

## 辽东半岛青城子矿田典型金矿成因: 来自硫、氢、氧同位素的证据

赵 岩, 杨宏智, 杨凤超, 张 朋, 顾玉超, 胥 嘉

中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

**摘 要:** 青城子矿田是辽宁东部重要的金多金属矿田, 成矿作用复杂. 选择白云金矿和小佟家堡子金矿进行了硫同位素和氢氧同位素研究. 结果显示矿田内小佟家堡子等金矿硫同位素含量为 1.87‰~16‰, 无明显的塔式分布; 白云金矿的硫同位素含量为 -10.3‰~+1.9‰. 氢氧同位素测试结果显示白云金矿中石英  $\delta D$  含量为 -108.3‰~-74‰,  $\delta^{18}O$  含量为 8‰~15.9‰; 而小佟家堡子等金矿的石英氢氧同位素分布则较为分散. 综合分析认为, 小佟家堡子金矿代表了早期金成矿, 与变质作用有关; 白云金矿代表了晚期金成矿作用; 矿田内层状铅锌矿与小佟家堡子等金矿可能是同期成矿事件.

**关键词:** 硫同位素; 氢氧同位素; 青城子矿田; 白云金矿; 小佟家堡子金矿; 辽宁东部

## GENESIS OF THE TYPICAL GOLD DEPOSITS IN QINGCHENGZI OREFIELD, LIAODONG PENINSULA: Evidences from S-D-O Isotopes

ZHAO Yan, YANG Hong-zhi, YANG Feng-chao, ZHANG Peng, GU Yu-chao, XU Jia

Shenyang Center of Geological Survey, CGS, Shenyang 110034, China

**Abstract:** The Qingchengzi orefield in eastern Liaoning Province is an important gold polymetallic orefield with complex mineralization. The Baiyun and Xiaotongjiapuzi gold deposits are chosen to study the S-D-O isotopes. The results show that the S isotope content in Xiaotongjiapuzi gold deposit is 1.87‰ - 16‰, without distinct tower distribution, while that in Baiyun gold deposit ranges from -10.3‰ to +1.9‰. The D-O isotope test results indicate that the  $\delta D$  content is from -108.3‰ to -74‰, and the  $\delta^{18}O$  content is 8‰ - 15.9‰ in the quartz of Baiyun gold deposit. The D-O isotopes of quartz in Xiaotongjiapuzi gold deposit is dispersely distributed. According to the comprehensive analysis, it is believed that Xiaotongjiapuzi gold deposit represents the early-stage mineralization, related to metamorphism, and Baiyun gold deposit represents the late-stage mineralization. The mineralization of stratiform Pb-Zn deposit and Xiaotongjiabaozi gold deposit in the orefield might occur in the same period.

**Key words:** S isotope; D-O isotope; Qingchengzi orefield; Baiyun gold deposit; Xiaotongjiapuzi gold deposit; eastern Liaoning Province

### 0 引言

青城子金多金属矿田位于辽宁省东部, 矿田内分

布着白云、小佟家堡子、林家三道沟、桃源、马隈子、杨树等金矿床和高家堡子银金矿床. 长期以来地质工作

收稿日期: 2019-07-22; 修回日期: 2019-09-09. 编辑: 李兰英.

基金项目: 国家重点研发计划项目“华北克拉通辽东/胶东重要成矿区带金多金属矿深部预测及勘查示范”(2018YFC0603804), “华北克拉通成矿系统的深部过程与成矿机理”(2016YFC0600108); 中国地质调查局项目“辽宁凤城和黑龙江多宝山地区铜金矿深部调查”(DD20190156).

作者简介: 赵岩(1985—), 男, 博士, 工程师, 现从事辽东前寒武纪地质及成矿研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//cugzhaoyan@126.com

者在青城子矿田内开展了诸多研究,尤其是基础地质特征、成矿流体、成矿作用及成矿时代等. 这些研究在青城子矿田内矿床成因类型和成矿作用认识上却存在很大差异,概括起来有 SEDEX 型、热液型、沉积变质-热液叠加型、石英脉型、蚀变岩型、浊积岩型等几种成因类型<sup>[1-5]</sup>. 青城子矿田内辽河群片岩、大理岩等变质岩系是矿床的主要围岩,而中生代以来活跃的岩浆作用也对矿田有重要影响,应统一分析考虑. 本次研究在系统野外考察基础上,分别采集了白云、小佟家堡子金矿等金矿中不同类型矿石样品,进行了硫同位素、氢氧同位素测试,同时系统收集前人研究结果,对青城子矿田内金矿进行成矿物质和流体来源探讨.

### 1 矿田地质、矿床地质及样品特征

青城子矿田位于古元古代辽吉造山带内,喜鹊沟、甸南、本山铅锌矿等围绕在青城子镇附近产出,外围北东侧有小佟家堡子金矿、白云金矿、桃源金矿、林家三道沟等金矿(图 1). 区内出露一套元古宙高家峪岩组片岩、变粒岩,大石桥岩组变粒岩、大理岩及盖县组地层. 赋矿围岩主要为大石桥岩组三段四层、五层的黑云变粒岩、硅化大理岩及与盖县岩组云母片岩接触部位的层间破碎带. 区内主要发育两期古元古代褶皱构造,早期为近东西向褶皱,晚期为北东向褶皱,两期褶皱叠加部位是矿床赋存有利空间. 区内发育北西、北东、近南北和近东西向断裂构造,其中北西向尖山子断裂南起杨家岭经桃源村,向北西至白云金矿区,走向

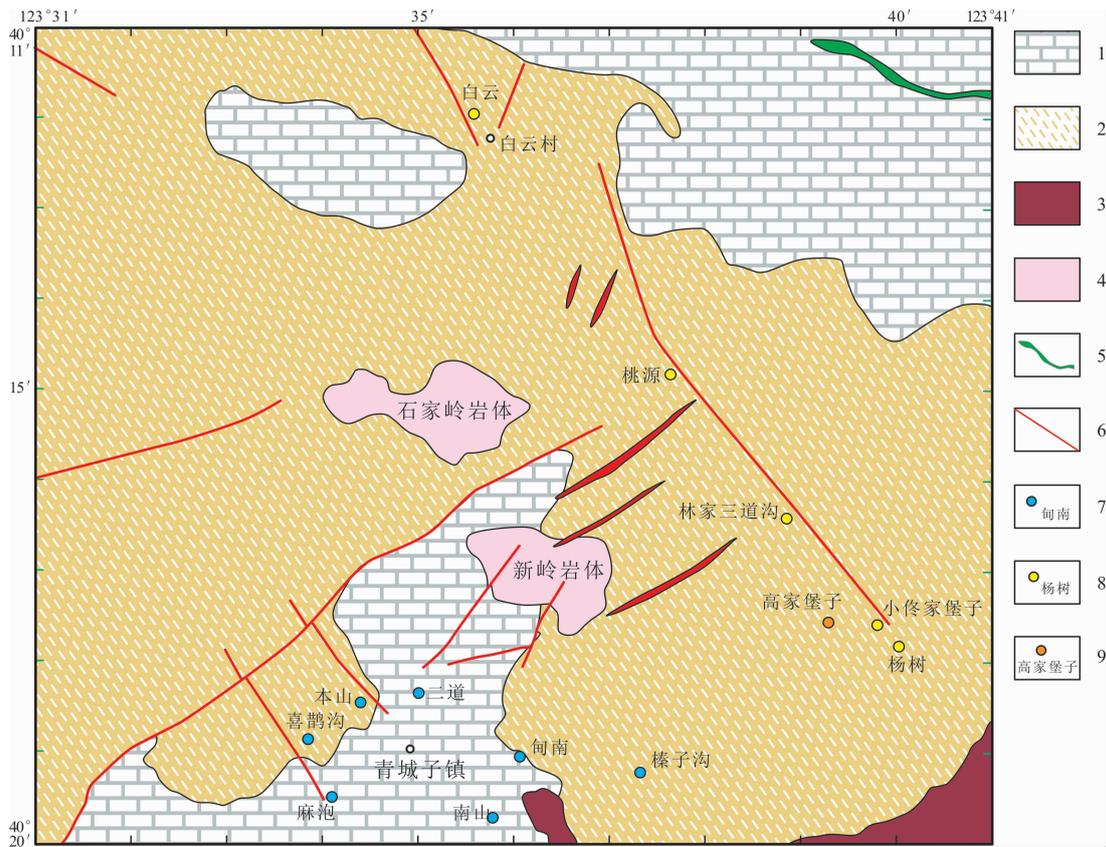


图 1 青城子矿田地质矿产简图  
(据文献[6]修改)

Fig. 1 Geological and mineral sketch map of Qingchengzi orefield  
(Modified from Reference [6])

1—古元古代大理岩(Paleoproterozoic marble); 2—古元古代片岩、变粒岩(Paleoproterozoic schist and granulite); 3—古元古代花岗岩(Paleoproterozoic granite); 4—三叠纪花岗岩(Triassic granite); 5—辉绿岩脉(diabase dyke); 6—主要断裂(major fault); 7—铅锌矿床(Pb-Zn deposit); 8—金矿床(Au deposit); 9—银金矿床(Ag-Au deposit)

330°, 延长 15~20 km, 局部近南北, 倾向北东, 倾角 60~80°。此条断裂是区内银(金)矿的控矿构造, 高家堡子银金矿、小佟家堡子金矿、杨树金矿等皆产于此断裂下盘<sup>①</sup>。矿田内出露元古宙和中生代侵入岩较多, 主要有古元古代双顶沟、曲家堡子花岗岩, 中生代石家岭、新岭花岗岩。

小佟家堡子金矿主矿体赋存在盖县组片岩与大石桥组白云质大理岩接触界面上(图 2a), 主矿体走向东西, 倾向北, 倾角 10~30°, 受层间断裂控制, 呈似层状、扁豆体状产出。金矿体赋存标高+120~-240 m, 控制延长 560 m, 控制延深 650 m, 厚度 0.73~42.27 m<sup>②</sup>。

白云金矿金矿带的分布主要受东西向构造带控制, 自西向东主要有 1 号、2 号、10 号、90 号、11 号、80 和 60 号脉带。金矿体呈似层状、脉状、扁豆体状赋存在东西向展布的硅钾蚀变岩带中或层间破碎带中, 矿体以分支复合、尖灭再现、平行脉形式产出(图 2b)。矿体总体走向近东西, 倾向南, 倾角 30~45°。单矿体延长 50~900 m, 倾斜延深 70~670 m<sup>②</sup>。硅钾蚀变岩型矿石和石英脉型矿石是主要的矿石类型, 根据矿区基础地质资料和野外考察, 将白云金矿早期钾长石-黄铁矿-银金矿组合划分为 I 阶段, 石英-毒砂-黄铁矿等载金硫化物为 II 阶段, 晚期石英-方解石-银金矿等载金矿

物为 III 阶段(图 3)。

本次研究共采集了白云金矿 II 阶段、III 阶段和小佟家堡子金矿硫化物及硫化物石英脉样品, 共进行了黄铁矿等硫化物硫同位素分析 14 件, 石英氢氧同位素分析 7 件。

## 2 测试方法

新鲜的岩矿石样品粉碎至 40~60 目后在双目镜下挑选黄铁矿、石英等单矿物, 要求纯度大于 99%。硫化物随后被粉碎至 200 目以进行硫同位素分析。石英样品则被粉碎至 60~100 目和 200 目分别进行  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  含量分析。硫同位素和石英氢氧同位素测试分析均在核工业北京地质研究院分析测试中心完成, 其中硫同位素采用 MAT251EM 质谱仪完成, 精度优于  $\pm 0.2\%$ ; 石英氢氧同位素采用 MAT253 质谱仪测定, 数据结果以 SMOW 标准报出, 误差均在 2‰ 以内。

## 3 结果

### 3.1 硫同位素

本次研究样品结果及前人在本矿田内金矿内硫同位素研究结果列于表 1。小佟家堡子、林家三道沟、高家堡子矿床(矿段)等硫同位素含量在 1.87‰~16‰ 之

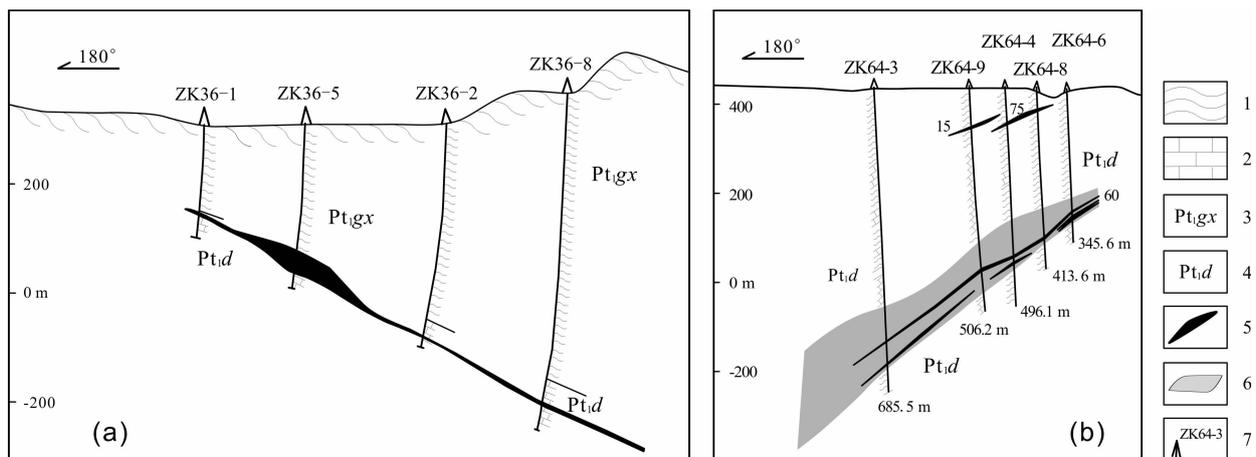


图 2 青城子矿田勘探线剖面图<sup>②</sup>

Fig. 2 Profiles of Qingchengzi orefield along exploration lines

a—小佟家堡子金矿 36 线(No. 36 exploration line in Xiaotongjiapuzi gold deposit); b—白云金矿 64 线(No. 64 exploration line in Baiyun gold deposit); 1—古元古代片岩(Paleoproterozoic schist); 2—古元古代大理岩(Paleoproterozoic marble); 3—盖县组片岩(schist of Gaixian fm.); 4—大石桥组大理岩(marble of Dashiqiao fm.); 5—金矿体(gold orebody); 6—金矿化蚀变带(gold mineralized alteration zone); 7—钻孔位置及编号(borehole and number)

<sup>①</sup>辽宁省有色地质局勘查总院, 辽东青城子矿区金矿评价报告. 2003.

<sup>②</sup>辽宁省有色地质局 103 地质队. 辽宁省凤城市白云金矿接替资源勘查综合研究报告. 2012.

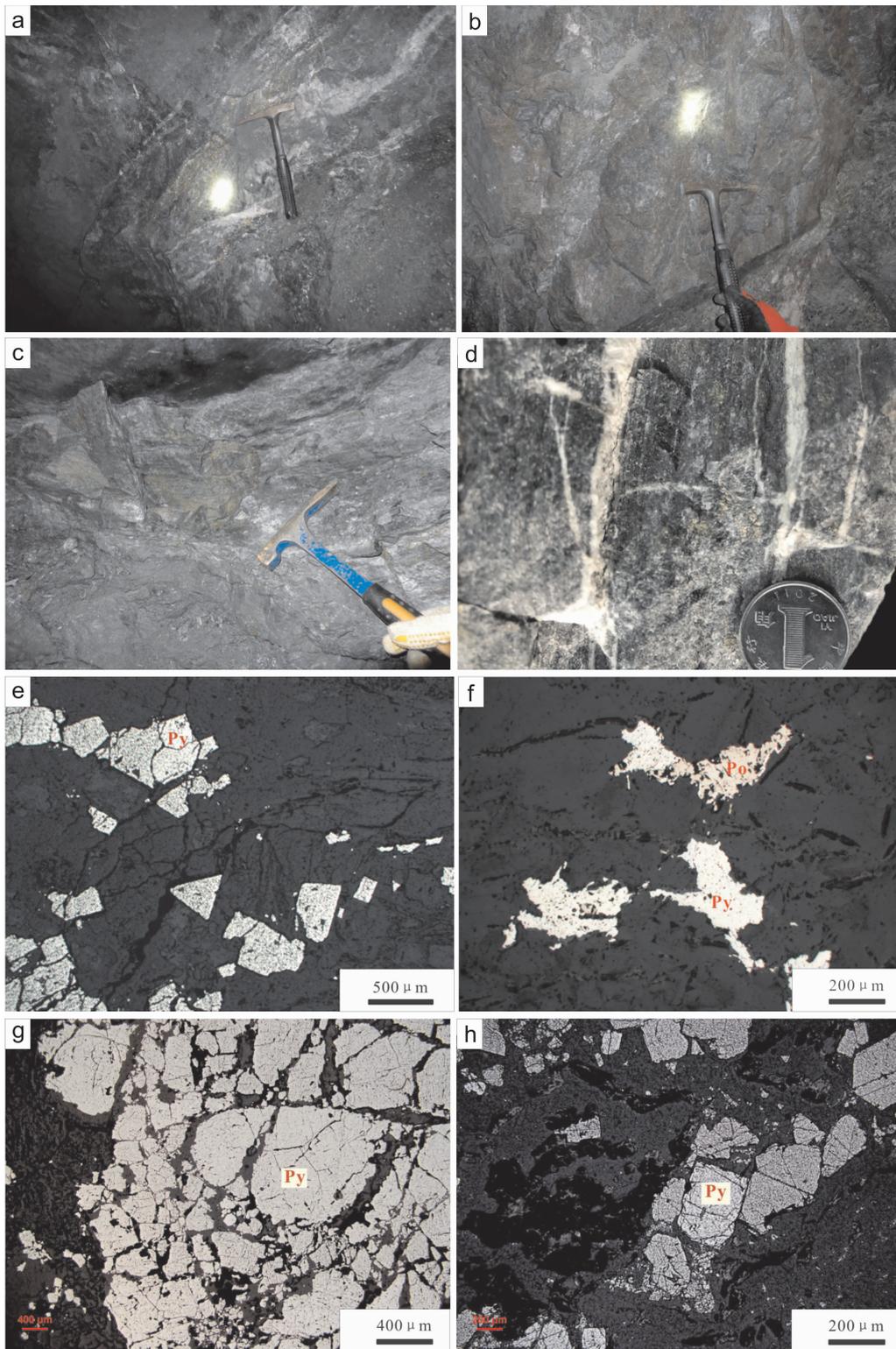


图3 青城子矿田白云金矿及小佟家堡子金矿井下及显微照片

Fig. 3 Field and microscope photographs of Baiyun and Xiaotongjiapuzi gold deposits in Qingchengzi orefield

a—白云金矿石英脉型矿石 (quartz vein-type ore from Baiyun gold deposit); b—白云金矿蚀变岩型矿石 (altered rock-type ore from the Baiyun gold deposit); c, d—小佟家堡子金矿矿石 (ores from Xiaotongjiapuzi gold deposit); e—白云金矿石英脉型矿石镜下照片 (microphotograph of quartz vein-type ore from Baiyun gold deposit); f—白云金矿蚀变岩型矿石镜下照片 (microphotograph of altered rock-type ore from Baiyun gold deposit); g, h—小佟家堡子金矿矿石镜下照片 (microphotographs of ores from Xiaotongjiapuzi gold deposit); Py—黄铁矿 (pyrite); Po—磁黄铁矿 (pyrrhotite)

表1 青城子矿田金矿  $\delta^{34}\text{S}$  同位素组成表Table 1 The  $\delta^{34}\text{S}$  composition of the gold deposits in Qingchengzi orefield

样品编号	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}$	矿段	资料来源	样品编号	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}$	矿段	资料来源
GJ-1	黄铁矿	10.6			LX-21	黄铁矿	12.9		
GJ-2	黄铁矿	11.7			LX-22	黄铁矿	10.5	小佟家堡子	文献[5]
GJ-3	黄铁矿	11.9			LX-24	黄铁矿	8.5		
GJ-4	黄铁矿	10.3			BY-7	黄铁矿	12.5		
GJ-8	黄铁矿	12.8	小佟家堡子	本文	BY-9	黄铁矿	11.1	白云金矿	本文
GJ-9	黄铁矿	11.2			DBY-3	黄铁矿	-10.3		
GJ-10	黄铁矿	12			BY-10	黄铁矿	0.6		
GJ-8-1	黄铁矿	9.4			BYS4	黄铁矿	0.3		
GJ-9-2	黄铁矿	9.8			BYS6	黄铁矿	0		
GJ-10-3	黄铁矿	10.2			BYS1	黄铁矿	-7.7		
g11	闪锌矿	8.76			BYS3	黄铁矿	-7.5		
g1-1	方铅矿	7.05			BYS5	黄铁矿	-5.4	白云金矿	文献[10]
g21	闪锌矿	8.87			BYS7	黄铁矿	-5.8		
g21	黄铁矿	4.65			BYS8	黄铁矿	2.9		
g108	方铅矿	5.77			BYS2	黄铁矿	-8.3		
Y13	黄铁矿	7.93			BYS9	黄铁矿	-8.1		
Y13	方铅矿	1.87			485	黄铁矿	-7.7		
Y7	黄铁矿	8.43			486	黄铁矿	-1.8		
G5	黄铁矿	8.45			487	黄铁矿	-10	白云金矿	文献[11]
G5	方铅矿	7.79			488	黄铁矿	-9.9		
g6	方铅矿	7.22	高家堡子	文献[7]	489	黄铁矿	1.9		
g21	方铅矿	5.96			ZK1-7	黄铁矿	1.6		
G21	闪锌矿	11.52			ZK2-8	黄铁矿	-7.4		
G24	闪锌矿	6.63			ZK2-23	黄铁矿	-0.1		
g28	方铅矿	4.25			ZK2-27	黄铁矿	-5.7		
g28	黄铁矿	6.59			ZK2-29	黄铁矿	-1.7	白云金矿	文献[10]
G8	黄铁矿	10.29			ZK3-15	黄铁矿	1.3		
G8	方铅矿	3.14			ZK1-4	黄铁矿	13.1		
LG13	黄铁矿	9.85			K31	黄铁矿	-7.4		
LG13	方铅矿	9.26			K55-19	黄铁矿	-8.5		
LG13	闪锌矿	9.69			BY3	黄铁矿	-7.5		
FY5	黄铁矿	6.5			BY4	黄铁矿	-4.4		
FY12	黄铁矿	11.7	高家堡子		BY1-3	黄铁矿	-7.1	白云金矿	文献[8]
FY13	黄铁矿	8.6			BY1-4	黄铁矿	-5.2		
JF6	黄铁矿	4.6	小佟家堡子	文献[8]	BY1-5	黄铁矿	-5.6		
JF7	黄铁矿	6.2			BYS10	蚀变片岩	13.1		
YSG5	黄铁矿	7.6			BYS11	大理岩	10.6		
YSG6	黄铁矿	7	杨树		BYS13	大理岩	15.2		
Kg1-21	黄铁矿	13.7			BYS12	硅化大理岩	18.7	白云金矿围岩	文献[10]
Kg1-25	黄铁矿	11.6			BYS14	硅化大理岩	7		
Kg1-1	黄铁矿	7.1			BYS15	硅化大理岩	13.2		
Kg1-25-1	黄铁矿	10.4			BYS16	片岩	11.6		
Kg2-6	黄铁矿	11	林家三道沟	文献[9]	BYS17	大理岩	8.9		
Kg3-7-1	黄铁矿	16			ZK1-14	磁黄铁矿	13.1		
LQ13-4-1	黄铁矿	6.3			ZK1-21	磁黄铁矿	17		
LQ13-4-2	黄铁矿	8.1			ZK1-26	黄铁矿	16.1		
LX-1.1	闪锌矿	5.1			ZK1-27	黄铁矿	14.9	白云金矿围岩	文献[12]
LX-1.2	方铅矿	4.6			ZK2-32	黄铁矿	16.1		
LX-2.1	闪锌矿	6.1	小佟家堡子	文献[5]	ZK2-39	黄铁矿	14.6		
LX-2.2	方铅矿	5.4			ZK3-45	黄铁矿	16.7		
LX-4	黄铁矿	6.9			M2	黄铁矿	10		
LX-9	毒砂	8.7							

间,相对集中的范围在 4.25‰~12.9‰,并非典型塔式分布;白云金矿的硫同位素含量分布更宽,在-10.3‰~+1.9‰之间.前人对白云金矿围岩进行的硫同位素研究显示,硅钾蚀变岩围岩及围岩中硫化物的硫同位素具有与矿体明显不同的含量及分布特征,围岩中  $\delta^{34}\text{S}$  值在 7‰~18.7‰之间(图 4).

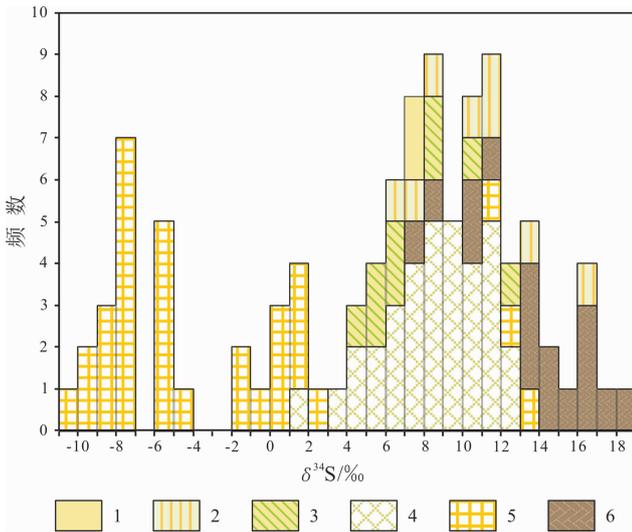


图 4 青城子矿田金矿床  $\delta^{34}\text{S}$  直方图

Fig. 4 Histogram for  $\delta^{34}\text{S}$  of the gold deposits in Qingchengzi orefield

1—杨树金矿(Yangshu gold deposit); 2—林家三道沟金矿(Linjasandaogou gold deposit); 3—小佟家堡子金矿(Xiaotongjiapuzi gold deposit); 4—高家堡子银金矿(Gaojiapuzi gold-silver deposit); 5—白云金矿(Baiyun gold deposit); 6—白云金矿围岩(wallrock of Baiyun gold deposit)

### 3.2 氢氧同位素

本次研究中划分出的白云金矿主成矿阶段(Ⅱ阶段和Ⅲ阶段),连同前人未详细划分成矿阶段的石英具有较为集中的氢氧同位素含量: $\delta\text{D}$  含量在-108.3‰~-74‰之间, $\delta^{18}\text{O}$  含量在 8‰~15.9‰之间;而其他多个金矿的石英氢氧同位素分布则较为分散,详见表 2 及图 5.

## 4 讨论

### 4.1 金矿床成矿物质及流体来源

青城子金多金属矿田内白云金矿主要矿化类型为硅钾蚀变岩型及石英脉型矿体;除白云金矿之外的小佟家堡子、林家三道沟、杨树金矿、高家堡子银金矿等均为石英脉型和硅化蚀变岩型矿化类型<sup>[8,15-16]</sup>.

表 2 青城子矿田内金多金属矿体石英 D-O 同位素组成

Table 2 The D-O isotope composition of quartz from the Au-polymetallic orebodies in Qingchengzi orefield

样品编号	采样位置	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ ‰	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ ‰	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ‰	资料来源
DBY-4	白云金矿Ⅱ阶段	-99.5	12.9	4.2	
DBY-8	白云金矿Ⅱ阶段	-97.1	14.1	5.4	
DBY-10	白云金矿Ⅱ阶段	-88.2	11	2.3	
DBY-9	白云金矿Ⅱ阶段	-91.8	15.1	6.4	本文
DBY-3	白云金矿Ⅲ阶段	-100.1	13.2	0.1	
DBY-6	白云金矿Ⅲ阶段	-108.3	13	-0.1	
DBY-7	白云金矿Ⅲ阶段	-100.9	13	-0.1	
BYHO1	白云金矿Ⅱ阶段	-97	13.5	7.9	
BYHO2	白云金矿Ⅱ阶段	-94	14.4	8.8	
BYHO3	白云金矿Ⅱ阶段	-93	13.9	8.3	
BYHO4	白云金矿Ⅱ阶段	-83	14.1	8.5	
BYHO5	白云金矿Ⅱ阶段	-101	14.2	8.6	
BYHO6	白云金矿Ⅲ阶段	-101	14.7	3	文献[10]
BYHO7	白云金矿Ⅲ阶段	-103	14.7	3	
BYHO8	白云金矿Ⅲ阶段	-100	15.8	4.1	
BYHO9	白云金矿Ⅲ阶段	-104	14.5	2.8	
BYHO10	白云金矿Ⅲ阶段	-107	15.6	3.9	
BYHO11	白云金矿Ⅲ阶段	-96	15.9	4.2	
BYHO12	白云金矿Ⅲ阶段	-105	15.3	6.3	
97-73-1	白云金矿	-74	13.9	7	
97-73	白云金矿	-86	15.5	8.6	文献[13]
97-72	白云金矿	-92	13.5	6.6	
By5	白云金矿	-89.2	10	2.1	
By5	白云金矿	-89.7	11.7	3.8	
By1-5	白云金矿	-87.6	8	-3.6	
By1-6	白云金矿	-91.4	14.3	3.8	
By1-8	白云金矿	-96.3	13.2	5	
YSG2	杨树金矿	-104.7	1.1	-19.01	
YSG3	杨树金矿	-100.4	0.9	19.06	文献[8]
SDG2	林家三道沟	-93.4	15.7	2.27	
SDG3	林家三道沟	-92.4	14.8	1.37	
FY1	高家堡子银金矿	-105.2	8.5	-7.22	
FY2	高家堡子银金矿	-106.5	9.4	-6.32	
FY8	高家堡子银金矿	-95.9	14.7	-1.02	
JF2	小佟家堡子	-106.8	8.1	-6.62	
JF3	小佟家堡子	-108.9	13.8	-0.92	
LX-12	小佟家堡子	-96.2	0.5	5.7	
LX-14	小佟家堡子	-98.1	1.1	6.3	文献[5]
LX-15	小佟家堡子	-99.8	0.3	5.6	
LX-16	小佟家堡子	-98.8	2.3	7.4	
KG3-7-2	小佟家堡子	-70	13.4	-2.09	
KG2-6-1	小佟家堡子	-92	16.8	1.31	文献[9]
KG3-6-2	小佟家堡子	-73	13.4	-2.09	
Dg-1	高家堡子银金矿	-90.9	11.8	-3.1	
Dg-2	高家堡子银金矿	-90.5	9.9	-5	文献[14]
Lg-2	高家堡子银金矿	-90.6	12.2	-2.7	
Dg-4	高家堡子银金矿	-96.4	11.9	-3	
高 21-2	高家堡子银金矿	-62	7.31	-7.74	
高 94	高家堡子银金矿	-71	7.16	-7.83	文献[7]
高 125	高家堡子银金矿	-48	6.42	-8.36	
Kgl-20	高家堡子银金矿	-86	16.8	1.11	文献[9]
Kgl-16-2	高家堡子银金矿	-93	10	-5.49	

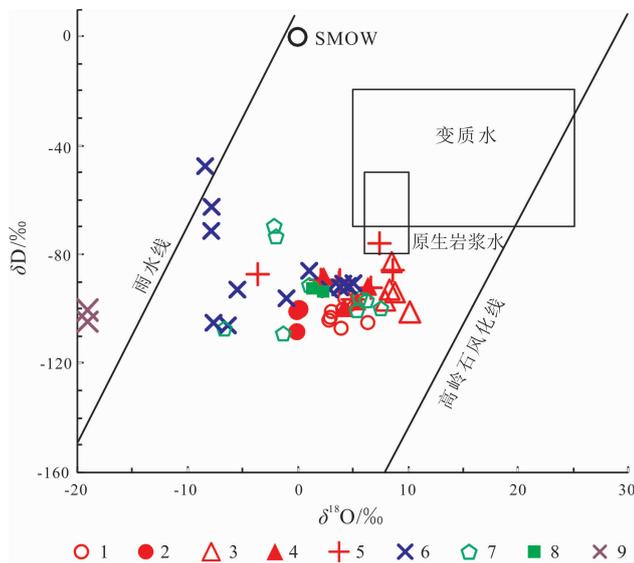


图 5 青城子矿田金矿床矿石中石英氢氧同位素组成图解

Fig. 5 The D-O isotope composition diagram for the quartz fluid inclusions in gold deposits in Qingchengzi orefield

1—本文白云金矿 II 阶段 (sample from stage-II of Baiyun gold deposit by this study); 2—本文白云金矿 III 阶段 (sample from stage-III of Baiyun gold deposit by this study); 3—前人白云金矿 II 阶段 (sample from stage-II of Baiyun gold deposit by previous study); 4—前人白云金矿 III 阶段 (sample from stage-III of Baiyun gold deposit by previous study); 5—前人白云金矿未分期次 (unstaged sample from Baiyun gold deposit by previous study); 6—前人高家堡子银金矿 (sample from Gaojiapuzi gold-silver deposit by previous study); 7—前人小佟家堡子金矿 (sample from Xiaotongjiapuzi gold deposit by previous study); 8—前人林家三道沟金矿 (sample from Linjiasandaogou gold deposit by previous study); 9—前人杨树金矿 (sample from Yangshu gold deposit by previous study)

前人曾对白云金矿直接赋矿的片岩、硅化大理岩等围岩硫同位素研究<sup>[10]</sup>, 结果具有明显的正值 (7‰~18.7‰) 特征, 但本文及前人针对载金硫化物研究却显示黄铁矿、毒砂等硫化物具有明显的  $\delta^{34}\text{S}$  负值 (图 4), 与围岩硫同位素均为正值的特征差异较大. 硫同位素研究结果显示白云金矿的载金硫化物直接来源于古元古代变质沉积岩系的可能性不大, 而可能是来自含矿热液. 该结果与前人在青城子矿田内其他金矿床的硫同位素研究结果明显不同. 白云金矿内硫化物样品的硫同位素具有  $\delta^{34}\text{S}$  负值, 矿田内其他金矿载金硫化物具有  $\delta^{34}\text{S}$  正值 (详见表 1). 白云金矿石英氢氧同位素研究结果也显示了独立的特征, 无论是本次详细划分了成矿阶段还是未划分成矿阶段的研究, 成矿流体都明显在原生岩浆水下方集中的很小范围内 (图 5), 而

通过成矿阶段的详细划分研究则表明, 成矿 II 阶段白云金矿成矿流体具有更接近岩浆流体特征. 矿田内以小佟家堡子金矿为代表的青城子矿田内其他金矿, 与岩浆硫特征不同, 具有分布范围较宽的  $\delta^{34}\text{S}$  值, 而在 D-O 同位素图解上, 这些金矿内硫化物脉中石英内成矿流体反映出偏向大气降水的特征. 在前期流体包裹体研究中发现, 这些金矿中常见含  $\text{CO}_2$  三相流体包裹体, 可能代表了变质流体的存在<sup>[14, 17]</sup>. 综上, 以小佟家堡子金矿为代表的金矿床具有变质沉积岩系成矿物质来源与变质流体来源可能性. 而白云金矿成矿流体则明显具有岩浆流体特征.

#### 4.2 金矿床成因及与铅锌矿床间的联系

来自成矿流体来源和物质来源的研究大致表明, 矿田内可能存在两期金成矿作用: 早期金成矿与变质作用有关, 变质流体萃取了大量来自古老沉积地层中成矿物质后沉淀成矿; 晚期金成矿与岩浆作用相关, 岩浆侵位过程中分泌 (或演化) 的岩浆流体在加热活化早期矿体 (矿化体) 形成含矿流体后, 与冷的大气降水混合或由于压力降低等原因沉淀成矿. 代表早期金成矿的小佟家堡子金矿, 其矿体产状呈似层状产出在盖县组与大石桥组大理岩之间, 与青城子矿田内似层状铅锌矿体产状类似, 并且前人在青城子矿田榛子沟层状铅锌矿内获得了闪锌矿 1798 Ma 的 Rb-Sr 等时线年龄<sup>[3]</sup>, 认为层状铅锌矿发生在古元古代晚期. 古元古代晚期正是胶辽吉造山带碰撞造山的高峰同时引发了强烈的变质作用<sup>[18]</sup>, 与早期金矿由变质作用引起也吻合. 而铅锌矿床中发现的另外几种类型矿体, 如脉状、羽毛状矿体 (应称细脉状矿体) 被认为是与三叠纪岩浆活动有关的成矿<sup>[4]</sup>, 究竟是否与白云金矿为代表的晚期金成矿作用之间存在联系尚需更多工作与证据.

#### 5 结论

(1) 白云金矿成矿流体研究表明其源自岩浆, 硫同位素指示成矿物质明显有围岩的贡献; 而小佟家堡子等金矿则表现出围岩地层更多的贡献, 成矿流体具有变质流体来源特征.

(2) 青城子矿田内小佟家堡子金矿代表了早期金成矿事件, 可能与层状铅锌矿形成于同一成矿作用; 白云金矿代表了晚期金成矿事件.

致谢: 野外考察过程中得到了辽宁青城子矿业公司李斌处长和招金白云金矿有关领导的大力支持, 特表衷心感谢。

### 参考文献:

- [1] 陈江. 辽宁青城子矿田浊积岩型金银多金属矿床[J]. 辽宁地质, 2000, 17(4): 241-244.
- [2] 宋建潮, 胡铁军, 王恩德, 等. 鸭绿江断裂带两侧成矿条件对比及对辽东地区未来寻找金属矿产资源的启示[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 449-461.
- [3] Ma Y B, Bagas L, Xing S W, et al. Genesis of the stratiform Zhenzigou Pb-Zn deposit in the North China Craton: Rb-Sr and C-O-S-Pb isotope constraints[J]. Ore Geology Reviews, 2016, 79: 88-104.
- [4] Duan X X, Zeng Q D, Wang Y B, et al. Genesis of the Pb-Zn deposits of the Qingchengzi ore field, eastern Liaoning, China: constraints from carbonate LA-ICPMS trace element analysis and C-O-S-Pb isotopes[J]. Ore Geology Reviews, 2017, 89: 752-771.
- [5] 刘军, 刘福兴, 李生辉, 等. 辽宁省小佟家堡子金矿床流体包裹体及同位素地球化学特征[J]. 现代地质, 2018, 32(4): 631-645.
- [6] 王玉往, 解洪晶, 李德东, 等. 矿集区找矿预测研究——以辽东青城子铅锌-金-银矿集区为例[J]. 矿床地质, 2017, 36(1): 1-24.
- [7] 刘先利, 姜瑛, 刘志远. 青城子矿田高家堡子大型金银矿床地质特征及成矿机制[J]. 辽宁地质, 2000, 17(2): 121-127.
- [8] 杨凤超, 宋运红, 张朋, 等. 辽宁青城子矿集区金银矿成矿流体特征和成矿物质来源示踪[J]. 地质学报, 2016, 90(10): 2775-2785.
- [9] 张森, 张迪, 沙德喜, 等. 辽东林家三道沟-小佟家堡子地区金(银)矿成矿特征及成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(3): 725-732.
- [10] 郝立波, 赵昕, 赵玉岩. 辽宁白云金矿床稳定同位素地球化学特征及矿床成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(2): 442-451.
- [11] 马玉波, 邢树文, 张增杰, 等. 辽吉裂谷区铅锌金矿床 S、Pb 同位素组成特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2013, 87(9): 1399-1410.
- [12] 赵鸿志, 杨沈生, 李辉. 白云金矿床地质特征及成因探讨[J]. 有色矿冶, 2009, 25(3): 4-7.
- [13] 刘国平, 艾永富. 辽宁白云金矿床某些基本问题探讨[J]. 矿床地质, 1998, 18(3): 219-225.
- [14] 赵岩, 张朋, 吕骏超, 等. 辽宁青城子矿田高家堡子银矿成矿流体特征及地质意义[J]. 地质与勘探, 2015, 51(3): 441-450.
- [15] 宋运红, 杨凤超, 闫国磊, 等. 辽宁青城子铅锌矿成矿流体特征和成矿物质来源示踪[J]. 地质与勘探, 2017, 53(2): 259-269.
- [16] 聂喜涛, 张雅静, 霍亮. 辽宁清原南龙王庙金矿流体包裹体研究[J]. 地质与资源, 2018, 27(6): 540-545.
- [17] 王可勇, 王力, 刘正宏, 等. 辽宁高家堡子大型银矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. 岩石学报, 2008, 24(9): 2085-2093.
- [18] 仲米山, 王海鹏, 鲁红峰, 等. 辽河(岩)群变形期次再讨论[J]. 地质与资源, 2018, 27(3): 218-223.