doi:10.3799/dqkx.2017.039

扬子北缘大洪山地区中元古代打鼓石群碎屑锆石年代学及其地质意义

孔令耀,毛新武,陈 超,邓乾忠,张汉金,杨青雄,李琳静,李启文

湖北省地质调查院,湖北武汉 430034

摘要:扬子陆块出露了较多前南华纪地层和岩浆岩,碎屑沉积岩中保存的碎屑锆石对限定地层沉积时代、示踪沉积物源和反演早期大陆构造演化具有重要意义.通过对扬子北缘大洪山地区中元古代打鼓石群碎屑锆石年代学的研究,结果显示李家咀组最年轻的锆石年龄为1 250±64 Ma,主要峰值为2 078 Ma、2 437 Ma、2 659 Ma和3 084 Ma附近;罗汉岭组最年轻锆石年龄为1 077±51 Ma,主要峰值为1 126 Ma、2 044 Ma、2 458 Ma和2 635 Ma附近.根据结果认为:李家咀组的沉积时代在1 250±64 Ma与1 126 Ma之间,罗汉岭组沉积时代晚于1 077±51 Ma,可以确定打鼓石群的沉积时代为中元古代.另外,通过对打鼓石群、神农架群、会理群和东川群的碎屑锆石统计频谱特征的对比分析,发现在扬子陆块不同地区出露的中元古代地层,具有明显不同的锆石年谱特征,反映了各地层单元的物源差异很大,在中元古时期应分属不同的地块,经历了中-新元古代构造演化,才逐渐拼合成统一的扬子陆块基底.

关键词:扬子陆块;中元古界;打鼓石群;碎屑锆石;年代学.

中图分类号:P597 **文章编号**:1000-2383(2017)04-0485-17 **收稿日期**:2016-09-18

Chronological Study on Detrital Zircons and Its Geological Significance from Mesoproterozoic Dagushi Group in the Dahongshan Area, North Margin of the Yangtze Block

Kong Lingyao, Mao Xinwu, Chen Chao, Deng Qianzhong, Zhang Hanjin, Yang Qingxiong, Li Linjing, Li Qiwen

Hubei Geological Survey, Wuhan 430034, *China*

Abstract: There are many Pre-Nanhua strata and magmatic rocks in Yangtze Block, the detrital zircon preserved in sedimentary clastic rocks have great significances for limiting rock's age, tracing the source of sediments and revealing early evolution of the continent. This study is the first research of detrital zircon geochronology in both Lijiazui Formation and Luohanling Formation of Dagushi Group in the Dahongshan area, northern margin of the Yangtze block. The detrital zircons from Lijiazui Formation are dated a youngest age of 1 250±64 Ma, and several main age peaks of about 2 078 Ma, 2 437 Ma, 2 659 Ma and 3 084 Ma; the youngest age of Lijiazui Formation is 1 077±51 Ma, and it's ages peaks are about 1 126 Ma, 2 044 Ma, 2 458 Ma and 2 635 Ma. It is inferred that the sedimentary age of Lijiazui Formation is between 1 250±64 Ma and 1 126 Ma, and of Luohanling Formation is later than 1 077±51 Ma, indicating that Dagushi Group belongs to Mesoproterozoic. In addition, the age-histogram comparison of Dagushi Group and Shennongjia Goup, Kunyang Group, Dongchuan Group from different areas of Yangtze block, show that the source of these stratigraphic units are different from each other, which means the magmatic events and tectonic evolutions of each stratigraphic unit are different. Combined with previous research data of Yangtze block, we conclude that the blocks represented by each stratigraphic units are independent continent fragments in Mesoproterozoic, and amalgamated into the crystalline basement of the Yangtze block gradually in Mesoproterozoic to Neoproterozoic.

Key words: Yangtze block; Mesoproterozoic; Dagushi Group; detrital zircon; geochronology.

基金项目:中国地质调查局项目(Nos. 12120113012800,ZYTZ20168001);湖北省地质局项目(No. KJ2015-1).

作者简介:孔令耀(1989-),男,硕士,助理工程师,主要从事古生物地层学与沉积学工作和研究. ORCID:0000-0003-3759-7384.
E-mail: 951121661@qq.com

引用格式:孔令耀,毛新武,陈超,等,2017.扬子北缘大洪山地区中元古代打鼓石群碎屑锆石年代学及其地质意义.地球科学,42(4):485-501.

扬子陆块前南华纪地层和构造演化一直是地质学研究的热点,近年来对扬子前南华纪构造演化和年代学研究取得较大进展(Peng *et al.*,2011;肖志斌,2012;李怀坤等,2013a,2013b;邱啸飞等2014;Qiu等,2015;胡正祥等,2015),特别是黄陵地区出露的扬子基底大量太古宙约2.6 Ga的A型花岗岩(汪正江等,2013;Chen *et al.*,2013,Zhou *et al.*,2015)、约2.9 Ga的TTG组合及混合岩等(Zhang *et al.*,2006;Zheng *et al.*,2006;Chen *et al.*,2013,邱啸飞等,2014)以及约3.2 Ga的花岗质片麻岩等(Qiu *et al.*,2000;Jiao *et al.*,2009;Gao *et al.*,2011),在崆岭杂岩中还获得了3.2 Ga残留锆石年龄和约3.5 Ga的Hf两阶段模式年龄(Zhang *et al.*,2006;Zheng *et al.*,2006;焦文放等,2009)并认为扬子广泛存在太古代基底,同时黄陵地区也见大量约1.8 Ga的岩体出露(Xiong *et al.*,2009;Peng *et al.*,2009,2012),在黄陵东部的钟祥地区也见约1.8 Ga的A型花岗岩报道(张丽娟等,2011);另一方面,对扬子出露的大量古—中元古代地层的年代学研究也取得了大量的资料(表1),Greentree *et al.*(2008)在这些地层中也发现大量太古宙—古元古代的碎屑锆石,表明古元古代基底在扬子陆块区广泛存在,但人们对于扬子统一基底形成过程与板块构造格局,仍存在不同的认识.近年来,学者们在扬子陆块不同地区陆续发现一些中—新元古代地块拼合带残迹,如Peng *et al.*(2011)在黄陵地区发现中—新元古代庙湾蛇绿岩,并认为是黄陵与神农架地块的拼合记录;胡正祥等(2015)在扬子北缘发现大洪山晋宁期地块拼合带,认为是黄陵地块与大别地块拼合记录;Dong *et al.*(2015)通过对扬子陆块地球物理资料研究发现江汉盆地之下存在前南华纪的地块拼合带.这些古—中元古代地层、岩浆岩和构造记录了大量扬子陆块地质演化的信息,为研究扬子陆块前南华纪地质演化提供了重要启示.

扬子克拉通由于受南华纪以来盖层大面积覆盖的影响,中元古代地层单元零星分布于扬子北缘的神农架以及西南缘东川、昆阳等地区.扬子北缘大洪山地区出露的打鼓石群是扬子陆块中元古代重要的沉积记录,前人的研究表明其属于一套浅海相碎屑岩、碳酸盐岩组合(北京地质学院,1982),且无论从

表1 扬子陆块古-中元古代地层测年统计

Table 1 Zircon U-Pb ages of Paleoproterozoic to Proterozoic strata in the Yangtze block

地质单元		岩性	年龄(Ma)	测试方法	资料来源	结论
神农架群	野马河组	凝灰岩	1 215±2.4	LA-ICP-MS	李怀坤等, 2013b	沉积时代为中元古代晚期
	野马河组	凝灰岩	1 224±7.2	LA-ICP-MS	李怀坤等, 2013b	
	郑家垭组	玄武岩	1 103±8.0	LA-ICP-MS	Qiu *et al.*, 2011	
	郑家垭组	玄武岩	1 063±16.0	LA-ICP-MS	Qiu *et al.*, 2011	
马槽园群	八里垭组	凝灰岩	1 165±14.0	SHRIMP	邓奇等, 2013	
东川群	黑山组	凝灰岩	1 504±4.6	LA-ICP-MS	李怀坤等, 2013a	沉积时代为中元古代早中期
	黑山组	凝灰岩	1 499±7.0	LA-ICP-MS	李怀坤等, 2013a	
	黑山组	凝灰岩	1 500±3.8	LA-ICP-MS	李怀坤等, 2013a	
	黑山组	凝灰岩	1 503±17.0	SHRIMP	尹福光等, 2011	
通安组	一段	凝灰岩	1 833±2.0	LA-ICP-MS	庞维华等, 2015	沉积时代为古-中元古代
	四段	凝灰岩	1 508±15.0	LA-ICP-MS	庞维华等, 2015	
大红山群	红山组	凝灰质片岩	1 675±8.0	SHRIMP	Greentree *et al.*, 2008	沉积时代为中元古代早期
	曼岗河组	长英质火岩岩	1 681±13.0	LA-ICP-MS	Zhao *et al.*, 2011	
	老厂河组	中酸性火山夺	1 711±4.0	LA-ICP-MS	杨红等, 2012	
	老厂河组	石榴长石片岩	1 686±4.0	LA-ICP-MS	杨红等, 2012	
河口群		富钠质火岩岩	1 722±25.0	LA-ICP-MS	王冬兵等, 2012	
		石英角斑岩	1 695±20.0	SHRIMP	何德峰等, 2009	
河口群	大营山组	变质凝灰岩	1 705±6.0	LA-ICP-MS	Chen *et al.*, 2013	沉积时代为中元古代早期
	大营山组	变质凝灰岩	1 708±7.0	LA-ICP-MS	Chen *et al.*, 2013	
	落凼组	变质凝灰岩	1 697±13.0	LA-ICP-MS	Chen *et al.*, 2013	
昆阳群	黑山组	凝灰岩	1 503±17.0	SHRIMP	孙志明等, 2009	昆阳群、会理群为中元古代中晚期同时异相的沉积地层单元(李怀坤等, 2013a)
	因民组	凝灰岩	1 742±13.0	LA-ICP-MS	Zhao *et al.*, 2010	
	黑山头组	凝灰岩	995±15.0	SHRIMP	Greentree *et al.*, 2006	
	黑山头组	凝灰岩	1 032±9.0	SHRIMP	张传恒等, 2007	
	黑山头组	凝灰岩	1 043±7.0	LA-ICP-MS	李怀坤等, 2007	
会理群	天宝山组	凝灰岩	1 019±10.0	LA-ICP-MS	李怀坤等, 2007	
	天宝山组	凝灰岩	1 019±8.0	LA-ICP-MS	李怀坤等, 2007	
	天宝山组	变质流纹岩	1 019±8.0	SHRIMP	耿元生等, 2007	
	天宝山组	变英安质火岩	1 061±17.0	SHRIMP	尹福光等, 2011	
	天宝山组	变英安质火岩	1 082±13.0	SHRIMP	尹福光等, 2011	

大地构造位置、沉积环境和岩性组合特征都可以与神农架群对比(赵银胜等,1987;熊兴武等,1991).但近年来的一些研究,对该区一些传统认识提出了质疑,如湖北地调院等单位和学者在对大洪山地区的研究中发现,在该区出露的原中元古界打鼓石群和青白口系花山群实际上并不是一套完整有序的连续沉积地层,而是一套晋宁期被动陆缘－俯冲增生杂岩－岩浆弧组合,原打鼓石群的分布范围发生了改变,实际上打鼓石群一部分属于俯冲增生杂岩物质单元,一部分则属于有序沉积的被动陆缘沉积(董云鹏等, 1998, 1999, 2003a, 2003b; Dong *et al*., 1999; Lai *et al*., 1999; 石玉若等, 2003, 2005;胡正祥等, 2015).而对于打鼓石群与神农架群是否处在同一地块,学界也有不同的看法.研究打鼓石群的形成时代、成因背景和源区特征,有助于探索扬子陆块前南华纪板块格局和构造演化.

本文以被动陆缘打鼓石群沉积岩的碎屑岩的 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年代学测试数据为基础,分析地层的形成时代、沉积物源特征,并结合前人对扬子陆块前南华纪的研究结果,探索打鼓石群对扬子陆块前南华纪构造演化的启示.

1　研究区地质背景

研究区位于扬子北缘大洪山地区,北部与秦岭－大别造山带相邻,在区域上表现为北西－南东向展布的背斜隆起,核部为中元古界打鼓石群、晋宁期俯冲增生杂岩组合和同时期的岛弧岩浆岩组合,西南部被南华纪莲沱组不整合覆盖,东北部与震旦纪灯影组构造接触(图 1).

打鼓石群最早由湖北区测队(1980,1982)在大洪山地区建立,后经对比(陈公信等,1996)认为其与神农架群基本一致,为神农架群同物异名,停用打鼓石群组名.前人研究认为打鼓石群是一套浅海相碎屑岩－碳酸盐岩沉积组合,自下而上将其划分为太阳寺组、韩家洼组、罗汉岭组、陈家冲组、李家咀组和当铺岭组,各组之间均为整合接触(图 2)太阳寺组自下而上由砾岩－砂岩－板岩、或由砂岩夹砾岩透镜体－板岩组成的 5 个次级小旋回所构成,未见底;韩家洼组主要浅海相页岩－碳酸盐岩建造,由泥质白云岩与泥质板岩组成,该组向上白云岩明显减少,逐渐过渡为泥质岩夹透镜状泥质白云岩;罗汉岭组主要为白云岩,少量粉砂质、泥质板岩,以及白云质硅质砾岩,白云岩中发育丰富的叠层石,白云岩中硅质成分含量较高,局部夹硅质条带/结核,为较为稳定的浅海沉积环境;陈家冲组为一套碳酸盐岩建造,主要为夹硅质条带白云岩,夹泥质板岩和砾岩透镜体,白云岩中叠层石较为丰富,常见同生角砾构造;李家咀组上部为土黄色砂质泥质板岩、夹白云岩透镜体及厚层状石英砂岩,下部为细粒石英砂岩及粉砂质泥质板岩,属于滨浅海相砂岩、页岩沉积;当铺岭组下部为中厚层不等粒长石石英砂岩、石英砂岩,上部为厚层泥晶白云岩,含十分丰富的叠层石.

2　样品采集与岩相学特征

本次研究在大洪山地区出露的打鼓石群中采获两件碎屑锆石样品 D4026(GPS:113°11′32″E,31°14′53″N)和 D6020(GPS:113°01′01″E,31°25′42″N)(图 1).样品 D4026 采自京山县高关水库南,该处出露了打鼓石群李家咀组砂岩、泥岩组合和当铺岭组叠层石白云岩,本次采样挑选李家咀组中上部层位的中－薄层石英砂岩(图 2),具有较发育的沉积韵律,呈浅灰色,风化后表面呈浅褐色,镜下可见具细粒砂状结构,块状、弱定向构造,主要矿物为石英(67%),斜长石(1%),石英砂呈次棱角状,颗粒边缘有次生加大现象,斜长石可见聚片双晶,碎屑颗粒长轴略显定向性排列,呈次棱角状;岩屑主要为玄武质岩屑(13%)和硅质岩屑(2%),玄武岩呈次棱角状,反映为近距离搬运,胶结物主要为白云质(12%),胶结物中还可见少量的火山凝灰质(5%),基性火山灰呈隐晶－微晶粒状或显微鳞片状,受铁质渲染呈褐黑色,分布于颗粒间,局部略显定向性.岩石中含少量金属矿物,呈粒状,零散分布(图 3a,3c).样品 D6020 采自洪山河茶棚水库旁出露的罗汉岭组(图 2),野外呈紫红色,中薄层状,镜下主要矿物为石英(45%)、硅质岩岩屑(5%)、磁铁矿(15%)和粘土岩屑(10%),石英与碎屑粒度为 0.2～0.5 mm,呈次圆状－次棱角状,胶结物主要为褐铁矿(13%)、粘土矿物(10%)和少量硅质(2%)(图 3b,3d),粘土质多由绿泥石组成.样品 D6020 中碎屑和胶结物中均存在较多铁质,野外呈紫红色,与样品 D4026 有明显差异,说明其物源也有一定差别.

3　测试方法及结果分析

样品的锆石均是首先利用大约 10～15 kg 的碎

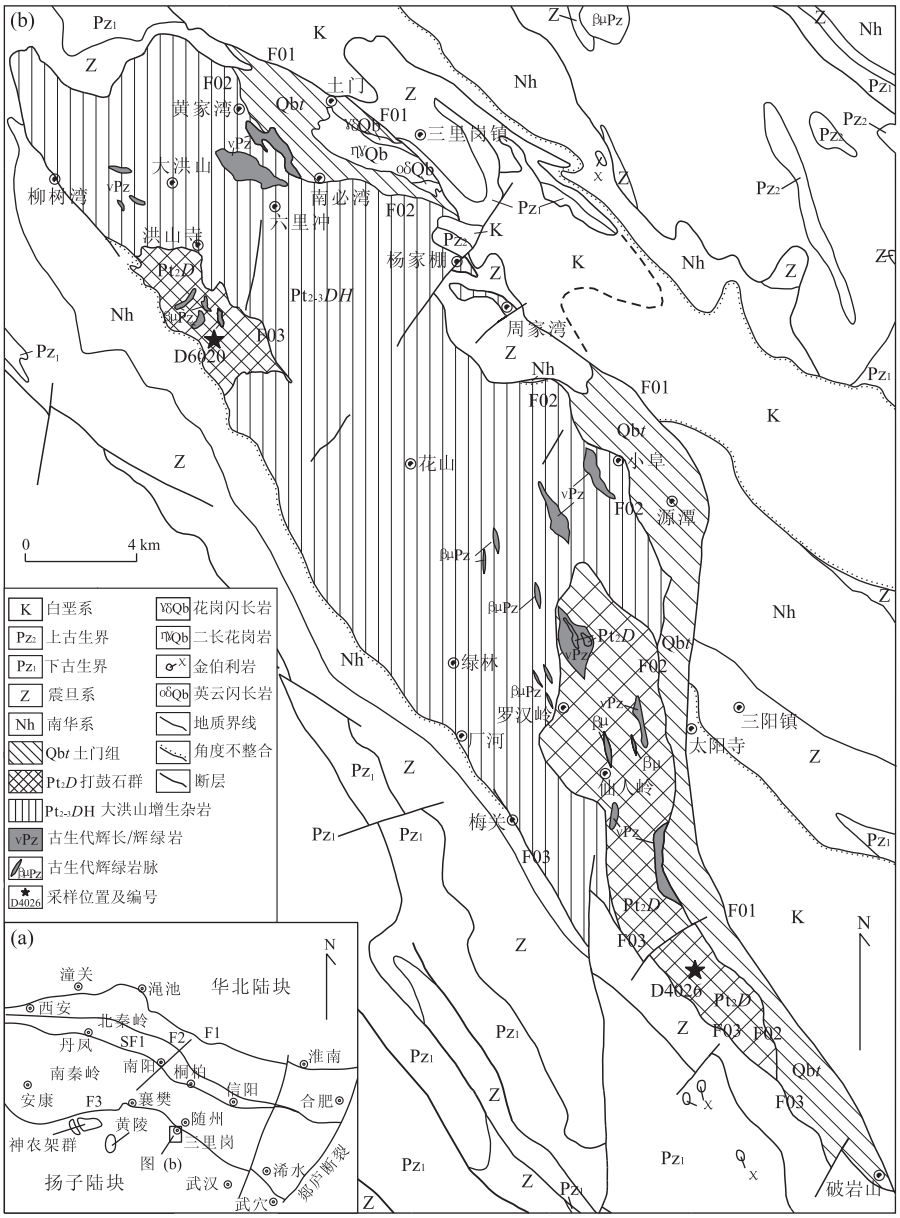

图 1 研究区区域地质概况

Fig. 1 Geological sketch of study area

图 a 中:F1. 武山－宝鸡断裂;F2. 洛南－栾川－方城断裂;F3. 勉略－青峰－襄广断裂;SF1. 商丹断裂;图 b 中:F01. 三里岗－三阳断裂;F02. 黄家湾－小皇－太阳寺断裂;F03. 柳树湾－梅关－破岩山断裂;据 1∶50 000 客店坡、古城畈、三阳店幅区调报告(1986)、李献华等(2012)、胡正祥等(2015)修改

屑岩样品破碎后手工淘洗分离出重砂,经磁选和电磁选后,在双目镜下挑出锆石. 随机挑选出锆石制靶后通过透射光和反射光照相,并在北京锆年领航公司对锆石进行了阴极发光照相并对锆石内部结构进行研究. 最后参照锆石的阴极发光图像及透、反射光图像,随机挑选出合适的锆石颗粒,同时应注意避免锆石内部包裹体和裂痕区域,进行锆石 U-Pb 定年测试. 锆石的 LA-ICP-MS 年代学测试在武汉上谱分析科技有限公司实验室完成,实验中采用的激光束斑直径为 32 μm. 仪器参数和详细的分析流程参见 Liu *et al*. (2010),以及同位素比值数据处理采用 ICPMSDataCal(Ver3. 0)软件,年龄计算和谐和图的绘制采用 Ludwig(2003)的 Isoplot (Ver3. 0)程序完成.

在打鼓石群李家咀组的碎屑锆石样品(D4026)随机挑选出了近 200 颗锆石,锆石均呈无色透明,大小多在 100 μm 左右,形态多呈次圆状－浑圆状,少数锆石由于碎样过程中发生机械破碎而部分面呈棱

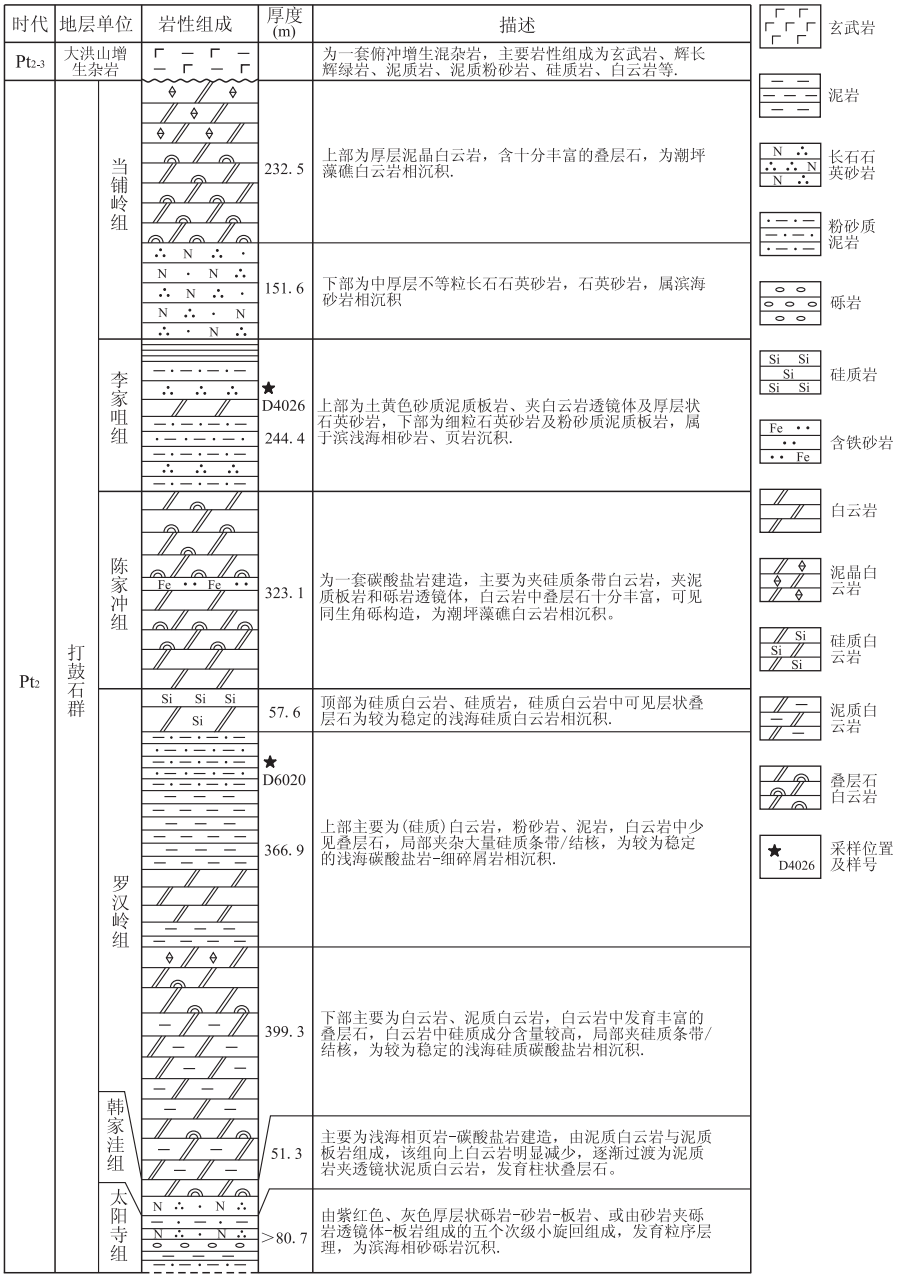

图 2　大洪山地区打鼓石群地层柱状图

Fig. 2　Stratigraphic histogram of Dagushi Group in Dahongshan area

据湖北省地质矿产局(1986)修改

角,锆石整体特征显示其经历了较远的搬运过程而具有较好的分选和磨圆性,在 CL 图像中,大部分锆石具有清晰的岩浆锆石环带结构,根据环带特征大致可分为致密环带和平行分带(图 4a),本次研究在对 200 多颗锆随机挑选出 96 颗锆石进行 LA-ICP-MS 法进行定年实验,实验结果见表 2.

对采自罗汉岭组的碎屑锆石样品(D6020)随机挑选出了 350 多颗锆石,锆石均呈无色透明,锆石多呈次圆状－次棱角状,大小多在 80 μm 左右,部分锆石同样受到碎样过程的机械破碎,但是锆石整体特征显示经历的搬运和分选作用明显较样品 D4026 差,锆石 CL 图像也显示出清晰的环带特征(图 4b),锆石形态显示出物源较近且杂的特征,这与岩相学的结果一致,本次笔者随机挑选了该样 79 颗锆石进行定年测试,结果见表 3.

测试结果表明两个样品的大部分锆石的 Th/U 均大于 0.4,结合锆石的 CL 图像上环带清晰的特点,基本上可以确定大部分碎屑锆石具有岩浆成因特征(吴元保等,2004). 笔者分析数据时舍去谐和度小于90%的测试点分析结果显示,绝大多数锆石具

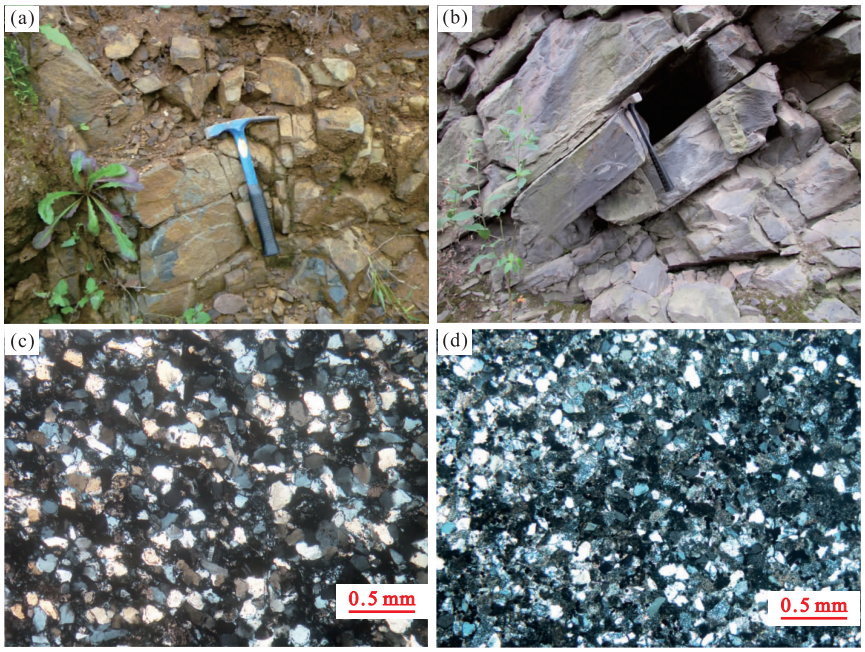

图 3 李家咀组(a,c)和罗汉岭组(b,d)碎屑岩样品野外和镜下照片

Fig. 3 Pictures of Lijiazui Formation (a, c) and Luohanling Formation (b, d) clastic in the field and under microscope

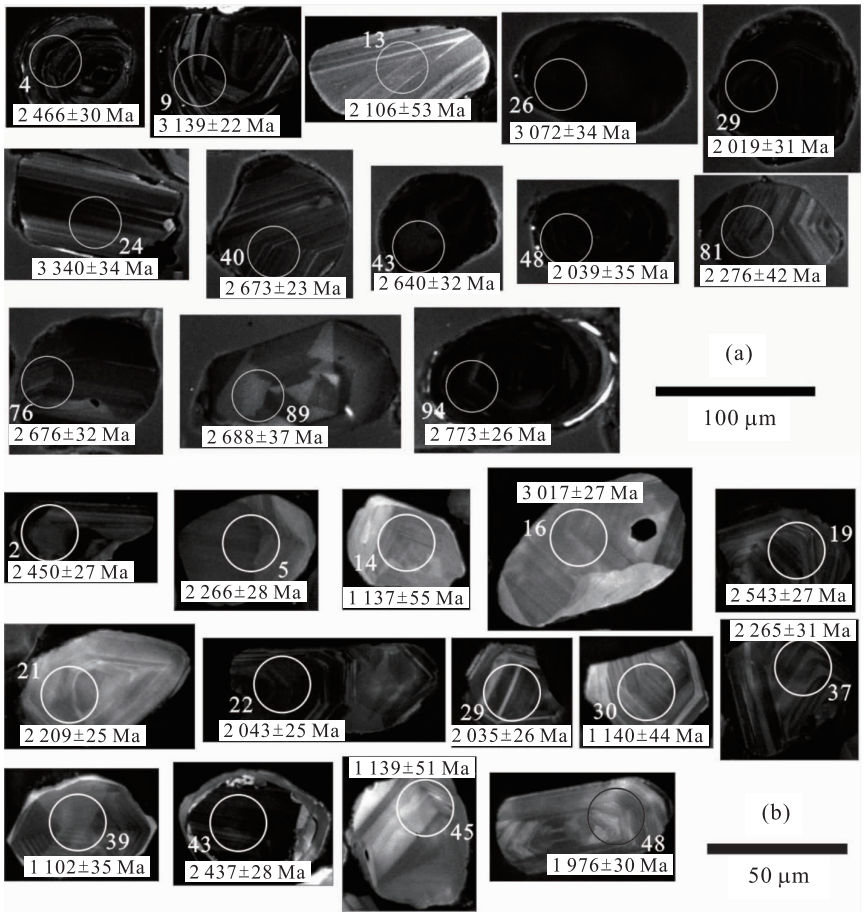

图 4 样品李家咀组 D4026(a)和罗汉岭组 D6020(b)碎屑锆石典型 CL 图像特征

Fig. 4 CL imagings of zitcons in Lijiazui Formation (D4026, a) and Luohanling Formation (D6020, b)

表 2　打鼓石群李家咀组(D4026)锆石 U-Pb 测年数据

Table 2　U-Th-Pb isotopic data of zircons from Lijiazui Formation (D4026) of Dagushi Group

测试点号	Pb (10^{-6})	U (10^{-6})	Th (10^{-6})	年龄(Ma)								谐和度 (%)
				$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	
D4026-1	128.50	229.0	97.8	2 539	17	2 604	15	2 650	27	2 408	35	97
D4026-2	75.50	167.0	89.7	2 159	20	2 183	17	2 202	30	2 107	34	98
D4026-3	111.90	199.0	79.9	2 608	19	2 635	17	2 647	28	2 537	39	98
D4026-4	71.50	133.0	92.8	2 430	20	2 452	17	2 466	30	2 361	37	99
D4026-5	38.70	89.1	89.8	1 991	23	1 999	20	2 006	38	1 877	34	99
D4026-6	54.00	101.0	92.5	2 365	25	2 392	22	2 410	41	2 328	38	98
D4026-7	16.51	34.0	51.4	2 024	27	2 035	27	2 050	54	1 939	38	99
D4026-8	37.10	62.0	33.5	2 756	28	2 781	20	2 791	30	2 707	50	99
D4026-9	69.17	100.0	29.5	3 107	25	3 131	17	3 139	22	3 064	61	99
D4026-10	105.10	127.0	68.9	3 382	27	3 414	18	3 422	26	3 251	60	99
D4026-11	41.50	93.3	81.8	2 063	17	2 084	19	2 098	39	2 041	35	98
D4026-12	64.60	155.0	90.1	2 068	18	2 124	19	2 169	36	2 037	39	97
D4026-13	14.10	28.3	59.6	1 838	28	1 962	28	2 106	53	1 850	38	93
D4026-14	112.60	165.0	91.5	2 947	23	3 026	17	3 068	28	2 981	51	97
D4026-15	30.99	53.8	27.2	2 703	38	2 715	22	2 731	36	2 770	62	99
D4026-16	83.10	220.0	137.0	1 866	21	1 985	18	2 102	31	2 047	37	93
D4026-17	86.00	202.0	110.0	2 059	16	2 119	17	2 169	33	2 183	38	97
D4026-18	30.01	48.7	24.1	2 748	27	2 774	21	2 787	35	2 852	67	99
D4026-19	40.78	97.9	40.4	2 103	21	2 106	20	2 106	40	2 165	51	99
D4026-20	96.70	172.0	66.9	2 621	24	2 639	18	2 643	30	2 596	46	99
D4026-21	46.60	116.0	88.8	1 870	16	1 885	17	1 891	37	1 834	31	99
D4026-22	32.92	87.2	53.0	1 795	16	1 857	19	1 924	42	1 942	40	96
D4026-23	103.00	169.0	62.7	2 709	22	2 735	19	2 739	31	3 020	77	99
D4026-24	53.50	61.2	43.4	3 296	30	3 330	22	3 340	34	3 218	67	98
D4026-25	94.90	129.0	74.6	3 048	27	3 068	20	3 072	34	2 650	72	99
D4026-26	78.20	182.0	62.0	2 128	18	2 144	17	2 146	33	2 106	41	99
D4026-27	51.60	83.8	59.5	2 423	24	2 701	20	2 912	35	3 443	66	89
D4026-28	78.60	132.0	54.8	2 720	27	2 728	20	2 720	30	3 025	102	99
D4026-29	83.40	189.0	117.0	2 091	21	2 102	17	2 109	31	2 114	37	99
D4026-30	54.90	92.8	64.4	2 588	25	2 536	20	2 500	35	2 606	51	97
D4026-31	136.60	257.0	100.0	2 545	22	2 500	18	2 453	31	2 552	50	98
D4026-32	70.40	113.0	83.8	2 695	25	2 648	18	2 602	30	2 702	47	98
D4026-33	58.10	111.0	50.5	2 466	24	2 442	18	2 413	31	2 456	43	99
D4026-34	58.00	82.6	53.6	2 890	31	3 001	19	3 070	28	2 921	63	96
D4026-35	41.20	63.9	42.8	2 754	29	2 731	21	2 754	29	2 699	53	99
D4026-36	13.71	29.7	41.8	1 898	27	1 913	29	1 928	61	1 854	43	99
D4026-37	86.00	179.0	81.0	2 290	23	2 244	19	2 187	35	2 257	44	97
D4026-38	79.00	122.0	68.0	2 797	27	2 752	19	2 709	31	2 809	50	98
D4026-39	77.50	173.0	114.0	2 085	18	2 077	16	2 057	32	2 046	33	99
D4026-40	54.84	89.3	36.4	2 762	25	2 718	18	2 673	23	2 819	55	98
D4026-41	36.43	81.5	21.5	2 249	22	2 225	19	2 198	36	2 299	53	98
D4026-42	176.90	314.0	121.0	2 581	19	2 601	17	2 605	30	2 561	44	99
D4026-43	83.60	139.0	49.3	2 698	24	2 671	20	2 640	32	3 051	64	98
D4026-44	60.60	120.0	111.0	2 148	22	2 171	21	2 181	37	2 253	50	98
D4026-45	64.20	141.0	84.3	2 076	19	2 083	18	2 084	34	2 144	36	99
D4026-46	30.15	63.4	37.1	2 134	30	2 116	21	2 113	49	2 163	41	99
D4026-47	52.40	106.0	100.0	2 049	18	2 071	19	2 087	38	2 039	33	98
D4026-48	122.00	246.0	268.0	1 991	17	2 019	18	2 039	35	1 950	31	98
D4026-49	48.73	63.1	15.2	3 085	32	3 093	21	3 094	34	3 232	89	99
D4026-50	60.29	95.3	30.3	2 652	25	2 674	18	2 685	31	2 713	56	99
D4026-51	108.70	222.0	141.0	2 084	17	2 093	16	2 089	32	2 100	32	99
D4026-52	102.30	206.0	155.0	2 068	17	2 077	16	2 074	31	2 020	30	99

续表 2

测试点号	Pb (10^{-6})	U (10^{-6})	Th (10^{-6})	年龄(Ma)								谐和度 (%)
				$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	
D4026-53	23.53	54.1	21.6	1 978	21	1 979	22	1 969	44	1 974	43	99
D4026-54	71.30	97.5	133.0	2 576	24	2 501	19	2 427	35	2 349	39	97
D4026-55	38.70	71.5	72.6	2 096	25	2 085	21	2 070	44	2 099	40	99
D4026-56	39.36	73.4	38.1	2 255	23	2 260	21	2 254	39	2 215	46	99
D4026-57	46.70	77.5	31.3	2 499	27	2 520	19	2 529	35	2 511	51	99
D4026-58	138.50	173.0	129.0	2 884	25	2 902	18	2 898	26	2 909	45	99
D4026-59	50.90	76.5	37.9	2 576	24	2 607	20	2 618	32	2 862	68	98
D4026-60	66.20	101.0	52.9	2 578	22	2 597	18	2 603	31	2 594	44	99
D4026-61	43.50	83.3	50.6	2 086	18	2 093	18	2 098	36	2 136	40	99
D4026-62	38.38	54.6	26.1	2 648	23	2 664	18	2 670	30	2 727	63	99
D4026-63	43.00	72.9	118.0	1 940	20	1 954	19	1 972	41	2 006	31	99
D4026-64	96.80	191.0	97.5	2 018	16	2 127	16	2 224	30	2 277	38	94
D4026-65	79.20	98.5	88.6	2 751	28	2 771	19	2 777	31	2 957	58	99
D4026-66	52.85	76.5	30.9	2 617	26	2 640	20	2 650	33	2 859	62	99
D4026-67	48.90	61.8	69.6	2 643	30	2 661	22	2 677	39	2 619	51	99
D4026-68	79.50	123.0	63.8	2 464	24	2 453	19	2 464	24	2 596	51	99
D4026-69	109.00	158.0	69.2	2 608	19	2 633	17	2 643	28	2 696	44	99
D4026-70	80.50	166.0	75.4	1 963	20	2 122	19	2 268	35	2 639	62	92
D4026-71	51.10	81.5	31.0	2 486	26	2 490	19	2 484	33	2 686	58	99
D4026-72	16.41	63.0	37.2	1 157	15	1 189	24	1 250	64	1 182	27	97
D4026-73	82.40	141.0	54.1	2 355	22	2 374	18	2 389	33	2 489	47	99
D4026-74	87.60	185.0	63.8	2 033	19	2 052	16	2 058	30	2 046	37	99
D4026-75	61.80	88.3	45.7	2 642	24	2 677	18	2 691	30	2 741	47	98
D4026-76	51.72	74.6	28.8	2 684	26	2 685	18	2 676	32	2 741	52	99
D4026-77	23.79	51.6	42.6	1 833	21	1 845	22	1 854	48	1 855	38	99
D4026-78	57.60	74.6	34.3	2 861	27	2 880	20	2 880	35	2 824	63	99
D4026-79	20.23	44.5	37.3	1 824	22	1 837	24	1 856	54	1 786	40	99
D4026-80	106.70	220.0	104.0	2 052	18	2 049	17	2 029	34	1 986	32	99
D4026-81	39.69	72.0	37.0	2 256	21	2 274	19	2 276	42	2 214	42	99
D4026-82	181.80	275.0	109.0	2 603	20	2 711	17	2 776	27	2 380	40	95
D4026-83	64.90	126.0	52.6	2 192	20	2 193	18	2 180	33	2 216	42	99
D4026-84	67.50	100.0	113.0	2 415	23	2 418	21	2 402	37	2 404	44	99
D4026-85	39.80	70.5	47.1	2 311	31	2 323	25	2 315	41	2 347	53	99
D4026-86	80.30	162.0	61.9	2 185	20	2 192	19	2 183	32	2 214	44	99
D4026-87	54.69	74.5	26.6	2 864	25	2 873	18	2 870	30	2 899	58	99
D4026-88	130.10	253.0	112.0	2 205	20	2199	15	2 183	27	2 215	37	99
D4026-89	32.46	47.0	24.5	2 694	30	2 696	23	2 688	37	2 793	61	99
D4026-90	54.30	105.0	107.0	2 016	24	2 022	20	2 016	32	2 085	37	99
D4026-91	40.60	76.8	81.5	2 009	21	2 020	21	2 022	41	2 049	40	99
D4026-92	79.10	167.0	66.3	2 064	20	2 067	18	2 058	34	2 097	38	99
D4026-93	51.50	88.0	53.8	2 345	24	2 353	18	2 353	33	2 411	46	99
D4026-94	193.20	320.0	141.0	2 402	21	2 618	17	2 773	26	2 493	40	91
D4026-95	63.10	98.4	44.9	2 582	26	2 587	17	2 583	28	2 578	48	99
D4026-96	64.10	131.0	111.0	1 958	17	1 941	16	1 911	32	1 967	31	99

表 3　打鼓石群罗汉岭组(D6020)锆石 U-Pb 测年数据

Table 3　U-Th-Pb isotopic data of zircons from Luohanling Formation (D6020) of Dagushi Group

测试点号	Pb (10^{-6})	U (10^{-6})	Th (10^{-6})	年龄(Ma)								谐和度 (%)
				$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	
D6020-1	236.8	379.0	136.0	2 629	22	2 623	17	2 606	29	2 600	42	99
D6020-2	275.9	468.0	137.0	2 549	22	2 501	15	2 450	27	2 627	45	98
D6020-3	308.0	464.0	209.0	2 720	21	2 683	15	2 643	24	2 597	34	98
D6020-4	159.7	204.0	207.0	2 823	23	2 748	15	2 681	26	2 750	38	97
D6020-5	153.4	238.0	358.0	2 306	21	2 292	16	2 266	28	2 230	30	99
D6020-6	197.4	290.0	114.0	2 762	24	2 768	16	2 765	28	2 701	43	99
D6020-7	240.3	500.0	222.0	2 131	19	2 087	16	2 131	19	2 119	34	97
D6020-8	236.3	396.0	166.0	2 507	21	2 502	16	2 483	27	2 499	39	99
D6020-9	964.6	2 631.0	265.0	1 810	14	1 825	12	1 828	25	1 684	25	99
D6020-10	150.6	570.0	494.0	1 186	11	1 171	13	1 128	31	1 176	18	98
D6020-11	209.6	387.0	188.0	2 304	21	2 295	15	2 276	26	2 221	36	99
D6020-12	37.9	146.0	109.0	1 193	13	1 185	21	1 169	58	1 131	24	99
D6020-13	114.5	242.0	269.0	1 881	19	1 832	17	1 776	37	1 802	30	97
D6020-14	44.4	178.0	105.0	1 175	14	1 158	19	1 137	55	1 207	25	98
D6020-15	~~28.5~~	~~555.0~~	~~483.0~~	~~242~~	~~3~~	~~271~~	~~10~~	~~532~~	~~91~~	~~250~~	~~5~~	~~88~~
D6020-16	95.6	124.0	51.4	2 980	32	3 005	18	3 017	27	2 910	64	99
D6020-17	215.1	314.0	283.0	2 552	23	2 531	16	2 503	26	2 551	37	99
D6020-18	49.6	176.0	160.0	1 212	16	1 311	22	1 473	56	1 374	35	92
D6020-19	301.4	444.0	389.0	2 535	22	2 546	16	2 543	27	2 390	37	99
D6020-20	84.2	200.0	128.0	1 813	19	1 825	16	1 839	31	1 775	29	99
D6020-21	88.5	168.0	109.0	2 165	17	2 192	16	2 209	25	1 971	33	98
D6020-22	300.9	621.0	330.0	2 066	17	2 058	14	2 043	25	1 945	26	99
D6020-23	56.4	215.0	164.0	1 188	13	1 171	17	1 140	48	1 125	20	98
D6020-24	61.6	248.0	150.0	1 163	12	1 157	18	1 139	50	1 096	22	99
D6020-25	202.5	483.0	249.0	1 851	16	1 852	16	1 847	33	1 732	26	99
D6020-26	836.8	2 152.0	313.0	1 848	15	1 846	13	1 836	25	1 792	26	99
D6020-27	379.8	931.0	736.0	1 767	12	1 900	13	2 043	25	1 169	17	92
D6020-28	233.2	438.0	243.0	2 221	19	2 203	14	2 189	26	2 142	30	99
D6020-29	316.7	661.0	498.0	1 972	15	2 007	14	2 035	26	1 832	26	98
D6020-30	85.5	352.0	242.0	1 126	13	1 130	15	1 140	44	1 082	20	99
D6020-31	123.9	498.0	443.0	1 139	12	1 133	16	1 115	48	1 010	19	99
D6020-32	109.6	169.0	170.0	2 394	22	2 437	18	2 466	31	2 336	37	98
D6020-33	340.6	593.0	301.0	2 346	20	2 332	14	2 310	23	2 303	33	99
D6020-34	132.2	255.0	232.0	2 040	18	2 071	16	2 095	29	2 064	29	98
D6020-35	86.6	334.0	274.0	1 149	11	1 133	15	1 098	44	1 067	17	98
D6020-36	229.0	410.0	96.6	2 386	21	2 395	16	2 394	34	2 412	46	99
D6020-37	260.1	489.0	257.0	2 153	18	2 218	17	2 265	31	2 397	47	97
D6020-38	220.6	444.0	316.0	2 026	18	2 053	15	2 078	28	1 961	28	98
D6020-39	172.0	653.0	640.0	1 133	11	1 127	13	1 102	35	1 093	15	99
D6020-40	105.2	208.0	227.0	1 953	20	1 953	17	1 946	32	1 883	28	99
D6020-41	277.1	551.0	323.0	2 092	18	2 075	14	2 047	26	2 061	30	99
D6020-42	258.2	414.0	238.0	2 483	24	2 460	17	2 428	27	2 499	38	99
D6020-43	1 022.0	1 748.0	533.0	2 475	23	2 461	16	2 437	28	2 432	37	99
D6020-44	181.0	267.0	167.0	2 644	24	2 648	17	2 640	60	2 355	39	99
D6020-45	66.3	257.0	191.0	1 173	12	1 161	17	1 139	51	1 123	19	98
D6020-46	182.2	281.0	249.0	2 459	22	2 450	15	2 435	26	2 412	32	99
D6020-47	267.9	555.0	323.0	2 043	21	2 042	15	2 031	26	2 011	27	99
D6020-48	135.8	247.0	366.0	1 979	18	1 981	16	1 976	30	1 955	25	99
D6020-49	62.7	123.0	74.4	2 234	27	2 188	21	2 139	35	2 204	45	97
D6020-50	51.7	80.9	109.0	2 362	32	2 328	22	2 298	37	2 275	38	98
D6020-51	279.9	574.0	450.0	2 068	19	2 079	14	2 079	26	1 945	26	99
D6020-52	373.0	668.0	524.0	2 287	22	2 395	16	2 476	26	2 087	29	95
D6020-53	217.5	409.0	232.0	2 265	22	2 276	17	2 273	29	2 163	36	99
D6020-54	55.1	223.0	154.0	1 163	14	1 178	18	1 267	50	1 121	20	98
D6020-55	140.2	264.0	157.0	2 252	21	2 232	16	2 206	30	2 210	33	99
D6020-56	164.6	188.0	142.0	3 125	27	3 117	15	3 103	23	3 001	44	99
D6020-57	135.1	258.0	307.0	2 044	21	2 025	17	1 995	31	1 964	27	99
D6020-58	391.4	614.0	250.0	2 653	22	2 649	14	2 635	23	2 562	37	99
D6020-59	410.4	655.0	458.0	2 505	21	2 617	15	2 692	26	1 939	38	95
D6020-60	418.1	645.0	333.0	2 626	24	2 638	16	2 636	26	2 485	39	99
D6020-61	1 574.0	2 340.0	1 917.0	2 571	20	2 530	13	2 484	22	2 468	32	98
D6020-62	366.1	554.0	238.0	2 675	22	2 651	14	2 621	22	2 566	38	99
D6020-63	101.9	387.0	296.0	1 200	12	1 178	15	1 131	43	1 135	18	98
D6020-64	119.7	508.0	262.0	1 132	11	1 126	14	1 109	40	1 100	19	99
D6020-65	65.1	257.0	142.0	1 209	13	1 163	17	1 077	51	1 177	24	96
D6020-66	166.6	253.0	184.0	2 542	26	2 478	17	2 417	29	2 408	38	97
D6020-67	342.2	683.0	501.0	2 059	17	2 039	13	2 005	26	1 974	27	99
D6020-68	366.1	762.0	430.0	2 052	16	2 043	12	2 021	29	1 922	26	99
D6020-69	146.5	186.0	218.0	2 720	23	2 744	14	2 767	25	2 569	33	99
D6020-70	331.9	492.0	293.0	2 638	20	2 614	13	2 585	22	2 550	35	99
D6020-71	201.4	390.0	402.0	1 964	17	2 035	16	2 094	30	2 072	35	96
D6020-72	120.0	175.0	197.0	2 454	25	2 449	16	2 439	29	2 435	38	99
D6020-73	51.4	206.0	140.0	1 143	12	1 147	18	1 154	52	1 091	21	99
D6020-74	510.9	1 252.0	507.0	1 867	19	1 841	14	1 800	26	1 830	27	98
D6020-75	184.3	268.0	126.0	2 686	25	2 708	17	2 716	21	2 755	55	99
D6020-76	362.0	524.0	534.0	2 495	20	2 486	14	2 478	22	2 557	37	99
D6020-77	139.7	228.0	105.0	2 490	23	2 460	16	2 428	26	2 576	42	98
D6020-78	89.7	168.0	80.7	2 247	21	2 243	16	2 232	29	2 281	42	99
D6020-79	178.8	378.0	149.0	2 069	17	2 075	15	2 069	27	2 091	36	99

注:中间划横线的代表舍弃数据.

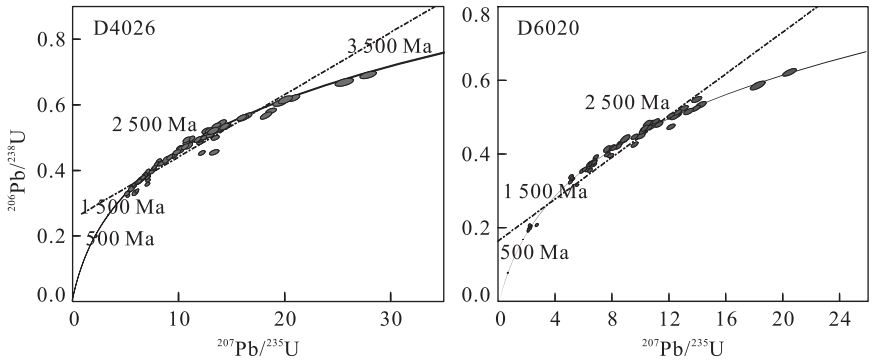

图 5 李家咀组(D4026)和罗汉岭组(D6020)碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5 U-Pb concordias of zircons from Lijiazui Formation (D4026) and Luohanling Formation (D6020)

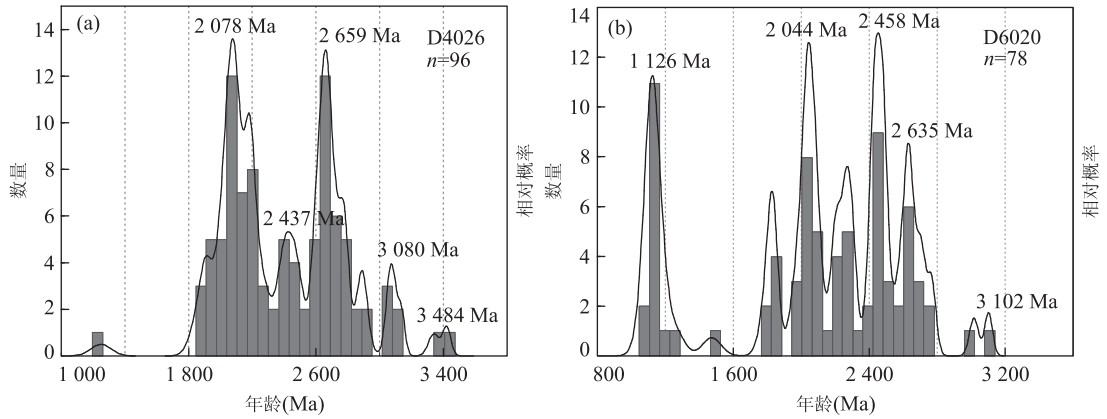

图 6 李家咀组(D4026)和罗汉岭组(D6020)碎屑锆石 U-Pb 年龄频率统计直方图

Fig. 6 U-Pb age histograms of detrital zircons from Lijiazui Formation (D4026) and Luohanling Formation (D6020)

有 95%以上的谐和度,仅数颗锆石有放射性成因的 Pb 丢失(图 5),且所有测试锆石的表面年龄均大于 1 000 Ma,因此对锆石的年龄均采用$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄.

锆石年龄概率统计结果表明,样品 D4026 所代表的打鼓石群李家咀组的碎屑锆石年龄主要集中分布在 1.8～3.5 Ga,主要有 4 个峰值:2 078 Ma、2 437 Ma、2 659 Ma 和 3 084 Ma 附近(图 6a);同时有 2 颗年龄在 3.5 Ga 左右的年龄记录,属古太古代,最年轻的锆石年龄为 1 250±64 Ma,限定了李家咀组的沉积年龄不早于 1 250±64 Ma,可以确定该组最老为中元古代晚期沉积产物. 样品 D6020 所代表的打鼓石群罗汉岭组碎屑锆石的年龄集中分布在 1.1～2.8 Ga,主要记录的 4 个峰值为:1 126 Ma、2 044 Ma、2 458 Ma 和 2 635 Ma 附近(图 6b),最年轻的峰值约 1 126 Ma 为主峰,其中最年轻的锆石年龄为 1 077±51 Ma,限定了该组的最老沉积年龄,说明该组的沉积时代最早为中元古代晚期.

打鼓石群的 2 个碎屑锆石年龄统计图显示其峰值特征十分相似,样品中均可见 2.0 Ga、2.4 Ga 和 2.6 Ga 左右的物源年龄,以及少量 3.0 Ga 左右的年龄信息,说明二者的物源基本相同,年龄相近,为一套近同时期具相似物源的沉积物,同时显示着打鼓石群的沉积物源区存在 2.0 Ga、2.4 Ga 和 2.6 Ga 这 3 期重要的古元古代岩浆事件;但是峰值显示罗汉岭组有大量约 1.1 Ga 年龄的物源,与李家咀组存在明显差异,可能说明李家咀组沉积时代之后、罗汉岭组沉积结束之前,物源区存在较大规模约 1.1 Ga 的岩浆事件.

4 讨论

4.1 对打鼓石群沉积时代的约束

前人对打鼓石群的年代学研究,主要是通过白云岩中产出的叠层石形态特征对比,判定其形成时代为中元古代(北京地质学院,1982),但至今仍缺乏可靠的年代学资料. 笔者首次提供了打鼓石群可靠的年龄信息,对李家咀组碎屑锆石进行分析发现,李

家咀组碎屑锆石最年轻的年龄为 1 250±64 Ma,仅一颗,没有记录到罗汉岭组的主峰值约 1 126 Ma 的岩浆事件物源,可能表明李家咀组的沉积时代在约 1 126 Ma 之前而没能记录到该岩浆事件的年龄信息,而罗汉岭组最年轻的碎屑锆石年龄为 1 077±51 Ma,记录了大量约 1 126 Ma 的物源,表明其沉积时代在约 1 126 Ma 的岩浆事件之后,从而能够记录到大量该次岩浆事件的年龄信息,综上可以确定打鼓石群的沉积时代应该属于中元古代,这与李怀坤等(2016)获得的打鼓石群凝灰岩夹层的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 1 225±19 Ma、1 239±23 Ma 一致. 而另一方面,打鼓石群碎屑锆石年谱特征与前人建立的打鼓石群地层序列存在明显矛盾,该区最新地质调查资料显示,原打鼓石群分布局限,构造复杂,常与构造混杂岩带相伴产出,一部分早期划分的打鼓石群应属于构造混杂岩内的岩块. 因此,扬子北缘中元古代打鼓石群地层序列及分布范围有待进一步研究.

4.2　打鼓石群碎屑锆石年代学意义

(1)打鼓石群与黄陵陆核的关系:打鼓石群的 2 件碎屑锆石 U-Pb 年龄统计显示,在 1.1 Ga、1.8 Ga、2.0 Ga、2.4 Ga 和 2.6 Ga 附近出现统计峰值,同时样品中出现一个约 3.0 Ga 的小峰值和 2 颗在 3.5 Ga 左右年龄的锆石(图 7),这些年代学信息均可在黄陵陆核区找到与之对应的岩浆事件,结合二者的空间位置,基本可以判定黄陵陆核区是打鼓石群的物源区,即打鼓石群沉积盆地属黄陵地块北部陆缘盆地.

(2)打鼓石群与昆阳群的关系:如图 7 所示,打鼓石群与昆阳群以及华夏地块均存在一个约1.1 Ga 的峰值,该年龄对应于全球格林威尔造山事件(Rivers,1997;陆松年,2001),但是迄今仅在扬子陆块北缘的神农架群和西南缘的昆阳群、会理群中有少量该时期的凝灰岩及玄武岩夹层出露,在华夏地块目前关于该时期的岩浆活动的报道也很少,但不可能为后期的沉积事件提供大量该时期的碎屑锆石物源,因此推断这昆阳群和华夏的约 1.1 Ga 的物源并非打鼓石群与昆阳群或华夏自身,这些物源可能来自于格林威尔造山带,但目前的研究表明我国华南地区并不存在格林威尔期造山事件(李献华等,1999;陆松年,2001;周金城等,2008),这些证据表明在中元古代时期昆阳群和华夏地块可能靠近格林威尔造山带,才能接受大量约 1.1 Ga 年龄的沉积物源,而 Peng *et al*.(2011)在黄陵庙湾地区发现的新

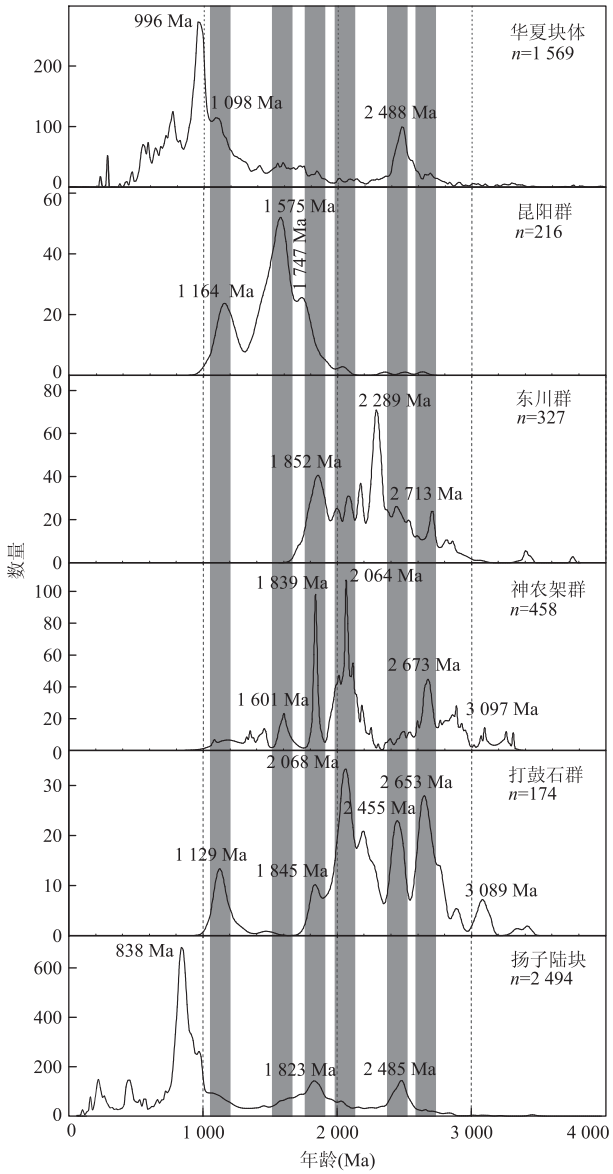

图 7　扬子陆块、打鼓石群、神农架群、东川群、昆阳群和华夏地块碎屑锆石频谱特征对比

Fig. 7　Detrital zircons U-Pb age relative probability diagrams plotted for comparison from Yangtze block, Dagushi Group, Shennongjia Group, Dongchuan Group, Kunyang Group and Cathaysia

数据引用自:Xu *et al*.(2007, 2012)、Yu *et al*.(2008, 2010, 2012)、Wu *et al*.(2010)、Yao *et al*.(2011, 2013)、Yan *et al*.(2011)、Duan *et al*.(2012)、She *et al*.(2012)、Wang *et al*.(2012, 2013)、肖志斌(2012)、李怀坤等(2013a, 2103b)、Li *et al*.(2013)

元古代(1.1～8.3 Ga)的缝合带,并报道该缝合带中存在约 1.1 Ga 的岩浆岩,可能为打鼓石群提供了该年龄的物源.

(3)打鼓石群、黄陵陆核与神农架群的关系:在神农架群和昆阳群中出现约 1.6 Ga 的年龄峰值,但是打鼓石群和东川群中均不见该年龄记录,显示二

者物源存在明显差别，而黄陵地区也不见该年龄的岩浆岩报道(Qiu *et al*., 2015)，说明该年龄的沉积物源不可能为黄陵地区提供，肖志斌(2012)通过对神农架群Hf同位素研究认为约1.6 Ga峰值的物源可能来自澳大利亚，白晓等(2011)对神农架群和黄陵地区Nd同位素研究也认为扬子陆块核部(黄陵和神农架地区)和扬子东南缘中元古代盆地之间应存在陆内裂(凹)陷或分隔的大洋，且邱啸飞等(2014)对神农架群地层中碎屑锆石Hf同位素研究发现在新元古代以前，神农架地区与扬子黄陵陆核区分属于两个独立的次一级微陆块.这些证据都充分说明打鼓石群、黄陵陆核与神农架群在中元古代不属于同一陆块.

4.3 对扬子陆块构造演化的启示

根据图7综合对比可以看出，打鼓石群和神农架群碎屑锆石约2.0 Ga峰值沉积记录十分明显，而昆阳群和东川群中仅有少量记录，打鼓石群中出现的约2.4 Ga年龄峰值，但是在神农架群、昆阳群和东川群中均不见，打鼓石群、神农架群和东川群中出现了约2.6 Ga峰值，在昆阳群中则不见该年龄的物源，这些年龄峰值的所反映出物源的显著差异，显示在中元古代及之前时期，打鼓石群与昆阳群、神农架群、东川群等地层单元的沉积物源存在明显差别，表明各地层单元所代表的地块和黄陵经历了不同的岩浆岩事件和构造演化历史，尹福光等(2011)对会理群火山岩地球化学及沉积岩相等研究认为会理、东川地区在新元古代以前分属不同的两个块体，不能加以简单的对比(陆松年等，2002；李献华等，2003；张传恒等，2007).最近，Peng *et al*.(2012)、胡正祥等(2015)，Dong *et al*.(2015)报道了扬子陆块内部存在前南华纪古缝合带，暗示新元古代之前扬子陆块并未形成统一的如现今规模的克拉通基底.综合上述分析，越来越多的证据表明，中新元古代时期，在现今扬子陆块范围内，呈现为多个次级地块组成的多岛洋格局，即打鼓石群、神农架群、昆阳群和东川群所代表的地块在中元古代并不属于同一陆块(扬子陆块)，而是在中－新元古代地质构造的演化中才拼合到一起而构成扬子陆块的基底.这可能也是全球中－新元古代Rodinia超大陆聚合－裂解事件在扬子陆块内不同微陆块的重要响应.

5 结论

(1)扬子北缘打鼓石群李家咀组的沉积时代在约1 126 Ma与1 250±64 Ma之间，而罗汉岭组的层沉积时代在1 077±51 Ma之后，打鼓石群的沉积时代应该为中元古代，前人厘定的打鼓石群地层层序需要重新审视和进一步研究.

(2)打鼓石群的2件碎屑锆石U-Pb年龄统计显示，在1.1 Ga、1.8 Ga、2.0 Ga、2.4 Ga和2.6 Ga附近出现统计峰值，同时样品中出现一个约3.0 Ga的小峰值和2颗在3.5 Ga左右的年龄锆石，这些年代学信息均可在黄陵陆核区找到与之对应的岩浆事件，结合二者的空间位置，基本可以认为黄陵陆核区应是打鼓石群的物源区，即打鼓石群沉积盆地属黄陵地块北部中元古代陆缘盆地.

(3)通过对比分析，打鼓石群与扬子北缘的神农架群、以及扬子西南缘昆阳群、东川群的物源均存在显著差异，结合前人的研究资料认为这些地层单元所代表的地块在中元古代分属于独立的次一级微陆块，在中－新元古代才逐渐拼合在一起形成扬子陆块的统一基底.

致谢：在文章修改过程中韩庆森博士提出了宝贵的修改建议，显著提高了文章的质量，同时匿名审稿人对文章提出了建设性的修改意见，特此表示感谢！

References

Bai, X., Ling, W. L., Duan, R. C., et al., 2011. Mesoproterozoic to Paleozoic Nd Isotope Stratigraphy of the South China Continental Nucleus and Its Geological Significance. *Science in China* (*Series D*), 41(7): 972－983 (in Chinese).

Chen, G. X., Jin, J. W., 1996. Stratigraphy (Lithostratic) of Hubei Province. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).

Chen, W. T., Zhou, M. F., Zhao, X. F., 2013. Late Paleoproterozoic Sedimentary and Mafic Rocks in the Hekou Area, SW China: Implication for the Reconstrauction of the Yangtze Block in Columbia. *Precambrian Research*, 231(5): 61－77. doi: 10.1016/j.precamres.2013.03.011

Deng, Q., Wang, J., Wang, Z. J., et al., 2013. New Evidence for the Age of the Macaoyuan Group on the Northern Margin of the Yangtze Block, South China-Implications for Stratigraphic Correlation and Palaeogeographic Framework. *Geological Bulletin of China*, 32(4): 631－638 (in Chinese with English abstract).

Dong, S. W., Zhang, Y. Q., Gao, R., et al., 2015. A Possible Buried Paleoproterozoic Collisional Orogen Beneath

Central South China: Evidence from Seismic-Reflection Profiling. *Precambrian Research*, 264: 1 — 10. doi: 10.1016/j.precamres.2015.04.003

Dong, Y. P., Zhang, G. W., Lai, S. C., et al., 1999. An Ophiolitic Tectonic Mélange First Discovered in Huashan Area, South Margin of Qinling Orogenic Belt, and Its Tectonic Implications. *Science in China* (*Series D*), 42(3): 292—302. doi: 10.1007/BF02878966

Dong, Y. P., Zhang, G. W., Lai, S. C., et al., 1999. The Determination and Its Tectonic Significance of Huashan Ophiolitic Tectonic Mélange in Suizhou. *Science in China* (*Series D*), 29(3): 222—231 (in Chinese).

Dong, Y. P., Zhang, G. W., Liu, X. M., et al., 1998. Disintegration of the Huashan Group in the Dahongshan Mountain Area, Northern Hubei. *Regional Geology of China*, 17(4): 371—376 (in Chinese with English abstract).

Dong, Y. P., Zhang, G. W., Yao, A. P., et al., 2003a. Deformation and Evolution of the Sanligang-Sanyang Tectonic Melange Belt along the Wet Section of Xiangfan-Guangji Foult. *Chinese Journal of Geology*, 38(4): 425—436 (in Chinese with English abstract).

Dong, Y. P., Zhang, G. W., Zhao, X., et al., 2003b. The Geochemical Characteristics of Dahongshan Magmatic Belt and Its Tectonic Significance in North Hubei—The New Evidence of Extend of Mianlue Ocean Basin and Its Subduction in South Qinling. *Science in China* (*Series D*), 33(12): 1143—1153 (in Chinese).

Duan, L., Meng, Q., Wu, G., et al., 2012. Detrital Zircon Evidence for the Linkage of the South China Block with Gondwanaland in Early Palaeozoic Time. *Geological Magazine*, 149(6): 1124 — 1131. doi: 10.1017/S0016756812000404

Gao, S., Yang, J., Zhou, L., et al., 2011. Age and Growth of the Archean Kongling Terrain, South China, with Emphasis on 3.3 Ga Granitoid Gneisses. *American Journal of Science*, 311(2): 153 — 182. doi: 10.2475/02.2011.03

Geng, Y. S., Yang, C. H., Du, L. L., et al., 2007. Chronology and Tectonic Environment of the Tianbaoshan Formation: New Evidence from Zircon SHRIMP U-Pb Age and Geochemistry. *Geological Review*, 53(4): 556—563 (in Chinese with English abstract).

Greentree, M. R., Li, Z. X., 2008. The Oldest Known Rocks in South-Western China: SHRIMP U-Pb Magmatic Crystallization Age and Detrital Provenance Analysis of the Paleoproterozoic Dahongshan Group. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33(5/6): 289 — 302. doi: 10.1016/j.jseaes.2008.01.001

Greentree, M. R., Li, Z. X., Li, X. H., et al., 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(1/2): 79 — 100. doi: 10.1016/j.precamres.2006.08.002

He, D. F., 2009. The Petrology and Geochemistry Research of Lala Copper Deposit in Sichuan Province. Chinese Academy of Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).

Hu, Z. X., Chen, C., Mao, X. W., et al., 2015. Documentation of Jingningian Island-Arc Volcanic Rocks and Accretionary Complexes in the Dahongshan Region, Northern Hubei and Its Tectonic Significance. *Resources Environment & Engineering*, 29(6): 757—766 (in Chinese with English abstract).

Jiao, W. F., Wu, Y. B., Peng, M., et al., 2009. The Oldest Basement Rock in the Yangtze Craton Revealed by Zircon U-Pb Age and Hf Isotope Composition. *Science in China* (*Series D*), 39(7): 972—978 (in Chinese).

Lai, S. C., Zhong, J. H., 1999. Geochemical Features and Its Tectonic Significance of the Meta-Basalt in Zhoujiawan Area, Mianlue Suture Zone, Qinling-Dabie Mountains, Hubei Province. *Scientia Geologica Sinica*, 2(8): 127—136.

Li, H., Jia, D., Wu, L., et al., 2013. Detrital Zircon Provenance of the Lower Yangtze Foreland Basin Deposits: Constraints on the Evolution of the Early Palaeozoic Wuyi-Yunkai Orogenic Belt in South China. *Geological Magazine*, 150(6): 959 — 974. doi: 10.1017/S0016756812000969

Li, H. K., Tian, H., Zhou, H. Y., et al., 2016. Correlation between the Dagushi Group in the Dahongshan Area and the Shennongjia Group in the Shennongjia Area on the Northern Margin of the Yangtze Craton: Constraints from Zircon U-Pb Ages and Lu-Hf Isotopic Systematics. *Earth Science Frontiers*, 23: 1—16 (in Chinese with English abstract).

Li, H. K., Zhang, C. L., Xiang, Z. Q., et al., 2013a. Zircon and Baddeleyite U-Pb Geochronology of the Shennongjia Group in the Yangtze Craton and Its Tectonic Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2): 673—697 (in Chinese with English abstract).

Li, H. K., Zhang, C. L., Yao, C. Y., et al., 2013b. U-Pb Zircon Age and Hf Isotope Compositions of Mesoproterozoic Sedimentary Strata on the Western Margin of the Yangtze Massif. *Science in China* (*Series D*), 43(8):

1287－1298 (in Chinese).

Li, X. H., 1999. Constraints from the Geochemistry of the Crustal Growth and Evolution during Proterozoic: A Case Study from South China, Chemical Geodynamics. Geological Publishing House, Beijing, 288 － 316 (in Chinese with English abstract).

Li, X. H., Li, Z. X., Zhou, H. W., et al., 2002. The Zircon SHRIMP U-Pb Age, Element and Nd Isotope Geochemistry of Guandanshan Rock in Southwest Sichuan Province—The Rock Formation and Tectonic Significance. *Science in China* (*Series D*), 32: 60－68 (in Chinese).

Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010. Continental and Oceanic Crust Recycling-Induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons of Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1/2): 537－571. doi: 10.1093/petrology/egp082

Lu, S. N., 2001. From Rodinia to Gondwanaland Supercontinents-Thinking about Problems of Reserching Neoproterozoic Supercontinents. *Earth Science Frontiers*, 8(4): 441－448 (in Chinese with English abstract).

Lu, S. N., Yang, C. L., Li, H. K., et al., 2002. North China Continent and Columbia Supercontinent. *Earth Science Frontiers*, 9(9): 226－233 (in Chinese with English abstract).

Ludwig, K. R., 2003. User's Manual for ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, No. 4.

Pang, W. H., Ren, G. M., Sun, Z. M., et al., 2015. Division and Correlation of Mesoproterozoic Strata on the Western Margin of Yangtze Block: Evidence from the U-Pb Age of Tuff Zircon in the Tongshan Formation. *Geology in China*, 42(4): 921－936 (in Chinese with English abstract).

Peng, M., Wu, Y. B., Wang, J., et al., 2009. Paleoproterozoic Mafic Dyke from Kongling Terrain in the Yangtze Craton and Its Implication. *Chinese Science Bulletin*, 54(6): 1098－1104. doi: 10.1007/s11434－008－0558－0

Peng, S., Kusky, T. M., Jiang, X. F., et al., 2011. Geology, Geochemistry, and Geochronology of the Miaowan Ophiolite, Yangtze Craton: Implications for South China's Amalgamation History with the Rodinian Supercontinent. *Gondwana Research*, 21(2－3): 577－594. doi: 10.1016/j.gr.2011.07.010.

Peng, S. B., Li, C. N., Kusky, T. M., et al., 2010. Discovery and Its Tectonic Significance of the Proterozoie Miaowan Ophiolites in the Southern Huangling Anticline, Western Hubei, China. *Geological Bulletin of China*, 29(1): 8－20 (in Chinese with English abstract).

Qiu, X. F., Lin, W. L., Liu, X. M., et al., 2011. Recognition of Grenvillian Volcanic Suite in the Shennongjia Region and Its Tectonic Significance for the South China Craton. *Precambrian Research*, 191(3/4): 101－119. doi: 10.1016/j.precamres.2011.09.011

Qiu, X. F., Ling, W. L., Liu, X. M., 2014. Correlation between the Mesoproterozoic Yangtze Continental Nucleus and the Shennongjia Area: Constraints from Zircon Geochronological and Hf Isotope. *Geological Science and Technology Information*, 33(2): 1－8 (in Chinese with English abstract).

Qiu, X. F., Yang, H. M., Lu, S. S., et al., 2015. Geochronology and Geochemistry of Grenville-Aged (1 063 ± 16 Ma) Metabasalts in the Shennongjia District, Yangtze Block: Implications for Tectonic Evolution of the South China Craton. *International Geology Review*, 57(1): 76－96. doi: 10.1080/00206814.2014.991949

Qiu, Y. M., Gao, S., Mcnaughton, N. J., et al., 2000. First Evidence of >3.2 Ga Continental Crust in the Yangtze Craton of South China and Its Implications for Archean Crustal Evolution and Phanerozoic Tectonics. *Geology*, 28: 11－14. doi: 10.1130/0091－7613(2000)028<0011: FEOGCC>2.3.CO;2

Rivers, T., 1997. Lithotectonic Elements of the Grenville Province: Review and Tectonic Implications. *Precambrian Research*, 86(3－4): 117－154. doi: 10.1016/S0301－9268(97)00038－7

She, Z., Ma, C., Wan, Y., et al., 2012. An Early Mesozoic Transcontinental Palaeoriver in South China: Evidence from Detrital Zircon U-Pb Geochronology and Hf Isotopes. *Journal of the Geological Society*, 169(3): 353－362. doi: 10.1144/0016－76492011－097

Shi, Y. R., Zhang, Z. Q., Liu, D. Y., et al., 2003. A Study on Sm-Nd and Rb-Sr Isotopic Chronology of the Huashan Ophiolitic Mélange in the Suizhou Area, Hubei Province. *Geological Review*, 49(4): 367－373 (in Chinese with English abstract).

Shi, Y. R., Zhang, Z. Q., Liu, D. Y., et al., 2005. The Rb-Sr Isotopic Age of Gabbro in Yangjiapeng Area, Suizhou, Hubei Province. *Acta Geoscientica Sinica*, 26(6): 521－524 (in Chinese).

Sun, Z. M., Yin, F. G., Guan, J. L., et al., 2009. SHRIMP U-Pb Dating and Its Stratigraphic Significance of Tuff Zircons from Heishan Formation of Kunyang Group, Dongchuan Area, Yunnan Province, China. *Geological Bulletin of China*, 28(7): 896－900 (in Chinese with

English abstract).

Wang, D. B., Sun, Z. M., Yin, F. G., et al., 2012. Geochronology of the Hekou Group on the Western Margin of the Yangtze Block: Evidence from Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating of Volcanic Rocks. *Journal of Stratigraphy*, 26(3): 630－635 (in Chinese with English abstract).

Wang, J., Deng, Q., Wang, Z. J., et al., 2013. New Evidences for Sedimentary Attributes and Timing of the "Macaoyuan Conglomerates" on the Northern Margin of the Yangtze Block in Southern China. *Precambrian Research*, 235(2013): 58－70. doi: 10. 1016/j. precamres. 2013. 06. 003

Wang, W., Zhou, M., Yan, D., et al., 2012. Depositional Age, Provenance, and Tectonic Setting of the Neoproterozoic Sibao Group, Southeastern Yangtze Block, South China. *Precambrian Research*, 192: 107－124. doi: 10. 1016/j. precamres. 2011. 10. 010

Wang, Z. J., Wang, J., Du, Q. D., et al., 2013. Mature Archean Continental Crust in the Yangtze Craton: Evidence from Petrology, Geochronology and Geochemistry. *Chinese Science Bulletin*, 58: 1651－1660 (in Chinese with English abstract).

Wu, L., Jia, D., Li, H., et al., 2012. Provenance of Detrital Zircons from the Late Neoproterozoic to Ordovician Sandstones of South China: Implications for Its Continental Affinity. *Geological Magazine*, 147(06): 974－980. doi: 10. 1017/S0016756810000725

Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. The Study on Zircon Genetic Mineralogy and Its Restriction on Explaining of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589－1604 (in Chinses).

Xiao, Z. B., 2012. Reseach of the Detrital Zircon from Mesoproterozoic Sedimentary Strata in the North Margin of Yangtze Craton, China (Dissertation). Northwest University, Xi'an (in Chinese with English abstract).

Xiong, Q., Zheng, J. P., Yu, C. M., et al., 2009. Zircon U-Pb Age and Hf Isoplope of Quanyishang A-Type Granite in Yichang: Signification for the Yangtze Continental Cratonization in Paleoproterozoic. *Chinese Science Bulletin*, 54(3): 436－446. doi: 10. 1007/s11434－008－0401－7

Xiong, X. W., Chen, Y. Y., 1991. Sedimentary Features and Its Significance of Tectono-Paleography of Dagushi Group, Jingshan, Hubei Province. *Earth Science*, 16(5): 489－495 (in Chinese with English abstract).

Xu, X., O'Reilly, S. Y., Griffin, W. L., et al., 2007. The Crust of Cathaysia: Age, Assembly and Reworking of Two Terranes. *Precambrian Research*, 158(1): 51－78. doi: 10. 1016/j. precamres. 2007. 04. 010

Xu, Y., Du, Y., Cawood, P. A., et al., 2012. Detrital Zircon Provenance of Upper Ordovician and Silurian Strata in the Northeastern Yangtze Block: Response to Orogenesis in South China. *Sedimentary Geology*, 267: 63－72. doi: 10. 1016/j. sedgeo. 2012. 05. 009

Yan, Y., Hu, X., Lin, G., et al., 2011. Sedimentary Provenance of the Hengyang and Mayang Basins, SE China, and Implications for the Mesozoic Topographic Change in South China Craton: Evidence from Detrital Zircon Geochronology. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(6): 494－503. doi: 10. 1016/j. jseaes. 2011. 03. 012

Yang, H., Liu, F. L., Du, L. L., et al., 2012. Zircon U-Pb Dating for Metavolcanites in the Laochanghe Formation of the Dahongshan Group in Southwestern Yangtze Block, and Its Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2994－3014 (in Chinese with English abstract).

Yao, J., Shu, L., Santosh, M., 2011. Detrital Zircon U-Pb Geochronology, Hf-Isotopes and Geochemistry-New Clues for the Precambrian Crustal Evolution of Cathaysia Block, South China. *Gondwana Research*, 20(2): 553－567. doi: 10. 1016/j. gr. 2011. 01. 005

Yao, J., Shu, L., Santosh, M., et al., 2013. Geochronology and Hf Isotope of Detrital Zircons from Precambrian Sequences in the Eastern Jiangnan Orogen: Constraining the Assembly of Yangtze and Cathaysia Blocks in South China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74: 225－243. doi: 10. 1016/j. jseaes. 2012. 08. 010

Yin, F. G., Sun, Z. M., Zhang, Z., 2011. Mesoproterozoic Stratigraphic-Structure Framework in Huili-Dongchuan Area. *Geological Review*, 57(6): 770－778 (in Chinese with English abstract).

Yu, J. H., O'Reilly, S. Y., Wang, L., et al., 2008. Where was South China in the Rodinia Supercontinent?: Evidence from U-Pb Geochronology and Hf Isotopes of Detrital Zircons. *Precambrian Research*, 164(1): 1－15. doi: 10. 1016/j. precamres. 2008. 03. 002

Yu, J. H., O'Reilly, S. Y., Wang, L., et al., 2010. Components and Episodic Growth of Precambrian Crust in the Cathaysia Block, South China: Evidence from U-Pb Ages and Hf Isotopes of Zircons in Neoproterozoic Sediments. *Precambrian Research*, 181(1): 97－114. doi: 10. 1016/j. precamres. 2010. 05. 016

Yu, J. H., Reilly, S. Y., Zhou, M. F., et al., 2012. U-Pb Geochronology and Hf-Nd Isotopic Geochemistry of the Badu Complex, Southeastern China: Implications for the

Precambrian Crustal Evolution and Paleogeography of the Cathaysia Block. *Precambrian Research*, 222－223: 424－449. doi: 10.1016/j.precamres.2011.07.014

Zhang, C. H., Gao, L. Z., Wu, Z. J., et al., 2007. The Evidence from Tuff Zircon SHRIMP U-Pb age of Kunyang Group on Middle Yunnan: The Greenwell Orogenic Event in South China. *Chinese Science Bulletin*, 52(7): 818－824 (in Chinses).

Zhang, L. J., Ma, C. Q., Wang, L. X., et al., 2011. Discovery of Paleoproterozoic Rapakivi Granite on the Northern Margin of the Yangtze Block and Its Geological Significance. *Chinese Science Bulletin*, 56(1): 44－57 (in Chinese with English abstract).

Zhang, S. B., Zheng, Y. F., Wu, Y. B., et al., 2006. Zircon U-Pb Age and Hf-O Iostope Evidence for Paleoproterozoic Metamorphic Event in South China. *Precambrian Research*, 151(3/4): 265－288. doi: 10.1016/j.precamres.2006.08.009

Zhao, X. F., Zhou, M. F., 2011. Fe-Cu Deposits in the Kangdian Region, SW China: A Proterozoic IOCG (Iron-Oxide-Copper-Gold) Metallogenic Province. *Mineralium Deposita*, 46(7): 731－747. doi: 10.1007/s00126－011－0342－y

Zhao, X. F., Zhou, M. F., Li, J. W., et al., 2010. Late Paleoproterozoic to Early Meosoproterozoic Dongchuan Group in Yunnan, SW China: Implications for Tectonic Evolution of the Yangtze Block. *Precambrian Research*, 182(1/2): 57－69. doi: 10.1016/j.precamres.2010.06.021

Zhao, Y. S., Li, J. H., 1987. Micropalaeoflora of Dagushi Group in Northern Hubei and It's Stratigraphic Division and Correlation. *Hubei Geology*, 1(1): 11－28 (in Chinese with English abstract).

Zheng, J. P., Griffin, W. L., O'Rrilly, S. Y., et al., 2006. Widespread Archean Basement Beneath the Yangtze Craton. *Geology*, 34(6): 417－420. doi: 10.1130/G22282.1

Zhou, G., Wu, Y., Gao, S., et al., 2015. The 2.65 Ga A-Type Granite in the Northeastern Yangtzecraton: Petrogenesis and Geological Implications. *Precambrian Research*, 258: 247－259. doi: 10.1016/j.precamres.2015.01.003

Zhou, J. C., Wang, X. L., Qiu, J. S., 2008. Is the Jiangnan Orogenic Belt a Grenvillian Orogenic Belt: Some Problems about the Precambrian Geology of South China. *Geological Journal of China Universities*, 14(1): 64－72 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

白晓，凌文黎，段瑞春，等，2011. 扬子克拉通核部中元古代－古生代沉积地层Nd同位素演化特征及其地质意义. 中国科学(D辑)，41(7)：972－983.

陈公信，金经纬，1996. 湖北省岩石地层. 武汉：中国地质大学出版社.

邓奇，王剑，王正江，等，2013. 扬子北缘元古宇马槽园群时代归属新证据－对地层对比和古地理格局的启示. 地质通报，32(4)：631－638.

董云鹏，张国伟，赖绍聪，等，1999. 随州花山蛇绿构造混杂岩的厘定及其大地构造意义. 中国科学(D辑)，29(3)：222－231.

董云鹏，张国伟，柳小明，等，1998. 鄂北大洪山地区"花山群"的解体. 中国区域地质，17(4)：371－376.

董云鹏，张国伟，姚安平，等，2003. 襄樊－广济断裂西段三里岗－三阳构造混杂岩带构造变形与演化. 地质科学，38(4)：425－436.

董云鹏，张国伟，赵霞，等，2003. 鄂北大洪山岩浆带地球化学及其构造意义——南秦岭勉略洋盆东延及其俯冲的新证据. 中国科学(D辑)，33(12)：1143－1153.

耿元生，杨崇辉，杜利林，等，2007. 天宝山组形成时代和形成环境：锆石SHRIMP U-Pb年龄和地球化学证据. 地质论评，53(4)：556－563.

何德峰，2009. 四川省拉拉铜矿床岩石学及地球化学研究. 北京：中国科学院研究生院.

胡正祥，陈超，毛新武，等，2015. 鄂北大洪山晋宁期岛弧火山岩和增生杂岩的厘定及地质意义. 资源环境与工程，29(6)：757－766.

湖北省地质矿产局，1986. 1∶5万客店坡、古城畈、三阳店幅区域地质调查报告. 武汉：湖北省地质调查院.

焦文放，吴元保，彭敏，等，2009. 扬子板块最古老岩石的锆石U-Pb年龄和Hf同位素组成. 中国科学(D辑)，39(7)：972－978.

李怀坤，田辉，周红英，等，2016. 扬子克拉通北缘大洪山地区打鼓石群与神农架地区神农架群的对比：锆石SHRIMP U-Pb年龄及Hf同位素证据. 地学前缘，23：1－16.

李怀坤，张传林，相振群，等，2013a. 扬子克拉通神农架群锆石和斜锆石U-Pb年代学及其构造意义. 岩石学报，29(2)：673－697.

李怀坤，张传林，姚春彦，等，2013b. 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(D辑)，43：1287－1298.

李献华，1999. 元古宙地壳增长和演化的地球化学制约——以华南为例. 见：郑永飞编. 化学地球动力学. 北京：科学出版社，288－316.

李献华，李正祥，周汉文，等，2003. 川西南关刀山岩体的SHRIMP锆石U-Pb年龄、元素和Nd同位素地球化

学－岩石成因与构造意义. 中国科学(D 辑),46(增刊): 60－68.

陆松年,2001. 从罗迪尼亚到冈瓦纳超大陆－对新元古代超大陆研究几个问题的思考,地学前缘,8(4): 441－448.

陆松年,杨春亮,李怀坤,等,2002. 华北古大陆与哥伦比亚超大陆. 地学前缘,9(9): 226－233.

庞维华,任光明,孙志明,等,2015. 扬子地块西缘古一中元古代地层划分对比研究:来自通安组火山岩锆石 U-Pb 年龄的证据. 中国地质,42(4): 921－936.

彭松柏,李昌年,Timothy, K. M.,等,2010. 鄂西黄陵背斜南部元古宙庙湾蛇绿岩的发现及其构造意义. 地质通报. 29(1): 8－20.

邱啸飞,凌文黎,柳小明,2014. 扬子陆核与神农架地块中元古代相互关系:来自锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素的约束. 地质科技情报,33(2): 1－8.

石玉若,张宗清,刘敦一,等,2003. 湖北省随州花山蛇绿混杂岩 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素年代研究. 地质论评,49(4): 367－373.

石玉若,张宗清,刘敦一,等,2005. 湖北省随州杨家棚地区辉长岩 Rb-Sr 同位素年龄. 地球学报,26(6): 521－524.

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

汪正江,王剑,杜秋定,等,2013. 扬子克拉通内存在太古代成熟陆壳:来自岩石学、同位素年代学和地球化学证据. 科学通报,58: 1651－1660.

王冬兵,孙志明,尹福光,等,2012. 扬子地块西缘河口群的时代:来自火山岩锆石 LA-ICP MS U-Pb 年龄的证据. 地层学杂志,26(3): 630－635.

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.

肖志斌,2012. 中元古代扬子北缘神龙架地区沉积岩碎屑锆石研究(硕士毕业论文). 西安:西北大学.

熊兴武,陈忆元,1991. 湖北京山中元古界打鼓石群沉积特征及其构造古地理意义. 地球科学,16(5): 489－495.

杨红,刘福来,杜利林,等,2012. 扬子地块西南缘大红山群老厂河组变质火山岩的锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报,28(9): 2994－3014.

尹福光,孙志明,张璋,2011. 会理－东川地区中元古代地层－构造格架. 地质论评,57(6): 770－778.

张传恒,高林志,武振杰,等,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.

张丽娟,马昌前,王连训,等,2011. 扬子地块北缘古元古代环斑花岗岩的发现及其意义. 科学通报,56(1): 44－57.

赵银胜,李金华,1987. 鄂北打鼓石群的微古植物群及其地层划分与对比. 湖北地质,1(1): 11－28.

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