

新疆和静县乔霍特铜矿床成矿流体地球化学特征

王志良^{1 2)} 毛景文^{1 2)} 杨建民¹⁾ 韩春明²⁾ 张作衡¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037 2) 中国地质大学, 北京, 100083

摘 要 乔霍特铜矿床位于伊犁中天山板块和塔里木板块碰撞对接带北侧的早古生代岛弧带。赋矿地层为上志留统巴音布鲁克组安山质火山岩, 控矿构造为近 EW 向的脆性断裂。本文对该矿床流体包裹体的均一温度、盐度、稀土元素和氢氧同位素进行了测试。研究结果表明, 乔霍特铜矿床的成矿温度为 201~322 ℃, 盐度 $\alpha(\text{NaCl})_{\text{eq}}$ 为 9.34%~17.26%, 成矿流体主要来自海西晚期钾长花岗岩浆在结晶成岩过程中释放出来的岩浆水, 成矿金属物质主要来自安山质火山岩。乔霍特铜矿床属于中温热液型矿床。

关键词 地质地球化学 成矿流体 乔霍特铜矿 和静县 新疆

Geochemistry of Ore-forming Fluids in the Qiaohuote Copper Deposit of Hejing County, Xinjiang

WANG Zhiliang^{1 2)} MAO Jingwen^{1 2)} YANG Jianmin¹⁾
HAN Chunming²⁾ ZHANG Zuoheng¹⁾

1) Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037 2) China University of Geosciences, Beijing, 100083

Abstract Located in the Late Palaeozoic island arc belt north of the collisional suture between Yili-Middle Tianshan plate and Tarim plate, the Qiaohuote copper deposit is hosted in andesitic volcanic rocks of the Upper Silurian Bayinbuluke Formation. Its orebodies are wholly controlled by approximately EW-trending brittle fractures. In this paper, homogenization temperatures, salinities, rare earth elements and H-O isotopes of fluid inclusions in the Qiaohuote copper deposit were determined. The ore-forming temperatures range from 201 ℃ to 322 ℃, and the salinities of ore-forming fluids vary from 9.34% to 17.26%. The H-O isotopic data and REE composition of fluid inclusions indicate that the ore-forming fluids mainly came from magmatic water, and the metals were mainly derived from andesitic volcanic rocks. The Qiaohuote copper deposit is of the hydrothermal type.

Key words geology geochemistry ore-forming fluid Qiaohuote copper deposit Xinjiang

乔霍特铜矿床位于新疆和静县巴音布鲁克镇东 50 km。该矿床为 1958 年 1:100 万区调时发现, 后经新疆地质勘查局第三地质大队用槽探揭露进行评价。20 世纪 90 年代以后, 当地农民陆续开展小规模地表和浅部开采。1996 年国家 305 项目和新疆鑫汇地质矿业公司进一步对该矿床开展评价和勘探, 求得金属铜储量为 $33.7 \times 10^4 \text{ t}$, 为一中型以上的火山热液型铜矿床, 目前已有 5 家公司正在投资开采。1971 年新疆地质局^①对乔霍特地区的区域地质构造、火山岩和侵入岩的地球化学特征进行了初

步的研究, 蔡宏渊等^②对乔霍特铜矿床的成矿地质背景、矿区火山岩和侵入岩地球化学、矿床地质特征等进行了初步研究。本次工作通过对乔霍特铜矿床的流体包裹体特征、均一温度与盐度、稀土元素和氢氧同位素的测试和研究, 尝试探讨成矿流体的性质和来源, 为进一步查明该铜矿床的成矿过程提供依据。

1 矿床地质概况

乔霍特铜矿床位于伊犁中天山板块和塔里木板

本文由国土资源地质调查项目(编号: 200310200001-3 和 DKD2001027-2)及国家重点基础研究项目(编号: G1999043216)资助。

改回日期: 2004-2-11, 责任编辑: 宫月莹。

第一作者: 王志良, 男, 1964 年生, 博士, 副研究员, 主要从事矿床地质研究。

① 新疆地质局, 1971. 中华人民共和国区域地质矿产报告·巴音布鲁克幅(1:20 万)(地质部分和矿产部分)。

② 蔡宏渊等, 1999. 天山大型贵重、有色金属矿床成矿条件研究、靶区优选与评价. 国家 305 项目专题报告。

块的碰撞对接带(中天山南缘断裂)(张良臣等,1985,高俊等,1997)的北侧(图1),属于南天山洋板块在早古生代向伊犁中天山板块俯冲形成的岛弧带。矿区出露地层主要为上志留统巴音布鲁克组安

山质火山岩和第四系松散沉积物。矿区南侧 20~50 m 有一岩株状钾长花岗岩体侵入,其侵入时代为 275 Ma(Ar-Ar 年龄,王志良等,2004),与该矿床的成矿作用关系密切。

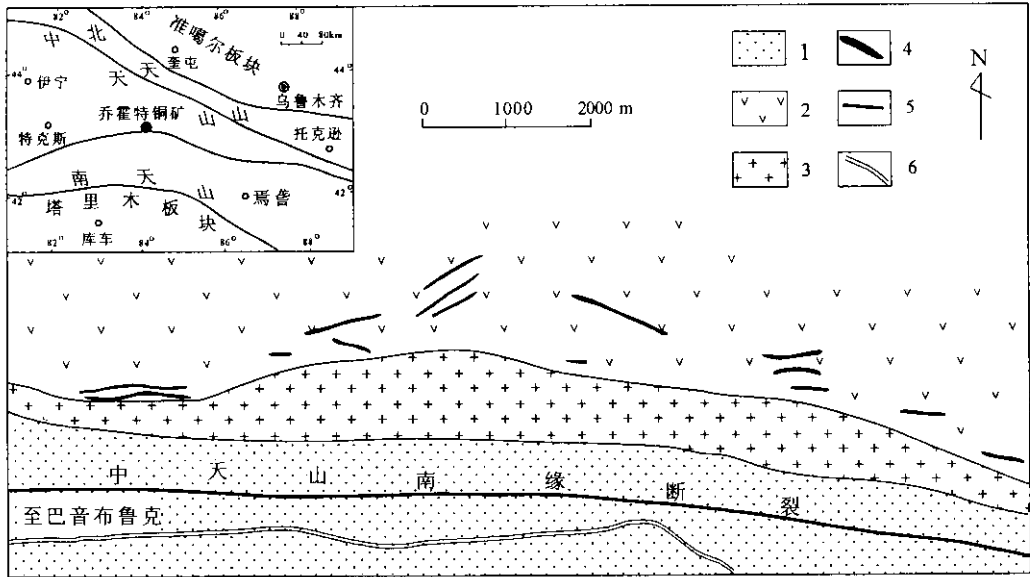


图 1 乔霍特铜矿床地质简图(据蔡宏渊等^①部分资料改编)

Fig. 1 Sketch geological map of the Qiaohuote copper deposit(modified after Cai Hongyuan et al.^①)

1-第四系沉积物 2-上志留统巴音布鲁克组安山质火山岩 3-钾长花岗岩 4-铜矿体 5-大断裂(碰撞带) 6-公路

1-Quaternary sediments 2-Upper Silurian Bayinbuluke Formation andesitic volcanic rocks ;

3-moyite 4-copper orebody 5-large fault (collision belt) 6-road

乔霍特铜矿床的含矿主岩为上志留统巴音布鲁克组安山岩、安山玢岩、玄武安山岩和少量角砾熔岩,这套安山质火山岩的含铜丰度为 $(46\sim62)\times10^{-6}$,为铜矿床的矿源层^①。矿区内发育了规模不等的近 EW 向的韧性和脆性断裂,其中铜矿化均分布在脆性断裂中。在东西长 12 km、南北宽 2 km 的范围内均有铜矿体分布,矿体一般长 500 m 左右,宽 10 m 左右,呈近 EW 向产出,倾向北,倾角 60°左右。矿体形态以脉状为主,有分枝复合现象,规模较大的矿体多为中间膨大的透镜体。铜矿石品位一般为 0.88%~3.51%,富矿石可达 15%左右。富矿石多产在矿区南部靠近钾长花岗岩体,远离钾长花岗岩体矿石品位往往较贫。根据钻孔采样分析数据,从浅部向深部,铜矿石品位有变富的趋势。

矿石中金属矿物种类较多,主要有黄铜矿、黄铁矿、辉铜矿、镜铁矿、斑铜矿、赤铁矿、蓝铜矿、褐铁矿和孔雀石,脉石矿物主要有石英、方解石、重晶石、绢云母、绿泥石和绿帘石等。矿石结构为它形粒状结

构、半自形粒状结构、残余结构、交代结构和溶蚀结构。构造为细脉状构造、细脉浸染状构造、条带状构造、团块状构造和角砾状构造。成矿作用可分为 2 个阶段,即富硫化物-绿帘石-石英阶段(主成矿阶段)和含硫化物石英方解石阶段(晚成矿阶段)。主成矿阶段的矿化赋存在安山质火山岩的断裂破碎带中,蚀变在断裂破碎带中呈线形分布,蚀变主要以绿帘石化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化和绢云母化为特征,其中绿帘石化、硅化和碳酸盐化与矿化关系密切。铜矿物呈浸染状、细脉状和团块状赋存在石英碳酸盐绿帘石脉中。晚成矿阶段的矿化赋存在安山质火山岩与碳酸盐岩(灰岩)的接触破碎带中,蚀变主要以绿泥石化、碳酸盐化和硅化为特征,铜矿物呈细脉浸染状赋存在石英碳酸盐绿泥石脉中。

2 流体包裹体地球化学

2.1 流体包裹体特征与显微测温

对乔霍特铜矿床中含有透明矿物的矿石磨制了

① 蔡宏渊等,2000,南天山大型贵重、有色金属矿床成矿条件研究、靶区优选与评价,国家“305”项目专题报告。

5 个测温片 ,其中富硫化物-绿帘石-石英阶段(主成矿阶段)矿石 3 个 ,含硫化物石英方解石阶段(晚成矿阶段)矿石 2 个。在镜下 ,与铜多金属矿物共生的透明矿物主要有石英、方解石和重晶石等 ,均发育各种流体包裹体 ,但石英中的流体包裹体个体相对最大且发育 ,方解石次之。流体包裹体的形状主要为负晶形、椭圆形和不规则形 ,多数为原生气液两相包裹体 ,偶见纯液相包裹体、含 CO₂ 包裹体 ,此外还发育一定数量的次生包裹体。5 个测温片中的流体包

裹体的大小、气相百分比、均一温度、冰点和盐度列于表 1 中。3 个主成矿期石英中流体包裹体的发育程度较高、流体包裹体相对较大、气相百分比变化范围较宽 ,其均一温度为 252~322 ℃ ,冰点为 -7.6~-13.4 ℃ ,相应的盐度 $w(\text{NaCl})_{\text{eq}}$ 范围为 11.22%~17.26% ;2 个晚成矿阶段石英和方解石中流体包裹体的均一温度为 201~264 ℃ ,冰点为 -6.1~-11.0 ℃ ,相应的盐度 $w(\text{NaCl})_{\text{eq}}$ 范围为 9.34%~14.97%。

表 1 乔霍特铜矿床流体包裹体特征及有关数据

Table 1 Characteristics and parameters of fluid inclusions from the Qiaohuote copper deposit

样号	成矿阶段	大小/ μm	气相百分比/%	$t_{\text{均一}}/\text{℃}$	$t_{\text{冰点}}/\text{℃}$	$w(\text{NaCl})_{\text{eq}}/\%$
QXC7-1	主成矿期	5~10	5~20	279(261~291)	-8.4~-13.4	12.16~17.26
QHT57	主成矿期	5~10	5~15	274(252~313)	-13.2	17.08
QG3	主成矿期	5~10	5~30	294(274~322)	-7.6~-11.4	11.22~15.37
QXC11	晚成矿期	3~8	<5	229(201~255)	-8.1~-11.0	11.81~14.97
QG2	晚成矿期	3~8	5~10	243(222~264)	-6.1~-10.2	9.34~14.15

注 测温使用的冷冻台为英国产 LINKAM THMSG600(中国科学院地质与地球物理研究所) ,误差为 $\pm 0.1\text{℃}$ 。

2.2 流体包裹体的氢氧同位素组成

此次工作对乔霍特铜矿床矿石中 4 个石英单矿物进行了氢氧同位素测试(表 2)。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 是直接测试石英单矿物获得 ,QXC7-1、QHT57、QG3、QXC11 的 $\delta^{18}\text{O}$ 石英分别为 14.4‰、18.1‰、13.8‰ 和 13.6‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 是根据矿物-水平衡温度公式 : $1\,000\ln\alpha_{\text{石英-水}}=3.42\times 10^6\times T^{-2}-2.86$ (张理刚,1985) ,将矿石石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 换算成与之平衡的流体包裹

水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值 ,公式中的 T 用所测的石英中流体包裹体均一温度的平均值。通过计算获得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值分别为 5.9‰、9.4‰、6.1‰ 和 3.0‰ ; δD 是直接测试石英中包裹体水而获得 ,其值分别为 -79.2‰、-75.7‰、-76.3‰ 和 -80.2‰。另外表 2 中 QH5-8、119-1 和 139-8 的氢氧同位素数据为蔡宏渊等^①测试获得的 ,其 $\delta^{18}\text{O}$ 石英值为 12.3‰、12.3‰ 和 13.5‰ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 4.2‰、4.2‰ 和 5.5‰ , δD 值为 -65.0‰、-78.8‰ 和 -62.1‰ ,这 3 个样品的数据与此次工作测试的 4 样品基本一致。

2.3 流体包裹体的稀土元素组成

为了查明乔霍特铜矿床成矿流体的性质和来源 ,本次研究对矿石石英中所含的流体包裹体作了稀土元素分析。首先将矿石样品破碎至 60~80 目 ,在双目镜下精选出纯度大于 99% 的石英单矿物 ,然后用盐酸溶液清洗 ,每天(共 7 d)用离子交换水清洗 3~4 次 ,以去除石英矿物表面的吸附物和其他矿物(如方解石等) ,在 60 ℃ 温度下把石英单矿物烘干。取 1 g 上述处理好的石英单矿物 ,采用高温爆裂-淋滤法提取溶液 ,然后用 ICP-MS(电感耦合等离子质谱)方法测定溶液中的 REE 含量 ,具体分析方法见苏文超等(1998)所述 ,分析结果见表 3。范建国等(2000)认为由于石英晶体本身并不含 REE ,所以用

表 2 乔霍特铜矿床氢氧同位素组成

Table 2 Hydrogen and oxygen isotope data of the Qiaohuote copper deposit

样号	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}/\text{‰}$	均一温度/℃
QXC7-1	14.2	-79.2	5.9	279
QHT57	18.1	-75.7	9.4	274
QG3	13.8	-76.3	6.1	294
QXC11	13.6	-80.2	3.0	229
QH5-8 ^①	12.3	-65.0	4.2	284
119-1 ^①	12.3	-78.8	4.2	284
139-8 ^①	13.5	-62.1	5.5	284

注 QXC7-1、QHT57、QG3 和 QXC11 由中国科学院地质与地球物理研究所 ;分析仪器 :Finnigan-MAT252 质谱仪 ; δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)的分析误差分别为 $\pm 1\text{‰}$ 和 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

① 蔡宏渊等.新疆南天山大型贵重、有色金属矿床成矿条件研究、靶区优选与评价.国家 305 项目专题报告.

表 3 乔霍特铜矿床流体包裹体、安山质火山岩和钾长花岗岩稀土元素组成及特征值
Table 3 REE composition of fluid inclusions , andesitic volcanic rocks
and moyites from the Qiaohuote copper deposit

样品号	QG3	QXC7-1	QXC11	QXD1	QXD4	QXE1	BI-1①	QXC3	BY26
样品名称	主成矿期 流体	主成矿期 流体	晚成矿期 流体	钾长 花岗岩	钾长 花岗岩	钾长 花岗岩	安山质 火山岩	安山质 火山岩	安山质 火山岩
La	0.097	0.193	0.128	23.3	18.6	21.1	12.13	10.7	13.7
Ce	0.152	0.336	0.209	39.5	33.1	36.5	30.15	23.1	30.0
Pr	0.020	0.046	0.026	4.63	4.04	4.36	4.18	3.14	4.35
Nd	0.077	0.182	0.095	16.0	14.6	15.1	20.91	14.4	20.6
Sm	0.018	0.035	0.019	3.32	2.95	3.12	5.34	3.97	4.87
Eu	0.008	0.011	0.006	0.83	0.85	0.77	1.69	1.29	1.28
Gd	0.018	0.033	0.015	3.10	2.76	2.85	6.26	4.27	5.06
Tb	0.003	0.005	0.002	0.46	0.44	0.44	1.00	0.73	0.90
Dy	0.013	0.031	0.010	2.73	2.69	2.68	6.05	4.63	5.83
Ho	0.003	0.007	0.002	0.55	0.55	0.51	1.21	0.96	1.22
Er	0.007	0.019	0.005	1.41	1.45	1.37	3.61	2.43	3.06
Tm	0.001	0.002	0.001	0.21	0.22	0.21	0.54	0.37	0.48
Yb	0.005	0.014	0.004	1.44	1.58	1.50	3.26	2.32	3.03
Lu	0.001	0.002	0.001	0.20	0.24	0.21	0.48	0.33	0.42
LREE	0.372	0.803	0.483	87.58	74.14	80.95	74.40	56.6	74.8
HREE	0.051	0.113	0.040	10.1	9.93	9.77	22.41	16.04	20.0
ΣREE	0.423	0.916	0.523	97.68	84.07	90.72	96.81	72.64	94.8
LREE/HREE	7.29	7.11	12.08	8.67	7.47	8.29	3.32	3.53	3.74
δEu	1.27	1.01	1.06	0.79	0.91	0.79	0.86	0.96	0.79

注 QXC3、BY26、QXD1、QXD4、QXE1、DHY6 和 QXC7 由国家地质实验测试中心测试,测试仪器为 IRIS 和 ICP-MS;QG3、QXC7-1 和 QXC11 由中国科学院地质与地球物理研究所测试,测试仪器为 Finnigan MAT 公司生产的 ELEMENT 型高分辨率等离子体质谱仪(ICP-MS)。

ICP-MS 方法分析获得的石英中 REE 组成就代表了石英中流体包裹体的 REE 组成。主成矿期流体 QG3 和 QXC7-1 的(REE 分别为 0.423×10^{-6} 和 0.916×10^{-6} ,LREE/HREE 分别为 7.29 和 7.11 ,δEu 分别为 1.27 和 1.01 ;晚成矿期流体 QXC11 的(REE 为 0.523×10^{-6} ,LREE/HREE 为 12.08 ,δEu 为 1.06。可见 ,成矿流体为 LREE 富集、LREE 与 HREE 之间分异强、Eu 弱正异常为特征(图 2)。

3 讨论与结论

3.1 成矿流体的性质与来源

根据所获得的均一温度和盐度做成直方图(图 3) ,在图 3-a 中 ,均一温度明显有 2 个峰值 280~290℃ 和 230~240℃ ,大致代表了主成矿期和晚成矿期的成矿温度 ;在图 3-b 中 ,盐度 $\alpha(\text{NaCl})_{\text{eq}}$ 只有一个峰值 ,范围为 13%~14% ,说明主成矿期和晚成矿期流体包裹体的盐度差别不大 ,主成矿期的盐度比晚成矿期稍高(表 1)。可见乔霍特铜矿的成矿温度为

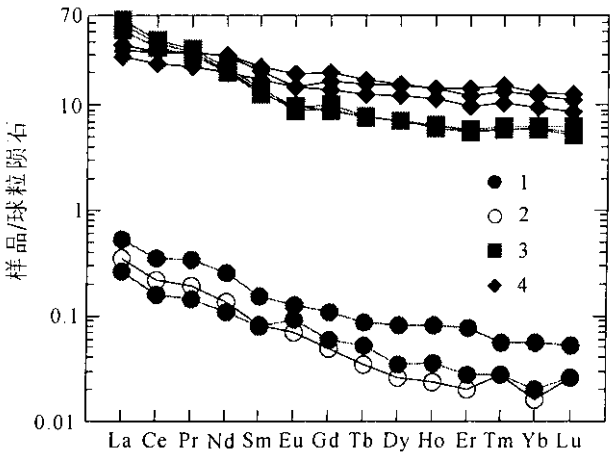


图 2 乔霍特铜矿床流体包裹体、安山质火山岩和钾长花岗岩的稀土配分曲线

Fig.2 Chondrite-normalized REE patterns of fluid inclusions , andesitic volcanic rocks and moyites from the Qiaohuote copper deposit
1-主成矿期流体 2-晚成矿期流体 ;
3-钾长花岗岩 4-安山质火山岩
1-fluid of main mineralization period 2-fluid of late mineralization period 3-moyite 4-latiigneous rock

① 蔡宏渊等. 2000. 南天山大型贵重、有色金属矿床成矿条件研究、靶区优选与评价. 国家“305”项目专题报告.

系统,不断从晚志留世巴音布鲁克组岛弧型安山质火山岩中萃取成矿金属元素而形成成矿流体。同时,矿区构造应力场也由压剪性转为张剪性,构造变形由韧性变形转为脆性变形,这一过程中会发生大规模的流体浓缩-稀释作用(吕古贤,1998;吕古贤等,2001),导致成矿流体最终在有利构造部位(脆性断裂)因温压条件改变而卸载成矿。

致谢 笔者在野外工作期间得到了新疆地质勘查局董连慧总工程师和新疆地质调查院王庆明副院长等的大力支持。在样品测试过程中,得到了中国科学院地质与地球物理研究所 JICA 中心王莉娟高级工程师与朱和平高级工程师的热心帮助。本文承蒙吕古贤研究员仔细审阅,提出了宝贵的意见。在此一并表示感谢。

参 考 文 献

蔡宏渊,邓安贵,郑跃鹏. 2001. 新疆乔霍特铜矿床地质特征及控矿条件. 矿产与地质, 15(6): 692~698.

范建国,倪培,苏文超等. 2000. 辽宁四道沟热液金矿床中石英的稀土元素特征及意义. 岩石学报, 16(4): 587~590.

高俊,何国琦,李茂松. 1997. 西天山造山带的构造变形特征研究. 地球学报, 18(1): 1~9.

何国琦,李茂松,韩宝福. 2001. 中国西南天山及邻区大地构造研究. 新疆地质, 19(1): 7~11.

李向东,李茂松. 1996. 中国西天山地质构造与西邻区的对比研究. 地质论评, 42(2): 107~115.

吕古贤. 1998. 构造物理化学基本问题与金矿成矿预测. 地球学报, 19(2): 117~125.

吕古贤,林文蔚,郭涛等. 2001. 金矿成矿过程中构造应力场转变与热液浓缩-稀释作用. 地学前缘, 8(4): 253~264.

戚长谋,邹祖荣,李鹤年. 1987. 地球化学通论. 北京:地质出版社. 1~210.

苏文超,漆亮,胡瑞忠等. 1998. 流体包裹体中稀土元素的 ICP-MS 分析研究. 科学通报, 43(10): 1094~1098.

王志良,毛景文,杨建民等. 2004. 新疆巴音布鲁克乔霍特铜矿区钾长花岗岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 23(1): 12~18.

肖序常,汤耀庆,冯益民等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京:地质出版社. 1~169.

张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用. 西安:陕西科学技术出版社. 1~267.

张良臣,吴成元. 1985. 天山地质构造及演化史. 新疆地质, 3(3): 1~14.

References

Cai Hongyuan, Deng Guian, Zheng Yaopeng. 2001. Geological characteristics and ore controlling conditions of the Qiaohuote copper deposit, Xinjiang Province. Mineral Resources and Geo-logy, 15(6): 692~698 (in Chinese with English abstract).

Fan Jianguo, Ni Pei, Su Wenchao et al. 2000. Characteristics and significance of rare earth elements in quartz of Sidaogou hydrothermal gold deposit, Liaoning. Acta Petrologica Sinica, 16(4): 587~590 (in Chinese with English abstract).

Gao Jun, He Guoqi, Li Maosong. 1997. Studies on the feathers of the structural deformations in the western Tianshan orogenic belt. Acta Geoscientia Sinica, 18(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).

He Guoqi, Li Maosong, Han Baofu. 2001. Geotectonic research of Southwest Tianshan and its west adjacent area, China. Xinjiang Geology, 19(1): 7~11 (in Chinese with English abstract).

Li Xiangdong, Li Maosong. 1996. Tectonic correlation between western Chinese Tianshan and its western adjacent area. Geological Review, 42(2): 107~115 (in Chinese with English abstract).

Lu Guxian. 1998. Basic problems of tectono-physicochemistry and forecasting of gold mineralization. Acta Geoscientia Sinica, 19(2): 117~125 (in Chinese with English abstract).

Lu Guxian, Lin Wenwei, Guo Tao et al. 2001. Transition of structure stress field and inspissation-dilution of hydrothermal fluid in gold mineralization. Earth Science Frontiers, 8(2): 253~264 (in Chinese with English abstract).

Qi Changmou, Zou Zurong, Li Henian. 1987. General geochemistry. Beijing: Geological Publishing House. 1~210 (in Chinese).

Su Wenchao, Qi Liang, Hu Ruizhong et al. 1998. Determination of rare earth elements in fluid inclusions by ICP-MS. Chinese Science Bulletin, 43(10): 1094~1098 (in Chinese).

Wang Zhiliang, Mao Jingwen, Yang Jianmin et al. 2004. ⁴⁰Ar-³⁹Ar isotope age dating on K-feldspar separated from moyite in the Qiaohuote copper deposit, Xinjiang, and its geological significance. Acta Petrologica et Mineralogica, 23(1): 12~18 (in Chinese with English abstract).

Xiao Xuchang, Tao Yaoqing, Feng Yimin et al. 1992. Tectonic evolution of the northern Xinjiang and its adjacent regions. Beijing: Geological Publishing House. 1~169 (in Chinese with English abstract).

Zhang Liangchen, Wu Naiyuan. 1985. The geotectonics and its evolution of Tianshan. Xinjiang Geology, 3(3): 1~14 (in Chinese with English abstract).

Zhang Ligang. 1985. The application of the stable isotope to geology. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Publishing House. 1~267 (in Chinese with English abstract).