.72	0.92	2.98	2.78	1.34	0.80	0.66	2.48
Eu	0.52	0.25	0.99	0.83	0.48	0.39	0.25	0.83
Gd	1.64	0.89	2.78	2.77	1.58	1.03	0.85	2.52
Tb	0.254	0.143	0.42	0.427	0.257	0.183	0.148	0.384
Dy	1.40	0.80	2.22	2.44	1.59	1.10	0.92	2.30
Ho	0.27	0.17	0.43	0.45	0.32	0.22	0.19	0.45
Er	0.73	0.47	1.20	1.27	0.93	0.65	0.55	1.28
Tm	0.105	0.075	0.184	0.196	0.136	0.102	0.089	0.196
Yb	0.63	0.47	1.14	1.20	0.87	0.64	0.53	1.20
Lu	0.093	0.075	0.173	0.177	0.127	0.099	0.083	0.185
Y	7.00	4.35	11.80	12.24	8.41	6.08	4.92	12.20
ΣREE	43.212	26.783	94.057	57.40	32.04	23.794	20.00	66.625

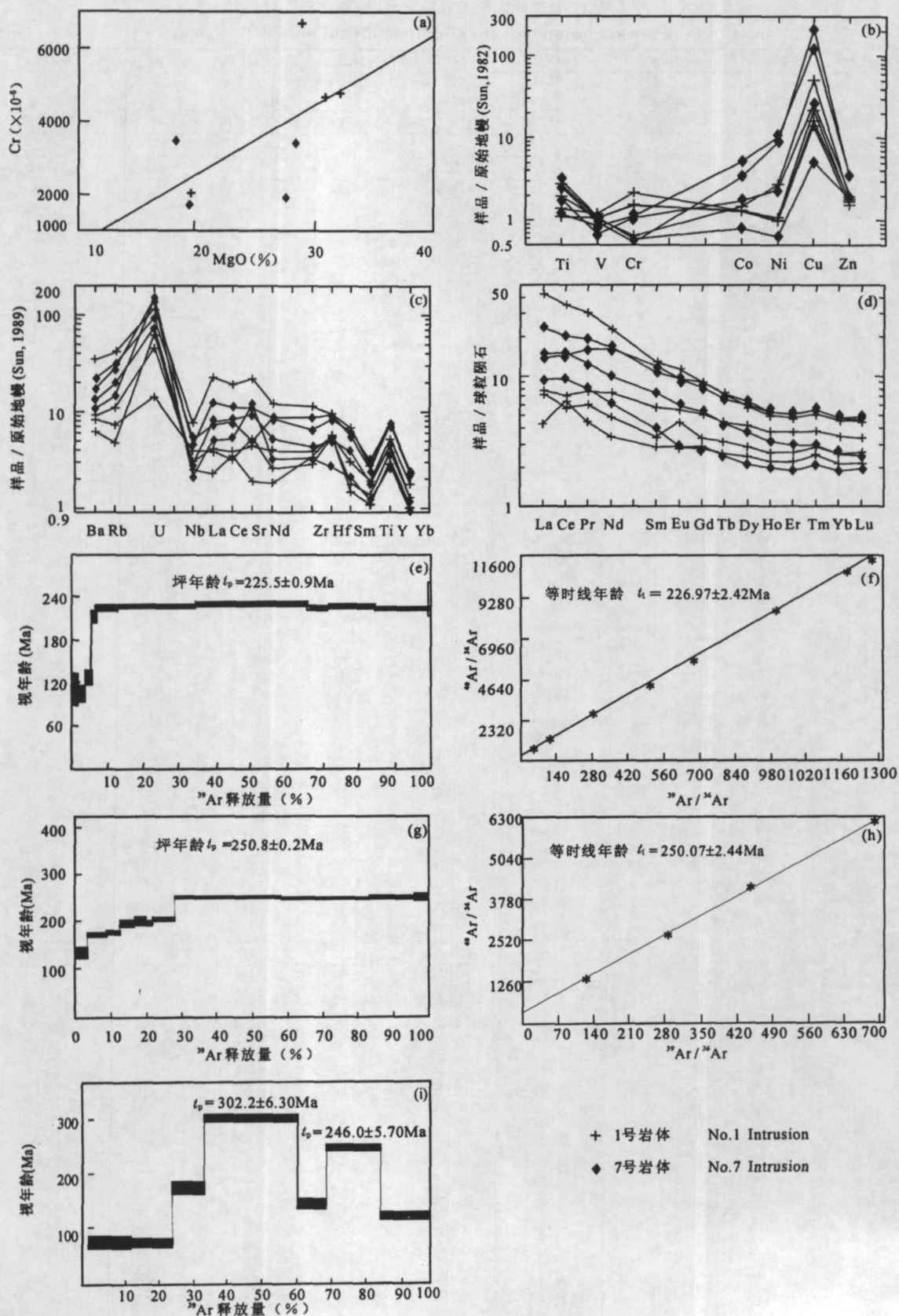


图 2 含矿岩体地球化学图解

Fig 2 Geochemical diagrams of ore-bearing rock body in Hongqiling

(a)—含矿岩体MgO-Cr关系图解;(b)—过渡金属元素原始地幔值标准化图解;(c)—微量元素原始地幔值标准化蛛网图;(d)—稀土元素球粒陨石标准化图解;(e)—1号岩体黑云母单矿物阶段升温坪谱年龄;(f)—1号岩体黑云母单矿物等时线年龄;(g)—8号岩体角闪石单矿物阶段升温坪谱年龄;(h)—8号岩体角闪石单矿物等时线年龄;(i)—4号岩体角闪石单矿物阶段升温坪谱年龄

(a)—Variation in MgO vs Cr diagram for the Hongqiling ore bearing intrusions;(b)—diagram for primitive mantle-normalized transition metal of Hongqiling ore bearing intrusions;(c)—primitive mantle-normalized spider diagram for Hongqiling ore bearing intrusion (Thompson, 1982);(d)—diagram of chondrite-normalized REE patterns for Hongqiling ore bearing intrusions;(e)—biotites plateau spectrum age of No. 1 intrusion at different temperature;(f)—biotites isochron age of No. 1 intrusion;(g)—amphiboles plateau spectrum age of No. 8 intrusion at different temperature;(h)—amphiboles isochron age of No. 8 intrusion;(i)—amphiboles plateau spectrum age of No. 4 intrusion at different temperature

湖北省地质实验研究所武汉综合岩矿测试中心完成。

岩体用于 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法年代学研究的样品选自红旗岭矿区1号岩体、4号岩体和8号岩体。同位素年龄测定在中国地质科学院地质研究所完成。

2.2 含矿岩体岩石地球化学判别

2.2.1 主量元素

表2中岩石化学分析表明,样品的主量元素FeO t含量较高, $w t(\text{SD}_2)$ 与 $w t(\text{MgO})$ 的分布范围分别为39%~45%和19%~32%,且具有随着MgO含量增加,FeO t在小范围内变化, SD_2 及 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 递减的基本变化规律,显示钙碱性系列镁铁-超镁铁质岩系中 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 、MgO及FeO t的变化特点。岩石钛含量较低, $w t(\text{TD}_2)$ 为0.24%~0.67%,与金川矿床及国内大多数铜镍硫化物矿床相似(Tang Zhongli, 1999),而不同于加拿大Voisey's Bay等产于地盾中的矿床(Lightfoot et al., 2000)。 $w t(\text{CaO})$ 和 $w t(\text{AlO}_3)$ 含量分别变化于1.17%~4.68%和3.24%~7.51%之间,镁铁指数 $\text{Mg} \pm 100 \text{ Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 在77~85范围内,化学成分相似于造山带环境中的阿拉斯加型镁铁-超镁铁质环状侵入体(张魁武等, 1988),但岩体中大量出现的斜方辉石与橄榄石的矿物组合特点有别于阿拉斯加型侵入体,显示红旗岭含矿岩体独特的岩石化学特性。

2.2.2 微量元素

MgO-Cr关系图(图2a)显示侵入体的所有镁铁质—超镁铁质岩石样品Cr与MgO含量上呈正消长,暗示了橄榄石与尖晶石之间的共结关系。并且,样品中Cr含量明显高于兴蒙造山带西段的黄山岩体(Mei-fu Zhou, 2004),与金川的侵入体相似(汤中立, 1999),反映出原始岩浆高Cr的成分特点。

过渡金属元素原始地幔标准化图解(图2b)显示,图中7种过渡金属元素表现出活泼相容元素Cu强烈富集,Co、Ni、V、Cr一定程度富集和不相容元

素Ti一般性富集的特点,暗示地幔条件下形成含镍岩浆时,相容元素Ni、Co、Cu、V和部分Cr都已经进入熔浆中。这种转变显然在地幔较高级度的部分熔融条件下才能达到。

微量元素原始地幔值标准化蛛网图(图2c)具有 RbN/YbN 大于1的特点,出现明显的U峰和Nb、Ti槽及Yb的轻度亏损。这种异常类型类似于Holm构造环境判别法中的俯冲带拉斑玄武岩的微量元素分配型式(李昌年, 1992)。据此推断,与铜镍硫化物矿床相关的红旗岭镁铁-超镁铁质岩可能形成于大陆弧后的伸展环境,且U元素的高度富集显现出岩浆受壳源物质的混染。

2.2.3 稀土元素

稀土元素球粒陨石标准化图解(图2d)显示,两个含矿岩体的15个元素 ΣREE 在20.00~94.00之间变化。每个岩体中的稀土曲线近平行,且稀土配分模式均为轻稀土富集型,说明是岩浆一次脉动侵位的产物(Tang Zhongli, 1999),显示出它们成因与物源的相似性。其中,7号岩体轻稀土含量大于1号岩体,重稀土含量小于1号岩体,即表现出7号岩体稀土曲线斜率大于1号岩体,暗示了两个岩体是由成分不尽相同的熔体结晶形成,或者是由于熔体在地壳中的混染程度不同,造成了两个岩体轻重稀土分馏程度的差异。

2.3 镁铁-超镁铁质岩体 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法定年

红旗岭1号岩体用于 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法测年的黑云母样品选自岩体中部的含长角闪辉石橄榄岩,黑云母新鲜,为橄榄石与辉石的填隙矿物。4号岩体角闪石选自岩体中部蚀变角闪橄榄岩,角闪石部分发生绿泥石化蚀变。8号岩体角闪石选自近地表含长角闪岩,角闪石呈褐色、粗粒且无蚀变。各岩体的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法同位素年龄见表2。坪年龄及等时线年龄图谱如图(2e—i)所示。

上述年龄显示,这些镁铁-超镁铁质岩形成于中

表 2 红旗岭镁铁超镁铁质岩体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄Table 2 ^{40}Ar - ^{39}Ar age of mafic and ultramafic rock body

岩体号	Na. 1	Na. 4	Na. 8
单矿物名称	黑云母	角闪石	角闪石
^{40}Ar - ^{39}Ar		246.00 ±	250.07 ±
法年龄(Ma)	225 ± 0.9	5.70	2.44

生代. 考虑到单矿物黑云母和角闪石封闭温度不同, 分别为 300 (McDougall et al, 1988; Dodson, 1973) 和大于 550 (肖庆辉等, 2002), 且岩浆侵入到深度至少为 15km 的角闪岩相区域变质岩中(刘喜山等, 1992), 岩体在造山带区域变质期间冷却速度慢等原因, 可以认为 250Ma 的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄大致代表岩体的侵位年龄, 即红旗岭与铜镍硫化物矿床有关的镁铁超镁铁质岩形成于 250Ma 左右的早印支期(郝爱华), 而 225Ma 左右的同位素年龄代表了含矿岩体温度降低到 300 °C 黑云母结晶时的冷却年龄. 这些数据与区域大面积的同造山花岗岩 245 ± 6Ma (Fu-yuan Wu et al, 2004; 洪大卫等, 2000) 的年龄相近.

3 含矿岩体形成的地球动力学背景讨论

大量的研究成果表明, 晚古生代-中生代以来, 华北地块与相邻地块的碰撞和相互作用, 不仅在华北地块南缘板间形成了举世闻名的大别—苏鲁超高压变质带和秦岭造山带(Wang H, 1995; 张国伟等 1996), 而且在其北缘形成了中亚-蒙古造山带. 其构造演化经历了由大洋板块俯冲到大陆板块碰撞拼合再到后造山构造垮塌和拉张等若干阶段, 岩浆活动相应地由俯冲型到碰撞型, 最后变为拉张型(洪大卫等, 2000). 近年来大量的地质成果和同位素测年数据表明, 中亚造山运动及其结束的时间由西向东逐渐变新(吴福元等, 1997; 李靖述等 1998; 陈斌等, 2001; 洪大卫等, 2003; 唐克东等, 1997), 区域上主要经历了加里东期和印支期构造演化. 早中生代是岩石圈的初始伸展阶段, 这种伸展是由于岩石圈的拆离和重力垮塌引发了软流圈的上涌(邵济安等, 1998, 1999), 或者由于古亚洲洋冷板块下降, 引发深部地幔热柱的上升(林强等, 1999). 这种幔隆引起的伸展可使上地幔大量的玄武岩岩浆以底垫的形式侵位于下地壳, 并引发下地壳物质的熔融, 250Ma 前后在中国北方形成大面积的同造山花岗岩.

兴蒙造山带的东西两端有数量众多的镁铁-超

镁铁质岩体产出, 仅吉林中南部地区, 已经查明的岩体数量就达 1000 多个. 一些相关研究已经明确, 吉林省东南部兴蒙造山带东段(包括磐石的红旗岭、蛟河的漂河川、和龙的长仁-彭顶等地), 与铜镍硫化物矿床相关的变质围岩, 为晚古生代末开始变质的呼兰群, 其变质作用的峰期大约为 240Ma (孙德有等, 2004; Fu-yuan Wu et al, 2004). 地层学研究认为, 吉林九台芦家屯地区已发现厚达 4000 余米的下三叠统(芦家屯组含 *Neocalamites* sp. *Podozanites* sp. *Corina lutkevichi*, *Cetata*, *C. subquadrate* 等化石), 晚二叠世和早三叠世的沉积一起褶皱并遭受轻微的区域变质, 与上三叠统未变质的大酱缸组呈不整合接触关系(任纪舜, 1984). 说明早三叠纪本区仍处于褶皱造山的晚期阶段, 造山运动在本区可能结束于 220Ma (郝爱华, 2003). 红旗岭及其系列含铜镍的镁铁-超镁铁质岩形成于 250Ma 前后的早印支期, 构造环境应为同造山期. 从这些含矿岩体地表出露产状与围岩近一致, 但岩体本身没有遭受变质的事实分析, 含矿的镁铁超镁铁质岩体可能侵位于造山总体挤压期间的伸展过渡期, 所以它不同于新疆黄山-香山铜镍成矿带中的镁铁-超镁铁质岩就位方式, 后者可能侵位于碰撞造山挤压-伸展转折期(秦克章等, 2002; 毛景文等, 2002a, 2002b).

红旗岭含铜镍镁铁-超镁铁质岩体的硅酸盐矿物组合主要为橄榄石+斜方辉石+单斜辉石+角闪石+斜长石, 表现为钙碱性系列岩石组合类型. 微量元素地球化学判别显示岩浆具有形成于俯冲带弧岩浆的特点, 岩石地球化学明显富集铁及亲铁元素, 指示初始岩浆可能是适度富铁的, 具有低初始锶 $I_{\text{Sr}} = 0.703 \sim 0.705$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.119 \sim 0.180$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51258 \sim 0.51279$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) > 0$, 在 +0.2 ~ +4.3 之间(黑龙江省地质志, 1993; Fu-yuan Wu, 2002) 的特点, 说明初始岩浆可能 LREE 适度亏损的地幔源区. 同时, 形成红旗岭高品位富矿石需要地幔条件下大量的相容元素溶解到岩浆中, 原始岩浆一定是地幔高度部分熔融产物. 所以, 结合岩石富集大离子亲石元素、亏损高场强元素的微量元素配分特点, 可以认为红旗岭含矿岩体的初始岩浆可能来自亏损型地幔的高度熔融, 并且这种岩浆可能受到晚古生代古亚洲洋俯冲洋壳脱出流体的迭加作用.

从含矿岩体同位素年龄可知, 红旗岭铜镍硫化物矿床形成于 250Ma 左右的兴蒙造山带同造山期, 这时兴蒙造山带东段的华北板块与西伯利亚板块主

体上已经形成统一的陆块,造山的挤压与伸展在短周期内交替进行。由于含矿的熔浆及矿浆的密度较高,远大于硅酸盐熔浆的密度(密度约为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$),岩浆的底辟侵位机制很难将其带到上地壳,因此,造山伸展的张弛与其相伴的构造挤压作用,构成上地幔岩浆上升的动力学条件。这种持续不断的构造演化,使得岩浆有条件在不同深度的中间岩浆房中充分熔离,最后按照密度的差异就位于岩体赋存的空间,形成造山带中红旗岭式的岩浆铜镍硫化物矿床。

4 结论

上述工作可以得出以下几点认识:

(1) 岩石学与岩石化学成果显示,中国北方造山带中含 Cu-Ni 矿床的镁铁-超镁铁质岩的原始岩浆可能来自上地幔的高度部分熔融,岩浆明显受壳源物质的混染及流体的交代。

(2) 根据三个岩体的不同单矿物 Ar-Ar 测年结果,推断该类型含矿的镁铁超镁铁质岩侵位于 250Ma 的三叠纪早期,为印支期岩浆作用产物。

(3) 区域地质演化与地球动力学背景分析表明,250Ma 左右的早印支期为兴蒙造山带东段造山挤压期,但其中可能具有短暂的伸展过渡阶段,铜镍硫化物矿床是这种特殊构造体制下岩浆作用的产物,该造山带中系列铜镍硫化物矿床为中生代早期同造山型矿床。

注 释

刘月星,唐弘松,吴厚泽. 1994 我国铜镍硫化物矿床基本特征、找矿评价及找矿方向(科研报告)。

陈子诚,林季庸等. 1984 吉林省岩浆铜镍硫化物矿床地质特征分布规律及找矿方向(科研报告)。

郝爱华等. 2004 红旗岭铜镍硫化物矿床的成矿时代讨论

参 考 文 献

- 陈斌,赵国春,等. 2001 内蒙古苏尼特左旗两类花岗岩同位素年代学及其构造意义. 地质论评, (4) 361~ 367
- 傅德彬,陈子诚. 1988 吉林省铜镍硫化物矿床成矿规律研究, 吉林地质, 7(2) :124~ 144
- 黑龙江省地质志. 1993 黑龙江省区域地质. 北京:地质出版社
- 洪大卫,王式光,谢锡林,等. 2000 兴蒙造山带正 $\epsilon_{\text{d}}(t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长. 地学前缘, 7(2) 441~ 456
- 洪大卫,王式光,谢锡林,等. 2003, 试析地幔来源物质成矿域——以中亚造山带为例. 矿床地质, 22(1) 41~ 55
- 李昌年. 1992 火成岩微量元素岩石学. 武汉:中国地质大学出版社, 109~ 114
- 李述靖,张维杰,耿明山,等. 1998 蒙古弧地质构造特征及形成演化

概论. 北京:地质出版社, 1~ 145

林强,葛文春,孙德有,等. 1999 东北亚中生代火山岩的地球动力学意义. 地球物理学报, 42(增刊) :75~ 84

刘喜山,李树勋,刘俊来. 1992 变形变质作用及成矿. 北京:中国科学技术出版社, 1~ 188

毛景文,杨建民,韩春明,等. 2002a 东天山铜金多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型. 地球科学, 27(4) 413~ 424

毛景文,杨建民,屈文俊,等. 2002b 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义. 矿床地质, 21(4) 323~ 330

秦克章,方同辉,王书来,等. 2002 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究. 新疆地质, 20(4) 302~ 307

秦宽. 1995 红旗岭岩浆硫化铜镍矿床地质特征. 吉林地质, 14(3) :17~ 30

任纪舜. 1984 印支运动及其在中国大地构造演化中的意义. 中国地质科学院院报, 第9号, 31~ 44

邵济安,张履桥,牟保磊. 1999 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用. 地学前缘, 6(4) 339~ 346

邵济安. 1998 大兴安岭中南段中生代的构造热演化. 中国科学(D 辑), 28 :193~ 200

孙德有,吴福元,张艳斌,等. 2004 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间. 来自吉林大玉山花岗岩的证据. 吉林大学学报(地球科学版), 34(2) :174~ 181

汤中立,李文渊. 1996 中国与基性-超基性岩有关的 Cu-Ni(Pt) 矿床成矿系列类型. 甘肃地质学报, (1) 51~ 64

汤中立. 1987 中国硫化铜镍矿床类型及成矿模式. 地质学报, (4) : 350~ 361

唐克东,邵济安. 1997 中亚褶皱构造演化问题-俄罗斯学者今年研究成果评价. 现代地质, 11(1) 21~ 28

吴福元,江博明,林强. 1997 中国北方造山带造山后花岗岩的同位素特点与地壳生长意义. 科学通报, 42(20) 2188~ 2192

郝爱华,任洪茂,李宝林,等. 2002 吉林省红旗岭铜镍硫化物矿床的岩石学和地球化学研究. 吉林大学学报(地球科学版), 32(2) : 140~ 145

郝爱华,任洪茂,张宝福,等. 2003 吉林中部呼兰群同位素年代学及其地质意义. 吉林大学学报(地球科学版), 33(1) :15~ 18

肖庆辉,邓晋福,马大铨,等. 2002 花岗岩研究思维与方法. 北京:地质出版社, 1~ 294

张国伟,孟庆任,于在平,等. 1996 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D 辑), 26(3) :193~ 208

张魁武,沈步明,李达周,等. 1988 阿拉斯加型超镁铁质岩的岩石地球化学. 地质论评, (4) 377~ 382

Chen Bin, Zhao Guochun, Simon Wilde, et al. 2001 Subduction-and collision-related granitoids from southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia: Isotopic age and tectonic implications. Geological Review, 47 (4) 361~ 367 (in Chinese with English abstract).

Dodson M. N. 1973 Closure temperature in cooling geochronological and petrological system. Contrib. Mineral. Petrology, 40 :259~ 274

Fu Debin, Chen Zicheng. 1988 Metallogenetic regularities of Cu-Ni sulfide deposits in Jilin province. Jilin Geology, 7(4) :124~ 144 (in Chinese with English abstract).

Fuyuan Wu, Deyou Sun, Huimin Li, et al. 2002 A-type granites in

- northeastern China : age and geochemical constraints on their petrogenesis *Chemical Geology*, 187 : 143~ 173
- Fuyuan Wu, Boming Jahn, Li Qiang 1998 Isotopic characteristics of the postorogenic granite in orogenic belt of northern China and their implications in crustal growth *Chinese Sci Bull* , 43 : 420~ 424
- Fuyuan Wu, Simon A Wilde, Guangliang Zhang, Deyou Sun 2004 Geochronology and petrogenesis of the post-orogenic Cu-Ni sulfide-bearing mafic-ultramafic complexes in Jilin Province, NE China *Journal of Asian Earth Sciences*, 23 : 781~ 797
- Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources 1993 *Regional geology of Heilongjiang Province* Beijing : Geological Publishing House (in Chinese).
- Hong dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, et al 2003 Metallogenic province derived from Mantle sources : A case study of Central Asian orogenic belt *Mineral Deposits*, 22(1) : 41~ 55 (in Chinese with English abstract)
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, et al 2000 Genesis of positive $\delta^{66}\text{Zn}$ granitoids in the Da Hinggan Mountains Mongolia orogenic belt and growth continental crust *Earth Science Frontiers* (China University of Geosciences, Beijing), 7(2) : 441~ 456 (in Chinese with English abstract).
- Li Changnian 1992 *Petrology of trace elements in igneous rocks* Wuhan Press of China University of Geosciences, 109~ 114 (in Chinese).
- Li Jingshu, Zhang Weijie, Geng Mingshan, et al 1998 *Geological Features of Mongolia Arc Structure and Its Formation and Evolution* Beijing : Geological Publishing House, 1~ 145 (in Chinese).
- Lightfoot P C, Naldrett A J, Gorbacher N S, et al 1990 Geochemistry of the Siberian Trap of the Noril'sk area, USSR, with implications for the relative contribution of crust and mantle to flood basalt magmatism. *Contrib Mineral Petrology*, 104 : 631~ 644
- Lightfoot P C, Amelin Y and Naldrett A J. 2000 Contrasting petrological and geochemical relationships in the Voisey's Bay and Mushuan intrusions, Labrador, Canada : Implications for ore genesis *Economic Geology*, 95(4) : 771~ 799
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, et al 1999 Geomechanical significance of the Mesozoic volcanics in Northeast Asia *Chinese Journal of Geophysics*, 42 (Suppl) : 75~ 84 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xishan, Li Shuxun, Liu Junlai 1992 *Deformation-metamorphism and metallogenesis* Beijing : Scientific and technical publishing house of China (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Yang Jianming, Han Chunming, et al 2002 Metallogenic systems of polymetallic copper and gold deposits related metallogenic geodynamic model in Eastern Tianshan, Xinjiang *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 27(4) : 413~ 424 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Yang Jianming, Qu Wenjun et al 2002 Re-Os dating of Cu-Ni sulfide ores from Huangshandong deposit in Xinjiang and its geodynamic significance *Mineral Deposits*, 21(4) : 323~ 330 (in Chinese with English abstract).
- Mc Dougall I, Harrison T M. 1988 *Geochronology and Thermochronology by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method* New York : Oxford Univ Press
- Meifu Zhou, C Michael Lesher, Zhengxi Yang, et al 2004 Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwest China : implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt *Chemical Geology*, 209 : 233~ 257.
- Naldrett A J, Cabri L J. 1976 Ultramafic and related mafic rocks : their classification and genesis with special reference to the concentration and platinum-group elements *Econ Geol* , 71 : 1131~ 1158
- Naldrett A J. 1999 World-class Ni-Cu-PGE deposits : key factors in their genesis *Mineralium Deposita*, 34 : 227~ 240
- Qin Kezhang, Fang Tonghui, Wang Shulai, et al 2002 Plate tectonic division, evolution and metallogenic settings in Eastern Tianshan Mountain, NW-China *Xinjiang Geology*, 20(4) : 302~ 307 (in Chinese with English abstract).
- Qin Kuan 1995, Geological Features of Magmatic Sulfide Cu-Ni Deposit at the Hongqiling, Jilin Province *Jilin Geology*, 14(3) : 17~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Ren Jishun 1984 The Indosinian orogeny and its significance in the tectonic evolution of China *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Science*, (9) : 31~ 44 (in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an 1998 Tectono-thermal evolution of middle-south section of the Da Hinggan Mountains *Science in China (series D)*, 28 : 193~ 200 (in Chinese).
- Shao Ji'an, Zhang Lvqiao and Nie Baolei 1999 Magmatism in the Mesozoic extending orogenic process of Da Hinggan Mountains *Earth Sciences Frontiers* (China University of Geosciences, Beijing), 6(4) : 339~ 346 (in Chinese with English abstract).
- She Chuanjing 1985 A Preliminary Study on the Metallogenic Model of Magmatic Cu-Ni Sulfide Ore in China *Geology and Prospecting*, (1) : 1~ 15 (in Chinese with English abstract).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, et al 2004 The final closing time of the west Lamulun River-Changchun-Yanji plate suture zone —Evidence from the Dayushan granitic Pluton, Jilin Province *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(2) : 174~ 181 (in Chinese with English abstract).
- Tang Kedong, Shao Ji'an 1997 On tectonic evolution of Central Asian fold region—A achievement review on recent studies by Russian geologists *Journal of Graduate School, China University of Geosciences*, 11(1) : 21~ 28 (in Chinese with English abstract).
- Tang Zhongli 1987. The types and its metallogenic mode of Cu-Ni sulfide deposits of China *Acta Geologica Sinica*, (4) : 350~ 361 (in Chinese with English abstract).
- Tang Zhongli, Li Wenyan 1996 The metallogenic series of Cu-Ni (Pt) deposits related to mafic-ultramafic intrusions in China *Acta Geologica Gansu*, (1) : 51~ 64 (in Chinese with English abstract).

- Tang Zhongli 1999 Genetic model of the Jichuan nickel-copper deposit Mineral Dep., 34(3): 389~401.
- Wang H, Mo X 1995 An outline of the tectonic evolution of China Episodes, 18: 6~16.
- Xi Aihua, Ren Hongmao, Zhang Baofu, et al 2003 Isotopic chronology of the Hulan Group and its geological significance in the central Jilin Province Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 33(1): 15~18 (in Chinese with English abstract).
- Xi Aihua, Ren Hongmao, Li Baolin, et al 2002 Petrology and Geochemistry of the Ore Bearing Intrusions in Hongqiling Cu-Ni Sulfide Deposit, Jilin Province Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 32(2): 140~145 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al 2002 The way of investigation on granitoids Beijing: Geological Publishing House, 1~294 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, et al 1996 Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen Science in China (series D), 33(3): 193~208 (in Chinese).
- Zhang Kuifu, Shen Buming, Li Dazhou, et al 1988 Petrochemistry of Aaskan-type ultramafic rocks Geological Review, (4): 377~382 (in Chinese with English abstract).

The Magmatic Sulphide Cu-Ni Deposits and Their Earth Dynamics Setting in North Orogenic Belt of China: A Case Study of Hongqiling Deposits

XIA Aihua^{1,2}, GU Lianxing¹, LI Xujun², ZHENG Yuanchuan¹

1) State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Department of Geosciences, Nanjing University, 210093; 2) College of Geosciences, Jilin University, 130061

Abstract

Large amount of geological research indicates that there are series Cu-Ni sulphide deposits in south central Jilin Province, eastern portion of the Xing'an-Mongolian Orogenic belt, North China. Hongqiling Cu-Ni sulphide deposit represents the type related to ultramafic-mafic magmatic processes in the Early Triassic period. The parent rocks for the deposits are consist mainly of mafic-ultramafic complex of gabbro-websterite-olivine websterite-lherzolite and dykes of orthopyroxenite, what constituting four types ore with sparse disseminations and sideronitic texture, dense disseminations texture, patched structure and massive structure. The silicate minerals assemblages as olivine + orthopyroxenes + clinopyroxenes + amphiboles + plagioclases $\pm$ phlogopite, similar to the calc-alkaline series rocks. Petrological works has proved that mafic-ultramafic rocks are enriched in LREE and Rb, Ba and depleted in Nb, Ti conformed with the subduction related tholeiite, maybe presented a result that parental magma was derived from mantle source and contaminated with the Crust. Isotopic dating confirms that the intrusions were emplaced at about 250 Ma, the Early Triassic, being similar to the time of the syn-orogenic granite widely found in North China. It implies that the ore-bearing intrusions are products of magmatic activities under a transition period from extrusion to extension system and was related to the colliding orogeny between the north China plate and the Siberia Plate.

Key words: Cu-Ni sulphide deposit; the earth dynamics setting; Hongqiling deposit; North orogenic belt of China