

桂东早古生代地层碎屑锆石 U-Pb 同位素年代学及其对华夏陆块加里东期构造事件性质的约束

李青^{1,2}, 段瑞春^{3,4}, 凌文黎^{3,4}, 胡明安¹, 张军波^{3,4}, 杨振¹

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074
2. 广西地质矿产勘查开发局, 广西南宁 530023
3. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074
4. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 对广西东部大瑶山—大明山地区分别位于早古生代不整合面之下和之上的寒武纪和泥盆纪地层进行了系统的碎屑锆石 U-Pb 同位素年代学研究. 除少数为早太古宙锆石外, 寒武纪地层碎屑锆石的年龄主要有 2.7~2.6、~1.8、1.4~1.1 和 ~1.0 Ga 四组峰值及分别为 250 Ma 和 105 Ma 的热液改造年龄记录; 泥盆纪地层碎屑锆石除少数具有古太古代年龄外, 其余主要形成于 ~1.7 和 ~1.0 Ga, 并记录了强烈的 ~100 Ma 的热改造事件. 这些特征表明, 研究区具有华夏陆块的属性, 扬子与华夏陆块的边界应位于该区西北以远; 经加里东构造事件后, 研究区沉积盆地的物源区发生了改变, 因而加里东期岩浆作用在本区并没有显示. 结合前人研究成果分析, 加里东事件可能指示了已裂开古陆块与华夏陆块间发生的斜向碰撞, 而大瑶山—大明山地区为沿垂直于该碰撞方向挤压形成的被动盆地. 区域地层中部分碎屑锆石 U-Pb 同位素组成的重置和热液锆石的形成, 反映了研究区在印支期和燕山期存在大规模流体参与的热改造事件, 这些热液对流作用应是导致本地区乃至整个华南褶皱带陆缘 Au-Cu 多金属矿带形成的重要原因之一.

关键词: 广西大瑶山; 早古生代; 碎屑锆石; U-Pb 年代学; 加里东期构造事件.

中图分类号: P581

文章编号: 1000-2383(2009)01-0189-14

收稿日期: 2008-10-29

Detrital Zircon U-Pb Geochronology of the Early Paleozoic Strata in Eastern Guangxi and Its Constraint on the Caledonian Tectonic Nature of the Cathaysian Continental Block

LI Qing^{1,2}, DUAN Rui-chun^{3,4}, LING Wen-li^{3,4}, HU Ming-an¹, ZHANG Jun-bo^{3,4}, YANG Zhen¹

1. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Guangxi Bureau of Geology, Mineral Prospecting and Exploitation, Nanning 530023, China
3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
4. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: A comprehensive U-Pb geochronological study of detrital zircons from the Cambrian and Devonian strata in Dayaoshan-Damingshan area, eastern Guangxi has been conducted. The strata contact through an unconformity surface, indicating an early Paleozoic depositing hiatus in the region. The Cambrian detrital zircons are characterized by age spectrums of 2.7–2.6, ~1.8, 1.4–1.1 and ~1.0 Ga with minor Meso- to Neoproterozoic grains as well as hydrothermal event records of 250 and 105 Ma. The Devonian detrital zircons, only few of which were formed in Paleoproterozoic age, were dominated by ~1.7 and 1.0 Ga grains and recorded a pronounced thermal event at ~100 Ma. The geochronology suggests that the study area possessed a Cathaysian attribute in continental accretion and tectonic evolution during the Pre-Devonian, and thus infers that the continental boundary between the Yangtze and Cathaysian blocks was located northwestern to the Dayaoshan-Damingshan terrain. Con-

基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 40373015, 40673025); 国家自然科学基金研究群体科学基金项目 (No. 40521001); 广西壮族自治区“广西贵港龙山—龙头山地区金铜多金属矿床成矿系列与找矿预测研究”项目.

作者简介: 李青 (1962—), 男, 教授级高工, 博士研究生, 从事矿床和区域地球化学研究. E-mail: lqdk@163.com

trasting characters in geochronology of the Cambrian and Devonian strata indicate a shift in sedimentary provenance after the depositing hiatus. However, zircons with timing intervening the Cambrian and Devonian are absent, which suggests that Caledonian magmatism was minimal or lacking in the region and its proximity. Combined with previous studies, it is inferred that Caledonian folding was likely resulted from an oblique collision between the Cathaysia and a continental block which had moved apart later. This collision also resulted in a development of passive basin in Dayaoshan-Damingshan area by extruding along the vertical direction of pressing. Isotopic resetting and hydrothermal reaction are thought to account for the Mesozoic ages recognized in a number of detrital zircons. This observation suggests that large scale convecting hydrothermal fluids were involved in the Indosinian and Yanshanian magmatic and tectonic activities. Thus the convecting hydrothermal liquids are regarded as one of the key factors resulting in the mineralization of the late Mesozoic Au-polymetallic ore deposits in this region and plausibly along the whole southeastern margin of the South China fold belt.

Key words: Dayaoshan area of Guangxi Province; Early Paleozoic; detrital zircon; U-Pb geochronology; Caledonian tectonic event.

华南陆块是中国东部大陆的重要组成部分,同时也是自中—新元古代以来我国大陆岩石圈演化最为活跃的地区之一。华夏陆(地)块不仅记录了多期具全球性构造背景的重大地质事件(郑永飞和张少兵,2007),且近十余年来包括金矿带等在内许多大型多金属矿产的发现(陈毓川和毛景文,1995;马东升,1999;翟裕生等,1999;毛景文和王志良,2000),更加突显了研究该陆块区域构造事件与矿产资源成因关系的意义。然而,由于该地区经历了长期和复杂的构造—岩浆演化过程,不同研究者对许多重要基础地质问题的认识仍存在明显分歧。

虽然多数研究者认为,扬子克拉通和华夏陆块于中元古代晚期—新元古代早期,沿江绍断裂发生碰撞—缝合而形成了统一的华南陆块(Jahn *et al.*, 1990; Chen *et al.*, 1991; 郝杰等,1992; Chen and Jahn, 1998; Li, 1998; Zhao and Cawood, 1999; Li *et al.*, 2002),但在有关华南陆块其他诸多重要地质问题的认识上却持有不同的观点,其中具代表性的焦点问题包括:(1)华夏陆块是否存在统一的前寒武纪基底岩系,或是由不同微陆块于显生宙不同时期汇聚拼合而成(王鹤年和张守韵,1992;陈毓川和毛景文,1995; Zhao and Cawood, 1999;胡受奚和叶瑛,2006;舒良树,2006;于津海等,2006;郑永飞和张少兵,2007);(2)现有的研究积累表明,加里东期构造运动在华夏陆块不同地区具不同的表现形式,如何理解该构造运动的属性以及区内是否存在古生代的缝合线(Li, 1994;吴浩若,2000;舒良树,2006; Wan *et al.*, 2007, Xu *et al.*, 2007);(3)沿江—绍断裂带向西南的延伸方向,扬子和华夏地块的边界位置如何界定(吴浩若,2000)。此外,华夏陆块中生代构造—岩浆活动带的陆缘地区也是包括金—银矿床在内的贵金属—多金属矿床的集中分布区,而目前将区带成矿作用与区域构造事件相联系的研究工

作显得相对有限(Pirajno and Bagas, 2002; Zhou *et al.*, 2002)。

广西大瑶山—大明山隆起区是提出和观察“广西运动”的标准地层剖面出露区,即根据区域内寒武纪末至泥盆纪早期之间出现的沉积间断,最早地开展了华南地区加里东期构造事件研究的地区(Ting, 1929)。本文报道了对隆起区内龙山—龙头山地区寒武纪顶部黄洞口组 and 泥盆纪底部莲花山组地层进行系统的碎屑锆石微区原位 U-Pb 同位素定年的研究结果。根据碎屑锆石所记录的构造—岩浆事件年龄谱的组成特征,分析了研究区古生代早期地层发生沉积间断前后陆源区物质性质的演变,以此为基础讨论了华南陆块西南端扬子克拉通与华夏陆块边界、研究区加里东期构造事件的性质,并对古生代晚期构造热事件与华夏陆缘成矿带的形成之间的关系进行了探讨。

1 区域地质概况

研究区位于广西东部大瑶山—大明山区域西南部(图 1),属于大瑶山隆起构造单元。区域西北侧和东南侧分别过渡为属扬子克拉通南缘的桂北地区和桂东南的云开古陆。区内出露的最老地层为呈零星状分布的新元古代南华系和震旦系,其中南华系由长安组、鹰阳关组和南沱组,震旦系由下龙组组成。值得指出,桂东地区的南华系和震旦系与桂北或鄂西峡东同时代标准剖面地层在岩性组合上存在明显的差异(广西壮族自治区地质矿产局,1985)。区内出露的早古生代地层以寒武系为主,由底向上分别为培地组、小内冲组 and 黄洞口组,为一套具复理石建造的沉积碎屑岩系;奥陶纪—志留纪地层在大瑶山地区缺失,仅在大明山有小面积出露,为一套碎屑岩岩系,但碎屑粒度明显大于桂北同时代地层。泥盆系构

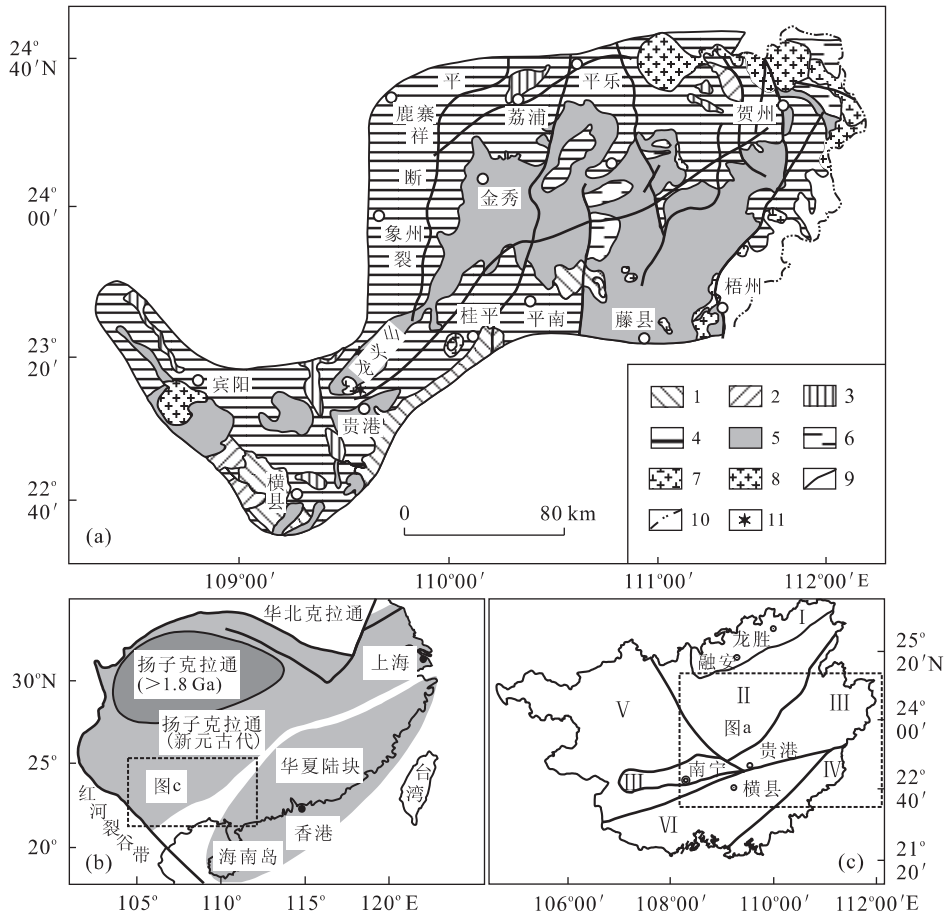


图 1 广西大瑶山—大明山隆起区区域地质图(a, 据陈开礼, 2002)及其在华南(b, 据 Li *et al.*, 2002)和广西成矿区带中的位置(c, 据陈开礼, 2002)
 Fig. 1 Regional geological map of Dayaoshan-Damingshan area (a, modified after Chen, 2002) and sketch maps showing locations of the study area in South China (b, modified after Li *et al.*, 2002) and in Guangxi metallization zones (c, modified after Chen, 2002)

1. 第三系; 2. 白垩系; 3. 石炭系; 4. 泥盆系; 5. 寒武系; 6. 震旦系; 7. 花岗闪长岩; 8. 花岗岩; 9. 断裂; 10. 省界; 11. 采样点; I. 桂北成矿区; II. 桂中成矿区; III. 大瑶山成矿带; IV. 云开成矿区; V. 右江成矿区; VI. 钦州成矿带

成了区内古生代地层的主体, 与下伏寒武纪地层呈不整合接触, 地层由下至上分别为莲花山组、那高岭组、郁江组、莫丁组、北流组、东岗岭组和融县组, 其中下部的莲花山组至莫丁组为碎屑岩, 而上部的北流组至融县组为碳酸岩。区内还出露有石炭纪、白垩纪和第三纪地层, 前者以海相碳酸岩为主, 后者主要是陆相碎屑岩。

与扬子克拉通南缘的桂北地区和研究区东南侧的大容山—云开地区不同, 大瑶山—大明山隆起区岩浆岩出露规模相对有限, 主要为燕山期的闪长质—花岗岩岩株和小型次火山岩, 代表性的岩体有平天山花岗—闪长岩体、桂平西山复式岩体和龙头山次火山岩等。区内断裂构造发育, 其中包括呈 NE-SW 展布的凭祥—大黎深大断裂和呈近 S-N 向、NW-NE 向的次级断裂(图 1)。

2 样品与分析

本次研究以出露于大瑶山隆起西南段龙头山—龙山地区的寒武纪和泥盆纪地层为分析对象, 对分别位于不整合面之上和之下的早古生代地层单元中的碎屑岩系, 即黄洞口组(样号: LM06-1; 采样点 GPS 读数: 23°18.549'N, 109°34.184'E)和莲花山组(样号: GG-D-06-1; 采样点 GPS 读数: 23°09.857'N, 109°34.487'E)石英砂岩进行了系统的碎屑锆石 U-Pb 同位素年代学研究。野外采集的大样品经中碎后, 用摇床进行重矿物富集, 经进一步淘选后, 在双目镜下进行手工锆石挑纯。为防止对部分时代的锆石可能出现的漏测, 在进行样品台制备时, 对不同色泽、形态和不同粒径的锆石进行了随机选择, 并通过增加被分析锆石的颗粒数量, 以提高所分析锆石

对沉积原岩锆石构成的真实代表性. 样品锆石颗粒和标准锆石用环氧树脂进行固定, 锆石表面经刨光后分别进行光学和阴极发光(CL)照相, 据其所显示的锆石形态和内部结构特征, 作为进行锆石 U-Pb 原位分析时选择测量点的依据.

锆石 U-Pb 同位素定年采用激光剥蚀—等离子体质谱(LA-ICPMS)联机技术在西北大学“大陆动力学”国家重点实验室完成. 其中激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司的 GeoLas 200M(准分子激光器, 193nm ArF Excimer), 等离子体质谱为 Agilent 公司 7500a ICP-MS. 进行锆石 U-Pb 同位素分析时, 激光束斑直径设定为 $32\ \mu\text{m}$, 测量程序按 $30\sim 50\ \text{s}$ 气体空白、 $60\ \text{s}$ 剥蚀及数据采集进行. 分析过程中, 每进行 $5\sim 7$ 次样品锆石 U-Pb 同位素测量, 间隔一次标准锆石样品 91500 分析. 采集数据用 91500 标准锆石进行同位素质量分馏校正, 采集的锆石 U-Pb 同位素组成原始数据用 Glitter 软件(Rev. 4. 0)进行处理, 而 U-Pb 表面年龄计算采用 Isoplot/Ex(Rev. 2. 49)版本的 Excel 模板(Ludwig, 2001)计算. 在本次分析过程中, 91500 锆石标准样品表现为谐和的 U-Pb 同位素组成, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值视年龄平均为 $1\ 064\pm 3\ \text{Ma}$ (95%置信度, $n=18$, $\text{MSWD}=0.2$). 锆石标样 TEM 视为未知样, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值平均年龄为 $418\pm 11\ \text{Ma}$ (95%置信度, $n=4$, $\text{MSWD}=4$). 样品锆石 U-Pb 同位素分析结果及其表面年龄列于表 1.

3 锆石 U-Pb 同位素特征

对寒武纪黄洞组砂岩 LM06-1 样品进行了 63 粒锆石分析. 大多数锆石颗粒表面形态呈磨圆状, 且不同程度地保留有岩浆结晶成因特征的振荡环带幔部和发育 CL 特征较单一的细窄增生边(图 2). 少数粒径较小的锆石颗粒发育有相对完好的晶形边缘和有振荡环带特征的内部结构, 并给出了较年轻的表面年龄(图 2). 在所分析的锆石中, 54 粒具有谐和一基本谐和(谐和度 $\geq 90\%$)的年龄(对于前寒武纪锆石, 谐和度定义为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄之比, 对于显生宙锆石, 谐和度定义为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄之比, 下同). 所有锆石的 U-Pb 同位素组成示于谐和曲线图(图 3), 其中具谐和一基本谐和同位素组成的锆石, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (显生宙锆石为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)表面年龄频率直方图示于图 4. 由图 4 可见, 黄洞组砂岩中的锆石主要形成于前寒武纪, 指示了沉积物质来自前寒武纪

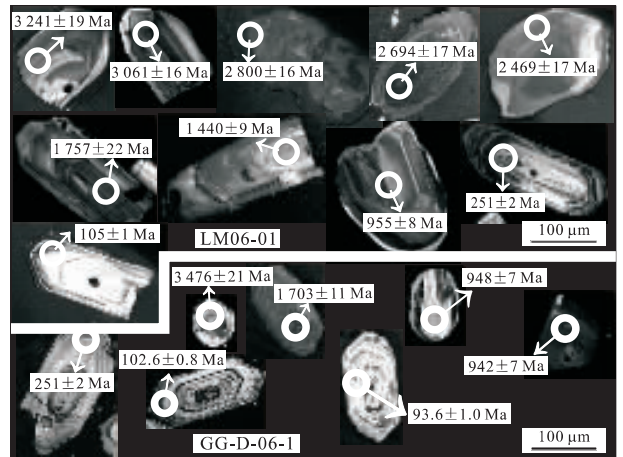


图 2 广西大瑶山寒武纪(LM06-1)和泥盆纪(GG-D-06-1)碎屑锆石阴极发光图像及分析点表面年龄

Fig. 2 Cathodoluminescence images with analytical spots and corresponding apparent ages of detrital zircons from the Cambrian (LM06-1) and Devonian (GG-D-06-1) strata in Dayaoshan area of eastern Guangxi

不同时代的大陆源区和(或)再循环的陆源物质. 其中, 1 粒锆石发生过少量的 Pb 丢失(F_{64} , 谐和度 = 84%), 所具有的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄为 $3\ 898\pm 15\ \text{Ma}$ (表 1), 可能代表了华夏陆块最古老的地壳信息. 另 1 粒锆石具谐和 U-Pb 同位素组成, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3\ 236\pm 10\ \text{Ma}$, 指示了古太古代地壳源区物质. 另有 8 粒锆石具谐和 U-Pb 同位素组成, 年龄分别为 $3\ 061\ \text{Ma}$, $2\ 800\ \text{Ma}$ 和 $2\ 740\sim 2\ 641\ \text{Ma}$, 代表了中、新太古代地壳物源. 13 粒谐和锆石显示出古元古代早期年龄, 其值域为 $2\ 475\sim 2\ 108\ \text{Ma}$, 而另外 8 粒谐和锆石构成了古元古代晚期年龄组, 其范围为 $1\ 816\sim 1\ 650\ \text{Ma}$. 元古宙晚期谐和锆石可分为两组, 分别由 8 粒和 12 粒锆石组成, 相应的年龄范围分别为 $1\ 442\sim 1\ 058$ 和 $1\ 031\sim 780\ \text{Ma}$. 样品中另外 3 粒锆石具显生宙年龄, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为 $105\ \text{Ma}$ (2 粒)和 $251\ \text{Ma}$. 这些锆石虽晶形相对自形但粒径较小, 因此被解释为早期锆石在后期热液作用下发生溶解和重结晶的结果, 并导致其内部 U-Pb 同位素组成重置.

对泥盆纪莲花山组石英砂岩 GG-D-06-1 样品进行了 60 粒锆石的 U-Pb 同位素分析. 与寒武纪砂岩明显不同, 该样品中多数锆石粒径较小, 且显示出中生代年龄. 与样品 LM06-1 类似, 这些较小的锆石晶体表面发育相对自形的棱—锥结构, 内部也具有类似于岩浆结晶特征的内部振荡环带(图 2). 其他锆石具前寒武纪年龄, 内部的 CL 图像相对暗淡(图 2),

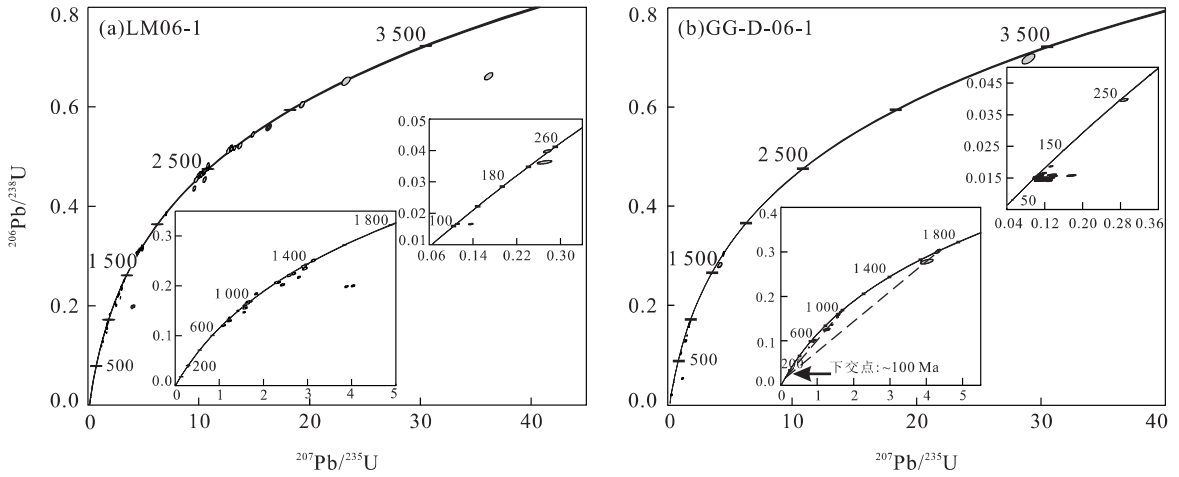


图 3 广西大瑶山寒武纪(LM06-1)(a)和泥盆纪(GG-D-06-1)(b)碎屑锆石 U-Pb 同位素谐和图

Fig. 3 U-Pb isotopic concordia diagrams of detrital zircons from the Cambrian (LM06-1) (a) and Devonian (GG-D-06-1) (b) strata in Dayaoshan area of Guangxi

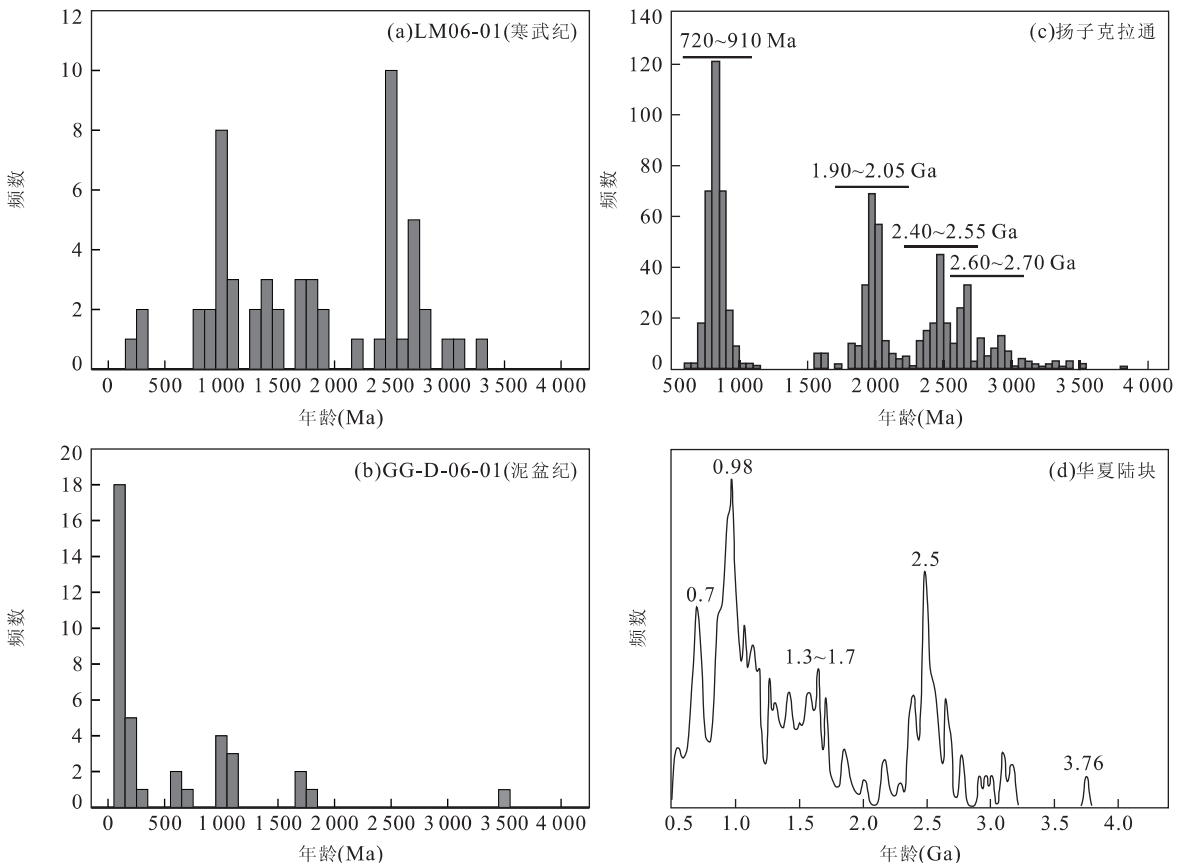


图 4 广西大瑶山寒武纪(a)和泥盆纪(b)碎屑锆石 U-Pb 谐和年龄频数直方图及其与扬子(c. 据 Liu *et al.*, 2006)和华夏陆块(d. 据于津海等, 2006)对比

Fig. 4 Concordia age histograms of detrital zircons from the Cambrian (a) and Devonian (b) strata in eastern Guangxi and their comparisons with those of the Yangtze craton (c. Liu *et al.*, 2008) and Cathaysian block (d. Yu *et al.*, 2006)

颗粒多呈浑圆状、且部分锆石属不完整的晶体碎片。1 粒基本谐和锆石 (谐和度 = 98%) 具有 $3\,476 \pm 21$ Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄, 为本次研究中具谐

和 U-Pb 同位素组成的最古老锆石。3 粒谐和锆石给出了 $1\,706 \sim 1\,694$ Ma 的年龄, 另外 7 粒谐和锆石的年龄为 $1\,051 \sim 948$ Ma。另有 3 粒基本谐和锆石的

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 614~518 Ma. 在具显生宙年龄的谐和锆石中, 1 粒锆石给出了 251 ± 2 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄, 另外的 23 粒谐和一基本谐和(谐和度 $\geq 90\%$) 锆石给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 为 104~84 Ma. 这些锆石的年龄与样品 LM06-1 中的年轻锆石相同. 值得高度重视的是, 对于 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄大于 540 Ma 的不谐和锆石, 在 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图中的分布构成了两条不一致线, 其上交点分别为 ~990 和 ~1 700 Ma, 而下交点均为 ~100 Ma(图 3). 这一现象说明, 燕山期热改造事件对样品中粒径较小锆石的 U-Pb 同位素组成产生了明显的影响; 样品所代表的沉积岩, 其沉积源区物质主要形成于 ~990 Ma 和 ~1 700 Ma, 并以 ~990 Ma 的源区为主.

4 讨论

桂东大瑶山地区位于寒武纪晚期与泥盆纪早期(或志留纪晚期)沉积地层之间的沉积间断, 在时代上对应了华南地区广泛记录的加里东事件, 也是最初提出早古生代华南“广西运动”(Ting, 1929)、“华南加里东褶皱带”(郭令智等, 1965)或“华南造山带”(任纪舜等, 1998)的命名地. 关于华南加里东事件的性质、范围和成因, 目前存在认识上的分歧. 本文以寒武纪晚期黄洞口组和泥盆纪早期莲花山组地层中碎屑锆石 U-Pb 同位素年代学特征为基础, 就以下基本问题进行分析和探讨.

4.1 扬子克拉通南缘与华夏陆块边界

“广西运动”被认为代表了扬子克拉通与华夏陆块于古生代发生的碰撞事件, 但对其汇聚边界的认识存在东至武夷山以西、西至雪峰山东侧等多种观点(吴浩若, 2000). 关于扬子克拉通和华夏陆块前寒武纪基底岩系的研究已有大量的积累, 这些研究成果表明, 无论扬子或华夏陆块均不同程度地存在古太古代地壳信息, 并记录了多期前寒武纪地壳生长事件(Qiu *et al.*, 2000; 于津海等, 2006; Zhang *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2006; 郑永飞和张少兵, 2007), 但两陆块在前寒武纪地壳增生规律上却表现出差异: (1) 扬子和华夏陆块得到证实的前寒武纪最早基底岩系的形成时代分别为 3.2~2.9 Ga(凌文黎等, 1998; Qiu *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2006; 郑永飞和张少兵, 2007) 和 1.9~1.7 Ga(胡雄键, 1994; 甘晓春等, 1995; Li, 1997; Li *et al.*, 2000; 舒良树, 2006; 于津海等, 2006); (2) 华夏陆块记录了显著的 Grenville 期(1.4~1.0 Ga) 岩浆事件(Li,

1998; Li *et al.*, 2002; Greentree *et al.*, 2006), 而同期事件在扬子陆块并不常见; (3) 扬子陆块以大量的 830~780 Ma 的新元古代岩浆事件为标志(Li *et al.*, 2003), 而同期事件在华南陆块记录却相对有限. 显然, 本次研究所揭示的黄洞口砂岩前寒武纪碎屑锆石 U-Pb 同位素年代学结构特征与华夏陆块的组成特征(于津海等, 2006)十分相似, 而与扬子陆块的相应特征(Liu *et al.*, 2006, 2008)区别明显(图 4). 因此, 至少于华南加里东构造事件发生以前, 以大瑶山—大明山隆起区所代表的古生代早期沉积盆地及其周边陆源区并不具有扬子克拉通陆缘的属性, 进而指示扬子与华夏陆块之间的边界应位于大瑶山—大明山隆起区的西北以远.

4.2 大瑶山—大明山隆起区古生代早期的沉积物源区演化与意义

寒武纪晚期黄洞口砂岩中以 1.4~1.1 Ga 年龄组为标志的碎屑锆石年龄结构与武夷山和南岭—云开地区前寒武基底岩系的同位素年代学演化记录类似(于津海等, 2006), 说明该区从新元古代至寒武纪, 其沉积物源区并未发生明显改变, 但大瑶山地区发生沉积间断后形成的泥盆纪地层中, 其碎屑锆石年代学结构发生明显变化: 除少量太古宙锆石外, 主要的锆石年龄为 ~1.8 Ga、~1.0 Ga 和少量震旦纪—早寒武世, 明显缺失了 Grenville 期碎屑锆石. 这一现象表明, 在经历自奥陶纪—志留纪期间因隆升发生沉积间断和于泥盆纪再次沉降接受沉积的区域地壳演化后, 沉积盆地沉积物源区的性质发生了明显改变, 剥蚀区物质主要为 ~1.0 Ga 的元古宙晚期形成的初生地壳及部分 ~1.8 Ga 基底岩系, 且这些特征与分布于皖—浙—赣地区的“江南造山带”前泥盆纪基底岩系的组成相似(舒良树, 2006), 其中 ~1.0 Ga 的岩浆事件被认为代表了扬子与华夏陆块沿江绍断裂带发生的碰撞造山作用(Jahn *et al.*, 1990; Chen *et al.*, 1991; 郝杰等, 1992; Chen and Jahn, 1998; Li, 1998; Zhao and Cawood, 1999; Li *et al.*, 2002). 因此, 大瑶山地区泥盆纪沉积物源区的性质说明加里东期构造运动导致了 ~1.0 Ga 构造—岩浆带的显著隆升和剥蚀. 由于现存的“江南造山带”远离现在的大瑶山—大明山地区, 因此推测原来的江绍断裂带向西南延伸的部分在加里东期构造事件后消失, 这些被剥蚀的物质部分地进入了大瑶山—大明山泥盆纪沉积盆地.

4.3 大瑶山—大明山区域加里东构造事件的性质

以大规模褶皱变形和岩浆作用为表现形式的加里东期构造事件在闽—浙—赣和南岭—云开古陆地

区、甚至印支地块得到普遍记录,但对于该期构造事件的性质目前仍缺乏统一的认识(Carter *et al.*, 2001; 舒良树, 2006). 在大瑶山—大明山地区, 印支期和燕山期构造岩浆事件形成了不同规模的岩浆岩, 且这些热事件导致了寒武纪和泥盆纪地层部分碎屑锆石的 U-Pb 同位素组成发生了明显的位置; 但加里东期构造—岩浆事件, 无论是以变质或碎屑锆石的形式分布在寒武纪和泥盆纪地层中, 还是以岩浆岩形式产出, 在研究区中均没有得到明显的记录. 这表明, 无论加里东事件代表的是否为扬子克拉通与华夏陆块、或现存华夏陆块内部不同微陆块间、或华夏陆块与后加里东期已离走的其他陆块间发生的陆—陆碰撞, 但至少说明该挤压碰撞带远离大瑶山—大明山沉积盆地周边地区. 本文因此提出, 于加里东期华夏陆块的闽浙地区东侧与另一陆块沿 NNW-SSE 向发生了斜向碰撞, 而非与整个华夏地块东南缘呈大面积的正向碰撞, 大瑶山—大明山地区为沿垂直于碰撞方向、沿近 SWW 方向被挤出形成的被动盆地, 该认识还得到以下证据支持: (1) 在大瑶山—大明山地区的褶皱轴向为近东西向, 而闽—浙—赣地区的褶皱轴向为近南北向(吴浩若, 2000); (2) 闽—浙—赣地区的加里东期褶皱带存在大量的近南北向走滑断裂(舒良树, 2006); (3) 加里东期岩浆作用或热改造记录仅限于华夏陆块西部武夷山地区(舒良树, 2006)至云开地区(张业明和彭松柏, 2000; 覃小峰等, 2006), 在其东部(Xu *et al.*, 2007)和西南侧的大瑶山—大明山地区没有显示; (4) 对花岗岩类开展系统的地球化学和同位素填图研究表明, 闽—浙—赣华夏陆块的西部表现出 S 型花岗岩类型和较高的 Sr 同位素初始比值, 而其东部表现为 I 型花岗岩和低 Sr 同位素比值, 指示了两区域源区基底岩系存在明显区别(Chen and Jahn, 1998). 据此认为, 与华夏陆块发生碰撞的古陆块可能位于现今的东海, 或已裂解飘离(新生代沿哀牢山—红河断裂带发生的走滑构造作用, 使印支地块发生了~600 km 的东移(Chung *et al.*, 1997; Wang *et al.*, 1998), 这一推测符合目前尚未在华夏陆块内部发现加里东期缝合带或岛弧火山岩组合的地质观察.

4.4 区域事件构造事件与金矿带的关系

大瑶山—大明山地区是广西重要的金—铜多金属矿床成矿带. 事实上, 该金矿带沿东南方向可延续至广东(如河台—高村金—银矿带)、浙江(如瓊山—治林头金银矿带), 即沿“华南褶皱带”陆缘构成规模巨大的贵金属—多金属矿带(Maruyama *et al.*,

1989; 崔彬等, 2000; Pirajno and Bagas, 2002; Zhou *et al.*, 2002). 本次研究所分析的寒武纪和泥盆纪砂岩中, 尤其是锆石粒度较小的泥盆纪样品, 均显著地记录了印支期和燕山期热事件. 由于区域内寒武纪和泥盆纪地层的变质程度并不高, 因此难以用通常意义上的区域变质作用解释这些锆石的成因. 有研究表明, 在热液作用条件下, 体系内捕获的早期锆石十分易于发生锆石的元素扩散、溶解和重结晶, 形成边缘晶体形态完整甚至出现类似于岩浆作用过程中形成的锆石特有的振荡环带结构(Corfu and Davis, 1991; Sinha *et al.*, 1992; Rubin *et al.*, 1993; Dempster *et al.*, 2004; Dubinska *et al.*, 2004; Schaltegger, 2007). 显然, 区域内大规模的流体作用是对成矿区带寒武纪和泥盆纪地层中后沉积期~100 Ma 和~250 Ma 两期事件年龄记录的较合理解释, 并与包括大瑶山—大明山矿带在内的华南陆块东南缘大规模岩浆作用和成矿作用的地质记录相对应, 进而指示了成矿期区域内存在强烈的热液对流作用. 由于元素金的相容性特征决定了其在部分熔融过程中的分配系数近似于 1, 故单纯的岩浆作用过程难以导致大规模的金富集和成矿(Oshin and Crocket, 1982; Barnes *et al.*, 1985; Righter *et al.*, 2004). 但在高温流体条件下, 金以二硫化物或氯的络合物形式进入流体, 使得运移中的流体对其流经的围岩进行金萃取, 进而在流体中形成金的高度富集(Heinrich *et al.*, 1989; Mikucki, 1998). 富金流体随区域地壳的快速隆升将导致成矿流体温度的显著下降, 引起金等溶解元素沿断裂带析出而形成矿床(Gibert *et al.*, 1998). 显然, 研究区多期(印支期、燕山期)热液改造事件叠加、流体沿断裂带的大规模对流和区域地壳抬升, 是导致大瑶山—大明山隆起区乃至整个“华南褶皱带”金(银)—铜多金属矿带形成的重要因素.

5 结论

广西大瑶山—大明山地区发生于寒武纪与泥盆纪地层之间的沉积间断在时代上对应了华南陆块加里东期构造运动或“广西运动”, 通过对位于不整合面之下和之上的寒武纪晚期黄洞口组和泥盆纪早期莲花山组碎屑锆石进行微区原位 U-Pb 同位素定年研究, 得到以下认识, 并对认识研究区乃至华夏陆块加里东期构造运动性质和演化提出新的地球化学约束:

(1) 大瑶山—大明山地区寒武纪沉积盆地的陆

源剥蚀区具有华夏陆块基底岩系的属性,指示研究区所处的构造位置并非扬子克拉通大陆边缘,从而说明扬子与华夏陆块的边界应位于大瑶山—大明山隆起区的西北以远;

(2)研究区自泥盆纪重新开始接受沉积,但其物源区性质相对于寒武纪时期发生了变化,主要的陆源碎屑应来自位于现今“江南造山带”已消失的西南端,发育大量~1.0 Ga 岩浆岩的古元古代基底岩系剥蚀区;

(3)加里东事件可能代表了已离走的古陆块与华夏陆块沿现今华夏陆块东缘 NNW-SSE 方向发生的斜向碰撞,而大瑶山—大明山地区为沿垂直于该碰撞方向挤出形成的被动盆地;

(4)区域地层中部分碎屑锆石 U-Pb 同位素组成的重置及热液锆石的形成,指示研究区于印支期和燕山期经历了有大规模流体参与的热改造事件,而热液对流作用是导致本地区乃至整个华南褶皱带贵金属—多金属矿带形成的重要原因之一。

致谢:广西第六地质队韦子任总工、韦盛孔副总工和广西区域地质调查研究院分别为本研究的野外地质工作及锆石分选提供了大力协助;西北大学“大陆动力学”国家重点实验室为开展锆石原位 U-Pb 同位素分析提供了方便;评审专家对论文初稿提出了宝贵修改意见,特此致谢!

References

Barnes, S. J., Naldrett, A. J., Gorton, M. P., 1985. The origin of the fractionation of the platinum-group elements in terrestrial magmas. *Chemical Geology*, 53: 303—323.

Carter, A., Roques, D., Bristow, C., et al., 2001. Understanding Mesozoic accretion in southeast Asia; Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. *Geology*, 29(3): 211—214.

Chen, J. F., Foland, K. A., Xing, F. M., et al., 1991. Magmatism along the southeast margin of the Yangtze block; Precambrian collision of the Yangtze and Cathaysia blocks of China. *Geology*, 19: 815—818.

Chen, J. F., Jahn, B. M., 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 284(1—2): 101—133.

Chen, K. L., 2002. Gold geology of Guangxi. Guangxi Publishing House of Science and Technology, Nanning, 357 (in Chinese).

Chen, Y. C., Mao, J. W., 1995. Metallogenetic series of ore deposit in northern Guangxi and their evolution trend. Guangxi Publishing House of Science and Technology,

Nanning, 433 (in Chinese).

Chung, S. L., Lee, T. Y., Lo, C. H., et al., 1997. Intraplate extension prior to continental extrusion along the Ailao Shan-Red River shear zone. *Geology*, 25: 311—314.

Corfu, F., Davis, D. W., 1991. Comment on “Archean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt: Constraints on the timing of gold mineralization” by J. C. Clauue-Long, R. W. King and R. Kerrich. *Earth and Planetary Science Letters*, 104(2—4): 545—552.

Cui, B., Zhai, Y. S., Meng, Y. F., 2000. Au-Ag ore-forming system in Dayaoshan-Xidamingshan, Guangxi, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(4): 352—355 (in Chinese with English abstract).

Dempster, T. J., Hay, D. C., Bluck, B. J., 2004. Zircon grows in slate. *Geology*, 32: 221—224.

Dubinska, E., Bylina, P., Kozłowski, A., et al., 2004. U-Pb dating of serpentinization: Hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland). *Chemical Geology*, 203(3—4): 183—203.

Gan, X. C., Li, H. M., Sun, D. Z., et al., 1995. A geochronological study on early Proterozoic granitic rocks in southwestern Zhejiang. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 14(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).

Gibert, F., Pascal, M. L., Pichavant, M., 1998. Gold solubility and speciation in hydrothermal solutions: Experimental study of the stability of hydrosulphide complex of gold (AuHS⁰) at 350 to 450 °C and 500 bars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62: 2931—2947.

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.

Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985. Regional geology of Guangxi Zhuang Autonomous region. Geological Publishing House, Beijing, 853 (in Chinese).

Guo, L. Z., Yu, J. H., Shi, Y. S., 1965. Key characters of tectonic development of Caledonian fold belt in South China. In: Guo, L. Z., Yu, J. H., Shi, Y. S., eds., Tectonic problems of China. Science Press, Beijing, 165—183 (in Chinese).

Hao, J., Li, Y. J., Hu, W. H., 1992. Problems related to the Jinning movement and the Sinian System. *Regional Geology of China*, 2: 131—140 (in Chinese with English abstract).

Heinrich, C. A., Henley, R. W., Seward, T. M., 1989. Hy-

- drothermal systems. Australian Mineral Foundation, Adelaide, 74.
- Hu, S. X., Ye, Y., 2006. Questions to “Cathaysia old land”, “Cathaysia block” and “United Yangtze-Cathaysia old land” of South China. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 432–439 (in Chinese with English abstract).
- Hu, X. J., 1994. Geochronology of Lower Proterozoic Badu Group, southwestern Zhejiang Province. *Geochimica*, 23 (Suppl.): 18–24 (in Chinese with English abstract).
- Jahn, B. M., Zhou, X. H., Li, J. L., 1990. Formation and tectonic evolution of south eastern China and Taiwan: Isotopic and geochemical constraints. *Tectonophysics*, 183 (1–4): 145–160.
- Li, X. H., 1994. A comprehensive U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronological study on Guidong granodiorite, Southeast China: Records of multiple tectonothermal events in a single pluton. *Chemical Geology*, 115(3–4): 283–295.
- Li, X. H., 1997. Timing of the Cathaysia block formation: constraints from SHRIMP U-Pb zircon geochronology. *Episodes*, 20(3): 188–192.
- Li, X. H., Sun, M., Wei, G. J., et al., 2000. Geochemical and Sm-Nd isotopic study of amphibolites in the Cathaysia block, southeastern China: Evidence for an extremely depleted mantle in the Paleoproterozoic. *Precambrian Research*, 102: 251–262.
- Li, Z. X., 1998. Tectonic history of the major East Asian lithospheric blocks since the Mid-Proterozoic—A synthesis. In: Martin, F. J., Chung, S. L., Lo, C. H., et al., eds., *Mantle dynamics and plate interactions in East Asia*. American Geophysical Union, Washington D. C., 221–243.
- Li, Z. X., Li, X. H., Kinny, P. D., et al., 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continent: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122: 85–109.
- Li, Z. X., Li, X. H., Zhou, H., et al., 2002. Grenvillian continental collision in South China: New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia. *Geology*, 30(2): 163–166.
- Ling, W. L., Gao, S., Zheng, H. F., et al., 1998. An Sm-Nd isotopic dating of the Archean Kongling complex in the Huangling area of the Yangtze craton. *Chinese Science Bulletin*, 43(14): 1187–1191.
- Liu, X. M., Gao, S., Ling, W. L., et al., 2006. Identification of 3.5 Ga detrital zircons from Yangtze craton in South China and the implication for Archean crust evolution. *Progress in Natural Science*, 16(6): 663–666.
- Liu, X. M., Gao, S., Diwu, C. R., et al., 2008. Precambrian crustal growth of Yangtze craton as revealed by detrital zircon studies. *American Journal of Sciences*, 308(4): 421–468.
- Ludwig, K. R., 2001. Isoplot/Ex, Rev. 2. 49. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 1a, 56.
- Ma, D. S., 1999. Regional pattern of element composition and fluid character in medium-low temperature metallogenic province of South China. *Mineral Deposits*, 18(4): 347–358 (in Chinese with English abstract).
- Ma, R. S., 2006. New thought about the tectonic evolution of the South China: With discussion on several problems of the Cathaysian Old Land. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 448–456 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W., Wang, Z. L., 2000. A preliminary study on the timing of large scale metallogenesis in East China and its dynamic setting. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19(4): 403–405 (in Chinese).
- Maruyama, S., Liou, J. G., Seno, T., 1989. Mesozoic and Cenozoic evolution of Asia. In: Ben-Avraham, Z., ed., *The evolution of the Pacific Ocean margins*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, (8): 75–99.
- Mikucki, E. J., 1998. Hydrothermal transport and depositional processes in Archean lode-gold systems: A review. *Ore Geology Reviews*, 13(1–5): 307–321.
- Oshin, I. O., Crockett, J. H., 1982. Noble metals in Thetford Mines ophiolites, Quebec: Part 1. Distribution of gold, iridium, platinum, and palladium in the ultramafic and gabbroic rocks. *Economic Geology*, 77: 1556–1570.
- Pirajno, F., Bagas, L., 2002. Gold and silver metallogeny of the South China fold belt: A consequence of multiple mineralizing events? *Ore Geology Reviews*, 20(3–4): 109–126.
- Qin, X. F., Pan, Y. M., Li, J., et al., 2006. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of the Yunkai metamorphic complex in southeastern Guangxi, China. *Geological Bulletin of China*, 25(5): 553–559 (in Chinese with English abstract).
- 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.
- Ren, J. S., Zhu, B. G., He, Z. J., et al., 1998. Structure

- framework and dynamic evolution of East China. In: Cao, Y. G., ed., *Symposia of 30th International Geological Conference*, Beijing (in Chinese).
- Righter, K., Campbell, A. J., Humayun, M., et al., 2004. Partitioning of Ru, Rh, Pd, Re, Ir and Au between Cr-bearing spinel, olivine, pyroxene and silicate melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(4): 867—880.
- Rubin, J. N., Henry, C. D., Price, J. G., 1993. The mobility of zirconium and other “immobile” elements during hydrothermal alteration. *Chemical Geology*, 110(1—3): 29—47.
- Schaltegger, U., 2007. Hydrothermal Zircon. *Element*, 3: 51—52.
- Shu, L. S., 2006. Predevonian tectonic evolution of South China: From Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 418—431 (in Chinese with English abstract).
- Sinha, A. K., Wayne, D. M., Hewitt, D. A., 1992. The hydrothermal stability of zircon: Preliminary experimental and isotopic studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(9): 3551—3560.
- Ting, V. K., 1929. The orogenic movements in China. *Bulletin of Geological Society of China*, 8(2): 151—170.
- Wan, Y. S., Liu, D. Y., Xu, M. H., et al., 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology and geochemistry of metavolcanic and metasedimentary rocks in northwestern Fujian, Cathaysia block, China: Tectonic implications and the need to redefine lithostratigraphic units. *Gondwana Research*, 12(1—2): 166—183.
- Wang, H. N., Zhang, S. Y., et al., 1992. *Geology of ductile shear zone-type gold deposits in Cathaysia block*. Science Press, Beijing, 180 (in Chinese).
- Wang, P. L., Lo, C. H., Lee, T. Y., et al., 1998. Thermochronological evidence for the movement of the Ailao Shan-Red river shear zone: A perspective from Vietnam. *Geology*, 26: 887—890.
- Wu, H. R., 2000. A new explanation of the Guangxi movement. *Chinese Science Bulletin*, 45(5): 555—558 (in Chinese).
- Xu, X. S., 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—2): 51—78.
- Yu, J. H., Wei, Z. Y., Wang, L. J., et al., 2006. Cathaysia block: A young continent composed of ancient materials. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 440—447 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Y. S., Deng, J., Peng, R. M., 1999. Problems pertaining to regional metallogeny of China. *Mineral Deposits*, 18(4): 323—332 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. B., Zheng, Y. F., Wu, Y. B., et al., 2006. Zircon isotope evidence for ≥ 3.5 Ga continental crust in the Yangtze craton of China. *Precambrian Research*, 146(1—2): 16—34.
- Zhang, Y. M., Peng, S. B., 2000. Chronologic framework of the Proterozoic basement and Presinian tectonic evolution in Yunkai region, South China. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G. C., Cawood, P. A., 1999. Tectonothermal evolution of the Mayuan assemblage in the Cathaysia block: Implications for Neoproterozoic collision related assembly of the North and South China craton. *American Journal of Science*, 299(4): 309—339.
- Zheng, J. P., Griffin, W. L., O'Reilly, S. Y., et al., 2006. Widespread Archean basement beneath the Yangtze craton. *Geology*, 34: 417—420.
- Zheng, Y. F., Zhang, S. B., 2007. Precambrian continental crust accretion and evolution in South China. *Chinese Science Bulletin*, 52(1): 1—10 (in Chinese).
- Zhou, T. H., Goldfarb, R. J., Phillips, G. N., 2002. Tectonics and distribution of gold deposits in China—An overview. *Mineralium Deposita*, 37: 249—282.

附中文参考文献

- 陈开礼, 2002. 广西金矿地质. 南宁: 广西科学技术出版社, 357.
- 陈毓川, 毛景文, 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹. 南宁: 广西科学技术出版社, 433.
- 崔彬, 翟裕生, 蒙义峰, 等, 2000. 广西大瑶山—西大明山金银成矿系统研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 25(4): 352—355.
- 甘晓春, 李惠民, 孙大中, 等, 1995. 浙西南古元古代花岗岩的年龄. *岩石矿物学杂志*, 14(1): 1—8.
- 广西壮族自治区地质矿产局, 1985. 广西壮族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 853.
- 郭令智, 俞剑华, 施央申, 1965. 华南加里东地槽褶皱区大地构造发展的基本特征. 见: 郭令智, 俞剑华, 施央申. 中国大地构造问题. 北京: 科学出版社, 165—183.
- 郝杰, 李日俊, 胡文虎, 1992. 晋宁运动与震旦系及有关问题的讨论. *中国区域地质*, 2: 131—140.
- 胡受奚, 叶瑛, 2006. 对“华夏古陆”、“华夏地块”及“扬子—华夏古陆统一体”等观点的质疑. *高校地质学报*, 12(4): 432—439.
- 胡雄健, 1994. 浙西南下元古界八都群的地质年代学. *地球化学*, 23(增刊): 18—24.

- 凌文黎,高山,郑海飞,等,1998. 扬子克拉通黄陵地区崆岭杂岩 Sm-Nd 同位素地质年代学研究. 科学通报,43(1): 86—89.
- 马东升,1999. 华南中、低温成矿带元素组合和流体性质的区域分布规律——兼论华南燕山期热液矿床的巨型分带现象和大规模成矿作用. 矿床地质,18(4):347—358.
- 马瑞士,2006. 华南构造演化新思考兼论“华夏古陆”说中的几个问题. 高校地质学报,12(4):448—456.
- 毛景文,王志良,2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨. 矿物岩石地球化学通报,19(4): 403—405.
- 覃小锋,潘元明,李江,等,2006. 桂东云开地区变质杂岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学. 地质通报,25(5): 553—559.
- 任纪舜,牛宝贵,和政军,等,1998. 中国东部的构造格局和动力演化. 见:曹佑功主编. 第 30 届国际地质大会论文集,6: 1—12.
- 舒良树,2006. 华南前泥盆纪构造演化:从华夏地块到加里东期造山带. 高校地质学报,12(4): 418—431.
- 王鹤年,张守韵,1992. 华夏地块韧性剪切带型金矿地质. 北京:科学出版社,180.
- 吴浩若,2000. 重新解释广西运动. 科学通报,45(5): 555—558.
- 于津海,魏震洋,王丽娟,等,2006. 华夏地块:一个由古老物质组成的年轻陆块. 高校地质学报,12(4): 440—447.
- 翟裕生,邓军,彭润民,1999. 中国区域成矿若干问题探讨. 矿床地质,18(4): 323—332.
- 张业明,彭松柏,2000. 云开元古宙陆壳基底年代格架及华南前震旦纪构造演化初论. 华南地质与矿产,(1): 1—10.
- 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.