

应用聚类分析研究我国 palaeolenid 类三叶虫分类 ——兼论我国黔东统沧浪铺组乌龙箐段生物带划分*

林天瑞

(南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093, lin_tianrui@aliyun.com)

提要 文中通过对我国已发表的 palaeolenid 类三叶虫中的 34 个种头盖特征组合进行 Q 型聚类分析, 研究我国 palaeolenid 类三叶虫属种的分类, 并结合传统定性分析, 对该 34 个种(包括 2 个属、1 个亚属和 1 个亚种)进行修订, 且合并成 1 个属 4 个种(亚种), 即: *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912, *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912, *Palaeolenus lantenoisi longispinus* (Chang and Chu, 1980) 和 *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962。文中还提出沧浪铺组乌龙箐段可采用 *Palaeolenus fengyangensis* 带(上)和 *Palaeolenus lantenoisi* 带(下)两生物带意见。

关键词 生物带 *Palaeolenus* *Megapalaeolenus* palaeolenid 类 三叶虫 聚类分析 寒武系 黔东统

1 前言

自从 Mansuy(1912)以产于我国云南的标本建立 *Palaeolenus* 三叶虫以来, 我国古生物学家、地质科技和广大野外地质工作者先后在我国许多省份发现该类化石, 特别是 1962 年朱兆玲在安徽凤阳黔东统猴家山组顶部发现 *Palaeolenus*, 并建立 *Palaeolenus fengyangensis* 一新种(386—391 页, 图版 1, 图 1—7)之后, 陆续在我国华北、东北南部和其他地区也发现 palaeolenid 类三叶虫化石。迄今为止该类化石在我国已遍及云南省东部(宜良、昆明、武定、禄劝、蒙自)(Mansuy, 1912; Lu, 1941; Kobayashi, 1944; 易定蓉, 1988), 贵州省东北部(开阳、遵义、余庆、金沙、湄潭、习水)(Lu, 1942; 尹恭正、李善姬, 1978), 湖北省西部(宜昌、秭归)(周天梅等, 1977; 周天梅、林天瑞, 1978), 重庆市东南部(秀山溶溪)(李善姬, 1978; 张文堂等, 1979), 四川省北部(石柱、城口、峨嵋、乐山)(张文堂等, 1980; 李善姬等, 1990), 陕西省南部(西乡、镇坪、商南、南郑)(李善姬, 1972; 周志强等, 1982; 陈润业、张富有, 1986), 河南省西南部(淅川)(项礼文, 1963; Zhang *et al.*, 1995), 北京市(昌平)(项礼文、郭振明, 1964), 天津市(蓟县)(张

进林, 1980), 河北省东部(唐山、卢龙)(张进林、王绍鑫, 1985), 辽宁省东南部(本溪、复县、金县)(郭鸿俊、安素兰, 1982; 郭鸿俊、笕淑芹, 1991), 山东省东南部(临沂、沂南)(梁宗伟, 1981), 新疆维吾尔自治区(天山东部库鲁克塔格)(卢衍豪等, 1963; 张太荣, 1981), 安徽省北部(凤阳、宿县)(朱兆玲, 1962; 仇洪安等, 1983), 江苏省西北部(铜山)(仇洪安等, 1983) 15 个省(区、市)、35 个产地。该属的地层分布相对较窄, 地理分布广, 因而具有重要的地层对比意义。目前已发表的属种合计 2 个属, 1 个亚属, 34 个种(包括 1 个亚种), 分别为:

Palaeolenus douvillei Mansuy, 1912, Mansuy, 1912, pl. 4, fig. 1; 选模标本, 不完整背壳; 产于云南省宜良县可保村, 黔东统南皋阶沧浪铺组乌龙箐段下部; 由林天瑞、彭善池(2004)指定。

Palaeolenus deprati Mansuy, 1912, Mansuy, 1912, pl. 4, fig. 3; 独模标本, 头部和胸部; 产于云南省宜良县可保村, 黔东统南皋阶沧浪铺组乌龙箐段下部。

Palaeolenus lantenoisi Mansuy, 1912, Mansuy, 1912, pl. 4, fig. 2a; 选模标本, 不完整背壳; 产于云南省宜良县可保村, 黔东统南皋阶沧浪铺组乌龙箐段下部。由林天瑞、彭善池(2004)指定。

收稿日期: 2013-11-29

* 国家自然科学基金(41230208, 41372018, 41221001, 41330101)资助。

Palaeolenus tingi Lu, 1941, Lu, 1941, pl. 1, fig. 15b; 选模标本, 头盖; 产于云南昆明, 黔东统南皋阶沧浪铺组; 本文指定。

Palaeolenus fengyangensis Chu, 1962, 朱兆玲, 1962, 图版 1, 图 5; 选模标本, 头盖; 产于安徽凤阳, 黔东统猴家山组顶部; 本文指定。

Palaeolenus xingjiangensis Lu, 1963, 卢衍豪等, 1963, 图版 1, 图 2; 选模标本, 头盖; 产于新疆天山东部库鲁克塔格, 黔东统西大山组; 本文指定。

Palaeolenus minor Lin, 1978, 周天梅、林天瑞, 1978, 149 页, 图版 24, 图 1; 独模标本, 头盖; 产于湖北宜昌石牌天河板, 黔东统天河板组。

Palaeolenus planilimbatus Lin, 1978, 周天梅、林天瑞, 1978, 图版 24, 图 4; 独模标本, 头盖; 产于湖北秭归庙河马家山, 黔东统石牌组。

Palaeolenus kunmingensis Zhang and Zhu, 1980, 张文堂等, 1980, 图版 71, 图 7; 独模标本, 头盖; 产于云南省昆明筇竹寺公路石桥旁, 黔东统南皋阶沧浪铺组乌龙箐段。

Palaeolenus brevicus Xiang and Zhou, 1987, 项礼文、周天梅, 1987, 图版 31, 图 3; 独模标本, 头盖; 产于湖北宜昌莲沱黄山洞, 黔东统石牌组。

Palaeolenus yangziensis Xiang and Zhou, 1987, 项礼文、周天梅, 1987, 图版 31, 图 12; 独模标本, 头盖; 产于湖北宜昌莲沱黄山洞, 黔东统石牌组。

Palaeolenus liantuensis Xiang and Zhou, 1987, 项礼文、周天梅, 1987, 图版 31, 图 14; 正模标本, 头盖; 产于湖北宜昌莲沱黄山洞, 黔东统石牌组。

Megapalaeolenus xixiangensis Zhou, 1975, 李耀西等, 1975, 图版 9, 图 10; 正模标本; 产于陕西西乡县三郎郎铺盛家沟, 黔东统孔明洞组下部。

Megapalaeolenus majiashanensis Lin, 1978, 周天梅、林天瑞, 1978, 图版 23, 图 8; 正模标本, 头盖; 产于湖北秭归庙河马家山, 黔东统石牌组。

Megapalaeolenus guizhouensis Yin, 1978, 尹恭正、李善姬, 1978, 图版 152, 图 3; 正模标本; 产于贵州习水润南, 黔东统金顶山组。

Megapalaeolenus granulatus Qian and Yao, 1980, 张文堂等, 1980, 图版 72, 图 11; 正模标本, 头盖; 产于四川城口石溪河, 黔东统天河板组。

Megapalaeolenus magnus Zhu, 1980, 张文堂等, 1980, 图版 73, 图 6; 正模标本, 头盖; 产于四川城口万宝公社, 黔东统天河板组。

Megapalaeolenus expansus Zhang and Zhu,

1980, 张文堂等, 1980, 图版 73, 图 8; 正模标本, 头盖; 产于云南省昆明筇竹寺, 黔东统南皋阶沧浪铺组。

Megapalaeolenus longispinus Chang and Chu, 1980, 张文堂等, 1980, 图版 73, 图 11; 正模标本, 头部和胸部; 产于贵州湄潭城南打鼓坡北坡, 黔东统。

Megapalaeolenus planilimbatus Liang, 1981, 梁宗伟, 1981, 92 页, 图版 1, 图 11; 正模标本, 头盖; 产于山东临沂李官, 黔东统李官组。

Megapalaeolenus binodus Liang, 1981, 梁宗伟, 1981, 图版 2, 图 7; 正模标本, 头盖; 产于山东临沂李官, 黔东统李官组。

Megapalaeolenus mashanensis Liang, 1981, 梁宗伟, 1981, 图版 1, 图 14; 正模标本, 头盖; 产于山东沂南马山, 黔东统李官组。

Megapalaeolenus linyiensis Liang, 1981, 梁宗伟, 1981, 图版 2, 图 26; 正模标本, 头盖; 产于山东临沂李官, 黔东统李官组。

Megapalaeolenus cf. *deprati* (Mansuy), 1981, 梁宗伟, 1981, 图版 1, 图 6; 头盖; 产于山东临沂李官, 黔东统李官组。

Megapalaeolenus (*Latipalaeolenus*) *latilimbatus* Guo and An, 1982, 郭鸿俊、安素兰, 1982, 图版 1, 图 19; 正模标本, 头盖; 产于辽宁本溪碱厂后大坡, 黔东统碱厂组。

Megapalaeolenus (*Latipalaeolenus*) *houdapoensis* Guo and An, 1982, 郭鸿俊、安素兰, 1982, 621 页, 图版 1, 图 14; 正模标本, 头盖; 产于辽宁本溪桥头, 黔东统碱厂组。

Megapalaeolenus fengyangensis corollinus Zhang, 1983, 仇洪安等, 1983, 图版 17, 图 3; 独模标本, 头盖; 产于安徽宿县, 黔东统昌平组。

Megapalaeolenus changpingensis Zhang and Wang, 1985, 张进林、王绍鑫, 1985, 图版 105, 图 4; 正模标本, 头盖; 产于北京昌平龙山, 黔东统府君山组。

Megapalaeolenus nanzhengensis Chen and Zhang, 1986, 陈润业、张富有, 1986, 图版 3, 图 7; 独模标本, 头盖; 产于陕西南郑挂宝岩, 黔东统孔明洞组中下部。

Megapalaeolenus obsoletus Xiang and Zhou, 1987, 项礼文、周天梅, 1987, 图版 31, 图 1; 独模标本, 头盖; 产于湖北宜昌莲沱黄山洞, 黔东统天河

板组。

Megapalaeolenus yichangensis Xiang and Zhou, 1987, 项礼文、周天梅, 1987, 图版 31, 图 8; 正模标本, 头盖; 产于湖北宜昌莲沱黄山洞, 黔东统石牌组。

Megapalaeolenus quadratus Zhu and Yan, 1991, 杨家禄等, 1991, 图版 8, 图 9; 独模标本, 头盖; 产于陕西商南岳家坪, 黔东统汪家店组上部。

Megapalaeolenus luquanensis Luo, 1994, 罗惠麟等, 1994, 图版 28, 图 9; 正模标本, 头盖; 产于云南禄劝翠华波那箐, 黔东统沧浪铺组乌龙箐段上部。

Megapalaeolenus beishanensis Guo and Zan, 1996, 郭鸿俊等, 1996, 图版 13, 图 10; 正模标本, 头盖; 产于辽宁金县北山, 黔东统碱厂组。

2 聚类分析

近年来, 人们通过讨论 *Megapalaeolenus* Chang, 1966 属是否是有效地位的同时, 也对我国的 palaeolenid 类三叶虫的分类问题进行探讨, 从传统的定性分析角度对其做了较系统的研究, 并做了较大的归并和修订(林天瑞、彭善池, 2004, 2009; 罗惠麟等, 2007, 2008, 2009), 但迄今仍然还有一些问题尚未取得一致的认识。现笔者侧重从定量分析角度来探讨我国 palaeolenid 类三叶虫分类中的问题。

本文通过综合分析各家对该类三叶虫分类的意见和依据, 提出以下列头盖特征作为对该类三叶虫分类的主要依据: 1) 头鞍长短和形状; 2) 颈环形状; 3) 眼叶和眼脊长短及其伸出状态; 4) 头盖的内、外边缘纵向宽度; 5) 固定颊眼区宽度; 6) 后侧翼的长短和宽度; 7) 面线前、后支长短等。测量上述所选择的 34 个种的头盖主要构造的原始数据, 并应用标准化转换方法处理, 换算出各种构造定量比值数据(8 个)和定性数据(5 个), 变量采用定量和定性混合数据, 随后进行 Q 型聚类分析。相似性度量采用误差平方和增量方法, 计算出各种标本之间的增量值(ΔE), 编制各种之间的相似关系矩阵(见表 I)。当各种标本之间误差平方和增量值越大, 则表示两个种之间的差别越大; 反之, 差别越小, 两种之间越近于相似; 如果两种之间其增量值等于零, 则表示两种完全相似。但这里应该指出, 由于标本保存条件、各原作者所指定的模式标本的个体不在同一个发育期、以及在测量过程还会出现一些人为误差因素, 因而导致两块即使是完全相同标本, 所计算出两者之

间的误差平方和增量值不一定完全等于零。之后, 笔者应用均值联接方法, 绘制出参与计算种的头盖标本 Q 型聚类分析二维谱系图(见插图 1)。

3 分类探讨

现在就上述 34 个 palaeolenid 类三叶虫的种(亚种), 从聚类分析角度对其分类进行探讨。当我们在谱系图(见插图 1)上取增量值为 12 时, 34 个种(亚种)模式标本很自然地分成 A、B 和 C 三个种群。现将各种群所组成的种类分别说明如下:

A 种群 该种群以 *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912 为代表, 由原 *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912(1); *P. deprati* Mansuy, 1912(2); *P. brevicus* Xiang and Zhou, 1987(21); *P. xingjianensis* Lu, 1963(4); *Megapalaeolenus granulatus* Qian and Yao, 1980(26); *M. guizhouensis* Yin, 1978(7); *M. magnus* Zhu, 1980(9); *M. luquanensis* Luo, 1994(16); *M. expansus* Zhang and Zhu, 1980(8); *M. majiashanensis* Lin, 1978(25) 等 10 个种组成。

B 种群 该种群以 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912 为代表, 由原 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912(3); *P. kunmingensis* Zhang and Zhu, 1980(6); *P. yangziensis* Xiang and Zhou, 1987(22); *P. tingi* Lu, 1941(18); *P. planilimbatus* Lin, 1978(20); *P. minor* Lin, 1978(19); *P. liantuensis* Xiang and Zhou, 1987(23); *Megapalaeolenus quadratus* Zhu and Yan, 1991(15); *M. yichangensis* Xiang and Zhou, 1987(32); *M. longispinus* Chang and Chu, 1980(27); *M. xixianensis* Zhou, 1975(24); *M. obsoletus* Xiang and Zhou, 1987(28) 和 *M. nanzhengensis* Chen and Zhang, 1986(14) 等 13 个种组成。

C 种群 该种群以 *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962 为代表, 由原 *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962(5); *M. cf. deprati* (Mansuy)(31); *M. changpingensis* Zhang and Wang, 1985(13); *M. (Latipalaeolenus) houdapoensis* Guo and An, 1982(33); *M. mashaensis* Liang, 1981(30); *M. linyiensis* Liang, 1981(29); *M. binodus* Liang, 1981(11); *M. planilimbatus* Liang, 1981(10); *M. fengyangensis corollinus* Q. Z. Zhang, 1983(34); *M. (Latipalaeolenus) latilimbatus* Guo and An,

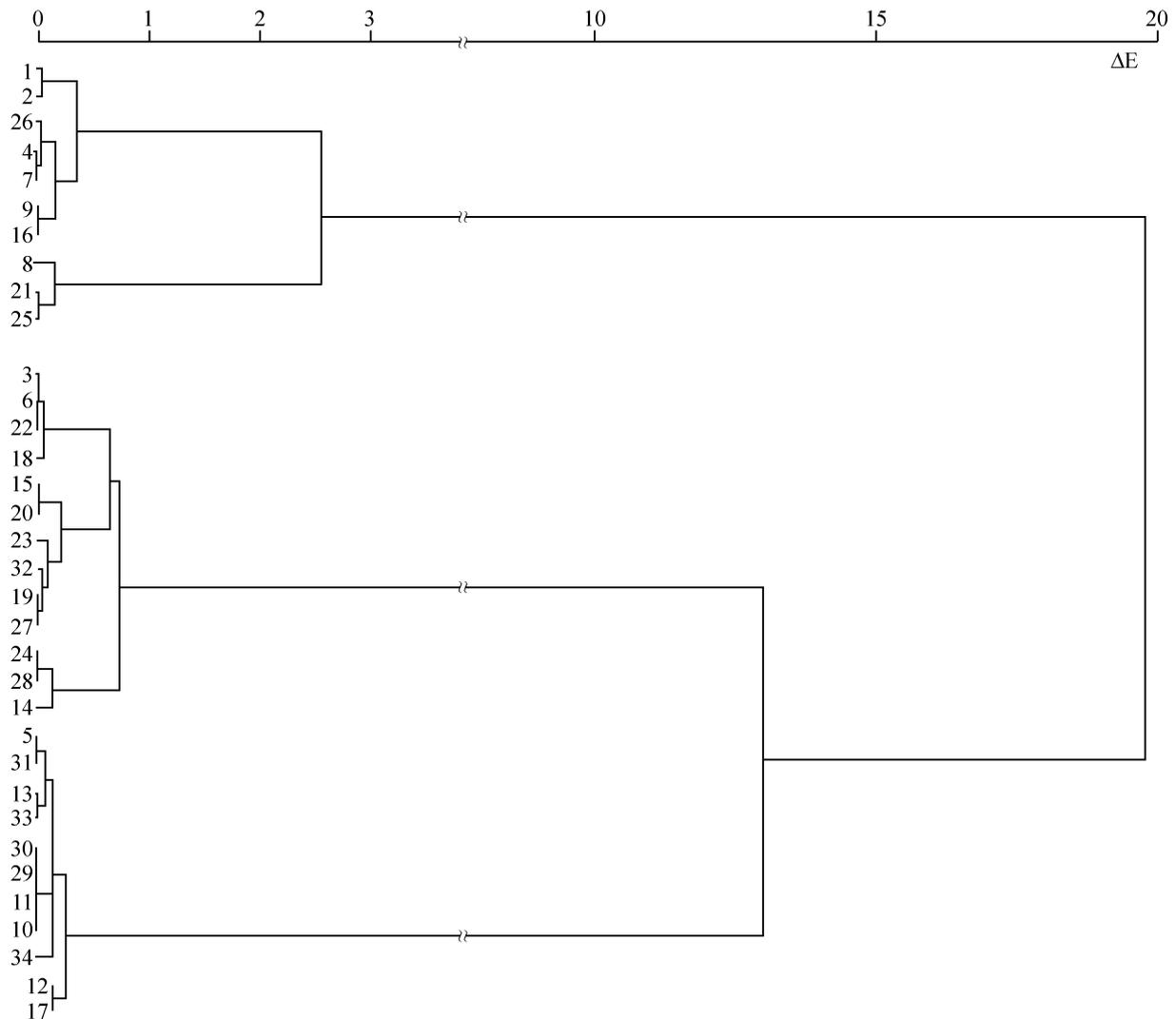


插图 1 我国古油栉虫类三叶虫的 34 个种(亚种)头盖标本 Q 型聚类分析谱系图(34 个种和亚种的说明请见表 I)

Dendrogram from Q-mode cluster analysis of 34 species(subspecies)of palaeolenid trilobites

(The illustration of 34 species and subspecies please see note of table I)

1982 (12) 和 *M. beishanensis* Guo and Zan, 1996 (17) 等 11 个种组成。

从聚类分析的结果来看,除个别种如 *Palaeolenus kunmingensis* Zhang and Zhu, *Megapalaeolenus longispinus* Chang and Chu 的归属问题,需要进一步讨论外,其余种的归属与应用传统的定性方法的分类(林天瑞、彭善池 2004, 2009)基本上一致(见表 II)。下面将从聚类分析角度并结合传统的定性分析方法,对我国 palaeolenid 类三叶虫属种的分类,尤其是与传统定性分类相矛盾或以前未做定性分析的种,提出一些意见。

在 A 种群中, *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912(1) 系 *Palaeolenus* 属的模式种,而 *P. deprati* Mansuy, 1912(2) 是张文堂(1966)建立的 *Megapalaeolenus* 一属的模式种。根据两者之间的误差

平方和增量值的计算结果,其增量值仅为 0.071 即 $\Delta E_{1,2} = 0.071$ (见表 I 所示,下同),说明两者十分相似,两种是同物异名,与林天瑞、彭善池(2004, 2009)对“*Megapalaeolenus*”一属的模式种标本就其保存状态、形态、种内形态变化以及产出层位等进行详细的定性分析后,提出 *Megapalaeolenus* Chang, 1966 属是 *Palaeolenus* 属晚出异名的结论是一致的。

Palaeolenus xingjiangensis Lu, 1963(4) 是卢衍豪(1963)据采自新疆天山东部库鲁克塔格西大山组标本建立的;1981 年张太荣将它归入 *Megapalaeolenus* 属内(张太荣, 1981, 150 页);罗惠麟等(2007)则认为该种头盖与 *P. fengyangensis* Chu (5) 相同,认为该种是后者的晚出异名(罗惠麟等, 2007, 317 页)。实际上(4)和(5)两者的头鞍形状和

表 II 我国古油栉虫类三叶虫的 34 个种(亚种)定性分类与 Q 型聚类分析结果对照表

Comparison between the qualitative taxonomy and quantitative taxonomy of palaeolenid trilobites

	种名 代号	定性分类	定量分类
		林天瑞、彭善池(2004, 2009 修订)	本文(修订)
<i>P. douvillei</i> Mansuy, 1912	1	<i>P. douvillei</i> Mansuy	<i>P. douvillei</i> Mansuy
<i>P. deprati</i> Mansuy, 1912	2	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>P. lantenoisi</i> Mansuy, 1912	3	<i>P. lantenoisi</i> Mansuy	<i>P. lantenoisi</i> Mansuy
<i>P. xingjiangensis</i> Lu, 1963	4		<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>P. fengyangensis</i> Chu, 1962	5	<i>P. fengyangensis</i> Chu	<i>P. fengyangensis</i> Chu
<i>P. kunmingensis</i> Zhang and Zhu, 1980	6	<i>P. ?kunmingensis</i> Zhang and Zhu	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>M. guizhouensis</i> Yin, 1978	7	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>M. expansus</i> Zhang and Zhu, 1980	8	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>M. magnus</i> Zhu, 1980	9	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>M. planilimbatus</i> Liang, 1981	10		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>M. binodus</i> Liang, 1981	11		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>M. (Latipalaeolenus) latilimatus</i> Guo and An, 1982	12		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>M. changpingensis</i> Zhang and Wang, 1985	13		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>M. nanzhengensis</i> Chen and Zhang, 1986	14		<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>M. quadratus</i> Zhu and Yan, 1991	15		<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>M. luquanensis</i> Luo, 1994	16	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>M. beishanensis</i> Guo and Zan, 1996	17		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>P. tingi</i> Lu, 1941	18	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>P. minor</i> Lin, 1978	19	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>P. planilimbatus</i> Lin, 1978	20	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>P. brevicus</i> Xiang and Zhou, 1987	21	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>P. yangziensis</i> Xiang and Zhou, 1987	22	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>P. liantuensis</i> Xiang and Zhou, 1987	23		<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>M. xixiangensis</i> Zhou, 1975	24		<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>M. majiashanensis</i> Lin, 1978	25	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>M. granulatus</i> Qian and Yao, 1980	26	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)	<i>P. douvillei</i> (Mansuy)
<i>M. longispinus</i> Chang and Chu, 1980	27	<i>P. longispinus</i> Chang and Chu	<i>M. lantenoisi longispinus</i> (Chang and Chu)
<i>M. obsoletus</i> Xiang and Zhou, 1987	28	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>M. linyiensis</i> Liang, 1981	29		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>M. mahanensis</i> Liang, 1981	30		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>M. cf. deprati</i> (Mansuy)	31		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>M. yichangensis</i> Xiang and Zhou, 1987	32	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)	<i>P. lantenoisi</i> (Mansuy)
<i>M. (Latipalaeolenus)houdapoensis</i> Guo and An, 1982	33		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)
<i>M. fengyangensis corollinus</i> Q Z Zhang, 1983	34		<i>P. fengyangensis</i> (Chu)

P. = Palaeolenus *M.* = Megapalaeolenus

固定颊大小等差别还是较明显的,两者之间误差平方和增量值达 2.062,即 $\Delta E_{4,5}=2.062$,另(4)种与(1)种和(2)种之间的误差平方和增量值分别为

0.179 和 0.088。根据这个结果,笔者认为 *P. xingjiangensis* Lu, 1963 (4) 种是 *Palaeolenus douvillei* Mansuy 的晚出异名。

Megapalaeolenus guizhouensis Yin, 1978 (7) 是尹恭正、李善姬(1978)据采自贵州习水金顶山组标本而提出的,它与 *Palaeolenus xingjiangensis* Lu, 1963(4) 模式标本的头盖主要构造特征,如头盖、头鞍、固定颊眼区、鞍前区、眼叶大小等都很相似,两者之间误差平方和增量值仅为 0.037,说明两者颇相似,而 *M. guizhouensis* Yin, 1978 与 *Palaeolenus douvillei* Mansuy 之间误差平方和增量值也只有 0.175,所以前者也是 *Palaeolenus douvillei* Mansuy 的晚出异名。

Megapalaeolenus granulatus Qian and Yao, 1980(26) 是钱义元于 1980 年据采自四川城口天河板组头盖标本,以头盖表面有大小不同的瘤点而命名的。通过林天瑞、彭善池(2004)对该标本的观察,认为这些瘤点实际上是岩石本身矿物结构风化的产物,非生物本身装饰,而且它分别与(4)、(7)之间误差平方和增量值仅为 0.069 和 0.06。说明三者之间非常相似,(26)种与(4,7)之间以 0.07 的误差平方和增量值加以联接,组成一个小群(见插图 1 所示,下同)。因此,(26)种也应为 *Palaeolenus douvillei* Mansuy 的晚出同物异名,与林天瑞、彭善池(2004)以定性分析得出的结论一致。

Megapalaeolenus magnus Zhu, 1980(9) 和 *M. luquanensis* Luo, 1994(16) 分别由朱兆玲(1980)根据采自四川石柱和罗惠麟等(1994)采自云南禄劝标本而建立的种,虽然两者模式标本略受挤压而变形,但从其头盖主要构造特征看,两者之间较相似。通过对两者之间误差平方和增量值的计算结果,仅 0.039,两者是同物异名。另由(4)、(7)、(26)三个种标本所组成的小群与(16,9)之间又以 0.189 的误差平方和增量值联接成群,而且(4)种和(16)种分别与(1)种之间误差平方和增量值为 0.179 和 0.234,说明(4)、(7)、(16)、(9)、(26)5 种标本都应归并到(1)种,即 *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912 种内,成为后者的同物异名。

在 B 种群中, *Megapalaeolenus quadratus* Zhu and Yan, 1991(15) 是由朱洪源、阎国顺(见杨家禄等, 1991)据陕西商南汪家店组标本而建立的,罗惠麟等(2007)认为从该种长方形的头鞍、眼脊位置靠后等特征看,它与 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy 基本相同,应归入该种(罗惠麟等, 2007, 316 页)。这与笔者通过应用聚类分析所获得结论($\Delta E_{15,3}=0.150$)完全吻合。

Palaeolenus kunmingensis Zhang and Zhu,

1980(6) 是张文堂等(1980)据采自云南昆明筇竹寺公路石桥旁沧浪铺组乌龙箐段标本而建立的,林天瑞、彭善池(2004)提出该种似乎与早期褶颊虫类的特征更为接近,建议暂存疑归入 *Palaeolenus* 属中。罗惠麟等(2007)认为该种特征可能是 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912 大个体头盖标本受纵向压缩所造成(罗惠麟等, 2007, 316 页)。笔者通过分别计算该种与 *Palaeolenus douvillei* Mansuy 和 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy 之间的误差平方和增量值,结果为: $\Delta E_{6,1}=2.169$, $\Delta E_{6,3}=0.015$, 说明 *P. kunmingensis* Zhang and Zhu 与 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy 非常相似,这与罗惠麟等(2007)的意见是一致的。

Megapalaeolenus nanzhengensis Chen and Zhang 1986(14) 是由陈润业、张福有(1986)据陕西南郑孔明洞组中下部标本建立的。通过聚类分析结果,该种与 *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912(1) 和 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy(3) 之间的误差平方和增量值,分别为 $\Delta E_{14,1}=2.301$, $\Delta E_{14,3}=1.272$, 显然 *M. nanzhengensis* Chen and Zhang 应归属 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy。

Palaeolenus liantuensis Xiang and Zhou, 1987(23) 是由项礼文、周天梅(1987)据采自湖北宜昌莲沱黄山洞石牌组标本而建立的,它与 *P. minor* Lin, 1978(19) 之间的误差平方和增量值仅为 0.061, 两者十分相似。这一结论与罗惠麟等(2007, 316 页)应用传统的定性分析,将该种归入 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912 的意见是一致的。

Megapalaeolenus xixiangensis Zhou, 1975(24) 是周志强(1975)据采自陕西西乡县三朗郎铺盛家沟孔明洞组下部标本而建立的,标本略受挤压而变形(李耀西等, 1975. 图版 9, 图 10)。它与 *M. obsoletus* Xiang and Zhou, 1987(28) 之间的误差平方和增量值仅为 0.046, 说明 *M. xixiangensis* 和 *M. obsoletus* 是同一物种,后者为前者的晚出种名。而 *M. xixiangensis* Zhou, 1975(24) 与 *Palaeolenus douvillei* Mansuy 1912(1), *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy(3) 和 *Palaeolenus fengyangensis* Chu(5) 之间的误差平方和增量值分别为 $\Delta E_{24,1}=2.329$, $\Delta E_{24,3}=0.101$, $\Delta E_{24,5}=1.086$, 显然, *M. xixiangensis* Zhou, 1975(24) 与 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy(3) 最相似,它应是后者晚出异名。

Megapalaeolenus longispinus Chang and Chu, 1980(27) 是张文堂等(1980)据产于贵州湄潭

城南打鼓坡北坡黔东统标本而建立的,由于该种胸部第 2 肋节上具长的肋刺而得名,但从头盖特征,通过定性和定量分析($\Delta E 27,3=0.050$)结果,它们都与 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy 十分相似,考虑该种胸部第 2 肋节上具长的肋刺。故暂定为 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912 的一个亚种,即 *Palaeolenus lantenoisi longispinus* (Chang and Chu, 1980),但笔者认为不排除以后有更多的材料证明两者可能是同一物种的性双形现象。

在 C 种群中, *Megapalaeolenus planilimbatus* Liang, 1981(10), *M. binodus* Liang, 1981(11), *M. linyiensis* Liang, 1981(29) 和 *M. mshanensis* Liang, 1981(30) 四个命名种和一个保留命名种 *M. cf. deprati*(Mansuy)(31) 是由梁宗伟于 1981 年据采自山东临沂、沂南李官组上段标本而提出的种。段吉业等(2005)认为梁宗伟建立的 *M. planilimbatus* Liang, 1981(10), *M. binodus* Liang, 1981(11) 以及郭鸿俊、安素兰(1982)建立的 *M. (Latipalaeolenus) beishanensis* Guo and Zan, 1996(17) 可能是同一种,同时把它归入郭鸿俊、安素兰(1982)建立的 *M. (Latipalaeolenus)* 亚属内(段吉业等, 2005, 101 页)。罗惠麟等(2007)却认为郭鸿俊、安素兰(1982)建立的 *M. (Latipalaeolenus)* 亚属,除内边缘较宽外,其它构造特征与 *Megapalaeolenus* 没有太大区别,所以认为没有必要另建新亚属,但他们又认为 *M. planilimbatus* Liang, 1981, *M. binodus* Liang, 1981 和 *M. latilimbatus* Guo and An, 1982 三种是成立的(罗惠麟等, 2007, 317 页)。笔者通过聚类分析,结果表明:梁宗伟所建立和鉴定的五个种与华北地区最早发现的 *Palaeolenus fengyangensis* Chu 之间的误差平方和增量值都很小,分别为, $\Delta E 5,31=0.017$; $\Delta E 5,30=0.066$; $\Delta E 5,29=0.035$; $\Delta E 5,11=0.038$; $\Delta E 5,10=0.090$ 。郭鸿俊、安素兰(1982)所建立的 *M. (Latipalaeolenus) latilimbatus* Guo and An, 1982(12) 和 *M. (Latipalaeolenus) houdapoensis* Guo and Zan, 1982(33) 以及郭鸿俊等(1996)所提出的 *Megapalaeolenus beishanensis* Guo and Zan, 1996(17), 根据计算,它们各自与 *Palaeolenus fengyangensis* Chu 之间的误差平方和增量值分别为: $\Delta E 5,12=0.067$; $\Delta E 5,33=0.089$; $\Delta E 5,17=0.023$ 。该计算结果,不仅表明上述 8 个种与 *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962 之间的误差平方和增量值都十分小,而且它们在头盖形态上也甚相似。虽然有的建种人也提出一

些差异做为建种依据,如有的认为眼脊前侧有 1 对小瘤、头盖内、外边缘宽度的差异、头鞍前缘中部微凹、或在其前缘有否脊状物围绕、是否具颈瘤等,实际上这些特征中,有的是由于化石保存过程遭挤压变形或岩石本身矿物结构风化后产物,并非是生物本身装饰,有的是属于种内形态变化,不能以此作为建立新种的依据。从聚类分析角度来看,这些种都与 *Palaeolenus fengyangensis* Chu 非常相似,与后者属一个种,为 *P. fengyangensis* Chu 种的晚出异名,故种名应予以废弃。

此外,张进林、王绍鑫(1985)据采自北京昌平龙山府君山组的标本,建立 *Megapalaeolenus changpingensis* Zhang and Wang, 1985(13) 一种。他们认为该种与 *M. fengyangensis* (Chu) 很相似,并以头鞍呈倒梯形、前端比较横直作为建立新种依据(张进林、王绍鑫, 1985, 338 页,图版 105,图 4,5)。通过计算, *Megapalaeolenus changpingensis* Zhang and Wang, 1985(13) 与 *Palaeolenus fengyangensis* Chu (5) 之间的误差平方和增量值的结果为 0.054, 即 $\Delta E 5,13=0.054$, 说明这两者也非常相似,应属同一种。

Megapalaeolenus fengyangensis corollinus Q Z Zhang, 1983(34) 一亚种是张全忠 1983 年据产于安徽宿县昌平组标本而建立的,他认为该种头盖上头鞍前缘具有窄的半圆形的环脊,而将该标本定为 *M. fengyangensis corollinus* Q Z Zhang, 1983(34) (见仇洪安等, 1983, 图版 17, 图 3)。根据详细观察,我们认为该标本曾遭挤压而略隆起,窄的环脊是其壳表皮经风化后而形成的,并非生物本身装饰。又从它与 *Palaeolenus fengyangensis* Chu(5) 之间的误差平方和增量值仅为 0.083, 即 $\Delta E 5,34=0.083$ 来看,也说明两者应属同一个种。

综上所述,笔者从聚类分析角度对我国 34 个 palaeolenid 类三叶虫的种(亚种)的分类进行探讨和修订,提出将它们合并成 1 个属 4 个种(亚种),将 A 种群的 10 个种修订为 *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912; B 种群的 13 个种修订为 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912 和 *P. lantenoisi longispinus* (Chang and Chu, 1980); C 种群的 11 个种修订为 *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962。

4 我国黔东统沧浪铺组上部生物带划分

1914 年丁文江、王日伦创建沧浪铺统,后经尹

赞助整理于 1937 年公开发表。命名剖面位于云南马龙县沧浪铺与黄土坡之间。创名时沧浪铺统是指滇东马龙、曲靖一带传统的下寒武统(Ting and Wang, 1914—1937, p. 1—28)。卢衍豪(Lu, 1941)在研究昆明附近早寒武世地层时,将其含义缩小,限于传统的下寒武统中部,并建立了 *Palaeolenus* 带(下带)和 *Paragraulos* 带(上带)(Lu, 1941, p. 75—77)。1959 年第一届全国地层会议期间,对 *Paragraulos* 时代存有争议,盛莘夫认为其时代应属中寒武世。张文堂(1966)建立 *Megapalaeolenus* 一属,并根据岩性和化石将沧浪铺组分为红井哨段(下段)和乌龙箐段(上段),乌龙箐段包括:*Palaeolenus* 带(下)和 *Megapalaeolenus* 带(上)(张文堂, 1966, 150, 151 页,表 III)。1973 年张文堂等进一步强调有关沧浪铺组的分层,赞同以马龙县沧浪铺与黄土坡之间的剖面为准,并认为沧浪铺组的顶部未见 *Paragraulos* 的出现,该属不能用来作为沧浪铺组顶部的带化石,而对乌龙箐段原以两个属名建立的

2 个生物带,改为两个种名分别给予替代,即:*Palaeolenus lantenoisi* 带(下)和 *Megapalaeolenus deprati* 带(上)(张文堂等, 1973, 15—17 页)。张文堂等(1979)通过系统研究我国西南地区的寒武系后,又对我国传统早寒武世的建阶、分带,提出一些新的意见,在沧浪铺阶的上部再划分问题上,除将乌龙箐段改为亚阶外,还对该亚阶内生物带划分仍恢复张文堂(1966)方案。而且在 *Megapalaeolenus* 带内,以其种名建立两个亚带:*M. fengyangensis* 亚带(上)和 *M. deprati* 亚带(下)(张文堂等, 1979, 49 页)。卢衍豪等(1982)在编著《中国寒武纪地层对比表及说明书》(卢衍豪等, 1982, 28—54 页)和林焕令在参与编著《Trilobite Record of China》专著时,对沧浪铺组上部的生物带划分,均采用 *Palaeolenus* 带(下)和 *Megapalaeolenus* 带(上)方案(Lin Huan-ling, 2008, p. 37)。现将前人对我国寒武系黔东统沧浪铺组上部乌龙箐段地层和生物带划分意见列表如下(见表 III):

表 III 我国寒武系黔东统沧浪铺组乌龙箐段地层和生物带划分沿革表

A historical review of the stratigraphic and biozonay classification of the Wulongqing
Member of Tsanglangpu Formation of the Qiongdongian Series in China.

	Ting and Wang (1914)	Lu (1941)	张文堂 (1966)	张文堂等 (1973)	张文堂等 (1979)	卢衍豪等 (1982)	Lin Huan-ling (2008)	本文
黔东统	沧浪铺统	传统下寒武统中部 <i>Paragraulos</i> 带 <i>Palaeolenus</i> 带	沧浪铺组 乌龙箐段 <i>Megapalaeolenus</i> 带 <i>Palaeolenus</i> 带	沧浪铺组 乌龙箐段 <i>Megapalaeolenus deprati</i> 带 <i>Palaeolenus lantenoisi</i> 带	沧浪铺阶上部 乌龙箐亚阶 <i>Megapalaeolenus</i> 带 <i>M. fengyangensis</i> 亚带 <i>M. deprati</i> 亚带 <i>Palaeolenus</i> 带	沧浪铺组 乌龙箐段 <i>Paragraulos</i> 带 <i>Palaeolenus</i> 带	沧浪铺阶上部 <i>Megapalaeolenus</i> 带 <i>Palaeolenus</i> 带	沧浪铺组 乌龙箐段 <i>Palaeolenus</i> <i>fengyangensis</i> 带 <i>Palaeolenus lantenoisi</i> 带

笔者为了教学和科学研究工作的需要,曾赴我国 palaeolenid 类三叶虫重要产地,如湖北宜昌、秭归(1973)、江苏铜山(1973)、贵州金沙(1974, 2012)、山东临沂(1984)、四川城口(1987)、云南昆明、晋宁、武定、澄江及其周围地区(1987)、安徽凤阳、宿县(1992)等地开展野外实地考察。在工作期间,笔者发现,自从张文堂(1966)在乌龙箐段内所建立的两个生物带以来,由于各家对 *Megapalaeolenus* 这一属的属征含义有不同理解,导致将大致相似形态标本鉴定为不同属名——*Palaeolenus* 或 *Megapalaeolenus* 等现象,也导致人们对 *Megapalaeolenus* 带是否成立也各持己见。如 1978 年湖北省地质局三峡地层研究组也未敢苟同张文堂(1966, 1973)的意见(张树森, 1978, 37, 38 页)。林天瑞、彭善池(2004, 2009)曾通过传统定性分析方法研究表明,所

谓 *Megapalaeolenus* Chang, 1966 的模式种 *Palaeolenus deprati*, 应是 *Palaeolenus* Mansuy 的模式种 *Palaeolenus douvillei* 的晚出异名,因而提出 *Megapalaeolenus* Chang, 1966 属的无效地位,其属名应予废除, *Megapalaeolenus* 带也失去了存在的意义(林天瑞、彭善池, 2004, 32—40 页; 2009, 695—700 页)。

我国 palaeolenid 类三叶虫不仅是组成我国寒武纪黔东世晚期动物群中的重要分子,而且也是我国寒武系黔东统沧浪铺组上部地层划分和对比的主要依据之一。另从 *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912 一种广泛分布在我国西南、中南地区沧浪铺组乌龙箐段下,中部地层(或其相当地层)内,数量多,且层位稳定,特征又较明显,所以笔者赞同张文堂等(1973)所提出的意见,即以该种名作为乌龙箐段下

生物带的带名。但其上部的生物带——*Megapalaeolenus* 带, 考虑到 *Megapalaeolenus* 属为无效属, 如果再以该属名命名生物带已失去了意义。而 *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962 是 *Palaeolenus* 属的有效种(林天瑞、彭善池, 2004, 2009), 该种不仅在华北和东北南部地区传统早寒武世晚期地层中找到, 而且还在贵州余庆、龙溪、金沙岩孔、湄潭茅坪等地寒武系 *P. lantenoisi* 带之上首现(张文堂等, 1979, 1980), 说明该种地理分布较广, 层位稳定, 而该种数量较多, 构造特征也较明显, 易识别, 长期以来成为我国华南与华北-东北南部地区寒武系黔东统沧浪铺组上部地层或相当地层划分和对比的主要依据。因而笔者建议以 *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962 种名作为沧浪铺组乌龙箐段上部生物带的带名。

总之, 我国黔东统沧浪铺组乌龙箐段生物带可采用 *Palaeolenus fengyangensis* 带(上)和 *Palaeolenus lantenoisi* 带(下)两生物带, 上带的底界以 *P. fengyangensis* 在地层中首现作为该生物带的基准面(见表 III 所示)。

参 考 文 献 (References)

- Chen Run-ye (陈润业), Zhang Fu-you (张富有), 1986. Early Cambrian trilobites from Nanzheng and Xixiang districts, Shaanxi. *Journal of Northwest University (西北大学学报)*, **16**(4): 66—75 (in Chinese with English summary).
- Duan Ji-ye (段吉业), An Su-lan (安素兰), Liu Peng-ju (刘鹏举), Peng Xiang-dong (彭向东), Zhang Li-qin (张立勤), 2005. The Cambrian stratigraphy, fauna and palaeogeography in eastern part of North China Plate. Hongkong: Yayuan Publishing House. 1—255 (in Chinese with English abstract).
- Guo Hong-jun (郭鸿俊), An Su-lan (安素兰), 1982. Lower Cambrian trilobites of the Benxi area, Liaoning. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **21**(6): 615—629 (in Chinese with English abstract).
- Guo Hong-jun (郭鸿俊), Zan Shu-qin (曾淑芹), 1991. Lower and early Middle Cambrian biostratigraphy in the Liaodong Peninsula, China. *Journal of Changchun College of Geology (长春地质学院学报)*, **21**(1): 1—11 (in Chinese with English abstract).
- Guo Hong-jun (郭鸿俊), Zan Shu-qin (曾淑芹), Luo Kun-li (雒昆利), 1996. Cambrian Stratigraphy and Trilobites of Eastern Liaoning. Changchun: Jilin University Press. 1—184 (in Chinese with English abstract).
- Kobayashi T., 1944. On the Cambrian formations in Yunnan and Haut-Tonkin and the trilobites contained. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **19**(1/4): 107—138.
- Li Shan-ji (李善姬), 1972. Lower Cambrian trilobites from Jixingling in the the Zhenping of Shaanxi and Wuxi of Sichuan border area. *In: Editorial Group of Communication of Stratigraphy and Palaeontology of Southwestern China (西南地层古生物通讯编辑组) (ed.), Communication of Stratigraphy and Palaeontology of Southwestern China (西南地层古生物通讯)*, **1**: 33—53 (in Chinese).
- Li Shan-ji (李善姬), 1978. Trilobita. *In: Institute of Geological Sciences of Southwest China (西南地质科学研究所) (ed.), Palaeontological Atlas of Southwest China, Sichuan Volume, Part 1. Sinian to Devonian. Beijing: Geological Publishing House. 179—284 (in Chinese).*
- Li Shan-ji (李善姬), Kang Cheng-lin (康承林), Zhang Xi-guang (张喜光), 1990. Sedimentary environment and trilobites of Lower Cambrian Yuxiansi Formation in Leshan district, Sichuan. *Bulletin of the Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences (中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊)*, **12**: 37—56 (in Chinese with English summary).
- Li Yao-xi (李耀西), Song Li-sheng (宋礼生), Zhou Zhi-qiang (周志强), Yang Jing-yao (杨景尧), 1975. Stratigraphical Gazetteer of Lower Palaeozoic, Western Dabashan. Beijing: Geological Publishing House. 1—372 (in Chinese).
- Liang Zong-wei (梁宗伟), 1981. Early Cambrian Trilobites from central-southern Shandong. *In: Palaeontological Society of China (中国古生物学会) (ed.), Selected Paper from the 12th Annual Conventions of Palaeontological Society of China. Beijing: Science Press. 90—95 (in Chinese).*
- Lin Huan-ling, 2008. Chapter 3 Early Cambrian (Chiungchussuan, Tsanglangpuan and Lungwangmiaolan). *In: Zhou Zhi-yi, Zhen Yong-yi (eds.), Trilobite Record of China. Beijing: Science Press. 37.*
- Lin Tian-rui (林天瑞), Peng Shan-chi (彭善池), 2004. New material of *Palaeolenus* (Trilobite, Cambrian) from the Eastern Yangtze Gorge area, Western Hubei. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **43**(1): 32—42 (in Chinese with English abstract).
- Lin Tian-rui (林天瑞), Peng Shan-chi (彭善池), 2009. Further discussion on the invalidity of *Megapalaeolenus* Chang, 1966. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **48**(4): 695—700 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yan-hao, 1941. Lower Cambrian stratigraphy and trilobite fauna of Kunming, Yunnan. *Bulletin of the Geological Society of China*, **21**(1): 71—90.
- Lu Yan-hao, 1942. Some Lower Cambrian trilobites from Chintingshan N. Kueizhou. *Bulletin of the Geological Society of China*, **22**(3/4): 177—188.
- Lu Yan-hao (卢衍豪), Zhang Wen-tang (张文堂), Zhu Zhao-ling (朱兆玲), 1963. Trilobites. *Index Fossils of Northwest China. Beijing: Science Press. 1—179 (in Chinese).*
- Lu Yan-hao (卢衍豪), Zhu Zhao-ling (朱兆玲), Qian Yi-yuan (钱义元), Lin Huan-ling (林焕令), Yuan Jin-liang (袁金良), 1982. Stratigraphic correlation chart of the Cambrian in China with explanatory text. *In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京地质古生物研究所) (ed.), Stratigraphic Correlation Chart in China with Explanatory Text. Beijing: Science Press. 28—54*

- (in Chinese).
- Luo Hui-lin (罗惠麟), Hu Shi-xue (胡世学), Hou Shu-guang (侯蜀光), Gao Hong-guang (高宏光), Zhan Dong-qin (詹冬琴), Li Wen-chang (李文昌), 2009. Cambrian Stratigraphy and Trilobites from Southeastern Yunnan, China. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1—252 (in Chinese with English summary).
- Luo Hui-lin (罗惠麟), Jiang Zhi-wen (蒋志文), Tang Liang-dong (唐良栋), 1994. Stratotype Section for Lower Cambrian Stages in China. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1—183 (in Chinese with English summary).
- Luo Hui-lin (罗惠麟), Li Yong (李勇), Hu Shi-xue (胡世学), Fu Xiao-ping (傅晓平), Hou Shu-guang (侯蜀光), Liu Xing-yao (刘兴尧), Chen Liang-zhong (陈良忠), Li Feng-jun (李锋军), Pang Ji-yuan (庞纪院), Liu Qi (刘琦), 2008. Early Cambrian Malong Fauna and Guanshan Fauna from Eastern Yunnan, China. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1—134 (in Chinese with English summary).
- Luo Hui-lin (罗惠麟), Li Yong (李勇), Hu Shi-xue (胡世学), Fu Xiao-ping (傅晓平), Hou Shu-guang (侯蜀光), You Ting (尤霆), Pang Ji-yuan (庞纪院), Liu Qi (刘琦), 2007. On the genus *Megapalaeolenus* Chang, 1966. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **46**(3): 314—326 (in Chinese with English summary).
- Mansuy H., 1912. Etude Geologique du Yunnan oriental, Partie 2, Paleontologie. *Memoires du service Geologique de L'Indochine*, **1**(2): 1—146.
- Qiu Hong-an (仇洪安), Lu Yan-hao (卢衍豪), Zhu Zhao-ling (朱兆玲), Bi De-chang (毕德昌), Lin Tian-rui (林天瑞), Zhou Zhi-yi (周志毅), Zhang Quan-zhong (张全忠), Qian Yi-yuan (钱义元), Ju Tian-yin (鞠天吟), Han Nai-ren (韩乃仁), Wei Xiu-zhe (魏秀喆), 1983. Trilobita. *In*: Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources (南京地质矿产研究所) (ed.), *Palaeontological Atlas of East China* (1). Beijing: Geological Publishing House. 28—254 (in Chinese).
- Ting Wen-jiang, Wang Yue-lun, 1914—1937. Cambrian and Silurian formations of Malung and Cütsing districts, Yunnan (compiled and partly rearranged and completed by Yin Zan-xun). *Bulletin of the Geological Society of China*. **16**: 1—28.
- Xiang Li-wen (项礼文), 1963. Cambrian trilobites. *In*: Third Branch of the Chinese Academy of Geological Sciences (地质部地质科学研究所第三室) (ed.), *Fossils Atlas of Qinling Region*. Beijing: Chinese Industrial Press. 27—36 (in Chinese).
- Xiang Li-wen (项礼文), Guo Zhen-ming (郭振明), 1964. On the trilobites from the Lower Cambrian Changping Formation and their stratigraphical significance. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **12**(4): 622—625 (in Chinese with English summary).
- Xiang Li-wen (项礼文), Zhou Tian-mei (周天梅), 1987. Trilobita. *In*: Wang Xiao-feng (汪啸风), Xiang Li-wen (项礼文), Ni Shi-zhao (倪世钊), Zeng Qin-luan (曾庆銮), Xu Guang-hong (徐光洪), Zhou Tian-mei (周天梅), Lai Cai-gen (赖才根), Li Zhi-hong (李志宏) (eds.), *Biostratigraphy of the Yangtze Gorges Area* (2): Early Palaeozoic Era. Beijing: Geological Publishing House. 294—335 (in Chinese with English summary).
- Yang Jia-lu (杨家禄), Yu Su-yu (余素玉), Liu Gui-tao (刘桂涛), Su Nan-mao (苏南茂), He Ming-hua (何明华), Shang Jian-guo (尚建国), Zhang Hai-qing (张海清), Zhu Hong-yuan (朱洪源), Li Yu-jing (李育敬), Yan Guo-shun (阎国顺), 1991. Cambrian Stratigraphy, Lithofacies, Paleogeography and Trilobite Faunas of East Qinling-Dabashan Mountains, China. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1—192 (in Chinese).
- Yi Ding-rong (易定容), 1988. Ontogeny of *Palaeolenus lantenoisi* (Trilobita). *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **27**(1): 31—38 (in Chinese with English summary).
- Yin Gong-zheng (尹恭正), Li Shan-ji (李善姬), 1978. Trilobita. *In*: Working Group on Stratigraphy and Palaeontology of Guizhou (贵州地层古生物工作队) (ed.), *Palaeontological Atlas of Southwest China, Guizhou China* (1). Beijing: Geological Publishing House. 385—595 (in Chinese).
- Zhang Jin-lin (张进林), 1980. Lower Cambrian trilobites from Fuzunshan Formation of Yanshan regions and lower limit of Cambrian System. *Bulletin of the Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences (中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊)* (Series 7), **1**(1): 102—110 (in Chinese with English summary).
- Zhang Jin-lin (张进林), Wang Shao-xin (王绍鑫), 1985. Trilobita. *In*: The Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources (天津地质矿产研究所) (ed.), *Palaeontological Atlas of North China* (1): Palaeozoic. Beijing: Geological Publishing House. 327—488 (in Chinese).
- Zhang Tai-rong (张太荣), 1981. Trilobita. *In*: Regional Geological Surveying Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region *et al.* (新疆维吾尔自治区地质矿产局区域地质调查大队等) (eds.), *Palaeontological Atlas of Northwest China, Xinjiang*, (1). Beijing: Geological Publishing House. 134—213, 305—318 (in Chinese).
- Zhang Wen-tang (张文堂), 1966. On the classification of Redlichia, with description of new families and new genera. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **14**(2): 135—185 (in Chinese with English summary).
- Zhang Wen-tang (张文堂), Lin Huan-ling (林焕令), Ren Xian (任显), Xiao Rong-wu (肖荣吾), Yi Ding-rong (易定容), Wang Ju-de (王举德), 1973. Cambrian stratigraphy of the eastern Yunnan. *Communication of Stratigraphy and Palaeontology of Southwestern China (西南地层古生物通讯)*, **3**: 1—21 (in Chinese).
- Zhang Wen-tang (张文堂), Yuan Ke-xing (袁克兴), Zhou Zhi-yi (周志毅), Qian Yi (钱逸), Wang Zong-zhe (王宗哲), 1979. Cambrian of Southwest China. *In*: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京地质古生物研究所) (ed.), *Biostratigraphy of Carbonate in Southwest China*. Beijing: Science Press. 39—107 (in Chinese).
- 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 (章森桂), Yuan Jin-liang (袁金良), 1980. Cambrian trilobites faunas of southwestern China. *Palaeontologia Sinica (中国古生物志)*, Series 159, new B, **16**: 1—497 (in Chinese with English abstract).

- Zhang Wen-tang, Xiang Li-wen, Liu Yi-ren, Meng Xian-song, 1995. Cambrian stratigraphy and trilobite from Henan. *Palaeontologia Cathayana*, **6**: 1—166.
- Zhou Tian-mei (周天梅), Lin Tian-rui (林天瑞), 1978. Early Cambrian trilobite. *In*: Stratigraphic Research Group of Yangtze Gorge, Hubei Bureau of Geology (湖北省地质局三峡地层研究组) (ed.), Sinian to Permian Stratigraphy and Palaeontology of the Eastern Yangtze Gorges Area. Beijing: Geological Publishing House. 143—154 (in Chinese).
- Zhou Tian-mei (周天梅), Liu Yi-ren (刘义仁), Meng Xian-song (孟宪松), Sun Zhen-hua (孙振华), 1977. Trilobita. *In*: Hubei Institute of Geological Sciences and 5 Other Institutions (湖北省地质科学研究所等) (eds.), Atlas of Palaeontology of South-central China, Volume 1; Early Palaeozoic. Beijing: Geological Publishing House. 104—266 (in Chinese).
- Zhou Zhi-qiang (周志强), Li Jin-seng (李晋僧), Qu Xin-guo (曲新国), 1982. Trilobita. *In*: Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources (西安地质矿产研究所) (ed.), Palaeontological Atlas of Northwest China. Shaanxi-Gansu-Ningxia Volume. Part 1, Precambrian and Early Palaeozoic. Beijing: Geological Publishing House. 215—294 (in Chinese).
- Zhu Zhao-ling (朱兆玲), 1962. On the occurrence of *Palaeolenus* in Fengyang, Anhui. *Acta Palaeontologica Sinica* (古生物学报), **10**(3): 386—393 (in Chinese with English abstract).

APPLICATION OF CLUSTER ANALYSIS TO THE TAXONOMY OF PALAEOLENID TRILOBITES, CHINA —A NEW APPROACH TO THE BIOZONAY CLASSIFICATION OF THE UPPER PART OF TSANGLANGPU FORMATION OF THE QIANDONGIAN SERIES IN CHINA

LIN Tian-rui

(School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China, lin_tianrui@aliyun.com)

Key words Biozone, *Palaeolenus*, *Megapalaeolenus*, palaeolenid Trilobita, cluster analysis, Qiangdongian Series, Cambrian

Abstract

In the present paper, the method of “Q-mode cluster analysis” is used in a taxonomic study of 34 cranidia belonging to palaeolenid trilobite species and subspecies in the traditional middle-late Early Cambrian, China. The statistical measurement of similarity is the incremental sum of error squares (ΔE). Here, the author uses the variables in the ratio form (8) and qualitative data (5). The transformative method of standardization is adopted in the process of original data. The resemblance relation matrices of all specimens are formed through calculation of the increments of sum of error squares between those specimens (see Table I). Finally the two-dimensional dendrogram is drawn by stepwise calculation (see text-fig. 1).

The dendrogram (text-fig. 1) is divided into three groups by the association line having a value of increments of sum of error squares 12. They

correspond to:

Palaeolenus douvillei Mansuy, 1912 species group (A species group)—containing ten species: *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912 (1); *P. deprati* Mansuy, 1912 (2); *Megapalaeolenus granulatus* Qian and Yao, 1980 (26); *Palaeolenus xingjiangensis* Lu, 1963 (4); *Megapalaeolenus guizhouensis* Yin, 1978 (7); *M. magnus* Zhu, 1980 (9); *M. luquanensis* Luo, 1994 (16); *M. expanus* Zhang and Zhu, 1980 (8); *Palaeolenus brevicus* Xiang and Zhou, 1987 (21); *Megapalaeolenus majiashanensis* Lin, 1978 (25).

Palaeolenus lantenoisi Mansuy, 1912 species group (B species group)—containing thirteen species: *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912 (3); *P. kunmingensis* Zhang and Zhu, 1980 (6); *P. yangziensis* Xiang and Zhou, 1987 (22); *P. tingi* Lu, 1941 (18); *Megapalaeolenus quadratus* Zhu and Yan, 1991 (15); *Palaeolenus planilimbatus* Lin, 1978 (20); *P. minor* Lin, 1978 (19); *Megapalaeolenus longispinus* Chang and Chu, 1980

(27); *M. yichangensis* Xiang and Zhou, 1987 (32); *Palaeolenus liantuensis* Xiang and Zhou, 1987 (23); *Megapalaeolenus xixiangensis* Zhou, 1975 (24); *M. obsoletus* Xiang and Zhou, 1987 (28) and *M. nanzhengensis* Chen and Zhang, 1986 (14).

Palaeolenus fengyangensis Chu, 1962 species group (C species group)—containing eleven species: *P. fengyangensis* Chu, 1962 (5); *Megapalaeolenus* cf. *deprati* (Mansuy) (31); *M. changpingensis* Zhang and Wang, 1985 (13); *M. (Latipalaeolenus) houdapoensis* Guo and An, 1982 (33); *M. mashanensis* Liang, 1981 (30); *M. linyiensis* Liang, 1981 (29); *M. binodus* Liang, 1981 (11); *M. planilimbatus* Liang, 1981 (10); *M. fengyangensis corollinus* Q Z Zhang, 1983 (34); *M. (Latipalaeolenus) latilimbatus* Guo and An, 1982 (12) and *M. beishanensis* Guo and Zan 1996 (17).

Through the application of combined cluster analysis with traditional qualitative analysis (Lin and Peng, 2004, 2009) in the study of 34 species (subspecies) of palaeolenid trilobites in this paper, the author proposed:

Junior synonyms of *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912 include *Palaeolenus douvillei* Mansuy, 1912 (p. 29, pl. 3, figs. 6a—d; pl. 4, figs. 1a—d); *P. deprati* Mansuy, 1912 (p. 30, pl. 4, figs. 3a, b); *P. xingjiangensis* Lu, 1963 (Lu *et al.*, 1963, p. 24, pl. 1, fig. 2); *Megapalaeolenus majiashanensis* Lin, 1978 (Zhou and Lin, 1978, p. 148, pl. 23, figs. 6—11); *M. guizhouensis* Yin, 1978 (Yin and Li, 1978, p. 423, pl. 152, figs. 2—4); *M. granulatus* Qian and Yao, 1980 (Zhang *et al.*, 1980, p. 233, pl. 72, figs. 9—11); *M. magnus* Zhu, 1980 (Zhang *et al.*, 1980, p. 233, pl. 73, figs. 1—6); *M. expansus* Zhang and Zhu, 1980 (Zhang *et al.*, 1980, p. 233, pl. 73, figs. 7, 8); *Palaeolenus brevicus* Xiang and Zhou, 1987 (p. 298, pl. 31, fig. 3); *Megapalaeolenus luquanensis* Luo, 1994 (Luo *et al.*, 1994, p. 137, pl. 28, figs. 8b—11).

Junior synonyms of *Palaeolenus lantenoisi* Mansuy, 1912 include *Palaeolenus lantenoisi* Man-

suy, 1912 (p. 29, pl. 4, figs. 2a—e); *P. tingi* Lu, 1941 (p. 83, pl. 1, figs. 15a, b); *Megapalaeolenus xixiangensis* Zhou, 1975 (Li *et al.*, p. 144, pl. 9, figs. 9, 10); *Palaeolenus minor* Lin, 1978 (Zhou and Lin, 1978, p. 149, pl. 24, figs. 1, 2); *P. planilimbatus* Lin, 1978 (Zhou and Lin, 1978, p. 149, pl. 24, fig. 4); *P. kunmingensis* Zhang and Zhu, 1980 (Zhang *et al.*, 1980, p. 231, 232, pl. 71, fig. 7); *Megapalaeolenus longispinus* Chang and Chu, 1980 (Zhang *et al.*, 1980, p. 234, pl. 73, figs. 9—12); *M. nanzhengensis* Chen and Zhang, 1986 (p. 70, pl. 3, fig. 7); *Palaeolenus liantuensis* Xiang and Zhou, 1987 (p. 298, pl. 31, figs. 14, 15); *P. yangziensis* Xiang and Zhou, 1987 (p. 299, pl. 31, fig. 12); *Megapalaeolenus obsoletus* Xiang and Zhou, 1987 (p. 299, pl. 31, fig. 1); *M. yichangensis* Xiang and Zhou, 1987 (p. 299, pl. 31, figs. 8, 9, 13); *M. quadratus* Zhu and Yan, 1991 (Yang *et al.*, 1991, p. 122, pl. 8, fig. 9).

Junior synonyms of *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962 include *Palaeolenus fengyangensis* Chu, 1962 (p. 386—391, pl. 1, figs. 1—7); *Megapalaeolenus planilimbatus* Liang, 1981 (p. 92, pl. 1, figs. 11—12); *M. binodus* Liang, 1981 (p. 93, pl. 1, figs. 19—33, pl. 2, figs. 1—10); *M. mashanensis* Liang, 1981 (p. 92, pl. 1, figs. 13—18); *M. linyiensis* Liang, 1981 (p. 93, pl. 2, figs. 11—28); *M. cf. deprati* (Mansuy) (Liang, 1981, p. 91, 92, pl. 1, fig. 6); *M. (Latipalaeolenus) latilimbatus* Guo and An, 1982 (p. 621, pl. 1, figs. 16—20); *M. (Latipalaeolenus) houdapoensis* Guo and An, 1982 (p. 621, pl. 1, figs. 12—15); *M. fengyangensis corollinus* Q Z Zhang, 1983 (Qiu *et al.*, 1983, p. 52, pl. 17, fig. 3); *M. changpingensis* Zhang and Wang, 1985 (p. 338, pl. 105, figs. 4, 5); *M. beishanensis* Guo and Zan, 1996 (Guo *et al.*, 1996, p. 56, pl. 13, figs. 9, 10).

This paper also discusses the classification of biozone of the Wulongqing Member of Tsanglangpu Formation of the Qiandongian Series in China (see Table III).