阿尔金北缘地区铜金矿床硫同位素及其示踪意义初探*

Study on Sulfur Isotope and Its Tracer Significance of Copper and Gold Deposits in Northern Altun Area, Western China

陈柏林[1] 王克卓[2] 杨 屹[2] 王小凤[1] 陈宣华[1] 陈正乐[1]
桑少杰[3] 王亚非[3] 杨 风[2] 李学智[2]

（1 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081；2 新疆地质调查院第一地质调查所，新疆 乌鲁木齐 830011
3 新疆地质调查院第二地质调查所，新疆 鄯善 838200）

Chen Bailin[1], Wang Kezhuo[2], Yang Yi[2], Wang Xiaofeng[1], Chen Xuanhua[1], Chen Zhengle[1]
Sang Shaojie[3], Wang Yafei[3], Yang Feng[2], Li Xuezhi[2]

(1 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 2 No.1 Team of Xinjiang Geological Survey Research Institute, Urumchi 830011, Xinjiamg, China；3 No.2 Team of Xinjiang Geological Survey Research Institute, Shanshan 838200, Xinjiang, China)

摘 要 通过对阿尔金北缘地区铜金矿床的硫同位素研究，结合矿床地质特征，初步认为该区铜矿床有以索尔库里北山和拉配泉为代表的岩浆热液型和以喀腊大湾为代表的海底火山-沉积改造型铜矿床；金矿床有以大平沟和红柳沟为代表的韧性剪切带型（动力变质热液型）和以祥云为代表的破碎带构造蚀变岩型。从硫同位素特征及其反映的矿床成因类型上分析，该区具有较好的铜金矿床找矿远景。

关键词 铜金矿床 硫同位素 阿尔金北缘地区

阿尔金北缘地区是阿尔金 NE 向构造带与北祁连构造带西段的交汇复合部位，北接塔里木地块东南缘。该区中生代以前区域构造的演化特点与北祁连西段一致，经历了太古宙-古元古代陆核和结晶基底的形成、中元古代稳定大陆边缘沉积、新元古代末期－早古生代板块扩张、加里东期板块俯冲-碰撞、晚古生代裂谷扩张及闭合造山作用和岩浆活动；印支期表现伸展作用和碱性岩侵位；而晚燕山期以来，由于印度板块与欧亚板块碰撞造山的远程效应，阿尔金断裂带发生了大规模的左行走滑，北缘地区作为走滑前缘，更多地表现出挤压体制的变形特点（新疆维吾尔自治区地质矿产局， 1993；崔军文等，1999；许志琴等，1999；周勇等，1999；张建新等, 1998；Yin A et al., 1999）。

除了 1/20 万区域地质矿产调查之外，阿尔金北缘地区矿产地质研究在 20 世纪 90 年代之前几乎是空白。90 年代起，以化探为先导，随着国家 305 项目和西部大开发有关找矿专题的实施，于 90 年代中后期相继发现了大平沟、红柳沟、祥云、盘龙沟等金矿床（点）和喀腊大湾、索尔库里北山、拉配泉和索拉克等铜矿床（点）。本文通过对区内铜金矿床硫同位素的研究，初步探讨铜金矿床的成因。

1 铜金矿床地质概况

依地壳结构、赋矿围岩和矿床地质特征，阿尔金北缘地区可以划分为阿尔金北缘金成矿带、阿尔金北

* 国土资源大调查项目（K1.1.2.3 和 200110000001-5）的部分研究成果
第一作者简介 陈柏林，男，1962 年生，研究员，主要从事区域构造、矿田构造和成矿预测研究。

缘铜-铁-金成矿带和阿尔金北缘铜银多金属成矿带。依据矿床成因和构造改造等特点可以划分为韧性剪切带型金矿床、岩浆热液型铜银多金属矿床和与海相火山岩有关的沉积改造型铜铁矿床。

阿尔金北缘金成矿带位于阿尔金北缘断裂带及其以北地区，该带出露太古界深变质岩，发育深层次韧性剪切带，岩浆活动主要为偏碱性的钾长花岗岩，该带最典型的矿床是大平沟金矿床。大平沟金矿床矿化严格受近东西向陡倾角韧性剪切带控制，矿体赋存于发育在太古界达格拉格布拉克群（Ar*dg*）深变质岩中的韧性剪切带内，围岩是发生了韧性变形的褐红色钾长变粒岩。

阿尔金北缘铜-铁-金成矿带位于阿尔金北缘断裂以南的早古生代火山-沉积岩区，该带发育加里东期中酸性岩浆岩和基性-超基性侵入岩。该带最典型的矿床是喀拉大湾海底火山-沉积改造型铜矿床、拉配泉岩浆热液型铜矿点、红柳沟韧性剪切带型金矿床、祥云和盘龙沟构造蚀变岩型金矿床等。

阿尔金北缘铜银多金属成矿带位于阿尔金北缘地区最南部、阿尔金断裂带北段的北侧，索尔库里走廊北侧。出露中元古界蓟县系浅变质岩系及中厚层白云质大理岩和褐红色中层灰岩。该带最典型的矿床是索尔库里北山铜银矿床，为一以黝铜矿为主要矿石矿物的中高温岩浆热液型矿床。

2 铜矿床硫同位素特征

阿尔金北缘地区铜金矿床的硫同位素组成见表 1。其投影见图 1。

表 **1** 阿尔金北缘铜金矿床硫同位素测试结果

序号	矿床名称	样 号	岩石类型	测试矿物	$\delta^{34}S$/‰
1	索尔库里北山铜银矿床	D51-CBL	块状铜银矿石	黝铜矿	+16.5
2		SB-2	块状铜银矿石	黝铜矿	+15.8
3	喀腊大湾铜矿床	K9-6	似层状矿石	黄铁矿	+17.9
4		K28-10	似层状矿石	黄铁矿	+18.7
5		K219-4	似层状矿石	黄铁矿	+19.8
6	拉配泉铜矿点	LP1-2	细网脉状铜矿石	黄铜矿	+8.4
7	盖吉里克铜矿点	GJ8113-F	角砾状铜矿石	黄铜矿	+3.28
8		GJ8114-A	细网脉状铜矿石	黄铜矿	+1.0
9		GJ-TC3-2	细网脉状铜矿石	黄铜矿	+9.1
10	卡特里西铜矿点	K-3	块状铜矿石	黄铜矿	+5.1
11		K-4	块状铜矿石	磁黄铁矿	+4.9
12	秦布拉克铜矿点	8-3-36	似层状铜矿石	黄铜矿	+14.9
13	大平沟金矿床	D21-3	含金石英脉	黄铁矿	+5.8
14		D21-4	含金石英脉	黄铁矿	+6.2
15		D21-7	含金石英脉	黄铁矿	+6.2
16	祥云金矿床	D30-9	矿化蚀变岩	黄铁矿	+5.9
17		D30-10	矿化蚀变岩	黄铁矿	+5.3
18		D30-12	矿化蚀变岩	黄铁矿	+6.8
19	红柳沟金矿床	D33-3	含黄铁矿石英脉	黄铁矿	+11.5
20		D30-12	含黄铁矿石英脉	黄铁矿	+11.5

注：本文采样，中国科学院地质研究所测试，测试方法为高温化法，仪器型号为 MAT-251,数据均为相对于国际标准 CDT 之值

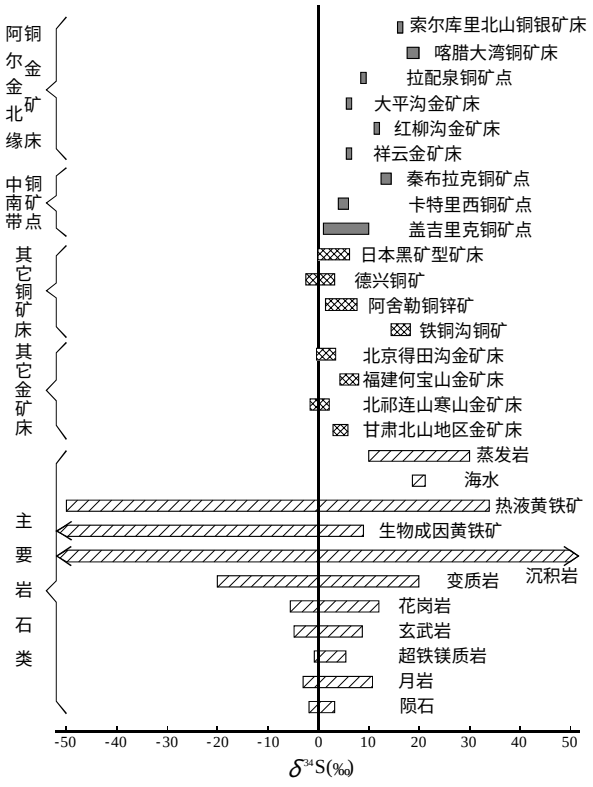


图 1 阿尔金北缘铜金矿及相关矿床、岩石硫同位素投影

从表 1 看出，索尔库里北山铜银矿床矿石黝铜矿的$\delta^{34}S$为 +15.8 ‰～+16.5 ‰，平均+16.2 ‰；喀腊大湾铜矿床矿石黄铜矿的$\delta^{34}S$介于 +17.9 ‰～+19.8 ‰之间，平均 +18.8 ‰；拉配泉铜矿点矿石黄铜矿的$\delta^{34}S$为 +8.4 ‰。3 个铜矿床（点）各自的硫同位素组成都非常集中，说明硫源比较单一，成矿环境和成矿物理化学条件较为稳定。

从 3 个铜矿床(点) 原生含硫矿物来看，索尔库里北山铜银矿床主要为黝铜矿，少量黄铁矿和黄铜矿，硫酸盐矿物很少；喀腊大湾铜矿床和拉配泉铜矿点主要为黄铜矿和黄铁矿，硫酸盐矿物很少。上述矿物组合说明成矿热液发生不同价态硫之间的同位素分馏作用非常弱；同时，本区以绢云母化、绿泥石化、绿帘

石化和硅化为主的围岩蚀变反映成矿流体为弱酸性环境，说明不同成矿阶段的硫同位素分馏也不会很大。所以同一个矿床中，硫同位素的分馏作用主要发生于不同硫化物之间。目前对于黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等常见硫化物的硫同位素分馏作用的研究比较深入（魏菊英等，1988），在 300°C 条件下，各硫化物之间的硫同位素分馏比较小，所以，喀腊大湾铜矿床和拉配泉铜矿点黄铜矿和黄铁矿的硫同位素组成能够非常贴近成矿流体的硫同位素组成。目前对黝铜矿的硫同位素分馏研究比较少，可供对比分析的数据也很少，但由于黝铜矿与其他硫化物中的硫均为相同的价态，矿物结晶的物化条件相似，本矿床中黝铜矿在硫化物总量中占 90%以上，且以黝铜矿为主的硫化物主要形成时期接近，因此黝铜矿的硫同位素组成能够非常贴近索尔库里北山铜银矿床成矿流体的硫同位素组成。

从上述硫同位素组成显示索尔库里北山铜银矿床和喀拉大湾铜矿床的硫源正向偏离陨石硫很大，表明不是深源硫，不是岩浆岩来源为主的硫，而很可能是海相沉积岩来源的硫与岩浆岩来源硫的混合。其中索尔库里北山铜银矿床受岩浆岩来源硫的混入略微多一点。而拉配泉铜矿点的硫源正向偏离陨石硫中等，表明该铜矿点硫源可能以岩浆岩来源为主，有海相沉积岩中硫的混入。

与其它铜矿床相比，索尔库里北山铜银矿床和喀腊大湾铜矿床的硫同位素组成与北祁连山铁铜沟铜矿床非常相近（刘华山等，1998），而与阿舍勒铜锌矿床（陈毓川等，1996）的硫同位素组成有较大差异。与斑岩型的江西德兴铜矿床（朱训等，1983）和变斑岩型山西铜厂峪铜矿床（胡永胜等，1997）的硫同位素组成明显不同，也不同于日本典型黑矿型矿床（张宝贞等，1985）的硫同位素组成。但拉配泉铜矿点与上述具有明显岩浆来源的铜矿床的硫同位素组成的差别比较小（图 1）。

阿尔金中南带地区盖吉里克、秦布拉克、卡特里西铜矿点硫同位素组成见表 1，不再细述。

3　金矿床硫同位素特征

阿尔金北缘金矿床硫同位素组成见表 1。其投影见图 1。从表中看出，大平沟金矿床矿石黄铁矿的δ^{34}S 为 +5.8 ‰～+6.2 ‰，平均+6.1 ‰；祥云金矿床矿石黄铁矿的δ^{34}S 为 +5.3 ‰～+6.8 ‰，平均 6.0 ‰；红柳沟金矿床矿石中 2 件黄铁矿的δ^{34}S 均为 +11.5 ‰，两个样品非常接近。3 个金矿床（点）各自的硫同位素组成都非常集中，说明硫源比较单一，成矿环境和成矿物理化学条件较为稳定。

从 3 个金矿床（点）含硫矿物种类来看，大平沟金矿床内含硫矿物主要为黄铁矿，少量黄铜矿和方铅矿，未发现硫酸盐矿物；祥云和红柳沟金矿床含硫矿物主要为黄铁矿，硫酸盐矿物很少。围岩蚀变也以反映成矿流体为弱酸性环境的绢云母化、绿泥石化和硅化为主，所以成矿热液在发生不同价态硫之间的同位素分馏和不同成矿阶段的硫同位素分馏都比较弱，上述黄铁矿的硫同位素组成能够非常贴近成矿流体的硫同位素组成。大平沟金矿床的硫同位素组成显示硫源正向偏离陨石硫，但是比较小，表明主要不是深源硫，也不是海水来源硫，主要为壳源硫源，最可能来源于花岗岩或正变质岩；祥云金矿床硫源正向偏离陨石硫的幅度与大平沟金矿床一致，其最可能来源于海底基性火山-次火山岩，并受到部分海水硫的混入。而红柳沟金矿床则与大平沟和祥云金矿床的硫同位素组成不同，正向远离陨石硫，表明硫有很大部分来源于海相沉积岩，但受到中酸性岩浆岩源硫的影响。

与其它金矿床相比，大平沟和祥云金矿床的硫同位素组成与甘肃北山小西弓金矿床非常相近（芦青山等，1997），但比北祁连寒山金矿床（毛景文等，2000）稍富集重硫。也与福建何宝山金矿床（蔡本俊等，1994）比较相近，比北京得田沟金矿床（崔艳合等，1996）稍富集重硫（图 1）。

4　硫同位素反映的矿床成因特点

阿尔金北缘地区铜金矿床硫同位素特征为该区铜金矿床的成因研究提供了重要依据。从上述硫同位素组成特点，结合矿床的地质特征，可以对阿尔金地区铜金矿床的成因作出如下分析。

（1）索尔库里北山铜银矿床产于元古界中层灰岩之中，受中层灰岩中的层间破碎带控制，但被规模

较大的逆冲推覆构造带所切错；黝铜矿为主的矿物组合；说明是成矿温度偏高；所以，索尔库里北山铜银矿床是赋存于灰岩中、受层间破碎带控制的中-偏高温岩浆热液型铜银矿床。硫为海相沉积岩和岩浆岩的混合硫来源。

（2）喀拉大湾铜矿床产于早古生代浅变质火山-次火山岩中，一般为层状或似层状，局部受断裂构造裂隙控制，以黄铜矿和黄铁矿为主要金属硫化物，属于铜-铁元素组合。说明该矿床是与海相火山-次火山岩有关的沉积改造型铜（铁）矿床，其硫为岩浆岩来源硫与大量海相沉积岩来源硫的混合。

（3）拉配泉铜矿产于白云岩中，受断裂裂隙控制，铜矿体为石英(方解石)脉或含铜酸性岩脉，矿石具细脉状、网脉状-角砾状构造，所以拉配泉铜矿属于受断裂裂隙构造控制、与中酸性脉岩有关的岩浆热液型脉状铜矿床，铜矿床的硫以中酸性脉岩来源的硫为主，但受到赋矿围岩白云岩的影响。

（4）大平沟金矿床产于太古界深变质岩——钾长变粒岩中，明显受韧性剪切带控制，围岩普遍发生糜棱岩化和构造动力退变质作用，形成各种糜棱岩和绢云母绿泥石构造片岩等。矿石类型为蚀变糜棱岩型和钾长石石英脉型。所以大平沟金矿床属于韧性剪切带型金矿床，硫主要来源于围岩——钾长变粒岩。稀土元素、流体包裹体和氢氧同位素也反映成矿物质主要来源于变质岩、成矿流体主要为变质流体，有少量岩浆水和大气降水的混入。

（5）祥云金矿床产于下古生界扎斯勘赛河组的浅（微）变质火山-沉积岩系中，受北西西向脆性断裂构造控制，金矿石类型为破碎蚀变岩型和黄铁绢英岩型。硫主要来源于围岩——海底基性火山-次火山岩，但受到海水硫的影响。所以祥云金矿床属于产于海相火山-沉积岩系中受构造裂隙控制的破碎带构造蚀变岩型金矿床。

（6）红柳沟金矿床产于元古界马特克布拉克组的变质砂岩中，明显受韧性剪切带控制，围岩（变质砂岩和部分正长斑岩）普遍发生韧性变形、糜棱岩化和构造动力变质作用，矿石类型为蚀变糜棱岩型和石英脉型。硫主要来源于变形的围岩——海相沉积的变质砂岩和部分正长斑岩。所以红柳沟金矿床属于产于海相沉积岩系中的韧性剪切带型金矿床，成矿流体来源于动力变质热液。

5 主要结论和意义

从本区铜金矿床的硫同位素特点，结合矿床地质特征，初步认为区内铜矿床有以索尔库里北山和拉配泉为代表的岩浆热液型矿床、以喀拉大湾为代表的海底火山-沉积改造型矿床；金矿床有大平沟和红柳沟为代表的韧性剪切带型（动力变质热液型）和以祥云为代表的破碎带构造蚀变岩型。从硫同位素特征及其反映的矿床成因类型上分析，该区具有较好的铜金矿床找矿远景。

参 考 文 献

蔡本俊，陈柏林，陈红新. 1994. 崇安—石城构造带中段金矿成矿规律. 北京：地震出版社. 1～105.

陈毓川，叶庆同，冯京，等. 1996. 阿舍勒铜金成矿带成矿条件和成矿预测. 北京：地质出版社.

崔军文，唐哲民，邓晋福，等. 1999. 阿尔金断裂系. 北京：地质出版社. 1～249.

崔艳合，彭明生. 1996. 得田沟金矿床成矿作用研究. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊（50）. 北京：地质出版社.

胡永胜. 2000. 铜厂峪变斑岩型含铜钼矿床成矿作用及找矿预测. 矿床地质，19(1): 46～53.

刘华山，李秋林，于蒲生，等. 1998. 镜铁山式铁铜矿床地质特征及其成因探讨. 17(3): 25～35.

芦青山，辛承琦. 1997. 北山南带金矿床(点)稳定同位素组成及找矿意义.甘肃地质学报，6(1): 53～61.

毛景文，张作衡，杨建民，等. 2000. 北祁连山西段剪切带型金矿床成矿流体特征. 矿床地质，19(1)：9～16.

魏菊英，王关玉. 1988. 同位素地球化学. 北京：地质出版社.

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区地质志. 北京：地质出版社. 1～941.

许志琴，杨经绥，张建新，等. 1999. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制. 地质学报，73(3): 193～205.

张宝贞，陈柏林译. 1985. 日本千岛群岛火山成因矿床硫同位素组成. 同位素地质译文集(陕西地质科技情报室). 48～59.

张建新，等. 1998. 一个韧性转换挤压带的变形分解作用——以阿尔金断裂带东段为例. 地质论评, 44(4): 348～356.

周勇，潘裕生. 1999. 阿尔金断裂早期走滑运动方向及其活动时间探讨. 地质论评, 45(1): 1～9.

朱训，黄崇轲，芮宗瑶，等. 1983. 德兴斑岩铜矿. 北京：地质出版社.

Yin A, Gehrels G, Chen X. 1999. Evidence for 280km of Cenozoic left slip motion along the eastern segment of the Altyn Tagh fault system, western China. Eos Trans. AGU, 80(17), FallMeet. Suppl., 1018.