

桐柏山造山带南麓随州群变沉积岩中碎屑锆石的年代学及其地质意义*

薛怀民¹ 马芳²

XUE HuaiMin¹ and MA Fang²

1. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037

2. 北京大学地球与空间科学学院,北京 100871

1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2012-09-10 收稿, 2012-11-28 改回.

Xue HM and Ma F. 2013. Detrital-zircon geochronology from the metasedimentary rocks of the Suizhou Group in the southern foot of the Tongbaishan Orogen and their geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2):564–580

Abstract The Suizhou-Zaoyang area (northern margin of the Yangtze Craton), the least affected area of the whole Qinling-Tongbaishan-Dabieshan-Sulu orogen and their foreland by the deep subduction of the Yangtze Craton beneath the North China Craton and concomitant HP-UHP metamorphism during Triassic, relatively well preserved Precambrian basement of the northern Yangtze Craton. These low-grade metamorphosed Precambrian rocks not only provide an ideal opportunity to study the palaeo-tectonic setting of the northern Yangtze Craton, but also are rare-references for resuming protoliths of the metamorphic complex in the orogen. The Precambrian rocks exposed here include Neoproterozoic volcanic-sedimentary rock series (Suizhou Group) and voluminous Neoproterozoic ultramafic-mafic sill swarms. In this work, we used LA-ICP-MS zircon U-Pb technique dating detrital zircons from the metasedimentary samples of the Suizhou Group, yielding results as follow: ① The youngest age of detrital-zircon from the metasediments of the Suizhou Group is about 720Ma, which means that the formed age of the Suizhou Group was mainly later than this time; ② Zircon grains with ages from about 700Ma to 1000Ma are maximum detrital zircon group, with peak value at about 800Ma, showing that the magmatic rocks formed in Neoproterozoic era, especially medium to late stage of the Neoproterozoic, were foremost source of the Suizhou Group; ③ There are many zircon grains with ages from 1700Ma to 2100Ma, showing that the magmatic rocks formed in the medium to late stage of the Paleoproterozoic were also one of important sources; ④ Existing of detrital-zircon with ages of early stage of Paleoproterozoic and Archaean imply that this era of stratum may exist in the northern margin of the Yangtze Craton.

Key words Suizhou Group; Metasedimentary rocks; Detrital-zircon; LA-ICPMS zircon U-Pb dating; Neoproterozoic; Northern margin of the Yangtze Craton

摘要 扬子克拉通北缘的随州-枣阳地区是整个秦岭-桐柏山-大别山-苏鲁造山带及其前陆地区受晚三叠世(印支期)扬子板块向华北板块深俯冲并发生高压-超高压变质作用影响最小的地区,因而扬子克拉通北缘的前寒武纪基底在这里得到了较多的保存。它们不仅为研究扬子克拉通北缘新元古代构造环境提供了难得的样品,也为研究造山带内变质杂岩的原岩性质提供了参照物。出露的前寒武纪基底包括新元古代的变质火山-沉积岩系(随州群)以及大量的超镁铁质-镁铁质岩床群。本文用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法对随州群中变质沉积岩中的碎屑锆石进行了系统的年代学研究,结果表明:① 随州群变质沉积岩中最年轻碎屑锆石的年龄约为 720Ma,表明随州群的主要沉积作用应晚于该时间;② 年龄介于 700~1000Ma 时间段的锆石颗粒构成了随州群变质沉积岩中最大的碎屑锆石群体,峰值在 800Ma 左右,说明新元古代,尤其是新元古代中、晚期形成的岩浆岩是随州群沉积岩最重要的一个物源;③ 随州群变质沉积岩中也出现了较多 1700~2100Ma 年龄段的锆石颗粒,说明古元古代中、晚期形成的岩浆岩也是随州群沉积岩的重要物源之一;④ 随州群沉积岩具有古元古代早期,甚至太古代年龄的碎

* 本文受国家自然科学基金项目(40772048)和地质矿产调查评价专项(1212011121063,1212011121116)联合资助。

第一作者简介:薛怀民,男,1962年生,研究员,岩石学专业,E-mail: huaiminx@sina.com

屑锆石,说明扬子克拉通北缘可能存在层位相当的物源。

关键词 随州群;变质沉积岩;碎屑锆石;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年;新元古代;扬子克拉通北缘

中图法分类号 P597.3

秦岭-桐柏山-大别山-苏鲁造山带出露有世界上规模最大的高压-超高压变质杂岩(Hacker *et al.*, 1998, 2000),它们是由扬子克拉通基底在三叠纪向北俯冲到华北克拉通之下,随后从深度大于120km(Liou *et al.*, 1996),甚至大于200km(Ye *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2007)的深处折返上来形成的。大量的同位素年代学资料证明,造山带内变质杂岩的原岩主要形成于新元古代(Ames *et al.*, 1996; Rowley *et al.*, 1997; Xue *et al.*, 1997; Hacker *et al.*, 1998; Carswell *et al.*, 2000; Xue *et al.*, 2001, 2006; 薛怀民等, 2002; 刘福来等, 2004; 杨坤光等, 2009),但也有少量超高压变质岩的原岩具有太古代和古元古代的年龄信息(Chavagnac *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2004)。由于大规模的俯冲消减,扬子克拉通北缘的前寒武纪基底在大别山造山带的前陆地区(一般认为这里的俯冲消减程度最大)已不复存在,越向西则残留得越多,至桐柏山造山带南麓的随州-枣阳地区,扬子克拉通北缘的前寒武纪基底得到了较多的保留。本文用LA-ICP-MS法测定了随州群变质沉积岩中碎屑锆石的U-Pb同位素年龄谱,并通过与邻区武当地区碎屑锆石时代的对比,探讨了随州地区新

元古代在扬子克拉通的构造位置及所提供的克拉通基底的信息。

1 区域地质概况

桐柏山造山带地处秦岭-桐柏山-大别山-苏鲁巨型造山带的中段,其东以大悟断裂为界与西大别(红安地块)相接,其西隔南阳盆地与东秦岭的武当地块相望(图1a)。随(州)-枣(阳)地区位于桐柏山造山带南缘的低温-高压变质带(LT-HP)内,主要由新元古代的变质双峰式火山岩、变沉积岩(随县群)和大量的(变)超镁铁质-镁铁质岩床群构成(图1b)。南侧被NW-SE走向的早古生代断陷盆地覆盖。随县群在区内构成了一个走向NW-SE的倒转复背斜,由三个次级倒转向斜和两个次级倒转背斜(核部分别位于柳林和长岭附近)构成。复背斜的轴面向北东倾斜,枢纽分别向北西和南东两端倾伏。

随县群的岩石经历过强烈的变形和蓝片岩相的低温-高压变质作用,但目前大多已退变为绿片岩相岩石组合,蓝片

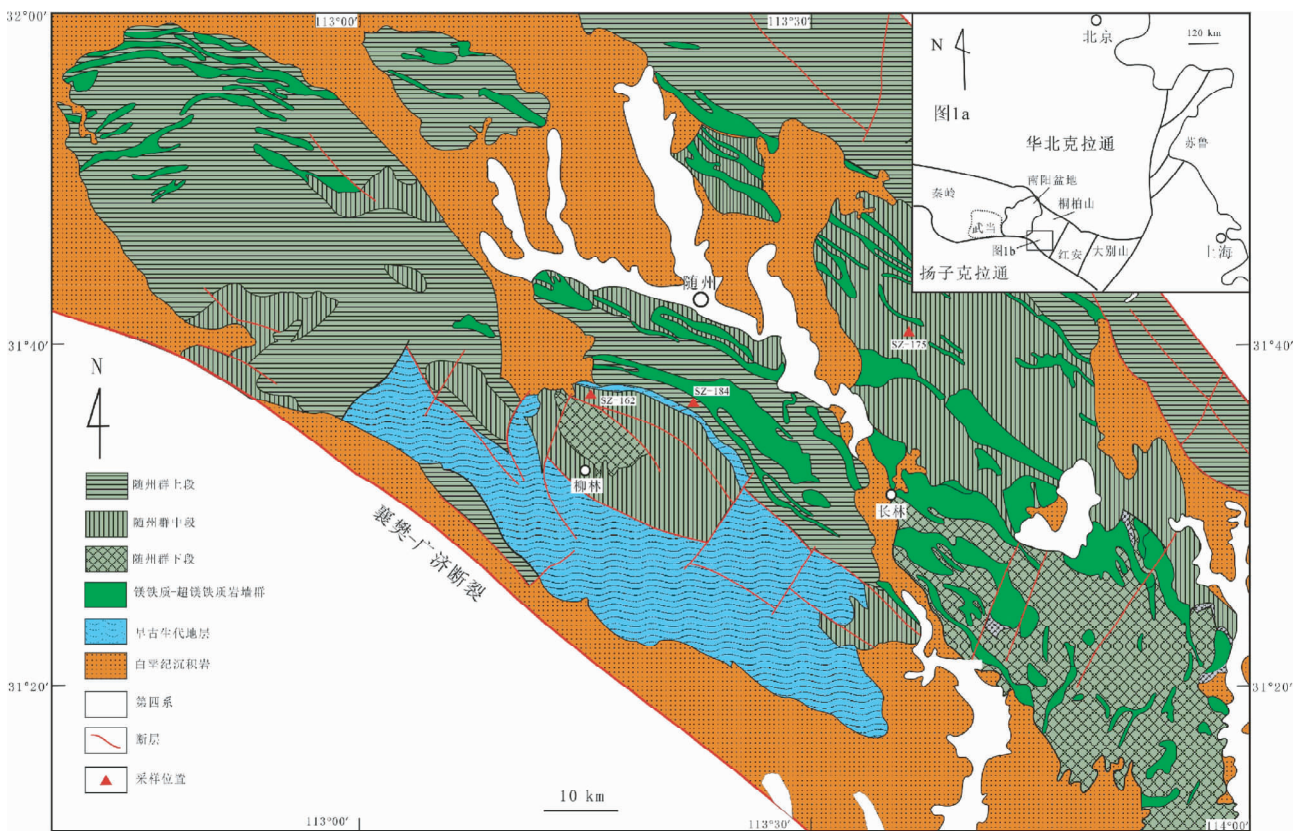


图1 随州-枣阳地区(桐柏山造山带南麓)地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of the Suizhou-Zaoyang area, southern foot of the Tongbaishan Orogen

岩仅仅呈条带状残留于绿片岩中。岩性主要包括变酸性火山岩(千枚状片岩、黑云母二长片麻岩和钠长片麻岩等)、变镁铁质火山岩(绿帘钠长角闪片岩、钠长阳起绿帘绿泥片岩、钠长绿泥阳起片岩等)和变沉积岩(千枚状片岩、绢云钠长石英片岩、钠长石英片岩、白云片岩等)。从局部残留的火山岩结构可以看出,变酸性火山岩的原岩以火山碎屑岩(包括角砾凝灰岩、凝灰角砾岩、熔结凝灰岩等)为主,其次为流纹岩,基性端元主要为玄武岩。变沉积岩的原岩包括砂岩、粉砂岩、泥岩、粉砂质泥岩等。由于后期强烈的构造变形与变质,随县群的地层受到了强烈的构造置换,原生层理(S_0)多被新生面理(S_1)所置换,在倒转复背斜的翼部因密集发育的轴面劈理(倾向 NE、NNE,上盘指向 SE、SSW)而呈现假单斜地层(薛怀民等,2011),在两端次级褶皱的枢纽则显示明显的倾伏产状。

由于强烈的构造置换,随县群的原岩层序已很难识别,通过构造重建可大致将随县群划分为三段:下段主要由变双峰式火山岩组成,含少量变沉积岩夹层,它们主要构成两个次级倒转背斜的核部;中段主要为变沉积岩,夹变流纹质火山碎屑岩及少量变中-基性熔岩;上段以变沉积岩为主,局部地段出现较多的变粗面安山岩或碱性流纹岩,它们主要构成三个次级倒转向斜的核部。随县群的原岩建造在空间上相变较大,总体上东南部以火山物质居多,到西南部则以沉积岩为主。

随县群中有大量的超镁铁质-镁铁质岩床群贯入,地表呈连续或不连续的条带状出露,这些条带的长从几十米到大约40km不等,宽从1m左右到大约5km。这些岩床群主要呈NW-SE向延伸,大致平行于区域构造线的走向和围岩面理的方向,但在倒转复背斜的两侧伏端变为近EW向,甚至NE向(图1b)。这些镁铁质-超镁铁质岩床群曾被错当作岩墙群,构造重建显示它们主要是顺层贯入到随县群的下段和中段,少数贯入到中段和上段之间的过渡地带,它们与围岩一起经历过后期的变形和变质。但这些能干性强的镁铁质-超镁铁质岩床群对变形和变质作用响应的情况随它们所处的褶皱部位、岩床的规模等的不同差别悬殊,其中位于褶皱轴部的岩床及厚度较大的岩床,仅在边部有面理发育,而一些较薄的岩床则发育有透入性面理。由于变形和局部的加厚或减薄(在倒转背斜的轴部有明显的加厚,而在翼部则明显减薄),各岩床的原始厚度已很难恢复,推测从大约1m到约100m不等。

2 样品与分析方法

2.1 样品描述

本次研究的样品分别采自随县群中段(样品SZ-162和SZ-175)和上段(样品SZ-184),其中样品SZ-162为绢云钠长石英片岩,岩石中石英具定向拉长现象,片状矿物为细小的绢云母,定向排列,但围绕长石等粒状矿物有弯曲现象。

样品SZ-175为黑云钠长片麻岩,岩石主要有钠长石和

石英组成,两者的含量相近,其中石英有定向拉长现象,岩石含约10%的黑云母,具明显的定向排列。

样品SZ-184为变粒岩,主要有石英组成,其次为斜长石,含少数细小的黑云母,岩石中片状矿物具一定的定向性。

2.2 分析方法

锆石是从约5kg样品中用常规方法分选出后,在双目镜下仔细挑纯得到的。将挑纯后的锆石与数粒锆石标准样TEMORA同置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露。分析点的选择首先根据已磨至一半的锆石反射和透射照片进行初选,再与阴极发光照片反复对比,力求避开内部矿物包裹体、裂隙等缺陷。样品测试是在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进行。激光剥蚀使用的是德国相干公司(Coherent)准分子激光器COMPex Pro102,激光条件为:激光束斑32 μ m,激光能量密度20J/cm²,频率5Hz,使用纯度为99.999%的He作为载气将激光剥蚀出来的物质带入等离子体质谱。质谱分析采用美国安捷伦科技有限公司电感耦合等离子体质谱仪Agilent ICP-MS 7500ce,功率1500W,冷却气15L/min,辅助气1L/min,载气0.96L/min,积分时间⁴⁹Ti、²⁰⁷Pb为50ms,²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb、²⁰⁸Pb、²³²Th、²³⁸U为20ms,其余同位素为10ms。信号采集时间共75s,采集信号前先用激光剥蚀3s以去除样品表面可能存在的污染,在进行15s的空白信号采集后开始触发激光采集样品信号。每4个未知样测试1个TEMORA锆石标样,每8个未知样测试1个NIST 610玻璃标样。数据处理先应用西澳大学的Glitter软件获得微量元素含量及U-Pb同位素比值,微量元素的含量以Si元素为内标,以NIST 610为外标;U-Pb同位素比值的确定采用TEMORA锆石标样(417Ma)进行元素间的分馏校正,由于锆石中²⁰⁴Pb的含量极低,因此未进行普通铅的校正。U-Pb谱和年龄是根据同位素比值应用Ludwig(2001)的Isoplot程序得到的。

3 分析结果

3.1 随州群中段碎屑锆石的年龄谱

3.1.1 样品SZ-162

该样品中的锆石以浑圆状为主,少数呈短柱状。这些锆石颗粒从颜色上明显分为两类:一类颜色较深,呈棕色-咖啡色,这类锆石的CL图像大多较暗;另一类锆石颗粒几乎无颜色,它们的CL图像较明亮。两类锆石颗粒中的绝大多数具明显的磨圆现象,其中颜色较深的一类磨圆度总体更好(可能指示其具有更复杂的搬运-沉积过程)。CL图像显示该样品中锆石的内部结构复杂多样,既有震荡生长环带发育的锆石颗粒(图2b, d-f)、也有些颗粒发育中-基性岩中常见的直纹(图2a),还有些颗粒中仅见有稀疏的条带(图2c)或仅隐见一些吸收条痕状的条带(图2g),可能暗示该沉积岩的物源多样性。

本次研究共对该样品中的56个锆石颗粒进行了U-Pb年

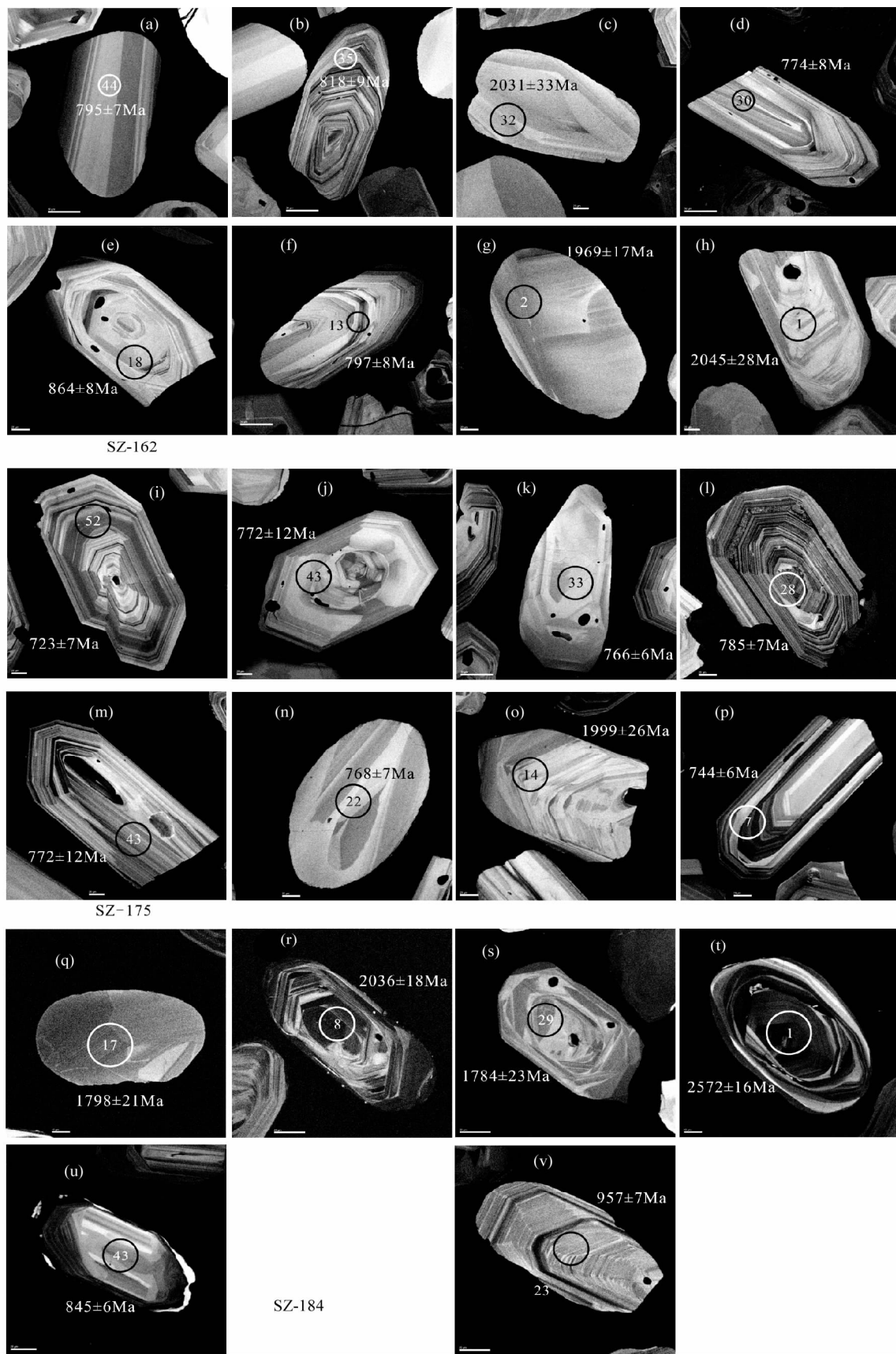


图2 随州群变沉积岩中碎屑锆石的阴极发光照片 (CL)

Fig. 2 CL images of detrital zircons from the metasediment of the Suizhou Group, southern foot of the Tongbaishan Orogen

表 1 随州群变质沉积岩中碎屑锆石的 LA-ICP-MS 分析结果

Table 1 LA-ICP-MS analytical results for detrital zircons from the metasedimentary rocks of the Suizhou Group, southern foot of the Tongbaishan

测点号	含量 ($\times 10^{-6}$)				Th/U				比值				年龄 (Ma) (1σ)			
	Th	U	Pb		Th/U	$\pm 1\sigma$	Pb^{207}/U^{235}	$\pm 1\sigma$	Pb^{206}/U^{238}	$\pm 1\sigma$	Pb^{206}/Th^{232}	$\pm 1\sigma$	Pb^{207}/Pb^{206}	Pb^{207}/U^{235}	Pb^{206}/U^{238}	Pb^{208}/Th^{232}
绢云钠长石英片岩 (SZ-162)																
SZ162-01	21.31	28.73	466.5	0.74	0.12616	0.00199	6.35399	0.09284	0.36528	0.00351	0.1111	0.00207	2045.2 ± 27.62	2025.9 ± 12.82	2007.2 ± 16.55	2129.4 ± 37.59
SZ162-02	136.3	416.83	444.0	0.33	0.12088	0.00115	6.08673	0.04993	0.36521	0.00262	0.10898	0.00135	1969.3 ± 16.85	1988.3 ± 7.15	2006.8 ± 12.38	2090.8 ± 24.69
SZ162-03	115.58	160.7	181.2	0.72	0.0649	0.00104	1.13448	0.01681	0.12679	0.00105	0.04096	0.00063	771.1 ± 33.29	769.9 ± 8	769.5 ± 6	811.3 ± 12.25
SZ162-04	114.71	99.81	186.1	1.15	0.06744	0.00163	1.18088	0.02695	0.12701	0.0013	0.04143	0.00075	851.2 ± 49.34	791.7 ± 12.55	770.8 ± 7.45	820.5 ± 14.53
SZ162-05	35.26	42.81	451.5	0.82	0.12195	0.00169	6.08879	0.07733	0.36213	0.00318	0.10878	0.00173	1984.9 ± 24.49	1988.6 ± 11.08	1992.3 ± 15.03	2087.1 ± 31.47
SZ162-06	38.26	41.05	447.8	0.93	0.12069	0.00173	6.08217	0.07999	0.36553	0.00326	0.10851	0.00172	1966.4 ± 25.28	1987.7 ± 11.47	2008.3 ± 15.39	2082.1 ± 31.33
SZ162-08	30.58	45.33	220.3	0.67	0.06866	0.00173	1.45188	0.03484	0.15338	0.00159	0.04755	0.00108	888.5 ± 51.23	910.7 ± 14.43	919.9 ± 8.88	938.9 ± 20.92
SZ162-09	56.09	57.57	447.9	0.97	0.12108	0.00158	6.2289	0.07378	0.37313	0.00315	0.11046	0.0016	1972.2 ± 23	2008.5 ± 10.36	2044.1 ± 14.79	2117.6 ± 29.19
SZ162-10	69.7	70.44	199.5	0.99	0.06687	0.00148	1.27559	0.02666	0.13836	0.00133	0.04438	0.00078	833.7 ± 45.37	834.9 ± 11.89	835.4 ± 7.52	877.7 ± 15.14
SZ162-11	26.35	556.42	405.6	0.05	0.10971	0.00104	4.86855	0.03993	0.32187	0.0023	0.05076	0.00111	1794.5 ± 17.24	1796.8 ± 6.91	1798.9 ± 11.22	1000.8 ± 21.41
SZ162-12	206.6	133.83	179.5	1.54	0.06942	0.0013	1.18968	0.02087	0.12431	0.00112	0.04089	0.00059	911.1 ± 38.16	795.8 ± 9.68	755.3 ± 6.4	810.1 ± 11.46
SZ162-13	57.48	52.36	193.0	1.10	0.06707	0.00173	1.21673	0.02992	0.13158	0.00137	0.04286	0.00081	839.9 ± 52.89	808.3 ± 13.71	796.9 ± 7.81	848.2 ± 15.71
SZ162-14	35.08	36.11	448.3	0.97	0.12077	0.00175	6.09777	0.08135	0.3662	0.00328	0.10931	0.00171	1967.7 ± 25.59	1989.9 ± 11.64	2011.5 ± 15.47	2096.9 ± 31.25
SZ162-15	146.61	458.5	205.9	0.32	0.06765	0.00079	1.38245	0.01441	0.14822	0.0011	0.04683	0.00068	857.9 ± 23.97	881.5 ± 6.14	891 ± 6.2	925 ± 13.13
SZ162-16	525.3	296.1	186.7	1.77	0.0661	0.00081	1.21008	0.01336	0.13279	0.001	0.04347	0.00052	809.4 ± 25.38	805.2 ± 6.14	803.8 ± 5.69	860 ± 10.05
SZ162-17	72.81	63.09	370.2	1.15	0.09589	0.00283	1.70342	0.04726	0.12885	0.00167	0.04169	0.00099	1545.7 ± 54.51	1009.8 ± 17.75	781.3 ± 9.51	825.6 ± 19.14
SZ162-18	20.89	51.3	206.4	0.41	0.06951	0.00163	1.3737	0.03053	0.14334	0.00141	0.04775	0.00123	913.9 ± 47.43	877.7 ± 13.06	863.5 ± 7.94	942.9 ± 23.71
SZ162-20	31.1	43.73	451.1	0.71	0.12171	0.00173	6.3971	0.08378	0.38124	0.0034	0.11407	0.00194	1981.4 ± 25.16	2031.9 ± 11.5	2082.1 ± 15.88	2183.3 ± 35.15
SZ162-21	91.32	112.07	199.9	0.81	0.06664	0.00123	1.28879	0.02237	0.14027	0.00124	0.04478	0.00075	826.6 ± 38.16	840.8 ± 9.92	846.2 ± 7.01	885.4 ± 14.42
SZ162-22	105.28	48.55	450.8	2.17	0.1219	0.00162	6.19129	0.07514	0.36839	0.00314	0.11032	0.00142	1984.2 ± 23.49	2003.2 ± 10.61	2021.8 ± 14.77	2115.1 ± 25.9
SZ162-23	82	72.58	186.2	1.13	0.06506	0.00145	1.14691	0.02427	0.12786	0.00121	0.04185	0.0007	776.4 ± 46.24	775.8 ± 11.48	775.7 ± 6.92	828.7 ± 13.53
SZ162-24	19.6	24.01	447.8	0.82	0.1197	0.00213	6.10061	0.10178	0.36968	0.00377	0.11316	0.00222	1951.7 ± 31.44	1990.3 ± 14.55	2027.9 ± 17.72	2166.9 ± 40.22
SZ162-25	52.01	50.22	452.5	1.04	0.12216	0.00174	6.37235	0.08351	0.37835	0.00337	0.11127	0.00172	1988.1 ± 25.12	2028.5 ± 11.5	2068.6 ± 15.76	2132.5 ± 31.2
SZ162-26	45.25	56.88	190.3	0.80	0.0681	0.00158	1.22752	0.02708	0.13074	0.00127	0.0444	0.00085	871.6 ± 47.4	813.2 ± 12.35	792.1 ± 7.23	878.2 ± 16.38
SZ162-27	115.46	101.59	454.6	1.14	0.12362	0.00142	6.3361	0.0653	0.37177	0.00292	0.10954	0.00142	2009.1 ± 20.29	2023.5 ± 9.04	2037.7 ± 13.71	2100.9 ± 25.89

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量 ($\times 10^{-6}$)				Th/U				比值				年龄 (Ma) (1σ)							
	Th	U	Pb		Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁶ /Th ²³²	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁸ /Th ²³²	$\pm 1\sigma$
SZ162-28	88.66	197.34	225.8	0.45	0.07044	0.00097	1.58404	0.02003	0.16311	0.00129	0.05045	0.0008	941.3 ± 28.03	964 ± 7.87	974 ± 7.15	994.8 ± 15.44				
SZ162-29	77.1	110.55	194.1	0.70	0.06675	0.00142	1.23791	0.02476	0.13452	0.00127	0.04062	0.0008	830 ± 43.6	817.9 ± 11.23	813.6 ± 7.24	804.7 ± 15.61				
SZ162-30	225.98	65.33	187.5	3.46	0.06574	0.00167	1.15555	0.02789	0.12749	0.00132	0.0384	0.00055	798.2 ± 52.33	779.9 ± 13.14	773.6 ± 7.54	761.6 ± 10.66				
SZ162-31	81.75	79.92	194.2	1.02	0.06495	0.00137	1.20566	0.02402	0.13464	0.00124	0.04065	0.00069	772.8 ± 43.7	803.2 ± 11.06	814.3 ± 7.04	805.4 ± 13.37				
SZ162-32	23.93	24.66	466.0	0.97	0.12515	0.00234	6.37111	0.11182	0.36927	0.00396	0.10472	0.00211	2030.9 ± 32.76	2028.3 ± 15.4	2026 ± 18.65	2012.9 ± 38.58				
SZ162-33	79.45	164.9	190.3	0.48	0.06928	0.0012	1.27332	0.02061	0.13332	0.00115	0.04361	0.00082	907 ± 35.38	833.9 ± 9.21	806.8 ± 6.57	862.7 ± 15.83				
SZ162-34	101.6	154.49	194.4	0.66	0.06573	0.00106	1.24131	0.01867	0.13699	0.00114	0.04027	0.00066	797.7 ± 33.55	819.5 ± 8.46	827.6 ± 6.45	797.9 ± 12.79				
SZ162-35	51.28	98.88	200.3	0.52	0.06629	0.00199	1.23589	0.03534	0.13523	0.0016	0.04074	0.00125	815.6 ± 61.48	817 ± 16.05	817.6 ± 9.07	807.2 ± 24.19				
SZ162-36	15.79	29.12	219.9	0.54	0.07349	0.00265	1.50165	0.05192	0.14821	0.00199	0.04844	0.00169	1027.6 ± 71.32	931.1 ± 21.07	890.9 ± 11.2	956 ± 32.54				
SZ162-37	119.46	116.83	186.8	1.02	0.06419	0.0011	1.1561	0.01851	0.13064	0.0011	0.04001	0.0006	747.9 ± 35.78	780.1 ± 8.72	791.5 ± 6.26	792.9 ± 11.65				
SZ162-38	13.61	18.66	469.8	0.73	0.12498	0.00294	6.27526	0.13947	0.36421	0.00468	0.10613	0.00294	2028.5 ± 41.01	2015 ± 19.47	2002.1 ± 22.13	2038.8 ± 53.7				
SZ162-39	64.37	51.32	187.9	1.25	0.06403	0.00173	1.12166	0.02892	0.12707	0.00132	0.03805	0.00071	742.5 ± 56.02	763.8 ± 13.84	771.2 ± 7.53	754.8 ± 13.82				
SZ162-40	12.94	15.16	460.6	0.85	0.12236	0.00275	6.15314	0.13074	0.36477	0.0044	0.10067	0.0025	1990.9 ± 39.39	1997.8 ± 18.56	2004.7 ± 20.8	1938.7 ± 45.87				
SZ162-41	90.16	86.57	452.1	1.04	0.12247	0.00156	6.15836	0.0714	0.36476	0.003	0.10034	0.00143	1992.5 ± 22.49	1998.6 ± 10.13	2004.7 ± 14.18	1932.7 ± 26.32				
SZ162-42	34.53	53.61	453.5	0.64	0.1225	0.00174	6.23575	0.08135	0.36925	0.00325	0.10401	0.00181	1992.9 ± 24.98	2009.5 ± 11.42	2025.9 ± 15.28	1999.9 ± 33.18				
SZ162-43	179.92	186.97	191.7	0.96	0.06638	0.00101	1.23829	0.01748	0.13532	0.0011	0.04064	0.00059	818.4 ± 31.57	818.1 ± 7.93	818.1 ± 6.24	805.2 ± 11.43				
SZ162-44	58.09	92.64	189.2	0.63	0.06653	0.00132	1.20441	0.02258	0.13132	0.00119	0.03952	0.00076	823.1 ± 41	802.6 ± 10.4	795.4 ± 6.77	783.4 ± 14.87				
SZ162-45	50.42	50.81	453.4	0.99	0.12241	0.00176	5.97264	0.07876	0.35392	0.00311	0.098	0.00155	1991.7 ± 25.25	1971.9 ± 11.47	1953.3 ± 14.81	1889.6 ± 28.55				
SZ162-46	20.29	25.55	453.2	0.79	0.12136	0.00216	5.87496	0.09796	0.35116	0.00357	0.09796	0.00201	1976.3 ± 31.43	1957.5 ± 14.47	1940.1 ± 17.02	1889 ± 36.95				
SZ162-48	49.71	51.88	453.5	0.96	0.12248	0.00175	6.11261	0.08028	0.36202	0.00317	0.1003	0.00159	1992.6 ± 25.14	1992 ± 11.46	1991.8 ± 15.02	1932 ± 29.19				
SZ162-49	81.08	43.83	454.4	1.85	0.12259	0.00182	5.96196	0.08159	0.35278	0.00316	0.09736	0.0014	1994.2 ± 26.1	1970.3 ± 11.9	1947.9 ± 15.07	1877.9 ± 25.85				
SZ162-50	16.84	18.23	452.1	0.92	0.12018	0.0025	6.13923	0.1208	0.37057	0.00419	0.10075	0.00227	1958.8 ± 36.7	1995.8 ± 17.18	2032.1 ± 19.72	1940.3 ± 41.64				
SZ162-51	76.06	91.76	515.7	0.83	0.14441	0.00188	8.25648	0.09794	0.41472	0.00351	0.11028	0.00172	2280.8 ± 22.22	2259.6 ± 10.74	2236.5 ± 15.98	2114.5 ± 31.32				
SZ162-52	49.42	53.93	209.1	0.92	0.06613	0.00199	1.29569	0.03728	0.14212	0.00165	0.0405	0.00098	810.6 ± 61.72	843.8 ± 16.49	856.6 ± 9.29	802.4 ± 18.97				
SZ162-53	82.2	110.09	179.7	0.75	0.06362	0.00135	1.08044	0.02169	0.12319	0.00115	0.03721	0.00071	729.1 ± 44.39	743.8 ± 10.59	748.9 ± 6.58	738.4 ± 13.82				
SZ162-54	90.75	71.33	455.7	1.27	0.12345	0.00163	6.05396	0.07318	0.35573	0.00295	0.10019	0.00143	2006.7 ± 23.32	1983.6 ± 10.53	1961.9 ± 14.04	1929.9 ± 26.18				

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量 ($\times 10^{-6}$)				比值				年龄 (Ma) (1σ)					
	Th	U	Pb	Th/U	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁶ /Th ²³²	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	Pb ²⁰⁸ /Th ²³²
					$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$							
SZ162-55	159.31	85.58	454.7	1.86	0.12317	0.00161	0.07328	0.36108	0.09756	0.00298	0.00132	1994.7 ± 10.43	1987.3 ± 14.1	1881.5 ± 24.39
SZ162-56	41.6	37	205.1	1.12	0.06716	0.00275	0.04872	0.13409	0.04162	0.00195	0.00117	842.7 ± 82.86	819.5 ± 22.07	824.3 ± 22.71
黑云钠长片麻岩(SZ-175)														
SZ175-01	94.88	103.52	184.4	0.92	0.06555	0.00148	0.02442	0.12625	0.03831	0.00124	0.00074	772.9 ± 11.58	766.4 ± 7.08	759.9 ± 14.31
SZ175-02	14.82	22.47	195.9	0.66	0.06422	0.00305	0.05081	0.12447	0.03868	0.00178	0.00143	748.8 ± 97.29	754.3 ± 24.55	767 ± 27.76
SZ175-03	72.92	74.9	187.4	0.97	0.06377	0.00181	0.0299	0.12595	0.03826	0.0014	0.00084	733.9 ± 58.86	756.8 ± 14.41	758.8 ± 16.34
SZ175-04	39.04	24.79	192.4	1.57	0.06157	0.00294	0.04744	0.12122	0.03756	0.00183	0.00097	659.1 ± 99.05	718.3 ± 23.74	745.2 ± 18.81
SZ175-05	56.32	367.16	442.8	0.15	0.11998	0.00136	0.05888	0.35049	0.10133	0.00261	0.00158	1955.9 ± 20.1	1945.9 ± 8.8	1950.8 ± 28.96
SZ175-06	193.39	194.26	172.6	1.00	0.06315	0.00118	0.01818	0.11887	0.03596	0.00104	0.00059	713.4 ± 39.27	721.4 ± 9.07	714.1 ± 11.49
SZ175-07	237.71	316.86	175.0	0.75	0.06465	0.00098	0.01528	0.12235	0.03618	0.00099	0.00055	763 ± 31.61	748.7 ± 7.42	718.3 ± 10.81
SZ175-08	52.61	60.62	204.6	0.87	0.06854	0.00173	0.0319	0.14106	0.04205	0.00146	0.00089	884.9 ± 51.18	860.1 ± 13.89	832.6 ± 17.35
SZ175-09	38.21	38.13	187.7	1.00	0.06386	0.00208	0.03427	0.12449	0.03907	0.00142	0.0009	736.9 ± 67.35	751.4 ± 16.6	774.6 ± 17.44
SZ175-10	178.84	74.09	184.0	2.41	0.06752	0.00151	0.0248	0.12622	0.03851	0.00122	0.00059	853.7 ± 45.68	788.9 ± 11.58	763.8 ± 11.51
SZ175-11	166.66	145.85	174.2	1.14	0.06862	0.0015	0.02321	0.11885	0.0362	0.00115	0.00063	887.3 ± 44.58	765 ± 11.09	718.7 ± 12.34
SZ175-12	76.49	52.36	444.7	1.46	0.11949	0.00181	0.08431	0.36454	0.10026	0.00325	0.00154	1948.6 ± 26.84	1976.5 ± 12.22	1931.3 ± 28.28
SZ175-13	95.6	41.77	183.1	2.29	0.06471	0.00204	0.03282	0.12139	0.03686	0.00139	0.00066	765.1 ± 65.19	745 ± 16	731.6 ± 12.82
SZ175-14	61.59	62.46	455.4	0.99	0.12295	0.0018	0.08381	0.36628	0.09982	0.00318	0.00161	1999.4 ± 25.75	2005.5 ± 11.81	1923.1 ± 29.5
SZ175-15	306.5	310.78	183.0	0.99	0.06501	0.00102	0.01667	0.12832	0.04002	0.00105	0.0006	774.5 ± 32.53	777.2 ± 7.87	793.2 ± 11.68
SZ175-16	197.31	209.97	415.1	0.94	0.11156	0.0014	0.05938	0.33851	0.09933	0.00263	0.00139	1824.9 ± 22.57	1853.5 ± 9.72	1914.1 ± 25.53
SZ175-17	177.85	134.48	178.4	1.32	0.0648	0.00131	0.02083	0.1227	0.03807	0.00112	0.00062	767.7 ± 41.91	751.4 ± 10.09	755.1 ± 12.16
SZ175-18	128.38	69.18	181.4	1.86	0.06533	0.00186	0.02973	0.12132	0.03844	0.00134	0.0007	784.9 ± 58.79	749.7 ± 14.42	762.4 ± 13.61
SZ175-19	30.72	41.13	189.6	0.75	0.06444	0.00204	0.03398	0.12631	0.04026	0.00147	0.00105	756 ± 65.3	763.9 ± 16.26	797.8 ± 20.39
SZ175-20	31.14	24.3	194.9	1.28	0.06814	0.00302	0.05017	0.12494	0.04022	0.00111	0.0011	872.9 ± 89.34	788.3 ± 23.44	797.1 ± 21.49
SZ175-21	41.3	28.47	199.3	1.45	0.06428	0.00343	0.05641	0.12399	0.03818	0.00219	0.00119	750.7 ± 108.72	752.6 ± 27.29	757.3 ± 23.19
SZ175-22	57.3	60.53	186.5	0.95	0.06453	0.00165	0.02748	0.12654	0.03969	0.0013	0.00081	758.9 ± 53.17	765.6 ± 13.13	786.7 ± 15.78
SZ175-23	69.38	45.46	198.0	1.53	0.06503	0.00184	0.03253	0.13438	0.0429	0.00081	0.00081	775.4 ± 58.3	802.7 ± 14.98	849.1 ± 15.73

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量 ($\times 10^{-6}$)				比值				年龄 (Ma) (1σ)							
	Th	U	Pb	Th/U	Pb^{207}/Pb^{206}	Pb^{207}/U^{235}	Pb^{206}/U^{238}	$\pm 1\sigma$	Pb^{206}/Th^{232}	$\pm 1\sigma$	Pb^{207}/Pb^{206}	Pb^{207}/U^{235}	Pb^{206}/U^{238}	Pb^{208}/Th^{232}		
					$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$						
SZ175-24	125.27	116.23	175.9	1.08	0.06343	0.00164	1.03311	0.02545	0.11817	0.00124	0.03806	0.00076	722.5 \pm 54.06	720.5 \pm 12.71	720 \pm 7.17	754.9 \pm 14.8
SZ175-25	80.12	95.63	178.1	0.84	0.06672	0.002	1.0862	0.03102	0.11811	0.0014	0.0386	0.00095	828.9 \pm 61.41	746.7 \pm 15.1	719.7 \pm 8.07	765.5 \pm 18.55
SZ175-26	27.04	31.09	455.2	0.87	0.12214	0.00211	6.10812	0.09857	0.3628	0.00348	0.10468	0.00196	1987.7 \pm 30.35	1991.4 \pm 14.08	1995.4 \pm 16.46	2012.3 \pm 35.81
SZ175-27	59.17	46.86	190.4	1.26	0.0622	0.00246	1.05582	0.04006	0.12315	0.0017	0.03857	0.00099	680.9 \pm 82.2	731.8 \pm 19.79	748.7 \pm 9.77	764.9 \pm 19.19
SZ175-28	214.5	297.53	200.8	0.72	0.06638	0.00103	1.30295	0.0187	0.1424	0.00116	0.04589	0.00072	818.4 \pm 31.97	847 \pm 8.25	858.2 \pm 6.53	906.9 \pm 13.94
SZ175-29	18.92	12.38	204.9	1.53	0.06148	0.00459	1.01642	0.07429	0.11993	0.00225	0.03704	0.00126	656.2 \pm 152.58	712.1 \pm 37.41	730.2 \pm 12.92	735 \pm 24.59
SZ175-30	134.27	136.94	181.2	0.98	0.06544	0.00126	1.13051	0.0205	0.12533	0.00112	0.0383	0.00066	788.4 \pm 39.96	768 \pm 9.77	761.2 \pm 6.41	759.6 \pm 12.92
SZ175-31	131.58	147.26	175.1	0.89	0.06417	0.0013	1.06299	0.02028	0.12018	0.00109	0.0381	0.00068	747.2 \pm 42.16	735.3 \pm 9.98	731.6 \pm 6.28	755.9 \pm 13.29
SZ175-32	45.64	46.37	196.3	0.98	0.06686	0.00202	1.21841	0.03525	0.1322	0.00151	0.04209	0.00097	833.5 \pm 61.75	809 \pm 16.13	800.4 \pm 8.57	833.3 \pm 18.73
SZ175-33	178.93	253.64	180.2	0.71	0.06467	0.00101	1.1247	0.01633	0.12618	0.00102	0.03856	0.00062	763.5 \pm 32.57	765.2 \pm 7.81	766 \pm 5.85	764.7 \pm 12
SZ175-34	31.73	22.07	193.9	1.44	0.0751	0.00358	1.27541	0.05842	0.12321	0.002	0.04009	0.00115	1071.1 \pm 92.86	834.8 \pm 26.07	749 \pm 11.47	794.4 \pm 22.37
SZ175-35	141.22	69.06	181.1	2.04	0.0631	0.0016	1.06529	0.02573	0.12247	0.00123	0.03812	0.00065	711.7 \pm 52.93	736.4 \pm 12.65	744.8 \pm 7.09	756.2 \pm 12.73
SZ175-36	32.51	41.61	188.3	0.78	0.06192	0.00212	1.05842	0.03489	0.12401	0.00149	0.03795	0.00104	671.3 \pm 71.67	733 \pm 17.21	753.6 \pm 8.56	752.9 \pm 20.16
SZ175-37	38.46	45.78	418.8	0.84	0.11092	0.00209	5.26586	0.09346	0.34443	0.00345	0.10031	0.00202	1814.5 \pm 33.88	1863.3 \pm 15.15	1907.9 \pm 16.56	1932.1 \pm 37.13
SZ175-38	51.47	57.53	187.6	0.89	0.06471	0.0017	1.13432	0.02839	0.12717	0.00132	0.04009	0.00085	765 \pm 54.3	769.8 \pm 13.51	771.7 \pm 7.53	794.4 \pm 16.6
SZ175-39	95.42	105.17	420.5	0.91	0.11209	0.00183	5.27409	0.08017	0.34136	0.00305	0.09746	0.0017	1833.6 \pm 29.23	1864.7 \pm 12.97	1893.2 \pm 14.68	1879.8 \pm 31.32
SZ175-40	30.13	92.76	652.7	0.32	0.20936	0.00289	16.43987	0.20987	0.56968	0.00469	0.15555	0.0028	2900.6 \pm 22.22	2902.7 \pm 12.22	2906.5 \pm 19.25	2922.2 \pm 48.98
SZ175-41	22.1	38.7	187.8	0.57	0.07708	0.00238	1.33595	0.03924	0.12574	0.00151	0.04113	0.00122	1123.3 \pm 60.25	861.5 \pm 17.06	763.5 \pm 8.65	814.7 \pm 23.68
SZ175-42	235.88	155.92	176.6	1.51	0.06179	0.00122	1.03427	0.01924	0.12144	0.00109	0.03729	0.00062	666.9 \pm 41.66	721.1 \pm 9.6	738.8 \pm 6.24	740 \pm 12.05
SZ175-43	28.81	23.88	200.9	1.21	0.06882	0.00341	1.207	0.05756	0.12723	0.00212	0.03828	0.00127	893.5 \pm 99.05	803.8 \pm 26.48	772.1 \pm 12.14	759.3 \pm 24.69
SZ175-44	244.61	132.17	204.4	1.85	0.06588	0.00131	1.3003	0.02439	0.14319	0.0013	0.05247	0.00085	802.7 \pm 41.11	845.9 \pm 10.77	862.7 \pm 7.35	1033.6 \pm 16.29
SZ175-45	11.17	12.48	418.7	0.90	0.52975	0.01285	23.34378	0.49985	0.3197	0.00588	0.51122	0.01179	4326.2 \pm 35.13	3241.4 \pm 20.85	1788.3 \pm 28.72	8345.9 \pm 157.72
SZ175-46	58.5	51.25	185.0	1.14	0.0646	0.0019	1.10191	0.03111	0.12376	0.00137	0.03929	0.00085	761.2 \pm 60.95	754.3 \pm 15.03	752.2 \pm 7.84	778.9 \pm 16.46
SZ175-47	84.74	84.46	184.7	1.00	0.06423	0.00163	1.10903	0.02671	0.12526	0.00129	0.03863	0.0008	749.3 \pm 52.59	757.7 \pm 12.86	760.8 \pm 7.4	766.1 \pm 15.62
SZ175-48	48.89	67.98	204.7	0.72	0.06942	0.00153	1.36403	0.02853	0.14256	0.00137	0.04259	0.00089	911.2 \pm 44.79	873.6 \pm 12.25	859.1 \pm 7.72	843 \pm 17.28
SZ175-49	165.1	163.09	178.1	1.01	0.06709	0.00145	1.12746	0.02302	0.12193	0.00116	0.03741	0.00071	840.4 \pm 44.36	766.5 \pm 10.99	741.7 \pm 6.68	742.3 \pm 13.9

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量 ($\times 10^{-6}$)				比值				年龄 (Ma) (1σ)							
	Th	U	Pb	Th/U	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁶ /Th ²³²	$\pm 1\sigma$	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	Pb ²⁰⁸ /Th ²³²		
SZ175-50	707.29	462.69	193.2	1.53	0.06533	0.00106	1.22551	0.01851	0.13609	0.00112	0.04018	0.00064	785 ± 33.61	812.3 ± 8.45	822.5 ± 6.34	796.1 ± 12.36
SZ175-51	46.41	38.73	467.2	1.20	0.1256	0.00233	6.36583	0.11097	0.3677	0.00364	0.10222	0.00193	2037.3 ± 32.42	2027.6 ± 15.3	2018.6 ± 17.15	1967.2 ± 35.45
SZ175-52	141.44	100.21	174.9	1.41	0.06284	0.00145	1.02812	0.02252	0.1187	0.00115	0.03575	0.00066	702.9 ± 48.34	718 ± 11.27	723.1 ± 6.62	710 ± 12.85
SZ175-53	26.18	30.33	456.6	0.86	0.12218	0.00228	6.25711	0.10977	0.37155	0.00365	0.10631	0.00214	1988.3 ± 32.73	2012.5 ± 15.36	2036.7 ± 17.14	2042 ± 39.07
SZ175-54	89.3	121.23	180.2	0.74	0.06789	0.00144	1.15832	0.02316	0.12379	0.00116	0.04113	0.00081	865.1 ± 43.25	781.2 ± 10.9	752.4 ± 6.64	814.8 ± 15.78
SZ175-55	14.67	19.77	398.0	0.74	0.10319	0.00285	4.3644	0.11493	0.30686	0.00393	0.08666	0.00251	1682.3 ± 50.11	1705.6 ± 21.75	1725.2 ± 19.39	1679.8 ± 46.71
SZ175-56	68.9	57.76	181.5	1.19	0.06321	0.00192	1.05017	0.03054	0.12055	0.00137	0.03594	0.0008	715.1 ± 63.23	729 ± 15.12	733.7 ± 7.88	713.8 ± 15.7
变粒岩 (SZ-184)																
SZ184-01	123.64	312.94	576.9	0.40	0.17142	0.00169	12.39771	0.1047	0.52462	0.00365	0.13272	0.00156	2571.6 ± 16.38	2635 ± 7.93	2718.8 ± 15.43	2518.8 ± 27.77
SZ184-02	242.02	366.65	199.4	0.66	0.06894	0.00084	1.35854	0.01469	0.14295	0.00104	0.03928	0.00051	896.8 ± 24.82	871.2 ± 6.33	861.3 ± 5.88	778.8 ± 9.9
SZ184-03	137.18	87.19	189.0	1.57	0.06503	0.00131	1.17438	0.02213	0.13099	0.0012	0.0374	0.00058	775.4 ± 41.79	788.7 ± 10.34	793.5 ± 6.82	742.2 ± 11.24
SZ184-04	156.34	293.26	203.9	0.53	0.06971	0.00092	1.40364	0.01664	0.14606	0.0011	0.04205	0.0006	919.8 ± 26.79	890.5 ± 7.03	878.8 ± 6.18	832.5 ± 11.72
SZ184-05	186.44	175.78	320.0	1.06	0.08588	0.00096	2.8789	0.02822	0.24315	0.00175	0.0677	0.00079	1335.5 ± 21.45	1376.4 ± 7.39	1403.1 ± 9.06	1324 ± 15
SZ184-06	81.74	308.37	420.7	0.27	0.12039	0.00127	5.53698	0.05074	0.33363	0.00237	0.10398	0.00141	1962 ± 18.66	1906.4 ± 7.88	1855.9 ± 11.46	1999.5 ± 25.76
SZ184-07	82.7	147	225.3	0.56	0.07097	0.00097	1.5937	0.01963	0.1629	0.00125	0.04418	0.00069	956.5 ± 27.57	967.7 ± 7.69	972.9 ± 6.9	873.9 ± 13.45
SZ184-08	284.98	458.09	459.7	0.62	0.12553	0.00131	6.24598	0.05672	0.36093	0.00256	0.07269	0.00089	2036.3 ± 18.41	2010.9 ± 7.95	1986.6 ± 12.1	1418.4 ± 16.75
SZ184-10	206.73	213.32	181.7	0.97	0.06503	0.00087	1.15137	0.01386	0.12843	0.00096	0.03588	0.00046	775.3 ± 27.79	777.9 ± 6.54	778.9 ± 5.49	712.5 ± 8.96
SZ184-11	718.32	591.37	177.4	1.21	0.06613	0.00077	1.14708	0.01177	0.12583	0.0009	0.03428	0.0004	810.3 ± 24.1	775.9 ± 5.57	764.1 ± 5.14	681.2 ± 7.82
SZ184-12	109.83	101.67	180.9	1.08	0.06315	0.00163	1.06285	0.02588	0.12208	0.00128	0.03412	0.00071	713.4 ± 53.78	735.2 ± 12.74	742.5 ± 7.38	678.2 ± 13.8
SZ184-13	131.06	376.12	215.8	0.35	0.0699	0.00082	1.50452	0.01569	0.15614	0.00112	0.04573	0.00061	925.3 ± 23.99	932.2 ± 6.36	935.3 ± 6.26	903.8 ± 11.77
SZ184-14	133.42	98.25	406.2	1.36	0.10912	0.00135	4.61172	0.05115	0.30658	0.00236	0.08086	0.00103	1784.7 ± 22.5	1751.4 ± 9.26	1723.8 ± 11.62	1571.6 ± 19.23
SZ184-16	409.67	400.94	187.6	1.02	0.06706	0.00079	1.23664	0.01286	0.13378	0.00096	0.03357	0.0004	839.5 ± 24.29	817.4 ± 5.84	809.4 ± 5.44	667.3 ± 7.84
SZ184-17	138.54	192.94	408.4	0.72	0.10994	0.00127	4.79099	0.04904	0.31612	0.00233	0.08454	0.00109	1798.3 ± 20.96	1783.3 ± 8.6	1770.8 ± 11.39	1640.3 ± 20.35
SZ184-18	261.67	820.61	214.6	0.32	0.06789	0.00072	1.4571	0.0135	0.15569	0.00108	0.03623	0.00044	865.2 ± 21.98	912.8 ± 5.58	932.8 ± 6.03	719.4 ± 8.65
SZ184-19	55.49	363.66	220.1	0.15	0.07132	0.00089	1.56606	0.01752	0.15928	0.00117	0.05318	0.00094	966.7 ± 25.35	956.9 ± 6.93	952.8 ± 6.51	1047.3 ± 18.04
SZ184-22	270.22	356.79	382.3	0.76	0.10319	0.00113	4.28366	0.0407	0.30114	0.00212	0.07842	0.00093	1682.3 ± 20	1690.2 ± 7.82	1696.9 ± 10.5	1526 ± 17.42

续表 1
Continued Table 1

测点号	含量 ($\times 10^{-6}$)				比值				年龄 (Ma) (1σ)							
	Th	U	Pb	Th/U	Pb^{207}/Pb^{206}	Pb^{207}/U^{235}	Pb^{206}/U^{238}	Pb^{208}/Th^{232}	$\pm 1\sigma$	Pb^{207}/Pb^{206}	Pb^{207}/U^{235}	Pb^{206}/U^{238}	Pb^{208}/Th^{232}			
	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$				
SZ184-23	72.07	139.54	221.7	0.52	0.07195	0.001	1.5864	0.01999	0.15995	0.00123	0.04622	0.0007	984.5 ± 28.06	964.9 ± 7.85	956.5 ± 6.81	913.3 ± 13.56
SZ184-24	128.99	252.11	184.7	0.51	0.06702	0.00115	1.1925	0.01882	0.12907	0.00108	0.03639	0.00067	838.4 ± 35.18	797.1 ± 8.72	782.6 ± 6.15	722.4 ± 13.05
SZ184-25	50.12	50.51	265.4	0.99	0.07617	0.00165	1.82324	0.03703	0.17365	0.00173	0.04914	0.00097	1099.4 ± 42.79	1053.8 ± 13.32	1032.2 ± 9.5	969.6 ± 18.65
SZ184-26	23.41	107.4	465.2	0.22	0.12382	0.00144	6.39773	0.06559	0.37482	0.00275	0.11374	0.00188	2012 ± 20.49	2032 ± 9	2052 ± 12.89	2177.3 ± 34.15
SZ184-27	229.22	129.74	190.7	1.77	0.06505	0.00088	1.21356	0.01488	0.13534	0.00101	0.03996	0.00049	775.9 ± 28.31	806.8 ± 6.83	818.2 ± 5.75	792 ± 9.59
SZ184-28	177.48	263.82	169.9	0.67	0.06544	0.00103	1.06652	0.01538	0.11822	0.00094	0.03356	0.00053	788.5 ± 32.67	737 ± 7.56	720.3 ± 5.42	667.2 ± 10.31
SZ184-29	83.19	80.05	395.3	1.04	0.10907	0.00141	4.64545	0.05363	0.30896	0.00238	0.08491	0.00114	1784 ± 23.35	1757.5 ± 9.65	1735.6 ± 11.74	1647.2 ± 21.3
SZ184-30	276.14	333.58	549.0	0.83	0.15593	0.00172	9.84096	0.09446	0.45783	0.00324	0.12631	0.00152	2412 ± 18.58	2420 ± 8.85	2430 ± 14.31	2404.1 ± 27.19
SZ184-31	163.79	381.89	519.4	0.43	0.14642	0.00165	5.10148	0.05005	0.25274	0.00179	0.0652	0.00083	2304.6 ± 19.19	1836.4 ± 8.33	1452.6 ± 9.24	1276.6 ± 15.82
SZ184-32	97.07	109.43	182.1	0.89	0.06458	0.00096	1.13961	0.01548	0.12801	0.00099	0.03635	0.00052	760.7 ± 31.09	772.3 ± 7.35	776.5 ± 5.66	721.7 ± 10.06
SZ184-33	21.86	38.32	303.9	0.57	0.08548	0.0014	2.67018	0.04015	0.22662	0.00194	0.06649	0.00121	1326.3 ± 31.43	1320.2 ± 11.11	1316.7 ± 10.19	1301.2 ± 22.96
SZ184-34	84.36	391.88	532.1	0.22	0.15147	0.00171	8.65922	0.0852	0.4147	0.00295	0.1204	0.00162	2362.6 ± 19.09	2302.8 ± 8.96	2236.4 ± 13.43	2297.9 ± 29.3
SZ184-35	51.82	68.7	552.5	0.75	0.15948	0.002	9.38389	0.10509	0.42685	0.00334	0.11535	0.00166	2450.1 ± 21.08	2376.3 ± 10.28	2291.5 ± 15.11	2206.6 ± 30.15
SZ184-36	91.25	205.83	189.3	0.44	0.06817	0.00091	1.26393	0.01509	0.13451	0.001	0.04108	0.00059	873.6 ± 27.29	829.7 ± 6.77	813.5 ± 5.66	813.7 ± 11.5
SZ184-37	195.35	465.77	394.9	0.42	0.10631	0.00123	4.58432	0.04643	0.31283	0.00222	0.0823	0.00104	1737.1 ± 21.02	1746.4 ± 8.44	1754.6 ± 10.92	1598.6 ± 19.39
SZ184-38	91.57	95.64	556.7	0.96	0.16152	0.00192	10.37848	0.10916	0.46613	0.00346	0.12258	0.00159	2471.6 ± 19.95	2469.1 ± 9.74	2466.6 ± 15.2	2337.1 ± 28.58
SZ184-39	83.82	141.79	182.0	0.59	0.06663	0.0011	1.16931	0.01772	0.12732	0.00103	0.03686	0.00063	826.1 ± 34.01	786.3 ± 8.29	772.6 ± 5.91	731.6 ± 12.24
SZ184-40	365.78	445.66	548.7	0.82	0.15827	0.0018	10.02751	0.09969	0.45962	0.00325	0.11744	0.00143	2437.3 ± 19.13	2437.3 ± 9.18	2437.9 ± 14.35	2244.4 ± 25.87
SZ184-41	101.92	317.92	421.4	0.32	0.11353	0.00134	5.09098	0.05307	0.32532	0.00234	0.09233	0.00125	1856.6 ± 21.25	1834.6 ± 8.85	1815.7 ± 11.37	1785 ± 23.16
SZ184-42	62.16	69.45	305.7	0.90	0.08621	0.00128	2.72132	0.03663	0.22901	0.00183	0.06695	0.00099	1342.8 ± 28.36	1334.3 ± 10	1329.3 ± 9.62	1309.8 ± 18.75
SZ184-43	72.07	408.82	196.3	0.18	0.07173	0.00095	1.38522	0.01635	0.14009	0.00103	0.04578	0.00078	978.3 ± 26.64	882.7 ± 6.96	845.2 ± 5.85	904.7 ± 14.98
SZ184-44	195.72	151.76	541.6	1.29	0.15504	0.00188	8.76273	0.0938	0.41002	0.00303	0.11021	0.00141	2402.3 ± 20.45	2313.6 ± 9.76	2215 ± 13.84	2113.1 ± 25.59
SZ184-45	37.06	74.06	443.6	0.50	0.11835	0.00213	2.59555	0.04252	0.1591	0.0015	0.05725	0.00121	1931.5 ± 31.85	1299.4 ± 12.01	951.8 ± 8.33	1125.2 ± 23.22
SZ184-46	184.71	248.63	417.8	0.74	0.11246	0.00135	4.86685	0.05141	0.31395	0.00226	0.08739	0.00111	1839.6 ± 21.55	1796.5 ± 8.9	1760.1 ± 11.08	1693.3 ± 20.71

龄测定(表1),其中除一个颗粒偏离谐和线外,其他颗粒的分析结果均位于 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和线上或其附近(图3a),说明没有因后期的变质作用造成Pb丢失。这些锆石颗粒的表面年龄主要集中成两组:一组有23个颗粒构成,它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄比较集中,介于1940~2082Ma之间(图3a2), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄介于1952~2045Ma之间, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $1989 \pm 11\text{Ma}$ 。它们的Th/U比除分析点2为0.33外,其他均大于0.6,指示该年龄可能反映的是源区岩石从岩浆中结晶的时间,说明约1990Ma前的古元古代晚期形成的岩浆岩是这套副变质岩的主要源区之一,同时也暗示扬子克拉通在该时期可能经历过一次重要的构造-岩浆-热事件。

另一组包括24个锆石颗粒,它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄的变化范围介于749~864Ma之间,其中大多数颗粒的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄集中在760~840Ma之间(图3a1)。CL图像显示,这些锆石颗粒的内部大多发育有密切的震荡生长环带(图2b, d, f),少数为直纹条带(图2a)。它们的Th/U比均较高,意味着新元古代形成的岩浆岩是这套副变质岩的另一个重要源区。

除了这两组锆石颗粒外,该样品中还有少数新元古代早期的锆石颗粒($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄从~900Ma到~1000Ma)存在。另外,有一个锆石颗粒(分析点51)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄高达 $2237 \pm 16\text{Ma}$ ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄为 $2281 \pm 22\text{Ma}$),CL图像显示该颗粒发育有震荡生长环带,Th/U比高达0.83,为岩浆成因锆石,也许意味着扬子克拉通的基底存在着古元古代早期的岩浆事件。

3.1.2 样品 SZ-175

该样品中的锆石以短柱状为主,部分呈浑圆状。与样品SZ-162中的情况类似,按颜色也明显分为两类:一类颜色较深,呈棕色-咖啡色,这类锆石颗粒的磨圆度较好,多呈浑圆状,CL图像大多较暗;另一类锆石颗粒几乎无颜色,磨圆度从无明显磨圆到具较好的磨圆现象都有,CL图像较明亮。CL图像显示大多数锆石颗粒内部发育密切的震荡生长环带(图2i, j, m, p),部分颗粒内部还见有类似沙钟结构的特征(图2i j)。少数锆石颗粒的内部环带不发育,仅见些吸收条痕状的条带(图2k, n)。

本次研究共对该样品中的56个锆石颗粒进行了U-Pb年龄测定(表1),它们的分析结果均位于 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和线上或其附近(图3b),说明没有因后期的变质作用造成Pb丢失。该样品中的锆石年龄明显分成几组,其中最大的一组有37个颗粒构成,它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄比较集中,介于720~780Ma之间(图3b1),加权平均年龄为 $750 \pm 6\text{Ma}$ 。这些锆石的Th/U比均大于0.5,且大多数颗粒的Th/U比大于1,结合它们的内部结构特征,可以认定该年龄反映的是岩浆结晶时间。暗示约750Ma的新元古代中后期形成的岩浆岩是这套副变质岩的主要源区。

另外还有几组虽然锆石颗粒的数量相对较少,但年龄值

也集中成组。包括 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于851~863Ma的4个锆石颗粒(图3b1),它们的加权平均年龄为 $858 \pm 7\text{Ma}$; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于1880~1907Ma的3个颗粒(图3b2),它们的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄介于1815~1834Ma,加权平均年龄为 $1825 \pm 31\text{Ma}$; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于1995~2037Ma的5个颗粒(图3b2),它们的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄介于1949~2037Ma,加权平均年龄为 $1990 \pm 26\text{Ma}$; 以及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于800~823Ma的3个颗粒(图3b1),它们的加权平均年龄为 $814 \pm 9\text{Ma}$ 。另外,样品中还出现了一颗 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄高达 $2907 \pm 19\text{Ma}$ ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄为 $2901 \pm 22\text{Ma}$)的锆石(分析点40),该颗粒在CL图像上呈吸收条痕状的条带,类似于基性岩中常见的锆石结构特征,加上其高的Th/U比值(0.32)可以认定为岩浆成因锆石,也许意味着扬子克拉通的基底存在着中太古代的(基性)岩浆事件。

不仅如此,该样品中复杂的年龄谱可能暗示随州群的沉积岩虽然以稍早形成的岩浆岩为主,但具有多物源的特性。

3.2 随州群上段碎屑锆石的年龄谱(样品 SZ-184)

该样品中的锆石以浑圆状为主,部分短柱状,暗示构成该岩石的大多数沉积物质经过了较长距离的搬运。CL图像显示该样品中锆石的内部结构复杂多样,既有震荡生长环带发育的锆石颗粒(图2r, v)、也有些颗粒内部仅隐见一些吸收条痕状的条带(图2q)或稀释的直纹,还有些颗粒内部具有复杂的核边结构(图2t),可能暗示该沉积岩的物源多样性。

本次研究共对该样品中的43颗锆石进行了U-Pb年龄测定,其中除少数颗粒的分析结果偏离谐和线外,大多数颗粒的分析结果位于 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和线上或其附近(图3c)。该样品中的这些锆石颗粒的表面年龄比较分散,但分别在约700Ma到1000Ma的新元古代(图3c1)、约1700Ma到1800Ma的古元古代晚期(图3c2)、以及约2400Ma的古元古代早期(图3c)相对集中。暗示随州群上段沉积岩的物源可能包括了新元古代、古元古代晚期以及古元古代早期形成的岩浆岩。另外,该样品中有一个锆石核的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄高达 $2572 \pm 16\text{Ma}$ (分析点1),从其清晰的震荡生长环带(图2t)和高的Th/U比值(0.4)可认定为岩浆成因锆石,也许意味着扬子克拉通基底存在着晚太古代的岩浆事件。

4 讨论

4.1 随州群地层的形成时代

对于随州群的形成时代,早先的研究,包括随县幅和宣城幅1:20万区域地质调查报告(湖北省地质局,1982^①)以

① 湖北省地质局,1982. 随县幅、宣城幅1:20万区域地质调查报告

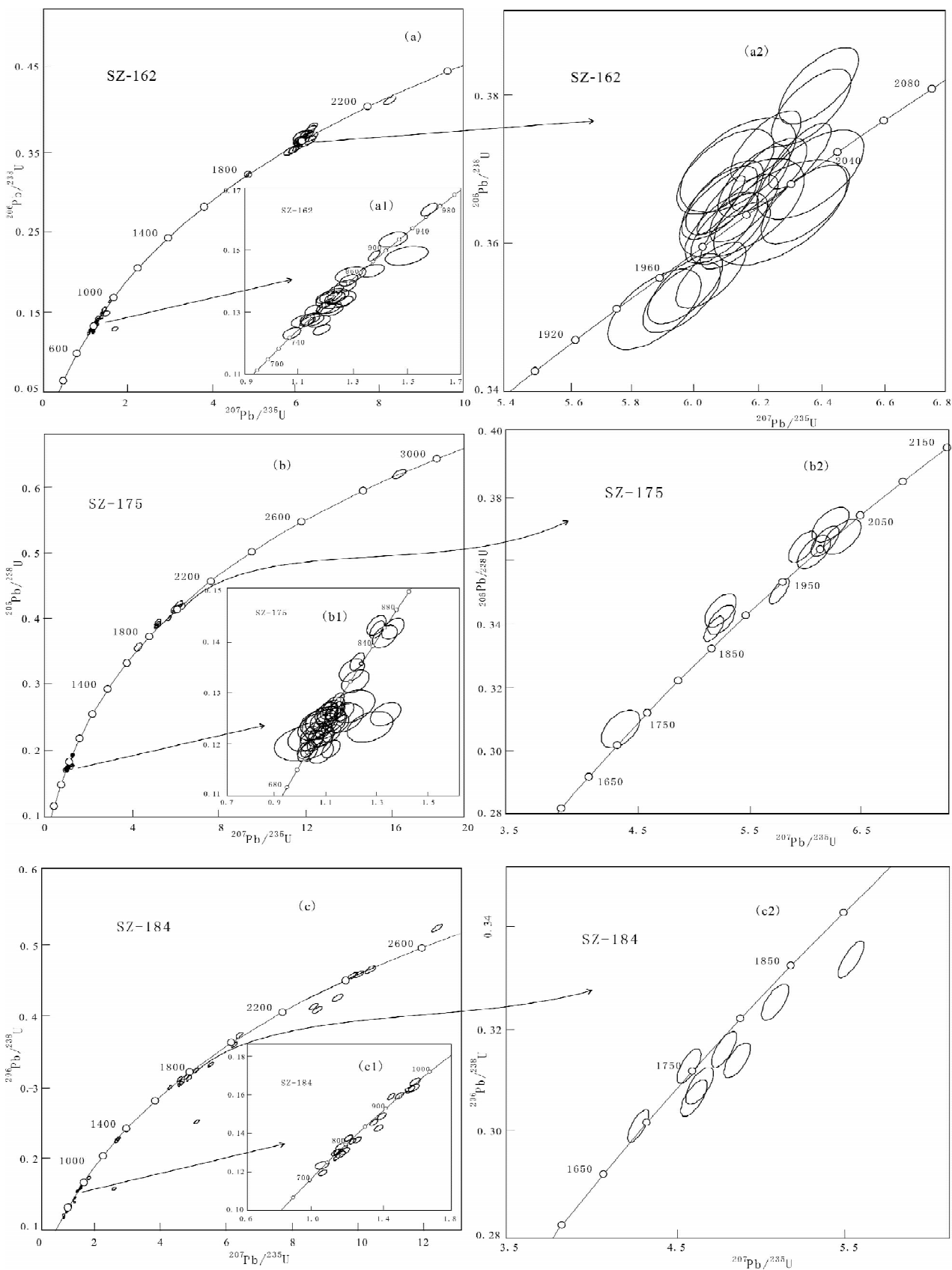


图3 随州群变质沉积岩中碎屑锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图

Fig. 3 Concordia diagrams showing LA-ICP-MS analytical points for zircons from the metasediment of the Suizhou Group, southern foot of the Tongbaishan Orogen

及《湖北省区域地质志》(湖北省地质矿产局,1990) 均将其归于古元古代。李福林等(2010)用 LA-ICP-MS 法对随州群片岩中的碎屑锆石进行了 U-Pb 年龄测定,发现它们集中在新元古代的四个年龄段:758 ~ 769Ma、781 ~ 802Ma、818 ~ 840Ma、870 ~ 884Ma,据此认为区内新元古代存在多期次的岩浆-热事件,且认为随州群的沉积成岩时代应为早震旦世。薛怀民等(2011)用 SHRIMP 法测得随州群中变质流纹英安质凝灰岩、变质粗面安山岩以及侵入其中的橄长质岩床群的锆石 U-Pb 年龄分别为 $763 \pm 7\text{Ma}$ 、 $741 \pm 7\text{Ma}$ 和 $632 \pm 6\text{Ma}$,认为随州地区前寒武纪岩浆作用的时代为新元古代中、后期。本次研究对随州群变质沉积岩中代表性的样品开展了碎屑锆石的 U-Pb 定年,结果显示,随州群中段两个样品中最年轻碎屑锆石的年龄分别为 $755 \pm 6\text{Ma}$ (样品 SZ-162) 和 $720 \pm 7\text{Ma}$ (样品 SZ-175),与该地层段火山岩的形成年龄在误差范围内类似,表明它们属于火山岩再循环形成的碎屑锆石,是火山岩形成后不久就剥蚀、近距离搬运、沉积的产物。

采自随州群上段变粒岩(样品 SZ-184)中最年轻碎屑锆石的年龄为 $720 \pm 5\text{Ma}$,与中段变质沉积岩中最年轻碎屑锆石的年龄一致。两个层次中均未出现来自区内广泛分布的镁铁质-超镁铁质岩床群中的锆石(该岩床群中具丰富的锆石,它们的形成时代为 $632 \pm 6\text{Ma}$,薛怀民等,2011),说明随州群沉积岩的形成时间要早于镁铁质-超镁铁质岩床群的侵位时间,这与镁铁质-超镁铁质岩床群侵入到随州群中的现象是吻合的。结合随州群下部变质火山岩的原岩形成年龄,随州群的沉积时代可限定在约 765 ~ 630Ma 时间段的新元古代晚期。

4.2 随州群变质沉积岩中碎屑锆石的年龄谱

图 4 为本次研究所获随州群变质沉积岩中碎屑锆石年龄的统计直方图,其中年龄小于 950Ma 时采用分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄,年龄大于 950Ma 时采用分析点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄。从图中可以看出,三个样品中均拥有较多的年龄在 700 ~ 1000Ma 时间段的锆石颗粒,它们构成年龄谱中最大的碎屑锆石群体,峰值在 800Ma 左右,说明新元古代形成的岩浆岩是随州群沉积岩最重要的一个物源;三个样品在 1700 ~ 2100Ma 年龄段也拥有较多的锆石颗粒,说明古元古代中、晚期形成的岩浆岩也是随州群沉积岩的重要物源之一。另外,随州群的上段还拥有较多年龄介于 2200 ~ 2500Ma 时间段的锆石颗粒,年龄大于 2500Ma 的锆石颗粒在随州群沉积岩中也偶有出现,也许意味着源区还存在着古元古代早期,甚至太古代的地层。

整个扬子克拉通范围内在约 1000 ~ 700Ma 时间段有大规模的岩浆活动,该特征也常作为区分扬子与华北克拉通基底的一个重要标志(如郑永飞和张少兵,2007),随州群沉积岩中大量新元古代碎屑锆石的出现,指示物源主要来自扬子克拉通。结合区内新元古代中后期发育的双峰式火山岩及镁铁质-超镁铁质岩床群(薛怀民等,2011),说明随州地区新

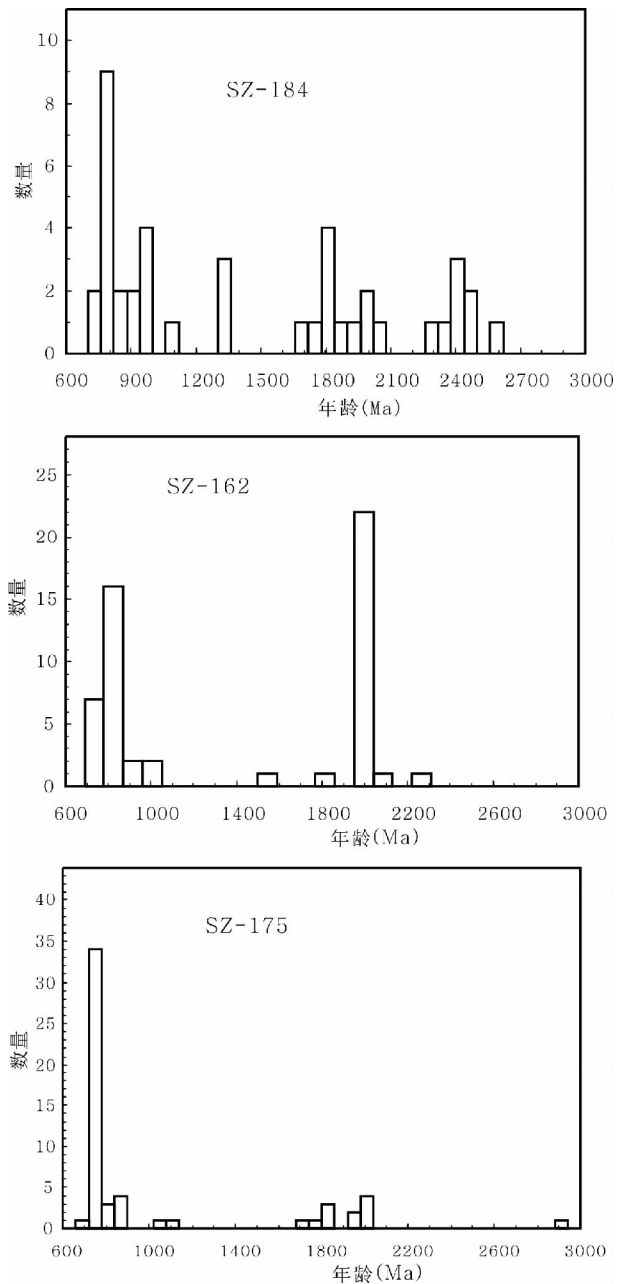


图 4 随州群变质沉积岩中碎屑锆石的 U-Pb 年龄频率直方图

Fig. 4 Frequency diagrams of U-Pb ages for zircons from the metasediment of the Suizhou Group, southern foot of the Tongbaishan Orogen

元古代属扬子克拉通的一部分,可能位于该克拉通的北缘。

近年来,大量的高精度定年结果证明,出现在扬子克拉通周边的前寒武纪基底主要形成于新元古代(李献华,1999;李献华等,2002;颜丹平等,2002;周汉文等,2002;王剑等,2003;吴荣新等,2005;曾雯等,2005;钟玉芳等,2005;高林志等,2008,2009,2010a, b,2011a, b;柏道远等,2010;董树文等,2010;薛怀民等,2010;王敏等,2011;Li *et al.*, 1999,

2003a, b; Wang *et al.*, 2006, 2008; Zhou *et al.*, 2002, 2006, 2007), 太古代-早元古代的深变质结晶基底目前仅见于湖北省宜昌附近的崆岭地区(高山等, 2001; Gao *et al.*, 1999; Qiu *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2006), 但一些火山岩中捕获的锆石、岩浆岩/变质岩中的锆石继承核、沉积岩中碎屑锆石的 U-Pb 年龄以及显生宙岩浆岩中普遍具有的约 1.8 ~ 2.2 Ga 的 Nd 同位素模式年龄似乎暗示, 扬子克拉通内广泛存在着太古宙, 尤其是古元古代的基底(如 Zhang *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2006; 郑永飞和张少兵, 2007)。随州群沉积岩中大量古元古代晚期碎屑锆石的出现, 说明该时期是扬子克拉通基底的一个重要形成期。古元古代早期-太古代晚期的地层在扬子克拉通的北缘也可能存在。

4.3 与武当地区相当层位的对比

隔南阳盆地相望的随(州)-枣(阳)地区和武当山地区是扬子克拉通北缘前寒武纪地层的两个重要出露区, 两地的地质特征和岩石组合面貌也非常相似, 对比研究这两个地区变质沉积岩中碎屑锆石的年龄谱, 有利于了解整个扬子克拉通北缘基底的组成。

构成武当山地区的地层主要是武当山群, 在其周边还有耀岭河群以及显生宙的地层出露。至于耀岭河群与武当群之间的接触关系, 目前还存在着韧性剪切带(余凤鸣等, 2008)、平行不整合(夏林圻等, 2008)、角度不整合(如胡建民等, 1995)等多种不同的认识。另外, 在武当山群中也有大量的岩床状基性侵入体产出。

构成武当山群的为一套经历过绿片岩相变质的火山-沉积岩系, 出露面积约达 8000 km², 主要包括下部的变火山岩系和上部的变沉积岩系两大部分。其中变沉积岩系的原岩以长石石英砂岩为主、夹粉砂质泥岩和泥质粉砂岩; 变火山岩系的原岩以中酸性的熔岩和火山碎屑岩为主, 其次为中-基性的熔岩和火山碎屑岩。耀岭河群的原岩以玄武质火山岩(熔岩、火山碎屑岩或凝灰岩)为主, 夹有少量的酸性火山岩和泥质岩, 也已经历过绿片岩相的变质作用。辉长-辉绿岩床群呈近顺层或岩墙产状侵入到武当山群和耀岭河群地层中。

凌文黎等(2007)曾用 LA-ICP-MS 法测得武当山群下部火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 755 ± 3 Ma, 蔡志勇等(2006)用 TIMS 法测得上部变沉积岩中凝灰岩夹层的锆石 U-Pb 年龄为 744 ± 36 Ma, 与我们在随州地区测得的随州群中火山岩的年龄(薛怀民等, 2011)非常相似。但随(州)-枣(阳)地区目前还缺少年龄与耀岭河群时代相当(~ 680 Ma, 凌文黎等, 2007)的岩浆事件, 另外, 虽然两地都广泛发育岩床群, 但无论是岩石性质, 还是侵位时代都存在着显著的差异。武当山地区岩床群的成分为辉长-辉绿岩, 时代与耀岭河群相当(~ 680 Ma), 属晚南华世。而随(州)-枣(阳)地区岩床群的成分以二辉橄长岩为主, 时代约 632 Ma, 属早震旦世。指示两地在元古代末期构造环境和岩浆演化方面既具可比性,

也存在着明显的差异。

与随州群相似, 武当山群中碎屑锆石的年龄主要集中在新元古代中、晚(830 ~ 780 Ma), 少数为新元古代早期(约 1000 ~ 830 Ma), 含少量新太古代、古元古代和中元古代锆石(凌文黎等, 2010), 指示两地在元古代处于相似的构造位置, 具有相同/相似的物源。

5 结论

(1) 随州群变质沉积岩中最年轻碎屑锆石的年龄约为 720 Ma, 结合随州群下部变质火山岩的原岩形成于约 765 Ma, 暗示随州群的沉积时代在新元古代的末期;

(2) 年龄介于 700 ~ 1000 Ma 时间段的锆石颗粒, 构成随州群变质沉积岩中最大的碎屑锆石群体, 峰值在 800 Ma 左右, 说明新元古代, 尤其是新元古代中、晚期形成的岩浆岩是随州群沉积岩最重要的一个物源;

(3) 随州群变质沉积岩中出现较多 1700 ~ 2100 Ma 年龄段的锆石颗粒, 说明古元古代中、晚期形成的岩浆岩也是随州群沉积岩的重要物源之一, 暗示扬子克拉通在该时期可能经历过一次重要的构造-岩浆-热事件;

(4) 随州群沉积岩中古元古代早期, 甚至太古代碎屑锆石的出现, 说明扬子克拉通北缘可能存在层位相当的物源。

References

- Ames L, Zhou GZ and Xiong BC. 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze Cratons, central China. *Tectonics*, 15(2): 472 - 489
- Bai DY, Jia BH, Liu W, Chen BH, Liu YR and Zhang XY. 2010. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the igneous rocks from Chengbu, Hunan: Constraint on the Neoproterozoic tectonic evolution of the Jiangnan orogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, 84(12): 1715 - 1726 (in Chinese with English abstract)
- Bureau of Geology and Mineral Resource of Hubei Province. 1990. *Regional Geology of Hubei Province*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Cai ZY, Luo H, Xiong XL, Wu DK, Wu XL, Sun SC and Yang J. 2006. A discussion on the age of the meta-sedimentary rocks in the upper part of the Wudang Group: Constrained by the grain-zircon U-Pb dating. *Journal of Stratigraphy*, 30(1): 60 - 63 (in Chinese)
- Carswell DA, Wilson RN and Zhai M. 2000. Metamorphic evolution, mineral chemistry and thermobarometry of schists and orthogneisses hosting ultra-high pressure eclogites in the Dabieshan of central China. *Lithos*, 52(1 - 4): 121 - 156
- Chavagnac V, Jahn BM, Villa IM, Whitehouse MJ and Liu DY. 2001. Multichronometric evidence for an in situ origin of the ultrahigh-pressure metamorphic terrane of Dabieshan, China. *The Journal of Geology*, 109(5): 633 - 646
- Dong SW, Xue HM, Xiang XK and Ma LC. 2010. The discovery of Neoproterozoic pillow lava in spilite-ceratoephyre of Lushan area, northern Jiangxi Province, and its geological significance. *Geology in China*, 37(4): 1021 - 1033 (in Chinese with English abstract)
- Gao LZ, Yang MG, Ding XZ, Liu YX, Liu X, Ling LH and Zhang CC. 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China: Constraints on the evolution of

- the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt. Geological Bulletin of China, 27(10): 1744–1751 (in Chinese with English abstract)
- Gao LZ, Zhang CH, Liu PJ, Ding XZ, Wang ZQ and Zhang YJ. 2009. Recognition of Meso- and Neoproterozoic stratigraphic framework in North and South China. Acta Geoscientia Sinica, 30(4): 433–446 (in Chinese with English abstract)
- Gao LZ, Dai CG, Liu YX, Wang M, Wang XH, Chen JS and Ding XZ. 2010a. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuffaceous bed of Xiajiang Group in Guizhou Province and its stratigraphic implication. Geology in China, 37(4): 1070–1080 (in Chinese with English abstract)
- Gao LZ, Dai CG, Liu YX, Wang M, Wang XH, Chen JS, Ding XZ, Zhang CC, Cao Q and Liu JH. 2010b. Zircon SHRIMP UPb dating of tuff bed of the Sibao Group in southeastern Guizhou-northern Guangxi area, China and its stratigraphic implication. Geological Bulletin of China, 29(9): 1259–1267 (in Chinese with English abstract)
- Gao LZ, Chen J, Ding XZ, Liu YR, Zhang CH, Zhang H, Liu YX, Pang WH and Zhang YH. 2011a. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed of Lengjiaxi and Banxi groups, northeastern Hunan: Constraints on the Wuling Movement. Geological Bulletin of China, 30(7): 1001–1008 (in Chinese with English abstract)
- Gao LZ, Ding XZ, Pang WH, Liu YX, Lu SN, Liu YR, Chen J and Zhang YH. 2011b. SHRIMP zircon U-Pb dating of metamorphic tuff from the Precambrian Cangxi Complex-Group in northeastern Hunan. Geological Bulletin of China, 30(10): 1479–1484 (in Chinese with English abstract)
- Gao S, Ling WL, Qiu YM, Lian Z, Hartmann G and Simon K. 1999. Contrasting geochemical and Sm-Nd isotopic compositions of Archean metasediments from the Kongling high-grade terrain of the Yangtze craton: Evidence for cratonic evolution and redistribution of Re during crustal anatexis. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(13–14): 2071–2088
- Gao S, Qiu YM, Ling WL, McNaughton NJ and Groves DI. 2001. SHRIMP single Zircon U-Pb dating of the Kongling high grade metamorphic terrain: Evidence for >3.2Ga old continental crust in the Yangtze craton. Science in China (Series D), 44(4): 326–335
- Hacker BR, Ratschbacher L, Webb L, Ireland T, Walker D and Dong SW. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China. Earth and Planetary Science Letters, 161(1–4): 215–230
- Hacker BR, Ratschbacher L, Webb L, McWilliams MO, Ireland T, Calvert A, Dong SW, Wenk HR and Chateigner D. 2000. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing. Journal of Geophysical Research, 105(B6): 13339–13364
- Hu JM, Guo LY, Song ZX, Li X and Liu HJ. 1995. The contract relation of the Wudangshan Group and the Yaolinghe Group in the north margin of Yangtze massif and its geologic significance. Journal of Xi'an Geological Institute, 17(1): 22–27 (in Chinese with English abstract)
- Li FL, Li YL, Zhou GH, Xu SY, Li ZG and Zhou HW. 2010. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of schist from the Dalangshan Group in Suizhou City, Hubei Province, and its implications. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(5): 488–496 (in Chinese with English abstract)
- Li XH. 1999. U-Pb zircon ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance. Geochimica, 28(1): 1–9 (in Chinese with English abstract)
- Li XH, Li ZX, Zhou HW and Liu Y. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronological, geochemical and Nd isotopic study of the Neoproterozoic granitoids in southern Anhui. Geological Review, 48(S1): 8–16 (in Chinese with English abstract)
- Li XH, Li ZX, Ge WC, Zhou HW, Li XW, Liu Y and Wingate MTD. 2003a. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825Ma? Precambrian Research, 122(1–4): 45–83
- Li XP, Zheng YF, Wu YB, Chen FK, Gong B and Li YL. 2004. Low-T eclogite in the Dabie terrane of China: Petrological and isotopic constraints on fluid activity and radiometric dating. Contributions to Mineralogy and Petrology, 148(4): 443–470
- Li ZX, Li XH, Kinny PD and Wang J. 1999. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? Earth and Planetary Science Letters, 173(3): 171–181
- Li ZX, Li XH, Kinny PD, Wang J, Zhang S and Zhou H. 2003b. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precambrian Research, 122(1–4): 85–109
- Ling WL, Ren BF, Duan RC, Liu XM, Mao XW and Peng LH. 2007. Zircon U-Pb isotopic geochronology of Wudangshan Group, Yaolinghe Group and basic intrusions and its geological significance. Chinese Science Bulletin, 52(12): 1445–1456 (in Chinese)
- Ling WL, Duan RC, Liu XM, Cheng JP, Mao XW, Peng LH, Liu ZX, Yang HM and Ren BF. 2010. U-Pb ages of crumb zircons of the Wudangshan Group the southern Qinling and its geological significance. Scientia Sinica (Terrae), 55(12): 1153–1161 (in Chinese)
- Liou JG, Zhang RY, Eide EA, Maruyama S, Wang X and Ernst WG. 1996. Metamorphism and tectonics of high-P and ultrahigh-P belt in Dabie-Sulu Regions, eastern central China. In: Yin A and Harrison TM (eds.). The Tectonic Evolution of Asia. New York: Cambridge University Press, 300–343
- Liu FL, Xu ZQ, Yang JS, Zhang ZM, Xue HM and Li TF. 2004. Geochemical characteristics and UHP metamorphism of granitic gneisses in the main drilling hole of Chinese Continental Scientific Drilling Project and its adjacent area. Acta Petrologica Sinica, 20(1): 9–26 (in Chinese with English abstract)
- Liu XW, Jin ZM and Green HW II. 2007. Clinoenstatite exsolution in diopsidic augite of Dabieshan: Garnet peridotite from depth of 300km. The American Mineralogist, 92(4): 546–552
- Ludwig KR. 2001. Users Manual for Isoplot/Ex (rev. 2.49): A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center. Special Publication No. 1a, 1–55
- Qiu YM, Gao S, McNaughton NJ, Groves DI and Ling WL. 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(1): 11–14
- Rowley DB, Xue F, Tucker RD, Peng ZX, Baker J and Davis A. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and protolith orthogneisses from the eastern Dabie Shan; U/Pb zircon geochronology. Earth and Planetary Science Letters, 151(3–4): 191–203
- Wang J, Li XH, Duan TZ, Liu DY, Song B, Li ZX and Gao YH. 2003. SHRIMP zircon U-Pb age of the Cangshuipu volcanic rocks and new evidence for the bottom boundary of the “South China system”. Chinese Science Bulletin, 48(16): 1726–1731 (in Chinese)
- Wang M, Dai CG, Wang XH, Chen JS and Ma HZ. 2011. In-situ zircon geochronology and Hf isotope of muscovite-bearing leucogranites from Fanjingshan, Guizhou Province, and constraints on continental growth of the South China block. Earth Science Frontiers, 18(5): 213–223 (in Chinese with English abstract)
- Wang XL, Zhao GC, Qi JS, Zhang WL, Liu XM and Zhang GL. 2006. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from northern Guangxi, South China; Implications for tectonic evolution. Precambrian Research, 145(1–2): 111–130
- Wang XL, Zhao GC, Zhou JC, Liu YS and Hu J. 2008. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China; Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen. Gondwana Research, 14(3): 355–367
- Wu RX, Zheng YF and Wu YB. 2005. Zircon U-Pb age, element and oxygen isotope geochemistry of Neoproterozoic granodiorites in South Anhui. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 587–606 (in Chinese with English abstract)
- Xia LQ, Xia ZC, Li XM, Ma ZP and Xu XY. 2008. Petrogenesis of the Yaolinghe Group, Yunxi Group, Wudangshan Group volcanic rocks

- and basic dyke swarms from eastern part of the South Qinling Mountains. *Northwestern Geology*, 41(3): 1–29 (in Chinese with English abstract)
- Xue F, Rowley DB, Tucker RD and Peng ZX. 1997. U-Pb zircon ages of granitoid rocks in the North Dabie complex, eastern Dabie Shan, China. *The Journal of Geology*, 105(6): 744–753
- Xue HM, Dong SW and Liou XC. 2001. Geochemical characteristics and genesis of the granitic gneisses from the southeastern Dabie Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 175–183
- Xue HM, Dong SW and Liu XC. 2002. U/Pb zircon dating of granitic gneisses in eastern Dabie Mountains, Central China. *Chinese Journal of Geology*, 37(2): 165–173 (in Chinese with English abstract)
- Xue HM, Dong SW and Jian P. 2006. Zircon U-Pb SHRIMP ages of weakly to unmetamorphosed granitoids of the Yangtze basement outcrop in Dabieshan, Central China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(6): 779–787
- Xue HM, Ma F, Song YQ and Xie YP. 2010. Geochronology and geochemistry of the Neoproterozoic granitoid association from eastern segment of the Jiangnan orogen, China; Constraints on the timing and process of amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks. *Acta Petrologica Sinica*, 26(11): 3215–3244 (in Chinese with English abstract)
- Xue HM, Ma F and Song YQ. 2011. Geochemistry and SHRIMP Zircon U-Pb data of Neoproterozoic meta-magmatic rocks in the Suizhou-Zaoyang area, northern margin of the Yangtze craton, Central China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1116–1130 (in Chinese with English abstract)
- Yan DP, Zhou MF, Song HL and Malpas J. 2002. Where was South China located in the reconstruction of Rodinia? *Earth Science Frontiers*, 9(4): 249–256 (in Chinese with English abstract)
- Yang KG, Liu Q, Xie JL, Dan W, She ZB and Ma CQ. 2009. Deformation features of garnet-bearing granites from Huwan, western Dabie Mountains. *Science in China (Series D)*, 52(1): 55–65
- Ye K, Cong BL and Ye DL. 2000. The possible subduction of continental material to depths greater than 200km. *Nature*, 407(6805): 734–736
- Yu FM, Wei CS, Yu JT and He LQ. 2008. The structural ore-controlling analysis of Ag-Au-polymetallic ore deposits in Wudang upheaval. *Gold Science and Technology*, 16(4): 4–8 (in Chinese with English abstract)
- Zeng W, Zhou HW, Zhong ZQ, Zeng ZG and Li HM. 2005. Single zircon U-Pb ages and their tectonic implications of Neoproterozoic magmatic rocks in southeastern Guizhou, China. *Geochimica*, 34(6): 548–556 (in Chinese with English abstract)
- Zhang SB, Zheng YF, Wu YB, Zhao ZF, Gao S and Wu FY. 2006. Zircon isotope evidence for ≥ 3.5 Ga continental crust in the Yangtze craton of China. *Precambrian Research*, 146(1): 16–34
- Zheng JP, Griffin WL, O'Reilly SY, Zhang M, Pearson N and Pan YM. 2006. Windspread Archean basement beneath the Yangtze craton. *Geology*, 34(6): 417–420
- Zheng YF and Zhang SB. 2007. Formation and evolution of the Precambrian continental crust in the southern China. *Chinese Science Bulletin*, 52(1): 1–10 (in Chinese)
- Zhong YF, Ma CQ, She ZB, Lin GC, Xu HJ, Wang RJ, Yang KG and Liu Q. 2005. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Jiuling granitic complex batholith in Jiangxi Province. *Earth Science*, 30(6): 685–691 (in Chinese with English abstract)
- Zhou HW, Li XH, Wang HR, Li J and Li HM. 2002. U-Pb zircon geochronology of basic volcanic rocks of the Yingyangguan Group in Hezhou, Guangxi, and its tectonic implications. *Geological Review*, 48(S1): 22–25 (in Chinese with English abstract)
- Zhou MF, Yan DP, Kennedy AK, Li YQ and Ding J. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1–2): 51–67
- Zhou MF, Yan DP, Wang CL, Qi L and Kennedy A. 2006. Subduction-related origin of the 750Ma Xuelongbao adakitic complex (Sichuan Province, China): Implications for the tectonic setting of the giant Neoproterozoic magmatic event in South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 248(1–2): 286–300
- Zhou MF, Zhao JH, Xia XP, Sun WH and Yan DP. 2007. Comment on “Revisiting the “Yanbian Terrane”: Implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China”. *Precambrian Research*, 155(3–4): 313–317

附中文参考文献

- 柏道远, 贾宝华, 刘伟, 陈必河, 刘耀荣, 张晓阳. 2010. 湖南城步火成岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其对江南造山带新元古代构造演化的约束. *地质学报*, 84(12): 1715–1726
- 蔡志勇, 罗洪, 熊小林, 吴德宽, 吴贤亮, 孙三才, 杨军. 2006. 武当群上部变沉积岩组时代归属问题: 单锆石 U-Pb 年龄的制约. *地层学杂志*, 30(1): 60–63
- 董树文, 薛怀民, 项新葵, 马立成. 2010. 赣北庐山地区新元古代细碧-角斑岩系枕状熔岩的发现及其地质意义. *中国地质*, 37(4): 1021–1033
- 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 刘燕学, 刘训, 凌联海, 张传恒. 2008. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——对江南新元古代造山带演化的制约. *地质通报*, 27(10): 1744–1751
- 高林志, 张传恒, 刘鹏举, 丁孝忠, 王自强, 张彦杰. 2009. 华北-江南地区中、新元古代地层格架的再认识. *地球学报*, 30(4): 433–446
- 高林志, 戴传固, 刘燕学, 王敏, 王雪华, 陈建书, 丁孝忠. 2010a. 黔东南地区下江群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义. *中国地质*, 37(4): 1070–1080
- 高林志, 戴传固, 刘燕学, 王敏, 王雪华, 陈建书, 丁孝忠, 张传恒, 曹茜, 刘建辉. 2010b. 黔东南-桂北地区四堡群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义. *地质通报*, 29(9): 1259–1267
- 高林志, 陈峻, 丁孝忠, 刘耀荣, 张传恒, 张恒, 刘燕学, 庞维华, 张玉海. 2011a. 湘东北岳阳地区冷家溪群和板溪群凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄——对武陵运动的制约. *地质通报*, 30(7): 1001–1008
- 高林志, 丁孝忠, 庞维华, 刘燕学, 陆松年, 刘耀荣, 陈峻, 张玉海. 2011b. 湘东北前寒武纪仓溪岩群变凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. *地质通报*, 30(10): 1479–1484
- 高山, Qiu YM, 凌文黎, McNaughton NJ and Groves DI. 2001. 崆岭高级变质体地单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究——扬子克拉通 > 3.2Ga 陆壳物质的发现. *中国科学(D辑)*, 31(1): 27–35
- 湖北省地质矿产局. 1990. 湖北省区域地质志. 北京: 地质出版社
- 胡建民, 郭力宇, 宋子新, 李侠, 刘护军. 1995. 扬子地块北缘武当山岩群与耀岭河岩群不整合接触关系的地质意义. *西安地质学院学报*, 17(1): 22–27
- 李福林, 李益龙, 周国华, 徐士元, 李祖刚, 周汉文. 2010. 湖北随州大狼山群片岩中碎屑锆石的 U-Pb 年龄及其意义. *岩石矿物学杂志*, 29(5): 488–496
- 李献华. 1999. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义. *地球化学*, 28(1): 1–9

- 李献华, 李正祥, 周汉文, 刘颖. 2002. 皖南新元古代花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学和 Nd 同位素研究. 地质论评, 48(增刊): 8-16
- 凌文黎, 任邦方, 段瑞春, 柳小明, 毛新武, 彭练红. 2007. 南秦岭武当山群、耀岭河群及基性侵入岩群锆石 U-Pb 同位素年代学及其地质意义. 科学通报, 52(12): 1445-1456
- 凌文黎, 段瑞春, 柳小明, 程建萍, 毛新武, 彭练红, 刘早学, 杨红梅, 任邦方. 2010. 南秦岭武当山群碎屑锆石 U-Pb 年代学及其地质意义. 中国科学(地球科学), 55(12): 1153-1161
- 刘福来, 许志琴, 杨经绥, 张泽明, 薛怀民, 李天福. 2004. 中国大陆科学钻探工程主孔及周边地区花岗质片麻岩的地球化学性质和超高压变质作用标志的识别. 岩石学报, 20(1): 9-26
- 王剑, 李献华, Duan TZ, 刘敦一, 宋彪, 李忠雄, 高永华. 2003. 沧水铺火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及“南华系”底界新证据. 科学通报, 48(16): 1726-1731
- 王敏, 戴传固, 王雪华, 陈建书, 马会珍. 2011. 贵州梵净山白云母花岗岩锆石年代、铪同位素及对华南地壳生长的制约. 地学前缘, 18(5): 213-223
- 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 2005. 皖南新元古代花岗闪长岩体锆石 U-Pb 定年以及元素和氧同位素地球化学研究. 岩石学报, 21(3): 587-606
- 夏林圻, 夏祖春, 李向民, 马中平, 徐学义. 2008. 南秦岭东段耀岭河群、陨西群、武当山群火山岩和基性岩墙群岩石成因. 西北地质, 41(3): 1-29
- 薛怀民, 董树文, 刘晓春. 2002. 大别山东部花岗片麻岩的锆石 U-Pb 年龄. 地质科学, 37(2): 165-173
- 薛怀民, 马芳, 宋永勤, 谢亚平. 2010. 江南造山带东段新元古代花岗岩组合的年代学和地球化学: 对扬子与华夏地块拼合时间与过程的约束. 岩石学报, 26(11): 3215-3244
- 薛怀民, 马芳, 宋永勤. 2011. 扬子克拉通北缘随(州)-枣(阳)地区新元古代变质岩浆岩的地球化学和 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究. 岩石学报, 27(4): 1116-1130
- 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, Malpas J. 2002. 华南在 Rodinia 古陆中位置的讨论——扬子地块西缘变质岩浆杂岩证据及其与 Seychelles 地块的对比. 地学前缘, 9(4): 249-256
- 杨坤光, 谢建磊, 刘强, 但卫, 余振兵, 马昌前. 2009. 西大别淮湾面理化含榴花岗岩变形特征与锆石 SHRIMP 定年. 中国科学(D 辑), 39(4): 464-473
- 余凤鸣, 韦昌山, 余吉庭, 何龙清. 2008. 武当隆起银金多金属矿床的构造控矿作用分析. 黄金科学技术, 16(4): 4-8
- 曾雯, 周汉文, 钟增球, 曾昭光, 李惠民. 2005. 黔东南新元古代岩浆岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学, 34(6): 548-556
- 郑永飞, 张少兵. 2007. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化. 科学通报, 52(1): 1-10
- 钟玉芳, 马昌前, 余振兵, 林广春, 续海金, 王人镜, 杨坤光, 刘强. 2005. 江西九岭花岗岩类复式岩基锆石 SHRIMP U-Pb 年代学. 地球科学, 30(6): 685-691
- 周汉文, 李献华, 王汉荣, 李江, 李惠民. 2002. 广西鹰扬关群基性火山岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质论评, 48(增刊): 22-25