

doi:10.3799/dqkx.2012.012

右江盆地上二叠统一中三叠统凝灰岩年龄及其地质意义

黄 虎¹, 杨江海¹, 杜远生^{1*}, 黄宏伟^{1,2}, 黄志强^{1,2}, 谢春霞¹, 胡丽沙¹

1. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 广西地质勘察总院, 广西南宁 530023

摘要: 右江盆地上二叠统一中三叠统地层中常含有多层凝灰岩, 对采自广西河池九圩及田林利周罗楼组和百逢组底部的4件凝灰岩样品进行锆石原位 LA-ICPMS 方法 U-Pb 同位素定年, 结果显示凝灰岩的形成年龄分别为 252.8 ± 1.8 Ma、 253.0 ± 2.4 Ma、 247.2 ± 1.5 Ma 和 239.3 ± 2.7 Ma, 指示晚二叠世末期到中三叠世 Bithynian 期华南地块西南缘存在多期火山活动, 其可能与华南西南缘陆块的裂解与汇聚有关。凝灰岩中继承或捕虏锆石年龄 (260~270 Ma) 记录了中晚二叠世峨眉山大火成岩省岩浆活动或华南西南缘岛弧火山活动事件。凝灰岩的岩相学研究表明, 中三叠世特别是 Bithynian 期之后右江盆地由伸展型向挤压型转换, 盆地进入快速拗陷期。

关键词: 右江盆地; 上二叠统一中三叠统; 凝灰岩; 锆石年龄; 地质年代学; 地层学。

中图分类号: P534.51

文章编号: 1000-2383(2012)01-0125-14

收稿日期: 2010-07-05

LA-ICPMS U-Pb Dating of Zircons from Tuffs of the Upper Permian-Middle Triassic in Youjiang Basin, Guangxi Province and Its Geological Significance

HUANG Hu¹, YANG Jiang-hai¹, DU Yuan-sheng^{1*}, HUANG Hong-wei^{1,2},
HUANG Zhi-qiang^{1,2}, XIE Chun-xia¹, Hu Li-sha¹

1. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. General Academy of Geological Survey of Guangxi, Nanning 530023, China

Abstract: Upper Permian-Middle Triassic sections in Youjiang basin contain many volcanic tuff horizons. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of 4 volcanic tuff samples from the bottom of the Luolou and Baifeng formations in the Jiuxu and Lizhou areas, Guangxi Province, yield the depositional ages of 252.8 ± 1.8 , 253.0 ± 2.4 , 247.2 ± 1.5 and 239.3 ± 2.7 Ma, respectively, which, together with the inherited or xenocrystal zircon ages (with peak values of 264 and 267 Ma), indicate that episodic volcanism occurred during Middle Permian Guadalupian and Middle Triassic Bithynian in southwestern China. The appearance of the inherited zircon ages (260~270 Ma) from the volcanic tuffs around the Permian-Triassic boundary (PTB) indicate the volcanic events in South China may have caused the End-Permian extinction. The depositional age of 247.2 ± 1.5 Ma from the volcanic tuff at the bottom of the Middle Triassic Baifeng Formation indicates it is more appropriate to place the Early to Middle Triassic boundary at 247.2 Ma. The petrographical study of the volcanic tuffs indicates the Youjiang basin experienced the tectonic transition from extension to compression after Middle Triassic, and especially after Bithynian, which resulted in the great tectonic subsidence of the basin.

Key words: Youjiang basin; Upper Permian-Middle Triassic; tuff; zircon dating; geochronology; stratigraphy.

二叠纪与三叠纪之交(PTB)的生物绝灭事件被认为是显生宙以来最大的一次生物绝灭事件(Erwin,

1994)。在我国华南二叠系—三叠系界线附近广泛存在一套中酸性凝灰岩或火山成因的粘土岩(殷鸿福

基金项目: 国家自然科学基金(Nos. 40972078, 40921062); 高等学校学科创新引智计划(No. B08030); 贵州省地矿局 2009 年度重大科研项目《水城—紫云—南丹晚古生代裂陷作用及其与主要矿产的关系》。

作者简介: 黄虎(1986—), 男, 博士研究生, 古生物学与地层学专业。* 通讯作者: 杜远生, E-mail: duyuansheng126@126.com

等,1989;杨遵仪等,1991),对其地层年代学、生物绝灭与复苏时限等的研究具有重要意义. 以往的研究认为西伯利亚大火成岩省与这套凝灰岩或粘土岩间时序上存在较好的耦合关系(Renne *et al.*, 1995; Kamo *et al.*, 2003),可能是这次生物大绝灭事件的主要因素(Wignall, 2001; Knoll *et al.*, 2007). 而最近,Xie *et al.* (2010)将早期研究成果结合他们的最新研究进行总结,认为华南二叠纪末的火山活动可能在本次生物绝灭事件中扮演了更重要的角色,有必要重新认识华南二叠纪末火山活动的重要性.

右江盆地呈港湾状位于华南西南缘,其位于广西部分的下三叠统主要由浅水海相碳酸盐岩的马脚岭组、北泗组及盆地相罗楼组组成. 其中,罗楼组主要由黑色薄层状泥岩、灰岩和角砾灰岩组成,并夹多层凝灰岩(Lehrmann *et al.*, 2005,2007a). 中三叠统代表盆地相的百逢组主要由厚度超过 1 000 m 的浊积岩构成,其底部常含“绿豆岩”(凝灰岩)(广西地质矿产局,1985;贵州地质矿产局,1987). 前人已在该区报道了很多相关凝灰岩的年龄(胡世玲等,1996;Bowring *et al.*, 1998;王彦斌等,2004;Lehrmann *et al.*, 2006;Ovtcharova *et al.*, 2006;Galfetti *et al.*, 2007;郑连弟等,2010),这些报道对右江地区区域地层对比和划分研究具有重要意义(图 1). 本文报道了广西河池九圩和田林利周剖面罗楼组及百逢组地层中凝灰岩的锆石 U-Pb 年龄,以限制华南古中生代之火山活动的时限.

1 地质背景

位于滇、黔、桂交界处的右江盆地是在南华加里

东造山带夷平的基础上发育起来的再生盆地(杜远生等,2009). 早泥盆世晚期到石炭纪,伴随着古特提斯洋的开启与扩张,扬子板块南缘发生裂解作用并形成了初始的右江盆地(陈洪德等,2000; Guo *et al.*, 2004;杜远生等,2009). 右江盆地经历了晚古生代到晚三叠世的海相沉积演化历史,其在古生代一早三叠世为一套以硅质岩、泥岩和碳酸盐岩为主的深水海相沉积,到中晚三叠世由于构造沉陷作用的影响,盆地内逐渐充填了大量碎屑浊积岩(陈北岳和颜佳新,1994;吴浩若等,1997; Lehrmann *et al.*, 1998, 2007a).

河池九圩剖面及田林利周剖面在早三叠世古地理图上均位于右江盆地内(图 2). 其中,九圩剖面主要由上二叠统雍里组白色硅质岩夹硅质泥岩、下三叠统罗楼组泥岩、灰岩及角砾灰岩,和中三叠统百逢组碎屑岩夹凝灰岩组成(图 3). 二叠系雍里组与下三叠统罗楼组界线附近发育一层厚约 20 cm 的凝灰岩,凝灰岩之下为硅质泥岩,之上为黑色泥岩覆盖. 距罗楼组底部 62 m 处的灰黑色泥岩中产早三叠世瓣鳃类 *Claraia* sp. 及菊石 *Meekoceras* sp., *Ophiceras* sp., *Tirolites* sp. 等(广西区域地质调查队四分队, 1991. 1 : 50000 万六甲镇幅和九圩幅区域地质调查报告). 剖面中部由罗楼组泥灰岩和角砾灰岩组成,顶部为中三叠统百逢组中厚层砂岩和泥岩组成的碎屑岩夹 2 套凝灰岩(图 3). 利周剖面位于广西田林县利周一河口路旁,剖面下部由下三叠统罗楼组的薄层泥岩和灰岩互层组成,上部主要由中三叠统百逢组灰色中厚层砂岩组成(图 3);百逢组底部砂岩中夹一层厚约 10 cm 的绿色凝灰岩,其

| 年代地层 | | | 黔南 | | | 桂西、滇东 | | | | |
|------|-------|--------------------------|-----|----------|-----|--|-----|------|-----|-----|
| 统 | 阶 | 年代(Ma) | 台地相 | 盆地相 | | 年代(Ma) | 盆地相 | 台地相 | | |
| 中三叠统 | 拉丁阶 | 237.0±2.0 ^a | 荃头组 | 边阳组 | | 244.60±0.36 ^f 247.6±1.4 ^e 247.32±0.08 ^b | 兰木组 | | | |
| | 安尼阶 | | 坡段组 | 青岩组 | 许满组 | | 新苑组 | 百逢组 | 板纳组 | 果华组 |
| 下三叠统 | 奥伦尼克阶 | 247.2 ^b | 安顺组 | 罗楼组(紫云组) | | | 罗楼组 | 马脚岭组 | | |
| | 印度阶 | 251.22±0.20 ^c | | 罗楼组 | | | | 北泗组 | | |
| 上三叠统 | 长兴阶 | 252.6±0.2 ^d | 大隆组 | 长兴组 | 晒瓦组 | 253.0±2.4 ^g 252.8±2.8 ^g | 雍里组 | 领菊组 | 大隆组 | 长兴组 |

图 1 右江盆地晚二叠世—中三叠世年代—岩石地层对比

Fig. 1 Late Permian-Middle Triassic chronostratigraphic-lithostratigraphic unit correlation in Youjiang basin

注:岩石地层划分据广西地质矿产局(1985)、贵州地质矿产局(1987)和 Lehrmann *et al.* (2005); 地层年代数据,其中 a 据 Ogg *et al.* (2008); b 据 Lehrmann *et al.* (2006); c 据 Galfetti *et al.* (2007); d 据 Mundil *et al.* (2004); e 据郑连弟等(2010); f 据 Ovtcharova *et al.* (2006); g 据本文

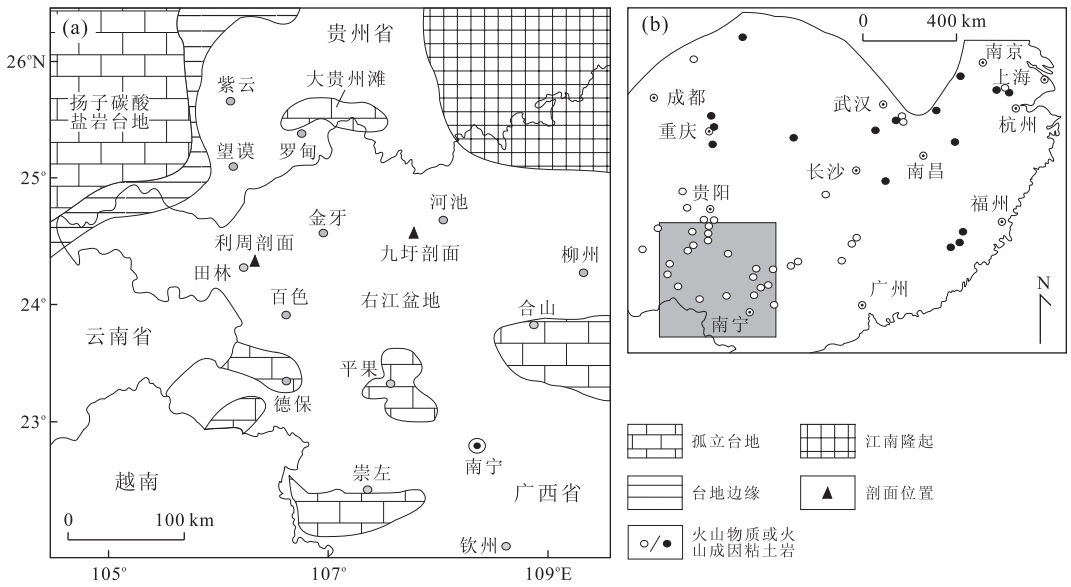


图 2 早三叠世右江盆地岩相古地理(a)(据 Lehrmann *et al.*, 2007b)及华南二叠系—三叠系界线附近火山物质和粘土岩分布(b)(据殷鸿福等,1989;Xie *et al.*, 2010)

Fig. 2 Early paleogeographic map of the Youjiang basin and distribution of volcanic materials and clayrocks from Permian-Trissic boundary in South China

与上下砂岩的界面呈黑色,并夹薄层不规则方解石脉。

2 样品及分析方法

样品 T1n-1 和 T1n-2 均采自河池九圩剖面雍里组与罗楼组界线附近的凝灰岩,分别位于该层凝灰岩的底界和顶界(粒度由细变粗),地理坐标为:24°33.540'N,107°46.507'E. 样品 L2 采自河池九圩剖面顶部(图 3),岩性为含岩屑晶屑凝灰岩,晶屑主要为棱角状的石英和长石,粒径 0.1~0.6 mm,岩屑主要为灰岩岩屑,粒径 0.1~0.4 mm,地理坐标为:24°33.526'N,107°46.932'E. 样品 LZTG-3 采自利周剖面百逢组底部(图 3),岩性为晶屑凝灰岩,晶屑主要为长条状石英和长石,粒径 0.1~0.3 mm,地理坐标:24°17.343'N,106°19.174'E.

锆石是由河北廊坊区域地质调查研究所采用浮选和电磁选方法挑选出来的. 在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒制成环氧树脂样品靶,磨至锆石颗粒中心部位后抛光,再进行 CL 显微结构观察. 锆石 LA-ICPMS 原位 U-Pb 同位素年龄分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成. 测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7500a 型),激光为 193 nm 的 ArF 准分子激光,分析点的直径为 32 μm. 用锆石 91500 作

为外部标准来校正分析过程中的同位素分馏, NIST610 作为外部标准来获得分析点的 Th 和 U 的含量,详细的分析步骤和数据处理方法见文献 Yuan *et al.* (2004). 普通 Pb 的校正采用 Andersen 的方法进行(Andersen, 2002),单个数据点的误差均为 1σ,样品年龄加权平均值的误差为 2σ,数据处理采用 Ludwig 的 ISOPLOT 程序(Ludwig, 2001). 锆石的 LA-ICPMS U-Pb 分析结果见表 1.

3 分析结果

样品 T1n-1 的锆石呈无色或淡黄色,多为柱状自形晶,长 80~200 μm,宽 30~80 μm. 锆石的 Th/U 比值介于 0.18~0.95 之间,CL 图像显示很好的振荡环带(图 4a),指示岩浆成因. 对 29 颗锆石进行分析并获得了谐和年龄(图 5a). 谐和锆石(谐和度 ≥ 92%)的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值介于 238 ± 3 ~ 269 ± 4 Ma,除锆石 T1n-1-24 的年龄明显偏小外(表 1),U-Pb 年龄统计图上存在 253 和 264 Ma 2 个较明显的年龄峰值(图 5b),其对应 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄分别为 252.8 ± 1.8 Ma (n = 20, MSWD = 2.5) 和 264.4 ± 1.8 Ma (n = 8, MSWD = 0.81),前者代表地层年龄或火山喷发年龄,后者对应的锆石测点多位于核部位置(图 4a),代表早期火山喷发年龄.

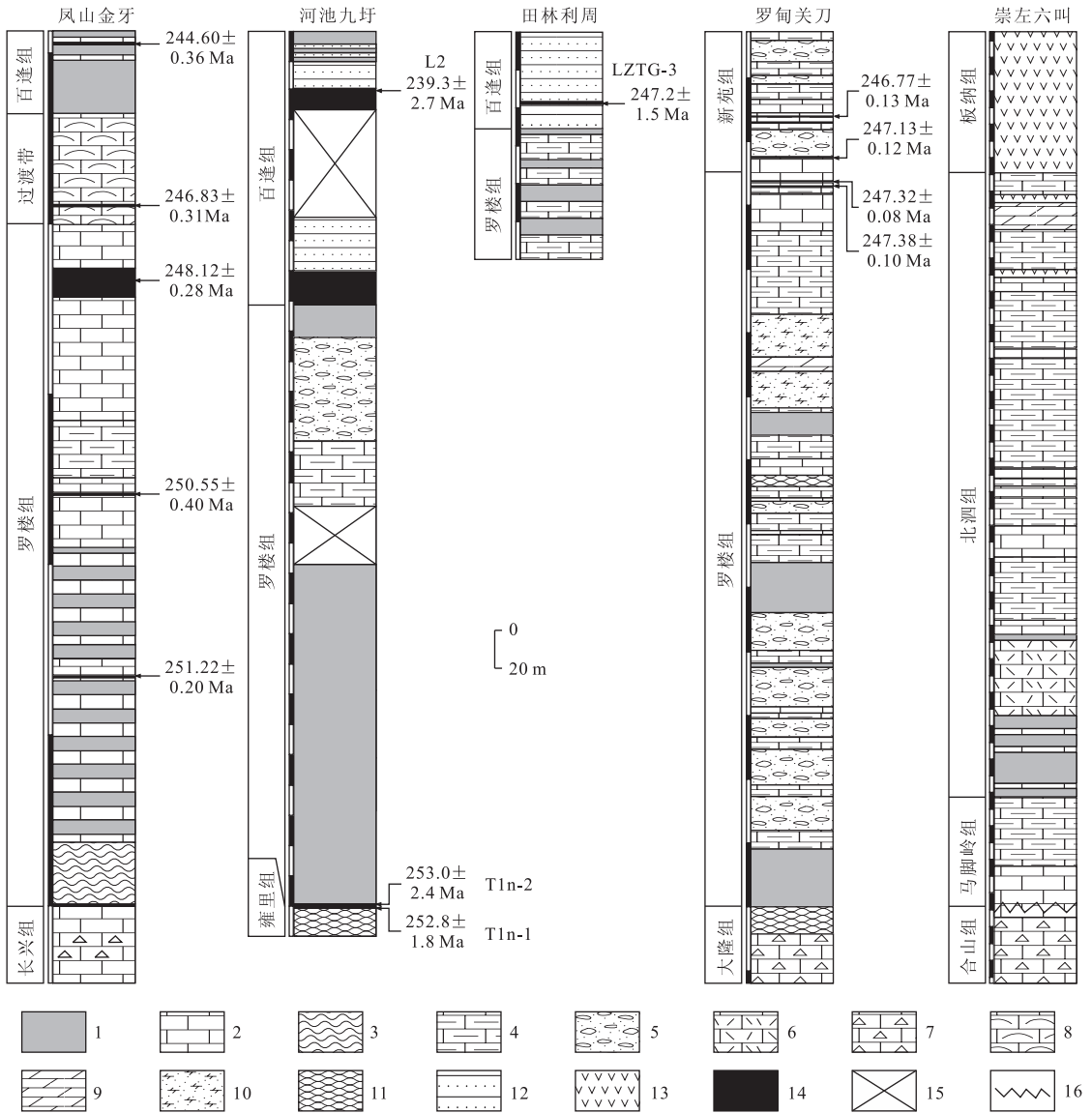


图 3 右江盆地不同地区上二叠—中三叠统地层柱状图及其对应层位凝灰岩锆石年龄

Fig. 3 The sections showing the stratigraphic position of the volcanic tuff beds from different regions in Youjiang basin and samples with U-Pb ages

凤山金牙剖面据 Ovtcharova *et al.* (2006)、Galfetti *et al.* (2007); 罗甸关刀剖面据 Lehrmann *et al.* (2005, 2006); 崇左六叫剖面据 Lehrmann *et al.* (2007a); 1. 页岩/泥岩; 2. 灰岩; 3. 钙质微生物岩; 4. 泥灰岩; 5. 砾屑灰岩; 6. 鲕灰岩; 7. 硅质结核灰岩; 8. 硅质结核状灰岩; 9. 白云岩; 10. 砾屑白云岩; 11. 硅质岩/硅质泥岩; 12. 砂岩; 13. 火山岩; 14. 凝灰岩; 15. 覆盖; 16. 不整合接触

样品 T1n-2 的锆石呈无色或淡黄色, 为柱状自形晶, 长 100~200 μm , 宽 30~80 μm . 锆石的 Th/U 比值介于 0.13~1.54, CL 图像显示较好的岩浆振荡环带(图 4b). 其中 22 颗锆石具有较谐和的年龄(谐和度 $\geq 90\%$)(图 5c), 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于 $246 \pm 3 \sim 279 \pm 3$ Ma, 除锆石 T1n-2-18 的年龄明显偏大外(表 1), U-Pb 年龄统计图上存在 252 和 267 Ma 2 个较明显的年龄峰值(图 5d), 其对应的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄分别为 253.0 ± 2.4 Ma ($n=18$, MSWD=3.8) 和 268.2 ± 2.4 Ma ($n=3$,

MSWD=0.91), 前者代表地层年龄或火山喷发年龄, 后者对应的锆石测点多位于核部位置(图 4b), 代表早期火山喷发年龄.

样品 L2 锆石呈无色或淡黄色, 锆石 L2-16 的 CL 图像显示其具有一定的磨圆度(图 4c), 内部结构不清楚, Th/U 比值为 0.79, 为岩浆成因的捕虏或碎屑锆石, 其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 2455 ± 20 Ma. 锆石 L2-24, L2-8, L2-20 均为短柱状自形晶, 长宽比为 1.0 : 1.0~1.5 : 1.0, 锆石 CL 图像显示具有较好的岩浆韵律环带结构(图 4c), Th/U 比值介于

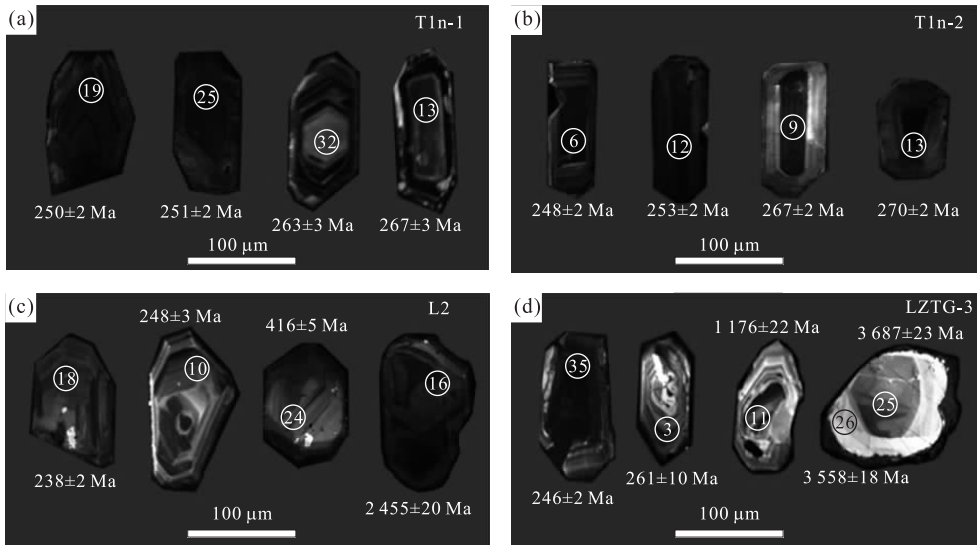


图 4 九圩一利周地区凝灰岩典型锆石阴极发光照片(数字表示点号)

Fig. 4 Cathodoluminescence images of main types of internal structures within zircon grains from Jiuxu-Lizhou areas

0.65~1.09, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 $416\pm 5\text{ Ma}$ 、 $616\pm 7\text{ Ma}$ 和 $626\pm 7\text{ Ma}$,代表不同期次岩浆作用的产物.其他锆石均为柱状或板状,长 $100\sim 200\ \mu\text{m}$,宽 $30\sim 100\ \mu\text{m}$,Th/U比值介于 $0.21\sim 0.72$,CL图像显示多数锆石具有较好的岩浆振荡环带(图4c),均具有较好的谐和年龄(图5e),锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于 $231\pm 2\sim 285\pm 4\text{ Ma}$,除锆石L2-27和L2-5的年龄明显偏大外,U-Pb年龄统计图上存在 239 Ma 一个明显的年龄峰值(图5f),其对应的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $239.3\pm 2.7\text{ Ma}$ ($n=19$,MSWD=5.4),代表地层年龄或火山喷发年龄.

样品LZTG-3锆石呈无色或淡黄色,主要为柱状自形晶,长 $100\sim 200\ \mu\text{m}$,宽 $30\sim 100\ \mu\text{m}$;其中存在一颗老锆石,CL图像显示其呈浑圆状,直径约 $100\ \mu\text{m}$,核部阴极发光弱,内部结构不清楚(图4d),为捕获或碎屑锆石,锆石测点(LZTG-3-25)的Th/U比值为 0.31 , $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3687\pm 23\text{ Ma}$ (谐和度为 99%),代表早期岩浆活动年龄;外部阴极发光强,环带结构不明显,其锆石测点(LZTG-3-26)的Th/U比值为 0.16 , $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $3558\pm 18\text{ Ma}$ (谐和度为 98%),CL图像显示该锆石边部还存在较窄的弱阴极发光的增生边(图4d),可能为后期热事件叠加使其重结晶的结果.锆石LZTG-3-11存在具有岩浆环带的残留核(图4d),残留核具有较高的Th/U比值(0.76),其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $1176\pm 22\text{ Ma}$ (谐和度为 99%).CL图像显示其他锆石具有较好的振荡环带,Th/U比值介于 $0.29\sim$

1.52 ,为岩浆成因锆石.除3颗年龄相对较老的锆石(LZTG-3-28,LZTG-3-29,LZTG-3-30)外,剩余锆石的U-Pb年龄统计图上存在 247 和 264 Ma 2个明显的年龄峰值(图5h),且均位于锆石U-Pb年龄谐和曲线或附近(图5g),其对应的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄分别为 $247.2\pm 1.5\text{ Ma}$ ($n=10$,MSWD=0.65)和 $265.3\pm 1.6\text{ Ma}$ ($n=18$,MSWD=2.9),前者代表地层或火山喷发年龄,后者代表捕获锆石的年龄.

4 讨论

4.1 凝灰岩层位对比

华南二叠系—三叠系界线附近广泛存在一套中酸性凝灰岩或火山成因的粘土岩(图2b),其分布面积超过 $1\times 10^6\text{ km}^2$ (殷鸿福等,1989;杨遵仪等,1991;Xie *et al.*, 2010).这些火山物质的时空分布特征及其与蓝细菌的繁盛期存在耦合关系,且微生物岩的Eu异常值在华南西南地区表现为明显正异常,在华南北部地区则表现为Eu无异常或负异常,均指示二叠纪末期的火山活动南强北弱,其喷发中心靠近华南西南缘地区(Xie *et al.*, 2010).本文报道的二叠纪末期火山喷发年龄为 252.8 ± 1.8 和 $253.0\pm 2.4\text{ Ma}$,沉积特征可以与广西凤山金牙台地相沉积剖面对比(图3),均代表二叠系—三叠系界线附近火山活动事件,其锆石年龄可以与贵州威宁盆河陆相二叠系—三叠系界线附近火山成因粘土

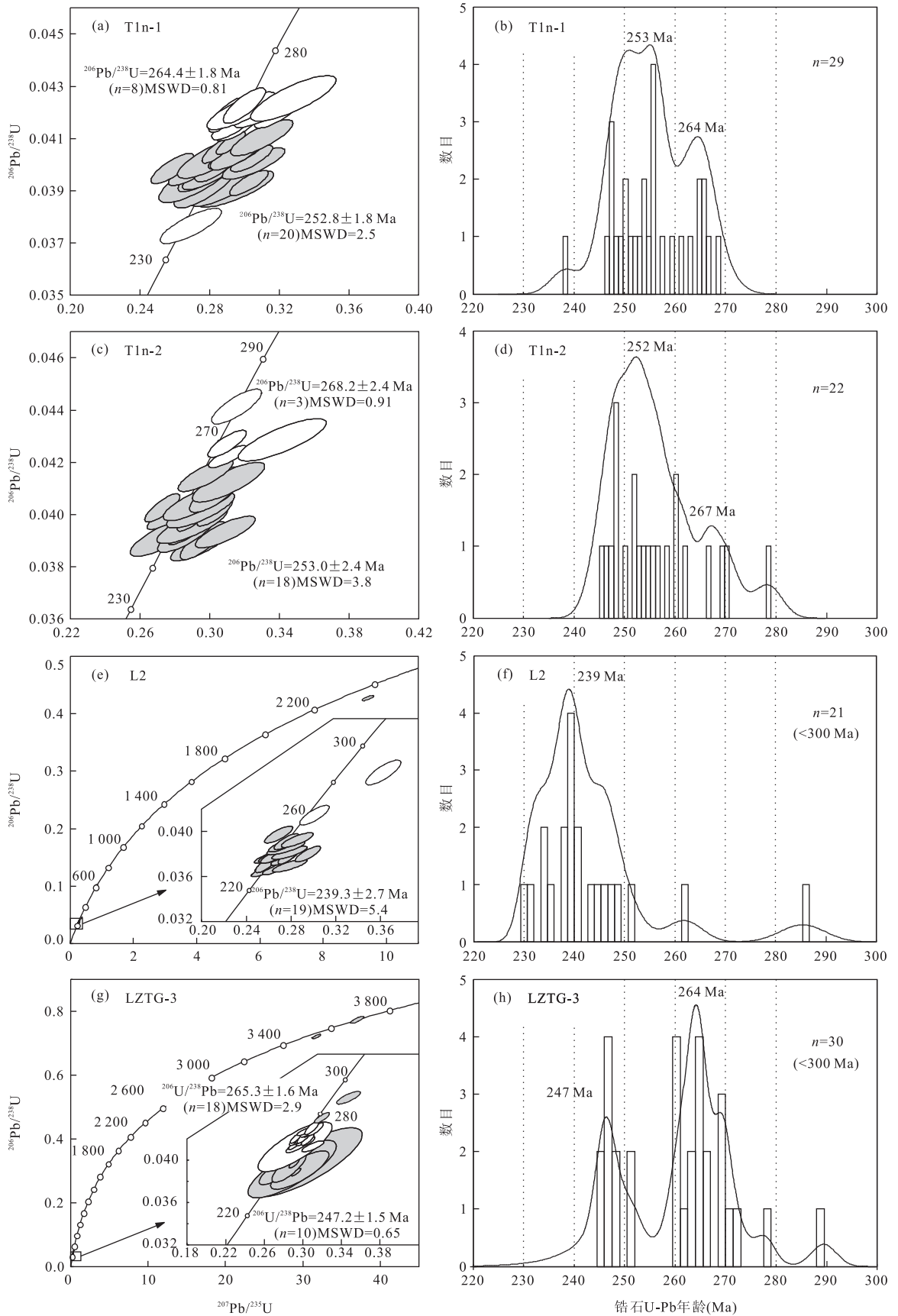


图 5 锆石 U-Pb 年龄谐和图(断线未进入加权平均值计算)及 U-Pb 年龄统计直方图

Fig. 5 Zircon U-Pb concordian diagrams (signed uncontinual zircons not concluded for the weighted mean age) and U-Pb age histograms of zircons

岩锆石年龄 252.6 ± 2.8 Ma (杨逢清等, 2005) 对比, 大体上可以与浙江长兴煤山二叠系—三叠系界线附近粘土 (25 层) 的年龄值 252.4 ± 0.3 Ma 相比 (Mundil *et al.*, 2004), 进一步表明二叠纪末期华南西南缘存在一次强烈的火山活动。

右江盆地中上二叠统地层中常夹大量玄武岩, 其中百色阳圩及巴马地区的玄武岩锆石 U-Pb 年龄分别为 259.1 ± 4.9 Ma 和 259.6 ± 5.9 Ma, 与峨眉山大火成岩省的主要喷发时间 (260 Ma) (Zhou *et al.*, 2002; He *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2008) 一致, 属于峨眉山大火成岩省的一部分 (范蔚茗等, 2004; Fan *et al.*, 2008); 而那坡、弄槐、岑溪等地区中上二叠统的枕状玄武岩则具有洋岛或岛弧火山岩的特征 (王忠诚等, 1997; 张伯友等, 1997; 吴根耀等, 2000), 其中岑溪枕状玄武岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄 261 Ma 代表其喷发成岩年龄 (张伯友等, 1997)。峨眉山玄武岩是峨眉山大火成岩省 (ELIP) 的一部分, 广泛分布于我国西南部, 出露面积约 2.5×10^5 km² (Chung and Jahn, 1995), 其首次喷发时间可能在中二叠世 Capitanian 中晚期, 一直延续到中晚二叠世之交 (Wignall *et al.*, 2009), 并可能导致了二叠纪 Guadalupian 末期全球气候变化及生物灭绝事件 (Wignall, 2001; Wignall *et al.*, 2009)。九圩剖面二叠系—三叠系界线附近凝灰岩继承锆石年龄 260~270 Ma 代表早期火山喷发年龄, 其可能与中晚二叠世峨眉山大火成岩省岩浆活动或华南西南缘岛弧火山活动有关, 而与西伯利亚大火成岩省岩浆活动无关, 也间接地表明二叠纪与三叠纪之交的生物绝灭事件可能受到了华南西南缘火山活动的影响。

在华南西南地区下中三叠统之交常发育的稳定可追索的“绿豆岩” (凝灰岩) 层 (部分地区可能由于沉积速率差异等因素的影响而缺失), 常被作为下中三叠统界线的标志 (广西地质矿产局, 1985; 贵州地质矿产局, 1987; 殷鸿福和童金南, 2002)。该套凝灰岩主要分布在中三叠统底部, 对应广西崇左地区板纳组厚达 500~1 640 m 的流纹岩或其他酸性火山岩的底界 (图 3), 其向北由于碳酸盐岩台地的阻隔逐渐减薄, 到平果地区变为约 6 m 的玻璃凝灰岩, 指示火山活动的喷发中心位于崇左地区附近 (Lehrmann *et al.*, 2007a, 2007b)。胡世玲等 (1996) 对贵州遵义地区中三叠统松子坎组最底部整合于下三叠统茅草铺组之上的玻璃凝灰岩进行全岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年, 得到了 238.5 ± 4.8 Ma $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄。王

彦斌等 (2004) 报道了贵州望谟甘河桥剖面新苑组底部牙形石 *Chiosella cf. timorensis* 首现层位之上 0.5 m 处玻璃凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 239.0 ± 2.9 Ma, 并认为该年龄与上述 Ar-Ar 年龄在误差范围内一致, 均代表下中三叠统界线年龄。而郑连弟等 (2010) 对贵州望谟甘河桥剖面同一层位的该套凝灰岩重新进行了高精度锆石 SHRIMP 测年, 获得了 247.6 ± 1.4 Ma 的年龄, 该年龄值与 Lehrmann *et al.* (2006) 对贵州关刀剖面罗楼组顶部及新苑组底部“绿豆岩”层锆石 CA-TIMS 年代学及牙形石 *Cs. Timorensis* 的首现位置推测的下中三叠统界线年龄 247.2 Ma 在误差范围一致。本文报道的田林利周剖面百逢组底部凝灰岩锆石 U-Pb 年龄为 247.2 ± 1.5 Ma, 并可以与广西凤山金牙、贵州关刀剖面罗楼组最顶部或百逢组最底部凝灰岩锆石年龄对比 (Lehrmann *et al.*, 2006; Ovtcharova *et al.*, 2006; Galfetti *et al.*, 2007) (图 3), 其可以代表右江盆地百逢组形成的初始年龄。

Newkirk *et al.* (2002) 对右江盆地内二叠系—三叠系界线 (P/T 界线) 附近及下三叠统火山凝灰岩岩相学及地球化学研究表明, 它们具有相似的岩浆来源, 由流纹岩或流纹质英安岩组成, 是火山岛弧与扬子板块南缘微陆块碰撞的产物。而本文报道的 4 件凝灰岩样品均存在 260~270 Ma 的继承或捕虏锆石 (图 5), 进一步表明右江盆地内 P/T 界线附近及下中三叠统火山凝灰岩具有相似的来源。Lehrmann *et al.* (2007a, 2007b) 对广西崇左地区不同剖面中三叠统巨厚层酸性火山岩上下地层进行化石年代学研究表明, 这次火山活动持续到了中三叠世 Bithynian 期, 之后被由泥岩和砂岩组成的巨厚层浊积岩覆盖, 与本文报道的广西河池九圩剖面中三叠统百逢组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄 239.3 ± 2.7 Ma 一致。值得一提的是, 云南宾川峨眉山玄武岩之上的流纹质凝灰岩锆石年龄为 238.4 ± 3.4 Ma, 可能与地幔柱玄武岩浆底垫作用致使地壳部分熔融有关 (Xu *et al.*, 2008), 其与广西崇左地区流纹质岩浆喷发时间上的一致性是否意味着二者在成因上有联系, 这一问题还有待进一步研究。

华南西南缘不同剖面凝灰岩锆石年代表明, 晚二叠世末期到中三叠世 Bithynian 期华南西南缘存在强烈的火山活动, 其可能与陆块的裂解与汇聚有关 (Veevers and Tewari, 1995; Yin *et al.*, 2007), 即中晚二叠世由于陆块的裂解主要喷发中基性火山岩 (由于俯冲消减而很少保存), 其喷发中心由西南

向北东向移动,到早三叠世末期与扬子南缘微陆块碰撞形成巨厚的酸性火山岩。

4.2 盆地演化的响应

三叠纪右江盆地的沉积演化明显受控于该时期的盆地演化特征。早三叠世早期右江盆地继承了二叠纪的古地理格局,既有深水相的泥质沉积,也有浅水相孤立碳酸盐岩沉积。到早三叠世中晚期,构造活动加剧,火山活动频繁,受同沉积断裂的控制,盆地或台地边缘普遍发育重力流,并夹多层凝灰岩或火山岩(图3)。田林利周剖面百逢组底部凝灰岩锆石 U-Pb 年龄为 247.2 ± 1.5 Ma,代表右江盆地百逢组巨厚层浊积岩沉积的初始年龄,其表明中三叠世初期,右江盆地的盆地格局发生了巨大变化,盆地内沉积了巨厚层的碎屑复理石,取代了早三叠世末期的碳酸盐岩相沉积,其与右江盆地中三叠世进入了快速拗陷期有关(Lehrmann *et al.*, 2007a; Galfetti *et al.*, 2008)。与此同时,盆地内孤立碳酸盐岩台地也开始沉陷,到晚三叠世早期由南向北相继被硅质碎屑岩掩埋(Lehrmann *et al.*, 1998, 2007a)。九圩剖面顶部中三叠统百逢组晶屑凝灰岩中含有大量灰岩岩屑,明显区别于百逢组底部的晶屑凝灰岩夹玻璃屑凝灰岩以及中厚层砂岩(均不含灰岩岩屑),反映了盆地的沉陷速率明显加大,大量台地相或陆棚相沉积物进入盆地内。尽管目前对中晚三叠世右江盆地的构造性质还存在残余盆地(吕洪波等, 2003)、弧后盆地(曾允孚等, 1995)、弧后前陆盆地(杜远生等, 2009)、周缘前陆盆地(秦建华等, 1996; Lehrmann *et al.*, 2007a)等不同的认识,但考虑到盆地内含灰岩岩屑的晶屑凝灰岩与碰撞型火山岩的对应关系,本文认为中三叠世特别是中三叠世 Bithynian 期之后右江盆地进入快速拗陷期,盆地由早期的伸展型向挤压型转换。

5 结论

河池九圩罗楼组底部凝灰岩的形成年龄为 252.8 ± 1.8 Ma 和 253.0 ± 2.4 Ma,为晚二叠世末期。这一时期凝灰岩的出现进一步显示晚二叠世华南火山活动的存在。河池九圩剖面和田林利周剖面百逢组底部凝灰岩的形成年龄分别为 239.3 ± 2.7 和 247.2 ± 1.5 Ma,指示该火山活动一直持续到中三叠世。上述研究结果与早期研究结果一致,进一步确定了晚二叠世末期到中三叠世 Bithynian 期华南地块西南缘存在强烈的火山活动,其可能与华南西

南缘陆块的裂解与汇聚有关。中三叠世特别是 Bithynian 期之后右江盆地由伸展型向挤压型转换,盆地进入快速拗陷期。

References

- Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79. doi:10.1016/S0009-254(02)00195-X
- Bowring, S. A., Erwin, D. H., Jin, Y. G., et al., 1998. U/Pb Zircon geochronology and tempo of the End-Permian mass extinction. *Science*, 280: 1039-1045. doi: 10.1126/science.280.5366.1039
- Chen, B. Y., Yan, J. X., 1994. Sequence stratigraphy of Upper Permian in Guangxi. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 19(5): 597-608 (in Chinese with English abstract).
- Chen, H. D., Qin, J. X., Tian, J. C., et al., 2000. Sequence filling dynamics of Youjiang basin, southern China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(2): 165-171 (in Chinese with English abstract).
- Chung, S. L., Jahn, B. M., 1995. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary. *Geology*, 23(10): 889-892. doi:10.1130/0091-7613(1995)023<PLIIGO>2.3.CO;2
- Du, Y. S., Huang, H. W., Huang, Z. Q., et al., 2009. Basin translation from Late Palaeozoic to Triassic of Youjiang basin and its tectonics significance. *Geological Science and Technology Information*, 28(6): 10-15 (in Chinese with English abstract).
- Erwin, D. H., 1994. The Permo-Triassic extinction. *Nature*, 367: 231-236. doi:10.1038/367231a0
- Fan, W. M., Wang, Y. J., Peng, T. P., et al., 2004. Ar-Ar and U-Pb geochronology of Late Paleozoic basalts in western Guangxi and its constraints on the eruption age of Emeishan basalt magmatism. *Chinese Science Bulletin*, 49(21): 2318-2327. doi:10.1360/04wd0201
- Fan, W. M., Zhang, C. H., Wang, Y. J., et al., 2008. Geochronology and geochemistry of Permian basalts in western Guangxi Province, Southwest China: evidence for plume-lithosphere interaction. *Lithos*, 102(1-2): 218-236. doi: 10.1016/j.lithos.2007.09.019
- Galfetti, T., Bucher, H., Martini, R., et al., 2008. Evolution of Early Triassic outer platform paleoenvironments in the Nanpanjiang basin (South China) and their significance for the biotic recovery. *Sedimentary Geology*, 204(1-2): 36-60. doi:10.1016/j.sedgeo.2007.12.008
- Galfetti, T., Bucher, H., Ovtcharova, M., et al., 2007. Tim-

- ing of the Early Triassic carbon cycle perturbations inferred from new U-Pb ages and ammonoid biochronozones. *Earth and Planetary Science Letters*, 258 (3-4): 593-604. doi: 10.1016/j.epsl.2007.04.023
- Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985. Regional geology of Guangxi Zhuang autonomous region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, 1987. Regional geology of Guizhou Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Guo, F., Fan, W. M., Wang, Y. J., et al., 2004. Upper paleozoic basalts in the southern Yangtze block; geochemical and Sr-Nd isotopic evidence for asthenosphere-lithosphere interaction and opening of the Paleo-Tethyan Ocean. *International Geology Review*, 46 (4): 332-346. doi: 10.2747/0020-6814.46.4.332
- He, B., Xu, Y. G., Huang, X. L., et al., 2007. Age and duration of the Emeishan flood volcanism, SW China: geochemistry and SHRIMP zircon U-Pb dating of silicic ignimbrites, post-volcanic Xuanwei Formation and clay tuff at the Chaotian section. *Earth and Planetary Science Letters*, 255 (3-4): 306-323. doi: 10.1016/j.epsl.2006.12.021
- Hu, S. L., Li, Y. J., Dai, Z. M., et al., 1996. The laser mass spectrometer ^{40}Ar - ^{39}Ar age of green pisolites of Guizhou Province. *Acta Petrologica Sinica*, 12(3): 409-415 (in Chinese with English abstract).
- Kamo, S. L., Czamanske, G. K., Amelin, Y., et al., 2003. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with the Permian-Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma. *Earth and Planetary Science Letters*, 214(1-2): 75-91. doi: 10.1018/S0012-821X(03)00347-9
- Knoll, A. H., Bambach, R. K., Payne, J. L., et al., 2007. Paleophysiology and End-Permian mass extinction. *Earth and Planetary Science Letters*, 256(3-4): 295-313. doi: 10.1016/j.epsl.2007.02.018
- Lehrmann, D. J., Wei, J. Y., Enos, P., 1998. Controls on facies architecture of a large Triassic carbonate platform; the Great Bank of Guizhou, Nanpanjiang basin, South China. *Journal of Sedimentary Research*, 68 (2): 311-326.
- Lehrmann, D. J., Enos, P., Payne, J. L., et al., 2005. Permian and Triassic depositional history of the Yangtze platform and Great Bank of Guizhou in the Nanpanjiang basin of Guizhou and Guangxi, South China. *Albertiana*, 33: 149-168.
- Lehrmann, D. J., Ramezani, J., Bowring, S. A., et al., 2006. Timing of recovery from the End-Permian extinction: geochronologic and biostratigraphic constraints from South China. *Geology*, 34 (12): 1053-1056. doi: 10.1130/G22827A.1
- Lehrmann, D. J., Pei, D. H., Enos, P., et al., 2007a. Impact of differential tectonic subsidence on isolated carbonate-platform evolution: Triassic of the Nanpanjiang basin, south China. *The American Association of Petroleum Geologists*, 91 (3): 287-320. doi: 10.1306/101606060605
- Lehrmann, D. J., Payne, J. L., Pei, D. H., et al., 2007b. Record of the End-Permian extinction and Triassic biotic recovery in the Chongzuo-Pingguo platform, southern Nanpanjiang basin, Guangxi, South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 252(1-2): 200-217. doi: 10.1016/j.palaeo.2006.11.044
- Ludwig, K. R., 2001. Users manual for Isoplot/Ex rev. 2.49. *Berkeley Geochronology Centre*, 1(Special): 56.
- Lu, H. B., Zhang, Y. X., Xia, B. D., et al., 2003. Syn-sedimentary compression structures in the Middle Triassic flysch of the Nanpanjiang basin, SW China. *Geological Review*, 49(5): 449-456 (in Chinese with English abstract).
- Mundil, R., Ludwig, K. R., Metcalfe, I., et al., 2004. Age and timing of the Permian mass extinctions; U/Pb dating of closed-system zircons. *Science*, 305(5691): 1760-1763. doi: 10.1126/science.1101012
- Newkirk, T. T., Lehrmann, D. J., Hudak, G., 2002. Tephrostratigraphy and analysis of tectonic setting of Triassic intermediate volcanic strata; Nanpanjiang basin, South China. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 34(6): 512.
- Ogg, J. G., Ogg, G., Gradstein, F. M., 2008. The concise geologic time scale. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ovtcharova, M., Bucher, H., Schaltegger, U., et al., 2006. New Early to Middle Triassic U-Pb ages from South China: calibration with ammonoid biochronozones and implications for the timing of the Triassic biotic recovery. *Earth and Planetary Science Letters*, 243(3-4): 463-475. doi: 10.1016/j.epsl.2006.01.042
- Qin, J. H., Wu, Y. L., Yan, Y. J., et al., 1996. Hercynian-Indosinian sedimentary-tectonic evolution of the Nanpanjiang basin. *Acta Geologica Sinica*, 70(2): 99-107 (in Chinese with English abstract).
- Renne, P. R., Black, M. T., Zhang, Z. C., et al., 1995. Synchrony and causal relations between Permian-Triassic

- boundary crises and Siberian flood volcanism. *Science*, 269(5229): 1413—1416. doi: 10.1126/science.269.5229.1413
- Veevers, J. J., Tewari, R. C., 1995. Permian-carboniferous and Permian-Triassic magmatism in the rift zone bordering the Tethyan margin of southern Pangea. *Geology*, 23(5): 467—470. doi: 10.1130/0091-7613(1995)023<0467:PCAPTM>2.3.CO;2
- Wang, Y. B., Liu, D. Y., Yao, J. X., et al., 2004. Age determination of the Lower-Middle Triassic boundary at Ganheqiao, Wangmo, Guizhou Province. *Acta Geologica Sinica*, 78(5): 586—591 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. C., Wu, H. R., Kuang, G. D., 1997. Characteristics of the Late Paleozoic oceanic basalts and their eruptive environments in West Guangxi. *Acta Petrologica Sinica*, 12(3): 409—415 (in Chinese with English abstract).
- Wignall, P. B., 2001. Large igneous provinces and mass extinctions. *Earth Science Review*, 53(1—2): 1—33. doi: 10.1016/S0012-8252(00)00037-4
- Wignall, P. B., Sun, Y. D., Bond, D. P. G., et al., 2009. Volcanism, mass extinction, and carbon isotope fluctuations in the Middle Permian of China. *Science*, 324(5931): 1179—1182. doi: 10.1126/science.1171956
- Wu, G. Y., Wu, H. R., Zhong, D. L., et al., 2000. Volcanic rocks of Paleotethyan oceanic island and island-arc bordering Yunnan and Guangxi, China. *Geoscience*, 14(4): 393—400 (in Chinese with English abstract).
- Wu, H. R., Kuang, G. D., Wang, Z. C., 1997. Preliminary study on Late Paleozoic tectonic sedimentary settings in Guangxi. *Scientia Geologica Sinica*, 32(1): 11—18 (in Chinese with English abstract).
- Xie, S. C., Pancost, R. D., Wang, Y. B., et al., 2010. Cyanobacterial blooms tied to volcanism during the 5 m. y. Permo-Triassic biotic crisis. *Geology*, 38(5): 447—450. doi: 10.1130/G30769.1
- Xu, Y. G., Luo, Z. Y., Huang, X. L., et al., 2008. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on crustal melting associated with the Emeishan mantle plume. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(13): 3084—3104. doi: 10.1016/j.gca.2008.04.019
- Yang, F. Q., Yin, H. F., Yu, J. X., et al., 2005. The terrestrial stratigraphy of the Permian-Triassic boundary from Chahe, Weining, Guizhou. *Science in China (Ser. D)*, 35(6): 519—529 (in Chinese).
- Yang, Z. Y., Wu, S. B., Yin, H. F., et al., 1991. Permo-Triassic events of South China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Yin, H. F., Huang, S. J., Zhang, K. X., et al., 1989. Volcanism at the Permian-Triassic boundary in South China and its effects on mass extinction. *Acta Geologica Sinica*, 2: 169—180 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H. F., Tong, J. N., 2002. Chinese marine Triassic stages and boundaries of Lower Triassic stages. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(5): 490—497 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H. F., Feng, Q. L., Lai, X. L., et al., 2007. The protracted Permo-Triassic crisis and multi-episode extinction around the Permian-Triassic boundary. *Global and Planetary Change*, 55(1—3): 1—20. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.06.005
- Yuan, H. L., Gao, S., Liu, X. M., et al., 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostandards Geoanalytical Res.*, 28(3): 353—370. doi: 10.1111/j.1751-908X.2004.tb00755.x
- Zeng, Y. F., Liu, W. J., Chen, H. D., et al., 1995. Evolution of sedimentation and tectonics of the Youjiang composite basin, South China. *Acta Geologica Sinica*, 69(2): 113—124 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, B. Y., Zhao, Z. H., Shi, M. Q., et al., 1998. First identification of Permian island-arc basalts in Cenxi: important evidence of the Paleo-Tethyan orogenic belt on Guangdong-Guangxi border region, South China. *Chinese Science Bulletin*, 43(21): 1838—1842. doi: 10.1007/BF02883385
- Zheng, L. D., Yao, J. X., Tong, Y. B., et al., 2010. Zircon U-Pb Dating for the boundary of Olenekian-Anisian at Wangmo, Guizhou Province. *Acta Geologica Sinica*, 84(8): 1112—1117 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, M. F., Malpas, J., Song, X. Y., et al., 2002. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(3—4): 113—122. doi: 10.1016/S0012-821X(01)00608-2

附中文参考文献

- 陈北岳, 颜佳新, 1994. 广西上二叠统层序地层格架. *地球科学——中国地质大学学报*, 19(5): 597—608.
- 陈洪德, 覃建雄, 田景春, 等, 2000. 右江盆地层序充填动力学初探. *沉积学报*, 18(2): 165—171.
- 杜远生, 黄宏伟, 黄志强, 等, 2009. 右江盆地晚古生代—三叠纪盆地转换及其构造意义. *地质科技情报*, 28(6): 10—15.

- 范蔚茗,王岳军,彭头平,等,2004. 桂西晚古生代玄武岩 Ar-Ar 和 U-Pb 年代学及其对峨眉山玄武岩省喷发时代的约束. 科学通报,49(18):1892-1900.
- 广西地质矿产局,1985. 广西壮族自治区区域地质志. 北京:地质出版社.
- 贵州地质矿产局,1987. 贵州省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 胡世玲,李曰俊,戴撞谟,等,1996. 贵州绿豆岩激光质谱 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄. 岩石学报,12(3):409-415.
- 吕洪波,章雨旭,夏邦栋,等,2003. 南盘江盆地中三叠统复理石中的同沉积挤压构造——一类新的沉积构造的归类、命名和构造意义探讨. 地质论评,49(5):449-456.
- 秦建华,吴应林,颜仰基,等,1996. 南盘江盆地海西-印支期沉积构造演化. 地质学报,70(2):99-107.
- 王彦斌,刘敦一,姚建新,等,2004. 黔西南下-中三叠统界线年龄. 地质学报,78(5):586-591.
- 王忠诚,吴浩若,邝国敦,1997. 桂西晚古生代海相玄武岩的特征及其形成环境. 岩石学报,13(2):260-265.
- 吴根耀,吴浩若,钟大赉,等,2000. 滇桂交界处古特提斯的洋岛和岛弧火山岩. 现代地质,14(4):393-400.
- 吴浩若,邝国敦,王忠诚,1997. 广西晚古生代构造沉积背景
的初步研究. 地质科学,32(1):11-18.
- 杨逢清,殷鸿福,喻建新,等,2005. 贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线地层研究. 中国科学(D辑),35(6):519-529.
- 杨遵仪,吴顺宝,殷鸿福,等,1991. 华南二叠-三叠纪过渡期地质事件. 北京:地质出版社.
- 殷鸿福,黄四骥,张克信,等,1989. 华南二叠纪-三叠纪之交的火山活动及其对生物绝灭的影响. 地质学报,2:169-180.
- 殷鸿福,童金南,2002. 关于中国的海相三叠系建阶及下三叠统分阶界线. 地球科学——中国地质大学学报,27(5):490-497.
- 曾允孚,刘文均,陈洪德,等,1995. 华南右江复合盆地的沉积构造演化. 地质学报,69(2):113-124.
- 张伯友,赵振华,石满全,等,1997. 岑溪二叠纪岛弧型玄武岩的首次厘定及大地构造意义——两广交界古特提斯构造带的重要证据. 科学通报,42(4):413-416.
- 郑连弟,姚建新,全亚博,等,2010. 贵州南部地区安尼阶底界锆石 SHRIMP 年龄结果. 地质学报,84(8):1112-1117.