

内蒙古东南部 早前寒武纪孔兹岩系成因 及其含矿性

卢良兆 靳是琴 著
徐学纯 刘福来



吉林科学技术出版社

内蒙古东南部早前寒武纪

孔慈岩系成因及其含矿性

孔慈岩系成因及其含矿性

吴玉清 孔慈岩 著

责任编辑: 吴玉清 孔慈岩

封面设计: 孔慈岩

出版

787×1092 毫米 16 开本 0.128 印张

吉林科学技术出版社

插图 8

243, 000 字

发行

1992 年 8 月第 1 版 1992 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 5.30 元

印刷 吉林省劳动印刷厂

ISBN 7-5384-1034-1/Z·K·56

前 言

孔兹岩系 (Khondalite series) 是地壳发展早期高级变质地区一类极为特殊的麻粒岩相变质岩系。它们出现于全球各大陆, 在变质岩石组合、原岩建造、变质作用和含矿性方面均有很大的相似性。其成因研究对于查明早期地壳中这种特殊地体的形成和演化过程, 以及探讨麻粒岩相变质作用的各种不同成因机制和大地构造环境均有重要科学意义, 也有助于开发其中经常赋存的石墨、磷、砂线石和云母等非金属矿产资源。

内蒙古东南部集宁及其晋、冀相邻地区位于华北准地台北缘太古宙高级变质地带的中段, 是我国孔兹岩系大面积出露的最典型地区, 且其中赋存石墨和云母等非金属矿产。近年来已有一些学者在此进行研究工作, 并先后出版了有关专著和论文。内蒙古自治区、河北省和山西省的地质单位多年来也在本区的生产和科研工作中取得不少成果。他们对本区变质岩系的地层、岩石、矿物、地球化学、地质年代学和大地构造演化等方面均有不少讨论, 对变质相和变质峰期 $P-T$ 条件也有一定研究, 但这些方面都还存在不少分歧意见。本区最特殊的孔兹岩系的成因和大地构造环境还缺乏全面的研究。至于国外目前讨论较多的麻粒岩相变质作用和高級区成因模式、变质作用和变形作用演化过程及其 $P-T-t$ 轨迹等岩石学科前沿课题更很少涉及。有鉴于此, 1987 年, 由国家教委博士学科点专项基金资助, 立题“内蒙古东南部太古宙孔兹岩建造的成因及含矿性”进行研究。

这项研究工作以区域地质背景为基础, 着眼于变质作用的全过程。首先是原岩建造的沉积岩相学、岩石化学和地球化学的详细研究, 借以查明变质作用起始前的大地构造环境。研究重点是本区孔兹岩系中多期变质作用发生和演化的全过程及其温度、压力条件的时空变化规律, 并将其与区域构造变形作用及花岗质岩浆作用的特征及演化过程紧密联系起来。在综合这些资料的基础上建立本区孔兹岩系的成因模式, 并推断其所反映的大地构造环境和地质动力学过程, 同时查明这套变质岩系中石墨等主要矿产的含矿性和找矿远景。

专题组由卢良兆教授负责, 主要成员有新是琴、徐学纯和刘福来三人。叶慧文参加了部分矿物学研究工作。硕士研究生梅保丰、李霞和张立辉及部分高年级大学生先后参加了本专题的部分野外和室内研究工作。他们提供了大量实际资料和一些有意义的初步结论, 对这项科研成果作出了重要贡献。

这项研究工作于 1987~1990 年之间进行, 四年来对全区孔兹岩系进行了广泛的野外区域地质考察和兴和黄土窑、卓资羊圈湾、大什字和前旗三岔口等四个关键地段的大比例尺地质制图和变质变形作用的深入研究, 室内则进行了详细的岩石学、矿物学、岩石化学及地球化学等方面的研究, 并充分利用了前人的研究资料。根据研究中取得的新认识, 对本区孔兹岩系的地质和岩石学及矿物学特征、原岩建造及其形成时的大地构造环境、变质作用期次和演化过程及其 $P-T-t$ 轨迹、构造变形作用的期次和形式、花岗质岩浆作用的特征和成因以及上述各种地质事件的时间序列和它们所反映的本区早前寒武纪大地构造演化过程都作了较系统的总结。首次提出本区孔兹岩系和麻粒岩相变质作用的成因模式,

并初步探讨了石墨等矿产的成矿控制因素和找矿远景区。本文初稿即在此基础上由专题组成员分工编写而成。其中前言、第一、二、三、七章和结论由卢良兆完成，第四章由卢良兆、靳是琴和徐学纯完成，第五章由靳是琴和刘福来完成，第六章由靳是琴、刘福来和卢良兆完成，第八章由徐学纯完成，全文由卢良兆修改定稿。

在专题研究过程中，沈其韩先生对本区同位素年龄资料的应用问题曾给予指导。叶挺松、贺高品等同志参加了野外和室内一些有益的讨论。野外工作期间在交通和生活方面曾得到内蒙地矿局 102 地质大队的帮助，在此我们一并致谢！

这项研究成果由长春地质学院组织评审。董申保、孙大中、游振东、安三元和贺同兴教授审阅了全文，提出许多宝贵意见，我们已据此对文稿作了进一步修改以提高质量，在此表示衷心的感谢。

由于专题组成员认识水平的限制，文中难免有不当或错误之处，敬请读者批评指正。

作 者

1991.9

目 录

第一章 区域地质与变质岩系特征概述	(1)
一、区域地质及研究现状简述	(1)
二、区内两套变质岩系的基本特征	(4)
三、孔兹岩系和麻粒岩系的时空关系及形成时代的初步讨论	(10)
第二章 区域变质岩的岩石学特征	(17)
一、长英质粒状岩石和片麻岩类	(17)
二、大理岩和钙镁硅酸盐岩类	(20)
三、麻粒岩和角闪质岩类	(24)
第三章 原岩建造及其大地构造环境	(28)
一、原岩类型及其岩相学特征	(28)
二、原岩建造的岩石化学特征	(33)
三、原岩建造的稀土元素特征及沉积物源区的讨论	(41)
四、沉积环境及其大地构造条件的初步分析	(45)
第四章 区域变质变形及花岗质岩浆作用	(47)
一、区域变质作用	(47)
二、区域构造变形作用	(61)
三、花岗岩与花岗质岩浆作用	(67)
四、本区变质事件和变形作用及花岗质岩浆作用之间的时间序列	(77)
第五章 变质矿物的化学成分及其成因特征	(80)
一、石榴石	(80)
二、斜方辉石	(86)
三、单斜辉石	(90)
四、角闪石	(93)
五、黑云母 (镁铁云母)	(95)
六、长石	(100)
七、其它矿物	(103)
八、共生矿物之间的化学成分变化关系	(104)
第六章 变质作用的 P-T-t 演化	(107)
一、本区有关变质反应的实验资料分析	(107)
二、变质温度、压力的估算	(110)
三、本区早前寒武纪变质作用演化的 PTt 轨迹	(118)
第七章 孔兹岩系的成因及其大地构造环境探讨	(122)
一、孔兹岩系成因研究现状简述	(122)
二、本区孔兹岩系的成因及早前寒武纪大地构造演化历史的探讨	(127)

第八章 本区孔兹岩系的含矿性	(131)
一、本区孔兹岩系含矿性研究现状	(131)
二、本区孔兹岩系的含矿性特征	(132)
三、本区孔兹岩系中的典型矿床	(133)
四、关于本区孔兹岩系含矿性及找矿远景评价	(140)
结论	(142)
参考文献	(144)
英文摘要	(150)
矿物代号	(154)
图版说明	(155)
图版	(157)

第一章 区域地质与变质岩系特征概述

一、区域地质及研究现状简述

研究区位于内蒙古呼和浩特市和山西省大同市及河北省张家口市之间，地理坐标为 $111^{\circ}40' \sim 115^{\circ}E$ ， $40^{\circ} \sim 41^{\circ}20'N$ ，行政区划主要属于集宁、卓资、凉城、丰镇、察右前旗、兴和、怀安、天镇、阳高和大同等市县，总面积约为 $20\,000\text{km}^2$ 。本区位于中朝准地台北缘，即处于东起辽西-冀东，西止宁夏北部的太古宙麻粒岩相高级变质地体的中段。本区北侧以集宁-呼和浩特一线的 NEE 向大断裂带与另一太古宙（以乌拉山群为主的）角闪岩相变质地体相邻（图 1-1）。这一断裂带在区内为中生界所覆盖，它们向西延伸相当于沿京包铁路线北侧，由呼市经包头到乌拉特前旗的大青山山前断裂带，向东延伸则可能与河北境内崇礼-赤城大断裂带相连接，并继续东延，构成整个地台北缘麻粒岩相高级变质地带的北界。本区东南侧大致以桑干河断裂为界，与晋北恒山等地区另一具有不同特征的太古宙变质地带相连接（图 1-1）。

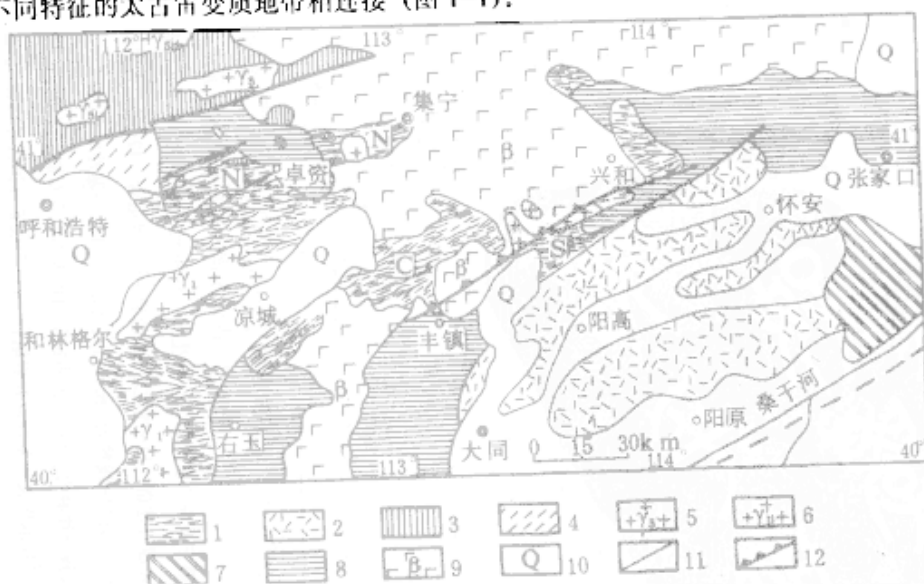


图 1-1 研究区地质略图

1-太古宙孔兹岩系；S-南部岩相带，C-中部岩相带，N-北部岩相带；2-太古宙麻粒岩系；3-太古宙角闪岩相变质地带（乌拉山群）；4-早元古宙二道洼子群；5-中生代花岗岩；6-太古宙花岗岩；7-中元古宙盖层；8-中生代盆地沉积；9-第三纪高原玄武岩；10-第四系沉积；11-主要边界断裂；12-第二期变质作用的南侧界线

本区出露的岩石约 $1/2$ 左右为早前寒武纪变质杂岩，其余主要为张家口和大同等中生代盆地中的火山岩系和煤系地层以及更大面积的第三纪高原玄武岩，此外在怀安镇东南和大同附近还开始出现华北型中元古宙或古生代地台盖层（图 1-1、1-2）。

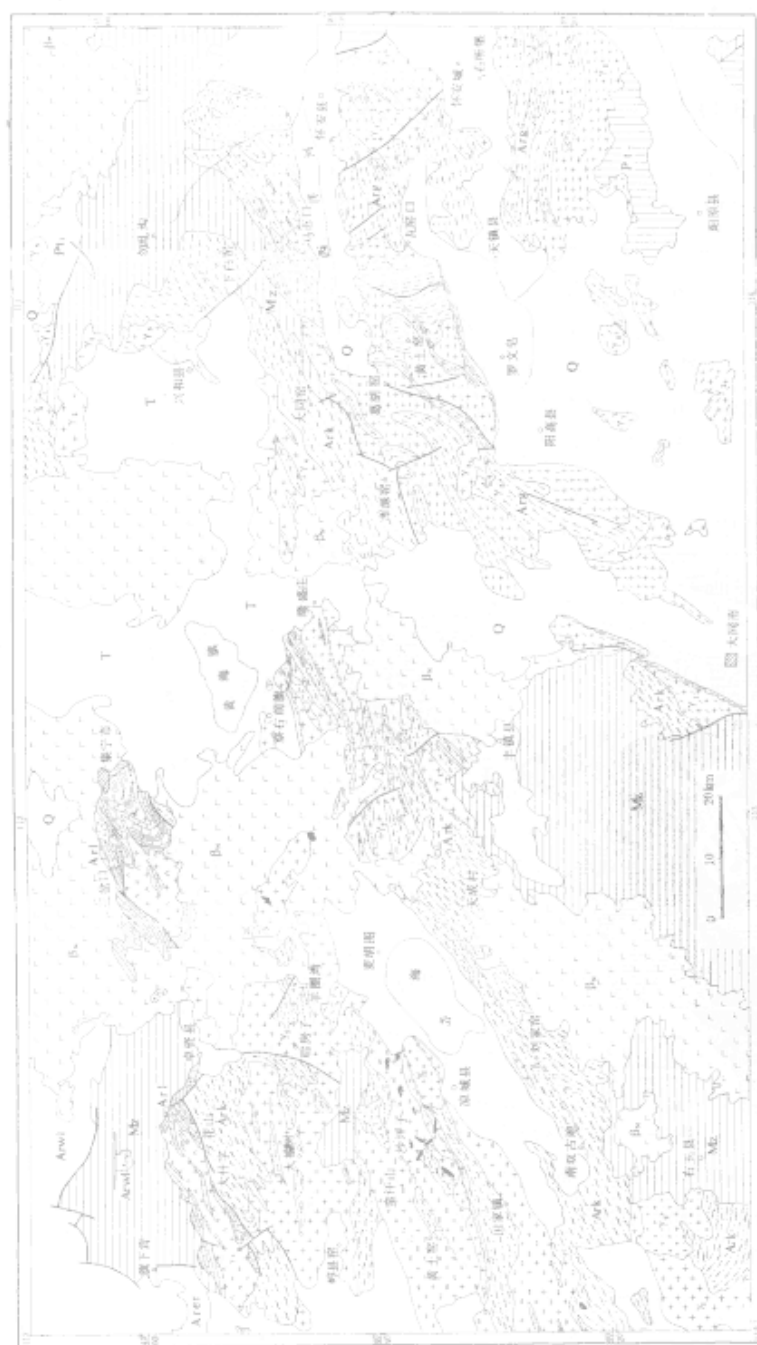


图 1-2 内蒙古南部及相邻地区前寒武纪构造-岩性图

图 1-2 内蒙古南部及相邻地区前寒武纪构造-岩性图

1-第四系; 2-第三系; 3-第三系高原玄武岩; 4-中生界; 5-中元古宙盖层; 6-下元古宙红微岩子群; 7-太古宙崇礼群; 8-太古宙二道洼子群; 9-太古宙乌拉山群; 10-太古宙浅粒岩-大理岩建造; 11-浅粒岩-变粒岩-长石英岩组合; 12-早元古宙红色中细粒均粒花岗岩片麻岩-白岗质钾长花岗岩; 13-太古宙孔兹岩建造; 14-互层状砂线石榴钾长片麻岩-浅粒岩-长石英岩组合; 15-中基性麻粒岩-辉石角闪质岩石(变质侵入体); 16-早元古宙中粗粒均粒-似斑状含砂线石榴黑云母花岗岩及石榴黑云斜长片麻岩; 17-早元古宙灰白色细粒均粒含石榴黑云母花岗岩-花岗岩片麻岩; 18-早元古宙巨斑石榴黑云花岗岩; 19-太古宙麻粒岩建造; 20-含辉闪黑云斜长片麻岩夹中基性麻粒岩组合; 21-砂线石榴黑云片麻岩-长石英岩及石榴云母片岩等夹层; 22-太古宙紫苏斜长花岗岩片麻岩及浅色麻粒岩(变质中酸性侵入体); 23-早元古宙红色细粒黑云紫苏花岗岩片麻岩-花岗岩; 24-早元古宙韧性变形带; 25-后期韧性断裂

区内变质杂岩主要呈 NEE 向带状分布, 组成一系列复杂的线性褶皱, 但在天镇、阳高和大同以北一带则转变成 NEE 方向展布。目前区内常见的较开阔褶皱及局部地段的盆地或穹窿形构造均为多期构造叠加所成。此外还广泛发育韧性剪切带。图 1-2 表示本区基本构造—岩相特征。

本区变质杂岩中, 上壳岩占 1/2 左右, 主要包括含矽线石和石榴石等的钾长(或二长)片麻岩—变粒岩—浅粒岩—长石石英岩类, 含辉石、角闪石或石榴石等的黑云斜长片麻岩类, 含磁铁辉石钾长(或二长)浅粒岩类以及部分中基性麻粒岩和辉石斜长角闪岩类岩石, 此外还有一些大理岩、磁铁石英岩、石墨片麻岩、金云母透辉石岩及各种钙镁硅酸盐岩石夹层。另约 1/2 为各种受变质或变质期后的花岗质岩石, 其中包括紫苏斜长花岗质片麻岩和大部分紫苏斜长浅色麻粒岩、紫苏花岗岩、含矽线石和/或石榴石的各种黑云花岗岩—斜长花岗岩及巨斑花岗岩, 白岗质钾长花岗片麻岩和花岗岩及各种混熔(溶)片麻岩等等, 其岩性复杂, 特征因地而异。

解放前的研究者泛称本区变质杂岩为桑干群, 归于太古宙。内蒙地质局(1958)编制 1:100 万呼和浩特地质图时仍沿用这种划分。李璞等(1964)研究了本区集宁、凉城和前旗(土贵乌拉)等地的变质杂岩之后, 将其命名为集宁群, 并划分出四个岩组, 它们相当于本文孔兹岩系的大部分。这些作者还对这套岩系的原岩和变质作用特征进行了探索性讨论, 确定其属于麻粒岩相, 并用侵入这套岩系的伟晶岩中的白云母, 以 K-Ar 法为主获得一大批 1800~1900Ma 的同位素年龄资料, 但认为这套变质杂岩本身仍属于太古宙。

60 年代末到 70 年代初, 本区完成了系统的 1:20 万区域地质调查和制图工作, 以传统的构造—地层学方法初步查明了全区的岩性分布和区域地质概况。虽各图幅的群、组、段划分和命名仍不统一, 如有些图幅称为集宁群, 另一些图幅则仍称为桑干群, 但通过研究初步明确本区变质杂岩按岩性可分为两大套, 一套以各种麻粒岩和含辉石、角闪石及石榴石等的黑云斜长片麻岩为主, 它们分布于东南部怀安、天镇和阳高地区, 在 1:20 万大同市图幅称为葛胡窑组; 另一套以广泛含矽线石和石榴石的钾长(或二长)片麻岩和长英质粒状岩石为特征, 主要分布在中西部集宁地区, 在大同市图幅称为黄土窑组。认为这两套岩系之间为整合接触, 同属一个群, 仍归于太古宙。至内蒙地质局(1979)编制全区区域地层表时, 鉴于山西境内原桑干群命名的标准剖面已划归五台群, 桑干群这一名称不宜再用, 因而将研究区内的变质杂岩均改称为集宁群。董启贤(1984)则进一步将麻粒岩为主的变质岩系称为下集宁群, 以矽线石榴钾长片麻岩等为特征的变质岩系则称为上集宁群, 并认为彼此之间可能存在不整合接触。

80 年代以来, 一些学者对本区变质岩进行了各方面的专题研究。沈其韩等(1986、1987、1989)认为它们主要由互层状的各种上壳岩组成, 集宁群下组的原岩形成于“古陆的活动带”, 而集宁群上组则形成于“大陆棚浅水环境”。它们总体代表一个完整的火山—沉积旋回, 上组和下组的岩性不同是因下部以火山作用为主, 上部以沉积作用为主, 这是反映次一级旋回, 并倾向于彼此间可能不存在不整合, 基本为连续沉积。他们还初步推断集宁群可能老于 3000Ma, 属于早中太古宙, 其早期变质年龄可能在 2900~3000Ma, 第二期变质作用叠加的年龄为 2500Ma, 并又在 1800~1900Ma 普遍经历一次热事件, 引起区域性退变质作用。

崔文元等(1982、1983、1984、1987)的研究结果认为集宁群的下部为麻粒岩组,原岩以火山岩和侵入岩为主,火山岩的地球化学特征显示它们形成于古岛弧和活动大陆边缘;上部为片麻岩组,相当于孔兹岩系,原岩为粘土岩,凝灰质砂岩和石灰岩等。还认为它们主要经历了 3500Ma 和 2500Ma 两期叠加的变质作用,均属麻粒岩相,此外还进行了大量矿物学和变质峰期 P-T 条件的研究。

钱祥麟等(1985)则强调下集宁群的麻粒岩系是受强烈变形和变质作用的 TTG 系列岩石(灰色片麻岩),而不是层状上壳岩,它们主要是通过岩浆的板底垫托机制形成于下部地壳中,其时代为早中太古宙。而上集宁群则为较晚期在陆壳内浅海盆地中沉积的泥沙质上壳岩,两者之间为不整合接触。孙大中等(1987)则认为“包括本区在内的华北准地台北缘大面积的基性和中酸性麻粒岩系均具有大陆内部和大陆边缘的特征,所以将它们归入板底垫托模式并不合适。”

吴昌华(1989)认为麻粒岩系是太古宙基底,孔兹岩系相当于早元古宙盖层,二者为不整合接触。而较暗色的似层状辉石麻粒岩实际是更晚期侵入的中基性岩浆岩,故可同时出现于两套变质岩系中。刘宇光(1989)在主要研究本区东段怀安一带之后,将麻粒岩系称为怀安群,也认为它们是下地壳成因的 TTG 系列片麻岩,并经历了 3000~3500Ma, 2700~2800Ma 和 2400~2600Ma 三次独立的变质和变形作用。而不整合于其上的孔兹岩系则形成于晚太古宙陆壳内浅海盆地中,它们只经历后边两期叠加的变质事件和变形作用。

总之,本区的变质地质研究虽已取得较大进展,但对孔兹岩系成因、早前寒武纪大地构造格局和变质-变形作用演化历史等问题还存在许多分歧意见,必须进一步深入研究。

二、区内两套变质岩系的基本特征

本区变质杂岩中既包括较多的层状上壳岩,又有相当数量各种成因的花岗岩和花岗质片麻岩,彼此混杂分布,层状岩石岩性单调,多期构造运动和变形作用使其内部构造和产状十分复杂,原始层面难以确定。对这类高级变质地体,企图采用传统的构造-地层学方法来建立全区性层序,划分群、组、段,并进行横向对比是完全不科学的。较可靠的工作原则是在野外区域地质研究前提下,根据现在出露的变质岩和花岗质岩石的岩性组合及其空间分布特点来划分若干变质岩系和构造-岩相带,再分别对它们的原岩建造、变质和变形及花岗质岩浆作用的特征进行全面研究,并结合同位素年龄资料建立地质事件序列。只有在此基础上才能较可靠地确定不同变质岩系或岩相带之间的时空关系和全区大地构造格局。因此,本课题虽着重研究相当于上集宁群的孔兹岩系的成因,但首先也必须对全区变质岩系的类型和特征作必要的讨论。根据岩石组合的明显不同和独立的空间分布等特征,本区可划分出两套变质岩系,现将其基本特征分述如下。

1. 麻粒岩-紫苏斜长花岗质片麻岩-含辉、闪、榴黑云斜长片麻岩系(麻粒岩系)

这套变质岩系分布于区域东南部怀安、天镇、阳高到大同一带,南至桑干河谷,北部以兴和县高庙子公社-黄土窑-丰镇浑源窑-大同红寺堡一线与孔兹岩系相邻(图 1-1、1-2)。它们主要由浅色麻粒岩和紫苏斜长花岗质片麻岩、暗色角闪二辉麻粒岩和辉石斜长角闪岩、含辉石和角闪石或石榴石的黑云斜长片麻岩和含辉石浅粒岩等类岩石组成,彼此成互层状,岩性较为均匀和单调,外观一般成层性良好。

浅色麻粒岩和紫苏斜长花岗质片麻岩是这套变质岩系中占优势的岩石，在东南部怀安地区分布更为广泛，它们虽有层状外貌，但常见大面积岩性基本均匀，大部分为较细粒均粒变晶结构，片麻理不明显，暗色矿物以紫苏辉石为主，还常有次要的黑云母、透辉石、角闪石和磁铁矿等，总量一般在 5~15% 之间。浅色矿物为酸性斜长石和石英。另一部分岩石为稍粗粒 (1~2mm) 不等粒结构，或仍部分保留花岗状结构，各种岩石类型之间呈渐变过渡关系，有些剖面中见到它们与辉石黑云斜长片麻岩成互层，两者片麻理一致。本类岩石多数是中酸性岩浆以较分散的顺层形式侵入上壳岩层中，经同期变形和麻粒岩相变质重结晶作用所成，其特征与南极 Enderby Land 的紫苏斜长花岗岩很相似。本类岩石中常不均匀地含有暗色矿物相对较富集的条带或透镜体，它们可能是经变形和变质重结晶的原来基性围岩包体或岩浆早期析离体。

常量元素的特征表明本类岩石大部分属于钙碱系列的奥长花岗岩类，部分暗色矿物含量达 20% 左右者，原岩相当于英云闪长岩类。其稀土元素特征是 ΣREE 值较高，且变化大，LREE 明显富集。REE 的分布型式也与 TTG 系列岩石较相似 (卢良兆等, 1990)。

暗色麻粒岩在这套变质岩系中约占 10~20%，但分布很普遍。它们多数成宽数米到十余米的似层状，赋存于浅色麻粒岩或黑云斜长片麻岩中，接触关系一般相当平直，彼此片麻理产状一致，但有时可见浅色花岗质脉体穿入暗色麻粒岩中，或在顺片麻理延伸方向上暗色麻粒岩被浅色紫苏斜长花岗质岩石所代替的侵入接触关系。另一些剖面中它们成宽几十米到数百米的块状地质体出现。本类岩石一般为中-粗粒粒状变晶结构和块状构造，辉石和角闪石总含量常 $>30\sim40\%$ ，其余为中基性斜长石，不含石英。最常见类型为暗色角闪二辉麻粒岩，小部分为辉石斜长角闪岩。产状特征及局部残留组构说明它们多数是先期侵入上壳岩中的顺层侵入体，后来花岗岩浆侵入时，有些就成为残留的包体，接着又经变形和麻粒岩相变质重结晶作用而具有现在的岩性和产状特征。当然也不排除有小部分暗色麻粒岩的原岩可能为中基性熔岩。本类岩石的化学成分相当于拉斑玄武岩系列岩石，稀土元素分布形式多数属于平坦型，但有些样品中 LREE 稍显富集，其特征介于 Condic (1976) 所划分的太古宙 TH_1 和 TH_2 型拉斑玄武岩之间，有些则更接近于 TH_2 型。它们可能是地幔部分重熔成因的岩浆侵入上壳岩中的产物，其形成环境基本属于岛弧区 (卢良兆等, 1990)。

黑云斜长片麻岩在这套变质岩系中也占有一定地位，一般与紫苏斜长花岗质岩石成互层，但有些地段则较大面积分布。它们成层性极好，中细粒均粒结构，片麻理很发育，一般黑云母含量较高，可达 15~20% 以上，常还含少量辉石、角闪石或石榴石。浅色矿物为酸性斜长石和不定量的石英。在麻粒岩系和孔兹岩系的过渡带，如兴和黄土窑地区见到大量这种片麻岩与富含矽线石和石榴石的钾长片麻岩等成互层，还可见到黑云变粒岩-黑云斜长片麻岩-石榴黑云斜长片麻岩成韵律式互层。上述产状特征表明其原岩是层状上壳岩。在怀安和天镇地区，这类片麻岩也有一定数量，它们单层厚数米至数十米不等，岩性特征与上述过渡带所见者完全相同，这类黑云斜长片麻岩虽经常与浅色麻粒岩和紫苏斜长花岗质片麻岩成互层，但两者不仅矿物成分和组构不同，化学成分也有差别，黑云斜长片麻岩以较富钾，有时 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ，且稍富 Al_2O_3 而不同于浅色麻粒岩。有时在这类黑云斜长片麻岩附近还有零星分布的含矽线石榴浅粒岩或片麻岩、石墨片麻岩和磁铁石英岩等夹层，它们彼此完全为整合关系。因此这类黑云斜长片麻岩的原岩应为沉积成因的上壳

岩，而不是花岗岩类。

值得指出的是这套变质岩系中与黑云斜长片麻岩成互层的常还有一类仅含微量（ $<2\sim 3\%$ ）辉石和磁铁矿的极细均粒浅粒岩，它们基本由斜长石和石英组成，有时含有少量浑圆状碎屑状锆石。它们成层性良好，有时还成十余厘米的薄层状，与含辉石黑云斜长片麻岩一起形成和谐的复杂揉皱，推测其原岩应为中酸性凝灰质沉积岩。

综上所述，本区这套麻粒岩系中存在一定数量的层状上壳岩，如按一些剖面中黑云斜长片麻岩和含磁铁辉石浅粒岩出现的频率作粗略估计，它们可能约占岩石总量的 $20\sim 30\%$ ，它们的原岩主要为中酸性凝灰质硬砂岩及小部分粘土质粉砂岩，并含有零星的硅铁质沉积物和富炭质粉砂岩类夹层，可划为火山—沉积成因的复理石建造。这套装壳岩基本形成于岛弧环境，其中先有较普遍的深源中基性岩侵入，接着由于构造作用进入下部地壳后又有大量斜长花岗质岩石以较分散的顺层形式侵入，后者可能占全区岩石总量的 $60\sim 70\%$ 。后来它们又一起经受深层次的变形作用和麻粒岩相变质作用，结果形成这套特征的麻粒岩系。

2. 砂线石榴钾长（二长）片麻岩—长英质粒状岩石及钾质花岗岩系（孔兹岩系）

这是占研究区变质杂岩出露总面积 $2/3$ 左右的主要变质岩系，也是本文的研究重点。它们分布于本区的中部至西部白兴和、察右前旗经集宁、卓资和凉城直至和林格尔和右玉县一带（图 1-1、1-2）。总体呈 NEE 方向展布，南北宽 $70\sim 120\text{km}$ ，其南侧界线已见前文，北侧大致以集宁—呼和浩特铁路为界，与属于另一变质地体的太古宙乌拉山群等相邻，前文已述及此界线为长期活动的大断裂带，现为中新界所覆盖。这套孔兹岩系在研究区内东西延伸约 220km ，东端至兴和县东部为大面积中新界所覆盖，越过盆地再向东至张家口以北和以东地区，虽又大面积出露早前寒武纪变质杂岩，但孔兹岩系已不再出现。究其原因，除后期构造影响外，考虑到本区孔兹岩系的分布范围总的来看是西宽东窄，所以也有可能它们向东逐渐灭减，相反，其西端则呈变宽之趋势，虽目前在和林格尔县以西这套变质岩系已没入河套平原之下，但至包头以南平原区，在东胜西北的两个钻孔中，发现基岩仍为麻粒岩相的砂线石榴片麻岩类，再向西至宁夏北部海勃湾地区的千里山群仍为类似的麻粒岩相变质杂岩，由此可见这一以孔兹岩系为主体的麻粒岩相变质带规模很大，东西延伸至少 600km 以上，南北宽达百余公里，研究区仅为其较窄的东端。

本区孔兹岩系中占绝对优势的岩石是普遍含不同数量砂线石和石榴石的钾长（二长）片麻岩和长英质粒状岩石，后者包括变粒岩、浅粒岩和长石石英岩等，它们成互层状出现。有时这两种特征矿物总含量可高达 $30\%\sim 40\%$ 以上，黑云母则常较为次要。多数情况下这些岩石均不同程度受花岗质岩浆的混熔（溶）作用，成为较粗粒，岩性极不均匀的砂线石榴钾长（混合）片麻岩，其次为大量各种类型的钾质花岗岩，此外还有相当次要的各种麻粒岩、大理岩和钙镁硅酸盐岩石等夹层。

根据岩石组合特征的不同，孔兹岩系分布区可划分出三个岩相带（图 1-1、1-2），它们都呈 NEE 方向平行展布，与整个孔兹岩系的延伸方向完全一致。

（1）中部岩相带

这个带是本区孔兹岩系的主体部分，占其出露总面积的 $3/4$ 左右，以卓资、凉城和前旗地区为核心。其南侧以兴和县下白窑，大同窑至丰镇浑源窑一线与南部岩相带相邻，北侧以卓资县大什字公社—花山—卓资县城一线与北部岩相带相连接（图 1-1、1-2）。

此带内上壳岩占 $1/2$ 左右, 其中 90% 以上是含 (或富含) 矽线石和石榴石的钾长 (少数为二长) 片麻岩和浅粒岩及长石石英岩。其中还常见少量含 (或不含) 石榴石的黑云变粒岩和斜长片麻岩, 局部地段这类夹层增多, 如在丰镇县北部见到它们与矽线石榴钾长片麻岩成互层。另一方面有些露头中还见到宽数厘米到数十厘米的矽线石榴石岩或石榴矽线石片岩透镜体或夹层, 它们之中这两种矿物总含量可高达 50%~70%, 另为石英和次要的黑云母, 或还有钾长石。矽线黑云片岩夹层也偶可见到。另一类偶见的夹层为黑云辉石变粒岩、角闪黑云斜长片麻岩和方柱石透辉斜长片麻岩等, 极个别地点也偶见镁杆榉石大理岩小透镜体。

这个带内麻粒岩极少, 按 1:20 万地质图资料及本次区域地质观察的结果估计, 它们只占出露上壳岩的 3%~5%, 在卓资地区极为罕见, 凉城到前旗一带稍为常见, 但分布很零星, 一般规模很小, 成宽数十厘米到数米的似层状、透镜状或更小的不规则团块状, 赋存于矽线石榴钾长片麻岩或花岗质岩石中。成脉状穿切变质岩片麻理者极少, 还有少数规模稍大者, 成面积数平方公里的不规则小岩体, 如凉城沙乎子乡以北, 卓资县羊圈湾公社的中营子以南, 前旗的徐武家等地所见。它们一般均为中粗粒块状的暗色角闪二辉麻粒岩, 偶含少量石榴石。其原岩显然都是中基性岩床及小侵入体。

这个带的各种上壳岩普遍受到强烈的花岗岩浆混熔 (溶) 作用, 多数现为粒度和矿物成分都极不均匀的含矽线石石榴石钾长 (混合) 片麻岩, 其中残留一些细均粒变晶结构的同种变质岩。麻粒岩中也常发育后期岩浆物质加入所成的钾长石斑晶和石英眼球体及一些伟晶质岩脉。

这些上壳岩的片麻理产状, 目前主要反映本区第三期构造运动叠加后所成的构造形式, 即以轴向 NEE, 轴面较陡的开阔褶皱为主。岩层中还普遍发育高温韧性变形带, 许多岩石具有剪切变形所成的流动构造, 石英常呈拔丝构造, 部分岩石为糜棱片麻岩。

花岗质岩石在中部带占 $1/2$ 左右, 凉城和卓资地区分布更广, 它们多数属于区域性混染型花岗岩, 岩性极不均匀, 可划分许多类型, 常含不同数量的石榴石, 有时还有矽线石, 并有大量经不同程度改造的围岩包体, 它们也受到韧性变形作用的影响, 有些强变形带就发育于花岗岩体之中。

(2) 南部岩相带

这个带实际是本区孔兹岩系和麻粒岩系之间的过渡带 (图 1-1), 原始宽度可能达数千米。由于多期褶皱作用的叠加, 加上中生代断裂带的广泛发育和中生界的掩盖, 致使这个带的变质岩层目前出露很零星。它们只在兴和县店子村到黄土窑和丰镇县浑源窑这两个向形构造地段保存较好。向西即被大面积的新生界玄武岩和沉积物所掩盖, 直至大同市以北的红寺堡附近又开始出露, 产状变为近 S-N 方向, 并一直向西南延伸到大同市西北的鸡窝洞一带。这个带的岩层由黄土窑向东则可延到天镇县薛三冬和四方冬一带, 相当于 1:20 万天镇幅地质图中所划分的右所堡组下段。由店子村向东北, 在马市口和高庙子公社之间, 由于麻粒岩系和孔兹岩系之间相隔中生界沉积, 并发育许多断裂, 所以这个岩相带的岩层没有出露。

这个带的特点是孔兹岩系和麻粒岩系的特征岩石成互层 (图 1-5)。前者常见为含石榴浅粒岩和长石石英及富矽线石榴钾长 (或二长) 片麻岩, 其中夹石榴黑云变粒岩-斜长片麻岩和若干金云母透辉石大理岩, 各种钙镁硅酸盐岩石、石榴斜长透辉石岩及 (黑云)

石墨斜长片麻岩等。值得指出的是前述中部岩相带岩石中一般不含石墨，仅个别黑云变粒岩中含少量（ $<2\% \sim 3\%$ ）石墨细鳞片，但南部带内多数上述各种岩石中均含 $1\% \sim 3\%$ 的石墨鳞片，而且其中所夹的多层石墨片麻岩具有工业价值，在黄土窑，浑源窑和红寺堡等地成为小型，中型直至大型石墨矿床。此外浑源窑等地某些大理岩和金云母透辉石岩中含低品位品质磷灰石。有关含矿性问题将在后文讨论。相当于麻粒岩系的岩层主要为浅色紫苏斜长麻粒岩，含辉石（磁铁）浅粒岩和含辉石，角闪石（或/和）石榴石的黑云斜长片麻岩等成互层，并夹较暗色的角闪二辉麻粒岩和次要的二辉斜长角闪岩。这些较暗色麻粒岩可能有两类成因，多数成宽几十厘米到几米的似层状或透镜状，中粗粒块状构造，原岩为顺层侵入上壳岩中的中基性岩；另有小部分宽仅数厘米到十余厘米，成整齐的薄层状夹于含辉石浅粒岩中，有时两者一起形成极复杂但协调的层间揉皱，它们为细均粒（ $0.5 \sim 0.8\text{mm}$ ）结构，推测原岩可能为层状凝灰质沉积岩。

上述两大类岩石的互层方式各地段有所不同。在黄土窑地区（图 1-5），各种含矽线石和石榴石的岩石主要成厚数十米到数百米的独立岩性段与厚度相似或更大的麻粒岩-辉石黑云斜长片麻岩类岩层成反复互层。在浑源窑地区（图 1-8）则见到含矽线石和石榴石的岩层和石墨片麻岩主要成数米到 10 余米的单层，分散地夹在麻粒岩类岩层中，而且大理岩夹层稍多一些。在红寺堡一带，两类岩石也是成这种较分散形式的互层，但该处出现较多含辉石的富石榴斜长浅粒岩，它们粗粒块状，含石榴石（ $15\% \sim 25\%$ ）和少量单斜辉石（ $5\% \sim 10\%$ ），其余主要为斜长石，而石英含量则一般 $<10\%$ ，它们可与矽线石榴长石石英岩，薄层含辉石浅粒岩及大理岩等成韵律式互层，应为泥灰质原岩变质所成的钙镁硅酸盐岩石。

这个带的上壳岩受花岗质岩浆混熔（溶）作用的影响比中部带弱得多，区内没有与变质事件有成因联系的花岗岩体，大部分岩石较好地保留早期变质作用所成的细均粒变晶结构，其中只有一些伟晶质或长英质脉体不均匀地顺层贯入。

这个带岩层的构造特征是在早期（ F_2 ）NEE 或近于 E-W 方向的区域性同斜紧密褶皱的基础上，由于后来的另一幕（ F_3 ）构造作用的叠加，区域片麻理产状被改造成 NNE 到 S-N 方向，并形成黄土窑和浑源窑等貌似开阔，但实际很复杂的向形构造。另一特点是这一岩相带岩层中韧性变形带的发育也不如中部带那样普遍，多数岩石保持早期变质过程所成的等粒粒状变晶结构。

（3）北部岩相带

这个岩相带西段分布于区域北部卓资县大什字乡-花山-卓资县城一线以北和京包铁路线以南这一地带（图 1-1），中段被中新界掩盖，仅零星出露，东段出露于集宁市西部和西南部，再向东又被大面积新生代玄武岩和沉积物所掩盖。此带总体呈 NEE 方向延伸，现出露宽度为 $8 \sim 12\text{km}$ 左右，北部可能与乌拉山群以断裂带相邻，但现为中生界所掩盖。

北部岩相带主要由钾长花岗质片麻岩-花岗岩，大理岩和麻粒岩及角闪质岩石组成（图 1-3）。

钾长花岗质片麻岩-花岗岩和浅粒岩在这个带占有主要地位。其岩性一般为中至细粒较均粒结构，主要由钾微斜条纹长石和石英等组成，部分岩石还含少量酸性斜长石。有些地段它们粒度加粗，钾长石成似斑状晶体。暗色矿物一般仅 $1\% \sim 2\%$ ，最常见是细粒磁

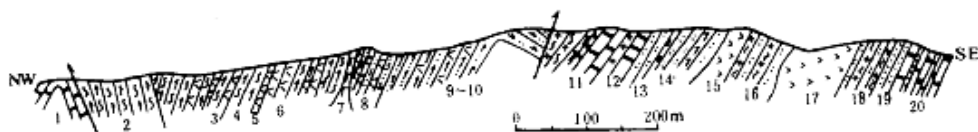


图 1-3 前旗三岔口公社东沟孔磁岩系北部岩相带地质剖面图

1-蛇纹石化大理岩；2-细粒粉红-灰黄色黑云辉石片麻岩，有条带状红色花岗质脉体贯入；3-同上，含暗色辉石斜长角闪岩透镜体；4-细粒辉石黑云片麻岩；5-粗粒二辉斜长角闪岩；6-黑云辉石斜长片麻岩与辉石斜长角闪岩及麻粒岩互层；7-后期辉绿岩脉；8-含黑云母磁铁矿浅粒岩夹薄层二辉斜长角闪岩和麻粒岩；9-10-含辉石浅粒岩夹角闪二辉麻粒岩（单层厚1~2m）多层；11-花岗质岩石夹暗色麻粒岩，下部为大理岩；12-透辉石大理岩，中有伟晶岩脉贯入；13-厚层块状含磁铁矿浅粒岩-长石石英岩；14-含紫苏浅粒岩夹暗色中粗粒二辉麻粒岩；15-粗粒块状暗色辉石斜长角闪岩；16-红色花岗质片麻岩及浅粒岩；17-粗粒块状暗色二辉斜长角闪岩和角闪二辉麻粒岩；18-红色钾长浅粒岩及花岗质片麻岩；19-石英岩及长石石英岩；20-大理岩夹石英岩，中有花岗岩及伟晶岩脉穿入

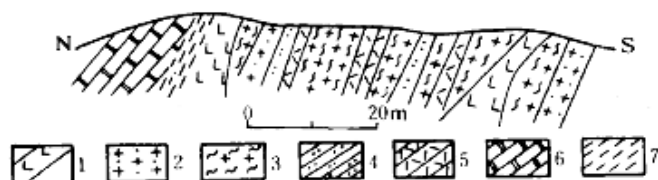


图 1-4 钾长花岗质片麻岩与其它变质岩成互层
(前旗三岔口公社西公路旁)

1-红色伟晶岩脉；2-白岗质钾长花岗片麻岩；3-含黑云辉闪花岗质片麻岩；4-浅粒岩；5-角闪二辉麻粒岩-二辉斜长角闪岩；6-大理岩；7-麻粒岩化带

铁矿，有时还有微量辉石、角闪石或黑云母，石英常成条痕状集合体，使岩石具有明显的片麻理。在卓资县城以西地段，它们占出露岩石总面积的 80%~90%，成层性不明显，大面积岩性均匀，变质岩残留体少，可称白岗质钾长花岗片麻岩或花岗岩。在东段集宁市西南地区，它们在露头中一般成层性良好，成几厘米到几十厘米的薄层与浅粒

岩及暗色麻粒岩或角闪质岩石成互层（图 1-4），彼此未见穿切关系。花岗质片麻岩以中细粒花岗状结构为特征，浅粒岩则为典型的细均粒变晶结构。但无论在露头或薄片上，许多岩石都显示这两种结构的连续渐变关系，导致这两类岩石很难严格区分，它们的主要化学成分和 REE 特征也很相似。许多特征表明这套花岗质岩石基本是由极细粒含磁铁矿、辉石、角闪石或黑云母等的浅粒岩为主的上壳岩就地部分重熔及再次结晶作用所成。

大理岩是这个岩相带中目前主要残存的上壳岩，在西段，它们成一些厚几米到数十米的层状，残存于几乎不含暗色矿物的花岗质片麻岩和花岗岩中，占岩石出露总面积的 1/4 左右。在东段，大理岩含量增加，它们与浅粒岩及花岗质片麻岩等成互层状。其岩性以厚层块状者为主，有些层强烈硅化和角砾岩化，小部分为薄板状，最常见为蛇纹石化镁橄榄石大理岩，其次为含金云母、透辉石等的白云质大理岩。这些大理岩附近常见到由泥灰岩变质所成的各种钙镁硅酸盐岩石，它们含有透辉石、钙铝榴石、方柱石、角闪石或透闪石和金云母等矿物，最常见为金云母透辉石岩，此外还有一些含透辉石、透闪石和黝帘石等的石英岩和变粒岩。

目前在钾长花岗质片麻岩中残存的各种浅粒岩是这个带中原来占主要地位的层状上壳

岩,它们均以极细粒(0.1~0.3mm)均粒结构为特征,主要由钾长石和石英组成,酸性斜长石次要或极少,另含极少量暗色矿物(1~5%),以含磁铁(或/和)辉石浅粒岩为典型代表。三岔口地区还有若干含黑云母、角闪石或辉石的变粒岩和细粒黑云斜长片麻岩。并在两处剖面中见到厚度数米到十余米的砂线石榴黑云钾长片麻岩和浅粒岩,它们在大理岩或浅粒岩中成夹层,并沿倾向渐变为含磁铁(辉石)浅粒岩。

这个带中麻粒岩和辉石斜长角闪岩的含量稍多于中部带,它们分布较普遍,但单层规模不大。三岔口地区相对多一些,可达出露岩石总面积的10%~15%左右。其产状与中部岩相带所见者相似,大体可分三类:①成宽几十厘米至数米的透镜体或不规则团块残留于钾长花岗质片麻岩-花岗岩中,这种现象到处可见,西段更为普遍。②成面积数平方公里的小岩体。这种产状较少,只见于三岔口以东的河碓沟和卓资县花山以北的三元井等地。③成宽几厘米至十余米的似层状,并与红色钾长花岗质片麻岩或浅粒岩成十分整齐的“互层状”。这种产状最普遍,到处可见,如在三岔口村东南山坡上,距离仅1km左右的剖面中即出现30余“层”这种暗色岩石。它们一般为中粗粒(1~2mm)较均粒变晶结构,块状构造,部分为片麻状,一般含暗色矿物30~60%,常见为单斜和斜方辉石及角闪石,有些还含石榴石和若干磁铁矿,浅色矿物为中基性斜长石。最常见为暗色角闪二辉麻粒岩和二辉斜长角闪岩,还有少数透辉斜长角闪岩和角闪石榴斜长透辉石岩。

这个带内上壳岩残存较少,故其构造特征难以辨认。但对三岔口地区大理岩层的构造研究表明上壳岩中存在轴向为NEE的 F_1 紧密等斜褶皱(图4-6)。另一方面广泛分布的花岗质片麻岩中石英常呈典型的拔丝结构,显示它们也和中部带一样经受了一期强烈的韧性变形作用。

三、孔兹岩系和麻粒岩系的时空关系及形成时代的初步讨论

1. 两套变质岩系之间的接触关系

对本区孔兹岩系(上集宁群)和麻粒岩系(下集宁群)之间的接触关系,目前存在两类不同观点。一些学者认为它们是整合接触的一套变质岩系,只是上部和下部层位的岩相不同;另一些学者认为它们分属两套性质和成因都完全不同的变质岩系,彼此之间是不整合接触,具体各种不同认识已见前文。在充分研究前人成果,尤其是1:20万地质图及报告中全部资料的基础上,通过多次全区性地质观察和黄土窑、浑源窑及红寺堡等重点地段的详细野外地质研究及黄土窑矿区的大比例尺地质填图工作之后,本文初步认为这两套变质岩系之间不存在不整合接触关系,最直接的野外地质证据是它们分布区之间存在一个宽数千米的过渡带,即本文所划分的孔兹岩系的南部岩相带。在此带范围内,这两套变质岩系各自的特征性岩石组合成不同形式的整合互层。这种现象在许多剖面中都很典型。如黄土窑地区由不列窑沟沟口沿东南方向进沟所见剖面如下(图1-5)。

(1) 砂线石榴浅粒岩-长石石英岩和较富含砂线石榴的钾长片麻岩互层,多数岩石含石墨鳞片,底部为一层厚5m的透辉石大理岩。 >390m

(2) 厚层中粒均粒浅色-中色紫苏麻粒岩夹少量辉石黑云斜长片麻岩。 120m

(3) 含石墨砂线石榴钾长片麻岩,石榴长石石英岩夹石榴黑云斜长片麻岩及数层黑云石墨斜长片麻岩(矿层)。 128m

(岩层强烈褶皱的小断裂带、局部小沟谷掩盖) 30m