

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

北祁连山小柳沟钨矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义

毛景文 张作衡

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京, 100037)

张招崇

杨建民 王志良

(中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037) (中国地质科学院矿床地质研究所, 北京, 100037)

杜安道

(中国地质科学院岩矿测试技术研究所, 北京, 100037)

内容提要 小柳沟是中国在北方最新探明的一个大型钨矿床, 本文概要地介绍了该矿床的成矿地质背景和矿床地质特征, 用 Re-Os 同位素方法测试辉钼矿, 获得等时线年龄 462 ± 13 Ma (2 σ), 模式年龄 436~496 Ma。还证明了成矿发生于板块碰撞期前, 成矿物质主要为壳源。

关键词 Re-Os 年龄 钨矿床 成矿环境 甘肃 祁连山

中国是世界钨储量和产量第一大国, 大多数钨矿分布于南岭地区, 其次为小秦岭地区, 其成矿时代多数为燕山期^[1]。80年代中期在北祁连山西段探明了塔儿沟大型钨矿床, 最近在同一地区又探明了小柳沟大型钨(钼)矿床。由于这些矿床位于北祁连山加里东褶皱带, 而且与加里东期花岗闪长岩在空间上关系密切, 因此, 被认为是加里东期成矿^[1]。本文通过对小柳沟矿区辉钼矿的 Re-Os 同位素进行研究, 旨在精测其成矿时代。

1 成矿背景和矿床特征

小柳沟钨矿床位于北祁连山西段的甘肃省肃南县祁青乡, 区域构造位置为北祁连加里东褶皱带之西段^[2], 由有色金属总公司甘肃地质勘查局于90年代中期发现, 到目前为止勘查工作仍在进行之中, 已经探明钨储量20万吨, 钼、铜、铍、铋和碲均可综合利用, 尤其是钼和铜的储量也较大。在小柳沟钨钼矿区出露的地层为中—新元古代镜铁山群。从下到上有含铁矿层灰黑色千枚岩夹灰岩透镜体、砾岩、灰绿色千枚岩、粗晶大理岩、浅灰色大理岩和厚层大理岩。

在矿区南部存在不足1 km²的小柳沟花岗闪长岩小岩株, 其产状向周围围岩插入, 往下岩株变大。花岗闪长岩的特征是低SiO₂ (57%~64%), 分异指数为54~66, 含不相容元素Rb、Li和Be, 富有碱质组分(K₂O和Na₂O)和基性元素Ti、Sr、Cr和Fe等, 其锶初始比值为0.7160^①, 在ACF图上投影表明其为Chappell等^[3]提出的S型或Ishihara^[4]提出的钛铁矿型花岗岩。矿区内的断裂构造有两个系统, 其一为WNW向断裂, 属于区域构造的一部分; 其二为控矿断

注: 本文为地质矿产部跨世纪人才基金(编号9617)和国家杰出青年基金(编号49825103)资助的部分成果。

① 邹治平, 黄传俭. 甘肃省肃北蒙古族自治县塔儿沟钨矿床特征. 1998.

本文1998年8月收到, 1999年1月改回, 章雨旭编辑。

裂,仅出现在岩株的隆起部位,可能在岩浆结晶晚期由岩浆冷凝作用引起。该控矿断裂系统由岩隆上部一组放射性断裂与平行接触界面出现于内外接触带的另一组断裂所组成。

小柳沟为钨钼共生矿床。矿体以脉状为主,也有似层状和透镜状以及岩冠状。矿化可分为三种类型。其一为斑岩型,出现在岩体隆起部位。岩隆有由热水溶液交代形成的钾长石化带和石英绢云母化带。矿化发生于石英绢云母化带中,矿体呈块状和似层状,主要脉石矿物为石英、绢云母以及钾长石、钠长石和绿泥石;矿石矿物以辉钼矿为主,还有白钨矿、辉铋矿和黄铁矿等。其二为夕卡岩型,在岩体与围岩的接触界面及附近,当碳酸盐层或夹层和透镜体出现时,形成以透辉石、钙铝榴石—钙铁榴石和符山石为主的钙质夕卡岩。白钨矿和萤石充填于夕卡岩矿物之间。其三为石英脉型,受断裂控制,倾角比较陡,脉幅厚 20~60 cm。在矿脉中,石英为最主要矿物,其中有金属矿物条带和集合体。脉内矿物也有分带现象,黑钨矿呈自形晶出现在脉壁上,矿物立足脉壁垂直向内生长,辉钼矿和黄铜矿等出现在脉中间。在辉钼矿中有许多辉铋矿、辉铊矿和自然铋,呈固溶体分离状分布,偶见自然铋出现于磷灰石和石英裂隙中。可见晚阶段细小网脉状黄铜矿穿插和叠加于钨矿化石英脉,在矿脉两侧有清楚的矿化蚀变分带。当以千枚岩为主岩时,矿脉两侧出现石英绢云母化和硅化。当以碳酸盐岩或富钙质岩石为主岩时,矿脉两侧有钙质夕卡岩带和方解石脉。在钙质夕卡岩中有充填状白钨矿和萤石,该蚀变带实质上就是钨矿石,品位可达 0.67% 左右。方解石化带表现为方解石细脉和细网脉叠加于碳酸盐岩之上。

2 样品

本次测试的 5 件样品均采自矿区东南部不同石英脉或同一条石英脉的不同地段。测试所用辉钼矿选自含黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿和辉铋矿等的石英硫化物脉。XL7-1 和 XL7-3 两件样品中辉钼矿呈不规则细脉状沿绢英岩化强烈处分布或与黄铜矿一起穿切、交代黄铁矿;XL7-6 中辉钼矿呈现自形板状晶体,与辉铋矿及自然铋密切共生;XL7-7 及 XL7-10 两件样品中辉钼矿呈片状集合体及弯曲带状,可见黄铜矿充填在辉钼矿晶隙间或在辉钼矿中有黄铜矿呈乳滴状产出。通过与含白钨矿的其他样品进行对比发现,白钨矿形成早于辉钼矿,而在石英硫化物脉中先后形成辉钼矿、黄铁矿和黄铜矿。

3 测试方法和流程

本次测试是在中国地质科学院岩矿测试技术研究所铼-钨同位素实验室利用 ICP-MS 分析方法完成。样品和稀释剂 $^{185}\text{Re}+^{190}\text{Os}$ 经碱熔达到同位素交换平衡。Re 通过溶剂萃取和阳离子交换从基体中分离,Os 以 OsO_4 的形式从 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{—Ce}(\text{SO}_4)_2$ 溶液中蒸馏分离。所有的同位素测定均在 VG Plasma Quad 等离子质谱仪上进行。两种元素的化学回收率均高于 90%,Re 和 ^{187}Os 的总流程空白分别为 0.07 ng 和 0.01 ng。

4 结果与讨论

只有当初始 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 值已知时,单个样品的 Re-Os 模式年龄才可以通过 Os 同位素组成和 Re、Os 含量计算出。黄典豪等^[5]和李红艳等^[6]指出辉钼矿中普通 Os 含量往往是很低的,相对来说 Re 含量却十分高,所以,几乎所有的 ^{187}Os 来自 ^{187}Re 的放射性蜕变。因此,模式年龄可以通过辉钼矿中的 ^{187}Re 和 ^{187}Os 含量进行计算。计算公式为:

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

上式中 λ 为 ${}^{187}\text{Re}$ 的衰变常数, 数值为 $1.64 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ [7], 结果列于表 1 中。由于矿石类型不同, 辉钼矿中 ${}^{187}\text{Re}$ 和 ${}^{187}\text{Os}$ 含量变化比较大(表 1), 但是, Re 与 Os 之间的关系是明显的。5 个样品的模式年龄很相近, 为 436~496 Ma。根据所测数据绘制出 ${}^{187}\text{Re}$ - ${}^{187}\text{Os}$ 等时线(图 1), 5 个点较均匀地分布在一条线上。等时线的相关系数 $r=0.9997$, 斜率 $b=0.007603 \pm 0.00214$, 截距 $a=0.10 \pm 0.29$, 等时线年龄为 $462 \pm 13 \text{ Ma}(2\sigma)$ 。

表 1 小柳沟钨钼矿床的 Re-Os 同位素年龄

Table 1 Re-Os isotopic age of molybdenites from the Xiaoliugou tungsten (molybdenum) deposit

样品编号	取样量 (g)	Re $\pm 2\sigma$ ($\mu\text{g/g}$)	${}^{187}\text{Re} \pm 2\sigma$	${}^{187}\text{Os} \pm 2\sigma$ (ng/g)	模式年龄 (Ma)
XL7-1	0.2555	2.266 ± 0.024	1.419 ± 0.015	10.17 ± 0.50	436 ± 12
XL7-3	0.2113	4.972 ± 0.044	3.120 ± 0.027	23.67 ± 0.82	462 ± 17
XL7-6	0.2001	8.740 ± 0.268	5.471 ± 0.168	42.74 ± 0.16	475 ± 15
XL7-7	0.2430	1.677 ± 0.021	1.050 ± 0.012	7.90 ± 0.52	457 ± 5
XL7-10	0.2947	0.7607 ± 0.300	0.476 ± 0.019	3.89 ± 0.20	496 ± 32

测试单位: 中国地质科学院岩矿测试技术研究所。

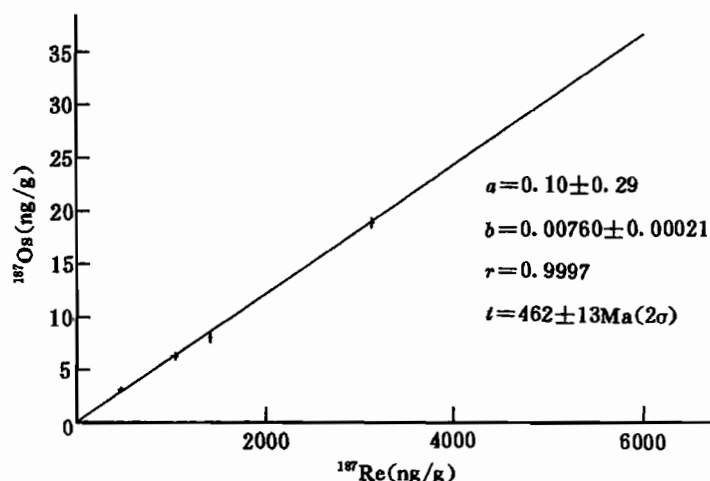


图 1 小柳沟钨钼矿区辉钼矿的 Re-Os 同位素等时线图

Fig. 1 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenites in the Xiaoliugou tungsten molybdenum deposit, Gansu

小柳沟钨钼矿的辉钼矿 Re、Os 同位素测年结果与相邻的塔儿沟钨矿区矿脉中白云母 Rb-Sr 测年数据 434.64 Ma ①基本吻合, 表明区内钨(钼)矿化发生于加里东期。这为在中国定量确认第一个加里东期钨矿成矿带提供了准确的时代依据。此外, 值得指出的是 Re-Os 同位素年龄稍大于 Rb-Sr 同位素年龄, 正如 Stein 等[8]所指出“辉钼矿 Re-Os 年龄稍老于其他同位素方法所测与成矿有关蚀变岩和脉状物所得到的年龄。似乎是直接测硫化物比测蚀变岩和脉石矿物更能获得合理的矿化年龄”。

这一年龄数据还表明, 北祁连山钨矿化和相关的花岗岩侵位发生于奥陶纪早中期, 也就是板块碰撞前期。这与花岗岩岩石化学示踪成岩环境所得出的结论②相吻合。

迄今在中国已确认有 3 种不同来源的辉钼矿, 其 Re 含量变化具有一定的规律性(表 2), 在中国与磁铁矿系列(I 型)花岗岩有关的钼矿床和铜钼矿床中辉钼矿含 Re 比较高, 例如辽

① 邹治平, 黄传俊. 甘肃省肃北蒙古族自治县塔儿沟钨矿矿床特征. 1988.

② 毛景文, 张招崇, 杨建民, 任丰寿等. 北祁连山西段镜铁山式铁铜矿床成矿预测和靶区优选暨北祁连山西段铁铜金铅锌矿床成矿规律和成矿预测. 1998.

表2 中国主要含钼矿床中辉钼矿的 Re 含量

Table 2 Contents of rhenium of molybdenite from the major molybdenite-bearing deposits in China

矿床名称	样品编号	Re($\mu\text{g/g}$)	Re-Os 模式 年龄(Ma)	参考文献
黄龙铺碳酸盐型钼矿床	HD80-1	283.5 $\pm$ 6.9	130 $\pm$ 7	黄典豪等 ^[9]
	HD81-96	256.0 $\pm$ 3.5	222 $\pm$ 8	
	HD81-101	438.6 $\pm$ 6.0	227 $\pm$ 7	
	HD93-10	530.6 $\pm$ 12.9	231 $\pm$ 7	
	HD93-11	633.1 $\pm$ 5.4	220 $\pm$ 5	
金堆城斑岩钼矿床	J82-1	12.9 $\pm$ 0.4	129 $\pm$ 7	黄典豪等 ^[9]
	J82-9	19.7 $\pm$ 0.5	131 $\pm$ 4	
	J82-0	15.8 $\pm$ 0.5	139 $\pm$ 3	
南泥湖—三道庄斑岩—夕卡岩型钼钨矿床	N83-39	53.7 $\pm$ 1.0	146 $\pm$ 5	黄典豪等 ^[9]
	N83-37	34.27 $\pm$ 0.48	146 $\pm$ 46	
	N0-26	36.68 $\pm$ 0.92	156 $\pm$ 8	
	N83-52	22.3 $\pm$ 0.4	148 $\pm$ 10	
	3-3	131.1 $\pm$ 0.1	147 $\pm$ 6	
城门山斑岩型铜矿床	CH-2	14.87 $\pm$ 0.16	144 $\pm$ 2	吴良士等 ^[10]
	CH-3	13.17 $\pm$ 0.29	139 $\pm$ 3	
	CH-4	10.34 $\pm$ 0.21	140 $\pm$ 2	
	CH-5	10.76 $\pm$ 0.09	139 $\pm$ 3	
兰家沟—杨家杖子夕卡岩—斑岩型铜矿床	L-1	31.04 $\pm$ 0.74	188 $\pm$ 5	黄典豪等 ^[5]
	L-3	45.13 $\pm$ 1.01	186 $\pm$ 5	
	L-5	44.74 $\pm$ 0.57	188 $\pm$ 5	
	L-15	60.6 $\pm$ 0.7	185 $\pm$ 4	
	Y-15-1	34.4 $\pm$ 0.5	190 $\pm$ 6	
	Y-15-2	33.8 $\pm$ 0.3	187 $\pm$ 2	
	Y-17	53.1 $\pm$ 1.2	191 $\pm$ 6	
小寺沟斑岩—夕卡岩型铜(钼)矿床	S-17	37.14 $\pm$ 0.5	134 $\pm$ 3	黄典豪等 ^[5]
寿王坟夕卡岩型铜(钼)矿床	SH-13	10.51 $\pm$ 0.18	148 $\pm$ 4	
大湾斑岩—夕卡岩型铜(钼)矿床	DW95-1	17.14 $\pm$ 0.32	144.4 $\pm$ 7.4	
大庄科爆破 角砾岩型钼矿床	DC-95-1	15.97 $\pm$ 0.16	147.1 $\pm$ 6.6	
	DC-95-11	20.19 $\pm$ 0.32	144.7 $\pm$ 10.7	赵一鸣等 ^[11]
	DC-95-2	11.24 $\pm$ 0.20	146.4 $\pm$ 5.9	
乌努克吐山铜(钼)矿床	W-48	50.9 $\pm$ 0.4	155 $\pm$ 17	赵一鸣等 ^[11]
多宝山—铜山铜(钼)矿床	Du-9	567 $\pm$ 19	521 $\pm$ 20	
	Du-20	537.9 $\pm$ 25	509 $\pm$ 5	
	D865	303.2 $\pm$ 1.5	507 $\pm$ 3	
	832-860	822 $\pm$ 21	505 $\pm$ 14	
	832-2	497 $\pm$ 6	476 $\pm$ 14	
铜矿峪斑岩铜矿床	S-528-1	1240 $\pm$ 40	2109	陈文明等 ^[12]
	S-528-2	1280 $\pm$ 20	2076	
	870-5147-3	171.6 $\pm$ 3.0	2098	
柿竹园钨—锡—钼—铋—铍矿床	TP-16-1	1.22	154	李红艳等 ^[6]
	TP-16-2	1.34	153	
	TP-17-1	1.22	149	
	TP-17-2	1.32	130	
	560-9-1	1.04	158	
	560-9-2	1.16	151	

宁兰家沟斑岩钼矿床的辉钼矿含 Re $31.04 \times 10^{-6} \sim 60.6 \times 10^{-6}$; 辽宁杨家杖子夕卡岩型钼矿床 $33.4 \times 10^{-6} \sim 53.1 \times 10^{-6}$; 河北寿王坟斑岩—夕卡岩型铜(钼)矿床 10.51×10^{-6} ; 北京大庄科角砾岩筒型钼矿床 11.5×10^{-6} ^[5]; 陕西金堆城斑岩型钼矿床 $12.9 \times 10^{-6} \sim 19.7 \times 10^{-6}$; 河

南南泥湖—三道庄斑岩—夕卡岩型钨钼矿床 $13.1 \times 10^{-6} \sim 53.7 \times 10^{-6}$ ^[9]; 城门山斑岩铜矿中辉钼矿含 Re $10.34 \times 10^{-6} \sim 14.78 \times 10^{-6}$ ^[10]; 乌努克吐山铜(钨)矿中辉钼矿含 Re 50.9×10^{-6} ^[11]。与钨铁系系列花岗岩(S型)有关钨锡矿床的 Re 含量明显低于前者,例如柿竹园钨锡钼矿床辉钼矿的 Re 含量仅 $1.04 \times 10^{-6} \sim 1.34 \times 10^{-6}$ ^[6]。陕西黄龙铺碳酸盐脉型钨(钼)矿床被黄典豪等^[13]证明为幔源型矿床,其中辉钼矿的 Re 含量十分高,达 $283.5 \times 10^{-6} \sim 633.1 \times 10^{-6}$ ^[9]。多宝山—铜山斑岩铜(钨)矿床和铜矿峪斑岩铜矿十分特殊,其辉钼矿中 Re 含量十分高,分别为 $303.2 \times 10^{-6} \sim 882 \times 10^{-6}$ ^[11]和 $171.2 \times 10^{-6} \sim 1280 \times 10^{-6}$ ^[12]。这可能预示着这两个含矿斑岩来源于上地幔及壳幔之间。由此可以总结出,从幔源、壳幔混源到壳源,辉钼矿的 Re 含量各递降一个数量级。小柳沟钨钼矿床中辉钼矿的 Re 含量为 $0.8 \times 10^{-6} \sim 8.7 \times 10^{-6}$ (表 1),平均 3.7×10^{-6} ,说明其物质来源介于壳源与壳幔混源之间,更偏向壳源一端。

5 结论

(1) 北祁连山小柳沟是中国在北方最新探明的一个大型钨钼多金属矿床。与之有关的花岗岩体为花岗闪长岩。矿化以斑岩型、夕卡岩型和石英脉型复合形式存在。主要矿石矿物为白钨矿及黑钨矿。

(2) 通过用 Re-Os 同位素测年方法对辉钼矿进行精测,获得了 436~496 Ma 的模式年龄和 462 ± 13 Ma (2 σ) 等时线年龄。这不仅厘定了中国第一个加里东期钨矿带的形成时代,而且还进一步印证了这组矿床和与之有关的花岗质岩石形成于板块碰撞期前^[14]。

(3) 与中国辉钼矿含 Re 资料对比,提出从幔源、壳幔混源到壳源,辉钼矿含 Re 量各递降一个数量级。小柳沟钨多金属矿床的成矿物质来源介于壳源与壳幔混源之间,且偏向于壳源。

参 考 文 献

- 章雨旭, 谢良珍. 中国钨锡钼铋汞矿产. 见: 刘兰笙, 谢良珍, 李永森, 章雨旭等主编. 中国黑色有色金属矿产图集. 北京: 地质出版社, 1996. 22~26.
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 秦德余. 中国大地构造演化. 北京: 科学出版社, 1980.
- Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, 1974, 8: 173~174.
- Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.* 1977, 27: 293~305.
- 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 刘兰笙, 孙亚莉, 邹晓秋. 华北地台钨(铜)矿床成矿学研究——辉钼矿铋-钨年龄及其地质意义. *矿床地质*, 1996, 15: 289~297.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 邹晓秋, 何红蓼, 杜安道. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究. *地质论评*, 1996, 42: 261~267.
- Linder M, Leich D A, Russ G P, Bazan J M, Borg R J. Direct determination of the half-life of ^{187}Re . *Geochim. - Cosmochim. Acta*, 1989, 53: 1597~1606.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A, Sun Y. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shaanxi Province, China. *Econ. Geol.*, 1997, 92: 827~835.
- 黄典豪. 东秦岭地区钨矿床的铋-钨同位素年龄及其意义. *矿床地质*, 1994, 13: 221~230.
- 吴良士, 邹晓秋. 江西省城门山铜矿床 Re-Os 同位素年龄研究. *矿床地质*, 1997, 16: 376~381.
- 赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋, 孙亚莉, 杜安道, 赵玉明. 黑龙江多宝山—铜山大型斑岩铜(钨)矿床中辉钼矿的铋-钨同位素年龄. *地球学报*, 1997, 18: 61~67.
- 陈文明, 李树屏. 中条山铜矿峪斑岩铜矿金属硫化物的铋-钨同位素年龄及地质意义. *矿床地质*, 1998, 17: 224~228.
- 黄典豪, 王义昌, 聂凤军, 江秀杰. 一种新的钨矿床类型——陕西黄龙铺碳酸盐脉型钨(钼)矿床地质特征及成矿机制. *地质学报*, 1985, 59: 241~257.
- 毛景文, 张招崇, 任丰寿, 吴茂柄, 杨建民, 张作衡, 王志良, 叶得金. 北祁连山西段金属矿床时空分布规律与成矿环境. *地质学报*, 1999, 73(1): 73~82.

Re-Os Age Dating of Molybdenites in the Xiaoliugou Tungsten Deposit in the Northern Qilian Mountains and Its Significance

Mao Jingwen, Zhang Zuoheng

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*)

Zhang Zhaochong

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*)

Yang Jianmin, Wang Zhiliang

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*)

Du Andao

(*Institute of Rock and Mineral Analysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*)

Abstract

The Xiaoliugou Deposit in the north Qilian Mountains is a large W-Mo deposit newly discovered in northwestern China. It is genetically related to the Xiaoliugou granodiorite. The ores comprise skarn and quartz vein types. Both scheelite and wolframite are dominant ore-forming minerals in the deposit. Re-Os dating of molybdenite yields model ages between 436~496 Ma and an isochron age of 462 ± 13 Ma. It not only defines the time for the first Caledonian tungsten metallogenic belt in China, but also shows that the Xiaoliugou tungsten-molybdenum deposit and their related granitic rocks formed in the precollision stage of the converging plates. By comparison with the published data of the rhenium content of molybdenites in the Mo-bearing deposits in China, it is proposed that the rhenium content in molybdenite decreases rapidly from the mantle source to mixing source of mantle and crust, and then to crust source. The ore materials of the Xiaoliugou tungsten polymetallic deposit originated from mixing of the crust and mantle sources, but source was closer to the pure crustal source.

Key words: Re-Os age; tungsten deposit; ore-forming environment; Gansu; Qilian Mountains

作者简介

毛景文,男,1956年生。1982年和1988年于中国地质科学院获硕士和博士学位。现为中国地质科学院矿床地质研究所研究员,主要从事金属矿床地质和地球化学研究。通讯地址:100037,北京阜外百万庄中国地质科学院矿床地质研究所。电子信箱:mjw@cags.cn.net。