第 9 1 卷　第 7 期
2017年7月　1416～1432
地　质　学　报　ACTA GEOLOGICA SINICA
Vol. 91 No. 7 2017
July 1416～1432

滇东南猛洞岩群构造环境：变质碎屑岩地球化学约束

谭洪旗[1,2]，**刘玉平**[3]

1）成都理工大学地球科学学院，成都，610059；
2）中国地质科学院矿产综合利用研究所，成都，610041；
3）中国科学院地球化学研究所，矿床地球化学国家重点实验室，贵阳，550002

内容提要：猛洞岩群位于滇东南文山-麻栗坡断裂与红河断裂带之间的老君山-Song Chay 变质核杂岩核部，由一套经历过多期变质-变形的杂岩体组成。变质碎屑岩地球化学特征显示，主、微量元素平均组成与大陆上地壳相似，且 SiO_2/Al_2O_3、K_2O/Na_2O 比值显示该套变质沉积岩具有相似的成熟度，但片岩类样品可能遭受过强烈的风化作用；稀土元素特征与变质岩原岩恢复图解显示，片岩类原岩为黏土岩及泥质岩，片麻岩类原岩为砂岩、杂砂岩。化学蚀变指数（CIA）、成分变异指数（ICV）、斜长石蚀变指数（PIA）反映了片岩类原岩形成后经历过较强的风化作用，但副片麻岩类原岩经历的风化作用较弱，反映了副片麻岩类主要来源于不成熟的物源区，显示出活动构造环境沉积物的特征。Rb/Sr 和 Th/U 比值判别结果表明该套碎屑岩经历了较复杂的沉积演化过程；La/Th-Hf 图解和砂岩-泥岩套的物源区判别图解表明变质碎屑岩样品以石英岩沉积物源区为主，混合少量中性火成岩物源区；Th-Sc-Zr/10 和 La-Th-Sc 图解表明猛洞岩群可能沉积于大陆岛弧环境。综上所述，猛洞岩群变质碎屑岩原岩为一套泥质岩-砂岩（杂砂岩），这套碎屑岩经历了较强风化作用及复杂的沉积演化过程，主要沉积于与大陆岛弧环境相关的盆地，推测猛洞岩群的物质来源与昆阳群有关，可能与扬子地块具有较强的亲缘关系。

关键词：变质碎屑岩；地球化学；猛洞岩群；构造环境；滇东南

滇东南位于华南陆块西缘、扬子地块及印支地块的结合部位，是研究华南大陆形成与演化及特提斯构造域时空演化的关键区域。滇东南老君山地区是我国重要的锡锌多金属成矿区之一，地理位置跨中国马关县、麻栗坡县及越南北部区域，国内出露一套约 1000 km² 的环状变质杂岩体，其核部发育一套火山-沉积-变质杂岩体（Liu Yuping et al.，2006；Guo Liguo et al.，2006；Tan Hongqi et al.，2010，2017），1∶5 万区域地质调查将其命名为猛洞岩群❶。该岩群主要以片岩、片麻岩为主，斜长角闪岩、斜长角闪片岩成港湾状分布在其中，并同时经历后期的变质-变形，表明原岩为玄武岩的基性岩浆岩形成时代晚于变质沉积岩类。Liu Yuping et al.（2006）获得猛洞岩群石英角闪斜长片麻岩（原岩为玄武岩）岩浆锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 761 Ma，与 Yan et al.（2006）获得正片麻岩锆石年龄（799 Ma）在误差范围内基本一致，证实滇东南地区存在新元古代岩浆活动，填补了桂西—滇南地区的新元古代基性岩浆岩空白，并将其与 Rodinia 超大陆聚合与裂解联系起来。

猛洞岩群的片岩、副片麻岩研究程度较低，其原岩初步确定为砂岩、杂砂岩及泥质岩等碎屑岩类组成（Lu Wei et al.，2001；Guo Liguo et al.，2006）。碎屑岩的矿物组成及地球化学成分变化特征，是有效判别沉积岩的物质源区和沉积构造背景的依据（Dickinson et al.，1983；Bhatia，1985a，1985b；Bhatia and Crook，1986；Cui Di et al.，2015；Hou Mingcai et al.，2016；Sun Jiaopeng et al.，2016）。因此，通过碎屑沉积岩组成的详细化学分析结果，可以揭示其源区特征和演化过程，反演形成时的构造环境。本文在猛洞岩群原岩恢复的基础上，通过岩石地球化学分析，结合野外实际情况，恢复该套变质碎屑岩的物质组成，在此基础上探讨原岩物源区性质，分析其形成构造环境，为滇东南地区新元古代构

注：本文为国家“973”项目（编号 G2007CB411408）、国家自然科学基金项目（编号 40302026、40972129、41603034）、矿床地球化学国家重点实验室自主选题项目（编号 KCZX20090106）资助的成果。

收稿日期：2015-10-29；改回日期：2016-02-15；责任编辑：周健。

作者简介：谭洪旗，男，1984 年生。硕士，工程师，现主要从事基础地质调查。Email：hongqitan@163.com。通讯作者：刘玉平，男，1971 年生。博士，研究员，从事矿床学、地球化学、同位素年代学研究。Email：liuyuping@vip.gyig.ac.cn。

造环境及源区物质的确定提供依据。

1　区域地质背景及样品特征

猛洞岩群位于文山-麻栗坡断裂、红河断裂、个旧及南盘江断裂带所围限的滇东南老君山地区变形-变质穹隆的内核部位，呈零星或孤立状分布在南温河花岗质片麻岩中，周边分布大面积老君山花岗岩体。其中都龙、曼家寨、新保寨及南温河花岗质片麻岩与南捞片麻岩形成时代确定为408～440 Ma（Yan et al.，2006；Xu Wei，2007；Guo et al.，2009；Tan Hongqi et al.，2011；Zhang Binhui et al.，2012；Wang Dandan et al.，2015；Peng et al.，2015；Xu et al.，2016），与处于越北地区Song Chay穹窿的花岗质片麻岩年龄基本一致（Carter et al.，2001；Roger et al.，2000），反映越北陆块加里东期发生大规模的岩浆侵入活动，且持续时间长；包括都龙矿区在内的整个老君山地区与周边薄竹山、个旧花岗岩体成岩年龄均为80～90 Ma（Liu Yuping et al.，2007；Chen Yanbo et al.，2008，2010；Feng Jiarui et al.，2010；Liu Yanbin et al.，2014；Xu et al.，2015），从而在一定程度上暗示滇东南地区晚白垩世发生大规模岩浆活动。

猛洞岩群在国内主要划分为南秧田组和洒西岩组。南秧田组（Pt_1n）主要出露在老卡-阿老、瓦渣、曼庄等地，面积约8 km^2，岩石组合以二云片岩、二云石英片岩、石英片岩为主，夹少量斜长角闪岩、斜长片麻岩及斜长变粒岩等；洒西岩组出露在猛洞乡洒西村北西一带，出露面积约1 km^2，岩石组合以黑云变粒岩、条带状变粒岩与石英岩为主，次为浅粒岩、斜长角闪岩以及少量钙硅酸盐岩。在野外观察的基础上，本次采集蚀变较弱并具代表性的变质碎屑岩样品进行岩石地球化学研究，其采集位置见图1、图2。

片岩类具鳞片变晶结构、少数斑状变晶结构，片状构造。以云母片岩-云母石英片岩为常见（图2a～c），总体呈灰色、深灰色，包括二云片岩、黑云片岩、二云石英片岩、黑云石英片岩以及石榴云母片岩、电气石二云片岩等，片理较为发育，其片理面平整光滑，丝绢光泽强，单层厚度变化大，数十厘米到米均有分布。主要矿物为石英、黑云母、白云母及绿泥石（部分云母退变质）；次要矿物为石榴子石、电气石、斜长石等；副矿物为磷灰石、锆石以及部分金属矿物（磁铁矿、黄铁矿等）。

片麻岩总体颜色为灰色，细粒鳞片粒状变晶结构、片麻状构造，主要有黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩，电气斜长片麻岩等（图2D～F）。矿物颗粒细小，云母呈细片状或断续排列平行分布，构成黑白相间的片麻状构造。主要矿物组成为斜长石、石英、黑云母及白云母等；副矿物为磷灰石、锆石、榍石及金属矿物（黄铁矿、磁铁矿等）。

2　分析方法

主量元素分析在广州澳实矿物实验室完成，将碎至200目的样品煅烧后加入$Li_2B_4O_7$-$LiBO_2$助熔物，充分混和后，放置在自动熔炼仪中，使之在1000℃左右熔融；熔融物倒出，形成扁平玻璃片后进行X荧光光谱仪（Philips Pw2404）分析。微量元素分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成，所用仪器为ELAN DRC-e型等离子质谱仪，分析方法据Qi et al.（2000），分析精度优于5%。本文主微量数据投图参考Geokit软件（Lu Yuanfa et al.，2004）。

3　岩石地球化学特征及原岩恢复

3.1　原岩恢复

众所周知，变质岩原岩恢复应结合野外地质产状和岩石组合、岩相学、岩石化学和地球化学特征以及副矿物组合等方面综合确定。因猛洞岩群后期遭受多次变质—变形改造，原有的沉积组构等鉴别特征已消失，野外地质观察和室内岩相学特征获得的信息较为有限，因此需借助岩石地球化学特征和图解进行原岩恢复。

猛洞岩群样品化学成分见表1。判断正副变质岩最为常用且较为有效的方法有DF判别式（Shaw，1972）、A-K图解（Zhou Shitai，1984）及西蒙南图解（Simonen，1953；转引自王仁民等，1987）。上述DF判别式及图解显示（图3），本次研究样品全为副变质岩，原岩以陆源碎屑岩为主，其中片岩类样品原岩以黏土岩及泥质岩为主，片麻岩类样品原岩为砂岩、杂砂岩（表2）。

3.2　地球化学特征

部分样品因烧失量所占百分比过高，从而影响主量元素真实百分含量，因此本文对烧失量大于2.5%的样品，限定其烧失量为2.5%，对数据进行重新处理，其结果见表1。猛洞岩群样品的主量元素含量变化较大，SiO_2含量范围为43.7%～80%（平均66.6%），Al_2O_3含量范围为8.65%～23.30%（平均15.6%），TiO_2含量范围为0.46%～1.22%（平均0.80%），MgO含量范围为0.73%～3.33%

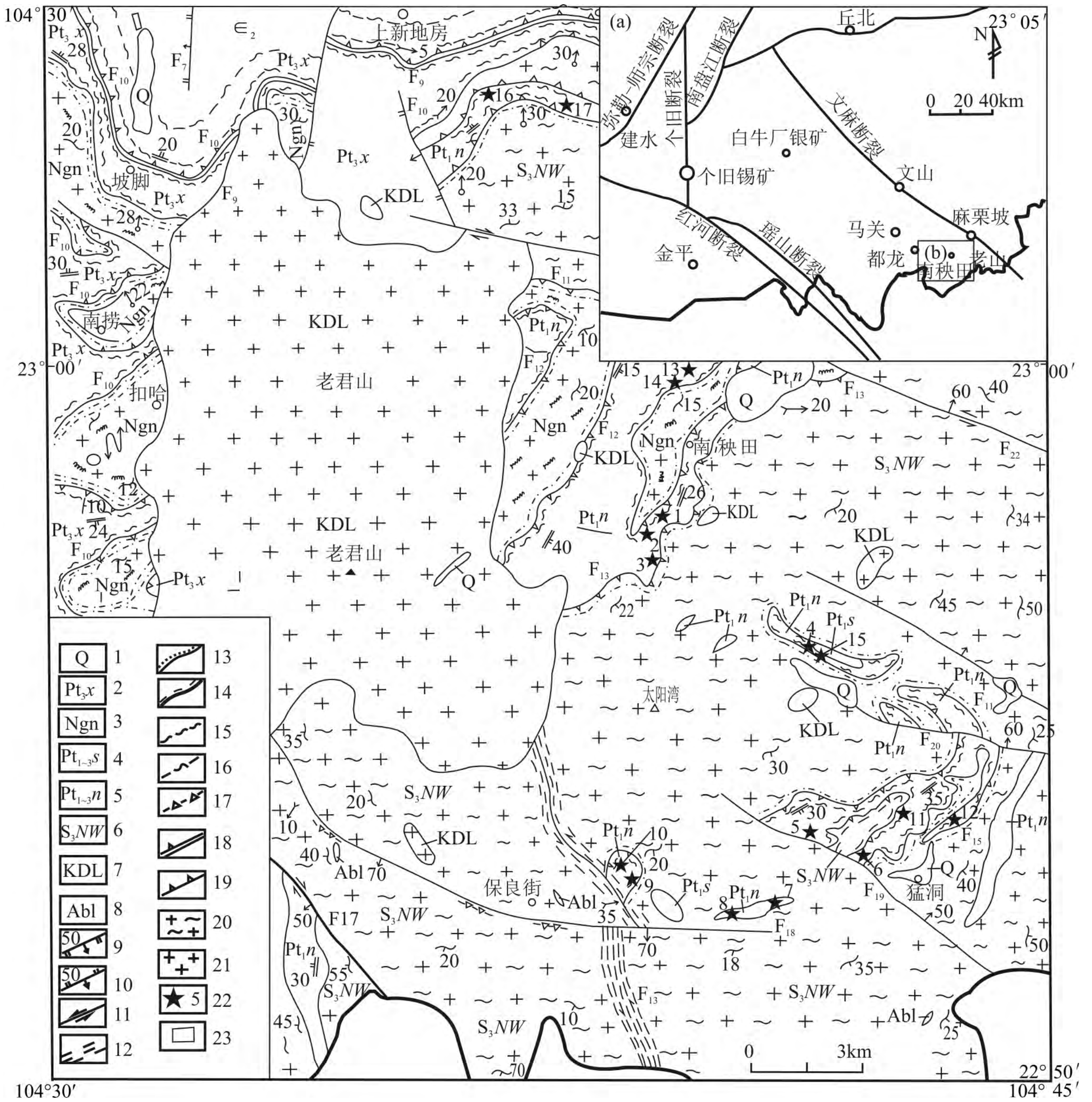

图 1 滇东南老君山地区区域地质略图及采样位置（据云南省地质矿产局❶❷；Chen Xueming et al.，1998 修改）

Fig. 1 Sketch geological map and the sample location of the Laojunshan area regional, southeast Yunnan Province (modified after Bureau of Geology and Mineral Resources in Yunnan Province and Chen Xueming et al., 1998)

1—第四系；2—新寨岩组；3—南捞片麻岩；4—南秧田组；5—洒西岩组；6—南温河序列；7—都龙超单元；8—斜长角闪岩；9—正断层；10—逆断层；11—平移断层；12—脆韧性剪切带及主断面；13—不整合界线；14—平行不整合界线；15—片理化带；16—劈理化带；17—构造角砾岩带；18—主剥离断层；19—剥离断层；20—片麻状花岗岩；21—燕山期花岗岩；22—采样位置及编号；23—研究区位置示意图

1—Quaternary; 2—Xinzai Group; 3—Nanlao gneiss; 4—Nanyangtian Group; 5—Saxi Group; 6—Nanwenhe Sequence; 7—Dulong super-unit; 8—amphibolite; 9—normal fault; 10—thrust fault; 11—strike-slip fault; 12—brittle-ductile shear zone and principal sections; 13—unconformable boundary; 14—disconformity boundary; 15—schistosity zone; 16—cleavage belt; 17—tectonic breccia belt; 18—primary denudational fault; 19—denudational fault; 20—gneissose granite; 21—Yanshanian granite; 22—sampling location and its number; 23—location map in study areas

（平均 2.51%），Na_2O 含量范围为 0.29%～3.87%（平均 1.50%），Fe_2O_3 含量范围为 2.63%～11.5%（平均 5.64%）和 K_2O 含量范围为 1.74%～6.20%（平均 3.16%），但这些样品平均组成与大陆上地壳组成极其相似（Taylor and McLennan，1985）。

SiO_2/Al_2O_3 和 K_2O/Na_2O 比值常用来反映沉积岩的成熟度和风化淋滤程度（Roser and Korsch，1988；Wei Zhenyang et al.，2009）。猛洞岩群副变质岩的 SiO_2/Al_2O_3 比值在 1.88～9.09 变化（平均 5.17），绝大多数变化范围在 3～8 之间，表明这些沉

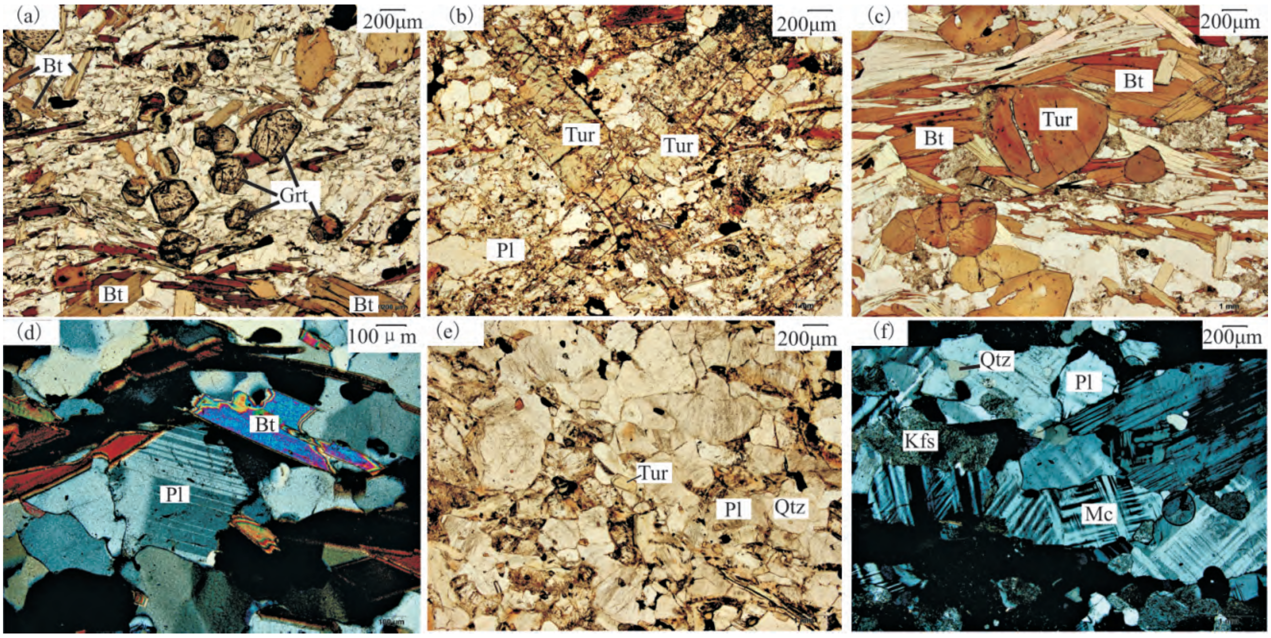

图 2　滇东南猛洞岩群变质碎屑岩显微照片

Fig. 2　Microscopic photos of metaclastic sedimentary rocks in Mengdong Group complex，southeast Yunnan Province

(a)—石榴二云片岩，石榴子石(Grt)呈变斑晶，基质黑云母(Bt)、白云母(Ms)和石英(Qtz)，呈斑状粒状片状变晶结构，片状构造，单偏光；(b)—电气斜长片麻岩，变斑晶电气石(Tur)，基质为斜长石、石英、少量云母组成，具斑状片状粒状变晶结构，片麻状构造，单偏光；(c)—电气黑云片岩，电气石(Tur)呈变斑晶，基质黑云母(Bt)、长石(Pl)和石英(Qtz)，呈斑状粒状片状变晶结构，片状构造，单偏光；(d)—黑云斜长片麻岩，由黑云母(Bt)、斜长石(Pl)和石英组成片状柱状粒状变晶结构，黑云母和长石定向分布形成弱片麻状构造，正交偏光；(e)—电气斜长片麻岩，主要由电气石(Tur)、斜长石(Pl)、石英(Qtz)和少量云母(Ms)组成片状粒状变晶结构，白云母具定向分布形成片麻状构造，单偏光；(f)—二长片麻岩，主要由微斜长石(Mc)、斜长石(Pl)、黑云母(Bt)和石英(Qtz)组成片状粒状变晶结构，片麻状构造，正交偏光

(a)—Garnet two-mica schist，the composition of porphyroblast (garnet) and substrate (biotite，muscovite and quartz)，porphyritic-granular-blastic texture，schistose structure，plane-polarized light；(b)—tourmaline plagioclase gneiss，the composition of porphyroblast (tourmaline) and substrate (plagioclase，quartz and small amount of biotite)，porphyritic-flake-granular blastic texture，gneissose structure，plane-polarized light；(c)—tourmaline biotite schist，the composition of porphyroblast (tourmaline) and substrate (biotite，plagioclase and quartz)，porphyritic-granular-blastic texture，schistose structure，plane-polarized light；(d)—biotite plagioclase gneiss，flake-columnar-granular texture by biotite，plagioclase and quartz，biotite and plagioclase directionally formed weakly gneissic structure，orthogonal polarization；(e)—Tourmaline plagioclase gneiss，flake-granular-blastic texture by tourmaline，plagioclase，quartz and small amount of muscovite，muscovite directionally formed gneissic structure，plane-polarized light；(f)—monzogneiss，flake-granular-blastic texture by microcline，plagioclase，biotite and quartz，gneissic structure，orthogonal polarization

积岩具有相似的成熟度。而岩石中 K_2O/Na_2O 比值变化为 0.76～17.9(平均 5.18)，其中片岩类变化相对较大(2.8～17.9，平均 10.2)，表明片岩类部分样品可能遭受过强烈风化作用，同时也表明 Na 比 K 元素更容易淋滤丢失。

一般认为，在中高级变质或交代作用过程中稀土元素是很稳定的，原含量的大部分仍滞留于原岩中，因而变质岩中稀土元素具有重要指示意义(Zhao Zhenhua et al.，1997)。片岩类的稀土总量变化较大($\Sigma REE = 62.9 \times 10^{-6} \sim 290 \times 10^{-6}$)，LREE/HREE 比值为 3.26～12.6(平均 7.02)，$(La/Yb)_N$范围为 2.52～19.1(平均 8.52)，表明轻重稀土分馏明显，轻稀土较为富集；而轻稀土分馏程度$(La/Sm)_N$在 2.68～4.03，重稀土分馏程度$(Gd/Yb)_N$在 0.94～3.06(集中在 1～2 之间)，表明轻稀土分馏程度大于重稀土；除样品 DN4117 外，δEu 范围在 0.58～0.91 之间，这是由于变质碎屑岩由沉积作用和变质作用共同作用引起，但本区变质作用对稀土元素影响较小，Eu 异常主要为继承源区异常和风化作用形成引起，Eu 可在化学风化过程中优先带出，因此沉积旋回中易形成 Eu 正异常；δCe 范围在 0.24～1.11；稀土元素球粒陨石标准化配分模式总体向右倾斜(图 4a)，Eu 中等亏损；除阿老样品具 Ce 亏损外，其他样品稀土元素的分布形式与大陆上地

表 1 滇东南猛洞岩群副变质岩的化学成分(主量元素:%;稀土和微量元素:$\times 10^{-6}$)

Table 1 Chemical composition of metamorphic rock in Mengdong Group complex, southeastern Yunnan Province(major elements:%;trace elements:$\times 10^{-6}$)

采集样品号	Md0901	Md0902	Md0903	Md0904	Md0911	Md0912	Md0914	Md0915	Md0916	Md0917	Md0919	Md0920	DN4116	DN4117	Md0905	Md0907	Md0908
图 1 样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
产地	南秧田			大丫口	猛洞		滑石板				上扣林		南秧田①		大丫口	阿老	
岩性	电气黑云片麻岩	黑云斜长片麻岩		电气黑云斜长片麻岩	黑云斜长片麻岩		二云斜长片麻岩	黑云斜长片麻岩			绿泥云母片岩		云母片岩		石榴二云片岩	石榴二云片岩	石榴黑云片岩
SiO_2	67.8	78.1	43.7	72	76.5(78.6)	68	69.4(70.0)	70.7	62.1	63.5	65.9(67.4)	62.5	63.3(64.1)	80.0	60.7(61.8)	56.3(58.8)	62.5
Al_2O_3	14.2	11.3	18.2	12.6	8.4(8.7)	13.4	13.3(13.4)	13.1	17.9	17.7	17.7(18.7)	17.9	18.1(18.3)	9.9	19.2(19.6)	22.3(23.3)	17.1
Fe_2O_3	6.01	2.34	11.5	3.85	2.56(2.63)	5.7	3.13(3.16)	4.1	6.97	6.91	4.78(4.89)	4.08	6.53(6.61)	2.67	7.91(8.05)	8.41(8.79)	7.6
CaO	0.87	0.78	1.95	1.66	1.06(1.09)	2.21	1.19(1.20)	1.21	1.08	1.35	<0.01	0.04	0.48(0.49)	0.16	0.01	<0.01	1.24
MgO	2.43	1.02	12.0	1.62	0.95(0.98)	2.25	2.70(2.72)	3.14	2.46	2.23	0.84(0.86)	1.36	2.34(2.37)	1.33	1.80(1.83)	0.73(0.76)	3.33
Na_2O	1.53	2.12	1.19	2.15	1.15(1.18)	2.86	2.31(2.36)	2.36	2.5	3.27	0.29(0.30)	0.43	0.58(0.59)	0.38	0.33(0.34)	0.30(0.31)	1.33
K_2O	3.37	1.92	6.2	2.42	2.08(2.14)	2.39	2.17(2.19)	1.74	2.77	2.48	3.88(3.97)	3.59	3.85(3.90)	2.9	3.89(3.96)	3.90(4.08)	3.72
TiO_2	0.8	0.49	1.22	0.79	0.46(0.47)	0.87	0.87(0.88)	0.88	0.81	0.74	0.76(0.78)	0.98	0.83(0.84)	0.44	0.90(0.92)	0.90(0.94)	0.76
P_2O_5	0.1	0.05	0.19	0.24	0.15(0.16)	0.31	0.26	0.26	0.1	0.11	0.09	0.5	0.14	0.04	0.07	0.08(0.09)	0.13
烧失量	1.49	0.95	2.17	2.14	5.04(2.50)	1.08	3.38(2.50)	2.04	2.15	1.32	4.58(2.50)	7.5	3.73(2.50)	1.88	4.23(2.50)	6.70(2.50)	2.01
总量	98.9	99.5	98.6	100	99.1	99.9	99.0	99.7	99.0	99.7	99.0	99.8	99.9	99.8	99.4	99.7	99.9
SiO_2/Al_2O_3	4.78	6.89	2.4	5.7	9.09	5.07	5.23	5.42	3.47	3.6	3.73	3.49	3.49	8.06	3.16	2.53	3.65
K_2O/Na_2O	2.2	0.79	5.21	1.13	1.81	0.84	0.93	0.74	1.11	0.76	13.4	8.35	6.64	7.63	11.8	13	2.8
Sc	14.6	6.89	31.2	11.4	14	16	14.8	15.2	17.1	16.1	12.9	20.2			15.3	18.3	15.4
Cr	76.2	40.1	253	106	101	110	113	119	78.6	63.4	77	113	96.6	102	112	141	95.6
Co	131	283	59.2	58	224	120	113	235	187	105	102	145	12	1.5	56.2	72.3	156
Ni	42	20.1	85.6	164	206	149	170	190	32.8	29.6	17.1	52.3	23.6	4.92	45.5	58.1	32.5
Cu	39.7	17.2	4.68	65.9	105	91.5	58.2	51.1	140	19.9	23.7	87.6	28.1	18.4	16.6	33.7	4.25
Zn	185	67.8	205	270	1340	438	95	184	105	89.5	94	123	95	44.4	112	99.4	87.3
Ga	17.4	12.6	22.1	17.9	17.1	17.5	18.4	18.7	26.5	23.2	24.3	31.4	23.2	12.2	25.1	27.9	21.7
Rb	300	87.2	466	117	95.2	123	131	111	127	122	173	147	160	235	191	135	186
Sr	59.9	60.8	69.5	150	192	250	147	142	131	167	22.4	33.5	39	14.2	41.8	83.9	78.6
Y	35	21.8	21.6	48.4	26.9	54.1	54.7	50.2	50.3	36.2	103	31	14.3	10.6	25.4	34.9	25.5
Zr	208	257	102	219	163	255	255	248	203	189	233	484	14.8	13.5	195	172	160
Nb	17.1	9.54	13.9	8.5	3.71	13	13.7	14.7	18.5	18.2	15.8	32.8	17.7	12.3	16.9	17.7	14.8
Mo	2.82	1.67	1.4	77.6	80.2	85	71.1	66.5	0.91	0.58	3.7	9.42	0.65	2.88	4.16	0.84	0.36
Sn	13.3	6.01	12.2	49.2	6.58	7.5	9.68	8.17	9.96	7.27	21.2	4.28	4.5	22.3	72.6	7.88	7.77
Cs	102	83.7	475	12.9	5.5	14.2	26.2	23.1	21.7	23.1	9.77	10.8	25.8	107	23.7	6.57	8.16
Ba	908	305	1030	2840	5720	4710	1970	1370	773	579	636	6220	666	1633	849	701	619
La	35.4	28.6	8.03	30.1	18.8	36.5	39.6	38.4	64.4	45.6	62.6	57.2	40.3	11.9	26.8	38.4	10.2
Ce	68.5	54.2	16.8	50.2	32.8	62.1	67	65.7	127	92.4	72.2	108	85.3	26.5	49.1	18.3	17.4
Pr	7.85	6.14	2.17	6.64	4.66	8.27	8.87	8.49	14.3	10.5	16.1	13.6	9.79	2.9	6.43	9.35	2.38
Nd	29.3	23.2	9.36	25.3	18.6	32.5	34.2	33.6	52.6	38.9	69.1	49.1	36.8	11.2	23.2	33.7	8.72
Sm	5.71	4.17	2.44	5.27	4.06	6.68	6.92	6.78	10.3	7.68	15.1	9.81	6.81	2.19	4.57	6.15	1.66
Eu	1.12	0.74	0.49	1.24	1.58	1.4	1.02	1.05	1.57	1.4	2.63	2.29	1.38	0.85	0.83	1.17	0.47

续表 1

采集样品号	Md0901	Md0902	Md0903	Md0904	Md0911	Md0912	Md0914	Md0915	Md0916	Md0917	Md0919	Md0920	DN4116	DN4117	Md0905	Md0907	Md0908
图 1 样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
产地	南秧田			大丫口	猛洞		滑石板				上扣林		南秧田①		大丫口	阿老	
岩性	电气黑云片麻岩	黑云斜长片麻岩		电气黑云斜长片麻岩	黑云斜长片麻岩		二云斜长片麻岩	黑云斜长片麻岩			绿泥云母片岩		云母片岩		石榴二云片岩	石榴二云片岩	石榴黑云片岩
Gd	4.65	3.08	2.43	4.81	4.62	6.03	5.53	5.59	8	6.37	12.8	10.5	5.58	2.07	3.55	4.24	1.46
Tb	0.92	0.58	0.53	0.9	0.65	1.09	1.08	1.09	1.56	1.14	2.5	1.27	0.72	0.31	0.63	0.91	0.37
Dy	5.12	3.18	3.35	5.62	3.61	6.67	6.58	6.12	8.92	6.7	14.8	6.43	3.64	1.79	3.82	5.54	3.22
Ho	1.16	0.73	0.74	1.31	0.78	1.54	1.5	1.39	2.01	1.45	3.29	1.24	0.67	0.38	0.84	1.33	0.91
Er	3.12	1.95	2.13	3.67	2.15	4.21	4.31	3.91	5.59	4.15	8.85	3.84	1.64	1.18	2.57	3.75	2.8
Tm	0.46	0.29	0.3	0.55	0.28	0.6	0.62	0.57	0.85	0.62	1.22	0.52	0.28	0.21	0.4	0.55	0.43
Yb	2.86	2.01	1.97	3.49	1.96	3.74	3.88	3.55	5.85	4.17	7.76	3.84	1.51	1.27	2.56	3.74	2.9
Lu	0.43	0.29	0.32	0.51	0.28	0.53	0.55	0.49	0.86	0.61	1.13	0.6	0.23	0.2	0.4	0.52	0.42
Hf	4.66	5.23	2.25	5.6	4.13	6.15	6.2	5.96	6.82	6.09	6.3	12	0.52	0.43	5.59	4.93	4.12
Ta	1.15	0.67	0.92	0.69	0.31	1.34	1.24	2.6	2.07	1.87	1.49	3.03	2.54	1.27	1.51	1.61	1.28
Pb	22.5	5.36	5.07	16.3	24.1	29.8	16.4	15.9	15.5	18.2	15.7	26.9	33.1	17.3	12.3	15.9	16
Bi	0.84	0.13	0.09	0.37	0.31	0.16	4.71	2.77	1.32	0.37	0.27	0.27	0.54	0.68	1.55	0.34	0.25
Th	13.2	9.51	1.14	7.37	4.96	11.7	10.8	11.9	27.5	20.2	14.5	14.1	18.1	11.4	12.8	22.3	10.9
U	2.36	1.64	0.57	13.9	36.2	38.3	27.2	25.2	4.84	5.17	4.59	5.98	2.33	4.73	3.27	3.93	1.51
Th/Sc	0.9	1.38	0.04	0.65	0.35	0.8	0.73	0.78	1.61	1.26	1.12	0.7	—	—	0.84	1.22	0.71
Cr/Zr	0.37	0.16	2.48	0.48	0.62	0.43	0.44	0.48	0.39	0.34	0.33	0.23	—	—	0.57	0.82	0.6
K_2O/Rb	2.39	4.69	2.83	4.4	4.65	4.13	3.52	3.34	4.64	4.33	4.77	5.2	5.12	2.62	4.33	6.15	4.26
Th/U	5.59	5.8	2.01	0.53	0.14	0.31	0.4	0.47	5.68	3.91	3.16	2.36	7.8	2.41	3.91	5.67	7.22
Rb/Sr	5.01	1.43	6.71	0.78	0.5	0.49	0.89	0.78	0.97	0.73	7.72	4.39	4.1	16.5	4.57	1.61	2.37
CIA	64.7	60.2	59.8	57.9	58.1	54.2	61.3	62.1	66.3	62.6	79	79.3	75.1	71	80.1	82.4	66.8
PIA	72	63.1	67.6	60.4	61.7	55.3	64.5	64.7	71	65.6	96.5	94.7	88.4	88.1	96.4	97.2	74.6
ICV	1.32	1.08	2.84	1.33	1.27	1.63	1.38	1.51	1.17	1.22	0.61	0.67	0.95	0.98	0.81	0.59	1.33
La/Co	0.27	0.1	0.14	0.52	0.08	0.3	0.35	0.16	0.34	0.43	0.61	0.39	3.37	7.89	0.48	0.53	0.07
Th/Co	0.1	0.03	0.02	0.13	0.02	0.1	0.1	0.05	0.15	0.19	0.14	0.1	1.52	7.58	0.23	0.31	0.07
δEu	0.66	0.63	0.61	0.75	1.12	0.68	0.5	0.52	0.53	0.61	0.58	0.69	0.68	1.22	0.63	0.7	0.91
δCe	1.01	1	0.99	0.87	0.86	0.88	0.88	0.89	1.03	1.04	0.56	0.95	1.05	1.11	0.92	0.24	0.87
$(La/Sm)_N$	4	4.43	2.13	3.69	2.99	3.53	3.69	3.66	4.04	3.83	2.68	3.76	3.82	3.49	3.79	4.03	3.97
$(Gd/Yb)_N$	5	1.27	1.02	1.14	1.95	1.33	1.18	1.3	1.13	1.27	1.36	2.27	3.06	1.35	1.15	0.94	0.42
$(La/Yb)_N$	8.88	10.2	2.92	6.19	6.88	7	7.32	7.76	7.9	7.84	5.79	10.7	19.1	6.68	7.51	7.37	2.52
LREE/HREE	7.9	9.66	3.34	5.69	5.62	6.04	6.55	6.78	8.03	7.8	4.54	8.49	12.6	7.5	7.51	5.2	3.26
ΣREE	167	1297	517	140	95	172	182	177	304	222	290	268	195	63	130	128	53
F1	−3.78	−3.49	−15.25	−3.19	−5.59	−1.65	−4.96	−4.48	0.49	1.71	−1.92	−3.05	−2.24	−7.08	−0.31	3.53	−2.39
F2	−2.35	−0.95	−10.17	−1.09	−2.67	−0.94	−2.34	−3.67	−1.69	−0.62	−1.47	−1.97	−2.97	−3.39	−3.11	−1.83	−3.22

注：CIA=[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO^*+Na_2O+K_2O)]×100 和 PIA=[(Al_2O_3−K_2O)/(Al_2O_3+CaO^*+Na_2O−K_2O)]×100，其中 CaO^* 仅代表硅酸盐矿物中的 Ca，氧化物为摩尔质量；ICV=(Fe_2O_3+K_2O+Na_2O+CaO+MgO+TiO_2)/Al_2O_3。F1=(−1.773×TiO_2)+(0.607×Al_2O_3)+(0.760×$Fe_2O_3^T$)+(−1.500×MgO)+(0.616×CaO)+(0.509×Na_2O)+(−1.224×K_2O)+(−9.090)，F2=(0.445×TiO_2)+(0.070× Al_2O_3)+(−0.250× $Fe_2O_3^T$)+(−1.142×MgO)+(0.438×CaO)+(1.475×Na_2O)+(1.426×K_2O)+(−6.861)。表 1 中 76.5(78.6)含义表示烧失量超过 2.5%，需校正其含量值，其中 76.5 代表实测值，78.6 代表矫正值。①数据据 Guo(2006)。

表 2 滇东南猛洞岩群变质岩原岩恢复相关系数计算结果

Table 2 The indexes for recovering protoliths of metamorphic rocks from Mengdong Group complex, southeast Yunnan Province

样品编号	DF	al	fm	c	alk	si	al＋fm-(c＋alk)	A	K	原岩
Md0901	－3.57	39	38	6	17	315	54	71	69	砂质岩
Md0902	－2.70	45	23	8	24	530	35	69	44	砂质岩
Md0903	－8.00	24	59	7	11	96	64	66	84	泥质岩
Md0904	－2.14	39	28	14	19	378	34	67	53	泥质岩
Md0905	－4.02	49	38	0	12	265	75	82	92	砂质岩
Md0907	－2.23	56	32	0	12	241	76	84	93	砂质岩
Md0908	－3.74	38	41	7	14	237	58	73	74	泥质岩
Md0911	－3.99	39	27	15	19	608	32	66	64	砂质岩
Md0912	－1.19	34	33	15	18	290	33	64	46	泥质岩
Md0914	－2.53	40	33	9	18	351	44	70	48	泥质岩
Md0915	－3.75	37	38	9	16	340	49	71	42	砂质岩
Md0916	－1.50	42	35	7	17	245	54	74	53	泥质岩
Md0917	－0.44	40	33	8	18	246	47	71	43	泥质岩
Md0919	－3.23	58	27	0	15	365	69	81	93	砂质岩
Md0920	－2.73	56	27	2	14	333	67	82	89	砂质岩
DN4116	－4.04	47	37	3	13	276	67	79	87	砂质岩
DN4117	－6.31	47	33	2	18	648	60	74	88	砂质岩

注：si、al、fm、c、alk 及 DF 计算方法参见游振东等(1988)，王仁民等(1987)、Shaw(1972)。A＝Al_2O_3/(Al_2O_3＋CaO＋Na_2O＋K_2O)×100，K＝K_2O/(Na_2O＋K_2O)×100。

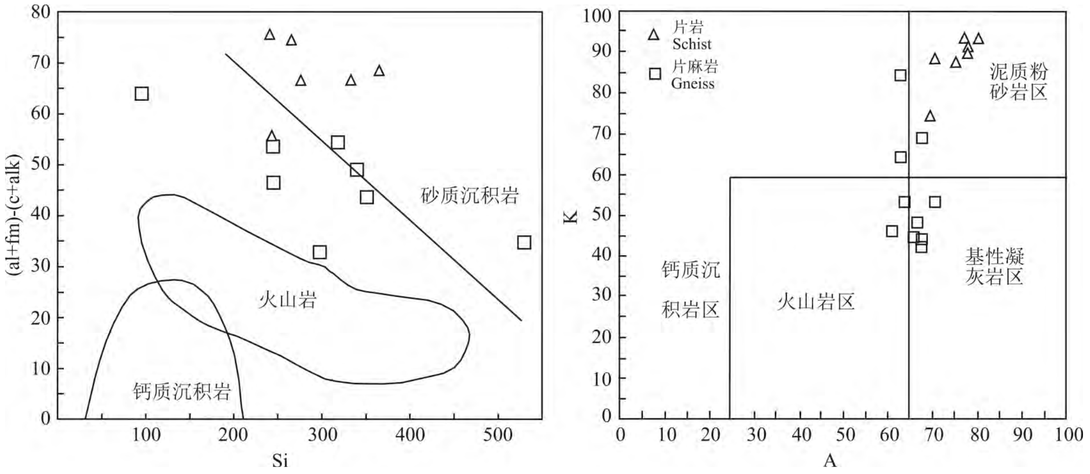

图 3 滇东南猛洞岩群西蒙尼图解和 A-K 图解(据 Simonen，1953；Zhou Shitai，1984)

Fig. 3 Simonen and A-K plot for metamorphic clastic sedimentary rocks of Mengdong Group complex, southeast Yunnan Province (after Simonen，1953; Zhou Shitai，1984)

壳平均组成及澳大利亚页岩(PAAS)的稀土元素配分模式相似；黏土类矿物含量越高，吸附稀土的能力越强(Wang Zhonggang et al.，1989)，因此猛洞岩群片岩类稀土含量高是由于原岩含泥质成分高所引起。

副片麻岩类稀土总量变化范围为 ΣREE＝51×10^{-6}～304×10^{-6}，LREE/HREE 比值为 3.34～9.66(平均 6.74)，$(La/Yb)_N$ 为 2.92～10.2(平均 7.84)，表明轻重稀土分馏明显，轻稀土较为富集；而轻稀土分馏程度 $(La/Sm)_N$ 在 2.12～4.04，重稀土分馏程度 $(Gd/Yb)_N$ 在 1.02～1.95，表明重稀土分馏程度略大于轻稀土；除样品 md0911 外，δEu 范围在 0.50～0.75 之间，引起 Eu 正异常的原因与上述片岩类相同；δCe 范围在 0.86～1.04；稀土元素球粒陨石标准化配分模式总体向右倾斜(图 4b)，Eu 中等亏损；除南秧田样品的轻稀土元素配分模式与大陆下地壳平均组成相似外，其余样品稀土元素的配分模式与大陆上地壳平均组成的稀土元素配分模式平行；占绝大部分的片麻岩与砂岩、杂砂岩的稀土配分模式相似，表明副片麻岩原岩可能是砂岩、杂砂岩类(Wang Zhonggang et al.，1989)，以大陆上地

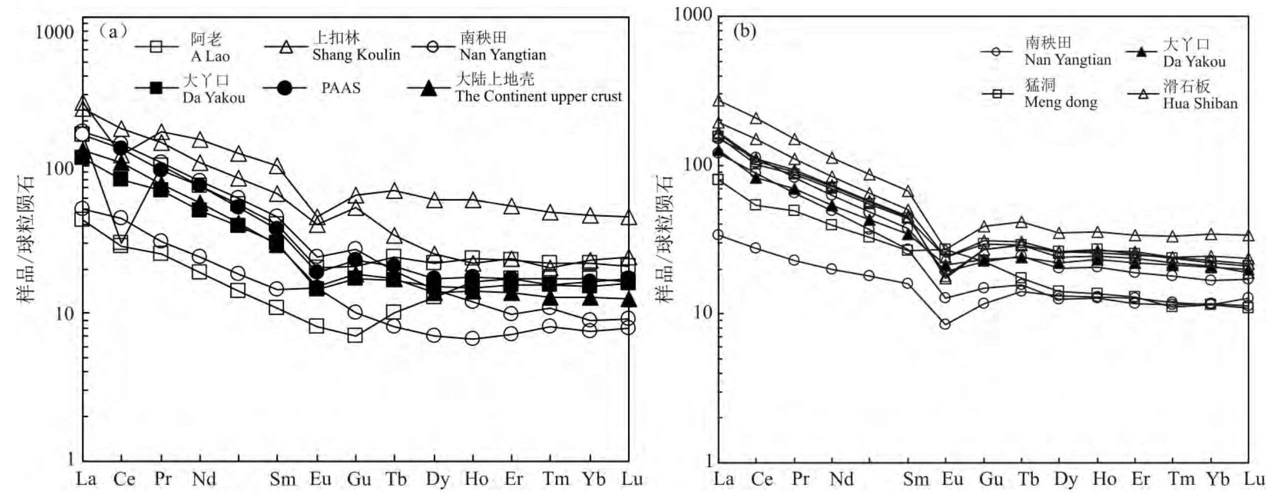

图 4　滇东南猛洞岩群片岩(a)和片麻岩(b)球粒陨石标准化稀土配分图解(球粒陨石标准值引自 Sun and McDonough,1989)

Fig. 4　Schist (a) and genesis (b) chondrite-normalized REE diagram of Mengdong Group complex, southeast Yunnan Province (normalized values after Sun and McDonough,1989)

壳物质为主。

由于微量元素中大离子亲石元素地球化学活动性强,在后期变质-变形过程容易丢失或加入而出现亏损或富集。而 Ta 型元素(Hf、Pt、Ta、Ti、Zr、Ba)在整个成岩-变质阶段保持稳定,F 型元素(Th、U、Zn、Cd 等)除麻粒岩相外也是一组不活动元素(Zhao Zhenhua et al.,1997),因而这些不活动元素是标定猛洞岩群原岩地球化学的标志。猛洞岩群副变质岩中不活动元素 Zn、Zr、Ba、Hf、Ta、Th、U 的平均含量分别为 208.9×10^{-6}、196.9×10^{-6}、1795.3×10^{-6}、5.1×10^{-6}、1.5×10^{-6}、13.6×10^{-6}、10.3×10^{-6},与上地壳平均组分相当(Taylor and McLennan,1985),表明猛洞岩群副变质岩的原岩物源以上地壳物质为主。

4　讨论

4.1　源区风化沉积特征

沉积岩经历中级变质作用改造后已完全丧失原有的组构特征,因此对变质碎屑岩的源区风化沉积、物质组成及构造环境的判别需借助地球化学特征讨论。前人研究表明,碎屑沉积岩的地球化学研究可用来解释源区的岩石组成及其风化特征等(Nesbitt and Young,1982;Taylor and McLennan,1985;McLennan et al.,1993;Fedo et al.,1995;Bhat and Ghosh,2001;Joo et al.,2005),其中化学蚀变指数(CIA)、斜长石蚀变指数(PIA)、成分变异指数(ICV)(Feng Lianjun et al.,2003;Long Xiaoping et al.,2008)及 Th/U、Rb/Sr 等微量元素比值可以示踪碎屑沉积物的源区物质和成因。在计算 CIA 和 PIA 指数时,所用 CaO 的含量仅指硅酸盐中的 CaO 含量,本次样品中化学 CaO 的含量除 md0912 为 2.21%,其余均低于 2%,且无明显的碳酸盐化,因此,本次样品的 CaO 含量全部近似作为硅酸盐中的 CaO,并对其中 CaO<0.01%的样品,以 0.01%参与计算,结果见表 1。

化学蚀变指数(CIA)可以指示碎屑沉积岩源区物质所遭受的风化作用的强弱(Nesbitt and Young,1982;Fedo et al.,1995)。猛洞岩群片岩类 CIA 指数为 66.8~82.40,代表温暖、湿润条件下中等化学风化环境(图 5);片麻岩类 CIA 指数为 54.2~66.3,反映经历寒冷、干燥的气候条件下低等化学风化环境,或者是源区相对缺少化学风化作用所形成的富铝矿物(图 5)。风化趋势显示(图 6),这套变质沉积岩的物质源区可能来源于与英云闪长岩或花岗闪长岩成分相当并经历了中等化学风化作用。

斜长石蚀变指数(PIA)常用来单独指示斜长石的风化状况(Fedo et al.,1995),新鲜岩石 PIA 指数为 50,而黏土矿物,如高岭石、伊利石及蒙脱石的 PIA 指数则接近 100(Fedo et al.,1995)。猛洞岩群片岩类的斜长石主要为拉长石、中长石、奥长石,PIA 指数为 74.6~97.2,反映源区内物质中黏土矿物含量高,经历了强风化作用(图 7);片麻岩类斜长石主要为拉长石、中长石类,PIA 指数为 55.3~72.0,反映源区内黏土矿物含量稍低,经历的风化作用稍弱于片岩类(图 7)。

成分变异指数(ICV)是用于判断碎屑沉积岩序

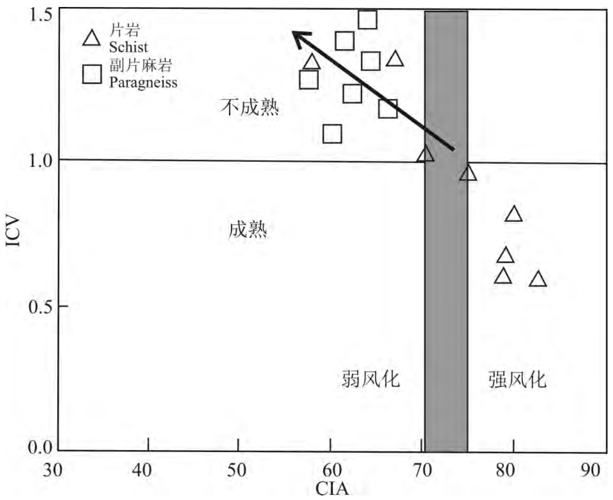

图 5　滇东南猛洞岩群副变质岩 CIA-ICV 指数图解

（据 Nesbitt and Young，1982）

Fig. 5　CIA-ICV plot for metamorphic clastic sedimentary rocks of Mengdong Group complex，southeastern Yunnan Province (after Nesbitt and Young，1982)

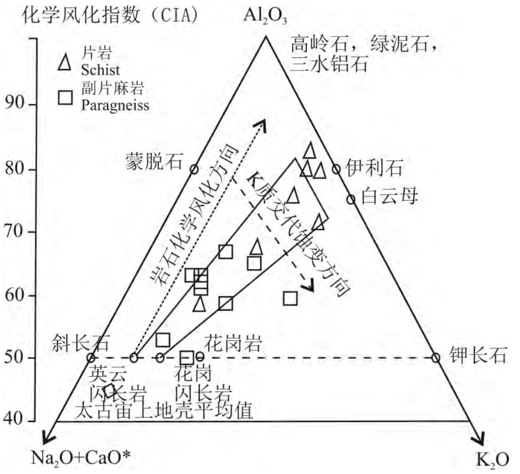

图 6　滇东南猛洞岩群变质沉积岩 ACNK 图解

（据 Nesbitt and Young，1982；Fedo et al.，1995）

Fig. 6　ACNK plots for metamorphic clastic rocks of the Mengdong Group complex，southeastern Yunnan Province (after Nesbitt and Young 1982；Fedo et al.，1995)

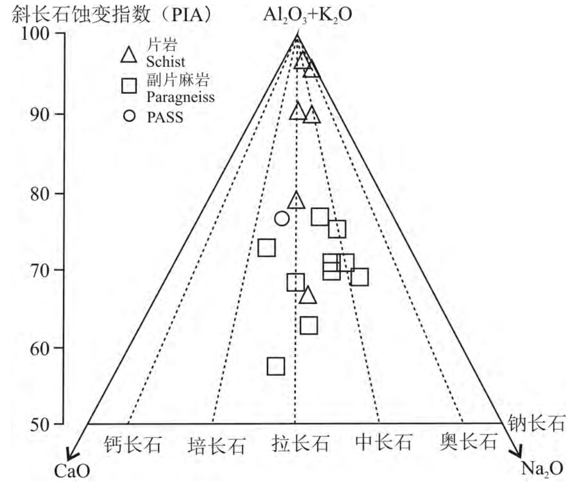

图 7　滇东南猛洞岩群变质沉积岩 AKCN 图解

（据 Nesbitt and Young，1982；Fedo et al.，1995）

Fig. 7　AKCN plots for metamorphic clastic rocks of the Mengdong Group complex，southeast Yunnan Province (after Nesbitt and Young 1982；Fedo et al.，1995)

列代表第一次沉积还是再循环的沉积产物（Cox，1995）。猛洞岩群片岩类成分变异指数 ICV 值小于 1，表明其是来自成熟的并含有大量黏土矿物的沉积源区，指示被动构造环境下沉积物的再循环（Cox，1995）。片麻岩类 ICV 值大于 1，说明这些变质碎屑沉积岩来源于不成熟的物质源区，是活动构造带的首次沉积，往往形成于活动大陆边缘的构造环境，属构造活动时期的初始沉积（Cox，1995），反映近源沉积的特征（图 5）。上述 CIA 指数、PIA 指数及 ICV 值，一方面表明猛洞岩群片岩类可能经历了强烈的风化作用，且原岩为泥质岩类，另一方面也反映了对物源特征和构造环境的判别应依靠副片麻岩类。

在氧化条件下，U^{+4} 可被氧化为易溶的 U^{+6} 被流体带出体系，而 Th 在此过程中则保持其稳定性，因此沉积循环将导致 Th 和 U 的分馏（McLerman and Taylor，1980）。持续的风化循环及再沉积作用，将使碎屑沉积岩的 Th/U 比值增加，因此可以通过 Th/U 比值的增加来示踪风化及沉积过程（McLerman and Taylor，1980）。猛洞岩群大多数碎屑沉积物样品的 Th/U 跨度较大（0.14～7.80），平均值（3.45）略低于上地壳的平均值（3.8），其中大丫口、猛洞、滑石板等地区的副片麻岩可能含高 U 岩石致 Th/U＜1，接近上地幔的岩石地球化学特征（Liu Yingjun et al.，1984），其他样品的风化趋势较明显，表明该套碎屑岩岩石源区经历了较复杂的沉积演化过程（图 8）。

风化和成岩作用可以导致碎屑沉积岩的 Rb/Sr 比值明显升高，高的 Rb/Sr 比值（＞0.5）也可以用来示踪风化及沉积作用循环（McLennan et al.，1993）；猛洞岩群碎屑沉积岩的 Rb/Sr 为 0.49～16.53（平均 3.37）；低 Rb/Sr 比值的样品与 Th/U ＜1 基本一致，反映岩石源区经历了较简单的沉积过程；高 Rb/Sr 反映了源区可能有云母的富集。上述判别显示该套碎屑岩经历了较复杂的沉积演化过程，与 Th/U 判别结果基本一致。

4.2　源区物质组成及来源

在岩石风化的早中期，碱金属以及碱性元素具

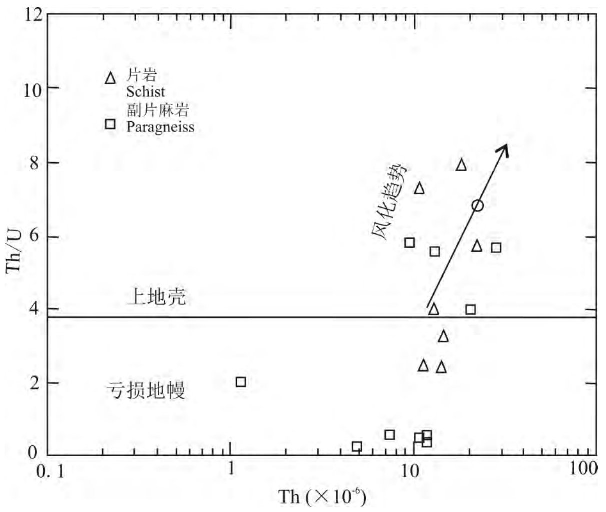

图 8　滇东南猛洞岩群副变质岩 Th-Th/U 图解（据 McLernnan and Taylor，1980）

Fig. 8　Th-Th/U plot for metamorphic clastic sedimentary rocks of Mengdong Group complex, southeastern Yunnan province (after McLernnan and Taylor，1980)

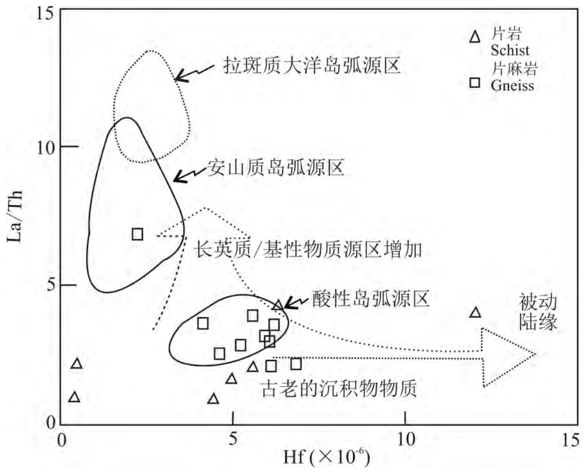

图 9　滇东南猛洞岩群副变质岩 La/Th-Hf 图解（据 Floyd and Leveridge，1987）

Fig. 9　La/Th-Hf plot for metamorphic clastic sedimentary rocks of Mengdong Group complex, southeast Yunnan Province (after Floyd and Leveridge，1987)

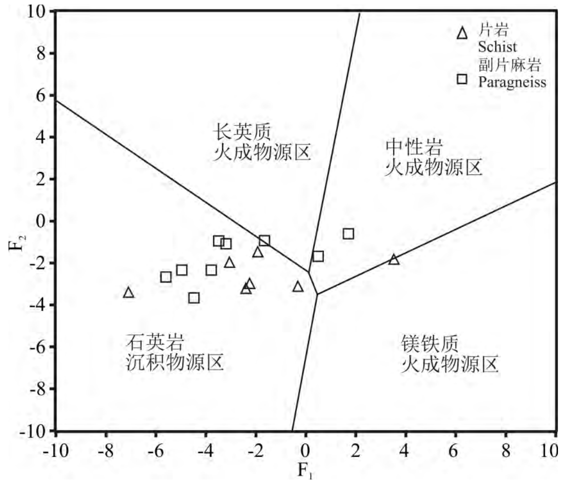

图 10　滇东南猛洞岩群沉积物源区判别图（据 Roser 和 Korsch，1988）

Fig. 10　Discrimination diagram of sediment sources of Mengdong Group complex, southeastern Yunnan province (after Roser and Korsch，1988)

有较强的溶解性，易发生丢失，但 Al、Ga、Ti、Zr、Hf、Sc、Y、Nb、Th 和 REE 等元素则相对稳定不易丢失（Taylor，1985）。因此，REE、Sc、Th 和高场强元素是描述沉积岩源区性质最为理想的元素。

在 La/Th-Hf 图解中（图 9），猛洞岩群多数碎屑沉积岩落入酸性岛弧源区及少量古老的沉积物物质源区。砂岩-泥岩套的物源区指纹的判别图解可有效判别碎屑岩的物质源区（Roser and Korsch，1988），碎屑岩样品主要落入石英岩沉积物源区及中性火成岩的物源区（图 10）。因此，猛洞岩群的源区物质以石英岩沉积物源区为主，混合少量中性火成岩物源区。结合区域地质情况，Liu Yuping et al.（2006）获得该区斜长角闪片麻岩另两期继承锆石为 829 Ma、1831 Ma，反映该区存在多期的岩浆活动，并且暗示滇东南地区存在古元古代的结晶基底，也在一定程度上将猛洞岩群形成沉积时代上限定为 761～829 Ma。特别是副片麻岩类原岩来源于不成熟的物源区，显示出活动构造环境沉积物的特征，为近源沉积的产物。因此，该套变质沉积岩可能经历了复杂的演化过程，中性岩火成物源区物质可能与这两期岩浆岩风化剥蚀具配套性。另外，石英岩沉积物源区反映了搬运距离较远，分选较好，可能为古老沉积物质再循环，与 La/Th-Hf 图解判别基本一致。

4.3　构造背景的分析

碎屑沉积岩的地球化学特征与物质组成密切相关，而物质组成与其物源和大地构造环境有关，因此碎屑沉积岩地球化学特征可以用来反演构造背景，并利用地球化学特征划分出大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘及被动大陆边缘等四种典型构造环境（Bhatia and Crook，1986；McLennan and Taylor，1991）。

基于澳大利亚东部古生代浊积岩系列的研究，Bhatia（1983）认为碎屑沉积岩中的砂岩的主量元素可以反映其成因及构造背景，从大洋岛弧到被动陆

缘的砂岩，其 Fe_2O_3＋MgO、TiO_2 和 Al_2O_3 比值降低，而 K_2O/Na_2O 和 $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ 比值增加，其数据可参见表 3。猛洞岩群的副片麻岩原岩恢复为砂岩、杂砂岩，符合上述要求，其 Fe_2O_3＋MgO 为 3.51%～23.5%（平均 8.39%），SiO_2/Al_2O_3 为 0.11～0.49（平均 0.22），K_2O/Na_2O 为 0.74～5.21（平均 1.55），$Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ 为 2.64～5.92（平均 4.13），上述参数不同于大洋岛弧、活动大陆边缘，而兼具被动大陆边缘与大陆岛弧的特点（Bhatia，1983）。SiO_2-K_2O/Na_2O 图解（图 11a）显示片岩类样品落于活动大陆边缘，片麻岩类样品主要落于被动大陆边缘（Roser and Korsch，1988），由于样品遭受过强风化作用，K 和 Na 元素均有丢失，且 K 比 Na 元素丢失更严重，因此该图解判别不准确。

稀土和微量元素的特征可用来反映构造背景和源区类型，不同构造环境碎屑沉积物物质源区不同（表 3）。本文中副片麻岩 La、Ce、ΣREE、La/Yb、$(La/Yb)_N$、LREE/HREE、Eu/Eu^* 等微量和稀土地球化学特征不同于大洋岛弧、活动大陆边缘碎屑沉积物特征，而与大陆岛弧碎屑沉积物特征极为相近（表 3）。为进一步区分这套变质沉积岩的构造环境，使用不活泼元素 Th-Sc-Zr/10 和 La-Th-Sc 两个图解（图 11b 和图 11c）（Bhatia and Crook，1986），结果大多数样品均落入大陆岛弧区，表明猛洞岩群的变质碎屑岩可能沉积于与大陆岛弧相关的沉积盆地，这种环境下形成的碎屑沉积物，主要来自长英质岩浆岩或火山岩。区内发现较强烈火山沉积产物，也不支持其构造环境为被动大陆边缘的观点。

表 3 滇东南猛洞岩群砂岩地球化学参数与构造背景（据 Bhatia et al.，1983 修改）

Table 3 Geochemistry parameter of the sandstones and tectonic setting in Mengdong Group complex, southeast Yunnan Province (modified from Bhatia et al., 1983)

构造环境	源区类型	(%)				(×10^{-6})						
		Fe_2O_3＋MgO	Al_2O_3/SiO_2	K_2O/Na_2O	$Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$	La	Ce	ΣREE	La/Yb	$(La/Yb)_N$	LREE/HREE	Eu/Eu*
大洋岛弧	未切割的岩浆弧	11.73	0.29	0.39	1.72	8±1.7	19±3.7	58±10	4.2±1.3	2.8±0.9	3.8±0.9	1.04±0.11
大陆岛弧	切割的岩浆弧	6.79	0.2	0.61	2.42	27±4.5	59±8.2	146±20	11±3.6	7.5±2.5	7.7±1.7	0.79±0.13
活动大陆边缘	基底隆起	4.63	0.18	0.99	2.56	37	78	186	12.5	8.5	9.1	0.6
被动大陆边缘	克拉通内构造高地	2.89	0.1	1.6	4.15	39	85	210	15.9	10.8	8.5	0.56
猛洞岩群片麻岩	?	8.39	0.22	1.55	4.13	34.54	63.67	327.3	10.16	7.29	6.74	0.66

4.4 猛洞岩群变质沉积岩的亲缘性

大多学者认为扬子地块与华夏地块的拼合为华南地块，其时代限制在 870～820 Ma（Zhou Jincheng et al.，2008；Shu Liangshu et al.，2006），属于全球 Rodinia 超大陆的一部分；南华裂谷与康滇裂谷盆地沉积超覆的开启时间约为 820 Ma（Wang et al.，2003a，2003b；Wang Jian et al.，2003，2009；Zhuo Jiewen et al.，2013；Wang Zhengjiang et al.，2015）；且康滇裂谷盆地属于典型的半地堑盆地，物源主要来自昆阳群（Zhuo Jiewen et al.，2013）。昆阳群为一套浅变质的陆源碎屑岩、碳酸盐岩及少量火山岩，厚度达万米，形成时代限定为中元古代（Zhang Chuanhen et al.，2007；Wu Maode et al.，1990；Sun Zhiming et al.，2009；Li Huaikun et al.，2013）。Li Huaikun et al.（2013）根据昆阳群碎屑锆石年龄以及 Hf 同位素特征，认为昆阳群的碎屑物质主要来自华夏地块。

新元古代时期，滇东南老君山地区及其所在的越北地块，可能位于南华裂谷之西延与康滇裂谷之南延的交汇部位。猛洞岩群变质碎屑岩物质来源较为复杂，一部分可能来自于近源的岩浆风化沉积产物，与 Liu Yuping et al.（2006）报道的残留岩浆锆石年龄相匹配；另一部分可能形成于华夏板块向扬子地块俯冲过程中，为南华裂谷盆地与康滇裂谷盆地峰期阶段沉积的产物（Li Xianhua et al.，2008），可能为古老沉积物质再循环，此时具地理优势的昆阳群为滇东南地区及越北地块提供物源基础。

综上所述，猛洞岩群变质碎屑岩可能沉积于与

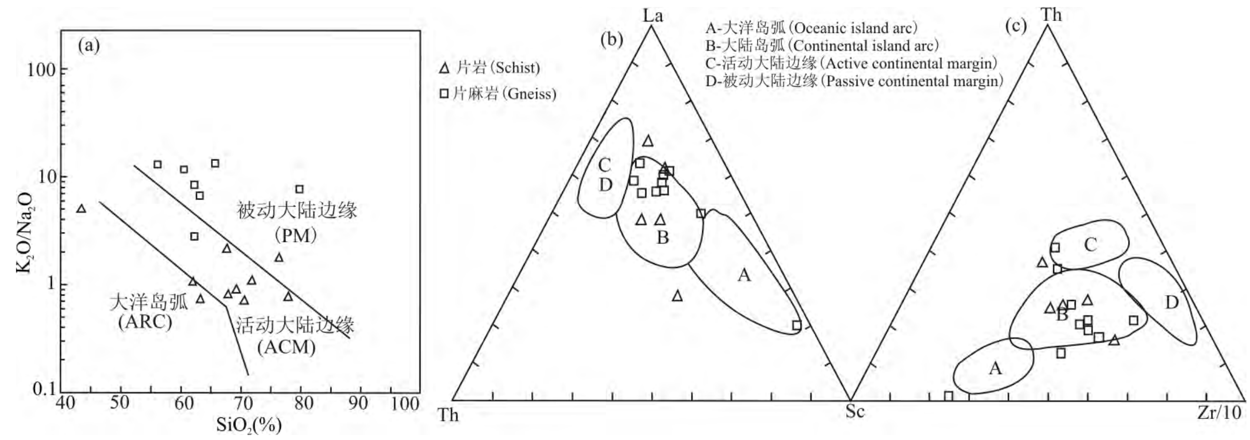

图 11　滇东南猛洞岩群变质沉积岩 SiO_2-K_2O/Na_2O_2，La-Th-Sc 及 Th-Sc-Zr/10 构造环境判别图解(据 Bhatia and Crook，1986)

Fig. 11　Discriminate diagrams SiO_2-K_2O/Na_2O_2, La-Th-Sc and Th-Sc-Zr/10 of tectonic setting for metamorphic clastic sedimentary rocks from the Mengdong Group complex, southeast Yunnan Province (after Bhatia and Crook, 1986)

大陆岛弧环境相关的裂谷盆地，推测物质来源于昆阳群和原地岩浆风化沉积产物，其原岩形成与扬子地块有较强的亲缘关系。

5　结论

（1）猛洞岩群岩石地球化学特征、地球化学判别图解及稀土元素配分模式表明，片岩类原岩以泥质岩和黏土岩为主，含少量岩屑砂岩及粉砂岩，副片麻岩类原岩为长石砂岩、石英长石杂砂岩等，原岩物源以上地壳物质为主。

（2）化学蚀变指数（CIA）、斜长石蚀变指数（PIA）、成分变异指数（ICV）及相关微量元素比值表明了片岩类原岩形成后经历强风化作用，可能与其含泥质成分高有关；副片麻岩类原岩来源于不成熟的物源区，显示出活动构造环境沉积物的特征，推测为近源沉积的特点。Th/U 与 Rb/Sr 比值反映部分碎屑岩源区经历了较复杂的沉积演化过程。

（3）猛洞岩群的源区物质以石英岩沉积物源区为主，混合少量中性火成岩物源区。石英岩沉积物源区可能反映了搬运距离较远，分选较好，可能为古老沉积物质再循环；中性火成岩物源区可能来自于原地早元古代基底的风化剥蚀产物，与滇东南地区早期岩浆活动风化产物有关。

（4）猛洞岩群变质岩原岩可能沉积于大陆岛弧相关的沉积盆地环境，其作用于华夏与扬子板块拼贴之前，物源以昆阳群和原地风化沉积产物为主，推测与扬子地块具有较强亲缘性。

致谢：审稿专家提出了宝贵的修改意见和建议，中国科学院地球化学所胡静和包广萍老师完成微量元素测试，主量元素由广州奥实测试公司完成，对上述提供帮助的单位和老师表示感谢！

注　释

❶云南省地矿局第二区域测量大队. 1976. 中华人民共和国区域地质报告（1：20 万）马关幅.

❷云南省地质矿产勘查开发局区域地质调查大队. 1999. 中华人民共和国地质图及说明书（1：5 万）老君山幅、麻栗坡县幅.

References

Bhat M L, Ghoah S K. 2001. Geochemistry of the 2.51 Ga old Rampur Group pelites, western Himalayas: implications for their provenance and weathering. Precambrian Research, 108: 1～16.

Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. Journal of Geology, 91(6): 611～627.

Bhatia M R. 1985a. Composition and classification of Paleozoic flysch mudrocks of Eastern Australia: implications in provenance and tectonic setting interpretation. Sedimentary Geology, 41(3～4): 249～268.

Bhatia M R. 1985b. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control. Sedimentary Geology, 45(1～2): 97～113.

Bhatia M R, Crook A W. 1986. Trace element characteristics of greywacke and tectonic setting discrimination of sedimentary basin. Contributions to Mineralogy and Petrology, 92: 181～193.

Carter A, Roques D, Bristow C, Kinny P. 2001. Understanding Mesozoic accretion in southeast Asia: significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. Geology, 29: 211～214.

Chen Xueming, Lin Zong, Xie Fuchang. 1998. Geological and geochemical characteristic of the Bainiuchang superlarge silver polymetallic deposit of superimposed. Scientia Geologica Sinica, 33(1): 115～124(in Chinese with English abstract).

Chen Yanbo, Mao Jingwen, Xie Guiqing, Chen Maohong, Zhao Caisheng, Yang Zongxi, Zhao Haijie, Li Xiangqian. 2008. Petrogenesis of the Laochang-Kafang granite in the Gejiu area, Yunnan Province: Constraints from geochemistry and zircon U-Pb dating. Acta Geologica Sinica, 82(11): 1478～1493(in Chinese with English abstract).

Cheng Yanbo, Mao Jingwen, Chen Xiaolin, Li Wei. 2010. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Bozhushan granite in southeastern Yunnan Province and its significance. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 40(4): 869～878(in Chinese with English abstract).

Cox R, Lowe D R, Cullers R L. 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59: 2919～2940.

Cui Di, Chen Yuelong, Li Dapeng, Wang Shanhui, Chen Xue. 2015. Zircon U-Pb dating and Hf isotopic composition of clastic sedimentary rock in the Nansi Formation, Gantaohe Group, North China Craton and its tectonic significance. Geological Review, 61(2): 425～442 (in Chinese with English abstract).

Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge G R, Erjavec J L, Ferguson R C, Inman K F, Knepp R A, Lindberg F A, Ryberg P T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geological Society of America Bulletin, 94(2): 222～235.

Fedo C M, Nebitt H W, Young G M. 1995. Unraveling the evects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and Paleosoils, with implication for paleoweathering conditions and provenance. Geology, 23: 921～924.

Feng Jiarui, Mao Jingwen, Pei Rongfu, Zhou Zhenghua, Yang Zongxi. 2010. SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of Laojunshan granite intrusion from the Wazha tungsten deposit, Yunnan Province and their implications for petrogenesis. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 845～857(in Chinese with English abstract).

Feng Lianjun, Chu Xuelei, Zhang Qirui, Zhang Tonggang. 2003. CIA (Chemical index of alteration) and its application in the Neoproterozoic clastic rocks. Earth Science Frontiers, 10(4): 539～544(in Chinese with English abstract).

Floyd P A, Leveridge B E. 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: Framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. J. Geol. Soc. London, 144: 531～542.

Guo L G. 2006. Primary research on geochemistry and geochronology of the Laojunshan metamorphic core complex, Southeastern Yunnan. Master Degree thesis of Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1～126 (in Chinese with English abstract).

Guo L G, Liu Y P, Li C Y, Xu W, Ye L. 2009. SHRIMP zircon U-Pb geochronology and lithogeochemistry of Caledonian granites from the Laojunshan area, southeast Yunnan Province, China: implications for the collision between the Yangtze and Cathaysia blocks. Geochemical Journal, (43): 101～122.

Hou Mingcai, Jiang Wenjian, Ni Shijun, Huang Hu, Shi Xin, Miu Zongli. 2016. Geochemical characteristic of the Lower and Middle Jurassic clastic rocks in the Southern margin of the Yili basin, Xinjiang and its constraints on provenance. Acta Geologica Sinica, 90(12): 3337～3351 (in Chinese with English abstract).

Joo Y J, Lee Y, Bai Z Q. 2005. Provenance of Qingshuijian Formation (Late Carboniferous), NE China: Implication for tectonic process in the northern margin of the North China Block. Sedimentary Geology, 177(1～2): 97～114.

Li D X, Xu S S. 2000. Rotation-shearing genesis of metamorphic core complex-structural analysis of metamorphic core complex in Laojunshan, Southeastern Yunnan Province. Geological Review, 46(2): 113～119 (in Chinese with English abstract)

Li Huaikun, Zhang Chuanlin, Yao Chunyan, Xiang Zhenqun. 2013. U-Pb zircon age and Hf isotope compositions of Mesoproterozoic sedimentary strata on the western margin of the Yangtze massif. Science China: Earth Sciences, 56: 628～639(in Chinese with English abstract).

Li Xianhua, Wang Xuance, Li Wuxian, Li Zhengxiang. 2008. Petrogenesis and tectonic significance of Neoproterozoic basaltic rocks in South China: From orogenesis to intracontinental rifting. Geochimica, 37(4): 382～398(in Chinese with English abstract).

Liu Yanbin, Mo Xuanxue, Zhang Da, Que Chaoyang, Di Yongjun, Pu Xingming, Cheng Guoshun, Ma Huihui. 2014. Petrogenesis of the Late Cretaceous granite discovered in the Laojunshan region, southeastern Yunnan Province. Acta Petrologica Sinica, 30(11): 3271～3286(in Chinese with English abstract).

Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, Wang Henian, Chu Tongqing, Zhang Jingrong. 1984. Element Geochemistry. Beijing: Science publishing Company: 1～548 (in Chinese without English abstract)

Liu Yuping, Ye Lin, Li Chaoyang, Song biao, Li Tiesheng, Guo Liguo, Pi Daohui. 2006. Discovery of the Neoproterozoic magmatics in southeastern Yunnan: Evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating and lithogeochemistry. Acta Petrologica Sinica, 22(4): 916～926(in Chinese with English abstract).

Liu Yuping, Li Zhengxiang, Li Huiming, Guo Liguo, Xu Wei, Ye Lin, Li Chaoyang, Pi Daohui. 2007. U-Pb geochronology of cassiterite and zircon from Dulong Sn-Zn deposit: Evidence for Cretaceous large-scale granitic magmatism and mineralization events in southeast Yunnan Province, China. Acta Petrologica Sinica, 23(5): 967～976(in Chinese with English abstract).

Long Xiaoping, Yuan Chao, Sun Ming, Xiao Wenjiao, Lin Shoufa, Wang Yujing, Cai Keda. 2008. Geochemical characteristics and sedimentary environments of Devonian low metamorphic clastic sedimentary rocks in the southern margin of Chinese Altai, North Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 24(4):718～732(in Chinese with English abstract).

Lu Wei, Feng Minggang, Hu ChangShou. 2001. Metamorphism of Mengdong lithological Group in Nanwenhe area of southeast Yunnan. Yunnan Geological, 20(1):25～33(in Chinese with English abstract).

Lu Yuanfa. 2004. Geokit—A geochemical toolkit for Microsoft excel. Geochimica, 33(5):459～464(in Chinese with English abstract).

Maluski H, Lepvrier C, Jolivet L, Carter A, Roques D, Beyssac O, Tang T T, Thang N D, Avigad D. 2001. Ar-Ar and fission-track ages in the Song Chay Massif:Early Triassic and Cenozoic tectonics in northern Vietnam. Journal of Asian Earth Sciences, 19:233～248.

McLennan S M, Taylor S R. 1980. Th and U in sedimentary rocks: crustal evolution and sedimentary recycling. Nature, 285:621～624.

McLennan S M, Taylor S R. 1991. Sedimentary Rocks and crustal evolution: Tectonics setting and secular trends. Journal of Geology, 99:1～21.

McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, Hanson G N. 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. Geological Society of America Special Paper, 284:21～40.

Nesbitt H W, Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature, 199:715～717.

Peng T P, Fan W M, Zhao G C, Peng B X, Xia X P, Mao Y S. 2015. Petrogenesis of the early Paleozoic strongly peraluminous granites in the Western South China Block and its tectonic implications. Journal of Asian Earth Sciences, 98:399～420.

Qi L, Gregoire D C. 2000. Determination of trace elements in twenty six Chinese geochemistry reference materials by inductively coupled plasma-mass spectrometry. Geostandards Newslett, 24:51～63.

Roger F, Leloup P H, Jolivet M, Lacassin R, Trinh P T, Brunel M, Seward D. 2000. Long and complex thermal history of the Song Chay metamorphic dome (Northern Vietnam) by multi-system geochronology. Tectonophysics, 321:449～466.

Roser B P, Korsch R J. 1988. Provence signatures of sandstone-mudstone suits determined using discriminant function analysis of major-element data. Chem. Geol., 67:119～139.

Shaw D M. 1972. The origin of the Apsley gneiss, Ontario. Can J Earth Sci, 9(1):18～35.

Shu Liangshu. 2006. Predevonian tectonic evolution of South China: from Cathaysian Block to Caledonian period folded orogenic Belt. Geological journal of China Universities, 12(4):418～431 (in Chinese with English abstract).

Simonen A. 1953. Stratigraphy and sedimentation of the Svecofennidie, early Archean supracrustal rocks in southwestern Finland. Bull. Comm Geol. Finland, 160: 1～64.

Sun Jiaopeng, Chen Shiyue, Ma Yinsheng, Peng Yuan, Shao Pengcheng, Ma Shuai, Dai Kun, Zheng Ce. 2016. Early Ordovician continental-arc collision and retroarc foreland basin on the northern margin of Qaidam basin: Geochemical evidence from clastic basin. Acta Geologica Sinica, 90(1):80～92 (in Chinese with English abstract).

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and process. In:Saunders A, Dand Norry M J, eds. Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. London. Spec. Publ., 42: 313～345.

Sun Zhiming, Yin Fuguang, Guan Junlei, Liu Jianhui, Li Junmin, Geng Quanru, Wang Liquan. 2009. SHRIMP U-Pb dating and its stratigraphic significance of tuff zircons from Heishan Formation of Kunyang Group, Dongchuan area, Yunnan Province, China. Geological Bulletin of china, 28(7):896～900 (in Chinese with English abstract).

Tan Hongqi. 2010. Metamorphism-Deformation and Geochemistry of the Mengdong Group complex-Complex, Southeastern Yunnan, China. Master Degree thesis of Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1～86 (in Chinese with English abstract).

Tan Hongqi, Liu Yuping, Xu Wei, Guo Liguo, Ye Lin, Li Chaoyang. 2011. A study on SHRIMP and TIMS Zircon Dating on low to medium grade ortho-metamorphic Rocks: example on the Nanwenhe Granites, southeastern Yunnan Province, China. Acta Mineralogica Sinica, 31(1):62～69(in Chinese with English abstract).

Tan Hongqi, Liu Yuping. 2017. Metamorphism and deformation of the Mengdong Group-complex in southeastern Yunnan Province and their tectonic implications. Acta Geologica Sinica, 91(1): 15～42 (in Chinese with English abstract).

Taylor S R, Mclennan S M. 1985. The continent crust: its composition and evolution. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.

Wang Dandan, Li Baolong, Zhu Dequan, Zhang Chenggong, Zhang Xuecheng. 2015. Zircon U-Pb Geochronology of Metamorphic Complex in the Laojunshan District, Southeastern Yunnan Province and its tectonic implication. Acta Geological Sinica, 89(10):1718～1734(in Chinese with English abstract).

Wang Jian, Li Xianhua, Duan T Z, Liu Dunyi, Song Biao, Song Zhongxiong, Gao yonghua. 2003. Zircon SHRIMP U-Pb dating for the Cangshuipu volcanic rocks and its implications for the lower boundary age of the Nanhua strata in South China. Chinese Science Bulletin, 48(16):1726～1731.

Wang Jian, Pan Guitang. 2009. Neoproterozoic South China palaeocontinents:an overview. Acta Sedimentologica Sinica, 27(5):818～825(in Chinese with English abstract).

Wang Jian, Zhou Xiaolin, Guo Xiumei, Fu Xiugen, Yonghua. 2013. The onset and sedimentary evolution of the Neoproterozoic basin in south China: A case study of the Jiangnan sub-basin, northeastern Jiangxi. Acta

Sedimentologica Sinica，31(5)：834～844(in Chinese with English abstract).

Wang Zhengjiang，Wang Jian，Jiang Xinsheng，Sun Haiqing，Gao Tianshan，Chen Jianshu，Qiu Yansheng，Du Qiuding，Deng Qi，Yang Fei. 2015. New progress for the Stratigraphic division and correlation of Neoproterozoic in Yangtze Block，South China. Geological Review，61(1)：1～22(in Chinese with English abstract).

Wang Zhonggang，Yu Xueyuan，Zhao Zhenhua. 1989. Rare earth elements geochemistry. Beijing：Science publishing Company：1～535(in Chinese without English abstract)

Wei Zhenyang，Yu Jinhai，Wang Lijuan，Shu Liangshu. 2009. Geochemical features and tectonic significances of Neoproterozoic metasedimentary rocks from Nanling Range. Geochimica，38(1)：1～19(in Chinese with English abstract).

Wu Maode，Duan Jinsun，Song Xueliang. 1990. Geology of Kunyang group in Yunnan Province. Kunming：Science and Technology Press of Yunnan Province，1～223(in Chinese).

Xu B，Jiang S Y，Wang R，Ma L，Zhao K D，Yan X. 2015. Late Cretaceous granites from the giant Dulong Sn-polymetallic ore district in Yunnan Province，South China：Geochronology，geochemistry，mineral chemistry and Nd-Hf isotopic compositions. Lithos，(218～219)：54～72.

Xu B，Jiang S Y，Hofmann A W，Wang R，Yang S Y，Zhao K D. 2016. Geochronology and geochemical constraints on petrogenesis of Early Paleozoic granites from the Laojunshan district in Yunnan Province of South China. Gondwana Research，29：248～263.

Xu Wei. 2007. Primary research on geochronology and geochemistry of Nanwenhe granite，Southeast Yunnan. Master Degree Thesis. Guiyang：Institute of Geochemistry，Chinese Academy of Sciences，1～72(in Chinese with English abstract).

Yan D P，Zhou M F，Wang Y C. 2006. Structural and geochronological constraints on the Dulong-Song Chay tectonic dome in SE Yunnan (SW China) and northern Vietnam. Journal of Asian Earth Sciences，28(4)：332～353.

Zhang Binhui，Ding Jun，Reng Guangming，Zhang Linkui，Shi Hongzhao. 2012. Geochronology and geochemical characteristics of the Laojunshan granites in Maguan County，Yunnan Province，and its geological implications. Acta Geologica Sinica，86(4)：587～601(in Chinese with English abstract).

Zhang Chuanheng，Gao Linzhi，Wu Zhenjie，Shi Xiaoyi，Yan Quanren，Li Dajian. 2007. SHRIMP U-Pb zircon age of tuff from the Kunyang in central Yunnan：Evidence for Grenvillian orogeny in south China. Chinese Science Bulletin，52(11)：1517～1525.

Zhao Zhenhua. 1997. Geochemistry principle of trace elements. Beijing：Science publishing Company：1～238(in Chinese without English abstract).

Zhou Jincheng，Wang Xiaolei，Qiu Jiansheng. 2008. Is the Jiangnan orogenic belt a Grenvillian orogenic belt：some problems about the Precambrian geology of south China. Geological journal of China universities，14(1)：64～72(in Chinese with English abstract).

Zhou Shitai. 1984. Examination of 17 petrochemical methods of restoring protoliths of metamorphic rocks. Geological Review，30(1)：81～84(in Chinese with English abstract).

Zhuo Jiewen，Jiang Xinsheng，Wang Jian，Cui Xiaozhuang，Xiong Guoqing，Lu Junze，Liu Jianhui，Ma Mingzhu. 2013. Opening time and filling pattern of the Neoproterozoic Kangdian Rift Basin，western Yangtze Continent，south China. Science China：Earth Sciences，56：1664～1676.

参考文献

陈学明，林棕，谢福昌. 1998. 云南白牛厂超大型银多金属矿床叠加成矿的地质地化特征. 地质科学，33(1)：115～124.

程彦博，毛景文，谢桂青，陈懋弘，赵财胜，杨宗喜，赵海杰，李向前. 2008. 云南个旧老厂-卡房花岗岩体成因：锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学约束. 地质学报，82(11)：1478～1493.

程彦博，毛景文，陈小林，李伟. 2010. 滇东南薄竹山花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义. 吉林大学学报(地球科学版)，40(4)：869～878.

崔笛，陈岳龙，李大鹏，王善辉，陈雪. 2015. 华北克拉通甘陶河群南寺组碎屑岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及构造意义. 地质论评，61(2)：425～442.

冯佳睿，毛景文，裴荣富，周振华，杨宗喜. 2010. 云南瓦渣钨矿区老君山花岗岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及成因探讨. 岩石学报，26(3)：845～857.

冯连君，储雪蕾，张启锐，张同钢. 2003. 化学蚀变指数(CIA)及其在新元古代碎屑岩中的应用. 地学前缘，10(4)：539～544.

郭利果. 2006. 滇东南老君山变质核杂岩地球化学和年代学初步研究. 中国科学院地球化学研究所硕士学位论文.

侯明才，江文剑，倪师军，黄虎，罗文，石鑫，缪宗利. 2016. 伊犁盆地南缘中下侏罗统碎屑岩地球化学特征及对物源制约. 地质学报，90(12)：3337～3351.

李东旭，许顺山. 2000. 变质核杂岩的旋钮成因——滇东南老君山变质岩的构造解析. 地质论评，46(2)：113～119.

李怀坤，张传林，姚春彦，相振群. 2013. 扬子西缘中元古代沉积地层锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素组成. 中国科学：地球科学，43(8)：1287～1298.

李献华，王选策，李武显，李正祥. 2008. 华南新元古代玄武质岩石成因与构造意义：从造山运动到陆内裂谷. 地球化学，37(4)：382～398.

刘艳宾，莫宣学，张达，阙朝阳，狄永军，蒲兴明，程国顺，马慧慧. 2014. 滇东南老君山地区晚白垩世花岗岩的成因. 岩石学报，30(11)：3271～3286.

刘英俊，曹励明，李兆麟，王鹤年，储同庆，张景荣. 1984. 元素地球化学. 北京：科学出版社，1～548.

刘玉平，叶霖，李朝阳，宋彪，李铁胜，郭利果，皮道会. 2006. 滇东南发现新元古代岩浆岩：SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学证据. 岩石学报，22(4)：916～926.

刘玉平，李正祥，李惠民，郭利果，徐伟，叶霖，李朝阳，皮道会. 2007. 都龙锡锌矿床锡石和锆石 U-Pb 年代学：滇东南白垩纪大规模

花岗岩成岩-成矿事件．岩石学报，23(5)：967～976．

龙晓平，袁超，孙敏，肖文交，林寿发，王毓婧，蔡克大．2008．北疆阿尔泰南缘泥盆系浅变质碎屑沉积岩地球化学特征及其形成环境．岩石学报，24(4)：718～732．

路远发．2004．GeoKit：一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包．地球化学，33(5)：459～464．

吕伟，冯明刚，胡长寿．2001．滇东南南温河地区猛洞岩群变质作用特征．云南地质，20(1)：25～33．

舒良树．2006．华南前泥盆纪构造演化：从华夏地块到加里东期造山带．高校地质学报，12(4)：418～431．

孙志明，尹福光，关俊雷，刘建辉，李军敏，耿全如，王立全．2009．云南东川地区昆阳群黑山组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义．地质通报，28(7)：896～900．

孙娇鹏，陈世悦，马寅生，彭渊，邵鹏程，马帅，代昆，郑策．2016．柴达木盆地北缘早奥陶世陆 弧碰撞及弧后前陆盆地——来自碎屑岩地球化学的证据．地质学报，90(1)：80～92．

谭洪旗．2010．滇东南猛洞岩群变质—变形与地球化学研究．导师：刘玉平．中国科学院地球化学研究所，硕士学位论文．

谭洪旗，刘玉平，徐伟，郭利果，叶霖，李朝阳．2011．中-浅正变质岩锆石 SHRIMP 法与 TIMS 法测年结果不一致处理——以滇东南南温河花岗岩为例．矿物学报，31(1)：62～69．

谭洪旗，刘玉平．2017．滇东南猛洞岩群变质－变形研究及构造意义．地质学报，91(1)：15～42．

汪正江，王剑，江新胜，孙海清，高天山，陈建书，邱艳生，杜秋定，邓奇，杨菲．2015．华南扬子地区新元古代地层划分对比研究新进展．地质论评，61(1)：1～22．

王丹丹，李宝龙，朱德全，张承功，张学成．2015．滇东南老君山地区变质岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义．地质学报，89(10)：1718～1734．

王剑，李献华，T. Z. Duan，刘敦一，宋彪，李忠雄，高永华．2003．沧水铺火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及“南华系底界”新证据．科学通报，48(16)：1726～1731．

王剑，潘桂棠．2009．中国南方古大陆研究进展与问题评述．沉积学报，27(5)：818～825．

王剑，周小琳，郭秀梅，付修根，高永华．2013．华南新元古代盆地开启年龄及沉积演化特征——以赣东北江南次级盆地为例．沉积学报，31(5)：834～844．

王仁民，贺高品，陈珍珍，郑松彦，耿元生．1987．变质岩原岩图解判别法．北京：地质出版社．

王中刚，于学元，赵振华．1989．稀土元素地球化学．北京：科学出版社，1～535．

魏震洋，于津海，王丽娟，舒良树．2009．南岭地区新元古代变质沉积岩的地球化学特征及构造意义．地球化学，38(1)：1～19．

吴懋德，段锦荪，宋学良．1990．云南昆阳群地质．昆明：云南科技出版社，1～265．

徐伟．2007．滇东南南温河花岗岩年代学和地球化学初步研究．硕士学位论文．贵阳：中国科学院地球化学研究所，1～72．

游振东，王方正．1988．变质岩岩石学教程．武汉：中国地质大学出版社．

张斌辉，丁俊，任光明，张林奎，石洪召．2012．云南马关老君山花岗岩的年代学、地球化学特征及地质意义．地质学报，86(4)：587～601．

张传恒，高林志，武振杰，史晓颖，阎全人，李大建．2007．滇中昆阳群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄：华南格林威尔期造山的证据．科学通报，52(7)：818～824．

赵振华．1997．微量元素地球化学原理．北京：科学出版社，1～238．

周金城，王孝磊，邱检生．2008．江南造山带是否格林威尔期造山带——关于华南前寒武纪地质的几个问题．高校地质学报，14(1)：64～72．

周世泰．1984．对 17 种恢复变质岩原岩的岩石化学方法的检验结果．地质论评，30(1)：81～84．

卓皆文，江新胜，王剑，崔晓庄，熊国庆，陆俊泽，刘建辉，马铭珠．2013．华南扬子古大陆西缘新元古代康滇裂谷盆地的开启时间与充填样式．中国科学：地球科学，43(12)：1952～1963．

Tectonic Setting of the Mengdong Group Complex, Southeast Yunnan Province: Geochemical Constraints from Metasedimentary Rocks

TAN Hongqi[1, 2], LIU Yuping[3]

1) *College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu*, 610059;

2) *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu*, 610041;

3) *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry,*
Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002

Abstract

Mengdong Group complex, located in the Laojunshan Song Chay metamorphic core complex between Wenshan-Malipo strike-slip fault and Red-River fault zone, is one set of volcanic-sedimentary-metamorphic complex undergoing several deformation metamorphism episodes. Geochemical characteristics of the metaclastic sedimentary rock show that average contents of the major and trace elements are similar to the upper continental crust (UCC), and the ratios of SiO_2/Al_2O_3 and K_2O/Na_2O indicate that the metamorphic sedimentary rocks have similar maturity, but schist samples may suffer strong weathering. Rare earth element (REE) characteristics and metamorphic protolith restoration diagrams indicate that protolith of the schist of the Mengdong Group complex is clay and argillaceous and the protolith of gneiss is sandstone and greywacke. The chemical alteration index (CIA), composition variation index value(ICV) and plagioclase alteration index (PIA) suggest that the source area of the schist suffered a strong chemical weathering process and the source area of the gneiss suffered a relatively weak chemical weathering process. The ratios of Rb/Sr and Th/U indicate that the set of clastic rock has experienced complicated sedimentary evolution process. La/Th-Hf diagram and sandstone-mudstone suites discrimination plot show that the sediments of metaclastics were sourced mainly from quartzose sedimentary provenance with minor amount of felsic and intermediate igneous rocks. Diagrams of Th-Sc-Zr/10 and La-Th Sc indicate that metaclastics sedimentary rocks of Mengdong Group complex may deposit in the continental island arc environment. Based on the above analyses, the metamorphic sedimentary protolith of Mengdong Group complex is a set of argillaceous rocks and sandstone (greywacke), which experienced strong weathering and complicated sedimentary evolution process, and mainly deposited in the continental island arc environment. It can be concluded that the protolith of Mengdong Group complex may have had a source from Kunyang Group and has an affinity to the Yangtze block.

Key words: metaclastics sedimentary rocks; geochemical; mengdong Group complex; tectonic environment; Southeast Yunnan