

河北丰宁牛圈浅成低温 热液型银金矿床成矿模式

许 晓 峰

牛圈浅成低温热液型银金矿床是冀北地区最近几年新发现的重要银矿床之一。这类矿床近二十年来, 分别在美国、加拿大、日本、澳大利亚等国的环太平洋构造带内多有发现, 并有较深的研究。在我国除在云贵地区报导过找到卡林型金矿以外, 象牛圈这类浅成低温热液型银金矿床, 尚未见有报导, 这类矿床特点是易采易选, 规模较大, 品位较富, 找矿勘探周期较短。

一、成矿地质背景

牛圈浅成低温热液型银金矿床属华北地台北缘银、铜多金属成矿带, 是在中生代太平洋板块俯冲时, 大陆边缘富含银的矿源层在构造岩浆活动的背景上形成的。矿床产于凹陷与隆起的过渡带, 定位于隆起中穹凹之间的次一级隆起内。银矿的容矿围岩为海西期粗粒花岗岩及燕山晚期细粒花岗岩, 主要矿化作用发生在燕山晚期岩浆活动的晚期, 为岩浆热液与地下热水循环对流成矿; 成矿时代为燕山晚期。

牛圈浅成低温热液型银金矿床的地质特征与国外同类矿床极为相似。硅帽为一组低温低压环境下形成的矿物组合, 其下为复杂的含矿硅质角砾岩, 角砾较小, 多呈复式硅质角砾, 角砾中有角砾, 角砾与胶结物成份简单, 为硅质与硫化物角砾中可见蚀变熔浆角砾, 与成矿无关。蚀变特点: 矿体上盘较下盘发育, 分带性较明显, 自内向外为硅化带→粘土化带→青盘岩化带。矿体形态在纵剖面上呈喇叭状向东南侧伏; 横剖面上矿体由陡变缓处厚度增大。银的品位有随矿体厚度增大而升高的趋势。矿体走向延长, 倾斜延深, 一般都不太大。

二、牛圈银金矿成矿模式

成矿模式的建立是对矿床的成矿地质特征, 控矿因素及矿化标志, 进行高度综合和理论概括。因之, 在建立牛圈银金矿模式之前, 应对该矿床的控矿因素、地质特征及矿化找矿标志进行总结。

(一) 控矿因素

1. 区域地球化学特征及对成矿的控制

冀北地区红旗营子群、张家口组地层及燕山晚期酸性岩浆岩中Ag, Pb, Zn及Mo等成矿元素含量较高, 在区域地球化学特征上, EW向呈带, NNE、NE及NW呈行, 常出现Ag、Pb、Zn、Mo组合异常带。控制了区内牛圈等银金多金属矿床。

(1) 区域成矿元素丰度特征对成矿的控制

区域成矿元素丰度取决于区域岩石类型和地质发展历史。一般在一个矿区内, 主要成矿元素在围岩或有关岩浆岩中的丰度都比较高, 冀北地区也具有这种区域地球化学特征(表1)。

表1 区内岩石、土壤及分散流成矿元素丰度表

含量 参数 分 类	元素	Cu	Pb	Zn	Mo	Co	Mn	Ag	Cr	Ni	样
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(个)
岩 石		15	39.8	43.9	2.68	10.4	222.1	0.15	23.6	13.5	113
土 壤		26.2	23.8	44.9	1.25	17.9	155	0.10	—	—	1000
分 散 流		17.4	23.6	66.4	4.31	13.3	480.2	—	—	29	1250
克拉克值(维)		47	16	83	1.1	18	1000	0.07	83	58	—

表1反映区域岩石中Ag、Pb、Mo丰度较高, 为陆壳克拉克值的2.14—2.49倍, 形成较高的区域背景场; 土壤中Pb、Ag、Mo丰度为克拉克值的1.14—1.49倍, 而Cu、Zn、Co等元素比岩石的背景值偏高, 表明有表生富集的趋势; 分散流Zn、Mo、Mn含量较岩石、土壤有明显增高的特点。

区域地层、岩浆岩成矿元素丰度(表2)特征是红旗营子群地层中Ag、Mo、As、Pb、Zn丰度较高, 形成高的区域背景场, Ag、Pb、Zn丰度较张家口组火山岩及区内海西期、燕山期平均值都高。

表2 区内地层、岩浆岩元素丰度对比表

克拉克 克值比 名称	元素	Ag	Mo	As	Pb	Zn	Sb
红旗营子群 地 层		5.88 1.14—35	5.20 1.91—8.06	4.35 0.38—16.59	3.20 1.29—14.84	2.66 0.27—18.97	0.70 0.58—1.20
张家口组 地 层		5.06 0.57—29.43	8.44 2.84—18.59	4.89 0.38—22.76	2.09 1.34—3.13	0.88 0.52—1.52	1.02 0.46—2.58
花岗岩类		4.54 0.71—7.86	4.4 2.69—6.54	5.10 0.38—23.32	3.08 1.36—8.86	1.00 0.72—1.94	2.33 0.66—4.05

表3 牛圈银金矿矿区成矿元素丰度表

含 量 (ppm)	元 素	Ag	Au (ppb)	Pb	Zn	Cu	备 注
黑云斜长片麻岩		0.63	5.9	23.9	80	65	
混 合 岩		0.34	1.3	27.8	100	10	
粗粒花岗岩 (Y ₄)		0.27	4.0	57.9	27.4	12.5	
细粒花岗岩 (Y ₅)		0.55	12.35	68.15	47.5	8.13	
花 岗 岩 (维)		0.05	4.5	20	60	20.0	
华南燕山期花岗岩		0.04	—	21.5	14.2	16.00	

(2) 牛圈矿区岩石成矿丰度特征及其对成矿的控制

矿区地层及岩浆岩分布较为简单(图1), 南部为红旗营子群(Ar_5)的黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩成混合岩, 岩浆岩有海西晚期粗粒花岗岩(γ_4), 燕山晚期细粒花岗岩(γ_5)其成矿元素丰度(表3), 与区域背景值相比, 变质岩 Ag、Au 较高, 矿区 Ag 丰度为地壳克拉克值的 9 倍, 高于区域背景值的 3.12 倍, 矿区 Au 为 1.37 倍, 较区域背景值为 0.99 倍, 其它 Pb、Zn、Cu 均低于区域背景值。花岗岩成矿元素 Ag、Au、Pb 较高, Ag 为地壳克拉克值的 3.86—7.86 倍, 平均为 5.86 倍, 较区域背景值高 1.22 倍; Pb 为地壳克拉克值的 3.62—4.26 倍, 平均为 3.94 倍, 较区域背景值高 0.86 倍; Au 较区域背景值高为 0.93—2.87 倍, 其它 Zn、Cu 均低于地壳克拉克值。

2. 地质构造对成矿的控制

地质构造是控矿因素的主导因素, 它驱使地壳物质运动, 决定地壳发展历史, 同时控制了各类岩石和矿产的形成、分布、产状和规模等。

牛圈银金矿处于华北地台北缘中段的内蒙台背斜的上黄旗—乌龙沟(丰宁台凸)隆起与沽源台凹的过渡地带(图2)。受控于上黄旗岩浆岩亚带与大滩断凹中四岔口火山盆地的边缘, 在老虎沟与干沟门穹凹之间的次一级隆起部位(图3)。

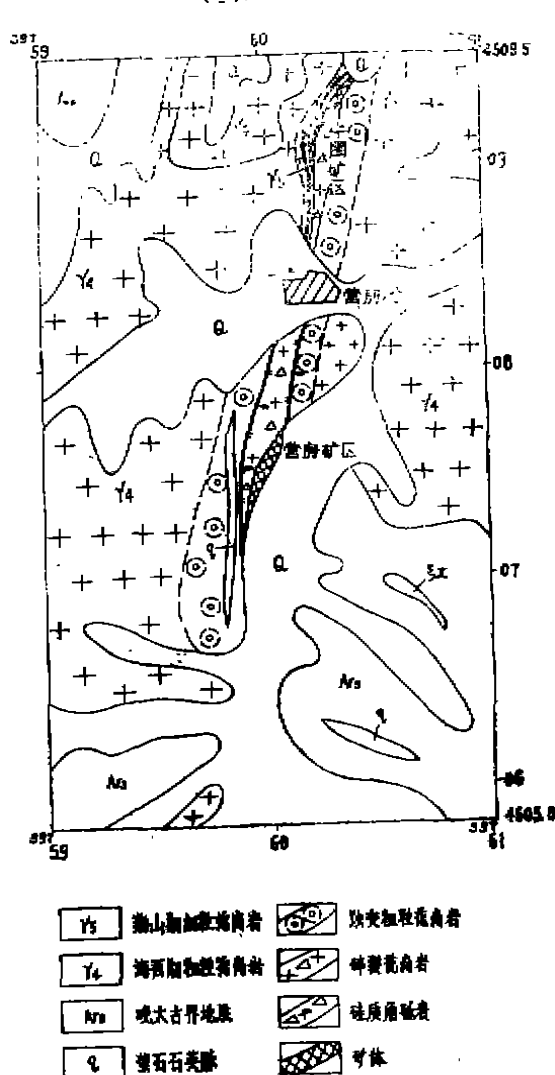
1/5万卫片解译, 牛圈银金矿位于 NE、EW、NNE 多组线型构造交叉处, 环形构造发育, 大环套小环, 牛圈银金矿在小环北缘切线上分布, 小环可能为成矿过程中热晕引起, 大环推测为燕山晚期花岗岩墙深部隐伏岩体引起。

控矿断裂呈 $N10^\circ E/SE \angle 60^\circ - 70^\circ$ (图4), 分布在蚀变碎裂岩带顶部, 属压扭性断裂, 沿走向呈舒缓波状, 沿倾显示斜陡缓变化。矿体在缓处厚, 陡处薄的特征。

3. 岩浆活动对成矿的控制

岩浆活动与构造十分密切, 常控制矿床的形成和分布。区内银金矿主要受 EW 与 NNE

牛圈矿床地质平面图



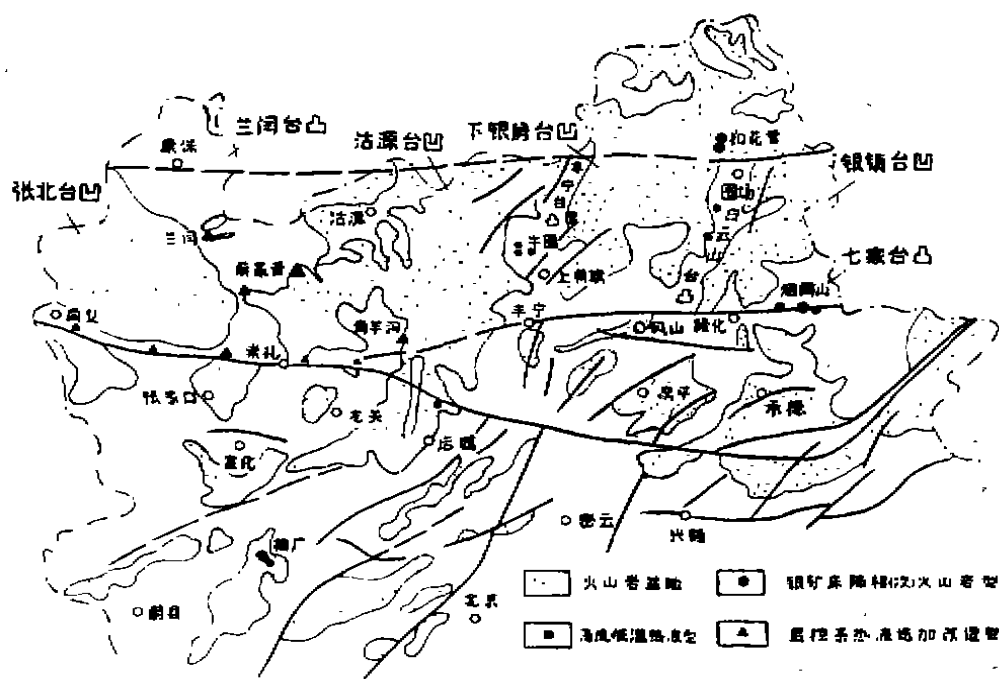


图2 内务台背斜上铜矿分布图

向构造岩浆岩带控制,与银金矿有关的岩体多为燕山晚期规模小的岩株、岩墙,成矿元素Ag、Pb、Zn丰度较高,富碱性酸性岩;碱度率(AR)变化范围小,2.9~3.9;里特曼指数介于1.8~3.3之间,属钙碱系列;氧化度0.44~0.71多属岩浆演化晚期产物。

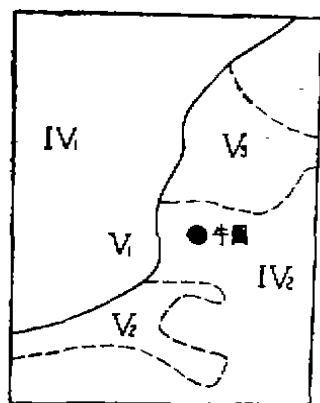
牛圈银金矿受控于燕山晚期花岗岩墙，其特征说明了这一点。

(1)从稀土元素配分模式(图5),表明燕山晚期花岗岩(细粒)与矿体关系密切,

(i) 轻稀土富集, 曲线均向右陡倾斜; 重稀土曲线较平缓, 矿体、硅质角砾岩、细粒花岗岩、斜长角闪岩及海西期粗粒花岗岩图形基本相似表明他们均属同一物源。

(ii) Eu亏损粗粒花岗岩呈明显V字型, 分异较好, 而细粒花岗岩与矿体、矿化硅质角砾岩极为相似, 说明燕山晚期细粒花岗岩与半圈银金矿床的形成有着重要的意义。

(2)牛圈燕山晚期花岗岩(细粒)墙(Y₂)
属壳源重熔型岩浆岩,图5中斜长角闪岩与细粒花岗岩稀土元素配分模式的相似性,表

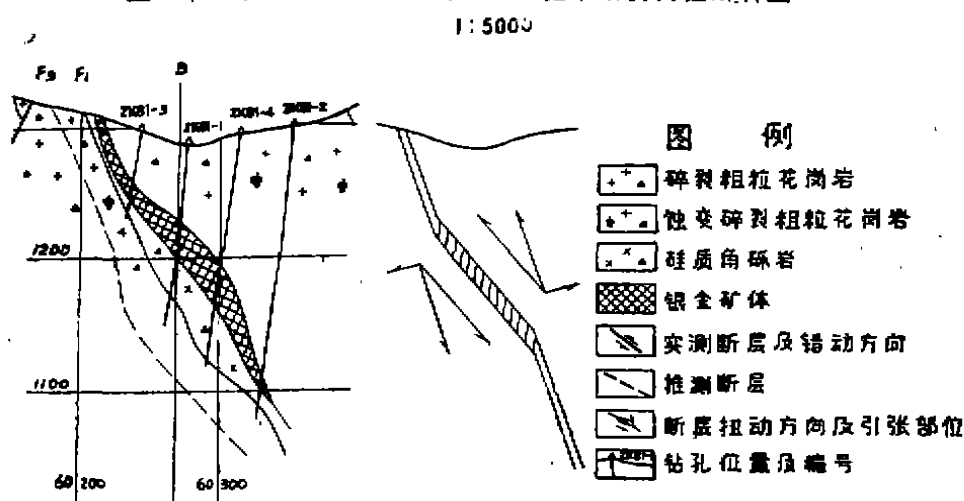


牛圈银金矿区域地质构造单元示意图



1/4 大滩中新四 1/2 上黄泥岩灰岩亚带
 V₁ 盆口火山盆地 V₂ 泉鹿沟冲四 V₃ 于沟门冲四

图4 牛圈银金矿81线地质剖面图及控矿断裂构造解释图



明其同源性特点。 γ_i :

Sr^{87}/Sr^{86} 初始 比值为 0.7474; $\Sigma REE = 166.04ppm$; $\Sigma LREE/\Sigma HREE = 9.70$; $K_2O/Na_2O = 1.95$ 。这些反映了燕山晚期细粒花岗岩可能为基底变基性, 火山岩 重熔产物。

(3) 燕山晚期细粒花岗岩成矿元素丰度较高, Ag 0.55ppm, Au 12.35ppb, Pb 68.15ppm, Zn 47.5ppm, Cu 8.13ppm。

(二) 成矿地质特征

牛圈银金矿成矿地质特征与国外某些浅成低温热液型银金矿极为相似, 但牛圈银金矿床也有自己的特点。

1. 牛圈银金矿矿体形态特征

牛圈银金矿矿体在纵剖面上呈喇叭状向东南侧伏, 在横剖面上陡窄缓宽向深部逐渐分枝尖灭。一般矿体延深不大, 组矿体向东南侧伏可能延深较大。

2. 银的品位变化特征

银的品位浅部含量较高, 向深部 Ag 品位有变低的趋势。I 号矿体 银品位 平均为 517.198ppm, II 号矿体 Ag 平均品位为 607.87ppm, 而全区平均银品位为 336.16ppm, 显然银品位呈浅部高深部低的变化趋势, 这点也反映了浅成低温热液型银金矿床的共同特点。

厚度与银品位常呈正相关, 如 81 线矿体陡窄处银品位 159.06ppm, 当矿体缓处变厚时, 银品位为 246.82ppm, 总体上矿体品位不均匀, 其矿化系数为 155.03% 有一定规律, 与国外这类矿床类似。

3. 围岩蚀变分带特征

矿区内围岩蚀变范围较大, 整个 NNE—SN 向碎裂岩带都有不同程度的绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化及低温硅化, 矿体上盘蚀变较下盘宽, 常达 100—300 米。矿化程度与

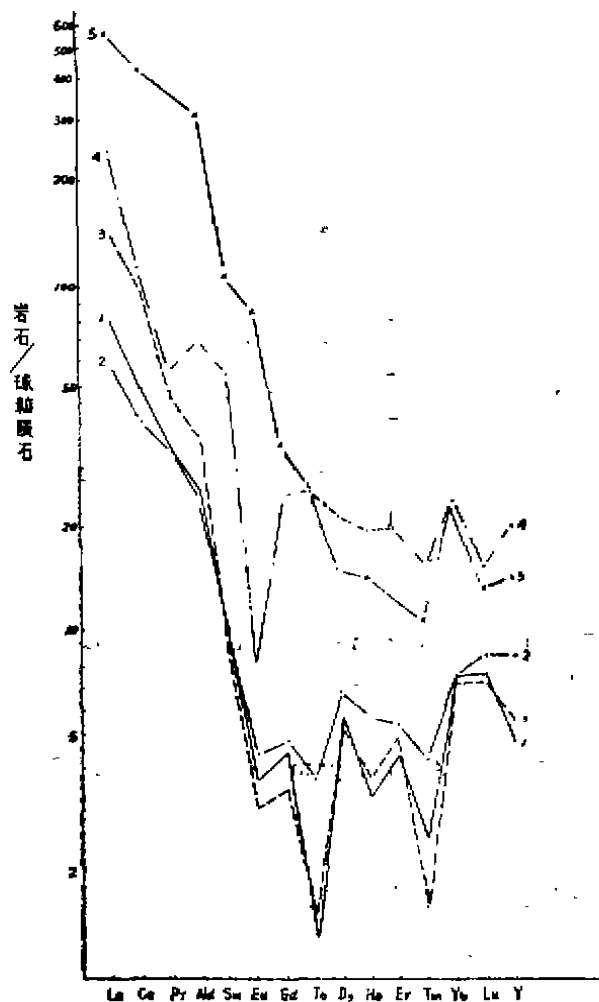


图5 牛圈矿区稀土元素配分模式图

1. 矽化角砾岩 2. Au-Ag 矿体 3. 细粒花岗岩
4. 粗粒花岗岩 5. 斜长角闪岩

围岩蚀变强度成正比；围岩蚀变有较明显的分带性，在时间、空间上相互叠加或穿切，反映活动的多期性。围岩蚀变分带，自内至外总体上是：硅化带（由一组低温矿物）玉髓、水云母、蒙脱石组成）→粘土化带（主要由水云母、高岭石，常见铁白云石及重晶石）→青盘岩化（由绿泥石、高岭石及碳酸盐等矿物组成）。反映围岩蚀变是在低温条件下形成的。

4. 地表中 远程指示元素 (As、Sb、Tl) 丰度特征

矿带及上盘围岩蚀变带中远程元素 As、Sb、Tl 丰度较高，而底盘多低于地壳克拉克值。上盘蚀变带内 As 为 2.1~285ppm，为地壳克拉克值的 1.24~167.65 倍，Sb 为 0.15~2.09 ppm，为 0.3~4.18 倍；Tl 为 1.76~2.26ppm，为 1.76~2.26 倍，各元素峰值起伏变化大，但在矿体上部硅化带内为一高峰，可作为找矿标志。

5. 矿床共生组合规律

主要研究矿床与矿床之间的空间和内在联系，相互关系及组群特征。矿区内北段（图1）为牛圈银金矿床，矿体赋存标高1200~1300米，南段营房铅、锌、银矿床，矿体赋存标高800~900米，而两者均赋存在老虎坝一二道沟NNE向蚀变碎裂岩带内。

从两个矿床中闪锌矿标型特征，反映牛圈银金矿形成于浅部低温条件，闪锌矿中 FeS 含量 6.94%，S 为 26.3%，而营房铅锌银矿床形成温度较高些，闪锌矿中 FeS 为 7.38%。牛圈闪锌矿中 Cd 含量高达 2425ppm，反映其成矿温低。

国外浅成低温热液型银金矿床共生组合规律是浅部呈氧化带形成银金矿床，深部还原带形成铅锌矿床；而在过渡带形成铅锌银矿床。矿区内，牛圈银金矿床应属浅部氧化带的矿床；营房铅锌银矿床可能属过渡带或还原带产物。

6. 矿石结构构造特征

硅帽或硅化岩带之下，常为含矿硅质角砾岩或银矿体。这种含矿硅质角砾岩特征：

1. 硅质角砾颗粒大小均一，一般 20—30 公分，小的也有 <1 公分的，常呈硅质复式角

砾,即大硅质角砾中有小硅质角砾,小硅质角砾中还有硅质角砾。

ii.硅质角砾成分较单一,与矿化有关的基本上由硅化带成份组成(玉髓、水云母、硫化物等组成)。至于一些蚀变熔浆角砾岩与成矿关系不大。

iii.胶结物也较简单,也多由低温矿物玉髓、水云母及硫化物、萤石等矿物胶结。往往硫化物期中晚阶段黄铁矿越多银的品位越高。

矿石中晶洞、晶簇及环带构造发育,反映矿化属浅成特征。

7.黄铁矿标型特征与成矿

黄铁矿是牛圈银金矿的主要载体矿物,含银黄铁矿,其Ag含量150—7000ppm,而磁黄铁矿为0—13400ppm,其标型特征:

(1)黄铁矿早期多呈立方体,浸染状分布于矿石矿物中,一般粒径为0.010~0.064ppm,该期黄铁矿含银很低;中期黄铁矿为主要载银矿物,属硫化物期的中晚阶段,呈自形一半自形立方体及五角十二面体,或粒状,粒径一般0.5—2mm,黄铁矿中常见有方铅矿,闪锌矿、金银矿及辉银矿包体。晚期黄铁矿呈细脉产出,常切穿早中期黄铁矿,与银矿无关。

(2)含银黄铁矿:矿体浅部为自形与它形深部矿厚处多为它形粒状。

(3)含银黄铁矿由浅到深,黄铁矿品位由低逐渐增高的趋势,如79线由浅到深,黄铁矿银的含量由250ppm→1775ppm→2050ppm→2450ppm。

(4)含银黄铁矿化学成份标型特征

正常黄铁矿化学成分为S=53.45%,Fe=46.55%,而牛圈银金矿床中含银黄铁矿硫比前者少0.92%,缺少0.46%,而含Pb 0.41%,Zn 0.1%。

(5)含银黄铁矿微量元素标型特征

i.Se含量随深度增加而增加的趋势,Se+Te含量与Ag含量正相关,牛圈银金矿床中含银黄铁矿由浅到深,Se+Te由1.09ppm→3.71ppm,而Ag由250ppm→2450ppm。

ii.Co<Ni, Co/Ni=0.47~0.67,平均为0.56,反映成矿热液为渗流热卤水与岩浆水的混合水。

iii.S/Se比值从地表向深部总体上有变小的趋势,Se向深部增大,硫向浅部增加特征。

iv.Ag/Au、Ag/Sb、Ag/Zn,总体上有从地表到深部变大的趋势。正常情况向浅部Ag增高,向深部Au、Zn增大。上述反常现象,表明成矿多期次的存在

v.Pb/Zn也出现从地表到深部由小变大的趋势,正常情况Pb靠上富集,而Zn靠下增高,上部Pb/Zn比值应大于下部比值,这也反映成矿作用的复杂性。

8.矿石中银的赋存特征

牛圈银金矿床中银呈类质同象仅占2.98%,其它都呈银的独立矿物存在。由于银与铜、金属同一副族(1B),具亲硫、砷、锑、铋特性和较强极化性与金原子半径(1.40 Å)近似特征,因而银的独立矿物多为硫化物、硫酸盐、自然元素及金银互化物,牛圈银金矿床中银矿物为辉银矿、自然银、金银矿、银金矿、富银硫锑铜银矿、富银硫砷铜银矿、自然金及螺状硫银矿、角银矿、氯溴银矿等,表明有Ag—Cu之间的类质同像替换的存在。

银矿物呈独立矿物嵌布于黄铁矿中，形态多样，粒度细小，辉银矿多为0.05~0.10 mm，Au—Ag系列矿物为0.026~0.04 mm，较蔡家营、相广银矿物粒度稍大些。银矿物多呈不规则粒状、蠕虫状、串珠状等形态。

银的载体矿物主要为黄铁矿，其次为方铅矿、闪锌矿和毒砂，有些银矿物嵌布于脉石矿物之间。牛圈银金矿床中银独立矿物嵌布于硫化物中银的含量特征，含银黄铁矿Ag为1250~3025 ppm；方铅矿为2250~3250 ppm；闪锌矿为1250~3025 ppm；黄铜矿为2400 ppm；毒砂为0~3100 ppm。

9. 银的富集与成矿阶段的特征

地球化学性质决定成矿元素的富集阶段。离子能量系数越小，从热液中析出越晚，析出时温度要求也就越低， Ag^+ 的能量系数为0.60，远小于 Fe^{3+} (5.15)， As^{3+} (4.69)、 Zn^{2+} (2.20)、 Fe^{2+} (2.12)、 Cu^{2+} (2.10)、 Pb^{2+} (1.65)及 Au^+ (0.65)。银多以独立矿物形成在硫化物期的中晚阶段，牛圈银金矿的银矿物也是这样。

10. 矿床地球化学分带特征

矿床地球化学分带是与矿床同时形成并与矿体有着成因联系，常常出现组分分带与组分聚合的现象。研究查明这种地球化学分带特征，有助于确定矿体赋存地段、延伸规律和判断矿床剥蚀程度，并提高对矿床成矿规律的认识。

牛圈银金矿床地球化学分带特征是：

矿体上部：As、Sb、Ag、Au、Pb、Mn等元素。

矿体中部：Ag、Au、Sb、Pb、Zn、Mo等元素。

矿体下部：As、Cu、Mo、Mn等元素。

As为远程指示元素，聚集在矿体前缘和尾部，而Sb聚集在矿体中部与前缘地段，从元素地球化学分带特征可以看出：

(1)牛圈银金矿床剥蚀很浅；

(2)前缘指示元素As、Sb等在矿体中部，尾部也很发育，表明现在所见矿体仍为矿体的前缘地段，矿体往东南侧伏有较大的延深提供依据；

(3)以Ag为主的Pb、As、Sb伴生组合异常可作为该矿床前缘评价指标。

(三) 找矿标志

硅化带或硅帽找矿标志，深灰、灰色致密块状，具贝壳状断口，由玉髓、水云母、蒙脱石、重晶石组成，并于其两侧出现粘土化带（由高岭石、水云母等组成）；再向外为规模较大的青盘岩化带，这种蚀变特征是找寻浅成低温热液型银金矿床及评价这类矿床的重要标志。

2. 远程指示元素As、Sb、Tl及Hg找矿标志。

在蚀变带或矿带上部出现As、Sb、Tl、Hg含量高的特征，是找这类盲矿及评价这类矿床的标志。

3. 成矿元素Ag、Au、Pb及Zn等从蚀变外带向内带（硅化带）；其含量呈几倍、几十倍的递增，这种规律可作为找这类盲矿的标志。

4. 在蚀变带的内带（硅化带），Ag/Sb比值出现高值区（8—40）时，往往指示深部有银金矿体的存在。

11.航磁5000米延拓零值线外突,拐弯或转折处,且具有找这类矿床的成矿地质条件及找矿其它标志,是找大型这类矿床的标志。

(四)找矿模式与成矿系列

多方面资料表明牛圈银金矿床形成地质环境是浅成低温低压环境,如形成的一套蚀变矿物组合;闪锌矿中Cd含量达2425ppm;晶洞、晶簇、环带构造发育;成矿机制复杂,矿化类型多样,成矿系列为Ag、Ag-Au、As-Pb-Zn、Pb-Zn;成矿热液既有岩浆热液,也有大气水,在深部形成环流,成矿混合热液沿断裂上升,温度逐渐下降,pH值向弱酸性变化,因而在浅部形成硅华和硅帽(玉髓、水云母等),浅部硅帽与底盘断层泥形成阻挡层,含矿溶液受阻扩散,多次作用形成喇叭状矿体;当挥发组份积聚至压力大于顶盘内压的3—5倍时,封顶被冲破,或发展成新的裂隙组,这时压力突然释放,含矿溶液发生沸腾和喷气,而产生局部隐爆,形成硅质角砾,促进硫化物,金银矿物的沉淀,如此多次封闭—开放—封闭,形成含矿硅质复式角砾岩和富银金矿体。

牛圈浅成低温热液型银金矿床成矿模式与成矿系列见图6。其蚀变与矿化特征:

1.硅华带:热泉出口处沉淀物质,靠近出口处硅华由含Ag、Au量较高,易被剥蚀,已不存在。

2.硅帽:硅华下部蚀变岩,在热泉系统发育过程中,曾经历了强烈的硅化与酸性淋滤作用,形成硅帽,其特征是多期次形成,属热液通道的上部。牛圈银金矿这种硅帽已大部分剥蚀,只剩下I、II号矿体之间少量硅化体,呈暗灰、灰色、致密块状,具贝壳状断口,由玉髓、水云母、蒙脱石等组成,粒径0.02~0.005mm。

3.银富矿带(氧化带),发育于硅帽之下,亦属热液通道,地化异常以Ag、Au、As、Sb为特征;硅质角砾发育,多成富硫化物硅质复式角砾;矿体中常见有晶洞、晶簇,洞壁多为无色萤石,浅色砷黄铁矿。矿脉一般陡窄缓宽。Ag品位在浅部和厚度大处一般较高。这反映了浅部多次封闭—开放—封闭成矿作用的特点。

4.贱金属带(过渡带或还原带):Ag富矿带之下,由于深度的加大,Ag含量降低,逐渐过渡到贱金属带,如营房Ag Pb Zn矿可能属这个带,其特征是其上部Pb/Zn比值较高,一般>2,蚀变特征由粘土化带转向青盘岩化带。