

# 北祁连西段干巴河脑钼钨矿床辉钼矿 Re-Os 测年及 C-H-O-S 同位素特征

刘晓煌<sup>1,2</sup>, 邓 军<sup>1</sup>, 孙兴丽<sup>1</sup>, 刘玖芬<sup>2</sup>, 孙柏年<sup>3</sup>, 康鸿杰<sup>3</sup>

1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 武警黄金第七支队, 山东 烟台 264004

3. 兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000

**摘要:**干巴河脑钼钨矿是在北祁连山地区新近发现的中型石英脉型钼钨矿床。在研究矿床地质特征基础上,根据石英包裹体的 C、H、O 稳定同位素和辉钼矿 Re、S 含量的研究,认为成矿物质来自地壳,成矿流体以岩浆流体为主,成矿与 S 型花岗岩有关;通过辉钼矿的 Re-Os 同位素定年,获得等时线年龄( $424 \pm 10$ ) Ma,成矿时间与其围岩——金佛寺 S 型花岗岩的成岩时间相近。综合区域构造演化认为,矿床与晚志留世古北祁连海闭合后、陆陆碰撞过程形成的金佛寺 S 型花岗岩有着成因联系,金佛寺花岗岩体为成矿提供了成矿物质。

**关键词:**干巴河脑;钼钨矿床;稳定同位素;Re-Os 等时线;金佛寺花岗岩;辉钼矿

**中图分类号:**P618.41 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5888(2010)04-0845-07

## Molybdenite Re-Os Dating and C-H-O-S Isotopic Characteristics of the Ganbahenao Mo-W Deposit in Western Segment of North Qilian Mountains

LIU Xiao-huang<sup>1,2</sup>, DENG Jun<sup>1</sup>, SUN Xing-li<sup>1</sup>, LIU Jiu-fen<sup>2</sup>, SUN Bai-nian<sup>3</sup>, KANG Hong-jie<sup>3</sup>

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. No. 7 Gold Geological Party, Yantai, Shandong 264004, China

3. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems of the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** The Ganbahenao deposit in the north Qilian Mountains is a middle Mo-W deposit newly discovered in the western segment of north Qilian Mountains. It belongs to the quartz vein type. Both molybdenite and wolframite are dominant metal minerals in the ore. Through the study of the geological features of the deposit, the C, H, O isotopic compositions of fluid inclusions in quartz and the content of both Re and S in molybdenite, authors conclude that ore-forming materials were derived from the crust, the ore-forming fluid mainly came from the magmatic fluid. The Ganbahenao deposit was genetically related to the S-type granite. Re-Os dating of molybdenite yields model ages between ( $413.3 \pm 6.0$ )-( $426.4 \pm 6.6$ ) Ma and an isochrone age of ( $424 \pm 10$ ) Ma, which is nearly equal to that of the wall rock, the Jinfosi S-type plutons. The Ganbahenao deposit and the Jinfosi plutons are formed in the environment of the continent-continent collision after the closure of the north Paleo-Qilian ocean in Late Silurian Period. The Jinfosi plutons offers the ore-forming sources and space.

**Key words:** Ganbahenao; Mo-W deposit; stable isotope; Re-Os isochron age; Jinfosi granite; molybdenite

收稿日期:2010-04-20

基金项目:高等学校学科创新引智计划(B07011);长江学者和创新团队发展计划(IRT0755)

作者简介:刘晓煌(1972—),男,山西平遥人,博士,主要从事矿产勘查和地球化学研究, E-mail: liuxh19972004@163.com。

## 0 前言

内生贵金属、有色金属矿产的形成多与中酸性岩浆作用具成因联系<sup>[1-3]</sup>。北祁连山西段的钨矿与碰撞环境形成的花岗岩体密切相关<sup>[4-6]</sup>。金佛寺花岗岩体是北祁连造山带西段碰撞环境中形成的最大岩体,但由于该区自然条件恶劣,地质工作程度很低,与之有关的成矿作用研究尚处于起步阶段。自2006年以来,在金佛寺花岗岩体南缘的内、外接触带先后发现西柳沟、大道口、青大坂、干巴河脑、小索铜沟等多处钨钼矿和铅锌矿床(矿点)。其中,干巴河脑钨钼矿床的规模较大,具有良好的成矿潜力和找矿远景。

该矿位于甘肃省张掖市肃南裕固族自治县,距酒泉市东南40 km。矿区中心地理坐标东经98°55'30",北纬39°12'00"。通过2006—2007年的普查勘探,干巴河脑钨钼矿规模已经达到中型。本文在干巴河脑钨钼矿床地质特征研究基础上,通过辉钨矿Re—Os测年和S、C、H、O同位素分析,查明成矿物质来源、确定成矿时代,为该区成矿理论研究和找矿工作提供理论依据。

## 1 矿床地质特征

矿区位于北祁连山西段,金佛寺岩体的南缘(图1)。南、东部为志留系变质安山岩、绿泥石千枚岩、细碧岩、角岩和角岩化凝灰岩地层,西部为石炭系砾岩、含砾砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩和页岩地层。区内断裂构造发育,按走向分为NW—NNW向和NE—NEE向两组,NE—NEE向为主要含矿断裂。岩体主要为加里东晚期黑云母花岗岩。脉岩不太发育,主要有闪长岩脉、花岗岩脉及石英脉等,其中石英脉常为含矿石英脉。

干巴河脑钨钼矿床共发现矿脉23条,其中大脉11条,每条大脉附近都有数条小脉平行产出,构成矿脉带。矿脉带宽1~3 m不等,长者达600 m,短者几米到几十米不等,但多集中在100~250 m。矿脉走向北东50°~60°,倾向多为290°左右(少数120°),倾角为60°~70°。矿石的平均品位为:WO<sub>3</sub> 0.60%,Mo 0.1%。围岩蚀变具有明显分带性,从上盘到矿体依次为黑云母花岗岩-钾化花岗岩-英岩化-绿泥石化黄铁矿化花岗质碎裂岩和钨钼矿化石英脉;从矿体到下盘依次为云英岩化-钾化花岗岩-

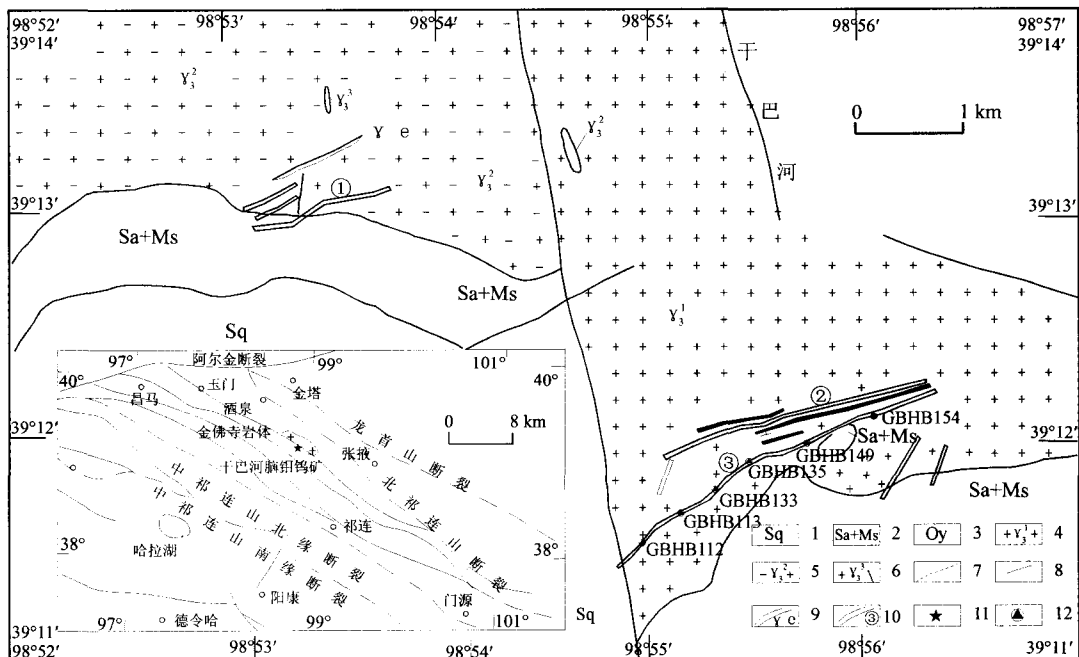


图1 干巴河脑钨钼矿床地质图

Fig. 1 Geological sketch map of the Ganbahenao Mo-W deposit

1. 千枚岩; 2. 细碧岩; 3. 变安山凝灰岩; 4. 金佛寺岩体早期花岗岩; 5. 金佛寺岩体中期花岗岩; 6. 金佛寺岩体晚期花岗岩; 7. 区域大断裂;
8. 断裂; 9. 脉岩; 10. 矿脉及编号; 11. 干巴河脑钨钼矿区位置; 12. 取样位置

黑云母花岗岩。云英岩化发育于矿脉两侧,云英岩化愈强,矿脉愈富。

## 2 样品的采集及岩相学特征

本次测试的6件辉钼矿样品均采自③号脉平硐中同一条钼钨矿石英脉的不同地段(图1)。GBHB112、GBHB113为含黄铁矿钼钨矿石英脉,GBHB133、GBHB135、GBHB149、GBHB154为钼钨矿石英脉。

矿石的金属矿物有黑钨矿、辉钼矿、黄铁矿、白钨矿,非金属矿物有石英、白云母。黑钨矿呈半自形板状或集合体分布,但分布不均匀,有的被白钨矿交代(图2),粒径为2~5 mm(个别可达10 mm),有的与辉钼矿及黄铁矿共生(图3),光片中的体积分数为5%~8%。辉钼矿呈叶片状集合体分布于石英间隙中,分布不均匀,有的与黑钨矿共生,有的包含于黑钨矿中,粒径为1~4 mm(个别可达10 mm),体积分数为1%~5%。黄铁矿呈粒径0.5~1 mm,体积分数为小于1%~5%。白钨矿呈他形粒状交代黑钨矿,含量微。矿石构造主要为稀疏浸染状、浸染状和斑点状。



图2 交代呈残余结构

Fig. 2 Metasomatic texture in the Mo - W ore from Ganbahenao deposit

Wo. 黑钨矿; Sch. 白钨矿; Q. 石英

## 3 分析及测试

将不同石英脉矿石手工破碎到60目。Re-Os同位素测年样品在双目镜下挑选1 g纯度在99%的辉钼矿;硫同位素样品在双目镜下挑选5 g纯度在99%的辉钼矿;碳、氢、氧同位素样品在双目镜下挑



图3 辉钼矿和黑钨矿共生

Fig. 3 Paragenetic molybdenite and wolframite in the ore from Ganbahenao Mo - W deposit

Mo. 辉钼矿; Wo. 黑钨矿

选5 g纯度在99%的单晶石英。

Re-Os同位素在国家地质实验中心分析完成。采用美国TJA公司生产的TJA X-series ICPMS测定同位素比值。对于Re:选择质量数为185、187,用190监测Os。对于Os:选择质量数为186、187、188、189、190、192,用185监测Re。普Os是根据Nier值的Os同位素丰度,通过 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 测量比计算得出, $^{187}\text{Os}$ 是 $^{187}\text{Os}$ 同位素总量。Re、Os含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平95%。模式年龄 $t$ 按下式计算:

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[ \ln \left( 1 + \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}} \right) \right]$$

其中 $\lambda(^{187}\text{Re}$ 衰变常数) $=1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。

Re-Os化学分离步骤和质谱测定参照前人方法测定<sup>[7-8]</sup>。

碳、氢、氧同位素在中国地质科学院矿产资源研究所测试完成。分析仪器MAT253EM质谱计,分析精度约为2‰,分析采用SMOW国际标准。包体中氢同位素的分析方法采用爆裂法取水,锌法制氢;碳同位素采用爆裂法取 $\text{CO}_2$ ;氧同位素的分析方法采用BrF5法,分析仪器MAT 253 EM质谱计,分析精度约为2‰。分析采用SMOW国际标准。计算公式:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{样-SMOW}} = \frac{\delta^{18}\text{O}_{\text{样-参}} + 10^3}{\delta^{18}\text{O}_{\text{参-参}} + 10^3} \times$$

$(\delta^{18}\text{O}_{\text{标-SMOW}} + 10^3) - 10^3$ 。

4 测试结果与讨论

4.1 H、O 同位素特征

代表性矿石石英中的原生包裹体测温及 H、O、C 同位素组成如表 1 所示。

表 1 干巴河脑矿床石英中的包裹体均一温度及 C、H、O 同位素分析结果表

Table 1 Homogenization temperature of fluid inclusions and C, H, O isotope composition of the Ganbahenao deposit

样品号	测试矿物	$D_{\text{V-SMOW}}/\%$	$^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}/\%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英-水}}/\%$	包裹体均一温度/℃
GBHB112	石英	-76	-4.4	12.2	7.49	374.32
GBHB113	石英	-78	-4.9	11.9	6.04	332.56
GBHB135	石英	-79	-4.2	15.1	8.99	325.45
GBHB149	石英	-79	-	12.8	5.41	288.23
GBHB154	石英	-70	-5.1	12.7	7.46	354.12
GBHB133	石英	-82	-4	14.1	8.53	342.97

注：分析单位为中国地质科学院矿产资源研究所，2009；包裹体测温数据来源文献[9]。

表中矿物的均一温度为包裹体测定的平均均一温度， $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英-水}}$  为计算值，计算过程中所采用的公式为  $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40^{[10]}$ ，分析显示成矿流体的  $D_{\text{V-SMOW}}$  值为  $-70\% \sim -82\%$ ，变化范围不大，与标准岩浆水  $D_{\text{V-SMOW}}$  值为  $-40\% \sim -80\%$  基本一致<sup>[11]</sup>；成矿期石英矿物的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  介于  $11.9\% \sim 15.1\%$ ，与石英平衡的热液水  $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英-水}}$  值为  $5.41\% \sim 8.99\%$ 。将 H、O 同位素值投点于  $D_{\text{V-SMOW}}(\%) - \delta^{18}\text{O}_{\text{石英-水}}(\%)$  关系图上(图 4)，可见投影点均落于岩浆水附近，说明成矿流体以岩浆水为主。

4.2 硫同位素特征

干巴河脑钼钨矿区 6 件辉钼矿样品的  $^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$  值为  $3.5\% \sim 6.7\%$ ，变化范围不大(表 2)。与 S 型花岗岩有关硫值为  $-9.4\% \sim 7.6\%$  相近<sup>[12]</sup>，表明该矿床成因上与 S 型花岗岩侵入有关，原始成矿物质来源于地壳。

4.3 碳同位素特征

干巴河脑矿区石英中的  $^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  值为  $-4.0\% \sim -5.1\%$ ，变化范围不大(表 1)，接近岩浆源范围( $-7\%$ )，不同于海相碳酸盐岩范围( $0\%$ )，说明干巴

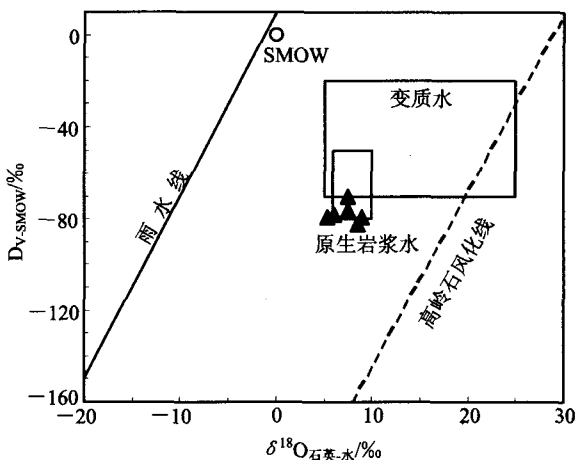


图 4 干巴河脑矿区石英包裹体  $D_{\text{V-SMOW}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{石英-水}}$  关系  
Fig. 4 Hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusions in quartz in Ganbahenao deposit

河脑钼钨矿的 C 来源于岩浆。

表 2 干巴河脑钼钨矿硫同位素分析结果表

Table 2 S isotope data of the Ganbahenao Mo - W deposit

样品号	测试矿物	$^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}/\%$
GBHB112	辉钼矿	3.5
GBHB113	辉钼矿	3.6
GBHB135	辉钼矿	5.8
GBHB149	辉钼矿	6.7
GBHB154	辉钼矿	5.2
GBHB133	辉钼矿	4.1

注：分析单位为中国地质科学院矿产资源研究所，2009。

4.4 Re - Os 同位素

6 件辉钼矿样品的 Re - Os 同位素测年结果表明(表 3)，该矿的成矿模式年龄为  $(413.3 \pm 6.0) \sim (426.7 \pm 6.4)$  Ma，平均模式年龄为  $(421.8 \pm 6.3)$  Ma。测试结果加权拟合后得到一条相关性较好的等时线，等时线年龄为  $(424 \pm 10)$  Ma，MSDW 为 2.4(图 5)。

辉钼矿 Re 含量亦可以指示成矿物质的来源<sup>[13]</sup>。从地幔到壳幔混源再到地壳来源，矿石中的 Re 含量呈数量级下降，从幔源  $\rightarrow$  壳幔  $\rightarrow$  S 型花岗岩有关的钼矿床，Re 含量从  $n \times 10^{-4} \rightarrow n \times 10^{-5} \rightarrow n \times 10^{-6}$ <sup>[14-15]</sup>。干巴河脑矿床辉钼矿中 Re 的质量分数为  $(3.719 \sim 8.582) \times 10^{-6}$ ，说明物质来源主要来源于地壳，与 S 型花岗岩有关。

表 3 干巴河脑钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 3 Re-Os isotopic composition of molybdenite from the Ganbahe'nao Mo-W deposit

原样名	样品质量 /g	$w(\text{Re})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		$w(\text{普 Os})/(\text{ng}\cdot\text{g}^{-1})$		$w(^{187}\text{Re})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		$w(^{187}\text{Os})/(\text{ng}\cdot\text{g}^{-1})$		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
GBHB112	0.051 40	6.255	0.052	0.009 2	0.020 7	3.932	0.033	27.80	0.22	422.9	6.0
GBHB113	0.001 86	3.719	0.037	0.026 7	0.149 8	2.337	0.023	16.46	0.15	421.4	6.6
GBHB135	0.051 90	8.582	0.080	0.019 4	0.010 3	5.394	0.050	38.48	0.33	426.7	6.4
GBHB149	0.050 38	5.827	0.051	0.009 4	0.031 7	3.662	0.032	25.30	0.21	413.3	6.0
GBHB154	0.050 08	7.228	0.074	0.020 4	0.043 1	4.543	0.046	32.39	0.28	426.4	6.6
GBHB133	0.051 05	6.454	0.067	0.009 3	0.041 9	4.056	0.042	28.56	0.25	421.2	6.6

注:分析单位为国家地质实验测试中心,2009

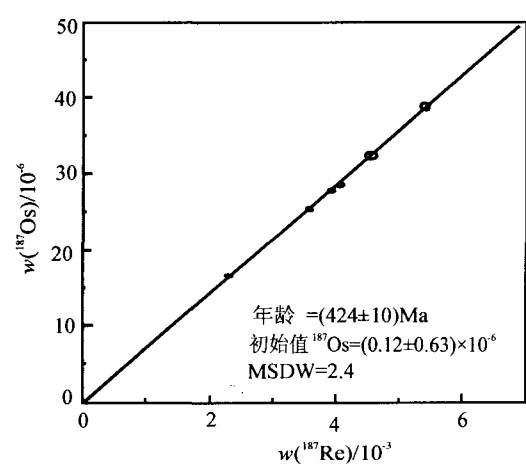


图 5 西柳沟矿区<sup>187</sup>Re-<sup>187</sup>Os 同位素等时线

Fig. 5 Re-Os isochrons of sample of the Ganbahenao Mo-W

5 讨论与结论

金佛寺花岗岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 (423±14) Ma<sup>[9]</sup>,用 VG354 型质谱仪测得不一致 锆石 U-Pb 年龄,上交点年龄为 (345.0±75.0) Ma,下交点年龄为 (56±681) Ma<sup>[16]</sup>,这说明锆石中 部分放射性铅发生了丢失或实验污染。一般而言, 上交点年龄代表岩体源区年龄,下交点代表新生锆 石年龄,而这个年龄下交点大于上交点,因此这个年 龄可能因实验污染而不准确。金佛寺花岗岩体外接 触带西柳沟钨钼矿 Re-Os 等时线年龄为 (421.0± 3.8) Ma<sup>[17]</sup>,本次金佛寺花岗岩体内接触带的干巴 河脑钨钼矿 Re-Os 等时线年龄为 (424.2±10) Ma,两者成矿年龄与全岩 Sm-Nd 年龄相近。因 此,干巴河脑钨钼矿形成与金佛寺花岗岩体侵入在 形成时间上有着密切的联系。

金佛寺花岗岩体具 S 型花岗岩特点,来源于地 壳物质的重熔<sup>[16-17]</sup>,岩浆源岩为北大河岩群岩<sup>[18]</sup>。 干巴河脑矿床中流体包裹体的 C、H、O 同位素显示 成矿与岩浆活动有关;同时,辉钼矿的 S 同位素组成 和 Re 含量显示成矿与 S 型花岗岩有关。因此,金 佛寺花岗岩体代表的岩浆作用为干巴河脑钨钼矿床 提供了成矿物质。

金佛寺花岗岩体和干巴河脑钨钼矿床的同位素 测年显示它们形成于晚志留世。区域研究表明该时 期本区处于古海洋闭合后的陆陆碰撞过程<sup>[19-25]</sup>,在 此过程中由于地壳缩短加厚,下地壳的基底北大河 岩群岩石发生部分熔融<sup>[26-27]</sup>,形成花岗质岩浆,沿 着碰撞带的构造薄弱带侵入到地表,形成金佛寺花 岗岩体。在岩体形成过程中,岩体的边部处于陆陆 碰撞过程中形成的逆推挤压环境中,故形成了低角 度的叠瓦状排列的逆断层<sup>[18]</sup>。在岩浆及含矿流体 上侵定位过程中,流体与围岩发生交代作用,在近地 表由于温度和压力降低而形成了含石英英脉<sup>[28-29]</sup>。 另一方面,由于断裂的“泵吸”作用和岩体在侵位和 冷凝过程中“巨大的热能机”作用,导致热水溶液对 流循环,从围岩中萃取成矿物质,与岩浆分异出的流 体混合,最终形成矿床。

参考文献 (References):

[1] 吴鸿梅,童海奎,刘洋,等.北祁连红土沟-川刺沟金矿 与韧性剪切带的成矿关系[J].吉林大学学报:地球科 学版,2008,38(4):581-586.

WU Hong-mei, TONG Hai-kui, LIU Feng, et al. Relationship between the ductile shear zone and the gold deposit at Hongtugou-Chuancigou in northern Qilian area [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2008, 38(4): 581-586.

[2] 刘志武,王崇礼.南祁连党河南山花岗岩类地球化学及

- 其金铜矿化[J]. 地质与勘探, 2007, 43(1): 64 - 73.
- LIU Zhi-wu, WANG Chong-li. Granitoid geochemistry and gold-copper mineralization in the Danghe' nanshan area, southern Qilian Mountains [J]. Geology and Prospecting, 2007, 43(1): 64 - 73.
- [3] 李文渊, 郭周平, 王伟. 北祁连山加里东期聚敛作用的构造转换及其成矿响应[J]. 地质论评, 2005, 51(2): 120 - 127.
- LI Wen-yuan, GUO Zhou-ping, WANG Wei. Caledonian convergent transformation and metallogenetic response in the north Qilian Mountains [J]. Geological Review, 2005, 51(2): 120 - 127.
- [4] 毛景文, 张作衡, 简平, 等. 北祁连山西段花岗闪长岩的锆石 U - Pb 年龄及其动力学意义[J]. 地质论评, 2000, 46(6): 616 - 620.
- MAO Jing-wen, ZHANG Zuo-heng, JIAN Ping, et al. U - Pb zircon dating of the Yentiutan granitic intrusion in the western part of the north Qilian Mountains [J]. Geological Review, 2000, 46(6): 616 - 620.
- [5] 王晓地, 汪雄武, 杨伟, 等. 北祁连山西段加里东期花岗岩类与钨成矿作用的关系浅议[J]. 华南地质与矿产, 2004, 20(1): 18 - 22.
- WANG Xiao-di, WANG Xiong-wu, YANG Wei, et al. Preliminary discussion of Caledonian granitoids and related tungsten mineralization in west section of northern Qilian Mts [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2004, 20(1): 18 - 22.
- [6] 李文渊. 祁连山主要矿床组合及其成矿动力学分析[J]. 地球学报, 2004, 25(3): 314 - 315.
- LI Wen-yuan. Main mineral deposit associations in the Qilian Mountains and their metallogenetic dynamics [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2004, 25(3): 314 - 315.
- [7] 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 辉钼矿的 Re - Os 同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 1994, 68(4): 339 - 347.
- DU An-dao, HE Hong-liao, YIN Ning-wan, et al. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(4): 339 - 347.
- [8] Wang Deng-hong, Qu Wen-jun, Li Zhi-wei, et al. Mineralization episode of porphyry copper deposits in the Jinshajiang - Red River mineralization belt: Re - Os dating [J]. Science in China, Ser. D, 2005, 48(2): 192 - 198.
- [9] 刘晓煌. 北祁连山西段金佛寺岩体的成岩成矿作用研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- LIU Xiao-huang. Study on rock-forming and ore-forming of the Jinfosi Pluton, western part of the north Qilian Mountains [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.
- [10] Clayton R N, Oneil J R, Mayeda T K. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. Geophys Res, 1972, 77: 3057 - 3067.
- [11] Rollinson H R. Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation [M]. London: Longman Scientific and Technical Press, 1993: 306 - 308.
- [12] 申渭洲. 稳定同位素地质 [M]. 北京: 原子能出版社, 1987: 189 - 203.
- SHEN Wei-zhou. Stable isotope geology [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1987: 189 - 203.
- [13] 孟祥金, 侯增谦, 董光裕, 等. 江西金溪熊家山钼矿床特征及其 Re - Os 年龄[J]. 地质学报, 2007, 81(7): 946 - 951.
- MENG Xiang-jin, HOU Zeng-qian, DONG Guang-yu, et al. The geological characteristics and Re - Os isotope age of molybdenite of the Xiongjiashan molybdenum deposit, Jiangxi Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(7): 946 - 951.
- [14] Mao Jing-wen, Xie Guan-qi, Bierlein F, et al. Tectonic implications from Re - Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the east Qinling - Dabie orogenic belt, geochimica [J]. Cosmochimica Acta, 2008, 72(18): 4607 - 4626.
- [15] Sun Xiao-ming, Wang Sheng-wei. Pge geochemistry and Re - Os dating of massive sulfide ores from the Baimazhai Cu - Ni deposit, Yunnan Province, China [J]. Lithos, 2008, 105(1/2): 12 - 24.
- [16] 赵文军, 雒晓刚. 祁连山西段金佛寺花岗岩基的地球化学特征及成因探讨[J]. 甘肃地质, 2008, 17(2): 30 - 34.
- ZHAO Wen-jun, LUO Xiao-gang. The age and genesis of Jinfosi granite batholith in the western segment of Qilianshan Mountains [J]. Gansu Geology, 2008, 17(2): 30 - 34.
- [17] 刘晓煌, 孙柏年, 屈文俊, 等. 北祁连山西段西柳沟钼矿的 Re - Os 定年及地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 32(10): 2434 - 2442.
- LIU Xiao-huang, SUN Bai-nian, QU Wen-jun, et al. Re - Os dating of molybdenite in Xiliugou W - Mo deposit in western part of north Qilian Mountains and its geological significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 32(10): 2434 - 2442.
- [18] 胡能高, 苏建平, 张海峰, 等. 金佛寺岩体地球化学特征及成因[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(1): 6 -

12.  
HU Neng-gao, SU Jian-ping, ZHANG Hai-feng, et al. Geochemical characteristics petrogenesis of Jinfosi Plutons in Qilian Mountains [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2006, 28(1): 6-12.
- [19] 曾建元, 杨怀仁, 杨宏仪, 等. 北祁连东草河蛇绿岩: 一个早古生代的洋壳残片[J]. 科学通报, 2007, 52(7): 825-835.  
ZENG Jian-yuan, YANG Huai-ren, YANG Hong-yi, et al. The Dongcaohe ophiolite from the north Qilian Mountains; a fossil oceanic crust of the Paleo-Qilian ocean[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(7): 825-835.
- [20] 李王晔, 李曙光, 郭安林, 等. 青海东昆南构造带苦海辉长岩和德尔尼闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及痕量元素地球化学——对“祁—柴—昆”晚新元古代—早奥陶世多岛洋南界的制约[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(增刊): 288-294.  
LI Wang-ye, LI Shu-guang, GUO An-lin, et al. Kuhai gabbro and Delny diorite zircon SHRIMP U-Pb age and trace element geochemistry controls on archipelagic ocean southern boundary of the “Qilian-Caidamu-Kunlunshan” in the Qinghai-east Kunlunshan south tectonic zone in the Late Neoproterozoic-Early Ordovician [J]. Science in China: Series D, 2007, 37(Sup.): 288-294.
- [21] 杜远生, 朱杰, 顾松竹, 等. 北祁连造山带寒武系—奥陶系硅质岩沉积地球化学特征及其对多岛洋的启示[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(10): 1314-1329.  
DU Yuan-sheng, ZHU Jie, GU Song-zhu, et al. Sedimentary geochemistry of the Cambrian-Ordovician cherts: implication on archipelagic ocean of north Qilian orogenic belt[J]. Science in China: Series D, 2007, 37(10): 1314-1329.
- [22] 杜远生, 朱杰, 顾松竹. 北祁连南一带奥陶纪硅质岩沉积地球化学特征及其多岛洋构造意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(1): 101-109.  
DU Yuan-sheng, ZHU Jie, GU Song-zhu. Sedimentary geochemistry and tectonic significance of Ordovician cherts in Su’nan, north Qilian Mountains [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(1): 101-109.
- [23] 樊光明, 雷东宁. 祁连山东南段加里东造山期构造变形年代的精确限定及其意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(1): 39-44.
- FAN Guang-ming, LEI Dong-ning. Precise timing and significance of Caledonian structural deformation chronology in southeast Qilian [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2007, 32(1): 39-44.
- [24] 夏林圻, 夏祖春, 赵江天, 等. 北祁连山西段元古宙大陆溢流玄武岩性质的确定[J]. 中国科学: D 辑, 2000, 30(1): 2-8.  
XIA Lin-qi, XIA Zu-chun, ZHAO Jiang-tian, et al. Confirmation of Proterozoic continental flood basalts in the west sector of the northern Qilian Mountains [J]. Science in China: Series D, 2000, 30(1): 2-8.
- [25] 许志琴, 赵志兴, 杨经绥, 等. 板块下的构造及地幔动力学[J]. 地质通报, 2003, 22(3): 149-159.  
XU Zhi-qin, ZHAO Zhi-xing, YANG Jing-sui, et al. Tectonics beneath plates and mantle dynamics [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(3): 149-159.
- [26] 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 等. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因与构造控制[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 239-248.  
HOU Zeng-qian, GAO Yong-feng, MENG Xiang-jin, et al. Genesis of Adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2): 239-248.
- [27] Deng Jun, Wang Qing-fei, Yang Li-qian, et al. Reconstruction of ore-controlling structures resulted from the magma intrusion during Yanshanian epoch in Tongling ore cluster area [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(2): 287-296.
- [28] 康鸿杰, 孙柏年, 刘晓煌, 等. 北祁连山西段西柳沟铅锌矿稳定同位素特征[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 433-441.  
KANG Hong-jie, SUN Bai-nian, LIU Xiao-huang, et al. Stable isotopic characteristics of Xiliugou polymetallic deposit in the western part of the north Qilian Mountains [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(3): 433-441.
- [29] 刘晓煌, 王金荣, 孙兴丽, 等. 招掖金矿区带花岗岩与金成矿作用研究[J]. 有色金属, 2006, 58(4): 15-20.  
LIU Xiao-huang, WANG Jin-rong, SUN Xing-li, et al. Study on granite and gold mineralization in the Zhaoye gold belt [J]. Nonferrous Metals, 2006, 58(4): 15-20.