

# 鲁西地区早前寒武纪花岗岩类中镁安山质岩石系列(MA)的识别及大陆地壳生长

冯艳芳<sup>1,2</sup> 邓晋福<sup>1,2</sup> 王世进<sup>3</sup> 肖庆辉<sup>1,2</sup> 陆松年<sup>2,4</sup>  
刘 翠<sup>1</sup> 崔显岳<sup>5</sup> 公凡影<sup>1</sup> 甄世民<sup>1</sup> 贾德龙<sup>1</sup> 齐钊宇<sup>1</sup>

(1.中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室,北京 100083;2.中国地质调查局发展研究中心,北京 100037;3.山东省地质调查研究院,山东 济南 250013;4.天津地质矿产研究所,天津 300170;5.中国地质矿业总公司,北京 100029)

**摘要:**本文基于汇集的 39 个锆石 SHRIMP 和 LA-ICP-MSU-Pb 同位素年龄,186 件岩石化学样品,并参考前人已有划分方案,提出鲁西地区早前寒武纪花岗岩类初步年代格架:(1)新太古代早中期(2741~2612Ma);(2)新太古代晚期(2563~2500 Ma);(3)古元古代早期(2494~2435 Ma)。探讨与之相对应的岩石组合和演化趋势:(1)英云闪长岩( $T_1$ )-奥长花岗岩( $T_2$ )-花岗闪长岩( $G_1$ ),具奥长花岗岩演化趋势;(2)英云闪长岩( $T_1$ )-奥长花岗岩( $T_2$ )-花岗闪长岩( $G_1$ )-花岗岩( $G_2$ )-石英二长岩(QM),同时兼具奥长花岗岩演化趋势和钙碱性演化趋势;(3)花岗岩( $G_2$ )-石英二长岩(QM),具钙碱性演化趋势。基于  $\text{SiO}_2$ -MgO 和  $\text{SiO}_2$ -FeO\*/MgO 关系,提出  $T_1T_2G_1$  绝大部分具镁安山质岩石系列(MA)的性质,指示它们形成于洋俯冲环境,并结合岩石组合的类型,论证了第一、二、三期花岗岩类分别形成于岛弧、大陆边缘弧和大陆碰撞环境。进而认为,第一、二、三期花岗岩类代表了新生的初始不成熟陆壳,过渡性的半成熟陆壳和成熟的陆壳。这样,鲁西地区从新太古代早中期,经新太古代晚期,至古元古代早期的花岗岩类,记录了鲁西地区大陆地壳形成的完整的地质演化过程。

**关 键 词:**鲁西地区;花岗岩类岩石组合类型;镁安山质岩石系列(MA);构造环境与陆壳成熟度

**中图分类号:**P588.14<sup>+</sup>4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)04-1119-11

## 1 前 言

鲁西地区是中国早前寒武纪花岗岩类研究的经典地区之一,有关年代学、岩石学、地球化学、构造环境以及陆壳演化等,应思淮<sup>[1]</sup>、江博明<sup>[2]</sup>、王世进<sup>[3-5]</sup>、徐惠芬<sup>[6]</sup>、曹国权<sup>[7]</sup>、庄育勋<sup>[8]</sup>、沈其韩<sup>[9]</sup>、陆松年<sup>[10]</sup>、牛树银等<sup>[11]</sup>、武铁山<sup>[12]</sup>等专家学者做过深入系统的研究,成果丰富而详实;另外,近年来该地区开展了大量的区域地质调查工作,取得了一系列新认识。对于前人的研究成果,陆松年<sup>[10]</sup>、王世进和张成基<sup>[5]</sup>等已

做详细总结,此处不再重复,有关问题将在讨论中叙述。

一般认为,TTG (英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩)是玄武质岩石熔融的产物,这已为众多的高温高压实验所证实<sup>[13]</sup>。近年来的进一步研究成果表明,在成因机制上存在两类 TTG,一类是俯冲的玄武质洋壳熔出的安山质岩浆,在上升通过地幔楔形区过程中,与橄榄岩发生相互作用之后形成的 TTG 岩类,它们具镁安山质(MA)岩浆的性质;另一类则是在陆壳底部玄武质岩石熔出的 TTG 岩类,

收稿日期:2010-05-23;改回日期:2010-06-29

基金项目:全国重要矿产成矿地质背景研究项目(1212010733802),东部沿江沿海经济区基础地质综合研究项目(1212010610611),中国东部中生代大陆岩石圈剧变过程、动力学机制与矿产资源响应项目(1212010711814),张家口大麻坪橄榄岩底辟体及脉状苦橄岩的初步研究项目(GPMR0735)资助。

作者简介:冯艳芳,女,1973 年生,博士生,高级工程师,主要从事岩浆岩研究;E-mail:949701299@qq.com。

它们则具正常安山质(A)岩浆的性质。这两类 TTG 的鉴别请参见本文集邓晋福等文章<sup>[14]</sup>。

本文旨在前人详细研究的基础上,重点讨论鲁西地区早前寒武纪花岗岩类中镁安山质(MA)岩石系列的识别,进而讨论花岗岩类形成的可能的构造环境和大陆地壳生长过程。

2009 年 9 月 14—19 日,笔者有幸参加了以李廷栋院士为首的《中国地质构造区划综合研究与区域地质调查综合集成》项目组举办的“鲁西地区早前寒武纪地质野外考察”,学习到许多新知识,并获悉大量新进展。回京后查阅前人部分研究成果,经学习、思辨、借鉴和探讨后撰成文稿,以参加关于早前寒武纪花岗岩类的讨论。

## 2 鲁西地区早前寒武纪花岗岩类年代格架

本文仅讨论花岗岩类,在年代格架中未计入辉长岩/闪长岩类,也未计入变质的表壳岩类。另外,为方便和快捷,以下岩石名称采用代号表达: T<sub>1</sub>(英云闪长岩), T<sub>2</sub>(奥长花岗岩), G<sub>1</sub>(花岗闪长岩), G<sub>2</sub>(花岗岩), QM(石英二长岩)。

鲁西地区早前寒武纪侵入岩广泛分布, 占出露基底岩石的 90% 左右, 其中绝大部分为花岗岩类<sup>[15]</sup>。对于鲁西早前寒武纪花岗岩类, 近年来获得的锆石 SHRIMP 和 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年龄数据极为可靠, 关于其形成的年代格架, 前人已有较为详

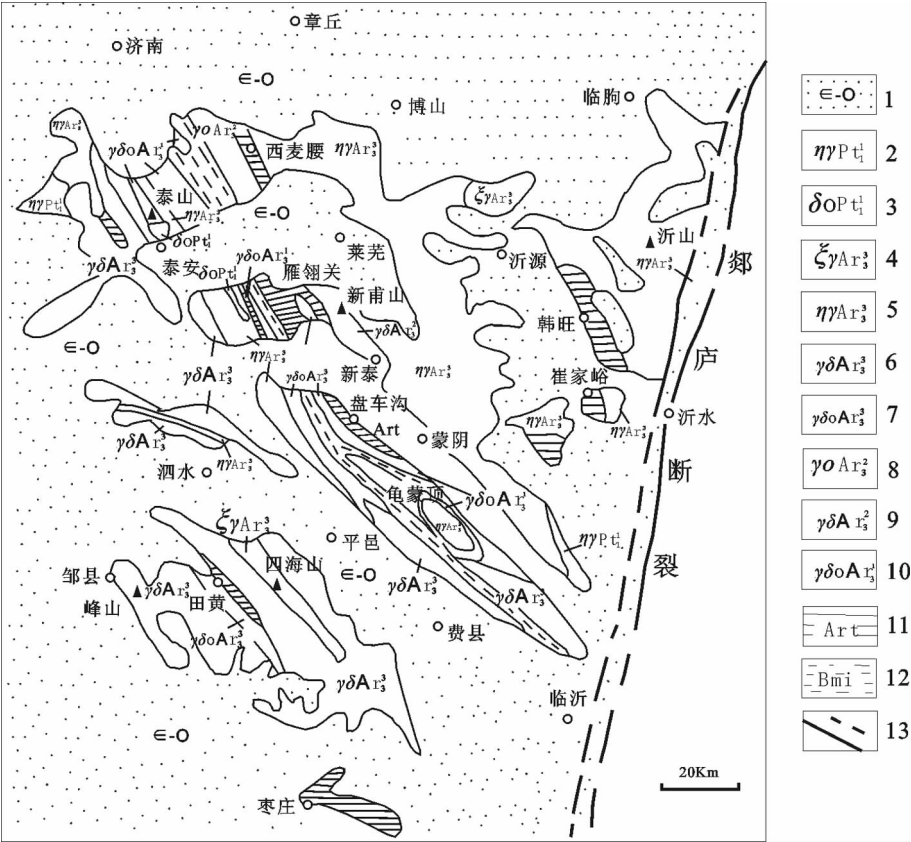


图 1 鲁西地区简化地质图(据王世进,1990<sup>[15]</sup>,修改补充)

1—盖层; 2—古元古代早期二长花岗岩; 3—古元古代早期石英闪长岩; 4—新太古代晚期正长花岗岩; 5—新太古代晚期二长花岗岩; 6—新太古代晚期花岗闪长岩; 7—新太古代晚期英云闪长岩; 8—新太古代中期奥长花岗岩; 9—新太古代中期花岗闪长岩; 10—泰山岩套英云闪长质片麻岩; 11—泰山岩群; 12—泰山岩套条带状英云闪长质片麻岩; 13—断层

Fig.1 Simplified geological map of western Shandong Province (modified after Wang Shijin,1990<sup>[15]</sup>)

1-Cap rock; 2-Early Paleoproterozoic monzogranite; 3-Early Proterozoic quartz diorite; 4-Neoproterozoic late syenogranite; 5-Neoproterozoic late monzogranite; 6-The new late Archean granodiorite; 7-The new late Archean tonalite rock; 8-The new mid-Archean trondhjemite; 9-The new mid-Archean granodiorite; 10-Taishan rock suite tonalite gneiss; 11-Taishan rock group; 12-Taishan rock suite banded tonalite gneiss; 13-Fault

细的划分方案,其中王世进和张成基<sup>[9]</sup>及陆松年等<sup>[10]</sup>的划分方案最具代表性,详见表 1。王世进和张成基<sup>[9]</sup>划分为 4 期,新太古代早、中、晚 3 期分别对应灰色片麻岩( $T_1$ ),两套 TTG 岩系和钾质花岗岩,古元古代早期为花岗岩。陆松年等<sup>[9]</sup>则划分为 3 期,新太古代早期的英云闪长岩( $T_1$ ),新太古代中期的 TTG 组合和新太古代晚期—古元古代早期的 GMS 组合。

本文在汇集 39 个锆石 SHRIMP 和 LA-ICP-MSU-Pb 同位素年龄<sup>[4-5,8-10]</sup>的基础上,参考王世进和张成基<sup>[9]</sup>以及陆松年等<sup>[10]</sup>的划分方案(表 1),提出鲁西地区早前寒武纪花岗岩类年代格架的初步方案(表 2),以供讨论。

构建表 2 的几点说明:

(1)表 2 中的年龄值及其范围均按已有的锆石 U-Pb 同位素年龄值标出,随着研究的进一步深入,其具体数值可能会有改动。

(2)已有的划分方案(表 1)把泰山岩群(2750~2700 Ma)的英云闪长质灰色片麻岩( $T_1$ )与新甫山岩套(2623~2613 Ma,或 2650~2600 Ma)TTG 组合分为二期,笔者考虑到归入泰山岩群(或岩套)的望府

山灰色片麻岩的同位素年龄最年轻者为(2637±12) Ma(望府山十八盘,英云闪长片麻岩<sup>[10]</sup>)和(2627±18) Ma(栗杭村,英云闪长片麻岩<sup>[10]</sup>),它与归入新甫山岩套的奥长花岗岩年龄 (2623±9) Ma,(2615±2) Ma(上港<sup>[4,5]</sup>)和(2611±19) Ma(栗杭村<sup>[10]</sup>),以及花岗闪长岩年龄(2613±12) Ma(新甫山<sup>[4,5]</sup>)和(2612±15) Ma(新泰市雁翎关村北<sup>[9]</sup>)十分接近,建议把它们归入同一个  $T_1T_2G_1$  组合,2741~2611 Ma。

(3)考虑到傲徕山岩套的二长花岗岩最早的年龄为(2563±20) Ma(傲徕山<sup>[9]</sup>),最晚年龄为 2500 Ma(蒙阴贾庄<sup>[9]</sup>),以及花岗岩( $G_2$ )出现的构造环境和陆壳成熟度显然不同于  $T_1T_2G_1$  组合(该组合中无  $G_2$  出现),应归入另一期花岗岩组合。同时,考虑到 2563~2500 Ma 还有峰山岩套  $T_1T_2G_1$  组合(表 1),包括最早的英云闪长岩( $T_1$ )为 2557±20 Ma(泰安市黄前水库大坝东侧<sup>[10,5]</sup>),以及最年轻的奥长花岗岩( $T_2$ )为 2504 Ma,2506 Ma(林家官庄<sup>[9]</sup>),加上本文还识别出这一时期尚发育有石英二长岩(QM)(见下节),故把这一时期归为  $T_1T_2G_1G_2QM$  组合,2563~2500 Ma。

表 1 代表性的鲁西地区早前寒武纪花岗岩类年代格架  
(据陆松年等<sup>[10]</sup>、王世进和张成基<sup>[9]</sup>简化)

Table 1 Representative age framework of early Precambrian granites in western Shandong Province (simplified after Lu Songnian et al., 2008 <sup>[9]</sup> , Wang Shijin and Zhang Chengji, 2009 <sup> [12]</sup> )				
王世进和张成基 <sup>[12]</sup> (2009)		陆松年等 <sup>[9]</sup> (2008)		
古元古代早期	摩天岭岩套，二长花岗岩，2494~2435Ma		正长花岗岩，~2450Ma	
第三阶段	四海山岩套，正长花岗岩，2533~2525Ma	花岗岩-二长花岗岩-正长花岗岩 GMS 组合	花岗岩和傲徕山二长花岗岩，2550~2500Ma	
新太古代晚期	第二阶段 傲徕山岩套，二长花岗岩，2550~2500Ma			
	沂水岩套，紫苏花岗岩，2562~2538Ma			
第一阶段	峰山岩套，TTG， 2550~2520Ma			
新太古代中期	新甫山岩套，TTG， 2623~2613Ma	TTG 组合，2650~2600Ma		
新太古代早期	泰山岩套，T <sub>1</sub> ，2740~2700Ma	泰山岩群，T <sub>1</sub> ，2750~2700Ma		

表 2 鲁西地区早前寒武纪花岗岩类年代格架的初步方案  
Table 2 Preliminary scheme of the age framework of early Precambrian granites in western Shandong Province

年 代	岩石组合	形成年龄/M	变质年龄/Ma	构造环境	陆壳成熟度
古元古代早期	$G_2QM$	2496~2435	2500	大陆碰撞	成熟
新太古代晚期	$T_1T_2G_1G_2QM$	2563~2500		大陆边缘弧	半成熟
新太古代早中期	$T_1T_2G_1$	2741~2611	2606~2586	岛弧	不成熟

(4) 古元古代花岗岩类中已无  $T_1T_2G_1$  的发育, 只有  $G_2QM$  发育, 2496~2435 Ma, 因此单独分出一期是合理的。

(5) 王世进等(鲁西地区早前寒武纪地质野外考察指南, 2009 年 9 月 14—19 日)指出, 泰山桃花峪英云闪长质片麻岩 ( $T_1$ ) 锆石内核 SHRIMP U-Pb 同位素年龄 ( $2711 \pm 10$ ) Ma, 锆石外环变质年龄 ( $2586 \pm 41$ ) Ma, 平邑县白马关英云闪长质片麻岩锆石内核 SHRIMP U-Pb 同位素年龄 ( $2694 \pm 11$ ) Ma, 变质边 ( $2606 \pm 9$ ) Ma; 望府山英云闪长质片麻岩中的长石石英岩锆石边部变质年龄 SHRIMP U-Pb 同位素年龄 2500 Ma。这两期变质年龄进一步支持在表 2 中提出的划分方案, 2606~2586 Ma 之变质年龄符合  $T_1T_2G_1$  组合形成之后的变质事件, 2500 Ma 之变质年龄符合  $T_1T_2G_1G_2QM$  组合形成之后的变质事件。

### 3 鲁西地区早前寒武纪花岗岩类的岩石组合类型

本文采用 O'Conner (1965) 的 CIPW An-Ab-Or 三角图解对该区花岗岩类进行分类命名, 并按照规定, 进入分类的岩石中 Q-norm 必须大于 10%, 然后按 CIPW An-, Ab-, Or-norm% 再重新计算其总量为 100% 时的 CIPW An-, Ab-, Or-norm%, 最后进行投影<sup>[16]</sup>。文中之所以采用 O'Conner 的分类方案, 原因有四: (1) 常用的 QAP 实际矿物分类中 5 区为英云闪长岩的名称, 奥长花岗岩被看作为英云闪长岩的浅色变种 ( $M < 10$ ), 这样, 5 区中包括了我們所需要的 2 种岩石, 在 QAP 图解中无法区分开; (2) O'Conner 图解不仅可清楚地区分和鉴别英云闪长岩 ( $T_1$ ) 和奥长花岗岩 ( $T_2$ ), 而且可识别和区分花岗闪长岩 ( $G_1$ ), 花岗岩 ( $G_2$ ) 和石英二长岩 (QM), 因此, 它在花岗岩类分类、特别是在前寒武纪花岗岩类分类中普遍被使用; (3) 本文是在汇集处理岩石化学数据基础上进行讨论的, O'Conner 的分类方案简单易用, 它在同一个分类命名平台上, 为我们对各地段和时段的花岗岩类岩石以及许多学者定名的花岗岩类岩石进行对比提供了可能性, 使对比讨论更加有据可依; (4) 前人(见马丽芳主编, 2002, P221 及图 2)<sup>[17]</sup>认为, 鲁西太古 TTG 具钙碱性(CA)趋势。由于采用 O'Conner 的分类方案, 本文鉴别了奥长花岗岩趋势 ( $T_2$ ) 和钙碱性(CA)趋势(见下面讨论)。

本文在汇集 186 件岩石化学样品的基础上, 通

过 CIPW 标准矿物计算之后删除了 4 件 Q-norm (石英标准分子)  $< 10\%$  的样品。经 O'Conner (1965) 的 CIPW An-Ab-Or 三角图解分类<sup>[16]</sup>, 鲁西地区早前寒武纪花岗岩类的岩石组合分别为: (1) 新太古代早中期  $T_1T_2G_1$  组合 (2741~2611 Ma); (2) 新太古代晚期  $T_1T_2G_1G_2QM$  组合 (2563~2500 Ma); (3) 古元古代早期  $G_2QM$  组合 (2496~2435 Ma)。

#### 3.1 新太古代早中期 $T_1T_2G_1$ 组合 (2741~2611 Ma)

新太古代早中期为典型的  $T_1T_2G_1$  组合(图 2), 具典型的奥长花岗岩演化趋势(图 3)。图 2 展示的  $T_1T_2G_1$  组合中, 以  $T_1T_2$  为主。需要说明的是, 文献中共收集  $T_1T_2G_1$  岩石化学样品 27 个, 原命名为英云闪长岩的样品有 15 个, 奥长花岗岩的样品有 4 个, 花岗闪长岩的样品有 8 个, 经 O'Conner An-Ab-Or 三角图解统一分类修正后, 属英云闪长岩的样品有 13 个, 其中, 11 个样品的命名是正确的, 2 个样品原名为奥长花岗岩; 属奥长花岗岩的样品有 10 个, 其中, 2 个样品的命名是正确的, 1 个样品原名为英云闪长岩, 7 个样品原名为花岗闪长岩; 属花岗闪长岩的样品有 3 个, 其中, 1 个样品的命名是正确的, 2 个样品原名为英云闪长岩; 1 个样品被删除, 原因是

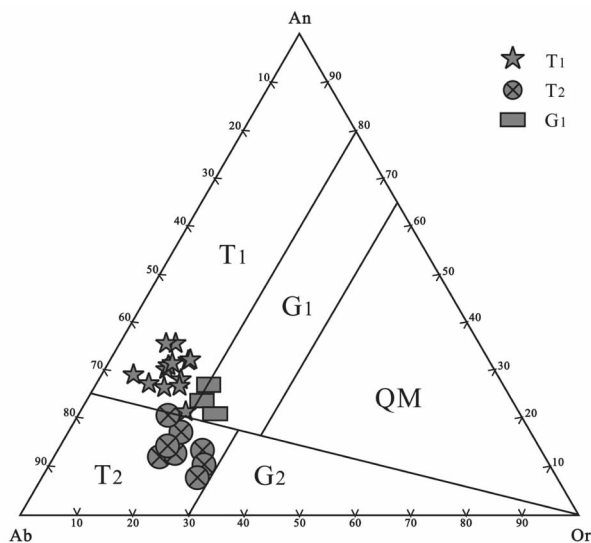


图 2 鲁西地区新太古代早中期  $T_1T_2G_1$  组合的 O'Conner CIPW-norm 图解

(An-Ab-Or 图解引自 Rollinson, 1993<sup>[16]</sup>)

$T_1$ —英云闪长岩;  $T_2$ —奥长花岗岩;  $G_1$ —花岗闪长岩;  $G_2$ —花岗岩; QM—石英二长岩

Fig.2 O'Conner An-Ab-Or diagram showing the early-middle Neoproterozoic  $T_1T_2G_1$  assemblage of western Shandong Province  
 $T_1$ —Tonalite;  $T_2$ —Trondhjemite;  $G_1$ —Granodiorite;  $G_2$ —Granite; QM—Quartz-monzonite