

内蒙古安乐锡铜矿床地质特征及成因

王国政

(华北有色地勘局普查队,三河燕郊)

提 要: 论述了安乐锡铜矿床的矿体、矿化分带、稀土元素、稳定同位素等地质特征,探讨了矿床成因,确定锡的物质来源具有双重性:重稀土富集型锡石与花岗斑岩同源;轻稀土富集型锡石与次火山岩脉同源。矿床属燕山早期晚阶段构造动力一次火山岩浆—花岗岩浆同步一体成矿形成的中高温热液矿床。

主题词: 热液锡铜矿床 地质特征 内蒙古安乐

1 成矿地质背景

安乐锡铜矿床位于内蒙古克什克腾旗境内,产于黄岗-甘珠尔庙锡多金属成矿带南西段,大地构造位置属南兴安岭晚华力西褶皱带黄岗-甘珠尔庙复背斜南西段之北西翼。地槽中发育的早二叠世海相火山-沉积建造和晚二叠世泻湖、湖相碎屑岩建造是区内锡多金属矿床的主要围岩,早、晚二叠世锡的丰度值分别为 2.45×10^{-6} 和 2.53×10^{-6} ^①,不可能是锡矿的矿源层。侏罗纪强烈的构造、火山、岩浆活动,区域上出现了一系列北东向展布的断隆和断陷带,并形成了丰富的锡多金矿产。安乐锡铜矿床分布于断隆与断陷的接壤地段。矿区地层为上二叠统林西组砂、板岩和上侏罗统满克头鄂博组中酸性火山岩,区内断裂构造发育,花岗岩类岩石广泛分布(图1)。

1.1 赋矿围岩

矿区出露主要地层为上二叠统林西组。该层亦是赋矿主岩,岩性为一套轻变质的细碎屑岩系,厚度810~1000 m,地层相变不明显,可划分为两个岩性段:下段为灰黑色粉砂质板岩夹薄层细砂岩、粉砂岩及碳质板岩;上段为灰色凝灰质粉砂岩夹薄层粉砂质板岩及粉砂岩。

林西组具有不同程度的矿化蚀变现象,通过对35件定量光谱分析表明,成矿元素含量可分正常和异常两部分:前者代表了地层的正常丰度,其平均值较低, $\text{Sn} \leq 3.0 \times 10^{-8}$, $\text{Cu} \leq 10 \times 10^{-6}$, $\text{Ag} \leq 0.1 \times 10^{-6}$;后者反映的是元素的后生地球化学特征,其平均值较高。

对岩石稀土元素分析(2件样)说明,林西组稀土元素组成特征, ΣREE 为 $203.71 \times 10^{-6} \sim 205.01 \times 10^{-6}$, $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y}$ 为 $3.24 \sim 3.26$, δEu 为 $0.54 \sim 0.67$,属轻稀土富集型,略具铈负异常,接近于1962年维氏地壳克拉元值(ΣREE 为 207×10^{-6} , $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y}$ 为 2.93 , δEu 为 0.54),反映林西组为典型沉积岩。

王国政,男,1959年生,工程师,从事地质矿产勘查及科研工作。邮政编码:101601

1996-09-06收稿,1997-03-31 修改回

① 徐景等,1990,内蒙古东部锡多金属找矿远景研究(“七五”攻关科研资料)

1.2 侵入岩与成矿关系

区内出露的侵入岩体有闪长岩脉、花岗闪长岩体、钾长花岗岩体、花岗斑岩体及花岗岩脉。研究表明,与成矿关系密切的侵入体为花岗斑岩体,分布于矿区中部北东向断裂带上,出露面积0.04 km²,其边缘具有不同程度的绿泥石化、硅化等蚀变现象。根据物探资料推测,该岩体为半稳伏状花岗斑岩体,形态呈椭圆形,长轴方向与北东向断裂一致,面积约 5~6 km²。

区测资料认为花岗闪长岩是华力西期侵入体,钾长花岗岩属燕山早期产物。桂林矿产地质研究院同位素地质研究室测定闪长岩脉(1件样)K-Ar 法年龄值为(201.34±8.34)×10⁶ a,安乐锡铜矿床成矿时代为燕山早期晚阶段,因此,它们均为成矿前侵入体。花岗斑岩全岩样品由

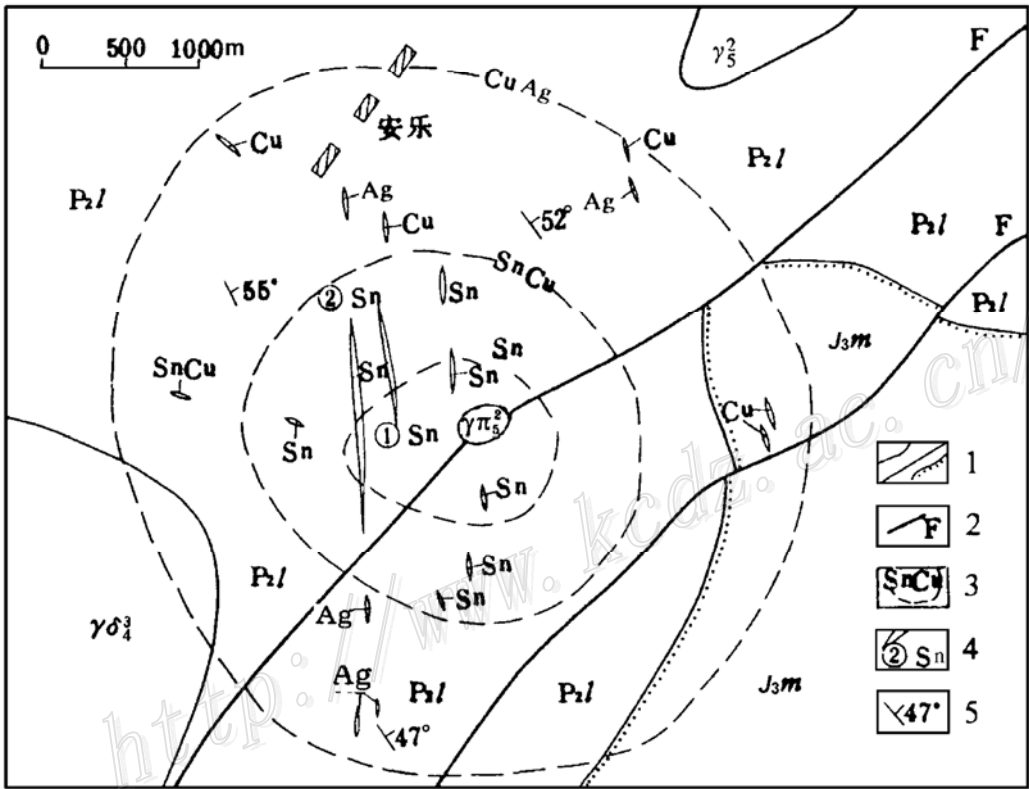


图1 安乐锡铜矿床地质略图

J_{3m}—上侏罗统满克头鄂博组;P_{2l}—上二叠统林西组;γπ₅—燕山早期花岗斑岩;γ₅—燕山早期钾长花岗岩;γδ₄—华力西晚期花岗闪长岩;1—地质界线及不整合界线;2—断裂;3—矿化分带界线;4—矿脉及编号;5—地层产状

Fig. 1. Geological sketch map of the Anle tin-copper deposit.

J_{3m}—Upper Jurassic Manktuo Obo Formation;P_{2l}—Upper Permian Linxi Formation;γπ₅—Early Yanshanian granite porphyry;γ₅—Early Yanshanian K-feldspar granite;γδ₄—Late Variscan granodiorite;1—Geological boundary and unconformity;2—Fault;3—Boundary of mineralized zone;4—Ore vein and serial number;5—Attitude of strata.

冶金部地质研究所同位素地质研究室进行 Rb-Sr 同位素分析,5件样品的分析数据拟合出一条较好的等时线,分别满足一元回归方程 $y=8.7817\pm0.0019x$, 其年龄值为 $(134.2\pm20.7)\times10^5\text{a}$, 初始 $(^{37}\text{Sr}/^{36}\text{Sr})_i$ 值为 0.7018 ± 0.0040 , 比上地幔的超铁镁质岩的0.703略低, 岩浆来源无疑应为上地幔, 形成于燕山早期晚阶段。

内蒙古黄岗-甘珠尔庙锡多金属成矿带钨锡花岗岩系列岩石含 Sn $13\times10^{-6}\sim24\times10^{-6}$,

$DI>90\%$ ， A/CNK 为 $0.851\sim1.076$ ， K_2O/Na_2O 为 $1.14\sim1.83^{[1]}$ 。与本区侵入岩化学成分（表1）及成矿元素含量（表2）对比研究表明，花岗斑岩成矿元素含量较高，相当于矿区其它岩石的 $1\sim3$ 倍，含 Sn 高达 17.6×10^{-6} ，岩石化学参数亦与区域钨锡花岗岩一致，属富硅钾而贫钙镁的铝过饱和系列岩石，是成矿物质的重要来源之一。

侵入岩稀土元素地球化学特征显示^[2]，钾长花岗岩属上地壳型花岗岩，与二叠系有一定的成因关系；闪长岩、花岗闪长岩属下地壳型花岗岩，与区域铅锌成矿作用有关；花岗斑岩（3件样）稀土元素含量偏低， ΣREE 为 $119.49\times10^{-6}\sim151.73\times10^{-6}$ ，钕强烈亏损， δEu 为 $0.04\sim0.13$ ，轻重稀土元素无明显富集， $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 为 $0.43\sim0.98$ ，稀土元素配合模式曲线呈近水平的“V”型（图2），应属与钨、锡、铋、钽矿化有成因联系的分异型花岗岩^[3]。

表 1 安乐锡铜矿区侵入岩化学成分

Table. 1. Chemical composition of intrusive rocks in the Anle tin-copper deposit															
岩石名称	样品数	化 学 成 分 (%)												A CNK	K ₂ O Na ₂ O
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	DI		
钾长花岗岩	1	75.00	0.12	12.65	0.90	1.29	0.08	0.00	0.00	5.26	4.80	0.03	94	0.93	0.91
花岗斑岩	2	76.40	0.05	12.15	0.86	1.48	0.02	0.02	0.20	3.72	4.52	0.04	94	1.07	1.21
花岗闪长岩	5	67.50	0.51	15.92	1.09	2.78	0.08	1.25	2.19	4.86	2.05	0.15	76	0.98	0.42
闪长岩	3	62.00	1.08	15.95	2.01	3.95	0.72	2.30	3.90	3.88	2.68	0.35	64	0.97	0.69

注：华北地勘局燕郊中心实验室分析

矿化围绕半隐伏花岗斑岩体呈水平环带状分布，显然半隐伏岩浆期后热液所携带的矿质及岩浆热力作用是导致环带状矿化形成的根本因素。最年轻的赋矿围岩上侏罗统火山岩矿化蚀变较普遍，反映成矿与花岗斑岩同期，且成矿略晚。

1.3 火山、次火山岩与成矿

矿区酸性次火山岩脉主要沿侏罗纪火山盆地边缘呈北北西向分布，岩石类型有英安斑岩、流纹斑岩、二长斑岩、霏细斑岩等，空间上即独立分布于火山岩中，亦与浅成花岗岩脉伴生于林西组砂、板岩中。

矿区东部侏罗纪火山盆地中，大面积出露满克头鄂博组中酸性火山岩，从下到上为安山质角砾凝灰熔岩、安山质凝灰角砾岩、安山岩；流纹质角砾凝灰熔岩、流纹质凝灰角砾岩、流纹质凝灰熔岩，流纹质凝灰岩等。

矿区为含角砾流纹斑岩（1件样）与安山质凝灰角砾岩（1件样）具有相近的稀土元素组成特征， ΣREE 为 $133.54\times10^{-6}\sim181.27\times10^{-6}$ ， $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 为 $2.80\sim3.5$ ，模式曲线总体基本吻合（图2），仅 δEu 差别较大，分别为 0.16 和 0.80 ，显然是次火山岩经进一步的分异，导致钕亏损。因此，矿区次火山岩脉与中酸性火山岩同源，它们与轻稀土富集型锡石的稀土组成特

表 2 安乐锡铜矿区侵入体主要成矿元素含量
Table. 2. Contents of major ore-forming elements in intrusives of the Anle tin-copper deposit

岩石名称	样品数	成矿元素含量 (10^{-6})				
		Sn	Cu	Pb	Zn	Ag
钾长花岗岩	5	6.50	80.3	36.7	75.4	0.32
花岗斑岩	3	17.6	111.4	89.2	221.7	0.34
花岗闪长岩	4	9.7	132.0	50.0	143.0	0.15
闪长岩	1	6.6	76.0	27.0	203.7	0.13

注：华北地勘局燕郊中心实验室分析

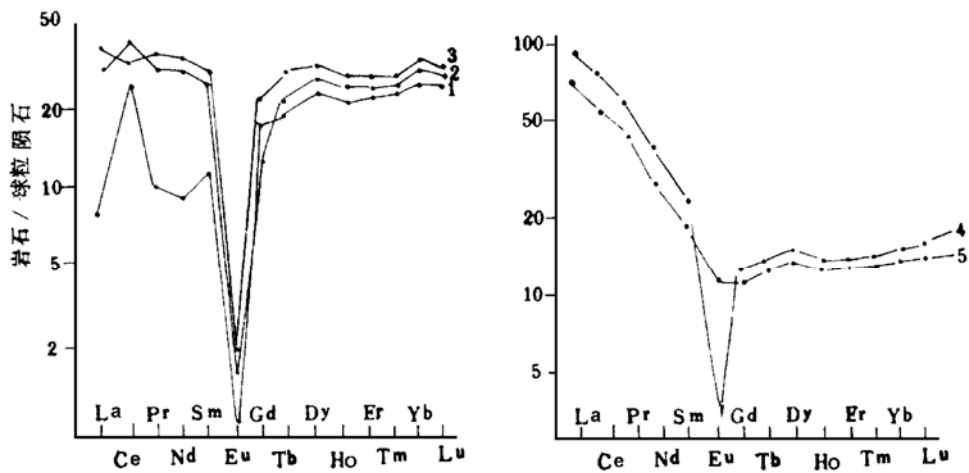


图2 安乐矿床岩石 REE 配分模式
1~3—花岗斑岩；4—含角砾流纹斑岩；5—安山质凝灰角砾岩

Fig. 2. Chondrite-normalized REE patterns of rocks from the Anle tin-copper deposit.
1~3—Granite porphyry; 4—Breccia-bearing rhyolite porphyry; 5—Andesitic tuff breccia.

征一致，显示来自同一岩浆源。

桂林矿产地质研究院同位素地质研究室测定次火山岩含角砾英安斑岩、含角砾流纹斑岩和火山岩流纹质角砾熔岩的 K-Ar 法年龄值分别为 $(147.3 \pm 3.13) \times 10^6$ a、 $(122.84 \pm 3.81) \times 10^6$ a、 $(137.05 \pm 3.20) \times 10^6$ a，它们同属燕山早期晚阶段范畴，成矿略晚于次火山岩。

矿体与次火山岩在空间上紧密共生，亦沿侏罗纪火山盆地边缘分布，断裂构造、次火山岩脉发育地段，矿化蚀变相对增强。次火山岩中成矿元素含量较高，2件岩石定量光谱分析表明，二长斑岩含 $\text{Sn } 24 \times 10^{-6} \sim 26 \times 10^{-6}$ ， $\text{Cu } 31 \times 10^{-6} \sim 77 \times 10^{-6}$ ， $\text{Ag } 0.32 \times 10^{-6} \sim 0.33 \times 10^{-6}$ 。霏细斑岩中分布细脉浸染状锡铜矿化，局部次火山岩本身构成矿体。因此次火山活动与成矿作用息息相关。

1.4 控矿构造

矿区上二叠统林西组为走向北西，倾向北东的单斜岩层，位于区域地层走向出现北东—北西—北东的局部构造扭曲部位，区内断裂构造发育。

(1) 区域断裂构造：区域北东向断裂构造明显地控制着岩体及矿床（点）的分布，与区域近东西向断裂的交汇部位控矿更加明显。安乐锡铜矿床受区域北东向和东西向断裂所控制。

(2) 矿区断裂构造：矿区北东向断裂构造规模较大，应属次级控岩控矿构造，与区域北东向断裂构造走向基本一致。断裂带上有硅化、绿泥石化等蚀变现象，与成矿有成因联系的花岗斑岩体及次火山岩脉均沿断裂分布。

(3) 矿体定位组合构造：北西西（走向 $280^{\circ} \sim 290^{\circ}$ ）向和北北西（走向 $330^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ）向断裂为储矿构造，直接控制了矿体的规模、形态及产状，亦控制了酸性次火山岩脉的分布。北西西向断裂为张扭性，规模小，未形成具工业价值的矿体；北北西向断裂为压扭性，构成明显的几乎平行的压扭性剪切带，从而形成矿体大致相互平行、舒缓波状、走向北北西、倾向变化较大的总体产出特征。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

矿床由37条矿脉组成,其中1号、2号矿体规模最大,均分布在林西组粉砂质板岩中。依产状分二组:①北西西组矿脉数量少,分布稀疏,不具开采价值。矿脉走向 $103^{\circ}\sim117^{\circ}$,长 $50\sim80\text{ m}$,厚 $0.47\sim1.82\text{ m}$,矿体品位, $\text{Sn } 0.30\times10^{-2}\sim0.47\times10^{-2}$, $\text{Cu } 0.10\times10^{-2}\sim0.50\times10^{-2}$;②北北西组矿脉走向 $350^{\circ}\sim355^{\circ}$,长 $350\sim1400\text{ m}$,厚 $0.80\sim2.50\text{ m}$,延深 $100\sim250\text{ m}$ 。主要矿体平均品位, $\text{Sn } 0.34\times10^{-2}\sim1.63\times10^{-2}$, $\text{Cu } 0.10\times10^{-2}\sim0.74\times10^{-2}$,矿脉具有大致等距离平行展布的特征。2号矿脉为主矿体,锡铜金属量分别占矿区锡铜总金属量的82.67%和89.51%,长 1400 m ,平均厚 2.19 m ,最大控制延深 250 m 。

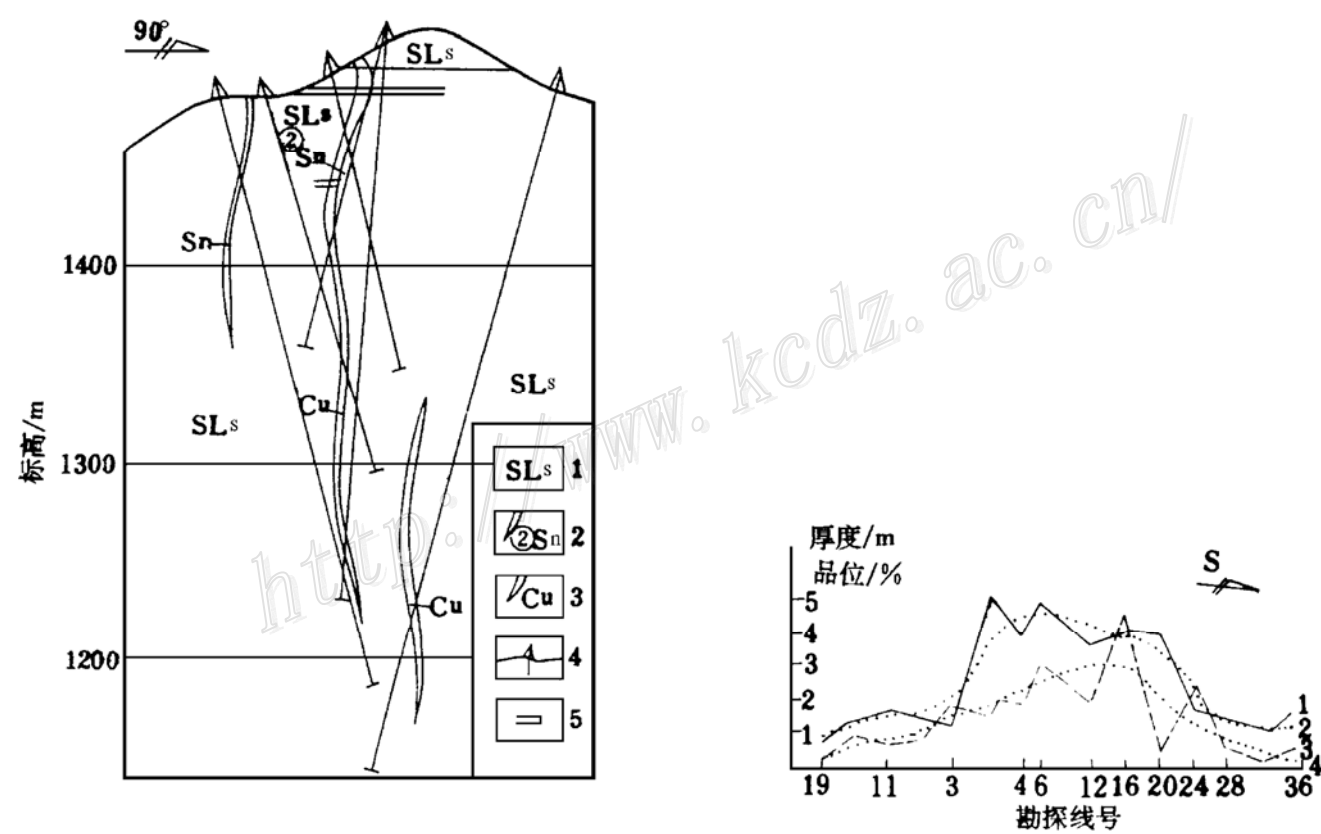


图3 安乐矿床16线剖面图(左图)

1—粉砂质板岩;2—锡矿体及编号;3—铜矿体;4—钻孔;5—穿脉坑道

Fig. 3. Geological section along No. 16 line of the Anle tin-copper deposit(left).

1—Silty slate;2—Tin orebody and serial number;3—Copper orebody;4—Drill hole;5—Ort.

图4 安乐矿床2号矿体品位厚度水平变化曲线图(右图)

1—矿体厚度变化曲线;2—矿体厚度变化趋势;3—矿体锡品位变化曲线;4—矿体锡品位变化趋势

Fig. 4. Horizontal variation of grade and thickness of No. 2 orebody in the Anle tin-copper deposit(right).

1—Variation of thickness;2—Variation trend of thickness;3—Variation of tin grade;4—Variation trend of tin grade.

矿体多呈规则脉状,局部呈扁豆状、透镜状,无论平面上还是剖面上均呈舒缓波状展布

(图3),并具有膨缩和分枝复合现象。矿脉倾向变化较大,具有一定的变化规律,如2号矿脉北段总体向南西陡倾,中段近直立,南段向北东陡倾,但较北段略缓,构成明显的“S”形扭曲面。矿脉中段为该“S”型构造的枢纽部位,其矿体厚度明显增大,锡铜含量增高(图4)。显然,这是构造动力持续作用的结果。

2.2 矿石特征

(1) 矿石矿物成分:矿石矿物成分较复杂,已发现矿物30余种,主要矿物有锡石、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、胶状黄铁矿和白铁矿。次要矿物有黄锡矿、黑钨矿、白钨矿、钨铁矿、闪锌矿、方铅矿、自然铋、硫银铋矿、银黝铜矿、块状硫铋银矿、硒(硫)铜银矿。脉石矿物比较简单,主要脉石矿物有石英、黑云母、绿泥石、方解石,次为斜长石、角闪石、绢云母、绿帘石、萤石、锆石。主要氧化物有褐铁矿、孔雀石、铜蓝、蓝铜矿,次为蓝辉铜矿、斑铜矿、赤铁矿、磁铁矿。垂向分带特征明显,从地表到深部为锡石+含钨矿物→锡石+金属硫化物→金属硫化物+含银矿物,反映成矿物理化学环境由高温氧化环境向低温还原环境演化。

(2) 矿石结构构造:矿石结构有自形—半自形—他形粒状、压碎充填、交代熔蚀、包含及嵌晶等结构。矿石构造有块状、致密块状、浸染状、细脉状、角砾状及蜂窝状等构造。矿石类型主要有锡矿石、锡铜矿石及铜矿石等类型。

2.3 成矿阶段

在野外调研、岩矿鉴定、包裹体测温研究的基础上,将矿床成矿过程划分为热液期和表生期。热液期主要有三个成矿阶段:①锡石-石英阶段:为热液活动的早期阶段,以高温锡石+石英+含钨矿物组合为特征。矿石类型以锡矿石为主,局部可形成富锡矿脉;②锡石-石英-硫化物阶段:是本矿床最重要的成矿阶段,形成锡铜矿石,以中高温矿物组合为特征,即锡石+石英+黄铁矿+黄铜矿+毒砂;③石英-硫化物阶段:是热液晚期铜银成矿阶段,形成铜银矿石,以中低温矿物组合为特征,即黄铁矿+黄铜矿+毒砂+绿泥石+石英和黄铁矿+黄铜矿+石英+含银矿物。

2.4 围岩蚀变特征

矿体的围岩有粉砂质板岩、凝灰质粉砂岩和少量中酸性火山岩。围岩蚀变以硅化、黄铁矿化、黑云母化、绿泥石化、碳酸盐化为主,绿帘石化、阳起石化、绢云母化、高岭土化次之。蚀变呈线状展布,宽窄不一,形态不规则,一般宽2~10 m。矿体上盘围岩蚀变较强。蚀变分带性不明显,多相互叠加,在断裂构造、次火山岩脉发育地段,蚀变相对增强。成矿期热液蚀变主要与锡铜矿化相伴生,石英呈不规则团块状、细脉状和网脉状产出,含金属矿物包裹体,多与绿泥石共生。绿泥石呈纤维状、叶片状集合体成不规则团块状不均匀分布在石英颗粒间,常见残留黑云母。黑云母呈不规则状、片状集合体或假六方板状、短柱状集合体分布于石英颗粒间或呈残留体存在于石英脉中,部分黑云母细脉充填于含矿破碎带中。黄铁矿多呈细脉状或网脉状产出,部分与黄铜矿共生,在地表氧化为褐铁矿。方解石呈团块状或细脉状产出。

2.5 矿化分带特征

区域性铅锌矿化较普遍,但强度低,仅形成小规模矿体。矿区锡铜成矿作用与构造运动—火山、次火山活动—花岗斑岩侵入时间上相近,空间上相互依存,显示出特定的分布格局。矿体沿侏罗纪火山盆地边缘产出,矿化宏观上受半隐伏花岗斑岩体制约,自内向外具有

Sn—Sn、Cu—Cu、Ag 的环状水平分带特征（图1）。由地表向深部亦具有 Sn—Sn、Cu—Cu、Ag 的逆向垂向分带特征（表3）。

（1）Sn 矿化带：以锡矿化为主，铜银矿化极弱，平面上宽 500~700 m，剖面上位于 1500 m 标高之上。锡矿体平均品位较低，Sn 0.20%~0.36%，Cu<0.10%，Ag 3×10^{-6} ~ 35.95×10^{-6} 。

（2）Sn、Cu 矿化带：锡矿化达到最大富集，并伴有铜银矿化。平面上宽 500~800 m，剖面上在 1350~1500 m 标高之间。锡铜矿体平均品位较高，Sn 0.34%~1.63%，Cu 0.10%~0.74%，Ag 6.21×10^{-6} ~ 53.21×10^{-6} 。

（3）Cu、Ag 矿化带：以铜银矿化为主，基本无锡矿化显示。平面上宽 800~1200 m，仅发现小规模铜银矿化，剖面上位于 1350 m 标高之下，可构成工业矿体。铜银矿体平均品位为 Cu 0.35%~1.82%，Ag 11.86×10^{-6} ~ 127.55×10^{-6} 。

3 成矿物质来源探讨

3.1 硫同位素特征

矿石中黄铁矿（4件）的硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}$ 变化于-5.50‰~2.50‰，平均值为-0.38‰，不难看出，矿床硫同位素分布区间窄， $\delta^{34}\text{S}$ 值集中在零值附近，硫的平均同位素组成接近于陨石硫，说明硫来源相对单一，主要来自幔源。

3.2 氢氧同位素特征

矿石中锡石的 $\delta^{18}\text{O}$ 为-2.64‰~-3.06‰，均值-2.88‰，成矿溶液的 $\delta\text{D}=-44.7\text{‰}~-224.9\text{‰}$ ，均值-143.2‰。计算求得成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=-0.84\text{‰}~-2.21\text{‰}$ （表4）。这些数据均接近于雨水的氢、氧同位素组成，预示锡石形成过程中成矿流体的水以大气降水为主。但是，锡石的 δD 值差别较大，究其原因，尚未清楚，暂不讨论。

表3 安乐矿床16线矿体品位垂向变化

Table. 3. Vertical variation of grades of the orebody along No. 16 line of the Anle tin-copper deposit

位 置	矿石类型	水平厚度 (m)	Sn/%	Cu/%	Ag/ 10^{-6}
地 表	锡矿石	5.10	4.61	0.07	10.71
1487m 中段	锡矿石	7.75	1.13	0.07	5.95
1465m 中段	锡铜矿石	7.68	4.84	0.12	8.88
1442m 中段	锡铜矿石	4.35	1.16	1.49	83.00
1335m 中段	铜矿石	2.82	0.02	0.73	27.21
1260m 中段	铜矿石	1.58		0.47	14.9

注：华北地勘局燕郊中心实验室分析

样),Co、Se 含量较高,Ni、Te 含量较低,且 Co/Ni>1,Se/Te>10,反映岩浆热液成矿特点。

样品编号	米样位置	测定矿物	$\delta\text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	t/℃
Acs-1	2号矿脉地表	锡石	-224.9	-2.64	-0.84	330
Acs-2	2号矿脉1487中段	锡石	-44.7	-2.97	-1.17	332
A21	2号矿脉 1400中段	锡石	-186.8	-2.86	-1.05	335
A13-1	10号矿脉地表	锡石	-116.4	-3.06	-2.21	394

注：桂林有色矿产地质研究院分析； $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 是按 $\Delta_{\text{锡石-水}}=0.09\times10^{-8}T-2.05$ 计算

(2) H. H. 尼库林 (1981) 研究认为不同成因的锡石中 Nb、In 含量局限在一定范围。大厂岩浆热液矿床锡石的 Nb/In 为 $3.64^{[4]}$, 大井次火山热液矿床锡石的 Nb/In 为 0.21^①, 安乐锡铜矿床中 (5件样) Nb、In 含量变化范围较大, Nb 为 $7\times10^{-6}\sim100\times10^{-6}$, In 为 $10\times10^{-6}\sim41\times10^{-6}$, Nb/In 为 0.70~2.44, 反映具有岩浆热液和次火山热液矿床的特征。

3.4 稀土元素特征

(1) 矿床锡石中, ΣREE 为 $261.19\times10^{-6}\sim7.10\times10^{-6}$, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 为 0.03~1.70, δEu 为 0.93~1.91, 虽然锡石的稀土元素组成差异较大, 但规律性明显。

(1) 根据锡石的 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 值和稀土元素配分模式曲线特征, 可划分为重稀土富集型锡石和轻稀土富集型锡石 (图5), 前者, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}>1$, 并且 $\delta\text{Eu}=0.92\sim1.91$, $\Sigma\text{REE}=8.4\times10^{-6}\sim361.19\times10^{-6}$, 稀土元素配分模式为向左陡倾斜锯齿状明显的曲线; 后者, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}>1$, 并且 δEu 为 0.94~1.71, $\Sigma\text{REE}<10\times10^{-6}$, 稀土元素配分模式为向右缓倾斜锯齿状明显的曲线。

(2) 两类型锡石的 $\delta\text{Eu}\geq1$, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 与 δEu 之间具有相同的变化规律, 即随着 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 递增, δEu 递减 (表5), 反映出两种不同来源的锡石经历了相同的成矿过程。

(3) 轻稀土富集型锡石的 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{CN}}$ 为 3.73, 次火山岩的 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{CN}}$ 为 3.70。重稀土富集型锡石的 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{CN}}$ 为 0.78, 花岗斑岩的 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{CN}}$ 为 1.00, 曲线左侧在排除 Ce 异常的影响下, 轻、重稀土富集型锡石分别与次火山岩、花岗斑岩的配分模式曲线相一致, 反映成矿阶段的继承性。

表5 安乐矿床稀土元素参数表

Table. 5. REE parameters of the Anle tin-copper deposit

类型及样号 特征值	重稀土富集型锡石				轻稀土富集型锡石		
	6	7	8	9	10	11	12
$\Sigma\text{REE}/10^{-6}$	261.19	81.41	48.39	8.49	7.10	8.92	7.38
$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	0.06	0.03	0.06	0.44	1.20	1.54	1.70
δEu	1.83	1.91	0.18	0.93	1.71	1.08	0.94
δCe	0.58	0.49	0.41	0.66	0.36	1.06	0.33

注: 湖北省地质实验研究所分析

(4) 轻稀土富集型锡石的 $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{CN}}$ 为 0.46, 次火山岩的 $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{CN}}$ 为 0.95。重稀土富集型锡石的 $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{CN}}$ 为 0.31, 花岗斑岩的 $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{CN}}$ 为 0.71。曲线右侧差异明显, 均向富集 ΣY 方向演化, 反映成矿作用的变异性发展。两类型锡石具有继承性演化、变异性发展的共同特点, 亦可反映二种不同来源的锡石经历了相同的成矿过程。

(5) 众所周知, ΣY 的迁移能力大于 ΣCe 。岩浆经过强烈的分开演化, 成岩之后的流体中富集重稀土元素, 而成矿早阶段为氧化环境, 即适于锡石晶出, 亦利于重稀土元素及 Eu^{3+} 的沉淀, 并被结晶中的锡石所捕获, 导致锡石富集铈及重稀土元素。成矿晚阶段, 成矿流体中相对富集轻稀土元素, 更利于稀土元素含量低的锡石晶出, 锡石中重稀土元素富集程度相对减弱, 这与锡石的 ΣREE 由地表到深部递减的变化规律相吻合。

(6) 岩石和锡石的同源性在 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}-\delta\text{Eu}$ 图解上更加明显 (图6), 两种来源的岩石和锡石之间存在明显的线性相关关系, 二者几乎平行分布。

① 周绍岐等, 1990, 内蒙古自治区林西县官地乡大井矿区铜锡多金属矿详查地质报告 (内部资料)

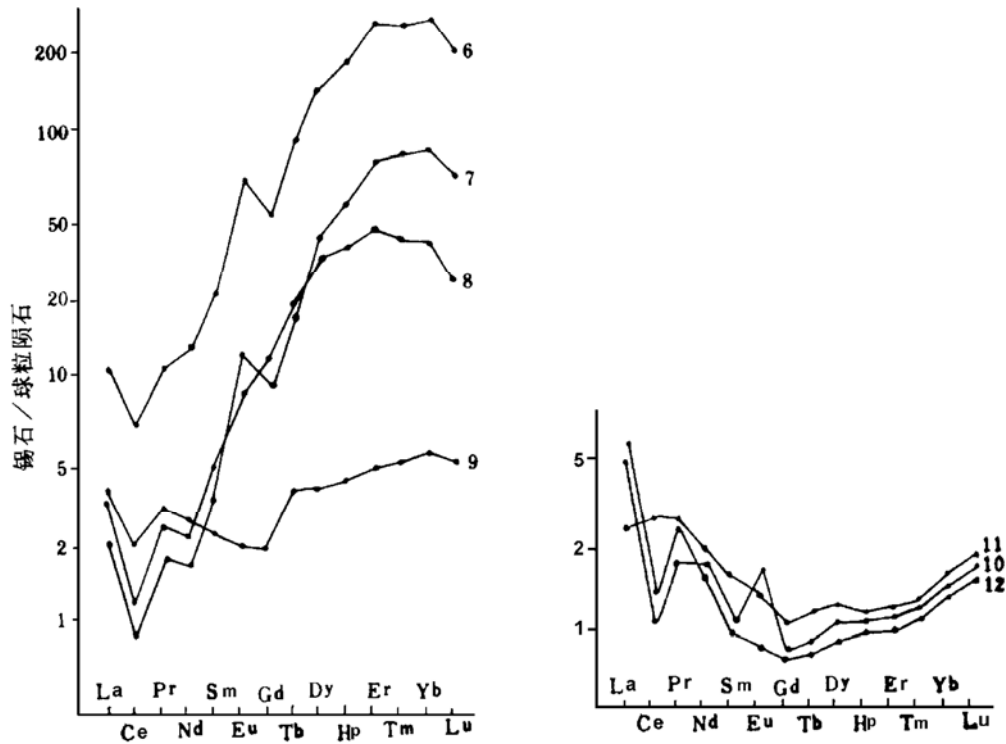


图5 安乐矿床锡石 REE 配分模式

6~9—重稀土富集型锡石；10~12—轻稀土富集型锡石

Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns of cassiterite from the Anle tin-copper deposit.

6~9—Cassiterite of HREE-enrichment type; 10~12—Cassiterite of LREE-enrichment type.

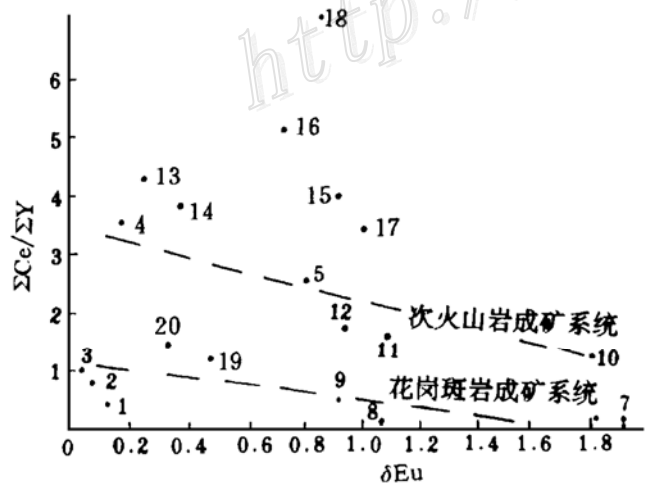


图6 安乐矿床 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}-\delta\text{Eu}$ 图

1~5—同图2；6~12—同图5；13~14—钾长花岗岩；15—花岗闪长岩；16~18—闪长岩；19~20—花岗岩脉

Fig. 6. $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ versus δEu diagram of the Anle deposit.

1~5 as for Fig. 2; 6~12 as for Fig. 5; 13~14—K-feldspar granite; 15—Granodiorite; 16~18—Diorite; 19~20—Granite vein.

4 成矿物理化学条件

4.1 流体包裹体特征

安乐锡铜矿床的流体包裹体以液相包裹体为主，具如下特征：①锡石中包裹体以液相包

裹体为主,大小3~15 μm ,气相比5%~20%,多呈扁圆状,多边形和不规则形;②与锡石共生的石英中包裹体以液相包裹体为主,大小5~10 μm ,气相比3%~5%,多呈星点状、扁圆状、不规则形,含子晶 NaCl 包裹体,局部包裹体具沸腾现象;③与黄铜矿共生的石英中包裹体以液相包裹体为主,大小 5~10 μm ,气相比3%~5%,局部10%~30%,偶大于 60%,含 NaCl 子晶包裹体。

4.2 包裹体测温

锡石和石英的爆裂温度(8件样)变化范围为 177~352℃。锡石包裹体均一化温度为 330~394℃,与其共生的石英包裹体均一化温度为 271~354℃,属高温热液矿床;与黄铜矿共生的石英包裹体均一化温度为 218~220℃,属中温热液作用的产物;矿体下部广泛分布低温成因的硫盐矿物,与其共生的石英包裹体爆裂温度 177℃。综上所述,矿床三组成矿温度与成矿阶段相吻合,成矿经历了由高—中—低的整个过程,但以中高温为主。

4.3 包裹体成分

锡石和石英包裹体成分(表6)说明二者基本相似,阳离子主要是 Na^+ 、 Ca^{2+} ,其次是 K^+ 、 Mg^{2+} ,阴离子主要是 SO_4^{2-} ,其次是 Cl^- 、 F^- 。矿床成矿热液属 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 体系,气相成分以 H_2O 为主,含较高的 CO_2 。包裹体成分数据揭示: $\text{K}^+/\text{Na}^+<1$, $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}<1$, $\text{Cl}^-/\text{F}^->1$, $(\text{CO}+\text{CH}_4+\text{H}_2)/\text{CO}_2\leq 1$,表明锡石沉淀时流体中富含 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 离子,成矿环境为氧化环境。

表6 安乐矿床包裹体化学成分
Table. 6. Chemical composition of inclusions in the Anle tin-copper deposit

样号	矿物名称	液相成分 (g/ μg)							气相成分 (g/ μg)					
		K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_2	CO	CH_4	H_2	N_2	H_2O
C13-2	石英	4.148	16.080	16.740	1.020	0.591	61.932	145.040	83.958	8.677	1.979	0.009	3.706	1452
Acs-1	锡石	0.252	0.868	22.652	3.892	0.673	25.589	8.938	124.258	1.531	0.305	0.011	1.308	2080
Acs-2	锡石	3.258	6.973	6.865	1.158	0.498	16.211	8.251	272.025	12.250	0.457	0.222	11.119	1200
A21	锡石	0.257	0.788	42.438	4.404	0.647	19.433	26.068	159.521	4.849	0.228	0.012	5.451	3450
A13-1	锡石	1.300	2.952	9.675	1.950	0.166	6.989	26.813	125.098	2.297	1.068	0.025	1.417	1250

4.4 成矿流体物理化学参数

根据锡石中 In 的含量,采用尼库林公式(1981),计算出锡石沉淀的深度为 1.62~2.20 km,压力 $0.573\times 10^8\sim 0.779\times 10^8\text{ Pa}$,属浅成矿床。石英包裹体中出现 NaCl 子晶,表明成矿流体的盐度可能高于 25wt%NaCl,属中等盐度的流体。

根据锡石包裹体成分和锡石形成深度,假定温度 350℃,压力 $0.4\times 10^8\text{ Pa}$,计算矿床中锡石形成时 pH 值为 4.62~5.27,氧逸度 f_{O_2} 值为 $\lg 10^{-32.04}\sim \lg 10^{-24.39}$,氧化还原电位 Eh 值为 $-0.379\sim 0.486\text{ eV}$ ❶,反映出锡石沉淀时介质呈弱酸性,氧逸度较高。

❶ 张国林等,1993,内蒙古克什克腾旗安乐—黄岗梁一带锡多金属成矿预测研究(桂林矿产地质研究院资料)

5 矿床成因

安乐锡铜矿床为燕山早期晚阶段构造动力—次火山岩浆—花岗岩浆同步一体成矿形成的中高温热液矿床。主要依据如下:

(1) 矿体、花岗斑岩和次火山岩脉均沿侏罗纪火山盆地边缘分布,同属燕山早期晚阶段,花岗斑岩 Rb-Sr 同位素年龄 134.2×10^6 a,次火山岩 K-Ar 法年龄 $122.84 \times 10^6 \sim 147.13 \times 10^6$ a,成矿略晚于花岗斑岩及次火山岩。断裂构造、次火山岩脉发育地段,蚀变矿化相对增强。宏观上矿化受半隐伏花岗斑岩体制约。因此成矿作用与断裂构造运动—火山、次火山活动—花岗斑岩侵入时间上相近,空间上相互依存,构成特定的分布格局。

(2) 岩石与锡石的稀土元素组成特征显示了成矿物质来源的双重性;重稀土富集型锡石与半隐伏花岗斑岩体同源,轻稀土富集型锡石与次火山岩脉同源,但两类型锡石经历了相同的成矿过程。

(3) 硫同位素组成反映成矿硫源是幔源岩浆热液;稀土元素地球化学表明矿床的成岩成矿作用具有幔源特征;氢、氧同位素组成显示成矿流体的水以大气降水为主,这是该类型矿床的主要特征之一。

(4) 硫化物中 $\text{Co/Ni} > 1$, $\text{Se/Te} > 10$,反映岩浆热液矿床特征。锡石中 Nb、In 含量表明矿床即具有岩浆热液矿床的特点,又具有次火山热液矿床特征。

(5) 断裂构造控矿作用明显。2号主矿体受“S”型断裂构造控制,在其枢纽部位,矿体厚度增大,品位增高,显然,这是构造动力持续作用所致。

(6) 矿床形成温度 $177 \sim 394^\circ\text{C}$,成矿经历了由高—中—低的整个过程,但以中高温为主,具同期多阶段的成矿特点。

参 考 文 献

- 1 芮宗瑶等. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质. 北京:地质出版社,1994,118~119
- 2 王国政. 内蒙安乐锡铜矿床稀土元素地球化学特征. 中国有色金属学报,1996,6(增刊2):17~20
- 3 王中刚. 花岗岩类的稀土元素分布模式、花岗岩地质和成矿关系(国际学术会议论文集). 南京:江苏科学技术出版社,1984,536~542
- 4 黄民智等. 大厂锡矿矿石学概论. 北京:科学技术出版社,1988,19~21

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE ANLE TIN-COPPER DEPOSIT, INNER MONGOLIA

Wang Guozheng

(*Surveying Team of North China Geoexploration Bureau, Sanhe 101601*)

Key words: hydrothermal tin-copper deposit, geological characteristics, Anle of Inner Mongolia

Abstract

The Anle tin-copper deposit is one of the important deposits in the southwestern part of the Huanggang-Ganzhuermiao tin-polymetallic ore belt in Inner Mongolia. Being all distributed along the margin of the volcanic basin, tin-copper orebodies, subvolcanic dikes, granite porphyry bodies and fault structures are close in time and interdependent in space. K-Ar isotopic ages of volcanic and subvolcanic rocks are $122.8 \times 10^6 \text{ a} \sim 137.05 \times 10^6 \text{ a}$, and Rb-Sr isotopic age of granite porphyry is $134.2 \times 10^6 \text{ a}$. The ore-forming process took place a bit later than the formation of subvolcanic rocks and granite porphyry, both belonging to the late stage of Early Yanshanian. Mineralization is spatially conditioned by semiconcealed granite porphyry body, assuming ringed horizontal zoning and reverse zoning of Sn—Sn, Cu—Cu, Ag in outward and downward directions.

REE characteristics of rocks and cassiterite show duality of tin sources: HREE-enrichment type cassiterite possesses the same source as granite porphyry, whereas LREE-enrichment type cassiterite is of the same source as subvolcanic rocks. Nevertheless, the two types of cassiterite underwent the same ore-forming processes.

$\delta^{34}\text{S}$ values of ores vary in the range of $-5.50\text{‰} \sim 2.50\text{‰}$, suggesting the derivation of sulfur from the mantle. REE components indicate that the ore-forming and rock-forming processes of the ore deposit have characteristics of mantle source. Hydrogen and oxygen isotopic compositions of cassiterite are $\delta^{18}\text{O} = -2.64\text{‰} \sim -3.06\text{‰}$ and $\delta\text{D} = -45\text{‰} \sim -225\text{‰}$, implying that ore-forming fluids came mainly from meteoric water.

Controlled by "S"-type fault structure, the orebody thickens and becomes richer at the hinge part, which resulted from the continued action of structural dynamic force. Mineralization underwent the whole process from high temperature through intermediate temperature to low temperature, dominated however by intermediate-high temperature and exhibiting multi-stage metallogenic characteristics of the identical phase.

It is concluded from the above discussion that the Anle tin-copper deposit is a mesothermal-hypothermal deposit formed by structural dynamic force, subvolcanic magma and granitic magma at the same location in the late stage of early Yanshanian period.