滇南新元古代的岩浆作用:来自瑶山群深变质岩SHRIMP锆石U-Pb年代学证据

李宝龙[1)],季建清[2)],王丹丹[3)],马宗晋[2)]

1)中国地质科学院矿产资源研究所成矿作用与资源评价重点实验室,北京,100037;2)北京大学地球与空间科学学院造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京,100871;
3)中国石化胜利油田地质科学研究院,山东东营,257015

内容提要:滇南瑶山—哀牢山地区出露一套呈NW—SE向狭长条带状展布的深变质岩系——下元古界瑶山群和哀牢山群,并认为存在前寒武纪的结晶基底。本文选取瑶山群眼球状花岗质糜棱岩和金平阿得博的片麻状花岗岩作为研究对象,进行SHRIMP锆石U-Pb定年。结合阴极发光图像,获得岩浆锆石的结晶年龄为828±6.2Ma(N=11, $MSWD$=1.8)和748~801Ma。同时,作者在墨江-元江剖面的哀牢山群黑云母花岗闪长质片麻岩中获得SHRIMP锆石核部U-Pb年龄为769~893Ma。研究揭示滇南的瑶山和哀牢山地区存在新元古代岩浆作用。瑶山群中古老残余锆石核部的984Ma年龄和哀牢山群中古老残余锆石核部年龄1104~1353Ma及2655Ma,表明该区存在中元古代或太古代的结晶基底,研究区很可能位于南华裂谷与康滇裂谷的交汇部位,新元古代的岩浆活动可能与Rodinia超大陆聚合—裂解过程有关。这为构筑Rodinia超大陆聚散过程和揭示华南大地构造演化史提供年代学方面证据。

关键词:新元古代岩浆活动;SHRIMP锆石U-Pb定年;瑶山群;滇南

Rodinia超大陆在新元古代时期的聚合—裂解过程(Moores, 1991; Hoffman, 1991; Dalziel, 1991),是近年来深受关注的重大科学问题之一(Zheng Yongfei, 2003)。随着近年来的研究,特别是在华南新元古代沉积作用、古地磁学、岩浆岩年代学和地球化学方面的新进展,均揭示华南在Rodinia古陆重建中的重要地位(Zheng Yongfei, 2004)。新近获得的年龄数据结果显示,华南新元古代岩浆作用主要集中在740~850Ma(Li Zhengxiang et al., 2003, and references in this paper; Ling Wenli et al., 2003; 刘玉平等, 2006; Wang Jian et al., 2003; 郑永飞等, 2004; Li Wuxian et al., 2005; 朱维光等, 2004; 尹崇玉等, 2003)。尽管多数学者认为与峨眉山地幔柱背景下的裂谷环境有关,但对其成因还存在争议(Zhou Meifu et al., 2002; Wang Xiaolai et al., 2004)。

华南新元古代岩浆作用广泛分布于扬子地块周缘及北部的黄陵地区,而在扬子地块南缘—西南缘的桂西到滇南之间的滇东南老君山地区新发现有新元古代岩浆岩的存在(刘玉平等, 2006)。上述桂西到滇南之间的广大地区,特别是滇东南及相邻的越南北部,即黄汲清先生(1954)所称的"越北古陆",位于华南地块、扬子地块和印支地块等几大构造单元之间,是探讨华南大地构造格架及其演化历史的关键地区之一(Zhong Dalai et al., 1999; 董云鹏等, 1999, 2002; 吴浩若, 2003)。最近的研究表明在滇东南的老君山地区出露一套穹窿状变形-变质岩系,锆石U-Pb年代学测试和地球化学分析揭示存在与新元古代Rodinia超大陆聚合—裂解过程中的岩浆岩和早元古代的结晶基底(刘玉平等, 2006)。与滇东南老君山地区相邻的瑶山群、哀牢山群等前寒武纪地块中,是否存在新元古代岩浆岩和前寒武纪结晶基底,是构建清晰Rodinia超大陆聚散过程和华南大地构造格局演化图的关键所在。

本文采用SHRIMP方法对滇东南的古老岩群瑶山群和哀牢山群中深变质岩系进行锆石U-Pb定

注:本文为国家自然科学基金项目(编号40872149)资助的成果。
收稿日期:2011-11-15;改回日期:2012-03-13;责任编辑:郝梓国,黄敏。
作者简介:李宝龙,男,1982年生。在站博士后,构造地质学专业。通讯作者地址:100871,北京市海淀区颐和园路5号北京大学地空学院;Email:grsange@pku.edu.cn。

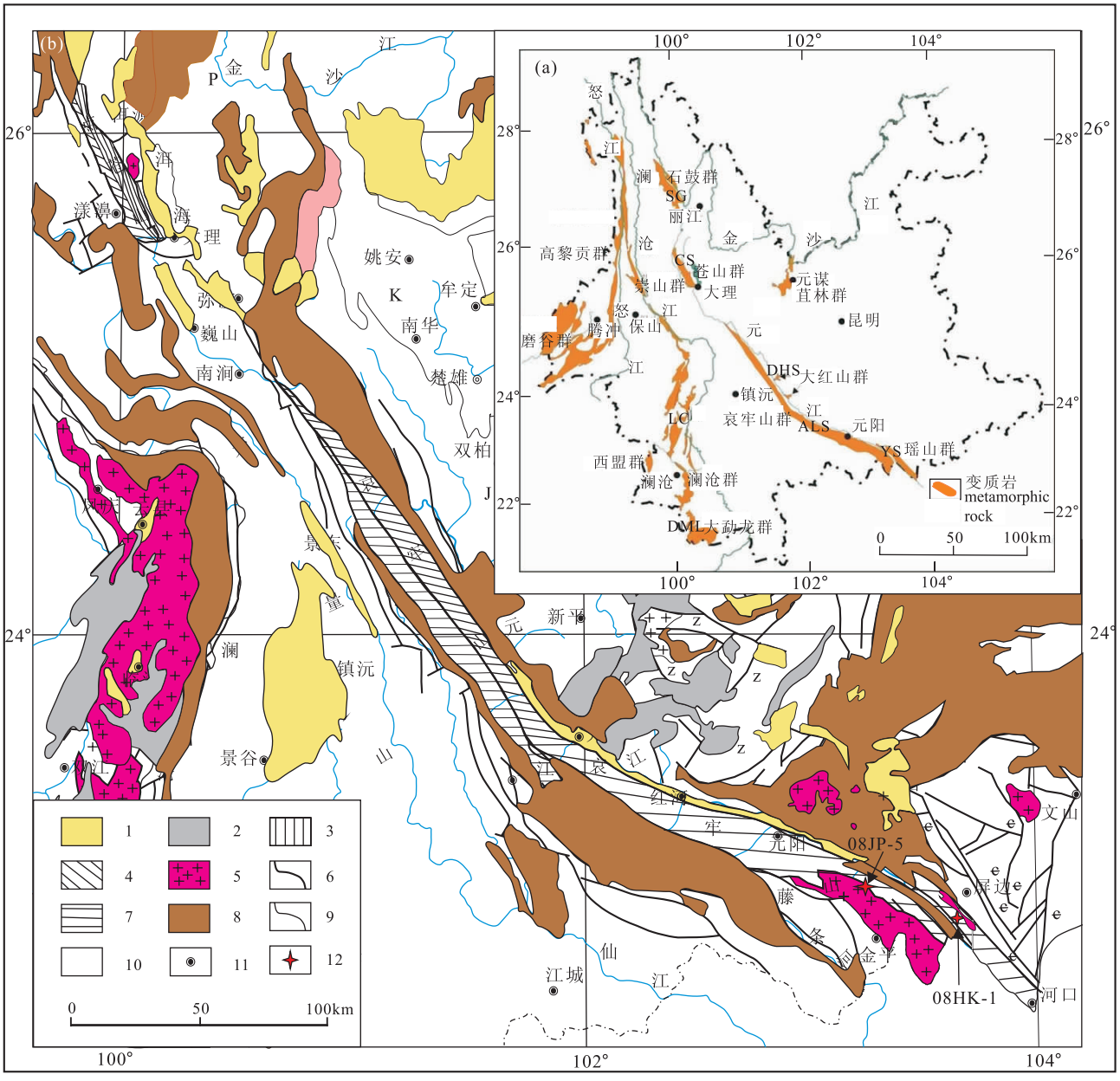


图 1　滇南哀牢山—瑶山地区地质简图(据马丽芳,2002 修编)

Fig. 1　Schematic geological map of the Ailaoshan-Yaoshan areas in Southern Yunnan (Modified by Ma Lifang, 2002)

1—新生界; 2—元古宙变质岩;3—糜棱岩;4—片麻岩;5—花岗岩;6—断层;7—片岩和千枚岩;8—三叠系;9—地层界线;10—侏罗系和白垩系;11—城市;12—采样点;ALS—哀牢山群;CS—苍山群; DHS—大红山群; DML—大勐龙群; LC—临沧群; SG—石鼓群; YS—瑶山群

1—Cenozoic; 2—Proterozoic; 3—mylonite; 4—gneiss; 5—granite; 6—fault; 7—schist and phyllite; 8—Triassic; 9—stratigraphic boundary; 10—Jurassic and Cretaceous; 11—city; 12—sample location; ALS—Ailao Shan Group; CS—Cangshan Group; DHS—Dahongshan Group; DML—Damenglong Group; LC—Lincang Group; SG—Shigu Group; YS—Yaoshan Group

年,获得其原岩形成的同位素年代学证据,进而探讨锆石年龄含义和大地构造意义。

1　地质背景和样品描述

变质岩系在云南省南部地区广泛分布,基本上呈 N—S 或 NW—SE 向狭长条带状展布(图 1a)。据云南省地质矿产局(1990)将滇南的变质岩系归为下元古界的哀牢山群、瑶山群、中元古界的大勐龙群和澜沧群(图 1b),并认为它们是前寒武纪的古老结晶基底的组成部分。瑶山群出露于元江北岸的河口县戛马—河口县城,以及蒙自县绿水河一带,大致沿瑶山山脉呈北西—南东向展布。瑶山群的主要岩石

类型组成为:石榴硅线黑云斜长片麻岩、石榴硅线黑云二长片麻岩、石榴硅线黑云石英片岩、(石榴)黑云斜长变粒岩、角闪斜长变粒岩、二长黑云片岩、石榴硅线二云片岩、透辉斜长变粒岩、(石榴)斜长角闪岩、(金云、方柱透辉角闪)大理岩、橄榄辉石镁铁闪石岩等,出现的变质矿物有蓝晶石、石榴石、硅线石、白云母、黑云母、角闪石、金云母、透辉石等,变质矿物组合反映的主期变质强度为角闪岩相。叠加有中部构造相塑性变形为特征的动力变质作用,出现的变质矿物有硅线石、黑云母等。后期叠加有浅部构造相的脆韧性变质为特征的动力变质作用,出现的变质矿物有绢云母、隐微晶状黑云母等。该群中岩石普遍遭受糜棱岩化和片麻理化,发育区域性片麻理和线理,糜棱线理和面理的走向为 NW300°。

样品 08HK-1(22°55′43″N, 103°36′08″E, 海拔 588m)采自瑶山北段河口县莲花滩乡瑶山群,岩性为眼球状花岗质糜棱岩(图 1b, 图 2a),斑状结构,糜棱状构造,斑晶为斜长石和角闪石等矿物,斑晶呈眼球状,显示遭受区域上红河走滑剪切断裂带走滑运动的影响,眼球状残斑的长轴延伸方向与区域线理走向一致,为 SE120°,基质为黑云母和变质矿物绢云母等。显微镜下分析显示矿物组合为:斜长石(含量约 30%)+角闪石(含量约 12%)+石英(含量约 25%)+黑云母(含量约 5%),副矿物组合为榍石、金红石、褐帘石、铁钛氧化物及少量的锆石和磷灰石等。

样品 08JP-5(22°54′17″N, 103°13′32″E, 海拔 1525m)采自哀牢山南段金平县阿得博中学附近,岩性为片麻状花岗岩,遭受强烈风化作用,近地表呈土状(图 1b,图 2b)。

2 分析方法

锆石按照常规方法分选,最后在双目镜下挑纯。将锆石与一片 RSES 参考样 SL13 及数粒 TEMORA 1 置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露,用于阴极发光研究及随后的 SHRIMP U-Pb 测试分析。锆石阴极荧光照相(CL 图像)在中国地质科学院地质研究所电子探针研究室完成。锆石 SHRIMP U-Pb 同位素分析在北京离子探针中心 SHRIMP Ⅱ上进行。激光束斑大小为 20~30μm,为防止锆石表面的普通铅和镀金过程中的污染,测定前先对每个分析点进行 2~3 min 的表面清洗。锆石样品分析原理和详细流程参见 Compston 等(1992)和 Williams 等(1998),样品靶制作见宋彪等(2002)。标样是澳大利亚国立大学(ANU)的 SL13 和 TEMORA 1。SL13(宝石级锆石,U 含量为 238×10^{-6},年龄为 572Ma)用于样品 U-Th-Pb 含量标定;TEMORA 1(母岩为澳大利亚堪培拉附近一闪长岩体,年龄为 417Ma,$^{206}Pb/^{238}U$ 比值为 0.0668)用于样品年龄标定,采用公式为 $^{206}Pb^{+}/^{238}U^{+}=A(^{254}UO^{+}/^{238}U^{+})$;用 ^{204}Pb 进行普通铅年龄校正(Cumming and Richarda,1975),数据处理采用 SQUID 和 ISOPLOT 程序(Ludwig, 2002a, 2002b)。单个数据的误差为 1σ,加权平均年龄误差为 2σ,具 95%的置信度。

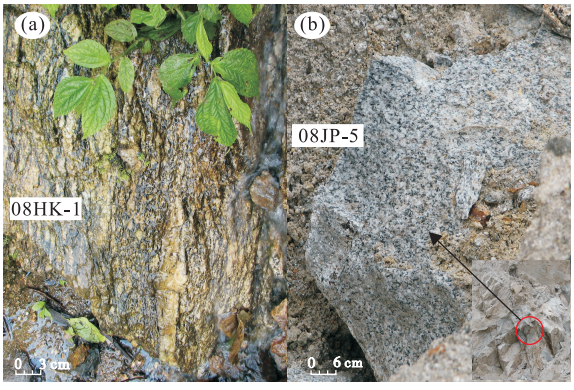


图 2 滇南哀牢山—瑶山地区地质样品野外露头照片

Fig. 2 The photographs of the samples outcrop of the Ailaoshan-Yaoshan areas in Southern Yunnan

(a)—眼球状糜棱岩;(b)—片麻状花岗岩

(a)—Augen granitic mylonite; (b)—gneissic granite

远程操作测试流程是在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的网络虚拟实验室,通过 SHRIMP 远程共享控制系统(SHRIMP Remote Operation System, SROS)远程控制位于澳大利亚 Curtin 理工大学(Curtin University of Techonology)的 SHRIMP II 仪器而获得的。SHRIMP 远程共享控制系统(SROS)由北京离子探针中心,中国计量科学研究院和吉林大学共同研发,可以实现通过 Internet 公共网络,远程控制 SHRIMP II 仪器,远程选取样品待测点和实时远程实验数据输出打印等功能。前期锆石分选制靶照相等处理和后续测试流程与北京离子探针中心测试流程相同。远程测试分析过程中采用的标准锆石为 M257,详细的分析方法请参见 Nasdala 等(2008)。

3 分析结果

瑶山北段河口县莲花滩乡瑶山群眼球状花岗质糜棱岩(08HK-1)的阴极发光图像显示:锆石颗粒较

大,呈长柱状自形,颗粒大小长为 120～260μm,宽约为 100μm。锆石 CL 图像显示灰白色,部分锆石颗粒具有暗色核部和灰白色边部,环带结构较发育,显示为变质增生锆石和继承锆石(图 3)。同时,所有锆石颗粒均发育厚度不等的增生边和蜕晶边。本次测试选取 15 个锆石颗粒进行 15 个点测试分析,锆石 U 和 Th 含量变化范围比较大,分别为 203×10^{-6}～1299×10^{-6} 和 32×10^{-6}～126×10^{-6},相应的 Th/U 比为 0.05～0.41。11 个点的加权平均年龄为 828.1±6.2Ma(*MSWD*=1.8,*N*=11,图 4,表 1)。

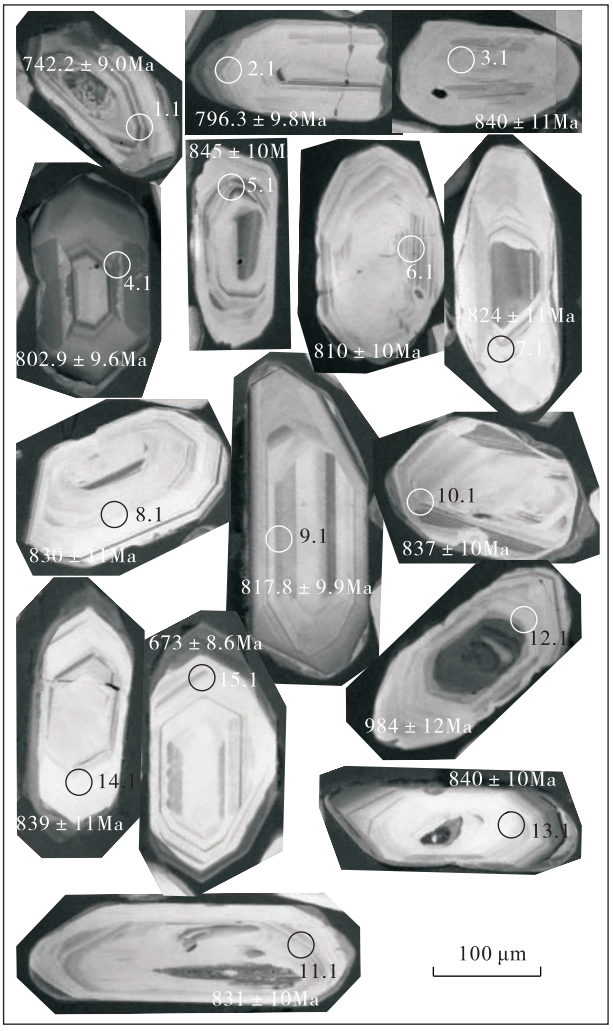


图 3　瑶山样品 08HK-1 阴极发光电子图像

Fig. 3　CL images of zircons from 08HK-1 sample in Yaoshan area

哀牢山南段金平阿得博中学附近的片麻状花岗岩(08JP-5)阴极发光图像显示:锆石颗粒比较小,呈浑圆状或长柱状,半自形或自形,颗粒大小长为 100～260μm,宽约为 100μm,大部分锆石颗粒具有岩浆

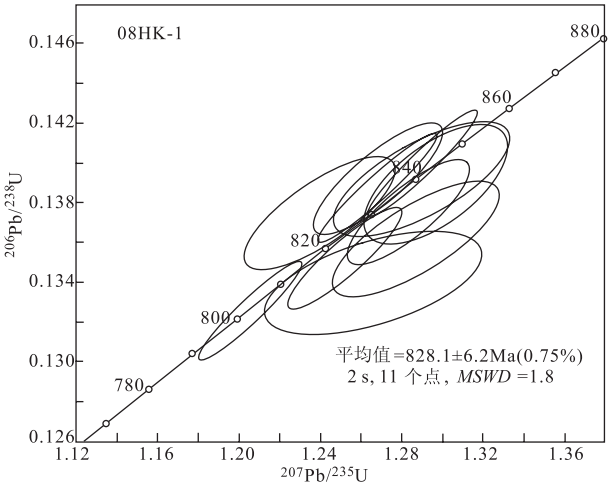


图 4　瑶山地区 08HK-1 锆石 SHRIMP $^{206}Pb/^{238}U$-$^{207}Pb/^{235}U$ 谐和线图

Fig. 4　Concordia diagram of 08HK-1 zircons in Yaoshan area

震荡环带和核-边结构(图 5)。本次测试选取 17 个锆石颗粒进行 17 个点测试分析,锆石 U 和 Th 含量变化范围比较大,分别为 180×10^{-6}～14883×10^{-6} 和 95×10^{-6}～4500×10^{-6},Th/U 比为 0.05～0.73。测试锆石颗粒 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄范围集中在 5 个年龄段:8 个颗粒年龄范围在 35～86Ma,4 个锆石颗粒年龄范围在 748～801Ma,3 个锆石颗粒年龄范围在 440～531Ma,2 个锆石颗粒为 108～241Ma(图 5,表 1)。

4　讨论

4.1　不同锆石年龄的涵义

锆石 SHRIMP 法 U-Pb 定年结果显示瑶山群眼球状花岗质糜棱岩的谐和年龄为 828.1±6.2Ma(*MSWD*=1.8,*N*=11,图 4,表 1)。根据 U-Th-Pb 年龄的谐和度、U-Th 含量及比值,作者认为 828.1±6.2Ma 代表了原岩岩浆锆石的结晶年龄,表明瑶山群可能为一套发生了强烈构造变形的新元古代沉积-火山岩系。同时,796.3±9.8Ma(点 2.1)、742.2±9.0Ma(点 1.1)和 673±8.6Ma(点15.1)岩浆锆石的出现,反映了岩浆源区的地壳组分可能存在多期的岩浆活动;984±12Ma(spot 12.1)的锆石年龄,可能代表新元古代岩浆侵位过程中捕掳的中元古代末的结晶基底。金平县阿得博片麻状花岗岩中也获得 748～801Ma 的锆石 U-Pb 年龄(4 个锆石颗粒),指示白垩—古近纪花岗岩(35～86Ma,8 个锆石颗粒)上侵过程中捕获的新元古代残余锆石(图 5)。

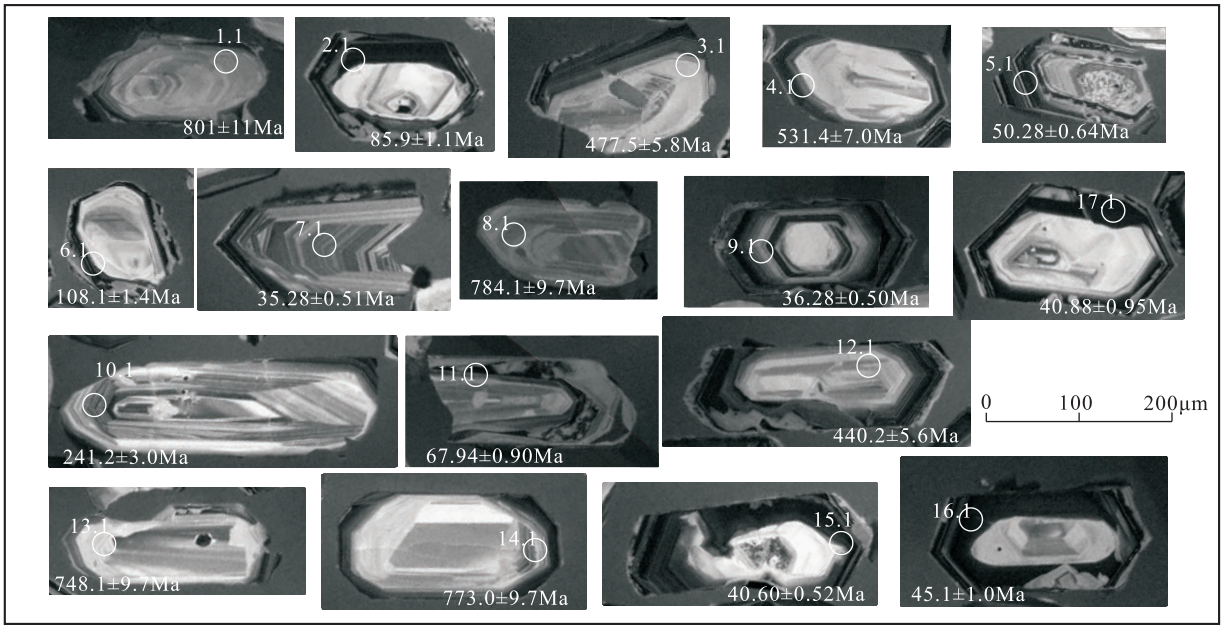


图 5 滇南金平县阿得博片麻状花岗岩 08JP-5 阴极发光电子图像和年龄值

Fig. 5 CL images of zircons and dating results from 08JP-5 sample in Adebo, Jinping County, Southern Yunnan

Lan Chingying 等(2001)在越南北部的 Song Hong 杂岩中,亦发现新元古代锆石(838±45Ma)残余。滇东南的老君山地区石英角闪斜长片麻岩也获得 829±10Ma 和 761±12Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,并认为猛硐岩群为一套遭受强烈构造变形的古元古代—新生代沉积-火山杂岩,而不是 1∶5 万区域地质调查中归属的早元古代(刘玉平等,2006)。本文所获得的锆石年龄结果与区域上的年龄数据在误差范围内高度一致。另外,本文作者还对墨江—元江段哀牢山群黑云母花岗闪长质片麻岩中锆石进行 SHRIMP U-Pb 定年,获得 769～893Ma 的岩浆锆石年龄和 1104～1353Ma 及 2655Ma 的继承锆石年龄,揭示哀牢山南部保留有新元古代岩浆岩原岩和太古代、中元古代的结晶基底(李宝龙等,2008;李宝龙,2010)。

据郑永飞(2003)重新对马国干等(1989)的分析数据进行计算,得到全岩 Pb/U 等时线获得湖北宜昌莲沱组凝灰岩夹层 766±18Ma 的岩浆锆石年龄和 802±7Ma 的继承锆石年龄,提出扬子地块北缘出现过短周期的局部地壳物质再循环,表明为新生火成岩沿裂谷构造带的重熔和再侵位。刘玉平等(2006)的研究也认为滇东南老君山地区的石英角闪片麻岩的原岩可能具有类似的形成机制。本文研究区的原岩也极有可能是这种机制下形成的。

4.2 大地构造意义

目前,有关滇南瑶山—哀牢山地区的研究主要集中于新生代,特别是红河-哀牢山大型断裂带相关的运动学方面研究(Allen CR et al., 1984;吴海威等,1989; Chen Wenji et al., 1996; Gilly et al., 2003; Harrison et al., 1996; Leloup et al., 1995, 2001; Tapponnier et al., 1986, 1990; Lacassin et al, 1993; 王二七等,2006;张进江等,2001,2006;钟大赉等,1989),而对瑶山群的研究很少涉及,缺乏精确的年代学制约。我们利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法,获得瑶山群莲花滩附近眼球状花岗质糜棱岩的原岩岩浆锆石年龄为 828.1±6.2Ma,也获得残留锆石年龄为 984±12Ma,证实瑶山地区存在前寒武纪岩石,是一个具有新元古代结晶基底的陆块。哀牢山群黑云母花岗闪长质片麻岩中锆石 U-Pb 年代学揭示哀牢山地区保留有新元古代岩浆岩原岩和残余的中元古代、太古代的结晶基底(李宝龙等,2008),哀牢山南部浅变质花岗岩中亦存在新元古代的残余岩浆锆石颗粒(08JP-5)。本文的研究揭示在与滇东南老君山地区相邻的瑶山群和哀牢山群中均找到新元古代的岩浆岩,为详细揭示华南大地构造格局及其演化规律提供了年代学证据。

刘玉平等(2006)通过对滇东南老君山地区的年代学和岩石地球化学研究,揭示桂西—滇南存在新元古代岩浆岩,并进一步认为扬子地块周缘的南华裂谷-岩浆岩带与康滇裂谷-岩浆岩带是贯通相连的。这将使的桂西到滇南之间存在新元古代岩浆岩的认识进一步扩展到瑶山地区和哀牢山地区,进而

表 1　滇南哀牢山—瑶山地区锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果统计表

Table 1　Statistical table of SHRIMP zircons U-Th-Pb geological dating results of the Ailaoshan-Yaoshan areas in Southern Yunnan

分析点号	U(×10⁻⁶)	Th (×10⁻⁶)	$^{206}Pb^*$ (×10⁻⁶)	$^{232}Th/^{238}U$	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	±%	$^{206}Pb^*/^{238}U$	±%	$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄(Ma)	±/Ma
08HK-1										
08hk-1-1.1	945	87	99.1	0.10	0.06676	0.62	0.1220	1.3	742.2	9.0
08hk-1-2.1	629	66	71.0	0.11	0.06799	0.79	0.1315	1.3	796.3	9.8
08hk-1-3.1	203	80	24.3	0.41	0.0671	1.7	0.1392	1.4	840	11
08hk-1-4.1	1299	107	148	0.09	0.06588	0.50	0.1326	1.3	802.9	9.6
08hk-1-5.1	983	95	118	0.10	0.06688	0.54	0.1400	1.3	845	10
08hk-1-6.1	469	126	54.0	0.28	0.0686	2.3	0.1339	1.3	810	10
08hk-1-7.1	277	32	32.5	0.12	0.0684	1.5	0.1364	1.4	824	11
08hk-1-8.1	290	49	34.3	0.17	0.06542	1.4	0.1374	1.4	830	11
08hk-1-9.1	734	84	85.4	0.12	0.06710	0.72	0.1353	1.3	817.8	9.9
08hk-1-10.1	727	98	86.6	0.14	0.06626	0.66	0.1387	1.3	837	10
08hk-1-11.1	527	71	62.2	0.14	0.06770	0.81	0.1375	1.3	831	10
08hk-1-12.1	976	45	138	0.05	0.07539	0.92	0.1649	1.3	984	12
08hk-1-13.1	506	93	60.6	0.19	0.06608	1.0	0.1392	1.3	840	10
08hk-1-14.1	313	50	37.3	0.17	0.06774	1.1	0.1389	1.4	839	11
08hk-1-15.1	470	52	44.5	0.11	0.06599	0.98	0.1101	1.3	673.2	8.6
08JP-5										
08jp-5-1.1	180	122	20.4	0.70	0.0647	1.9	0.1323	1.5	801	11
08jp-5-2.1	2283	228	27.2	0.10	0.0539	6.8	0.01342	1.3	85.9	1.1
08jp-5-3.1	457	170	28.2	0.38	0.06453	1.1	0.07188	1.3	447.5	5.8
08jp-5-4.1	334	140	24.7	0.43	0.0628	1.8	0.0859	1.4	531.4	7.0
08jp-5-5.1	6338	4500	42.7	0.73	0.04996	1.7	0.00783	1.3	50.28	0.64
08jp-5-6.1	2118	255	30.8	0.12	0.06051	1.1	0.01691	1.3	108.1	1.4
08jp-5-7.1	2032	95	9.64	0.05	0.0451	7.8	0.005487	1.5	35.28	0.51
08jp-5-8.1	492	246	54.8	0.52	0.06504	1.1	0.1293	1.3	784.1	9.7
08jp-5-9.1	2726	1489	13.3	0.56	0.0433	5.3	0.005644	1.4	36.28	0.50
08jp-5-10.1	2169	1411	71.0	0.67	0.05125	0.73	0.03813	1.3	241.2	3.0
08jp-5-11.1	2784	223	25.3	0.08	0.05678	1.5	0.01060	1.3	67.94	0.90
08jp-5-12.1	730	394	44.4	0.56	0.06474	1.4	0.07068	1.3	440.2	5.6
08jp-5-13.1	294	175	31.2	0.62	0.0647	1.9	0.1231	1.4	748.1	9.7
08JP-5-14.1	394	264	43.1	0.69	0.06561	0.95	0.1274	1.3	773.0	9.7
08jp-5-15.1	9306	595	50.8	0.07	0.0468	2.2	0.006318	1.3	40.60	0.52
08jp-5-16.1	14883	1041	90.0	0.07	0.04578	1.4	0.00703	2.3	45.1	1.0
08jp-5-17.1	10362	561	56.6	0.06	0.04787	1.8	0.00636	2.3	40.88	0.95

为构筑更加清晰的 Rodinia 古陆聚散过程及其后的华南大地构造演化提供重要的基础资料。

5　结论

(1) 眼球状花岗质糜棱岩的原岩结晶年龄为 828.1±6.2Ma,结合哀牢山群黑云母花岗闪长质片麻岩中继承锆石 769～893Ma 年龄信息,显示在滇南的瑶山和哀牢山地区存在新元古代的岩浆岩,残留锆石颗粒的 984±12Ma 和 1104～1353Ma 及 2655Ma 年龄结果揭示研究区存在古老结晶基底。

(2) 滇南瑶山—哀牢山地区的新元古代岩浆锆石的发现,将桂西—滇南老君山地区存在新元古代岩浆岩的认识再扩展到瑶山—哀牢山地区,进一步表明扬子地块周缘的华南新元古代裂谷-岩浆岩带极有可能是联成一体的。

致谢: 感谢匿名审稿专家对本文给予的指导和帮助,也对编辑部为本文提出的指导意见,在此表示衷心的感谢。

参　考　文　献

董云鹏, 朱炳泉, 常向阳, 张国伟. 2002. 滇东师宗-弥勒带北段基性火山岩地球化学及其对华南大陆构造格局的制约. 岩石学报, 18(1):37～46.

董云鹏，朱炳泉. 1999. 滇东南建水岛弧型枕状熔岩及其对华南古特提斯的制约. 科学通报，44:2323～2328.

李宝龙，季建清，付孝悦，龚俊峰，宋彪，庆建春，张臣. 2008. 滇西点苍山-哀牢山变质岩系锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. 岩石学报，24(10):2322～2330.

李宝龙. 2010. 滇西地区变质变形带年代学与热史演化研究. 北京大学博士学位论文.

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.

马丽芳. 2002. 中国地质图集. 北京:地质出版社.

宋彪，张玉海，万渝生，简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评，48 卷(增刊):26～30.

王二七，樊春，王刚，石许华，陈良忠，陈智梁. 2006. 滇西哀牢山-点苍山形成的构造和地貌过程. 第四纪研究，26(2):220～227.

吴海威，张连生，嵇少丞. 1989. 红河-哀牢山断裂带——喜山期陆内大型左行走滑剪切带. 地质科学，1(1)：1～8.

吴浩若. 2003. 晚古生代-三叠纪南盘江海地构造古地理问题. 古地理学报，5(1):63～76.

尹崇玉，刘敦一，高林志，王自强，刑裕盛，简平，石玉若. 2003. 南华系底界与古城冰期的年龄:SHRIMP Ⅱ 定年证据. 科学通报，48(16):1657～1662.

云南省地质矿产局. 1990. 云南区域地质志. 北京:地质出版社，1～728.

张进江，钟大赉，季建清，丁林，桑海清. 2001. 东喜马拉雅构造结大陆碰撞以来构造年代学框架及其与哀牢山-红河构造带的对比. 矿物岩石地球化学通报，20(4):243～244.

张进江，钟大赉，桑海清，周勇. 2006. 哀牢山-红河构造带古新世以来多期活动的构造和年代学证据. 地质科学，41(2):291～310.

郑永飞，吴元保，赵子福，龚冰. 2004. 大别山北麓发现新元古代低 $\delta^{18}O$ 岩浆岩. 科学通报，49(14):1468～1470.

钟大赉，Tapponnier P，吴海威，张连生，嵇少丞，钟嘉猷，刘小汉，Schaerer U，Lacassin R，Leloup P. 1989. 大型走滑断层——碰撞后陆内变形的主要形式. 科学通报，7:526～529.

朱维光，邓海琳，刘秉光，李朝阳，覃喻，骆耀南，李志德，皮道会. 2004. 四川盐边高家村镁铁-超镁铁质杂岩体的形成时代:单颗粒锆石 U-Pb 和角闪石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年代学制约. 科学通报，49(10)：985～992.

Allen C R，Gillespie A R ，Han Y. 1984. Red River and associated faults Yunnan Province，China：Quatemary Geology，silp rates，and seismic hazaed. Geologic Society of America Bulletin，95：686～700.

Chen Wenji，Li Qi，Wang Yipeng. 1996. Miocene diachronic uplift along the Ailao Mountains-Red River lift lateral strike-slip shear zone. Geological Review，42(5):385～390.

Compston W，Williams I S，Kirschvink J L，Zhang Z，Ma G. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time scale. Journal of Geological Society of London，149:171～184.

Cumming G L，Richarda J R. 1975. Ore lead isotope rations in a continuously changing earth. Earth Planet Science Letter，28：155～171.

Dalziel I W D. 1991. Pacific margins of Laurentia and East Antarctica-Australia as a conjugate rift pair：Evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. Geology，19：598～601.

Gilley L D，Harrison T M，Leloup P H，Ryerson F J，Lovera O M，Wang J H. 2003. Direct dating of left-lateral deformation along the Red River shear zone，China and Vietnam. Journal of Geophysical Research，108(B2):14～21.

Harrison T M，Leloup P H，Ryerson F J，Tapponnier P，Lacassin R，Chen W J. 1996. Diachronous initiation of transtension along the Ailao Shan-Red River shear Zone，Yunnan and Vietnam，The Tectonic Evolution of Asia. New York：Cambridge University Press，205～226.

Hoffman P F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwana land inside-out? Science，252：1409～1412.

Lacassin R，Leloup P H，Tapponnier P. 1993. Bounds on strain in large Tertiary shear zones of SE Asia from boudinage restoration. Journal of Structural Geology，15(6):677～692.

Lan Chingying，Chung Sunlin，Lo Chinghua，Lee Tungyi，Wang Peiling，Li Huimin，Toan Dinhvan. 2001. First evidence for Archean continental crust in north Viet Nam and its implications for crustal and tectonic evolution in Southeast Asia. Geology，29:219～222.

Leloup P H，Arnaud N，Lacassin R，Kienast J R，Harrison T M，Trong T T，Replumaz A，Tapponnier P. 2001. New constraints on the structure，thermochronology and timing of the Ailao Shan-Red River shear zone SE Asia. Journal of Geophysical Research，106:6683～6732.

Leloup P，Lacassin R，Tapponnier P，Sch rer U，Zhong D L，Liu X H，Zhang L S，Ji S C，Trinh P T. 1995. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan，China)，Tertiary transform boundary of Indochina. Tectonophysics，251:3～84.

Li Wuxian，Li Xianhua，Li Zhengxiang. 2005. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance. Precambrian Research，136:51～56.

Li Zhengxiang，Li Xianhua，Kinny P D，Wang J，Zhang S，Zhou H. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton，South Chinese and correlations with other continents：Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precambrian Research，122：85～109.

Ling Wenli，Gao Shan，Zhang Benren，Li Huimin，Liu Ying，Cheng Jianping. 2003. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton，South China：implications for amalgamation and break-up of the Rodinia Supercontinent. Precambrian Research，122：111～140.

Ludwig K R. 2002a. Isoplot/Ex Version，A Geochronology Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Centre Spec. Pub. 1a，Berkeley，CA，USA.

Ludwig K R. 2002b. Squid 1. 02：A User's Manual. Berkeley Geochronology Centre，Special Publication No. 2. 2455 Ridge Road，Berkeley，CA 94709，USA.

Moores E M. 1991. Southwest U. S. East Antarctic (SWEAT) connection：A hypothesis. Geology，19：425～428.

Nasdala L，Hofmeister W，Norgerg N，Mattinson J M，Corfu F，Dörr W，Kamo S L，Kennedy A K，Kronz A，Reiners P W，Frei D，Kosler J，Wan Y S，Göze J，Häer T，Kröner A，Valley J W. 2008. Zircon M257-a Homogeneous Natural Reference Material for the Ion Microprobe U-Pb Analysis of Zircon. Geostandards and Geoanalytical Research，32：247～265.

Tapponnier P，Peltzer G，Armijo R. 1986. On the mechanics of the collision between India and Asia. In：Coward M P，Ries A C (eds). Collision Tectonics. Geological Society of London Special Publication，19:115～157.

Tapponnier P，Lacassin R，Leloup P H，Schärer U，Zhong D，Liu

X, Ji S, Zhang L, Zhong J. 1990. The Ailao Shan-Red River metamorphic belt: Tertiary left-lateral shear between Indochina and south China. Nature, 343:431～437.

Wang Jian, Li Xinhua, Duan Taizhong, Liu Dunyi, Song Biao, Li Zhongxiong, Gao Yonghua. 2003. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Cangshuipu volcanic rocks and its implications for the lower boundary age of the Nanhua strata in South China. Chinese Science Bulletin, 48:1663～1669.

Wang Xiaolai, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, Gao Jianfeng. 2004. Geochemistry of Meso- to Neoproterozoic Basic-acid rocks from Hunan Province, South China: implications for the evolution of the western Jiangnan orogen. Precambrian Research, 135:79～103.

Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: Mckibben M A, Shanks Ⅲ W C, Ridley W I(eds). Application of Microanalytical Techniques to understanding mineralizing processs. Rev. Exon. Geol., 7:1～35.

Zheng Yongfei. 2003. Neoproterozoic magmatic activity and global change. Chinese Science Bulletin, 48:1639～1656.

Zheng Yongfei. 2004. Position of South China in configuration of Neoproterozoic Supercontinent. Chinese Science Bulletin, 49(8):751～753.

Zhong Dalai, Wu Genyao, Ji Jianqing, Ding Lin. 1999. Discovery of ophiolite in Southeastern Yunnan, China. Chinese Science Bulletin, 44(1):36～40.

Zhou Meifu, Yan Danping, Kennedy A R, Li Yunqian, Ding Jun. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic are-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China. Earth and Planetary Science Letters, 196:51～67.

Neoproterozoic Magmatism in South Yunnan: Evidence from SHRIMP Zircon U-Pb Geochrological Results of High-Grade Metamorphic Rocks in the Yaoshan Group

LI Baolong[1)], JI Jianqing[2)], WANG Dandan[3)], MA Zongjin[2)]

1) *MLR Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037; 2) *Key Laboratory of Orogenic and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peiking University, Beijing*, 100871; 3) *Geological Scientific Research Institute, Shengli Oil Field, SINOPEC, Dongying, Shandong*, 257015

Abstract

The Lower Proterozoic Yaoshan Group and Ailao Shan Group, composed of high-grade metamorphosed rocks, is a long, narrow belt striking NW-SE direction along the Red River fault, and are considered the Precambrian crystalline basement. In this paper, the SHRIMP zircon U-Pb dating have been conducted on the augen granitic mylonite (08HK-1) from the Yaoshan Group (Lianhuatan, Hekou County) and gneissic granite (08JP-5, Adebo, Jinping County), and ages of two magmatic zircon groups are 828±6.2Ma (N=11, $MSWD$=1.8) and 748～801Ma, respectively. In addition, the SHRIMP zircon U-Pb ages of 769～893Ma were obtained on biotite granodioritic gneiss from the Ailao Shan Group in Mojiang-Yuanjiang section. Combined with the crystal features, CL images and concordant of U-Pb age, 828 6.2Ma and 748～801Ma should present the crystal age. These ages suggested that there should have the Neoproterozoic magmatism in the study area. The SHRIMP zircon U-Pb dating on old core from sample 08HK-1 has the age of 984Ma, and the 08JP-5 sample has the old core zircon U-Pb age of 1104～1353Ma and even 2655Ma. The old core zircon age show that the Yaoshan area and southern part of Ailao Shan should be a Mesproterozoic or Archea basement. Based on these isotopic geochronological data above and regional geological tectonic evolution, the Yaoshan area and southern part of Ailao Shan should located in the cross region of the Nanhua Rift and the Kangdian Rift during breaking-up of the Rodinian Supercontinent in the Neoproterozoic.

Key words: Neoproterozoic magmatism; SHRIMP zircon U-Pb dating; Yaoshan Group; South Yunnan