

高等学校试用教材

变质岩岩石学

贺同兴 张树业 卢良兆 编

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校試用教材



变质岩岩石学

賀同兴 张树业 卢良兆 編

中国工业出版社

本书由长春地质学院岩石教研室賀同兴、张树业、卢良兆編写，并由董申保教授审閱。

本书共分十二章，包括通論和各論两部分。通論部分包括变质岩的基本概念、变质作用因素、变质作用方式、变质岩的化学成分、矿物成分和结构构造等几个主要部分。在变质岩的基本概念、变质作用因素和变质岩的化学成分、矿物成分等方面，作了較深入的討論；各論部分着重敘述了不同变质作用类型的常見岩石类型的特点和成因。对于区域变质作用、混合岩化和花崗岩化作用、变质相等方面，作了較全面的敘述。

本书可供作高等地质院校地球化学专业、地质测量及找矿专业、勘探专业教学用书，也可作为岩矿专业人員的参考用书。

变质岩岩石学

賀同兴 张树业 卢良兆 編

*

地质部教育司教材編輯室編輯（北京西四羊市大街地质部院內）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $9\frac{1}{4}$ ·插頁2·字数201,000

1965年5月北京第一版·1965年5月北京第一次印刷

印数0001—3,260·定价（科五）1.10元

*

統一书号：K15165·3792（地质-313）

前 言

变质岩岩石学的中文教材，除 E.A. 庫茨涅佐夫的“变质岩”和 B. И. 卢契茨基的岩石学（下册）（中譯本）可作参考用书外，在教学工作中，深感教材的不足。因此，我們在 1960 年就开始进行編写变质岩教材的准备工作。1961 年着手編写，至 1962 年 8 月，由张树业、賀同兴、卢良兆执笔，編成变质岩岩石学初稿。自 1962 年 10 月开始，又着手进行了第二次編写，在章次編排和內容上，都作了較大的修改。

本书这次編写是以 1955 年高等教育部批准的岩石学教学大綱为主要参考依据，并根据教学經驗总结，适当考虑本門学科的发展現状和实际工作需要而編写的。在編写过程中，试图以各种地质作用的相互联系为基础，根据岩石的內在联系，結合实验資料和物理化学原理来闡述变质岩的有关問題。对成岩作用理論，有所加强，并适当注意了各論部分的比重。

修改后，全书共分十二章，其中：第一章、第二章、第七章和第十章由賀同兴执笔；第三章由张树业执笔；第四章、第五章和第十一章由张树业、賀同兴共同执笔；第六章、第八章、第九章和第十二章由卢良兆执笔。全稿編写完成后，由賀同兴、卢良兆負責統一整理。

本书的前后二次編写，都是在党和院系的领导下，在教研室的关怀和积极支持下完成的。董中保教授自始至终給予了直接的帮助和指导，在初稿完成后，对本书作了全面的审閱。岩石教研室的穆克敏、李树勳等先生，也給予了多方帮助。

在完成本书編写过程中，教研室的兰玉琦、汪霖、何启祥等先生，协助绘制了全部岩石薄片素描；刘春华、楊佩娟等先生和部分研究生，也給予了多方面帮助；绘图室同志协助绘制了部分插图。全书得以順利完成，是和他們的帮助分不开的，在此謹致謝意。

由于笔者学識有限，且編写時間較紧和缺乏經驗，無論在內容和教材組織上，都較庞杂，而且可能有錯誤或不当之处。在試用期間，殷切希望使用本书的各兄弟院校师生和其它讀者，参考使用，并批評指正，以便能使本书得到不断的充实和提高。

賀同兴 张树业 卢良兆

长春地质学院岩石教研室 1963.4.

目 录

第一章 緒 論 1	三、变质岩的构造.....61
一、变质作用和变质岩的概念..... 1	第七章 变质作用及变质岩的分类65
二、变质岩的地质分布及有关矿产..... 3	一、变质作用分类.....65
三、变质岩岩石学发展简史..... 5	二、变质岩的分类.....66
四、研究变质岩的任务和方法..... 6	第八章 接触变质作用及其岩石73
第二章 变质作用因素 9	一、概述.....73
一、温度..... 9	二、热接触变质作用及其岩石.....73
二、压力.....12	三、接触交代变质作用及其岩石.....83
三、具化学活动性流体.....15	第九章 自变质作用及其岩石90
第三章 变质作用的作用方式17	一、自变质作用的基本特征.....90
一、重结晶作用.....17	二、自变质作用的主要类型及其岩石.....90
二、变形与碎裂作用.....18	第十章 动力变质作用及其岩石 100
三、变质分异作用.....18	一、概述..... 100
四、交代作用.....21	二、动力变质作用的岩石..... 101
第四章 变质岩的化学成分23	第十一章 区域变质作用及其岩石 ... 103
一、概述.....23	一、概述..... 103
二、研究变质岩化学成分的意义.....23	二、区域变质带的概念..... 103
三、岩石化学计算法及其在变质岩中的 应用.....26	三、变质相的概念..... 105
第五章 变质岩的矿物成分33	四、区域变质岩的命名原则..... 108
一、变质岩矿物成分的一般特点.....33	五、常见区域变质岩的岩石类型..... 110
二、变质岩中矿物的成因分类.....34	六、区域变质相概述..... 120
三、变质岩矿物成分的控制因素.....36	第十二章 混合岩化和花岗岩化作用 及其岩石 134
四、变质岩中矿物的共生原理.....41	一、混合岩化和花岗岩化作用的基本 特征..... 134
五、研究变质岩矿物成分的意义.....51	二、混合岩化和花岗岩化所成岩石的 分类及主要类型..... 135
第六章 变质岩的结构和构造52	
一、概述.....52	
二、变质岩的结构.....52	

第一章 緒 論

岩石学是研究地壳的主要組成部份——岩石的科学。岩石的形成作用，既是一种地质作用，也是一种物理化学作用。根据岩石的成因和特点，在岩石学中，已发展成为三門不同的分科：即岩浆岩岩石学、沉积岩岩石学和变质岩岩石学。

变质岩岩石学是研究变质岩的科学。变质岩的形成作用是：地壳已有岩石，在地壳內力影响下，发生变质作用而形成新的岩石的作用。岩石形成作用的方式，主要是在固体状态下的重結晶作用，变形作用和交代作用等。有时，还伴有一定的重熔作用。因此，研究不同类型变质岩的特点（化学成分、矿物成分、結構构造、地质产状）和它在時間上、空間上的分布規律；探討不同类型变质岩的成因；追溯原生岩石的变质作用历史以及和变质岩形成作用有关的矿产，是变质岩岩石学研究的主要内容。

一、变质作用和变质岩的概念

变质作用形成变质岩，但由于变质作用和沉积作用、岩浆作用間有某些自然联系，在一些情況下，要想在三者之間严格地划分出一条自然界綫，也还是困难的。因此，在文献上，不同学者对变质作用的理解，出入較大，有的理解較寬，有的理解較窄。下面首先引述若干学者对变质作用概念的理解：

C. 萊伊尔 (C. Lyell, 1833)^①，将变质作用理解为最古老的层状沉积岩，在地球內部热的影响下，所发生的变化。他在地质学原理一书中写道：“这种变化，是岩石受了在高压下活动的地下热的影响所造成；渗透多孔岩石中的热水或蒸汽和其余气体，也促使岩石內部发生各式各样的化学分解和新配合，所有这些作用，总称为‘深成作用’ (Plutonic)，也就是說，用一个詞来表示“一切在深处活动但在地面上找不到同样实例的变质作用”。

汪一赫斯 (Van-Hiss 1904) 将变质作用理解为岩石的任何一种变化，包括风化作用和胶結作用 (Cementation)，将变质作用和“岩石变化” (Rock alteration) 当作同意詞。

H. 罗森布什 (H. Rosenbusch 1923) 将变质作用理解为不包括与物质加入和带出有关的岩石变化。認為岩石形成作用，是封閉系統，即否定交代作用的意义。但其他一些学者如 P. 爱斯科拉 (P. Eskola 1939)，P. 尼格里 (P. Niggli 1924)，A. 哈克 (A. Harker 1932) 等認為：变质作用应包含有物质成分的加入和带出，例如鈉长石化，蛇紋石化和矽卡岩的形成作用等。

H. 威廉斯 (H. Williams)、F. J. 特納尔 (F. J. Turner)、C. M. 吉尔伯特 (C. M. Gilbert) (1954)^② 認為岩石的变质，在于固态岩石的矿物和結構的变化，并不形成硅酸盐熔融

① C. 萊伊尔，地质学原理 68 頁 科学出版社 1959。

② H. Williams, F. J. Turner, C. M. Gilbert petrograph 161—162 頁 San Francisco 1954。

体。

T. F. W. 巴尔特 (T. F. W. Barth 1956) 認為^③：“变质作用系指沒有熔化和除去风化沉积作用影响的岩石变化，在特殊情况下，这种变化，可以是純机械的、导致矿物的变形和岩石結構构造的变化，并常伴有矿物的重結晶作用”。并認為变质作用应包含交代变化。

从上面所引述的关于变质作用的概念来看，各个学者对变质作用的理解是不同的。有些問題，需要作进一步的討論，特别是变质作用和风化作用、后生成岩作用、交代作用以及岩浆作用等的关系。

风化作用是固态岩石的一种变化作用，任何靠近地表的岩石，都在进行着这种变化。因此，如果把风化作用包括到变质作用范畴中来，将变质作用范围作过寬的理解，对变质作用本身的发展是不利的；而且，产生风化作用的成因条件、作用方式和产物特点，与变质作用也有根本的区别。

后生成岩作用系指沉积岩形成后的一些变化，包括重結晶作用、交代作用、脫水作用等。这些变化，就其性质而言，与变质作用有一定类似之处。如 Л. В. 魯欣 (Л. В. Рухин) 曾指出^④：进化后生成岩作用是岩石下降到地壳深处，在温度和压力增高的情况下发生的。因此，从作用因素变化特点来看，二者間有着一定的自然联系，有时，要想明确地加以划分，也还有着一定的困难。但如果認為后生成岩作用就是变质作用，亦不尽合适，这不仅因为二者的地质意义不同（变质作用和构造岩浆作用的关系十分密切），而且，从作用的结果来看，亦有所区别（显著的重結晶作用和特征变质矿物的产生并經常伴有变形作用是变质作用产物的主要标志）。

研究硅酸盐熔体及其冷凝作用，属岩浆作用范畴。从前面引述的变质作用概念中，部份研究者強調变质作用不形成硅酸盐熔体，但事实上，在地下深处条件下，有时由于选择性重熔或再生作用 (palingensis)，伴随变质作用，出現一些“岩浆”物质，并引起一系列所謂混合岩化作用、花崗岩化作用等复杂作用，这种作用实质上已經是变质作用和岩浆作用間的过渡类型。由于这种作用和变质作用有紧密的成因联系，因此，部分流体相“岩浆”参与的岩石变化，应仍属变质岩岩石学的研究范围。

在变质作用过程中，一些情况下，主要为原生岩石的重結晶、化学元素的重組合形成新矿物以及机械变形、破碎等变化，岩石的总化学成分基本保持不变，属于等化学的变化 (H_2O, CO_2 除外)。但在另一些情况下，变质作用前后，岩石的化学成分，可以有显著的改变，亦即有交代作用相伴随，如在自变质作用过程中，接触交代变质和混合岩化作用过程中，交代作用是很主要的作用方式，而且事实上，交代作用經常是变质作用演化过程的組成部份。因此，討論变质作用时，包括交代作用是完全必要的。但岩浆期后热液的交代作用和成矿作用关系密切，在矿床学中討論，較為合适。

根据上述討論，目前一般对变质作用概念的理解是：变质作用为风化带胶結带以下，在地壳內力影响下，促使固态岩石，发生矿物及結構变化，有时伴有化学成分变化，在特殊条件下，可以产生重熔(溶)，形成部份硅酸盐熔体“岩浆”的各种作用的总和。

③ T. F. W. Barth: Theoretical Petrology 247頁 New York. 1952

④ Л. В. 魯欣, 沉积学原理 244 頁 地质出版社 1955

变质岩是变质作用的产物，是地壳已有岩浆岩或沉积岩受变质作用后的变化产物。所以，其岩性特征，常受原岩的控制，且有明显的继承性。同时，由于变质作用的某些成因特点，因而在矿物成分和结构构造上，又与原生岩石不同。在深受改造的岩石与原生岩石之间，存在着一定的渐进的关系。

变质岩是地壳发展历史各阶段的复杂作用的结果。任何变质岩，都包含着原岩形成的历史和变质作用的历史，详细研究变质岩的特点(物质成分，结构、构造、产状)，是追溯这种历史过程的最主要的依据。

二、变质岩的地质分布及有关矿产

变质岩的分布极为广泛，占整个地壳发展历史五分之四强的前震旦纪，均由变质岩系所组成。古生代及以后的地槽活动区(如加里东褶皱带、海西褶皱带、阿尔卑斯褶皱带及喜马拉雅褶皱带等)也往往由变质岩系所组成。而局部分布的变质岩，是主要与岩浆岩伴随的接触变质岩石、自变质岩石以及主要与断裂构造相伴随的动力变质岩石等。

不同时代的区域变质岩系的分布，在地史学中已有详细的叙述。变质岩在时间上、空间上的分布规律的研究，并结合变质岩成因的分析，是了解大区域的地质构造及其发展历史的重要内容。这是因为形成变质岩的变质作用，是自然界的一种复杂地质作用，它的发生、发展和其他地质作用紧密相关。变质作用和岩浆作用关系密切，有时还表现为互为因果的关系。例如当岩浆侵入地壳上部，可引起围岩变质，但在造山带的深部，随区域变质作用的加强，可出现硅酸盐熔融体和其他流体相，并逐渐过渡为岩浆作用。变质作用、岩浆作用和构造作用之间，亦有十分密切的联系，这从变质作用和岩浆作用通常发生于地壳发展的一定构造运动时期，可得到证明。作为与变质作用密切依存的构造作用、岩浆作用、三者时间上、空间上的分布，又均受地壳发展阶段的地质构造所控制。在地壳活动性大，构造岩浆作用强烈的地槽区，变质作用要比相对稳定的地台区广泛而强烈得多。不同特征的变质作用和变质岩的产生，常和地壳发展阶段相适应。因此通过变质岩时间上、空间上的分布规律及其成因的研究，是了解大区域地质构造及其发展历史的重要依据。

С. П. 索洛维耶夫(С. П. Соловьев, 1959.)^⑤曾总结了苏联境内不同变质岩类型时间上的发展特点(附表)，并认为这种时间上的发展特点，有一系列原因：如地质时期的不同阶段，区域地质的发展不同，或者岩浆作用及成因与之有关的挥发分和溶液的不同等。

变质岩不仅分布广泛，而且赋存于变质岩中，并与变质作用有成因联系的矿产，也极为多样。例如和前寒武纪变质岩系有关的矿产有：变质铁矿床、菱镁矿床、变质磷矿床、滑石、石棉、高铝原料矿床、云母以及某些稀有分散元素等。其中有些矿床，常是具有巨大工业意义的矿床，如前寒武纪的变质铁矿床，其储量约占全部铁矿储量的60%。世界有名的这类矿床如：苏联的克里沃洛格和库尔斯克磁力异常区；美国的苏必略湖和我国的东北。做为矿肥原料的变质磷矿床，亦具有较大的工业意义。世界有名的这类矿床如苏联的东西伯利亚斯留琴卡。在我国前寒武纪结晶片岩分布地区寻找本类型矿床，对发展农业将

⑤ С. П. Соловьев, Особенности развития во времени метаморфических горных пород на территории СССР Зап.всер. мин. ОБ-ВА, ч. 88 вып 6 1959.

表 I-1 地壳历史中变质岩演化图解

(据 С. П. Соловьев, 1959. p. 651)

岩石名稱	太古代	元古代	古 生 代		中 生 代	新 生 代		主要伴生礦產
			加里東 褶皺期	海西 褶皺期	基米里 褶皺期	第三紀	第四紀	
						阿爾卑斯褶皺期		
結晶片岩								高鋁原料
a) 高級變質 (階段) ②								
б) 低級變質 (階段)								
混 合 岩						?		
花崗岩化帶								?
鐵質石英岩								Fe
角 岩 ③	?							
矽 卡 岩 ④								Fe, W, Mo, Cu, Pb, Zn (Be, Ca, As 等)
云 英 岩								Sn, W (As 等)
次生石英岩 ⑤	?							Al (明礬石等) Cu
黃鉄長英岩	?							Au 等
青 盤 石								Ag, Au 等
蛇 紋 岩								石棉等
滑石菱鎂片岩								Co, Au 等
長 電 石	?							Zr, Nb, TR 等

注：①有工业意义的元素加有着重号。

②此处所指的不仅是具有标志矿物的高级及中级变质程度的结晶片岩，而且还包括一些相应区域（热动力）变质条件下形成的片麻岩和变质岩。

③这儿没有考虑所谓铁质角岩及其相似岩石。

④这儿不包括所谓斑花大理岩及其类似的岩石。

⑤这九大部份次生石英岩，在苏联形成于古生代，而国外资料，确定为中—新生代。

具有重要的意义。

和接触交代变质有关的矿产有：铁矿、铜矿、多金属矿床、铅锌矿床、钼矿床等。

和自变质作用有关的矿产有：与自变质基性、超基性岩有关的铬、镍、铜等；与云英岩有关的钨、锡矿床；与次生石英岩有关的铜钼矿和明矾石；与细碧角斑岩有关的铜矿床等。在这些类型的矿床中，有些都是该矿种的最主要的工业类型矿床。如铜矿中与细碧角斑岩有关的黄铁矿型铜矿，是铜矿的极重要的工业类型之一。具有极大储量的世界有名的产地有：西班牙的休尔瓦；苏联的乌拉尔；美国的亚利桑那州的尤奈特德维尔特等；在我国也有该类型的矿床。另一铜矿重要工业类型是与次生石英岩有关的细脉浸染型铜矿，有名的产地象苏联的哈萨克和中亚细亚，美国的犹他州和亚利桑那州及智利的布拉顿等地。

从上面简单提到的变质岩系分布和有关矿产可看出：深入地全面地研究各年代的变质岩，不仅具有重要的理论意义，而且对找寻新的矿物原料基地，对国民经济的发展，亦具有重要的实际意义。

三、变质岩岩石学发展简史

岩石学是地质科学的分支，同时也是地质科学的基础。岩石学的发展和人类社会发展历史密切相关，同时也和其它自然科学的发展密切联系。

变质岩岩石学是岩石学的一部分，因此，讨论变质岩岩石学的发展历史，必须和岩石学的整体发展历史联系起来。

岩石学成为独立的科学，是在十九世纪中叶以后，按其发展历史，大致可划分为下列阶段：

（一）岩石学启蒙阶段

十八世纪末叶—十九世纪中叶。本阶段总的情况是：作为基础科学的基本规律，刚刚发现，化学刚发展，矿物的描述，积累了大量资料，但地质学的其它领域还谈不上发展。神权仍占统治地位，直观的观察仍是主要方法，由于缺乏精确的材料和实验数据，有些概念是很模糊的，描述很简单，对比法仅开始应用。本阶段开始时期，主要的标志是水火之争，A. G. 魏纳尔 (A. G. Werner) 1775 年的水成学说和 C. O. 赫顿 (C. O. Hutton) 1788 年的火成学说之争。在此基础上，变质作用的概念，有所酝酿。如罗蒙诺索夫 (М. В. Ломоносов 1763) 曾指出：“当地层下降到深处去的时候，在地下火的影响下，会发生变化”。在后期（十九世纪初），“变质作用”这个名词，才正式载入地质文献。以 C. 莱伊尔 (C. Lyell) 为代表，在岩石分类方面，分出了沉积岩、岩浆岩、深成岩和变质岩四个类型。变质作用的概念，初步确立。

（二）岩石学的奠基阶段

十九世纪中叶—二十世纪初（30 年代）。本阶段的主要特点是：工业发展较快，地质测量工作比较系统地开展，同时，由于偏光显微镜的应用（1858）和化学分析工作的开展，为描述岩石学打下了稳固的基础，在岩石的分类研究方面，有较大的发展。这方面的工作，可以 H. 罗森布什为代表。在岩石成因探讨方面，较前深入。在变质作用研究方面，已初步涉及变质岩的成因、变质作用和岩浆作用、构造作用、交代作用的关系和变质作用的因素等问题。如法国学派的米歇尔-列维 (Michel-Levy) 认为区域变质作用等于区域接触变质作用，强调了岩浆作用是变质作用的原因；而捷米尔 (Jermier) 则认为岩浆作用和变质作用都是由于过滤柱影响的结果，强调矿化剂和外来成分的影响。岩石形成作用是封闭系统（以 H. 罗森布什为代表的海登堡学派）还是开放系统（以米歇尔-列维等为代表的法国学派）的争论已开始。对变质作用和构造作用的关系：英国学者 J. W. 贾德 (J. W. Judd 1889) 提出了负荷变质 (Load metamorphism)，认为这种变质作用，不是由侧向压力所引起而是决定于垂直运动的观点。在本阶段的晚期阶段，描述岩石学更加深入巩固，变质岩方面的描述亦已初步完成，P. 尼格里和 U. 格鲁宾曼 (U. Graubenmann) 的结晶片岩是代表作。在晚期阶段，岩理学逐步发展，实验室研究大量开展，共生分析工

作和构造岩石学的工作，逐渐明确，热力学原理应用于岩石学等，都是晚期阶段的主要特点。在变质岩岩石学方面，深度带概念〔汪—赫斯，F. 貝克 (F. Becke)，U. 格魯賓曼〕的建立和变质相 (P. 爱斯科拉) 概念的建立，具有深远影响。同时，关于混合岩化作用 (Migmatization) 和花崗岩化作用 (Granitization) 的爭論，推动了岩石学的发展。在本阶段，繼法国学派之后，以 J. J. 塞德霍姆 (J. J. Sederholm) 为代表的北欧学派，进一步发展了法国学派的概念，提出了岩液 (ichor) 作用下产生的所謂再生作用 (palinogenesis)。他的观点，其后为 P. 爱斯科拉，P. J. 霍姆奎斯特 (P. J. Holmquest) C. E. 韦格曼 (C. E. Wegmann) H. G. 巴克龙 (H. G. Backlund) 等所发展。这一爭論，不仅推进了变质作用和岩浆作用之間的关系的研究、同时也推动了岩石学和整个地质学的研究。共生分析的工作，在本阶段也有重要进展，代表性的工作如 V. M. 戈尔德施密特 (V. M. Goldschmidt) 在挪威奥斯陆地区所进行的接触角岩的共生分析工作 (1911 年)，应用相律原理，解释了矿物共生組合和原岩成分变质作用之間的关系等。

(三) 岩石学的发展阶段

二十世紀 30 年代—現在，随着工业发展对矿物原料的需求和近代科学技术的发展，岩石学的发展，进入了一个新的历史时期。这个时期的特点是：岩石学的研究逐步进入以地壳发展过程为前提，以各种地质作用的相互联系为基础；根据岩石的內在联系，以一定的实验数据为依据，以物化原理为法则，来解决岩石学的基本问题的阶段。因此，无论在描述岩石学方面、实验研究方面、岩石的成因研究方面，都有了显著的进展。在描述岩石学方面，在 30 年以后，已逐步走向共生分析的道路，并用来阐述岩石的复杂成因。在岩石化学研究方面，积累了更多的分析资料，为岩石分类研究，提供了数据；同时，在解决岩石某些成因问题方面，也有所尝试；岩石化学计算方法，也有所改进。A. H. 查瓦里茨基 (A. H. Заварицкий)，P. 尼格里，T. F. W. 巴尔特等。近代实验室研究工作的开展 (特别是挥发成分的研究)，对造岩作用理论，提供了大量实验数据。变质作用理论，也有重大发展。对变质作用和其它地质作用的联系，更加重视。对深入人心的深度带概念，有所变化。开放系统的研究，进入了一个新的阶段〔Д. С. 柯尔任斯基 (Д. С. Корженский)〕等。混合岩化、花崗岩化作用的研究，更加深入。花崗岩问题的爭論，成为本阶段的重大地质问题，繼 J. J. 塞德荷姆之后的重要学者有：P. 爱斯科拉，C. F. 韦格曼，H. G. 巴克龙，H. H. 瑞德 (H. H. Read) 等。变质作用过程中的固体扩散理论，也有所发展〔R. 皮林 (R. Perrin)，M. 罗伯特 (M. Roubault)，H. 拉姆貝尔格 (H. Ramberg)〕等。变质岩的成因分类，逐步开展。岩组学成为一个独立方向，对变质岩的研究，也有着重要意义。

在变质作用成因研究方面，如何把物理化学原理和地质作用紧密结合起来，是当前岩石成因研究的重要任务。

四、研究变质岩的任务和方法

变质岩石学做为一个独立的科学，它是研究变质岩的科学。因此，研究变质岩的特点、变质岩的形成条件是变质岩石学研究的中心任务。但另一方面，变质岩是地质作用的产物，

变质岩的研究，應該和地质学总任务密切結合。从近代地质学的发展来看，研究地壳的发展历史和有用矿产的形成及其分布規律，是地质学的两个最基本的任务。要完成这两个任务，必須进行各种地质作用的綜合研究，其中也包括变质作用。因此，我們在考虑研究变质岩的任务时，应不单是考虑变质岩本身的研究，同时应把这种研究，看作是上述地质学任务的重要組成部份。

通过各种作用的结果（或产物）的研究，来进行作用过程的分析是完成上述任务的基本方法。对变质岩來說：人們需要通过对变质岩在時間上、空間上的分布規律的了解，通过对具体变质岩石（矿石）的成因分析，以达到了解一定区域的变质作用历史。在此基础上，还应結合其他地质作用（构造作用、岩浆作用等）的研究，才能达到全面了解区域的地质历史、地质构造和有用矿产的形成及其分布規律。

从上述岩石学和地质学任务出发，可以对变质岩岩石学，提出下列重要任务和方法：

（一）研究不同类型变质岩在時間上、空間上的分布規律、組合規律、地质产状、地质成因，这是研究变质岩的基础。为此，必須加强变质岩的野外地质研究，并逐步編制大区域的变质岩分布图作为綜合研究的依据。

（二）詳細研究不同类型变质岩的岩性特点。在此基础上，追溯变化过程，探討成因条件。完成这一任务，必須从不同方面和途径着手：

物质成分（化学成分和矿物成分），和組构的研究是岩石学研究的二項基本內容，是研究岩石类型、了解形成历史的依据，也是判断岩石成因的依据。

1. 物质成分研究方面

（1）化学成分的研究：今后应加强元素共生組合的研究，逐步积累不同时代不同地区的变质岩化学成分資料，加强硅酸盐分析和光譜分析工作。

（2）矿物成分的研究：这是变质岩岩石学研究的最主要的內容。变质岩矿物成分的正确鉴定、具体变质岩中的矿物世代划分和总结自然界矿物共生組合規律、矿物成分和原岩成分变质作用的关系，都是研究的主要內容。室内的显微鏡研究，是最基本而有效的方法。

变质岩的形成作用，一方面是一种地质作用，同时也是一种物理化学作用。因此，在变质岩的矿物成分研究方面，如何把物理化学的某些基本原理与自然作用更好地結合起来，是当前岩石学研究的主要任务，也是通过变质岩矿物成分的研究，了解变质岩成因的重要途径，今后应从不同的方面来发展岩石物理化学理論。其中，自然作用和过程的分析，模拟自然条件的实验室的实验研究和适用于自然作用的热力学計算及热力学理論的建立，是三个最重要的方面，这三个方面的結合，是把地质作用和物理化学作用更好結合的基础，也是人們更深入認識自然作用的基础。在这一領域內，对发展自然成矿作用理論，将具有十分重大的意义。

2. 組构研究方面

变质岩的組构，是变质岩特征（岩性特征和成因特征）的另一个重要方面，对組构的成因研究，是变质岩研究的重要任务之一。对其中某些組构的成因解释，必須和矿物形成作用的研究，結合起来；对其中以机械作用为主的某些組构（变形破碎），可应用力学的原理，查明变质岩中变形作用和碎裂作用等特点，以及它們和构造作用的联系。这也是变

质岩岩石学研究方向之一。在这方面，目前广泛采用岩組学方法。

（三）变质岩时代的确定：由于分布最广的前寒武紀变质岩系，沒有或仅 有少量化石（古藻、孢子），古生代及以后的变质岩，虽可以古生物化石为依据，确定变质岩时代，但有时由于变质作用較深而不易辨認。因此，在确定变质岩系时代的研究工作中，目前广泛采用絕對年齡测定的方法。变质岩时代的确定，也是变质岩研究的重要任务。

（四）闡明作为形成岩石的三种地质作用——沉积作用、岩浆作用和变质作用三者間的关系以及它們和构造作用的关系；研究变质作用、混合岩化作用和岩浆作用、构造作用間的关系；对发展地质理論，具有重要意义。

（五）变质作用和变质岩的分类研究，也是当前变质岩研究的迫切任务。

第二章 变质作用因素

促使地壳已有岩石发生变质的变质作用，总是和这种或那种内力地质作用相联系。例如，当岩浆侵入围岩时，围岩受岩浆热和溶液的影响，将发生不同程度的重结晶以及交代等一系列变化，形成各种接触角岩和接触交代岩石。而处在强构造带的岩石，常发生伴有一定化学变化的变形、破碎甚至糜棱岩化作用。在地槽活动带的岩层，常伴随强烈的造山运动而发生十分复杂的变化。所有这些事实都说明：变质作用的发生和发展与其它地质作用的密切关系。因此，在讨论变质作用因素时，应首先注意产生变质作用的各种地质因素。虽然，目前一致认为：变质作用是地壳发展历史过程中岩浆作用和构造作用的反映，但这个问题仍是值得深入研究的问题。搞清变质作用和其它地质作用间的成因联系，阐明岩石变质的地质原因，是变质岩岩石学研究的极为重要的任务，这是因为变质作用首先是地质作用。

温度、压力和依赖于温度压力变化而起作用的化学活动性流体是使原生岩石发生变质的物理化学因素，这些因素是地质因素的体现。例如：岩浆体侵入围岩而使围岩发生变质，此时，岩浆作用是围岩变质的地质因素，由于岩浆体的温度和化学活动性流体的影响，围岩发生不同程度的重结晶或交代变化，此时，温度和化学活动性流体是围岩变质的物理化学因素。因此，在讨论变质作用因素时，一方面要注意联系变质作用的地质成因，同时，将变质作用作为物理化学作用，来讨论温度、压力和具有化学活动性流体对变质作用的意义，是十分重要的。

目前对引起岩石变质的上述物理、化学因素的作用、作用因素间的相互关系及作用因素的起源问题，是基于某些地质观察资料、实验资料和理论假设前提下得到的。所获得的一些结论，虽然加深了人们对变质作用的了解，但由于自然作用的复杂性，一些问题亦还没有彻底得到解决。如：作用因素的来源问题、不同作用因素在变质作用过程中所起的作用问题以及不同作用因素间的关系问题和在作用因素复杂结合情况下对岩石变化的影响等问题，目前所获得的一些结论和概念，亦还不都是一致的。

下面分别讨论温度、压力和具化学活动性流体等因素在变质作用过程中的意义及其有关问题。

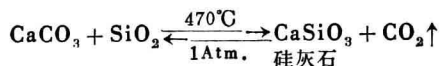
一、温度

温度因素，是变质作用最主要的因素之一。原生岩石的重结晶、新矿物的形成，都与温度的变化有直接关系。例如：

高岭石经热接触变质后，由于温度的升高，可形成红柱石和石英。



隐晶质硅质灰岩，經热接触变质后（近地表压力），在較低温度时，可由于重結晶作用而形成石英大理岩（石英+方解石）；但在較高温度时，則形成硅灰石大理岩（硅灰石+方解石）：



上述事实都說明了温度是变质作用的主要因素，特别是在矿物形成方面，它决定着一定成分的原岩經变质作用后所形成的矿物及矿物組合的特点。亦即温度的变化，决定着变质作用的反应方向，而这种反应，服从于温度定律（呂·查德里^①原理的一部分）：即当温度升高时，使原来处于平衡状态的体系，向吸热反应的方向进行，生成吸热的矿物組合；而当温度降低时，則引起放热反应，生成放热的矿物組合；如上述高岭石变成紅柱石和石英，方解石和 SiO_2 变成硅灰石的反应；当温度升高，反应向右方进行，紅柱石和石英及硅灰石和方解石均为吸热的矿物組合。反之則反应向左方进行。

单就温度因素对变质作用而言，影响是显然的，但考虑到变质作用过程中作用因素的复杂性，如在有压力因素、溶液参与以及岩石变形情况下的变质反应，温度因素对一定成分原岩的影响，仍是值得深入研究的問題。

引起岩石变质热的来源，有着各种各样假說，同时，对变质作用的温度变化范围，目前亦还没有确切的意見。根据所积累的实际資料表明：岩石变质的最高温度可能不超过 $850-900^\circ\text{C}$ ，这点可以从变质岩中斜方輝石的稳定性和在变质岩中没有鳞石英或鳞石英的假象（基性岩脉旁引起的高温变质例外）得到証实。同时，根据最近的实验資料：花崗质岩石在含有 7—9% 的水的情况下，在温度 640°C 时开始熔融，至 960°C 时，則最終形成均匀的熔融体。而变质温度的下限（最低温度）对硅酸盐來說，則未必低于 200°C ，这是从变质岩中未曾見有海綠石推得的。

地质文献中关于引起岩石变质的热源，主要有下面几种：

- （一）原子能：岩石中所含放射性元素蜕变放出的能和部分重核裂变放出的能。
- （二）岩浆熔融体带来的热：即热来源于岩浆。
- （三）机械能转变的热：由构造作用所产生的热能，如岩层受力破碎滑动所产生的摩擦热等。
- （四）地热增温：温度随深度增加而升高。
- （五）地壳各深度带所进行的物理化学反应放出的热。
- （六）深成射气放出的热。
- （七）分布在地壳較下部的基性（超基性）岩浆熔融体的热。
- （八）宇宙能：В. И. 列別捷夫（В. И. Лебедев 1957）即太阳能的作用，其实质

① 呂·查德里原理（平衡移动原理）：假如处于平衡状态下的体系受到外界的作用，因而改变了确定該平衡位置的任一条件，則平衡位置就发生移动，同时，在体系中进行着平衡向抵消外界作用的方向轉移。

1) 对温度的影响：升高温度，必然使吸热作用产生的矿物增加，也就是說，使該过程（作用）沿吸热方向进行的快些，而降低温度，会使放热方向的作用进行得快些。

2) 对压力的影响：增加压力，将使在已知情况下占有較小容积的物质易于生成。即增加压力，能加强該过程中沿减小容积的方向所进行的作用。降低压力則加强向相反方向进行的作用（据物理化学，В. А. Кн-реес 著张志炳譯 1953）。

如下：在組成岩漿岩及變質岩的礦物中鋁的配位數為四，而在表生成因岩石（按成分比較簡單或單一的）主要礦物中鋁的配位數為六，利用鋁和氧在四配位數及六配位數的原子間距及A. Ф. 卡普斯琴斯基的晶格能實驗公式，B. И. 列別捷夫認為：在地表，當複雜鋁硅酸鹽類礦物在表生帶分解成比較簡單的礦物時，鋁過渡為六配位數並吸收能量。相反，在地殼中由簡單礦物（六配位數）形成複雜礦物時，則放出能量。根據大致計算，對於硅酸鹽類來說，數值是很大的（一克鋁原子為45—654卡路里），這些能量引起岩層溫度升高，甚至足以使岩石發生熔融。

接觸變質作用與來自岩漿的熱有關，這點已為接觸變質作用與侵入體有直接關係所証實。但對發育於活動帶的區域變質作用的熱的來源，地質文獻中反映出多種不同的認識。

部分學者（F. 貝克；U. 格魯賓曼等）認為，區域變質作用與地層下降到深处而增高的溫度，也就是說與地熱增溫有關；並據此建立了區域變質作用深度帶的假說。地熱增溫的事實，根據豎井及鉆孔中所獲得的資料是存在的，但認為由地熱增溫所決定的區域變質作用和作為區域變質作用的深度帶假說的基礎是有缺點的。

區域變質作用總是發育在地殼的活動帶，並和一定的構造岩漿旋迴有聯繫，在每個構造旋迴中，沉積的厚度未必大於15公里，如果以地殼硅鋁層的厚度在大陸部分為20—40公里（在年青的褶皺帶中也很少達70公里）計，則區域變質作用僅發生在硅鋁層的上部。根據H. П. 謝勉年科^②的資料由地熱增溫所決定的溫度對引起區域變質作用的溫度，顯然是不足的，而且地殼的地熱增溫率隨時間和地區不同亦遠不是到處一樣的。他指出，前寒武紀結晶地盾中，地熱增溫率一公里不超過10°C，在烏克蘭結晶地盾中地熱增溫率為每公里8—30°C，而那里的硅鋁殼只25—30公里，如果深成變質作用及混合花崗岩穩定的溫度為（640—960°C），按地熱增溫率深度應達80—117公里，即在硅鋁殼以下很遠，才有可能。其它如烏克蘭的第聶伯——頓涅茨盆地及卡爾伯特地槽褶皺帶，亦有類似情況，地熱增溫率為每公里13—18°C，在這裡溫度要達到640—900°C，深度也要超過硅鋁層。同時，另一些資料亦說明，即使在同一地區，由於其它地質作用（構造作用、岩漿作用）的影響，地熱增溫率亦有局部的變化，如第聶伯——頓涅茨盆地南部，地熱增溫率升高達每公里26—30°C，它們明顯的與盆地的構造斷裂有關。所有這些資料都表明，地熱增溫的概念對解釋變質作用熱能的唯一來源和作為區域變質作用深度帶假說的基礎是不盡合理的。而且，地熱增溫率隨時間的不同，亦可能不同。目前這方面的規律也並不清楚。

地熱增溫率不均勻分布的原因是一個很複雜的問題。一些學者強調是由于地殼放射性元素分布不均勻的結果，而另一些學者則強調是由這種或那種地質作用所引起（特別是岩漿作用的參與）。B. C. 索波列夫（B. C. Соболев），Д. С. 柯爾任斯基，H. П. 謝勉年科等根據積累的大量實際資料認為，地熱增溫對於硅酸鹽類岩石的變質作用是不足的。在所有條件下，都有岩漿參與，它可以帶來熱量，也可以帶來溶液。

^② H. П. Семеновко, Теория метаморфизма подвижных зон. Международные Геологический конгресс. XXI. Сессия. Доклады Советских Геологов Проблем, 14. Гранито-гнейсы. Изд. АН, СССР, 1960.

二、压 力

变质作用的第二个重要因素是压力。压力可分为：（一）均向压力（静水压力，简称压力）；（二）定向压力（应力）。

（一）均向压力（静水压力）

均向压力：一般系指由上覆岩层的重力所决定的压力，如果不考虑侧向挤压力的影响，可以认为其大小随深度而增加，它近似于上覆岩层的重量。事实上，压力数值的变化与侧向挤压力是有关的，但这些变化，目前我们还未考虑。

根据实验已确定，压力的变化，可以影响一定热力学体系的化学平衡，压力促使化学作用的加速或变慢，并在作用过程中，起着与温度因素相对抗的作用（温度升高引起体积的增加；压力的加大，则引起体积的缩小）。

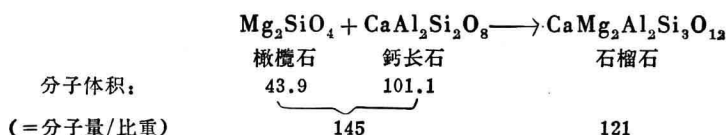
多数研究者认为：压力在矿物形成作用中起着很大的作用，它决定着矿物和矿物共生体的性质。许多实验资料提供了证据：如蓝晶石形成于20000大气压及600—900°C的温度条件下，而十字石在同样的温度下，只需7000大气压就可以获得。红柱石形成于压力为3000大气压，温度在400—500°C范围之内。根据红柱石与十字石的共生关系，其稳定区甚至可达到压力7000大气压。铁铝榴石形成的压力为2000—3000大气压；而镁铝榴石形成的压力在20000—30000大气压的范围内。很明显，含有不同分子镁铝榴石的石榴石变种，形成于2000—20000大气压之间。根据列依普斯基（Лейпунский）的计算，金刚石是压力为60000大气压以上的碳的稳定变体（人工金刚石是当压力等于54000大气压下，温度大于1000°C时获得的）。所有这些资料都说明了压力在矿物形成过程中的意义。

在矿物形成作用过程中，压力的影响主要表现在以下二方面：

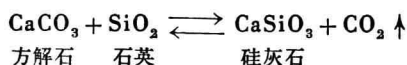
1. 形成比重大、分子体积小的矿物，反应服从于体积定律（也受吕·查德理原理的控制）。即在温度不变的情况下，压力加大将引起体积缩小的有关反应，生成分子体积小、比重大的矿物和岩石。例如：

① 比重为3.1的红柱石（ Al_2SiO_5 ），压力增大后可变成蓝晶石（ Al_2SiO_5 ），比重为3.6。

② 辉长岩中的钙长石和橄榄石，在大压力下，可反应形成分子体积小，比重大的石榴石。



2. 压力增大，将引起某些硅酸盐矿物（特别是钙硅酸盐矿物）分解或阻碍某些矿物的形成，如某些矿物的碳酸盐化和去碳酸盐化反应，主要是和随压力而变化的溶液的 CO_2 蒸汽压的变化有关。例如：在可能产生钙硅酸盐反应的温度压力条件下，方解石和石英将反应形成硅灰石：



如此时压力增大，由于岩石溶液系统中，溶液内的 CO_2 含量随压力的增大而增加，则此时