

滇东昆阳群地层序列的厘定及其 在中国地层表的位置

高林志¹⁾ 张恒¹⁾ 张传恒²⁾ 丁孝忠¹⁾ 尹崇玉¹⁾ 武振杰¹⁾ 宋彪¹⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 中国地质大学(北京), 北京, 100083;

内容提要: 本文通过滇东地区中元古代昆阳群年代地层学研究, 提供了新元古代青白口系柳坝塘组的几组高精度锆石 SHRIMP U-Pb 年龄, 通过新元古代地层柳坝塘组与下伏地层(美党组、大龙口组和富良棚组)连续沉积关系以及昆阳群各组的同位素年代学数据, 将滇东地区建立新的“系”一级地层单位, 即“玉溪系”, 填补其在中国地层表中待建系的位置。笔者通过进一步的野外地层追踪和对“原昆阳群”的锆石年龄数据的比对研究, 明确了“原昆阳群”争议已久的“倒八序列”为华南古陆西南缘中一新元古代地层的正确沉积序列, 并以此在滇东地区建立了完整中一新元古代地层及年代地层层序, 结合华北古陆上已建立的西山系(1.4 ~ 1.2 Ga), 本文将昆阳群分属于西山系(1.2 ~ 1.4 Ga)和玉溪系(1.0 ~ 1.2 Ga), 重新厘定昆阳群时代的归属, 以期填补中国地层表中的“待建系”。

关键词: 滇东地区; 玉溪系; 锆石 SHRIMP U-Pb; 昆阳群

建立中国中一新元古代地层柱, 使其成为国际地层对比标准是中国地质学家的梦。中国地层表中传统新元古代青白口群下马岭组, 由于获得高精度锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 1368 ± 12 Ma(高林志等, 2007; Gao Linzhi et al., 2007), 而下移到中元古界之后, 中国完整的地层年表中似乎缺失了近 0.4 Ga 的地层。全国地层委员会将乔秀夫等(2007)命名的西山系(1.4 ~ 1.2 Ga)和缺失的那个时段(1.2 ~ 1.0 Ga)暂定为“待建系”。笔者通过近年来在云南滇东地区进行的野外工作, 在晋宁地区的青白口系柳坝塘组命名地—柳坝塘村获得一系列高精度锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(高林志等, 2015), 将柳坝塘组从昆阳群中分离出来, 使我们从昆阳群的地层中还还原出“未建系(1.4 ~ 1.0 Ga)”时段的地层。本次研究中, 笔者等首先厘定了昆阳群在地层柱中的位置, 考虑到西山系(1.2 ~ 1.4 Ga)已在华北古陆上命名的事实; 本文将昆阳群分属于西山系(1.2 ~ 1.4 Ga)和玉溪系(1.0 ~ 1.2 Ga), 重新厘定昆阳群时代的归属, 以期填补中国地层表中的“待建系”。

昆阳群由朱庭祜 1927 年命名。李希勤等(1953)在铜矿研究中引用了昆阳群的概念和地层

序列。邓家藩等^①做了更系统的地层划分和地层定位总结, 1960 年代末, 滇中地区通过 1:20 000 区测(1:20 000 昆明幅, 1971), 建立起昆阳群—自下而上为黄草岭组、黑山头组、大龙口组、美党组、因民组、落雪组、鹅头厂组、绿汁江组八个组的层序(称“正八”观点); 其后根据康滇野外实地调查及四川“双会”片区公认的“会理群”层序和东川片区昆阳群层序, 吴懋德、李希勤、吕世琨等对争论的焦点—即“东川运动”存在与否进行了讨论; 吴懋德等^②提出昆阳群的八个组可分为两个四组, “因民组、落雪组、鹅头厂组、绿汁江组”四个组应倒过来置于“黄草岭组、黑山头组、大龙口组、美党组”四个组之下(称“倒八”观点)。至此, “正八”与“倒八”序列之争一直延续至今。

综观长期争论的焦点, 某些地质学家曾错误地将东川地区因民组紫色页岩与柳坝塘组紫色页岩对比而产生了问题, 使云南地区的昆阳群地层序列在地层排序上出现极大混乱; 在地层年表中曾出现不同的岩石排列组合, 甚至引起近 50 年来的地层划分和地层对比争论。目前广义的“昆阳群”主要分布于东川、滇中和滇东地区, 所处大地构造位置为扬子板块西缘。但是, 由于昆阳群岩组命名众多, 地层划

注: 本文为科技部基础项目(编号: 2015FY310100)、国家自然科学基金资助项目(编号: 41372038)和中国地质调查局地调项目(编号: 121201102000150009, 121201102000161414)的成果。

收稿日期: 2017-09-06; 改回日期: 2018-02-08; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.02.002

作者简介: 高林志, 男, 1955 年生。研究员, 主要从事生物地层、层序地层、灾变事件地层研究。Email: gaolzh@cags.ac.cn。

分几经变革,地层对比产生了极大的混乱(孙家聪,1982,1983,1988;曹瑞骥等,1984;尹福光等,2011;周邦国等,2012;汪正江等,2015;王生伟等,2016);其原因为邓家藩(1963)将云南中东部的“柳坝塘组”和“军哨组”与东川地区的因民组紫色层对比,将其底部发育的沉积间断命名为“易门运动”,进而否定了云南东川地区因民组之下的“东川运动”,认为“东川运动面”为断层接触关系,随即将“易门运动”替代“东川运动”,并作为上、下昆阳群的分界。自此“易门运动”与“东川运动”的争论引起上、下昆阳群地层排序的困惑和地层对比的矛盾。然而,因民组火山岩 U—Th—Pb 年龄(1685 Ma 和 1878 Ma)曾一度成为昆阳群“倒八组”在地层柱中的排列位置上重要的参考年龄依据(吴懋德等,1990);尽管争论依然继续,该年龄已影响了整个西南地区前寒武纪的地层划分和对比(吕世琨和戴恒贵,2001)。首先,其排除了因民组与柳坝塘组的对比关系,其次使柳坝塘组成为昆阳群的顶部层位,也确立了柳坝塘组是中国南、北两陆块青白口纪地层对比的关键层位。其高精度的同位素年代学研究是中外地质学家追求的目标,成为急待解决问题(高林志等,2015)。应肯定 20 世纪 70 年代起,吴懋德^①、李希勤等(1984)、吴懋德等(1990)对地层划分和对比做出卓越贡献,得到后期在成矿预设中的肯定和发扬(戴恒贵,1997)。吴懋德等(1990)经过不断野外地层观察和野外构造确认以及大范围的地层追溯,明确了昆阳群自下而上可划分为三个亚群;其下亚群包括了因民组、落雪组、鹅头厂组(黑山组)、绿汁江组(青龙山组)四个组;中亚群为黄草岭组(大营盘组)、黑山头组(小河口组)、大龙口组(麻地组)、美党组(茅草房组)四个组;上亚群为柳坝塘组(者贵组中、下部,或望厂组,或军哨组)、华家箐组(上二组)两个组的野外地层序列的事实。昆阳群的地层排序长期以来存在极大的争议,尤为突出的是 70 年代以来的上亚群(4 组)与中亚群(4 组)的排序问题,有了“正八组”(孙家聪,1982,198,1988;薛步高,1999)和“倒八组”(云南省地质局,1966;吴懋德,1978;李希勤等,1984)之分。由于昆阳群多个岩组富产铜和铁等矿床,以及其他有色金属矿床,因此,修订昆阳群的地层序列和地层对比关系始终是昆阳群研究争论的焦点。吴懋德和李希勤(1981)依据云南昆阳群的两种底辟构造认识,对“倒八组”现象做出了很好的构造解释。李希勤等(1984)强调了“昆阳群厚度大(近 20 km),是阿尔卑斯式褶皱

断裂发育,特别是几个大的逆冲断层和刺穿构造存在结果,使得正确认识这套地层排序产生了很多困难”。然而,有关李氏的昆阳群上亚群与青白口系的关系的观点,被鄢芸樵(1986)在同刊物《地质论评》上进行商榷。

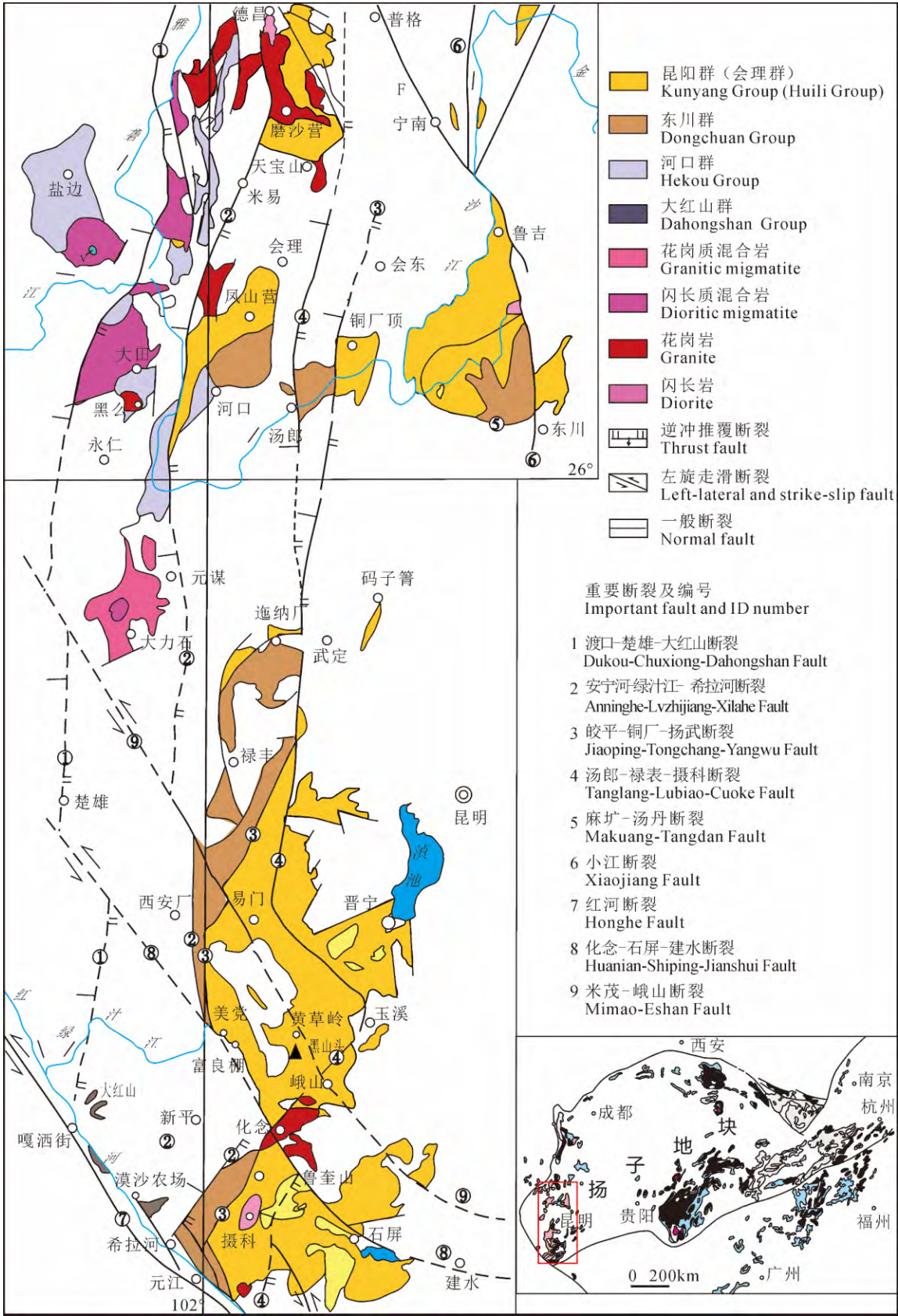
昆阳群变质和变形涉及到:

(1) 对“晋宁运动”认识,原定义该运动发生在昆阳群之后,澄江组之前,特别是华南地区与“晋宁运动”对比的四堡运动、梵净山运动、武陵运动、九岭运动等均定位于 820 Ma 左右的运动(高林志等,2011,2012;张恒等,2015;Zhang Heng et al.,2015),“晋宁运动”是否与之相同?

(2) 由于早期的同位素测年延续了“正八组”(下四个组:黄草岭组、黑山头组、大龙口组、美党组;上四个组:因民组、落雪组、黑山组、青龙山组)展开的,Greentree 等(2006)曾用锆石 SHRIMP U—Pb 测年方法获得一些数据,由于其受“正八组”序列观点影响下,数据排在正八组序列上,反而无规律可循,使地层对比更加混乱。

2005 年国土资源部开展的新一轮大地调项目,使“正八组”序列再次被新的同位素年龄数据改变。张传恒等(2007)在黑山头组富良棚段上部安山质熔结凝灰岩(层凝灰岩)获得的锆石 SHRIMP U—Pb 加权平均年龄为 1032 ± 9 Ma,成为该地区首次发表的“颠覆性”成果,彻底结束了“正八组”和“倒八组”地层序列之争,也首次以精确同位素定年明确了李氏等“倒八组”排序的正确性;随后,孙志明等(2009)在东川地区黑山组中的凝灰岩锆石中获得 SHRIMP U—Pb 加权平均年龄为 1503 ± 17 Ma,明确了黑山组隶属东川群。

依据上述的最新同位素测年成果,2009 年 12 月中国地层委员会与中国地质调查局成都地调中心的专家在云南东川和易门地区联合召开野外现场会,会后“纪要”(中国地质调查局科技外事部,2010)建议将东川地区的昆阳群(原下亚群)恢复最初的命名,即东川群,包括自下而上为因民组、落雪组、黑山组和青龙山组;将昆阳群中亚群保留为昆阳群(原中亚群),自下而上为黄草岭组、黑山头组、富良棚组、大龙口组和美党组(李怀坤等,2013)。“纪要”中强调了东川群与昆阳群在地域上没有直接的接触关系。然而,胡荣民等(1993)在石屏县热水塘—车家城一带发现昆阳群黄草岭组以下存在一套厚逾 1000m 的连续沉积地层,并建立了两个新组:车家城组和热水塘组。“正八组”观点的学者(薛步



高, 2000), 曾一再强调云南石屏县地区黄草岭组之下有连续沉积(车家城组和热水塘组), 似乎其地层意义就是“正八组”序列之下还有“根”。而云南石屏县地区正是吴懋德等(1990)划分的昆阳群下亚群; 据此, 戴恒贵(1997)也认为云南元江撮科地区的黄草岭组之下的这套地层有望建立滇东地区的黄草岭组完整剖面。本文作者等在野外实地追索了这两个新建组, 发现石屏县热水塘地区热水塘组中发育了大量的凝灰岩、流纹岩以及大量的辉绿岩, 在构造上与东川地区的黑山组可能同为裂谷构造背景,

因此, 笔者认为黄草岭组之下车家城组和热水塘组的同位素定年尤为重要, 有利于从构造模式上与东川群的黑山组对比。另外, 关于东川群(原昆阳群下亚群)的底界, 杨斌等(2016)发表了武定地区因民组大竹棚流纹岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄加权平均值为 $1730 \pm 4\text{Ma}$, 再次确定了因民组隶属长城系, 结合孙志明等(2009)在东川地区黑山组中凝灰岩获得的锆石 SHRIMP U-Pb 加权平均年龄 $1503 \pm 17\text{Ma}$, 确立了黑山组隶属新年代地层表中的蓟县系(图2)。

		东川地区	武定地区	晋宁地区	石屏地区			全国地层委 2013-2017		
寒武系		梅树村组	梅树村组	梅树村组	梅树村组	寒武纪澄江动物群				
新元古界	八街群	灯影组	灯影组	灯影组	灯影组		震旦系	541Ma GSSP	震旦系	
		陡山沱组	陡山沱组	陡山沱组	陡山沱组					
		南沱组		牛头山组			南华系	635Ma GSSP	南华系	
		澄江组		鼠街组	澄江组 782.9±4.9 Ma	澄江运动		750Ma		
						晋宁运动	青白口系	780Ma 820Ma	青白口系	
	昆阳群	唐房运动		华家箐组		872.3±9.7 Ma 872.8±9.3 Ma 883.8±9.2 Ma 889.5±8.6 Ma 892.3±5.3 Ma				
		麻地组		柳坝塘组	834±34Ma 890±9 Ma 高林志等，2015					
		小河口组		军哨组	Fe		易门运动	玉溪系	1000Ma	
				美党组		★ 1040 Ma				
		大营盘组	大营盘组	大龙口组	富良棚组	富良棚组	1032±9 Ma 张传恒等，2007	西山系	1200Ma	待建系
中元古界	东川群	黑山头组		黑山头组		★				
		大营盘组	大营盘组	黄草岭组	黄草岭组	★	///			
		1400Ma								
	东川群	青龙山组	青龙山组	绿汁江组	车家城组		蓟县系	1400Ma	蓟县系	
		黑山组	黑山组	鹅头厂组	热水塘组	★	///			
1503±17Ma 孙志明等, 2009										
东川群	落雪组	落雪组	落雪组							
	因民组	因民组	因民组		1730±4Ma 杨斌等, 2016	★	///	1600Ma	长城系	
	Cu									
龙川运动						东川运动		1800Ma		

图2 滇东地区中—新元古代地层在地层柱中的位置

Fig. 2 Meso—Neoproterozoic strata of Eastern Yunnan in its position of the stratigraphic column

1 地层序列及采样层位

1.1 云南东川地区

东川群(原昆阳群下亚群)发育了因民组、落雪组、黑山组和青龙山组。东川地区的昆阳群(原昆阳群中亚群)发育了大营盘组、小河口组、麻地组。

因民组 孟宪民等(1944)命名;1947年进一步描述。选层型为云南东川矿区三风口—因民剖面($N26^{\circ}17'00''$; $E102^{\circ}56'00''$) ,次层型1:东川矿区播卡汤家箐沟剖面($E103^{\circ}02'00''$, $N26^{\circ}24'00''$) ;次层型2:东川落雪稀矿山九号硐铁南沿至铜南沿剖面($N26^{\circ}15'00''$; $E102^{\circ}57'00''$) ,均由西南地质勘探公司314队陈天佑等在1985年测制。该组自下而上分6个段(玉新村段、大绿江段、三岔段、稀矿山段、马柱洞段、面山段)。下部为灰绿色砾岩夹灰紫色白云质粉砂岩及板岩;中部为紫红色铁质板岩及泥质白云岩夹板岩及赤铁矿层,具干裂纹、波痕、斜层理及色调粒度韵律,含黄铜矿、斑铜矿;上部为紫红、灰紫色砂质白云岩夹板岩,具色调、粒度韵律及斜层理、波痕构造。因民组底部与下伏大洪山亚群角度不整合接触(龙川运动),顶与落雪组为整合过渡。厚225~388m。分布在云南东川、易门、元江及武定一带及四川通安、黎溪等地区。

落雪组 孟宪民等(1944)命名。选层型为云南东川矿区三风口—因民剖面($N26^{\circ}17'00''$; $E102^{\circ}56'00''$) ,陈天佑等1985年测。该组自下而上分5个段(波纹段、平纹段、燧石段、稀纹段、过渡段)。该组主要为青灰、灰白、肉红色厚层—块状含藻白云岩,夹硅质白云岩和泥砂质白云岩。下部有硅质团块,底部粉砂泥质白云岩夹钙泥质板岩薄层,具硅质条带状和马尾丝状构造,含叠层石及藻类等。下部及底部为铜矿床的主要赋存层位。底与因民组、顶与鹅头厂组均为整合接触。厚105~506m。分布于云南东川、禄丰、易门、元江、汤丹、武定一带。

黑山组 孟宪民(1947)命名。正层型为云南东川黑山剖面;次层型为四川会理通安剖面,四川第一区测队1960年测制。该组以黑色板岩、黄绿色千枚岩、变粉砂岩为主,夹碳酸盐岩、火山碎屑岩等。在黎溪地区伴有磁菱铁矿床。与上覆青龙山组、下伏落雪组均为整合接触。厚度大于1000m。分布于四川会理、会东及云南。

青龙山组 王可南(1963)命名。正层型为云南东川青龙山剖面。岩性为一套巨厚碳酸盐岩夹板岩。与上覆大营盘组不整合或平行不整合接触,与

下伏黑山组整合接触。厚1500~2000m。分布于云南东川及四川一带。

大营盘组 谢振西等(1965)命名。选层型为云南东川矿区小黑箐—普普河剖面($N26^{\circ}16'30''$; $E102^{\circ}52'30''$) ,西南地质勘探公司314队陈天佑等1985年测。该组上部为灰黑色绢云板岩夹灰黑色碳质板岩,顶部夹灰色薄层泥灰岩及石英砂岩;下部为黑色碳质绢云板岩及少量硅质板岩,泥质岩屑砂岩;底为紫红色铁质角砾岩和含赤铁矿凸镜体的铁质板岩。下部有黄铁矿细层。顶部与小河口组呈整合接触。底部平行不整合于绿汁江组之上。厚960~2781m。分布于云南东川及四川一带。

小河口组 王可南等(1963)命名;谢振西等,1965年介绍。正层型为云南东川矿区小黑箐—普渡河剖面($N26^{\circ}16'00''$; $E102^{\circ}52'00''$) ,陈天佑等1985年测。该组为灰、灰白色石英砂岩及石英岩,夹有深灰色板岩,下部还夹少量灰色砂质灰岩和红色铁质板岩,顶部为红色铁质砂岩及铁质板岩。顶与麻地组为平行不整合接触;底整合覆于大营盘组之上。层型剖面处厚765m,最厚处为1200~1800m,最薄处仅50m。分布于云南东川一带。

麻地组 黎功举等(1964)命名。选层型为云南东川矿区小黑箐—普渡河剖面($N26^{\circ}16'00''$; $E102^{\circ}52'00''$) ,陈天佑等1985年测。该组上部为灰白、肉红色白云岩及深灰色灰岩夹砂质灰岩;下部为灰、灰白色石灰岩夹砂质灰岩、泥灰岩和少量钙质石英砂岩;近底部为灰白色砾状硅质灰岩夹灰绿色凝灰质千枚岩;底为灰绿色具枕状构造的细碧岩。未见顶。下与小河口组平行不整合接触。出露厚50~466m。分布于云南东川及四川一带。

1.2 云南易门—元江地区

东川群(原昆阳群下亚群)包括鹅头厂组、绿汁江组及可能的可对比地层(热水塘组、车家城组);昆阳群(原昆阳群中亚群)包括黄草岭组、黑山头组、富良棚组、大龙口组、美党组。

鹅头厂组 云南省地质局(1966)命名;张远志等(1996)介绍。选层型为云南禄丰县小新厂黄龙寨河鹅头厂组实测地质剖面($N25^{\circ}24'00''$; $E102^{\circ}12'00''$) ,吴懋德等(1990)重测。该组自下而上分4个段(小新厂段、黄龙寨段、五翻山段、冷水沟段)。该组以深灰至灰黑色板岩为主,常见由硅质或粉砂质组成的条带,或由深浅色调交替形成的条纹条带。底部板岩含碳质和硅质;下部夹灰岩、泥质白云岩、硅质岩、硅质板岩;中上部夹变质砂岩。下与落雪

组、上与绿汁江组均为整合过渡关系。厚 861 ~ 1786 m。分布于云南禄丰、东川一带。

绿汁江组 冶金部昆明地质勘探公司三零三勘探队(1956)命名;云南省地质矿产局地层清理组张远志等(1996)介绍。选层型为云南武定慢坡一家村绿汁江组剖面($N25^{\circ}28'00''$; $E102^{\circ}19'00''$) ,吴懋德、段锦荪等1990年测。自下而上分5个段(满坡段、响水箐段、五家坟段、锅底塘段、鲁家村段)。该组为青灰色、浅灰至深灰色中厚一块状白云岩,普遍含有硅质细条纹,中—上部含少量硅质团块,中部及上部夹绢云板岩,上部夹泥质灰岩及灰岩。含叠层石及藻类化石等。底与鹅头厂组整合接触;顶与大营盘组平行不整合接触。厚 1277 ~ 1971 m。分布于云南易门、武定、东川、汤丹、元江一带。

黄草岭组 温杰史(1961)命名。正层型为云南峨山岔河乡黄草岭—旧寨黄草岭组、黑山头组实测剖面($N24^{\circ}18'00''$; $E102^{\circ}18'00''$) ,云南二区测队七分队1969年测;云南地质局昆阳群专题研究小组1972年修测。主要为黑色与灰黑色绢云千枚状板岩及粉砂质千枚状板岩、千枚岩。下部为灰白与灰绿色含长石石英粉砂岩、石英岩,夹粉砂质绢云板岩。含微古植物及叠层石等。与车家城组整合接触;上与黑山头组整合接触。厚 661 ~ 1438 m。分布云南晋宁、元江、峨山、石屏、汤丹及东川一带。

黑山头组 云南第二区域地质测量大队七分队(1969)命名。正层型为云南峨山县黄草岭—旧寨黄草岭组、黑山头组实测剖面($N24^{\circ}19'00''$; $E102^{\circ}07'00''$) ;云南地质局昆阳群专题研究小组1972年重测。由变质石英砂岩、石英岩、粉砂岩、板岩互层组成。黑山头组分三个段(村竹段、河外段、塔冲段);下与黄草岭组(落雪组)、上与富良棚组(绿汁江组或青龙山组)均为整合接触。厚度为 1786 ~ 3152 m。分布于云南峨山县、禄劝、东川、路南、陆良一带。

富良棚组 云南第二区域地质测量大队七分队(1969)命名。正层型为云南峨山县寸竹—富良棚实测剖面($E102^{\circ}07'00''$; $N24^{\circ}19'00''$)。下部为绢云板岩、钙质板岩夹钙质石英粉砂岩;中部为泥灰岩;上部为安山质晶屑凝灰岩、安山质层凝灰岩、凝灰质板岩、绢云板岩、泥灰岩互层。下与黑山头组、上与大龙口组均为整合接触。厚 92 ~ 256 m。分布于云南易门、峨山、禄劝、石屏、元江、玉溪一带。

大龙口组 黄懿(1940)命名。正层型为云南省易门县城北 1km 三元宫村三元宫剖面($N24^{\circ}41'00''$;

$E102^{\circ}10'00''$)。云南第二区测大队七分队1969年重测。大龙口组分四个段(鲁奎山段、龙棚段、大六尤段、三元宫段)。下部、中部为深灰色、灰黑色粉晶、泥晶灰岩夹数层绢云板岩、粉砂绢云板岩,泥质灰岩,局部含燧石团块;上部为浅灰色中厚层状、臼齿构造发育,成蠕条状藻屑灰岩、隐晶灰岩夹块状藻灰岩;顶部有黄色薄层泥灰岩。顶与美党组、底与富良棚组均为整合接触。厚 650 ~ 2183 m。分布于云南易门至元江及东川至四川一带。

美党组 云南第二区域地质测量大队七分队(1969)命名。正层型为云南峨山县咱拉黑—橄榄若美党组实测剖面($N24^{\circ}22'00''$; $E102^{\circ}05'00''$) ,云南第二区域地质测量大队七分队1969年测。美党组分三个段(去奶箐段、泥吉段、岔河段)。上部为深灰、灰黑色绢云板岩及含泥质灰岩,小扁豆体的钙质板岩,夹少量变粉砂岩;下部夹厚层砾状灰岩、藻灰岩。含微古植物,叠层石及藻类化石等。底与大龙口组整合接触,顶与柳坝塘组整合接触。厚 467 ~ 1085 m。分布于云南峨山、元江、建水、石屏、玉溪、易门一带。

1.3 云南易门地区

八街群(原昆阳群上亚群)包括柳坝塘组、华家箐组。

柳坝塘组 邓家藩(1961)命名。选层型为云南晋宁县柳坝塘村南实测剖面($N24^{\circ}38'00''$; $E102^{\circ}40'00''$) ,云南第二区域地质测量大队七分队1969年测。柳坝塘组分两段,下段为清水沟段,上段为禄祿段。该组底部为紫红色铁质砾岩夹铁矿层;下部为黑色粉砂泥质板岩、碳质板岩夹硅质岩和少量含锰板岩,近底部有灰、肉红色厚层状白云岩;上部为紫红、黄绿、蛋青色粉砂质板岩、硅质泥质板岩夹深灰色硅质岩,在底部有层状赤铁矿。底部整合于美党组,顶被澄江组不整合覆盖。厚 64 ~ 255 m。分布于云南中部晋宁、易门、安宁、禄丰等县。

华家箐组 吴懋德、李希璜等和西南勘探司312队(1990)命名。该组分为北甸段和李家段。为一套变质砾岩、板岩、变质板岩、白云质灰岩。下与柳坝塘组为整合接触,上被澄江组不整合覆盖。厚 427 m 以上。分布于安宁市杨家箐、华家箐一带。

热水塘组 云南地调院八分队胡荣民等(1993)命名。选层型为云南石屏县热水塘组实测剖面($N23^{\circ}36'00''$; $E102^{\circ}28'00''$)。岩性为灰、深灰色粉砂质绢云板岩及绢云板岩,浅灰色云母长英质角岩、二云母变质砂岩,灰色黑云片岩,灰白、灰黄色块状

变质酸性斑岩,浅灰色云母石英片岩夹石英岩等。热水塘组未见底,上与车家城组整合接触。厚750 m以上。主要分布于石屏县地区。

车家城组,云南地调院八分队胡荣民等(1993)命名。选层型为云南石屏县车家城组实测剖面($N23^{\circ}36'00''$; $E102^{\circ}29'00''$)。岩性为浅灰、黄灰色中厚层细一中粒钙质白云岩及泥质白云岩和黄绿色泥质板岩夹少量薄层变质粉砂岩,呈水平层理。下部为浅灰色中一厚层粉晶白云岩,有大量重晶石脉穿插及铅、铜矿化,底部有数米深灰色薄层泥质灰岩。下与热水塘组为整合接触,上与黄草岭组整合接触。厚274 m以上。分布于石屏县地区。

1.4 采样层位

本研究在昆明市晋宁区柳坝塘村的柳坝塘组中再次获得两件火山凝灰岩样品,样品编号: LBT141226-2 ($E102^{\circ}39'22.8''$; $N26^{\circ}38'9.6''$) 和 LBT141226-3 ($N26^{\circ}38'11.7''$; $E102^{\circ}39'22.8''$)。LBT141226-2: 岩石由粘土质组成,约占100%。粘土质呈隐晶状、微鳞片状,粒度 $<0.01\text{mm}$,构成岩石主体。岩石部分表面显褐黄色,有些表面可见铁质,局部略显破碎。LBT141226-3: 岩石由粘土质组成,约占99%。粘土质呈隐晶状、微鳞片状,粒度 $<0.01\text{mm}$,构成岩石主体,少数表面略显褐黄色。陆源细砂由石英组成,呈次棱角状,零星分布,粒度 $0.05\sim0.2\text{mm}$ 。岩内少见裂隙(图3a)。

在易门县六街乡七贤村剖面柳坝塘组获得两件火山凝灰岩样品,样品编号: Q141225-1 ($N24^{\circ}51'21.9''$; $E102^{\circ}08'41.7''$) 和 Q141225-4 ($N24^{\circ}51'29.6''$; $E102^{\circ}08'42.3''$)。Q141225-4: 岩石由粘土质、陆源粉砂组成。粘土质: 约占90%,陆源粉砂约占10%。粘土质呈隐晶状、微鳞片状,粒度 $<0.02\text{mm}$,构成岩石主体,局部铁矿化。陆源粉砂主要由石英组成,呈次棱角一次圆状,杂乱分布,粒度 $0.01\sim0.05\text{mm}$ 。岩内多见裂隙。QL141225-1: 陆源砾石约占45%,以岩屑为主。填隙物以粘土质为主、陆源粉砂次,约占45%。陆源碎屑由岩屑及少量石英组成,呈棱角状、次棱角状,杂乱分布,粒度一般 $2\sim10\text{mm}$,少数 $0.05\sim2\text{mm}$,岩屑成分为粉砂质粘土岩、绢云板岩等。填隙物由粘土质、陆源粉砂组成,二者混杂,填隙状分布于陆源碎屑间。粘土质呈隐晶状、微鳞片状,粒度 $<0.01\text{mm}$ 。陆源粉砂由长石、石英组成,呈棱角状、次棱角状,粒度 $0.01\sim0.05\text{mm}$ (图3b)。

在易门铜矿北1km路边获得一件柳坝塘组凝灰岩样品,样品编号: T140427-1 ($N24^{\circ}43'37.1''$;

$E102^{\circ}11'45.5''$)。再次充实柳坝塘组区域分布的高精度锆石测年成果。

在晋宁临川地区古埂村剖面获得一件澄江组火山凝灰岩样品,样品编号: T140425-1 ($N24^{\circ}42'69.9''$; $E102^{\circ}27'50.4''$)。其主要以火山岩屑为主,约占70%~80%;石英次之,约占15%;其余主要以火山基质为主(图3c)。

2 分析方法

锆石的分离在河北廊坊区域地质调查所实验室进行,锆石的阴极发光图像在北京离子探针中心 HITACHI S-3000N 扫描电镜上完成。锆石 U-Pb 年龄同位素测定在北京离子探针中心的 SHRIMP-II 上进行,详细的分析流程参考 Lance (Lance et al., 2003a, 2003b)。年龄测定时仪器质量分辨率约为5000(1%峰高),一次离子流 O_2^- 强度为4nA。一次离子流束斑直径为 $30\mu\text{m}$ 左右,每个数据点测定由5次扫描构成。测定质量峰为 $^{90}\text{Zr}_2^{16}\text{O}^+$ 、 $^{204}\text{Pb}^+$,背景值、 $^{206}\text{Pb}^+$ 、 $^{207}\text{Pb}^+$ 、 $^{208}\text{Pb}^+$ 、 $^{238}\text{U}^+$ 、($^{232}\text{Th}^{16}\text{O}$) $^+$ 和 ($^{238}\text{U}^{16}\text{O}$) $^+$ 。分别采用标准锆石 TEM 和 M257 进行元素间的分馏校正及 U 含量标定;其中 TEM 具有 U-Pb 谐和年龄,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(416.8 ± 1.1) Ma,但 U、Th 及 Pb 含量不均一;M257 的 U 含量为 840×10^{-6} 。原始数据的处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Ludwig 博士编写的 Squid 和 Isoplot 程序 (Ludwig, 2002)。根据实测的 ^{204}Pb 扣除普通铅,普通铅的组成根据 Stacey & Kramers 给出的模式计算得到 (Stacey et al., 1975)。表2中年龄的误差为1 σ 绝对误差,同位素比值的误差为1 σ 相对误差;文中所使用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为95%的置信度误差。

3 分析结果

锆石的阴极发光图像 (Cathodoluminescence, CL) 特征: 全部样品的锆石晶形完好,为浅黄色-无色透明短柱状的晶体。锆石粒度多在 $100\sim200\mu\text{m}$ 之间。CL 图像显示出典型的岩浆生长振荡环带和韵律结构,均属于岩浆结晶的产物(图4)。测定时,根据可见光照片显示的特征,不选取裂纹较发育和包裹体较多的锆石颗粒,再根据 CL 图像选取同一个世代的晶域。

锆石的 U、Th 含量及 Th/U 值: 大量的研究表明,岩浆锆石的 U、Th 含量较高, Th/U 值较大(一般大于0.4)。所有锆石分析点均位于明显的岩浆环



图 3 云南柳坝塘组和澄江组部分凝灰岩或火山碎屑岩野外露头及镜下特征:

(a) 晋宁县柳坝塘村柳坝塘组凝灰岩; (b) 易门县七贤村柳坝塘组凝灰岩; (c) 晋宁古埂村澄江组火山碎屑岩

Fig. 3 Photos of the outcrop and microscope of tuff from Liubatang Formation, volcaniclastic rock from Chengjiang Formation:

(a) Tuff from the Liubatang Formation, Kunyang Group, in Liubatang village, Jinning County; (b) Tuff from the Liubatang Formation, Kunyang Group, in Qixian village, Yimen County; (c) volcanic fragment rock from the Chengjiang Formation, Kunyang Group, in Gugeng village, Jinning County

带部位。

(1) 凝灰岩(LBT141226-2) 12 个测点中 U 含量

变化范围为 $70 \times 10^{-6} \sim 344 \times 10^{-6}$; 个别可到 580×10^{-6} ; Th 含量变化范围为 $55 \times 10^{-6} \sim 299 \times 10^{-6}$; 个别

可到 765×10^{-6} ; Th/U 值变化范围为 0.67 ~ 1.36 (表 1)。样品(LBT141226-2)共测试了 12 个数据点。11 个数据点均位于谐和线(图 5a), 10 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $883.8 \pm 9.2 \text{ Ma}$, 对应的 $\text{MSWD} = 0.29$ 。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值代表了柳坝塘组凝灰岩的形成时代。

(2) 凝灰岩(LBT141226-3) 15 个测点中 U 含量

变化范围为 $107 \times 10^{-6} \sim 347 \times 10^{-6}$; Th 含量变化范围为 $42 \times 10^{-6} \sim 195 \times 10^{-6}$; Th/U 值变化范围为 0.25 ~ 1.08(表 1)。样品(LBT141226-3)共测试了 15 个数据点。11 个数据点均位于谐和线(图 5b), 排除受后期热事件影响的数据点 1.1, 以及可能为捕获锆石的数据点 3.1、10.1。11 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $889.5 \pm 8.6 \text{ Ma}$, 对应的 $\text{MSWD} =$

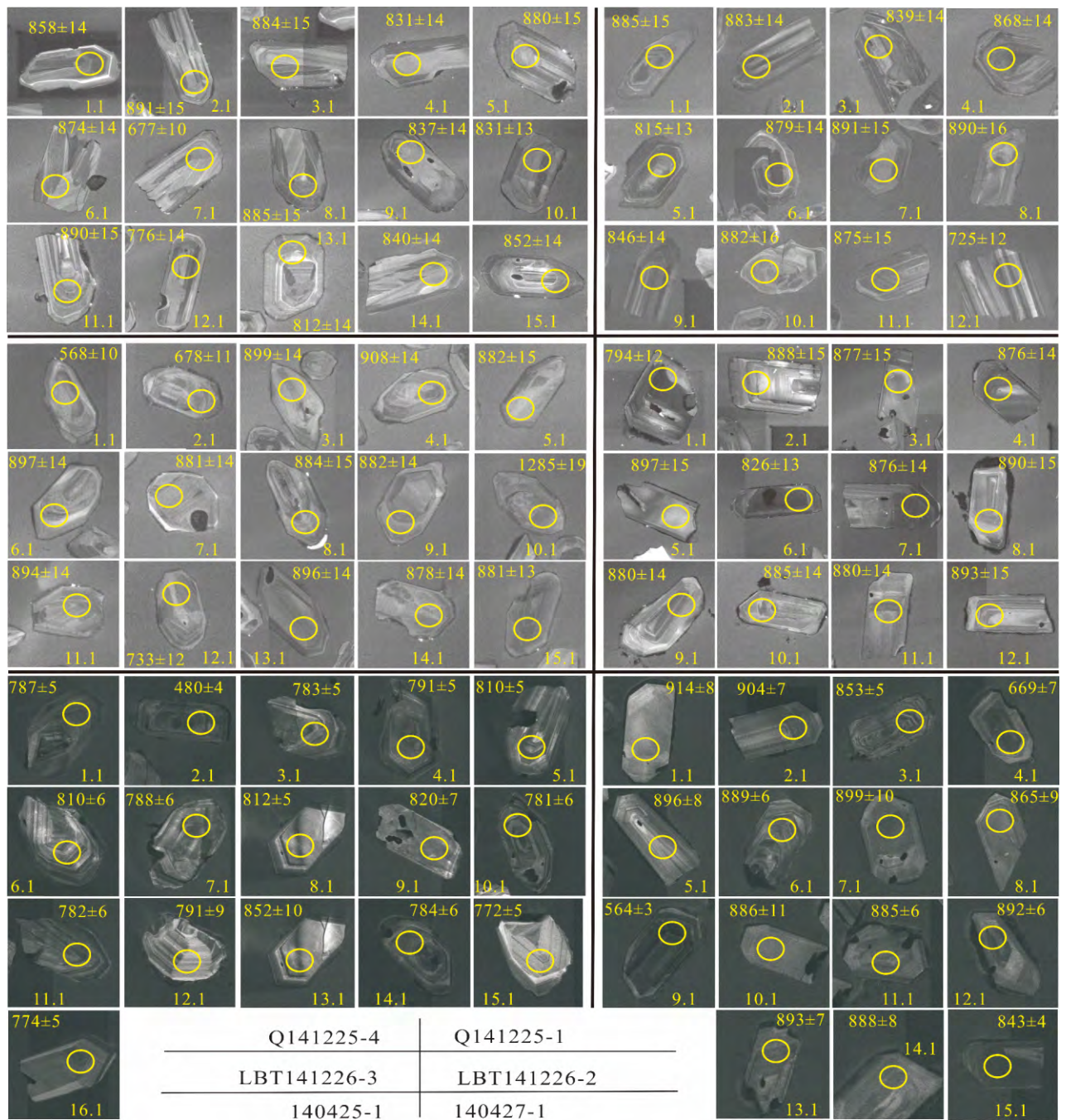


图 4 柳坝塘组及澄江组凝灰岩锆石特征及年龄(单位: Ma)

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) images and ages (Ma) of the zircons of tuff in the Liubatang Formation

表 1 滇东昆阳群柳坝塘组、澄江组凝灰岩中锆石 SHRIMP U—Th—Pb 同位素测定结果

Table 1 SHRIMP U—Th—Pb isotopic composition of the zircons from the Liubatan Formation and Chengjiang Formation , Kunyang Group , in eastern Yunnan

测点号	²⁰⁶ Pb _c (%)	元素含量 (×10 ⁻⁶)		Th/U	同位素比值							同位素年龄(Ma)				
		U	Th		$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{206}\text{Pb}^*)}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb}^*)}{n(^{238}\text{U})}$		误差相 关系数	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		不谐和 度 (%)
					测值	±%	测值	±%	测值	±%		测值	1σ	测值	1σ	
昆明市晋宁区柳坝塘村柳坝塘组中凝灰岩 样品编号: LBT141226-2 ,位置: N26°38'9.6"E102°39'22.8"																
1.1	0.29	580	765	1.36	0.06876	1.4	1.242	2.1	0.1310	1.6	0.754	794	12	891	29	11
2.1	0.38	93	78	0.87	0.0656	2.4	1.336	3.1	0.1477	1.8	0.600	888	15	794	51	-12
3.1	0.46	112	77	0.71	0.0673	3.6	1.352	4.0	0.1457	1.8	0.455	877	15	847	74	-4
4.1	0.46	177	124	0.72	0.0667	2.2	1.338	2.8	0.1455	1.7	0.612	876	14	828	46	-6
5.1	0.45	70	55	0.82	0.0690	3.1	1.420	3.7	0.1493	1.9	0.519	897	16	898	65	0
6.1	0.24	344	293	0.88	0.0671	1.6	1.265	2.3	0.1366	1.6	0.713	826	13	842	33	2
7.1	0.08	343	299	0.90	0.06914	1.1	1.388	2.0	0.1456	1.6	0.833	876	14	903	23	3
8.1	0.63	134	103	0.79	0.0647	3.2	1.321	3.7	0.1481	1.8	0.480	890	15	765	68	-16
9.1	0.61	203	171	0.87	0.0654	2.3	1.319	2.9	0.1463	1.7	0.595	880	14	786	48	-12
10.1	0.08	179	142	0.82	0.0683	2.7	1.384	3.2	0.1471	1.7	0.533	885	14	876	56	-1
11.1	0.17	144	94	0.67	0.0690	2.1	1.392	2.7	0.1463	1.7	0.646	880	14	898	42	2
12.1	0.40	103	83	0.83	0.0682	3.0	1.397	3.5	0.1485	1.8	0.516	893	15	876	62	-2
昆明市晋宁区柳坝塘村柳坝塘组中凝灰岩 样品编号: LBT141226-3 ,位置: N26°38'11.7"E102°39'22.8"																
1.1	1.50	221	195	0.91	0.0650	4.6	0.825	4.9	0.0922	1.7	0.354	568.3	9.5	773	97	26
2.1	0.56	223	135	0.62	0.0648	2.6	0.989	3.2	0.1108	1.7	0.543	678	11	766	56	12
3.1	0.43	172	42	0.25	0.0661	2.5	1.364	3.1	0.1497	1.7	0.559	899	14	809	53	-11
4.1	1.13	220	79	0.37	0.0650	2.7	1.354	3.1	0.1512	1.7	0.529	908	14	773	56	-17
5.1	0.38	107	33	0.32	0.0657	3.5	1.329	3.9	0.1466	1.8	0.468	882	15	798	73	-10
6.1	0.42	147	57	0.40	0.0678	4.1	1.396	4.4	0.1493	1.7	0.389	897	14	863	85	-4
7.1	0.20	172	42	0.25	0.0675	1.5	1.362	2.3	0.1465	1.7	0.746	881	14	852	31	-3
8.1	0.39	129	91	0.73	0.0665	3.0	1.347	3.5	0.1470	1.8	0.510	884	15	821	62	-8
9.1	0.17	184	48	0.27	0.0676	3.4	1.367	3.8	0.1467	1.7	0.447	882	14	856	71	-3
10.1	0.55	219	165	0.78	0.0933	1.6	2.837	2.3	0.2206	1.7	0.712	1285	19	1494	31	14
11.1	0.24	218	69	0.33	0.0669	1.9	1.373	2.6	0.1488	1.7	0.658	894	14	836	40	-7
12.1	0.97	165	172	1.08	0.0669	4.2	1.111	4.5	0.1205	1.8	0.388	733	12	835	87	12
13.1	0.36	192	47	0.25	0.0667	2.1	1.371	2.7	0.1492	1.7	0.633	896	14	827	44	-8
14.1	0.42	161	59	0.38	0.0672	3.2	1.351	3.6	0.1459	1.8	0.485	878	14	843	66	-4
15.1	0.42	347	91	0.27	0.0651	1.7	1.316	2.3	0.1465	1.6	0.698	881	13	778	35	-13
易门县六街乡七贤村剖面柳坝塘组中凝灰岩 样品编号: Q141225-1 ,位置: N24°51'21.9"E102°08'41.7"																
1.1	0.57	189	41	0.22	0.0661	2.7	1.297	3.2	0.1423	1.7	0.543	858	14	811	56	-6
2.1	0.76	156	56	0.37	0.0662	3.3	1.353	3.7	0.1483	1.8	0.475	891	15	813	68	-10
3.1	0.03	149	43	0.30	0.0692	1.7	1.402	2.4	0.1469	1.8	0.733	884	15	905	34	2
4.1	0.13	196	46	0.24	0.0668	2.0	1.268	2.6	0.1377	1.7	0.663	831	14	832	41	0
5.1	0.44	106	137	1.34	0.0662	2.9	1.334	3.4	0.1462	1.9	0.543	880	15	812	60	-8
6.1	0.21	158	46	0.30	0.0678	2.8	1.358	3.3	0.1451	1.8	0.534	874	14	864	58	-1
7.1	1.13	309	161	0.54	0.0743	4.0	1.076	4.3	0.1050	1.7	0.391	644	10	1050	81	39
8.1	0.51	169	73	0.45	0.0650	2.4	1.318	3.0	0.1472	1.8	0.599	885	15	773	50	-14
9.1	0.38	169	55	0.34	0.0674	2.6	1.288	3.2	0.1387	1.8	0.562	837	14	849	55	1
10.1	0.11	247	48	0.20	0.0699	1.5	1.325	2.3	0.1376	1.7	0.748	831	13	924	31	10
11.1	0.11	191	52	0.28	0.0680	1.9	1.388	2.6	0.1481	1.8	0.683	890	15	868	39	-2
12.1	0.61	171	34	0.21	0.0680	3.5	1.199	4.0	0.1280	1.9	0.469	776	14	867	73	10
13.1	0.23	152	61	0.41	0.0671	2.6	1.243	3.1	0.1343	1.8	0.579	812	14	841	53	3
14.1	0.63	135	23	0.18	0.0656	3.0	1.260	3.5	0.1393	1.8	0.524	840	14	795	63	-6
15.1	0.12	206	76	0.38	0.0690	2.2	1.344	2.8	0.1414	1.8	0.630	852	14	898	45	5

测点号	²⁰⁶ Pb _c (%)	元素含量 (×10 ⁻⁶)		Th/U	同位素比值								同位素年龄(Ma)				
		$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{206}\text{Pb}^*)}$			$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb}^*)}{n(^{238}\text{U})}$		误差相 关系数	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		不谐和 度 (%)			
										U	Th	测值	±%		测值	±%	测值
		测值	1σ		测值	1σ											
易门县六街乡七贤村剖面柳坝塘组中凝灰岩 样品编号: Q141225-4 ,位置: N24°51′29.6″; E102°08′42.3″																	
1.1	0.43	275	121	0.46	0.0665	2.1	1.350	2.7	0.1472	1.8	0.649	885	15	823	43	-7	
2.1	0.40	271	148	0.57	0.0659	2.1	1.335	2.8	0.1469	1.8	0.633	883	14	804	45	-10	
3.1	0.23	267	113	0.44	0.0681	1.8	1.305	2.5	0.1390	1.8	0.700	839	14	872	37	4	
4.1	0.13	312	116	0.38	0.0681	1.8	1.352	2.5	0.1441	1.7	0.692	868	14	871	38	0	
5.1	0.27	317	154	0.50	0.0675	1.5	1.255	2.3	0.1348	1.7	0.751	815	13	854	32	5	
6.1	0.01	315	460	1.51	0.0689	1.8	1.386	2.5	0.1460	1.7	0.701	879	14	894	37	2	
7.1	0.09	179	65	0.37	0.0687	1.7	1.403	2.5	0.1482	1.8	0.729	891	15	889	35	0	
8.1	0.38	123	93	0.78	0.0669	2.9	1.365	3.5	0.1480	1.9	0.544	890	16	834	61	-7	
9.1	0.38	239	159	0.69	0.0675	1.6	1.306	2.4	0.1403	1.8	0.739	846	14	853	34	1	
10.1	0.63	108	59	0.56	0.0654	3.3	1.322	3.8	0.1466	1.9	0.504	882	16	786	69	-12	
11.1	0.42	184	342	1.92	0.0675	2.4	1.353	3.0	0.1454	1.8	0.610	875	15	852	50	-3	
12.1	0.59	231	251	1.12	0.0645	2.6	1.059	3.2	0.1190	1.8	0.554	725	12	759	56	4	
易门铜矿北 1km 路边柳坝塘组凝灰岩样品 样品编号: T140427-1 ,位置: N24°43′37.1″E102°11′45.5″																	
1.1	0.38	126	110	0.90	0.0718	3.2	1.507	3.3	0.1523	0.92	0.278	913.7	7.8	980	65	7	
2.1	0.01	169	115	0.70	0.0685	1.5	1.421	1.7	0.1505	0.81	0.475	903.7	6.8	884	31	-2	
3.1	0.07	550	276	0.52	0.06863	0.84	1.339	1.0	0.14144	0.60	0.578	852.8	4.8	888	17	4	
4.1	0.33	602	428	0.73	0.06486	1.5	0.978	1.8	0.1094	1.1	0.604	669.2	7.1	770	31	15	
5.1	0.04	118	105	0.92	0.0691	2.4	1.421	2.6	0.1491	0.94	0.363	895.7	7.9	902	50	1	
6.1	0.10	211	123	0.60	0.0683	1.8	1.392	1.9	0.1478	0.74	0.387	888.6	6.1	878	36	-1	
7.1	0.23	161	143	0.92	0.0697	2.3	1.439	2.6	0.1497	1.2	0.474	899	10	921	47	2	
8.1	0.73	89	69	0.80	0.0641	9.2	1.27	9.3	0.1435	1.1	0.114	864.7	8.6	745	200	-14	
9.1	0.22	840	644	0.79	0.06632	1.1	0.836	1.2	0.09137	0.52	0.418	563.6	2.8	817	23	45	
10.1	--	102	70	0.71	0.0698	1.8	1.418	2.3	0.1474	1.4	0.603	886	11	923	37	4	
11.1	0.20	202	181	0.93	0.0689	1.8	1.398	1.9	0.1472	0.77	0.398	885.3	6.3	895	36	1	
12.1	0.10	261	185	0.73	0.06927	1.3	1.418	1.5	0.1484	0.69	0.464	892.2	5.7	907	27	2	
13.1	0.36	153	110	0.75	0.0672	2.4	1.377	2.6	0.1487	0.85	0.328	893.4	7.1	844	51	-6	
14.1	0.33	109	67	0.63	0.0665	2.5	1.354	2.6	0.1477	0.96	0.363	888.0	7.9	822	51	-7	
15.1	0.02	651	541	0.86	0.06853	0.78	1.320	0.94	0.13971	0.54	0.568	843.0	4.2	884	16	5	
晋宁临川地区古埂村剖面澄江组凝灰岩 样品编号: T140425-1 ,位置 N24°42′69.9″; E102°27′50.4″																	
1.1	0.25	289	238	0.85	0.0637	2.0	1.140	2.1	0.12987	0.62	0.303	787.1	4.6	731	41	-7	
2.1	2.00	727	513	0.73	0.0637	4.5	0.679	4.6	0.07726	0.79	0.174	479.8	3.7	732	95	53	
3.1	0.39	206	147	0.73	0.0640	2.2	1.140	2.3	0.12923	0.72	0.313	783.4	5.3	740	46	-6	
4.1	0.94	274	176	0.66	0.0646	3.4	1.164	3.4	0.13062	0.66	0.193	791.4	4.9	763	71	-4	
5.1	0.31	216	263	1.25	0.0652	2.0	1.202	2.1	0.13382	0.68	0.325	809.6	5.1	779	41	-4	
6.1	0.37	179	144	0.83	0.0654	2.4	1.207	2.5	0.13395	0.74	0.295	810.4	5.6	786	50	-3	
7.1	0.31	210	204	1.00	0.0649	2.7	1.163	2.8	0.12995	0.76	0.271	787.6	5.7	772	57	-2	
8.1	0.09	197	146	0.76	0.0668	1.7	1.235	1.9	0.13419	0.70	0.376	811.7	5.4	830	36	2	
9.1	0.65	103	55	0.56	0.0662	3.9	1.238	4.0	0.1357	0.95	0.239	820.0	7.3	812	81	-1	
10.1	0.98	151	163	1.12	0.0634	3.9	1.126	4.0	0.1288	0.82	0.206	781.0	6.0	722	82	-8	
11.1	0.96	201	327	1.68	0.0645	4.5	1.148	4.6	0.12903	0.75	0.165	782.3	5.5	759	95	-3	
12.1	0.30	71	42	0.61	0.0680	4.1	1.224	4.2	0.1306	1.1	0.271	791.2	8.5	867	84	10	
13.1	0.48	59	37	0.66	0.0653	4.3	1.272	4.5	0.1413	1.2	0.279	852.2	9.9	784	90	-8	
14.1	0.66	181	286	1.63	0.0645	3.0	1.151	3.1	0.12938	0.76	0.241	784.3	5.6	759	64	-3	
15.1	0.36	201	163	0.84	0.0653	2.1	1.145	2.2	0.12727	0.71	0.325	772.3	5.1	783	43	1	
16.1	0.53	242	204	0.87	0.0640	2.4	1.126	2.5	0.12755	0.66	0.262	773.9	4.8	743	51	-4	

注: 年龄值为 1σ 绝对误差, 同位素比值为 1σ 相对误差; ²⁰⁶Pb_c(%) 为总 ²⁰⁶Pb 中属于普通 Pb 的 ²⁰⁶Pb 的百分比, Pb* 代表放射成因 Pb; 用于校正未知样品的标准样品的测定误差——LBT141226-2、Q141225-4、Q141225-1 为 0.41%(1σ, 劉?%, 下同), T140427-1 为 0.12%, J40425-1 为 0.22%。

0.48。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为凝灰岩年龄,代表了柳坝塘组形成年代。

(3) 凝灰岩(Q141225-1) 15 个测点中 U 含量变化范围为 $106 \times 10^{-6} \sim 206 \times 10^{-6}$; 个别可到 309×10^{-6} ; Th 含量变化范围为 $34 \times 10^{-6} \sim 137 \times 10^{-6}$; 个别可到 161×10^{-6} ; Th/U 值变化范围为 0.18 ~ 1.34 (表 1)。样品(Q141225-1) 共测试了 15 个数据点。9 个数据点均位于谐和线(图 5c), 排除受后期热事件的影响等 6 个数据点的年龄值。9 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $872.8 \pm 9.3 \text{ Ma}$, 对应的 $\text{MSWD} = 1.6$ 。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值代表

了柳坝塘组凝灰岩的形成时代。

(4) 凝灰岩(Q141225-4) 12 个测点中 U 含量变化范围为 $108 \times 10^{-6} \sim 312 \times 10^{-6}$; Th 含量变化范围为 $59 \times 10^{-6} \sim 460 \times 10^{-6}$; Th/U 值变化范围为 0.56 ~ 1.50(表 1)。样品(Q141225-4) 共测得了 12 个数据点。9 个数据点均位于谐和线(图 5d), 排除受后期热事件的影响等 3 个数据点的年龄值, 9 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $872.3 \pm 9.7 \text{ Ma}$, 对应的 $\text{MSWD} = 1.06$ 。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为凝灰岩年龄, 代表了柳坝塘组形成年代。

(5) 凝灰岩(T140427-1) 15 个测点中 U 含量变

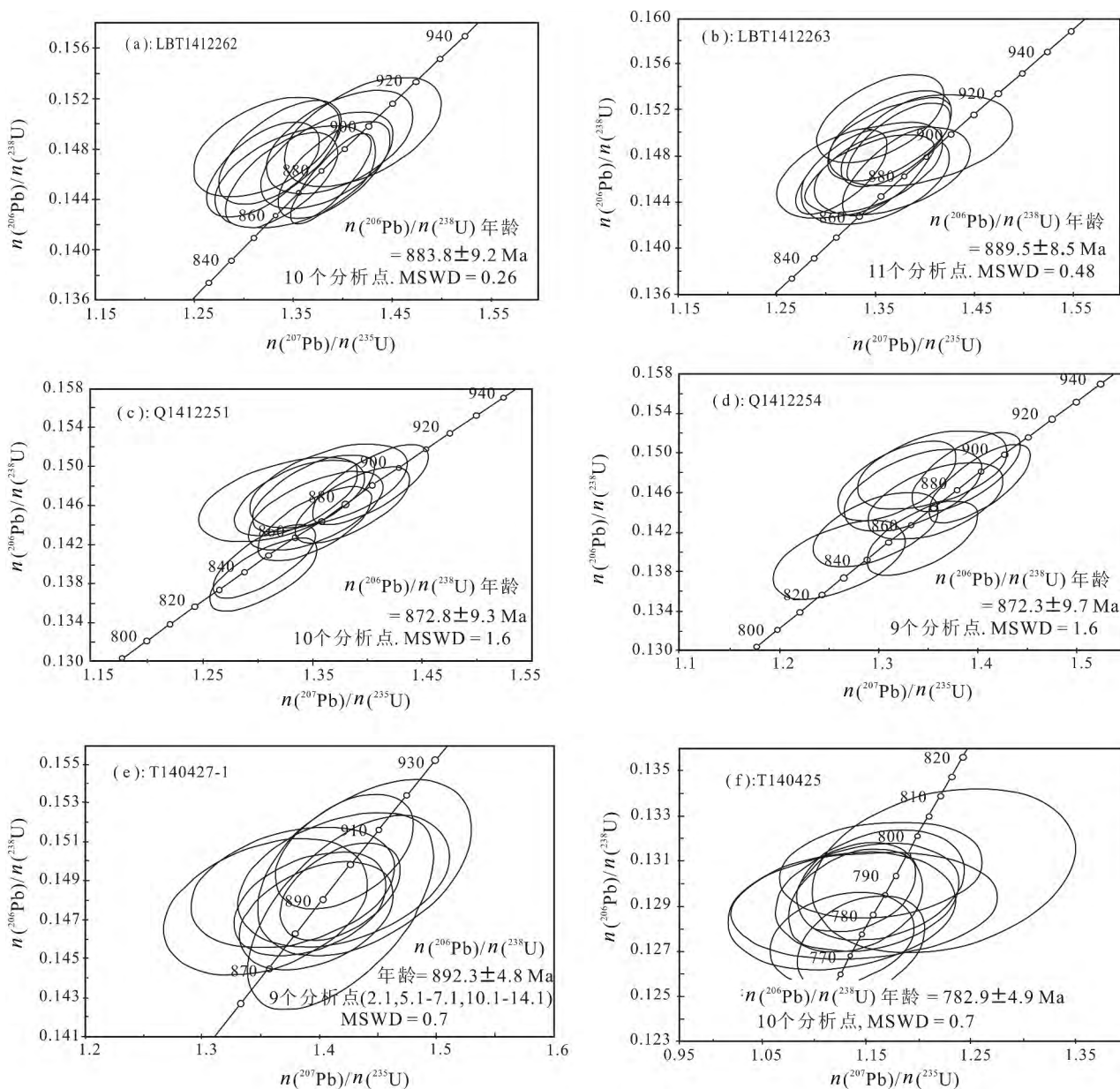


图 5 柳坝塘组及澄江组凝灰岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagrams of volcanic rocks

化范围为 $102 \times 10^{-6} \sim 261 \times 10^{-6}$; 个别可到 840×10^{-6} ; Th 含量变化范围为 $67 \times 10^{-6} \sim 541 \times 10^{-6}$; 个别可到 644×10^{-6} ; Th/U 值变化范围为 $0.52 \sim 0.93$ (表1)。样品(T140427-I)共测试了15个数据点。9个数据点均位于谐和线(图5e),排除受后期热事件的影响等6个数据点的年龄值。9个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 892.3 ± 4.8 Ma, 对应的 $\text{MSWD} = 1.6$ 。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值代表了柳坝塘组凝灰岩的形成时代。

(6) 凝灰岩(T140425)16个测点中U含量变化范围为 $59 \times 10^{-6} \sim 289 \times 10^{-6}$; 个别可到 727×10^{-6} ; Th含量变化范围为 $37 \times 10^{-6} \sim 286 \times 10^{-6}$; Th/U值变化范围为 $0.56 \sim 1.68$ (表1)。样品(T140425)共测试了16个数据点。10个数据点均位于谐和线(图5f),排除相对较小的6个数据点的年龄值,10个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 782.9 ± 4.9 Ma, 对应的 $\text{MSWD} = 1.49$ 。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为凝灰岩年龄,也代表了澄江组形成年代。

4 讨论

在中国前寒武纪地层中,华南古陆主要由扬子陆块和华夏陆块组成。

(1) 上扬子地区(扬子陆块)是具有三个构造演化阶段的产物,即古老结晶基底(大洪山群)、变质基底(昆阳群)和沉积盖层(南华系—震旦系)。目前,扬子陆块西南缘和北缘古老结晶基底上普遍发育与格林威尔造山带同期的沉积记录(张传恒等, 2007; 耿元生等, 2007; 李怀坤等, 2013)。

(2) 下扬子地区(江南陆块)研究的焦点是扬子陆块和华夏陆块之间带状分布的元古宙浅变质的沉积地层和一系列岩浆岩,被称为“江南古陆”。随着精确锆石 U-Pb 年龄的不断发现,已从根本上否定了“江南造山带”(四堡群、梵净山群、冷家溪群和双桥山群等)为中元古代地层,“江南造山带”与格林威尔造山带同期的传统认识受到了挑战。目前,格林威尔造山带同期地层的锆石同位素年龄证据仅见于扬子陆块西南缘广泛的地层中,包括昆阳群、会理群等地层单元。

但是,这些地层单元分布面积广,跨多个区域,缺乏足够的、精确的年代学数据对其进行限制。尤其是滇中地区昆阳群顶、底的年代学界限一直未能精确限定,进而无法确定其是否可填补中国地层年表中 $1.4 \sim 1.0$ Ga 的“未建系”。因此,本研究尝试对原昆阳群最上部地层单元柳坝塘组及上覆地层澄

江组进行年代学标定,分别在昆明市晋宁区柳坝塘村剖面柳坝塘组凝灰岩中获得了 883.8 ± 9.2 Ma、 889.5 ± 8.6 Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,在易门县七贤村剖面柳坝塘组凝灰岩中获得了 872.8 ± 9.3 Ma、 872.3 ± 9.7 Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,在易门铜矿附近柳坝塘组凝灰岩中获得了 892.3 ± 4.8 Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,在多个区域对原昆阳群最上部地层柳坝塘组进行了精确的年代学限定,进而限定了昆阳群的顶界;在晋宁古埂村,角度不整合覆盖在昆阳群之上澄江组火山碎屑岩中获得了 782.9 ± 4.9 Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,限定了其地层时代,进而对昆阳群盖层的年代进行了限定。晋宁运动后的澄江组地层年代定位直接约束了造山后沉积盆地启动的最早时限。滇中地区原昆阳群自下而上分为黄草岭组、黑山头组、大龙口组、美党组和柳坝塘组,通过本研究其上限柳坝塘组的地层年代已经得到很好的标定,其下限黄草岭组的时代就凸显重要性了。在石屏地区,黄草岭组下部连续沉积车家城组、热水塘组(胡荣民等, 1993),这两个地层单元的时代及其对黄草岭组地层时代的限制将直接影响到昆阳群在中国地层年表中“未建系”中的位置。因而,本研究在地层序列中对车家城组、热水塘组做了详细介绍。

值得注意的是华南古陆北缘湖北大洪山和神农架地区以及川滇地区依据锆石测年确定格林威尔造山带同期地层(张传恒等, 2007; 耿元生等, 2007; 李怀坤等, 2013)是否是的梵净山群、四堡群、冷家溪群和双桥山群中发现的大量继承锆石的($900 \sim 1000$ Ma)物源?因此,需要不同地区完善其年代地层格架,以解决扬子块体和华夏块体与全球古地理格局的关系。

5 结论

(1) 获得晋宁地区柳坝塘村柳坝塘组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄(883.8 ± 9.2) Ma 和(889.5 ± 8.6) Ma; 易门县六街地区七贤村柳坝塘组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄(872.3 ± 9.7) Ma 和(873 ± 9) Ma; 以及易门铜矿柳坝塘组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄(892.3 ± 2.4) Ma, 系列锆石同位素年龄表明上述地层应属于青白口系下统;

(2) 澄江组锆石 U-Pb 平均加权年龄为(782.9 ± 4.9) Ma。该年龄代表了造山后的启动时间;

(3) 云南玉溪地区柳坝塘组凝灰岩精确的锆石 U-Pb 年龄有助于正确认识东川群、昆阳群、八街群

与南华系盖层之间的沉积关系,同时将有利于我们理清中国地层年表的缺失部分;

(4) 本文确认了云南地质学家多年来坚持的“倒八”序列的年代学框架,依据云南石屏地区东川群热水塘组和车家城组与上覆地层黄草岭组的连续沉积关系,将成为该地区与东川地区黑山组和大青山组地层对比的纽带;

(5) 本文认为在滇东地区昆阳群包括了中元古代地层(1.4 ~ 1.0 Ga)的沉积地层,可能填补中国地层年表中 1.4 ~ 1.0 Ga 的“未建系”的缺失。

致谢:感谢国家科技基础条件平台北京离子探针中心的范润龙高工、车晓超博士在装载样品、仪器调试、仪器监控和数据处理方面所提供的帮助。审稿专家和章雨旭研究员对本文进行了细致的审阅,并提出了宝贵的意见,在此一并致以衷心的感谢!

注 释 / Notes

- ① 邓家藩,谢振西,申玉莲. 1963. 云南前震旦系层序及几个地质问题. 中国地质学会云南省分会 1963 年首届学术年会论文选集.
- ② 吴懋德. 1974. 滇中、滇东前寒武系若干问题的探讨(初稿摘要). 见: 云南地质科学研究所. 编. 科学技术研究报告第一号.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 崔晓庄,江新胜,王剑,卓皆文,熊国庆,陆俊泽,邓奇,伍皓,刘建辉. 2013. 滇中新元古代澄江组层型剖面锆石 U-Pb 年代学及其地质意义. 现代地质, 27 (3): 547 ~ 556.
- 戴恒贵. 1997. 康滇地区昆阳群和会理群地层、构造及找矿靶区研究. 云南地质, 16 (1): 1 ~ 39.
- 高林志,丁孝忠,庞维华,张传恒. 2011. 中国中一新元古代地层年表的修正——锆石 U-Pb 年龄对地层的制约. 地层学杂志, 35 (1): 1 ~ 7.
- 高林志,丁孝忠,张传恒,陆松年,刘燕学,庞维华. 2012. 江南古陆变质基底地层年代的修正和武陵运动构造意义. 资源调查与环境, 33 (2): 71 ~ 76.
- 高林志,尹崇玉,张恒,唐烽,丁孝忠,王约,张传恒. 2015. 云南晋宁地区柳塘组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对晋宁运动的制约. 地质通报, 34 (9): 1595 ~ 1604.
- 高林志,张传恒,史晓颖,周洪瑞,王自强. 2007. 华北青白口系下马岭组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年. 地质通报, 26 (3): 249 ~ 255.
- 耿元生,杨崇辉,王新社,任留东,杜利林,周喜文. 2007. 扬子地台西缘结晶基底的时代. 高校地质学报, 13 (3): 429 ~ 441.
- 胡荣民,钱长海,李万里,陈依龙. 1993. 滇中南部昆阳群黄草岭组下伏地层的发现及其意义. 云南地质, 12 (1): 112 ~ 114.
- 李怀坤,张传林,姚春彦,相震群. 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.
- 李希勤,花友仁,李良骥,范承钧,段国莲,瞿云川. 1953. 云南东川铜矿地质. 地质学报, 3 (1): 76 ~ 84.

- 李希勤,吴懋德,段锦荪. 1984. 昆阳群的层序及顶底问题. 地质论评, 30 (5): 399 ~ 407.
- 吕世琨,戴恒贵. 2001. 康滇地区建立昆阳群—会理群—层序的回顾和重要赋矿层位的发现. 云南地质, 20 (1): 1 ~ 24.
- 乔秀夫,高林志,张传恒. 2007. 中朝板块中、新元古界年代地层柱与构造环境新思考. 地质通报, 26 (5): 503 ~ 509.
- 沈权. 1993. 昆阳群 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法测年探讨晋宁运动和澄江运动的时限. 云南地质, 12 (3): 317 ~ 323.
- 孙家聪. 1982. 论昆阳群的划分及对比. 昆明工学院学报, 1: 1 ~ 9.
- 孙家聪. 1983. 论昆阳群的划分及对比. 昆明工学院学报, 3: 1 ~ 18.
- 孙家聪. 1985. 云南罗次澄江组下部火山岩系的发现与震旦系底界年龄的讨论. 地质科学, 4: 354 ~ 363.
- 孙家聪. 1988. 云南中东部昆阳群的划分. 昆明工学院学报, 13 (3): 2 ~ 15.
- 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 年龄及其地质学意义. 地质通报, 28 (7): 896 ~ 900.
- 吴懋德,段锦荪,宋学良,陈良忠,但韵清. 1990. 云南昆阳群地质. 云南科技出版社,昆明. 1 ~ 265.
- 吴懋德,李希勤. 1981. 云南昆阳群的两种底辟构造. 地质学报, 5 (2): 105 ~ 116.
- 吴懋德. 1978. 滇中前寒武系含铁层位及某些富铁矿有关问题的讨论. 矿产专辑(一), 铁矿. 北京: 地质出版社.
- 薛步高. 1999. 从东川铁架山铁矿层位探讨昆阳群层序. 云南地质, 18 (4): 469 ~ 475.
- 薛步高. 2000. 昆阳群层序与对比问题. 云南地质, 20 (4): 376 ~ 384.
- 郦芸樵. 1986. 对“昆阳群的层序及顶底问题”一文的商榷. 地质论评, 22 (3): 295 ~ 299.
- 杨斌,董国臣,郭阳,王子正,王鹏. 2016. 扬子地台西南缘大竹棚流纹岩的年代学、地球化学特征及其地质意义. 矿物岩石, 36 (2): 82 ~ 91.
- 云南地质局. 1966. 1/50 万云南省地质图.
- 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: 华南格林维尔期造山的证据. 科学通报, 52 (7): 818 ~ 824.
- 张恒,李廷栋,高林志,耿树方,丁孝忠,刘燕学,吴昊. 2015. 江南造山带东段赣东北广丰地区翁家岭组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 中国地质, 42 (1): 96 ~ 104.
- 中国地质调查局科技外事部. 2010. 扬子地台西缘前寒武纪地层野外现场会纪要. 地层学杂志, 34: 336.
- Black L P, Kamo S L, Allen C M, Aleinikoff J N, Davis D W, Korsch R J, Foudoulis C. 2003. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology. Chemical Geology, 200 (1~2): 155 ~ 170.
- Black L P, Kamo S L, Williams I S, Mundil R, Davis D W, Korsch R J, Foudoulis C. 2003. The Application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology: a critical appraisal of four zircon standards. Chemical Geology, 200 (1~2): 171 ~ 188.
- Cao Ruiji, Liang Yuzuo, Duan Jinsun. 1984&. A discussion of the stratigraphic sequence of the Kunyang Group and its correlation on the basis of the stromatolite assemblage recently discovered and the date of isotopic ages recently determined. Geological Review, 30 (1): 69 ~ 72.
- Cui Xiaozhuang, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Zhuo Jiewen, Xiong Guoqing, Lu Junze, Deng Qi, Wu Hao, Liu Jianhui. 2013&. Zircon U-Pb Geochronology for the stratotype section of the Neoproterozoic Chengjiang Formation in Central Yunnan and Its

- Geological Significance. *Geoscience*, 27 (3): 547 ~ 556.
- Dai Henggui. 1997&. On the strata, structure and prospecting target area of Kunyang Group and Huili group in Kang-dian region. *Yunnan Geology*, 16(1): 1 ~ 39.
- Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Pang Weihua, Zhang Chuanheng. 2011&. New geologic time scale of Meso- and Neoproterozoic of China and geochronologic constraint by SHRIMP zircon U-Pb dating. *Journal of Stratigraphy*, 35 (1): 1 ~ 7.
- Gao Linzhi, Yin Chongyu, Zhang Heng, Tang Feng, Ding Xiaozhong, Wang Yue, Zhang Chuanheng. 2015&. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Liubatang Formation in the Jinning area, Yunnan Province, and its implication for the Jinning Movement. *Geological Bulletin of China*, 34 (9): 1595 ~ 1604.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoyin, Zhou Hongrui, Wang Ziqiang. 2007&. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed in the Xiamaling Formation of the Qingbaikouan System in North China. *Geological Bulletin of China*, 26 (3): 249 ~ 255.
- Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Wang Xinshe, Ren Liudong, Du Lili, Zhou Xiwen. 2007&. Age of Crystalline Basement in Western Margin of Yangtze Terrane. *Geological Journal of China Universities*, September, 13 (3): 429 ~ 441.
- Greentree M R, Li Zhengxiang, Li Xianhua, Wu Huaichun. 2006. Late Mesoproterozoic to earliest Neoproterozoic basin record of the Sibao orogenesis in western South China and relationship to the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*, 151 (1): 79 ~ 100.
- Hu Rongmin, Qian Changhai, Li Wanli, Chen Yilong. 1993&. The discovery of underlying strata of the Huangcailing Formation, Kunyang Group, Southern part of the middle Yunnan Province. *Yunnan Geology*, 12(1): 112 ~ 114.
- 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.
- Li Xianhua. 1999. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze margin: timing of Neoproterozoic Jinning Orogen in SE China and implication for Rodinia assembly. *Precambrian Research*, 97: 43 ~ 57.
- Li Xiji, Hua Youren, Li Liangji, Fan Chengjun, Duan Guoliang, Qu Yunchuan. 1953#. *Geology of copper mine in Dongchuan, Yunnan*. *Acta Geological Sinica*, 3 (1): 76 ~ 84.
- Li Xiji, Wu Maode, Duan Jinsun. 1984&. The stratigraphic sequence of the Kunyang Group and its top and bottom boundaries. *Geological Review*, 30 (5): 399 ~ 407.
- Li Zhengxiang, Li Xianhua, Kinny P D, Wang Jian. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle super plume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122 (1 ~ 4): 85 ~ 109.
- Li Zhengxiang, Zhang Linghua, Powell C M. 1995. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia—East Antarctica and Laurentia? *Geology*, 23(5): 407 ~ 410.
- Li Zhengxiang, Zhang Linghua, Powell C M. 1996. Position of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia. *Aust J Earth Sci*, 43 (6): 593 ~ 604.
- Ludwig K R. 2002. SQUID 1.02, a user's manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 2. 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA.
- Lue Shikun, Dai Henggui. 2001&. A review of the set-up of Kunyang groups sequence and the discovery of important ore-bearing horizons in Kang-Dian area. *Yunnan Geology*, 20 (1): 1 ~ 24.
- Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Zhang Chuanheng. 2007&. New idea of the Meso- and Neoproterozoic chronostratigraphic chart and tectonic environment in Sino—Korean Plate. *Geological Bulletin of China*, 26 (5): 3 ~ 9.
- Stacey J S, Kramers J D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stage model, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26: 207 ~ 221.
- Sun Jiachong. 1982#. On Division and correlation of Kunyang Group. *Journal of Kunming Institute of Technology*. 1: 1 ~ 9.
- Sun Jiachong. 1983&. On Division and correlation of Kunyang Group. *Journal of Kunming Institute of Technology*. 3: 1 ~ 18.
- Sun Jiachong. 1985&. Discovery the volcanic rocks series in the Chengjiang Formation at Luoci area and discussion on the age of the basal limit of the Sinian System, Yunnan. *Scientia geologica Sinica*, 4: 354 ~ 363.
- Sun Jiachong. 1988#. Division of Kunyang Group in middle east Yunnan. *Journal of Kunming Institute of Technology*. 13 (3): 2 ~ 15.
- 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*, 8 (7): 896 ~ 900.
- Wang Zhengjiang, Wang Jian, Jiang Xinshe, 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.
- Wang Shengwei, Jiang Xiaofang, Yang Bo, Sun Xiaoming, Liao Zhenwen, Zhou Qing, Guo Yang, Wang Zizheng, Yang Bin. 2016&. The Proterozoic Tectonic Movement In Kangdian Area I: Kunyang Intracontinental Rift, Mantle Plume and Its Metallogenesis. *Geological Review*, 62 (6): 1353 ~ 1377.
- Wu Maode, Duan Jinsun, Song Xueliang, Chen Liangzhong, Dan Yunqing. 1990#. *Geology of Kunyang Group in Yunnan*. Kunming: Yunnan Tectonic Publish House, 1 ~ 265.
- Wu Maode, Li Xiji. 1981&. Two types of Diapiric structure of the Kunyang Group, Yunnan. *Acta Geological Sinica*, 5 (2): 105 ~ 116.
- Xue Bugao. 1999&. A discussion about the stratigraphic sequence of Kunyang Group according to the Fe ore horizon of Tiejia MT in Dongchuan. *Yunnan Geology*, 18 (4): 469 ~ 475.
- Xue Bugao. 2000&. Problems in stratigraphic sequence and correlation of Kunyang Group. *Yunnan Geology*, 20 (4): 376 ~ 384.
- Yan Yunqiao. 1986&. A discussion of the Paper “the stratigraphic sequence of the Kunyang Group and its top and bottom boundaries”. *Geological Review*, 22 (3): 295 ~ 299.
- Yang Bin, Dong Guochen, Guo Yang, Wang Zizheng, Wang Peng. 2016&. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and significances of the Dazhupeng rhyolites in the western Yangtze Platform. *Journal of Mineralogy Petrology*, 36 (2): 82 ~ 91.
- Yin Fuguang, Sun Zhiming, Zhang Zhang. 2011&. Mesoproterozoic Stratigraphic—Structure Framework in Huili—Dongchuan Area. *Geological Review*, 57 (6): 770 ~ 778.
- Zhang Chuanheng, Wu Zhengjie, Gao Linzhi, Shi Xiaoying, Yan Quanren, Li Dajian. 2007&. SHRIMP U-Pb zircon age of tuff from the Kunyang Group in central Yunnan: Evidence for Grvillian

- orogeny in South China. Chinese Science Bulletin, 52 (11): 289 ~ 294.
- Zhang Heng, Gao Linzhi, Li Tingdong, Geng Shufang, Ding Xiaozhong, Liu Yanxue, Wu Hao. 2015#. Zircon SHRIMP U—Th—Pb dating and implications for its stratigraphy of the Wengjialing Formation in the east section of the Jiangnan Orogenic Belt in Northeast Jiangxi Province. Geology in China, 2015: 96 ~ 104.
- Zhang Heng, Li Tingdong, Xie Ying, Gao Linzhi, Geng Shufang, Chen Tingyu, You Guoqing. 2015. Geochronology and tectonic evolution of the west section of the Jiangnan Orogenic Belt. Acta Geologica Sinica (English Edition), 89(5): 1497 ~ 1515.
- Shen Quan. 1993#. The ^{40}Ar — ^{39}Ar Ar Chronology of Kunyang Group to explore the time constraint of Jinning Movement and Chengjiang Movement. Yunnan Geology, 12 (3): 317 ~ 323.
- Wu Maode. 1978#. The discussion of Precambrian iron layer and some rich iron ore in the centre of Yunnan Province. Mineral album (—), Iron ore. Beijing: geological publishing house.
- Yunnan geological survey. 1966#, 1/500 000 geological map of yunnan province. Beijing: geological publishing house.
- Science and Technology Department, China Geological Survey. 2010#. Minutes of meetings of Precambrian stratigraphic field in the West of Yangtze plate. Journal of stratigraphy, 34 : 336.

Collate and Stipulate the Sequences of the Mesoproterozoic Kunyang Group in Eastern Yunnan and Its Position in Stratigraphic Column of China

GAO Linzhi¹⁾, ZHANG Heng¹⁾, ZHANG Chuanheng²⁾, DING Xiaozhong¹⁾, YIN Chongyu¹⁾,
WU Zhengjie¹⁾, SONG Biao¹⁾

1) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;

2) China University of Geosciences, Beijing, 100083

Abstract: By the study of the chronostratigraphy of the Mesoproterozoic Kunyang Group, we set a series of SHRIMP U-Pb dating has been achieved from the Liubatang Formation. According to the relationship of the depositional succession between the Neoproterozoic Liubatang Formation and underlying Mesoproterozoic strata, such as the Meidang, Dalongkou and Fuliangpeng formations and their chronostratigraphic data, we first set up new Systemic unit of the Yuxi system in Eastern Yunnan and fill up the position of the undefined (or unnamed) system in Chinese stratigraphic column. The authors did more field work in Yunnan Province and take the correlation of the isotopic zircon dating in the Kunyang Group. We consider the long term arguer of the “eight reverse order” is the true sequences of the Meso and Neoproterozoic strata in southwestern margin of the South China Croton. On the basses of the true sequence and combine the Yunxi System (1.2 ~ 1.0 Ga) with the Xishan System (1.4 ~ 1.2 Ga) which had been set up in North China Croton, we consider that the new system fill up the hiatus in the stratigraphic column of China.

Keywords: Jinning, Yunan; the Yuxi System, SHRIMP zircon U-Pb dating; the Kunyang Group

Acknowledgements: This study is supported by basic project of Ministry of Science and Technology (No. 2015FY310100), Natural Science Fund Project (No. 41372038), and Geological Survey Project of China Geological Survey (No. 121201102000150009 and 121201102000161414).

First author: GAO Linzhi, Male, born in 1955. Research fellow (professor). Mainly engaged in biostratigraphy, sequence stratigraphy and catastrophic event stratigraphy research. Email: gaolzh@cags.ac.cn

Manuscript received on: 2017-09-06; Accepted on: 2018-02-08; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.02.002