

滇中禄丰地区中元古代早期球状玄武岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其大地构造意义

刘军平^{1,2)}, 孙柏东¹⁾, 王晓峰¹⁾, 刘伟³⁾, 马进华¹⁾, 关学卿¹⁾, 宋冬虎¹⁾, 吕勃焯¹⁾

1) 云南省地质调查院, 昆明, 650216;

2) 国土资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明, 650051;

3) 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都, 610081

内容提要: 在 1:5 万区域地质调查的基础上, 在禄丰地区东川群黑山组新发现了球状玄武岩及凝灰岩夹层。采用 LA-ICP-MS 技术测得球状玄武岩和凝灰质板岩中锆石 U-Pb 加权平均年龄分别为 1678 ± 10 Ma 和 1572 ± 19 Ma, 表明黑山组沉积时代为中元古代早期; 其中球状玄武岩 SiO_2 含量介于 40.83%~52.56%, δEu 正异常, 大离子亲石元素 Rb、Ba 和高场强元素 Nb、Ta、Th 等强不相容元素相对富集, 全岩地球化学显示为大陆板内低钛拉斑海相玄武岩, 形成于伸展的构造环境, 可能为 Columbia 超大陆裂解的产物。本次的发现, 为准确地标定东川群时代、层序及大地构造属性提供新的参考依据, 也为重塑整个滇中前寒武纪地层格架提供时代约束。

关键词: 球状玄武岩; 凝灰岩; 锆石 U-Pb 测年; 滇中; 中元古代; Columbia 超大陆

“昆阳群”出露于云南滇中及东川等地区, 主要为一套浅变质的陆源碎屑岩、碳酸盐岩及少量火山岩, 时代为中元古代, 区域上共划分为 8 个组级岩石地层单位。黄草岭组、黑山头组、大龙口组、美党组统称下亚群, 因民组、落雪组、鹅头厂组、绿汁江组统称为上亚群。各组级岩石地层单位的野外接触关系清晰, 层序并不存在争议。但上亚群与下亚群之间为断层接触, 上、下关系一直存在争议并持续半个多世纪。简称“正八组”与“倒八组”之争; 也有学者主张属横向变化关系, 总之, 对“昆阳群”的顶界有较为统一的认识, 而其底界及层序是长期争议、悬而未决的问题(李希勤等, 1953, 1984, 2011; 曹瑞骥等, 1964; 吴懋德等, 1981, 1990; 孙家聪, 1982, 1983, 1985, 1988; 鄢芸樵, 1986; 杜远生等, 1999; 牟传龙等, 2000; 薛步高, 2000; 吕世琨等, 2001; 张传恒等, 2007; 朱华平等, 2011; 周邦国等, 2012; 高林志等, 2015, 2018)。

大量学者在野外调查的基础上, 结合前人资料, 将出露于东川地区的因民组、落雪组、黑山组(即区域上所称的鹅头厂组)、青龙山组(即区域上所称的绿汁江组)等 4 个组级岩石地层单元称为“东川

群”, 而将主要出露于昆阳—玉溪一带的黄草岭组、黑山头组、大龙口组、美党组等 4 个组级岩石地层单元称为“昆阳群”, 仍划归中元古界, 认为它们之间不存在上、下叠置关系, 而属横向关系(孙志明等, 2009; 中国地质调查局科技外事部, 2010; 尹福光等, 2011)。

黑山组为滇中前寒武纪东川群的主要地层单元之一, 由一套板岩夹火山岩、白云岩组成。近年来, 大批学者对东川群作了大量的工作, 如滇中地区相同层位的鹅头厂组有 1519 Ma、1598 Ma 的方铅矿年龄和 2220 Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄; 孙志明等(2009)在东川地区东川群黑山组凝灰岩获得 1503 ± 17 Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄; 潘泽伟等(2017)在禄武断陷盆地内鹅头厂含铁矿凝灰岩获得 1448 ± 5 Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄; 近期刘军平等(2018a)在峨山甸中地区东川群黑山组凝灰岩中获得 1569.2 ± 4.5 Ma 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄。现有同位素资料表明, 黑山组沉积时限在 1448~1598 Ma, 为中元古代早期; 以上大量年龄仅为黑山组凝灰岩夹层年龄, 其熔岩年龄夹层并没有报道, 黑山组球状玄武岩仅在云南禄丰罗茨鹅头厂矿区有岩石特

注: 本文为云南省 1:5 万撒马基幅、因民幅、贵城幅、舒姑幅区域地质调查(编号: D201905)、云南 1:5 万二街、易门县、鸣矣河、上浦贝幅区域地质调查(编号: DD20160017)、云南区域地质调查片区总结与服务产品开发项目(编号: 121201102000150012-02)的成果。

收稿日期: 2019-07-01; 改回日期: 2019-12-06; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2020.01.003

作者简介: 刘军平, 男, 1983 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事区域地质与构造地质调查研究; Email: 271090834@qq.com。

征方面的报道(冯贤仁,1980),特指海相成因,具球颗结构,枕状构造玄武岩类岩石。本文对禄丰地区黑山组新发现的球颗玄武岩及凝灰岩进行研究,利用锆石 U-Pb 测年法进行了定年,结合其地球化学特征,进行了详细探讨,为准确地标定东川群时代、层序及大地构造属性提供新的参考依据,也为重塑整个滇中前寒武纪地层格架提供时代约束。

1 地质背景

研究区位于滇中禄丰地区,位于扬子陆块区(VI)之上扬子古陆块(VI-2)的楚雄陆内盆地(VI-2-12)和康滇基底断隆带(VI-2-11)二个三级构造单元的接壤地段的滇中禄丰地区,地层区划隶属华南地层大区扬子地层区(VI₄)康滇地层分区(VI₄²)之楚雄地层小区(VI₄²⁻¹)和昆明地层小区(VI₄²⁻²)的结合

部(图1)。区域出露地层以元古宇、中生界为主^{①②}(图1)。中元古界为一套碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩建造,为古裂谷(后期或转化为古弧—盆系)环境的沉积,在全球 Rodinia 超大陆汇聚的背景下,遭受了区域低温动力变质作用的改造,岩石变质程度普遍达低绿片岩相,构成上扬子古陆块的褶皱基底。中生界为一套潮湿—干旱气候环境的红色碎屑岩夹碳酸盐岩建造^③。

2 样品采集及测试

2.1 样品采样

本次研究的样品采自易门—罗茨断裂以西绿汁江深大断以东,地点在云南禄丰县小黑山及花椒箐一带(图1)。在小黑山地区黑山组中新发现熔岩有灰绿色球颗玄武岩、灰绿色块状玄武岩及灰绿色气

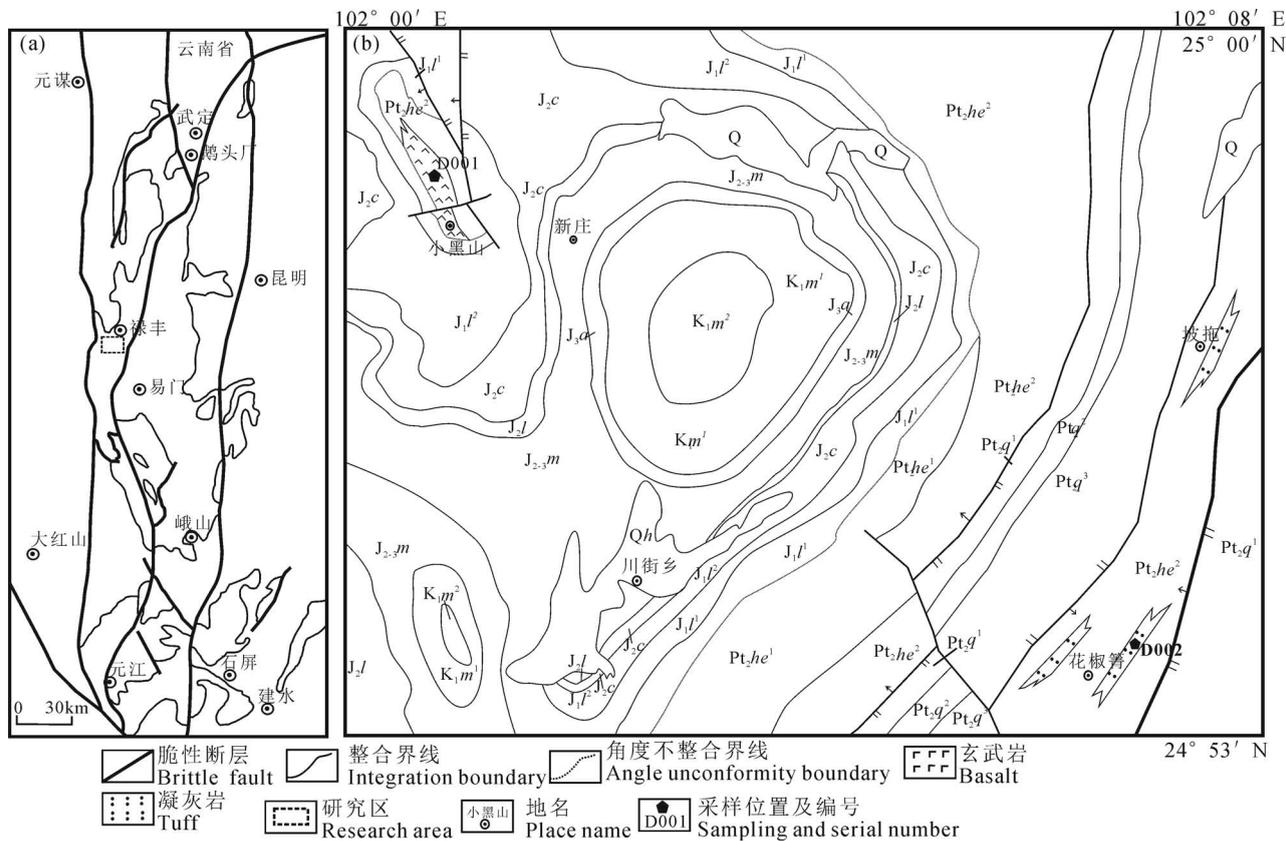


图1 滇中禄丰地区地质简图(a)及采样位置图(b)

Fig. 1 Simplified geological map of the Lufeng area, Central Yunnan (a) and sampling location (b)

Q—第四系;K_{1m}—马头山组;J_{3a}—上侏罗统安宁组;J_{2+3m}—麻地山组;J_{2l}—老罗村组;J_{2c}—川街组;J_{1l¹}—禄丰组一段;J_{1l²}—禄丰组二段;Pt_{2q³}—中元古界青龙山组三段;Pt_{2q²}—青龙山组二段;Pt_{2q¹}—青龙山组一段;Pt_{2he²}—黑山组二段;Pt_{2he¹}—黑山组一段
Q—Quaternary;K_{1m}—Matoushan Formation;J_{3a}—Upper Jurassic Anning Formation;J_{2+3m}—Madishan Formation;J_{2l}—Laoluocun Formation;J_{2c}—Chuanjie Formation;J_{1l¹}—The First Member of Lufeng Formation;J_{1l²}—the Second Member of Lufeng formation;Pt_{2q³}— the Third Member of Qinglongshan Formation, Mesoproterozoic; Pt_{2q²}—the Second Member of Qinglongshan Formation; Pt_{2q¹}—The First Member of Qinglongshan Formation;Pt_{2he²}—the Second Member of Heishan Formation;Pt_{2he¹}—The First Member of Heishan Formation

孔—杏仁状玄武岩,均发育枕状构造,上部被侏罗系下统禄丰组碎屑岩角度不整合覆盖,未见底;在花椒箐一带黑山组中发现数层厘米级的凝灰岩夹层;本次以球颗玄武岩(D001)及凝灰岩(D002)为研究对象。

灰绿色球颗玄武岩(D001):深灰—绿灰色,岩石具球颗结构,气孔构造、杏仁构造。球颗部分主要由放射状的纤片状连晶的基性斜长石组成,球颗间隙填充长板状交织在一起的放射状辉石、角闪石、斜长石组成,球颗直径 2~3 mm,含量 30%~35%;另外,岩石中含有少量橄榄石斑晶(5%~6%),部分斑晶具中空骸晶结构,为明显海相熔岩特征结构(与环境温差较大,快速冷凝成岩的特点)与冯贤仁 1980 年在云南禄丰罗茨鹅头厂矿区鹅头厂组(相当黑山组)发现的球颗玄武岩岩石特征相似。手标本及镜下特征见图 2a、b、c、d。

灰绿色块状玄武岩:浅灰—绿灰色,斑状结构,块状构造。斑晶主要为斜长石,呈半自形—较自形板状分散分布,粒度 0.35~3.50 mm,含量 10%~20%,斜长石边缘具锯齿状结构。基质由微细晶斜长石及玻璃隐晶质组成,粒度 0.20 mm,但多数被硅化、碳酸盐化、铁泥化等强强烈蚀变形成的产物替代,与斑晶呈相间状或残余混杂堆积,含量达 80%~90%,为明显海相熔岩特征结构。

灰绿色气孔—杏仁状玄武岩:浅灰—灰绿色,蚀变斑状结构,气孔状、杏仁状构造。杏仁体呈椭圆状,直径 1~5 mm,均匀分布。斑晶主要为斜长石,呈半自形—自形板状分散分布,粒度 0.30~2.50 mm,含量 10%~15%,多已绿泥石化、碳酸盐化和绢云母化,部分钠化蚀变,有的矿物颗粒完全蚀变被替代,仅剩轮廓。基质由斜长石和玻璃质组成,呈玻晶交织结构(即玄武结构),总体均匀堆积分布在斑晶及杏仁体间隙;由于蚀变强烈,基质原来的结构和成分完全被蚀变矿物替代,与斑晶残余混杂堆积,含量 50%~70%。

凝灰质板岩(D002):呈灰白色,玻基交织结构、溶蚀构造、部分区域可见到似流动构造。标本切面中岩石由长英质微晶碎屑和隐晶质基质组成。微晶碎屑多呈长条状、透镜状、针状,在基质中具有明显的定向排列特征,并因为含量的不均一而表现出一定的层状特征,展示出一定的沉积特征。并且在基质中发育有一定量的气孔。隐晶质基质多为黏土物质。主要矿物:斜长石,含量 20%~30%;石英含量 5%~10%。无明显蚀变特征。手标本及显微镜下照

片见图 2e、f。

2.2 样品测试

样品 D001 为灰绿色,岩性为灰绿色球颗玄武岩,球颗结构,杏仁构造,发育枕状构造。D002 为灰白色块状,岩石为灰白色凝灰质板岩;岩石由长英质微晶碎屑和隐晶质基质组成;将这两件样品先经手工粉碎,后按常规重力及电磁法浮选出锆石颗粒,最后在实体镜下挑选出纯正锆石约 200 余粒。其中样品 D001 共分选出 90 余粒,样品 D002 选出 110 余粒。锆石多为浅紫红色,个别呈褐色,粒状、短柱状、碎粒状,金刚光泽,透明,部分具磨蚀特征,锆石长 60~140 μm ,少数达 200 μm 。

锆石分选在南京宏创地矿实验室完成,原岩样品经人工粉碎,淘洗后除去轻矿物,将得到的重砂部分经电磁选后得到含有少量杂质的锆石样品,最后在双目镜下挑选出锆石晶体。选择晶型较好,无裂隙的锆石颗粒粘贴在环氧树脂表面制成锆石样品靶,打磨样品靶,使锆石的中心部位暴露出来,然后进行抛光。对锆石进行反射光、透射光显微照相和阴极发光(CL)图像分析,根据反射光、透射光及锆石 CL 图像,选择代表性的锆石颗粒和区域进行 U-Pb 测年(Hu Zhaochu et al., 2008)。U-Pb 同位素定年在武汉上谱分析科技有限责任公司利用 LA-ICP-MS 分析完成。激光剥蚀系统为 GeoLasPro, ICP-MS 为 Agilent 7700。激光剥蚀过程中采用氦气作为载气、氩气为补充气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密性(王海然等, 2013)。激光剥蚀系统配置了使激光脉冲频率高达 1 Hz 的信号平滑装置,可使系统获得光滑的分析信号。每个时间分辨分析数据包括大约 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号,激光束斑直径 32 μm 。采用 Isoplot 程序(Ver 3.0)进行锆石加权平均年龄计算及谐和图的绘制。采用年龄为 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄,其加权平均值的误差为 $2\sigma, n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 和 $n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$ 平均年龄误差为 95%置信度(Ludwing, 2003)。

本次选择球颗玄武岩 8 件岩石样品分别进行主量元素和微量元素分析(表 1),其中从 1:5 万二街幅矿产报告中收集了 2 件样品。样品磨碎至 200 目后,在湖北省地质实验室测试中心实验室进行主量和微量元素分析测试。主量元素使用 X-射线荧光光谱仪(XRF-1500)法测试。用 0.6 g 样品和 6 g 四

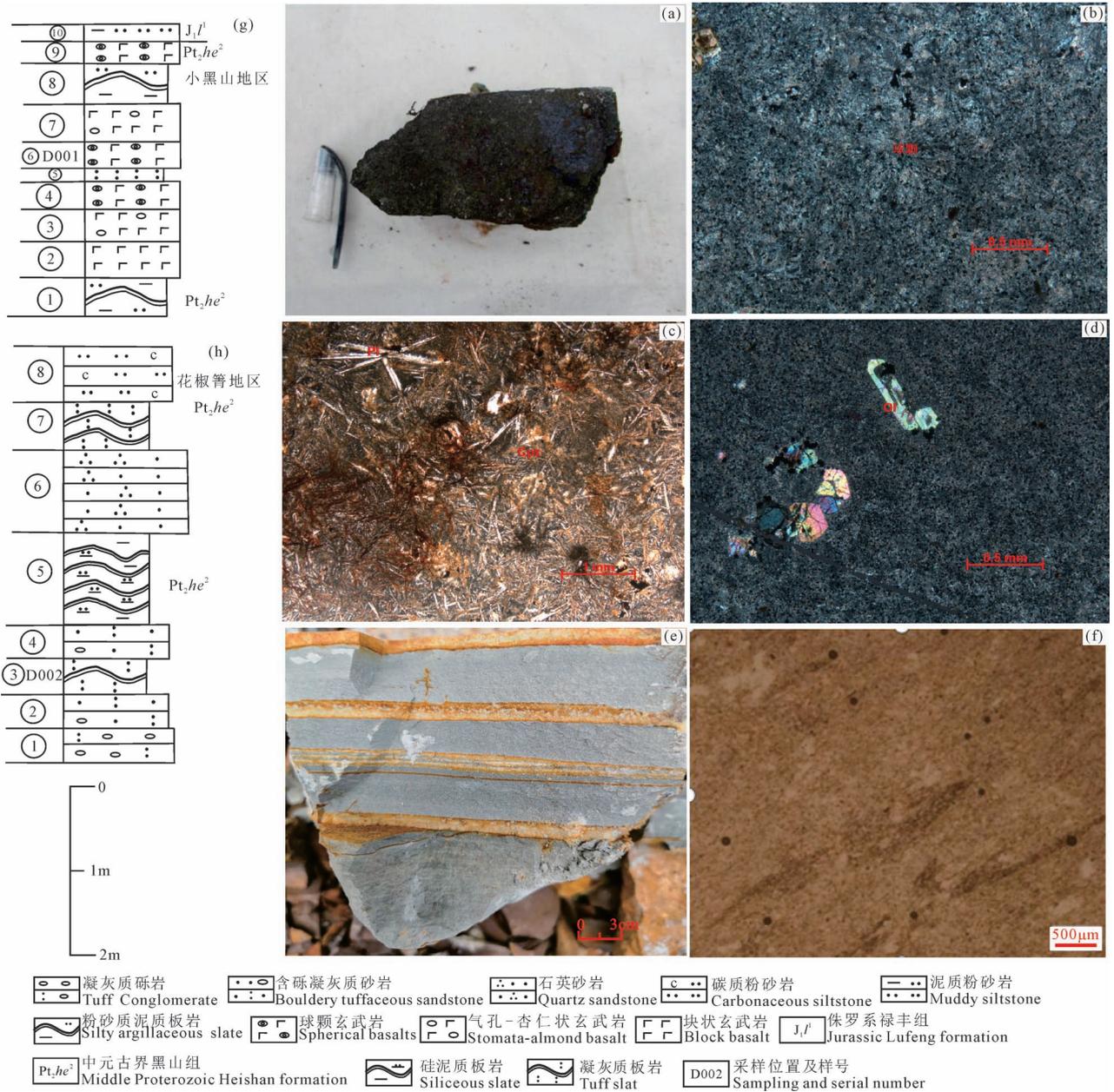


图 2 滇中禄丰地区东川群球状玄武岩手标本 (a)、显微照片 (b、c、d)、采样柱状图 (g) 及凝灰质板岩手标本 (e)、显微照片 (f)、采样柱状图 (h)

Fig. 2 Hand specimen (a), micrographs (b, c, d), sampling histogram (g) of spherical basalts; and hand specimen (e), micrograph (f), sampling histogram (h) of tuff in the Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan

Pl—斜长石; Cpx—单斜辉石; Ol—橄榄石

Pl—plagioclase; Cpx—clinopyroxene; Ol—olivine

硼酸锂制成的玻璃片在 Shimadzu XRF-1500 上测定氧化物的质量分数值, 相对误差小于 2%。微量元素及稀土元素利用酸溶法制备样品, 使用 ICP-MS (Element II) 测试 (按照 GSR-1 和 GSR-2 国家标准), 当元素质量分数值大于 10×10^{-6} 时, 分析相对误差小于 5%, 当质量分数值小于 10×10^{-6} 时, 分析

相对误差小于 10%。

3 分析结果

3.1 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年

本次用于锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试的样品采集位置见图 1, 样品分析数据见表 1。根据阴极

状、短柱状为主,长度变化于 $80 \sim 140 \mu\text{m}$,长宽比 $1.0 \sim 1.5$,少部分锆石边部具有熔蚀现象,锆石 CL 图像显示明显的振荡韵律环带(图 3a)。锆石的 Th/U 值为 $0.2 \sim 1.2$ 。选择 26 颗锆石进行了定年分析;所有的分析点都位于谐和线上或其附近(图 4a),其中有 17 颗锆石数据较为集中, $n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$ 年龄的加权平均值为 $1678 \pm 10 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.28, n = 17$),说明球陨玄武岩形成年龄为中元古代早期,也代表了黑山组沉积年龄;锆石 D001-3、9、14、25 共 4 个点打在锆石继承核上,且有裂纹发育,锆石年龄为

球陨玄武岩(D001)的锆石均为无色透明,以柱状(李再会等,2012)。过程中捕获的围岩中的锆石(图 3),部分锆石边部石核部具扇形结构或椭圆状结构,可能为岩浆上升形,边部常有一定程度的磨圆,无明显环带结构,锆石自形程度较好,棱角分明,发育韵律环带,为典型的岩浆结晶锆石(Hoskin et al., 2003; 吴元保等, 2004; 李再会等, 2012);第二类锆石多呈自形一半自形,边部常有一定程度的磨圆,无明显环带结构,锆石核部具扇形结构或椭圆状结构,可能为岩浆上升过程中捕获的围岩中的锆石(图 3),部分锆石边部石核部具扇形结构或椭圆状结构,可能为岩浆上升形,边部常有一定程度的磨圆,无明显环带结构,锆石自形程度较好,棱角分明,发育韵律环带,为典型的岩浆结晶锆石(Hoskin et al., 2003; 吴元保等, 2004; 李再会等, 2012)。

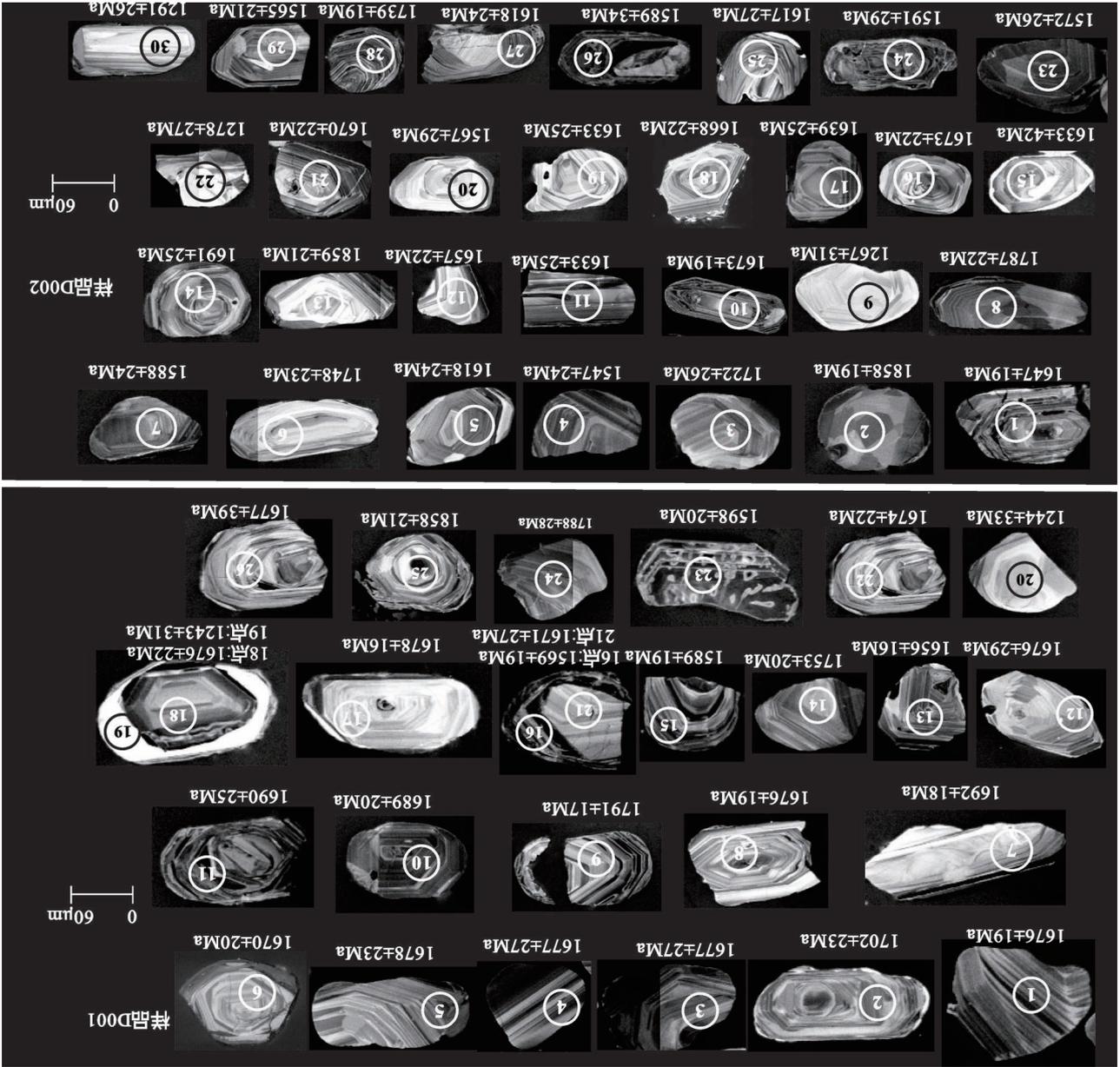


图 3 滇中禄丰地区东川群黑山组球陨玄武岩(D001)和凝灰质板岩(D002)中锆石阴极发光(CL)图像
Fig. 3 The CL images of zircons from the spherical basalts (D001) and tuff (D002)
in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Luteng area, Central Yunnan

表 1 滇中禄丰地区东川群黑山球状玄武岩和凝灰质板岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果
 Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data of the zircons from the spherical basalts and tuff in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值				同位素年龄(Ma)				谐和度 (%)				
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ		测值	1 σ		
样品 D001(球状玄武岩)																	
1	309.7	206.4	394.9	0.5	0.1028	0.0010	4.0781	0.0607	0.2875	0.0041	1676	19	1650	12	1629	20	98
2	151.2	105.8	138.5	0.8	0.1043	0.0013	4.3458	0.0655	0.3036	0.0058	1702	23	1702	12	1709	28	99
3	151.1	75.2	229.3	0.3	0.1145	0.0011	5.4118	0.0778	0.3423	0.0043	1872	17	1887	12	1898	21	99
4	230.8	166.8	225.0	0.7	0.1029	0.0017	4.3293	0.2012	0.3009	0.0094	1677	27	1699	38	1696	47	99
5	258.5	107.5	128.1	0.8	0.1024	0.0013	4.0109	0.0592	0.2840	0.0031	1678	23	1636	12	1612	16	98
6	146.0	102.1	186.5	0.5	0.1025	0.0014	4.6369	0.2339	0.3238	0.0136	1670	20	1756	42	1808	66	97
7	251.1	183.7	272.9	0.7	0.1037	0.0010	4.3692	0.1059	0.3055	0.0073	1692	18	1707	20	1718	36	99
8	208.7	150.3	222.1	0.7	0.1028	0.0010	4.0805	0.0550	0.2877	0.0035	1676	19	1650	11	1630	17	98
9	317.6	182.4	406.7	0.4	0.1094	0.0010	4.9433	0.0630	0.3278	0.0045	1791	17	1810	11	1828	22	99
10	299.3	196.9	354.9	0.6	0.1046	0.0011	4.2733	0.0616	0.2958	0.0038	1689	20	1688	12	1670	19	98
11	149.3	105.4	251.4	0.4	0.0997	0.0014	3.5965	0.0655	0.2611	0.0045	1690	25	1549	15	1495	23	96
12	210.8	149.2	242.5	0.6	0.1028	0.0016	3.9423	0.0621	0.2794	0.0047	1676	29	1622	13	1588	23	97
13	250.5	170.8	239.6	0.7	0.1011	0.0012	4.2526	0.0784	0.3043	0.0043	1656	16	1684	15	1713	21	98
14	145.8	86.3	175.5	0.5	0.1062	0.0012	4.8522	0.0735	0.3329	0.0067	1735	20	1794	13	1852	33	96
15	202.5	145.6	240.0	0.6	0.0976	0.0010	3.7781	0.0598	0.2809	0.0043	1589	19	1588	13	1596	22	99
16	221.0	171.4	205.5	0.8	0.0971	0.0010	3.8004	0.0907	0.2837	0.0060	1569	19	1593	19	1610	30	98
17	307.1	159.8	649.5	0.2	0.1024	0.0009	4.0681	0.0540	0.2885	0.0040	1678	16	1648	11	1634	20	99
18	320.4	259.8	281.3	0.9	0.1028	0.0012	3.7039	0.0533	0.2615	0.0035	1676	22	1572	12	1497	18	95
19	221.3	236.8	268.9	0.9	0.0819	0.0011	2.3957	0.0750	0.2115	0.0058	1243	31	1241	22	1237	31	99
20	99.0	115.5	121.9	0.9	0.0819	0.0014	2.1900	0.0623	0.1941	0.0050	1244	33	1178	20	1143	27	97
21	190.9	144.3	156.8	0.9	0.1003	0.0014	3.8107	0.0587	0.2764	0.0043	1671	27	1595	12	1573	22	98
22	195.5	103.9	333.8	0.3	0.1027	0.0012	4.3476	0.0694	0.3069	0.0046	1674	22	1702	13	1726	22	98
23	277.1	187.8	354.2	0.5	0.0985	0.0010	3.9358	0.0520	0.2895	0.0032	1598	20	1621	11	1639	16	98
24	256.5	205.5	174.3	1.2	0.1024	0.0015	4.0424	0.0851	0.2859	0.0043	1678	28	1643	17	1621	22	98
25	176.1	97.6	221.2	0.4	0.1136	0.0013	5.2724	0.0738	0.3369	0.0045	1858	21	1864	12	1872	22	99
26	230.5	157.5	268.7	0.6	0.1029	0.0021	4.5206	0.2361	0.3110	0.0100	1677	39	1735	43	1746	49	99

测点号	元素含量 ($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄 (Ma)						谐和度 (%)			
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$				$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ		测值	1 σ	
样品 D002 (凝灰质板岩)																				
1	253.2	206.6	242.2	0.9	0.1012	0.0011	3.7809	0.0553	0.2707	0.0046	1647	19	1589	12	1544	23	97			
2	396.3	228.7	343.1	0.7	0.1136	0.0012	5.2730	0.0790	0.3357	0.0057	1858	19	1865	13	1866	27	99			
3	163.4	95.4	162.8	0.6	0.1049	0.0014	4.5357	0.0817	0.3133	0.0076	1722	26	1738	15	1757	37	98			
4	178.0	126.0	173.6	0.7	0.0960	0.0012	3.5656	0.0680	0.2678	0.0060	1547	24	1542	15	1530	31	99			
5	202.2	157.6	300.0	0.5	0.0997	0.0014	3.6164	0.0729	0.2619	0.0066	1618	32	1553	16	1499	34	96			
6	119.4	69.0	143.2	0.5	0.1069	0.0013	4.7332	0.0906	0.3197	0.0079	1748	23	1773	16	1788	39	99			
7	270.5	188.2	153.3	1.2	0.0981	0.0013	3.9415	0.0648	0.2902	0.0057	1588	24	1622	13	1643	28	98			
8	238.8	155.5	278.5	0.6	0.1092	0.0013	4.9419	0.0891	0.3270	0.0066	1787	22	1809	15	1824	32	99			
9	117.1	140.8	132.2	1.1	0.0801	0.0013	1.9785	0.0329	0.1789	0.0030	1267	31	1108	11	1061	17	95			
10	407.7	283.2	490.8	0.6	0.1026	0.0011	3.6453	0.0498	0.2567	0.0037	1673	19	1559	11	1473	19	94			
11	202.6	152.7	481.8	0.3	0.1000	0.0013	3.8518	0.1706	0.2768	0.0110	1633	25	1604	36	1575	56	98			
12	294.2	233.8	291.6	0.8	0.1018	0.0012	3.6238	0.0505	0.2576	0.0033	1657	22	1555	11	1478	17	94			
13	298.1	191.4	165.4	1.2	0.1137	0.0013	5.4338	0.0993	0.3464	0.0061	1859	21	1890	16	1917	29	98			
14	562.6	488.4	493.0	1.0	0.1037	0.0014	3.6540	0.0547	0.2558	0.0038	1691	25	1561	12	1468	20	93			
15	97.6	71.0	109.9	0.6	0.0999	0.0023	3.8700	0.1729	0.2781	0.0081	1633	42	1607	36	1582	41	98			
16	260.2	172.8	214.4	0.8	0.1027	0.0012	4.2239	0.0706	0.2978	0.0048	1673	22	1679	14	1680	24	99			
17	166.7	105.4	193.0	0.5	0.1007	0.0014	3.9232	0.0643	0.2823	0.0046	1639	25	1618	13	1603	23	99			
18	284.1	192.3	234.8	0.8	0.0990	0.0012	4.0334	0.0679	0.2948	0.0047	1668	22	1641	14	1665	24	98			
19	181.8	124.3	142.0	0.9	0.0999	0.0014	3.9821	0.0693	0.2886	0.0045	1633	25	1631	14	1635	22	99			
20	151.4	179.9	174.0	1.0	0.0964	0.0012	3.1941	0.0480	0.2400	0.0031	1567	29	1456	12	1386	16	95			
21	280.8	160.8	443.9	0.4	0.1025	0.0012	3.9140	0.0989	0.2767	0.0067	1670	22	1617	20	1575	34	97			
22	323.3	317.4	533.0	0.6	0.0830	0.0012	2.2321	0.0371	0.1954	0.0028	1278	27	1191	12	1150	15	96			
23	243.9	171.4	266.9	0.6	0.0972	0.0014	3.6352	0.0642	0.2712	0.0038	1572	26	1557	14	1547	19	99			
24	335.5	233.7	275.4	0.8	0.0983	0.0015	3.9759	0.0772	0.2937	0.0046	1591	29	1629	16	1660	23	98			
25	273.5	169.8	395.2	0.4	0.0995	0.0014	3.8608	0.0661	0.2813	0.0037	1617	27	1606	14	1598	19	99			
26	148.9	113.0	107.2	1.1	0.0976	0.0017	3.9339	0.0955	0.2972	0.0110	1589	34	1621	20	1678	55	96			
27	227.6	149.4	202.8	0.7	0.0997	0.0012	4.1158	0.0710	0.2988	0.0040	1618	24	1657	14	1685	20	98			
28	546.4	660.3	584.2	1.1	0.1064	0.0011	3.6079	0.0560	0.2452	0.0030	1739	19	1551	12	1414	16	90			
29	430.8	273.3	521.2	0.5	0.0969	0.0011	3.8495	0.0565	0.2878	0.0038	1565	21	1603	12	1630	19	98			
30	441.6	418.7	1103.6	0.4	0.0839	0.0009	1.9374	0.0249	0.1671	0.0019	1291	26	1094	9	996	11	90			

1280±32 Ma (MSWD=0.18, n=3), 该年龄可能为混染年龄所致, 也可能与 Rodinia 超大陆汇聚事件有关, 值得进一步研究。

3.2 地球化学特征

3.2.1 主量元素

黑山组球状玄武岩 SiO₂ 含量为 40.83% ~ 52.56%, 为基性喷出岩, TiO₂=0.76% ~ 1.48%, 平均为 1.16% < 2%, MgO = 6.99% ~ 10.15%, 平均为 8.77% < 16%, Mg[#] = 56 ~ 66, 平均 62, Al₂O₃ = 11.70% ~ 15.16%, 小于 16%, 具低钛拉斑玄武岩特征。在岩石 CIPW 标准矿物成分(表 2)组成中, 大多数岩石样品具有一致的 Q+Or+Ab+An+Di+Hy+Ol+Ap+Ilm+Mt 的标准矿物组合, Hy 含量均大于 3%, 组合指数 σ=0.05 ~ 2.71, 平均为 1.20 < 3.3, 显示出拉斑玄武岩系列特征。在岩石主要指数中, 岩石 Alk = 0.67 ~ 2.44, K₂O/Na₂O=0.06 ~ 5.39, 平均值小于 1, 属钠质岩石; A. R. = 1.11 ~ 1.29; Fe^{*}/MgO = 2.55 ~ 2.93, m/f=0.6 ~ 0.7, 介于 0.5 ~ 2 之间, 属富铁质基性岩类岩石。在 TAS 分类图(图 5)中, 岩石样品落入了亚碱性系列的玄武岩、玄武安山岩、安山岩区, AFM 图解(图 6)显示黑山组球状玄武岩属于拉斑玄武岩系列。

3.2.2 微量和稀土元素

黑山组球状玄武岩岩石稀土丰度值中, ΣREE = 29.91 ~ 71.00 μg/g, LREE/HREE = 3.73 ~ 4.50;

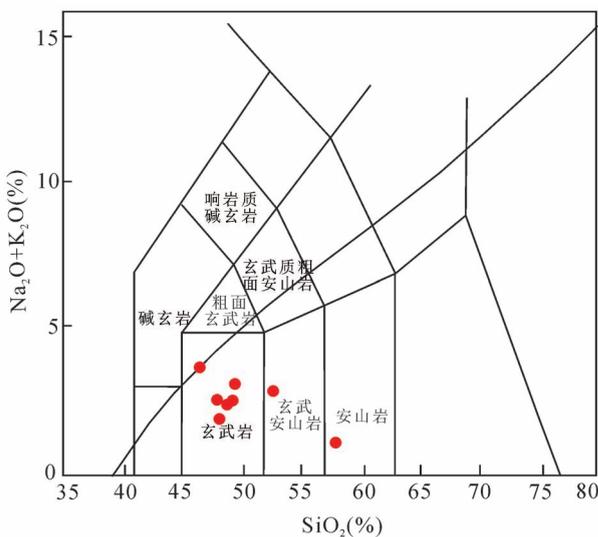


图 5 滇中禄丰地区东川群黑山组球状玄武岩 TAS 分类图解

Fig. 5 TAS classification diagram of spherical basalts in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan(据 Le Bas et al., 1986)

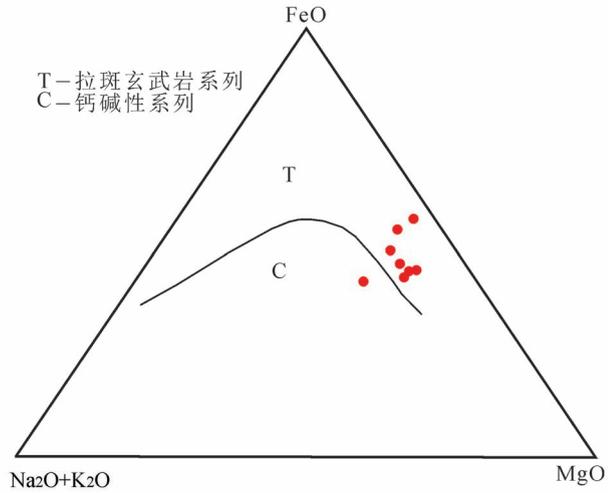


图 6 滇中禄丰地区东川群黑山组球状玄武岩 AFM 图解 (据 Irvine et al., 1971)

Fig. 6 AFM diagram of Spherical basalts in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan (after Irvine et al., 1971)

(La/Yb)_N = 2.71 ~ 3.75, (La/Sm)_N = 1.49 ~ 1.83, (Gd/Yb)_N = 1.20 ~ 1.51, 轻重稀土分馏相当。所有岩石样品 δEu = 1.08 ~ 1.37, 略大于 1, 具有正铕异常, 可能是基岩中斜长石局部堆晶所致。在岩石稀土元素球类陨石标准化图解(图 7a)中, 所有岩石样品均具有较为一致的配分模式, 说明岩石具有相似的源区特征和较为类似的岩浆演化过程。岩石轻稀土元素和重稀土元素分异不强, 表现出相对平坦的配分模式。在样品微量元素含量组成(表 2)中, 岩石中强相容元素 Cr 含量较高, 说明形成黑山组火山岩的岩浆属于与地幔橄榄岩平衡的原始岩浆。(Rb/Yb)_N = 3.82 ~ 38.34, 大于 1, 属强不相容元素富集型, 说明形成黑山组球状玄武岩的岩浆可能来源于富集地幔或交代地幔的源区。样品微量元素洋中脊玄武岩比值蛛网图(图 7b)中, 所有岩石样品均具有较为相似的蛛网图曲线特征, 均有大离子亲石元素 Rb、Ba 和高场强元素 Nb、Ta、Th 等强不相容元素富集的特征, 与 Pearce 1982 给出的板内隆起形式的 MORB 标准化蛛网图较为相近。综上所述, 黑山组球状玄武岩总体具有较为相近的岩石地球化学特征, 主微量元素特征显示, 黑山组球状玄武岩为大陆板内低钛拉斑玄武岩。

4 讨论

4.1 岩石成因类型及源区性质

黑山组球状玄武岩样品 Nb/La 值为 0.84 ~

表 2 滇中禄丰地区东川群黑山组球粒玄武岩主量、微量和稀土元素分析结果
 Table 2 Major, trace and rare earth element analytical results for the Spherical basalts in the Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan

样品编号	D3-1	D3-2	D3-3	D3-4	D3-5	D3-6	D3-7	D3-8	D3-9	D3-10	样品编号	D3-1	D3-2	D3-3	D3-4	D3-5	D3-6	D3-7	D3-8	D3-9	D3-10
SiO ₂	46.36	47.95	45.17	47.51	52.56	45.19	47.83	40.83	48.21	43.16	Y	50.7	59.8	57.4	54.4	35.7	74.6	78.0	37.7	-	-
TiO ₂	0.95	1.10	1.11	1.00	0.70	1.48	1.46	0.76	0.93	0.57	Zr	159	101	100	102	116	121	124	55.9	-	-
Al ₂ O ₃	14.11	14.60	13.20	14.75	11.70	14.43	14.42	15.16	14.19	9.38	Zn	6.59	7.07	6.06	9.39	4.46	10.6	11.4	3.68	-	-
Fe ₂ O ₃	5.19	8.32	12.91	5.45	12.08	5.55	6.32	3.50	9.58	4.39	Nb	118	65.2	61.5	68.5	81.8	104	82.5	60.4	-	-
FeO	6.56	4.19	3.12	6.36	3.70	6.42	5.06	5.46	2.48	9.39	Cu	503	321	251	435	227	232	243	176	-	-
MnO	0.20	0.17	0.16	0.16	0.09	0.33	0.27	0.19	0.22	0.21	Ba	6.03	6.90	6.11	5.91	2.83	6.72	7.64	4.38	-	-
MgO	9.27	7.13	8.04	8.11	8.14	9.11	8.74	6.10	7.02	18.60	Hf	1.83	1.79	1.76	1.65	1.08	2.38	2.37	1.20	-	-
CaO	9.11	9.98	7.84	11.23	0.74	4.66	3.40	12.25	4.73	8.37	Co	58.1	59.9	76.0	89.8	117	76.0	75.7	72.1	-	-
Na ₂ O	1.57	1.98	1.40	2.12	0.11	2.26	2.13	2.49	0.36	0.28	Ta	0.72	0.78	0.62	1.18	0.42	0.88	1.06	0.88	-	-
K ₂ O	0.54	0.16	0.13	0.12	0.57	0.18	0.30	0.46	1.21	1.42	Pb	66.7	15.4	10.7	11.8	15.8	12.8	6.88	7.44	-	-
P ₂ O ₅	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.09	0.10	0.03	0.081	0.12	Th	1.10	1.10	0.96	1.44	0.71	1.46	1.58	0.97	-	-
H ₂ O ⁺	3.81	2.82	3.68	1.97	7.27	6.54	7.19	4.06	6.06	2.83	U	1.21	0.36	0.27	0.23	0.42	0.78	0.80	1.37	-	-
H ₂ O ⁻	0.86	0.91	2.73	0.45	2.57	0.40	0.74	0.69	-	-	Ga	17.5	18.2	16.8	24.7	14.5	18.1	-	-	-	-
CO ₂	0.67	0.41	0.35	0.63	0.54	3.69	2.17	7.74	-	-	La	15.1	17.1	16.9	16.6	7.83	18.0	21.6	14.7	-	-
烧失	5.96	4.87	6.81	2.95	9.45	9.98	10.00	11.77	7.10	2.72	Ce	1.79	2.12	1.80	1.78	0.92	2.09	2.40	1.27	-	-
总量	99.24	99.79	99.88	99.90	100.81	100.32	100.12	99.70	102.17	101.44	Pr	8.62	10.4	8.82	8.76	4.86	10.2	11.7	6.53	-	-
K ₂ O/Na ₂ O	0.35	0.08	0.09	0.06	5.39	0.08	0.14	0.18	3.36	5.07	Nd	2.07	2.54	2.11	2.12	1.20	2.56	2.67	1.55	-	-
Mg [#]	66	59	56	63	56	65	66	63	-	-	Sm	0.93	0.95	0.82	0.85	0.48	0.88	0.96	0.65	-	-
Alk	2.11	2.14	1.52	2.24	0.67	2.44	2.42	2.95	1.57	1.70	Eu	2.04	2.42	2.05	2.08	1.19	2.35	2.54	1.62	-	-
AR	1.20	1.19	1.16	1.19	1.11	1.29	1.31	1.24	1.18	1.21	Gd	0.40	0.48	0.38	0.41	0.23	0.46	0.48	0.33	-	-
Th	38.8	42.1	38.0	54.8	31.2	38.7	37.4	39.7	-	-	Tb	2.49	2.99	2.33	2.58	1.47	2.88	2.98	2.11	-	-
Sc	260	248	241	238	274	368	348	227	-	-	Dy	0.48	0.58	0.43	0.51	0.28	0.57	0.58	0.42	-	-
V	361	310	755	485	1819	333	349	361	-	-	Ho	1.36	1.63	1.24	1.44	0.78	1.68	1.73	1.16	-	-
Cr	58.1	59.9	76.0	89.8	117	76.0	75.7	72.1	-	-	Er	0.19	0.23	0.17	0.20	0.10	0.24	0.25	0.16	-	-
Co	161	122	272	218	534	148	153	158	-	-	Tm	38.8	42.1	38.0	54.8	31.2	38.7	37.4	39.7	-	-
Ni	11.5	4.52	2.47	3.31	15.9	5.29	9.39	11.7	-	-	Yb	1.18	1.48	1.10	1.31	0.70	1.58	1.65	1.04	-	-
Rb	150	154	137	218	17.8	83.0	67.9	143	-	-	Lu	0.17	0.22	0.17	0.20	0.11	0.23	0.25	0.16	-	-
Sr	11.6	14.1	10.4	12.3	6.92	13.5	13.6	9.83	-	-											

注:主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量为10⁻⁶;样品D3-9与D3-10测试数据来源于《1:5万二街幅矿产地质填图报告》。

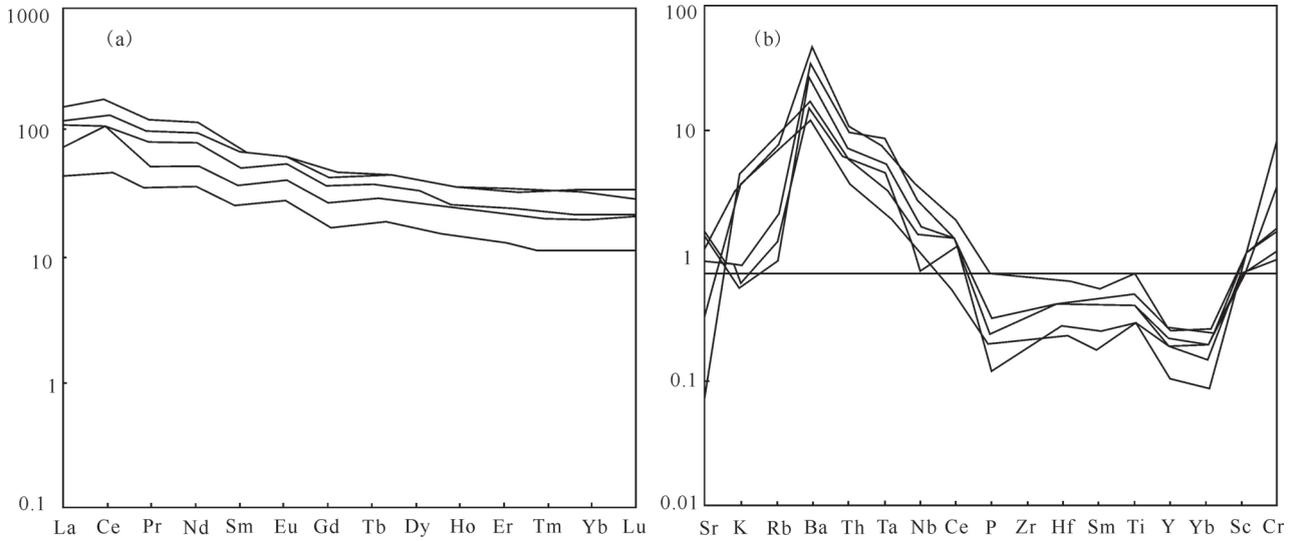


图 7 滇中禄丰地区东川群黑山组球陨玄武岩球粒陨石标准化稀土元素配分图(a)和原始地幔标准化蛛网图(b)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE distribution patterns(a) and primitive mantle-normalized spidergrams(b)

for the spherical basalts in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan

原始地幔标准化数据、球粒陨石标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989

The data of primary mantle and chondrite for normalization from Sun and McDonough, 1989

1.59, 平均 1.27 > 0.9, SiO_2-Nb/La 图解(图 8)显示, 这些样品除 1 件样品投在遭受强烈地壳污染外, 其余样品均落到未遭受地壳污染—受地壳轻微污染区, 说明岩浆在上侵过程中总体化学组成受陆壳物质影响较小。

$Nb/Th-Zr/Nb$ 图解(图 9)显示, 黑山组球陨玄

武岩具有与大陆岩石圈相互作用的地幔柱玄武岩特征, 样品点多分布于 PM(原始地幔)与 EN(富集地幔)附近, 说明黑山组球陨玄武岩原始岩浆来源于过渡类型地幔; $La-La/Sm$ 协变图(图 10)显示分离结晶作用对岩浆成分的影响占主导作用。

从 MgO 与其它氧化物相关性图解(图 11)中可

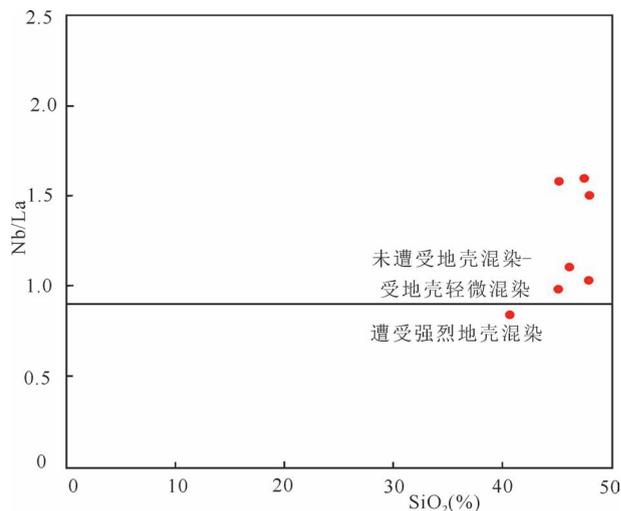


图 8 滇中禄丰地区东川群黑山组球陨玄武岩 SiO_2-Nb/La 图解

Fig. 8 SiO_2-Nb/La diagram of spherical basalts in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan

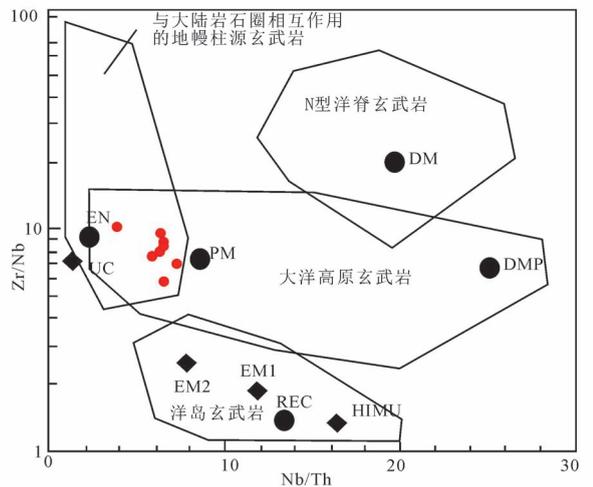


图 9 滇中禄丰地区东川群黑山组球陨玄武岩 $Nb/Th-Zr/Nb$ 图解

Fig. 9 $Nb/Th-Zr/Nb$ diagram of Spherical basalts in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan

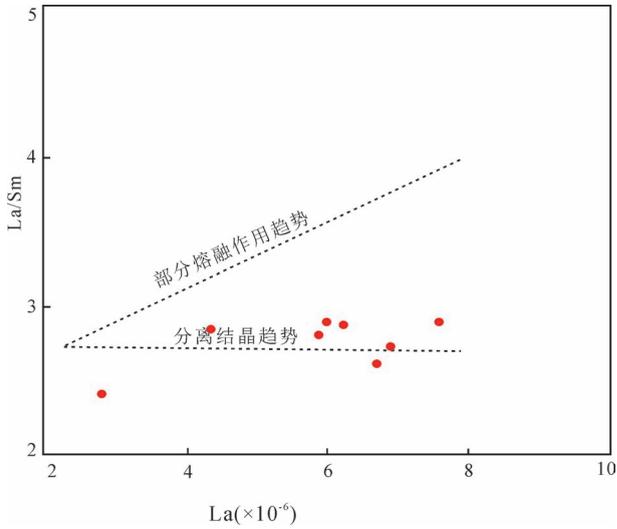


图 10 滇中禄丰地区东川群黑山组球状玄武岩 La—La/Sm 协变图

Fig. 10 La—La/Sm covariant graph of spherical basalts in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan

以看出, MgO 与 FeO^T 呈较好的负相关性, 表明原始岩浆结晶分异过程中熔浆中残留 Mg 的浓度降低的速度较 Fe 的浓度降低的迅速; 与 CaO 呈较好的负相关性, 考虑到岩石受后期蚀变作用较强烈, 可能发生了钙化, 这种相关性不能很好地反映岩浆演化的相关信息。

4.2 大地构造背景

在 Ti/100—Zr—3Y 判别图(图 12), 黑山组球

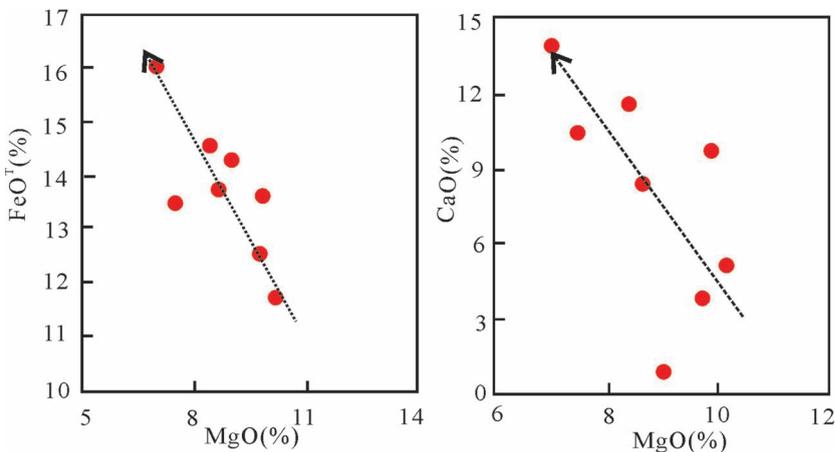


图 11 滇中禄丰地区东川群黑山组球状玄武岩 MgO 与其他主要氧化物相关图解

Fig. 11 Diagrams of the association of MgO with other major oxides of Spherical basalts in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan

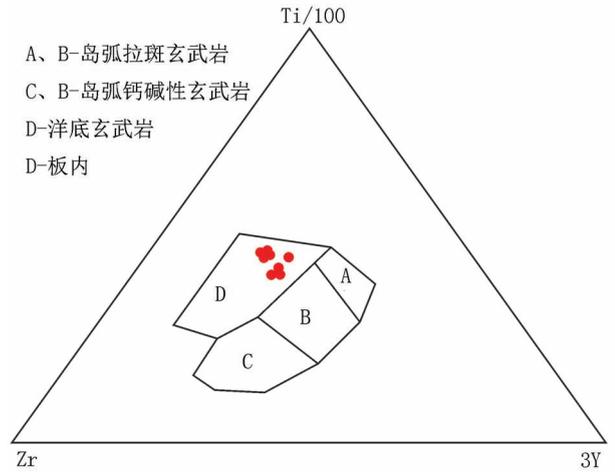


图 12 滇中禄丰地区东川群黑山组球状玄武岩 Ti/100—Zr—3Y 判别图(据 Pearce, 1973)

Fig. 12 Ti/100—Zr—3Y discriminant graph of Spherical basalts in the Heishan Formation, Dongchuan Group, Lufeng area, Central Yunnan (after Pearce, 1973)

状玄武岩全部落入板内区, 也一定程度印证了 Nb/Th—Zr/Nb 图解给出的黑山组玄武岩为与地幔柱相互作用的玄武岩这一结果, 构造背景与扬子地台西南缘东川铜矿区、武定县迤纳厂铁铜矿区辉绿岩及拉拉铜矿区河口群变质玄武岩基本一致, 可能与地幔柱活动密切相关, 反映了其形成于陆内裂谷环境, 也表明中元古代早期扬子地台西南缘大规模的地幔物质上涌事件发生于大尺度的拉张背景, 与中元古代早期华北克拉通的大陆裂解、扬子地台北缘的岩

浆事件以及同期全球性 Columbia 超级大陆裂解同步(陆松年等, 2002, 2016; 王冬兵等, 2013; 郭阳等, 2014; 邓奇等, 2017)。

河口群中变质基性火山岩形成于板内裂谷环境, 形成于陆间裂谷; 东川辉绿岩的地球化学特征具有板内玄武岩、E-MORB 和 OIB 的特征, 本文研究显示, 黑山组球状玄武岩同样形成于陆内的构造背景(李复汉等, 1988; 关俊雷等, 2011; 尹福光等, 2012), 表明黑山组球状玄武岩性质与绿汁江断裂东侧中元古代早期基性熔岩较为接近, 依据本次获得的年龄, 结合黑山组球状玄武岩的地化特征及所具有的构造背景特

征,推测其可能是在中元古代早期发生的一次由地幔柱热事件引起的陆内裂谷事件。

4.3 地层学意义

古元古代晚期至中元古代早期(1800~1500 Ma),由于幔源物质上涌,导致早期基底发生裂解(尹福光等,2012)。裂解作用导致昆阳古微陆块南缘沉积了大红山群、普登岩群,北侧会理—东川东西向裂隙槽中则沉积了河口群、通安组、东川群,并发育大量的海相火山岩(尹福光等,2012)。如河口群中火山岩的形成时代集中在 1722~1680 Ma(李复汉等,1988;关俊雷等,2011);东川群因民组凝灰岩年龄为 1742 ± 13 Ma,黑山组凝灰岩时代为 1448 ± 5 Ma、 1503 ± 17 Ma、 1569.2 ± 4.5 Ma(孙志明等,2009;刘军平等,2018a);任光明等(2014)东川内衣获得黑山组英安岩时代为 1507 ± 14 Ma,拖布卡营盘山因民组中安山岩锆石 U-Pb 年龄为 $(1686\pm 12)\sim(1719\pm 40)$ Ma,菜园构造混杂岩带南侧鹅头厂中变质玄武岩的时代为 1503 ± 15 Ma;结合本次采获年龄数据,进而说明滇中裂谷应从易门、峨山、禄丰一带开始拉开南北向展布经武定一带转为北北东—北东向,后经禄劝转为近东西向。

滇中东川群地层序列中,黑山组占据较为重要的位置,其不仅夹有火山岩,且其上为青龙山组碳酸盐岩岩系,其下为落雪组含铜白云岩,因此它是沉积环境转换期的产物,是研究东川群时代及构造属性的重要层位(孙志明等,2009;刘军平等,2018b,c)。四川通安、云南东川、易门、峨山等地黑山组均有中元古代火山岩报道,年龄集中在 1500~1570 Ma,为中元古代早期;本次黑山组球状玄武岩和凝灰

岩中锆石 U-Pb 加权平均年龄分别为 1678 ± 10 Ma 和 1572 ± 19 Ma,黑山组时代可能与因民组存在重叠(图 13),关系上可能与滇西地区曼信组与温泉组关系相当,进而表明黑山组沉积时代应为 1500~1700 Ma。

东川群黑山组上下段都为黑色板岩,中部为具浊流成因的灰色厚层块状变凝灰质砾岩与含砾凝灰质砂岩、变晶屑凝灰岩、玄武岩、条带状含砾凝灰质板岩等互层。其次夹有条带状砂屑灰岩、泥质粉砂岩、粉砂质板岩,有一个完整的从陆架到大陆斜坡再回到陆架的沉积旋回等。从上下地层沉积岩岩石、沉积相组合特征看,其沉积构造背景应为被动陆缘下的拉张环境。吴懋德等(1990)也认为在许多方面仍然保持火山地堑的特征,本次所得的年龄表明黑山组时代为 1500~1700 Ma,也代表了喷溢流沉积和浊积岩系发育时限;进一步说明东川群沉积时限为 1400~1700 Ma,也代表了滇中裂谷发育时限。

4.4 捕获锆石及热事件锆石的指示意义

云南 1:5 万二街等四幅区调及《云南省区域

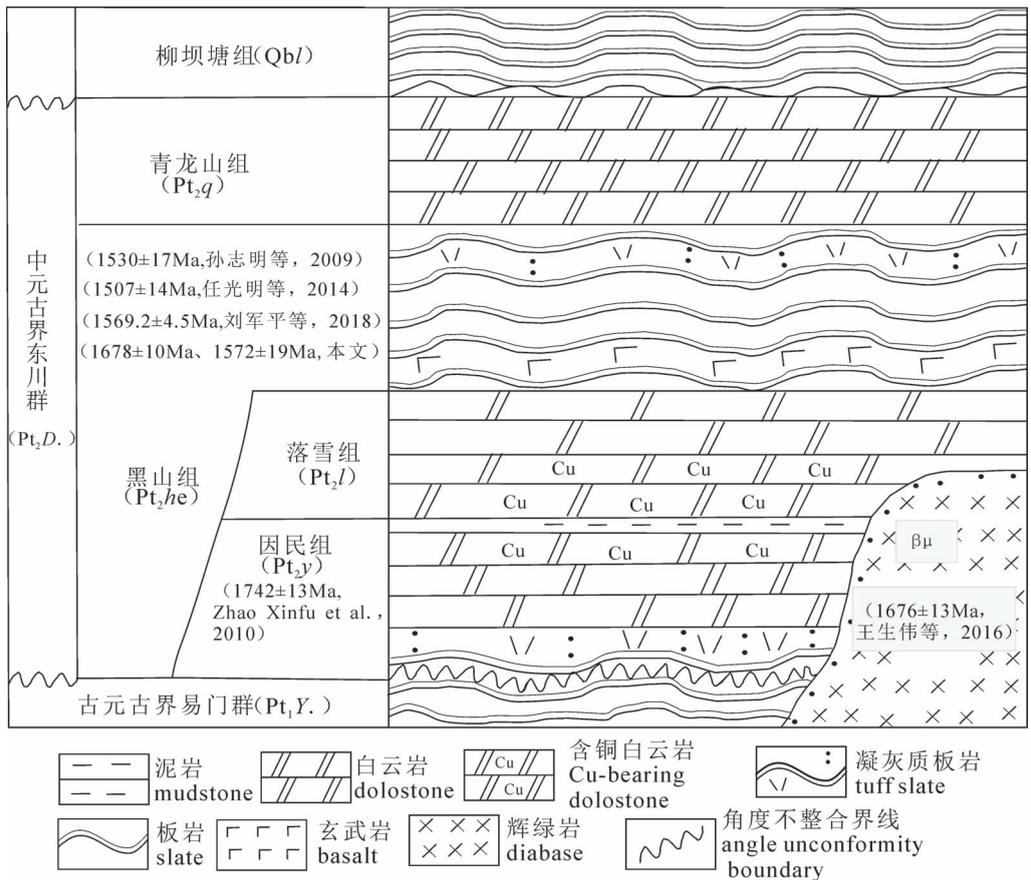


图 13 滇中禄丰地区东川群地层柱状图

Fig. 13 Dongchuan Group stratigraphic column in the Lufeng area, Central Yunnan

地质志》(第二版、修编)近期在滇中关键地区的火山岩及侵入岩中获得了 2.4~1.80 Ga 的锆石 U-Pb LA-ICP-MS 年龄;并厘定出一套古元古代地层,名为易门群(李静等,2018a,b;刘桂春等,2018;刘军平等,2018b,d);本文两件样品共获得了 56 个有效的 U-Pb 同位素年龄值。其中,年龄值较老的 9 颗锆石应为岩浆上升过程中捕获的通道围岩的岩浆锆石,年龄值范围为 1722~1872 Ma。结合最新区域相关同位素研究资料,笔者等认为:①最老 4 颗锆石的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})$ 年龄值为 1858~1872 Ma,与易门群杉木箐组时代相当,与 Columbia 超大陆的汇聚时限一致(刘军平等,2018b);②6 个中元古界早期锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄值为 1722~1791 Ma,与东川群因民组时代相当,与 Columbia 超大陆的裂解时限高度一致;③D002 样品 14 个中元古代锆石 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})$ 年龄值为 1652 ± 12 Ma (MSWD = 0.94, $n = 14$);该年龄可能为继承性锆石年龄或捕获年龄;④5 个中元古界晚期锆石 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{207}\text{Pb})$ 年龄值为 1243~1291 Ma 与扬子陆块西缘中元古代菜园园蛇绿混杂岩辉长岩的年龄 1375 ± 7 Ma (MSWD = 1.2, $n = 21$) 相当(任光明等,2017),可能代表菜园一通安洋洋壳初始俯冲从会理、东川开始后经武定、禄丰、易门。以上继承性锆石及后期变质锆石可与扬子陆块西缘 1.8 Ga、1.7 Ga、1.5 Ga 及 1.2 Ga 等数期重要的区域构造—热事件相对比(陆松年等,2002,2016)。

5 结论

(1) 黑山组球状玄武岩和凝灰质板岩锆石 U-Pb 加权平均年龄分别为 1678 ± 10 Ma 和 1572 ± 19 Ma, 结合前人同位素年龄,认为东川群黑山组沉积时代为 1500~1700 Ma。

(2) 黑山组球状玄武岩 SiO_2 含量介于 40.83%~52.56%, 正 Eu 异常,大离子亲石元素 Rb、Ba 和高场强元素 Nb、Ta、Th 等强不相容元素相对富集,全岩地球化学显示为大陆板内低钛拉斑海相玄武岩,构造背景形成于伸展构造环境,其原始岩浆来源于过渡类型地幔,应为 Columbia 超大陆裂解的产物。

(3) 球状玄武岩和凝灰质板岩存在继承性锆石及后期变质锆石,进一步佐证了滇中地区存在古元古代的地质体;且与扬子陆块西缘 1.8 Ga、1.7 Ga、1.5 Ga 及 1.2 Ga 等数期重要的区域构造—热事件可以对比。

致谢:锆石 LA-ICP-MS 分析和阴极发光照片得

到了南京宏创地质勘查技术服务有限公司袁秋云及湖北省地质实验室测试中心岩石矿物研究室朱丹、潘诗洋的帮助。高林志研究员等三位审稿专家提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢。

注 释 / Notes

- ① 云南省地质调查院. 2018. 云南省区域地质志(第二版,修测)地质调查报告.
- ② 云南省地质调查院. 2018. 云南 1:5 万二街幅、易门县幅、鸣矣河幅、上浦贝幅区域地质调查报告.

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)

- 曹瑞骥,梁玉左,段锦荪. 1964. 据叠层石组合及同位素年龄新资料讨论昆阳群的层序和对比. 地质论评,30(1):69~72.
- 邓奇,汪正江,王剑,崔晓庄,马熊,熊小辉. 2017. 扬子地块西北缘坝地区白玉~1.79 Ga A 型花岗岩的发现及其对构造演化的制约. 地质学报,91(7):1454~1466.
- 杜远生,韩欣. 1999. 滇中地区元古代沉积盆地演化及动力学初探. 现代地质,13(2):232~234.
- 冯贤仁. 1980. 滇中昆阳群鹅头厂组中的“球状玄武岩”. 地质论评,26(6):537~538.
- 高林志,尹崇玉,张恒,唐烽,丁孝忠,王约,张传恒. 2015. 云南晋宁地区柳坝塘组凝灰岩 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,张恒,张传恒,丁孝忠,尹崇玉,武振杰,宋彪. 2018. 滇东昆阳群地层序列的厘定及其在中国地层表的位置. 地质论评,64(2):283~297.
- 关俊雷,郑来林,刘建辉,孙志明,程万华. 2011. 四川省会理县河口地区辉绿岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 地质学报,85(4):482~490.
- 郭阳,王生伟,孙晓明,王子正,杨斌,廖震文,周邦国,蒋小芳,侯林,杨波. 2014. 扬子地台西南缘古元古代末的裂解事件—来自武定地区辉绿岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学证据. 地质学报,88(9):1651~1665.
- 李复汉,覃嘉铭,申玉莲,王福星,周国富,潘杏南,李兴振. 1988. 康滇地区的前震旦系. 重庆:重庆出版社:1~214.
- 李静,刘桂春,刘军平,胡绍斌,曾文涛,孙柏东,张虎,邓仁宏,张志斌,刘发刚,段向东,俞赛赢,王晓峰,赵云江,周坤. 2018a. 滇中地区早前寒武纪地质研究新进展. 地质通报,37(11):1957~1969.
- 李静,刘军平,孙柏东,刘桂春,胡绍斌,曾文涛,张虎,邓仁宏,俞赛赢. 2018b. 滇中易门地区古元古界易门群亮山组多细胞生物的年代学约束. 地质通报,37(11):2087~2098.
- 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,33(1):76~84.
- 李希勤,吴懋德,段锦荪. 1984. 昆阳群层序及顶底问题. 地质论评,30(5):399~407.
- 李再会,林仕良,丛峰,谢韬,邹光富. 2012. 滇西高黎贡山群变质岩的锆石年龄及其构造意义. 岩石学报,8(5):1529~1541.
- 刘桂春,李静,胡绍斌,邓仁宏,刘发刚,陈光艳,冯庆来,徐桂香. 2018. 滇中元古界古元古代浊积岩特征及其地质意义. 地质通报,58(11):2007~2014.

- 刘军平,李静,孙柏东,胡绍斌,曾文涛,刘发刚,孙志明,丛峰,徐云飞. 2018d. 滇中易门地区发现化石新物种. 沉积与特提斯地质, 38(1):37~40.
- 刘军平,曾文涛,孙柏东,胡绍斌,关学卿,孙志明,王伟,宋冬虎,吕勃焯. 2018a. 云南峨山地区东川群黑山组流纹质碎斑熔岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 沉积与特提斯地质, 38(3):19~25.
- 刘军平,曾文涛,徐云飞,胡绍斌,孙柏东,宋冬虎,吕勃焯,王伟. 2018c. 滇中峨山地区中元古界昆阳群黑山头组火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 37(11):2063~2070.
- 刘军平,曾文涛,徐云飞,孙柏东,胡绍斌,刘桂春,宋冬虎,吕勃焯,王晓峰. 2018b. 滇中易门地区约 1.85 Ga 凝灰岩的厘定及其地质意义. 地质通报, 37(11):2055~2062.
- 陆松年,郝国杰,相振群. 2016. 前寒武纪重大地质事件. 地学前缘, 23(6):140~155.
- 陆松年,杨春亮,李怀坤,陈志宏. 2002. 华北古大陆与哥伦比亚超大陆. 地学前缘, 9(9):226~233.
- 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.
- 牟传龙,林仕良,余谦. 2000. 四川会理—会东及邻区中元古界昆阳群沉积特征及演化. 沉积与特提斯地质, 20(1):44~56.
- 潘泽伟,赵波,余海军,柏杨,明添学,朱悦彰. 2017. 滇中鹅头厂铁矿床含矿岩系及成矿作用年代学研究. 矿产勘查, 8(4):626~630.
- 任光明,庞维华,潘桂棠,王立全,孙志明,尹福光,崔晓庄,王冬兵,邓奇,任飞. 2017. 扬子陆块西缘中元古代菜园蛇绿混杂岩的厘定及其地质意义. 地质通报, 36(11):2061~2074.
- 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):898~900.
- 王冬兵,尹福光,孙志明,王立全,王保弟,廖世勇,唐渊,任光明. 2013. 扬子陆块西缘元古代基性侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素及其地质意义. 地质通报, 32(4):617~630.
- 王海然,赵红格,乔建新,高少华. 2013. 锆石 U-Pb 同位素测年原理及应用. 地质与资源, 22(3):229~242.
- 王生伟,蒋小芳,杨波,孙晓明,廖震文,周清,郭阳,王子正,杨斌. 2016. 康滇地区元古宙构造运动 I:昆阳陆内裂谷、地幔柱及其成矿作用. 地质论评, 62(6):1353~1377.
- 吴懋德,段锦荪,宋学良,陈良忠,但韵清. 1990. 云南昆阳群地质. 昆明:云南科技出版社:1~265.
- 吴懋德,李希勤. 1981. 云南昆阳群的两底辟构造. 地质学报, 5(2):105~116.
- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16):1589~1604.
- 薛步高. 2000. 昆阳群层序与对比问题, 云南地质, 20(4):37~384.
- 郗芸樵. 1986. 对“昆阳群的层序及顶底问题”一文的商榷. 地质论评, 32(3):295~299.
- 尹福光,孙志明,白建科. 2011. 东川、滇中地区中元古代地层格架. 地层学杂志, 35(1):49~54.
- 尹福光,王冬兵,孙志明,任光明,庞维华. 2012. 哥伦比亚超大陆在扬子陆块西缘的探秘. 沉积与特提斯地质, 32(3):31~40.
- 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.
- 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.
- 周邦国,王生伟,孙晓明,廖震文,郭阳,蒋小芳,朱华平,罗茂金,刘才泽,马东,沈战武,张海. 2012. 云南东川望厂组熔结凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义. 地质论评, 58(2):359~368.
- 朱华平,范文玉,周邦国,王生伟,罗茂金,廖震文,郭阳. 2011. 论东川地区前震旦系地层层序:来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据. 高校地质学报, 17(3):452~461.
- Cao Ruiji, Liang Yuzuo, Duan Jinsun. 1964. A discussion of the stratigraphic sequence of the Kunyang group and its correlation on the basis of the stromatolite assemblage recently discovered and the data of isotopic ages recently determined. Geological Review, 30(1):69~72.
- Deng Qi, Wang Zhengjiang, Wang Jian, Cui Xiaozhuang, Ma Long, Xiong Xiaohui. 2017. Discovery of Baiyu ~ 1.79 Ga A-granite in the Beiba area of the Northwestern Margin of Yangtze block: constraints on tectonic evolution of South China. Acta Geologica Sinica, 91(7):1454~1466.
- Du Yuansheng, Han Xin. 1999. Preliminary study on the evolution and dynamics of the Proterozoic sedimentary basin in the central Guizhou. Modern Geology, 13(2):232~234.
- Feng Xianren. 1980. "Spherical basalt" in the Etouchang formation of Kunyang group, Central Yunnan. Geological Review, 26(6):537~538.
- 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 Heng, Zhang Chuanheng, Ding Xiaozhong, Yin Chongyu, Wu Zhenjie, Song Biao. 2018. Determination of the stratigraphic sequence of the Kunyang Group in eastern Yunnan and its location in the Chinese stratigraphic table. Geological Review, 64(2):283~297.
- Guan Junlei, Zheng Lalin, Liu Jianhui, Sun Zhiming, Cheng Wanhua. 2011. Zircons SHRIMP U-Pb Dating of Diabase from Hekou, Sichuan Province, China and Its Geological Significance. Acta Geologica Sinica, 85(4):482~490.
- Guo Yang, Wang Shengwei, Sun Xiaoming, Wang Zizheng, Yang Bin, Liao Zhenwen, Zhou Bangguo, Jiang Xiaofang, Hou Lin, Yang Bo. 2014. The Paleoproterozoic Breakup Event in the southwest Yangtze block: evidence from U-Pb zircon Age and geochemistry of diabase in Wuding, Yunnan Province, SW China. Acta Geologica Sinica, 88(9):1651~1665.
- Hoskin P W O and Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53:27~62.
- Hu Zhaochu, Gao Shan, Liu Yongsheng, Hu Shenghong, Chen Haihong, Yuan Honglin. 2008. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 23(8):1093~1101.
- Li Fuhuan, Zhai Jiaming, Shen Yulian, Wang Fuxing, Zhou Guofu, Pan Xingnan, Li Xingzhen. 1988. Pre-Sinian in Kangxi District. Chongqing: Chongqing Publishing House: 1~214.
- Li Jing, Liu Guichun, Liu Junping, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Sun Baidong, Zhang Hu, Deng Renhong, Zhang Zhibin, Liu Fagang, Duan Xiangdong, Yu Saiying, Wang Xiaofeng, Zhao Yunjiang, Zhou Kun. 2018. New progress in the study of early Pre-Cambrian

- geology of central Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 37 (11): 1957~1969.
- Li Jing, Liu Junping, Sun Baidong, Liu Guichun, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Zhang Hu, Deng Renhong, Yu Saiying. 2018#. Chronological constraints on multi-cellular organism fossil from Liangshan Formation of Paleoproterozoic Yimen Group in central Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 37 (11): 2087~2098.
- Li Xiji, Hua Youren, Li Liangyi, Fan Chengjun, Duan Guolian, Qu Yunchuan. 1953#. *Geology of Dongchuan Copper Mine, Yunnan. Acta Geologica Sinica*, 33 (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 Zaihui, Lin Shiliang, Cong Feng, Xie Wei, Zou Guangfu. 2012#. U-Pb ages of zircon from metamorphic rocks of the Gaoligongshan Group in western Yunnan and its tectonic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 8 (5): 1529~1541.
- Liu Guichun, Li Jing, Hu Shaobin, Deng Renhong, Liu Fagang, Chen Guangyan, Feng Qinglai, Xu Guixiang. 2018#. Characteristics and geological significance of Early Proterozoic turbidite in Yuanjiang of central Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 37 (11): 2007~2014.
- Liu Junping, Li Jing, Sun Baidong, Hu Shaobin, Zeng Wentao, Liu Fagang, Sun Zhiming, Cong Feng, Xu Yunfei. 2018#. The discovery of new fossil species in the Yimen region, central Yunnan. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 38 (1): 37~40.
- Liu Junping, Zeng Wentao, Sun Baidong, Hu Shaobin, Guan Xueqing, Sun Zhiming, Wang Wei, Song Donghu, Lü Boye. 2018#. The rhyolitic porphyroclastic lavas from the Heishan Formation, Dongchuan Group, Eshan area, Yunnan; Zircon U-Pb age and its geological significance. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 38 (3): 19~25.
- Liu Junping, Zeng Wentao, Xu Yunfei, Hu Shaobin, Sun Baidong, Song Donghu, Lü Boye, Wang Wei. 2018#. U-Pb dating of zircons of the volcanic rocks from Heishantou Formation of Mesoproterozoic Kunyang Group in Eshan County, central Yunnan Province, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 37 (11): 2063~2070.
- Liu Junping, Zeng Wentao, Xu Yunfei, Sun Baidong, Hu Shaobin, Liu Guichun, Song Donghu, Lü Boye, Wang Xiaofeng. 2018#. The definition and geological significance of tuffs about 1.85 Ga in Yimen area, central Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 37 (11): 2063~2070.
- Lu Songnian, Hao Guojie, Xiang Zhenqun. 2016#. Precambrian major geological events. *Earth science frontiers*, 23 (6): 140~155.
- Lu Songnian, Yang Chunliang, Li Huaikun, Chen Zhihong. 2002#. North China Continent and Columbia Supercontinent. *Earth Science Frontiers*, 9 (9): 226~233.
- Ludwig K R. 2003. Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California 39.
- Lü 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.
- Mou Chuanlong, Lin Shiliang, Yu Qian. 2000#. Sedimentary characteristics and evolution of the Kunyang Group in the Middle Proterozoic and the eastern part of Sichuan Huili and Huidong. *Sedimentary and Tethys Geology*, 20 (1): 44~56.
- Pan Zewei, Zhao Bo, Yu Haijun, Bai Yang, Ming Tianxue, Zhu Yuezhang. 2017#. Study on the ore-forming formation and chronology of Etouchang iron deposit in central Yunnan. *Mineral Exploration*, 8 (4): 626~630.
- Ren Guangming, Pang Weihua, Pan Guiyi, Wang Liqun, Sun Zhiming, Yin Fuguang, Cui Xiaozhuang, Wang Dongbing, Deng Qi, Ren Fei. 2017#. Ascertainment of the Mesoproterozoic Caiziyuan ophiolitic mélange on the western margin of the Yangtze Block and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 36 (11): 2061~2074.
- 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.
- 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 S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotope systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, 42: 313~345.
- Sun Zhiming, Yin Fuguang, Guan Junlei, Liu Jianhui, Li Junmin, Geng Quanru, Wang Liqun. 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 Dongbing, Yin Fuguang, Sun Zhiming, Wang Liqun, Wang Baodi, Liao Shiyong, Tang Yuan, Ren Guangming. 2013#. Zircon U-Pb age and Hf isotope of Paleoproterozoic mafic intrusion on the western margin of the Yangtze Block and their implications. *Geological Bulletin of China*, 32 (4): 617~630.
- Wang Hairan, Zhao Hongge, Qiao Jianxin, Gao Shaohua. 2013#. Theory and application of zircon U-Pb isotope dating technique. *Geology and Resources*, 22 (3): 229~242.
- 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 Geologica Sinica*, 5 (2): 105~116.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004#. Study on the mineralogy of zircon and its constraints on the interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49 (16): 1589~1604.
- 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, 32(3):295~299.

Yin Fuguang, Sun Zhiming, Bai Jianke. 2011. Mesoproterozoic stratigraphic framework of Dongchuan and Central Yunnan area. *Journal of Stratigraphy*, 35(1):49~54.

Yin Fuguang, Sun Zhiming, Bai Jianke. 2011. Mesozoic stratigraphic framework in Dongchuan and Yuzhong areas. *Journal of Stratigraphy*, 35(1):49~54.

Yin Fuguang, Wang Dongbing, Sun Zhiming, Ren Guangming, Pang Weihua. 2012. Columbia supercontinent: New insights from the western margin of the Yangtze landmass. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 32(3):31~40.

Zhang Chuanheng, Gao Linzhi, Wu Zhengjie, 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(7):818~824.

Zhao Xinfu, Zhou Meifu, Li Jianwei, Sun Min, Gao Jianfeng, Sun Weihua, Yang Jinhui. 2010. Late Paleoproterozoic to early Mesoproterozoic Dongchuan Group in Yunnan, SW China: Implications for tectonic evolution of the Yangtze Block. *Precambrian Research*, 182:57~69.

Zhou Bangguo, Wang Shengwei, Sun Xiaoming, Liao Zhenwen, Guo Yang, Jiang Xiaofang, Zhu Huaping, Luo Maojin, Liu Caize, Ma Dong, Shen Zhanwu, Zhang Hai. 2012. Zircon SHRIMP U-Pb age of molten tuff in Wangchang Formation, Dongchuan, Yunnan, and its significance. *Geological Review*, 58(2):359~368.

Zhu Huaping, Fan Wenyu, Zhou Bangguo, Wang Shengwei, Luo Maojin, Liao Zhenwen, Guo SHRIMP and LA-ICP-MS dating. *College of Geology*, 17(3):452~461.

The zircon U-Pb age, geochemical characteristics and tectonic significance of the spherical basalt in the early Mesoproterozoic in Lufeng area central Yunnan

LIU Junping^{1,2)}, SUN Baidong¹⁾, WANG Xiaofeng¹⁾, LIU Wei³⁾, MA Jinhua¹⁾,
GUAN Xueqing¹⁾, SONG Donghu¹⁾, LÜ Boye¹⁾

1) *Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming, 650216;*

2) *MLR Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, Kunming, 650051;*

3) *Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu, 610081*

Objectives: Based on the 1 : 50000 regional geological survey, the authors have newly found intercalation of nodular basalts and tuff in Heishan formation of Dongchuan group in Lufeng area. In this study, the isotopic age of the newly found nodular basalts and tuff was determination for the first time in this area.

Results: The weighted mean ages of zircon U-Pb in Spherical basalt and tuff were measured by LA-ICPMS technique to be 1678 ± 10 Ma and 1572 ± 19 Ma respectively. The SiO₂ content of the Spherical basalt is between 40.83 and 52.56%, δ Eu has a positive anomaly, large ion lithophile elements Rb, Ba and high field strength elements Nb, Ta, Th and other incompatible elements are relatively enriched. The whole rock geochemistry is shown as low-titanium-spotted marine basalt in the continental plate, formed in an extended structural environment.

Conclusions: Our results indicate that Heishan Formation was deposited in early Middle Proterozoic, probably because of the splitting of the Columbia supercontinent. This study may provide a new evidence of the sedimentary age, sequence and tectonic setting of Dongchuan group, and provides an chronological constraint for the entire Precambrian stratigraphic framework in the central of Yunnan.

Keywords: spherical basalts; tuff; zircon U-Pb dating; central of Yunnan; Mesoproterozoic; Columbia supercontinent

Acknowledgements: This paper is the results of regional geological survey of 1 : 50000 Samaji, Yinmin, Guicheng and Shugu in Yunnan Province (No. D201905), 1 : 50000 Erjie, Yimenxian, Mingyihe and Shangpubei in Yunnan Province (No. DD20160017), regional geological survey area summary and service product development in Yunnan Province (No. 121201102000150012-02)

First author: LIU Junping, male, born in 1983, master's degree, senior engineer, mainly engaged in regional geological and structural geological investigation and research; Email: 271090834@qq.com

Manuscript received on: 2019-07-01; Accepted on: 2019-12-06; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2020.01.003