

·方法与应用·

文章编号: 1671-1947(2001)01-0059-04

# 临界包裹体及其在金矿地质研究中的应用

施立达, 李存有

(沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110033)

**摘要:** 临界包裹体具有在热动力过程中气液相比不变直至均一成一个流体相的特征。它在超临界流体中, 当临界体积为一定值时才能形成。它可以在各类岩浆岩、火山岩、深变质岩以及铁、铜、金等多金属矿床中出现。利用临界包裹体的临界均一温度结合该流体体系的相图, 可以获得如成矿流体体系的热力学状态、流体基本组分特征、临界压力、盐度、密度等成矿物理化学信息。通过多年研究发现, 临界包裹体在中国北方深变质岩区的很多金矿床都有出现, 它的临界均一温度都小于纯水的临界温度 ( $374.2^{\circ}\text{C}$ ), 表明成矿早期的超临界流体是由一种低盐度  $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  体系组成, 它可能来自古老的深变质岩。另一种较高盐度的成矿热液来自与矿床毗邻的中生代中酸性小岩体。它们通过超临界流体成矿地质作用, 形成了具有中国特色的多源多期多成因金矿床。这在包裹体冷冻法及其成分分析和包裹体水的氢氧同位素分析的结果中也得到证实。

**关键词:** 临界包裹体; 深变质岩区; 金矿床; 中国北方

**文献标识码:** A

**中图分类号:** P574.1; 574.2; P618.51

临界包裹体是一种特殊类型的流体包裹体。在一般包裹体书刊中较少提到<sup>[1]</sup>, 也没有它的分类位置。作者在多年研究中发现它含有较丰富的成矿物理化学信息, 在北方深变质岩区的金矿床中经常见到, 显示出一种共有的成矿机理和成矿作用。它也是一种有利的成矿找矿标志, 值得深入研究。

## 1 临界包裹体的特性、成因及分布

### 1.1 临界包裹体的特征

临界包裹体在显微镜下与一般最常见的气液包裹体一样, 只不过气液比 (面积比) 较大 ( $35\% \sim 65\%$ )。但在显微热台上对其加热时, 则显示出有别于一般气液包裹体的热动力过程。通常气液包裹体在加热过程中, 其中一相 (气相或液相) 的体积逐渐缩小, 至完全消失, 最终变成单一的液相或气相。相应的温度称为包裹体的均一温度。而临界包裹体的热动力过程却与之大不相同。它在加热过程中, 包裹体内气液两相体积不变 (气液比不变), 仍保持常温时之状态, 保持了相态相对平衡 (气液相转化率相等)。当升温渐至包裹体内流体体系的临界温度  $T_{\text{hc}}$  时, 气液两相界面逐渐模糊而消失, 均一成一个流体相。这个流体相的物理特性不同于气相或液相, 是一种超临界流体。当温度逐渐降低时, 包裹体内又渐显出原气液两相的界面, 而气液比仍保持不变, 直至常温。还

有一类包裹体在加热过程中, 气液两相相互转化, 互有一定消长后又保持相态平衡 (气液比不变), 至接近临界温度时, 两相界面逐渐模糊消失, 这种包裹体较为多见, 但不是典型的临界包裹体, 可称为准临界包裹体。

### 1.2 临界包裹体的成因

原始的成矿流体, 可呈液相、气相或超临界流体相。后者必需在该流体体系的温度、压力达到临界值以上时才能形成。要形成临界包裹体还必需具有一定的临界体积 (临界比容)。所以临界包裹体的形成条件比较苛刻而特殊。如要形成一个纯水的临界包裹体, 它所必需的条件是: 温度  $\geq 374.2^{\circ}\text{C}$ , 压力  $\geq 21.83\text{ MPa}$ , 临界比容在  $3.13\text{ cm}^3/\text{g}$ , 这些水的临界值缺一不可。

### 1.3 临界包裹体的分布

临界包裹体可以在各类岩浆岩、火山岩、深变质岩中出现, 还可在斑岩型铜矿、大冶式铁矿、矽卡岩型多金属矿以及深变质岩区的脉型金矿中出现, 尤以在北方地区的大中型金矿床中最为多见。

## 2 临界包裹体的成矿物理化学信息

临界包裹体是在一个比较特定的环境下形成的, 它所表达的物理化学信息远比一般的流体包裹体丰富而特殊。提取这些信息也比较容易, 只需测出它的临界均一温度 ( $T_{\text{hc}}$ ), 便可从相关的流体体系的相图上

解析出以下方面的信息:

(1) 确定成矿流体体系的热力学状态. 临界包裹体的存在, 说明成矿流体曾达到临界或超临界状态, 这种超临界流体的出现对成矿有重要的作用 (详见后文).

(2) 判别成矿流体的基本性质. 从临界包裹体的临界均一温度的数值大小, 可以大致确定包裹体内流体的基本组分组成. 若包裹体内的超临界流体由纯水组成, 它的临界均一温度只能是  $374.2^{\circ}\text{C}$ , 随着流体中盐度的增加,  $T_{\text{hc}}$  也将不断升高, 如我们测得山东崂山花岗岩中的临界包裹体,  $T_{\text{hc}}$  为  $540^{\circ}\text{C}$ , 经冷台测定包裹体盐度达  $13.2\%$ , 与用相图求出的盐度相一致. 如果在纯水的临界包裹体中混入  $\text{CO}_2$ , 随着  $\text{CO}_2$  含量增多,  $T_{\text{hc}}$  从  $374.2^{\circ}\text{C}$  不断下降, 可达  $300^{\circ}\text{C}$  以下. 因此从  $T_{\text{hc}}$  的数值便可基本上了解包裹体内的流体组成特性.

(3) 提供成矿流体的临界压力、盐度、密度、组分等参数. 当确定了成矿流体的基本性质后, 从相应体系的相图中, 用临界温度可解析出多个物理化学参数. 如临界压力, 它一般代表成矿早期 (临界期) 的成矿压力, 这是由于相图中临界等容线的斜率比较低, 在临界或超临界条件下, 求解出的临界压力差值不大, 更为接近包裹体的实际捕获压力, 而不需压力校正. 通常要用冷冻法或包裹体成分分析计算求得的成矿流体盐度、密度、 $\text{CO}_2$  含量等参数, 也可从这些相图上用  $T_{\text{hc}}$  解析出, 省去了许多测试分析. 如广西上林笔架山水晶矿, 在石英脉中测得一个临界包裹体  $T_{\text{hc}}$  为  $296^{\circ}\text{C}$ , 此值大大低于水的临界温度, 可能含有较多  $\text{CO}_2$ . 通过有关相图解析出: 临界压力  $59\text{ MPa}$ ,  $\text{CO}_2$  含量  $24.5\%$  (摩尔分数). 中科院地球化学研究所卢焕章等<sup>[2]</sup>曾用该矿石英中  $\text{CO}_2$  包裹体做过成矿压力测定, 其范围在  $42 \sim 60\text{ MPa}$ , 与成矿早期的  $60\text{ MPa}$  很接近.

(4) 如果样品中只有测出准临界包裹体的均一温度, 如何求得真正的临界均一温度? 据我们的大量测试数据统计分析, 准临界包裹体加热过程中, 气 (液) 相缩小不超过原面积  $50\%$  即呈临界均一, 它的  $T_{\text{hc}}$  值与典型临界包裹体的  $T_{\text{hc}}$  差值不超过  $45^{\circ}\text{C}$ , 通常在  $20^{\circ}\text{C}$  以下. 准临界包裹体加热中气液比变化愈小, 测出的均一温度愈接近临界均一温度. 如河南小秦岭金矿区, 各矿床的临界与准临界包裹体的均一温度差值 (修正值) 在  $8 \sim 45^{\circ}\text{C}$  间.

### 3 临界包裹体在金矿地质研究中的应用

从 80 年代初至今, 我们先后在山东招掖金成矿区、河南小秦岭金成矿区、河北金厂峪及张家口一宣

化金成矿区以及辽西地区的深变质岩内的众多金矿床中, 都发现有临界包裹体存在. 通过长期研究总结出以下认识:

(1) 临界包裹体多出现在中国北方古老的深变质岩内的大中型脉状金矿床中, 如山东的玲珑、焦家、新城、九曲; 河南的文峪、杨砦峪、金碛岔; 河北的峪耳崖、小营盘等. 相比之下, 类似的国外绿岩带金矿 (如北美、澳大利亚等) 中, 却很少见到, 颇具中国特色. 因此它也是一个重要的成矿找矿标志.

(2) 这些金矿床中的临界包裹体的临界均一温度, 绝大多数都小于纯水的临界均一温度 ( $374.2^{\circ}\text{C}$ ), 表明金矿床的成矿流体主要由低盐度的  $\text{CO}_2\text{--H}_2\text{O}$  体系组成. 如山东招掖各金矿  $T_{\text{hc}}$  在  $340 \sim 360^{\circ}\text{C}$ , 河南小秦岭  $T_{\text{hc}}$  在  $307 \sim 362^{\circ}\text{C}$ , 河北金厂峪  $T_{\text{hc}}$  在  $330 \sim 376^{\circ}\text{C}$ . 这一特性已从各研究单位的大量包裹体成分分析和冷冻法等测试结果证实. 而相应的成矿临界压力, 大致在  $60 \sim 105\text{ MPa}$  间.

(3) 这些地区金矿床中包裹体的临界均一温度差别不大, 不仅表明它们的成矿流体组成基本一致, 还表明它们具有同源同成因的可能性. 由于这些金矿床都产于古老的深变质岩区, 赋矿围岩各地名称虽不相同, 却有一共同特点, 即原岩中金的含量均大大超出相同的正常变质岩的水平, 成为金的矿源层. 随着变质程度的加深, 所产生的变质水中  $\text{CO}_2$  含量也逐渐增多, 这在对不同变质过程变质岩中的包裹体研究中得到证实. 矿床中的围岩都在中等变质程度 (角闪岩相), 甚至更高些. 变质温度在  $450 \sim 700^{\circ}\text{C}$ , 压力在  $130\text{ MPa}$  以上, 在此温压条件下, 变质水早已呈超临界流体状态了. 因此可以在矿床中形成低盐度含  $\text{CO}_2$  的临界包裹体, 同时这种超临界流体还含有较多的金, 并参与了早期的金成矿地质作用.

(4) 近年我国很多专家学者, 大都肯定上述地区的金矿床具有成矿多期性和矿质多源性等多元成因观点. 而这些矿床的形成时间是漫长的, 时差是巨大的, 它们有一共同特点, 即在矿区  $10\text{ km}$  内, 都有中生代的中酸性小型岩体存在, 而且与金矿成矿有关. 我们从大量的包裹体冷冻法所测出的成矿流体盐度也间接证明这点. 这些金矿床中, 所测盐度从  $4.0\% \sim 19.1\%$  (质量分数), 变化较大. 如果测试样品足够多, 进一步研究就会发现它们有两组数据相对集中分布. 如山东招掖各矿床, 一组是低盐度, 从  $4.0\% \sim 6.2\%$ , 平均  $5.1\%$ ; 另一组为较高盐度, 从  $11.3\% \sim 13.2\%$ , 平均  $12.5\%$ . 河南小秦岭 2 组盐度平均值为  $8.8\%$  及  $17.0\%$ . 河北金厂峪为  $6.8\%$  及  $12.0\%$ . 低盐度组是早期变质流体的残余. 较高盐度组可能是中生代的岩浆期后热液也参与了金成矿作用的反映,

但却不是在临界或超临界条件下成矿。虽然在与金矿床相关的岩体中发现有临界包裹体存在, 且  $T_{hc}$  都大于  $374.2^{\circ}\text{C}$ , 证实存在一种较高盐度的超临界流体 (如山东招掖与金成矿有关的滦家河钾长花岗岩,  $T_{hc}$  为  $520^{\circ}\text{C}$ ), 但迄今尚未在这些矿床中发现有临界温度大于  $374.2^{\circ}\text{C}$  的临界包裹体存在, 旁证了上述看法。

#### (5) 金矿床的超临界流体成矿地质作用<sup>3</sup>

超临界流体与一般的气体、液体在物化性质上有很大的不同, 首先它对矿质的溶解度比气水溶液大大增高, 另是它对一般气水热液难溶或不溶物的矿质 (如某些金属卤化物、络合物) 却有很强的溶解性, 而一旦这种流体温压降至临界点时, 溶解度会突然变小, 被溶矿质大量析出沉淀。在化工行业它常被用于分离或提纯某些高温气水溶液无法溶解的物质。在地质学领域内, 近年国内外一些学者应用它来研究解释某些矿床的成矿机制, 有的还进行了实验室的模拟试验, 打破了过去仅局限于气水热液成矿模式的认识, 证实某些火山岩铁铜矿床、矽卡岩型多金属矿床等都存在有超临界流体参与的成矿作用。

我国北方深变质岩区的很多金矿床, 通过对临界包裹体的研究, 也证实超临界流体参与了金的成矿作用。成矿早期由变质成因的超临界流体, 比一般气水热液具有更好的渗透性和流动性。它有很大的溶解性 (取决于流体组分特性而发生选择性溶解), 能无孔不入地扩散到含金较高的成矿围岩中, 有效地萃取金等成矿物质并方便地向低压区运移。当温压降低到临界

点时, 由于金的含量稀少, 流体中矿质浓度不大, 并未在临界点处形成大量的矿质沉淀 (例外的是若在临界点处发生突然的减压沸腾, 可造成矿质大量沉聚, 形成富矿区), 而是在温压进一步下降的热液阶段成矿。另一种岩浆成因的含金热液, 以不混溶方式也参与了成矿作用。因此在金矿床中出现了两种盐度、不同类型的包裹体 (含  $\text{CO}_2$  低盐度包裹体及较高盐度的盐水包裹体) 相共生, 佐证了这种多源多期多成因的成矿作用。同样在包裹体水的氢氧同位素分析中, 也显示出这一特点, 有的矿床落点偏向变质水区, 有的落点偏近岩浆水区, 都无典型的单一成因, 还有很多矿床证实其中混入部分天水, 这是由于各矿床混入的各种成因的流体比例不同所造成的, 显现出这类金矿床共有的成矿规律。

我们通过临界包裹体的研究, 结合其他地质、测试资料, 对中国北方深变质岩区的一些金矿床形成机理及成因, 做了简要的分析综述, 目的是希望大家重视对临界包裹体的研究与应用, 启迪新的思维, 更新旧的观念。限于篇幅不能对具体的矿床研究结果一一列出, 请读者鉴谅。

#### 参考文献:

- [1] Roedder E. 流体包裹体 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1986.
- [2] 卢焕章, 等. 包裹体地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [3] 施立达. 论矿物中的临界包裹体及超临界流体的成矿地质作用 [J]. 地质与勘探, 1987, (12).
- [4] 孙作为, 等. 物理化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1985.

## CRITICAL INCLUSION AND ITS APPLICATION IN GOLD DEPOSIT GEOLOGICAL STUDY

SHI Li-da, LI Cun-you

(*Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, China*)

**Abstract:** Critical inclusions are formed in ultra-critical fluid only when the critical volume is definite. Their gas/liquid ratio is invariant till it becomes homogeneous fluid in thermodynamic process. They occur in all kinds of magmatic, igneous and hypometamorphic rocks and iron, copper, gold and other multi-metal deposits. By studying the critical homogeneous temperature and the phase graph of the fluid system, we can obtain the physicochemical information about the thermodynamic state of minerogenetic fluid system, the basic composition of fluid, critical pressure, salinity, density etc. Through years' research, the authors discover that many gold deposits occurred in hypometamorphic rocks in North China contain critical inclusions whose critical homogeneous temperature is lower than the pure water's ( $374.2^{\circ}\text{C}$ ), indicating that the ultra-critical fluid in early minerogenetic stage is composed of a low salinity  $\text{CO}_2\text{—H}_2\text{O}$  system and derived from ancient hypometamorphic rock. The other mineralization hydrothermal, with higher salinity, comes from Mesozoic acid-intermediate rock bodies near the deposits. The ultra-critical fluid has then formed gold deposits with multi-stage, multi-origin and multi-genesis features, which is proved by inclusion refrigeration, composition analysis and the H and O isotopic analysis for the water from inclusions.

**Key words:** critical inclusion; hypometamorphic rock; gold deposit; North China

**作者简介:** 施立达 (1935—), 男, 高级工程师, 1958 年毕业于北京矿业学院, 现主要从事矿物包裹体及金矿地质研究工作; 通讯地址: 沈阳市北陵大街 25 号, 邮政编码 110033.