

# 山东省前寒武纪地质及地质公园地质特征概述

王世进<sup>1</sup>, 万渝生<sup>2</sup>

(1. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 2. 中国地质科学院地质研究所 北京离子探针中心, 北京 100037)

**摘要:** 山东前寒武纪地层主要为出露于鲁西地区新太古代泰山岩群、沂水岩群、新元古代土门群和鲁东地区新太古代胶东岩群、古元古代荆山群、粉子山群、中元古代芝罘群、新元古代蓬莱群和胶南-威海造山带古元古代变质表壳岩组合、中元古代五莲群。山东前寒武纪侵入岩主要为出露于鲁西地区新太古代三期侵入岩, 每期岩浆侵入活动开始都有地幔岩浆侵入。早期构造岩浆活动主要形成~2 700 Ma的英云闪长质片麻岩、条带状英云闪长质片麻岩; 中期构造岩浆活动主要形成2 630~2 600 Ma的TTG质岩石; 晚期地幔岩浆活动形成峰山序列TTG质花岗岩, 地壳深熔形成傲徕山序列二长花岗岩, 表现为大规模陆壳的形成和壳内再循环。鲁东地区中太古代形成~2 900 Ma的英云闪长质片麻岩、奥长花岗质片麻岩, 新太古代早期形成规模较大的~2 700 Ma(条带状)英云闪长质片麻岩, 新太古代晚期形成~2 500 Ma的TTG质花岗岩及二长花岗岩; 古元古代晚期形成二长花岗岩、超基性-基性岩; 新元古代在苏鲁造山带形成超基性-基性岩、英云闪长质-花岗闪长质-二长花岗质片麻岩。山东省以新太古代地质体为依托的地质公园主要分布在鲁西地区, 主要有泰山、蒙山、峰山、鲁山、济南水帘峡、泰安长城岭、泰安龙湾、肥城牛山、临朐沂山、莱芜房干九龙大峡谷、新泰青云山、泗水龙门山、滕州莲青山、枣庄市山亭区店子、曲阜石门山等地质公园。山东省以元古宙地质体为依托的地质公园主要有长岛、五莲山-九仙山国家地质公园, 临沂临港甲子山、威海刘公岛、烟台昆嵛山等省级地质公园及莒县浮来山地质遗迹保护区。

**关键词:** 地质公园; 地质遗迹; 前寒武纪地质; 山东省

**中图分类号:** P534.1; P533

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2097-0188(2022)02-0018-19

山东省地处华北板块的东部边缘, 地质复杂, 形成了种类繁多的前寒武纪地质体。山东前寒武纪地层主要为鲁西地区新太古代泰山岩群、沂水岩群、新元古代土门群和鲁东地区新太古代胶东岩群、古元古代荆山群、粉子山群、中元古代芝罘群、新元古代蓬莱群和胶南-威海造山带古元古代变质表壳岩组合、中元古代五莲群。山东前寒武纪岩浆岩主要为鲁西地区新太古代构造-岩浆活动形成的侵入岩, 鲁东地区中太古代至新太古代变质-变形花岗岩; 古元古代晚期-中元古代超基性-基性岩; 新元古代在苏鲁造山带上形成超基性-基性岩、英云闪长质-花岗闪长质-二长花岗质片麻岩。山东省以新太古代地质体为依托的地质公园主要分布在鲁西地区, 主要有泰山、蒙山、峰山、鲁山、沂山等地质公园。山东省以元古宙地质体为依托的地质公园主要有长岛、五莲山-九仙山、临沂临港甲子山、威海刘公岛、昆嵛山等地质公园及莒县浮来山地质遗迹保护区。地质公园有助于游客开阔视野、丰富知识, 在地质公园之旅中轻松、愉快地认

识、欣赏到地球家园沧海桑田的变化历史。

## 1 山东前寒武纪地质

### 1.1 山东前寒武纪地层

#### 1.1.1 太古宙地层

太古宙地层零散地分布于鲁西和鲁东地层分区内, 呈大小不等的包体残留于花岗质片麻岩等变质-变形深成侵入岩内。原岩为中基性、中酸性火山岩、火山碎屑岩及陆源碎屑岩等火山沉积建造, 经历了角闪岩相或麻粒岩相的区域变质作用和韧性变形作用改造所残存的“表壳岩类”。岩石地层单位有中太古代马庄河表壳岩, 新太古代沂水岩群、泰山岩群、济宁岩群(隐伏于地下)和胶东岩群。

山东省中太古代变质地层零星出露在招远市马庄河村、栖霞市黄岩底等地, 为一套黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩, 残留在中太古代条带状英云闪长质片麻岩或奥长花岗岩中。万渝生、王世进等(2012)在招远市马庄河村南出露的黑云变粒岩中, 测得锆

**收稿日期:** 2022-04-01

**资助项目:** 中国地质调查局项目“山东省地质系列图件编制与综合研究工作(1212010811029)”

**作者简介:** 王世进(1950-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事区域地质调查、矿产、农业地质调查研究工作, E-mail:shijinw63@163.com。

石 SHRIMP U-Pb 形成年龄 2 900 Ma, 变质年龄 2 500 Ma。江博明等在栖霞市黄岩底中太古代条带状英云闪长质片麻岩中黑云变粒岩残留体中, 测得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄  $2\,892 \pm 18\text{ Ma}^{[1]}$ (图1)。

新太古代地层沂水岩群是一套出露分散、连续性差的麻粒岩相的表壳岩类。自下而上分为石山官庄岩组(图2)和林家官庄岩组。中国地质科学院赵子然等对沂水岩群变基性岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究, 在含尖晶石和石榴子石(斜长)角闪二辉麻粒岩中测出最老的锆石年龄为 2 719 Ma, 获得锆石最大 Hf 模式年龄为 2 760 Ma, 可能反映了变基性岩原岩年龄的上限<sup>[2]</sup>。同年, 他们对残留于沂水牛心官庄花岗岩中的沂水岩群含矽线石十字石榴二云斜长片麻岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 定年, 碎屑锆石不一致线上交点年龄为  $2\,695 \pm 32\text{ Ma}^{[3]}$ 。新的精确测



图1 栖霞黄岩底村 2.9 Ga 的英云闪长质片麻岩有黑云变粒岩残留体

Fig.1 2.9 Ga fine-grained biotite occurring as enclave in 2.9 Ga tonalitic gneiss, Huangyadi, eastern Shandong



图2 沂水县城北沂水群含紫苏辉石黑云变粒岩  
Fig.2 Fine-grained hypersthene-bearing biotite gneiss, north of Yishui

年结果说明沂水岩群形成年龄在 2 760 ~ 2 700 Ma, 属新太古代早期。

新太古代地层泰山岩群呈北北西向带状出露于鲁西地区, 自下而上划分为孟家屯岩组、雁翎关岩组<sup>[4]</sup>、山草峪岩组、柳杭岩组。在泰山岩群雁翎关岩组典型剖面底部发现了国内罕见的科马提岩(图3)和斜长角闪岩中的变余枕状构造(图4,5)等重要地质遗迹。

泰山岩群下部地层(包括雁翎关岩组和孟家屯岩组)形成于新太古代早期。万渝生等(2012)<sup>[5,6]</sup>测得新泰市雁翎关村北雁翎关岩组下部角闪变粒岩的岩浆结晶锆石 SHRIMP U-Pb 年龄  $2\,747 \pm 7\text{ Ma}$ ; 测得新泰市天井峪村东南片麻状石英闪长岩锆石内核



图3 蒙阴苏家沟村东, 泰山岩群雁翎关组科马提岩具鬃刺构造

Fig.3 Komatiite with spinifex structure in the Yanlingguan Formation of the Taishan group, Sujiagou, Mengying



图4 鲁西七星台泰山岩群雁翎关组具枕状构造的斜长角闪岩

Fig.4 Amphibolite with pillow structure in the Yanlingguan Formation of the Taishan Group, Qixingtai, western Shandong



图5 鲁西雁翎关村南 2.75 Ga 的泰山岩群雁翎关组具枕状构造的斜长角闪岩,周围围绕杏仁体构造  
Fig.5 2.75 Ga amphibolite with pillow structure in the Yanlingguan Formation of the Taishan Group, the pillow is surrounded by amygdaloids, south of Yanlingguan, western Shandong

SHRIMP U-Pb 年龄  $2\ 740 \pm 6$  Ma, 侵入雁翎关岩组底部透闪阳起片岩。王伟等<sup>[7,8]</sup>测得济南七星台侵入雁翎关岩组枕状变玄武岩(斜长角闪岩)的奥长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 707 \pm 9$  Ma。杜利林等获得孟家屯岩组石榴石英岩和石榴黑云母片麻岩源区岩石形成年龄分别为  $2\ 717 \pm 33$  Ma 和  $2\ 742 \pm 23$  Ma, 该岩组被年龄为  $2\ 695 \pm 14$  Ma 的条带状英云闪长质片麻岩侵入<sup>[9]</sup>, 由此限定该岩组形成时代不晚于 2 700 Ma。泰山岩群下部地层(包括雁翎关岩组和孟家屯岩组)形成时代为 2 750 ~ 2 700 Ma, 均属新太古代早期。鲁西地区保留了 2 750 ~ 2 700 Ma 全球性岩浆活动的重要信息。

泰山岩群上部地层(包括山草峪岩组和柳杭岩组)属新太古代晚期形成<sup>[5-6]</sup>。我们在新泰市二涝峪村南和村西山草峪岩组地层中, 分别测得黑云变粒岩碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 572 \pm 16$  Ma、 $2\ 544 \pm 6$  Ma(图6)。在泰安市西南峪柳杭岩组含砾变粒岩中测得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 524 \pm 7$  Ma、 $2\ 587 \pm 16$  Ma, 测得奥长花岗岩砾石锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 553 \pm 10$  Ma。可见, 柳杭岩组最年轻的碎屑锆石年龄为  $2\ 524 \pm 7$  Ma, 山草峪岩组最年轻的碎屑锆石年龄为  $2\ 544 \pm 6$  Ma。该套地层被峰山序列石英闪长岩和傲徕山序列二长花岗岩侵入, 进一步限制了泰山岩群上部地层形成时代不晚于 2 530 Ma, 属新太古代晚期。

新太古代地层胶东岩群仅分布于胶北断隆内, 零星出露于栖霞市观里、苏家店及招远市齐山、蓬莱

市沟刘家(图7)、虎路线等地, 残存于新太古代花岗岩中。其岩性为成层性明显、韵律性清楚的一套黑云变粒岩、斜长角闪岩、角闪变粒岩夹磁铁石英岩组合。变质程度均达高角闪岩相。据其岩性组合的不同分为郭格庄岩组和苗家岩组。万渝生等测得栖霞苏家店林家村西水库坝北端胶东岩群苗家岩组黑云变粒岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $\sim 2\ 519$  Ma<sup>[10]</sup>。

### 1.1.2 元古宙地层

山东省元古宙地层主要有胶北地层分区的古元古代荆山群、粉子山群, 中元古代芝罘群(图8), 新元古代蓬莱群和靠近沂沭断裂带附近鲁西地区的土门群。胶南-威海造山带分区发育古元古代的变质表壳岩组合、中元古代五莲群和震旦纪册河石岩组。

#### (1) 古元古代地层

荆山群主要分布于胶北地区的莱阳荆山、旌旗

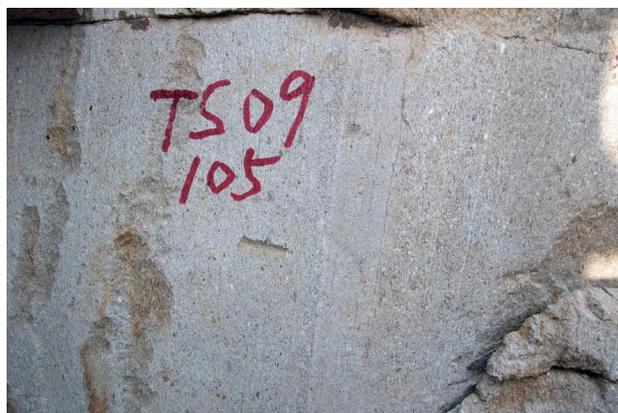


图6 新泰二涝峪村泰山岩群山草峪组 2.54 Ga 黑云变粒岩, 沉积韵律发育

Fig.6 2.54 Ga fine-grained biotite gneiss in the Shancaoyu Formation of the Taishan Group, showing nice sedimentary rhythm, Erlaoyu, Xintai

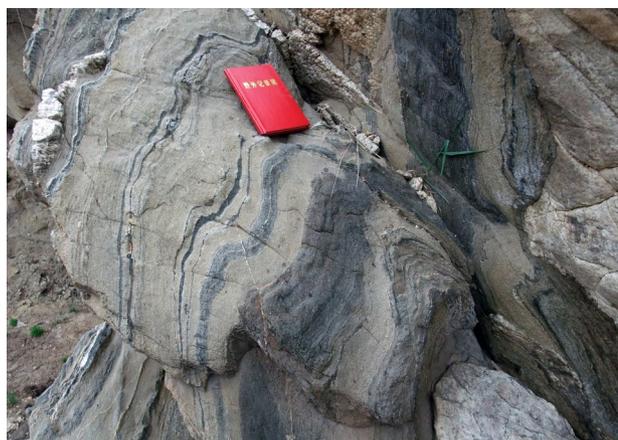


图7 蓬莱沟刘家村胶东岩群郭家庄岩组黑云变粒岩  
Fig.7 Fine-grained biotite gneiss in the Jiaodong Group, Liujiacun, Penglai

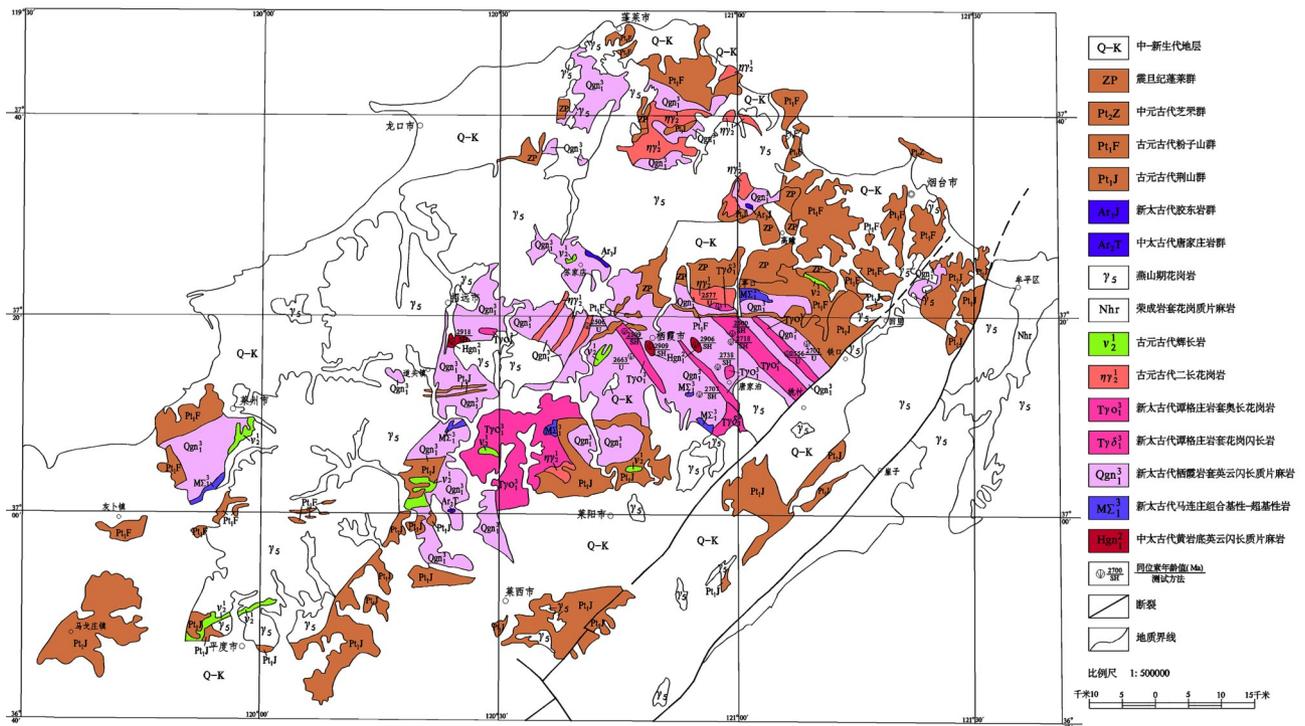


图8 鲁东胶北地区早前寒武纪地质简图  
Fig.8 Geological map of eastern Shandong

山、莱西南墅、平度祝沟、明村、海阳晶山、牟平祥山及昌邑-山和安丘赵戈庄等地,为一套高铝片岩、变粒岩、大理岩、含石墨岩系、片麻岩、透辉岩等岩石组合,高角闪岩相-麻粒岩相变质。自下而上分为以高铝片岩和大理岩为主的禄格庄组、以灰绿色透辉岩和大理岩为主的野头组和以含石墨岩系和高铝片岩为主的陡崖组。刘平华等对荆山群碎屑锆石进行了SHRIMP U-Pb定年<sup>[11]</sup>,最年轻的碎屑锆石年龄为 $2\ 175\pm 16\text{ Ma}$ ,变质锆石年龄为 $1\ 852\pm 9\text{ Ma}$ ;董春艳等测得侵入到荆山群的变辉长岩、闪长岩的SHRIMP U-Pb年龄为 $1\ 852\pm 9\text{ Ma}$ 和 $1\ 868\pm 11\text{ Ma}$ <sup>[12]</sup>。这些年龄数据表明荆山群原岩的沉积作用发生在 $2\ 200\text{ Ma}$ 以后,变质作用发生在 $1\ 882\sim 1\ 868\text{ Ma}$ 之间,其形成时代限定为 $2.2\sim 1.9\text{ Ga}$ ,属古元古代。

粉子山群主要分布于莱州粉子山、平度灰埠、蓬莱金果山、福山张格庄等地,高绿片岩相-低角闪岩相变质,直接覆盖于太古宙岩系之上。粉子山群的主要岩性为大理岩、黑云变粒岩、透闪岩、石墨透闪岩、浅粒岩、斜长角闪岩、磁铁石英岩、矽线黑云片岩等。据其岩性差异及组合特征,自下而上划分为小宋组、祝家夼组、张格庄组、巨屯组、岗崮组。中国地质科学院谢士稳等对粉子山群碎屑锆石进行了SHRIMP U-Pb定年,最年轻碎屑锆石年龄为 $2\ 200$

$\text{Ma}$ <sup>[13]</sup>,且被古元古代晚期变辉长岩侵入,粉子山群形成于古元古代。

胶南-威海造山带变质表壳岩组合为一套经受了中高级变质作用的陆缘碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造。该套地层由于造山带强烈的构造改造及侵入岩破坏,多已失去原始连续性,无完整、连续的地层剖面,构造置换强烈。划分为变粒岩段、大理岩段、含石墨岩系段、片岩段、石英岩段等岩性段。一般呈宽窄不同的条带状和大小不一、形状各异的透镜状分布,总体走向与区域构造线方向基本一致,局部地区呈残片状包于变质变形侵入体中,岩石大部分遭受了强烈韧性变形作用,被改造成糜棱岩类岩石。据山东第四地质矿产勘查院编制的《山东区域地质》<sup>[14]</sup>收集的测年资料:山东区调队(1982)测得莒南王家道村峪黑云变粒岩锆石U-Pb年龄为 $\sim 2\ 182\text{ Ma}$ ,测得赣榆石桥黑云变粒岩锆石U-Pb年龄为 $\sim 1\ 901\text{ Ma}$ ;中国地质大学(北京)1991年测得诸城前桃山黑云变粒岩锆石U-Pb年龄为 $\sim 2\ 125\text{ Ma}$ 、诸城市千秋岭黑云变粒岩锆石U-Pb年龄为 $\sim 1\ 921\text{ Ma}$ ;山东地质八队(1995)测得日照市焦家庄子富黑云变粒岩锆石U-Pb年龄为 $\sim 2\ 279\text{ Ma}$ 。

雷恒聪等(2014)测得威海泥质麻粒岩(与大理岩钙硅酸盐岩伴生)锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄为

1 845±9 Ma<sup>[15]</sup>。变质表壳岩组同位素年龄范围在1 800~2 200 Ma之间,属古元古代。

### (2)中元古代地层

山东省中元古代地层芝罘群和五莲群,芝罘群归属胶北地层分区,五莲群归属胶南-威海造山带地层分区。分区界线为昌邑-大店断裂和牟平-即墨-五莲断裂。

芝罘群集中于烟台市芝罘岛及其邻近空洞岛、担子岛、马岛等各大、小不同的岛屿上,自下而上划分为老爷山组、兵营组和东口组,主要岩石组合为含砾钾长石英岩、含砾石英岩、含镜铁钾长石英岩、含镜铁白云钾长片麻岩、石英岩、钾长石英岩,间夹变粒岩、片岩及少量大理岩类;以一套钾长石英岩夹镜铁矿岩系组合为特征。低角闪岩相-角闪岩相变质。关于芝罘群的时代,陆松年等(未发表资料)测得芝罘群老爷山组石英岩最年轻的碎屑锆石U-Pb年龄为1 658±32 Ma和1 792±43 Ma,综合分析,将其划为中元古代早期,可与长城纪地层对比。该群下伏二长花岗岩锆石U-Pb年龄为2 476±35 Ma。

五莲群主要分布于五莲县城北海眼口村-孙家岭-南院、山王家庄-福禄头、坤山等地,自下而上划分为海眼口组、坤山组,其主要岩性组合为各种变粒岩、片岩夹大理岩。经受了绿片岩相-角闪岩相变质作用。海眼口组电气石石英岩与黑云变粒岩最年轻的碎屑锆石年龄数据为1 685~1 727 Ma<sup>[16]</sup>,侵入海眼口组黑云变粒岩的花岗岩脉岩浆锆石<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U表面年龄加权平均值为778±2 Ma<sup>[16]</sup>,这一年龄值表明花岗岩脉所代表的热事件与扬子北缘Rodinia超大陆裂解事件有关,说明南华纪时期,五莲群位于扬子地台的北缘,而不是华北地台的东南缘。

### (3)新元古代地层

新元古代地层主要有胶北地层分区的蓬莱群、鲁西地层分区的土门群、胶南-威海造山带地层分区的震旦纪朋河石岩组以及扬子地层区的南华纪云台岩群花果山岩组。

蓬莱群主要分布于栖霞、蓬莱、龙口及庙岛群岛。主要岩性为板岩、大理岩、石英岩与千枚岩、泥灰岩及灰岩。低绿片岩相变质。初航等对长岛地区蓬莱群辅子夙组碎屑锆石年龄谱研究结果表明蓬莱群的沉积时代应晚于~986 Ma(LIMS)<sup>[17]</sup>;秦杰等(未发表资料)测得栖霞蓬莱群上部岩石锆石SHRIMP U-Pb年龄为~1 000 Ma。蓬莱群石英岩与千枚岩组

成了长岛、蓬莱阁等海蚀地貌景观和碎屑岩地貌。

土门群分布局限,在安丘-莒县断裂及西侧附近地区出露,以砂岩、页岩、灰岩的滨海-浅海相旋回性沉积为特征,自下而上分为黑山官组、二青山组、佟家庄组、浮来山组及石旺庄组五个组。莒县浮来山存在土门群典型剖面,石旺庄组赋存着古地震事件层。

震旦纪朋河石岩组,为一套变质砂岩、千枚岩、板岩组合,仅出露于莒南县朋河石至王家道峪一带。低绿片岩相变质。不整合于新元古代二长花岗岩之上,经受了轻微的区域变质作用。宋明春等测得朋河石岩组千枚岩的全岩Rb-Sr同位素年龄为~620 Ma,代表了其形成年龄,221±14 Ma为变质年龄<sup>[14]</sup>。

南华纪云台岩群花果山岩组分布于日照前三岛、达山岛及车牛山岛。主要岩性为巨厚层状浅粒岩夹白云变粒岩、变质流纹质熔结凝灰岩等。低绿片岩相变质。王秀丽等(2006)测得云台岩群花果山岩组云母石英片岩单颗粒碎屑锆石U-Pb年龄为800~740 Ma<sup>[18]</sup>。

## 1.2 山东前寒武纪岩浆岩

### 1.2.1 太古宙侵入岩

山东省太古宙岩浆侵入活动频繁,所形成的侵入岩类型多种多样。中太古代侵入岩在栖霞市黄岩底村西出露较好,为英云闪长质片麻岩,形成年龄为~2.9 Ga,是山东发现的最古老岩石。

鲁西地区新太古代侵入岩颇为发育。新太古代早期的侵入岩经受了区域变质作用,形成一套灰色片麻岩<sup>[17]</sup>;新太古代中期的侵入岩为TTG质花岗岩;新太古代晚期地幔岩浆侵入到地壳深熔产生的钾质花岗岩代表了大规模刚性陆壳的形成。新太古代侵入岩形成山东省海拔1 000 m以上的泰山、徂徕山、蒙山、鲁山和沂山等典型的花岗岩地貌。泰山有国内著名的新太古代多期次侵入岩典型剖面,还有新太古代早期条带状英云闪长质片麻岩形成的泰山石等地质遗迹资源;沂山有新太古代晚期地壳深熔作用形成的花岗岩典型剖面。

#### (1) 新太古代早期侵入岩

##### ① 万山庄序列超基性-基性侵入岩

万山庄序列包括变辉石橄榄岩(蛇纹石岩、透闪阳起片岩)、中粗粒变角闪石岩、斑状细粒变角闪辉长岩、中粒变角闪辉长岩等,呈规模小而分散的包体残留于花岗质片麻岩系内,散布于鲁西地区的新泰、泰安、长清的一些地区。

泰山彩石溪一带残存于2 700 Ma条带状英云闪长质片麻岩中的中粗粒斜长角闪岩(变辉长岩)核部锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $\sim 2\ 678\ \text{Ma}$ <sup>[18]</sup>, 新泰市岳庄一带残存于条带状英云闪长质片麻岩中的中粗粒斜长角闪岩(变辉长岩)锆石变质边 SHRIMP U-Pb 年龄为  $\sim 2\ 609\ \text{Ma}$ 。1/5 万放城幅测得南官庄斜长角闪岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄值为  $\sim 2\ 706\ \text{Ma}$ 、 $\sim 2\ 697\ \text{Ma}$  及  $\sim 2\ 653\ \text{Ma}$ , 安子沟中粗粒角闪石岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄值为  $\sim 2\ 648\ \text{Ma}$ 、 $\sim 2\ 736\ \text{Ma}$  及  $\sim 2\ 653\ \text{Ma}$ 。结合万山庄序列变质超基性-基性侵入岩类侵入泰山岩群及被泰山岩套侵入的地质事实, 其形成年龄应在 2 740 ~ 2 700 Ma 之间, 是在泰山岩群火山-沉积作用发生之后的地幔岩浆侵入形成。

#### ②泰山序列中-酸性侵入岩

本阶段构造岩浆活动, 造成 2 740 ~ 2 700 Ma 的岩浆侵入<sup>[19]</sup>, 形成英云闪长质片麻岩, 集中出露于泰安、新泰、蒙阴、平邑等地区。在泰山地区的泰山桃花峪-下港之间, (条带状)英云闪长质片麻岩出露规模最大, 宽达 8 000 m; 往南延伸到徂徕山-新甫山地区的泰安市化麻湾一带, (条带状)英云闪长质片麻岩宽 2 km; 再往南、南东延伸到蒙山地区的新泰市南涝坡-孟家屯一带, 条带状英云闪长质片麻岩宽 2 000 m, 北东和南西两侧为英云闪长质片麻岩; 再往南东延伸到王家小庄一带, 条带状英云闪长质片麻岩分叉, 北侧一条往蒙阴县连城方向延伸, 南侧一条往平邑县东近台方向延伸。条带状英云闪长质片麻岩和英云闪长质片麻岩呈渐变过渡接触关系, 条带状英云闪长质片麻岩是英云闪长质片麻岩发生深熔作用形成的产物。

万渝生、王世进等<sup>[19]</sup>获得泰山桃花峪条带状英云闪长质片麻岩的锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 711 \pm 10\ \text{Ma}$ , 代表岩体形成年龄; 变质边年龄为  $2\ 586 \pm 41\ \text{Ma}$ , 代表变质年龄。泰山彩石溪 27.5 亿年的泰山岩群雁翎关组斜长角闪岩被 27 亿年的英云闪长质片麻岩侵入(图 9); 泰安城东小津口英云闪长质片麻岩年龄为  $2\ 712 \pm 7\ \text{Ma}$ ; 徂徕山西侧条带状英云闪长质片麻岩的锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 711 \pm 11\ \text{Ma}$ , 代表岩体形成年龄<sup>[20]</sup>; 平邑县与蒙阴县交界处的白马关英云闪长质片麻岩锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 694 \pm 11\ \text{Ma}$ , 代表岩体形成年龄, 锆石变质边年龄为  $2\ 608 \pm 9\ \text{Ma}$ , 为后期变质年龄; 在新泰市天井峪村东南侵入雁翎关组底部透闪阳起片岩的片麻

状石英闪长岩中测得锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 740 \pm 6\ \text{Ma}$ 。陆松年等<sup>[18]</sup>在泰安城东栗杭村东条带状英云闪长质片麻岩测得锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 729\ \text{Ma}$ (图 10); 庄育勋等测得孟家屯条带状英云闪长质片麻岩的锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 695 \pm 14\ \text{Ma}$ 。任鹏等测得泰安黄前水库条带状英云闪长质片麻岩的锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 695 \pm 7\ \text{Ma}$ , 代表岩体形成年龄<sup>[21]</sup>(图 11)。

#### (2)新太古代中期侵入岩

##### ①黄前序列超基性-基性侵入岩

黄前基性-超基性岩序列是从原划分的南涝坡超单元中解体的, 包括变辉石橄榄岩(蛇纹岩、透闪阳起片岩)、粗粒角闪石岩、斑状中粗粒变角闪辉长岩、中细粒变角闪辉长岩等。



图9 泰山彩石溪 2.75 Ga 泰山岩群雁翎关组斜长角闪岩被 2.7 Ga 英云闪长质片麻岩侵入  
Fig.9 2.75 Ga amphibolite (the Yanlingguan Formation of the Taishan Group) cut by 2.7 Ga tonalitic gneiss, Caishixi, Taishan

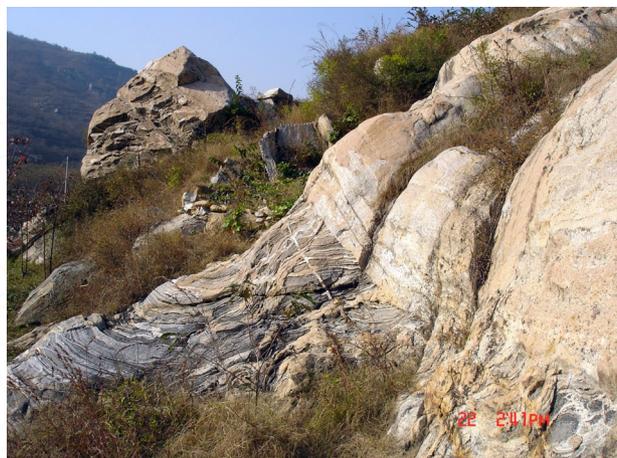


图10 泰山梨杭村, 2.61 Ga 奥长花岗岩侵入 2.73 Ga 条带状英云闪长质片麻岩  
Fig.10 2.61 Ga trondhjemite intruding 2.73 Ga banded tonalite, Lihangcun, Taishan



图 11 泰山黄前水库西北侧, 2.55 Ga 片麻状英云岩侵入 2.7 Ga 条带状英云闪长质片麻岩

Fig.11 2.55 Ga gneissic tonalite intruding 2.7 Ga banded tonalite, northwest of Huangqian reservoir, Taishan

新泰市岳庄乡孟家屯-南涝坡一带, 见辉长岩侵入于孟家屯岩组石英岩和片岩, 现已变质为斜长角闪岩。杜利林、庄育勋等对该斜长角闪岩(变辉长岩)进行锆石测年,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  加权平均年龄为  $2\ 604 \pm 11\ \text{Ma}$ , 为变质锆石形成年龄。

泰安市下港乡峨庄-竹子园一带, 出露变辉长岩规模较大, 张锡明等进行锆石 U-Pb 年龄测定为  $\sim 2\ 624.4\ \text{Ma}$ 。

### ②新甫山序列中-酸性侵入岩

该序列为片麻状花岗闪长岩和片麻状奥长花岗岩, 在泰安市下港镇石河村东上港片麻状奥长花岗岩测得单颗粒锆石 U-Pb 年龄为  $2\ 615 \pm 2\ \text{Ma}$ 。万渝生、王世进等<sup>[22]</sup>在上港片麻状奥长花岗岩测得锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 623 \pm 9\ \text{Ma}$ ; 在泰山桃花峪彩石溪条带状岩中, 测得浅色奥长花岗岩脉体锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 626 \pm 13\ \text{Ma}$  (图 12), 内有大量斜长角闪岩、角闪石岩包体; 在新泰市雁翎关村北新甫山片麻状花岗闪长岩, 锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 613 \pm 12\ \text{Ma}$ 。依据精确测年资料, 将这套侵入岩命名为新甫山序列, 划归新太古代中期。

新甫山序列为钠质花岗岩, 其形成与泰山序列在 2.6 Ga 前发生变质-深熔作用有关, 与泰山序列条带状英云闪长质片麻岩中的奥长花岗岩条带形成有成因关系。新泰市孟家屯村西条带状英云闪长质片麻岩锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $\sim 2\ 720\ \text{Ma}$ 、 $\sim 2\ 709\ \text{Ma}$ , 测得锆石变质增生边年龄为  $2\ 624 \pm 11\ \text{Ma}$ <sup>[7]</sup>。由此可知, 新甫山序列形成于  $2\ 630 \sim 2\ 600\ \text{Ma}$ 。



图 12 泰山彩石溪, 2.51 Ga 二长花岗岩侵入 2.7 Ga 条带状英云闪长质片麻岩和 2.63 Ga 浅色奥长花岗岩条带

Fig.12 2.51 Ga monzogranite intruding 2.7 Ga banded tonalite and 2.63 Ga light trondhjemitic bands, Caishixi, Taishan

### (3)新太古代晚期侵入岩

该期侵入岩乃鲁西地区分布较广者, 是变质基底重要组成部分, 规模大, 由五个阶段侵入岩岩石系列组成。第一阶段为超基性、基性岩类, 规模小而分散, 归并南涝坡序列; 第二阶段为中性-中酸性 TTG 花岗岩系列, 归并于峰山序列; 第三阶段为中酸性钾质花岗岩系列和紫苏花岗岩系列, 分别归并于傲徕山序列和沂水序列; 第四阶段侵入岩称四海山序列, 系一套偏碱性的正长花岗岩; 第五阶段侵入岩称红门序列, 系一套闪长质-花岗岩杂岩体。南涝坡组合经受角闪岩相变质, 峰山序列为绿片岩相变质, 沂水序列、傲徕山序列、四海山序列、红门序列未遭区域变质作用, 变形弱。

①第一阶段侵入岩—南涝坡序列超基性-基性侵入岩

本阶段构造岩浆活动发生在  $2\ 550 \sim 2\ 530\ \text{Ma}$ , 造成地幔岩浆侵入, 形成南涝坡基性-超基性岩石序列。包括细粒变辉长岩(斜长角闪岩)、斑状细粒变角闪辉长岩、中粗粒变角闪辉长岩等单元, 遭受角闪岩相和后期退变质作用的叠加改造, 野外宏观特征显示幔源岩浆沿张性裂隙强力底劈式刺穿机制而就位。蒙阴县桃墟乡余粮店村变辉长岩的锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 531 \pm 8\ \text{Ma}$ 。

②第二阶段侵入岩—峰山序列中性-中酸性花岗岩类

峰山序列中性-中酸性侵入岩, 广布于鲁中、鲁南地区的尼山、峰山、连子山、昙山及告山-风仙山的

南北两侧、蒙山龟蒙顶一带广大地区。本阶段侵入岩是鲁西地区新太古代的第二套 TTG 岩系,遭受绿片岩相变质作用。以泰山大众桥石英闪长岩、黄前(窝铺)英云闪长岩、峰山花岗闪长岩最为典型,含有较多的微粒包体。

陆松年等<sup>[18]</sup>在泰山大众桥石英闪长岩测得锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $\sim 2\ 530\text{ Ma}$ ;黄前英云闪长岩锆石内核 SHRIMP U-Pb 年龄为  $\sim 2\ 557\text{ Ma}$ 。徐惠芬、庄育勋等在卧牛石中粗粒含角闪黑云英云闪长岩单颗粒锆石 Pb-Pb 年龄为  $\sim 2\ 523\text{ Ma}$ 、 $\sim 2\ 536\text{ Ma}$  和  $\sim 2\ 509\text{ Ma}$ 。万渝生、王世进等<sup>[23,24]</sup>测得该序列锆石 SHRIMP U-Pb 年龄:蒙山龟蒙顶花岗闪长岩年龄为  $2\ 539\pm 17\text{ Ma}$ 、曲阜石门山片麻状花岗闪长岩年龄为  $2\ 530\pm 8\text{ Ma}$ 、泗水县圣水峪乡小河村东南片麻状英云闪长岩年龄为  $2\ 532\pm 9\text{ Ma}$ 、邹城市大束镇赵家庄村东斑状片麻状花岗闪长岩年龄为  $2\ 526\pm 10\text{ Ma}$  以及邹城市匡庄镇钓鱼台村南片麻状花岗闪长岩年龄为  $2\ 514\pm 18\text{ Ma}$ 。

根据野外接触关系和锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄值集中在  $2\ 550\sim 2\ 530\text{ Ma}$ ,确定峰山序列形成于新太古代晚期。

### ③第三阶段侵入岩—沂水序列紫苏花岗岩类

新太古代晚期第三阶段侵入岩包括沂水序列、傲徕山序列。沂水序列为紫苏花岗岩系列,仅出露于沂沭断裂带内,分布在沂水县高桥—道托一带,侵入于沂水岩群,与傲徕山序列同期形成。

沂水序列集中分布于沂水大山地区,构成浑圆状复式岩体,在区域上与沂水岩群密切伴生。主要由含有紫苏辉石的石英闪长岩、二长花岗岩、花岗闪长岩和奥长花岗岩等岩石组成。近几年来,沈其韩、赵子然等<sup>[25-27]</sup>对沂水地区的早前寒武纪侵入岩主要岩体进行了 SHRIMP 定年,获得马山岩体中粒紫苏二长花岗岩侵位年龄为  $2\ 538\pm 6\text{ Ma}$ 、雪山岩体含紫苏花岗闪长岩侵位年龄为  $2\ 532\pm 9\text{ Ma}$ 、蔡峪岩体中粗粒石榴紫苏花岗闪长岩侵位年龄为  $2\ 562\pm 14\text{ Ma}$ 、大山二长花岗岩侵位年龄为  $2\ 545\pm 10\text{ Ma}$ 。形成时代属新太古代晚期。

### ④第三阶段侵入岩—傲徕山序列二长花岗岩类

傲徕山序列为二长花岗岩系列,广泛分布于鲁西地区的泰山、鲁山、沂山、蒙山及沂沭断裂带内,测得大量侵入岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,集中为  $2\ 520\sim 2\ 510\text{ Ma}$ <sup>[28]</sup>,确定傲徕山序列为新太古代晚期形成。

陆松年等测得泰山玉皇顶花岗岩 26 个数据点 SHRIMP U-Pb 定年<sup>[18]</sup>,7 个数据点位于谐和线或附近, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  加权平均年龄为  $2\ 563\pm 35\text{ Ma}$ 。黑龙潭瀑布长寿桥二长花岗岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 测年,谐和度最好的数据点给出  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  表面年龄为  $2\ 521\pm 9\text{ Ma}$ 。

我们测得章丘市西麦腰中粒二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 516\pm 10\text{ Ma}$ ;蒙山地区凤仙山中粒二长花岗岩岩体,靠近谐和线的 9 个集中分布的数据点加权平均年龄为  $2\ 513\pm 12\text{ Ma}$ ;鲁山斑状二长花岗岩年龄为  $2\ 517\pm 13\text{ Ma}$ ,细粒二长花岗岩年龄计算结果为  $2\ 508\pm 20\text{ Ma}$ <sup>[29]</sup>,均代表岩浆锆石的形成时代;孟良崮条带状黑云二长花岗岩测年结果锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $2\ 516\pm 10\text{ Ma}$ ;长清兔耳山含斑中细粒含黑云二长花岗岩锆石年龄为  $2\ 489\sim 2\ 515\text{ Ma}$ ,平均值为  $2\ 503\pm 11\text{ Ma}$ 。

综上所述,傲徕山序列二长花岗岩进行大量同位素地质年龄测试,锆石 SHRIMP U-Pb 年龄集中在  $2\ 520\sim 2\ 510\text{ Ma}$ ,综合认为其形成时代为新太古代晚期。该套花岗岩为上地壳物质熔融作用形成,属壳源重熔型(S 型)花岗岩类。其形成的构造背景为陆块碰撞,属同碰撞和碰撞后花岗岩。其宏观展布特征显示其强力底劈膨胀式和底辟刺穿式机制而就位。依据其与相邻地质体关系和锆石 SHRIMP 年龄,形成于新太古代晚期。

### ⑤第四阶段侵入岩—四海山序列正长花岗岩类

四海山序列分布于平邑县四海山、连子山和沂源县璞丘、薛庄一带,在沂水北部、沂南亦有少量出露。该套岩石类以早期形成的中粗粒正长花岗岩为主,晚期形成的中细粒正长花岗岩常呈岩墙、岩脉状产出。我们对出露于沂源县璞丘和平邑县四海山两地的钾长花岗岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定,分别为  $2\ 525\pm 13\text{ Ma}$  和  $2\ 533\pm 8\text{ Ma}$ 。

### ⑥第五阶段侵入岩—红门序列中基性—中酸性杂岩体

本阶段构造岩浆活动主要造成  $2\ 500\text{ Ma}$  左右的地幔岩浆侵入,形成中基性—中酸性杂岩体—红门序列,是新太古代大规模陆壳固结形成之后,少量中基性岩浆沿太古代刚性陆壳裂解形成的张性裂隙侵入而成,其侵入傲徕山序列二长花岗岩。集中分布于泰山、徂徕山、蒙山、四海山一带。自早到晚划分出三官寨中粗粒角闪辉长岩、普照寺细粒含角闪黑云

闪长岩、马家洼子中粗粒角闪黑云闪长岩、三皇庙中细粒黑云角闪石英闪长岩、中天门中粒含角闪黑云石英闪长岩、魏家沟细粒黑云石英闪长岩、何家砚瞳中细粒黑云石英二长岩、屋山含斑细粒黑云角闪英云闪长岩、大寺中细粒黑云花岗闪长岩、西房庄中粒含黑云花岗闪长岩以及王山细粒花岗闪长岩等11个单元。

万渝生、王世进等测得泰山桃花峪红门序列中天门石英闪长岩年龄为 $2\ 505\pm 7\text{ Ma}$ ,长清纸房村红门序列西房庄中粒黑云花岗闪长岩年龄为 $2\ 500\pm 16\text{ Ma}$ ;陆松年等测得泰山普照寺闪长岩年龄为 $2\ 480\pm 7\text{ Ma}$ ,中天门石英闪长岩ICP-MS锆石年龄为 $2\ 479\pm 65\text{ Ma}$ 。红门序列原划为古元古代早期侵入岩,现在依据红门序列闪长岩-石英闪长岩锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $2\ 480\sim 2\ 505\text{ Ma}$ ,结合野外接触关系,确定其形成于新太古代晚期。

#### (4)胶辽隆起区中太古代侵入岩

##### ①官地洼基性-超基性岩石序列

该序列是经受了麻粒岩相变质作用的一套超基性-基性侵入岩类。包括辉橄岩、变橄辉石岩、变辉长岩等3个单元,呈透镜状包体残存于新太古代早期栖霞序列TTG质花岗岩中,福山后变橄辉石岩测得Sm-Nd模式年龄为 $2.84\sim 2.90\text{ Ga}$ 。

##### ②十八盘序列英云闪长质-奥长花岗质片麻岩

主要为中细粒英云闪长质片麻岩和奥长花岗质片麻岩,分布在栖霞市宋家、曲家、黄岩底村及莱州等地。岩石经历了角闪岩相的变质-变形作用和局部发生深熔作用。栖霞黄岩底村西中细粒英云闪长质片麻岩内有黑云变粒岩残留体。江博明等(2008)测得黄岩底岩体锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $2\ 906\pm 12\text{ Ma}$ <sup>[1]</sup>,代表岩浆结晶年龄。许多锆石有变质边,代表新太古代晚期( $2\ 500\text{ Ma}$ )热事件。万渝生等在莱州测得锆石SHRIMP U-Pb年龄:条带状英云闪长岩年龄为 $2\ 875\pm 5\text{ Ma}$ ,片麻状闪长质岩石年龄为 $2\ 921\pm 13\text{ Ma}$ <sup>[30]</sup>。万渝生、王世进等在栖霞河西沱测得3件英云闪长质片麻岩锆石SHRIMP U-Pb年龄分别为 $2\ 914\pm 12\text{ Ma}$ 、 $2\ 909\pm 7\text{ Ma}$ 、 $2\ 900\pm 8\text{ Ma}$ ;在栖霞周家沟测得英云闪长质片麻岩和奥长花岗质片麻岩锆石SHRIMP U-Pb年龄分别为 $2\ 901\pm 5\text{ Ma}$ 和 $2\ 902\pm 17\text{ Ma}$ 。确定了胶东地区中太古代岩浆事件。

#### (5)胶辽隆起区新太古代侵入岩

##### ①新太古代早期中-酸性侵入岩-栖霞序列

栖霞序列是鲁东地区的变质基底岩系主要组

分,原岩由英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩所构成的TTG系列花岗岩类,遭受角闪岩相变质作用和局部地段韧性剪切叠加改造,形成一套条带、条纹和片麻状构造颇为发育的灰色花岗质片麻岩类。江博明等对栖霞序列进行了锆石SHRIMP U-Pb年龄测定:栖霞县大埠后村条带状细粒含角闪黑云英云闪长质片麻岩年龄为 $2\ 707\pm 4\text{ Ma}$ ;栖霞县朱留村北英云闪长质片麻岩年龄为 $2\ 726\pm 12\text{ Ma}$ ,栖霞马家窑南英云闪长质片麻岩年龄为 $2\ 718\pm 18\text{ Ma}$ 。栖霞县朱留村村北英云闪长质片麻岩一些锆石有着相似的增生边, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2\ 491\pm 8\text{ Ma}$ 和 $2\ 499\pm 18\text{ Ma}$ 。栖霞县马家窑南英云闪长质片麻岩中的一些锆石增生边发育,获得 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 变质年龄为 $2489\pm 8\text{ Ma}$ 和 $2\ 486\pm 8\text{ Ma}$ 。万渝生等在莱州测得条带状英云闪长岩锆石SHRIMP U-Pb年龄<sup>[30]</sup>为 $2\ 626\pm 5\text{ Ma}$ 和 $2\ 700\pm 6\text{ Ma}$ ,片麻状奥长花岗岩年龄为 $2\ 696\pm 10\text{ Ma}$ <sup>[30]</sup>。唐俊等在栖霞榆科顶和凤凰庄分别测得片麻状英云闪长岩锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $2\ 692\pm 14\text{ Ma}$ 和 $2\ 691\pm 12\text{ Ma}$ <sup>[31]</sup>。刘建辉等在栖霞西榆林村测得英云闪长质片麻岩 $2\ 738\pm 23\text{ Ma}$ <sup>[32]</sup>。谢士稳等在栖霞下林家、寺口、十八盘、小杨家以及河东庄等5个地方测得英云闪长质片麻岩锆石SHRIMP U-Pb年龄分别为 $2\ 718\sim 2\ 743\text{ Ma}$ 、 $2\ 731\pm 6\text{ Ma}$ 、 $2\ 710\pm 11\text{ Ma}$ 、 $2\ 743\pm 4\text{ Ma}$ 、 $2\ 729\pm 9\text{ Ma}$ 以及 $2\ 718\pm 7\text{ Ma}$ <sup>[33]</sup>。表明栖霞序列TTG质花岗片麻岩形成于 $\sim 2\ 700\text{ Ma}$ ,遭受 $\sim 2\ 500\text{ Ma}$ 强烈的区域变质作用改造。

##### ②新太古代晚期侵入岩

###### I. 第一阶段侵入岩-谭格庄序列

该序列包括条带状英云闪长质片麻岩、片麻状细粒奥长花岗岩和片麻状细粒含黑云花岗闪长岩。在栖霞李家圈,刘建辉等(2011)测得条带状英云闪长质片麻岩锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $2\ 564\pm 12\text{ Ma}$ ,代表了该岩体形成时代。栖霞枣园,万渝生、王世进(2013)测得条带状英云闪长质片麻岩锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $2\ 539\pm 8\text{ Ma}$ 。片麻状细粒奥长花岗岩锆石SHRIMP U-Pb年龄测定结果,在栖霞城西为 $2\ 509\pm 12\text{ Ma}$ ,莱阳西留为 $2\ 496\pm 10\text{ Ma}$ , $\sim 2.5\text{ Ga}$ 代表了奥长花岗岩形成时代。蓝蔚沓片麻状花岗闪长岩锆石U-Pb不一致线上交点年龄为 $1\ 817\pm 16\text{ Ma}$ ,代表了花岗闪长质片麻岩遭受变质的时代。与古元古代荆山群和粉子山群在 $\sim 1\ 800\text{ Ma}$ 遭受的区域变质作用年龄是一致的。

## II. 第二阶段侵入岩—大柳行序列

该序列包括北照片麻状细粒二长花岗岩、燕子沓片麻状细粒含黑云二长花岗岩、婆婆石片麻状细粒白云母二长花岗岩等3个单元。同位素年龄值集中于2 495~2 468 Ma,上覆中元古代芝罘群石英岩,被新元古代侵入岩侵入。在栖霞市北照村,获得该岩体锆石U-Pb年龄为~2 468 Ma,锆石SHRIMP U-Pb年龄在~2 500 Ma。

### 1. 2. 2 元古宙侵入岩

#### (1) 鲁西隆起区中元古代早期辉绿岩侵入—牛岚序列

牛岚辉绿岩是鲁西地区中元古代唯一的侵入岩,为幔源玄武岩浆分异形成,其沿北北西向或近南北向构造所形成的次级剪切裂隙被动岩墙扩张机制充填就位。

泰山地区辉绿玢岩墙(图13、14)形成时代,前人曾先后采用Rb-Sr等时线法、K-Ar法和常规锆石U-Pb法进行研究,最终认为其形成于1 718~1 760 Ma<sup>[17]</sup>。陆松年等(2008)等共完成5个斜锆石数据点测定,在谐和图中集中位于谐和线上,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U加权平均年龄为1 621±9 Ma<sup>[9]</sup>,辉绿玢岩墙形成于中元古代。

#### (2) 胶辽隆起区元古宙超基性-基性侵入岩—莱州序列

该序列为蛇纹岩、透辉岩、变角闪石岩、斜长角闪岩等变质岩体类,划分为苏家庄子变纯橄榄岩(蛇纹岩)、五佛蒋家中细粒含磷灰石变角闪透辉岩、彭家疃中粗粒变辉石角闪石岩、西水沓细粒变辉长岩(斜长角闪岩)、郭家埠中细粒变角闪闪长岩等5个单元。

田京祥等(2018)测得两件变辉长岩锆石SHRIMP U-Pb同位素年龄<sup>[34]</sup>分别为2 145±8 Ma、2 137±33 Ma,变质年龄分别为1 823±15 Ma、1 852~1 899 Ma。

董春艳、王世进等测得侵入荆山群大理岩的西水沓细粒变辉长岩锆石SHRIMP U-Pb年龄分别为1 852±9 Ma和1 868±11 Ma<sup>[35]</sup>,说明莱州序列在1 900~1 850 Ma侵入形成。遭受1 800 Ma左右的变质作用。

#### (3) 胶南-威海造山带前寒武纪侵入岩

胶南-威海造山带前寒武纪侵入岩,主要为胶南-威海造山带分布的新元古代南华纪侵入岩,在青岛仰口、日照岚山头、日照丝山、胶南铁山水库溢洪道、胶南琅琊台、威海小石岛、乳山独脚山水库溢洪道等地保留了大量的典型高压、超高压变质-变形侵入岩剖面 and 构造形迹。



图13 泰山天街,1.62 Ga辉绿岩球状风化,侵入2.51 Ga二长花岗岩

Fig.13 1.62 Ga diabase intruding 2.51 Ga monzogranite and showing spherical weathered shape, Tianjie, Taishan



图14 泰山红门,1.62 Ga辉绿玢岩具桶状构造

Fig.14 1.62 Ga diabase with barrel structure, Hongmen, Taishan

#### ① 中元古代早期超基性-基性侵入岩—海阳所序列

海阳所序列呈北东向大小不等的岩株、岩瘤状断续散落在胶南-威海造山带上,呈包体状残存于花岗质片麻岩中。原岩是一套超基性-中性-中酸性的侵入岩岩石组合,遭受了高压榴辉岩相变质作用,形成蛇纹岩、角闪石岩、斜长角闪岩及其片麻岩类的变质岩。自早到晚共划分为通海变辉石橄榄岩(滑石化蛇纹岩)、烟墩山中细粒变辉石角闪石岩、老黄山中细粒变辉长岩(斜长角闪岩)等三个单元。老黄山变辉长岩LA-ICPMS锆石U-Pb年龄1 719±18 Ma,属中元古代。

#### ② 胶南-威海造山带新元古代侵入岩

##### I. 第一阶段侵入岩—梭罗树序列

梭罗树序列出露于日照市三庄镇齐家沟、梭罗

树、秦楼及胶州市大张八、青岛仰口等地。为一套超基性-基性侵入岩,包括胡家林变辉石橄榄岩(蛇纹岩)、仰口中细粒变辉长岩(斜长角闪锆石)、大张八中细粒变角闪辉长岩。刘福来(2009)测得仰口两件变辉长岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄<sup>[36]</sup>分别为  $785 \pm 15$  Ma 和  $748 \pm 12$  Ma, 变质年龄分别为  $226 \pm 24$  Ma 和  $228 \pm 26$  Ma。王世进等(2012)在胶州市大张八测得变角闪辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $741 \pm 10$  Ma<sup>[37]</sup>。

## II. 第二阶段侵入岩—荣成序列

荣成序列广泛出露于胶南-威海造山带上,为一套闪长质-花岗闪长质-二长花岗质片麻岩类为主的深成侵入岩类,片麻理和糜棱面理发育。我们测得荣成东孤石中细粒云英云闪长质片麻岩岩浆锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $760 \sim 780$  Ma<sup>[37]</sup>。郑永飞等(2003)在青岛、日照进行花岗质片麻岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年<sup>[38]</sup>: 青岛仰口  $798 \pm 75$  Ma(原岩)、 $224 \pm 14$  Ma(变质); 日照岚山头  $751 \pm 72$  Ma(原岩)、 $224 \pm 27$  Ma(变质)。唐俊等(2005)在威海进行花岗质片麻岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年<sup>[39]</sup>: 威海皂埠  $760 \pm 49$  Ma(原岩)、 $232 \pm 4$  Ma(变质); 威海温泉镇  $723 \pm 36$  Ma(原岩)、 $227 \pm 3$  Ma(变质); 威海东北王家村  $744 \pm 63$  Ma(原岩)、 $227 \pm 12$  Ma(变质); 文登南部  $738 \pm 17$  Ma(原岩)、 $217 \pm 22$  Ma(变质)。李向辉等(2007)在威海进行花岗质片麻岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年<sup>[40]</sup>: 威海温泉镇  $786 \pm 20$  Ma(原岩)、 $208 \pm 2$  Ma(变质); 荣成上庄  $772 \pm 14$  Ma(原岩)、威海孙家疃  $714 \pm 14$  Ma(原岩)。

荣成序列岩浆形成年龄为  $800 \sim 720$  Ma, 变质年龄集中在  $\sim 227$  Ma。荣成序列形成时代为新元古代。

## III. 第三阶段侵入岩—月季山序列

月季山序列出露于胶莱盆地以南的胶南,诸城东南、五莲以西、日照、莒南东部及南部地区,一些稍有名气的月季山、大旺山、丝山均在其内,呈带状及不规则的复式岩基、岩株状北东向产出,原岩为一套含角闪石为特征的中酸性-酸性花岗岩系列,经受低角闪岩相变质作用和韧性剪切带叠加改造,形成构造面理发育的花岗质片麻岩系。1/5 万日照六幅区调测得苏家村单元锆石 Pb-Pb 年龄为  $759$  Ma, 窝洛单元单锆石 Pb-Pb 年龄为  $723$  Ma; 1/5 万胶南二幅区调测得石灰窑单元单锆石 Pb-Pb 年龄  $755 \pm 53$  Ma; 1/5 万诸城八幅区调测得清平峪单元单锆石 U-Pb 年龄为  $742 \pm 12$  Ma。

## IV. 第四阶段侵入岩—铁山序列

零散的出露于胶南的铁山、海青,诸城石河头,五莲杜家沟、日照黄墩、巨峰和岚山及荣成、文登、莒南、临沭等地区,由石英正长岩-正长花岗岩-碱长花岗岩系列侵入岩组成,岩石肉红色,条纹状、片麻状构造。

郑永飞等(2003)测得日照岚山头片麻状中细粒含霓石碱长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $751 \pm 72$  Ma(原岩)和  $224 \pm 27$  Ma(变质)<sup>[38]</sup>。

1/5 万胶南二幅区调在黄岛铁山水库测得前石沟单元片麻状中粒正长花岗岩单锆石 Pb-Pb 年龄为  $783 \pm 13$  Ma<sup>[14]</sup>。

# 2 山东省前寒武纪地质公园

## 2.1 山东省太古宙地质公园

山东省太古宙地质公园主要分布在鲁西地区,主要有泰山、蒙山、峰山、鲁山、济南水帘峡、泰安长城岭、泰安龙湾、肥城牛山、宁阳神童山、临朐沂山、莱芜房干九龙大峡谷、新泰青云山、泗水龙门山、滕州莲青山、枣庄市山亭区店子、曲阜尼山地质公园石门山园区、邹城凤凰山地质公园十八盘山园区等地质公园。(图 15)。

### 2.1.1 泰山世界地质公园

2005 年 8 月 18 日,泰山地质公园被批准为第四批国家地质公园之一,2005 年 9 月 25 日,进行了揭牌开园。2006 年 9 月 18 日,在英国召开的第二届联合国教科文组织世界地质公园大会上,正式成为世界地质公园。这是泰山继 1987 年被列入首批世界自然与文化“双遗产”后,获得的又一项世界桂冠。2008 年 5 月 31 日泰山世界地质公园揭牌开园。

泰山拥有丰富的地质遗迹资源,其地学价值在国内甚至在国际上都很典型<sup>[41]</sup>。泰山岩群是华北地区最古老的地层,泰山的岩石能够反映新太古代-元古代的地壳演化史;分布在新泰雁翎关附近的科马提岩,对证实超基性岩的岩浆成因具有重要意义;主峰玉皇顶海拔  $1545$  m,由距今  $2.5$  Ga 前二长花岗岩组成;而南天门-彩石溪一带,则为条带状英云闪长质片麻岩和条带状斜长角闪岩,是距今  $2.7$  Ga 前形成的英云闪长岩和  $2.75$  Ga 前形成的基性火山岩,在  $\sim 2.6$  Ga 前遭受区域变质和混合岩化作用,变质-深熔形成浅色奥长花岗岩脉体,部分脉体侵入到斜长角闪岩和英云闪长质片麻岩中,形成的条带状岩石-泰山奇石。后来被  $2.5$  Ga 的二长花岗岩侵入,多处形成



图15 山东省地质公园分布图

Fig.15 Spatial distribution of geoparks in Shandong province

“三世同堂”(三期岩浆岩侵入事件)地质景观。在泰山中天门和桃花峪, 2.5 Ga 的石英闪长岩侵入 2.51 Ga 的二长花岗岩。在泰山天街和红门, 有形成年龄 1.62 Ga 的辉绿岩脉侵入。泰山地质公园是当前国际地学早前寒武纪地质研究前缘热点和经典地区, 是探索地球早期历史奥秘的天然实验室。

### 2.1.2 沂蒙山世界地质公园

沂蒙山世界地质公园在山东省临沂市境内, 蒙山主峰龟蒙顶海拔 1 156 m, 为山东第二高峰, 由距今 2.54 Ga 前形成的片麻状花岗闪长岩组成<sup>[28]</sup>, 是地幔岩浆结晶分异作用混入地壳岩浆形成的, 由此成为峰山序列龟蒙顶单元的命名地。分布在蒙阴县苏家沟村附近的科马提岩, 是具有鬣刺(鱼骨状或羽状)结构的太古宙超基性喷出岩, 在世界上十分少见, 科马提岩的发现对证实超基性岩的岩浆成因具有重要意义。蒙山广泛分布着距今 2.7~2.5 Ga 间三期大规模岩浆侵入活动形成的岩石: 泰山期英云闪长质片麻岩、峰山期片麻状花岗闪长岩、傲徕山期二长花岗岩, 共同构成了蒙山的主体。蒙山含金刚石矿的金伯利岩, 就产于 2.7 Ga 的英云闪长质片麻岩中。大望山钠长石矿产于 2.6 Ga 的奥长花岗岩中。蒙山云蒙园区主要由距今 2.52~2.51 Ga 形成的二长花岗岩组成, 是地壳深熔作用形成的。形成于距今 1.62 Ga 前

后的中元古代四堡期牛岚辉绿岩脉, 命名地也在蒙山。围绕蒙山龟蒙顶的栈道, 可以看到蒙山隆起抬升后遭受断裂构造作用形成的地质遗迹十分震撼, 新太古代花岗岩峰林地貌—鹰窝峰, 老虎嘴、鳄鱼戏水、神龟探海等象形石惟妙惟肖。

新太古代泰山岩群变质表壳岩遗迹, 在龟蒙、天蒙、孟良崮 3 园区分布较多。多呈残余包体或断片状分布于新太古代英云闪长质片麻岩及片麻状花岗闪长岩中, 呈 NW 向展布, 规模较小, 岩性为斜长角闪岩、黑云变粒岩。孟良崮园区大片范围分布新太古代晚期傲徕山序列早期形成条带状黑云母二长花岗岩, 含较多新太古代泰山岩群变质表壳岩、侵入岩岩体的包体, 形成年龄在 2 518 Ma。

### 2.1.3 鲁山国家级地质公园

鲁山是山东省第四高峰, 现为国家森林公园, 位于山东的中心, 是淄、汶、弥、沂四河发源地, 主峰观云峰海拔 1 108.3 m, 为鲁中最高峰。鲁山群峰耸立、沟壑纵横、飞瀑流泉、森林茂密, 是典型的山岳风景区。该山南北两侧早古生代盖层上伏于鲁山太古宙基底花岗质岩石之上, 基底壳源花岗岩主要由粗粒钾长花岗岩、中细粒二长花岗岩和斑状二长花岗岩组成, 较老的表壳岩和 TTG 质岩石为大小不等的包体残存于其中。粗粒钾长花岗岩主要分布于鲁山东

侧沂源县璞丘村西,呈北窄南宽的扇形展布。中细粒二长花岗岩体大面积分布于鲁山及周边地区,脉状侵入斑状二长花岗岩,局部可见被粗粒钾长花岗岩侵入,含有大小不等的暗色包体。斑状二长花岗岩在空间上呈不规则状沿北西向展布,与区域构造线方向一致。鲁山地区中细粒二长花岗岩和斑状二长花岗岩的时代分别为2.52 Ga、2.51 Ga<sup>[29]</sup>。虽然野外可见中-细粒二长花岗岩侵入斑状二长花岗岩,个别地点可见粗粒钾长花岗岩侵入中细粒二长花岗岩,但它们的年龄十分相近,形成于2.52~2.51 Ga期间。

鲁山主要由2.52~2.51 Ga的傲徕山序列二长花岗岩组成,2.52 Ga的中细粒二长花岗岩侵入斑状中粗粒二长花岗岩,斑状中粗粒二长花岗岩中含有早期地壳岩石的残留体。山南侧为断片状产出的奥陶纪灰岩,岩溶发育形成沂源溶洞群。

#### 2.1.4 峰山国家级地质公园(建设中)

峰山位于山东省邹城市东南10 km处,海拔582.8 m,方圆约10 km<sup>2</sup>,是一座驰名中外的历史文化名山,因其地质地貌景观在地质界堪称一奇,又号称“天下第一奇山”。

峰山所见主要为峰山序列宁子洞单元斑状片麻状中粗粒花岗闪长岩,普遍具弱片麻状构造。峰山地区构造主要表现为近SN向断裂和大量分布的节理,将峰山花岗闪长岩分割成大小不同的岩块,形成一片壮观的石海。

峰山地质公园内的山体均为典型的花岗岩奇峰,五华峰峰插天表,丹丸峰凌空突兀。山峰怪石林立,令人叹奇。峰山自古以象形石之多而名闻天下,可呼其名者达300多块。最著名的有子孙石、元宝石、五巧石、桃花石、蛙石、鸽子楼石、荞麦石、虎石、风烟石、鸚鵡石等二十四石,皆具极高的观赏价值。

峰山岩体主要岩性为片麻状花岗闪长岩及斑状片麻状花岗闪长岩,根据锆石SHRIMP U-Pb定年结果,片麻状花岗闪长岩为2 530 Ma,其形成时代确定为新太古代晚期,是地幔岩浆侵入混入地壳物质形成的。

#### 2.1.5 济南水帘峡省级地质公园

水帘峡风景区位于济南历城区柳埠南部簸箕掌村,景区群山环绕,距济南市区约27 km。古齐长城自水帘峡景区蜿蜒而过,济南第一高峰—海拔976 m的云梯山矗立在景区之内,水帘峡还是济南峡最深、峰最险的第一大峡谷。水帘峡主要由2.75 Ga的条

带状斜长角闪岩和2.6 Ga的片麻状奥长花岗岩组成。泰山岩群雁翎关组斜长角闪岩在2.75 Ga前形成后,距今2.6 Ga前遭受大规模奥长花岗岩侵入。据王伟等测年结果(未发表资料),残留的英云闪长质片麻岩形成年龄2.7 Ga,侵入雁翎关组斜长角闪岩、英云闪长质片麻岩的片麻状奥长花岗岩形成年龄2.63~2.64 Ga,锦绣川水库坝南端片麻状奥长花岗岩锆石U-Pb年龄2.62 Ga。该套奥长花岗岩,其形成与泰山片麻岩套在2.6 Ga前后发生钠质变质作用及深熔作用有关。

#### 2.1.6 泰安长城岭省级地质公园

泰安长城岭省级地质公园位于泰安市东北侧,与济南市七星台相邻。长城岭省级地质公园主要由形成年龄2.6 Ga的片麻状奥长花岗岩组成,属于新太古代中期新甫山序列上港单元,有少量伟晶岩脉穿插。

#### 2.1.7 泰安龙湾省级地质公园

泰安龙湾省级地质公园位于泰山东南30 km,地处风光秀丽的徂徕山,是徂徕山国家森林公园的一部分,主要由新太古代晚期傲徕山序列松山单元中粒二长花岗岩组成,形成年龄2.52~2.51 Ga。区内地质遗迹极为丰富,除形态各异的花岗岩奇峰怪石外,还有龙湾崩塌地质灾害遗迹,龙湾沟谷东侧岩壁上垂直节理发育的花岗岩经长期的风雨剥蚀,大大小小的石块脱离母体,顺坡滚落,形成壮观的“岩石流”。二长花岗岩经节理裂隙切割风化作用形成的仙桃石、石佛、天犬迎宾、神龟爬山等象形石,万丈崖、泥石流等地质遗迹。

#### 2.1.8 肥城牛山省级地质公园

肥城牛山地质公园位于肥城市西北部,牛山主体岩石为新太古代晚期年龄为2.52~2.51 Ga的傲徕山序列二长花岗岩,山下有形成年龄2.54 Ga峰山序列片麻状英云闪长岩及角闪闪长岩。牛山出露的新太古代晚期峰山序列片麻状英云闪长岩被傲徕山序列二长花岗岩侵入,形成雄鹰石象形石,旁边的英云闪长岩球状风化形成鹰卵石象形石。牛山顶跑马岭西侧新太古代晚期傲徕山序列二长花岗岩被节理裂隙切割形成三瓣石。具球状风化的辉绿岩脉侵入新太古代晚期傲徕山序列二长花岗岩,形成蜗牛戏水等景点。

公园内山青水秀,林茂境胜,缝峦如削,峭壁若屏,分为牛山、甲子峪、回佛寺、陶山四个景区,主峰穆柯寨海拔524 m,有老鹰石昂立于崖,卧牛石平卧山

顶,老母石稳立山溪,同时有獐猴崖十八盘跑马岭等险景,还有唐朝古刹一资圣院,明朝修建的无木建筑一八角形文昌阁,以及牛山寺、三清殿等,其中尤以穆柯寨最为著名,号称山东第一古寨。

#### 2.1.9 宁阳神童山省级地质公园

公园内主要山峰有神童山、青龙山、银龙山等。神童山海拔437.2 m,山势陡峭,山体由新太古代晚期傲徕山序列松山单元中粒二长花岗岩组成的花岗岩地貌,形成年龄为2.51~2.52 Ga。山顶有后梁石刻,是神童山最珍贵的历史遗迹。青龙山、银龙山均位于神童山西侧,岩体构成与神童山类似,山高均为420 m左右,两山之间为双龙涧,双龙涧出口处为双龙池,以其双龙交汇之地,故得名。奇石景观遗迹有瞭字台、蛤蟆石、卧牛石、仙桃石、笑脸石、玄石门、鼠首石等。景区内泉水众多,潭、泉、瀑等水体与山脉息息相连,构成了山中潭水流。水体景观遗迹有龙腾泉、双龙池。

公园内花岗节理裂隙极其发育,岩石风化强烈。在地震及降雨的诱发下,引起山石崩塌现象。公园内崩塌地质灾害遗迹多处。新太古代早期的中粒含黑云角闪石英闪长质片麻岩在外力的作用下发生破裂,后期的岩浆沿着节理面的方向侵入到了片麻岩当中,将岩体切成了块状。新太古代晚期傲徕山序列调军顶单元细粒二长花岗岩受后期岩浆入侵,形成清晰的正长花岗斑岩和二长花岗岩交界面,保留有好的地质界线剖面。

构造形迹景观有新太古代晚期斜峪单元细粒二长花岗岩在后期岩石运动中受外力作用,形成了类似沉积岩一样的层状构造。

#### 2.1.10 临朐沂山省级地质公园

沂山古称“海岳”、“海岱”,有“东泰山”之称,居中国五大镇山之首,主峰玉皇顶海拔1 032 m,被誉为“鲁中仙山”。沂山是一座历史悠久的文化名山,黄帝曾登封沂山,舜肇州封山,定沂山为重镇。汉武帝亲临其下,令礼官祀之。隋、唐、宋、元、明、清历代屡有增封,祀典不废。自汉武帝始,曾有十朝十六帝,亲临或派重臣赴沂山祭祀。历代大家名士李白、欧阳修、范仲淹、苏轼等均至此览胜,留下大量诗章名句和碑碣铭文。

公园内地质遗迹丰富,具有国内独特的地质遗迹资源。沂山是新太古代晚期地壳深熔作用形成傲徕山序列蒋峪单元条带状黑云二长花岗岩的典型剖

面<sup>[3]</sup>,其形成年龄为~2.52 Ga;含有大量的新太古代早期地壳残留体,如泰山岩群雁翎关组斜长角闪岩、泰山序列英云闪长质片麻岩(图16),大量英云闪长质片麻岩残留体的形成年龄为~2.67 Ga,与泰山地区的英云闪长质片麻岩岩性、形成年龄和结构构造相同。晚期又被~2.5 Ga的傲徕山序列调军顶单元细粒二长花岗岩侵入<sup>[3]</sup>,形成沂山狮子崮、歪头崮、百丈崖等悬崖陡壁以及岩浆岩奇峰、奇石、象形石等花岗岩地貌景观。



图16 沂山2.5 Ga黑云二长花岗岩中,含有大量2.7 Ga英云闪长质片麻岩残留体

Fig.16 2.5 Ga biotite monzogranite containing abundant 2.7 Ga tonalite enclaves, Yishan

#### 2.1.11 新泰青云山省级地质公园

山东青云山地质公园位于山东省新泰市区东邻,主要由新太古代晚期傲徕山序列松山单元中粒二长花岗岩组成,形成年龄2.52~2.51 Ga。公园内地质地貌景观资源丰富,由断裂错动及侵蚀剥蚀形成的花岗岩奇峰地貌景观壮观;由岩浆冷凝形成的似层状层理因山势抬升及滑塌形成的“敖山削壁”如刀削一般;由花岗岩垂直及水平节理裂隙发育风化形成的象形石,栩栩如生;自西北向东南由彩云峰、晴云岭、翠云岭、青云峰等四座山峰组成,由于断层的错动呈梯级逐渐升高,西峰彩云峰海拔380.5 m,主峰青云峰高495.6 m。四座山峰所形成花岗岩的奇峰地貌景观有机地组合在一起,其形,集险、奇、峻、美于一身。山势通体雄伟险峻,陡峭巍峨,其峰两面如刀削斧劈,绝壁之下如临万丈深渊,登临峰顶,才知“青云之上”的美好感觉。花岗岩球状风化,形态完整,规模宏大,较具代表及典型。因地质作用所形成的陡壁如刀削一般,不长一草一木。似流岩飞瀑从天

而降,不闻其声,只见其形,其绝壁“敖山削壁”自古就列为“新泰古八景”之一。

#### 2.1.12 莱芜房干九龙大峡谷省级地质公园

莱芜房干九龙大峡谷省级地质公园,位于莱芜市莱城区北部的鹿野乡。该旅游区海拔近千米,属泰山山脉。其景色山峻川媚,森林植被覆盖面积占90%,鸟语花香,四季皆佳,被国际环保专家誉为“绿色天堂”。九龙大峡谷南北走向,九曲十八弯,全长约10 km,峡谷中奇峰突兀,瀑布流泉、深沟绝壑、怪石峥嵘、古树参天、奇花异草,堪称仙境奥域,素有“小三峡”之美誉。该省级地质公园是以岩浆岩地质地貌景观为特色的综合性地质公园,有九龙大峡谷、金泰山、黑龙潭、望海峰、仙人洞、摩天岭、滴水崖、五老峰等八大景观。园区山峰主要由形成于2.52~2.51 Ga前的中粒二长花岗岩组成,其间包含有少量距今~2.75 Ga前形成的泰山岩群斜长角闪岩残留体。

#### 2.1.13 泗水龙门山省级地质公园

泗水县龙门山山体主要由新太古代晚期第二阶段侵入岩峰山序列龟蒙顶单元片麻状花岗闪长岩组成,山腰和山顶部被新太古代晚期第三阶段侵入岩傲徕山序列松山单元中粒二长花岗岩及调军顶单元细粒二长花岗岩侵入(图17)。山顶具有明显的侵入界线,是地质科学考察,研究距今2.5 Ga前地壳形成演化的最好天然露头,近几年来国内外的著名地质学者先后到此考察。

#### 2.1.14 滕州莲青山省级地质公园

莲青山地质公园位于山东省滕州市东北部,地处



图17 泗水县龙门山,2.51 Ga二长花岗岩侵入  
2.53 Ga片麻状花岗闪长岩

Fig.17 2.51 Ga monzogranite intruding 2.53 Ga gneissic granodiorite, Longmenshan, Sishui

枣庄、济宁两市交界地带,是以奇石、险峰、崩落地貌等地质遗迹为特征、以悠久的历史人文景观为内容、以山水森林景观为主题的著名省级地质公园风景名胜区。

莲青山地质公园主要由新太古代晚期第二阶段侵入岩—峰山序列片麻状中粗粒花岗闪长岩组成,被新太古代晚期第三阶段侵入岩—傲徕山序列二长花岗岩侵入。根据中国地质科学院地质研究所与山东省地质调查院研究结果,峰山序列片麻状中粗粒花岗闪长岩形成年龄为~2.53 Ga,傲徕山序列二长花岗岩形成年龄为~2.51 Ga。反映了新太古代晚期幔岩浆形成的地壳形成时间稍早,随后地壳深熔形成傲徕山序列二长花岗岩。

地质公园是以花岗岩岩石地貌景观为特色的公园,由于差异性风化作用,花岗岩形成孤立的石柱,石柱风化剥蚀,形成各式各样的象形石。园内每座山峰上均分布有大量的象形石,各种各样的华丽石柱、奇形怪石宛如天然群雕,分布范围广,栩栩如生,堪称省内独有,非常具有观赏和研究价值。

#### 2.1.15 枣庄市山亭区店子省级地质公园

店子地质公园位于山东省枣庄市山亭区西北部,地处枣庄、济宁、临沂三市交界地带,是以奇石、险峰、地幔岩浆包体带、崩落地貌等地质遗迹为特征、以悠久的历史人文景观为内容、以山水景观为主题的著名省级地质公园风景名胜区。

店子地质公园主要由新太古代晚期第二阶段侵入岩—峰山序列片麻状斑状中粗粒花岗闪长岩组成。在店子镇西南魏沃一带,出露国内罕见的>300 m宽的地幔岩浆包体带(图18),有少量新太古代晚期第三阶段侵入岩—傲徕山序列二长花岗岩侵入。片麻状斑状花岗闪长岩形成年龄为~2.509 Ga,地幔岩浆包体形成年龄2.51 Ga,二长花岗岩形成年龄为~2.5 Ga。

作为华北克拉通重要组成部分,鲁西南地区新太古代晚期峰山序列片麻状花岗闪长岩广泛分布,暗色岩石包体比较常见,是岩浆混合作用的重要记录。在岩浆作用早期,以幔源物质为主,所形成的闪长质包体铁镁质矿物较多,来源于幔源拉斑玄武岩质岩浆部分熔融;在岩浆作用晚期,岩浆中有大量壳源物质的熔入,导致地壳物质数量增加和体积增大,造成大陆壳生长,岩体普遍具有片麻状构造,表明经历变质变形作用;随后侵入的傲徕山序列二长花岗岩,是在新太古代末期发生的大规模地壳深熔陆壳增生活动形成的,岩体保留岩浆形成时的组构。鲁



图18 枣庄店子镇,2.53 Ga片麻状花岗闪长岩  
含有大量地幔岩浆岩包体

Fig.18 2.53 Ga gneissic granodiorite containing  
abundant igneous enclaves derived from mantle,  
Dianzizhen, Zhaozhuang

西地区新太古代末期重要的构造热事件,与华北克拉通新太古代末超大陆拼合有关。

#### 2.1.16 曲阜尼山省级地质公园石门山园区

石门山原名龙门山,位于曲阜东北21 km处。因两山对峙如石门,故名石门山,为岩浆岩形成山岳奇观。山中有石门寺建筑群,孔尚任隐居处,李白、杜甫宴别处景点。

石门山园区主要出露的新太古代晚期峰山岩套龟蒙顶单元片麻状花岗闪长岩。局部为新太古代晚期峰山岩套王家沟单元细粒黑云石英闪长岩、傲徕山岩套松山单元二长花岗岩,局部发育伟晶岩脉。片麻状花岗闪长岩有黑云母变粒岩残留体被伟晶岩脉穿插,显示了石门山园区岩浆岩不同时期的侵入特征。其中片麻状花岗闪长岩属于新太古代晚期峰山岩套,其锆石年龄为~2.53 Ga。其成因为地幔岩浆和地壳岩浆混合作用形成的,岩体普遍具有片麻状构造,表明经历变质变形作用。伟晶岩脉穿插片麻状花岗闪长岩,形似玉带、“X”字母、“Y”字母及肠状等。

花岗岩地貌景观,岩浆岩山岳奇观有石门美景,其它象形石景观有龙脊、石竹、李白登高处、恐龙卧浦、倚天剑、球状风化、定情石、全家福、求子崖等9处地质遗迹,均为片麻状花岗闪长岩经风化、侵蚀而成,或形似龙脊、石竹,或形似爬行动物巨无霸恐龙、倚天长剑;或形似象征人间真情的定情石、全家福等等。

#### 2.1.17 邹城凤凰山省级地质公园十八盘山园区

邹城凤凰山省级地质公园十八盘山园区位于田

黄镇,主要出露的新太古代晚期峰山序列龟蒙顶单元条带状片麻状花岗闪长岩。局部被傲徕山序列松山单元二长花岗岩侵入。有伟晶岩脉穿插,并被断裂破碎热液蚀变形成著名的“田黄砾岩”。

片麻状花岗闪长岩被二长花岗岩穿插,显示了十八盘山园区岩浆岩不同时期的侵入特征。其中片麻状花岗闪长岩属于新太古代晚期峰山序列,其锆石年龄为~2.56 Ga。其成因为地幔岩浆和地壳岩浆混合作用形成的,岩体普遍具有片麻状构造,表明经历变质变形作用。二长花岗岩属于新太古代晚期傲徕山序列,其锆石年龄为~2.51 Ga。其成因为地壳深熔作用形成的,岩体普遍具块状构造,没有经历区域变质作用。形成年龄~2.56 Ga的条带状花岗闪长岩,含有~2.75 Ga的斜长角闪岩包体,被形成年龄~2.51 Ga的二长花岗岩脉穿插,形成“三世同堂”地质遗迹。

伟晶岩脉遭受构造破碎和热液蚀变作用,形成伟晶质构造砾岩—前人称作“田黄砾岩”。片麻状花岗闪长岩中有黑云变粒岩残留体,是泰山岩群山草峪岩组变质地层残留体。

#### 2.2 山东省元古代地质公园及地质遗迹保护区

山东省元古代地质公园主要有长岛、五莲山—九仙山国家地质公园,临沂临港甲子山、威海刘公岛、昆嵛山等省级地质公园及莒县浮来山地质遗迹保护区。

##### 2.2.1 长岛国家地质公园

长山列岛是目前全国唯一的海岛型国家地质公园<sup>[41]</sup>。主要由新元古代蓬莱群浅变质岩组成,岩性为石英岩夹千枚状板岩或绢云母化页岩,断裂构造发育,岛屿林立,岩石多赤裸袒露,海蚀、海积地貌广泛发育,地质遗迹类型非常丰富。主要地质遗迹可分为海蚀地貌、海积地貌、火山岩地貌、黄土地貌、天然岩画、彩石等多达11种。

海蚀地貌遗迹类型在公园区内各岛屿均有分布,主要有海蚀崖、海蚀洞、海蚀柱、海蚀拱桥、海蚀平台、海蚀礁等。海蚀地貌不仅是研究海岸带环境变迁、新构造运动的重要依据,同时也是旅游资源的重要组成部分,具有很高的观赏价值。叠峰耸立的九丈崖由蓬莱群辅子乔组石英岩夹千枚岩组成,石英岩具斜层理和波痕等沉积构造。

##### 2.2.2 五莲山—九仙山国家地质公园(建设中)

该公园位于鲁东南沿海开放城市日照市五莲县东南部,由隔壑并峙的五莲山、九仙山组成,是鲁东南著名的旅游胜地。这里有着丰富的地质地貌遗迹

和旅游地质资源。该地质公园的主体岩石—晶洞二长花岗岩属于早白垩世崂山序列。九仙山园区九龙大峡谷—毛家河一带,属于苏鲁造山带,出露荣成序列糜棱岩化片麻状二长花岗岩,内有角闪黑云变粒岩等表壳岩残留体,具强烈的褶皱构造,经历了三叠纪华北板块与扬子板块碰撞而发生强烈的变质变形。在九仙山毛家河村东,120 Ma的中生代早白垩世崂山序列晶洞二长花岗岩,明显侵入了700~800 Ma前形成的新元古代荣成序列变质变形花岗岩<sup>[42]</sup>。

五莲山—九仙山具有非常典型的花岗岩峰林地貌,这在中国北方还是非常少见的。这是花岗岩出露地表并处于强烈上升时,流水沿垂直节理裂隙下切,形成石柱或孤峰而丛集成为峰林。上述不同时代形成的花岗岩,是研究该时期地质作用的典型地区,具有极高的科学价值。

#### 2.2.3 临沂临港甲子山省级地质公园

甲子山省级地质公园位于临沂市临港区北部,与日照市接壤。甲子山属朱芦镇石汪村,海拔480 m,有大小山头近百个,这里群山起伏,层峦迭嶂,新元古代南华纪变质变形花岗岩形成著名的甲子山穹窿构造,是著名的苏鲁造山带核心地区。该带主要由花岗质片麻岩组成,形成年龄集中在700~800 Ma。这些岩石都经历了三叠纪板块俯冲—碰撞、超高压变质作用,超高压变质作用发生在225 Ma前后。

甲子山地质公园内主体由月季山序列含角闪黑云二长花岗质片麻岩组成,普遍发育与花岗质片麻岩深熔作用存在密切成因关系的浅色花岗岩岩脉,是新元古代二长花岗质片麻岩发生深熔作用形成的。公园南侧为中生代白垩纪埠柳序列石英二长岩大规模侵入,末期还有玄武玢岩脉穿插。不同单元花岗岩之间及晚期岩脉的侵入界线清楚。

#### 2.2.4 威海刘公岛省级地质公园

刘公岛省级地质公园位于胶东半岛海滨风景名胜刘公岛景区的北部,属于秦岭—大别—苏鲁造山带之胶南—威海隆起,主要岩性为新元古代南华纪荣成序列威海单元条带状细粒黑云二长花岗质片麻岩,含有古元古代变质表壳岩大理岩、石英岩、云母片岩和中—新元古代基性—超基性岩、榴辉岩包体,有中生代岩脉穿插。锆石 SHRIMP U—Pb 年龄测定结果表明,花岗质片麻岩形成年龄为700~800 Ma之间,变质年龄介于232~217 Ma之间。

刘公岛地质公园内出露的榴辉岩,是山东省乃

至全国规模最大、保存最完整、特征最典型的榴辉岩地质遗迹,是中—晚三叠世扬子板块与华北板块发生碰撞、扬子板块俯冲到华北板块之下形成的超高压变质岩石,褶皱构造发育。

威海刘公岛地质公园是研究苏鲁造山带地壳形成和演化的天然地质博物馆,是地学旅游和生态旅游的理想场所。

#### 2.2.5 昆崙山省级地质公园

山东昆崙山省级地质公园花岗岩类岩石广泛分布。呈岩基、岩株或岩脉产出。按照形成时代,可将其划分为新元古代和中生代两大阶段。新元古代南华纪荣成序列玉林店单元中细粒含黑云二长花岗质片麻岩集中分布在地质公园西部的玉林店一带,岩石具片麻状、条带状构造,有斜长角闪岩包体及变粒岩、大理岩、透辉岩等变质岩包体。中生代花岗岩主要为燕山早期玲珑序列九曲单元弱片麻状中粒含石榴二长花岗岩和燕山晚期伟德山序列二长花岗岩,组成昆崙山的主体岩性。海拔922.8 m的主峰—泰礴顶由伟德山序列后野单元巨斑状中粒含角闪二长花岗岩和西上寨单元含巨斑中粒含黑云二长花岗岩组成。

#### 2.2.6 莒县浮来山地质遗迹保护区

浮来山地质遗迹省级自然保护区的主要地质遗迹,是浮来峰西坡的新元古代土门群地层标准剖面,不仅完整保存和出露了土门群中的黑山官庄组、二青山组、佟家庄组、浮来山组、石旺庄组等五个组的岩石地层,而且是浮来山组地层的建组层型剖面所在地。典型地质遗迹包括黑山官庄组黄绿色页岩与~2.5 Ga前形成的新太古代片麻状中粒石英二长岩沉积不整合接触界线、佟家庄组页岩段下部紫红色钙质页岩和上部黄绿色钙质页岩、浮来山组灰黄色细粒石英砂岩夹黄绿色页岩、石旺庄组上部地层具震裂纹的青灰色中厚层砂质灰岩。

浮来山出露如此完整、连续的土门群地层,成为研究土门群地层的理想剖面。其中石旺庄组灰岩中普遍发育的“树枝状”或“蠕虫状”碳酸盐泥晶细脉,以实物形态记录了距今6亿年前发生的地震事件,是研究古地震十分难得的依据<sup>[43]</sup>。正是这些独特的地质遗迹,才使浮来山具有了“地质教学天然课堂”的美誉。

## 3 结论

(1) 山东太古宙地质记录十分丰富多彩。胶东

栖霞地区存在 2.9 Ga、2.7 Ga 和 2.5 Ga 多期 TTG 岩浆作用,这一现象在整个华北克拉通是独一无二的。鲁西新太古代花岗-绿岩带在华北克拉通也占据了独特的位置,以存在新太古代早期和新太古代晚期表壳岩和多种多样岩浆作用而闻名。

(2)古元古代表壳岩在胶东地区广泛分布,存在古元古代超基性-基性-中酸性岩浆作用。它们与太古宙岩石一道,遭受古元古代晚期构造热事件强烈改造。存在古元古代高压麻粒岩。

(3)中、新元古代岩浆作用主要分布于胶南-威海造山带,岩石类型从超基性到酸性岩石都存在。它们普遍记录了 225 Ma 左右的变质锆石年龄,表明卷入了苏鲁大别超高压造山作用过程。

(4)前寒武纪地质作用所形成的大量地质记录,与地质景观、人文现象、森林资源为不同级别地质公园的建立打下了重要基础。山东成为地质公园数量最多的省份之一,其中最为著名的是泰山世界地质公园。

#### 参考文献:

- [1] 江博明,刘敦一,万渝生,等.中国胶东半岛太古代地壳演化-利用锆石 SHRIMP 地球年代学、元素地球化学和 Nd-同位素地球化学[J].美国科学杂志,2008,308:232-269.
- [2] 赵子然,宋会侠,沈其韩,等.山东沂水杂岩中变基性岩的岩石地球化学特征及锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J].地质论评,2009,55(2):286-299.
- [3] 赵子然,宋会侠,沈其韩,等.山东沂水杂岩中变泥沙质岩石的岩石地球化学特征及年代[J].岩石学报,2009,25(30):1863-1871.
- [4] 程裕淇,沈其韩,王泽九,等.山东新泰一带泰山群变质岩类和岩浆岩类岩石的地质年代学研究[J].地质论评,1964,22(3):198-209.
- [5] 王世进,万渝生,宋志勇,等.鲁西泰山岩群的形成时代-锆石 SHRIMP U-Pb 锆石定年的证据[J].山东国土资源,2012,28(12):15-23.
- [6] 万渝生,刘敦一,王世进,等.华北克拉通鲁西地区早前寒武纪表壳岩重新划分和 BIF 形成时代[J].岩石学报,2012,28(11):3457-3475.
- [7] 王伟.鲁西七星台地区花岗-绿岩带形成演化-地质、SHRIMP 锆石年代学和地球化学制约[M].中国地质科学院,2010,1-76.
- [8] 王伟,杨恩秀,王世进,等.鲁西泰山岩群变质枕状玄武岩相学和侵入的奥长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学[J].地质论评,2009,55(5):737-744.
- [9] 杜利林,庄育勋,杨崇辉,等.山东新泰孟家屯岩组锆石特征及其年代学意义[J].地质学报,2003,77(3):359-366.
- [10] 万渝生,董春艳,颜颌强,等.华北克拉通早前寒武纪条带状铁建造形成时代-SHRIMP 锆石 U-Pb 定年[J].地质学报,2012,86(9):1447-1478.
- [11] 刘平华,刘福来,王舫,等.山东半岛荆山群富铝片麻岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J].岩石矿物学杂志,2011,(30):829-843.
- [12] 董春艳,王世进,刘敦一,等.华北克拉通古元古代晚期地壳演化和荆山群形成时代制约:胶东地区变质中基性侵入岩锆石 SHRIMP 定年[J].岩石学报,2011,(27):1699-1706.
- [13] 谢士稳,王世进,颜颌强,等.华北克拉通胶东地区粉子山群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J].岩石学报,2014,(30):2989-2998.
- [14] 山东省第四地质矿产勘查院.山东区域地质[M].山东省地图出版社,2000:1-881.
- [15] 雷恒聪,向华,张泽明,等.苏鲁造山带古元古代超高温麻粒岩及其构造意义[J].岩石学报,2014,30(8):2436-2445.
- [16] 王世进,相振群,张成基,等.苏鲁造山带北缘五莲地区五莲群变质地层特征及形成时代-锆石 MC-ICPMS U-Pb 测年的证据[J].山东国土资源,2012,28(10):7-12.
- [17] 初航,陆松年,王惠初,等.山东长岛地区蓬莱群辅子介组碎屑锆石年龄谱研究[J].岩石学报,2011,27(4):1017-1028.
- [18] 王秀丽,李向辉,陈福坤,等.苏鲁超高压造山带南部海州群锆石年龄及其地质意义[J].高校地质学报,2006,12(3):351-368.
- [17] 庄育勋,徐洪林,王新社,等.泰山地区早前寒武纪主要地质事件与陆壳演化[J].岩石学报,1997,13(3):313-330.
- [18] 陆松年,陈志宏,相振群.泰山世界地质公园:古老侵入岩系年代格架[M].北京:地质出版社,2008:1-90.
- [19] 王世进,万渝生,宋志勇,等.鲁西地区新太古代早期的岩浆活动-泰山岩套英云闪长质片麻岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的证据[J].山东国土资源,2013,29(4):1-7.
- [20] 万渝生,王世进,任鹏,等.鲁西徂徕山地区新太古代岩浆作用-锆石 SHRIMP U-Pb 定年证据[J].地球学报,2015,36(5):634-646.
- [21] 任鹏,颜颌强,王世进,等.鲁西 2.5~2.7 Ga 构造岩浆热事件:泰山黄前水库 TTG 侵入岩的野外地质和锆石 SHRIMP 定年[J].地质论评,2015,61(5):1068-1078.
- [22] 王世进,万渝生,杨恩秀,等.鲁西地区新太古代中期岩浆活动-新甫山与上港等岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年的证据[J].山东国土资源,2012,28(4):1-7.
- [23] 王世进,万渝生,宋志勇,等.鲁西峰山岩体的形成时代-锆石 SHRIMP U-Pb 定年的证据[J].山东国土资源,2012,28(9):1-6.
- [24] 王世进,万渝生,王伟,等.鲁西地区石门山-凤仙山岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及形成时代[J].山东国土资源,2010,26(9):1-6.
- [25] 赵子然,宋会侠,沈其韩,等.山东沂水地区英灵山花岗岩及其捕虏体的地质、岩石地球化学特征及锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J].地质通报,2008,27(9):1551-1558.
- [26] 沈其韩,赵子然,宋彪,等.山东沂水新太古代马山和雪山岩体的地质、岩石地球化学特征和 SHRIMP 锆石年代学研究[J].地质论评,2008,53(2):180-186.
- [27] 沈其韩,宋彪,徐惠芬,等.山东沂水太古宙蔡峪和大山岩体 SHRIMP 锆石年代学[J].地质论评,2008,50(3):275-284.
- [28] 王世进,万渝生,王伟,等.鲁西蒙山龟蒙顶、云蒙峰岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 测年及形成时代[J].山东国土资源,2010,26(5):1-6.

- [29] 王伟,王世进,董春艳,等.山东鲁山地区新太古代壳源花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J].地质通报,2010,29(7):988-992.
- [30] 万渝生,郭瑞鹏,田京祥,等.华北克拉通胶东莱州地区中太古代-新太古代早期 TTG 岩石的发现—SHRIMP 锆石 U-Pb 定年[J].山东国土资源,2019,35(4):1-16.
- [31] 唐俊,郑永飞,吴元保,等.胶东地块西部变质岩锆石 U-Pb 定年和氧同位素研究[J].岩石学报,2004,(20):1063-1086.
- [32] 刘建辉,刘福来,刘平华,等.胶北早前寒武纪变质基底多期岩浆—变质热事件:来自 TTG 片麻岩和花岗岩片麻岩中锆石 U-Pb 定年的证据[J].岩石学报,2011,(27):943-960.
- [33] 谢士稳,王世进,颀领强,等.华北克拉通胶东地区 ~2.7 Ga TTG 岩石的成因及地质意义[J].岩石学报,2015,(31):2974-2990.
- [34] 田京祥,侯建华,郭瑞鹏,等.胶北地区古元古代基性-超基性岩锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素组成及其构造岩浆演化意义[J].山东国土资源,2018,34(5):14-27.
- [36] 刘福来,张平华.北苏鲁仰口地区变辉长岩中锆石 U-Pb 定年、微量元素和 Hf 同位素特征及其地质意义[J].岩石学报,2009,25(9):2113-2131.
- [37] 王世进,万渝生,宋志勇,等.山东胶南-威海造山带荣成岩套花岗岩质片麻岩的形成时代—锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J].山东国土资源,2012,28(5):1-8.
- [38] 郑永飞,陈福坤,龚冰,等.大别-苏鲁造山带超高压变质岩原岩性质:锆石氧同位素和 U-Pb 年龄证据[J].科学通报,2003,48(2):110-119.
- [39] 唐俊,郑永飞,吴元保,等.威海地区超高压变质花岗岩片麻岩锆石 U-Pb 定年和氧同位素研究[J].地球科学-中国地质大学学报,2005,30(6):692-706.
- [40] 李向辉,陈福坤,李潮峰,等.苏鲁造山带荣成超高压地体片麻岩锆石年龄和铅同位素组成特征[J].岩石学报,2007,23(2):351-368.
- [41] 万兵力.长山列岛国家地质公园主要地质遗迹特征与开发保护措施[J].山东国土资源,2009,25(4):57-59.
- [42] 王世进,万渝生,郑明伟,等.山东五莲山-九仙山省级地质公园地质遗迹资源及形成时代—锆石 SHRIMP 测年的证据[J].山东国土资源,2013,29(3):1-7.
- [43] 张宪依,王炳山,崔乐群.鲁南新元古代石旺庄组风暴岩特征及其意义[J].现代地质,2009,23(4):648-654.

## Precambrian geology and geoparks in Shandong province, China

WANG Shi-jin<sup>1</sup>, WAN Yu-sheng<sup>2</sup>

(1. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013; 2. Beijing SHRIMP Center, Institute of Geology, Chinese Academy of Geosciences, Beijing 100037)

**Abstract:** Precambrian strata in the Shandong Province include the Neoproterozoic Taishan Group Complex and Yishui Group Complex, the Neoproterozoic Tumen Group distributing in the Western Shandong Province, the Neoproterozoic Jiaodong Group Complex, the Paleoproterozoic Jingshan Group and Fenzishan Group, the Mesoproterozoic Zhifu Group, the Neoproterozoic Penglai Group in the Eastern Shandong Province, and the Paleoproterozoic metamorphic supracrustal rock assemblage and the Mesoproterozoic Wulian Group in the Jiaonan-Weihai Orogen. The Precambrian intrusive rocks in the Shandong Province are mainly the three phase Neoproterozoic intrusive rocks outcropped in the western Shandong Province, starting from mantle-source magma for each phase. The early phase tectono-magmatism resulted in the intrusion of protoliths of the ~2 700 Ma tonalitic gneiss, banded tonalitic gneiss. The middle phase tectono-magmatism is dominated by the 2 630 ~ 2 600 Ma trondhjemitic-tonalite-granodiorite suite. The late phase mantle-sourced magmatism produced the Yishan Series trondhjemitic-tonalite-granodiorite suite; the crustal anatexis produced the Aolaishan Series monzonitic granite, leading the formation of a large scale continental crust. There occurred 2 900 Ma (Mesoarchaeon) tonalitic gneiss and trondhjemitic gneiss in the eastern Shandong Province, relatively a large scale 2 700 Ma (early Neoproterozoic) tonalitic gneiss, banded tonalitic gneiss, 2 500 Ma (late Neoproterozoic) trondhjemitic-tonalite-granodiorite suite and monzonitic granite, the late Paleoproterozoic monzonitic granite and ultramafic-mafic rocks. In the Su-Lu Orogen of the eastern Shandong Province, there occurred the Neoproterozoic ultramafic-mafic rocks and the tonalitic-granodioritic-monzonite-granitic gneiss. The geoparks characterized by the Archaeon geology are mainly distributed in the western Shandong Province, including the geoparks of Mount Tai, Mount Meng, Mount Yi, Mount Lu and the Shuilianxia Canyon in Jinan, Changchengling Range and Longwan Bay in Taian, Mount Niu in Feicheng, Mount Yi in Linqi, Fangganjiulong Canyon in Laiwu, Mount Qingyun in Xintai, Mount Longmen in Sishui, Mount Lianqing in Qingzhou, Dianzi in Shanting District of Zaozhuang, Mount Shimem in Wufu, etc. The geoparks marked by the Proterozoic geology in the Shandong Province include the national geoparks of the Changdao island and the Mounts Wulian-Jiuxian, the provincial geoparks of the Mount Jiazi of Lingang in Linyi, Liugong Island in Weihai and Mount Kunyu in Yantai, and the Mount Fulai Geopark in Ju county.

**Key words:** geopark; geoheritage; Precambrian Geology; Shandong province