

湘东北涧溪冲新太古代变质沉积-火山岩 岩石矿物学和岩石地球化学研究

伍光英^{1,2} 李金冬^{1,3} 唐晓珊³ 黄建中³ 肖庆辉¹ 车勤建^{1,3} 彭和求³

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院,北京 100083; 2. 宜昌地质矿产研究所,湖北 宜昌 443003;
3. 湖南省地质矿产勘查开发局,湖南 长沙 410011)

摘要:通过区域地质调查研究,在湘东北文家市涧溪冲村原中元古代冷家溪群新发现一套基本无序的变质沉积-火山岩系。根据岩石矿物学、岩石地球化学研究表明,涧溪冲变质沉积-火山岩系为变质火山岩夹变质粘土质沉积岩,属绿片岩—高绿片岩相。变质火山岩的原岩为大洋拉张环境下形成的以低钾拉斑玄武岩为主,低钾玄武安山岩次之的火山-次火山岩系,其物源为亏损地幔。变火山岩 Sm-Nd 全岩等时线年龄为(2 594±48) Ma,其形成时代可能是新太古代。因此,与传统的中元古代冷家溪群的岩石组合、形成环境、形成时代、变质变形都具有明显不同的特征,原冷家溪群应予以解体。

关键词:岩石矿物学;地球化学;构造环境;新太古代;涧溪冲岩群;湘东北

中图分类号:P534.53 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)01-0082-08

通过湘东北地区区域地质调查研究工作^①,在浏阳文家市北西涧溪冲村清江水库至尤家湾一带中元古代冷家溪群中新发现了一些与其呈断层接触关系、由变质沉积岩和变质火山岩经构造叠置的变质岩系,新建为“涧溪冲岩群”。其岩石经过较彻底的构造面理置换及多期次变形变质作用,依岩石组合、变形变质程度的差异性进一步划分为“清风亭岩组”、“南棚下岩组”。笔者通过变质沉积-火山岩系岩石矿物学、岩石地球化学特征及其原岩形成构造环境的分析研究,认为“涧溪冲岩群”与传统的中元古代冷家溪群浅变质岩系的属性^[1]差异极大,应从原冷家溪群解体出来。这些新信息指示江南造山带可能存在太古代—古元古代基底。

1 变质沉积-火山岩系地质特征

涧溪冲岩群发现于浏阳文家市北西清江水库至尤家湾一带,调查控制面积约 70 km² 左右,周边为断层围限(图 1)。以涧溪冲构造-岩石剖面为代表简述如下:

下侏罗统(J₁):长石英砂岩、砂质页岩

——断层——

新太古代涧溪冲岩群(Ar_{3j})南棚下岩组(Ar_{3jn})

- 32~31. 绿灰色、灰绿色绿帘石阳起石片岩、阳起石绿帘石片岩,片理发育 88.7 m
- 30. 灰绿色块状斜长角闪岩—绿帘斜长角闪岩,厚 15~20 m, 岩石具花岗变晶结构、变余辉绿结构。与寄主岩黝帘石次闪石片岩和黝帘石次闪石岩关系不清 64.1 m
- 29~25. 灰绿色帘石阳起石透闪石片岩、帘石透闪石片岩、阳起石绿帘石片岩与绿帘石阳起石岩(变玄武岩)不等厚互层 413 m
- 24~22. 灰绿色绿帘石阳起石片岩、阳起石绿帘石片岩夹帘石透闪石阳起石片岩 256 m
- 21~18. 浅灰绿色帘石透闪石阳起石片岩。片理极发育,柔皱、膝折强烈 94.9 m

——断层——

- 17. 浅灰绿色块状—似层状绿帘石阳起石岩(变玄武岩)。有 0.5mm 左右的斑晶,细小的气孔。层内有韧性剪切变形 59.9 m

- 16. 浅灰色、灰绿色阳起石绿帘石片岩夹块状阳起石绿帘石岩。有不少长英质脉体充填 111 m

——断层——

收稿日期:2004-02-28;改回日期:2004-10-11

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212010310206)和区域地质调查项目(200013000107)资助。

作者简介:伍光英,男,1965 年生,博士生,高级工程师,从事基础地质调查研究工作; E-mail:ycwguangying@cgs.gov.cn。

① 湖南省地质调查院.1:25 万长沙市幅区调报告,2003.

- 15. 浅灰色二云母片岩夹粉砂质千枚岩(石英绢云微晶片岩)。
片理及千枚理上定向排列着被压扁拉长的小砾石,是断层
角砾再变形的产物 16 m
- 14. 浅灰色绢云母千枚岩与片理化岩屑石英杂砂岩呈韵律
——断层—— 24 m
- 13. 深灰色、灰绿色帘石透闪石阳起石片岩 82 m
- 12. 灰绿色似层状、块状绿帘石阳起石岩偶夹 1~2 层
0.5~1 m 厚的二云母石英片岩 235 m
——断层——
- 11~10. 浅灰—黄灰色绢云母片岩、二云母片岩、绢云石英微晶
片岩,夹 3 层似层状—扁豆体状绿帘石透闪石阳起石
岩(变玄武岩) 56 m
- 9~8. 浅灰绿色透闪石阳起石片岩,往上渐变为阳起石绿帘石
片岩。有石英细脉充填 127 m
- 7. 绿灰色透闪石阳起石片岩、帘石透闪石阳起石片岩,底部
有 2 m 厚的含磁铁矿英岩透镜体 119 m
——断层——
- 清风亭岩组(Ar₃jq)
- 6. 青灰色、浅黄灰色绢云母千枚岩、石英绢云母微晶片岩相间
叠置 152 m
- 5. 深灰、黑灰色绢云千枚岩、绢云石英千枚岩 75 m
——断层——

- 4. 浅灰色绢云千枚岩。常见千枚构造、小型膝折构造 159 m
- 3~1. 青灰色绢云千枚岩 335 m
——断层——
- 中元古代冷家溪群(Pt₂l): 板岩与条带状板岩互层

浏阳冲岩群依剖面上变质岩的组合、变形变质程度的差异性进一步划分为清风亭岩组、南棚下岩组,两者为构造叠置关系。

清风亭岩组(1~6层)主要为浅灰色、黄灰色绢云千枚岩夹石英绢云微晶片岩,少量黑云母微晶片岩,厚度约 721 m。与中元古代冷家溪群浅变质砂岩、板岩和上覆南棚下岩组均呈断层接触。岩系内顺层剪切形变及直立、歪斜、平卧型片褶与膝折构造发育,糜棱面理、旋转的“肾状”长英质块体均可见。

南棚下岩组(7~31层)构造叠置在清风亭岩组之上,其上与下侏罗统呈断层接触。岩组可分为 3 个岩段,岩段间呈断层接触。

下岩段(7~13层)为灰绿色帘石阳起石片岩、透闪石阳起石片岩夹块状、似层状绿帘石阳起石岩,岩石经绿片岩相变质,新生构造面理置换较彻底,依稀可见不连续的水平色纹、色带(假流纹构造),微细的气孔构造。中部偶夹二云母石英片岩、绢云母片岩。视厚度为 619 m。

中岩段(14~15层)为浅—深灰色绢云母片岩、石英二云片岩、绢云绿泥石千枚岩。视厚度小,为 40 余米。

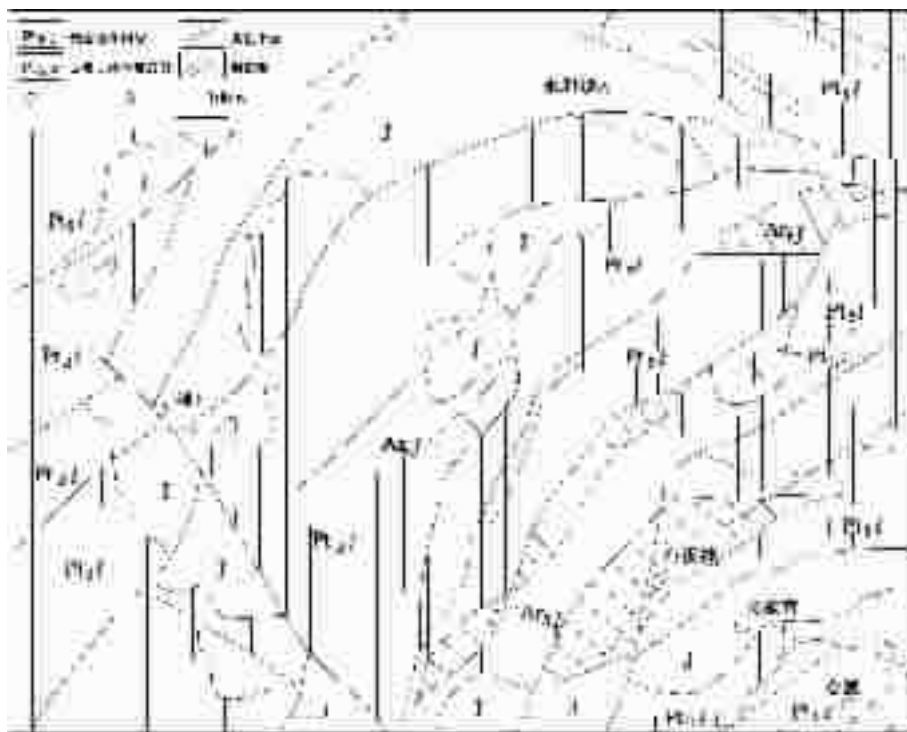


图 1 湘东北浏阳地区地质略图
(有关图例见正文)

Fig.1 Geological sketch map of the Liuyang area, northeastern Hunan

上岩段(16~31层)为阳起石绿帘石片岩、帘石阳起石片岩、方解石钠长石化绿帘绿泥石片岩、绿帘石阳起石岩、绿帘斜长角闪岩、斜长角闪岩互相堆叠。下部以绿片岩为主,绿帘石阳起石岩均呈较大规模的岩块夹于片岩之中。上部主体岩石基本未变,只是近顶部夹15~20 m深灰绿色块状斜长角闪岩、绿帘斜长角闪岩。视厚度为1 076 m。

总之,涧溪冲岩群主体是一套绿帘石阳起石片岩、阳起石绿帘石片岩夹绿帘石阳起石岩。

2 岩石矿物学特征

2.1 岩石学特征

湘东北地区涧溪冲出露的变质岩主要为阳起石绿帘石片岩、绿帘石阳起石片岩、帘石阳起石透闪石片岩和斜长角闪岩,以及绢云石英千枚岩、石英二云母片岩、二云母片岩和绿泥石石英片岩。

(1)阳起石绿帘石片岩、绿帘石阳起石(片)岩类:灰绿色致密块状,显微纤状变晶结构,显微微晶变晶结构,显微隐晶结构。局部变余晶屑结构,变余凝灰结构,变余假流纹构造,部分岩石具定向构造,片状构造。主要矿物绿帘石(黝帘石)含量为70%、阳起石含量为20%、绿泥石为5%、白云母为1%、石英为2%。阳起石和绿帘石呈变斑晶集合体,变斑晶含量为5%左右,阳起石变斑晶为长柱状,自形,1~1.8 mm;绿帘石变晶集合体其周边由更小的绿帘石尘状物组成海绵边包围,粒径0.5~1.25 mm。岩石基质极细,以隐晶质的绿帘石尘状晶(≤ 0.01)为主,次有粒状变晶状(0.01~0.1 mm)绿帘石、纤状变晶状阳起石(0.1 mm)、鳞片状绿泥石。粒状变晶绿帘石集合体外形保留斜长石或辉石晶屑轮廓。矿物呈不均匀分布,构

成岩石的深、浅不同的色带和假流纹构造条带形态,色带或条带形态多变,似火山凝灰物、浆屑、塑变玻屑被压扁拉长并变质而成。阳起石绿帘石岩中常见细小的气孔。研究结果表明:南棚下岩组绿帘石阳起石片岩、阳起石绿帘石片岩原岩为玄武质熔结凝灰岩;绿帘石阳起石岩则由玄武质凝灰岩(少量玄武岩)经绿片岩相—高绿片岩相变质的产物。

(2)帘石阳起石透闪石片岩:灰绿色,粒状纤柱状变晶结构,变斑状结构,片状构造。变质矿物组合为透闪石+阳起石+黝帘石,岩石主要由变晶新生的纤柱状透闪石及细小粒状黝帘石,少量阳起石、黄铁矿、石英等定向排列分布组成。变斑晶透闪石,短柱状,0.8×0.25 mm~1.2×1.0 mm,因动力变质呈椭圆状、眼球状。有的变斑晶之间单双晶纹明显变形弯曲或折断。

(3)斜长角闪岩类:柱粒状变晶结构,块状构造,主要矿物有斜长石、普通角闪石、石英和少量绿泥石。斜长石呈半自形—自形,在斜长石之间有粒度为0.5 mm×0.25 mm的矿物充填使表面混浊,且产生少量钠长石。普通角闪石,柱状—短柱状,粒径为0.2 mm×0.1 mm~0.8 mm×0.2 mm,见有绿泥石沿边缘交代普通角闪石现象,属晚期退变质产物。原岩可能为玄武安山质次火山岩或辉绿岩墙。

(4)绢云石英千枚岩:岩石为灰—浅灰白色,显微鳞片变晶结构,千枚状构造。主要矿物为新生的显微鳞片状绢云母、黑云母雏晶及细粉砂级石英碎屑。呈定向排列,石英有压扁拉长;板劈理有微细褶皱现象,大致具膝折锥形。

(5)石英二云母片岩、二云母片岩:显微鳞片花岗变晶结构,片状构造,呈明显定向排列。云母多呈条纹条带状定向产出。

(6)绿泥石石英片岩:鳞片花岗变晶结构,片状构造。变

表1 涧溪冲岩群矿物分析/%

Table 1 Chemical composition (%) of minerals of the Jianxichong Group-complex

矿物	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量
普通角闪石	12	52.57	0.16	1.49	14.32	0.15	13.33	10.27	3.78	0.06	96.13
	10	41.57	3.14	13.69	9.78	0.08	11.32	10.33	2.46	0.86	93.23
	2	54.89	0.00	1.48	12.91	0.02	13.40	11.67	0.00	0.00	94.37
阳起石	3	54.77	0.06	1.53	11.21	0.02	15.02	11.45	0.08	0.00	94.14
	7	52.79	0.07	3.74	13.58	0.08	13.55	11.71	0.46	0.03	96.01
	2	39.06	0.41	29.03	2.99	0.09	0.11	22.04	0.01	0.00	93.74
帘石类	3	40.78	0.04	32.89	0.57	0.01	0.00	21.58	0.12	0.01	96.00
	7	41.87	0.15	23.79	8.88	0.04	0.02	20.22	0.00	0.00	94.97
	3	26.23	0.01	21.34	20.41	0.03	17.72	0.06	0.04	0.00	85.84
绿泥石	3	27.18	0.04	20.93	20.24	0.14	16.54	0.33	0.00	0.00	85.40
	7	31.32	0.09	17.13	20.30	0.11	8.11	0.18	0.55	0.08	77.87
黑硬绿泥石	12	51.02	0.10	5.26	15.16	0.07	10.41	11.07	0.40	0.06	93.55
	12	50.79	0.09	3.55	15.62	0.14	12.28	11.29	0.60	0.00	94.36

注:矿物分析由中国地质大学(武汉)电子探针室完成。样号2,3,10为阳起石绿帘石片岩;7号为绿帘阳起石岩;12号为绿帘阳起石片岩;*为全铁。

质矿物组合为石英+绿泥石+黑云母+黝帘石+楣石。主要矿物石英 50%、绿泥石 39%;次要矿物黑云母 5%、黝帘石 5%;副矿物为楣石。常见石英压扁拉长,粒径为 0.03~0.25 mm,定向排列,绿泥石黑云母鳞片作明显的定向分布。

2.2 矿物学特征

(1)角闪石类

绿片岩相变质火山岩中的角闪石主要有普通角闪石、阳起石和透闪石等。角闪石多呈蓝绿色或绿色,柱状或细小针柱状,镜下多色性明显:深蓝色—淡黄色或蓝绿色—淡绿色。根据矿物成分(表 1),换算的 $Al_{IV}-Al_{VI}$ 图解判断,角闪石为绿片岩相低压力型角闪石。

普通角闪石,分褐色和绿色两种。绿色普通角闪石呈柱状或短柱状,粒度 $0.8\text{ mm}\times 0.2\text{ mm}\sim 0.2\text{ mm}\times 0.1\text{ mm}$,镜下具强多色性, Ng -绿, NP -淡黄绿, $Ng\wedge C=16\sim 22^\circ$,正延性,最高干涉色 II 级蓝。褐色普通角闪石呈短柱状, Ng' -暗褐, NP -谈褐色,正高突起, $Ng\wedge C=16\sim 22^\circ$,正延性,可见简单双晶,内有早期绢云母、绿帘石包裹体。

阳起石,大部分阳起石为纤状变晶,单体长度为 0.1~0.4 mm,有的呈放射状排列;有的呈毛发状与石英、绿泥石、绿帘石聚集呈团状分布。小部分阳起石为长柱状,粒径 0.5~3 mm,个别阳起石变斑晶内保留了杂乱分布的玄武岩基质中斜长石微晶(长条状)或局部可见阳起石交代不彻底的斜长石晶屑,其双晶纹保留了斜长石晶屑假象。

透闪石,分变斑晶和纤状两种。透闪石变斑晶,短柱状, $1.2\text{ mm}\times 1.0\text{ mm}\sim 0.8\text{ mm}\times 0.05\text{ mm}$,无色,中正突起, $Ng\wedge C=4\sim 180^\circ$,正延性,最高干涉色 II 级蓝,包裹有绿帘石。

(2)绿(黝)帘石

为绿片岩中主要组成矿物,标本上呈浅绿色细小粒状。镜下高正突起,干涉色 I 级黄白,II 级鲜艳不均匀。绿帘石多数呈隐晶的尘状集合体,其形态各异,大小悬殊,大者似浆屑为 5 mm,小者似玻屑(为 0.2~0.5 mm)。少数呈粒状变晶集合体为 0.1~0.3 mm),完全保留了斜长石或辉石晶屑的轮廓。

(3)绿泥石

为角闪石、阳起石退变质矿物,浅黄绿色—无色,弱多色性,最高干涉色 I 级灰,可见“柏林蓝”异常干涉色。根据化学成分按 Foster(1962)的分类为铁镁绿泥石。其中黑硬绿泥石多见于贫铝富镁的斜长角闪岩中,呈束状集合体,多色性强, Ng -黑褐色, NP -黄绿色,沿边缘交代普通角闪石,为晚期退变质阶段产物。

3 岩石地球化学特征

3.1 清风亭组

从岩石化学成分(表 2)特征可以看出, SiO_2 含量为 61.28%~62.42%, TiO_2 为 0.81%~0.87%, Al_2O_3 为 17.12%~19.06%, $TFeO^*$ 为 6.33%~7.89%, MgO 为 1.10%~2.03%,属中—强化学分异的粘土岩,与裴蒂在 1957 年统计的板岩成分基本一致。在

表 2 涧溪冲岩群岩石化学分析/%

Table 2 Petrochemical composition (%) of the Jianxichong Group-complex

岩组	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	灼失
南棚下组	1	54.66	0.76	12.86	2.19	7.39	0.18	6.94	9.27	2.54	0.15	0.077	1.88	1.68
	2	50.21	0.77	14.56	2.09	8.77	0.17	7.69	9.25	2.21	0.74	0.07	3.16	1.96
	3	53.72	0.65	12.85	2.11	6.82	0.16	7.64	9.65	2.03	0.30	0.07	2.10	2.47
	4	53.49	0.66	13.84	2.52	6.48	0.15	8.25	9.14	1.72	0.66	0.07	1.93	1.89
	5	51.74	0.81	13.85	2.30	8.32	0.16	7.28	9.17	2.17	0.82	0.07	3.01	1.86
	6	52.20	0.76	14.22	1.91	7.13	0.16	7.99	9.30	2.02	0.69	0.07	1.84	1.92
	7	52.38	0.78	14.76	1.05	7.78	0.15	6.93	6.11	4.12	0.34	0.05	3.08	4.96
	8	50.02	0.34	6.77	1.34	8.69	0.16	20.47	3.55	0.25	0.78	0.02	5.78	6.72
	9	51.75	0.46	16.85	1.44	5.58	0.12	8.93	6.56	2.68	1.59	0.01	2.09	2.67
	10	53.22	0.54	11.24	0.79	6.68	0.15	11.89	9.24	0.69	0.53	0.05	2.70	2.96
	11	53.22	0.87	14.78	2.02	8.44	0.17	6.07	7.22	3.94	0.35	0.09	1.46	1.52
	12	50.11	0.41	16.11	1.56	6.17	0.15	8.50	11.80	0.77	1.31	0.04	2.78	1.59
	13	57.74	1.09	13.04	1.80	8.19	0.17	4.88	5.71	4.46	0.47	0.11	1.62	1.64
	14	56.24	1.19	12.89	5.07	7.75	0.17	3.81	5.08	3.96	0.35	0.13	2.79	2.36
清风亭组	15	62.42	0.81	17.12	3.05	4.44		2.30	1.75	0.23	3.02	0.10	0.75	4.27
	16	61.28	0.87	19.06	6.29	1.12		1.00	0.29	0.32	3.97	0.07	1.37	5.04

注:主元素测试由湖北省地质实验室用 ICP-AES 分析, SiO_2 用碱溶法分析,灼失量采用重量法分析,其他氧化物采用酸溶法测定。样号 1,2,3,10 为阳起石绿帘石片岩;4,6,11,12 号为绿帘阳起石片岩;5,7,9 号为绿帘阳起石岩;8 号为透闪石绿帘石片岩;3,14 号为斜长角闪岩;15 号为黑云母微晶片岩;16 号为石英千枚岩。

表 3 涧溪冲岩群岩石微量和稀土元素含量/ 10^{-6}
 Table 3 Trace element and REE contents (10^{-6}) of rocks of the Jianxichong Group-complex

样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ba	34.4	140.0	35.0	182.0	80.0	155.0	128.0	80.0	410.0	88.0	133.0	259.0	137.0	98.0	329.0	394.0
Co	33.4	36.7	39.8	34.6	34.7	37.8	35.7	60.8	30.4	42.1	33.4	36.7	37.9	42.3	19.8	27.0
Cr	352.0	301.0	475.0	393.0	34.9	171.0	370.0	1334.0	445.0	1030.0	581.0	16.5	46.6	6.8	177.0	109.0
Ni	98.0	61.7	124.0	93.3	349.0	171.0	370.0	454.0	136.0	256.0	58.4	11.3	15.9	16.4	51.8	32.5
Sr	82.9	88.8	120.0	111.0	47.0	96.3	115.0	100.0	55.7	42.5	114.0	100.0	92.0	4.5	23.0	19.0
Th	1.6	2.1	6.6	2.9	7.2	2.6	2.1	6.9	4.9	5.5	1.8	6.6	6.1	6.1	12.0	16.9
Sc	36.2	45.8	37.0	38.2	44.0	44.2	38.4	44.0	44.1	40.3	39.6	35.0	31.0	34.0	25.2	20.0
V	235.0	232.0	190.0	237.0	244.0	220.0	250.0	130.0	140.0	180.0	172.0	300.0	296.0	250.0	128.0	126.0
Rb	2.0	28.4	6.6	49.4	10.1	30.1	25.1	61.2	62.8	17.5	45.6	10.1	14.1	10.5	172.0	213.0
Ta	0.4	0.5	0.7	0.3	1.1	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.4	0.7	1.2	1.5
Zr	46.4	66.0	130.0	61.1	120.0	74.0	59.6	100.0	88.0	110.0	43.2	112.0	99.2	140.0	182.0	207.0
Hf	2.9	2.5	4.4	2.7	4.4	2.6	2.6	3.3	1.9	4.3	1.7	4.3	3.7	4.6	6.1	5.8
Nb	3.5	4.7	6.2	3.9	6.3	5.2	3.9	3.6	4.3	4.9	3.2	7.3	6.7	6.3	13.6	15.9
U	1.0	0.8	0.5	1.6	0.5	1.1	1.2	0.1	0.3	0.4	0.7	2.4	2.4	0.6		
La	8.7		8.7	9.7		8.6	10.2	9.3	9.1	9.8	13.1		17.7		33.5	90.1
Ce	15.3		15.3	17.9		16.2	18.4	5.9	13.2	14.5	23.8		27.0		73.2	165.1
Pr	2.4		2.4	2.1		2.1	2.4	1.5	2.1	2.3	3.3		4.4		8.0	20.3
Nd	9.5		9.5	9.6		10.2	11.2	6.3	9.1	9.2	14.0		20.3		30.0	72.7
Sm	2.5		2.5	2.3		2.4	2.7	1.2	1.8	2.2	2.9		4.3		5.6	10.6
Eu	0.7		0.7	0.6		0.7	0.6	0.4	0.6	0.6	0.9		1.2		1.1	1.8
Gd	3.0		3.0	3.1		3.1	3.1	1.2	2.5	2.6	4.2		5.8		5.0	7.2
Tb	0.5		0.5	0.5		0.5	0.5	0.2	0.4	0.5	0.7		0.9		0.8	1.1
Dy	3.4		3.4	2.9		3.4	3.3	1.1	2.7	2.9	4.3		6.2		4.9	6.3
Ho	0.7		0.7	0.6		0.7	0.6	0.2	0.5	0.6	0.9		1.3		1.0	1.3
Er	2.0		2.0	1.8		2.0	1.8	0.7	1.6	1.8	2.5		3.8		2.8	3.7
Tm	0.3		0.3	0.3		0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.4		0.6		0.5	0.6
Yb	2.0		2.0	1.8		1.8	1.7	1.0	1.5	1.7	2.4		3.3		2.8	3.7
Lu	0.3		0.3	0.3		0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4		0.5		0.4	0.6
Y	15.1		15.1	13.1		15.1	13.5	8.4	14.7	13.6	18.7		30.5		26.0	33.5
Σ REE	66.5		66.5	66.5		67.2	70.6	37.6	60.5	62.7	92.3		27.5		169.6	383.2
LREE/ HREE	3.2		3.2	3.8		3.4	3.9	5.3	3.6	3.7	3.7		3.4		8.4	14.7
δ Eu	0.8		0.8	0.7		0.8	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8		0.7		329.0	0.6

注:测试由湖北省地质实验室完成,用 PE Elan6000G 型等离子体质谱测定(ICP-MS)。样号 1,2,3,10 为阳起石绿帘石片岩;4,6,11,12 号为绿帘阳起石片岩;5,7,9 号为绿帘阳起石岩;8 号为透闪石绿泥石片岩;13,14 号为斜长角闪岩;15 号为黑云母微晶片岩;16 号为石英千枚岩。

$\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})-\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 图解^[4]中,样点分别落入泥质岩区和次长石砂岩区,表明其原岩为一套泥质沉积。

微量元素含量(表 3)以富 Cr、Sc、Zr、Hf、B,贫 Ba、Ni、Sr、Nb、Ta 为特征,尤以 Sr 含量大大低于地壳平均丰度值。

从稀土元素含量(表 3)可知,稀土总量 Σ REE 为

$169.57 \times 10^{-6} \sim 383.2 \times 10^{-6}$,La/Yb 比值 19.1,LREE/HREE 为 8.4,属轻稀土富集型, δ Eu 为 0.67 属中等亏损。稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图 2)为右倾“L”型与澳大利亚后太古代沉积岩 PAAS 的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线^[4]基本一致。其 SiO_2 、La、Th、Sc 含量及 La/Sc、Th/Sc、LREE/HREE

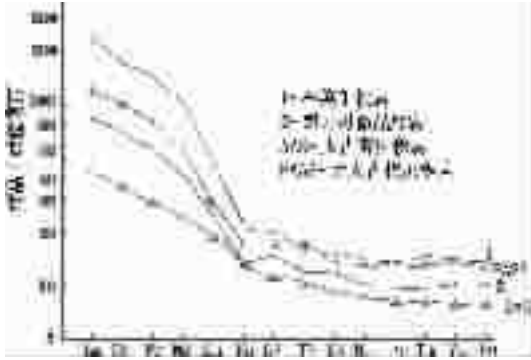


图 2 青风亭岩组岩石稀土元素配分曲线(据 Taylor,1979)
Fig.2 Chondrite-normalized REE patterns of the Fengqingting Formation-complex (after Taylor, 1979)

比值同洋壳和各种陆壳成分相比较与上陆壳成分相当。

上述表明,清风亭岩组浅变质岩原岩沉积物是来自长英质岩石蚀源区,在氧化环境($V/Cr=0.88$)经中等—强的化学分异作用的粉砂粘土岩。

3.2 南棚下岩组

(1)岩石化学特征:不同岩石类型的岩石化学成分(表 2)略有差异,绿帘石-阳起石(片)岩、阳起石-绿帘石(片)岩类的 SiO_2 为 50.11%~54.66%,其变化幅度较小,显示其较好的均一性; TiO_2 含量低,为 0.34%~0.81%; Al_2O_3 为 11.24%~16.85%,一般为 12%~14%,含量中等; FeO 、 MgO 、 CaO 含量较高。与斜长角闪岩类相比较, SiO_2 、 TiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 值较高,而 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 则略低一些。总体以富 FeO 、 MgO 、 CaO 而贫 K_2O 、 Na_2O 接近于大洋拉斑玄武岩^[6]的岩石化学成分。其中透闪石绿泥石片岩较为特殊, SiO_2 为 50.02%、 TiO_2 为 0.34%、 Al_2O_3 为 6.77%、 $FeO^*/MgO < 1$, MgO 达 20.47%、 K_2O 、

Na_2O 含量低,与低钾大洋中脊拉斑玄武岩岩石化学成分相当。在化学成分分类 TAS 图^[6]上,样点主要投影于玄武岩和玄武安山岩区。在久野全岩 $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$ 图解上,样点主要落在拉斑系列玄武岩区,少数样落在高铝玄武岩系区内。在 A—F—M 图解^[6]中,样品几乎也全落入拉斑玄武岩区,在 FeO^*-FeO^*/MgO 图解^[6]中,样品投点也几乎全部落入大洋拉斑玄武岩区。表明本区变质火山岩类岩石原岩为大洋低钾拉斑玄武岩-玄武安山岩系列。

(2)微量元素特征:从微量元素分析(表 3)结果看出,两组斜长角闪岩样品利用 D.M 肖和 AM 库多的判别方程式^[6]: $X_1 = -2.69 \log Cr - 3.18 \log V - 1.25 \log Ni + 10.57 \log Co + 3.73 \log Sc + 7.54 \log Sr - 1.95 \log Ba - 1.99 \log Zr - 19.58$ 进行计算, X_1 均大于 0,说明其为正变质岩。在微量元素蛛网图(图 3)显示,不同岩石类型的微量元素曲线表现出良好的一致性,曲线显示为明显的多峰状右倾型,大离子亲石元素 K、Rb、Sr、Ba、P 等元素相对亏损,不相容元素 Zr、Hf 和放射性元素 U、Th 相对富集,具有拉斑玄武岩特征。

(3)稀土元素特征:稀土元素(表 3)含量较为接近。稀土总量较低, $\sum REE$ 为 $37.55 \times 10^{-6} \sim 127.53 \times 10^{-6}$,有随 FeO 、 MgO 含量增加而减少趋势。其中斜长角闪岩 $\sum REE$ 最高为 127.53×10^{-6} ,透闪石绿泥石片岩 $\sum REE$ 最低为 37.55×10^{-6} ,一般 $\sum REE$ 为 $60 \times 10^{-6} \sim 80 \times 10^{-6}$,LREE/HREE 为 3.19~5.25,表明为轻稀土富集型;在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图 4)上,为轻、重稀土中等分馏的右倾“L”型,具中等—弱的铈亏损和明显的 Ce 异常, δEu 为 0.67~0.91。其稀土配分型式与 Frey 洋岛型(P 型)玄武岩相似^[6]。

4 构造环境分析

变质火山岩虽经变质作用的影响,但变质程度低,利用岩石地球化学成分对其原始成分的恢复及构造环境的判别,仍

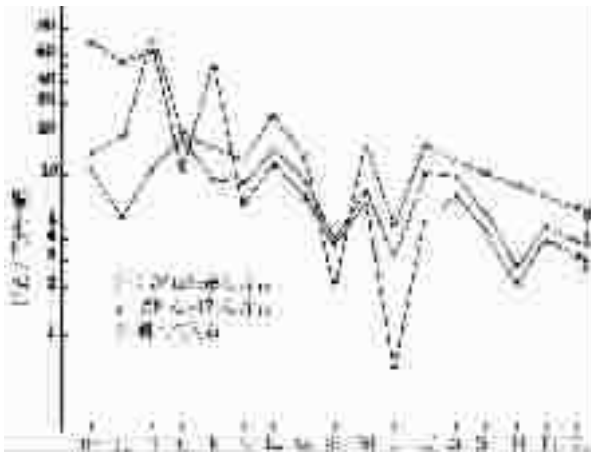


图 3 南棚下岩组变火山岩微量元素蛛网图
Fig.3 Mantle-normalized trace element spidergrams for metavolcanic rocks of the Nanpengxia Formation-complex

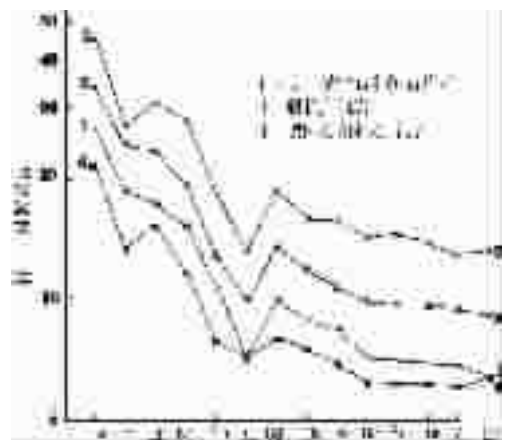


图 4 南棚下岩组变火山岩稀土元素配分曲线图
Fig.4 Chondrite-normalized REE distribution patterns for metavolcanic rocks of the Nanpengxia Formation-complex

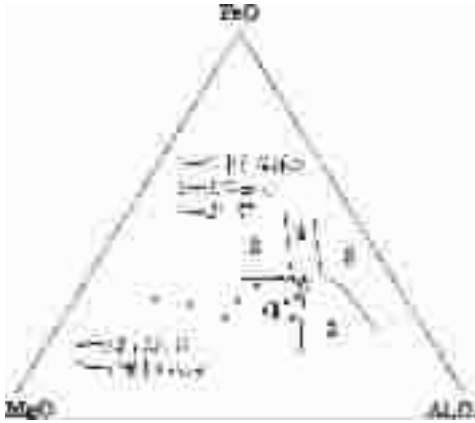


图5 南棚下岩组变火山岩 MgO—Al₂O₃—FeO 图解
(据 T.H.Pearce,1977)

Fig.5 Diagrams of MgO—Al₂O₃—FeO for metamorphic volcanic rocks of the Nanpengxia Formation-complex

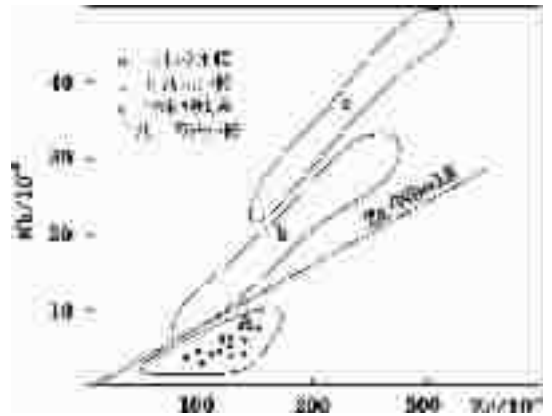


图6 南棚下岩组变火山岩 Nb—Zr 判别图

Fig. 6 Nb—Zr discrimination diagrams for metamorphic volcanic rocks of the Nanpengxia Formation-complex

是有效的方法。变质火山岩在 FeO—MgO—Al₂O₃ 三角图解^[4] (图5)上绝大部分样点落入大洋拉张环境。在 Zr—Nb 图解^[4] (图6)所有样点都落入亏损型地幔区,与 Sm—Nd 全岩等时线计算出 $\epsilon_{Nd}=4.3$ 相符,来源于中—弱亏损的上地幔^[6]。

综上所述,变质火山岩为大洋拉张环境下形成的以低钾拉斑玄武岩为主,低钾玄武安山岩次之的火山—次火山岩系,其物源为亏损地幔。

5 讨论与结论

涧溪冲岩群是变质火山岩夹变质粘土质沉积岩经构造叠置起来的变质岩系,划分为“清风亭岩组”、“南棚下岩组”。“清风亭岩组”为浅灰色、黄灰色绢云千枚岩夹石英绢云微晶片岩,少量黑云母微晶片岩。“南棚下岩组”主要为绿帘石—阳起石片岩、阳起石—绿帘石片岩及帘石透闪阳起石片岩、帘石阳起石透闪石片岩夹部分斜长角闪岩;中部夹少量为浅—深灰色绢云母片岩、石英二云片岩、绢云绿泥石千枚岩。

岩石学矿物学研究结果表明,涧溪冲岩群属绿片岩相—高绿片岩相。南棚下岩组绿帘石阳起石片岩、阳起石绿帘石片岩原岩为玄武质熔结凝灰岩;绿帘石阳起石岩则由玄武质凝灰岩(少量玄武岩)经绿片岩相—高绿片岩相变质的产物。斜长角闪岩据其结构构造和产状判断其原岩可能为玄武安山质次火山岩床或辉绿岩墙。

岩石地球化学特征表明,清风亭岩组浅变质岩的原岩沉积物是来自长英质岩石蚀源区在氧化环境经中等—强的化学分异作用的粉砂粘土岩。“南棚下岩组”变质火山岩类岩石原岩属大洋低钾拉斑玄武岩—低钾玄武安山岩的火山—次火山岩系低列。构造环境分析其物源为亏损地幔;形成于大洋拉张环境。

总之,涧溪冲岩群与中元古代冷家溪群的岩石组合、形成环境、形成时代、变质变形程度等明显不同,因此,原冷家溪群实际上包含了二套不同的变质岩系,应予以解体。至于湘东北地区是否存在太古代—古元古代的基底是一个悬而未决的问题,为确定涧溪冲岩群的时代,作者曾在南棚下岩组变质火山岩中,连续采一组样品(8个连续采样点)进行 Sm—Nd 全岩等时线测年及 Nd 同位素测定,由8个点构成的 Sm—Nd 全岩等时线年龄为(2 594±48)Ma,说明变质火山岩原岩可能为新太古代晚期形成的^[6]。近年来甘晓春等^[9]、李献华^[10]、周新华等^[11]、谢玲琳^[12]发表的有关江南造山带附近存在 2 500~3105 Ma 年龄,表明 2 500~3 105 Ma 年龄是华南陆壳重要的一次造壳事件的生长阶段,即江南造山带存在太古代—古元古代基底是可能的。这对华南前寒武纪基底研究具有重大意义。

本文是中国地质调查局中南地区重大基础地质问题调查研究计划项目及其子项目湖南 1:25 万区调的集体研究成果,在此对参加这些项目的全体工作者表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 湖南省地质矿产局,湖南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1988.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. Regional Geology of Hunan Province [M].Beijing:Geology Publishing House,1988(in Chinese with English abstract).
- [2] 邱家骧,林景任.岩石化学[M].北京:地质出版社,1991.
Qiu Jiayang Lin Jingjian. Geochemistry [M].Beijing:Geological Publishing House,1991(in Chinese).
- [3] Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, et al. A chemical classification of the volcanic rocks based on the total alkali—silica diagram[J]. J.Petroleum.1986, 27 (3),745~750.

- [4] Irvine T N. A guide geochemical classification of the common volcanic rocks [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8, 532~548.
- [5] Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins [J]. American Journal of Science, 1974, 274: 321~355.
- [6] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
Li Changnian. Trace Element Petrology of Magmatic Rocks [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992. 30~97 (in Chinese).
- [7] Pearce T H. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks [J]. Earth Planetary Science Letter, 1977, 36: 121~132.
- [8] 伍光英, 李金冬, 车勤建, 等. 湘东北洞溪冲变质火山岩 Sm-Nd 同位素年龄及成因 [J]. 现代地质, 2004, 18(3): 339~345.
Wu Guangying, Li Jindong, Che Qinjian, et al. Sm-Nd dating and genesis of the Jianxichong Group metamorphic volcanic in northeast Hunan [J]. Geoscience, 2004, 18(3): 339~345 (in Chinese with English abstract).
- [9] 甘晓春, 赵凤清, 金文山, 等. 华南火成岩中捕获锆石的早元古代—太古宙 U-Pb 年龄信息 [J]. 地球化学, 1996, 25(2): 112~120.
Gan Xiaochun, Zhao Fengqing, Jin Wenshan, et al. The information of Paleoproterozoic-Archaean U-Pb zircon age of magmatic rocks in South China [J]. Geochimica, 1996, 25(2): 112~120 (in Chinese).
- [10] 李献华, Tatsumoto M, 桂训唐, 等. 华南汤湖花岗岩中 25 亿年太古代残留锆石的发现及意义初探 [J]. 科学通报, 1989, 34(3): 206~209.
Li Xianhua, Tatsumoto M, Gui Xuntang, et al. Discovery and study of 2.5 billion year Archean remnant zircon in Tanhu granitoid bodies in South China [J]. Chinese Science Bulletin, 1989, 34(3): 206~209 (in Chinese).
- [11] 周新华, 陈海, 陈海泓. 湖南黔阳铁镁-超铁镁质岩 Sm-Nd 年龄测定 [J]. 地质科学, 1992, 27(4): 391~393.
Zhou Xinhua, Chen Hai, Chen Haihong. Sm-Nd dating of magnoferrite-ultramagnoferrite rocks from Qanyang area, western Hunan. Scientia Geologica Sinica, 1992, 27(4): 391~393 (in Chinese with English abstract).
- [12] 谢玲琳. 从稳定同位素测年信息探讨湖南结晶基底 [J]. 湖南地质, 2000, 19(4): 219~224.
Xie Linglin. Discussion about the crystalline base of Hunan by the information of stable isotopic aging [J]. Hunan Geology, 2000, 19(4): 219~224 (in Chinese with English abstract).

Mineralogy, petrology and geochemistry of the Neoproterozoic metamorphic-volcanic rocks at Jixichong, northeastern Hunan

WU Guang-ying^{1,2}, LI Jin-dong^{1,3}, TANG Xiao-shan³, HUANG Jian-zhong³
XIAO Qing-hui¹, CHE Qin-jian^{1,3}, PENG he-qiu³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China;

3. Hunan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Changsha 410011, Hunan, China)

Abstract: Through regional geological investigation and research, the authors found a metamorphic-volcanic series in the original Mesoproterozoic Lengjiaxi Group at Jianxichong Village, Wenjia City, northeastern Hunan. Mineralogical, petrological and geochemical studies indicate that this metamorphic-volcanic series is a metamorphic series consisting of metavolcanic rocks with metamorphosed clayey sedimentary rocks. The metamorphism is of greenschist-high greenschist facies. The protolith of the metavolcanic rocks is a volcanic-subvolcanic rock series composed chiefly of low-K tholeiite with subordinate low-K basaltic andesite formed in an oceanic extensional environment. The provenance was the depleted mantle. Whole-rock Sm-Nd isochron dating of the metavolcanic rocks indicates a Neoproterozoic age. Therefore, they are notably different from the traditional Mesoproterozoic Lengjiaxi Group in rock association, formation environment, formation age and metamorphism-deformation. So the original Lengjiaxi Group should be disintegrated.

Key words: petrology; geochemistry; tectonic setting; Neoproterozoic; Jianxichong Group-complex; northeastern Hunan

About the first Author: WU Guang-ying, male, born in 1965, senior engineer and Ph.D candidate, engaging in the study of geology, mineral resources and management; E-mail: ycwguangying@cgs.gov.cn.