

贵州剑河八郎地区寒武系“清虚洞组”沉积环境初探

——以剑河八郎地区松山剖面为例*

张 源 赵元龙**

(贵州大学贵州古生物研究中心, 贵阳 550025, zhaoyuanlong@126.com)

提要 贵州剑河八郎地区松山剖面的寒武系“清虚洞组”出露完整, 总厚 272 m, 主要由灰岩、泥岩及白云岩组成。文中自下而上将“清虚洞组”分为 4 个岩性段: I 段, 灰色薄-中厚层含丰富生物碎屑泥质微晶灰岩; II 段, 灰白色薄-中厚层含泥质微晶灰岩; III 段, 灰色薄-中层含完整生物碎屑泥质微晶灰岩; IV 段, 灰色薄-中厚层含藻屑泥质微晶灰岩和细晶白云岩。III 段泥岩中产出包括软躯体化石在内的多门类化石, 即剑河生物群。在前人工作的基础上, 文中通过野外剖面观察、生物化石采集和微相分析等研究方法, 对“清虚洞组”四个岩性段的沉积环境及其对应的海平面变化趋势进行了初步分析, 认为“清虚洞组”沉积于含氧量较充沛、盐度正常、低能的较深水陆棚-陆棚边缘环境。中上部的特异埋藏化石群指示一个快速的沉积事件。分析结果表明, “清虚洞组”沉积期水体经历了 3 次变浅和 2 次变深的交替变化情况。其中, III 段沉积期, 海底位于氧化还原界面附近; I、II 和 IV 段沉积期海底均位于氧化还原界面之上。

关键词 沉积环境 微相 海平面变化 寒武系“清虚洞组” 贵州

1 前 言

近年来, 贵州大学赵元龙教授的研究团队对贵州剑河县八郎地区松山“清虚洞组”进行研究, 于中上部发现了含软躯体化石在内的多门类化石群, 后由赵元龙教授命名为剑河生物群。剑河生物群的发现改变了“清虚洞组”的古生物组合面貌, 由最初不足 10 属化石, 达到了 53 属化石, 分属 6 个大门类。“清虚洞组”生物地层研究已取得显著的成果, 但有关沉积学方面的研究尚存在很大的不足, 仅有张正华在研究凯里组沉积相时, 提及了下伏地层“清虚洞组”, 认为凯里组的下部和“清虚洞组”中上部均形成于较深水的陆棚环境(张正华等, 1996), 后 Gaines 等认为“清虚洞组”中上部的泥岩形成于较深水的静水环境(杨兴莲等, 2010; Gaines *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2014)。笔者在之前学者们的研究成果基础上,

通过野外较详细的地层剖面观察、采样及对岩石薄片的鉴定和分析, 结合沉积学和岩相古地理等方面的知识对贵州剑河八郎“清虚洞组”的沉积环境及海平面变化趋势进行初步探讨。

2 地质背景

贵州的寒武系分布广泛、发育完整、沉积特征明显, 是我国研究寒武纪地层的重要分布地区之一(尹恭正, 1987)。本文的研究区域位于贵州省黔东南州剑河县革东镇, 该地区在寒武纪第二、三世时属于过渡区(周志毅等, 1979; 赵元龙等, 1993, 1994; 袁金良等, 2002; 罗绣春, 2015)。区内寒武系发育完整, 由老至新分别出露牛蹄塘组、九门冲组、变马冲组、杷榔组、“清虚洞组”、凯里组、甲劳组和娄山关组(赵元龙等, 1993; 彭进, 2009; 杨兴莲等, 2010; Zhao *et al.*, 2012; 闫巧洁, 2014)(插图 1)。“清虚洞组”总厚

收稿日期: 2018-01-18

* 国家重点基础研究发展规划项目(973 项目)(2013CB835002, 2015FY310100)、国家自然科学基金项目(41330101, 41662001, 41772021)和中国地质科学院全国地层委员会基金联合资助。

** 通讯作者: 赵元龙, 教授, 主要从事寒武纪古生物及地层研究。

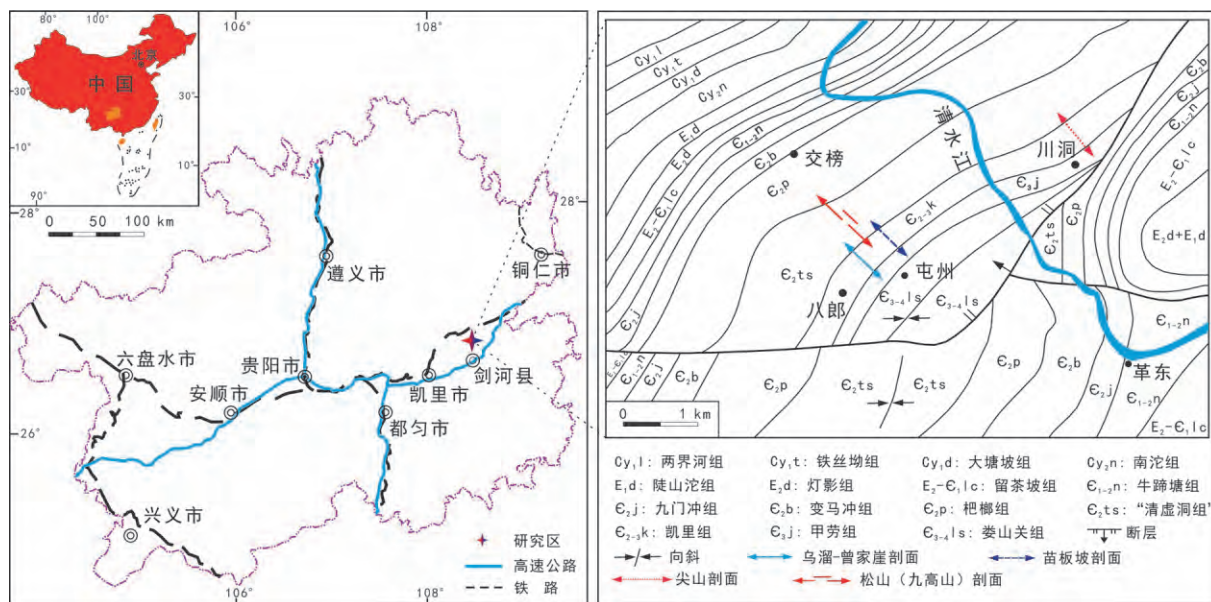


插图 1 贵州剑河八郎松山剖面的地理位置及地质图(据 Zhao *et al.*, 2012 修改)

Geographic location (left) and geological (right) map of Songshan section, Balang Village, Jianhe County, Guizhou Province (modified from Zhao *et al.*, 2012).

272 m, 属寒武纪黔东世都匀期晚期地层。

清虚洞组最初由尹赞勋等(1945)命名为“清虚洞石灰岩”,后由卢衍豪(1962)改名为清虚洞组。所谓的“清虚洞组”岩性主要由灰岩、泥岩及白云岩组成,与西部主要由灰岩、白云岩组成的典型清虚洞组和东南部主要由泥页岩组成的乌训组均有差别,分别代表了不同的沉积环境(周志毅等,1979,1980;杨宇宁等,2012;罗绣春等,2014;刘玉娟,2016;王铭坤,2017),故加引号表示(张文堂等,1980;杨宇宁等,2012;罗绣春等,2014;刘玉娟等,2015;王铭坤、赵元龙,2016;王铭坤等,2016)。“清虚洞组”沉积时处于浅水扬子区和深水江南区的过渡地带,生物组合具有浅水型与深水型生物混生特点。根据掘头虫类三叶虫的分布情况,“清虚洞组”自下而上可划分成两个三叶虫带, *Protoryctocephalus arcticus* 带(罗绣春等,2014)和 *Arthricocephalus intermedius* 带,并将这两个生物带与格陵兰北部 Peary Land 的 Henson Gletscher 组进行对比。

3 贵州剑河八郎“清虚洞组”地层概述

贵州剑河八郎剖面的“清虚洞组”与下伏地层杷榔组顶部钙质泥岩整合接触,与上覆地层凯里组底部的泥岩、灰岩连续沉积。研究剖面以灰岩、白云岩及泥岩为主,从该组底部向上化石量逐渐增加,在中上部灰色中厚层灰岩和灰绿色、灰白色粉砂质页岩

处化石量达到最大值,之后化石量逐渐减少(插图 2)。该剖面于 2011 年由赵元龙、杨宇宁、孙海静、张培兴等进行了野外实测。2016 年 4 月,刘玉娟在此基础上加入完善生物序列。之后笔者又对该剖面进行实地观测和总结。现将该剖面地层描述如下:

上覆地层 凯里组底部,灰色薄层泥灰岩、灰岩、泥岩。

——整合——

“清虚洞组”:厚 272 m

40. 深灰色中薄—中层细晶白云岩,水平层理发育,产一些单板类化石。 3.4 m

39. 深灰色中—中厚层泥质白云岩,泥质含量升高,产三叶虫碎片及海绵骨针等化石。 15.4 m

38. 灰色、深灰色中—中厚层含钙质白云岩。 3.4 m

37. 灰色薄—中薄层钙质白云岩、白云质灰岩,产刺胞动物: *Sphenothallus* cf. *taijiangensis*, *Byronia* cf. *natus*。 4.5 m

36. 灰色薄—中厚层白云质灰岩,含少量泥质,表面略有风化,产刺胞动物: *Byronia* cf. *natus*; 三叶虫: *Nangaops danzhaiensis*, *Duyunaspis duyunensis*, *Redlichia* (R.) *guizhouensis*。 1.3 m

35. 灰色薄—中厚层白云质灰岩,含少量泥质。 2.5 m

34. 灰色薄—中薄层灰岩,产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, *Nangaops danzhaiensis*, *Olenoides constrictus*, *Duyunaspis duyunensis*; 刺胞动物: *Sphenothallus* cf. *taijiangensis*, *Byronia* cf. *natus*。 1.5 m

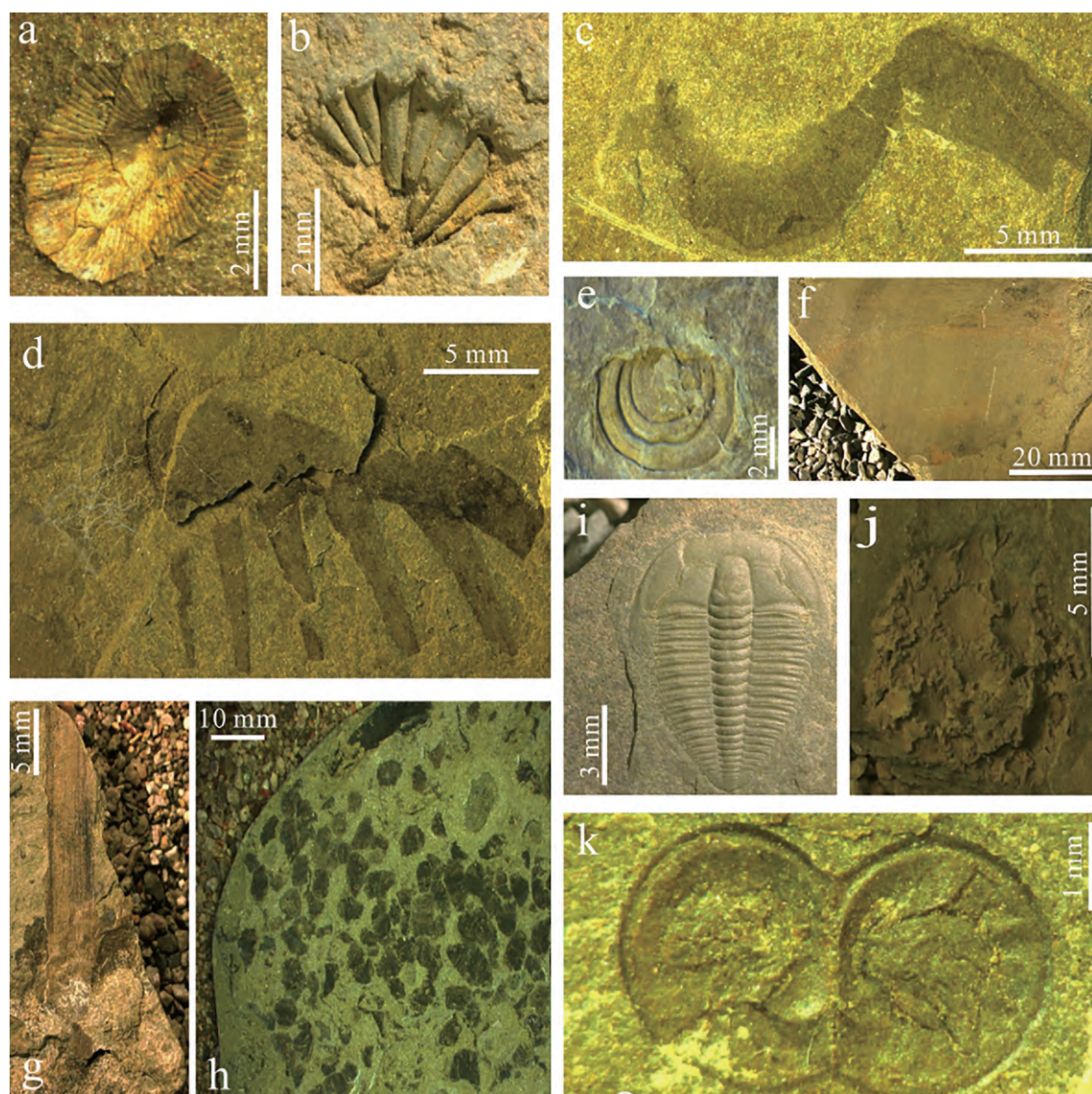


插图 2 贵州剑河八郎寒武系“清虚洞组”中上部剑河生物群的部分化石

Fossils of the Jianhe biota in mid-upper part of the “Tsingshutung Formation” (Cambrian Stage 4) in Jianhe County, Guizhou Province.

- a. 放射脊帐篷螺(相似种) *Scenella* cf. *radians*, q52-1382. b. 手风琴小厄兰岛螺(相似种) *Oelandiella* cf. *accordinonata*, q37-157-1. c. 古蠕虫类 *Palaeoscolecids*, q51-509. d. 奇虾(未定种) *Anomalocaris* sp., q52-754. e. 松山顾脱贝 *Kutorgina songshanensis*, q93-178. f. 剑河吐卓虫 *Tuzoia jianheensis*, q52-3499. g. 次圆柱形细丝海绵 *Leptomitrus tevetiusculus*, q52-210. h. 球状玛拉利亚藻 *Morania globosa*, q51-312. i. 丹寨南皋盾甲虫 *Nagaops danzhaiensis*, q52-2740. j. 卢氏中国始海百合 *Sinoeocrinus lui*, q52-151. k. 阿里特虫(未定种) *Alutella* sp., q51-3538.

33. 灰色薄层泥质灰岩夹灰白色钙质泥岩, 产三叶虫: *Nangaops danzhaiensis*, *Balangcunaspis transversus*, *Protoryctocephalus arcticus*, *Duyunaspis duyunensis*; 刺胞动物: *Sphenothallus* cf. *taijiangensis*; 藻类: *Sinocylindra yunnanensis*, *Fuxianospira gyrate*; 单板类: *Oelandiella* cf. *accordinonata*; 分类位置未定的威瓦西虫: *Wiwaxia taijiangensis*. 5.6 m

32. 灰色—灰白色钙质页岩, 产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, *Dinesus panxinensis*, *Yuehsienszella magna*. 3 m

31. 灰绿色泥岩, 风化后易成灰黄色, 产三叶虫:

Yuehsienszella magna, *Eoptychoparia* cf. *yunnanensis*, *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, *Dinesus panxinensis*. 0.5 m

30. 灰黄色、灰绿色含粉砂质泥岩, 产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, *Nangaops danzhaiensis*, *Duyunaspis duyunensis*, *Protoryctocephalus arcticus*, *Olenoides constrictus*; 刺胞动物: *Sphenothallus* cf. *taijiangensis*, *Scenella* cf. *radians*; 单板类: *Oelandiella* cf. *accordinonata*; 腕足类: *Nisusia granosa*, *Nisusia guizhouensis*, *Diandongia circularis*, *Lingulella* sp.; 奇虾类: *Anomalocaris* sp.; 大型双瓣壳节肢动物: *Tuzoia jian-*

heensis, *Isoxys* sp.; 海绵: *Halichnodrites* cf. *car-natus*; 始海百合类: *Sinoeocrinus lui*; 藻类: *Sinocylindra yunnanensis*, *Fuxianospira gyrate*; 古蠕虫类: *Palaeoscolecids*; 高肌虫: *Alutella* sp.; 分类位置未定的威瓦西虫: *Wiwaxia taijiangensis*。 14 m

29. 灰绿色钙质泥岩, 含少量粉砂质, 产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, *Nangaops danzhaiensis*。 6.2 m

28. 灰色、深灰色薄—中薄层含泥质灰岩。 3.7 m

27. 深灰色中—厚层灰岩, 产刺胞动物: *Byronia* cf. *natus*, *Byronia*-like, *Byronia annulata*。 5.3 m

26. 深灰色中—厚层白云质灰岩, 似缝合线发育, 产三叶虫: *Nangaops danzhaiensis*, *Duyunaspis duyunensis*, *Olenoides* cf. *hubeiensis*, *Protoryctocephalus arcticus*。 5 m

25. 灰色中薄—中层灰岩, 含少量白云质, 产三叶虫: *Mufushania* cf. *nankingensis*, *Olenoides constrictus*。 5.5 m

24. 灰色、深灰色薄—中层灰岩, 层间夹灰黄色含泥质页岩, 水平层理发育。 5.9 m

23. 灰色薄层灰岩与灰白色灰岩、页岩不等厚互层, 出现水平层理, 见页岩风化后的覆土, 产三叶虫: *Protoryctocephalus arcticus*, *Olenoides constrictus*, *Olenoides* cf. *hubeiensis*, *Balanguncaspis transversus*, *Redlichia* (R.) *guizhouensis*。 3.7 m

22. 灰绿色、灰白色粉砂质页岩。粉砂质含量增加明显, 生物化石丰度增大, 局部见页岩风化的覆土, 产三叶虫: *Protoryctocephalus arcticus*, *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, *Balanguncaspis transversus*; 腕足类: *Nisusia guizhouensis*, *Lingulella* sp., *Kutorgina songshanensis*; 刺胞动物: *Sphenothallus* cf. *taijiangensis*, *Scenella* cf. *radians*; 单板类: *Oelandiella* cf. *accordinonata*, *Oelandiella* sp., *Oelandiella* cf. *taijiangensis*; 藻类: *Morania globosa*; 海绵: *Halichnodrites* cf. *car-natus*; 分类位置未定威瓦西虫: *Wiwaxia taijiangensis*。 12.2 m

21. 灰色中薄—中层白云质灰岩。 0.3 m

20. 灰色、灰白色页岩。 2 m

19. 灰色薄—中薄层灰岩层间夹泥页岩。 0.5 m

18. 灰白色、灰绿色页岩, 见页岩风化后覆土。 2.2 m

17. 灰色薄—中层灰岩夹钙质泥岩, 见水平层理, 露头不好, 产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, *Olenoides constrictus*, *Arthricocephalus intermedius*, *Oryzocarella duyunensis*, *Olenoides* cf. *hubeiensis*。 4.4 m

16. 灰色、深灰色薄—中层灰岩。 6.1 m

15. 灰色薄—中厚层灰岩, 见水平层理, 产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, *Olenoides constrictus*, *Arthricocephalus intermedius*, *Oryzocarella duyunensis*; 腕足类: *Acrothele* sp., *Palaeobolus bretonensis*。 10.2 m

14. 灰色薄—中层灰岩, 含方解石条带。 9.2 m

13. 灰色薄层灰岩层间夹页岩, 124 m 附近见薄层灰岩揉皱, 产三叶虫: *Olenoides constrictus*, *Arthricocephalus intermedius*, *Oryzocarella duyunensis*; 腕足类: *Acrothele* sp., *Palaeobolus bretonensis*。 14.5 m

12. 露头稀少大量覆土掩盖, 灰色薄层灰岩, 含方解石条带, 横向追踪 106 m 处露头出现层间滑移现象(向南滑移 220°), 产腕足类: *Acrothele* sp.。 19 m

11. 灰色薄—中薄层灰岩夹少量泥质条带, 灰岩纯度变高, 产状陡峭, 产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*, 刺胞动物: *Byronia* cf. *natus*。 4.5 m

10. 灰色薄—中厚层灰岩, 夹少量泥质条带, 84 m 处出现滑塌块体, 与周围原岩产状不同, 属同沉积褶皱。 13 m

9. 灰色、深灰色薄—中薄层灰岩, 出露较好, 产高肌虫: *Alutella* sp.。 4.5 m

8. 深灰色中薄—中层白云质灰岩偶夹钙质泥岩, 见方解石条带。 6 m

7. 灰色薄层灰岩, 露头出露较好, 纯度好, 含方解石脉, 出现晶形完好的方解石。 15 m

6. 灰色薄—中厚层灰岩, 泥质含量升高, 出露零星, 层间夹灰黄色薄层钙质泥岩, 产腕足类: *Acrothele* sp., *Palaeobolus bretonensis*。 4.5 m

5. 灰色薄—中薄层灰岩, 间夹泥质条带, 产高肌虫: *Alutella* sp.。 9.5 m

4. 灰色薄—中层灰岩夹少量泥质条带, 见构造成因重结晶后形成的方解石, 产三叶虫: *Arthricocephalus intermedius*。 25 m

3. 灰色、深灰色薄—中薄层含泥质灰岩, 水平层理发育, 见少量方解石条带, 底部见灰黄色页岩, 产三叶虫: *Olenoides constrictus*, *Olenoides* cf. *hubeiensis*。 7 m

2. 灰色薄—中厚层含泥质灰岩层间夹灰黄色页岩, 出露较差, 产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*。 9.5 m

1. 灰色薄—中薄层泥质灰岩, 见水平层理。产三叶虫: *Redlichia* (R.) *guizhouensis*。 2.5 m

——整合——

下伏地层 杷榔组顶部, 灰绿色钙质泥岩、泥岩。

由上述“清虚洞组”层序描述中可以看出,松山剖面“清虚洞组”岩石以碳酸盐岩为主,占总厚度的85%左右,主要为灰岩、白云岩、泥质白云岩、钙质白云岩、白云质灰岩及泥质灰岩。根据岩石及生物组合等特征,“清虚洞组”由下而上分为4个岩性段(岩性段的厚度为剖面的垂直距离),现将各段描述总结如下:

I段:1—11层,厚101 m。下部以灰色薄—中厚层含泥质灰岩层间夹灰黄色页岩为主,见少量方解石条带,水平层理发育,化石为三叶虫。中部以灰色薄—中厚层灰岩层间偶夹灰黄色薄层钙质泥岩为主,灰岩中夹少量泥质条带并出现晶形完好的方解石,化石为三叶虫、腕足类、高肌虫。上部以灰色、深灰色薄—中厚层灰岩偶夹钙质泥岩为主,灰岩中泥质含量降低,出现方解石条带,化石为三叶虫、高肌虫、刺胞动物。本段84 m处出现同沉积褶皱(插图3-f),说明沉积期属斜坡相,在成岩过程中沉积物处于未固结或半固结状态,伴有水动力介入发生滑塌。

II段:12—16层,厚59 m。下部以灰色薄层灰岩层间夹页岩为主,露头稀少被大量覆土掩盖,106 m处见层间滑移现象(插图3-e),属斜坡相沉积特征,化石为腕足类。中部以灰色薄—中厚层灰岩为主,124 m附近见薄层灰岩揉皱,含方解石条带,化石为三叶虫、腕足类。上部以灰色、深灰色薄—中厚层灰岩为主,水平层理较发育,化石为三叶虫、腕足类。

III段:17—33层,厚80 m。下部以灰色薄—中厚层灰岩层间夹泥页岩及灰绿色、灰白色粉砂质页岩为主,见页岩风化后覆土,水平层理发育,化石为三叶虫、蠕形动物、刺胞动物、腕足类、藻类、单板类、海绵及分类位置未定的威瓦西虫。中部以灰色、深灰色中薄—厚层白云质灰岩为主,水平层理发育,化石为三叶虫、刺胞动物。上部以薄—中薄层含泥质灰岩、灰绿色钙质泥岩及灰黄色、灰绿色含粉砂质泥页岩为主,化石为三叶虫、刺胞动物、单板类、腕足类、奇虾类、大型双瓣壳节肢动物、海绵、始海百合类、藻类、蠕形动物、高肌虫及分类位置未定的威瓦西虫。

IV段:34—40层,厚32 m。下部以灰色薄—中厚层白云质灰岩为主,含少量泥质,化石为三叶虫、刺胞动物。中部以灰色、深灰色薄—中厚层钙质白云岩为主,化石为三叶虫。上部以灰色、深灰色薄—中厚层泥质白云岩为主,泥质含量升高,水平层理较发育,化石为单板类、三叶虫碎片及海绵骨针。

4 沉积环境分析

本文划分微相及讨论对应的沉积相时主要参照SMF类型,标准微相和标准相带对应关系均根据Wilson碳酸盐岩微相制定(Wilson,1975)。根据分析镜下观察的沉积颗粒类型、岩石结构特征,“清虚洞组”的岩层可划分为5种碳酸盐岩微相。其中,中上部反复出现的泥页岩不能归于任何一种碳酸盐岩微相。该组的沉积环境分析如下(插图4):

4.1 “清虚洞组”I段(0—101 m)

I段的岩性为含丰富生物碎屑泥质微晶灰岩。镜下观察基质主要成分为微晶方解石和泥质,泥质含量高于25%(插图3-c,d),出现丰富的三叶虫生物碎屑(插图3-d),呈水平定向排列。微晶灰岩一般是在没有持续水流的安静环境中由灰泥质沉积形成,通常为水体很浅有遮挡物的泻湖、坡缓、广阔的低能潮坪带,以及浪基面以下开阔的深水陆棚、海盆区(方邛森、任磊夫,1987;邹晓东等,2015)。薄片下观察沉积物颜色较暗,出现黑色藻屑,可以排除沉积环境为泻湖的可能(插图3-c)。未发现蠕虫和水母等海盆中生活的代表生物,且有底栖类三叶虫的出现,可以排除沉积环境为海盆的可能。因此,该段对应的标准微相类型为SMF3,8,对应的标准相带最可能为FZ2,3。本段沉积早期水体深度与其下杷榔组沉积末期基本相当,中期水体逐渐变浅,海平面下降,含氧量增加,海底位于氧化还原面之上,应为低能、弱水循环的较深水陆棚环境。

4.2 “清虚洞组”II段(101—160 m)

II段的岩性为含泥质微晶灰岩。出现方解石脉,层间偶夹泥质条带,镜下观察基质主要成分为微晶方解石和泥质。本段沉积期沉积物颜色较I段变浅,粒度变大,泥质含量下降,泥质含量10%—25%,方解石含量明显上升,未见生物碎屑(插图3-e,f)。无生物碎屑的含泥质微晶灰岩,对应的标准微相类型为SMF23,可能出现在潮坪(FZ8)和干旱条件下的蒸发性海岸(FZ9A)或者是缺氧的深海盆地中(FZ1B)。考虑到I段的沉积环境,结合瓦尔特相律分析,可排除该段为FZ8和FZ9A沉积环境的可能。根据“清虚洞组”剖面描述,II段有腕足类和底栖类三叶虫的出现,证明当时海底不会为缺氧环境,可排除环境为FZ1B。镜下未见生物碎屑,可能

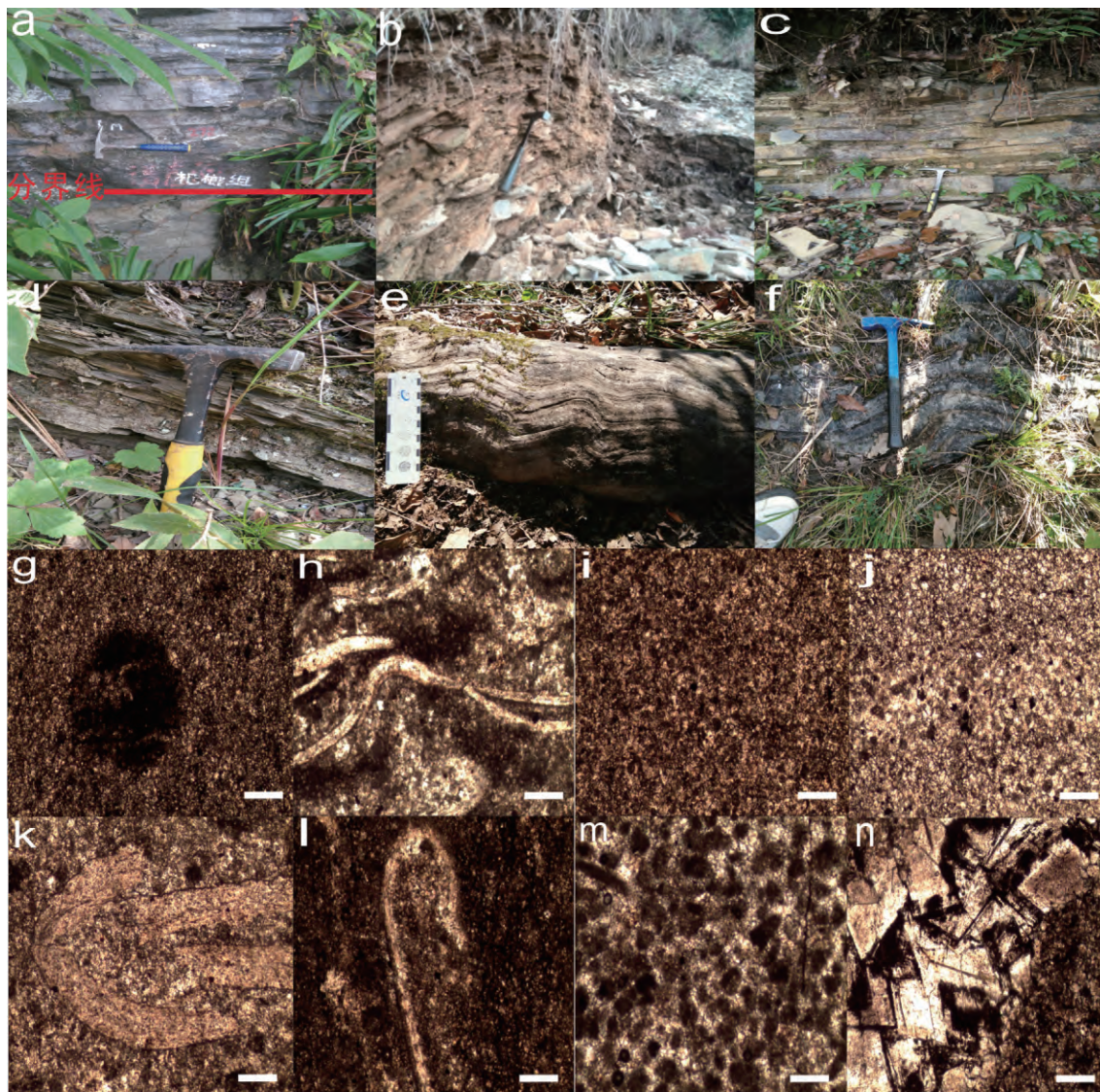


插图 3 贵州剑河八郎寒武系“清虚洞组”野外岩石特征及微相照片

Pictures of rock characters and micro-facial of the “Tsingshutung Formation” (Cambrian Stage 4), Jianhe county, Guizhou Province.

a. “清虚洞组”与杷榔组野外分界实景图。b. “清虚洞组”中上部, 灰黄色泥页岩, 剑河生物群位置 (距底部 220 m 处拍摄)。c. I 段水平层理 (距底部 16 m 处拍摄)。d. III 段水平层理 (距底部 201.5 m 处拍摄)。e. II 段层间滑移 (距底部 106 m 处拍摄)。f. I 段同沉积褶皱 (距底部 84 m 处拍摄)。g. 含藻屑的泥质微晶灰岩, 单偏光, 薄片编号: q10-2。h. 含丰富生物碎屑的泥质微晶灰岩, 单偏光, 薄片编号: q84-1。i. 含泥质微晶灰岩, 单偏光, 薄片编号: q128-2。j. 含泥质微晶灰岩, 单偏光, 薄片编号: 149-1。k. 含完整生物碎屑的泥质微晶灰岩, 单偏光, 薄片编号: q163-4。l. 含完整生物碎屑的泥质微晶灰岩, 单偏光, 薄片编号: q235-3。m. 含藻屑的泥质微晶灰岩, 单偏光, 薄片编号: q244-2。n. 细晶白云岩, 灰岩次生白云化后形成, 单偏光, 薄片编号: q272-1。图 g—n 中比例尺线条长度均为 200 μm 。

a. Exposure of the boundary between the “Tsingshutung Formation” and the Balang Formation in the field. b. Grayish-yellow muddy shale from middle-upper part of the “Tsingshutung Formation”, Jianhe biota location (field photo of 220 m from bottom). c. Horizontal beddings of Member I (field photo of 16 m from bottom). d. Horizontal beddings of Member III (field photo of 201.5 m from bottom). e. Interface sliding of Member II (field photo of 106 m from bottom). f. Syn depositional fold of Member I (field photo of 84 m from bottom). g. Algae dander bearing pelmicrite. Plane-polarized light, No. q10-2. h. Biodetritus-bearing pelmicrite. Plane-polarized light, No. q84-1. i. Bearing pelmicrite, Plane-polarized light, No. q128-2. j. Bearing pelmicrite. Plane-polarized light, No. q149-1. k. Complete biodetritus-bearing pelmicrite. Plane-polarized light, No. q163-4. l. Complete biodetritus-bearing pelmicrite. Plane-polarized light, No. q235-3. m. Algae dander bearing pelmicrite. Plane-polarized light, No. q244-2. n. Fine-crystal dolostone formed after the dolomitization of the limestone. Plane-polarized light, No. q272-1. All of the scale bars on photos g—n equal to 200 μm .

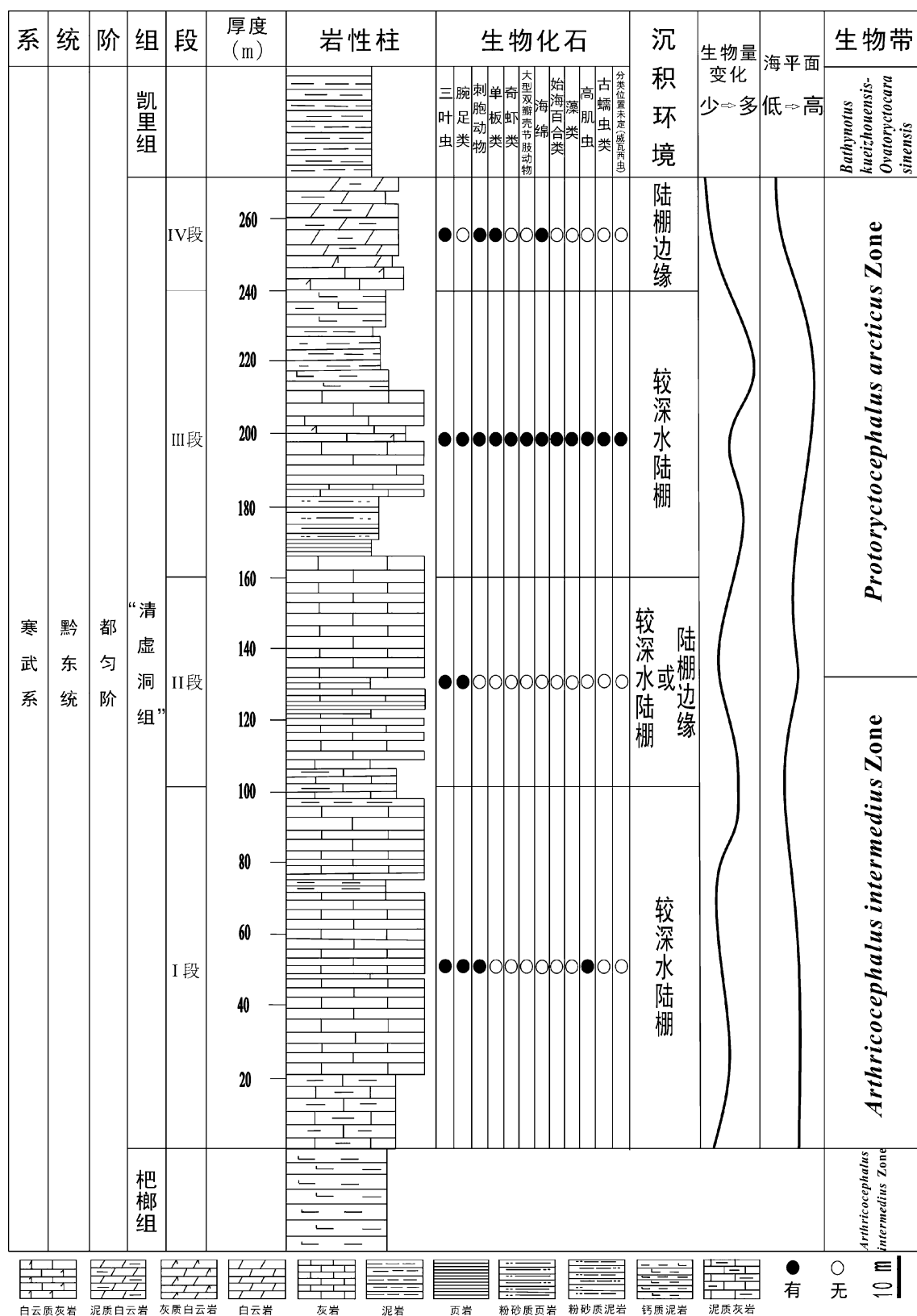


插图 4 贵州剑河八郎寒武系“清虚洞组”沉积特征及海平面变化综合柱状图

Synthesis lithological column of the sedimentary characters and sea-level changes of the “Tsinghsutung Formation” (Cambrian Stage 4), Jianhe County, Guizhou Province.

只是取样的缘故,但镜下观察较Ⅰ段沉积物颜色变浅,粒度变大,证明沉积速率较Ⅰ段更快,水体深度较Ⅰ段变浅,本段沉积期可能为较深水陆棚环境或陆棚边缘环境。根据野外观察的岩性特征及微相分析,反映本段沉积期水体深度较Ⅰ段整体呈下降趋势。但在本段沉积早期,水体深度较Ⅰ段末期可能有呈短暂的变深趋势,早中期水体开始变浅,水中含氧量增大,海底位于氧化还原面之上。

4.3 “清虚洞组”Ⅲ段(160—240 m)

Ⅲ段的岩性为灰岩和泥岩不等厚互层。灰岩镜下鉴定为含完整生物碎屑泥质微晶灰岩(插图 3-g, h),镜下观察基质主要成分为微晶方解石和泥质,泥质含量很高,含量高于 25%,沉积物颜色较深,颗粒小,指示水体较深、动能弱,出现较完整的三叶虫生物碎屑,基质中泥质占主导,生物碎屑外形尚可辨识,保存较好(插图 3-g, h),其它颗粒较少。该段接近的标准微相类型为 SMF2,8,对应的标准相带最可能为 FZ2。本段中上部为“清虚洞组”化石主要产出层位,形成了一套水平层理较发育的泥岩,出现了大量逃逸能力强的游泳类型节肢动物吐卓虫(朱茂炎等,1999;达扬等,2011),可指示生物体死亡后经历的快速沉积事件(插图 2-f)。蠕形动物标本,虫体呈不规则的 S 型,记录了虫体在沉积事件发生时虫体试图逃逸的过程。由于泥质沉积物有着很强隔绝氧气的能力,在一定程度上降低了生物的逃逸能力,使生物体窒息死亡快速原地埋藏(插图 2-c);高肌虫化石标本两瓣壳互相较接,瓣壳呈两侧对称保存,凹面朝上,指示生物体死亡后呈自然状态垂直降落,未受明显扰动,并处于封闭空间内隔绝氧气及微生物(插图 2-k),在生物体死亡后未经搬运被快速悬浮沉积物原地埋藏且环境中水动力条件较弱。突发的快速沉积事件将大量生物体掩埋、堆积,再加上泥质沉积物具有很强隔绝氧气的能力以及对尸体较好的保护能力,使“清虚洞组”中上部泥岩处的化石丰度突然增大。综上,本段早期沉积时水体深度较Ⅱ段末期呈变深趋势,中晚期水体开始变浅,含氧量增大,底栖生物繁盛,沉积末期海平面下降到本段最低点,海底位于氧化还原面附近,应为较深水陆棚环境(张正华等,1996;杨兴莲等,2010),水动力条件相对较弱。因突发的沉积事件而构成了较好的化石保存条件,而泥质沉积物有较强的隔绝氧气抗腐蚀能力和较好的尸体保护能力,导致Ⅲ段上部化石丰度和分异度明显增大。

4.4 “清虚洞组”Ⅳ段(240—272 m)

Ⅳ段下部的岩性为含丰富藻屑泥质微晶灰岩(插图 3-i);中、上部的岩性为含雾心亮边白云石的细晶白云岩(插图 3-j)。本段出现的白云岩均为灰岩次生白云岩化后形成,且白云岩化程度不均匀,只能说明成岩环境,无法作为分析沉积环境的证据。镜下观察沉积物的颜色较Ⅲ段明显变浅,粒度变大,非定向排列;基质主要成分为微晶方解石和泥质,泥质含量高于 25%。出现大量藻屑(插图 3-i),基质主要成分为细晶白云石和泥质,泥质含量低于 10%,出现雾心亮边结构(插图 3-j)。本段下部出现的灰岩接近标准微相类型 SMF3,对应标准相带为 FZ3。中、上部出现的白云岩均为次生白云岩化后形成,无法对应任何一种标准微相类型。综上,本段沉积期水体相对较浅,水动力变强,沉积早期水体深度较Ⅲ段末期呈持续下降趋势,中期水深下降到本段最低点,之后水深基本维持不变,相对海平面的高度为“清虚洞组”沉积期最低,海底位于氧化还原面之上。本段下部的灰岩沉积期应为贫氧-充氧的陆棚边缘环境。

5 结 语

贵州剑河八郎松山“清虚洞组”岩性主要由灰岩、泥岩及白云岩组成,水平层理发育,层内少见生物扰动。表明沉积期环境较宁静,水体动能弱。根据“清虚洞组”的岩性变化特征和化石保存情况,结合微相分析,表明贵州剑河松山剖面“清虚洞组”沉积于广海、盐度正常、较深水陆棚-陆棚边缘的沉积环境。本组Ⅲ段沉积期海底位于氧化还原界面附近,Ⅰ段、Ⅱ段和Ⅳ段沉积期海底均位于氧化还原界面之上。沉积期水体深度由底向上出现 5 次较明显的深浅变化,3 次变浅和 2 次变深交替出现,在中上部泥岩处水体达到最深且有一个指示快速沉积事件的特异埋藏化石群,突发的快速沉积事件使Ⅲ段上部的化石丰度和分异度明显增大,同时也为“清虚洞组”化石的主要产出层位,底栖化石保存较好。Ⅰ段、Ⅱ段化石较少,从Ⅲ段开始,化石丰度和分异度明显增大,底栖生物化石数量增多且保存完整度高。生物所处的生活环境为低能、盐度正常的贫氧-充氧浅海较深水陆棚-陆棚边缘环境,特异的埋藏条件也为各类化石较完整的保存创造了良好的环境。

综上所述,通过对松山剖面“清虚洞组”沉积环境的初步研究和分析,增加了“清虚洞组”有关沉积学、古生物地层学的新信息。

致谢 本文在成文过程中,前贵州省地质矿产局王立亭总工给予悉心指导和帮助,两位审稿专家提出宝贵意见,贵州大学杨宇宁修改摘要,剑河八郎村村民刘峰、刘泽福及贵州大学古生物研究所研究生陈婉怡、杨光福及许留恩等参与岩样的采集工作,在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献 (References)

- Da Yang (达 扬), Peng Jin (彭 进), Zhao Yuan-long (赵元龙), Ma Hai-tao (马海涛), Gu Yu (谷 雨), 2011. Preliminary investigation on sedimentary environment of the Balang Formation in Geyi, Taijiang, Eastern Guizhou, China. *Geological Review (地质论评)*, **57**(4): 574—582 (in Chinese with English abstract).
- Fang Ye-sen (方邨森), Ren Lei-fu (任磊夫), 1987. *Sedimentary Petrology*. Beijing: Geological Publishing House. 1—337 (in Chinese).
- Gaines R R, Mering J A, Zhao Yuan-long, Peng Jin, 2011. Stratigraphic and microfacies analysis of the Kaili Formation, a candidate GSSP for the Cambrian Series 2-Series 3 boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **311**(2011): 171—183.
- Liu Yu-juan (刘玉娟), 2016. Brachiopods from the Cambrian “Tsinghsutung Formation” at Balang Village, Jianhe County, Guizhou Province. Guizhou: Guizhou University. 1—66 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yu-juan (刘玉娟), Zhao Yuan-long (赵元龙), Liu Yu-ying (刘玉莹), Mao Yong-qin (毛永琴), 2015. A preliminary study of *Kutorgina billingsi*, 1861 from Cambrian “Tsinghsutung Formation” of Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **54**(3): 342—350 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yan-hao (卢衍豪), 1962. Cambrian System of China. In: All China Commission of Stratigraphy, National Stratigraphic Conference Compilation of Academic Reports. Beijing: Science Press. 25—35 (in Chinese).
- Luo Xiu-chun (罗绣春), 2015. Biostratigraphy of Oryctocephalid Trilobites from the Cambrian “Tsinghsutung Formation” at Balang Village, Jianhe County, Guizhou Province. Guizhou: Guizhou University. 1—73 (in Chinese with English summary).
- Luo Xiu-chun (罗绣春), Zhao Yuan-long (赵元龙), Peng Jin (彭进), Yang Yu-ning (杨宇宁), Pan Yong-jin (潘永金), 2014. A preliminary study of *Protoryctocephalus* Chow (Zhou) in Lu *et al.*, 1974b from the Cambrian “Tsinghsutung Formation” of Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **53**(3): 327—334 (in Chinese with English abstract).
- Peng Jin (彭进), 2009. The Qiongzhusi (Cambrian) Balang Fauna from Eastern Guizhou, South China. Nanjing: Nanjing University. 1—137 (in Chinese with English abstract).
- Sun Hai-jing, Zhao Yuan-long, Peng Jin, Yang Yu-ning, 2014. New *Wiwaxia* material from the Tsinghsutung Formation (Cambrian Series 2) of Eastern Guizhou, China. *Geological Magazine*, **115**(2): 339—348.
- Wang Ming-kun (王铭坤), 2017. The Study of Cambrian Trilobites from the “Tsinghsutung Formation”, Balang Village, Jianhe County, Guizhou Province. Guizhou: Guizhou University. 1—73 (in Chinese with English summary).
- Wang Ming-kun (王铭坤), Zhao Yuan-long (赵元龙), 2016a. Ptychopariid trilobites from upper part of the “Tsinghsutung Formation” (Stage 4, Cambrian) at Balang Village, Jianhe County, Guizhou Province. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **55**(2): 52—62 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ming-kun (王铭坤), Zhao Yuan-long (赵元龙), Luo Xiu-chun (罗绣春), Chen Wan-yi (陈婉怡), 2016b. *Olenoides* Meek, 1877 from the “Tsinghsutung Formation” at Balang, Jianhe County, Guizhou Province. *Geological Journal of China Universities (高校地质学报)*, **22**(3): 486—493 (in Chinese with English abstract).
- Wilson J L, 1975. Carbonate Facies in Geologic History. Berlin: Springer-Verlag. 1—879.
- Yan Qiao-jie (闫巧洁), 2014. Restudy of Lithostratigraphy and Biostratigraphy of the Qiongzhusi (Cambrian) Balang Formation at Jianhe, Guizhou, China. Guizhou: Guizhou University. 1—55 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xing-lian (杨兴莲), Zhao Yuan-long (赵元龙), Peng Jin (彭进), Yang Yu-ning (杨宇宁), Yang Kai-di (杨凯迪), 2010. Discovery of Oryctocephalid Trilobites from the Tsinghsutung Formation (Duyunian Stage, Qiongzhusi Series, Cambrian), Jianhe County, Guizhou Province. *Geological Journal of China Universities (高校地质学报)*, **16**(3): 309—316 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yu-ning (杨宇宁), Zhao Yuan-long (赵元龙), Peng Jin (彭进), Yang Xing-lian (杨兴莲), 2012. *Oelandiella* from the Cambrian “Tsinghsutung Formation” of Jianhe County, Guizhou. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **51**(3): 308—319 (in Chinese with English abstract).
- Yin Gong-zheng (尹恭正), 1987. Cambrian. In: Bureau of Guizhou Geology and Mineral Resources (ed.), Regional Geology of Guizhou Province. PRC Ministry of Geology and Mineral Resource: Geological Memories Series 1 (7). Beijing: Geological Publishing House. 49—96 (in Chinese).
- Yin Zan-xun (尹赞勋), Mou Yi-rui (谋义睿), Qin Ding (秦 鼎), 1945. Cambrian strata in Meitan County. *Geological Review (地质论评)*, **10**(5-6): 205—220 (in Chinese).
- Yuan Jin-liang (袁金良), Zhao Yuan-long (赵元龙), Li Yue (李 越), Huang You-Zhuang (黄友庄), 2002. Trilobite Fauna of the Kaili Formation (Upper most Lower Cambrian—Lower Middle Cambrian) from South Eastern Guizhou, South China. Shanghai: Science and Technology Press. 1—422 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wen-tang (张文堂), Lu Yan-hao (卢衍豪), Zhu Zhao-ling (朱兆玲), Qian Yi-yuan (钱义元), Lin Huan-ling (林焕令), Zhou Zhi-yi (周志毅), Zhang Sen-gui (张森桂), Yuan Jin-liang (袁金良), 1980. Cambrian Trilobite Faunas of Southwestern China. Beijing: Science Press. 1—497 (in Chinese with English summary).
- Zhang Zheng-hua (张正华), Shen Jian-wei (沈建伟), Gong Xian-ying (龚显英), Zhao Yuan-long (赵元龙), Mao Jia-ren (毛家仁), Yan Chang-hong (颜长虹), 1996. A preliminary discussion on preservation condition of Kaili Fauna, Middle Cambrian, Taijiang, Guizhou. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **35**(5): 607—621 (in Chinese with English summary).
- Zhao Yuan-long (赵元龙), Ahlberg P, Yuan Jin-liang (袁金良), 1994. A new species of trilobite olenoides from Middle Cambrian of Taijiang, Guizhou. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学*

- 报), 33(3): 367—375 (in Chinese with English summary).
- Zhao Yuan-long (赵元龙), Yuan Jin-liang (袁金良), Zhang Zheng-hua (张正华), Mao Jia-ren (毛家仁), Huang You-zhuang (黄友庄), Gong Xian-ying (龚显英), Wang Kun (王 崑), 1993. The preliminary study of Kaili Formation and its synchronous strata in the transitional belt, South China. *Journal of Stratigraphy (地层学杂志)*, 17(3): 170—178 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuan-long, Peng Jin, Yuan Jin-liang, Babcock L E, Guo Qing-jun, Yin Lei-ming, Yang Xing-lian, Tai Tong-shu, Wang Chun-jiang, Lin Jin-pai, Gaines R R, Sun Hai-jing, Yang Yun-ning. 2012. Discussion of candidate stratotypes for the GSSP defining the conterminous base of Cambrian provisional Series 2 and Stage 5. *Journal of Guizhou University (贵州大学学报)*, 29(Suppl. 1): 35—48.
- Zhou Zhi-yi (周志毅), Yuan Jin-liang (袁金良), Zhang Zheng-hua (张正华), Wu Xiao-ru (吴孝儒), Yin Gong-zheng (尹恭正), 1979. The Cambrian biogeographical districts of Guizhou Province and its neighboring regions. *Journal of Stratigraphy (地层学杂志)*, 3(4): 258—271 (in Chinese).
- Zhou Zhi-yi (周志毅), Yuan Jin-liang (袁金良), Zhang Zheng-hua (张正华), Wu Xiao-ru (吴孝儒), Yin Gong-zheng (尹恭正), 1980. Biogeographic partition of Cambrian from Guizhou and its adjacent areas. *Journal of Stratigraphy (地层学杂志)*, 4(4): 273—281(in Chinese).
- Zhu Mao-yan (朱茂炎), Erdtmann B D, Zhao Yuan-long (赵元龙), 1999. Taphonomy and paleoecology of the early Middle Cambrian Kaili Lagerstätte in Guizhou, China. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, 38(Suppl.): 28—61 (in Chinese with English summary).
- Zou Xiao-dong (邹晓东), Guo Wen (郭 文), Jiang Da-yong (江大勇), Sun Zuo-yu (孙作玉), 2015. Preliminary analysis of environment of fossils reservoir of Xingyi Fauna in Guizhou Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis (北京大学学报)*, 51(3): 472—484 (in Chinese with English abstract).

PRELIMINARY ANALYSIS OF SEDIMENTARY ENVIRONMENT FROM CAMBRIAN “TSINGHSUTUNG FORMATION” IN BALANG AREA, JIANHE COUNTY, GUIZHOU PROVINCE—CASE STUDY OF SONGSHAN SECTION FROM BALANG VILLAGE, JIANHE COUNTY

ZHANG Yuan and ZHAO Yuan-long

(Guizhou Research Centre for Palaeontology, Guizhou University, Guiyang 550025, China, zhaoyuanlong@126.com)

Key words Sedimentary environment, microfacies, sea-level change, Cambrian “Tsinghsutung Formation”, Guizhou Province

Abstract

The Cambrian “Tsinghsutung Formation” crops out extensively in eastern Guizhou, it is perfectly exposed in the Songshan section at the Balang Village, Jianhe County. “Tsinghsutung Formation” is 272 m thick. Lithologically, the “Tsinghsutung Formation”, dominated by limestones, mudstones and dolomites can be subdivided into four members in ascending order: Thin-bedded to medium-bedded biotritus pelmicrite (Member I); Thin-bedded to medium-bedded pelmicrite (Member II); Thin-bedded to medium-bedded biotritus pelmicrite (Member III); Thin-bedded to medium-bedded pelmicrite with algae underlaying fine-crystal dolostones (Member IV). What’s more, silt mudstone from the upper part of the “Tsinghsutung Formation”

contains a Burgess shale-type Lagerstätte, known as the Jianhe biota. Based on detailed field investigation, microfacial analysis and palaeontological evidence, we proposed that the limestone-dominated “Tsinghsutung Formation” was deposited at the edge of deep shelf or deep shelf, which refers to a low water energy environment with high oxygen, normal salinity and good light conditions. Specifically, the Lagerstätte in the mid-upper part of the “Tsinghsutung Formation” indicates a rapid-burial event. In general, the sea level regarding the entire Tsinghsutung succession changes corresponding to three shallowing periods and two deepening periods, respectively. Our study also indicates that the Member III may have been deposited nearby the redox surface, whereas the members I, II and IV were probably deposited above the redox surface.