

晋北娄烦吕梁群变质相带的划分及其成因研究

卢保奇¹⁾ 王赐银²⁾

(1) 上海大学材料科学与工程学院, 上海 201800 (2) 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘 要 晋北娄烦吕梁群由一套经受过两期不同性质变质作用的泥砂质岩、基性火山岩和酸性流纹岩组成。早期为吕梁期变质作用, 其结果使该区地层构造形迹总体上呈 NE 走向; 晚期为西川河韧性剪切断裂所产生的区域变质作用, 其结果使该区地层走向由早期的 NE 向扭转为近 SN 向, 且使地层层序发生倒转, 并与递增变质带的形成关系密切。选取该区中对变质温度和压力变化反映较敏感的原岩为泥砂质岩石的袁家村组和裴家庄组地层为研究对象, 采用电子探针微区分析(EPMA)对沿地层走向上连续分布的特征变质矿物及矿物共生组合特征进行研究, 并利用矿物对地质温度计估算该区不同采样点的变质温度和压力条件, 对研究区进行变质相带的划分, 确定各变质相带的变质温、压条件, 并探讨其成因。研究结果表明, 袁家村组和裴家庄组为等化学系列地层。沿该地层走向上: 西川河断裂以北地区, 从北向南, 特征变质矿物绿泥石、黑云母、石榴石、十字石和蓝晶石依次规律出现, 西川河断裂以南地区, 红柱石和夕线石依次规律出现。根据特征变质矿物的空间分布规律、首次出现的地点及矿物共生组合特征, 划分出 5 个变质带: 绿泥石带、黑云母带、石榴石带、十字石-蓝晶石带和红柱石-夕线石带。这一完整的递增变质带可与苏格兰高地的巴罗型相媲美。矿物对地质温度计估算结果表明, 在西川河断裂的南北地区, 该递增变质带分处不同的变质条件: 北部以中压变质作用为主($p = 300 \sim 700 \text{ MPa}$), 而南部以高温低压变质作用为主($T = 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $p < 300 \text{ MPa}$)。吕梁群这一完整的递增变质带受西川河韧性剪切断裂所控制。韧性剪切变质作用是叠加在吕梁期区域变质作用的基础之上, 是对后者的改造。

关键词 递增变质带 特征变质矿物 等化学系列 地质温度计 西川河韧性剪切断裂

The Study on the Designation of the Metamorphic Belts and Their Genesis in Lüliang Groups in Loufan Districts Shanxi Province

LU Baoqi¹⁾ WANG Ciyin²⁾

(1) Material School of Shanghai University, Shanghai 201800;

(2) Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093)

Abstract The original layers of metamorphic rocks of Lüliang group in Loufan district Shanxi province consist of the muddy sedimentary and igneous rocks, which had undergone the two different metamorphisms, namely: the early Lüliang metamorphisms and the late fault-type ductile shear deformation metamorphisms. The former caused the northeast layer's occurrence, while the latter had the northeast layer's occurrence turned to the nearly north-south and overlapped on the former and closely linked to the formation of metamorphic belts. The author chooses the muddy sediment sensitive to T and p as the subject to study. To designate the metamorphic belts of the metamorphic rocks involved and determine the T and p of the respective metamorphic belts, EPMA and geothermometry are adopted in the research. The five metamorphic belts (Chlorite belt $\rightarrow$ Biotite belt $\rightarrow$ Almandine belt $\rightarrow$ Staurolite and Kyanite belt $\rightarrow$ Andalusite and Sillimanite belt) have been designated based on the sequences of the characteristic metamorphic minerals appearing firstly in distribution in the research area. The result shows that there exists the set of complete progressive metamorphic belts that is comparable to the famous Barrovian type in Scotland. Moreover, the metamorphic conditions in the belts are different: the North is controlled by higher pressure ($p = 300 \sim 700 \text{ MPa}$), while the South by higher temperature ($T = 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $p < 300 \text{ MPa}$), both of which are attributed to the fault-type ductile shear deformation of Xichuan river.

Key words progressive metamorphic belt characteristic metamorphic mineral geothermometry rock layers with the same chemical composition the fault-type ductile shear deformation of Xichuan river

本文为国家自然科学基金资助项目(批准号: 49372102)资助。

改回日期: 2003-5-21, 责任编辑: 宫月萱。

第一作者 卢保奇, 1967 年生, 在读博士生, 岩石专业, 主要从事岩石矿物学教学与科研工作。

晋北娄烦吕梁群袁家村-何家兰发育一套完整的与地层走向近于垂直的递增变质分带。在南北相距 20 余公里的范围内,出现这样完整的、连续分布的递增变质分带和特征变质矿物在国内尚属典型,完全可与苏格兰高地的巴洛型相媲美。南京大学地质系、天津地质矿产研究所和山西省区测队曾先后对该递增变质分带进行过研究,但对该区变质岩石学、变质特征矿物和变质相带的划分尚未有深入系统的阐述。因此,笔者选取该区出露的特征变质矿物进行 EPMA 和岩石学系统研究,计算不同地点的变质温、压条件,对变质相带进行详细的划分,并对变质带的成因进行探讨。

1 地质概况

1.1 地质特征

山西岚县袁家村,即娄烦县尖山吕梁群出露的地层为早元古代的宁家湾组、袁家村组、裴家庄组、近周营组和杜家沟组(图 1)。岩石类型主要包括变质砂岩、千枚岩和片岩及双峰式火山岩等(于津海等,1997a)。其中袁家村组赋存重要的铁矿资源。在地层层序上,现为近 SN 走向、向东倾斜的上述 5 组地层层序发生倒转。吕梁群上覆第四系冲积层。

区内以近 EW 向的断裂构造活动为主,其中以西川河断裂构造带为代表。西川河为一向南倾的左旋逆冲韧性剪切断裂带,以北地区为下盘,以南为上盘,逆冲距离为 3~5 km(田永清,1986)。

1.2 变质岩石学特征

笔者选取对变质温、压反映较灵敏的袁家村组和裴家庄组地层为研究对象。经研究其原岩为等化学系列的泥砂质沉积岩类(卢保奇等,2003a)。从北向南,沿走向上这两组地层在不同的变质条件下出现了一系列不同的变质岩类、特征变质矿物和变质矿物组合(表 1)。

2 特征变质矿物

研究区特征变质矿物种类、分布位置及其成分特征列于表 2。

经计算,绿泥石分子式为: $(\text{Mg}_{1.09} \text{Fe}_{3.01}^{2+} \text{Al}_{1.62})_{\Sigma 5.72}(\text{Si}_{2.77} \text{Al}_{1.23})_4 \text{O}_{10} [\text{OH}]_8$, 属铁绿泥石。硬绿泥石的分子式为 $(\text{Mn}_{0.01} \text{Mg}_{0.12} \text{Fe}_{1.92}^{2+})_2 \text{Al}_{4.33} \text{O}_2 (\text{Si}_{2.22} \text{O}_4)_4 (\text{OH})_4$, 以富铁为特征。石榴石分子式为 $(\text{Mg}_{0.2} \text{Ca}_{0.8} \text{Fe}_{0.2})_2 \text{Al}_{2.01} (\text{Si}_{3.08} \text{O}_4)_3$, 属铁铝榴

石。蓝晶石分子式为 $\text{Al}_{2.01} (\text{SiO}_4)_3 \text{O}$ 。

成分变化特征从北向南为:

(1) 黑云母的 MgO 含量呈增加趋势; CaO 呈减小趋势。且大小由雏晶逐渐变为较大的变斑晶。多色性发生变化:由 Ng-褐色变为 Ng-褐红色。

(2) 石榴石 CaO、MnO 含量降低, FeO、MgO 的含量增加。结合十字石、蓝晶石、红柱石和夕线石的依次出现以及岩石结构构造的变化可以确定:从北向南变质程度逐渐加深(卢保奇等,2002)。

(3) 十字石 FeO 达 12% 左右; $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ 为 0.84。

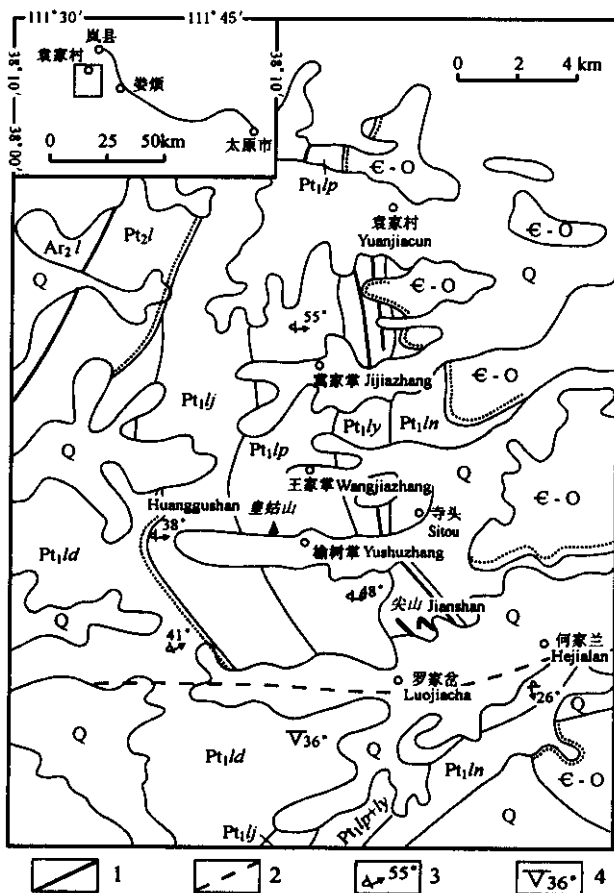


图 1 袁家村-尖山地区地质略图

Fig. 1 The geological map of Yuanjiacun-Jianshan
1-磁赤铁矿层 2-西川河断裂带 3-地层倒转产状 4-片麻理产状;
Pt₁ld-杜家沟组 Pt₁lj-近周营组 Pt₁lp-裴家庄组 Pt₁ly-袁家村组;
Pt₁ln-宁家湾组; €-O-寒武-奥陶纪 Q-第四系冲积层;
Pt₂l-元古代岚河群; Ar₂j-元古代花岗岩
1-magnetite layer 2-the fault of Xichuan river 3-the occurrence of reversed layers 4-the foliation in gneiss
Pt₁ld-Dujiagou formation Pt₁lj-Jinzhoyin formation Pt₁lp-Peijia-zhuang formation Pt₁ly-Yuanjiacun formation Pt₁ln-Ningjiawan formation; €-O-Cambrian-Ordovician period Q-the fourth epoch alluvium;
Pt₂l-Proterozoic lanhe group; Ar₂j-Proterozoic granite

表 1 袁家村组和裴家庄组变质岩类及特征变质矿物

Table 1 The major property of metamorphic rocks and minerals in Yuanjia Cun and Peijia Zhuang

西 川 河 北	位置		主要变质岩	代表性矿物组合	特征变质矿物	结构构造
	北段	袁家村	变质砂岩、粉砂岩含硬绿泥石千枚岩、黑云母千枚岩	绢云母 + 绿泥石 + 黑云母 + 石英	铁绿泥石、铁硬绿泥石	变余泥质结构 ,变余砂质结构 ,千枚状构造
	中段	皇姑山榆树掌	含榴硬绿泥片岩、含榴石白云母片岩、石榴二云母片岩	铁铝榴石 + 白云母 + 黑云母 + 石英	黑云母、硬绿泥石、铁铝榴石	显微鳞片变晶结构 ,斑状变晶结构 ,片状构造
	南段	尖山一带	石榴二云母片岩、十字石榴云母片岩、蓝晶十字白云母片岩	十字石 + 蓝晶石 + 铁铝榴石 + 黑云母 + 白云母 + 石英	十字石 蓝晶石	鳞片变晶结构 ,片状构造
西 川 河 南	何家兰南		夕线二云母片岩、石榴二云母片岩、十字夕线石榴红柱云母片岩	夕线石 + 铁铝榴石 + 红柱石 + 黑云母 + 石英	红柱石、夕线石	粒状鳞片变晶结构 ,片状构造

表 2 研究区特征变质矿物的电子探针分析及相关计算结果

Table 2 The result of EPMA and related data of metamorphic minerals in the research area %

产地	王家掌	袁家村	王家掌	榆树掌		尖山				何家兰南	
位置	从 北—————→南										
变质带	绿泥石带	石榴石带				十字石蓝晶石带				红柱石夕线石带	
样号	LW2	g-218	bd-9-1	TL-60		9012-1	9012-2		LJ1-6	LH1-2	
矿物	绿泥石	石榴石	硬绿泥石	黑云母	石榴石	石榴石	黑云母	十字石	蓝晶石	石榴石	黑云母
SiO ₂	29.68	37.94	28.85	34.68	37.93	38.50	36.71	28.64	37.52	37.72	35.59
TiO ₂	0.03	0.20	0.00	1.55	0.00	0.05	1.75	0.43	0.00	0.01	1.65
Al ₂ O ₃	26.82	19.21	44.32	19.40	21.97	24.32	20.50	56.26	63.71	22.11	19.41
FeO*	34.08	18.76	23.98	21.84	35.41	32.04	20.04	12.42	0.17	36.79	21.65
MnO	0.08	15.23	0.17	0.02	0.00	0.03	0.00	2.59	0.00	0.01	0.02
MgO	7.01	0.62	0.86	9.29	1.88	2.13	9.30	1.30	0.03	1.69	9.78
CaO	0.25	8.87	0.00	0.08	1.60	2.08	0.00	0.00	0.00	2.86	0.04
Na ₂ O	0.08	0.03	0.00	0.16	0.01	0.02	0.24	0.22	0.00	0.00	0.11
K ₂ O	0.06	0.00	0.04	7.84	0.00	0.00	8.87	0.01	0.00	0.00	7.93
总和	98.09	100.96	98.22	95.16	98.80	98.17	97.14	99.85	101.4	101.19	96.18
Si	3.02	3.07	3.12	2.65	3.06	3.14	2.71	3.83	1.00	3.00	2.68
Al ^{IV}	1.31	0.00	0.00	1.37	0.00	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	1.32
Al ^{VI}	1.68	2.00	4.02	0.40	2.09	2.12	0.42	8.86	2.00	2.07	0.40
Ti	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.10	0.04	0.00	0.00	0.09
* Fe ²⁺	3.06	2.01	1.94	1.40	2.39	2.20	1.31	1.39	0.00	2.45	1.60
Mn	0.01	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00
Mg	1.06	0.21	0.16	1.09	0.23	0.26	1.04	0.26	0.00	0.20	0.71
Ca	0.03	0.50	0.00	0.01	0.14	0.20	0.00	0.00	0.00	2.24	0.00
Na	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.06	0.00	0.00	0.02
K	0.01	0.00	0.00	0.77	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.76

注 仪器型号 JCSA-733 加速电压 15 kV 束流 2×10⁻⁸ A 样品由南京大学地球科学系中心实验室楚雪君测试 样品 bd-9-1、g-218 据山西省地质科学研究所。

万方数据

3 变质相带的划分

3.1 变质相带的划分

根据变质特征矿物的首次出现、矿物共生组合及岩石的结构和构造的变化和组合,划分出 5 个递增变质带(图 2)。

(1)绿泥石带:该带界定在冀家掌-宁家湾以北地区。代表性矿物组合为绿泥石+硬绿泥石+绢云母+石英。岩石组合:变质砂岩和千枚岩等。变余结构、构造保留较好。

(2)黑云母带:根据黑云母雏晶的首次出现将该带划定在冀家掌-宁家湾,此处标志着进入黑云母带。岩石类型为变质砂岩、千枚岩和片岩。变余结构、构造保留较差。代表性矿物组合为绢云母+绿泥石+黑云母+硬绿泥石+石英。

(3)铁铝榴石带:该带划定在皇姑山-寺头一线。此处标志着黑云母带的终结,铁铝榴石带的进入。岩石组合为含榴硬绿泥片岩、石榴二云母片岩等。矿物组合为铁铝榴石+黑云母+白云母+石英。

(4)十字石-蓝晶石带:根据榆树掌南山坡十字石的首次出现及在尖山北侧蓝晶石首次出现,将该带确定在京家岔-榆树掌至尖山一线。由于十字石、蓝晶石处于过渡状态,界线不很明确,故将其划分为一个带。岩石类型为十字石榴云母片岩、蓝晶十字白云母片岩等。矿物组合为十字石+蓝晶石+铁铝榴石+黑云母+白云母+石英。该变质带内构造变形强烈,先存的构造形迹经改造已呈近 SN 向排列。

(5)红柱石-夕线石带:该带划定在西川河断裂带南岸(何家兰南)宽约 50 m 的范围内。岩石组合包括石榴二云母片岩、十字夕线石榴红柱云母片岩。矿物组合为铁铝榴石+红柱石+夕线石+黑云母+石英。

3.2 变质带的温压估算

利用各变质带中共生的石榴石-黑云母矿物对地质温度计和压力计(Perchuk 等,1981)计算出各变质带形成的温、压条件(表 3)。表中:

公式 1(Thompson,1976)

$$\ln K_D = (-2743/T) + 1.564,$$

$$K_D = \frac{(Mg/Fe)_{Ga}}{(Mg/Fe)_{Bi}}$$

公式 2(Holdway,M.J,1977)

$$\ln K_D = (-3095/T) + 1.978,$$

$$K_D = \frac{(Mg/Fe)_{Ga}}{(Mg/Fe)_{Bi}}$$

式中, K_D -Fe、Mg 的分配系数; T -绝对温度,单位为 K; Ga -石榴石; Bi -黑云母

4 变质带的成因

该区主要经历了早期的吕梁期变质作用和后期的西川河韧性剪切断裂所产生的区域变质作用。前者发生的时代为早元古代早期,其结果使该地层早期构造形迹总体上呈 NE 走向。变质作用以低绿片岩相为主。而后期西川河韧性剪切断裂则与递增变质带的形成密切相关。该区变质作用的锆石 U-Pb 年龄为 2 100 Ma(于津海等,1997b;谢广智等,1999),为早元古代。此期该区产生近似 NS 向挤压剪切应力,形成近似呈 EW 向大型断裂和推覆构造,即陆内“A”型俯冲(冯向阳等,2001)。其中以西川河韧性剪切断裂为代表。该断裂构造活动带宽约 3~5 km,控制了周围地层的展布、变质作用的发生与发展,以及变质带的形成,表现在:等化学系列岩层(袁家村组与裴家庄组)沿走向变质特征矿物有序出现;上述 5 个递增变质带展布方向近相互平行,且与西川河韧性剪切带走向一致。

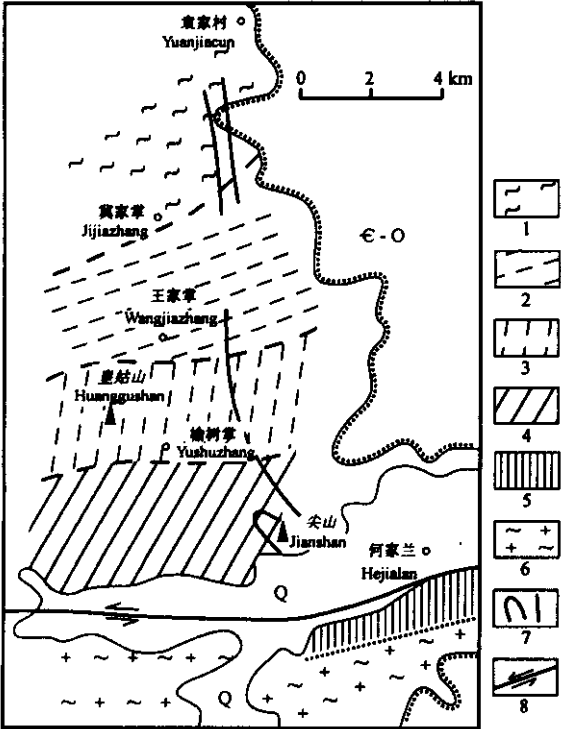


图 2 吕梁群袁家村组和裴家庄组地层变质相带划分

Fig.2 Metamorphic belts from Yuanjiacun Fm and Peijiazhuang Fm of Luliang Group

- 1-绿泥石带 2-黑云母带 3-铁铝榴石带 4-十字石-蓝晶石带;
- 5-红柱石-夕线石带 6-片麻状混合岩、混合花岗岩;
- 7-铁矿带 8-西川河断裂带

1-chlorite belt 2-biotite belt 3-almandine belt 4-staurolite and kyanite belt 5-andalusite and sillimanite belt 6-sheet-like and mixed granite; 7-ferric ore layer 8-the fault of Xichuan river

表 3 各变质带的变质温度和压力

Table 3 The result of metamorphic *T* and *p* calculated by the geothermometry

变质带	采样点	样号	矿物对	Mg (Mg + Fe ²⁺ + Mn + Ti)	T/℃		p/MPa
					公式 1	公式 2	
绿泥石带(蒋永年 ,1984)					350~450		200~400
铁铝榴石带	榆树掌	TL-60	石榴石、黑云母	0.09	470	480	400~500
				0.44			
十字石蓝晶石带	尖山	9012	石榴石 黑云母	0.11	510	520	500~700
				0.45			
			石榴石	0.10	540		
			十字石	0.11			
红柱石夕线石带	何家兰南	LH1-2	石榴石	0.08	590	570	<300

笔者认为 ,西川河韧性剪切变质作用控制了吕梁群递增变质带的形成和发展 ,该剪切作用是叠加在吕梁期变质作用的基础之上 ,是对后者的改造。

5 结论

(1)山西娄烦吕梁群存在一完整的递增变质带 ,从北向南依次为 绿泥石带、黑云母带、铁铝榴石带、十字石-蓝晶石带和红柱石-夕线石带。

(2)该变质带的北部和南部分处不同的变质条件 北部以中压变质作用为主(*p* = 300~700 MPa),而南部以高温低压变质作用为主(*T* = 600 ℃)。

(3)递增变质带的形成和发展受西川河韧性剪切断裂带控制。

参 考 文 献

冯向阳 ,孟宪刚 ,邵兆刚. 2001. 雪峰山陆内造山带变形特征及挤压推覆-伸展滑脱构造的物理模拟. 地球学报 ,22(5) :419~425.

蒋永年. 1984. 山西袁家村铁矿黑硬绿泥石的初步研究. 天津地质矿产研究所所刊 (11) :48~54.

卢保奇 ,翁臻培. 2003. 晋北吕梁群石榴石的特征及指示意义. 珠宝科技 ,14(2) :1~5.

卢保奇 ,王赐银 ,翁臻培. 2003. 晋北吕梁群含石榴石变质岩的地球化学特征. 上海大学学报(自然科学版) (4) :138~144.

田永清. 1986. 山西省岚县袁家村前寒武纪沉积铁矿床的地质构造特征与形成条件研究. 山西地质科学研究所所刊 (2) :32~39.

谢广智 ,陈江锋 ,董树文. 1999. 大别山造山带南部浅变质岩的锆石 U-Pb 年龄. 地球学报 ,20(4) :335~341.

于津海 ,王德滋 ,王赐银等. 1997a. 山西吕梁群早元古代双峰式火山岩的地球化学特征及成因. 岩石学报 ,13(1) :59~70.

于津海 ,王津滋 ,王赐银. 1997b. 山西吕梁群及其主变质作用的锆石

U-Pb 年龄. 地质论评 ,43(4) :403~408(in Chinese with English abstract).

References

Feng Xiangyang ,Meng Xiangang ,Shao Zhaogang. 2001. The deforming features and physics imitation of thrust and slippage tectonics of inland mountain-forming belt in Xuefeng mountain. Acta Geoscientia Sinica ,22(5) :419~425(in Chinse with English abstract).

Jiang Yongnian. 1984. Priliminary study on stibite in iron deposit in Yuanjiacun ,Shanxi province. Journal of Tianjin Geologic Institute , (11) :48~54(in Chinese).

Lu Baoqi ,Wen Zhenpei. 2002. The features and indications of garnets in Luliang group Shanxi province. Science and Technology of Jewelry , 14(2) :1~5(in Chinese with English abstract).

Lu Baoqi , Wang Ciyin , Wen Zhenpei. 2003. The geological and geochemical features of the metamorphic rocks containing garnet in Luliang group Shanxi province. Shanghai University Acta (4) :138~144(in Chinese with English abstract).

Perchuk L L et al. 1981. International Geology. Thermodynamics of Minerals and Melts ,111~129.

Yu Jinhai ,Wang Dezi ,Wang Ciyin. 1997. Zircon U-Pb age of Luliang group and it 's main metamorphism. Geological Review ,43(4) :403~408(in Chinese with English abstract).

Tian Yongqing. 1986. Study on the forming conditions and tectonic features of Precambrian iron deposit in Lan country ,Shanxi province. Journal of Shanxi Geological Institute (2) :32~39(in Chinese).

Xie Guangzhi , Chen Jiangfeng ,Dong Shuwen. 1999. Zircon U-Pb age of metamorphic rocks in the south of Dabie mountain. Acta Geoscientia Sinica ,20(4) :335~341(in Chinese with English abstract).

Yu Jinhai ,Wang Dezi ,Wang Ciyin. 1997. Geochemical feature and genesis of early Proterozoic double peak typed igneous in Luliang group , Shanxi province. Acta Petrologica Sinica ,13(1) :59~70(in Chinese with English abstract).