

高等学校教学参考书

勘探地层学

〔美〕 G.S. 维谢尔



地质出版社

中国科学院地质研究所

勘探地质学



38726

高等学校教学参考书

勘探地层学

[美] G.S.维谢尔

丁禾 何起祥 译

地质出版社

内 容 简 介

本书论述了不同地质特征的沉积学：计有滨海带、陆架、蒸发岩、陆坡、盆地、三角洲等。对地层记录——地表发生的各种地质作用和事件的历史——的认识，地层记录的各种资料、概念、见解作了综合的阐述。根据实例分析、研究地层记录的成因依据，密切联系实际，从而深入掌握油气藏地层的体系，油气聚集的地质条件；准确、高效益地对石油矿藏进行预测、勘探和开发。本书既有理论，又有大量的典型实例，图表资料非常丰富。本书是石油地质工作者不可少的参考书，是地层、沉积岩、水文地质等工作及大专院校师生

* * *

责任编辑：才文博 杨洪钧

地 质 出版社 出版

（北京和平里）

地 质 出版社 印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所发行

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：22.75 字数：544 000

1989年7月北京第一版·1989年7月北京第一次印刷

印数：1—1005册 定价：4.80元

ISBN 7-116-00382-7/P·329

前 言

本书是作者讲授《油气聚集的地层控制》这门进修课程的果实。人们对地层记录的认识在迅速地发展着，为了交流这些认识而提出了各种各样的资料、概念和见解，书中对此作了综合。地层记录是可以进行解释的响应型式的产物。根据因果律原理、作用-产物模式、发展史，尤其重要的，还有各种概念模式，现在已经有可能借助有限的观测结果来了解某些特定的响应型式的成因和推测地层型式。

毫无疑问，作出的综合应该是简明扼要的。书中对各种概念作了简要的阐述，为了说明需要进行解释的各种模式，列举并描述了相当多的例子。各种作用过程和边界条件以及非重现性事件，都是很复杂的，因而所引用的各个例子也都有所不同。因此，需要强调的只能是综合主题的论述。由于采用了这种方式，本书才能够做到简明扼要，不存在那些繁琐的细节描述，使大部分专题的综合论述免于空洞无物。单纯的描述并不是用来以公式表示地层模式或者推测各种响应型式的科学依据。希求这种细节的人，必须提出他们自己得出的观测结果作为地层分析的依据。作者的本意并不是要求大家忽视认真的观察，而是要采用一些例证来说明各种发展型式和模式。

概念或者模式都是用来组织所取得的观测结果的工具或手段，而不是继续深入地认识地层科学中的因果律的最终口号。作者的目的是要举出一些例子说明我们已经确知的型式或观测结果，而不是详尽地讲述那些了解得还很不够的型式或者观测结果。它们都有可能成为作出新的综合时的依据，然而，作者认为更应及时地提出本书作为更加广泛地综合以及了解地层记录成因的可能依据。此时此际，就有可能利用已经掌握的知识来提高油藏型式和油气聚集的可预测性。以这一目的为宗旨，但愿本书对读者有所裨益。

目 录

第一章 地层格架	1
一、概念	1
二、时代-地层型式	1
三、历史梗概	1
四、地层古生物学	4
五、生物地层与时代-地层的对比	8
六、时代-地层单位的迁移	14
七、不整合	21
八、建造	31
九、建造与油气共生组合	37
十、沉积相	42
第二章 勘探手段	67
一、引言	67
二、油气的地层控制	67
三、根据地震资料确定地层型式	83
四、在地下的实际运用	88
五、地层模拟	99
六、沉积特征的解释	105
第三章 勘探地层学研究用的模拟法	127
一、模拟法的历史和类型	127
二、模式的应用	128
三、应用于地层数据的模式	131
四、沉积模式	134
第四章 滨岸带沉积学	142
一、引言	142
二、边界条件	143
三、沉积作用及其产物	146
四、生物碳酸盐岩	157
五、生物作用	160
六、总结	165
第五章 陆架沉积学	166
一、边界条件	166
二、沉积模式	169

第六章 蒸发岩沉积学	200
一、边界条件.....	200
二、沉积作用及其产物.....	203
三、沉积模式.....	204
第七章 陆坡和盆地沉积学	215
一、边界条件.....	215
二、沉积过程及其产物.....	217
三、沉积模式.....	218
第八章 三角洲	240
一、三角洲沉积学.....	241
二、全新世三角洲沉积模式.....	252
三、沉积史.....	258
第九章 盆地分析	281
一、引言.....	281
二、盆地的成因.....	281
三、盆地分类.....	287
四、盆地模式和勘探战略.....	291
参考文献	346

第一章 地层格架

对……所有地质证据作出的评价……
必须全部依据我们对各种自然法则的持久
性信赖的程度。仅只依据它们永不改变的
持久性，我们就可以利用严谨的归纳法则，
对以前发生的各种事件由类比进行推理。

C. Lyell

《地质学原理》

一、概 念

地层记录代表的是地表发生的各种作用过程和事件的历史。时代-岩石格架、空缺地史的时代和地区、系统的沉积变化的型式以及各种作用过程和事件对岩性的影响，实际上都是地层分析的依据。

如果目的是推测某种可能具有经济价值的特定岩性的型式，那么，观察沉积过程中各种有关的边界条件，就具有特别重要的意义。综合任何地层单元发育过程中所包含的各种作用过程，能够得到相似的外观型式。如果能够将各种作用过程区分开，就能分析这些作用过程造成的影响，并能与某些特定的响应相联系，而且能将该地层单元发育历史的各种特点区分出来。

二、时代-地层型式

如果地层记录所代表的连续体内部夹杂有地史中各种事件造成的或者系统变化造成的、与各种作用过程有关的产物，那么，鉴别出这些变化，就可以获得地层对比的以及鉴别成因单元的依据。没有关联的那些事件，对于地层剖面史的解释是没有什么意义的。

各种作用过程的鉴别是以地层的解释为依据的，因为，如果没有主题，也就提不出各种型式，而且地层单元的测绘只能是描绘各种不连续的建造以及偶然事件，不会再有其它的目的。各种发展型式造成的产物，必定是进行解释时的依据，但这些发展型式的数量却是有限的。时代-地层型式是可以识别的，而且可以用来作为地层分析的依据。

三、历史梗概

许多科学的历史都是从观察和描述入手、通过分类直至作出综合、以此作为推测和解释的依据的过程。在许多门类的科学中，通过这些步骤得出的，是对观察到的各种关系作出的严密的数学陈述；而在有些科学中，研究人员却达不到如此严密的水平。也曾经研究

出来一些处理无尽头系统的方法，而这些方法往往具有偶然性，有时甚至具有更为严重的随机性。地层科学虽然已经经历了许多这样的阶段，不过，即使是对某一项观察结果所作的综合进行统计性的陈述，也还是不可能的。

起初，仅只是记录出露地表的那些地层单元的某一特征或者几种特点，对观测资料就作出过重要的综合。利用表示地表各种型式的图件，也有可能表示出某些特定的岩性特征的可能位置。地层科学的奠基人主要是18世纪后期的William “Strata” Smith，他编制的各种图件帮助他完成了他的工程设计工作。

与此同时，其他研究人员则设法根据岩性特征、古生物遗骸以及重大不整合的空间关系来划分地层单元。根据Murchison、Sedgwick和Ulrich等人在这方面进行的研究，对于可以清楚识别的那些地层单元提出了一个排列顺序。通过这一工作，就有可能编绘出跨越不同海拔地区、构造不整合地区，甚至不连接的地理区（例如横跨英吉利海峡或大西洋）的地层单元。绘制地质图的技能（图中不仅能表示出特殊岩性单元的型式，而且能表示出它们相对的时间关系），首先并可能是了解地球历史最重要的地层学贡献。

在岩性地层学家以及地质制图人员工作的同时，博物学家从地层中找到各种生物形态特性进行了研究。在明确地确立生物演化的概念、地层单元的顺序型式、以及作为各种自然过程正常产物的岩性单元的解释以前，这些生物形态特性的用途并没有受到重视。生物地层学家的任务则是根据相对年龄和世界上各地层单元在时间上的对应，将地层单元作出进一步的划分。

地质学家根据这种观测的大量数据可以编绘出表示岩石单元和时代-岩石单元型式的地质图。根据这样的资料，可以解释各种构造型式，识别出褶皱、断层、单斜、背斜、盆地、穹窿，甚至地槽。在找矿时，各个地层单元或矿脉位置的推测，以及近来对构造高点位置的推测，都要求达到更高的精度。从而根据地形测量，将海拔这一概念也应用到了某一岩石单元或基准面与海平面的关系中。在进行各种推测时，构造图是一种很有用的工具，是解释地面以上或地面以下各个地层单元型式的最重要的图件。这种图是根据很易于测得的数据作出的一种客观的解释，不过，它需要找出一个适当的标志层。在大部分地区中，只要选出一个薄层石灰岩或者其它明显不同的岩性，就可以作为这样的标志层。这样，构造图也就成了解释煤层、矿床以及油田位置的依据。

根据构造数据和地层数据还可以推导出第二种单值图，这就是厚度图或者等厚图。起初，这种图是用来确定一个煤层或者一个石灰岩沉积单元的体积，但事隔不久，就用它来解释某些构造特征（例如盆地、背斜、地槽）以及侵蚀间断的历史。

1. 不整合

在地层学研究史中，很早就提出了不整合的概念。直接观测各个岩层在某个面以上和以下的不同产状，是产生混乱的一个源泉。弄清断层和褶皱所起的作用，以及年轻地层如何在较老地层单元之上叠置的概念，就能看出这些面都是地球发展的历史过程中形成的一些重要的间断。这些间断往往代表一些灾变性的事件，根据它们可以进一步划分地层剖面。在对地层剖面进行的所有观测结果中，最令人伤脑筋的，或许就是对不整合的解释了。过去，普遍认为不整合都具有同期性，而且遍布于全世界。演化记录中的不连续、地层厚度的变化、空缺的地层单元、海平面的变化、冰川作用以及不计其数的其它变化，都是由于存在不整合造成的。根据不整合的几何关系和地层关系提出的一种简单的分类，确

曾有助于对它们的认识，其中包括：代表年轻地层单元在非沉积成因的岩石上或者具有明显不同物理特性的表面上整合上超和渐进上超型式角度不整合；代表地表露头中能够识别的明显截顶和填充型式的侵蚀不整合；以及所含生物明显不同的视整合面。针对这些关系虽然曾经进行过描述，但是在对它们进行解释时，仍然需要搜集更多的资料才行。

2. 早期对数据的解释

在早期的沉积地层分析中，观察人员找出的是地层单元的形式和旋回。对于这些旋回的解释则各不相同。由Johannes Walther领导的一个欧洲地层学派提出的“现在是过去的钥匙”这一原理表明，这些型式代表生物单元或者岩性单元在沉积面上发生的迁移。另一个学派则提出，这些型式代表的是控制沉积作用的各种因素（例如海平面、造山作用和大地构造运动）发生的系统变化。要想解决这一问题，需要根据更广泛的观察，并利用一些新的综合方法，作出新的思维结构才行。也曾经观察过其它一些重复的型式，例如：全世界相同年龄的一些地层单元在岩性上相似；在一个完整的构造运动旋回中，能够识别出主要以构造运动为基础而发生的沉积作用史；以及一些局部的连续沉积单元重复的型式。要想对这些型式作出解释，需要有一个研究出露层系的人员所没有的参考坐标或者科学思维结构才行。

为获取经济效益、矿产资源及石油资源而打的一些钻孔，提供了需要作出解释的一些新的信息。采集新型的资料，例如：取自钻孔中的样品，地层单元中发生各种变化的物理值的测量，矿物分析技术，更详细的显微镜下岩性分析，以及生物地层带的鉴别。根据这种充实了的数据库，就可以获得岩性特征依次变化的认识，并研究出沉积相的概念以解释许多地层剖面中所见岩性的时空变化。

掌握了更多的有用数据，就有可能定量地表示各种变化。不仅能编绘出构造图和等厚图，而且能编绘出表示岩性的各种图件。表示这些资料时存在的问题是，要想对它们作出解释，就需要掌握一些更为广泛的综合依据。我们知道，编绘地质图时应用的依据是时间，而时间又是综合更广泛的地层资料时应用的依据。这种理解所提出的问题和可能的范围，就是进行地层分析用的更普遍的概念的依据。

时代-岩石单元的三维表示方法成了古地理、古构造型式、层序型的分析，以及生物地层和岩性地层演替的解释依据。在这种类型的分析中，存在的问题是如何提出一个严格的时代范围。现在已经有大量关于时代和地层学的专著、论文和专题文集。古生物学家也提出过经过充分论证的时代-岩石对比，编绘出表示地层单元空间型式的各种图件。对欧洲的整个中生界和美国的第三系，都作过进一步的时代-岩石划分，这些都能够说明这种地层综合的潜力之大。这种地层资料的综合方法是很有意义的，但是，由于化石的保存程度不一，生态的变化以及是否具有全球范围的演化序列，却受到严格限制。

利用时代-岩石对比，可以将得自各个独立观察点的广泛资料加以综合。在进行历史分析时，应包括生物演化的概念、全球性海平面的升降变化、沉积物供应量与海岸线位置的依存关系、气候、大地构造型式、在克拉通板块上的位置以及其它一些因素。

必须研究出新的、或者至少是重新规定的科学思维结构，以及采取没有什么内在关系的各种各样的资料，得出统一的原则。如果我们承认地层记录的成因大部分都是可以确定的，那么，我们就可以把注意力集中在表示原因的那些因素上。这样，统一的原则就会是作用于一段不长的地质历史时期中的某种过程或者几种过程的组合。识别这些过程并评价

它们在不同时代和不同地层型式方面的效应，就是推测油气分布的依据。

四、地层古生物学

地层古生物学是一门不断演变的地层科学，它并不是作为地层学的一项基本原理而提出的。最初，William Smith在1790年的著作中曾提出，地层单元可以根据其中所含的动物群来划分。动物群和植物群与特定地层单元之间的经验性的共生关系，是鉴别它们的首要依据之一，而且，利用叠加原理即可确定地层单元的相对时代。在1859年达尔文认识到生物种乃是生命发展历史的一部分之前，并没有明确地表明对比的重要性。这一概念彻底地改变了时代的概念、化石的含义、地层对比的途径以及确定地层单元相对年龄的依据。

地层中保存下来的化石的应用，可以归纳出三种不同的用途和分期：

- 验证某一地层单元中所含的化石是否相同；
- 不同的化石组合和顺序与地层单元的经验性对比；
- 就象演化古生物学中那样的动态表述。

在这三种用途中，每一种都已成功地运用于地层记录的解释。但是，从达尔文那时起，对于地层记录中所保存的生物群变化的性质，就存在着一些混乱的见解。地层古生物学家仍旧（1）以William “Strata” Smith采用过的那种方式来讨论一个地层单元中的标准化石；（2）象Lyell那样用突变和灾变来讨论演化的级别；（3）象Shaw（1964）和Valentine（1973）所提出的那样，作为一个连续的发展体系来进行讨论。

1. 标准化石

确定地层单元相对年龄的根本依据，是参照已经确定的标准化石的顺序。这一方法在应用时虽然简单明确，但是，需要知道或者假设出标准化石的绝对地层范围。遗憾的是，事实并非如此。如果所研究的是局部地区，或者叠加在一起的地层单元确实不同、不会由于重复地出现相似的生态条件而造成不易分辨的同种动物群沉积的地方，这种标准化石体系还是很有用的。运用标准化石的依据，原先是否定性的，亦即在某一特定地层单元之上或下，缺失某种特定的生物形态。然而，正如在其它历史科学中那样，仅凭一次观察往往不能验证一个假说；只有将多次观察的结果综合在一起，才能提高所作结论的置信度。一个地层单元中任何标准化石的存在，或者几种生物分类单元共存延续带的存在，都能从历史的角度排列它们的顺序。

标准化石或者指示化石对地层关系的解释具有很明显的重要性。动物群谱系表是根据所含生物种的数目来判断的，尤其重要的是，根据能够与其它地层中相区分的一些差别来判断。不同的生物群出现得越多，古生物学家就越能更好地鉴别一个特定的地层，并确定出它在历史范围中的位置。他们研究的目标往往是将动物分子和植物分子细分成几个新的种，并以类似的方式将连续的地层细分成若干个比较小的递增量。这种做法能够获得对比、填图以及确定生物群在历史中变化的依据，而且能够获得确定地球历史的依据。古地理图、大地构造史及生物演化的概念，也都是以这种观察基础作为部分依据的。

2. 灾变论和标准化石

地层记录中各个地层单元的序列很少能把一个完整的变化过程记录下来。层理面、沉积间断、不整合及生态等变化，能够形成不连续的化石记录。人们都承认均变原理，但是，

物理记录、动物群和植物群记录变化的突然性都说明，沉积作用及生物群变化也有突然性或者随着非系统性事件而发生。

这些概念的结果一直作为地层解释的依据。不同地层中的化石是不同的，而且它们的变化是突然的。在地层记录的划分中，还有什么比根据古生物的每一突然变化的全球性依据来记录化石的共生组合更好的呢？根据化石记录的不连续性，地层记录划分的精度可以达到纪、世和期，甚至局部可以划分到亚期。如果古生物记录是不连续的，而且保存有这样精度的地层单元并保存有记录该种变化的化石，那么，这种划分是完全有可能的。这些因素被认为是划分地层记录的唯一限制。与这些原则相协调，还提出了生物带的概念，并构成了地层古生物学的一种新的依据。现有的生物地层学文献大都把生物带作为对比和鉴别地层单元相对年龄的依据。

地层学方法是世界上大部分年龄测定工作的基础。生物分子的相对级别或者复杂程度，生物分类单元和超覆带的多重性，以及动物群的发展速度和分布，都可以用来划分世界上的动物分带，以及将世界上的地层划分到“世”的水平。生物地层对比的方法和精度的讨论，是根据个别动物群变化的组织原则进行的。

3. 演化古生物学

自达尔文之后，古生物学作为演化发展的动态历史的记录，有了新的意义。这种方法与Lyell的周期性变化或者物种神造论的解释方法具有根本性的区别。由于地层记录的特性，这种新方法的应用缓慢。不过，在少数几个例子中，特别是在Van Hinte (1976)的例子中（图 1-1），保存下来的地层剖面代表的是一个几乎完整的连续过程，而且化石在一段地层中的变化是渐进的、系统的。

赫胥黎认识到了生物动态演化体系的含义。他的设想与达尔文提出的天演论一致，认为演化的方向与环境因素有关，演化的原则是“适者生存”。他提出，一种相似的生物种可以由于等列性而保存在不同时间和不同地点的地层记录中。这种潜在的混乱却被许多地层古生物学家所接受，而且保留了那些已经证实了的标准化石和生物带的原理作为地层对比和划分的依据。

通过对地层记录的进一步研究，确定了如何连接有古生物间断的地层记录，论证了相和生物相在空间和时间中的迁移。确定一个连续变化体中的地层间断时所使用的方法，使地层记录的生物地层学划分变得更加混乱。演化和灭绝的原因，古生物种的组成，生物的共生组合，生态控制因素以及演化速率等等问题，对于生物地层学解释来说全都变得非常重要。比较新颖的脉冲式演化的概念（Stanley 1980）表明，对于连续的演化体中假想的那些间断，都需要进行认真的分析（图 1-2）。此外，正是由于均变原理以及将全新世的生态、演化、灭绝和成因等项原理应用到了地层记录中，才获得了进行解释时所需要的依据。从生物学中获得的各种统计概念，也都运用到了地层记录中（Shaw 1964; Bretsky 和 Lorenz 1970；以及Valentine 1973），这些应用在生物种的鉴别和对比中都很有帮助。

研究地层古生物学的一个新领域——古生态学，用来帮助进行地层单元和古生物相模式的解释（Ager 1981）。另外，关于基因的性质、基因库、生物分类单元的变异度及形态适应等生物学方面的概念，也都使自然选择原理得到修正，从而使根据这一原理作出的生物地层学解释得到了改进。汇集生物地层学资料得出的最终成果不一定是编排出一个动

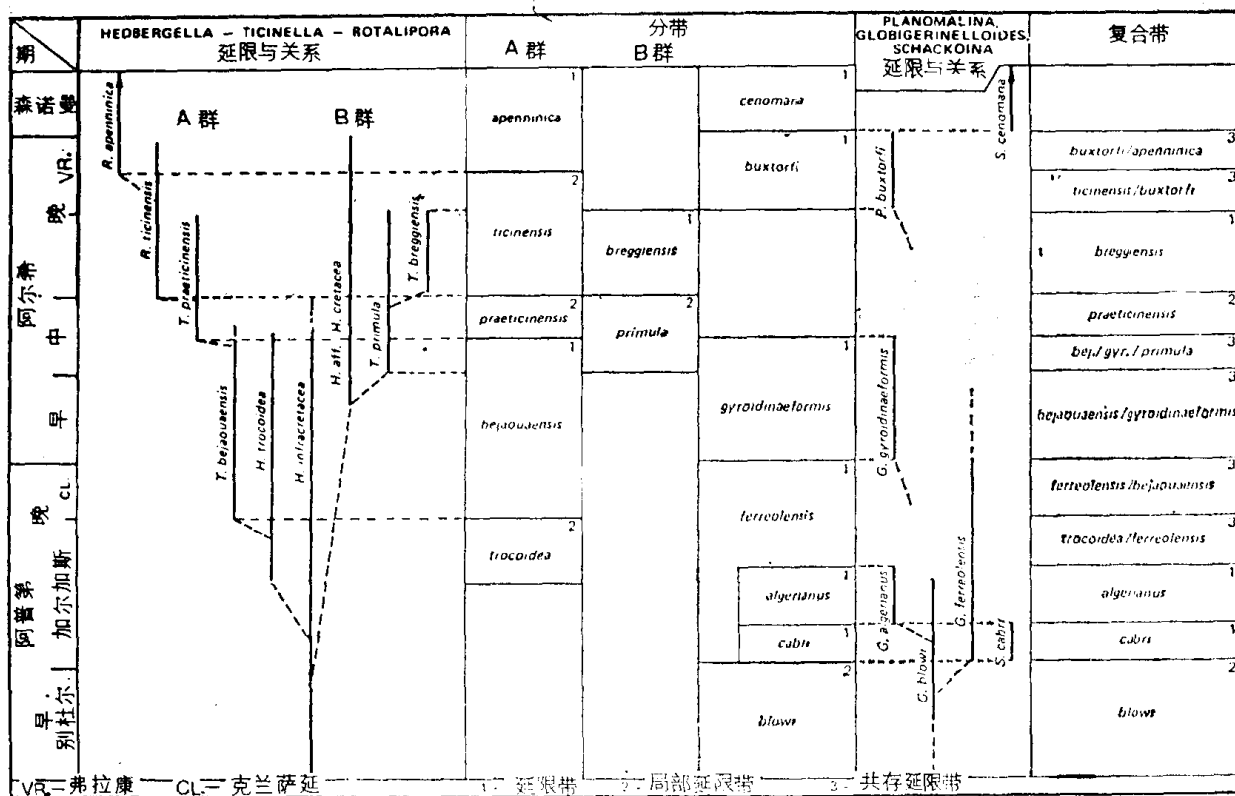


图 1-1 白垩纪深海有孔虫的演化谱系
(引自Van Hinte, 美国石油地质学家协会供稿)

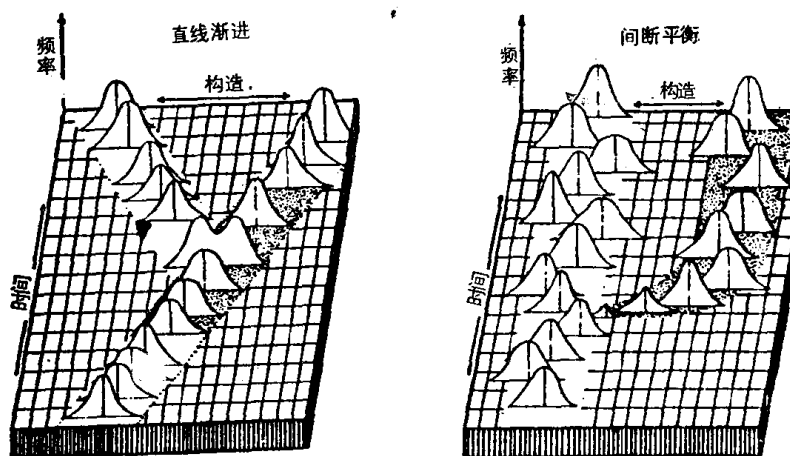


图 1-2 演化的更替模式
(引自Stanley, Freeman供稿)

物群谱系表。它可以作为解释演化发展、生态、动物群变异度、明显的生物形态适应及环境的物理和化学特征的依据。

地层古生物学中的各项原理，包括标准化石的概念、共存生物带或者重叠生物带，及反映环境与生物群的相互作用的各种演化产物，都可以应用地层记录的组织原则。生物的产物可以从地层学的角度来研究，并可将研究结果应用于地层学观察结果的解释。除此之外，它们还可以用来推测生物对特定的物理、化学过程和生物过程的产物特性。然后，可以利用这些生物产物来解释地球发展史中的许多特征。

4. 生物地层学

生物地层学者都不主张将地层记录再进一步划分成若干个绝对时区。研究的目的是以全世界为基础确定各个地层单元的相对年龄。一个新变种的发育，是一种独特的现象。这种事件发生的时间和地点可以准确地确定，而且这种新的变种显然可以作为确定一个岩石单元相对年龄的依据。

诚然，在世界上任何地方的任一地层中存在着某个新的变种，表明该地层的年龄必定比形成该变种的演化事件年轻。由此而产生了生物带这一有用的概念，而且把这一概念应用到了地层记录中 (Mallory 1970, 第559—563页)。

生物带的类型是近期研究中的一个主题，研究中对它们的定义和意义作了归纳(《国际地层划分、术语和用法指南》，1972，第24—27页)：

谱系带：……是由地层体组成的一种延限带，其中所含的生物系列的标本，代表一个生物分类单元或生物类群的演化线或发展趋向，或者代表上、下由演化线的特征限定的任何一段。谱系带是时代对比中特别重要的指南。

生物分类单元延限带：……是代表某个生物分类单元(种、属、科等等)的标本总的出现范围(在横向上的和垂向上)的地层体。生物分类单元延限带可以用来作为构成地层年龄及其沉积环境的标志。有多少个生物分类单元就可以划分出多少个生物分类单元延限带，而且它们并不适用于所有地层全部地系统和系统地划分成单独一套地层单元，而其间没有间隙和超覆。

组合带：……是所含的生物化石(或某一类生物化石)作为整体，构成一个自然集群或共生组合，形成在生物地层特征上与相邻地层不同的地层体。组合带是能够表示古代环境的特别有意义的标志。它们在确定地层年龄和对比方面通常也具有重大的意义。

共存延限带：……是由选定的两个或多个同期的，或者一致的生物分类单元的延限带所限定的地层体。在一个共存延限带中，一般要选出几个具有决定意义的生物分类单元，以赋予该带最大的时代意义，因此，它首先有助于进行时代对比和年代地层划分，尽管它本身并不是一个年代地层单元。

奥佩尔带：……应用于界限不太严格的那种生物共存延限带，据信，其中有时意义的各个生物分类单元，以及其它古生物特征的初现位和终现位也可以用来作为标志，而且要求出现在其中任一地方，以确定存在有该带的所谓特征性生物分类单元的数目是任意选定的。与共存延限带相比，奥佩尔带比较概括，便于应用，不太严格，主要用于时代对比以及帮助年代地层划分。

顶峰带：……是代表某些生物分类单元最大发育期或顶峰期的地层体，但不是它的总延限带。

间隔带：……由两个明显不同的生物面之间的地层组成，但它本身不一定代表任何明显不同的生物地层延限带甚至任何特别明显不同的生物地层组合。间隔带一般可以应用于对比。

在推测地层单元相对年龄的能力方面，这些分带的精度不一。如果对地层中某一发现解释得比较年轻，就需要重新评价出现在插入地层中的全部生物分类单元的延限带，以确定其中是否含有新出现的生物分类单元。化石的保存程度、生物种的变异度、动物群的分布以及生态等等问题，都能导致某一特定的生物分类单元在相关的时代-地层单元中明显

缺失。

五、生物地层与时代-地层的对比

正是所有的生物分类单元和它们的共生组合在横向上和垂向上的演变，构成了时代-地层划分的依据 (Mallory 1970, 第554页)。各个生物分类单元重叠的发育延限带的排列，是确定相对年龄的依据。

据了解，生物的演化速度为50万到数百万年 (Weller 1960, 第559页)。如果采用的是根据世界上许多地方地层剖面中鉴别出的演化级别，那么，一般的精度可能为6—20Ma (Henbest 1952, 第311页)。用于古地理或盆地分析的地层单元分带，最好划分至“统”。在发育了一种演化型式、而且在连续的地层间隔中重复出现过相同的沉积环境的盆地中，有可能作出局部的时岩分带，这种分带可以用来确定时岩单元迁移的型式。

生物相型式 只有利用沉积环境的物理特征和化学特征在横向上的变化，才能证实生态的控制作用 (Berry 1960, 第18页)。根据生物群落可以识别出水的浊度、深度、盐度、能量或者其它一些生态特征的逐渐变化。新的生物分类单元的形成，种群的变化，特殊变形的消失，或一个或几个生物分类单元系统的形态变化的适应，现在都是进行生态解释的依据 (Bretsky和Lorenz 1970, 第540页)。生物种群的系统变化，可能与海退和海进序列的型式、引起水深变化的大地构造格架、阻挡动物群迁移的障壁，以及碎屑物质供应速率的变化等有关。

1. 地层单元的迁移

岩性单元和生物单元的三维型式，是地层学观测的依据。为了掌握这种依据，必须找出将地层单元与时代相联系的方法。为了列出一张绝对地质年代表，曾经作过很大的努力。进行这些研究有的以生物群演化的速率和系统的变化为依据，有的以共存元素的放射性同位素系统的衰变速率为依据。这两种方法都曾经用于地质年代表的确定和地层记录的划分 (表1-1)。每种方法所得结果的精度，取决于所用材料和观测结果的特点。

2. 绝对年代的测定

确定绝对年代用的年代表，依据的是特定的几种同位素的衰变速率 (表1-2) (Faul 1966)。对于同位素的衰变速率和衰变产物的变化，已经进行了非常详细的研究，而且确定了出现这些情况的概率。它们所代表的是理论的模式，而实际测量值则用来验证理论的产物。不过，也有一些别的变量妨碍着它们在地层剖面中的应用。测量问题，一种矿物从形成时起其中所含的全部有关元素的保存情况，地层剖面中存在有相应的矿物相，以及每种矿物相在形成时所有的 (或者至少是几种重要的) 同位素的平衡浓度，都能影响年龄测定值的精度 (Faul 1966, 第61页)。测量绝对年代的能力，必须通过可能的变量的记载加以调剂。这种变量是很重要的，而且地层单元越老，它的值越大。 $\pm 10\%$ 的精度可能是这一变量的极限 (《国际地质年代学委员会》 1967; Eicher 1968; Van Eysinga 1970)。

正如在其它科学中遇到的类似问题那样，并不是单独哪一个测量值具有最重要的意义；只有根据不同体系所得出的所有测量值的组合，才具有验证作用。如能将几种不同的同位素测年方法应用于同一个地层单元，就可以更好地了解和更精确地测定出可能性最

表 1-1 地层单元划分的名称和谱系

类 别	主 要 单 元 名 称	
岩性地层单元	群 组 段 层	
生物地层单元	生物带 组合带 延限带 (不同种类) 顶峰带 间隔带 其它种类的生物带	
年代地层单元	宇 界 系 统 阶 时 间 带	相应的时代名称 (地质年代) 宙 代 纪 世 期 时 间 带
其它地层类别 (矿物的、环境的、 地震的、磁性的等 等)	带	

如果还需要进一步划分出其它级别的地层单元,可以在地层单元术语前适当地加上一个“亚”字或“超”字。“带”是一个一般的术语,可以应用于任何种类的地层划分。如果在有些情况下这样表示还不够清楚,就应在“带”前面加上一个表示带的种类的定语 (例如岩性带,生物带,时间带,矿物带以及延限带)。不同的标志面可以用岩性面、生物面、时间面等来标注。

表 1-2 主要的放射同位素年龄测定方法

母 核 素	半衰期 (a)	适用的年龄范围 (距今, a)	子 核	通常测定年龄的矿物和岩石
碳 14	5,730	<2,500	碳 12	树木, 泥炭, CaCO_3
铀 235	—	<150,000	钍 231 ^①	文石珊瑚, 深海沉积物
铀 234	—	<250,000	钍 230 ^①	文石珊瑚, 深海沉积物
铀 系	—	200,000到数千万年	氦 4	文石珊瑚
铀 238	4,510Ma	>5Ma ^②	铅 206	锆石, 晶质铀矿, 沥青铀矿
铀 235	713Ma	>60Ma ^②	铅 207	锆石, 晶质铀矿, 沥青铀矿
钾 40	1,300Ma	>50,000 ^②	氩 40	白云母, 黑云母, 普通角闪石, 海绿石, 透长石, 全部火山岩
铷 87	47,000Ma	>5Ma ^②	锶 87	白云母, 黑云母, 锂云母, 微斜长石, 海绿石, 全部变质岩

① 中间衰变产物。

② 低于所列最小值时,使用这些方法能够获得有用数据,但是,随着年龄值的减小,这些方法就易于产生较大的误差。

大的年龄值。测定岩石年龄的各种方法的有效范围，确实可供我们进行这样的综合（表1-2）。这个表说明放射性测年的途径有许多种。对于需要进行测年的矿物相的成因，往往不得不作出一些主观的解释。必须采用几种方法，才能获得有关相对年龄的一些资料。这些方法的依据，可以是与火成岩侵入体的关系、同期沉积自生作用、沉积后的成岩变化，也可以确定某种矿物相是碎屑形成的还是自生的作为依据。对所有这些特征作出评价，就可以确定在地层对比中很有用的年龄值。

放射性年龄测定，在地层学研究中是非常重要的，现在已经研究出各个纪的绝对年龄表（表1-3）。这种表对于分析生物演化和沉积作用的速率以及造山作用事件反映的时间跨度，都是很有用的。在研究出这种绝对年代表之前，对这些方面都不可能得到更多的了解。如果地层学研究的目的是评价这些变量，那么，这就应该选用一种方法；如果目的是将地层剖面进一步划分成代表历史发展进程的若干个单元，那么，就还需要有其它的某些手段。

表 1-3 全球标准年代地层(地质时代)表的主要单元

界和代	系和纪	放 射 性 测 年 (Ma)	
		单 元 延 续 时 间	单 元 起 始 年 龄
新 生 代	第 四 纪	2	2
	第 三 纪	65	67
中 生 代	白 垩 纪	70	137
	侏 罗 纪	58	195
	三 叠 纪	35	230
古 生 代	二 叠 纪	55	285
	石 炭 纪	65	350
	泥 盆 纪	55	405
	志 留 纪	35	440
	奥 陶 纪	60	500
	寒 武 纪	70	570
太 古 代		3,000 +	3,600 +
前寒武纪			

3. 时代地层对比

地层剖面的对比与分带不同。一个剖面代表的是特定的一段发展历史，这段历史由生物群和岩性的变化体现出来。一个三维的复原图中的变量，包括岩性和生物群彼此之间的系统变化，以及岩性和生物群随着时间的演进而发生的系统变化。很少有证据能够说明需要对比的每个剖面所代表的是相同的历史时期、垂向上和二维平面上相同的产物型式、或者相同的动物群或岩性要素型式。诚然，如果全部采用它们作为有用数据，那么，进行逐层的或者逐个带的二维对比，就会产生严重误差。没有理由认为逐层对比或逐带对比全都与时代相关。诚然，如果岩性体和生物带都是穿时的，就象在任何时间面上见到的那样，那么，对比的时间依据就不复存在。如果研究的目的是沉积作用的历史，那么，就需要确定岩性体或生物带在横向和历史上的型式。唯一的共同点是将各个地方的沉积作用联系