

文章编号: 1006-6616(2003)03-0261-07

# 闽西南中甲锡多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义

张 达<sup>1</sup>, 吴淦国<sup>1</sup>, 吴建设<sup>2</sup>, 陈祥云<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 福建地质调查研究院, 福建 福州 350003)

**摘 要:** 矿床成矿时代是矿床成因研究的重要任务之一, 长期以来只能通过间接方法确定。Re-Os 同位素测年方法是直接精确测定辉钼矿及相关矿化模式年龄的有效手段。本文使用碱熔法和 ICPMS 技术对中甲锡多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄进行测定, 结果表明, 中甲锡多金属矿床矿化模式年龄为 193 ~ 196Ma, 属燕山早期早阶段成矿, 和成矿有关的黑云母花岗岩则形成于晚印支期—早燕山期。东南大陆在晚印支期开始了从特提斯构造域向环太平洋构造域的转变。燕山早期成矿的确定为区域上寻找新的成矿远景区提供了直接的年代学证据。

**关键词:** 锡多金属矿床; <sup>187</sup>Re 和 <sup>187</sup>Os 同位素; Re—Os 模式年龄; 中甲

中图分类号: R618.44, P597<sup>+</sup>·3 文献标识码: A

中甲锡多金属矿床位于闽西南拗陷东缘漳平—龙岩—永定 NNE 向多金属成矿带的中段, 东邻政和—大埔断裂带, 燕山期花岗岩分布在东部和南部, 花岗岩浆结晶、分异演化、上升定位的过程造就了锡钨钼多金属矿化; 矿区围岩地层具较强烈的蚀变特征, Sn 元素平均含量较高, 有利于锡多金属矿的形成与富集。区内断裂裂隙构造及岩体接触带对矿床控制特征较明显, 是区内主要的控矿条件。

## 1 中甲及其外围地质构造背景

### 1.1 地层及其含矿性

区域上地层发育较齐全, 除缺失志留系及下泥盆统外, 前寒武纪—第四纪地层均有出露, 前寒武系原岩为一套巨厚的陆屑建造、火山复理石建造。寒武—奥陶系为一套陆源复理石建造所构成的巨厚碎屑岩地层, 岩性主要为浅变质砂岩。综合区域地球化学指标, Sn 元素在长期地质演化中有明显的后期叠加作用, 这些地层应与矿化关系密切。

### 1.2 区域岩浆岩及其含矿性

闽西南地区全面转入大陆边缘活动带的一个显著标志就是岩浆岩的广泛分布。伴随着不

收稿日期: 2003-05-13

基金项目: 本文为地质大调查矿产资源评价项目(200110200035)、国家计委科技找矿项目(JG9471909)及原地矿部定向基金项目(地科定 97-11)部分研究成果。

作者简介: 张达(1967-), 男, 副教授, 构造地质专业, 主要从事区域构造与成矿规律研究。

同期次的花岗岩浆及火山岩沿着 NNE 向褶断带侵入和喷发。中甲外围花岗岩包括花岗闪长岩、黑云母花岗岩体及其后期分异的石英斑岩和花岗斑岩体。这些岩体都为中酸—酸性侵入体，形成于构造挤压、挤压—拉张转换的构造环境。蚀变矿化及微量元素的分析结果表明，锡矿化元素的重要来源之一为黑云母花岗岩及后期分异的石英斑岩。

### 1.3 区域控矿构造

中甲及其外围地处武夷山脉之东部，戴云山脉之南段。大地构造属黄汲清等所称的华南褶皱系湘赣桂粤闽褶皱带东部中段；地质力学观点认为该区位于中国东部新华夏构造体系第二隆起带与南岭纬向构造带的复合部位。中甲锡多金属矿床受政和—大埔深大断裂带的分支断裂 NNE 向漳平—下洋断裂、漳平—龙岩复式向斜、NW 向的中甲—珠地断裂以及 SN 向和 EW 向的隐伏基底断裂的复合控制。

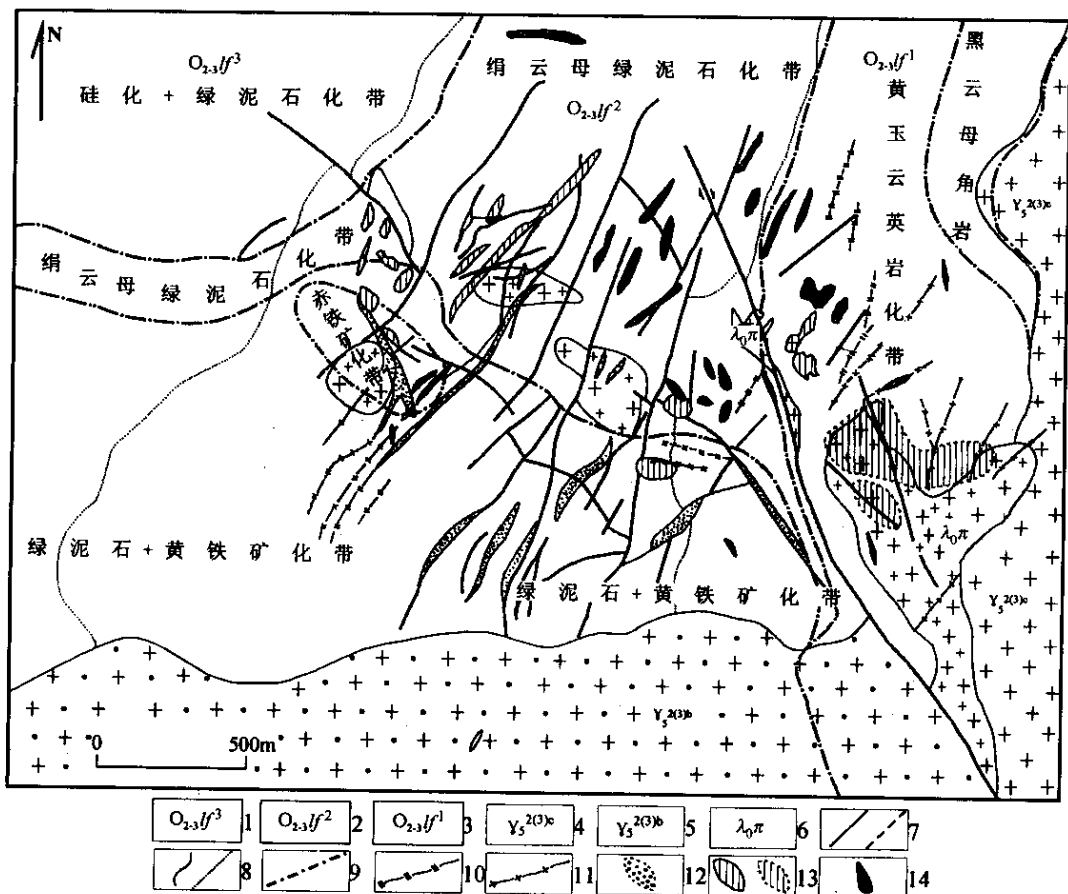


图 1 中甲锡多金属矿床矿区地质图

Fig.1 Geological map of the Zhongjia tin polymetallic deposit

1. 奥陶系罗峰溪组变质石英砂岩第三段；2. 奥陶系罗峰溪组变质石英砂岩第二段；3. 奥陶系罗峰溪组变质石英砂岩第一段；4. 燕山早期黑云母花岗岩；5. 燕山早期花岗闪长岩；6. 石英斑岩；7. 实测及推测断裂；8. 实测及推测地质界线；9. 蚀变分带；10. 黄玉云英岩脉；11. 绿泥石黄玉蚀变脉；12. 锡矿体；13. 辉钼矿体；14. 黑钨矿脉

## 2 中甲锡多金属矿床地质特征

中甲锡多金属矿床包括位于不同部位的 W、Sn、Mo 矿体以及少量的 Bi 矿化及黄铜矿化带，它们和外围铁矿共同组成一个完整的 Sn、Mo、W、Cu、Pb、Zn、Fe 矿化分带。

### 2.1 锡矿床地质特征

中甲锡矿床多分布在矿区中南部，主要为 NE 向，其次为 NNW 向带状分布（图 1），矿带长约 1km，宽 200~400m 不等。其中 90% 以上的矿体赋存于奥陶系罗峰溪群变质石英砂岩内，少数矿体位于石英斑岩体、南部的花岗闪长岩体和东部的黑云母花岗岩体内。单个矿体走向主要有 NE、NW、NNW 向，规模大小不一，长度可分为 3 个区间 15~80m、100~190m 和 >300m，其中较多在 35~80m 左右。锡矿体形态较多样，有脉状、囊状、透镜状、含矿角砾岩带、扁豆状、不规则状等，这些不同形态的矿体和其不同的赋存部位相关，如断裂带、断裂复合带、构造角砾岩带、接触带等，矿体的空间组合型式有串珠状、尖灭再现、侧列式以及网脉状。

中甲锡矿床矿石矿物主要有锡石、黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、黑钨矿、黝锡矿、磁铁矿、磁黄铁矿、马来亚石等；脉石矿物有：石英、绿泥石、黄玉、萤石、绢云母、长石、黑云母、磷灰石、高岭土等。其中锡石和辉钼矿呈浸染状分布于矿石中，镜下特征表明它们和黄铁矿呈共生关系（图 2），说明辉钼矿和锡矿属同一成矿阶段的产物。云英岩型锡石—绿泥石—黄铁矿型斑岩型，锡多金属矿产于石英斑岩体内，锡矿产于斑岩体内的角砾岩带中，角砾岩中的角砾具构造变形特征，并在角砾岩的裂隙中含锡石及黄铁矿，部分有较强的辉钼矿化，流体包裹体资料说明在斑岩体内形成的流体包裹体具沸腾特性，矿石具浸染状和细脉浸染状构造，矿化蚀变分带性明显，伴生有 Mo、W 等金属矿物。

### 2.2 辉钼矿床地质特征

辉钼矿床位于中甲矿区以北约 1050m 高度，和锡矿床具垂直分带，矿体产在隐伏的石英斑岩体和罗峰溪群变质石英砂岩的外接触带上，呈 NE 向展布，矿体主要为脉状、囊状、透镜状，矿体间常见锡矿脉夹于其中。矿石矿物主要为辉钼矿、黄铁矿、黑钨矿、锡石、方铅矿、闪锌矿、独居石；脉石矿物有绿泥石、石英、黄玉、绿帘石等；辉钼矿呈半自形浸染状。

### 2.3 成矿期和成矿阶段划分

中甲锡多金属矿床经历了 4 个大的成矿期，气成高温热液期、热液接触交代期、中高温热液期、表生风化作用期。其中气成高温热液期主要为锡石—氧化物期。

每个成矿期由若干个成矿阶段组成：气成高温热液期分为石英—黄玉阶段和石英—白云母—云英岩阶段。热液接触交代期主要为磁铁矿阶段。中甲锡矿区主要成矿期——中高温热液期的 3 个成矿阶段在空间上具水平及垂直分带，从早到晚依次向上垂直分带排列。第一阶段为石英—黄铁矿—辉钼矿阶段，主要形成辉钼矿，其中共生有少量锡石和黑钨矿以及少量



图 2 锡石—辉钼矿—黄铁矿共生特征

Fig.2 Paragenetic relationships among tin, molybdenum and pyrite

黄铜矿；第二阶段形成本区的黑钨矿，也伴生有辉铋矿、锡石，矿化范围大，与前后阶段无明显界限；第三阶段为绿泥石、锡石硫化物的形成阶段，形成锡石并伴生了少量辉钼矿化、方铅矿、闪锌矿化以及少量黄锡矿。表生风化作用期主要是氧化作用使原有磁铁矿型的锡矿发生氧化、淋滤形成赤铁矿型锡矿。

综上所述，中甲锡多金属矿床的形成虽然经历了多期次、多阶段的演化过程，但锡矿床的形成和辉钼矿床的形成应属于同一成矿期——中高温热液期的不同成矿阶段。因此 Re-Os 同位素体系测定的辉钼矿矿化年龄，基本可以代表中甲锡多金属矿床的形成时代。

### 3 Re-Os 同位素法测定辉钼矿床的矿化年龄

#### 3.1 辉钼矿样品的选取

从中甲锡多金属矿床正在开采的辉钼矿矿中矿体的不同部位选取 3 块富矿石样品 ( $Z_{11}$ 、 $Z_{8-9}$ 、 $Z_{10}$ )，在室内无污染环境下，挑选达到测试标准的辉钼矿粉，由中国地质科学院国家地质测试中心 Re-Os 同位素实验室进行矿化年龄的测定。

#### 3.2 分析方法

Yesenov 等人 (1970) 指出，辉钼矿中  $^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re}$  的比值随着成矿时代的不同而发生变化，因此，利用矿物中  $^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re}$  比值可以确定矿化年龄。20 世纪 80 年代以来，由于测试技术的进步，先后出现了二次离子质谱技术、共振电离质谱技术、激光微探针质谱技术、加速器质谱技术、等离子体质谱技术以及负热离子质谱技术，利用 Re-Os 的同位素体系不仅可应用于地质定年，而且还有助于了解许多地球化学过程<sup>[1-5]</sup>。

硫化物矿物的形成不易用常规定年法准确测定。Re 和 Os 同属亲 Cu、亲 Fe 元素，故 Re-Os 地质時計被认为是测定硫化物年龄的一种理想技术，是一种直接测定矿化年龄的方法。辉钼矿中含铼量可达数 ppm 到 2% 左右，且自晶出以来没有发生过铼和钨的化学分馏，可以通过比较铼含量和放射成因钨含量的方法确定辉钼矿的年龄，根据铼一般富集于辉钼矿中， $^{187}\text{Os}$  由  $^{187}\text{Re}$  衰变而来，以及辉钼矿中不含普通钨的事实，成矿年龄的取得一般可以通过测得精确的 Re、Os 同位素比值及含量而得到<sup>[6,7]</sup>。

本研究采用的是国家地质测试中心 Re-Os 同位素实验室的同位素稀释—等离子体质谱技术 (ID-ICPMS)<sup>[8]</sup>，该方法的主要特点是，当加入  $^{185}\text{Re}$  和  $^{190}\text{Os}$  稀释剂后，样品经过碱稀释而分离，能够阻止分离过程中钨由于蒸发而从氧化性溶液中丢失；同时能够保持样品和稀释剂之间的 Re-Os 同位素交换完全性及价位的一致性<sup>[6]</sup>。用这种方法能使钨在蒸馏过程中保持较高的氧化态并使信号强度高于 ICPMS 方法测量过程中的 50 倍，从而提高了钨在纳克级的分析精度，同时 Re-Os 同位素测年的误差一般为 3% ~ 4%。因此，用碱熔法及 ICPMS 测试技术能够获得高精度的 Re-Os 同位素矿化年龄值<sup>[9]</sup>。

#### 3.3 分析结果

经过样品的测试，得出每个样品中  $^{187}\text{Re}$  和  $^{187}\text{Os}$  的含量以及根据公式计算所得的模式年龄值，如表 1 所示，表中还引用了 2 个已经测出的美国科罗拉多 Climax 和 Henderson 斑岩型辉钼矿床的测年数据<sup>[6]</sup>，用以进行对比。

从表中可以看出，①辉钼矿床中  $^{187}\text{Re}$  的含量从 503 ~ 791 (ng/g)，而  $^{187}\text{Os}$  含量较低，为 1.09 ~ 1.57 (ng/g)，通过对比国内外一些辉钼矿的测量数据，低 Re (7 ~ 20 μg/g) 和低  $^{187}\text{Os}$  (2 ~ 26.4 ng/g) 被定为斑岩型辉钼矿，因此中甲辉钼矿类型应该是斑岩型<sup>[6]</sup>；②辉钼矿 Re-Os

模式年龄主要集中在 193 ~ 196Ma 范围内，应属于燕山早期早阶段成矿；③根据前面所述的中甲锡多金属矿床的地质特征，锡矿化和辉钼矿化同属中高温热液期成矿，因此，辉钼矿 Re-Os 模式年龄也可以代表锡矿化年龄，即锡矿化可定为燕山早期早阶段。

表 1 中甲锡多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄一览表

Table 1 Re-Os model ages for molybdenite from the Zhongjia tin polymetallic deposit

样品	产地	样品重量 (mg)	Re ± 2σ (ng/g)	<sup>187</sup> Re ± 2σ (ng/g)	<sup>187</sup> Os ± 2σ (ng/g)	模式年龄 (Ma)	备注
Z <sub>11</sub>	中甲锡	8.0722	791 ± 35	495 ± 22	1.57 ± 0.024	193 ± 10	本次 工作
Z <sub>8-9</sub>	多金属	10.538	794 ± 23	497 ± 14	1.55 ± 0.14	196 ± 18	
Z <sub>10</sub>	矿床	10.096	503 ± 45	340 ± 28	1.09 ± 0.013	195 ± 16	
	Climax	1000	9100 ± 200	5700 ± 100	2.5 ± 0.1	27 ± 1.0	(1)
	Henderson	1000	8300 ± 200	5200 ± 100	2.3 ± 0.2	27 ± 2.0	(2)

注：国家地质测试中心邹晓秋、温宏利分析。(1)(2)资料引自黄典豪等(1995)。Re-Os 模式年龄通过公式  $t = 1/\lambda \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})$  计算得到，其中  $\lambda$  是 <sup>187</sup>Re 的衰变常数， $\lambda = 1.64 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$  (Lindner et al, 1989)。

## 4 地质意义

众所周知，确定矿床的成矿时代是矿床成因研究的重要任务之一，成矿时代的确定不仅提供矿床形成时代的基本信息，而且为研究矿床区域分布以及时空演化规律奠定了基础，同时也为选择勘探靶区提供有力的证据。但时至今日，绝大多数金属矿床的年龄只能通过间接方法确定，如用 K-Ar 法、Rb-Sr 法、Sm-Nd 法、U-Pb 法等同位素年代学方法确定成矿围岩年龄和矿床进行对比确定成矿(矿化)的相对年龄。这些方法对成矿年龄的确定有许多问题：无法确定岩浆期后多阶段水热交换过程中的哪一阶段和成矿对应以及成矿和成岩时代之间的差异<sup>[10,11]</sup>。这些问题的产生长期以来一直制约着用所取得的年龄数据对矿床形成、矿床和岩浆以及构造变形阶段之间的关系作出合理的解释，人们在寻求直接确定矿化年龄的方法。

中甲锡多金属矿床成因分析表明，矿床的形成和永福黑云母花岗岩有关。区域上永福花岗岩体和莒舟花岗岩体同属多期次侵入的复式岩基，二者都产于区域 NNE 向的构造岩浆岩带上，具有相似的成岩演化史。在燕山期花岗岩广泛分布的区域，矿区周缘黑云母花岗岩体的成岩有 214Ma 和 219Ma (Rb-Sr 法) 的年龄数据，看来应为晚印支—早燕山期的产物。印支晚期至燕山早期中国东南大陆正发生着从特提斯构造域向环太平洋构造域的转变，在这种大的构造背景下，该区形成一定规模的构造岩浆成矿作用条件是成熟的。

## 5 结论

(1) Re-Os 同位素测年方法是直接精确测定辉钼矿及相关矿化模式年龄的有效手段；

(2) 长期以来都认为锡多金属矿床形成于燕山晚期，通过 Re-Os 同位素测年厘定中甲锡多金属矿床的矿化年龄为 193 ~ 196 Ma；即矿床形成于燕山早期早阶段，扩大了该区找矿的时间界限，为在区域上寻找新的成矿远景区提供了直接的年代学标志。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 殷宁万, 黄典豪. 铼—钨同位素体系的研究现状及其在地质学中的应用 [ J ]. 国外矿床地质, 1994, ( 1 ): 1 ~ 11.
- [ 2 ] 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. Re-Os 法测定辉钼矿矿化年龄 [ J ]. 科学通报, 1993, 38 ( 6 ): 574 ~ 575.
- [ 3 ] 屈文俊, 杜安道, 高洪涛.  $^{186}\text{Os}$  和  $^{188}\text{Os}$  双同位素稀释法在辉钼矿铼—钨测年中的应用 [ J ]. 岩矿测试, 2000, 19 ( 4 总 76 ): 241 ~ 244.
- [ 4 ] Raith, J. G., Stein, H. J. Re-Os dating and sulfur isotope composition of molybdenite from tungsten deposits in western Namaqualand, South Africa; implications for ore genesis and the timing of metamorphism [ J ]. Mineralium Deposita, 2000, 35 ( 8 ): 741 ~ 753.
- [ 5 ] Selby, D., Creaser, R. A. Late and Mid-Cretaceous mineralization in the northern Canadian Cordillera: constraints from Re-Os molybdenite dates [ J ]. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 2001, 96 ( 6 ): 1461 ~ 1467.
- [ 6 ] Huang Dianhao, Wu Chengyu, Du Andao, et al. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in East Qinling and their significance [ J ]. Chinese Journal of Geochemistry, 1995, 14 ( 4 ): 313 ~ 322.
- [ 7 ] 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台钼 ( 铜 ) 矿床成矿年代学研究—辉钼矿铼—钨年龄及其地质意义 [ J ]. 矿床地质, 1996, 15 ( 4 总 58 ): 365 ~ 373.
- [ 8 ] Du, A., He, H., Yin, N., et al. Direct dating of molybdenites using the Re-Os geochronometer [ J ]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38: 1319 ~ 1320.
- [ 9 ] Stein, H. J., Sundblad, K., Markey, R. J., et al. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuittila-Kivisuo, Finland and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania; testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting [ J ]. Mineralium Deposita, 1998, 33 ( 4 ): 329 ~ 345.
- [ 10 ] 毛景文, 张作衡, 张招崇, 等. 北祁连山小柳沟钨矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义 [ J ]. 地质论评, 1999, 45 ( 4 ): 412 ~ 417.
- [ 11 ] 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 等. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究 [ J ]. 地质论评, 1996, 42 ( 3 ): 261 ~ 267.
- [ 12 ] 李根坤, 林享才. 福建省同位素年龄及其区域地质构造意义 [ J ]. 福建地质, 1988, 7 ( 2 ): 80 ~ 118.

## Re-Os AGES OF THE ZHONGJIA TIN POLYMETALLIC DEPOSIT , SOUTHWESTERN FUJIAN , AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

ZHANG Da<sup>1)</sup> , WU Gan-guo<sup>1)</sup> , WU Jian-she<sup>2)</sup> , CHEN Xiang-yun<sup>1)</sup>

(1. *China University of Geosciences , Beijing 100081 , China ;*

2. *Institute of Geological Survey of Fujian Province , Fuzhou 350003 , China )*

**Abstract** : The mineralization age of ore deposits is one of the important subjects in the study of the genesis of ore deposits and it has long been obtained by means of indirect methods. The Re-Os dating technique is an effective means for the direct accurate determination of the model ages of molybdenite and related mineralization. The alkali fusion combined with ICPMS was used in this study to determine the Re-Os ages of molybdenite in the Zhongjia tin polymetallic deposit. The results indicate that the model age of mineralization of the Zhongjia tin polymetallic deposit is 193-196 Ma , assigned to the early stage of the early Yanshanian period. The biotite granite related to mineralization was emplaced during the late Indosinian-early Yanshanian. The transformation from the Tethys tectonic domain to the circum-Pacific tectonic domain in the continent of southeastern China began in the late Indosinian. The tin polymetallic mineralization resulted from the transformation of the two tectonic domains. The determination of the early Yanshanian mineralization provides direct chronological evidence for looking for new regional ore prospect areas .

**Key words** : tin polymetallic deposit ; <sup>187</sup>Re and <sup>187</sup>Os isotopes ; Re-Os model age ; Zhongjia