

# 北秦岭晋宁期中酸性侵入岩带 地球化学特征与构造环境

杨 吉

(长安大学 地球科学与国土资源学院 陕西 西安 710054)

[摘要] 北秦岭侵入岩带中的中酸性侵入岩主要形成于晋宁旋回的中晚期阶段。主要岩石类型包括辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩、花岗岩和钾长花岗岩。岩石化学、稀土元素和微量元素地球化学研究证明,这些岩石主要形成于B型俯冲和碰撞造山的构造环境中,而钾长花岗岩形成于后造山的伸展阶段。据此,该侵入岩带揭示了北秦岭褶皱带在晋宁旋回中晚期阶段的演化过程。

[关键词] 晋宁期;中酸性侵入岩带;地球化学;构造环境;北秦岭

[中图分类号] P588.24 P597.3 [文献标识码] A [文章编号] 1007-9955(2003)03-0016-05

[作者简介] 杨吉(1958-),女,山东潍坊人,工程师,现从事岩矿、珠宝教学与实验研究工作。

## 1 北秦岭侵入岩带的空间展布

北秦岭晋宁期中酸性侵入带东起南阳盆地西缘,西至陕甘交界。岩带—东岳庙段、高桥—商南段、庚家河—管家坪段、二郎坪—汤河段这4段狭长的岩基构成了一条连续的侵入岩带,东西向延长约800 km。南北向出露宽度在10~30 km的范围内,南以商丹断裂为界北至宽坪群南部边界(图1)。以下将4个岩带的空间展布具体分述如下:

### 1.1 岩带—东岳庙段侵入岩带

该带从商州东岳庙以北,大体上沿长安县与商州的县界一带(东经 $107^{\circ}57'$ )向西,直至太白山花岗岩体。前人所编的秦岭岩群和丹凤岩群,并非由变质地层组成,而是变形的侵入岩。再向西,按照前人所称的地质图,丹凤岩群呈细长条带状在南侧环绕太白山花岗岩体,并向西延续到凤县岩湾乡以西。经研究,这一段的丹凤岩群和太白县两河口—靖口一带的秦岭岩群仍是变形的侵入岩。而两河口至太白山花岗岩体北侧的变质地层仍应属秦岭岩群。这些侵入岩体构成了一条连续的侵入岩带,东西向延

长达260 km,南北向出露宽度10~30 km。必须说明的是前人在这一地段划分的两个变质岩群之间的地质界线往往位于同一岩体甚至是同一侵入体内部,笔者在多处追索和观察,始终未能发现能将其分开的天然地质界线。因此,笔者认为这些侵入体共同构成了一个侵入岩带。

### 1.2 高桥—商南段侵入岩带

该带系前人所谓的丹凤岩群东段,即从商南县城向西延到柞水县北部的高桥乡,按照自然出露情况商南—高桥段侵入岩带可分为东西两段。东段出露于商南县城与丹凤县城之间,西段出露于商镇与高桥之间,将分别称之为商南—丹凤段与商镇—高桥段。

### 1.3 庚家河—管家坪段侵入岩带

该带位于丹凤县和商州的北部,向东与豫西地区的二郎坪—汤河段侵入岩带连接,向西则延入东岳庙—岩湾段侵入岩带,总体走向为近EW向,长度约100 km。庚家河—管家坪段侵入岩带由两部分侵入体组成,一部分是前人所称的云架山岩群安坪组中的火山岩,另一部分是前人在云架山岩群和秦岭岩群的空间范围内已经圈定的变形的侵入体。

### 1.4 汤河—二郎坪段侵入岩带

该带指前人确定的二郎坪群火神庙组的空间范围,现选取位于该侵入岩带上两个为地质界所熟悉

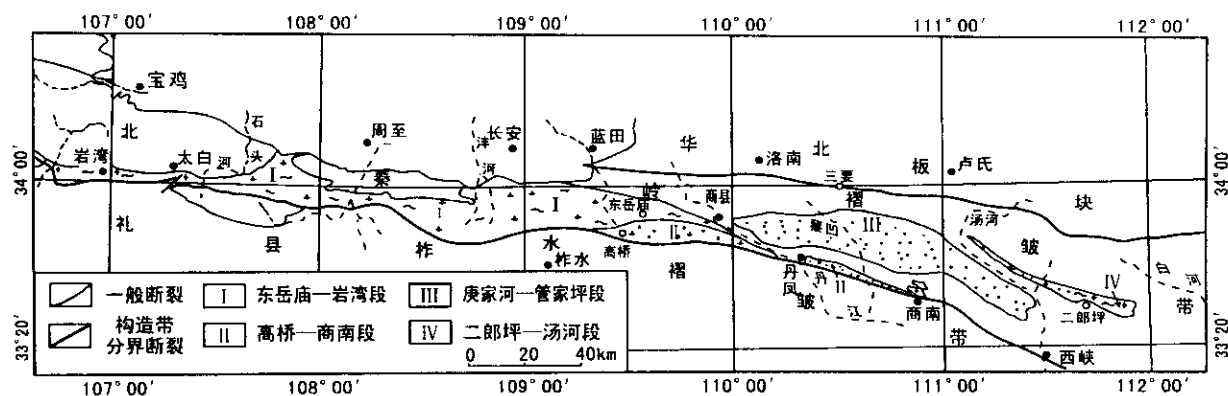


图1 北秦岭晋宁期中酸性岩带分布略图

Fig.1 Map of the intermediate-acid rock zone of the Jinning period in the north Qinling

的地名表示之。汤河—二郎坪段侵入岩带呈NW向展布,东端起于南召县南部,向西延至卢氏县南部,进入陕西境内,则与前人所称的云架山岩群安坪组对应。

这里所说的晋宁期花岗岩不包含北秦岭的古生代花岗岩,如灰池子花岗岩、富水杂岩等。

## 2 北秦岭中酸性侵入岩带的岩石组合及岩相学特征

本地区的中性侵入岩类型繁多,常见的主要岩石类型是辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、二长闪长岩、石英二长闪长岩。从结构上来看,从细粒花岗结构到中粒花岗结构及粗粒花岗结构均有,还有少量粗粒含斑花岗结构,总体上以中粒和粗粒花岗结构为主。主要造岩矿物为斜长石、角闪石、黑云母、石英和钾长石。视具体岩石类型不同,它们的含量各异。常见的副矿物有磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石、褐帘石和电气石。自形细粒的榍石和锆石常常包裹在角闪石和云母中,针状磷灰石往往包裹在斜长石中。绿色普通角闪石呈自形—半自形长柱状,斜长石的环带结构非常发育,部分颗粒中有成分更基性的斜长石核。

该区的酸性侵入岩发育,主要岩石类型有云英闪长岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗岩、黑云母花岗岩、似斑状花岗岩、钾长花岗岩。主要结构类型呈似斑状、粗粒和中粒花岗结构,也有少量呈细粒花岗结构。主要造岩矿物为钾长石、斜长石、石英、黑云母和绿色普通角闪石,个别侵入岩中有很少量的铁铝榴石。造岩矿物的矿物学特征、副矿物的种类及特征与中性侵入岩基本相同,此处不再赘述。万方数据

该岩带中的这些侵入岩都遭受了不同程度的糜棱岩化,各种岩石类型中都含有糜棱岩化岩石、变晶糜棱岩、变晶超糜棱岩。但在不同岩段此3种岩石所含比例有所不同,一般是以糜棱岩化岩石、变晶糜棱岩为主,变晶超糜棱岩占少数。

(1)各种岩石形成的糜棱岩和超糜棱岩,其拉伸线理在宏观下非常清晰,在显微镜下则为断续相连的微细条带,明显地显示了静态重结晶的特征。

(2)在野外和显微镜下都可见到,辉长质变晶糜棱岩和变晶超糜棱岩中有一种针状角闪石,这种针状角闪石往往呈完全不定向的交叉状排列,在东岳庙—岩湾侵入岩带中也可见到针状角闪石呈不定向的交叉排列。辉石和角闪石部分或全部变成碎基,从而形成辉长质变晶糜棱岩和超糜棱岩。

侵入岩带中往往可见到两个阶段生成的黑云母:一是静态重结晶形成的黑云母都成大角度斜交于拉伸线理排列;二是变形阶段形成的黑云母比较严格地平行于拉伸线理排列。以上提到的针状角闪石在显微镜下为蓝绿色色调,而黑云母为褐色色调,由此可以判断静态重结晶的温压范围为高绿片岩相至低角闪岩相。正因为如此,这些侵入岩往往被误认为是变质火山岩并分别划分到秦岭岩群、二郎坪岩群、云架山群、斜峪关岩群,这种变形结构特征与古生代花岗岩有明显区别。

## 3 北秦岭侵入岩带的年代学特征

由于北秦岭褶皱带经历了漫长的演化历程和复杂的变质变形作用,导致了某些同位素系统的开放。近年来,由于普遍采用钐—钕等时线法,获得了一批可靠的同位素年代学数据,因而可以确切地讨论北秦岭侵入岩带的形成时限。张宗清等用Sm—Nd

等时线法<sup>[1]</sup>,测定了本侵入岩带中基性侵入岩的形成为 900~1 000 Ma。根据侵入关系判断,中酸性侵入岩的侵入时间应略晚于基性岩体。裴先治在商南花岗岩体中获得单颗粒锆石 Pb-Pb 年龄为 (889±22)Ma<sup>①</sup>。陈能松等(1991)在西峡似斑状黑云二长花岗岩中获得 Rb-Sr 等时线年龄为 794 Ma<sup>[2]</sup>。由此可见,中酸性侵入岩应当主要形成于 800~900 Ma 时限内,即晋宁旋回的中晚期阶段。

## 4 中酸性侵入岩的地球化学特征与构造环境

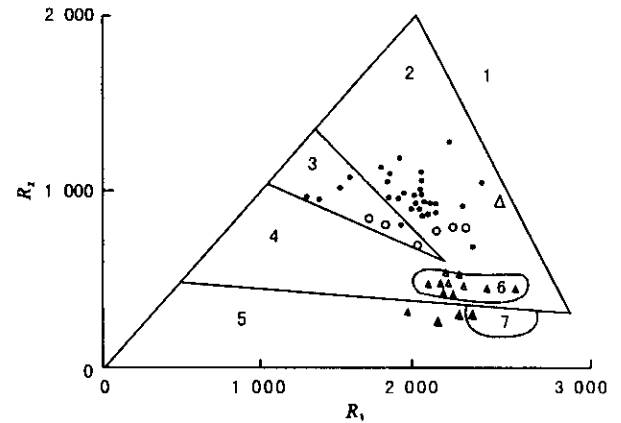
北秦岭侵入岩带中酸性侵入岩与基性侵入岩紧密共生。在侵位顺序上,总是表现为由基性→中性→中酸性→酸性的正序岩浆演化序列。在酸性端元中,一般来讲,斜长花岗岩侵位早于花岗岩,花岗岩侵位早于钾长花岗岩。在不同区段,钾长花岗岩都是该构造岩浆旋回中最晚一次岩浆活动的产物。就出露面积而论,中酸性侵入岩明显多于基性侵入岩。所以,中酸性侵入岩的岩石化学与地球化学特征对于确定北秦岭侵入岩带的构造环境具有至关重要的意义。

### 4.1 岩石化学特征

共分析和收集了 59 件具有代表性的岩石化学分析数据,基本上覆盖了所有中酸性侵入岩的岩石类型(表 1)。按照赖特碱度率法,所有的闪长岩、二长闪长岩、石英闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩都属钙碱性系列;而所有的钾长花岗岩都属于碱性系列。花岗岩则部分属于钙碱性系列,部分属碱性系列。本区的钾长花岗岩属碱长花岗岩,此种花岗岩在世界各地的造山带中均有产出。作为一种普遍规律,它们往往是构造—岩浆旋回中最晚一幕岩浆活动的产物。

在  $R_1-R_2$  多阳离子图解上(图 2)<sup>[3]</sup>,大部分闪长岩、二长闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩投影于板块碰撞前阶段区域内,少部分投影于板块碰撞隆起阶段区域内。换言之,大部分中性和中酸性侵入岩形成于洋盆闭合过程的 B 型俯冲阶段,少部分形成于 B 型俯冲结束之后的碰撞阶段。斜长花岗岩、花岗岩主要投影于造山阶段区域内,意味着它们形成于碰撞造山阶段。而钾长花岗岩则投影于造山期后阶段和同造山阶段区域内,表明钾长花岗岩主

要形成于后造山伸展阶段。



$R_1$  为  $4Si-11[(Na+K)-X(Fe+Ti)]$  离子数的 1 000 倍; $R_2$  为  $6Ca+2Mg+Al$  离子数的 1 000 倍;1—幔源斜长花岗岩;2—板块碰撞前阶段;3—板块碰撞隆起阶段;4—晚造山期阶段;5—非造山 A 型花岗岩;6—同造山阶段;7—造山期后阶段;● 闪长岩、二长闪长岩、石英闪长岩;○ 花岗闪长岩;△ 花岗岩;▲ 钾长花岗岩

图 2  $R_1-R_2$  多阳离子图解

Fig. 2 Diagrams of  $R_1-R_2$  multiple positive ions

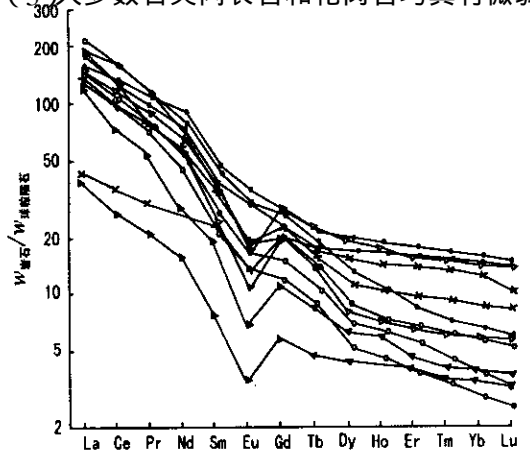
### 4.2 稀土元素和微量元素地球化学

综观不同岩石类型的稀土元素配分曲线图(图 3),可以得出如下认识:

(1)几乎所有的稀土元素配分曲线均属轻稀土富集型,而且轻稀土元素配分曲线陡倾,重稀土元素配分曲线相对平坦,这是板块会聚边缘中酸性侵入岩的普遍特征。

(2)闪长岩和二长闪长岩基本不具铕异常,证明它们没有经历过明显的斜长石分离结晶作用,岩浆演化程度不高,因而具有相对的原生性质。

(3)大多数石英闪长岩和花岗岩均具有微弱的



● 闪长岩、二长闪长岩、石英闪长岩;○ 花岗闪长岩;× 斜长花岗岩;△ 花岗岩;▲ 钾长花岗岩

图 3 稀土元素配分曲线

Fig. 3 Distribution curves of rare earth elements

①裴先治. 商南县幅区域地质图(1:5 万)及说明书. 1996

表 1 岩石化学分析数据、稀土元素丰度及微量元素丰度表  
Tab.1 Analyse data of rock chemistry abundance of rare earth elements and micro elements

序号	岩石名称	样品数	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	灼失	总量	AR			
1	二长闪长岩	3	59.94	0.45	18.31	2.61	2.00	0.10	1.84	4.38	3.53	4.54	0.21	1.01	98.92	2.10			
2	闪长岩	20	59.75	0.63	16.19	2.31	3.60	0.11	3.26	5.42	4.01	1.78	0.22	3.14	100.17	1.76			
3	花岗闪长岩	7	66.67	0.38	16.42	1.27	1.85	0.08	1.40	3.06	3.84	3.58	0.25	1.04	99.86	2.26			
4	花岗岩	8	71.74	0.32	13.96	1.39	1.44	0.13	0.96	2.12	3.70	3.54	0.15	1.09	99.42	2.39			
5	斜长花岗岩	6	74.81	0.43	13.78	1.22	1.36	0.90	0.80	1.68	3.94	0.50	0.16	1.04	99.79	2.02			
6	钾长花岗岩	6	73.69	0.11	13.46	0.54	0.70	0.05	0.35	0.93	3.28	5.39	0.19	0.74	99.95	4.67			
7	石英闪长岩	8	63.86	0.50	15.26	2.34	2.58	0.11	2.44	4.21	3.95	2.15	0.19	2.70	99.96	1.91			
8	石英二长岩	1	69.32	0.39	15.89	1.59	1.25	0.08	0.71	3.15	3.67	3.17	0.27	0.46	99.95	2.10			
序号	岩石名称	样品数	La	Ce	Pr	Na	Sm	Eu	Gd	Tb	Py	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE (La/Yb)N	Eu	
1	二长闪长岩	2	28.66	54.29	6.58	22.59	4.12	1.00	3.65	0.52	2.67	0.60	1.56	0.24	1.42	0.23	128.09	13.90	0.80
2	闪长岩	7	28.02	56.11	7.14	25.81	4.46	1.29	3.61	0.58	2.89	0.61	1.52	0.22	1.74	0.26	1399.66	12.36	0.95
3	花岗闪长岩	7	45.04	81.40	8.86	29.73	4.62	1.06	4.09	0.50	1.90	0.39	0.96	0.13	0.71	0.10	152.44	41.39	0.80
4	花岗岩	6	38.18	68.07	7.47	25.62	4.44	0.76	4.08	0.56	2.58	0.54	1.38	0.21	1.22	0.19	155.29	35.02	0.55
5	斜长花岗岩	5	20.19	39.69	4.81	19.20	3.87	1.06	3.91	0.60	3.38	0.72	1.88	0.27	1.72	0.24	87.13	22.46	0.78
6	钾长花岗岩	6	11.56	20.07	2.39	7.28	1.40	0.28	1.35	0.19	0.99	0.22	0.59	0.09	0.51	0.08	46.99	17.15	0.68
7	石英闪长岩	2	29.94	61.23	6.90	23.69	4.74	0.97	4.51	0.67	3.65	0.81	2.06	0.32	1.78	0.28	141.51	12.95	0.65
8	石英二长岩	1	50.23	111.4	13.46	53.96	8.66	1.89	5.34	0.66	2.74	0.58	1.45	0.22	1.21	0.19	251.99	29.30	0.80
序号	岩石名称	样品数	Rb	Sr	Ba	Th	Nb	Ta	Zr	Hf	Y	Sc	Cr	Zn	Co	Ni	Cu	V	
1	二长闪长岩	2	216.50	645.50	800.50	11.25	11.00	0.85	185	4.30	14.38	8.23	51.50	29.50	9.00	20.00	18.50	53.50	
2	闪长岩	7	54.66	730.80	651.07	56.56	12.5	1.93	102.81	4.60	15.75	19.54	49.27	51.38	19.81	39.23	67.94	143.38	
3	花岗闪长岩	7	93.99	812.07	1727.34	17.25	17.14	2.60	133.33	6.80	8.63	5.80	44.88	37.92	14.43	29.70	15.76	57.51	
4	花岗岩	6	107.17	328.57	1109.17	12.62	14.17	3.75	160.67	6.23	84.25	6.64	43.36	19.66	10.43	22.17	63.84	32.31	
5	斜长花岗岩	5	63.38	420.83	601.03	5.58	12.8	4.26	109.00	6.30	12.10	12.23	34.65	27.21	11.91	22.20	71.57	33.94	
6	钾长花岗岩	6	146.00	183.89	818.33	4.25	16.00	1.55	96.00	2.93	5.74	2.07	39.50	14.17	18.33	35.83	45.83	29.33	
7	石英闪长岩	2	74.85	454.5	453.5	16.50	29.00	1.65	171.50	4.70	5.09	9.59	85.00	28.00	20.50	50.00	31.50	93.50	
8	石英二长岩	1	99.20	1718	1550	1200	27.00	1.30	214.00	5.30	13.13	3.83	47.00	48.00	19.00	38.00	23.00	58.00	

注:表中岩石化学分析数据及灼失与总量/%;稀土元素与微量元素丰度/10<sup>-6</sup>。



负锶异常,证明本区中酸性岩浆经历过一定程度的分离结晶作用,大部分属于轻度演化的岩浆,少数属于演化程度较高的岩浆。

(4)大多数斜长花岗岩、花岗岩和钾长花岗岩具有明显的负锶异常,证明大部分酸性岩浆经历过明显的分离结晶作用,属于演化程度高的岩浆。

(5)少部分斜长花岗岩、花岗岩和钾长花岗岩的配分曲线不具锶异常,表明了其原生性质。换言之,本区大多数酸性岩浆是通过斜长石和其他液相线相的分离结晶作用,从相对基性一些的岩浆中演化来的。少数是直接由地壳岩石在近于  $Q-Ab-Or$  三相最低点的热力学条件下重熔形成的。

尽管岩性各异,但本区中酸性侵入岩的多元素配分曲线图谱具有惊人的一致性(图 4)。具体表现为:

(1)  $Sr$ 、 $K$ 、 $Rb$ 、 $Ba$ 、 $Th$  等大离子亲石元素不同程度地富集。

(2)  $Ta$ 、 $Nb$ 、 $Ti$  显著地贫化。

(3)  $P$ 、 $Zr$ 、 $Hf$  不同程度地贫化。

(4)相容性高场强元素和过渡族元素不同程度地贫化。

(5)具有高的大离子亲石元素/高场强元素、不相容元素/相容元素、轻稀土元素/重稀土元素比值。

综上所述,北秦岭侵入岩带的岩石组合、岩石化学组成、稀土元素与微量元素地球化学特征都证明,该岩石组合形成于B型俯冲阶段、碰撞造山阶段和

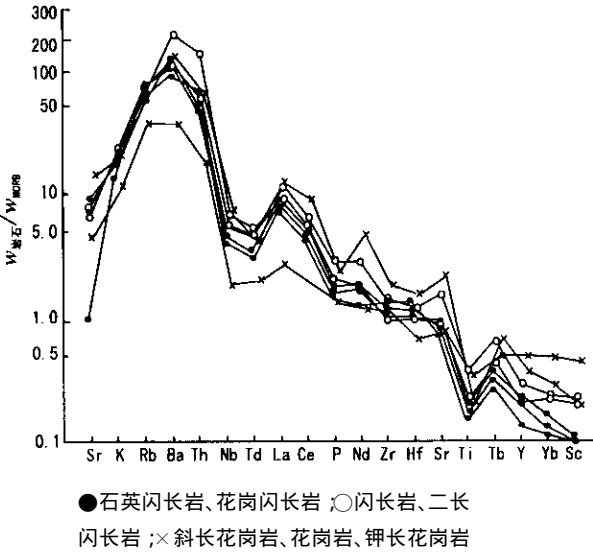


图 4 多元素配分曲线

Fig. 4 Distribution curves of multiple elements

后造山伸展阶段,记录了洋盆闭合与造山带形成的全过程,真实地反映了北秦岭褶皱带在晋宁旋回中晚期的演化历程。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 张宗清,刘敦一,付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究 [ M ]. 北京:地质出版社,1994.

[ 2 ] 陈能松,韩郁菁,游振东,等. 豫西东秦岭造山带核部杂岩  $Sm-Nd$ 、 $Sb-Sr$ 、单晶锆石  $^{207}Pb-^{206}Pb$  计时及其地壳演化 [ J ]. 地球化学,1991,20(3):219~228.

[ 3 ] Batchelor R A, et al. 利用多阳离子参数对花岗岩系作用成因解释 [ J ]. 基础地质译丛,1986,6(4):36~45.

GEOCHEMISTRY FEATURES AND THE TECTONIC SETTING OF INTERMEDIATE - ACID INTRUSIVE ROCKS OF THE JINNING PERIOD IN THE NORTH QINLING

YANG Ji

( School of Earth Sciences and Resources Management , Chang 'an University , Xi 'an 710054 , China )

**Abstract :** The intermediate - acid intrusive rocks which are situated in the North Qinling , were shaped in the middle - later period of Jinning cycte. The main rock type includes pyroxiere diorites , diorite , quartz diorites , quartz mica diorites , grano diorites , plagio granites , granites and potash feldspoar granites. Based on studies of rock chemistry , rare earth elements and micre elements , it is proved that these rocks were shaped in the tectonic setting of B - type subduction zone and collision zone. The potash feldspoar granite was formed in the post - orogenic extensional stage. In view of the above , this intrusive rock zone reveals the evolution process of the middle - later period of the Jinning cycte in the North Qinling folding belt.

**Key words :** Jinning period ; intermediate acid intrusive rock ; geochemistry ; tectonic environment ; north Qinling