

安徽巢湖北部地区早石炭世碎屑锆石年代及其沉积意义分析*

洪浩澜 赵欢 张立夫 贾志海** 李全忠 周涛发

HONG HaoLan, ZHAO Huan, ZHANG LiFu, JIA ZhiHai**, LI QuanZhong and ZHOU TaoFa

合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009

School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

2013-10-08 收稿, 2014-02-11 改回.

Hong HL, Zhao H, Zhang LF, Jia ZH, Li QZ and Zhou TF. 2014. The Early Carboniferous zircon U-Pb chronology and its sedimentary significance in the northern Chaohu area, Anhui, East China. *Acta Petrologica Sinica*, 30(4):1087–1096

Abstract The Carboniferous system is well developed in the northern Chaohu area, the sequence and boundaries of different formations are clear, sedimentary types are very abundant. This area is one of the key places for the Carboniferous researches in China. Based on sedimentary characteristics, and detrital zircon U-Pb chronology characteristics, provenance of the Lower Carboniferous debris in this area are discussed. Samples for LA-ICP-MS zircon U-Pb dating were taken from the sandstones in the middle part of the Gaolishan Formation and biocalcarenites in the top of the Hezhou Formation respectively. Zircon concordant ages of the Gaolishan Formation are in the range of 404.4 ± 10.2 Ma to 3194.1 ± 40.7 Ma, peak ages are 435 ± 6 Ma and 846 ± 14 Ma; zircon concordant ages of the Hezhou Formation are in the range of 410.0 ± 10.8 Ma to 2779.9 ± 46.0 Ma, peak ages are 849 ± 12 Ma and 448 ± 20 Ma. Such sedimentary characteristics and zircon ages indicate that, the provenance region were closely related to the old lands around the Lower Yangtze ocean which were Formed in Jinning Period and Caledonian Period, part of the sediment may come from other ancient land.

Key words The Early Carboniferous; Detrital zircons; Chronology analysis; Provenance analysis; Chaohu area, Anhui Province

摘要 安徽巢湖北部地区石炭系出露完整,层序清楚,沉积类型多样,是下扬子地区研究石炭系的重要地区之一。本研究在分析石炭系剖面的基础上,结合 U-Pb 碎屑锆石年代学分析,探讨了巢湖北部地区早石炭世物源特征。本研究共对两组岩石样品进行了 LA-ICP-MS U-Pb 锆石年代学分析,第一组样品为采集于高骊山组中段的砂岩,第二组样品为采集于和州组顶部的砂屑生屑灰岩。高骊山组样品锆石最晚年龄为 404.4 ± 10.2 Ma,最早年龄为 3194.1 ± 40.7 Ma,获得了两个峰值年龄 435 ± 6 Ma 与 846 ± 14 Ma。和州组样品锆石最晚年龄为 410 ± 10.8 Ma,最早年龄为 2780 ± 46.0 Ma,获得了两个峰值年龄 448 ± 20 Ma 与 849 ± 12 Ma。早石炭世沉积特征及年龄数据表明,巢湖北部地区早石炭世的陆源碎屑沉积主要来源于扬子海周围晋宁期及加里东期形成的古陆,部分沉积物可能来自其他古陆。

关键词 早石炭世;碎屑锆石;年代分析;物源分析;安徽巢湖

中图法分类号 P597.3; P588.21

安徽巢湖北部地区位于扬子板块东北部、郟庐断裂带的东侧,沉积区划上位于扬子地层区,下扬子地层分区,六和-巢县小区(图1)。

安徽巢湖北部地区石炭系出露完整,层序及其界面清楚,沉积类型多样,是研究石炭系的重要地区之一。长期以来,不少学者和专家从不同角度对该地区进行了较为深入的

* 本文受国家“深部探测技术与实验研究”专项课题(SinoProbe-03-07)、国家自然科学基金项目(41072085)、安徽省国土资源科技项目(2011-K-16)、中国地质调查局地质调查工作项目(1212011121115、1212011220243)和合肥工业大学国家大学生创新性实验计划项目(111035943)联合资助。

第一作者简介:洪浩澜,男,1990年生,硕士生,矿物学、岩石学、矿床学专业,E-mail: honghaolan@sina.com

** 通讯作者:贾志海,男,1976年生,副教授,主要从事古生物学、沉积学教学科研工作,E-mail: jiazhihai@hfut.edu.cn

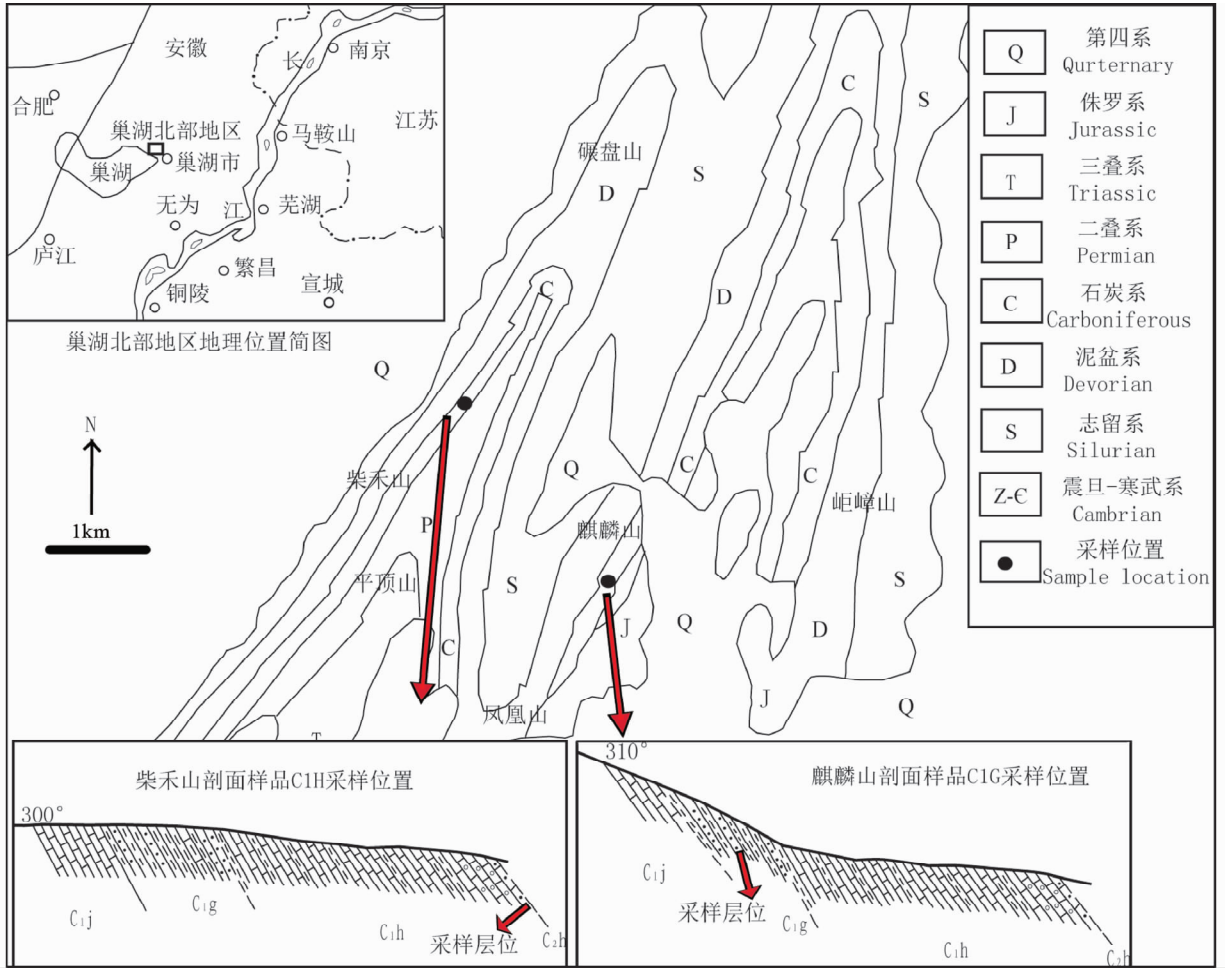


图1 研究区区域地质简图及采样位置(据王道轩等,2005 修订)

Fig.1 Regional geological map of the northern Chaohu area and sampling location(after Wang *et al.* , 2005)

研究,并在石炭纪地层划分、岩相古地理、沉积环境与沉积相分析等方面取得了丰富的研究成果(夏广胜和徐家聪,1980;李双应和金福全,1994,1996;夏军和徐家聪,1998;侯明金等,1998;胡永强等,2000;林春明,2002;陈松等,2007)。研究区石炭系自下而上分为下统金陵组、高骊山组、和州组,上统黄龙组和船山组,各组之间呈假整合接触,组内也存在明显的沉积间断(安徽省地质矿产局区域地质调查队,1989)。其中早石炭世金陵组中厚层生物碎屑灰岩含有丰富的海百合、珊瑚和腕足类等化石;高骊山组下部灰黄色泥岩发育典型的风暴沉积(钱崢等,1996),上部灰白色砂岩生物扰动强烈(周志澄和张瑛,1991);和州组下部为深灰色中薄层白云质生物碎屑灰岩,上部为肉红色厚层生物碎屑灰岩-炉渣状灰岩,产有孔虫、腕足类和珊瑚等化石,层理、波痕、结核、泥裂、生物扰动构造等沉积构造发育,自下而上在垂向上可以划分为5个水体变浅的潮坪相旋回单位(李儒峰等,1997;侯明金等,1998;贾伟等,2011),且冈瓦纳大陆冰川消长是控制旋回发育的主要因素(Veevers and Powell, 1987; Crowley and Baum, 1991)。

应用碎屑锆石 LA-ICP-MS 测试技术对碎屑岩样品进行年代学分析,是确定沉积物源区的一种有效手段(董国安等,2007;耿元生等,2012;胡国辉等,2012;王冬兵等,2012;陈熠等,2012;宋卫卫等,2012)。前人通过沉积环境与沉积相分析,探讨下扬子盆地早石炭世的岩相古地理,认为其碎屑物来源为盆地北部的胶南古陆和盆地南部江南古陆的东延部分——皖浙赣古陆(张瑛等,1983;李双应等,2000)。然而物质来源的确切地段和环境不清楚,而碎屑物中锆石的年代学研究能够弥补这一薄弱环节。该地区早石炭世高骊山组和和州组含有较多的碎屑沉积物,本研究尝试通过巢湖北部地区早石炭世碎屑锆石年代学研究,结合岩相古地理分布特征,探讨该地区早石炭世的物源属性。

1 地质概况

巢湖北部地区在平面图中呈“M”形展布,以中生界和古生界较为发育为特点,南缘以桥头集-东关断层为界,西缘以青苔山逆冲断层(滁河断裂带的一部分)为界,区内主要发育

NNE-SSW 向褶皱, 岩浆活动很微弱(王道轩等, 2005)。研究区石炭系厚度不大, 但分布广泛, 自下而上分为下统金陵组、高骊山组、和州组, 上统黄龙组和船山组, 下伏地层为上泥盆统五通组砂岩, 上覆地层为二叠系灰岩。

麒麟山东坡剖面下石炭统剖面岩性特征描述如下:

黄龙组(C_2h), 厚 28.67m

14. 灰黑色巨厚层生物碎屑灰岩, 厚 28.67m

和州组(C_1h), 28.19m, 与上覆黄龙组平行不整合接触

13. 灰色气孔状灰岩, 气孔下部较少, 上部较多, 气孔中充填绿色泥质沉积物, 上部为炉渣状灰岩, 顶部局部含一定量碎屑岩(采样层位), 厚 4.00m。产状 $105^\circ \angle 52^\circ$

12. 灰黑色中厚层亮晶灰岩, 厚 1.08m

11. 灰色中层灰岩与绿色薄层泥质岩互层, 厚 0.91m

10. 肉红色巨厚层白云质灰岩, 血丝状构造, 表面红色, 厚 7.35m

9. 灰色中厚层灰岩, 方解石含量较高, 厚 4.30m。产状 $175^\circ \angle 75^\circ$

8. 灰黑色中厚层色泥灰岩绿色薄层泥质岩互层, 厚 4.35m。产状 $126^\circ \angle 60^\circ$

7. 灰黑色中厚层生物碎屑灰岩夹薄层泥岩, 厚 6.11m。产状 $106^\circ \angle 62^\circ$

高骊山组(C_1g), 12.26m, 与上覆和州组平行不整合接触

6. 灰白色厚层石英砂岩, 厚 1.94m, 含丰富的遗迹化石。产状 $142^\circ \angle 56^\circ$

5. 中层灰绿、紫红杂色泥岩夹灰岩团块, 团块磨圆较好, 直径约 3~10cm, 含丰富的腕足、双壳、珊瑚等化石, 厚 4.35m。产状 $155^\circ \angle 54^\circ$

4. 中层岩屑砂岩夹薄层杂色泥岩, 发育生物扰动构造(采样层位为褐色中薄层岩屑砂岩), 厚 2.19m

3. 杂色薄层泥岩, 厚 2.29m

2. 灰白色薄层砂岩与杂色泥岩互层, 厚 1.56m

金陵组(C_1j), 9.45m, 与上覆高骊山组平行不整合接触

1. 灰黑色巨厚层生物碎屑灰岩, 厚 9.45m。

2 样品采集及其岩石学特征

通常认为巢湖北部地区石炭系主要为海相碳酸盐岩, 仅高骊山组发育碎屑岩, 而我们在野外工作过程中在和州组顶部也发现了一定量的碎屑岩, 其中麒麟山东坡高骊山组地层剖面最为完整清楚, 而柴禾山和州组顶部发育特征的团块状碎屑岩。因此, 本次工作采集这两个剖面的岩石样品进行锆石定年, 编号分别为 C1G 和 C1H, 样品新鲜, 且风化蚀变较弱。

样品 C1G 是采自麒麟山东坡高骊山组剖面的砾屑砂岩(剖面第 4 段, 图 1)。样品呈褐绿色, 含有较多 2~5mm 大小的片状砾屑。镜下特征: 石英颗粒含量约为 85%, 杂基含量

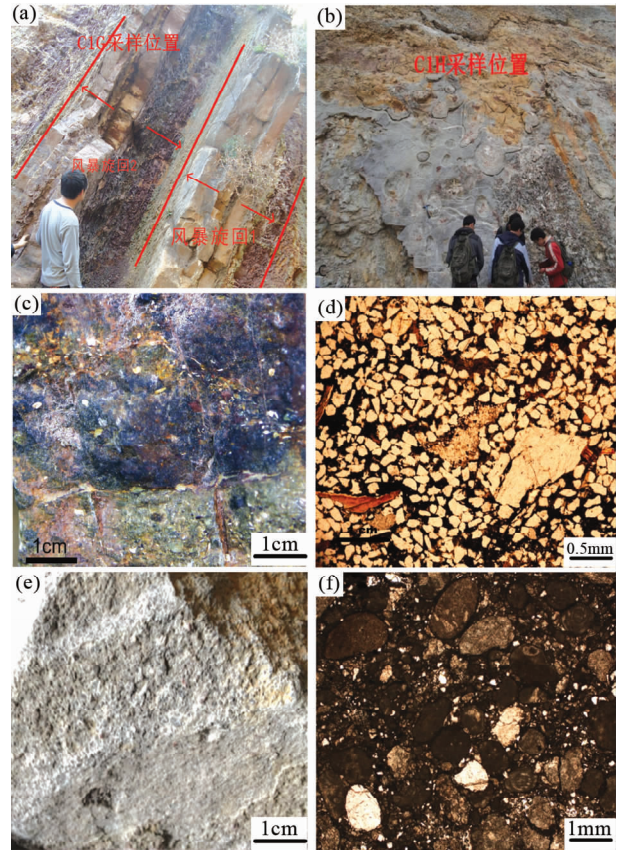


图 2 锆石定年样品采样位置及岩石学特征

(a)-高骊山组采样位置野外照片; (b)-和州组采样位置野外照片; (c)-高骊山组砾屑砂岩岩石样品; (d)-高骊山组砾屑砂岩显微照片 (e)-和州组砂屑生屑灰岩样品; (f)-和州组砂屑生屑灰岩显微照片

Fig. 2 Sampling location and the petrologic feature of the rocks

(a)-the output layer of the sample C1G; (b)-the output layer of the sample C1H; (c)-gravel sandstones from the Gaolishan Formation; (d)-microphotograph of the sample C1G; (e)-biocalcarenes from Hezhou Formation (f)-microphotographs of the sample C1H

为 15%, 为杂基支撑结构。石英主要为单晶石英, 具波状消光, 表面不清楚, 磨圆中等(图 2a, c, d)。

样品 C1H 是采于柴禾山和州组顶部的泥晶生屑砂屑灰岩(剖面第 13 段, 图 1)。生物碎屑含量约 10%, 砂屑主要为石英颗粒, 自形程度差, 直径 0.4~0.6mm, 另含少量岩屑。灰泥粒含量较高, 含量可达到 60% 以上, 直径 0.4~0.6mm 左右, 含个体较小的砂屑, 薄片中共有分布。基质为泥晶方解石, 为典型的灰泥支撑结构。(图 2b, e, f)

3 U-Pb 锆石年代学分析

3.1 分析方法

锆石颗粒定年方法为激光剥蚀等离子体质谱法(LA-

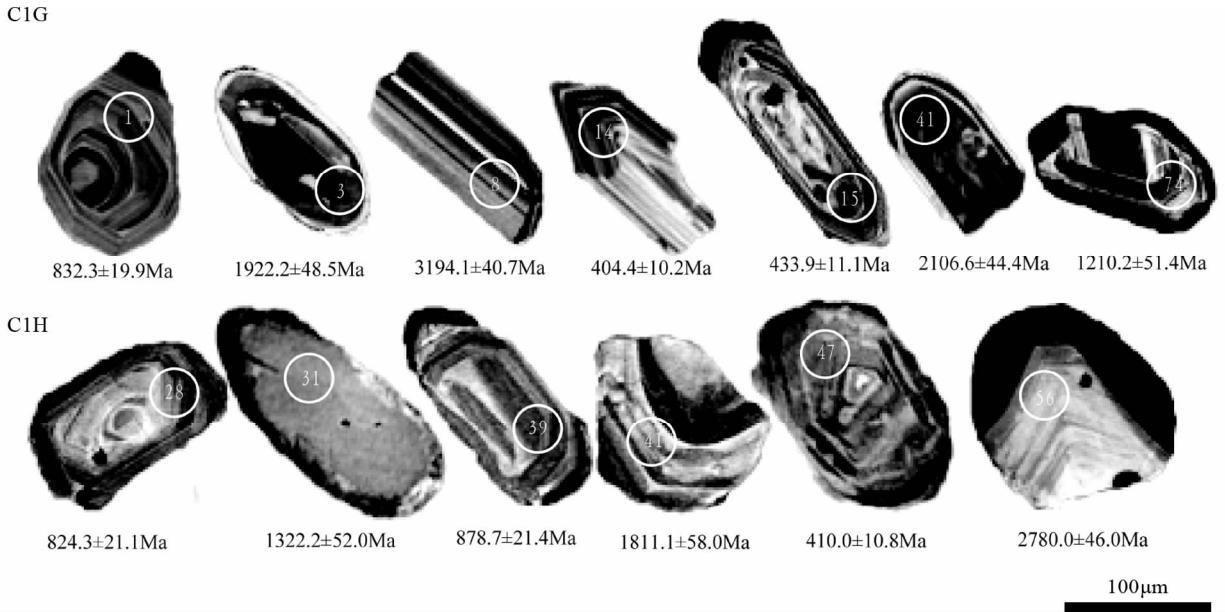


图3 巢湖北部地区部分锆石阴极发光照片

Fig. 3 CL images of selected zircons from the northern Chaohu area

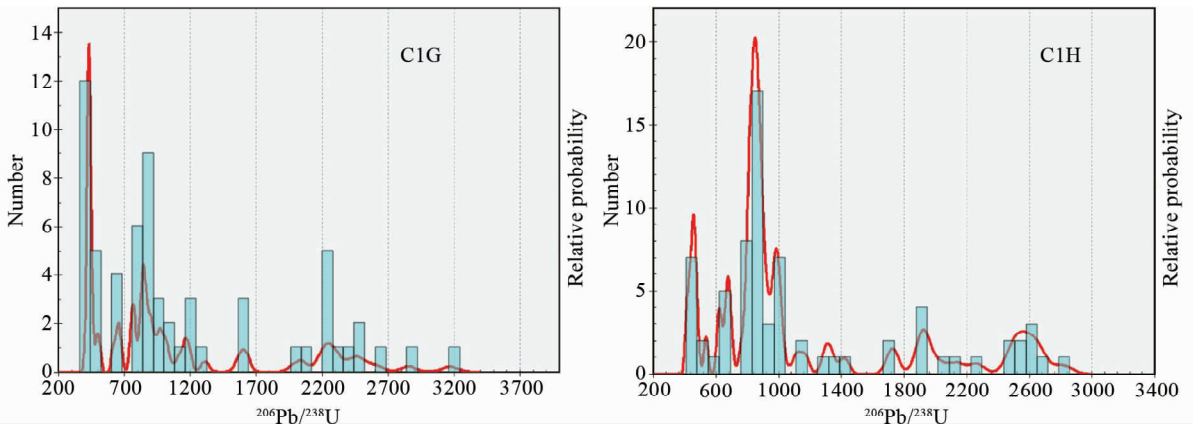


图4 锆石年龄分布图(左图为样品 C1G 锆石年龄,右图为样品 C1H 锆石年龄)

Fig. 4 The distribution diagram of zircon ages (the left diagram is about the sample C1G, the right diagram is about the sample C1H)

ICP-MS)。锆石的挑选是在廊坊峰泽源岩矿检测技术有限公司完成。制靶工作在合肥工业大学资源与环境工程学院 LA-ICP-MS 实验室完成,阴极发光照相在北京锆年领航科技有限公司完成。

锆石的 U-Pb 年代学测试是在合肥工业大学 LA-ICP-MS 实验室完成。本次分析激光器工作频率为 6Hz,剥蚀物质载气为高纯度 He 气,流量为 0.6L/min;测试点束斑直为 32µm;锆石 U/Pb 比值及年龄校准每测定 5 个样品选用标准锆石 91500 进行两次测定;每测 10 个样品点测一次 NIST610 和年龄监控样 Mud Tank。年龄值低于 1000Ma 选用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,年龄值高于 1000Ma 选用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄。单个数据点误差均为 1σ ,加权平均值误差为 2σ 。

3.2 碎屑锆石年代学结果

对巢湖北部地区早石炭世两组岩石样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试,共测试了 160 个点,选取其中可信度大于 90% 的 136 个有效测试点。部分阴极发光图像(图 3)以及具体测试结果见表 1、表 2。

3.2.1 高骊山组砾屑砂岩碎屑锆石年龄

高骊山组岩屑砂岩 C1G 共有 80 个锆石年龄测试数据,最终获取了 63 个有效数据(表 1)。锆石年龄数据谐和性较好,但锆石的年龄分布总体宽泛(图 4),最晚年龄为 $404.4 \pm 10.2\text{Ma}$,最早年龄为 $3194.1 \pm 40.7\text{Ma}$,主峰峰值年龄为 $435 \pm 6\text{Ma}$ (根据 14 个数据计算所得,图 5),次峰峰值年龄为 846

表 1 高骊山组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年分析结果

Table 1 LA-ICP-MS isotopic data of zircon from CIG

测点号	年龄 (Ma)						谐和度	测点号	年龄 (Ma)						谐和度
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 sigma	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 sigma	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 sigma			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 sigma	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 sigma	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 sigma	
C1g-14	613.0	74.1	439.6	13.8	404.4	10.2	91%	C1g-27	1013.0	69.3	914.3	24.4	874.4	24.2	95%
C1g-04	681.2	94.4	464.9	18.2	420.7	11.0	90%	C1g-11	1057.4	61.1	947.1	20.2	902.8	22.2	95%
C1g-06	679.6	72.2	470.2	15.1	426.4	10.9	90%	C1g-74	1210.2	51.4	998.0	18.8	904.1	22.1	90%
C1g-42	427.8	67.6	428.6	11.1	427.7	10.6	99%	C1g-52	1168.5	71.3	987.2	24.8	910.4	22.8	91%
C1g-37	583.4	66.7	456.3	12.8	428.9	10.8	93%	C1g-73	980.6	55.1	966.4	18.3	959.8	22.8	99%
C1g-62	598.2	104.6	459.2	13.3	431.1	10.9	93%	C1g-05	966.7	53.4	962.3	19.9	964.6	22.8	99%
C1g-66	635.2	74.1	470.0	15.1	433.9	11.1	92%	C1g-57	1003.4	63.0	986.6	21.9	979.2	24.9	99%
C1g-77	487.1	58.3	444.3	12.0	434.9	11.5	97%	C1g-13	894.4	53.7	978.5	19.0	1013.1	23.9	96%
C1g-67	613.0	72.2	465.5	13.8	435.3	11.2	93%	C1g-60	1265.7	62.5	1100.9	21.2	1024.4	25.9	92%
C1g-36	353.8	76.8	422.8	12.1	435.3	10.8	97%	C1g-22	1013.0	64.8	1077.3	23.1	1106.8	26.7	97%
C1g-29	627.8	63.9	466.3	12.9	435.6	10.8	93%	C1g-30	1144.5	56.6	1155.3	21.8	1166.6	27.5	99%
C1g-28	625.6	77.8	469.2	15.0	436.3	10.9	92%	C1g-54	1287.0	50.5	1213.4	23.5	1168.3	31.9	96%
C1g-15	572.3	70.4	465.6	13.8	443.3	11.3	95%	C1g-44	1205.6	50.0	1187.7	21.8	1177.6	29.2	99%
C1g-26	461.2	96.3	450.7	17.6	451.8	11.7	99%	C1g-32	1494.4	49.5	1387.1	24.1	1312.1	31.9	94%
C1g-31	500.0	58.3	464.4	12.0	457.7	11.3	98%	C1g-03	1922.2	48.5	1717.3	26.6	1571.1	41.7	91%
C1g-50	331.5	102.8	463.6	12.6	491.1	12.4	94%	C1g-56	1706.5	54.6	1648.1	24.3	1602.5	36.3	97%
C1g-43	761.1	68.7	556.3	13.5	510.0	13.4	91%	C1g-59	1959.0	50.0	1774.9	26.5	1621.1	38.0	90%
C1g-19	566.7	61.1	604.7	14.6	614.6	15.0	98%	C1g-72	2350.0	45.5	2179.2	31.1	1993.2	52.0	91%
C1g-38	909.3	58.2	709.6	16.3	649.5	16.8	91%	C1g-71	2429.3	42.7	2248.7	25.9	2054.0	46.1	90%
C1g-46	884.9	58.5	705.4	17.1	651.6	18.3	92%	C1g-41	2105.6	44.4	2153.2	27.1	2200.1	48.5	97%
C1g-23	773.8	55.6	697.2	16.1	670.0	16.8	96%	C1g-45	2376.2	44.9	2296.1	29.6	2205.7	48.9	95%
C1g-61	716.7	69.4	748.2	17.0	760.1	18.6	98%	C1g-17	2647.2	48.1	2462.0	33.5	2249.4	59.2	90%
C1g-39	1035.2	62.0	835.3	18.5	763.8	20.2	91%	C1g-53	2554.6	36.9	2420.5	26.4	2261.3	50.5	93%
C1g-21	657.4	62.0	743.8	15.7	770.2	18.4	96%	C1g-18	2466.4	50.9	2380.1	28.9	2274.9	50.4	95%
C1g-58	1047.2	56.0	845.6	17.1	770.7	18.5	90%	C1g-16	2328.1	44.0	2330.7	28.9	2322.3	49.2	99%
C1g-24	842.6	56.5	838.9	20.8	831.4	20.5	99%	C1g-69	2481.2	42.1	2453.3	25.9	2418.0	52.6	98%
C1g-01	1013.0	89.8	883.1	18.1	832.3	19.9	94%	C1g-25	2405.9	44.3	2436.4	29.7	2463.6	52.3	98%
C1g-65	1096.0	60.0	915.5	20.0	840.0	20.3	91%	C1g-63	2486.1	46.9	2497.8	28.5	2508.1	57.2	99%
C1g-49	813.0	61.1	833.2	18.4	840.8	20.6	99%	C1g-68	2638.9	42.9	2625.3	27.2	2610.8	58.1	99%
C1g-12	900.0	61.1	856.0	20.6	849.1	21.4	99%	C1g-78	2850.3	40.9	2854.2	28.7	2853.9	60.4	99%
C1g-35	951.5	56.3	881.7	19.5	851.7	20.4	96%	C1g-08	3194.1	40.7	3185.4	29.4	3167.4	64.4	99%
C1g-80	853.7	53.7	858.0	16.9	858.5	20.4	99%								

± 14Ma(根据 8 个数据计算所得,图 5)。在认可实验过程的前提下,我们认为每组锆石年龄数据都是有意义的。根据碎屑锆石的年龄分布和阴极发光特征,将锆石 U-Pb 表面年龄分为若干个年龄段(图 4 左)。

359 ~ 542Ma 年龄段(泥盆纪-寒武纪)共有 17 个数据,峰值区域 14 个数据加权平均年龄为 435 ± 6Ma。集中在这一年龄段的锆石颗粒较为完整,以短柱状为主,长柱状次之,振荡环带清晰,为岩浆成因锆石。表明源区存在古生代地壳或再循环地壳组分,可能与下扬子海周围加里东的造山事件有关。

542 ~ 1000Ma 年龄段(新元古代)共有 23 个数据。次峰峰值区域 8 个数据加权平均年龄为 849 ± 14Ma。锆石呈现短柱状和不规则形状,振荡环带不清晰,具有岩浆锆石特征。表明源区存在新元古代地壳或再循环地壳组分,可能与下扬

子海周围晋宁期岩浆活动有关。

1000 ~ 2500Ma 年龄段(中元古代-古元古代)共有 20 个数据。锆石年龄不集中,大部分锆石形态不规则,振荡环带不清晰。其中 12 颗锆石边部见亮白色的次生增生边,表明是岩浆锆石但受变质作用影响再旋回,另外 3 颗锆石颜色较深。表明源区存在中元古代地壳或再循环地壳组分。

大于 2500Ma 年龄段(太古代)共有 3 个数据。其中年龄较小的锆石形态不规则,振荡环带不发育;较早的锆石呈长柱状,振荡环带明显,应为岩浆成因。表明源区存在太古代地壳。

3.2.2 和州组砂屑生屑灰岩碎屑锆石年龄

和州组砂屑生屑灰岩样品总共进行了 80 个锆石年龄测试,总共获取了 73 个有效数据点(表 2),锆石年龄数据谐和性较好但分布不集中。最晚年龄为 410.0 ± 10.8Ma,最早年

表2 和州组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年分析结果

Table 2 LA-ICP-MS isotopic data of zircon from CIH

测点号	年龄(Ma)						谐和度	测点号	年龄(Ma)						谐和度
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 sigma	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 sigma	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 sigma			$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 sigma	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 sigma	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 sigma	
C1H-47	394.5	94.4	409.1	21.3	410.0	10.8	99%	C1H-43	803.4	140.7	854.6	44.4	887.2	25.7	96%
C1H-51	435.2	140.7	430.4	29.8	427.1	11.9	99%	C1H-58	835.2	83.3	877.5	31.5	889.9	22.9	98%
C1H-50	350.1	92.6	424.7	25.5	435.5	11.1	97%	C1H-65	927.8	73.0	907.9	23.3	897.4	22.6	98%
C1H-44	390.8	110.2	440.1	23.8	450.7	11.8	97%	C1H-68	877.8	61.1	893.7	18.9	901.1	21.8	99%
C1H-77	472.3	95.4	460.6	11.4	456.9	11.8	99%	C1H-74	887.0	57.2	915.9	19.9	926.2	22.9	98%
C1H-69	455.6	73.1	458.4	11.9	460.5	11.5	99%	C1H-70	909.3	54.8	927.6	17.7	934.1	22.2	99%
C1H-42	189.0	80.5	423.8	18.5	467.7	12.2	90%	C1H-22	938.9	54.5	962.9	17.7	970.8	23.1	99%
C1H-17	350.1	72.2	462.1	13.7	483.1	12.0	95%	C1H-60	879.6	123.2	946.9	28.1	976.2	24.8	96%
C1H-10	572.3	63.0	548.0	14.2	537.7	13.2	98%	C1H-38	1064.8	58.2	1004.3	24.5	986.1	25.3	98%
C1H-25	683.3	61.1	632.0	14.2	617.5	15.0	97%	C1H-64	924.1	62.0	970.0	19.4	987.6	23.9	98%
C1H-71	587.1	75.9	612.7	16.8	622.5	15.6	98%	C1H-08	1133.3	52.9	1019.5	20.4	990.6	23.8	97%
C1H-36	675.9	77.8	666.0	21.1	664.6	17.2	99%	C1H-73	983.3	57.4	993.1	18.8	996.9	23.7	99%
C1H-30	961.1	58.2	738.2	17.0	672.7	19.7	90%	C1H-11	1050.0	59.3	1034.7	22.4	1018.8	24.8	98%
C1H-40	653.7	63.0	679.0	22.9	683.8	20.1	99%	C1H-37	1079.6	49.8	1101.1	24.5	1111.8	27.3	99%
C1H-06	633.4	63.0	670.2	17.3	685.6	16.7	97%	C1H-31	1322.2	52.9	1219.4	22.1	1167.3	28.1	95%
C1H-32	820.4	71.1	778.1	20.2	764.7	19.0	98%	C1H-16	1250.0	50.8	1288.9	24.3	1306.2	30.0	98%
C1H-80	816.7	61.1	807.9	17.3	805.0	19.5	99%	C1H-29	1635.2	51.9	1457.4	22.7	1324.4	33.2	90%
C1H-55	877.5	100.0	823.3	44.8	805.0	21.1	97%	C1H-14	1383.3	50.0	1410.3	25.8	1418.9	32.3	99%
C1H-61	857.4	65.6	826.0	19.8	814.9	20.3	98%	C1H-19	1616.7	50.5	1681.6	25.2	1723.8	38.9	97%
C1H-75	861.1	75.0	827.5	22.2	815.6	20.4	98%	C1H-54	1736.1	53.7	1743.4	54.8	1731.1	40.2	99%
C1H-28	857.4	61.1	831.3	17.9	823.9	20.0	99%	C1H-34	2065.1	56.5	1979.1	32.7	1907.5	44.5	96%
C1H-01	901.9	81.5	843.2	23.5	824.3	21.1	97%	C1H-41	1811.1	58.0	1861.1	40.8	1912.0	44.5	97%
C1H-03	873.8	55.6	840.0	18.6	827.3	19.8	98%	C1H-59	1653.7	65.6	1805.3	39.3	1931.1	44.9	93%
C1H-53	879.6	106.5	836.6	40.9	831.0	22.6	99%	C1H-20	1818.2	48.2	1884.8	24.8	1936.7	42.7	97%
C1H-02	861.1	61.6	846.0	19.6	839.3	20.3	99%	C1H-07	2109.0	45.7	2073.6	29.8	2025.6	47.1	97%
C1H-63	794.4	64.8	830.4	18.9	841.9	20.4	98%	C1H-57	2035.5	52.0	2092.4	47.0	2138.2	48.8	97%
C1H-24	820.4	55.4	837.1	17.3	842.8	20.2	99%	C1H-62	2631.5	42.0	2466.7	27.8	2265.3	50.5	91%
C1H-05	861.1	68.5	849.3	22.5	850.4	20.8	99%	C1H-52	2364.5	56.8	2425.2	58.0	2486.9	57.5	97%
C1H-13	790.7	63.0	839.3	20.6	851.4	20.7	98%	C1H-76	2476.2	43.8	2492.0	26.6	2504.0	52.6	99%
C1H-79	835.2	63.0	847.3	18.2	852.7	21.0	99%	C1H-09	2518.2	42.4	2528.4	28.2	2531.5	53.2	99%
C1H-23	924.1	49.1	878.0	16.7	858.1	20.8	97%	C1H-18	2464.8	46.3	2512.0	29.8	2561.3	56.2	98%
C1H-26	947.8	55.6	884.6	17.8	858.3	20.7	96%	C1H-78	2564.8	45.5	2566.8	29.5	2585.9	65.8	99%
C1H-48	900.0	120.5	866.8	42.7	859.4	23.8	99%	C1H-27	2698.5	43.7	2669.1	27.2	2625.7	55.6	98%
C1H-12	872.2	95.4	873.5	20.6	868.8	21.0	99%	C1H-67	2433.3	48.5	2517.3	28.8	2638.2	59.0	95%
C1H-72	861.1	55.6	869.0	16.9	870.2	21.0	99%	C1H-04	2532.4	44.4	2591.7	31.6	2670.0	57.7	97%
C1H-15	905.6	74.5	885.7	25.2	876.8	21.7	98%	C1H-56	2779.9	46.0	2802.1	56.8	2814.3	61.4	99%
C1H-39	864.8	57.4	874.0	22.8	877.7	21.4	99%								

龄为 2779.9 ± 46.0 Ma, 主峰峰值年龄为 849 ± 12 Ma(根据 25 个数据计算所得, 图 5), 次峰峰值年为 448 ± 20 Ma(根据 8 个数据计算所得, 图 5)。同样根据碎屑锆石的年龄分布和阴极发光特征, 将锆石 U-Pb 表面年龄分为若干个年龄段(图 4 右)。

359 ~ 542 Ma 年龄段(泥盆纪-寒武纪)共有 9 个数据, 峰值区域 8 个数据加权平均年龄为 448 ± 20 Ma。集中在这一年龄段的锆石颗粒较为完整, 以短柱状为主, 长柱状次之, 振荡环带清晰, 为岩浆成因锆石。表明源区存在古生代地壳或再循环地壳组分, 可能与下扬子海周围加里东的造山事件

有关。

542 ~ 1000 Ma 年龄段(新元古代)共有 40 个数据。次峰峰值区域 25 个数据加权平均年龄为 849 ± 12 Ma。锆石呈现短柱状和不规则形状, 振荡环带不清晰, 具有岩浆锆石特征。表明源区存在新元古代地壳或再循环地壳组分, 可能与下扬子海周围晋宁期岩浆活动有关。

1000 ~ 2500 Ma 年龄段(中元古代-古元古代)共有 18 个数据。锆石年龄不集中, 大部分锆石形态不规则, 振荡环带不清晰。表明可能为岩浆锆石但受变质作用影响强烈。表明源区存在中古元古代地壳或再循环地壳组分。

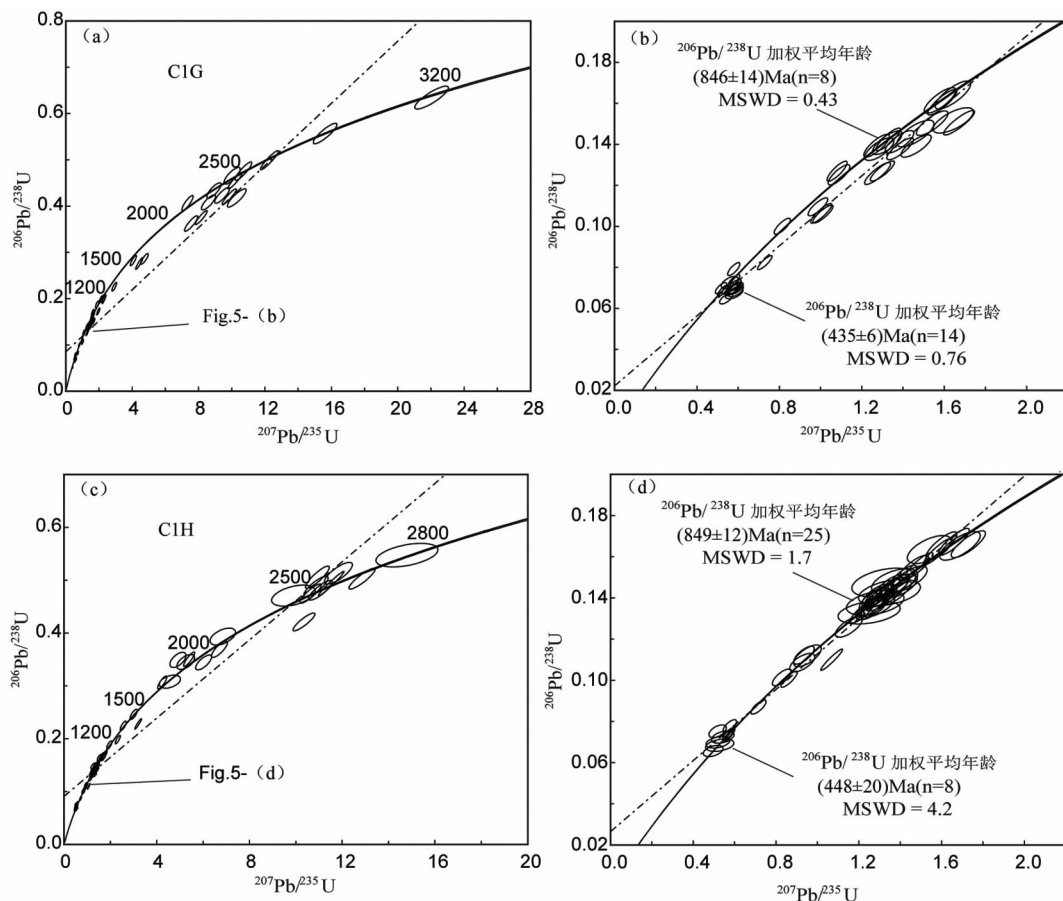


图5 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5 U-Pb concordia diagrams of zircon from sample C1G and C1H

大于 2500Ma 年龄段(太古代)共有 6 个数据。锆石年龄不集中, 锆石形态不规则, 振荡环带发育; 较早的锆石带有变质特征, 应为岩浆成因。表明源区存在太古代古老地壳。

本研究从两组样品中所获得的泥盆纪-寒武纪年龄段的锆石峰值年龄分别为 $435 \pm 6\text{Ma}$ 和 $448 \pm 20\text{Ma}$, 新元古代年龄段的锆石峰值年龄分别为 $849 \pm 14\text{Ma}$ 和 $849 \pm 12\text{Ma}$, 在误差范围内保持一致, 表明二者可能具有一致的碎屑物质来源。中元古代之前的锆石年龄分布不集中, 存在 1200Ma、1600 ~ 1700Ma、1900 ~ 2100Ma、2200 ~ 2500Ma 等峰值年龄(图 5)。同时, 本研究所获得的最古老的锆石测点 C1G-08 呈长柱状, 振荡环带清晰, 边界清楚(图 3 上), 应当为没有受变质作用影响的岩浆锆石, 指示源区存在太古代地壳组分。

4 讨论

4.1 岩相古地理概况

张瑛等(1983)、李双应和金福全(1994)、李双应等(2000)认为, 下扬子盆地早石炭世的主要物源区为盆地南部的江南古陆的东延部分——皖浙赣古陆和盆地东北方的胶南古陆, 巢湖地区的沉积相主要受这两个区域影响。金陵组

的灰岩沉积代表了海侵达到最高潮, 但盆地的水深不大, 不超过 200m。盆地中部为清水碳酸盐沉积, 而盆地边缘依然是浑水碎屑岩沉积。高骊山期应当是海盆比较活跃的阶段, 陆源碎屑物的剧增, 反映了南部物源区明显上升, 并且伴随着差异升降及火山喷发。早石炭世末期, 和州组沉积环境受全球气候变化影响显著, 海平面升降频繁, 直至末期暴露地表(图 6)。

4.2 碎屑物源对比

胡艳华等(2012)对华南加里东运动进行探讨, 认为华南加里东运动的实质是扬子板块与华夏板块在奥陶纪末到志留纪发生的板内碰撞运动, 这种碰撞所导致的挤压作用使元古代地壳基底发生深熔作用, 产生华南地区大面积分布的花岗质岩石和混合岩, 以及变质、变形作用; 同时, 也是这次板内碰撞作用导致了始于晚奥陶世的华南地壳大规模抬升, 而造成华南大范围志留系的缺失。这一结论也与我们所得到的锆石年龄相符, 即锆石年龄集中于奥陶纪到志留纪, 缺少泥盆纪年龄。胡艳华等(2012)对华南加里东期年龄进行统计, 从统计结果看, 华南加里东期高精度年龄变化于 393 ~ 460Ma 之间, 最为集中的时间段为 420 ~ 445Ma 之间的 25

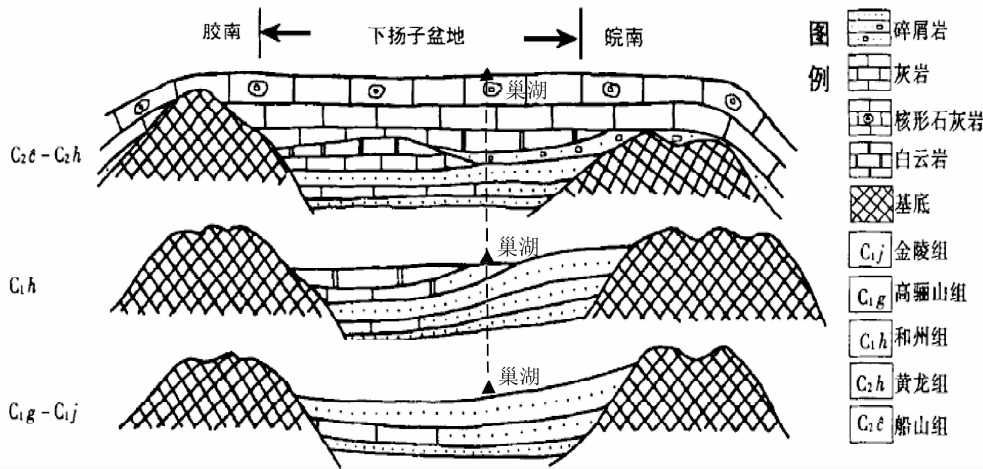


图6 石炭纪下扬子盆地演化模式(据李双应等,2000 修改)

Fig.6 Evolution mode of Lower Yangtze basin in Carboniferous (after Li *et al.*, 2000)

个百万年之间,435Ma 为其一个峰值,与我们所得到的的泥盆纪-寒武纪峰值年龄大致相符。

鲁东造山带位于扬子与中朝陆块之间,是在扬子陆块与胶辽古陆碰撞带基础上发展起来的,凌贤长(1998)通过锆石 U-Pb 法及黑云母 K-Ar 法获得的鲁东造山带晋宁期中酸性侵入杂岩的年龄为 640 ~ 890Ma,另外获得了部分 600 ~ 900Ma 的榴辉岩同位素年龄。研究表明,江南造山带变质基底是经过 830 ~ 780Ma 的晋宁期碰撞造山形成(张世红和王鸿祯,2002;周金城等,2008,2009;高林志等,2012;王自强等,2012)。我们所获得的新元古代碎屑锆石年龄应当与晋宁期造山事件有关。

胶南古陆报道了较多 1000 ~ 2500Ma 的年龄数据(Zhou *et al.*, 2008;初航等,2011;高林志等,2012),江南古陆则很少。胶南古陆早中元古代年龄峰值主要有 1200Ma、1600 ~ 1700Ma、1800 ~ 2000Ma、2100 ~ 2450Ma,与我们研究所获得的早中元古代年龄分布可以对应。

样品 C1G 和 C1H 分别含有 3 个和 6 个大于 2500Ma 的年龄,由于胶南古陆以及江南古陆未发现太古代年龄数据,而在扬子板块西北部的崆岭地区有形成年龄约为 3.2Ga 的片麻岩(焦文放等,2009),扬子陆块部分地区的地表也有新太古代地壳,且常与古元古代变质岩系伴生,组成古元古代-新太古代基底(沈其韩等,2005)。因此,样品的太古代锆石年龄,可能指示了部分沉积物来自扬子海周围的其他古陆。

5 结论

(1) 巢湖北部地区高骊山组样品 C1G 所获得的锆石年龄为 404.4 ~ 3194.1Ma,和州组样品 C1H 所获得的锆石年龄为 410.0 ~ 2779.9Ma,都呈现分散且多峰的特征,和州组的峰值年龄总体偏老。巢湖北部地区早石炭世物源比较稳定。

(2) 巢湖北部地区早石炭世碎屑物质来源主要为扬子海

周围晋宁期及加里东期形成的古陆,部分沉积物可能来自其他古陆。

References

- Chen S, Zeng Y, Wang Y and Wang ZL. 2007. Chaobei area Lower Carboniferous microfacies, Anhui. *Coal Geology of China*, 19(3): 13 - 16 (in Chinese with English abstract)
- Chen Y, Fang XM, Song CH and Meng QQ. 2012. The uplift and erosion of the Tianshan Mountains recorded by detrital zircon geochronology from the Cenozoic sediments in the southern Junggar Basin. *Earth Science Frontiers*, 19(5): 225 - 233 (in Chinese with English abstract)
- Chu H, Lu SN, Wang HC, Xiang ZQ and Liu H. 2011. U-Pb age spectrum of detrital zircons from the Fuzikuang Formation, Penglai Group in Changdao, Shandong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1017 - 1028 (in Chinese with English abstract)
- Crowley TJ and Baum SK. 1991. Estimating carboniferous sea-level fluctuations from Gondwanan ice extent. *Geology*, 19(10): 975 - 977
- Dong GA, Yang HY, Liu DY *et al.* 2007. Detrital zircon SHRIMP U-Pb geochronology and geological significance of Longshoushan Group. *Chinese Science Bulletin*, 52(6): 688 - 697 (in Chinese)
- Gao LZ, Ding XZ, Zhang CH *et al.* 2012. A revised chronostratigraphic dating of metamorphosed basement strata of Jiangnan old land and its implication for Wuling tectonic movement. *Resources Survey and Environment*, 33(2): 71 - 76 (in Chinese with English abstract)
- Geng YS, Liu YQ, Gao LZ *et al.* 2012. Geochronology of the Mesoproterozoic Tongan Formation in southwestern margin of Yangtze Craton; New evidence from zircon LA-ICP-MS U-Pb age. *Acta Geologica Sinica*, 86(9): 1479 - 1489 (in Chinese with English abstract)
- Hou MJ, Qi DL and Jin YX. 1998. The petrological characteristics and sedimentary environments of Chaohu City, Anhui Province. *Geology of Anhui*, 8(3): 30 - 37 (in Chinese with English abstract)
- Hu GH, Zhao TP, Zhou YY and Yang Y. 2012. Depositional age and provenance of the Wufoshan Group in the southern margin of the North China Craton; Evidence from detrital zircon U-Pb ages and Hf isotopic compositions. *Geochimica*, 41(4): 326 - 342 (in Chinese with English abstract)
- Hu YH, Qian JF, Zhu XY, Xu Y, Gu MG and Li JF. 2012. The overview and origin analysis for the Caledonian movement in the South China Block. *Bulletin of Science and Technology*, 28(11):

- 42-48, 71 (in Chinese with English abstract)
- Hu YQ, Hong TQ, Jia ZH. 2012. Middle-Late Carboniferous epoch carbonate microfacies of the Qilinshan section in Chaohu. *Acta Petrologica Sinica*, 23(4): 505-509 (in Chinese with English abstract)
- Jia W, Ding Z, Li ZF, Wang HS, Fu L, Wang PP and Ji Q. 2011. Early Carboniferous Hezhou Formation sedimentary characteristics and cyclic strata in North of Chaohu Lake area, Anhui. *Coal Geology of China*, 23(5): 5-7, 12 (in Chinese with English abstract)
- Jiao WF, Wu YB, 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)*, 52(9): 1393-1399
- Li RF, Liu BP and Zhao CL. 1997. Correlation of carboniferous depositional sequences on the Yangtze plate with others on a global scale. *Acta Sedimentologica Sinica*, 15(3): 23-28 (in Chinese with English abstract)
- Li SY and Jin FQ. 1994. Carboniferous petrographic features and depositional facies of the Lower Yangtze basin. *Geology of Anhui*, 4(3): 36-47 (in Chinese with English abstract)
- Li SY and Jin FQ. 1996. Diagenesis in the carboniferous in North Chao County of Anhui Province. *Experimental Petroleum Geology*, 18(4): 392-401 (in Chinese with English abstract)
- Li SY, Jin FQ, Huang QS and Yan HX. 2000. Study of the Carboniferous sequence strata and evolution of the Lower Yangtze Basin. *Geology of Anhui*, 10(4): 241-247 (in Chinese with English abstract)
- Lin CM, Huang ZC, Liu JR, Ling HF, Zhang S and Zhao YY. 2002. Carboniferous microfacies and sequence stratigraphy of Fenghuangshan profile in Chaohu of Anhui Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 424-432 (in Chinese with English abstract)
- Ling XZ. 1998. Basic characteristics and boundaries of Ludong Orogenic belt. *Journal of Harbin University of C. E. & Architecture*, 31(5): 116-121 (in Chinese with English abstract)
- Qian Z, Li C and Ma ZP. 1996. Tempestites of Gaolishan Group of Carboniferous series in Chaobei area of Anhui Province. *Journal of the University of Petroleum*, 20(5): 8-11 (in Chinese with English abstract)
- Regional Geological Survey Team, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. 1989. Formation in Anhui Volunteers: Archies of Devonian and Carboniferous. Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House (in Chinese)
- Shen QH, Geng YS, Song B and Wan YS. 2005. New information from the surface outcrops and deep crust of Archean rocks of the North China and Yangtze blocks, and Qinling-Dabie Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 75(9): 616-627 (in Chinese with English abstract)
- Song WW, Zhou JB, Guo XD and Li YK. 2012. Geotectonic setting of Songliao block: Restriction from Paleozoic detrital zircon U-Pb dating. *Global Geology*, 31(3): 522-535 (in Chinese with English abstract)
- Veevers JJ and Powell C. 1987. Late Paleozoic glacial episodes in Gondwanaland reflected in transgressive-regressive depositional sequences in Euramerica. *Geological Society of America Bulletin*, 98(4): 475-487
- Wang DB, Sun ZM, Yin FG *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*, 36(3): 630-635 (in Chinese with English abstract)
- Wang DX, Song CZ, Jin FQ *et al.* 2005. Chaohu Geology Practice Guide. Hefei: Publishing House of Hefei University of Technology (in Chinese)
- Wang ZQ, Gao LZ, Ding XZ and Hang ZZ. 2012. Tectonic environment of the metamorphosed basement in the Jiangnan orogen and its evolutionary features. *Geological Review*, 58(3): 401-413 (in Chinese with English abstract)
- Xia GS and Xu JC. 1980. Early Carboniferous formation in Chaohu area, Anhui Province. *Journal of Stratigraphy*, 4(2): 87-95 (in Chinese)
- Xia J and Xu JC. 1998. The Carboniferous stratigraphic framework in the Chaohu area. *Geology of Anhui*, 8(3): 38-44 (in Chinese with English abstract)
- Yang H, Liu FL, Du LL, Liu PH and Wang F. 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)
- Zhang SH and Wang HZ. 2002. A perspective of paleocontinental reconstruction. *Geological Review*, 48(2): 198-213 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Y, Chen HM, Wei NY *et al.* 1983. Sedimentary characteristics of Lower Carboniferous series in Chaohu, Anhui. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Academy of Geological Sciences, 4(2): 1-26 (in Chinese with English abstract)
- Zhou JB, Wilde SA, Zhao GC, Zheng CQ, Jin W, Zhang XZ and Cheng H. 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Neoproterozoic Penglai Group and Archean gneisses from the Jiaobei Terrane, North China, and their tectonic implications. *Precambrian Research*, 160(3-4): 323-340
- Zhou JC, Wang XL and Qiu JS. 2008. Is the Jiangnan Orogenic Belt a Grenvillian orogenic belt? Some problems about the Precambrian geology of South China. *Geological Journal of China Universities*, 11(1): 64-72 (in Chinese with English abstract)
- Zhou JC, Wang XL and Qiu JS. 2009. Some Neoproterozoic geological events involved in the development of the Jiangnan Orogen. *Geological Journal of China Universities*, 15(4): 454-459 (in Chinese with English abstract)
- Zhou ZC and Zhang Y. 1991. The genesis and significance of Glossifungites ichnofacies at the upper member of Hezhou Formation of Lower Carboniferous, northern Chao County, Anhui. *Acta Sedimentologica Sinica*, 9(4): 120-127 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 安徽省地质矿产局区域地质调查队. 1989. 安徽地层志——泥盆和石炭系分册. 合肥: 安徽科学技术出版社
- 陈松, 曾勇, 王茵, 王占磊. 2007. 安徽巢北地区下石炭统岩石微相特征. *中国煤炭地质*, 19(3): 13-16
- 陈熠, 方小敏, 宋春晖, 孟庆泉. 2012. 准噶尔盆地南缘新生代沉积物碎屑锆石记录的天山隆升剥蚀过程. *地学前缘*, 19(5): 225-233
- 初航, 陆松年, 王惠初, 相振群, 刘欢. 2011. 山东长岛地区蓬莱群辅子介组碎屑锆石年龄谱研究. *岩石学报*, 27(4): 1017-1028
- 董国安, 杨宏仪, 刘敦一, 张建新, 曾建元, 万渝生. 2007. 龙首山岩群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义. *科学通报*, 52(6): 688-697
- 高林志, 丁孝忠, 张传恒, 陆松年, 刘燕学, 庞维华. 2012. 江南古陆变质基底地层年代的修正和武陵运动构造意义. *资源调查与环境*, 33(2): 71-76
- 耿元生, 柳永清, 高林志, 彭楠, 江小均. 2012. 扬子克拉通西南缘中元古代通安组的形成时代——锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄. *地质学报*, 86(9): 1479-1489
- 侯明金, 齐敦伦, 金义祥. 1998. 安徽巢湖凤凰山石炭纪岩石特征及沉积环境分析. *安徽地质*, 8(3): 30-37
- 胡永强, 洪天求, 贾志海. 2012. 巢湖麒麟山剖面中晚石炭世碳酸盐岩微相研究. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 23(4): 505-509

- 胡国辉, 赵太平, 周艳艳, 杨阳. 2012. 华北克拉通南缘五佛山群沉积时代和物源区分析: 碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据. 地球化学, 41(4): 326-342
- 胡艳华, 钱俊锋, 褚先尧, 徐岩, 顾明光, 李建峰. 2012. 华南加里东运动研究综述及其性质初探. 科技通报, 28(11): 42-48, 71
- 贾伟, 丁卓, 李壮福, 王海生, 傅雷, 王盼盼, 冀青. 2011. 安徽巢北早石炭世和州组沉积特征及旋回地层. 中国煤炭地质, 23(5): 5-7, 12
- 焦文放, 吴元保, 彭敏, 汪晶, 杨赛红. 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
- 李儒峰, 刘本培, 赵澄林. 1997. 扬子板块石炭纪沉积层序及其全球性对比研究. 沉积学报, 15(3): 23-28
- 李双应, 金福全. 1994. 下扬子盆地石炭纪的岩石学特征及沉积相. 安徽地质, 4(3): 36-47
- 李双应, 金福全. 1996. 安徽巢北石炭系的成岩作用. 石油实验地质, 18(4): 392-401
- 李双应, 金福全, 黄其胜, 颜怀学. 2000. 下扬子盆地石炭纪层序地层研究及盆地演化. 安徽地质, 10(4): 241-247
- 林春明, 黄志诚, 刘家润, 凌洪飞, 张顺, 赵彦彦. 2002. 安徽巢湖凤凰山剖面石炭系微相和层序地层特征. 岩石学报, 18(3): 424-433
- 凌贤长. 1998. 鲁东造山带基本特征及边界确定. 哈尔滨建筑大学学报, 31(5): 116-121
- 钱崢, 李淳, 马在平. 1996. 安徽巢北地区下石炭统高骊山组风暴沉积. 石油大学学报(自然科学版), 20(5): 8-11
- 沈其韩, 耿元生, 宋彪, 万渝生. 2005. 华北和扬子陆块及秦岭-大别造山带地表和深部太古宙基底的新信息. 地质学报, 75(9): 616-627
- 宋卫卫, 周建波, 郭晓丹, 李雨柯. 2012. 松辽地块大地构造属性: 古生界碎屑锆石年代学的制约. 世界地质, 31(3): 522-535
- 王自强, 高林志, 丁孝忠, 黄志忠. 2012. “江南造山带”变质基底形成的构造环境及演化特征. 地质论评, 58(3): 401-413
- 王冬兵, 孙志明, 尹福光, 王立全, 王保弟, 张万平. 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, 36(3): 630-635
- 王道轩, 宋传中, 金福全, 李祚文. 2005. 巢湖地质学实习教程. 合肥: 合肥工业大学出版社
- 夏广胜, 徐家聪. 1980. 安徽巢湖地区早石炭世地层. 地层学杂志, 4(2): 87-95
- 夏军, 徐家聪. 1998. 巢湖地区石炭纪地层格架. 安徽地质, 8(3): 38-44
- 杨红, 刘福来, 杜利林, 刘平华, 王舫. 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
- 张世红, 王鸿祯. 2002. 古大陆再造的回顾与展望. 地质论评, 48(2): 198-213
- 张瑛, 陈宏明, 魏乃颐等. 1983. 安徽巢湖地区下石炭统沉积特征. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 4(2): 1-26
- 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, 11(1): 64-72
- 周金城, 王孝磊, 邱检生. 2009. 江南造山带形成过程中若干新元古代地质事件. 高校地质学报, 15(4): 454-459
- 周志澄, 张瑛. 1991. 安徽巢县凤凰山和州组上段 *Glossifungites* 遗迹相的成因及其意义. 沉积学报, 9(4): 120-127