

中国地质科学院
地质研究所刊

第19号

地质出版社

中国地质科学院

地质研究所刊

第 19 号

阜平群变质地质

专 辑

伍家善 耿元生 徐惠芬

金龙国 贺绍英 孙世伟

地质出版社

内 容 提 要

本专辑是研究太行山区阜平群变质地质的专题成果,内容广泛,资料丰富。作者以丰富的同位素年龄数据为依据,详细论述了阜平群形成的地质时代及变质、变形期。以详细的野外地质观察为基础,应用变质岩岩石学、地球化学及岩石副矿物等综合方法,对阜平群表壳岩系的原岩性质、建造特征及形成环境进行了深入讨论。在系统研究该区20余种变质矿物光性及化学成分,以及不同变质相的主要变质反应的基础上,阐明了阜平群变质作用的基本特征及其演化过程。以区域构造轮廓研究为主,结合区域地球物理资料,论述了阜平构造域分区特征,阐明了阜平群经历了三次构造变形的演化历史。

该书是近年来系统研究阜平群晚太古宙地壳演化的最新成果。对进一步开展该区及其相似地区基础地质和普查找矿均有指导意义,也可供从事前寒武纪地质的生产、科研和教学工作参考。

中国地质科学院 地质研究所所刊 第19号

责任编辑:张振寰 王芸生

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: 787×1092¹/₁₆ 印张: 14.875 铜版页8页 字数: 332000

1989年6月北京第一版·1989年6月北京第一次印刷

印数: 1—1230册 国内定价: 5.30元

ISBN 7-116-00440-8/P·367

阜平群变质地质

目 录

前言	(1)
第一章 阜平群同位素地质年代学	(3)
一 本区同位素地质年代学研究 工作的回顾	(3)
二 主要研究成果	(5)
三 阜平群同位素地质年代学研 究中几个问题的讨论	(6)
第二章 变质岩	(11)
一 变质岩化学成分分类	(11)
二 主要岩类特征	(18)
第三章 阜平群变质矿物学	(27)
一 辉石	(27)
二 石榴石	(44)
三 角闪石	(54)
四 黑云母	(69)
五 长石	(75)
六 其它矿物	(83)
第四章 变质岩的原岩性质及形成环 境	(88)
一 变质岩原岩残余结构、构造	(88)
二 应用变质岩副矿物标志恢复 阜平群变质岩的原岩性质	(93)
三 阜平群形成环境	(103)
第五章 地球化学	(108)
一 暗色岩(基性岩)的地球化学	(108)
二 长英质岩石的地球化学	(120)
第六章 变质作用	(131)
一 主要变质反应	(131)
二 矿物共生组合及变质温度和 压力	(141)

三	变质作用演化·····	(147)
第七章	构造地质 ·····	(153)
一	面状构造·····	(153)
二	阜平群的区域构造特征·····	(155)
三	阜平群的构造变形史·····	(166)
第八章	地球物理 ·····	(171)
一	概况·····	(171)
二	阜平群的磁性和磁场·····	(174)
三	阜平群与五台群接触地带的 地球物理特征·····	(183)
第九章	地壳演化 ·····	(188)
一	前阜平群基底性质的讨论·····	(188)
二	阜平群沉积环境·····	(189)
三	阜平群变质与变形演化过程·····	(190)
参考文献 ·····		(192)
英文摘要 ·····		(197)
图版说明及图版 ·····		(210)

前 言

太古宙阜平群变质地质研究,属于“六五”期间地矿部部控项目——“中国北方早前寒武系变质作用与年代学”中的一部分。专题组同志先后于1980、1981、1982年进行了野外调查及有关室内研究工作;1985年进行了部分地区野外补充工作,1986年进行室内整理及编写报告;1987年第一季度完成报告初稿。1987年7月中国地质科学院科技处邀请有关专家对该报告进行了评审。参加评审的有中国地质科学院程裕淇研究员、中国地质科学院矿床地质研究所宋叔和研究员、北京大学董申保教授、天津地质矿产研究所孙大中研究员、国家地震总局地质研究所应思淮研究员、河北省地矿局房立民总工程师。1987年底,编写者根据评审员提出的意见,对报告进行了修改。

本专辑由专题组同志分工编写:前言、第一章、第二章、第六章由伍家善执笔;第三章由徐惠芬执笔;第四章由伍家善、金龙国执笔;第五章、第七章由耿元生执笔;第八章由贺绍英、孙世伟执笔;第九章由伍家善、耿元生执笔;英文摘要由耿元生执笔。该专辑是专题组集体劳动的成果,先后参加过专题组部分野外调查及有关室内工作的还有张寿广、李文清、张雨来、龙贵祥同志。

本专题工作是在河北、山西两省区调队六十年代初区调成果基础上进行的。几年来,我们在以下几个方面取得了比较明显的进展和新认识。

1. 同位素地质年代学

采用锆石U-Pb法及变质岩全岩Sm-Nd、Rb-Sr和变质矿物的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法,测定了阜平群的形成时代。多种方法的测试结果,为阜平群定为晚太古宙提供了数量较多、精度较高的同位素年龄数据。

2. 变质岩原岩性质及形成环境

采用野外地质观察,辨别变质岩原岩残余结构、构造特征,结合岩石薄片显微镜下研究,岩石副矿物研究以及岩石化学、稀土地球化学等综合研究方法,为推断阜平群主要为一套滨海浅水盆地形成的表壳岩系,以及阜平群早期伴随有一定数量的陆核边缘型火山岩及火山沉积岩系提供了大量的证据。阜平群中部铁硅质岩中铁硅质鲕粒碎片的发现及初步研究,为该区太古宙条带状铁建造的成因、以及形成的古地理环境提供了重要信息。沉积变质岩中碎屑副矿物的研究结果,为查明变质岩的原岩性质、形成环境、物质来源提供了丰富的、可靠的依据。

3. 变质矿物学

对阜平群变质岩中20余种主要矿物和次要矿物进行了矿物光性、X光衍射、矿物波谱(红外及穆氏堡尔)特征研究,测定了177个单矿物的化学成分(化学分析及电子探针),对有关矿物进行了成分分类,系统计算了本区主要变质矿物的形成温度,总结了本区角闪岩相、麻粒岩相的矿物学标志。并首次在本区发现了辉闪石、羟镁铝石、尖晶石等矿物。

4. 变质岩及变质作用

在描述阜平群各类变质岩基本特征的基础上,对本区主要变质岩进行了化学成分分类。重点研究和确定本区主要变质反应的岩相学标志,以及它们形成的P-T条件,讨论了主期变质作用地热梯度和中压变质类型。划分了角闪岩相和麻粒岩相。探讨了在变质和变形作用发生、发展过程中,两者在时间和空间上既有先后,又有重叠的成因联系,提出了阜平群变质作用起始时间早于变形作用,变形高峰晚于变质作用的新认识。

5. 地球化学

提出了阜平群两种不同成因类型(沉积及火山成因)角闪质岩石的地球化学特征及其区别标志。将阜平群基性火山岩划分为两种成因类型(低钾及高钾型),并对它们的分布、形成构造环境以及岩浆源性质进行了讨论。对阜平群沉积变质岩石进行了主要元素、微量元素及部分稀土元素的分析研究,为这些岩石的性质及其成因提供了较丰富的地球化学依据。

6. 构造地质

在研究阜平群区域构造轮廓,以及阜平群不同层次和不同期次构造特征的基础上,总结了阜平群各构造分区特点,提出了阜平群经历了四次变形幕的复杂演化历史。在龙泉关片麻岩中发现了属于阜平变形期形成的东西向构造形迹,因此认为龙泉关片麻岩与阜平群应同属阜平期构造产物。龙泉关眼球状片麻岩是阜平群片麻岩穹窿上升过程中,穹窿顶部向西或向西北滑脱作用的产物。

7. 地球物理特征

在综合分析前人资料(航磁及重力)基础上,总结了阜平群区域地球物理场的基本特征,指出了本区地球物理场中主要特征线的分布、特点及其先后关系,为进一步探讨区域构造轮廓及主要断裂带的分布和先后关系提供了重要依据。同时还对阜平群与五台群接触地段进行了古地磁的探索性研究。将部分变质岩类的磁组构进行了分析研究,探讨了多期变形、变质岩石的磁化率各向异性度与变形作用的相互关系。

第一章 阜平群同位素地质年代学

一、本区同位素地质年代学研究工作的回顾

太行—五台山区早前寒武系,是研究华北地台基底的形成与演化过程的典型地区之一。查明这些岩群的确切时代及其有关岩浆、变质、构造热事件的年龄,是中外地质学家长期以来亟待解决的关键问题。五十年代末到六十年代初期,国内同位素地质实验室刚刚建立,人们就开始对阜平群进行同位素年龄研究。其后经过二十多年的不断工作,随着我国同位素地质测年实验技术的不断创新和提高,本区同位素地质年代学研究工作已取得重大的进展,获得了一批数据精确、并有较可靠地质依据的年龄数据,为阐明本区地质演化历史提供了丰富的年代学证据。

回顾二十多年来本区同位素地质年代学的研究过程,大体可以划分为两个阶段。

一是 k -Ar法研究阶段,从六十年代初至七十年代末,将近二十年的时间,人们在该区一直使用 k -Ar法进行测年工作。1962年,钟富道等首先开始对平山县小觉镇附近的阜平群中部的片麻岩,以及穿过片麻岩的伟晶岩中的黑云母进行了 k -Ar年龄测定。1963、1964年,阵晋镡、刘国惠、河北省地矿局区调队先后对平山、灵寿、曲阳等地的阜平群片麻岩及伟晶岩中白云母和黑云母进行采样,分别由中国科学院地质所、中国地质科学院地质所同位素实验室进行了 k -Ar年龄测定,其结果如表1-1。1975—1980年,阜平群同位素年代学研究有了新的发展,北京大学、中国地质科学院宜昌地矿所、天津地矿所、核工业部三所的同位素年龄实验室先后在该区采样,扩大了采样范围,增加了测定样品对象,除测定变质岩和伟晶岩中云母外,还测定了角闪石、以及变质岩的全岩样品。从所获得的年龄结果(表1-1)来看,全部年龄值均介于1100—1900Ma。大量的地质资料证明,上述年龄值不能代表阜平群的形成时代,只是反映了吕梁运动和吕梁运动之后的构造热事件的时间。通过这一时期的实践,人们逐步认识到,在中深变质岩区,特别是在遭受过多次变形和变质的早前寒武纪地质体中,试图用 k -Ar法测得变质岩的形成年龄几乎是不可能的。这是由于氩同位素在岩石和矿物中保存性能很差,很容易受后期热事件的干扰,从而大大降低了 k -Ar法测年的地质效果和应用范围。

二是以U-Pb法为主的综合方法研究阶段。1978年底至1985年,我所同位素实验室与本专题组共同合作,在总结分析前人工作成果的基础上,决定采用以锆石U-Pb测年法为主,并适当选用Sm-Nd、Rb-Sr、 ^{40}Ar - ^{39}Ar 等方法、对阜平群的形成时代,变质、变形时期等进行系统的同位素年代学研究。在工作中,强调了实验室人员与地质人员的密切合作。双方共同总结前人工作的经验和教训,一起拟定系统研究方案和研究方法,共同进行野外采样。同时加强了对样品的岩石学、矿物学方面的研究,有助于提高锆石测年结果的地质解释和扩大应用效果。此外,锆石U-Pb测年工作中得到了澳大利亚国立大学同位素实验室康普斯顿(Compston)、佩吉(Page)博士的热情指导,提高了测定精度,保证了

表 1-1 阜平群变质岩、伟晶岩K-Ar年龄数据表

Table 1-1 K-Ar age data of metamorphic rocks and Pegmatites from the Fuping Group

序号	测定单位	采样地点及岩性	采样单位或 采样人	测定对象	年 龄 值 (Ma)	测定日期
1	中国科学院地化所	平山县小觉镇北上范窝, 阜平群片麻岩	钟 富 道	黑云母	1472	1962.10
2	同 上	平山县小觉河西村, 穿入片麻岩中伟晶岩	同 上	黑云母	1901	1963.5
3	同 上	平山县冷泉西北1500m, 湾子组下段片麻岩中伟晶岩	河北区调队	白云母	1830	1964.5
4	同 上	灵寿县台头村 815 水库北坝, 白云浅粒岩	同 上	白云母	1802	1964.5
5	中国地质科学院 地 质 所	曲阳中佐, 侵入大理岩中伟晶岩	陈 晋 镛	白云母	2115 ^① 2224 ^②	1963.12
6	同 上	平山县北冶公社苏家庄, 大理岩中云母片岩	刘 国 惠	黑云母	1912	1964
7	北京大学	阜平县大柳树村, 黑云角闪斜长片	北京大学	黑云母	1612	1975.9
8	同 上	阜平县青羊沟, 含角闪石黑云斜长片麻岩	同 上	黑云母	1600	1975.8
9	同 上	阜平县盘龙台, 斜长角闪岩	同 上	角闪石	1098	1975.9
10	同 上	阜平县龙泉关西, 含黑云斜长片麻岩	同 上	黑云母	1724	1975.8
11	中国地质科学院 宜昌地矿所	灵寿县慈峪镇北100m细粒白云钾长片麻岩	王 启 超	全 岩	1629	1976.6
12	同 上	灵寿县吴家庄北东1km公路边, 白云钾长片麻岩	王 启 超	全 岩	1699	1976.6
13	中国地质科学院	阜平东北坊里南3km, 斜长角闪岩	王 伍 云	全 岩	1934 1879	1978.6
14	天津地矿所	阜平县龙泉关东八里庄, 黑云斜长片麻岩	王 伍 云	全 岩	1472	1978.7
15	核工业部三所	阜平群索家庄组, 辉石麻粒岩	陶 铨	黑云母	1624	1980
16		平山县桑园口, 含黑云母斜长角闪岩	陶 铨	黑云母	1836	1980
17		平山县桑园口, 含黑云母斜长角闪岩	陶 铨	角闪石	1630	1980

注: 本表资料来源, 全部摘自《全国同位素地质年龄数据汇编》第一、二、三、四集, 地质出版社, ①、②者为未经校正的年龄值,

测试工作的质量。

二、主要研究成果

几年来,我们在阜平群进行了系统的测年工作,总共获得38条锆石U-Pb一致线年龄,一条Sm-Nd一致线年龄,4个单矿物的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 阶段升温坪年龄,两条变质岩的全岩Rb-Sr等时线年龄。全部测年结果列于表1-2。

阜平群变质岩、花岗岩锆石U-Pb年龄研究成果^[17]已公开发表,本文将不再叙述这些样品的岩石特征、锆石的U-Pb同位素含量及有关一致线年龄图。Sm-Nd年龄结果,张宗清等已有专文即将发表,在此也不重复。有关Rb-Sr、 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄结果,将在第三节中

表 1-2 阜平群变质岩、花岗岩锆石U-Pb年龄,变质岩 Sm-Nd、
Rb-Sr 年龄及有关矿物的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄

Table 1-2 Zircon U-Pb ages of metamorphic rocks and granites;
Sm-Nd, Rb-Sr ages of metamorphic rocks and ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of some
metamorphic minerals from the Fuping Group

样 号	测定单位	采样地点及岩地	采样人	测定对象	年龄值 (Ma)	测定日期
Ag8-6	澳大利亚 国立大学 分析者 刘敦一	阜平县大柳树村, 阜平群底部黑 云二长片麻岩	伍家善 刘敦一	碎屑锆石	U-Pb一致线年龄 2800^{+230}_{-150}	1980
Ag0-3		平山县孟家庄南, 阜平群中部浅 粒岩		碎屑锆石	U-Pb一致线年龄 2700—2900	1979
Ag0-3		同 上		变质锆石	2474 ± 20	1979
Ag0-①		平山县孟家庄北, 阜平群中部浅 粒岩		变质锆石	1960^{+197}_{-116}	1979
Ag8-3		阜平县吴家庄, 阜平群底部角闪 二辉麻粒岩		锆 石	1840^{+47}_{-31}	1979
Ag11-4		阜平县龙泉关西, 阜平群上部二 长浅粒岩		锆 石	2025^{+46}_{-36}	1979
Ag5		五台县兰子山花岗岩, 侵入于阜 平群上部		锆 石	2560 ± 6	1979
r-2		阜平县平阳镇西、黑云花岗岩		锆 石	≥ 2200	1980
8266、8255-1、 8098-6、8098-4、 Ag04、8098-1、 78113-1、8055、 8252、8256、 8266、78113-1、 H8506	中国地质 科学院 地质所 张宗清等	阜平县大柳树村周围, 阜平群底 部斜长角闪岩、角闪二辉麻粒岩、 角闪斜长片麻岩等13个样品	伍家善等	全 岩	Sm-Nd一致线 年 龄 $2790 \pm 171 (2\sigma)$ $\text{INd} = 050917 \pm$ $\text{①}6(2\sigma)$ $\epsilon\text{Nd} = +2.9 \pm 1.6$	1986

续表

样 号	测定单位	采样地点及岩性	采样人	测定对象	年龄值 (Ma)	测定日期
8262	中国地质科学院地质所 罗修泉 富英莲	阜平县城西三岭会, 含紫苏黑云斜长片麻岩	伍家善等	黑云母	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段 升温坪年龄 830.71	1985.3
78117		阜平县城西辛庄南, 透辉斜长角闪岩		角闪石	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 阶段 升温, 坪年龄 1763.13	1985.3
7805-3		阜平县坊里村南, 角闪片岩		角闪石	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 阶段 升温, 坪年龄 1730.17	1985.3
7830-5		平山县桑园口村东, 斜长角闪岩		角闪石	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 阶段 升温, 坪年龄 1868.44	1985.3
81-246、 -247、-248、 -249。-250 -251	中国地质科学院地质所	平山县桑园口村西北, 龙泉关群斜长角闪岩、变粒岩、黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩等	张寿广 金龙国	全 岩	Pb-Sr等时线年龄 2186 ± 80	1981.12
7803-1、7807-1、 78123-2、 78118-4、 78117、7804-2	中国地质科学院地质所 王雪英等	阜平县坊里、西槽口、金林口一带, 黑云变粒岩、浅粒岩、角闪变粒岩、角闪斜长片麻岩	伍家善等	全 岩	Rb-Sr等时线年龄 2640 ±	1983.

结合有关问题的讨论予以补充。

从表1-2及表1-1中、我们可以得出如下几点基本结论:

(1) 阜平群底部片麻岩及中部浅粒岩中碎屑锆石 U-Pb一致线年龄为 2800—2900Ma, 阜平群底部变质岩 Sm-Nd一致线年龄为 2790Ma, 因此推测阜平群最早生成年龄约 2800Ma。

(2) 阜平群下部变质岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 2640Ma, 代表阜平群变质作用即将结束的年龄。

(3) 侵入于阜平群顶部 (龙泉关片麻岩) 而被五台群底部板峪口组不整合的兰芝山花岗岩的锆石 U-Pb 一致线年龄为 2560Ma。该年龄代表该岩体的侵位时间, 又代表了阜平运动的年代, 同时也限定了阜平群变质时间应结束于 2560Ma 以前。

(4) 大量的 k-Ar 年龄及 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄, 部分锆石 U-Pb 年龄和 Rb-Sr 等时线年龄都表明阜平群褶皱、变质之后, 又遭受了五台期、吕梁期构造热事件的叠加, 特别是吕梁期的叠加作用尤为广泛而强烈。

三、阜平群同位素地质年代学研究中几个问题的讨论

从 1981 年开始, 太行—五台山地区的同位素年龄研究结果曾通过有关会议同前寒武研究

的同行们进行过多次交流, 1984年上述成果正式发表后^[17], 得到国内有关地质学家的重视和赞许, 并在他们的有关著作中引用。同时, 也听到和见到一些不同的意见, 这对于深入研究本区同位素地质年代学工作是十分有益的。归纳起来, 大体有两方面的问题, 一是关于中深变质岩中碎屑锆石的U、Pb、同位素的保存性问题, 二是有关兰芝山花岗岩上覆岩系的接触关系及其地层归属问题。这两个问题都直接影响到对阜平群时限(顶部和底部)的合理认识, 为此, 我们将分别予以讨论。

(一) 阜平群底界年龄

如何测定中深变质岩系的原岩形成时代, 一直是同位素地质学家十分关注的问题, 至今未能完满解决。我们通过对阜平群片麻岩、浅粒岩中碎屑锆石的测年工作, 提出了以碎屑锆石U-Pb一致线年龄作为阜平群原岩形成的最大极限年龄的认识。这一看法的依据如何, 在理论上和实际应用方面是否可行, 的确是应该认真对待的。

1. 碎屑锆石测年龄的岩石学依据

任何一种碎屑沉积岩, 在它形成过程中必然会从剥蚀的母岩中带来一定量的重矿物。这些重矿物经过漫长的搬运过程, 最终会在沉积岩中以碎屑重矿物而沉淀。在研究阜平群某些沉积变质岩(浅粒岩、黑云二长片麻岩)中的副矿物时^[12], 尽管这些岩石变质程度已达麻粒岩相或角闪岩相, 但通过双目镜及扫描电镜观察, 我们仍然在这些岩石中发现了数量较多的碎屑锆石和碎屑磷灰石, 同时也发现了一定数量的变质锆石和变质磷灰石。我们认为, 同一样品中两类锆石(变质与碎屑)分别记录了变质岩以及它的原岩形成过程, 它们是不同的世代的产物, 因此具有不同的U-Pb同位素体系。如果分别测定这些不同世代、不同成因类型的锆石的U-Pb年龄, 有可能分别获得沉积变质岩的原岩沉积时代和变质时代。

2. 测定碎屑锆石年龄的矿物学依据

我们从Ag8-6、Ag03(表1-2)及其它浅粒岩的人工重砂样品中, 发现了数量较多的碎屑锆石。呈浅褐色、粉红色、无色的浑圆及次浑圆状, 以麦粒状居多、小米粒状则少。透明度较差, 以半透明为主, 表面毛玻璃化、光泽较暗。大部分晶棱和晶面保存很差, 颗粒表面发育有断口、各种磨蚀坑和磨蚀沟或槽(详见第四章, 图版X1-2、4、5)

3. 碎屑锆石的U-Pb同位素含量及变化范围 Ag03样品中褐色、无色碎屑锆石中放射Pb和U含量均明显高于粉红色变质锆石。前者放射Pb含量45—500ppm, U含量120—1746ppm, 后者放射Pb含量76—123ppm, U含量210—357ppm。Ag8-6中褐色碎屑锆石放射Pb400—550ppm, U含量高达1000—1400ppm(刘敦一等^[17])。Ag03样品变质锆石和碎屑锆石在一致线图上, 明显呈两个阵列(刘敦一等^[17]), 这有力说明, 它们各具有不同的U、Pb体系、形成于不同的时代。碎屑锆石U、Pb含量高, 变化范围大, 说明它们经历了较复杂的Pb丢失过程。以上实例表明, 我们在测定变质岩中锆石U-Pb年龄时, 必须将不同世代、不同成因类型的锆石分别测定, 切不可混合处理。用混合样测定的锆石年龄很难说明具有何种地质意义。Ag01、Ag02、Ag03锆石的混合样测定结果发表在《全国同位素地质年龄数据汇编》第四集, 该结果既不代表阜平群的原岩年龄, 也不代表其变质年龄。

4. 在变质过程中碎屑锆石的U、Pb同位素体系是否重新均一化

这是一个十分重要的问题,它直接涉及到碎屑锆石的U-Pb年龄的地质解释是否正确、合理。在讨论阜平群底界年龄时,有人提出:阜平群底部变质程度已达麻粒岩相,部分岩石也开始局部熔融,岩石的Rb-Sr同位素体系大都已重新均一化,因此碎屑锆石的U、Pb同位素体系也会重新调整,并可能重新均一化。如果是这样,碎屑锆石的年龄反映变质作用的年代,因此阜平群底部变质岩中碎屑锆石年龄(2800—2900Ma)应视为变质年龄。我们认为对这一问题应做具体分析,简单的肯定或否定都不能把握住事物的本质。我们从阜平群碎屑锆石测年研究中发现如下一些基本事实,它会有助于我们对上述问题的讨论。

①变质岩中保存有大量的碎屑锆石,碎屑锆石表面保留有很多磨蚀痕迹,至少可以说明,即使岩石已经达到麻粒岩相的变质级,但碎屑锆石的浑圆外形和表面磨蚀痕迹仍然保存完好,并未被熔化而消失掉。②Ag03样品中变质锆石和碎屑锆石有完全不同的U、Pb同位素体系,它们分别为不同的年龄值(表1-2),这就有力证明,变质作用并未使碎屑锆石的U、Pb体系重新均一化。③我们常常可以见到部分晶形完好的变质锆石,在其核部有浑圆的碎屑锆石核(图版X11-3)。这说明,变质锆石生长时,碎屑锆石并未熔化,而只是以一种质点而存在。变质锆石中锆的来源可能来自其它造岩矿物(长石、石英),它们在分解过程中,分散的锆与SiO₂结合,在迁移过程中,围绕碎屑锆石而结晶。④实验资料表明,锆石的重熔温度需1000℃以上,因此,中深变质级别的变质温度不可能把锆石重新熔解。通过上述讨论,我们认为变质作用并不能将碎屑锆石的U、Pb体系新均一化,因此把阜平群碎屑锆石年龄解释为变质年龄是不可取的。

5. 碎屑锆石的U-Pb年龄是否能代表它的蚀源区母岩的时代

由于碎屑锆石经历了风化、搬运、沉积成岩和变质改造过程,完全可能产生铅的丢失。从Ag03、Ag8-6两个样品的U、Pb含量变化大,以及它们在一致线图上数据点的离散程度,都说明碎屑锆石受到了某些作用(风化、搬运或变质)的影响,因此碎屑锆石的一致线年龄不可能与它的母岩(蚀源岩石)年龄一致。根据Wetherill^[104]、Allegre等提出锆石中铅丢失的复杂过程,碎屑锆石的年龄低于原岩中锆石结晶年龄。因此我们推测阜平群底部片麻岩中碎屑锆石的母岩可能大于2900Ma,同时,阜平群底部变质岩的原岩年龄必然小于2900Ma。换言之,阜平群底界年龄的最大极限不会大于2900Ma。

6. Sm-Nd年龄证据

张宗清等(表1-2)测定了阜平群底部大柳树一带的角闪质岩石(角闪二辉麻粒岩、斜长角闪岩)及角闪斜长片麻岩的Sm-Nd一致线年龄(13个样品组成的一致曲线)为 2790 ± 171 (2 σ) Ma。这些岩石的原岩为同源的基性火山熔岩和火山凝灰岩。一般认为Sm、Nd同位素在岩石中比较稳定,基本上不受成岩后构造热事件的干扰,因此所获得的Sm-Nd年龄应代表原岩的成岩年龄。根据Sm-Nd年龄结果,阜平群底部岩石的成岩年龄为2800Ma左右。

通过上述讨论,我们认为阜平群的底界年龄为2800Ma左右,它的最大极限值应小于2900Ma。

(二) 阜平群变质年龄

王雪英等测定了阜平群底部变质岩的Rb-Sr等时线年龄,其结果如表1-2。一般认为,在中深变质岩区,变质岩的原岩Rb-Sr体系很容易受到变质作用的改造,Rb、Sr同位素

会重新均一化。本区测定样品的变质温度高达700℃以上,完全有可能造成上述结果。因此,中深变质岩的Rb-Sr年龄,一般只能代表变质作用的年龄。由于变质作用有它自己的发生、发展过程,应该有一个相当长的时间间隔。Rb-Sr等时线年龄是代表变质作用的起始时间,还是代表变质作用即将结束的时间?这是需要进一步讨论的问题。变质作用一般都经过较长时间的先升温后降温的过程。变质岩的全岩Rb-Sr体系封闭时间,必定在变质矿物全部重结晶之后,变质反应不再进行时为止,否则岩石中Rb-Sr体系不会封闭。因此,我们推测中深变质岩的Rb-Sr等时线年龄可能指示变质作用从高峰转向结束的时间。2640Ma大体代表阜平群变质的结束期。

阜平群变质作用起于何时?这也是我们需要进一步讨论的问题。张宗清等在讨论阜平群底部Sm-Nd年龄时指出,阜平群底部变质基性岩原岩形成后,很快就开始变质,成岩年龄和变质年龄间隔很小。国外一些学者对此已有专门讨论。由于太古宙地壳很薄,地热增温率较高,产生这种情况是完全可能的。在没有获得阜平群变质作用起始时间的可靠同位素年龄证据以前,我们暂同意上述认识。

(三) 阜平群顶界年龄

首先必须说明的是,阜平群的“顶界”年龄并非一般地层年代学的概念,而是指阜平群沉积、变质、变形之后,被上覆岩系沉积不整合之前的时间间隔。因此,我们讨论阜平群的顶界年龄时,必然要涉及上覆岩系——五台群与阜平群的接触关系以及五台群的时代。同时还必须寻找这样的地质体,它生成于阜平群变质,褶皱之后,并结束于五台群沉积之前,然后测定该地质体的形成时代,并以此来限定阜平群的顶界。

1. 五台群底部板峪口组与阜平群上部龙泉关片麻岩接触关系

从本世纪三十年代到现在,已经有半个世纪,许多地质学家都肯定了板峪口组与龙泉关片麻岩的不整合关系。因此地质学家都认为五台群时代新于阜平群。

2. 从五台群的时代来限定阜平群的顶界

刘敦一等测定的五台群下部的两个变质岩的锆石U-Pb一致线年龄分别为 $2508 \pm 2\text{Ma}$, $2557 \pm 1\text{Ma}$ 。此外,钟富道、刘敦一、白瑾^[8]等亦报导了许多Rb-Sr及U-Pb年龄,但是到目前为止,五台群下部同位素年龄均不大于2557Ma。因此,五台群底界年龄限定了阜平群的顶界,故推断阜平群顶界年龄必定大于2557Ma。

3. 兰芝山花岗岩的锆石U-Pb年龄标定了阜平群的顶界

兰芝山花岗岩出露于山西省五台县门限石村西,它侵入于阜平群上部龙泉关片麻岩,并被五台群底部板峪口组变质长石砂岩沉积不整合覆盖。七月村一带,板峪口底部有兰芝山花岗岩的砾石。兰芝山花岗岩锆石U-Pb一致线年龄为 $2560 \pm 6\text{Ma}$ (表1-2),这一精确的年龄数据,为我们确定阜平群的顶界提供了可靠的同位素年代学证据。同时也限定了阜平(铁堡)运动的时限。

根据以上理由,我们认为阜平群顶界年龄为2560Ma。

应当指出的是,关于兰芝山花岗岩与上覆岩系的接触关系及地层时代归属等问题,各家的看法并不一致。徐有华^①、徐朝雷^②认为兰芝山花岗岩与上覆岩系是侵入关系,并非沉

① 徐有华1982年,五台山兰子山花岗岩体野外观察(前寒武纪地质简讯)第8期(未公开出版)。

② 徐朝雷1981年,五台—太行山区前震旦地层同位素年龄讨论,山西地质科技第2期(未公开出版)。

积不整合接触。袁国屏^①、白瑾^[8]等认为兰芝山花岗岩上覆岩系不属于五台群底部的板峪口组，而应属于滹沱群大石岭组的一部分。关于岩体接触关系问题，程裕淇教授于1982年，曾会同徐朝雷、徐有华等同志在七月村南及红崖村东北等外进行了现场观察，由兰芝山花岗岩就地风化、堆积的花岗质碎屑岩，它们与上部具有斜层理的变质长石砂岩为渐变过渡关系。因此兰芝山花岗岩与上覆岩系的接触关系应为沉积不整合。同时，1982年中国北方“震旦”与滹沱现场讨论会的部分代表，也曾到该地现场考察，并进一步证实了上述沉积不整合关系。关于上覆地层的归属问题，目前还不能取得一致的意见。前寒武系地层对比是一个十分复杂的问题，今后还需做更多深入细致的研究工作，才能有助于上述问题的合理解决。

① 袁国屏1986年，五台山区“五台群板峪口组省的归属问题、山西地质、1986，第2期（未公开出版）。

第二章 变质岩

阜平群变质岩类齐全,分布广泛,不同类型的中深变质岩遍布全区。除少量为岩浆岩变质的正变质岩外,它们主要是一套原岩为沉积岩变质的副变质岩系,经过一系列漫长的建造与改造过程,形成本区太古宙表壳岩系。不同的大地构造环境,控制着构造区的物质来源、成分特征、不同物质的数量关系及空间组合方式,以及这些物质的时空演化规律。岩石学研究,是探讨该地区地壳形成与演化的基础。前寒武纪变质岩系是前寒武纪地壳形成与演化全过程的记录,尽管遭受到各种复杂而强烈的改造,但它们仍然保留了在各种地质作用过程中、不同地质历史阶段遗存的种种信息和标记,为我们揭示前寒武纪地壳演化历史提供了丰富的资料和有力的证据。为此,本章将详细叙述本区变质岩的化学成分、矿物组成、结构构造特征,以及它们的空间展布规律。

一、变质岩化学成分分类

一般认为,区域变质作用是在等化学条件下进行的,原岩的主要化学成分一般不发生迁移,因此,变质岩的化学成分基本上可以代表它们的原岩化学组成。为了查明变质岩化学成分与原岩化学成分的关系,消除 H_2O 、 CO_2 、 K_2O 、 Na_2O 等活动组分可能带来的影响,许多学者从不同角度提出了各种分类方案。我们认为谢缅年科^[14](Н. П. Семеновко)提出的分类方案比较全面、合理。他根据200多个典型变质岩的岩石全分析资料,用 $Al_2O_3(A)$ 、 $CaO(C)$ 、 $Fe_2O_3 \times 2 + FeO + MgO(F+M)$ 分子数为三组分,以等边三角形法表示三组分的相对百分含量,将变质岩划分为11个大类,分别为: I、富铝硅酸岩; II、铁镁铝硅酸岩; III、碱土铝硅酸岩; IV、钙铝硅酸岩; V、铝土镁铁硅酸岩; VI、铁硅质岩; VII、镁质超基性岩; VIII、碱土贫铝土超基性岩; IX、碱土铝土基性岩; X、钙质碳酸岩; XI、铝土钙质岩。

但是谢缅年科的分类也存在一些不足之处,比如,石英岩及其它富石英的岩石,它们在三角图中的位置是根据 Al_2O_3 、 CaO 、 $FeO + MgO$ 三组分的相对百分数来确定的,这种处理办法不能反映石英岩及其它富石英岩类的化学成分特点。又如,富铝硅酸岩类中没有区分富铝土质岩与相对贫铝的长英质岩石,这两种岩石的 Al_2O_3 含量相差很大,从砂岩和高岭土粘土岩的化学成分投点(图2-1),可清楚说明这一点。为了区分这两类岩石,我们在富铝硅酸岩区内进一步分出富铝硅酸岩($A > 80$)及铝硅酸岩($55 < A < 80$)。此外,还对钙硅酸岩及碳酸岩也做了进一步划分。按谢缅年科的分类,对碳酸岩没有划分出镁质碳酸岩及钙质碳酸岩。根据典型的石灰岩与白云岩的投点,可以清楚看出两者分别落在碳酸岩区的不同部位。为此,我们取碳酸岩中方解石与白云石含量比值1为界,大于1者为镁钙质碳酸岩($C > 40$),小于1者为钙镁质碳酸岩($C < 40$)。在钙硅酸岩区,也存在富钙及相对

富铝的两类岩石，我们以 $A = 30$ 为界，大于30者为钙铝硅酸盐岩，小于30者为钙硅酸盐岩。

我们将谢锡年科（1966）的A-C-FM分类图作了修改后，总共分出12个岩区（图2-1），同时对每个岩区的名称进行了适当的修改。根据阜平群125个变质岩的硅酸盐岩全分析数据（表2-1），换算出相应的A、C、FM数值，将全部结果投在A-C-FM三角图上（图2-1）。从图上可以明显看出阜平群变质岩可分为十大类，主要岩类集中分布于Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅶ、Ⅺ、Ⅻ区，次要岩类分布于Ⅰ、Ⅴ、Ⅷ、Ⅹ区。

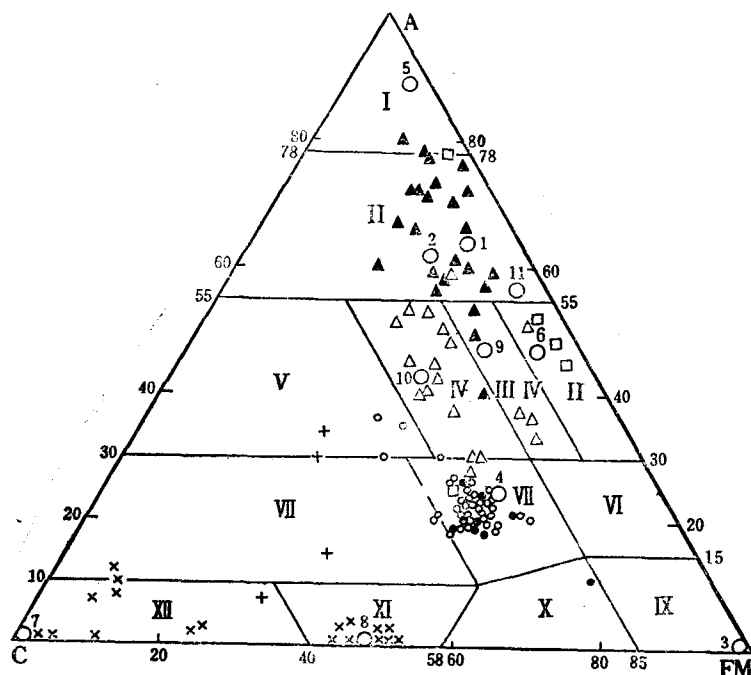


图 2-1 阜平群变质岩类A-C-FM分类图（据谢锡年科1966年，并作部分修改）

Fig 2-1 A-C-FM diagram of metamorphic rocks from the Fuping Group

小空心圆—斜长角闪岩；小实心圆—角闪二辉麻粒岩；实心三角—浅粒岩、变粒岩；空三角—片麻岩；正方块—刚玉钾长黑云片岩；斜十字—大理岩；正十字—钙硅酸盐岩；

1—流纹岩；2—花岗岩；3—纯橄岩；4—玄武岩；5—高岭土粘七岩；6—水云母粘土岩；7—石灰岩；8—白云岩；9—硬砂岩；10—长石砂岩；11—砂岩；Ⅰ—富铝硅酸盐岩；Ⅱ（上）—铝硅酸盐岩；Ⅱ（下）—低钙-铝-镁硅酸盐岩；Ⅲ—钙-铝-铁-镁硅酸盐岩；Ⅳ—钙-铝-铁-镁硅酸盐岩；Ⅴ—钙-铝硅酸盐岩；Ⅵ—镁-铁硅酸盐岩；Ⅶ（右）—钙-镁-铁硅酸盐岩；Ⅶ（左）—铝-钙硅酸盐岩；Ⅷ—富镁-铁硅酸盐岩；Ⅷ—低钙-镁-铁硅酸盐岩；Ⅸ—低钙-镁-铁硅酸盐岩；Ⅹ—低钙-镁-铁硅酸盐岩；Ⅺ—钙-镁碳酸盐岩；Ⅻ—镁-钙碳酸盐岩；本图中花岗岩平均成分引自文献⁽²⁶⁾，沉积岩的有关岩石平均成分引自文献⁽⁴⁰⁾，流纹岩、纯橄岩及玄武岩引自冶金工业部情报研究所编《岩矿鉴定表及成分计算法》。

各区主要岩石类型及岩石化学特征分述如下：

Ⅰ区，富铝硅酸盐岩（ $A > 78$ ）。本区代表性岩石为黑云刚玉钾长片岩。在阜平群岩石中数量极少。以含 Al_2O_3 30%左右， K_2O 9%为特征。它们的原岩相当于富钾铝土质粘土岩。此外，有少量长英质岩石， Al_2O_3 含量为18%左右，但因 CaO 、 FeO 、 MgO 含量均低于1%，也落入Ⅰ区与Ⅱ区边界附近，它们并不是富铝硅酸盐岩，而属于铝硅酸盐岩。

Ⅱ区，铝硅酸盐岩（ $A = 55-78$ ）。主要为长英质岩石（浅粒岩及部分变粒岩），为阜平群主要变质岩类型。化学成分与花岗岩类岩石相似， SiO_2 含量较高（70—79%）， Al_2O_3