

文章编号:0258-7106(2002)04-0323-08

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*

毛景文^{1,2} 杨建民¹ 屈文俊³ 杜安道³ 王志良^{1,2} 韩春明^{1,2}

(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2 中国地质大学地球科学与资源学院,
北京 100083; 3 国家地质实验测试中心,北京 100037)

摘要 通过对黄山东铜镍硫化物矿床的 Re-Os 同位素测年,获得等时线年龄数据为(282±20) Ma。该数据表明产于东天山的这套铜镍硫化物矿床及其相关的镁铁质-超镁铁质岩并非泥盆纪-早石炭世洋底的蛇绿岩建造和相关成矿系统,它晚于岛弧演化阶段,出现于碰撞后的伸展环境,与区内广泛发育的造山型金矿和浅成低温热液型金矿为同一时期形成。其等时线¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os 初始比值为 0.24±0.04, γ_{Os} 值平均为 99, 显示出在成矿过程及岩浆侵位期间有不少地壳物质混入成岩成矿系统。

关键词 地球化学 Re-Os 同位素测年 二叠纪 黄山东 铜镍硫化物矿床 新疆

中图分类号: P618.41; P618.63; P571

文献标识码: A

在东天山东部,头苏泉—大南湖岛弧和康古尔塔格缝合带北部发育有一系列镁铁质-超镁铁质小岩体,从西到东有:土墩、M102、红二洼、香山、黄山南、黄山东(图 1a)以及镜儿泉地区的红石岗、黑石梁、葫芦东、串珠、马碛等十多个岩体。已经查明黄山东、黄山、香山、土墩和葫芦岩体伴随着工业铜镍矿体,其他岩体也有不同程度的铜镍矿化。岩体在地表的露头都比较小,但侵入作用通常呈现出多阶段或同一岩浆分异出岩性差异比较明显的岩相的特点。一般可分为橄榄岩、二辉橄榄岩、辉石岩、辉长岩和闪长岩。在地貌上,闪长岩往往形成突起的山包,而超镁铁质岩为负地形,辉长岩介于两者之间。岩相之间多为逐渐过渡关系,局部似乎也呈现出侵入接触。大多数矿体分布于岩体的底部,赋矿围岩均为超镁铁质岩体,以二辉橄榄岩和辉石岩为主。倪志耀(1992)研究表明这套与矿化有关的岩石组合为同源岩浆经深部分异作用形成的复式岩体。这套岩体的围岩主要为下石炭统土墩组浊积岩夹少量灰岩和中石炭统梧桐窝子群(在研究区之西的土屋—延东一带称为企鹅山组)玄武质火山岩夹安山质火山岩。

关于这些铜镍硫化物矿床和有关的基性-超基性岩的形成环境,尚存争议。方国庆(1991)认为,这套铜镍硫化物矿床与大洋中脊的蛇绿岩有关;白云来(1993;2000)先后论证了这套岩体为比较典型的蛇绿岩的一部分,而铜镍矿则为一个与洋底火山岩有关的成矿系统;肖序常等(1995)认为其与典型蛇绿岩不同,可能是陆缘裂陷槽或成熟裂谷环境极慢速扩张条件下的似蛇绿岩;马瑞士等(1997)进一步研究并认为系一种弧间盆地蛇绿岩。刘德权(1983)和胡受奚等(1990)则认为属于阿拉斯加型汇聚环境中与镁铁质-超镁铁质岩有关的铜镍硫化物矿床。何国琦等(1994)认为是在地壳松弛期深部岩浆沿断裂上侵定位和成矿的。李华芹等(1998)测得岩石全岩和矿石的 Sm-Nd 等时线年龄分别为(320±28) Ma 和(314±14) Ma,厘定为石炭纪中期的产物。这组年龄数据也初步证明了刘德权(1983)和胡受奚等(1990)对成岩成矿环境的认识。为了进一步厘定这套铜镍硫化物矿化发生的时代,笔者挑选了区内规模最大而且具有代表性的黄山东矿床中的矿石进行 Re-Os 同位素年龄测定,为深入探讨成岩成矿的地球动力学提供基础证据。

* 本文为自然科学基金项目(编号:40172021)、地质大调查项目(DKD9902001)和国家重点基础研究发展规划项目(GI9990432016)的部分研究成果

第一作者简介 毛景文,男,1956年生,长期从事金属矿床地质和地球化学研究。

收稿日期 2002-01-05日;改回日期 2002-06-20。李岩编辑。

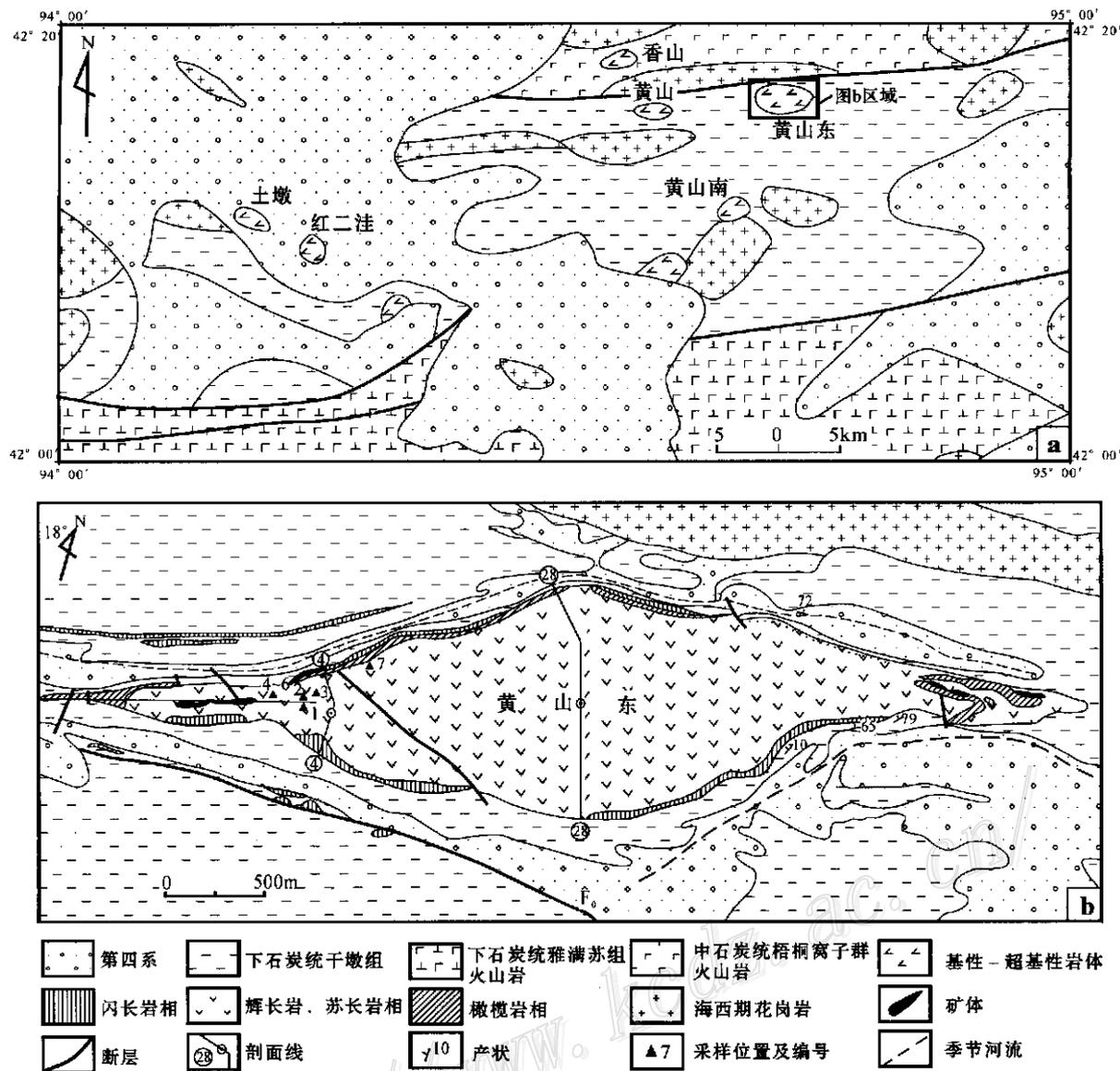


图1 新疆东天山地区黄山东铜镍硫化物矿床地质(a)和采样位置(b)图

由于矿体在地表出露较少,而且样品不够新鲜,用于 Re-Os 年龄精测的样品全部来自矿井,因此平面图中的采样位置均为在地表的投影点。黄山东及其他相关岩体的围岩或是早石炭世干墩组浊积岩系或是企鹅山组火山岩

Fig. 1 Geological map(a) of the Huangshandong Cu-Ni sulfide deposit, East Tianshan Mountain, showing sampling locations(b)

Due to weathering all the dating samples were taken underground. The sampling locations in the figure are projected on the plan. The Huangshandong and the other mafic-ultramafic stocks are hosted either by Lower Carboniferous turbidity of Gandun Formation or by Middle Carboniferous volcanic rocks of Wutongzi Formation.

1 基本地质特征和采样位置

黄山东是东天山规模最大和最有代表性的铜镍硫化物矿床,位于新疆哈密市东南 160 km 处。黄山东镁铁质-超镁铁质岩体侵位于中下石炭统土墩组

浊积岩夹灰岩中,为一个多次侵入的复式岩体(图 1b),出露面积约 2.8 km²,由二辉橄榄岩-辉石角闪橄榄岩相,辉长苏长岩相和闪长岩相组成(倪志耀, 1992)。矿体在剖面上的形态为条带状、透镜状、似层状及脉状,基本上与超镁铁质岩体的相带产状一致。矿体规模大小不等,长度 120 ~ 1 140 m,厚度

15.5 ~ 30.6 m, 倾角 30 ~ 50° (王志辉等, 1986)。矿体产出部位有 4 种: 一是在超镁铁质岩体的中下部呈悬浮状分布; 二是在超基性岩体底部或边部与辉长岩的接触带上; 三是在辉长苏长岩体中呈陡倾斜的侧幕状排列; 四是在辉长岩体中呈富铜的小矿脉 (王志辉等, 1986)。野外观察第一种为主要成矿类型。与矿化有关的围岩蚀变为蛇纹石化、滑石化、绿泥石化和纤闪石化。本次研究在黄山东矿床采集了 7 件矿石样品进行 Re-Os 同位素年龄测定, 其具体采样位置示于图 1b 中, 矿石类型列于表 1。

考虑到样品的代表性, 在样品采集时笔者尽可能选取不同类型和金属含量有差别的矿石。总体来讲, 黄山东铜镍硫化物矿床中的矿石可以分为 3 大类型, 即块状硫化物矿石、稠密浸染状矿石和浸染状矿化超镁铁质岩石 (或浸染状矿石)。块状硫化物矿石又可以分为块状磁黄铁矿镍黄铁矿、磁黄铁矿镍黄铁矿黄铜矿矿石和黄铜矿镍黄铁矿矿石以及晚期纯黄铜矿脉。这些矿石在矿区构成特富矿石。黄铜矿镍黄铁矿呈稠密浸染状分布于角闪辉长岩中, 具海绵陨铁结构。相对于稠密浸染状矿石而言, 浸染状矿石的硫化物含量降低, 散布于斜长角闪二辉橄榄岩和角闪辉长岩中。尽管矿石按照结构可以分为 3 个类型, 但矿物组合基本相同, 除了常见的黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿和镍黄铁矿外, 还有铬铁矿、钛铁矿、金红石、白钛矿、钛磁铁矿、镁磁铁矿、磁铁矿、钛铁尖晶石、铜镍黄铁矿、铜黄铁矿、三方硫镍矿、红砷镍矿、方黄铜矿、辉钴矿、硫镍钴矿、辉砷镍钴矿、铋硫镍矿、叶碲铋矿、紫硫镍铁矿、四方硫铁矿、墨铜矿、黄铁矿、白铁矿、闪锌矿和斑铜矿。

2 样品化学处理流程及测试方法

本实验中采用 Carius 管封闭溶样来分解样品

(杜安道等, 2001; Shirey et al., 1995), 化学处理过程简述如下。

2.1 样品分解

将准确称取的待分析样品, 通过长细颈漏斗加入到 Carius 管 (一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶) 底部, 然后置于温度为 -50 ~ -80 °C 的盛有液氮与乙醇混合溶液的保温杯中。经过一段时间的冷却后, 把准确称取的 ^{185}Re 和 ^{190}Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部, 再加入 2 mL $c(\text{HCl}) = 10 \text{ mol/L}$ 的 HCl, 6 mL $c(\text{HNO}_3) = 16 \text{ mol/L}$ 的 HNO_3 。当管底溶液冰冻凝固后, 用丙烷氧气火焰加热将 Carius 管封闭。待封闭的 Carius 管回温至室温后, 放入不锈钢套管内, 并置于鼓风烘箱内, 逐渐升温到 230 °C, 保温 10 h。最后, 在 Carius 管底部冷冻的情况下打开, 并用 40 mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。

2.2 蒸馏分离 Os

为满足仪器测量所要求的酸度及消除 OsO_4 水吸收液中的少量铼的干扰, 铼的蒸馏分两次进行。首先, 于 105 ~ 110 °C 蒸馏 50 min, 用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO_4 , 将蒸馏残液转入 50 mL 小烧杯中待分离铼用。然后, 将吸收液转入已洗净的原蒸馏瓶中, 再加入 40 mL 水进行第二次蒸馏, 蒸馏约 1 h 左右。蒸出的 OsO_4 用 10 mL 水吸收后用于 ICP-MS 测定铼同位素比值。

2.3 萃取分离 Re

将第一次蒸馏残液置于电热板上, 加热至近干后, 再加入少量水, 加热至近干。然后加入 10 mL $c(\text{NaOH}) = 5 \text{ mol/L}$ 的 NaOH, 使其转为碱性介质。稍微加热后取上清液转入 120 mL Teflon 分液漏斗中, 加入 10 mL 丙酮, 萃取 5 min。静止分相后弃去水相。再加 2 mL $c(\text{NaOH}) = 5 \text{ mol/L}$ 的 NaOH 溶液到分液漏斗中, 振荡 2 min, 洗去丙酮相中的杂质, 弃去水相。将丙酮转到已加有 2 mL 水的小玻璃烧

表 1 黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 法测年样品一览表

Table 1 Re-Os dating data from the Cu-Ni sulfide ores in the Huangshandong deposit

序号	样品号	名称	采样位置
1	HD0-10	细脉状黄铜矿矿石	0 线钻孔 ZK0-1 附近矿井, 深度 80 m
2	HD0-22	浸染状矿化斜长角闪二辉橄榄岩	0 线钻孔 ZK0-6, 孔深 514 m
3	HD2-2	块状黄铜矿矿石	2 线钻孔 ZK2-2 附近矿井, 深度 60 m
4	HD3-2	块状镍黄铁矿矿石	3 线 12 号矿体, 深度 80 m
5	HD3-4	块状黄铜矿镍黄铁矿矿石	3 线 12 号矿体, 深度 80 m
6	HD3-5	稠密浸染状黄铜矿镍黄铁矿矿石	3 线 12 号矿体, 深度 80 m
7	HD8-3	浸染状矿化角闪辉长岩	8 线钻孔 ZK8-1 附近矿井, 深度 40 m

杯中。在电热板上 50℃加热以蒸发丙酮,并加热溶液至近干后加数滴浓硝酸,以除去残存的钨。最后,用数毫升稀 HNO₃ 溶解盐类并转移至 10 mL 比色管中,调整溶液硝酸浓度为 2%,用 ICP-MS 测定铼同位素比值。

2.4 质谱测定

采用美国 TJA 公司生产的 TJA PQ ExCell ICP-MS(电感耦合等离子体质谱仪)测定铼同位素比值。采用美国 Finigan 公司 HR ICP-MS 测定铱同位素比值。对于 Re:选择质量数为 185、187,用 190 监测 Os。对于 Os:选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测 Re。

本实验全流程空白 Re 约为 10 pg,普 Os 约为 1 pg,远远小于所测样品中的铼、钨含量,因此,不会影响实验中铼、钨含量的准确测定。

3 测试结果

取 7 件铜镍硫化物矿石进行 Re-Os 同位素测试,结果列于表 2。由于矿石类型不同,Re 和 Os 的含量明显不同,块状硫化物矿石的总 Re 和总 Os 含量分别为(134.1 ± 0.6) ~ (304.2 ± 1.2) ng·g⁻¹和(10.1 ± 0.2) ~ (30.8 ± 1.0) ng·g⁻¹。浸染状矿石的总 Re 和总 Os 含量分别为(28.9 ± 0.2) ~ (58.2 ± 0.5) ng·g⁻¹和(0.34 ± 0.01) ~ (2.42 ± 0.02) ng·g⁻¹。总的 Re 和 Os 含量都低于广西宝坛铜镍硫化物矿床中稠密浸染状矿石和斑杂状矿石(毛景文等,2001a)。采用衰变常数(λ)为 1.666 × 10⁻¹¹ (Smoliar et al., 1996),利用 ISOPLLOT 软件(Model 3)将 7 件分析数据回归成一条等时线,相关系数(λ)为 0.9987, ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os 初始比值为 0.24 ± 0.04,平均

权重方差 MSWD = 8.4,获得等时线年龄为(282 ± 20) Ma(图 2)。这一数据可能反应出黄山东及其东天山地区铜镍硫化物矿床的成矿时限。

4 讨论

当今矿床学研究的热点就是通过系统探讨成矿的时空结构,提出地球动力学模型,利用合理的模型指导找矿勘查活动。由于 Re-Os 同位素体系封闭性好,受后期改造很弱,可以直接准确地测定成矿时代(Stein et al., 1998),因此,近几年应用得越来越广泛。辉钼矿的铼和钨含量都较高,利用 ICP-MS 方

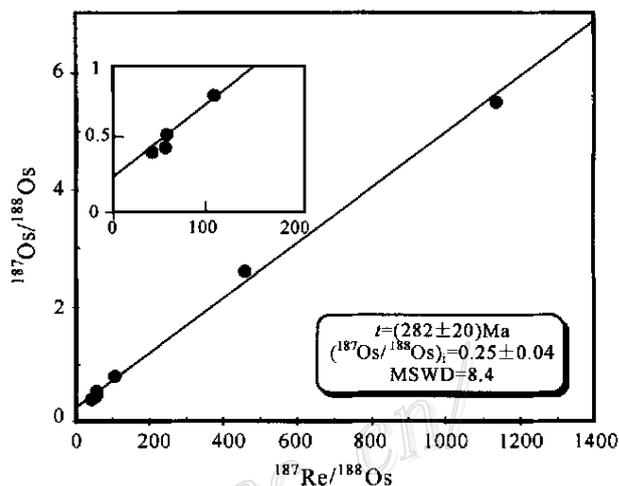


图 2 新疆东天山地区铜镍硫化物矿石 Re-Os 同位素等时线图

使用 ISOPLLOT 软件(Ludwig, 1999)进行了等时线年龄计算
Fig. 2 Re-Os isochron of the Cu-Ni sulfide ores in the Huangshandong deposit, East Tianshan Mountain
The isochron was calculated with ISOPLLOT software (Model 3, Ludwig, 1999)

表 2 黄山东铜镍硫化物矿床矿石 Re-Os 同位素测试数据

Table 2 Re-Os isotopic data of Cu-Ni sulfide ores from the Huangshandong deposit, East Tianshan

样品	m _{样品} /g	w _{Re(总)} /(ng·g ⁻¹)	w _{Os(总)} /(ng·g ⁻¹)	w _{Os(普)} /(ng·g ⁻¹)	w _{Re} /w _{Os}	¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁸ Os	¹⁸⁷ Os/ ¹⁸⁸ Os	(¹⁸⁷ Os/ ¹⁸⁸ Os) _i	模式年龄/Ma	Y _{Os}
HD0-10	0.17745	209.0(8)	10.05(2)	9.25(2)	22.7	108.1(5)	0.7809(29)	0.2720	299.7(1.8)	116.3
HD3-2	0.19711	134.1(6)	11.13(2)	10.62(2)	12.7	60.37(30)	0.4808(17)	0.1965	239.0(1.5)	56.3
HD3-4	0.18277	172.8(7)	16.65(7)	15.98(7)	10.8	51.73(30)	0.4385(19)	0.1948	229.9(1.7)	55.0
HD2-2	0.19339	304.2(1.2)	30.75(10)	29.5(1)	10.3	49.22(25)	0.4279(15)	0.1960	228.7(1.4)	56.0
HD0-22	0.19273	46.90(21)	0.337(1)	0.199(1)	234.5	1128(7)	5.408(25)	0.0936	274.3(2.2)	25.6
HD3-5	0.19021	28.91(15)	2.42(2)	2.30(2)	12.6	60.15(64)	0.5164(57)	0.2331	275.2(4.2)	85.4
HD8-3	0.19109	58.23(46)	0.807(4)	0.610(4)	97.0	456.4(5)	2.5718(15)	0.4223	305.9(3.5)	235.9

注:①括号内数字的误差为 1σ,与小数点后第一位数字对齐;② w_{Os(总)} = w_{Os(普)} + w_{187Os(总)}, w_{Os(普)} w_{187Os(普)} 是按 Nier 值计算的;③ w_{Re}/w_{Os} 比值中的 Os 为普通 Os;④ Y_{Os} 计算公式为: Y_{Os}(T) = 100[(¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os)_{样品(T)} / (¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os)_{球粒陨石(T)} - 1] / [2.82 亿年球粒陨石的 ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os = 0.09600 + 0.4007[eλ(4.56 × 10E09) - eλ(2.82 × 10E08)]] = 0.1257。使用的 ¹⁸⁷Re 衰变常数为 λ = 1.666 × 10⁻¹¹ y⁻¹。

法可以准确测得成矿年龄。NTIMS 和改进的 TJA PQ ExCell ICP-MS (电感耦合等离子体质谱仪)-HR ICP-MS 高精度方法的使用,使对矿石及矿石中的硫化物进行直接测年已经成为现实(毛景文等,2001a, b)。

本研究是在我国首次运用高分辨电感耦合等离子体质谱仪进行的铜镍硫化物矿石的直接测年,获得(288±20) Ma 的年龄数据,与秦克章(2000)对与黄山东岩体相邻的香山镁铁质-超镁铁质岩体进行的单颗粒锆石年龄精测所获得的(286±1.2) Ma 的数据十分接近,表明这一套杂岩和相关的铜镍硫化物矿床形成于石炭纪末期。这两组数据表明以黄山东和香山为代表的镁铁质-超镁铁质岩和铜镍硫化物矿床明显晚于下石炭统干墩组,两者可能存在 50~60 Ma 的时距,因而排除了这些矿床为与蛇绿岩套有关的产物的推论。野外地质调查也清楚地表明这套镁铁质-超镁铁质岩体侵入于石炭纪梧桐窝子群(干墩组)深海相浊积岩系中。例如,图 1 中黄山东岩体即侵入在干墩组内。

近年来,在东天山探明了土屋-延东大型斑岩铜矿,对矿化和相关岩石进行了大量的同位素测年。芮宗瑶等(2002)使用单颗粒锆石法测得企鹅山群火山岩的成岩年龄为(443±25) Ma 至 393 Ma,证明为奥陶纪-泥盆纪火山活动的产物。芮宗瑶等(2002)和秦克章(2000)还应用单颗粒锆石法测得土屋和延东铜矿区斜长花岗斑岩锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄统计权重平均值分别为(361±8) Ma 和(356±8) Ma。芮宗瑶等(2002)利用 Rb-Sr 等时线法也测得土屋-延东-铜矿区的斜长斑岩的年龄为(369±69) Ma。但芮宗瑶等(2002)又测得土屋和延东斑岩铜矿中辉钨矿的 Re-Os 同位素等时线年龄为(322.7±2.3) Ma,证明了铜矿化可能与岛弧演化晚期的花岗质岩石有关。而黄山东、黄山和香山等镁铁质-超镁铁质岩则晚于岛弧演化阶段。

在石炭纪晚期,受塔里木板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块(或西伯利亚板块)的聚合运动驱使,古天山大洋(或土耳其斯坦大洋,亦称阿尔泰洋, Yakubchuk et al., 2002) 闭合。之后开始陆内演化阶段,后碰撞伸展不仅有大量花岗质岩浆活动,还有基性-中基性火山活动,例如:石英滩火山岩与相关

的浅成低温热液金矿(姬金生等,1994)。董连慧等^①在实施 1:5 万地质填图时提出在石英滩一带存在一个二叠纪火山机构,李华芹等(1998)利用 Rb-Sr 等时线方法测定区内杏仁状安山岩和中细粒英云闪长岩分别为(285±12) Ma 和(293±1) Ma,与成矿时代(288±7) Ma 和(276±7) Ma 基本吻合。黄山东、黄山和香山等镁铁质-超镁铁质岩及其铜镍硫化物矿床也是这一时期的产物,所不同的是物质来源更深一些。陆内地质事件除了伸展期间的岩浆活动和成矿作用外,还有大规模的剪切作用,例如康古尔塔格区域性韧性剪切带的发育,同时也伴随有造山型金矿的发育。例如,康古尔、马头滩等。李华芹等(1998)的测年研究表明康古尔金矿主成矿阶段的形成时代为(290.4±7.2) Ma~(282.3±5) Ma,这组年龄与康古尔金矿区正长斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄(282±16) Ma 相吻合。

Re-Os 同位素体系是硫化物矿床形成的强有力的示踪剂和成矿过程中地壳物质混入程度的高度灵敏的指示剂(Foster et al.,1996)。镁铁质-超镁铁质岩浆在上涌过程中及其在地壳岩浆房中与地壳物质,尤其是与含硫化物的地壳发生反应,使其组分发生变化。由于地壳相对富 Re,所以,混入越多的地壳物质则产生的放射性¹⁸⁷Os 含量就越高,相应地¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os 初始值也发生变化。黄山东铜镍硫化物矿石的¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os 初始比值(0.25±0.04)高于与太古宙未混染科马提岩有关的铜镍硫化物矿石的¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os 初始值(0.10889±0.00035)(Brooks et al.,1999)和晚元古代宝坛铜镍硫化物矿石的¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os 初始值(0.102±0.010)(毛景文等,2001a),但明显低于澳大利亚中 Deborah 中成中温脉状金矿石的初始比值(1.04±0.16)(Arne et al.,2001),总体反映出以地幔来源为主,混合有一定量的地壳物质。

γ_{Os} 是指示地壳物质加入成矿体系的一个重要参数(Walker et al.,1989;1994)。由于地壳的 Re/Os 比值高,因此地壳组分加入岩浆体系或成矿体系越多, γ_{Os} 值越表现为大的正值,而 Re 的亏损引致 γ_{Os} 为负值。据 Walker 等的公式(1989)进行计算,使用的¹⁸⁷Re 衰变常数为 $1.666 \times 10^{-11} \text{y}^{-1}$ (Smoliar et al.,1996),黄山东铜镍硫化物矿石年龄为(282±20) Ma

① 董连慧,姜立丰,李凤鸣,等.1997.哈密县 885 至 846 高地八幅 1:5 万区调填图及遥感图象资料在 1:5 万区调填图中的应用.新疆地调院内部报告.

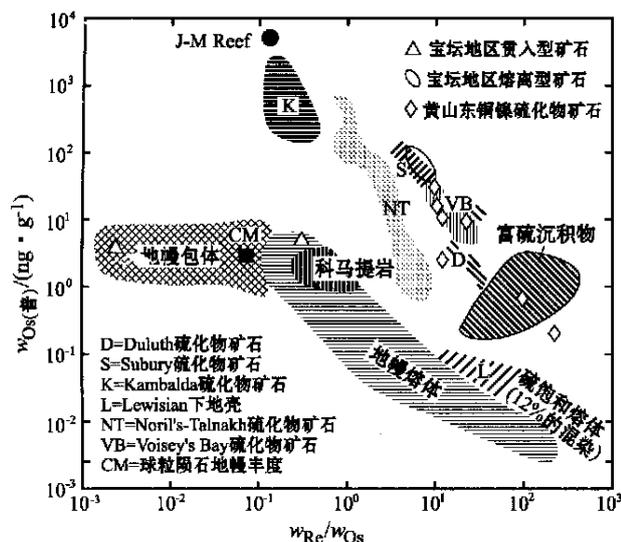


图3 $w_{\text{Re}}/w_{\text{Os}}$ 比值对普通 Os 图(据 Lambert 等)

Fig. 3 Diagram showing $w_{\text{Re}}/w_{\text{Os}}$ versus common w_{Os} (after Lambert et al., 1999)

和各点的 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 初始值,计算得到相应的 γ_{Os} 值,其结果一并列表2。从表2可以看出,黄山东铜镍硫化物矿石的 γ_{Os} 变化范围比较大,从25.6到235.9,绝大多数在55.0至116.3之间,平均99,仍然体现出有一定量的地壳物质加入了成矿体系。两件浸染状矿石,也就是以岩石为主的样品则出现异常 γ_{Os} 值,分别为25.6和235.9,似乎说明岩浆相对于矿石有更多的地壳物质混入,原 Re-Os 体系有不同程度的改变。这一结论在 $w_{\text{Os(普)}}-w_{\text{Re}}/w_{\text{Os}}$ 的图解中(图3)也可以得到印证。

5 结论

黄山东铜镍硫化物矿床是东天山地区最具代表性的一个矿床,对其矿石的 Re-Os 同位素测年获得(288±8) Ma的数据。表明这一铜镍硫化物矿床不是与蛇绿岩有关的矿床类型,其形成时代不仅晚于围岩,即下石炭统干墩群浊积岩和中石炭统梧桐窝子群火山岩,也晚于岛弧演化阶段的钙碱性花岗质岩石和有关的斑岩铜金矿床,与造山型金矿和浅成低温热液型金矿同形成于碰撞后伸展环境。在碰撞后环境中,不但有高铝质和富碱质花岗岩浆的侵位,还出现镁铁质-超镁铁质岩浆上侵,并伴随着铜镍硫化物矿化。

$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 等时线初始比值为 0.25 ± 0.04 , γ_{Os}

平均值为99,各点 γ_{Os} 值集中在55.0至116.3之间,说明在成矿过程中有地壳物质混染。黄山东、黄山和香山等镁铁质-超镁铁质岩浆上侵定位于塔里木板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块之间的晚石炭世缝合线附近。在板块碰撞之前该地区曾经历过深海沟演化阶段,因此有大厚度地层的发育。在镁铁质-超镁铁质岩浆上侵期间,也必然有较多的地壳物质加入到成岩成矿系统中。

References

- Arne D C, Bierlein F P, Morgan J W, et al. 2001. Re-Os dating sulfides associated with gold mineralization in Central Victoria, Australia[J]. *Econ. Geol.*, 96(6): 1455~1459.
- Bai Y L. 1991. Geological-geochemical characteristics and tectonic significance of the ophiolites blocks in Huangshan area, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geol.*, 11(1): 34~42 (in Chinese).
- Bai Y L. 2000. Geotectonic setting of Huangshan-Jingerquan nickel-copper mineralization system in Hami, Xinjiang[J]. *Acta Geologica Gansu*, 9(2): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Brooks C K, Keays R R, Lambert D D, et al. 1999. Re-Os isotope geochemistry of Tertiary picritic and basaltic magmatism of East Greenland: constraints on plume-lithosphere interactions and the genesis of the Platinova reef, Skaergaard intrusion[J]. *Lithos*, 47: 107~126.
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, et al. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius tube sample preparation [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247~252 (in Chinese with English abstract).
- Fang G Q. 1991. Tectonic characteristics and evolution of East Xinjiang [J]. *Northwestern Geol.*, 12(3): 6~12 (in Chinese).
- Foster G, Lambert D D, Frick L R, et al. 1996. Re-Os isotopic evidence for genesis of Archaean nickel ores from uncontaminated komatiites[J]. *Nature*, 382: 703~706.
- He G Q, Li M S, Liu D Q, et al. 1994. Paleozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang of China[M]. Xinjiang People's Pub. House & Education and Cultural Press LTD. 437p (in Chinese).
- Hu S X, Guo J C, Gu L X, et al. 1990. Important role and geological characteristics of Caledonian orogenic belt in Tianshan tectonic frame[A]. *Geol. Sci. Xinjiang*(1)[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 32~46 (in Chinese).
- Ji J S, Tao H X and Zeng Z R, et al. 1994. Geological characteristics and mineralization of Kangguer deposit zone in eastern Tianshan Mts[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Lambert D D, Foster J G, Frick L R, et al. 1999. Re-Os isotopic systematics of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co magmatic ore system, Labrador, Canada[J]. *Lithos*, 47: 69~88.
- Li H Q, Xie C F, Chang H L, et al. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in north-

- ern Xinjiang, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese) .
- Liu D Q. 1983. Plate tectonic and distribution of mineral resources[J]. *Northwestern Geol.*, 4(2): 1 ~ 12 (in Chinese) .
- Ludwig K. 1999. Isoplot/ Ex, version 2.0: a geochronological toolkit for Microsoft Excel[CP]. Geochronology Center, Berkeley, Special Publication 1a .
- Ma R S, Shu L S, Sun J Q, et al. 1994. Tectonic evolution and metallogeny of eastern Tianshan Mts[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese) .
- Mao J W and Du A D. 2001a. The 982 Ma Re-Os age of copper-nickel sulfide ores in the Baotan area, Guangxi, and its geological significance[J]. *Sci. in China (Series D)*, 31(12): 992 ~ 998 (in Chinese with English abstract) .
- Mao J W, Zhang G D, Du A D, et al. 2001b. Geology, geochemistry, and Re-Os isotopic dating of the Huangjiawan Ni-Mo-PGE deposit, Zunyi, Guizhou Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 234 ~ 243(in Chinese with English abstract) .
- Ni Z Y. 1992. Genesis of the Huangshandong mafic-ultramafic complex in Hami, Xinjiang[J]. *Northwestern Geol.*, 13(2): 9 ~ 17 (in Chinese) .
- Qin K Z. 2000. The orogeny of central Asia type and mineralization in north Xinjiang[R]. Beijing: Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences. 194p(in Chinese with English abstract) .
- Rui Z Y, Wang L S, Wang Y T, et al. 2002. Discussion on metallogenic epoch of Tuwu and Yandong porphyry copper deposits in Eastern Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 21(1): 16 ~ 22(in Chinese with English abstract) .
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. *Anal. Chem.*, 67: 2136 ~ 2141 .
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites[J]. *Sci.*, 271: 1099 ~ 1102 .
- Stein H J, Sundblad K, Markey R J, et al. 1998. Re-Os ages for Archaean molybdenite and pyrite, Kuittila-Kivisuo, Finland, and Proterozoic molybdenite, Lithuania: Testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting[J]. *Mineralium Deposita*, 33: 329 ~ 345 .
- Walker R J, Carlson R W, Shirey S B, et al. 1989. Os, Sr, Nd, and Pb isotope systematics of southern African peridotite xenoliths: Implications for the chemical evolution of subcontinental mantle[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 1583 ~ 1595 .
- Walker R J, Morgan J W, Horan M F, et al. 1994. Re-Os isotopic evidence for an enriched mantle source for the Noril'sk-type, ore-bearing intrusions, Siberia[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58: 4179 ~ 4197 .
- Wang Z H, Wang R M, Li S C, et al. 1986. Study on the ore components of the Huangshandong Cu-Ni sulfide deposit[J]. *Minerals and Rocks*, 6(3): 87 ~ 102(in Chinese with English abstract) .
- Xiao X C. 1995. Discussion on the classification of ophiolites by spreading rate[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11(Supp.): 10 ~ 23 (in Chinese with English abstract) .
- Yakubchuk A, Cole A, Sletmann R, et al. 2002. Tectonic setting, characteristics, and regional exploration criteria for gold mineralization in the Altaid orogenic collage: the Tien Shan province as a key example[A]. In: Goldfarb R and Nielsen R L, ed. *Integrated Methods for Discovery: Global Exploration in the Twenty First Century*[C]. Littleton: Society of Economic Geologists, INC. 177 ~ 201 .

附中文参考文献

- 白云来. 1993. 新疆黄山地区蛇绿岩块的地质-地球化学特征及构造意义[J]. *新疆地质*, 11(1): 34 ~ 42 .
- 白云来. 2000. 新疆哈密黄山-镜儿山镍铜成矿系统的地质构造背景[J]. *甘肃地质学报*, 9(2): 1 ~ 7 .
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. *岩矿测试*, 20(4): 247 ~ 252 .
- 方国庆. 1991. 新疆东部大地构造特点及演化[J]. *西北地质*, 12(3): 6 ~ 12 .
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化与成矿[M]. 新疆人民出版社, 香港文化教育出版社. 437 页.
- 胡受奚, 郭继春, 顾连兴, 等. 1990. 加里东造山带在天山构造格架中的重要地位及其地质特征[A]. *新疆地质科学*, 第 1 辑[C]. 北京: 地质出版社. 32 ~ 46 .
- 姬金生, 陶洪祥, 曾章仁, 等. 1994. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 20 .
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社.
- 刘德权. 1983. 新疆板块构造与矿产分布[J]. *西北地质*, 4(2): 1 ~ 12 .
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐, 等. 1997. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 毛景文, 杜安道. 2001a. 广西宝坛地区铜镍硫化物矿石 982 Ma 铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. *中国科学(D 辑)*, (12): 992 ~ 998 .
- 毛景文, 杜安道, 张光第, 等. 2001b. 贵州黄家湾钨镍矿地质-地球化学和 Re-Os 同位素测年[J]. *地质学报*, 75(2): 234 ~ 243 .
- 倪志耀. 1992. 新疆哈密黄山东镁铁-超镁铁杂岩体成因探讨[J]. *西北地质*, 13(2): 9 ~ 17 .
- 秦克章. 2000. 新疆北部中亚型造山与成矿作用[R]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所博士后研究报告. 194 页.
- 芮宗瑶, 王龙生, 王义天, 等. 2002. 东天山土屋和延东铜矿时代讨论[J]. *矿床地质*, 21(1): 16 ~ 22 .
- 王志辉, 王润民, 李思楚, 等. 1986. 黄山东铜镍硫化物矿床矿石物质组成的研究[J]. *矿物岩石*, 6(3): 88 ~ 102 .
- 肖序常. 1995. 从扩张速率试论蛇绿岩的类型划分[J]. *岩石学报*, 11(增刊): 10 ~ 23 .

Re-Os Dating of Cu-Ni Sulfide Ores from Huangshandong Deposit in Xinjiang and Its Geodynamic Significance

Mao Jingwen^{1,2}, Yang Jianmin^{1,2}, Qu Wenjun³, Du Andao³, Wang Zhiliang^{1,2} and Han Chunming^{1,2}

(1 Institute of Mineral Resources, Beijing 100037, China; 2 Faculty of Geoscience and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

A group of mafic-ultramafic plutons in East Tianshan Mountain intruded into the Lower Carboniferous turbidite of Gandun Formation and Middle Carboniferous basic volcanic rocks of Wutongwozi Formation (or Qi'eshan Formation). Some of them are spatially and temporally associated with Cu-Ni sulfide deposits. Heated argument exists on the genesis of the suite of the mafic-ultramafic rocks: some consider them to be post orogenic intrusions, while others hold that they should be ophiolites; therefore, the origin of the mineralization is still a problem of much controversy. The authors chose seven different types of Cu-Ni sulfide ore samples from the representative Huangshandong deposit to conduct Re-Os dating. The seven measured points defined an isochronal age of 282 ± 20 Ma (2 σ) with an initial $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ of 0.24 ± 0.04 (MSWD) and a correction coefficient of 0.9987. The data suggest that the ore-forming age is younger than that of Early Carboniferous turbidite and Middle Carboniferous volcanic rocks which host the mafic-ultramafic rock intrusions, corresponding to the extension stage. They share the same mineralization time with the extensively developed orogenic gold and epithermal gold deposits and are younger than the porphyry copper system in the same area. Their initial $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ value of 0.25 ± 0.04 and mean ν_{Os} value of 99 indicate that abundant crustal substances were mixed with the Cu-Ni sulfide ore system during their formation process.

Key words: geochemistry; Huangshandong; Cu-Ni sulfide deposit; East Tianshan Mountain; Re-Os dating; Permian

<http://www.kcdz.ac.cn/>