

宁夏卫宁北山金场子金矿床地质特征 与控矿因素分析

仲佳鑫¹, 李欢², 李鹏¹, 闫廷亭²

(1. 宁夏国土资源调查监测院, 宁夏 银川 750004; 2. 宁夏遥感测绘勘察院, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 宁夏卫宁北山地区划属北祁连成矿带之宁夏香山-卫宁北山-固原铜、金、铁、铅锌多金属成矿带, 铜、金、铁多金属成矿作用显著。金矿体主要以似层状、透镜状产出, 受断裂破碎带控制。矿石大部分为氧化矿石, 少许为原生硫化物矿石。金矿床岩石稀土总量变化较大 ($\Sigma\text{REE}=12.04\times 10^{-6}\sim 136.167\times 10^{-6}$), 轻稀土富集, 重稀土亏损; La/Yb 值为 0.609~16.158, Sm/Nd 值为 0.18~0.275, 表明轻重稀土发生一定程度的分馏; $\delta\text{Eu}=0.447\sim 0.91$, 表现为 Eu 的亏损。研究认为: 金场子金矿应属于沉积-构造-热液改造型金矿, 其形成受地层、岩性、构造控制, 但成矿作用主要与石英闪长玢岩侵入有关, 主要发生了黄铁矿化、高岭土化、黄钾铁矾化和硅化, 后期经历了较强烈的氧化淋滤作用, 对该矿床的形成具有非常重要的意义。

关键词: 金矿床; 控矿因素; 卫宁北山金场子

中图分类号: P618.5102 **文献标识码:** A

1 引言

金场子金矿区位于宁夏中南部卫宁北山地区, 行政区划属宁夏中卫市。矿区范围北起麻疙瘩, 南至石磨沟, 西起新井沟, 东至红石堆。大地构造位于北祁连走廊过渡带东段与阿拉善地块南缘、鄂尔多斯地块西缘的转换交接部位。在宁南弧形构造带内划属卫宁北山褶皱冲带 (即牛首山-大罗山推覆体北西端)。

卫宁北山地区是宁夏主要的金属矿产矿集区, 成矿区带划属宁夏香山-卫宁北山多金属成矿带, 铁、铜、金矿成矿作用明显。金场子金矿在该区成矿规模较大、成矿条件较好、具有代表性, 故笔者文通过对典型矿床与其成因的探讨, 总结该区金矿床的成矿规律。

2 成矿地质背景

该区构造演化具明显的多期活动性。早古生界属北祁连弧后盆地的一部分, 形成了以次深海斜坡相陆源碎屑-泥质沉积为主的浊积岩系, 构成本区古生代各类建造的基底层。至华力西期, 北祁连弧后盆地关闭, 本地区演化为弧陆碰撞机制下的前陆盆地构造环境, 形成泥盆系磨拉石建造和石炭一二叠系海陆交互的前陆盆地充填沉积。华力西末期至印支初期, 该地区进入陆缘褶皱构造环境, 主要以近南北向挤压为主, 形成了近东西向展布的褶皱、断裂构造, 奠定了该区的基本构造格架。同时期, 在本地区发育了中酸性岩浆侵入, 形成了较多隐伏和出露地表的花岗闪长岩-闪长岩体 (脉) 及岩浆热液蚀变岩。燕山期和喜马拉雅期的建造及构造运

收稿日期: 2011-03-09; 修回日期: 2012-05-02

基金项目: 宁夏回族自治区地勘基金项目“宁南弧形构造带演化及找矿前景研究”

作者简介: 仲佳鑫 (1984-), 男, 2010 年毕业于长安大学, 获硕士学位, 工程师, 现主要从事矿产地质研究工作。

Email: zjx4000@163.com

动在本区记录不多,仅表现为对华力西—印支期形成的建造及构造形迹进行的改造,在区域上形成了

侏罗系、白垩系和古近系,与下伏地层间均呈不整合接触(图1)。

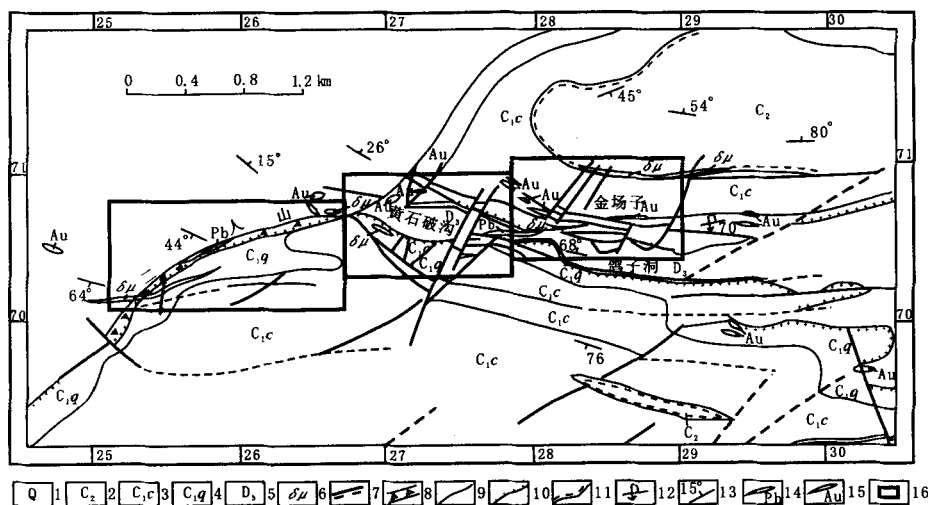


图1 卫宁北山地区金场子金矿床区域地质图

(据宁夏地调院, 2003 修改)

Fig.1 Regional tectonic map of Jinchangzi gold ore deposit in the north mountain of Weining area

(Amended after Ningxia geology survey institute, 2003)

1. 第四系; 2. 上石炭统; 3. 下石炭统臭牛沟组; 4. 下石炭统前黑山组; 5. 上泥盆统老君山组; 6. 石英闪长玢岩; 7. 实测推测断层; 8. 破碎带; 9. 地质界线; 10. 不整合线; 11. 平行不整合线; 12. 倒转产状; 13. 地层产状; 14. 铅矿化体; 15. 金矿体、矿化体; 16. 矿区范围

3 矿区地质

卫宁北山金场子金矿区出露的地层主要以古生界为主,由老到新出露上泥盆统老君山组(D_3l)、下石炭统前黑山组(C_{1q})、臭牛沟组(C_{1c})、上石炭统羊虎沟组(C_{2y})。

上泥盆统老君山组(D_3l):出露第三段至第六段,第三段为浅灰色、浅紫色钙质粉砂岩、钙质长石石英砂岩,具泥质、砂质灰岩透镜体;第四段为紫灰色钙质粉砂岩为主,次为紫灰色细粒砂岩或石英砂岩;第五段为紫灰色、灰白色钙质粉砂岩和细粒石英砂岩互层;第六段为浅紫红色钙质粉砂岩、粉砂质泥岩,灰色薄层灰岩。

下石炭统前黑山组(C_{1q}):可分为2段,第一段为浅黄色角砾状灰岩,浅褐、浅黄色泥晶灰岩、细晶灰岩、泥质粉砂质灰岩、钙质粉砂岩、粗粒砂岩、石英砂岩;第二段下部为褐灰、紫灰、浅灰色中粒砂岩、细粒砂岩、石英砂岩,上部为泥岩、页岩、粉砂岩夹泥晶灰岩、砂质灰岩、粉砂质灰岩。

下石炭统臭牛沟组(C_{1c}):下部为灰-灰白、

紫红色中粒含泥钙质砂岩;上部为灰-褐灰、紫红色细粒钙质泥岩、硅质砂岩夹砂质灰岩、泥晶灰岩。

上石炭统羊虎沟组(C_{2y}):岩性主要为灰黑、灰色页岩、粉砂质页岩、碳质页岩、紫红色页岩、灰色石英砂岩、褐灰色细粒石英砂岩和泥硅质砂岩。

金场子金矿区内断裂、褶皱构造发育,构造线呈近东西向,控制了该区的山体形态与地层分布(图2)。褶皱构造主要为华力西中期的金场子复式背斜。复背斜南北两翼沿新老构造接触面均被东西向断层破坏,并叠加了次级背斜及向斜构造。断裂主要由一系列走向断层和倾向断层组成。走向断层沿走向及倾向呈舒缓波状,断层两傍岩层陡立或倒转,紧靠断层面常见挤压片理顺断层面分布。断裂破碎带内构造岩常具分带现象,断层角砾岩大小不一,呈棱角状、次棱角状,定向性不明显,并逐渐过渡为挤压片理。这组断裂构造是矿区主要的导矿、容矿构造。倾向断层多切割地层界线和走向断层,主要以北东向为主,其形成应该晚于走向断层。

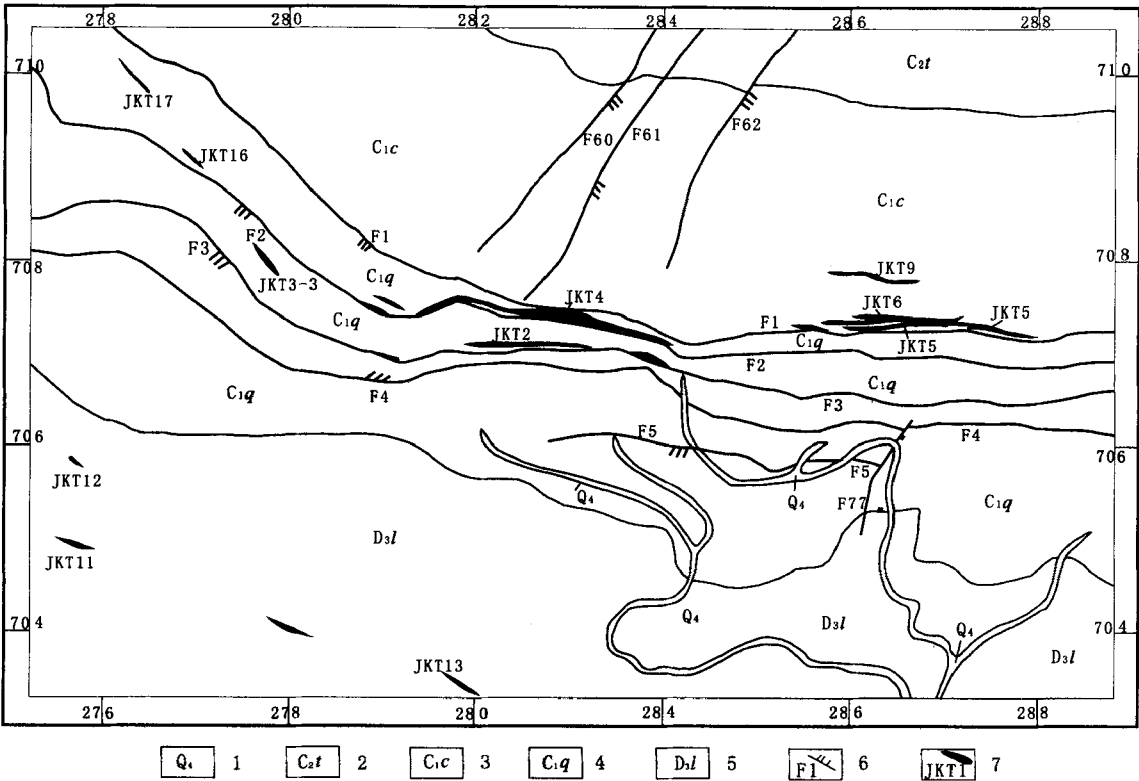


图 2 卫宁北山地区金场子金矿床简图
(据宁夏地矿局矿产调查所, 1993 修改)

Fig. 2 Simplified geological map of Jinchangzi gold ore deposit in the north mountain of Weining area
(Amended after Ningxia mineral survey institute, 1993)

1. 第四系; 2. 上石炭统土坡组 (羊虎沟组); 3. 下石炭统臭牛沟组; 4. 下石炭统前黑山组;
5. 上泥盆统老君山组; 6. 断层及其编号; 7. 金矿体及其编号

北东向断层具左行走滑剪切断层性质, 常切割东西向断层, 赤铁矿化、褐铁矿化在断层两侧局部发育, 在与近东西向断裂交汇处, 赤铁矿化、褐铁矿化十分强烈, 金矿体在此处较富。

区内岩浆活动微弱, 仅见石英闪长玢岩。热液活动较普遍, 局部地段有热液石英脉、方解石脉、重晶石脉出露, 与成矿关系密切。

3.1 矿体特征

金场子金矿床为小型工业矿床, 部分矿体已被中卫金矿开发利用。该矿床主要由 20 个金矿体组成, 分布在 B2 背斜南北两翼 (图 2)。矿体主要赋存于上泥盆统老君山组构造破碎带中, 系隐伏矿体, 其他矿体均赋存于下石炭统前黑山组和臭牛沟组构造破碎带中。

矿体主要以似层状、透镜状和层状产出, 受断层破碎带的控制。大致呈东西向平行延伸, 产状与

地层近乎一致。主矿体规模较大, 其围岩主要为下石炭统前黑山组, 沿走向及倾向有分枝复合和尖灭再现现象; 矿体长度为 40~300 m、斜深 10~300 m, 矿体厚度为 0.52~25.26 m (图 3)。

3.2 矿石类型及结构、构造

3.2.1 矿石类型

金场子金矿床中, 大部分矿体赋存于氧化带, 少许为硫化物矿体。从工业类型上可将金场子金矿床的矿石分为氧化矿石和原生矿石两种类型。按矿石的蚀变特征、宏观构造特征及矿化原岩类型, 可将氧化矿石划分为: 褐铁质碎裂-角砾岩型金矿石、片理化褐铁质粉砂岩型金矿石; 原生矿石主要为片理化砂岩型金矿石、片理化泥岩型金矿石。

氧化矿石类型: ①褐铁质碎裂-角砾岩型金矿石是矿床中常见的金矿石类型, 约占氧化矿石 70% 以上, 矿石大多呈紫红色、橙黄色、黄色, 褐

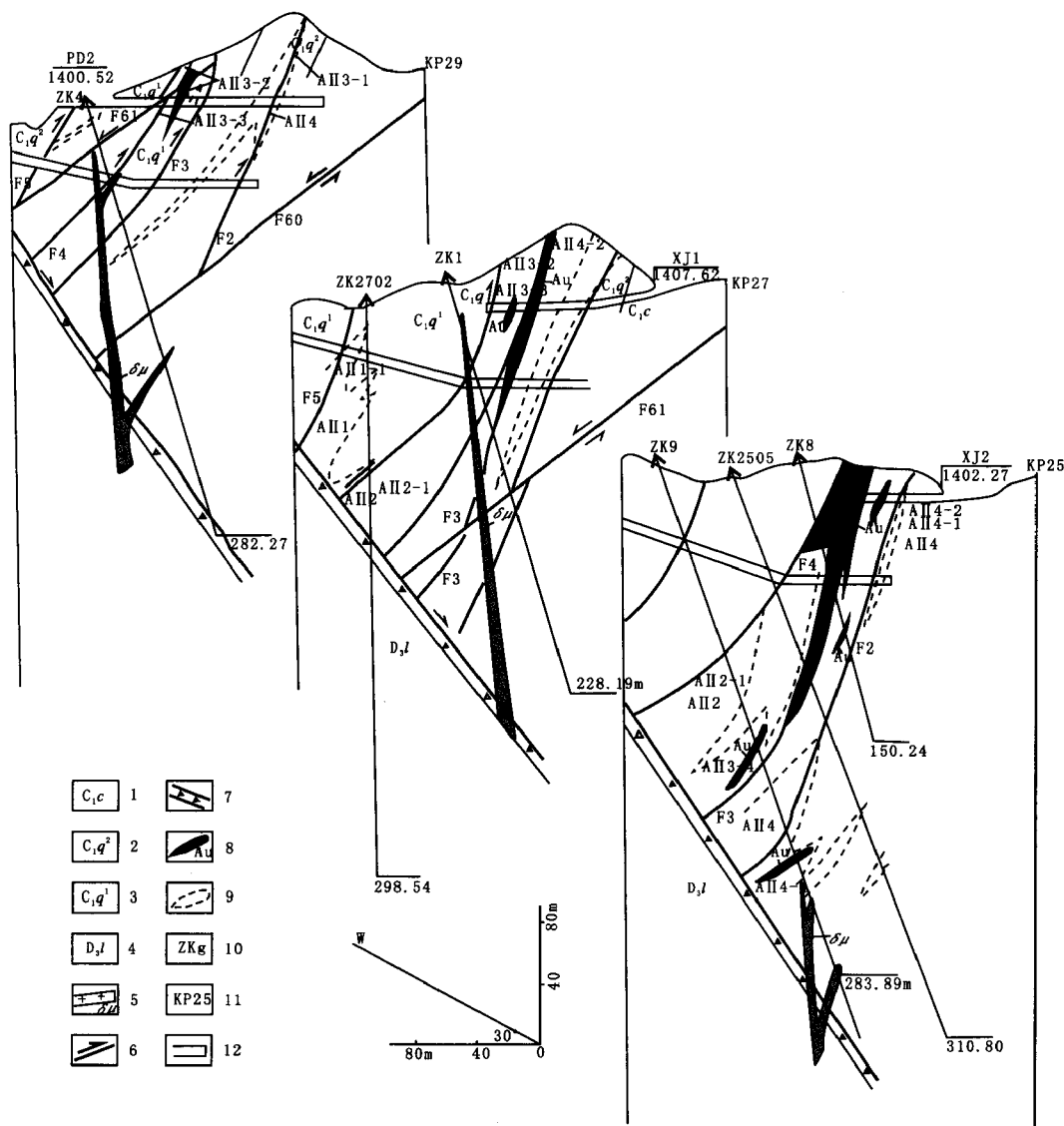


图3 金场子金矿床勘探线剖面对比图

(据宁夏地调院, 2003)

Fig. 3 The exploration profile of Jinchangzi gold ore deposit

1. 下石炭统奥牛沟组; 2. 下石炭统前黑山组二岩段; 3. 下石炭统前黑山组一岩段; 4. 上泥盆统老君山组; 5. 闪长玢岩; 6. 逆断层; 7. 滑脱断裂破碎带; 8. 金矿体; 9. 金矿化体; 10. 钻孔及编号; 11. 勘探线及编号; 12. 平硐

黑色、蓝灰色, 一般为角砾状、团块状、土状、多孔状和蜂窝状构造。矿石大多发生强烈的褐铁矿化、黄钾铁矾化, 同时伴有碳酸盐化, 高岭土化。②片理化褐铁质粉砂岩型金矿石是矿床中较常见的一类矿石, 以 JKT5、6 号矿体中为多, 矿石多呈褐红、灰白或浅灰-蓝灰色, 具浸染状, 细脉状构造。矿石主要由石英、褐铁矿、高岭土组成, 次为黄钾铁矾和方解石等。普遍具褐铁矿化、硅化和高岭土化。局部碳酸盐化、黄钾铁矾化, 褐铁矿化分

布不均匀, 呈不规则小脉穿插, 局部呈团块, 有时呈填隙矿物分布在矿石中。

原生矿石: ①片理化砂岩型金矿石分布在 J'KT14、15 号矿体中, 矿石具浸染状构造, 细粒砂状结构。主要由石英、黄铁矿组成, 少量方解石、黏土矿物。矿石普遍黄铁矿化、硅化, 伴有碳酸盐化。此类矿石 Au 品位较低, 局部 Ag 较高。Au 最高品位为 10.6×10^{-6} , 最低为 0.57×10^{-6} 。Ag 最高品位为 317.35×10^{-6} , 最低为 1.18×10^{-6} 。②片理化泥岩型金矿石在矿区分布较少, 主要分布

在JKT1、7、10、11、12号矿体中，在JKT2-6号矿体中少量分布。矿石一般呈浅灰白色、黄褐色，浅黄色、褐红色等，土状、团块状、多孔状、蜂窝状构造。主要由石英、高岭土及含量不等的褐铁矿、黄钾铁矾和少量方解石组成。矿石普遍具较强烈的褐铁矿化和高岭土化，但不均匀，两种蚀变强烈程度互为消长，局部伴有硅化和孔雀石化。

3.2.2 矿石结构构造

氧化矿石构造：①土状构造：矿石经强烈风化及高岭土化，由于铁质含量不同和蚀变种类不同，土状物的颜色也不尽相同（图4a）。②角砾状构造：破碎的砂泥岩碎屑、褐铁矿及硅化石英砂岩碎屑等呈角砾状混杂于泥质物和其他细碎屑物中，或

被硅钙质胶结穿插。③浸染状构造：各种形式的细小褐铁矿、纤铁矿、针铁矿等浸染于石英砂岩、粉砂岩、泥岩和碎裂岩中。④多孔状、蜂窝状构造：矿石经风化淋滤后，硅质物及被胶结的碎屑物残留下来形成骨架，钙质及金属硫化物被流失，形成多孔状。有的褐铁矿呈蜂窝状团块。⑤细脉状构造：硅化石英砂岩、钙质砂岩等发生碎裂，被后来的石英、碳酸盐矿物、黄钾铁矾及赤铁矿里细脉充填穿插。⑥团块状构造：褐铁矿等铁的氧化物以及孔雀石、蓝铜矿、胆矾等呈几厘米的团块，这种团块多呈蜂窝状、粉末状及鳞片状。

原生矿石构造：①角砾状构造：原岩及早期形成的黄铁矿角砾被后期黄铁矿、石英、碳酸盐矿

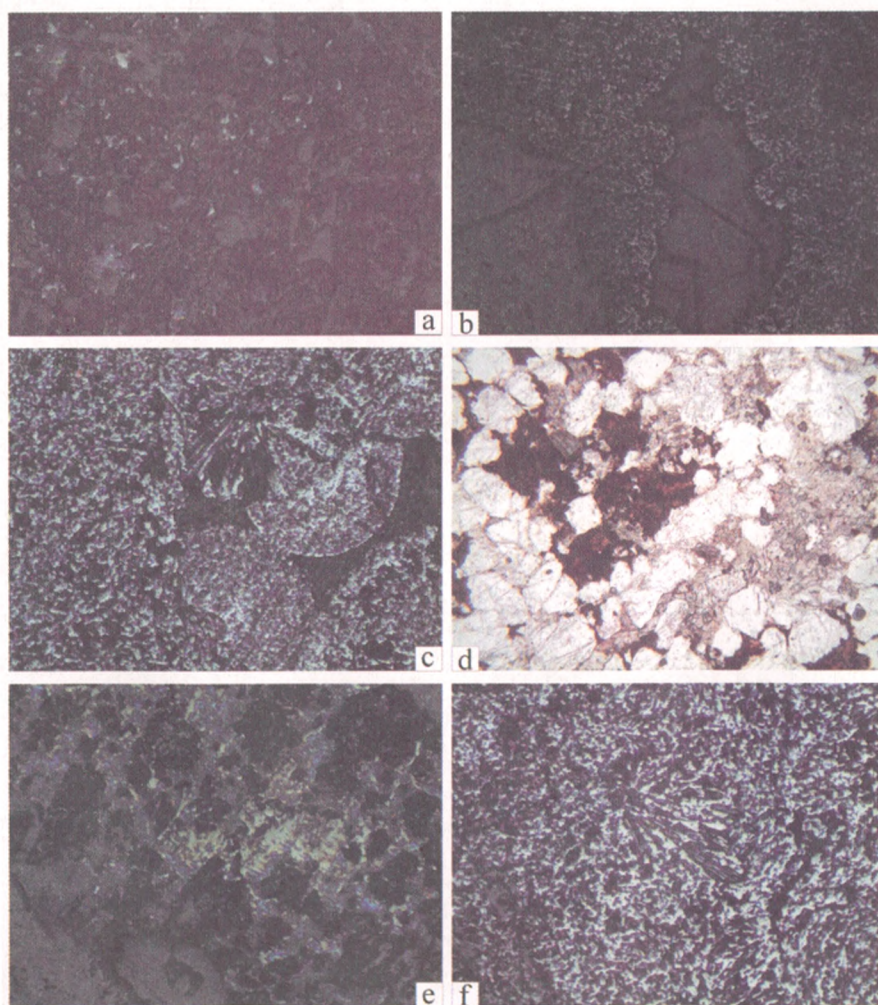


图4 金场子金矿床显微照片（长边2mm）

Fig. 4 The photos of Jinchangzi gold ore deposit

- a. 土状、星点状褐铁矿；b. 胶状褐铁矿孔隙中充填方解石；c. 胶状变胶状褐铁矿；d. 泥质胶结物被褐铁矿染色；
e. 褐铁矿充填碳酸盐裂隙生成；f. 赤铁矿板条状单体呈放射状集合体分布

物、高岭石等黏土矿物和岩石粉末胶结。②块状构造：黄铁矿局部富集呈稠密块状。③浸染状构造：黄铁矿、毒砂呈星散浸染状分布。④条带状构造：含砷黄铁矿呈条带状分布。

氧化矿石结构：①胶状结构：褐铁矿以胶状结构为主，而且多表现淋滤形成（图4b、c）。②砂质结构：碎屑粒径0.05~0.25 mm，胶结物主要为泥质，并经历了淋滤（图4d）。③假象结构：砂、泥岩中的褐铁矿仍保留其原来黄铁矿的立方体，五角十二面体假象。④包含结构：硅化石英砂岩中包含有自形粒状锆石、碳酸盐矿物、黄铁矿等，自然金呈他形微粒状包于磷铝铈矿、硅化石英和石墨中。⑤他形粒状结构：自然金呈各种微粒分布于泥质物中。⑥填隙结构：微条状、微粒状自然金、方解石分布于石英、褐铁矿的裂隙中及石英和褐铁矿接触处的间隙中（图4b、e）。⑦变余泥质结构：水云母泥岩经强烈的黄钾铁矾化、明矾石化后，水云母大部分消失，仅残存较粗粒者。黄钾铁矾和明矾石粒细小，分布均匀。⑧放射状结构，赤铁矿板条状单体呈放射状集合体分布（图4f）。

原生矿石结构：①自形-半自形细粒结构：黄铁矿、毒砂呈自形-半自形粒状。②他形粒状结构：黝铜矿、闪锌矿、方铅矿等多金属硫化物呈不规则的粒状。③环带结构：黄铁矿具生长环带。④球状结构：黄铁矿呈微莓球体状。⑤压碎结构：矿石由于受应力作用，黄铁矿发生破碎形成压碎结构、似

斑状压碎结构和定向压碎结构。

3.3 矿石矿物组成

金场子金矿床中氧化矿石和原生矿石中贵金属矿物、金属矿物、非金属矿物一共有几十种。其中，贵金属矿物有自然金、自然银、银金矿、辉银矿和角银矿；主要金属矿物有褐铁矿、赤铁矿、黄铁矿、毒砂、针铁矿，其次为黝铜矿、白铁矿、黄铜矿、方铅矿、黄钾铁矾和水赤铁矿等；非金属矿物主要有石英、白云母、绢云母、方解石、白云石等。

卫宁北山地区金场子金矿床各矿体Au平均品位见表1。其中，表内矿体平均品位为 2.25×10^{-6} ~ 22.78×10^{-6} ，平均为 4.74×10^{-6} ；表外矿体平均品位为 0.50×10^{-6} ~ 1.27×10^{-6} ，平均为 0.78×10^{-6} ；整个矿床的Au平均品位为 2.35×10^{-6} 。除Au元素外，还伴生有Ag、Cu、Fe、Pb、Zn等金属，其分析结果见表2。含量较低，均未达到伴生矿产工业品位。

3.4 围岩蚀变

卫宁北山地区金场子金矿床的围岩蚀变以黄铁矿化、褐铁矿化、黄钾铁矾化和硅化分布最广，且与金矿化关系密切。其次还有赤铁矿化、高岭土化和碳酸盐化。

黄铁矿化对金场子金矿化起着重要的作用，几乎所有金矿化都伴随有黄铁矿化。黄铁矿化一般沿碎裂石英脉的裂隙呈细脉状浸染，或均匀浸染于断

表1 金场子金矿床中各矿体Au品位表
Tab.1 Orebodies grade of Jinchangzi gold ore deposit

矿体编号	矿体 Au 平均品位 ($\times 10^{-6}$)		矿体编号	矿体 Au 平均品位 ($\times 10^{-6}$)	
	表内	表外		表内	表外
JKT1		0.69	JKT7		0.52
JKT2	6.03	0.87	JKT8	2.79	
JKT3-1	2.74	0.98	JKT9*	22.78	
JKT3-2	3.26		JKT10	2.25	0.65
JKT3-3	6.92	0.66	JKT11		0.87
JKT3-4		1.27	JKT12*	2.57	
JKT4-1	5.01	0.7	JKT13*		0.95
JKT4-2		0.63	JKT14	4.14	
JKT5-1	2.64	0.83	JKT15		0.90
JKT5-2		0.70	JKT16*		0.59
JKT6	3.50	0.50			0.52
矿床平均品位		2.35 (表内 4.74, 表外 0.78)			

注：带*号的矿体未参加矿床平均品位计算。数据引自宁夏地矿局矿产地质调查所，1993，宁夏回族自治区中卫县金场子矿区及其外围金矿普查报告。

表 2 金场子金矿床伴生元素含量分析结果 ($\times 10^{-6}$)
Tab. 2 Associated elements of Jinchangzi gold ore deposit ($\times 10^{-6}$)

样品编号	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	SiO ₂ (%)	TFe (%)	S (%)	P (%)
HTC05-1	2.35	15.58	6.91	10.83	71.23	17.40				
HTC13-1	2.73	4.46	20.70	70.93	31.09	10.10				
HTC13-2	1.43	21.44	3.29	19.93	126.27	27.10				
HTC14-2	2.63	390.09	60.43	133.67	565.28	134.30				
HTC14-4	2.38	231.52	73.60	87.64	312.77	191.20				
HTC12-2							6.63	49.50	0.07	0.071
HTC12-3							44.07	5.70	0.98	0.032
HTC15-5							58.33	2.16	0.04	0.023
HTC15-6							23.73	38.80	0.04	0.189
HTC15-9							15.38	49.60	0.20	0.032

注：多金属元素分析为本项目在宁夏回族自治区国土资源调查监测院实验室测试。

层破碎带及石英脉旁的围岩中。

褐铁矿化主要分布于构造破碎带中，多呈蜂窝状、胶状、皮壳状、粉末状及球粒状集合体，有的呈黄铁矿的假象，有的中间保留黄铁矿等金属硫化物残余体。在硅化石英砂岩中的褐铁矿多呈微粒浸染状分布，而部分较大的胶状、皮壳状、蜂窝状褐铁矿团块则多和硅化的砂、泥岩碎块胶结在一起。

黄钾铁钒化多与褐铁矿化伴生，亦与硅化关系密切，外观多呈黄色粉末或土状集合体。其晶体细小，呈针状晶簇、板状和球状不均匀分布，一般在矿体氧化带强烈处极为发育。

硅化分布最广，特别在砂岩中尤为明显，主要表现在岩石中广泛分布的石英脉和砂岩中的石英及硅质胶结物重结晶或者在碎裂岩中呈胶结物。硅化石英大多呈他形或半自形粒状。硅化与褐铁矿化，黄钾铁钒化伴生发育时，一般都伴有金矿化。

赤铁矿化主要沿构造破碎带单独出现或与褐铁矿化伴生，局部与金矿化相关。赤铁矿主要呈微粒状、粉末状及鲕状，胶状集合体，一般岩石破碎程度越高，赤铁矿化越强烈。

碳酸盐化分布广泛，主要见于灰岩、泥灰岩和钙质砂岩，泥岩中，蚀变矿物主要是方解石，次为菱铁矿和白云石，方解石一般呈脉状沿裂隙充填和交代，局部为团块。

高岭土化主要分布在泥质岩中，岩石破碎强烈地带伴有强烈高岭土化，与金银矿化关系密切。高岭土多呈隐晶质致密块状或土状，粉末状集合体，粒度细小，常与石英、绢云母和褐铁矿等伴生在一起。

4 矿床地球化学特征

4.1 稀土、微量元素地球化学特征

卫宁北山地区金场子金矿床岩石稀土元素分析结果见表 3。稀土元素总量变化较大 ($\Sigma \text{REE} = 12.04 \times 10^{-6} \sim 136.167 \times 10^{-6}$)。其中，褐铁矿化石英脉的稀土元素总量仅为 12.04×10^{-6} ，其余岩石样品稀土总量为 $84.995 \times 10^{-6} \sim 136.167 \times 10^{-6}$ ，平均值为 90.932×10^{-6} ，表明岩石稀土元素富集程度不高。

LREE 的值为 $6.567 \times 10^{-6} \sim 120.16 \times 10^{-6}$ ，HREE 的值为 $5.464 \times 10^{-6} \sim 11.988 \times 10^{-6}$ ，LREE/HREE 值为 $1.204 \sim 9.897$ ， $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 $0.410 \sim 10.894$ 。除褐铁矿化石英脉外，其余样品相关数据和比值均远大于 1，说明该区轻稀土富集，重稀土亏损； La/Yb 值为 $0.609 \sim 16.158$ ， Sm/Nd 值为 $0.18 \sim 0.275$ ，表明轻重稀土发生一定程度的分馏， $(\text{Ce}/\text{Yb})_N = 0.349 \sim 8.415$ ， $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 0.330 \sim 2.106$ ，说明轻稀土分馏程度较高，重稀土分馏程度较低； $\delta \text{Eu} = 0.447 \sim 0.91$ ，表现为 Eu 的亏损。

由北美页岩标准化稀土配分曲线（图 5a）可以看出，配分曲线总体平稳，褐铁矿化石英脉由于其形成环境与其余砂岩样品不同，所以反映在稀土元素特征曲线上的特征也明显不同。砂岩样品的稀土配分曲线总体平稳，显示出 Eu 的亏损和 Gd 元素的富集，样品配分曲线协和性较好；褐铁矿化石英脉的稀土配分曲线则表现出明显的左倾，除个别

元素, 如 Yb、Lu 的含量与砂岩样品的 Yb、Lu 含量接近外, 其余元素含量均明显低于砂岩样品。

卫宁北山地区金场子金矿床岩石微量元素分析结果见表 4。对比中国东部大陆地壳, 调查区砂岩中大部分微量元素, 如 Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Ni、Cr 及 V 等的含量较中国东部大陆地壳中微量元素的含量明显偏低; 部分样品的 Ba、Ga、Hf、Li 等元素的含量高于中国东部大陆地壳中微量元素的含量; 在微量元素蛛网图(图 5b)上可以看出, 砂岩样品具有高 Be、Rb、Zr、Rb、Ba、Th、Pb 和低 Cr、Ni 等特点; 褐铁矿化石英脉的蛛网图曲线明显不同于砂岩样品, 这与它们不同的形成环境相对应; 蛛网图表现出较好的协和性, 表明该区岩石物源区相对稳定。

表 3 金场子金矿岩石样品稀土元素含量 (×10⁻⁶)

Tab. 3 Rare earth elements abundances of Jinchangzi gold ore deposit (×10⁻⁶)

样品编号 样品名称	HTC05-01 石灰岩岩屑砂岩	HTC13-01 褐铁矿化石英脉	HTC13-02 石英砂岩	HTC14-02 矿化蚀变破碎带	HTC14-04 长石石英砂岩
La	27.42	1.197	17.21	25.96	18.74
Ce	55.21	2.653	35.44	56.2	35.11
Pr	6.294	0.378	3.891	6.484	4.199
Nd	24.63	1.699	14.98	25.63	16.66
Sm	4.436	0.467	2.738	4.959	3.407
Eu	0.654	0.182	0.767	0.927	0.775
Gd	4.429	0.803	3.179	4.867	3.867
Tb	0.507	0.141	0.374	0.667	0.476
Dy	2.75	0.925	2.291	3.914	2.918
Ho	0.518	0.222	0.463	0.798	0.582
Er	1.605	0.849	1.504	2.445	1.785
Tm	0.223	0.195	0.214	0.37	0.249
Yb	1.697	1.966	1.686	2.563	1.795
Lu	0.259	0.363	0.258	0.383	0.263
δEu	0.447	0.901	0.793	0.570	0.651
(La/Yb) _N	10.894	0.410	6.882	6.829	7.039
La/Yb	16.158	0.609	10.208	10.129	10.440
Sm/Nd	0.180	0.275	0.183	0.193	0.205
(La/Sm) _N	3.889	1.612	3.954	3.293	3.460
(Ce/Yb) _N	8.415	0.349	5.437	5.672	5.059
(Gd/Yb) _N	2.106	0.330	1.522	1.532	1.738
ΣREE	130.632	12.04	84.995	136.167	90.826
LREE	118.644	6.576	75.026	120.16	78.891
HREE	11.988	5.464	9.969	16.007	11.935
LREE/HREE	9.897	1.204	7.526	7.507	6.610

注: 稀土元素分析在长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室完成。

4.2 构造环境判别

卫宁北山地区金场子金矿床的砂岩样品在 La-Th-Sc、Th-Co-Zr/10 和 Th-Sc-Zr/10 构造环境判别图上(图 6), 样品基本上落入大陆岛弧范围内, 表明其物源区主要为大陆岛弧型环境, 其物质来源可能与闪长玢岩脉等岩浆岩有关。

5 控矿因素及矿床成因探讨

5.1 控矿因素

(1) 地层岩性的控矿作用: 矿区内所有金矿体和矿化体及 Au、Ag 元素化探异常均赋存在下石炭统一上泥盆统中。容矿构造大都与地层走向基本一致。因此, 上泥盆统一下石炭统对金、银成矿具有一定的控制作用, 但是否是金、银矿床的矿源层需要进一步研究。

(2) 构造的控矿作用: 卫宁北山二人山一金场子一带发育 3 条剪切带, 即二人山剪切带、黄石坡沟剪切带和金场子剪切带。金场子剪切带、韧脆性变形强烈, 总体呈北西—南东向展布, 控制了金场

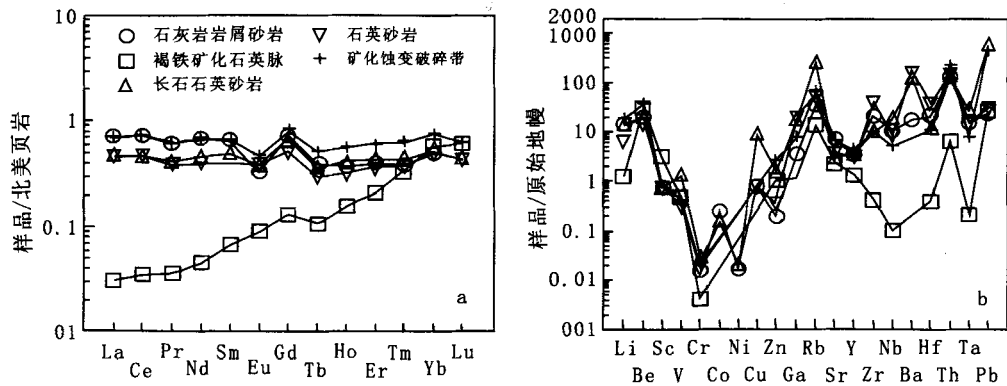


图 5 金场子金矿床岩石稀土元素北美页岩标准化曲线 (a) 和微量元素原始地幔标准化蛛网图 (b)

Fig. 5 (a) The NASC-normalized REE patterns; (b) trace elements primitive mantle-normalized spider diagrams (北美页岩数据引自 Haskin et al. , 1966; 原始地幔来自 McDonough and Sun, 1995)

表 4 金场子金矿床岩石微量元素分析结果 (×10⁻⁶)
Tab. 4 Trace elements abundances of Jinchangzi gold ore deposit (×10⁻⁶)

样品编号 样品名称	HTC05-01 石灰岩岩屑砂岩	HTC13-01 褐铁矿化石英脉	HTC13-02 石英砂岩	HTC14-02 矿化蚀变破碎带	HTC14-04 长石英砂岩	中国东部 大陆地壳 (高山等)
Ba	114.1		1047		818.8	614
Rb	20.58	8.158	28.32	41.02	155.9	69
Sr	137.9	43.17	71.54	130.8	58.96	285
Y	14.28	5.643	12.68	19.09	16.12	17.5
Zr	212.6	4.458	400	106	115.6	175
Nb	6.749	0.067	5.65	3.357	11.43	11
Th	10.67	0.514	11.23	17.86	12.98	7.1
Ga	14.17	4.596	75.85	30.45	69.16	18
Ni	32.72		45		39.55	46
Cr	39.54	10.56	40.34	59.55	71.61	92
Hf	5.884	0.11	10.57	3.086	3.493	4.7
Sc	12.82	50.03	11.64	16.34	12.75	19
Ta	0.572	0.008	0.538	0.278	1	0.63
Co	25.7		20.03		16.54	24
Li	21.76	1.857	9.869	28.87	20.52	17
Be	1.336	2.27	1.074	2.418	1.115	1.7
V	36.69	37.81	25.75	109.8	107.5	128
U	5.52	12.59	4.62	4.91	4.64	
Pb	3.304	3.838	4.41	66.34	88.52	15
Cu	23.46		23.78		264.8	38
Zn	10.51	56.92	20.04	139	87.42	81

注：微量元素分析在长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室完成。

子金矿体或矿带的空间展布，是整个矿床的导矿构造，同时也是早期的容矿构造，属于成矿期构造。早期韧-脆性剪切构造产生的强大动力使金场子金矿床成矿元素活化、迁移，并在有利地段富集。后期叠加的北东向脆性剪切构造对矿体进行了改造，并对 Au 成矿元素的富集有一定的影响。在矿区东

西向断裂带与北东向断裂带的交汇部位，往往形成富矿体。

5.2 成矿时代

根据 Pb 同位素年龄测定，该矿床存在 2 期成矿作用：早期以金、铅、银成矿为主，年龄值为 232~234 Ma，大体相当于印支期；晚期以含砷硫

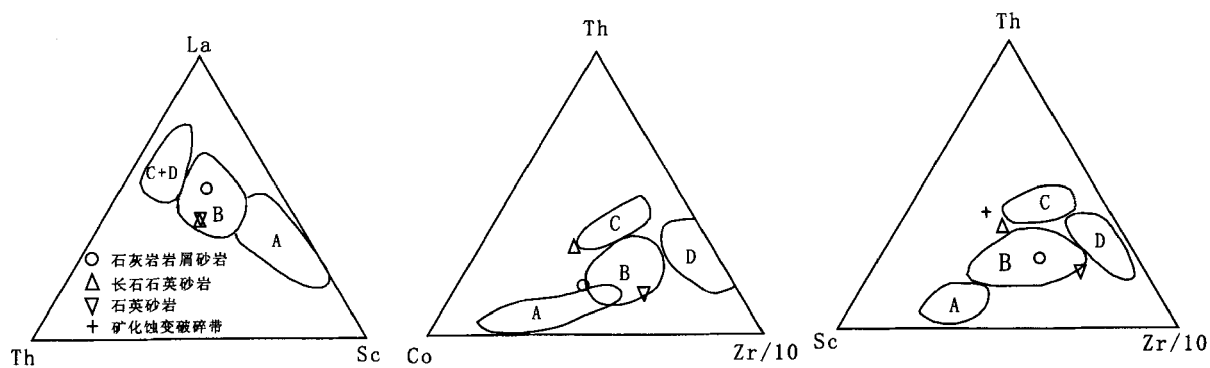


图 6 金场子金矿床 La-Th-Sc、Th-Co-Zr/10 和 Th-Sc-Zr/10 构造环境判别图解

Fig. 6 La-Th-Sc, Th-Co-Zr/10 and Th-Sc-Zr/10 tectonic setting diagram of Jinchangzi gold ore deposit

A. 大洋岛弧; B. 大陆岛弧; C. 活动大陆边缘; D. 被动大陆边缘

铁矿成矿为主，大致在印支期石英闪长玢岩侵入以后成矿，年龄值普遍小于 89 Ma，属燕山期成矿（表 5）（张学文等，2003）。

5.3 成矿温度

据金场子金矿床近石英及方解石中流体包裹

体测试研究，均一化温度为 145~273℃，属中—低温热液；含盐度 $w(\text{NaCl})\%$ 为 11.3~36.2，反映成矿流体盐度较高，并有 NaCl 矿物晶出（周志远等，1993）。由此可见金场子金矿床属中—低温热液型矿床，成矿流体盐度较高。

表 5 矿石铅同位素年龄对比表（据张学文等，2003）

Tab. 5 Comparison of Pb-isotopic age of ore (After Zhang et al, 2003)

期次	样品位置	单矿物种类	$\text{Pb}^{208}/\text{Pb}^{204}$	$\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{204}$	$\text{Pb}^{208}/\text{Pb}^{204}$	年龄值
早期	二人山近地表银铅矿石	方铅矿	18.622	15.732	38.936	1.73 亿 a
	二人山 ZK13901	含银方铅矿	18.77	15.88	39.23	2.32 亿 a
	金场子 ZK9 金矿化黄铁矿	黄铁矿	18.198	15.541	38.041	2.34 亿 a
晚期	黄石坡沟 9101 含铜硫铁矿	黄铁矿	18.64	15.76	38.88	890 万 a
	二人山 ZK14501	黄铁矿	18.72	15.7		39.03 万 a

5.4 成矿期与成矿阶段划分

根据矿床的岩石组成、矿石结构构造、矿物共生组合以及围岩蚀变等特征，金场子金矿床的成矿过程可划分为中—低温热液期和表生作用期两个成矿期。其中，中—低温热液期包括包括黄铁矿化—硅化—金矿化阶段和石英—碳酸盐阶段。

中—低温热液成矿期，主要发生在华力西—印支期，经历了 2 个阶段：早期为黄铁矿化（包括毒砂矿化）—硅化—金矿化阶段，形成矿物主要为黄铁矿、毒砂、砷黄铁矿、石英、方解石，次要矿物有高岭石、绢云母、银金矿等；晚期为石英—碳酸盐阶段，主要矿物有石英、方解石，次要矿物为白云石。中—低温热液成矿期为该矿床的内生成矿期，可形成金等成矿元素的初步富集和贫矿体，但也为表生作用期最终形成较好的工业矿体起到了基

础作用（徐广平等，2011；阎存凤等，2008）。

表生作用期发生在燕山—喜山期，原生矿石出露地表后，经历了氧化、淋滤等作用。形成的主要矿物为赤铁矿、针铁矿、孔雀石、黄钾铁矾、方解石、高岭石、银金矿，次要矿物有白铅矿、菱锌矿、纤铁矿、白铁矿、辰砂、银金矿等。表生作用期可使金等成矿元素进一步富集，在工业矿体形成中起到了重要作用。

5.5 矿床成因探讨

关于该矿床成因，可以依据以下几点进行探讨（李天斌，1999；李文渊等，2006；钱壮志等，2003；汤中立等，2005）。

（1）矿体和近矿围岩中的黄铁矿（金场子矿区存在着沉积和热液成因两种类型）、方解石和石英都含有一定量的 Au、Ag、Pb 等元素。这 3 种

矿物同属热液型矿物。

(2) 原生矿石中,矿物的共生组合表现出中—低温热液的组合特点。磁黄铁矿、黄铁矿、硫砷铜矿、辉银矿为典型的中—低温热液矿物。辰砂为典型的低温热液矿物。

(3) 据矿区 $\delta^{34}\text{S}$ 同位素组成, $\delta^{34}\text{S}$ 集中分布在 3.83‰~6.73‰ (周志远等, 1993), 为零值附近不大的正值, 变化范围小, 呈塔式分布。表明 S 源应为地幔或地壳深部大量地壳物质均一化的结果, 反映了热液矿床 S 同位素组成的特征。

(4) 含金方解石的 C 同位素组成 ($\delta^{14}\text{C}$ -3.4‰~4.84‰) 相对岩浆成因的原生 C ($\delta^{14}\text{C}$ 值一般 < -5‰) 值高, 而与海相碳酸盐岩石的 C 同位素组成范围 (平均为 -0.56‰±1.55‰, 沈渭洲, 1997) 相近, 推测其 C 可能来源于古生界的海相灰岩。

(5) 区内闪长玢岩靠近矿体分布, Au 含量在 $0.0006 \times 10^{-6} \sim 0.23 \times 10^{-6}$, 平均为 0.11×10^{-6} ; Ag 含量为 $0.10 \times 10^{-6} \sim 1.663 \times 10^{-6}$, 平均为 0.38×10^{-6} 。均高于沉积型围岩, 可能为矿体提供了矿质和热源。

(6) 矿石出露地表后几乎全部发生了氧化、淋滤作用, 且 Au 等成矿元素在氧化矿石中相对原生矿石含量高, 表明成矿元素在氧化作用过程中得到了进一步的富集 (高菊生, 1999; 王民良, 1998; 邱朝霞, 1992; 杨建国等, 2003; 杨兴吉, 2003)。

6 结论

(1) 金场子金矿主要赋存于具磨拉石建造的上泥盆统老君山组和咸化泻湖相下石炭统前黑山组碎屑岩地层建造中。

(2) 金矿成矿作用主要发生于华力西—印支期, 燕山—喜山期表生作用使 Au 成矿元素进一步富集。

(3) 金场子韧性剪切带为金矿的形成提供了导矿和容矿空间, 后期叠加的脆性剪切构造对金矿的改造和富集有一定作用。

(4) 矿石分为氧化矿石和原生矿石。氧化矿石主要类型有褐铁质碎裂-角砾岩型金矿石、片理化褐铁质粉砂岩金矿石; 原生矿石主要有片理化砂岩型金矿石、片理化泥岩型金矿石。

(5) 金场子金矿床应为沉积-构造-热液改造型金矿床。后期经历了较强烈表生氧化、淋滤等作用, 对该矿床的成矿具有非常重要的意义。

参考文献 (References):

- 高菊生. 陕西洛源金矿床地质特征及成因探讨[J]. 西北地质, 1999, 19 (1): 22-27.
- Gao Jusheng. Discussion on geological characteristics and genesis of gold deposit in Luoyuan, Shannxi [J]. Northwestern Geology, 1999, 19 (1): 22-27.
- 李天斌. 宁夏南部弧形推覆构造带特征及演化[J]. 地质力学学报, 1999: 22-27.
- Li Tianbin. The feature and formation mechanism of arciform thrust-nappe structure zone of the southern Ningxia [J]. Journal of Geomechanics, 1999: 22-27.
- 李文渊, 徐学义, 腾家欣, 等. 西北地区矿产资源找矿潜力 [M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- Li Wenyuan, Xu Xueyi, Teng Jiaxin, et al. Prospecting potential of mineral resources in northern China [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2006.
- 钱壮志, 汤中立, 李文渊, 等. 秦祁昆成矿域古生代区域成矿规律[J]. 西北地质, 2003, 36 (1): 35-40.
- Qian Zhuangzhi, Tang Zhongli, Li Wenyuan, et al. Metallogenic regularity of Qinling-Qilian-Kunlun metallogenic domain in Paleozoic [J]. Northwestern Geology, 2003, 36 (1): 35-40.
- 汤中立, 钱壮志, 任秉琛, 等. 中国古生代成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, Ren Bingchen, et al. Paleozoic mineralization of China [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2005.
- 王民良. 秦岭泥盆系金矿控矿条件与找矿标志分析[J]. 有色金属矿产与勘探, 1998, 7 (6): 363-368.
- Wang Minliang. The metallogenic and ore-searching criteria of the gold deposits hosted in Devonian, Qin Ling [J]. Nonferrous Metal Minerals and Exploration, 1998, 7 (6): 363-368.
- 徐广平, 张晓东, 艾宁, 等. 宁夏卫宁北山地区铁矿区域成矿规律探讨[J]. 西北地质, 2011, 44 (1): 39-47.
- Xu Guangping, Zhang Xiaodong, Ai Ning, et al. Discussion on the regional mineralization law of iron ore in the North Mountain of Weining area, Ningxia [J]. Northwestern Geology, 2011, 44 (1): 39-47.
- 阎存凤, 袁剑英, 赵应成. 北祁连东部石炭纪岩相古地理

- [J]. 沉积学报, 2008, 26 (2): 193-199.
- Yan Cunfeng, Yuan Jianying, Zhao Yingcheng. Lithofacies Paleogeography of the Carboniferous in the East of North Qilian Mountains [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26 (2): 193-199.
- 邱朝霞. 宁夏金场子氧化带金矿床石英矿物学研究[J]. 地质与勘探, 1992, 28 (3): 26-29.
- Qiu Zhaoxia. A mineralogical study of quartz in the Jinchangzhi gold deposit in oxidized zone, Ningxia [J]. Mineral and Exploration, 1992, 28 (3): 26-29.
- 杨建国, 黄振泉, 任有祥, 等. 甘肃北祁连山寒山金矿床控矿条件与成矿模式[J]. 西北地质, 2003, 36 (1): 41-51.
- Yang Jianguo, Huang Zhenquan, Ren Youxiang, et al. The ore-controlling conditions and metallogenic model of Hanshan gold deposit in North Qilian Mts [J]. Northwestern Geology, 2003, 36 (1), 41-51.
- 杨兴吉. 甘肃省安西县寒山金矿床控矿构造及成因分析[J]. 西北地质, 2003, 36 (2): 72-76.
- Yang Xingji. Ore-controlling structure and genetic analysis in Hanshan gold deposit, Anxi, Gansu [J]. Northwestern Geology, 2003, 36 (2): 72-76.

Geological Characteristics, Ore-Controlling Factors and Mineralization Law of Gold Ore in the North Mountain of Weining Area, Ningxia

ZHONG Jia-xin¹, LI Huan², LI Peng¹, YAN Ting-ting²

(1. Ningxia Institute of Survey and Monitoring of Land and Resources, Yinchuan 750004, China;

2. Ningxia Institute of Remote Sensing and Mapping, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Weining north mountain area lies in the copper, gold and multi-metal metallogenetic belt ranged from Weining north mountain area to Guyuan area of Ningxia, which belongs to the metallogenetic belt of North Qilian, where the gold, copper and iron mineralization has a significant effect. The gold orebodies occur as bed-like or lense, and mainly controlled by the faulted zone. The oxide ores are the main ore types, with few primary sulfide ores. It has a very sharp fluctuation in the amount of REE ($\Sigma\text{REE} = 12.04 \times 10^{-6} - 136.167 \times 10^{-6}$) in the rocks of the gold deposit, with enriched LREE and depleted HREE. La/Yb value is 0.609-16.158 and Sm/Nd value is 0.18-0.275, which shows that the fractional distillation occurred in HREE and LREE. The value of δEu is 0.447-0.91, showing a depleted amount of Eu. The research suggests that the deposit appeared as a polygenic formation cause, relating to comprehensive factors from sedimentation and hot fluids and tectonic effects. The formation of the deposit is controlled by lithology, stratum and geological structure. But, the mineralization of the deposit subjected to the intrusion of the quartz diorite porphyrite. Pyritization, kaolinization, jarosite, silicification has occurred in the process of the ore mineralization, followed by a strong effect of oxidation leaching in the late period, which played a very significant role in the formation of the gold deposit.

Key words: gold ore deposit; ore-controlling factors; Jinchangzi in the north mountain of Weining area