

## “赫南特阶”和奥陶系—志留系界线的厘定\*

汪啸风<sup>①</sup> B D. Erdtmann<sup>②</sup> 陈孝红<sup>①</sup>

(①宜昌地质矿产研究所,宜昌 443003;②德国柏林工业大学)

**摘要** 根据对湖北宜昌王家湾、黄花场、分乡以及新近发现的远安苟家垭奥陶系与志留系界线剖面生物地层、层序地层和化学地层的综合研究将该区最晚奥陶纪到最早志留纪的化石带自下而上重新厘定为 *Nankinolithus* 带, *Dicellograptus complexus* 带, *Paraorthograptus pacificus* 带, *Normalograptus bohemicus* - *N. extraordinarius* 带, *Hirnantia* - *Kinnella* 带, *Glyptograptus? persculptus* 带, *Akidograptus ascensus* 带, *Parakidograptus acuminatus* 带和 *Orthograptus vesiculosus* 带, 其中 *Paraorthograptus pacificus* 带可分为 *Pararetiograptus sinensis* 亚带, *Tangyagraptus typicus* 和 *Diceratograptus mirus* 亚带。指出目前尚无可靠证据证明国际奥陶系与志留系界线层型剖面, 即英格兰 Dob's Linn 剖面 *P. acuminatus* 带底部与该种首次出现(FAD)的层位一致。建议将英国 Ashgill 统改为阶, 内部分两个亚阶, 其上部“Hirnantian”亚阶和 O/S 界线应分别下移到 *P. pacificus* 带底部和 *G. ? persculptus* 带底界。前者的底界与晚奥陶世 *Nankinolithus* 带顶部海退事件(NRE)后海侵所形成的最大海泛面的位置基本一致; 后者与古冈瓦纳超大陆中部冰盖快速消融所引起的全球海退/海侵时间(HRE)和铍、碳同位素异常以及海洋及大气地球化学状况的突然改变相吻合, 由此引发的生物集群绝灭可能与当时 CO<sub>2</sub> 浓度的突然升高有关。据此认为宜昌王家湾剖面应该是厘定后的全球 O/S 界线层序和新厘定的“Hirnantian”亚阶的最佳候选剖面

**关键词** 奥陶系/志留系界线 赫南特亚阶 海侵/海退事件

化石丰富、沉积连续的最晚奥陶纪到最早志留纪地层广泛出露于湖北西部的峡东地区<sup>[1-3]</sup>。其中尤以宜昌王家湾剖面最有代表性, 其次是黄花场、分乡剖面以及新近发现的远安苟家垭剖面。这四个奥陶系与志留系界线剖面不仅出露完美, 化石异常丰富, 而且研究程度较高。它们分别位于宜昌市北北东 42 km, 32 km, 22 km 和 75 km 处的公路旁, 交通十分便利(图 1)。基于对上述 4 个最晚奥陶纪到最早志留纪剖面生物地层, 层序地层和化学地层的综合研究, 本文在对相关化石带进行厘定和对比的同时, 着重讨论“赫南特阶”和奥陶系—志留系界线划分问题。

## 1 生物带的修订

峡东地区晚奥陶世—早志留世早期地层, 自下而上分为临湘组、五峰组和龙马溪组。卢衍

1999年6月5日收稿。

\* 地质矿产部科技司前缘科技研究计划项目“长江三峡地区震旦纪—中生代多重地层划分及海平面升降事件研究”(9501127)和地调局科技专项“长江三峡地区地质遗迹保护研究”(地科专 97-5)联合资助。

豪<sup>[4]</sup>最早在五峰组顶部划分出的观音桥层,汪啸风等<sup>[2,3,5]</sup>称其为观音桥段。观音桥层以富产全球广为分布的“*Hirnantia* 动物群”(或“*Hirnantia - kinnella* 动物群”)为特征<sup>[2,3,6,7]</sup>,共生的三叶虫主要包括 *Dalmanitina*, *Platycryphe* 和 *Leonasps* 等。观音桥层整合于五峰组的产 *Normalograptus bohemicus - N. extraordinarius* 带笔石的灰色、浅灰色泥岩之上和龙马溪组底部含 *Glyptograptus? persculptus* 带笔石的碳质页岩之下。*persculptus* 带之上为 *Akidograptus ascensus* 笔石带,该带以这个种的最初出现(FAD)为标志,层位上位于 *Parakidograptus acuminatus* 带之下 0.17~0.2 m,与汪啸风等<sup>[2,3,5,8]</sup>所划分的 *G.? persculptus* 笔石带的上部相当。根据对宜昌王家湾、黄花场、分乡和远安苟家垭剖面的综合研究表明,峡东地区最晚奥陶纪到最早志留纪地层中的化石可重新厘定为 9 个带。自上而下为 *Orthograptus vesiculosus* 带(0.50 m), *Parakidograptus acuminatus* 带(0.40 m), *Akidograptus ascensus* 带(0.17 m), *Glyptograptus? persculptus* 带(0.32 m), *Hirnantia - Kinnella* 带(0.17 m), *Normalograptus bohemicus - N. extraordinarius* 带(0.50 m), *Paraorthograptus pacificus* 带(1.96 m), *Dicellograptus complexus* 带(1.74 m)和 *Nankinolithus kinolithus* 带(1.0 m)(图 2)。其中 *Paraorthograptus pacificus* 带可分为 *Diceratograptus mirus* 亚带, *Tangyagraptus typicus* 和 *Pararetiograptus sinensis* 亚带。上述每个化石带后面括号内所附数值表示该化石带在王家湾剖面上的垂直厚度。

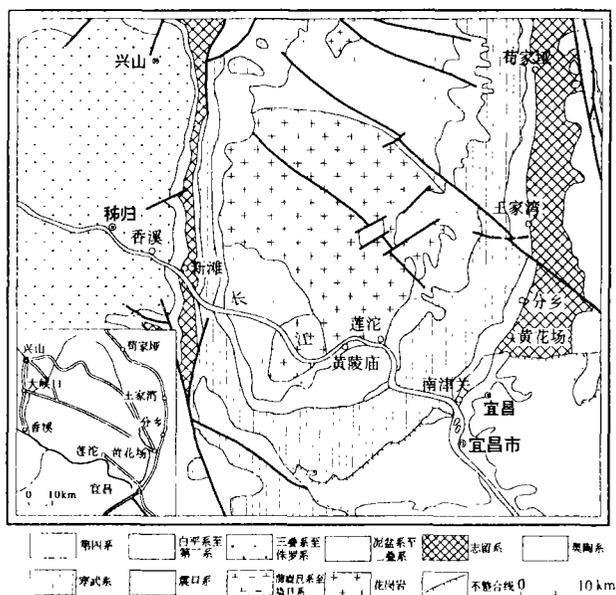


图 1 长江三峡东部地质略图

Fig.1 Sketch map of geology in the eastern Yangtze Gorges

图 2 中每个化石带的底界均以带化石的首次出现(FAD)为划分标志。值得指出的是,在王家湾,黄花场和分乡五峰组的最底部均存在一层厚 0.2 m 的产介形类的黄绿色页岩。这层含介形类的黄绿色页岩亦见于远安苟家垭剖面,但厚度增至 0.42 m,且含有少许笔石。这样一个地区间隔位于 *Dicellograptus complexus* 笔石带底部,与产 *Nankinolithus* 和 *Foliomena* 等介壳化石的临湘组一起在层位上可与 *D. complanatus* 笔石带的一部分对比。厘定的 *D. complexus* 带限于汪啸风等<sup>[2,3,5,8]</sup>所报道的 *D. complexus* 带的下部和中部。该带的带化石可以上延至上覆 *Paraorthograptus pacificus* 带 (*Pararetiograptus sinensis* 亚带)的底部,但未达到 *Tangyagraptus typicus* 亚带。*P. sinensis* 亚带系从原 *D. complexus* 带上部分出,该种为穆恩之(1974)首先描述<sup>[9]</sup>。以带化石命名的 *P. sinensis* 亚带以 *P. pacificus* 和 *P. sinensis* 的首次出现与下伏 *D. complexus* 带相区分,共生的笔石有 *Dicellograptus ornatus*, *Climacograptus longispinus supernus*, *Orthograptus amplexicaulis* 和少量 *D. anceps*。*P. pacificus* 乃是上覆 *T. typicus* 亚带中的常见分子,在 *Diceratograptus mirus* 亚

岩石地层	海平面变化	宜昌王家湾剖面	苏格兰 Dob's Linn 剖面 (Williams, 1983)	年代地层		
龙马溪组 下部	L — H	<i>vesiculosus</i>	<i>acuminatus</i>	下志留统(S <sub>1</sub> ) (兰多维列统)		
		<i>acuminatus</i>				
		<i>ascensus</i>	<i>persculptus</i>			
		<i>persculptus</i>				
五峰组	HRE	<i>Hirnantia-kinnella</i>	<i>extraordinarius</i>	上奥陶统(O <sub>3</sub> ) (阿什及尔统)		
		<i>bohemicus-extraordinarius</i>				
		<i>pacificus</i>	<i>D. mirus</i>		<i>anceps</i>	<i>pacificus</i>
			<i>T. typicus</i>			
			<i>P. sinensis</i>			
		<i>complexus</i>	<i>complexus</i>			
临湘组	NRE	<i>complanatus</i>	<i>complanatus</i>			
		<i>Nankinolithus</i>				

图 2 长江三峡地区最晚奥陶纪—最早志留纪笔石带的划分与对比

Fig. 2 Latest Ordovician—earliest Silurian zonation and correlation in the Yangtze Gorges area

带中也十分繁盛,并且上延到 *N. bohemicus* - *N. extraordinarius* 带,其绝子分子甚至可延入 *G.?* *persculptus* 带,并与 *G.?* *persculptus*, *C. acanthodus*, *N. normalis*, *N. angustus*, *D. modestus* 共生。*A. ascensus* 带的底界以带化石的最初出现为划分标志,层位上介于所厘定的 *G.?* *persculptus* 带和 *P. acuminatus* 带之间,但 *A. ascensus* 在上覆 *P. acuminatus* 带中亦可见及。根据笔石组合的对比,苏格兰 Dob's Linn 奥陶系—志留系层型剖面上的 *D. complexus* 生物带和 *P. pacificus* 生物带<sup>[10]</sup>与王家湾剖面厘定后的同名化石带可以对比。Dob's Linn 剖面上的 *N. extraordinarius* 层,包括 1.17 m 浅色不含化石的泥岩和上覆 Birkhill 页岩组底部 0.5 m 厚产 *G.?* *venustus venustus* 的黑色页岩一起,大致与王家湾剖面上的 *D. bohemicus* - *N. extraordinarius* 带和 *Hirnantia* - *Kinnella* 带对比<sup>[3,5]</sup>。以 *Hirnantia* 和 *Kinnella* 出现为代表的 *Hirnantia* 动物群的地质延限正如汪啸风等<sup>[3]</sup>和戎嘉余<sup>[6]</sup>指出的那样,在宜昌地区出现在 *N. bohemicus* - *N. extraordinarius* 带之上,而且在中国其他地区尚无肯定的证据证明以 *Hirnantia* - *Kinnella* 为代表的 *Hirnantia* 动物群与 *G.?* *persculptus* 共生<sup>[2,11]</sup>。自 Dob's Linn 奥陶系—志留系界线剖面被批准为国际奥陶系—志留系界线层型剖面以来,奥陶系—志留系界线被确定在 *P. acuminatus* 和 *A. ascensus* 共同出现 Birkhill Shale 组底界之上 1.6 m 处<sup>[12]</sup>。遗憾的是,尽管该剖面的奥陶系—志留系界线十分接近或甚至对应于 *P. acuminatus* 带的底部,但由于 *G.?* *persculptus* 和 *P. acuminatus* 之间的 *A. ascensus* 带发育不全,因此,至今尚无可靠的证据能够证明 Dob's Linn 剖面与当前所确定的奥陶系—志留系界线恰好与 *P. acuminatus* 的首次出现(FAD)层位一致。

## 2 生物地层、层序地层和化学地层研究进展

晚奥陶世时期,长江三峡地区在古地理上位于扬子局限盆地的中部。层序地层的研究表明,该区在奥陶纪末期—志留纪初期大致可识别出两个海退事件(图2),即 *Nankilolithus* 海退事件(NRE)和 *Hirnantia* 海退事件(HRE)。NRE 发生在临湘组与五峰组之间,即与 *D. complanatus* 带大部分相当的 *Nankinolithus* 带的顶部。临湘组整合在宝塔组之上,以向上变浅的高位层序为特征,由 15~20 m 厚的浅灰绿色或黄绿色瘤状泥晶灰岩和薄层泥灰岩组成,产丰富的头足类、三叶虫和少量牙形石等<sup>[3,5]</sup>。在该组顶部 1~1.2 m 厚的中—厚层状泥质灰岩中产三叶虫 *Nankinolithus* 和 *Phillipsinella* 以及以 *Foliomena* 为代表的腕足类,显示 BA 4~5 底栖腕足类组合<sup>[13]</sup>。临湘组顶部泥质灰岩与五峰组底部 0.2~0.42 m 产少量笔石和介形虫的黄绿色页岩之间所发生的明显层序转换和沉积相的变化标志这次海退事件的存在。五峰组 *D. complexus* 带到 *P. pacificus* 带下部(*P. sinensis* 亚带)黑色笔石页岩中出现了 *radiolaria*, pteropods 和个体微小,以 *Conotreta* 为代表的 BA6 底栖腕足类组合<sup>[13]</sup>,显示向上变深的海侵沉积。其最大海泛面的位置与 *P. pacificus* 带下部大致相当。在三峡地区,由古冈瓦纳超大陆广泛发育的冰川作用所引起的海退沉积是以向上变浅、沉积颗粒变粗的加积序列为特征,由 *T. typicus* 和 *D. mirus* 亚带的黑色(风化后为灰色)笔石页岩和黑褐色泥岩组成,后者含丰富的 *D. bohemicus* - *N. extraordinarius* 带的笔石和少量三叶虫,如 *Dalmanitina* 和 *Leonaspis* 以及牙形石 *A. ordovicicus* 和一些腕足类,如 *Manosia*, *Paromalomona* 和 *Rostricellula* 等<sup>[2,3]</sup>。其中 *Monosia* 是 BA4 的代表分子<sup>[13]</sup>。上覆观音桥层由浅灰色和紫灰色含石英粉砂岩、水云母泥灰岩夹层凝灰岩(?)组成,产丰富的 *Hirnantia* - *Kinnella* 动物群和大量的三叶虫和少量腹足类、双壳和头足类等,指示 BA 2~3 的水深环境<sup>[7]</sup>。宜昌地区最晚奥陶纪海进到海退的层序变化特点在扬子陆表海台地区十分稳定。由此表明古冈瓦纳超大陆中部冰川作用开始于 *T. typicus* 亚带,在 *Hirnantia* - *Kinnella* 带达到高潮,结束于 *Hirnantia* - *Kinnella* 带的顶部。由冰川作用引起的全球性海退事件在世界许多地区均有所报道<sup>[14]</sup>,在宜昌地区主要表现为 *Hirnantia* - *Kinnella* 带顶部浅水高位含石英砂质泥岩到 *G. ? persculptus* 带底部冰期前海侵黑色笔石页岩之间所发生的明显层序转换。在分乡、黄花场和王家湾剖面上 *Hirnantia* - *Kinnella* 带和 *G. ? persculptus* 带之间还发现铀的明显富集和碳同位素偏离,与此相伴,还出现亲铁和亲硫元素的异常<sup>[15,16]</sup>。上述地球化学异常和生物集群绝灭所反映的海洋和大气化学状况的突然改变可能与古冈瓦纳超大陆冰盖的快速融化所引起的扬子海盆在 *G. ? persculptus* 带底部 CO<sub>2</sub> 浓度突然升高和由此形成还原环境有关。

## 3 讨论与结论

(1) 扬子海盆五峰组构成一个完整的最晚奥陶纪三级层序,随之而来的海侵沉积始于龙马溪组底部(图2)。这个最晚奥陶纪三级层序的 TST 的地质延限跨越了 *D. complanatus* 带的最上部到 *P. pacificus* 带的下部,由古冈瓦纳超大陆中部冰川作用所引起的,继之而来的 RST 沉积开始于 *T. typicus* 亚带底部(*P. pacificus* 带中部),结束于 *Hirnantia* - *Kinnella* 带与 *G. ? persculptus* 带之间,这两个化石带之间的界面恰恰与层序转换面、生物的集群绝灭和地

球化学异常位置一致。

(2)国际地层委员会(IUGS)奥陶系年代地层工作组已决定将奥陶系划分为3个统,在每个统内可划分2个阶。鉴于重新厘定的英国 Ashigill 统<sup>[17]</sup>所代表的时代间隔甚短,目前在 Ashigill 统内部所使用的4个阶,每个阶在级别上只能与1个生物带的范围接近。因此,本文建议将 Ashigill 统修订为阶,并将“Ashigill”阶划分为两个亚阶。如果 Ashgill 一名继续保留的话,上部新亚阶的底界最好以 *P. pacificus* 的最初出现为标志。该界线与 *N. gracilis* 带被选为重新厘定的 Caradoc 统的底界一样,代表 *D. complexus* 带海侵所形成的最晚奥陶纪的最大海泛面的位置,因而在世界各地易于识别,且时代相当。根据 Ross<sup>[18]</sup>对宜昌附近新滩剖面 *P. pacificus* 带下部(*P. sinensi* 亚带)(即原 *D. complexus* 带上部)斑脱岩夹层的测试结果,新亚阶底界的同位素地质年龄为  $447 \pm 10$  Ma。该年龄数据与从 Dob's Linn 剖面上 *P. pacificus* 生物带火山灰中所获的  $445 \pm 2.4$  Ma 年龄数据十分接近<sup>[19]</sup>。值得注意的是,由于 *Hirnantia* 动物群出现在高位海退沉积序列之中,加之,由于对 *Hirnantia* 动物群的含义尚存在不同认识<sup>[3,11]</sup>以及由此引起的对 *Hirnantia* 动物群的穿时性已被 Rong & Harper<sup>[11]</sup>所证明,因此,继续保留“*Hirnantian*”作为一个亚阶的名称,显然是不合适的;如果将未命名的新亚阶的底界,像在英国目前所使用的 *Hirnantian* 阶一样<sup>[17]</sup>,置于 *Hirnantian* 阶动物群最初出现的位置,即 *N. bohemicus* - *N. extraordinarius* 带的底部显然也是不合适的,因为其跨越的时限仅仅只能和一个生物带相当。

(3)当前所使用的全球奥陶系—志留系界线层型和点(GSSP),即以英国的 Dob's Linn 奥陶系和志留系剖面作为界线层型剖面,以该剖面 *P. acuminatus* 带底部<sup>[18]</sup>做为志留纪的开始,乃是国际地科联地层委员会于1985年使用权利的产物。遗憾的是在这个界线点上既没有显示重要的生物演化事件,也没有重要的地质事件发生,更何况在这个剖面上至今也没有肯定的证据能够证明所确定的 *P. acuminatus* 带底部正好与 *P. acuminatus* 最初出现的层位一致。如果一个具有全球对比潜力,并且反映生物和地质演化事件的界线生物层或点仍然被认为是确定任何界线层或点(GSSP)的基本首要条件的话,本文作者深信当前所划分的奥陶系—志留系界线的 GSSP 应该下移至 *G. ? persculptus* 带之底。并且认为宜昌王家湾剖面应该是厘定后奥陶系—志留系界线层型和奥陶系最年青的新亚阶的最佳的候选层型剖面。

## 参 考 文 献

- [1] 穆恩之、戎嘉余. 关于国际奥陶系志留系界线. 地层学杂志, 1983, 7(2): 8—91
- [2] 汪啸风、曾庆銮、周天梅等. 长江三峡地区奥陶纪末期至志留纪初期动物群. 宜昌地质矿产研究所刊, 1983, 6: 95—163
- [3] 汪啸风、倪世钊、曾庆銮等. 早古生代分册. 见: 宜昌地质矿产研究所. 长江三峡地区生物地层学(2). 北京: 地质出版社, 1959. 1—714
- [4] 卢衍豪. 中国南部奥陶纪地层的分类与对比. 中国地质学基本地质资料专题总结论文集. 北京: 地质出版社, 1959. 1—113
- [5] Wang X F, Erdtmann B D, Chen X H. Ordovician chronostratigraphy—a Chinese approach. In: Webby & Laurie (ed.), Global Perspectives on Ordovician Geology, Balkema, Rotterdam, 1992. 35—55
- [6] Rong J Y. Brachiopods of latest Ordovician in the Yichang district, western Hubei, Central China. In: Nanjing Inst. Geol. & Palaeont., Academia Sinica (ed.), Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in

- China, Ordovician - Silurian Boundary (1). *Anhui Sci. & Tech. Pub. House*, Hefei, 1984a. 111—176
- [7] 戎嘉余. 晚奥陶世海退和冰川作用的生态地层学证据. *地层学杂志*, 1984b, 8(1): 1—29
- [8] 汪啸风、曾庆奎、周天梅等. 奥陶系—志留系界线划分和对比的再讨论. *中国地质科学院院报*, 1986(12): 137—172
- [9] 中国科学院南京地质古生物研究所. 西南地区古生物手册. 北京: 科学出版社, 1974. 1—680
- [10] Williams S H. The Ordovician—Silurian boundary graptolite fauna of Dob's Linn, southern Scotland. *Palacont.* 1983, 26(3): 605—639
- [11] Rong J Y & Harper D A T. A global synthesis of the latest Ordovician Hirnantian brachiopod faunas. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh: Ear. Sci.* 1988, 79: 383—402
- [12] Cocks L R M. The Ordovician—Silurian boundary. *Episodes* 1985(8): 98—100
- [13] 曾庆奎. 长江三峡地区奥陶系腕足类群落与海平面变化. *中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊*, 1991(16): 19—39
- [14] Sheehan P M. Late Ordovician events and the terminal Ordovician extinction. *New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources*, 1988, 44: 405—415
- [15] 汪啸风、柴之芳. 奥陶系与志留系界线生物绝灭事件及其与铀和碳同位素异常的关系. *地质学报*, 1990, 3(1): 81—92
- [16] Wang K, Orth C J, Attrep M Jr et al. The great latest Ordovician extinction on the south China Plate: chemostratigraphic studies of the Ordovician—Silurian boundary interval on the Yangtze Platform. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 1993, 104: 61—79
- [17] Fortey R A, Harper D A T, Ingham J K et al. A revision of Ordovician series and stages from the historical type area. *Geol. Mag.* 1995, 132(1): 15—30
- [18] Ross R J Jr, The Ordovician System, progress and problems. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 1984, 12: 307—335
- [19] Tucker R D, Krogh T E, Ross R J Tr et al. Time-scale calibration by high-precision U - Pb zircon dating of interstratified volcanic ashes in the Ordovician and Lower Silurian stratotype of Britain. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 1990, 100: 51—58.

## THE “HIRNANTIAN STAGE” AND THE IDENTIFICATION OF THE ORDOVICIAN/SILURIAN BOUNDARY

Wang Xiaofeng<sup>①</sup> B D. Erdtmann<sup>②</sup> Chen Xiaohong<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> *Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003.*

<sup>②</sup> *Technical University of Berlin, Germany*)

### Abstract

Through the study on the bio-stratigraphy, sequence and chemo-stratigraphy from the Ordovician/Silurian boundary section in Wangjiawan, Huanghuachang, Fengxiang of Yichang County and the newly founded one in Goujiaya of Yuan'an County, the fossil zones of the upper-

most Ordovician and the lowermost Silurian are securely re-established in ascending order: *Nankinolithus* zone, *Dicellograptus complexus* zone, *Paraorthograptus pacificus* zone, *Normalograptus bohemicus*-*N. extraordinarius* zone, *Hirnantia*-*Kinnella* zone, *Glyptograptus? persculptus* zone, *Akidograptus ascensus* zone, *Parakidograptus acuminatus* zone and *Orthograptus vesiculosus* zone. Moreover, the *Paraorthograptus pacificus* zone could be further divided into *Pararetiograptus sinensis* sub-zone, *Tangyagraptus typicus* and *Diceratograptus mirus* sub-zone. Further more, the paper points out, that, no hard evidences can prove consistent between the basement strata of the *P. acuminatus* zone from the Dob's Linn Section of the International Typical Boundary Section of Ordovician/Silurian in England and the strata in which the FAD firstly appeared in this area. Therefore, it could be suggested that modifying Ashigill Series to Ashigill Stage contained two sub-stages, and the upper "Hirnantian Sub-stage" and "Ordovician/Silurian Boundary" are better shifted, respectively, downward to the bottom of *P. pacificus* zone and *G. ? persculptus* zone. The basic boundary of the Hirnantian sub-stage is approximately identical to the locality of the maximum flooding surface which was formed during transgression period after regression (NRE) of uppermost part in Late Ordovician *Nankinolithus* zone. However, the O/S boundary consists with the global transgression/regression time (HRE) which was directly caused by the rapid icecap melting in the central super-continent Gondwana. It was also identical to the iridium and carbon isotope anomaly, to the sharply variety of geo-chemical phase of atmosphere and ocean, and, which caused the mass extinction could be considered to be related to the sudden rising of CO<sub>2</sub> components. Therefore, the Section in Wangjiawan of Yichang should be capable of the best selection one for the identification global Ordovician/Silurian boundary sequence and the newly redefined "Hirnantian Sub-stage".

**Key words** Ordovician/Silurian boundary Hirnantian sub-stage transgression/regression event