

文章编号:0258-7106(2004)01-0052-09

内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌铟矿床成因研究*

朱笑青 张乾 何玉良 邵树勋

(中国科学院地球化学研究所,矿床地球化学重点实验室,贵州 贵阳 550002)

摘要 文章从地质特征及地球化学特征方面论证了孟恩陶勒盖矿床的成因。地质特征显示该矿床的形成与花岗岩之间不存在成因联系,矿床相对于岩浆岩围岩是后成的,花岗岩及断裂构造只是为矿床提供了储存空间。矿床地球化学特征显示该矿床的成因与可能位于深部的燕山期岩浆活动有关,成矿元素及硫主要来自岩浆,成矿流体以岩浆水为主。因此该矿床属于岩浆热液型多金属矿床。

关键词 地质学 地质特征 地球化学特征 矿床成因 富铟多金属矿床 孟恩陶勒盖 内蒙古

中图分类号:P618.4;P618.82

文献标识码:A

Groves 等(Groves et al., 1998;2000)、Goldfarb 等(Goldfarb et al., 1998;2001)认为产于岩浆岩体内部由断裂构造控制的金矿床属于造山型矿床,成矿物质来源复杂,成矿与造山作用同步。但对于与造山带型金矿床产状类似的铅锌多金属矿床的讨论和认识很少。从20世纪90年代开始,王秀璋等(1992)、Wang 等(Wang et al., 1998)、张乾等(1996;2000)针对这类矿床的后成特点,提出了火成改造成矿的成因观点。内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌铟矿床正是一个产于花岗岩基中心部位断裂构造中的矿床。那么,该矿床究竟是属于火成改造成因矿床还是造山带型矿床,是本文所要回答的主要问题。

1 矿床地质特征

1.1 区域地质特征

孟恩陶勒盖矿床位于内蒙古科右中旗西北约20 km处,西距杜尔基火车站15 km。区域上,西北为内蒙古东部大兴安岭隆起带,南东为松辽沉降带,矿区位于这两个构造单元的接壤部位大兴安岭隆起带一侧。自海西期至燕山期,大兴安岭隆起带发生大规模的岩浆侵入活动(内蒙古地质矿产局,1991),形成构造-岩浆活动带,与之伴随的成矿作用广泛发育。尤其在该构造-岩浆带的中部,形成了一个 Au-

Ag-Cu-Pb-Zn-Sn-Fe 共存的大型多金属矿集区,也是中国铟富集区之一(Zhang et al., 1998),除孟恩陶勒盖矿床外,莲花山、布敦化、闹牛山、敖脑达巴、浩布高等矿床含铟都很高(盛继福等,1999)。

孟恩陶勒盖矿床直接产出于孟恩花岗岩基中心部位的一组东西向断裂中。该花岗岩基东西长30 km,南北宽18 km,面积>400 km²,北部和东部侵入于下二叠统地层中,西被燕山期杜尔基花岗岩侵入,南被中生代火山岩覆盖(图1)。岩基主要由黑云母斜长花岗岩和白云母二长花岗岩组成。黑云母斜长花岗岩为孟恩花岗岩体的主体,黑云母 K-Ar 年龄为 281 Ma^①,Rb-Sr 等时线年龄为 246.79 Ma(盛继福等,1999),属铝过饱和系列,暗色矿物为黑云母(8%~15%),长石类矿物为斜长石(45%~55%),石英约 30%~40%。白云母二长花岗岩(白云母约 10%~15%,斜长石 35%~40%,正长石 <15%,石英 35%~40%)侵入于黑云母斜长花岗岩中,白云母 K-Ar 年龄为 212~251 Ma^①。两种斜长花岗岩是不同期次的侵入产物(图2),它们都含有较高的 Ag、Ga、Ge、In、Sn 等成矿元素,并且随着岩石遭受蚀变, SiO₂、Na₂O 减少, FeO、CaO、MnO、K₂O、Pb、Zn、Ag、Sn、In 等增高(张乾等,2002)。另外有少量煌斑岩脉、闪长玢岩脉、辉绿岩脉等晚期岩脉沿 NW 向和 NNW 向贯入并穿插两种花岗岩和矿体,它们的形成

* 本文得到国家自然科学基金项目(批准号:40172037)的资助

第一作者简介 朱笑青,女,1955年生,副研究员,从事矿床地球化学研究。

收稿日期 2003-09-16;改回日期 2003-11-17。李岩编辑。

① 吉林省地质局第十地质队,1978.吉林省科尔沁右翼中旗孟恩陶勒盖矿区银铅锌矿地质勘探总结报告。

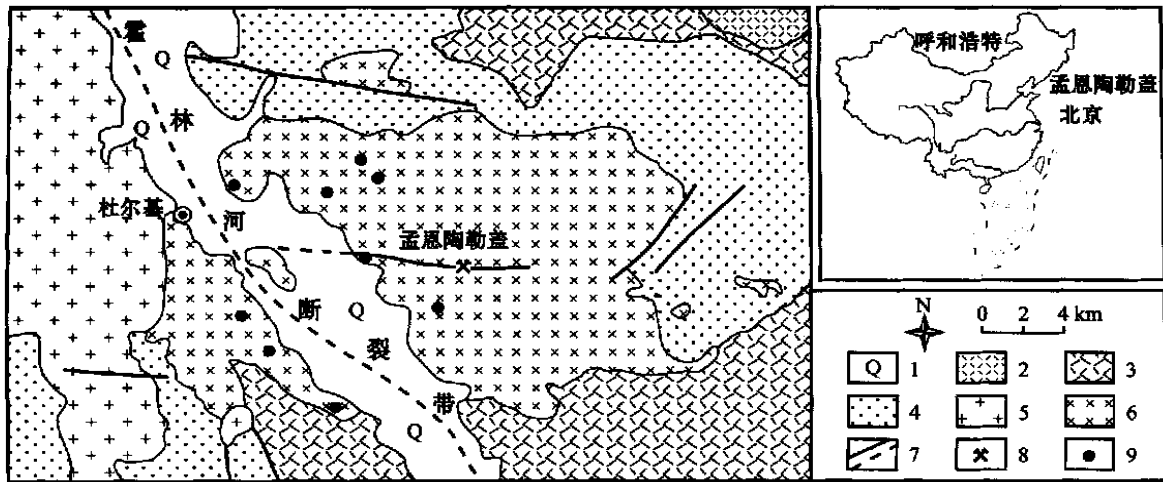


图 1 孟恩陶勒盖矿床区域地质图(据突泉幅 1:20 万矿产图修编)

1—第四系;2—白垩纪流纹岩;3—侏罗纪火山碎屑岩;4—二叠纪砂岩;5—燕山期黑云母花岗岩;6—孟恩陶勒盖花岗岩;
7—断层;8—孟恩陶勒盖矿床;9—小矿点

Fig.1 Regional geological sketch map of the Meng'entaolegai polymetallic deposit

1—Quaternary;2—Cretaceous rhyolite;3—Jurassic pyroclastic rock;4—Permian sedimentary rock;5—Yanshanian biotite granite;
6—Meng'entaolegai granite;7—Fault;8—Meng'entaolegai deposit;9—Small ore spot

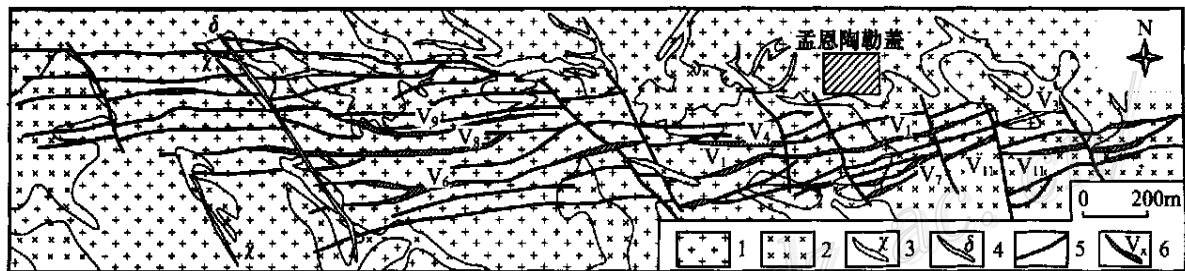


图 2 孟恩陶勒盖矿床地质图(据矿山地质图缩绘)

1—黑云母斜长花岗岩;2—白云母斜长花岗岩;3—煌斑岩脉;4—闪长岩脉;5—断层;6—矿体及编号

Fig.2 Geological map of the Meng'entaolegai polymetallic deposit

1—Biotite-plagioclase granite;2—Muscovite-plagioclase granite;3—Lamprophyre vein;4—Diorite vein;5—Fault;
6—Orebody and its serial number

明显晚于花岗岩和矿床。杜尔基燕山期花岗岩呈岩基状,岩性为黑云母钾长花岗岩,位于矿区西部,距矿区 15 km,在空间上与孟恩陶勒盖矿床无关,岩体内部未见矿化。

1.2 矿床地质特征

据矿山生产资料,该矿床的主要控矿构造为一组沿 EW 向或近 EW 向展布、向东收敛的脆性断裂(图 1、图 2),断面向北倾斜,倾角 60~80°,断续分布在东西大于 6 km,南北宽 200~1 000 m 的范围内。该组断裂切穿了较晚形成的白云母二长花岗岩,说明断裂发生于主岩体成岩之后。该组断裂在矿区西部深,向东变浅,但都未到达地表,矿体沿其断续充

填,在不同深度上形成不同元素组合的矿体。矿区另一组断裂呈 NW 或 NNW 向展布,规模较小,切穿所有 EW 向断裂及矿体,属于成矿后断裂(图 2)。

全矿区共有 40 多个矿体,分布于西部、中部和东部 3 个矿段,主矿体 9 条,单个矿体长 400~2 000 m,较大的分枝矿体 9 个,长度为数百米,零星小矿体 26 个。矿体均呈脉状,产状与断裂构造一致。矿区西段(深部)以 V₈ 矿体为主,矿化以 Zn 为主,含少量 Cu,主要金属矿物为闪锌矿、黄铁矿及少量黄铜矿。中段以 V₁ 矿体为主,矿化以 Zn-Pb 为主,富含 Ag,主要金属矿物为闪锌矿和方铅矿。东段(浅部)以 V₁₁ 矿体为主,矿化以 Pb-Ag 矿体为主,主要金属矿

物为方铅矿、闪锌矿,矿体中富银,存在大量银矿物,全矿区近2 000 t银主要产于中段和东段。

1.3 矿石、矿物及围岩蚀变

孟恩陶勒盖矿床的矿石以块状矿石为主,组成矿石的金属矿物颗粒粗大,方铅矿、闪锌矿的直径都在3 mm以上。矿石成分在西部以锌铜为主,中部以锌铅为主,东部则以铅银为主。该矿床存在以下几种矿石结构构造:①自形-半自形-他形粒状结构,块状、浸染状构造,反映矿石形成于热液结晶作用;②脉状、网脉状构造,反映热液沿断裂、裂隙充填;③交代熔蚀结构、交代残余结构、文象结构、条带状构造、浸染状构造,反映热液交代成矿序列;④有些闪锌矿中存在少量黄铜矿的乳滴状结构,细脉、网脉充填构造,反映了温度降低的成矿过程;⑤角砾状构造、碎裂构造,反映了成矿发生在不断变化的动力环境中。

矿物的交代顺序大致为闪锌矿交代黄铁矿、黄铜矿,方铅矿交代闪锌矿,银矿物可以交代闪锌矿、方铅矿,银矿物细脉常沿贯穿所有其他矿物的裂隙充填,说明银矿物形成最晚。

孟恩陶勒盖矿床的矿物组成较为复杂,共发现了近30种矿物(战新志等,1999)。金属矿物以方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿为主,还存在毒砂、磁黄铁矿、黝锡矿、锡石等次要矿物。已发现的银矿物主要有自然银、银金矿、螺硫银矿、深红银矿、淡红银矿、锑银矿、黑硫银锑矿、火硫锑银矿、脆银矿、辉锑铅银矿及银黝铜矿等。非金属矿物以石英为主,少量方解石、锰菱铁矿、绢云母及绿泥石。此外,矿体浅部还见有菱锌矿、软锰矿、褐铁矿、孔雀石、黄钾铁矾等。

围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化和锰碳酸盐化。蚀变主要沿断裂构造发生,一般限于断裂两侧1~15 m的范围内。绿泥石化主要见于西部矿段,硅化则存在于整个矿床。绢云母化蚀变作用使花岗岩 Na_2O 含量降低, K_2O 含量升高,锰碳酸盐化使岩石 MnO 含量升高,绿泥石化则使岩石的 FeO 含量升高。当硅化不明显时,蚀变作用使花岗岩 SiO_2 含量明显降低(张乾等,2002)。

该矿床除主元素 Pb (16万吨)、 Zn (30万吨)、 Ag (2 000 t)外,还伴生有 Cd 1 800 t(矿石 w_{Cd} 为0.24%)、 In 400 t(矿石 w_{In} 为 118×10^{-6} ,张乾等,2003)、 Sn 3 000 t(矿石 w_{Sn} 为 220×10^{-6})。

Ag 主要以银矿物形式存在,约占矿床银总储量

的90%,已发现11种银矿物,最常见的银矿物为深红银矿、螺硫银矿、自然银和黑硫锑银矿,银矿物粒度较大,粒径一般为0.05~0.5 mm,有时可见银矿物细脉沿方铅矿-闪锌矿矿石中的裂隙充填,细脉长度达10 cm,宽度可达0.5~1 cm。 Sn 主要以锡石和黝锡矿存在于西部和中部矿段中,东部矿段中锡矿物较少,锡含量较低。 Cd 、 In 、 Ga 主要存在于闪锌矿中,未发现它们的独立矿物(战新志等,1999)。由西向东,矿石中 Sn 和 In 减少, Ag 和 Ga 增高。

2 矿床地球化学特征

2.1 硫同位素组成及硫的来源

据24个主成矿期硫化物样品的分析结果(表1),孟恩陶勒盖矿床具有均一的硫同位素组成,总的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 -1.7% ~ $+4.6\%$ 之间,极差6.3,平均1.4%。

从图3可以看出,不同矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值从大到小

表1 孟恩陶勒盖矿床硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotopic composition of the Meng'entaolegai deposit

样号	矿段	矿石类型	矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}/\%$
M2	下脉群,8号矿体	方铅矿矿石	方铅矿	0.7
M4	下脉群,8号矿体	方铅矿矿石	闪锌矿	1.9
M5	下脉群,8号矿体	铅锌矿矿石	闪锌矿	-0.8
M6	下脉群,8号矿体	闪锌矿矿石	闪锌矿	1.3
M8	下脉群,8号矿体	闪锌矿矿石	方铅矿	0.1
M9	下脉群,8号矿体	铅锌矿矿石	方铅矿	-0.2
M12	下脉群,8号矿体	铅锌矿矿石	方铅矿	-1.6
M14	下脉群,8号矿体	方铅矿矿石	黄铁矿	2.5
M15	下脉群,8号矿体	闪锌矿矿石	黄铁矿	3.1
M21	中脉群,1号矿体	闪锌矿矿石	闪锌矿	2.9
M22	中脉群,1号矿体	铅锌矿矿石	方铅矿	0.2
M25	中脉群,1号矿体	铅锌矿矿石	闪锌矿	2.4
M28	中脉群,1号矿体	闪锌矿矿石	黄铁矿	3.3
M29	中脉群,1号矿体	方铅矿矿石	闪锌矿	0.3
M30	中脉群,1号矿体	方铅矿矿石	方铅矿	-0.1
M31	中脉群,1号矿体	铅锌矿矿石	黄铁矿	2.2
M32	上脉群,11号矿体	铅锌矿矿石	闪锌矿	2.3
M33	上脉群,11号矿体	闪锌矿矿石	方铅矿	1.5
M34	上脉群,11号矿体	铅锌矿矿石	黄铁矿	4.6
M35	上脉群,11号矿体	铅锌矿矿石	闪锌矿	1.2
M37	上脉群,11号矿体	铅锌矿矿石	黄铁矿	1.3
M39	上脉群,11号矿体	铅锌矿矿石	方铅矿	0.9
M41	上脉群,11号矿体	方铅矿矿石	闪锌矿	1.8
M42	上脉群,11号矿体	方铅矿矿石	方铅矿	1.2

样品处理由冯家毅高工完成,测试在中国科学院广州地球化学研究所 MAT-250 质谱仪上完成,误差为0.2%。

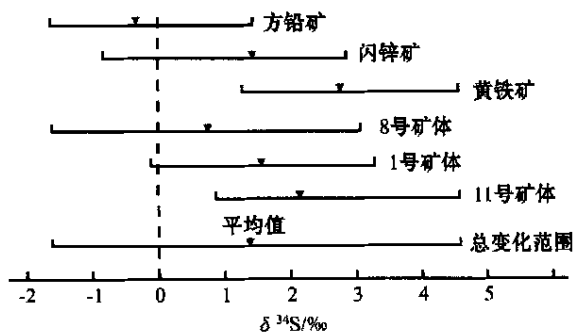


图 3 孟恩陶勒盖矿床的硫同位素组成
Fig.3 Sulfur isotopic composition of the Meng'entaolegi deposit

的变化顺序为：黄铁矿 → 闪锌矿 → 方铅矿。可以看出，从方铅矿 → 闪锌矿 → 黄铁矿，重硫略有增加，这种变化说明硫同位素达到了平衡。

从不同矿体来看，该矿床从西到东，重硫略有增加，但增加的幅度很小。硫同位素组成的这种变化，很可能是从西向东（8 号矿体 → 1 号矿体 → 11 号矿体），由于成矿的物理化学条件发生变化（如成矿温度逐渐降低）而引起硫同位素分馏的结果。从硫同位素组成直方图（图 4）可以看出，样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值分布很集中，呈典型的塔式分布，大部分样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 0 ~ 3.0 ‰，峰值位于 1.0 ‰ ~ 2.0 ‰ 之间。

由于矿床内所有硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值都接近零，而该矿床又不存在富重硫的硫酸盐类矿物，因此可以直接利用硫化物的硫同位素组成近似地代替成矿流体的原始硫同位素组成。从其均一的、接近零值的 $\delta^{34}\text{S}$ 值可以认为，该矿床的硫来自岩浆。

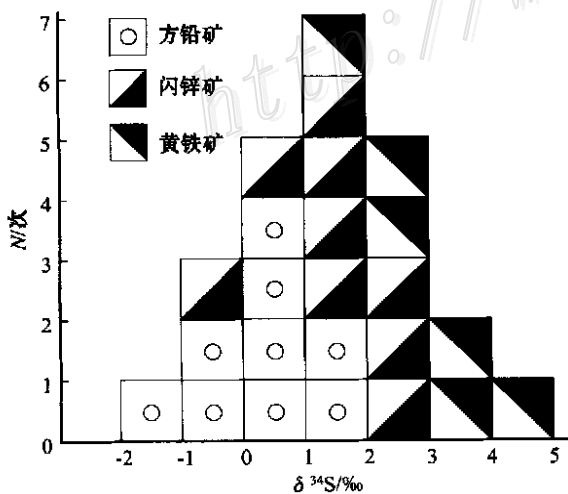


图 4 孟恩陶勒盖矿床硫同位素直方图
Fig.4 Sulfur isotopic diagram of the Meng'entaolegi deposit

2.2 铅同位素组成及铅的来源

为了查明该矿床铅的来源，笔者对矿石及有关的岩浆岩进行了铅同位素组成的测试，测定结果见表 2。

2.2.1 海西期花岗岩的铅同位素组成

从表 2 可以看出，虽然黑云母斜长花岗岩和白云母二长花岗岩的形成有先有后，但两者具有相同的铅同位素组成，并且长石铅同位素比值明显低于全岩铅同位素比值。一般来说，全岩铅同位素比值的增高是由于放射性元素衰变产生的放射性成因铅所致，而长石铅同位素组成的一致性则可能预示着两类花岗岩是同源岩浆不同期次侵入的产物。

在 Zartman 等 (Zartman et al., 1981) 的铅演化图 (图 5) 中，长石样品铅同位素比值分布集中，位于造山带铅演化线下方，说明海西期花岗岩铅具有一定的幔源成分，但受到了地壳组分的混染。

2.2.2 燕山期花岗岩的铅同位素组成

燕山期花岗岩体位于矿区西部外围，距矿区 15 km，称为杜尔基花岗岩。与孟恩花岗岩不同，杜尔基岩体以黑云母钾长花岗岩为主，长石以正长石为主， K_2O 含量明显大于 Na_2O 含量，岩石中成矿元素含量与孟恩花岗岩接近，但铅主要存在于正长石中（正长石含 w_{Pb} 一般在 $50 \times 10^{-6} \sim 130 \times 10^{-6}$ ），有趣的是，正长石蚀变后，Pb 含量都有不同程度的降低，蚀变越强，降低的幅度越大 (Zhang et al., 2003)。

一般来说，位于 15 km 以外的花岗岩提供成矿物质的可能性不大。但是该矿床控矿断层西部被掩埋，是否与燕山期岩体相通不得而知。因此，笔者选择了 3 个正长石和 1 个全岩样品分析了铅同位素组成，结果如表 2 所示。尽管样品数偏少，但也可以看出铅同位素组成的变化情况。3 个长石样品具有比全岩低得多的铅同位素比值。无论是长石还是全岩，铅同位素比值都略高于孟恩海西期花岗岩，但从整体来看，它们具有类似的同位素组成 (图 5)。

2.2.3 矿石铅同位素组成及铅的来源

矿石铅同位素组成的测定对象为不同类型矿石中的方铅矿，分析结果见表 2。

13 个方铅矿样品具有非常均一的铅同位素组成。从图 5 可以看出，所有方铅矿样品都位于上地幔铅演化线的端点附近，具有地幔铅同位素组成的特点。

对比矿石与花岗岩长石的铅同位素组成可以发现，方铅矿 3 组铅同位素比值明显低于海西期和燕

表 2 孟恩陶勒盖矿床的铅同位素组成

Table 2 Lead isotopic composition of the Meng'entaolegai deposit

类型	样品号	岩性	采样位置	测试对象	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb
燕山期							
	M-44	富钾黑云母花岗岩	杜尔基火车站	正长石	18.742(4)	15.588(3)	38.858(5)
	M-45	富钾黑云母花岗岩	杜尔基火车站	正长石	18.702(3)	15.557(2)	38.712(6)
	M-46	富钾黑云母花岗岩	杜尔基西山采石场	正长石	18.679(3)	15.571(3)	38.905(5)
	M-47	富钾黑云母花岗岩	杜尔基西山采石场	全岩	19.445(6)	15.607(5)	38.932(9)
海西期							
	M-10	黑云母斜长花岗岩	15 线 1 号脉远矿围岩	斜长石	18.491(4)	15.537(2)	38.077(5)
	M-18	黑云母斜长花岗岩	矿区北部白查干矿段	斜长石	18.593(4)	15.567(3)	38.395(5)
	M-18-2	黑云母斜长花岗岩	矿区北部白查干矿段	斜长石	18.518(3)	15.518(2)	38.143(6)
	M-16	白云母斜长花岗岩	79 线 11 号脉围岩	斜长石	18.605(3)	15.550(2)	38.145(5)
	M-11	白云母斜长花岗岩	15 线 1 号脉远矿围岩	斜长石	18.497(2)	15.553(2)	38.173(4)
	M-40	白云母斜长花岗岩	B5 中段 1 号脉群围岩	斜长石	18.460(4)	15.514(3)	38.003(5)
	M-10	黑云母斜长花岗岩	15 线 1 号脉远矿围岩	全岩	19.197(5)	15.588(4)	38.453(7)
	M-40	白云母斜长花岗岩	B5 中段 1 号脉群围岩	全岩	19.309(6)	15.575(4)	38.462(8)
矿石							
	M-2	粗粒方铅矿矿石	下脉群 96 线 8 号脉	方铅矿	18.137(2)	15.421(1)	37.713(4)
	M-3	粗粒铅锌矿石	下脉群 100 线 8 号脉	方铅矿	18.203(3)	15.488(2)	37.878(4)
	M-12	粗粒方铅矿矿石	上脉群 47 线 11 号脉	方铅矿	18.308(3)	15.564(2)	38.116(5)
	M-14	铅锌矿石	上脉群 63 线 11 号脉	方铅矿	18.216(2)	15.461(2)	37.845(3)
	M-33	块状闪锌矿矿石	1 号脉群,135 中段	方铅矿	18.242(2)	15.522(2)	37.925(3)
	M-34	含菱铁矿的铅锌矿石	1 号脉群,135 中段	方铅矿	18.131(3)	15.437(2)	37.690(4)
	M-36	含铜锌矿石	1 号脉群,135 中段	方铅矿	18.155(4)	15.430(3)	37.710(5)
	M-41	细粒方铅矿	B5 中段 1 号脉群围岩	方铅矿	18.283(2)	15.540(2)	37.945(5)
	M-43	黄铜矿闪锌矿矿石	B5 中段 1 号脉群围岩	方铅矿	18.239(2)	15.498(2)	37.892(4)
	M-19	细粒方铅矿	中脉群,1 号矿体	方铅矿	18.191(3)	15.467(3)	38.109(5)
	M-21	铅锌矿石	中脉群,1 号矿体	方铅矿	18.251(3)	15.440(2)	37.718(5)
	M-24	富锌矿石	中脉群,1 号矿体	方铅矿	18.224(2)	15.429(2)	37.731(4)
	M-28	花岗岩中闪锌矿脉	中脉群,1 号矿体	方铅矿	18.179(2)	15.452(2)	37.824(4)

样品处理由中国科学院地球化学研究所彭建华高级工程师完成,在中国科学院地质与地球物理研究所测试,仪器型号:MAT-261;括号内的数字为 2σ。

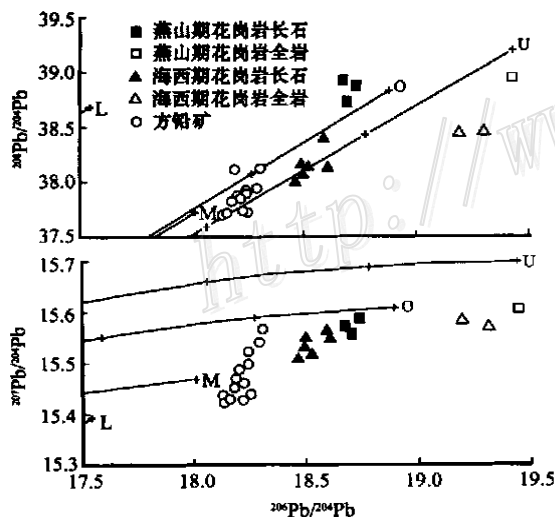


图 5 孟恩陶勒盖矿床铅同位素组成
铅演化线据 Zartman 等(Zartman et al.,1981)。M—上地幔铅;
L—下地壳;O—造山带铅;U—上地壳铅

Fig.5 Lead isotopic composition of Meng'entaolegai deposit
lead evolutionary lines based on data by Zartman et al.,(1981).
M—Upper mantle lead; L—Lower crust lead; O—Orogenic
lead; U—Upper crust lead

山期花岗岩长石的该比值。经 ICP-MS 分析,所有长石样品的 U、Th 含量均低于 0.1×10^{-6} 的检出限,说明长石形成后铅同位素组成并未受放射成因铅的影响,可以代表长石结晶时岩浆的铅同位素组成。由此不难看出,矿石铅既不是由海西期岩浆提供的,也不是由远离矿体的燕山中期的杜尔基花岗岩浆提供的。在地质上,以下几点也不支持孟恩花岗岩浆提供铅:①矿体由花岗岩基中心部位的断裂控制,因此判断,成矿明显晚于赋矿主岩的成岩时代。张炯飞等(2003)利用 Ar-Ar 法测得了该矿床云英岩化阶段形成的白云母 179.0 Ma 的坪年龄和 182.3 Ma 的等时线年龄,该年龄不仅可作为该矿床的成矿年龄,同时也表示该区在早侏罗世—中侏罗世时存在一次重要的构造-岩浆-热液成矿事件。据张炯飞等(2003)的研究,该矿床的形成比区内中生代火山岩还要早 16 Ma,同时区内有不少矿床(如台布呆铜矿、白音诺铅锌矿、布敦化铜矿等)的成矿时代都在 166~177 Ma 之间,孟恩陶勒盖矿床的成矿年龄略

早于这一年龄段,但也可以看出,它们之间的差别不大,都可以作为该区燕山早期一次重要的岩浆-热液成矿事件的产物;②岩浆热液矿体一般位于岩体靠顶部边缘部位或接触带部位,甚至进入围岩中,岩体中心部位很难形成同期热液矿床;③形成铅锌多金属矿床的岩浆岩绝大多数为小岩体,而孟恩岩体出露面积达 400 km² 以上。

王秀璋等(1992)、张乾(1996)曾认为产于岩浆岩体内部的矿床有可能是岩浆岩经后期改造形成的。那么,孟恩陶勒盖矿床是否就是这种改造型矿床呢?形成岩浆岩型改造矿床的前提条件是成矿物质来自自己固结的岩浆岩,一般通过淋滤溶解等方式进入成矿流体。在淋滤条件下,放射成因铅最易进入溶液(Andrew et al., 1990; Nie, 1994),林尔为等(1985)的实验研究结果显示,岩石中淋滤出来的铅比全岩本身具有更高的铅同位素比值。由此判断,该矿床的铅也不是由成岩后的花岗岩所提供的。从花岗岩蚀变后铅含量的明显增高(张乾等,2002)可以推测,成矿流体带来的铅进入了矿体附近的花岗岩。

从方铅矿在图 5 中位于上地幔铅演化线附近的

分布特点判断,矿石铅有来自上地幔的可能。矿区存在不同期次的煌斑岩脉、辉绿岩脉和闪长岩脉,有些切割矿体,说明其形成晚于矿体的形成,有些略早于或与矿体同时形成(被矿化),这些岩脉的存在说明海西期孟恩花岗岩形成之后,矿区发生过幔源岩浆活动,大规模的幔源岩浆岩可能隐伏于深部,为该矿床的形成提供了成矿物质。

为查明矿石铅是否来自区域及深部的基底变质岩,笔者将包括内蒙古中、东部地区在内的华北地台北缘太古代-古元古代和中元古代基底变质岩的铅同位素组成数据(笔者尚未发表的 50 多个岩石样品的铅同位素资料)与该矿床对比(图 6),从对比结果不难看出,该矿床均一的铅同位素组成很难与比值低得多且分散性很大的基底岩石铅相对应,也就是说,矿石铅不大可能来自基底变质岩。这也从矿质来源上排除了该矿床属于造山带型矿床的可能性。

2.3 成矿流体的氢、氧同位素组成及流体来源

显微镜鉴定发现,在一些浅色闪锌矿中存在大量的原生流体包裹体。因此,笔者利用硫化物矿物中的流体包裹体水直接测定了成矿流体的氢、氧同位素组成,测定结果见表 3。

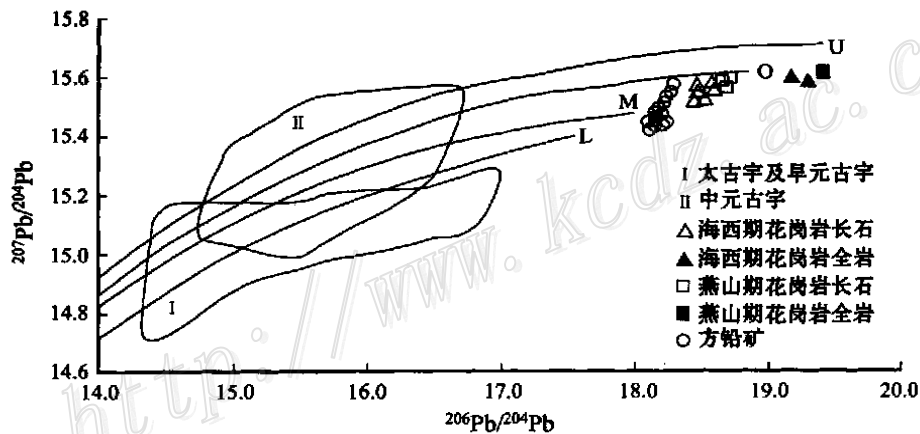


图 6 孟恩陶勒盖矿床铅同位素组成与基底变质岩铅同位素组成对比
(图中铅演化线资料来源同图 5)

Fig. 6 A lead isotopic comparison of the Meng'entaoleigai deposit with the basement rocks of the region
(The source of the lead evolutionary lines as for Fig. 5)

表 3 孟恩陶勒盖矿床成矿流体的 H、O 同位素组成

Table 3 H、O isotopic compositions of the Meng'entaoleigai deposit

样号	矿段	矿石类型	矿物	$\delta D_{SMOW} / \%$	$\delta^{18}O_{K-SMOW} / \%$
M6	下脉群,8号矿体	闪锌矿矿石	闪锌矿	-64	7.2
M15	下脉群,8号矿体	闪锌矿矿石	黄铁矿	-53	6.1
M23	中脉群,1号矿体	铅锌矿石	闪锌矿	-60	7.9
M25	中脉群,1号矿体	铅锌矿石	闪锌矿	-62	5.8
M33	上脉群,11号矿体	闪锌矿矿石	闪锌矿	-67	4.8

分析单位:桂林冶金地质研究院;仪器型号:MAT-252;分析误差:0.2%。

尽管样品较少,但5个样品分别代表了从西到东的整个矿床,由于采用硫化物矿物直接测定,测定结果就是流体包裹体中流体的氢、氧同位素组成(已用爆裂法除去后期次生的低于200℃的流体包裹体)。可以看出, δD 值为 $-52.8\text{‰} \sim -66.9\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 分布在 $4.8\text{‰} \sim 7.9\text{‰}$ 之间,除东部矿体闪锌矿中流体包裹体的 $\delta^{18}O$ 值较低外,其余均分布于 $6\text{‰} \sim 8\text{‰}$ 之间。在H-O同位素组成图中(图7),4个样品都在原生岩浆水范围内,只有东部矿段的一个样品位于原生岩浆水范围外,但偏离很小。由此不难看出,形成该矿床的成矿流体主要来自岩浆作用。位于岩浆水范围以外的一样品采自东矿段11号矿体,尽管对利用图7判断成矿流体来源存在不少疑虑,但是笔者认为,对像孟恩陶勒盖矿床这样的氢、氧同位素组成,用该图判断流体来源还是可信的。

2.4 矿物流体包裹体及其成矿温度

孟恩陶勒盖矿床矿物中的流体包裹体可以分为两个期次,其一以主成矿阶段形成的石英和闪锌矿为代表,流体包裹体形态较为规则,以圆形、椭圆形为主,长轴长 $3 \sim 25 \mu\text{m}$,以气液两相包裹体为主,个别可见含子矿物包裹体;其二为成矿后另一次热液活动所形成的流体包裹体,沿裂隙产出,呈线状排列,这种包裹体一般非常细小,长轴长都在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 以下,以纯液体包裹体为主。本文只对流体包裹体进行了均一温度测定。结果显示,在主成矿阶段,西段矿体形成温度为 $270 \sim 350\text{℃}$,中段矿体为 $240 \sim 330\text{℃}$,东段矿体为 $180 \sim 250\text{℃}$ 。次生流体包裹体中个别较大的气液包裹体均一温度为 $130 \sim 170\text{℃}$,

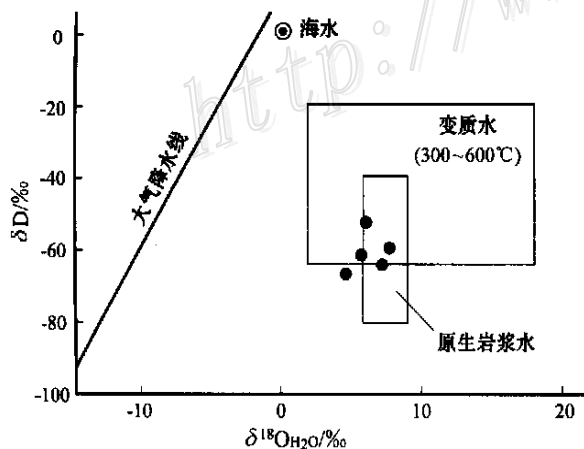


图7 孟恩陶勒盖矿床成矿流体的氢氧同位素组成
底图据 Shepperd (1979)

Fig.7 H-O compositions of the Meng'entaolegai deposit

明显低于主成矿温度。根据矿物和元素分布及成矿温度西高东低的特点判断,成矿流体是从西(深部)向东(浅部)运移的。

由于目前尚未对成矿流体进行更多的研究,因此,有些成矿物理化学参数还无法获得。仅从成矿温度来看,该矿床是一个典型的中温热液脉状多金属硫化物矿床。

3 矿床成因讨论

造山型金矿床的特点是:①矿床产于变形的中地壳变质块体中;②成矿物质来源通常是复杂的;③赋矿岩石以花岗闪长质岩石为主;④流体的形成及运移与造山作用间的热事件有关;⑤矿床的形成与造山作用是同步的。孟恩陶勒盖矿床与造山型金矿相比,存在以下明显的差别:①成矿元素组合不同,除主元素Ag、Pb、Zn、In外,还伴生工业可利用的Sn、Cu、Ga、Cd,但不存在Au。西部矿段Sn-Cu-Zn-In,中部矿段Sn-Zn-Pb-Ag-In,东部矿段Pb-Zn-Ag构成了连续的从高温到中低温的元素组合,与造山带型金矿具有明显差异;②成矿元素的来源是单一的,虽然成矿元素并非来自赋矿的海西期花岗岩,但仍然属于单一的岩浆来源;③成矿流体主要为岩浆水。因此,笔者认为,该矿床不属于造山型矿床。

改造型矿床的显著特点是,成矿物质来源于被改造的赋矿岩石或地层甚至基底,成矿流体的来源也是多种多样的,既可以是大气降水,也可以是建造水等,但大多数情况下是多种来源流体的混合。而孟恩陶勒盖矿床的成矿流体以岩浆水为主。但目前还不能肯定究竟是哪一期岩浆作用提供了成矿流体,远在矿区外的燕山期岩浆作用、区内与NW向脉岩有关的岩浆作用及岩体外围的火山作用都有这种可能。可以确定的是,与赋矿的主岩体有关的岩浆提供成矿流体的可能性不大,因为从地质特征判断,成矿明显晚于主岩体的形成。成矿物质中的硫属于典型的岩浆硫。铅的来源与地表可见的岩浆活动及基底变质岩无关,其低放射成因铅及低的铅同位素比值显示其来源更不可能是区内沉积岩。与华北地块北缘上地幔铅(张乾,1994)相比,该矿床的铅具有上地幔铅的特点,结合矿床地质特征,判断矿石铅是由地幔提供的,而提供铅的幔源岩浆岩没有在地表出露,判断其可能晚于赋矿主岩体侵位于深部。因此,该矿床也不具备赋矿的岩浆岩经改造所形成

的特点,即不属于改造成因矿床。

至此,笔者可以简单地描述该矿床的形成机理:海西期花岗岩基形成后,燕山早期(约 179 ~ 182 Ma,张炯飞等,2003)由深部岩浆作用分异出的含矿流体沿断裂构造上升,当压力减低到使流体无法再上升时,含矿流体即在海西期花岗岩中的东西向断裂构造中降温、减压,最终使金属元素发生沉淀,形成孟恩陶勒盖矿床。因此,该矿床属于一种异地型岩浆热液矿床(即矿床与成矿母岩分离)。

4 结 论

(1) 产于海西期花岗岩体中心部位断裂构造中的孟恩陶勒盖银铅锌铜多金属矿床的地质特征显示,其成矿明显晚于赋矿的孟恩陶勒盖花岗岩。除成矿元素不同外,该矿床与造山带型金矿及火成改造型金-银矿床具有相似的地质产状。

(2) 硫同位素组成显示出该矿床的硫来自岩浆;铅同位素组成显示铅的来源单一,既不是由海西期花岗岩及矿区西部的燕山期花岗岩提供的,也不是来自古老变质基底,而是来自燕山早期的岩浆作用;成矿流体以岩浆水为主。矿物流体包裹体均一温度显示矿床形成于中-高温环境。

(3) 矿床地质特征及地球化学特征表明,该矿床既不是造山带型矿床,也不是花岗岩改造形成的改造型矿床,而是一个远离成矿母岩的岩浆热液型多金属硫化物矿床,其成矿母岩可能位于深部,未出露地表。在成矿过程中,侵入于深部的岩浆首先分异出含矿流体,高温高压的含矿流体沿断裂构造上升,在海西期花岗岩基内的断裂构造中沉淀成矿。

References

- Andrew W M, Pablo M, Anne P L, et al. 1990. Lead isotope provinces of the Central Andes inferred from ores and crustal rocks [J]. *Econ. Geol.*, 85(8): 1857 ~ 1880.
- Geology and Mineral Resource Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 351 ~ 499 (in Chinese).
- Goldfarb R J, Groves D I and Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis [J]. *Ore Geol. Rev.*, 18: 1 ~ 75.
- Goldfarb R J, Phillips G N and Nokleberg W J. 1998. Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim [J]. *Ore Geol. Rev.*, 13: 185 ~ 218.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. *Ore Geol. Rev.*, 13: 7 ~ 27.
- Groves D I, Goldfarb R J, Knox-Robinson C M, et al. 2000. Late-kinematic timing of orogenic gold deposits and significance for computer-based exploration techniques with emphasis on the Yilgarn Block, Western Australia [J]. *Ore Geol. Rev.*, 17: 1 ~ 38.
- Lin E W and Guo Y J. 1985. Study of the lead isotopic compositions of the gold deposit centralized district in east Hebei Province [J]. *J. Changchun Univ. Sci. Tech.*, (4): 1 ~ 10 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J. 1994. Lead and sulfur isotope of the Wulashan quartz-K feldspar and quartz vein gold deposit, southwestern Inner Mongolia [J]. *Econ. Geol.*, 98: 1289 ~ 1305.
- Sheng J F, Li Y and Fan S Y. 1999. A study of minor elements in minerals from polymetallic deposits in the central part of the Dahinggan mountains [J]. *Mineral Deposits*, 18(2): 153 ~ 160 (in Chinese with English abstract).
- Wang X Z, Cheng J P, Mo C H, et al. 1998. Geology and Geochemistry of reworking gold deposits in intrusive rocks of China—II. Gold deposits and their genesis [J]. *Chinese J. Geochem.*, 17(3): 193 ~ 200.
- Wang X Z, Cheng J P, Zhang B G, et al. 1992. Geochemistry of the deform-type gold deposits in China [M]. Beijing: Sci. Press. 1 ~ 15 (in Chinese).
- Zartman R E and Deo B R. 1981. Plumbotectonics—the model [J]. *Tectonophysics*, 75: 135 ~ 162.
- Zhan X Z, Zhang Q, Dong Z S, et al. 1999. Mineralogical research of several single-silver deposits [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 19(4): 465 ~ 469 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J F, Pang Q B, Zhu Q, et al. 2003. Mengentaolegai Ag-Pb-Zn deposit in Inner Mongolia: Ar-Ar age of muscovite and its significance [J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 253 ~ 256 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q. 1994. Lead isotopic compositions of Huanren polymetallic ore deposit, Liaoning Province: Evidence from Phanerozoic mantle-source lead [J]. *Geochimica*, 23(Supp): 32 ~ 38 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Pan J and Shao S X. 1996. Igneous-deformed mineralization of the Au-Ag deposits occurring in faults of the igneous rocks [J]. *Geology-Geochemistry*, 24(1): 67 ~ 71 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Zhan X Z and Pan J Y. 1998. Geochemical enrichment and mineralization of indium [J]. *Chinese J. Geochem.*, 17(3): 221 ~ 225.
- Zhang Q, Pan J Y and Shao S X. 2000. An interpretation of ore lead sources from lead isotopic compositions of some ore deposits in China [J]. *Geochimica*, 29(3): 231 ~ 238 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Qiu Y Z, Zhan X Z, et al. 2002. Lead isotopic composition and lead source of the Meng'entaolegai Ag-Pb-Zn-In deposit in In-

ner Mongolia [J]. *Geochemica*, 31 (3): 253 ~ 258 (in Chinese with English abstract) .

Zhang Q, Liu Z H, Zhan X Z, et al. 2003. Specialization of ore deposit types and minerals for enrichment of indium[J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 309 ~ 316(in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

林尔为, 郭裕嘉. 1985. 冀东金矿集中区的铅同位素研究[J]. 长春地质学院学报, (4): 1 ~ 10 .

内蒙古地质矿产局. 1991. 内蒙古区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 351 ~ 499 .

盛继福, 李岩, 范书义. 1999. 大兴安岭中段铜多金属矿床矿物微量元素研究[J]. 矿床地质, 18(2): 153 ~ 160 .

王秀璋, 程景平, 张宝贵, 等. 1992. 中国改造型金矿床地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 1 ~ 15 .

战新志, 张乾, 董振生, 等. 1999. 几个独立银矿床矿物学研究[J]. 矿物学报, 19(4): 465 ~ 469 .

张炯飞, 庞庆邦, 朱群, 等. 2003. 内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌矿床白云母 Ar-Ar 年龄及其意义[J]. 矿床地质, 22(3): 253 ~ 256 .

张乾. 1994. 辽宁桓仁金属矿床的铅同位素组成——显生宙单阶段幔源铅的证据[J]. 地球化学, 23(增刊): 32 ~ 38 .

张乾, 潘家永. 1996. 火成岩断裂带中金、银矿床的火成改造作用[J]. 地质地球化学, 24(1): 67 ~ 71 .

张乾, 潘家永, 邵树勋. 2000. 中国某些金属矿床矿石铅来源的铅同位素诠释[J]. 地球化学, 29(3): 231 ~ 238 .

张乾, 裘愉卓, 战新志, 等. 2002. 内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌矿床的铅同位素组成及铅的来源[J]. 地球化学, 31 (3): 253 ~ 258 .

张乾, 刘志浩, 战新志, 等. 2003. 分散元素铜富集的矿床类型和矿物专属性[J]. 矿床地质, 22(3): 309 ~ 316 .

Genesis of Meng'entaolegai Ag-Pb-Zn-In Poly-metallic Deposit in Inner Mongolia

Zhu Xiaoqing, Zhang Qian, He Yuliang and Shao Shuxun

(Key Laboratory of Mineral Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China)

Abstract

The Meng'entaolegai poly-metallic deposit located in the center of a granitic batholith is controlled by E-W trending faults. The major useful elements of the deposit are silver, lead and zinc, with rich indium, tin and cadmium. Its geological characteristics show that there exists no genetic correlation between the deposit and the granites. The deposit was formed later than the granites. The granites and faults provided only room for the orebodies. The $\delta^{34}\text{S}$ values are -1.7‰ to +4.6‰, indicating that sulfur was derived from the magmatism. The ore-forming fluid must have come from the magmatic differentiation in the light of the H-O isotopic compositions. The lead isotopic compositions of all related rocks and ores indicate that lead in ores has no relationship with the Hercynian granite, the Yanshanian granite and the Precambrian basement metamorphic rocks, and it has the same source as sulfur. Although the geological features of the deposit are somewhat similar to those of the orogen-type deposits, its geochemical features imply that its origin is related to other deep-seated magmatism. During the mineralization, the Huolinhe regional fault acted as the channel for the migration of ore-forming fluids from the depth, and the E-W-trending faults served as room for the settling of orebodies.

Key words: geology, geological characteristics, geochemical features, origin of the deposit, indium-rich poly-metallic deposit, Meng'entaolegai, Inner Mongolia