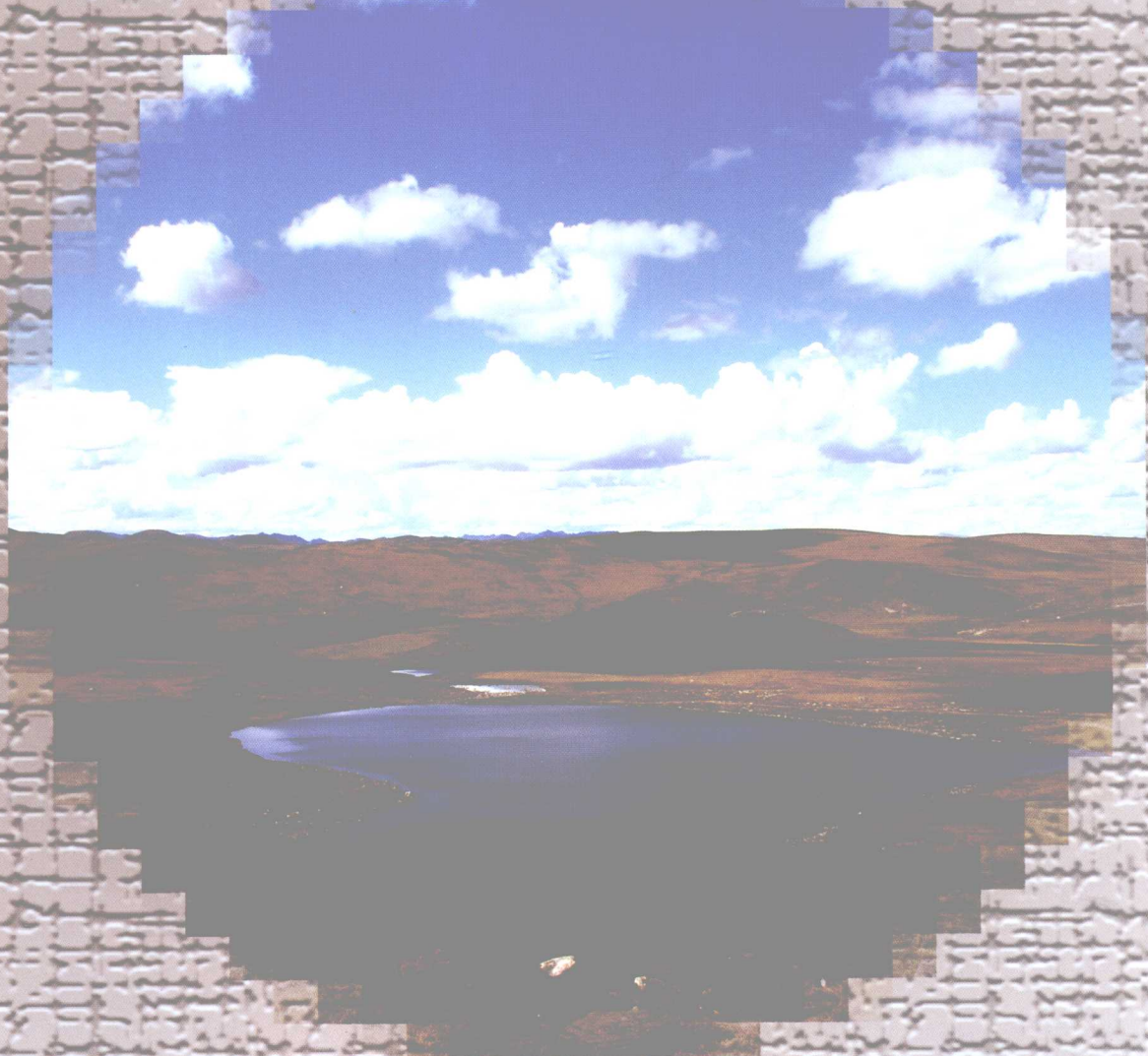


国家自然科学基金项目(40202012)资助

李健康 王登红 张德会 付小方 ◆ 著

川西伟晶岩型矿床 的形成机制及大陆动力学背景



原子能出版社

国家自然科学基金项目(40202012)资助

川西伟晶岩型矿床的形成 机制及大陆动力学背景

李建康 王登红 张德会 付小方 著

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

川西伟晶岩型矿床的形成机制及大陆动力学背景/李
建康,王登红等著. —北京:原子能出版社,2007.7
ISBN 978-7-5022-3957-2

I. 川… II. ①李… ②王… III. ①伟晶岩矿床—形成—
研究—四川省 ②伟晶岩矿床—大陆—动力学—研究—四
川省 IV. P611.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 115764 号

内 容 简 介

川西地区是我国重要的伟晶岩成矿地区,产有甲基卡特大型锂矿床、可尔因大型锂铍矿床和丹巴大型白云母矿床等著名伟晶岩型矿床。这些典型矿床位于松潘—甘孜造山带,均形成于中生代,但矿种、规模各不相同,是研究伟晶岩成矿作用的理想对象。但是,这些地区的研究程度很低,作者先后三次到川西开展野外工作,采集了大量的岩石样品,做了大量测试和研究工作:伟晶岩和花岗岩的岩石化学研究、白云母单矿物地球化学研究、熔体(流体)演化研究、白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年时代。通过这些工作,取得了一些新的认识:① 甲基卡矿床、可尔因矿床和丹巴矿床的成因分别属于“岩浆液态不混溶型”、“岩浆结晶分异型”和“岩浆+变质混合型”;② 富 F 花岗岩浆液态不混溶作用分离出的富挥发分熔体对稀有金属具有很高的富集作用,易于形成大型、超大型矿床,这是甲基卡和可尔因矿床规模不等的主要原因;③ 所处时空位置的不同,是甲基卡、可尔因和丹巴等伟晶岩型矿床形成机制不同的根本原因。

本书可供从事基础地质学、矿床学、地球化学等方面研究的科技人员、地质找矿人员及高等院校的师生使用与参考。

川西伟晶岩型矿床的形成机制及大陆动力学背景

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)

责任编辑 张 琳

责任校对 徐淑惠

责任印制 丁怀兰

印 刷 保定市中华美凯印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.5 插 页 1

字 数 314 千字

版 次 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-3957-2

定 价 40.00 元

前 言

川西地区是我国重要的伟晶岩成矿省,产有甲基卡超大型锂矿床、可尔因大型锂铍矿床、丹巴大型白云母矿床、扎乌龙大型锂矿床、雪宝顶大型钨锡矿床等著名伟晶岩型矿床。这些矿床均处于我国的地质“百慕大”——松潘—甘孜造山带,该造山带经历了古特提斯和新特提斯两个连续的造山事件,具有与众不同的“造山极性”和“构造体制”,其构造演化过程是地学界的难点之一。

许多地质资料都显示,伟晶岩的形成往往集中于造山过程的某个特定时期,但这种现象一直未引起重视。近年来,王登红研究员等人对这种现象进行了系统的研究,提出了规律性的认识:伟晶岩型矿床一般产于大陆演化的稳定阶段,且愈到构造旋回的晚期,矿床的规模愈大,对大陆演化具有重要的示踪意义(王登红等,1998,2004)。该规律经许多年龄数据(McLelland,2001;Storey,2004;Schmitt et al.,2004;Symons et al.,2000;Lawlor et al.,1999;Chalokwu et al.,1997;Murphy et al.,1998;Breaks et al.,1992……)的检验,证明是可信的。基于该思想,王登红研究员申请了国家自然科学基金项目:我国西南主要伟晶岩矿床对大陆演化的示踪(40202012),尝试从伟晶岩的角度来示踪松潘—甘孜造山带的演化过程。在该项目实施过程中,笔者一直在思考一个问题:为什么甲基卡、可尔因和丹巴等伟晶岩矿床处于相同的构造单元(松潘—甘孜造山带)、相近的成矿时代(中生代),却形成不同矿种、不同规模的伟晶岩矿床?这是本书欲解决的又一个问题。

在该项目实施的三年中,笔者先后两次到川西地区开展野外工作,克服了重重困难(如高山反应、雨季、泥石流、雷击区等),先后考察了甲基卡稀有金属矿床、丹巴白云母矿床和可尔因稀有金属矿床,采集了大量的岩石样品,获得了第一手资料。2006年9月,在项目结题后,作者又赴川西,对三个矿床进行了验证性考察。在室内,作者对甲基卡、可尔因和丹巴矿床的流体和岩石化学特征进行了系统测试,如伟晶岩和花岗岩薄片的显微观察,花岗岩的岩石化学分析,

伟晶岩中流体包裹体测温、含硅酸盐矿物包裹体电子探针分析、C-H-O 同位素分析,以及白云母和锂辉石单矿物组成分析等。在上述工作的基础上,笔者对三矿床的形成机制进行了深入研究,提出了三个矿床的成因模型:甲基卡矿床是富 F 花岗岩浆液态不混溶作用的结果,可尔因矿床属于花岗岩浆结晶分异成因,丹巴白云母矿床属于“岩浆+变质”的混合成因。另一方面,通过 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年,确定了甲基卡、可尔因、丹巴和雪宝顶四个伟晶岩型矿床的形成年代,并根据伟晶岩对大陆演化的示踪作用,提出中生代松潘—甘孜造山带的构造演化过程:受到扬子陆块、羌塘—昌都陆块和华北陆块的相互作用,该造山带内部发生自北向南和自西向东的双向收缩,构造应力也沿两个方向向造山带内部传递。据此构造背景,时空位置的不同是各伟晶岩型矿床产出规模、矿种不同的根本原因。

在该项目的实施过程中,笔者以第一作者公开发表论文 8 篇,并完成了博士研究生学业,获博士学位。在本书撰写过程中,笔者得到了王登红研究员、张德会教授的指导,野外工作得益于付小方高工的大力支持,因此,本书是集体工作的成果。此外,本书的撰写还得到了中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室陈振宇博士和中国地质大学(北京)流体包裹体实验室张文淮教授和诸慧燕老师的帮助,在此一并表示感谢。本书撰写过程中引用了唐国凡等(1984)等诸多国内外同行的研究成果,在此表示诚挚的谢意!

由于作者水平有限,书中缺点、错误及疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

李健康

2006 年 10 月于北京

Mineralization Mechanism and Continental Geodynamics of Pegmatite Type Deposits in Werstern Sichuan, China

Li Jiankang, Wang Denghong, Zhang Dehui, Fu Xiaofang

Abstract

Western Sichuan is an important pegamatite metallogenic province in China. Jiajika super large-scale rare metal deposit with the largest lithium reserve in China, Ke'eryin large-scale rare metal deposit, and the Danba large-scale muscovite deposit occurred in this area. The three typical deposits with different commodity and mineralization scale, locating in Songpan-Ganzi Orogenic Zone and occurred in Mesozoic, are the ideal objects to study the mineralization and their continental dynamics backgrounds.

Because of the remote location, the research of pegamatite type deposits in Western Sichuan is little. In order to get the first hand data, the authors have worked in field more than one month. Furthermore, many testing works have been done as follows: ① $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ datings have been done to get mineralization time precisely; ② in order to trace the evolving process of mineralizing fluid, the homogeneous temperature of about 1 500 fluid inclusions, fluid component, and C, H, O isotopes have been measured; ③ the petrochemistry constituents of pegmatites and granites have been analysed, by which mineralization processes can be deduced; ④ the constituents of muscovites were also analyzed, which proved the deduced mineralization processes; ⑤ a great deal of geological data have been collected.

In this book, the mineralization mechanism of the Jiajika, Ke'eryin, and Danba deposits were studied firstly; secondly based on the tracing of pegmatite to the movement of continent, the tectonic evolvement of Songpan-Ganzi Oreogen Zone has been studied; finally, the tectonic-magma-pegmatite mineralization were coupled. Through these work, several inclusions were gotten as follows:

1. The mineralization of the Jiajika, Ke'eryin and Danba deposits ascribe to "granite

magma liquid immiscibility”, “magma fractional crystallization” and “magmatism+metamorphism” respectively.

2. The difference of magma evolving process is the key reason for the different mineralization scale between Jiajika and Ke’eryin deposits. Comparing to magma fractional crystallization, magma liquid immiscibility can separate a highly rich volatile melt which can enrich rare metal greatly. So magma liquid immiscibility tends to form larger scale ore deposits than that of magma fractional crystallization.

3. There are intrinsic relation among orogeny, magmatism and mineralization of pegmatite in Songpan-Ganzi Orogenic Zone. Jiajika deposit formed in periphery of main part in Songpan-Ganzi Orogenic Zone. Thus Jiajika area underwent one direction tectonic stress, and mineralized in a close environment, which benefited to magma liquid immiscibility. Ke’eryin formed in the interior of main part in Songpan-Ganzi Orogenic Zone, and underwent two direction tectonic stresses. Thus, Ke’eryin region underwent several phase tectonic movements and formed in relatively open environment, which facilitated Ke’eryin deposit formed by magma fractional crystallization in multi-period and multi-phases. Danba deposit formed in the center of eastern main part in Songpan-Ganzi Orogenic Zone, where two direction tectonic stresses were joined. Therefore, in Western Sichuan the lithosphere of the Danba region is the thickest, and tectonic stress is weak, which prevented the deep magma to invade to shallow, and induce metamorphism to play an important role in the process of mineralization.

Keywords: pegmatite; granite magma liquid immiscibility; tracing of tectonic evolution; Songpan-Ganzi Orogen Zone

目 录

第 1 章 绪论	(1)
§ 1.1 与伟晶岩有关的稀有金属矿产供需现状	(1)
1.1.1 锂	(1)
1.1.2 铍	(2)
1.1.3 铌、钽	(2)
§ 1.2 伟晶岩的研究现状	(3)
1.2.1 伟晶岩的分类	(3)
1.2.2 伟晶岩的成因类型	(4)
1.2.3 伟晶岩形成与造山过程的耦合关系	(10)
§ 1.3 川西伟晶岩型矿床的研究目标及意义	(12)
1.3.1 伟晶岩矿床的形成机制	(13)
1.3.2 伟晶岩对松潘—甘孜造山带造山过程的示踪作用	(13)
1.3.3 造山过程、岩浆活动、伟晶岩成矿作用间的内在联系	(14)
§ 1.4 本书完成的工作量	(14)
第 2 章 区域地质特征	(16)
§ 2.1 区域构造背景	(16)
§ 2.2 区域地层、变质作用、岩浆活动	(18)
2.2.1 区域地层	(18)
2.2.2 区域变质作用	(19)
2.2.3 区域岩浆活动	(23)
§ 2.3 松潘—甘孜造山带与伟晶岩有关的矿产资源概况	(24)
第 3 章 可尔因伟晶岩型稀有金属矿床	(26)
§ 3.1 可尔因矿区地质特征	(26)
3.1.1 地层	(26)
3.1.2 构造	(27)
3.1.3 可尔因复式岩体	(27)
3.1.4 变质作用	(29)

§ 3.2	可尔因矿床地质特征·····	(31)
§ 3.3	可尔因复式岩体的地球化学特征·····	(33)
3.3.1	主量元素·····	(33)
3.3.2	微量元素·····	(36)
3.3.3	稀土元素·····	(38)
3.3.4	小结·····	(40)
§ 3.4	可尔因矿床的白云母地球化学特征·····	(40)
3.4.1	白云母的主要化学组分特征·····	(41)
3.4.2	白云母的微量元素特征·····	(42)
3.4.3	白云母的稀土元素特征·····	(46)
3.4.4	小结及讨论·····	(47)
§ 3.5	可尔因矿床的成岩成矿流体特征·····	(47)
3.5.1	流体包裹体特征·····	(48)
3.5.2	均一温度·····	(48)
3.5.3	盐度·····	(49)
3.5.4	捕获压力与捕获温度·····	(50)
3.5.5	流体成分·····	(51)
3.5.6	碳、氢、氧同位素组成·····	(53)
3.5.7	成岩成矿流体的演化过程·····	(54)
§ 3.6	可尔因矿床的形成机制·····	(55)
3.6.1	可尔因复式岩体的成因·····	(55)
3.6.2	可尔因复式岩体与伟晶岩的关系·····	(56)
3.6.3	白云母钠长花岗岩与稀有金属矿化伟晶岩关系·····	(56)
3.6.4	成矿模式·····	(57)
第4章	甲基卡伟晶岩型稀有金属矿床·····	(59)
§ 4.1	甲基卡矿区地质特征·····	(59)
4.1.1	地层·····	(59)
4.1.2	构造·····	(60)
4.1.3	二云母花岗岩·····	(62)
4.1.4	变质作用·····	(62)
§ 4.2	甲基卡矿床地质特征·····	(63)
4.2.1	伟晶岩的类型及产出形态·····	(63)
4.2.2	伟晶岩的内部结构·····	(66)
4.2.3	稀有金属的赋存状态·····	(68)
4.2.4	典型矿脉——No. 134 伟晶岩地质特征·····	(68)
§ 4.3	甲基卡矿床地球化学特征·····	(69)

4.3.1	主量元素	(69)
4.3.2	微量元素	(70)
4.3.3	稀土元素	(72)
4.3.4	同位素	(73)
4.3.5	小结	(73)
§ 4.4	甲基卡矿床的流体包裹体特征	(73)
4.4.1	包裹体的类型及特征	(73)
4.4.2	测温结果	(76)
§ 4.5	No. 134 锂辉石型伟晶岩脉的流体特征	(76)
4.5.1	No. 134 伟晶岩脉的流体包裹体特征	(76)
4.5.2	含硅酸盐子矿物包裹体的特征	(77)
4.5.3	No. 134 伟晶岩脉的熔体(流体)演化过程	(80)
§ 4.6	甲基卡矿床的成岩成矿流体特征	(81)
4.6.1	均一温度	(81)
4.6.2	盐度、组分特征	(85)
4.6.3	捕获压力	(87)
4.6.4	流体成分	(87)
4.6.5	碳、氢、氧同位素组成	(88)
4.6.6	小结	(89)
§ 4.7	甲基卡矿床的形成机制	(90)
4.7.1	富 F 花岗岩浆的液态不混溶作用	(91)
4.7.2	甲基卡矿床发生岩浆液态不混溶作用的依据	(93)
4.7.3	甲基卡矿床中岩浆液态不混溶作用的诱发因素	(95)
4.7.4	成矿模式	(96)
第 5 章	丹巴伟晶岩型白云母矿床	(98)
§ 5.1	丹巴矿区地质特征	(98)
5.1.1	地层	(98)
5.1.2	构造	(100)
5.1.3	变质作用	(102)
5.1.4	岩浆活动	(103)
§ 5.2	丹巴矿床地质特征	(103)
5.2.1	矿脉的形态、产状及规模	(104)
5.2.2	矿脉的物质成分及分类	(104)
5.2.3	矿脉的结构构造	(105)
5.2.4	围岩	(105)
5.2.5	布衣沟白云母伟晶岩的特点	(107)

§ 5.3 丹巴矿床的白云母地球化学特征	(108)
5.3.1 主量元素	(108)
5.3.2 微量元素	(108)
5.3.3 小结	(109)
§ 5.4 丹巴矿床的成岩成矿流体特征	(109)
5.4.1 流体包裹体的类型	(110)
5.4.2 流体包裹体的均一温度	(111)
5.4.3 流体包裹体的盐度	(112)
5.4.4 流体成分	(112)
5.4.5 碳、氢、氧同位素组成	(113)
5.4.6 小结	(113)
§ 5.5 丹巴矿床的形成机制	(116)
5.5.1 矿区主要地质体的形成时代	(116)
5.5.2 构造—变质—伟晶岩	(116)
5.5.3 成矿模式	(117)
第6章 川西伟晶岩型矿床的大陆动力学背景	(119)
§ 6.1 川西典型伟晶岩型矿床的形成时代	(119)
6.1.1 可尔因稀有金属矿床的年代学研究	(119)
6.1.2 甲基卡稀有金属矿床的年代学研究	(122)
6.1.3 丹巴白云母矿床的年代学研究	(125)
6.1.4 雪宝顶钨锡铍矿床的年代研究	(128)
§ 6.2 伟晶岩型矿床对松潘—甘孜造山过程的示踪作用	(131)
6.2.1 伟晶岩对大陆活动的示踪依据	(131)
6.2.2 川西伟晶岩型矿床的示踪结果	(132)
§ 6.3 其他方面的信息对伟晶岩示踪结果的证明	(134)
6.3.1 构造特征	(134)
6.3.2 松潘—甘孜造山带酸性岩体的特征	(135)
6.3.3 地层厚度	(137)
§ 6.4 总结	(138)
第7章 构造—岩浆—成矿作用	(139)
§ 7.1 大陆动力学背景对川西伟晶岩矿化类型的制约	(139)
§ 7.2 川西伟晶岩型矿床的富F花岗岩浆液态不混溶作用	(141)
7.2.1 富F花岗岩浆的稀有金属矿化过程	(141)
7.2.2 构造环境对富F花岗岩浆液态不混溶作用的制约	(141)
7.2.3 化学组分对富F花岗岩浆液态不混溶作用的制约	(142)
§ 7.3 富F花岗岩浆对稀有金属的富集作用	(144)

7.3.1 岩浆结晶分异作用对稀有金属的富集作用	(145)
7.3.2 富 F 花岗岩岩浆液态不混溶作用对稀有金属的富集作用	(148)
7.3.3 影响稀有金属富集的其他因素	(151)
7.3.4 小结	(151)
§ 7.4 川西伟晶岩型矿床形成的构造—岩浆—成矿作用模式	(152)
结 论	(153)
参 考 文 献	(155)
附 录	(167)
附录 a	(167)
附录 b	(170)
附录 c 图版及其说明	(182)

第 1 章 绪 论

§ 1.1 与伟晶岩有关的稀有金属矿产供需现状

与伟晶岩有关的稀有金属矿产有锂、铍、铌、钽、锡、钨、钇、钆、铀、钍等。我国虽有丰富的稀有金属矿产资源,但资源现状并不理想,例如:某些急需的矿种储量不足,有些矿种虽然储量很大,但因品位偏低或选冶困难而无法利用。特别是近年来我国稀有金属工业发展很快,对稀有金属精矿原料的需求呈逐年快速增长态势,国内生产的精矿量已远远不能满足市场需求,供需矛盾日益突出!

1.1.1 锂

锂是最轻、最活泼的金属,曾被誉为“战略金属”、“能源金属”、“工业味精”,广泛应用于原子能、航空航天、电子、化工、医药等领域。例如,在航空工业中,西方国家及前苏联的超音速战斗机的机构材料都选用锂合金材料,而发展中国家的飞机应用铝—镁合金,在抗疲劳、强度、韧性、重量上都无法与发达国家相比。经测试,在飞机机构材料中添加 2%~3% 铝锂合金,在消耗等量燃料的情况下,飞机的运输能力可提高 20%。

在国际市场上,锂的总需求量是 6 000 t/a,且以 20% 以上的年需求量增长(《世界矿产品概要》,2005)。而金属锂主要生产国(美国、俄罗斯、加拿大、德国、澳大利亚、智利等)的总产量只有 2 500 t/a 左右,在美国占垄断地位的两家企业的产量分别为 900 t/a 和 500 t/a;俄罗斯生产能力只有 300 t/a 左右。市场的大量需求对世界锂的储量是个巨大挑战!

反观国内,从 1985 年至 1996 年,我国金属锂市场需求量平均每年以 20%~25% 的速度增长,锂资源需求量非常旺盛(《世界矿产品概要》,2005)。例如,我国碳酸锂进口量增长较快,2004 年超过 8 000 t,对外依赖程度约 60%,造成国内市场碳酸锂价格大幅上升,2005 年 8 月涨到了 55 万元/t(高敏,2005),达到了十几年来的峰值。

虽然,我国锂资源储量仅次于玻利维亚和智利,居世界第三位,但 2005 年国内锂辉石精矿供需缺口达 5 万 t,并随着国内锂矿山的陆续闭坑,锂资源供需缺口将进一步扩大,如据陈毓川、刘德权等《新疆优势矿产资源勘查评价综合研究》的统计资料(2005 年 9 月)显示,由于新疆可可托海矿床的闭坑,预计到 2010 年生产的一万吨锂盐共需要锂辉石精矿粉 8 万吨,缺口 7.8 万吨。这一方面是因为我国已开发利用的锂矿品位偏低,锂矿山 Li_2O 平均品位为 0.8%~0.14%,而国外锂矿山一般都在 1.4% 以上,而且许多矿山经过多年开采,产量日益下降。例如,近 5 年来,新疆锂资源基地——可可托海锂辉石矿山的锂辉石精矿年产量从 1.9 万吨下降到 0.2 万吨,直接导致了全国产量的下滑。另一方面,我国储量丰富的卤水锂基本上没有得到工业规模的利用,其主要原因是盐湖卤水中含镁较高, Mg/Li 比一般大

于 40(国外如智利阿塔卡马盐湖仅 6.47)(张玲等,2004)。目前,这种高镁锂比型盐湖卤水的提锂工艺才获成功,但规模化工业生产尚需时日。

1.1.2 铍

铍是钢灰色轻金属,被认为是一种“战略性、关键性的材料”,应用于核武器和防务产品的生产,是一种“对战争具有转折性意义的基础物资”。铍铜合金是世界铍消费的主要形式,约占铍消费总量的 65%~75%。据 CRU(英国商品研究所)统计,整个 20 世纪 80 年代,铍铜合金消费的年增长率为 6%,90 年代加速到 10%,到了 90 年代末,由于移动电话和互联网的巨大刺激,增长特别强劲;同时由于降低汽车排放物要求的推动,铍铜合金在汽车电气和电子市场上的新应用也正在大力开发之中。小部分铍以金属铍的形式应用,特别是在核能、宇航和航空、冶金等领域具有重要用途。据美国《航宇日报》2005 年 3 月 31 日报道,美国国防部将与私人企业一起投资一项历时多年、费用分摊额为 3 000~4 500 万美元的项目,用于在美国建立一家主要的铍金属加工厂。

从国内情况来看,我国最主要的铍矿类型为花岗伟晶岩型,主要产于新疆、四川、云南等地。矿区内伟晶岩脉成群出现,矿体形态复杂,含铍矿物为绿柱石,大中型矿床矿石中 BeO 品位为 0.02%~0.15%,其工业储量约占全国的 80%(张玲等,2004)。我国铍资源形势严峻,虽然许多地方正在加紧建设铍铜合金企业,但都面临着工厂建起来了,资源却没有着落的局面,新疆喀拉通克铍铜合金厂便是实例。这是因为经过半个世纪的开发,目前剩下的铍资源多为计划经济时期低工业指标探明的低品位储量资源,很难进行规模性的工业开采,从而使铍的生产规模远远不能满足国内的需求。目前国内对铍铜合金的需求在 1 000 t/a 以上,但 70%只能依靠进口(董超群等,2005)。

1.1.3 铌、钽

铌、钽具有熔点高、延性好、蒸气压低、耐蚀性强和热导率高等优良特性,是电子、核能、宇航、钢铁、化工等工业的重要原料。近几年来,随着计算机、数码相机、手机、车载电子系统需求转旺的拉动,世界各国对铌、钽资源的需求量越来越大。据国际铌钽研究中心(TIC)的统计,1996—1999 年,世界对铌、钽需求的增长速度约为 8%,2000—2002 年的增长速度为 12%,估计此后 2~10 年内会保持 12%以上的增长势头。

目前,铌消费不在资源国,而在发达国家,如含铌钢主要来自美国、日本、德国、法国等,金属铌和铌合金主要消费国是航空航天工业发达的美国(郭青蔚,2005)。此外,铌原料的生产和供应具有高度垄断性,巴西和加拿大的铌精矿居世界铌原料的垄断地位,但 20 世纪 80 到 90 年代,巴西和加拿大宣布停止铌精矿出口(郭青蔚,2005a)。钽被称为“贵金属”,和铌相比,其原料更少,价格更高。美国政府长期对钽进行战略储备,很大部分钽原料和钽冶金产品被美国政府控制起来作为紧急时期钽的供应(郭青蔚,2005b)。澳大利亚的瓜利亚公司控制着世界两大钽矿(Greenbushe 和 Wodgina),2001 年这两个矿生产的碳钽原料大于 720 t,约占世界钽精矿总供应量的 45%(郭青蔚,2005b)。

从 20 世纪 90 年代以来,我国的铌钽矿业投资热不断升温,粗略估算,目前我国钽制品产量约 800 t,占世界总量的三分之一; K_2TaF_7 的产量逾 2 000 t,占世界总需求的 50%。但我国还不是铌钽资源强国,主要原因是钽资源供应不足,原料不能自给,一旦市场波动,我国

大多数企业将成为主要的受害者。我国的铌工业储量为486 490 t,仅占世界储量的1.5%,且资源量的评价指标是计划经济时代参考20世纪50年代苏联标准制定的,品位大大降低,市场经济时代不能开发利用,只能视为潜在资源(何季麟等,2005)。目前我国已利用铌矿的 Nb_2O_5 品位为0.0083%~0.0437%,精矿品位也仅为2.80%~34.62%,与国外铌矿石品位相比大大偏低,而回收率也一般为23.6%~47.64%,低于国外水平(张玲等,2004)。此外,一部分矿山由于亏损严重而停产,少量矿山经济效益微薄或全靠伴生副产品弥补,如新疆著名的可可托海矿床已闭坑;一些品位较高的碳酸岩型和碱性花岗岩型铌矿床,如白云鄂博、巴尔哲、庙垭等,由于铌矿物晶粒细、相互嵌布、选矿富集困难,经济有效的工艺尚未过关(高玉德等,2004);也有一部分矿山由于管理不善,导致资源大量流失,如江西宜春钽铌矿是我国乃至亚洲最大的钽铌矿山,却遭到当地个体非法采石者的大规模掠夺性开采,稀有矿产资源遭到了严重的破坏。我国的钽资源状况与铌相似,资源潜力大,但工业储量低,主要钽矿床类型为花岗岩型,与世界钽资源主要来自花岗伟晶岩不同,因此我国的钽矿石品位低,开采利用成本太高,如最近发现的某偏碱性花岗岩型钽铌矿是近年来国内发现的特大型钽铌矿,但是岩体平均埋深约500米,开采成本远高于露天采矿,因此该矿一直未能开发利用(张玲等,2004)。

由以上分析可知,我国稀有金属的供需形势非常严峻。作为稀有金属的主要载体,深入开展伟晶岩研究,确定其形成机制,对进一步开展成矿预测具有十分重要的经济意义。

§ 1.2 伟晶岩的研究现状

伟晶岩是稀有金属之家,宝石之库,长久以来为矿床学、地球化学学家的研究对象,亦是探索新成矿理论的重要窗口。依矿物成分、化学组分及相应的母岩,伟晶岩可分为花岗质和非花岗质伟晶岩两大类。本书研究的是花岗质伟晶岩,即成分是与花岗岩相当的伟晶岩。

我国的伟晶岩矿床在世界上占有重要地位,除了拥有巨大的阿尔泰伟晶岩省外(即使是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),在我国西南还聚集着甲基卡和可尔因伟晶岩型稀有金属矿床,雪宝顶伟晶岩型钨锡矿床,丹巴伟晶岩型白云母矿床,这些矿床主要形成于燕山期,且已有的同位素年龄多数集中在200~100 Ma左右(1/20万区域地质调查报告·新龙幅、朱尼幅、康定幅(地质部分),1984;1/20万区域地质调查报告·丹巴幅(地质部分),1980;1/20万区域地质调查报告·观音桥幅·楠木达幅(地质部分),1986)。在其他地区,秦岭造山带产有含稀有金属及铀的伟晶岩矿床(栾世伟,1979;陈西京,1993;冯明月等,1996),东南沿海产有福建南平伟晶岩型稀有金属矿床(仇年铭等,1985;杨岳清等,2003,1998;王文谟等,1999),内蒙古产有土贵乌拉式伟晶岩型白云母矿床和哈达门沟伟晶岩型金矿(吴尚全等,1995),天山造山带产有碱性伟晶岩型稀有金属及透辉石矿床(邹天人等,1996)。

1.2.1 伟晶岩的分类

地球上存在形形色色各不相同的伟晶岩,从不同的研究角度,可以把伟晶岩分成不同的类型。

根据形成深度,金兹堡、季莫菲耶夫、费尔德曼等把伟晶岩归为四类。① 浅成伟晶岩:

亦称晶洞伟晶岩,形成深度 1.5~3.5 km,产于浅成花岗岩侵入体的顶部,围岩为浅变质岩;
② 中深伟晶岩:又名稀有金属伟晶岩,形成深度 3.5~7 km,产于花岗岩体之外低压、中高温的菁青石-角闪石变质相(至绿片岩相)岩石中,主要矿产有 Li、Rb、Cs、Be、Ta、Nb 等;
③ 深成伟晶岩:即白云母伟晶岩,形成深度 7~11 km,产于较高压、高温的铁铝榴石-角闪石变质相中;
④ 最深伟晶岩:形成深度大于 11 km,产于角闪岩相至麻粒岩相变质岩系中,与混合岩过渡,无明显花岗岩母岩。该观点得到 Cěrný(1982, 1989)的赞同。

Cěrný(1985)把伟晶岩分为造山伟晶岩和非造山伟晶岩。非造山伟晶岩又分为深成类、稀有金属类和晶洞类;造山伟晶岩又分为深成类、白云母类、稀有金属类和晶洞类。Cěrný(1991a)把稀有金属伟晶岩归为三种类型:LCT 型、NYF 型和 LCT 与 NYF 混合型。LCT 型伟晶岩的主要元素为 Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Nb<Ta, B, P, F; NYF 型伟晶岩的主要元素为 Nb>Ta, Y, REE, Sc, Ti, Zr, Be, Th, U, F。

由于云母是稀有金属元素的主要载体,邹天人等(1975)建议把伟晶岩分为黑云母伟晶岩(矿产为 REE-Nb-U-Th-Zr)、二云母伟晶岩(矿产为 Be)、白云母伟晶岩(矿产为 Be-Nb-Ta-Hf 及 Li-Rb-Cs-Be-Nb-Ta-Hf)和锂云母伟晶岩(矿产为 Li-Rb-Cs-Ta-Hf)。

其他分类,如:根据花岗伟晶岩中矿物的共生组合和结构特征,对伟晶岩进行分类;根据特征性造岩矿物和稀有金属元素的形成、演化、发展规律进行分类;根据伟晶岩中稀有金属元素和少量元素的差异进行分类等等,不一而足。

不同类型的伟晶岩可能具有相同的成因机制,而相同类型的伟晶岩可能属于不同的成因。因此,下面将主要研究伟晶岩的成因类型,并深入讨论伟晶岩与造山作用的耦合关系。

1.2.2 伟晶岩的成因类型

邹天人等(1975)提出了伟晶岩的岩浆分异交代成因和变质分异成因论,认为我国已发现的大量稀有金属花岗伟晶岩均属于岩浆分异交代成因,变质分异成因的伟晶岩脉常产于复背斜核部的深变质岩—混合花岗岩的两翼或眼球状混合岩和各种片麻岩内,脉小而密集分布。

袁见齐、朱上庆、翟裕生(1985)在《矿床学》中把伟晶岩型矿床成因类型归为两类:岩浆成因和变质成因伟晶岩型矿床。变质成因伟晶岩多与前寒武纪变质杂岩有关,是由超变质作用或选择性重熔作用形成的一种变质流体随着挥发组分的聚集,对固态岩石发生重结晶作用及交代作用,或沿构造裂隙贯入而形成的。

据《地质科技动态》(1972),有人通过对前苏联和印度白云母伟晶岩的研究,把白云母伟晶岩分为变质型、岩浆型和岩浆期后型。

西尼亚科夫(1992)把伟晶岩的成因模式分为岩浆模式、岩浆期后热液交代模式、变质模式、前两者的联合模式。

栾世伟等(1996)把阿尔泰伟晶岩型矿床按成因分为:残余岩浆的平衡结晶分异型、熔体—溶液平衡—非平衡结晶分异型和低熔高温气液非平衡分离结晶型。

邹天人等(2006)把伟晶岩的成因分为变质流体分异成因、超变质分异流体与初熔岩浆分异流体混合交代成因、重熔岩浆分异成因和高温气液成因。

概括起来,伟晶岩的成因可分为两大类:与岩浆活动有关的岩浆型伟晶岩和与变质作用

有关的变质型伟晶岩。每种成因类型包括多种成因模式,每种模式在特定的条件下或是成立的。

1.2.2.1 岩浆型伟晶岩

地球化学资料证明许多伟晶岩脉与围岩的同位素处于不平衡状态,由伟晶岩可以追溯到岩浆源,即使高度分异的伟晶岩脉也不例外。如,O'Connor et al(1991)在研究爱尔兰东南部 Leinster Granite 周边的富锂伟晶岩脉时,根据伟晶岩脉和花岗岩体的 Rb-Sr 同位素年龄、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值,及微量元素组成间的关联,排除了伟晶岩为富锂沉积岩熔融产物的可能,属于岩浆成因,认为在岩浆演化的中晚期,黑云母转变为白云母的过程会提高残余熔体的 Li 含量,并降低其黏度;Brookins(1986),Talor and Friedrichsen(1983)用 Sr 同位素组成排除了美国和瑞典北部的伟晶岩物质来源于围岩的可能;Tomascak et al(1998)根据 Sm-Nd 同位素体系分析美国缅因州 Standpipe Hill 伟晶岩与邻近的黑云母花岗岩有成因联系。

岩浆型伟晶岩脉一般有三种产出形式(Cěrný, 1991b)。当渗滤作用和重力对流扩散作用是残余岩浆迁移的主要动力时,伟晶岩脉将主要分布在花岗岩体的上部(图 1-1A);当由岩体冷却诱发的裂隙是岩浆分离的主导因素时,伟晶岩脉将自接触带向内分布(图 1-1B);另外一种伟晶岩熔体在浮力作用下上升,从尚未完全冷却的母岩浆分离,并在岩体内部成脉,但这种现象不常见(图 1-1C)。

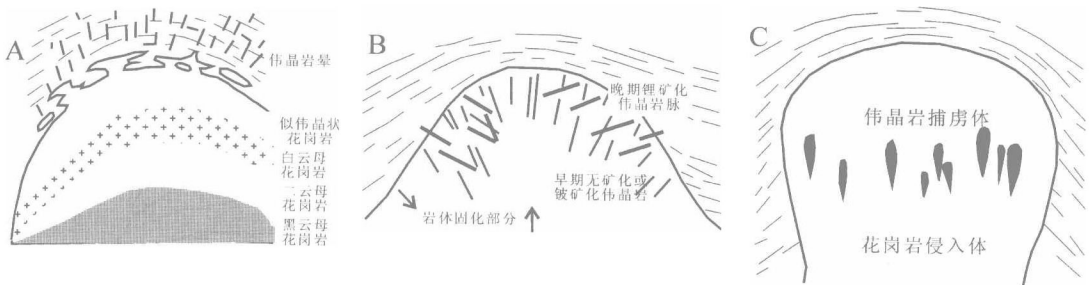


图 1-1 伟晶岩与花岗岩体的关系示意图(Cěrný, 1991b)

A—花岗岩体向外分离结晶,外围为伟晶岩脉带;B—伟晶岩脉产于由岩体冷却产生的裂隙中;
C—伟晶岩熔体在自母岩浆上升的过程中结晶成脉

岩浆型伟晶岩的成因模式主要有三种:脉动模式、结晶分异模式和液态不混溶模式。

(1) 脉动模式

根据伟晶岩脉的区域分带性,Солодов(1959, 1962)认为不同时期从岩浆源析出不同的伟晶岩熔体,首先析出富钾伟晶岩熔体,随后析出富含 Ta、Cs、Rb 及部分 Be 的钾—钠伟晶岩熔体,紧接着析出富含 Ta、Nb 的特殊熔体—溶液,最后形成相对富含钾并含 Sn 的钠—锂脉动熔体。但大量的野外证据表明多数伟晶岩脉是一次脉动性侵位的,并在结晶作用开始前收缩成径状以增大规模,因而这种成因模式逐渐被抛弃(London, 2005)。

(2) 结晶分异模式

邹天人等(1975, 1984, 1985, 1986)认为,岩浆分异自交代成因的伟晶岩是在母岩浆开始