

变质作用与变质带

郝域秋德 著

周云生 译

地质出版社

变质作用与变质带

SJ06/17

都城秋穗 著

周云生 译

地质出版社

内 容 提 要

本书收集了1973年以前世界上许多地区变质地质学、岩石学和矿物学以及变质矿物合成实验方面的丰富资料,较为系统地介绍了变质地质学和岩石学的基本概念,论述了区域变质作用中的前进矿物变化及其多样性,讨论了与地壳和岩石圈演化有关的区域变质作用、洋底变质作用和转换断层变质作用的构造意义。本书的特点是把变质地质学和岩石学同大地构造的问题紧密地联系在一起,基本反映了当前世界上变质地质学和岩石学的主要研究倾向。本书可供从事变质地质学、岩石学和矿物学研究的科研人员、地质院校师生以及广大野外地质人员参考。

Metamorphism and Metamorphic Belts

By Akiho Miyashiro

*Professor of Geology, State University
of New York at Albany*

London

George Allen and Unwin Ltd

Ruskin House·Museum Street

变质作用与变质带

都城秋穗 著

周云生 译

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1979年9月北京第一版·1979年9月北京第一次印刷

印数1—9,490册·定价1.60元

统一书号: 15038·新382

前 言

1965年东京岩波书店出版了我的《变质岩与变质带》(日文)一书。一、二年后,乔治阿伦和乌温有限公司的林奇·布洛斯(D. Lynch-Blosse)先生与我接洽把它翻译成英文的可能性。这样,在此后几年中,在翻译这本书的同时对其实质性部分作了改写,结果成了现在这部《变质作用与变质带》。为强调变质带的构造意义故选择了这个书名。

变质地质学历史悠久,变质岩的显微镜描述和分类始于十九世纪晚期。平衡矿物组合的理论始于二十世纪前半叶。详细的矿物学研究和对变质作用温度-压力条件的实验测定始于五十年代。仅仅在最近十年间我们才体会到变质岩石学对了解构造过程的重要性。本书想综合变质作用的矿物学、岩石学和大地构造方面的问题,对热力学和构造方面不准备作进一步探讨。

本书第一编讨论变质岩石学和地质学的基本概念。第二编主要论述区域变质作用中的前进矿物变化及其多样性。第三编论述与地壳和岩石圈演化有关的区域变质作用、洋底变质作用和转换断层变质作用的构造问题。在附录中提供了变质岩石学的简史,以帮助读者了解概念和术语的历史背景,并强调了变质岩石学的芬兰-斯堪的纳维亚学派在二十世纪前半叶的巨大贡献。

从构造观点看,区域变质作用和洋底变质作用是所有变质作用类型中最重要的类型。关于区域变质作用有丰富的资料。因此,详细地讨论了区域变质作用的矿物学、变质相、相系以及压力-温度和构造条件。评述了洋底变质作用、转换断层变质作用和接触变质作用的有用资料,不过这些资料还不够丰富。

在1960年,勤奋的地质学家还能阅读世界上所有发表过的变质地质学文章。现在也许没有一个人会能这样做,因为在以往

十年间，刊物数量急剧增加，其内容也庞杂了。在本书末尾开列了约800篇文章和著作。其中约1%是在1795—1899年间发表的，51%是在1900—1965年间发表的，48%是在1966—1972年间（即自日文版出版以来的7年中）发表的。这些数字将提供了关于刊物最近增加的概念和对本版所作改写的范围。无疑，许多应予参考的重要书刊物难免没有注意到。

我从前日本的同事们所作的调查对本版和日文版同样都起了重要的作用，其中关阳太郎、紫藤文子、坂野升平、岩崎正夫、桥本光男、宇野达二郎、植田俊朗和小野幌作出了特别重要的贡献，这些有助于我对本书中的有些基本思想作系统的阐述。

由于最近洋底研究给地质学提出了很广阔的前景，产生了日文版和本版之间的有些差别。我具有洋底研究的知识是我在哥伦比亚大学拉蒙特道赫蒂地质观察台期间获得的，在此期间我写了本书原稿的一半。我深切地感谢该台的前指导毛里斯·埃温（Maurice Ewing）博士对我洋底调查的关心和帮助以及对我写本书的鼓励。在我迁移到奥尔巴尼的纽约州立大学之后，写了本书的其余部分。

我深切感谢紫藤文子和罗杰·马逊（Roger Mason）博士，他们阅读了整个原稿，提出了许多对其改进有帮助的意见；格林伍德（Hugh Greenwood）、紫藤文子和本尼迪克特（Benedict）诸博士阅读了部分原稿，提出了善意的批评。

我深切感谢岩波书店总裁岩波雄二郎先生，他准许和鼓励我从由他出版的日文版改写这英文版，以及他自高校时期以来对我的永恒友谊；岩波书店的小川和浦部两君对日文版的出版给予了帮助；乔治阿伦和乌温有限公司的已故D. 林奇·布洛斯和D. 格里姆肖两先生对本版的准备帮助很大。

都城秋穗

1972年10月于纽约奥尔巴尼

目 录

第一编 变质岩石学基础

第 1 章 导言	3
1-1 变质作用的概念	3
1-2 变质作用的地质分类	7
1-3 变质岩的成分组	13
1-4 变质岩类型的术语	15
1-5 变质岩的分布	20
第 2 章 变质反应的基本特性	24
2-1 本章目的和量度单位	24
2-2 固体-固体反应	25
2-3 开放系统和 H_2O 行为的模式	28
2-4 脱水反应	31
2-5 矿物组合与元素分布	36
2-6 脱碳反应	37
2-7 变质作用中的氧化作用和还原作用	38
第 3 章 变质岩石学的基本概念	44
3-1 前进区域变质作用	44
3-2 变质相概述	55
3-3 压力类型和双变质带	60
3-4 压力类型和地热梯度	75
3-5 与各个变质相相当的温度和压力	78
第 4 章 变质地质学中的若干重要问题	83
4-1 与区域变质作用有关的火成岩共生组合	83
4-2 与低压区域变质作用有关的火山弧	90
4-3 变质相和地质时代	97
4-4 低温变质作用中的多样性	103

4-5 接触变质作用的性质	106
第 5 章 矿物共生的图解表示法	112
5-1 矿物学相律和成分共生相图	112
5-2 爱斯科拉的 ACF 和 A'KF 相图	117
5-3 变质泥质岩的 AFM 相图	122
5-4 施赖纳玛克斯束	126

第二编 前进变质作用

第 6A 章 沸石相和葡萄石-绿纤石相变质作用: 它的多样性	131
6A-1 埋藏变质地体依据地热梯度的分类	131
6A-2 低压型沸石相和葡萄石-绿纤石相地体	132
6A-3 活动地热田中的沸石分布	139
6A-4 中压型的沸石与葡萄石-绿纤石相地体	141
6A-5 高压变质地体的有关资料	145
6A-6 其它地区	146
第 6B 章 沸石与葡萄石-绿纤石相变质作用: 前进矿物变化	149
6B-1 沸石组合中的前进变化	149
6B-2 关于沸石稳定性的实验研究	153
6B-3 蒙脱石、伊利石和混合层状粘土矿物	156
6B-4 葡萄石和绿纤石	159
6B-5 蛋白石、玉髓和石英	159
第 7A 章 变质泥质岩: 在前进区域变质作用中 的多样性	161
7A-1 多样性的性质	161
7A-2 日本领家带和阿武隈高原的低压变质泥质岩	161
7A-3 澳大利亚的低压变质泥质岩	168
7A-4 法国和西班牙的低压变质泥质岩	170
7A-5 北美洲的低压变质泥质岩	175
7A-6 苏格兰高地的中压变质泥质岩	179
7A-7 阿帕拉契亚北部的中压变质泥质岩	183

7 A-8	阿尔卑斯的高压变质泥质岩	183
7 A-9	日本三波川带中的高压变质泥质岩	186
7 A-10	加利福尼亚海岸山脉的高压变质泥质岩	188
第 7 B 章 变质泥质岩: 前进矿物变化		194
7 B-1	讨论次序	194
7 B-2	粘土矿物的消失	194
7 B-3	钠云母	196
7 B-4	白云母	197
7 B-5	硬绿泥石	201
7 B-6	绿泥石	203
7 B-7	黑云母的形成	205
7 B-8	斜长石	207
7 B-9	堇青石	209
7 B-10	铝榴石石榴石族	212
7 B-11	十字石	221
7 B-12	红柱石和蓝晶石的形成	222
7 B-13	红柱石、蓝晶石和硅线石的相关系	223
7 B-14	微斜长石到正长石	225
7 B-15	白云母的分解	225
7 B-16	部分熔融	226
7 B-17	黑云母的分解	227
7 B-18	泥质岩前进变质作用的 <i>AFM</i> 图	228
7 B-19	硬柱石和文石	229
7 B-20	硬玉的形成	231
7 B-21	铁的氧化物和硫化物	232
7 B-22	有机物和石墨	233
第 8 A 章 变质基性岩: 在前进区域变质作用 中的多样性		234
8 A-1	变质基性岩的矿物学的灵敏性	234
8 A-2	日本领家带和阿武隈高原的低压变质基性岩	235
8 A-3	西班牙的低压变质基性岩	238
8 A-4	密执安州的低压变质基性岩	239
8 A-5	苏格兰高地和挪威的中压变质基性岩	239

8 A-6	阿帕拉契亚北部的中压变质基性岩	242
8 A-7	从角闪岩相到麻粒岩相过程中的变质基性岩	243
8 A-8	日本三波川带中的高压变质基性岩	245
8 A-9	加利福尼亚海岸山脉的高压变质基性岩	247
第 8 B 章	变质基性岩: 前进矿物变化	250
8 B-1	绿泥石	250
8 B-2	绿帘石和黝帘石	250
8 B-3	斜长石	251
8 B-4	钙质和亚钙质闪石	253
8 B-5	镁铁闪石、直闪石和铝直闪石	260
8 B-6	白云母和黑云母	261
8 B-7	铁铝榴石石榴石	262
8 B-8	钙质单斜辉石	263
8 B-9	斜方辉石	264
8 B-10	蓝闪石	265
8 B-11	黑硬绿泥石	266
8 B-12	铁的氧化物和硫化物	268
第 9 章	石灰岩的前进区域变质作用	270
9-1	石灰岩和流体的成分	270
9-2	低压区域变质作用中的石灰岩	272
9-3	中压区域变质作用中的石灰岩	273
9-4	高压区域变质作用中的石灰岩	274
9-5	含硅白云质灰岩中的前进变质反应	275
9-6	含铝硅质灰岩中的变质反应	280
第 10 章	前进接触变质作用和高热变质作用	282
10-1	泥质岩中产生唯一 Al_2SiO_5 矿物——红柱石的接触变质作用	282
10-2	泥质岩中产生硅线石 (有或没有红柱石) 的泥质岩的接触变质作用	284
10-3	泥质岩中产生十字石和蓝晶石的接触变质作用	288
10-4	接触变质带中部分熔融的可能例子	292
10-5	泥质和砂屑质岩石的高热变质作用	292

10-6	基性岩的接触变质作用·····	294
10-7	石灰岩的接触变质作用·····	298
第11章	变质相和变质相系·····	301
11-1	变质相概念的发展·····	301
11-2	低压型的变质相·····	308
11-3	中压型的变质相·····	313
11-4	高压型的变质相·····	318
第12章	榴辉岩和榴辉岩相·····	320
12-1	榴辉岩和爱斯科拉关于榴辉岩相的概念·····	320
12-2	麻粒岩相和榴辉岩相之间的关系·····	321
12-3	榴辉岩相和含水变质相之间的关系·····	326
12-4	榴辉岩包体·····	330
12-5	榴辉岩相的花岗岩和变质泥质岩·····	335

第三编 变质作用与地壳演化

第13章	北美洲的变质带·····	339
13-1	北美洲的构成·····	339
13-2	加拿大地盾中的变质作用·····	339
13-3	阿帕拉契亚的变质带·····	342
13-4	科迪勒拉山脉的变质带·····	344
第14章	欧洲的变质带·····	350
14-1	欧洲的构成·····	350
14-2	波罗的海地盾中的变质作用·····	350
14-3	加里东山脉的变质带·····	352
14-4	西欧海西山脉中的变质带·····	355
14-5	西欧阿尔卑斯山脉的变质带·····	356
14-6	大西洋区域中变质带的相互关系和基底·····	358
第15章	日本及其周围的变质带·····	361
15-1	现代日本岛弧·····	361
15-2	亚洲大陆和日本群岛·····	367
15-3	双变质带·····	370
15-4	飞驒变质杂岩·····	373

15-5	比三郡带老的高压变质地体·····	375
15-6	三郡变质带·····	376
15-7	领家变质带和阿武隈高原·····	377
15-8	三波川变质带·····	383
15-9	四万十地体和瑞穗造山带的变质作用·····	385
15-10	本州弧变质带的年代学和分布的总结·····	387
15-11	北海道的日高和神居古潭变质带·····	389
15-12	琉球弧和中国台湾省的变质带·····	390
第16章	西南太平洋的变质带·····	393
16-1	西南太平洋区域的特征·····	393
16-2	澳大利亚大陆·····	393
16-3	新西兰·····	396
16-4	苏拉威西·····	401
16-5	新喀里多尼亚·····	401
16-6	雅浦群岛·····	403
第17章	区域变质带的构造·····	404
17-1	变质带的构造分类·····	404
17-2	板块收敛速度的变化及双变质带和不成双变质带之 间的关系·····	405
17-3	变质带地质特征的总结·····	408
17-4	中压区域变质作用的构造意义·····	412
17-5	造山带中的温度分布·····	413
17-6	主断裂、下插板块表面和高压变质杂岩的上升·····	415
17-7	日本主部岛弧和双变质带的构造·····	419
第18章	大陆壳的变质结构·····	424
18-1	大陆的构成·····	424
18-2	前寒武纪地盾·····	425
18-3	陆壳的垂直分异作用·····	427
18-4	显生宙造山带·····	429
第19章	洋底变质作用及其意义·····	431
19-1	深洋底的坚硬岩石·····	431
19-2	来自深洋底的变质玄武岩和变质辉长岩·····	432

19-3	洋底变质作用的意义.....	434
第20章	沿着转换断层的碎裂变质作用	437
20-1	碎裂变质岩的分类和野外关系.....	437
20-2	加利福尼亚的圣安德烈斯断层.....	439
20-3	新西兰的阿尔卑斯断层.....	441
20-4	沿着洋底转换断层的碎裂岩.....	441
附录	变质作用的研究史	442
参考文献		456

第一编 变质岩石学基础

第 1 章 导 言

1-1 变质作用的概念

岩石的三大分类

自十九世纪最后二十五年以来，在地质学家中间普遍的习惯一直是把岩石分成火成岩、沉积岩和变质岩三大类。不过这种分类法也有一些困难。例如，火成碎屑岩既可以是火成的，也可以是沉积的；而花岗质岩石既可以是火成的，又可以是变质的。有些作者提出过其他的分类系统，但没有得到普遍使用。因此，我将沿用三大分类，作为我们讨论的出发点。

火成岩 是从岩浆中结晶出来的矿物集合体，岩浆是主要由硅酸盐组成的高温熔体。通常的结晶温度似乎在 $600-1300^{\circ}\text{C}$ 之间。结晶作用在地表或在某一深度都可以发生，但岩浆如果迅速地冷却，就会生成玻璃质的岩石。

在地表或近地表岩石会发生风化、破碎和化学分解。然后由此产生的产物会被流水或空气搬运，它们在地表的沉积作用将导致沉积岩的形成。沉积后，由于成岩过程，岩石通常逐渐变得较致密和较硬，成岩过程包括压实、胶结和重结晶作用。沉积岩常常含有在地表或近地表低温条件下稳定的粘土矿物。

有些火成岩和沉积岩遭受到与其原来形成条件不同的条件。结果，这些岩石的矿物成分和构造可以发生变化。范希斯 (Van Hise, 1904) 曾用“变质作用”这个术语来表示所有这样的变化。在此意义上，变质作用自然包括风化作用和成岩作用。

但是，这样广义地使用变质作用这个术语既不遵循习惯，也不合适。按正常的用法，变质作用不包括风化作用和成岩作用。

更正确地说，它指的是岩石在地球较深部位，通常在比地表温度较高的温度下发生的矿物学上和构造上的变化。遭受到这样变化的岩石叫做变质岩 (Daly, 1917)。

在变质作用中，矿物学上的再造基本上是在固体岩石中发生。这个过程称为变质重结晶作用，或简称重结晶作用（在冶金学和化学上以不同的意义使用重结晶作用这个术语）。

关于变质作用的概念

就变质作用被定义为岩石的某一组矿物学上和构造上的变化而言，自然可以把它看作为可以同如风化作用和胶结作用相比拟的一个过程。据这种观点，在薄片、手标本或少数露头上可观察到的这些小规模特征中表现了变质作用的性质。在研究小规模的变质作用（如下面将要讨论的高热变质作用）时，这方面通常起着唯一的或最重要的作用。

但是，某些变质作用类型（如下面将要讨论的区域变质作用）是大规模构造过程的直接结果。在这种情况下，即使薄片可观察的矿物学变化本身也是有意义的，但许多地质学家还是对这样大规模的变质作用感兴趣，其原因是受变质的地质体保存了构造过程中的 $P-T$ （压力和温度）和其他条件的特性、分布和变化的记录，从而可以为这些过程本身提供线索。据这种观点，变质岩的矿物学是有意义的，因为它能提供构造过程期间这些条件的资料。当我们强调大规模变质作用的这一方面时，可以把这样的变质作用定义为被卷入构造过程的地质体中的物理-化学条件在矿物学上和构造上的记录。

当然，小规模的变质作用也是一种被卷入的物理-化学条件的记录。但是，在这种情况下，相应的过程很少有或没有构造意义，对这样变质作用的岩石学研究通常同构造问题没有直接联系。

因此，变质作用为岩石的矿物学上和构造上的变化这个简单的定义没有揭示这个术语的全部意义。一个变质地体 (metamorphic terrane) 作为其构造发展的结果有一定的 $P-T$ 条件和化学成分分布。对这样一个地体（或变质杂岩）的研究除了对其中

的各个矿物和矿物组合的研究之外还有它自己的理由。

与矿物和矿物组合有关的问题将主要在本书第二编中讨论，而与大规模变质杂岩的构造方面有关之问题将主要在第三编中论述。

变质作用的低温限

在五十年代，科姆斯 (Coombs, 1954) 和其他一些人开始研究成岩作用和变质作用之间的中间领域，变质作用的研究同成岩作用的研究结合起来了。

我们可以这样下定义，成岩作用包括在同原来沉积作用基本上相同的温度条件下发生的那些变化，变质作用包括基本上在较高的温度下发生的那些变化 (Coombs, 1961)。界线应由一定的矿物学的变化来规定。因为一个矿物或一个矿物组合的稳定性多少与岩石的全化学成分有关，所以这样一条界线的温度就应随成分而改变。对于有效地应用这个定义，我们关于低温变质岩的矿物学的现有知识是不够丰富的。

如将要在 § 3-5 和 § 4-4 中讨论那样，变质作用的低温限可能在 150℃ 左右。普通结晶片岩的形成温度可能在 300℃ 以上。

变质作用的高温限

如果岩石在地球内加热，直到它完全或大部分熔融为止，就应把该熔体看成是一种岩浆，从这种熔体的凝固作用中形成的岩石就应归入火成岩类。可见变质作用应被定义为大致是在始熔温度以下的基本上为固体的岩石中发生的一个过程。但是，不排除在矿物粒间间隙中可能有少量的硅酸盐熔体或水流体存在。

岩石熔融温度的实验测定结果可以估计变质作用的高温限。在典型的陆壳里的压力范围即 0—10 千巴内，花岗质岩石的始熔温度比其他常见的岩石较低。在水流体存在时，在 1 巴下花岗岩的始熔温度约为 950℃，随着压力的增加，在 10 千巴下它约降低到 620℃ (Yoder and Tilley, 1962; Boettcher and Wyllie, 1968)。如图 1—1 所示，泥质岩比花岗岩在稍高的温度下开始熔融 (Wyllie and Tuttle, 1961)。玄武岩始熔温度在 1 巴下约为 1000—