

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2019.03.010

北秦岭老湾金矿带变质岩原岩恢复 及其形成过程

滕浪¹, 陈建立², 陈守余¹

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430070;

2. 河南省地矿局第一地质勘查院, 郑州 450001)

摘要: 老湾金矿带位于桐柏—大别造山带北缘, 是一个由前寒武系绿帘角闪岩相、角闪岩相和麻粒岩相组成的中-低 P/T 变质带。通过对老湾金矿带变质岩产状、岩石组合特征、岩相学、岩石地球化学特征等进行综合研究, 探讨了该区的变质岩原岩及其形成过程。研究结果表明: 1) 老湾金矿带龟山岩组斜长角闪岩类原岩为大陆拉斑玄武岩(玄武质熔岩)、火山碎屑岩及少量基性岩脉; 云母石英片岩类原岩为中性泥质岩、砂岩等沉积岩; 大理岩原岩为纯净的白云岩。2) 龟山岩组形成于中-新元古代(920 Ma±), 经历了志留纪(410 Ma±)、石炭纪(314 Ma±)、白垩纪(130 Ma±)三期变质作用, 龟山岩组变质岩是其先就位地壳中的原岩后来发生陆壳俯冲再折返抬升退变质的产物。

关键词: 老湾金矿带; 中-低 P/T 变质带; 原岩恢复; 变质岩形成过程; 北秦岭东段; 河南省

中图分类号: P588.34 **文献标识码:** A

0 引言

秦岭-桐柏山-大别山-苏鲁造山带出露有世界上规模最大的高压-超高压变质杂岩^[1-2], 秦岭-大别造山带最终碰撞之前经历了长期的大洋俯冲/增生过程^[3-4], 形成了南北分带的增生造山体系和碰撞造山体系^[5-6]。北秦岭造山带从北到南由宽坪群、二郎坪群、秦岭群组成^[7]。宽坪群以洛南—栾川断裂为界与华北克拉通相连, 变质等级主要为绿片岩相—低角闪岩相, 宽坪群的区域变质年龄可能不晚于约 440 Ma^[5-6]。二郎坪群主要由中基性变质火山岩和变沉积岩组成, 二郎坪群的基底形成可能是在约 490 Ma 之前秦岭群向北增生过程中形成的岛弧火山岩及其沉积盖层, 在约 450 Ma 之后由于商丹洋的北向俯冲演化为弧后盆地^[8]。秦岭群主要有榴辉

岩、片岩、片麻岩、麻粒岩和大理岩等^[9], 秦岭群内高压-超高压榴辉岩原岩形成于约 800 Ma^[10], 榴辉岩的变质时代被限定在 485~495 Ma^[11-12]。

老湾金矿带地处北秦岭桐柏—大别元古宙、中生代金铅锌银非金属成矿带^[13], 属于桐柏山北缘的高压混杂带与秦岭群构造块体之间的狭长地带, 东西长近 20 km、南北宽 1.5~2.5 km 的 NWW 向狭长带状区域(图 1)。龟山岩组属前寒武系绿帘角闪岩相、角闪岩相和麻粒岩相组成的中-低 P/T 变质带, 产出有老湾、上上河等大型金矿床。

前人对老湾金矿带金矿床、桐柏造山带及其高压超高压变质岩进行了大量详细的研究^[16-17], 而对龟山岩组中-低 P/T 变质带(金矿的赋矿围岩)研究相对薄弱。本文基于野外地质调查、室内岩矿鉴定及测试分析工作, 通过变质岩产状、岩石组合特征、岩相学、岩石地球化学特征等综合分析, 试图探讨该地区的变质原岩及其形成过程。

收稿日期: 2018-07-04; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 滕浪(1994—), 男, 硕士研究生, 矿产资源勘查与评价方向。通信地址: 湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号, 中国地质大学(武汉)资源学院; 邮政编码: 430074; E-mail: 1606434348@qq.com

通信作者: 陈守余(1956—), 男, 教授, 博导, 长期从事矿产综合勘查与定量评价的教学与科研工作。通信地址: 湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号, 中国地质大学(武汉)资源学院; 邮政编码: 430074; E-mail: 45321870@qq.com

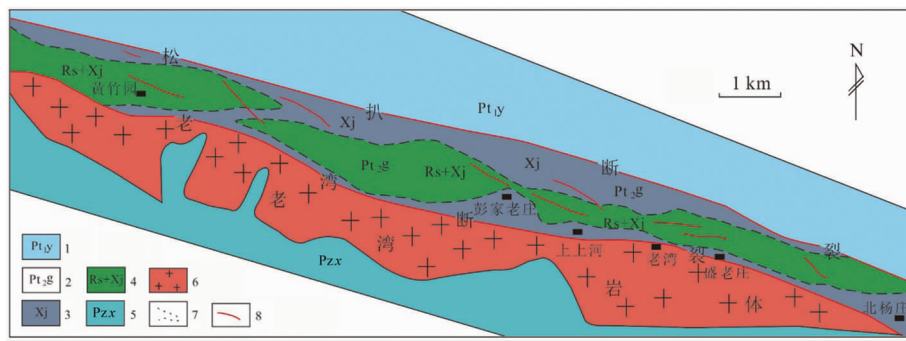


图1 老湾金矿带地质简图(据文献[14-15],修编)

Fig.1 Geological sketch of the Laowan gold ore belt

1. 秦岭岩群雁岭沟组;2. 龟山岩组;3. 斜长角闪(片)岩;4. 斜长角闪岩与二云石英片岩互层;
5. 肖家庙岩组;6. 燕山晚期花岗岩;7. 地层界线;8. 断裂

1 老湾金矿带地质概况

老湾金矿带出露地层为中元古界龟山岩组(Pt_2g),地层走向北西,倾角 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。龟山岩组依岩性可分为:下部为淡黄色二云石英片岩,中部为灰绿色斜长角闪片岩,上部为二云石英片岩夹斜长角闪片岩。

金矿带主要构造为老湾韧-脆性剪切带,矿带北侧以松扒断裂与秦岭群毗邻,南侧以老湾断裂为界与肖家庙岩组毗邻,两条主断裂和韧性剪切带的走向均为NW向,与区域构造线方向一致,老湾金矿带被两旁的两条主断裂控制。带内一系列次级脆性断裂发育,主要分为三组:一组走向 $290^{\circ}\sim 310^{\circ}$,与两条主断裂走向一致;一组走向 $45^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 切层发育;一组走向 $335^{\circ}\sim 35^{\circ}$,近南北走向^[18]。

带内岩浆活动较为强烈,酸性和基性岩均有发育,其中以燕山期岩浆活动最为强烈,以老湾断裂南部的老湾花岗岩体(132.5 Ma)^[19]和松扒花岗斑岩脉带(138.9 Ma)^[20]为代表。石英钠长斑岩广泛发育,纵横贯穿,另可见少许煌斑岩脉。

2 主要变质岩类型

老湾金矿带变质岩类型主要为斜长角闪岩类、云母石英片岩类、大理岩类和少量斜长片(麻)岩。斜长角闪岩类主要为斜长角闪(片)岩,少量斜长片麻岩。云母石英片岩类包括绢云石英片岩、二云石英片岩、白云母石英片岩、石英云母片岩等。大理岩

类主要为重结晶大理岩、白云质大理岩。带内岩石变形极为普遍,各类岩石均有不同程度的韧性和脆性变形,构造要素主要有S-C组构、 δ 组构、眼球状结构和韧-脆性剪切带等(图2a、b、c,图3a)。带内围岩蚀变强烈,包括硅化、绢云母化、碳酸盐化、(黄铁)绢英岩化和绿泥石化等(图3b、c、d)。

(1) 斜长角闪岩类

地表因强烈风化而呈黄褐色、土黄色,新鲜样品呈灰绿色、墨绿色,粗粒结构、花岗纤状变晶结构,多为片状构造或片麻状构造,呈层状、似层状产出。蚀变现象明显,尤其在断裂及岩脉发育地段,发育强烈的绿帘石化、碳酸盐化、黄铁矿化、褐铁矿化。受构造变形强烈,形成一系列小褶皱、节理和断层(图2a、b、c)。岩石中蚀变破碎带、石英脉、方解石脉发育。

(2) 云母石英片岩类

地表因强烈风化而呈灰白色、灰黄色,新鲜样品呈灰白色、灰绿色(图2g),细粒鳞片变晶结构,片状构造,呈层状、透镜状、条带状产出,云母定向排列构成片理面,石英呈不规则粒状集合体或呈条带状沿片理层间分布(图2f)。可见云母的片状集合体,局部云母片极度发育,直径可达1~2 cm。部分岩石矿化蚀变强烈,部分岩石中发育方解石和石英脉。

(3) 大理岩类

青灰色、灰白色、土黄色,细晶到粗晶变晶结构,薄层至中厚层状构造,表面可见刀砍纹,在金矿带北部大量产出,在两类片岩内部可见少量大理岩脉,接触带可见大理岩角砾。灰黑色铁锰质大理岩主要产于薄层大理岩,指示大理岩原岩沉积环境可能为浅海岸或湖泊环境。大理岩局部可见硅化,沿裂隙可见少量星点状黄铁矿化,方解石脉、长英质脉、硅质

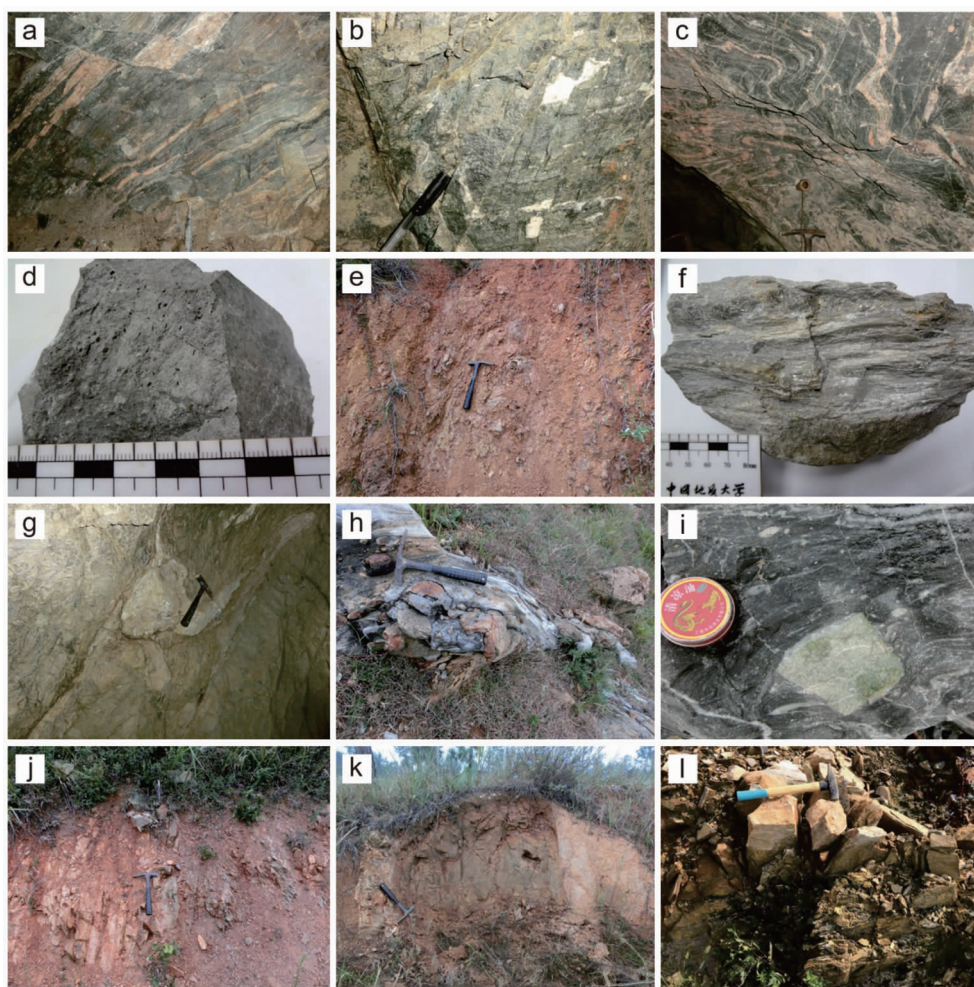


图2 老湾金矿带变质岩野外特征

Fig. 2 Field characters of metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt

- a. 老湾矿区—150 m 中段 301 线南川 195° 含长英质条带的暗绿色斜长角闪岩；
- b. 老湾矿区—450 m 中段南北川含长英质菱形斑的斜长角闪岩；
- c. 老湾矿区—450 m 中段斜长角闪岩中已变形的长英质脉；
- d. 斜长角闪岩中的气孔构造；e. 老湾矿区地表火山弹、引爆角砾岩出露；
- f. 二云石英片岩中石英呈条带状沿片理层间分布；
- g. 老湾矿区—450 m 中段二云石英片岩及其中挤压变形的石英脉；
- h. 下肖湾地表大理岩中的破碎角砾岩；i. 下肖湾剖面歇马岭金矿南探矿竖井中含角砾大理岩；
- j. 下肖湾剖面样点处绢云斜长片岩(左)与斜长角闪片岩(右)接触界；
- k. 下肖湾剖面样点处花岗岩中的斜长角闪岩岩脉；l. 大理岩与二云母石英片岩整合接触

条带广泛发育。局部变形严重,形成许多微小构造,并包裹其它岩石颗粒(图 2h,i)。

(4) 斜长片(麻)岩

斜长片(麻)岩,其原岩为酸性岩类(图 3a,b)。斜长片(麻)岩与成矿关系不大(本文不详细研究)。

3 原岩恢复

3.1 地质产状和岩石组合特征

野外实地观察表明斜长角闪岩类与围岩主要为整合接触关系(图 2j),也有少量斜长角闪岩岩脉(图 2k),显示该类岩石有沉积岩的特征,同时部分原岩为侵入岩。在斜长角闪岩类中可见气孔构造、火山弹、火山泥球和杏仁石(图 2d,e),表明各类岩石具有玄武岩的特征,因此,综合来看,斜长角闪岩类岩石原岩很可能为基性火山岩、基性岩脉。

云母石英片岩类与大理岩类和斜长角闪岩类都呈整合接触关系(图 2j,l),变余层理构造,呈层状、

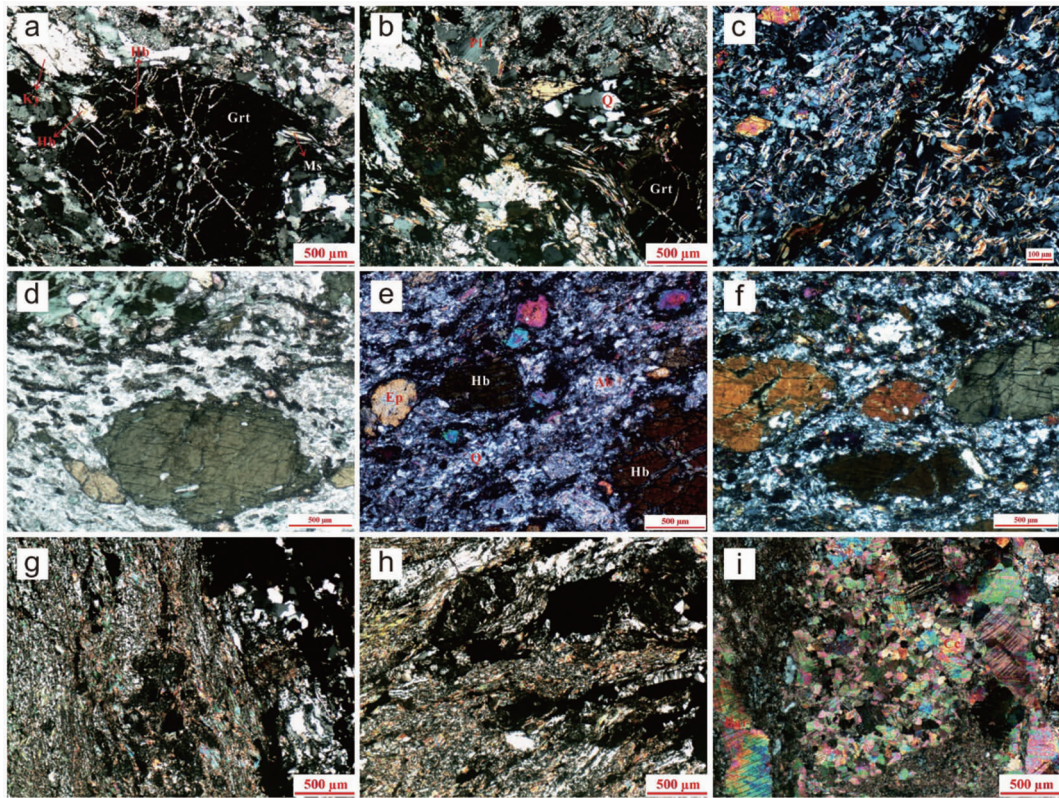


图3 老湾金矿带变质岩镜下特征

Fig. 3 Microscopic characteristics metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt

- a. 斜长片麻岩中石榴子石颗粒呈眼球状构造,并被角闪石、云母、蓝晶石矿物等交代破碎;
- b. 斜长片麻岩中长石发生绢英岩化;c. 含绿帘石和火山玻璃的绢英岩,云母呈纤状变晶结构;
- d. 斜长角闪岩中角闪石蚀变成绿泥石,角闪石颗粒粒径可达1mm;
- e. 斜长角闪岩中的 $Ab+Ep+Hb+Q$ 矿物组合;f. 斜长角闪岩;
- g. 白云母石英片岩中定向分布的云母;h. 白云母石英片岩中的变形强烈的黄铁矿;
- i. 大理岩的斑状变晶结构,可见重晶石

透镜状、条带状产出。其具有石英岩-云母石英片岩-片岩-片麻岩和石英岩-石英片岩-片岩-大理岩的变质岩组合特征,其中石英岩较少,变质岩组合宽度达到几百米,指示云母石英片岩类原岩为陆源碎屑沉积岩。

大理岩类矿物成分简单,野外可见基本只有方解石和白云石,因此大理岩原岩可能为纯钙镁碳酸盐岩。

从斜长角闪岩类到云母石英片岩类再到大理岩类,显示该区原岩从火山岩-火山沉积岩-沉积岩过渡的趋势。

3.2 岩相学特征

斜长角闪(片)岩类镜下主要为斑状变晶结构(图3d、e、f),斑晶为角闪石、斜长石、石英、绿帘石和黄铁矿等,基质主要为石英、绿泥石、绢云母、方解石等,矿物成分较复杂(图3d、e、f)。镜下可见 $Ab+$

$Ep+Hb+Q$ 矿物组合(图3e),指示变质相为绿帘角闪岩相^[19]。变斑晶可能为变余晶屑,指示原岩可能为基性火山碎屑岩。

云母石英片岩类镜下主要为微细粒鳞片变晶结构,片理构造(图3g),主要矿物为石英、白云母、黑云母、绿帘石和黄铁矿等(图3g、h),云母呈明显定向分布(图3g)。

大理岩类镜下为斑状变晶结构,斑晶和基质各占50%,斑晶主要为方解石,少量重晶石和石英,基质主要为方解石、白云石、石英和重晶石等(图3i)。

3.3 变质岩岩石地球化学

(1) 主量元素

表1为老湾金矿区的11个变质岩样品主量元素分析结果,其中5个样品为斜长角闪岩类,4个样品为云母石英片岩类,1个样品为大理岩。

从表中可以看出,斜长角闪岩类样品的 SiO_2 平

均含量为 $w(\text{SiO}_2) = 53.2\%$, 偏中基性, $alk + c > al > alk$, 按尼格里值岩石分类属于正常系列。基性岩 K_2O 含量基本都小于 Na_2O 含量, 本文中的样品斜长角闪岩的 $w(\text{K}_2\text{O}) > w(\text{Na}_2\text{O})$, 可能与强烈蚀变导致 Na 丢失有关。云母石英片岩类样品的 SiO_2 平均含量为 66.5% , 总体高于斜长角闪岩类, 其 al 尼格里值平均值为 39.8 , $al > alk + c$, 属于铝过饱和系列。大理岩类样品 MgO 和 CaO 含量远高于其它组分, 属于正常系列, $c + fm = 99.4$, 钙质组和铁镁组含量占很大比例。

1) 判别正副

在变质岩的 $w(\text{TiO}_2) - w(\text{SiO}_2)$ 图(图 4a)中,

斜长角闪岩类样品落在火成岩区; 云母石英片岩类样品 3 个落在沉积岩区, 一个落在火成岩区; 大理岩类样品 SiO_2 含量为 4.62% ($< 40\%$), 故未在 $w(\text{TiO}_2) - w(\text{SiO}_2)$ 图中显示。

在 $((al + fm) - (c + alk)) - si$ 图(图 4b)中, 斜长角闪岩类样品 3 个落在火山岩区, 由于变质侵入岩也会落在火山岩区, 因此尚不能区分原岩为火山岩或者侵入岩, 另外两个落在火山岩区附近的泥质沉积岩区域, 且距离火山岩区域很近, 显示有沉积岩的性质; 云母石英片岩类样品全部落在泥质沉积岩区域; 大理岩类样品由于 c 值大, $((al + fm) - (c + alk))$ 值为负, 故在 $((al + fm) - (c + alk)) - si$ 图中未显示。

表 1 老湾金矿带变质岩主元素质量分数及尼格里特征值

Table 1 Major element composition and Niggli Values of metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt

岩性(样号)	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	al	fm	c	alk	si	来源
黄铁绢英岩化角闪片岩	55.44	0.62	9.98	7.05	2.35	0.68	3.97	5.86	0.08	3.75	0.24	20.71	48.47	22.11	8.70	195.27	[21]
斜长角闪岩(LW50-2-13)	46.4	1.19	13.35	8.77	7.2	0.19	4.94	11.53	0.17	2.49	0.19	21.44	40.12	33.67	4.78	126.45	
绿帘石化斜长角闪片岩(LW16-50-1)	50.72	2.58	14.01	14.41	11.45	0.23	5.14	5.8	1.89	1.24	0.34	22.47	53.48	16.91	7.14	138.05	本文
绿帘石化斜长角闪岩(LW16-50-10)	55.96	0.79	14.86	6.12	4.95	0.13	3.4	7.75	1.28	2.81	0.12	28.91	33.66	27.42	10.02	184.77	
斜长角闪岩(ZK1203-20)	57.64	0.43	13.06	8.08	3.99	0.36	3.28	8.27	0.94	1.84	0.16	25.44	38.37	29.30	6.89	190.57	
斑状黑云母化绢云石英片岩	64.59	0.93	13.8	7.58	1.68	0.06	2.9	0.75	0.86	2.99	0.06	35.12	49.58	3.47	11.84	278.91	
斑状电气石绢云石英片岩	68.02	0.73	13.65	7.83	1.01	0.02	0.83	0.06	0.47	4.42	0.13	41.52	41.24	0.33	16.91	351.11	[21]
绢英岩化绢云石英片岩	70.45	0.62	13.84	5.9	1.66	0.05	1.37	0.18	0.66	3.34	0.05	42.86	41.57	1.01	14.56	370.21	
二云石英片岩(ZK1203-29)	62.98	0.69	16.28	7.14	4.05	0.07	2.63	0.62	1.28	4.5	0.15	39.87	40.28	2.76	17.09	261.77	
灰黑色大理岩(BYZ16-12-10)	4.62	0.013	0.38	0.39	0.26	0.04	19.5	30.1	0.072	0.11	0.021	0.36	47.43	51.99	0.23	7.45	本文

注: 测试单位为河南省岩石矿物测试中心, 量单位 $w_B/\%$ 。

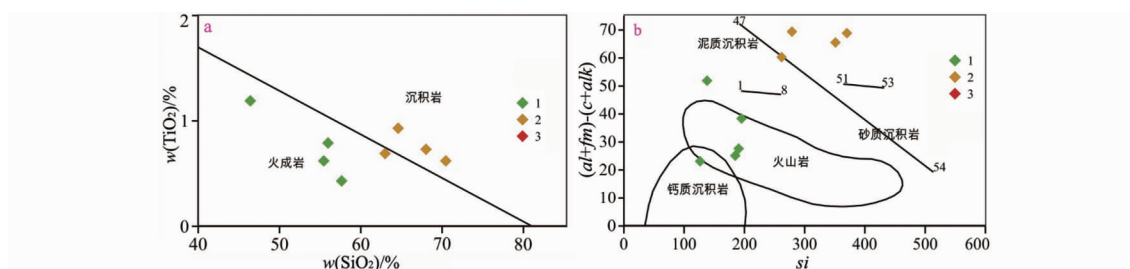


图 4 老湾金矿带变质岩正副判别图解

Fig. 4 Discriminant diagram of ortho or para-metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt

a. 变质岩的 $w(\text{TiO}_2) - w(\text{SiO}_2)$ 图解(底图据文献[22]);

b. 变质岩的尼格里值 $((al + fm) - (c + alk)) - si$ 图解(底图据文献[23])

因此,斜长角闪岩类原岩为火成岩,即正变质岩;云母石英片岩类原岩为泥质沉积岩,即副变质岩;虽然图解中不能体现大理岩原岩,但大理岩显然由碳酸盐岩变质而来。

2) 判别成分

在 $100 \times mg - c - (al - alk)$ 图(图 5a)中,斜长角闪岩类样品落在卡鲁粗玄岩趋势线附近,显示火成岩的特征;云母石英片岩类样品则沿泥质岩和半泥质岩线分布;大理岩类样品落在白云岩附近。

在 A—C—FM 图中(图 5b),斜长角闪岩类样品 4 个落在正系列碱土铝基性岩组,另一个落在碱土钙系列铝钙质亚组;云母石英片岩类样品落在铁镁铝硅酸盐岩亚组;大理岩类样品落在碱土钙系列低铝碳酸盐岩亚组。

用变质岩的 $w(Al_2O_3 + TiO_2) - w(SiO_2 + K_2O) - w(\Sigma \text{ 其余组分})$ 图解(图 5c)区分原岩成分,云母石英片岩类样品主要落在复矿砂岩、长石质砂岩、杂砂岩和复矿粉砂岩范围中。

综合考虑各类图解,斜长角闪岩类原岩应为碱性富铝基性火成岩,云母石英片岩类原岩为泥质岩、复矿砂岩、长石质砂岩、杂砂岩和复矿粉砂岩,大理岩原岩为白云岩。

(2) 稀土元素

6 件样品的稀土元素分析结果如表 2 所述。斜长角闪岩类 4 件样品,二云石英片岩和大理岩各为 1 件样品。

从稀土元素标准化配分模式图(图 6)可知,6 件样品总体均呈现轻稀土富集、Eu 负异常、Ce 弱负异常的特征,斜长角闪岩与二云石英片岩 REE 特征相似,大理岩稀土含量相对较低。斜长角闪岩类样品 $w(\Sigma REE)$ 值介于 $95.71 \times 10^{-6} \sim 197.32 \times 10^{-6}$ 之间,平均值为 136.22×10^{-6} ,变化范围较小,稀土元素的分布较均匀, $w(LREE)/w(HREE)$ 介于 3.03 ~ 8.78(均值 6.14), $w(La)_N/w(Yb)_N$ 值介于 2.32 ~ 9.41,轻重稀土分馏明显; δEu 值介于 0.59 ~ 0.87 之间,均值 0.71,具中等 Eu 负异常特征。二云石英片岩 $w(\Sigma REE) = 249.64 \times 10^{-6}$, $w(LREE)/w(HREE) = 9.17$, $w(La)_N/w(Yb)_N = 11.76$,轻重稀土分馏明显; $\delta Eu = 0.56$,Eu 负异常明显。大理岩 $w(\Sigma REE) = 13.08 \times 10^{-6}$,稀土总量低, $w(LREE)/w(HREE) = 18.33$, $w(La)_N/w(Yb)_N = 28.68$,轻重稀土分馏相对更加明显; $\delta Eu = 0.48$,Eu 负异常明显,Ce 负异常相对于前两类岩性也更加明显。

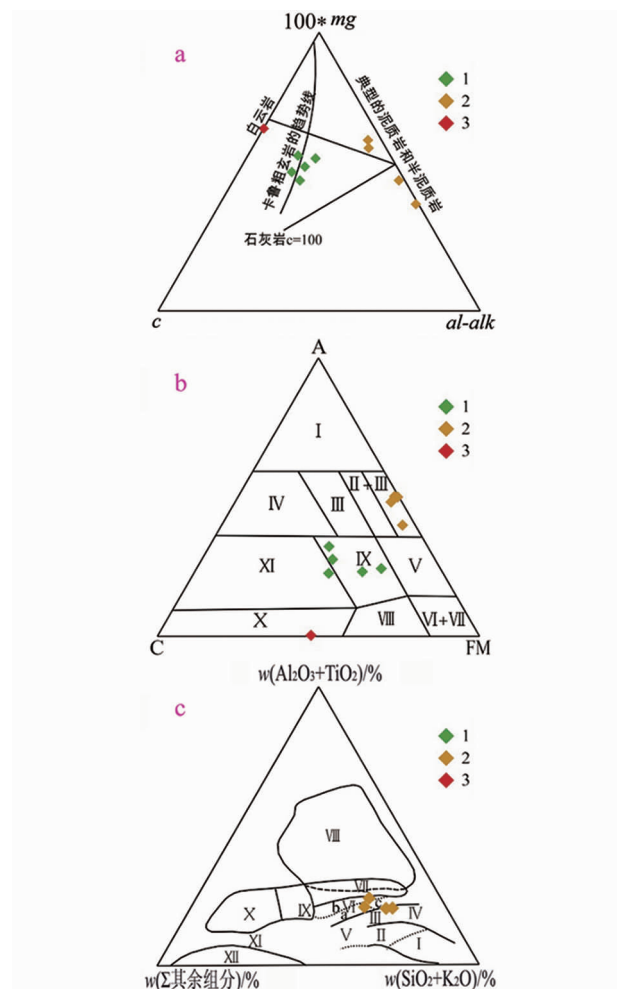


图5 老湾金矿带变质岩成分判别图解

Fig. 5 Discriminant diagram of metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt composition

a. 变质岩的 $100 \times mg - c - (al - alk)$ 图解

(底图据文献[24])

b. 变质岩的 A—C—FM 图解(底图据文献[25]):

- I 正铝硅酸盐岩亚组, II 铁镁铝硅酸盐岩亚组,
- III 正系列碱土铝硅酸盐岩亚组, IV 钙铝硅酸盐岩亚组,
- V 铝镁铁硅酸盐岩亚组, VI 铁硅酸盐岩亚组,
- VII 正系列镁质超基性岩组, VIII 正系列碱土低铝超基性岩组,
- IX 正系列碱土铝基性岩组, X 碱土钙系列低铝碳酸盐岩亚组,
- XI 碱土钙系列铝钙质亚组

c. 变质岩的 $w(Al_2O_3 + TiO_2) - w(SiO_2 + K_2O) - w(\Sigma \text{ 其余组分})$ 图解(底图据文献[25]):

- I 石英砂岩、石英岩,
- II 少矿砂岩、石英质砂岩, III 复矿砂岩, IV 长石质砂岩,
- V 钙质砂岩、含铁砂岩等, VI 化学上弱分异的沉积物:
- a 主要为杂砂岩, b 主要为复矿粉砂岩, c 泥质砂岩和寒带、
- 温带气候的陆相黏土, VII 化学上中等分异的黏土—寒带、
- 温带气候的海相和陆相黏土, VIII 潮湿气候带化学上强分异的黏土,
- IX 碳酸盐质含铁的黏土, X 泥灰岩,
- XI 硅质泥灰岩、含铁砂岩等, XII 含铁石英岩(碧玉铁质岩)

表 2 老湾金矿带变质岩稀土元素组成

Table 2 REE composition of metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt

岩性(样号)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
斜长角闪岩 (LW50-2-13)	16.7	35.98	5.47	22.84	4.815	0.932	3.706	0.7011	4.14	0.788	2.508	0.369	2.429	0.421	23.3
绿帘石化斜长角闪片岩 (LW16-50-1)	22.5	43.96	6.709	29.36	8.434	1.873	6.631	1.6362	10.92	2.241	7.016	1.061	6.55	1.149	59.87
绿帘石化斜长角闪岩 (LW16-50-10)	43.1	78.33	10.24	37.25	6.985	1.248	5.702	0.9459	5.171	1.004	3.237	0.473	3.089	0.545	27.64
斜长角闪岩 (ZK1203-20)	19.91	35.76	4.697	18.68	3.681	0.991	3.088	0.5481	3.079	0.606	2.019	0.3	1.981	0.365	17.78
二云石英片岩 (ZK1203-29)	55.44	97.7	13.07	48.16	9.151	1.57	7.587	1.2114	6.433	1.196	3.873	0.52	3.179	0.546	33.12
灰黑色大理岩 (BYZ16-12-10)	4.381	5.72	0.499	1.533	0.232	0.039	0.269	0.0288	0.129	0.025	0.083	0.016	0.103	0.023	0.899

注:测试单位为河南省岩石矿物测试中心,量单位 $w_B/10^{-6}$ 。

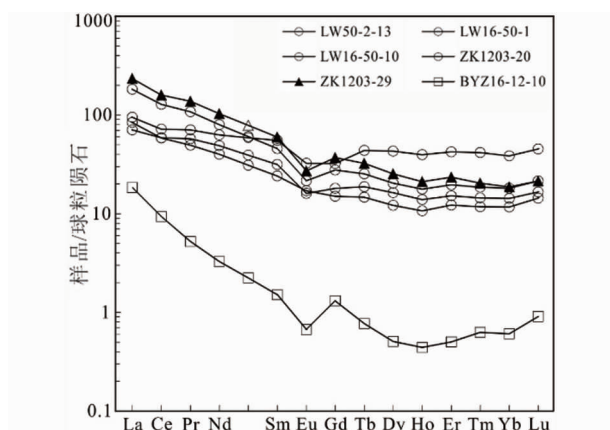


图 6 老湾金矿带变质岩稀土元素配分模式图

Fig. 6 The REE patterns of metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt

斜长角闪岩与二云石英片岩 REE 特征相似度很高,可能是由于两者均具有火山碎屑岩的特征。

在稀土元素 $w(\text{REE})-w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 图解(图 7)中,斜长角闪岩类主要投影在玄武岩的大陆拉斑玄武岩区域,两个样品落在玄武岩和钙质泥岩重叠区域,可能指示其部分原岩具有沉积岩的特征;二云石英片岩投影在玄武岩、花岗岩和沉积岩的重叠区,表明其原岩平均成分近于中性岩特征,再结合其产状及岩相学特征,其原岩应为沉积岩;大理岩投影在钙质泥岩边界附近,远离玄武岩和花岗岩区域,指示其原岩基本不具备火成岩特征,为较纯净的钙质泥岩。

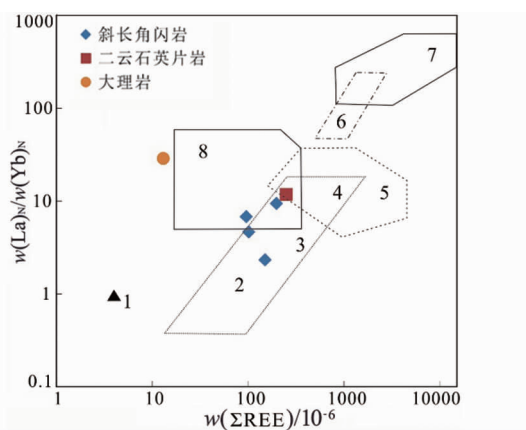


图 7 老湾金矿带变质岩 $w(\text{REE})-w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 图解
(底图据文献[26])

Fig. 7 $w(\text{REE})-w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ diagram of metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt

1. 球粒陨石; 2. 大洋拉斑玄武岩; 3. 大陆拉斑玄武岩; 4. 碱性玄武岩; 5. 花岗岩; 6. 金伯利岩; 7. 碳酸盐岩; 8. 钙质泥岩

4 讨论

变质岩原岩恢复的依据是变质岩的基本特征,即 4 个标志:地质产状和岩石组合、岩相学、岩石地球化学及副矿物;片面的依靠岩石地球化学是不全面的,应将地质特征与地球化学结合,综合分析,才能得出可靠结果^[20]。

(1) 变质岩原岩类型探讨

将地质产状和岩石组合特征、岩相学特征、岩石地球化学特征对三类岩石原岩恢复结果汇总如表 3。

表 3 老湾成矿带变质岩原岩恢复结果汇总

Table 3 Summary of restoration of the protoliths of metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt

岩性分类	原岩恢复要素及其指向结果			
	地质产状和岩石组合特征	岩相学特征	主量元素地球化学特征	稀土元素地球化学特征
斜长角闪岩类	基性火山岩、 基性岩脉	基性火山碎屑岩	碱性富铝基性火成岩	大陆拉斑玄武岩,具沉积岩特征
云母石英片岩类	陆源碎屑沉积岩		泥质岩、复矿砂岩、长石质砂岩、 杂砂岩和复矿粉砂岩	中性特征,沉积岩
大理岩类	纯钙镁碳酸盐岩		白云岩	较纯净的钙质泥岩

根据陆相火山岩与海相火山岩的特征对比^[20],老湾金矿带斜长角闪岩类与地层呈整合接触,可见火山弹、火山泥球,气孔和杏仁构造发育,这些特征指示其原岩为陆相火山岩。斜长角闪岩的稀土元素地球化学特征显示其原岩为大陆拉斑玄武岩,与地质特征相符。

以上对老湾金矿带 3 类变质岩的地质产状和岩石组合特征、岩相学特征及岩石地球化学特征进行原岩恢复结果表明:斜长角闪岩类原岩为大陆拉斑玄武岩(玄武质熔岩)、火山碎屑岩及少量基性岩脉,这三类岩石分别为火山岩的火山沉积相、侵出相和次火山相,其中以大陆拉斑玄武岩占绝大多数;云母石英片岩类原岩为中性泥质岩、砂岩等沉积岩;大理岩原岩为纯净的白云岩。

(2) 龟山岩组变质岩变质过程

龟山岩组地层原岩形成于 920 Ma 左右^[27],扬子陆块在中元古代发育陆缘裂谷盆地,新元古代早期其周缘一系列弧盆系形成,龟山岩组地层原岩有可能形成于扬子陆块的弧盆系中,之后扬子基底形成,并参与 Rodinia 超大陆汇聚过程^[28]。

刘志刚等^[29]对龟山岩组地层含石榴石斜长角闪片岩中角闪石⁴⁰Ar-³⁹Ar 法定年,证实了角闪岩在 410 Ma 左右经历了一次变质事件。大约在 430 Ma—450 Ma 发生了古特提斯洋洋壳撤退,之后在 400~430 Ma 古特提斯洋(勉略洋)的开放。在此期间,桐柏造山带经历了逆时针 P-T-t 演化轨迹,桐柏最可能的构造模式为秦岭洋脊向北俯冲,地幔物质上涌,产出低 P/T 的变质环境^[30],地幔物质上涌表现为老湾金矿带北 15 km 处大面积出露桃园岩体(426~433 Ma)^[31]、老湾金矿带南广泛出露的加里东晚期的变辉绿岩脉。

翟小民等^[32]对桐柏山北坡变质岩群中角闪岩相岩石中分离出的角闪石样品进行⁴⁰Ar-³⁹Ar 法年龄测定,结果显示龟山岩组角闪石的变质年龄为 314 Ma。400 Ma 之后,古特提斯洋洋壳向北俯冲,

造成了桐柏造山带信阳群的石炭纪 HP 变质作用。这代表了弧陆碰撞与华北陆块地壳增生的第三个事件^[17];老湾矿带及周围发育的海西期片麻状斜长花岗岩脉及超基性岩脉代表了这次热事件,同时在围山城北大面积出露海西期中粒黑云母花岗岩也是这次热事件的表现。

受中国东部早白垩世区域性伸展作用的影响,桐柏—红安—大别造山带在这一时期也有大规模的岩浆作用发生,老湾金矿带北 15 km 出露的梁湾岩体(132.5 ~ 137 Ma)^[31]、老湾花岗岩体(132.5 Ma)^[19]和松扒花岗斑岩脉带(138.9 Ma ± 3.3 Ma)^[15]为其代表。花岗岩以及少量基性-超基性岩石的侵位时间主要介于 140~120 Ma 之间^[33-34]。信阳群角闪岩中的角闪石坪年龄 130 Ma^[32],说明主期伸展构造变形几乎与岩浆侵入作用同时发生,龟山岩组岩石也在这一时期发生第三次变质作用。

综上,龟山岩组变质岩自中-新元古代形成以来,经历了志留纪、石炭纪、白垩纪三个时代三期变质作用,龟山岩组变质岩是其就位于地壳中的原岩发生陆壳俯冲再折返抬升退变质的产物^[35]。龟山岩组岩石的变质历史与桐柏造山带的构造演化史相对应;桐柏造山带演化模式为多阶段连续俯冲碰撞造山模式^[36],对于龟山岩组在其它演化阶段是否发生变质尚需进一步考证。

5 结论

(1)老湾金矿带龟山岩组斜长角闪岩类原岩为大陆拉斑玄武岩(玄武质熔岩)、火山碎屑岩及少量基性岩脉;云母石英片岩类原岩为中性泥质岩、砂岩等沉积岩;大理岩原岩为纯净的白云岩。

(2)龟山岩组形成于中-新元古代(920 Ma±),经历了志留纪(410 Ma±)、石炭纪(314 Ma±)、白垩纪(130 Ma±)三期变质作用,龟山岩组变质岩是

其先就位于地壳中的原岩后来发生陆壳俯冲再折返抬升退变质的产物。

参考文献:

- [1] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1998, 161(1-4): 215-230.
- [2] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing [J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 2000, 105 (B6): 13339-13364.
- [3] Ratschbacher L, Hacker B R, Calvert A, et al. Tectonics of the Qinling (Central China): tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history [J]. *Tectonophysics*, 2003, 366 (1-2): 1-53.
- [4] Dong Y, Zhang G, Neubauer F, et al. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41(3): 213-237.
- [5] Liu X C, Jahn B M, J. H U, et al. Metamorphic patterns and SHRIMP zircon ages of medium-to-high grade rocks from the Tongbai orogen, central China: implications for multiple accretion/collision processes prior to terminal continental collision [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2011, 29(9): 979-1002.
- [6] Liu X, Jahn B, Li S, et al. U-Pb zircon age and geochemical constraints on tectonic evolution of the Paleozoic accretionary orogenic system in the Tongbai orogen, central China [J]. *Tectonophysics*, 2013, 599(4): 67-88.
- [7] 吴元保, 郑永飞. 华北陆块古生代南向增生与秦岭-桐柏-红安造山带构造演化[J]. *科学通报*, 2013, 58(23): 2246-2250.
- [8] Zhang G, Yu Z, Yong S, et al. The major suture zone of the Qinling orogenic belt [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1989, 3(1-4): 63-76.
- [9] 胡能高, 赵东林, 徐柏青, 等. 北秦岭含柯石英榴辉岩的发现及其意义[J]. *科学通报*, 1994, 39(21): 2013.
- [10] Wang H, Wu Y B, Gao S, et al. Continental origin of eclogites in the North Qinling terrane and its tectonic implications [J]. *Precambrian Research*, 2013, 230(2): 13-30.
- [11] Wang H, Y. B. W U, Gao S, et al. Eclogite origin and timings in the North Qinling terrane, and their bearing on the amalgamation of the South and North China Blocks [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2011, 29(9): 1019-1031.
- [12] Cheng H, Zhang C, Vervoort J D, et al. Timing of eclogite facies metamorphism in the North Qinling by U-Pb and Lu-Hf geochronology [J]. *Lithos*, 2012, 136-139(4): 46-59.
- [13] 陈毓川, 朱裕生, 肖克炎, 等. 中国成矿区(带)的划分[C]//中国地质学会. 第八届全国矿床会议论文集, 2006.
- [14] 陈建立. 桐柏老湾金矿带成矿构造体系演化研究及其地质意义[J]. *地质找矿论丛*, 2019, 34(1): 36-46.
- [15] 杨梅珍, 陆建培, 付静静, 等. 桐柏山老湾金矿带与燕山期岩浆作用有关的岩浆热液金多金属矿床成矿作用——来自地球化学、年代学证据及控矿构造地质约束[J]. *矿床地质*, 2014(3): 651-666.
- [16] 刘晓春, 江博明, 李三忠, 等. 桐柏高压变质地体: 对桐柏-大别-苏鲁高压/超高压变质带构造框架和俯冲/折返机制的制约[J]. *岩石学报*, 2011, 27(4): 1151-1162.
- [17] Wu Y, Zheng Y. Tectonic evolution of a composite collision orogen: An overview on the Qinling-Tongbai-Hong'an-Dabie-Sulu orogenic belt in central China [J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1402-1428.
- [18] 杨梅珍, 付晶晶, 王世峰, 等. 桐柏山老湾金矿带右行走滑断裂控矿体系的构建及其意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2014(1): 94-107.
- [19] 刘翼飞, 江思宏, 方东会, 等. 河南桐柏老湾花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2008, 27(6): 33-37.
- [20] 桑隆康, 马昌前. 岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 620.
- [21] 丁莉, 王桂香. 河南省桐柏老湾金矿矿化特征及成因分析[J]. *化工矿产地质*, 2014(1): 13-23.
- [22] Tarney J. Geochemistry of Archean high-grade gneisses, with implications as to the origin and evolution of the Precambrian crust [M]. 1976: 405-417.
- [23] Simonen A. Stratigraphy and sedimentation of the Svecofenidic, early Archean supracrustal rocks in southwestern Finland [J]. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 1953, 160: 1-64.
- [24] Leake B E. The Chemical Distinction Between Ortho- and Para-amphibolites [J]. *Journal of Petrology*, 1964, 5(2): 238-254.
- [25] 王仁民. 变质岩原岩图解判别法[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [26] 赵振华, 王中刚, 于学元. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 349.
- [27] Liu X, Jahn B, Cui J, et al. Triassic retrograded eclogites and Cretaceous gneissic granites in the Tongbai Complex, central China: Implications for the architecture of the HP/UHP Tongbai-Dabie-Sulu collision zone [J]. *Lithos*, 2010, 119(3-4): 211-237.
- [28] 潘桂棠, 陆松年, 肖庆辉, 等. 中国大地构造阶段划分和演化[J]. *地学前缘*, 2016(6): 1-23.
- [29] 刘志刚, 富云莲, 牛宝贵, 等. 大别山北坡苏家河群及原信阳群龟山组变基性杂岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年及其地质意义[J]. *科学通报*, 1993, 38(13): 1214.
- [30] 向华. 北秦岭-桐柏造山带早古生代多期次变质作用及构造演化[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012.
- [31] 江思宏, 聂凤军, 方东会, 等. 河南桐柏围山城地区侵入岩年代学与地球化学特征[J]. *地质学报*, 2009, 83(7): 1011-1029.
- [32] Zhai X, Day H W, Hacker B R, et al. Paleozoic metamorphism in the Qinling orogen, Tongbai Mountains, central

- China [J]. *Geology*, 1998, 26(4): 371.
- [33] Zhao Z F, Zheng Y F, Wei C S, et al. Zircon U-Pb age, element and C-O isotope geochemistry of post-collisional mafic-ultramafic rocks from the Dabie orogen in east-central China [J]. *Lithos*, 2005, 83(1-2): 1-28.
- [34] Cui J, Liu X, Dong S, et al. U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Tongbai complex, central China: Implications for Cretaceous exhumation and lateral extrusion of the Tongbai-Dabie HP/UHP terrane [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 47: 155-170.
- [35] Liu Q, Wu Y B, Wang H, et al. Zircon U-Pb ages and Hf isotope compositions of migmatites from the North Qinling terrane and their geological implications [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2014, 32(2): 177-193.
- [36] He C, Dong S, Chen X, et al. Crustal structure and continental dynamics of Central China: A receiver function study and implications for ultrahigh - pressure metamorphism [J]. *Tectonophysics*, 2014, 610(1): 172-181.

Restoration and formation process of metamorphic rocks in the Laowan gold ore belt, North Qinling

TENG Lang¹, CHEN Jianli², CHEN Shouyu¹

(1. *China University of Geosciences (Wuhan), Faculty of Earth Resources, Wuhan 430074, China;*

2. NO.1 Geological Exploration Institute of Henan province, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The Laowan gold ore belt located in the northern edge of the Tongbai-Dabie orogenic belt is a medium-low P/T metamorphic belt composed of Precambrian epoch-amphibolite facies, amphibolite facies and granulite facies. The metamorphic rock occurrence, lithological assemblage, petrography and lithochemistry in the Laowan gold ore belt are comprehensively studied and the metamorphic rock's protolith and formation process are discussed. The results show that: 1. The protoliths of the plagioclase amphibolite of the Guishanyan formation in the Laowan gold ore belt are continental tholeiite (basaltic lava), volcanoclastic rocks and a few basic dykes. The protoliths of mica quartz schist are neutral sedimentary rocks such as neutral argillaceous rocks and sandstones. The protoliths of marble is pure dolomite. 2. The Guishanyan formation was formed during the Meso-Neoproterozoic (about 920 Ma) and exposed to three stages of metamorphism respectively in Silurian (about 410 Ma), Carboniferous (about 314 Ma), and the Cretaceous (about 130 Ma) period. The metamorphic rocks of the Guishanyan Formation are the products of the protoliths that emplaced in the crust then exhumed to shallow part by subduction of the continental crust and retrogressively metamorphosed.

Key Words: Laowan gold ore belt; medium-low P/T metamorphic belt; protoliths restoration; metamorphic rock formation process; North Qinling; Henan province