卷(Volume)32,期(Number)3,总(SUM)118
页(Pages) 332~337, 2008,8(August, 2008)

大地构造与成矿学
Geotectonica et Metallogenia

# 川西伟晶岩型矿床中流体包裹体的 SRXRF分析

李建康[1], 王登红[1], 刘善宝[1], 应立娟[1], 王成辉[1], 陈栋梁[2]
(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049)

摘 要: 同步辐射 X射线荧光(SRXRF)微束分析是一种无损而又具有较低检测限的技术,但在地学上的应用较少。本文尝试用 SRXRF技术对川西伟晶岩型矿床——甲基卡稀有金属矿床和丹巴白云母矿床进行对比性研究。同一矿床的同类样品的 SRXRF图谱形态相近,说明测试状态稳定和测试结果可信。在甲基卡矿区,相对于石英脉,锂辉石矿脉石英中的包裹体检测出较多的 Fe、Mn、Co元素,并出现 Ti、Rb、Ga、Zn等元素。在丹巴矿区,相对于李家工地白云母矿脉,春牛场伟晶岩检测出 S及 Zn、Fe的含量也较高。相对于丹巴矿床,甲基卡矿床中的包裹体相对富集金属元素,特别是 Ga、Rb等。这些测试结果显示出甲基卡稀有金属矿床和丹巴白云母矿床流体组成的差异,以及矿化和非矿化伟晶岩流体的差异;说明了 SRXRF是一种有效的流体包裹体测试手段,但还需要降低 SRXRF探针聚焦光束光斑的大小,提高测试数据的定量化精度。

关键词: SRXRF;伟晶岩;甲基卡;丹巴
中图分类号: P611.1+2; P599 文献标识码: A 文章编号: 1001-1552(2008)03-0332-06

单个包裹体非破坏性微束分析是国际地学领域的重大前沿课题。同步辐射 X射线荧光(SRXRF)微束分析的光源具有高强度、能谱连续且单色可调、准确性好、偏振度强等优点,检测限可达到 $10^{-6}$甚至 $10^{-9}$量级,是一种无损而又具有较低检测限的技术,是对单个流体包裹体进行非破坏性原位定量分析的理想手段。近 20年来,国际上单个流体包裹体的 SRXRF研究取得较快的进展。1988年, Frantz等人用 SRXRF微探针对单个流体包裹体的微量元素分析开展了前期性的研究工作,此后, 美、法、德等国的科学家相继开展这一领域的理论和实验方法的探索研究(Vanco *et al*., 1993; Moore and Gunderson, 1995; Philippot *et al*., 1998; Buhn and Rankin, 1999)。在中国, SRXRF在地球科学领域的应用较少;在流体方面,主要在油气包裹体上有所应用(如旷理雄等, 2007)。

目前,国内 SRXRF的探针聚焦光束光斑大小为 20μm。川西伟晶岩型矿床中发育许多大于 20μm的包裹体(图 1),为 SRXRF测试提供了便利。因而,本文利用 SRXRF技术对川西伟晶岩型矿床的流体包裹体成分进行了探索性研究。由于国内金属矿床的 SRXRF测试尚处于起步阶段,本次研究系对比性定性研究,以排除系统误差、环氧树脂等污染物的影响。

## 1 川西伟晶岩型矿床的地质特征

川西地区分布着许多伟晶岩型矿床,其中甲基卡稀有金属矿床是中国规模最大的固体锂矿床, $Li_2O$储量超过 100万吨(唐国凡和吴盛先, 1984)①;

收稿日期: 2008-01-28;改回日期: 2008-03-05
基金项目: 国家自然科学基金项目(40702014, 40543033)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(K2007-1-6)、中国地质调查局国土资源大调查项目(编号 1212010733803, 1212010634002)资助.
第一作者简介: 李建康(1976-),博士,助理研究员,主要从事矿床学研究. Email: lj9968@126.com
① 唐国凡, 吴盛先. 1984. 四川省康定县甲基卡花岗伟晶岩锂矿床地质研究报告.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

丹巴白云母矿床是中国第二大白云母产地, 白云母储量占中国的 10% (四川地质局, 1991)。

甲基卡矿区主要出露三叠系泥岩、砂岩。矿区的二云母花岗岩体与成矿作用关系密切, 位于矿区中部偏南, 侵位于甲基卡背斜轴部南段近倾末端。自岩体向外依次出现透辉石带、十字石带、红柱石十字石带、红柱石带和黑云母带, 构成较完整的变质带序列。在水平及垂直方向上, 伟晶岩脉环绕花岗岩体大致呈离心式带状成群成组分布。

丹巴白云母矿区的构造表现为一个复式背斜, 在空间上呈现为一系列穹隆体。前震旦系混合片麻岩套构成春牛场等次级背斜的核部, 这些背斜的两翼主要为志留系、泥盆系、三叠系。自春牛场等穹隆体向外依次为混合岩化带、部分混合岩化带、矽线石带、蓝晶石带、十字石带、铁铝榴石带和黑云母带。白云母伟晶岩脉围绕春牛场等混合片麻岩穹隆体分布, 自混合岩化带向矽线石带, 伟晶岩脉的矿物分带型逐渐明显, 由长英质伟晶岩逐渐过渡到含大量白云母矿化的伟晶岩脉。

## 2　包裹体特征

测试样品采自甲基卡矿床中的 No. 134锂辉石矿脉和石英脉, 以及丹巴矿床中的春牛场伟晶岩脉和李家工地伟晶岩脉。

甲基卡 No. 134脉是矿区主要的锂矿脉, 其氧化锂储量约 50万吨, 主要矿物为石英、锂辉石、钾长石、云母, 锂辉石呈柱状, 灰白色, 一组解理完全, 颗粒粗大, 最大可达 15cm, 与白云母、石英共生; 石英或呈块状与长石共生, 或充填于锂辉石晶体间的空隙中, 或锂辉石晶体穿插于石英矿物集合体中。矿区中的石英脉纯净, 透明度好, 发育许多小水晶。

在丹巴矿床, 春牛场伟晶岩脉位于混合岩化带, 产出于混合岩中, 脉宽约 1~ 1. 5m, 由石英和长石组成, 无矿物分带, 致密结构; 李家工地伟晶岩脉位于夕线石化带, 沿矽线二云母石英片岩的层理延伸, 厚约 2. 0m, 中部为石英核, 两侧为含大片白云母的斜长石带。

显微镜观察和测温研究表明 (李建康等, 2007), 在甲基卡矿床, No. 134脉中的与锂辉石共生的石英中产出大量的含 $CO_2$ 包裹体, 包裹体形态规则, 为原生包裹体, 可代表伟晶岩成岩成矿流体的组成; 在石英脉中, 也发育大量的原生含 $CO_2$ 包裹体 (图 1)。在丹巴矿床, 春牛场伟晶岩脉捕获了大量含 $CO_2$ 包裹体, 李家工地伟晶岩脉捕获的含 $CO_2$ 包裹体相对较少, 但两岩脉中的含 $CO_2$ 包裹体的形态均比较规则, 都属于原生包裹体, 代表成岩成矿流体的组成 (图 1)。

## 3　实验装置及过程

SRXRF微束分析是在北京正负电子对撞机国家实验室完成的。实验所用的 X射线光源来自北京同步辐射装置 (BSRF) 带有 K-B镜聚焦的 4W 1B束线, 对撞机储存环的电子能量为 2. 2GeV, 束流强度为 60~ 120mA, 能量范围为 3. 5~ 35keV, 光斑大小为 20×20μm, 其空间分辨率达 20μm量级。X光正入射到样品表面处, 样品与探测器间的夹角为 30°, 探测器到样品的工作距离为 45mm。显微观测系统中的显微镜为美国数字仪器公司产品, 放大倍数 450X。Si(Li)探测器铍窗厚度 7. 5μm, 能量分辨率为 133eV (在 5. 9keV处)。

同步辐射 X射线荧光分析所需要的包裹体薄片可按照常规的包裹体薄片制作方法, 磨制成厚度

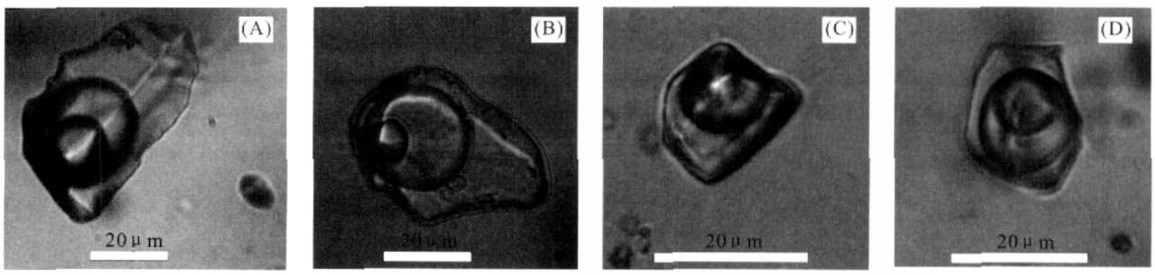


图 1　川西伟晶岩矿床中的包裹体照片

A- 甲基卡矿床 No. 134锂辉石矿脉石英中的 $H_2O$-$CO_2$ 包裹体; B- 甲基卡矿床石英脉石英中的 $H_2O$-$CO_2$ 包裹体; C- 丹巴矿床春牛场伟晶岩脉石英中的 $H_2O$-$CO_2$ 包裹体; D- 丹巴矿床李家工地伟晶岩脉石英中的 $H_2O$-$CO_2$ 包裹体

**Fig. 1　Microphotos of fluid inclusions from pegmatite deposits in western Sichuan Province**

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

为 100~ 300μm、两面剖光的薄片即可。首先在显微镜下观察包裹体,选择原生、大小超过 20μm 的包裹体,用墨水笔圈定;待墨水圈被吸收后,将薄片卸载,用丙酮或乙醇将其上的黏结剂清洗干净;在卸载薄片时尽量保持薄片的完整性,以便将其直接固定在标准的幻灯片支架上,如果薄片比较破损,可用无干扰元素的 Mylar膜将其固定在幻灯片支架上。

实验室的工作平台上配备了长焦距显微装置,分析前严格按照下列步骤将其调整好:将专用纸片平展于支架上,让同步辐射光通过选定的狭缝,在纸上留下缝斑的痕迹,调整显微镜,使目镜上正中的数字标志与缝斑痕的中心重合,随之将显微装置固定下来,并在此后的过程中始终不发生任何变动;这时将样品安置在样品支架上,调整样品移动台直至所选包裹体的图像清晰地落在显微镜的标志上,保证使入射同步辐射光斑准确打到所选包裹体的内部,至此就可以对包裹体进行采谱测试了。

## 4 分析结果

本文共测试的 60个包裹体均发育在石英中,具有相同实验环境,测试结果具有可对比性。代表性图谱列于图 2、3。

由图 2、3可以看出,在甲基卡和丹巴矿区,锂辉

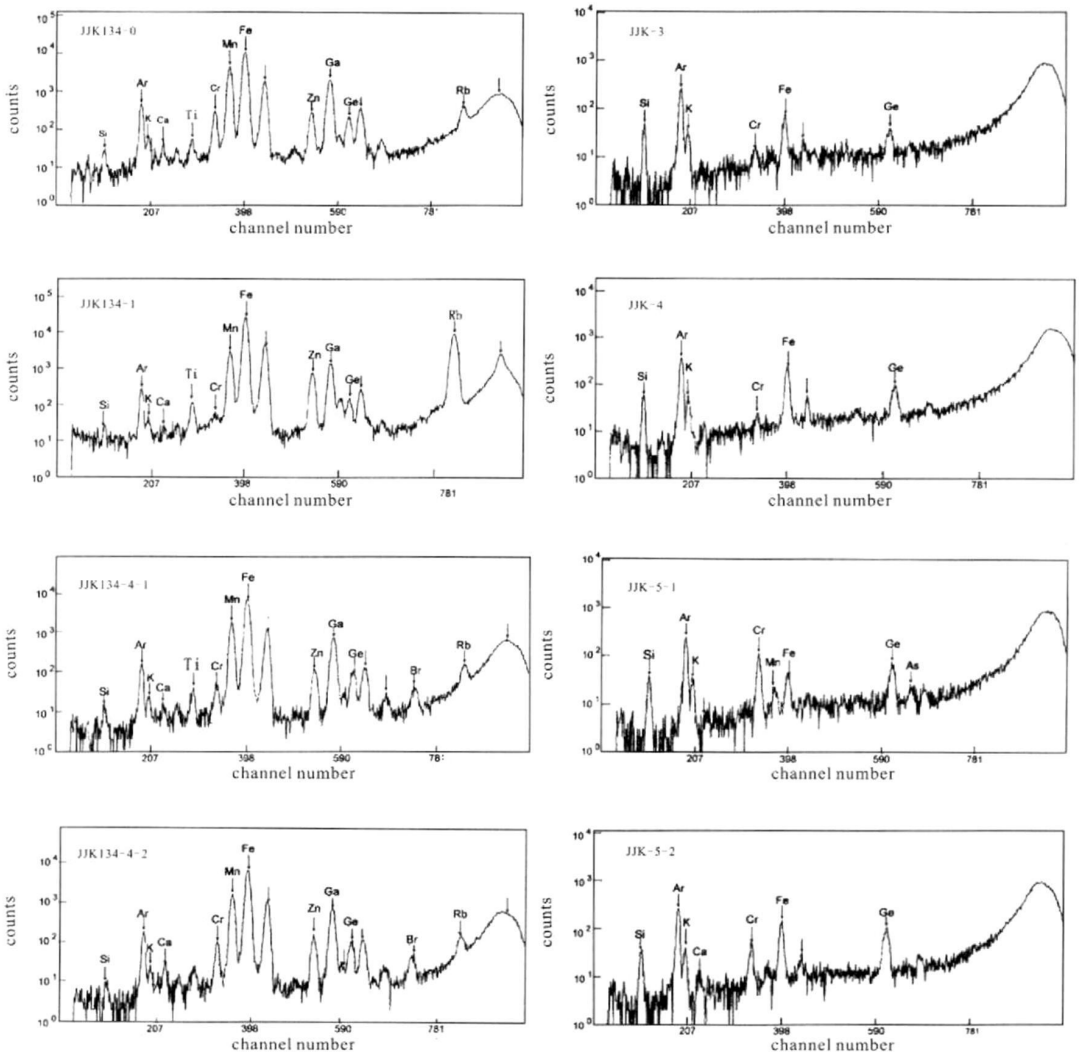


图 2 甲基卡矿区 No. 134锂辉石伟晶岩脉和石英脉的 SRXRF分析图谱

JJK134-0、JJK134-1、JJK134-4-1、JJK134-4-2为 No. 34脉的样品编号,包裹体为石英中 $H_2O$-$CO_2$ 包裹体;

JJK-3、JJK-4、JJK-5-1、JJK-5-2为石英脉样品编号,包裹体为石英中的 $H_2O$-$CO_2$ 包裹体

**Fig. 2 The SRXRF spectrums of No. 34 pegmatite dyke and quartz vein in Jiajika deposit**

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

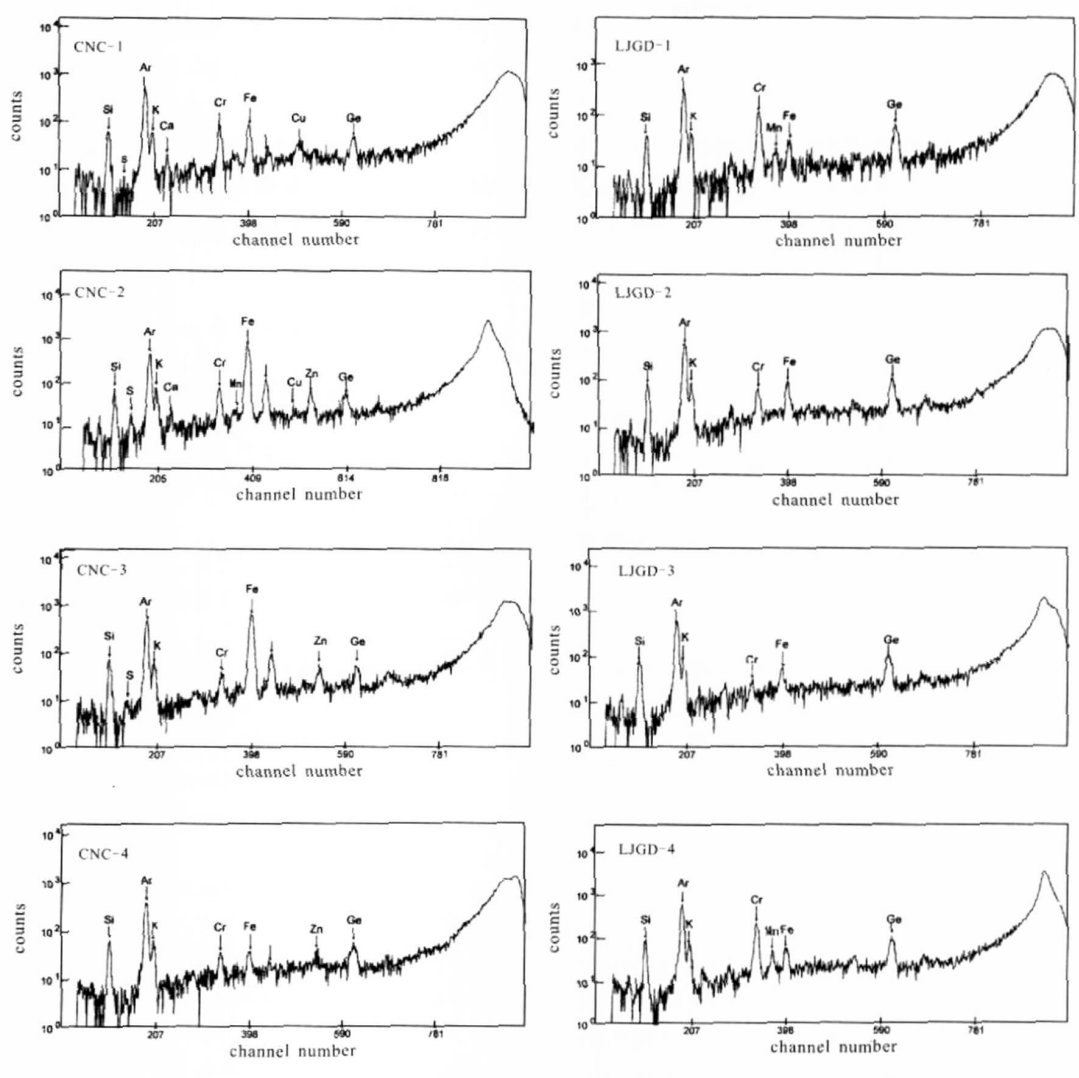


图 3　丹巴矿区春牛场和李家工地伟晶岩脉中包裹体的 SRXRF分析图谱

CNC-1、CNC-2、CNC-3、CNC-4为春牛场伟晶岩脉的样品编号, 包裹体为石英中的 $H_2O$-$CO_2$ 包裹体;

LJGD-1、LJGD-2、LJGD-3、LJGD-4为李家工地伟晶岩脉的样品编号, 包裹体为石英中的 $H_2O$-$CO_2$ 包裹体

**Fig 3　The SRXRF spectrums of Chunniuchang and Lijiagongdi pegmatite dyke in Danba deposit**

石矿脉石英中包裹体 SRXRF图谱的形态、峰值分布、峰值大小相近, 石英脉石英中包裹体的 SRXRF图谱也具有这种特征; 同样, 春牛场和李家工地伟晶岩的 SRXRF图谱亦然。这说明测试时, 分析仪器处于稳定状态, 测试结果可信。

在甲基卡矿区, 相对于石英脉, 锂辉石矿脉石英中的包裹体有较多的 Fe、Mn、Co元素, 并出现 Ti、Rb、Ga、Zn等元素, 部分样品检测出 Br。在丹巴矿区, 相对于李家工地白云母矿脉, 春牛场伟晶岩中存在 S及 Zn等亲硫元素, Fe的含量也较高。相对于丹巴白云母矿床, 甲基卡中的包裹体相对富集金属元素, 特别是 Ga、Rb等。

## 5　讨　论

甲基卡矿床属于富 F花岗岩浆液态不混溶成因, 成岩成矿流体主要来源于花岗岩浆 (李建康等, 2007)。因此, 锂辉石矿脉和石英脉中流体成分的差异 (图 2), 需要从元素的地球化学行为差异入手。在伟晶岩阶段, 由于挥发分强烈聚集, Ti与 Cl、F等卤族元素形成卤素化合物和钛氟的碱金属络合物 (如, $M_2[TiF_6]$和 $M_2[TiCl_6]$, M=K、Na、Rb、Cs), 从而伟晶岩中不但富集了 Ti, 还富集了稀有稀土元素。Ga属于伟晶作用中富集程度很高的元素, 在含稀有元素和挥发分起显著作用的花岗伟晶岩中, 特

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

别是含锂、铌、钽伟晶岩的锂辉石和锂云母中, 镓富集程度尤为明显 (常含 Ga 100~200μg/g)。Rb与 Li有相近的地球化学行为, 是伟晶岩中比较特征的元素, 由花岗岩到伟晶岩, Rb的含量随着 F、B的增加而增加。因此, 甲基卡矿区, No. 134伟晶岩和石英脉中包裹体组成的差异, 很可能是二者分处于岩浆-热液演化的伟晶岩阶段和热液阶段的原因。

在丹巴矿床中, SRXRF图谱所表现出的春牛场伟晶岩相对富集 S及 Zn、Fe等亲硫元素的特点 (图 3), 验证了丹巴矿床的"变质+岩浆"成因模型: 位于混合岩化带内的春牛场伟晶岩流体混入较多的岩浆流体, 而位于矽线石带的李家工地伟晶岩成岩成矿流体以变质水为主, 仅混有少量岩浆流体 (李建康等, 2007)。因此, 两伟晶岩脉流体组成的差别可能是岩浆流体和变质流体组成不同造成的。

由甲基卡和丹巴矿床的对比可见, 甲基卡 No. 134锂辉石矿脉相对于丹巴李家工地白云母矿脉, 明显表现出富 Mn、Fe、Zn、Ti、Ga等金属元素及稀碱元素 Rb的特点, 这些元素主要来源于内生岩浆活动。因而, 暗示甲基卡矿床属于内生岩浆矿床, 而丹巴矿床偏重于变质矿床, 这可能是甲基卡矿床产出稀有金属, 而丹巴矿床产出白云母的原因。

## 6 结 论

本文的研究为探索性的研究, 由于 SRXRF光斑的半径较大, 分析结果可能受到主矿物、环氧树脂的影响, 但通过对比性研究, 本文可以得出以下认识:

① SRXRF是测试流体包裹体组成的有效手段。通过用 SRXRF方法对流体包裹体的分析可以得出单个包裹体的成分, 特别是金属元素 (Cu、Zn、Fe、Mo等)的含量。这些元素在过去由于检测限的关系难以测出, 常常只能测出群体包裹体的 NaCl、$H_2O$等组分。SRXRF检测出的单个包裹体中金属元素的含量对了解成矿作用是十分重要的。

②包裹体成分的 SRXRF定量分析, 还需要降低 SRXRF探针聚焦光束光斑的大小, 否则测试结果会较大地受到主矿物的影响, 数据的定量化价值和意义降低。

③甲基卡稀有金属伟晶岩矿床和丹巴白云母伟晶岩矿床的成矿流体组成不同, 而且矿化伟晶岩和非矿化伟晶岩的流体组成不同。这对伟晶岩找矿具有一定的指导意义。

致谢: 感谢卢焕章教授的评审, 以及提出的宝贵意见。

参考文献 (References):

旷理雄, 郭建华, 朱锐, 罗小平, 祁开令, 周小康. 2007. 涟源凹陷流体包裹体特征与天然气成藏. 大地构造与成矿学, 31(2): 251-256.

李建康, 王登红, 张德会, 付小方. 2007. 川西伟晶岩型矿床的形成机制及大陆动力学背景. 北京: 原子能出版社, 1-187.

四川地质局. 1991. 四川省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1-200.

Buhn B and Rankin A H. 1999. Composition of natural, volatile-rich Na-Ca-REE-Sr carbonatitic fluids trapped in fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63: 3781-3797.

Frantz J D, Mao H K, ZHANG Yigang, Wu Y, Thompson A C, Underwood J H, Giauque R D, Jones K W and Rivers M L. 1988. Analysis of fluid inclusions by X-ray fluorescence using synchrotron radiation. *Chem Geol*, 69: 235-244.

Moore J N and Gunderson R P. 1995. Fluid inclusion and isotopic systematics of an evolving magmatic-hydrothermal system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 3987-3995.

Philippot P, Menez B, Chevallier P, Gilbert F, Legrand F and Populus P. 1998. Absorption correction procedures for quantitative analysis of fluid inclusions using synchrotron radiation X-ray fluorescence. *Chem Geol*, 144: 121-136.

Vanco D A, Sutton S R, Rivers M L and Bodnar R J. 1993. Major-element ratios in synthetic fluid inclusions by synchrotron X-ray fluorescence microprobe. *Chem Geol*, 109: 125-134.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

# SRXRF MICROPROBE STUDY OF FLUID INCLUISIONS FOR PEGMATITE DEPOSITS IN WESTERN SICHUAN PROVINCE

**LI Jiankang[1], WANG Denghong[1], LIU Shanbao[1], YING Lijuan[1], WANG Chenghui[1] and CHEN Dongliang[2]**

*(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. BSRF, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract**: SRXRF is an analysis technology with non-damage and low detection limit. Geologically, this technology is little applied. In this paper, SRXRF is used to detect the composition of fluid inclusions in pegmatite type deposits such as the Jiajika rare metal deposit and Danba muscovite deposit in western Sichuan Province. The SRXRF spectrums of the same type dyke in the same deposit are similar, which show the experiment is in a stable state and the spectrums are reliable. In the Jiajika deposit, the spectrum peak values of Fe, Mn, Co in the fluid inclusions of No. 134 dyke are higher than those of quartz dyke. The peaks of Ti, Rb, Ga, Zn present in the fluid inclusions of No. 134 spodumene dyke, but not in quartz dyke. In the Danba deposit, the spectrum peaks of S, Zn present in the fluid inclusions of the Chunniuchang pegmatite, but not in the Lijiadongdi pegmatite. The peak value of Fe in the fluid inclusions of the Chunniuchang pegmatite is higher than that of the Lijiagongdi pegmatite. Comparing with the Danba deposit, the Jiajika deposit is rich in metal elements, especially Ga and Rb. In conclusion, the experiment shows that the compositions of mineralizing fluids in the Jiajika and Danba deposit are different, and the compositions of mineralizing and non-mineralizing fluids are different, too. On the other hand, this study shows that SRXRF is an effective method to detect the compositions of fluid inclusion, and it is necessary to decrease the radius of SRXRF facula, in order to increase the precision of SRXRF.

**Keywords**: SRXRF; pegmatite; Jiajika; Danba; western Sichuan

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net