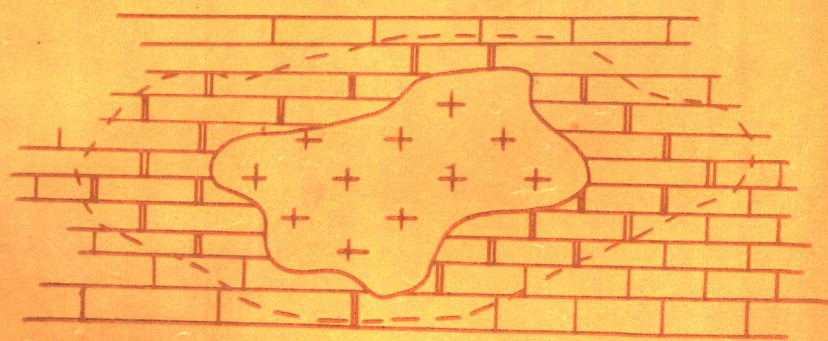


高等学校教材

# 变质岩岩石学

贺同兴 卢良兆 李树勋 兰玉琦 编



地质出版社

高等学校教材

# 变质岩岩石学

长春地质学院

贺同兴 卢良兆 李树勋 兰玉琦 编

地质出版社

※

※

※

本书由安三元主审，经地质矿产部岩石学教材编审委员会变质岩编审小组于1986年10月主持召开会议审稿，同意作为高等学校教材出版。

※

※

※

## 变质岩岩石学

长春地质学院

贺同兴 卢良兆 李树勋 兰玉琦 编

责任编辑：赵俊磊

地质出版社 出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技友行所发行

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：15.125 插页：3 页字数：359,000

1988年4月北京第一版·1988年4月北京第一次印刷

印数：1—15,000册 定价：2.60元

ISBN 7-116 00132 8/P·116

# 前 言

本教材是根据一九八二年原《岩石学》教材编审委员会第二次会议纪要和一九八二年十月在西安召开的《变质岩岩石学》教材大纲讨论会上通过的编写提纲编写的。于一九八五年底完成初稿，一九八六年三月经主审安三元教授审阅后，于一九八六年十月，又经《变质岩岩石学》评审组审议后，修改定稿。

本书这次编写是在原有的高等学校试用教材《变质岩岩石学》（贺同兴、张树业、卢良兆编，1964；贺同兴、卢良兆、李树勋、兰玉琦编，1980。）基础上，根据本门学科的发展现状和教学的需要而编写的。作为地质基础学科，不仅加强了基本知识，基本理论和基本技能的阐述，并在体系上作了较大的调整；对与学科发展有重要影响的某些理论、发展方向和研究方法，也适当进行了介绍。变质作用和地壳演化相结合的变质地质学方向和与实验研究有关的理论研究对变质岩形成作用的意义，是本书强调的两个方面。

全书共分七章，前四章偏岩类学部分，后三章偏理论部分。由贺同兴、卢良兆、李树勋、兰玉琦分工执笔，其中第一章、第四章、第六章的一、二、三、四、八节由贺同兴执笔；第二章、第三章的一、二节，第六章的五节由卢良兆执笔；第五章的一节、第六章的七节、第七章由李树勋执笔；第三章的三节、第六章的六、九节由兰玉琦执笔。全书由贺同兴负责统稿整理。

本书的编写、是在院、系的领导下和教研室的支持下完成的。地矿部教材室给予了许多支持。许多院校、生产科研单位和长春地院的许多老师，都为本书的编写提供了宝贵的意见和资料，使本书得以顺利完成，在此谨致谢意。

教材的编写，是一项难度很大的艰巨工作，由于笔者的水平有限，在教材内容和组织上，都可能存在错误或不当之处，殷切希望使用本书的各兄弟院校师生和其他读者批评指正。

贺同兴、卢良兆、李树勋、兰玉琦

一九八七年一月

# 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....               | 1  |
| 第一节 变质作用和变质岩的概念 .....             | 1  |
| 第二节 变质作用的分类 .....                 | 2  |
| 一、区域变质作用 .....                    | 3  |
| 二、接触变质作用 .....                    | 4  |
| 三、动力变质作用 .....                    | 4  |
| 四、气液变质作用 .....                    | 4  |
| 五、其它类型的变质作用 .....                 | 5  |
| 第三节 变质岩石学的发展历史和现状 .....           | 5  |
| 第四节 变质岩岩石学的任务和研究方法 .....          | 7  |
| 第五节 变质岩的分布及有关矿产 .....             | 8  |
| <b>第二章 变质作用因素</b> .....           | 13 |
| 一、温度 .....                        | 13 |
| 二、压力 .....                        | 14 |
| 三、具有化学活动性的流体 .....                | 15 |
| <b>第三章 变质岩的基本特征</b> .....         | 18 |
| 第一节 变质岩的化学成分 .....                | 18 |
| 第二节 变质岩的矿物成分 .....                | 20 |
| 一、变质岩矿物成分的一般特点 .....              | 20 |
| 二、变质岩矿物成分与原岩成分的关系 .....           | 22 |
| 三、变质岩矿物成分与变质作用物化条件之间的关系 .....     | 25 |
| 第三节 变质岩的结构构造 .....                | 27 |
| 一、概述 .....                        | 27 |
| 二、变质岩的结构 .....                    | 29 |
| 三、变质岩的构造 .....                    | 43 |
| <b>第四章 变质岩的分类命名和常见变质岩类型</b> ..... | 49 |
| 第一节 变质岩的分类和命名 .....               | 49 |
| 一、变质岩的分类 .....                    | 49 |
| 二、变质岩的命名 .....                    | 53 |
| 第二节 常见的主要变质岩类型 .....              | 55 |
| 一、板岩类 .....                       | 55 |
| 二、千枚岩类 .....                      | 57 |
| 三、片岩类 .....                       | 58 |
| 四、片麻岩类 .....                      | 63 |
| 五、长英质粒岩类 .....                    | 65 |
| 六、石英岩类 .....                      | 67 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 七、斜长角闪岩类 .....              | 70  |
| 八、麻粒岩类 .....                | 72  |
| 九、铁镁质暗色岩类 .....             | 74  |
| 十、榴辉岩类 .....                | 75  |
| 十一、大理岩类 .....               | 76  |
| 十二、矽卡岩及其它钙硅酸盐岩类 .....       | 78  |
| 十三、角岩类 .....                | 79  |
| 十四、动力变质岩类 .....             | 79  |
| 十五、气—液变质岩类 .....            | 83  |
| 十六、混合岩类 .....               | 86  |
| <b>第五章 变质岩的形成作用</b> .....   | 89  |
| 第一节 物化原理在变质岩形成作用中的应用 .....  | 89  |
| 一、变质作用中的热力学原理 .....         | 89  |
| 二、相律在变质作用中的应用 .....         | 90  |
| 三、变质反应的基本特征 .....           | 92  |
| 四、矿物共生分析 .....              | 101 |
| 五、矿物成因网系图(矿物成因格)简介 .....    | 114 |
| 第二节 变质作用方式 .....            | 117 |
| 一、重结晶作用 .....               | 117 |
| 二、变质结晶作用 .....              | 119 |
| 三、变质分异作用 .....              | 121 |
| 四、交代作用 .....                | 123 |
| 五、变形和碎裂作用 .....             | 127 |
| <b>第六章 变质地区的研究</b> .....    | 130 |
| 第一节 变质作用期次的划分 .....         | 131 |
| 第二节 变质作用类型 .....            | 133 |
| 一、主要区域变质作用类型 .....          | 133 |
| 二、接触变质作用 .....              | 136 |
| 三、动力变质作用 .....              | 137 |
| 四、洋底变质作用 .....              | 137 |
| 五、冲击变质作用 .....              | 140 |
| 第三节 变质带(级)变质反应带的概念及划分 ..... | 140 |
| 一、深度带的概念 .....              | 140 |
| 二、变质带、变质级、变质反应带概念及划分 .....  | 141 |
| 第四节 变质相和变质相系 .....          | 152 |
| 一、变质相的概念 .....              | 152 |
| 二、变质相的划分 .....              | 153 |
| 三、主要变质相的划分标志 .....          | 159 |
| 四、变质相系 .....                | 166 |
| 第五节 变质作用的矿物学研究 .....        | 168 |
| 第六节 变质原岩的研究 .....           | 181 |
| 一、地质产状和岩石共生组合 .....         | 182 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 二、岩相学标志 .....                  | 183 |
| 三、岩石化学和地球化学特征 .....            | 185 |
| 四、副矿物 .....                    | 192 |
| 附: 岩石化学计算方法 .....              | 193 |
| 第七节 变质岩地区变形现象的研究 .....         | 197 |
| 一、概述 .....                     | 198 |
| 二、构造要素 .....                   | 198 |
| 三、变质岩区动力变质岩中变形作用的研究 .....      | 203 |
| 四、变形作用与变质重结晶作用的相互关系 .....      | 204 |
| 五、多期叠加变形的研究 .....              | 210 |
| 第八节 混合岩化作用的研究 .....            | 211 |
| 一、混合岩化作用概述 .....               | 211 |
| 二、混合岩化带的概念及划分 .....            | 213 |
| 第九节 变质作用与成矿 .....              | 215 |
| <b>第七章 变质作用和地壳演化</b> .....     | 221 |
| 第一节 地壳演化不同阶段的地质特点 .....        | 221 |
| 一、太古宙(>2500Ma)地壳演化的特点 .....    | 221 |
| 二、元古宙(2500—570Ma)地壳演化的特点 ..... | 226 |
| 三、显生宙(570Ma—现代)地壳演化的特点 .....   | 228 |
| 第二节 板块运动和变质带的形成 .....          | 229 |
| 第三节 变质相、相系在时间上的演化特点 .....      | 230 |
| <b>参考文献</b> .....              | 235 |

# 第一章 绪 论

岩石学是研究地球物质成分的科学。十九世纪后期(1862),按成因不同划分出岩浆岩、沉积岩和变质岩三个分支,根据研究的重点不同,分为三门不同的学科:即岩浆岩岩石学、沉积岩岩石学和变质岩岩石学。

岩浆岩、沉积岩和变质岩的形成作用方式,形成时的物理化学条件及产物的特征等方面虽表现出明显的差异,但岩石作为自然地质作用的产物,它们的形成作用又都受地壳演化一定阶段一定地区的地质环境所制约,反映在各种地质作用(包括各种岩石的形成作用)之间,既有区别,又有联系的特点。因此,在学科分工上,虽强调了它们之间的不同,但在研究时应注意它们之间的内在成因联系。加强岩石形成作用的地质成因研究,是当代岩石学研究的主要方向。

## 第一节 变质作用和变质岩的概念

变质作用(metamorphism)这一名词是Boué(1820)第一个使用的,但变质作用的定义是Lyell(1833)比较系统提出的,他认为:“变质作用是内生成因的热力学作用的总和,它使原岩经过这一转化,通过重结晶……以及有时有新物质的加入,变为新的具有其特征的岩石类型”。这一概念大致总结了当时根据野外观察所获得的认识,具有朴素的唯物论性质。Lyell正确解释了变质作用这一名词的含义,他把这一作用看成是在新的内生条件下的转变作用,从“水成”可以通过这一作用变为“火成”,这一观点,在当时“水火之争”的年代,是有独到之处的。但是,可惜的是这些概念自那时以来,直至二十世纪五十年代末,尽管变质作用的研究,在局部地区和热力学应用方面,取得了不少成就,但总的来说,变质作用在地质上还是被看作是造山带中岩浆作用和构造作用的派生作用,对变质岩的形成作用,仅仅被看成是物化条件的变化产物,关于变质岩形成的基本原因及其与地壳演化的关系,则很少得到阐述。六十年代以来,随着大面积的变质区的综合研究的进展,加深了变质作用与其它地质作用相互关系的了解;随着变质相系的研究,加强了物化条件和地质环境的联系;随海洋地质的发展和月球的观察,扩大了变质作用研究的范围。在这样一些基础上,对变质作用,在认识上有以下几点值得提出:

1. 变质作用作为一种自然地质作用,它的发生发展与地壳的发生发展有关,特别是和地幔与地壳的相互作用有关。

2. 变质作用,岩浆作用和构造作用的联系,服从于地壳形成和发展的总过程,并受地幔和地壳相互作用所支配,它们都是在地壳发展过程中所呈现的特定的地质作用,三者是平行的,但在不同情况下,又呈现了不同的内在联系。

3. 变质作用所产生的变质岩,是一种转化岩石,是地壳已存的岩石,在内生条件下,呈现出一定的活动状态,可出现从原岩的重结晶、变质结晶作用,到部分组分重熔(或重溶)和再生活动,最后还可转化为中酸性岩浆作用形成的岩石。因此,从某种意义上

说,变质作用也可看成是“水”“火”之间的转化作用。

根据上述认识,变质作用可定义如下:

变质作用是与地壳形成和发展密切有关的一种地质作用,是在地壳形成和演化过程中,由于地球内力的变化,特别是上地幔对于地壳的影响,区域热流和应力发生变化,使已存的地壳岩石,在基本保持固态的条件下,从原岩化学成分、矿物组成和结构构造等方面,进行了调整,在特殊条件下,还可以产生重熔或重溶,形成部分流体相(“岩浆”)的各种作用的总和。

变质作用、沉积作用和岩浆作用作为自然地质作用和造岩作用,它们之间的区别和联系,仍是当代地质学和岩石学值得研究的课题。如成岩作用和变质作用之间的界线,岩浆作用的范畴及其与变质作用的联系和区别。变质作用和成岩作用之间的界线,目前应用的一个重要标志是矿物组合,主要是以变质基性火山岩、基性硬砂岩中矿物的变化作为划分标志,特征是浊沸石开始出现,而方沸石、片沸石开始分解,但也有人对此持不同的看法(赵宗溥,1984)。对于变质作用和岩浆作用之间的界线,一般来说,比较容易区别,问题在于花岗质岩石。目前由于对“岩浆”概念的不同理解,出现了认识上的分歧,部分研究者认为:岩浆是地下深处一定原岩的分熔产物,分熔产物是一种熔体和固体残余的混合物,分熔产物(包括熔体和惰性组分)可以整体上升,形成花岗深成体或火山喷发岩(A. J. R. White和B. W. Chappell, 1977);但另一些研究者则认为:“岩浆”应限于分熔产物的熔体部分,是一种不含(或少含)原岩残余的高温硅酸盐熔融体。由于这种认识上的差别,导致了当前关于变质作用和岩浆作用之间的界线的认识上的不同。事实上,在变质作用和岩浆作用之间,应该存在一定的变化关系,从变质作用到典型的岩浆作用之间,应该有一个发生发展过程,它们之间,尽管很难有一个明确的截然界线,但完全否定作为从变质作用(狭义)到典型岩浆作用之间的中间过程的研究,也是不利于学科发展的。所以,凡是与变质作用有密切关系,属于混合岩化作用所形成的混合岩,包括混合花岗岩类岩石的形成作用,应属于变质作用(广义)的范畴,实验室所测定的重熔界线,仅代表重熔的开始,仍应属于变质作用的范畴。

变质岩是地壳已存岩石(岩浆岩、沉积岩……)受变质作用后的产物。所以,其岩性特征常受原岩的控制,具有明显的继承性;同时,由于变质作用的成因特点,又决定了变质岩在矿物组成、结构构造等方面,具有与原生岩石不同的特点,在受深变质改造的岩石与原生岩石之间,存在着一定的渐变关系。任何变质岩,都包含其原岩形成的历史和变质作用的历史,详细研究变质岩的特征(物质成分、结构构造、产状)是追溯这种历史过程的最主要依据。

## 第二节 变质作用的分类

自变质岩作为一门独立学科出现以来,对变质作用类型的进一步划分,曾提出过许多不同的分类。四十年代以前,处于积累资料阶段,分类多偏重于简单的地质成因,如变质岩的分布规模、变质作用方式以及变质岩形成时的物化因素等,出现了众多的变质作用类型名称,如区域变质作用、接触变质作用、碎裂变质作用、自变质作用、它变质作用、负荷变质作用、错位变质作用、热变质作用、高热变质作用、气化变质作用、注入变质作

用、热动力变质作用、深成变质作用、超变质作用、退化变质作用等，它们多是基于不同的分类原则基础上提出的类型名称，名词繁多，但与成因联系较简单。例如：按分布规模和与其它地质作用联系而分出的：区域变质作用，局部变质作用（接触变质作用、碎裂变质作用等）；按变质作用营力来源分出的：自变质作用、它变质作用；按热动力条件分出的：高热变质作用、热接触变质作用、热动力变质作用、动力变质作用、热液变质作用等。五十年代以来，随区域研究范围的扩大，理论研究的深入，变质作用的分类研究，进入了一个以地质环境及其演化特征为基础的变质作用分类研究时期，出现了一些以地质环境及其演化特征为基础的变质作用分类：如日本地质学家都城秋穗（A.Miyashiro 1961, 1972）把变质作用类型和板块构造联系起来，他认为：板块接合处都可发生变质作用，聚敛板块产生区域变质（常为高压型），并可根据不同空间地质环境而出现不同类型的变质作用（可分为低压型、中压型和高压型等不同类型的区域变质作用）；离散板块产生洋底变质作用；而板块间的转换断层与糜棱带有关，并相应提出了变质相系的概念；H.G.F. Winckler (1975) 则把区域变质作用分为两个大的类型：区域动热变质作用（根据温度和压力结合的不同，进一步分为较低压力型、中等压力型、高压型）和区域埋藏变质作用。这些研究工作，大大推动了以地质环境及其演化特征为基础的变质作用分类研究。目前这一领域的研究工作还不够深入，但由于变质作用的产生是受地壳演化一定阶段一定地区的地质环境所制约的，是地壳发展一定阶段一定地区的物理场（热力场和应力场）的特点和变化，决定了物质运动的形式，表现为不同的地质作用（变质作用、混合岩化作用、岩浆作用以及构造作用等）。因此，以产生变质作用时的大地构造环境为背景，以变质作用的物理化学过程以及与其它地质作用的联系为依据，以变质期后与变质作用有一定联系的岩浆作用和沉积作用特征作参考，对变质作用进行综合分类，已经成为当前变质作用研究的一个重要发展趋势。

在进行变质作用类型划分时，应考虑下列方面：

1. 变质作用前原岩建造形成时的大地构造环境，这方面内容包含原岩建造特征及其形成时的大地构造环境，它们代表着变质作用发生的起始状态。
2. 变质作用发生时的物理化学条件，包括温度、压力、应力等的变化及由这些因素决定的变质相、变质相系及变形作用特点等，它们代表着变质作用的主期变化特征。
3. 混合岩化及花岗岩浆活动，在变质活动带，混合岩化和花岗岩浆作用与变质作用有密切的关系，它们的出现与否，发育的程度如何？标志着变质演化阶段中的热流变化，也代表着变质作用的晚期特点。

下面简要介绍常见的变质作用类型。

## 一、区域变质作用 (regional metamorphism)

这一术语，最先是由法国学者A.Daubree于1859年提出的，用来泛指变质作用因素复杂且受影响的岩石范围也较广的一种变质作用。是岩石在大范围内，在温度增高及定向和均向压力、流体等因素参与下经过重结晶、变质结晶、变形，有时伴随有变质分异或交代等作用的一类变质作用。大面积的岩石普遍经历了程度不等的变质，所形成的岩石普遍具有结晶片理及其它方向性组构，一般地质构造复杂，低变质区常保留了原岩某些矿物及组构，而高级变质区常伴随混合岩化作用及岩浆作用。

区域变质作用广泛出现于太古代结晶基底及其它时代的变质活动带，呈面状或带状分布，其地质成因极为复杂，以地质环境及其演化特征为基础，目前对区域变质作用可进一步划分为若干类型。详见第六章第二节。

## 二、接触变质作用 (contact metamorphism)

这一类型变质作用是在岩浆作用影响下，围岩主要受岩浆体温度的影响而产生的一种局部性变质作用。通常规模不大，围岩主要受岩浆所散发的热量及挥发分的影响，发生重结晶及变质结晶作用而形成新的岩石；有时也可伴有交代作用，引起化学成分的变化。静压力和应力的作用较为次要。

当以温度升高为主时，围岩仅受岩浆体温度影响而发生重结晶、变质结晶作用，变质前后化学成分基本相同，挥发组分仅起催化剂作用。这类接触变质作用称为热接触变质作用 (contact thermal metamorphism)。

当接触变质作用发生时，围岩除受岩浆体温度影响外，由于挥发组分的影响，在岩体与围岩之间发生交代作用，致使接触带附近岩体和围岩的化学成分也发生变化，称为接触交代变质作用 (contact metasomatism)。

当接触变质作用发生在与火山岩相接触的围岩中时（围岩或捕虏体），由于火山岩温度较深部岩浆更高，但冷凝速度较快，可出现小规模的高温的变质现象，称为高热（烘焙）变质作用 (pyrometamorphism)。特征是围岩被烘烤退色、脱水、甚至局部熔化出现少量玻璃质，并可出现一些特殊的低压高温矿物，如鳞石英、透长石等。

## 三、动力变质作用 (dynamometamorphism)

动力变质作用是在构造作用过程中所产生的强应力作用下，岩石发生破碎、变形，在破碎、变形的同时，伴有一定的变质结晶、重结晶作用的一类变质作用。其发育常受断裂构造所控制，原岩受动力变质作用后的变化，也极为复杂，有时碎裂作用占主导地位（脆性状态下的岩石），变质结晶、重结晶作用轻微；有时，变形作用（塑性状态下的岩石）和变质结晶、重结晶作用都很显著，视动力变质作用发生时的地质环境及热动力条件而定。

## 四、气液变质作用 (pneumatolytic hydrothermal metamorphism)

是由热的气体及溶液作用于已形成的岩石，使已有岩石产生矿物成分、化学成分及结构构造的变化，称为气液变质作用。它可以产生于两种岩石之间或一种岩石本身，通常沿构造破碎带及矿脉边缘发育。气液变质作用所形成的岩石类型繁多，其特点主要决定于原岩成分及结构构造，引起变质的气液性质（化学成分及物理性质）以及交代作用的方式、作用过程及外部条件等。

关于引起气液变质的气水溶液的来源极为多样，可以有：岩浆结晶分异后所析出的气水溶液、变质作用过程中原岩（特别是沉积岩）脱水所形成的气液、混合岩化作用过程中分泌出来的气水溶液以及与地下热水有关的气水溶液等。由于气液的来源不同，化学性质各异以及受蚀变岩石的成分、结构构造的不同，对气液变质作用的进一步划分，尚难提出一个统一的识别标志，在目前的划分工作中，有的以蚀变产物为主，如蛇纹石化、云英岩

化等；有的则以交代作用的性质来进行划分，如钠交代、钾交代等。

## 五、其它类型的变质作用

除以上几种类型外，尚有：

**冲击变质作用** 是由陨石冲击而产生的一类变质作用，极高的温度，极大的压力和极短的时间是作用的主要特点。常围绕陨石冲击坑分布，并常出现一些特殊的矿物如霏石、柯石英等。

**洋底变质作用** 是在大洋中脊一定深度范围内所发生的一类变质作用，海水通过中脊上涌的热岩浆而对流循环，可能是引起洋底变质作用发生的主要原因。

**叠加变质（多期变质）作用** 是早期形成的变质岩石，在以后的地质时期中，又遭受另一次变质事件的改造作用。

**退化变质作用** 指较高级的变质作用，被较低级的变质作用所改造。高温矿物组合为低温矿物组合所替代。它可以是叠加变质作用的结果，也可能属于一个变质事件不同演化阶段的产物。

## 第三节 变质岩石学的发展历史和现状

自十九世纪初叶变质作用这一名词正式载入地质文献（Lyell, 1833）以来，已有很长的历史，经历了不同的发展阶段，大致可分为：

一、二十世纪前半叶，其主要特点是以“相律”为基础的岩石学发展阶段。在这个阶段，一方面描述岩石学奠定了牢固的基础，如H. Rosenbsch(1856—1914)，U. Graubenman (1850—1924)，及P. Niggli 等的工作；同时，对变质岩的成因，变质作用和岩浆作用，构造作用，交代作用的关系以及变质作用因素等问题，都有了一定的进展。深度带概念（U. Graubenman 1904；P. Niggli 1924），变质带、变质级的概念（G. Barrow, 1893—1911）；C. E. Tilley (1924)，矿物相律（V. M. Goldschmidt, 1912）和变质相概念（P. Eskola, 1915—1939），混合岩化和花岗岩化作用的争论（J. J. Sederholm；C. E. Wegmann；H. H. Read；P. J. Holmquist；P. Eskola等），变质作用过程中的固体扩散理论（R. Perrin；M. Roubault；H. Ramberg等）及变质岩中矿物共生分析方法的建立（V. M. Goldschmidt；Д. С. Коржинский……），变质作用是封闭系统或开放系统的讨论（H. Rosenbsch、Michel Levy），以及岩组学在变质岩中的应用（B. Sander等），都是本阶段所取得的突出进展。作为本阶段理论上突出的成就，则是在变质岩形成作用研究中，引入了相律，建立了变质相概念，把变质岩的形成作用，作为一定物质体系在一定物理化学条件下的变化产物来进行研究，对变质岩的形成作用，虽也强调了和其它地质作用的简单联系，但变质作用作为一种自然地质作用，它的发生发展与地壳演化过程地质环境的变化之间的联系，基本未涉及，在实验研究方面，虽也进行了一些工作，但并未取得实质性进展。

二、二十世纪五十年代以来，进入了以变质地质学为主要研究内容的发展阶段。

五十年代以来，除变质带、变质级、变质相等概念继续得到广泛应用和讨论外，在实验研究方面，随实验技术的改进（目前金刚石压机技术，压力已可达100GPa，温度大于

2000℃) 相平衡关系与变质反应的实验研究, 得到了很大的发展, 并已开始引入了 $H_2O$ 、 $CO_2$  等流体相的影响 (H. S. Yord; H. G. F. Winkler; S. Thompon 等); 在变质作用温压参数的测定方面, 除根据特定变质反应的实验资料外, 广泛采用了各种矿物的地质温压计以及其它方法 (如氧同位素等), 使对变质作用温、压条件的确定, 从五十年代以前的推测定性阶段, 逐步进入有实验数据的定量阶段, H. G. F. Winkler 的变质反应级概念 (1976) 曾被人们誉为“一曲实验研究的凯歌”; 在变质岩原岩研究方面, 自五十年代以来, 开始广泛应用岩石化学方法, 到七十年代中期, 已提出了一系列方法, 除常量元素、微量元素外, 近年来, 稀土元素地球化学和稳定同位素地球化学在原岩恢复及岩石成因研究中, 取得了引人注目的发展; 区域变质作用、混合岩化作用和花岗岩浆作用之间的区别和联系, 出现了一些新的争论; 随花岗岩—绿岩带、高级区及长英质片麻岩等研究的深入, 对前寒武纪早期地壳的特征, 引起了更加深入的讨论。但作为这一时期的突出成就, 应是对变质作用类型多样性的认识 (A. Miyashiro, 1961; H. G. F. Winkler, 1976; H. J. Zwart, 1967等), 其主要标志之一是变质相系与双变质带概念的提出 (A. Miyashiro, 1961)。这一概念的提出, 冲破了长期以来将变质岩的研究只是单纯强调岩石本身的特点和其形成时的物理化学条件的研究倾向, 强调了变质岩的形成作用和随地壳演化过程不同时间、空间的地质环境的联系, 从而把变质岩和变质作用的研究纳入了研究地壳演化的轨道。将变质作用作为一种地质作用来研究, 强调了它的地质意义, 并与地球科学中其它许多学科建立起了多边的联系, 从而大大地加强了变质岩研究在整个地球科学中的地位。以研究变质作用的发生发展和大地构造环境的关系为内容的变质地质学方向, 已成为当代变质岩岩石学的一个主要研究方向。包括变质岩在内的多学科、多兵种协作攻关作为当今地球科学发展阶段中的主要动向, 已日趋明朗。

我国变质岩的研究, 在新中国成立以前, 基本上袭用了三十年代描述岩石学方法, 在老一辈岩石学家的努力下, 对个别地区的变质岩进行了描述和分类, 并进行了某些地区性研究, 如我国著名岩石学家程裕淇等 (1944) 对四川丹巴附近古生代变质岩系的研究。新中国建立后, 随着普查找矿工作的进展和大规模区域地质调查工作的完成, 积累了大量实际资料, 变质岩的研究逐步深入。在二十世纪五十年代末和六十年代初, 全国统一了变质岩的分类命名 (程裕淇, 1959), 提出了与混合岩化和花岗岩化作用有关的成矿作用的论点 (董申保, 1960), 初步提出了以一定时间、空间分布的变质岩石共生组合为基础的变质建造观点 (董申保等, 1960)。七十年代以来, 王嘉荫教授根据多年来从事动力变质作用的研究, 系统地提出了动力变质作用岩石的分类命名原则, 出版了《应力矿物概论》 (1978); 七十年代以来, 对前寒武纪地质, 对某些变质活动带的区域性系统研究, 对一些变质地区进行了系统总结; 一些研究者应用板块构造理论对不同时期变质活动带进行了区域性研究。八十年代初开始的以董申保教授为首 (参加这一工作的有生产单位, 研究所和院校) 进行的“中国变质地质图编制和研究”项目, 是在全国1:200000区域地质调查和专题研究工作基础上进行的, 是建国以来全国变质岩研究工作的一次深入总结, 编图指导思想强调了变质作用的发生发展和地壳演化过程地质环境变化的联系, 对中国不同时期不同地区的变质作用进行了全面总结, 对变质作用类型、变质期、变质单元和变质旋回进行了划分。“中国变质作用及其与地壳演化的关系”一书“中国变质地质图”和“中国变质地质图说明书”即将出版。这些研究工作大大推动了我国变质地区地质研究的深入。

综上所述,可以看出,目前变质岩和变质作用的研究,已进入了一个崭新的时期。一方面是在大力改进实验技术的基础上,继续深入开展变质反应的模拟实验,并在热力学、化学动力学、固体物理学等学科的渗透和结合下,继续深入开展对变质岩成岩作用的理论研究,并尽可能把这一研究引向和地质实际相结合;同时,在大量区域性研究的基础上,着眼于地壳演化,从全球的角度(包括海洋和大陆,甚至其它星体),把变质岩和变质作用的研究,引向和地壳演化相结合的变质地质学方向。

## 第四节 变质岩岩石学的任务和研究方法

变质岩岩石学作为一门独立的科学,它是研究变质岩的科学,因此,研究变质岩的特征,研究变质岩的形成条件应是变质岩石学研究的中心任务。

变质岩特征的研究,是成因研究的基础。这是因为各种成因信息都反映在产物的特征上,通过产物特征的研究,是获得成因信息,进行作用过程分析的根本途径。

变质岩形成条件的研究,应该包括变质岩形成时的物理化学条件和地质成因两个方面,而后者往往是最根本的。这是因为变质岩是地质作用的产物,它的形成和地壳演化不同阶段不同地区的地质环境有关,物理化学条件只是地质环境的具体体现,把变质岩和变质作用当成是单纯的物理化学作用是片面的,必须克服纯岩石学的研究,把变质岩的形成作用的研究,纳入地质研究的轨道。

据岩石学和地质学的统一要求,变质岩岩石学的研究任务,可概括如下:

1. 研究不同类型变质岩的特征,包括化学成分、矿物组成,结构构造及地质产状等,这是岩石类型鉴别和获得岩石成因信息的重要基础。在不同类型变质岩特征研究工作中,要注意矿物成分的正确鉴定,矿物世代的划分、组构的分析等。

2. 研究变质岩石的成岩作用过程,可根据变质岩特征研究所获得的信息进行分析。

3. 研究变质岩的原岩特征及其形成条件(原岩成因类型)。

4. 研究不同类型变质岩的形成条件(变质相、变质级)。在成岩过程分析基础上,确定一定期变质作用的特点。但要注意不是所有变质岩类型都能达到这一要求的,对那些能反映变质作用特点的变质岩类型(如变质泥质岩、变质基性岩)应认真研究。

5. 划分变质期。一个变质地区,可能存在有不同时期的变质事件形成的变质岩系,应根据可靠的地质标志和同位素年龄资料,予以划分。

6. 研究不同类型变质岩在时间上和空间上的分布规律和组合规律。在原岩成因类型基础上,根据原岩成因类型组合确定原岩建造及其形成时的大地构造环境,在不同变质岩形成条件研究基础上,根据变质相的空间分布及其组合确定变质相系。

7. 研究混合岩化作用的特征及与变质岩系共生的花岗岩浆作用。一些变质事件,在其后期发展阶段,可能出现混合岩化作用,在此情况下,需研究混合岩及混合岩化作用,花岗岩浆作用的特点,以确定变质作用、混合岩化作用和花岗岩浆作用的相互联系和演化。

8. 研究与变质作用(包括混合岩化作用)有关的成矿作用。

上述任务的完成,通常采用的研究方法应包括:野外的地质研究,室内的实验室研究和理论综合研究三个方面。

一、野外地质研究，是地质研究的基础，也是变质岩及变质作用研究的基础，除应根据岩石的宏观特征区分不同的变质岩类型外，应着重研究岩石的地质产状、岩石的共生组合、不同变质地体（变质地体是以断层为边界，具有区域性延伸的，以变质岩为主的地质体。每一地体与相邻者有不同的历史）之间的接触关系等；同时还应重视构造分析，在搞清大的构造（褶皱、断裂）的前提下，确定变质岩系的层序或变质地体，进行地层或变质地体的划分；在确定层序或变质地体的前提下，研究变质岩石的组合及变化；根据变质岩类型的空间变化，研究变质作用等。与此同时，还应系统采集供室内岩矿鉴定，化学分析、光谱分析、同位素年龄分析、古地磁测定以及某些单矿物测定等样品。

二、室内的实验室研究。包括各种样品的测试研究和模拟自然条件的实验（变质反应）研究两个方面。各种样品的测试研究，包括偏光显微镜研究、岩矿化学分析、X光分析、差热分析、同位素测定、稀土分析、包体研究、古地磁测定等，从这些研究资料中，可以获得有关变质岩形成作用的许多信息，这是认识变质岩形成作用和地质作用演化的源泉；模拟自然条件的实验研究，是从另一个方面了解变质岩形成作用的途径，随近代实验技术的不断改进和完善，相平衡关系与变质反应的实验研究，不同岩石重熔曲线的测定以及与激光技术相结合的金钢石压机技术的应用，对变质作用、岩浆作用甚至地幔—地核界面处的情况，可提供许多有意义的资料，尽管实验研究中都是采用比自然变质体系大大简化了的体系来模拟的，但对变质岩的成因研究仍是有重要意义的。

三、理论综合研究。是根据野外地质研究和室内实验室研究获得的资料，进行综合、分析并上升为理论的过程。在此过程中，需进一步把野外地质研究和室内实验室研究所获得的资料进行综合和对比，分析资料的可信度，进行规律性总结，最后对这些规律性进行理论解释，提出各种假说和理论，并把这些假说和理论再应用于生产实践中去检验，不断推动地质研究（包括变质岩及变质作用）的进程。实践—认识—再实践—再认识……是科学研究中应该遵循的指导思想，需要经过长期的积累过程和坚持不懈的努力，来攀登科学技术的高峰，为岩石学的发展做出有益的贡献。

## 第五节 变质岩的分布及有关矿产

变质岩在全球的分布极为广泛。主要分布在前寒武纪古老地盾和地台区以及较晚的变质活动带中（图 I—1）。前寒武纪地盾区通常可以由几个不同的构造单元的变质岩系所组成，常组成大陆的核心，基本无沉积盖层，经变质后，无造山运动和岩浆活动（如波罗的地盾、加拿大地盾等）。前寒武纪陆台区，除主要由变质岩系组成外，后期有较厚的地层沉积和较明显的构造运动（造山运动、断裂作用）及岩浆活动，有时还可叠加一些小的变质活动带，反映出在地台上，主要变质作用虽已结束，但地区的稳定性较差（如我国的华北陆台）。世界各地的地盾，在习惯上属于前寒武纪，但实际上有些地区在元古代早期甚至太古代晚期变质作用就已结束，形成地盾，有些形成时间可以更晚，因此，对于各个不同的地盾区来说，不能都看成是前寒武纪同一时期形成的。

变质活动带则属于线性延伸的活动带，目前往往成为造山带出露于地表，有些与大的山脉走向一致，通常由一个变质相系或一对变质相系所组成。时代可以从元古代起一直到中生代，一般表现为围绕前寒武纪地盾分布，有时还具有随时间向外迁移的特点；但有

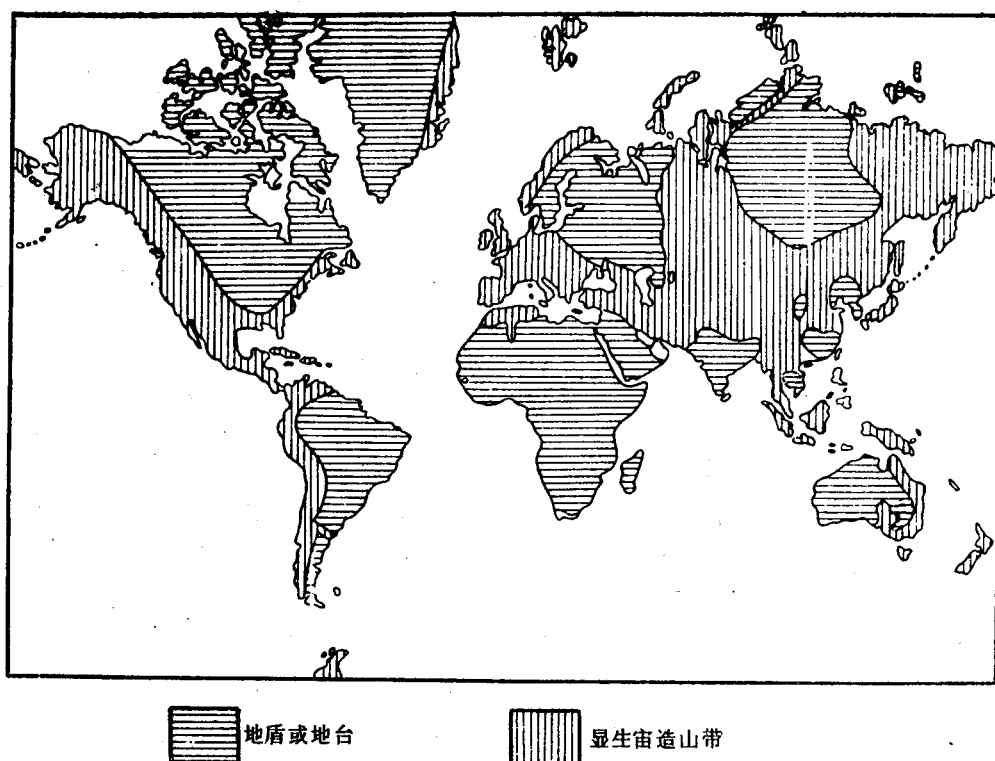


图 I—1 前寒武纪地盾或地台及显生宙造山带  
(据Miyashiro, 1972)

时变质活动带也可以是斜切陆台而延伸，这种类型更多的是与原有稳定陆台因碎裂而解体，形成另一新的台槽体系有关；在中生代以来，大陆漂移明显，有些年青的活动带往往沿大陆边缘或在岛弧带内分布。

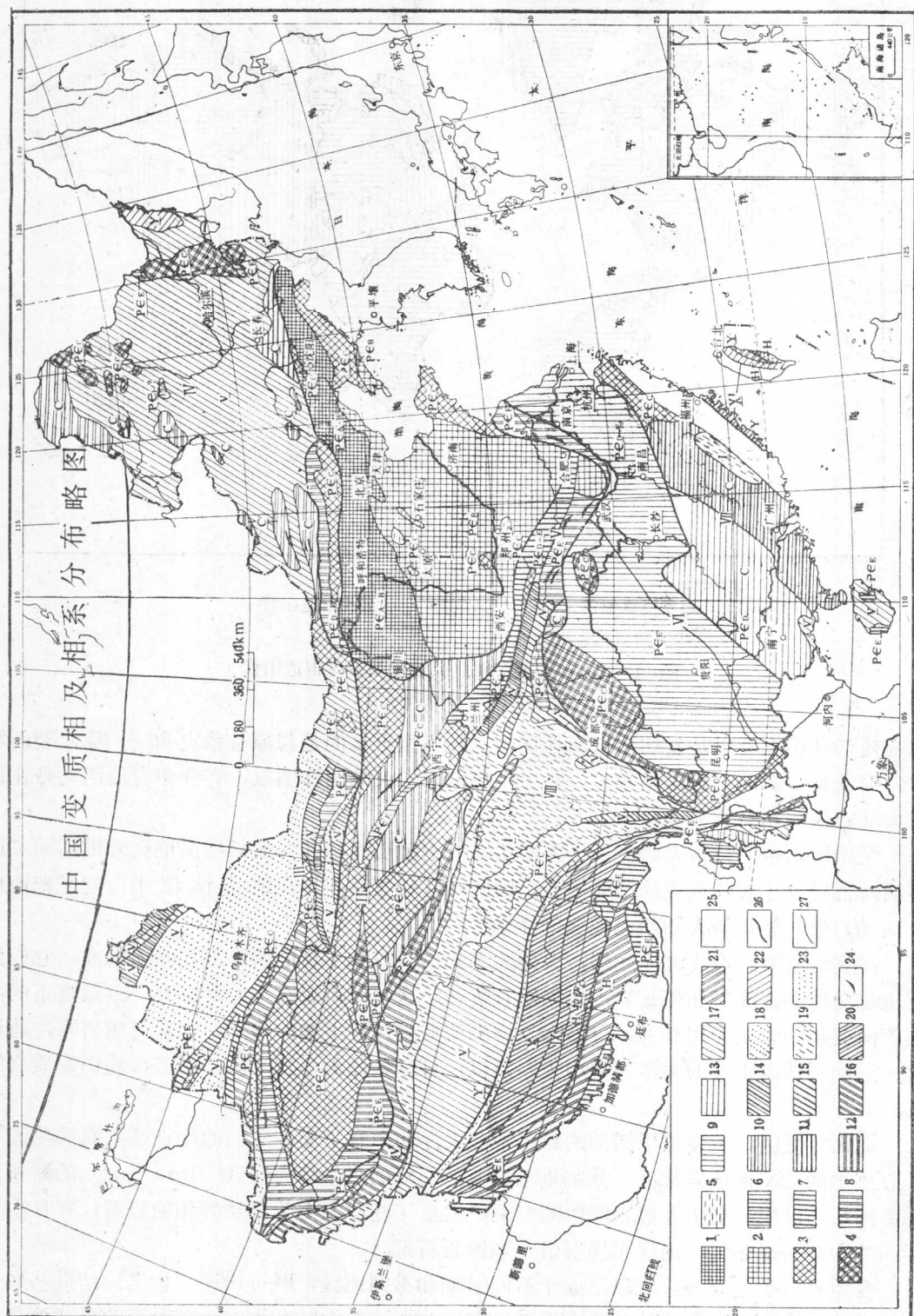
变质活动带的分布表明，由于新的活动带不断出现，并大致沿结晶地壳外围活动，这些活动带导致了大陆地壳的不断增长。因此，区域变质作用在地壳演化上，起了把地槽（活动）带，转化为大陆结晶地壳的作用。

洋底变质带：近代大洋底部，大部为玄武质岩石和上覆的深海沉积物所组成，它们的下边是变质的玄武岩和辉长岩，根据现有资料，这些变质岩石与大洋中脊一定深度下的高热流而引起的变质作用有关，以后由于洋底的扩张，产生侧向移动，这些变质岩系，通过这一运动可转入正常的大洋盆地中去。所以，可以推测大洋地壳的下部，均由变质岩组成。

近代变质区：主要位于活动的岛弧带和大洋的中脊下面，它们的特点是：高的热流和伴有热水活动的地热异常区，如加利福尼亚湾北部的萨尔顿海区（Salton Sea）的渐新世和第四系的沉积，受上升热水流体的影响，发生了变质，变为绿片岩相的岩石；在日本和新西兰的某些地热区，出现了沸石组合和钠长石组合。

变质岩石类型众多，可以形成于不同时期和不同地区，既可出现于古老的结晶基底—地盾或地台，也可出现于较新的变质活动带，分布遍及大陆和海洋。在漫长的地球演化历史过程中，地质事件频繁，形成的矿产也极为丰富。世界上迄今发现的各种矿产，在变质

中国变质相及相系分布略图



本图由中国地质科学院地质研究所编绘 (中华人民共和国地质部) 出版