



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111508564 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 03

(21) 申请号 202010560360.2

(22) 申请日 2020.06.18

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111508564 A

(43) 申请公布日 2020.08.07

(73) 专利权人 应急管理部国家自然灾害防治研究院

地址 100085 北京市海淀区安宁庄路1号

(72) 发明人 邓卫平 卫清 赵刚 何案华 贾鸿飞

(74) 专利代理机构 北京方韬法业专利代理事务所(普通合伙) 11303

专利代理师 马丽莲

(51) Int. Cl.

G16C 10/00 (2019.01)

G16C 20/10 (2019.01)

G16C 20/70 (2019.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 111/10 (2020.01)

G06F 119/08 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 1045762 A, 1990.10.03

CN 108344855 A, 2018.07.31

CN 109488261 A, 2019.03.19

CN 104632158 A, 2015.05.20

CN 109752443 A, 2019.05.14

US 6393906 B1, 2002.05.28

卫清等. H₂O-CO₂-NaCl体系石英溶解度模型(适用于高达1000℃、1.5GPa的高温高压环境). 岩石学报. 2012, 第28卷(第08期), 全文.

卫清等. 胶东寺庄金矿床成因: 流体包裹体与石英溶解度证据. 岩石学报. 2015, 第31卷(第04期), 全文.

审查员 弓正

权利要求书5页 说明书14页 附图9页

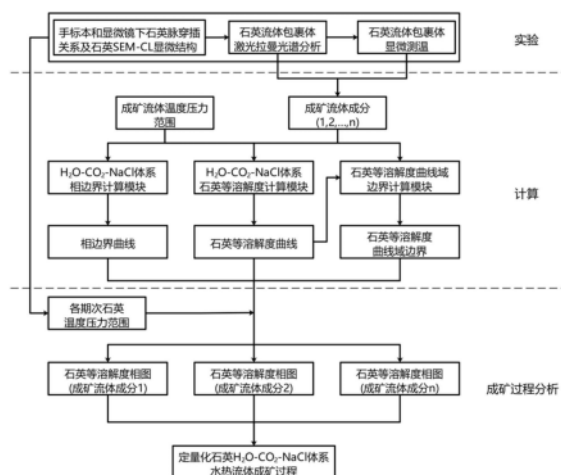
(54) 发明名称

定量化石英H₂O-CO₂-NaCl体系水热流体成矿过程的系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种定量化石英H₂O-CO₂-NaCl体系水热流体成矿过程的系统及方法, 系统用于研究不同成分成矿流体在矿区流体温度压力范围内的相边界曲线、石英等溶解度曲线、石英等溶解度曲线域边界曲线, 包括: H₂O-CO₂-NaCl体系相边界计算模块, 用于计算液相与气液混合相边界曲线; 石英等溶解度计算模块, 用于计算石英等溶解度曲线; 石英等溶解度曲线域边界计算模块, 用于计算石英等溶解度曲线域温度敏感区、压力敏感区和退化性区域边界曲线; 上述各计算模块获得的曲线用于组合构建不同成矿流体成分的石英等溶解度相图, 基于所述石英等溶解度相图可定量化石英H₂O-CO₂-NaCl体系水热流体动态演化乃至成矿过程, 本发明可为理

解基于石英水热过程的流体成矿过程提供新的视角。



1. 定量石英 H_2O-CO_2-NaCl 体系水热流体成矿过程的系统,其特征在于,所述系统用于研究不同成分成矿流体在矿区流体温度压力范围内的相边界曲线、石英等溶解度曲线、石英等溶解度曲线域边界曲线,包括:

H_2O-CO_2-NaCl 体系相边界计算模块,用于计算获得固定流体成分及指定温度下相边界上某一点的温度压力坐标(T,P),所述T为温度,P为压力,并以选定温度间隔重复本计算模块,得到一系列的在矿区成矿流体温度压力范围内的温度压力坐标,此即为液相与气液混合相边界曲线;

H_2O-CO_2-NaCl 体系石英等溶解度计算模块,用于计算获得固定流体成分及指定石英溶解度时某一温度的温度压力坐标(T,P),所述T为温度,P为压力,并以选定温度间隔重复本计算模块,得到一系列的在矿区成矿流体温度压力范围内指定石英溶解度条件下的温度压力坐标,此即为石英等溶解度曲线;

H_2O-CO_2-NaCl 体系石英等溶解度曲线域边界计算模块,用于获得固定流体成分条件下石英等溶解度曲线域边界的一系列温度压力坐标,此即为石英等溶解度曲线域温度敏感区、压力敏感区和退行性区域边界曲线;

上述各计算模块获得的相边界曲线、石英等溶解度曲线和石英等溶解度曲线域边界曲线用于组合构建不同成分成矿流体的石英等溶解度相图,基于所述石英等溶解度相图可定量石英 H_2O-CO_2-NaCl 体系水热流体成矿过程;

所述 H_2O-CO_2-NaCl 体系相边界计算模块的计算流程为:

101、输入温度T(°C),成矿流体化学组成包括二氧化碳 CO_2 和氯化钠 $NaCl$,其中 CO_2 含量以摩尔百分比(mol%)表示, $NaCl$ 的含量以质量百分比(wt%)表示;

102、将成矿流体化学组分 $CO_2, NaCl, H_2O$ 等值换算成摩尔分数形式并以 $xCO_2, xNaCl$ 及 xH_2O 表示流体的成分,根据流体成分换算得到 CO_2 在 $H_2O-NaCl$ 体系中的溶解度以 mCO_2 (mol/kg)表示;所述x为摩尔分数,m为质量摩尔浓度;

103、对于压力P,给定其初始区间 $[P_1, P_2]$;利用 CO_2 在 $H_2O-NaCl$ 体系溶解度模型,计算在压力为 P_1 时 CO_2 溶解度 mCO_2^{P1} ,及在压力为 P_2 时 CO_2 溶解度 mCO_2^{P2} ,且该区间边界满足条件: $mCO_2^{P1} < mCO_2 < mCO_2^{P2}$,压力初始范围 $[P_1, P_2]$ 应在其模型压力适用范围内;

104、令 $P = (P_1 + P_2) / 2$;

105、利用步骤103所述的 CO_2 在 $H_2O-NaCl$ 体系溶解度模型,得到 CO_2 溶解度计算值 mCO_2^{cal} ;

106、当 $|mCO_2^{cal} - mCO_2| > 10^{-6}$,且 $mCO_2^{cal} < mCO_2$,则令 $P_1 = P$,反之,则令 $P_2 = P$,并跳转至步骤104;当 $|mCO_2^{cal} - mCO_2| \leq 10^{-6}$ 时,跳转至步骤107;

107、得到指定成矿流体成分条件液相与气液混合相边界线上的点的坐标(T,P),程序结束;

所述 H_2O-CO_2-NaCl 体系石英等溶解度计算模块的计算流程为:

201、输入温度T(°C),成矿流体化学组成包括二氧化碳 CO_2 和氯化钠 $NaCl$,其中 CO_2 含量以摩尔百分比(mol%)表示, $NaCl$ 的含量以质量百分比(wt%)表示,以及 SiO_2 在 H_2O-CO_2-NaCl 体系的给定溶解度 $mSiO_2$ 以质量摩尔浓度(mol/kg)表示,所述m为质量摩尔浓度;

202、将成矿流体成分 $CO_2, NaCl, H_2O$ 等值换算成摩尔分数形式,并以 $xCO_2, xNaCl$ 及 xH_2O 表示流体的成分;

203、对于压力P,给定其初始区间 $[P_1, P_2]$,利用 SiO_2 在 H_2O-CO_2-NaCl 体系溶解度模型,计

算在压力为 P_1 时石英溶解度 $m\text{SiO}_2^{P_1}$,及在压力为 P_2 时石英溶解度 $m\text{SiO}_2^{P_2}$,且区间边界应满足条件: $m\text{SiO}_2^{P_1} < m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{P_2}$,压力初始范围 $[P_1, P_2]$ 应包含于模型压力适用范围;

204、令 $P = (P_1 + P_2) / 2$;

205、利用步骤203所述的溶解度模型,得到石英溶解度的计算值 $m\text{SiO}_2^{\text{cal}}$;

206、当 $|m\text{SiO}_2^{\text{cal}} - m\text{SiO}_2| > 10^{-9}$,且 $m\text{SiO}_2^{\text{cal}} < m\text{SiO}_2$ 时,令 $P_1 = P$,反之,则令 $P_2 = P$,并跳转至步骤204;当 $|m\text{SiO}_2^{\text{cal}} - m\text{SiO}_2| \leq 10^{-9}$ 时,跳转至步骤207;

207、得到满足指定成矿流体成分及石英溶解度的点的坐标 (T, P) ,程序结束;

所述 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度曲线域边界计算模块中温度与压力敏感区边界计算部分的计算流程为:

301、输入研究区 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度最大值 $m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,以质量摩尔浓度(mol/kg)表示,成矿流体化学组成包括二氧化碳 CO_2 和氯化钠 NaCl ,其中 CO_2 含量以摩尔百分比(mol%)表示, NaCl 的含量以质量百分比(wt%)表示;

302、将成矿流体成分 $\text{CO}_2, \text{NaCl}, \text{H}_2\text{O}$ 等值换算成摩尔分数形式,并以 $x\text{CO}_2, x\text{NaCl}$ 及 $x\text{H}_2\text{O}$ 表示流体的成分;

303、根据石英等溶解度图,设置石英溶解度初始值 $m\text{SiO}_2$;

304、对于温度 T ,给定其初始区间 $[T_1, T_2]$;利用所述石英等溶解度计算模块计算温度为 T_1 时固定溶解度条件下的压力 P_1 ,及温度为 T_2 时固定溶解度条件下的压力 P_2 ,且区间边界应满足条件: $P_1 > P > P_2$,温度初始范围 $[T_1, T_2]$ 应在其计算模块温度的适用范围内;

305、令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

306、根据 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度模型可知,在指定流体成分下石英溶解度为温度与压力的函数,令 $m\text{SiO}_2 = m(T, P)$;利用数值微分方法计算得到在当前石英溶解度条件下,点 (T, P) 处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m / \partial T)_P$ 与 $(\partial m / \partial P)_T$;所述 $(\partial m / \partial T)_P$ 为在固定压力 P 条件下,石英溶解度函数对温度 T 的偏导数; $(\partial m / \partial P)_T$ 为在固定温度 T 条件下,石英溶解度函数对压力 P 的偏导数;

307、当 $|(\partial m / \partial T)_P - (\partial m / \partial P)_T| > 10^{-7}$,且 $(\partial m / \partial T)_P > (\partial m / \partial P)_T$ 时,令 $T_1 = T$,反之,则令 $T_2 = T$,并跳转至步骤305;当 $|(\partial m / \partial T)_P - (\partial m / \partial P)_T| \leq 10^{-7}$ 时,跳转至步骤308;

308、得到满足条件的边界上的点的坐标 (T, P) ;

309、令 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 + \text{计算步长值}$;

310、当 $m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,跳转至步骤304;反之,则跳转至步骤311;

311、得到指定成矿流体成分条件下等溶解度曲线域温度与压力敏感区边界,程序结束;

所述 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度曲线域边界计算模块中退行性区边界计算部分的计算流程为:

401、输入研究区 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度最大值 $m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,并以质量摩尔浓度(mol/kg)表示,成矿流体成分包括二氧化碳 CO_2 和氯化钠 NaCl ,其中 CO_2 含量以摩尔百分比(mol%)表示, NaCl 的含量以质量百分比(wt%)表示;

402、将成矿流体成分 $\text{CO}_2, \text{NaCl}, \text{H}_2\text{O}$ 等值换算成摩尔分数形式,并以 $x\text{CO}_2, x\text{NaCl}$ 及 $x\text{H}_2\text{O}$ 表示流体的成分;

403、令 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2^{\max}$;

404、根据石英等溶解度图,设置温度 T 计算区间 $[T_1, T_2]$;

405、令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

406、根据 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度模型,在指定流体成分下,石英溶解度为温度与压力的函数,令 $m\text{SiO}_2 = m(T, P)$,利用数值微分方法计算当前石英溶解度条件下点 (T, P) 处石英溶解度对温度的偏导数 $(\partial m / \partial T)_P$; 407、若 $|T_2 - T_1| < 10^{-5}$, $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2$ -计算步长值,反之则跳转至步骤409;

408、当 $m\text{SiO}_2 > 0$ 时,跳转至步骤404,反之,当前成矿流体成分条件下,无等溶解度曲线域退行性区,程序结束;

409、当 $|(\partial m / \partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m / \partial T)_P > 0$ 时,令 $T_1 = T$,反之,则令 $T_2 = T$,并跳转至步骤405;当 $|(\partial m / \partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时,得到退行性区边界的顶点,此时溶解度 $m\text{SiO}_2^{\text{summit}} = m\text{SiO}_2$,顶点坐标为 (T, P) ;

410、根据石英等溶解度图,初始化 $m\text{SiO}_2$;

411、根据石英等溶解度图,预计算当前溶解度条件下退行性区左端点,设置温度 T 计算区间 $[T_1, T_2]$,所求温度 T 应包含左端点所对应温度;

412、令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

413、利用步骤406的方法计算当前石英溶解度条件下点 (T, P) 处石英溶解度对温度的偏导数 $(\partial m / \partial T)_P$;

414、当 $|(\partial m / \partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m / \partial T)_P > 10^{-9}$ 时, $T_1 = T$,反之 $T_2 = T$,并跳转至步骤412,当 $|(\partial m / \partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时,得到当前溶解度条件下,退行性区左端点;

415、根据石英等溶解度图,预计算当前溶解度条件下退行性区右端点,设置温度 T 计算区间 $[T_1, T_2]$,所求温度 T 应包含右端点所对应温度;

416、令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

417、利用步骤406的方法计算当前石英溶解度条件下点 (T, P) 处石英溶解度对温度的偏导数 $(\partial m / \partial T)_P$;

418、当 $|(\partial m / \partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m / \partial T)_P > 10^{-9}$ 时, $T_2 = T$,反之 $T_1 = T$,并跳转至步骤416;当 $|(\partial m / \partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时,得到当前溶解度条件下,退行性区右端点;

419、 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 +$ 计算步长值;

420、若 $m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{\text{summit}}$ 时,跳转至步骤411;反之跳转至步骤421;

421、得到固定成矿流体化成分条件下等溶解度曲线域的退行性区边界,程序结束。

2. 根据权利要求1所述的定量化石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系水热流体成矿过程的系统,其特征在于,所述系统的输入数据的来源为:

(1) 对手标本和显微镜下石英脉穿插关系观察及对石英SEM-CL显微结构分析并照相确定矿床的成矿阶段及各成矿阶段的石英期次;

(2) 进行石英流体包裹体激光拉曼光谱研究获得成矿流体的化学组成;

(3) 开展不同期次石英中流体包裹体显微测温得到各期次石英中成矿流体的均一温

度、均一压力及 CO_2 和 NaCl 的含量；

(4) 根据查阅文献获得的研究区矿床成矿流体演化的温度压力范围作为绘制的石英等溶解度相图温度和压力的上、下限范围,作为系统的矿区成矿流体温度压力范围的输入值；

(5) 根据(3)中流体包裹体显微测温获得的矿区成矿流体 CO_2 和 NaCl 含量范围自由组合成矿流体的成分,以多种不同流体组成作为系统的成矿流体成分的输入值。

3. 一种定量化石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系水热流体成矿过程的方法,其特征在于,利用权利要求1-2任一项所述的定量化石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系水热流体成矿过程的系统,进行计算分析,包括:

(一) 实验阶段:

步骤(1):在手标本及光学显微镜下观察研究区不同成矿阶段矿石样品中石英脉系的穿插关系,同时研究石英的扫描电镜-阴极发光SEM-CL显微结构,划分不同成矿阶段对应的精细石英期次;

步骤(2):对研究区不同期次石英中的流体包裹体进行激光拉曼光谱研究,获得成矿流体化学成分为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 的水热流体;

步骤(3):对研究区不同期次石英中的流体包裹体进行显微测温,获得成矿流体中气相组分 CO_2 的含量,获得盐类物质 NaCl 的含量,获得不同期次石英中成矿流体的均一温度和均一压力范围;

步骤(4):根据查阅文献获得研究区矿床成矿流体演化的温度压力范围作为绘制的石英等溶解度相图温度和压力上、下限;

步骤(5):根据流体包裹体测温获得的研究区成矿流体 CO_2 和 NaCl 含量范围自由组合成矿流体的成分,以多种不同流体组成作为计算阶段成矿流体成分的输入值;

(二) 计算阶段:

步骤(6):利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系相边界计算模块,分别计算成矿流体成分为 $1\cdots n$ 时 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系液相与气液混合相的边界上的点;

步骤(7):在研究区矿床成矿流体演化的温度范围内,以任意温度步长重复步骤(6)计算,得到一系列的点(T,P),此即为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系液相与气液混合相的相边界;

步骤(8):利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度计算模块,分别计算成矿流体成分为 $1\cdots n$ 时 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系石英等溶解度曲线上的点;

步骤(9):在研究区矿床成矿流体演化的温度范围内,以任意温度步长重复步骤(8)计算,得到一系列的点(T,P),此即为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系在指定石英溶解度时的等溶解度曲线;

步骤(10):以任意石英溶解度步长重复步骤(8)及(9)计算,得到 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系不同溶解度条件下的石英等溶解度曲线;

步骤(11):利用石英等溶解度曲线域边界计算模块中温度与压力敏感区边界计算部分,分别计算成矿流体成分为 $1\cdots n$ 时石英等溶解度曲线温度与压力敏感区的边界;

步骤(12):利用石英等溶解度曲线域边界计算模块中退行性区边界计算部分,分别计算成矿流体成分为 $1\cdots n$ 时石英等溶解度曲线退行性区的边界;

(三) 分析阶段:

步骤(13):利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系相边界计算模块、 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度计

算模块及石英等溶解度曲线域边界计算模块获得的相边界曲线、石英等溶解度曲线和石英等溶解度曲线域边界,构建矿床成矿流体成分为 $1\cdots n$ 情况下的石英等溶解度相图;

步骤(14):将实验阶段获得的不同期次石英中成矿流体的均一温度和均一压力范围投置于多种流体成分下的石英等溶解度相图中;

步骤(15):根据石英等溶解度相图,分析其水热流体成矿过程。

定量化石英 H_2O-CO_2-NaCl 体系水热流体成矿过程的系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及矿床地球化学与计算地球化学交叉技术领域,特别是涉及一种定量化石英 H_2O-CO_2-NaCl 体系水热流体成矿过程的系统及方法。

背景技术

[0002] 经查证,目前关于成矿领域的方法类专利仅限于成矿靶区圈定、成矿岩相带定位、成矿年代预测、成矿深度估算、成矿时空定位、成矿单元划分、成矿空间建模、成矿模式构建、成矿潜力计算等方面(CN104865613B、CN102243628A、CN110187387A、CN105785466A、CN110060173A、CN107211585B、CN108573206A、CN108181669A、CN107765323A、CN109540929A、CN109270589B、CN107782878A)。涉及成矿流体或矿床成因方面的的方法专利也仅有6例,其揭示的主要为斑岩型矿床成矿流体氧化还原性质的判别(CN107655915B)及铀矿床成矿模式条件或成因等(CN107576996A、CN109752443A、CN111044599A、CN109752443A、CN106324700B)。

[0003] 由此可见,上述现有技术对于成矿流体的研究主要为获得不同成矿阶段流体的物理化学性质,尚缺乏涉及流体定量动态演化乃至成矿的系统及方法,因此,如何能创设一种新的流体定量动态演化乃至成矿的系统及方法,实属当前重要研发课题之一。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是提供一种定量化石英 H_2O-CO_2-NaCl 体系水热流体成矿过程的系统及方法,可定量评价成矿流体动态演化乃至成矿的过程。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明首先提供了一种定量化石英 H_2O-CO_2-NaCl 体系水热流体成矿过程的系统,所述系统用于研究不同成分成矿流体在矿区流体温度压力范围内的相边界曲线、石英等溶解度曲线、石英等溶解度曲线域边界曲线,包括:

[0006] H_2O-CO_2-NaCl 体系相边界计算模块,用于计算获得固定流体成分及指定温度下相边界上某一点的温度压力坐标(T,P),并以选定温度间隔重复本计算模块,得到一系列的在矿区成矿流体温度压力范围内的温度压力坐标,此即为液相与气液混合相边界曲线;

[0007] H_2O-CO_2-NaCl 体系石英等溶解度计算模块,用于计算获得固定流体成分及指定石英溶解度时某一温度的温度压力坐标(T,P),并以选定温度间隔重复本计算模块,得到一系列的在矿区成矿流体温度压力范围内的温度压力坐标,此即为石英等溶解度曲线;

[0008] H_2O-CO_2-NaCl 体系石英等溶解度曲线域边界计算模块,用于获得固定流体成分条件下石英等溶解度曲线域边界的一系列温度压力坐标,此即为石英等溶解度曲线域温度敏感区、压力敏感区和退行性区域边界曲线;

[0009] 上述各计算模块获得的相边界曲线、石英等溶解度曲线和石英等溶解度曲线域边界曲线用于组合构建不同成分成矿流体的石英等溶解度相图,基于所述石英等溶解度相图可定量化石英 H_2O-CO_2-NaCl 体系水热流体成矿过程。

[0010] 作为本发明进一步地改进,所述系统的输入数据的来源为:

[0011] (1)对手标本和显微镜下石英脉穿插关系观察及对石英SEM-CL显微结构分析并照相确定矿床的成矿阶段及各成矿阶段的石英期次;

[0012] (2)进行石英流体包裹体激光拉曼光谱研究获得成矿流体的化学组成;

[0013] (3)开展不同期次石英中流体包裹体显微测温得到各期次石英中成矿流体的均一温度、均一压力及CO₂和NaCl的含量;

[0014] (4)根据查阅文献获得的研究区矿床成矿流体演化的温度压力范围作为绘制的石英等溶解度相图温度和压力的上、下限范围,作为系统的矿区成矿流体温度压力范围的输入值;

[0015] (5)根据(3)中流体包裹体显微测温获得的矿区成矿流体CO₂和NaCl含量范围自由组合成矿流体的成分,以多种不同流体组成作为系统的成矿流体成分的输入值。

[0016] 进一步地,所述H₂O-CO₂-NaCl体系相边界计算模块的计算流程为:

[0017] 101、输入温度T(°C),成矿流体化学组成包括二氧化碳CO₂和氯化钠NaCl,其中CO₂含量以摩尔百分比(mol%)表示,NaCl的含量以质量百分比(wt%)表示;

[0018] 102、将成矿流体化学组分CO₂,NaCl,H₂O等值换算成摩尔分数形式并以xCO₂,xNaCl及xH₂O表示流体的成分,根据流体成分换算得到CO₂在H₂O-NaCl体系中的溶解度以mCO₂(mol/kg)表示;

[0019] 103、对于压力P,给定其初始区间[P₁,P₂],利用CO₂在H₂O-NaCl体系溶解度模型,计算在压力为P₁时CO₂溶解度mCO₂^{P1},及在压力为P₂时CO₂溶解度mCO₂^{P2},且该区间边界满足条件:mCO₂^{P1}<mCO₂<mCO₂^{P2},压力初始范围[P₁,P₂]应在其模型压力适用范围内;

[0020] 104、令 $P = (P_1 + P_2) / 2$;

[0021] 105、利用步骤103所述的CO₂在H₂O-NaCl体系溶解度模型,得到CO₂溶解度计算值mCO₂^{cal};

[0022] 106、当 $|mCO_2^{cal} - mCO_2| > 10^{-6}$,且 $mCO_2^{cal} < mCO_2$,则令 $P_1 = P$,反之,则令 $P_2 = P$,并跳转至步骤104;当 $|mCO_2^{cal} - mCO_2| \leq 10^{-6}$ 时,跳转至步骤107;

[0023] 107、得到指定成矿流体成分条件液相与气液混合相边界线上的点的坐标(T,P),程序结束。

[0024] 进一步地,所述H₂O-CO₂-NaCl体系石英等溶解度计算模块的计算流程为:

[0025] 201、输入温度T(°C),成矿流体化学组成包括二氧化碳CO₂和氯化钠NaCl,其中CO₂含量以摩尔百分比(mol%)表示,NaCl的含量以质量百分比(wt%)表示,以及SiO₂在H₂O-CO₂-NaCl体系的给定溶解度mSiO₂以质量摩尔浓度(mol/kg)表示;

[0026] 202、将成矿流体成分CO₂,NaCl,H₂O等值换算成摩尔分数形式,并以xCO₂,xNaCl及xH₂O表示流体的成分;

[0027] 203、对于压力P,给定其初始区间[P₁,P₂],利用SiO₂在H₂O-CO₂-NaCl体系溶解度模型,计算在压力为P₁时石英溶解度mSiO₂^{P1},及在压力为P₂时石英溶解度mSiO₂^{P2},且区间边界应满足条件:mSiO₂^{P1}<mSiO₂<mSiO₂^{P2},压力初始范围[P₁,P₂]应包含于模型压力适用范围;

[0028] 204、令 $P = (P_1 + P_2) / 2$;

[0029] 205、利用步骤203所述的溶解度模型,得到石英溶解度的计算值mSiO₂^{cal};

[0030] 206、当 $|mSiO_2^{cal} - mSiO_2| > 10^{-9}$,且 $mSiO_2^{cal} < mSiO_2$ 时,令 $P_1 = P$,反之,则令 $P_2 = P$,并跳

转至步骤204;当 $|m\text{SiO}_2^{\text{cal}}-m\text{SiO}_2|\leq 10^{-9}$ 时,跳转至步骤207;

[0031] 207、得到满足指定成矿流体成分及石英溶解度的点的坐标(T,P),程序结束。

[0032] 进一步地,所述 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度曲线域边界计算模块中温度与压力敏感区边界计算部分的计算流程为:

[0033] 301、输入研究区 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度最大值 $m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,以质量摩尔浓度(mol/kg)表示,成矿流体化学组成包括二氧化碳 CO_2 和氯化钠 NaCl ,其中 CO_2 含量以摩尔百分比(mol%)表示, NaCl 的含量以质量百分比(wt%)表示;

[0034] 302、将成矿流体成分 CO_2 , NaCl , H_2O 等值换算成摩尔分数形式,并以 $x\text{CO}_2$, $x\text{NaCl}$ 及 $x\text{H}_2\text{O}$ 表示流体的成分;

[0035] 303、根据石英等溶解度图,设置石英溶解度初始值 $m\text{SiO}_2$;

[0036] 304、对于温度T,给定其初始区间 $[T_1, T_2]$,利用所述石英等溶解度计算模块计算温度为 T_1 时固定溶解度条件下的压力 P_1 ,及温度为 T_2 时固定溶解度条件下的压力 P_2 ,且区间边界应满足条件: $P_1 > P_2$,温度初始范围 $[T_1, T_2]$ 应在其计算模块温度的适用范围内;

[0037] 305、令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力P;

[0038] 306、根据 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度模型可知,在指定流体成分下石英溶解度为温度与压力的函数,令 $m\text{SiO}_2 = m(T, P)$,利用数值微分方法计算得到在当前石英溶解度条件下,点(T,P)处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m / \partial T)_P$ 与 $(\partial m / \partial P)_T$;

[0039] 307、当 $|(\partial m / \partial T)_P - (\partial m / \partial P)_T| > 10^{-7}$,且 $(\partial m / \partial T)_P > (\partial m / \partial P)_T$ 时,令 $T_1 = T$,反之,则令 $T_2 = T$,并跳转至步骤305;当 $|(\partial m / \partial T)_P - (\partial m / \partial P)_T| \leq 10^{-7}$ 时,跳转至步骤308;

[0040] 308、得到满足条件的边界上的点的坐标(T,P);

[0041] 309、令 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 + \text{计算步长值}$;

[0042] 310、当 $m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,跳转至步骤304;反之,则跳转至步骤311;

[0043] 311、得到指定成矿流体成分条件下等溶解度曲线域温度与压力敏感区边界,程序结束。

[0044] 进一步地,所述 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度曲线域边界计算模块中退行性区边界计算部分的计算流程为:

[0045] 401、输入研究区 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度最大值 $m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,并以质量摩尔浓度(mol/kg)表示,成矿流体成分包括二氧化碳 CO_2 和氯化钠 NaCl ,其中 CO_2 含量以摩尔百分比(mol%)表示, NaCl 的含量以质量百分比(wt%)表示;

[0046] 402、将成矿流体成分 CO_2 , NaCl , H_2O 等值换算成摩尔分数形式,并以 $x\text{CO}_2$, $x\text{NaCl}$ 及 $x\text{H}_2\text{O}$ 表示流体的成分;

[0047] 403、令 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2^{\text{max}}$;

[0048] 404、根据石英等溶解度图,设置温度T计算区间 $[T_1, T_2]$;

[0049] 405、令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力P;

[0050] 406、根据 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度模型,在指定流体成分下,石英溶解度为温度与压力的函数,令 $m\text{SiO}_2 = m(T, P)$,利用数值微分方法计算当前石英溶解度条件下点(T,P)处石英溶解度对温度的偏导数 $(\partial m / \partial T)_P$;

[0051] 407、若 $|T_2 - T_1| < 10^{-5}$, $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 - \text{计算步长值}$,反之则跳转至步骤409;

[0052] 408、当 $m\text{SiO}_2 > 0$ 时,跳转至步骤404,反之,当前成矿流体成分条件下,无等溶解度曲线域退行性区,程序结束;

[0053] 409、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 0$ 时,令 $T_1 = T$,反之,则令 $T_2 = T$,并跳转至步骤405;当 $|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时,得到退行性区边界的顶点,此时溶解度 $m\text{SiO}_2^{\text{summit}} = m\text{SiO}_2$,顶点坐标为 (T, P) ;

[0054] 410、根据石英等溶解度图,初始化 $m\text{SiO}_2$;

[0055] 411、根据石英等溶解度图,预计算当前溶解度条件下退行性区左端点,设置温度 T 计算区间 $[T_1, T_2]$,所求温度 T 应包含左端点所对应温度;

[0056] 412、令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

[0057] 413、利用步骤406的方法计算当前石英溶解度条件下点 (T, P) 处石英溶解度对温度的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$;

[0058] 414、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 10^{-9}$ 时, $T_1 = T$,反之 $T_2 = T$,并跳转至步骤412;当 $|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时,得到当前溶解度条件下,退行性区左端点;

[0059] 415、根据石英等溶解度图,预计算当前溶解度条件下退行性区右端点,设置温度 T 计算区间 $[T_1, T_2]$,所求温度 T 应包含右端点所对应温度;

[0060] 416、令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

[0061] 417、利用步骤406的方法计算当前石英溶解度条件下点 (T, P) 处石英溶解度对温度的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$;

[0062] 418、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 10^{-9}$ 时, $T_2 = T$,反之 $T_1 = T$,并跳转至步骤416;当 $|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时,得到当前溶解度条件下,退行性区右端点;

[0063] 419、 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 +$ 计算步长值;

[0064] 420、若 $m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{\text{summit}}$ 时,跳转至步骤411;反之跳转至步骤421;

[0065] 421、得到固定成矿流体化成分条件下等溶解度曲线域的退行性区边界,程序结束。

[0066] 基于定量化石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系水热流体成矿过程的系统,本发明还提供了一种定量化石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系水热流体成矿过程的方法,包括:

[0067] (一)实验阶段:

[0068] 步骤(1):在手标本及光学显微镜下观察研究区不同成矿阶段矿石样品中石英脉系的穿插关系,同时研究石英的扫描电镜-阴极发光SEM-CL显微结构,划分不同成矿阶段对应的精细石英期次;

[0069] 步骤(2):对研究区不同期次石英中的流体包裹体进行激光拉曼光谱研究,获得成矿流体化学成分为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 的水热流体;

[0070] 步骤(3):对研究区不同期次石英中的流体包裹体进行显微测温,获得成矿流体中气相组分 CO_2 的含量,获得盐类物质 NaCl 的含量,获得不同期次石英中成矿流体的均一温度和均一压力范围;

[0071] 步骤(4):根据查阅文献获得研究区矿床成矿流体演化的温度压力范围作为绘制

的石英等溶解度相图温度和压力上、下限；

[0072] 步骤(5):根据流体包裹体测温获得的研究区成矿流体 CO_2 和 NaCl 含量范围自由组合成矿流体的成分,以多种不同流体组成作为计算阶段成矿流体成分的输入值;

[0073] (二)计算阶段:

[0074] 步骤(6):利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系相边界计算模块,分别计算成矿流体成分为 $1\cdots n$ 时 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系液相与气液混合相的边界上的点;

[0075] 步骤(7):在研究区矿床成矿流体演化的温度范围内,以任意温度步长重复步骤(6)计算,得到一系列的点(T,P),此即为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系液相与气液混合相的相边界;

[0076] 步骤(8):利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度计算模块,分别计算成矿流体成分为 $1\cdots n$ 时 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系石英等溶解度曲线上的点;

[0077] 步骤(9):在研究区矿床成矿流体演化的温度范围内,以任意温度步长重复步骤(8)计算,得到一系列的点(T,P),此即为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系在指定石英溶解度时的等溶解度曲线;

[0078] 步骤(10):以任意石英溶解度步长重复步骤(8)及(9)计算,得到 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系不同溶解度条件下的石英等溶解度曲线;

[0079] 步骤(11):利用石英等溶解度曲线域边界计算模块中温度与压力敏感区边界计算部分,分别计算成矿流体成分为 $1\cdots n$ 时石英等溶解度曲线温度与压力敏感区的边界;

[0080] 步骤(12):利用石英等溶解度曲线域边界计算模块中退行性区边界计算部分,分别计算成矿流体成分为 $1\cdots n$ 时石英等溶解度曲线退行性区的边界;

[0081] (三)分析阶段:

[0082] 步骤(13):利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系相边界计算模块、 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度计算模块及石英等溶解度曲线域边界计算模块获得的相边界曲线、石英等溶解度曲线和石英等溶解度曲线域边界,构建矿床成矿流体成分为 $1\cdots n$ 情况下的石英等溶解度相图;

[0083] 步骤(14):将实验阶段获得的不同期次石英中成矿流体的均一温度和均一压力范围投置于多种流体成分下的石英等溶解度相图中;

[0084] 步骤(15):根据石英等溶解度相图,分析其水热流体成矿过程。

[0085] 通过采用上述技术方案,本发明至少具有以下优点:

[0086] 本发明通过构建符合成矿流体物理化学性质的石英等溶解度相图的系统,利用引起石英溶解度变化的流体温度、压力、成分及相态改变所经历的路径,进而定量阐明成矿流体温度、压力、成分及相的动态演化,提供一种水热流体成矿过程的方法,弥补传统矿床学在研究流体成矿过程物理化学条件定量变化的描述,这种方法可为理解基于石英水热过程的流体成矿过程提供新的视角。

附图说明

[0087] 上述仅是本发明技术方案的概述,为了能够更清楚了解本发明的技术手段,以下结合附图与具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。

[0088] 图1是定量化石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系水热流体成矿过程的方法图;

[0089] 图2是东风金矿床成矿期石英期次图;

- [0090] 图3是 H_2O-CO_2-NaCl 体系相边界计算模块的计算流程图；
- [0091] 图4是 H_2O-CO_2-NaCl 体系液相与气液混合相的相边界图；其中，实线为组分1时液相与气液混合相的相边界，虚线为组分2时液相与气液混合相的相边界；
- [0092] 图5是 H_2O-CO_2-NaCl 体系石英等溶解度计算模块的计算流程图；
- [0093] 图6是 H_2O-CO_2-NaCl 流体体系石英等溶解度曲线图；其中，实线为组分1时石英等溶解度曲线，虚线为组分2时石英等溶解度曲线；
- [0094] 图7是 H_2O-CO_2-NaCl 体系石英等溶解度曲线域边界计算模块的温度与压力敏感区边界计算部分的计算流程图；
- [0095] 图8是石英等溶解度曲线域温度与压力敏感区的边界图；其中，实线为组分1时温度与压力敏感区的边界，虚线为组分2时温度与压力敏感区的边界；
- [0096] 图9是石英等溶解度曲线域边界计算模块的退行性变化区边界计算部分的计算流程图；
- [0097] 图10是石英等溶解度曲线域退行性区的边界图；其中，实线为组分1时退行性区的边界，虚线为组分2时退行性区的边界；
- [0098] 图11为东风金矿床石英等溶解度相图及不同期次石英的温度压力范围图；其中，实线为组分1时石英的等溶解度相图，虚线为组分2时石英的等溶解度相图。

具体实施方式

[0099] 本发明提供了一种基于石英等溶解度相图的涉及脉石石英的水热流体成矿过程的研究方法。为了便于对本发明的理解，对于如下术语进行定义：

[0100] a、石英等溶解度图：在表示 H_2O-CO_2-NaCl 水热系统温度-压力状态的状态图上，连接石英溶解度相同的状态的线；

[0101] b、石英等溶解度曲线域：石英等溶解度图涵盖的三个区域，具体包括温度敏感区、压力敏感区及退行性区；

[0102] c、压力敏感区：在石英等溶解度图中，压力变化引起的石英溶解度变化大于温度变化引起的石英溶解度变化的区域；

[0103] d、温度敏感区：在石英等溶解度图中，温度变化引起的石英溶解度变化大于压力变化引起的石英溶解度变化的区域；

[0104] e、退行性区：石英等溶解度图中石英溶解度变化与温度变化反相关的区域。

[0105] f、石英等溶解度相图：在表示 H_2O-CO_2-NaCl 水热系统温度-压力状态的状态图上，连接石英溶解度相同的状态的线，叠加液相与气液混合相的边界，同时区分等溶解度曲线域的温度敏感区、压力敏感区及退行性区。

[0106] 本发明依托水热流体矿床石英脉样品薄片岩相学观察、流体包裹体激光拉曼光谱测试和显微测温等实验部分联合石英等溶解度相图计算部分，建立一种成矿流体在不同 CO_2 和 $NaCl$ 成分组成条件下，不同期次石英在石英等溶解度相图所处的温度和压力区间，通过各期次石英在石英等溶解度相图涉及的温度敏感区、压力敏感区、退行性区、流体不同相态区及不同流体组成引起的以上区域对应的温度和压力的演化等，定量化讨论不同期次石英乃至不同成矿阶段成矿流体可能经历的温度、压力和成分演化路径，从而达到定量评价石英 H_2O-CO_2-NaCl 体系水热流体的成矿过程。

[0107] 如图1所示,矿物薄片实验部分共包含:(1)对手标本和显微镜下石英脉穿插关系观察及对石英SEM-CL显微结构分析并照相确定矿床的成矿阶段及各成矿阶段的石英期次;(2)进行石英流体包裹体激光拉曼光谱研究获得成矿流体的化学组成;(3)开展不同期次石英中流体包裹体显微测温得到各期次石英中成矿流体的均一温度、均一压力及 CO_2 和NaCl的含量等三个步骤。

[0108] 计算部分具体包括:(1)利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系相边界计算模块获得指定温度下相边界上某一点的温度压力坐标(T,P),并以选定温度间隔重复本计算模块,得到一系列的温度压力坐标,此即为液相与气液混合相边界;(2)利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度计算模块获得指定石英溶解度时某一温度的温度压力坐标(T,P),并以选定温度间隔重复本计算模块,得到一系列的温度压力坐标,此即为石英等溶解度曲线;(3)采用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英等溶解度曲线域边界计算模块获得指定温度下石英等溶解度曲线域边界上某一点的温度压力坐标(T,P),并以选定温度间隔重复本计算模块,得到一系列的温度压力坐标,此即为石英等溶解度曲线域温度敏感区、压力敏感区和退行性区边界。这里需要说明是,计算部分应采用石英激光拉曼光谱测试和显微测温获得成矿流体的化学组成(CO_2 、NaCl及 H_2O 的含量均以摩尔分数 x_i 表示)的实验结果,且成矿流体化学组成可根据研究需要任意设定,并根据水热流体矿床成矿演化的温度和压力上限设置本方法计算部分涉及的流体成分及温度压力范围。

[0109] 成矿过程分析部分具体包括:(1)根据计算部分获得多组不同流体组成的石英等溶解度相图;(2)定量化分析石英水热流体温度、压力及成分演化对矿质沉淀的作用。这里需要说明的是流体成矿过程分析需要实验部分提供各期次石英成矿流体化学组成和温度压力范围。

[0110] 下面通过具体应用例对本发明的技术方案进行展开描述。

[0111] 实施例1

[0112] 胶东矿集区是我国最为重要的原生金产区,其金矿石产出约占我国金产量的1/4。区内的众多金矿床均为典型的热液型金矿,石英是这些热液矿床最为重要的脉石矿物。对热液矿床石英流体包裹体及石英沉淀-溶解行为的研究,可为水热流体成矿过程乃至热液型矿床流体成矿机理提供新的视角和认识。本实施例以胶东金矿集区热液型金矿东风矿床为研究对象,开展具有不同流体组成矿床的石英包裹体显微测温及等溶解度相图实验模拟研究,定量评价石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系水热流体的成矿过程。

[0113] 本实施例提供了一种不同成矿流体组成的石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系水热流体成矿过程的方法,该方法包括:

[0114] 步骤(1):在手标本及光学显微镜下观察东风金矿不同成矿阶段矿石样品中石英脉系的穿插关系,同时研究石英的扫描电镜-阴极发光(SEM-CL)显微结构,划分不同成矿阶段对应的精细石英期次;

[0115] 本实施例中,将东风金矿矿石样品分为V1、V2及V3成矿前、成矿期和成矿后三个阶段,石英期次细化为Qz1、Qz2及Qz3三期,详见图2。

[0116] 其中,本实施例矿石样品石英Qz1的CL发光性较强,Qz2的CL发光性差,Qz3在CL下呈现出破碎的“蛛网状”结构,Qz1被Qz2和Qz3穿插。

[0117] 步骤(2):对东风金矿不同期次石英中的流体包裹体进行激光拉曼光谱研究,获得

成矿流体的化学成分为 H_2O-CO_2-NaCl 的水热流体；

[0118] 步骤(3):对东风金矿不同期次石英中的流体包裹体进行显微测温,获得成矿流体中气相组分 CO_2 的含量(以摩尔分数形式表示),获得盐类物质NaCl的含量(以质量百分数形式表示),获得不同期次石英中成矿流体的均一温度和均一压力范围;

[0119] 其中,对于流体包裹体进行显微测温时,应尽量选择非均匀体系捕获的气液两相包裹体充填度最大和最小的包裹体进行,所获得的均一温度即为矿物的形成温度,不必进行压力校正;中间充填度的流体包裹体测温数据需进行压力校正。

[0120] 东风金矿不同期次石英涵盖的成矿阶段及流体中 CO_2 及NaCl的含量见表1。

[0121] 表1.胶东东风金矿床石英期次划分及其对应的流体成分

石英 期次	成矿阶段	CO_2 含量 (% mol CO_2)	盐度 (% wt NaCl)	均一温度 ($^{\circ}C$)	均一压力 (bar)
[0122] Qz1	V1, V2	10	2.5-11.1	320-370	2400-2800
Qz2	V2	10-15	3.5-10.0	300-350	1200-1600
Qz3	V2, V3	10-15	0.4-8.0	270-330	200-400

[0123] 步骤(4):根据查阅文献获得胶东热液型金矿床成矿流体演化的大致温度压力范围作为本方法绘制的石英等溶解度相图温度和压力上,下限,这里选择温度范围为100-600 $^{\circ}C$,压力范围为0-4000bar;

[0124] 步骤(5):根据流体包裹体显微测温获得的东风金矿成矿流体 CO_2 和NaCl含量范围(10-15%mol CO_2 ,0.4-11.1%wt NaCl)自由组合成矿流体的成分。这里我们选择 CO_2 摩尔百分比为10,NaCl质量百分比为5(组分1)及 CO_2 摩尔百分比为15,NaCl质量百分比为5(组分2)的两种流体组成作为计算部分成矿流体成分的输入值;

[0125] 步骤(6):配合图3所示,利用 H_2O-CO_2-NaCl 体系相边界计算模块,计算组分1时 H_2O-CO_2-NaCl 流体体系液相与气液混合相的边界上的点:

[0126] ①输入温度100 $^{\circ}C$, CO_2 摩尔百分数10,NaCl质量百分数5;

[0127] ②将成矿流体的化学组成换算成以摩尔分数形式表示: $x_{CO_2}=0.1$, $x_{NaCl}=0.0183$, $x_{H_2O}=0.8817$,换算得到 CO_2 的溶解度 $m_{CO_2}=6.30$ mol/kg;

[0128] ③根据Mao等人文献(Mao S.D.,Zhang D.H.,Li Y.Q.eta.,An improved model for calculating CO_2 solubility in aqueous NaCl solutions and the application to $CO_2-H_2O-NaCl$ fluid inclusions,Chemical Geology,2013)所述 CO_2 在 $H_2O-NaCl$ 体系溶解度模型,压力范围设置初始区间端点 $P_1=0$, $P_2=4000$,可满足条件: $m_{CO_2}^{P1}<m_{CO_2}<m_{CO_2}^{P2}$;

[0129] ④令 $P=(P_1+P_2)/2$;

[0130] ⑤利用 CO_2 在 $H_2O-NaCl$ 体系溶解度模型,计算当前压力P时, CO_2 溶解度 $m_{CO_2}^{cal}$;

[0131] ⑥当 $|m_{CO_2}^{cal}-m_{CO_2}|>10^{-6}$,且 $m_{CO_2}^{cal}<m_{CO_2}$ 时,令 $P_1=P$,反之,则令 $P_2=P$,并跳转至步骤④;当该值 $|m_{CO_2}^{cal}-m_{CO_2}|\leq 10^{-6}$ 时, $P=2812.07$ bar即为所求压力。

[0132] 计算组分2时 H_2O-CO_2-NaCl 流体体系液相与气液混合相的边界上的点:

[0133] ①输入温度100℃,CO₂摩尔百分数15,NaCl质量百分数5;

[0134] ②将成矿流体的化学组成换算成以摩尔分数形式表示: $x_{CO_2}=0.15$, $x_{NaCl}=0.0194$, $x_{H_2O}=0.8306$,换算得到CO₂的溶解度 $m_{CO_2}=10.03\text{mol/kg}$;

[0135] ③根据Mao等人文献(Mao S.D.,Zhang D.H.,Li Y.Q.et a.,An improved model for calculating CO₂ solubility in aqueous NaCl solutions and the application to CO₂-H₂O-NaCl fluid inclusions,Chemical Geology,2013)所述CO₂在H₂O-NaCl体系溶解度模型,压力范围设置初始区间端点 $P_1=0$, $P_2=4000$,可满足条件: $m_{CO_2}^{P_1}<m_{CO_2}<m_{CO_2}^{P_2}$;

[0136] ④令 $P=(P_1+P_2)/2$;

[0137] ⑤利用CO₂在H₂O-NaCl体系溶解度模型公式,计算当前压力P时,CO₂溶解度 $m_{CO_2}^{cal}$;

[0138] ⑥当 $|m_{CO_2}^{cal}-m_{CO_2}|>10^{-6}$,且 $m_{CO_2}^{cal}<m_{CO_2}$ 时,令 $P_1=P$,反之,则令 $P_2=P$,并跳转至步骤④;当该值 $|m_{CO_2}^{cal}-m_{CO_2}|\leq 10^{-6}$ 时, $P=3040.01\text{bar}$ 即为所求压力。

[0139] 步骤(7):在100-600℃温度范围内,以任意温度步长(如以温度1℃为间隔)重复步骤(6)计算,得到一系列的点(T,P),此即为H₂O-CO₂-NaCl流体体系液相与气液混合相的相边界(图4);

[0140] 步骤(8):配合图5所示,利用H₂O-CO₂-NaCl体系石英等溶解度计算模块,计算组分1时H₂O-CO₂-NaCl流体体系石英等溶解度曲线上的点:

[0141] ①输入温度150℃,CO₂摩尔百分数10,NaCl质量百分数5,SiO₂在H₂O-CO₂-NaCl体系的溶解度 $m_{SiO_2}=0.002\text{mol/kg}$;

[0142] ②将成矿流体的化学组成换算成以摩尔分数形式表示: $x_{CO_2}=0.1$, $x_{NaCl}=0.0183$, $x_{H_2O}=0.8817$;

[0143] ③根据利用卫清等人文献(卫清,段振豪,毛世德.H₂O-CO₂-NaCl体系石英溶解度模型(适用于高达1000℃、1.5GPa的高温高压环境),岩石学报,2012)中所述SiO₂在H₂O-CO₂-NaCl体系溶解度(简称:石英溶解度)模型,设置初始区间端点 $P_1=0$, $P_2=4000$,可满足条件: $m_{SiO_2}^{P_1}<m_{CO_2}<m_{SiO_2}^{P_2}$;

[0144] ④令 $P=(P_1+P_2)/2$;

[0145] ⑤利用石英溶解度模型,计算当前压力P时,SiO₂溶解度 $m_{SiO_2}^{cal}$;

[0146] ⑥当 $|m_{SiO_2}^{cal}-m_{SiO_2}|>10^{-9}$,且 $m_{SiO_2}^{cal}<m_{SiO_2}$ 时,令 $P_1=P$,反之,则令 $P_2=P$,并跳转至步骤④;当 $|m_{SiO_2}^{cal}-m_{SiO_2}|\leq 10^{-9}$ 时, $P=3408.33\text{bar}$ 即为所求压力。

[0147] 计算组分2时H₂O-CO₂-NaCl流体体系石英等溶解度曲线上的点:

[0148] ①输入温度160℃,CO₂摩尔百分数15,NaCl质量百分数5,SiO₂在H₂O-CO₂-NaCl体系的溶解度 $m_{SiO_2}=0.002\text{mol/kg}$;

[0149] ②将成矿流体的化学组成换算成以摩尔分数形式表示: $x_{CO_2}=0.15$, $x_{NaCl}=0.0194$, $x_{H_2O}=0.8306$;

[0150] ③根据利用卫清等人文献(卫清,段振豪,毛世德.H₂O-CO₂-NaCl体系石英溶解度模型(适用于高达1000℃、1.5GPa的高温高压环境),岩石学报,2012)中所述SiO₂在H₂O-CO₂-NaCl体系溶解度(简称:石英溶解度)模型,设置初始区间端点 $P_1=0$, $P_2=4000$,可满足条件: $m_{SiO_2}^{P_1}<m_{CO_2}<m_{SiO_2}^{P_2}$;

[0151] ④令 $P=(P_1+P_2)/2$;

[0152] ⑤利用石英溶解度模型,计算当前压力P时,SiO₂溶解度 $m_{SiO_2}^{cal}$;

[0153] ⑥当 $|m\text{SiO}_2^{\text{cal}} - m\text{SiO}_2| > 10^{-9}$,且 $m\text{SiO}_2^{\text{cal}} < m\text{SiO}_2$ 时,令 $P_1 = P$,反之,则令 $P_2 = P$,并跳转至步骤④;当 $|m\text{SiO}_2^{\text{cal}} - m\text{SiO}_2| \leq 10^{-9}$ 时, $P = 3831.83\text{bar}$ 即为所求压力。

[0154] 步骤(9):在100-600℃温度范围内,以任意温度步长(如以温度1℃为间隔)重复步骤(8)计算,得到一系列的点(T,P),此即为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系石英溶解度为0.002mol/kg时的等溶解度曲线;

[0155] 步骤(10):以任意石英溶解度步长(如以溶解度0.001mol/kg为间隔)重复步骤(8)及(9)计算,得到 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 流体体系不同溶解度条件下的石英等溶解度曲线(图6);

[0156] 步骤(11):配合图7所示,利用石英等溶解度曲线域边界计算模块-温度与压力敏感区边界计算部分,计算组分1时石英等溶解度曲线温度与压力敏感区的边界:

[0157] ①输入等溶解度相图温度与压力范围内的 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系的溶解度(石英溶解度)最大值 $m\text{SiO}_2^{\text{max}} = 0.087\text{mol/kg}$, CO_2 摩尔百分数10,NaCl质量百分数5;

[0158] ②将成矿流体的化学组成换算成以摩尔分数形式表示: $x\text{CO}_2 = 0.1$, $x\text{NaCl} = 0.0183$, $x\text{H}_2\text{O} = 0.8817$;

[0159] ③令石英溶解度 $m\text{SiO}_2 = 0.002\text{molg/kg}$;

[0160] ④根据石英等溶解度图,设置初始区间端点 $T_1 = 175$, $T_2 = 600$;

[0161] ⑤令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力P;

[0162] ⑥根据卫清等人文献(卫清,段振豪,毛世德. $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英溶解度模型(适用于高达1000℃、1.5GPa的高温高压环境),岩石学报,2012)中所述 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度模型可知,在指定流体成分下石英溶解度为温度与压力的函数,令 $m\text{SiO}_2 = m(T, P)$ 。利用数值微分方法计算得到在当前石英溶解度条件下,点(T,P)处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m / \partial T)_P$ 与 $(\partial m / \partial P)_T$;

[0163] ⑦当 $|(\partial m / \partial T)_P - (\partial m / \partial P)_T| > 10^{-7}$,且 $(\partial m / \partial T)_P > (\partial m / \partial P)_T$ 时,令 $T_1 = T$,反之,则令 $T_2 = T$,并跳转至步骤⑤;当 $|(\partial m / \partial T)_P - (\partial m / \partial P)_T| \leq 10^{-7}$ 时, $T = 183.00^\circ\text{C}$, $P = 14.12\text{bar}$ 即为满足条件的边界曲线上的点的坐标(T,P);

[0164] ⑧令 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 + 10^{-4}$;

[0165] ⑨若 $m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,则跳转至步骤④,否则结束程序,所求得的一系列点,即为石英等溶解度曲线温度与压力敏感区的边界。

[0166] 计算组分2时石英等溶解度曲线温度与压力敏感区的边界:

[0167] ①输入等溶解度相图温度与压力范围内的 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系的溶解度(石英溶解度)最大值 $m\text{SiO}_2^{\text{max}} = 0.068\text{mol/kg}$, CO_2 摩尔百分数15,NaCl质量百分数5;

[0168] ②将成矿流体的化学组成换算成以摩尔分数形式表示: $x\text{CO}_2 = 0.15$, $x\text{NaCl} = 0.0194$, $x\text{H}_2\text{O} = 0.8306$;

[0169] ③令石英溶解度 $m\text{SiO}_2 = 0.002\text{molg/kg}$;

[0170] ④根据石英等溶解度图,设置初始区间端点 $T_1 = 190$, $T_2 = 600$;

[0171] ⑤令 $T = (T_1 + T_2) / 2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力P;

[0172] ⑥根据卫清等人文献(卫清,段振豪,毛世德. $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英溶解度模型(适用于高达1000℃、1.5GPa的高温高压环境),岩石学报,2012)中所述 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度模型可知,在指定流体成分下石英溶解度为温度与压力的函数,令 $m\text{SiO}_2 = m(T,$

P)。利用数值微分方法计算得到在当前石英溶解度条件下,点(T,P)处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$ 与 $(\partial m/\partial P)_T$;

[0173] ⑦当 $|(\partial m/\partial T)_P - (\partial m/\partial P)_T| > 10^{-7}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > (\partial m/\partial P)_T$ 时,令 $T_1 = T$,反之,则令 $T_2 = T$,并跳转至步骤⑤;当 $|(\partial m/\partial T)_P - (\partial m/\partial P)_T| \leq 10^{-7}$ 时, $T = 222.50^\circ\text{C}$, $P = 26.76\text{bar}$ 即为满足条件的边界曲线上的点的坐标(T,P);

[0174] ⑧令 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 + 10^{-4}$;

[0175] ⑨若 $m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,则跳转至步骤④,否则结束程序,所求得的一系列点,即为石英等溶解度曲线域温度与压力敏感区的边界(图8)。

[0176] 步骤(12):配合图9所示,利用石英等溶解度曲线域边界计算模块-退行性区边界计算部分,计算组分1时石英等溶解度曲线退行性区的边界:

[0177] 1、输入等溶解度相图温度与压力范围内的 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系的溶解度(石英溶解度)最大值 $m\text{SiO}_2^{\text{max}} = 0.02\text{mol/kg}$, CO_2 摩尔百分数10,NaCl质量百分数5;

[0178] 2、将成矿流体的化学组成换算成以摩尔分数形式表示: $x\text{CO}_2 = 0.1$, $x\text{NaCl} = 0.0183$, $x\text{H}_2\text{O} = 0.8817$;

[0179] 3、令石英溶解度 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2^{\text{max}}$

[0180] 4、根据石英等溶解度图,设置初始区间端点 $T_1 = 450$, $T_2 = 600$;

[0181] 5、令 $T = (T_1 + T_2)/2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力P;

[0182] 6、根据卫清等人文献(卫清,段振豪,毛世德. $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英溶解度模型(适用于高达 1000°C 、 1.5GPa 的高温高压环境),岩石学报,2012)中所述 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度模型可知,在指定流体成分下石英溶解度为温度与压力的函数,令 $m\text{SiO}_2 = m(T, P)$ 。利用数值微分方法计算得到在当前石英溶解度条件下,点(T,P)处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$;

[0183] 7、若 $|T_2 - T_1| < 10^{-5}$, $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 - 10^{-4}$ (这里 10^{-4} 为计算步长值,步长值可根据实际计算条件调整),反之则跳转至9;

[0184] 8、当 $m\text{SiO}_2 > 0$ 时,跳转至4,反之,当前成矿流体成分条件下,无等溶解度曲线退行性区,程序结束;

[0185] 9、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 0$ 时,令 $T_1 = T$,反之,则令 $T_2 = T$,并跳转至步骤⑤;当 $|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时, $m\text{SiO}_2^{\text{submit}} = 0.0121\text{mol/kg}$,且 $T = 568.75^\circ\text{C}$, $P = 649.79\text{bar}$ 即为满足条件的边界曲线上的顶点的坐标;

[0186] 10、令 $m\text{SiO}_2 = 0.002$;

[0187] 11、计算当前溶解度条件下,退行性区边界左端点,根据石英等溶解度图,设置初始区间端点 $T_1 = 180$, $T_2 = 200$;

[0188] 12、令 $T = (T_1 + T_2)/2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力P;

[0189] 13、利用⑥的方法得到在当前石英溶解度条件下,点(T,P)处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$;

[0190] 14、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 10^{-9}$ 时, $T_1 = T$,反之 $T_2 = T$,跳转至12;当

$|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时, $T=184.00^\circ\text{C}$, $P=10.98\text{bar}$ 即为在当前成矿流体组成下退行性区边界左端点的坐标。

[0191] 15、计算当前溶解度条件下,退行性区边界右端点,根据石英等溶解度图,设置初始区间端点 $T_1=450$, $T_2=600$;

[0192] 16、令 $T=(T_1+T_2)/2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

[0193] 17、利用⑥的方法计算得到在当前石英溶解度条件下,点 (T,P) 处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$;

[0194] 18、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 10^{-9}$ 时, $T_2=T$,反之 $T_1=T$,跳转至16;当

$|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时, $T=523.05^\circ\text{C}$, $P=350.65\text{bar}$ 为在当前成矿流体组成下石英溶解度为 0.002mol/kg 时退行性区边界右端点的坐标;

[0195] 19、 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 + 10^{-4}$;

[0196] 20、若 $m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,则跳转至11,若 $m\text{SiO}_2 \geq m\text{SiO}_2^{\text{max}}$ 时,结束该程序,所求得的一系列点,即为石英等溶解度曲线退行性区的边界(图10)。

[0197] 计算组分2时石英等溶解度曲线退行性区的边界:

[0198] 1、输入等溶解度相图温度与压力范围内的 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系的溶解度(石英溶解度)最大值 $m\text{SiO}_2^{\text{max}}=0.01\text{mol/kg}$, CO_2 摩尔百分数15, NaCl 质量百分数5;

[0199] 2、将成矿流体的化学组成换算成以摩尔分数形式表示: $x\text{CO}_2=0.15$, $x\text{NaCl}=0.0194$, $x\text{H}_2\text{O}=0.8306$;

[0200] 3、令石英溶解度 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2^{\text{max}}$;

[0201] 4、根据石英等溶解度图,设置初始区间端点 $T_1=450$, $T_2=600$;

[0202] 5、令 $T=(T_1+T_2)/2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

[0203] 6、根据卫清等人文献(卫清,段振豪,毛世德. $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系石英溶解度模型(适用于高达 1000°C 、 1.5GPa 的高温高压环境),岩石学报,2012)中所述 SiO_2 在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系溶解度模型可知,在指定流体成分下石英溶解度为温度与压力的函数,令 $m\text{SiO}_2 = m(T, P)$ 。利用数值微分方法计算得到在当前石英溶解度条件下,点 (T,P) 处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$;

[0204] 7、若 $|T_2-T_1| < 10^{-5}$, $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 - 10^{-4}$ (这里 10^{-4} 为计算步长值,步长值可根据实际计算条件调整),反之则跳转至9;

[0205] 8、当 $m\text{SiO}_2 > 0$ 时,跳转至4,反之,当前成矿流体成分条件下,无等溶解度曲线退行性区,程序结束;

[0206] 9、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 0$ 时,令 $T_1=T$,反之,则令 $T_2=T$,并跳转至5;当 $|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时, $m\text{SiO}_2=0.0057\text{mol/kg}$,且 $T=525.00^\circ\text{C}$, $P=548.22\text{bar}$ 即为满足条件的边界曲线上的顶点的坐标;

[0207] 10、令 $m\text{SiO}_2=0.002$;

[0208] 11、算当前溶解度条件下,退行性区边界左端点,根据石英等溶解度图,设置初始区间端点 $T_1=180$, $T_2=200$;

[0209] 12、令 $T=(T_1+T_2)/2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力 P ;

[0210] 13、利用⑥的方法得到在当前石英溶解度条件下,点(T,P)处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$;

[0211] 14、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 10^{-9}$ 时, $T_1=T$,反之 $T_2=T$,跳转至12;当 $|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时, $T=223.05^\circ\text{C}$, $P=24.58\text{bar}$ 即为在当前成矿流体组成下退行性区边界左端点的坐标。

[0212] 15、计算当前溶解度条件下,退行性区边界右端点,根据石英等溶解度图,设置初始区间端点 $T_1=450$, $T_2=550$;

[0213] 16、令 $T=(T_1+T_2)/2$,利用石英等溶解度计算模块,计算得到压力P;

[0214] 17、利用⑥的方法计算得到在当前石英溶解度条件下,点(T,P)处石英溶解度对温度与压力的偏导数 $(\partial m/\partial T)_P$;

[0215] 18、当 $|(\partial m/\partial T)_P| > 10^{-9}$,且 $(\partial m/\partial T)_P > 10^{-9}$ 时, $T_2=T$,反之 $T_1=T$,跳转至16;当 $|(\partial m/\partial T)_P| \leq 10^{-9}$ 时, $T=528.83^\circ\text{C}$, $P=385.25\text{bar}$ 为在当前成矿流体组成下退行性区边界右端点;

[0216] 19、 $m\text{SiO}_2 = m\text{SiO}_2 + 10^{-4}$;

[0217] 20、若 $m\text{SiO}_2 < m\text{SiO}_2^{\text{max}}$,则跳转至11,若 $m\text{SiO}_2 \geq m\text{SiO}_2^{\text{max}}$ 时,结束该程序,所求得的一系列点,即为石英等溶解度曲线域退行性区的边界(图10)。

[0218] 步骤(13):利用 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系相边界计算模块、石英等溶解度计算模块及石英等溶解度曲线域边界计算模块获得的相边界曲线、石英等溶解度曲线和石英等溶解度曲线域边界,构建东风金矿床流体组成分别为组分1和组分2两种情况下的石英等溶解度相图;

[0219] 步骤(14):将实验部分获得的东风金矿不同期次石英中成矿流体的均一温度和均一压力范围投置于两种流体组成下的石英等溶解度相图中,如图11所示;

[0220] 步骤(15):根据东风金矿床石英等溶解度相图(图11),分析其水热流体成矿过程。

[0221] 本实施例中,当东风金矿成矿流体组分为组分1和组分2两种情况时, Q_{z1} 均落在石英等溶解度相图液相区的温度敏感区;当成矿流体组分为组分1时, Q_{z2} 落在石英等溶解度相图液相区的温度敏感区,但当成矿流体组分为组分2时, Q_{z2} 则横跨石英等溶解度相图液相和气液混合相的温度敏感区;当成矿流体组分为组分1时, Q_{z3} 横跨石英等溶解度相图气液两相区的温度敏感区,压力敏感区和退行性区三个区域,但当成矿流体组分为组分2时, Q_{z3} 则只横跨石英等溶解度相图气液混合相的压力敏感区和退行性区。

[0222] 就本实施例东风金矿流体演化,对某假设初始流体对应的温度压力($550-600^\circ\text{C}$, $3200-3600\text{bar}$)范围而言,从初始流体沉淀出 Q_{z1} ,可由成矿流体在液相区由 600°C 降温至 320°C 而形成;石英由 Q_{z1} 演变为 Q_{z2} ,可由成矿流体在液相区由 370°C 降温至 300°C ,或是由于流体中 CO_2 摩尔分数由百分之十增加至百分之十五造成气液相分离,亦或是二者叠加作用而形成;石英由 Q_{z2} 演化至 Q_{z3} ,可由成矿流体的气液相分离造成的成矿流体压力由 1600bar 降低至 200bar ,或是石英的退行性溶解行为,亦或是二者叠加作用而形成。

[0223] 综合以上 Q_{z1} , Q_{z2} 和 Q_{z3} 的形成过程,根据东风金矿石英 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系等溶解度相图可知,东风金矿成矿流体首先在液相区经历了降温(约从 600°C 降低至 320°C),卸载出少量的金属物质,此阶段为东风金矿成矿前阶段(V1阶段);进而,随着成矿流体温度的进

一步下降(从约370℃降至300℃)以及流体中非极性气体CO₂含量增高(体系占比摩尔百分数由十增加至十五)造成的流体相分离过程,成矿流体中卸载出大量的金属物质,此阶段为东风金矿最为主要的成矿阶段(V2阶段);随着成矿流体温度和压力的进一步降低(温度由350℃降至270℃,压力由1600bar下降至约200bar),成矿流体经历了显著的相分离阶段(V3阶段),压力的急剧释放使得金属物质得以沉淀析出,另外,在石英退行性区较窄的温度区间内(280℃-330℃),金属物质也会随着温度的小幅增加而少量析出。

[0224] 综合以上,即为东风金矿定量化石英H₂O-CO₂-NaCl体系水热流体的成矿过程。

[0225] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制,本领域技术人员利用上述揭示的技术内容做出些许简单修改、等同变化或修饰,均落在本发明的保护范围内。

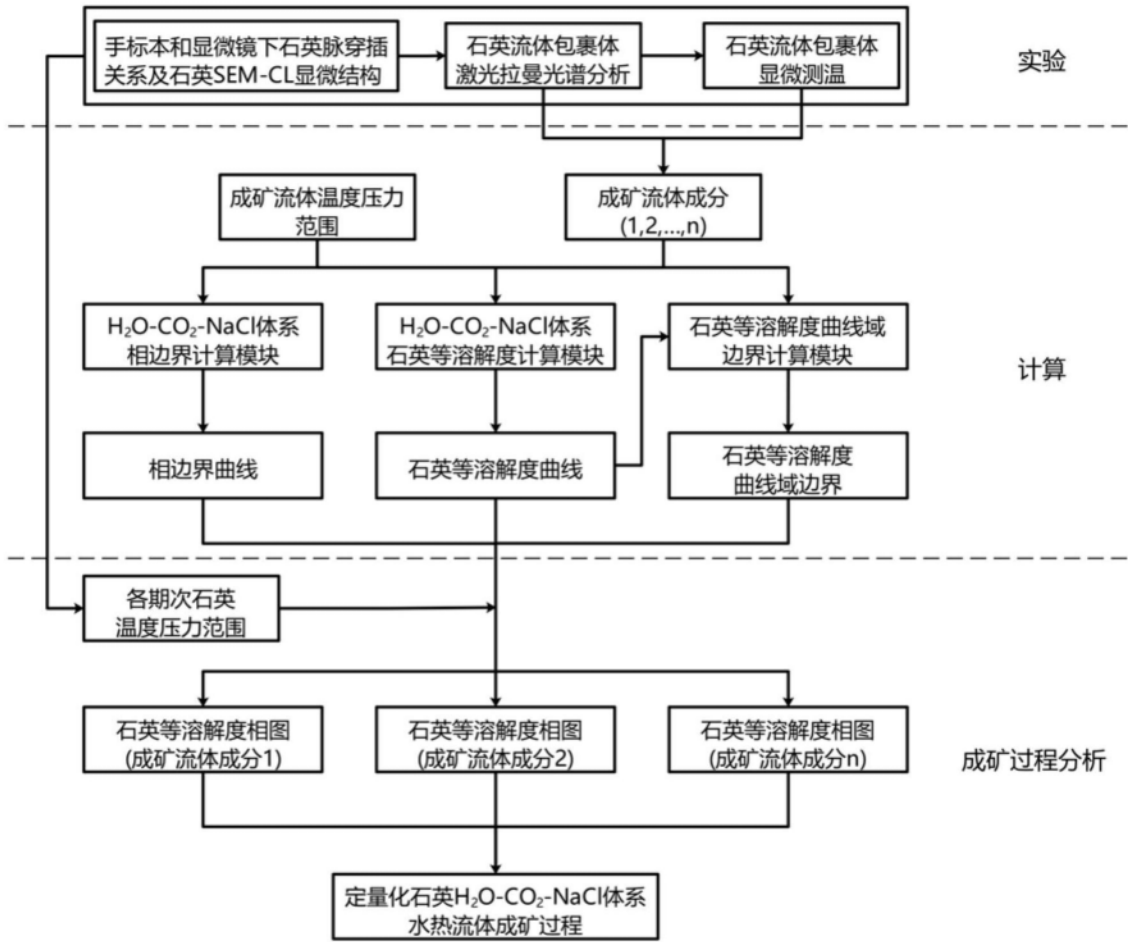


图1

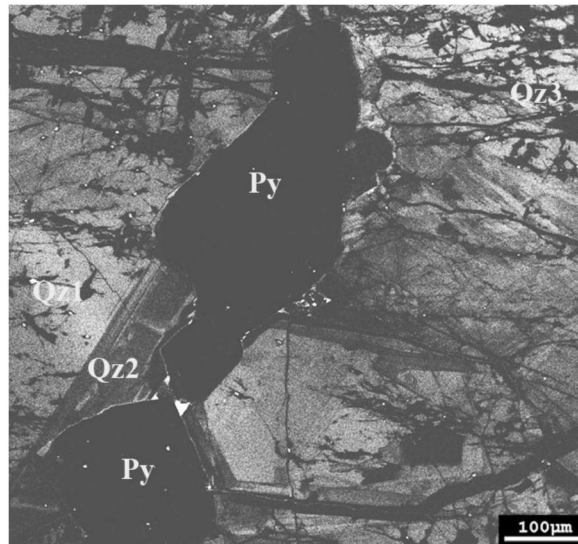


图2

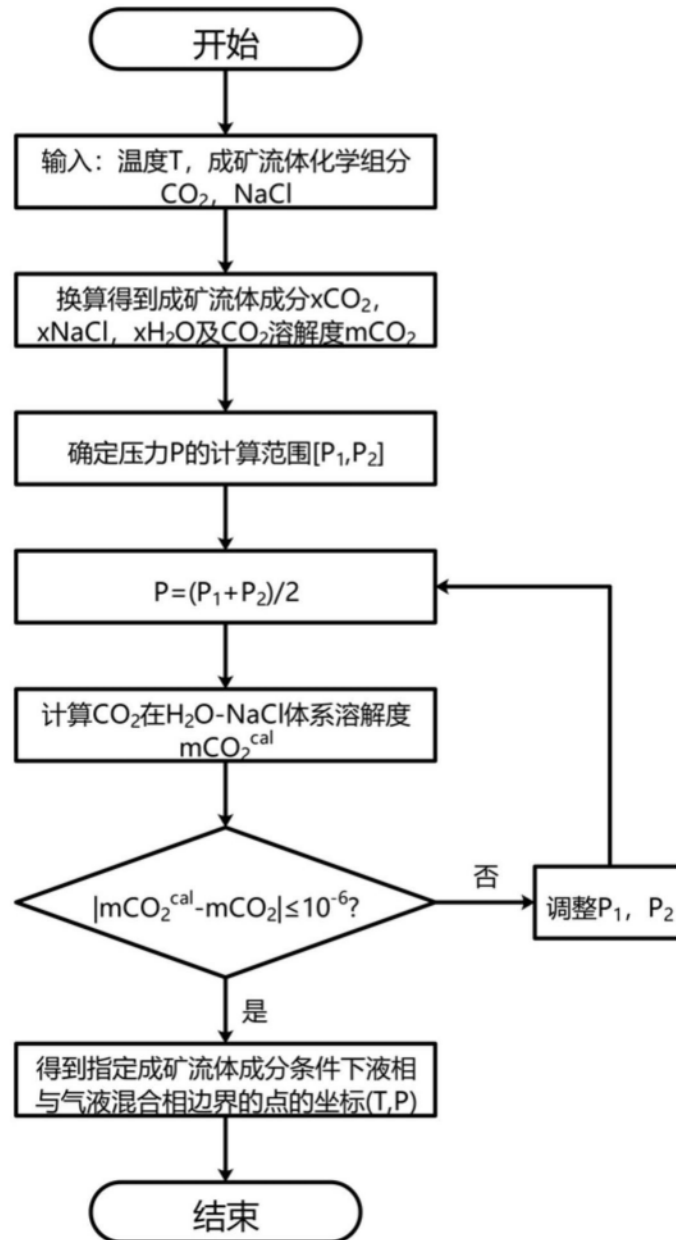


图3

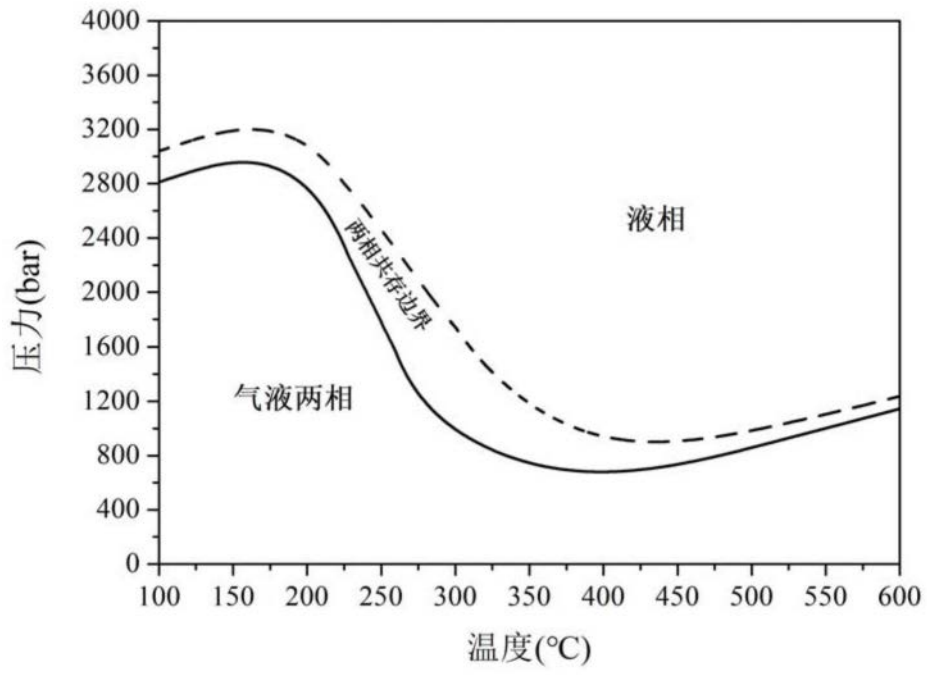


图4

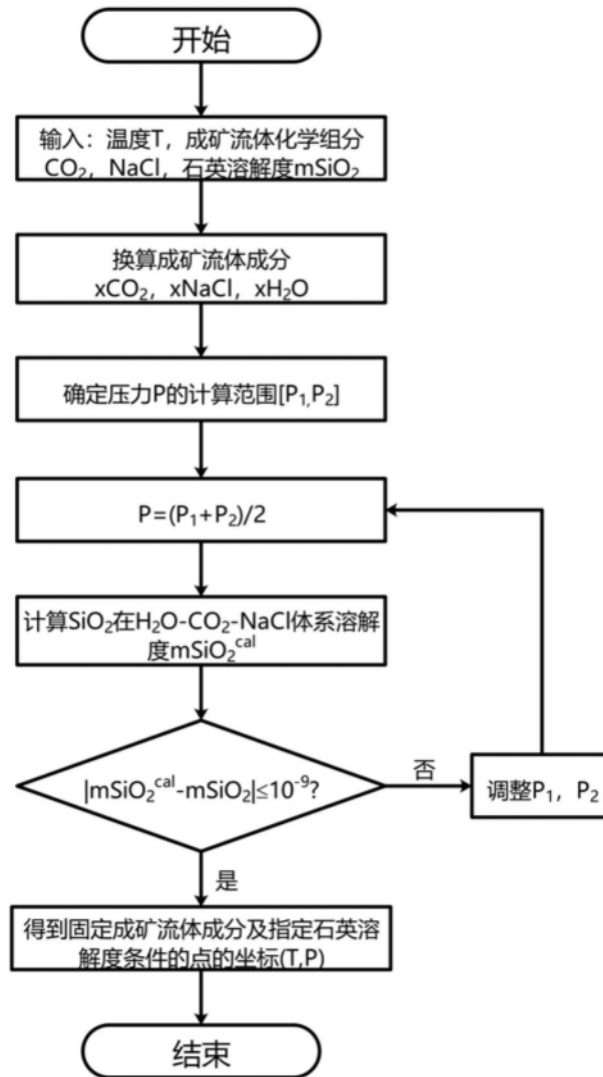


图5

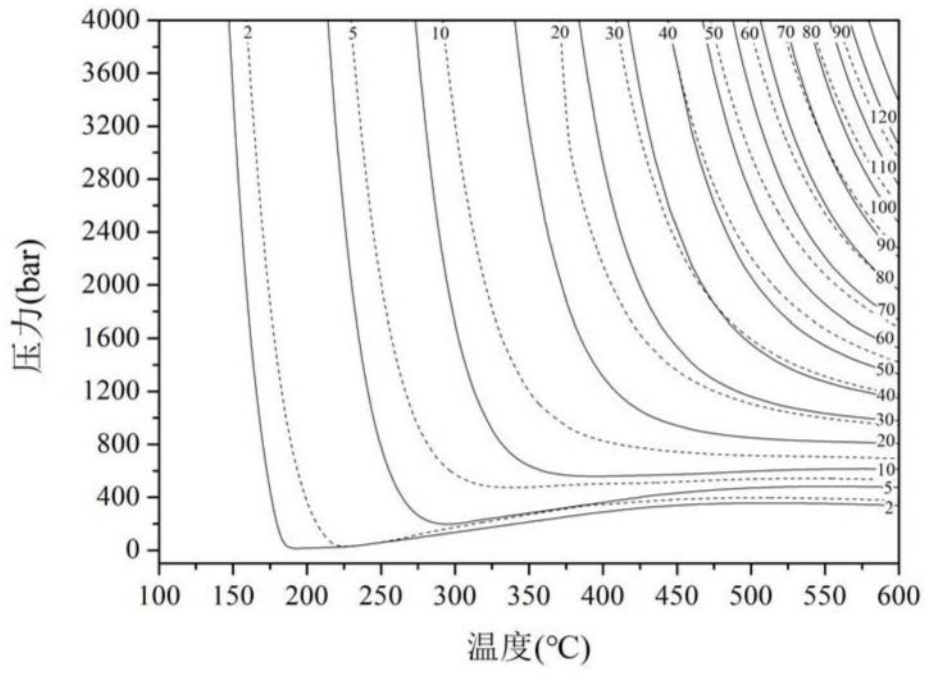


图6

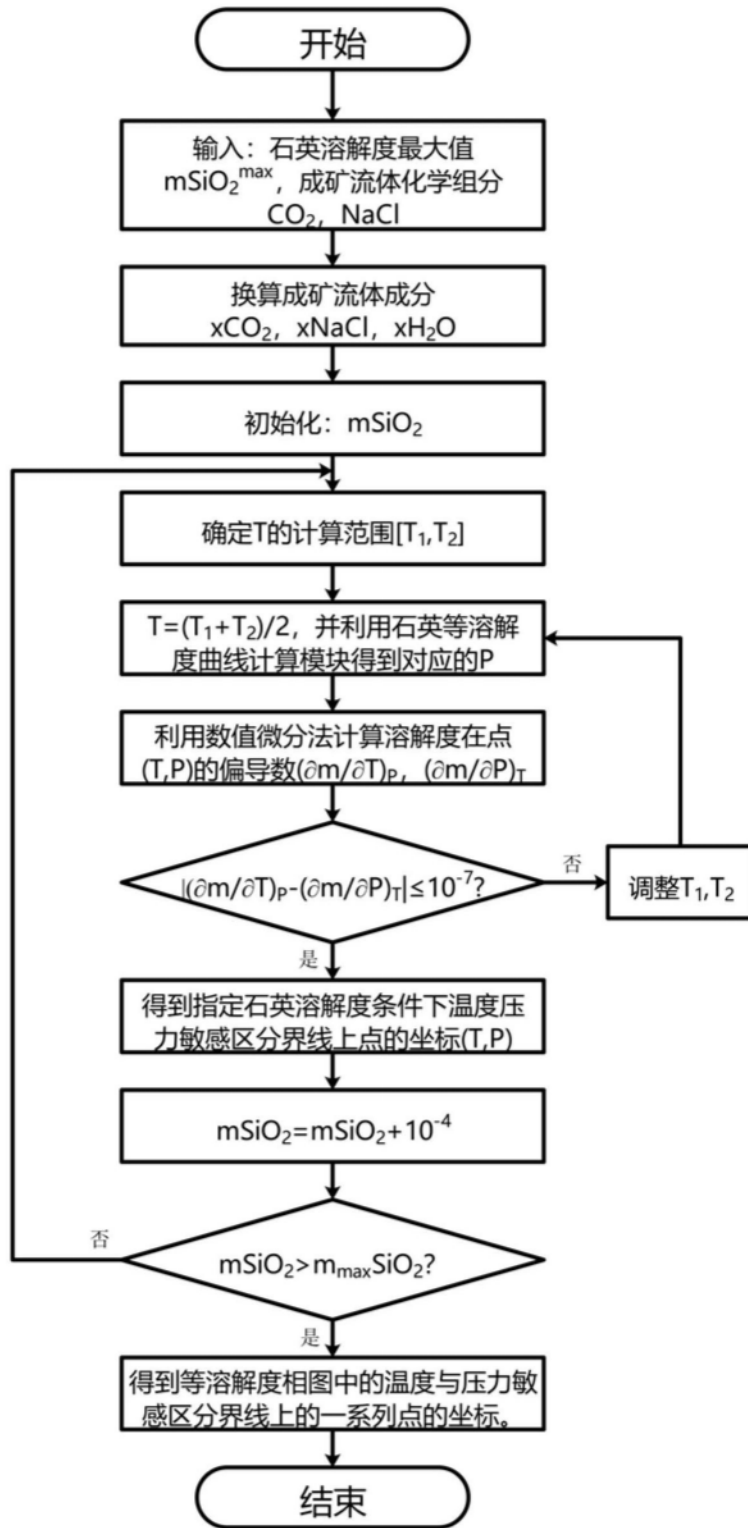


图7

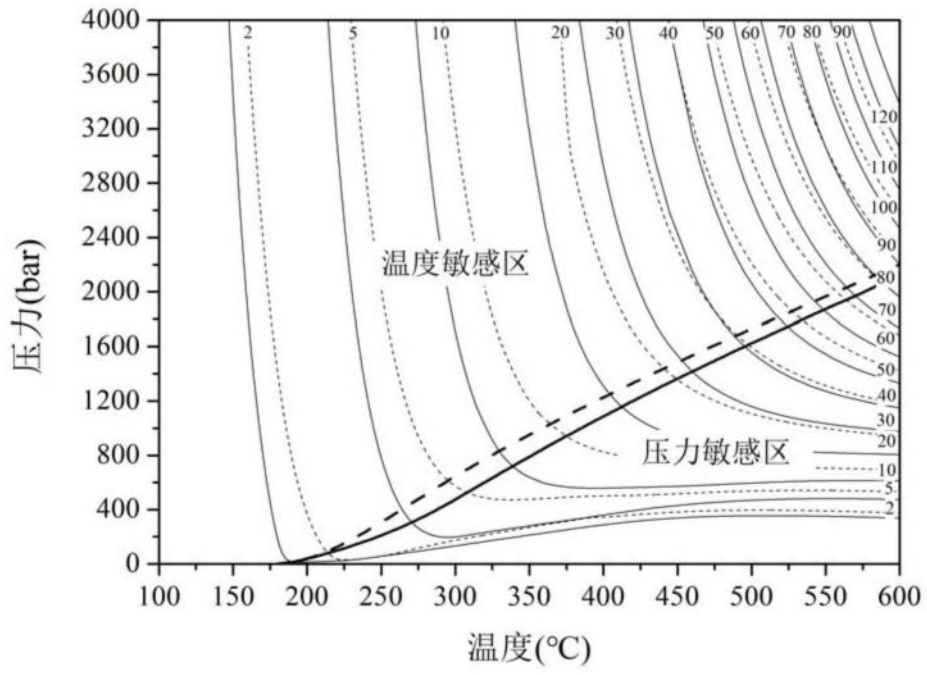


图8

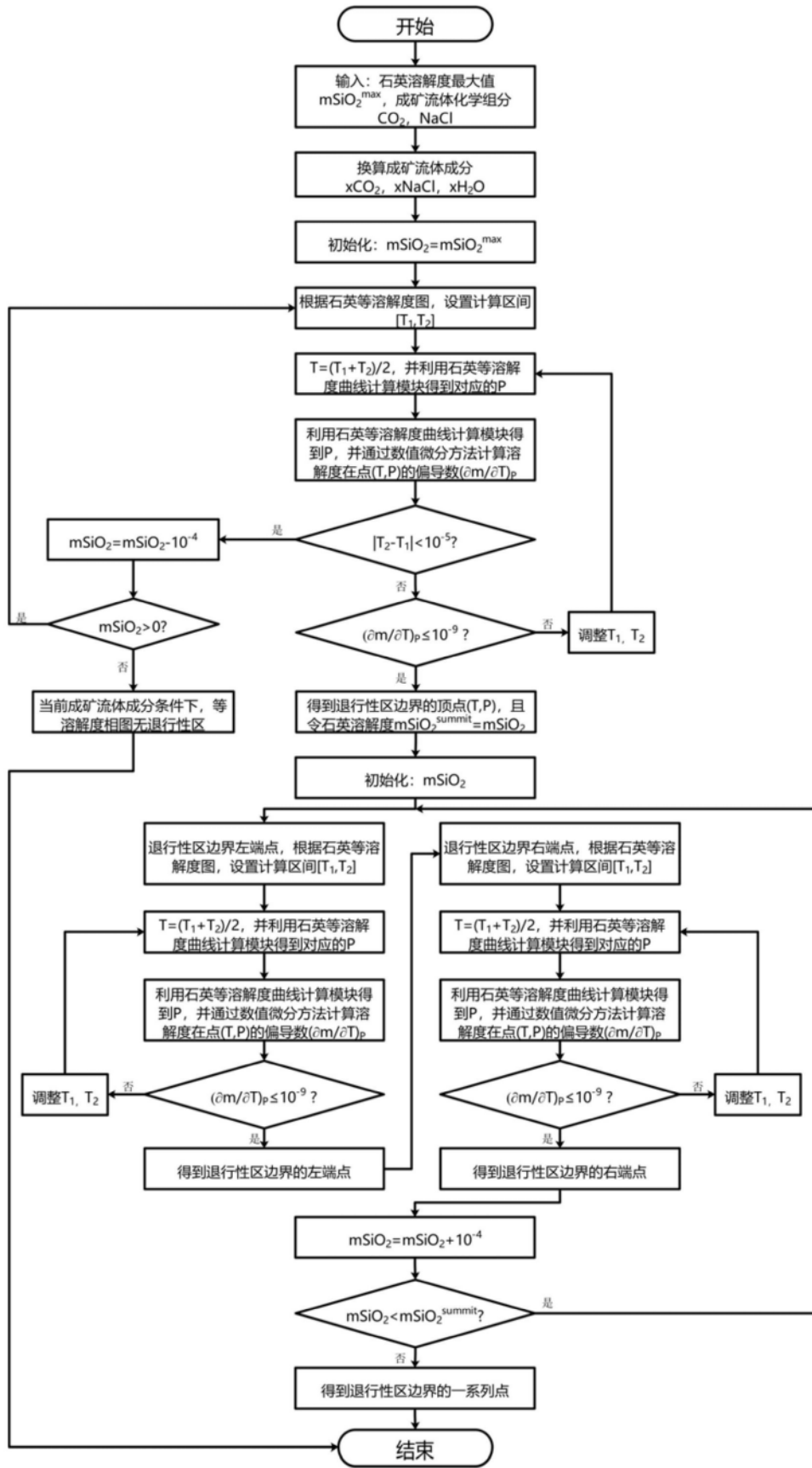


图9

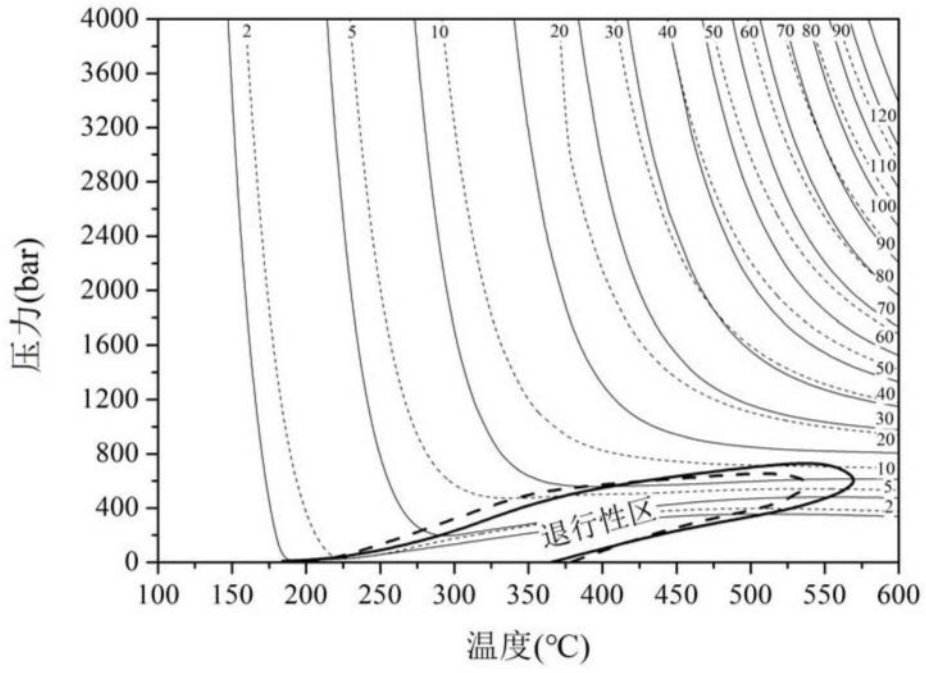


图10

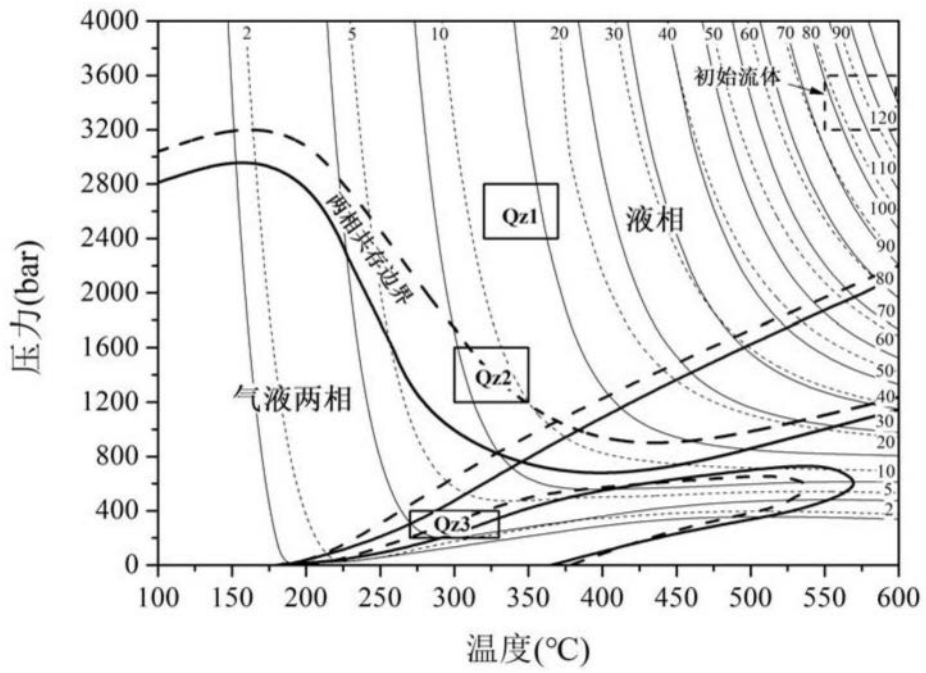


图11