

赤峰北部大井锡多金属矿床成矿作用 地球化学及找矿方向

姚 德^① 李鹤年 段国正

(长春地质学院)

赤峰北部是我国北方最重要的锡矿远景区。本文在概述区域地球化学背景的基础上,对大井锡多金属矿床进行了成矿作用地球化学研究,总结出控制矿床形成的主要因素,并提出进一步找矿的方向。

关键词: 赤峰; 大井锡多金属矿床; 成矿作用; 地球化学

赤峰北部位于大兴安岭新华夏系第三隆起带南段,为一锡多金属的高浓度地球化学场。它经历了多期构造运动,岩浆活动频繁,形成了黄岗梁—甘珠尔庙锡多金属成矿带。本文所要论及的就是位于该成矿带南段的一个大型锡多金属矿床——大井矿床。

区域地质地球化学背景

赤峰北部广泛分布的地层是二叠纪的火山—沉积岩系。其下部大石寨组由玄武—安山岩、细碧—角斑岩组成;中部黄岗梁组为浅变质的砂岩、粉砂岩、板岩夹大理岩、结晶灰岩;上部林西组为砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩夹粗安岩、火山角砾岩。该火山—沉积岩系中以成矿元素含量高为其特点,Sn、W、Mo、As超过世界相应岩石平均含量的(维诺格拉多夫,1962)5~10倍,Pb、Zn、Cu超出1~3倍,铁族元素Cr、Co、Ni、V大多接近世界相应岩石平均值(维诺格拉多夫,1962)。成矿元素在火山—沉积岩系中含量变化有一定规律,Sn、W、Mo、Cu、Pb、Zn在地层中的含量主要与火山物质有关,特别是Sn、W在火山岩中的高含量更为明显,而As的含量主要与正常沉积物质有关。

燕山期花岗岩是本区主要的侵入体,其特点是富Si、Al,贫Fe、Mg,富含Sn、W、Cu、Pb、Zn、Ag等成矿元素及挥发组份F、Cl。区内出露的岩体中,离大井矿床最近的是矿区西北部(相距

约9 km)的马鞍子岩体。据李国华(1986),该岩体向南东倾伏,是大井矿床的成矿母岩。笔者通过对该岩体的地球化学研究,也说明其具含锡花岗岩的特征。该岩体组成矿物主要有微斜长石、条纹长石(55~65%)、石英(25~30%)、斜长石(更长石)(10~15%)、黑云母(5%)。副矿物主要有锆石、磁铁矿、独居石、萤石,还有少量榍石、金红石、磷灰石等。其岩石化学特点是富硅(74.75%),富碱($K_2O+Na_2O=9.02\%$)、 $K_2O/Na_2O>1$ (1.3),贫铁、镁($\Sigma FeO+MgO=1.40$),分异完全(DI=93.26)。成矿元素Sn及Cu、Pb、Zn、Ag、W、Mo等明显高于世界花岗岩的平均值(维诺格拉多夫,1962),Sn是维氏值的10倍,Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、W是维氏值的1~5倍,贫Sr(99.6ppm)、Ba(201ppm)。稀土元素分布特征: ΣREE 为350.77ppm, $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 为2.23, La/Yb 为6.96, $(La/Sm)_N$ 为2.54,且具明显的Eu负异常。稀土配分曲线为稍向右倾的“V”字型。以上特征说明,马鞍子岩体更多地偏向S型,体现在成矿作用上出现了Sn、W、As、Be矿化,并兼有I型特点,体现在成矿作用上伴有Zn、Fe、Cu、Pb等矿化。因此,认为马鞍子岩体成因上应属过渡型地壳重熔花岗岩,其原岩即是二叠纪的火山—沉积岩^②。

① 现在地矿部海洋地质研究所工作。

② 姚 德,昭盟北部锡多金属矿床成矿作用地球化学,1987年。

矿床地质特征

大井矿床近矿围岩为林西组的砂岩、粉砂岩。区内断裂构造发育，分为压（扭）性和张（扭）性断裂。无论是成矿前断裂还是成矿期断裂，都是主要的导矿与容矿构造，而成矿后的断裂破坏了以前的断裂并截穿矿体。矿区有大量与成矿同期（或稍早）的中酸性岩脉出现，受断裂构造控制，这些岩脉可能与马鞍子岩体是同源岩浆演化的产物。

矿体受断裂构造控制，形态复杂，主要呈不规则脉状。矿脉连续不佳，走向北西—北西，倾向北东—北东，个别走向北东，倾向北西，倾角变化大，从10多度到80多度。区内矿体总计百余个，大小悬殊，长者上千m，短者十几m，厚0.4~3.12m，平均1m左右。

矿床近矿围岩蚀变主要有钠长石化、硅化、萤石化、赭石化。

矿石矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、锡石、胶黄铁矿、闪锌矿、方铅矿，其次有白铁矿、（银）黝铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、黄锡矿等。脉石矿物主要有石英、方解石、萤石、绢云母、绿泥石。

矿石以脉状构造、块状构造为主，其次还有角砾状构造、条带状构造等。矿石以自形、半自形、他形粒状结构为主，常见有交代残余结构、固熔体分解结构、包含结构等。

成矿作用地球化学

1. 成矿物质来源

（1）矿床与岩体间的空间关系 矿床伴随燕山期马鞍子钾长花岗岩岩体产出。矿床沿远离马鞍子岩体的方向出现了Sn—Cu—Zn—Pb—Ag的组份分带。

（2）马鞍子岩体中成矿元素及稀土元素分布特征 该岩体明显富含成矿元素(ppm)，Sn—32、Cu—34、Pb—21、Zn—51、Ag—0.39。稀土元素分布特征与杨超群统计的华南与富硫化物的锡多金属矿床有关的花岗岩(ΣREE 在101.3~666.48ppm之间，平均为260.72ppm， $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 在0.78~8.8之间，平均为3.08， δEu 在0.04~0.51之间，平均为0.2)十分相似。

（3）氧同位素组成 R.N.Clayton (1973) 实验给出200~500°C时氧同位素分馏系数 $\alpha_{\text{石英-水}}$ 与温度(T)之间的近似定量关系式：

$$100 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$$

借助测温结果（见后），取1、2号样形成温度为300°C，3、4号样形成温度为250°C，据此由测出的石英氧同位素组成，求得成矿热液中 H_2O 的氧同位素组成（表1），结果与花岗岩和岩浆热液的氧同位素组成十分相似。

表 1 氧同位素组成

测定矿物及其产状	$\delta_{18\text{O}/\text{H}_2\text{O}}, \%$
早期含铜石英脉中的石英	13.73
早期含铜石英脉中的石英	14.39
晚期切穿矿体的石英脉中的石英	7.36
晚期含毒砂石英脉中的石英	7.36

（4）硫同位素组成 矿石中金属硫化物的硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}$ 变化在-2.5~+2.2之间，平均+0.35，且明显呈塔式分布（图1）。

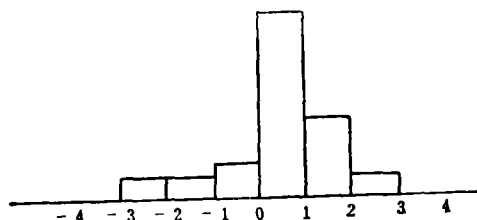


图 1 硫同位素组成直方图

（5）铅同位素组成 矿石方铅矿及马鞍子岩体钾长石的铅同位素组成见表2。不同单位所做的结果表明，矿石铅同位素组成非常稳定，且与马鞍子岩体两个钾长石的铅同位素组成一致。在 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 图上全部落在正常增长曲线范围内（图2），且具明显的线性相关关系： $\text{Pb}^{207}/$

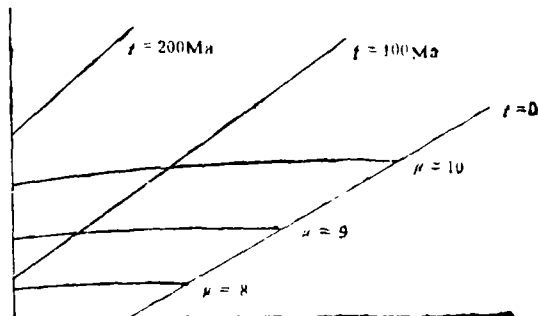


图 2 铅同位素组成模式图

铅同位素组成及模式年龄

表 2

测定矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄	
				H-H	R-S-F
方铅矿	18.3402 ± 0.3070	15.5681 ± 0.0332	38.1903 ± 0.0690	167	65
方铅矿	18.3303 ± 0.0291	15.7404 ± 0.0424	38.7294 ± 0.0815	390	217
方铅矿*	18.432 ± 0.030	15.700 ± 0.050	38.60 ± 0.18	265	71
方铅矿*	18.289 ± 0.021	15.514 ± 0.025	38.04 ± 0.08	135	54
方铅矿*	18.309 ± 0.027	15.539 ± 0.031	38.08 ± 0.08	152	61
方铅矿*	18.305 ± 0.054	15.519 ± 0.041	38.06 ± 0.11	129	47
方铅矿*	18.47 ± 0.23	15.70 ± 0.09	38.55 ± 0.09	238	83
钾长石	18.9647 ± 0.0868	16.3359 ± 0.0856	39.2352 ± 0.0087	611	264
钾长石	18.2987 ± 0.070	15.5951 ± 0.0332	38.4726 ± 0.0690	234	119

* 据内蒙古第三地质大队。

$^{206}\text{Pb} = -5.5874 + 1.1554 (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 。矿石方铅矿与岩体钾长石用H—H法与R—S—F法计算的模式年龄(表2)十分相近,且与前人所做马鞍子岩体K—Ar年龄相近。

综上所述,大井矿床的成矿物质主要来源于岩浆热液,燕山期的岩浆作用是成矿的关键。

2. 成矿物理化学条件

热液成矿的物理化学条件对深入研究矿床成因,进而指导找矿具有十分重要的意义。

(1) 温度 据不同成矿阶段形成的石英的均一法、爆裂法测温结果和矿石中矿物的平衡共生关系推算,锡石形成温度在300~370°C之间,Cu、Pb、Zn等硫化物形成温度为110~350°C。

(2) 压力 用与磁黄铁矿共生的闪锌矿的成分,计算求得闪锌矿中FeS分子百分数,由Scott和Barnes(1971, 1973) Fe—Zn—S体系的实验结果,获得对应压力大约小于1500b。

(3) 成矿介质的酸碱度 如表3,锡石—硫化物阶段石英气—液包裹体pH值为6.22~7.05,属中酸性,此时锡已开始大量沉淀。早期无石英英脉中石英气—液包裹体pH值为7.25,属中碱性,此时锡在迁移中。

(4) 成矿介质的 f_{O_2} 、 f_{S_2} 据Patterson等的数据计算出300°C和250°C时的磁黄铁矿—黄铁矿—赤铁矿、 SnO_2 — SnS — Sn_2S_3 — SnS_2 、黄铜矿—斑铜矿的 $\log f_{\text{O}_2}$ — $\log f_{\text{S}_2}$ 图(图3)。大井矿床早期锡石—硫化物阶段的磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、锡石为稳定的矿物相,取其形成温度为300°C,可以得出对应的 f_{O_2} 大致为 10^{-14}atm 、 f_{S_2} 大致为 10^{-12}atm 。晚期黄锡矿生成阶段黄铁矿、黄铜矿、黄锡矿为稳定矿物相,取其形成温度为250°C,可以得出对应的 f_{O_2} 上限大致为 10^{-12}atm 、 f_{S_2} 上限大致为 10^{-13}atm 。

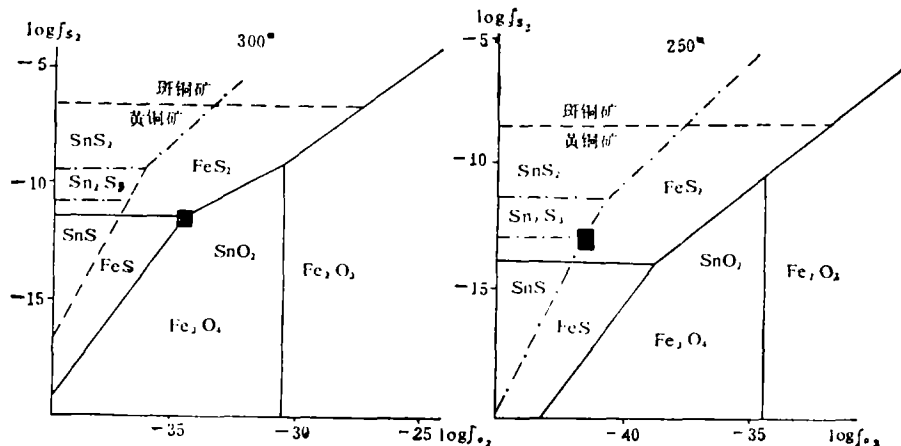


图 3 矿物的 $\log f_{\text{O}_2}$ — $\log f_{\text{S}_2}$ 图
黑方块表示矿石沉淀条件(据邓庆平, 1985)

(5) 成矿溶液的组份特征 不同成矿阶段的石英或萤石的包裹体成分见表3。早期无矿石英脉阶段热液富钙, 贫钾、钠, 氟、氯含量较低; 到锡石—硫化物阶段, 氟、氯含量增高, 钾、钠也明显增加, 说明锡是在高碱性、富氟、氯的热液中迁移的; 到晚期萤石—碳酸盐阶段, 钾、钠含量降低, 氟的含量明显高于锡石—硫化物阶段, 这是可以理解的。因为测定的矿物是萤石, 必然导致包裹体中氟、钙增高。

综上所述, 大井矿床成矿物理化学条件是中高温(110~370°C)、低压(<1.5kb)、中酸性(pH=7.05~6.22)、 f_{O_2} 小于 10^{-34} atm、 f_{S_2} 大致为 10^{-12} ~ 10^{-13} atm。

矿物包裹体成分 表 3

编 号	1	2	3	4
矿 物	石 英	石 英	石 英	萤 石
pH	7.25	7.05	6.22	6.53
Eh	29.16	37.92	87.02	68.69
K	0.023	0.14	0.29	0.07
Na	0.08	0.23	0.86	0.11
Ca	10.64	0.95	5.03	12.33
Mg	0.27	1.78	2.69	0.12
Fe	0.12	0.21	0.12	0.01
CO ₂	10.59	19.80	23.47	6.47
CH ₄	1.14	6.30	6.14	0.10
H ₂ O	90.47	64.05	49.01	24.21
HCO ₃ ⁻	6.9	6.4	4.1	4.9
F ⁻	0.41	0.42	1.03	4.1
Cl ⁻	0.28	0.43	0.36	0.24
SO ₄ ²⁻	0.57	3.28	7.14	1.14
CO ₂ + 空气	32.36	291.87	375.85	18.35

• (1) 1号样为地表早期无矿石英脉, 2、3号样为锡石—硫化物阶段块状、条带状矿石中的石英, 4号样为晚期萤石—碳酸盐阶段的萤石。(2) K、Na、Ca、Mg、Fe单位为ppm, 余为ml/100g。(3) CO₂ + 空气为混合峰, 此值仅作参考。

控矿因素及找矿方向

通过对区域地球化学背景、矿床地质、成矿作用地球化学的研究, 得出控矿主要因素和找矿方向。

1. 控矿因素

(1) 含矿火山——沉积岩系是成矿的基础 赤峰北部, 广泛分布的二叠纪火山—沉积岩系, 富

含锡等成矿元素, 是一个十分重要的特征, 以至通过漫长的地质地球化学演化, 形成一个锡多金属地球化学场, 为成矿奠定了良好的基础。而且在二叠纪的火山—沉积岩系中未见广泛的成矿前热液蚀变, 因此只通过热液作用使火山—沉积岩系中的锡等金属成矿元素富集成矿看来是不现实的。这样, 大规模的岩浆作用就成了区域上锡多金属成矿的关键。

(2) 岩浆作用是成矿的关键 与成矿有关的花岗岩是二叠纪火山沉积岩系重熔作用的产物。由于二叠系富含Sn、Cu、Pb、Zn、Ag等成矿元素, 导致重熔产生的花岗岩亦富含这些元素。而且这些元素均具亲岩浆性, 经过重熔分异, 在强烈分异的酸性富碱岩浆中得到高度富集, 同时富集F、Cl、B等挥发组份。在岩浆演化过程中, 锡等成矿元素以络合物形式迁移, 岩浆冷却结晶即形成富含Sn、Cu、Pb、Zn、Ag等金属的气—水热液。气水溶液在迁移过程中又与围岩反应, 吸取围岩中的成矿元素, 使气—水溶液中的成矿元素进一步富集, 在地质及物理化学条件有利时沉淀成矿。这样, 伴随重熔岩浆作用就形成了Sn、Cu、Pb、Zn、Ag等密切共生的多金属矿化。没有重熔岩浆作用就不可能导致二叠纪火山—沉积岩系中大量成矿元素富集成矿。因此, 重熔岩浆作用是锡多金属成矿的关键。

(3) 围岩岩性控制矿床类型 在化学活动性差、脆性强的砂岩、粉砂岩中形成脉状锡石—硫化物矿床, 而在化学活动性强的碳酸盐岩中则形成夕卡岩型矿床(如位于同一成矿带内的黄岗铁、锡多金属矿床和白音诺含锡铅锌矿床)。

(4) 构造控制矿床分布及矿体产状 大井矿床位于不同方向构造叠加的应力集中区, 这类地区为热液成矿提供了良好的导矿与容矿空间, 矿体明显受控于断裂。

2. 找矿方向

(1) 燕山期岩浆作用是成矿的关键, 但并非所有的燕山期岩体都成矿, 所以区分成矿岩体就显得十分重要。赤峰北部黄岗梁—甘珠尔庙锡多金属成矿带内成矿岩体的地球化学标志是: 富硅 $SiO_2 > 74\%$ 、富碱 $K_2O + Na_2O > 8.5\%$ 、且 $K_2O/Na_2O > 1$, 贫铁、镁; 分异彻底, $DI > 93$, 富含成矿元素Sn、Cu、Pb、Zn、Ag及挥发组份F、Cl、B, 锡含量一般高于25ppm, 且离散性大, δ_{n-1} (样品方差)/ X (均值) > 1 , 稀土配分曲线为稍向右倾

的“V”字型,具明显的Eu异常, $\delta\text{Eu}<0.24$,且 δEu 越小矿化越强烈。成矿岩体与二叠纪火山—沉积岩系接触带及其附近是寻找锡多金属矿床的有利部位。

(2) 大井矿区出露有与成矿岩体同期同源的中酸性岩脉,其与成矿关系密切。所以,在成矿岩体附近有大量中酸性岩脉侵入处,是寻找锡多金属矿床的有利部位。

(3) 多组构造强烈叠加复合部位是找矿的构造标志。

(4) 大井矿床在空间上存在明显的组份分带,而且这种现象在成矿带内其他几个矿床中也存在,所以在已发现的多金属矿区应注意组份上的分带,以寻找伴生的锡矿体。

(5) 锡等成矿元素主要来自岩浆,成矿岩体含锡量高,且锡石常作为副矿物出现,所以锡石的重砂异常亦是寻找锡多金属矿床的重要标志。

(6) 赤峰北部包括大井矿床在内的锡多金属矿床均系热液作用的产物,所以在含矿岩体附近也应特别注意与锡多金属成矿有关的热液蚀变。

在野外工作期间华北有色金属地质勘探公司普查大队、内蒙古第三地质大队提供了大量基础地质资料和野外工作的方便条件,特别是李国华、王顺礼、沈逸民、腾玉良、孙承志、王子祥等同志给予了热情的支持和帮助,在此一并致谢。

主要参考文献

- [1] 王联魁等,地质与勘探,1987,第1期, p. 44~54.
- [2] 李国华,地质与勘探,1986,第4期, p. 29~30.
- [3] 李鹤年等,长春地质学院学报,1986,第2期, p. 57~61.
- [4] Parnes H. L. et al., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 1979.

The Mineralization Geochemistry and Exploration Guides of the Dajing Tin-bearing Polymetallic Deposit, in Northern Chifeng

Yao De Li Henian Duan Guozheng

The northern Chifeng district is the most important tin ore prospective area in the north part of our country. On the basis of the regional geochemical background investigation, a metallogenetic and geochemical study of the Dajing tin-bearing polymetallic ore deposit has been made. In this paper the chief factors controlling the ore deposit formation are summarized. Guides for further prospecting are also put forward.