

第十一章 地史发展中的一些基本问题及展望

一、地史中的全球等时性问题

地层学研究中等时性（特别是全球等时性）的确实是一个极其重要的基础地质理论问题，自地层学诞生起二百年来一直引起全球地质学家的密切关注和执著探索。回顾学科发展史，人们的认识大体经历了把地层物质性和等时性相互结合的统一地层单位概念，到强调两者严格分离的多重地层单位概念，现在又走向在更高研究层次上重新探讨两者结合（运用层序地层学研究方法优化年代地层单位）的新阶段。上述学术思想发展轨迹符合“肯定—否定—否定之否定”辩证规律，也与人类社会生产技术水平的发展阶段密切相关。

从全球范围看，20世纪中叶前的地质工作首先要求建立全球通用、野外又便于识别的年代地层单位（界、系、统），趋向于强调岩性、生物、不整合面以及岩浆和变质作用相互结合的统一地层单位学术思想容易得到普遍接受。中国第一次全国地层会议（1959）上通过的《地层规范草案及地层规范草案说明书》（1960）中就明确提出“界、系、统是国际地层表的大单位，应该比较全面地反映上列五个主要方面的情况”，反映了这种学术思潮。

20世纪70年代《国际地层指南》（1976）的公布，标志着多重地层单位概念确立了全球主导地位。由美国人 A.B. 肖（1964）根据侧向加积原理提出的“全部侧向可追索的非火山成因浅海沉积的岩石地层单位都必然是穿时的”，这种地层穿时性普遍原理观点，对原有的统一地层单位概念形成很大冲击。应当指出，《国际地层指南》中也提到一种以不整合为界的地层单位 Synthem（大体相当于巨层序），认为这是“一种虽然不是年代地层的却在年代地层学中具有很大意义的地层单位”。

70年代中随着油气盆地勘探工作中地震反射法的大量应用，利用地震资料研究地下地层三维空间结构关系的地震地层学（Seismic Stratigraphy）应运而生。地震地层学主要是依据爆破引起声波反射（回声测距）原理，研究地下反射界面（由岩性、物理性或岩石孔隙中所含流体类型差异所引起的具有波阻抗差的物理界面）的构造形态。大量实践证明这种物理界面基本上是具有等时性的年代地层界面，它们往往与层序间的不整合面一致，而非宏观岩性界面的反映。地震地层学上这项重要发现揭示了地层内物理界面与等时性之间存在的内在联系。美国人 P.R. 凡尔等（1977）指出层序及其顶底不整合界面的成因受全球海平面升降控制，从而将地震地层学发展成为研究建立全球年代地层单位的层序地层学。显然，层序物理界面具有等时性的新概念对于多重地层单位强调的地层穿时性普遍原理是一次重要的冲击。80年代以来层序地层学的研究已由井下剖面发展至地表露头，由于多学科方法的结合渗透不断提高研究精度，目前正在向高分辨率（high-frequency）地层学或全息地层学（Holostratigraphy）方向迅速发展。

展望 20 世纪末至 21 世纪初的地层学发展趋势，层序地层学研究中首先需要对海平面升降是否真正具有等时性作深入的剖析。因为地史中引起海平面升降的原因既有全球性的大陆冰盖消长、大洋中脊强烈扩张等因素，也有区域性甚至地方性的构造升降、陆源碎屑供应速率等原因，需要予以小心分辨。此外，目前流行的层序地层模式主要来自新生代以来大西洋沿岸的被动大陆边缘外陆棚至上陆坡地带。对于不同地史阶段、不同类型沉积盆地（含内陆盆地和深海洋盆）中不同级别层序发育特征，以及相互之间的等时性对比尚少研究，这些都是亟待加强的前沿课题。

二、地史发展中的阶段性和演化节律问题

地球历史发展的阶段性是否客观存在，在第四章中曾经论及。从理论上说，事物发展都是间歇性和阶段性的。这种阶段性发展的特征在生物演化方面表现得最为清楚。

1. 生物演化的阶段性

图 11—1 中反映了植物界的演化阶段，如以 3200Ma 为蓝藻繁盛期的开始，则菌藻植物占统治地位的时代长达 28 亿年。从志留纪晚期起裸蕨植物出现，石炭纪起种子蕨占领陆地不同气候带，晚二叠世起裸子植物已占主导地位，晚白垩世起已进入被子植物时代，阶段划分较为清楚，各阶段的时间间隔大约在 100Ma 左右。

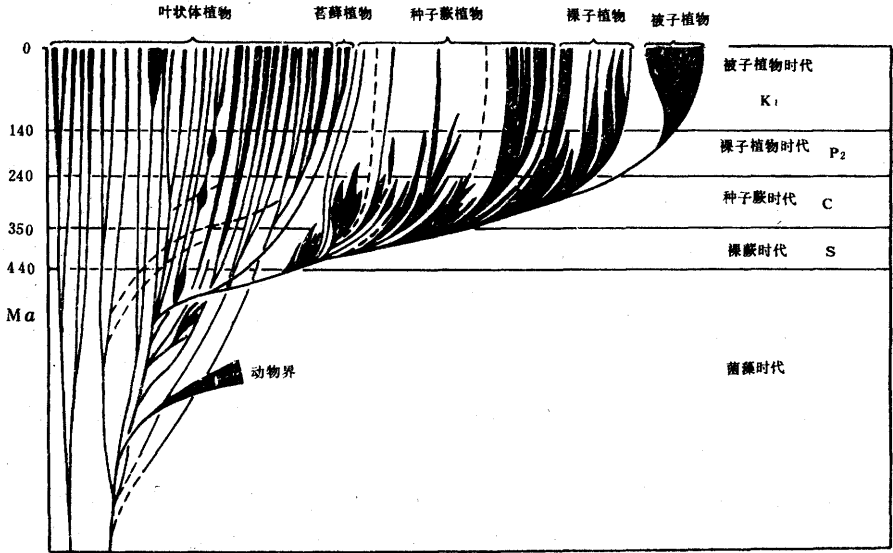


图 11—1 地史中的植物界演化阶段
(据 Zimmermann, 转引自 R.Brinkmann, 1977)

动物界也有类似情况，图 11—2 中各门类的宽度代表属的多少。可以看出高等脊椎动物的大量出现，鱼类始于泥盆纪，两栖类始于石炭纪，爬行类始于晚二叠世，哺乳类始于早第三纪，与植物界的阶段划分大体相合或稍为滞后。左方无脊椎动物不同门类则出现复杂的情况，它们之间的相互消长由多种因素所决定，但与全球海水进退规程有一定联系。

显生宙以来已知在奥陶纪末(438Ma)、晚泥盆世弗拉斯期末(360Ma)、二叠纪末

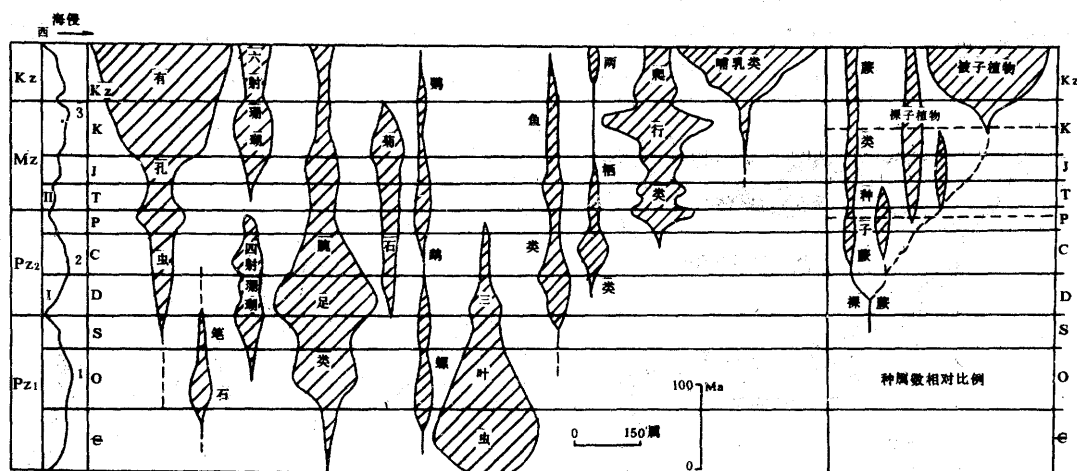


图 11—2 地史中的动物界演化阶段
(转引自《地史学教程》，1980)

(250Ma)、三叠纪末 (205Ma) 和白垩纪末 (65Ma) 都发生过全球规模生物集群绝灭事件。每次**集群绝灭期** (mass extinction interval) 之后, 又都跟随发生劫后残留分子的**残存期** (survival interval)、少量新生分子产生的**复苏期** (recovery interval) 和大量新生分类单元辐射演化的**辐射期** (radiation interval)。显然, 生物界的演化并非遵循渐进均变的进化模式, 而是体现了相对稳定演化期以及老类型突发式生物绝灭和新类型爆发式辐射演化相互交替的节律性阶段发展特征。

地质发展历史中不应将地球视作一个孤立于宇宙环境之外的封闭系统, 地外天文因素直接参与地史发展进程是值得重视的前沿研究方向。白垩纪末生物灭绝事件提供了一个很好的突破口, 将会对今后的天、地、生综合关系研究产生深远的影响。

2. 沉积演变的阶段性

在沉积作用演变的阶段性及其主要趋向研究方面, 虽然在灵敏性和精度方面不及生物演化, 也已得到一些基本的共同认识。沉积作用及其产物也是地球不同层圈相互影响和相互作用的现象和结果。图 11—3 表示了地史中不同沉积岩类型出现时间和百分比的概略统计。例如特殊的硅铁沉积相合 (条带状含铁组合或碧玉铁质岩) 主要形成于 2600—1900Ma 阶段, 它的出现可能显示气圈和水圈中氧含量的初度增加, 海水中氧在被固定形成沉积的作用与生物放氧作用之间形成平衡状态, 因而 P. 克劳德称之为过渡阶段。从 1800Ma 前开始, 最老的红层和鲕状赤铁矿 (Fe_2O_3) 层出现, 反映大气中氧含量进一步增高。距今 700Ma 左右前出现大量卤化物和硫酸盐蒸发沉积, 都是氧含量不断增加的表现。另外, 随着太古宙以后铁镁质海底熔岩的减少, 杂砂岩在碎屑岩中的比例下降, 石英砂岩和长石砂岩含量增长, 反映硅铝质陆壳地块的成长过程。从碳酸盐岩含量来看, 太古宙时比例极小, 元古宙时增加到沉积岩总量 5%—20%, 古生代起达到 25% 左右。陆上火山岩也自中元古代起含量逐渐增加, 陆相碎屑岩自石炭纪起比例明显提高 (图 11—4)。从古生代以来海相碳酸盐沉积和碎屑沉积之间互为消长的关系看, 碳酸盐的高峰值标志着

海侵的广布,出现于寒武纪至早奥陶世、晚泥盆世至早石炭世和晚白垩世,与全球海平面升降曲线所反映的海侵面积变化趋势基本一致。可见上述沉积演变的大阶段与地球岩石圈构造演化、海平面升降和沉积介质性质变化以及生物成岩作用等条件密切相关。

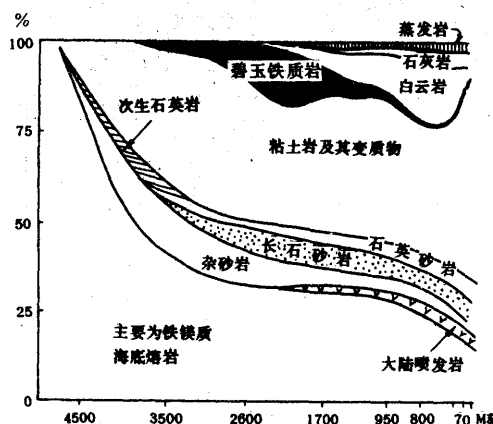


图 11—3 地史中沉积岩、火山岩类型百分比统计示意图
(据 A. Ronov, 1968)

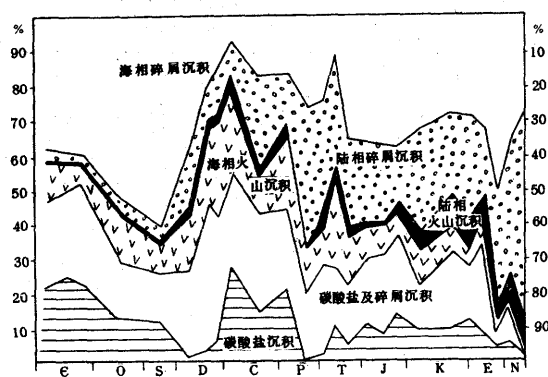


图 11—4 古生代以来沉积岩类型百分比统计示意图
(据 A. Ronov 等, 1977)

3. 岩石圈构造演化的阶段性

传统地槽学说将构造发展阶段的概念与地槽旋回相联系,承认地壳构造发展具有全球规模的阶段性。德国构造地质学家 H. 施蒂勒(1924)提出全球性造山活动期(由角度不整合面代表)与全球性构造平静期交替发生的假说,并将在地质时间上相对短暂和突发的造山活动期称为造山幕(orogenic episode)。但通过大量地质调查实践,造山幕全球等时的假说与许多造山带的事实有矛盾,即便在地槽学说盛行时期也受到越来越多地质学家的怀疑和反对。

板块学说兴起后,由于全球岩石圈板块以相对均匀的速率持续不断地运动,不同造山带的构造演化史因板块运动特点和汇聚边界性质不同而变化,并无一成不变的演化模式和时间进度。因此有的地质学家公开提出不仅没有全球一致的造山幕,而且也不存在全球性的构造阶段。

第四章中已经介绍过板块学说中十分重要的威尔逊旋回概念,证明地球上特定部位岩石圈构造演化确实存在一定的阶段性。岩石圈构造演化从运动学、动力学角度的相对均速、连续的特性;和该区地壳物质组成、构造活动状态经历由量变到质变的阶段性飞跃发展是矛盾对立的统一。因此,在强调具体造山带构造演化特殊性的同时,不应一概否认地球岩石圈构造演化在全球规模上的共性。在这种情况下,运用统计学方法来判别全局和个别例外是有效的手段。

图 11—5 概略表示了全球各大陆构造-岩浆活动期年龄高峰值,虽然各洲情况互有不同,但距今 2600—2500、1900、1700、1000—800 和 600—500 Ma 几个时期仍反映出共同的高峰值,反映了全球大体同时的构造发展阶段性。限于图面篇幅,奥陶纪以后的资料未作反映,但据 M.G. 路顿(1962)的工作,也指出“我们对造山期所作的普遍划分,可分

成诸如海西、阿尔卑斯等造山运动。它们具有某种统计学上的全球同时性。当然举出发生在这些运动期之外的造山运动例子是件容易的事，但从统计学上看，这些例外并不很重要”。

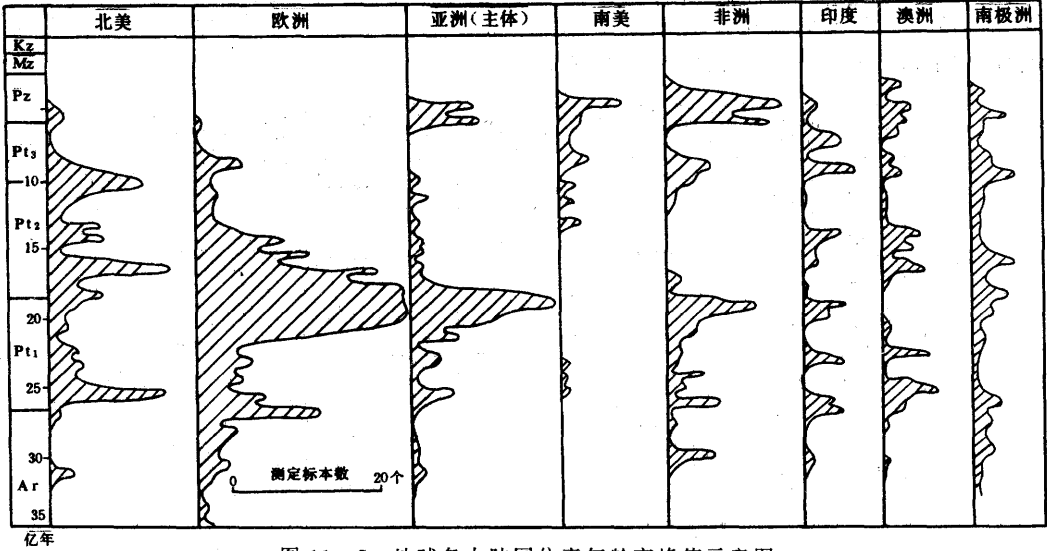


图 11—5 地球各大陆同位素年龄高峰值示意图
(据王鸿祯, 刘本培, 1980)

4. 地球历史中的自然节律及其成因探讨

大量地史资料的积累逐渐启发地质学者认识到地球演化历史中存在多方面的周期性节律 (rhythm) 现象。A. W. Grabau (1940) 根据当时全球已知的地层古地理资料, 就提出了地球演化史中存在脉动节律的见解。20 世纪 60 年代以来, 国内外许多学者对地史中全球性的生物绝灭、海平面升降、古气候变化、火山喷发、构造运动、古地磁极性倒转和地外天体撞击等事件的常见发生频率进行了大量统计, 也都发现存在一定的周期性节律现象 (F. H. Dorman, 1968、1971; D. M. Raup 和 J. J. Jr. Sepkoski, 1986; B. U. Haq 等, 1988; R. P. Stothers 和 M. R. Rampino, 1990; J. J. Jr. Sepkoski, 1993; 史晓颖, 1996)。不同学者对于各种事件最常见周期性节律延续时间不完全一致, 但大都集中于 30—35 Ma 范围之内 (表 11—1)。

表 11—1 地球不同圈层主要地质事件的周期性节律对比

地质事件	周期性节律 (Ma)	地质事件	周期性节律 (Ma)
生物绝灭高峰	30 ± 4	火山活动增强期	33 ± 2
海平面升降 (二级) 旋回	35 ± 3	暗色溢流玄武岩	32 ± 1
古气候变化旋回	33 ± 3	地磁极性倒转	30 ± 2
构造运动加强期	33 ± 3	天体撞击事件	32 ± 2
海底扩张不整合	34 ± 2	地球穿越银道面	33 ± 3

(据史晓颖, 1996 简化)

由于上述地球不同圈层地质事件的演化显示了大体趋近的周期性节律现象，反映了地球演化史中的一种常见自然旋回（natural cycle）及其所跨越的地质时间——自然周期（natural periodicity）。在这种旋回（周期）内，地球演化史中往往经历了相对平静期和显著突变（或灾变）期的交替，地球不同圈层中发生的重大地质事件往往集中或趋近于这个突变期（图 11—6），显然不是一种偶然现象。

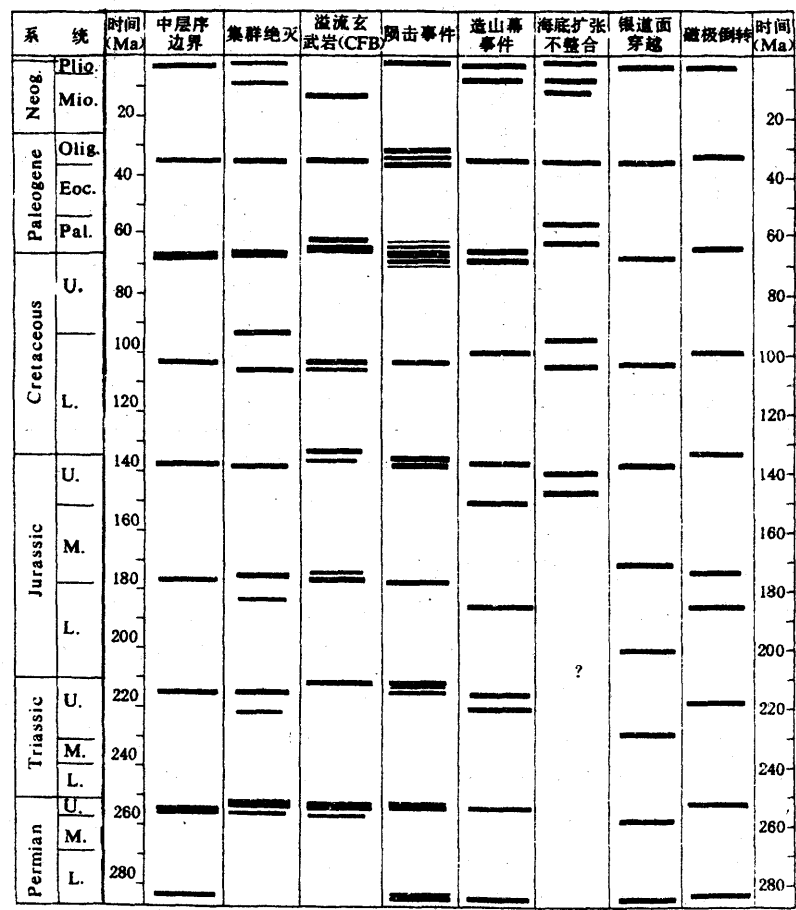


图 11—6 地球不同圈层重要地质事件演化节律及相互对应关系
(据史晓颖, 1996 简化)

应当指出，地史中还存在规模更大的自然旋回（周期）现象。例如全球性大冰期的时间间隔为 2.8—3.5 亿年（С.Максимов 等，1977），而地史中超级联合古陆形成—破裂—再形成的巨型旋回（周期），一般延续达 500—600Ma（王鸿祯等，1996），显然反映更高级别的自然阶段。至于第十章第三节中介绍的米兰科维奇韵律，延续时间只有 0.4Ma 至 0.04Ma，则属于低级别的高频旋回性节律。

地球演化史中的上述旋回性节律的成因，显然应从宏观的天文地质学背景中寻找。据现有天文学研究成果，太阳系在银河内旋转一圈的时间（银河年，cosmic year）一般认为需 2.8—3 亿年（徐道一等，1983），地球上的大冰川周期正好相符，而超级联合古陆旋

回大体相当其两倍值；太阳系在银道面上下摆动的周期约为 67Ma (K. A. Innanen 等, 1978), 每个周期内需要两次穿越银道面, 平均每次间隔约 33.5Ma, 与表 11—1 中统计的多种地质事件常见节律很接近；至于低级别的米兰科维奇韵律, 一般认为与地球在太阳系内旋转的轨道效应有关。

综上所述, 从生物演化、沉积演变和构造-岩浆活动的突出变化, 都可将地球历史划分为不同的发展阶段。用不同的根据划分的主要阶段, 其分界或转折点虽然不尽相合, 却表现大体的一致性。这就说明, 地球的历史发展与事物发展的普遍规律一致, 是间歇和分阶段的, 具有一定的周期(节律)性。阶段划分的不一致可能是由于不同事物或事物的不同方面在发展过程中本来具有差异性而形成的。由于事物之间普遍互相关联并受到共同因素的控制, 这种不一致也可能是由于资料不全、研究处理不当所形成的。我们认为, 继续坚持运用当代地球科学新理论、新方法开展多学科结合的深入研究, 综合分析和比较研究地球不同层圈发展过程及其与开放的地外天文系统之间的内在联系, 完善并修正反映各方面发展变化的地史发展主要阶段, 进一步总结其规律性并探索其形成机制, 是历史地质学今后长期执著追求的目标和任务, 也是地球科学建立新的地球动力学模型的前沿研究课题。

课外阅读文献

1. 王鸿祯, 1995, 全球构造研究的简要回顾。地学前缘, 2 (1—2): 37—42。
2. 肖庆辉、李晓波、刘树臣等, 1993, 当代地质科学前沿。中国地质大学出版社。
3. 郭召杰, 1996, 地质学研究的新思维——历史地质学方法。地球科学进展, 11 (1): 59—61。
4. A. W. Grabau, 1940, *The rhythm of the ages*. Henry Vetch Pub., Peking.
5. 史晓颖, 1996, 35Ma——地质历史上一个重要的自然周期。地球科学, 21 (3): 235—242。
6. 蒋志, 1981, 地球在银道面上运动与理论地质年表。中国科学, (9): 743—748。
7. R. B. Stother, M. R. Rampino, 1990, Periodicity in flood basalts, mass extinctions and impacts: a statistical view and a model. *Geol. Amer. Spec. Pap.*, 247: 9—18.
8. J. J. Jr. Sepkoski, 1993, Ten years in the library: new data confirm paleontological patterns. *Paleobiology*, 19 (1): 43—51.