

鲁 西

早前寒武纪地质

曹国权 等著



地质出版社

鲁西早前寒武纪地质

曹国权 等著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

山东西部山区是华北早前寒武纪岩石几个重要出露区之一,有众所周知的泰山岩群、沂水岩群、侵入杂岩及复杂的地质事件。

本书是在近十年区调、科研、找矿勘探基础上的专题研究的新成果,从变质岩系、岩浆杂岩、变质变形作用 PTt 轨迹、成矿规律、同位素年代学等方面对鲁西山区作了系统分析,并归纳了该区错综复杂的各种地质事件,运用活动论观点,探讨了该区早前寒武纪地壳演化模式。

本书可供从事前寒武纪地质研究的野外地质工作者、科研人员及地质类高等院校师生参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

鲁西早前寒武纪地质/曹国权等著.-北京:地质出版社,1996.1
ISBN 7-116-02042-X

I. 鲁… II. 曹… III. 早前寒武-地质-科学研究-山东 IV. P534.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 02378 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:张天祯 张新元

(电话:010-2383322-6502)

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 $1/16$ 印张:13.375 插页:2 图版:8 字数:300 千

1996 年 1 月北京第一版·1996 年 1 月北京第一次印刷

印数:1—1300 册 定价:22 元

ISBN 7-116-02042-X
P·1541



谨将此书献给

第三十届国际地质大会

曹國权

序

华北—塔里木克拉通东端，有大面积早前寒武纪基底结晶岩石出露，如辽东、燕山—冀东、阴山—集宁、太行—五台、秦岭北坡、鲁西等地，这些地区的早前寒武纪变质岩各有特点。由于它们蕴藏着丰富的不同层位的条带状铁矿和一些其他矿产，自 50 年代早期起，在进行矿产勘查和中、大比例尺区域地质调查的同时，还开展了多方面的专题研究，积累了大量地质资料。80 年代初以来，华北各地早前寒武纪地质的科研专著相继问世，但包括郯庐断裂带及其西侧山区的整个鲁西地区变质花岗杂岩，还没有比较完整的著作出版。山东省地质矿产局近年组织长期在鲁西从事早前寒武纪地质研究的科学工作者，在已有普查勘探、区域地质调查和科研资料基础上，对该地区早前寒武纪地质作了系统全面的研究，写成《鲁西早前寒武纪地质》一书，并附有最新的全区 1:100 万地质图，填补了这个空白。这对推动华北全区早期地壳演化的进一步研究，将起到积极作用。关于这本专著的主要内容和一些新的认识，参见作者的导言，恕不赘述。

中国地质科学院地质研究所从事早前寒武纪地质工作的同仁和山东省地质矿产局（地质局）及其所属机构的同行们，有着长期进行合作研究的密切关系。60 年代初期新泰雁翎关地区 1:5000 的共同详细地质填图和有关工作，为后来肯定的晚太古代花岗绿岩带及其所含的多层变质科马提岩的存在奠定了基础。80 年代初以来又进行了多方面的合作，地质研究所的徐惠芬同志还参加了这本地质专著的撰写。作为这个合作集体的一个成员，我对这本专著的出版表示祝贺，并推荐给国内外的同行们。

在前后三十余年与山东省地质矿产局同行们的合作中，深深感到对早前寒武纪地质现象的认识，是一个实践—认识—再实践—再认识无数次循环反复的过程。鲁西早前寒武纪地质中某些重要事件，仍然存在不少需要继续探索的问题。例如，万山庄构造变质杂岩系形成的地质背景及残存的变质岩系的时代；蒙山复杂构造带的构造体制、动力学机制及其演变历程；由沂水早期表壳岩与紫苏花岗岩共同组成的变质穹隆，它的发生发育过程及其与泰山岩群的时代关系等等，都需在今后继续从各个侧面进行研究探讨，不断深化认识。愿同行们在广阔的科学大道上携手前进！

徐惠芬

1995 年 3 月

前言

本书是对山东西部（包括沂沭断裂带）山区早前寒武纪结晶基底近十年区域地质调查、普查找矿、科学研究的阶段性总结。

60年代中期开始，地质科学有飞跃发展，早前寒武纪地质研究也取得了长足进展，以活动论为主要内涵的新观点、新理论不断涌现。1980年沈阳变质火山沉积岩讨论会，以及1983年北京香山前寒武纪地壳演化国际学术讨论会，促进了国内前寒武纪地质研究工作。山东省区域地质调查、普查找矿、科研工作在这种情况下，运用这些新观点，对结晶基底中的变质地层、侵入岩、变质地质、构造地质及成矿，重新加以认识，提高到了一个新的水平。这些成果有必要加以系统化，进一步总结，在国内外进行交流。

1983—1985年区域地质调查队进行了“鲁西泰山群专题研究”，随即开始1:20万新一轮区域地质调查，及金矿找矿工作，迄今已历十年之久。区调队及各地质队与地矿部科研单位在这4万km²范围内，做了大量工作，积累了许多珍贵资料，获得了不少重要认识，适时地进行总结，是非常必要的。

山东省除南部与江苏省丘陵地区有露头相连以外，四周为新生代盆地及海域环绕，与河北冀东、山西五台、河南嵩山隔绝，为了使人们对华北克拉通早前寒武纪地质及成矿作用有一个通盘了解，作出与目前认识水平相适应的系统总结，显得十分重要。

基于以上情况，1990年山东省地矿局批准这个科研项目立项。

这十年在鲁西投入各种地质工作，取得不少资料，但大多由各单位独立进行，对地质问题看法不尽一致，缺乏深入系统的了解。这次立项的科研项目是在分析了各学科存在的某些特点之后，归纳成几个问题，然后集体野外观察，有针对性地进行采样，进行室内研究，进一步提高了认识。

本项目聘请长期在鲁西进行专题研究的中国科学院院士程裕淇教授为技术指导。在工作中，得到沈其韩院士的关怀与鼓励，本项目还特邀中国地质科学院地质研究所徐惠芬研究员参加变质地质研究工作。为了集中各方面意见，成立由曾经在鲁西参加过前寒武纪地质工作的技术骨干组成的编辑组，曹国权任主编，王致本、张成基任副主编。编辑组成员有施允亨（组长，第一地质队，下简称一队。一队先有李昶绩参加，审稿后王友平参加部分工作）、曹国权（地矿局）、王致本（一队）、张成基（地科处）、沈昆（地质实验院）、王世进（地质实验院）、徐惠芬（地科院）。编写人员分工如下：导言、地壳演化：曹国权；地层：王致本（组长）、董一杰（一队）、程志忠（第八地质队）、李评（第二地质队）；岩浆岩：沈昆（组长）、王世进、金隆裕（地质实验院）、徐金芳（地质实验院）；地质构造：张成基（组长）、郑良峙（第三地质队）、张增奇（区调队）、王世进；变质作用：徐惠芬（组长）、施允亨；地球物理地球化学：陈运环（组长、物化探院）、任夕振（一队）；成矿作用：翟颖川（组长，一队）、马云顺（一队）、梁邦启（区调队）。成文后，1993年11月经程裕淇、董申保、沈其韩、游振东、林景仟、邹光华、艾宪森等专家教授

审查，提出了宝贵意见。随后分别作了修正补充，最后由曹国权统一定稿。这次出版前，为了突出重点，对此科研成果某些章节作了调整，并精简了部分文字和插图。

鲁西早前寒武纪变质基底，从中太古代至早元古代，历经多次叠加变质变形、岩浆活动的破坏，要想获得接近客观的认识，还须作出不懈努力。本书为该项科研成果，是运用新理论、新观点，对近十年地质工作作出的阶段性总结。它是一种尝试，由于作者认识水平有限，谬误实所难免，请阅者批评指正。

在整个工作过程中，得到了山东省地矿局及所属有关单位的大力支持，从而使工作得以顺利进行；成果初稿完成后，沈其韩院士通篇详细地审查，提出了许多宝贵意见；本书定稿后，山东省地质科学实验研究院张天祯同志进行了编辑加工，沈昆同志完成了英文翻译，宋晓敏和陶卫卫同志承担了图件清绘，刘继梅同志对书稿编辑清样作了微机录排校改；地质出版社谭惠静同志、张新元同志和沈文彬同志在本书编辑出版过程中提出很多宝贵指导性意见，在此一并致谢。

作 者

1995 年 2 月

目 录

导 言	曹国权 (1)
第一章 变质地层	(8)
第一节 概述	王致本 (8)
第二节 沂水岩群	程志忠 (11)
第三节 泰山岩群	王致本 董一杰 (14)
一、雁翎关组	(15)
二、山草峪组	(19)
三、柳杭组	(21)
四、岩层特征对比、地层对比及生成时代讨论	(24)
五、问题与讨论	(27)
第四节 济宁岩群	李 评 (30)
第二章 侵入岩	(33)
第一节 期次划分、分布及地质特征	王世进 (33)
一、中一晚太古代沂水期侵入岩	(33)
二、晚太古代新甫山期侵入岩	(35)
三、晚太古代中天门期侵入岩	(37)
四、早元古代傲来山期侵入岩	(38)
五、脉岩类	(40)
第二节 岩石学特征	金隆裕 (41)
第三节 岩石化学和地球化学	沈 昆 (48)
一、沂水期	(48)
二、新甫山期片麻状花岗质岩石	(54)
三、中天门期辉长岩-闪长岩类	(59)
四、傲来山期二长花岗岩类和钾质花岗岩	(66)
第四节 岩石包体	徐金方 (71)
第五节 同位素年代	沈 昆 (83)
第六节 成因和演化	沈 昆 (86)
第三章 变质岩石和变质作用	(93)
第一节 变质岩石类型	施允亨 (93)
一、麻粒岩相岩石	(93)
二、角闪岩相-低绿片岩相岩石	(97)
三、混合岩类	(104)
四、糜棱岩类	(106)
第二节 变质原岩特征	施允亨 (106)
第三节 混合岩化作用	施允亨 (110)

第四节 地球化学特征	徐惠芬 (112)
一、超镁铁质岩类	(112)
二、镁铁质岩类	(115)
三、中酸性岩类	(121)
第五节 变质作用类型	徐惠芬 (123)
一、麻粒岩相-高角闪岩相变质作用	(124)
二、角闪岩相-绿片岩相变质作用	(133)
第六节 变质作用演化和 PT_t 轨迹	徐惠芬 (137)
第四章 构造地质	(140)
第一节 概述	张成基 (140)
第二节 褶皱构造	郑良峙 (142)
第三节 韧性剪切带	张增奇 (144)
第四节 构造发展史	张成基 (150)
第五章 地球物理场与深部地质	任夕振 (155)
第一节 地球物理特征	(155)
第二节 区域磁场特征	(156)
第三节 区域重力场特征	(160)
第四节 深部构造探讨	(163)
第六章 成矿作用	翟颖川 马云顺 梁邦启 (167)
第一节 概述	(167)
第二节 条带状含铁建造铁矿床	(170)
第三节 早前寒武纪金矿	(176)
第四节 小 结	(180)
第七章 鲁西早前寒武纪地壳演化	曹国权 (182)
一、变质地层	(183)
二、岩浆活动特征	(184)
三、变质期的讨论	(186)
四、地壳演化初探	(188)
参考文献	(190)
图版	(194)
英文摘要	(203)
附图: 鲁西地区早前寒武纪地质图 (1:1 000 000)	

CONTENTS

Introduction	<i>Cao Guoquan</i>	(1)
Chapter I Stratigraphy		(8)
1. General Remarks	<i>Wang Zhiben</i>	(8)
2. The Yishui Lithologic Group	<i>Cheng Zhizhong</i>	(11)
3. The Taishan Lithologic Group	<i>Wang Zhiben and Dong Yijie</i>	(14)
4. The Jining Lithologic Group	<i>Li Ping</i>	(30)
Chapter II Intrusive Rocks		(33)
1. Stages, Distributions and Geological Characteristics	<i>Wang Shijin</i>	(33)
2. Petrological Characteristics	<i>Jin Longyu</i>	(41)
3. Petrochemistry and Geochemistry	<i>Shen Kun</i>	(48)
4. Enclaves	<i>Xu Jinfang</i>	(71)
5. Isotope Chronology	<i>Shen Kun</i>	(83)
6. Petrogenesis and Evolution	<i>Shen Kun</i>	(86)
Chapter III Metamorphic Rocks and Metamorphism		(93)
1. Types of the Metamorphic Rocks	<i>Shi Yunheng</i>	(93)
2. Characteristics of the Protoliths	<i>Shi Yunheng</i>	(106)
3. Migmatization of the Metamorphic Rocks	<i>Shi Yunheng</i>	(110)
4. Geochemistry of the Metamorphic Rocks	<i>Xu Huifen</i>	(102)
5. Types of the Metamorphic Rocks	<i>Xu Huifen</i>	(123)
6. Metamorphic Evolution and <i>PTt</i> -path of the Metamorphic Rocks	<i>Xu Huifen</i>	(137)
Chapter IV Structural Geology		(140)
1. General Remarks	<i>Zhan Chengji</i>	(140)
2. Folds	<i>Zheng Liangchi</i>	(142)
3. Ductile Shear Zones	<i>Zhang Zengqi</i>	(144)
4. History of Tectonic Development	<i>Zhang Chengji</i>	(150)
Chapter V Geophysical Fields and Deep Structures	<i>Ren Xizhen</i>	(155)
1. Geophysical Features		(155)
2. Features of the Regional Magnetic Fields and its Interpretation		(156)
3. Features of the Regional Gravitational Fields and its Interpretation		(160)
4. Discussion on the Deep Structures		(163)
Chapter VI Metallogenesis (Mineralization)		
	<i>Zai Yingchuan Ma Yunshun and Liang Bangqi</i>	(167)
1. General Remarks		(167)

2. Iron Deposits in Banded Iron Formations	(170)
3. Early Precambrian Gold Deposits	(176)
4. Summary	(180)
Chapter VII Early Precambrian Crustal Evolution in Western Shandong	
..... <i>Cao Guoquan</i>	(182)
Reference	(190)
Plates and Explanations	(194)
Abstract in English	(203)
Attached Map: Early Precambrian Geological Map of Western Shandong (1:1 000 000)	

导 言

山东在地质构造位置上,隶属于华北克拉通。华北克拉通与塔里木克拉通,共同组成我国巨大的横亘东西的稳定区,它在中国构造格架中,起着骨干作用。这个稳定区出露大量刚性的前寒武纪结晶基底。鲁西就是众多的古老结晶基底裸露区之一。它的北部为阴山-燕山变质区^[14],西侧为五台-太行山变质区^[12],南侧为嵩山-霍丘变质区,东侧为胶东变质区。鲁西地区早寒武纪地质与四周各区存在较大差别,自有特点(见附图:鲁西地区早前寒武纪地质图)。

鲁西山区是指郑庐断裂带昌邑-大店主断裂以西地带。对该区出露的早前寒武纪变质岩,研究最早的是德国人李希霍芬,他所著的《中国》一书于1882年问世以后,“泰山系”即名噪一时。这个笼统的“杂岩”概念,国内一直沿用到50年代中期。50年代末期原北京地质学院才建立了泰山群,下分四个组^[1]。1962年程裕淇、沈其韩等在泰山群出露最佳地段——新泰雁翎关地区,做了深入细致的研究,肯定了雁翎关组、山草峪组^[45,55]。1986年郑良峙等增建了柳杭组,1982—1989年王世进等又否定了“太平顶组”。迄今“万山庄组”是否是地层,仍在讨论之中。目前,泰山岩群自下而上分为三个组:雁翎关组、山草峪组、柳杭组(参见第一章)。

关于早前寒武纪(含早元古代及太古宙)中的太古宙的划分,国际地质界仍在讨论中,尚无成熟意见。本文使用方案如下:1. 暂从1:500万中国地质图(1990),太古宙采用三分法;2. 鲁西尚未发现早太古代变质岩系,不存在早、中太古代的划分问题;3. 中、晚太古代分界线,国内地质界仍有分歧,采用2900Ma或者3000Ma,意见不尽一致,本文据《中国区域地质概论》一书的划分方案,定为2900Ma^[59];4. 太古宙与元古宙时代划分,国内外已趋一致,均以2500Ma为分界线。

本文将早元古代与中元古代之间的界线定为1800Ma,中元古代与晚元古代之间为1000Ma。需要注意的是,1989年7月国际地层委员会通过的元古宙时代划分方案,与我国地学界的意见尚有出入。这个划分方案将早元古代与中元古代的时代划分界线选择为1600Ma,而且将早元古代改称为古元古代,晚元古代改称为新元古代。因为时代划分界线有改变,古、中、新元古代的时代范围,与我国通用的早、中、晚元古代的时代范围不同,所以古、中、新元古代是不能随意引用的。

经过近十年地质工作及这次研究,在变质地层方面取得若干重要认识:

1. 发现了中太古代麻粒岩相含紫苏辉石的变质岩系(沂水岩群);
2. 将沿用三十余年的“泰山群”,改称“泰山岩群”。保留雁翎关组、山草峪组名称,剔除了太平顶组,增加了柳杭组,原来的万山庄组仍在研究中;
3. 在鲁西结晶基底中,泰山岩群仅占全部露头的5%,其余均系变质的混合岩化程度不一的岩浆岩;
4. 泰山岩群的分布,可概括为四个地带,自东向西为崔邕峪-温泉-汞丹山带、韩旺-

崔家峪带、火贯-雁翎关-盘车沟带及界首带（含东平、枣庄）；

5. 泰山岩群遗存在后期侵入体及混合交代花岗岩石以内，保存较好的最大残留体在雁翎关-桃花峪地段内；

6. 泰山岩群原岩形成在 2800Ma 前后，是大陆边缘浅海背景下的火山沉积岩系，用化学图解获得的生成环境推想，有些与地质现象不符；

7. 1989 年程志忠等建立了沂水岩群，本项目研究了它及其相关紫苏花岗岩的流体包裹体、岩石包体与变质作用、 PTt 轨迹，获得大量信息。这个变质隆起不超过 150km²，它的发现是近十年的事，受到地质学界的关注。它标志着鲁西有 3000Ma 最老的表壳岩，有麻粒岩相变质火山沉积建造，有晚太古代紫苏花岗岩系列伴生。构造分区 I 中段沂水变质隆起中太古代至晚太古代的变质事件演化及岩浆岩活动史，与构造分区 I 南北端及构造分区 II—IV（图 1-1）的泰山岩群分布区内的 PTt 轨迹、岩浆岩活动史、构造演化，各有自己的发展历史，互不相同，直到 2500Ma 之后，才有共同的经历。

上述这些太古宙地层，特别是泰山岩群，是中国保存最好，发育完整的典型晚太古代绿岩带，有必要对此加以论述。最早提出鲁西泰山岩群为绿岩带的是程裕淇、沈其韩等人^[55]，他们在 60 年代初期，即作了深入研究。在程裕淇指导下，80 年代中期，贾跃明、万渝生、朱振华等又作了重点调查，以后历经数次区域地质调查以及以找金为主的地质工作。80 年代晚期徐惠芬、董一杰、沈保丰等人，对这个绿岩带有了较全面而深入的了解^[45]。

这个绿岩带泛指在郯庐断裂带以西的泰山岩群^①，它发育在鲁西花岗-绿岩区内（不含傲来山期深成岩），遭到属于中低压变质相系的角闪岩相-绿片岩相变质，其中基性火山岩（雁翎关组）未受明显混合岩化。它以单斜形式，呈 NW 向带状分布于主要的四个带上，系大面积片麻状花岗岩区中残留物，其中出露最好地段，在新泰雁翎关—山草峪—柳杭一带。绿岩带中的下部的绿岩（大多数为基性火山岩）横向变化颇大，上覆的碎屑岩系也不尽相同，以上四个绿岩带只能作粗略对比。绿岩带成长以后，虽然遭受各种变形作用，但从野外观察，绿岩带内部并未经历大型逆冲、推覆，层序大体保留，原生结构保存良好，线理仍然反映早期 S_0 。这个绿岩带依旧保留良好的科马提岩，它是目前我国研究绿岩带最理想地区。

新泰地区绿岩带的主要特征，符合国际地质界关于绿岩带（Greenstone Belt）的基本概念^[10]，与美国怀俄明州绿岩有极大相似性。

1. 新泰地区有近 400m 厚的超镁铁质透闪岩及科马提岩，这是绿岩带重要标志层。程裕淇、徐惠芬在 80 年代多次去雁翎关观察，对科马提岩的岩石矿物作了更深入研究^[57]，镜下的鬃刺结构假象及标本尺度的同样结构，均清晰可见。

2. 世界各地的由早期火山岩、晚期碎屑沉积岩组成的旋回性，在鲁西也毫无例外的存在。雁翎关组火山岩与山草峪组硬砂岩就是大型旋回明显的例子，这是绿岩带的一个主要特征。

3. 三位一体组合（或者说旋回）也同样出现在鲁西绿岩带中。以新泰石河庄剖面为

① 沂水岩群变质程度深，并受到两次以上变质及多次深成岩侵入，基性麻粒岩研究尚嫌不足，是否为早期绿岩带，尚待进一步工作。

例，雁翎关组火山岩可进一步划分为超基性火山岩（第1—2 大层，见第一章）及基性（含少量中性）火山岩（第3—10 大层），它们分别代表下部超基性火山岩，中部基性火山岩，山草峪组则代表上部沉积岩系，合并构成三位一体的岩石组合（见后），这是绿岩带的另一主要特征。

4. 旋回性在绿岩带中普遍存在，也是一种特殊标志。鲁西绿岩带的旋回性，除大尺度（上千米）火山岩与碎屑岩旋回外，小到数米及厘米尺度的旋回，也比比皆是。如基性熔岩与基性喷发岩互层、超基性熔岩与基性熔岩交替出现、基性火山岩与中性凝灰质岩石共存、喷溢与间歇的冷凝结构重叠；如沉积岩系中粒级层，韵律层等等，均显示其旋回性。

按照三位一体岩石组合，可将新泰绿岩带归为三个旋回（图1）。每一个旋回的地层序次由下而上是：下部超基性火山岩系（U），中部基性火山岩系（B），上部沉积岩系（S）。

第一组合（旋回 I）的超基性火山岩（U）（参照徐惠芬等 1992 文中表 2-1 及图 2-1），为雁翎关组 1, 2 分层，由科马提岩、超基性熔岩组成；中部基性火山岩系（B）为 3—10 分层，由拉斑玄武岩及中基性火山碎屑岩组成（第 5, 6 分层均含砾状岩石）；上部为正常沉积岩系（S），为浅水震荡不稳的快速沉积硬砂岩组成。下部、中部划为雁翎关组，上部划为山草峪组。

第二组合（旋回 II）的超基性火山岩系（U）为柳杭组 1 分层（据徐惠芬，1992），由透闪阳起片岩、滑石片岩、阳起片岩及斜长角闪岩组成。中部基性火山岩系（B）为 2 分层，以拉斑玄武岩为主，上部钙碱性火山沉积岩系（S）为中酸性火山沉积岩，以沉积岩为主，有密集成层的两个含砾石层。

第三组合（旋回 III）为柳杭组 7—10 分层，由基性熔岩及火山岩组成，中夹绿泥阳起片岩数层，似可划为基性火山岩系（B），三位一体组合发育不全，残缺 U 及 S 两种岩系，这在大自然地质发展过程中，是正常的现象。

从地层看，绿岩带基本上是水下产物，早期处于深水状态，但以后大多是浅海沉积，并且某个时期，可能出露水面，接受砾石沉积。此外，超镁铁质岩、科马提岩由密集巨厚往上逐渐变为与拉斑玄武岩互层或夹层，火山熔岩相对地减少，火山碎屑岩如凝灰岩、角

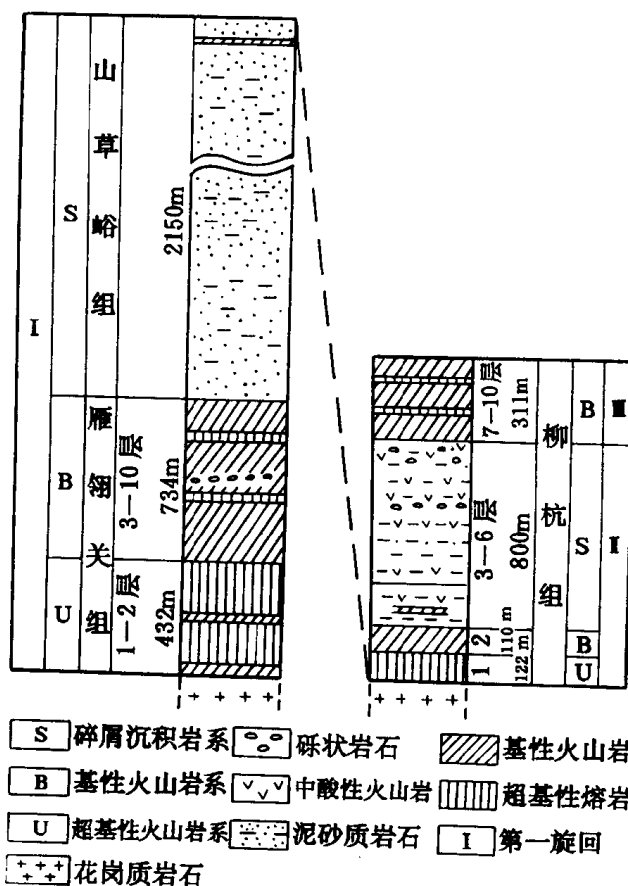


图1 示绿岩带岩石组合旋回
(地层柱据徐惠芬等简化, 1992)

砾岩、集块岩向上增多。在中部基性火山岩(B)的顶部出现条带状铁矿(BIF),这种化学沉积物,往上在沉积岩系(S)中局部形成巨厚条带状铁矿。

鲁西绿岩带是2800Ma前不久产物,从时代上更接近于北美加拿大。它比南非绿岩带(34—36亿年)年轻,比俄国卡累利阿地块24亿年为老。它与世界各地绿岩带有许多共性^[79],但也有自己的特点:超基性熔岩、科马提岩分布不稳定,横向变化大;中性火山岩,如安山岩、英安岩不发育;超基性火山岩系之上,酸性火山岩极少,与世界各地基性与酸性火山岩匹配形成的双峰式火山岩模式,表现不明显;钙碱性系列火山是否存在尚待进一步研究;拉斑玄武岩系列,在鲁西绿岩带中是大量存在的,似乎可以取代“钙碱性火山岩”,用基性火山岩代表中部;化学沉积物,如灰岩尚未发现,但条带状“磁铁石英岩”颇为发育;残存的厚度比国外绿岩带为小,总厚不超过4350m。

鲁西结晶基底中的变质深成岩杂岩占有庞大面积,约为全区95%,侵入岩研究有着特殊重要意义。江博明等(1988)在泰山做了大量地质年代学研究^[18],沈其韩等在新甫山、徂徕山^[26]、泰山^[20]、沂水地区做了深入研究,林景仟在峰山、望母山也进行了研究^[62]。山东地矿局各地质队经过十年努力,将侵入岩归纳成不同期次。本项目在原有分期基础上,经过野外考察、采样,对岩石化学、地球化学作了深入系统的研究,取得了一系列新的认识,在原来杂乱无章、含意不清的泰山杂岩中,终于找到了各种明显的规律。

1. 泰山岩群分布地区古老侵入岩均侵入于泰山岩群,说明它们形成时代都晚于2800Ma,分布广泛的岩浆岩侵入体可归纳成三期:

傲来山期花岗岩类	2450—2400Ma	Pt ₁
中天门期闪长岩类	2600—2500Ma	Ar ₃
新甫山期 TTG 岩类	2700—2600Ma	Ar ₃

在晚太古代,似乎存在一个横跨3亿年的具有世界规模岩浆活动期(2700—2400Ma)。

2. 这三期岩浆岩各具特点

新甫山期 TTG 岩浆系列,大多为片麻状构造,有的可命名为片麻岩。SiO₂53%—74%,钠大于钾,为高铝型 TTG 岩石,稀土元素高度分馏,表明它们系结晶分异而成,在侵入过程中,与上覆岩石发生交代,并有混合交代的残影体。这期不同类型岩浆岩相互之间的侵入接触关系不太明显,它们是绿岩带火山作用晚期同构造岩浆侵入的产物, I_{Sr}^① 0.7006 ± 4。

中天门期辉长岩闪长岩类,多成狭长条状产物,与 NW 向构造线一致。SiO₂46%—66%,富碱, A/CNK^② < 1.0, Rb-Sr 低, V, Co, Ni 高,说明源岩是由长期亏损的地幔(I_{Sr}0.7008 ± 8)先经部分熔融,然后由岩浆结晶分异形成的。这期岩类由超镁铁质到镁铁质,在岩石化学成分上构成演化系列。

傲来山期花岗岩类,与周围岩石侵入接触明显,可见侵入角砾岩。SiO₂70%—74%, K₂O/Na₂O < 1, FeO*^③, MgO 低, A/CNK ≥ 1.0, Rb, Ba, Tb, Cu 高, Sr, REE 低,

① I_{Sr}为⁸⁷Sr/⁸⁶Sr的初始比值,下同。

② A/CNK = Al₂O₃ / (CaO + Na₂O + K₂O), 下同。

③ FeO* = FeO + 0.899 Fe₂O₃, 下同。

出现负锶亏损。源岩为在此以前由片麻状花岗质岩石及表壳岩组成的地壳。 $I_{Sr}0.7028 \pm 11$ 。

3. 这三期岩浆活动形成的岩石类型在时间上的变化,反映由老而新岩浆活动的演化趋势。新甫山期(晚太古代早期)以钠质的 TTG 岩套为主,源岩为幔源物质,大多呈片麻状。至中天门期(晚太古代晚期),以镁铁质辉长岩-闪长岩为主,结晶分异现象明显。进入早元古代傲来山期,岩浆岩以钾质二长花岗岩为主,大面积出现在构造分区 I、II 区。

在沂水地区,中太古代岩浆岩为超镁铁质角闪石岩,呈小型岩株($50 \times 50m^2$),侵入于沂水岩群,侵位时代大致在 2997Ma 之后。在晚太古代有紫苏花岗质岩石, U-Pb 等时年龄 2706Ma、2479Ma,与泰山岩群分布区中的晚太古代新甫山期、中天门期大不一样。同属一个时代——晚太古代,但两者岩性差别如此之大,可知它们分属两个不同地体,各有自己的演化史,因而出现晚太古代变质相的差异、构造上的不协调、侵入岩浆的区别。

侵入岩浆岩在空间上的带状分布,体现了它们与地质历史演化的关系,自东而西大致可划为四个区(图 1-1)。

I 区为沂沭断裂区,以郯郯-葛沟断裂与 II 区分界(图 5-1, F_3)。本区特点是拥有山东最老的沂水岩群,变质等级最高的麻粒岩^①及罕见的紫苏花岗岩。区内泰山岩群(崔邕峪-温泉-汞丹山)的构造方向为 NNE 向,与鲁西常见的 NW 向构造线不同。此区还有颇为发育的上元古界土门群。

II 区为沂山鲁山区,以西麦腰-雁翎关-孟良崮与 III 区分界(图 5-1, F_4)。此区主要分布早元古代傲来山期二长花岗岩,在韩旺、崔家峪,有残留的泰山岩群存在,区内断裂或者剪切带相对较少,推测为一稳定地带。

III 区为泰山-徂徕山-蒙山区,以界首-蒙山断裂与 IV 区分界(图 5-1, F_5)。此区各期侵入岩浆均有存在,发育齐全,大体上构成 NW 向带状分布。变质地层保留完整,泰山岩群标准剖面即在本区。走滑韧性剪切带最多,可能还存在较老的推覆构造,蒙山是这个构造带集中点,蒙山显示一个弧形构造,向 SE 凸出,北端分支,南端为傲来山型岩浆岩侵占,在莫霍面等值线图(图 5-5)上反映为一地幔隆起带。这区构造极为复杂,是鲁西被构造破坏最严重的部位。正因为如此,这里是了解鲁西早前寒武纪地质的重要窗口。

IV 区为马山-凤仙山-峰山区。此区特点是新甫山期侵入岩最为发育,泰山岩群山草峪组广泛分布,凤仙山显示古老的東西向构造线残存,并有早元古代济宁岩群存在,断裂构造较少。

这三期岩浆(新甫山期、中天门期、傲来山期)在空间上呈 NW 带状分布,在时间上由 IV 至 II 区,按一定方向由老而新顺序展布,似乎存在一个定向的迁移规律。

变质作用的研究在这次科研中进行得较为深入,取得了长足进展,研究证明:

1. 鲁西有两个不同的变质区,其变质作用类型、变质相、发生时间及其演变历程各不相同。构造分区 I 郯庐断裂带内沂水地区,在羊圈,沂水岩群变质等级达到麻粒岩相,南北两侧降低为麻粒岩相-角闪岩相过渡相。延续时间自中太古代 30 亿年,一直到晚太古代末期,早元古代又叠加了绿片岩相变质作用。构造分区 II—III 内泰山岩群变质等级属较

① 该麻粒岩的发现可参阅《山东地质情报》,1984 年第 2 期,杨惠南、何锡鹏,沂水大山地区首次见到麻粒岩。

为均一的角闪岩相，发生在整个晚太古代；叠加有绿帘-角闪岩相（晚太古代末或早元古代早期）变质作用。构造分区Ⅳ内济宁岩群变质等级为绿片岩相，变质作用可能延至中元古代。总之，鲁西全区变质作用开始于中太古代晚期，延续到早—中元古代。

2. 鲁西麻粒岩相的顶峰温度约在 $800 \pm 50^\circ\text{C}$ ，顶峰压力为 $P = 0.78\text{GPa}$ ，紫苏花岗岩形成时压力 $P = 0.65\text{—}0.45\text{GPa}$ 。角闪岩相顶峰温度压力 $T = 600^\circ\text{C}$ ， $P = 0.5\text{—}0.6\text{GPa}$ ，绿帘角闪岩相 $T = 450^\circ\text{C}$ ， $P = 0.2\text{—}0.4\text{GPa}$ ，绿片岩相变质作用温度 $T < 400^\circ\text{C}$ 。

3. 这次对麻粒岩相的流体包裹体的研究，证明麻粒岩相形成的流体成分以 CO_2 为主，角闪岩相形成的流体以 H_2O 为主；还获得了各种主要岩石的 CO_2 密度范围和温压条件等方面资料。

4. 角闪岩相变质是同构造期的，属区域热动力变质类型。在本项目进行过程中，发现了递进变质的证据，钙质角闪石、斜长石发育成反环带，其中，斜长石的反环带，从核部到边部，温度由低到高，压力未变；还肯定了因花岗岩浆侵位引起的热变质，野外可见到十字石、夕线石、红柱石等。

5. 沂水地区早期发生麻粒岩相变质，稍晚发生紫苏花岗岩化，约 25 亿年又有一次紫苏花岗岩化（据 U-Pb 等时年龄）。构造分区Ⅱ—Ⅳ内， PTt 轨迹早期为逆时针方向，晚期表现为顺时针，早期逆时针轨迹只有局部残存。顺时针的 PTt 演化，基本反映了地壳抬升过程中的轨迹。

鲁西晚太古代地壳演化过程中，有用元素通过一定物理化学条件，迁移富集，形成一些矿产。最显著的是条带状铁矿层（BIF）。它们集中发育于绿岩带第一旋回碎屑沉积岩（S）中，即山草峪组。其他各组均有零星分布，中太古代沂水岩群中，也可发现其踪迹，晚太古代泰山岩群雁翎关组第 10 层开始，即有薄层条带状铁矿层。推测铁质来源于火山喷发，以胶体状态沉淀于较深海水中。次之，层控型金矿较有意义，经近年研究，金与中酸性火山碎屑岩及正常沉积陆源碎屑岩有关，再经过晚太古代末期韧性剪切作用的叠加改造，形成一些矿体。这种金矿赋存在绿岩带第二旋回碎屑沉积组合（S）中，属柳杭组第三层。

鲁西早前寒武纪地质经过近十年研究，虽然在认识上有很大提高，但还有不少问题待进一步工作。

1. 沂水岩群及其伴生的晚太古代紫苏花岗岩与泰山岩群及其伴生晚太古代 TTG 岩套、闪长岩类的时空关系问题，是上下关系（新老关系），还是外来地体水平增生的结果？目前野外资料表明，早元古代傲来山型岩浆岩侵入沂水岩群及紫苏花岗岩，并有沂水岩群捕虏体，表明沂水岩群及紫苏花岗岩是外来地体，2500Ma 前不久拼接，然后为傲来山型二长花岗岩（2450—2400Ma）焊接的，但也有可能是晚太古代末期，地幔隆起引起的热隆作用导致的“变质核杂岩”。

2. 沂水变质地体在 2500Ma 以前，遭受了麻粒岩相变质及晚期的紫苏花岗岩化，直到 2500Ma 前后才结束了自己独立的发展历史，与泰山岩群经历了共同的演化过程，二者关系尚待研究。

3. 由于地质构造性质难以确认，往往引出地层层序问题。在鲁西山区，最显著的例子是柳杭组层序。泰安化马湾一带柳杭组呈 NW-SE 分布，北起西南峪，向南受到富山片