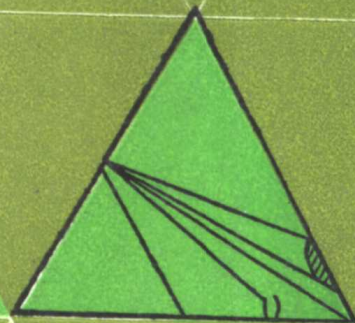
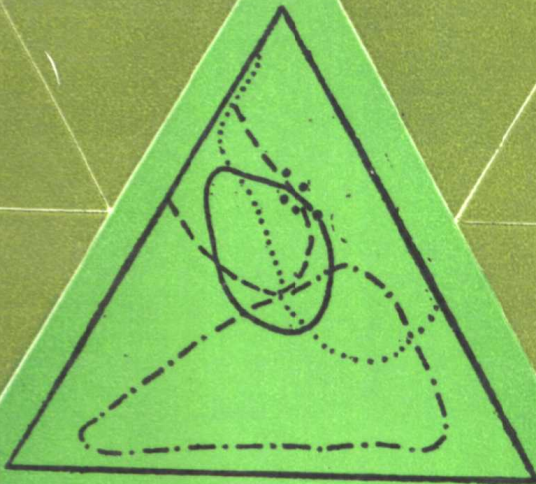
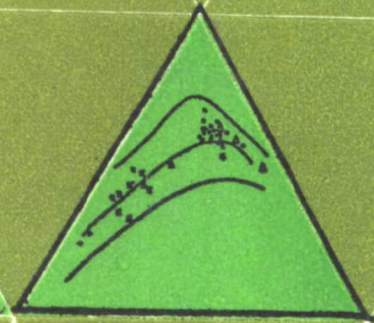
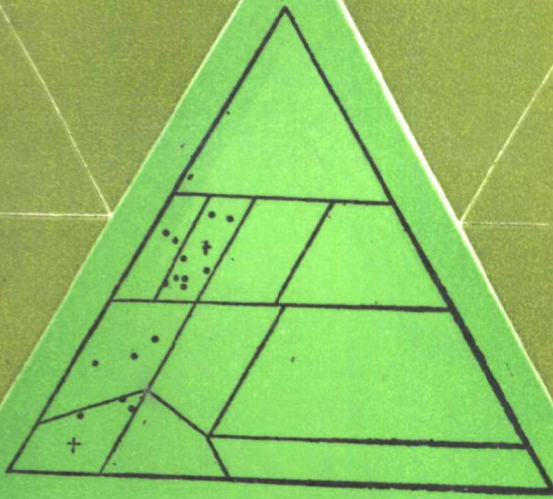


国家自然科学基金资助项目

燕山早前寒武纪 岩石退变质作用

• 高凡 高励 著



• 地质出版社

11

国家自然科学基金资助项目

燕山早前寒武纪岩石退变质作用

高 凡 高 劭 著

地 质 出 版 社

内 容 提 要

燕山地区是我国早前寒武纪古老岩石分布的重要区域之一。近年来,随着变质作用研究的不断深入,退变质作用研究也受到了重视。

本书利用现代微区分析技术,采用了变质岩岩石学、矿物学、矿物化学、物理化学、成因矿物学、地球化学、地质年代学等多学科综合研究的方法,利用冀东迁西群、北京密云群、张家口—宣化桑干群的典型剖面,研究了古老变质岩石的退变质基本特征。对区内变质杂岩退变系列演化、退变质岩相、退变地球化学特征以及退变改造含铁建造等方面做了系统地论述。并对早前寒武纪古老岩石退变质特点加以综合,提出了该区早前寒武纪岩石退变质类型及其时空上的演化规律。

本书可供广大地质人员、教学和科研人员阅读参考。

国家自然科学基金资助项目 燕山早前寒武纪岩石退变质作用

高 凡 高 劭 著

责任编辑:郑长胜

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.875 插页: 2 页 铜版页: 2 页 字数: 322000

1990年12月北京第一版·1990年12月北京第一次印刷

印数: 1—620册 国内定价: 11.95元

ISBN 7-116-00742-3/P·631

前 言

燕山地区早前寒武纪岩石，出露于西起冀西北、北京北山，东迄渤海之滨的中朝克拉通结晶基底北缘。该区前寒武纪古老岩层发育，地质构造复杂，矿产蕴藏丰富。许多中外学者对该区岩石成因、构造环境及构造标志采用多渠道、多手段进行了综合研究和讨论，积累了丰富的地质资料和有意义的地质成果。

不过，以往燕山地区地质工作主要是对古老岩石的进变质作用进行了广泛的研究，而对退变质作用研究较少甚至空白。其实，退变质作用是变质作用的重要类型，它与进变质作用的研究同样不可偏废，且二者各有其自己的特点，进变质研究的成果是退变质研究的良好基础。研究退变质作用特征，对讨论退变质作用历史及时空演化规律，由此探求退变过程中地壳、岩石演变规律以及它们对矿产形成与改造所产生的巨大影响是十分有意义的。

“燕山地区早前寒武纪岩石退变质作用研究”项目，于1981年开始，历经8年，至1988年12月完成。

1981年该研究项目列于天津地质矿产研究所“燕山—阴山地区早前寒武纪地层划分对比研究”重点项目下开展，1983年单独列题为“燕山地区早前寒武纪岩石退变质作用研究”继续工作，1987年接受国家自然科学基金资助，1988年底全部完成该研究项目，本书就是这一退变质专题科研成果的系统总结。

在1981—1985年期间，取得了冀东、北京密云、张家口—宣化三地区古老岩石退变质基本特征的研究成果，并提出一些新模式和新观点，1986年天津地质矿产研究所聘请专家评审，提出修改意见，使后来的深入研究更臻完善。

在研究退变质作用的过程中，经常采用与进变质对比的手段，除野外宏观观察外，还要进行详细的微观观察。退变质作用改变原有的矿物组合，通常不能完全彻底，因此退变矿物就显示出叠加的特点，只有微观观察才能洞悉矿物残余，如退变边、后成合晶等等叠加性质的结构。退变质作用也发生了矿物的物理、化学性质上的变化。麻粒岩相岩石生成后，由于温度逐渐降低或由于其它地质事件，使原岩组合发生退变质。电子探针分析表明，几乎每一种矿物都发生了矿物相上的改变或元素的扩散和交换，产生不平衡的矿物新组合，残留了各世代的残余结构。研究发现退变质的普通角闪石、阳起石—透闪石、黑云母等矿物与进变质的同一矿物有所不同，并指出了它们各自的发展趋向。

由矿物生成温度来研究退变质作用。利用现代电子扫描、电子探针分析及矿物包体爆破技术，测定矿物成分，估测矿物中心和边缘的形成温度与压力，提出进变质与退变质生成的模式。研究结果表明，矿物中心和边缘成分不同，生成的温压条件也不同，而它们退变与进变的生成模式也恰恰相反，因此，石榴石—单斜辉石等矿物的中心到边缘，尤其是矿物颗粒的剖面分析，都具有显著的逆态图谱。

退变质岩石的地球化学，在国内为初步探索的项目。对比研究进变与退变的不同变质相岩石的主要、微量及痕量元素的变化， K/Rb 等比例的变化，可以作为退变的角闪岩相的

定性指标。稀土模式表明：退变岩石的稀土总量总是高于未退变岩石的稀土总量。Rb—Sr等时线年龄测定得知，退变质作用是地质历史上的重要事件之一，并得到退变质演化中不退变的麻粒岩相岩石残核与退变的角闪岩相岩石的同位素年龄。

太古代条带状铁矿中退变质矿物早为前人所确定。这种类型铁矿的富铁，也有人认为由后期退变质作用改造而成。我们选择了冀东迁安矿区的铁矿石初步探寻了含铁硅酸盐矿物退变与铁集中的关系。主要采用两方面研究方法。一是用光、薄片研究大量含铁硅酸盐矿物直接析出铁质形成磁铁矿；二是利用磁铁矿标型成分 (TiO_2 , V_2O_5 , NiO) 区别进变质产生的粗粒磁铁矿与退变质过程中析出的磁铁矿。所得资料说明，大部分铁是由铁硅酸盐矿物退变而来的。

本书共分八章，第一、四、五、八章由高凡执笔，第六章由高劭执笔，第二、三、七章由高凡、高劭共同执笔。书中全部数据计算及处理由高劭完成。

在野外工作过程中，河北省地矿局第三地质大队、北京市地矿局第三地质队、北京地质研究测试中心、沙厂首都钢铁公司、冀东迁安矿区首都钢铁公司矿山公司等单位给予大力帮助，在此表示感谢。

本书大部分测试数据由天津地质矿产研究所实验室、同位素地质研究室承担，电子探针分析由中国地质科学院矿床地质研究所、二机部北京第三研究所、中国地质大学（北京）研究生部探针室承担。电子扫描由冶金部天津地质研究院X光室承担，稳定同位素测定由北京大学同位素研究室完成，包体爆破温度测量由地质矿产部物化探研究所完成。图件清绘由天津地质矿产研究所绘图室王春鲜、赵宝茹、王少君、阎静、钟新宝等完成，照片由王金荣、崔耀云印制。初稿完成后，沈其韩、卢良兆、王仁民、李善择审查了部分章节，白瑾审阅了全书并提出宝贵的修改意见，薛淑云阅过第五章，绘图工作中汪玉麟给予指导和支持，在此都深表谢意。

1988年8月31日

目 录

第一章 冀东地区迁西群岩石退变质特征	1
一、地质概况	1
二、岩石及其变质作用	3
(一) 岩石类型	3
(二) 多相变质	4
(三) 混合岩化	7
三、退变质结构特征	8
(一) 单斜辉石退变与角闪石的结构关系	8
(二) 石榴石的后成合晶结构及其与角闪石的结构关系	9
(三) 斜方辉石退变质与闪石的结构关系	10
(四) 斜方辉石(和单斜辉石)退变与黑云母的结构关系	11
(五) 蠕状石的退变结构	11
四、退变质作用的矿物化学	12
(一) 单斜辉石退变——绿色角闪石(阳起石)	13
(二) 退变的石榴石	15
(三) 紫苏辉石退变——镁铁闪石	17
(四) 紫苏辉石退变——黑云母	19
五、退变质的物理化学条件与成因探讨	21
六、小结	26
第二章 密云地区密云群岩石退变质特征	27
一、地质概况	27
二、变质岩类型及矿物成分	29
(一) 岩石类型	29
(二) 矿物成分	30
三、变质岩岩石化学特征与原岩恢复	34
(一) 岩石化学特征	34
(二) 变质岩原岩恢复	35
四、单斜辉石退变质	46
(一) 单斜辉石退变的结构特征	46
(二) 单斜辉石的一些化学特征	46
(三) 单斜辉石退变为角闪石	47
(四) 单斜辉石退变边剖面分析	51
(五) 阳起石集合体假像的再退变	58
五、斜方辉石退变	58
(一) 斜方辉石退变为黑云母的结构关系	58

(二) 斜方辉石的化学特点	59
(三) 退变的黑云母	61
六、石榴石的退变质	61
(一) 石榴石与其它矿物的结构关系	61
(二) 石榴石的化学成分	62
(三) 石榴石环带	63
(四) 石榴石的退变质	68
七、小结	71
第三章 张宣地区桑干群岩石退变质特征	72
一、岩石概述	72
(一) 岩石类别及矿物组合	72
(二) 变质矿物共生分析	75
(三) 变质岩原岩恢复	76
(四) 张宣地区桑干群与冀东地区迁西群、八道河群下部及密云地区密云群对比	76
二、单斜辉石退变质	78
(一) 单斜辉石与退变矿物的结构关系	78
(二) 单斜辉石的化学特征	82
(三) 单斜辉石退变的角闪石(与进变质角闪石对比)	83
(四) 单斜辉石的二次退变质	91
三、石榴石退变质趋向	93
(一) 石榴石与其它矿物的结构关系	93
(二) 石榴石化学成分及一些物理常数	93
(三) 石榴石的环带	96
(四) 地质温度计的应用	98
(五) 讨论	100
四、斜方辉石退变和其它退变反应	100
(一) 斜方辉石退变	100
(二) 其它退变反应	102
五、变质岩的 Rb-Sr 等时线年龄	102
六、小结	105
第四章 变质杂岩演化系列	106
一、岩石化学	106
二、岩石的退变演化	107
(一) 超镁铁质变质岩类	107
(二) 镁铁质变质岩类	113
(三) 中性变质岩类	115
(四) 酸性变质岩类	116
三、退变质高级变质杂岩命名的初步意见	117
第五章 进变质相与退变质相——以密云群沙厂组为例	120
一、进变质阶段的变质相	120
(一) 上覆岩层的进变质	120

(二) 沙厂组岩性段划分及变质相	120
(三) 麻粒岩相形成条件	125
二、退变质阶段的变质相	125
(一) 单相变质的退变质	125
(二) 多相变质的退变质	127
三、进变质相与退变质相的叠加	128
(一) 叠加的规律性	128
(二) 现在变质叠加产物的概观	128
第六章 地球化学及其退变质作用	130
一、概述	130
二、地球化学的一般特征	132
(一) 主要元素的地球化学特征	132
(二) 稀土元素的地球化学特征	132
(三) 某些微量元素的地球化学特征	141
三、退变质作用对各种化学指数的可能影响	142
四、稀土元素地球化学与退变质作用问题的关系	148
五、退变质作用过程	149
六、稀土元素在退变作用中活动性的讨论	150
七、小结	151
第七章 含铁岩系的退变质与成矿	152
一、概述	152
二、矿石类型及含矿建造	153
(一) 矿石特征及类型	153
(二) 含矿建造	154
三、铁建造的地球化学特征	154
(一) 主要元素特征	154
(二) 稀土元素特征	155
(三) 微量元素特征	155
(四) 地球化学特征与成因问题的关系	156
四、矿体的矿物退变质特征	158
(一) 矿石原岩及其进变质改造的一些探讨	158
(二) 退变磁铁矿的结构和矿物化学	159
(三) 斜方辉石退变及其矿物化学	164
(四) 单斜辉石退变及其化学	165
(五) 镁铁闪石的退变化学	169
五、变质温度与变质相	169
(一) 地质温度计	169
(二) 氧同位素测温	170
(三) 爆裂法测温	171
六、小结	172
第八章 燕山地区早前寒武纪岩石退变质类型及其时空演化规律	173

一、概述	173
二、单相变质的退变质	173
三、多相变质的退变质	176
四、与岩石变形作用有关的退变质	178
五、关于燕山地区麻粒岩相岩石退变质类型的商榷	180
六、燕山地区古老岩石退变质的演化	182
(一) 进变质相与退变质相温压条件空间上的演化	182
(二) 退变质相在温度—时间上的演化	186
参考文献	189
英文摘要	196
图版说明及图版	209

Contents

Preface

Chapter 1 Retrogressive characteristics of Qianxi group rocks in Eastern Hebei area

- 1.1 Geological survey 1
- 1.2 Rocks and metamorphisms 3
- 1.3 Retrogressive texture characters 8
- 1.4 Mineral chemistry during retrogressive processes 12
- 1.5 Retrogressive physiochemical conditions and discussion of
genesis 21
- 1.6 Concluding statement 26

Chapter 2 Retrogressive characteristics of Miyun group rocks in Miyun area

- 2.1 Geological survey 27
- 2.2 Metamorphic rock types and mineral components 29
- 2.3 Petrochemical characteristics and primary rock recoveries
of metamorphic rocks 34
- 2.4 Retrogressive clinopyroxene 46
- 2.5 Retrogressive orthopyroxene 58
- 2.6 Retrogressive garnet 61
- 2.7 Concluding statement 71

Chapter 3 Retrogressive characteristics of Sanggan group rocks in Zhang-Xuan area

- 3.1 Rock concepts 72
- 3.2 Retrogressive clinopyroxene 78
- 3.3 Retrogressive trends of garnet 93
- 3.4 Retrogressive orthopyroxene and other retrogressive
reactions 100
- 3.5 Rb-Sr isochronism age of metamorphic rocks 102
- 3.6 Concluding statement 105

Chapter 4 Evolution series of metamorphic complex

- 4.1 Petrochemistry 106
- 4.2 Retrogressive evolutions of rocks 107
- 4.3 A suggestion for retrogressive high grade metamorphic
complex nomenclature 117

Chapter 5 Progressive metamorphic facies and retrogressive metamorphic facies—Miyun group Shachang system used as an example	120
5.1 Metamorphic facies of progressive metamorphic stage	120
5.2 Metamorphic facies of retrogressive metamorphic stage.....	125
5.3 Overprints of progressive and retrogressive metamorphic facies.....	128
Chapter 6 Geochemistry and retrometamorphism	130
6.1 General.....	130
6.2 General characteristics of geochemistry.....	132
6.3 Retrogressive metamorphism affecting various chemical parameters	142
6.4 Relations between rare earth element geochemistry and retrometamorphic problem.....	148
6.5 Processes of retrometamorphism	149
6.6 Discussion on rare earth element activities during retrometamorphism	150
6.7 Concluding statement	151
Chapter 7 Retrometamorphism and minerogenesis of iron-bearing rock series	152
7.1 General.....	152
7.2 Ore types and ore-bearing formations	153
7.3 Geochemical characteristics of iron-formation.....	154
7.4 Retrogressive characteristics of ore body minerals	158
7.5 Metamorphic temperature and metamorphic facies	169
7.6 Concluding statement	172
Chapter 8 Retrometamorphic types and spatial and time evolution law of early Precambrian rocks in Yanshan area	173
8.1 General.....	173
8.2 Monometamorphic retrometamorphism	173
8.3 Polymetamorphic retrometamorphism	176
8.4 Retrometamorphism concerning the rock deformation.....	178
8.5 A proposal of retrogressive types for granulite facies rocks in Yanshan area.....	180
8.6 Retrogressive evolutions of ancient rocks in Yanshan area.....	182
References	189
Abstract in English	196
Explanation of the Plates and Plates	209

第一章 冀东地区迁西群 岩石退变质特征

一、地质概况

冀东地区位于中朝克拉通北缘，有古老的高级变质地体，蕴藏着丰富的铁、金等矿产资源，长期以来，尤其是1949年以后，进行了大量的区域地质调查和勘探工作。70年代后，建立了早前寒武纪地层层序，围绕铁矿地质，特别是变质岩构造地质的研究，确定了早前寒武纪岩层存在广泛多次的褶皱构造叠加，否定了单斜构造累积地层的层序的观点。通过研究区域变质建造，划分了火山沉积巨旋回与区域地热变质作用的关系。不过，对于结晶基底岩系变质所论述的多属进变质作用，而对退变质作用的影响则注意较少，也很少见到关于退变质作用研究的论述。

区域变质岩的自然组合，是地壳发展中原岩建造和变质作用的综合产物，这就是区域变质建造。早前寒武纪区域变质岩，大部分遭受了不同程度的混合岩化作用，并叠加了各

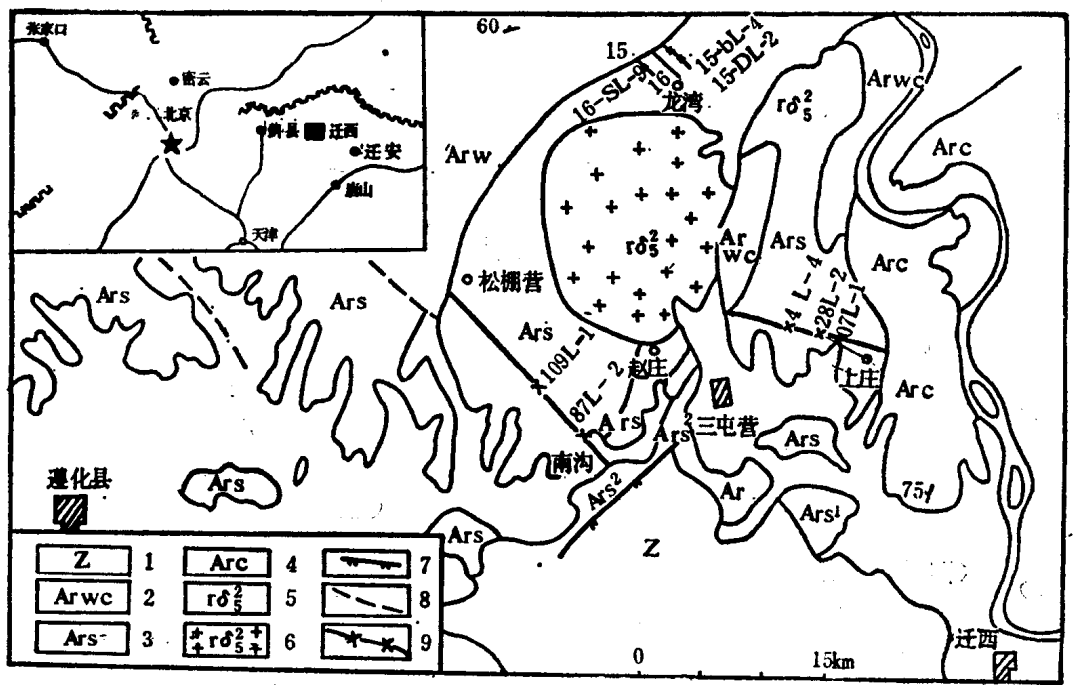


图 1.1 冀东三屯营组剖面测置位置、地质及电子探针采样地点示意图

1—震旦系；2—王厂组；3—三屯营组；4—上川组；5—花岗闪长岩；6—花岗岩；7—逆断层；8—推定断层；9—剖面线示意位置及电子探针采样地点

期的退变质作用，变质岩常在混合岩和退变质产物中呈不规则状残留。冀东地区迁西群三屯营组的典型剖面研究^{①②}，为退变质作用研究提供了良好的基础（图1.1）。按孙大中等（1984）的研究，将冀东深变质地层分为四个变质建造（自下而上）：辉石麻粒岩建造、黑云辉石斜长片麻岩（夹辉石麻粒岩）建造、斜长角闪岩建造和黑云斜长变粒岩建造。三屯营组属黑云辉石斜长片麻岩建造。

在划分三屯营组变质岩层岩性段时，注意了下面几项原则：

1. 用残留体的变质岩组合划分。在高度混合岩化的岩体中的残留体，代表着原始变质岩，而用单一矿物组合往往尺度过小，难以反映各岩段的特征。

2. 以现存矿物组合为准。不同变质岩类型具有不同的变质岩组合，当它们叠加了后期变质作用后，要退变生成新的矿物组合，以求得相的平衡。因此在论述矿物组合时应以现存的矿物为准。

3. 大规模的高度混合岩化岩石与未受混合岩化岩石的接触线。

4. 应用具指示成因意义的微量元素及元素分布的对称性划分。

5. 利用矿石组分特征。不同岩性段内，矿石的矿物组合结构等各有不同特征。

三屯营组剖面原分两个岩段、八个岩组，经孙大中等（1984）修改为两个岩段、七个岩组（图1.2），自下而上为：

一段：

1. [角闪]^③斜长二辉麻粒岩和[角闪]斜长次透辉麻粒岩互层，夹少量二辉斜长片麻岩和黑云紫苏斜长片麻岩。

2. [含黑云]二辉斜长片麻岩、黑云紫苏斜长片麻岩为主，局部见少量[角闪]斜长次透辉麻粒岩。

3. [角闪]斜长二辉麻粒岩、[角闪]斜长次透辉麻粒岩为主，[含黑云]二辉斜长片麻岩次之，偶夹二辉斜长角闪岩和磁铁石英岩。

4. [角闪]斜长二辉麻粒岩为主，夹角闪斜长次透辉麻粒岩、[含黑云]二辉斜长片麻岩及多层磁铁石英岩，偶见二辉斜长角闪岩。

二段：

5. 黑云紫苏斜长片麻岩、[含黑云]二辉斜长片麻岩为主，局部见[石榴]角闪斜长次透辉麻粒岩，其中夹有多层磁铁石英岩（最厚约6m）。

6. 黑云紫苏斜长片麻岩与角闪斜长次透辉麻粒岩互层，夹少量薄层磁铁石英岩。

7. [石榴]角闪斜长次透辉麻粒岩、次透辉斜长角闪岩为主，夹薄层磁铁石英岩，偶见[含黑云]二辉斜长片麻岩。

各岩段、岩组中主要矿物的退变，如紫苏辉石退变为镁铁闪石、阳起石，紫苏辉石退变为黑云母，单斜辉石退变为普通角闪石（阳起石），以及退变生成的石榴石等等都标记在剖面上（图1.2）。这种不同成因的退变质作用，在该区三屯营组内分布广泛。

① 河北省地质局冀东地质指挥部，天津地质矿产研究所第一研究室冀东组，1976，河北省迁西上庄—遵化松棚营剖面地质构造特征

② 天津地质矿产研究所，1975，迁安县龙湾铁矿地质特征

③ 方括号内表示退变质矿物，下同

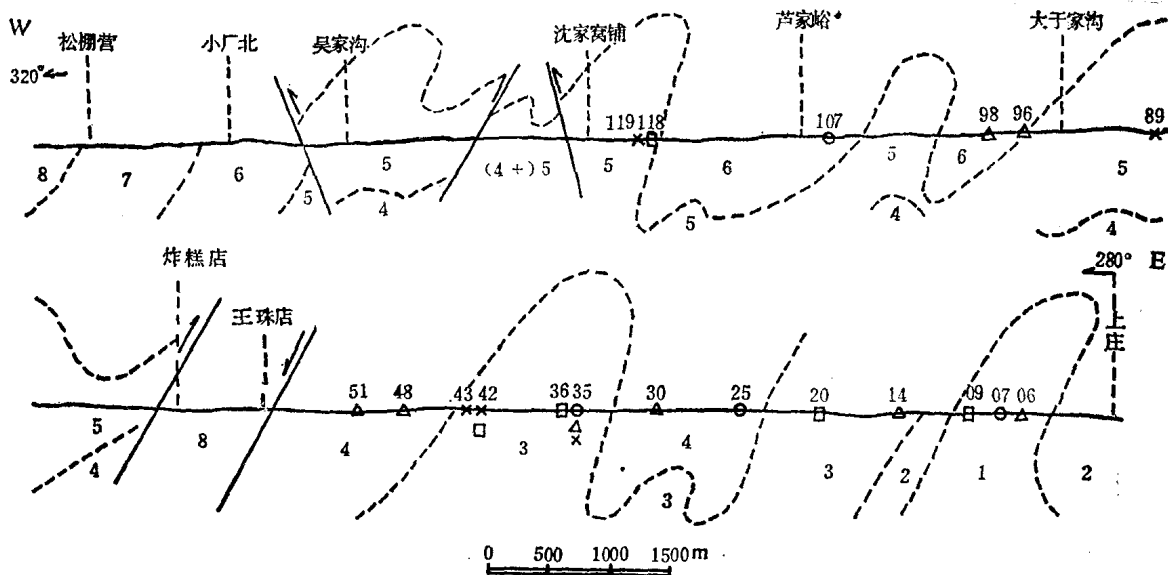


图 1.2 三屯营组剖面岩性分段、分组、采样点分布与岩石中主要矿物退变关系一览图

1—7为岩段的岩组（但8为八道河群王厂组）；剖面上01—149为样品号；×—单斜辉石 $\xrightarrow{\text{退变}}$ 角闪石；
 □—退变石榴石；○—紫苏辉石 $\xrightarrow{\text{退变}}$ 镁铁闪石 \rightarrow 阳起石；△—紫苏辉石 $\xrightarrow{\text{退变}}$ 黑云母

二、岩石及其变质作用

(一) 岩石类型

除了混合岩化较深的混合花岗岩外，混合岩中残留有大小不等、形状不一的变质岩残体，在大多数情况下，残体没有受到明显的转动，大致反映岩石的原始成分。据此，三屯营剖面上出现的区域变质岩类型有：

1. 角闪辉石麻粒岩类

包括角闪次透辉石岩、角闪二辉石岩等，呈似层状、透镜状出露，致密块状构造，黑色，风化后呈灰黑色。岩石中暗色矿物一般在95%以上，主要组成矿物为次透辉石，其次为紫苏辉石与普通角闪石；浅色矿物偶见者为基性斜长石。次透辉石在镜下多为他形变晶粒状，柱状者少见，常被阳起石—透闪石交代。

2. 含石榴角闪（黑云）辉石麻粒岩和含石榴辉石麻粒岩类

包括含石榴角闪斜长次透辉石岩、含石榴黑云紫苏斜长片麻岩、含石榴次透辉石岩、含石榴二辉斜长石岩等。紫苏辉石以短柱状、粒状者居多，平行消光，个别为斜消光（消光角 $<30^\circ$ ），多色性显著。浅色矿物为中—基性斜长石，主要为拉长石，常有不同程度的绢云母化。

3. 辉石麻粒岩类

常见有（含磁铁）次透辉石岩，斜长次透辉石岩，斜长二辉石岩等，局部出露。岩石为黑色，风化后呈灰黑色，致密块状构造，中—粗粒变晶结构，暗色矿物主要为次透辉石、紫苏辉石，普通角闪石次之，浅色矿物一般不见或偶见基性斜长石，无角闪石、黑云母出现。

4. 紫苏斜长片麻岩类

包括二辉斜长片麻岩、紫苏斜长片麻岩、黑云紫苏斜长片麻岩等。岩石多由中—酸性岩浆岩变质而成，灰白色，风化后呈黄褐色，中—细粒变晶结构。浅色矿物主要为斜长石及少量石英，可达60%以上。暗色矿物除紫苏辉石、透辉石外，有时有少量黑云母。

5. 角闪石岩类

常见的为次透辉角闪岩和角闪岩。岩石为灰绿色至深绿色，中—粗粒变晶结构。致密块状构造，暗色矿物达95%以上，主要为普通角闪石，其次为数量不等的次透辉石。与辉石麻粒岩类中的角闪次透辉石岩可呈过渡关系。这是由于次透辉石不同程度地退变为角闪石的缘故。

6. 斜长角闪岩类

包括次透辉斜长角闪岩、二辉斜长角闪岩、斜长角闪岩、含石榴次透辉斜长角闪岩等。岩石呈深灰绿色，厚层块状。暗色矿物主要为普通角闪石，辉石(少量)为次透辉石、紫苏辉石。普通角闪石在镜下呈粒状，深黄绿色，有明显的多色性，浅色矿物为斜长石，属中—拉长石。

7. 斜长石岩类

包括二辉斜长石岩、〔角闪〕二辉斜长石岩、次透辉斜长石岩等，与斜长片麻岩类关系密切，常呈过渡关系。出现少。

8. 磁铁石英岩类

包括(含石榴)二辉磁铁石英岩、(石榴)次透辉磁铁石英岩、角闪磁铁石英岩等。岩石以条带状、条纹状、片麻状构造为特征，中—粗粒变晶结构。

(二) 多相变质

迁西群岩石的错综复杂的矿物共生关系主要是高级变质相的叠加所造成。所谓变质相的叠加就是多相变质作用的结果，而退变质又是多相变质的一种类型。

F. J. Turner (1948) 给多相变质下的定义是“一期以上对岩石的改造，每期都有明确的物理化学条件，例如造山变形作用引起的动力变质作用伴随着花岗岩晚期侵入引起的接触变质作用”。

H. H. Read (1950) 给多相变质下了一个狭义定义，指出：多相变质可分两种情况，其一，一系列的结晶和形变时期，有理由当成总体的一部分，这种岩石属于单相变质。其二，具有两个或两个以上的标准反应，能彼此分开，无明显成因联系，记录这样地质历史的岩石是多相变质。

如铃木 (M. Suzuki, 1977) 研究日本中部飞驒变质带，最古老的变质相，为麻粒岩变质。各处常见的灰色花岗岩，多数生成于片麻岩局部熔融。其后，变质作用达到了角闪岩相，辉石变为角闪石，正长石变为微斜长石和钾长石—刚玉组合等等。基性岩脉侵入在第一次变质之后又变形生成叶理。年代学证据表明麻粒岩相变质在500Ma，基性岩脉侵入在400Ma，而角闪岩相变质则在300Ma。很明显，飞驒变质带是多相变质的产物。

D. Wyckoff (1952) 研究过费城的Wissahickon片岩，认为是经过几个阶段的岩石改造。较早阶段高温变质伴随着一期更强烈的水热变质作用，随之而来的是温度下降。这些变质条件的变化是在一次形变和侵入期内发生的，很明显，Wissahickon片岩是单相变质的产物。

上述两个实例指出了多相变质与单相变质的区别。只有那些记录两期以上变质作用历史的岩石才是多相变质，一期变质作用不同阶段改造的岩石，是单相变质。

然而，前人对退变质的矿物组合温度的高低和生成过程中温度的上升或下降曾有过争议。A. Harker (1939) 用退变质术语指明随着降温引起变质的改变，即强调变质作用的逆变或局部逆变。而Turner定义退变质为高温变质组合的矿物再调整到较低温的组合。但这样一个再调整，不一定是随温度下降而引起变质变化。不少实例说明，在第一期形成的高温组合变化到第二期的较低温矿物组合，有赖于升温而不是降温。

在单相变质时，随温度下降生成的退变质，许靖华(1955)称其为“单相变质的退变质作用”(即同期退变质作用)，对后期变质的随温度上升或下降生成的退变质则称为“多相变质的退变质作用”(即多期退变质作用)。

野外宏观迁西群三屯营组的矿物共生关系，普遍可见错综复杂的“浅中包深”和“深中穿浅”的现象。根据混合岩中残体的研究可查明各类岩石的特征。实际上混合岩中一般见到的是角闪岩相变质岩的残留体，角闪岩相变质岩中又普遍见到大小不等的麻粒岩相岩石的“残骸”。如去掉混合岩化这一因素，则极似麻粒岩相岩石的“残骸”，呈孤岛状驻立于角闪岩相变质岩的“大海”之中。

王仁民等(1980)研究冀东迁西群变质相带的“犬牙交错”的复杂情况，认为太古界迁西群在麻粒岩相区域变质的基础上，又叠加了角闪岩相为主的中温二次退变质作用(中温逆变质作用)。并认为与北京密云沙厂地区的多相变质作用特征极为相似。王仁民等(1964)研究密云地区太古代古老岩石多相变质作用和退变质作用的地质特征和意义，引起地质同行们的注意。他认为在麻粒岩相与角闪岩相变质作用之间，空间上存在着过渡相，即一套古老的变质岩系存在着大面积强烈的区域退变质作用的叠加。这在北京地区和张宣地区也是类似的。如可以和冀东迁西群相比的密云群麻粒岩相岩石中，平衡共生的角闪石、黑云母和辉石矿物组合间无交代关系，随变质作用演变，温度下降，出现了角闪石、黑云母交代辉石类矿物，呈交代残余状，形成辉石麻粒岩亚相向角闪麻粒岩亚相过渡^①。可与冀东迁西群相比的张宣地区的桑干群的麻粒岩相和高级角闪岩相，经夏治平研究^②分别有两个退变质过渡相：角闪岩相与绿片岩相—绿帘角闪岩相。

冀东迁西群麻粒岩相、退变过渡相、角闪岩相的空间分布关系非常复杂，难以划出“等变线”。早前寒武纪高级变质的麻粒岩与角闪岩相两类岩石的岩相关系，一直认为有两种形态：

(1) 从角闪岩相到麻粒岩相或角闪辉石麻粒岩亚相到辉石麻粒岩亚相连续变化，带状分布明显，如北美Adirondack，澳大利亚Broken Hill等地。

(2) 两个变质相的组合重叠即多相变质重叠而无明显分带，如美国明尼苏达州Granite Falls-Montevideo区，锡兰等地。

近年来，据几个矿物对元素分配系数测温的数据看是有显著差异的。张儒瑗(1981)研究了冀东迁西地区太平寨附近太古代麻粒岩结晶的温压条件，认为“麻粒岩中角闪石和

① 北京地质研究测试中心，地矿室，铁组，1984，北京密云怀柔库北地区太古界变质岩系主要铁矿床特征及其成因研究

② 夏治平，1986，河北省宣化—崇礼一带太古代地质及金矿成矿规律的研究，张家口地质，第十三期

黑云母是麻粒岩相向角闪岩相退变的产物”。根据岩相学观察、地质温度计与地质压力计的计算，麻粒岩重结晶的温压条件是1.1—1.3GPa和800—850℃。角闪石变质矿物对的平衡温度为679—750℃，平均为705℃；黑云母矿物对的平衡温度为585—660℃，平均为635℃；麻粒岩中角闪石—斜长石对的平衡温度为592℃。后三种矿物对的平衡温度是麻粒岩相向角闪岩相退变质的温度，是“代表另一次变质作用的温度”。

王仁民等（1982，1986）对迁安地区迁西群第一次变质作用的代表性产物——斜长二辉岩、二辉斜长片麻岩和二辉磁铁石英岩中的七对二辉石对进行了研究，得到早太古代最早期麻粒岩相变质作用的温度为 $845 \pm 60^\circ\text{C}$ ，压力为0.8GPa左右。而冀东地区迁西群黑云母—石榴石的平衡温度为575—694℃，这表明全区在麻粒岩相变质作用之后又遭受了一次角闪岩相区域变质作用的叠加和改造。

用氧同位素方法测得迁安地区石英—磁铁矿物对的生成温度为500—590℃，显然也相当于退变质的角闪岩相的温度。

迁西群的同位素年龄数据也相差悬殊。1975年中国地质科学院地质所和力学所对迁西群黑云角闪片麻岩，用Rb—Sr全岩等时线法曾得到 $3479 \pm 242\text{Ma}$ 的数据。1978年中国科学院地质所测得迁西太平寨紫苏斜长片麻岩的Rb—Sr等时线年龄为 $3670 \pm 230\text{Ma}$ ，虽在第二届地层会议上作了修改，仍引起了国内外许多地质学家的重视。1979年，澳大利亚W. Compston和R. T. Pidgeon在上述同一地区采样，测得Rb—Sr等时线年龄为2500Ma，锆石的U—Pb年龄为2400—2600Ma。于是迁西群年龄问题出现了争论。此后，钟富道、刘敦一、江博明、张宗清等人在国外实验室所测迁西群年龄大都在2400—2550Ma之间。与此同时，在国内实验室测定的数据，除获得2500Ma的年龄外，往往有一组偏大的年龄，一般都大于2800—3000Ma，有的高达3500Ma。

孙大中等（1984）对从60年代以来所提出的较丰富的冀东地区早前寒武纪测年工作的资料，进行了比较、分析和讨论，深入研究了迁西群岩层生成、后期叠加地质事件、混合岩化、退变质事件诸年龄以及原始年龄、表面年龄等等，揭示了这一时期年龄数据矛盾的产生，理顺了数据的时代意义，认为迁西群中的2500Ma左右的年龄，代表一次强烈的变质作用年龄以及与变质作用时间相近的混合岩化作用年龄。在测定一条等时线时，除麻粒岩相岩石外，有时包括紫苏花岗质的混合岩以及更晚些时间形成的花岗质和长英质混合岩，说明区域变质作用、混合岩化及其与之有关的退变质现象，可能均为一个时期不同阶段的产物。因此混合岩化不能代表另一次相隔时间较长的后期叠加的地质事件，所以它们的地质年龄相差不大。也因此，迁西群的2400—2550Ma不代表原岩年龄。至于迁西群的原岩年龄，还存在着不一致的意见。有人认为，原岩年龄不可能达到3500Ma甚至不能超过2700Ma。也有人认为，从地质条件分析，迁西群的原始火山—沉积岩的形成年龄可能大于2800—3000Ma。

王仁民等（1980）曾采集两条Rb—Sr全岩等时线样品，其中一条包括各种大小的真正的麻粒岩相岩石“残骸”，另一条包括“残骸”周围的各种退变质岩石。经中国科学院地质研究所测定，前者线性关系较差，年龄约在3500Ma左右，后者为 $2448 \pm 265\text{Ma}$ 。所以，王仁民、赵宗溥等认为迁西群不但有相当于退变质作用的2500Ma左右的年龄，而且还存在3500Ma左右的麻粒岩形成时期的年龄。这种由多相变质及退变质事件的观点提出的地质事件年龄及麻粒岩形成顶峰的年龄显然与上述变质作用的年龄和原岩的年龄是不相