

辽东猫岭金矿中含金毒砂的 Re-Os 年龄及地质意义

喻钢^① 杨刚 陈江峰* 屈文俊 杜安道 何畏

(中国科学技术大学地球和空间科学学院, 壳幔物质与环境实验室, 合肥 230026; 国家地质实验测试中心, 北京 100037;

辽宁省地勘局第五地质大队, 大石桥 115100. * 联系人, E-mail: cjf@ustc.edu.cn)

摘要 猫岭金矿是辽东重要的大型金矿床之一, 其金储量为 25 t, 平均品位为 3.2 g/t. 猫岭金矿为毒砂浸染型金矿, 毒砂与金矿化密切相关. 猫岭金矿中 6 个毒砂样品的 Re-Os 等时线年龄为 2316 ± 140 Ma, 指示猫岭金矿化发生于古元古代, 不同于前人认为猫岭金矿成矿于印支期. 等时线的初始 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值为 1.32 ± 0.48 , 指示矿质来源是壳源的, 可能来源于辽河群盖县组. 此结果同时表明矿区的辽河群盖县组沉积时代老于矿床年龄 (2316 ± 140 Ma).

关键词 Re-Os 年龄 毒砂 猫岭金矿 成矿时代 辽东

猫岭金矿是辽东重要的大型金矿床之一, 矿床类型为毒砂浸染型金矿^[1]. 其金储量为 25 t, 平均品位为 3.2 g/t^[1]. 由于矿床构造、成矿作用复杂, 对其成因和成矿时代的认识存在分歧. 由于矿床靠近中生代的猫岭花岗岩, 孔繁华等人^[2]、陈昌勇^[3]、王文清等人^[4]认为猫岭金矿于中生代成矿, 受中生代岩浆活动控制. 而根据矿床矿体的形态和构造等特征, 戴立军^[5]和李兴国^[6]推测是古元古代的变质、剪切作用成矿. 精确的年代学数据是解决这一分歧的关键, 但至今猫岭金矿尚无直接的年代学数据.

矿床年代学对了解矿床成因至关重要. 直接对金属矿床定年最有效的方法是 Re-Os 法, 除了大量辉钼矿工作^[7,8]之外, 一些低 Re-Os 含量硫化物的 Re-Os 定年^[9~13]已很成功. 目前技术已可精确测定低于 10^{-9} g 的 Re 和 Os, 因此可用于猫岭毒砂的研究. 国际上目前对金矿床中毒砂单矿物的 Re-Os 研究很少, Frei 等人^[9]给出了 4 个毒砂的 Re-Os 数据, 但没有构成好的等时线关系, Arne 等人^[12]给出了 2 个毒砂和 3 个黄铁矿的联合 Re-Os 等时线.

高 As 含量、毒砂与金矿化关系密切是猫岭金矿的特点, 因此有可能利用毒砂 Re-Os 定年得到猫岭金矿的成矿时代. 本文用 ICP-MS 方法测得猫岭金矿中毒砂的 Re-Os 年龄为 2316 ± 140 Ma, 指示了猫岭金矿形成于古元古代, 而不是中生代.

1 地质概况

辽东早元古代裂谷位于华北地块的北缘(图 1). 裂谷中地层主要为: 元古代的辽河群和榆树砬子群^[14]. 辽河群可细分为 5 个亚群(自下而上): 浪子山

组、里尔峪组、高家峪组、大石桥组和盖县组^[14]. 裂谷内赋存一系列大中型金矿床, 它们受特定层位(盖县组中下部及大石桥组顶部层位)、岩性、韧性剪切变形及中生代岩浆活动等因素复合控制^[4].

地层时代不很确定, 陈江峰等人^[15]给出了大石桥组大理岩的变质年龄 1822 ± 92 Ma, 此年龄可当作辽吉裂谷地层沉积的上限年龄. 而沉积下限年龄尚较难确定, 目前有约 2.5 Ga^[16]和约 2.2 Ga^[17]两种看法.

猫岭金矿位于裂谷内营口-宽甸台拱的西南部(图 1, 图 2), 矿区广泛分布辽河群盖县组千枚岩、片岩和榆树砬子群石英岩及绢云千枚岩^[18]. 猫岭金矿的赋矿岩石是盖县组二段的绢云千枚岩和绿泥绢云千枚岩, 变质程度较低, 仅为低绿片岩相. 矿体以脉状、似层状、透镜状等产出, 矿体的产状、形态受北西向韧性剪切带及低序次断裂控制^[2]. 矿体与围岩呈过渡关系, 可见含磁黄铁矿、金和毒砂的硅化石英脉随围

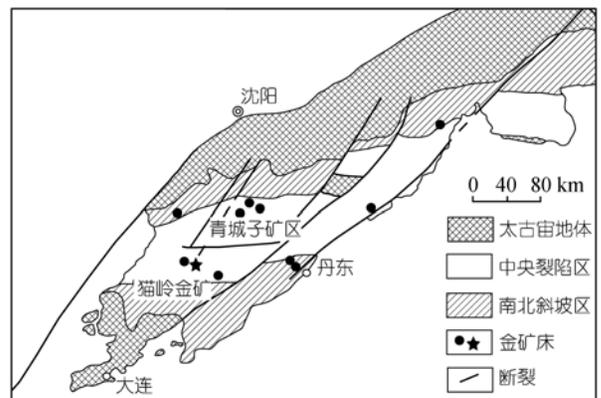


图 1 东早元古代裂谷带的地质示意图(修改自文献^[4])

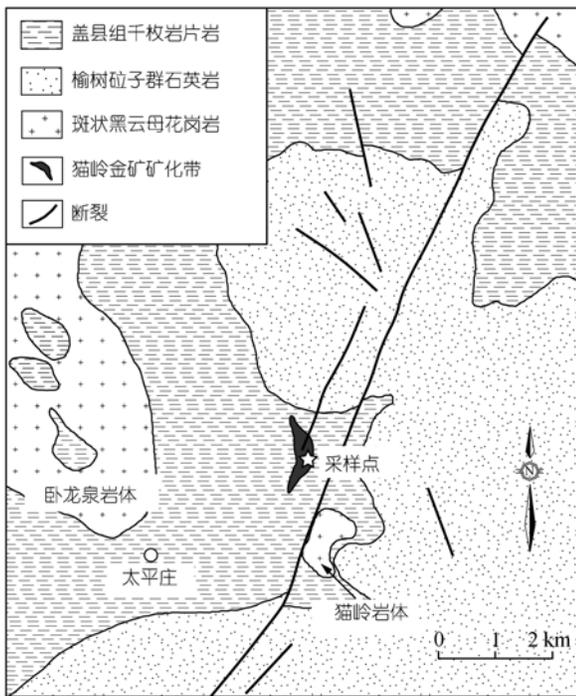


图 2 猫岭金矿矿区地质图



图 3 含磁黄铁矿、毒砂和金的硅化石英脉照片

岩一起变形、扭曲(图 3)。

区内出露的岩体主要有卧龙泉岩体和猫岭岩体, 岩性均为似斑状黑云二长花岗岩, 属于上部陆壳物质重熔成因的S型花岗岩^[19]。前人认为它们形成于中生代(K-Ar年龄约 231 Ma^[4,20])。但最近, 路孝平等^[21]给出卧龙泉岩体的激光 ICP-MS 的锆石年龄为 1853±13 Ma。猫岭岩体出露面积约 0.4 km², 周围依次发育砂线石带、红柱石带和黑云母带的接触变质晕, 接触变质带的总宽度约 1 km。部分地区还零星分布一些正长岩、闪长岩、细粒花岗岩和二长花岗岩。

所研究矿石样品采自矿床最富的 9 号矿体(平均金品位: 5.89 g/t, 图 4)。主要的矿石矿物是毒砂和磁黄铁矿, 脉石矿物主要为绢云母和石英。金和银金矿多呈粒状及不规则状赋存于毒砂、磁黄铁矿及石英等矿物晶粒或裂隙之间, 少量被包裹在石英和毒砂中^[2]。毒砂是矿床中的主要载金矿物, 占硫化物的 50% 以上^[22]。金矿化与毒砂矿化强度相关, 毒砂多的岩石金含量也高^[6,18]。根据矿物间的交代关系(图 5), 得出矿物的生成顺序为: 早期石英→金云母、毒砂→磁黄铁矿、黄铜矿→闪锌矿→菱铁矿、晚期石英。矿化可能分为 2 个阶段: 毒砂-磁黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿为高温热液阶段, 菱铁矿-石英脉为低温热液阶段。薄片未见自然金, 仅在矿物分选时发现极少量的颗粒。

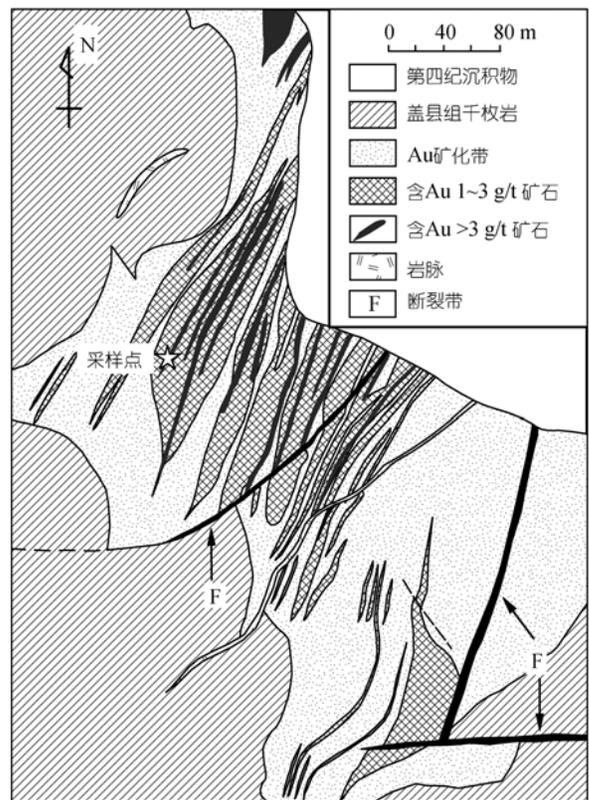


图 4 猫岭金矿矿床示意图

2 分析方法

样品破碎后, 用 Milli-Q 水洗净, 在双目显微镜下挑出纯净的毒砂颗粒进行 Re-Os 分析, Re-Os 分析是在地质科学院的国家地质实验测试中心的 Re-Os 实验室进行的, 化学分析流程简述如下^[23,24]。

采用卡洛斯管(Carius Tube)溶样^[25]。准确称取粉

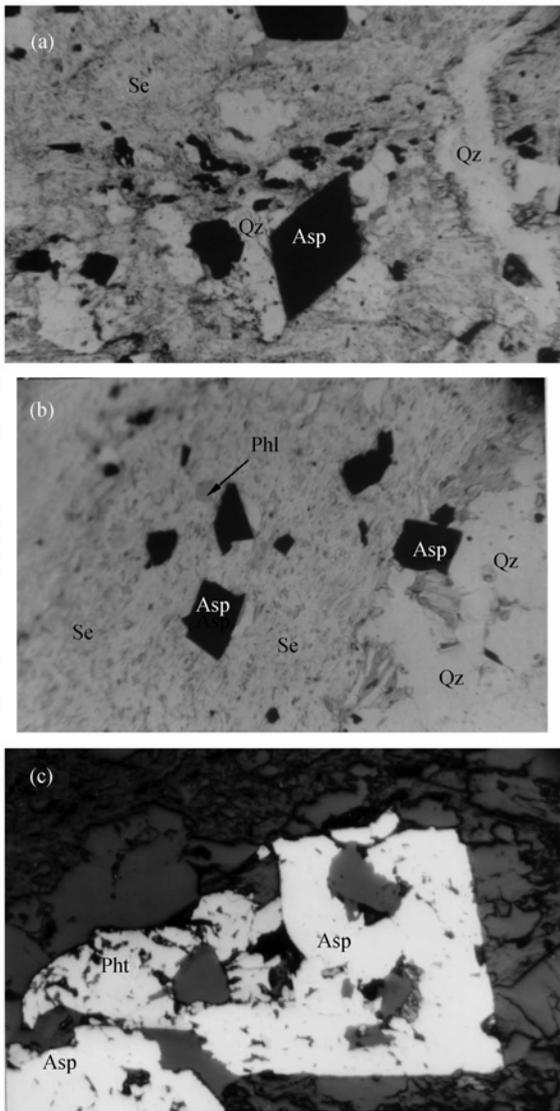


图5 猫岭金矿石薄片的显微照片

(a) 毒砂自形、半自形晶体(单偏光, 120倍); (b) 千枚岩中浸染状毒砂(单偏光, 120倍); (c) 含毒砂和磁黄铁矿的石英脉(反射光, 260倍). As: 毒砂, Qz: 石英, Se: 绢云母, Phl: 金云母, Pht: 磁黄铁矿

碎后的样品约 0.2 g和适量的¹⁸⁵Re-¹⁹⁰Os混合稀释剂, 以 2 mL 12 mol/L HCl和 6 mL 15 mol/L HNO₃为溶剂, 一起加入卡洛斯管中. 每个样品用两根卡洛斯管溶样. 把卡洛斯管放在一个无污染铁套内, 然后放入炉中在 230 的温度下加热 12 小时.

开管后将两管溶液合并, 并转移到蒸馏瓶中, 接着在 105~110 温度下蒸馏 50 分钟, 10 mL Milli-Q水吸收OsO₄, 吸收液等待用ICP-MS测量Os.

蒸馏后的残余溶液转移到 100 mL Teflon烧杯中, 然后加入 10 mL 5 mol/L NaOH, 混合后用丙酮萃取

Re. 在含Re的丙酮中加入 2 mL Milli-Q 水, 混合后加热(<80), Re被转移到水相中. 然后过阳离子交换柱除去Na⁺, 过柱后的溶液便可以用ICP-MS测量Re.

Re和Os的同位素比值都用ICP-MS(PQ Excell)进行测量. 测定过程中通过监测¹⁸⁵Re来控制Re对Os的测定的干扰, 通过监测¹⁹⁰Os来控制Os对Re的测定的干扰, 并采用 5%稀氨水和H₂O₂交替清洗进样管防止样品间的交叉污染. 流程空白为Re=7 pg, Os=4.5 pg, 空白¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os=0.25.

3 结果

6 个毒砂样品的测定结果列于表 1, 所有数据已经过空白校正. 实验室的流程是用国标 JDC (GBW04436)控制的.

猫岭毒砂的Re含量为: (0.83~6.41) × 10⁻⁹ g/g, Os含量为: (0.046~0.210) × 10⁻⁹ g/g. 用ISOPLOT 2.06^[26]计算得到一条年龄为 2316±140 Ma (2σ)的等时线(图 6), MSWD=6.3, 初始¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os比值为 1.32±0.48.

表1 猫岭金矿毒砂的 Re-Os 分析结果

样品号	Re/10 ⁻⁹ g·g ⁻¹	Os/10 ⁻⁹ g·g ⁻¹	¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁸ Os	¹⁸⁷ Os/ ¹⁸⁸ Os	± a)
01LN326	1.324	0.118	72.04	4.050	168
01LN327	0.834	0.0455	113.8	5.540	462
01LN329	6.406	0.210	530.3	21.73	66
duplicate	6.168	0.138	530.3	22.63	48
01LN331	0.864	0.0729	72.79	4.417	421
01LN334	3.192	0.188	146.3	7.218	168

a) 指¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os比值的误差(2σ)

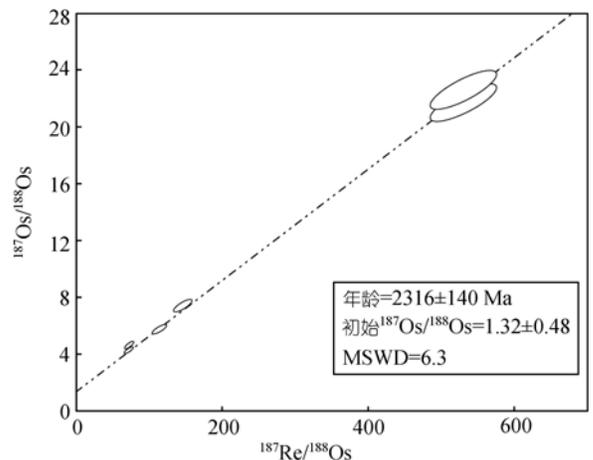


图6 猫岭金矿毒砂的 Re-Os 等时线图

4 讨论

砷可以作为“提取剂”在区域变质过程中, 把分

散在岩石中的微量金提取出来, 形成稳定的亚砷酸络合物而进入变质流体^[4], 许多金矿床中金与毒砂共生, 关系密切. 猫岭金矿矿石中金与毒砂矿物含量成正比, 暗示两者是同期成矿. 因而李兴国^[6]曾建议以毒砂和 As 含量的高值区作为金矿体出露范围的标志. Mathur 等人^[27]指出 Os 和 Au 都是贵金属并且有相似的地球化学性质. 因此, 毒砂 2316±140 Ma 的 Re-Os 等时线年龄指示猫岭金矿形成于古元古代而与中生代岩浆活动无关. 而且猫岭金矿毒砂及磁黄铁矿的矿石 Pb 同位素组成与本区花岗岩长石 Pb 同位素组成明显不同也支持这一事实(图 7). 同样, 邱小平^[29]以详细的野外地质观察结合区域地质和构造分析研究也认为, 金矿脉与辽河群早期面理(S₁)为同一构造期产物(年龄范围 2000~2200 Ma), 在金矿成矿期形成的强硅化蚀变圈, 因具有不透水性和强硬的岩石力学性质, 造成封闭-半封闭的屏蔽环境, 使得猫岭金矿的古元古代的成矿特征(包括矿石矿物组成、结构构造、Pb 同位素和 Re-Os 同位素组成, 以及辽河旋回早期的 S₁ 面理)得以保存下来, 免遭后期的构造-岩浆热事件的改造破坏. 虽然近期路孝平等人^[21]报道的卧龙泉岩体锆石年龄为 1853±13 Ma, 但这年龄仍然比毒砂的 Re-Os 年龄(2316±140 Ma)年轻, 且他们^[21]也还报道了一个侵位于猫岭金矿北边 30 km 处的含白云母、电气石花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石年龄为 2141 ± 31 Ma, 此年龄相异于猫岭金矿地成矿时代. 所以本矿区是否存在于猫岭金矿同时代(2316 ± 140 Ma)的岩浆活动尚难定论.

由等时线得到的初始 ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os 比值为 1.32 ± 0.48, 显然高于地幔 Os 的比值范围(地幔的 ¹⁸⁷Os/

¹⁸⁸Os 比值约为 0.12~0.13^[30]), 指示猫岭金矿主要是地壳来源. 支持前人^[4,5,18,22,28]认为猫岭金矿物质来源以壳源为主的观点. 如: 曲忠胜^[18]认为辽河群盖县组碎屑岩系是猫岭金矿的矿源层, 因为区域上分布的低角闪岩相和高绿片岩相岩石金丰度值为 1.1 ng/g, 而猫岭金矿区低绿片岩相岩石的金丰度平均值为 1.7 ng/g, 最高可达 500 ng/g. 戴立军^[5]给出猫岭金矿硫化物的平均 δ³⁴S 为 8.7‰, 极差 2.7‰, 并认为猫岭金矿硫化物的平均 δ³⁴S 既不同于太古代绿岩带型金矿床的 δ³⁴S ($\bar{X} = -3.1‰ \pm 7.0‰$), 也不同于岩浆热液成因金矿床 δ³⁴S (5‰~6‰), 而同整个辽河群地层硫同位素背景值以富集“重硫”一致, 所以他也认为猫岭金矿矿质应该主要来源于地层.

猫岭金矿赋存于盖县组二段岩石中, 且与辽河群早期构造(S₁面理)同期^[29], 明显的盖县组岩石成岩早于或接近猫岭金矿的成矿时代.

5 结论

猫岭金矿的形成年龄是 2316±140 Ma, 这年龄说明其成矿与中生代的岩浆活动关系不大. 高的初始 Os 比值(1.32±0.48)指示其矿质来源是壳源的, 可能来源于辽河群盖县组.

新的锆石年龄数据表明早期认为是中生代的卧龙泉岩体属元古代岩浆活动^[21], 使我们怀疑本区其他相似的“中生代岩体”(如: 猫岭岩体)是否也同属元古代岩浆活动的产物. 猫岭金矿是变质成因还是岩浆成因本文尚难定论, 需其他方面的研究来进一步制约.

致谢 衷心感谢康成德老师对本文样品薄片的鉴定工作. 衷心感谢辽宁地勘局杨占兴、曼德罗矿业股份有限公司首席地质学家 Matthew J. Hughes 和辽宁省地质五队的李兴国总工程师、王殿忠工程师在野外工作中给予的帮助以及提供的地质资料, 感谢中国地质科学院陈毓川先生的指导和帮助、中国地质科学院邱小平研究员的有益讨论, 感谢两位审稿人审阅本文并提出有益意见, 使本文更加完善. 本工作受国家重点基础研究发展规划项目“大规模成矿作用与大型矿集区预测(01999043201)”和中国科学院合肥地区联合分析测试基金资助.

参 考 文 献

1 Zhou T H, Goldfarb R J, Phillips G N. Tectonics and distribution of gold deposits in China-an overview. Mineralium Deposita, 2002, 37: 249~282

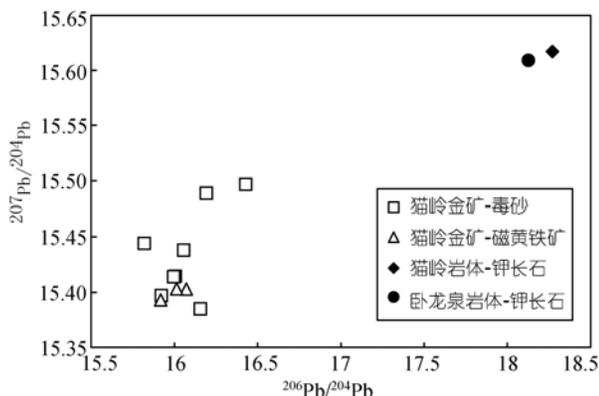


图 7 猫岭金矿硫化物 Pb 与猫岭花岗岩长石 Pb 同位素组成对比图

图中铅同位素数据引自文献^[15, 28]

- 2 孔繁华, 郝庆先. 盖县猫岭金矿成因机制的研究. 辽宁省地质矿产局地质论文集, 1990, 5: 71~76
- 3 陈昌勇. 华北地块北缘金矿床类型及成矿系列. 辽宁地质, 1998, 3: 214~221
- 4 王文清, 曲亚军. 辽东古远古宙金矿地质特征及成矿模式. 辽宁地质, 2000, 17(3): 161~172
- 5 戴立军. 从猫岭金矿床的发现看辽南找矿远景问题. 黄金地质科技, 1989, 2: 62~64
- 6 李兴国. 猫岭金矿成矿地质条件及富集规律探讨. 辽宁省地质矿产局地质论文集, 1989, 4: 144~148
- 7 Suzuki K, Shimizu H, Masuda A. Re-Os dating of molybdenites from ore deposits in Japan: Implication for the closure temperature of the Re-Os system for molybdenite and the cooling history of molybdenum ore deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, 60(16): 3151~3159[DOI]
- 8 Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works. *Terra Nova*, 2001, 13(6): 479~486[DOI]
- 9 Frei R, Nagler Th F, Schonberg R, et al. Re-Os, Sm-Nd, U-Pb, and stepwise lead leaching isotope systematics in shear-zone hosted gold mineralization: Genetic tracing and age constraints of crustal hydrothermal activity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62: 1925~1936[DOI]
- 10 Mathur R, Ruiz J, Spencer T, et al. Different crustal sources for Au-rich and Au-poor ores of the Grasberg Cu-Au porphyry deposit. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, 183: 7~14[DOI]
- 11 Stein H J, Morgan J W, Schersten A. Re-Os dating of Low-Level Highly Radiogenic (LLHR) Sulfides: The Harnas Gold deposit, Southwest Sweden, record continental-scale tectonic events. *Economic Geology*, 2000, 95: 1657~1671[DOI]
- 12 Arne D C, Bierlein F P, Morgan J W, et al. Re-Os dating of sulfides associated with gold mineralization in central Victoria, Australia. *Economic Geology*, 2001, 96: 1455~1459[DOI]
- 13 Kirk J, Ruiz J, Chesley J, et al. A major Archean, Gold- and crust-forming event in the Kaapvaal Craton, South Africa. *Science*, 2002, 297: 1856~1858
- 14 方如恒, 何特松, 傅德彬. 辽东-吉南早元古代裂谷有色金属矿床. 见: 芮宗瑶, 施林道, 方如恒编著. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1994. 54~109
- 15 陈江峰, 喻钢, 薛春纪, 等. 辽东裂谷带铅锌金银矿集区Pb同位素地球化学. *中国科学, D辑*, 2004, 34(1): 1~8[摘要][PDF]
- 16 刁乃昌, 张华丽. 辽南地区铅锌矿铅同位素数据处理及物质来源的讨论. *辽宁地质*, 1986, 3: 208~217
- 17 张秋生, 李守义, 赵建平, 等. 辽东半岛早期地壳与矿床. 北京: 地质队出版社, 1988. 254~255
- 18 曲忠胜. 猫岭金矿成矿地质条件探讨. 辽宁省地质矿产局地质论文集, 1989, 4: 141~143
- 19 李成明, 方琦伟, 曾繁初. 猫岭花岗岩成因及与金矿床关系分析. *沈阳黄金学院学报*, 1994, 13(3): 209~214
- 20 刘斌, 余昌涛. 辽宁营口地区中生代花岗岩类的成因及其含金性. *贵金属地质*, 1993, 2(2): 118~126
- 21 路孝平, 吴福元, 林景仟, 等. 辽东半岛南部早前寒武纪花岗岩岩浆作用的年代学格架. *地质科学*, 2004, 39(1): 123~138
- 22 刘辉, 金成洙, 关广岳. 辽南猫岭金矿床的成矿物质来源及金的活化、迁移及富集机理. *地质找矿论丛*, 1990, 5(4): 57~68
- 23 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. Carius 管溶样-负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄. *岩矿测试*, 2001, 20(4): 247~252
- 24 Du A D, Wang S X, Sun D Z, et al. Precise Re-Os dating of Molybdenite using Carius tube, N-TIMS and ICP-MS. In: Piestrzynski, et al, eds. *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century. Proceedings of the Sixth Biennial SGA-SEG Meeting, Krakov*, 2001. 405~407
- 25 Shirey S B, Walker R J. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis. *Analytical Chemistry*, 1995, 67: 2136~2141[DOI]
- 26 Ludwig K R. Isoplot - a plotting and regression program for radiogenic isoplot data. In: 1994 rev of US Ged Survey, Open File Report. 1994, 91-445: 1~45
- 27 Mathur R, Ruiz J, Tittley S, et al. Different crustal sources for Au-rich and Au-poor ores of the Grasberg Cu-Au porphyry deposit. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, 183: 7~14[DOI]
- 28 贾斌. 辽南营口地区某些金矿床的铅同位素和氢氧同位素特征及成矿热液来源. *贵金属地质*, 1995, 4(1): 13~19
- 29 邱小平. 猫岭金矿床成矿构造演化特征. *矿床地质*, 2004, 23(2): 198~205
- 30 Shirey S B, Walker R J. The Re-Os isotope system in cosmochemistry and high-temperature geochemistry. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 1998, 26: 423~500[DOI]

(2005-03-08 收稿, 2005-04-26 收修改稿)