

金矿测年方法讨论及定年中存在的问题

魏俊浩^{1,2}, 刘丛强¹, 刘国春³

(1. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074;
3. 红花沟金矿, 内蒙古 赤峰 024035)

摘 要: 准确的成岩成矿年代测定是矿床研究和对比的基础。然而近几年来, 不同的研究者对同一矿床采用不同的定年方法得出了相差十分悬殊的成岩成矿年龄的报道屡见不鲜。为此笔者在分析了不同定年方法适用性的同时, 强调了在金矿定年中要加强对金矿成岩成矿地质背景的研究, 重视不同地质体与成矿的先后关系, 确定标志性地质体, 选择合适的定年方法, 测定标志性地质体和矿体的成岩成矿年代, 使成岩成矿年代互为限定, 得到高质量的年代学数据。

关键词: 成岩成矿年代; 同位素; 标志性地质体; 金矿床

中图分类号: P597; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2003)02-0319-08

我国金矿主要集中在中东部地区, 其中华北地台周边是我国脉状金矿产出的重要集中区, 著名的有胶东、丹东、夹皮沟、张家口、冀东和小秦岭金矿集中区等。自 20 世纪 80 年代以来上述地区在金矿地质、成岩成矿年代学方面做了大量的研究工作。栾世伟^[1]、陈衍景等^[2]较系统地研究了小秦岭地区金矿地质; 吕古贤等^[3,4]、姚凤良等^[5]详细研究了胶东金矿地质; 武警黄金部队^[6,7]以张家口东坪金矿和内蒙古哈德门沟金矿为例讨论了碱性岩与金矿的关系; 邹光华等^[8]研究了我国主要金矿类型的找矿模型; 张贻侠等^[9]总结了我国 80 年代至 90 年代金矿的研究进展; 李华芹等^[10]、吴尚全^[11]、陈好寿等^[12]主要采用⁴⁰Ar/³⁹Ar 法和石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法较早地研究了我国一些主要金矿的成矿时代。近几年来金矿成岩成矿年代学研究方兴未艾, 主要采用矿脉中单颗粒锆石 U-Pb 法^[13,14], 黄铁矿的 Rb-Sr 等时线法^[15]和 SHRIMP U-Pb 法测定金矿成岩成矿年代^[16,17], 这些新方法的应用大大提高了测年的可靠性。但是, 近几年来金矿定年中也存在一些问题, 例如, 对同一矿床不同研究者采用不同的测年方法得出了相差十分悬殊的成矿年龄。准确

的成岩成矿年代测定是矿床学研究和对比的基础。因此, 以下将对金矿成岩成矿年代学中存在的问题从几个方面进行讨论。

1 金矿成岩成矿定年方法

早期金矿年代的确定多采用间接的地质推断方法来获取近似的相对成矿年代。主要是根据地层、侵入岩(岩体、脉岩、岩墙等)及矿体间的穿插关系来确定不同地质体之间相对早晚关系, 间接推断成岩、成矿年龄。例如: 矿体定位于花岗岩中, 后期脉岩又切穿了矿体, 据此就可以推断矿化最早也不会超过花岗岩的定位, 最晚也不会晚于脉岩的侵位。尽管采用这种方法无法回答矿化发生的确切年龄, 但传统的地质推断法仍然是矿床定年的基础。

在同位素的定年方法中, 使用最早的是几种普通铅的年龄模式, 其应用必须满足下列假定条件: (1) 原始地球为均匀的流体, 其中 U、Th 和 Pb 分布是均匀的, 原始铅的同位素组成也是均匀的; (2) 地球演化为刚性体后, U/Pb 比值出现了区域性差异; (3) 在任何地区 U/Th 比值的变化仅仅是 U(Th) 到 Pb 的放射性衰变的结果; (4) 在普通铅的矿物形成时 Pb 从 U、Th 中分离出来, 其同位素组成从此保持恒定。但是近十几年来, 火山岩的同位素地球化学组成表明, 地球铅是不均一的, 因此, 上述的前提条件是不成立的, 所以一般条件下普通铅的模式年

收稿日期: 2002-12-09; 修订日期: 2002-12-13

基金项目: 国家“九五”攀登计划预选项目(95-预-39); 杰出青年基金项目(049625304)

作者简介: 魏俊浩(1961—), 男, 博士后, 教授, 矿床地球化学和矿产勘查学。

龄不具有计时意义。但是普通铅同位素组成对探索成岩成矿物质来源及演化同其它方法相比具有明显的优势。近十几年来,在金矿成岩成矿定年中应用最广泛的同位素测年方法有:以测定蚀变矿物及石英为主要对象的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法、石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线法,以测定白钨矿为主要对象的 Sm-Nd 等时线法、U-Pb 法(包括单颗粒锆石 U-Pb 法和 SHRIMP U-Pb 法)。

1.1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法

在国际上, Kelly^[18] 较早地报道了利用真空击碎技术进行石英流体包裹体 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法的分析, 国内邱华宁等^[19] 利用石英流体包裹体 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 真空击碎法成功地测定了滇西上芒岗金矿的成矿时代。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法在金矿成岩成矿定年方面其优点有:测定对象广泛(云母类、角闪石类、碱性长石、石英等)且需要量少;对于各种 Ar 丢失的样品, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法通常能得出有意义的年龄信息^[11], 并且特别有助于研究岩浆冷却史及构造热事件。但 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法也存在着明显的问题:对于多期次形成的金矿,后期热事件会造成氩同位素不同程度的带进和带出,并且存在着过剩氩,其年龄谱就会变得复杂而难以解释,如:胡达骧等^[20] 对冀西北金矿的含金石英脉进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段加热法年龄测定,认为本区有 4 次主要的成矿作用;吴尚全^[11] 对夹皮沟金矿含金石英脉的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测定表明,该矿床经历了吕梁期、晋宁期和燕山期 3 个阶段的成矿作用。如果测定石英流体包裹体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄,那么石英中的次生包裹体也会对 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄的可靠性有影响。Sherlock 等^[21] 认为高压区矿物的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄的不可靠性就更大。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法在测定花岗岩的年龄时,由于封闭温度的限制, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法通常只能给出花岗岩的“结晶年龄”,也只能是接近花岗岩的形成年龄^[22]。因此 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法给出的成岩成矿年龄的解释必须对所研究的地质体的构造热事件有较充分的了解,方能得出符合地质事实的年代数据。

1.2 Rb-Sr 法

石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法近十几年来在金矿定年中得到了广泛的应用^[10,12,23~26], 得出了一批有效的年龄数据。但这种方法在应用时也应注意一些问题,首先这种方法的应用前提是要求所测样品要同源(具有相近的 Sr 同位素初始比值),形成后一直处于封闭系统,同时不同的样品应具有明显的同位素积累,等时线上的样品点分布范围越宽,

取得的等时线年龄就越精确^[27]。但过于分散的样品点也可能是非同源地质样品引起的。目前认为真正能代表成矿期流体特征的是石英中的原生包裹体,其形成以后一直保存着封闭的地球化学体系,这正是同位素地球化学计时所要求的先决条件之一,但是由于后期地质事件的影响,在石英中产出了大量的次生包裹体,虽然原、次生包裹体特征能够较好地分辨,但目前采用阶段加热爆裂法除去次生包裹体的方法不可能完全将次生包裹体除掉,因此石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法所打开包裹体搜集到的组分应该是原、次生包裹体的混合成分,而由此得到的年龄存在着一定的误差是肯定的。最新的研究表明,从野外观察和室内综合研究发现,形成石英的流体和成矿流体之间存在着一定的时差,也就是说成矿流体应该与形成含金硫化物的流体比较接近,直接的地质证据就是金赋存在金属硫化物中,和稍早定位的石英形成时的流体有一定的差别。从这一点来分析,利用石英流体包裹体所测定的 Rb-Sr 等时线年龄存在一定的误差也是无疑的。前人研究表明,Rb, Sr, REEs 在黄铁矿中含量较高并且主要赋存在黄铁矿中的包裹体和晶格缺陷中^[28,29], 这就暗示了 Rb-Sr 同位素组成可以反映黄铁矿化与金矿化有关的成矿流体演化,黄铁矿中 Rb-Sr 含量和 Rb/Sr 比值可用于直接的金矿定年^[15,30]。

1.3 Sm-Nd 法

用 Sm-Nd 等时线法来确定金矿成矿时代这方面研究报道的不多,利用与金矿化有关的白钨矿的 Sm-Nd 等时线法来确定加拿大的 Hollinger-McIntyre-Conianrum 金矿的成矿时代是一个成功的例证^[24], 姬金生等^[31] 在东天山地区研究磁铁矿绿泥石建造中的金矿床时,用磁铁矿和黄铁矿的 Sm-Nd 等时线法确定了康古尔金矿床的成矿时代。Sm-Nd 等时线法在定年时也应注意以下问题:首先因¹⁴⁷Sm 半衰期较长,不适用于较年轻矿床的定年,否则会因等时线年龄分辨率低而得到不可靠的成矿年龄;其二,成矿热液有时处一种开放体系(如流体的运移或混合的过程),不能满足等时线理论所要求的基本前提,这都会给成矿年龄带来更大的不确定性。

1.4 U-Pb 法

U-Pb 法在定年中通常所指的是单颗粒热水锆石、金红石、榍石、磷灰石的 U-Pb 法,其中在所测定的矿物中锆石是应用最普遍的一种矿物,这种方法被广泛应用于大陆地壳生长和演化研究工作中,近

十几年来也引到金矿定年的研究中^[32]。高分辨率、高灵敏度的离子探针质谱技术(SHRIMP U-Pb法)是目前国际上在金矿定年中最高水平的研究方法。在金矿定年中锆石 U-Pb 法得到了广泛的应用^[13,14,16,17,33],但这种方法在应用时应注意一些问题。其一,含金石英脉中锆石的含量非常少,给分选带来很大的困难;其二,含金石英脉中锆石成因复杂,岩浆锆石、热液锆石都可能存在,而只通过锆石的透明程度、晶形、颜色及所含杂质等特征是很难判别其成因类型的,这给单矿物鉴定带来较大的困难。另外近几年来几乎所有报道金矿的锆石 U-Pb 年龄数据普遍比其它方法测定的年龄偏老^[13,14,16,17],甚至年龄相差很大,是因为其它方法应用的(Rb-Sr 等时线法和⁴⁰Ar/³⁹Ar法等)局限性,还是因为锆石 U-Pb 法中所测定锆石的继承性问题,这是值得探索的疑问。

1.5 Re-Os 法

上面所讨论的几种金矿的定年方法所用的同位素体系及母体元素(Rb, K, Sm, U)皆为亲石元素,因此确切地说上述所讨论的测年方法给出的年龄应该是硅酸盐矿物和含铀、钍矿物的结晶年龄。Re-Os 法测定辉钼矿来确定金矿化的年龄已成为当代矿床年代学研究的热点,在硫化物的沉淀过程中 Re/Os 比值的分异十分显著,而且 Re 和 Os 分别为亲铜、亲铁元素,均可进入金属硫化物晶格中,在金矿床中黄铁矿是非常普遍的一种硫化物矿物,为含金属硫化物的矿床定年提供了可能。Freydier^[34]对斑岩型贱金属矿床的 Re-Os 定年作了探索性的工作,并认为可以利用 Re-Os 法测定包括黄铁矿、闪锌矿等常见硫化物来讨论热液矿床的成矿年龄。国内在这方面作了较多研究工作的有黄典豪等^[35]、李红艳等^[36]、毛景文等^[37],但他们主要是利用 Re-Os 同位素测定了钨、钼矿的成矿年龄。对金矿的定年由于测定矿物的限制目前报道的不多。金矿的形成与共生硫化物有着密切的关系,希望能利用 Re-Os 法通过测定金属硫化物来确定金矿成矿的年龄。利用 Re-Os 法定年,要获得可靠的 Re-Os 同位素年龄值,除了样品的化学处理方法正确外,其 Re-Os 必须是封闭系统,Luck 等^[38]指出,辉钼矿如果受到了后期蚀变或热事件的影响,可能会造成 Re 的丢失,因此采集新鲜样品也是定年的关键。

2 金矿成岩成矿定年存在的问题

我国华北地台周边的金矿定年已积累了十分丰富的资料,但从这些资料中可以发现金矿定年存在着如下几方面的问题。

(1)在金矿定年中对成矿地质背景的研究或分析不够:任何矿床的形成都是区域地壳综合演化的结果。因此区域成矿背景是矿床学研究中极为重要的内容。在金矿研究中往往由于对成矿地质背景认识程度的差异而导致对金矿成矿条件、成矿年代等方面产生分歧。我国金矿的分布明显存在着地域性和时域性问题。同一个地区内产出的金矿床应该有相似的成矿背景和成矿过程,如:分布于郯—庐断裂带东侧的胶东、丹东等金矿集中区,除了它们内部金矿演化的相似性外,由于它们都是在中生代受太平洋板块俯冲^[39]和郯—庐断裂带走滑体制的控制,在成矿方面都表现出了许多相似性,如:金矿床(点)一般围绕一个或多个比金矿形成稍早的花岗质岩体的分布,成矿前后各类脉体岩的高频率、高密度产出,并且这些脉岩都不同程度的切穿了金矿围绕的花岗质岩体,有相似的(或统一的)成矿期前、后成矿构造应力场,这些在宏观上所反映出来的相似的成矿地质条件和矿物标志特征,说明它们有相似的成矿地质背景,这种相似的成矿地质背景对成矿时代的确定是一个很好的约束,如果所测定年龄和金矿成矿地质背景相悖,就应该对成矿年代的可靠性作出合理的解释。因此,一个合理的成岩成矿年代数据的获得,它不仅是一种测试分析结果,而应该是能反映成矿区内地质事件与成矿事件相匹配的年代学证据。

(2)单纯同位素法定年存在着成矿年龄的不确定性:目前,金矿定年中最常用的方法有石英流体包裹体的⁴⁰Ar/³⁹Ar法,石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线法,单颗粒热水锆石 U-Pb 法,以及 SHRIMP U-Pb 法等。从以往报道的年龄数据中不难发现,用单一方法对金矿定年往往有较大的不确定性(包括测定样品差异),而致使不同的研究者采用不同的测年方法对同一矿床得出相差十分悬殊的成矿年龄。如:吉林夹皮沟金矿含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为(263±21)Ma^[10];吴尚全^[11]的含金石英脉⁴⁰Ar/³⁹Ar法3个年龄为(1 824±24)Ma,(1 253±17)Ma,(203±60)Ma;李俊建等^[39]的

矿体单颗粒锆石 U-Pb 年龄主成矿期为 (2 469 ~ 2 475) Ma, 显然, 这组年龄数据很难反映夹皮沟金矿真实的成矿年龄。张家口东坪金矿的成矿年代也存在上述问题, 莫测辉等^[25] 含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 (103 ± 8) Ma, 江思宏等^[40] ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法成矿年龄为 172 ~ 188 Ma, 李惠民等^[14] 锆石 U-Pb 年龄为 (350.9 ± 0.9) Ma。另外, 张家口地区的后沟金矿的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 成矿年龄为 176 ~ 202.6 Ma^[41], 张家口小营盘金矿主成矿期含金石英脉中单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 1 800 Ma, 也和张家口东坪金矿的成矿年龄相差较大。内蒙古轴西段十八顷壕金矿主成矿期 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 1 800 Ma^[42], 该矿床中热液蚀变黑云母 K-Ar 年龄为 281.5 Ma, Rb-Sr 等时线年龄为 289.4 ~ 311.1 Ma^[43]。冀东金厂峪金矿蚀变绢云母 K-Ar 为 170 Ma, 主成矿期含金石英脉中石英 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 2 190 Ma^[44]。从最近几年来的金矿同位素测年资料的报道中不难发现, ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法和热水锆石 U-Pb 法测定的金矿年龄比其它定年方法所测定的成矿年龄明显偏老 (如: 夹皮沟金矿、东坪、小营盘、十八顷壕等金矿), 甚至出现容矿围岩比成矿年龄年轻的现象, 如: 张家口东坪金矿产于水泉沟碱性杂岩体的内接触带, 矿脉中热水锆石 U-Pb 年龄为 (350.9 ± 0.9) Ma^[14], 容矿围岩-水泉沟碱性杂岩体的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 (327.4 ± 9) Ma^[45]。同一矿床采用不同方法定年结果差异很大, 显然, 金矿成矿年代的精确厘定是一项非常复杂的地质工作。

(3) 金矿成岩成矿的时差问题: 成岩成矿时差一直是金矿研究的热点。20 世纪 80 年代以来前人作了大量的研究工作, 加拿大 Abitibi 地区 Timmins 矿田中花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 (2 691 ~ 2 688) Ma^[46, 47], Hollinger 金矿蚀变白云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 2 617 Ma^[48], 矿石的 Rb-Sr 等时线年龄为 2 403 Ma^[24], 时差为 288 ~ 71 Ma。我国胶东地区玲珑花岗岩中黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄 164 Ma^[49], 栾家河花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄 152 Ma^[50], 郭家岭花岗岩中角闪岩 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法年龄为 135 Ma^[49]。灵山沟金矿的水白云母 Rb-Sr 等时线年龄为 115 Ma^[51], 玲珑金矿水白云母 Rb-Sr 等时线年龄为 112 Ma^[50], 胶东地区金矿成岩成矿时差为 49 ~ 23 Ma。对成岩成矿时差理解目前有两种认识, 一是容矿围岩年龄与成矿年龄的差值, 二是主张侵入岩年龄与成矿年龄的时差。笔者认为, 不管何种侵入岩 (也可

能是容矿围岩) 与金矿必须有密切的成因联系, 岩体 (大部分为花岗质侵入岩) 应该是金矿成矿的同源岩体。是否是金矿成矿的同源岩体要通过微量元素和同位素示踪得到证实, 只有研究金矿与同源岩体的成岩成矿时差, 对确定岩浆演化与成矿演化的关系才具有理论意义。与金矿成矿有关的同源岩体有两种情况, 一种情况是成矿流体与成矿物质是矿床内花岗质岩类的岩浆期后分异产物, 二是与花岗质岩浆均来自深部的同一岩浆区。前人^[52] 曾对岩体的冷却速率进行过估算, 对于一个 30 km² 的隐伏岩体 (埋深在 1 ~ 2 km 以下), 从 800 °C 的岩浆冷却到岩体中心为 600 °C 时, 仅需 7.2 Ma 时间, 这时整个岩体基本固结, 不可能再分异出岩浆热液。因此, 如果成岩和成矿存在着 8 Ma 时差, 就可以排除矿床与岩体的直接成因联系^[25], 如果具有相似的微量元素和同位素组成, 只能解释为成矿物质、流体与花岗岩岩浆均来自深部的同一岩浆源区。因此, 虽然这类花岗岩体的岩浆已固结, 但它与成矿物质、成矿流体有相似的微量元素、同位素组成, 与成矿有较小的时差, 应该视为金矿成矿的同源岩体。

3 对金矿成岩成矿定年的建议

(1) 金矿成岩成矿定年的同时要加强成矿背景的研究: 如本文前述, 随着成岩成矿定年技术的不断发展, 金矿的成岩成矿定年一致是矿床学研究的热点。即是这样, 在金矿成岩成矿测年中仍存着地质年代和成矿年代相悖的事实, 甚至得出成矿年代老于容矿围岩成岩年代的错误结论, 究其原因主要是忽视了成矿地质背景的研究。任何矿床的形成都是区域构造-岩浆演化综合作用的结果, 因此, 所得出的年代学数据必须符合地质事实。中国金矿成矿年代表现出了明显的时域分布特征, 据李俊建^[39] 统计, 显生宙金矿在中国东部的广东 (河台、新洲)、福建 (上杭紫金山)、江西 (金山)、安徽 (鸡笼山)、胶东 (玲珑-焦家)、辽东 (五龙、四道沟) 和吉南 (海沟、二道沟、红旗沟) 等地金矿床主要形成于燕山晚期。中国中西部的西秦岭 (拉日玛、安家岔), 新疆 (阿希、西准噶尔、康古尔) 等地金矿, 其成矿期主要为华力西晚期和印支期。而华北地台北缘部分金矿形成于新太古末至古元古代 (2 500 ~ 1 800 Ma)。因此在金矿定年时要重视成矿地质背景的研究分析, 结合成矿地质背景对同位素测年结果作出合理的解释。

(2) 重视地质体间的先后关系, 确定标志性地质体成岩年代对成矿年代的制约: 地质体间穿插关系虽然只能给出它们之间相对先后关系, 不能给出绝对年代, 但仍然是确定成岩成矿年代的基础, 不管什么方法都不能比地质体间的穿插关系所给出地质体间先后关系的绝对可靠。翻阅近十年来成岩成矿年代报道, 我们会发现同一个问题, 即在报道成岩成矿同位素年代的同时, 很少论述矿床内不同地质体之间的先后关系, 作为同位素年代可靠性的佐证, 这是一个明显的不足, 应当引起足够的重视。我们知道, 矿床内及其附近的地质体类型主要有地质时期不同时代的地层、不同时代的侵入岩类和要研究的矿体, 这些不同地质体之间存在着十分清楚的先后关系, 只有同位素年代数据和相邻地质体间的先后关系相匹配, 对同位素年代作出科学解释和判断, 这些同位素年代数据才有意义, 才会避免出现本文开篇所提及的同一矿床采用不同的测年方法得出相差十分悬殊的成矿年龄的现象。为此, 笔者建议在金矿定年中, 确定与金矿成矿存在明显地质先后关系的标志性地质体。选择恰当的定年方法分别对标志性地质体和矿床测定成岩成矿年代, 使之互为限定, 得到高质量的年代学数据。标志性地质体选择一般要考虑下列条件: ①标志性地质体与矿床形成从地质上判断可能存在着较小的时差; ②在地质方面标志性地质体与矿床形成存在着十分明显的先后关系; ③标志性地质体一般选择没有或很少受到后期明显的地质改造。丹东地区金矿床(点)围绕三股流花岗岩体分布, 且岩体中有含金石英脉的产出, 岩体侵位明显早于矿体定位, 笔者将三股流花岗岩选为标志性地质体, 选用 Rb-Sr 等时线法、单颗粒锆石 U-Pb 法测定了三股流花岗岩成岩的综合同位素年龄(130 Ma), 选择了石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法测定成矿年代(120 Ma), 得到了丹东金矿集中区高质量的年代学数据。

References[参考文献]:

- [1] LUAN Shiwei. *Geology and Exploration of Gold Deposit* [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1987. 1-125 (in Chinese). [栾世伟. 金矿地质及找矿方法[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1987. 1-125.]
- [2] CHEN Yanjing, FU Shigu. *Metallogenic Regulation of West Henan* [M]. Beijing: Seismology Press, 1992. 1-239 (in Chinese). [陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京: 地震出版社, 1992. 1-239.]
- [3] LÜ Guxian, KONG Qingcun. *Geology of Linglong-Jiaojia Typical Gold Deposit in Jiaodong* [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1993. 1-226 (in Chinese). [吕古贤, 孔庆存. 胶东玲珑-焦家式金矿床地质[M]. 北京: 科学技术出版社, 1993. 1-226.]
- [4] LÜ Guxian, LIN Wenwei, LUO Yuanhua, et al. *Tectonophysicochemistry and Metallogenic Prognosis* [M]. Beijing: Science Press, 1999. 1-425 (in Chinese). [吕古贤, 林文蔚, 罗元华, 等. 构造物理化学与金矿成矿预测[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 1-425.]
- [5] YAO Fengliang, LIU Liandeng. *Lode Gold Deposit in Northwest Jiaodong* [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1990. 1-234 (in Chinese). [姚凤良, 刘连登. 胶东西北部脉状金矿[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990. 1-234.]
- [6] Gold Headquarters of the Chinese People's Armed Police Force. *Geology of Hadamengou Gold Deposit Related to Pegmatite* [M]. Beijing: Seismology Press, 1995. 1-211 (in Chinese). [中国人民武装警察部队黄金指挥部. 内蒙古自治区哈达门沟伟晶岩金矿地质[M]. 北京: 地震出版社, 1995. 1-211.]
- [7] Gold Headquarters of the Chinese People's Armed Police Force. *Geology of Dongping Alkaline Complex-Hosted Gold Deposit in Hebei Province* [M]. Beijing: Seismology Press, 1996. 1-167 (in Chinese). [中国人民武装警察部队黄金指挥部. 河北东坪碱性杂岩体金矿地质[M]. 北京: 地震出版社, 1996. 1-167.]
- [8] ZHOU Guanghua, OUYANG Zongqi, ZHOU Qinglai. *Selected Papers on Exploration Models for Major Types of Gold Deposits in China* [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 1-306 (in Chinese). [邹光华, 欧阳宗圻, 周庆来. 中国主要类型金矿床找矿模式论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1996. 1-306.]
- [9] ZHANG Yixia, CUN Gui, LIU Liandeng. *Gold Deposits in China: Advances and Considerations* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 1-168 (in Chinese). [张贻侠, 寸圭, 刘连登. 中国金矿床: 进展与思考[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 1-205.]
- [10] LI Huaqin, LIU Jiaqi, WEI Lin. *Study on Fluid Inclusion Chronology of Hydrothermal Deposit and Their Geological Significance* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 1-114 (in Chinese). [李华芹, 刘家齐, 魏林. 热液矿床流体包裹体研究及其地质应用[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 1-114.]
- [11] WU Shangquan. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of Au-bearing quartz vein in Jiapigou gold deposit, Jilin [J]. *Mineral Deposit*, 1991, 10 (4): 349-357 (in Chinese). [吴尚全. 吉林夹皮沟金矿含金石英脉的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 中子活化年龄测定[J]. 矿床地质, 1991, 10(4): 349-358.]
- [12] CHEN Haoshou, ZHOU Su, WEI Lin. *Metallogenic Age*

- and Isotopic Geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 1-242 (in Chinese). [陈好寿, 周肃, 魏林. 成矿作用年代学及同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 1-242.]
- [13] LI Junjian, SHEN Baofeng. Metallogenic epochs of the Jiapi-gou gold deposit, Jilin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 70 (4): 335-341(in Chinese). [李俊建, 沈保丰. 吉林夹皮沟金矿成矿时代研究[J]. 地质学报, 1996, 70(4): 335-341.]
- [14] LI Huimin, LI Huaikuen, LU Songnian. Determination of age of gold mineralization of Dongping gold deposit by U-Pb dating hydrothermal zircons from ore veins[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1997, 18(Suppl): 176-178(in Chinese). [李惠民, 李怀坤, 陆松年. 用矿床中的热水锆石 U-Pb 法确定东坪金矿的成矿时代[J]. 地球学报, 1997, 18(增刊): 176-178.]
- [15] YANG T H, ZHAO X H. Rb-Sr, Sm-Nd and Pb isotope systematics of pyrite; Implications for the age and genesis of lode gold deposits[J]. *Geology*, 2001, 29: 711-714.
- [16] WANG L G, QIU Y M, MENANGHTON N T et al. Constraints crustal evolution and gold metallogeny in the northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids[J]. *Ore Geology Review*, 1998, 13: 275-291.
- [17] QIU Y M, WANG L G, GROVES D I, et al. Nature, age, and tectonic setting of granitoid-hosted orogenic gold deposits of the Jiaodong Peninsula, Eastern North China Craton, China[J]. *Mineralium Deposits*, 2002, 37: 283-305.
- [18] KELLEY S, TURNER G, BUTTERFIELD A W, et al. The source and significance of argon isotopes of fluid inclusion from areas of mineralization[J]. *Earth Planetary Science Letters*, 1986, 19: 303-318.
- [19] QIU Huaning, LI Chaoyang. Metallogenic age dating of quartz fluid inclusion in Manggang gold deposit in west Yunnan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39(3): 257-260 (in Chinese). [邱华宁, 李朝阳. 滇西芒岗金矿石英流体包裹体成矿年龄测定[J]. 科学通报, 1994, 39(3): 257-260.]
- [20] HU Daxiang, LUO Guiling. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of Au-bearing quartz veins in Zhang-Xuan gold area[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1994, 29(2): 151-158(in Chinese). [胡达骧, 罗桂玲. 河北张—宣金矿区含金石英脉 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 地质科学, 1994, 29(2): 151-158.]
- [21] SHERLOCK S C, NICOLAS O A. Flat plateau and impossible isochrones; Apparent $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology in a high-pressure terrain[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63(18): 2835-2838.
- [22] LI Xianhua, GUI Xuntang. Dating of granitoid rocks—a brief methodological discussion[J]. *Geochemistry*, 1990(4): 303-311(in Chinese). [李献华, 桂训唐. 花岗岩的定年方法讨论[J]. 地球化学, 1990(4): 303-311.]
- [23] SHEPHERD T J, DARBYSHIRE D P F. Fluid inclusion Rb-Sr isochrons for dating mineral deposits[J]. *Nature*, 1981, 290(16): 578-579.
- [24] BELL K, ANGLIN C D, FRAKLIN J M. Sm-Nd and Rb-Sr systematics of scheelites; Possible implications for the age and genesis of vein hosted gold deposits[J]. *Geology*, 1989, 17: 500-504.
- [25] MO Cehui, WANG Xiuzhang, CHENG Jingping. Rb-Sr chronology age of fluid inclusion in Au-bearing quartz veins of Dongping gold deposit in northwest Hebei[J]. *Geochemistry*, 1997(3): 20-27(in Chinese). [莫测辉, 王秀璋, 程景平. 冀西北东坪金矿含金石英脉石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄及其地质意义[J]. 地球化学, 1997(3): 20-27.]
- [26] WEI Junhao, LIN Congqiang, ZHAO Yongxin. Metallogenic lasting time scope of main mineral stages for Wulong gold deposit, Liaoning[J]. *Geological Review*, 2001(4): 433-437 (in Chinese). [魏俊浩, 刘从强, 赵永鑫. 辽宁五龙金矿主成矿阶段成矿持续时限[J]. 地质论评, 2001(4): 433-437.]
- [27] JIANG Boming. Dating of Archean rocks—Discussion on methods and limitations[J]. *Geochemistry*, 1989, 18(2): 103-120 (in Chinese). [江博明. 太古宙岩石的定年——方法学和局限性讨论[J]. 地球化学, 1989, 18(2): 103-120.]
- [28] CHEN Guangyuan, SUN Daisheng, SHAO Wei. *Genetic Mineralogy and Exploration of Jiaodong Gold Deposits* [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1989. 1-452 (in Chinese). [陈光远, 孙岱生, 邵伟. 胶东金矿床成因矿物学与找矿[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1989. 1-452.]
- [29] LUDERS V, ZIEMAN M. Possibilities and limits of infrared light microthermometry applied to studies of pyrite-hosted fluid inclusions[J]. *Chemical Geology*, 1999, 154: 169-178.
- [30] BELL K, ANGLIN C D, FRANKLIN J M. Sm-Nd and Rb-Sr isotope systematics of scheelites; Possible implications for the age and genesis of vein-hosted gold deposits[J]. *Geology*, 1989, 17: 500-504.
- [31] JI Jinsheng, LI Huaqin, ZHANG Lianchang. Isotope age of gold deposits in magnetite-chlorite formation in volcanic area of the Paleozoic era in the east Tianshan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(4): 439-445(in Chinese). [姬金生, 李华芹, 张连昌, 等. 东天山晚古生代火山岩区磁铁矿绿泥石建造金矿床的同位素年龄[J]. 科学通报, 1999, 44(4): 439-445.]
- [32] CLAUQUE-LONG J, KING R W, KERRICH R. Archean hydrothermal zircon in the Abitibi green stone belt, constraints on the timing of gold mineralization[J]. *Earth Planet Sci Letters*, 1990, 98: 109-128.
- [33] HU Xiaodie, ZHAO Jianong, LI Shuangbao. Metallogenic process of lode gold deposit in Archean rocks in Zhangjiakou area[J]. *Journal of Tianjin Institute of Geology*, 1990, 22: 1-127 (in Chinese). [胡小蝶, 赵嘉农, 李双保. 张宣地区太古宙变质岩中脉金的成矿作用[J]. 天津地质研究所

- 所刊, 1990, 22: 1-127.]
- [34] FREYDIER C, RUIZ J, CHESLEY J. Re-Os isotope systematics of sulfides from felsic igneous rocks application to base metal porphyry mineralization in Chile[J]. *Geology*, 1997, 25(9): 775-778.
- [35] HUANG Dianhao, WU Chengyu, DU Andao. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in east Qinling and their significance[J]. *Mineral Deposit*, 1994, 13(3): 221-229 (in Chinese). [黄焱豪, 吴承宇, 杜安道. 东秦岭地区钼矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 1994, 13(3): 221-229.]
- [36] LI Hongyan, MAO Jingwen, SUN Yali. Re-Os isotopic chronology of molybdenite in the Shizhuyuan polymetallic tungsten, Southern Hunan[J]. *Geological Review*, 1996, 42(3): 261-267 (in Chinese). [李红艳, 毛景文, 孙亚利. 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.]
- [37] MAO Jingwen, ZHANG Zuoheng, ZHANG Zhaochong. Re-Os age Dating of molybdenites in the Xiaoliugou Tungsten deposit in the Northern Qilian Mountains and its Significance[J]. *Geological Review*, 1999, 45(4): 412-417 (in Chinese). [毛景文, 张作衡, 张招崇. 北祁连山小柳沟钨矿中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义[J]. 地质论评, 1999, 45(4): 412-417.]
- [38] LUCK J K, ALLEGRE C J. The study of molybdenity through the Re-Os chronometer[J]. *Earth Planetary Science. Letters*, 1982, 61: 291-296.
- [39] LI Junjian. A primary discussion on metallogenic epoch of China's gold deposits[J]. *Progress in Precambrian Research*, 1997, 20(1): 17-26 (in Chinese). [李俊建. 初论中国金矿的成矿时代[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(1): 17-26.]
- [40] JIANG Sihong, NIE Fengjun. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Shuiquangou alkaline complex and related gold deposits, Northwestern Hebei, China[J]. *Geological Review*, 2000, 46(6): 621-627 (in Chinese). [江宏思, 聂凤军. 冀西北水泉沟杂岩体及有关金矿床的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年代研究[J]. 地质论评, 2000, 46(6): 621-627.]
- [41] XU Xingwang, CAI Xinping, LIU Yulin. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of Laser beam microprobe of K-feldspar of metasomatic genesis in the Hougou gold deposit, Northwestern Hebei[J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 31(6): 496-500 (in Chinese). [徐兴旺, 蔡新平, 刘玉林. 冀西北后沟金矿床交代成因钾长石激光探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 中国科学(D), 2001, 31(6): 496-500.]
- [42] CHEN Hongxin, MENG Xianxin, WANG Jianping. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar age of the Eighteenth Qinghao ore area of ductile shear belt typical gold deposit in Inner Mongolia [J]. *Acta Mineralogical Sinica*, 1996, 16(1): 58-61 (in Chinese). [陈洪新, 孟宪新, 王建平. 内蒙古韧性剪切带型金矿——十八顷壕矿区 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄特征及其地质意义[J]. 矿物学报, 1996, 16(1): 58-61.]
- [43] XU Yanjun, LIN Erwei. Isotopic study of gold deposit in Baotou-Baiyunebo area in Inner Mongolia [J]. *Journal of Changchun College of Geology*, 1991, 2: 183-190 (in Chinese). [徐雁军, 林尔为. 内蒙古包头—白云鄂博地区金矿的同位素研究[J]. 长春地质学院学报, 1991, 2: 183-190.]
- [44] YU Changtao, JIA Bin. Genesis and mechanism of main gold deposits in East Hebei[A]. *Selected Papers of Field Metallogenic Conditions of Main Gold Types in China*[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1989. 1-48 (in Chinese). [余昌涛, 贾宾. 冀东主要金矿类型的成因及形成机理研究[A]. 中国主要金矿类型区域成矿条件文集[C]. 北京: 地质出版社, 1989. 1-48.]
- [45] BAO Zhiwei, ZHAO Zhenhua, ZHOU Diling. Genesis of Shuiquangou alkaline complex in Northwest Hebei[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1996, 12(4): 562-572 (in Chinese). [包志伟, 赵振华, 周棣玲. 冀西北水泉沟碱性杂岩体的成因[J]. 岩石学报, 1996, 12(4): 562-572.]
- [46] LIU Shaobo, WANG Liankui. Discussion of time gap of diagenesis and mineralization for gold deposits[J]. *Geological Review*, 1996, 42(2): 154-165 (in Chinese). [柳少波, 王联魁. 金矿的成岩成矿时差评述[J]. 地质论评, 1996, 42(2): 154-165.]
- [47] CORFU F, MUIR T L. The Hemlo-Heron Bay greenstone belt and Hemlo Au-Mo deposit, Superior province, Ontario, Canada, 1. Sequence of igneous activity determined by zircon U-Pb geochronology[J]. *Chem Geol*, 1989, 79: 183-200.
- [48] LAYER P W, MEMASTER N D, YORK D. The dating of Ontario's gold deposits[J]. *Ont Geol Surv, Misc Pap*, 1987, 136: 27-34.
- [49] HU Shiling, WANG Songshan, SANG Haiqing. Isotope ages of Linglong-Guojialing granitic rocks in Shandong and their geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1987(3): 83-89 (in Chinese). [胡世铃, 王松山, 桑海清. 山东玲珑和郭家岭岩体的同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 1987(3): 83-89.]
- [50] WANG Henian, XU Keqin, WANG Yao. Geological and geochemical evidences of later period superposed and reworked of Linglong granite of Middle Proterozoic era in Shandong [J]. *Journal of Nanjing University*, 1988(1): 105-118 (in Chinese). [王鹤年, 徐克勤, 汪耀. 胶东中元古代玲珑花岗岩及后期叠加改造的地质地球化学证据[J]. 南京大学学报(地质学专刊), 1988(1): 105-118.]
- [51] LUO Wancheng, WU Qinsheng. Metallogenic ages of gold deposits in Jiaodong area by using altered minerals[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1987, 32(16): 1245-1248 (in Chinese). [骆万成, 伍勤生. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄[J]. 科学通报, 1987, 32(16): 1245-1248.]
- [52] SHEN Funong. Analysis of relation between granite and hydrothermal deposit—the third discussion in metallogenic mod-

el of deep source hydrthomal deposit[A]. *Selected Papers of the Fifth National Deposit Meeting*[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 7-8(in Chinese). [沈福农. 花

岗岩与热液成矿关系剖析——三论深源热液成矿模式[A]. 第五届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1993. 7-8.]

METHOD OF DATING OF GOLD DEPOSIT AND THE RELATED PROBLEMS

WEI Jun-hao^{1,2}, LIU Cong-qiang², LIU Guo-chun³

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. *Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;*

3. *Honghuagou Gold Mine, Chifeng 024035, China)*

Abstract: Accurate dating of diagenesis and metallogeny is the base for deposit research and contrast. However, in recent years, the reports of great disparity ages of diagenesis and metallogeny for the same gold deposit by different researchers and by using different dating methods are very common. For this reason, based on the suitable analysis for distinct dating methods, the authors emphasize that in the dating of gold deposit one should strengthen the study of geological setting of gold mineralization, pay attention to the time sequence relation of different geological bodies to metallogeny, define the marked geological body, select suitable dating methods, measure the ages of marked geological body and ore-body, and confine each other within certain limit for diagenesis and metallogeny ages, in order to obtain high quality chronological data.

Key words: diagenetic and metallogenic age; isotope; marked geological body; gold deposit

最新地球科学类期刊影响因子和总被引频次排序(前 20 名)

(据中国科学技术信息研究所, 2002 年 12 月)

名次	期刊名称	影响因子	名次	期刊名称	总被引频次
1	测绘学报	1.057	1	地球物理学报	798
2	地学前缘	1.028	2	地球科学	591
3	地球物理学报	0.787	3	地球化学	564
4	地球化学	0.783	4	地学前缘	549
5	中国沙漠	0.727	5	地震学报	528
6	地震学报	0.720	6	第四纪研究	502
7	第四纪研究	0.693	7	中国沙漠	428
8	地球科学进展	0.640	8	地球科学进展	346
9	古脊椎动物学报	0.552	9	测绘学报	340
10	自然灾害学报	0.519	10	地震工程与工程振动	318
11	地球学报	0.515	11	古生物学报	317
12	地球科学	0.502	12	地震地质	310
13	地震工程与工程振动	0.466	13	自然灾害学报	258
14	地震	0.425	14	地球学报	222
15	地震地质	0.424	15	地震	211
16	中国地震	0.412	16	古脊椎动物学报	207
17	古生物学报	0.375	17	中国地震	187
18	微体古生物学报	0.361	18	测绘通报	166
19	大地构造与成矿学	0.346	19	地壳形变与地震	155
20	内陆地震	0.321	20	吉林大学学报地球科学版	151