

# 鲁西山区早前寒武纪地壳演化再探讨

曹国权

(山东省地质矿产局)

**提要** 山东西部山区早前寒武纪结晶基底由95%岩浆杂岩及少量变质火山沉积岩系组成。后者除小面积>3000Ma的早期麻粒岩相表壳岩(沂水岩群)外,大部分为2800Ma±形成的角闪岩相绿岩带(泰山岩群),它显示超基性火山岩(科马提岩)、基性火山岩及灰色杂砂岩的旋回性,是发育在早期陆壳固结后的稳定陆块上滨海浅海火山沉积物。在2700Ma前后遭到强烈变质变形,并受到2700-2600Ma的TTG岩浆系列、2600-2500Ma的辉长闪长岩系列岩浆侵入。在麻粒岩相区于2500Ma前后有紫苏花岗岩侵入,2500Ma陆壳固化,出现了相对稳定的构造环境。在2500-2400Ma又有二长花岗岩岩浆活动。1900Ma以前,鲁西山区西部出现裂谷,早元古代济宁岩群火山-沉积岩系形成,随即受到绿片岩相变质,地壳最终固结。

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,共同组成我国横亘东西巨大的稳定区,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不同的前寒武纪结晶基底。鲁西就是众多古老结晶基底裸露区之一。它的北部为阴山燕山变质区<sup>[1]</sup>,西侧为五台山-太行山变质区<sup>[2]</sup>,南侧为嵩山霍丘变质区,东侧为胶东变质区。鲁西早前寒武纪地质与四周各区存在较大差别,自有特点。

本文对早前寒武纪(含早元古代及太古宙)太古宙的划分,暂从1:500万中国地质图(1990)划分方案,中太古代与晚太古代之间,晚太古代与早元古代之间,早元古代与中元古代之间的界限,分别定为2900Ma,2500Ma,1800Ma。1800Ma这条界限,与1988年7月国际地层委员会通过的元古宙时代划分方案不一致,他们的决议是1600Ma,并且将早元古代改名为古元古代,晚元古代改为新元古代。新元古代的时限与我国通用的早元古代的时限是不相同的,二者的时间涵义有差异,因此,是不能将早、中、晚元古代,改为古、中、新元古代的。

山东省地矿局在大力普查找矿的同时,八十年代初即组织专题队在鲁西山区进行结晶基底研究,随后,展开各种比例尺区域地质调查,九十年代初,又立项进行专题研究。近十年来对鲁西变质杂岩有了新的认识。

(1)变质岩系方面,在沂水县,识别了麻粒岩相沂水岩群及紧密相关的紫苏花岗岩。

本文1995-05收到。

将沿用二十年的“泰山群”,改为泰山岩群,区别于有明显叠置规律的显生宇,从泰山岩群中剔除了实际上为岩浆岩的“太平顶组”,增加了柳杭组,原来命名的万山庄组,可能是构造变质杂岩的一部分。近年,又发现了泥质石英碎屑岩(孟家屯岩组)。这些变质岩系占鲁西山区结晶基底的5%左右。

(2)在岩浆岩研究方面取得了重要成果,划分出各种花岗质-花岗闪长质岩类,基本上查清了它们的时代及其分布范围。

(3)变质作用方面,初步认为沂水岩群分布区存在两期变质作用,并伴随两次紫苏花岗岩化。认为泰山岩群分布区有三期三种不同变质类型。

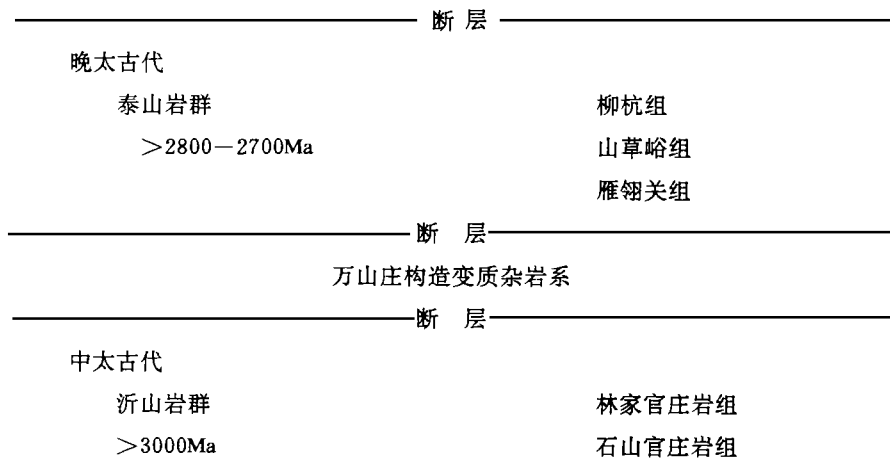
(4)在地质构造方面,对韧性剪切作用、构造发展史及深部地质构造取得了重要进展。对条带状铁矿层及金矿化成矿作用有了新认识。

(5)随着国内外同位素元素测试技术的改进,鲁西山区早前寒武纪各种地质体在地质年代学方面,近十余年获得了大量数据。据王致本统计,变质岩系累计有80个以上各种不同方法的数据。Sm-Nd法,U-Pb法代替了过去以K-Ar法为主的方法,数据精度日益准确,结合野外观察,在理解各种地质事件的先后顺序及相互制约关系方面,有了较为可靠的依据。

因为有了上述进展,有可能重新制定一个地质事件表,并藉此进一步探讨该区地壳演化。现将各种重要地质事件,简述如下。

## 1 火山-沉积变质岩系

近年国内外出现了表壳岩(Supracrustal Rocks)概念,泛指层序较难确定,不能运用叠置规律的变质火山-沉积岩系。这些出露不全受到多次变形变质及岩浆侵入破坏的变质岩系可称为“岩群”(Group Complex)。鲁西太古宙变质岩系由上而下为:



上述这些变质岩系的岩石组合特征及原岩成分,除沂水岩群鲜为人知外(见后),已

散见各种文献,为了节省篇幅,就不再逐一介绍了。这里只着重讨论鲁西地区太古宙绿岩带问题。

原始地壳在由塑性转向刚性地壳的硬化过程中,岩浆活动除了正常的侵入交代之外,必然要冲破在此以前硬化了的薄壳,以喷发溢流方式,形成火山碎屑岩及熔岩。在剥蚀期,当时如有水体存在,也可有少量泥质—泥砂质—砂质沉积及化学沉积掺杂在火山岩之内。沂水岩群的形成,可能是这一类发育尚不完整的早期地质环境产物。随着时间推移,进入晚太古代,水体发达,水面扩大,就产生了一种特殊的岩石组合,这就是绿岩带。这种绿岩带,具有全球普遍性,尽管各地千差万别,还是显示一些共同特点。在时间上又有明显局限性,绝大多数绿岩带仅存在早前寒武纪这个时期范围内。绿岩带代表了地壳发展过程中的一种特有的火山—沉积岩系。

鲁西泰山岩群迄今为止,为中国保存较好发育完整的典型晚太古代绿岩带地区之一。最早提出鲁西泰山岩群为绿岩带的,是程裕淇、沈其韩等人,他们在 60 年代初期,即作了深入研究。在他们指导下,八十年代中期贾跃明、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找矿工作。八十年代晚期徐惠芬等<sup>[3]</sup>、沈保丰等<sup>[4]</sup>,对这个绿岩带又作了较全面深入的研究。

鲁西绿岩带泛指在郯庐断裂带以西的泰山岩群,它发育在鲁西花岗—绿岩区内,遭到中低压变质相系角闪岩相—绿片岩相变质,基性火山岩(雁翎关组)未受到明显的混合岩化。它是片麻状花岗岩区中残留物,以单斜形式呈 NW 向,主要分布于四个带内。这四个带自东向西为温泉—汞丹山、韩旺—崔家峪、西麦腰—雁翎关—盘车沟及界首—冯家峪。其中出露最好地段,在新泰雁翎关—山草峪—柳杭一带,以上四个带的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,雁翎关地区的绿岩带,内部并未经历大型逆冲、推覆,原来层序大体保留,构造置换不发达,原生结构良好,线理仍然反映早期 So。这个绿岩带保留令人注目的良好的科马提岩,它是目前我国研究绿岩带较理想地区。

新泰地区绿岩带的主要特征,符合国际地质界绿岩带(Greenstone Belt)的基本概念,与美国怀俄明州绿岩(据程裕淇口头介绍)有极大相似性。

(1)新泰地区泰山岩群底部有近 400m 厚的超镁铁质透闪岩及科马提岩,向上逐渐减少,这是绿岩带重要标志层。程裕淇、徐惠芬在 80 年代早期多次去雁翎关地区反复观察,对科马提岩的岩石矿物又作了更深入研究<sup>[5]</sup>,镜下的鬣刺结构假像及标本尺度的同样结构,均清晰可见。

(2)世界各地基性火山岩、碎屑沉积岩组成的地层柱,在鲁西也毫无例外的存在。雁翎关组基性火山岩与山草峪组硬砂岩就是明显的例子,这是绿岩带另一个特征。

(3)三位一体组合(或者说旋回)——下部超基性火山岩、中部钙碱性火山岩、上部沉积岩这种规律,也同样出现在鲁西绿岩带中。以新泰石河庄剖面为例,雁翎关组火山岩可区分为超基性火山岩(第 1,2 大层)及基性(含少量中性)火山岩(第 3—10 大层),它们分别代表三位一体的下部超基性火山岩,中部“钙碱性”火山岩,山草峪组则代表其上部沉

积岩系,合并构成三位一体的岩石组合,这是世界各地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,从大尺度(上千米)火山岩与碎屑岩旋回,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、喷溢与间歇的冷凝结构重叠出现、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,可将新泰绿岩带归并为三个旋回。每一个旋回的地层次序由下而上是: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)(图1)。

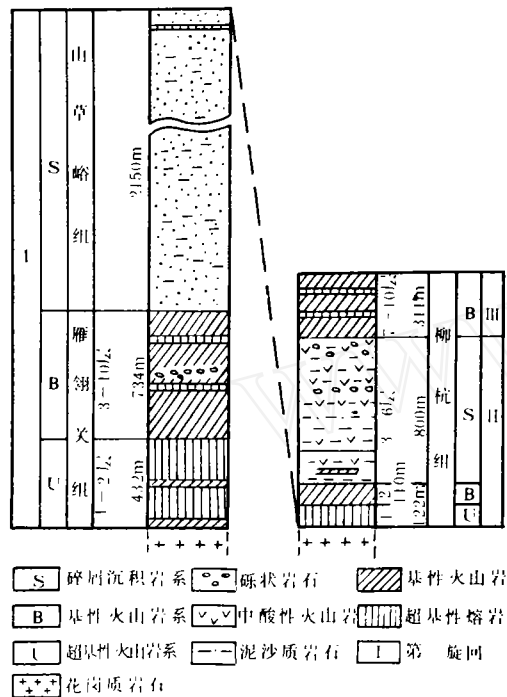


图1 示绿岩带岩石组合旋回  
(据徐惠芬等,1991,简化)

第一组合(旋回)的超基性火山岩(U)(参照徐惠芬等1991划分的层序)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,由低钾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)的超基性火山岩系(U)为柳杭组1分层(徐惠芬,1991),为透闪阳起片岩、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)分为2层,以低钾拉斑玄武岩为主,上部钙碱性火山沉积岩系(S)为中性钙碱性火山沉积岩,以沉积岩为主,有密集成层的含砾石两层。

第三组合(旋回)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。

从沉积物看,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,并且在某个时期,可能出露水面,接受砾石沉积物。此外,超镁铁质岩、科马提岩由密集巨厚的单层,往上逐渐变为与拉斑玄武岩互层或夹层。火山熔岩相对减少,火山碎屑岩如凝灰岩、角砾岩、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。

火山沉积岩系经过低角闪岩相变质后,仍保留浅海或者滨海的地质信息。例如:

- (1)雁翎关组第6层(或者称为大层)含有变质砾状岩石,表明地面短暂上升,遭受了

剥蚀,认为它们形成于陆地边缘的浅海环境,是可信的。

(2)该组第9层中,有石墨、磁黄铁矿及石墨云母片岩夹层,磁黄铁矿层断续延伸30km,足以推知第9层沉积时处于还原状态,属于泻湖相沉积。

(3)雁翎关组第10层有薄层条带状铁矿层,同样,山草峪组如枣庄苍峰、东平彭集也广泛聚集这类浅海沉积矿床。

(4)山草峪组中黑云变粒岩,大多可以看到交错层、斜层理、粒级层,这些构造是浅海陆源碎屑物中常见的现象。

(5)山草峪组中黑云变粒岩中,一般从镜下可见到变余砂状结构。

(6)柳杭组第2,3层有大多呈夹层产出的少量安山岩、流纹岩,第4层中有中酸性英安岩变质的残斑变质岩、白云变粒岩、绢云石英片岩,这些层凝灰岩、凝灰质粘土岩与砂泥质岩互生,可以说明陆相火山岩,是沉积在距陆地不远的浅海水域的岩石。

上述这些地质现象所提供的地质信息,大部分显示泰山岩群的三个旋回的沉积地质背景为浅海。

绿岩带的时代可以从两方面推断:第一,泰安西南峪柳杭组黑云变粒岩锆石 U-Pb 法年龄为  $2788 \pm 30 \text{Ma}$ <sup>①</sup>,变质岩系同位素年龄值说明它的生成年龄在 2788Ma 以前。第二,侵入于泰山岩群的新甫山期如邹城牙山片麻状花岗闪长岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 2790Ma(王世进),泰山望府山英云闪长质片麻岩及斜长角闪岩 Sm-Nd 等时线年龄为  $2700 \pm 35 \text{Ma}$ <sup>(7)</sup>,也同样证明泰山岩群早于 2790Ma 生成。

根据上面两方面同位素年龄值数据,如果排除各种干扰因素,认为它的生成年龄略早于 2800Ma,可能更合理些。

鲁西绿岩带是 2800Ma 前不久产物,从时代上更近于北美加拿大。它比南非绿岩带(34—36 亿年)年轻,比俄罗斯卡累利阿地块 24 亿年为老(肖庆辉,1987)。它与世界各地绿岩带有许多共性<sup>(8)</sup>,但也有自己的特点:

(1)超基性熔岩、科马提岩分布不稳定,横向变化大。

(2)钙碱性火山岩系列如安山岩、英安岩不发育。

(3)基性火山岩系中,酸性火山岩极少,基性与酸性火山岩匹配形成的双模式火山岩,表现不明显。

(4)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。

(5)化学沉积中如灰岩尚未发现,但条带状“磁铁石英岩”颇为发育。

(6)残存的厚度比国外绿岩带为小,总厚不超过 4350m。

除了绿岩带问题外,上述火山沉积变质岩系表有几点需稍作说明。沂水岩群是近几年发现的麻粒岩相表壳岩,原岩为超基性、基性火山岩,安山质、英安质凝灰岩及泥质砂岩,含有少量条带状铁矿层。林家官庄岩组中含辉石斜长角闪岩,1991 年在此组岩石中取

① 王世进等,1992 年 11 月,鲁西太古宙科马提岩及基性火山岩现场研讨会野外考察路线地质内容介绍。

样,经中国地质科学院用 Sm-Nd 法测定,获得等时线年龄  $2997 \pm 78\text{Ma}$ ;1988 年山东省地矿局第八地质队采取石山官庄岩组中斜长角闪二辉麻粒岩,经宜昌地质矿产研究所用 Sm-Nd 法测定,获得模式年龄  $3030 \pm 40\text{Ma}$  数据。侵入该岩群的角闪石岩 Sm-Nd 法模式年龄为  $3133\text{Ma}$ ,可以推想,该岩群形成年龄应早于  $3000\text{Ma}$ ,属中太古代。

万山庄构造变质杂岩是一个有争议的岩系。它可能是若干构造岩片组成,有些构造岩片是侵入岩体,有些构造岩片是残存的有层无序早期表壳岩,如万山庄所见的火山-沉积变质岩系。由于这个岩系处于一个构造挤压带内,沿走向又不连续,这些不同成分的构造岩片交错排列,相互组合在一起,在目前研究尚欠深度以前,认为它是构造变质杂岩,暂不作变质地层处理,是符合客观情况的。张连峰等(第九地质队)1992 年在放城幅等 1:5 万填图时,找到各种石英岩,厚达 200m,称之为“孟家屯岩组”。它的存在提供了一个信息,那就是在泰山岩群形成之前(?),尚有石英碎屑正常沉积作用存在,它不同于硬砂岩类的浅粒岩,也不同于化马湾所见到构造变质杂岩。万山庄构造变质杂岩、化马庄岩组、孟家屯岩组三者关系尚无法确定。

## 2 岩浆活动

岩浆岩及花岗质片麻状岩石,包括混合岩在内几乎占鲁西前寒武结晶基底 95%,鲁西山区是一个岩浆活动非常发育的地区。为了简明起见,将这些不同时代、不同岩性、不同成岩方式的有代表性岩浆岩,作了归并,可列成下表(表 1):

表 1 鲁西早前寒武纪岩浆岩

泰山岩群分布区	沂水岩群分布区
早元古代(傲来山期)2450—2400Ma 钾质花岗岩(四海山) 二长花岗岩(傲来山、雌山)	
晚太古代晚期(中天门期)2600—2500Ma 石英闪长岩(中天门、水泉) 变辉长岩(桃科) 角闪石岩(麻塔)	晚太古代 英云闪长岩(英灵山) 含紫苏花岗岩(雪山) 英云闪长岩(林家官庄)
晚太古代早期(新甫山期)>2700—2600Ma 斑状花岗闪长岩(蜂山) 片麻状花岗闪长岩(新甫山) 片麻状奥长花岗岩(黑虎山、富山) 片麻状英云闪长岩(太平顶、望府山)	片麻状紫苏花岗岩(马山)
	中太古代(沂水期)>2900Ma 角闪石岩(严家官庄)

从上面这个简表,可以获得如下认识:

(1)鲁西晚太古代(新甫山期、中天门期)岩浆岩均侵入泰山岩群,标志着它们侵入时限晚于 2800Ma,也就是说都是 2800Ma 以后的侵入体。

(2)晚太古代、早元古代岩浆岩侵入活动的时间跨度在  $>2700 - 2400\text{Ma}$  之间,历时近三亿年,在这三亿年中似乎集中在  $>2700 - 2600\text{Ma}$ (新甫山期),  $2600 - 2500\text{Ma}$ (中天门期),  $2450 - 2400\text{Ma}$ (傲来山期)。

(3)新甫山期片麻岩为亏损地幔经过部分熔蚀,产生的灰色片麻岩系列,大多具片麻状构造,可命名为片麻岩,崂山斑状花岗闪长岩受构造影响,四周为片麻状,中心为块状。此期岩石钠大于钾,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,属 I 型  $I_{\text{sr}}0.7006 \pm 4$ 。在侵入过程中与上覆岩石发生交代,有混合交代的残留体、残影体,这期不同类型岩浆岩相互之间侵入接触关系不太明显。它们是当时绿岩带火山作用晚期、同构造岩浆侵入的产物。

(4)中天门期以闪长岩为主,多呈狭长带状产出,与 NW 构造线一致,在泰山为不整合底辟产出,岩浆性强烈。部分地区为辉长岩,如桃科,少数为角闪石岩,如麻塔。推测是亏损地幔部分熔融后成长的玄武岩浆,再通过结晶分异形成角闪石岩—辉长岩—闪长岩,为超镁铁质—镁铁质—闪长质演化系  $I_{\text{sr}}0.7068 \pm 8$ 。

(5)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,钾大于钠,  $\text{FeO}^*$ 、 $\text{MgO}$  低,  $A/\text{CNK} \geq 1.0$ , 出现负钨亏损。源岩为片麻状花岗质岩石及表壳岩组成的地壳,此期岩浆岩属 S 型,锶初始值  $I_{\text{sr}}$  为  $0.7028 \pm 11$ , 为含钾略高的花岗岩类,可能属于与造山运动无关的稳定情况下岩浆岩产物。

(6)这三期岩浆活动岩石类型在时间上的变化,反映由老而新岩浆成份的演化趋势。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。

(7)侵入岩浆岩在空间上的带状分布,体现了它们在地质历史演化中的定向迁移规律。自东向西鲁西大致可划为四个区<sup>[2]</sup>(图 2)。

I 区为沂沭断裂区,以郯郯—葛沟断裂与 II 区分界,本区特点是拥有山东最老的沂水岩群,有变质等级最高的麻粒岩及罕见的紫苏花岗岩。区内泰山岩群的构造方向为 NNE 向,与鲁西区域性 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—孟良崮一线与 III 区分界,这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—蒙山断裂与 IV 区分界。这区各期侵入岩浆岩均

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,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。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。

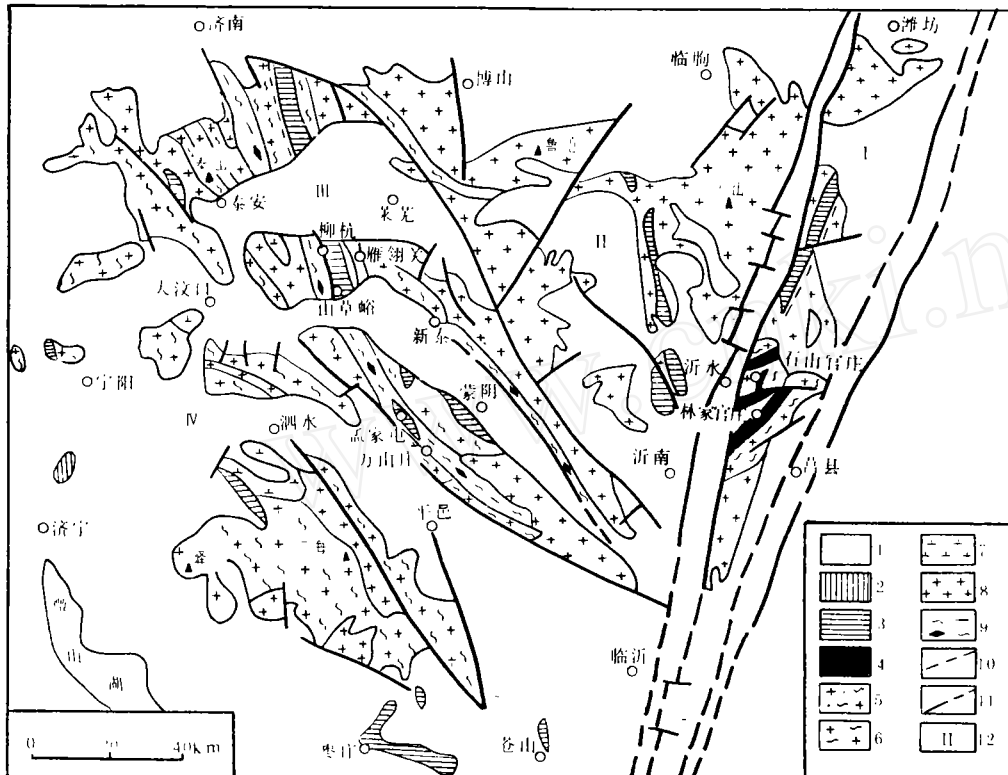


图2 鲁西早前寒武纪地(岩)层及侵入岩分布略图

1. 新生界—上元古界； 2. 济宁岩群； 3. 泰山岩群； 4. 沂水岩群； 5. 沂水期紫苏花岗岩；
6. 新甫山期TTG岩类； 7. 中天门期闪长岩类； 8. 傲来山期二长花岗岩类；
9. 构造糜棱岩； 10. 韧性剪切带； 11. 断层； 12. 构造分区

IV区为马山-凤仙山-峰山区。该区的特点是,新甫山期侵入岩最为发育,泰山岩群山草峪组广泛分布,凤仙山显示残存的古老东西构造线,并且有早元古代济宁岩群存在,断裂较少。

这三期岩浆岩空间上呈NW向,由SW至NE呈带状分布,在时间上由IV区至I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。

(8)鲁西早前寒武纪各地质体,区域混合岩化作用普遍发育,碱金属交代在较大范围

内出现,眼球状、条带状、条痕状混合岩为主要表现形式,区域混合岩化与区域变质作用几乎是同时或稍后出现的。新泰雌山岩体属傲来山型,边部含有大量山草峪组黑云变粒岩残留体,并出现间层状部分混合岩边缘混合岩带<sup>[9]</sup>,这种情况表明,雌山岩体侵入于先存的山草峪组<sup>[2,3]</sup>,导致部分混合岩化及尚未混合的黑云变粒岩残留体。

(9)雁翎关组镁铁质,超镁铁质火山岩实际上是一次潜伏于较深的浅海规模宏大的岩浆活动,它的主要活动方式属于裂隙喷溢(发)类型及伴生的侵入岩浆,从稀土分配模式图可以看出,它们来自地幔。喷溢的结构构造仍然保留,如气孔构造、熔渣状构造、枕状构造等清晰可见,这些熔岩及火山碎屑岩无疑代表 2800Ma 前的一次岩浆活动。

(10)在沂水地区,太古代岩浆岩为超镁铁质角闪石岩,呈小型岩株( $50 \times 50\text{m}^2$ ),侵入于沂水岩群。侵位时代晚于沂水岩群,大致在 2997Ma 之后。沂水地区在晚太古代有紫苏花岗质岩浆侵入,U-Pb 等时年龄 2706Ma、2479Ma,与泰山岩群分布区晚太古代侵入岩大不一样。在 2500Ma 以前,曾经受了地幔热柱影响,发生热隆起,使沂水岩群上升至地表。

### 3 变质作用

变质作用研究近年取得了可喜进展(徐惠芬,1990),研究证明:

(1)鲁西有两个不同变质区,各有不同变质作用类型、变质相、发生时间及其演变历程。构造分区 I 郯庐断裂内沂水地区,沂水岩群变质等级达到麻粒岩相。自中太古代 30 亿年,一直延续到晚太古代末期,早元古代又叠加了绿片岩相。构造分区 II—III 内泰山岩群变质等级属较为均一的角闪岩相,发生在整个晚太古代;晚太古代末或早元古代早期叠加有绿帘角闪岩相。构造分区 IV 内济宁岩群变质等级为绿片岩相,变质作用可能直到中元古代。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  $800 \pm 50^\circ\text{C}$ ,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)麻粒相的流体包裹体研究表明,麻粒岩相形成的流体成分以  $\text{CO}_2$  为主,角闪岩相形成的流体以  $\text{H}_2\text{O}$  为主。

(4)角闪岩相变质是同构造期的,属于区域热动力变质类型。专题研究发现了递进变质的证据,钙质闪石、斜长石发育成分环带,斜长石的反环带,从核部到边部,温度由低到高,压力未变;肯定了因花岗岩浆侵位,引起的局部低压高温型接触变质,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)。

(6)构造分区 II—IV 内,PTt 轨迹早期为逆时针,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。

变质分期的划分是一个重要问题。区域变质作用及有关的变质相系,只是地幔热流

值大小、压力状态的一种反映。不同时期有不同的变质、变质相(相系),由于变质作用终止的时期往往是与构造运动主峰期末是一致的<sup>[10]</sup>,通常将构造运动终止期,作为变质分期划分的原则,也就是利用不整合为界面划分变质期。

在鲁西变质岩系中,尚未发现不整合接触。在这种情况下,变质作用分期可借助区域变质作用类型的差异,或者利用某一变质期内,一些特定的岩浆活动及构造形变为依据,来划分变质期。一些局部变质如剪切带的退化变质、接触变质,因为不是变质作用主要类型,可不考虑。

根据目前掌握的同位素年代数据,鲁西早前寒武纪变质时期,可以认为,晚太古代早期的角闪岩相变质是阜平变质期产物,大致发生在 2600Ma 前后;晚太古代晚期—早元古代早期的绿帘角闪岩相变质,是五台变质期产物,大致发生在 2500Ma 前后,早元古代末期的低绿片岩相变质,是吕梁运动变质期产物,大致发生在 2000—1800Ma 左右。

#### 4 地质事件表

上述这些地质事件是地球内部地幔对流,通过地壳介质,引起地球外部各式各样的为换形式。地幔对流分期进行,由张到合,周而复始。每一次闭合,反映为一个造山运动。一个张—合系列也就是一个构造旋回,它所经历的时间过程为一个构造阶段。一般以造山运动的结尾作为构造阶段的界面,并以此命名。

鲁西早前寒武纪变质火山岩系发育不全,它们之间尚未发现不整合面。雁翎关组中第 5,6 大层及柳杭组均含有变质砾岩,各种迹象表明,它们均系接近陆源的浅水沉积,不具备底砾岩性质。鲁西地区与五台太行山区同属华北克拉通的一部分,似乎可援用该区的阜平运动(阜平岩群与上覆五台岩群之间),五台运动(五台群与上覆溱沱群之间),吕梁运动(溱沱群与长城系之间)的三个不整合界面,分别为 2600Ma、2500Ma、1800Ma,以划分相应的构造阶段<sup>[11]</sup>。

这样划分的构造阶段,基本符合鲁西山区岩浆活动分期,证明援引五台太行山区构造运动的划分是可行的。现将各种地质事件的主要内容,以时间为序,融合在一起,制成下表(表 2)。

将这个表与 1986 年发表在《山东地质》的那张地质事件表相比<sup>[6]</sup>,说明人们对鲁西早前寒武纪地质认识水平有所提高。随着时间的推移,深入揭示各种地质现象后,认识还将有新的变化。

#### 5 鲁西早前寒武纪地壳演化再探

地壳演化的研究是对各种主要地质事件互为依存、互相制约统一体发展过程的高度概括。由于早前寒武纪岩石经历多期变质变形、岩浆增添,岩石圈演化若干基本问题尚无统一认识,国内外学者对早前寒武纪地壳发生发展演变,存在各种不同模式。尽管如此,



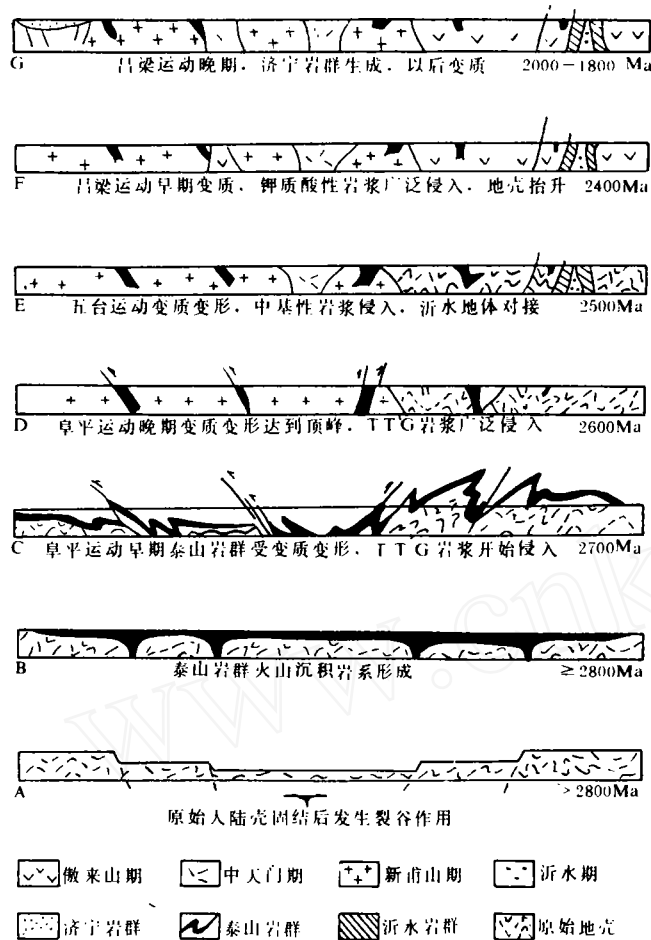


图3 鲁西泰山岩群分布区早前寒武纪地壳演化

泰山岩群产生的大地构造背景,系前期变质作用陆壳固结后的稳定陆块。在 >2850Ma期间,陆块内鲁西部分处于拉张状态中,发生类似如裂谷作用的断裂,形成面积广泛的海盆(图3 A)。在2800Ma期间,沿裂谷内某些断裂,先是喷溢来自地幔的超镁铁质溶岩——科马提岩,继而喷发、喷溢基性低钾拉斑玄武岩及基性火山凝灰岩。这些火山喷溢(发)物逐渐扩大,最后互相连结在一起,覆盖整个鲁西地区,构成雁翎关组。随后,火山活动大大衰减甚至停止,海盆内接受了以快速沉积为特征的灰色杂砂岩及少许泥质岩,形成了山草峪组。在此以后,基性熔岩、火山碎屑岩又有溢出与沉积,甚至出现部分科马提岩,也有部分正常沉积岩存在,共同组成柳杭组(图3 B)。

2700Ma前后,上述火山沉积岩开始进入闭合阶段,经受阜平运动的变质、变形强烈改造。泰山岩群由于地幔热流上升,遭受区域性角闪岩相变质,及同时的EW向挤压,使它发生较大规模的NW向褶皱和断裂(图3 C),达到了阜平运动主峰期,新甫山期TTG钠质岩浆随之侵入。2600Ma前后,陆壳发生第一次固化(图3 D)。

2600Ma以后,进入五台旋回,鲁西地区地幔热流温度下降,绿帘角闪岩相变质代替

了角闪岩相变质,EW 向挤压持续进行。循此 NW 向虚弱带,中天门期辉长闪长岩侵位(图 3 E),进一步吞噬了泰山岩群。上述各种地质事件一直持续至 2500Ma。在 2500Ma 左右,陆壳刚性程度再次提高,完成第二次固化,沂水地体在遭受紫苏花岗岩化后升位于郯庐断裂带内,形成变质核杂岩。

2500Ma 固化以后,鲁西出现了相对稳定的构造环境,地壳抬升。大面积傲来山期钾质花岗岩侵位,它以各种方式交代或者捕虏了原先存在的泰山岩群。2000—2500Ma 为吕梁运动早期,鲁西地区此时,大约在 2300Ma,发生绿帘角闪岩相变质。反映地壳发生(第三次)固结,地壳趋于稳定,地幔热流继续下降,华北克拉通已具雏形。从此,鲁西处于抬升的隆起状态中,遭受剥蚀(图 3 F)。

2000—1800Ma 为吕梁运动晚期。显示另一次闭合—拉张—闭合。2000Ma 可能存在一个变质期,60 年代一些 K—Ar 法年龄值均有此期热事变记录,在此以后,鲁西山区西缘出现裂谷,形成济宁岩群火山沉积岩系(图 3 G),约在 1900Ma,又出现低绿片岩相变质。至此结束了鲁西地区早前寒武纪地质演化史。

后记——依本刊编辑的嘱咐,作者将付印中的《鲁西早前寒武纪地质》一书中有关地壳演化部分,稍作整理修改后刊出,以就正于读者。

### 参 考 文 献

- [1] 孙大中等,1984,冀东早前寒武纪地质,天津科学技术出版社。
- [2] 白瑾等,1986,五台山早前寒武纪地质,天津科学技术出版社。
- [3] 徐惠芬,1990,鲁西花岗岩绿岩带和变质作用。山东地质,第 6 卷,第 1 期,50—57 页。
- [4] 沈保丰等,1992,华北陆台太古宙花岗岩—绿岩带的形成和演化。
- [5] 程裕琪,徐惠芬,1991,对山东新泰晚太古代雁翎关组中科马提岩类的一些认识。中国地质,1991,第 4 期,31—32 页。
- [6] 曹国权等,1986,鲁西山区土门群沉积以前地质事件表初议。山东地质,第 2 卷,第 1 期。
- [7] 江博明、沈其韩、刘敦一等,1988,中国太古代地壳演化——泰山杂岩及长期亏损地幔新地壳增生的证据。中国地质科学院,地质研究所刊,第 18 号,33—57 页。
- [8] Condie K. C., 1982, Plate Tectonics and Crustal Evolution (2nd ed).
- [9] 程裕琪,1987,有关混合岩和混合岩化作用的一些问题——对半个世纪以来某些基本认识的回顾。中国地质科学院院报,第 16 号。
- [10] 董申保等,1986,中国变质作用及其与地壳演化的关系。中华人民共和国地矿部地质专报,岩石矿物地球化学,第 4 号。
- [11] 程裕琪等,1994,中国区域地质概论,地质出版社。

## THE EARLY PRECAMBRIAN CRUSTAL EVOLUTION IN WESTERN SHANDONG

Cao Guoquan

(*Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources*)

### Abstract

The early Precambrian crystalline basement of the western Shandong mountainous area consists of 95 percent of magmatic complexes and a small amount of metamorphosed volcano-sedimentary sequences which include, apart from the early Yishui group ( $\geq 3000\text{Ma}$ ) of granulite-facies supercrustal rocks exposed in a small area, mainly the Taishan group formed atca. 2800Ma ago in a greenstone belt and metamorphosed to amphibolite-facies.

The Taishangroup exhibits the cyclicity, from ultrabasic (komatiite and basic volcanics to graywackes which belong to the volcano sedimentary deposits of littoral-neritic facies developed on the stable continental block after the solidification of the early crust. These rocks were subject to intensive deformation and metamorphism at about 2700Ma and were intruded successively by the tonalite trondhjemite-granodiorite (magmatic) series during the period of 2700-2600Ma, and by the gabbroic-dioritic magmas during 2600-2500Ma, where as some charnockites were emplaced in the granuliteter tain atca, 2500Ma. The magmatic activities during 2500-2400Ma have led to the emplacement of monzogranites. Prior to 1900Ma a rifting event took place in the west of the mountainous area when the early Proterozoic Jining group consisting of volcano-sedimentary rocks were deposited there. This sequence then underwent greenschist-facies metamorphism and the crust in the region was finally consolidate.