

# 北秦岭晋宁期主要地质事件 及其构造背景探讨\*

裴先治<sup>1,2</sup> 王 涛<sup>1,2</sup> 王 洋<sup>2</sup> 李厚民<sup>2</sup> 李国光<sup>2</sup>

(1. 西北大学地质学系 2. 西安工程学院资源系)

**摘 要** 北秦岭主要发育元古宙构造岩石地层单位, 包括古元古代秦岭杂岩、中元古代峡河岩群、宽坪岩群和武关岩群、中元古代晚期松树沟蛇绿岩构造岩片、新元古代丹凤岩群和二郎坪岩群的下部地层单位等。北秦岭广泛存在晋宁期的强烈构造- 岩浆- 变质地质事件, 且是新元古代主体形成的古老造山带。晋宁期的地质事件可能并不代表扬子地块和华北地块之间的直接碰撞拼合, 而是具扬子地块基底特征的“中秦岭微地块”与北秦岭微地块或华北地块之间的俯冲碰撞拼合。震旦纪之后又逐渐开始发生大陆裂解, 进入显生宙的构造演化阶段。新元古代晋宁期(1000~ 800Ma) 发生的主要地质事件和有限的俯冲- 碰撞拼合及震旦纪之后又逐渐开始发生裂解与国外一些地质学家提出的新元古代时期 Rodinia 超大陆的形成和 700~ 570 Ma 期间 Rodinia 超大陆的裂解不谋而合。

**关键词** 秦岭造山带 北秦岭 晋宁期 地质事件 俯冲碰撞

**分类号** P54

## 1 引 言

秦岭造山带是位于中国大陆中部并夹持于华北陆块和扬子陆块之间的大陆造山带, 是中国中央造山带的重要组成部分, 有着长期复杂的演化历史和多阶段多体制的造山过程, 被许多学者认为是加里东期或印支期的俯冲碰撞造山带<sup>[1~ 10]</sup>。近年来秦岭的大地构造研究表明, 在商丹构造带以北的北秦岭广泛存在晋宁期的强烈构造- 岩浆- 变质地质事件。经地质学、地球化学研究证实, 北秦岭主要发育元古宙地质体且是新元古代主体形成的古老造山带。因此, 秦岭造山带中的晋宁期地质事件在造山带的形成与演化过程中有着举足轻重的作用, 并对深入探讨秦岭造山带元古宙的构造体制及其转换过程具有重要的地质意义。研究表明, 晋宁期地质事件应当是中元古代晚期- 新元古代早期北秦岭地块与南秦岭地块俯冲- 碰撞造山作用和新元古代时期 Rodinia 超大陆形成的主要地质事件。本文依据东秦岭商丹地区 1: 5 万填图成果<sup>[11]</sup>, 讨论北秦岭晋宁期主要地质事件及其大地构造背景。

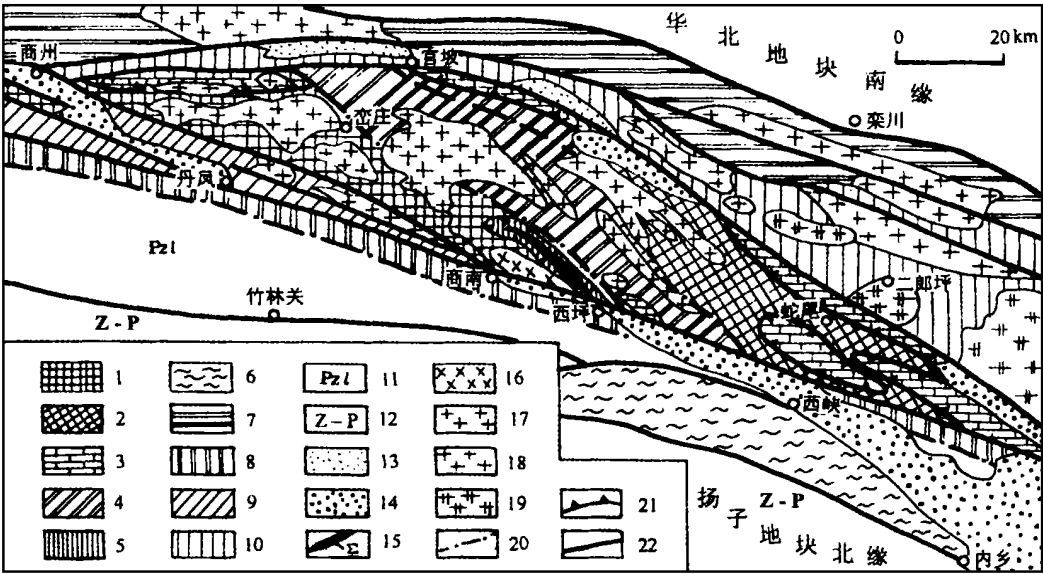
收稿日期: 1999- 04- 09。

\* 原地质矿产部区调填图项目和国家自然科学基金项目(49732008) 资助。

第一作者简介: 裴先治, 男, 36 岁, 西北大学地质学系在读博士生, 西安工程学院资源系副教授。主要从事构造地质学和区域地质学教学与研究。通讯地址: 西安市雁塔路 6 号, 西安工程学院资源系, 邮编 710054。http://www.

2 北秦岭元古宙构造地层单位

通过近年来的区域地质调查和研究,表明北秦岭主要发育元古宙构造岩石地层单位,包括古元古代秦岭杂岩、中元古代峡河岩群、宽坪岩群和武关岩群、中元古代晚期松树沟蛇绿岩构造岩片、新元古代丹凤岩群和二郎坪岩群的下部地层单位等。古生代地层则只有少量分布(图1)。近年来北秦岭元古宙变质地层的同位素年代学研究获得了很大进展<sup>[7,11~21]</sup>,并基本确定了它们的形成时代(表1)。



1. 秦岭杂岩( 沔庄块体- 曹营岩组) (Pt<sub>1</sub>q); 2. 秦岭杂岩( 蛇尾块体- 郭庄岩组) (Pt<sub>1</sub>q); 3. 秦岭杂岩雁岭沟大理岩;  
4. 峡河岩群(Pt<sub>2</sub>x); 5. 松树沟蛇绿岩构造岩片(Pt<sub>2</sub>s); 6. 陡岭杂岩(Pt<sub>1</sub>d); 7. 宽坪岩群(Pt<sub>2</sub>k); 8. 武关岩群(Pt<sub>2</sub>w); 9. 丹凤岩群(Pt<sub>3</sub>d); 10. 二郎坪岩群((Pt<sub>3</sub>- Pt<sub>3</sub>e); 11. 刘岭岩群(Pzl); 12. 震旦系- 二叠系(沉积盖层);  
13. 三叠系; 14. 白垩系; 15. 松树沟超镁铁岩; 16. 富水基性杂岩体; 17. 晋宁期花岗岩; 18. 晚加里东- 早海西期花岗岩; 19. 印支期花岗岩; 20. 构造边界/大型韧性剪切变形带; 21. 推覆构造界面; 22. 区域断裂带

图1 东秦岭商南- 丹凤地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Shangnan- Danfeng area, East Qinling

2.1 古元古代秦岭杂岩

秦岭杂岩构成了北秦岭造山带的古老结晶基底岩系,主体形成于古元古代,同位素年龄介于2 226~ 1 984Ma 之间<sup>[7,13]</sup>(表1),经历了长期复杂的构造变形变质作用的改造。在主要由变质达角闪岩相的区域变质岩组成,原岩建造主体为陆缘碎屑岩夹碳酸盐岩组合中,有大量的变质基性岩墙侵入,多呈构造透镜体产出。对秦岭杂岩变质岩系的岩石地球化学研究表明,其主要形成于陆缘拉张裂陷构造环境<sup>[6~8,11~12]</sup>。同位素年龄数据显示,秦岭杂岩在晋宁期(1 000~ 800Ma)明显受到强烈的变质变形改造<sup>[7,12~13]</sup>。

2.2 中元古代峡河岩群

峡河岩群呈北西西向延展的大型构造岩片夹持于秦岭杂岩中,主要由陆缘碎屑岩、泥灰岩、钙质细碎屑岩夹基性火山岩组成,变质达低角闪岩相。岩石地球化学特征表明,峡河岩群

形成于活动陆缘构造环境<sup>[11]</sup>。其中变质基性火山岩的 Sm- Nd 同位素年龄为 1 605 Ma<sup>[17]</sup>, 形成于中元古代, 并被晋宁期的牛角山花岗岩体、德河花岗岩体和寨根花岗岩体等所侵入。近年来在峡河岩群的北部岩片中发现有高压榴辉岩<sup>[22]</sup>。

表 1 北秦岭主要元古宙构造岩石地层单位的同位素年龄

Table 1 Isotopic data of the Proterozoic tectono-lithostratigraphic units in North Qinling

岩石单位	测定对象	测定方法	年龄值( Ma)	采样地点	资料来源
秦岭杂岩	黑云斜长片麻岩	锆石 U- Pb	2 226 ± <sup>173</sup> <sub>153</sub>	西峡蛇尾	张宗清( 1994)
	黑云斜长片麻岩	单颗粒锆石 Pb- Pb	2 172 ± 5	西峡蛇尾	张宗清( 1994)
	斜长角闪岩	全岩 Sm- Nd 等时线	1 987 ± 49	西峡蛇尾	张宗清( 1994)
	斜长角闪岩	全岩 Sm- Nd 等时线	1 948	丹凤涌峪	张宗清( 1994)
	黑云斜长片麻岩	全岩 Rb- Sr 等时线	996 ± 76	西峡蛇尾	张宗清( 1994)
	黑云角闪斜长片麻岩	单颗粒锆石 Pb- Pb	849. 7 ± 5. 6	内乡板厂	游振东( 1991)
	黑云斜长片麻岩	全岩 Rb- Sr 等时线	990. 68 ± 0. 39	内乡板厂	游振东( 1991)
	角闪黑云斜长片麻岩	锆石 U- Pb	744. 2 ± <sup>7. 1</sup> <sub>6. 7</sub>	商南大河	裴先治( 1994)
	石榴黑云斜长片麻岩	锆石 U- Pb	1 252 ± <sup>126</sup> <sub>96</sub>	丹凤涌峪	张宗清( 1994)
	石榴黑云斜长片麻岩	全岩 Sm- Nd 等时线	1 169 ± 258 <i>T<sub>DM</sub></i> = 1 982 ± 28	丹凤涌峪	张宗清( 1994)
峡河岩群	斜长角闪岩	全岩 Sm- Nd 等时线	978 ± 79	丹凤涌峪	张宗清( 1994)
	斜长角闪岩	全岩 Sm- Nd 等时线	1 605 ± 76	卢氏大牌楼沟	裴先治( 1996)
武关岩群	斜长黑云钙质片岩	全岩 Rb- Sr 等时线	973 ± 34	西峡寨根南界牌	游振东( 1991)
宽坪岩群	斜长角闪岩	全岩 Sm- Nd 等时线	1 382 ± 30	丹凤武关 鱼嘴	裴先治( 1997)
	绿片岩	全岩 Sm- Nd 等时线	986 ± 169	商县北宽坪	张宗清( 1994)
松树沟	斜长角闪岩	全岩 Sm- Nd 等时线	1 142 ± 18	洛南马河	张宗清( 1994)
	变质基性熔岩	单颗粒锆石 U- Pb	1 827 ± 11	商县板桥	李靠社( 1996)
蛇绿岩片	石榴斜长角闪岩	全岩- 矿物 Sm- Nd 等时线	983 ± 140	商南松树沟	李曙光( 1991)
丹凤岩群	斜长角闪岩	全岩 Sm- Nd 等时线	1 030 ± 46	商南松树沟	董云鹏( 1997)
	变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	825 ± 27	丹凤武关彭家沟	裴先治( 1997)
	变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	914~ 1 015	丹凤郭家沟	张国伟( 1995)
	变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	949 ± 30	周至黑河	张宗清( 1997)
	斜长角闪岩	全岩 Rb- Sr 等时线	858 ± 18	天水李子园	张维吉( 1993)
	变质基性岩	全岩 Sm- Nd 等时线	973. 9 ± 85. 9	丹凤郭家沟	姜常义( 1998)
	变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	708 ± 63	南召乔端青石峡	张宗清( 1994)
二郎坪群 ( 下部)	变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	822 ± 80	西峡长探河	张宗清( 1994)
	变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	948 ± 67	西峡龙潭	张宗清( 1997)
	变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	847 ± 198	眉县铜峪	张宗清( 1994)
	变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线			

2 3 中元古代宽坪岩群

宽坪岩群南北以构造边界断裂带为界分别与南侧的二郎坪岩群和华北地块南缘的陶湾岩群相邻, 下部主要由绿片岩和斜长角闪岩组成, 原岩为基性火山岩; 中部由云母石英片岩组成, 原岩为陆缘碎屑岩; 上部由黑云母大理岩夹斜长角闪岩等组成, 原岩为泥砂质碳酸盐岩夹基性火山岩。变质达低绿片岩相至低角闪岩相。其中变质基性火山岩的岩石地球化学显示为具 MORB 特征的拉斑玄武岩, 为宽坪蛇绿岩的组成部分, 形成于华北地块与北秦岭地块之间的弧后扩张的小洋盆环境<sup>[6, 8, 23]</sup>。同位素年龄资料显示( 表 1), 宽坪岩群主体形成于中元古代<sup>[6, 7, 13]</sup>。

2 4 中元古代武关岩群

武关岩群位于商丹构造带内, 是在原泥盆系刘岭群北部解体出来并新建立的构造岩石地层单位<sup>[11, 18, 19, 24]</sup>, 其组成与北侧的丹凤岩群和南侧的刘岭岩群明显不同。该群原岩主体为陆缘碎屑岩、泥质岩夹碳酸盐岩、基性火山岩组合, 变质达低角闪岩相。其中的变质基性火山岩 Sm- Nd 等时年龄为 1 382 Ma<sup>[18, 19]</sup>( 表 1), 岩石地球化学特征显示为板内拉斑玄武岩, 表明武关岩群形成于中元古代晚期( 1 400~ 1 000 Ma) 的拉张裂谷构造环境<sup>[11, 18, 24]</sup>。

## 2.5 中元古代晚期松树沟蛇绿岩构造岩片

松树沟蛇绿岩以构造关系叠置于古元古界秦岭杂岩之上,主要由两个岩石单元组成:①超镁铁岩(变质橄榄岩和堆晶橄榄岩),岩石类型以纯橄岩、纯橄质糜棱岩为主体,次为方辉橄榄岩、中粗粒纯橄岩。②镁铁质岩,主要为斜长角闪岩、眼球状斜长角闪岩及少量榴闪岩、角闪岩、石榴辉石岩等<sup>[11, 15, 25, 26]</sup>,原岩主要是基性火山岩,岩石地球化学特征表明基性火山岩属于 MORB 型拉斑玄武岩,成分类似于 E-MORB 与 OIB 的过渡类型或 T-MORB 与 E-MORB 之间,暗示松树沟蛇绿岩形成于初始裂谷或小洋盆构造环境<sup>[11, 25, 26]</sup>。斜长角闪岩的全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 1 030 Ma<sup>[16]</sup>和榴闪岩全岩-矿物 Sm-Nd 等时线年龄为 983 Ma<sup>[15]</sup>,表明蛇绿岩形成于中元古代晚期,并在晋宁期构造就位,同时发生高压榴辉岩相变质作用<sup>[27]</sup>。近年来在松树沟地区还发现有高压基性麻粒岩和长英质麻粒岩<sup>[28]</sup>。

## 2.6 新元古代丹凤岩群

丹凤岩群位于北秦岭南缘的商丹构造带中,主要由变质火山岩夹碎屑岩等组成。对它的组成、性质及时代还有不同认识。有的学者认为丹凤岩群是蛇绿岩<sup>[3~5, 9~10]</sup>,有些学者认为非蛇绿岩,而是岛弧火山岩<sup>[11, 20, 29~32]</sup>;在时代方面有的认为属早古生代<sup>[3~5, 9, 10, 29~30]</sup>,有的认为属新元古代<sup>[11, 20, 31]</sup>或新元古代—早古生代<sup>[13, 14, 32]</sup>。商丹地区的 1:5 万填图表明,原丹凤群中包含有很多强烈变形变质的中基性侵入岩和中酸性侵入岩,将这些侵入岩解体出去后,所余部分为丹凤岩群,主要由变质中基性火山岩夹沉积岩组成<sup>[11]</sup>。变质火山岩的岩石地球化学特征表明主要是钙碱性系列岛弧玄武岩,部分为岛弧拉斑玄武岩,形成于新元古代的岛弧或洋内岛弧构造环境<sup>[11, 29~32]</sup>。新近获得的基性火山岩的同位素年代学资料证实(表 1),丹凤岩群主体时代为新元古代(1 015~825 Ma)<sup>[11, 13, 14, 20]</sup>,先前获得的变质玄武岩全岩 Rb-Sr 等时年龄  $448 \pm 42 \text{ Ma}$ <sup>[3]</sup>、 $383 \pm 13 \text{ Ma}$ <sup>[7]</sup>可能代表了丹凤岩群的变质年龄。

## 2.7 新元古代二郎坪岩群的下部地层单位

广义的二郎坪岩群自下而上(自北而南)分为大庙组、火神庙组、小寨组和子母沟组,地层时代和层序划分尚有不同认识,时代上有早古生代、新元古代—早古生代和新元古代三种意见。已有的研究结果显示,二郎坪岩群各岩组之间均呈构造接触关系,实为不同时代、不同环境的构造岩片的叠置组合体,且各岩组在岩石组合、变质程度和构造变形等方面均有明显差异<sup>[6]</sup>。大庙组主要由碎屑岩夹碳酸盐岩组成;火神庙组主要以基性火山岩为主,夹含放射虫硅质岩;小寨组主要为变质较深的云母片岩(变质泥质碎屑岩),夹含变质基性火山岩;子母沟组实为一套构造混杂岩带<sup>[6, 12, 33]</sup>。近年来同位素年代学研究显示(表 1),二郎坪岩群中下部枕状基性熔岩 Sm-Nd 等时年龄为  $948 \pm 67 \text{ Ma}$ <sup>[13, 14]</sup>、 $708 \pm 63 \text{ Ma}$ 、 $822 \pm 80 \text{ Ma}$ <sup>[7, 14]</sup>,而上部基性火山岩夹含黑色硅质岩(与下部火山岩未见直接接触关系)中的火山岩 Sm-Nd 等时年龄为  $523 \text{ Ma}$ <sup>[14]</sup>。在硅质岩中曾采到时代属早中奥陶世的放射虫、牙形石和海绵骨针等化石<sup>[6, 14, 33]</sup>。这表明,现在的二郎坪岩群(及斜峪关群)下部包含有新元古代变质火山—沉积地层(表 1),部分基性火山岩具蛇绿岩性质<sup>[6, 14, 33]</sup>。

# 3 北秦岭晋宁期主要地质事件

## 3.1 构造岩浆事件

新元古代早期的构造—火山活动主要表现为丹凤岩群岛弧钙碱性基性火山岩(1 015~825 Ma)和二郎坪岩群下部部分具蛇绿岩性质的弧后拉张盆地型基性火山岩(945~822 Ma)的

形成,反映了新元古代初期以松树沟蛇绿岩为代表的小洋盆向北秦岭俯冲作用的存在。晋宁期的深成构造岩浆侵入活动表现为北秦岭商丹构造带北侧的富水基性杂岩体、郭家沟和舒家院中基性侵入岩体、吊庄石英闪长岩体(?)、商南花岗岩体<sup>[11,34]</sup>和峡河岩群中的牛角山花岗岩体<sup>[21]</sup>、寨根花岗岩体、德河花岗岩体<sup>[12]</sup>以及丹凤地区的蔡凹花岗岩体、黄柏峪花岗岩体<sup>[8,35]</sup>等的侵位(表2)。

表2 北秦岭晋宁期主要变质侵入岩体的同位素年龄

Table 2 Isotopic data of the meta-intrusive rocks of Jinning period from North Qinling

主要侵入岩体	测定对象	测定方法	年龄值( Ma)	采样地点	资料来源
富水基性杂岩体	变辉长岩	全岩 Rb- Sr 等时线	761±87	商南松树沟	南京大学(1988)
郭家沟基性侵入岩	变辉长岩	全岩 Sm- Nd 等时线	974±86	丹凤郭家沟	姜常义(1998)
舒家院中基性杂岩体	变辉长岩	全岩 Sm- Nd 等时线	506.92±26.92	丹凤武关彭家沟	裴先治(1997)
商南花岗岩体	花岗闪长岩	单颗粒锆石 Pb- Pb	889±22	商南五狼沟	裴先治(1996)
牛角山花岗岩体	二长花岗岩	锆石 U- Pb	959±4	卢氏狮子坪黄伯沟	王涛(1998)
寨根花岗岩体	二长花岗岩	锆石 U- Pb	821	西峡寨根	陈瑞保(1993)
德河花岗岩体	二长花岗岩	全岩 Rb- Sr 等时线	794±32	西峡寨根德河	游振东(1991)
	二长花岗岩	全岩 Sm- Nd 等时线	1156	西峡寨根德河	张宗清(1998)
蔡凹花岗岩体	花岗闪长岩	全岩 Rb- Sr 等时线	659±50	丹凤蔡凹	张本仁(1990)
黄柏峪花岗岩体	花岗闪长岩	全岩 Rb- Sr 等时线	670±40	丹凤黄柏峪	张宏飞(1993)

富水基性杂岩体侵位于商丹构造带北侧的秦岭杂岩中,主要由辉石岩、细粒暗色辉长岩、中粒辉长岩、淡色辉长闪长岩等组成,且均已发生变质作用。其中辉长岩、辉长闪长岩的岩石学和地球化学特征表明,辉长岩为拉斑玄武岩系列,辉长闪长岩属钙碱性系列,总体与岛弧钙碱性玄武岩相似,形成于岛弧构造环境<sup>[11,34]</sup>。郭家沟和舒家院中基性侵入岩体位于商丹构造带内的丹凤岩群分布区,且已发生强烈的变形变质,多变为辉长质糜棱岩,呈狭长条带状展布,主要由变辉长岩、变辉长闪长岩和少量的闪长岩、辉石岩包体等组成,岩石地球化学特征显示主要属钙碱性系列,与岛弧钙碱性玄武岩的成分类似,形成于岛弧构造环境<sup>[11,20]</sup>。吊庄石英闪长岩体也是位于商丹构造带中,呈线状展布并经过强烈变形变质作用改造的中酸性侵入岩体,现已变为石英闪长质糜棱岩,岩石地球化学特征显示其成分与岛弧花岗岩相当,成因类型为I型花岗岩,形成于岛弧构造环境<sup>[11]</sup>。

商南和蔡凹、黄柏峪花岗岩体同属岛弧型花岗岩类<sup>[11,35]</sup>,岩石类型均以花岗闪长岩为主体,并普遍发育片麻状构造。岩石地球化学特征显示为钙碱性系列、I型或I—S过渡型花岗岩或H型花岗岩类,成岩物质来源于壳幔混合源,形成于新元古代早期与北秦岭晋宁期活动大陆边缘俯冲造山作用有关的古岛弧构造环境,且在空间分布上主要位于北秦岭古岛弧基底的南侧。

牛角山、德河、寨根花岗岩体同属碰撞型花岗岩类<sup>[11,12,21]</sup>,形态多呈北西西向带状展布,侵位于中元古代峡河岩群中。其岩石类型主要为似斑状黑云母二长花岗岩,普遍发育强的片麻状构造和眼球状构造,岩石地球化学特征显示为过铝质的钙碱性系列岩石,属S型或同碰撞花岗岩,成岩物质来源于地壳,与晋宁期北秦岭活动大陆边缘的俯冲—碰撞作用密切相关,且在空间分布上位于前述岛弧型花岗岩带北侧,构成明显的地球化学成分极性。

3.2 蛇绿岩构造侵位事件

形成于中元古代晚期的松树沟蛇绿岩在晋宁期发生构造就位和变质变形作用,可以榴闪岩全岩—矿物 Sm- Nd 等时年龄  $983 \pm 140 \text{ Ma}$ <sup>[15]</sup>为依据。该蛇绿岩呈外来构造岩片形式叠覆

于秦岭杂岩变质岩系之上,核部为超镁铁岩,周边为镁铁质岩(变质基性火山岩)并与秦岭杂岩不同构造岩层单位以构造关系相接触,表现为宽几十米至近百米的强变形韧性剪切带。南部边界总体北倾,多发育长英质构造片(麻)岩带,运动学特征指示为一自南而北正向剪切的深层次韧性剪切界面,拉伸线理北倾向东侧伏;北部边界总体南倾,常在镁铁质岩中裹入大理岩等构造岩块,并具有强烈的塑性流变特征,运动学特征指示为一自南而北逆冲的韧性剪切界面,拉伸线理南倾并向西侧伏。因此,根据蛇绿岩片南北两侧构造边界的几何学和运动学特征,结合蛇绿岩中发育的矿物拉伸线理指示的运动方向,松树沟蛇绿岩应是晋宁期自南南西向北北东方向深层次逆冲推覆至秦岭杂岩不同岩石单位之上的异地蛇绿岩构造岩片。其构造界面因后期构造改造发生显著的构造变位而呈“向形”形态。

松树沟蛇绿岩在晋宁期俯冲—碰撞过程中还发生了高压变质作用。早期阶段形成榴闪岩,其矿物组合为石榴石+普通角闪石±单斜辉石±金红石+石英,石榴石以铁铝榴石为主,与C类榴辉岩中的石榴石成分相近,变质条件相当于高压绿帘角闪岩与榴辉岩相的过渡条件,压力 $p = 1.0 \sim 1.2 \text{ GPa}$ ,温度 $t \approx 600^\circ\text{C}$ <sup>[27]</sup>,其 $p-t$ 路径应是压力相对温度显著增加的进变质轨迹,反映了变质地体快速加载俯冲并发生高压变质作用。晚期为退变质绿帘角闪岩相阶段,表现为在石榴石变斑晶边上发育有以斜长石+角闪石+绿帘石/黝帘石+石英±黑云母±钛铁矿为主要组成矿物的反应边或冠状后成合晶集合体,石榴石不断分解,形成“红心白边”状眼球体,并强烈压扁拉长呈定向排列。这种石榴石形成冠状后成合晶集合体的分解反应是典型的降压反应过程,其温度压力条件为: $p = 0.8 \sim 0.5 \text{ GPa}$ , $t = 600^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ <sup>[27]</sup>, $p-t$ 路径应是压力相对温度显著降低的退变质轨迹,表明了变质地体从地壳深部快速推覆上隆抬升机制的存在。此外,刘良等在松树沟蛇绿岩南侧还发现有高压基性麻粒岩,其矿物组合为石榴石+单斜辉石+斜长石+斜方辉石+石英+角闪石<sup>[28]</sup>。显然,以松树沟变质基性岩—超镁铁岩为代表的有限小洋盆蛇绿岩残片在晋宁期曾发生过俯冲碰撞作用,并在俯冲变质过程中产生了高压变质的榴闪岩和基性麻粒岩。

### 3.3 构造变质事件

已有的同位素年龄资料显示,在北秦岭的秦岭杂岩和峡河岩群、宽坪岩群中广泛存在晋宁期的强烈变质事件(表1)。秦岭杂岩为角闪岩相变质岩,局部伴有部分重熔和花岗质岩浆的侵入活动,主变质期为晋宁期(996~744Ma),加里东期有过强烈改造。秦岭杂岩的特征变质矿物表明,在商丹地区存在由西向东、变质级逐渐降低的角闪岩相区域变质带<sup>[11]</sup>:①矽线石—钾长石变质带,分布于商南曹营以西地区,属高角闪岩相区域热流变质作用,其特征是泥质—长英质变质岩中出现矽线石+钾长石矿物组合,典型矿物组合为矽线石+石榴石+黑云母+斜长石+钾长石+石英,估算的峰期变质温压条件为 $p = 0.789 \text{ GPa}$ , $t = 725^\circ\text{C}$ ;②矽线石—白云母变质带,分布于商南曹营以东地区,属低角闪岩相变质作用或低角闪岩相的高温部分,其特征是泥质—长英质变质岩中出现矽线石+白云母矿物组合,典型矿物组合为矽线石+石榴石+黑云母+白云母+斜长石+石英±石墨,估算的变质温压条件为 $p = 0.643 \sim 0.703 \text{ GPa}$ , $t = 657^\circ\text{C} \sim 663^\circ\text{C}$ 。秦岭杂岩区域变质带的这种展布特征明显受到晚加里东—早海西期平行造山带走向的同构造伸展—斜向挤出抬升的影响和控制<sup>[11]</sup>。

峡河岩群是一套低角闪岩相变质岩,主变质期为晋宁期(973Ma)<sup>[12]</sup>,同时伴随有晋宁期牛角山、德河、寨根等S型花岗岩的侵入活动(959~794Ma)(表2)。其北部白云母石英片岩中的高压榴辉岩岩块也可能是晋宁期形成的<sup>[22]</sup>。如上所述,松树沟蛇绿岩也于晋宁期发生高压

变质作用(983Ma)<sup>[15]</sup>, 形成榴闪岩和高压基性麻粒岩<sup>[27,28]</sup>。宽坪岩群主变质期也为晋宁期<sup>[6]</sup>, 变质程度由低绿片岩相到低角闪岩相; 高绿片岩相和低角闪岩相是在低绿片岩相基础上递进变质的结果。根据石榴石环带成分估算的晋宁期变质作用的 P-T-t 轨迹表现为顺时针特点, 可能反映了小洋盆俯冲阶段的动力学特点<sup>[6]</sup>。

3.4 构造变形事件

北秦岭晋宁期的构造变形事件主要表现为元古宙各构造岩石地层单位之间发生强烈的构造叠置和深层次韧性变形, 使各单位之间均以构造关系相分隔, 基本奠定了北秦岭构造岩片叠置、条块镶嵌的构造格局。在商丹地区, 秦岭杂岩以北西西向的牌楼沟韧性剪切变形带向北逆冲于峡河岩群之上, 丹凤岩群以北西西向的粮食沟韧性剪切带向北逆冲于秦岭杂岩之上, 武关岩群也构造拼贴于商丹构造带中, 松树沟蛇绿岩片韧性逆冲推覆于秦岭杂岩之上。各地质体内部也产生不同尺度、不同样式的褶皱构造和韧性变形带。当然, 晋宁期的变形构造大多又遭受到晚加里东—早海西期和晚海西—印支期构造变形的强烈叠加和改造。

3.5 地壳增生事件

张宏飞等<sup>[36]</sup>通过对北秦岭地区的秦岭杂岩、宽坪岩群、松树沟蛇绿岩、二郎坪岩群(斜峪关群)和侵入岩类等各种岩类年龄的统计研究, Nd 同位素模式年龄分布于 900~2400Ma 之间, 表明北秦岭地壳主要形成于元古宙, 而 900Ma 之后没有明显大规模新生地壳形成。各种岩类在 Nd 模式年龄分布图上出现 2050 Ma、1400Ma 和 1050Ma 三个明显的峰值, 可能代表了北秦岭地壳的三个主要增生时期<sup>[36]</sup>。

表 3 中的资料显示了这种特点, 即北秦岭变质基性岩的模式年龄  $T_{DM}$  主要集中在 1800~2000Ma、1400Ma 和 1000~1100Ma 三个时期, 其中 1800~2000Ma 的地壳增生事件主要反映北秦岭地壳的早期裂陷增生活动(如秦岭杂岩和峡河岩群)。1400Ma 左右的模式年龄反映的是北秦岭地壳的强烈增生时期, 结合各变质岩群变质基性火山岩的地球化学特征及区域地质背景分析, 表明这一时期是北秦岭地壳由于拉张裂陷而产生强烈的地壳垂向加积增生; 北秦

表 3 北秦岭主要地质体中变质基性火山岩、中基性侵入岩的 Sm-Nd 年龄、 $\epsilon_{Nd}(t)$  和  $T_{DM}$

Table 3 The isotopic data,  $\epsilon_{Nd}(t)$  and  $T_{DM}$  of meta-basic volcanic and intrusive rocks of the main geological units in the North Qinling

主要地质体	同位素年龄(Ma)	样品数	$T_{DM}$ (Ma)	$\epsilon_{Nd}(t)$	资料来源
秦岭杂岩	1987	8	2000	+ 7.30	张宗清(1994)
峡河岩群	1605	4	1780	+ 5.34	裴先治(1996)
武关岩群	1382	5	1425~1431	+ 6.51	裴先治(1997)
宽坪岩群	1142	7	1410~1450	+ 6.80	张宗清(1994)
松树沟蛇绿岩	1030	5	1420~1370	+ 5.52	董云鹏(1997)
	983	1	1090	+ 6.80	李曙光(1991)
丹凤岩群	1000~900	10	1000~1100	+ 5.40~+ 7.30	张旗(1995)
	825	5	988~1096	+ 6.45	裴先治(1997)
二郎坪岩群	822	2	1040~1090	+ 6.30	张宗清(1994)
富水基性杂岩体	800	6	1400~1490	- 1.23	裴先治(1997)
舒家院中基性杂岩体	800	6	1350~1560	+ 4.51	裴先治(1997)

岭地壳拉张产生裂谷—小洋盆构造环境, 使大量幔源物质添加到地壳中, 如宽坪岩群、武关岩群、松树沟蛇绿岩以及商丹构造带沿线的基性侵入杂岩体等。而 1000~1100Ma 的模式年龄主要反映在丹凤岩群、二郎坪岩群(分别代表晋宁期的岛弧和弧后盆地)和松树沟榴闪岩<sup>[15]</sup>以及古生代的花岗岩<sup>[36]</sup>中, 显然也是北秦岭又一次重要的地壳增生时期。结合商丹构造带北侧

已揭示出的大量晋宁期(1000~800Ma)的构造岩浆侵入活动及北秦岭各变质岩群中强烈的构造变质变形作用,表明这一时期是北秦岭具现代板块构造体制的沟弧盆系活动大陆边缘因古秦岭洋壳的俯冲—碰撞造山作用造成的地壳侧向增生事件,并导致北秦岭地壳的主体基本形成。

#### 4 北秦岭晋宁期大地构造背景探讨

由上述资料可以看出,北秦岭在新元古代早期的晋宁期发生了强烈的岩浆活动、变质作用、构造变动等地质作用和地壳增生。同时也表明,北秦岭地壳是以元古宙变质地层为主体。由于北秦岭在晋宁期以后的晚加里东—早海西期、晚海西—印支期又经历过强烈的地质作用的叠加和改造,所以对晋宁期强烈地质事件的大地构造背景还存在不同的认识。通过对北秦岭元古宙构造岩石地层单位的岩石组合、原岩建造、岩石地球化学特征、同位素年代学、变质作用与演化、构造变形及变形序列和大地构造背景的研究,可以推论古元古代秦岭杂岩构成了北秦岭的结晶基底杂岩,峡河岩群、宽坪岩群及武关岩群是中元古代大陆裂谷构造体制下形成的裂谷—小洋盆环境的构造岩石组合,至中元古代晚期出现以松树沟蛇绿岩为代表的古秦岭有限小洋盆。新元古代初期,古秦岭小洋盆向北发生俯冲造山作用,形成了新元古代早期的丹凤岩群岛弧型火山岩系和二郎坪岩群(包括斜峪关群)下部弧后拉张盆地型基性火山岩系,北秦岭南带的晋宁期岛弧型基性杂岩体, I 型或岛弧型花岗岩类和北带的 S 型或同碰撞型花岗岩类,松树沟蛇绿岩残片构造就位并发生高压变质作用,北秦岭元古宙地层发生主期变质作用和强烈的构造变形、构造叠置拼贴。这标志着北秦岭在晋宁期已从中元古代的大陆拉张裂谷构造体制转换为以板块构造为主导性构造体制,并发育有沟弧盆系活动大陆边缘,即晋宁期是北秦岭乃至秦岭造山带元古宙构造体制的重大转变时期,而且晋宁期的地质事件基本上奠定了北秦岭造山带的基本构造格架。

由上述可知,古秦岭小洋盆在晋宁期曾向北秦岭微地块之下发生过俯冲造山作用,但是否发生北秦岭微地块与扬子地块的俯冲碰撞还存在争论。从区域地质背景分析,至少可以认为北秦岭微地块与古秦岭小洋盆南侧的“中秦岭微地块”(主要由晚太古—古元古代陡岭杂岩、古元古代佛坪杂岩、小磨岭杂岩等组成)之间发生了俯冲碰撞作用;而“中秦岭微地块”以南的扬子地块北缘在晋宁期是在中元古代武当山岩群基底之上发育了新元古代早期的耀岭河群大陆裂谷火山岩系,其上的震旦系—古生界被动大陆边缘型沉积盖层在“中秦岭微地块”以北地区并未发育。因此,晋宁期的地质事件可能并不代表扬子地块和华北地块之间的直接碰撞拼合,而是具扬子地块基底特征的“中秦岭微地块”与北秦岭微地块或华北地块之间的俯冲碰撞拼合,也可能是扬子、“中秦岭”、北秦岭、华北地块之间的松散拼合。震旦纪之后又逐渐开始发生大陆裂解,进入显生宙构造演化阶段。

显然,上述秦岭造山带新元古代晋宁期(1000~800Ma)发生的主要地质事件和有限的俯冲—碰撞拼合及震旦纪之后又逐渐开始发生裂解,与国外一些地质学家提出的新元古代时期 Rodinia 超大陆的形成和 700~570 Ma 期间 Rodinia 超大陆裂解<sup>[37~40]</sup>的认识不谋而合。有关新元古代时期超大陆的形成和裂解模式或假说的研究是当前国际地学界关于前寒武纪大地构造格局重建、古地理再造最重要的热点问题之一。中国大陆中的几个地块(华北、扬子、华夏、塔里木等地块)在新元古代时期全球大陆经历聚合和裂解的过程中到底处于 Rodinia 超大陆中的何种位置以及是否存在新元古代时期的聚合和裂解作用,显然是今后需要重视和研究的



前沿领域,尤其是这几个地块之间的造山带中前寒武纪地质历史和新元古代地质事件的研究对认识中国大陆中元古代晚期—新元古代的地质历史、古构造和古地理格局具有十分重要的意义。

## 参 考 文 献

- 1 Mattauter M, Matte P H, Malavieilla J, et al. Tectonics of Qinling Belt: Build-up and evolution of Eastern Asia. *Nature*, 1985, 317: 496~ 500
- 2 Hsu K J, Wang Q, Li J, et al. Tectonic evolution of Qinling Mountains, China. *Edogae Geol Helv*, 1987, 80: 735~ 752
- 3 张国伟. 秦岭造山带的形成及其演化. 西安: 西北大学出版社, 1988. 1~ 74
- 4 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 张治洮. 东秦岭复合山链的形成——变形、演化及板块动力学. 北京: 中国环境科学出版社, 1988. 149~ 154
- 5 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 刘志刚, 刘凤仁. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社, 1990. 58~ 66
- 6 刘国惠, 张寿广, 游振东, 等. 秦岭造山带主要变质岩群及其变质演化. 北京: 地质出版社, 1993. 26~ 84
- 7 张宗清, 刘敦一, 付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京: 地质出版社, 1994. 8~ 108, 145~ 161
- 8 张本仁. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. 75~ 190
- 9 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义. *岩石学报*, 1995, 11(2): 101~ 114
- 10 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. *中国科学(D 辑)*, 1996, 26(3): 195~ 200
- 11 裴先治. 东秦岭商丹构造带的组成与构造演化. 西安: 西安地图出版社, 1997. 1~ 184
- 12 游振东, 索书田. 造山带核部杂岩变质过程与构造解析——以东秦岭为例. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 166~ 216
- 13 张宗清, 张国伟, 付国民, 等. 秦岭变质地层年龄及其构造意义. *中国科学(D 辑)*, 1996, 26(3): 216~ 222
- 14 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 等. 秦岭蛇绿岩的年龄: 同位素年代学和古生物证据, 矛盾及其理解. 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996. 146~ 149
- 15 李曙光, 陈移之, 张国伟, 等. 一个距今 10 亿年侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体——北秦岭晚元古代板块构造体制的证据. *地质论评*, 1991, 37(3): 235~ 241
- 16 董云鹏, 周鼎武. 东秦岭松树沟蛇绿岩 Sm-Nd 同位素年龄的地质意义. *中国区域地质*, 1997, 16(3): 217~ 221
- 17 裴先治, 张维吉, 王全庆, 等. 北秦岭东段峡河岩群中斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素年龄. *中国区域地质*, 1996, 15(2): 131~ 134
- 18 裴先治, 李厚民, 李国光, 等. 东秦岭商丹断裂带南侧变质基性火山岩的时代和岩石地球化学特征. *西北地质科学*, 1996, 16(2): 49~ 57
- 19 裴先治, 李厚民, 李国光, 等. 东秦岭“武关岩群”斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义. *中国区域地质*, 1997, 16(1): 38~ 42
- 20 姜常义, 赵太平, 苏生瑞, 等. 北秦岭侵入岩带与晋宁运动. 北京: 地质出版社, 1998. 21~ 97
- 21 王涛, 李伍平, 王晓霞. 秦岭杂岩牛角山花岗岩质片麻岩体锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义. *中国区*

域地质, 1998, 17(3): 262~ 265

- 22 胡能高, 赵东林, 徐柏青, 等. 北秦岭官坡地区高压超高压榴辉岩岩相学及变质作用研究. 矿物岩石, 1995, 15(4): 1~ 9
- 23 张宗清, 张 旗. 北秦岭晚元古代宽坪蛇绿岩中变质基性火山岩的地球化学特征. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 165~ 177
- 24 裴先治, 李厚民, 李国光, 等. 东秦岭武关岩群的组成特征及其大地构造意义. 西安工程学院学报, 1998, 20(1): 1~ 8
- 25 周鼎武, 张泽军, 董云鹏, 等. 东秦岭商南松树沟元古宙蛇绿岩片的地质地球化学特征. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 154~ 164
- 26 裴先治, 张维吉, 王全庆. 北秦岭松树沟蛇绿岩的地质地球化学特征及其形成环境. 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996. 158~ 162
- 27 Chen N S, Yang Y, Zhou H W. High pressure metamorphism of garnet-amphibole rocks from Songshugou Area, eastern Qinling mountain and its tectonic implication. Journal of China University of Geosciences, 1993, 14(1): 36~ 45
- 28 刘 良, 周鼎武. 东秦岭商南松树沟高压基性麻粒岩的发现及初步研究. 科学通报, 1994, 39(17): 1599~ 1601
- 29 薛 锋, 张国伟. 秦岭造山带丹凤变质岛弧火山岩系的岩石组合与地球化学特征. 地球化学, 1993, 22(1): 80~ 92
- 30 张成立, 周鼎武, 韩 松. 陕西商州地区丹凤变质火山岩的地球化学特征. 地质科学, 1994, 29(4): 384~ 392
- 31 张 旗, 张宗清, 孙 勇, 等. 陕西商县—丹凤地区丹凤群变质玄武岩的微量元素和同位素地球化学. 岩石学报, 1995, 11(1): 43~ 54
- 32 张本仁, 欧阳建平, 韩吟文, 等. 北秦岭古聚合带壳幔再循环. 地球科学, 1996, 21(5): 469~ 475
- 33 孙 勇, 卢欣祥, 韩 松, 等. 北秦岭早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学. 中国科学(D 辑), 1996, 26(增刊): 49~ 55
- 34 裴先治, 李厚民, 李国光, 等. 北秦岭富水基性杂岩体岩石谱系单位划分及演化. 中国区域地质, 1997, 16(3): 231~ 238
- 35 张宏飞, 张本仁, 骆庭川. 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, 1993, 18(2): 194~ 201
- 36 张宏飞, 赵志丹, 骆庭川, 张本仁. 从 Sm-Nd 同位素模式年龄论北秦岭地壳增生和地壳深部性质. 岩石学报, 1995, 11(2): 160~ 170
- 37 Hoffman P E. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside out? Science, 1993, 252: 1409~ 1412
- 38 Morris E M. Southwest U. S.-East Antarctic (SWEAT) connection: A hypothesis. Geology, 1991, 19: 425~ 428
- 39 Dalziel L W D. Pacific margin of Laurentia and east Antarctica-Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implication. Geology, 1991, 19: 598~ 601
- 40 Dalziel L W D. Neoproterozoic-Paleozoic geography and tectonics: Review, hypothesis, environmental speculation. Geol Society Amer Bull, 1997, 109(1): 16~ 42

# MAJOR GEOLOGICAL EVENTS OF JINNING PERIOD AND THEIR TECTONIC SETTINGS IN THE NORTH QINLING

Pei Xianzhi<sup>1,2</sup> Wang Tao<sup>1,2</sup> Wang Yang<sup>2</sup> Li Houmin<sup>2</sup> Li Guoguang<sup>2</sup>

(1 *Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069*

2 *Xi'an Engineering University, Xi'an, 710054*)

**Abstract:** The Proterozoic tectono-lithostratigraphic units in the North Qinling orogenic belt mainly include the Qinling complex of Paleoproterozoic, the Xiahe Group, Kuanping Group and Wuguan Group of the Mesoproterozoic, Songshugou ophiolite tectonic slice of the Late Mesoproterozoic, the Danfeng Group and lower part lithostratigraphic units of the Neoproterozoic Erlangping Group. The Qinling complex belongs to metamorphic crystalline basement (2226~1984Ma) of the North Qinling orogenic belt. The Xiahe Group (1605Ma), Kuanping Group (1827~1142Ma) and Wuguan Group (1382Ma) were respectively formed in the tectonic settings of the active continent margin, back-arc small ocean basin and continent rift in the Mesoproterozoic. The Songshugou ophiolite was formed in small ocean basin of the late Mesoproterozoic. The Danfeng Group (973~825Ma) and lower part of the Erlangping Group (948~708Ma) were formed respectively in the tectonic settings of the island-arc and back-arc basin in the Neoproterozoic. Strong tectono-magmatic-metamorphic geological events of the Jinning period (1000~800Ma) occurred widely in the North Qinling, which include island-arc type basic-intermediate basic and granitic magmatism, collision type granitic magmatism, tectonic emplacement of the Songshugou ophiolite, regional and high-pressure metamorphism of the meta-geological bodies during main metamorphic stage (996~744Ma), strong structural deformation and tectonic superimposition, as well as intensive crust accretion. These geological events indicate that main body of the North Qinling was an ancient orogenic belt formed during the Neoproterozoic. Although these events may not suggest a direct subduction-collision integrating between the Yangtze block and North China block, they are evidences for a subduction-collision integrating between "the Middle Qinling micro-blocks" with characteristics of the Yangtze block basement and the North Qinling micro-block or the North China block. The continent breakup happened after the Sinian period in the Qinling region, which marked the beginning of the Phanerozoic tectonic evolution stages. The major geological events of Jinning period (1000~800Ma) and the tectonic history after the Sinian period in the Qinling orogenic belt are coincidence with the formation of the Rodinia supercontinent during the Neoproterozoic and breakup of the Rodinia supercontinent during 700~570Ma as suggested by some geologists.

**Key words:** Qinling orogen, North Qinling, Jinning period, geological events, subduction-collision, tectonic settings