

全球寒武系第4阶国际层型剖面及点位(GSSP)研究的进展

赵元龙¹, 尹磊明², 郭庆军³, 袁金良², 杨兴莲¹, 伍孟银⁴, 王立亭⁵
杨威⁶, 兰天¹, 陈争鹏¹, 刘雄¹, 陈圣光¹, 罗雪¹

(1. 贵州大学, 贵阳 550025; 2. 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008;
3. 中国科学院地理科学与环境研究所, 北京 100001; 4. 贵阳学院, 贵阳 550005;
5. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵阳 550004; 6. 贵州理工学院, 贵阳 550004)

[摘要] 赵元龙研究团队以贵州剑河交榜把榔组剖面为依据, 结合其下变马冲组及其上“清虚洞组”于2010年起进行了长达10多年的寒武系第4阶地层、层序地层、碳硫同位素等学科的研究, 取得了明显的进展, 建立了3个三叶虫带及1个三叶虫层位、2个疑源类组合带, 初步确定首现于把榔组底部的 *Oryctocarella duyunensis* 为第4阶首现三叶虫。疑源类、碳硫同位素等变化曲线与此基本一致。并与北格林兰 Henson Gletscher 地层进行了对比, 将视剑河交榜把榔组剖面为潜在的寒武系第4阶国际层型剖面及点位(GSSP), 将继续进行深入研究。

[关键词] 寒武系第4阶; 国际层型剖面; 交榜把榔组; 首现三叶虫 *Oryctocarella duyunensis*; 贵州剑河
[中图分类号] P52; P53; P534.41 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2021)04-0351-08

表1 国际寒武系年代地层划分表

Table 1 International chronostratigraphic scale in Cambrian

1 前言

赵元龙研究团队研究的寒武系苗岭统(第3统)及乌溜阶(第5阶)已被联合国地科联全票通过批准落户在我国贵州剑河八郎(彭善池、赵元龙, 2018; Zhao et al., 2019a)成为寒武系第6颗金钉子, 中国第11颗金钉子、贵州第1颗金钉子, 并使中国仍是保持金钉子最多的国家(彭善池、赵元龙, 2018)。从此, 各国地质学家以苗岭统及乌溜阶为标准, 进行寒武系同期地层的划分及对比, 反映了中国地质年代学研究的高水平, 产生了重要的科技及政治意义。年代地层研究较滞后的4统10阶的寒武系, 还有第2、第3、第4及第10阶需研究并建立标准层型剖面及点位(即金钉子)(表1)。在彭善池研究团队高水平研究下, 第10阶的研究已接近建立国际层型剖面及点位, 所提出的

寒武系	芙蓉统	第十阶	
		江山阶	👉
		排碧阶	👉
	苗岭统	古丈阶	👉
		鼓山阶	👉
		乌溜阶	👉
	第二统	第四阶	
		第三阶	
	纽芬兰统	第二阶	
		幸运阶	👉

[收稿日期] 2021-05-19 [修回日期] 2021-09-15

[基金项目] 国家自然科学基金(编号:41330101, 41772021)、国家重大基础研究项目(2015FY310100)、中国地质调查局调查项目(DD201601206)、黔科合支持[2020]4Y241。

[作者简介] 赵元龙(1937—), 男, 二级教授, 主要从事古生物学及地层学研究工, E-mail: zhaoyuanlong@126.com。

第10阶首现三叶虫球结子 *Lotagnostus americanus* (Billings, 1860) 具有可靠性和实用性 (Peng et al., 2015; 朱茂炎等, 2019)。彭善池还很好的完成了潜在的第10阶金钉子剖面—我国湖南桃源县瓦尔冈剖面的地层划分序地层、碳硫同位素等学科的研究。研究居于国际领先水平, 优于美国 Miller 等人的方案。

第2、第3、第4阶的研究, 即传统的下寒武统划分一直困扰着学术界 (朱茂炎等, 2019)。一些学者仍认可俄罗斯的4分方案, 但其划分不符合界线地层定义 (Zhu et al., 2008; 朱茂炎等, 2019)。许多学者纷纷研究单一的第2阶 (Zhu et al., 1997; Rogov et al., 2015)、第3阶 (Babcock et al., 2005; Alvaro et al., 2014; Zhang et al., 2017)、第4阶 (Hollingsworth and Babcock, 2011; Yuan et al., 2011, 2014, 2015; Peng et al., 2018; Zhao et al., 2017, 2019b)。其中, 中国、美国、俄罗斯等国的学者进行了第4阶务实的研究。

彭善池等 (1999, 2000, 2010) 曾对中国, 特别是华南地区地层点位提出了很好的建议, 在华南地区建立4统10阶的年代地层系统, 为近代中国地区年代地层构架标准打下基础。中国第4阶与都匀阶有密切的关系, 彭善池于2000年提出的中国可在寒武系斜坡区建都匀阶, 属于黔东统 (彭善池, 2000)。

2 研究历史及现状

2010年前, 张文堂、周志毅、彭善池、林元瑞、项礼文、袁金良、彭进等都曾对与第4阶有密切关系的都匀阶或杷榔组岩石地层进行了广泛的研究, 进行了三叶虫地层划分 (张文堂, 1979, 1980; 周志毅等, 1979, 1980; 袁金良等, 2002; Yuan et al., 2001, 2002; 彭进等, 2009, 2010)。尽管所建立的三叶虫带一直未被公认, 但为研究都匀阶及后来第4阶的研究提供了资料。2005年后, 随着寒武系4统10阶的划分得到公认。第4阶的研究得到更多重视, 特别是彭善池等 (2015, 2018) 对杷榔组节头虫 (类) *Arithricocephalus chauveaui* 进行了清理, 确认 Bergeron 命名的 *Arithricocephalus chauveaui* 的手标本共有3个不同的种, 分别属于3个不同的属。彭善池等认为 *Arithricocephalus chauveaui* 选模是错误的, 而应该是 *Oryctocerella du-*

yunensis。彭善池等还认 *Arithricocephalus* (*Arithricocephalites*) Chien et Lin in Lu et al., (卢衍豪等, 1974), 1974, *Halipanktes Blaker et Peel*, 1997, *Arithricocephalites* Chien et Lin in Sensu Yuan et al., 2002; 袁金良等, 2002 是 *Arithricocephalus* 的晚出异名。他对 *Arithricocephalus* 的清理不仅更正了 *Arithricocephalus* 的分类系统。而且为研究第4阶铺平了三叶虫的分类基础。

一些三叶虫研究者尽管提出都匀阶三叶虫划, 但因缺乏地层划分依据, 再加上当时节头虫分类错误, 使得整个都匀阶及第4阶的三叶虫带的划分长期处于混乱状态。直到近期, 赵元龙研究团队进行了交榜杷榔组及松山“清虚洞”组详细的研究, 与彭善池、袁金良讨论都匀阶及第4阶三叶虫地层划分取得良好的成果。可分为3个掘头虫三叶虫带组合 (Zhao et al., 2017, 2019b) 及3个莱得利基虫带 (陈争鹏等, 2018)。近期, 朱茂炎等就第4阶的划分提出很好的见解, 首先他认为第4阶的划分要参考古杯类的生物演化及大灭绝事件, 包括第一幕申克事件 (Sink event) 或古杯大灭绝事件及第二幕霍克湾事件 (Hawke Bay event), 具体的第4阶底界划分在可能的3个层位: 第一个层位为 *Redlichia*, *Olenellus* (Babcock et al., 2005) 或俄罗斯的 *Judomain* 和 *Bergeroniellus* 首现, 或盘虫类 (*Triangulaspis annia* 和 *Hebediscus atleborensis*) (Korovnikor, 2012) 首现; 第二个层位为 *Oryctocerella duyunensis* 首现; 第三个层位为 *Arithricocephalus chauveaui* 首现。

3 赵元龙研究团队进行第4阶全球层型剖面及点位 (GSSP) 研究

3.1 新研究团队组成

2010年, 主持寒武系第3统第5阶标准层型剖面及点位研究的赵元龙不仅强化第3统及第5阶的研究, 而且还对于其下寒武系第4阶的标准层型剖面及点位研究也有了兴趣, 引起他兴趣的原因之一是交榜杷榔组剖面是一个良好的杷榔组剖面。彭进、赵元龙、郜通树 2008年沿山脊开辟出来的杷榔组剖面, 岩层连续, 三叶虫丰富, 可以作为第4阶潜在的标准层型剖面。2010年, 赵元龙在彭善池的支持下, 向全国地层委员会申请了

一个研究第 4 阶的项目,获得了 9 万元的资助。

2014 年起,赵元龙团队连续获得多个国家级及省部级基金资助,研究寒武系第 4 阶。

2014—2019 年,赵元龙以其第 5 阶研究团队主要成员尹磊明,郭庆军,袁金良,Jorge esteve 等为主组成了第 4 阶研究新团队,在彭善池研究员关注下进行了寒武系第 4 阶标准层型剖面及点位的研究,成为中国第一个及唯一的一个研究第 4 阶的研究团队。

2020 年,赵元龙在王世杰副省长的支持下又获贵州省科技基金项目(黔科合支持(2020)4Y241)(贵州苗岭统乌溜阶继续研究及第 4 阶金钉子落户贵州研究),继续进行第 4 阶研究。

2021 年,赵元龙研究团队重要成员、贵阳学院副教授伍孟银博士受命申请的国家自然科学基金项目“贵州剑河交榜寒武系第 4 阶全球层型剖面及点位(GSSP)的深入研究获得批准”。

3.2 研究工作

2010 以来对第 4 阶的全球层型剖面及点位的研究进行了大量的工作,取得了明显成果,至今已完成下列工作:

1)测制了剑河八郎松山“清虚洞组”剖面,修测了交榜杷榔组剖面。

2)采集了大量化石标本,共计 8000 件,其中三叶虫标本达 6000 件,鉴定标本 2000 件,照相 1000 件。采集了疑源类样品 90 多件,碳硫同位素有机地化标本 100 多件,进行了疑源类及疑源类地层、碳硫同位素的初步研究。

3)进行了生物地层研究。

4)对交榜变马冲组上部至杷榔组及松山“清虚洞组”进行了层序地层研究。

5)参加了西班牙国际会议。

6)撰写了有关论文。

7)2021 年 4 月 30 日特别组织了交榜变马冲组的三叶虫采集,取得了突破,采得卵圆形湖南头虫 3 块。

3.3 取得研究成果

3.3.1 生物地层研究

1. 寒武系第 4 阶三叶虫地层研究取得重要进展

中国南方寒武纪第 4 阶进行的三叶虫地层研

究,由于所建的三叶虫带还没有可靠地层依据,经常变更。2016、2017 年我们对剑河交榜杷榔组及上部的清虚洞组逐层采集三叶虫,已建立可靠的三个三叶虫带,其中掘头虫带由下而上为:(1)都匀小掘头虫带 *Oryctocarella duyunensis*, 占据杷榔组下部,还包括 *C. elongata*、*D. duyunensis*、*R. (P) chinensis*;(2)乔氏节头虫及都匀小掘头虫组合带 *Arithricocephalus chauveaui - Oryctocarella duyunensis* Ass., 包括 *O. duyunensis*, *D. duyunensis*, *A. xinzhaiheensis* 等,占据杷榔组中部及上部至清虚洞组下-中部;(3)北极古掘头虫带 *Protoryctocephalus arcticus*, 该带还包括 *Protoryctocephalus balangensis*. 占据清虚洞组上部。依据莱得利基虫,由杷榔组至清虚洞组顶,其层序如下:(1) *Redlichia (Pteroredlichia) chinensis*, 主要在杷榔组下至中部;(2) *Redlichia (Pteroredlichia) murakamii* 带,占据杷榔组上部及清虚洞组下部至中部;(3) *Redlichia (Redlichia) nobilis - Redlichia (Redlichia) guizhouensis*, 组合带,占据清虚洞组上部(陈争鹏等,2018)。2021 年 4 月交榜变马冲组卵形湖南头虫 *Hunanocephalus ovalis* 的采集使得第 4 阶之下的变马冲组又增加了一个三叶虫层位。

表 2 剑河交榜地区寒武系第 4 阶三叶虫地层划分表
Table 2 Acritarch stratigraphic classification of Cambrian stage 4 in Jiaobang area of Jianhe

寒武系	苗岭统	乌溜阶	凯里组	<i>Oryctocephalus indicus</i> Zone
				<i>Bathynotus kueichouensis-Ovatoryctocara sinensis</i> Ass. Zone
	第 4 阶 (都匀阶)	清虚洞组	<i>Protoryctocephalus arcticus</i> Zone	
			<i>Arthricoccephalus chauveaui - Oryctocarella duyunensis</i> Ass. Zone	
		杷榔组	<i>Oryctocarella duyunensis</i> Zone	
第 3 阶 (第 3 阶)	变马冲组	<i>Hunanocephalus ovalis</i>		

还对松桃黄莲杷榔组三叶虫地层进行再研究,贵州松桃黄莲剖面位于松桃黄莲村西,为都匀阶依托剖面,由粉砂质泥岩、钙质泥岩组成,厚 417.8 m,除基部 38 m 未见三叶虫外,其他岩层均含有三叶虫,由下而上可分为 2 个三叶虫带:38 ~

83 m 为 *Oryctocarella duyunensis* 带,三叶虫少;83 m 以上为 *Arithricocephalus chauveaui* - *Oryctocarella duyunensis* Ass. Z. 带,包括 *Arithricocephalus xinzhaineensis* .?, *Oryctocarella sibrie*, *Duyunaspis duyunensis*, *Changaspis elongata* 及 *Redlichia* (*Ptero-redlichia*) *marakamii*, 该成果刊于 2020 年古生物学报 59 卷 1 期上。

2. 疑源类地层研究

杷榔组疑源类比较丰富,变马冲组也有一些疑源类,其中杷榔组由下而上有 7 个疑源类组合及层位,他们分别是:1. *Plagasphaera balangensis*;

2. *Adara alea*-*Skiagia ornata* 组合;3. *Acyum radiale* - *Pterospermella velata* 组合;4. *Comasphaeridium molliculum* - *Solisphaeridium baltoscandium* 组合;5. *Corrugasphaera perfecta* - *Pterospermella vin-ctusa* 组合;6. *Acrum novum* - *Heliosphaeridium oligum* 组合;7. *Acrum membranosum* - *Adarve diafanum* 组合。它们可以分为 2 个界线:一是变马冲组疑源类与杷榔组下部疑源类组合;二是第 4 组合与第 5 组合之间,位于杷榔组 82.50 m 左右(图 1),和三叶虫 *Arithricocephalus chauveaui* 首现相近,低于 3.3 m 这个界线,疑源类类型及数量明显衰退。

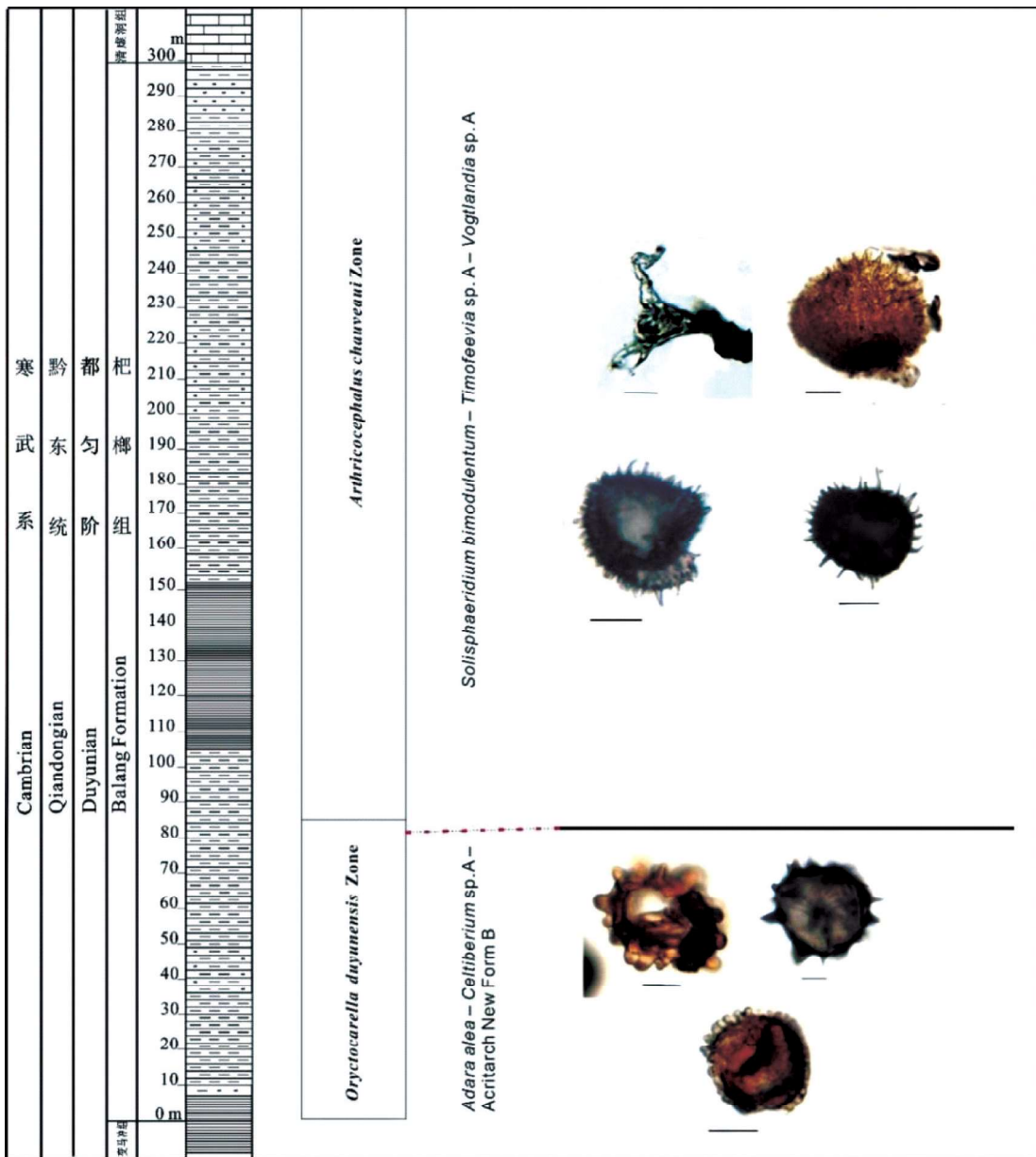


图 1 交榜剖面杷榔组中下部第 2 个疑源类组合划分图

Fig. 1 Division of 2nd Acritarchs composition in upper and lower Balang formation of Jiaobang section

贵州剑河交榜剖面出现的疑源类类型在已知国内外资料中,多报道自东欧地台,北欧,俄罗斯,西班牙,加拿大等地寒武纪早-中期地层,而与记述自西班牙和北欧的组合面貌甚为相近。根据当前对交榜剖面寒武系第4阶有机壁微体化的深入研究,其中临近杷榔组底部地层出现的 *Plagasphaera*, 依据其形态特征与现生带壳变形虫的比较,初步确认它是继新元古代‘瓶形化石’之后,在我国,乃至全世界首次在贵州剑河交榜剖面寒武纪早期地层发现带壳变形虫化石。它的保存和出现不仅填补有关带壳变形虫生物演化的珍稀化石证据,且为论述古生态环境变化提供极为重要的生物化石记录。最近在江西宜春地区九岭南缘宜丰岩组发现与贵州剑河寒武系第4阶杷榔组非常相同的疑源类组合和带壳变形虫化石标本,显著表明在该地质时期曾发生较强烈地质运动,导致古生态环境的变化;同时也为‘江南造山带’的形成,以及扬子地块与华夏地块的拼接提供重要生物化石证据。

3.3.2 寒武系第4阶首现三叶虫的初步确定

对交榜杷榔组逐层采集的三叶虫,于杷榔组底采到 *Oryctocarella duyunensis*, 又于 85.8 m 采到 *Arithricocephalus chauweai*, 前者一直延伸至清虚洞组中部,后者也延伸至清虚洞组中部,因此在杷榔组到清虚洞组中部建立 2 个三叶虫带。由下而上为 *Oryctocarella duyunensis* 带及 *Arithricocephalus chauweai* - *Oryctocarella duyunensis* Ass 带,而首现杷榔组底部及 85.8 m 出现的 2 个三叶虫 *Oryctocarella duyunensis* 及 *Arithricocephalus chauweai* 均可作为第 4 阶首先三叶虫(FAD),朱茂炎等(2019)有相同看法。

Arithricocephalus chauweai 作为首现三叶虫,优势是其下有 *Oryctocarella duyunensis*, 疑源类 2 个组合之间界线低于 85.8 m(3 m),但不理想的是碳硫同位素在此没有明显的飘移,此外层位也略高一些(朱茂炎等,2019)。*Oryctocarella duyunensis* 作为第 4 阶 FAD 分子有 3 个优势:1. 层位适中,位于杷榔组底;2. 岩性界线明显;3. 疑源类及碳硫同位素均为变化点。缺点是其下没有三叶虫作为三叶虫序列界线,但高兴的是近期在交榜变马冲组采得 3 块卵圆形湖南头虫。贵州东部变马冲组三叶虫比较少,或仍有 6 属 10 种,对交榜变马冲组深挖三叶虫有可能消除交榜变马冲组没有三叶虫的缺点。

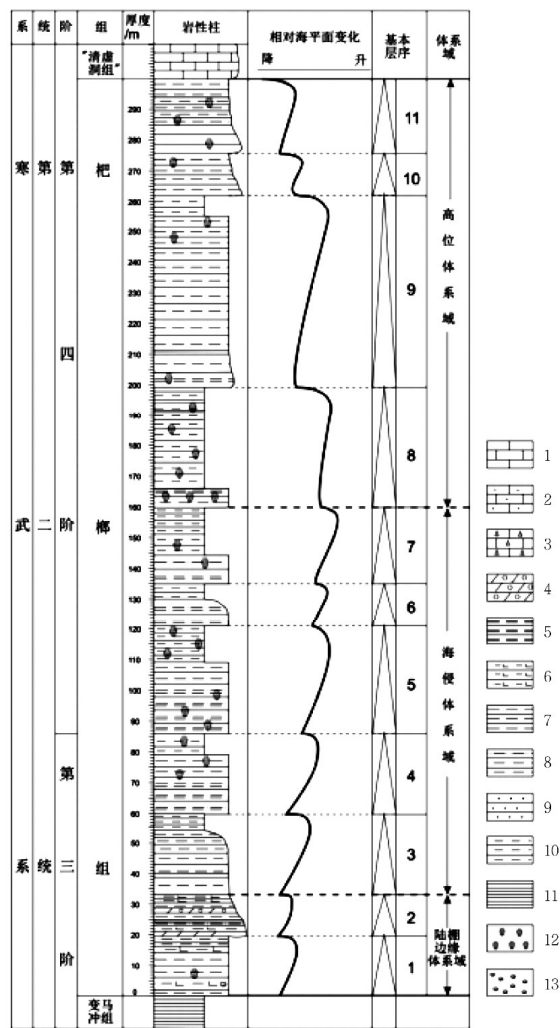
可喜的是于 2020 年 4 月 30 日采集到的 *Hunanoccephalus ovalis* 卵形湖南头虫大大改变了第 4 阶首现三叶虫的确定。我们认为第 4 阶首现三叶虫为杷榔组底首现的都匀小掘头虫(*Oryctocarella duyunensis*)为好,而且认为交榜剖面很有可能成为第 4 阶潜在的标准层型剖面及点位。

3.3.3 层序地层研究

贵州剑河交榜剖面杷榔组层序地层初步分析,由贵州团队王立亭、王雪华、杨威等完成。剑河交榜剖面上的杷榔组厚 300 m,据岩石组合和生物组合可以划分出 11 个基本层序(表 3)。根据基本层序的结构和上部与下部厚度变化,可以识别

表 3 剑河交榜杷榔组层序地层(据王立亭等,2020)

Table 3 Sequence stratum of Balang formation in Jiaobang of Jianhe



1—灰岩;2—粉砂质灰岩;3—角砾状灰岩;4—砾状泥灰岩;5—层纹状粉砂质泥岩;6—含钙质泥质粉砂岩;7—粉砂质泥岩;8—泥质粉砂岩;9—砂岩;10—泥岩;11—页岩;12—化石富集层;13—钙质结核

出一个由陆棚边缘体系域、海侵体系域、高位体系域组成的类层序。作为寒武系第二统第4阶首现的第2个三叶虫, *Arithricocephalus chauveaui* 在海侵体系域的中上部距杷榔组底界 85.8 m 处出现, 而第一个首现三叶虫 *Oryctocarella duyunensis* 的层位则位于陆棚边缘第一个基本层序开始。杷榔组生物群则主要富集在海侵体系域顶部 160~166 m 处的灰黄色薄-中层粉砂质泥岩及层纹状粉砂质泥岩中。其中生物数量和生物门类均较丰富, 其埋藏具原地埋藏和近原地埋藏的混合特征(王立亭等, 2020)。

3.3.4 进行全球第4阶初步对比的研究

1. 与格陵兰北部 Hesnon Gletcher 组对比

格陵兰北部 Hesnon Gletcher 组中中上部含有 *Protoryctocephalus arcticus*, *Arithricocephalus chauveaui* 及 *Oryctocarella duyunensis* 等, 剑河交榜杷榔组及“清虚洞组”第2及第3阶三叶虫带可与 Hesnon Gletcher 组中上部三叶虫进行对比, *Oryctocarella* 亦见于俄罗斯, 以中国华南, 格陵兰, 俄罗斯为基础, 已初步进行了全球第4阶地层对比(表4)。

2. 完成了全球第4阶对比表

表4 南中国与北格陵兰第4阶对比表

Table 4 Stage 4 comparison of south China and north Greenland

Golobal	South China				North Greenland	
	Miaolingian	Wuliuan	Wulingian	Taijiangian	Sydpasset Fm.	<i>Oryctocephalus indicus</i> Z.
Cambrian	Series 2	Stage 4	Qiangdongian	Duyunian	Kaili Fm.	<i>Oryctocephalus indicus</i> Z.
						<i>Bathynotas kueichouensis</i> - <i>Ovatoryctocara sinensis</i> Ass. Z.
	Stage 3	Nangaoian	Balang Fm.	Tsinghsutang Fm.	Henson Gletscher Fm.	<i>Protoryctocephalus arcticus</i> Z. [Pa]
						<i>Arithricocephalus chauveaui</i> - <i>Oryctocarella duyunensis</i> Ass. Zone [Ac] [Od]
					<i>Eoagnostus roddyi</i> - <i>Arithricocephalus chauveaui</i> Z.	
					<i>Protoryctocephalus arcticus</i> Z. [Og]	
					<i>Arithricocephalus chauveaui</i> (Ac)	
					<i>Arithricocephalus chauveaui</i> (Od)	
					<i>Oryctocarella duyunensis</i> Z. [Od]	

[Ac] <i>Arithricocephalus chauveaui</i>	[Og] <i>Ovatoryctocara graoulata</i>
[Pa] <i>Protoryctocephalus arcticus</i>	[Ac] <i>Arithricocephalus chauveaui</i> = <i>Haliplanktos jishouensis</i>
[Od] <i>Oryctocarella duyunensis</i>	[Od] <i>Oryctocarella duyunensis</i> = <i>Arithricocephalus cf. chauveaui</i>

表5 寒武系第4阶国际地层对比表

Table 5 International stratigraphic comparison of Cambrian stage 4

SYSTEM	SERIES	STAGE	SOUTH CHINA	N. INDIA	SIBERIA	LAURENTIA	N. GREENLAND	AUSTRALIA	IBERIA
Cambrian	Cambrian Series 2 (undefined)	Stage 4 (undefined)	Miaolingian	Wuliuan	Taijiangian				

3.3.5 碳硫同位素研究

已采样对 100 多个样品进行总碳、总硫进行测试,取得了大量参数。

3.3.6 国际合作及国际学术交流

研究成果主要是三叶虫地层、疑源类研究成果。已在国内外一些会议上进行学术交流。2017年10月在中国举办的中德国际会议做了交榜地区第4阶三叶虫地层划分报告。摘要刊于2019

年。在西班牙举行的埃迪卡拉寒武系国际会议上,赵元龙、Jorge、尹磊明、伍孟银做了三叶虫地层、疑源类的学术报告。其中2篇长篇论文摘要及2篇短摘要刊于西班牙 *Estudios Geologicos* 的期刊上。2018年8月西安国际寒武系会议,有23位代表包括19位国外代表参观苗岭统及乌溜阶金钉子后,又参观了剑河交榜第4阶潜在的标准剖面,反应很好(图2)。



图2 2018年西安国际会议代表参观剑河交榜第4阶潜在的层型剖面

Fig. 2 Potential layer section of stage 4 in Jianhe visited by delegate of Xi'an international conference in 2018

3.3.7 至2019年共发表论文16篇,SCI 4篇,详细论文摘要2篇,寒武系第4阶全球界线层型剖面研究总结报告(2016—2019年)。

3.3.8 培养硕士5位,博士1位。

4.3.9 继续研究2008年发现的剑河生物群,已完成专著的投稿。

4 下一步的工作

(1) 由于交榜变马冲组与4月30日已采到 *Hunanocephalus ovalis* 湖南头虫,交榜杷榔组剖面将成为潜在的第4阶标准层型剖面及点位,成为今后工作的重点。

(2) 进行交榜第4阶碳硫同位素及有机地化研究。

(3) 发表三叶虫及碳硫同位素SCI论文。

(4) 继续深入采集变马冲组的三叶虫。

致谢: 在第4阶的研究中,中科院南京地质古生物研究生彭善池研究员给予指导帮助。贵州大学彭进教授测制的交榜杷榔组剖面成为第4阶潜在的标准层型剖面及点位(GSSP),贵州大学古生

物专业研究生,2016届研究生,2020届研究生及八郎村民刘峰、刘泽福等采集化石及碳硫同位素、疑源类标本。给予衷心的感谢。本项目的研究得到下列资金资助:1. 全国地层委员会2010—2013年的资助;2. 彭善池的国家重点自然科学基金项目(全球寒武系第4阶及第10阶高精度界限地层及其金钉子研究)(41330101);3. 科技部重大基金项目(中国标准地层建立中国地层表的完善)(2015FY310100-5);4. 国土部地调局(关键地区区域地层调查与关键生物群演化沉积岩岩石之试点填图的研究)(DD20160120-4);5. 贵州省科技厅(贵州苗岭统乌溜阶后续研究及第4阶金钉子落户贵州(黔科合支持[2020]4Y241号)。

[参考文献]

- 陈争鹏,赵元龙,罗绣春,杨光福,等. 2018. 贵州剑河八郎寒武系“清虚洞组”的 *Redlichia* 及其地层意义[J]. 地层学杂志, 42(3):352-359.
- 卢衍豪,张文堂,钱义元,朱兆玲,林焕令,周志毅,钱逸,章森桂,伍鸿基. 1974. 西南地区地层古生物手册[M]. 北京:科学出版社,82-107.
- 彭进,赵元龙,秦琴,闫旭,马海涛. 贵州东部寒武纪黔东南世杷榔组腕足动物的新材料[J]. 古生物学报, 2010, 49(3):365-379.
- 彭进. 贵州东部寒武纪黔东南世杷榔动物群[D]:[博士学位论文]. 南京:南京大学,2009.
- 彭善池,赵元龙. 2018. 全球寒武系第三统和第五阶“金钉子”正式落户我国[J]. 地层学杂志, 42(3):325-327.
- 彭善池,朱学剑, Babcock L E, Korovnicov, 2015. 论寒武纪三叶虫节头虫属:概念和异名. 贵州地质, 32(2):83-8.
- 彭善池. 2010. 金钉子:地层划分的国际标准[J]. 科学, (4):4.
- 彭善池,周志毅,林天瑞. 1999. 关于建立中国寒武纪年代地层系统的建议[J]. 现代地质, 13(2):1.
- 彭善池,周志毅,林天瑞,袁金良. 2000. 寒武纪年代地层的研究现状和研究方向[J]. 地层学杂志, 24(1), 10.
- 王立亭,王雪华,杨巍,赵元龙,陈争鹏. 2020. 贵州剑河交榜剖面杷榔组层序地层的初步划分. 地层学杂志, 44(4):439-447.
- 袁金良,赵元龙,李越,黄友庄. 2002. 黔东南早、中寒武世凯里组三叶虫动物群. 上海:上海科学技术出版社, 1-423.
- 张文堂,林焕令,伍鸿基,袁金良. 1980. 山西中条山寒武纪地层及三叶虫动物群. 中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 16:39-119.
- 张文堂,朱兆玲. 1979. 华北南部及西南部早寒武世猴家山组的三叶虫[J]. 古生物学报, 18(6):516-528.
- 周志毅,袁金良,张正华,吴孝儒,尹恭正. 1980. 贵州寒武纪地层的分类和对比[J]. 地层学杂志, 4(4):273-281.
- 周志毅,袁金良,张正华,吴孝儒,尹恭正. 1979. 贵州及其邻近地区寒武纪生物地理分区. 地层学杂志(04), 28-41.
- 朱茂炎,杨爱华,袁金良,李国祥,张俊明,赵方臣. Soo-Yeun

- AHN, 苗兰云, 2019. 中国寒武纪综合地层和时间框架. 中国科学, 49: 26–56.
- Álvarez J J, Ahlberg P, Babcock L E, Bordonaro O L, Choi D K, Cooper R A, Ergaliev G K, Capp I W, Pour M G, Hughes N C, Jago J B, Korovnikov I, Laurie J R, Lieberman B S, Paterson J R, Pegel T V, Popov L E, Rushton A W A, Sukhov S S, Tortello M F, Zhou Z Y, Zylinska A, 2014. Global Cambrian trilobite palaeobiogeography assessed using parsimony analysis of endemism. In: Harper D A T, Servais T, eds. Early Palaeozoic Palaeobiogeography and Palaeogeography. Geol Soc Lond Memoirs, 38: 273–296.
- Babcock, L. E., Peng Shanchi, Geyer G, Shergold J H, 2005. Changing perspectives on Cambrian chronostatigraphy and progress toward subdivision of the Cambrian System [J]. Geoscience Journal, 9: 101–106.
- Billings E, 1860, On some new species of fossils from the limestone near Point Levi, opposite Quebec. Canadian Naturalist and Geologist, 5, 301–324.
- Blaker M. R., Peel J. S. Lower Cambrian trilobites from North Greenland [J]. Meddelelser om Grønland Geoscience, 1997, 35: 1–145.
- Hollingsworth J S, Babcock L E. 2011. Base of Dyeran Stage (Cambrian Stage 4) in the Middle member of the Poleta Formation, Indian Springs Canyon Montezuma Range Nevada. 256–262.
- Korovnikov L G. 2012. Correlation Potential FADs of the Triangulaspis annio and Hebediscus atleboensis on the Siberian Platform a possible GSSP for the Lower boundary of Cambrian Stage 4. In Zhao Y L, Zhu M Y, Peng J, Gains R R, Parsley R L (Eds). Cryogenian–Ediacaran to Cambrian Stratigraphy and Palontology of Guizhou, China. Journal of Guizhou University (Natural Science), 29 (supplement): 169–170.
- Peng S C, 2018. Cambrian. In: National committee on Stratigraphy of China (Ed). Explanation of the Stratigraphic Chart of China (2014). Geological Press. Beijing. DD. 73–100.
- Peng S C, Babcock L E, Zhu X J, Zuo J X Dai T, Dai T, 2015. Intraspecific variation and taphonomic alternation in the Cambrian (Furogian) agnostoid Lotagnostus americanus; New information from China. Bull Geosci, 90: 281–306.
- Rogov V I, Karlova G A, Marusin V V, Kochnev B B, Nagovitsin K E, Grazhdankin D V, 2015. Duration of the first biozone in the Siberian hypostratotype of the Vendian. Rus Geol Geophys, 56: 573–583.
- Yuan J L and Esteve J, 2015. The earliest species of *Burlingia* Walcott, 1908 (Trilobita) from South China—biostratigraphical and palaeogeographical significance. Geological Magazine, v. 152 (2): 358–366.
- Yuan J L, and Ng T W, 2014. Tentative correlation of the Duyunian (Cambrian Series 2, Stage 4) and the Taijiangian (Cambrian Series 3, Stage 5) between South China and the Mediterranean region. GFF, 136(1): 314–319.
- Yuan J L, Zhu X J, Lin J P, Zhu M Y. 2011. Tentative correlation of Cambrian Series 2 between South China and other continents. Bulletin of Geoscience, 86(3): 397–404.
- Yuan J L, Zhao Y L, Li Y 2001. Notes on the classification and phylogeny of oryctocephalids (Trilobita: Arthropoda). Acta Palaeontologica Sinica, 40, 214–226.
- Zhang X L, Ahlberg P, Babcock L E, DK Choi, G Geyer, R Gozalo, J Stewart Hollingsworth, G Li, EB Naimark, T Pegel, 2017. Challenges in defining the base of Cambrian Series 2 and Stage 3 [J]. Earth–Science Reviews. 124–139.
- Zhao Y L, Yuan J L, Babcock L E, Guo Q J, Peng J, Yin, L. M., Yang, X. L., Peng, S. C., Wang, C. J., Gaines, R. R., Esteve, J., Tai, T S, Yang R D, Wang Y, Sun H J, Yang Y N, 2019a. Global Standard Stratotype–Section and Point (GSSP) for the conterminous base of the Miaolingian Series and Wuliuan Stage (Cambrian) at Balang, Jianhe, Guizhou, China. Episodes, 42(2): 165–184.
- Zhao Y L, Peng S C, Yuan J L, Esteve J, Yang X L, Wu M Y, Chen Z P, 2019b. The trilobites biostratigraphy for the Balang and “Tsinghsutung” Formation, Cambrian series 2, stage 4 in the Balang area, Jianhe, Guizhou, South China. Estudios Geologicos, 75 (2) julio–diciembre, e119, ISSN– L: 0367– 0449.
- Zhao Y L, Yuan J L, Esteve J and Peng J, 2017. The oryctocephalid trilobite zonation across the Cambrian Series 2–Series 3 boundary at Balang, South China; a reappraisal. Lethaia, 50: 400–406.
- Zhu M Y, Yang A H, Lin G X, Yuan J L, 2008. A working model for subdivision of the lower half Cambrian. In: Voronin T A. ed. 13th International Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Group. The Siberian Platform, Western Yakutia. SNI–GGiMS, Novosibirsk. 88–90.
- Zhu M Y, 1997. Precambrian–Cambrian trace fossils from Eastern Yunnan; Implications for Cambrian Explosion. Bull Natl Mus Nat Sci, 10: 275–312.

Progress on the Study of Cambrian Stage 4 Global Stratotype Section and Point (GSSP)

ZHAO Yuan-long¹, YIN Lei-ming², GUO Qing-jun³, YUAN Jin-liang², YANG Xing-lian¹,
WU Meng-yin⁴, WANG Li-ting⁵, YANG Wei⁶, LAN Tian¹, CHEN Zheng-peng¹,
LIU Xiong¹, CHEN Sheng-guang¹; LUO Xue¹

(1. Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 2. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, Jiangsu China; 3. Institute of Geographic and Sciences and National Resources Research, Beijing 10001, China; 4. Guiyang University, Guiyang 550005, Guizhou,

China; 5. Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550004, Guizhou, China; 6. Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[**Abstract**] Mainly based on Balang formation occurring in Jiaobang section, Jianhe county, Guizhou province, with lower Bianmachong formation and upper Tsingshutang Formation considered, the research on Cambrian series 4 has been carried out for more than 10 years (since 2010) by the research team led by Zhao Yuan-long, with multidisciplinary knowledge on sequence stratigraphy and Carbon sulfur isotope related. Notable progress has been achieved so far, including the confirmation for 3 trilobites belt and 1 trilobite stratigraphic position and the establishment of 2 acritarch assemblage zones. Additionally, *Oryctocarella duyunensis*, firstly appearing at the bottom of Balang Formation, was identified as the FAD (First appearance datum) for Stage 4. Also, the variation curve of carbon and sulfur isotope is nearly consistent with that of acritarch. And we take other places like North Greenland into comparison. The Balang Formation occurring in Jiaobang section, Jianhe County is taken as the potential Global Stratotype Section and point (GSSP) for Cambrian stage 4. Therefore further research is need to be conducted.

[**Key Words**] Cambrian Stage 4; Global Stratotype Section, Balang Formation in Jiaobang, Trilobite of FAD, Jianhe County in Guizhou

(上接第 367 页)

Microfacies Characteristics and Sedimentary Environment Analysis of Carbonate Rocks in Mid-late Maokou Formation of Permian in Liupanshui Area, Guizhou Province

WANG Wen-ming, PENG Cheng-long, LU Ding-biao, CHEN Jian-shu, XIANG Kun-peng, GONG Gui-yuan, ZHANG De-ming, AN Ya-yun, CHEN Xing

(Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China)

[**Abstract**] Liupanshui area is Maokou formation named area, in the study, it's found that Maokou formation facies differentiation is obvious, at the top of the well can exist, based on simple lithology combination of ancient and biological classification marks have been unable to support research on its internal classification and correlation, sedimentary environment, the demand such as geological prospecting work. In order to solve this problem, it used regional geological survey, profile measurement, rock thin-section analysis, carbonate microfacies classification and correlation, identified the Maokou formation in the region: homogeneous micro - no fossils micrite, have rich spicule biological important - micrite, containing abundant foraminiferal or algae particles of limestone chip, cladding biological granular limestone, rich in limestone of spines dander 5 types of carbonate microfacies. The sedimentary facies in the Mid-Late Maokou stage can be divided into four sub-facies: semi-limited platform facies, platform trench facies, open platform facies and sandy shoal at platform edge. It is concluded that the paleogeographic environment of the Mid-Late Maokou stage in the study area is a sedimentary environment changing from the "platform trench" in the southwest to the "platform" in the east of the north. It provides new data for the lithofacies paleogeographic analysis of the Mid-Late Maokou stage and the internal division of Maokou Formation in the study area and its adjacent area, and for further manganese ore prospecting.

[**Key Words**] Carbonate microfacies; Sedimentary environment; Mid-Late Maokou stage; Liupanshui area