

变质作用

H. A. 叶利谢夫 著

科学出版社

变 质 作 用

И. А. 叶利谢夫 著

钟 元 昭 译

科 学 出 版 社

1 9 6 6

Н. А. ЕЛИСЕЕВ
МЕТАМОРФИЗМ

Изд. «НЕДРА»

МОСКВА, 1963

2-ое изд.

内 容 简 介

Н. А. 叶利谢夫原著《变质作用》初版于 1959 年 (Изд. ЛГУ, 列宁格勒), 本书根据 1963 年再版 (Изд. «Недра», 莫斯科) 译出。

全书共分两篇、十六章。第一至八章是变质岩的描述岩石学部分; 第九至十六章专门论述变质作用和交代作用的原理。作者搜集了大量有关变质岩的研究资料, 参阅了几百篇地质文献, 系统编写成这本变质岩石学基础理论综述, 对地质工作者野外观察和室内研究工作实践均有参考价值。

变 质 作 用

[苏] Н. А. 叶利谢夫著

钟元昭译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

北京市书刊出版业营业登记证出字第 061 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

*

1965 年 9 月第一版 开本: 787×1092 1/18

1966 年 3 月第二次印刷 印张: 21 2/3

印数: 5,551—8,050 字数: 505,000

统一书号: 13031·2130

本社书号: 3253·13—14

定价: [科六] 2.70 元

再 版 序 言

本书第一版出版以后很快就已脱销,在第一版出版后的短短时期内,由于变质作用学说有了很大的发展,出现了许多有关变质作用的论文和专著。这一事实在本书再版时是不能不加以考虑的。同时,对于本书读者所提出的许多意见和要求也必须再版时予以重视。因此,作者对本书各章都作了不同程度的补缀,但总的篇幅仍和第一版大致相等。书中有若干章节都经过了认真的修订和补充,其中第十二和第十三章是重新改写的。本书的第二篇,修改和补充得较多,第一篇的改动不大。

关于变质作用的新资料在文献目录中也有所反映,本书第一版出版以后所发表的一些最重要的论著都已补充进去。此外,还应读者的要求,在书末附加了一个索引。

初 版 序 言

这本关于岩石变质作用的教程是根据作者多年讲授变质作用的经验编写的，它是列宁格勒大学地质系第四年級的課本。除此而外，在第五年級，岩石学专业的学生还要专修“变质过程的物理-化学原理”課程。与岩石变质作用学說以及岩石变形有关的问题，在构造岩石学教程中已经談到，而构造岩石学教程同样是地质系第四年級的岩石学、地球化学和地质学专业的必修課程。

最近几年来，关于变质作用的学說已大大地向前发展了，本世紀中叶是以巨大实验室的建立为特征的，这些实验室使得人們能够在实验室内在高温高压下以及在具有挥发组分存在的条件下研究变质过程。截至目前为止，人們已经进行了一系列重要的研究，这些研究使研究者能够更深刻地理解和解释变质现象，而且已经在变质矿物平衡图解的研究方面积累了大量的資料，进行了一些极为重要的理論总结。这一切都使我們感到十分有必要来编写一本有关变质作用的教科书。除此而外，許多有用矿物的矿床都与变质岩具有紧密的成因关系的这一事实，也更进一步加重了这一必要性。

在编写本书时，作者一方面以对变质岩的描述为其目的，因为作为本书一个組成部分的描述部分对于岩石学家和地质学家的实际工作是完全必要的。除此而外，在书中也必须对变质作用学說的理論問題进行专门闡述。换言之，本书应当能同时满足变质岩、变质过程和交代过程的描述岩石学研究与理論岩石学研究的要求。

对变质岩的描述将放在本书的第一篇，同时在这一篇里还将对矿物、构造和结构的特征作必要的介紹。

在编写描述性部分时曾考虑到关于把各类不同岩石归属于何种变质相的近代資料。把交代岩分出来单独成为一章，不仅是必要的，而且是很有好处的。

本书第二篇专门闡述变质过程和交代过程。

在研究变质过程时产生的全部問題可以分为以下两类：第一类是与岩石的机械变形有关的问题，第二类是与变质过程及交代过程的物理-化学平衡有关的问题。在前一种場合，变形过程对变质岩的形成具有最重要的意义，而在后一种場合則以物理-化学平衡具有最重要的意义，此外，有一些变质作用則是在上述两者的复杂相互作用的条件下发生的。

书中所列文献資料能帮助讀者详细了解各个不同的研究者在变质作用的各个方面所取得的成就，列于书末的文献目录則能帮助讀者去找出参考文献的名称及其出版年代。

书中所附插图主要是从国内外的专著和論文中借用的。在图注中均列有这些插图的来源。一部分插图則是别的同志借給作者使用的，他們的姓名同样也列在图注

中。

И. М. 皮斯基佐夫曾在繪制插图方面給作者以很多的帮助，作者在此向他表示感謝。

目 录

再版序言.....	iii
初版序言.....	iv

第一篇 变 质 岩

第一章 变质作用综述.....	1
岩石变质作用学说的发展和历史概述	1
变质作用的因素和类型	3
变质岩的化学成分和矿物成分	5
火成岩及其特征	5
沉积岩及其特征	8
混合岩类及其特征	13
变质岩的分类	14
第二章 变质岩中的矿物 结构和构造.....	19
变质岩中的矿物	19
变质岩的结构	21
变晶结构	21
压碎结构	32
残余结构	33
变质岩的构造	34
残余构造	34
变质构造	34
第三章 压碎变质作用.....	36
角砾岩	37
碎裂岩	37
糜稜岩	39
千枚糜稜岩(千枚状糜稜岩)	40
伴随压碎变质作用而发生的矿物变化	42
第四章 热力变质作用及其变种.....	44
接触变质作用	44
接触角岩的结构和构造	46
接触角岩的矿物	47
角岩的各种类型	47
高温变质作用	58
第五章 动热变质作用.....	59

动热变质作用的物理-化学状态	59
在溶解过程和再结晶过程中各种变质作用因素对于化学反应进程的影响	59
变质作用的各种因素对于岩石和矿物变形的影响	60
在动热变质作用下所产生的构造和结构	61
区域变质作用	63
苏格兰泥质岩中的区域变质带	64
在定向压力不很强的条件下所发生的变质作用	71
根据等变度绘制变质岩的地质图	72
根据变质相来划分区域变质作用时的各种变质岩	72
低级变质阶段的变质片岩	73
高度变质阶段的结晶片岩、片麻岩、闪岩和粒变岩	79
榴辉岩	85
超变质作用	86
混合岩	87
局部动热变质作用	94
第六章 自变质作用	98
火成岩中原生矿物的变化	98
反应边和次变边 席状合晶	102
自变质作用的气成阶段	103
自变质作用的热液阶段	108
第七章 交代岩	111
在接触-交代变质作用时生成的交代岩	111
在自变质作用时形成的交代岩	120
区域变质作用下形成的交代岩	120
超变质带的典型交代岩	122
含矿交代岩	128
交代岩和金属矿床的联系	133
第八章 多相变质作用和退化变质作用	134

第 二 篇 变质作用与交代作用过程

第九章 岩石的变形	141
关于弹性理论的基本知识	141
塑性变形	144
岩石的塑性变形	151
假构造岩	166
第十章 变质过程中的化学平衡	168
变质岩结晶的化学过程	169
变质作用时的物理-化学平衡因素	170
变质作用学说中的热力学原理	173
相律及其在变质过程中的应用	176

组分活性的差异	178
表示变质岩中的化学成分以及表示化学成分和矿物成分之间的相互关系的图解方法	182
第十一章 岩浆中的挥发组分 挥发组分在变质过程和交代过程中的作用	187
由硅酸盐和挥发组分组成的二元系的 TX 图	187
当不存在临界现象时为硅酸盐—挥发组分二元系设计的 PTX -模型	192
当存在临界现象时硅酸盐—挥发组分二元系的 PTX -模型	197
三组分体系的 TX 等压图	199
由三种组分所组成的体系中的临界现象	206
尼可拉也夫所设计带有挥发组分的二元系和三元系的模型和图解	207
为各种不同类型的带有挥发组分的二元系而设计的各种带有挥发组分的图解的比較	209
几种带挥发组分的三元系图解	211
关于硅酸盐—挥发组分体系中的混溶现象的新资料	215
用以表示带挥发组分的体系的图解	218
对带有挥发组分的体系所作实验性的物理-化学研究的结果	220
挥发组分在变质过程和交代过程中的作用	223
第十二章 变质矿物的平衡图解	225
氧化硅	225
铝硅酸盐	225
长石	228
碱性长石	228
斜长石—沸石的平衡	230
斜长石的去钙长石化作用	231
斜长石和方柱石	234
斜长石和闪石	235
在高压下斜长石的平衡	238
闪石	239
云母和绿泥石	242
石榴石	245
滑石、方解石和阳起石	247
辉石	248
另外几种铁镁矿物	253
第十三章 变质相	261
区域变质相	266
沸石岩相	266
绿色片岩相	267
蓝闪石片岩相	268
绿帘石-闪岩相	269

铁铝榴石-闪岩相	270
粒变岩相	273
榴辉岩相	276
接触变质相	277
钠长石-绿帘石-角闪岩相	277
角闪石-角闪岩相	278
辉石-角闪岩相	278
透长岩相	279
石灰质-镁质矿物在不同深度的变质相	281
第十四章 交代作用	285
溶液在交代作用和变质作用中的作用	285
交代分带现象	286
交代作用分类	288
各种变质作用中出现的交代过程	290
柯尔仁斯基的交代作用过程分类	291
岩浆阶段的变质作用和交代作用	293
早期酸性交代阶段以前所发生的岩浆期后交代作用	293
酸性交代阶段及其以后的碱性交代阶段所发生的岩浆期后交代过程	298
第十五章 变质过程的化学动力学以及岩石和矿物变形的动力学 变质	311
分异作用	311
变质过程的化学动力学	317
固体状态下的化学反应	319
矿物再结晶时的生长	321
变质分异作用	328
岩石和矿物发生变形的动力学	335
第十六章 超变质作用	335
有助于推断超变质作用时所发生的深熔作用和再生作用的性质和规模的若干地质资料	336
超变质作用时的温度和压力	338
超变质带和花岗岩化带的地质产状	339
超变质带中岩石的结构和微结构	339
超变质作用的空间问题	341
混合岩	342
花岗岩化作用	343
花岗岩化作用和交代过程	350
花岗岩类的结构分类	354
伟晶岩和伟晶化作用	355
伟晶岩和花岗岩化作用的联系	358
参考文献	359
名词索引	376

第一篇 变质岩

第一章 变质作用综述

岩石的变质作用也就是岩石在地壳各种内力作用的影响下发生巨大变化的一种作用;在变质作用过程中岩石仍保持固体状态,不发生显著的熔融或溶解。在特殊条件下,变质作用往往伴随有局部的、有时是十分强烈的再熔化(参看超变质作用)。变质作用(metamorphism, метаморфизм)一词来自希腊語 μεταμόρφωσις——转化。无论火成岩、沉积岩和变质岩都会遭受由变质作用而引起的变化。

大多数地质学家都不把地表上和风化壳中的岩石变化、沉积岩的微弱变化[亦即所谓成岩作用(diagenesis, диагенез)]以及沉积物和沉积岩的胶结作用和风化作用看作是变质作用。然而,熟悉风化作用,这对于研究变质作用的地质学家来说是完全必要的。

变质作用会对岩石发生作用,并会借助于渗入岩石的间隙溶液(液态的或者是气态的)使矿物和岩石发生变化。温度的升高和机械变形能促进变质作用的进行。变质作用同交代作用不同,在变质过程中,岩石的化学组分不起变化(水和碳酸除外),在交代作用时则伴随有岩石化学组分的变化——物质的加入或带出。

岩石变质作用学说的发生和发展历史概述

关于岩石变质作用的思想是罗蒙诺索夫(М. В. Ломоносов)在1763年在他所著的“论地层”一书中首先表述的。罗蒙诺索夫写道:淤泥或者粘土是由于长期的粘结作用和“地下火的作用”,后来又“经过矿物水的渗透”而转变成坚硬的野生石块的^[124]。英国学者赫屯(J. Hutton)^[384]在他所写的一篇论文中曾经谈到岩石在地球内热的影响下发生变化的现象。

英国学者莱伊尔(Ch. Lyell)在1883年为了表示沉积物在地壳内热的影响下转变为结晶片岩的过程而曾经引用过“变质作用”这一术语。

作为独立学科而出现的岩石变质作用学说是在二十世纪初期形成的,而且主要是在范·海斯(R. Van Hise)、格鲁宾曼(U. Grubenmann)和卢卡谢维奇(И. И. Лукашевич)等人的著作的影响下形成的。虽然在这以前也有人进行过变质岩方面的地质学研究。例如,伊诺斯特兰采夫(А. А. Иностранцев)关于研究卡累利阿地区(大奥伦涅茨省)的岩石的专著以及在国外杂志上发表的、描写从该区所采集的变质岩的论文^[387]都属于这一类著作。伊诺斯特兰采夫曾把直到目前为止还仍然使用的“绿色岩”这一术语引用到变质作用中。

范·海斯、格鲁宾曼和卢卡谢维奇曾经提出了地壳深带的假说,认为那里静水压

力和定向压力的强度和温度均有所不同，而且变质作用由于岩石从某一变质作用带移向另一变质作用带而得到发展。范·海斯曾划分出上部分化变质带（верхняя зона катаморфизма），在这一变质带中岩石在大气和潜水循环的影响下将会发生氧化反应、水化作用和碳酸盐化作用^[485]。范·海斯认为，风化过程、沉积变质过程和胶结作用同样也应当看作是变质作用。在分化变质带之下有一个合成变质带*（анаморфизм）。在这个带中进行着还原反应、析出碳酸和析出水的反应以及伴随有在此时所形成的矿物体积变小的反应，同时在这里形成流动结构，并形成结晶片岩和片麻岩。

格魯賓曼曾划分出以下几个变质带：浅变质带、中变质带和深（最深）变质带^[366]。在深变质带中，火成岩矿物和高温脱水矿物处于稳定状态，而且在碳酸盐类中只有方解石是稳定的。同时，在深变质带中将会形成深成片麻岩和结晶片岩。在上层变质带——浅变质带中有低温含水矿物晶出，在这里形成象千枚岩和绿色片岩等一类变质岩，并且发生中性和基性火成岩向绿色片岩的转化。在中变质带中则进行着介于浅变质带和深变质带之间的中间状态的变质改造作用。

卢卡謝維奇发展了关于岩石演变和地质带的严整的学说^[125]。岩石和沉积物，落入深地质带（глубинная геозона）后，就会发生变质，而且在最强烈的变质作用和再熔化的条件下，在所谓深处带（батическая зона）中可能发生再熔化并且可能成为岩浆源。卢卡謝維奇的深处带是超变质作用发育的区域，超变质作用是深褶皱区中会同广泛出现花岗岩化作用的区域变质作用。

从二十世纪二十年代开始，某些地质学家[德国地质学家魏因山克（Weinschenk）、俄国地质学家梅伊斯特（А. К. Мейстер）和洛多契尼可夫（В. Н. Лодочников）等等]就曾经指出过据以形成结晶片岩的区域变质作用同岩浆活动有联系。高温结晶片岩和片麻岩常常与花岗岩有紧密的联系，这一点从花岗岩物质与围岩所组成的基岩形成很薄的互层而显得特别明显。同时花岗岩也常常在沉积层的地方出现并且好象取代了这些沉积层。这种现象就为某些地质学家据以作出关于两者有紧密成因关系的这一结论。

在研究变质岩时必然会产生两个基本问题，一个是关于变质过程时的物理-化学平衡问题，另一个是关于岩石在变质作用时所发生的变形问题。

戈尔德施密特（V. M. Goldschmidt）在 1911 年首先对变质岩（接触角岩）中的矿物进行了物理-化学研究。

变质岩中的矿物的物理-化学平衡问题在关于变质相和变质作用等变度的学说中得到了阐明。芬兰岩石学家埃斯科拉（P. Eskola）在 1920 年提出了变质相的理论。这一理论的基本思想是：由于物理-化学平衡的因素不同，变质岩中的矿物也随而发生不同的共生组合，矿物共生的条件也随而发生变化，从而产生了新的平衡的矿物共生组合。变质相的学说很快地发展成为矿物相的学说，因为这个学说对于岩浆岩中

* 所谓合成变质带是沉积岩或火成岩在深处变质，生成比原来矿物的体积为小的新矿物组合。——译者注

的矿物共生組合來說,也同样是正确的。

矿物相的学說是目前最具普遍意义的学說,地質学家正在繼續对它进行研究,以便使它更为完善,并且已經在各种变質岩相方面积累了大量的資料。

蒂萊(C. E. Tilley)在 1925 年表述了把变質作用分为若干阶段的思想^[472]。属于某一变質相的各种岩石均属于同一个变質阶段,并且是同阶段或者等变質度的岩石。把变質岩分为若干等变質岩組,可以很方便地在繪制变質岩区的地質图时加以应用。

戈尔德施密特、埃斯柯拉、尼格里(P. Niggli)、柯尔仁斯基(Л. С. Коржинский)、兰伯尔格(H. Ramberg)、包文(N. L. Bowen)、图尔納(F. J. Turner)、图特勒(O. F. Tuttle)及許多別的研究者在发展物理化学这一学科上做了許多工作。柯尔仁斯基院士的研究在这一方面有巨大的意义,他創立了現代的变質作用理論。

变質作用的另一个基本問題是关于岩石变形的学說,特别是关于变質岩在深层条件下发生塑性变形的学說。現代的岩石变形学說的原理是六十多年以前由美国地質学家貝克(G. Becker)首先提出的^[299],而且迄今仍然具有它的意义。后来,贊德(B. Sander)和施密特(W. Schmidt)根据貝克的理論創立了微結構分析法,这一方法今天在研究变質岩时仍被加以广泛应用^[45]。

变質作用的許多极为重要的問題,如构造岩中矿物所以会作有規律的定向排列的原因,定向压力对矿物再結晶的影响,結晶作用和变形的相互关系,变質岩的結構和构造的相互关系以及变質分异現象等等都同岩石和矿物的变形学說有密切关系。

变質作用的因素和类型

岩石的变質作用是在温度、压力和化学性質很活泼的物質(即所謂揮发組分)的影响下产生的。揮发組分(其中最主要的是水和碳酸)最强烈的影响能在交代作用时表現出来,在交代作用的过程同时会发生物質的迁移和岩石化学組分的变化。但是在不伴随有岩石化学組分变化(水和碳酸除外)的变質作用时,如果没有呈間隙溶液状态(岩石的湿度)的組分的参与是不会发生导致形成新矿物(新成矿作用)的化学反应的。虽然从量的关系來說,岩石中的間隙溶液的比重是极其微不足道的,而且化学反应是在那些处于固体状态的岩石中进行的,但是揮发組分在变質岩的晶出和新成矿作用中所起的作用却是非常巨大的,因为化学反应只有在岩石中的矿物部分或完全溶解的情形下才能产生。不少研究者已經注意到这个事实。

間隙溶液的化学活泼性和化学反应速度是随温度的增高而加大的,因此温度是变質作用的最主要因素。压力对变質作用則起着更复杂的影响。对于靜水压力和定向压力,应当加以区别,定向压力常常又被称为应力。靜水压力和定向压力对变質过程所起的作用是不相同的。靜水压力的加大将会抬高矿物晶出的温度,而定向压力的加大則会压低矿物晶出的温度,这一点在庄士敦(J. Johnston)和尼格里的热力学研究中已予証明^[388],但是靜水压力和定向压力对变質岩中的矿物晶出所起作用的这种恰恰相反的傾向比起变質过程的其他方面来,只有次要的意义。定向压力会引起矿物和岩石的变形,而它們的变形又将为溶液的循环开辟道路,这样就会大大提高化学

反应的强度。除此而外，由于滑动分异运动而形成的定向压力是矿物所以会普遍作有规律定向排列的原因，其中既包括新晶出的矿物，也包括其组分在变质作用前后都不发生变化的、再结晶的稳定矿物在内。应当注意，静水压力是在气体、液体和固体的介质中出现的，而定向压力只在固体或者塑性介质中出现。

由此可见，各种不同类型的变质作用是在以下四种因素的作用下发生的，它们是：间隙溶液的化学作用、温度、静水压力和定向压力。在所有不同类型的变质作用中都有第一种因素参与，只有矿物的多形转化（如石英向鳞石英的过渡）才是稀有的例外。各种类型的变质作用都以其中某一种因素占优势作为它的特征。

1. 由于温度的影响而引起的变质作用，一般称为热力变质作用。热力变质作用的变种——接触变质，具有最重要的意义，这种变质作用是在侵入体同围岩相接触的地方产生的。同时接触变质作用又可分为岩石的内接触变质和岩石的外接触变质。内接触变质以岩石在侵入体的边缘部分发生变质为特征，外接触变质则以与侵入体相接触处的围岩变化为特征。接触变质作用又可分为不加入其他物质的接触变质作用和有其他物质加入的接触-交代变质作用。

高热变质作用（灼烧变质和烘烤变质）是指在熔岩同围岩碎屑及碎块的接触处所发生的接触变质。热力变质作用的这个变种是在远较接触变质作用为高的温度下发生的，这是因为溢出的熔岩会使热力很快遭受损失以及水中的氧参加化学反应的缘故。高热变质作用既可以伴随有其他物质的加入，也可以不伴随有其他物质的加入。

2. 主要由于能导致矿物和岩石强烈变形、破碎和片理化的定向压力所引起的变质作用称为压碎变质作用。

3. 由于定向压力的作用和温度升高所共同引起的变质作用称为动热变质作用（定向压力和温度升高的共同作用是引起变质作用的一个极为强大的动因）。

4. 由于静水压力和温度的升高而引起的变质作用，同动热变质作用相反，曾有人建议称之为荷重变质作用（метаморфизм нагрузки）。显而易见，这种变质作用主要是由于深度的增加（上覆岩石重量的增加）和温度的升高而产生的。代莱（R. Daly）曾经另外给这种变质作用定了一个名称——静力变质，这一术语应当用来代表在广大区域内并无定向压力参与下的变质作用。

5. 由于定向压力、静水压力和温度三者共同引起的并且在很大空间内出现的变质作用称为区域变质作用。在地下深处，定向压力逐渐减弱，而静水压力则节节增大。在区域变质作用下，将会形成变质的结晶片岩和片麻岩。

区域变质的另一变种——超变质作用是深褶皺区的变质作用，其所以称为超变质作用是因为在此变质作用下，岩石部分或者全部再熔化现象出现得很广泛。在超变质作用下所发生的花岗岩熔浆将会成层侵入围岩（基岩，субстрат）中并形成贯入片麻岩。因此这一种变质作用常常又称为贯入变质作用。

6. 由于液态岩浆和已经晶出的矿物之间的反应而引起的变质作用以及由于剩余熔浆中挥发组分的分凝物质同矿物之间发生反应而引起的变质作用都称为自变质作用。有别的物质加入的自变质作用，称为自交代变质。

7. 当岩石经历若干个变质阶段时,称之为多相变质作用。

8. 此外还可分出一种特种的变质作用,称为退化变质作用,在退化变质的条件下,变质的岩石经历了从深带到浅带的变质变化。在退化变质作用时,在高温下所形成的矿物常常被低温矿物组合所取代。

变质岩的化学成分和矿物成分

无论火成岩、沉积岩、混合岩和变质岩都可成为形成变质岩的原料。在变质岩形成时将会发生变质作用和交代作用。在变质过程中,岩石的化学成分(除水和碳酸外)并不发生变化,但交代作用则同变质作用相反,它将会同时发生物质的迁移,从而引起这种或那种化学物质的富集或贫化。从数量的关系上来说,变质岩要比交代岩多得多。

火成岩及其特征

火成岩可以从各种不同特征来加以研究。这些特征是:它们的产状,它们的化学成分、矿物成分,各种火成岩彼此共生的规律性,构造和结构。

产状 侵入岩常常组成各种侵入体,这些侵入岩可以由于在它们的形状方面,内部结构的特点方面,在其内部结构同周围介质的结构的相互关系的性质方面,在侵入活动与构造运动的关系方面,特别是在它同造山带的构造运动的关系等一切方面的不同而有所不同。侵入体和喷出体的地质学问题在构造岩石学中已有详细论述^[45]。

喷出岩,也如侵入岩一样,会由于产状的不同以及内部结构的特点而有所不同。喷出体结构上的特点之一是:常常可以见到喷出岩的岩流和覆盖层同沉积岩形成互层。

火成碎屑岩(凝灰岩以及凝灰成因的岩石)也和喷出岩的岩流和覆盖层一样,常常同沉积岩交互成层。

火成岩中的原始结构、原始构造和原始矿物的残留物对于变质岩的研究具有很大的意义,这些残留物常常可以在变质岩中见到。

化学成分 在组成岩石的各种最主要氧化物之间具有有规律的量比关系,这是火成岩化学成分上的一个特征。火成岩的最主要的组成成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 K_2O 、 Na_2O 、 H_2O 和 CO_2 。此外,还可以看到许多别的组成成分,它们的数量不多,可以看作是次要的组成成分,其中意义最大的是 TiO_2 、 ZrO_2 、 P_2O_5 和 MnO 。

目前存在有若干种换算方法,这种换算的主要任务在于先把若干种(十种以下)氧化物的量比系数换算成三个或四个系数,然后可以用图解法把换算结果表示出来。查瓦里茨基(А. Н. Заварицкий)所提出的、并由他用来进行岩石化学研究的方法是最完善的并且研究得非常好的岩石化学分析换算法^[64]。有一些相应的换算表可以帮助我们进行换算^[66, 269]。

除了查瓦里茨基的换算方法以外,还有另外一些换算方法,例如尼格里的方法^[34]

和巴尔特(T. F. W. Barth)的方法^[6]。所有这些方法都是通过可以一目了然的方式来利用火成岩的一个典型的化学特性,这个特性就是,尽管火成岩中各种氧化物的含量的变动范围十分大,但是这个范围是有限度的,同时在某些组成成分(氧化物)彼此间的系数中,只有若干系数可以在岩浆岩结晶时出现。下面这个系数对火成岩是十分典型的,这就是:氧化铝的分子量比碱加上钙的量为小,有时也可看到这一原则遭到破坏,而这种情况乃是由于交代作用或者风化作用所引起的。

查瓦里茨基图解中的火成岩化学成分带代表图解左、右两部分的向量羣。在尼格里的图解^[109]中,火成岩化学成分带则很显明地位于火成岩带的内部(参看图1)。火成岩的这一化学特点可以在研究变质岩的化学变化时加以利用。如果在变质岩的化学成分中并不具有火成岩的特性,而且与该岩石成分相应的点并不落在火成岩带内,则该变质岩就不是岩浆成因的,或者虽属火成岩,但已由于风化作用或交代作用而起了变化。遇到表示岩石化学成分的点未落在火成岩带时,就应当作补充性的检查,亦即检查一下这种化学成分是否可能和沉积岩相当,因为有时沉积岩在化学成分上可能和火成岩很接近。

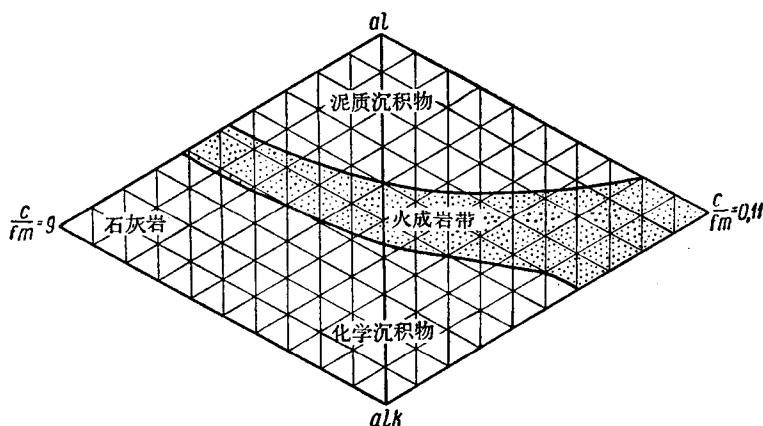


图1 某一四角形断面中的火成岩带和沉积岩带
(据尼格里)

从这一点上看,那些同变质火成岩相适应的正片麻岩、正閃岩和正片岩以及与变质沉积岩相适应的副片麻岩、副閃岩和副片岩等一类名称也就成为容易为我们所理解。

矿物成分 火成岩的化学成分可以以为数不多的几种主要氧化物为代表以及这些氧化物的量比关系只在一定限度内发生变动的这一事实,正是主要造岩矿物数目之所以不多的原因。最主要的造岩矿物可以归并为两个大的矿物组,即浅色矿物组(或者说淡白色矿物组)和有色矿物组(或者说深色矿物组)。属于淡白色矿物组的有石英、钾长石、斜长石和似长石;属于深色矿物组的有橄欖石、輝石、閃石和云母。在次要矿物和副矿物中有大量的各种各样的矿物,其中包括以下这些金属矿物:磁铁矿、钛铁矿、钛磁铁矿和各种硫化物。

氧化硅含量与金属氧化物含量的比率是使我们能够将火成岩再进一步分类的标志。可根据这一比率将它分为被氧化硅过饱和的火成岩、饱和的火成岩以及未饱和的火成岩。岩石中有石英存在(游离的氧化硅),说明岩石已被氧化硅所过饱和;氧化硅未达饱和程度是出现含镁很富的橄榄石及似长石等一类矿物的原因。除此而外,普通角闪石也常常可能未被氧化硅所饱和。由此可见,矿物成分可以被利用来作为对火成岩进行分类的基础。火成岩的矿物学分类法在目前已经很好地拟定出来,但是它的缺点是:当我们在显微镜下鉴定具有玻璃结构或者隐晶结构的岩石时就常常会遇到很大的困难。

火成岩的定量矿物成分可以换算为化学成分。所计算出来的成分同火成岩的实际化学成分十分接近。但是在为某一种造岩矿物的化学成分选择标准时往往会发生困难。奇尔文斯基(П. Н. Чирвинский)教授^[272]和柯楚罗娃(Р. Н. Кочурова)^[107]的书对于进行近似的计算是极其有益的。矿物学上的分类比化学上的分类具有更大的优越性,但是化学上的分类在鉴定玻璃质岩石和隐晶质岩石时具有辅助性的作用。查瓦里茨基曾经作出这样的结论,认为除了试行建立化学分类法以外,还应当注意去制订最完善的,对火成岩的化学分析进行换算的方法以及在图解中或者模型中把换算结果形象地表示出来的方法。

结晶作用的物理-化学条件 火成岩中的各种矿物是由于熔融体——岩浆——的结晶作用而形成的。造岩矿物从岩浆中晶出的过程是在高温高压下进行的,并且是由于岩浆的逐渐冷凝而引起的。在岩浆中有易熔挥发组分的存在是结晶过程的重要因素,在这些易熔挥发组分中起重要作用的是水和碳酸。挥发组分在岩浆结晶时的性状是很特殊的,它们能促进结晶作用的进行并降低结晶时的温度,但是它们几乎完全不进入难熔化合物——硅酸盐——的成分中。岩浆在结晶过程中将会逐渐富集挥发组分并且会逐渐地或者飞跃式地转化为热水溶液。

很久以前就有人初次尝试通过实验的方法来研究造岩矿物从熔融体中晶出的过程。在今天,对硅酸盐系的结晶过程已经有十分详尽的研究。硅酸盐系的实验物理-化学研究曾经是岩石学中新的研究方向的基础,并且曾经帮助人们弄清了岩浆岩成因方面的许多复杂问题。包文在这方面做了许多工作。

火成岩的系列或者天然序列 对火成岩的系列或者天然序列的研究是岩石学中的重要课题之一。在岩浆结晶时所形成的全部岩石的组合构成岩石的天然序列。天然序列往往随结晶条件的不同而不同。

在岩浆结晶时各类火成岩形成的先后顺序是从最基性的岩石开始到最酸性的岩石终止。但是与此同时也可能发生结晶产物的特殊化——结晶分异作用。结晶分异作用出现得愈是强烈,岩石天然序列的某些成员也就表现得愈加清楚和愈加多样化。

结构和构造 火成岩的构造,特别是它的结构决定于熔融体在温度和压力同时变化的条件下以及在剩余岩浆中逐渐富集挥发组分的条件下转变为晶体状态的情况。根据结构特征,我们可以成功地判断究竟是有两次或者若干次结晶期。例如喷出岩的斑状结构是在两次结晶期中形成的,一次是在深处进行的,这时形成了地下期