中国科学: 地球科学 2014 年 第 44 卷 第 5 期: 842 ~ 850
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

论广西运动的阶段性

陈旭[①*], 樊隽轩[①], 陈清[①], 唐兰[②], 侯旭东[①]

① 中国科学院南京地质古生物研究所, 现代古生物学和地层学国家重点实验室, 南京 210008;
② 广西大学资源与冶金学院, 南宁 530003
* E-mail: xuchen@nigpas.ac.cn

收稿日期: 2013-08-30; 接受日期: 2013-12-24; 网络版发表日期: 2014-04-11
现代古生物学和地层学国家重点实验室自主性课题(编号: 20111101)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-EW-111)和国家自然科学基金项目(批准号: 41272042)资助

摘要 广西运动从东南沿海的粤南经粤北、赣南、桂北至雪峰山东侧, 其抬升的时间不断推迟, 从桑比期 *Nemagraptus gracilis* 带至不早于鲁丹晚期 *Cystograptus vesicolusus-Coronograptus cyphus* 带的时间间隔范围内, 体现了广西运动的抬升阶段不但有阶段性, 而且还有方向性. 在扬子地台上, 广西运动的抬升阶段关联宜昌上升, 表现为鲁丹期至埃隆期地层在扬子地台南部的穿时性缺失, 其后特列奇初期下红层的分布, 指示广西运动继续推动华夏古陆边界北移. 泥盆系底部的不整合面大致可标定在志留纪普里道利世至泥盆纪初, 代表广西运动最后造山作用的高潮阶段.

关键词
广西运动抬升阶段
广西运动造山作用
阶段性和方向性
凯迪阶
鲁丹阶
埃隆阶

近三年来, 笔者等连续发表了两篇与广西运动相关的论文(陈旭等, 2010, 2012), 得到不少地层学界和地质构造学界同行的指导和关心. 为了追索和探究广西运动发生和发展的全过程, 笔者等又先后从桂北兴安到湘西雪峰山西侧的新化、隆回和绥宁一线, 对泥盆系不整合面以下的地层, 进行了多次野外工作, 并先后与张国伟、孟庆任、王岳军和李献华诸位先生对相关地层和剖面共同进行了野外考察和现场讨论. 雪峰山以西扬子地台区泥盆系以下的志留系地层, 由于过去已做过大量的研究, 加之近年来戎嘉余、王怿和唐鹏等发表了数篇重要论文(唐鹏等, 2010; 王怿等, 2011; 戎嘉余等, 2012), 足以使笔者等能藉此进行必要的综合和分析; 他们在野外工作中也曾于多处采获重要的志留纪笔石标本并交由笔者鉴定, 因此笔者等在扬子区除个别地点作了必要的补充采集之外, 无需再做大面积的野外工作.

雪峰山-九岭山在华南大陆构造上的重要意义早已为我国构造学界的学者们所重视. 张国伟等(2013)最近特别提到, 它代表了“新元古代两期板块缝合界线, 但不是早古生代拼合界线, 只是分割陆内两个地块的界线”. 我们从地层学、古生物学角度出发与张国伟等同时进行研究, 也认识到雪峰山-九岭山两侧奥陶系至泥盆系具有不同的地层发育类型. 雪峰山以东、以南直至东南沿海, 在奥陶纪称为珠江盆地, 泥盆系的碎屑岩地层以角度不整合覆盖于其下的上奥陶统至志留系兰多维列统下部不同层位的含笔石地层之上; 但雪峰山-九岭山以西、以北广阔的早古生代扬子碳酸盐岩台地范围内, 泥盆系则平行不整合覆盖于志留系之上. 在简述雪峰山-九岭山这条华南地区(不包括云开)奥陶-志留纪古地理上的重要界线

中文引用格式: 陈旭, 樊隽轩, 陈清, 等. 2014. 论广西运动的阶段性. 中国科学: 地球科学, 44: 842–850
英文引用格式: Chen X, Fan J X, Chen Q, et al. 2014. Toward a stepwise Kwangsian Orogeny. Science China: Earth Sciences, 57: 379–387, doi: 10.1007/s11430-013-4815-y

之后, 我们便可分别论述这一山系两侧由于广西运动的推动, 从晚奥陶世开始发生的一系列构造事件, 以及它们在地质历史上留下的一系列地层学、古生物学和古地理学的证据. 以此反演, 则可恢复广西运动由雪峰山-九岭山东侧的珠江盆地扩展到其西侧扬子台地上的各个历史阶段. 从整体上来讲, 广西运动经历了从晚奥陶世至志留纪晚期较漫长的抬升阶段, 而最终在志留-泥盆纪之交才发生局部的造山运动. 广西运动漫长的抬升阶段, 就各自抬升的地点而言, 像是孤立的、局部的垂向抬升运动; 但把整个华南地区(不包括云开)随时间推移而发生的这些构造事件联系起来看, 则是一个自东向西、由南向北分阶段发生的, 以水平方向运动为主导的构造事件系列.

1 广西运动阶段性在雪峰山以东珠江盆地内的体现

广西运动在雪峰山以东的抬升阶段的地层序列, 在岩相上表现为由稳定的较深水环境下的黑色笔石页岩突变为近岸浅水动荡环境下的巨厚碎屑岩, 在生物相上表现为由高分异度、高丰度的笔石动物群突变为低分异度、低丰度的笔石动物群. 这种岩相、生物相的剧变发生的时间, 则指示了华南广西运动在各个地点抬升阶段发生的时间值. 从东南沿海的粤南台山至赣南永新-崇义, 这一时间值从桑比晚期推迟至凯迪期之初, 预示了广西运动的抬升过程不但具有阶段性, 而且具有方向性(陈旭等, 2012). 为了进一步追索这一抬升过程, 笔者等继粤赣两省的研究之后, 又沿桂北兴安到湘西绥宁、隆回、新化一线, 用同样的方法研究了中泥盆统角度不整合面之下最高的含笔石地层层位, 并将之与赣、粤地区的相应地层进行对比.研究结果更进一步证实了这一抬升过程发生的时间值是不断推迟的, 显示了华南广西运动抬升阶段由东南向西北推进的阶段性和方向性. 兹将桂、湘两省关键地点的生物地层学证据报导如下.

1.1 广西北部

桂北兴安田岭口剖面是珠江区奥陶系代表性剖面之一, 笔者等近年来多次在此剖面上进行笔石标本的补充采集工作. 该剖面中泥盆统不整合面之下, 为厚 150 m 左右的粗粒碎屑岩, 其中未见笔石(唐兰等, 2013). 其下, 自田岭口村以南新村的田岭口组上部, 在风化后为浅黄色的板岩中发现两层笔石: 上采集层(编号 AGG81, GPS: 25°41.511′N, 110°28.634′E)产笔石 *Neodiplograptus* cf. *modestus* (Lapworth); 其下 20 m 处, 下采集层(编号 AGG 80 a, GPS: 25°41.585′N, 110°28.617′E) 产笔石 *Neodiplograptus modestus* (Lapworth), *Ne. modestus diminutus* (Elles 和 Wood), *Ne. modestus parvulus* (H. Lapworth), *Normalograptus mirnyensis* (Obut 和 Sobolevskaya), *Korenograptus pseudotamariscus* Chen (in press), *Paramplexograptus madernii* (Koren′和 Mikhailova)及 *Paramplexograptus* sp. nov.等. 其中 *Ne. modestus*, *N. mirnyensis* 和 *K. pseudotamariscus* 三种, 常见于我国扬子区鲁丹阶底部[1)], *Ne. modestus diminutus* (Elles 和 Wood)见于英国湖区 *Cystograptusvesiculosus* 带(R3), 另一个亚种 *Ne. modestus parvulus* 在苏格兰则见于更低一些的 *Parakidograptus acuminatus* 带(R2)(Elles 和 Wood, 1907); 而 *Pa. madernii* 一种在我国扬子区和哈萨克斯坦均见于 *P. acuminatus* 带(R2)(Koren′等, 1980)[1)]. 因此唐兰等(2013)以“*Neodiplograptus modestus* 层”代表这两层笔石, 并将其相当于鲁丹阶下部的 *Akidograptus ascensus* 带(R1)和 *P. acuminatus* 带(R2). 兴安田岭口组近顶部这一含笔石层和其上 150 m 厚不含化石的粗粒碎屑岩之间的界面, 代表了一个岩相、生物相突变界面, 指示了该地抬升的时间应不早于鲁丹阶的 *P. acuminatus* 带(R2)地层的沉积时间.

1.2 湖南西部

湖南共包括了 3 个代表性剖面, 依次如下.

(1) 湘西南绥宁江口塘-关峡剖面: 在中泥盆统底部角度不整合面之下的一套含灰黑色条带的板岩中, 笔者等采获笔石 *Atavograptus atavas* (Jones). 这一化石点位的 GPS 为: 29°20.116′N, 110°48.210′E. Jones(1909)在建立 *Atavograptus atavus* 一种时, 就把该种作为兰多维列统下部的一个带化石, 位于 *P. acuminatus* 带(R2)之上, 应该大致相当于 *C. vesiculosus* 带(R3)的层位, 但是 *A. atavas*(Jones)一种

1) Fan J X, Chen X, Melchin M J, et al. 2014. Lower Rhuddanian (Llandovery, Silurian) graptolites from the Yangtze region, China. Submitted to *Fossil and Strata*.

可以上延到埃隆阶的 *Demirastrites triangulatus* 带(A1)(Zalasiewiz 等, 2009). 在与 *A. atavus* 产出层位相当的地层中, 湖南省地质调查院孙海清曾采获笔石 *Rivagraptus bellulus obstusatus* (Li), 该亚种是李积金(Li, 1984)基于安徽泾县高家边组志留系底部的标本而建立的, 遗憾的是这一剖面未见志留系最底部的两个笔石带(R1 和 R2)的带化石, 即 *A. ascensus* (Davies)和 *P. acuminatus* (Nicholson), 因此难以确定它的首现层位. 孙海清又在关峡另一层位中采获笔石 *Huttagraptus* cf. *lunata* (Chen 和 Lin), 因标本的近胎管部分未保存, 故只能鉴定为该种的近似种. *Huttagraptuslunata* (Chen 和 Lin)一种在扬子区常见于兰多维列统鲁丹阶顶部的 *Coronograptus cyphus* 带(R4). 笔者曾将黔北桐梓韩家店龙马溪组该层位称之为 *Coronograptus cyphus-Huttagraptus lunata* 带(原名为 *Pristiograptus cyphus-Monoclimacis lunata* 带)(陈旭和林尧坤, 1978), 因此 *Huttagraptus* cf. *lunata*(Chen 和 Lin)虽只是一个近似种, 但对确定关峡剖面志留系的最高层位仍有重要的参考价值.

(2) 湘西隆回水田乡(小香溪)剖面: 剖面位于隆回县西北的水田乡木瓜山水库大坝南 5 km 的公路边. 在一套中-厚层砂岩夹含的黑色硅质页岩夹层中采获笔石(编号 AGG123, GPS: 27°20.618′N, 110°48.208′E): *Normalograptus rectangularis* (M'Coy), *N. angustus* (Perner), *N.* cf. *normalis* (Lapworth), *Korenograptus laciniosus* (Churkin 和 Carter), *Neodiplograptus* sp., *Atavograptus primitivus* (Li). 这一笔石组合的时代应属鲁丹早期, 但难于确定其准确的笔石带. 这套含笔石地层与中泥盆统之间的地层不含化石, 虽因断层而重复, 但上述笔石仍产自正常的地层层序中.

(3) 湘西新化炉观剖面: 剖面位于炉观镇水电站对面公路边. 在中泥盆统跳马涧组底部角度不整合面之下的天马山组近顶部, 共采获两层笔石: 上采集层(AGG114, 距不整合面 15 m, GPS: 27°45.959′N, 110°10.573′E)为一层风化后为黑紫色的粉砂质页岩, 产笔石 *Normalograptus rectangularis* (M'Coy), *N. normalis* (Lapworth), *N.* cf. *mirnyensis* (Obut 和 Sobolevskaya), *Neodiplograptus* sp., *Paraclimacograptus innotatus* (Nicholson), *Korenograptus laciniosus* (Churkin 和 Carter), *Dimorphograptus confertusnankingensis* (Sun), *Atavograptus primitivus* (Li); 下采集层(AGG115, 距不整合面 85 m, GPS: 27°46.174′N, 111°10.126′E)为黑色泥岩夹钙质泥岩透镜体, 其中采获笔石 *Normalograptus rectangularis*(M′Coy), *N. normalis* (Lapworth), *N.* cf. *mirnyensis* (Obut 和 Sobolevskaya), *Korenograptus laciniosus* (Churkin 和 Carter), *Neodiplograptus* cf. *parajanus* (Štorch), *Sudburigraptus* sp., *Cystograptus vesiculosus* (Nicholson). 上述两层笔石中的大多数都是鲁丹阶、特别是鲁丹阶下部地层中的常见分子[1]. 其中, 下采集层中的 *Cystograptus vesiculosus*(Nicholson)是对应笔石带(R3)的带化石, 上采集层中的 *Dimorphograptus confertusnankingensis* (Sun)是下扬子区 *C. vesiculosus* 带的特定分子(Sun, 1933). 这两种笔石的出现, 明确表明新化炉观天马山组的顶部不高于 *C. vesiculosus* 带(R3). 而在炉观剖面上,天马山组含笔石层之上、中泥盆统跳马涧组底部不整合面之下的一套快速沉积的粗碎屑岩发育不完整, 因此难以确认该地点抬升阶段是否就发生在 *C. vesiculosus* 带(R3)或其后的某一个时刻, 但至少可以确定这一地点抬升的时间不会早于 *C. vesiculosus* 带. 综合湘西上述三个剖面的鲁丹阶笔石层位来看, 它们大致都处于相当的层位上, 因此笔者等认为, 在雪峰山西缘绥宁-隆回-新化一线, 广西运动抬升的时间大致在 *C. vesiculosus* 带(R3)至 *C. cyphus* 带(R4), 也即鲁丹晚期.

值得注意的是, 孙海清曾在雪峰山和九岭山连接部位南侧的宁乡黄材, 自该地志留系地层顶部采获笔石标本, 经笔者鉴定为 *Dimorphograptus extenuates* (Elles 和 Wood). 该种产自苏格兰南部及爱尔兰北部的 *C. vesiculosus* 带(R3)(Elles 和 Wood, 1908), 因此笔者等推测广西运动抬升的时间在九岭山南侧与雪峰山东南侧应大致相同.

笔者等将从粤南沿海至雪峰山地区泥盆系角度不整合面之下的地层, 以及它们所指示的广西运动不同抬升阶段的层位, 分别展示在地层对比表(图 1)和平面分布图(图 2)上. 从图 2 展示的雪峰山-九岭山以南的珠江盆地范围内来看, 广西运动的抬升阶段最早发生在东南沿海的粤南台山附近, 其时间值大致在桑比中期, 或 *Nemagraptus gracilis* 带(Sa1)结束之际(陈旭等, 2012), 推测当时华夏古陆的海岸线就在台山以南(图 2, A 线). 向西北方向至粤北新丰、始兴一带, 抬升发生在桑比晚期(陈旭等, 2012), 大致相当 *Climacog-raptus bicornis* 带(Sa2)沉积时期, 华夏古陆的边缘扩至新丰以南, 与南岭山系大体一致(图 2, B 线). 至赣南崇义、永新地区, 抬升时期应在桑比-

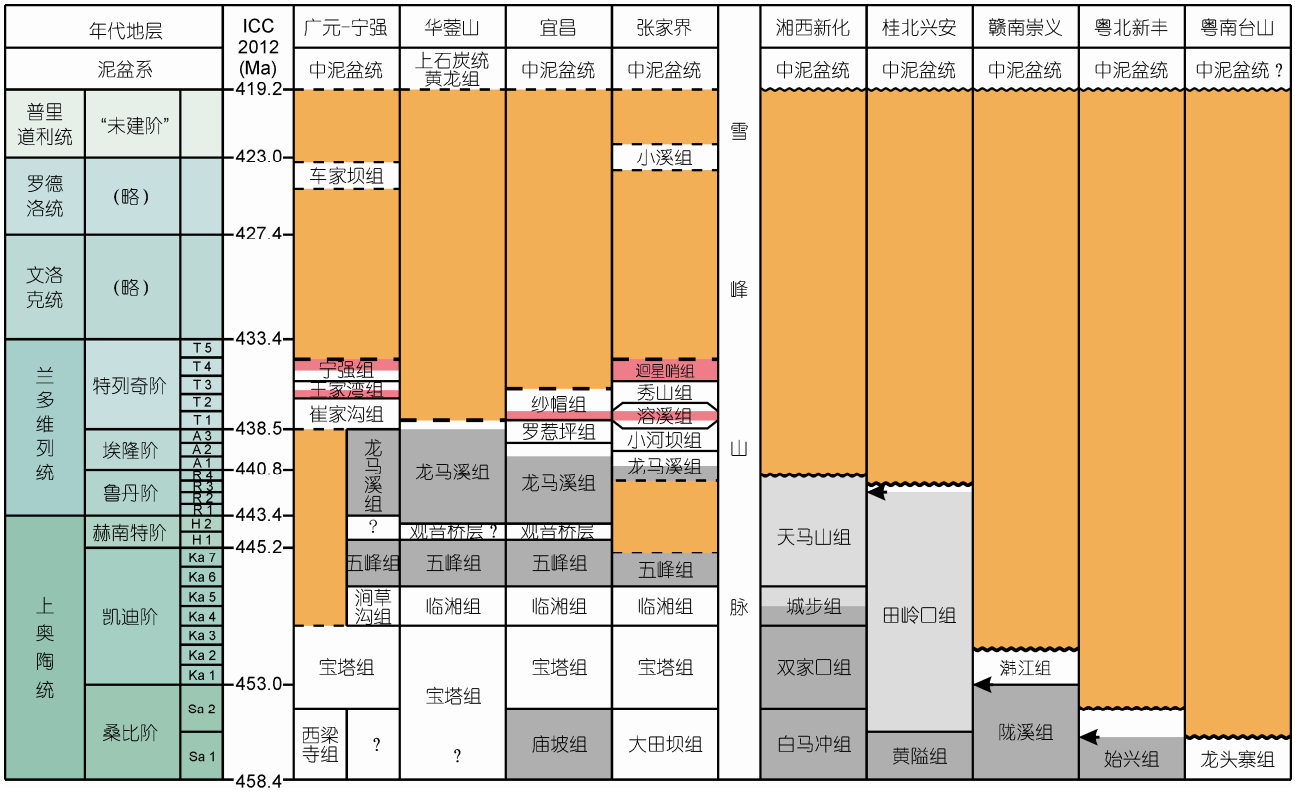


图 1　雪峰山-九岭山两侧自东南沿海至扬子地台西北缘奥陶系、志留系地层对比

橙色表示地层缺失, 深灰色表示黑色笔石页岩、板岩为主, 浅灰色表示粉砂岩等夹含笔石页岩, 红色表示海相红层; 箭头表示各地区岩相、生物相发生突变的层位. Sa1: *Nemagraptus gracilis* 带; Sa2: *Climacograptus bicornis* 带; Ka1: *Diplacanthograptus caudatus* 带; Ka2: *Diplacanthograptus spiniferus* 带; Ka3: *Geniculograptus pygmaeus* 带; Ka4: *Dicellograptus elegans* 带; Ka5: *Dicellograptus complanatus* 带; Ka6: *Dicellograptus complexus* 带; Ka7: *Paraorthograptus pacificus* 带; H1: *Normalograptus extraordinarius* 带; H2: *Persculptograptus persculptus* 带; R1: *Akidograptus ascensus* 带; R2: *Parakidograptus acuminatus* 带; R3: *Cystograptus vesiculosus* 带; R4: *Coronograptus cyphus* 带; A1: *Demirastrites triangularis* 带; A2: *Lituigraptus convolutus* 带; A3: *Stimulograptus sedgwickii* 带; T1: *Spirograptus guerichi* 带; T2: *Spirograptus turriculatus* 带; T3: *Monoclimacis griestoniensis* 带; T4: *Oktavites spiralis–Stomatograptus grandis* 带; T5: *Cyrtograptus lapworthi* 带. ICC 2012: International Chronostratigraphic Chart 2012 (www.stratigraphy.org)

凯迪期界线附近, 即陇溪组向潇江组发生岩相、生物相转变之际(陈旭等, 2010); 而至凯迪早期, 或 *Diplacanthograptus spiniferus* 带(Ka2)沉积时期, 即潇江组沉积结束之时(陈旭等, 2010), 华夏古陆的海岸线推进到崇义以南, 华夏古陆此时有可能已和赣中古陆融成一体(图 2, C 线). 陈清(2013)最近基于 GBDB 数据库(www. geobiodiversity.com; Fan 等, 2013)划出了凯迪晚期相当于 *Dicellograptus complexus* 带(Ka6)时五峰组及其同期地层分布的南界, 这一界线是根据该时期五峰组及其同期地层在华南的沉积剖面点, 与其周缘地区同期地层缺失剖面点之间的界线而作出的, 指示了该时期广西运动的抬升进一步向西北方向扩展的影响范围(图 2, D 线). 此时在桂北、湘西至湘中仍保留了一个向南伸入华夏古陆的大海湾, 我们暂称之为"湘桂海湾", 它的分布范围与笔者等以前发表的论著(Chen 等, 2004)中的范围基本一致. 进入志留纪后,在桂北兴安, 广西运动的抬升阶段体现在志留纪兰多维列世之初 *Akidograptus ascensus* 带(R1)至 *Parakidograptus acuminatus* 带(R2), 此时古陆的北界在湘桂地区维持在兴安以南(图 2, E 线). 此后不久, 华夏古陆的北界在湘桂海湾内再次向西北推进至雪峰山东南侧绥宁-隆回-新化一线以南, 如上所述, 雪峰山-九岭山一线抬升的时间为鲁丹晚期, 或不早于 *Cystograptus vesiculosus* 带(R3)至 *Coronograptus cyphus* 带(R4)沉积时期, 在本文图 2 中表示为 F 线. R3-R4 带之后, 湘桂海湾全部消失.

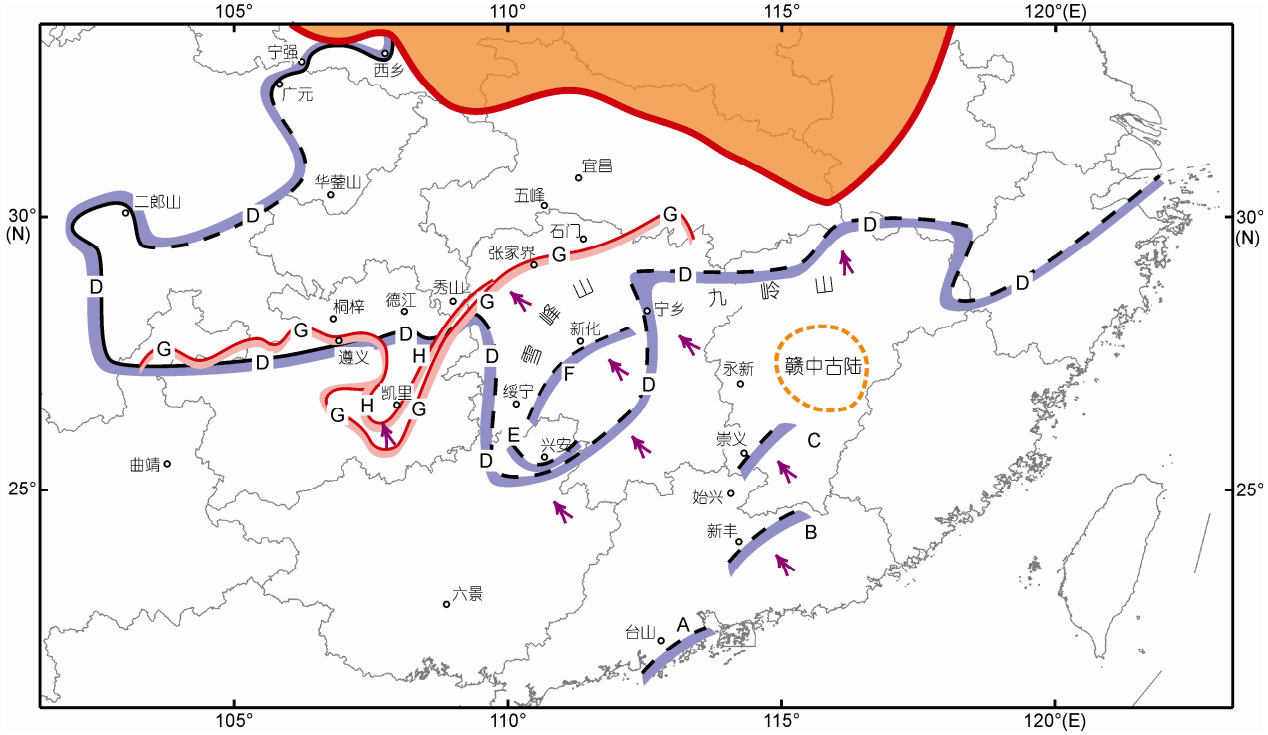


图 2　雪峰山-九岭山两侧自东南沿海至扬子地台广西运动的逐次抬升与华夏古陆的扩展

A~F 线分别表示雪峰山以西奥陶-志留纪对应时期华夏古陆的北界. A 线, *Nemagraptus gracilis* 带(Sa1)结束之际; B 线, 大致相当 *Climacograptus bicornis* 带(Sa2); C 线, 大致相当 *Diplacanthograptus spiniferus* 带(Ka2); D 线, *Dicellograptus complexus* 带(Ka6); E 线, *Akidograptus ascensus* 带(R1)至 *Parakidograptus acuminatus* 带(R2); F 线, 大致相当或不早于 *Cystograptus vesiculosus* 带(R3)至 *Coronograptus cyphus* 带(R4). G~H 线分别表示扬子地台区下、上红层地理分布的南界. G 线, *Spirograptus guerichi* 带(T1); H 线, 特列奇末期.虚线表示由于剖面数目限制等原因造成的界线位置不能完全确定

上述针对一系列自东南向西北分布的剖面点的相关地层发育情况进行的论述, 虽因华南地质条件所限, 目前还不能找到更多有效的点位, 但总的规律已可体现. 我们今后将更进一步研究, 争取找到并研究更多的有效剖面和点位. 此外, 珠江盆地内的奥陶系和志留系由于后期构造变动而常遭褶皱、断层和剥蚀等的影响, 因此我们并没有直接采用泥盆系不整合面以下地层的最高层位来指示抬升时间, 而是采用不整合面之下地层序列中岩相、生物相发生突变层位来指示广西运动影响该地区的时间值. 我们曾以此排除了广西运动发生在寒武纪的可能性(陈旭等, 2010); 而对于如新化炉观这样的剖面, 凡泥盆系与其下最高化石采集层之间的近岸粗碎屑岩相发育不完整者, 均只提"不早于"此化石带所指示的时代, 以说明当前的研究程度. 从华南的宏观上来看, 广西运动阶段性和方向性的总体规律已清楚地展示, 它不会因局部地点地层的褶皱、断裂、剥蚀而改变.

2　广西运动阶段性在雪峰山以西扬子地台上的体现

广西运动虽然从中国东南部, 即奥陶纪的珠江盆地开始, 但是对属于同一块体的扬子地台也存在明显的影响, 而且随着时间的推进, 这种影响就愈趋明显. 张原庆等(2001)曾论及板块间碰撞远程效应的传播涉及地球圈层间的运动, 那么在同一块体内, 相类似的效应显然就应更为明显和直接. 广西运动在晚奥陶世初期发生后, 在扬子地台上就已开始产生影响. 桑比期扬子地台上出现台内凹陷(depression), 沉积了黑色笔石页岩的庙坡组, 一改之前扬子地台浅海碳酸盐岩的沉积体系(陈旭等, 2012). 如前节所述, 随着广西运动的抬升向西北方向之推移, 到凯迪晚期在扬子地台上形成了半封闭台内较深水的海盆(图 2, D 线范围), 沉积了五峰组的黑色页岩, 伴生了高分异度、具有明显地区性色彩的五峰组笔石动物群.

最近陈清(2013)基于 GBDB 数据库研究了华南五峰组黑色页岩的时空分布, 发现自五峰组黑色页岩开始沉积之时起, 即晚奥陶世凯迪期 *Dicellograptus complexus* 带时期, 在九岭山向东延至景德镇一带原“江南古陆”(王鸿祯, 1985)的东段, 已经露出水面. 王鸿祯先生主编的“中国古地理图集”中的江南古陆, 和本文中论及的雪峰山-九岭山的范围大体一致. 但“江南古陆”却并非长期持续存在的, 而且其范围也是不固定的. 当前资料显示“江南古陆”露出水面的时间, 是根据 *D. complexus* 带时江南斜坡带在横向延伸上被古陆所阻隔这一事实而获得的. 但这一变化更重要的意义在于, 从此以后华南地区自西北向东南方向的“扬子台地-江南斜坡-珠江盆地”的古地理分布模式就此结束; 江南斜坡带东段皖南、浙西的志留系和扬子地台区从此之后已浑然一体, 发育了与扬子区相似的兰多维列统, 其上、下两套海相红层与扬子区均可对比; 只是兰多维列统底部的黑色页岩明显减薄, 仅为砂岩、粉砂岩中的夹层. 而奥陶纪时期珠江区的大部分地区, 从兰多维列早期就已整体上升. 笔者等认为, 现今华南地域最南端的云开地块不在奥陶纪时期的珠江盆地范围之内, 对此笔者等将另文讨论.

从凯迪晚期至志留纪兰多维列世, 在扬子地台的南部, 与五峰组及此后龙马溪组黑色笔石页岩沉积相伴的却是一个明显的、同期的局部抬升. 这一抬升过去一直被称为宜昌上升(陈旭等, 2001), 在黔北桐梓这一抬升表现为志留纪初鲁丹期最早的两个笔石带(R1 和 R2)的缺失(陈旭和林尧坤, 1978), 根据笔者等最近的考察, 在五峰城郊的小河村这一间断达到最大值, 该地龙马溪底部为埃隆阶 *Lituigraptus convolutus* 带的地层(A2), 假整合直接盖覆于其下的临湖组之上, 缺失了五峰组直至埃隆阶下部的全部地层(王怿等, 2013). 向东南至张家界, 宜昌上升导致该地五峰组顶部至鲁丹阶上部缺失(陈旭等, 2001). 因此由于宜昌上升的影响, 在扬子地台海域内从凯迪期晚至埃隆期曾出现过持续时间不同和因地而异的地层间断区域, 称湘鄂西隆起(穆恩之等, 1981), 或湘鄂水下高地(Hunan-Hubei Submarine High)(Chen 等, 2004)等, 它的持续时间与宜昌上升的穿时分布一致. 目前笔者(樊隽轩、陈清)等已收集了大量从黔北到湘鄂以至下扬子地区有关资料点, 将连同五峰组及龙马溪组黑色页岩的时空分布另文分篇发表. 伴随着五峰组和龙马溪组的沉积而同时发生的所谓宜昌上升, 是在广西运动的推动下, 在奥陶纪末至志留纪初在扬子台地南缘发生的一次局部抬升事件.

在宜昌上升事件之后, 几乎在与之大体相同的地区, 继龙马溪组黑色笔石页岩沉积之后的特列奇期之初, 又沉积了以溶溪组为代表的海相红层(又称为下红层). 对于下红层的分布戎嘉余等已有专论(Rong 等, 2003; 戎嘉余等, 2012), 本文不再重复. 由于海相红层分布在华夏古陆的西北沿岸地区, 因此它也正指示了华夏古陆在特列奇期之初进一步扩展到 Rong 等(2003)的凯里-德江-张家界-石门一线, 即本文图 2 的 G 线. 进一步扩张的华夏古陆为海相下红层的快速沉积, 提供了陆源物质. 但扬子区下海相红层溶溪组的时代一直缺乏直接的化石证据, 溶溪组中仅由穆恩之等(1974)识别的一个地区性笔石种 *Hunanodendrum typicum* (Mu), 并不具备时代指示的意义. 葛治洲、戎嘉余等(1979)在贵州务川龙井坡等地, 在溶溪组之下的马脚冲组内虽发现了笔石 *Pristiograptus xiushanensis* (Mu 等), 但囿于地区种的局限性, 加之当时类似的笔石在世界其他地区又未见及, 因此难以作广泛的对比. 最近戎嘉余、王怿等在贵州务川龙井坡马脚冲组距底 7 m 的层位中, 再次采获了较多且保存较好的 *P. xiushanensis* (Mu 等)的标本, 而 Loydell 等(1993)又已在威尔士发表了笔石 *Pristiog- raptus renaudi* (Philiport). 由于该种与 *P. xiushanensis* (Mu 等)十分接近, 因此可能是同期的两个种. 而 *P. renaudi* (Philiport)正产自威尔士 Aberystwyth 附近特列奇阶底部的 *Spirograptus guerichi* 带(T1), 这也间接的提供了溶溪组下红层属特列奇早期沉积的证据.

标志扬子区兰多维列统顶部的海相上红层, 被称为迴星哨组, 它与下红层的分布范围大体相同. 据戎嘉余等(2012)的资料, 上红层在黔中的凯里海湾内的分布范围略有收缩(图 2, H 线). 海相上红层沉积之后, 扬子地台即整体上升, 因此可以说, 广西运动抬升阶段的推动, 在扬子地台范围内至特列奇期末达到了最大限度.

为了便于读者了解上述各阶段时间值的重要笔石, 我们将它们的图像绘制在图 3 中, 以供读者参考.

3 广西运动造山作用阶段发生时间的推测

雪峰山-九岭山以东以南的珠江区, 泥盆系与下伏地层间的角度不整合面, 以及雪峰山-九岭山以西

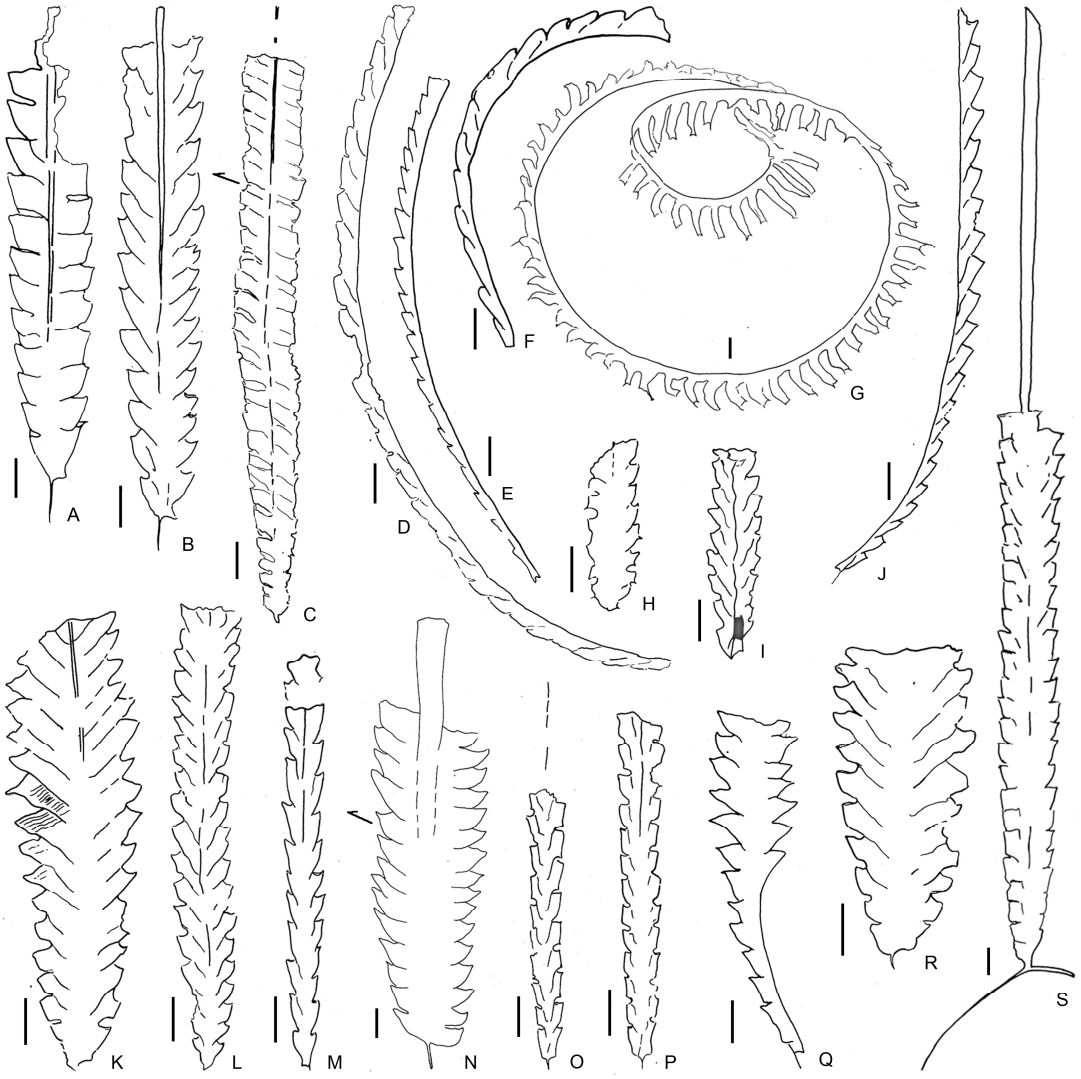


图 3　广西运动各阶段的重要笔石

所有标本收藏于中国科学院南京地质古生物研究所标本馆, 标本编号由前缀 NIGP 和 6 位数字构成. 图中比例尺为 1 mm. A. *Rivagraptus bellulus obtusatus* (Li), NIGP159025, 绥宁关峡(关 4); B. *Korenograptus tangshanensis* (Hsü)(=*Glyptograptus lanpheri*, Churkin 和 Carter), NIGP159026, 绥宁关峡(关 5); C. *Normalograptus normalis* (Lapworth), NIGP159027, 新化炉观天马山组(AGG 114); D. *Huttagraptus* cf. *lunata* (Chen 和 Lin), NIGP159028, 绥宁关峡(关 5); E. *Atavograptus primitivus* (Li), NIGP159029, 新化炉观天马山组(AGG 114); F. *Atavograptus* cf. *atavus* (Jones), NIGP159030, 绥宁江口塘-关峡(AGG 125); G. *Lituigraptus convolutus* (Hisinger), NIGP159031, 五峰城西 1.5 km 小河村龙马溪组底部(GHH 242); H. *Paraclimacograptus innotatus* (Nicholson), NIGP159032, 新化炉观天马山组(AGG 114); I. *Neodiplograptus modestus parvulus* (Lapworth), NIGP159033, 兴安田岭口新村(AGG 80a); J. *Pristiograptus xiushanensis* (Mu), NIGP159034, 务川龙井坡马脚冲组距底 7 m(GWL 33); K. *Neodiplograptus modestus*(Lapworth), NIGP159035, 兴安田岭口新村(AGG 80 a); L. *Neodiplograptus modestus diminutus* (Elles 和 Wood), NIGP159036, 兴安田岭口新村(AGG 80 a); M. *Korenograptus pseudotamariscus* Chen (in press), NIGP159037, 兴安田岭口新村(AGG 80 a); N. *Cystograptus vesiculosus* (Nicholson), NIGP159038, 新化炉观天马山组(AGG 115); O. *Paramplexograptus madernii* (Koren'和 Mikhaylova), NIGP159039,兴安田岭口新村(AGG 80a); P. *Normalograptus mirnyensis* (Obut 和 Sobolevskaya), NIGP159040, 兴安田岭口新村(AGG 80 a); Q. *Dimorphograptus confertus nankingensis* (Sun), NIGP159041,新化炉观天马山组(AGG 114); R. *Neodiplograptus* cf. *modestus*, NIGP159042, 兴安田岭口新村(AGG 81); S. *Metabolograptus bicaudatus* (Chen 和 Lin), NIGP159043, 宁乡黄材(黄 1)

以北的扬子地台区与之相对应的平行不整合面, 均显示了广西运动最终的造山作用的发生, 这也是广西运动达到高潮的标志. 追索其发生的时间值可以从两个方面入手.

首先, 我们要从这一构造界面之下地层的最高层位入手, 也即发育在扬子地台上的小溪组(王怿等, 2011)和车家坝组(唐鹏等, 2010). 从本文对比表上来看, 小溪组的顶部可能已进入普里道利统. 王怿等(2011)认为小溪组中所发现的植物类表皮指示了它的地质时代为罗德洛-普里道利世. 这样, 它的顶界就要略高于川北广元车家坝组的顶界. 其次, 我们要追索不整合面之上泥盆系的最低层位, 为此我们又必须退而追索到珠江区最东南的广西六景剖面. 据邝国敦等(1989)的资料, 六景莲花山组之上, 即那高岭组的时代可确定为早泥盆世布拉格期, 因此其下莲花山组的时代可能是布拉格期, 但也可能下延到早泥盆世早期的洛赫可夫期. 当然, 目前的地层对比资料还不能准确的说明珠江区的这一不整合面与扬子区的平行不整合面一定是等时的, 但从华南泥盆系的总体发育来看, 将它们视为大体同时仍是可以被接受的. 解决广西运动造山作用发生的准确时间值, 还有另一条途径, 那就是从华南志留系—泥盆系连续沉积的二郎山剖面中, 寻找由于广西运动造山期可能留下的标志. 但这需要今后对此剖面做进一步的详细工作.

王怿等(2011)对小溪组时代的确定, 引发了志留纪晚期沉积曾一度侵入扬子台地中心部位的讨论. 自特列奇期之后, 扬子地台曾两次整体升降, 造成起伏不平的古地形和不均匀的后期剥蚀面, 它改变了扬子区像珠江区那样阶梯式推进的奥陶系-志留系的剥蚀顶面, 这可能是扬子台地中心部位的志留系顶界面低于南、北边缘的原因之一. 扬子地台的北缘大巴山一线, 也曾发生过寒武纪-奥陶纪的南郑上升和志留纪初的西乡上升(陈旭等, 1990), 但是这些发生在扬子地台北缘的抬升运动可能和广西运动并没有直接联系.

4 结论与展望

广西运动最初发生于东南沿海. 近年来一系列的野外考察和发现, 使我们较为明确的判断和度量了广西运动在珠江盆地自东南而西北的阶梯式抬升过程. 这一研究不涉及云开地区, 它的分布范围作者等曾初有论述(Chen 等, 1995), 进一步的研究进展当另文再叙. 在扬子地台区, 因广西运动的推动影响了宜昌上升. 随后, 因此而北扩的华夏古陆又为扬子地台南缘提供了海相红层的物质来源. 扬子地台此后的两度整体上升, 造成了现今的剥蚀面, 也因残留了小溪组普里道利期的顶面, 从而便于我们进一步推测广西运动最后造山作用发生的时间.

从地层学和古生物学证据出发对广西运动的研究将进一步开拓今后研究的新领域. 对广西运动抬升和造山两大阶段的进一步研究, 可望揭示两大阶段各时期的构造事件和生物事件中全球性和区域性的因素和作用, 以及这两种因素的叠加效应以及哪种因素起主导作用. 这对五峰组和龙马溪组沉积时期的分析尤为重要, 从总体来看, 五峰组的沉积是在半封闭的大海湾式的古地理背景下形成的, 五峰组笔石动物群因而含有大量的地区性分子, 因此地区性的因素占有重要的地位. 而龙马溪组的沉积是在奥陶纪末南极冰盖快速消融后, 全球黑色页岩广布的背景下形成的, 龙马溪组笔石动物群与全球同期的笔石动物群十分相似, 因此全球性的因素起了主导作用. 由此还可引申到上述两套黑色页岩的时空分布和生物事件、构造事件的综合研究, 对我国页岩油气开发的基础性研究可提供重要的参照.

致谢 本文的研究是中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学国家重点实验室项目成果, 也得到中国科学院资源地层学与古地理学重点实验室的支持, 在此一并感谢. 本文系“Geobiodiversity Database”项目系列成果之一.

参考文献

陈清. 2013. 华南奥陶-志留纪之交笔石多样性演化及古地理的定量研究. 博士学位论文. 南京: 中国科学院南京地质古生物研究所. 1–211

陈旭, 林尧坤. 1978. 黔北桐梓下志留统的笔石. 中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 12: 1–106

陈旭, 戎嘉余, 周志毅, 等. 2001. 上扬子区奥陶-志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升. 科学通报, 46: 1052–1056

陈旭, 徐均涛, 成汉钧, 等. 1990. 论汉南古陆及大巴山隆起. 地层学杂志, 14: 81–116

陈旭, 张元动, 樊隽轩, 等. 2010. 赣南奥陶纪笔石地层序列与广西运动. 中国科学: 地球科学, 40: 1621–1631
陈旭, 张元动, 樊隽轩, 等. 2012. 广西运动的进程: 来自生物相和岩相带的证据. 中国科学: 地球科学, 42: 1617–1626
葛治洲, 戎嘉余, 杨学长, 等. 1979. 西南地区的志留系.见: 中国科学院南京地质古生物研究所, 主编. 西南地区碳酸盐生物地层. 北京: 科学出版社. 155–220
邝国敦, 赵明特, 陶业斌. 1989. 中国海相泥盆系标准剖面: 广西六景泥盆系剖面. 武汉: 中国地质大学出版社. 154
穆恩之, 李积金, 葛梅钰, 等. 1981. 华中区晚奥陶世古地理图及其说明书. 地层学杂志, 5: 165–170
穆恩之, 李积金, 葛梅钰, 等.1974.志留纪笔石. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所, 主编. 西南地区地层古生物手册. 北京: 科学出版社. 211–221
戎嘉余, 王怿, 张小乐. 2012. 追踪地质时期的浅海红层——以上扬子区志留系下红层为例. 中国科学: 地球科学, 42: 862–878
唐兰, 陈旭, 杨杰, 等. 2013. 桂北兴安奥陶纪至志留纪初笔石序列的再研究. 地层学杂志, 37: 1–7
唐鹏, 黄冰, 王成源, 等. 2010. 四川广元志留系 Ludlow 统的再研究兼论车家坝组的含义. 地层学杂志, 34: 241–253
王鸿祯. 1985. 中国古地理图集. 北京: 地图出版社. 143
王怿, 戎嘉余, 詹仁斌, 等. 2013. 鄂西南奥陶-志留系交界地层研究兼论宜昌上升. 地层学杂志, 7: 264–274
王怿, 张小乐, 徐洪河, 等. 2011. 重庆秀山志留系小溪组的发现与迴星哨组的厘定. 地层学杂志, 35: 113–121
张国伟, 郭安林, 王岳军, 等. 2013. 中国大陆构造与问题. 中国科学: 地球科学, 43: 1553–1582
张原庆, 钱祥麟, 李江海. 2001. 板块碰撞远程效应的传播与地球层圈间的运动. 地学前缘, 8: 341–342
Chen X, Rong J Y, Li Y, et al. 2004. Facies patterns and geography of the Yangtze region, South China, through the Ordovician and Silurian transition. Paleogeogr Paleoclimatol Paleoecol, 204: 353–372
Chen X, Zhang Y D, Li Y. 1995. Ordovician basin analysis of China. In: Cooper J D, Droser M L, Finney S C, eds. Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System. 245–250
Elles G L, Wood E M R. 1907. A Monograph of British Graptolites, Part VI. London: Palaeontogr Soc, xcvii–cxx. 217–272
Elles G L, Wood E M R. 1908. A Monograph of British Graptolites, Part VII. Longdon: Palaeontogr Soc, cxxi–cxlviii. 273–358
Fan J X, Chen Q, Hou X D, et al. 2013. Geobiodiversity database: Acomprehensive section-based integration of stratigraphic and paleontological data. Newsl Stratigr, 46: 111–136
Jones O T. 1909. The Hartfell-Valentian succession in the district around Plynlimon and Ponterwyd. Q J Geol Soc London, 65: 463–537
Koren' T N, Mikhaylova N F, Tsay D T. 1980. Klass Graptolithina, Graptolity (in Russian). In: Apollonov M K, Bandaletov S M, Nikitin I F, eds. The Ordovician-Silurian Boundary in Kazakhstan. Russian: Nauka, Kazakh SSR Publishing House. 121–170
Li J J. 1984. Graptolites across the Ordovician-Silurian boundary from Jingxian, Anhui. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, eds. Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China: Ordovcian-Silurian Boundary (1). Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House. 309–370
Loydell D K, Cave R. 1993. The Telychian (Upper Llandovery) stratigraphy of Buttington Brick Pit, Wales. Newsl Stratigr, 29: 91–103
Rong J Y, Chen X, Su Y Z, et al. 2003. Silurian paleogeography of China. In: Langing E, Johnson M E, eds. Silurian Lands and Seas: Paleogeography Outside of Laurentia. New York State Museum Bulletin, 293. Albany: New York State Education Department. 243–298
Sun Y C. 1933. Ordovician and Silurian graptolites from China. Pal Sin New Ser B, 14: 1–52
Zalasiewiz J A, Taylor L, Rushton A W A, et al. 2009. Graptolites in British stratigraphy. Geol Mag, 146: 785–850