

文章编号:1001-8166(2004)04-0614-07

# 伟晶岩矿床示踪造山过程的研究进展\*

王登红<sup>1</sup>, 邹天人<sup>1</sup>, 徐志刚<sup>1</sup>, 余金杰<sup>1</sup>, 付小方<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 四川地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

**摘 要:**国内外伟晶岩及伟晶岩矿床的研究比较薄弱,对于伟晶岩矿床在造山过程中的示踪更是知之甚少。但是,与花岗岩和玄武岩可以指示构造演化一样,伟晶岩及其相关矿床同样可以作为构造演化尤其是造山过程的示踪标志。世界上伟晶岩矿床最集中的阿尔泰地区从加里东期到海西期、印支期、燕山期均有伟晶岩及伟晶岩型矿床形成,并具有从早到晚矿床规模越来越大、元素组合和矿物组合越来越多、伟晶岩分带越来越完善、矿种从加里东期比较单纯的白云母矿床向燕山期超大型综合性矿床演化的规律,主要的成矿阶段发生在各造山运动之后相对宁静的时期。国内外其它地区也有类似的情况,因此,伟晶岩矿床尤其是规模大、分带性好、矿种多元素全的矿床代表了造山后的产物。

**关 键 词:**伟晶岩;伟晶岩矿床;造山过程;构造演化示踪

**中图分类号:**P542 **文献标识码:**A

## 1 国内外伟晶岩矿床研究的现状与进展

伟晶岩矿床作为一种独立的矿床类型,不但在矿床学上占有不可忽视的地位,而且在示踪大地构造演化的过程中同样具有重要意义。但是,以往的工作主要集中在从伟晶岩中发现新矿物并对典型矿物、矿物组合、结构分带、流体包裹体、同位素、元素地球化学的演化方面进行深入研究<sup>[1~4]</sup>,提出了关于伟晶岩地球化学演化及矿床成因的许多新认识<sup>[5~8]</sup>,注意力多集中在伟晶岩和伟晶岩矿物本身,对于其在造山带或大陆地壳演化过程中宏观地位的研究还偏少。即使是对于研究程度最高的新疆可可托海 3 号脉而言,仍然存在着不同的认识,有的认为属于岩浆结晶分异成因,有的认为属于变质成因;有的认为形成于海西期造山过程中(331.9 ~ 252 Ma BP)<sup>[4]</sup>,有的认为主要形成于印支期(200 ~ 220 Ma BP)<sup>[6]</sup>,还有的认为形成于造山之后的燕山

期<sup>[9]</sup>,这些认识上的分歧,促使人们开始从新的角度,即把伟晶岩及其相关的成矿作用放到整个成矿省乃至造山带地壳演化的宏观背景上去考虑其形成的地球动力学背景。

国外对于伟晶岩矿床的研究也经历了类似的从个案研究到区域性研究的过程,即以往多集中在伟晶岩矿物学、结构分带、元素地球化学、同位素、熔体—流体包裹体、成岩成矿实验等方面<sup>[10~16]</sup>,并建立了许多找矿标志<sup>[17,18]</sup>,近年来扩展到成矿机理、成矿模式、成岩过程(包括年代学)及构造环境等成矿规律方面的研究<sup>[19~25]</sup>。

近年来,大陆演化过程中的成矿作用已经成为地质科学的前沿领域之一。矿床与其他地质体一样是地球演化的产物,不同的地质时代产出不同类型的矿床,因而矿床象岩石和化石一样在一定程度上可以揭示地球的演化过程。目前国内外对于玄武岩和花岗岩的构造环境分类及其对于大陆地壳的演化

\* 收稿日期:2003-06-02;修回日期:2003-10-14。

\* 基金项目:国家自然科学基金项目“我国西南主要伟晶岩矿床对于大陆演化的示踪”(编号:40202012);国家科技攻关 305 项目“新疆优势矿产资源勘查评价综合研究”(编号:2001BA609A-07-18A)资助。

作者简介:王登红(1967-),男,浙江省嘉兴人,研究员,主要从事成矿学研究。E-mail: wangdenghong@sina.com

芮行健等. 新疆富蕴县那森恰白云母矿区地质矿产研究报告,1979。

的示踪意义已经进行了充分的研究<sup>[26]</sup>;对于块状硫化物矿床、不同类型的金矿床等在地球演化过程中的示踪意义也积累了较多的资料,但对于伟晶岩矿床的研究还较少。

2 大陆构造演化过程中的伟晶岩矿床

国内外对于玄武岩和花岗岩作为大地构造演化尤其是板块构造发展历史中的指示意义已经进行充分的研究,但对于伟晶岩来说,虽然已经有了 200 多年的研究历史,在伟晶岩的成分分带、新矿物的发现、地球化学的演化与稀有金属的富集机制、熔体—流体的来源与结晶分异、成岩成矿的物理化学条件等方面取得了举世瞩目的成果,而对于伟晶岩及其相关成矿作用发生的地球动力学背景方面还处于探索阶段,仅仅是提出了一些新的认识,如 Partington<sup>[29]</sup> 和 Cerny<sup>[28]</sup>认为前寒武纪数量少但规模大的稀有金属伟

晶岩矿床是受到构造控制的;Breaks 等<sup>[29]</sup>认为北美苏必利尔伟晶岩省经历了 5 个演化阶段,其中火山弧的发育及大陆增生发生于 2 775 ~ 2 725 Ma,而稀有金属的富集则发生在 2 685 Ma 的鬼湖岩基侵位之后;Webber 和 Simmons 等 将伟晶岩矿床分为 NYF 型和 LCT 型两类,分别形成于非造山带和造山带;Murphy 等<sup>[30]</sup>认为加拿大新斯科舍 (Nova Scotia) 的伟晶岩形成于造山之后;王登红等<sup>[31,32]</sup>认为阿尔泰的伟晶岩矿床可以在造山过程的不同阶段出现,但稀有金属的大规模聚集则主要出现在非造山过程的某一相对稳定的大陆演化阶段。这一认识得到了同位素年代学资料的佐证(表 1)<sup>[39]</sup>。这些成果有助于开拓思路,指导地质找矿。事实也证明,在我国阿尔泰造山带周边地区的蒙古、俄罗斯等地发现的大型、超大型伟晶岩型稀有金属矿床有许多形成于后造山或造山后的大陆演化过程中<sup>[33]</sup>。

表 1 新疆阿尔泰伟晶岩矿床的成矿时代<sup>[39]</sup>  
Table 1 Ore-forming times of the pegmatite deposits in Altay, Xinjiang

空间	时代	典型矿床	样品及方法	坪年龄 (Ma)	等时线年龄 (Ma)	反等时线年龄 (Ma)
北 东	燕山期	阿祖拜宝石—稀有金属	白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	154.1 ±0.1	151.41 ±2.05	
		可可托海 3 <sup>#</sup> 脉文象带	白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	177.9 ±0.03	178.0 ±1.8	
		可可托海 3 <sup>#</sup> 脉锂辉石带	白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	176.9 ±1	169 ±3	
		可可托海 3 <sup>#</sup> 脉核部带	钾长石 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	148 ±1	115 ±4	
		尚克兰稀有金属铍矿床	石英包裹体 Rb-Sr	177 ±17		
南 西	印支期	大桥—库威含稀有金属白云母	白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	224.09 ±0.90	225.37 ±2.93	224.44 ±0.37
		小喀拉苏稀有金属	白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	233.79 ±0.41	227.08 ±6.53	
		大喀拉苏稀有金属	白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	248.42 ±2.11	240.86 ±3.53	
	海西期	大桥—库威含稀有金属白云母	白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	369.78 ±0.36Tp1	370.26 ±3.02	369.46 ±0.58
	加里东期	也拉曼伟晶岩型白云母矿床	石英包裹体 Rb-Sr	426 ±13		
青河拜城伟晶岩型白云母矿床		白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	436.04 ±0.51	436.05 ±3.67	433.54 ±0.67	
那森恰伟晶岩型白云母矿床		白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	447.66 ±0.37	447.61 ±3.15	446.87 ±0.69	

有反等时线年龄数据的样品由中国科学院地质地球物理研究所桑海清研究员测定,不带反等时线数据者由中国地质科学院地质研究所陈文研究员测定,石英包裹体 Rb-Sr 等时线年龄由宜昌地质矿产研究所李华芹研究员测定

伟晶岩形成于大陆演化的不同阶段、但成矿作用集中于某个或某些阶段的现象并不少见。在南美最大的巴西东部伟晶岩省,虽然在元古代就开始形成伟晶岩,但稀有金属的聚集主要在加里东期的伟晶岩中<sup>[34]</sup>;意大利西北部含 Nb-Ta 的晶洞伟晶岩也形成于海西期造山运动后期及期后阶段<sup>[35]</sup>;澳大利亚西部格林布希斯 (Greenbushes) 的伟晶岩也经历了多期演化,初期伟晶岩属于交代成因 (2 527 Ma),第二期在同构造同变质期伟晶岩发生蚀变而

矿化 (2 430 Ma),第三期变形和变质作用发生在 1 100 Ma,伴随有成矿物质的活化<sup>[36]</sup>;西欧海西造山带的葡萄牙北部同构造期伟晶岩含 Sn,而构造期后的伟晶岩 (299 Ma) 则出现重要的 Sn-W-Au 矿化。  
中国的伟晶岩矿床除了 在空间上广泛分布、在不同的造山带均有出现外,形成的时代也各不相同,其中阿尔泰造山带的伟晶岩型矿床从加里东期 海西期 印支期 燕山期经历了复杂但脉络清楚的演化过程,不同类型的矿床对应于不同的造山阶段,比

Webber K I, Simmons W B, Falster A U, et al. Fractionation of HFSE and petrogenetic indicators in NYF-type pegmatites. 31th IGC Abstracts Vol. Digital Edition, 2000.

如在加里东期形成的也拉曼 (Rb-Sr 等时线年龄 426 Ma)、那森恰和青河拜兴 (白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄各为 447.66 Ma 和 436.04 Ma) 等伟晶岩矿床以白云母为主要矿种,稀有金属含量低、规模小,矿种较单一<sup>[32]</sup>;在海西期形成的伟晶岩矿床中稀有金属的种类和规模均有所扩大(如大桥—库威一带,白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄 369.78Ma);到了印支期则开始出现大型的伟晶岩型稀有金属矿床,如大喀拉苏和小喀拉苏(白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄各为 240.86 Ma 和 233.79 Ma);进入燕山期则形成了超大型的可可托海 3 号脉(白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄为 176.9 ~ 177.9 Ma)及其它众多的重要矿床(如 112 号脉和阿祖拜,后者白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄为 154.1 Ma),矿床规模达到最大,元素及矿种组合最复杂,伟晶岩本身的结构与成分分带也最完善<sup>[38]</sup>。可见,在整个阿尔泰造山带的形成过程中,伟晶岩的形成及其相关成矿元素的富集是很有规律的,并且是与造山过程和热历史演化耦合的,基本上显示了在造山强烈阶段稀有金属由于缺乏稳定的环境而得不到充分的、有效的聚集,到了造山之后的相对稳定阶段才有了安定的环境和有利于充分结晶分异的时空条件,从而形成超大型矿床<sup>[38,39]</sup>。

类似的成矿规律在其它造山带也可见到。如我国福建西北部地区也至少存在加里东和海西两期伟晶岩,但以南平西坑的海西期伟晶岩成矿最好。新疆天山和西南三江地区伟晶岩矿床与造山过程之间的耦合关系也是存在的,如四川康定、丹巴和云南龙陵、哀牢山等地的伟晶岩型白云母矿床、稀有金属矿床及宝石矿床形成于青藏高原演化的不同阶段,以往的工作同样表明先形成白云母矿床而后形成宝石矿床,与阿尔泰造山带形成过程中伟晶岩矿床的演化规律相似。

### 3 伟晶岩矿床对于造山过程的示踪

地质过程中的示踪技术,近年来得到了快速发展,尤其是微量元素、稀土元素、流体包裹体和同位素示踪技术及同位素定年技术已经在地学领域得到了广泛的运用。这些技术在伟晶岩及其成矿作用的研究中得到了广泛的运用。矿床本身也具有示踪意义,而且是综合性的、集成性的。

玄武岩和花岗岩及其相关矿床对于大地构造演化或地球动力学过程的示踪意义<sup>[39]</sup>,已经众所周知,那么,伟晶岩及伟晶岩型矿床是否具有类似的功能呢?国外这方面的报道很少,在一些经典的论述

大地构造演化与成矿作用的著作中几乎没有伟晶岩的地位<sup>[37,41]</sup>。国内的研究程度也不高,如邹天人等<sup>[42]</sup>对于造山带花岗岩和非造山花岗岩进行了深入的对比研究,但还没有区分造山伟晶岩与非造山伟晶岩。

在伟晶岩矿床中集成的信息包括了物质组成、流体性质与成分、热演化历史、成岩成矿物理化学条件及构造环境乃至地球的深部排气多方面的信息<sup>[43]</sup>,再加上伟晶岩矿床的特殊性(如矿物晶体粗大容易获得代表性样品、需要封闭的条件才能充分结晶分异),因而通过伟晶岩矿床的研究不但可以得到多通道的集成信息,而且相对容易获得,数据也更加可靠。这是利用伟晶岩矿床示踪大陆演化的特有的优势。最近, Pedrosa 等通过伟晶岩矿床来研究大西洋打开的历史, Galetskiy 和 Mints 分别根据伟晶岩矿床中记录的各种信息演绎了乌克兰地盾和东欧地台的演化历史。

相对而言,伟晶岩矿床中矿物晶体粗大、易选、代表性好,其成矿时代问题比其它矿床容易解决。通过对伟晶岩矿床的精确定年和成岩成矿条件的研究,可以从横向演化的时间尺度和纵向的空间尺度示踪造山带的形成过程,从而为追溯大陆演化提供依据。伟晶岩矿床主要是在大陆壳基础上形成的,在俯冲造山带很少出现<sup>[44,45]</sup>。不同类型的矿床形成于大陆演化的不同阶段(如阿尔泰地区所揭示的),同时又取决于不同的温度压力条件,如稀土及稀土—铀伟晶岩矿床形成于 > 11 km 的深度、白云母及含稀有金属白云母矿床形成于 7 ~ 11 km 的深度、稀有金属伟晶岩矿床则形成于 3.5 ~ 7 km 的深度。可见,根据矿物组合和地球化学手段获得的资料可以反映伟晶岩矿床形成的空间位置,而伟晶岩矿床的剥蚀出露实际上又反映了造山带的隆升过

Ramos JMF. Rare-element aplite-pegmatite vein field of Seixo Amarelo- Goncalo (Guarda-Portugal). 31th IGC Abstract Vol. Digital Edition, 2000.

Pedrosa AC, Lobato L M, Noce C M. Cambrian pegmatitic and hydrothermal mineral deposits: the last mineralization record prior to the south Atlantic opening in eastern Brazil. 31th IGC Abstract Vol. Digital Edition, 2000.

Galetskiy L.S. Perga beryllium deposit of the Ukrainian shield as the geological phenomena. 31th IGC Abstract Vol. Digital Edition, 2000.

Mints M V. Paleoproterozoic tectonic evolution and related metallogeny of the Eastern Baltic shield and Voronezh crystalline massif of the east European craton. 31th IGC Abstract Vol. Digital Edition, 2000.

程。伟晶岩常常是变质核杂岩的一部分,在我国的庐山星子核杂岩、泰山杂岩等地均有伟晶岩的分布,云南、四川分布于核杂岩区的伟晶岩往往同时又是成矿伟晶岩,如云南的南温河变质核杂岩中产有祖母绿矿床、四川丹巴的变质核杂岩区是我国第二白云母产区。成矿伟晶岩的研究不但有助于解决变质核杂岩的隆升历史,而且有助于认识造山过程中成矿物质及流体的活动规律<sup>[46~48]</sup>。将年代学资料与温度、压力等资料相结合,还可以量化研究成矿过程及成矿后的演化史。

## 4 中国伟晶岩矿床的独特性

我国的伟晶岩矿床在世界上占有重要地位,尤其是可可托海3号脉早在半个多世纪以前就闻名天下并写入多个版本的教科书中。世界上的伟晶岩虽然分布很广,北美、南美、澳大利亚、西欧等地均有伟晶岩田出现,但主要集中在古老地台区,形成时代较老,而我国的伟晶岩矿床从老到新,从稳定地台到现代造山带均有出现,因此我国伟晶岩矿床的时空分布极具特色。

我国的伟晶岩矿床在世界上占有重要地位,除了像阿尔泰这样拥有十几万条不同时代伟晶岩脉的巨大伟晶岩省在世界上独一无二外(即使是同在阿尔泰造山带的哈萨克斯坦地区,伟晶岩型稀有金属矿床的富集程度远不如中国境内),青藏高原东缘丹巴热穹隆构造区和哀牢山构造带的伟晶岩型矿床主要形成于喜马拉雅期、且已有的同位素年龄多数集中在25 Ma左右<sup>[49,50]</sup>,在四川冕宁等地的伟晶岩型碳酸岩已经构成我国第二大轻稀土矿床<sup>[51]</sup>;其它地区如秦岭造山带产有含稀有金属及铀的伟晶岩矿床<sup>[12,52]</sup>、东南沿海产有福建南平的伟晶岩型矿床、内蒙古稳定地台区又产有土贵乌拉式的伟晶岩型白云母矿床和哈达门沟的伟晶岩型金矿<sup>[53]</sup>;天山造山带产有碱性伟晶岩型稀有金属及透辉石矿床<sup>[54]</sup>。可见,我国伟晶岩型矿床的形成时代和动力学环境最为复杂多样,国外如巴西和北美的伟晶岩型矿床主要产在古老地台区而且成矿时代比较单一(南美最大的巴西东部伟晶岩省也只有两个主成矿期)。

我国伟晶岩时空分布很广,时间上从前寒武纪到新生代,空间上西北有阿尔泰、东北有萝北<sup>[55]</sup>、东南有福建南平、西南有哀牢山、丹巴等典型矿床。这种广泛的时空分布特征是国外其它地区罕见的,而且有许多矿床出现在显生宙造山带,如阿尔泰、秦岭、西南三江地区,这与国外伟晶岩矿床主要分布在

古老地台区的特点有很大的不同。

## 5 今后的研究方向

将伟晶岩及伟晶岩矿床放到大地构造演化的高度上去研究、从而揭示造山过程的发展历史,无疑是今后一个重要的研究方向。对于阿尔泰伟晶岩矿床与阿尔泰造山过程的关系,王登红等<sup>[38]</sup>已经进行了研究,建立了成矿谱系,初步揭示了不同类型的伟晶岩矿床与造山过程之间的耦合关系。在我国西南地区,从川西北到滇东南广泛分布着不同类型、不同时代的伟晶岩矿床,在泸定—丹巴—可尔因、九龙—康定—乾宁、巴塘—石渠、龙陵—贡山及哀牢山南段构成几个成矿集中区<sup>[56]</sup>。其中不乏并具有重要意义的矿床,如丹巴的白云母矿床、哀牢山的宝石矿床、龙陵黄连沟的稀有金属矿床,但研究程度远不如阿尔泰,已知的矿床规模也不如阿尔泰。虽然前人在同位素测年、流体演化等方面积累了一些资料,但总体上还缺少精确的年代学资料和成岩成矿的物理化学参数,影响到对于成岩过程及成矿环境的理解,因此还需要进行基础理论方面包括地球化学和同位素年代学等方面的研究。这不但是解决矿产资源问题的需要(如云南龙陵一带的Nb-Ta资源近年来得到了较充分的利用),也是解决扬子地台西缘大陆地质演化历史及青藏高原隆升过程中构造—热—成矿演化问题的需要。

已有资料表明,西南地区的伟晶岩矿床在时空分布上与其他矿床有密切的联系,如形成于多个时代但在25 Ma前后出现成矿的高峰期,而这一时期也是金矿的成矿高峰期和早、晚第三纪构造转折的关键时期。可见,西南地区早、晚第三纪之交短期内发生的大规模成矿作用与青藏高原的隆升与演化之间具有成因联系,存在着地质突变导致大规模成矿爆发的可能性。青藏高原东缘的伟晶岩矿床研究基础较薄弱,成岩成矿构造环境较复杂,但其成果对于探讨青藏高原的隆升机制、重塑大陆演化过程中的成矿作用意义重大。因此,虽然大陆演化过程中的成矿作用是当今世界上的一个前沿课题,还有很多工作要做,但在伟晶岩矿床与大陆演化过程之间建立起某种耦合机制不但是可能的,而且很有必要<sup>[57]</sup>。

总之,伟晶岩矿床可以作为造山带演化的标志,但是,什么样的造山带以及在造山带的哪个阶段形成什么样的伟晶岩矿床、如何建立造山过程不同阶段伟晶岩在矿物组合、化学成分、成矿物理化学条件

及地球化学等方面的鉴别标志等等仍然是今后迫切需要加强研究的科学问题和发展方向。

### 参考文献 (References):

- [1] Wang Zhihui (王志辉). The first discovery of bismutotantalite in rare metal granitic pegmatite in eastern Qinling [J]. *Bulletin of Chengdu College of Geology* (成都地质学院学报), 1979, (2): 77-80 (in Chinese).
- [2] Luan Shiwei (栾世伟). Discussion on the genesis of granitic pegmatites in Eastern Qinling [J]. *Bulletin of Chengdu College of Geology* (成都地质学院学报), 1979, (3): 34-46 (in Chinese).
- [3] Wang Xianjue (王贤觉), Zou Tianren (邹天人). Study on Minerals of Pegmatite in Altay[M]. Beijing: Science Press, 1981. 78 (in Chinese).
- [4] Zou Tianren (邹天人), Xu Jianguo (徐建国). On the genesis and classification of type of granitic pegmatite [J]. *Geochemistry* (地球化学), 1975, (3): 161-173 (in Chinese).
- [5] Zou Tianren (邹天人), Zhang Xiangcheng (张相宸). Discussion on the origin of the No. 3 pegmatite in Altay [J]. *Mineral Deposits* (矿床地质), 1986, 5(4): 35-47 (in Chinese).
- [6] Wang Shuzheng (王淑珍), Kang Xu (康旭), Wang Yuanlong (王元龙), et al. Granitic pegmatite deposits in Altay, China [J]. *Mineral Deposits* (矿床地质), 1993, 12 (Supp): 135-146 (in Chinese).
- [7] Lu Huanzhang (卢焕章), Wang Zhonggang (王中刚), Li Yuan-sheng (李院生). Transition of magma-fluids and genesis of the No. 3 pegmatite in Xinjiang [J]. *Bulletin of Mineralogy* (矿物学报), 1996, 16(1): 1-7 (in Chinese).
- [8] Luan Shiwei (栾世伟), Mao Yuyuan (毛玉元), Fan Liangmin (范良明), et al. Rare Metal Mineralization and Exploration in the Keketuohai Area [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1995 (in Chinese).
- [9] Chen Fuwen (陈富文), Li Huaqin (李华芹), Wang Denghong (王登红), et al. New geochronological evidences for Yanshanian rock-forming and mineralization in Chinese Altay orogenic belt [J]. *Chinese Bulletin of Science* (科学通报), 1999, 44 (11): 1 142-1 148 (in Chinese).
- [10] Jolliff B L, Papike J J, Shearer Ch K. Tourmaline as a recorder of pegmatite evolution: Bob Ingersoll pegmatite, Black Hills, South Dakota [J]. *American Mineralogist*, 1986, 71: 472-500.
- [11] Burnham C W. Equilibrium properties of granite pegmatite-magmas [J]. *American Mineralogist*, 1986, 71: 239-263.
- [12] Ercit T S, Cerny P, Hawthorne F C. The wodginite group. I, Classification and new Species [J]. *The Canadian Mineralogist*, 1992, 30(3): 633.
- [13] Hanson S L, Simmons W B, Webber K L, et al. Rare-earth-element mineralogy of granitic pegmatites in the Trout Creek Pass district, Chaffee County, Colorado [J]. *The Canadian Mineralogist*, 1992, 30(3): 673.
- [14] Lentz D. Petrogenesis and geochemical composition of biotites in rare-element granitic pegmatites in the southwestern Grenville province, Canada [J]. *Mineralogy and Petrology*, 1992, 46: 239-256.
- [15] London D, Hervig R L, Morgan G B. Melt-vapor solubilities and elemental partitioning in peraluminous granite-pegmatite systems: Experimental results with Macusani glass at 200 Mpa [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1988, 99: 360-373.
- [16] Thomas A V, Spooner E T C. Fluid inclusions in the system  $H_2O-CH_4-NaCl-CO_2$  from metasomatic tourmaline with in the border unit of the Tanco zoned granitic pegmatites SE Manitoba [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, 52: 1 065-1 075.
- [17] London D. Holmquistite as a guide to pegmatitic rare metal deposits [J]. *Economic Geology*, 1986, 81: 704-712.
- [18] Miller P, Morteau G. Geochemical exploration guide for tantalum pegmatites [J]. *Economic Geology*, 1987, 82: 1 888-1 897.
- [19] London D. Origin and significance of inclusions in quartz: A cautionary example from the Tanco pegmatite Manitoba [J]. *Economic Geology*, 1985, 80: 1 988-1 995.
- [20] Cerny P. Rare-element granitic pegmatites, Part II: Regional to global environments and petrogenesis [J]. *Geoscience Canada*, 1991, 18: 68-81.
- [21] Swanson S E, Fenn P M. The effect of F and Cl on the kinetics of albite crystallization: A model for granitic pegmatites? [J]. *The Canadian Mineralogist*, 1992, 30(3): 549.
- [22] Suwimonprecha P, Cerny P, Friedrich G. Rare metal mineralization related to granites and pegmatites, Phuket, Thailand [J]. *Economic Geology*, 1995, 90(3): 603-615.
- [23] Miller R R. Structural and textural evolution of the Strange Lake peralkaline rare-element (NYF) granitic pegmatite, Quebec-Labrador [J]. *The Canadian Mineralogist*, 1996, 34(2): 349-372.
- [24] Linnen R L. The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and Li + F: constraints for mineralization in rare metal granites and pegmatites [J]. *Economic Geology*, 1998, 93(7): 1 013-1 025.
- [25] Essaid Bilal, Jos é Marques Correia Neves, Kazuo Fuzikawa, et al. Pegmatites in southeastern Brazil [J]. *Revista Brasileira de Geociências*, 2000, 30(2): 234-237.
- [26] Condie K C. Plate Tectonics and Crustal Evolution [M]. New York: Pergamon Press, 1989.
- [27] Partington G A. Environmental and structural controls on the intrusion of the giant rare metal Greenbushes pegmatite, Western Australia [J]. *Economic Geology*, 1990, 85: 437-456.
- [28] Cerny P. Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: Selected examples of data and mechanism [J]. *Canadian Mineralogist*, 1985, 23: 381-421.
- [29] Breaks F W, Moore J M Jr. The Ghost Lake batholith, Superior Province of northwestern Ontario: A fertile, S-type, peraluminous granite-rare-element pegmatite system [J]. *Canadian*

- Mineralogist*, 1992, 30(3): 835-876.
- [30] Murphy J B, Anderson A J, Archibald D A. Postorogenic alkali feldspar granite and associated pegmatites in West Avalonia: The petrology of the Neoproterozoic Georgeville Pluton, Antigonish Highlands, Nova Scotia[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1998, 35: 110-120.
- [31] Wang Denghong(王登红), Chen Yuchuan(陈毓川), Li Hongyang(李红阳), et al. Helium isotopic study on the mantle degassing in the Altay Orogenic Belt[J]. *Chinese Science Bulletin(科学通报)*, 1998, 43(23): 2 451-2 453 (in Chinese).
- [32] Wang Denghong(王登红), Chen Yuchuan(陈毓川), Xu Zhigang(徐志刚). Geochronology study of the metamorphic rocks of Caledonian pegmatites in Altay [J]. *Acta Geologica Sinica(地质学报)*, 2001, 75(3): 419-425 (in Chinese).
- [33] Kovalenko V I. Endogenous rare metal ore formations and rare metal metallogeny of Mongolia[J]. *Economic Geology*, 1995, 90(3): 520-529.
- [34] Morteani G, Preinfalk C, Horn A H. Classification and mineralization potential of the pegmatites of the Eastern Brazilian Province[J]. *Mineralium Deposita*, 2000, 35: 638-655.
- [35] Aurisicchio C, Vito C D, Ferrini V, et al. Nb-Ta oxide minerals from miarolitic pegmatites of the Baveno pink granite, NW Italy [J]. *Mineralogy Magazine*, 2001, 65(4): 509-522.
- [36] Partington G A, McNaughton N J, Willms I S. A review of the geology, mineralization, and geochronology of the Greenbushes pegmatite, Western Australia [J]. *Economic Geology*, 1995, 90(3): 616-635.
- [37] Albarede F. The growth of continental crust [J]. *Tectonophysics*, 1998, 296(1/2): 1-14.
- [38] Wang Denghong(王登红), Chen Yuchuan(陈毓川), Xu Zhigang(徐志刚), et al. Metallogenetic Series and Regularity of the Altay Metallogenic Province[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2002 (in Chinese).
- [39] Wang Denghong(王登红), Li Hongyang(李红阳), Zou Tianren(邹天人). Type of rare metal deposits in Altay and its relation with orogenic processes [J]. *Mineral Deposits(矿床地质)*, 1998, (supp): 25-28 (in Chinese).
- [40] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956-983.
- [41] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwell, 1985.
- [42] Zou Tianren(邹天人), Cao Huizhi(曹惠志), Wu Baiqing(吴柏青). Discrimination between orogenic granites and non-orogenic granites in Altay, Xinjiang[J]. *Acta Geologica Sinica(地质学报)*, 1988, (3): 229-243. (in Chinese).
- [43] Chakoumakos B C, Lumpkin G R. Pressure-temperature constraints on the crystallization of the Harding pegmatite, Taos Country, New Mexico[J]. *Canadian Mineralogist*, 1990, 28: 287-298.
- [44] Stolz A J, Jochum K P, Spettel B, et al. Fluid- and melt-related enrichment in the subarc mantle: Evidence from Nb/Ta variation in island-arc basalts[J]. *Geology*, 1996, 24(7): 587-590.
- [45] Ryerson F J, Watson E B. Rutile saturation in magmas: Implications for Tr-Nb-Ta depletion in island-arc basalts[J]. *EPSL*, 1987, 86: 225-239.
- [46] Echtler H, Malavieille J. Extensional tectonics, basement uplift and Stephanian-Permian collapse basin in a late Variscan metamorphic core complex (Montagne Noire, Southern Massif Central) [J]. *Tectonophysics*, 1990, 177: 125-138.
- [47] Maluski H, Costa S, Echtler H. Late Variscan tectonic evolution by thinning of earlier thickened crust. An  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  study of the Montagne Noire, southern Massif Central, France [J]. *Lithos*, 1991, 26(3/4): 287-304.
- [48] Hanson R B. Hydrodynamics of regional metamorphism due to continental collision [J]. *Economic Geology*, 1997, 92(7/8): 880-891.
- [49] Luo Junlie, Chen Yuchuan, Wang Denghong. Chronogenesis of endogenetic mineralization on the east side of the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(3): 447-451.
- [50] Sun Kexiang(孙克祥). Geological features of gemstone deposits in Yunnan[J]. *Yunnan Geology(云南地质)*, 1996, 15(1): 81-90 (in Chinese).
- [51] Wang Denghong, Yang Jianmin, Yan Shenghao, et al. A special orogenic-type rare earth element deposit in Maoniuping, Sichuan, China: Geology and geochemistry [J]. *Resource Geology*, 2001, 51(3): 177-188.
- [52] Chen Xijing(陈西京), Wang Shurong(王淑荣), Zhang Xiuyin(张秀颖). Geological Features and Mineralization of Granitic Pegmatites in Qinling[M]. Beijing: Publishing House of Geology, 1993 (in Chinese).
- [53] Wu Shangquan(吴尚全), Zhangfu(张甫), Liu Gang(刘纲), et al. Geology of Hadamengou Pegmatitic Gold Deposit in Neimenggu Autonomous Region [M]. Beijing: Seismic Press, 1995 (in Chinese).
- [54] Zou Tianren(邹天人), Xu Jue(徐珏). Alkaline pegmatite-type diopside-gem deposits in China [J]. *Mineral Deposits(矿床地质)*, 1996, 15(Supp): 42-43 (in Chinese).
- [55] Lu Deshi(鲁德实). Classification of granitic pegmatites in Lubei and metallogenetic regularity of rare metals [J]. *Geology and Exploration(地质与勘探)*, 1993, 29(6): 8-12.
- [56] Gao Ziyang(高子英). Granitic pegmatites in western Yunnan [J]. *Yunnan Geology(云南地质)*, 1993, 12(4): 367-372 (in Chinese).
- [57] Collerson K D, Kamber B S. Evolution of the continents and the atmosphere inferred from U-Th-Nb systematics of the depleted mantle [J]. *Science*, 1999, 283: 1 519-1 522.

## ADVANCE IN THE STUDY OF USING PEGMATITE DEPOSITS AS THE TRACER OF OROGENIC PROCESS

WANG Deng-hong<sup>1</sup>, ZOU Tian-ren<sup>1</sup>, XU Zhi-gang<sup>1</sup>, YU Jin-jie<sup>1</sup>, FU Xiao-fang<sup>2</sup>

(1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Sichuan Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)*

**Abstract :** Compared with deposits genetically related to granites or basalts, the study of pegmatite and its related deposits is very defective. The knowledge of pegmatite as a tracer of orogenic process is needed. In fact, as the granite and basalt can be used as good tracers of tectonic evolution, pegmatite and pegmatite-type deposits can also be used to trace the tectonic history especially the continental orogenic process. The Altay metallogenetic province is one of the most important pegmatite province in the world, with pegmatites formed in Caledonian, Hercynian, Indo-Sinian and Yanshanian. It shows a clear regularity that the largest pegmatite-type rare metal deposits formed at the last, *i. e.* Yanshanian, stage, with a most complex structure of pegmatite vein and most comprehensive mineral and element assemblages. So, even pegmatite can form at different stage of the continental evolution, the most evolved pegmatite and most important pegmatite-type rare metal deposits formed at the relative silent stage of the orogenic process, because melt-fluids can only concentrate and contribute to forming a well-zoned pegmatite vein at an even environment, instead of at a tectonically active environment during the peak stage of orogeny. Similar examples can be found at different orogenic belts around the world. Therefore, pegmatite deposits, especially the larger, well-zoned deposits with multi-elements and complex mineral assemblages usually represent the product of post-orogeny.

**Key words :** Pegmatite; Pegmatite deposits; Orogenic process; Tectonic evolution tracer.