

程裕淇 杨崇辉 等著

太行山中北段

早前寒武纪地质和深熔作用 对地壳岩石的改造

地质出版社

中国地质调查项目(编号:199913000003)

国家自然科学基金项目(编号:49872024)

太行山中北段早前寒武纪地质 和深熔作用对地壳岩石的改造

程裕淇 杨崇辉 万渝生 刘增校 著
张西平 杜利林 张寿广 伍家善 高吉凤

地质出版社

· 北 京 ·

序

《太行山中北段早前寒武纪地质和深熔作用对地壳岩石的改造》专著是中国地质调查局 1999 年下达的研究项目“太行山北段阜平群的基本组成特征和深熔作用对地壳岩石的改造”的研究总结。该项目原由程裕淇院士负责,2002 年 1 月 2 日程老不幸病逝后,项目由杨崇辉研究员负责,并主持完成专著的编写。

本项目在程裕淇院士的亲自组织和领导下,通过项目全体成员的共同努力,研究取得了显著的进展,概括为三大方面,已在专著中作了全面的反映。

一、地层方面,在前人工作的基础上,将原阜平群解体,重新划分为狭义的阜平岩群和湾子群,推断二者之间可能存在不整合;确定了原龙泉关群或龙华河群实际为一构造杂岩带;认为阜平岩群形成于 2.7~2.54Ga 期间;建立了研究区的主要地质年代格架;按新的思路编制了研究区 1:25 万地质图。

二、系统总结了研究区内变质深成岩的特征,纠正了部分错划的 TTG 岩系。

三、发现和总结出了一系列的深熔作用现象,建立了深熔作用的野外标志及显微镜下的岩相学标志,如发现并命名了深熔作用形成的角闪石和斜长石的“网格状结构”,微斜长石的铰链结构,补片状反条纹长石及长英质岩石的齿状花岗变晶结构等。对深熔作用初期过程中的矿物形态、结构和成分变化也作了较深入的探讨。初步总结认为深熔作用的初期以长英质矿物的熔融、重结晶及黑云母和角闪石以脱水熔融为主。

通过对本区浅粒岩、黑云母变粒岩-黑云斜长片麻岩和角闪质岩石等三大类岩石进行地球化学和 Nd 同位素组成的系统研究表明:不论何种岩石,其深熔产物与母岩相比,常量元素组成上都有向低共熔点靠近的趋势。新生浅色体稀土元素总量降低,其降低程度与深熔程度有关。多数情况下,深熔(浅色体)与熔融母岩稀土元素配分曲线近于平行,但深熔程度很低时,新生浅色体稀土模式与熔融母岩稀土模式存在明显区别。深熔作用是否存在明显的分异及副矿物变化对稀土及某些微量元素的地球化学行为起了重要的控制作用。当新生体(浅色)与熔融母岩稀土模式相似时,其 Nd 同位素组成也无明显区别,反之亦然。研究表明尽管深熔作用过程中存在 Nd 同位素不平衡现象,但对具正常稀土组成的地壳成因的 S 型花岗岩,其 Nd 同位素组成与熔融母岩并无很大差异。

研究发现,在中高级变质岩区,区域变质作用、混合岩化作用和深熔作用常三位一体,太行山地区也不例外,说明它们成因上紧密相关。

在研究区内深熔作用较强的地方确定了平阳小觉等地不同岩性的地质体具有原地花岗岩体的特征,并对平阳岩体形成的主要控制条件作了重点解剖,尽管有些学者对该岩体的成因有不同认识,作者等还是以深熔-混合岩化的观点,提出了自己的重要论据。

在本区产于一定岩层中的矽线石石英(球)集合体,研究认为是岩石在深熔作用过程中特殊条件下的产物,与某些学者认为是花岗岩中的残留体认识不同。

研究证明,研究区内存在 2.5Ga 和 1.8~2.0Ga 的两期区域变质作用并伴随两期深熔作用。

以上三方面的进展,在项目评审时得到高的评价,特别是深熔作用研究方面,不少具有创新和立典意义。

深熔作用和混合岩化作用是变质动力学的重要组成部分,受到国内外众多学者的关注,提出了许多理论认识和研究思路,对于深熔作用的概念一直存在不同的认识和理解,程裕淇院士多年来一直对此十分关注,并作了深入的研究,发表了许多有价值的论著。本专著中深熔作用研究部分,基本反映了程老晚年的深熔作用和混合岩化作用的学术观点、思路以及研究方法,因此,本书是研究程老这方面学术思想的重要著作之一。

程老以耄耋之年,亲自申请立项并领导本项目研究,多次带领项目组年轻成员(包括博士生)深入深山老林,跋山涉水,不怕吃苦,不畏艰辛,指导观察和收集各种地质证据和现象,不放过任何可疑点,观察认真细致。在室内研究时,还亲自观察薄片,收集总结岩石薄片各种深熔现象,积极参加在长春开展的岩石深熔实验研究。他热爱祖国和地质事业,对科研工作严格、认真、细致,一丝不苟,工作勤勤恳恳,孜孜不倦,这种爱岗敬业的精神和严谨细致的学风,是我们学习的榜样。程老逝世已近三年,但他的音容笑貌,仍历历在目,在此专著即将出版之际,我们深深怀念他,要继承他的遗志,学习他的爱岗敬业精神和严谨学风,把科研工作搞得更好。

沈其韩

2004年11月于北京

目 录

序

第一章 绪论	(1)
第一节 任务的由来及目的	(1)
第二节 研究区地理概况	(2)
第三节 区域地质概况及研究简史	(3)
第四节 工作概况	(5)
第五节 主要成果	(5)
第二章 原阜平群的解体及其基本组成特征	(7)
第一节 原阜平群的基本特征与地质体划分	(7)
第二节 阜平岩群($A_{R_3}F.$)的基本组成特征	(8)
一、索家庄岩组($A_{R_3}s.$)	(8)
二、元坊岩组($A_{R_3}y.$)	(10)
第三节 湾子群($A_{R_3}W$)基本组成特征	(14)
一、地层特征	(14)
二、岩石类型	(15)
第四节 变质深成岩	(21)
一、阜平旋回变质深成岩	(22)
二、湾子旋回变质深成岩	(24)
三、吕梁旋回变质侵入岩	(28)
第五节 龙泉关构造-杂岩带($A_{R_3}L_c$)	(30)
一、构造-杂岩带的岩石单位及地质特征	(30)
二、构造-杂岩带变形基本特征	(33)
第六节 研究区基底构造的基本特征	(35)
一、工作区总体构造特点	(35)
二、主要的构造形迹	(36)
三、褶皱系列	(37)
第三章 变质深成岩地球化学及有关问题	(41)
第一节 TTG 的特征及成因和动力学意义	(41)
一、TTG 的岩相学特征	(41)
二、TTG 地球化学特征	(42)
三、TTG 的成因	(46)
第二节 阜平旋回变质深成岩(TTG)的地球化学特征及其鉴别	(47)
一、大石峪深成片麻岩	(47)

二、坊里深成片麻岩	(54)
三、东庄深成片麻岩	(56)
第三节 湾子旋回变质深成岩的地球化学特征	(60)
一、杨家庄深成片麻岩(Ar_3Y_{gn})	(60)
二、南甸花岗岩($Ar_3N\gamma$)	(60)
三、茹家庄花岗岩($Ar_3R\gamma$)	(61)
四、菜树庄花岗岩($Ar_3C\eta\gamma$)	(62)
五、岗南花岗岩($Ar_3G\xi\gamma$)	(67)
六、三条占基性岩墙(Ar_3S_N)	(67)
第四章 平阳片麻状奥长花岗岩	(70)
第一节 平阳片麻状奥长花岗岩的地质和岩相学特征	(70)
一、平阳片麻状奥长花岗岩的产状	(70)
二、平阳片麻状奥长花岗岩的岩相学	(70)
三、平阳片麻状奥长花岗岩内变质表壳岩残留体及变质基性岩包体、岩片	(74)
四、平阳片麻状奥长花岗岩的过渡带	(75)
五、平阳片麻状奥长花岗岩与褶皱构造的关系	(75)
第二节 平阳片麻状奥长花岗岩的地球化学	(78)
一、平阳片麻状花岗岩的岩石化学成分	(78)
二、平阳片麻状花岗岩与相关岩石的主要元素	(81)
三、平阳片麻状花岗岩与相关岩石的稀土元素和微量元素	(82)
四、平阳片麻状花岗岩与相关岩石的 Sm-Nd 同位素	(84)
第三节 平阳片麻状花岗岩及部分变质岩的副矿物	(86)
一、主要岩石中的副矿物组合	(86)
二、锆石	(87)
第四节 平阳地区的变质作用特点	(89)
一、变质作用、深熔作用及混合岩化作用	(89)
二、变质作用的温压条件	(89)
三、变质作用的 $p-t$ 演化	(94)
第五节 平阳片麻状奥长花岗岩的成因讨论	(95)
一、变质岩→混合岩→原地深熔花岗岩	(95)
二、平阳片麻状花岗岩的物质来源及演变	(96)
三、平阳片麻状奥长花岗岩的形成	(99)
第五章 深熔作用的基本特征及其对岩石的改造	(100)
第一节 深熔作用的概念及有关问题	(100)
第二节 深熔作用的宏观表现(野外标志)	(101)
一、浅粒岩类	(102)
二、变粒岩-片麻岩类	(102)
三、角闪质岩石	(103)
四、变质深成岩类	(103)

第三节 深熔作用过程中岩石结构及矿物特征和成分的变化	
——深熔作用的微观标志	(103)
一、深熔作用导致的矿物粒间结构的变化	(103)
二、石英的变化	(104)
三、碱性长石的变化	(104)
四、斜长石的变化	(105)
五、黑云母的变化	(106)
六、角闪石的变化	(107)
第四节 深熔作用的主要控制因素及形成机理	(108)
第六章 深熔作用的地球化学研究	(110)
第一节 斜长角闪岩及深熔产物	(110)
一、地质和岩相学	(110)
二、地球化学	(111)
三、讨论	(115)
四、结论	(116)
第二节 黑云变粒岩—片麻岩及深熔产物	(117)
一、地质和岩相学	(117)
二、地球化学	(117)
三、讨论	(125)
四、结论	(127)
第三节 浅粒岩及深熔产物	(127)
一、地质及岩相学	(127)
二、地球化学	(127)
三、讨论	(130)
四、结论	(132)
第四节 矽线石英集合体浅粒岩及深熔产物	(132)
一、地质及岩相学	(132)
二、地球化学	(133)
三、讨论	(138)
四、结论	(142)
第五节 深熔作用的地球化学制约	(142)
第七章 主要地质单元的 SHRIMP 锆石年龄及年代格架	(144)
第一节 阜平岩群的 SHRIMP 定年结果	(144)
第二节 湾子群的 SHRIMP 定年结果	(150)
第三节 变质深成岩(TTG)SHRIMP 定年结果	(153)
第四节 龙泉关剪切带中糜棱岩化花岗闪长质片麻岩 SHRIMP 定年结果	(156)
第五节 变质基性岩脉的 SHRIMP 定年结果	(157)
一、大柳树变质基性岩脉	(157)
二、康家峪变质基性岩脉	(160)

第六节 深熔浅色体及伟晶岩脉的 SHRIMP 定年结果	(164)
一、深熔浅色体的 SHRIMP 定年结果	(164)
二、板桥沟伟晶岩脉的 SHRIMP 定年结果	(166)
第七节 地质年代格架	(170)
第八章 对本次工作的反思及对太古宙长英质片麻岩区地调工作的一些建议	(172)
一、存在的主要问题	(172)
二、对太古宙高级变质区长英质片麻岩工作的几点建议	(172)
后记	(178)
参考文献	(179)
图版说明	(186)

第一章 绪 论

第一节 任务的由来及目的

20 世纪 80 年代以前,由于认识和观念上的问题,人们在区域地质调查和研究过程中,常常忽视变质深成岩的存在,不是将其划为混合岩,就是归为副片麻岩的变质地层。20 世纪 80 年代以来的变质岩地区的区域地质调查,在改正以往地层“一统天下”的缺点、借鉴国外深变质岩区对 TTG 研究方面的经验时,又存在没有认真研究和总结工作地区地质特征,而机械套用的情况,没有认真区分不同成因的片麻岩,有的将 TTG 扩大化,有些甚至走向了另一个极端——“泛花岗岩论”,否认混合岩化作用的存在,在地质单元的划分中也相应地取消了混合岩化岩石、混合岩和混合花岗岩等客观存在的混合岩系列岩石名称。这种状况不仅影响到这一类地区区域地质调查工作的合理开展和图幅的质量,更不利于对我国早前寒武纪阶段地壳演化的深入研究。本项目的负责人程裕淇教授一直关注和思索这一问题,1993 年程先生参加了太行山地区 1:5 万区调协调工作会议,并进行了大范围的野外考察,更感觉到这一问题的严重性和解决这一问题的紧迫性。在野外考察过程中程先生敏锐地发现太行山地区存在着从深熔作用的初始阶段一直到最终阶段——原地花岗岩的各种深熔现象,区调填图中所划分的一些变质深成岩可能是与深熔作用有关的岩石,而深熔作用和有关花岗岩的成因研究也是国际上正在研究的热点之一。程裕淇教授从 1994 年开始便与万渝生、高吉凤、伍家善、吉成林等一起在太行山的平山、阜平等地区陆续开展深熔作用的研究,由于人员和经费的原因,只限于点上的一些工作。而太行山地区是认识华北克拉通特点和早期演化的关键部位,是华北前寒武纪构造-岩石-地层单位划分对比的重要参照物。尽管经过多年的工作,但仍有很多争议,一些关键问题尚未解决。如:表壳岩与 TTG 的区别,以及它们详细的划分依据;深熔作用与壳源花岗岩及混合岩化的关系,以及深熔作用的各种标志;新太古代(2.55 Ga 左右)和古元古代(1.80 Ga 左右)构造-热事件的性质和关系,以及这些事件与古老超大陆形成与裂解的关系;阜平群和五台群及滹沱群的关系;孔兹岩系及时代,等等。这些问题的解决对于认识整个华北克拉通的性质和演化及深熔作用对地壳岩石的改造等问题均具有示范意义,可为同类地区开展地质调查提供借鉴和积累经验。1999 年恰逢地质大调查工作全面展开,鉴于这方面研究的重要意义,当年 9 月初由中国地质调查局立项并直接下达了任务书(任务书编号:1099209022,项目编号:J1.3.1),项目由中国地质科学院地质研究所执行,协作单位为河北省区域地质矿产调查研究所。任务书规定项目的目标是“探索变质深熔地区岩石类型及其界面的合理划分和图面表示方法,在此基础上查明阜平群的基本组成特征和构造格局。研究深熔作用、混合岩化作用和壳源花岗岩的内在联系和成因演化。深熔作用对地壳岩石改造过程中的地球化学制约”。

第二节 研究区地理概况

太行山呈近南北向延伸于河北与山西两省的交界处,北连燕山,南接秦岭,为华北克拉通的重要组成部分,是我国早寒武纪地质研究的经典地区之一。研究区主要位于太行山脉中北段,地理坐标大致位于北纬 $38^{\circ}10' \sim 39^{\circ}$,东经 $113^{\circ}30' \sim 114^{\circ}30'$ 的范围内。行政区划分属河北省保定市的阜平县、曲阳县及唐县,石家庄市的平山县、行唐县和灵寿县及山西省的五台县和盂县。详细工作区范围见图 1-1。

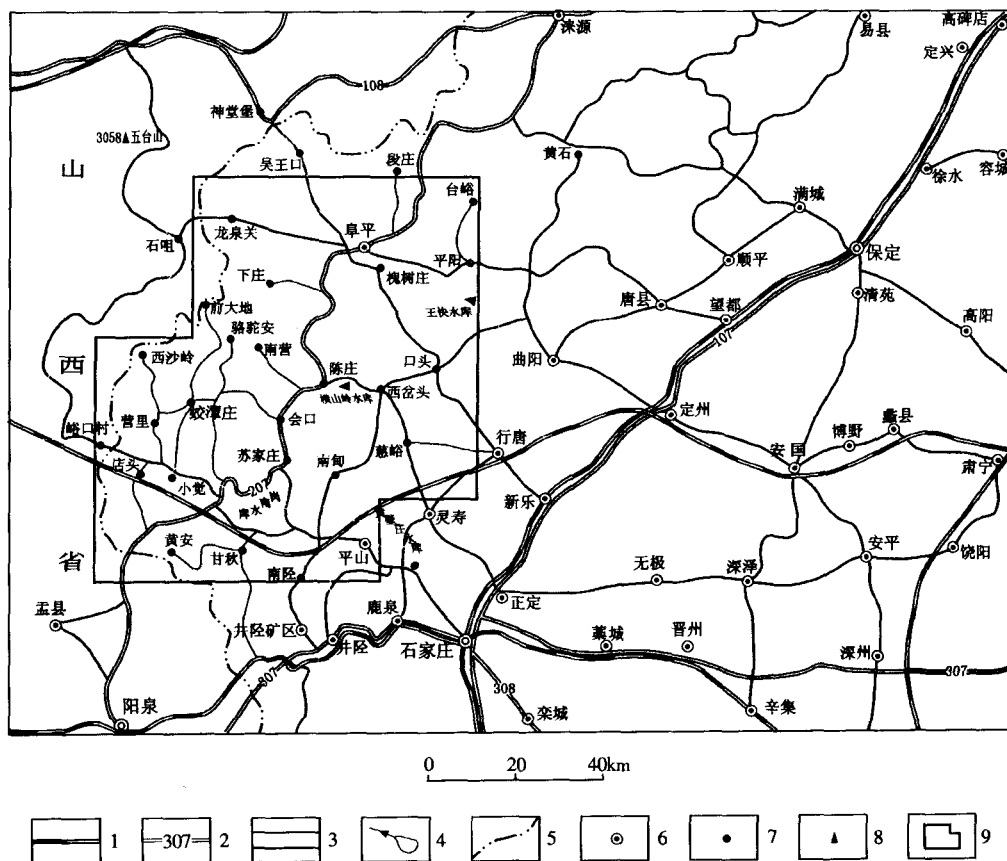


图 1-1 工作区交通位置图

- 1—铁路;2—国道及编号;3—省道及县道以下公路;4—水库;
5—省界;6—县政府所在地;7—村庄;8—山峰;9—工作区范围

研究区交通尚属方便,以公路运输为主,除有南北向纵贯研究区的 207 省道外,还有南北向纵贯研究区东侧的 107 国道和东西向横穿研究区南侧的 307 国道,各县间均有省级公路相连,乡、村间一般都有简易公路或乡间土路相通,主要沿河谷分布,在河谷之间通常有山脊分布,较难通行。在两省交界处,除了山口外,几乎不能通行。此外,朔(州)黄(骅)铁路呈东西向横穿研究区南部,对区内的交通运输起着重要的作用。

研究区地势西高东低,西部多为中高山区,海拔为 600 ~ 2 200 m,切割较深,最大高差可达 1 700 m。中部为中山地貌,海拔为 300 ~ 1 500 m,相对高差为 200 ~ 500 m。东部地势相对较低,为平原向山区过渡的丘陵地带,海拔为 200 ~ 400 m,相对高差为 100 ~ 300 m。区内的河流多为北西西向,南部属滹沱河水系,北部属大沙河水系。

第三节 区域地质概况及研究简史

研究区所在的太行山中北段,位于华北克拉通的中部偏北,主要由早前寒武纪变质岩石和少量中生代花岗岩组成。按传统的大地构造划分方案其属于华北地台(I级)山西断隆(II级)的五台台拱和太行拱断束两个III级构造单元。如果从盖层角度划分则属于燕山台褶带阜平-涞源复背斜的核部。最近 Zhao et al.(2000a,b)及赵国春等(2002a,b)等将华北克拉通划分为东部陆块、西部陆块和中部带,他们认为中部带是东、西两陆块碰撞的一个大型的造山带,研究区位于他们所划的中部带的东部。

太行山的地质研究工作历史悠久,早在 19 世纪末、20 世纪初就有中外地质工作者在区内进行研究,但主要在交通方便的地区进行路线地质调查或矿区和矿点的地质调查,资料零星。先后有李希霍芬(1871)、Willis et al.(1904)、王竹泉(1920)、王曰伦(1928)、杨杰(1931)进行过路线地质调查。比较系统的区域地质调查和研究工作是在新中国成立以后才逐步开展起来的。20 世纪 50 年代后期原北京地质学院师生在该区开展了 1:20 万区域地质测量及找矿工作,为太行山地区的早前寒武纪地层划分和区域构造研究奠定了一定的基础。谭应佳(1959)提出将这一带的太古宙地层划分为阜平系、建屏系和五台系。60 年代初河北和山西区测队对本区进行了 1:20 万区域地质调查工作,分别提交了 1:20 万阜平幅、石家庄幅、平型关幅和孟县幅区测报告。对太行山区的地质和矿产进行了系统的调查和研究。建立了早前寒武纪变质岩系著名的阜平群、龙泉关群、五台群和滹沱群,并将早前寒武纪地质演化划分为阜平期、五台期和吕梁期三个大的演化阶段。但对阜平群划分的认识并不一致,导致了不同的划分方案,最多的划分了 9 个组,孟县幅和石家庄幅等不能够完好接图。总的来说,这一轮 1:20 万区域地质调查积累了比较全面和大量的地质资料,为该地区以后的地质工作奠定了良好的基础。从 20 世纪 70 年代末、80 年代初开始至今,本区陆续开展了 1:5 万区测工作,其中最重要的进展就是从原阜平群中解体出了大量的变质深成岩,但由于跨越的时间很长,不同测区在工作程度上存在一定差异,认识上也不完全一致。90 年代末河北省区域地质矿产调查研究所张晔卿等(2000)对太行山中、北段进行了 1:5 万区调片区总结,对以往的 1:5 万区调成果进行了系统的总结,提出了统一的填图单位,是本区区调工作的一个阶段性的全面总结。

20 世纪 70 年代后期以来,中国地质科学院地质研究所、北京大学、中国地质大学、原河北地质学院、香港大学及中国科学院地质研究所等单位先后在该区开展了不同内容的基础性专题研究工作。张寿广等(1983)通过大量的野外工作及详细的大比例尺填图,揭示了太行山地区太古宙变质岩系存在着多期变形和叠加褶皱,提出了阜平太古宙穹状复合褶皱群的构造样式及其变形历史。刘敦一等(1984)对太行-五台山区的前寒武纪变质岩系进行了同位素地质年代学研究,限定阜平群沉积年龄极限值为 2.7 ~ 2.9Ga。徐朝雷等(1985)经过专题研究否定了孟县幅划分的龙华河群,认为铁堡不整合向南延伸到滹沱河一带,从而划分出五台群及七东山一带的滹沱群。王启超(1988)和王启超等(1996,2001)根据多年来的区

域地质调查工作认为,1:20万石家庄幅阜平群内划分的陈庄组和湾子组之间存在不整合面,提出划分阜平超群(包括陈庄群和湾子群)、五台超群(包括龙泉关群、石嘴群和台怀群)及甘陶河群的意见,并主要根据他自己重新计算的 Sm-Nd 年龄,将阜平超群的时代划为中太古代(3.3~2.8Ga)。伍家善等(1986,1987)对广义的阜平群进行了深入的研究,于1989年出版了《阜平群变质地质》专著,对广义阜平群的同位素地质年代学、变质及变形作用,矿物与岩石、原岩性质及形成环境、地球化学、地球物理和地壳演化等方面进行了系统研究。认为广义的阜平群是一套变质的表壳岩,并分为上、中、下三个亚群,其原岩为新太古代大陆边缘浅水盆地含火山物质的沉积岩系。张春华等(1987,1988,1990)在研究河北省的早前寒武纪变质岩时,对本区的变质作用、混合岩化作用及相应的花岗质岩石作了系统的研究。谭应佳等(1989,1993)认为本区的变质岩系的原岩是以火山岩和沉积岩为主的一套表壳岩,其中属于古侵入体的只是一小部分。在确定“小觉不整合”的基础上,在阜平群之上建立了蛟潭庄群,并对变质作用及演化、区域构造格架及序列、沉积变质矿产的控矿条件和找矿方向、早前寒武纪不整合的厘定及其研究方法等进行了研究。王凯怡等(1991)认为阜平地区的高级变质岩系主要由约占60%的灰片麻岩(TTG)构成,其余为变基性岩和火山沉积岩。李江海等(1991)认为龙泉关群不是地层单元,而是大型的低角度的推覆剪切带。郝杰等(1995)则认为不应将龙泉关群作为一个大型韧性剪切带,其应该解体为“龙泉关构造岩层”和“跑泉厂变沉积岩组”两部分,前者为“阜平古陆块”刚性基底的一部分,在新太古代末经历了一次大规模的韧性剪切作用,后者为“阜平古陆块”西北陆缘带的边缘沉积,形成于古元古代。许荣华等(1995)对龙泉关韧性剪切带进行了年代学研究,认为该剪切带形成于1.9Ga前后。Sun et al.(1992)依据阜平杂岩中片麻岩和斜长角闪岩的Nd同位素亏损地幔模式年龄认为阜平杂岩具有近于2.6Ga的年龄。而后关鸿和孙敏等(1998)等及孙敏等(2001)进一步研究认为阜平杂岩是由不同时代、不同成因的各种高级变质岩组成,其主体是2.51Ga的TTG片麻岩,并包裹了少量2.7Ga的大陆残片。牛树银等(1991,1995,1994)提出了太行山地区是总体以拉张体制为主的变质核杂岩的演化模式,阜平和赞皇隆起是两个典型的变质核杂岩,并将阜平群岩石解体为阜平表壳岩和变质深成岩。程裕淇等(1996,1998,1999,2000a,2000b,2001)在平山和阜平等地进行了大量的深熔作用的研究,初步提出了深熔作用的一系列宏观和微观标志,并讨论了深熔作用的年代等问题。刘树文等(1996,1997a,1997b,1999a,1999b,2002)及Liu et al.(2000,2002)将本区变质岩系分为阜平片麻杂岩、湾子变质层状岩系和南营花岗片麻岩三个地质单元,并对变质流体、变质作用、 pT 轨迹、同位素地质年代及矽线石石英球的成因等进行了研究。唐先梅等(1997)认为阜平片麻杂岩和湾子层状岩系之间发育了大规模的低角度伸展变形带,沿该变形带南营片麻岩侵位。Wilde(1998),Cawood et al.(1998),Zhao et al.(2000a,2000b,2001,2002)和赵国春等(2002)认为太行山-恒山-五台山是同一岛弧岩浆带,他们将其划为华北克拉通的中部带,认为是华北克拉通东部陆块和西部陆块于1.85 Ga左右发生碰撞作用的产物,正是这次事件使华北克拉通在1.80 Ga左右最终固结。贺义兴等(1999,2001)和宋书林等(2000)对小觉地区的变质岩天然样品和实验样品在熔融过程中的一些矿物相及成分变化进行了研究。吴昌华等(2000)认为狭义的阜平片麻岩为TTG片麻岩,湾子岩系的时代为古元古代,是晋蒙高级区孔兹岩系的等同物。

此外,河北省地质矿产局、冶金地质勘察队及天津冶金地质研究院还在该区开展过黄金、非金属等矿种的找矿勘察工作。

第四节 工作概况

1999年9月本项目确立后,在实施过程中实际上分为两个专题。一个专题是深熔作用对地壳岩石改造的研究,该专题又分为两个重点工作方面,一方面是重点研究深熔作用全过程(包括深熔初期弱改造所形成混合岩化岩石和进一步强改造所形成的混合岩以及最后的重熔花岗质岩石)的特征和机理;另一重点研究方面是详细解剖区内的一个深熔作用的最高产物——原地-半原地的平阳花岗岩体。第二个专题是进行面上工作,将前一专题的研究成果应用于区域地质的综合研究,确定原阜平群的基本组成特征(内涵),并编制突出本项目研究成果的1:25万前寒武纪地质图。先后参加本项目研究工作的除项目负责人程裕淇、杨崇辉外,还有万渝生、刘增校、张西平、高吉凤、杜利林、张寿广、伍家善、吉成林等。程裕淇院士不幸于2002年1月逝世,使项目研究和总结工作受到极大损失。项目组同志继承程老遗志,于2003年6月完成“太行山北段阜平群的基本组成特征和深熔作用对地壳岩石的改造”研究报告。报告是根据每人所负责的内容分别执笔的,第一章由杨崇辉编写,第二章由刘增校、杨崇辉和张寿广编写,第三章由杨崇辉、杜利林、张寿广和刘增校编写,第四章由张西平编写,第五章由杨崇辉和张寿广根据程裕淇、万渝生、高吉凤、张西平等人已发表的论文和本项目的研究成果系统整理,重新编写,第六章由万渝生、高吉凤编写,第七章由杨崇辉、杜利林、万渝生和刘增校编写,第八章由张寿广和杨崇辉编写,结束语由杨崇辉编写,报告由杨崇辉和杜利林统编定稿。书中部分图件由张森和宋迎年绘制。2003年6月30日—7月1日由中国地质科学院组织专家对该报告进行了评审。评审专家认为:“该项目在程裕淇院士的领导下,敏锐地抓住国际前沿问题,针对当前区域地质调查和研究中存在的问题,在有限的时间和不大的范围内进行了卓有成效的立典研究工作,厘定了一些原地花岗岩体,修正了一些所谓的变质深成岩,正确地划分了地层,并在深熔理论上重要的创新,这些对区域地质调查研究和找矿工作均具有重要的指导意义,是一份高水平代表国际前沿的基础科学的研究成果,建议尽快正式出版,以利交流……”项目通过评审验收后,杨崇辉和杜利林根据评审意见对报告进行了进一步的修改。在报告基础上,由杨崇辉、张寿广和杜利林负责对报告的结构和文字以及部分内容进行了修改,并最后定稿为本书。

第五节 主要成果

1)在前人工作的基础上,将原阜平岩群解体分为上下两套。下部为本文划分的阜平岩群,主要由黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、变粒岩组成,还有少量浅粒岩和基性麻粒岩,局部有延伸不稳定的碳酸盐岩石,在其分布区常见不同规模的TTG变质深成岩和以小型为主的原地花岗岩体,由于受到强烈的构造作用、变质作用和深熔作用(及由此出现的区域混合岩化)的影响,基本层序较难恢复。上部的一套地层基本层序尚可恢复,命名为湾子群,并划分为两个组:下组为厚层的钾长浅粒岩;上组的下部为钙镁硅酸盐岩石夹斜长角闪岩,上部主要为较纯的白色大理岩。确定原龙泉关群或龙华河群实际为一构造杂岩带。该带岩石普遍经历了强烈的韧性剪切变形,并且变形的岩体占据了该带的大部分空间。

2)编制了研究区1:250000早前寒武纪地质图及说明书。地质图突出表示了特殊的岩

石组合和深熔作用的特征,反映了程裕淇院士和项目组的学术思想,是一份很有新意的早前寒武纪地质图。

3)系统地总结了研究区内变质深成岩的特征,纠正了部分错划的 TTG,指出 TTG 具有特定的地质、地球化学特征和成因意义,绝不能只根据其成分与 T(英云闪长岩)-T(奥长花岗岩)-G(花岗闪长岩)相似,就确定其为 TTG 岩系。

4)发现并总结出了一系列深熔作用的野外标志和显微镜下的岩相学标志,如发现并命名了深熔作用形成的角闪石和斜长石的“网格状结构”、微斜长石的“铰链结构”、补片状反条纹长石及长英质岩石的齿状花岗变晶结构等,总结了深熔作用过程中矿物形态、结构及成分的变化特征,具有立典的意义。

5)对研究区浅粒岩、黑云母变粒岩-黑云斜长片麻岩和角闪质岩石等三大岩类及其深熔产物进行了地球化学和 Nd 同位素组成的系统研究。结果表明不论何种岩石,其深熔产物与母岩相比,常量元素组成上都有向低共熔点靠近的趋势。浅色体中有残余物存在是成分点未完全落在低共熔点的主要原因之一。新生浅色体稀土元素总量降低,其降低程度与深熔强度有关。多数情况下熔体(浅色体)与熔融母岩稀土元素配分曲线近于平行,但深熔程度很低时,新生浅色体稀土元素模式与熔融母岩稀土元素模式存在明显区别。深熔作用是否存在明显分异及副矿物变化对稀土元素及某些微量元素的地球化学行为起了重要的控制作用。当新生浅色体与熔融母岩稀土元素模式相似时,其 Nd 同位素组成也无明显区别,反之亦然。研究表明,尽管深熔作用过程中存在 Nd 同位素不平衡现象,但对具正常稀土元素组成的壳源成因 S 型花岗岩,其 Nd 同位素组成与熔融母岩并无多大差异。

6)对平阳花岗岩体进行了深入系统的研究:①查明了岩体的空间分布特征,其形态受构造和岩性控制。它位于猴石顶背斜核部的东端,岩体向东分为南北两支,主要受不同岩性地层延伸方向的控制而形成。②在岩体的边部,从围岩向岩体,存在着从黑云母变粒岩、黑云斜长片麻岩、混合岩化黑云斜长片麻岩、混合岩,向原地花岗岩的渐变过渡关系,在空间上存在高级(区域)变质作用、混合岩化作用和深熔作用的“三位一体”。确定其为深熔作用所致的原地-半原地花岗岩体。在岩体内部发现与区域走向协调一致成带状分布的基性麻粒岩和麻粒岩相岩石残留体,部分残留体显示高压麻粒岩相及后期减压退变的岩相学特征。③岩体的物质来源主要是黑云斜长片麻岩,有少量黑云变粒岩和角闪质岩石,深熔过程中有来自于围岩,也可能有源于深部的富含 SiO_2 和 Na_2O 的流体加入,岩体所显示的地球化学特征,继承了源区岩石的特征。尽管目前对平阳岩体的成因还存在不同的认识,但这次对平阳岩体所做的工作是迄今为止最系统、最全面的,它将为今后进一步研究提供重要的基础资料和启示。

7)总结了原地花岗岩体形成的主要控制条件。原地花岗岩通常出现在背斜褶皱的核部和韧性变形非常强烈的部位,并且原岩物质成分和物理性质以及变形的差别也对深熔作用起着重要的控制作用,浅粒岩、黑云母变粒岩-黑云斜长片麻岩与角闪质岩石等基性岩石相比,在同等条件下更易发生熔融或深熔程度更高,流体的存在也促进了深熔作用的发生;在深入研究的基础上,初步确定了小觉、清水口、小子石、桑园口、油文等不同岩性的地质体具有原地花岗岩体特征。

8)确定阜平岩群形成于 2.7~2.54 Ga 期间,研究区存在 2.54 Ga 和 1.8~2.0 Ga 的两期区域变质作用并伴随有相应的两期深熔作用,TTG 与早期变质同时或稍后(2.54 Ma)侵位,并初步建立了研究区的地质年代格架。

第二章 原阜平群的解体及其基本组成特征

第一节 原阜平群的基本特征与地质体划分

20 世纪 60 年代初期河北区调队、山西区调队在太行山北段进行了 1:20 万区域地质调查工作,提交了 1:20 万阜平幅、石家庄幅、孟县幅、平型关幅等区测报告。将太行山北段早前寒武纪变质岩系建立了著名的阜平群、龙泉关群、五台群、滹沱群,厘定了早前寒武纪三个大的演化阶段——阜平期、五台期、吕梁期,建立了区域构造格架。80 年代张寿广等(1983),伍家善等(1989)以及《河北省北京市天津市区域地质志》将阜平群、龙泉关群合称阜平群,建立上、中、下三个亚群,包括九个组(表 2-1)。

表 2-1 阜平群划分沿革表

平型关幅 (1966)		伍家善等 (1989) 张寿广等 (1983)		河北省北京市天津市 地质志(1989)		河北省 1:50 万 地质图(2001)		本 书					
五台群		五台群		五台群		古元古代晚期	基性酸性 变质侵入岩	古元古代	吕梁旋回	扣子头辉绿岩墙 上庄花岗岩 白羊岭花岗岩 杨木桥超基性岩			
龙泉关群	榆树湾组	上亚群	跑泉厂组	上亚群	榆树湾组					新太古代早期	涞源片麻岩套	新太古代	湾子旋回
						阜平群	中上部	中下部	红土坡组 四道河组 木厂组 漫山组				
阜平群	中下部	下亚群	南营组 团泊口组 索家庄组	中太古代	阜平片麻岩套					古元古代	阜平旋回	段水基性岩墙	
						索家庄组	下亚群						

不论是 1:20 万区测报告、区域地质志,还是 20 世纪 80 年代的专题研究工作,都是按照变质地层学原理进行的。认为区内阜平群变质岩均为副变质岩,按变质岩石组合、火山-沉积旋回等进行地层的划分和对比,建立为若干个组,并建立起连续地层层序。

“八五”期间,本区开展了新一轮 1:5 万区域地质调查,在《1:5 万区调填图方法指南》的指导下,在变质岩区采用构造-地(岩)层-事件法或构造-岩石法填图,将本区太古宙变质杂岩区分为变质地层和变质深成岩,并建立了区域地质事件演化序列。变质地层中,紧闭倒转褶

皱的发现和研究,突破了前人对本区“含铁岩系和碎屑岩-碳酸盐岩系的多次重复出现属于不同层位”的认识,使变质地层划分迈出了突破性的一步。变质深成侵入体的认识和圈定打破了多年来变质岩区变质地层一统天下的局面。

本次地质调查和研究是在前人成果基础上进行的,以当代变质地质学的理论为指导,充分运用建造与改造相结合、变形与变质相结合、宏观与微观相结合的研究方法,正确区分变质岩石类型、判别原岩建造、划分岩石地层或构造岩石单位。采用以岩层、岩石类型组合特征、产状特点、接触关系、包体特征、标志层、变余组构及岩石地球化学特征和同位素资料为依据,以岩石单位为基础,划分鉴别地质事件和构造演化为主线,客观认识自然为目的的方法,将区内原阜平群解体为变质地层和变质深成岩两大类,划分出一条构造-杂岩带,变质地层进一步划分为阜平岩群、湾子群、麻河清岩组(表壳岩)。变质深成岩划分为阜平旋回、湾子(五台)旋回、吕梁旋回3个岩浆演化阶段。共划分出21个组级岩石填图单位(表2-1)。

第二节 阜平岩群($Ar_3F.$)的基本组成特征

阜平岩群以多次叠加褶皱形式呈近东西向分布于坊里、阜平、城南庄、陈庄、小觉、古月等广大地区,是本区早前寒武纪变质岩石的主体,也是本区最早的变质成层岩系。它是由一套层状、似层状黑云斜长片麻岩、黑云(角闪)斜长片麻岩(局部含紫苏辉石、石榴子石和刚玉等矿物)、斜长(二长)变粒岩、二辉斜长麻粒岩、透辉变粒岩、斜长角闪岩、浅粒岩及不纯大理岩、紫苏磁铁石英岩等组成。变质级别属麻粒岩相-高角闪岩相。组成该岩群的原岩主要为:长石砂岩、硬砂岩、含泥质砂岩、硅铁质岩、含碳酸盐质粘土岩及碳酸盐岩,并夹有中基性火山岩及中基性火山凝灰岩。本岩群普遍遭受区域混合岩化作用,形成各类混合岩化岩石,脉体以细粒斜长石英质为主,白色粗粒及红色伟晶质脉体次之。该套地层表现为岩性层状无序,大套组合有序。

根据岩石组合、沉积旋回、火山喷发、标志层组合等特征,将该岩群划分为索家庄岩组和元坊岩组。

一、索家庄岩组($Ar_3s.$)

1. 地质特征

本岩组为区内最古老地层,命名地位于灵寿县索家庄。索家庄岩组主要分布于索家庄、陈庄、大柳树、坊里等地,分别构成索家庄背斜、大柳树短轴背斜及坊里背斜的核部。由于构造发育的规模不同,因而被剥露出来本岩组地层的层位有所差异。大柳树一带背斜核部较宽,本岩组出露较多,包括了较低层位的岩层。

本岩组中下部岩石,在索家庄—陈庄一带主要为黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、浅粒岩,中间夹(紫苏)斜长角闪岩、含磁铁紫苏石榴石英岩或紫苏透辉斜长麻粒岩组合,局部地段发育一层斜长角闪岩夹透镜状白云质大理岩;向北到大柳树一带,磁铁紫苏角闪石英岩夹层常见,斜长角闪岩增多,并在片麻岩中出现紫苏辉石,发育基性麻粒岩、二辉斜长麻粒岩、含紫苏黑云斜长片麻岩等;再向北到坊里—段庄一带则主要是条带状黑云斜长片麻岩夹斜长角闪岩,岩性比较单调,其中黑云斜长片麻岩靠下部层位,角闪石含量有所增加。

上部是标志层组合,为斜长角闪岩夹透辉岩、透辉斜长变粒岩和杂色大理岩。大理岩为

蛇纹石化镁橄榄石大理岩、橘红色透辉大理岩、方柱透辉大理岩、白色金云大理岩等,多以似层状夹于斜长角闪岩、变粒岩中。沿走向,不纯大理岩可相变为斜长角闪岩、钙硅酸盐岩等,在大柳树附近则为斜长角闪岩夹含铁石榴紫苏石英岩。

岩石变质程度达麻粒岩相,经历了至少两期混合岩化作用,发育白色斜长石英质条带和肉红色钾长石英质条带。白色条带又有粗粒和细粒之分。细粒白色条带呈条痕状、条纹状与基体片麻理一致,且较连续,可与基体片麻理一起发生揉皱。粗粒的白色条带常被红色脉体切穿或改造。

该岩组中已取得同位素测年数据有:阜平大柳树周围斜长角闪岩、角闪二辉麻粒岩 Sm-Nd 一致线年龄为 $(2790 \pm 171)\text{Ma}$;黑云二长片麻岩碎屑锆石 U-Pb 一致线年龄为 $(2800 \pm 230)\text{Ma}$ (伍家善等,1980,1986)。本次工作测得大柳树长英质麻粒岩中碎屑锆石的年龄在 2700Ma 左右,并经历了 2538Ma 左右的麻粒岩相变质和 1820Ma 左右的角闪岩相变质,依此推断该岩组形成于 2700~2538Ma 之间,属新太古代。

2. 岩石类型

(1) 黑云斜长片麻岩

黑云母片麻岩类为本岩组中最常见岩石,呈灰-浅灰色,中-中粗粒鳞片粒状变晶结构,片麻状及条带状构造。主要组成矿物:斜长石(中-奥长石)50%~60%,石英 15%~35%,微斜长石 < 10%,黑云母 15%~20%,角闪石 0~10%,常含透辉石、紫苏辉石、石榴子石、矽线石、刚玉等,副矿物为磁铁矿、磷灰石、锆石、榍石、电气石、金红石等。斜长石呈他形粒状,具绢云母化、黝帘石化,黑云母具红棕色-黄褐色明显的多色性;石英为他形粒状,具波状消光。岩石宏观呈层状、似层状,常与角闪斜长片麻岩间层状分布。

(2) 角闪斜长片麻岩及黑云角闪斜长片麻岩

二者呈渐变关系,岩石呈灰色、鳞片柱粒状变晶结构,片麻状、条带状构造。主要矿物:斜长石(中长石为主)50%~55%,角闪石 10%~25%,黑云母 5%~15%,石英 5%~15%,微斜长石少量。常见石榴子石,可见紫苏辉石、透辉石。副矿物以磁铁矿、锆石、磷灰石为主,其次有金红石、独居石、电气石等。斜长石他形粒状, $An = 45 \sim 50$,聚片双晶发育,粒径 0.5~2.25 mm,微斜长石交代斜长石现象普遍。石英他形粒状,粒度 0.3~1.6 mm。角闪石不规则柱状,柱径 0.75~2.5 mm,多色性明显, Ng' ——绿色, Np' ——浅黄绿色,晶体中有时包裹石英、钾长石、磷灰石。黑云母片径 0.1~4.0 mm,多色性明显, Ng' ——红棕色, Np' ——黄褐色。岩石变形强烈部位,斜长石沿片麻理方向拉长定向,石英呈波状消光并出现亚颗粒。

(3) 石榴角闪二辉麻粒岩

石榴角闪二辉麻粒岩多呈夹层状分布。岩石呈绿灰色,不等粒状变晶结构,具有平行定向构造。主要矿物成分为:斜长石 20%,角闪石 25%~30%,透辉石 15%~20%,紫苏辉石 10%±,石榴子石 15%,黑云母 < 5%,石英 5%~10%,副矿物为磷灰石、磁铁矿、锆石等。普通角闪石呈棕色,不规则柱状,具强多色性和吸收性, Ng' ——棕色, Np' ——浅黄绿色,晶体内含石英、磁铁矿、磷灰石包裹体。黑云母鳞片状,吸收性强,多色性明显, Ng' ——红棕色, Np' ——浅黄色。石英他形粒状,少数豆荚状,粒径 0.8~2.5 mm,具波状消光。斜长石为拉长石($An = 55$),一般呈他形粒状,局部等轴状、镶嵌状分布,聚片双晶发育,少数被钾长石交代,形成反条纹长石。透辉石浅绿色,具弱多色性, Ng' ——浅褐绿色, Np' ——浅绿色。