

# 中国变质地质图编制 与研究论文集

第 2 辑

董申保 沈其韩 主编

地 质 出 版 社

## 内 容 提 要

本论文集是《中国变质地质图编制与研究论文集》第1辑之续集。论文以丰富的实际资料为基础，从变质矿物特征，变质相、相系的划分、变质期次的确定等不同的方面，讨论我国各地区变质作用特征及其与地壳演化的关系。从理论与实践相结合的角度，探讨了有关变质地质学领域中的一些重要问题。

本书可供从事变质地质学有关科研、教学、生产人员及研究生、高年级大学生参考。

# 中国变质地质图编制与研究论文集

## 编辑委员会

董 申 保 ( 主 编 )

沈 其 韩 ( 主 编 )

卢 良 兆

孙 大 中

迟 洪 兴

## 中国变质地质图编制与研究论文集

### 第 2 辑

董申保 沈其韩 主编

责任编辑：迟洪兴

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)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：14<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 插页 5 页字数：351,000

1988年3月北京第一版·1988年3月北京第一次印刷

印数：1—1500册 国内定价：3.60元

ISBN 7-116-00075-5/P.066

# 前 言

《中国变质地质图编制与研究论文集》第2辑包含了部分省(区)和地区变质作用方面的专题。中国变质地质图是在各省(区)地矿局的有关单位编制的1:200万变质地质图的基础上进行编制的。在编制过程中,有些省(区)的地矿局正在出版本省(区)的变质地质图和专集,有的省(区)编写了说明书和专题论文,这里是继《中国变质地质图编制与研究论文集》第1辑后,又选登了部分论文,供参考之用。

本集出版的目的是继续提供某些有关的基础资料,以补充1:400万《中国变质地质图及说明书》和专著——《中国变质作用及其与地壳演化的关系》之不足。本着百家争鸣的方针,有些部分地区的专题还反映了与中国变质地质图的一些不同观点,包括地层时代的划分,变质单元及变质期次的确定等,以使读者更全面地了解其中存在的问题。

本论文集所收入的稿件基本保留原貌,只在编辑加工等必要方面做了少量修改和局部调整。由于幅面所限,未能将有关本项目的所有地区性论文均收于本集。

本论文集中所有英文摘要由卢良兆审查、修改并编译了部分英文摘要,所有图件由华存祥领导的绘图小组清绘、修改和整饰,在此表示感谢。

“中国变质地质图编制与研究”项目的最终成果将反映在1:400万《中国变质地质图及说明书》(中、英文版)、《中国变质作用及其与地壳演化的关系》和《中国变质地质图编制与研究论文集》(两集)中。它无疑对促进我国变质地质学领域的学术交流和学术发展起到一定的推动作用。我们热切地希望,继之而来的将有一批更大、更好、更令人欣喜的成果展现在我们面前。

董申保 沈其韩 谨识

1986.12

# 目 录

中国变质地质图中变质作用类型的划分 .....	董申保 ( 1 )
新疆阿尔泰华力西期变质岩特征 .....	陈哲夫 王广耀 ( 12 )
黑龙江群和麻山群的变质带、变质相及变质相系 .....	
..... 党增欣 王德浩 崔革 莫雨洵 ( 23 )	
甘肃变质作用特征 .....	
..... 黄德征 魏鼎新 杨祖才 李耀敏 施尧章 王秀文 ( 32 )	
北祁连西段变质岩系及变质作用特征 .....	迟洪兴 ( 44 )
阿拉善群变质岩系的研究及其演化历史的探论 .....	董燕生 石龙 ( 61 )
吉林省区域变质作用特征 .....	
..... 刘国良 张景技 张亚安 阎德荣 杜春阳 ( 69 )	
辽宁东部地区早前寒武纪变质作用 .....	赵光慧 郭泽君 ( 79 )
辽西太古代变质作用特征 .....	王汉霞 李世涛 ( 91 )
内蒙古中部地区变质作用特征及变质相划分 .....	
..... 沈鸿章 宿怀壁 张履桥 俞萍 吴应瑞 曹生儒 ( 109 )	
河北早前寒武地壳演化特征 .....	张春华 李增龙 高明文 ( 125 )
山西省各变质相主要变质矿物特征及变质相系的划分 .....	
..... 杨文魁 齐允荣 荆毅 ( 136 )	
初论山东变质岩系的变质作用特征 .....	张成基 王宝善 ( 151 )
西藏区域变质带的划分和基本特征 .....	刘国惠 郭沪祺 ( 165 )
苏北前寒武纪变质岩变质相带的基本特征 .....	孙竞雄 吕恩茂 ( 178 )
张八岭蓝片岩带基本特征 .....	荆延仁 梁万通 ( 192 )
江西省变质作用演化及某些递增变质带的成因 .....	
..... 何晓亮 周良忠 王雨林 ( 199 )	
浙江省陈蔡—上虞地区陈蔡群变质岩原岩建造特征 .....	汪承松 ( 212 )
台湾省变质带的划分及其特征 .....	
..... 章金海 洪清照 何立士 陈城石 ( 220 )	
附录 矿物代号 .....	( 228 )

# 中国变质地质图中变质作用 类型的划分

董 申 保

## 一、概 述

变质作用是一种重要的地质作用，它的发生一般认为与地壳深部的热流分布有关，并受大地构造环境所支配，因此，其发生和发展与地壳的演化过程有着密切的联系。通过对变质作用的研究，特别是对变质矿物共生组合的研究，可以从一个侧面来了解地壳热流变化的历史，从而对地壳演化过程的热历史提供重要的信息。

近二十年来，在全世界范围内编制了以变质相和变质相系分布为基础的专门性变质图件，并制定了有关变质作用类型的划分方案，丰富了这方面的内容。中国变质地质图的编制过程中，同样认识到变质作用类型的划分直接关系到区域变质作用与地壳演化之间的有机联系，在此基础上提出了结合中国变质作用实际的区域变质作用类型划分方案。

五十年代以前，区域变质作用被定义为一种规模较大，可直观加以判断的变质地区，当时研究对象主要是显生代造山带中的递增变质作用（*progressive metamorphism*），或称热动力变质作用。由于当时受地槽学说的影响，部分地质学家（以苏联为代表）认为其成因主要是热的影响，把它称之为区域接触变质作用；另外一些地质学家（多为构造地质学家）则认为主要是受动力改造所致，是造山带中应力变形所形成的变质作用。至于早前寒武纪的区域变质作用，大多数人认为地质作用复杂，很难阐明，故众说纷纭，莫衷一是。这一时期，由于受地质观察和理论学说上的限制，既未能说明区域变质形成的内在原因，也未能说明其与地质环境的总体联系。

六十年代以来，由于大规模的区域地质测量及其成果的总结，不同类型变质地区的详细工作以及早前寒武纪变质地区的研究等方面不断迅速开展，很多文献（诸如 *Migashiro 1961, Zwart. 1967, Coombs. 1961, Sobolev. et al 1973, Winkler. 1979, Turner. 1981, Suk. 1983*等）都对区域变质作用分类做了若干探讨。

早在五十年代末期，*Read (1951)* 根据几个变质地区的特征，划分出由低级变质的千枚岩系（*universal phyllite*）所组成的造山带变质作用（*orogenic metamorphism*）和由中高级变质岩及区域性分布的混合岩、花岗质岩石所组成的深成变质作用（*plutonic metamorphism, granitization metamorphism*），这两种类型分别代表造山运动的早期和晚期的变质作用。*Combs (1961)* 总结了新西兰的南部变质地区（*Southland*），引入了埋深变质作用（*burial metamorphism*）来说明这一地区的变质岩系的递增变质带的矿物形成与地层层位所处的深度有关，是下沉引起的埋深变质，而与一般所称的由造山运动所引起的区域变质不同。这些变质地区的总结对以后的变质作用类型的划分有着重要影响。

六十年代的区域变质作用分类主要集中在下列几个方面：

### 1. 区域变质与大地构造环境的联系

这方面有 Winkler (1976 pp1-8) 的区域埋深变质作用 (regional burial metamorphism) 和区域热动力变质作用 (regional dynamo-thermal metamorphism) 的分类, 前者相当于造陆运动的变质作用, 后者相当于造山运动的变质作用。Turner (1981pp 211-243) 也提出了类似的分类, 分出非构造地区的区域相系和构造地区的区域相系, 此外还划分出与二者不同的太古代变质作用类型。Dobretsov (1973 pp256-307) 在苏联变质图的总结中, 也引入了区域变质作用与大地构造位置的关系的分类, 共划分出地盾和陆台基底、中间地块基底、褶皱带和陆台盖层、褶皱带和深断裂带等不同类型。

### 2. 变质作用类型与地质环境的联系

这方面主要以 Zwart (1967) 为代表, 他在总结欧洲变质作用类型时提出了造山带的两个基本类型, 并从其变质相系的特征、变质带的宽窄、花岗岩和混合岩的存在与否、蛇绿岩和超基性岩的多寡、造山带分布的宽窄、后期隆起规模的大小和推覆构造的存在与否来讨论这两个变质相系与其地质环境的联系, 将前者称为热动力变质作用 (dynamo-thermal metamorphism), 后者称为构造埋深变质作用 (tectonic burial metamorphism)。他还在这—基础上, 讨论了欧洲各个时期的造山带中变质作用类型的旋回性变化。

### 3. 以变质相和变质相系为基础的分类

这方面常见的有都城秋穗的三个变质相系。另外苏联变质图中区分出单相变质和带状变质作用, 共分出十个变质作用类型, 其中包括了都城秋穗的三种变质相系。

## 二、中国变质地质图中变质作用类型的划分原则及类型划分

根据中国变质地质图中的变质作用特征, 提出如下的类型划分原则:

1. 变质作用发生的内在原因与地壳深部包括地幔上升的热流的不均匀分布有关。热流的产生和分布既影响地壳表面的大地构造环境, 也影响深部变质作用的变化。

2. 变质相的分布体现了变质作用发生时的热流分布, 它们可表现为较均匀的分布, 形成单相的低温、中温或高温的区域变质作用, 也可以表现为由不同的变质相所组成的递增变质作用。后者属变质相系范围。其热源来自于地层中放射性热能的衰减变化和由地幔的部分熔融而产生的重力分异的热能 (包含部分流体)。

3. 变质作用与构造作用、沉积作用、火山作用和深成岩浆作用之间既有联系, 可组成不同类型的组合, 但它们之间又无从属关系, 即不是函数关系。不同的变质作用类型可以有不同的地质作用组合。

4. 变质作用与其形成的大地构造环境有密切的联系。变质作用的起始环境往往与其深部的热流分布有关, 并影响着继之而来的变质作用类型及其地质作用组合。

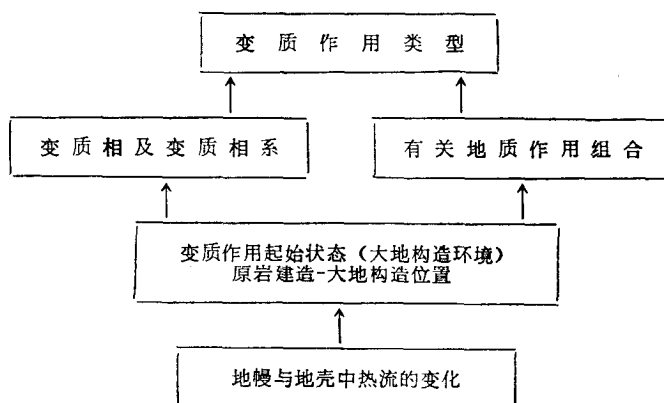
根据上述原则, 变质作用类型的划分依据是:

1. 变质相及变质相系的特征及其分布是分类中的主要依据;

2. 与变质作用有关的地质作用, 特别是构造作用和变质期后的深成花岗质岩浆作用是分类中的重要依据;

3. 变质作用起始的大地构造环境，包括大地构造位置和原岩建造是分类中的一个根本的地质背景（或称基本控制）。它是深部热流变化时的地表反映，与继之而来的变质作用有着密切的联系。

上述这些关系可概略表示如下：



具体可划分为：

1. 主要类型 具有相同的热源、相似的地质环境和相近的地质作用组合者；
2. 基本类型 属于次一级变质作用类型。在主要类型相同的情况下，具有不同的变质相或变质相系的特征及分布者；
3. 辅助类型 属于次要的变质作用类型，范围亦较局限，但具有一定的地质意义，能标志出活动带及陆台的相互转化。

名称如下：

- I、埋深变质作用 (burial metamorphism)
    - I<sub>a</sub>. 浊沸石相及葡萄石-绿纤石相型；
    - I<sub>b</sub>. 蓝闪石-硬柱石相型 (高压相系型)；
  - II、区域低温动力变质作用 (regional low temperature dynamic metamorphism)
    - II<sub>a</sub>. 低绿片岩相型 (千枚岩型)；
    - II<sub>b</sub>. 绿片岩相型；
  - III、区域动力热流变质作用 (regional dynamic read flow metamorphism)
    - III<sub>a</sub>. 中压相系型；
    - III<sub>b</sub>. 低压相系型；
  - IV、区域中高温变质作用 (regional medium high temperature metamorphism)
    - IV<sub>a</sub>. 角闪岩相型；
    - IV<sub>b</sub>. 麻粒岩相型；
  - A 盖层变质作用 (platform cover metamorphism)；
  - B<sup>①</sup>、断陷变质作用 (faulted trough metamorphism)；
- 各种变质作用类型的特征见表 1。

① I、II……—主要类型；I<sub>a</sub>、I<sub>b</sub>……—基本类型；A、B—辅助类型。

表 1 变质作用类型及其基本特征

主要类型	埋深变质作用		区域低温作用		区域动力热流变质作用		区域中高温变质作用	
	流沸石相及葡萄石-绿纤石相	蓝闪石-硬柱石相型(高压相系)	蓝闪石-绿片岩相(过藏相)	低绿片岩相型	中压相系型	低压相系带	角闪岩相型	麻粒岩相型(麻粒岩区)
变质相分布情况	宽广带状, 近于单相变质		狭长条带	单相变质(均匀变质)		带状变质(宽窄不一)		
变质相及变质带	流沸石相及葡萄石-绿纤石相	蓝闪石-硬柱石相±流沸石相及葡萄石-绿纤石相	蓝闪石-绿片岩相(于绿片岩相中)	低-高绿片岩相	低绿片岩相-角闪岩相(±麻粒岩相)		角闪岩相(±麻粒岩相)	
温度	极	低	低	温	低-中温(间有高温)	中温间有高温		
压力	中	高压	高压	低-中压	低-中高压	中-高压		
应力	弱	(造陆区后期可能有动力变形)	强(造山带)		中等-强	中等-强		
花岗岩岩浆作用	花岗岩岩浆的侵入		同构造期花岗岩, 无混合岩		区域混合岩-混合花岗岩-同构造期花岗岩		区域混合岩-混合花岗岩-同构造期花岗岩	
	1 复理石硬砂岩型±基-酸性火山岩(部分深海) 2 碎屑岩型	1 蛇绿岩系 2 深海复理石型	1 复理石型浅-深海 2 蛇绿岩系(非层序性)	1 石英岩-磷酸盐岩型 2 复理石型及类复理石型(常有火山物质参与)	1 复理石型及类复理石型(常有火山物质参与) 2 类复理石火山质硬砂岩型 3 中酸性火山岩型(钙碱性火山岩型)	1 中基性火山岩-中基性硬砂岩型, 顶部有时有中酸性火山岩及沉积岩 2 (富钼)石英岩-磷酸盐岩型	1 中基性火山岩-中基性硬砂岩型 2 沉积岩型+中基性火山岩系	1 中基性火山岩-中基性硬砂岩型, 顶部有时有中酸性火山岩及沉积岩 2 (富钼)石英岩-磷酸盐岩型
大地构造环境	1 陆内盆地及地槽 2 大陆边缘地槽		1 洋槽 2 残余洋壳(小洋盆)		陆内或大陆边缘地槽(浅海型)或广海型间有深海型)		原生地壳, 中基性火山活动为主, 有铝原生陆壳(浅海型)	
范例	准噶尔-北天山带	雅鲁藏布江喜马拉雅期变质带	同绿片岩相变质带	1 祁连山-加里东变质带 2 扬子北缘晚元古期变质带	柴达木-北缘早元古期变质带	东南沿海燕山期变质带	华北晚太古期变质带	冀东-内蒙太古期变质带

### 三、变质作用类型的讨论

变质作用就其总体来说是一种复杂的地质作用过程，它经常伴有地壳内部热流的变化，同时还具有不同的地质作用组合，而其本源又与起始时的大地构造环境有关。从其与地壳演化的联系来看，它往往表现为一幅恒动而又复杂的图画，就其总体来说，本身常具连续性和不可逆性，故不能用某些简单的线性关系进行分类，应充分考虑其复杂性。另一方面，用综合性的与变质作用有关的资料，诸如变质相、构造作用、深成岩浆作用、原岩建造以及大地构造位置等进行概要性分类是有必要的，因为它们能从总体地质情况来说明变质作用的某些内在联系。

现在我们对变质作用类型中某些重要的因素进行一些讨论。

#### 1. 地壳内部热流变化对变质作用类型的影响

地壳内部区域热流变化是导致变质作用的一个主要因素，同时也是地壳表面上的活动带的一个重要标志。在变质地区它们往往形成具有某些温度-压力梯度特征的热力场，相应地出现了与之相对应的矿物共生组合。从目前情况看，热源可来自于地壳本身所含的放射性热能，它们的衰减速度随着时间的变化而减弱；另一部分是来自地幔重力分异而产生的热能，具有高能量值和周期性的变化。它们的分布情况对变质作用类型有直接影响。

区域中高温变质作用表现为均匀面型的高热流的分布，其热源来自早前寒武纪的放射性热能和直接来自于地幔的均匀分布的热流。变质相为：

麻粒岩相 ±高角闪岩相或高角闪岩相 ±麻粒岩相

区域动力热流变质作用表现为造山带的递增变质作用，它们进一步可分为：

##### (1) 中心热穹隆型 (central thermal dome type)

具有较宽广的角闪岩相轴，并常伴有区域性混合岩及混合花岗岩。变质相组合为绿片岩相 → 角闪岩相 (有时包含高角闪岩相) ±麻粒岩相。

常见于元古代变质地区，如塔里木-阿拉善变质地区、华北变质地区的胶辽亚区以及扬子变质地区的早元古变质岩系。

##### (2) 热点型 (hot spot type)

在宽广的绿片岩相的基础上，出现了局部的穹隆状或点状的角闪岩相轴，经常伴有混合片麻岩和花岗岩。穹隆的范围往往比较局限，其核心有时可从混合片麻岩到块状花岗岩。变质相组合为绿片岩相 (大量为低绿片岩相) → 角闪岩相 (无高角闪岩相)。

常见于古生代及中生代变质地区，如华南加里东变质地区、南秦岭-龙门山-金沙江华力西期变质地带、阿尔泰华力西期变质地带和西藏变质地区的中、新生代变质地带。西藏的喜马拉雅期变质地带中，在大面积分布的千枚岩中出现有小的穹隆状和条带状花岗岩，四周为较窄的角闪岩相带所围绕，并常伴有混合岩化，角闪岩相的缩入现象 (telescoping phenomenon) 常与低压相系的高热流值有关。它们可能类似 Suess(1937) 的边缘深成变质作用 (periplu tonic metamorphism)，但具有绿片岩相的地质背景。它们的热源主要为放射性热能，但也有周期性的地幔上升的热流 (包含挥发组分)。角闪岩相带及伴生的混合岩、花岗岩与地幔热流有关。这一部分热量的多少看来与地壳演化中陆台的形成和发展有关。

区域低温动力变质作用表现为造山带的单相变质 由低绿片岩相岩石组成。变质相组合基本为绿片岩相 可分为：

- 绢云母-绿泥石级±蓝闪石绿片岩相；
- 绢云母-绿泥石级±葡萄石-绿纤石相；
- 绿片岩相±蓝闪石绿片岩相。

热源基本为地壳内部的放射性热能，一般无地幔热流的参与，花岗岩的发生与变质作用的热流无直接联系，属后继的热事件。

常见于晚元古变质地区，加里东、华力西和印支各变质期的变质地带。诸如扬子克拉通的中一晚元古变质岩系（包括含蓝闪石绿片岩相的变质岩系）、祁连加里东变质岩系（包括蓝闪石绿片岩相）内蒙-兴安变质亚区的华力西期变质岩系和巴颜喀拉-南秦岭变质亚区的印支期变质岩系。

- 埋深变质作用表现为具有宽广带状的亚绿片岩相变质作用。变质相的组合可分为：
- 浊沸石相和葡萄石-绿纤石相±绿片岩相；
  - 浊沸石相和葡萄石-绿纤石相及蓝闪石-硬柱石相±绿片岩相。

常见于准噶尔-北天山华力西期变质地带、西藏中生代变质地区和台湾变质亚区的近代埋深变质地带。

受快速下沉及深大断裂控制，等温面向深部后退，温度受遏制，因而产生亚绿片岩相岩石，但其地热增温率各地区有所不同，可从高压到中压范围。

从各变质作用的时空分布来看，影响变质作用的地壳内部的热流具有演化特征，即随着放射性热能的衰减和地幔上升热流的减弱，出现了不可逆的变化。同时也由于地幔上升热流的周期性变化特点，它们也存在着周期性的旋回变化。热流的不可逆性的总体进程表现为区域中高温变质作用→区域动力热流变质作用→区域低温动力变质作用→埋深变质作用。

热流变化总的来说由强变弱。放射性热能随时间而减弱，地幔上升热流也由早前寒武纪的面型分布转变为带状分布。同时，它们在不同时期又可组成若干区域动力热流变质作用—区域低温动力变质作用的变质旋回。其中区域动力热流变质作用中的角闪岩相轴常由前一期的宽广的中心穹窿型变为下一旋回的狭窄的热点型。混合岩化及花岗岩亦相应有所变化。在这一类型中，低压相系与后期的花岗岩的接触变质呈过渡变化，除二者具有类似的矿物组合外，有时在某些绿片岩相变质地区中，同变质期的岩浆型花岗岩的接触变质带与区域变质带具有一致的结构构造，因而它们受区域变质的热流控制较为明显，与岩浆侵入的热影响有所不同，后者属典型的接触变质。

与区域变质作用有关的深成岩浆作用随着地壳内部热流变化可表现为：

- (1) 区域性混合岩及原地花岗岩 (*in situ granite*) 型——区域中高温变质作用；
- (2) 穹窿型混合岩及花岗岩型 (*para antochthonou gneissic dome*) —区域动力热流变质作用 (1) 型(中心穹窿型)；
- (3) 局部边缘混合岩-花岗岩型 (*peri migmatic granite dome*) ——区域动力热流变质作用 (2) 型(热点型)；
- (4) 绿片岩相区同变质期花岗岩型 ——区域低温动力变质作用；
- (5) 正常接触花岗岩型 ——同构造期或另一构造期，围岩为变质岩或不变质的岩石。

每一变质旋回的后期常出现有岩浆型花岗岩，它们常与前期的混合岩和花岗岩组成同一花岗岩系列 (granite series)。

## 2. 压力对变质作用类型的影响

在变质作用中，压力是一个重要的因素，它和温度在一起组成了变质地区的温度-压力梯度 (temperature-pressure gradient)，它代表温度沿压力方向上的分布，在某种意义上看也可认为是热流上升的速度。根据目前了解的资料，每个变质地带的温度-压力梯度均有各自的特点。

从已知的资料来看，区域中高温变质作用的压力范围大致为中高一高压 (0.55-1.0GPa)，地热梯度为 22—35℃/km，大部分小于 25℃/km。它们与 Grambling (1981) 所总结的太古代岩石的平均压力值 0.41GPa 和平均地热增温率 54℃/km 不同。

区域动力热流变质作用中，中压相系的压力范围大致为中一高压 (0.5-0.9GPa)，地热梯度为 20—30℃/km 出现的频率元古代较显生代为多。低压相系一般为中低压一中压 (0.35-0.55GPa) 其最高的地热增温率可能超过 80℃/km (见于东南沿海和西藏的燕山期、喜马拉雅期变质地带)。

区域低温动力变质作用中，一般的压力范围属低压一中压 (0.2-0.6GPa)，地热梯度不易定，部分为低压相系范围，部分变质地带出现有蓝闪绿片岩相，其压力达 0.8GPa，地热梯度为 15-17℃/km。

埋深变质作用中，浊沸石相及葡萄石-绿纤石相型属中压范围 (不超过 0.5GPa)。而蓝闪石-硬柱石相达中一高压 (0.5-1.0GPa)，地热梯度在 10℃/km 左右。

压力的地质意义仍有待于进一步明确，总的来看，压力是指变质作用形成时的深度，或称负荷压力 (load pressure)，因此温度-压力梯度这一名词在地质上常用地热增温率 (geothermal gradient) 来表示。但在一些高压变质地带，特别是有些蓝闪片岩带，其压力可达 1.0-1.2GPa，相当于 35-40km 厚度，而其上覆地层并未达到与之相应的厚度，在地质上必须用某种超压 (overpressure) 来加以解释。

De Roover (1967) 认为蓝闪石-硬柱石片岩类的形成不完全是深部变质作用，而是由于在变形过程中，受变质岩石出现抗应变的阻力，因而产生超压，De Roover 称之为构造超压 (tectonic overpressure) 和由于流体产生的超压的综合影响，故蓝闪石的形成不需要过高的深度。Dodretsov (1978) 认为蓝闪石片岩带常位于深断裂附近，高压的形成与快速下沉 (17—5km)、逆掩断层和缓冲流体超压 (buffer overpressure) 有关，逆掩断层一般可能起着屏障作用，而高流体压力 (在弱的渗透性岩层及缓慢逸出的条件下) 对于高压起主要作用。此外，Zwert 在总结阿尔卑斯的高压型时，曾提出由于掩覆断层推覆而引起高压，看来在某些地质环境中压力所代表的意义并不完全都是负荷压力，温度-压力梯度与地热增温率只是概略性的对比，不能看成是同义语。

## 3. 应力对变质作用类型的影响

任何变质地带都处于应力场的变化之中。应力的变化来源于地壳下部和上地幔热流和重力的扰动，到了一定的临界状态即可出现与之有关的微观和宏观的变形构造，包括与韧性变动有关的片理化构造 (continuous ductile flow)、流变构造和与脆性有关的碎裂构造 (granulation)，它们随地壳的变动构成了较复杂的组合，并经历了较长的时间，形成不同的变质事件。

从大的变化上着，变质地带可分为不具有明显片理、线理和小型褶皱等变形构造的造陆地区（非构造区）和具有明显片理、线理和小型褶皱的造山带（构造区）。前者属埋深变质作用，有时有局部的片理和小型褶皱，部分地区也可能渐变为褶皱带。如华力西期的准噶尔-北天山变质地带，其东延的甘肃北山红石山带出现较多的干枚岩；后者属区域低温动力变质作用。区域中高温变质作用的构造复杂，塑变构造发育，代表一种高温状态下的剪切流动构造，暂不划为造山带的变质作用。

一个变质时期中的造山带的变形构造，常出现有不同期次，它们或与造山运动有关，或表现为局部的应力变形构造，因此常伴有不同的定向片理构造或其它应力组构，它们和热流形成的结晶作用大体上属同一时期（synchronous），但互有起伏，各个变质地带表现也互不相同。故区域低温变质作用是以应力变形为主导因素，发生于浅一中深部位，并伴有相当于绿片岩相的较均匀的热流，属于同构造期结晶。区域动力热流变质作用的结晶及构造的历史比较复杂，大体上看，元古代具有宽广的角闪岩相带型，可能为前构造期到早构造期结晶；显生代以后具有中心穹窿型，可能主要为早构造期到晚构造期结晶，而更多的热点型（如中新生的变质作用）则可能为晚构造期结晶。热点中心热流的发生与花岗质岩浆的侵位有密切联系。

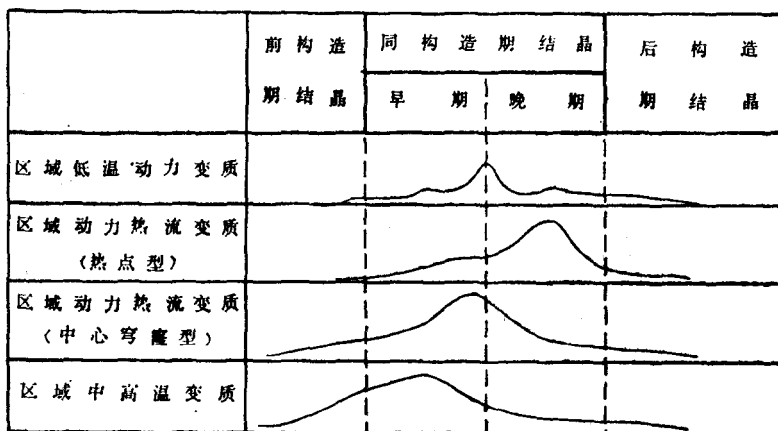


图 1 变质作用类型的结晶与变形的大略分布情况

Fig. 1 The relationship between recrystallization and deformation different metamorphic types

从构造应力和热流变化的发展演化来看，Rtad 所定义的造山带变质作用和深成变质作用是代表一个造山运动的不同阶段的说法，或者象苏联变质图所认为的那样，即前期属于下沉时形成的绿片岩相变质，后期回返时产生递增变质作用和混合岩化作用，可能仅代表其中的一些类型，如热点型大致相当于边缘深成变质型，而不能代表所有造山带的变质作用。

#### 4. 大地构造环境与变质作用类型的联系

变质作用起始的大地构造环境对于变质作用类型起着重要的控制作用，但由于它受变质作用的叠加，并常有构造、岩浆作用的影响，这方面的资料比较少，有时难以判断。根据现有资料认为：

- (1) 埋深变质作用类型常发生于较大的陆内盆地、规模较小的受断裂控制的陆内地槽、

大陆边缘的裂谷地槽以及部分小洋壳或洋槽。其形成环境往往是稳定陆台的张裂部位，它们或位于陆内，或位于大陆与海洋的交界，代表一部分地壳下沉，或受断裂影响，张裂、减薄直至出现小洋盆或洋槽的地质环境。一般它们受断裂控制较明显。中、新生代以后的变质地带，其形成与俯冲带有一定联系。它们的原岩建造一部分以沉积岩为主，包含较多的硬砂岩系和部分基性岩、细碧岩和超基性底辟体，有时还可以有双峰式的中酸性火山岩，相当于地壳减薄部分。另一部分属于蛇绿岩组合，有时有蛇纹岩混杂岩，可能相当于海洋盆地或洋槽环境。总之，它们大致是陆台形成后的张裂、减薄到小洋盆形成的产物，断裂控制明显，部分与俯冲有关。

(2) 区域低温动力变质作用多发生于具有巨厚沉积的地槽区或广海区。其形成环境主要是陆台形成后的陆内地槽，部分是大陆边缘地槽，具有浅海到深海性质；部分地槽受断裂控制仍然明显，有时在地槽内部可能形成狭长的深海槽。原岩建造主要为沉积型建造，包括复理石型及石英岩-碳酸盐岩型，常见基性火山岩夹层或基性火山岩系，有时有中酸性火山岩夹层，可能部分为双峰式火山岩系。此外，也常见有含钠质的火山岩系，包括细碧角斑岩系及钠质火山沉积岩系，分布在一定的狭长地带，并常与蓝闪石片岩相的变质有关。故它们常在陆台开始稳定、沉积加厚的情形下产生有大量的沉积，间有地幔岩浆活动，断裂控制较明显，部分出现深海槽。

(3) 区域动力热流变质作用一般发生在具有巨厚沉积的地槽活动带，可分为陆台边缘型和陆内型。陆台边缘型位于克拉通的边缘，相当一部分为前寒武纪的变质地带。它们的原岩建造一般由下部的基性火山岩系逐渐变为火山质硬砂岩系夹沉积岩，上部则以复理石建造为主，具有由硅镁环境向硅铝环境增生地壳的性质。陆内型位于克拉通内部，常见于显生代以后的变质地带。其原岩建造基本为沉积岩系，往往含有火山凝灰质的复理石建造，有时有基性火山岩夹层，它们与区域低温动力变质作用的复理石建造相近，但有较多的火山凝灰物质参与，钙碱性火山岩系较为少见。显生代以后的区域动力热流型变质地带有时可与邻近的同一时期的埋深变质或区域低温动力变质地带形成广义的双变质地带 (paired metamorphic belts)。形成的原因与它所在的大地构造位置和深部热流的分布有关，不完全都能用日本岛弧的双变质地带来解释。总之，它们可在前寒武纪克拉通内，特别是早元古的变质岩系，组成若干增生的变质地带，地幔上升的热流具有继承性质，而在后期在已形成的陆台内部出现的地槽则往往是地壳加厚、沉积明显的条件下形成的。深部热流的上升更多地与构造运动相联系。

(4) 据目前资料，区域中高温变质作用仅出现于太古代地壳。它们常常表现为广大面积、不具线性特征的单一建造类型的变质地带。其原岩建造比较简单，大部分属于基性火山岩及基性硬砂岩型，夹有少量蛇纹岩透镜体；有时有中酸性火山碎屑岩及沉积岩层。另一部分属于富铝的沉积岩系，但含有少量的基性火山岩或基性火山岩系。其成因可认为是地壳分异不明显的原生地壳，以硅镁质为主，但也有部分硅铝质，可能为陆核性质。

综上所述，地壳演化由原生地壳发展成为克拉通内和克拉通边缘的线型地槽，变质后形成稳定的陆台。继之而来的是陆台内部裂开，出现地槽、断陷盆地和小洋盆。同时陆台边缘也出现不同的地槽类型直至洋槽。随着地壳内部热流的变化，与之相应的变质作用为：

区域中高温变质作用——原生地壳；

区域动力热流变质作用（中心穹窿型）及区域低温动力变质作用（克拉通边缘及克拉

通内地槽);

区域动力热流变质作用(热点型)、区域低温动力变质作用及埋深变质作用——(陆台)内(部)地槽、陆内拗陷、断陷地槽、小洋盆和陆台边缘地槽及洋槽。

### 参 考 文 献

- [1] 董申保等,《中国变质作用及其与地壳演化的关系》,地质出版社,1986
- [2] 董申保,变质作用类型划分初议——《中国区域地质》(3),p1-16,1982
- [3] Coombs, D. S., (1961); Some recent works on the lower grade of metamorphism, *Australian J. Sci.*, vol. 24, PP. 203-215.
- [4] Grambling, J. A., (1981); Pressures and temperatures in precambrian rocks, *Earth and Planetary Science Letter*, 53, pp. 63-68.
- [5] Miyaschiro, A., (1961); *Evolution of metamorphic belts*, *J. Petrol.* vol. 2, pp. 277-311.
- [6] Read, H. H., (1957); *Metamorphism and granitization, The Granite Controversy*, Thomas Murby Company. pp. 339-373.
- [7] Roever, W. P. de(1975); Overpressure of tectonic origin or deep metamorphism? *Metamorphism and Plate Tectonic Regimes*, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. PP. 348-352.
- [8] Sobolev, V. S. and Dobretsov, N. L., (1973); *The facies of regional metamorphism of moderate pressures*, Canberra Australian Univ., PP. 256-307.
- [9] Suess, F. E., (1936); *Periplutonische und enorogene Regionalemetamorphose*, *Anz. Akad. Wiss. Wien. Jahrg.* 73, no. 23.
- [10] Suk, M., (1983); *Petrology of metamorphic rocks*, Academia/Praha, pp. 339-373.
- [11] Turner, F. J., (1981); *Metamorphic petrology*, 2nd ed. McGraw-Hill Book Company, New York, PP. 211-243.
- [12] Winkler, H. G. F., (1976); *Petrogenesis of Metamorphic rocks*, 4th. ed. Springer-Verlag, PP. 1-8
- [13] Zwart, H. J., (1967); *The duality of orogenic belts*, *Geologie en Mijnbouw*, 46c(8), PP. 283-309.

## The Classification of Types of Metamorphism in the Metamorphic Map of China

Dong Shenbao

### Abstract

Metamorphism is an important geological process which is intimately linked with the crustal evolution. It is generally agreed that each metamorphic terrane has a more or less unique p-T condition controlled by the geothermal gradient of this region, which is responsible to the distribution of metamorphic facies or metamorphic facies series, and that the geothermal gradient, in turn, is a measure of the thermal regime, which manifests the internal distribution of the heat flow induced by the action of the mantle and the crust of the earth. Thus, it is well known that a close linkage exists between the

thermal history of metamorphism and the tectonic evolution of the earth's crust.

In the compilation of the Metamorphic Map of China, the types of metamorphism has been classified according to the distribution of metamorphic facies or metamorphis facies series together with their related geological Processes such as the structural deformation and the plutonic magmatism. And the tectonic setting of the onset of metamorphism is a necessary constraint in discriminating various types of metamorphism. Accordingly, four main types each comprising two fundamental types have been suggested with the addition of two auxiliary types of platform cover metamorphism and faulted-trough metamorphism. It seems that each type of metamorphism may possess a definite set of metamorphic facies grouping, structural representation, granite magmatism and tectonic setting as well as its protolithic sequence.

The relation between the metamorphism and the heat flow regime, pressure dependence, strain effect and the constraint of tectonic setting is discussed at some length in connection with the crustal evolution,

# 新疆阿尔泰华力西期变质岩特征

陈哲夫 王广耀

(新疆地质矿产局)

阿尔泰位于新疆的最北部，南以额尔齐斯大断裂与准噶尔褶皱带分开。西端进入苏联，东部进入蒙古。在区域构造上属阿尔泰褶皱带。出露的变质地层属于华力西期变质的奥陶、志留纪复理石沉积；泥盆、石炭纪碎屑岩-中酸性火山岩建造的深变质岩石到浅变质岩石。二叠纪未变质的陆相碎屑岩和基性火山岩建造以角度不整合覆于老地层之上。构造运动频繁，其中以华力西中期为主的造山运动，使该带褶皱隆起，断裂密集，岩石产生强烈的变质。同时中、晚期花岗岩活动剧烈，混合岩、混合岩化在背斜轴部、大断裂带呈带状分布，基性岩沿断裂呈小岩株产出。酸性脉岩、伟晶岩脉群在二叠纪地层以前广泛分布。

从上述地质资料看，该带属华力西期区域动力热流变质作用类型。

## 一、变质岩系

### (一) 地层层序

下一中奥陶统为该带的最老地层，组成复背斜的轴部，厚约 13000m。含有大量的微古植物化石；中一上志留统厚约 8000m，它平行不整合在下一中奥陶统之上，含有腕足、珊瑚化石；泥盆系以平行不整合在志留系之上，下统和中统之间为角度不整合接触，厚达 7000 多米，含有大量的腕足、珊瑚化石；石炭系与下伏地层为断层接触。下统含有大量的腕足化石，上统含有微古植物化石，厚约 12000m。

### (二) 岩石组合

1. 下一中奥陶统哈巴河群：下部黑云母斜长片麻岩、斜长角闪片岩、石英岩、黑云母石英片岩，绢云绿泥片岩等，沿走向向西在可可托海相变为斜长二云母石英片岩、变粒岩、黑云母更长片麻岩。到琼库尔为十字石片岩、蓝晶石片岩、矽线石片岩，堇青石片岩；中部：在青河一带为千枚岩、变质砂岩、粉砂岩夹大理岩，相变为二云母石英片岩，向西相变为片麻岩、红柱石石英片岩、十字石堇青石片岩；上部：在青河一带为红柱石黑云母石英片岩，黑云母石英片岩、变粒岩夹十字石二云母石英片岩、石榴石二云母石英片岩、片麻岩，角闪片岩、石英岩、黑云母斜长片麻岩。向西相变为蓝晶石二云母石英片岩、矽线石二云母石英片岩、十字石矽线石石榴石黑云母斜长片麻岩等。原岩属海相砂岩、泥岩夹灰岩、火山岩沉积，属复理式冒地槽型沉积。

2. 中一上志留统库鲁木提群：下部：二云母石英片岩、矽线石堇青石黑云母石英片岩，红柱石、十字石黑云母石英片岩，背斜两翼相变为千枚岩、变质粉砂岩等；上部：变质细砂岩、粉砂岩，钙质砂岩，相变为矽线石黑云母斜长片麻岩、二云母变粒岩夹十字石、

二云母石英片岩等。原岩属浅海相砂、泥质复理式冒地槽型沉积。

3. 泥盆系下统康布铁堡组：西部变质砂岩、粉砂岩，变质石英角斑岩、变质石英斑岩、含铁火山角砾岩、斜长角闪岩、火山凝灰岩夹变质硅质岩、黑云母石英片岩、结晶灰岩。向东相变为片岩、片麻岩等。碎屑岩和中酸性火山喷发岩组成滨海—浅海相碎屑岩—火山岩建造，属地槽初期阶段产物；中泥盆统阿尔泰镇组：西部为变质粉砂岩、砂岩、硅质泥岩不均匀互层和火山凝灰岩、泥灰岩、大理岩夹层。东部相变为片岩、片麻岩、变粒岩夹酸性石英斑岩，为浅海相复理式沉积。

4. 石炭系：下统为变质石英砂岩、千枚岩、残斑变质岩夹石英斑岩、安山玢岩、结晶灰岩等。为浅海碎屑岩、中酸性火山岩建造。上统在锡泊渡为变质粉砂岩、凝灰砂岩夹火山凝灰岩、阳起石片岩；向东到富蕴县北相变为硅质板岩、凝灰质板岩、变质粉砂岩、角闪片岩、片麻岩、石榴石蓝晶石白云母石英片岩，二云母石榴石（蓝晶石）石英片岩等。为海陆交互碎屑岩建造。

从上述资料表明，上古生代泥盆纪早期火山活动强烈，火山岩属钙碱性系列， $Al_2O_3$ 重量百分含量一般在18—12之间， $K_2O+Na_2O$ 含量较高，属于岛弧和活动大陆边缘带。中期火山活动稳定，接受了厚达5000m的碎屑岩沉积，其中有少量的酸性火山岩夹层，为地槽强烈下沉阶段。石炭纪早期，火山活动剧烈，以火山喷溢为主，晚期以碎屑岩沉积为主伴有少量酸性熔岩溢出。为地槽晚期阶段。

### （三）各类岩石的基本特征：

1. 变质砂岩、板岩—千枚岩类：为层状、变余砂状结构，显微鳞片花岗变晶结构，块状构造、片状构造、千枚状构造。主要由石英、斜长石，黑云母、泥质物质组成，泥质物质变质为绢云母、绿泥石、绿帘石等。

2. 片岩类：含特征矿物蓝晶石、十字石、红柱石、矽线石，堇青石、石榴石等。石英片岩：为层状、似层状，透镜状，鳞片花岗变晶结构、筛状结构、残缕结构，以片状构造为主，成分由石英、黑云母及含量不等的蓝晶石、十字石、红柱石、矽线石、堇青石、石榴石、白云母组成。但未见蓝晶石与红柱石的共生关系。这些富铝特征变质矿物总的特征如下：

(1) 蓝晶石：板状、柱状、针状、半自形，含量1—20%，一般含量为5—10%。常含在黑云母、斜长石中，个别含在石英中，与十字石共生。镜下见其交代石榴石，但本身又被堇青石、矽线石交代。

(2) 十字石：十字双晶，大小不等，含量为1—45%，一般含量5—15%，常含在黑云母、绿泥石、堇青石中，它交代矽线石但被红柱石所交代。十字石变斑晶垂直片理，说明十字石的形成是在片理形成之后。

(3) 红柱石：半自形柱状，含量1—30%，一般含量5—15%，交代十字石，本身被绢云母交代，有的全变为绢云母。红柱石的长柱方向与片理垂直，为构造期后产物。

(4) 矽线石：形状复杂，有管状、管束状、纤维状、柱状、短柱状，放射状集合体，纤维状、针状、多呈残晶出现。含量为1—35%，一般为5—10%。常见交代黑云母、斜长石、石英，个别的交代蓝晶石，本身被白云母、绢云母所交代。有的矽线石长轴方向与片理方向一致。矽线石主要是区域变质作用的产物，其次为混合岩化作用的结果，其表现形式为长石石英矿物间的针状，柱状矽线石，是原来富铝的泥质团块变质为黑云母后经分解而成，