

中条山前寒武纪 年代构造格架和年代地壳结构

孙大中 胡维兴 主编

地质出版社

中条山前寒武纪 年代构造格架和年代地壳结构

地质出版社

(京)新登字085号

内 容 简 介

该书主要论述中条山前寒武纪地壳(包括成矿作用)的质、量、时、空特征,并探讨其成因、演化和动力学机制。主要包括:阐述该区地质背景和铜矿成矿特征,火成岩地球化学及其演化系列,前寒武纪年代学研究及其评价,年代构造格架,年代地壳结构模式,区域变质作用的 $P-T-t$ 轨迹,中条山古元古代岩石的古地磁特征及其地质构造意义,中条山前寒武纪大陆地壳生长演化及有关问题讨论等。对在地学研究中的时空结合方面有独到新颖的见解。

本书适合于岩石、矿床、构造、物探等专业的地质工作者阅读。

中条山前寒武纪年代构造格架和年代地壳结构

孙大中 胡维兴 主编

*

责任编辑:叶丹

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(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:11.75 插页:2页 字数:274000

1993年8月北京第一版·1993年8月北京第一次印刷

印数:1—480册 定价:8.05元

ISBN 7-116-01280-X/P·1066



前 言

现代地球科学研究正向着纵深发展,从空间方面研究地球的三维结构和从时间方面研究地球的演化历史,是两个重要的研究前沿。研究这两个问题均离不开前寒武纪地壳,因为它约占据全部地壳的85%体积和地球演化全部历史的7/8左右的时间,而研究前寒武纪地壳又离不开区域性和地区性的前寒武纪地壳的剖析和综合论证。

中条山位于华北克拉通的南部,是我国前寒武纪岩石发育地区之一,又是重要的铜矿集中区。根据以往的研究,前寒武纪特别是早元古代地层发育较齐全^①,构造轮廓基本清楚;著名的铜矿峪型、胡-篚型和横岭关型等不同类型的铜矿床分别赋存于早元古代的不同地层层位中,具有相当高的经济价值。对这一地区含铜岩系的地层、地球化学的研究,有助于对本区古元古代地壳演化的深入探讨,并为深入了解铜矿床的形成发展和进一步找矿提供地质理论依据。因此在地质矿产部“七五”攻关项目13项《我国北方前寒武纪区域成矿地质背景及找矿远景预测》中列有《中条山元古宙含铜岩系地层和地球化学研究》课题,工作地区主要在铜矿床集中的中条山北段,时限自1986年到1989年。研究报告完成后通过了评审。基于科研报告所得成果的特点和报告评审对与年代学有关的部分评价较高,还由于现在地球科学重视“深度维”和“时间维”的研究,所以在修改、加工和编写本书时,将原报告的重点突出,将书名改为《中条山前寒武纪年代构造格架和年代地壳结构》,主要论述中条山前寒武纪地壳(包括成矿作用)的质、量、时、空特征,并探讨其成因、演化和动力学机制。主要包括:

1. 对中条山前寒武纪(主要是早元古代)的地质背景重点地、比较深入地进行了阐述。根据课题的研究,除了将该区划分为五个岩相带和构造层外,在地层划分方面重点讨论了:(1)涑水杂岩是否为太古宙基底?(2)宋家山群地层归属;(3)中条群划分为上、下两个亚群;(4)中条运动的进一步厘定;(5)西阳河群的时代与对比等问题。此外还重点讨论了与中条群铜矿成矿条件有一定联系的变质内源沉积岩——方柱黑云片岩和钠长浅粒岩的特征及其地质意义。

2. 火成岩的地球化学作为研究深部源岩的特征、岩浆成因和演化,越来越受到重视。中条山古元古代五套火山岩和四期花岗质岩的岩石学和地球化学的研究表明,由于一些地球化学特征的多解性和有限性,简单地用微量元素等地球化学判别构造环境的可靠性不高。但用微量元素和同位素地球化学可以反映火成岩的源岩特征、岩浆生成方式、深度和变质条件以及岩浆受地壳物质混染和交代等过程。根据表壳岩和深成岩的地球化学特征,推断了深部的内壳岩的岩性、深度和变质相,从而构成了火成岩演化系统。这是用火成岩的年代地球化学作为岩石圈探针方法的重要支柱之一,也是构成中条山年代地壳结构的岩

① 我国习惯上将元古宙分为早、中、晚元古代,早元古代时限为2.5—1.8 Ga。最近国际上通过的元古宙三分方案为古、中、新元古代,古元古代的时限为2.5—1.6 Ga。本书一般沿用我国方案,早元古代是指中条运动(1.85 Ga)以前的部分,如包括中条运动后的西阳河群(1.81—1.6 Ga)时,则用元古宙或古元古代。国际前寒武纪时代划分见本书第三章表3—2。

石组成推断的最基础的资料。

3. 地质年代学是研究地球演化的“时间维”的最主要学科,前寒武纪地质年代学对于前寒武纪地壳演化研究尤为重要。本书讨论了年代学理论、方法发展和不断实践中对时线原理的某些问题提出的质疑;对测年元素能否保持封闭体系的研究的一些新进展,指出了单颗粒矿物测年方法特别是U-Pb定年前寒武纪年代学研究的重要意义。在年代学用于研究前寒武纪地质方面,本书指出了当前的主要趋势和进展有:(1)在前寒武纪时代划分问题上,国际地层委员会前寒武纪地层分会的前寒武时代划分方案已进入新阶段;(2)在用于研究前寒武纪地壳生长和构造演化的方法上,重视用锆石测年配合Sr、Nd、Pb等同位素讨论物质来源和用年代构造格架来表示其演化;(3)在地球动力学研究中, $P-T-t$ 轨迹的 t (时间)的“连续”测年正在兴起。

4. 对中条山前寒武纪五套双峰式火山岩和四期花岗质岩石,进行同一套岩石不同测年方法的配合采样。使用单颗粒锆石的U-Pb稀释法、离子探针质谱法和蒸发Pb法以及常规锆石U-Pb法,还有Rb-Sr和Sm-Nd全岩等时线等共6种测年方法,取得了近60个年龄数据。通过对比各种方法结果的可靠性,讨论了其地质意义,指出单颗粒锆石U-Pb稀释法和离子探针质谱法的年龄重合性较好,可靠性高以及本区锆石样品中经常有继承和捕获锆石的现象,为建立年代构造格架和年代地壳结构模式提供了大量依据。

5. 前寒武纪年代构造格架是地质事件和构造格局在时间上和空间上演化的一种综合表达形式。它是近年来国外一些重大研究进展中经常出现的内容。根据前述中条山的年龄数据及其意义,理顺了本区前寒武纪的火山岩、花岗岩和成矿作用的三个年代顺序,并确定其重要构造运动和变质作用的时间,据此建立了年代构造图和年代构造格架(包括年代成矿格架),表明了中条山早元古代地壳并非水平增殖,这些火成岩的年代范围落在全球岩浆寂静期。而且还明辨了涑水杂岩为太古宙基底早元古代时再造或叠加的产物,厘定绛县运动为2100 Ma,华北克拉通最终克拉通化在本区的中条运动表现为两幕,I幕为1900 Ma,II幕为1850 Ma;西阳河群火山岩最老年龄为1840 Ma,为华北地台盖层已知最老的年龄。

6. 地壳结构已有从地质、地球物理和地球化学三方面来进行研究,但往往是强调“深度维”或三维结构,而缺乏对“时间维”的探讨。中条山的年代地壳结构模式的构筑,得到了三方面的支持:(1)年代学方面,锆石的捕获或继承年龄主要指示深部长英质岩石年龄,Nd亏损源模式年龄(T_{DM})指示深部基性岩板底垫托的年龄;(2)地球化学方面,除了火成岩演化系统给出内壳岩特征外,元素和同位素地球化学深度标志也有助于确定空间位置;(3)地质方面,中条山西侧平原第四系覆盖区有深部地壳岩石零星出露,可以用于对地壳结构的核对和参照。据此建立了四层结构的中条山古元古代年代地壳结构模式,既反映了地壳的空间构成,也反映了地壳生成的演化过程。

7. 近年来的研究表明,变质作用的 $P-T-t$ 轨迹与地壳动力学之间的联系密切。用石榴石环带确定 $P-T-t$ 轨迹方法已趋成熟,但条件要求严格。中条山绛县群和中条群各有一套可以灵敏反应变质程度的变泥质-半泥质岩,两套岩石在构造期次、矿物生长顺序和阶段以及变质作用条件等均近似。经用岩石成因网格和石榴石环带定量所求出的 $P-T-t$ 轨迹表明,中条运动是早元古活动带的主要变质时期,轨迹代表陆内造山带的特征;中条运动I幕地壳均一增厚,中有间断;II幕轨迹达到高峰后迅速抬升,出现担山石群磨拉石建造的地壳侵蚀并沿退变曲线到达地表。与此同时,在深部太古宙地壳也经受了一次改造作用。

8. 古地磁与年代学相结合是研究前寒武纪地壳块体运动学和动力学的重要方法。经实验,中条山古元古代大部分岩层可以进行古地磁研究。结果表明,本区古元古代时处于赤道南北的中低纬度区,与地质记录中的大气圈和生物圈特点相一致。早元古代时与太行轨迹转动后较好地拟合,并与劳亚元古宙极移轨迹相似。中条群、担山石群和西阳河群之间出现极环,代表了中条运动 I、II 幕两次动力学过程。古地磁资料表明,西阳河群基本上就相当于整个长城系,而不是通常认为的只相当于其中的大红峪组火山岩,这与年代学研究对比也是吻合的。

9. 综合上述资料,本书提出中条山太古宙时期 3.1—2.6 Ga 为主要地壳岩浆添加期;2.6—2.45 Ga 为地壳添加和再造期,是以面型垂直幕式增长的板底垫托作用为主。而早元古代活动带则是在老基底上局部活化地幔物质,形成上涌岩浆添加(2.35—2.1 Ga),是华北克拉通上网点型板底垫托作用的一个热集中区;在 1.9—1.85 Ga 时,克拉通壳内热量大范围增高,出现了以中条运动为代表的地壳在深部的再造(如涑水杂岩区 1.8 Ga 的花岗岩)和在表层的强烈改造,并最终克拉通化;而后又有来自深部大规模裂谷环境的火山岩堆积充填。中条山多次大规模的板底垫托岩浆活动,代表了本区壳幔交换频繁,而且有继承性和延续性。1.6 Ga 以前是多阶段的活动带,地幔活动阶段是富铜的,而且多次活动,多次富集。而地壳经历的两次大的地壳再造和改造阶段(2.6—2.45 Ga 和 1.9—1.85 Ga)则是在地层厚度大、分异程度高和相对富集生热元素的基本条件下两次大的壳内热聚集和释放阶段。所有这些资料都不支持中条山曾有大规模的岛弧式水平方向岩浆增殖的观点。

10. 在全面总结中条山铜矿床的地质、地球化学资料的基础上,划分为铜矿峪型变质火山斑岩铜矿床,落家河型变质火山热液铜矿床,胡-篦型内源沉积再造铜矿床和横岭关型沉积变质铜矿床等四种主要铜矿床类型。认为它们的生成和改造与地壳的生长和演化紧密地联系,原生矿化是早元古代时期来自不同来源的构造岩浆活动,在不同阶段不同地质条件和成矿机制下的产物,后来受区域变质改造和变质热液矿化的叠加而成。所以在年代构造格架中,铜矿成矿作用有其位置和演化系统,在年代地壳结构中,也可找到其成矿物质主要来源。

参加课题研究的主要成员有孙大中、胡维兴、张惠民、赵凤清、唐敏、李惠民、梅华林和刘新秒等。刘文兴、杨春亮、罗其玲、朱士兴、李宝诒、吴昌华、林源贤和李善择等也做了部分工作。大量的测年工作主要由李惠民、林源贤和周慧芳完成。本书在集体编写的基础上,由主要执笔人分章完成(分工见目录),全书由孙大中、胡维兴和唐敏统编,图件由许开英清绘。

野外工作过程中得到山西中条山有色金属公司和山西省地矿局 214 地质队的支持和帮助。课题所采样品在测试方面还得到国内外许多学者、专家的帮助,为科研报告提供了丰富的重要资料:美国新墨西哥州矿业学院地学系 K. C. Condie 教授提供了 32 件岩石样品的各 35 项主要元素和微量元素的分析结果;北京铀矿地质研究所王文广研究员提供了两个常规锆石 U-Pb 年龄;西德缅因兹大学 A. Kröner 教授提供了 5 个样品的单颗粒锆石 U-Pb 年龄;特别是李惠民在澳大利亚国立大学和矿产资源局联合实验室进行单颗粒锆石 U-Pb 和离子探针质谱年龄测定时,得到 R. W. Page, 孙贤铎和 W. Compston 教授的指导和帮助(Li Huimin, A. Kröner, R. W. Page, 1993)。报告经董申保、沈其韩、李廷栋、胡受奚和高凡等五位教授评审并提出宝贵的意见,在此一并致谢。

目 录

前 言 (孙大中)

第一章 地质背景和铜矿成矿特征 (胡维兴、张惠民、赵凤清、梅华林)	1
第一节 区域前寒武纪构造格架与地层划分	1
一、区域构造格架对地层划分的意义	1
二、中条山地区前寒武纪地层划分	1
第二节 地层概况及岩石组合特点	4
一、涑水杂岩(体)	4
二、绛县群及绛县运动	7
三、宋家山群	10
四、中条群及其变质内源沉积岩	12
五、担山石群及中条运动	23
六、西阳河群及其地层对比	24
第三节 岩浆活动和区域变质作用特征	24
一、岩浆活动特征	24
二、区域变质作用特征	25
第四节 主要铜矿床类型及其基本特征	26
一、铜矿峪型变质火山斑岩铜矿床	26
二、落家河型变质火山热液铜矿床	28
三、胡-篚型内源沉积再造铜矿床	29
四、横岭关型沉积变质铜矿床	34
第二章 火成岩地球化学及其演化系列 (唐敏、赵凤清)	36
第一节 岩石学特征	36
一、变质火山岩和火山岩	36
二、花岗岩和花岗质岩石	38
第二节 变质火山岩、火山岩的地球化学特征及对比	40
一、常量元素地球化学	40
二、稀土元素地球化学	48
三、微量元素地球化学	49
四、同位素地球化学	52
第三节 花岗岩、花岗质岩石的地球化学特征及对比	55
一、常量元素地球化学	55
二、稀土元素地球化学	58
三、微量元素地球化学	60
四、同位素地球化学	61
第四节 岩石成因讨论	62
一、变质火山岩和火山岩的成因及形成环境	62

二、花岗岩和花岗质岩石的成因及形成环境	64
三、火成岩成因演化系列	64
第三章 前寒武纪年代学研究及其评价 (孙大中、李惠民)	67
第一节 前寒武纪年代学方法的发展趋势	67
一、同位素测年理论和技术的发展	67
二、前寒武纪时代的划分	71
三、地质年代学方法在前寒武纪地壳生长和构造演化研究中的应用	73
四、地质年代学在研究地球动力学中的应用	74
第二节 取样及加工过程	74
第三节 各种年代学分析方法	77
一、单颗粒锆石 U-Pb 稀释法	77
二、单颗粒锆石离子探针质谱法	77
三、单颗粒锆石蒸发 Pb 法	78
四、Rb-Sr 和 Sm-Nd 全岩等时线法	78
五、常规锆石 U-Pb 法	78
第四节 年龄测定结果	79
一、滦水杂岩(体)的年龄测定结果	79
二、绛县群的年龄测定结果	85
三、宋家山群的年龄测定结果	91
四、中条群的年龄测定结果	96
五、西阳河群的年龄测定结果	98
第五节 各种测年结果的比较及其意义	102
第四章 年代构造格架 (孙大中)	108
第一节 年代构造格架的研究概况	108
第二节 年代构造格架的组成	114
一、年代构造格架的时间	114
二、年代构造格架的空间	115
三、中条山古元古代年代构造格架及其地质意义	115
第五章 年代地壳结构模式 (孙大中)	118
第一节 地壳结构研究的进展	118
一、地质方法对地壳结构的研究	118
二、地球物理方法对地壳结构的研究	120
三、地球化学方法对地壳结构的研究	122
第二节 中条山年代地壳结构模式研究的方法和条件	124
一、研究方法	124
二、建立中条山年代地壳结构模式的条件	125
第三节 中条山古元古代年代地壳结构模式及其地质意义	128
一、年代地壳结构模式	128
二、地质意义	130
第六章 区域变质作用的 P-T-t 轨迹 (刘新秒、梅华林)	132
第一节 绛县群、中条群变质作用特征	132

一、横岭关组片岩的变质作用特征	132
二、篦子沟组片岩的变质作用特征	140
第二节 绛县群、中条群变泥质岩的 $P-T-t$ 轨迹	143
一、矿物生长和显微变形的的方法确定 $P-T-t$ 轨迹	143
二、利用石榴石环带定量计算 $P-T-t$ 轨迹	144
三、 $P-T-t$ 轨迹的形态及地质意义	152
第七章 中条山古元古代岩石的古地磁特征及其地质构造意义 (张惠民)	156
第一节 采样及测试	156
第二节 岩石的磁性特征分析及古地磁结果	158
一、磁性特征分析	158
二、古地磁结果	160
第三节 几个问题的讨论	162
一、关于特征磁性的认识和估价	162
二、有关地层的对比问题	163
三、可能的构造问题的探讨	164
第八章 中条山前寒武纪大陆地壳生长演化及有关问题讨论	165
第一节 中条山前寒武纪地壳生长演化的阶段与对比问题	165
第二节 中条山前寒武纪地壳成因与生长机制	167
第三节 中条山早元古代地壳演化与铜矿成矿作用演化的关系	168
参考文献	171

第一章 地质背景和铜矿成矿特征

第一节 区域前寒武纪构造格架与地层划分

一、区域构造格架对地层划分的意义

中条山位于华北地台南缘，是克拉通的重要组成部分。其北段，前寒武纪岩石的岩相特点分明，各套岩石所占据的相对的时间和空间的位置也是比较清楚的。这些岩石由西向东或由下而上可以划分出五个岩相带或构造层（图1—1），即：Ⅰ.涑水杂岩带，为变质花岗-沉积-火山杂岩（体），在其东缘，有后期北东向剪切构造带。Ⅱ.绛县群构造层，下部主要为变泥质一半泥质岩，中上部主要由变质高钾的双峰式火山岩和变凝灰质沉积岩所组成；一般呈NE-SW向，北部为倒转复向斜，轴面倾向NW，在中部上玉坡—胡家峪背斜的核部也有出露，褶皱构造有两次以上的叠加。Ⅲ.中条群构造层，为一套陆源—碳酸盐沉积变质岩系，含少量变质火山岩和变钠质、钾质内源沉积岩；其构造样式与绛县群有明显的不同，形成线形褶皱带；在北部出露在绛县群东侧呈弧形褶皱带，在中段则由两个背斜和一个向斜所构成，而且均是紧闭倒转褶皱；而上玉坡—胡家峪背斜则呈封闭构造，轴面和褶皱翼均倾向NW或W；中条群这种线形构造被后来的E-W向横跨构造所干涉，形成S型或弧形构造。Ⅳ.担山石群构造层，由变质砾岩、石英岩和变质粉砂岩所组成，呈近S-N向带状分布在中条群东侧，多为断层接触或不整合覆于绛县群和中条群之上；同样遭受中条运动的强烈变形和低级区域变质作用，代表了华北克拉通克拉通化最终的构造事件。Ⅴ.西阳河群构造层，由双峰式火山岩夹沉积岩构成，大面积分布，未变质，但有低角度的倾斜，表明有过弱构造变动，是本区克拉通的盖层；再上，覆有红色砂岩构成的汝阳群。

上述相带或构造层中，除Ⅰ可与Ⅱ、Ⅲ呈侵入接触外，其余均为不整合接触，且上、下叠置关系清楚，构成了本区清楚的区域构造格架。虽然傅昭仁等^①根据构造解析的理论，提出各构造带间均为剥离断层所分割，但也未改变各构造带相对的时间和空间关系，对于大套地层的划分，并无实质性的影响。

二、中条山地区前寒武纪地层划分

本区前寒武纪地层系统的建立，始于50年代初期。当时，王植、白瑾等曾着重于现在中条群、担山石群的岩层的相对顺序，划分为上、下片岩，上、下大理岩和上、下石英岩，并认为西侧为“横岭关花岗岩”侵入（王植、闻广，1957）。后来，马杏垣、孙大中和石世民开始注意构造地层方法，将担山石石英岩等与下伏岩层分开，并对地层系统作了命名，亦认为西侧主要是侵入的“烟庄花岗闪长岩”（孙大中、石世民，1959）。50年代末和60年代初，白瑾确立了中条群底部界牌梁石英岩与下伏绛县群岩层呈角度不整

① 傅昭仁、李先福、王奠英，1989，山西省中条山胡 篾型铜矿田控矿构造研究（未刊稿）

表 1-1 中条山前寒武纪地层简表①

群、亚群	组	厚度 (米)	主要岩、石组成②	铜矿床(矿化)类型	时代划分③	
					I	II
汝 阳 群	云梦山组		红色砂岩及底砾岩		中 元 古 代	古
	马家河组 鸡蛋坪组 许 山 组 大古石组	2000 100 3000 0—15	辉石安山岩夹红色页岩和砂岩 红—紫色流纹斑岩 玄武安山岩—安山岩—流纹岩旋回夹页岩和砂岩等 砾岩	火山气液铜矿化		
西阳河群			中条运动 II, 1.75 Ga		早	—1.8 Ga
	沙金河组 西峰山组 周家沟组	2160 310 0—100	变质砾岩 石英岩 变质砾岩(铁质及磷质胶结)			
中 条 山 群	陈家山组 吴家坪组 温 峪 组	500 650 680	中条运动 I, 1.9 Ga 绢云(石英)片岩, 绢云绿泥片岩 石英岩夹绢英片岩 绢云(石英)片岩夹不纯大理岩和石英岩		元	造 山 纪
	余家山组 龛子沟组	2000 830	中厚层白云石大理岩 黑色片岩, (十字) 石榴云母片岩; 下部夹斜长角闪岩和角闪变粒岩, 上部夹钠长浅粒岩	内源沉积—再造铜矿床		
下亚群	余元下组	600	燧石白云石大理岩, 方柱白云石大理岩, 顶部见有方柱黑云片岩		元	—2.05 Ga
	龙 峪 组 界牌梁组	300 0—130	砂—泥质板岩; 下部夹石英岩, 上部夹白云石大理岩 石英岩, 局部有变质底砾岩 绛县运动, 2.1 Ga			

群	县	层	铜矿峪组	600	三段: 绢云片岩, 变钾质流纹岩和变流纹质凝灰岩 二段: 黑云片岩和绿泥片岩 一段: 变钾质流纹岩—变钾质流纹质凝灰岩旋回夹火山角砾岩	变质火山斑岩铜矿床	古	古	—2.3 Ga	代	成铁纪
					绢云片岩和绢英片岩; 下部夹磁铁绿泥片岩, 底部夹石英岩						
					十字石榴绢云片岩, 二云片岩; 文组云片岩和绢英(片)岩 石英岩夹绢云片岩						
群	县	层	网头山组	600		沉积变质铜矿床	古	古	—2.3 Ga	代	成铁纪
			横岭关组	1000							
群	县	层	平头岭组	20		砾岩	古	古	—2.3 Ga	代	成铁纪
			凉水杂岩 (体)		细粒钾质花岗岩, 钙碱质花岗岩 剪切带: 眼球状片麻岩, 英云闪长质片麻岩 角闪黑云片岩, 黑云片岩, 羽斑角闪岩, 变英安岩, 变英安质凝灰岩及变质火山角砾岩						

角度不整合 平行不整合 侵入接触 剪切带

- ① 宋家山群的地层归属未定, 未列入表中; ② 岩石名称下划线者为火山岩或变质火山岩;
③ 时代划分 I 按我国习惯划分, II 按 28 届国际地质大会通过的前寒武纪地层划分方案划分 (参见表 3—2)。

合接触,同时将西部大面积出露的花岗质岩石厘定为太古代混合杂岩,与上覆绛县群、中条群也呈不整合关系;1959—1962年,他又提出了一个中条山北段前寒武纪地层划分方案,奠定了本区地层划分的基础。70年代初,山西省地质局213队周正等在进行大面积1:5万综合普查时,除进一步理顺北区的地层关系外,对南区地层也做了大量的工作^①。紧接着,由华北地质科学研究所、山西省地质局214队和中条山有色金属公司联合组成的研究队,又对本区前寒武纪地层进行了较系统的研究和总结(《中条山铜矿地质编写组》,1978),提出了一个包括北段和南段的完整的前寒武纪地层系统。此后,山西省地质局区域地质调查队,在本区及其外围完成的1:20万区域地质图以及尔后的《山西的前五台系》、《山西的五台系》和《山西的滹沱系》等地层总结中,都涉及到了中条山前寒武纪地层问题。自1980年后,山西省地矿局214队在本区开展1:5万区域地质调查以及山西省地质科学研究所等单位在本区进行成矿条件研究时,对前寒武纪地层划分也提出了一些新的见解。尽管这些划分方案与白瑾1962年提出的方案大同小异,但尚有若干重大问题值得商榷。本课题在前人工作的基础上,着重对这些重大问题进一步研究,所提出的中条山前寒武纪地层划分方案如表1—1;其新进展或者与前人多数方案主要不同之处将在下节各有关部分作详细的阐述。

第二节 地层概况及岩石组合特点

一、涑水杂岩(体)

涑水杂岩主要分布于中条山山脉的西侧,主体呈北东向分布于闻喜—夏县一带的涑水河流域,延长约100公里,宽约10公里,自北东而南西分别与早元古代绛县群、中条群相接触。此外,在研究区以外西北侧平原第四系地堑中的稷山、曲沃和稷王山,有四个孤立出露的变质体,并多有古生界不整合覆盖,本文也将它们包括在涑水杂岩之内

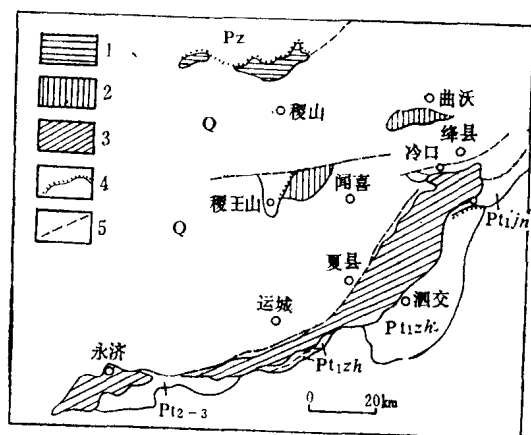


图 1—2 涑水杂岩分布图

1—涑水杂岩(麻粒岩相); 2—涑水杂岩(高角闪岩相); 3—涑水杂岩(低角闪岩相); 4—不整合接触关系; 5—断层; Pt_{1jn}—绛县群; Pt_{1zh}—中条群; Pt₂₋₃—中上元古界; Pz—古生界; Q—第四系

孤立出露的变质体,并多有古生界不整合覆盖,本文也将它们包括在涑水杂岩之内(图1—1, 1—2)。有些地质工作者把北峪及虎坪出露的花岗质岩石,也归属于涑水杂岩,但根据地质特点和截止目前所获得的年代学资料,本文未采纳此意见。

在不同地段出露的涑水杂岩,其岩石组合及遭受变质作用程度有明显差异。在稷山出露的涑水杂岩主要是遭受麻粒岩相变质的角闪二辉斜长麻粒岩、二辉角闪斜长麻粒岩、斜长角闪岩和片麻岩,其它地区则以角闪岩相变质岩石为主。若以白云母消失形成钾长石和矽线石反映为低高角闪岩相界线,则中条山西麓山前断裂以北,曲沃和稷王山零星出露的变质岩石可

① 山西省地质局213队,1971,山西省中条山绛县—平陆地区1:5万综合普查报告

归为低压高角闪岩相,而闻喜、夏县一带分布的岩石则为中低压低角闪岩相(董申保,1986)^①。这套涑水杂岩虽多以花岗质片麻岩为主,但组成仍比较复杂,不同地段岩性差别仍较大。以其中的上壳岩为例,南段含变粒岩、磁铁石英岩,而北段多为典型的变质火山岩岩层。

涑水杂岩的成因和时代归属问题,一直存在较大的争论。最早期认为它是相当于“泰山系”的古老地层(侯德封,1936;石川秀夫,1942;王植,1952);稍后,一些地质学家把它划归为中条期的花岗岩侵入体(王植,1954;马杏垣,1958;孙大中和石世民,1959);而后,许多地质学家认为这套岩石为太古代的一套深变质岩和强烈混合岩化的岩石组合,为本区的太古代结晶基底,与上覆的绛县群或中条群为不整合接触关系,并由白瑾提出,1959年全国地层会议正式命名为涑水杂岩,沿用至今。70年代初,山西区测队的运城、三门峡幅1:20万地质图将涑水杂岩定为正式岩石地层单位,称涑水群,并划分为六个岩组,各组间皆为整合接触关系^②。但是就现有资料分析,涑水杂岩的顶、底不清,构造不明,岩性、岩相变化大,缺乏可靠的标志层,而且其主体是花岗质岩石,多为岩浆型侵入体(孙大中,1988;赵凤清,1989),不具备地层含义。因此,我们认为建组依据不足,建群条件也不成熟。

70年代晚期,《中条山铜矿地质》一书中,虽然亦认为涑水杂岩中的花岗质岩石为混合岩,但已提出混合岩化作用发生于或延续到中条晚期,涑水杂岩与绛县群、中条群之间可能存在混合岩化接触关系而不是地层超覆不整合接触关系,并将涑水杂岩划归早元古代。徐朝雷等(1983)^③亦提出烟庄一带的花岗质岩石为变质花岗岩,与上覆的平头岭组石英岩为侵入接触关系,但他们是将该处的花岗岩作为一个期次的,同时仍不排除平头岭组石英岩和下伏地层的不整合性质,并认为两者都属于太古宙。

本次研究重点是对中条山北段的涑水杂岩进行工作,主要进展一是发现并详细研究了涑水杂岩中的冷口变质火山岩,二是详细研究了杂岩体中的花岗质岩石,初步查明它们是不同的类型、不同期次的花岗岩侵入体,总体上和上覆地层为侵入接触关系。重点观察研究的是冷口桥—烟庄—平头岭剖面(图1—3)。

冷口变质火山岩出露于冷口村附近,出露面积约4平方公里,是一套中浅变质的火山岩组合;其西侧为第四系覆盖,南侧则被英云闪长质片麻岩所侵入,并呈包体存在于后者之中。主要岩石是变质基性火山岩,包括黑云片岩、角闪黑云片岩、绿泥黑云片岩、方柱黑云片岩和斜长角闪岩。在变质基性火山岩中夹有一层变质英安岩和一层变质英安质斑岩。据冷口村东南侧水渠边的剖面观察(图1—4),自西北而东南方向依次出露的岩石组合为:黑云片岩夹角闪黑云片岩→变质火山角砾岩→绿泥黑云片岩和方柱黑云片岩→黑云片岩→酸性火山角砾岩→具羽斑构造(garbenschifer)的角闪黑云片岩,并有辉绿岩脉、斜长角闪岩脉和方柱黑云片岩岩脉的侵入。

冷口变质基性火山岩从岩石构造上可分为两类:一类片状构造较发育且具羽斑构造,另一类呈致密块状。前者以凝灰质岩石为主,后者可能为熔岩。岩石片理与一些互层的熔岩和凝灰岩产状基本一致,反映变形改造以顺层剪切作用为主,很多熔岩地层由于受到剪

① 山西省地质科学研究所,1984,山西变质图编图与研究(评审稿)

② 山西省地质局,1972,运城、三门峡幅1/20万地质图说明书

③ 徐朝雷、徐有华、张忻,1983,山西省五台系,山西省各时代地层总结

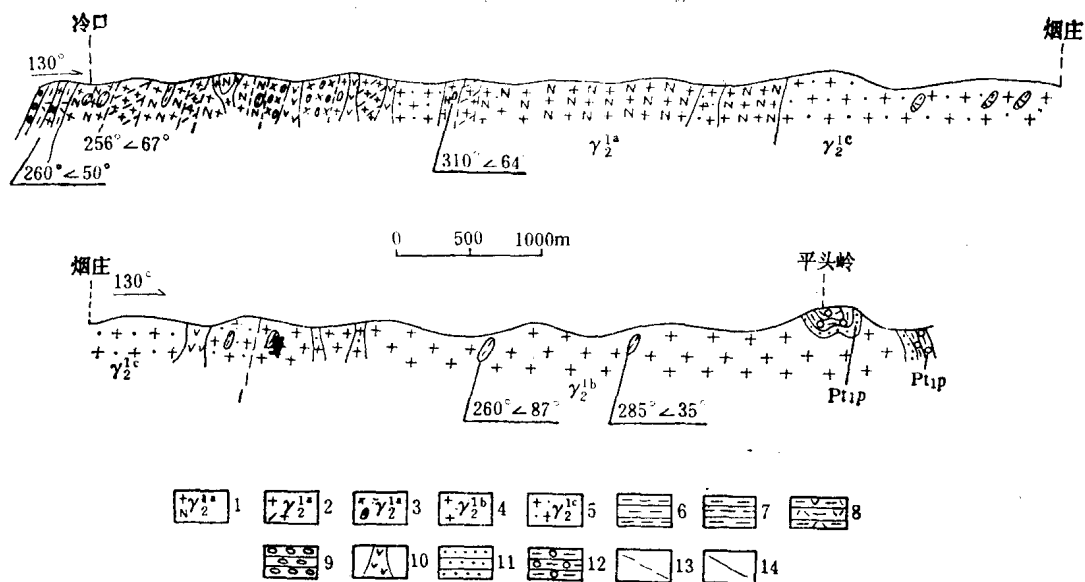


图 1—3 冷口—平头岭涑水杂岩剖面图

1—寨子灰黑色片麻岩；2—寨子浅灰色—浅肉红色片麻岩；3—寨子眼球状片麻岩；4—横岭关钙碱性花岗岩；5—烟庄偏碱性花岗岩；6—黑云片岩；7—方柱黑云片岩；8—角闪黑云片岩；9—酸性火山角砾岩；10—辉绿岩脉；11—平头岭组石英岩；12—横岭关组片岩；13—岩性界线；14—地质界线

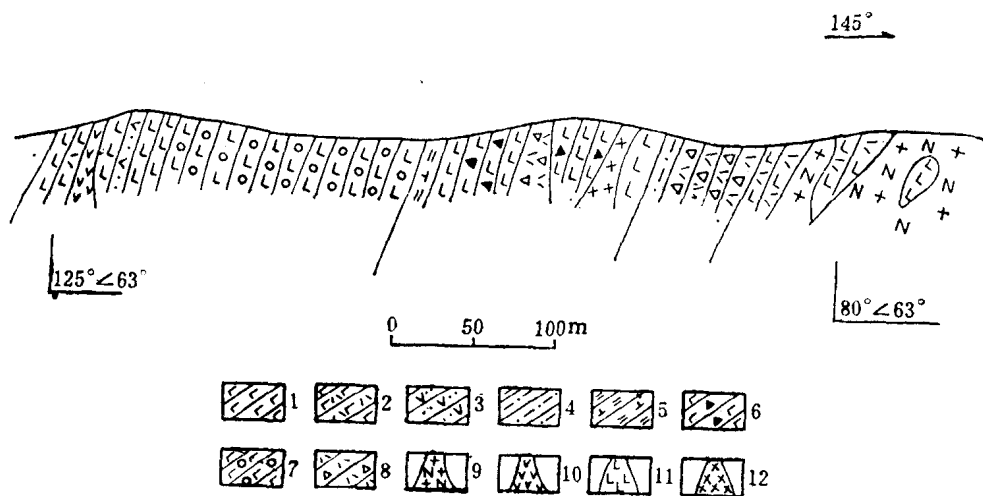


图 1—4 冷口变质火山岩剖面图

1—黑云片岩；2—角闪黑云片岩；3—变英安质凝灰岩；4—二云片岩；5—绿泥黑云片岩；6—方柱黑云片岩；7—变质基性火山角砾岩；8—变质酸性火山角砾岩；9—英云闪长质片麻岩；10—辉绿岩脉；11—变质的侵入成因方柱黑云片岩；12—斜长角闪岩脉

切拉伸作用而呈分离的透镜体存在于凝灰质地层中。这套火山岩由于已受到变形变质作用的改造，且顶底不清，因而其原始层序已无法恢复。但根据变质基性火山岩和变质中酸性—酸性火山岩的截然接触关系以及火山角砾的分布，可以恢复其沉积层理与片理产状基本上是一致的。

使用变质英安质凝灰岩中的锆石，由单颗粒锆石 U-Pb 法和离子探针质谱法分析，测得这套火山岩的结晶年龄为 $2360 \pm 62 \text{ Ma}$ 和 $2333 \pm 5 \text{ Ma}$ 。

冷口火山岩形成之后, 本区有大量的多期次的花岗质岩浆侵入活动, 构成涑水杂岩的主体, 据其地质产状、地球化学和同位素年代学资料, 可划分为三期 (图 1—3)。

最早的一期花岗质岩石为英云闪长质片麻岩, 称之为寨子英云闪长片麻岩 (γ_1^a), 分布于冷口村南至烟庄村之间, 主要为片麻岩、眼球状片麻岩和角砾状片麻岩。其内部至少存在两期剪切变形, 形成片麻状构造和眼球状构造。在冷口村南, 这套英云闪长质岩石呈截然关系侵入于冷口变质火山岩之中, 表明其形成时代晚于火山岩。由单颗粒锆石 U-Pb 法测得的英云闪长质片麻岩结晶年龄为 2321 ± 2 Ma。片麻岩中还存在有相当数量的黑云片岩、角闪黑云片岩、方柱黑云片岩和细粒黑云片麻岩的包体。用单颗粒锆石 U-Pb 法测得黑云片岩中锆石的年龄为 2348 ± 12 Ma, 时代大致与冷口变质火山岩相当, 而且包体中见有羽斑构造, 表明原岩亦为火山凝灰质岩石, 因此推断它们是冷口变质火山岩的相当物。

第二期的花岗质岩石为横岭关钙碱性花岗岩 (γ_2^b), 分布于烟庄—横岭关之间, 以岩性均匀的具块状构造的中粗粒花岗岩为特征。岩体中也见有黑云片岩、方柱黑云片岩等包体, 但含量较少。在中条山北段, 横岭关钙碱性花岗岩与绛县群的平头岭组石英岩相接触, 下横榆村东石英岩采石场, 可见前者包裹后者的现象。目前所获得的这套花岗岩的常规锆石 U-Pb 年龄为 2231 ± 86 Ma。

第三期为烟庄偏碱性花岗岩 (γ_3^c), 为具块状构造中细粒花岗岩和一些具长石斑晶的中粗粒斑状花岗岩。在区域上经常可见其侵入于冷口英云闪长质片麻岩和横岭关钙碱性花岗岩之中, 并见其有后两种岩石的包体; 因此, 从地质产状上看, 它无疑是晚于前两期花岗质岩石侵位的。在研究区南部, 涑水杂岩的花岗质岩石已侵入到中条群从界牌梁组到余家山组各层位的岩石中; 而在研究区外, 北京铀矿地质研究所在永济一带与烟庄花岗岩相似的花岗岩中, 获得的常规锆石 U-Pb 年龄为 $1888^{+52.1}_{-46.7}$ Ma 和 $1695^{+71.7}_{-63.9}$ Ma (李子颖, 1989, 私人通信), 表明涑水杂岩中可能存在一期较年青、时代相当于中条运动晚期或期后的花岗岩浆侵入事件。

由上述可见, 涑水杂岩是一个名符其实的杂岩体, 它的组成是十分复杂的, 既包括早期的上壳岩系地层 (如冷口变质火山岩), 也包括其后侵入的多期花岗岩。就目前获得的同位素年龄资料, 在中条山北段, 其主体应为早元古代的产物, 但也不排除有部分太古宙岩石或其残留体。虽然许多同位素年龄中, 普遍存在有捕获或继承性太古宙年龄信息 (第三章第四节), 但从地层和构造角度来说, 太古—元古地层界线究竟在何处, 并未查明。从以上研究结果可以确定的是, 就涑水杂岩的整体而言, 它并非是一个简单的太古宙基底, 它与上覆地层之间, 是一个穿时的侵入接触界线, 而不是太古宙—元古宙之间的沉积不整合面。因此, 虽然我们仍采用“涑水杂岩”这一名称, 但涵义和以往概念有原则上的不同。

二、绛县群及绛县运动

绛县群主要分布于绛县横岭关—垣曲铜矿峪一带和上玉坡—胡家峪背斜的核部, 总厚约 2200 余米。它首先是由白瑾 (1962) 建立的, 并认为是太古代地层, 下与涑水杂岩、上与中条群均呈角度不整合接触, 前者称之为涑水运动, 被认为与五台山区的阜平运动相当, 后者为五台运动。当时, 将绛县群自下而上划分为平头岭石英岩组、横岭关片岩组和铜矿峪变质火山岩组, 各组间为整合关系。此后虽有不少人对此划分有若干修正, 但主要

是在绛县群内部的细分上略有差异，同白瑾的划分并无原则性的区别。

本文基本上采用白瑾的原划分方案。但考虑到为突出含铜变质火山岩系，将原铜矿峪变质火山岩组的下部，明显属于变凝灰质碎屑岩和变泥质一半泥质岩这套具有一定厚度、稳定分布的岩层单独划出，采用徐朝雷等(1983)①的“圆头山组”命名，圆头山组与下伏横岭关组为平行不整合或微角度不整合接触；从而形成了平头岭组、横岭关组、圆头山组和铜矿峪组的四分方案（表 1—1）。平头岭组—横岭关组的典型剖面在横岭关附近的平头岭—后山村（图 1—5），圆头山组—铜矿峪组的典型剖面在后山村—铜矿峪沟（图 1—6）。

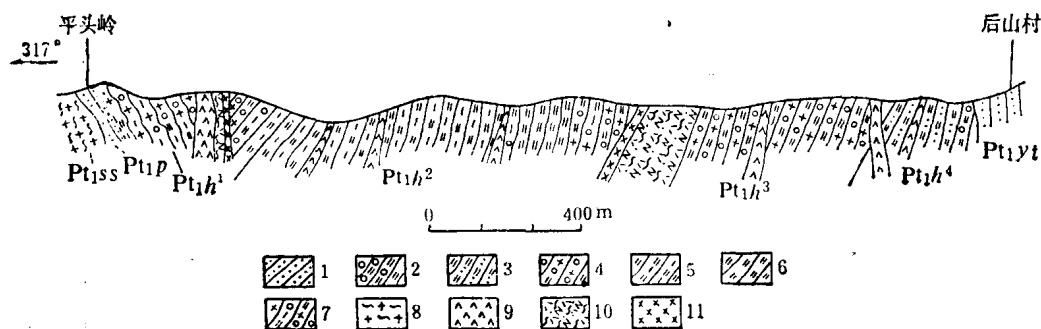


图 1—5 平头岭—后山村绛县群剖面图

1—石英岩；2—石榴云母片岩；3—绢云片岩；4—十字石榴云母片岩；5—二云片岩；6—石墨绢云片岩；7—石墨十字石榴云母片岩；8—花岗岩；9—角闪岩脉；10—斜长角闪岩；11—辉绿岩；Pt_{1ss}—涑水杂岩；Pt_{1p}—平头岭组；Pt_{1h1}—横岭关组一段；Pt_{1h2}—横岭关组二段；Pt_{1h3}—横岭关组三段；Pt_{1h4}—横岭关组四段；Pt_{1y}—圆头山组

涑水杂岩的花岗岩与平头岭组石英岩为侵入接触关系，在“涑水杂岩”部分中已作了论述。就已厘定的平头岭组而言，前人因石英岩中偶含砾石而认作底砾岩。但这种砾石极少，以脉石英为主，磨圆度好，砾径一般为 0.5—1 cm，很难说具有底砾岩的特征。因此，不存在绛县群与涑水杂岩之间的沉积—构造不整合面，“涑水运动”也不能成立。铜矿峪组为中条群的界牌梁组石英岩不整合覆盖，其界面称之为“五台运动”或“绛县运动”历来多无争议，本文依旧。铜矿峪组变质流纹岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 2115 ± 6 Ma，因此厘定绛县群的顶界年龄为 2100 Ma。

绛县群按岩石组合特征和火山岩发育程度亦可分为上、下两部。下部包括平头岭组和横岭关组，从石英岩开始，原岩主要是泥质一半泥质岩，变质为低—中级的各类片岩和绢英岩。一般而言，中上段的岩石保留较好的沉积组构，沉积韵律和沉积条带发育，在砂质较高的岩石中，有时可见到交错层和波痕；含碳质较明显，为本区横岭关型沉积变质铜矿的主要赋存层位。虽然横岭关组局部表现出明显的浊流组构，呈现出可与鲍马层序相比较的剖面结构，但其范围较小（宽仅十几米），认为是浅水风暴浊流沉积而不是深水浊流沉积产物。

绛县群上部包括圆头山组和铜矿峪组。圆头山组以平行不整合或微角度不整合覆于横岭关组不同层位之上②，从底部的砾岩、石英岩开始，向上为含有较多凝灰物质的绢英片

① 徐朝雷、徐有华、张忻，1983，山西省五台系，山西省各时代地层总结

② 山西地矿局 214 队，1984，1:5 万区域地质调查报告（绛县测区）