

贵州第一枚标准层型剖面及点位(GSSP)金钉子

——寒武系苗岭统及乌溜阶研究与意义

赵元龙¹,袁金良²,郭庆军³,尹磊明²,杨兴莲¹,
王春江⁴,杨瑞东¹,王 约¹,杨宇宁¹,陈圣光¹,罗 雪¹

(1. 贵州大学,贵州 贵阳 550025;2. 中国科学院南京地质古生物研究所,江苏 南京 210008;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100001;4. 中国石油大学,北京 102249)

[摘 要]2018 年 6 月 21 日,国际地科联全票通过批准寒武系第三统为苗岭统,第 5 阶为乌溜阶的全球标准层型及点位(GSSP)的建议,落户在中国贵州八郎,这是我国获得的第 11 个金钉子,使我国成为拥有金钉子最多的国家。由贵州大学赵元龙为首的由贵州大学及中科院南京古生物研究所等单位组成的国际研究团队,历时 35 年,通过三叶虫、疑源类地层、层序地层、无机及有机地球化学等多学科综合研究,经过了激烈的多国竞争而获得,成为全球同期地层对比中心。

[关键词]“金钉子”;寒武系,苗岭统及乌溜阶;全球同期地层对比;贵州

[中图分类号]P52;P53;P534.41 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2021)03-0229-09

1 地理位置

寒武系苗岭统及乌溜阶金钉子位于贵州剑河八郎乌溜-曾家崖凯里组剖面,该剖面位于剑河革东西北方向(图 1),直线距离仅 3 km 左右,之南为八郎村,东南方向为屯州村,地理坐标为东经 108° 24' 830"E,北纬 26° 48' 43"N;屯州及八郎均有公路通革东,革东有高速公路,西通贵阳,东通长沙。乌溜-曾家崖剖面由屯州步行约 30 分钟,由八郎步行 40 分钟到达。

2 地质背景

剑河革东地区寒武系早中期地层位于扬子地台区和江南区之间的寒武系过渡区(周志毅等,1979,1980;尹恭正,1987)。研究区位于革

东向斜的西北翼(图 3),由成冰系至埃迪卡拉系及寒武系组成,构成了长达 5 km 的少有的多系连续地层剖面,其中寒武系出露有留茶坡组、牛蹄塘组、九门冲组、变马冲组、杷榔组、“清虚洞组”、凯里组、甲劳组及娄山关组,含生物群的地层从老到新为含杷榔生物群的杷榔组,含剑河生物群的“清虚洞组”,产金钉子及凯里生物群的凯里组(图 3)。

杷榔组:分布在交榜及辣子寨一带,主要由灰绿色粉砂质泥岩组成,下部夹钙质粉砂岩及少量泥灰岩,产大量三叶虫,中上部产杷榔生物群,厚 400 m 左右。

“清虚洞组”:主要分布与交榜与八郎村之间的松山一带,由灰绿色中层灰岩、泥岩及白云岩组成。中及中下部为灰岩,中上部为灰岩与泥岩互层,顶部为白云岩,产三叶虫、中上部产剑河生物群,厚约 220 m。

[收稿日期]2021-05-19 [修回日期]2021-07-12

[基金项目]国家自然科学基金项目(编号:49060010、40372023 和 40672018);国家科技部 973 项目(2002CC2600 和 2006CB806401);全国地层委员会基金及贵州省科技基金 GSCFG(2010)001 联合资助。

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

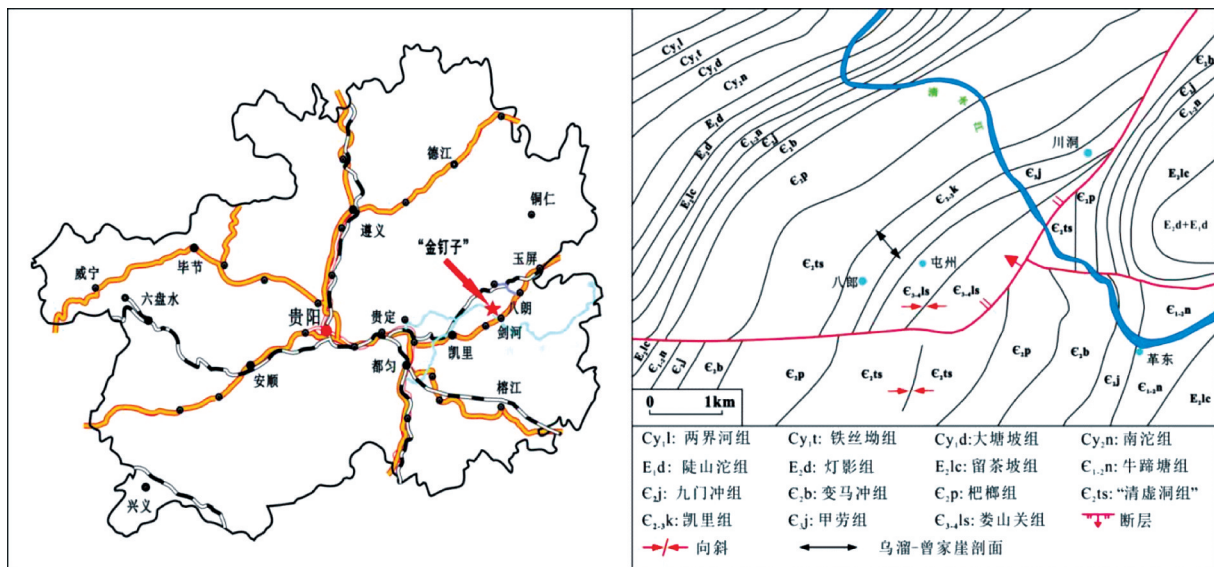


图1 贵州剑河八郎乌溜-曾家崖剖面地理位置及研究区地质图(据 Zhao et al., 2012 修改)

Fig. 1 Map showing the geographic location of Wuliu-Zengjiaya section and a succession geological map of the study area(modified from Zhao et al., 2012)

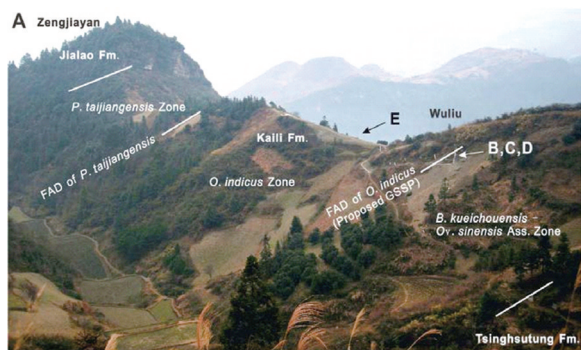


图2 乌溜-曾家崖金钉子剖面及凯里组三个三叶虫生物带

Fig. 2 View of the Wuliu-Zengjiaya section showing three trilobites zones of the Kaili Formation

凯里组:主要分布于八郎村、苗板坡及川洞等地。为跨2统及3统的岩石地层,乌溜-曾家崖凯里组厚214.2 m,分为30层,3段:

(1)灰—深灰色灰岩,泥岩,25.9 m。主要产宽背虫 *Bathynotus*、莱德利基虫 *Redlichia*、原掘头虫 *Protoryctocephalus*、瘤冠掘头虫 *Ovatoryctocara* 等,包括1-6层。

(2)灰—青灰色中厚层粉砂质泥岩,包括7-26层,产三叶虫,中上部产凯里生物群,苗岭统及乌溜阶底界即金钉子位于52.8 m处,厚148.1 m。

(3)灰色泥晶灰岩,生物碎屑灰岩,下部泥灰岩,夹风暴岩包括27-30层,厚40.2 m。

经过30多年研究,不断采集三叶虫,进行鉴定,不断变更三叶虫组合带。直至2015年,更正了 *Ovatoryctocara granulata* 为 *Ovato. sinensis*,最终

在凯里组由下而上建立了3个三叶虫带:1 贵州宽背虫-中国徽冠掘头虫组合带(*Bathynotus kueichouensis*-*Ovatoryctocara sinensis* Ass. Z)从0 m~52.8 m处;2. 印度掘头虫带(*Oryctocephalus indicus* Z.)从52.8 m~143.8 m;3. 台江胸针球接子带(*Peronossis taijiangensis* Z.)从143.8 m~214.2 m处。(图3)(Zhao et al., 2017, 2019)。

甲劳组:分布于屯州村及八郎村东,主要由灰色中厚层及厚层白云质灰岩,粉砂质白云岩组成,化石门类虽少,但也产三叶虫、腕足类、少量水母状化石、刺胞动物、藻类及遗迹化石。

乌溜-曾家崖凯里组剖面位于八郎村之北的乌溜-曾家崖山脊,中下部52.8 m处为苗岭统及乌溜阶金钉子标准层型剖面及点位处,中上部产凯里生物群。该剖面之北0.6 km的苗板坡剖面凯里组中上部凯里生物群是凯里生物群化石最丰富的产地(图4)。

3 寒武系苗岭统乌溜阶金钉子与科学意义

3.1 研究概况

(1) 乌溜-曾家崖剖面凯里组剖面岩石学研究

乌溜-曾家崖剖面凯里组厚214.2 m(赵元龙等,1990,1992,1993),由灰绿色粉砂质泥岩组成,

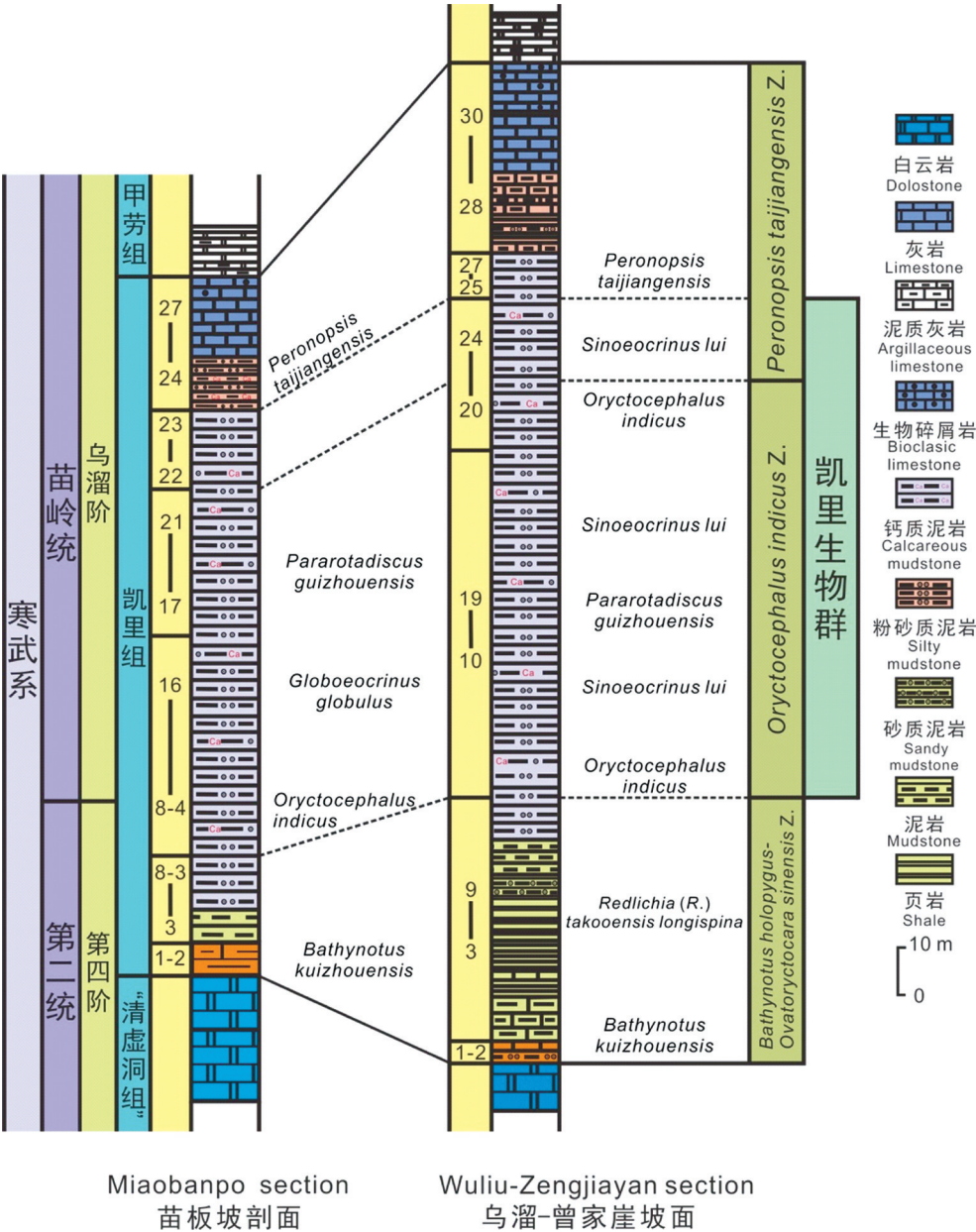


图 3 剑河八郎乌溜-曾家崖剖面及苗板坡凯里组柱状对比图



图 4 乌溜-曾家崖剖面寒武系苗岭统及奥陶纪界线

Fig. 4 Boundary of Cambrian Miaoling series and Wuliuan stage in Wuliu-Zengjiaya section

下部及上部以灰岩,生物碎屑灰岩为主,岩层出露好,没有变形及变质,产状稳定,层段清晰,完全符合地层委员会颁发的“国际地层委员会关于建立全球年代地层标准剖面的准则”(Zhao et al., 2001, 2019),并进行了岩石地层学的研究。

(2)生物地层研究

化石丰富,含有大量三叶虫、疑源类,分带性明显,中上部为著名的凯里生物群,含有 120 多个动物化石属,分属 10 大化石门类。

经过 30 多年研究,不断完善三叶虫组合带:

1. 贵州宽背虫-中国徽冠掘头虫组合带 (*Bathynotas kueichouensis* - *Ovatoryctocara sinensis* Ass. Z);

2. 印度掘头虫带 (*Oryctocephalus indicus* Z); 3. 台江胸针球接子带 (*Peronossis taijiangensis* Z) (Zhao et al., 2017, 2019)。

疑源类可分为 2 个组合带, 下部为 *Letomarginata simplex* - *Fimbriaglomerelia membranacea* Ass. Z, 上部为 *Cristallinium cambriense* - *Heliosphaeridium nodosum* - *Globosphaeridium Cerin* Ass. Z (Yin et al., 2008; 尹磊明 等, 2010; Zhao et al., 2019, Fig. 9), 两个组合带界线位于 52.3 ~ 52.7 m, 稍低于 *O. indicus* 首现的 52.8 m。

因此, 凯里组的年代地层跨寒武系第 2 统与第 3 统, 是跨年代的岩石地层单位。

(3) 地球化学有机地球化学研究

碳硫同位素研究及有机地球化学研究结果, 其漂移点与 *O. indicus* 首现点处于近一致水平 (Guo et al., 2005, 2014; Wang et al., 2014; Zhao et al., 2019)

(4) 层序地层研究

凯里组海平面最大变化位 (mfs) 与 *O. indicus* 首先点近于一致。(王约等, 2005; Zhao et al., 2019, 图 3)

(5) 全球同期地层对比研究

以 *O. indicus* 为标准, 与北印度、西伯利亚、北美、北格陵兰同期地层进行了直接对比 (Zhao et al., 2019, Fig. 2), 以 *Bathynotus* 作参考, *Bathynotus kueichouensis* - *Ovatoryctocara sinensis* ASS. Z 与澳大利亚含 *Bathynotus* 层位的 *Pentagnostus krusei* 带进行对比; 通过西伯利亚 *Oryctocephalus indicus* Z 中的 *Paradoxides* 与地中海中的 *Eccaparadoxides szuyi* Z 和 *Acadoparavidides mureroensis* Z 进行对比 (Zhao et al., 2019, Fig. 2)。

乌溜-曾家崖凯里组剖面与其潜在竞争对手美国的 Split 山东坡剖面及西伯利亚 Molodo 河剖面相比, 不仅岩层出露好, 化石非常丰富, 剖面研究程度深, 交通发达, 气候温和, 一年四季均可工作, 政府重视剖面保护, 是一个寒武系第 3 统及第 5 阶国际标准剖面及点位最好的剖面, 也因此获得国际寒武系分会、国际地层委员会及国际地科联的青睐, 最后获地科联全票通过, 批准赵元龙团队的建议, 将寒武系第 3 统命名为苗岭统, 第 5 阶为乌溜阶并落户于中国贵州剑河八郎。

3.2 科学意义

金钉子 (Golden Spike) 是地质学专业术语“全

球标准层型剖面 and 点位 (GSSP)”的俗称, 也是阶的底界的国际标准。1965 年成立的国际地层委员会及各个分会一直致力于金钉子的研究, 并将完善地球 46 亿年形成以后的年代地层及国际地质年代表 (彭善池 等, 2005; 2014; 2016)。

像其他金钉子一样, 寒武系苗岭统及乌溜阶金钉子包括的标准剖面是指含有层型点位及剖面的一段界线地层。

苗岭统及乌溜阶的建立是全球寒武系第 3 统及第 5 阶全球标准剖面及点位的具体落实, 苗岭统及乌溜阶是我们课题组给国际寒武系分会、国际地层委员会、国际地科联报告中提出的专有年代名词。苗岭统中的苗岭来源于贵州中部东西向的苗岭山脉, 而乌溜阶的乌溜是指八郎村北西北—东南向乌溜-曾家崖山脊的西北部一段地名。乌溜-曾家崖凯里组沿山脊由西北向东南方向延伸, 是我们 30 多年来研究的基准剖面。现在不仅成为寒武系第 3 统苗岭统及第 5 阶乌溜阶命名地, 也是全球同期地层对比的标准, 各国学者已经运用苗岭统及乌溜阶作为各自国家寒武系划分的标准, 具有重要科学意义。

35 年来, 贵州寒武系苗岭统及乌溜阶的研究运用了多学科手段, 包括运用岩石学、生物地层学、地层层序学、碳硫同位素地球化学及有机地球化学、国际地层对比等手段进行了研究, 发表论文 50 多篇, 这种多学科高精度的综合研究保证了苗岭统及乌溜阶金钉子的获得, 其学术成果得到国际的认可。由于金钉子是高科技水平的成果, 各个国家的古生物及地层学家纷纷投入, 苗岭统与乌溜阶获得, 经过 3 个国家古生物学家的激烈竞争, 最终取得了成功。

全球的金钉子, 计划 110 多个, 2018 年已定 69 个, 建立一个金钉子十分不易。

金钉子的建立不仅为古生物学、地质学圈内心的事, 也同为大众的事, 促进旅游事业及经济发展。中国曾以 2011 年浙江江山阶金钉子成果成为全球拥有金钉子最多的国家, 其后为意大利追平。2018 年苗岭统及乌溜阶金钉子的获得又使我国成为拥有全球金钉子数最多的国家。

从科学角度来讲, 苗岭统及乌溜阶还有一个特殊意义, 它的剖面中上部还产全球第三大组成的布尔吉斯型生物群凯里生物群。

此外, 这是贵州的第一个金钉子。中国具有金

钉子的4个省份:浙江(4个)、湖北(2个)、湖南(2个)、广西(2个)均为中科院南京地质古生物研究所、中国地质大学、中国地质科学院及武汉地调局为主进行研究,而贵州省苗岭统及乌溜阶金钉子研究主要由贵州大学赵元龙于1983年发起、组织领导研究实现的,是贵州科技后发赶超一例。该成果获得了2018年中国古生物学会十大进展。

4 研究历程

贵州寒武系苗岭统及乌溜阶金钉子研究,长达35载,可分为两个阶段,第一阶段为寒武系3分阶段时期中一下寒武统阶段及寒武系4分后的第3统及第5阶研究阶段。

4.1 中一下寒武统界线研究阶段(1983—2004年)

4.1.1 项目的起源——灵感

1982年,贵州工学院赵元龙、黄友庄、龚显英3位年均45岁的中年讲师于11月初带着贵州工学院副院长叶大元批准的“凯里—丹寨一带寒武统三叶虫研究”项目3000元至台江革东(现剑河革东)进行野外工作,在八郎后山乌溜—曾家崖凯里组剖面上寻找化石。11月8日,赵元龙、黄友庄、龚显英在凯里组中上段发现了凯里生物群。踏勘剖面采集三叶虫时,发现凯里组中—下部三叶虫组合有明显的差异,当时产生了灵感,认为差异处很可能就是中、下寒武统界线,而20世纪60—80年代全球都在进行中、下寒武统界线研究。于是,1983年,就在凯里生物群发现的第二年,赵元龙就进行了中、下寒武统界线研究,就是这个灵感就促成了寒武系苗岭统及乌溜阶金钉子最终落户八郎。

4.1.2 测制剖面,进行宽背虫 *Bathynotus* 研究及三叶虫地层初步研究(1983—1992)

初步的思维就是要多测凯里组剖面,了解凯里组中、下寒武统界线的普遍性。除乌溜—曾家崖凯里组剖面及周志毅、张正华等已于1970年测制的丹寨南皋凯里组剖面外,还在寒武系凯里组相区南北两侧再各测一条剖面,南部为平寨剖面,北部为川硐剖面。1984年,在贵大周丕康的组织下,贵州工学院地勘83级同学舒真良、汤典银、曾毅等参与测制了平寨—官家寨凯里组剖面,在地勘81级温安贵、张杰、王伟等同学参与下测制川

硐凯里组剖面,赵元龙等还于1984年、1989年两次测制乌溜—曾家崖凯里组剖面,1989年测制的剖面分为30层以GTB打头,均采集了大量三叶虫及其他门类化石,至1993年完成2项成果。

一是完成了贵州凯里组及华南地区寒武系同期地层的划分及对比。

根据多个剖面三叶虫分布,凯里组由下而上分为了3个三叶虫带:a. 宽背虫—南皋盾壳虫组合带 *Bathynotus*—*Nangaopsis* ASS. Z; b. 掘头虫—兴仁盾壳虫组合带 *Oryctocephalus*—*Xingrenaspsis* ASS. Z; c. 甲劳库延虫带 *Kootenic jialaoensis* Z. 中、下寒武统界线划在 *Bathynotus*—*Nangaopsis* ASS. Z 与 *Oryctocephalus*—*Xingrenaspsis* ASS. Z 之间,也就是凯里组中、下寒武统界线位置,该成果发表在1993年地层杂志第3期上(赵元龙等,1993),这个界线实际上就是现在金钉子处(图4)。赵元龙等感觉到凯里组中的掘头虫很重要,首次用英文写了篇文章刊于贵州工学院报上,还指出要运用 *Oryctocephalus* 与北美等地进行比较(Zhao et al., 1996)。

二是以凯里组下部大量 *Bathynotus* 为基础,总结了全球几十年宽背虫的研究,得出宽背虫分布于稳定区与活动区之间的过渡区,地质历程短,是全球下寒武统上部标志性化石,意义大,文章刊于1990年古生物学报第1期(赵元龙等,1990)。俄、瑞典、澳大利亚、美国等国许多学者纷纷索要单行本,影响很大。

4.1.3 课题组成员袁金良、赵元龙等提出印度掘头虫 (*Oryctocephalus indicus*) 作为中寒武统首现三叶虫。

根据赵元龙于1989年测制的乌溜—曾家崖凯里组剖面,提出将中、下寒武统界线划至9层顶部即GTB9-2与GTB9-3,简而言之划至第9层与第10层之间。

在此基础上1997年,袁金良、赵元龙等首次提出印度掘头虫 *Oryctocephalus indicus* (Reed, 1910)作为中寒武统首现三叶虫,该文发表在古生物学报1997年第4期(袁金良等,1997)。这一重要发现为不仅整个课题组运用,而且国际合作伙伴,美国的Fredied Sundberg及Lina McCollum著文表示支持(Sundberg et al., 1999),赵元龙等文章不断运用(Zhao et al., 2001a, 2001b),并为国际寒武系地层委员会认可(Shelgold and Geyer, 2001; Shelgold and Geyer, 2002)。



图 5 寒武系苗岭统及乌溜阶首现三叶虫印度掘头虫 *Oryctocephalus indicus* (Reed, 1910)

Fig. 5 The *Oryctocephalus indicus* (Reed, 1910) is FAD of Cambrian Miaoling series and Wuliuan stage in Wuliu-Zengjiaya section

4.1.4 中、下寒武统界线研究走上国际平台

课题组负责人赵元龙通过“三叶虫通讯”结识了亦在研究中、下寒武统界线的美国东华盛顿大学的 Linda McCollum 教授与乔治华盛顿大学的 Fredied Sundberg 博士,双方决定合作研究全球中、下寒武统界线。2008 年 8 月, Linda 与 Sundberg 一行 3 人包括 Sundberg 的夫人 Deb. 来访,并至乌溜-曾家崖凯里组界线处进行短期野外工作,决定共同撰写论文,第一篇由 Sundberg 执笔,1999 年 Sundberg 为首的英文论文“华南与美国西部同中、下寒武统界线对比”发表在古生物学报上,并一致认为 *Oryctocephalus indicus* 是中寒武统首现三叶虫。1998 年 Linda 访问贵州后就赴瑞典,参加国际寒武系会议,会上介绍了乌溜-曾家崖凯里组剖面,八郎中、下寒武统界线研究走向国际舞台。2019 年 9 月,赵元龙率袁金良应邀访美,并参加国际寒武系内部划分会议,参观了 Linda 与 Sundberg 共同深入研究的内华内州 Split 山东坡寒武系剖面,该剖面的 *O. indicus* 层位厚仅 5 m,以槽子出现,下部未见 *Bathynotus*,上部有大断层,整个剖面不完整。

2001 年 8 月 28 日—9 月 5 日,国际寒武系在中国召开第 7 届寒武系内部再划分会议,由彭善池负责,包括 30 多位国际代表参观了乌溜-曾家崖凯里组剖面,赵元龙亦在台江国际学术报告会上首次介绍了乌溜-曾家崖凯里组界线研究概况。副省长龙

超云在贵州工业大学接见了国际寒武系分会主席谢尔戈尔德 (Shergold)、秘书长 Gerd Geyer 及选举委员彭善池等,这次会议使乌溜-曾家崖凯里组界线出现于全球广大寒武系研究者视野中,产生积极影响。以至于在 2003 年部分寒武系分会选举委员选举,乌溜-曾家崖剖面获第一,美国 Split 山剖面第二,俄罗斯 Molodo 河剖面第三,以后寒武系国际层型剖面竞争就在这 3 个剖面之间进行。

4.1.5 中、下寒武统界线的研究深入进行

仅 2001 年就发表了有关论文 7 篇 (赵元龙, 2001), 其中英文 4 篇, 发表于 *Palaeowold*, 古生物学报专刊 (英文)。正式成果有: 1) *O. indicus* 首现于乌溜-曾家崖凯里组剖面, 距凯里组底 52.8 m; 2) 正式提出乌溜-曾家崖剖面是最好的中、下寒武统界线国际层型剖面; 3) 尹磊明等提出疑源类研究及半定量地化研究也证实, 52.8 m 处是最好的中、下寒武统界线处。

研究工作及成果要特别要提出的有二点: 1) 2000 年 1 月, 赵元龙、郇通树、彭进、杨兴莲等于乌溜-曾家崖凯里组剖面 50~54 m。4 m 的层段进行详测, 以 20 cm 单位一层从 50 m 向上采集化石, 结果于 15 层即 52.8 m 处见到了一块 *O. indicus* 头盖化石标本, 这是件重要工作; 2) 主要由袁金良、赵元龙负责书写的“贵州黔东南中、下寒武统凯里组三叶虫”出版 (袁金良等, 2002), 其中球接子目、莱德利基虫目及竿棒头虫目由赵元龙书写, 其他由袁金良书写并统编出版, 此书出版也是中一下寒武统界线研究的重要成果, 但由于一些三叶虫鉴定宽松起了负作用, 特别是 *Ovatoryctocara granulata* 的误定, 影响了中寒武统或第 3 统首现三叶虫 (FAD) 的确定, 拖慢了 *O. indicus* 作为中寒武统首现三叶虫近 10 年。

4.1.6 中寒武统首现三叶虫 *Oryctocephalus indicus* 地位首先受到挑战

就在 *O. indicus* 受到国际寒武系分会肯定并建议成立工作组的时候, 它的地位受到了挑战。英国三叶虫家 Terence P. Fletcher 于 2001 年 (P. Fletcher, 2001) 提出。 *Arthrocephalus chauve-aui* 及 *Ovatoryctocara granulata* 均可作为中寒武统的首现三叶虫, 由于 *Arthrocephalus chauveaui* 比 *O. indicus* 低了 3 个三叶虫带, 很快受到否定, 而 *Ovatoryctocara granulata* 比 *O. indicus* 仅低了 1 个三叶虫带, 具有竞争性, 从此开始了中寒武统 FAD 分子 *O. indicus* 和 *Ovatoryctocara*

granulata 之间 10 多年的竞争。

4.2 寒武系第三统及第 5 阶国际标准层型剖面及点位(GSSP)研究(2005—2016)

2004 年,在韩国召开的第九届寒武系内部再划分会议上,彭善池提出的寒武系 4 统 10 阶的划分方案得到国际寒武系分会的认可(Loren et al., 2005)。我们的中、下寒武统界线研究课题亦变为寒武系第三统及第 5 阶标准剖面及点位(GSSP)的研究课题。这个期间有 2 方面的研究内容,其一是寒武系第 3 统首现分子 *Oryctocephalus indicus*,经过争论,最终“获胜”。其二是乌溜-曾家崖剖面与美国 *Split* 山东剖面作 GSSP 剖面的争夺,最终成为 GSSP 剖面。

同时,我们的研究长期不仅得到世界一流的三叶虫专家彭善池及寒武系分会主席 Loren、秘书长 Per 等的支持、引导,而且还得到新生界的支持,2014 年西班牙马德里大学 Jorge Esteve 博士强

烈要求加入我们研究团队,他为 *O. indicus* 成为寒武系第 3 统及第 5 阶成为首现三叶虫而作最后冲刺及斗争。2—3 年内,Esteve 研究了 600 多件凯里组 *O. indicus*,利用数理统计、埋藏的方法指出西伯利亚的 *O. reticulatus* 以及美国的 *O. americanus* 均为 *O. indicus* 的同义词(Esteve et al., 2017),使 *O. indicus* 的声势又上一层楼,他对 *O. indicus* 的支持,对乌溜-曾家崖剖面的好感,不仅影响了西班牙的寒武系选举委员 Alvaro J. J. Gozalo Y. R.,而且还影响了国际寒武系分会秘书长 Per Ahlberg。

在 2014 年瑞典、2015 年奥地利和 2016 年澳大利亚国际埃迪卡拉纪及寒武系会议上,连续组织、安排了赵元龙、彭进、袁金良、尹磊明、杨兴莲等人参会,介绍乌溜-曾家崖剖面的疑源类、三叶虫地层、综合研究,使乌溜-曾家崖剖面是寒武系 3 统及 5 阶标准剖面及点位的声势影响整个会场及寒武系分会,期间发表了系列论文(Guo et al., 2014; Peng et al., 2014; Esteve et al., 2017; Yin et al., 2016; Zhao et al., 2015, 2017)。

June 21, 2018

Prof. Philipp Gibbard
Secretary-General, International Commission on Stratigraphy (IUGS)

Dear Prof. Gibbard,

I am pleased to inform you that the IUGS Executive Committee has voted unanimously to ratify the GSSP proposal for the base of the Miaolingian Series and Wuliuan Stage (Cambrian) as approved by the International Commission on Stratigraphy and forwarded to the IUGS EC on 8 June 2018.

Congratulations to the International Commission on Stratigraphy. Also please send congratulations from the IUGS EC to Professors Loren Babcock and Per Ahlberg, Chair and Secretary General, respectively, of the International Subcommission on Cambrian Stratigraphy, and to Prof. Zhao Yuanlong, lead author on the ratified GSSP proposal.

Sincerely,



Stanley C. Finney
Secretary General of IUGS

www.iugs.org

President
Prof. Dr. Qiuming CHENG
Department of Earth and Space Science and Engineering
Department of Geography, York University
24-25, HS-27, 116 PSEB, 4700 Keele Street
Toronto, Ontario
CANADA M3J 1P3
Tel: +1-416 7365245
Fax: +1-416 7365617
E: qiuming@yorku.ca

Secretary General
Stanley C. FINNEY
Professor, Department of Geological Sciences
California State University - Long Beach
Long Beach, CA 90840
USA
E: Stan.Finney@csulb.edu

Treasurer
Prof. Hiroshi KITAZATO
Natsushima-cho 2-15
Yokosuka 237-0061
JAPAN
Tel: +81-46-967-0767
Email: kitazato@jamatec.jp

Past President
Prof. Dr. Roland OBERHÄNSLI
Institute of Earth & Environmental Sciences
Karl-Ludwig-Str. 24-25, HS-27
14476 Potsdam OT Golm, GERMANY
Tel: +49-331-977-5870
Fax: +49-331-977-5700
E: R.Oberhaensli@geo.uni-potsdam.de

Vice Presidents
Dr. Kristine ASCH (GERMANY)
Prof. Willem CAVAZZA (ITALY)

Councillors
Prof. Benjamin MAPANI (ZAMBIA)
Mr. Edmund NICKLESS (UK)
Dr. Anne BARROCH (MOROCCO)
Prof. Stephen JOHNSTON (CANADA)

Secretariat
IUGS Secretariat
c/o Chinese Academy of Geological Sciences
No. 26, Baiwanzhuang Road
Xicheng District, Beijing 100037
CHINA
T: +86-10-8833-3281
F: +86-10-8833-3290
E: secretariat@iugs.org
iugs.beijing@gmail.com

International Union of Geological Sciences

图 6 寒武系苗岭统及乌溜阶金钉子批准书

Fig. 6 Instrument of ratification for the Cambrian Miaoling series and Wuliuan stage

2016年7月13日,赵元龙给69人的寒武系三叶虫专家写了一个公开信,主要内容:① *O. indicus* 被寒武系分会于2001年认可15年,2015年成为寒武系3统及5阶唯一FAD分子;② 但是Sundberg为首的7人小组在2016年文章大大倒退。认为乌溜-曾家崖剖面只有10多个三叶虫种,而实际上有30多种;③ Linda早在2010年3月9日就说过*O. indicus*是3统及5阶最好的首现三叶虫,乌溜-曾家崖剖面是3统及5阶最好的GSSP;④ 应尽快决定乌溜-曾家崖剖面是寒武系3统5阶GSSP表达了对乌溜-曾家崖剖面的自信及对Sundberg竞争的决心。

5 金钉子落户贵州

(1)2018年6月21日,由彭进起草并不断完善“赵元龙团队的提议(英文)”,经过国际寒武系分会及国际地层委员会先后通过后,最终经联合国国际地质科学联合会(国际地科联)全票通过表决,批准寒武系第三统为苗岭统,第5阶为乌溜阶的全球标准层型及点位(GSSP)的建议,落户在中国贵州剑河八郎。国际地科联秘书长、美国加州州立大学教授Stanley C. Finney教授签发了国际地科联的批准书(英文),这是我国获得的第11个金钉子(图7)。贵州大学赵元龙研究团队国际寒武系第3统第5阶共同底界的金钉子长达30多年的研究选择已尘埃落定(彭善池和赵元龙,2018;朱茂炎等,2019)。

(2)2019年5月20日,代表寒武系苗岭统及乌溜阶研究成果的论文“Global standard stratotype-Section and Point(GSSP)for the conterminous base & Miaolingian series and Wuliuan stage (Cambrian) at Balang,Jianne,Guizhou,China.”发表于国际地层委员会刊物Episodes 42卷第2期上。至此,完成了寒武系苗岭统及乌溜阶研究的全部工作和过程。

致谢:向所有支持苗岭统及乌溜阶金钉子研究的基金、单位及个人表示衷心感谢。研究生罗雪及陈圣光参与了本文的整理,特此感谢。

[参考文献]

- 彭善池,L. E. Babcock. 2005. 全球寒武系年代地层再划分的新建议[J]. 地层学杂志,(1):92-93+96.
彭善池,侯鸿飞,汪啸风. 2016. 中国的全球层型[M]. 上海科技

- 出版社,1-359.
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. 2014. 全球标准层型剖面 and 点位(“金钉子”)和中国的“金钉子”研究[J]. 地学前缘,21(2):8-26.
王约,喻炎艺,彭进,等. 2006. 贵州台江八郎凯里组层序地层及海平面变化初探[J]. 地层学杂志,(1):34-41+97-98.
尹恭正. 1987. 寒武系[M]. 贵州省地矿局. 贵州省区域地质志. 北京:地质出版社,49-96.
尹磊明,赵元龙,杨瑞东,等. 2010. 中国贵州东部乌溜-曾家崖剖面早-中寒武世凯里组疑源类[J]. 古生物学报,49(2):164-173.
袁金良,赵元龙,李越,等. 2002. 黔东南早,中寒武世凯里组三叶虫动物群[M]. 上海科技出版社,1-422.
袁金良,赵元龙,王宗哲,等. 1997. 贵州台江八郎中-下寒武统界限及三叶虫动物群[J]. 古生物学报,36(4):494-524.
赵元龙,黄友庄,龚显英,等. 1990. 贵州凯里地区早中寒武世凯里组的 *Bathynotus* [J]. 古生物学报,(1):43-53+143-146.
赵元龙,黄友庄,毛家仁,等. 1992. 统一我国华南地区中-下寒武统界限的几点建议[J]. 贵州地质,9(3):241-244.
赵元龙,袁金良,毛家仁,等. 1993. 华南过渡区凯里组及同期地层的初步研究[J]. 地层学杂志,17(3):171-178.
赵元龙,袁金良,朱立军,等. 2001. 我国中-下寒武统界线研究的进展及前景[J]. 地层学杂志,25(增刊):382-390.
周志毅,袁金良,尹恭正,等. 1980. 贵州寒武纪地层的分类与对比[J]. 地层学杂志,4(4):273-281.
周志毅,袁金良,张正华,等. 1979. 贵州及其邻近地区寒武纪生物地理分区[J]. 地层学杂志,3(4):258-271.
朱茂炎,杨爱华,袁金良,等. 2019. 中国寒武纪综合地层和时间框架[J]. 中国科学:地球科学,49(1):26-65.
Babcock L E, Peng S C, Geyer G, et al. 2005. Changing perspectives on Cambrian chronostratigraphy and progress toward subdivision of the Cambrian System[J]. Geoscience Journal, 9:101-106.
Esteve J, Zhao Y L, and Peng J. 2017. Morphological assessment of the Cambrian trilobites *Oryctocephalus indicus* (Reed 1910) from China and *Oryctocephalus* ‘reticulatus’ (Lermontova 1940) from Siberia[J]. Lethaia, 50:175-193.
Fletcher T P. 2001. *Arthrocephalus chauveauai*-A Key Species for the Correlation & a global cambrian stage boundary[J]. Palaeoworld, 13:257-260.
Guo Q J, Strauss H, Zhao Y L, et al. 2014. Reconstructing marine redox conditions for the transition between Cambrian Series 2 and Cambrian Series 3, Kaili area, Yangtze Platform: Evidence from biogenic sulfur and degree of pyritization[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 398(2):144-153.
Guo Qing jun, Strauss, H, Liu Congqiang, Zhao Yuanlong, et al. 2005. Carbon and Oxygen isotopic Composition of Lower to Middle Cambrian sediment at Taijiang, Guizhou Province, China [J]. Geol. Mag., 142(5):1-11.
Peng Jin, Yuan Jinliang, Zhao Yanlong, et al. 2014. The trilobite *Bathynotus* from the Cambrian Series 2 of China and its implications for global correlation[J]. GFF, 136(1):203-207.
Reed F A. 1910. The Cambrian fossils of Spiti. Memoirs of Geological Survey of India. Palaeontologia India, 15:1-70.
Shergold J H, and Geyer G, 2001. The International Subcommission on Cambrian Stratigraphy: progress report [J]. Acta Palaeontologica

- Sinica, 40: 1–3.
- Shergold J H, and Geyer G. 2002. Newsletter (To members of International Subcommission of Cambrian Stratigraphy) International Subcommission on Cambrian Stratigraphy, 1–12.
- Sundberg F A, Yuan jinliang, McCollum L B, et al. 1999. Correlation of Lower–Middle Cambrian boundary of South China and Western United States of America. *Acta Palaeontologica Sinica*, 38: 102–107.
- Wang Chunjiang, Zhao Yuanlong, Peng Jin, et al. 2014. Biomarker evidence for biotic and environmental change across the Cambrian Series 2–Series 3 boundary at the Wuliu–Zengjiayan section, Guizhou, China[J]. *Science China: Earth Science*, 57(11): 2781–2790.
- Yin Leiming, Wang Chunjiang, Zhao Yuanlong, et al. 2016. Early–Middle Cambrian Palynomorph Microfossils and Related Geochemical Events in South China[J]. *Journal of Earth Science*, 27(2): 180–186.
- Yin Leiming, Yang Ruidong, Peng Jin, et al. 2008. New data regarding acritarch biostratigraphy from the Early–Middle Cambrian Kaili Formation in Chuandong, Guizhou Province, China[J]. 2008, 19(1): 107–114.
- Zhao yuanlong, Peng jin, Yuan jinliang, et al. 2012. Discussion of candidate stratotypes for GSSP defining the conterminous base of participants provisional Series 3 and Stage 5[J]. *Journal of Guizhou University*, 29(Sup. 1): 35–48.
- Zhao Yuanlong, Yang Ruidong, Yuan Jinliang, et al. 2001a. Cambrian stratigraphy at Balang, Guizhou Province, China: Candidate section for a global unnamed series and stratotype section for the Taijiangian Stage[J]. *Palaeoworld*, 13: 189–208.
- Zhao Yuanlong, Yuan Jinliang, and McCollum L B. 2001b. A potential GSSP for the Lower and Middle Cambrian boundary near Balang Village, Taijiang County, Guizhou Province, China[J]. *Acta Paleontologica Sinica*, 40: 130–142.
- Zhao Yuan–long, Yuan Jin–liang, Babcock L E, et al. 2019. Global Standard Stratotype – Section and Point (GSSP) for the conterminous base of the Miaolingian Series and Wuliuan Stage (Cambrian) at Balang, Jianhe, Guizhou, China [J]. *Episodes*, 42(2): 165–184.
- Zhao Yuanlong, Yuan Jinliang, Esteve J, et al. 2017. The oryctocephalid trilobite zonation across the Cambrian Series 2–Series 3 boundary at Balang, South China: a reappraisal [J]. *Lethaia*, 50: 400–406.
- Zhao Yuanlong, Yuan Jinliang, Peng Jin, et al. 2015. Restudy of Ovatoryctocara Tchernysheva, 1962 from the Kaili Formation, Jianhe County, Guizhou, South China [J]. *Annales de Paléontologie*, 101(3): 193–198.
- Zhao Yuanlong, Yuan Jinliang, Zhu Lijun, et al. 1996. The Lower and Middle Cambrian Boundary in China, 《贵州工业大学学报》, 25(4): 15–20.

Frist Standard Stratotype–Section and Point(GSSP)

——Research and Significance of Cambrian Miaolingian Series and Wuliuan Stage in Guizhou

ZHAO Yuan–long¹, YUAN Jin–liang², GUO Qing–jun³, YIN Lei–ming², YANG Xing–lian¹,
WANG Chun–jiang⁴, YANG Rui–dong¹, WANG Yue¹, YANG Yu–ning¹, 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 Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10001, China*;
4. *China University of Petroleum, Beijing 102249, China*)

[**Abstract**] On June 21, 2018, the International Union of Geo–Science (IUGS) unanimously ratified the proposal that Cambrian Miaolingian Series–Wuliuan Stage Boundary located in Balang, Guizhou was Global Stratotype Section and Point (GSSP), confirming Miaolingian Series as the Cambrian Series 3 and Wuliuan stage as the Cambrian stage 5. It was the 11th GSSP of China, making China the country with the most GSSP.

The research project was carried out by an international research team led by Yuanlong Zhao, composed of researchers from Guizhou University and Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences and so on. After 35 years' laborious work involved in stratigraphic correlation among Trilobites, Acritarchs and multidisciplinary work including Organic chemistry Inorganic chemistry, the whole research project has been successfully completed by the research team. After intensive competition among countries, the Cambrian Miaolingian Series–Wuliuan Stage Boundary proposed by the research team finally gained the unanimous votes to be the Worldwide Stratigraphic correlation center during the same period. helping China earn the fame in geochronological field.

[**Key Words**] Global standard stratotyp and piont; Cambrian Miaolingian Series–Wuliuan Stage Boundary settled in Guizhou; Worldwide stratigraphic correlation duiring the same period; Guizhou