

成岩成矿实验研究

全国矿物中包裹体和成岩成矿实验
学术会议论文选集 二

科学出版社

成岩成矿实验研究

中国科学院南京地质古生物研究所

· 1 ·

5409/06
成岩成矿实验研究

全国矿物中包裹体和成岩成矿实验
学术会议论文选集之二

科学出版社

1979

内 容 简 介

本论文集是由1977年11月在广西召开的全国矿物中包裹体和成岩成矿实验学术会议的论文选编而成。共分《矿物中包裹体研究》和《成岩成矿实验研究》两册出版。本论文集是成岩成矿实验研究部分,共选编了22篇论文,主要论述了我国用高温高压、常温常压等模拟实验方法对花岗岩、超基性岩等岩石,铁、铜、铀、稀土等矿床以及人工合成矿物方面研究取得的成果和地质意义。同时还介绍了热化学方法在矿床研究中的应用的实例。

本书可供广大地质人员,地球化学和物理化学工作者,高温高压实验室工作者以及有关大专地质院校师生参考。

成 岩 成 矿 实 验 研 究

全国矿物中包裹体和成岩成矿实验 学术会议论文选集之二

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979年12月第一版 开本:787×1092 1/16

1979年12月第一次印刷 印张:8 1/2 插页:7

印数:0001—3,240 字数:210,000

统一书号:13031·1152

本社书号:1611·13—14

定价: 1.60 元

序 言

经中国科学院批准,由中国科学院、中华人民共和国冶金工业部、国家地质总局和北京铀矿地质研究所等有关单位共同筹备,在中国科学院贵阳地球化学研究所和桂林冶金地质研究所的共同主办下,于1977年11月18日在广西召开了全国矿物中包裹体和成岩成矿实验第一次学术会议。

矿物中包裹体和成岩成矿实验研究虽有较长的历史,但在我国则是解放后逐渐发展起来的,近年来发展相当迅速,在毛主席、党中央的正确领导下,取得了较大的成就。在矿物中包裹体研究方面,我国从事这方面工作的人员相当广泛,不仅科学研究机构在深入开展,而且各省区,甚至很多地质队也在从事这方面的工作。在缺少资料、仪器设备的条件下,发扬了自力更生,艰苦奋斗的精神,自己动手创建实验室,研制仪器,初步建立起用于包裹体研究的一些基本方法。在此基础上对我国的铁、铜、稀土、钨、锡、铌、钽、钼、金、铅、锑、汞、铀、铬和水晶矿床以及各种类型的花岗岩进行了成岩成矿物理化学条件的研究和一些物理化学参数的测定,并在国内已知的十余个矿区,作出了用于找矿的蒸发晕和热晕图。此外,对包裹体的基本理论也作了一定程度的探讨。在成岩成矿实验研究方面,1959年中国科学院地质研究所开始筹建高温高压实验室,北京大学和地质科学院等单位也相继开始筹建工作。1972年周总理提出加强基础理论研究以后,随着生产发展的需要,有关地质部门的一些研究单位和高等院校更加强了成岩成矿实验的研究工作。从这次会议所提交的论文来看,对元素迁移形式及规律,内生交代变质作用、外生风化淋滤作用、花岗岩熔化及混合岩化的模拟实验,人工晶体生长等进行了专题讨论,为我国一些重要矿床成因理论及找矿方向,特别是为铁矿床的成因和寻找提供了宝贵的实验依据。近年来这方面的科研队伍正在不断壮大,实验设备和高温高压技术方面也取得了可喜的成果,这为今后进一步开展成岩成矿实验研究打下了良好的基础。

在广泛地深入进行研究的基础上,我国各有关科研、生产和大专院校等单位向大会提交了一百多篇论文。这些论文充分反映了我国矿物中包裹体和成岩成矿实验方面的研究现况,反映了这两门分支学科欣欣向荣的景象。

根据这次会议领导小组的决定,由中国科学院贵阳地球化学研究所,中国地质科学院地质矿产研究所和湖北地质研究所、桂林冶金地质研究所和北京铀矿地质研究所组成了论文编审组,由卢焕章、李九玲、喻铁阶、王玉荣、常海亮、陈安福等六同志具体负责全国矿物中包裹体和成岩成矿实验学术会议论文集的编审工作。这本文集的编辑出版是为了反映我国包裹体研究和成岩成矿实验方面所取得的成绩,交流经验和成果,推动这两门分支学科的发展,为赶超世界先进水平贡献力量;同时也为广大地质工作者宣传普及这方面的知识。但因篇幅有限,无法将所有论文和报告全部付印出版。本论文集主要是由各单位各系统推荐的,采用论文和论文摘要两种形式,以使其既有较高的水平,也有一定的代表性。编审小组根据上述目的和原则,本着百花齐放,百家争鸣的方针对论文进行了修改和删节。考虑到包裹体研究和成岩成矿实验研究虽有相似之处,但亦有明显的区别,故决定

将论文集分为《矿物中包裹体研究》和《成岩成矿实验研究》两册分别作为论文集之一和之二由科学出版社出版。

编审组在广泛征求意见的基础上,对包裹体研究中的一些名词作了初步统一。本论文集的图件是由中国科学院贵阳地球化学研究所绘图组清绘的。由于我们的政治思想和业务水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬希广大读者批评指正。

全国矿物中包裹体和成岩成矿实验学术会议论文集编审组

1978年5月

目 录

甘肃大道尔吉含铬岩体接触带和围岩捕虏体变质作用特征及初步模拟实验	曹荣龙 (1)
江西富家坞斑岩铜(钼)矿床钾长石化条件的初步实验研究	曾骥良等 (11)
高温气热溶液中铁元素迁移形式的初步实验研究	王玉荣等 (18)
斜长石蚀变实验——辉石硬石膏磁铁矿组合的生成条件	韩 发等 (27)
宁芜南段与玢岩铁矿有关的黄马青组围岩蚀变实验的初步研究	蔡元吉 蔡仁安 (37)
石榴铁矿的成矿条件以及铁矿石和围岩的水热蚀变的模拟实验	曹荣龙等 (48)
钠交代作用在铀成矿中的模拟实验	倪宝聚 张学智 (59)
微斜长石碱性蚀变的条件实验	李兆麟等 (64)
河北蓟县锰-硼矿床中锰方硼石形成条件的一些实验研究	北京大学地质系地球化学教研室成矿实验组 (72)
据人工水晶实验资料讨论自然界水晶矿床的形成	仲维卓 华素坤 (83)
冀东前寒武纪含铁石英岩淋滤实验的初步探讨	北京大学地质系地化教研室成岩成矿实验室 (88)
前寒武纪条带状磁铁矿石岩风化壳富铁矿形成过程中去硅条件的探讨	陈 福 郁云妹 (97)
我国前寒武纪含铁石英岩若干矿石类型的风化淋滤实验研究	王贤觉等 (107)
广西某矿田矿物组合的化学热力学研究和成矿热液的性质	郭其梯 (116)

文 摘

南岭花岗岩熔化实验的初步研究	王联魁等 (128)
闪长玢岩钠长石化的实验研究	李九玲等 (130)
混合花岗岩的成因及其与铁矿关系的实验研究	赵 斌等 (133)
高温高压下络合物研究的地球化学意义与实验方法	王玉荣 (135)
闪长玢岩与氯化物溶液作用析出铁的实验	刘玉山等 (137)
山东金岭接触交代型铁矿成矿条件的初步实验研究	南京大学地质系地球化学教研室 (139)
水促进叶蜡石在超高压高温下的相转变及其对技术应用的影响	李达明等 (141)

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE GENESIS OF ROCKS AND MINERALS — SYMPOSIUM OF THE NATIONAL MEETING ON EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INCLUSIONS IN MINERALS AND THE GENESIS OF ROCKS AND MINERALS, VOLUME 2

CONTENTS

- The contact zones of chromium-bearing rock body and the characteristics of metamorphism of the xenoliths of country rocks in Tadaurge, Kansu, and the preliminary simulated experiments..... Cao Ronglong (1)
- A preliminary experimental study of the conditions for K-feldspathization of the porphyry copper (molybdenum) deposits in Fujiawu, Jiangxi Zeng Jiliang et al. (11)
- An experimental study of migration form of iron element in high-temperature pneumato-hydrothermal solution..... Wang Yurong et al. (18)
- Experiments of alteration of plagioclase—the conditions of formation of the pyroxene-anhydrite-magnetite assemblage Han Fa et al. (27)
- A preliminary study on experiments of alteration of the Huangmaching-Formation country rocks related to porphyrite Iron deposits in the Southern of Nanjing-Wuhu district Cai Yuanji, Cai Ren'an (37)
- Report of the genetic conditions of Shilu Iron deposits and the simulated experiments for the hydrothermal alteration of ores and country rocks Cao Ronglong et al. (48)
- A simulated experiment of sodium metasomatism during the formation of Uranium deposits. Ni Baoju, Zhang Xuezhi (59)
- Experiments for the conditions of alkalic alteration of microcline Li Zaolin et al. (64)
- Some experimental studies on the conditions of formation of chambersite in the manganese-boron deposits in Ji Xian, Hebei Group of experimental study of the Genesis of Rocks and Minerals, Office of Teaching and Research of Geochemistry, Department of Geology Beijing University (72)
- A discussion of formation of natural quartz deposits based on experimental data of artificial quartz Zhong Weizhuo, Hua Sukun (83)
- A preliminary discussion on leaching experiments for the Precambrian Iron-bearing quartzites in Eastern Hebei Group of Experimental Study of the Genesis of Rocks and Minerals, Office of Teaching and Research of Geochemistry, Department of Geology Beijing University (88)
- A discussion on silica-removing conditions during the formation of enriched Iron deposits in the crust of weathering of Precambrian riband magnetite-quartzite

- Cheng Fu, Yu Yunmei (97)
- Experimental study of weathering and leaching for some ore type in the Precambrian Iron-bearing quartzites of our country..... Wang Xianjiao et al. (107)
- The chemical thermodynamic study of mineral assemblage and the nature of ore-forming hydrothermal solution of an orefield in Guangxi..... Guo Qidi (116)

Abstracts

- A preliminary study of melting experiments of the Nanling granite.....
..... Wang Liankui et al. (128)
- Experiments of albitization of diorite-porphyrite Li Jiuling et al. (130)
- Experimental study on the genesis of migmatitized granite and its relation with Iron deposits Zhao Bin et al. (133)
- The geochemical significance and the experimental methods for the study of complexes under high temperatures and high pressures.....
..... Wang Yurong et al. (135)
- Experiments of dissolution of Iron from diorite-porphyrite into chloride solutions Liu Yushan et al. (137)
- A preliminary experimental study of the conditions for the formation of Iron deposits of contact-metasomatic type in Jinling, Shantung.....
..... Office of Teaching and Research of Geochemistry, Department of Geology Nanjing University (139)
- Phase change of pyrophyllite accelerated by water under superhigh pressures and high temperatures and its effect on application of the technique
..... Li Daming et al. (141)

甘肃大道尔吉含铬岩体接触带和围岩捕虏体变质作用特征及初步模拟实验

曹 荣 龙

(中国科学院贵阳地球化学研究所)

甘肃大道尔吉含铬蛇纹岩体的接触带和围岩捕虏体显示清晰的地质现象,有利于从地质和实验的角度估计接触变质作用的温压条件,进而判断岩体的侵位型式。研究结果表明,围岩和捕虏体所受岩体的接触温度约 450℃。我们的结论认为,大道尔吉岩体及其铬矿并非岩浆原地侵入、就地分异的产物,而是一个构造侵位的冷侵人体。

一、岩体接触带特征

大道尔吉岩体位于祁连山地槽西段北部,相应构造单元为海西边缘凹陷带。岩体侵位于石炭二叠纪地层,在矿区北部可见直接接触关系。

根据地表及 ZK904 钻孔资料,接触带剖面岩性如下:

内接触带

片理状硅化碳酸盐化纯橄岩(全蛇纹石化)外接触带(由岩体向外)

1. 褐灰色石灰岩。由显微方解石组成,真厚度约 11 米。
2. 淡黄色细粒石英砂岩。石英碎屑直径 0.5—1 毫米,棱角明显,胶结物为粉砂质、泥质和钙质组成。厚度约 1.3 米。
3. 黄色泥岩、岩石软、用手指研磨之成粉状,加水成糊状。厚度约 4 米。
4. 淡黄色细粒石英砂岩。岩性同 2。厚约 6 米。
5. 泥灰岩。由泥质、方解石及少量粉砂质组成。厚度约 0.7 米。
6. 黄色、紫红色泥岩。真厚度约 3 米。

实际资料表明,与岩体接触的石灰岩没有重结晶大理岩化;砂岩、泥岩和泥灰岩也没有角岩化;更未发育任何高温接触变质相。

除岩性特征外,接触带石灰岩中尚完好保存丰富古生物化石。例如:

1. 甘肃地质二队所采腕足类、海百合茎等大化石的地点之一为沟东石灰岩露头。该处位于一探槽中,离岩体接触带不到 1 米。

2. 我们在 ZK904 钻孔所采紧连接岩体的石灰岩岩芯标本(编号 D250-3),在岩石薄片经中国科学院南京地质古生物研究所鉴定发现丰富的有孔虫和瓣类微体化石(见照片 1)。诸如:类似扭曲虫、厄尔兰德虫、始史塔夫瓣、门氏扭曲虫等,均为早碳世维宪期标准化石。

此外,接触带石灰岩保留着各种有机质。用三个接触带石灰岩岩芯样品做有机碳分析,其结果为,D250 0.099%,科6(标本号)0.101%、D251 0.069%。用地表D205标本做了可溶性有机质分析,抽提沥青含量为0.0081%(重量)。同一样品经提取处理后做了有机差热分析(图1)。曲线特征峰为:280—362—478—570℃。属硬沥青母油质。对

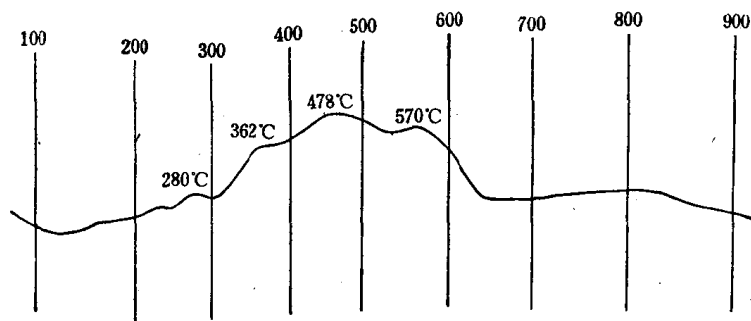


图1 D205 石灰岩有机物差热分析曲线
(据林茂福分析)

钻孔D250及科6岩芯标本做了热解气相色谱分析(简称P-GC分析)。在200℃的热解图谱中,均在99℃出现一特征峰。而在600℃热解时该峰极微,主要出现低级烃(图2)。与已知样图谱(图3)对比,特征峰恰为位于 nC_{11} 之前的某一正构烷烃类化合物。

关于接触带石灰岩的化学成分,性质甚纯。例如D250岩芯样品的检项分析含CaO 46.44%,而含MgO仅0.03%,SiO₂仅2.27%。

上述关于生物化石、有机质以及接触带石灰岩化学成分的资料,进一步说明本区岩体不存在高温接触变质作用和岩浆同化作用相混杂。

二、岩体内石灰岩构造捕虏体的变质作用特征

在岩体北部的纯橄榄岩岩相带中可见许多大小不一的石灰岩捕虏体。与接触带石灰岩不同,它们的变质作用要明显得多。其特征为:

1. 大理岩化及其伴随的有机质富集作用

岩体中石灰岩捕虏体普遍重结晶大理岩化,方解石粒度在1.2—2毫米以上,岩石呈灰白色。同时,它们普遍地受到强烈的构造岩化,表现在捕虏体的边部或小捕虏体整个都已形成糜稜状片理和角砾岩化。薄片观察,方解石波状消光显著、晶面扭曲,并发育扭折结构Kink band(照片2)。

不少捕虏体,其中心部分为较纯的灰白色大理岩,靠近边部则为黑色的大理岩,而在捕虏体边缘与岩体接触的四周则见有大量碎末状黑色物质。对于较大的捕虏体,这一层物质的厚度可达几十厘米,小的捕虏体则只有2—3厘米。黑色物质现经测试工作证明,为有机物的渲染富集。捕虏体越到边缘有机碳的含量越高,有的样品含有机碳4.205%。表1列出两个捕虏体的各部位样品的有机分析结果。对D225、D226(未抽提样及已抽提样)和D227三个样品做了有机质热解—气相色谱分析。色谱条件与做接触带灰岩同,为0.25毫米×6米涂SE-30担体涂层空心柱;柱温:60℃保持2分,后以约9℃/分的速度程序升温至200℃。热解产物的色谱图见图4。所有样品(除抽提过的D226外)在200℃

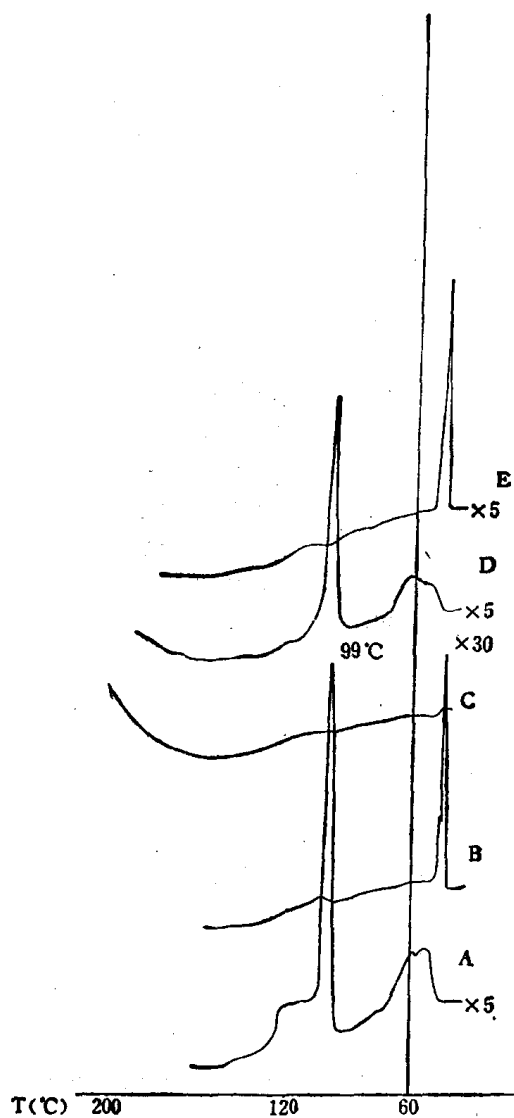


图2 接触带石灰岩有机质的分步
热解—气相色谱图

A——D250, 200°C; B——D250, 600°C(用量 60.6
毫克); C——空白基线; D——科 6, 200°C; E——
科 6, 600°C(用量 63.6毫克) (据叶继荪分析)

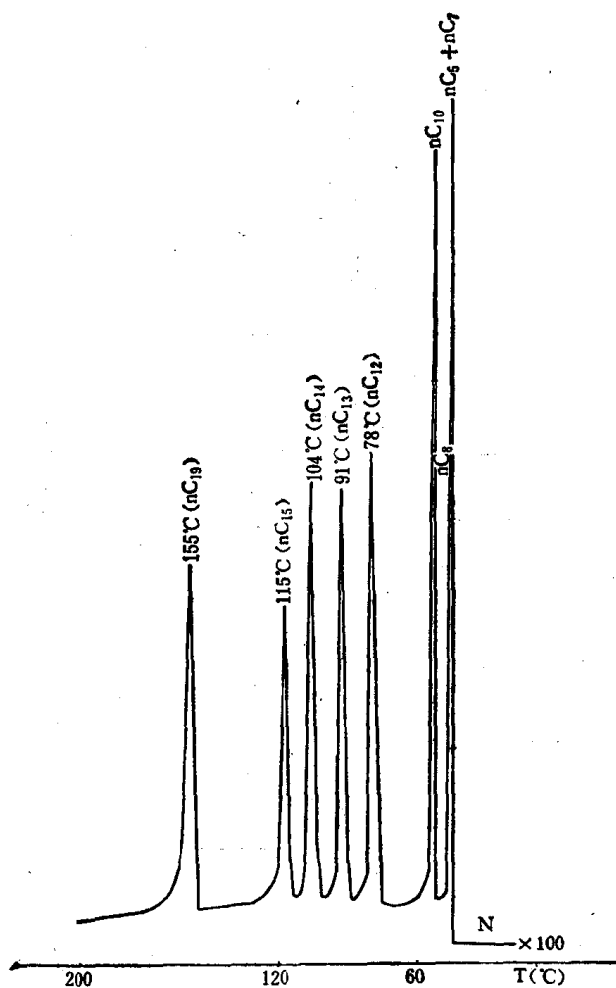


图3 9种正构烷烃已知样于200°C热解
后之气相色谱图

(据叶继荪分析)

表1 捕撈体各部位样品有机分析结果

编 号	名 称	有机碳 C* (%)	氯仿抽提物** (沥青含量%)	备 注
D225	中心大理岩	0.173	未测	捕撈体甲, 大型
D226	外缘黑色大理岩	0.781	0.0095	捕撈体甲, 大型
D227	边部黑色粉末	0.859	0.011	捕撈体甲, 大型
D257	外缘黑色大理岩	1.269	未测	捕撈体乙, 极小
D262	边部黑色粉末	4.205	未测	捕撈体乙, 极小

*据李承书分析; **据盛国英分析

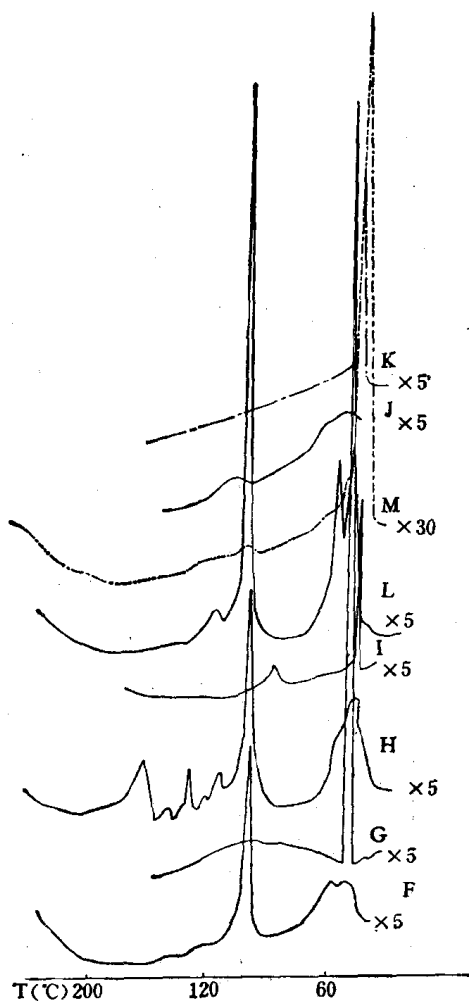


图4 大理岩捕掳体有机质的分步
热解-气相色谱图

F——D225, 200℃; G——D225, 600℃(34.1毫克);
H——D226, 200℃; I——D226, 600℃(37.5毫克);
J——D226(已抽提样), 200℃; K——D226(已抽提
样), 600℃(41.0毫克); L——D227, 200℃;
M——D227, 600℃(38.2毫克)

(据叶继荪分析)

的热解图谱中,除了在程序升温前出现一组低沸点烃类馏份外,均在 99℃ 出现一特征峰,与已知样图谱(图 3)对比,同样为位于 nC_{14} 之前的某一正构烷烃类化合物。而在 600℃ 热解时该峰极微,主要出现低级烃。

这些样品有机质 P-GC 图与接触带石灰岩的一致性,说明它们都是同类性质和结构的有机质。这个重要事实表明,与接触带石灰岩比较,捕掳体中有机质并未经受更高温度的变质演化。至于有机质在捕掳体边缘与纯橄榄岩接触部位富集的现象,可以合理地用石灰岩重结晶过程中对于有机物等杂质的晶析作用来解释。即方解石晶体在重结晶过程中,具有自身净化的趋向和作用力,能够把有机质等不纯物析出到晶格之外。在本区特殊的地质环境下,纯橄榄岩四周封闭的界面处,成为捕掳体中有机物富集的良好场所。

表 2 大理岩捕掳体蚀变岩相及其

编号	名 称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	P ₂ O ₅
D210	蛇纹石化大理岩	22.97	0.22	—	0.62	19.36	27.83	0.041
D207	橄榄石化大理岩	18.69	0.90	1.52	1.20	14.40	32.45	0.065
D254	纯橄榄岩	36.18	0.17	6.44	0.99	33.45	1.86	0.011

2. 蚀变岩相(橄榄石化大理岩和蛇纹石化大理岩)的存在

野外可见某些捕掳体发育明显的蚀变岩相,即橄榄石化大理岩和蛇纹石化大理岩。以Tc288槽中一个小捕掳体最为典型。捕掳体宽约1米,产状与纯橄榄岩一致。两者界线清楚,蚀变岩相具有对称分带:橄榄石大理岩分布在两边,各宽约40厘米;中间为蛇纹石大理岩,宽约20厘米,互相为过渡关系。镜下观察,蚀变大理岩中橄榄石(已蛇纹石化)呈他形圆粒或半自形椭圆粒状分散在方解石大晶体中(照片3);蛇纹石大理岩中蛇纹石则呈针状和纤维状(照片4)。结构特征表明,捕掳体大理岩中的橄榄石和蛇纹石不可能为熔融体结晶的产物;此外,本区石灰岩很纯,所以蚀变岩石也并不代表无物质加入的角岩相。据此,大理岩捕掳体的蚀变应是热液镁交代作用的产物。由于这种蚀变相为岩体纯橄榄岩相直接包裹,又是本区所见最高级的变质型式,因此有必要通过实验定量地研究它们形成的温压条件和成因机制。

关于两种蚀变岩相和旁边纯橄榄岩的化学成分资料列于表2。

三、水热体系下橄榄石大理岩及蛇纹石化大理岩形成条件的模拟实验

蛇纹石大理岩和橄榄石大理岩的形成条件,一方面与水热条件下蛇纹石和橄榄石稳定的温度和压力有关;另一方面又与橄榄石-方解石以及蛇纹石-方解石的矿物组合的稳定性质有关。实验基本上围绕这两方面进行。

(一) 实验方法

实验仪器均使用冷封式小高压釜,由耐高温Cr18Ni25Si2钢材加工。温度由XCT-T01型台式动圈温度调节仪控制,精度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。压力是根据填充度来计算的。原始样品用化学试剂,以氢氧化镁 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 代替氧化镁 MgO ,以硅酸 H_2SiO_3 代替氧化硅 SiO_2 ,配成镁橄榄石成分;用碳酸钙 CaCO_3 作为方解石。实验介质都用纯蒸馏水。实验产品的鉴定都根据X光衍射或X光粉晶分析,辅之以光性。

(二) 实验结果及说明

有关实验做了约40次。主要实验回次的条件和结果列于表3,其中第16、36、15及近旁纯橄榄岩岩石化学成分(%)

CO_2	TiO_2	MnO	Na_2O	K_2O	H_2O^{+1}	H_2O^{-1}	合 计
23.23							94.231
25.97							95.195
0.43	—	0.066	1.10	0.08	13.20	5.30	99.017

据地化所九室分析

19 回次仅用镁橄榄石成分, 其他回次则为镁橄榄石加方解石成分。

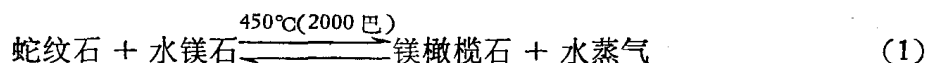
关于镁橄榄石成分的水热实验, 实际上为 $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元系的一部分。这个体系国外已作过详细工作^[1]。我们的实验针对地质情况限于该系的低温部分, 且原始样品的成分相对固定于 Mg_2SiO_4 -水蒸气成分连线上或该线附近。

表 3 镁橄榄石及镁橄榄石-方解石组合水热实验结果

实验回次	原始样品	介质	T(°C)	P(巴)	时 间	产 品	备 注
16	Mg_2SiO_4 (由 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, H_2SiO_3 按比例)	蒸馏水	400	2000	2 周	蛇纹石、水镁石*	试剂 H_2SiO_3 比例偏高
36	Mg_2SiO_4 (由 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, H_2SiO_3 按比例)	蒸馏水	500	2000	1 周	镁橄榄石、蛇纹石	试剂 H_2SiO_3 比例偏高
15	Mg_2SiO_4 (由 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, H_2SiO_3 按比例)	蒸馏水	550	2000	3 天	镁橄榄石、滑石	试剂 H_2SiO_3 比例偏高
19	Mg_2SiO_4 (由 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, H_2SiO_3 按比例)	蒸馏水	550	2000	8 天	镁橄榄石	试剂比例正确
24	Mg_2SiO_4 (同上) + CaCO_3 } 1:1.5	蒸馏水	370	2000	2 周12小时	蛇纹石、方解石	试剂 H_2SiO_3 比例偏高
22	Mg_2SiO_4 (同上) + CaCO_3 } 1:1.5	蒸馏水	450	2000	11 天	蛇纹石、镁橄榄石、方解石	试剂 H_2SiO_3 比例偏高
37	Mg_2SiO_4 (同上) + CaCO_3 } 1:1.5	蒸馏水	500	2000	8 天	镁橄榄石、透辉石*方解石	—
21	Mg_2SiO_4 (同上) + CaCO_3 } 1:1.5	蒸馏水	550	2000	3 天15小时	透辉石	—
25	Mg_2SiO_4 (同上) + CaCO_3 } 1:1.5	蒸馏水	550	1000	10 天	透辉石	—
29	Mg_2SiO_4 (同上) + CaCO_3 } 1:1.5	蒸馏水	600	2000	10 天17小时	透辉石	—

* 据光性, 其余产品均据 X 光分析鉴定

综合第 16、36 两次实验结果可知, 存在着从低温向高温的下列物相的可逆化学反应:



因为这两次实验用同一种样品共出现四个相: 蛇纹石、水镁石、镁橄榄石、水蒸气(未列入表)。根据相律 $P + F = C + 2$, 当三元系中四相同时存在时, 自由度 $4 + F = 3 + 2$, $F = 1$ 。这就是二次实验当压力一定(2000 巴)时, 则平衡时的温度必介于二次实验温度 400°C 和 500°C 之间。当温度因压力的改变而相应变化时, 可得到一条单变平衡曲线, 这条曲线前人已系统实验测定现示于图 5 中 (I 线)。偏离平衡线 (包括偏离平衡点 2000 巴, 450°C), 系统自由度 $F = 2$ 。最大共存物相数 $P = 3$ 。可能出现四个有关三相组合。单变线 I 左侧包括两个低温三相组合:

低温组合 1: 蛇纹石 + 水镁石 + 水蒸气

低温组合 2: 蛇纹石 + 水镁石 + 镁橄榄石

单变曲线 I 右侧为两个高温三相组合:

高温组合 1: 镁橄榄石 + 水蒸气 + 蛇纹石

高温组合 2: 镁橄榄石 + 水蒸气 + 水镁石

这些组合可以在组分三角图 (1) 和 (2) 上分别用阿基马德三角形表示。将实验点的温度、压力和成分投影到图中。第 16 回次的矿物组合属于组分三角图 (1) 中由 SBV 三角形所

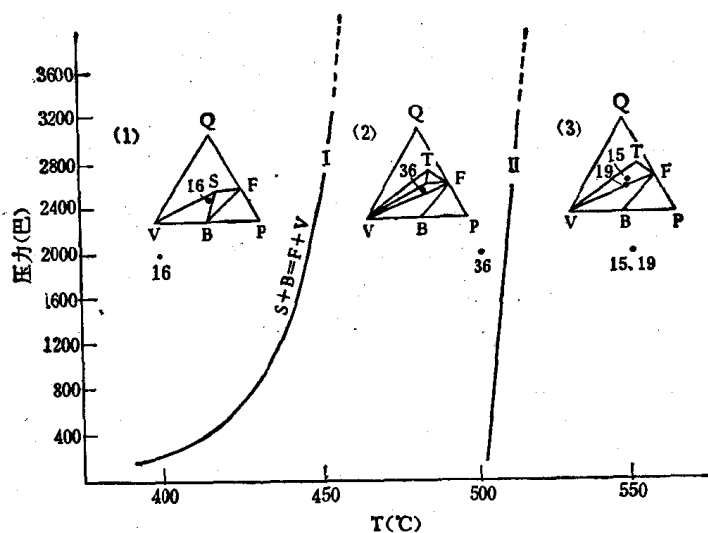


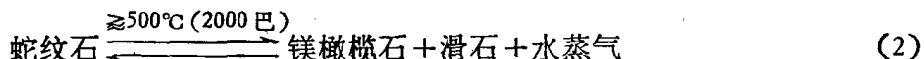
图5 MgO-SiO₂-H₂O 系

(图曲线取与本文有关部分)

F——镁橄榄石; S——蛇纹石; B——水镁石; T——滑石; Q——石英; P——方镁石; V——水蒸气
(据 1949 N. L. 鲍文和 O. F. 塔特尔及本文实验资料)

代表的蛇纹石-水镁石-水蒸气低温组合 1。第 36 次实验结果则与组分三角图 (2) 中由 FSV 平衡三角形所代表的镁橄榄石-蛇纹石-水蒸气三相组合相对应, 属于高温组合 1。

实验第 15 和第 19 温压条件相同, 仅成分略有差异, 它们配合上述实验 36 确定了此体系的另一个化学平衡反应:



即在低于第 15、19 回次 550°C 的实验温度下, 蛇纹石将分解为镁橄榄石+滑石+水蒸气。据相律, 当这四相共存时, 属于单变体系。由于我们实验的成分压力是固定的, 因此压力为 2000 巴的四相平衡点的温度必是一个恒定值, 应介于第 36 次和第 15、19 次实验温度 500—550°C 之间的某一温度。偏离平衡点, 左侧可有三个三相低温组合:

- 低温组合 1: 蛇纹石+镁橄榄石+滑石
- 低温组合 2: 蛇纹石+镁橄榄石+水蒸气
- 低温组合 3: 蛇纹石+滑石+水蒸气

单变平衡点右侧只能有一个高温三相组合:

- 高温组合 1: 镁橄榄石+滑石+水蒸气

有关相组合以组分三角图 5 中的 (2) 和 (3) 中相应的阿基马德三角形表示。从反应式 (2) 的角度来讨论, 第 36 次实验产品相当于上述低温组合 2, 在三角图 (2) 中则仍由阿尔克梅德三角形 FSV 所代表。第 15 和第 19 回次均无蛇纹石出现, 都代表高温的镁橄榄石+滑石+水蒸气组合, 在图中已由平衡三角形 FTV 清楚表示。第 19 次实验因样品成分严格落在 F-V 连线上, 所以产品中不出现滑石, 表现为镁橄榄石+水蒸气两相组合。四相平衡单变曲线, 据前人资料示于图 5、线 II。

前面说过, 本区岩体为全蛇纹石化的蛇纹岩, 上述实验的意义将在于确定岩体蛇纹石化阶段及其更后期温度的界限。首先, 根据反应式 (1), 岩体受蛇纹石化阶段的自身温度

应低于 450℃,因为在更高的温度下镁橄榄石是稳定的。其次,根据反应式(2),岩体在蛇纹岩化后,再未重新遭受温度超过 500℃ 的影响,因为如果又经受更高的温度,蛇纹石又将脱水转变为镁橄榄石等矿物。总之,有可靠依据可确定,并能代表岩体这一阶段及其随后阶段直到目前的最高温度界限为 450°—500℃。

关于镁橄榄石加方解石的实验。第 24 次和第 22 次所用温度分别为 370℃ 和 450℃ (2000 巴)。370℃ 的实验产品为蛇纹石和方解石;450℃ 实验的结果,除主要为蛇纹石和方解石外,镜下可见少量镁橄榄石。这两个实验表明,与前面比较,方解石的加入基本上不影响蛇纹石和橄榄石的形成、转变温度。

实验 37 使用的温度为 500℃。实验产品主要为镁橄榄石和方解石(照片 5)。镜下观察,无疑有少量透辉石存在,但无蛇纹石。这个实验表明,在存在方解石的条件下,镁橄榄石稳定的温度上限明显偏低了,即部分反应生成透辉石 ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$)。

温度在 500℃ 以上的第 21 (550℃,2000 巴)、第 25 (550℃,1000 巴)和第 29 (600℃,2000 巴)三个实验,各次的实验产品都变为单一的透辉石(照片 6)。镁橄榄石不复存在或占量极微。实验证明,镁橄榄石-方解石组合在水热条件下能够稳定的上限温度不超过 500℃ 1000 巴。高于这个温度两者将发生脱碳酸根反应,方解石分解为氧化钙和二氧化碳,并生成透辉石这种钙镁偏硅酸盐产物。

这几个实验是围绕岩体中捕虏体的蚀变岩相(橄榄石大理岩及其过渡的蛇纹石大理岩)进行的。根据实验,捕虏体的蚀变温度约 450℃ 左右,中心蛇纹石化大理岩应略低于 450℃,靠近岩体的橄榄石化大理岩可能略高于 450℃。否则,500℃ 将应有透辉石出现;到 550℃ 将由透辉石大理岩所代替。

(三) 实验结果的地质意义

实验所揭示的石灰岩捕虏体与岩体相互关系的实质为:

1. 捕虏体蚀变相(橄榄石化大理岩和蛇纹石化大理岩)形成作用的温压条件是与岩体蛇纹石化一致的。
2. 由捕虏体橄榄石化大理岩蚀变相所反映的岩体侵位的温度,当其贯入到目前所见围岩部位并捕虏它们的碎块时,约为 450℃。
3. 大理岩捕虏体的橄榄石化和蛇纹石化代表一种热液镁交代作用。水热溶液中 MgO 和 SiO_2 的物质来源应来自岩体,超基性岩蛇纹石化过程中必须有 MgO 和 SiO_2 的带出^[3]。

四、结 论

长期以来,在阿尔卑斯型超基性岩体研究领域内,一直存在着“岩浆说”与“固态侵入说”不同观点的争论,有关问题不论对于地槽型铬矿的找矿勘探工作,还是对于这类岩体和铬矿的成因研究都极其重要。本文研究的结论认为:

1. 接触带及捕虏体变质作用的综合研究和模拟实验表明,甘肃大道尔吉含铬超基性岩体是一个构造侵位的“冷侵入体”,侵位温度约 450℃。石灰岩捕虏体则为构造捕虏体。