

编号: 0258-7106(2011)06-1058-11

新疆忠宝钨矿床成矿流体特征与演化*

张振杰¹, 吕新彪^{1,2,*}, 陈超¹

(1 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074; 2 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

摘 要 文章对忠宝钨矿床矽卡岩和石英脉中白钨矿、石英、透辉石、萤石、方解石等矿物中的流体包裹体进行了研究, 明确了成矿流体对其成矿的有利温度、盐度、压力及成矿深度, 并佐证了划分的成矿期和成矿阶段, 对每个阶段的成矿特征进行了对比, 从而确定了流体的演化特征。最终判断忠宝钨矿床的最佳成矿温度区间为 250~360℃, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 区间为 12%~15%, 平均均一压力为 $90.73 \times 10^5 \text{ Pa}$, 成矿深度为约 1 500~500 m, 显示出中-高温矽卡岩型钨矿床的特征。

关键词 地球化学 流体包裹体 均一法 流体演化 忠宝钨矿床 新疆

中图分类号: P618.67

文献标志码: A

Characteristics and evolution of ore-forming fluids in Zhongbao tungsten deposit, Xinjiang

ZHANG ZhenJie¹, LÜ XinBiao^{1,2} and CHEN Chao¹

(1 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract

Based on a study of the fluid inclusions of such minerals as scheelite, quartz, diopside, fluorite and calcite in skarn and quartz veins, the authors studied the favorable temperature, salinity, pressure and depth of the ore fluids in the Zhongbao tungsten deposit, and comparatively investigated ore-forming phases and stages and geological characteristics, thus determining the evolution features of the fluid. On such a basis, the authors finally ascertained that the best ore-forming temperature was from 250℃ to 360℃, the best ore-forming salinity was in the range from $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 12% to $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 15%, the homogenization stress was $90.73 \times 10^5 \text{ Pa}$, and the ore-forming depth ranged from 1 500 m to 500 m. All of these data indicate that this ore deposit is a middle-high temperature skarn tungsten deposit.

Key words: geochemistry, fluid inclusions, uniform temperature method, fluid evolution, Zhongbao tungsten deposit, Xinjiang

流体包裹体作为地质作用过程中被保存于矿物内的古流体残留物, 可为地质流体的形成、化学和热力学性质及其运移等方面的研究提供非常有意义的

信息。笔者通过对新疆托克逊县忠宝钨矿床中白钨矿、石英、透辉石等 5 种矿物内流体包裹体的系统研究, 讨论了成矿流体的性质和演化特征, 进而探讨了

* 本文得到“十一五”国家支撑计划项目(305)课题“东天山-北山成矿带整体研究与找矿靶区优选评价”(2007BA25B04)资助

第一作者简介 张振杰, 男, 1988 年生, 在读硕士研究生, 矿床普查与勘探专业。Email: zzzj1117@126.com

* 通讯作者简介 吕新彪, 1962 年生, 男, 教授, 博士生导师, 从事矿床学、矿产普查与勘探研究。Email: lvxb-01@163.com

收稿日期 2010-11-09; 改回日期 2011-07-09。许德焕编辑。

忠宝钨矿床形成的热力学条件和成矿过程,这对于认识该矿床的成因及确定区域找矿方向都有重要意义。

1 矿区地质

忠宝钨矿床产于南天山造山带的乌瓦门-拱拜子断裂的南侧库米什-彩华沟背斜东段倾伏端的侵入体与围岩接触带附近。该侵入体主要受背斜构造及其轴向断裂构造的联合控制。

矿区内主要出露下泥盆统阿尔皮什麦布拉克组下亚组(D_1a^a)变质碎屑岩、钙质片岩夹大理岩(图1)。区内断裂构造以 NE 向走滑断层为主, NW 向

和近 SN 向次之,具多期活动和继承性的特点,控制了岩浆岩的侵入和热液活动。矿区内的忠宝岩体是海西期酸性侵入体,主要为由二云母二长花岗岩、正长花岗岩等组成的复式岩基;此外,还可见基性-中酸性-碱性脉岩。

矿区内,岩浆岩的侵入造成围岩发生强烈的接触热变质作用和接触交代变质作用,致使灰岩大理岩化、碎屑岩角岩化。同时,接触交代作用在岩体与大理岩接触带形成矽卡岩,钨矿体主要赋存于接触带的矽卡岩中。矿区内的围岩蚀变除矽卡岩化外,还可见较强的硅化、云英岩化和碳酸盐化等。矽卡岩化的矿物主要有透辉石、符山石、石榴子石、硅灰石、透闪石等。

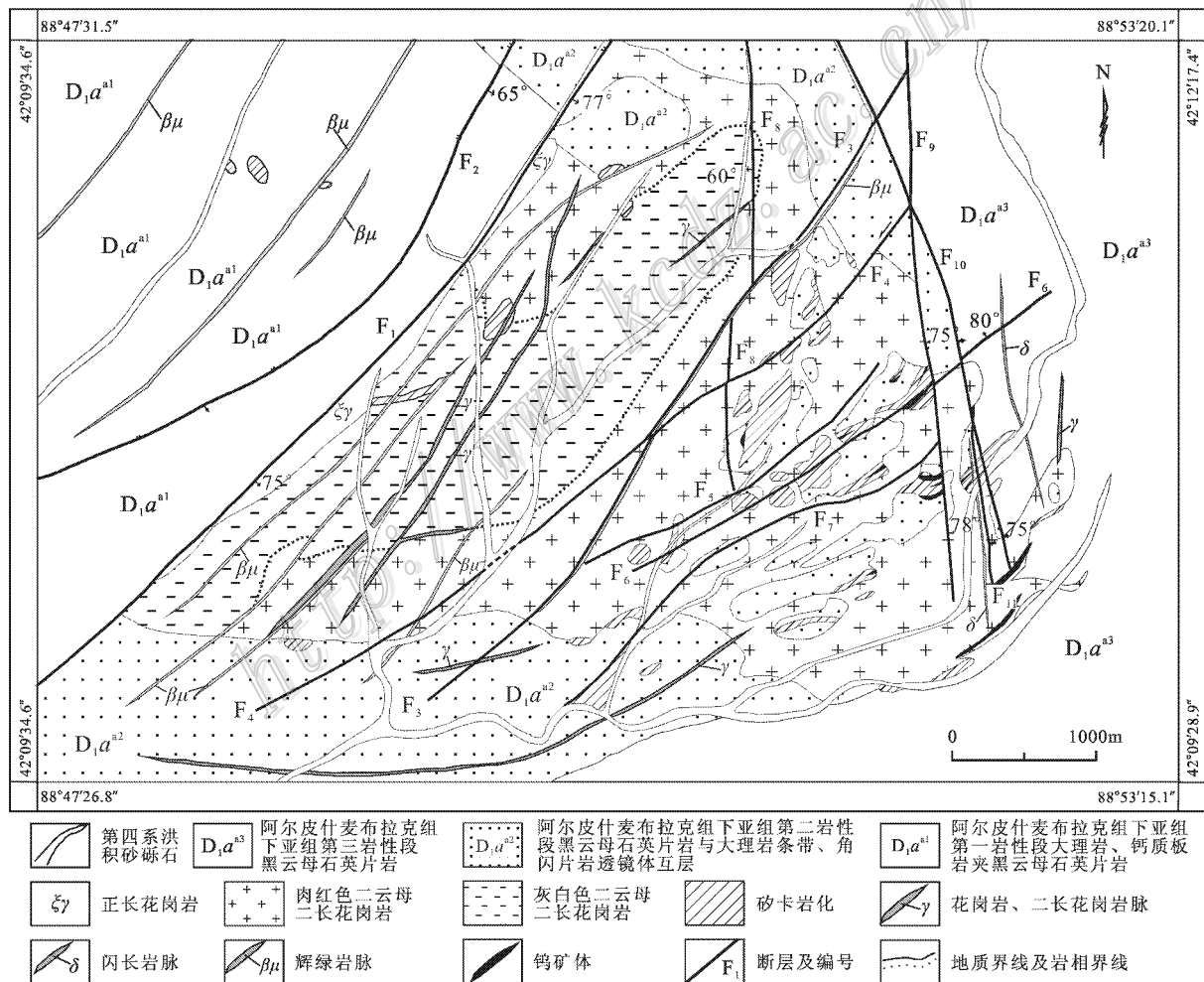


图 1 新疆忠宝钨矿区地质图(据新疆物化探大队 2005^①修改)

Fig. 1 Geological map of the Zhongbao tungsten ore district

① 新疆物化探大队, 2005. 新疆托克逊县忠宝钨矿床普查报告, 内部资料.

矿区内的钨矿体大多呈似层状、扁透镜状和脉状产出,主要为 NE 走向,倾向北西,少数为 NW 走向。矿石类型主要有矽卡岩型白钨矿矿石、石英脉型白钨矿矿石和云英岩型白钨矿矿石。矿石矿物主要为白钨矿,含少量锡石;脉石矿物主要有透辉石、符山石、石榴子石、石英、方解石,次为斜长石、萤石、透闪石、黑云母、白云母、阳起石、硅灰石等。

2 主要矿物内流体包裹体岩相学特征

根据野外地质现象、矿物组合以及室内镜下岩(矿)相的观察研究,可将忠宝钨矿床的热液成矿期划分为 2 个成矿亚期,即矽卡岩亚期(Ⅰ期)和石英-碳酸盐亚期(Ⅱ期)。矽卡岩亚期又可划分为 3 个成矿阶段:早矽卡岩阶段(Ⅰ₁),晚矽卡岩阶段(Ⅰ₂),

氧化物阶段(Ⅰ₃);石英-碳酸盐亚期可分为 2 个阶段:白钨矿-石英阶段(Ⅱ₁)和方解石-萤石阶段(Ⅱ₂)。

Ⅰ 矽卡岩亚期

Ⅰ₁ 早矽卡岩阶段 由岩浆侵入结晶所形成的高温气液与围岩发生强烈交代而形成,所形成的矿物以不含水的钙镁铝硅酸盐矿物为主,如钙铝榴石、符山石、硅灰石及透辉石等矽卡岩矿物组合(图 2a)。该阶段内,与矽卡岩矿物组合同时生成的矿石矿物非常少,仅在局部地段形成小而贫的浸染状钨矿体。

Ⅰ₂ 晚矽卡岩阶段 以阳起石、透闪石及绿帘石等含水矿物组合为特征(图 2b),是 Ⅰ₁ 阶段蚀变矿物退变质或中温条件下热液交代作用的产物,主要集中在矽卡岩发育地段,成分上与矽卡岩有继承性。该阶段是主要的钨成矿阶段,白钨矿矿体常呈厚大

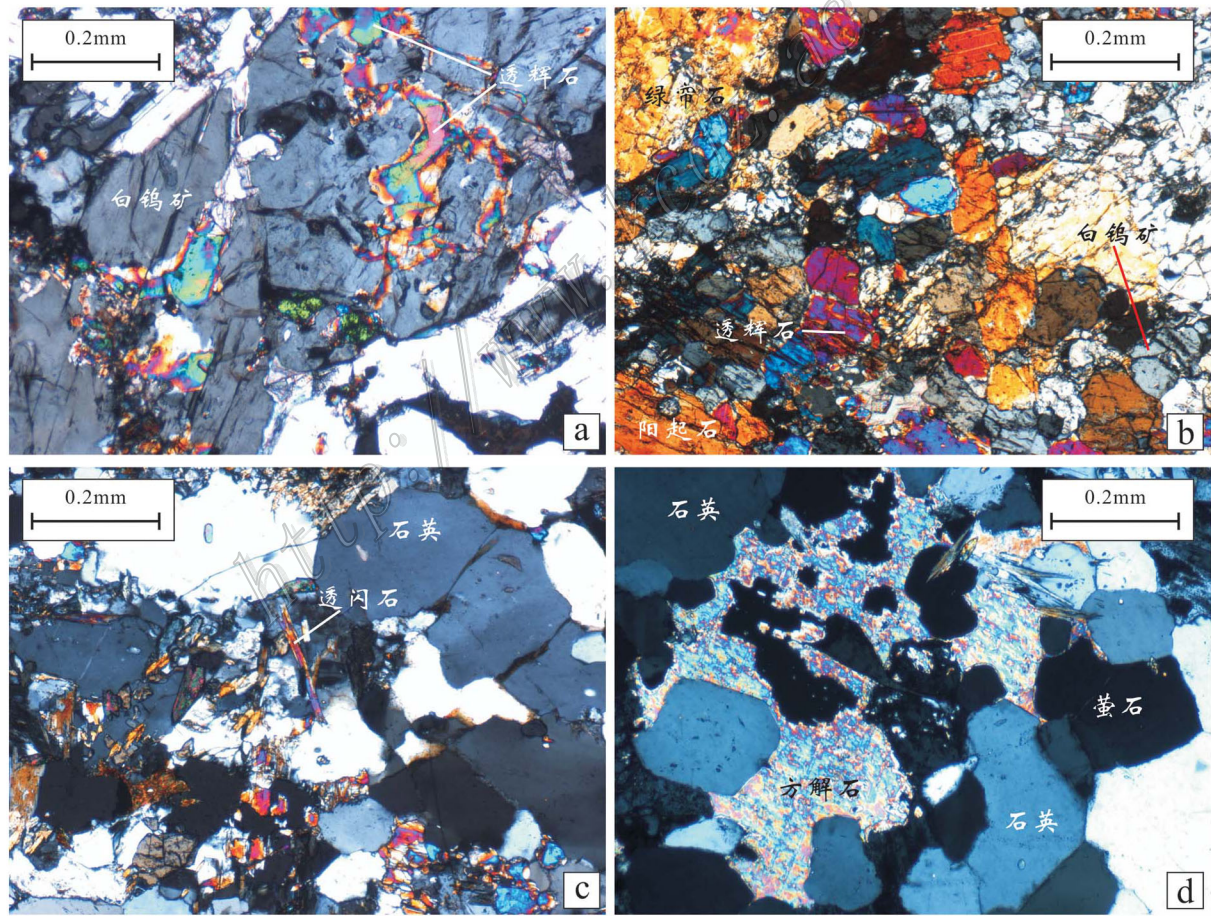


图 2 忠宝钨矿床各成矿阶段的矿物组合照片

a. Ⅰ₁ 早矽卡岩阶段; b. Ⅰ₂ 晚矽卡岩阶段; c. Ⅰ₃ 氧化物阶段; d. Ⅱ 石英-碳酸盐亚期

Fig. 2 Photos of mineral assemblages of various stages in the Zhongbao tungsten deposit

a.Ⅰ₁ Early skarn stage; b. Ⅰ₂ Late skarn stage; c. Ⅰ₃ Oxide phase stage; d. Ⅱ Quartz-carbonate phase

层状或叠层状产出,矿石以稀疏浸染状为主。

I₃ 氧化物阶段 该阶段硅化强烈,普遍发育于岩体内、外接触带,主要形成含钨石英脉,部分形成弥散状云英岩化蚀变岩,主要蚀变矿物为石英、长石、云母类(图 2c)。矿脉主要沿岩体和矽卡岩的裂隙充填。该阶段也是重要的钨矿化阶段。

I₂ 和 I₃ 阶段常产出富矿脉,是主要的成矿阶段。

II 石英-碳酸盐亚期

大量石英产出,同时还生成方解石、萤石、绿泥石等低温矿物(图 2d)。矿化主要与 II₁ 阶段的云英岩化有关,总体矿化较为轻微。

忠宝钨矿床的流体包裹体在多种矿物中都有发育。各种矿物内流体包裹体特征的描述见表 1。

忠宝钨矿床的流体包裹体主要产于白钨矿、石英、透辉石、萤石及方解石等矿物中。根据相态的不同可将流体包裹体分为 4 种:气液两相包裹体,富 CO₂ 三相包裹体,含子矿物多相包裹体,单一液相包裹体。

气液两相包裹体(I 型) 个体差异较大,直径为 0.1~40 μm,主要集中在 4~8 μm。该类型流体包裹体是本次研究的主要对象,又可进一步划分为 2 个亚型。

富液相包裹体(I_A 型) 是气液两相包裹体中的主要类型,主要呈椭圆形、矩形、长条形等规则形状,气相分数多为 15%~35%,加热一般均一为液相。

富气相包裹体(I_B 型) 多为圆形或椭圆形孤立分布。气相分数主要为 60%~70%,加热多均一为气相。

富 CO₂ 三相包裹体(II 型) 石英中可见此类包裹体,但较少,其 CO₂ 含量为 5%~10%。CO₂ 的临界温度较低,约为 15~30℃。

含子矿物多相包裹体(III 型) 极少见,包括气相、液相、一个或多个 NaCl 子晶,气泡占整个包裹体体积的 10%~40%,大小为 6~15 μm。

单一液相包裹体(IV 型) 多数呈线状或环状、枝状,个体较小,一般小于 2 μm;少数呈孤立分布,大小为 6~8 μm。多为假次生包裹体。

3 流体包裹体显微测温分析

3.1 测试方法

流体包裹体均一温度和冰点的测试工作由中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室流体实验室完成。所用测试仪器为配备 Olympus

表 1 忠宝钨矿床内各矿物中流体包裹体的特征

Table 1 Characteristics of fluid inclusions in various kinds of minerals from the Zhongbao tungsten deposit

矿物种类	流体包裹体				
	长径	形态	相态分类	成因分类	主要生成时期
白钨矿	0.5~20 μm,主要集中在 10 μm 以下	长条状、椭圆形、圆形、方形等	主要为气液两相包裹体。其中,富液相包裹体占大多数,气相分数一般小于 10%;富气相包裹体数量较少,气相分数一般为 60%~70%	以原生包裹体为主,呈孤立状或成群分布。次生包裹体多为不规则状	I ₂ 、I ₃
石英	0.4~15 μm,主要集中在 1~5 μm	主要呈负晶形、椭圆形等规则形态,少数为不规则状	可见气液两相包裹体、单一液相包裹体(图 3h)。其中,富液相包裹体占大多数,气相分数为 10%~30%(图 3a);富气相包裹体少见(图 3e)。可见含子矿物包裹体及富 CO ₂ 三相包裹体(图 3f、3g)	主要为原生包裹体,呈孤立状或群状分布。次生包裹体和假次生包裹体少量,多呈线状沿裂隙分布	I ₃ 、II
透辉石	0.3~10 μm,个别达 15 μm,一般为 1~5 μm	主要为矩形、椭圆形和圆形	主要为富液相包裹体,气相分数一般为 10%~30%(图 3c);亦可见富气相包裹体,气相分数为 50%~60%	主要为原生包裹体,次生包裹体呈带状分布	I ₁ 、I ₂
萤石	1~40 μm,主要为 4~12 μm	多为正方形、矩形或椭圆形,少数形状不规则	主要为富液相包裹体,气相分数一般为 10%~35%	主要为原生包裹体(图 3b),呈带状或孤立状分布。次生包裹体少见,出现“卡脖子”	II
方解石	一般较小,0.5~8 μm	形态较规则,为椭圆形、长条形	主要为富液相包裹体,气相分数一般为 10%~30%;可见少量富气相包裹体	主要为原生包裹体(图 3d),次生包裹体少见	II

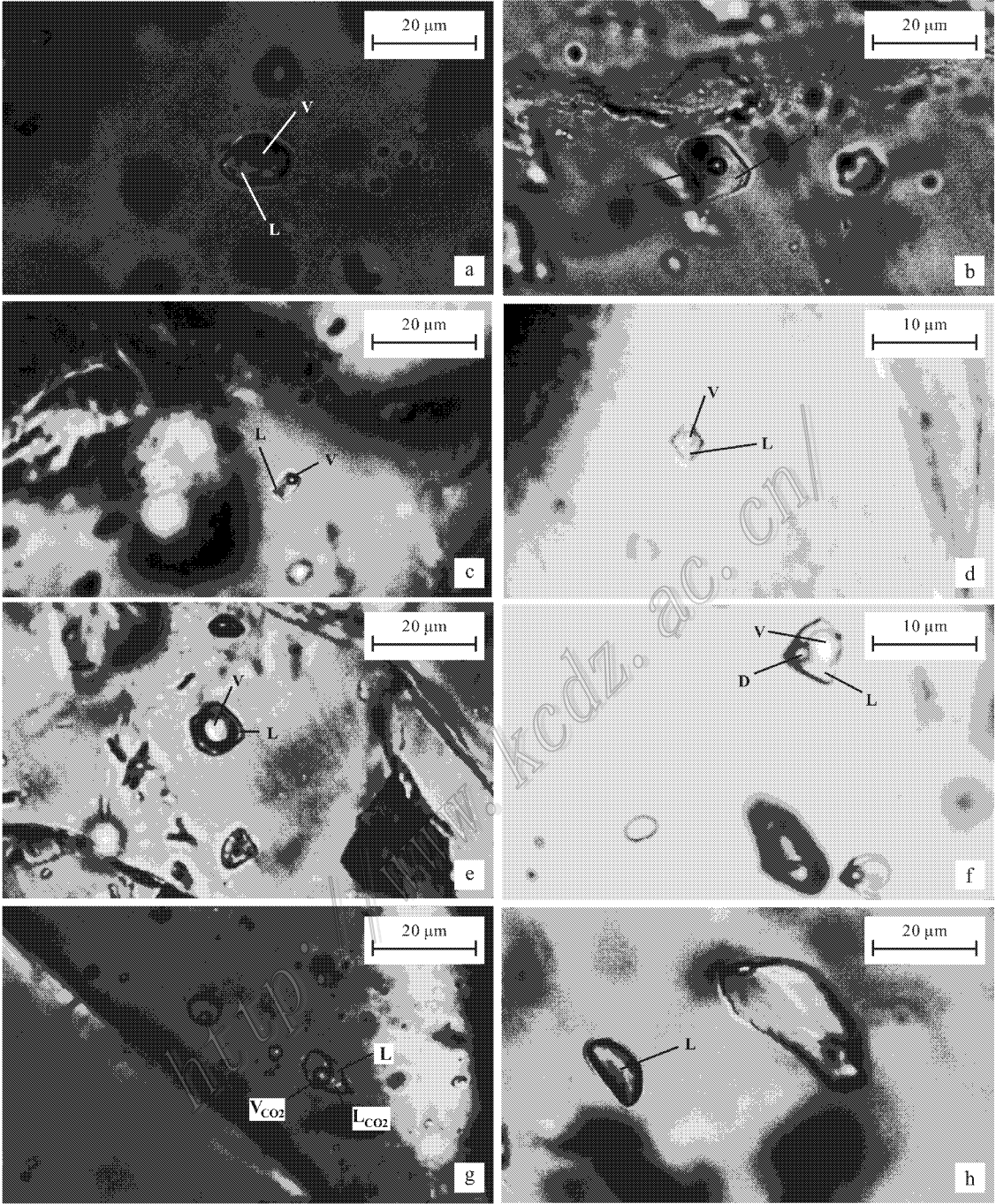


图 3 忠宝钨矿床各矿物中的流体包裹体照片

a. 原生富液两相包裹体(石英); b. 原生富液两相包裹体(萤石); c. 原生富液两相包裹体(透辉石); d. 原生富液两相包裹体(方解石);
e. 原生富气两相包裹体(石英); f. 含子矿物多相包裹体(石英); g. 富 CO₂ 三相包裹体(石英); h. 单一液相包裹体(石英);

L—液相; V—气相; D—子矿物

Fig. 3 Photos of fluid inclusions in various kinds of minerals from the Zhongbao tungsten deposit

a. Two-phase liquid-rich fluid inclusions (quartz); b. Two-phase liquid-rich fluid inclusions (fluorite); c. Two-phase liquid-rich fluid inclusions (diopside); d. Two-phase liquid-rich fluid inclusions (calcite); e. Two-phase gas-rich fluid inclusions (quartz); f. Polyphase fluid inclusions with daughter minerals (quartz); g. Three-phase CO₂-rich fluid inclusions (quartz); h. Single liquid phase fluid inclusions (quartz);

L—Liquid phase; V—Gas phase; D—Daughter mineral

高级研究级显微镜的英国 Linkam GP 600 型冷热台,其测温范围为 $-195^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。测试前,用人造纯 H_2O 及 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 25% 的 $\text{H}_2\text{O}\text{-NaCl}$ 包裹体(国际标样)进行了系统校正,测量误差为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。由于富 CO_2 三相包裹体(Ⅱ型)及含子矿物多相包裹体(Ⅲ型)的数量极少,不具有统计意义,因此,气液两相包裹体(Ⅰ型)是本次研究的主要对象。测试流程为:迅速将温度降到 -80°C ,然后缓慢升温,当包裹体内最后一个冰晶消失时,记为冰点温度(t_{m}),均一温度(t_{h})为所选包裹体在加热升温过程中均一为稳定单一相态时的最低温度。

3.2 测试结果

均一温度

五种矿物中流体包裹体的均一温度测试结果见表 2,其分布直方图如图 4(左)所示。

由表 2 及图 4(左)可见,白钨矿内流体包裹体的均一温度主要集中在 $250\sim 360^{\circ}\text{C}$,平均为 308°C 。石英内流体包裹体均一温度的分布跨度较大,为 $141.5\sim 465^{\circ}\text{C}$,主要集中在 $230\sim 350^{\circ}\text{C}$,平均为

290°C 。晶形较好的透辉石中流体包裹体的均一温度较高,为 $322.1\sim 437.3^{\circ}\text{C}$,平均为 377°C 。萤石和方解石中流体包裹体的均一温度分布也显示出较为集中的特点。

盐度

盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 是依据 Bodnar(1993)的经验公式 $w=0.00+1.78\ t_{\text{m}}-0.0442\ t_{\text{m}}^2+0.000557\ t_{\text{m}}^3$ (w 为 NaCl 的质量百分数, t_{m} 为冰点温度/ $^{\circ}\text{C}$)计算得到的,计算结果如表 2 所示,五种矿物中包裹体内流体的盐度分布直方图如图 4(右)所示。

由图 4(右)可见,白钨矿内包裹体的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 主要集中在 $12\%\sim 15\%$ 范围内,平均为 13.41% 。石英中包裹体 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 的分布近似单峰分布,主要集中在 $6\%\sim 18\%$ 区间内,平均为 11.16% 。透辉石中包裹体的 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 主要分布在 $9\%\sim 22\%$ 之间,平均为 16.04% ,相对较高。萤石中包裹体的 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 平均为 12.17% 。方解石中包裹的 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 在五种矿物中最低,平均为 7.86% 。

表 2 忠宝钨矿床各矿物中流体包裹体显微测温结果

Table 2 Homogenization temperatures of fluid inclusions in various kinds of minerals from the Zhongbao tungsten deposit						
矿物	样品编号	测定点数	包裹体类型	$t_{\text{h}}/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{m}}/^{\circ}\text{C}$	$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$
白钨矿	SK11-6	14	I _A	285.2~348.1	-11.8~-7.7	11.34~15.27
	SK1-7	4	I _A	232.2~390.1	-10.8~-6.3	9.60~16.53
	SK1-1	9	I _A , I _B	255.9~360.1	-15.4~-4.7	7.45~18.96
	SK11-3	2	I _A	265.4~274.3	-10.7~-9.6	13.51~14.67
	总和/平均	29		308	-9.61	13.41
石英	QV1-1	11	I _A , I _B	240.6~362.9	-10.2~-2.7	4.49~14.15
	QV1-2	12	I _A , I _B	141.5~465	-9.6~-3.2	5.26~13.51
	QV1-3	4	I _A	189.4~310.7	-7.3~-4.9	7.73~10.86
	QV2-1	9	I _A	180.1~321.8	-14.9~-5.8	8.95~17.69
	QV11-1	11	I _A , I _B	223.6~286.5	-18.0~-11.0	14.97~20.97
	QV11-2	14	I _A	153.4~393.9	-7.5~-0.7	1.40~11.10
	QV11-3	1	I _A	346.5	-14.2	17.96
	QV11-4	10	I _A , I _B	192.1~340.5	-10.6~-5.8	8.95~14.56
	QV11-5	11	I _A	219.7~333.2	-8.3~-4.7	7.45~12.04
	QV11-6	10	I _A , I _B	248.9~357.2	-10.8~-4.4	7.02~14.77
	总和/平均	88		290	-7.87	11.16
透辉石	SK1-4	10	I _A , I _B	337.8~437.3	-17.5~-7.8	11.46~20.60
	SK1-7	5	I _A	352.6~405.3	-18.7~-8.3	12.05~21.47
	SK11-2	5	I _A , I _B	322.1~409.6	-18.5~-6.1	9.34~21.33
	SK11-5	10	I _A	339.3~415.2	-15.6~-8.4	12.16~19.13
	总和/平均	30		377	-12.37	16.04
萤石	SK1-5	13	I _A	209.3~255.8	-10.2~-5.2	8.14~14.15
	SK1-7	19	I _A , I _B	200.1~289.5	-9.6~-6.7	10.11~13.51
	总和/平均	32		232	-8.43	12.17
方解石	SK11-5	7	I _A	148.1~162.7	-6.9~-2.6	4.34~10.36
	总和/平均	7		157	-5.04	7.86

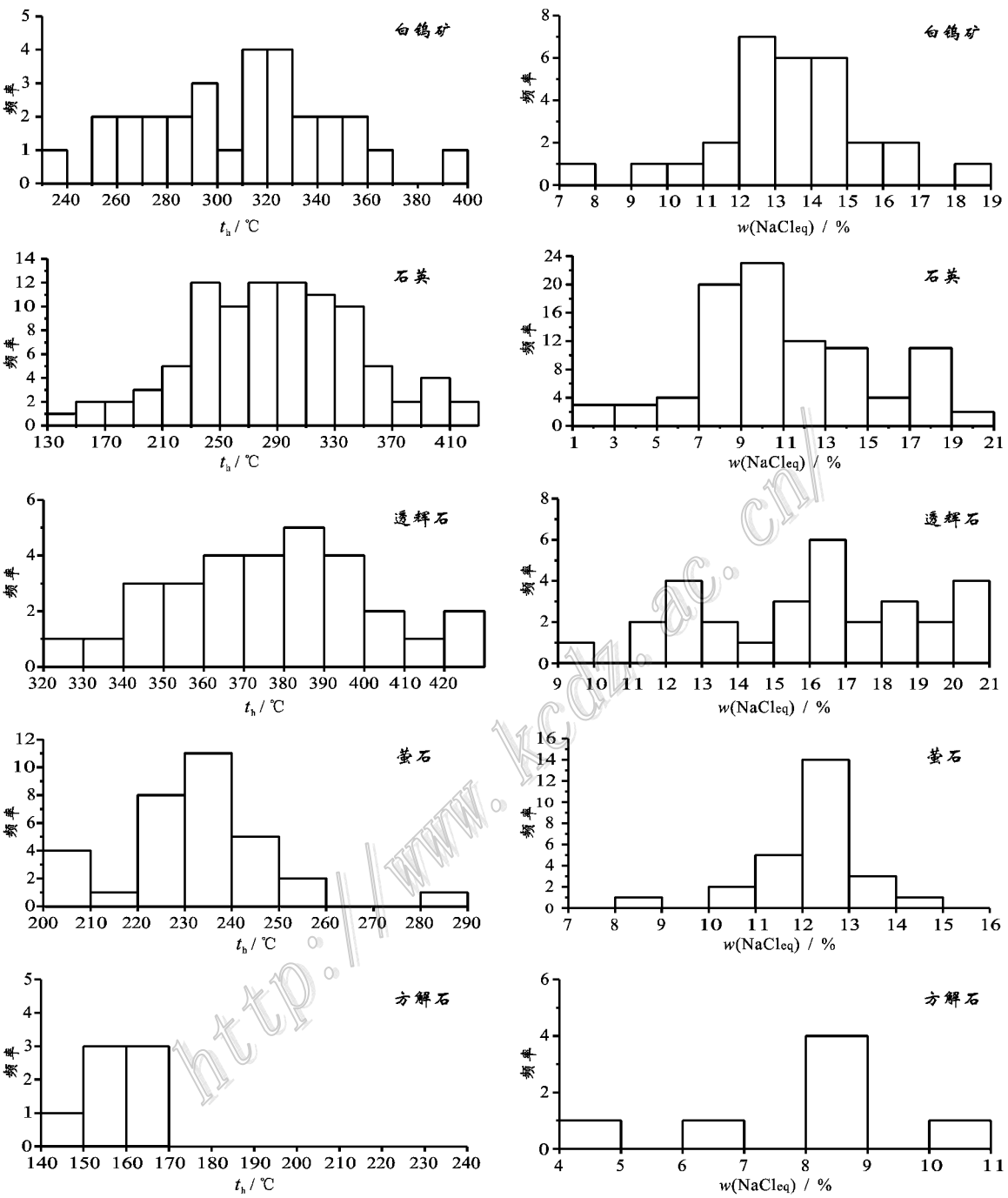


图 4 忠宝钨矿床各矿物中流体包裹体的均一温度(左)及盐度(右)分布直方图

Fig. 4 Histogram showing homogenization temperatures(left)and salinity(right)distribution of fluid inclusions in various kinds of minerals from the Zhongbao tungsten deposit

4 流体及其演化特征

4.1 流体特征

对忠宝钨矿床矿物中的流体包裹体进行了测

试,得到其平均均一温度为 292℃。所有被测包裹体平均均一温度的分布如图 5 所示。由图 5 可见,五种矿物均一温度的总体分布为一双峰形式,但依旧能对应上述划分的成矿期次和成矿阶段。

含子矿物多相包裹体中子矿物的晶形较好,边

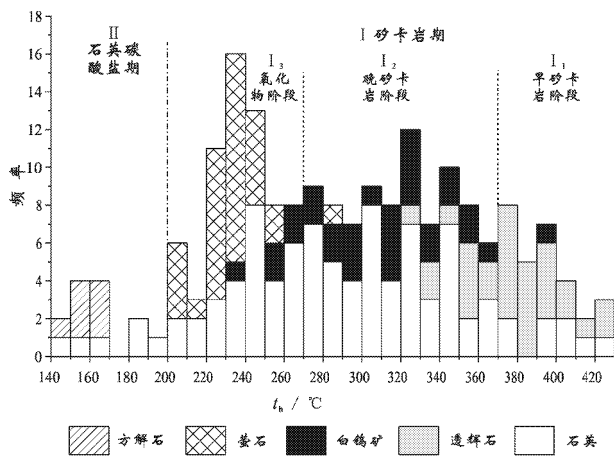


图 5 忠宝钨矿床中石英、透辉石、白钨矿、方解石和萤石内流体包裹体的均一温度直方图

Fig. 5 Histogram of homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz, diopside, scheelite, fluorite and calcite from the Zhongbao tungsten deposit

界线清晰,经激光拉曼光谱验证为 NaCl,为了便于研究,将本文研究的包裹体简单地认为是 NaCl-H₂O 二元体系。

根据刘斌等(1999)应用的 NaCl-H₂O 二元体系包裹体流体均一压力(p_h)的经验公式:

$$p_h = p_0 t_h / t_0$$

式中 $p_0 = 219 + 2620 w$, $t_0 = 374 + 920 w$, 计算得到忠宝钨矿床的包裹体平均均一压力为 76.60×10^5 Pa。由图 6 可见,透辉石内包裹体的均一压力最

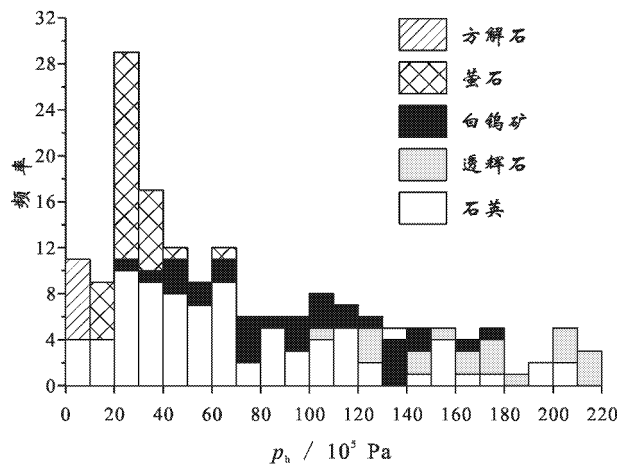


图 6 忠宝钨矿床诸矿物内流体包裹体均一压力分布直方图

Fig. 6 Histogram of homogenization stress of fluid inclusions in various kinds of minerals from the Zhongbao tungsten deposit

大,应为最早产出,然后是白钨矿,萤石稍后,方解石最末,石英分布较为广泛,这与野外观察及室内观测获得的矿物产出顺序是一致的。

忠宝钨矿床矿物内包裹体的冷冻温度较低,平均为 -8.85°C , 计算得到包裹体的平均盐度 $w(\text{Na-Cl}_{\text{eq}})$ 为 11.93%。图 7 显示,方解石内包裹体的盐度较低,其次是萤石、白钨矿,然后是透辉石,石英内包裹体的盐度范围最宽。

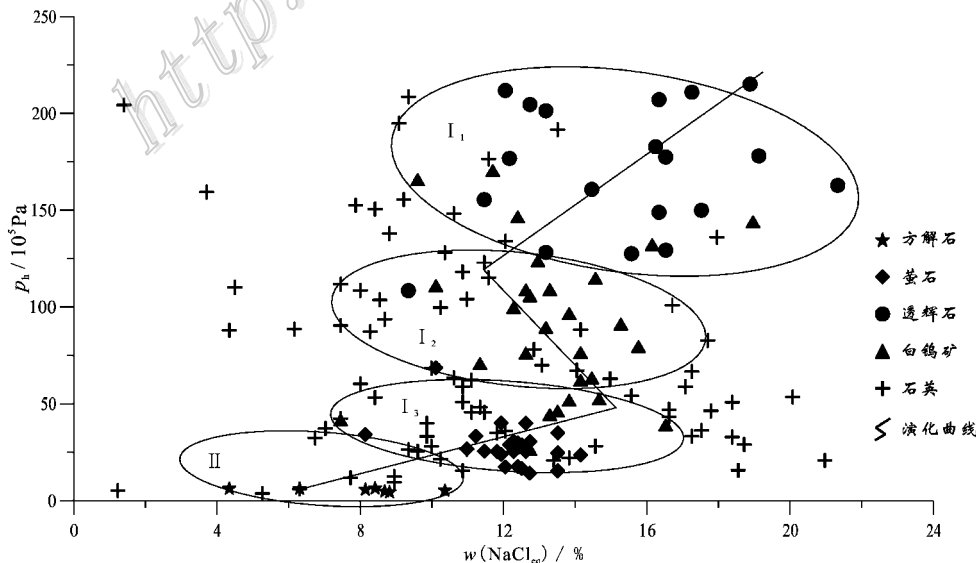


图 7 忠宝钨矿床流体包裹体均一压力-盐度分布图

Fig. 7 Distribution of homogenization stress-salinity of fluid inclusions in the Zhongbao tungsten deposit

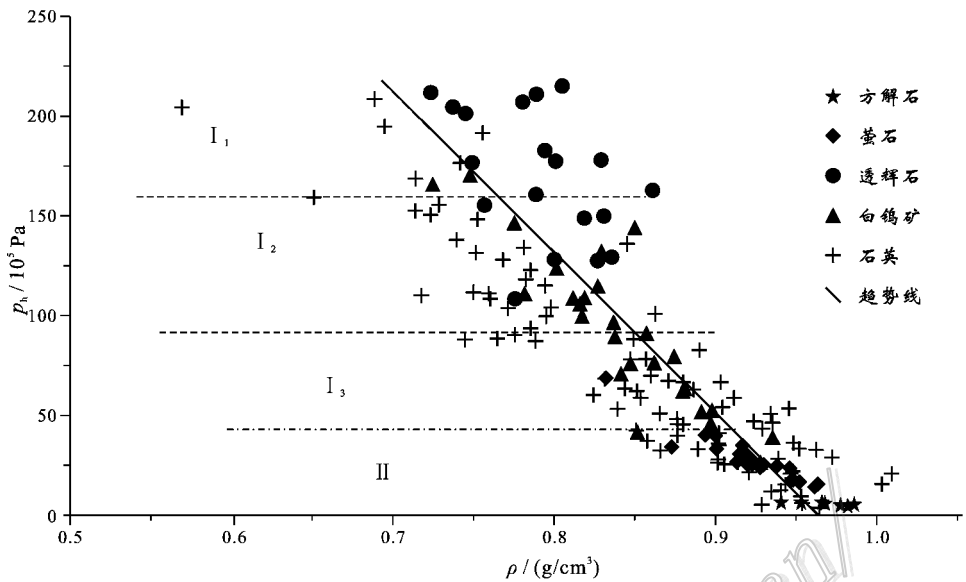


图 8 忠宝钨矿床流体包裹体均一压力-密度分布图

Fig. 8 Distribution of homogenization temperatures-density of fluid inclusions in the Zhongbao tungsten deposit

应用刘斌等(1999)及刘超英等(2007)的 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 二元体系包裹体流体密度的经验公式： $\rho = a + bt_h + ct_h^2$ (a, b, c 均为无量纲参数)，计算得到忠宝钨矿床矿物内包裹体流体的平均密度(ρ)为 0.858 g/cm^3 。图 8 显示出，从 I 期到 II 期，流体的密度逐渐增大。

4.2 流体演化

根据以上研究，笔者基本上确定了各成矿阶段的流体具有如下特征：

I 矽卡岩亚期，流体温度跨度较大，为中温到高温，平均均一温度为 300°C ，其中：

I₁ 早矽卡岩阶段，流体温度较高，均一温度平均达 397°C ，盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 14.60%；

I₂ 晚矽卡岩阶段，矿物内包裹体的平均均一温度为 333°C ，盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 11.68%；

I₃ 氧化物阶段，是 I 矽卡岩亚期与 II 石英-碳酸盐亚期的过渡阶段，在该阶段内，温度继续降低，测得包裹体的平均均一温度为 249°C ，盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 12.81%。

II 石英-碳酸盐亚期，流体温度大大降低，矿物内包裹体的平均均一温度为 160°C ，盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 7.04%。

包裹体的均一温度和盐度特征基本上指示出，从成矿早期到晚期，流体具有温度从高到低，盐度从高到低、再到高、再降低的曲折下降的演化特征(如

图 7、图 9 所示)。这与忠宝钨矿床的产出特征是一致的：由 I₁ 早矽卡岩阶段到 I₂ 晚矽卡岩阶段， SiO_2 与 $\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}$ 等生成矽卡岩矿物，成矿流体的盐度逐渐减小；从 I₂ 晚矽卡岩阶段到 I₃ 氧化物阶段，由于热液作用，早期形成的矽卡岩矿物发生蚀变作用，生成了含水矿物(阳起石、透闪石及绿帘石等)，蚀变作用产生的淋滤，增加了流体的矿质成分，盐度加大，成矿作用随之增强。在 I₃ 氧化物阶段，随着流体进入岩体和矽卡岩的裂隙，白钨矿大量产出，矿液的浓度降低，成矿流体的盐度随之减小；到了 II 石英-碳酸盐亚期， SiO_2 不再与 $\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}$ 等生成矽卡岩矿物，而是以石英形式产出，流体的盐度降到最低。忠宝钨矿床成矿流体的盐度演化与柿竹园成矿流体的盐度演化相似，也经历了主成矿期前的盐度增大和主成矿期后的盐度降低(据王昌烈等，1987)。

5 讨论与结论

5.1 讨论

高盐度的流体包裹体基本上代表了特定成矿阶段内包裹体的特征，在这个短暂时期内，包裹体的盐度普遍较高，个别还含有石盐子矿物，如 QV11-1 测温片中流体包裹体的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 14.97% ~ 20.97%(表 2)。

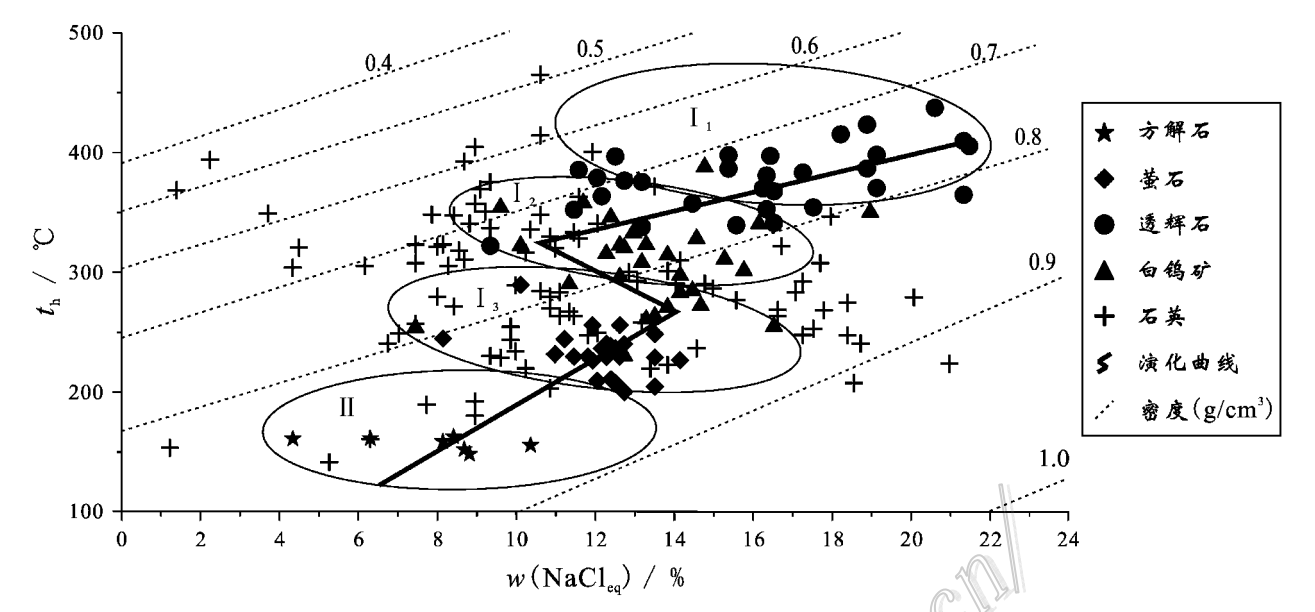


图 9 忠宝钨矿床各阶段流体的演化

Fig. 9 Fluid evolution at various stages in the Zhongbao tungsten deposit

从Ⅰ矽卡岩亚期到Ⅱ石英-碳酸盐亚期,成矿流体的盐度逐渐减小,除了有挥发分增多、白钨矿产出的原因外,还有可能是后期加入了如天水或地表水等低盐度的流体(钱鹏等,2003),从而使得成矿流体的盐度降低。

经研究得知,忠宝矿区流体包裹体的平均均一温度为292℃,平均盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为11.93%,基本上能代表白钨矿内包裹体的平均均一温度(308℃)和平均盐度[$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})=13.41\%$],但白钨矿持续产出的温度区间较大(390.1~232.2℃),盐度区间也较大(7.45%~18.96%)。白钨矿内包裹体的均一温度和盐度都不均匀,表明了成矿流体的缓慢演化,而且,成矿流体的浓度和白钨矿内包裹体的盐度较大,这就决定了白钨矿的形成持续时间较长,温度区间跨度较大。

由于忠宝矿床形成时在地表未保存有直接证据,因而,不清楚矿床形成时的精确深度。但该钨矿床属热液型矿床,其成矿深度应在5 000 m以内,因此,笔者采用静水压力状态下的成矿深度估算 $H_0 = \rho_h / (\rho_w g)$ (赵财胜等,2005),得到白钨矿的形成深度为30~2 200 m,集中在500~1 500 m范围内,该矿床形成的平均深度为781 m。

测试获得忠宝矿区2个白钨矿样品的氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为7.4‰和8.1‰, ^{18}O 明显富集,根据不同成因矿床内白钨矿氧同位素组成的统计,矽

卡岩型钨矿床的 $\delta^{18}\text{O}$ 组成最高,平均为5.3‰(波尔谢夫斯基等,1979),忠宝钨矿床内白钨矿的氧同位素组成也显示出其矽卡岩型成因的特征。

5.2 结 论

忠宝钨矿床矿物中流体包裹体的研究表明:其成矿流体在整个成矿过程中的演化基本上是,由高温到低温、由高盐度到低盐度,其最佳成矿作用温度区间为250~360℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 区间为12%~15%,平均均一压力为 $90.73 \times 10^5 \text{ Pa}$,成矿深度为约1 500~500 m;成矿流体主要由中-高温及中-高盐度的流体组成,成矿的压力较小;矿体主要是在岩体与围岩的接触带附近产出,产出深度较浅,属于中-高温矽卡岩型钨矿床。

References

Bodnar R J. 1993. Revised equation and stable for determining the freezing point depression of $\text{H}_2\text{O}_2\text{-NaCl}$ solutions[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 683-684.

Liu B and Shen K. 1999. Fluid inclusion thermodynamics[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 290p (in Chinese).

Liu C Y, Zhou Y Q, Du Y M and Chen Y. 2007. Synthetics and trapping mechanism of carbonate fluid inclusion ($\text{NaCl-H}_2\text{O}$) [J]. *Journal of China University of Petroleum*, 31(2): 25-35 (in Chinese with English abstract).

Qian P, Lu J J and Yao C L. 2003. Origin and evolution of ore-forming

- fluids of the Dexing porphyry copper deposit, Eastern China: Fluid inclusion study[J]. Journal of Nanjing University (Natural Science Edition), 39(3): 319-326 (in Chinese with English abstract).
- Wang C L, Luo Y H, Xu Y Z, Sun Y H, Xie C G, Zhang C M, Xu W G and Ren X M. 1987. Geology of Shizhuyuan tungsten polymetallic deposit[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 116-126 (in Chinese).
- Zhao C S, Sun F Y, Mao J W, Ding Q F, Zhao J W and Li S J. 2005. Fluid inclusion characteristics of Dachang gold deposit, Qinghai Province and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 24(3): 305-316 (in Chinese with English abstract).
- Борщевский Ю А and Tan Y J. 1979. Oxygen isotope composition of scheelite from tungsten deposit of different genetic types[J]. Geology-Geochemistry, (12): 12-17 (in Chinese).
- 氧同位素研究[J]. 地质地球化学 (12): 12-17.
- 刘斌, 沈昆. 1999. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社. 290 页.
- 刘超英, 周瑶琪, 杜玉民, 陈勇. 2007. 碳酸盐岩流体包裹体 (NaCl-H₂O) 的合成及捕获机理分析[J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 31(2): 25-35.
- 钱鹏, 陆建军, 姚春亮. 2003. 德兴斑岩铜矿成矿流体演化与来源的流体包裹体研究[J]. 南京大学学报 (自然科学版), 39(3): 319-326.
- 王昌烈, 罗仁徽, 胥友志, 孙一虹, 谢慈国, 张重铭, 徐文光, 任湘眉. 1987. 柿竹园钨多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社. 116-126.
- 赵财胜, 孙丰月, 毛景文, 丁清峰, 赵俊伟, 李世金. 2005. 青海大场金矿床流体包裹体特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 24(3): 305-316.

附中文参考文献

波尔谢夫斯基 Ю А, 谭运金. 1979. 不同成因类型钨矿床中白钨矿的