

冀东青龙地区浅变质岩系的 钐—钕同位素年龄及其地质意义

耿元生, 沈其韩, 张宗清

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要:冀东青龙地区出露的浅变质岩系主要由角闪黑云变粒岩、变质基性—酸性火山岩、浅粒岩、二云石英片岩等组成, 夹变质砾岩和铁英岩。姚家沟附近变质砾岩上下的斜长角闪岩的 Sm-Nd 等时年龄为 $(2\,696 \pm 185)\text{ Ma}$, 7 个样品的 t_{DM} 为 $2\,890 \sim 2\,955\text{ Ma}$ 。西汉沟具变余枕状构造的斜长角闪岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 $(2\,793 \pm 69)\text{ Ma}$, 其平均模式年龄为 $2\,884\text{ Ma}$ 。两套样品相对集中的模式年龄 (2.9 Ga) 代表这套火山岩从地幔分异出的时间, 等时线年龄则代表火山岩系形成的时间。

关键词: Sm-Nd 同位素年龄; 太古宙; 变质砾岩; 青龙地区

中图分类号: P588.3

文献标识码: A

文章编号: 1000—3967(1999)03—0271—06

1 地质背景

在冀东东部的安子岭片麻岩和迁西杂岩之间出露一套浅变质岩系, 主要分布在青龙县东部的扎栏杖子—棒罗台—老爷庙一带, 呈北北东向狭长分布, 面积约 300 km^2 。这套浅变质岩系下部主要为角闪黑云斜长变粒岩夹浅粒岩、含榴黑云片岩及镁铁闪石铁英岩; 中部为具枕状构造的基性—酸性火山熔岩、黑云变粒岩、变质砾岩等; 上部为黑云斜长(二长)变粒岩、石榴二云石英片岩夹铁英岩。变质程度为绿片岩相—低角闪岩相。这套浅变质岩系与安子岭片麻岩和迁西岩群间均为断层接触。本区自 1960 年长春地质学院建立了单塔子群、朱杖子群的地层系统以来, 许多单位和地质学家进行了大量的工作^[1~6], 提出了不同的地层划分方案。但关于这套浅变质岩系的时代归属和地层划分等问题仍存在不同认识。本文通过 Sm-Nd 同位素地质年代学的研究进一步讨论这些问题。

2 同位素年龄测定方法和结果

2.1 测定方法

Sm-Nd 同位素年龄测定根据张宗清等^[7]报道的方法进行, 质谱测定在 MAT-261 固体质谱计上完成, 双 Re 带, M^+ 离子型式, 多法拉第筒接收器接收。Nd 同位素质量分馏采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.721\,9$ 进行校正。年龄计算采用 Yock^[8]的回归方法, 衰变常数 $\lambda(^{147}\text{Sm}) =$

收稿日期: 1998-10-05; 修订日期: 1999-03-29

基金项目: 地质矿产部重点科技项目(9501116)和国家自然科学基金项目(49832030)资助。

(作者简介: 耿元生(1959—), 男(汉族), 北京市人, 硕士, 研究员, 从事前寒武纪地质和变质岩岩石学研究。 <http://www.cnki.net>

$6.54 \times 10^{-12} \text{a}^{-1}$ 。文中的模式年龄为相对亏损地幔的 Nd 同位素模式年龄, 计算公式为: $t_{\text{DM}} = (1/\lambda) \ln[(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - 0.513\,15) / (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} - 0.213\,7) + 1]$ 。

2.2 基性火山岩的 Sm-Nd 年龄测定结果

用于 Sm-Nd 同位素年龄测定的一组样品采自青龙县的姚家沟(图 1)。该处出露的主要是一套斜长角闪岩、阳起角闪片岩夹黑云变粒岩, 前者原岩主要为玄武岩。其中夹一薄层砾岩, 砾石为长英质, 透镜状、竹叶状, 强烈拉长, 可能属于构造砾岩。这套岩层曾划归双山子群的棒罗台组^[5]。孙大中等^[1]则认为此处的砾岩与张家沟砾岩同属一层, 因此把砾岩归入青龙河群张家沟组, 其西(下伏)为双山子群鲁杖子组, 其东(上覆)为青龙河群棒罗台组。

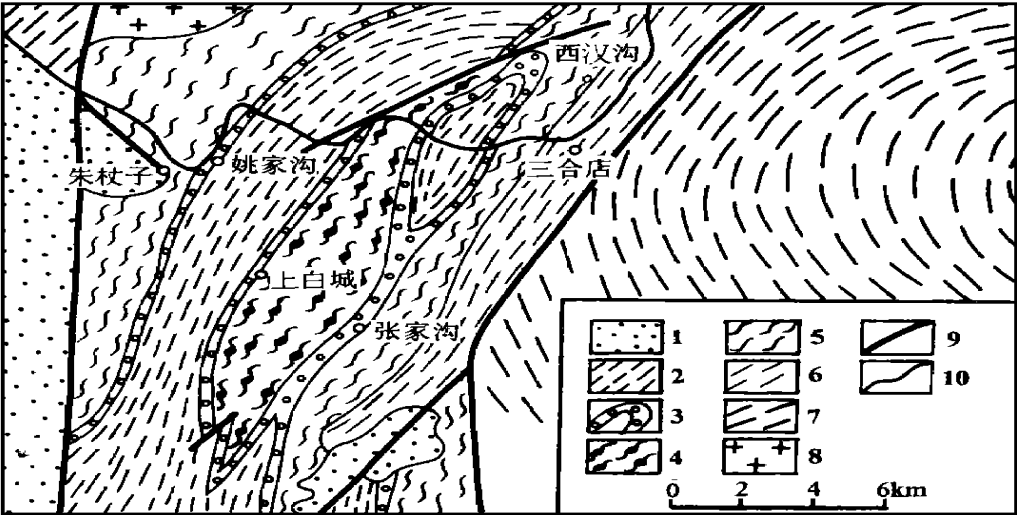


图 1 青龙地区地质略图及采样位置(据孙大中等, 1984, 修改)

Fig. 1 Geological sketch map and sampling localities in the Qinglong area

- 1—中上元古界; 2—青龙河群棒罗台组; 3—青龙河群张家沟组; 4—双山子群下白城组;
5—双山子群鲁杖子组; 6—双山子群茨榆山组; 7—安子岭杂岩; 8—花岗岩体; 9—断层; 10—公路

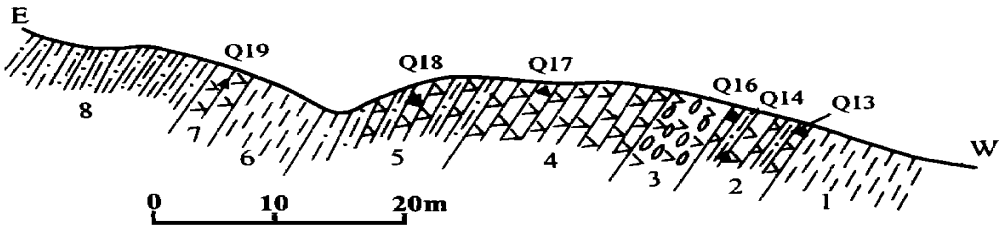


图 2 姚家沟采样剖面图

Fig. 2 Section showing the sampling localities at Yaojiagou

- 1—云母片岩; 2—斜长角闪岩和黑云变粒岩互层; 3—砾岩层; 4—斜长角闪岩; 5—斜长角闪岩和黑云变粒岩互层; 6—云母片岩; 7—斜长角闪岩; 8—黑云变粒岩; ▲Q16—采样位置及样品号

本次采集的 7 个样品分布于砾岩层的上下 50 余米范围(图 2), 岩性为斜长角闪岩、阳起角闪片岩, 样品新鲜, 无明显的蚀变。7 个样品的全岩 Sm-Nd 同位素测定结果如表 1 所示。7 个样品相对亏损地幔的模式年龄从 2 890 Ma 到 2 955 Ma, 离散性很小, 表明它们是同源的, 符合等时线年龄的要求。7 个样品的等时线年龄(图 3)为(2 696±185) Ma, I_{Nd} 值为 0.509 23±16(2 σ), $\epsilon_{Nd}(t)$ 为+1.8±1.5。由于该组样品的 Nd 模式年龄的一致性较好, 可以认为 2 890~2 955 Ma(平均为 2 918 Ma)的模式年龄大体代表这套基性火山岩的母岩从地幔中分异出的时间, 2 696 Ma 的等时线年龄基本代表这套火山岩的形成时间。

另一组样品采自青龙县西汉沟村西约 500 m 处, 该处出露的岩石主要为具变余枕状构造的斜长角闪岩, 夹少量薄层角闪斜长岩和黑云角闪斜长变粒岩及具变余斑状构造的绢云钠长片岩。原岩以基性火山岩为主, 夹少量中酸性火山岩, 属双山子群鲁杖子组(图 1)。其中具变余枕状构造的斜长角闪岩呈块状, 岩枕色稍深, 粒度细致密, 呈长椭圆至透镜状, 受到了变形改造。在 30 余米的连续露头范围内共采集 10 个样品, 以斜长角闪岩为主, 其中包括较细的岩枕, 还有个别样品为角闪斜长岩或角闪斜长变粒岩(G67, G72)。样品的 Sm-Nd 同位素测定结果见表 1, 其值在等时图上的分布如图 4。尽管 7 个斜长角闪岩样品的分析值较接近, 在图 4 上集中在一个点附近, 但由于其他样品岩性有一定差别, 所以 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值为 0.105 4~0.227 5, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值由 0.511 044 到 0.513 203, 分布区间较大, 构成一条较好的等时线。其年龄 $t=(2793\pm69)\text{Ma}$, $I_{Nd}=0.509\,194\pm67$, $\epsilon_{Nd}(t)=+2.0$ 。

表 1 姚家沟变玄武岩的 Sm-Nd 同位素分析结果

Table 1 Results of the Sm-Nd isotope analysis of metabasalt at Yaojiagou							
地区	序号	样品号	Sm($\times 10^{-6}$)	Nd($\times 10^{-6}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$t_{DM}(\text{Ma})$
姚家沟	1	Q-13	3.722	18.058	0.124 7	0.511 452±10	2 890
	2	Q-14	3.981	17.724	0.135 9	0.511 68±10	2 905
	3	Q-15	3.611	17.082	0.127 9	0.511 502±9	2 909
	4	Q-16	3.713	16.277	0.138 0	0.511 673±16	2 955
	5	Q-17	4.447	19.290	0.139 5	0.511 725±15	2 909
	6	Q-18	3.693	16.091	0.138 8	0.511 692±10	2 948
	7	Q-19	3.698	16.624	0.134 6	0.511 628±10	2 914
西汉沟	1	G-67	5.200	29.834	0.105 4	0.511 044±5	2 953
	2	G-68	2.417	7.682	0.190 3	0.512 618±16	3 437
	3	G-69	2.279	6.220	0.221 6	0.513 127±15	1 705 *
	4	G-70	2.018	5.596	0.218 1	0.513 142±10	2 860 *
	5	G-71	2.041	5.616	0.219 9	0.513 185±9	2 979 *
	6	G-72	4.344	19.269	0.136 4	0.511 728±12	2 787
	7	G-73	2.112	5.905	0.216 4	0.513 080±10	2 138 *
	8	G-74	1.845	4.907	0.219 8	0.513 162±7	2 691 *
	9	G-75	1.953	5.404	0.218 7	0.513 157±13	2 915 *
	10	G-76	2.053	5.646	0.220 0	0.513 178±6	2 861 *

注: * 样品因 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 和/或 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值接近亏损地幔的相应值, 模式年龄采用 ISOPLLOT 软件计算

值得注意的是, 所分析的斜长角闪岩样品多具较高的 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值, 甚至高于假设的亏损地幔的相应比值($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.213\,7$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.513\,15$), 表

明该处具变余枕状构造的斜长角闪岩的母岩来自十分亏损的地幔源区。在这种情况下，无法采用前述公式计算它们的模式年龄，故采用 ISOPLLOT 软件计算了其模式年龄。除 G69 和 G73 两个样品模式年龄较小外，其他样品的模式年龄均大于 2 691 Ma，7 个模式年龄相近样品的平均模式年龄为 2 844 Ma。需要指出的是，G69，G68 和 G73 等 3 个样品模式年龄偏差较大，并不能说明这几个样品与其他样品不具成因联系。从模式年龄计算公式可知，当样品 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值接近假设的亏损地幔源区的 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值时，计算的模式年龄的误差较大^[9]。这几个样品的 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值都接近假设亏损地幔源区的该比值，因此其模式年龄较大的偏差可能与此有关。

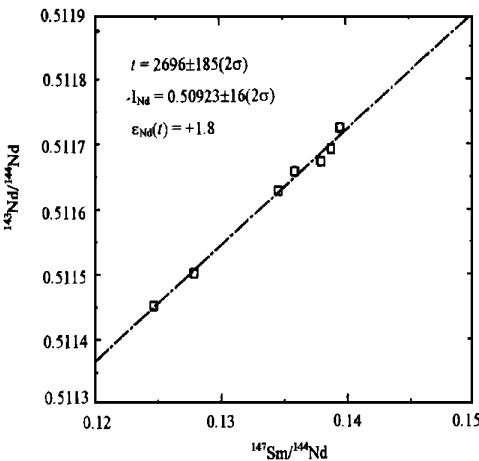


图 3 姚家沟砾岩层上下斜长角闪岩的 Sm-Nd 等时线图

Fig. 3 Sm-Nd isochron diagram of the upper and lower amphibolites in the Yaojiagou conglomerate

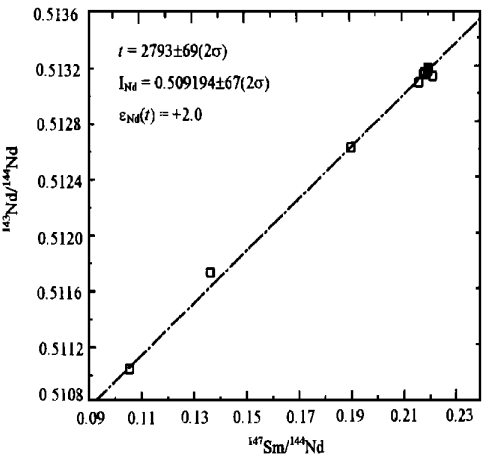


图 4 西汉沟变质火山岩的 Sm-Nd 等时线图

Fig. 4 Sm-Nd isochron diagram of metavolcanic rocks at Xihangou

3 同位素年龄的地质意义

3.1 青龙地区浅变质岩系的时代归属

关于青龙地区浅变质岩系的时代归属一直存在争议，部分学者认为这套岩系属太古宙^[3]，另一些学者则认为应属古元古代^[1]，但都缺少可靠的年代学证据。此前，该区变质岩中黑云母、角闪石的 K-Ar 法年龄为 1 768~1 916 Ma^[1]，全岩 Rb-Sr 等时线年龄结果则变化较大。例如，双山子群蓟子组和下白城组中变质安山岩和斜长角闪岩样品的 Rb-Sr 年龄为 (2 403±164) Ma^[10]；鲁杖子组枕状斜长角闪岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 (2 217±43) Ma^[5]；张家沟砾岩胶结物的 Rb-Sr 等时线年龄为 (2 228±176) Ma，棒罗台组二云变粒岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 (1 824±66) Ma，侵入到茨榆山组的石英闪长岩(界岭口闪长岩)的 Rb-Sr 等时线年龄为 (2 422±41) Ma^[5]和 (2 443±23) Ma^[11]。以上资料表明，青龙地区浅变质岩系本身的 Rb-Sr 年龄多显示出古元古代的年龄信息。但由于侵入到茨榆山组的界岭口闪长岩已有大于 24 亿年的年龄，所以仍不能排除这套浅变质岩系属于太古宙的可能性。1991 年伍家善等^[12]公布了青龙地区扎栏杖子双山子群黑云变粒岩 (2 512 ± 57/-47) Ma 的常规锆石 U-Pb 一致

线年龄,半壁山桥西青龙河群变质粉砂岩($2\,497\pm 2$)Ma的单锆石蒸发法年龄以及侵入到双山子群的中基性脉岩的($2\,546\pm 29/-24$)Ma的常规锆石U-Pb一致线年龄。其中后者的2 546 Ma年龄限定了双山子群的上限时代,该群的形成时间显然应大于该年龄值。而黑云变粒岩中25亿年左右的年龄值则应代表该群经历区域变质的时间。

本文提供的姚家沟和西汉沟变基性火山岩的Sm-Nd等时线年龄分别为($2\,696\pm 185$)Ma和($2\,753\pm 110$)Ma,其平均模式年龄分别为2 918 Ma和2 844 Ma。二者在等时线年龄和模式年龄方面都十分相近,表明它们基本上是同时形成的。一般说来,基性火山岩的Sm-Nd模式年龄可代表岩浆从岩浆源区分异出的时间,其等时线年龄可代表火山岩的形成时代。中酸性脉岩的锆石年龄和黑云变粒岩中变质锆石的年龄可代表这套浅变质岩系经历区域变质和局部岩浆改造的时限。结合界岭口闪长岩的Rb-Sr年龄可以勾画出本区早前寒武纪主要地质事件的年代框架。29亿年左右基性岩浆从岩浆源中分异出来,27亿年左右本区浅变质地层的原岩基本形成,25亿年前后该套地层经历了区域变质和局部的岩浆侵入。以上主要地质事件的年代框架表明该区浅变质岩系很可能属于太古宙。

3.2 本区变质砾岩性质的讨论

在青龙浅变质岩系中存在几层变质砾岩,东部从张家沟向北经半壁山到小狮子沟有一条变质砾岩,其砾石较大,含量较多;中部在老爷庙至王杖子间存在一条变质砾岩;西部的侯杖子至姚家沟一带出露一条变质砾岩。这些砾岩中的砾石多为变质安山岩、英安岩、花斑状石英闪长质砾石,砾石多为扁平的椭圆状、透镜状和长条状。部分学者认为,这些变质砾岩中的砾石和胶结物的成分十分相近,砾岩属于火山成因,为层间砾岩^[4]。部分学者则认为这些变质砾岩属沉积成因,具底砾岩的性质,属同一层位,现今的产状是褶皱变形的结果,并以此砾岩划分出双山子群和青龙河群^[1]。

本次对姚家沟砾岩层上下斜长角闪岩的Sm-Nd同位素研究表明,砾岩层之上和之下的斜长角闪岩在Sm-Nd同位素组成和Sm-Nd模式年龄方面都十分一致。这种一致性说明砾岩上下的斜长角闪岩(变质基性火山岩)来自同一岩浆源区,是同一时期的火山岩。因此作者认为姚家沟地区的变质砾岩不具底砾岩的性质。从变质砾岩的形态看,砾石多呈拉长的竹叶状,砾石成分单一,均为长英质砾石。因此,该地的变质砾岩很可能是构造砾岩。另据卢功一等^[5]研究,双山子群鲁杖子组斜长角闪岩的Rb-Sr等时线年龄为2 217 Ma, $I_{Sr}=0.702\,83$;原朱杖子群张家沟组砾岩的胶结物的Rb-Sr等时线年龄为2 228 Ma, $I_{Sr}=0.702\,70$,二者基本一致,说明鲁杖子组和张家沟组之间并无明显的时间间断。且砾岩胶结物和下部火山岩的Rb-Sr同位素组成相近,说明它们有共同的来源。总之,同位素的研究表明,姚家沟和张家沟的变质砾岩可能属于火山成因,为层间砾岩,不具底砾岩的性质。本文根据初步的Sm-Nd同位素年代学研究,认为青龙地区的浅变质岩系均应属于太古宙,姚家沟地区浅变质岩系中所夹的变质砾岩可能属层间砾岩或构造砾岩。当然,这些问题的最终解决还需进行详细的地质和同位素地质研究。

参考文献:

[1] 孙大中. 冀东早前寒武纪地质[M]. 天津:天津科学技术出版社,1984.

[2] 钱祥麟,崔文元,王时麒等. 冀东前寒武纪铁矿地质[M]. 石家庄:河北科学技术出版社,1985.

- [3] 张贻侠, 叶挺松, 阎鸿铨等. 冀东太古代地质及变质铁矿[M]. 北京: 地质出版社, 1986, 179.
- [4] 郑松彦. 冀东朱杖子群老爷庙变质砾岩的成因[J]. 矿物岩石, 1984, (4): 57—67.
- [5] 卢功一, 黄敬好. 冀东浅变质岩铷—锶同位素年龄新成果及其地质意义[J]. 中国区域地质, 1987, (3): 217—224.
- [6] 李锦蓉. 冀东朱杖子地区元古代花岗岩—绿岩带特征及金矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996, 1—62.
- [7] 张宗清, 叶笑江. 稀土元素的质谱同位素稀释分析和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值的精确测定方法[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1987, 第17号, 108—128.
- [8] YOCK D. Least squares fitting of a straight line with correlated errors[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1969, 5: 320—324.
- [9] 张宗清, 黎世美. 河南省西部熊耳山地区太古宙太华群变质岩的Sm-Nd, Rb-Sr年龄及其地质意义[A]. 见: 程裕洪主编. 华北地台早前寒武纪地质研究论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1998, 123—132.
- [10] COMPTON W, CHUNG F T, POSTER J, et al. Rubidium-strontium geochronology of Precambrian rocks from the Yenshan region, North China[J]. Precambrian Research, 1983, 22: 175—202.
- [11] 王凯怡, 张仁祜, 陈翼飞. 冀东安子岭—界岭口片麻岩的Rb-Sr年龄[J]. 地质科学, 1987, (2): 148—151.
- [12] 伍家善, 耿元生, 沈其韩等. 华北陆台早前寒武纪重大地质事件[M]. 北京: 地质出版社, 1991.

Sm-Nd isotope age and its geological significance of epimetamorphic rock series in the Qinglong area, eastern Hebei province

GENG Yuan-sheng, SHEN Qi-han and ZHANG Zong-qing

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The epimetamorphic rock series exposed in the Qinglong area, eastern Hebei province, consists mainly of hornblende-biotite leptynite (granulite), metamorphosed basic-acid volcanic rocks, leucoleptynite and quartz-biotite-muscovite schist. Seven samples of amphibolite collected from the upper and lower layers of the conglomerate in Yaojiagou village have been determined for the Sm-Nd isotopic compositions, and give an isochron age of $(2\,696 \pm 185) \text{ Ma}$ (2σ), with $I_{\text{Nd}} = 0.909\,23 \pm 16$ (2σ) and $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +1.8 \pm 1.5$, and their model ages t_{DM} range from 2 890 to 2 955 Ma. Ten samples of amphibolite collected from Xihangou village yield an isochron age of $(2\,793 \pm 69) \text{ Ma}$ (2σ), with $I_{\text{Nd}} = 0.509\,194 \pm 67$ (2σ) and $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +2.0$. An average model age of 2 844 Ma has been calculated from seven samples with similar model age in Xihangou village. The similar Nd isotopic composition and identical Nd model ages of the upper and lower amphibolites of the conglomerate in Yaojiagou village show that the Yaojiagou conglomerate may be a volcanic interlayer conglomerate or a structure conglomerate. So the upper and lower amphibolites in the conglomerate formed at the same time. The isochron ages of 2 696 Ma and $(2\,793 \pm 69) \text{ Ma}$ of the amphibolite samples from Yaojiagou and Xihangou villages indicate that the epimetamorphic rock series in the Qinglong area belongs to the Archean.

Key words: Sm-Nd isotopic age; Archean; metamorphic conglomerate; Qinglong area