

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

秦岭造山带中两条新元古代岩浆岩带

陆松年, 陈志宏, 李怀坤, 郝国杰, 相振群

中国地质调查局天津地质矿产研究所, 300170

内容提要: 秦岭造山带中的新元古代岩浆岩带分为南、北两带, 北带主要发育于秦岭岩群分布区, 由新元古代早期花岗质岩石组成, 由于受到强烈变质、变形, 构成了NW向花岗片麻岩体群。岩石总体化学特征反映一种挤压性的动力学背景, 其形成时代集中在955~844 Ma。南带分布于陡岭岩群分布区、南秦岭及“勉略构造带”以南的汉南一带, 由双峰式火山岩、基性辉长岩侵入体及板内花岗质侵入岩组成。与北带花岗质岩石所受到的强烈变质、变形形成鲜明对比, 除邻近构造带的岩体外, 它们变质、变形程度较弱, 以弱片麻状至块状构造为主, 形成时代介于810~710 Ma之间, 反映大陆地壳处于减薄的伸展机制。这条岩浆岩带的发育, 显示秦岭造山带南部曾存在一条新元古代中期裂谷带, 它是劳伦、澳大利亚和塔里木—扬子等大陆初始裂解的产物, 也是古太平洋形成的前兆。

关键词: 秦岭; 新元古代; 岩浆岩带

作者等在承担国土资源部“十·五”研究项目《秦岭中—新元古代造山带与Rodinia大陆再造》和国家自然科学基金重点研究项目《中国古大陆对Rodinia超级大陆事件的响应》过程中, 重点对秦岭造山带中—新元古代地质进行了比较系统和详细的研究, 其主要进展和认识已在《秦岭中—新元古代地质演化及对Rodinia超级大陆事件的响应》一书中做了全面介绍(陆松年等, 2003)。本文针对研究过程中所获得的认识, 就秦岭造山带中两条岩浆岩带物质组成、地球化学特征、U-Pb年龄及形成的大陆动力学背景作一简介, 揭示秦岭造山带中—新元古代地质演化的基本特征及对Rodinia超大陆汇聚与裂解的响应。

秦岭造山带中的新元古代岩浆岩带分为南、北两带(图1), 北带主要发育于秦岭岩群分布区, 由新元古代早期花岗质岩石组成, 由于受到强烈变质、变形, 构成了NW向花岗片麻岩体群。岩石总体化学特征反映一种挤压性的动力学背景, 其形成时代集中在955~844 Ma之间。南带主要分布于中、南秦岭区, 由碧口群、耀岭河群双峰式火山岩、基性辉长岩侵入体、基性岩墙群及板内花岗质侵入岩组成。与北带花岗质岩石所受到的强烈变质、变形形成鲜明对比, 除邻近构造带的岩体外, 它们变质、变形程度

较弱, 以弱片麻状至块状构造为主, 形成时代介于810~710 Ma之间, 反映大陆地壳处于减薄的伸展机制。新元古代中期这条岩浆岩带的发育, 显示中、南秦岭(含部分扬子克拉通)曾存在一条裂谷带。由于在Rodinia超大陆中, 扬子与塔里木相连, 共同位于劳伦和澳大利亚之间, 因此这条裂谷带应是劳伦、澳大利亚和塔里木—扬子等大陆初始裂解的产物, 也是原特提斯洋形成的前兆。

1 新元古代早期花岗(片麻)岩带

新元古代早期同造山期花岗岩侵入体集中分布于秦岭造山带的秦岭岩群之中, 这些花岗岩侵入体无一例外地经历了变质、变形而成为片麻岩。这些正片麻岩原划为秦岭岩群, 前人已从其中区分出寨根、牛角山、德河、蔡凹等花岗片麻岩岩体(张洪飞等, 1993; 王涛等, 1994, 1998; 卢欣祥, 1996)。经过近两年的工作, 笔者分别在甘肃天水县北道、陕西太白官山、周至以南涝峪、松树沟超基性杂岩体与富水杂岩体之间的黄土坳识别出新的花岗片麻岩岩体, 并应用SHRIMP和TIMS法获得一批精度较高的原岩侵入时代(表1), 表明它们主要形成于新元古代早期(Chen et al., 2003; Wang Tao et al., 2003)。这类花岗质片麻岩普遍遭受了强烈的变质、变形作用, 片

注: 本文为国家自然科学基金重点项目(编号40032010-C)和中国地质调查综合研究项目(编号200113900070)资助的成果。

收稿日期: 2004-05-11; 改回日期: 2004-10-26; 责任编辑: 郝粹国。

作者简介: 陆松年, 1940生。1962年毕业于南京大学地质系, 长期从事前寒武纪地质研究, 现在天津地质矿产研究所工作, 研究员。任全国地层委员会前寒武纪地层分会主席、中国地质学会前寒武纪专业委员会主任、国际冈瓦纳研究会顾问。通讯地址, 300170, 天津市河东区大直沽八号路4号, 天津地质矿产研究所。

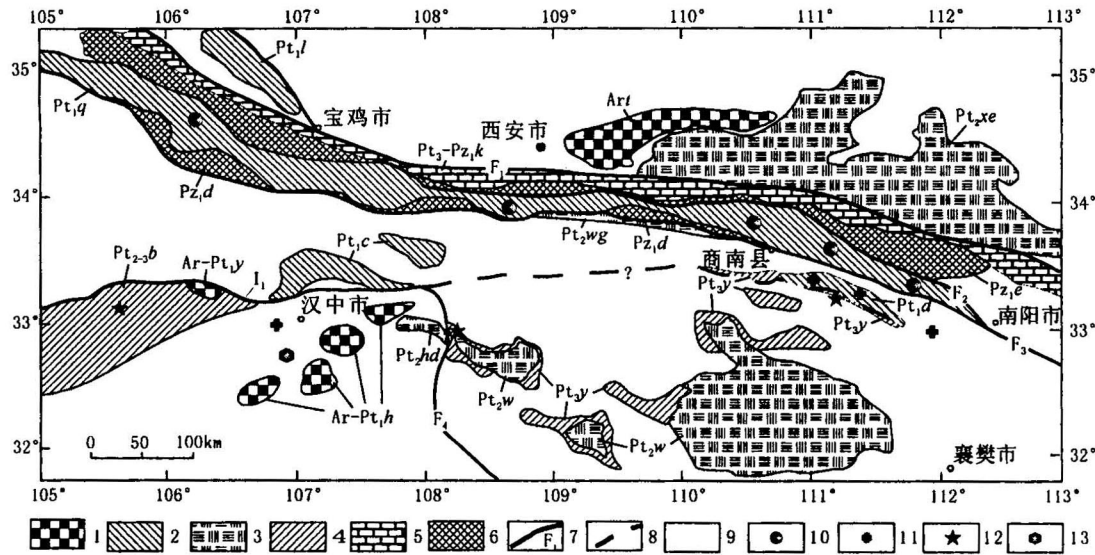


图 1 秦岭造山带前寒武系分布略图及两条岩浆岩带的位置

Fig. 1 Precambrian rocks and two Neoproterozoic magmatic belts in the Qinling orogeny

1—太古宇—古元古界: Art—太华杂岩, Ard—登封岩群, Ar—Pt₁h—后河岩群, Ar—Pt₁y—鱼洞子杂岩; 2—古元古界: Pt₁q—秦岭岩群, Pt₁c—长角坝岩群, Pt₁l—陇山岩群, Pt₁d—陡岭岩群; 3—中元古界: Pt₂xe-gd—包括熊耳群、汝阳群、高山河群和官道口群, Pt₂w—武当岩群, Pt₂wg—武关岩群, Pt₂h—火地垭岩群; 4—中—新元古界: Pt₂₋₃b—碧口岩群, Pt₂₋₃y—耀岭河群; 5—新元古界—下古生界: Pt₃-Pz₁k—宽坪岩群; 6—下古生界: Pz₁e—二郎坪岩群, Pz₁d—丹凤岩群; 7—主要断裂: F₁—洛南—栾川断裂, F₂—朱夏断裂, F₃—商丹断裂, F₄—阳平关—大巴山弧形断裂; 8—I₁-勉略蛇绿杂岩带; 9—上古生界至中—新生界; 10—北带新元古代早期花岗片麻岩(最西部为文中郭家坪花岗片麻岩出露位置); 11—南带新元古代中期花岗岩; 12—南带新元古代中期火山岩; 13—南带新元古代中期辉长岩体

1—Archean—Paleoproterozoic: Art—Taihua complex, Ard—Dunfeng Group, Ar—Pt₁h—Houhe Group, Ar—Pt₁y—Yudongzi complex; 2—Paleoproterozoic: Pt₁q—Qinling Group, Pt₁c—Changjiaoba Group, Pt₁l—Longshan Group, Pt₁d—Douling Group; 3—Mesoproterozoic: Pt₂xe-gd—including Xiong'er Group, Ruyang Group, Gaoshanhe Group and Guandaokou Group, Pt₂w—Wudang Group, Pt₂wg—Wuguan Group, Pt₂h—Huodiya Group; 4—Meso-Neoproterozoic: Pt₂₋₃b—Bikou Group, Pt₂₋₃y—Yaolinghe Group; 5—Neoproterozoic—lower Paleozoic: Pt₃-Pz₁k—Kuanping Group; 6—lower Paleozoic: Pz₁e—Erlangping Group, Pz₁d—Danfeng Group; 7—main faults: F₁—Luonan—Luanchuan fault, F₂—Zhuxia fault, F₃—Shangnan—Danfeng fault, F₄—Yangpingguan—Dabashan arc fault; 8—I₁-Mianxian Lueyang ophiolite melange; 9—upper Paleozoic—Cenozoic; 10—early Neoproterozoic granite gneiss of north belt (the Guojiaping granite gneiss is located in the most western part of the belt); 11—middle Neoproterozoic granites of south belt; 12—middle Neoproterozoic volcanics of south belt, 13—middle Neoproterozoic gabbro of south belt

表 1 新元古代早期花岗片麻岩的同位素年龄

Table 1 Isotopic ages of the early Neoproterozoic granite gneisses

样品号	样品名称	岩体名称	经度	纬度	侵入时代(Ma)	方法
T18	黑云母花岗岩片麻岩	西涝岭	107°13.967'	34°02.605'	955.5±8.4	TIMS
QL15T01	二云母二长花岗岩片麻岩	牛角山	110°55.872'	33°44.225'	954.6±5.1	TIMS
QL32-TWO1	石英二长片麻岩	郭家坪	106°57.713'	34°34.296'	953.4±14	SHRIMP
DQ14	黑云母二长花岗岩片麻岩	德河	111°04.510'	33°32.514'	971±9.6 943±18	TIMS SHRIMP
T24	糜棱岩化黑云母花岗岩	寨根	111°10.476'	33°33.014'	914±10	SHRIMP
T01	英云闪长质片麻岩	太白官山	108°31.069'	33°55.925'	911±18 863±17	SHRIMP TIMS
DQ100	黑云母花岗岩片麻岩	黄土坳	110°58.551'	33°33.145'	843.6±4.4	TIMS
DQ101	黑云母花岗岩片麻岩	黄土坳			844.4±3.1	TIMS

麻状构造发育,并多见糜棱结构。

高级变质岩区花岗质片麻岩与表壳岩的正确鉴别是十分重要的,前人对此项工作已积累了不少经验(王仁民等,1987)。通常笔者等通过下列步骤从表

壳岩中区分出花岗质片麻岩:①在野外地质调查中,根据岩石类型和矿物组合能够有把握地区分出大理岩、石英岩、钙硅酸盐砾岩和长英质片麻岩。②在长英质片麻岩中,正、副片麻岩的区别主要为:花岗质

片麻岩粒度一般较粗,结构和构造较均匀,常保留变余的花岗岩结构(如变余似斑状结构),与表壳岩接触带多赋存表壳岩包体,并偶见原生侵入关系。长英质副片麻岩的粒度一般较细,结构不均匀,多见云母类矿物和石英相对富集的条带,并在不大的范围内可见与其他岩石类型的表壳岩呈互层产出,片麻岩内不存在呈包体形态出现的其他岩类。③对细粒长英质正、副片麻岩的区别则需要借助其他室内研究方法。笔者等在研究工作中发现从细粒花岗质片麻岩中挑选的锆石,具有较好的晶形,在阴极发光下呈现岩浆锆石特有的震荡性环带,SHRIMP 测年数据的频率主要呈单峰特点。从细粒长英质副片麻岩中挑选的锆石,则具有复杂的外形,并多为不规则的浑圆状,内部结构复杂,为多成因锆石,SHRIMP 测年数据的频率呈现多峰特点。依据上述特征,就能将在野外难以区分的细粒长英质正、副片麻岩区分开。

笔者等最近在甘肃天水县北道镇郭家坪(305 公路 176 km 处)原定“牛头河岩群(相当于秦岭岩群)”的高级层状变质岩系中识别出一套石英二长质片麻岩,岩石呈深灰色,片麻状构造发育,主要由斜长石、石英、钾长石、黑云母及少量的石榴子石和矽线石等组成。斜长石呈半自形至不规则状,发育聚片双晶,含量约 30%~40%;石英呈不规则粒状,具明显波状消光,含量为 25%~30%;钾长石类矿物包括发育格子双晶的微斜长石和条纹长石,多呈不规则状,含量约 15%~25%;黑云母呈叶片状,具棕红—淡棕黄色多色性,呈定向排列,含量 15%~20%;石榴子石呈半自形至不规则粒状,粒径一般小于 1 mm,大者可达 2.5 mm×3.5 mm,含量不足 1%;矽线石呈针状、毛发状集合体,多与黑云母和长石交生在一起。挑选出的锆石绝大多数为自形晶(图 2),显示岩浆岩中结晶锆石的基本特点。图 2 中 7.1 测点得到 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $946.2 \pm 11.8 \text{ Ma}$; 15.1 测点得到 $909.8 \pm 9.2 \text{ Ma}$ 。15.2 测点测得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄仅为 $519.3 \pm 7.8 \text{ Ma}$,可能由于铅丢失所致。

锆石 U-Pb 定年工作在国土资源

部同位素开放实验室 SHRIMP II 上进行,共测定了 19 个点,测试结果见表 2。利用其中 12 个测点的 U、Pb 同位素比值获得的上交点年龄为 $968 \pm 60 \text{ Ma}$ (图 3),下交点年龄值因误差过大而没有地质意义。如果采用 7 个相对集中的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄值计算,加权平均值为 $953.4 \pm 14 \text{ Ma}$ (图 4),与 $968 \pm 60 \text{ Ma}$ 在误差范围内的年龄值一致。本文选取误差范围较小的 $953.4 \pm 14 \text{ Ma}$ 代表郭家坪岩体的结晶时代。郭家坪岩体的确定表明秦岭造山带北岩浆岩带从东端的寨根岩体向西一直延续到了甘肃天水郭家坪一带,在走向方向上长达近 600 km。

秦岭造山带北带花岗片麻岩的地球化学主要参数见表 3,除涝峪花岗闪长质片麻岩的 SiO_2 含量为 67.14%外,其他样品的 SiO_2 含量高且变化范围小,为 70.41%~75.14%。所有样品的 A/CNK 明显大于 1(绝大部分大于 1.1),A/CNK 为 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 分子数比值,呈过铝质花岗岩

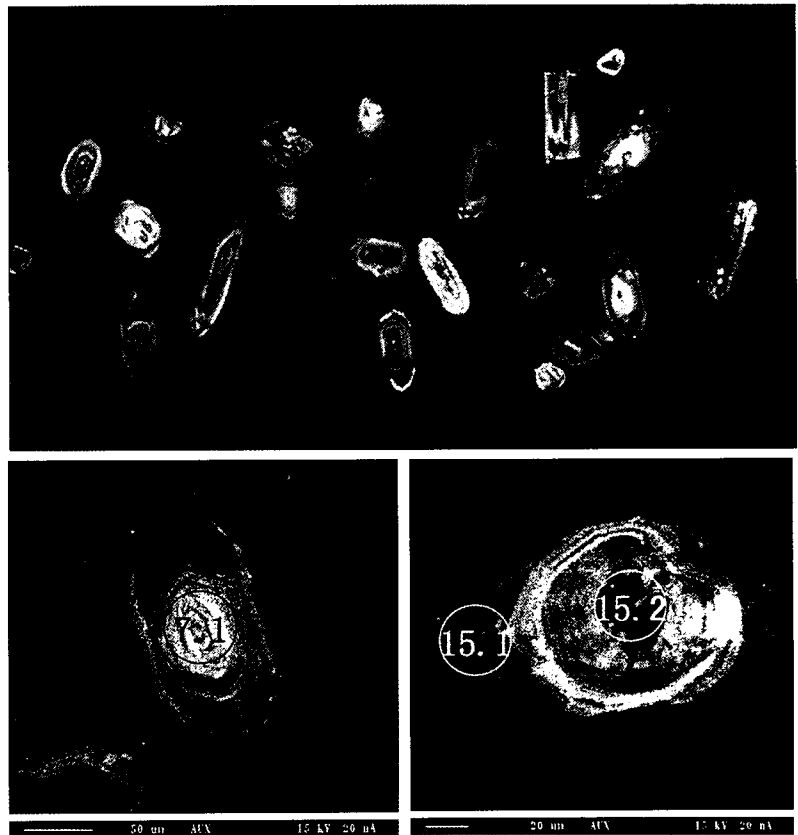


图 2 郭家坪花岗片麻岩中的锆石形态

Fig. 2 Shapes of zircon in the Guojiaping granite gneiss

上图—锆石在阴极发光下的形态;下图—阴极发光下显示的锆石内部环带结构

Upper figure—shapes of zircon in the cathodoluminescence emission analysis;

lower figure—inner zonal structure of zircon in the cathodoluminescence emission analysis

表 2 郭家坪花岗片麻岩 SHRIMP 法 U-Pb 测年结果

Table 2 Zircon SHRIMP U-Pb results for the Guojiaping granite gneiss

点号	²⁰⁶ Pb _c (%)	样重(μg/g)			²³² Th/ ²³⁸ U	表面年龄(Ma)		同位素原子比率和相对误差					
		²⁰⁶ Pb*	U	Th		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±%
QL32TW01-1.1	2.55	151.7	1502	49	0.03	699.5±7.0	1628±75	0.1202	0.7	1.58	4.2	0.1146	1.1
QL32TW01-2.1	4.13	120.3	1247	91	0.08	659.1±6.2	1387±88	0.1210	2.4	1.31	4.7	0.1076	1.0
QL32TW01-3.1	2.97	121.6	1112	135	0.13	750.5±7.2	1496±74	0.1171	2.2	1.59	4.0	0.1235	1.0
QL32TW01-4.1	8.09	56.1	404	97	0.25	893.3±15.4	1332±311	0.1515	4.4	1.76	16.2	0.1486	1.8
QL32TW01-5.1	0.57	71.4	573	130	0.23	868.4±8.6	814±52	0.0710	1.2	1.32	2.7	0.1442	1.1
QL32TW01-6.1	2.34	89.5	790	363	0.47	780.8±7.7	782±77	0.0846	1.0	1.16	3.8	0.1288	1.0
QL32TW01-7.1	2.53	30.3	218	77	0.37	946.2±11.8	690±149	0.0838	2.4	1.36	7.1	0.1581	1.3
QL32TW01-8.1	1.04	80.7	223	218	1.01	2242.1±21.1	2472±20	0.1705	0.8	9.26	1.6	0.4160	1.1
QL32TW01-9.1	4.47	103.0	824	75	0.09	839.2±8.0	1131±89	0.1139	1.2	1.48	4.6	0.1390	1.0
QL32TW01-4.2	4.89	131.3	1449	101	0.07	616.2±6.1	1838±73	0.1499	2.1	1.55	4.2	0.1003	1.0
QL32TW01-10.1	3.54	111.4	793	255	0.33	944.0±10.6	1076±162	0.1046	4.0	1.64	8.2	0.1577	1.2
QL32TW01-11.1	0.55	149.6	1172	75	0.07	888.5±7.7	916±33	0.0742	0.9	1.42	1.8	0.1478	0.9
QL32TW01-9.2	1.48	65.5	443	121	0.28	1010.3±9.8	1287±71	0.0960	2.1	1.96	3.8	0.1697	1.1
QL32TW01-12.1	1.37	141.3	1130	205	0.19	864.5±7.9	1361±86	0.0981	1.7	1.72	4.6	0.1435	1.0
QL32TW01-13.1	1.18	33.7	242	81	0.35	958.1±11.6	1368±74	0.0970	1.6	1.93	4.1	0.1602	1.3
QL32TW01-14.1	1.32	59.2	454	182	0.42	898.5±8.6	1192±95	0.0906	3.6	1.65	4.9	0.1496	1.0
QL32TW01-15.1	0.66	144.2	1100	47	0.04	909.8±9.2	1155±58	0.0838	1.4	1.64	3.1	0.1516	1.1
QL32TW01-15.2	7.06	85.9	1107	158	0.15	519.3±7.8	2149±174	0.1859	4.9	1.55	10.1	0.0839	1.6
QL32TW01-16.1	3.95	108.4	1198	46	0.04	621.3±7.2	1775±117	0.1389	2.4	1.51	6.5	0.1012	1.2

注:误差为 1σ; Pb_c 和 Pb* 分别指示普通铅和放射成因铅;所有同位素比率已对测得的²⁰⁴Pb进行了校正。

特点。Na₂O+K₂O 值介于 4.98%~7.23% 之间,但 K₂O/Na₂O 值则分为两组,一组比值 ≥ 1,说明岩石相对富钾;而另一组比值 < 1,显示相对富钠的特点。所有岩石的 σ(里特曼指数)值都明显小于 3.3,表明岩石属钙碱性岩系。

新元古代早期花岗质片麻岩具有较高的稀土含量,ΣREE 最低为 92.76×10⁻⁶,最高可达 242.49×10⁻⁶。LREE/HREE 为 5.42~23.53,(La/Yb)_N 值变化于 4.53~64.82 之间,显示轻稀土元素富集和强烈的轻重稀土元素分馏特征。除涝峪花岗闪长质片麻岩外,其他各样品都显示中等负铕异常,δEu 为 0.31~0.83,稀土元素组成总体显示陆壳重熔型花岗岩的特征。

经 ORB 标准化后的多微量元素图谱总体显示较高含量的 Rb 和 Th(正异常)、Ce 元素也呈正异常,而 Ba、Nb、Ta 为负异常(图 5),呈汇聚型花岗岩所具有的微量元素地球化学特征(Pearce, 1984)。其中一些样品(如涝峪花岗闪长质片麻岩)出现 Nb、Ta 亏损和高场强元素 Zr、Hf、Sm、Y、Yb 强烈亏损的特征,呈俯冲型(VAG)花岗岩成分特点;而另一些样品虽然 Nb、Ta 明显亏损,但 Zr、Hf、Sm、Y、Yb 等仅呈相对较弱的亏损,更接近同碰

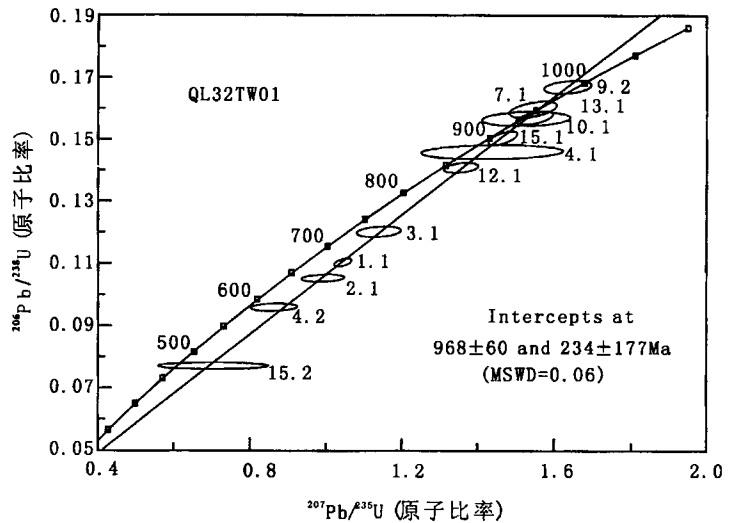


图 3 郭家坪花岗片麻岩 SHRIMP 法 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 3 Zircon SHRIMP U-Pb concordia age of the Guojiaping granite gneiss

撞型花岗岩微量元素地球化学成分。

秦岭造山带中的新元古代花岗片麻岩体多呈小的岩体成群分布于秦岭岩群之中,其片麻理与围岩的面理产状一致,同位素年龄介于 844~955 Ma 之间,但多数集中于 910~955 Ma 年龄段。地球化学参数显示钙碱性、富铝特点,轻重稀土元素分馏强烈、铕呈明显负异常和高场强元素强烈亏损,说明它

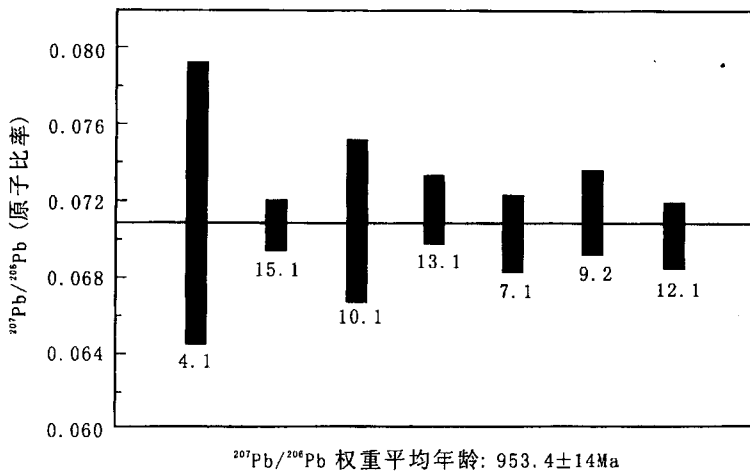


图 4 郭家坪花岗片麻岩锆石²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 加权平均年龄

Fig. 4 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb weighted average age of zircons from the Guojiaping granite gneiss

表 3 新元古代早期花岗片麻岩地球化学特征
(主元素分析数据请参考陆松年, 2003)

Table 3 Geochemical characteristics of the early Neoproterozoic granite gneisses

岩体名称	西涝峪	牛角山	德河	寨根	官山	黄土坳
岩性	花岗 闪长岩	二长 花岗岩	二长 花岗岩	黑云母 花岗岩	黑云母 花岗岩	黑云母 花岗岩
SiO ₂ %	67.14	74.47	71.53	75.14	71.35	72.84
A/CNK	1.16	1.25	1.09	1.08	1.03	1.05
K ₂ O+Na ₂ O	5.68	6.40	6.86	7.23	7.69	4.98
K ₂ O/Na ₂ O	1.00	0.45	0.70	0.40	0.54	1.10
σ	1.34	1.30	1.65	1.63	2.09	0.83
REE	101.86	102.21	196.76	175.96	228.87	
LREE/HREE	12.88	7.48	7.42	6.29	6.52	
δEu	0.83	0.53	0.51	0.32	0.53	
(La/Yb) _N	17.56	6.14	7.62	5.88	6.33	

们主要是由壳源物质在同造山构造环境中形成的陆壳重熔型花岗岩。

2 南华纪裂谷型岩浆岩带

秦岭造山带新元古代南岩浆岩带主要分布于商丹构造带以南的陡岭岩群分布区及南秦岭一带。主要地质记录包括河南大陡岭一带的陡岭花岗岩、吐雾山 A 型花岗岩、老君殿花岗岩、南秦岭侵入武当岩群的基性岩墙群、耀岭河群和碧口群双峰式火山岩、汉南杂岩中的部分花岗岩及辉长岩侵入体等。前人对于上述地质体的岩石组成、地球化学特征及年龄做过不同程度的研究,许多学者认为它们形成于一种地壳减薄的伸展环境。作者等近期研究认为,上述地质体是形成于新元古代中期大陆裂谷带的产物

(李怀坤等,2003),主要证据介绍如下。

2.1 南华纪裂谷型火山岩

扬子克拉通北缘的南秦岭,从西向东分布有碧口群、耀岭河群及陕西群等南华纪火山岩系。夏林圻等(1996)对这些火山岩系的岩石学及地球化学进行过详细的研究,认为它们具有板内和双峰式火山岩特征。火山岩系中的玄武岩比较富集 Ba、Rb、Th、La 和 Ce 微量元素,低度富集 Nb 和 Ta,具有大陆拉斑玄武岩的特点。 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 +0.4 至 +7.44, I_{Sr} 初始比为 0.7031~0.7059,基性岩浆岩来源于软流圈上涌的地幔柱源,但受到岩石圈成分的影响,其结论为南秦岭的上述火山岩系形成于“大陆扩张构造环境”(张国伟等,2000)。

最新同位素年代学研究结果表明,这些火山岩 U-Pb 同位素年龄集中在南华纪的时限范围内,例如碧口群火山岩 SHRIMP 法的 U-Pb 年龄为 790 ± 15 Ma 和 776 ± 13 Ma(闫全人等,2003),TIMS 法 U-Pb 年龄为 737.3 ± 2.4 Ma(待发表),耀岭河群 TIMS 法 U-Pb 年龄分别为 808.1 ± 5.7 Ma(陕西石泉水库附近)和 744.1 ± 4.4 Ma(河南西峡南)。这些年龄数据与扬子克拉通南华系南沱组之下火山岩的同位素年龄完全吻合(王剑,2000),并共同处在同一裂解的构造环境之中。

2.2 陡岭侵入杂岩

河南浙川以北陡岭岩群分布区范围内及邻区已鉴别出一系列花岗质—闪长质侵入体,尽管它们具

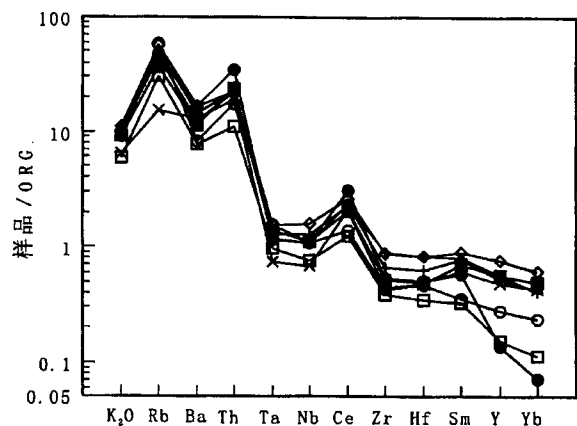


图 5 新元古代早期花岗岩不相容元素 ORG 标准化图解
Fig. 5 ORG normalized patterns of incompatible elements of early Neoproterozoic granites

有不同的岩性和地球化学特征,但空间分布上很接近,形成的时代几乎相同,应形成于同一构造背景之中。笔者等将这些南华纪形成的侵入体统称为“陡岭侵入杂岩”,包括前人所称的“三坪沟、甘沟、上张营岩体”及吐雾山 A 型花岗岩等,其形成时代集中于 730~710 Ma 之间。陡岭岩群不排出有新太古代产物(张寿广等,2004)。

2.2.1 老君殿含暗色微粒包体的花岗、石英闪长岩

老君殿岩体出露于河南浙川以北老君殿一带,侵入于陡岭岩群中,岩石呈块状构造,未遭受明显变形作用的叠加改造。岩石主体具中粒结构。该岩体的一个显著特征是其中含有大量暗色基性包体,这些包体可呈浑圆状、不规则状或条带状,与寄主岩呈渐变过渡关系,其中的不规则状和条带状包体常呈塑性变形特征,说明暗色基性包体与寄主岩曾同时处于一种塑性状态,岩体的形成可能为双峰式源岩浆或壳、幔源岩浆混合的结果。

石英闪长岩类具有中粒花岗结构、块状构造,主要矿物组成为斜长石(50%~55%)、角闪石(40%)和石英(>5%)。斜长石为自形粒状,粒径 3~5 mm,个别晶体可见解理和聚片双晶,表面高岭石化强烈。角闪石中粒自形,粒径 2~3 mm,具有淡绿—绿—深绿多色性,菱形解理发育,解理夹角 56°,可见双晶。石英为中细粒他形,粒径 1~3 mm,无色,表面干净,波状消光。老君殿岩体的另一个重要组成岩石类型花岗闪长岩具有中细粒花岗结构、块状构造,主要矿物组成为斜长石(40%~45%)、石英(25%~30%)和角闪石(20%~25%)等,另含有少量磁铁矿。值得注意的是该岩体中含有堆晶角闪石岩包体,具有斑状结构,岩石呈绿褐色,角闪石呈堆晶状,石英和斜长石呈镶嵌状充填于角闪石缝隙间。角闪石粒径 0.5~10 mm,自形,裂理发育,裂理中充填有石英集合体。

老君殿花岗闪长岩(DQ07)和石英闪长岩(QL93TW01)的 SiO₂ 含量分别为 63.63% 和 68.18%, Al₂O₃ 分别为 16.08% 和 15.04%, Na₂O 含量略高于 K₂O 含量,分别为 3.01% 和 2.72%、3.87% 和 2.49%。在 ACF 图上均落在 S 型花岗岩区。花岗闪长岩在稀土元素与不相容元素分配特征上和北岩浆岩带的火山弧型或同碰撞型花岗岩相似,二者无法区别。但是,根据同位素测年资料,老君殿岩体和区内耀岭河群、典型的板内花岗岩吐雾山岩体等形成于同一时期,应该是统一的裂解机制下的产物。其微量和稀土元素地球化学特征,可能是继

承了源岩的特点。

该样品的锆石 U-Pb SHRIMP 年龄为 717±10 Ma(10 个点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均值)。

2.2.2 吐雾山 A 型花岗岩

吐雾山 A 型花岗岩位于陡岭岩群露头分布区的东南侧,地表近椭圆型,面积约 1.5 km²。其北侧有少量陡岭岩群角闪质片麻岩、大理岩围岩,其余为第四系。岩体主体为钠闪石霓辉石花岗岩,另有少量钾长花岗岩。岩石具文象和花斑结构,块状构造,主要矿物组成为钾长石(50%~60%)、石英(30%左右),少量斜长石、钠闪石和霓辉石(5%),副矿物为磁铁矿、锆石和磷灰石等。根据卢欣祥等(1999)资料,吐雾山 A 型花岗岩的 SiO₂ 含量为 74.41%, Na₂O、K₂O 含量之和为 9.19%, σ=2.68, Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) 值为 0.91, Fe₂O₃/(Fe₂O₃+FeO) 值为 0.68, 岩石中的 F、Cl 含量甚高, F 为 901×10⁻⁶, Cl 为 105×10⁻⁶, Y/Nb、Y/Ta 分别为 2.14 和 3.77。岩石的 REE 含量高达 457.78×10⁻⁶, ΣCe/ΣY=2.95, (La/Yb)_N=7.29, Eu 强烈亏损, δEu=0.29, 微量元素地球化学显示典型板内花岗岩特征。

卢欣祥等(1999)曾测得该岩体的 TIMS 法锆石 U-Pb 年龄为 725±39 Ma, 作者等利用高分辨率、高灵敏度离子探针质谱仪进行了核定,其²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权统计平均值为 711±11 Ma, 在误差范围内与前人报道的 TIMS 法年龄数据一致,该年龄代表了吐雾山 A 型花岗岩体的结晶时代。

2.3 基性侵入体

扬子克拉通西北缘汉南地区望江山基性岩体是标志南华纪大陆裂解的重要地质记录。汉南地区大地构造位置属于扬子克拉通西北缘的向北突出部分,又称“巴山弧”的米仓山系,其北缘紧邻秦岭造山带勉略构造带,而东西两侧分别为龙门山和大巴山推覆构造带。望江山基性岩群由多个岩体组成(总面积约 400 km²),其中主岩体出露面积约 120 km²,为秦岭造山带及两侧陆缘规模最大的南华纪基性侵入岩体。望江山基性岩体主要岩性为辉长岩、橄辉长岩和苏长辉长岩,具辉长辉绿结构。主要造岩矿物为普通辉石(少量透辉石和紫苏辉石)、中—基性长石(An=40~80,平均约 65),具少量橄榄石、角闪石、黑云母及不透明矿物等。最突出的地球化学特征是多数样品缺乏明显的 Nb、Ta 负异常。望江山岩体总体显示板内构造环境地球化学属性,结合该基性岩体群的规模(>400 km²)分析,其成因应与大陆溢流型玄武岩的形成机制类似,标志南华纪扬子克拉通

北缘较大规模的陆内裂谷岩浆活动的开始。凌文黎等(2001)曾测得 $785 \pm 88\text{Ma}$ 的 Sm-Nd 等时线年龄,推测望江山岩体侵位时代为南华纪早期。

2.4 汉南侵入杂岩

汉南侵入杂岩出露于扬子克拉通北缘的陕西西乡—汉中一带,分布面积约 2100 km^2 。侵入杂岩主体是以斜长花岗岩为主的不同类型花岗质岩石,其次为石英闪长岩和辉长岩。前述望江山基性岩体即是汉南杂岩的组成单元之一。斜长花岗岩主要由斜长石(50%~60%)、石英(20%~25%)、黑云母和角闪石(5%~10%)组成。5 个样品主元素的百分含量平均值(严阵等,1985)如下: $\text{SiO}_2 = 69.72\%$ 、 $\text{TiO}_2 = 0.23\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15.66\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1.79\%$ 、 $\text{FeO} = 1.47\%$ 、 $\text{MnO} = 0.22\%$ 、 $\text{CaO} = 2.95\%$ 、 $\text{Na}_2\text{O} = 4.57\%$ 、 $\text{K}_2\text{O} = 1.56\%$ 。

本次研究过程中,笔者等采集了陕西西乡三溪关(汉江边)英云闪长岩样品(样号:QL65TW01,采样点地理坐标为 $\text{N } 33^\circ 10.807'$, $\text{E } 107^\circ 37.799'$)。该处英云闪长岩显示中粒结构、块状构造,片麻理不发育,主要的组成矿物石英和斜长石呈镶嵌状。矿物成分除石英(35%)、斜长石(50%)外,还有角闪石(8%)、黑云母(5%)和白云母(2%)等。

前人曾对汉南侵入杂岩的年龄和成因进行过积极探索,例如最早严阵等(1985)曾报道过一个 Rb-Sr 等时线年龄数据,张宗清等(2002)利用 Isoplot 对该数据进行了重新计算,得到的等时线年龄为 $806 \pm 140\text{ Ma}$,他也获得了斜长花岗岩中的黑云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄为 $796 \pm 20\text{ Ma}$ 、以中酸性侵入岩为主的 19 个点的 Sm-Nd 等时线年龄为 $837 \pm 26\text{ Ma}$ 。根据上述年龄资料,推断汉南侵入杂岩形成于 $837 \sim 800\text{ Ma}$ 。

作者等采用 TIMS 法测定了上述英云闪长岩(样品号:QL65TW01)锆石 U-Pb 年龄,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $723.3 \pm 2.7\text{ Ma}$ 。这一年龄值表明汉南侵入杂岩中至少有部分侵入体形成于南华纪,是 Rodinia 超大陆初期裂解阶段的产物。秦岭造山带南岩浆岩带同位素测年结果见表 4。

3 地质意义探讨

秦岭造山带中两条新元古代岩浆岩带的鉴别进

表 4 秦岭造山带南岩浆岩带同位素测年结果

Table 4 Isotopic ages of the south magmatic belt in Qinling orogenic belt

事件性质	时代	地质记录	参考年龄值 (Ma)	构造分区	备注
加里东期造山作用	早古生代	富水杂岩	514.3 ± 1.3	北秦岭变质地体	TIMS
	生代	罗汉寺火山岩	523 ± 26	丹凤岛弧带	TIMS
热-构造事件低频时段					
陆内裂解	南华纪	吐雾山岩体	711 ± 11	中秦岭变质地体	SHRIMP
		老君殿岩体	717 ± 10 716 ± 3.9		SHRIMP TIMS
		汉南酸性岩体	723.3 ± 2.7		南秦岭
		老君殿岩体	731.6 ± 0.5	中秦岭	TIMS
		基性岩墙	743 ± 12	南秦岭	周鼎武等,1998
		耀岭河群	745.8 ± 1.5	南秦岭	TIMS
		碧口群	776 ± 13 790 ± 15	扬子克拉通西北缘	闫全人等,2003
		望江山岩体	785 ± 88	南秦岭	凌文黎等,2001
		红安群	806.9 ± 3.6	桐柏(相当于南秦岭)	TIMS
		耀岭河群	808.1 ± 5.7	南秦岭	TIMS
晋宁造山晚期	新元古代早期	黄土坳花岗片麻岩体	843.6 ± 4.4 844.4 ± 3.1	北秦岭 变质地体	TIMS TIMS

注:表中除注明引用数据外,余均为本文测定结果。

一步厘清了新元古代岩浆岩的分布、年龄、特征和不同的形成环境。其地质意义在于:

(1) 北花岗岩带是新元古代早期同造山作用的产物,所有岩体均显示出岛弧或同碰撞岩浆岩的地球化学特征,暗示同期造山带的存在。作者等曾撰文详细讨论了秦岭造山带中—新元古代早期地质演化的阶段性和特征,指出这些同造山型侵入体可能是松树沟小洋盆闭合过程中的产物(陆松年等,2004)。

(2) 根据东非裂谷系、红海和大西洋研究所总结的从大陆裂谷发展到洋中脊裂谷系的演化规律(Kampunzu et al., 2000),岩浆作用通常经历前裂谷阶段(pre-rift stage)、大陆裂谷(continental rift stage)、原大洋裂谷(proto-oceanic rift)、年轻的大洋裂谷(young oceanic stage)和成熟洋中脊裂谷系(mature mid-oceanic rift system)等 5 个阶段:前裂谷阶段通常形成与酸性岩浆岩共生的大陆溢流玄武岩;大陆裂谷内则发育碱性玄武岩;原大洋裂谷以更亏损的拉斑玄武岩为特色,并发育富铁闪长岩;红海型裂谷中发育 E-MORB 大陆溢流玄武岩;在大西洋洋中脊则以亏损的 N-MORB 为标志。秦岭造山带从中元古代晚期武关裂谷中发育的双峰式火山岩、碱性玄武岩,中元古代末期松树沟蛇绿岩及其中的 E-MORB 和新元古代早期大量同构造花岗岩的发育,表明经历了从大陆裂谷至年轻的大洋裂谷发展过程,但没有达到成熟洋中脊裂谷系的发育,即进入闭合消亡过程,说明“松树沟蛇绿岩”是在一种类似红

海裂谷(有限洋盆)中形成的洋壳。

秦岭造山带中残存的上述新元古代早期造山作用的地质记录表现出如下特点:①同造山花岗岩较发育,其主体是硅铝质大陆地壳深熔的产物;②只在松树沟发现有与造山作用有关的仰冲蛇绿岩残片,说明这些蛇绿岩是十分罕见的;③岛弧火山岩不发育,与秦岭造山带中十分发育的早古生带火山弧形成鲜明的对比;④在蛇绿岩形成前,曾发育一条陆内裂谷带,裂谷内形成双峰式火山岩,其基性单元主体为碱性玄武岩。根据裂谷带内火山岩锆石 U-Pb 年龄 $1243 \pm 46\text{Ma}$ 数据,表明武关裂谷的打开为中元古代晚期。⑤从中元古代晚期至新元古代早期构造旋回中壳-幔对流作用远不如南华纪至早古生代构造旋回壳-幔作用强烈,后一旋回中地幔在南华纪裂解和早古生代造山过程中的参与十分明显和强烈。根据上述这些基本特点可以推断,秦岭造山带内新元古代早期造山作用没有经历完整的威尔逊构造旋回过程,特别是海底扩张极不发育,因此整体上表现为“红海型裂谷”的形成与闭合过程。北岩浆岩带即是这一“红海型裂谷”闭合过程中的产物。

(3) 北花岗岩带之南发育了一条规模巨大的裂谷带,裂谷带中发育了各种指示地壳减薄环境中形成的基性及酸性侵入体以及相近时期的火山岩。这些地质体中的双峰式火山岩、辉长岩和 A 型花岗岩明确指示形成于板内伸展环境,其形成时代集中在 $810 \sim 710\text{Ma}$ 之间。然而与上述地质体在地域上相邻、形成时代相近的部分花岗岩却显示岛弧岩浆岩的地球化学特征。笔者不认为同一地域、同一时代的岩浆岩是两种构造背景的产物,它们应统一反映一种相同的伸展环境的动力学机制,而地球化学特征的差异主要受原岩的制约。

(4) 该裂谷带的范围北被商丹构造带所截,南达扬子克拉通区的汉南一带,其东延与桐柏一大别山和苏鲁造山带中红安群、宿松群、海洲群中的南华纪裂谷型火山岩带(汤家富等,2002)及大面积发育的南华纪深成花岗质侵入岩带相连;南可能与扬子克拉通西缘南华纪康滇裂谷(即刘鸿允等,1991年所称的康滇—龙门山—米仓山火山裂谷带)相接;西延部分虽被西秦岭晚古生代至中生代沉积地层所

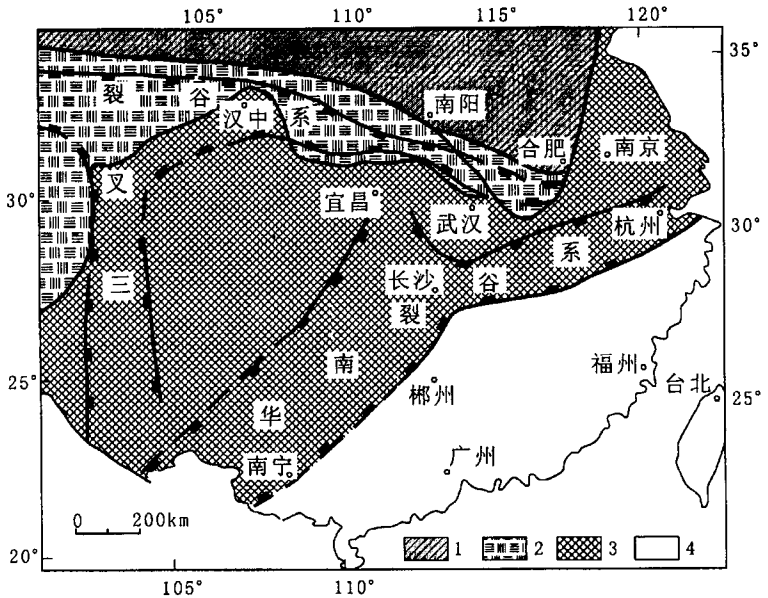


图 6 新元古代中期(汉南)三裂谷系的位置

(华南裂谷系参照刘鸿允等,1991;王剑,2000 和 Li 等,2003)

Fig. 6 Position of the Hannan triple junction rift of the middle Neoproterozoic (after Liu Hongyun et al., 1991; Wang Jian, 2000 and Li et al., 2003)

- 1—华北克拉通; 2—秦岭—大别造山带; 3—扬子克拉通; 4—华夏及东南沿海地块
- 1—The North China craton; 2—Qinling—Dabie orogenic zone; 3—Yangtze craton; 4—the South China block

覆,但仍不能排除存在以汉南为中心的三裂谷的可能性(图 6)。这支三裂谷的东支和南支延伸均超过 1000 km 以上,位于三裂谷中心的汉南一带可能是热点所在,因此发育了规模较大的望江山等基性侵入体。如果这一推断属实,该三裂谷可能是我国保存最好、规模最大的新元古代裂谷系统。由于这一时期的裂解与罗迪尼亚超大陆的解体有关,因此,它将为研究罗迪尼亚超大陆中的劳伦西部与澳大利亚、塔里木—扬子克拉通之间破裂的动力学机制提供重要的线索,目前这项研究正在进行之中。

致谢: SHRIMP U-Pb 测年在国土资源部同位素开放实验室进行, U-Pb 测年在天津地质矿产研究所同位素年代实验室完成, 阴极发光照片在国土资源部大陆动力学开放实验室和中国科学院地质和地球物理研究所拍摄, 工作过程中得到刘敦一、李惠民、宋彪、杨经绥、王涛、张成立、杨志华、王北颖、李海平、王世炎等的大力支持, 笔者再次深表谢意。

参 考 文 献

李怀坤, 陆松年, 陈志宏. 2003. 南秦岭耀岭河群裂谷型火山岩锆石 U-Pb 年代学研究. 地质通报, 22(10): 775~781.

- 凌文黎,王欽华,程建萍. 2001. 扬子北缘晋宁期望江山基性岩体的地球化学特征及其构造背景. *矿物岩石地球化学通报*, 20(4): 218~221.
- 刘鸿允. 1991. 中国震旦系. 北京:科学出版社, 1~388.
- 卢欣祥,董有,尉向东,等. 1999. 东秦岭吐雾山 A 型花岗岩的时代及其构造意义. *科学通报*, 44(5):975~978.
- 卢欣祥. 1996. 秦岭造山带花岗岩与构造演化. *河南地质矿产与环境文集*, 北京:中国环境科学出版社, 19~23.
- 陆松年,陈志宏,李怀坤. 2004. 秦岭造山带中一新元古代地质演化. *地质通报*, 23(2):107~112.
- 陆松年,李怀坤,陈志宏,等. 2003. 秦岭中新元古代造山带与 Rodinia 大陆再造. 北京:地质出版社, 1~210.
- 汤加富,侯明金,高天山. 2002. 宿松群、红安群、海州群的时代归属与讨论. *地质通报*, 21(3):166~171.
- 王剑. 2000. 华南新元古代裂谷盆地演化——兼论与 Rodinia 解体的关系. 北京:地质出版社, 1~146.
- 王涛,李伍平,王晓霞. 1998. 秦岭造山带核部杂岩花岗质片麻岩体的 U-Pb 同位素年龄及其地质意义. *中国区域地质*, (3):262~265.
- 王涛,王晓霞,李伍平. 1994. 秦岭群中花岗质正片麻岩的确认及其意义. *中国区域地质*, (3):211~214.
- 王仁民,贺高品,陈珍珍. 1987. 变质岩原岩图解判别法. 北京:地质出版社, 1~199.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义. 1996. 南秦岭中一晚元古代火山岩性质与寒武纪大陆裂谷. *中国科学(D辑)*, 26(3):237~243.
- 闫全人,王宗起,闫臻, Hanson A D, Druschke P A. 2003. 碧口群火山岩的时代——SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果. *地质通报*, 22(6):456~458.
- 严阵. 1985. 陕西省花岗岩. 西安交通大学出版社, 1~321.
- 张国伟,于在平,董云鹏,姚安平. 2000. 秦岭区前寒武纪构造格局与演化问题探讨. *岩石学报*, 16(1):11~21.
- 张宏飞,张本仁,骆庭川. 1993. 北秦岭新元古代花岗岩类成因与构造环境的地球化学研究. *地球科学*, 18(2):192~201.

- 张寿广,张宗清,宋彪,唐索寒,赵子然,王进辉. 2004. 东秦岭陡岭杂岩中存在新太古代物质组成——SHRIMP 锆石 U-Pb 和 Sm-Nd 年代学证据. *地质学报*, 78(6):800~806.
- 张宗清,张国伟,唐索寒. 2002. 南秦岭变质地层同位素年代学. 北京:地质出版社, 1~256.
- 周鼎武,张成立,刘良,等. 1998. 武当地块基性岩墙群的 Sm-Nd 年代及其相关问题讨论. *地球学报*, 19(1):25~30.

References

- Chen Zhihong, Lu Songnian, Li Huaikun, Li Huimin. 2003. Geology, petrology and geochemistry of Neoproterozoic granitoids of the Qinling Orogen, central China, and its geological significance. "The role of Sri Lanka in Rodinia and Gondwana assembly and break-up". Editor: Kehelpannala K V W, 62~64.
- Kampanzu A B, Tembo F, Matheis G, Kapenda A, Huntsman-Mapila P. 2000. Geochemistry and tectonic setting of mafic igneous units in the Neoproterozoic Katangan basin, central Africa; implications for Rodinia break-up. *Gondwana Research*, 3(2):125~154.
- Li X H, Li Z X, Ge W, Zhou H, Li W, Liu Y, Wingate M T D. 2003. Neoproterozoic granitoids in South China; crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? *Precamb. Res.*, 122, 45~84.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25: 956~983.
- Wang Tao, Wang Xiaoxia, Zhang Guowei, Pei Xianzhi, Zhang Chengli. 2003. Remnants of a Neoproterozoic collisional orogenic belt in the core of the Phanerozoic Qinling orogenic belt (China). *Gondwana Research*, 6(4):699~710.
- Zhang Shouguang, Zhang Zongqing, Song Biao, Tang Suohan, Zhao Ziran, Wang Jinhui. 2004. On the Existence of Neoproterozoic Materials in the Douling Complex, Eastern Qinling——Evidence from U-Pb SHRIMP and Sm-Nd Geochronology. *Acta Geological Sinica*, 78(6):800~806.

Two Magmatic Belts of the Neoproterozoic in the Qinling Orogenic Belt

LU Songnian, CHEN Zhihong, LI Huaikun, HAO Guojie, XIANG Zhenqun

Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin, 300170, China

Abstract

The magmatic belts of the Neoproterozoic in the Qinling Orogen can be divided into the North and South ones. The north belt is mainly developed within the distributed area occupied by the Qinling supracrusts. It is made up of the early Neoproterozoic granitoids, which are affected by strong metamorphism and deformation. The plutonic rocks demonstrate arc-related geochemical characteristics and formed between 950~840Ma. The south one is distributed in the south Qinling Range and around Hannan area with near EW direction. The magmatic belt is composed of bimodal volcanics, gabbro bodies, basic dyke swarms, A type granite and plutons within plates. In contrast to strong deformation of the plutons in the north belt, the rocks show weak deformation with dominant massive and weak gneiss structure, and formed between 810~710Ma. The belt took place an extension tectonic regime, which is response to initial rifting among Australia, Tarim Yangzi and Laurentia continents in the western Rodinia.

Key words: Qinling; Neoproterozoic; magmatic belt