

从综合地层学的观点论确定全球界线层型剖面点(GSSP)的步骤和方法*

王训练**

(中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 中国科学院南京地质古生物研究所
现代古生物学与地层学开放研究实验室, 南京 210008)

摘要 从综合地层学的观点出发讨论并提出了确定全球界线层型剖面点(GSSP)的步骤和方法, 是对现行确定 GSSP 方法的补充和完善. 用这种方法确定 GSSP, 不仅使地层界线更好地反映包括生物发展阶段性在内的“地球历史演化重大自然变化”, 而且使地层界线的识别和对比更具有可操作性, 还使地层界线标准的选择更具有客观性.

关键词 全球界线层型剖面点 初始海泛面 综合地层学 年代地层学 理论地层学
层序地层学

全球界线层型剖面点(Global Boundary Stratotype Section and Point, 缩写为 GSSP)^[1,2]是现代确定地层界线标准的主要手段, 对于稳定地层划分、统一认识、促进交流并为地质学其他学科提供相对稳定的地质年代表等, 均具有重要意义. 建立 GSSP 从一个侧面反映了一个国家和地区地层学的研究水平. 所以, 争取在自己的国家和研究地区建立更多的 GSSP 成为各国地层学界和古生物学界努力争取的一个焦点.

中国地层发育齐全, 沉积类型多样, 化石丰富, 研究程度高, 在许多地层界线的 GSSP 竞争方面具有得天独厚的优势. 近 20 多年来, 中国学者开展了广泛深入的 GSSP 研究, 取得了一系列重要成果. 特别是浙江长兴煤山剖面^[3]和浙江常山黄泥塘剖面^[4,5]已分别被确定为中生界底界和中奥陶统 Darriwilian 阶底界的 GSSP, 表明我国在地层学研究领域内不仅与国际接轨, 而且在许多方面已经进入国际先进行列, 为我国地层学和地质学研究赢得了很高的国际声誉.

尽管我国在 GSSP 研究方面已经取得了举世瞩目的成果, 但与中国地层发育的连续性和分布的广泛性还不适应. 这一方面与研究程度和研究水平有关, 另一个重要原因是目前采用的确定 GSSP 的程序和方法^[6-8]的影响. 所有 GSSP 都要投票决定^[6-8]. GSSP 的竞争包括界线定义的选择和 GSSP 的确定两个环节. 事实上, GSSP 的竞争首先是选择界线定义. 目前采用的确定 GSSP 的程序和方法中, 界线定义的选择和 GSSP 的确定缺乏十分明确的客观标准, 包含了一些人为因素甚至地缘政治因素, 使中国地层研究的一些优势未能得到应有的发挥. 只有加强 GSSP 研究理论与方法的研究, 深入探讨确定 GSSP 的客观标准, 才能充分发挥中国地层在竞争 GSSP 中的优势.

2001-11-29 收稿

* 国家自然科学基金(批准号: 40172014)、国家“九五”攀登计划专项(批准号: 95-专-04)和中国科学院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课题基金(批准号: 013101)联合资助

** E-mail: wxl@cuqb.edu.cn

1 生物地层学面临的挑战

尽管国际地层委员会对全球界线层型剖面有诸多要求^[6~8], 但至今全球显生宙以来“阶”的 GSSP 都是以生物地层学为主要依据确定的, 其他地层学方法基本上都处于从属地位, 没有得到应有的重视. 生物地层学在大区域地层对比方面确实一直发挥着重要作用. 然而, 生物地层单元的特点决定了单一生物地层学方法在地层划分对比中的局限性. 首先是一个化石带的底界不易确定^[9]. 大量事实证明, 生物地层学很难确认一个化石带的底界究竟位于何处. 生物的迁移(图 1)、化石的形成与保存、沉积相变化以及生物地层的研究程度等(图 2)都会影响一个化石带下界位置的确定. 一些学者为了确保标准分子在层型剖面上首次出现的位置代表在全球范围内首次出现的位置, 强调在界线层型剖面上要找到标准分子与其祖先之间的过渡类型. 选择地层连续、岩性单一、岩相和化石内容没有急剧变化的层位作为 GSSP, 要求层型剖面上出现过渡类型生物群, 其指导思想实质上是比较典型的渐变论; 在实践上, 标准分子与其祖先之间的过渡类型在剖面上确实极难找到. 其次, 生物地层界线具有一定的穿时性, 不易进行精确对比(图 3). 即使在同一盆地范围内, 同一时期不同部位环境因素并非完全一致, 同一种生物或生物组合在各地出现和消失的时间也有一定差异. 长期以来习惯于用生物地层这种具有一定穿时性的单元来标志等时面, 实际上对比误差有时可以达到近乎一个生物带(图 3 中 A 和 B 两地同一化石带对比误差近乎一个化石带). 有些地层对比问题长期争论不休, 一个重要的原因就是生物地层单元这种穿时的界线作为地层对比的等时标志. 另外, 沉积环境不同引起生物群生态分异使不同相区地层无法进行直接的生物地层对比(图 2). 地层中化石在纵向上分布的不连续性使生物地层单元不能连续划分. 在化石贫乏的地层中生物地层学的分辨率是极其有限的. 化石在保存过程中由于各种自然作用的影响会使化石带合并、混合, 也造成生物地层对比的困难. 生物地层学方法还无法检验自己的正确性和对比精度. 诚如 Charles Pomeroy et al.^[10]指出的那样, 正是由于生物地层学方法在地层对比方面“明显优于其他方法(地质年代学方法例外), 地层工作者往往过于盲目地相信它. 岂不知, 如同所有其他方法一样, 也应对它持分析的态度.”

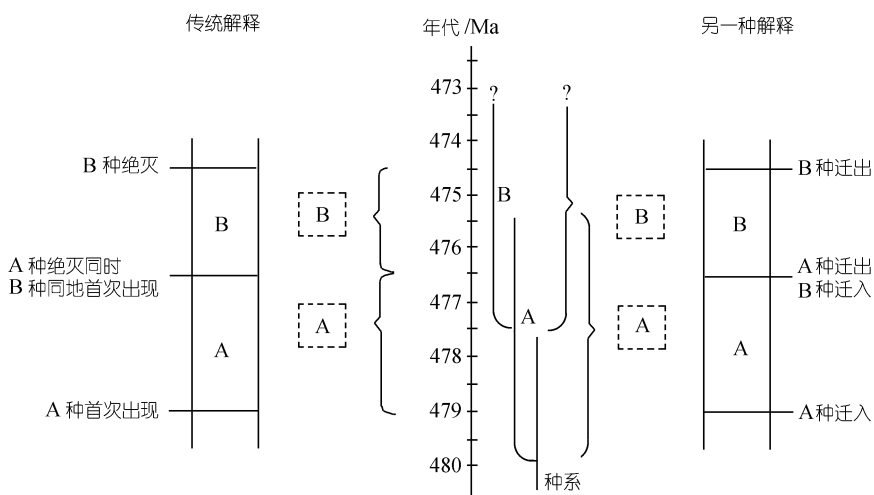


图 1 用于年代地层对比的化石时限和成种事件的两种不同解释 (据文献[11])

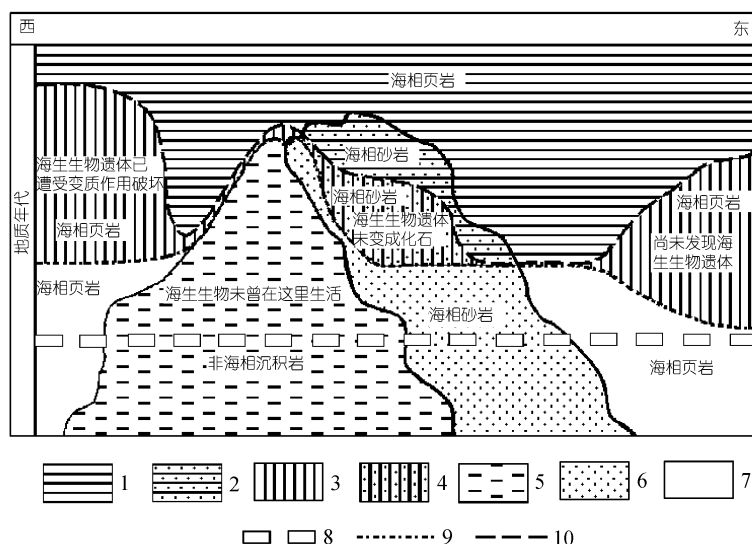


图 2 一个海相化石分类单元原来的产出下限和目前已知的产出下限与等时面(年代地层面)的关系及其局部变化的可能原因

1. 海相页岩, 海生生物在此生活过, 并保存成化石; 2. 海相砂岩, 海生生物在此生活过, 并保存成化石; 3. 海相页岩, 海生生物在此生活过, 但遗体已不复存在; 4. 海相砂岩, 海生生物在此生活过, 但遗体已不复存在; 5. 非海相沉积岩, 海生生物未曾在这里生活过; 6. 海相砂岩, 海生生物未曾在这里生活过; 7. 海相页岩, 海生生物未曾在这里生活过; 8. 理想的等时线; 9. 原来海生生物遗体沉积的下限; 10. 海相化石已知产出的下限(目前已知海相化石带的下限)

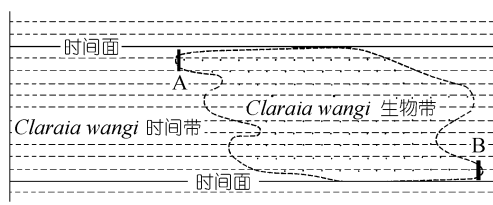


图 3 *Claraia wangi* 时间带和 *Claraia wangi* 生物带之间的关系(据文献[1]修改)

Claraia wangi 标本的分布区用小点表示, 示生物地层单元界线的穿时性

2 综合地层学在恢复地球演化自然节律方面的意义

地球历史的阶段性演化和地球演化的自然节律是建立地质年代表(国际地层表)的基础, 地质年代表应力求全面反映地球演化的自然阶段和自然节律。地球演化的阶段性表现在地层各种特征和属性发展的阶段性和自然节律^[12]。地史时期各种类型和不同级别的自然节律相互作用、相互影响, 使地球节律在地层中的表现

极其复杂。有时相互干扰, 导致一些节律削弱甚至消失; 有时相互耦合, 使一些节律的强度增大, 周期也会发生变化。地球各种自然节律中, 在一定的时空范围内必然有一种起着主导作用, 其存在和发展决定和影响其他节律的存在和发展。地层是地史时期地球各种自然节律的综合记录。任何一种地层学方法研究的都是地层特征和属性的一个方面, 难于全面反映地球演化的自然节律。只有全面研究各种地层特征及它们之间的相互联系, 进而确定主导因素, 才能正确恢复地球演化自然节律。

Wang et al.^[13] 按地层单元界线穿时与否将地层学的分支学科大致分为两类。一类是生物地层学, 其地层单元具有不可重复的性质, 在建立地层序列和确定地层时代方面具有相对的独立性, 是地层学的基础。生物地层学的不足之处在于生物地层单元界线一般都有一定程度

的穿时性, 不易进行精确对比(图 2, 3)。另一类包括事件地层学、层序地层学、生态地层学、磁性地层学, 还有稳定同位素地层学和地震地层学等。这一类分支学科都以突发性瞬时事件的地质记录作为地层划分对比的依据, 建立的地层单元界面一般都表现为自然界线, 不仅分布广, 可识别性强, 易于操作, 而且在理论上都是严格等时的, 可用于精确标定地层单元界线并进行跨相区大范围甚至全球性高精度地层对比。这就弥补了生物地层学由于化石带穿时和环境对生物分布的控制等因素造成的难以进行地层精确对比的不足。然而这些地层单元缺乏独立的年代标志, 并可在地史时期重复出现, 其时代和序列的确定只能依赖于生物地层学和同位素年代学。一般来说, 只有在生物地层确定的地层序列格架内, 其他地层学方法才能有效地用于高精度地层对比。

综合地层学^[14-17]充分利用地层中的各种物理、化学和古生物特征划分对比地层, 以多重地层划分为基础, 运用各种地层学研究手段, 在单学科深入研究的基础上进行多学科的综合, 建立各种地层单元之间内在的成因联系和时空关系, 揭示地球沉积圈的各种演化节律及其相互关系。在根据生物地层学建立的地层格架内, 利用事件地层界线和其他严格等时的自然界线详细划分、精确对比地层。这就可能正确恢复地球演化自然节律并在此基础上建立全面反映地球演化自然阶段的地质年代表, 为实现高分辨、高精度地层划分对比提供一个有效的途径。

3 确定 GSSP 的步骤和方法

《国际地层指南》^[1,2]指出, “阶”的界线层型必须选择在连续沉积(最好海相)的序列之内, 而且其顶、底界的界线层型应当和作为等时面、能易于识别和长距离追索的生物带这样的明显标志面在一起。《国际地层指南》一方面认为“最坏的可能界线就是一个不整合; 因为它不但不代表时间上一明显点, 而且倾向于侧向延伸年龄改变。”同时又指出: “如果地球历史演化重大的自然变化(‘自然间断’)能与连续沉积序列中特殊的点一致的话, 这些点就可以构成合乎需要的阶的界线层型点”。这从一个侧面反映了在确定 GSSP 的方法上存在着强调单一岩性连续沉积和重视自然界线的两种不同观点和表达方式。实际上, 这也充分说明界线层型和自然界线不仅是相互联系的, 而且它们之间应当是相互统一的。越来越多的事实证明, 在选择“阶”的 GSSP 方面, 强调地层连续沉积固然重要, 但所选定的 GSSP 应能反映“地球历史演化重大自然变化”更为重要^[18]。

国际地层委员会^[6-8]虽然也指出 GSSP 应与一些最具有对比潜力的标志性事件联系起来, 以利于对比, 但又要求“界线附近没有纵向相变”, 认为“岩相或生物相的变化反映了生态条件的变化, 可能控制了界线层上某一特定种的出现。岩性的突然变化可能与一间断相对应。一条明显的界线可能就有可疑之处。”^[6-8]。在这种思想指导下, 选择界线要求最大限度地避开自然事件的影响。在具体实践中, 过分强调沉积的连续而相对忽视了地质事件及其形成的自然界面的重要意义, 方法上又较单纯地依靠生物地层方法, 强调了重要标志化石属种首次出现的重要性, 因而所建立的年代地层界线标准的地质标志不明显, 在野外难于识别和对比, 在实际工作中不易操作。由此导致 GSSP 的研究在标志点层位、标志化石和地点的选择上引起了许多争论^[9, 19-21]。

从已经确定的 40 多条界线的 GSSP 完成情况来看, 一些 GSSP 的定义过份强调了沉积的连续性, 没有能够很好地反映生物发展的阶段性这一“地球历史演化重大自然变化”, 其生物

学标志不明显. 这类 GSSP 确定后争议都比较大, 人们对其合理性表示怀疑, 要求修改界线定义. 如奥陶-志留系界线^[22,23]和中-上泥盆统界线^[24]的 GSSP, 就是明显的实例.

广义的事件地层界线一般表现为自然界线, 代表地层发育的阶段性和突变点. 自然界线广泛存在于地层中, 既可以表现为沉积不连续, 同时也普遍存在于连续沉积中. 在连续沉积相区, 自然界线不仅易于识别, 而且通常具有严格的等时性, 在地层划分和对比上具有十分重要的意义. 因此, 在生物地层学建立的地层格架内, 自然界线不仅可以作为详细划分精确对比地层的重要依据, 而且可以作为定义和识别 GSSP 的重要参考标准, 还可能间接地用于检验生物地层的正确性和对比精度.

从综合地层学的观点来看, GSSP 应全面反映地球阶段性发展的自然节律, 即“地球历史演化重大的自然变化”, 选择 GSSP 不但不应有意地避开自然界线, 而且应当尽量把 GSSP 和那些与生物辐射事件和生物爆发事件相一致的自然界线联系起来.

因此, 确定 GSSP 的方法和步骤应该包括下列方面:

(1) 全面深入研究地层的各种特征和属性以及它们所记录的地球历史演化的自然节律, 建立反映地球历史节律的高分辨地层单元, 在单学科深入研究的基础上进行多学科高度综合, 确定各种地层单元之间及不同类型地球历史节律之间的时空联系和成因关系. 除了详细的生物地层研究外, 还应包括磁性地层学、层序地层学、生态地层学、旋回地层学、化学地层学和同位素年代地层学等方面的研究. 最近确定的二叠-三叠系 GSSP^[3]当属多学科综合研究的典范.

(2) 在浅海相区寻找代表“地球历史演化重大自然变化”的“自然间断”, 这些“自然间断”一般都是层序界面, 它们往往包含着地球阶段性演化的突变点或转折点.

(3) 从浅海相区向斜坡相区和半深海相区方向追索, 寻找与浅海相区的“自然间断”时限一致的连续沉积序列. 20 世纪 70 年代以前, 我国将石炭-二叠系界线置于 *Pseudoschwagerina* 带与 *Misellina* 带之间. 后来的研究证明这两个化石带不是连续沉积的两个相邻化石带, 它们之间存在明显的“自然间断”. 而与 *Pseudoschwagerina* 带和 *Misellina* 带之间“自然间断”时限对应的连续沉积序列广泛分布于贵州、广西、云南和湖南等地. 另一个实例如图 5 所示, Guadalupian 统和乐平统之间在全球不少地区表现为“自然间断”, 均有不同程度的地层缺失, 生物带发育不全. 通过详细地生物地层对比和追索研究发现, 在广西蓬莱滩可以找到 Guadalupian 统和乐平统界线附近生物带发育最全的剖面, 这里的沉积连续, 当属与“自然间断”时限一致的连续沉积序列.

(4) 在 GSSP 研究中, 选择哪个生物带作为阶的底界标准, 经常引起争论. 王训练等^[18,25]提出 GSSP 应选择在层序初始海泛面之上第一个广泛分布的化石带底界. 王鸿祯等^[26]认为, 阶的底界最好建立在形成于最低海平面时期的一段地层中. 因此, 需要在斜坡相区和半深海相区的连续沉积序列内, 寻找与“自然间断”中最大海退点时限一致的层位. 这个层位一般位于层序的低位体系域或陆架边缘体系域之中. 层序地层学的创新点之一是将地层序列中相互对立的不整合面与与之相当的整合面相互联系和统一起来, 以同时包含两者在内的层序界面来划分和对比地层. 按照定义, 层序是以不整合或与不整合相当的整合为界的一套有成因联系的相对整合的地层^[27](图 4). 在向陆一侧, 层序界面表现为不整合面, 界面上下岩性和生物标志都很显著. 在向海一侧沉积连续的外陆架、斜坡和盆地相沉积剖面上, 层序界面表现为整合

面, 以位于较深水沉积序列之内的最低水位期的沉积为标志. 这个层位的形成时期也就是“自然间断”所对应和包含的最低海平面时期. 层序地层的几个关键界面不仅保持了自然界线易于识别和追索的优点, 而且在理论上都具有等时性. 因此, 层序地层学研究可以作为桥梁和纽带把浅海相区内的“自然间断”和连续沉积序列内与浅海相区“自然间断”时限一致的层位联系起来. 在整合部位层序界面除可按层序地层分析的方法加以识别外, 还可以通过生物标志予以识别和验证(图 5). 如图 5 所示, 在 Guadalupian 统和乐平统界线附近生物带发育最全的蓬莱滩剖面上, 存在着在其他剖面上都缺失的 *C. postbitteri* 生物带. 这个生物带附近可能就是与“自然间断”时限内最大海退点时限一致的层位.

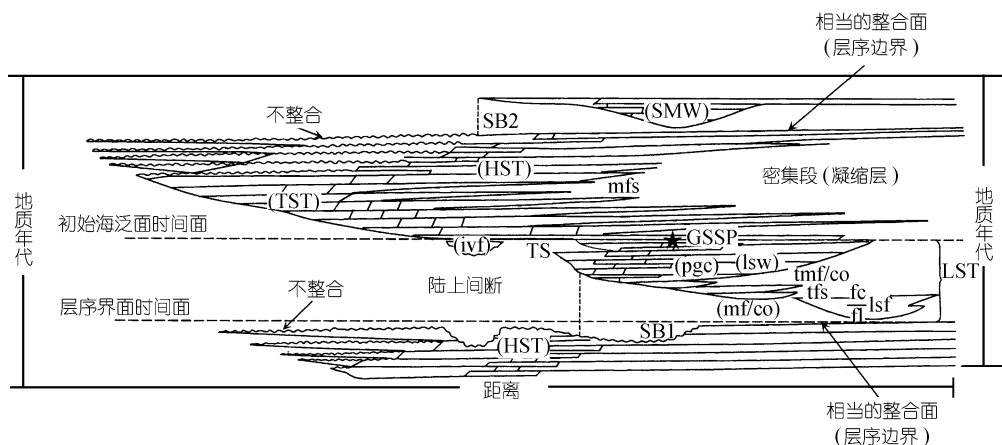


图 4 层序地层格架模式图及其中的等时面 (据文献[25])

SB1, 1 型界面; SB2, 2 型界面; mfs, 最大海泛面; TS, 海进面; tfs, 扇顶面, tmf/co, 块状流/水道越岸面; HST, 高位体系域; TST, 海进体系域(含 ivf 深切谷充填); LST, 低位体系域; ivf, 深切谷充填, pgc, 进积复合体; lsw, 低位楔, mf/co 块状流/水道越岸沉积; lsf, 低位扇(fc, 扇面水道, fl, 扇舌状体); SMW, 陆架边缘体系域

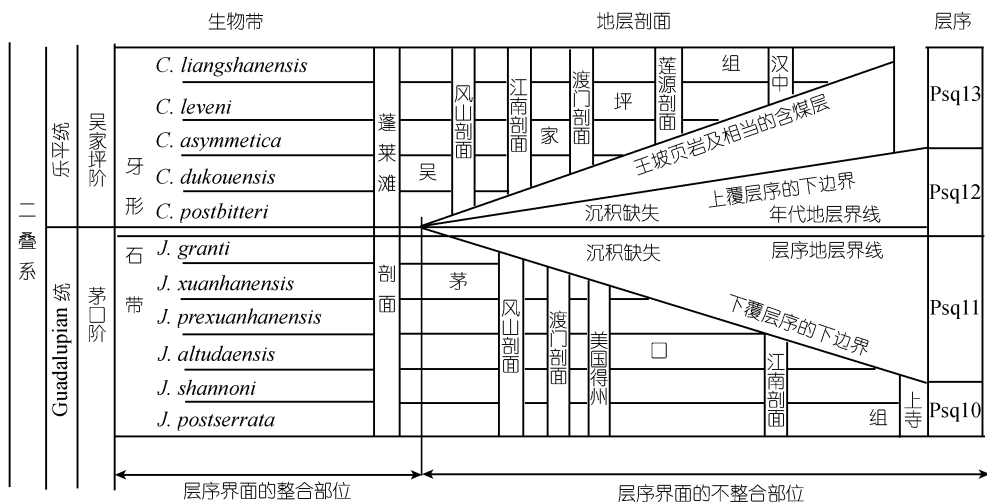


图 5 二叠系茅口阶与吴家坪阶界线附近层序地层与年代地层和岩石地层界线的关系示意图 (据文献[28]修改)

(5) 在斜坡相区和半深海相区的连续沉积序列内与“自然间断”中最大海退点时限一致的层位之上寻找与自然界线密切相关的生物辐射事件和生物爆发事件. 从综合地层学的观点来看, 与生物辐射事件和生物爆发事件相联系的自然界线通常是层序地层的初始海泛面和最大海泛面. 王训练等^[18]根据层序的关键界面、海平面变化与生物群演替之间的相互关系(图 6), 提出层序的初始海泛面可以作为选择 GSSP 的重要参考标准, GSSP 应选择在层序初始海泛面之上第一个广泛分布的化石带底界.

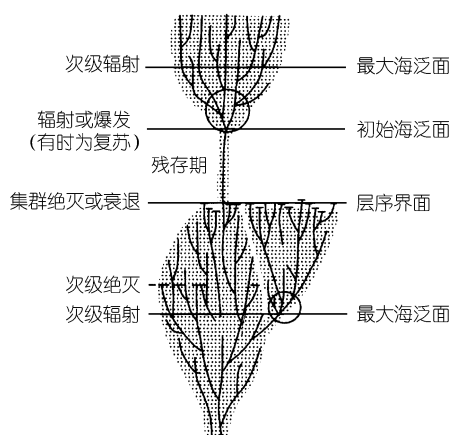


图 6 三级层序关键界面上生物界的演化
(据文献[25])

事件是生物演化自然阶段的分界标志(图 6). 因此, 层序的初始海泛面应是选择 GSSP 的一个重要参考标准, GSSP 的生物地层学定义应选择在初始海泛面之上第一个广泛分布的化石带底界^[18]. 这样既符合 Hedberg^[1], Salvador^[2], Cowie 等^[6,7], Remane 等^[8]和 Bassett^[22]提出的确定 GSSP 的标准, 又可以最大限度地维护年代地层表的稳定性, 还大大提高了年代地层界线标准的可识别性, 有利于全球精确对比.

(6) 在任何生物辐射事件和生物爆发事件上几乎同时有许多门类的生物繁盛起来. 如在二叠纪和三叠纪界线上, 同时繁盛起来的有牙形石、菊石和双壳类等. 可根据全球范围内详细研究对比, 以地理分布最为广泛的属种出现的下界作为 GSSP 的定义, 以利于远距离生物地层对比, 提高 GSSP 的对比潜力. 正是由于牙形石分布广、演化快, 因而成为建立上古生界至三叠系 GSSP 的主导门类.

(7) 目前仅在个别剖面上发现定义年代地层界线的首要标准类群首次出现的位置与层序的初始海泛面完全一致. 大量的情况是首要标准类群首次出现的位置常不同程度地高于其所在层序的初始海泛面^[18]. 从初始海泛面到首要标准类群首次出现位置这一段地层中没有标准类群化石出现, 至少有下列几种可能的原因: 1) 当时标准类群的生物物种没有形成, 即标准类群物种的形成相对于初始海泛面稍微滞后; 2) 标准类群的生物物种已经形成, 但没有迁移到此地; 3) 标准类群的生物物种已经形成也已经迁移到此地, 但由于各种原因而没有形成化石; 4) 标准类群的生物物种已经形成也已经迁移到此地, 并已经形成化石, 但由于研究程度所限还没有找到它出现的最低层位(图 2). 遗憾的是, 地层学家和古生物学家目前还无法确定

研究表明, 已经确定的 GSSP 中, 相当一部分选择在层序初始海泛面之上第一个广泛分布的化石带底部. 这类 GSSP 确定后一般争议都比较小. 另一部分选择在层序的海进体系域中, 高于初始海泛面至少一个生物带或生物亚带. 这类 GSSP 确定后争议都比较大, 人们对其合理性表示怀疑, 要求修改界线定义.

在地层连续沉积区, 初始海泛面上下的地层沉积序列在结构上虽然发生了显著的变化, 有明显的物理标志, 表现为自然界线, 但地层沉积过程仍然是连续的. 理论上, 层序的初始海泛面具有等时性. 另外, 初始海泛面之上生物的重要辐射演化或爆发式演化

究竟是哪种原因造成标准类群首次出现的位置和初始海泛面位置的差异, 因而一般也难于确定标准类群化石带的最底界究竟在何处. 同时, 由于测年技术等方面的限制, 尚不能精确地估算各剖面上的沉积速率. 因此, 目前还很难确定标准类群在哪个剖面上出现最早.

研究表明, 不论受到上述何种因素的影响, 定义 GSSP 标准类群首次出现的位置均不低于其所在层序的初始海泛面, 即初始海泛面是标准类群分布的最低界线, 可以把初始海泛面看成是定义 GSSP 标准类群首次出现的最低位置. 考虑到生物地层界线有一定程度的穿时性, 各剖面上地层的沉积速率也不易确定, 难于确定标准分子出现的最早地区和最低层位. 在目前情况下, 可以在同样沉积古地理背景(通常是大陆斜坡或半深海环境)下连续沉积序列中选择标准分子化石带底界和其下层序初始海泛面之间距离最短的剖面作为界线层型剖面, 该剖面上标准分子首次出现的位置便是理想的 GSSP.

在几个曾作为二叠-三叠系界线的候选层型剖面上, *H. parvus* 带首次出现的位置均高于层序初始海泛面. *H. parvus* 带的底界在浙江长兴煤山剖面上高于初始海泛面 8 cm^[29], 在四川广元上寺剖面上高于初始海泛面 40 cm^[30], 在克什米尔 Guryul 谷剖面上高于初始海泛面约 600 cm^[31]. 显然, 以浙江长兴煤山剖面作为二叠-三叠系界线的 GSSP 无疑是最佳选择.

同一层序初始海泛面是全球等时的, 初始海泛面又有明显的生物标志和物理标志, 因此, 标准分子化石带底界之下层序的初始海泛面可作为定义、识别和对比 GSSP 的重要参考标准. 在综合地层学研究的基础上, 用层序的初始海泛面作为选择地层界线定义和确定 GSSP 的参考标准, 是对现行确定 GSSP 方法的补充和完善, 不仅使地层界线能够更好地反映包括生物发展的阶段性在内的“地球历史演化重大的自然变化”, 而且使地层界线标准的选择更具有客观性, 也使地层界线的识别和对比更具有可操作性.

纵上所述, 可将确定 GSSP 的步骤和方法简单归纳为以下几点: (1)全面深入研究地层的各种特征和属性以及它们所记录的地球历史演化的自然节律, 建立反映地球历史节律的高分辨地层单元, 在单学科深入研究的基础上进行多学科高度综合, 确定各种地层单元之间及不同类型地球历史节律之间的时空联系和成因关系; (2)在浅海相区寻找代表“地球历史演化重大自然变化”的“自然间断”, 这些“自然间断”一般都是层序界面; (3)从浅海相区向斜坡相区和半深海相区方向追索, 寻找与浅海相区“自然间断”时限一致的连续沉积序列; (4)在连续沉积序列内寻找与“自然间断”中最大海退点时限一致的层位, 这个层位一般位于层序低位体系域或者陆架边缘体系域之中; (5)在与“自然间断”中最大海退点时限一致的层位之上寻找与自然界线密切相关的生物辐射事件和生物爆发事件, 这个自然界线通常是层序的初始海泛面; (6)在与自然界线相联系的生物辐射和生物爆发事件中, 选择地理分布最为广泛的化石种类出现的下界作为地层界线的定义; (7)选择同样沉积古地理背景(通常是大陆斜坡或半深海环境)下连续沉积序列中标准分子化石带底界和其下层序初始海泛面之间距离最短的剖面作为界线层型剖面, 该剖面上标准分子首次出现的位置便是理想的 GSSP.

建立高分辨率地层系统和高精度地层对比格架是地层学长期的主要任务. 近百余年来, 地层学研究的主要目标和在地质学中的重大作用是“地质时代表”或“国际地层表”中地层界线标准的确定及其全球对比. 地层学的重要意义和生命力在于地层的对比, 即等时界面的识别与建立. 从地质学科和地层学科来看, 特别是从综合地层学的观点来看, GSSP 的重要价值是确定了地层界线的标准, 从而为进一步建立等时对比面奠定了基础, 是建立等时界面的重要

条件和先决条件,但还不是“等时界面”本身,并没有解决地层界线标准的精确对比问题.作为地层界线的划分标准,GSSP 的确定应与地层对比结合起来,即与“等时界面”的建立结合起来,与野外区调和地质制图联系起来,提高 GSSP 的可识别性、对比潜力和以 GSSP 为标准建立等时界面的可操作性,才能真正使 GSSP 成为建立国际地层表的现代基础.

致谢 本文是在王鸿祯院士的鼓励 and 指导下完成的,成文过程中作者与苏文博博士进行了多次讨论,受益颇多.初稿完成后,王鸿祯院士和苏文博博士分别阅读了原稿,并提出了宝贵的修改意见,为本文增色不少.在此作者表示衷心感谢.

参 考 文 献

- 1 Hedberg H D (ed). International Stratigraphic Guide — A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure. New York, London, Sydney, Toronto: John Wiley and Sons, Inc., 1976. 1 ~ 200
- 2 Salvador A (ed). International Stratigraphic Guide — A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure. 2nd ed. Colorado: The International Union of Geological Sciences and the Geological Society of America, Inc, 1994. 1 ~ 214
- 3 Yin Hongfu, Zhang Kexin, Tong Jinnan, et al. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Permian-Triassic Boundary. Episodes, 2001, 24(2): 102 ~ 114
- 4 Mitchell C E, Chen Xu, Bergstrom S M, et al. Definition of a global boundary stratotype for the Darriwilian Stage of the Ordovician System. Episodes, 1997, 20(3): 158 ~ 166
- 5 陈 旭, 王志浩, 张元动. 中国第一个“金钉子”剖面的建立. 地层学杂志, 1998, 22(1): 1 ~ 9
- 6 Cowie J W. Guidelines for Boundary Stratotypes. Episodes, 1986, 9(2): 78 ~ 82
- 7 Cowie J W, Ziegler W, Boucot A J, et al. Guidelines and statutes of the International Commission on Stratigraphy (ISC). Courier Forschungsinst. Senckenberg, 1986, 83: 1 ~ 14
- 8 Remane J, Basset M G, Cowie J W, et al. Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (IGC). Episodes, 1996, 19(3): 77 ~ 81
- 9 侯鸿飞. 界线、界线层型与事件. 见: 吴瑞棠, 张守信等编著. 现代地层学. 北京: 地质出版社, 1989. 169 ~ 177
- 10 Charles Pomerol, Claude Babin, Yves Lancelot, et al. Stratigraphie et Paléogéographie Principes et Méthodes. Paris: Doin, 1980. 1 ~ 209
- 11 Fahraeus L E. Spectres of biostratigraphic resolution and precision: Rock accumulation rates, processes of speciation and paleoecological constraints. Newsl Stratigr, 1986, 15(3): 150 ~ 162
- 12 王鸿祯. 地球的节律与大陆动力学的思考. 地学前缘, 1997, 4(3-4): 1 ~ 12
- 13 Wang Xunlian, Zhang Shihong, Xue Xiaofeng. Devonian-Carboniferous Boundary in the neritic facies areas of South China from the viewpoint of integrative stratigraphy. In: Wang Naiwen, J Remane, eds. Stratigraphy, Proc 30th Inter Geol Congr Vol 11. Utrecht: VSP Publishers, 1997. 121 ~ 131
- 14 Brenner R L, Mchargue T R. Integrative Stratigraphy. Englewood Cliffs, New Jersey: PRENTICE HALL, 1988. 1 ~ 385
- 15 金玉珏, 李 淳. 综合地层学的发展趋势. Palaeoworld, 中国科学院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年报(1989-1990), 1991, 1: 1 ~ 8
- 16 姚华舟, 谢德凡. 综合地层学的系统层次结构. 地层学杂志, 1994, 18(4): 241 ~ 247
- 17 王训练. 综合地层学——高分辨、高精度地层划分对比的有效途径. 见: 石 伟, 主编. 全国博士后科技成果展示及人才学术交流会学术论文集. 北京: 学苑出版社, 1996. 1190 ~ 1196
- 18 王训练, 苏文博. 选择全球界线层型剖面点(GSSP)的一个重要参考标准. 科学通报, 1999, 44(18): 2008 ~ 2016
- 19 Walliser O H. Pleading for a natural D/C boundary. Courier Forschungsinst, Senckenberg, 1984, 67: 241 ~ 246
- 20 Walliser O H. Natural boundaries and commission boundaries in the Devonian. Courier Forschungsinst, Senckenberg, 1985, 75: 401 ~ 408

- 21 吴瑞棠. 事件地层学 —— 一个新的挑战. 地质论评, 1986, 32(4): 405 ~ 411
- 22 Bassett M G. Towards a “common language” in stratigraphy. Episodes, 1985, 8(2): 87 ~ 92
- 23 Cocks L R M, Richards R B (eds). A global analysis of the Ordovician-Silurian boundary. Bull Brit Mus Nat Hist (Geol.), London, 1988, 43: 1 ~ 394
- 24 Klapper Gilbert, Feist Raimund, House Michael R. Decision on the Boundary Stratotype for the Middle/Upper Devonian Series Boundary. Episodes, 1987, 10(2): 97 ~ 101
- 25 王训练. 露头层序地层学研究的几个基本理论问题. 中国科学, D 辑, 1999, 29(1): 22 ~ 30
- 26 王鸿祯, 史晓颖, 王训练, 等. 中国层序地层研究. 广州: 广东科技出版社, 2000. 1 ~ 457
- 27 Mitchum R M Jr. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy. In: Payton, C E, ed. Seismic Stratigraphy Application to Hydrocarbon Exploration: AAPG Memoir 26, 1977. 205 ~ 212
- 28 梅仕龙. 层序界面和界线层型概念相结合而产生的地层划分的一个新概念: 最优自然界线. 地质学报, 1995, 69(3): 277 ~ 284
- 29 Yin Hongfu, Wu Shunbao, Ding Meihua, et al. The Meishan section, candidate of the Global Stratotype section and point of Permian-Triassic Boundary. In: Yin Hongfu, ed. The Palaeozoic-Mesozoic Boundary, Candidates of Global Stratotype Section and Point of the Permian-Triassic Boundary. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 31 ~ 48
- 30 Lai Xulong, Yang Fengqing, Hallam A, et al. The Shangsi section, candidate of the Global Stratotype section and point of the Permian-Triassic Boundary. In: Yin Hongfu, ed. The Palaeozoic-Mesozoic Boundary, Candidates of Global Stratotype Section and Point of the Permian-Triassic Boundary. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 113 ~ 124
- 31 Kapoor H M. The Guryal Ravine section, candidate of the Global Stratotype section and point of the Permo-Triassic boundary. In: Yin Hongfu, ed. The Palaeozoic-Mesozoic Boundary, Candidates of Global Stratotype Section and Point of the Permian-Triassic Boundary. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 99 ~ 110