

高温高压实验地球化学

赵 斌 王声远 吴厚泽 刘正义 等 著

科学出版社





国家自然科学基金委员会资助出版

高温高压实验地球化学

赵 斌 王声远 吴厚泽 刘正义 等著

国家自然科学基金委员会

中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室

联合资助

科学出版社

1995

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书系统而深入地研究了高温高压条件下主要成矿元素、挥发分和主要造岩元素在中-酸性铝硅酸盐熔体与不同成分、不同浓度流体之间的分配行为,获得了一大批元素和元素对在熔体与流体之间的分配系数;确定了Cu、Mo、W、Pb、Zn等成矿元素在超临界条件下,在含 Cl^- 、 F^- 热液中的主要存在形式并计算其生成自由能;考察了铀矿物在与自然铀矿床相当条件下于不同介质中的溶解行为;还探讨了实验结果在矿床地质、地球化学研究中的广泛应用。

本书是国内第一部研究元素在高温高压条件下分配和迁移行为的专著,它对从事地质、地球化学、矿床、岩石和矿物工作的研究人员和矿产地质勘查技术人员、地质院校及综合性大学地质、地球化学专业师生均有重要参考价值。

高温高压实验地球化学

赵 斌 王声远 吴厚泽 刘正义 等著

责任编辑 谢洪源 王日臣

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

激光照排 新年公司

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1995年12月第一次印刷 印张:17 1/2

印数:1—380 字数:413 000

ISBN 7-03-004590-4/P·815

定价: 29.80 元

序

这本专著《高温高压实验地球化学》，基本上代表了当前国内外实验地球化学的发展前沿。它涉及的元素面极广，既有成矿元素，又有挥发分元素，还有造岩元素；而这本书的一大突出特点，就在于将这些元素加以统一考虑，并将它们都列为实验或考虑的对象。无疑，这在实验地球化学界是少有的。迄今为止，众多的实验都只是围绕个别元素而开展的，而不是统筹安排这样多的元素。

这样做，道理其实很简单。最朴素的考虑是：金属矿床不能脱离成矿元素而单独存在，成矿元素经过高度富集才能形成矿床，这是最简单的常识；但如果没有挥发分的参与（如 H_2O ， CO_2 ，F，Cl 等），金属元素亦不可能发生活化、溶解、迁移，当然，也就谈不上富集成矿；在成矿过程中，一些造岩元素也起着不可忽视的作用，如碱交代、硅化等，没有这些蚀变交代作用，有些类型的金属矿床就不可能形成。

在不同物理化学条件下，元素在熔体和流体间分配系数及矿物溶解度的获得，是合理解释岩浆结晶分异作用、岩浆与围岩的物质交换及蚀变交代作用、岩浆热液矿床的形成等一系列重要成岩成矿作用所必需的。一些成矿地质现象，如不同金属矿床围绕花岗岩岩株构成水平分带及不同类型花岗岩类矿床（如花岗岩型钼矿床、花岗岩型铀矿等）的出现，其形成机制及解释，也要借助于元素配分和矿物溶解度实验结果。这本书提供的这方面的实验数据和依据，是大量的、难得的。

本书作者力图使实验结果与地质现象相结合。譬如，氟化物溶液可搬运铅、锌的实验，使作者能够对若干铅锌矿床中闪锌矿、方铅矿与大量萤石共生现象，做出颇有新意的解释。

实验地球化学是固体地球科学的一项重要基础工作，愿这本书的出版能够引起人们对这项基础工作的更加重视。

涂光炽

1990年12月26日

前 言

近十几年来,我国地球科学领域中高温高压实验研究工作发展迅速,其主要标志是高温高压实验室建设得到了进一步完善,实验研究水平也有了明显提高,并获得了一批可喜的研究成果,先后出版了《成岩与成矿实验》(曹荣龙等,1980)、《高温高压实验地球化学》(中国科学院地球化学研究所等,1981)、《实验地球化学》(曾贻善,1987)和《实验地球化学》(李兆麟,1988)、《成矿作用实验研究》(刘玉山等,1990)等编著及译文集。

虽然国内同行在自己工作中做了不懈努力,但由于我们的实验研究工作起步较晚,研究队伍的素质也有待进一步提高,与国外实验地球化学和国内地球化学各分支学科的发展还有相当大的差距。涂光炽教授在几年前回顾地球化学在我国解放后的发展情况时指出:“目前,在我国地球化学诸分支门类中,显得十分薄弱的是实验地球化学,尽管在这个领域中也作了一定的工作。”

实验地球化学是地球化学中的一门边缘分支学科,其研究具有较强的基础性、综合性及探索性。目前在科研体制改革和拨款方式改变的情况下,还没有摸索出发展实验地球化学的好办法来。在承担国家重大项目的投标中,实验地球化学由于学科限制而缺乏竞争力。目前科研经费来源困难。从长远看,实验地球化学又必须得到发展,这是由其学科性质决定的。涂光炽教授最近写道:“如果实验地球化学得不到及时的、较快的发展,将不可避免地影响矿物学、岩石学、矿床学及其它地球化学分支学科的发展,甚至,对整个地球科学也要拖后腿”。

《高温高压实验地球化学》一书就是在上述背景下出版的,它是我国第一部系统报道自己高温高压实验研究成果的专著。它包括了钨、钼、铌、钽、铜、铅、锌等成矿元素及钾、钠、钙、镁、铁、铝、硅等造岩元素和氯、氟挥发分在不同成分酸性硅酸盐熔体与不同成分及不同浓度流体之间分配系数和 WO_3 、 MoO_3 、 MoS_2 、 CuO 、 CuFeS_2 、 PbS 、 ZnS 等在热液中溶解度的实验测定。元素分配实验条件为: $T=700-1\ 000^\circ\text{C}$, $P=1.0-4.0\text{kbar}$, $t\geq 72\text{h}$ 。矿物或物种溶解度实验条件为: $T=200-600^\circ\text{C}$, $P=1.0-2.0\text{kbar}$, $t=96-480\text{h}$ 。本书还包括晶质铀矿、沥青铀矿和花岗岩中的铀在 $200-400^\circ\text{C}$ 及 $0.1-1.5\text{kbar}$ 条件下的溶解行为及淋滤行为实验研究。

本专著有以下几个特点。第一,实验研究涉及的元素较多,并且从高温到低温系统研究了成矿元素地球化学行为。在实验研究中考察了硅酸盐熔体成分、溶液成分及浓度、温度、压力、溶液酸度、硅酸盐熔体中成矿元素初始含量、流体与固体样重量比值等对元素分配系数的影响,研究了温度、溶液成分、浓度和酸度、 f_{O_2} 等与矿物或物种溶解度的依赖关系。第二,把实验研究与高温高压下获得矿物或物种在水溶液中溶解反应的平衡常数和配合物的生成自由能等热力学数据结合起来。通过实验,我们确定 $[\text{WO}_4]^{2-}$ (600°C , 2.0kbar)、 H_2MoO_4^0 (500°C , 1.0kbar)、 $[\text{CuCl}_2]^-$ (500°C , 1.0kbar , NNO 确

定的 f_{O_2} 值) 及 (500℃, 1.0kbar, C-CO₂ 确定的 f_{O_2} 值)、[ZnCl₂]⁰ (500℃, 1.0kbar, C-CO₂ 确定的 f_{O_2} 值) 为热液中主要存在形式。在此实验基础上, 通过计算, 我们获得了在上述实验条件下 WO₃、MoO₃、CuO、CuFeS₂、PbS 和 ZnS 溶解反应平衡常数及上述配合物在实验条件下的生成自由能。这些研究使我们有可能对包含钨、钼、铜、铅、锌矿物溶解反应进行热力学标定。根据计算结果编制成各种具有广泛地质地球化学意义的图解, 从而有可能定量估价金属矿物的溶解、沉淀机制及条件, 也可定量探讨自然界中常见的矿物共生组合形成的物理化学条件。在大量实验数据基础上, 我们获得了一系列钾、钠、钙、镁、铁分配系数与实验后流体总氯浓度的回归方程, 从而有可能得到硅酸盐熔体与流体互相作用过程中阳离子交换反应的平衡常数。第三, 扼要地介绍了国内外同类研究成果及其资料来源, 以便读者进行比较或进一步查阅所需资料。本书的另一特点是力图把实验结果与自然界中观察到的地质地球化学现象进行比较。

这项重要科研项目, 其主要实验研究工作得到了国家自然科学基金委员会的资助, 部分造岩元素及挥发分的分配实验研究得到了“中国东部海陆岩石圈的组成、结构和演化”项目(中国科学院重点项目)、中国科学院矿床地球化学开放实验室和中国科学院地球化学研究所 1988 年所长基金的资助。

全书共分十一章, 各章、节的执笔人为: 第一章, 赵斌; 第二章中第一节, 赵斌、Малинин、易东山、杨美奇; 第二节, 王声远、赵斌; 第三章中第一节, 赵斌、柏天宝、陈松乔; Кравчук、Лебедев; 第二节, 赵斌、柏天宝、陈松乔; 第四章, 赵斌、易东山; 第五章中第一节和第二节, 赵斌、陈松乔; 第三节, 田应球、吴厚泽、池上荣; 第六章中第一节, 赵斌、赵劲松; 第二节, 吴厚泽、池上荣、田应球; 第七章中第一节, 赵斌、赵劲松、Кравчук、Лебедев; 第二节, 池上荣、吴厚泽、田应球; 第八章, 刘正义、姚莲英、李永利; 第九章, 赵斌、赵劲松、陈松乔; 第十章, 赵劲松、赵斌; 第十一章, 赵斌; 结论, 赵斌。

全书的统一和定稿工作由赵斌负责。定稿后的审校工作由赵劲松和洪红负责。

本书的撰写工作一直得到涂光炽教授、中国科学院地球化学研究所和中国科学院地球化学研究所广州分部领导以及科学出版社李增全编审的热情鼓励和支持。

中国科学院矿床地球化学开放实验室 1990 年冬在贵阳组织对本研究成果和专著进行评审。参加评审工作的有涂光炽教授(中国科学院地学部主任)、於崇文教授(中国地质大学)、刘英俊教授(南京大学地球科学系)、李兆麟教授(中山大学地质系)、冉崇英教授(昆明工学院地质系)、王中刚研究员(中国科学院地球化学研究所)、王永法教授(国家自然科学基金委员会)。作者衷心感谢他们对本研究成果的充分肯定和给予的高度评价, 这是对科研工作者的最大鼓励和鞭策, 也是对基础研究工作的最大支持。我们要特别感谢评委们对本专著提出的宝贵的修改意见, 在修改稿中我们特别加以认真考虑。

作者最衷心地感谢我国著名矿床学家、地球化学家涂光炽教授, 感谢他为本书作序和负责全书终审工作。

本书承杨启顺、高思登、李乙雨、潘景瑜、周兴国、庄世杰和安贤国协助完成样品成分的分析测试工作; 承唐春景、陆宝林、吕国英和程应良协助电算、绘图及照相工作, 谨此一并致谢。

我们试图通过本专著比较系统地反映获得的实验资料 and 观点, 希望本书能够对我国

的实验地球化学、矿床地球化学、元素地球化学及成因岩石学的发展起到一点作用。同时我们也殷切地希望读者对本书的错误和缺点提出批评、指正。我们深深地感到，现在对元素在宽广温压条件下的地球化学行为定量实验研究仅仅迈出了可喜的第一步，该做的工作还很多。我们愿意和更多的从事实验地球化学研究的同行们一道为进一步提高我国实验地球化学和矿床地球化学研究水平而继续努力。

赵 斌

1990.12. 于广州

目 录

序.....	(ix)
前言	(x)
第一章 实验技术和方法	(1)
第一节 实验设备	(1)
第二节 初始物质	(5)
一、凝胶的制备	(5)
二、硅酸盐玻璃制备	(7)
第三节 实验方法	(7)
第四节 实验产物的鉴定和分析测试	(8)
第二章 钨的分配和 WO_3 溶解度实验研究	(11)
第一节 钨的分配实验研究	(11)
一、概述	(11)
二、实验条件的选择	(12)
三、实验结果	(13)
四、对实验结果的讨论和应用	(18)
第二节 WO_3 的溶解度实验研究	(23)
一、概述	(23)
二、实验方法	(27)
三、钨在含 Cl^- 溶液中的存在形式及其自由能的推导	(27)
四、钨铁矿在含 Cl^- 溶液中溶解度计算	(30)
五、钨铁矿在不同地球化学环境中的稳定性	(33)
六、实验结果在钨矿床成因方面的意义	(37)
第三节 小结	(40)
第三章 钼的分配及 MoO_3 的溶解度实验研究	(41)
第一节 钼的分配实验研究	(41)
一、概述	(41)
二、实验方法和技术	(45)
三、初始物的制备	(46)
四、实验结果	(46)
第二节 MoO_3 的溶解度实验研究	(51)
一、概述	(51)
二、 MoO_3 溶解度实验的理论依据	(53)
三、实验方法与技术	(53)
四、实验结果及其地球化学意义	(54)
第三节 小结	(62)

第四章 铈和钽的分配实验研究	(64)
第一节 概述	(64)
第二节 样品制备和实验方法	(64)
第三节 实验结果和讨论	(65)
一、关于元素回收率问题	(65)
二、元素的溶解度	(69)
三、流体中铈、钽摩尔浓度与实验后流体中氟摩尔浓度的关系	(70)
四、元素分配系数	(70)
五、流体中钾、钠浓度与氟浓度的关系	(71)
六、钠长花岗岩熔体与含氟流体互相作用中的可能化学反应	(71)
七、实验后溶液的酸度变化	(72)
八、温度和压力对元素分配的影响	(72)
九、铈和钽在流体中的可能存在形式	(73)
第四节 实验结果在花岗岩型铈钽矿床中的应用	(73)
第五节 小结	(74)
第五章 铜的分配及 CuO 和黄铜矿的溶解度实验研究	(75)
第一节 铜的分配实验	(75)
一、概述	(75)
二、实验用的初始样品制备及实验产物分析	(77)
三、实验结果及其讨论	(78)
第二节 CuO 的溶解度实验研究	(82)
一、概述	(82)
二、CuO 溶解度实验研究理论依据	(83)
三、铜的溶解度实验方法	(85)
四、实验结果及其地球化学意义	(85)
第三节 黄铜矿的溶解度实验研究	(91)
一、实验条件与实验方法	(91)
二、实验结果	(92)
三、实验数据的热力学计算与处理	(97)
四、实验结果的讨论及其地质意义	(100)
第四节 小结	(101)
第六章 铅的分配和方铅矿溶解度实验研究	(103)
第一节 铅的分配实验研究	(103)
一、概述	(103)
二、铅的基本性质	(107)
三、实验方法及技术	(108)
四、实验结果及讨论	(108)
第二节 方铅矿的溶解度实验研究	(114)
一、概述	(114)
二、实验条件与实验方法的选择	(115)
三、实验结果	(115)

四、实验数据的处理	(120)
五、实验结果讨论及其地质意义	(121)
第三节 小结	(122)
第七章 锌的分配及闪锌矿溶解度实验研究	(123)
第一节 锌的分配实验研究	(123)
一、概述	(123)
二、锌的地球化学特征	(126)
三、实验方法	(126)
四、实验结果和讨论	(127)
第二节 闪锌矿的溶解度实验研究	(131)
一、概述	(131)
二、实验方法与实验条件	(132)
三、实验结果	(132)
四、实验数据处理与热力学计算	(137)
五、实验结果讨论及其地质意义	(140)
第三节 小结	(141)
第八章 铀的溶解实验研究	(142)
第一节 前人成果综述	(142)
一、铀溶解度与温度关系	(142)
二、铀溶解度与压力的关系	(143)
第二节 实验设备与方法	(143)
一、常压表生条件下铀溶解实验设备与方法	(143)
二、内生条件下(岩浆期后热液阶段)铀溶解实验装置与方法	(144)
第三节 实验结果与讨论	(144)
一、晶质铀矿在表生静、动态条件下的溶解实验	(144)
二、花岗岩中的铀在表生动态条件下的溶解实验	(149)
三、晶质铀矿、沥青铀矿在岩浆期后热液条件下的溶解实验	(151)
四、花岗岩中的铀在岩浆期后热液条件下的溶解实验	(154)
五、铀在硫化物-碳酸盐溶液中溶解性状实验	(159)
第四节 流体熔体晶体共存相间铀分配实验	(164)
第五节 主要结论及其地质意义	(165)
第九章 氯和氟在中-酸性铝硅酸盐熔体与流体之间的分配实验研究	(167)
第一节 概述	(167)
一、氯	(167)
二、氟	(169)
第二节 氯的分配实验研究	(170)
一、实验方法	(170)
二、实验结果和讨论	(170)
第三节 氟的分配实验研究	(190)
第四节 小结	(194)
第十章 造岩元素的分配实验研究	(195)

第一节 概述	(195)
第二节 实验结果	(196)
一、实验后的铝硅酸盐熔体化学成分特点	(196)
二、造岩元素在熔体与流体之间分配	(212)
第三节 小结	(217)
第十一章 岩浆与流体互相作用的几个问题讨论	(230)
一、水在酸性岩浆中的溶解度	(230)
二、岩浆与流体互相作用过程中的几种可能化学反应	(230)
三、岩浆及流体化学成分的变化趋势	(233)
四、控制元素在铝硅酸盐熔体与共存流体之间分配的主要因素	(234)
五、氯在岩浆演化过程中的浓度变化趋势	(240)
六、由岩浆与流体互相作用产生的成矿元素预富集作用	(240)
七、岩浆与流体互相作用过程中的酸碱分离	(244)
八、成矿金属的带出与原始岩浆水含量及氯浓度的关系	(245)
结论	(248)
主要参考文献	(250)
英文摘要	(256)

Contents

Preface

Introduction

Chapter 1. Experimental techniques and methods

Section 1. Experimental Equipments

Section 2. Starting materials

1. Preparation of gels

2. Preparation of silicate glass

Section 3. Methods of experiment

Section 4. Appraisals, analyses and test of run products

Chapter 2. Experimental studies on partitions of W and solubilities of WO_3

Section 1. Studies on partition experiments of W

1. Introduction

2. Choosing experimental conditions

3. Results of experiments

4. Discussion on experimental results and it's application

Section 2. Studies on solubility experiments of WO_3

1. Introduction

2. Methods of experiments

3. The form of tungsten existence in solutions with chlorine and calculation of its free energy

4. Solubility calculation of ferberite in the solutions with chlorine

5. Stabilities of ferberite in different geochemical environments

6. Importances of experimental results to geneses of tungsten deposits

Section 3. Brief summary

Chapter 3. Experimental studies on partition of Mo and solubilities of MoO_3

Section 1. Studies on partition experiments of Mo

1. Introduction

2. Experimental methods and techniques

3. Preparations of starting materials

4. Results of the experiments

Section 2. Studies on solubility experiments of MoO_3

1. Introduction

2. Theoretical basis for studies of solubility experiments of MoO_3

3. Experimental methods and techniques

4. Results of the experiments and their geochemical importance

Section 3. Brief summary

Chapter 4. Partition experiments of Nb and Ta

Section 1. Introduction

Section 2. Preparations of starting materials and methods of experiments

Section 3. Experimental results and discussions about them

1. Question about element recovery ratio
2. Solubilities of elements
3. Correlations between mole concentrations of Nb or Ta in the fluids and mole concentrations of fluorine in the fluids after runs
4. Partition coefficients of the elements
5. Correlations between the concentrations of K or Na in the fluids and fluorine concentrations
6. Possible chemical reactions in the processes of interaction between melt of albite granite and fluid with fluorine
7. Changes of solutions in acidity after runs
8. Effects of temperature and pressure on the partition of elements
9. Possible forms of the existence of Nb and Ta in the fluids

Section 4. Application the experimental results to Nb and Ta deposits in granite

Section 5. Brief Summary

Chapter 5. Experimental studies on copper partitions and solubilities of CuO and chalcopyrite

Section 1. Studies on partition experiments of Cu

1. Introduction
2. Preparations of starting materials used in the experiments and analyses of run products
3. Results of the experiments and discussions about them

Section 2. Studies of solubility experiments of CuO

1. Introduction
2. Theoretical basis for studies of solubility experiments of CuO
3. Methods of solubility experiments of CuO
4. Results of the experiments and their geochemical importances

Section 3. Studies of solubility experiments of chalcopyrite

1. Experimental conditions and method
2. Results of the experiments
3. Thermodynamic calculations and procedures of experimental data
4. Discussions on experimental results and their geological significances

Section 4. Brief summary

Chapter 6. Experimental studies of partitions or Pb and solubilities of galena

Section 1. Studies on partition experiments of Pb

1. Introduction
2. Basic properties of lead
3. Experimental method and techniques
4. Results of the experiments and discussions on them

Section 2. Studies of solubility experiments for galena

1. Introduction
2. Choices of experimental conditions and methods
3. Results of the experiments
4. Processing of experimental data

5. Discussions on experimental results and their geological significances

Section 3. Brief summary

Chapter 7. Experimental studies of zinc partitions and sphalerite solubilities

Section 1. Studies of partition experiments of Zn

1. Introduction
2. Geochemical characteristics of zinc
3. Experimental method
4. Results of the experiments and discussions on them

Section 2. Studies of solubility experiments of sphalerite

1. Introduction
2. Experimental method and conditions
3. Results of the experiments
4. Processing of experimental data and thermodynamic calculations
5. Discussions on experimental results and their geological significances

Section 3. Brief summary

Chapter 8. Experimental studies of dissolution of uranium

Section 1. Summary of predecessor work

1. Relations between uranium dissolutions and temperatures
2. Relations between uranium dissolutions and pressures

Section 2. Experimental equipments and methods

1. Experimental equipments and methods of uranium dissolutions under supergene conditions at the atmosphere
2. Experimental equipments and methods of uranium dissolutions under endogenic conditions (postmagmatic hydrothermal stages)

Section 3. Results of the experiments and discussions on them

1. Dissolution experiments of uraninite under supergene static or dynamic conditions
2. Dissolution experiments of uranium from granite under supergene dynamic conditions
3. Dissolution experiments of uraninite and pitchblende under the postmagmatic hydrothermal conditions
4. Dissolution experiments of uranium from granite under the postmagmatic hydrothermal conditions
5. Experiments on dissolution behaviours of uranium in sulfide-carbonate solutions

Section 4. Partition experiments of U between phases of liquid, melt and crystal

Section 5. Principal conclusions and their geological significances

Chapter 9. Experimental studies on partitions of chlorine and fluorine between intermediate-acid aluminium silicate melts and fluids

Section 1. Introduction

1. Chlorine
2. Fluorine

Section 2. Studies on partition experiments of chlorine

1. Experimental method
2. Results of the experiments and discussions on them

Section 3. Studies on partition experiments of fluorine

Section 4. Brief summary

Chapter 10. Experimental studies on partitions of rock-forming elements

Section 1. Introduction

Section 2. Results of the experiments

1. Characteristics of aluminium silicate melts in chemical compositions after runs

2. Partitions of rock-forming elements between melts and fluids

Section 3. Brief summary

Chapter 11. Discussions on some problems of interactions between magmas and fluids

1. Solubility of water in acidic magmas

2. Several possible chemical reactions in the processes of interactions between magmas and fluids

3. Tendency to change in chemical compositions of magma and fluids after runs

4. Main factors controlled element partitions between aluminium silicate melts and coexisting fluids with them

5. Tendency to change in concentrations of chlorine in the processes of magmatic evolutions

6. Pre-enrichment of ore-forming elements derived by interactions between magmas and fluids

7. Separation of acid components from alkali metals in the processes of interactions between magmas and fluids

8. Correlation between remove of ore-forming metals, water contents and chlorine concentrations in primitive magmas conclusions

Conclusion

References

English Abstract

第一章 实验技术和方法

第一节 实验设备

世界上大多数高温高压实验室的高压设备都是根据实验要求而自己设计和研制的。除了美国等少数国家外,高压设备都未标准化,在市场上一般买不到。即使在美国,因为公司生产或组装的高压装置价格昂贵,实验室一般都不购买整套设备,而只买一些零件或单机自己动手组装。

在美国,地球科学领域实验用的通用设备,如各种类型的高压泵、高压气体压缩机、压力倍增器、高压釜、高压阀、高压钢管、高压压力表等,业已标准化,在市场上可以买到。比较有名气的高压设备公司有:Leco Corporation Tem-Pres Division, Superpressure, INC., Harwood Engineering Company, INC., High Pressure Equipment Company, Pressure Products Industries Division of the Duriron Company, INC., American Instrument Company, Division of Travenol Laboratories, INC.。高压设备及其零配件的标准化,不仅对美国而且对世界高温高压实验研究工作的发展,都起到了积极的推动作用。

近几年,有两本关于高压技术和方法的专著出版。一本是由美国 Ulmer 教授和 Barnes 教授主编的“Hydrothermal Experimental Techniques”(1987),另一本书是由原苏联 Жариков 院士和 Иванов、Литвин 博士主编的“Современная Техника и Методы Экспериментальной Минералогии”(1985)。这两本书内容丰富,集中反映了 80 年代国际高温高压实验技术研究的新水平。

“Hydrothermal Experimental Technirues”一书汇编了经过完善的、牌号崭新的水热研究技术设备,并且对于每一种技术,作者都谈到其成功与失败之间差别的主要诀窍。书中,氢的探测技术和装置、 H_2 渗透测量方法、 ZrO_2 与钇氢化物及钇氧化物的水热 pH 探测技术、摇摆高压釜可变反应室体系研究中的可变室设计、流体-流动体系中的溶解度实验研究方法、超高压下矿物溶解度研究方法、冷封式高压釜体系中电子计算机的应用、水热体系的振动谱学和电子谱学的研究方法和技术及 $P-V-T-X$ 气体溶解度测量的技术与设备等都是比较新的。

原苏联出版的“Современная Техника и Методы Экспериментальной Минералогии”包括水热技术、气体技术和超高压技术三部分,共收集了 65 篇论文。这本书专讲实验矿物学、实验岩石学、实验地球化学、单晶生长和合成工艺学中采用的产生高压的现代技术和方法。书中讨论了原苏联实验室现有的水热、气体和固体传压三个方面的高压设备,反映了其实验工作者研究和掌握这些设备的最新成就。

利用外加热反应器的水热装置,原苏联目前可以获得压力达 8—9kbar 和温度达 750℃ 的实验条件。在这些设备上,他们进行了一些非传统的特殊研究,如在矿物溶解度实验中在恒温恒压条件下取出流体的技术研究、在毛细孔隙介质(岩石)中淋滤及扩散

作用研究、在高温高压下成矿物质搬运和沉淀的研究等。此外,对与可变成分矿物相平衡研究有关的方法进行了研究并取得了良好效果,完成了对与光谱学、电化学、电位计及放射性化学等方法完善有关的方法研究。在这个领域,还没有解决的实验技术问题是高温下的 pH 值测量及在实验条件下测量溶液中离子活度的探测技术。他们准备研制出一种高温 pH 计和溶液离子活度测量探测器。

在气体传压技术领域,原苏联现已有可获得 10kbar 和 1 200—1 400℃ 的实验装置。但是很少见到有关在这样高压下的实验结果报道,估计这种装置的工作状态还不太好。在原苏联科学院实验矿物学研究所已有 17kbar 的气体传压高压设备。在这种装置上可以开展流体与岩浆互相作用的实验、模拟与天然岩浆产生和演化有关的动力学过程的实验。

在固体传压技术领域,原苏联已有压力可达 300—1 000kbar 的带金刚石压砧的超高压设备。在有压力条件下,光谱学、X 射线等方法的研究也得到了发展。活塞圆筒及年轮式模具超高压设备得到了进一步完善。现在正由间接标定实验参数向直接控制实验过程中温度和压力过渡。在这个领域,诸如在金刚石压砧装置上的激光加热、在 40—100kbar 条件下压腔有用工作体积的增大及在研究体系中组分化学势缓冲等技术问题还未解决。

我国的高温高压实验研究在 80 年代因高压设备得到进一步完善而有了较大发展,但距国外先进水平还有一定距离。在我国从事成岩成矿作用实验研究的实验室里,已有 800℃ 和 3kbar 的冷封式外加热高压系列,800℃ 和 2kbar 的快速淬火高压釜、Barnes 摇摆高压釜、600℃ 和 3kbar 淋滤装置、手摇加压反应装置、带 Dickson 金袋的高压釜、900℃ 和 4kbar 的水热系统、1 200℃ 和 5kbar 内加热装置、1 200℃ 和 10kbar 内加热装置、500—3 000t 压机(压力可达 30—50kbar、温度 900—1 200℃)和压力达 400kbar 的金刚石压砧装置。

我们在实验研究工作中,采用了如下一系列实验设备:

1. 表生及低温条件下(常温—70℃)物质动态溶解装置(图版 I-1,2)

本书中铀的淋滤实验,就是在这些由玻璃管连接起来的淋滤装置上完成的。这种装置容易建立,技术上的难度较小,经费开支也最小。其工作原理如图 1.1.1。

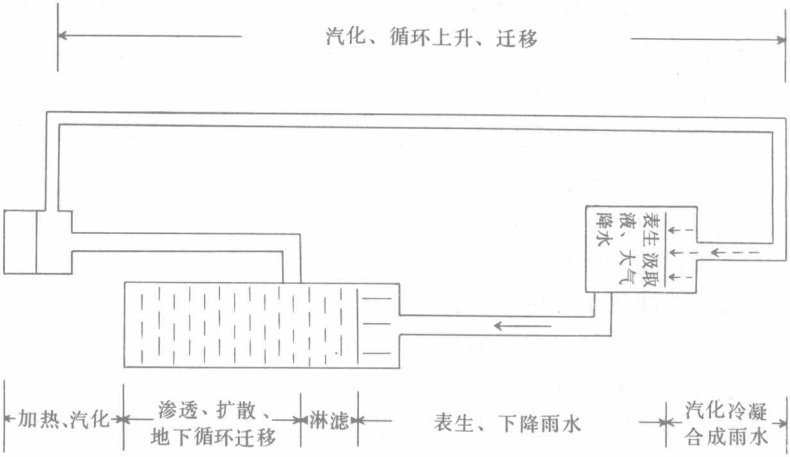


图 1.1.1 低温动态溶解实验原理图