

奥陶-志留系界线地层生物带的全球对比^{*}

陈 旭 戎嘉余 樊隽轩 詹仁斌 张元动 李荣玉 王 恽

(中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008)

米切尔(C·E·Mitchell)

(美国纽约州立大学地质系 美国布法罗)

哈帕尔(D·A·T·Harper)

(丹麦哥本哈根大学地质博物馆 丹麦哥本哈根)

提要 详述扬子区晚奥陶世晚期(阿什极期)至兰多维列世初期的生物带序列,修正部分的笔石带,与全球各重要地区进行对比。研究表明,全球奥陶系顶部赫南特亚阶及其上下地层在我国的扬子区发育最好,地层连续发育并广泛出露,生物带发育齐全,不但有连续的笔石带,而且有世界广布的赫南特贝腕足动物群,有望在我国建立赫南特亚阶的全球层型剖面 and 点(GSSP)。

关键词 赫南特亚阶 生物带 全球对比 全球层型剖面 and 点(GSSP)

全球奥陶系顶部赫南特亚阶的地层在我国的扬子区发育最好,有望在我国建立赫南特亚阶的全球层型剖面 and 点(GSSP)。与本文同时,我们将在“地层学杂志”上发表“扬子区奥陶纪末赫南特亚阶的生物地层学研究”一文,详细描记近年来在宜昌王家湾、宜昌分乡、桐梓红花园和松桃陆地坪 4 条穿越赫南特亚阶的无间断采集剖面,并提出所含生物带的修订方案。本文在这些资料的基础上,进一步讨论赫南特亚阶生物带的全球对比,并涉及该亚阶之下其它阿什极阶的生物带及其之上兰多维列统底部的生物带。上述 4 条剖面的基础资料不在本文中重复发表。

扬子区上奥陶统阿什极阶至兰多维列统为一套连续的、以笔石相为主的地层,间夹一部分含壳相动物群的层位,可作为赫南特亚阶及其上、下有关生物地层全球对比的标准。其中,宜昌王家湾和分乡两剖面代表台地较深水相,桐梓红花园和松桃陆地坪两剖面代表浅水相。宜昌王家湾剖面 and 桐梓红花园剖面已分别被提名为赫南特亚阶全球层型剖面 and 点(GSSP)的候选层型和候选副层型(Rong *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 1999)。

本文的部分工作完成于美国马萨诸塞州哈佛镇,感谢梅尔钦博士(M·J·Melchin)提供宝贵意见以及 J· and J·Enterprise 提供研究条件。

1 笔石带的划分

1.1 *Dicellograptus complanatus* 带

长期以来,我国一直未发现真正的 *Dicellograptus complanatus* 带。1998 年 5 月,我们在松桃陆地坪五峰组底部和桐梓红花园涧草沟组顶部,首次发现了 *D. complanatus* Lapworth 和该带的笔石动物群。*D. complanatus* 带上部的笔石动物群包括 10 属 17 种(陈旭等,待刊^{**}),但局限于此笔石带的只有 4 种,即 *D. complanatus* 和 *Rectograptus intermedius* (Elles and Wood) (全球广布种); *Pseudoclimacograptus chiai* (Mu) 和 *Pararetiograptus magnus* Mu (土著种)。而其它诸种,包括 *Normalograptus miserabilis* (Elles and Wood), *N. mohawkensis* (Ruedemann), *Anticostia uniformis* (Mu and Lin), *A. fastigatus* (Davies), *Appendispinograptus longispinus hvalross* (Ross and

收稿日期:1999-07-01

^{*} 中国科学院重点研究项目(KZ952-J1-401 和 KZ952-J1-023)、国家自然科学基金(49072005 和 49672083)和南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学开放研究实验室(973101)联合资助。

^{**} 陈 旭、戎嘉余、樊隽轩、詹仁斌、张元动、王志浩、王宗哲、李荣玉、王 恽、米切尔(C·E·Mitchell)、哈帕尔(D·A·T·Harper), 扬子区奥陶纪末赫南特亚阶的生物地层学研究。地层学杂志(待刊)。

Berry), *A. supernus* (Elles and Wood), *A. hubeiensis* (Mu and Ge), *Leptograptus extremus* Mu and Zhang, *Dicellograptus tenuiculus* Mu et al., *D. complanatus arkansasensis* Ruedemann, *Amplexograptus latus* (Elles and Wood), *Rectograptus socialis* (Lapworth) 和 *Orthograptus maximus* Mu 等, 均可上延至 *D. complexus* 带。松桃陆地坪剖面 *D. complanatus* 带上部笔石的发现说明了五峰组的底界至少在有些地点可以下移至阿什极阶下部。从整个扬子区来看, 涧草沟组与五峰组以及临湘组与五峰组均代表着不同的岩相和生物相, 它们之间的界线是穿时的, 上、下地层单位所代表的两种不同的相则互为消长。由于宜昌地区目前还没有找到合适的地点能够重新详细采集五峰组最底部的笔石, 我们尚不能肯定在扬子台盆中心部位的五峰组笔石相地层的最低层位。

1.2 *Dicellograptus complexus* 带

D. complexus 带是华南阿什极阶分布最广的一个笔石带, 不但遍及扬子地台上所有地点, 而且还扩及珠江区(陈旭等, 1987), 指示了阿什极阶笔石的辐射特点, 这是奥陶纪笔石动物群最后一次辐射期的开始。

松桃陆地坪剖面记录了 *D. complexus* 带动物群的完整序列, 因此, 可以准确地划定该带的底界。*D. complexus* 带以 *D. complexus* 的首次出现(FAD)为界, 最底部(AFA³⁸²)除 *D. complexus* 之外, 还有自下伏 *D. complanatus* 带上延而来的 *D. complanatus arkansasensis* (Ruedemann), *O. maximus* Mu, *Normalograptus miserabilis* (Elles and Wood), *Amplexograptus latus* (Elles and Wood) 和 *Appendispinograptus l. hvalross* (Ross and Berry), 紧接此层之上, 即出现大量土著分子 *Dicellograptus* sp. aff. *D. complanatus* Lapworth, *Rectograptus songtaoensis* Li, *Appendispinograptus? fibratus* (Ge) 和 *Pararetiograptus sinensis* Mu。D. sp. aff. *D. complanatus* Lapworth (= *D. cf. complanatus* Lapworth, 穆恩之等, 1993) 的一般特征与 *D. complanatus* 一致, 只是笔石枝窄而均匀, 有可能代表一个地理亚种, 它的延限则较长。在 *D. complexus* 带的中部出现 *Dicellograptus anceps* (Nicholson), *Dicellograptus ornatus* Elles and Wood 和另一个常见于扬子区五峰组中的土著分子 *Appendispinograptus venustus* (Hsu)。D. *anceps* (Nicholson) 在 *D. complexus* 带中部开始出现, 这对

于苏格兰 Dob's Linn 剖面 *D. anceps* 的层位对比甚为重要。*D. complexus* 带的主要广布属种还有 *Leptograptus macer* Elles and Wood, *Dicellograptus minor* Toghil, *D. graciliramosus* Yin and Mu, *Pleurograptus lui* Mu, *Appendispinograptus leptothecalis* (Mu and Ge), *A. supernus* (Elles and Wood), *Rectograptus abbreviatus* (Elles and Wood), *R. socialis* (Lapworth), *Anticostia fastigatus* (Davies) 和 *Climacograptus? hastatus* (T.S. Hall), 它们大都来自 *D. complanatus* 带并上延至更高层位。*D. complexus* 带的笔石动物群的分异度较前一个笔石带明显增高, 达到 15 属 34 种, 其中广布种和土著种均为 17 个(陈旭等, 待刊)。

1.3 *Paraorthograptus pacificus* 带

此带以 *P. pacificus* (Ruedemann), *P. brevispinus* Mu and Li, *Leptograptus planus* Chen 和 *Dicellograptus tumidus* Chen 的首次出现层位为底界。*P. pacificus* 带可以进一步划分为 3 个亚带: 下部的未名亚带, 中部的 *Tangyagraptus typicus* 亚带和上部的 *Diceratograptus mirus* 亚带。后者长期被穆恩之等(1974, 1993)作为独立的笔石带处理。由于土著种界定的笔石带在全球对比上有一定的困难, 而 *P. pacificus* 带已广为各国学者所使用, 因此我们也采用 *P. pacificus* 带。扬子区的地区性分带作为亚带, 以示我国具有更完整的笔石序列和更丰富的笔石动物群。现将 *P. pacificus* 带的 3 个亚带记述如下:

1) 未名亚带(Un-named Subzone)

这一亚带的底界与 *P. pacificus* 带的底界一致, 计有 16 属 35 种, 其中 17 种是广布种(陈旭等, 待刊), 因此笔石动物群的分异度与 *D. complexus* 带的大体一致。除上述首现于此亚带底部(也即 *P. pacificus* 带)的 4 种外, 尚有 *Pararetiograptus parvus* Mu, *Pseudoreteograptus nanus* Mu 和 *Paraplegmatograptus uniformis* Mu 3 种始见于这一亚带。由于宜昌地区这一亚带及以下地层的露头出露不甚连续, 而桐梓红花园剖面又只出露了这一亚带的上部层位, 因此对这一未名亚带的研究主要基于松桃陆地坪剖面。

2) *Tangyagraptus typicus* 亚带

这一亚带的底界以 *Tangyagraptus typicus* Mu, *T. remotus* Mu and Chen, *T. flexilis* Mu and Chen 和 *T.? grandis* Mu and Chen 的首次出现为标志。在 *Dicellograptus*, *Normalograptus*, *Paraortho-*

graptus, *Paraplegmatograptus* 和 *Yinograptus* 各属中还出现了不少新涌现的种, 最重要的有 *Dicellograptus mirabilis* Mu and Chen, *D. turgidus* Mu, *Normalograptus angustus* (Perner), *N. tatianae* (Keller), *N. normalis* (Lapworth), *Paraorthograptus longispinus* Mu and Li, *P. pacificus affinis* Koren and Tzaj, *Paraplegmatograptus connectus ovalis* Mu 和 *Yinograptus dubius* Mu 等。其中 *Tangyagraptus* 属的全部种都只限于这一亚带之中, 而 *N. angustus* (Perner) 和 *N. normalis* (Lapworth) 则可上延直至兰多维列世早期, 并在奥陶-志留系界线上、下大量出现。

T. typicus 亚带笔石动物群的分异度达到了阿什极世笔石动物群辐射的顶峰, 共计 18 属 52 种, 其中广布种占 24 种(陈旭等, 待刊)。 *Normalograptus* 一属在此亚带共有 4 种, 其中的 3 种都是在 *T. typicus* 亚带近顶部出现的。

3) *Diceratograptus mirus* 亚带

D. mirus 亚带的底界以 *D. mirus* Mu 的首次出现为标志。这一亚带代表一个十分短暂的时间间隔。在扬子区此亚带所属地层的厚度亦最小。松桃陆地坪的五峰组厚达 17.5m, 是目前已知扬子区五峰组最厚的地点。而该地的 *D. mirus* 亚带也仅 0.4m 厚。此亚带共计有 17 属 38 种, 其中 18 种为广布种(陈旭等, 待刊), 但 *D. mirus* 亚带早期和晚期动物群的分异度在浅水区有很大的变化, 在此亚带早期, 笔石动物群的分异度与 *T. typicus* 亚带相同, 但此亚带晚期笔石动物群的分异度在浅水区急剧下降, 指示了奥陶纪末笔石动物群的集群灭绝开始于浅水区, 并发生在此亚带的时间间隔中。 *Normalograptus* 一属的种的数量增加, 从以前的 4 种增加到 5 种, 因此正常笔石类(normalograptids)的分子从 *T. typicus* 亚带末至 *D. mirus* 亚带开始成为笔石动物群中的重要分子。

值得注意的是无绞纲腕足动物 *Manosia* 在本亚带内普遍发育, 并可上延至 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的下部。

1.4 *Normalograptus extraordinarius*-*Normalograptus ojsuensis* 带

这一笔石带的底界以 *N. extraordinarius* (Sobolevskaya) 和 *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) 的首次出现为标志。我国笔石工作者长期鉴定为 *Diplograptus bohemicus* (Marek) 的标本, 应属 *Normalograptus ojsuensis* (Koren and

Mikhaylova); 而穆恩之等(1974)建立的 *Diplograptus orientalis* Mu et al., 1974, 应属 *Normalograptus extraordinarius* (Sobolevskaya)。鉴于 *Paraorthograptus uniformis* Mu and Li 出现于 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的下部, 因此原来穆恩之等(1974, 1993)的 *Paraorthograptus uniformis* 带可能与 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的下部重合。此外与 *P. uniformis* Mu and Li 同时出现的还有 *Neodiplograptus modestus* (Lapworth), 此系 *Neodiplograptus* 的先驱种。

N. extraordinarius-*N. ojsuensis* 带在深水相区(如宜昌)共计 11 属 32 种, 其中 20 种为广布种(陈旭等, 待刊)。这一笔石带中 *Normalograptus* 已多达 9 种(其中 7 种为广布种), 占了整个笔石动物种的 28.1%, 因此 *Normalograptus* 至此已成为主导属。在浅水相带(如桐梓红花园), 此带只包括 *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova), *N. extraordinarius* (Sobolevskaya), *N. angustus* (Perner), *N. normalis* (Lapworth) 和 *N. extraordinarius* (Sobolevskaya) 的 1 个新亚种, 代表 1 个低分异度的正常笔石动物群, 奥陶纪末笔石动物集群灭绝的首幕在深水相区就发生在本带期间。

1.5 *Normalograptus persculptus* 带

这一笔石带的底界以 *Normalograptus persculptus* (Elles and Wood), *N. caudatus* (Ge), *N. madernii* (Koren and Mikhaylova), *N. wangjiawanensis* (Mu and Lin), *N. tortithecatatus* (Hsu), *Paraclimacograptus innotatus* (Nicholson), *Glyptograptus laciniosus* Churkin and Carter, *G. lungmaensis* Sun, *Neodiplograptus modestus anhuiensis* (Li) 和 *Pseudorthograptus angustifolius* (Chen and Lin) 的出现为标志, 所含化石全部是双列攀合笔石, 并以 *Normalograptus* 为主导; 共含 10 属 29 种, 因此在此带内笔石的属级分异度是一个连续下降的过程。在 29 种笔石中, 17 个是广布种, 5 个幸存种(陈旭等, 待刊), 包括 *N. extraordinarius* (Sobolevskaya), *Paraorthograptus brevispinus* (Mu and Li), *Climacograptus? hastatus* (T. S. Hall), *Amplexograptus* sp. aff. *A. latus* (Elles and Wood) 和 *Paraplegmatograptus* sp. (*P. connectus* group), 都只发现一、两枚标本, 它们也都在 *N. persculptus* 带的第二个灭绝幕来临时灭绝。

1.6 *Akidograptus ascensus* 带

本带以 *A. ascensus* Davies, *Glyptograptus* sp.

nov. 和 *Neodiplograptus bicaudatus* (Chen and Lin) 的首次出现界定其底界。在该带近底界的层位中还出现 *Normalograptus lubricus* (Chen and Lin)。这一笔石带包含 6 属 22 种, 其中 12 种为广布种。在扬子区 *A. ascensus* 带的地层已知最厚的地点也在松桃陆地坪, 达到 8.22m。

1.7 *Parakidograptus acuminatus* 带

这一笔石带的底界以 *P. acuminatus* (Nicholson) 以及 *Normalograptus premedius* (Waern), *N. rectangularis* (M'Coy), *Pseudorthograptus illustris* (Koren and Mikhaylova) 的首次出现为标志, 在该带较高层位则出现 *Hirsutograptus sinitzini* (Chalet-skaya)。 *P. acuminatus* 带笔石动物群共计 12 属 42 种, 22 种为广布种, 24 种为新生种, 6 属为新生属 (陈旭等, 待刊), 新生分子占有如此大的比例标志该带的笔石动物群发生了一次大的变革。

2 笔石带的全球对比

长期以来, 全球阿什极阶至兰多维列统笔石带的对比, 都以英国的笔石带序列作为标准。以至八十年代初期裁定奥陶-志留系分界、确定志留系底界的界线层型这样在地层学上的头等大事时也都要“削足适履”, 不能脱离苏格兰 Dob's Linn 的序列。近十余年来各国学者在对比 Dob's Linn 志留系底界或奥陶系-志留系的界线层型剖面, 特别是对比那里奥陶系顶部的不连续序列时深感困难, 以至连 Fortey 等英国学者们 (1995) 也都提出赫南特亚阶的标准要建立在亚洲东部。现在需要的正是我国扬子区的研究成果。本文在阐明了扬子区的笔石带序列之后, 对比世界各代表性的地区的相关重要剖面, 以便获得各方面的支持。

2.1 苏格兰南部多比斯林 (Dob's Linn) 剖面

苏格兰南部奥陶系上部及志留系下部的岩石地层单位分别称为 Hartfell 页岩和 Birkhill 页岩。岩相在纵向上变化不大, 都属笔石相, 缺少含壳相动物群的地层。虽然是笔石相地层, 但连续的笔石带却只有 *Dicranograptus clingani* 带至 *Pleurograptus linearis* 带下部以及 *Normalograptus persculptus* 带上部至兰多维列统特列奇阶底部笔石带这两段。在此之间的 28m 浅灰色的泥岩和页岩中, 只有含 *Dicellograptus complanatus* 笔石动物群的两个化石层和划作 *Dicellograptus anceps* 带的 5 个笔石层, 以及 *N. extraordinarius* 层。其中 *D. anceps* 带的 A 层

和 B 层被作为 *Dicellograptus complexus* 亚带, C 层至 E 层则被作为 *Paraorthograptus pacificus* 亚带 (Williams, 1982)。因此, 在这种发育许多笔石动物群间断的地层剖面上, 是难于识别完整笔石序列的。

Toghill (1970) 曾描记那里的 *D. complanatus* 层中的笔石, 计有 *D. complanatus* Lapworth, *Rectograptus socialis* (Lapworth) 和 *Normalograptus miserabilis* (Elles and Wood)。这 3 种笔石在松桃陆地坪同层位的笔石中都已见及。Toghill 还在此层位中描记了 *Plegmatograptus nebula* Elles and Wood, 其出现指示 Dob's Linn 的 *D. complanatus* 层位只相当于我国扬子区 *D. complanatus* 带的下部。 *P. nebula* Elles and Wood 一种主要产自 *D. clingani* 带至 *P. linearis* 带 (Williams, 1982)。 *Plegmatograptus* 一属在阿什极世中期 (*D. complexus* 带) 就已灭绝, 代之而起的是 *Paraplegmatograptus*。

Dob's Linn 剖面的 A 层和 B 层产 *D. complexus*-*D. anceps* 笔石动物群, 共计 9 属 12 种。除 *N. normalis* Lapworth 之外, 其余各种都在扬子区出现。 *N. normalis* 在扬子区的始现层位更高 (见于 *D. mirus* 亚带) 并在 *P. acuminatus* 带大量发育。被 Williams (1982) 提议为带化石的 *D. anceps* (Nicholson) 的地质历程较长, 在扬子区见于 *D. complexus* 带的中部至 *T. typicus* 亚带的下部。鉴于 Dob's Linn 的 A 层和 B 层均产有 *D. anceps* 而又不见 *P. pacificus*, 因此很可能相当于扬子区 *D. complexus* 中部和上部的层位。由于扬子区 *D. anceps* (Nicholson) 的始现层位较 *D. complexus* Davies 的层位要高, 因此, Dob's Linn *D. complexus* 亚带的底不会比 *D. anceps* 带的底更高, 而 Dob's Linn 剖面的资料表明, *D. anceps* (Nicholson) 最高可上延至 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带。Williams (1982) 在 Dob's Linn 剖面 *D. anceps* 带中还描记了 *Plegmatograptus*? *craticulus* Williams 和 *Orthoretiograptus denticulatus* Wang et al.。基于他的图像, 他的 *P.*? *craticulus* Williams 可能是 *Paraplegmatograptus uniformis* Mu (此种为汪啸风等 1978 年根据穆恩之教授手稿发表), Williams (1982, p. 43, pl. 4, Figs. 13-15, Textfigs. 12a-d) 描述的 *Orthoretiograptus denticulatus* 并不是 *Orthoretiograptus*, 而应该是 *Pararetiograptus sinensis* Mu, 1974。这两种笔石都是扬子区 *D. complexus* 带和 *P. pacificus* 带的常见分子。

Dob's Linn 剖面 C 层和 D 层产出 *P. pacificus* 动物群, Williams (1982) 将之划为 *D. anceps* 带的 *P. pacificus* 亚带, 共计 12 属 16 种。其中除 *P. pacificus* (Ruedemann), *Plegmatograptus? nebula lautus* Koren and Tzaj, *Nymphograptus velatus* Elles and Wood 和 *Paraplegmatograptus uniformis* Mu (= *Orthoretiograptus denticulatus* Wang *et al.*) 之外, 其它诸种均由下伏层位上延而来。*P. nebula lautus* Koren and Tzaj 基于不完整的标本之上, 不见笔石体的始部, 因此我们对此尚不敢完全肯定。*Nymphograptus velatus* Elles and Wood (*D. anceps* 带) 是唯一在扬子区没有发现的种, 所以整个动物群的面貌和扬子区 *P. pacificus* 笔石动物群是一致的。Williams (1982) 描述产自 E 层的 *Dicellograptus ornatus* Elles and Wood 与模式标本的特征相去甚远, 他的图版 1, 图 6 和插图 6f, 6g 图示的此种标本应该是 *Dicellograptus mirabilis* Mu and Chen, 这是一种笔石在扬子区产自 *T. typicus* 亚带和 *D. mirus* 亚带。Williams (1982, 图版 1, 图 8) 所示者应为 *Dicellograptus turgidus* Mu, 它在扬子区产自 *T. typicus* 带中。因此, 这两种叉笔石在 Dob's Linn 都上延到了更高的, 即 *N. extraordinarius* 的层位。

Williams (1983) 所报道的 Birkhill 页岩中的笔石均产自 Linn Branch 剖面 (Dob's Linn 剖面附近)。他的 *N. sp. cf. N. persculptus* (Elles and Wood) 始现于距 Birkhill 页岩底部 0.7m 的层位中, 由于此地 *extraordinarius* 层与其上 Birkhill 页岩的笔石层之间为不含化石的生物间断层位, 因此 Linn Branch 剖面中 *N. persculptus* 带的底界并不清楚, 有可能 Linn Branch 的 *N. persculptus* 带只相当宜昌的 *N. persculptus* 带的一部分。Linn Branch 的 *N. persculptus* 带笔石动物群包括 *N. parvulus* (Elles and Wood) (= *G. cf. persculptus* Williams, 1983, Melchin 面告, 1998), *N. avitus* (Davies), *N. normalis* (Lapworth), *N. miserabilis* (Elles and Wood), *N. medius* (Tornquist) 和 *N. sp. cf. N. pseudovenustus* (Legrand)。根据 Melchin 的重新研究, Linn Branch 的所谓 *N. persculptus* 带中, 并没有出现真正的 *N. persculptus* (Elles and Wood)。其它的种如 *N. normalis* (Lapworth) 也见于宜昌的 *N. persculptus* 带中, *N. miserabilis* (Elles and Wood) 在扬子区则产自更低层位, 从 *D. complanatus* 带至 *P. pacificus* 带下部。继之而从 *T. typicus* 亚带至 *P. acuminatus* 带的是与之接近的 *N.*

angustus (Perner)。 *N. medius* (Tornquist) 在扬子区最早见于 *P. acuminatus* 带, 而 *N. pseudovenustus* (Legrand) (= *Climacograptus venustus* Legrand) 则未见于扬子区。

A. ascensus Davies 和 *P. acuminatus* (Nicholson) 两种的首现, 和它们之间的关系在不同地点并不相同。在世界上许多地区, 如哈萨克斯坦、波希米亚、图林根、西班牙以及中国的扬子区, 在 *P. acuminatus* 带之下有一与之分隔的 *A. ascensus* 带, 其中产出大量的 *A. ascensus* Davies 等笔石。在苏格兰的 Dob's Linn, 广义的 *P. acuminatus* (s.l.) 见于那里 *P. acuminatus*-*A. ascensus* 带的下部, 它与狭义的 *P. acuminatus* (s.s.) 不同, 前者应该是它的亚种 *P. acuminatus praematurus* (Davies) (Melchin *et al.*, 1998)。因此, 在 Dob's Linn, 狭义的 *P. acuminatus* (s.s.) 和 *A. ascensus* 的首次出现 (FAD) 亦不一致。根据上述, 我们认为 *A. ascensus* Davies 或者 *P. acuminatus* (Nicholson) (s.s.) 的首次出现, 将直接关系到志留系底界的识别和确定, 除了仔细研究各地这两种笔石的延限之外, 还要研究它们与其它相关种的延限关系。我们相信扬子区的材料将为此作出贡献。

2.2 西班牙和葡萄牙

赫南特期的冰水沉积和兰多维列世最早期的笔石页岩广布于西奥斯图-莱昂纳斯带 (West Asturian-Leoness Zone), 伊比利亚科罗里勒拉 (Iberian Corollera), 中伊比利亚带 (Central Iberian Zone) 和奥萨-摩勒纳带 (Ossa-Morena Zone) (Gutierrez-Marco *et al.*, 1998)。赫南特贝动物群包括 *Hirnantia sagittifera* (M'Coy) 和 *Plectothyrella crassica costa chauveli* Havlicek 等腕足动物, 产于中伊比利亚带 Criadero 石英砂岩的下部。牙形类 *Amorphognathus ordovicicus* 带则发育于中伊比利亚带的北部。兰多维列统最底部的笔石带为 *ascensus-acuminatus* 带, 含有一个低分异度的笔石动物群, 广泛分布于上述 4 个构造岩相带中。如上所述, 尽管伊比利亚半岛和扬子区上述各带的精确对比目前尚有困难, 但是从赫南特亚阶至兰多维列统最底部的动物群序列仍是一致的。

2.3 德国图林根-萨克松利亚-巴伐利亚

奥陶系和志留系在这一地区分布在两个岩相带, 即东部的图林根相和西部的巴伐利亚相 (Jaeger, 1988), 尽管岩相不同, 但是笔石序列却是相同的。Jaeger (1977) 在巴伐利亚 Dobra 砂岩的顶部

首先发现了 *Normalograptus persculptus* (Elles and Word) [= *Diplograptus bohemicus* (Marek), Jaeger 1977]。 *Akidograptus ascensus* 带在这两个岩相带中均广为分布 (Schauer, 1971; Jaeger, 1988)。其上依次为 *P. acuminatus*, *C. vesiculosus* 等全球广布的笔石带, 因此德国这两个相带与扬子区奥陶志留系界线上地层的对比是清楚的。

2.4 捷克波希米亚

Marek (1955) 最早描记了捷克 Upper Kosov 组中的笔石 *Glyptograptus bohemicus*, 此种笔石长期被中国和捷克的学者作为奥陶纪最末期生物带的带化石 (穆恩之, 1974; Storch, 1988)。Storch 和 Loydell (1996) 重新研究该种产自捷克的模式标本和采自捷克和威尔士的标本后, 认为“*Glyptograptus bohemicus* Marek”是 *Normalograptus persculptus* (Elles and Wood) 的后同义名。我们同意 Storch 和 Loydell 的修订, 但认为从 Storch 和 Loydell (1996) 对 *N. persculptus* (Elles and Wood) 的重新描述及图像来看, 他们对 *N. persculptus* (Elles and Wood) 的定义作了扩充。另一方面, 樊隽轩* (1998) 最近对有关这些分类单元作了形态数值分析, 证明以前中国学者鉴定为“*Glyptograptus bohemicus*”的扬子区标本 (Mu and Lin, 1984; 汪啸风等, 1987) 与 *Normalograptus ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) 十分一致, 应鉴定为 *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova)。

N. persculptus (Elles and Wood) (= *Glyptograptus bohemicus* Marek) 产自 Kosov 组的顶部, 与之共生的只有 *Normalograptus* sp. aff. *N. miserabilis* (Elles and Wood) 和 *N. normalis* (Storch, 1988), 因此很难把波希米亚的 *N. persculptus* 带与世界上其它地点的同名带进行对比 (Storch and Loydell, 1996)。我们只把波希米亚与扬子区的 *N. persculptus* (Elles and Wood) 进行大致相当的对比, 应该指出的是波希米亚该带底界是难以确定的。

Storch 和 Loydell (1996) 阐明捷克的 *Akidograptus ascensus* 带的底界距志留系黑色页岩底界之下 0.07m 的位置。据 Storch (1994) 的研究, 该带产有 *A. ascensus* (Davies), *Normalograptus angustus* (Perner), *N. normalis* (Lapworth), *Neodiplograptus lanceolatus* Storch and Serpagli, *Glyptograptus*

tamariscus dufkai Storch, ? *Neodiplograptus* cf. *parvulus* (Lapworth), *Neodiplograptus parajanus* (Storch), *N. cf. elongatus* (Churkin and Carter), *Cystograptus ancestralis* Storch 和 *Normalograptus trifilis* (Manck)。此外 Storch (1994) 报道的 *P. acuminatus* 带包括 15 种, 其中有 7 种笔石也见于扬子区的 *P. acuminatus* 带中。

2.5 波兰

波兰东南部圣十字山 (Holy Cross Mountains) 阿什极阶顶部的粉砂岩层中产出典型的赫南特贝动物群, 包括 *Hirnantia sagittifera* (M'Coy), *Eostro-pheodonta hirnantensis* (M'Coy), *Dalmanella testudinaria* (Dalman) (Temple, 1965) 和三叶虫 *Mucronaspis mucronata* (Brongniart) 等。晚奥陶世晚期至兰多维列世早期的地层和动物群见于波兰北部钻孔中, 也分布于波兰东部的波罗的海沿岸凹陷 (Peribaltic depression) 和 Podlasie 凹陷, 以及波兰东南部的 Carpathian 和圣十字山区 (Teller, 1969)。但穿越奥陶志留系界线的连续剖面仅见于波兰北部的 Lebork 1G-1 钻孔中 (Tomczyk and Tomczykowa, 1976)。自下而上为 *M. mucronata* 带, *N. persculptus* 带, *A. ascensus* 带, *P. acuminatus* 带等, 和我国扬子区是完全可以对比的。最近 Podhalanska (1999) 再一次证实了波兰这一分带和对比。

2.6 哈萨克斯坦南部

哈萨克斯坦南部从阿什极中期至兰多维列初期的地层, 包括 *Hirnantia-Dalmanitina* 层均发育良好 (Apollonov et al., 1980)。 *Appendispinograptus supernus* 带的下部亚带, 即 *A. longispinus* 亚带, 除带化石之外还有 *A. supernus* (Elles and Wood), *A. longispinus hvalross* (Ross and Berry) 和 *Rectograptus "amplexicaulis"* (Hall)。这些种均常见于扬子区的 *D. complanatus* 带和 *P. pacificus* 带的下部未名亚带 [哈萨克斯坦的 *R. amplexicaulis* (Hall) 可能应为扬子区的 *R. uniformis* (Mu and Li)]。由于哈萨克斯坦这一亚带产出的笔石太少, 因此与扬子区相当层位的精确对比尚难肯定。

哈萨克斯坦南部 *A. supernus* 带的上部亚带, 即 *P. pacificus* 亚带, 包括 *P. pacificus* (Ruedemann), *A. supernus* (Elles and Wood), *A. longispinus hvalross* (Ross and Berry), *Dicellograptus ornatus* Elles and Wood, *D. minor*

* 樊隽轩, 1997. 宜昌奥陶纪末期赫南特亚阶的笔石及正常笔石类的形态统计分析. 硕士论文

Toghill, *Normalograptus taianae* (Keller), *N. sp. cf. N. normalis* (Lapworth), *Rectograptus amplexicaulis* (Hall), *Orthograptus maximus* Mu (= *A. stukalinae* Mikhaylova), 这些种都是扬子区 *P. pacificus* 带中的常见分子。值得注意的是, Apollonov 等 (1980) 把 *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) 的首现层位也包括在他们 *P. pacificus* 亚带的顶部, 而根据笔者的意见, 哈萨克斯坦南部 *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) 的首现层位 (FAD) 正应该代表 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的底界。

哈萨克斯坦南部 *N. extraordinarius* (Koren and Mikhaylova) 的首次出现层位略高于 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的底界, 并与 *Hirnantia-Dalmanitina* 动物群共生。那里的 *N. extraordinarius* (Sobolevskaya) 即 Apollonov 等 (1980) 的 *Glyptograptus persculptus* forma A。Mu 和 Lin (1984) 和 Chen 和 Lin (1984) 都提出他们的 *Glyptograptus persculptus* forma B 是 *Glyptograptus bohemicus* Marek 的同义名。最近 Storch 和 Loydell (1996) 认为 *G. bohemicus* Marek (= *G. persculptus* forma B) 应与 *N. persculptus* (Elles and Wood) 同种。这样, 哈萨克斯坦原来“*G. persculptus* forma A”和“*G. persculptus* forma B”所在的层位, 应该分别代表那里的 *N. extraordinarius* 带和 *N. persculptus* 带。

Koren 等 (1979) 并没有从哈萨克斯坦识别出 *A. ascensus* 带。但是在距 Ojsu 剖面西北 2.5—3km 处有一笔石层位 (F-290), 位于那里的 *Hirnantia* 层之上 (Apollonov et al., 1980)。这一层位 (F-290) 的笔石包括 *Akidograptus sp. cf. A. ascensus* Davies, *Normalograptus angustus* (Perner), *N. sp. ex gr. N. normalis* (Lapworth), *N. sp. cf. N. madernii* (Koren and Mikhaylova) 和 *Neodiplograptus modestus primus* Mikhaylova。笔者认为, 这是一个典型的 *Akidograptus ascensus* 带的笔石动物群。*A. ascensus* 笔石动物群在 Dulban 剖面也有记载 (Apollonov et al., 1980, p. 10), 那里的 F-280 层产有 *Akidograptus sp.*, *Normalograptus angustus* (Perner), *N. acceptus* (Koren and Mikhaylova), *N. sp. ex gr. N. normalis* (Lapworth) 和 *N. madernii* (Koren and Mikhaylova)。在上述这两个产地, 含 *Akidograptus ascensus* 或 *Akidograptus sp.* 的层位都位于当地的 *Parakido-*

graptus acuminatus 带动物群的层位之下 (Apollonov et al., 1980), 因此根据本文的认识, 哈萨克斯坦南部的 *P. acuminatus* 带之下确有 *A. ascensus* 带存在, 并可与扬子区的同名带对比。

2.7 西伯利亚东北部科累马 (Kolyma)

科累马地区的 *Appendispinograptus supernus* 带包括 *Dicellograptus complanatus* Lapworth, *A. longispinus* (T.S. Hall), *Paraorthograptus pacificus* (Ruedemann) 和 *Rectograptus “amplexicaulis”* (Hall) 等 (Koren et al., 1979)。其下部亚带, 即 *A. longispinus* 亚带, 包括 *D. complanatus* Lapworth 和 *R. amplexicaulis* (Hall) 种群, 而其上部的 *P. pacificus* 亚带则包括 *P. pacificus* (Ruedemann), *R. “amplexicaulis”* (Hall), *A. supernus* (Elles and Wood), *A. longispinus hvalross* (Ross and Berry), *Climacograptus? hastatus* T.S. Hall, *Normalograptus sp. cf. N. angustus* (Perner) 和 *Dicellograptus complanatus* Lapworth 等。在 Koren 等 (1979) *P. pacificus* 亚带近顶部出现 *P. pacificus affinis* (Koren and Tzaj), *Normalograptus tatianae* (Keller), *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) 和 *Nymphograptus velatus* Elles and Wood。

Koren 等 (1983) 又报道了科累马 Mirny 河谷剖面, 该剖面产出笔石 *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova), *N. angustus* (Perner), *N. normalis* (Lapworth), *P. pacificus* (Ruedemann) 和另一个新种。Mirny 河谷剖面是 *Normalograptus extraordinarius* (Sobolevskaya) 模式标本的产出地。和哈萨克斯坦南部一样, 这里的 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带也应该以 *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) 的首现 (FAD) 为标志。在科累马地区的 Ena 河谷剖面, *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) 则出现在 Koren 等 (1983) 的“*N. extraordinarius* 带”的底部, 这与扬子区的情况完全一致。

Koren 等 (1988) 进一步把科累马地区的 Tirekhtyakh 层分为两部分: 下部的“*N. extraordinarius* 带” (即本文的 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带) 和上部的 *N. persculptus* 带。*N. persculptus* 带含有 *N. persculptus* (Elles and Wood), *N. angustus* (Perner), *N. normalis* (Lapworth), *N. mirnyensis* (Obut and Sobolevskaya)。Koren 等 (1988) 报道在 Mirny 河谷剖面, Tirekhtyakh 层和其上的 Chalmak 层连续出露, 奥陶志留系的分界划在

该剖面 73 层的底。第 73 层厚 1.5m, 与 Maut 组的底一致。*Akidograptus ascensus* Davies 就出现在奥陶志留系界线之上 1.5m 处的第 74 层, 而 *Parakidograptus acuminatus* (Nicholson) 则出现在该剖面奥陶志留系界线之上 11m 处的第 75 层。因此 Køren 等(1988)报道的这两个含笔石层位, 显然分别相当于扬子区的 *A. ascensus* 带和 *P. acuminatus* 带。

科累马的所谓 *Hirnantia* 动物群已被 Rong 和 Harper(1988)否定, 认为这是奥陶纪末期较暖水域而不是凉水域的一个浅水腕足动物群。

2.8 马来亚半岛

马来亚半岛西北部凌加卫岛的奥陶系顶部至志留系底部地层中的笔石和壳相化石, 由 Jones(1973)作过较详细的研究。那里的 *Normalograptus persculptus* 带为厚约 1.1m 的板状黑色粉砂岩组成, 产有笔石 *N. persculptus* (Elles and Wood), *Neodiplograptus modestus* (Lapworth), 和 *Glyptograptus temalaensis* Jones。该带的顶部为一层含 *Dalmanitina malayensis* Jones 为主的壳相化石层。紧接其上则为 13.8m 厚不含化石的硅质层。硅质层之上则产 *Cystograptus vesiculosus* 带等全球共同的笔石带。戎嘉余(1979)把凌加卫岛的含 *N. persculptus* (Elles and Wood), *Dalmanitina malayensis* Jones 和不含化石的硅质层, 均与 *N. persculptus* 带至 *P. acuminatus* 带相当。Jones(1973)并未描述那里的 *N. persculptus* (Elles and Wood), 如果这一鉴定准确的话, 那么 *D. malayensis* 层应相当 *N. persculptus* 带的上部或更高一些的层位。因此 *D. malayensis* 层比我国扬子区的赫南特贝层要略高一些。

在泰国南部距马来西亚与泰国边界不远的地区, Cocks 和 Fortey(1997)报道了一个赫南特贝动物群, 含有腕足动物 *Hirnantia sagittifera* (M' Coy), *Aegiromena planissima* (Reed), *Paromalomena* sp. 等和三叶虫 *Dalmanitina mucronata* (Brongniart) 等, 其下的笔石经 Rickards 鉴定属 *N. persculptus* 带的分子, 看来泰国南部的赫南特贝层与凌加卫岛的 *D. malayensis* 壳相层可以对比。但是两者在组分上明显不同, 凌加卫岛的壳相层中不见赫南特贝动物群和三叶虫 *Dalmanitina mucronata* (Brongniart)。此外, 泰国南部的赫南特贝动物群与缅甸卞邦和我国上扬子区的赫南特贝动物群, 并不像 Cocks 和 Fortey(1997)所认为的那样“完全相同”。因为在泰国南部, 不少赫南特贝动物群中的重

要腕足动物, 如 *Kinnella*, *Dalmanella*, *Cliftonia* 和 *Eostropheodonta* 等均未出现。从地层上, 我们认为泰国南部的赫南特贝层可能相当于 *N. persculptus* 带的上部。

2.9 加拿大育空及加拿大极区

加拿大育空地区和加拿大极区虽然相隔甚远, 但仍属同一个构造岩相带。育空省 Peel 河谷剖面的阿什极期的生物地层学研究曾由 Lenz 和 McCracken(1982, 1988), Chen 和 Lenz(1984)发表, Melchin(1987), Melchin 等(1991)又发表了加拿大极区同时期的生物地层。

育空地区的 *Dicellograptus ornatus* 带含有 *D. ornatus* Elles and Wood, *D. minor* Toghill, *Amplexograptus latus* (Elles and Wood), *Rectograptus abbreviatus* (Elles and Wood), *Anticostia* sp. cf. *A. fastigatus* (Davies), *Pararetiograptus sinensis* Mu (= *Reteograptus pulcherrimus* Keble and Harris, Lenz 1977; *Orthoretiograptus denticulatus* Wang et al., Chen and Lenz 1984; Lenz and McCracken 1988) 以及 *Arachniograptus laqueus* Ross and Berry, 此带大致与 *D. complexus* 带相当。育空地区的 *P. pacificus* 带产出 *P. pacificus* (Ruedemann), *A. supernus* (Elles and Wood), *Anticostia* sp. cf. *A. fastigata* (Davies), *Amplexograptus latus* (Elles and Wood), *Rectograptus abbreviatus* (Elles and Wood) 和 *Appendispinograptus leptothecalis* (Mu and Ge)。育空的 *Diceratograptus mirus* Mu (= *Diceratograptus* sp. aff. *D. mirus* Mu, Chen and Lenz, 1984) 产于 *P. pacificus* 带的顶部, 并与 *D. ornatus* Elles and Wood, *P. pacificus* (Ruedemann), *A. supernus* (Elles and Wood), *A. sp.* aff. *A. longispinus* (T. S. Hall), *Climacograptus?* sp. ex gr. *C.?* *hastatus* T. S. Hall, *Amplexograptus latus* (Elles and Wood) 和 *Arachniograptus laqueus* Ross and Berry 等共生, 除 *A. laqueus* Ross and Berry 一种之外, 其它的属种均见于扬子区的 *D. mirus* 亚带。育空地区 *P. pacificus* 带与 *P. acuminatus* 带之间存在着一个地层间断。赫南特时期的海平面下跌在此形成海退和剥蚀 (Melchin, 1987; Lenz and McCracken, 1988)。间断面之上 *Parakidograptus acuminatus* (Nicholson) 与 *A. ascensus* Davies, *Normalograptus* sp. cf. *N. trifilis* (Manck), *Cystograptus vesiculosus* (Nicholson) 和 *Neodiplograptus modestus diminutus* (Elles

and Wood)等共生,相当于扬子区 *P. acuminatus* 带的上部或 *Cystograptus vesiculosus* 带。

加拿大极区的 *P. pacificus* 带之上,产笔石 *Normalograptus ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) [= *Neodiplograptus bohemicus* (Marek), Melchin and Mitchell, 1991] 和 *Neodiplograptus shanchongensis* (Li)。Melchin 等(1991)将之划为 *N. bohemicus* 带。由于 Storch 和 Loydell (1996) 提出捷克的“*Glyptograptus bohemicus* Marek”就是 *Normalograptus persculptus* (Elles and Wood)的同义名,而如上所述,樊隽轩(1998)的形态数值分析研究又证明中国扬子区以前命名的“*Glyptograptus bohemicus* Marek”与 *Normalograptus ojsuensis* (Koren and Mikhaylova)实为同种,因此, Melchin 最近在美国与我们共同工作时同意把加拿大极区的“*Neodiplograptus bohemicus* Marek”改为 *Normalograptus ojsuensis* (Koren and Mikhaylova),这样,在加拿大极区采用 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带也是合适的。加拿大极区 *N. persculptus* 带之上的地层中未见 *A. ascensus* Davies 和 *P. acuminatus* (Nicholson)。Melchin 等(1991)的“*P. acuminatus* 带”以 *Normalograptus madernii* (Koren and Mikhaylova) 和 *N. lubricus* (Chen and Lin)的首次出现为标志。他们认为这一含 *madernii*-*lubricus* 动物群的地层相当于 *P. acuminatus* 带的下部亚带,而上部亚带则以 *Hirsutograptus sinitzini* (Chaletskaya)的首现层位为界,这与扬子区 *P. acuminatus* 带笔石动物群的序列是一致的。

Normalograptus lubricus (Chen and Lin)在我国贵州北部见于 *Akidograptus ascensus*-*Normalograptus bicaudatus* 带(陈旭、林尧坤, 1978)。 *Normalograptus madernii* (Koren and Mikhaylova)是我国上扬子区 *Akidograptus ascensus* 带的常见分子,因此加拿大极区的 *N. madernii*-*N. lubricus* 带可能相当于我国扬子区的 *A. ascensus* 带。

2.10 美国内华达

美国内华达州 Eureka 地区的 Vinini Creek, Monitor Range 和 Lone Mountain 从 *Dicellograptus ornatus* 带, *Paraorthograptus pacificus* 带, *Normalograptus extraordinarius* 带至 *Normalograptus persculptus* 带, 笔石、牙形类和几丁类均发育 (Finney et al., 1999)。那里的 *D. ornatus* 带相当扬子区的 *D. complexus* 带, *P. pacificus* 带的大部分与扬子区的同名带相当,但是没有发现扬子区的

Diceratograptus mirus 亚带。内华达的 *N. extraordinarius* 带以 *N. extraordinarius* (Sobolevskaya) 和 *N. pseudovenustus* (Legrand) 的首现(FAD)为界。因此,该带与扬子区的 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带相当。但 Vinini Creek 剖面 *N. ojsuensis* (Koren and Mikhaylova)的首现略早于 *N. extraordinarius* (Sobolevskaya)的首现,而与科累马地区相同。 *Normalograptus persculptus* (Elles and Word) 和 *Glyptograptus lacinosus* (Churkin and Carter)同时出现于 Monitor Range 剖面,代表那里 *N. persculptus* 带的上部。Monitor Range 剖面笔石的出现并不连续,而 Lone Mountain 剖面则无笔石出现。 *Amorphognathus ordovicianus* 带的牙形类和几丁类,从 *P. pacificus* 带至 *N. extraordinarius* 带变化不大。但从 *N. persculptus* 带开始,牙形类和几丁类均已志留纪的分子。

2.11 阿根廷圣胡安(San Juan)和塔拉卡斯托(Talacasto)

Brussa 等(1999)报道了圣胡安 Calingasta 镇阿什极期的含笔石地层, *Dicellograptus ornatus* 带,特别值得注意的是那里发现了赫南特亚阶的重要笔石 *Normalograptus extraordinarius* (Sobolevskaya)。Brussa 等(1999)认为这一笔石代表的层位相当我国扬子区 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的下部。塔拉卡斯托的 *Normalograptus persculptus* 带包括 *N. persculptus* (Elles and Wood), *N. angustus* (Perner), *N. normalis* (Lapworth)等。Cuerda 等(1988)在此带中还报道有 *N. acceptus* (Koren and Mikhaylova)和 *N. rectangularis* (M'Coy),但这两种笔石在世界其它地点都出现在更高的层位。Cuerda 等(1988)还报道在阿根廷 Talacasto 相当于 *P. acuminatus* 带的地层中还有 *Talacastograptus leanai* Cuerda et al., *Metaclimacograptus robustus* (Cuerda et al.), 和 *Lagarograptus praeacinales* Cuerda et al., 但这些属种都难以肯定是否相当于 *P. acuminatus* 带笔石动物群的分子,其中只有 *M. robustus* (Cuerda et al.)见于我国桐梓红花园的 *C. vesiculosus* 带。

2.12 尼日尔贾多(Djado)高原

这一地区近年来发现了 *Normalograptus ojsuensis* (Koren and Mikhaylova) (Legrand, 1993), 但共生的笔石仅有 *Normalograptus* sp. 一种,其上下层位仅见无铰纲腕足类和三瘤虫类三叶虫,因此难于确切对比。不过 *N. ojsuensis* 的出现,至少说

明地处非洲西北部的尼日尔确实存在含 *N. ojsuensis* 层位的碎屑岩。这是奥陶纪末南极区内迄今唯一发现笔石的产地。

2.13 澳大利亚维多利亚省中部 Darraweit Guim

这一地区的 *Dicellograptus ornatus*-*Amplexograptus latus* 带至 *Parakidograptus acuminatus* 带的地层,为一套巨厚的碎屑岩(Biolinda 页岩和 Darraweit Guim 泥岩)以及浊积岩(Deep Creek 粉砂岩)(Vandenberg *et al.*, 1984)。Biolinda 页岩中的 *D. ornatus*-*A. latus* 带中含有笔石 *Dicellograptus ornatus* Elles and Wood, *D. minor* Toghil, *Appendispinograptus supernus* (Elles and Wood), *Climacograptus? hastatus* T.S. Hall, *Normalograptus angustus* (Perner), *Paraorthograptus pacificus* (Ruedemann), *Rectograptus amplexicaulis*, *Anticostia fastigatus* 和“*Orthoretiograptus denticulatus* Wang *et al.*”(可能是 *Pararetiograptus sinensis* Mu),因此相当于扬子区的 *D. complexus* 带至 *P. pacificus* 带。

维多利亚省中部的 *N. extraordinarius* 带只包括 *N. extraordinarius* (Sobolevshaya)和 *N. angustus* (Perner)两种以及与之共生的三叶虫 *Songxites darraweitensis* (Campbell)。 *Normalograptus persculptus* (Elles and Wood)见于 Deep Creek 粉砂岩的顶部并与 *N. normalis* (Lapworth)和 *N. angustus* (Perner)同层。Vandenberg 等(1984)基于一个完整的笔石体标本(NWV PL698)鉴定了 *Parakidograptus* sp. cf. *P. acuminatus* (Nicholson),但是它与 *N. persculptus* (Elles and Wood)的产出层位之间的关系并不清楚。对 Vandenberg 等(1984, Fig. 12)发表的这一 *P. acuminatus* sp. cf. *P. acuminatus acuminatus* (Nicholson),笔者认为可能是 *P. acuminatus praematurus* (Davies)。Davies (1929)创立的 *P. acuminatus praematurus* 产自 *N. persculptus* 带, Rickards (1988)在讨论志留系底界时,把 *P. acuminatus* 带的底界降至含 *P. acuminatus praematurus* (Davies)层位之下。目前在中国尚未发现 *P. acuminatus praematurus* (Davies),因此,也不能肯定在澳大利亚维多利亚中部 Deep Creek 粉砂岩中此种层位是否指示在维多利亚中部也存在 *A. ascensus* 带。

3 亮相动物群

3.1 *Foliomena*-*Nankinolithus* 动物群

Foliomena-*Nankinolithus* 动物群广泛分布于扬子区的临湘组、涧草沟组、汤头组及其相当的地层。所含的腕足动物和三叶虫分别属于叶月贝(*Foliomena*)动物群和南京三瘤虫(*Nankinolithus*)动物群。我国的叶月贝动物群首次报道于华南的阿什极早期地层中(戎嘉余, 1984),后来在庙坡组和宝塔组(中、晚卡拉道克期)中也发现了该动物群的分子(Rong *et al.*, 1999)。叶月贝动物群在我国还产于华北地区的西部(陕西陇县, Rong and Zhan, 1996),此外,也见于滇缅马苏(Sibumasu)、阿凡隆尼亚(Avalonia)、波罗的卡(Baltica)、劳伦大陆(Laurentia)东缘、哈萨克斯坦(Kazakhstan)、中南欧(捷克、意大利撒丁岛)等地(Cocks and Rong, 1988; Rong *et al.*, 1994; Rong *et al.*, 1999)。应该指出的是,叶月贝动物群在华南最常见于阿什极早期地层中。

Rong 等(1994)描记了贵州北部遵义董公寺的涧草沟组(阿什极早期)中 *Kassinella*-*Christiania* 群集。在该群集中,仅发现一枚 *Foliomena* 标本,与 *Orbiculoidea*, *Paterula*, *Glyptorthis*, *Dedzetina*, *Leptestiina*, *Sericoidea*, *Kassinella*, *Eoplectodonta*, *Christiania* 及三叶虫 *Nankinolithus* 等共生,属于非典型的叶月贝动物群。该腕足动物组合的分异度较低,生存密度也低;它分布于上扬子陆表海的南部边缘,靠近黔中古陆的北岸,海水较浅,推测可能位于 BA³-BA⁴ 的交界处。

然而,产自江苏南部汤头组、皖南和浙西的黄泥岗组(阿什极早期)的叶月贝动物群显然具有更高的分异度,所含腕足动物包括 *Philhedra*, *Dedzetina*, *Kozlowskites*, *Leptestiina*, *Christiania*, *Foliomena*, 和 *Cyclospira* 等(Cocks and Rong, 1988),它与三叶虫 *Nankinolithus* 动物群共生(卢衍豪、周志毅, 1981),后者含 37 个属、41 个种,除 *Nankinolithus* 外,还有 *Lonchodomas*, *Ovalocephalus*, *Shumardia*, *Corrugatagnostus*, *Nileus*, *Cyclopyge*, *Microparia*, *Dionide*, *Miaopopsis* 等许多属。虽然, *Foliomena*, *Christiania* 和 *Nankinolithus* 均产自贵州北部的涧草沟组,但是华东地区的汤头组和黄泥岗组所含的腕足类和三叶虫的分异度要高得多。更有甚者,贵州北部遵义董公寺的涧草沟组仅见个别的 *Foliomena*, 却未发现 *Cyclospira* 属;而在汤头

组,这两个属均很常见,数量亦多,属于典型的叶月贝动物群,很可能生活在较深水底域上,大致相当于 BA5 的生态位 (Sheehan, 1973)。相比之下, *Nankinolithus* 的生活范围更为广阔。

贵州遵义董公寺的涧草沟组曾发现两种笔石: *Dicellograptus* sp. aff. *D. johnstrupi* (Hadding) 和 *Rectograptus pauperatus* (Elles and Wood) (张文堂等, 1964)。前者系 Hadding (1912) 据丹麦 Bornholm 的 *Pleurograptus linearis* 带中的标本建立, 后者为 Elles 和 Wood (1907) 据苏格兰南部 Dob's Linn 剖面 *Dicranograptus clingani* 带至 *Pleurograptus linearis* 带中的标本建立。穆恩之等 (1993) 曾把一些扬子区五峰组 *D. complexus* 带 (= *D. szechuanensis* 带) 截切笔石类的标本描述为 *R. pauperatus* (Elles and Wood), 但我们在王家湾、分乡、红花园和陆地坪这 4 条剖面中并未发现真正的 *R. pauperatus* (Elles and Wood)。

重要的是松桃陆地坪剖面五峰组的底部, 即在涧草沟组之上, 五峰组 *D. complexus* 带之下发现了 *D. complanatus* 带的笔石动物群, 其下又发现了 *Foliomena* 动物群。

3.2 赫南特贝层

赫南特贝层富含赫南特贝动物群。这是一个地质历程短暂, 地理分布广泛, 主要生活在凉、浅水 (BA2-3) 海底上的腕足动物组合。已知的典型代表分布在华南、滇缅马、西藏、哈萨克斯坦、波罗的卡、阿凡隆尼亚、中南欧、南美 (阿根廷) 和劳伦大陆东缘; 非典型的, 可能是冷水的代表见于北非 (摩洛哥、阿尔及利亚、利比亚) (Rong and Harper, 1988)。典型组合的主要特征在于含一常见的固定组合, 由 *Hirnantia*, *Dalmanella*, *Kinnella*, *Paromalomena*, *Eostropheodonta*, *Plectothyrella* 和 *Hindella* 等 7 属组成。此外, *Cliftonia*, *Leptaena* (= *Lepetaopoma*) 和 *Fardenia* (or *Chilidiopsis*) 也在不同地点时有出现。在贵州北部和东北部, 如松桃陆地坪的观音桥层中, 上述诸属经常与三叶虫 *Dalmanitina* 共生, 指示了该动物群属于一个近岸、浅水、低分异度的代表。但是, 向盆地中心区, 如鄂西宜昌王家湾、四川长宁双河等地, *Hirnantia* 动物群的分异度明显增高, 其中 *Dalmanella*, *Plectothyrella*, *Hindella* 3 属的数量明显减少; 腕足动物的同种个体则比遵义、松桃的要小; 除上述各属外, 还发育 *Philhendra*, *Acanthocrania*, *Pseudopholidops*, *Toxorthis*, *Onniella*, *Draborthis*, *Dysprosorthis*, *Mirorthis*,

Triplesia, *Aegiromena*, *Sphenotreta* 等属, 这些属未在更浅水的 *Hirnantia* 动物群中出现; 在三叶虫方面, 它们与 *Dalmanitina*, *Platycoryphe*, *Leonaspis* 相伴, 分异度比遵义、松桃同时期的高。根据上述, 宜昌王家湾等地的 *Hirnantia* 动物群可能栖息于远岸、较深水域的环境中。王家湾的 *Hirnantia* 动物群与波希米亚 Kosov 组所含的同一个动物群很相似 (Marek and Havlicek, 1967)。

在黔北桐梓红花园, *Hirnantia sagittifera* (M' Coy) (是 *Hirnantia* 动物群的最主要成员) 产自观音桥层下部 (本文称为 *Hirnantia* 层: AFA295-305), 与 *Dalmanella testudinaria* (Dalman), *Kinnella*? sp., *Cliftonia*? sp., *Leptaena trifidum* (Marek and Havlicek), *Paromalomena polonica* (Temple), *Eostropheodonta parvicostellata* (Rong), *Plectothyrella* sp., *Hindella crassa incipiens* (Williams) 及其它少量分子共生。而以观音桥层的上部 (本文称为介壳相层: AFA306-311c), 未发现 *Hirnantia sagittifera* (M' Coy), 而 *Dalmanella testudinaria* (Dalman), *Leptaena trifidum* (Marek and Havlicek), *Paromalomena polonica* (Temple), *Eostropheodonta parvicostellata* (Rong), *Plectothyrella* sp. 和 *Hindella crassa incipiens* (Williams) (以上均系 *Hirnantia* 动物群的常见分子) 可自下伏地层中上延, 并与 *Eospirifer* sp., *Nalivkinia* sp., *Hyattidina*? sp., *Brevilamnulella*? sp., *Pseudopholidops* sp., *Palaeoglossa*? sp., *Trucizetina*? sp. 等相伴。饶有兴味的是, 后面提到的某些属还见于 AFA305 层。需要指出, 该地观音桥层上部 (即介壳相层) 的腕足动物组合是混合型的, 除含 *Hirnantia* 动物群的一些特征分子外, 还与 *Nalivkinia* 和 *Eospirifer* 共生, 后两者从未在典型的 *Hirnantia* 动物群中发现过。在地层上, 含 *Hirnantia sagittifera* (M' Coy) 的层位 (AFA295-305) 可能与 *Normalograptus extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的上部 and *N. persculptus* 带的一部分对比; 而上覆的介壳相层 (AFA306-311c) 则可能与 *N. persculptus* 带的一部分以及 *Akidograptus ascensus* 带和 *Parakidograptus acuminatus* 带的一部分对比。因此, 红花园剖面是一条在连续的介壳相、具有笔石控制的序列中穿越奥陶志留纪界线的好剖面。

应该指出的是, *Hirnantia* 动物群的时代是穿时的, 但是这种穿时限于 *Hirnantian* 亚期内。该动

物群在华南首次出现的地层层位各地不同:已知最早的层位是相当于 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的最下部,如在松桃陆地坪的浅水底域, *Hirnantia* 动物群见于 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的开始。在桐梓红花园, *Hirnantia* 动物群出现的层位略高于 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的底部。在上扬子地台的中心部位,如宜昌的王家湾 *Hirnantia* 动物群始于 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带的上部,并延续到 *Normalograptus persculptus* 带的下部。根据上述,赫南特贝动物群在

浅水相带的出现要早于深水相带的。*Hirnantia* 动物群的出现与由奥陶纪末冰川成因的海平面下降和海水温度降低密切相关。这次全球范围的大规模的海退,首先影响到浅水相带,那里发育了适合于 *Hirnantia* 动物群的栖息地;随后在台盆中心海域的较深水相带中才出现适合于该动物群的环境。

综上所述,我国扬子区阿什极世至兰多维列世最初期的生物带与世界各地的对比,可概括如下列对比表(表 I)。

表 I 扬子区与世界各地阿什极期至兰多维列初期生物带对比表

A correlation of Ashgillian to early Llandovery biozones between Yangtze region and other continents

	扬子区 (本文)		苏格兰南部 多比斯林 (Williams, 1982b, 1988)		西班牙和葡萄牙 (Gutierrez-Marco et al 1998)		德国 (Jaeger, 1977, 1988, Schauer, 1971)		捷克波希米亚 (Storch, 1988 Storch and Loydell, 1995)		波兰 (Teller 1969, Podhalanska, 1999)		哈萨克斯坦南部 (Koren et al., 1979, Apollonov 1980)			
Llandoverly	<i>P. acuminatus</i>		<i>P. acuminatus</i> - <i>A. ascensus</i>		<i>P. acuminatus</i> - <i>A. ascensus</i>		<i>P. acuminatus</i>		<i>P. acuminatus</i>		<i>P. acuminatus</i>		<i>P. acuminatus</i>			
	<i>A. ascensus</i>						<i>A. ascensus</i>		<i>A. ascensus</i>		<i>A. ascensus</i>		<i>A. ascensus</i>			
Ashgill	<i>N. persculptus</i>		<i>N. persculptus</i>		Hirnantia Fauna		<i>N. persculptus</i>		<i>Hirnantia</i> Fauna		<i>N. persculptus</i>		<i>N. persculptus</i>			
	<i>N. extraordinarius</i> - <i>N. ojsuensis</i>		<i>N. extraordinarius</i>								<i>M. mucronata</i> - <i>Hirnantia</i>		<i>N. extraordinarius</i>			
	<i>Manosia</i>		<i>D. mirus</i>		?		?		?		?		<i>A. supernus</i>			
	<i>P. pacificus</i>		<i>T. typicus</i>												<i>P. pacificus</i>	
			未名亚带													
	<i>D. complexus</i>		<i>D. anceps</i>		?		?		?		?		<i>A. supernus</i>			
		<i>D. complexus</i>		<i>P. pacificus</i>												
<i>Foliomena</i> - <i>Nankinolithus</i> Fauna		<i>D. complanatus</i>												<i>A. longispinus</i>		

	扬子区 (本文)		科累马地区 (Koren <i>et al.</i> , 1979, 1983, 1988)		马来亚半岛 (Jones, 1973)		加拿大育空省 (Lenz & McCracken, 1982, 1988, Chen & Lenz 1984, Melchin 1987)		加拿大极区 (Melchin <i>et al.</i> , 1991)		美国内华达 (Finney <i>et al.</i> , 1999)		澳大利亚中部 维多利亚中部 (Vandenberg <i>et al.</i> 1984)	
Llandovery	Eos	<i>P. acuminatus</i>	<i>P. acuminatus</i>		?	<i>Dalmanitina malayensis</i> <i>N. persculptus</i>	<i>P. acuminatus</i>	<i>P. acuminatus</i>	<i>H. sinitzini</i>	?	<i>P. acuminatus praematurus</i>			
		<i>A. ascensus</i>	<i>A. ascensus</i>				<i>N. madernii -N. lubricus</i>							
Ashgill	Himantia- Dalmanitina fauna	<i>N. persculptus</i>	<i>N. persculptus</i>		?	<i>D. mirus</i>	<i>P. pacificus</i>	<i>P. pacificus</i>	<i>N. persculptus</i>	<i>N. persculptus</i>	<i>N. persculptus</i>			
		<i>N. extraordinarius- N. ojsuensis</i>	<i>N. extraordinarius</i>						<i>N. ojsuensis</i>			<i>N. extraordinarius</i>		
		<i>Manosia</i>	<i>D. mirus</i>	<i>A. supernus</i>					?			<i>P. pacificus</i>		
		<i>P. pacificus</i>	<i>T. typicus</i>											
													木名亚带	
		<i>D. complexus</i>												
<i>Foliomena- Nankinolithus</i> Fauna	<i>D. complanatus</i>	<i>A. longispinus</i>		<i>D. ornatus ?</i>	<i>A. longispinus ?</i>	<i>D. ornatus ?</i>	<i>?</i>							

参考文献

- 卢衍豪,周志毅,1981. 宁镇地区晚奥陶世汤头组三叶虫. 中国科学院南京地质古生物研究所所刊, **3**, 1—28.
- 戎嘉余,1979. 中国的赫南特贝动物群 (*Hirnantia* fauna) 并论奥陶系与志留系的分界. 地层学杂志, **3**(1), 1—29.
- 戎嘉余,1984. 上扬子区晚奥陶世海退的生态地层证据与冰川活动影响. 地层学杂志, **8**(2), 19—29.
- 张文堂,许汉奎,陈旭等,1964. 贵州北部的奥陶系. 中国科学院南京地质古生物研究所编. 黔北地层现场会议: 贵州北部的古生代地层. 33—78.
- 汪啸风,金玉琴,吴兆同等,1977. 笔石纲. 见: 湖北省地质科学研究所等编著, 中南地区古生物图册(一), 早古生代部分. 北京: 地质出版社. 266—371.
- 汪啸风,倪世钊,曾庆奎等,1987. 长江三峡地区生物地层学(2): 早古生代分册. 北京: 地质出版社. 1—641.
- 陈旭,肖协协,陈洪治,1987. 华南五峰期笔石动物群的分异及缺氧环境. 古生物学报, **26**(3), 326—344.
- 陈旭,林尧坤.1978. 黔北桐梓下志留统的笔石. 中国科学院南京地质古生物研究所集刊, **12**, 1—106.
- 穆恩之,1974. 正笔石及正笔石式树形笔石的演化、分类和分布. 中国科学, **2**, 174—183.
- 穆恩之,李积金,葛梅钰等,1993. 华中区上奥陶统笔石. 北京: 科学出版社. 1—393.
- Apollonov M K, Bandaletov S M, Nikitin J F, 1980. The Ordovician-Silurian Boundary in Kazakhstan, “Nauka” Kazakhstan SSR Publishing House. 1—232. (in English).
- Brussa E D, Mitchell C E, Astini R A, 1999. Ashgillian (Hirnantian?) graptolites from the western boundary of the Argentine Pre-cordillern. In Kraft P and Fatka O (eds.), Quo vadis Ordovician? Acta Universitatis Carolinae, Geologica, **43**(1/2), 199—202.
- Chen Xu, Lenz A C, 1984. Correlation of Ashgill Graptolite faunas of Central China and Arctic Canada, with a Description of *Diceratograptus* cf. *mirus* Mu from Canada. In Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica (ed.), 1984, Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China, Ordovician-Silurian Boundary (1), Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House. 247—258. (in English).
- Chen Xu, Lin Yao-kun, 1984. On the material of *Glyptograptus persculptus* (Salter) from the Yangzi Gorges, China. In Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academy Sinica (ed.), Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China, Ordovician-Silurian Boundary, Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House. 191—200. (in English).
- Chen Xu, Rong Jia-yu, Mitchell C E, Harper D A T, Fan Jun-xuan, Zhang Yuan-dong, Zhan Ren-bin, Wang Zhi-hao, Wang Zong-zhe, Wang Yi, 1999. Stratigraphy of the Hirnantian Substage from Wangjiawan, Yichang, W. Hubei and Honghuayuan, Tongzi, N. Guizhou, China. In Kraft P and Fatka O (eds.), Quo vadis Ordovician? Acta Universitatis Carolinae-Geologica, **43**(1/2), 233—236.
- Cocks L R M, Fortey R A, 1997. A new *Hirnantia* fauna from Thailand and the biogeography of the latest Ordovician of South-east Asia. Geobios, M. S. **20**, 117—126.
- Cocks L R M, Rong Jia-yu, 1988. A review of the late Ordovician *Fo-liomena* brachiopod fauna with new data from China, Wales, and Poland. Palaeontology, **31**(1), 53—67.
- Cuerda A J, Rickards R B, Cingolani C, 1988. A new Ordovician-Silurian section in San Juan Province, Argentina, and its definitive graptolite fauna. Journal of the Geological Society, London, **145**, 749—757.
- Davies K A, 1929. Notes on the graptolite faunas in the Upper Ordovician and Lower Silurian. Geological Magazine, **66**(1), 1—27.
- Elles G L, Wood E M R, 1907. A Monograph of British Graptolites. Palaeontographical Society, London, Parts VI, 217—272.
- Finney S C, Berry W B N, Cooper J D, Ripperdan R L, Sweet W C, Jacobson S R, Soufiane A, Achab A, Npble P J, 1999. Late Ordovician mass extinction: a new perspective from stratigraphic sections in central Nevada. Geology, **27**(3), 215—218.
- Fortey R A, Harper D A T, Ingham J K, Owen A W, Rushton A W A, 1995. A revision of Ordovician series and stages from the historical type area. Geological Magazine, **132**(1), 15—30.
- Gutierrez-Marco J C, Robardet M, Picarra J M, 1998. Silurian Stratigraphy and Paleogeography of the Iberian Peninsula (Spain and Portugal). In: Gutierrez-Marco J C, Rabano I (eds.), Proceedings of the Sixth International Graptolite Conference of the GWG (IPA) and the 1998 Field Meeting of the International Sub-commission on Silurian Stratigraphy (ICS-IUGS). Instituto Tecnológico Geominero de Espana, Temas Geológico-Mineros, **23**, 13—44.
- Hadding A, 1912. Mittlere *Dicellograptus*-Schiefer auf Bornholm. Lunds Universitets Arsskrift, N. F. Afd. 2, **11**(4), 1—39.
- Jaeger H, 1977. Das Silur/Lochkov-Profil im Frankenberger Zwischengebirge (Sachsen). Freiburger Forsch. Hft., Berlin, (C) **326**, 45—59.
- Jaeger H, 1988. The Ordovician-Silurian boundary in the Saxothuringian Zone of the Variscan Orogen. Bulletin of the British Museum (Natural History), **43**, 101—106.
- Jones C R, 1973. The Siluro-Devonian graptolite faunas of the Malay Peninsula. Natural Environment Research Council, Institute of Geological Sciences, Overseas Geology and Mineral Resources, **44**, 1—27.
- Koren T N, Abushik A F, Modzalevskaya T L, Predtechensky N N, 1988. Podolia. In: Holland C H, Bassett M G (eds.), A Global standard for the Silurian System Geological Series, 9, Cardiff, 141—149.
- Koren T N, Oradovskaya M M, Pylma L Y, Sobolevskaya R F, Chugaeva M N, 1983. The Ordovician-Silurian Boundary in the Northeast of the USSR. 1—192. Leningrad. (in English).
- Koren T N, Rickards R B, 1979. Extinction of the graptolites. In: Harris A L, Holland C H, Leake B E (eds.), The Caledonides of the British Isles—reviewed. Special Publications of the Geological Society of London **8**, 457—466.
- Koren T N, Sobolevskaya R F, Mikhaylova N F, Tsai D T, 1979.

- New evidence on graptolite succession across the Ordovician-Silurian boundary in the Asian part of the USSR. *Acta Palaeontologica Polonica*, **24**(1), 125—136.
- Legrand P, 1993. Ashgillian Graptolites of the Chirfa region (Djado, Republic of Niger). *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine*, **17**(2), 435—442.
- Lenz A C, McCracken A D, 1982. The Ordovician-Silurian boundary, northern Canadian Cordillera; graptolite and conodont correlation. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **19**, 1308—1322.
- Lenz A C, McCracken A D, 1988. Ordovician-Silurian boundary, northern Yukon, Canada. *Bulletin British Museum natural History (Geology)*, **43**, 265—271.
- Marek L, 1955. *Glyptograptus bohemicus* n. sp. from the Kosov Beds (Ashgillian). *Sbornik Ustredniho Ustavu Geologickeho, Svazek*, **21**, 1—10.
- Marek L, Harvlicek V, 1967. The articulate brachiopods of the Kosov Formation (Upper Ashgillian). *Vestnik Ustredniho ustavu geologickeho*, **42**(4), 275—284.
- Melchin M J, 1987. Upper Ordovician graptolites from the Cape Phillips Formation, Canadian Arctic Islands. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, **35**, 191—202.
- Melchin M J, Mitchell C E, 1991. Late Ordovician extinction in the Graptoloidea. In: Barnes C R, Williams S H (eds.), *Advances in Ordovician Geology*, Geological Survey of Canada, Paper 90-9, 143—156.
- Melchin M J, Koren T N, Williams S H, 1998. Global correlation of the lower part of the earliest Silurian *Akidograptus ascensus*-*Parakidograptus acuminatus* Zone. In: Gutierrez-Marco J C, Rabano I (eds.), *Proceedings of the Sixth International Graptolite Conference of the GWG (IPA) and the 1998 Field Meeting of the International Subcommission on Silurian Stratigraphy (ICS-IUGS)*. Instituto Tecnológico Geominero de Espana, Temas Geológico-Mineros, **23**, 107—108. Madrid.
- Mu En-zhi, Lin Yao-kun, 1984. Graptolites from the Ordovician-Silurian Boundary Sections of Yichang Area, W. Hubei. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, *Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China*. 1. Ordovician-Silurian Boundary, 45—82. Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House. (in English).
- Podhalanska T, 1999. The Upper Ordovician and the Lower Silurian in the Peribaltic Depression; stratigraphy and development. In: Kraft P and Fatka O (eds.), *Quo vadis Ordovician?* *Acta Universitatis Carolinae-Geologica*, **43**(1/2), 221—224.
- Rickards R B, 1988. Graptolite faunas at the base of the Silurian. *Bulletin of the British Museum of Natural History, Geological Series*, **43**, 345—349.
- Rong Jia-yu, Chen Xu, Harper D A T, Mitchell C E, 1999. Proposal of a GSSP candidate section in the Yangtze Platform region, S. China, for a new Hirnantian boundary stratotype. In: Kraft P and Fatka O (eds.), *Quo vadis Ordovician?* *Acta Universitatis Carolinae-Geologica*, **43**(1/2), 77—80.
- Rong Jia-yu, Harper D A T, 1988. A global synthesis of the latest Ordovician Hirnantian brachiopod faunas. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Science*, **79**, 383—402. (in English).
- Rong Jia-yu, Harper D A T, Zhan Ren-bin, Li Rong-yu, 1994. *Kassinella-Christiania* associations in the early Ashgill *Foliomena* brachiopod fauna of South China. *Lethaia*, **27**(1), 19—28.
- Rong Jia-yu, Zhan Ren-bin, 1996. Distribution and ecological evolution of the *Foliomena* Fauna (Late Ordovician brachiopods). In: Wang Hong-zhen, Wang Xun-lian (eds.), *Centennial Memorial Volume of Prof. Sun Yun-zhu: Palaeontology and Stratigraphy*, China University of Geosciences Press, Beijing. 90—97.
- Rong Jia-yu, Zhan Ren-bin, Harper D A T, 1999. The Late Ordovician (Caradoc-Ashgill) *Foliomena* (Brachiopoda) fauna from China; implications for its origin, ecological evolution and global distribution. *PALAIOS*, **14**(5), 412—432.
- Schauer M, 1971. Biostratigraphie und Taxionomie der Graptolithen des tieferen Silurs unter besonderer Berücksichtigung der tektonischen Deformation. *Freiberger Forschungshefte C273 Palaeontologie*. 1—94.
- Sheehan P M, 1973. The relation of Late Ordovician glaciation to the Ordovician-Silurian changeover in North American brachiopod faunas. *Lethaia*, **6**, 147—154.
- Storch P, 1994. Graptolite biostratigraphy of the Lower Silurian (Llandovery and Wenlock) of Bohemia. *Geological Journal*, **29**, 137—165.
- Storch P, Loydell D K, 1996. The Hirnantian Graptolites *Normalograptus persculptus* and '*Glyptograptus bohemicus*'; Stratigraphical consequences of their synonymy. *Palaeontology*, **39**(4), 869—881.
- Teller L, 1969. The Silurian biostratigraphy of Poland based on graptolites. *Acta Geologica Polonica*, **19**(3), 393—501.
- Temple J T, 1965. Upper Ordovician brachiopods from Poland and Britain. *Acta Palaeontologica Polonica*, **10**, 379—450.
- Toghill, P, 1970. A fauna from the Hendre Shales (Llandeilo) of the Mydrim Area, Carmarthenshire. *Proceedings of the Geological Society of London* 1663, 121—129.
- Tomczyk H, Tomczykowa E, 1976. Development of Ashgill and Llandovery sediments in Poland. In: Bassett M G (ed.), *The Ordovician System; proceedings of a Palaeontological Association symposium*, Birmingham. University of Wales Press and National Museum of Wales, Cardiff. 327—347.
- Vandenberg A H M, Rickards R B, Holloway D J, 1984. The Ordovician-Silurian boundary at Darraweit Guim, central Victoria. *Alcheringa*, **8**, 1—22.
- Williams S H, 1982. The late Ordovician graptolite fauna of the *Anceps* Bands at Dob's Linn, southern Scotland. *Geological et Palaeontologica*, **16**, 29—56.
- Williams, S. H. 1983. The Ordovician-Silurian Boundary graptolite fauna of Dob's Linn, southern Scotland. *Palaeontology*, **26**(3), 605—630.

A GLOBAL CORRELATION OF BIOZONES ACROSS THE ORDOVICIAN-SILURIAN BOUNDARY

CHEN Xu, RONG Jia-Yu, FAN Jun-Xuan, ZHAN Ren-Bin, ZHANG Yuan-Dong, LI Rong-Yu, WANG Yi

(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

C. E. Mitchell

(Department of Geology, New York State University at Buffalo, Buffalo, NY 14260-3050)

D. A. T. Harper

(Geological Museum, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark)

Key words: Hirnantian Substage, biozones, global correlation, GSSP

Abstract

Latest Ordovician to earliest Silurian (through the Hirnantian Substage) strata and fossils are widely distributed on the Yangtze platform. Mu (1974) first erected the Ashgillian graptolite zones in this region. In the recent years, the present authors re-studied 4 sections (Wangjiawan and Fengxiang, Yichang; Honghuayuan, Tongzi and Ludiping, Songtao) through this interval with continuous collections. Based on their detailed works the Ashgillian to earliest Llandovery biozones of the Yangtze region have been revised as follows.

Llandovery (Silurian)

Cystograptus vesiculosus Biozone

Parakidograptus acuminatus Biozone

Akidograptus ascensus Biozone

Ashgillian (Ordovician)

N. persculptus Biozone *Hirnantia-Dalmanitina*

N. extraordinarius-N. ojsuensis Biozone Fauna

Paraorthograptus pacificus Biozone

Diceratograptus mirus Subzone

Tangyagraptus typicus Subzone

Un-named Subzone

Dicellograptus complexus Biozone

Dicellograptus complanatus Biozone/*Foliomena-Nakolithus* Fauna

A global correlation has been discussed in detail and shown in Table I among the Yangtze region and Dob's Linn, Scotland, Spain and Portugal, Thuringia-Saxonia-Bavaria, Germany, Bohemia, Poland, Southern Kazakhstan, Kolyma, Northeastern Siberia, Malaysia Peninsula, Canadian Yukon and Canadian Arctic Islands, Nevada, USA, San Juan and Talacasto, Argentina, and Darraweit Guim, central Victoria, Australia.