

敖瑙达巴斑岩型锡多金属矿床地质特征

张德全

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要: 敖瑙达巴矿床是我国北方地区首次发现的斑岩型锡多金属矿床。该矿床产于距晚侏罗世火山岩盆地 4 km 的中生代断隆区, 含矿斑岩以花岗斑岩为主 (148×10^6 a, $I_{Sr} = 0.708$)。钾硅酸盐化核、绢英岩带、黄玉云英岩带、青磐岩带及角岩化带构成了矿床中大致对称的前进中心式蚀变分带, 岩体上部—顶部—边部 (接触带附近) 分别赋存着锡—锡银—铜工业矿体。研究表明, 敖瑙达巴矿床属高位陆上环境的潜火山—斑岩型锡多金属矿床, 它既不同于斑岩铜矿床, 也与广东的银岩斑岩锡矿床有较大的差别。

主题词: 斑岩锡多金属矿床 敖瑙达巴

敖瑙达巴矿床位于内蒙古阿鲁科尔沁旗境内, 是近年来内蒙古地矿局在我国北方地区首次发现并正在勘查中的斑岩锡多金属矿床。

1 地质概况

敖瑙达巴矿床产于内蒙古东部的黄岗—甘珠尔庙—乌兰浩特锡铅锌矿带的中段, 该矿带是在晚华力西地

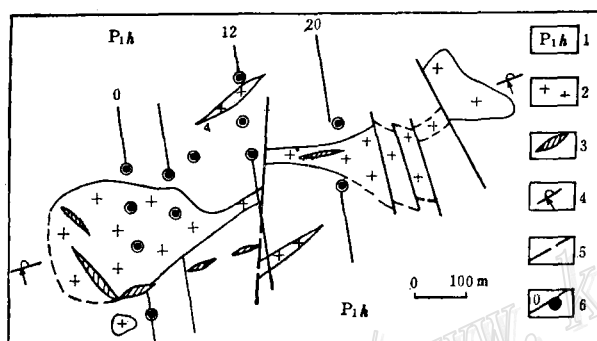


图 1 敖瑙达巴矿床地质略图

(据115地质队资料修编)

1—下二叠统黄岗梁组斑点板岩及砂岩; 2—蚀变花岗斑岩; 3—蚀变花岗岩闪长斑岩; 4—倒转向斜; 5—断裂; 6—钻孔、剖面线及编号

Fig. 1. Geological sketch map of the Aonaodaba ore deposit.

1—Knotted slate and sandstone of Lower Permian Huanggangliang Formation; 2—Altered granite porphyry; 3—Altered granodiorite porphyry; 4—Overturned syncline; 5—Fault; 6—Drill hole, section line and its serial number.

槽褶皱带基础上的中生代火山—侵入岩浆带, 敖瑙达巴矿床就是与这类火山—浅成侵入岩浆活动有关的潜火山—斑岩型锡多金属矿床。

矿区揭露地层为下二叠统黄岗梁组浅海相碎屑岩, 其岩性以砂岩为主, 时有板岩夹层。矿区中心地段, 花岗斑岩沿泥质板岩与粉砂岩层间侵入, 使这些砂泥质沉积岩受热变成角岩或斑点板岩。矿区西北侧 4 km 之外为上侏罗统中—酸性火山岩。

黄岗梁组细碎屑岩构成一紧闭的倒转向斜构造。该向斜长约 2.4 km, 宽约 0.6 km, 轴部正好位于矿区中部, 呈北东 ($60^\circ \sim 70^\circ$) 向延伸, 轴面倾向北西, 两翼倾角 60° 左右。

矿区内发育北东、北西、北北东向断裂。北东向断裂主要分布于向斜轴部及两翼。向斜轴部的北东向断裂是主要的控岩控矿断裂, 矿床中含矿小斑岩体沿此断裂侵入。岩体中及近接触带密集的北东向裂

张德全, 男, 46岁, 副研究员, 长期从事矿床地质科研工作。邮政编码: 100037

1992年1月收稿, 1992年8月修改回

隙带是矿体的主要控矿构造。北北东和北西向断裂出现较晚,且大多具平推性质,不但将褶皱切成若干段,也对岩体和矿体起一定破坏作用(见图1)。

2 含矿斑岩及蚀变分带

2.1 含矿斑岩

矿区及其外围4 km范围内未见较大的花岗岩类侵入体出露。与成矿有关的侵入体为花岗斑岩、花岗闪长斑岩和石英正长斑岩小岩体。

花岗斑岩呈不规则岩墙状,大致沿向斜轴部断裂侵入于黄岗梁组沉积岩中,地表呈北东向断续延长达千余米,宽20~250 m(图1)。剖面上,向北西方向陡倾斜,其顶底面极不平整,常伸出许多小岩枝。

花岗闪长斑岩和石英正长斑岩呈规模更小的岩脉、岩墙状,沿北东或北西向断裂贯入,它们在空间上常和花岗斑岩相伴出现。据地表及钻孔所见,花岗斑岩和花岗闪长斑岩及石英正长斑岩之间界限截然,后者呈岩脉穿入前者中,但亦偶见花岗闪长斑岩角砾被包裹于花岗斑岩中。石英正长斑岩和花岗闪长斑岩之间呈渐变过渡关系。看来,矿区含矿花岗斑岩与花岗闪长斑岩及石英正长斑岩可能属时间上相近的一套超浅成侵入体,总体上,前者可能略早于后者。

含矿斑岩体外接触带见宽数十米至近百米的接触热变质晕。岩体顶部及边部常见规模不大的隐爆角砾岩体,它们的形态及分布极不规则,较大的直径在10 m左右,一般仅1~2 m。角砾大小不等,棱角清晰。角砾成分因地而异,岩体中的角砾以蚀变含矿斑岩为主,接触带附近隐爆角砾岩增多,角砾以围岩为主。隐爆角砾岩的出现,不仅证明含矿斑岩是高侵位的超浅成相小侵入体,而且也证实岩体剥蚀浅、保存较完好,具较大的成矿潜力。

含矿斑岩中及接触带附近,裂隙十分发育。这些裂隙具多方向、多次构造复合特点。不但有北东(为主)、北北东向,还有北西向、近南北和东西方向的裂隙。单条裂隙规模不大,性质以张、张扭为主,但亦见较多的以扭性或压扭性为特征的结构面。隐爆角砾岩及其附近,裂隙密度最大,往往每米达十至数十条。这些密集的网状裂隙,构成总体上呈北东向展布的裂隙带,其可能主要起因于岩体的侵位及热流体的隐爆作用。密集的裂隙系统,不但为岩浆期后热液上升提供了通道,也为岩浆热流体与周围的天水对流循环系统打开了通道。因而它们是最重要的容矿构造。

花岗斑岩具显微斑状构造,斑晶为钾长石和石英及少量奥长石($An=29$ 左右)和黑云母。花岗闪长斑岩斑晶矿物是奥长石,石英及少量角闪石。石英正长斑岩的斑晶矿物则以正长石和钠长石为主。上述含矿斑岩的基质以显微晶质结构(如花岗斑岩)为主,但局部具半晶质结构(如玻基交织结构),使其具英安斑岩或流纹斑岩的特点。这也预示着这些斑岩是与区域火山活动有关的潜火山-斑岩小侵入体。

花岗斑岩7件样品的铷锶等时年龄为 148.3×10^6 a, 铷同位素初始比值为0.708(据李殿超, 1991年资料), 全岩 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 为2.9‰。

表1显示出,敖瑙达巴含矿斑岩具贫钙、富铝、高碱的特点。其中花岗斑岩以较低的硅和更富碱与广东的银岩含锡花岗斑岩^[2,3]相区别,而花岗闪长斑岩则以富硅、碱,贫镁、钙与江西德兴铜厂的含铜花岗闪长斑岩相区别。相比之下,本区花岗闪长斑岩与乌奴格吐山含铜二长花岗斑岩^[1]有相似的化学成分。

从石英正长斑岩经花岗闪长斑岩到花岗斑岩,轻重稀土分馏增强(图2), Ba/Rb值逐渐变小, Rb/Sr和F/Cl值逐渐增大,且三类斑岩的过渡族元素含量大致相同,表明它们之间似属同源岩浆演化的产物,相近的Cu($38 \times 10^{-6} \sim 42 \times 10^{-6}$)、Pb($30 \times 10^{-6} \sim 32 \times 10^{-6}$)、Zn($119 \times 10^{-6} \sim 342 \times 10^{-6}$)、Ag($0.019 \times 10^{-6} \sim 0.029 \times 10^{-6}$)含量,也预示它们具同源性质。

2.2 蚀变分带

2.2.1 蚀变分期 含矿斑岩及接触带围岩已蚀变得面目全非,二者间界线难以准确圈定。经过详细的野外观察、地表和钻孔大量薄片鉴定和对比,确认出蚀变矿物组合及先后顺序,将矿床蚀变主要分为早、中、晚三期。

早期蚀变:由深部岩浆房分馏出的流体相聚集于岩体上部,体系处于相对封闭状态。其初始流体属高温($>380^\circ\text{C}$),偏碱性,富HCl、HF、CO₂流体。其与斑岩及围岩发生钾交代反应,在岩体中形成钾长石

表 1 敖瑙达巴等矿床含矿斑岩化学成分 (%)
Table 1. Chemical composition of ore porphyries in Aonaodaba
and some other deposits (%)

矿床	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	灼失	总和
敖瑙达巴	石英正长斑岩	72.38	0.18	13.99	1.60	0.63	0.05	0.07	0.50	4.23	4.31	0.03	1.18	99.15
敖瑙达巴	花岗闪长斑岩	69.00	0.27	14.58	0.68	2.63	0.33	0.11	1.48	4.72	3.81	0.06	1.73	99.40
敖瑙达巴	花岗斑岩	73.88	0.19	12.77	0.48	1.62	0.16	0.10	0.98	5.40	2.95	0.03	0.61	99.17
银岩	石英斑岩	76.24	0.01	13.67	2.86	0.80	0.27	0.15	0.12	4.12	0.15	0.03	2.20	100.62
银岩	花岗斑岩	75.35	0.03	13.17	0.49	1.05	0.27	0.86	0.48	4.27	3.68	0.04	0.70	100.39
德兴铜厂	花岗闪长斑岩	62.94	0.43	15.40	2.33	2.74	2.42	0.32	4.13	3.18	3.77	0.24	1.40	99.30
乌奴格吐山	二长花岗斑岩	70.50	0.25	15.13	0.61	1.27	0.31	0.02	1.34	3.76	4.51	0.09	2.07	99.86

注: 银岩矿床据胡祥昭 (1987年) 资料^[2,3], 德兴铜厂据芮宗瑶 (1984年) 资料, 乌奴格吐山据王之田等 (1993年) 资料^[4], 其余为本文资料, 敖瑙达巴含矿斑岩三类岩石均具一定程度的钾长石化

化花岗斑岩, 近接触带的砂泥质沉积岩变成黑云母石英角岩。斑岩最顶部, 受 HCl、HF 的酸性淋滤作用, 产出富铝硅酸盐相蚀变, 形成黄玉石英交代岩和锡矿石堆积。

中期蚀变: 大量流体相聚集于斑岩顶部, 内压不断增高。当流体相的内压远超出围岩的静压力时, 引起岩体顶部爆破, 导致网脉状裂隙发育。这时体系近于开放, 地下水对流循环。压力释放的同时, 导致减压沸腾。酸性热流体 (300~380℃) 与斑岩和围岩之间发生广泛的水解反应 (氢交代) 和金属硫化物沉淀。

表 2 各类蚀变岩石的矿物组成及产出部位
Table 2. Mineral composition and localities of various altered rocks

岩石 矿物含量 矿物	矿物组成				
	黑云母石英角岩	绿帘石 绿泥石 石英交代岩	黄玉石英 交代岩	绢云母石英 交代岩	钾长石化 花岗斑岩
石英	+++	+++	+++	+++	++
钾长石	+				+++
黑云母	++		-		-
绢云母	+	+	-	+++	+
绿泥石	+	+++	-	-	
绿帘石		+			
黄玉			+++		
电气石		-	-		
萤石			+	-	
方解石		++			
高岭石			-	-	
水白云母			-	-	
产出部位	外接触带砂泥 质沉积岩中	接触带, 岩体 及围岩中	岩体顶部	岩体上部	岩体核部

注: +++含量较高 (>20%), ++含量一般 (20%~5%), +含量较少 (5%~1%); - 偶见 (≤1%)

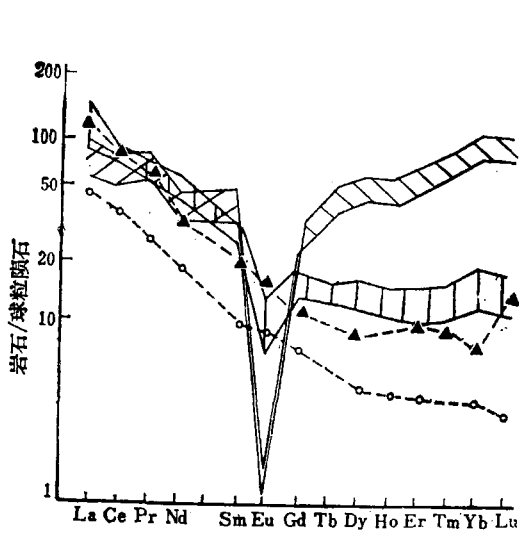


图 2 含矿斑岩稀土配分曲线

其中竖线部分为敖瑙达巴；斜线部分为广东银岩含锡斑岩 RFE 范围；三角点为德兴铜厂含铜花岗闪长岩；圆圈为乌奴格吐山含铜二长花岗斑岩。

资料来源同表 1

Fig. 2. Chondrite-normalized REE patterns of ore porphyries.

Vertical lines stand for the Aonaodaba deposit, oblique lines for the Yinyan stanniferous porphyry of Guangdong Province, solid triangles for Tongchang cupreous granodiorite of Dexing ore district, and circles for Wun-ugetushan cupreous adamellite porphyry.

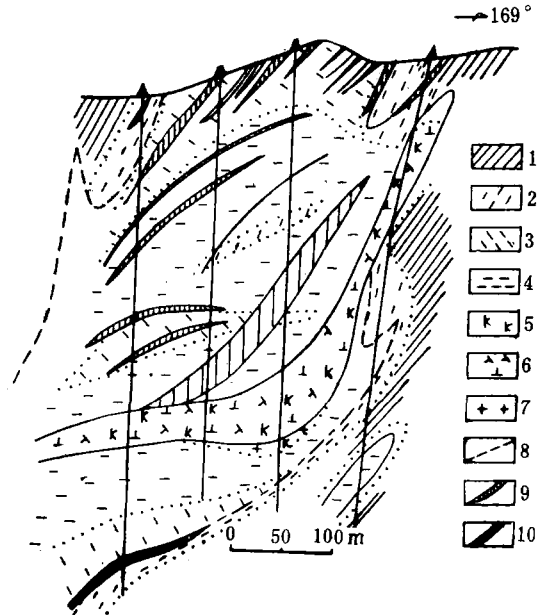


图 3 敖瑙达巴矿床 0 线地质剖面

1—黑云母石英角岩；2—绿帘石绿泥石石英交代岩；3—黄玉石英交代岩；4—绢云母石英交代岩；5—钾长石化；6—花岗闪长斑岩；7—花岗斑岩；8—花岗斑岩界线；9—银锡矿体；10—铜矿体

Fig. 3. Geological section along No. 0 exploration line of the Aonaodaba ore deposit.

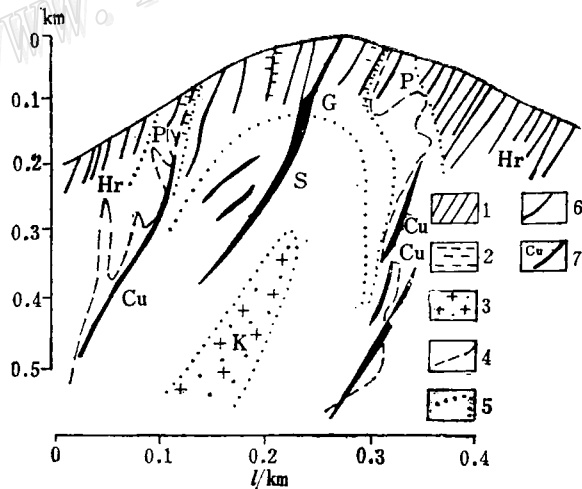
1—Biotite-quartz hornfels; 2—Epidote-chlorite-quartz metasomatite; 3—Topaz-quartz metasomatite; 4—Sericite-quartz metasomatite; 5—K-feldspathization; 6—Granodiorite porphyry; 7—Granite porphyry; 8—Boundary of granite porphyry; 9—Silver-tin orebody; 10—Copper orebody.

图 4 敖瑙达巴斑岩矿床蚀变分带模式

1—砂泥质沉积岩；2—隐爆角砾岩；3—斑岩；4—岩体边界；5—蚀变带边界；6—Ag、Sn 矿体；7—Cu 矿体；Hr—角岩化带；P—青磐岩带；G—黄玉云英岩带；S—绢英岩带；K—钾硅酸盐化带

Fig. 4. Model for alteration zoning of the Aonaodaba porphyry deposit.

1—Arenaceous and argillaceous sedimentary rocks; 2—Cryptoexplosion breccia; 3—porphyry; 4—Boundary of intrusive body; 5—Boundary of alteration zones; 6—Silver-tin orebody; 7—Copper orebody. Hr—Hornfels zone; P—Propylite zone; G—Topaz-greisen zone; S—Phyllic zone; K—Potash silicization zone.



绢英岩化和青磐岩化是这期蚀变的主要内容。前者主要形成于岩体上部,出现广泛的绢云母石英交代岩叠加于早期的钾长石化花岗斑岩和黄玉石英交代岩上;后者则主要见于接触带附近(包括一部分围岩和大部分斑岩),形成分布局限的绿帘石绿泥石石英交代岩。同时,早期的黑云母石英角岩中,部分黑云母被绢云母或绿泥石交代。

晚期蚀变:在低于 300℃的对流循环热水中,酸性介质条件下发生粘土化,中性介质条件下发生水云母化,碱性介质条件下发生碳酸盐化。斑岩中偶见的高岭石和水云母是这一期蚀变产物。青磐岩化带中出现的较多方解石也是这一期蚀变的产物。

2.2.2 蚀变岩石类型 主要有五类蚀变岩石,其矿物组成及产出部位见表 2 和图 3。

2.2.3 蚀变分带 矿床的蚀变具面型特点,主要的五类蚀变岩石之间在空间上呈渐变过渡关系。因此,根据各类蚀变岩石及蚀变矿物组合的空间分布范围,将矿床的蚀变分带模式归纳如图 4。这一模式显示出大致对称的前进中心式分带特点,即岩体中心是一厚度不大的钾硅酸盐化核,其外侧较广泛地发育着绢英岩带。岩体顶部是黄玉云英岩带,再往外在接触带附近分布着青磐岩带,最外侧是较宽的角岩化带。

3 矿床地质特征

3.1 矿化和矿体

岩体上部蚀变带(青磐岩带、黄玉云英岩带、绢英岩带)及近接触带的角岩化带中,金属硫(砷)化合物呈浸染状和细脉浸染状广泛分布,构成全岩型的面型含矿(Sn、Ag、Cu)硫(砷)化合物矿化体。钾硅酸盐化核中,仅具稀疏浸染状黄铁矿化。因此,硫(砷)化合物矿化体呈倒置钟状扣在蚀变斑岩之上。其工业矿体的边界完全依赖于采样分析圈定。

锡、银、铜矿体呈不规则脉状、透镜状或囊状体产于上述金属硫(砷)化合物矿化体中。其中,铜矿体主要赋存于岩体与围岩接触带两侧的青磐岩带,尤其是岩体上盘的青磐岩带和黄玉云英岩带过渡部位及岩体下盘的青磐岩带和角岩化带过渡部位。锡矿体主要赋存在岩体顶部的黄玉云英岩带中,其次亦见于绢英岩带中。独立的银矿体主要赋存于黄玉云英岩中,在锡矿体和铜矿体中,银有时也达工业品位。局部地段铅、锌、砷、铋达工业品位,但圈不出具一定规模的工业矿体。

地表已圈定 40 余条银、锡工业矿体,它们呈细脉带状、透镜状出现于北东走向的密集裂隙带或网状裂隙中。在隐爆角砾岩出现地段,常有矿囊出现。矿脉宽 1~3m,长 30~220m 不等。往深部,矿体逐渐变成大脉状,倾向北西,倾角 45°~70°之间。

地表铜矿体裸露较少,根据目前钻孔控制结果,主要的铜矿体大致沿岩体顶、底板接触面附近呈北东向延长(>500m),浅部以细脉带或网脉状矿体为主,往深部则有呈稳定的板状体的趋势。

3.2 矿石及金属矿物组合

矿石的组成矿物已达 50 种以上,其中脉石矿物 20 余种。金属矿物种类多,但总的含量并不高(一般占 3%~5%),以磁黄铁矿、毒砂、斜方砷铁矿、黄铁矿居多,黄铜矿、锡石、闪锌矿次之。

锡石是锡矿石主要工业矿物,有少量黝锡矿。主要的铜矿物是黄铜矿,有少量黝铜矿和斑铜矿。矿床浅部局部存在铜的次生富集带,其铜矿物以辉铜矿为主。

根据主要有用工业组分含量,分出五种矿石类型:①锡矿石。构成锡矿体的主体,主要矿物为石英、黄玉(或绢云母、绿泥石)、锡石、金红石、毒砂(或斜方砷铁矿)和磁黄铁矿;②银矿石。构成银矿体的主体,除石英、黄玉或绢云母外,主要金属矿物为毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿。主要的银矿物为自然银、辉银矿,偶见硫锑铜银矿、深红银矿、辉锑银矿、柱硫锑银矿、锑银矿等。地表氧化带以角银矿为主;③铜矿石。是铜矿体的主体。脉石矿物主要是石英、绿泥石,其次有方解石、绢云母和黄玉等。金属矿物有黄铜矿、磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿等;④银锡矿石。矿床浅部的黄玉云英岩带最常见,是上述①、②两类矿石的叠加物;⑤铜银矿石。出现在岩体接触带上的青磐岩带与两侧蚀变带过渡部位,是上述②、③两类矿石的叠加物。

在矿石中,金属矿物集合体主要呈浸染状或细脉浸染状构造,局部构成细脉、网脉或块状构造。其结

构以结晶结构、交代结构及固溶体分离结构为常见,局部发育压碎结构。压碎结构是指早世代黄铁矿、磁黄铁矿及毒砂等受力被裂解成碎屑,该结构的形成,可能和流体的隐蔽爆破作用有关。

根据矿石结构及矿物间的先后关系,本矿床的内生成矿作用大致可分成三个阶段、11个矿物组合:①锡石-石英(黄玉)-毒砂阶段。主要的矿物组合有2个:锡石+石英+黄玉(电气石),毒砂(或斜方砷铁矿)+锡石;②锡石-黄铜矿多金属硫化物阶段。有5个主要的矿物组合:锡石+石英+绢云母,磁黄铁矿(六方)+毒砂+锡石,方铅矿+黄铁矿,黄铜矿+闪锌矿+黄铁矿,黄铜矿+磁黄铁矿(六方)+黄铁矿;③银(锡)-硫化物(硫酸盐)阶段。主要的矿物组合有4个:磁黄铁矿(单斜)+黄铁矿+自然银,方铅矿+辉银矿+黄铁矿,黝锡矿+黄铁矿+辉银矿,黄铁矿+黄铜矿。

3.3 金属分带

矿床的原生金属分带十分明显,它主要表现在下列四方面:①矿床1/万地球化学测量结果,Sn($\geq 300 \times 10^{-6}$)、Ag($\geq 5 \times 10^{-6}$)、Cu($\geq 100 \times 10^{-6}$)的高异常呈北东向带状,扣合在地表斑岩体不同的蚀变带上。其中,Sn异常带长约1200m,宽100~200m,扣合于岩体顶部的黄玉云英岩带;Ag异常带长约1300m,宽150~250m,分布在黄玉云英岩带和青磐岩带,其不但与上述Sn异常重合,且略超出后者的分布范围;Cu异常则呈两个窄长条带,分布于Ag异常带外侧,扣合在岩体顶、底板的接触带上;②根据ZK 1/6钻孔32件样品的微量元素分析(据李殿超,1991年资料),主要金属组分在剖面上各蚀变带也显示出明显的分带趋势(图5)。即Sn在黄玉云英岩带含量最高,As在绢英岩带含量最高,Cu在青磐岩带和角岩化带含量最高;③依钻孔样品化学分析数据圈出的锡、银、铜工业矿体中,银矿体主要出现在岩体上部0~100m标高地段,锡矿体主要分布在0~300m标高地段,铜工业矿体主要集中在岩体顶底面附近,并位于银和锡矿体的外侧。剖面上由浅入深,矿体中Ag/Sn值逐步变小;④金属矿物组合的空间分布,同样显示出分带性。即岩体上部的黄玉云英岩带和绢英岩带主要是毒砂、磁黄铁矿和锡石,有少量自然银,近地表氧化带有角银矿;钾硅酸盐化核中仅见黄铁矿;青磐岩带及近接触带角岩化带中常见磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿。

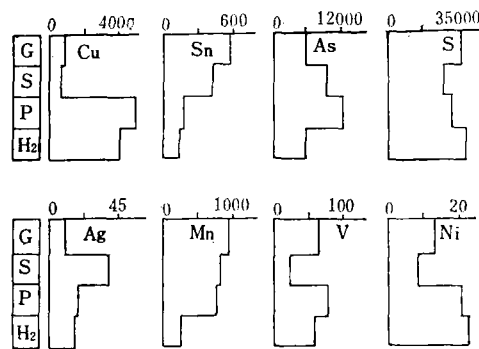


图5 ZK 1/6孔各蚀变带元素含量变化图

G—黄玉云英岩带; S—绢英岩带; P—青磐岩带; H₂—下盘角岩化带。元素含量单位为 10^{-6}

Fig. 5. Variation in element contents in various alteration zones of ZK 1/6 drill hole.

G—Topaz greisen zone; S—phyllic zone; P—Propylite zone; H₂—Footwall hornfels zone (unit: 10^{-6}).

4 成矿物理化学条件及矿床成因

4.1 温度、盐度和压力

根据27块测温片、132个数据点的统计,作出了石英、锡石、黄玉、萤石、闪锌矿等矿物中流体包裹体的均一温度直方图(图6)。该图显示出三个温度区间($380 \sim 426^\circ\text{C}$, $300 \sim 380^\circ\text{C}$, $160 \sim 280^\circ\text{C}$)。它们与前述锡石-石英(黄玉)-毒砂、锡石-黄铜矿多金属硫化物、银(锡)-硫化物(硫酸盐)等三个成矿阶段相吻合。

此外,还据其它方法对上述成矿温度进行了验证。据电子探针测定的毒砂成分(As为34.4 atm%)求得毒砂-斜方砷铁矿平衡温度为 415°C (Scott, 1976)。一对石英-锡石的氧同位素平衡温度为 342°C ,一对闪锌矿-方铅矿的硫同位素平衡温度为 349°C ,一对黄铁矿-方铅矿硫同位素平衡温度为 294°C ,上述数据均与相应的流体包裹体均一温度大致相当。X射线粉晶衍射证实,锡石-黄铜矿多金属硫化物阶段的磁黄铁矿属六方晶系,而银(锡)-硫化物(硫酸盐)阶段的磁黄铁矿属单斜晶系。六方和单斜磁黄铁矿的相转变温度为 304°C ,也证实这两个矿化阶段的均一温度值是合适的。

测定结果表明, 高温区间 (380~426℃) 的包裹体盐度为 7.5 wt%~21.3 wt% NaCl。300~380℃均一

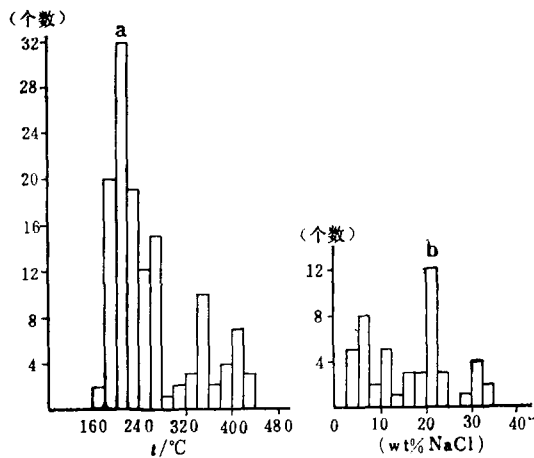


图 6 均一温度 (a) 和盐度 (b) 直方图
Fig. 6. Histogram of homogenization temperatures (a) and salinities (b) for fluid inclusions.

温度下的包裹体盐度有两种情况: 其一是出现 NaCl 子晶的 (较少), 盐度为 27.5 wt%~35 wt% NaCl; 其二是气液包裹和少量气体包裹体, 其盐度为 4 wt%~7.5 wt% NaCl。低温 (160~280℃) 包裹体的盐度为 2.5 wt%~7.5 wt% NaCl。因此, 从成矿早阶段往晚阶段, 流体的盐度随温度的降低而减小。

成矿压力是用 NaCl-H₂O 体系的 P-T-X 相图, 据已知的温度、密度近似地估计的。结果是早、中、晚三个阶段压力值分别为 210 × 10⁵~350 × 10⁵ Pa、150 × 10⁵~230 × 10⁵ Pa、<170 × 10⁵ Pa。由于岩体顶部裂隙密集, 体系近于开放系统, 上述压力值近似于静水压力。如果考虑到岩压, 据围岩地层厚度推算, 成矿深度为 0.8~1.8 km, 即 210 × 10⁵~450 × 10⁵ Pa 可能较为接近客观实际。

采用尼库林 (1981) 公式, 根据锡石中 In 含量 (29 × 10⁻⁶), 估计成矿深度为 1.8 km。因此, 敖瑙达巴矿床类似于高位陆上环境的潜火山-斑岩型矿床 (Sillitoe, 1975; Spooner, 1981; Guibert and

Park, 1986), 而不是深成环境下的斑岩矿床。

4.2 氧逸度、硫逸度和酸度

依据 Fe-As-S 体系实验结果 (Scott, 1976), 估计毒砂 + 斜方砷铁矿 + 磁黄铁矿 (即早期成矿阶段) 共生组合的 f_{S_2} 约为 10^{-6.3}~10^{-3.6} Pa, 据黄铁矿-磁黄铁矿平衡 (张立豫, 1984), 估计锡石-黄铜矿多金属硫化物阶段 $f_{S_2} = 10^{-5.5}$ ~10^{-2.8} Pa, 而在成矿晚期阶段, 其 f_{S_2} 可能还会增高。

采用 Barners (1979) 关于锡石、黄锡矿和其它锡硫化物的 $\lg f_{S_2} \sim \lg f_{O_2}$ 稳定域相图, 在已知 f_{S_2} 情况下, 估计从早到晚三个成矿阶段的 f_{O_2} 分别为 10⁻²⁶~10⁻²⁴ Pa、10⁻³⁰~10⁻²⁷ Pa、10⁻³⁰ Pa 左右。

表 3 锡石的包裹体成分分析

Table 3. Gas and liquid compositions of fluid inclusions in cassiterite

液相成分 (μg/10 g)							气相成分 (μg/g)					
Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₂	H ₂ O	II ₂	N ₂	CH ₄	CO
7.13	2.14	0.18	0.25	0.68	2.67	25.80	26.26	504.36	0.25	1.46	3.34	2.28
Na ⁺ /K ⁺	Na ⁺ /(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)	F ⁻ /Cl ⁻	CO ₂ /H ₂ O	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻	pH	Eh	f _{O₂} (Pa)	f _{CO₂} (Pa)	R (还原参数)			
5.65	20.78	0.48	0.02	0.28	5.7	-0.51	10 ^{-30.7}	10 ^{-5.9}	0.70			

锡石的包裹体成分分析表明 (表 3), 在早期成矿阶段, 流体属 Na⁺(K⁺)-SO₄²⁻-Cl⁻ 体系。其 Na⁺/K⁺ 高达 5.65, 这与我国大多数锡矿床 (包括斑岩锡矿) 类似, 而与斑岩铜矿有较大差别; Cl⁻/SO₄²⁻ 低达 0.28, 与我国大多数锡矿床 (包括斑岩锡矿) 相去甚远, 而与斑岩铜矿有一定相似性。

依据包体成分和已知均一温度及压力, 进行热力学计算, 求得 f_{O_2} 为 10^{-30.7} Pa, Eh 为 -0.51 eV, pH 为 5.7 (弱酸性)。

因此, 成矿物理化学条件的估计结果, 说明敖瑙达巴矿床既不同于银岩等斑岩锡矿床, 也不同于铜厂

等斑岩铜矿床。其早期流体相以较高的温度、氧逸度和硫逸度场和银岩斑岩锡矿相区别,又以较低的温度、氧逸度和硫逸度场与铜厂等斑岩铜矿相区别,而且这三种矿床流体中 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 的相对含量也存在着较大的差别。这大概是由于银岩、敖瑙达巴、铜厂三类含矿斑岩来源于不同成因花岗岩浆,从而分馏出不同性质的成矿流体的缘故。

4.3 成矿物质来源的讨论

4.3.1 成矿介质水 两件与锡石共生的石英样品 $\delta^{18}\text{O}$ 为10.2‰和10.3‰(SMOW),一件锡石的 $\delta^{18}\text{O}$ 为0.4‰。求得与石英、锡石平衡的流体水的 $\delta^{18}\text{O}$ 为2.6‰~2.7‰。一件晚期成矿阶段石英的包裹体水的 $\delta\text{D} = -125\text{‰}$,与其平衡的介质水 $\delta^{18}\text{O} = -2.3\text{‰}$ 。矿床中花岗斑岩全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为2.9‰。

上述数据表明,锡成矿时,热液中的水属再平衡岩浆水,银多金属成矿主要与大气降水有关。这种成矿早阶段到晚阶段,流体中雨水不断渗入的趋势,表明锡石-黄铜矿多金属硫化物阶段的流体中介质水可能属岩浆混合大气降水。

与成矿有关的斑岩体上部,裂隙非常发育,由此所造成的压力差,以及深部岩浆房不断提供的热,造成地下水与岩浆热流体的对流循环,从而导致矿床中存在一个环带状的面型蚀变和金属分带。

4.3.2 成矿物质来源 七件闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化于-6.2‰~3.0‰(CDT)。硫同位素数据呈塔式分布,峰值在1.0‰~1.7‰之间,暗示硫主要来自深部岩浆。两件方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相差大(-0.8‰和-6.2‰),前者来自深部的铜矿石,成矿温度349℃,后者来自近地表的接触带附近的银矿石中,成矿温度低。由于成矿温度的差异,导致低温矿石贫重硫,这种在顺向分带的硫化物矿床中,深部矿石富 $\delta^{34}\text{S}$,浅部矿石贫 $\delta^{34}\text{S}$ 的现象,在研究区的其它矿床中是屡见不鲜的。

五件矿石铅同位素组成(黄铁矿两件、磁黄铁矿两件、方铅矿一件)比较均一,其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于18.231~18.568, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于15.391~15.591, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于37.510~38.271之间, μ 值介于8.69~9.26之间,方铅矿的单阶段模式年龄 $157 \times 10^6 \text{ a}$ 。反映其形成于燕山期,铅多属深部来源(接近于地幔),有部分造山带铅。

4.4 关于流体沸腾

在流体包裹体研究中,发现矿床中存在沸腾包裹体。这些沸腾包裹体主要在岩体上部的黄玉云英岩带或绢英岩带的局部,尤其在隐爆角砾岩附近,沸腾包裹体较发育。其特征是同时出现富液相的气液包裹体和富气相的气体包裹体及少量含 NaCl 子晶的多相包裹体共存于一块薄片。这三类包裹体的均一温度都在300~380℃之间,但盐度变化极大(27.5 wt%~35 wt% NaCl 和4 wt%~7.5 wt% NaCl)。据沸腾曲线(Hass, 1971),沸腾时,流体水压为 $60 \times 10^5 \sim 180 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。这表明在锡石-黄铜矿多金属硫化物阶段,流体上升到岩体上部时,压力由 $210 \times 10^5 \sim 450 \times 10^5 \text{ Pa}$ 骤降至 $60 \times 10^5 \sim 180 \times 10^5 \text{ Pa}$,流体发生沸腾。岩体顶部密集的裂隙,是压力释放的原因。减压沸腾,使大量气相外逸,流体分凝,导致金属矿物的富集,从而形成富硫化物矿石堆积。

据多处采样磨片的观测,发现在沸腾面附近或沸腾面之下常有锡矿体出现。由于沸腾对成矿的积极贡献,所以在本矿床中测定和发现沸腾包裹体,对寻找盲矿体是一种十分有效的办法。

5 结论与讨论

(1) 矿床成矿与晚侏罗世火山-浅成岩浆侵入有成因联系。晚侏罗世火山旋回末期的中-酸性岩浆演化,导致沿区域北东向构造上侵入到距地表1 km左右的花岗斑岩、花岗闪长斑岩和石英正长斑岩等潜火山-斑岩小侵入体。伴随岩浆侵入的多期热液对流,形成了以岩体为中心的前进式对称蚀变分带。

(2) 蚀变和成矿过程是一个降温、降压、盐度减小、氧逸度降低、硫逸度升高的过程(图7)。在这个过程中,不但热液与围岩的交代反应产物(蚀变岩)围绕斑岩柱呈带状分布,相应的矿石堆积、金属组合也围绕斑岩柱呈带状分布。

(3) 笔者曾指出(张德全, 1991),我国存在着两类斑岩型锡矿床:其一如广东的银岩;其二如本区的敖瑙达巴。两者不但在产出的构造背景、岩浆岩组合和岩浆起源上有较大差别;而且在蚀变分带、金属组

合等方面更存在较大差异。前者是产于古老基底出露的隆起区、与陆壳起源的深成侵入大花岗岩基旁侧的小斑岩株有关,其青磐岩化带极不发育,为斑岩型锡(钨、铜)矿床;而敖瑙达巴矿床则是产于陆相火山岩区,与火山岩同源高位陆上环境的潜火山-斑岩型锡多金属矿床,其不但发育青磐岩带,而且有特殊的金属组合——锡、银、铜(铅锌)。因而,它与玻利维亚的斑岩型锡矿床颇为相似(Sillitoe, 1975; Cunningham等, 1991)^[4,5]。

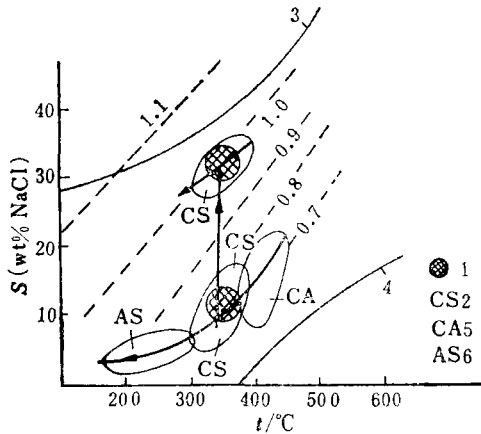


图7 成矿流体的温度-盐度-密度演化
1—流体沸腾; 2—锡石-黄铜矿多金属硫化物;
3—NaCl饱和曲线; 4—NaCl-H₂O临界曲线;
5—锡石-石英-毒砂; 6—银(锡)-硫化物(硫盐)。虚线为密度等值线(g/cm³),粗黑线示流体演化路线

Fig. 7. Temperature-salinity-density evolution of ore fluids.

1—Fluid boiling; 2—Cassiterite-chalcopyrite polymetallic sulfides; 3—NaCl saturation curve; 4—NaCl-H₂O critical curve; 5—Cassiterite-quartz-arsenopyrite stage; 6—Silver(tin)-sulfide(sulfosalt)stage. Broken lines indicate density isolines (g/cm³), and thick solid lines represent evolution of ore fluids.

正因为如此,敖瑙达巴斑岩型锡多金属矿床既不同于大多由幔源岩浆衍生物所形成的斑岩铜矿,也不同于大多由地壳重熔岩浆衍生物形成的斑岩型锡(钨、钼)矿床。它是分布于过渡性地壳上的、由起源于下地壳—上地幔的过渡性岩浆的衍生物形成的斑岩型锡银铜矿床。

内蒙古地矿局115地质队和第三地质大队为本文的野外地质工作提供了大量的支持和帮助。王大畏总工、傅先政总工以及鲍修坡、高作礼、马振美等同志不但为本项研究的野外和室内工作提供了无私的帮助,而且与笔者进行过多次有益的研讨,使本文得以完成。笔者谨以拙文向他们表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- 1 王之田等,乌奴格吐山下壳源斑岩铜钼矿床地质地球化学特征与成矿物质来源,矿床地质,1988,7(1): 3~15
- 2 胡祥昭,银岩含锡花岗岩斑岩的岩石化学和地球化学特征,地质与勘探,1987,(10): 22~26
- 3 关勋凡等,银岩斑岩锡矿——中国锡矿床的一种新类型,地质学报,1985,(2): 155~161
- 4 Sillitoe, R. H. et al. Porphyry tin deposits in Bolivia. Econ. Geol. 1975, 70(5): 913~927
- 5 Cunningham, C. G. et al. A model of volcanic dome-hosted precious metal deposits in Bolivia. Econ. Geol. 1991, 86(2): 415~421

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE AONAODABA PORPHYRY TIN-POLYMETALLIC DEPOSIT

Zhang Dequan

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Abstract

The Aonaodaba ore deposit occurring in the Mesozoic faulted upwarping area 4 km from the Late Jurassic volcanic basin is a tin-silver-copper porphyry deposit discovered for the first time in North China. The ore porphyry is mainly granite porphyry (148 Ma, $I_{st}=0.708$). The potassic-silicate alteration

core, phyllic zone, topaz greisen zone, propylite zone and hornfels zone constitute an approximately symmetrical progressive and central type alteration zoning in this deposit. Economic tin, tin-silver and copper orebodies are seen respectively in the upper part, the top and the margin (near the contact zone) of the porphyry body. Studies show that the Aonaodaba deposit is a subvolcanic-porphyry tin-polymetallic deposit formed in a high-level continental environment. Genetically, it is different not only from porphyry copper deposits but from the Yinyan porphyry tin deposit of Guangdong Province as well.

消息报道

全国金属矿床同位素地球化学学术讨论会 在合肥召开

由中国地质学会同位素地质专业委员会、矿床地质专业委员会, 中国矿物、岩石、地球化学学会同位素地球化学委员会、矿床地球化学委员会, 以及中国科学技术大学地球与空间科学系联合举办的“全国金属矿床同位素地球化学学术讨论会”于1992年10月12日至15日在合肥市中国科学技术大学召开。这次讨论会是继1989年“第四届全国同位素地质年代学和同位素地球化学学术讨论会”之后, 对国内金属矿床同位素研究所取得成果的一次较为全面的展示。参加这次讨论会的代表为95人, 来自地质矿产部、中国科学院、能源部、中国有色金属总公司、冶金部、国家教委、国家海洋局、国家地震局和化工部等部门的各个研究所、院校、地质队和出版单位, 还有正在国外从事博士后研究的中国学者。大会共提交论文70篇, 涉及到五个方面的内容:

1. 对各种有色金属和贵金属矿床以及成矿带进行综合同位素研究所取得的大量成果;
2. 将新方法(如硅同位素方法、Re-Os法、水锆石铀铅法)用于矿床形成时代及物质来源研究取得的新成果;
3. 开展同位素分馏机制研究, 用以解决成岩成矿有关问题的研究成果;
4. 应用同位素方法开展找矿评价研究取得的进展;
5. 在盐湖、地热等方面进行同位素研究获得的新资料。

在会上除了交流研究成果外, 还对有关矿床同位素地质年代学研究和铅同位素地质应用研究有关问题进行了专题讨论。此外, 还组织了“稳定同位素地球化学进展”的讲座。会议的内容十分广泛但又有重点, 形式比较灵活。

根据会议的情况来看, 近年来我国矿床同位素地质研究有明显进展, 有些成果在理论上和测试技术上已达到国际先进水平, 有些成果提出了新的思路 and 观点。事实表明, 我国同位素研究在矿床领域已经取得了丰硕成果, 为国民经济建设做出了应有的贡献。通过会上会下的交流磋商, 代表们感到对矿床同位素地质研究的现状有了较清楚的了解, 对今后研究的方向也有了较清楚的认识。

(丁悌平供稿)