华南新的寒武纪生物地层序列和年代地层系统

彭善池

现代古生物学和地层学国家重点实验室, 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008

E-mail: scpeng@nigpas.ac.cn

2009-06-25 收稿, 2009-09-02 接受

中国科学院知识创新工程重要方向性项目(编号: KZCX2-YW-122)、国家重点基础研究发展计划(编号: 2006CB806400, 2006FY120300)和国家自然科学基金(批准号: 40023002, 40332018)资助项目

摘要 生物地层和年代地层是地球科学中最常用的划分地层的方法和地层对比的标准。简要回顾了 1978 年以来我国华南斜坡相寒武纪生物和年代地层的研究, 介绍了 1988 年以来逐步形成的华南寒武纪生物地层序列和年代地层系统, 并对两者做了新的修订。修订后的华南生物地层序列包含 36 个生物带和一个“贫化石带”, 所有生物带的底界都用单个物种(带化石)的首现定义; 修订后的华南年代地层系统由 4 统 10 阶组成, 其中包含了在湘西北建立的“芙蓉统”、“排碧阶”和“古丈阶”3 个全球年代地层单位, 2 个“金钉子”和 2 个被国际地层委员会寒武系分会接受的、定义全球寒武系阶的底界的“国际纽带点”。华南的生物和年代地层系统是目前被国内外接受的中国划分标准。对今后进一步完善这两套地层系统也提出了研究建议。

关键词
寒武纪
生物地层
年代地层
斜坡相
三叶虫
华南

2004 年国际地层委员会出版的地层学权威专著《地质年表 2004》, 一改以往版本中采用在华北和滇东地台区所建立的寒武纪年代地层系统作为我国标准的传统, 取而代之采用华南生物地层序列和年代地层系统^[1], 这是在华南新建立的生物地层序列和年代地层系统得到国际承认的重要标志。

生物地层和年代地层分别以岩石体中所含化石和以地质时间界面划分地层, 它们是地球科学中使用最多的划分地层的方法, 通过化石研究形成的区域性的生物地层序列和年代地层系统, 是本区域内地层划分和对比的标准, 具有重要的科学意义和实际应用价值。我国传统的寒武纪生物地层和年代地层标准, 是在华北和滇东浅水地台相区建立的^[2-4], 它们的建立, 有其历史的必然性, 因为华北和滇东分别有百年以上和近百年研究寒武纪三叶虫的悠久历史^[5,6]。三叶虫是寒武纪的主导化石门类, 在划分和对比寒武纪地层上的重要地位, 其他门类的化石难以替代。但是, 在浅水地台生活的三叶虫, 绝大多数

是底栖的多节类, 是地方性分子。这个特点极大地限制了以这类三叶虫所建立的地层标准的对比性和使用价值。除三叶虫动物群的地方性属性外, 我国传统的生物地层和年代地层还存在其他一些较难克服的缺陷, 如生物分带精度不高, 基本处于属级水平; 年代地层单位直接由岩石地层单位转化, 实际是以单位层型而非由界线层型定义的单位, 有些单位之间因而不可避免地存在地层重复或间断^[7,8]。我国传统寒武纪年代地层标准既不利于南、北方寒武系的精确对比、也不利于参与全球层型剖面 and 点位(“金钉子”)竞争的缺陷, 在 20 世纪 70 年代国际上启动建立全球层型剖面 and 点位的研究后, 就显得更为突出。因此, 建立既有代表性、又有国际竞争潜力的我国生物和年代地层标准势在必行。

我国寒武纪扬子地台东南边缘的江南斜坡带属较深水的斜坡环境^[9], 发育较为特殊的三叶虫动物群, 其中含有大量的全球性分布的球接子类和一些全球或洲际分布的多节类三叶虫, 这些三叶虫的特点是

引用格式: 彭善池. 华南新的寒武纪生物地层序列和年代地层系统. 科学通报, 2009, 54: 2691~2698

Peng S C. The newly-developed Cambrian biostratigraphic succession and chronostratigraphic scheme for South China. Chinese Sci Bull, 2009, 54, doi: 10.1007/s11434-009-0667-4

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2009-54-18-2691>

地理分布广、演化迅速、地层延限相对较短;加上江南斜坡带的寒武纪地层沉积连续、岩相单一、基本上未受到构造破坏,因此,非常适宜建立地区性乃至全球性的生物和年代地层标准。对这个动物群的研究,始于建国后的 1954 年,当时卢衍豪描记了 6 种寒武纪三叶虫^[10]。50 余年来,特别是近 30 年来,积累了大量的斜坡相三叶虫动物群的系统分类学和地层学研究成果,描记的三叶虫有 425 属,近 1000 种之多^[11~18]。此外,华南寒武纪前三叶虫期的地层和小壳化石动物群的研究近年来也取得重要进展^[19,20]。这些成果为在华南建立新的寒武纪生物地层序列和新的年代地层系统奠定了坚实基础。

华南寒武纪新的生物地层序列和年代地层系统于 2000 年正式发表^[21]。最近彭善池^[22]对年代地层系统做了修订,本文又对生物地层序列和个别阶的底界做了修订。

1 华南新的寒武纪生物地层序列

华南斜坡相寒武纪的生物地层研究始于 20 世纪 70 年代末。杨家骥^[11]在湘西-黔东交界地区研究了传统中寒武世-晚寒武世早期的三叶虫动物群,将这段产三叶虫的地层划分为 6 个多节类带。在他之前,叶戈洛娃等人^[23]也在同一地区的相同层段做过生物地层研究,但是未能识别出任何三叶虫带。杨家骥和叶戈洛娃等的研究中,都发现了许多球接子三叶虫,这些发现为今后深入研究江南斜坡带的这类重要三叶虫奠定了基础。1980 年,周志毅等人^[24]又在黔东传统早寒武世的地层中建立了 5 个多节类带,初步形成了湘西-黔东地区早寒武世至晚寒武世早期的多节类三叶虫生物序列。但是,这个序列忽视了球接子三叶虫的分带性和重要的地层意义,依旧遵循传统采用有局限性的多节类三叶虫分带。同时由于江南斜坡带在寒武纪不断地向海推进^[9],到了晚寒武世中、晚期,湘西、黔东已转变为局限的浅水地台环境,接受的是基本上是不含化石的白云岩沉积,也就缺乏建立该时期生物地层的可能,传统晚寒武世中晚期的生物地层仍是空白。20 世纪 70~80 年代的区域地质调查显示,湘西北具有更好的地质条件,这个地区在寒武纪基本上维持斜坡环境,不仅有完整的、以灰岩为主且化石丰富的中晚寒武世地层,球接子三叶虫也比湘西、黔东更为丰富。从 1987 年起,对江南斜坡带三叶虫和生物地层研究的重点逐渐转移到湘西北区^[13,14,16,25,26],在大量三叶虫系统分类的研究基础上,

彭善池等人^[13,16,27]先后在慈利沈家湾、桃源瓦尔岗、花垣排碧、永顺王村、古丈罗依溪等剖面完成了传统中寒武统至下奥陶统底部的分带研究,发展了一套以球接子为主的武陵世-芙蓉世(传统中寒武世-晚寒武世)三叶虫生物地层,结合其他学者^[19,24]在黔东、滇东对传统早寒武世(滇东世和黔东世)三叶虫和小壳生物地层的研究,在 2000 年提出了包含 29 个化石带的新的寒武系生物地层序列^[21]。近年来华南滇东世、黔东世以及芙蓉世末期的生物地层研究又取得了新的进展^[17,20,28~31],根据这些新成果,本文将华南的生物序列修订为 37 个化石带,自上而下:

- (37) *Hysteronolus* 带(下部)
- (36) *Leiostrigium constrictum*-*Shenjiawania brevis* 带
- (35) *Mictosaukia striata*-*Fatocephalus* 带
- (34) *Leioagnostus* cf. *bexelli*-*Archaeuloma taoyuanense* 带
- (33) *Lotagnostus americanus* 带
- (32) *Probinacunaspis nasalis*-*Peichiasiania hunanensis* 带
- (31) *Eolotagnostus decorus*-*Kaolishaniella* 带
- (30) *Rhaptagnostus ciliensis*-*Onchonotellus* cf. *kuruktagensis* 带
- (29) *Agnostotes orientalis* 带
- (28) *Tomagnostella orientalis*-*Corynexochus plumula* 带
- (27) *Agnostus inexpectans*-*Proceratopyge protracta* 带
- (26) *Glyptagnostus reticulatus* 带
- (25) *Glyptagnostus stolidotus* 带
- (24) *Linguagnostus reconditus* 带
- (23) *Proagnostus bulbosus* 带
- (22) *Lejopyge laevigata* 带
- (21) *Lejopyge armata* 带
- (20) *Goniagnostus nathorsti* 带
- (19) *Ptychagnostus punctuosus* 带
- (18) *Ptychagnostus atavus* 带
- (17) *Ptychagnostus gibbus* 带
- (16) *Peronopsis taijiangensis* 带
- (15) *Oryctocephalus indicus* 带
- (14) *Ovatoryctocara granulata*-*Bathynotus holopygus* 带
- (13) *Protoryctocephalus wuxunensis* 带
- (12) *Arthricocephalites taijiangensis* 带
- (11) *Arthricocephalus chauveaui* 带
- (10) *Arthricocephalus jiangkouensis* 带
- (9) *Szechuanolenus*-*Paokannia* 带
- (8) *Ushbaspis* 带
- (7) *Hupei-discus*-*Sinodiscus* 带
- (6) *Tsuniyidiscus niutitangensis* 带
- (5) *Sinosachites flabelliformis*-*Tannuolina zhangwentangi* 带
- (4) 贫化石带
- (3) *Watsonella crosbyi* 带
- (2) *Paragloborilus subglobosus*-*Purella squamulosa* 带
- (1) *Anabarites trisulcatus*-*Protohertzina anabarica* 带

按照华南的地质年代标准, 这个序列的 1~5 化石带的时代为滇东世, 6~14 化石带为黔东世, 15~25 化石带为武陵世, 26~37 为芙蓉世。现在的这个序列, 较 2000 年的划分, 主要做了以下几个方面的修订:

() 滇东世的化石带采纳 Steiner 等人^[20]的意见, 由原来 3 个属级组合带变更为 4 个种级组合带和 1 个含化石稀少的贫化石带。笔者赞同他们用共存延限来识别这 4 个带和用单一物种的最低层位(首现)定义第 3 带和第 5 带的底界的意见, 但认为他们同时采用两个种的首现来定义第 1 带和第 2 带的底界不妥。笔者认为, 为避免双重标准, 采用单一物种的首现定义这两个带的底界较为合适。因此, 本文采用 *P. anabarica*, *P. subglobosus*, *W. crosbyi* 和 *T. zhangwentangi* 分别定义滇东世的第 1 至第 4 带的底界。

() 黔东世的化石带由原来的 6 个属级化石带变更为 8 个化石带, 其中有 6 个是种级分带。其中的 *T. niutitangensis* 带是过去建的 *Hupei-discus-Sinodiscus* 带的底部, 带化石 *T. niutitangensis* 的首现比后两属都低。带化石在华南广泛分布, 该带因此在许多剖面皆可识别; 增加的 *Ushbaspis* 带是周志毅等人^[24]所建的 *Metaredlichioidea* [= *Ushbaspis*]-*Chengkouia* 带的中下部地层。在黔东的湄潭、余庆、丹寨等地, *Ushbaspis* 带位于产 *Hupei-discus* 和 *Szechuanolenus* 的地层之间。*Ushbaspis* 的地理分布较广, 在华南还见于川东北和峡东地区, 在新疆乌什和哈萨克斯坦南部的小卡拉陶也有发现^[32-35], 是良好的大区间对比的分子。第 10 至第 15 带采纳了近年对黔东凯里动物群中的三叶虫分带研究^[17,31], 是一系列掘头虫类三叶虫带, 这类三叶虫也有较广的地理分布, 其中的 *A. chauveau* 和 *O. granulata* 还是世界性分布的分子; *Peronopsis taijiangensis* 带是最近姚路等人^[36]在黔东凯里组建立的球接子带, 取代以往的 *Arthricocephalus orientalis* 带; 在华南, *P. taijiangensis* 比后者的分布广, 且本带可和国际上的最早球接子带(如北美的 *Peronopsis bonnerensis* 带, 澳大利亚的 *Pentagnostus anabarensis* 带等)对比。

() 根据湘西北古丈罗依溪的古丈阶“金钉子”剖面的研究^[29], 在武陵世的地层中增加了 *L. armata* 带。*L. armata* 见于世界各地, 是全球性分布的球接子三叶虫。在浙西、塔里木和哈萨克斯坦等地用它建带^[15,37,38]。在湘西、浙西、塔斯马尼亚和哈萨克斯坦南部的剖面中, *L. armata* 的产出层位稳定, 在地层中

先于 *L. laevigata* 出现^[16,29,38,39]。

() 系统分类学研究表明^[16,40], 带化石 *Innitagnostus inexpectans*, *Agnostotes clavata* 和 *Lotagnostus punctuosus* 分别是 *Agnostus inexpectans*, *Agnostotes orientalis* 和 *Lotagnostus americanus* 的晚出异名, 本文对这些带的名称做了相应的订正。

() *T. orientalis*-*C. plumula* 带是在浙西碓边 B 剖面识别出来的 *T. orientalis* 球接子带和 *C. plumula* 多节类带所在的地层^[30], 这两个种的延限基本一致, *T. orientalis* 首现稍早, 本带的底界用它的首现定义。本带取代原先在湘西建立的 *C. plumula*-*Sinoproceratopyge* cf. *kiangshanensis* 多节类带。根据 *C. plumula* 与 *S. kiangshanensis* 在碓边 B 剖面的延限和 *Irvingella angustilimbata* 在两地的首现点的控制, *T. orientalis*-*C. plumula* 带与 *C. plumula*-*S. cf. kiangshanensis* 带应完全相当; *Agnostotes orientalis* 带和 *Lotagnostus americanus* 带也是最近在碓边 B 剖面识别出来的, 分别代替原来的 *Agnostotes orientalis*-*Irvingella angustilimbata* 带和 *L. americanus*-*Hedinaspis regalis* 带, 两者的底界都是采用“全球纽带点”定义; 同时, 非常详细的研究表明, *L. americanus* 的首现早于 *Hedinaspis regalis*^[30]。

() 全球寒武系和奥陶系的界线, 划在牙形刺 *Iapetognathus fluctivagus* 的首现位置^[41]。在湘西桃源瓦尔岗, *I. fluctivagus* 在牙形刺 *Cordylodus lindstromi* 带中部首现^[28], 而 *C. lindstromi* 在塔里木出现在 *Hysterolesus* 带的上部^[42]。因此, 原先认为属奥陶系的 *Hysterolesus* 带的中下部应划归寒武系。在华南寒武纪生物地层序列中, 增加了 *Hysterolesus* 带为最年轻的生物地层单位。

华南寒武纪生物地层序列特征明显、地层学意义重要。首先, 它的定义准确, 与以往在我国建立的任何全国性或区域性的寒武纪生物地层序列本质不同。华南生物地层序列的单位(带)的底界都采用单一物种的首现定义, 是间隔带, 而后者大多采用生物的组合或丰度分带, 是组合带或富集带。华南的这种分带决定了它的各个生物地层单位也具有年代地层的特征。作为“时间面”, 它们的底界可以直接为年代单位所采用, 从而也能较为精确地定义年代地层单位。

其次, 华南的生物地层序列有良好的长距离的对比性。例如在球接子三叶虫出现后的武陵统和芙蓉统所建的 23 个三叶虫带中, 有 17 个带是具有全球

对比意义的球接子带。其中的第15至第24带,已被国际同行认定是全球分带标准^[43,44];带化石*L. laevigata*和*G. reticulatus*的首现点位,分别是排碧和古文“金钉子”的层型点;而带化石*A. orientalis*和*L. americanus*是已被国际寒武系分会表决通过的、分别用于确定全球第9阶和第10阶“金钉子”的关键种^[45]。此外,滇东统的*A. trisulcatus*-*P. anabarica*带、*W. crosbyi*带和黔东统的*A. chauveau*带、*O. granulata*-*B. holopygous*带也都有良好的国际对比性^[20,31,46]。目前所知,华南的生物地层序列在世界范围内最具国际对比潜力。

再次,由于华南斜坡相动物群含有大量华北和塔里木动物群分子的特殊性质,在我国能很好地解决华南地块与华北和塔里木两大寒武纪地块的寒武系对比问题。最近的系统古生物研究表明,华北地台区的三叶虫中,有28%的属已经在江南斜坡带找到^[47],重要分子有*Palaeolenus*, *Redlichia*, *Amphoton*, *Dorypyge*, *Fuchouia*, *Changqingia*, *Damesella*, *Parablackwelderia*, *Blackwelderia*, *Chuanguia*, *Prochuanguia*, *Peichiashania*, *Maladioidella*, *Kaolishaniella*, *Irvingella*, *Tsinania*, *Prosuakia*, *Saukia*, *Mictosuakia*, *Fatocephalus*, *Leostegium*等,分布在武陵世至芙蓉世的各带之中,使得现在比以往有更充分的化石证据精确对比华南和华北的寒武纪生物地层。华南与塔里木地块的寒武纪三叶虫动物群面貌十分相似,生物地层中甚至使用同名的单位,与华北相比,对比就更加容易一些。其中不同名的单位也非常容易对比,如塔里木的*Pseudophalacroma ovale*带的带化石*P. ovale*在华南是仅限于*Goniagnostus nathorsti*带的分子,与*G. nathorsti*同时首现^[16],这两个带的底界因而完全一致;塔里木和华南*Lejopyge armata*带的底界完全一致,而*L. armata*,除比*Lejopyge laevigata*出现稍早外,大部分延限与后者重合,加上限于*Proagnostus bulbosus*带的一系列重要球接子如*Proagnostus* [= *Agnostascus* sp.], *Lejopyge sinensis*, *Goniagnostus fumicola*, *Oidagnostus trispinus* [= *O. tienshanensis*]等在塔里木都限于*Lejopyge sinensis*带^[16,37],因此,塔里木的*L. armata*带实际包含了华南的*L. laevigata*带,*Lejopyge sinensis*带也能和华南的*P. bulbosus*带准确对比。我国华南、华北、塔里木3个寒武纪沉积区的生物地层对比见表1。与华北的对比主要根据江南斜坡带多节类的最新研究成果^[17,18],也参考了东北南部的最新研究进展^[48]。

2 华南新的寒武系年代地层序列

华南的年代地层研究在20世纪末才开展。与1961年孙云铸^[2]首次提出我国传统年代地层系统相比,华南的研究滞后了近40年。然而在这一期间,年代地层学研究有了重大的理论突破,国际地层委员会开始采用有全球对比意义的标准物种在连续地层中的首现,即“金钉子”来定义年代地层单位^[7,49,50],国际寒武系分会也开始着手解决全球寒武系的再划分问题^[51]。这使得华南的寒武系年代地层研究一开始就有国际准则可循并与国际寒武系前沿研究紧密结合。1998年, Peng等人^[52]在瑞典召开的寒武系再划分国际会议上,明确提出有必要在华南重新建立我国的年代地层系统,取代以地方性三叶虫定义的、且与岩石地层同义的传统“华北系统”。首次建立了“王村阶”、“酉水阶”、“瓦尔岗阶”和“桃源阶”4个华南年代地层单位,采用球接子三叶虫*Ptychagnostus punctuosus*, *Linguagnostus reconditus*, *Glyptagnostus reticulatus*和*Agnostotes americanus* [= *A. clavatus*]在湘西王村和瓦尔岗剖面的首现,分别定义了这些阶的底界。其后,又以*Oryctocephalus indicus*在黔东台江(现为剑河)八郎剖面的首现,定义了新建的台江阶的底界^[53]。

2000年提出的华南寒武系新的年代地层系统,由4统9阶组成,其中的滇东统包括晋宁阶和梅树村阶,黔东统包括南皋阶和都匀阶,武陵统包括台江阶、王村阶和酉水阶,湖南统包括瓦尔岗阶和桃源阶^[21]。这个系统的特点在于:一是采用四分方案,不同于以往我国传统的寒武系三分方法。研究表明,在过去数十年内,传统的“下寒武统”的底界不断下移后,划入了一大段非三叶虫地层,下延的地质年限已达20 Ma之久,使得“早寒武世”的时限已超过了“中寒武世、晚寒武世”的总和,因此以三叶虫的出现把“下寒武统”再分成两个统比较合理。划出非三叶虫地层后,第2至第4统所在的地层也符合底界下延之前的寒武系概念;二是华南系统所有的阶的底界都用界线层型定义,绝大多数生物标志采用国际公认的“国际纽带点”,即有全球对比意义的点位,符合建立全球年代地层单位的要求,为我国竞争“金钉子”和建立全球标准年代地层单位创造了条件;三是华南系统寒武系的底界和顶界(奥陶系的底界)均采用全球标准,系的概念与全球寒武系完全一致。

华南年代地层研究也有力的地推动了我国全球寒武纪年代地层的研究,取得了一系列重要进展,包

表 1 华南、华北、塔里木寒武纪生物地层(带)对比

统	阶	华 南(本文)	华 北 ^[47,48]	塔 里 木 ^[37,42]
芙蓉统	牛车河阶	<i>Hysterolemus</i> (部分)	<i>Yosimuraspis</i> (部分)	<i>Hysterolemus</i> (部分)
		<i>Leiostrongylus constrictum</i> - <i>Shenjiawania brevis</i>	<i>Pseudokoldinioidia perpelis</i>	<i>Lotagnostus hedini</i>
		<i>Mictosaukia striata</i> - <i>Fatocephalus</i>	<i>Mictosaukia</i>	
		<i>Leiaagnostus</i> cf. <i>bexilli</i> - <i>Archaeuloma taoyuanense</i>		
		<i>Lotagnostus americanus</i>	<i>Changia</i>	<i>Lotagnostus americanus</i> - <i>Hedinaspis</i>
	桃源阶	<i>Probinacunaspis nasalis</i> - <i>Peichiasania hunanensis</i>	<i>Tsinania</i> - <i>Ptychaspis</i>	<i>Irvingella</i> - <i>Sinoproceratopyge</i> <i>kiangshanensis</i>
		<i>Eolotagnostus decorus</i> - <i>Kaolishaniella</i>	<i>Kaolishania</i>	
		<i>Rhaptagnostus ciliensis</i> - <i>Oncholotellus</i> cf. <i>kuruktagensis</i>	<i>Maladioidella</i>	
		<i>Agnostotes orientalis</i>	<i>Changshania</i>	
	排碧阶	<i>Tomagnostella orientalis</i> - <i>Corynexochus plumula</i>	<i>Chuangia</i>	<i>Glyptagnostus reticulatus</i> <i>Prochuangia</i>
		<i>Agnostus inexpectans</i> - <i>Proceratopyge protracta</i>		
		<i>Glyptagnostus reticulatus</i>	<i>Prochuangia</i> - <i>Paracoosia</i>	
武陵统	古丈阶	<i>Glyptagnostus stolidotus</i>	<i>Prochuangia</i> - <i>Paracoosia</i>	<i>Glyptagnostus stolidotus</i>
		<i>Linguagnostus reconditus</i>	<i>Neodrepanura</i>	<i>Buttsia</i> - <i>Acmarrhachis</i>
		<i>Proagnostus bulbosus</i>	<i>Blackwelderia</i>	<i>Lejopyge sinensis</i>
		<i>Lejopyge laevigata</i>	<i>Damesella</i> - <i>Yabeia</i>	<i>Lejopyge armata</i>
	王村阶	<i>Lejopyge armata</i>	<i>Liopisania</i>	
		<i>Goniagnostus nathorsti</i>	<i>Laitzia</i> - <i>Poshamia</i>	<i>Pseudophalacroma ovale</i>
		<i>Ptychagnostus punctuosus</i>	<i>Amphoton</i>	<i>Ptychagnostus punctuosus</i>
	台江阶	<i>Ptychagnostus atavus</i>	<i>Crepicephalina</i>	<i>Ptychagnostus atavus</i>
		<i>Ptychagnostus gibbus</i>	<i>Bailiella</i> - <i>Lioparia</i> <i>Poriagravulus</i> <i>Inouyops</i> <i>Metagravulus</i> <i>Sunaspis</i> - <i>Sunaspisidella</i> <i>Sinopagelia jinnanensis</i> <i>Ruichengaspis</i> <i>Hsuehuangia</i> - <i>Ruichengella</i>	(未建带)
		<i>Peronopsis taijiangensis</i>		
		<i>Oryctocephalus indicus</i>	<i>Shantungaspis</i>	
			<i>Yaojiayuela</i>	
黔东统	都匀阶	<i>Ovatoryctocara granulata</i> - <i>Bathynotus holopygus</i>	<i>Qiaotouaspis</i>	<i>Arthricocephalus</i> - <i>Changsapis</i>
		<i>Protoryctocephalus wuxunensis</i>	<i>Redlichia nobilis</i>	
		<i>Arthricocephalites taijiangensis</i>	<i>Redlichia</i> (<i>Pteroredlichia</i>) <i>chinensis</i>	
		<i>Arthricocephalus chauveaui</i>	<i>Palaeolemus</i> [= <i>Megapalaeolemus</i>]	
	南皋阶	<i>Arthricocephalus jiangkouensis</i>		<i>Tianshanocephalus</i>
		<i>Szechuanolemus</i> - <i>Paokannia</i>		<i>Ushbaspis</i> - <i>Chengkouia</i>
		<i>Ushbaspis</i>		
		<i>Hupei-discus</i> - <i>Sinodiscus</i>		
		<i>Tsuniyidiscus niutilangensis</i>		
滇东统	梅树村阶	<i>Sinosachites flabelliformis</i> - <i>Tannuolina zhangwentangi</i>	(缺失)	(未建带)
		贫化石带		
		<i>Watsonella crosbyi</i>		
		<i>Paragloborilus subglobosus</i> - <i>Purella squamulosa</i>		
	晋宁阶	<i>Anabarites trisulcatus</i> - <i>Protohertzina anabarica</i> (无化石层)		

括在湖南花垣排碧以球接子 *Glyptagnostus reticulatus* 的首现建立了寒武系内的首个“金钉子”——全球芙蓉统(含排碧阶)底界的“金钉子”,在湖南古丈罗依溪以球接子 *Lejopyge laevigata* 的首现建立了全球古丈阶底界的“金钉子”,创建了“芙蓉统”、“排碧阶”和“古丈阶”3 个新的全球年代地层单位;在湖南桃源-慈利区的剖面中识别出了 *Agnostotes orientalis* 和 *Lotagnostus americanus* 两个球接子的首现点位^[40],已被国际寒武系分会表决通过,成为分别定义全球寒武系第 9 阶和第 10 阶底界的标准^[45]。以上这些在华南所建立的全球年代地层单位、确立的“金钉子”和“国际纽带点”点位,均应被采纳到华南系统之中,因此有必要及时对华南的年代地层系统进行修订。另外,为了与在它的基础上形成的全球寒武系 4 统 10 阶的框架一致,也需要对华南的年代地层系统做必要的修订。经过修订后的华南系统^[22],已从原来的 4 统 9 阶修改为 4 统 10 阶,用全球古丈阶和排碧阶分别取代了西水阶和瓦尔岗阶,用芙蓉统取代了湖南统,在芙蓉统的顶部增加了牛车河阶并用“全球纽带点”*L. americanus* 的首现定义它的底界。本文又进一步将王村阶的底界从层型剖面(湖南永顺王村剖面)中的 *Ptychagnostus punctuosus* 首现位置下移到 *Ptychagnostus atavus* 首现位置,下移一个带,与全球鼓山阶底界一致。这样,除待定的全球第 2 阶的底界外,修订后的华南系统与全球 4 统 10 阶的系统已完全“接轨”(表 2)。

3 小结和展望

华南江南斜坡带是全球寒武系发育最好的地区之一,建有全球最完全和最精细的生物地层序列^[54],这个序列被国际寒武系分会在其官方的全球寒武系对比表中采纳^[55]并和华南寒武纪年代地层系统一道,被国际地层委员会接受为中国的标准^[1,55],在《国际地层表》中作为国际通用划分标准的全球寒武系划分框架,也是在它的基础上建立的^[56]。在华南确立的排碧阶和古丈阶底界的“金钉子”和创建的排碧阶、芙蓉统和古丈阶 3 个全球标准年代地层单位,都已进入了《国际地层表》。最近,全国地层委员会已经决定,编纂中的新版《中国地层表》,采用华南斜坡相区的寒武系年代地层(含生物地层)划分方案¹⁾。

在华南建立的生物地层序列和年代地层系统,

表 2 全球、华南寒武系年代地层系统及分阶的生物标志^{a)}

全球 ^[54]		华南(本文)		
统	阶	统	阶	
芙蓉统	第 10 阶	芙蓉统	牛车河阶	<i>Iapetognathus fluctivagus</i> 首现
	第 9 阶	芙蓉统	桃源阶	<i>Lotagnostus americanus</i> 首现
	排碧阶	芙蓉统	排碧阶	<i>Agnostotes orientalis</i> 首现
第 3 统	古丈阶	武陵统	古丈阶	<i>Glyptagnostus reticulatus</i> 首现
	鼓山阶	武陵统	王村阶	<i>Lejopyge laevigata</i> 首现
	第 5 阶	武陵统	台江阶	<i>Ptychagnostus punctuosus</i> 首现 <i>Ptychagnostus atavus</i> 首现
第 2 统	第 4 阶	黔东南统	都匀阶	<i>Oryctocephalus indicus</i> 首现
	第 3 阶	黔东南统	南皋阶	<i>Athricocephalus chauveau</i> 首现
纽芬兰统	第 2 阶	滇东统	梅树村阶	三叶虫首现
	幸运阶	滇东统	晋宁阶	<i>Aldanella attleboroensis</i> 首现 或 <i>Watsonella crosbyi</i> 首现 <i>Paragloborilus subglobosus</i> 首现
				<i>Tricophycus pedum</i> 首现

a) 表中右列的实线箭头所在的位置为“国际纽带点”(含“金钉子”)点位,虚线箭头为待定的“国际纽带点”

是建国以来我国地层学的最重要的成果之一,也得到了国际国内的承认和产生了重要的国际影响,但华南的生物和年代地层标准还有不尽人意的地方,为完善和优化这两个标准,需要加强以下 5 个方面的研究: (1) 黔东南剑河的八朗剖面 and 浙江江山的碓边剖面,都有竞争全球“金钉子”的实力,已分别被国际寒武系分会列为全球第 5 阶和第 9 阶的候选层型,进一步的深入研究有可能再为华南年代地层系统增加“金钉子”并把台江期和桃源期的地层转化为全球单位; (2) 在黔东南选择利剖面,开展南皋期的生物地层研究,将 *Hupei-discus-Sinodiscus* 带, *Ushbaspis* 带和

1) 全国地层委员会. 编制中国地层表及说明书实施细则. 2008. 1—14

Szechuanolenus-Paokannia 带优化到种级水平; (3) 根据小壳动物不适宜较深水环境的特点, 在滇东会泽大海、雨碌等地的剖面, 配合全球寒武系第 2 阶底界定义的研究, 重新研究梅树村阶(狭义)的底界, 尽可能使重新定义的“梅树村阶”与全球第 2 阶“接轨”(最

近中国^[57,58]和俄罗斯^[59]学者提议的 2 个定义全球第 2 阶的点位见表 2); (4) 在滇东剖面研究“贫化石带”的生物内容, 突破这段生物地层“空白”; (5) 在华南发现和研究含锆石的“火山灰层”, 使某些年代地层界线的年龄由我国自己的测年数据控制。

参考文献

- 1 Shergold J, Cooper R A. Cambrian Period. In: Gradstein F, Ogg J, Smith A, eds. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 147—163
- 2 孙云铸. 中国寒武纪地层划分问题. 地质学报, 1961, 41: 285—289
- 3 卢衍豪. 中国的寒武系. 见: 全国地层委员会, 主编. 全国地层会议学术报告汇编, 中国的寒武系. 北京: 科学出版社, 1962. 117
- 4 项礼文, 南润善, 郭振明, 等. 中国地层 4, 中国的寒武系. 北京: 地质出版社, 1981
- 5 Dames W. Cambrian trilobites of Liaoning Province. In: Richthofen F F, ed. China, Results of Own Journeys and Thereon Founded Studies, 4, Palaeontology (in German). Berlin: Dietrich Reimer, 1883. 3—33
- 6 Mansuy H. Geology of eastern yunnan, Part 2: Palaeontology (in French). Mémoires du Service Géologique de l'Indochine, 1912, 1: 1—146
- 7 Salvador A. International Stratigraphic Guide—A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology and Procedure. Boulder: IUGS & GSA, Inc., 1994
- 8 彭善池, 周志毅, 林天瑞, 等. 寒武纪年代地层研究现状和研究方向. 地层学杂志, 2000, 24: 8—17
- 9 陈志明. 扬子地台早古生代碳酸盐重力流的地质背景探讨. 地质科学, 1991, 4: 337—345
- 10 卢衍豪. 贵州三都上寒武纪三叶虫动物群的发现及其意义. 古生物学报, 1954, 2: 117—152
- 11 杨家骥. 湘西、黔东中、上寒武统及三叶虫动物群. 见: 中国地质科学院地层古生物论文集编委会, 主编. 地层古生物论文集, 第 4 辑. 北京: 地质出版社, 1978. 1—83
- 12 Peng S C. Cambrian-Ordovician boundary in the Cili-Taoyuan border area, northwestern Hunan with description of relative trilobites. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, ed. Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China, Cambrian—Ordovician Boundary (1). Hefei: Anhui Science & Technology Publishing House, 1984. 285—405
- 13 彭善池. 湖南慈利及桃源晚寒武世早期地层及三叶虫动物群. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所, 主编. 中国科学院南京地质古生物研究所研究生论文集(1). 南京: 江苏科学技术出版社, 1987. 53—134
- 14 Peng S C. Upper Cambrian Biostratigraphy and Trilobite Faunas of Cili-Taoyuan Area, Northwestern Hunan, China. Mem Assoc Austral Palaeontol, 1992, 13: 1—119
- 15 卢衍豪, 林焕令. 浙江西部寒武纪三叶虫动物群. 中国古生物志, 新乙种第 25 号(总号第 178 册). 北京: 科学出版社, 1989
- 16 Peng S C, Robison R A. Agnostoid biostratigraphy across the Middle-Upper Cambrian boundary in Hunan, China. J Paleont, 2000, 74 (Suppl): 1—104[doi]
- 17 袁金良, 赵元龙, 李越, 等. 黔东南早、中寒武世凯里组三叶虫动物群. 上海: 上海科学技术出版社, 2002
- 18 Peng S C, Babcock L E, Lin H L. Polymerid Trilobites From the Cambrian of Nothwestern Hunan, China, Volume 1, Corynexochida, Lichida, and Asaphida; Volume 2, Ptychopariida, Eodiscida, and Undetermined Forms. Beijing: Science Press, 2004
- 19 罗惠麟, 蒋志文, 唐良栋. 中国下寒武统建阶层型剖面. 昆明: 云南科技出版社, 1994
- 20 Steiner M, Li G X, Qian Y, et al. Neoproterozoic to early Cambrian small shelly fossil assemblages and a revised biostratigraphic correlation of Yangtze Platform (China). Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol, 2007, 254: 67—69[doi]
- 21 彭善池. 斜坡相寒武系. 见: 中国科学院南京地质古生物所, 主编. 中国地层研究二十年(1979—1999). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000. 23—38
- 22 彭善池. 华南寒武系年代地层系统的修订及相关问题. 地层学杂志, 2008, 32: 239—245
- 23 叶戈洛娃, 项礼文, 李善姬, 等. 贵州及湖南西部寒武纪三叶虫动物群. 地质部地质科学院专刊, 乙种, 地质学和古生物学, 1963, 3: 1—117
- 24 周志毅, 袁金良, 张正华, 等. 贵州寒武纪地层的分类和对比. 地层学杂志, 1980, 4: 273—281
- 25 林天瑞. 湖南桃源中寒武世地层及三叶虫的研究. 古生物学报, 1991, 30: 369—376
- 26 董照平. 湖南花垣中寒武世晚期至晚寒武世早期球接子类. 古生物学报, 1991, 30: 439—457
- 27 彭善池. 湖南桃源、慈利一带的晚寒武世地层及三叶虫序列. 地层学杂志, 1990, 14: 261—276
- 28 Dong X P, Repetski J E, Bergström S M. Conodont biostratigraphy of the Middle Cambrian through lowermost Ordovician in Hunan, South China. Acta Geol Sin, 2004, 78: 1185—1260
- 29 Peng S C, Babcock L E, Zuo J X, et al. Proposed GSSP for the base of Cambrian Stage 7, coinciding with the first appearance of *Lejopyge laevigata*, Hunan, China. Palaeoworld, 2006, 15: 367—383[doi]

- 30 Peng S C, Babcock L E, Zuo J X, et al. Proposed GSSP for the base of Cambrian Stage 9, coinciding with the first appearance of *Agnostotes orientalis*, at Duibian, Zhejiang, China. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2009, 52: 434—451 [\[doi\]](#)
- 31 Yuan J L, Zhao Y L, Peng J, et al. Cambrian trilobite *Ovatoryctocara granulata* Tchernysheva, 1962 and its biostratigraphic significance. *Prog Nat Sci*, 2009, 19: 213—221 [\[doi\]](#)
- 32 张文堂, 卢衍豪, 朱兆玲, 等. 西南地区寒武纪三叶虫动物群. 中国古生物志, 新乙种第 16 号(总号第 159 册). 北京: 科学出版社, 1980
- 33 周天梅, 林天瑞. 早寒武世三叶虫. 见: 湖北省地质局三峡地层研究组, 主编. 峡东地区震旦纪至二叠纪地层古生物. 北京: 地质出版社, 1978. 143—154
- 34 张太荣. 三叶虫纲. 见: 新疆地质局区域地质调查大队, 新疆地质局地质研究所, 新疆石油局地质调查处, 主编. 西北地区古生物图册, 新疆分册(一). 北京: 地质出版社, 1981. 134—213
- 35 Keller B M, Pokrovskaya N V. New information about the age of the phosphorites in Karatau (in Russian). *Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Ser Geol*, 1965, 6: 78—79
- 36 姚路, 彭进, 傅晓平, 等. 贵州中寒武世凯里组生物群双刺吐桌虫(*Tuzoia bispinosa*)个体发育的研究. 古生物学报, 2009, 48: 56—64
- 37 林焕令, 陈挺恩, 袁金良, 等. 寒武系. 见: 周志毅, 主编. 塔里木盆地各纪地层. 北京: 科学出版社, 2001. 12—38
- 38 Ergaliev G K. Middle and Upper Cambrian Trilobites from Malyy Karatau (in Russian). Alma-Ata: Science Press of Kazakhstan SSR, 1980
- 39 Jago J B. Late Middle Cambrian agnostid trilobites from the Gunns Plains, northwestern Tasmania. *Pap Proceed Roy Soc Tasmania*, 1976, 110: 1—18
- 40 Peng S C, Babcock L E. Two Cambrian agnostoid trilobites, *Agnostotes orientalis* (Kobayashi, 1935) and *Lotagnostus americanus* (Billings, 1860): Key species for defining global stages of the Cambrian System. *Geosci J*, 2005, 9: 107—115 [\[doi\]](#)
- 41 Cooper R A, Nowlan G S, Williams S H. Global stratotype section and point for base of the Ordovician System. *Episodes*, 2001, 24: 19—28
- 42 周志毅, 陈旭, 王志浩, 等. 奥陶系. 见: 周志毅, 陈丕基, 主编. 塔里木生物地层和地质演化. 北京: 科学出版社, 1990. 56—130
- 43 Weidner T R, Ahlberg P, Axheimer N, et al. The middle Cambrian *Ptychagnostus punctuosus* and *Goniagnostus nathorsti* zones in Västergötland, Sweden. *Bull Geol Soc Denmark*, 2004, 50: 39—45
- 44 Axheimer N, Eriksson M E, Ahlberg P, et al. The Middle Cambrian cosmopolitan key species *Lejopyge laevigata* and its biozone: New data from Sweden. *Geol Mag*, 2006, 143: 447—455 [\[doi\]](#)
- 45 Babcock L E, Peng S C, Geyer G, et al. Changing perspectives on Cambrian chronostratigraphy and progress toward subdivision of the Cambrian System. *Geosci J*, 2005, 9: 101—106 [\[doi\]](#)
- 46 Black M R, Pell J S. Cambrian trilobite from North Greenland. *Medd Grønland Geosci*, 1997, 35: 1—145
- 47 Zhou Z Y, Zhen Y Y. Trilobite Record of China. Beijing: Science Press, 2008
- 48 段吉业, 安素兰, 刘鹏举, 等. 华北板块东部寒武纪地层、动物群及古地理. 香港: 雅园出版公司, 2005
- 49 Cowie J W, Ziegler W, Boucot A J, et al. Guidelines and Statutes of the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Cour Forsch-Inst Senckenberg*, 1986, 83: 1—14
- 50 Remane J, Bassett M G, Cowie J W, et al. Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Episodes*, 1996, 19: 77—81
- 51 Robison R A, Rosova A V, Rowell A J, et al. Cambrian boundaries and divisions. *Lethaia*, 1977, 10: 257—262 [\[doi\]](#)
- 52 Peng S C, Zhou Z Y, Lin T R. Late Middle-Late Upper Cambrian chronostratigraphy of China. In: Ahlberg P, Eriksson M, Olsson I, eds. IV Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Group, International Subcommittee on Cambrian Stratigraphy, Sweden, 24-31 Aug 1998. Lund: The Geolibrary, Lund University, 1998. 25
- 53 彭善池, 袁金良, 赵元龙. 台江阶——我国寒武系一个新的年代地层单位. 地层学杂志, 2000, 24: 56—57
- 54 Peng S C, Babcock L E. Cambrian Period. In: Ogg J, Ogg G, Gradstein F, eds. *The Concise Geologic Time Scale*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 37—46
- 55 Geyer G, Shergold J. The quest for internationally recognized division of Cambrian time. *Episodes*, 2000, 23: 188—195
- 56 彭善池. 全球寒武系年代地层新划分. 中国科学院院刊, 2006, 21: 325—328
- 57 Li G X, Zhu M Y, Zhang J M, et al. Bio- and Carbon isotope stratigraphy of the lower Cambrian in eastern Yunnan and the subdivision of the first Series of the Cambrian. In: Jago J B, ed. South Australia 2006, XI International Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Group, 2006, August 14—24, South Australia. Geological Adelaide: Geological Society of Australia, South Australian Division, 2006. 20
- 58 Zhu M Y, Zhang J M, Yang A H, et al. The first Series of the Cambrian of South China: Subdivision and Correlation. In: Jago J B, ed. South Australia 2006, XI International Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Group, 2006, August 14—24, South Australia. Geological Adelaide: Geological Society of Australia, South Australian Division, 2006. 43—44
- 59 Varlamov A I, Rozanov A Yu, Khomentovsky V V, et al. The Cambrian System of the Siberian Platform, Part 1: The Aldan-Lena Region. Moscow, Novosibirsk: PIN RAS Press, 2008