

# 河北省迁安市长城金矿床碳-氧同位素特征及其意义

崔丽男 刘佳 曹瑞明

河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队(河北省矿山环境修复治理技术中心) 河北 唐山 063000

**摘要:** 长城金矿是冀东地区产于中元古代碳酸盐岩地层内的中低温热液型金矿的典型代表。为明确其成矿物质来源及流体属性,本文对长城金矿的矿石样品进行了系统的碳氧同位素分析。长城金矿床中的碳氧同位素组成主要落在海相碳酸盐岩与岩浆-地幔碳的过渡部位,显示出两种流体混合的趋势,表明成矿热液的碳主要来自于岩浆岩,并加入了海相碳酸盐岩的溶解作用。

**关键词:** 长城金矿, 冀东地区, 碳-氧同位素, 成矿流体属性

**引言:** “长城式”金矿主要是指冀东地区内,赋存于中元古代长城系和蓟县系碳酸盐岩地层中的金矿床,其中以1990年发现的长城金矿最为典型<sup>[1]</sup>。迄今为止已有大批学者对长城金矿的成因及类型进行了深入研究,并提出了不同的认识和看法,目前存在争议的地方主要集中在成矿物质来源及流体属性方面。针对以上问题,本文对长城金矿的矿石进行了系统的碳氧同位素分析,探讨长城金矿的成矿物质来源及流体属性,为后续的找矿勘查提供理论依据和找矿方向。

## 1 区域地质背景

长城金矿位于中朝准地台(I<sub>2</sub>)燕山台褶带(II<sub>2</sub>)马兰峪复背斜(III<sub>2</sub>)遵化穹褶束(IV<sub>2</sub>)东北部的楔形断块冷口盆地南缘<sup>[2]</sup>。冷口盆地经受了多期次构造运动,褶皱构造和断裂构造均极为发育,为铜-铁-金等多金属矿床的形成提供了运移通道和沉淀部位。沿着冷口断裂,不仅分布有长城金矿,在清河沿一带长约10km的范围内还分布着水泉沟、东山、峪耳崖等多处金矿(化)点。

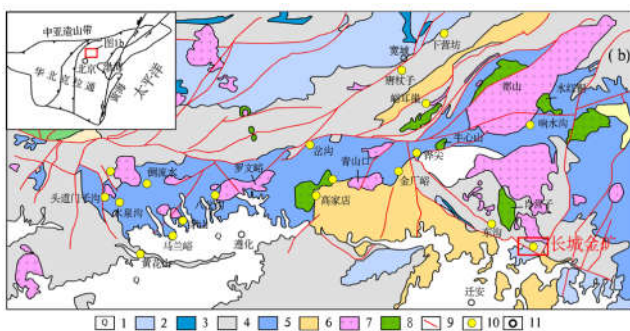


图1 冀东区域地质及金矿分布简图

1、第四系 2、侏罗系 3、石炭-二叠系/寒武-奥陶系 4、中元古界(长城、蓟县、青白口系) 5、遵化群 6、迁西群 7、三叠系-侏罗系花岗岩 8、侏罗系白垩系花岗岩 9、断层 10、金矿床 11、地名

## 2 C-O同位素地球化学特征

本次研究选取长城金矿巷道、钻孔中的11件矿石样品进行碳、氧同位素分析,测试单位为吉林大学测试科学实验中心,碳酸盐(方解石或白云石)的碳氧同位素测定的仪器为MAT253型同位素比值质谱仪,测定的方法为全岩磷酸盐法。 $\delta^{13}\text{C}$ 以PDB为标准,计算 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 时,运用Coplen等提出的计算公式: $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 1.03091\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 30.01$ <sup>[3]</sup>。由于长城金矿床中未发现石墨,因此,白云石和方解石的碳同位素组成可近似作为成矿热液的总碳同位素组成<sup>[4]</sup>。

根据毛某和刘某等,成矿溶液碳主要有3种来源:(1)海相碳酸盐, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为0‰左右,寒武纪以来海相碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 平均值为 $0.56\text{‰} \pm 1.55\text{‰}$ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值10‰~30‰;(2)岩浆碳或深源碳, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值-5‰~-8‰左右, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值5‰~11‰左右;(3)有机碳 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为-25‰左右。这三个源区的CO<sub>2</sub>主要以五种方式进入流体中,分别是:①碳酸盐的溶解作用、②脱碳酸作用、③沉积有机质的羟基化、④氧化作用以及⑤伴随地幔岩浆分异结晶过程中的脱气作用。

长城金矿与碳酸盐岩关系密切,因此通过联合研究碳氧同位素可以进一步认识长城式金矿的成矿物质来源。根据碳氧同位素分析结果,碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值介于-1.95~-0.07‰,平均值为-0.79‰,具有热液型矿床碳酸盐矿物的特征。将长城金矿床的碳同位素与其他碳物质的碳同位素进行对比(图2),可以看出样品碳同位素组成主要集中在地幔和海相碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 范围,说明成矿流体的碳源既包括海相碳酸盐,也包括岩浆或深部来源,这预示着蓟县系地层内的碳酸盐可能也为成矿提供了碳源。样品 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值介于11.73~22.98‰,平均值为17.00‰,虽然样品氧同位素组成主要集中在变质水区域,根据王郁、陈海骄等的氢氧同位素分析结果,成矿过程

中的水既不是单一的岩浆水，也不是变质水，而是一种多来源的混合水。

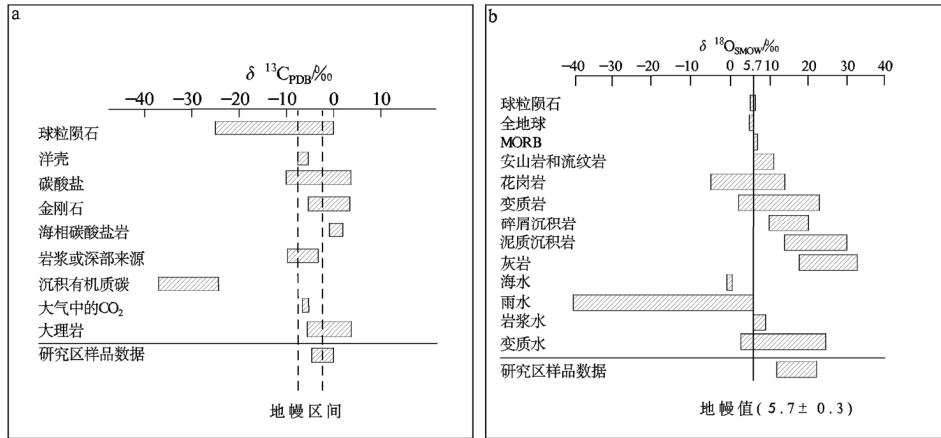


图2 长城金矿碳氧同位素组成与其他碳氧同位素对比图解

综合碳氧同位素来看，长城金矿碳氧同位素表现出明显的贫 $\delta^{13}C_{PDB}$ 和富 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 的特征。在 $\delta^{13}C_{PDB}$ - $\delta^{18}O_{SMOW}$ 图解中（图3），长城金矿床中的碳氧同位素组成主要落在海相碳酸盐岩与岩浆—地幔碳的过渡部位，显示出两种流体混合的趋势，表明成矿热液的碳主要来自于岩浆

岩，并加入了海相碳酸盐岩的溶解作用。另外，方解石的碳氧同位素明显与白云石不同，方解石的C-O同位素组成具有低温蚀变或沉积岩混染/高温效应特征，而白云石的C-O同位素组成具有碳酸盐溶解作用和海相碳酸盐岩去碳酸盐作用的双重特征。

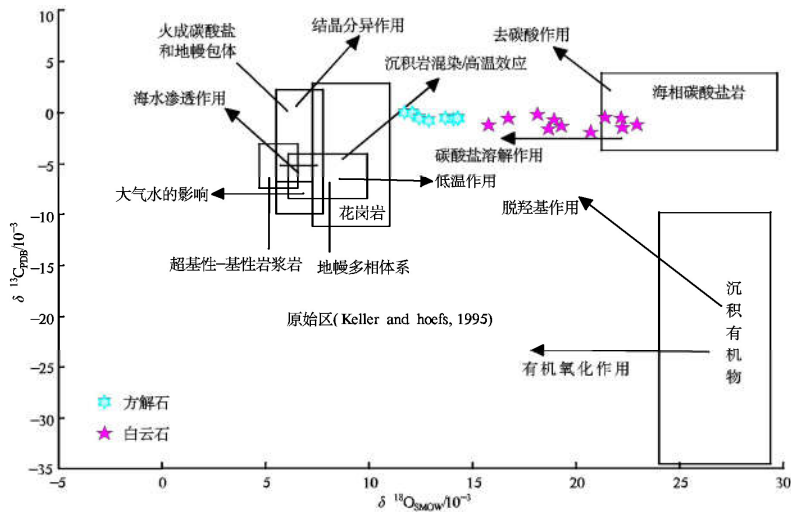


图3 长城金矿 $\delta^{13}C_{PDB}$ - $\delta^{18}O_{SMOW}$ 图解

随着成矿流体的演化， $\delta^{18}O_{SMOW}$ 变得越来越大。在长城金矿成矿初期，成矿流体主要以岩浆水为主，流体呈酸性和较高氧逸度，矿床发生去碳酸盐化作用。随着大量层间水和大气降水的加入，流体温度和盐度降低，流体由酸性逐渐变为中性、还原性和弱碱性，此时为金矿

的主要成矿阶段，白云石化作用强烈。由于白云石的结晶温度较其他热液成因脉石矿物高，属成矿早中阶段产物，而不具有深源碳低温蚀变特征。随着大气水的不断加入，成矿流体开始以层间水和大气降水为主，此时方解石化发育。

表1 研究区 $\delta^{13}C/\delta^{18}O$ 同位素分析数据

样品号	野外岩性	$\delta^{13}C_{PDB}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{PDB}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{SMOW}/\text{‰}$
K-2	白云石	-1.5	-7.5	22.28
K-5	白云石	-1.63	-10.97	18.71
Z-7	白云石	-1.33	-10.37	19.32
Z-11	白云石	-1.22	-6.82	22.98

续表:

样品号	野外岩性	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$
H-1	白云石	-0.72	-10.7	18.98
H-3	白云石	-0.56	-12.87	16.74
H-6	白云石	-0.54	-7.59	22.19
H-10	白云石	-0.18	-11.49	18.17
H-14	白云石	-0.5	-8.33	21.43
H9-3	白云石	-1.95	-8.99	20.75
H2-7	白云石	-1.25	-13.81	15.78
CCJK-1	方解石	-0.07	-18.56	11.73
CCJK-2	方解石	-0.03	-18.19	12.11
CCJK-3	方解石	-0.61	-17.85	12.46
CCJK-4	方解石	-0.71	-17.43	12.9
CCJK-5	方解石	-0.56	-16.62	13.73
CCJK-6	方解石	-0.62	-16.26	14.1
CCJK-7	方解石	-0.52	-16.08	14.29
CCJK-8	方解石	-0.59	-16.05	14.32

注:方解石数据来源于(于润涛,2021)

### 3 结论

在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图解中,长城金矿床中的碳氧同位素组成主要落在海相碳酸盐岩与岩浆—地幔碳的过渡部位,显示出两种流体混合的趋势,表明成矿热液的碳主要来自于岩浆岩,并加入了海相碳酸盐岩的溶解作用。随着成矿流体的演化, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 变得越来越小,由于白云石的结晶温度较其他热液成因脉石矿物高,属成矿早中阶段产物,而不具有深源碳低温蚀变特征,说明长城金矿的碳主要来源于海相碳酸盐岩,其中白云石中的碳来自地幔岩浆分异结晶过程中的脱气作用,方解

石中的碳主要来自碳酸盐岩溶解作用,也说明了在成矿作用晚期大气降水的比例出现了明显增加。

### 参考文献

- [1]马振皓.河北迁西金厂峪金矿矿床地质特征及控矿构造特征研究[D].西安:长安大学,2021.
- [2]于润涛.河北省冀东中晚元古界碳酸盐岩分布区金-多金属成矿作用研究[D].长春:吉林大学,2021.
- [3]李鸿睿,李康宁,张江苏等.甘肃合作早子沟金矿微量元素、同位素特征与成矿物质来源[J].地质论评,2023,69(5): 1817-1833.