

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.146>



扬子北缘京山—钟祥地区下奥陶统地层序列及其区域对比

刘浩^{1,2}, 邓新¹, 金鑫鏢¹, 曾庆銮^{1,2}, 徐大良¹, 张维峰¹, 彭练红¹

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北武汉 430205

2. 中国地质调查局古生物与生命—环境协同演化重点实验室, 湖北武汉 430205

摘要: 湖北京山—钟祥一带的下奥陶统特征与毗邻的峡东及随南地区存在明显差异, 在此开展了岩石地层和生物地层研究对比有助于更好地了解扬子北缘早奥陶世的古地理特征及演化。通过详细的剖面测制和地层对比研究, 将钟祥—京山地区下奥陶统自下而上分为娄山关组、温峡口组(新建)、钟祥组(新建)和大湾组。新建的温峡口组以竹叶状灰岩、鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩为主, 属于台地边缘浅滩—浅水陆棚相沉积。根据温峡口组中所产的腹足、腕足和头足类化石, 认为其沉积时代为特马豆克期中—晚期至弗洛期早期。钟祥组为灰色—灰黑色笔石页岩夹薄层粉砂岩及少量生物碎屑灰岩透镜体, 产丰富的腕足、三叶虫、海百合茎、笔石、头足类等生物化石, 属于深水陆棚区沉积, 其地质时代为早奥陶世弗洛期。通过区域地层对比, 温峡口组与峡东南津关组、分乡组、红花园组和随南高家湾组底部层位相当, 而钟祥组则与峡东大湾组下段的下部和随南高家湾组中—上部可以对比。

关键词: 扬子陆块; 奥陶系; 弗洛阶; 特马豆克阶; 温峡口组; 钟祥组; 笔石; 地层学。

中图分类号: P535

文章编号: 1000—2383(2021)04—1359—15

收稿日期: 2020—04—22

Lower Ordovician Stratigraphic Sequence in Jingshan-Zhongxiang Area at Northern Margin of Yangtze and Regional Correlation

Liu Hao^{1,2}, Deng Xin¹, Jin Xinbiao¹, Zeng Qingluan^{1,2}, Xu Daliang¹, Zhang Weifeng¹, Peng Lianhong¹

1. Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, China

2. Key Laboratory of Paleontology and Coevolution of Life and Environment, China Geological Survey, Wuhan 430205, China

Abstract: The characteristics of the Lower Ordovician in the Jingshan-Zhongxiang area are significantly different from those in the Three Gorges and southern Suizhou. Therefore, correlation of lithostratigraphy and biostratigraphy between them is helpful to understanding the paleogeography as well as the geological evolution during the Early Ordovician in the northern margin of the Yangtze platform. Based on detailed study on the lithostratigraphy and the fossil assemblage, the Wenxiakou Formation and Zhongxiang Formation of the Lower Ordovician are established. The Wenxiakou Formation consists predominantly of flat pebble limestone, oolitic limestone and bioclastic limestone, which belongs to shoal facies of platform margin to shallow shelf facies. According to the fossils such as gastropods, cephalopods and brachiopods, this formation is confirmed as a deposition from Middle-Late Tremadocian to Early Florian, which is underlain conformably by the Loushanguan Formation. This succession can be correlated to the Nanjinguan Formation, Fenxiang Formation and Honghuayuan Formation in Three Gorges area, and can also be compared with the bottom of Gaojiawan Formation in southern Suizhou area. The Zhongxiang Formation is characterized by grey or dark grey shales with some siltstones and lenticular bioclastic limestone and is assumed to have been deposited in the neritic continental shelf zone. Based on the abundant fossils such as brachiopods, trilobites, crinoid stems, graptolite and cephalopods,

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(Nos.DD20160030, DD20190050).

作者简介: 刘浩(1984—), 男, 高级工程师, 硕士, 从事区域地质调查工作, 主要从事早古生代地层研究。ORCID: 0000-0001-8012-6030.
E-mail: 280224255@qq.com

引用格式: 刘浩, 邓新, 金鑫鏢, 等, 2021. 扬子北缘京山—钟祥地区下奥陶统地层序列及其区域对比. 地球科学, 46(4):1359—1373.

this formation is considered to be formed at the age of Floian and has a conformable contact with the Wenxiakou and Dawan formations. It can be compared with the lowest part to Dawan Formation in Three Gorges and the middle-upper part of the Gaojiawan Formation in southern Suizhou, respectively.

Key words: Yangtze block; Ordovician; Floian; Tremadocian; Wenxiakou Formation; Zhongxiang Formation; graptolite; stratigraphy.

0 引言

早奥陶世是生物大辐射的重要时期,对该时期地层进行系统研究对探讨生物大辐射的发生、发展及生物与环境的协同演化具有重要意义(Zhang *et al.*, 2010; 詹仁斌等, 2013). 中国南方早奥陶世地层分布广泛、化石丰富、岩相和生物相分异明显,为国际奥陶纪生物大辐射及古海洋环境演变研究的热点地区(汪啸风, 2016). 前人对扬子碳酸盐岩台地、江南斜坡和珠江盆地的奥陶纪地层和古生物进行了深入和系统地研究,取得了诸多成果(曾庆奎等, 1992; Chen *et al.*, 1995; 汪啸风等, 1996, 2005; 何卫红等, 2014), 相比之下,对扬子北缘的早奥陶世地层及古生物的关注和研究较少.

湖北钟祥、京山在大地构造上属扬子陆块北缘,向北以襄樊—广济断裂与桐柏—大别造山带分隔,地层区划上属于华南地层区扬子地层分区和随枣分区(牛志军等, 2017)(图 1),总体沉积环境为陆棚—斜坡相区(汪啸风, 2016). 因紧邻襄樊—广济深大断裂带,岩层构造变形强烈,不利于开展地层学和古生物学研究工作,尽管起步较早,但一直以来是研究的薄弱地区. 钟祥、京山地区的地层和古生物研究工作始于 20 世纪 60 年代的 1:20 万钟祥、应城幅区域地质调查,将该地区扬子地层分区下奥陶统自下而上分为三游洞群(湖北省地质矿产局(1996)将其归入娄山关组)、南津关组、分乡组、红花园组和大湾组,并报道了笔石、腕足、三叶虫、腹足等化石,将随枣分区的奥陶系归入古城畷群(湖北省地质矿产局, 1996). 1:25 万随州幅区域地质调查沿用了该成果. 扬子分区的下奥陶统以白云岩、灰岩为主,随枣分区的下奥陶统主要由一套具有复理石特征的砂泥质组成,间夹少许灰岩沉积,产笔石和少许介壳化石,汪啸风(2016)将两者分别归入中扬子碳酸盐岩台地区和扬子碳酸盐岩台地北缘陆棚—斜坡区.

笔者于 2016—2018 年在钟祥、京山地区开展 1:5 万区域地质调查时发现,该地区扬子区下奥陶统在岩石地层序列、厚度、生物群面貌上和邻区相比

均有较大区别,原有的岩石地层单位名称难以适用于本区. 笔者将娄山关组白云岩之上的一套灰岩组合和一套细碎屑岩系分别命名为温峡口组和钟祥组,将钟祥、京山地区下奥陶统自下而上厘定为娄山关组、温峡口组、钟祥组和大湾组,并对新建立的温峡口组和钟祥组中的古生物进行了细致的采集和审慎的鉴定. 这一地层系统的重新厘定,对扬子北缘地层划分对比、古地理格局和地质演化的认识提供了新材料.

1 剖面描述

笔者测制了位于湖北省钟祥市长寿镇以东约 10 km 的温峡口水库大坝西侧剖面及东桥镇以北约 8 km 的邱家湾剖面. 温峡口剖面位于水库半山坡的小路旁,出露完整,露头情况好,全长约 1.1 km. 整条剖面可以连续观察到寒武纪石牌组、天河板组、石龙洞组、覃家庙组、娄山关组及奥陶纪温峡口组、钟祥组、大湾组、牯牛潭组、宝塔组和临湘组. 温峡口组和钟祥组建组于此,出露总宽度约 110 m. 温峡口组的起点坐标为 112°45'12"E、31°23'12"N. 邱家湾剖面位于邱家湾采石场,剖面起点坐标是 112°49'7"E、31°17'14"N,为倒转地层,但地层层序清晰. 根据野外实测剖面及室内综合整理,两剖面的分层从上到下描述如下:

(1) 湖北钟祥温峡口水库西侧奥陶纪温峡口组—宝塔组地层剖面(剖面层序见图 2,剖面综合柱状图见图 3).

临湘组:

15. 浅灰色—灰色中—薄层状瘤状泥质灰岩夹极薄层泥质粉砂岩,岩石瘤状构造发育,一般在近层面处泥质含量较高. 9.06 m

—————整合—————

宝塔组:

14. 灰色中—厚层状“龟裂纹”灰岩,顶部可见夹少量页岩,含头足类化石 *Sinoceras chinense*, *Michellinoceras cf. densum*, *Eosomichelinoceras sp.*. 3.07 m

—————整合—————

牯牛潭组:

13. 灰色—深灰色中—厚层瘤状生物碎屑灰岩,可见较

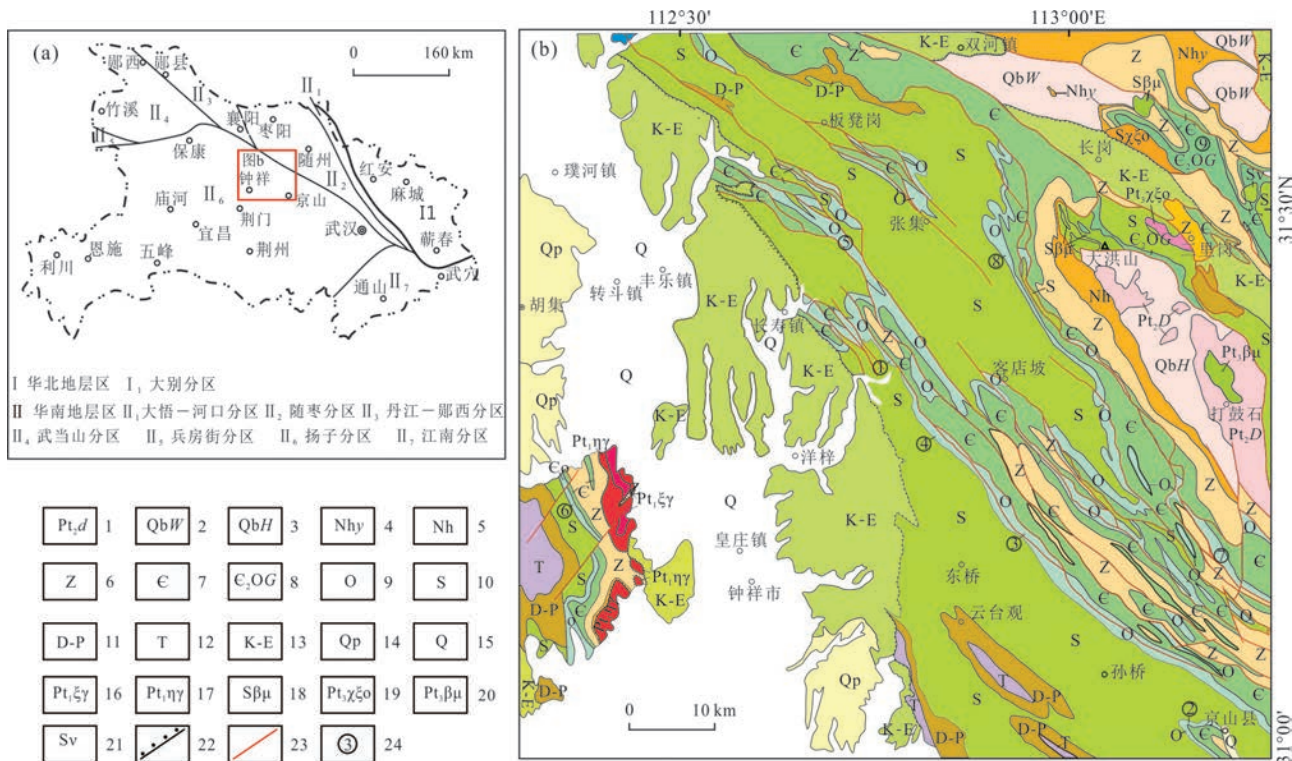


图 1 湖北钟祥、京山地理位置及地质简图(图 a 据牛志军等(2017)修改)

Fig.1 Geological setting and simplified geological map of Zhongxiang and Jingshan area, Hubei Province(Fig. a modified from Niu *et al.*(2017))

1. 打鼓石群; 2. 武当群; 3. 花山群; 4. 耀岭河组; 5. 南华系; 6. 震旦系; 7. 寒武系; 8. 古城堰组; 9. 奥陶系; 10. 志留系; 11. 泥盆系、石炭系、二叠系并层; 12. 三叠系; 13. 白垩系、古近系并层; 14. 更新统; 15. 全新统; 16. 古元古代中粗粒(含黑云母)钾长花岗岩; 17. 古元古代中粒黑云母二长花岗岩; 18. 志留纪辉绿岩; 19. 新元古代英碱正长岩; 20. 新元古代辉绿岩; 21. 志留纪辉长岩; 22. 角度不整合; 23. 断层; 24. 剖面编号及位置. 图 b 中剖面编号及位置: ①长寿温峡口剖面; ②京山惠亭山剖面; ③东桥雷家冲剖面; ④东桥邱家湾剖面; ⑤长寿史家湾剖面; ⑥杨坡杂岩秦家冲剖面; ⑦百人桥剖面; ⑧石垵子剖面; ⑨古城堰群剖面

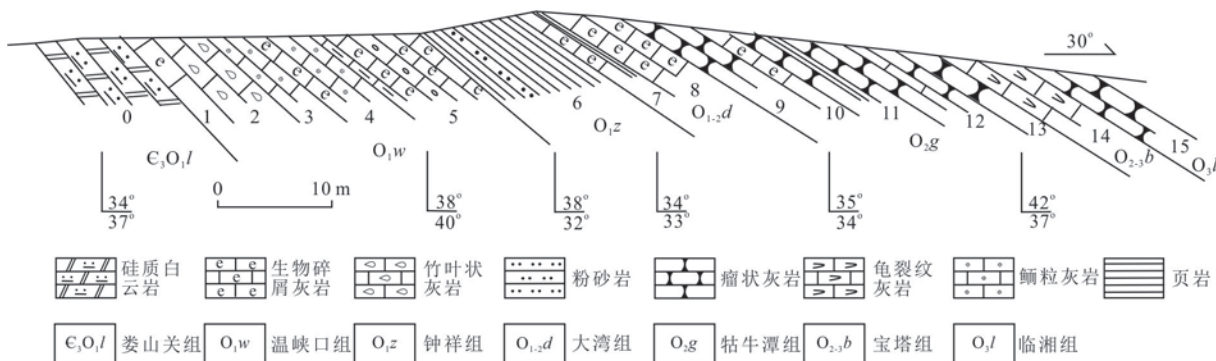


图 2 湖北钟祥温峡口水库西侧奥陶纪温峡口组—宝塔组实测剖面

Fig.2 Stratigraphic section of the Wenxiakou Formation to Baota Formation at Wenxiakou reservoir, Zhongxiang area

明显的水平层理. 生物碎屑类型以头足类、腕足类、介形虫、海百合及其他棘皮类为主. 2.56 m

12. 灰色中层瘤状含生物碎屑灰岩夹紫红色中薄层泥质灰岩, 方解石脉较发育. 5.49 m

11. 灰色—灰黄色薄层瘤状泥质生物碎屑灰岩, 偶夹黄绿色页岩, 风化面以夹泥质条带及瘤状为显著特征, 局部可

见砾屑灰岩. 2.97 m

10. 紫红色薄层状含生物碎屑灰岩, 局部夹灰色瘤状泥质生物碎屑灰岩. 1.50 m

9. 灰色中层瘤状泥质含生物碎屑灰岩、泥质条带灰岩, 以富含泥质条带及外形呈瘤状为特征. 岩石水平层理发育. 含三叶虫、头足类 *Bactroceras chinense*、*Vaginoceras* sp.、腕



图3 湖北钟祥温峡口水库西侧奥陶纪温峡口组—宝塔组综合柱状图

Fig.3 Synthesis columnar section of the Wenxiakou Formation to Baota Formation at Wenxiakou reservoir, Zhongxiang area

足类、棘皮类化石。

5.23 m

60%，生物碎屑种类丰富，可见三叶虫、腕足类、海百合茎、头足类 *Michelinoceras* sp., *Chisiloceras neichianense* 及牙形石

———整合———

大湾组：

8. 深灰色厚层—块状生物碎屑灰岩，生物碎屑含量约占

Trapezognathus diprion, *Baltoniodus cf. B. triangularis*. 顶部为厚约 1 m 的浅灰色薄层含生物碎屑泥质灰岩。 6.35 m

7. 灰黑色中层生物碎屑灰岩与深灰色页岩互层. 灰岩中生物碎屑以腕足类碎片为主. 页岩中含有丰富笔石 *Azygograptus suecicus*, *A. undulatus*, *A. eivionicus*, *Jishougraptus mui*, 腕足类 *Diorthelasma striata*, *Euorthisina kobayashii*, 三叶虫 *Yinpanolithus yinpanensis*, *Liomegalaspides hupeiensis*, *Taihungshania miqueli* 及牙形石 *Trapezognathus diprion*, *Baltoniodus* cf. *B. triangularis* 等. 2.1 m

整合

钟祥组(新建):

6. 灰黑色笔石页岩夹深灰色中—薄层粉砂岩, 可见少量生屑灰岩呈透镜体产出. 产丰富的生物化石. 经鉴定, 本层化石有笔石 *Acrograptus filiformis*, *A. kurcki*, *Didymograptellus bifidus*, *D. protobifidus*, *D. indentus*, *D. nobilis*, *D. sichuanensis*, *D. parallelus*, *D. parallelus approximatus*, *D. smithvillensis*, *D. minutus*, *D. nicholsoni*, *D. n. planus*, *D. n. geometricus*, *D. minor*, *D. vacillans*, *D. spinulosus*, *D. enshiensis*, *D. oscillatoris*, *D. balticus*, *Yutagraptus mantuanus*, *Corymbograptus v-deflexus*, *C. deflexus*, *Phyllograptus anna*, *P. regularis*, *P. regularis lanceolatus*, *P. uniformis*, *Jishougraptus mui*, 腕足类 *Orthis serica*, *Tarfaya intercalare*, *T. nanzhangensis*, *Sinorthis typica*, *S. cf. typica*, 三叶虫 *Yinpanolithus yinpanensis*, *Liomegalaspides hupeiensis*, *Taihungshania miqueli*, *T. shui*, *Pseudocalymene* cf. *cylindrical* 及头足类、棘皮类、苔藓虫等. 13.04 m

整合

温峡口组(新建):

5. 灰色中层含生物碎屑粉晶灰岩, 可见腕足碎片及角石(图4c). 含有少量内碎屑, 粒径大小多在0.5 cm左右. 产牙形石 *Acodus* cf. *A. triangularis*, *Scolopodus fangcunensis*. 本层底部为一层厚度约为20 cm的紫红色泥质灰岩. 10.87 m

4. 灰色中—厚层鲕粒灰岩. 经镜下鉴定, 鲕粒以同心圆状真鲕为主, 亦可见少量的薄皮鲕和复鲕. 产牙形石 *Acodus* cf. *A. triangularis*. 5.43 m

3. 灰色中—厚层鲕粒灰岩, 鲕粒含量约占60%~70%, 粒径大小一般为0.5~1.0 mm. 可见腹足类、海百合茎等化石. 本层底部为一层厚度约为15 cm的紫红色—褐红色粉砂质灰岩. 2.57 m

2. 灰色—深灰色厚层竹叶状灰岩, 单层厚约0.8~1.2 m. 竹叶状内碎屑大小不一, 多在0.5 cm×2.0 cm至2 cm×10 cm之间, 碎屑最大扁平方向与层面基本一致(图4b). 2.86 m

1. 深灰色厚层含生物碎屑微晶灰岩, 生物碎屑含量约占5%, 生物类型可见腕足、海百合、腹足等, 在灰岩风化面上的腹足类居多(图4a). 鸟眼构造较发育. 本层底部为一层厚度约为10 cm的砖红色—褐红色砂屑灰岩. 6.64 m

整合

下伏地层: 娄山关组

0. 灰色—深灰色厚层—块状硅质白云岩夹灰黑色中层状粒屑白云岩, 局部可见硅质条带、硅质结核, 硅质条带宽度一般为2~4 cm. > 4.54 m

(2)湖北钟祥邱家湾奥陶纪娄山关组—牯牛潭组地层剖面(剖面宏观特征见图4f).

牯牛潭组(未见顶):

8. 灰黑色中—薄层瘤状生物碎屑灰岩, 单层厚度6~20 cm, 生物碎屑含量约占40%, 以海百合、角石、腕足等为主, 沿层面可见瘤状特征. 2.5 m

7. 灰黑色厚层状生物碎屑灰岩, 含丰富的角石、海百合、腕足等生物碎屑, 含量约在50%. 5 m

整合

大湾组:

6. 灰黑色薄—中层生物碎屑灰岩夹黑色薄—中层含炭质页岩. 灰岩中可见三叶虫、头足类 *Armenoceras* sp. 等化石. 3.9 m

5. 灰黑色厚层生物碎屑灰岩, 单层厚度约70 cm, 生物碎屑含量约占65%~70%, 可见腕足、腹足、角石、菊石等生物类型. 3.1 m

4. 灰黑色页岩与深灰色中层生物碎屑灰岩呈不等厚互层, 生物碎屑灰岩单层厚约20~30 cm. 在页岩中产笔石 *Azygograptus suecicus*, *A. undulatus*, *Jishougraptus* sp., 腕足类 *Diorthelasma stiaata*, *Euorthisina kobayashii*, 三叶虫 *Yinpanolithus yinpanensis*, *Taihungshania miqueli*. 8.1 m

整合

钟祥组(新建):

3. 黑色笔石页岩夹生物碎屑灰岩透镜体, 页岩多碎裂, 呈薄片状, 页岩中可见笔石、腕足、三叶虫等化石. 产笔石 *Didymograptellus bifidus*, *D. indentus*, *D. smithvillensis*, *D. minutus*, *D. minor*, *Corymbograptus deflexus*, *C. v-deflexue*, *Phyllograptus anna*, *Ph. regularis*, *Acrograptus kurki*, 腕足类 *Orthis serica*, *Tarfaya intercalare*, 三叶虫 *Liomegalaspides hupeiensis*, *Taihungshania miqueli*, *T. shui*. 1.8 m

整合

温峡口组(新建):

2. 灰黑色中—厚层砾屑细晶灰岩, 砾屑含量约50%, 砾屑成分为生物碎屑灰岩, 可见生物类型主要为腕足, 次为海百合和腹足. 0.7 m

整合

娄山关组:

1. 浅灰—深灰色中—厚层状砂屑—粒屑白云岩、藻纹层白云岩、鲕状白云岩, 可见大量的硅质结核或硅质团块. >10 m

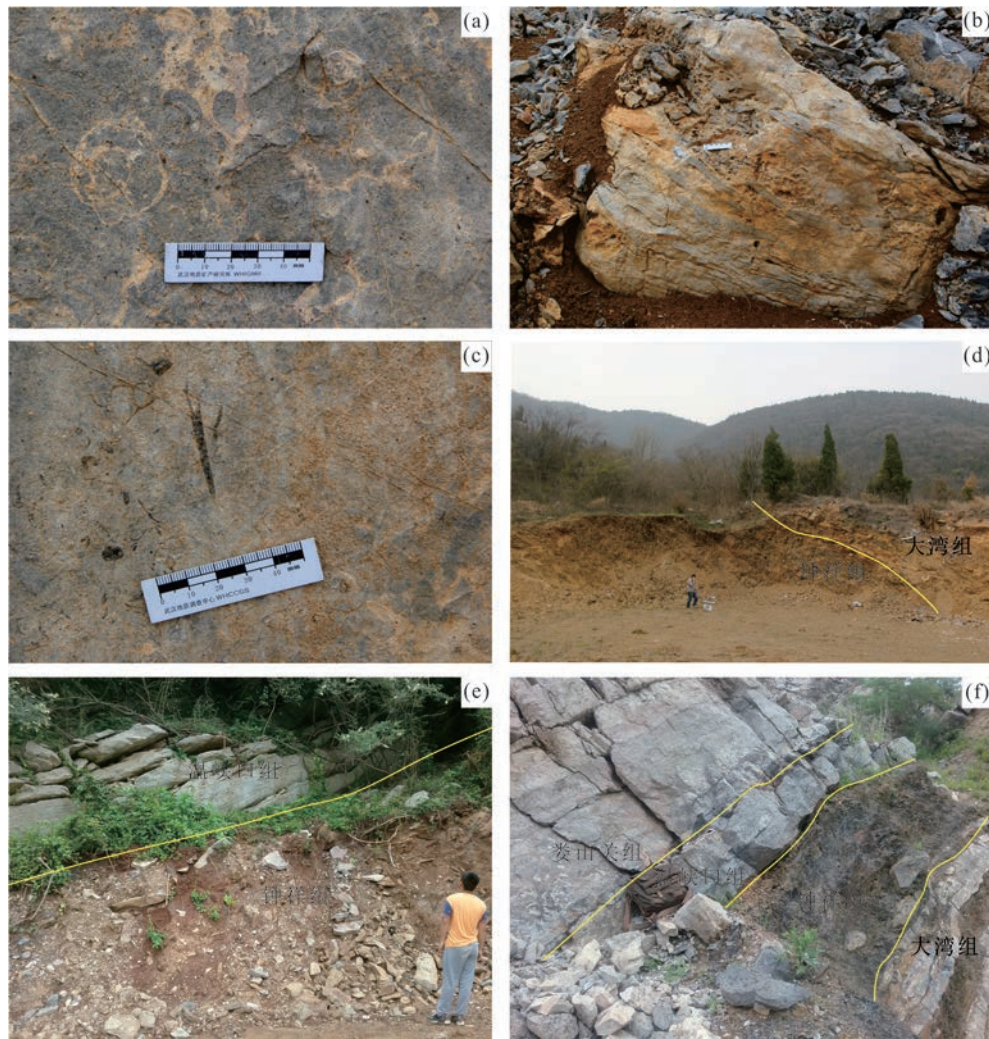


图4 钟祥地区下奥陶统地层野外地质特征

Fig.4 Outcrops of the sequence of the Lower Ordovician in Zhongxiang area

a. 温峡口剖面生物碎屑灰岩(第1层)中的腹足化石;b. 温峡口剖面竹叶状灰岩宏观特征(第2层);c. 温峡口剖面鲕粒灰岩中的角石及腹足化石(第5层);d. 温峡口剖面钟祥组、大湾组宏观特征及接触关系;e. 秦家冲剖面温峡口组与钟祥组接触关系,地层倒转;f. 邱家湾剖面宏观特征(地层倒转)

2 下奥陶统岩石地层序列

2.1 娄山关组

钟祥—京山地区的娄山关组为一套灰白色薄层—块状微晶白云岩、细晶白云岩、鲕粒白云岩夹灰白色泥质白云岩及数层同生角砾状白云岩、叠层石白云岩,发育水平层理,含燧石结核、团块及少量条带,燧石团块中圈层明显,局部具缝合线构造,沿缝合面可见到红色铁锰质薄膜,属潮坪—局限台地相。娄山关组与上覆的温峡口组整合接触。

2.2 温峡口组

温峡口组为本次新建立的岩石地层单位,命名剖面位于湖北钟祥温峡口剖面,其名称来自于剖面

所在温峡口水库。温峡口组为娄山关组之上的地质体,为中—厚层泥晶灰岩、鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩为主的一套地层,以灰岩的出现与下伏娄山关组的粒屑白云岩、微晶白云岩的消失为底界识别标志,以黑色笔石页岩或黄绿色粉砂岩的出现为顶界识别标志(图4e,4f)。

在命名剖面上,该组下部为灰色中—厚层微晶灰岩、竹叶状灰岩,含丰富的腹足化石,中—上部为灰色中—厚层含生物碎屑的鲕粒灰岩、粉晶灰岩,未见页岩夹层,总厚度28.4 m。温峡口组在不同地方表现出不同的岩性组合,地层厚度也有差异(各剖面位置见图1b)。在京山惠亭山剖面,该组岩性特征与命名剖面相近,下部为竹叶状灰岩,上部为鲕粒

灰岩夹泥晶灰岩,总厚度约46 m.在东桥雷家冲剖面其总厚4.2 m的黑色厚层含生物碎屑粗晶灰岩,未夹其他岩性.在长寿镇史家湾剖面上为黑色厚层生物碎屑灰岩,单层厚可达1.3 m,总厚约4 m,生物碎屑主要为腕足类碎片,含量可达60%以上.在东桥镇邱家湾剖面上为黑色中层含砾屑细晶灰岩,砾屑含量约50%,总厚度仅0.7 m.而在汉江以西的杨坡杂岩区秦家冲剖面,该组为灰黑色中—厚层微晶灰岩、泥晶灰岩夹灰黑色中层鲕粒灰岩和竹叶状灰岩,总厚度约15 m.在京山石垵子剖面上以浅灰色中—薄层含生物碎屑灰岩、砂屑灰岩,可见平行层理,总厚度约30 m.在京山百人桥剖面为深灰色—灰色中—厚层砾屑—砂屑灰岩、生物碎屑灰岩,偶夹厚1~2 cm的黄绿色泥质页岩,总厚约13 m.总体上温峡口组沉积于台地边缘浅滩—浅水陆棚的环境.

湖北省地质局区域地质测量队(1977,1:20万钟祥幅、应城幅区域地质调查报告)将京山—钟祥地区的这套灰岩组合分别归入南津关组、分乡组、红花园组,随后在开展的1:25万随州幅区域地质调查中沿用了该划分方案,但在前人的剖面描述中,这3个组级地层单位的岩性描述总体以竹叶状灰岩、鲕粒灰岩为主,未有明显的岩性区分标志,难以应用到地质填图工作中,在地质图中亦难以表达.本次野外地质调查发现,新建立的温峡口组岩性组合与峡东地区地层序列有明显区别.峡东层型区南津关组下部为灰色中厚层灰岩、生物碎屑灰岩,中部为灰白色—灰黑色中—厚层白云岩,上部为深灰色含生物碎屑灰岩,总厚度达154 m,而分乡组为灰岩、生物碎屑灰岩夹黄绿色页岩,厚68 m,红花园组则主要为灰黑色—灰色中厚层—块状生物碎屑灰岩,常含有燧石结核和透镜体,一般厚30 m左右(湖北省地质矿产局,1996).温峡口组中不含白云岩,含有极少量或不含页岩,和峡东南津关组、分乡组及红花园组都有明显差别.此外,尽管温峡口组在各剖面上岩性不尽相同,但在单个剖面上岩性均一,且总体上厚度较小,详见上述,难以作进一步细分.根据我国及国际地层指南所倡导的岩石地层单位划分原则,“组”的划分应该以岩性特征和在地质填图中能否分开为依据(萨尔瓦多,2000).因此,有必要在该地区对该套地层新建地层单位.

2.3 钟祥组

钟祥组为本次新建立的岩石地层单位,其层型

剖面为前述温峡口剖面,其名称来自于温峡口水库所在的钟祥市.钟祥组定义为温峡口组灰岩组合之上的一套灰色—灰黑色笔石页岩,零星夹少许黄色薄层粉砂岩及少量生物碎屑灰岩透镜体,在灰黑色页岩中产丰富、保存完好的笔石化石,而在黄色粉砂质页岩内产丰富的腕足、三叶虫、海百合茎、头足类等生物化石,但多为化石碎片,总厚约15 m.该组以灰黑色页岩的出现为标志,并与下伏温峡口组顶部中—厚层生物碎屑灰岩相区分,以灰黑色中—厚层生物碎屑灰岩的出现与上覆大湾组相区分(图4d,4f).

钟祥组从岩性特征上与峡东地区典型的大湾组下段岩性区别非常明显.峡东大湾组下段为灰、灰绿色薄至中厚层状泥质瘤状生物碎屑灰岩夹黄绿—灰绿色泥岩;中部为紫红、暗红色生屑灰岩、泥灰岩;上部为灰、灰绿色薄至中厚层状泥质瘤状生物灰岩夹泥岩(湖北省地质矿产局,1996;汪啸风等,1996).因此,大湾组下段是以瘤状灰岩为主要岩性的地层单位,而钟祥组为笔石页岩层,两者在岩性组合上存在较大差异,为不同沉积环境下的产物.在生物面貌上,钟祥组笔石化石分异度和丰度均远高于峡区大湾组,某些层位呈现聚集式产出,笔石序列自下而上是以 *Acrograptus filiformis*/*Didymograptellus bifidus*、*Corymbograptus deflexus*、*Didymograptus nicholsoni planus* 等为代表,这个笔石群的两个笔石枝从老到新是从下垂式逐步演化成下斜式,然后再逐步演变成下曲式直至平伸式,这与早奥陶世笔石动物群的演化趋势是一致的.钟祥组的岩性和生物群特征明显不同于峡东大湾组下段,更接近于重庆城口及黔北的下奥陶统地层(张元动等,2007).1:20万钟祥、应城幅区域地质调查报告将这套页岩归入大湾组下段,但同时也指出“测区大湾组从岩性及古生物组合上,大湾组一名已不能适用于测区的这套地层,但为了不致使地层名称过于繁杂,我们仍沿用大湾组一名”.基于岩性和生物群上的差异,且在京山、钟祥一带广泛分布,具有普遍性,在地质图上也易于完整表达,因此笔者认为可以新建该岩石地层单位.

钟祥组在不同的剖面上岩性及厚度略有不同.在京山惠亭山剖面上,该组为暗灰—灰绿色笔石页岩,上部夹有一些灰色凸透镜状生物碎屑灰岩,总厚约29 m(湖北省地质局区域地质测量队,1977,1:20万钟祥幅、应城幅区域地质调查报告).在雷家

冲口剖面,该组为灰黑色页岩,出露厚度约 3 m,因受到强烈的构造片理化,未能反映真实的沉积厚度。在长寿史家湾剖面为灰黑色笔石页岩夹黑色薄层粉砂岩,总厚度约 8 m。在长寿邱家湾剖面上为黑色笔石页岩、泥岩,总厚度约 1.6 m。在钟祥以北的杨坡杂岩区,该组为灰绿色—黄绿色厚层泥质粉砂岩、粉砂岩,总厚度约 15 m。在京山石垵子剖面上为黄白色—黄绿色白云质页岩、泥质页岩夹灰岩透镜体,厚约 5 m。在京山百人桥剖面为黄绿色页岩,在中—上部可夹灰岩透镜体,厚约 11 m。钟祥组总体上沉积环境为深水陆棚—盆地。

2.4 大湾组

在长寿温峡口剖面、史家湾剖面、邱家湾剖面及京山惠亭山剖面,该组下部为灰绿色—灰黑色页岩与灰黑色中层生物碎屑灰岩互层,向上逐渐变为灰色中厚层生物碎屑灰岩。在雷口冲剖面 and 秦家冲剖面,大湾组伟灰色中—厚层生物碎屑灰岩。本区大湾组含有丰富的生物化石,类型有笔石、腕足、头足类、三叶虫等。厚 8.4~29.7 m。

3 生物化石组合

3.1 娄山关组

前人在娄山关组白云岩中获得牙形石 *Triangulous* sp., *Striaconus* cf. *sunanensis* (湖北省地质矿产局, 1996), 在燧石团块中含有腕足类化石 *Cypricardinia parallela*、腹足类 *Ecculiomphalus sinensis* (湖北省地质局区域地质测量队, 1977, 1:20 万钟祥幅、应城幅区域地质调查报告), 从而将其时代归为中寒武世—早奥陶世早期。

3.2 温峡口组

本次工作,自温峡口剖面第 4 层和第 5 层分离并鉴定出牙形石多分子器官属 *Acodus* cf. *A. triangularis*, 该分子是下奥陶统弗洛阶底部 *Serratognathus diversus* 带的共生分子 (Zhen et al., 2005), 位于 *Paroistodus proteus* 带之上, *Prioniodus honghuayuanensis* 之下, 层位大致相当于宜昌红花园组的中—上部 (李志宏等, 2010)。在第 5 层中鉴定出牙形石 *Scolopodus fangcunensis* (图 5), 该分子亦是 *Serratognathus diversus* 带的共生分子 (王成源, 1993)。遗憾的是, 本次在温峡口组底部未能获得牙形石分子, 限制了对温峡口组底层位的精确认定。

1:20 万钟祥、应城幅区域地质调查工作曾在惠亭山剖面温峡口组下部灰岩中发现三叶虫 *Szech-*

uanella sp., 在上部的鲕粒灰岩中发现头足类 *Manchuroceras* sp., *Coreanoceras* sp. 和 *Cameroceras* sp. (湖北省地质局区域地质测量队, 1977, 1:20 万钟祥幅、应城幅区域地质调查报告)。三叶虫属 *Szechuanella* 是扬子碳酸盐岩台地下奥陶统南津关组和分乡组中常见分子, 但更多的见于南津关组, 而头足类 *Manchuroceras*、*Coreanoceras*、*Cameroceras* 是红花园组的典型分子。因此, 本文将温峡口组的地质时代归于特马豆克期中—晚期至弗洛阶早期。

3.3 钟祥组

3.3.1 腕足类 钟祥组腕足类共计 4 属 6 种, 其中以 *Sinorthis typica* 和 *Sinorthis* cf. *typica* 占绝对优势, 伴生的其他分子有 *Orthis serica*, *Tarfaya intercalare*, *Tarfaya nanzhangensis*, “*Lingula*” sp. (图 6a, 6b, 6c)。*Sinorthis* 动物群的地理分布大致位于扬子台地, 地史分布一般限于下、中奥陶统笔石 *Acrograptus filiformis* 带至 *Azygograptus suecicus* 带, 在扬子北缘的重庆城口可延至 *Expansograptus hirundo* 带 (程金辉等, 2005)。正形贝目 *Tarfaya* 分别在贵州桐梓、沿河和四川长宁的 *Acrograptus filiformis* 带首现 (詹仁斌等, 2004), 在湖北宜昌陈家河则出现于 *Corymbograptus deflexus* 带 (詹仁斌和陈鹏飞, 2006)。

3.3.2 笔石类 钟祥组笔石化石保存完整, 具有较高的分异度和丰度。本次在钟祥组中采集到的笔石主要为下垂式到下斜式的对笔石类及叶笔石类, 共计 6 属 28 种 (详见剖面中列述, 典型化石可见图 6)。这些均是扬子碳酸盐台地弗洛阶的常见的笔石分子, 自下而上分为 *Didymograptellus bifidus* 带和 *Corymbograptus deflexus* 带, 在 *D. bifidus* 带的底部可见 *Acrograptus filiformis* 和 *D. protobifidus*。

带化石 *Didymograptellus bifidus* 在早奥陶世中期具有全球性分布。在我国主要产于贵州桐梓、遵义、湄潭, 湖北京山、南漳、重庆城口和江西玉山等地区, 常作为带化石 (穆恩之等, 2002; 王传尚和汪啸飞, 2007), 在国外如加拿大魁北克、纽芬兰、挪威及美国北部等地均有发现和报道 (Fortey and Cooper, 1982; Loydell, 2011)。 *Acrograptus filiformis* 常作为带化石出现在 *D. bifidus* 带之下, 为早奥陶世尖顶笔石类的代表, 在我国华南的江西玉山、贵州三都以及湖南祁东、益阳等地均有报道 (肖承协和陈洪冶, 1990; 穆恩之等, 2002; 李丽霞等, 2010; Li et al., 2012)。在温峡口剖面, *Acrograptus filiformis*



图5 温峡口剖面中典型牙形石化石(图片上线段比例尺长度为0.1 mm)

Fig. 5 Representative conodonts in Wenxiakou Section (scale bar: 0.1 mm)

1~5. *Trapezognathus diprion*. 1. Pa 分子侧视, W XK07/20; 2. Pb 分子侧视, W XK07/7; 3. Sb 分子侧视, W XK07/1; 4. M 分子侧视, W XK07/11; 5. Sc 分子侧视, W XK07/15. 6~10. *Baltoniodus* cf. *B. triangularis*. 6. Pb 分子侧视, W XK08/10; 7. Pb 分子侧视, W XK08/27; 8. Sc 分子侧视, W XK08/1; 9. Sc 分子侧视, W XK08/11; 10. M 分子侧视, W XK08/48. 11~16. *Acodus* cf. *A. triangularis*. 11. M 分子侧视, W XK04/26; 12. Sc 分子侧视, W XK05-38; 13. Pb 分子侧视, W XK05/41; 14. Sa 分子侧视, W XK05/21; 15. Pa 分子侧视, W XK04/5; 16. Pa 分子侧视, W XK04/3; 17. *Scolopodus fangcunensis*, Sc 分子侧视, W XK05/1

与 *D. bifidus* 同时始现于钟祥组底部,消失于距底界 2.1 m 处,其时限短于 *D. bifidus*.

Corymbograptus deflexus 是早奥陶世晚期重要的带化石,在我国扬子区和江南区均有丰富产出,如贵州遵义、桐梓、湄潭,重庆城口,江西玉山、浙江江山、常山等地(张元动等,2007).在温峡口剖面, *C. deflexus* 始现于钟祥组中部、距底界约 6.3 m 处,延伸至钟祥组顶部.

从温峡口剖面采集的笔石类型来分析,钟祥组时代应位于弗洛阶 *Didymograptellus bifidus* 带至 *Corymbograptus deflexus* 带内.

3.3.3 三叶虫 已采集的钟祥组中的三叶虫共计 4 属 6 种,分别是 *Yinpanolithus yinpanensis*, *Liomegalaspides hupeiensis*, *Taihungshania miqueli*, *T. shui*, *T. sp.*, *Pseudocalymene* cf. *cylindrica* (图 6d, 6e, 6f). *Taihungshania* 在中国主要分布于扬子陆块北缘的

房县、南漳、钟祥、京山等地的大湾组页岩中. *Yinpanolithus* 主要分布于中国四川省和湖北省(赖才根, 1982). *Yinpanolithus yinpanensis* 在湖北襄阳小观山、房县大红场、京山惠亭山均有发现,产出层位为大湾组下部页岩,而 *Liomegalaspides hupeiensis* 分布于湖北西部和中部,产出层位为大湾组下部页岩(湖北省地质局区域地质测量队,1977,1:20 万钟祥幅、应城幅区域地质调查报告).

3.4 大湾组

3.4.1 腕足类 在大湾组底部页岩中采集到腕足 *Diorthisasma striata*, *Euorthisina kobayashii*. 正形贝目的 *Euorthisina* 分别在贵州桐梓、沿河和四川长宁的 *Acrograptus filiformis* 带首现(詹仁斌等,2004),腕足类属 *Euorthisina* 是深水环境的分子,常指示潮下带的沉积环境(程金辉等,2005).除此之外,前人还报道了大湾组中还产有 *Sinorthis* sp., *Tritoechia*

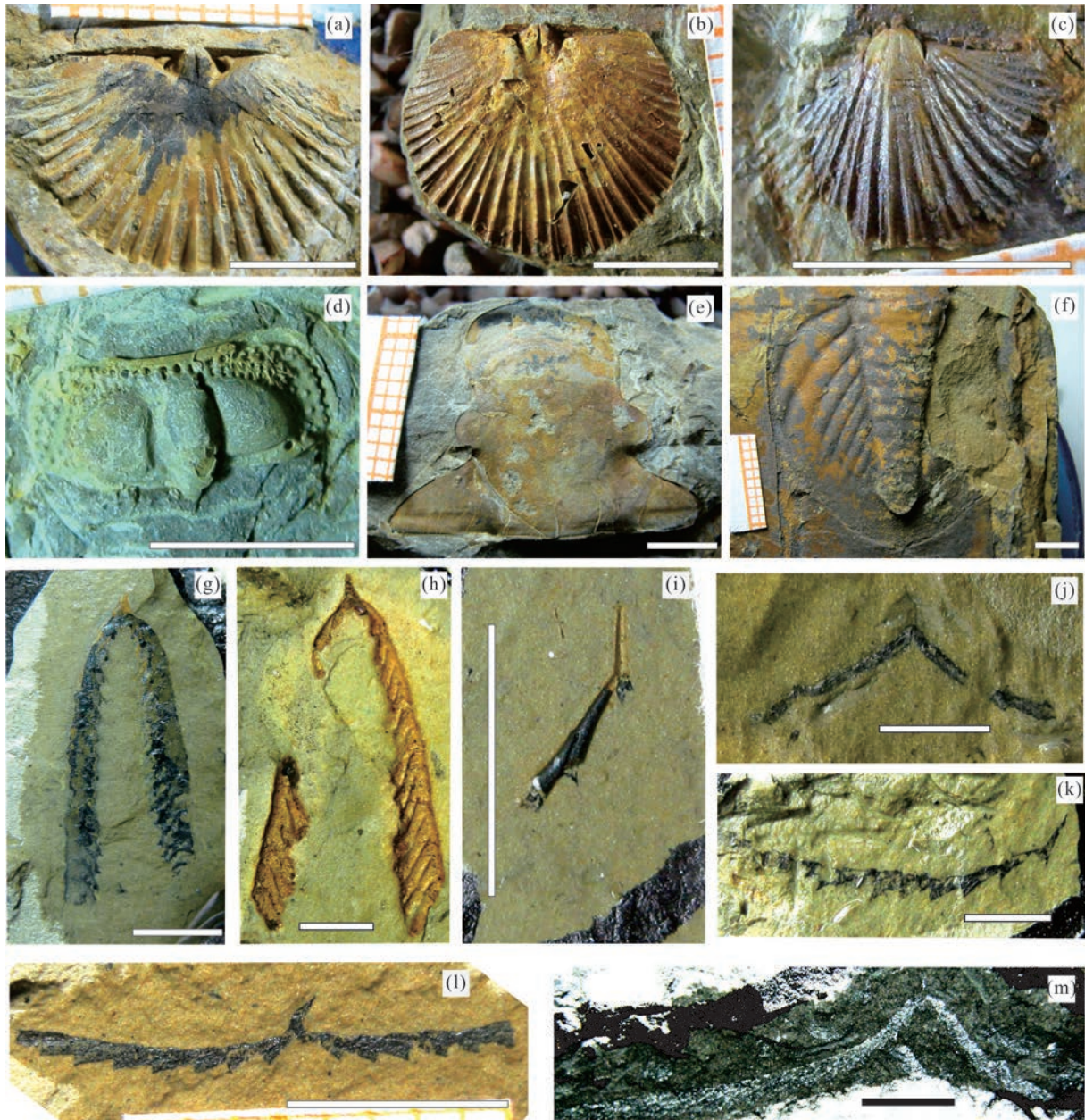


图6 温峡口剖面钟祥组典型化石照片(图片上线段比例尺长度为5 mm)

Fig.6 Photographs of typical fossils of Zhongxiang Formation in Wenxiakou Section(scale bar:5 mm)

a. *Orthis serica*, 背内膜, ZB-1; b. *Sinorthis typica*, 背内膜, ZB-26; c. *Diorthelasma striata*, 腹内膜, ZB-31; d. *Yinpanolithus yinpanensis*, ZT-1; e. *Liomegalaspides hupeiensis*, ZT-4; f. *Taihungshania Shui*, ZT-14; g. *Didymograptellus bifidus*, ZG-91; h. *D. minutus*, ZG57; i. *Azygograptus suecicus*, ZG-172; j. *A. filiformis*, ZG-98; k. *A. undulatus*, ZG177; l. *D. nicholsoni planus*, ZG-112; m. *Corymbograptus deflexus*, ZG-164

sp., *Yangtzella* sp. (湖北省地质局区域地质测量队, 1977, 1:20万钟祥幅、应城幅区域地质调查报告).

3.4.2 笔石类 大湾组下部页岩中见断笔石属和吉首笔石属, 共计4种, 包括断笔石 *Azygograptus suecicus*, *A. undulates*, *A. eivionicus*, *Jishougraptus mui*, 对笔石及叶笔石未见延伸到大湾组中. *Azygograptus suecicus* 是扬子中一下奥陶统重要的笔石

分子, 常作为带化石 (Wang *et al.*, 2019b), 中奥陶统底界标准分子牙形石 *Baltoniodus triangularis* 首现于 *Azygograptus suecicus* 带中部 (汪啸风等, 2005). *Jishougraptus mui* 可见于湖南西部和安徽胡乐地区下奥陶统中 (葛梅钰, 1988; Wang *et al.*, 2019a). 尽管大湾组底部笔石的分异度较钟祥组有明显降低, 但是可以见到一些笔石呈聚集式保存的标本, 显示

化石丰度有所提高。

3.4.3 牙形石 在大湾组的生屑灰岩(温峡口剖面第7层与8层底部)分别获得牙形石 *Trapezognathus diprion* 和 *Baltoniodus* cf. *B. triangularis* (图5)。这两类牙形石广泛分布于扬子碳酸盐台地大湾组下段地层中。在宜昌黄花场剖面, *Trapezognathus diprion* 始现于 *T. diprion* 带, 经 *Baltoniodus* cf. *B. triangularis* 带延伸至 *B. triangularis* 带, *Baltoniodus* cf. *B. triangularis* 始于 *Baltoniodus* cf. *B. triangularis* 带, 延伸至 *B. triangularis* 带内 (Wang et al., 2009; 李志宏等, 2010)。遗憾的是, 在大湾组生物碎屑灰岩中暂未见中奥陶统大坪阶底界标准带化石 *Baltoniodus triangularis*, 未能识别出温峡口剖面中一下奥陶系界线的精确位置, 系统的牙形石生物地层学研究有待于进一步开展。

4 地层区域对比

4.1 与峡东地区对比

峡东是我国奥陶系研究的经典地区, 研究程度较高。早奥陶世沉积了一套以碳酸盐岩为主的地层, 自下而上分为南津关组、分乡组、红花园组, 其上出现的大湾组为碳酸盐岩与碎屑岩交互且含有丰富笔石的地层(骆天天和张元动, 2008; 牛志军等, 2017)。以黄花场剖面为例, 娄山关组为灰白色—灰黑色厚层—块状白云岩、硅质白云岩夹少量同生角砾岩和页岩, 含燧石结核或燧石条带, 这与钟祥、京山地区娄山关组岩性特征一致。如前所述, 峡东南津关组下段为生物碎屑灰岩、砂砾屑灰岩、灰岩, 中段为白云岩, 上段为鲕粒灰岩、含生物碎屑粗晶灰岩, 厚 60~160 m, 属局限台地—台地边缘相, 产三叶虫 *Szechuanella* sp.、*Dactylocephalus dactyloides*、*Asaphopsis immanis* 和腕足类 *Tritoechia* sp.。分乡组为深灰色生物碎屑灰岩夹黄色、黄绿色页岩, 含三叶虫、腕足类, 厚 30~60 m, 属台地边缘相, 产腕足类 *Tritoechia nucronata*、*T. orbiculata*、*T. recta* 和笔石 *Acanthograptus* sp. 等。红花园组以深灰色至灰黑色厚层状灰岩及生物碎屑粗晶灰岩, 厚 20~40 m, 属开阔台地相, 产头足 *Manchuroceras* sp.、*Coreanoceras* sp. 和 *Cameroceras* sp. 及腕足 *Nanorthis* sp. 等。而大湾组下段为灰—灰绿色薄至中层状泥质瘤状灰岩夹黄绿、灰绿色页岩, 厚 60~90 m, 属台地边缘—盆地边缘相, 产笔石 *Didymograptus bifidus*、*Corymbograptus deflexus*、*Azygograptus sue-*

cicus 和腕足 *Sinorthis typica*、*Diothelasma striata*、*Yangtzeella poloi* 等(赖才根, 1982; 汪啸风等, 1987)。

如前所述, 前人在惠亭山剖面温峡口组中发现三叶虫 *Szechuanella* sp. 和头足类 *Manchuroceras* sp.、*Coreanoceras* sp. 和 *Cameroceras* sp. (湖北省地质矿产局, 1996), 表明在地层层位上, 温峡口组可能相当于峡东南津关组的一部分、分乡组及红花园组一部分之和, 其顶界位于 *Didymograptellus bifidus* 带之下。因此, 新建的温峡口组可以与南津关组、分乡组和红花园组进行对比, 但在岩性组成上区别明显。温峡口组中的砂砾屑灰岩可与南津关组下段进行对比, 鲕粒灰岩可与南津关组上段进行部分对比, 但温峡口组中发育风暴沉积的竹叶状灰岩及不含白云岩, 且总体厚度远薄于南津关组, 两者易于区分。分乡组与温峡口组的区别在于后者不含或含少量页岩。红花园组中生物碎屑含量高, 多为粗晶灰岩, 与温峡口组岩貌迥然不同。因在温峡口组底部暂未获得牙形石, 对其底部层位未能精确厘定。基于温峡口组的地层厚度远小于峡东南津关组、分乡组和红花园组之和, 其沉积时间可能较短, 推测调查区温峡口组开始沉积时间应晚于南津关组开始沉积时间。

大湾组下段与新建的钟祥组的形成时代相近, 但是前者是以灰岩为主的地层, 而后者为笔石页岩相地层, 灰岩成分较少, 仅夹一些灰岩团块, 且钟祥组化石丰度和分异度远高于峡东大湾组下段。在地层层位上, 黄花场剖面大湾组下段曾被分为 *Corymbograptus deflexus* 和 *Azygograptus suecicus* 两个笔石带(汪啸风等, 1987; Wang et al., 1992), 随后在 *Corymbograptus deflexus* 带之下黄绿色页岩中发现 *Didymograptellus bifidus*, 从而将黄花场剖面修改为 *D. bifidus* 带和 *A. suecicus* 带(汪啸风等, 2005)。笔者在钟祥组底部页岩中发现大量保存完美的 *D. bifidus*, 同时与其伴生的还有 *Didymograptus prohibidus* 和 *Acrograptus filiformis*, 这两类笔石在江西玉山的宁国组作为带化石出现在 *D. bifidus* 带之下(陈旭和杨达铨, 1988; 肖承协和陈洪冶, 1990), 表明钟祥组的底界可能比黄花场大湾组底界稍低, 似应包含红花园组上部的相变(图7), 而与宜昌陈家河剖面大湾组底界相当(骆天天和张元动, 2008)。钟祥组的顶界应置于峡东大湾组 *Azygograptus suecicus* 带之底。

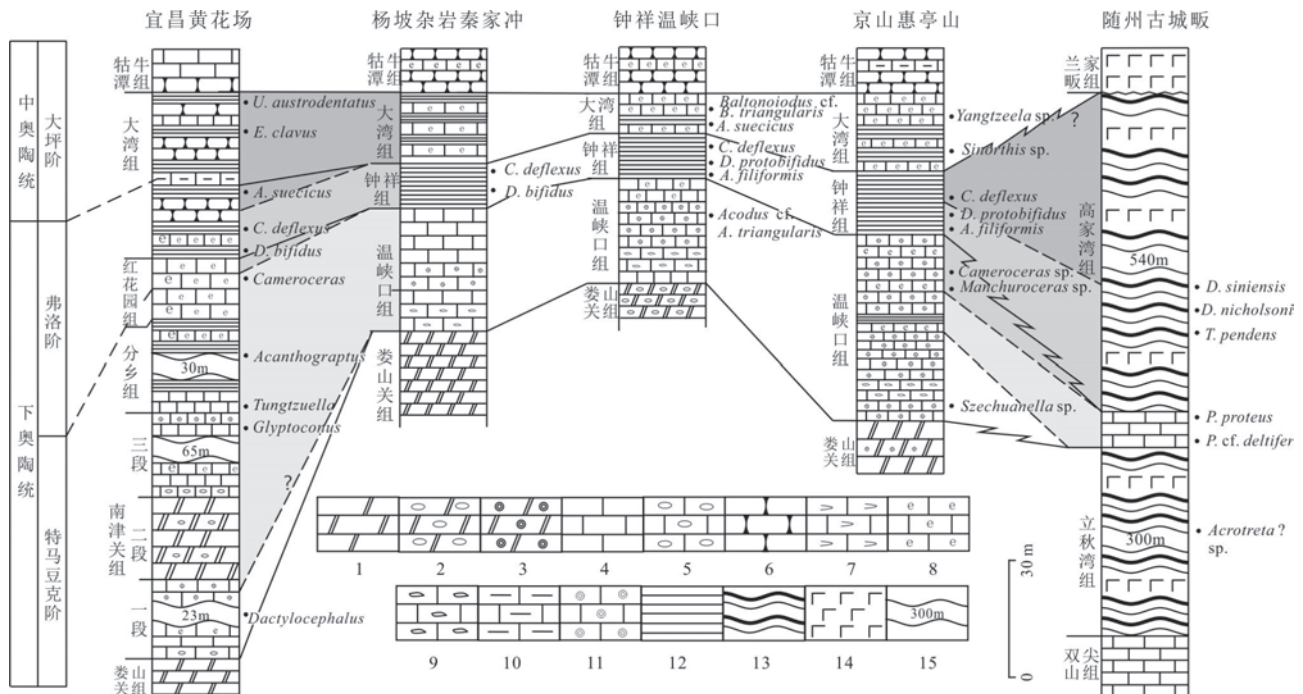


图 7 湖北钟祥—京山及相邻地区下奥陶统层位对比

Fig. 7 Correlation of the Lower Ordovician in Zhongxiang-Jingshan and their adjacent areas

1. 白云岩; 2. 砾屑白云岩; 3. 鲕粒白云岩; 4. 灰岩; 5. 砾屑灰岩; 6. 瘤状灰岩; 7. 龟裂纹灰岩; 8. 生物碎屑灰岩; 9. 竹叶状灰岩; 10. 泥质灰岩; 11. 鲕粒灰岩; 12. 页岩; 13. 板岩; 14. 玄武岩; 15. 地层厚度压缩量. 实线代表岩石地层单位对比, 虚线代表年代地层对比, 折线代表岩性相变, 问号代表存疑

4.2 与随南地区对比

温峡口组和钟祥组分布于襄樊—广济断裂带的南侧, 为扬子碳酸盐台地的岩石地层, 而位于襄广断裂带北侧的同时期地层单位为古城畷群 (图 1). “古城畷群” 一名为湖北省区调所 1982 年建立, 自下而上分为中—上寒武统立秋湾组和下奥陶统高家湾组 (湖北省地质矿产局, 1996; 桂建斌和杨道政, 1989). 这两个岩石地层单位岩性特征基本一致, 为浅灰色、灰绿色粉砂质、泥质、钙质板岩、千枚岩、千枚状钙质板岩夹少量夹变玄武岩、灰岩透镜体, 为火山—沉积背景下的一套细碎屑岩系 (湖北省地质矿产局, 1996). 这套岩系反映出大规模的边缘海的海底张裂, 在随南以大陆边缘裂陷槽为特征 (杨振强等, 1994). 在古城畷剖面, 高家湾组的底部为深灰色薄—中厚层状结晶灰岩夹钙质板岩及少量变质白云岩, 产牙形石化石, 厚度约 29.4 m, 其上为一套变质细碎屑岩系夹少量变玄武岩、灰岩透镜体, 厚度可达 581.4 m. 桂建斌和杨道政 (1989) 从高家湾组底部灰岩中分离并鉴定出牙形石有 18 属 26 种, 这些牙形石可以与三峡地区分乡组上部 and 红花园组下部的牙形石化石带对

比, 相当于国际上北大西洋牙形石分区中的特马豆克阶上部的 *Paltodus deltifer* 带至 *Paroistodus proteus* 带. 倪世钊 (1992) 在深灰色绢云母板岩中发现丰富的笔石及三叶虫、腕足类等, 这批化石的产出层位为弗洛阶 *T. fruticosus*—*D. protobifidus* 带内, 可与峡东红花园组上部层位对比.

因此, 温峡口组和钟祥组的形成时代分别与高家湾组下部的灰岩和中—上部的绢云板岩的形成时代相近, 可以进行对比. 温峡口组与高家湾组灰岩特征区分明显, 后者灰岩结晶程度好, 几乎未见宏体化石. 钟祥组与高家湾组主体岩性尽管均为细碎屑岩系, 但高家湾组均发生了浅变质, 并含大量玄武岩. 在地层层位上, 来自牙形石组合的证据表明高家湾组下部灰岩层位位于温峡口组内, 可以与峡东分乡组上部至红花园组下部进行对比, 高家湾组内所含笔石层位对应于或略低于钟祥组底部, 可与峡东红花园组上部进行对比 (图 7). 因在高家湾组中亦未发现任何中、上奥陶统化石记录, 因此高家湾组的顶界与钟祥组的对比关系并未明确.

5 结论

(1)建议于京山—钟祥地区新建温峡口组和钟祥组.温峡口组以竹叶状灰岩、鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩为主,属台地边缘浅滩—浅水陆棚相,产腹足类、腕足类、头足类化石,时代为特马豆克期中—晚期至弗洛期早期.钟祥组为灰色—灰黑色笔石页岩夹薄层粉砂岩及少量生物碎屑灰岩透镜体,产丰富的腕足、三叶虫、海百合茎、笔石、头足类等生物化石,沉积于深水陆棚区,地质时代为早奥陶世弗洛期.

(2)在区域地层对比上,温峡口组相当于峡东南津关组、分乡组、红花园组之和,亦可与随南高家湾组底部灰岩对比.钟祥组与峡东大湾组下段下部及随南高家湾组中—上部千枚岩进行对比.

致谢:本文是在1:5万长寿、钟祥、东桥区域地质调查的基础上完成的,参与野外化石采集的还有冯超、黄斌、胡元璋、李家旺等.武汉地质调查中心牛志军研究员亲临野外一线指导并在文稿写作过程中给予热情帮助.汪啸风研究员、王传尚研究员及德国柏林自由大学Jörg Maletz教授对笔石化石鉴定进行了检验和修订.成都地质调查中心黄金元鉴定、审核牙形石化石.在此一并表示衷心地感谢!

References

Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province, 1996. Stratigraphy (Lithostratic) of Hubei Province. China University of Geosciences Press, Wuhan, 81—101(in Chinese).

Chen, X., Rong, J. Y., Wang, X. F., et al., 1995. Correlation of the Ordovician Rocks of China: Charts and Explanatory Notes. International Union of Geological Sciences Publication, Trondheim, Norway.

Chen, X., Yang, D. Q., 1988. Early Ordovician Graptolite Faunal Differentiation and Correlation Based on the Material from Yushan, NE Jiangxi. *Journal of Stratigraphy*, 2: 112—114(in Chinese with English abstract).

Cheng, J. H., Rong, J. Y., Zhan, R. B., 2005. Brachiopods from Late Early Ordovician to Early Middle Ordovician in the Upper Yangtze Region of South China. In: Chinese Paleontological Society, ed., Summary of Academic Papers of the Ninth National Congress and the 23rd Annual Academic Conference of the Chinese Paleontological Society. Chinese Paleontological Society, Nanjing, 224 (in Chinese).

Fortey, R. A., Cooper, R. A., 1982. The Ordovician Graptolites of Spitsbergen. *Bulletin of the Natural History Museum Geology*, 36: 157—302.

Ge, M. Y., 1988. New Material of Azygograptidae and Its Significance. *Acta Palaeontologica Sinica*, 27(2): 72—145 (in Chinese with English abstract).

Gui, J. B., Yang, D. Z., 1989. Further Study of “Guchengfan Group” within Southern Suizhou City of Hubei Province. *Resources Environment & Engineering*, 3(1): 9—16(in Chinese with English abstract).

He, W. H., Tang, T. T., Yue, M. L., et al., 2014. Sedimentary and Tectonic Evolution of Nanhuan-Permian in South China. *Earth Science*, 39(8): 929—953(in Chinese with English abstract).

Lai, C. G., 1982. Stratigraphy of China 5: Ordovician. Geological Publishing House, Beijing(in Chinese).

Li, L. X., Feng, H. Z., Wang, W. H., et al., 2012. Proximal Development, Systematic Taxonomy, and Dispersal Pattern of the Early-Middle Ordovician Graptolite *Acrograptus* from South China. *Science China Earth Sciences*, 55(7): 1110—1122. <https://doi.org/10.1007/s11430-012-4436-x>

Li, L. X., Feng, H. Z., Wang, W. H., 2010. Floian (Lower Ordovician) Graptolites from the Yiyang Area, Hunan Province. *Acta Palaeontologica Sinica*, 49(2): 174—195 (in Chinese with English abstract).

Li, Z. H., Stouge, S., Chen, X. H., et al., 2010. Precisely Compartmentalized and Correlated Lower Ordovician *Oepikodus evae* Zone of the Floian in the Huanghuachang Section, Yichang, Hubei Province. *Acta Palaeontologica Sinica*, 49(1): 108—124(in Chinese with English abstract).

Loydell, D. K., 2011. Graptolite Biozone Correlation Charts. *Geological Magazine*, 149(1): 124—132. <https://doi.org/10.1017/s0016756811000513>

Luo, T. T., Zhang, Y. D., 2008. Graptolite Biostratigraphy of the Ordovician Dawan Formation in the Yichang and Nanzhang Area, Hubei Province. *Journal of Stratigraphy*, 32(3): 253—264 (in Chinese with English abstract).

Maletz, J., Rushton, A. W. A., Lindholm, K., 1991. A New Early Ordovician Didymograptid, and Its Bearing on the Correlation of the Skiddaw Group of England with the Tøyen Shale of Scandinavia. *Geological Magazine*, 128(4): 335—343. <https://doi.org/10.1017/s001675680001760x>

Mu, E. Z., Li, J. J., Ge, M. Y., et al., 2002. Graptolites of China. China Science Publishing, Beijing, 252—256(in Chinese).

Ni, S. Z., 1992. Discovery and Geological Significance of Grap-

- tolites from the Guchengfan Group in Hubei Province. *Geology in China*, 19(5): 32–34 (in Chinese with English abstract).
- Niu, Z.J., Peng, L.H., Long, W.G., et al., 2017. An Introduction to Regional Geology in Central and South China. China University of Geosciences Press, Wuhan, 14–22 (in Chinese).
- Salvador, A., 2000. A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology and Procedure (Second Edition). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, C.S., Wang, X.F., 2007. On Classification of *Didymograptellus bifidus* and Related Species. In: Chinese Paleontological Society, ed., Summary of Papers of the 24th Annual Academic Conference of the Chinese Paleontological Society. Chinese Paleontological Society, Pingyi, 13 (in Chinese).
- Wang, C.Y., 1993. Conodont Biostratigraphic and Organic Metamorphic Maturity Index in Lower Yangtze Area. Science Press, Beijing, 180–182 (in Chinese).
- Wang, W.H., Tang, P., Chen, W.J., et al., 2019a. Integrated Lower–Middle Ordovician Graptolite and Chitinozoan Biostratigraphy of the Jiangnan Slope Region, South China. *Palaeoworld*, 28(1–2): 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2018.06.001>
- Wang, W.H., Zhang, L.N., Liu, H., et al., 2019b. The Early–Middle Ordovician Graptolite Genus *Azygograptus* in South China: New Material and Paleogeographic Implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 533: 109264. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109264>
- Wang, X.F., 2016. Ordovician Tectonic–Paleogeography in South China and Chrono- and Bio-Stratigraphic Division and Correlation. *Earth Science Frontiers*, 23(6): 253–267 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X.F., Stouge, S., Chen, X.H., et al., 2005. Advances on the Potential GSSP for the Base of Middle Ordovician Series: Huanghuachang Section. *Journal of Stratigraphy*, 29(B11): 467–489, i0003–i0008 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X.F., Chen, X., Chen, X.H., et al., 1996. Stratigraphic Lexicon of China: The Ordovician System. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, X.F., Chen, X.H., Erdtmann, B.D., et al., 1992. Ordovician Chronostratigraphy: A Chinese Approach. In: Webby, B.D., Lauries, J.R., eds., Global Perspectives on Ordovician Geology. Proceedings of the Sixth International Symposium on the Ordovician System, Sydney.
- Wang, X.F., Ni, S.Z., Zeng, Q.L., et al., 1987. Biostratigraphy of the Yangtze Gorge Area (2): Early Palaeozoic Era. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, X.F., Stouge, S., Chen, X.H., et al., 2009. The Global Stratotype Section and Point for the Base of the Middle Ordovician Series and the Third Stage (Dapingian). *Episodes*, 32(2): 96–113.
- Xiao, C.X., Chen, H.Z., 1990. Some Graptolite Faunas of the Lower and Middle Ordovician from Gucheng Area, Yushan. *Jiangxi Geology*, 2: 83–243 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Z.Q., Yang, D.L., Jiang, D.H., 1994. Evolution of the Early Palaeozoic Sedimentary Basin in the Suixian–Yingshan Region on Northeastern Margin of the Yangtze Plate. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, (5): 34–44 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Q.L., Yuan, C.L., Guo, Z.M., et al., 1992. Basic Geological Research in Sanya Area, Hainan. China University of Geosciences Press Co., Ltd., Wuhan (in Chinese).
- Zhan, R.B., Chen, P.F., 2006. Diversity Change of Brachiopods from the Dawan Formation (Arenig, Lower to Middle Ordovician) at Chenjiahe, Yichang, Western Hubei Province. *Acta Paleontologica Sinica*, 45(1): 21–31 (in Chinese with English abstract).
- Zhan, R.B., Jin, J.S., Liu, J.B., 2013. Investigation on the Great Ordovician Biodiversification Event (GOBE): Review and Prospect. *Chinese Science Bulletin*, 58(33): 3357–3371 (in Chinese).
- Zhan, R.B., Rong, J.Y., Cheng, J.H., et al., 2004. Early–Middle Ordovician Brachiopod Diversification in South China. *Science China Earth Sciences*, 34(10): 896–907 (in Chinese).
- Zhang, Y.D., Liu, X., Zhan, R.B., 2007. Early and Middle Ordovician Graptolites from the Meitan Formation in Zunyi, Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 46(2): 145–166 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y.D., Zhan, R.B., Fan, J.X., et al., 2010. Principal Aspects of the Ordovician Biotic Radiation. *Science China Earth Sciences*, 53(3): 382–394. <https://doi.org/10.1007/s11430-009-0191-z>
- Zhen, Y.Y., Liu, J.B., Percival, I.G., 2005. Revision of Two Prionodontid Species (Conodonta) from the Early Ordovician Honghuayuan Formation of Guizhou, South China. *Records of the Australian Museum*, 57(2): 303–320. <https://doi.org/10.3853/j.0067-1975.57.2005.1448>

附中文参考文献

陈旭, 杨达铨, 1988. 江西玉山早奥陶世笔石动物群的分带及

- 分异. 地层学杂志, (2): 112—124.
- 程金辉, 戎嘉余, 詹仁斌, 2005. 华南上扬子区早奥陶世晚期—中奥陶世早期的腕足动物. 见: 中国古生物学会, 编, 第九届全国会员代表大会暨中国古生物学会第二十三次学术年会学术论文摘要集. 南京: 中国古生物学会. 224.
- 葛梅钰, 1988. 断笔石科的新材料及其意义. 古生物学报, 27(2): 72—145.
- 桂建斌, 杨道政, 1989. 湖北省随州市南部“古城畷群”的再研究. 资源环境与工程, 3(1): 9—16.
- 何卫红, 唐婷婷, 乐明亮, 等, 2014. 华南南华纪—二叠纪沉积大地构造演化. 地球科学, 39(8): 929—953.
- 湖北省地质矿产局, 1996. 湖北省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 81—101.
- 赖才根, 1982. 中国地层 5: 中国的奥陶系. 北京: 地质出版社.
- 李丽霞, 冯洪真, 王文卉, 2010. 湖南益阳早奥陶世弗洛期的笔石. 古生物学报, 49(2): 174—195.
- 李志宏, Stouge, S., 陈孝红, 等, 2010. 湖北宜昌黄花场下奥陶统弗洛阶 *Oepikodus evae* 带精细地层划分对比. 古生物学报, 49(1): 108—124.
- 骆天天, 张元动, 2008. 湖北宜昌和南漳奥陶系大湾组笔石生物地层. 地层学杂志, 32(3): 253—264.
- 穆恩之, 李积金, 葛梅钰, 等, 2002. 中国笔石. 北京: 科学出版社, 252—256.
- 倪世钊, 1992. 湖北古城畷群笔石的发现及其地质意义. 中国地质, 19(5): 32—34.
- 牛志军, 彭练红, 龙文国, 等, 2017. 中南地区区域地质概论. 武汉: 中国地质大学出版社, 14—22.
- 萨尔瓦多, 2000. 国际地层指南: 地层分类、术语和程序(第二版). 北京: 地质出版社.
- 汪啸风, 2016. 中国南方奥陶纪构造古地理及年代与生物地层的划分与对比. 地学前缘, 23(6): 253—267.
- 汪啸风, Stouge, S., 陈孝红, 等, 2005. 全球下奥陶统—中奥陶统界线层型候选剖面: 宜昌黄花场剖面研究新进展. 地层学杂志, 29(B11): 467—489.
- 汪啸风, 陈旭, 陈孝红, 等, 1996. 中国地层典: 奥陶系. 北京: 地质出版社.
- 汪啸风, 倪世钊, 曾庆銮, 等, 1987. 长江三峡地区生物地层学(2): 早古生代分册. 北京: 地质出版社.
- 王成源, 1993. 下扬子地区牙形刺—生物地层与有机变质成熟度的指标. 北京: 北京大学出版社, 180—182.
- 王传尚, 汪啸风, 2007. 论笔石 *Didymograptellus bifidus* 及相关种的分类. 见: 中国古生物学会, 编, 中国古生物学会第24届学术年会论文摘要集. 平邑: 中国古生物学会. 13.
- 肖承协, 陈洪治, 1990. 玉山古城一带早中奥陶世笔石动物群. 江西地质, 2: 83—243.
- 杨振强, 杨德骊, 蒋德和, 1994. 扬子板块东北缘的随县—应山地区早古生代沉积盆地演化. 岩相古地理, 14(5): 34—44.
- 曾庆銮, 袁春林, 郭真民, 等, 1992. 海南三亚地区基础地质研究. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 詹仁斌, 陈朋飞, 2006. 湖北宜昌陈家河下一中奥陶统大湾组腕足动物多样性演变. 古生物学报, 45(1): 21—31.
- 詹仁斌, 靳吉锁, 刘建波, 2013. 奥陶纪生物大辐射研究: 回顾与展望. 科学通报, 58(33): 3357—3371.
- 詹仁斌, 戎嘉余, 程金辉, 等, 2004. 华南早、中奥陶世腕足动物多样性初探. 中国科学(D辑), 34(10): 896—907.
- 张元动, 刘晓, 詹仁斌, 2007. 贵州遵义高桥奥陶系湄潭组下部的笔石. 古生物学报, 46(2): 145—166.