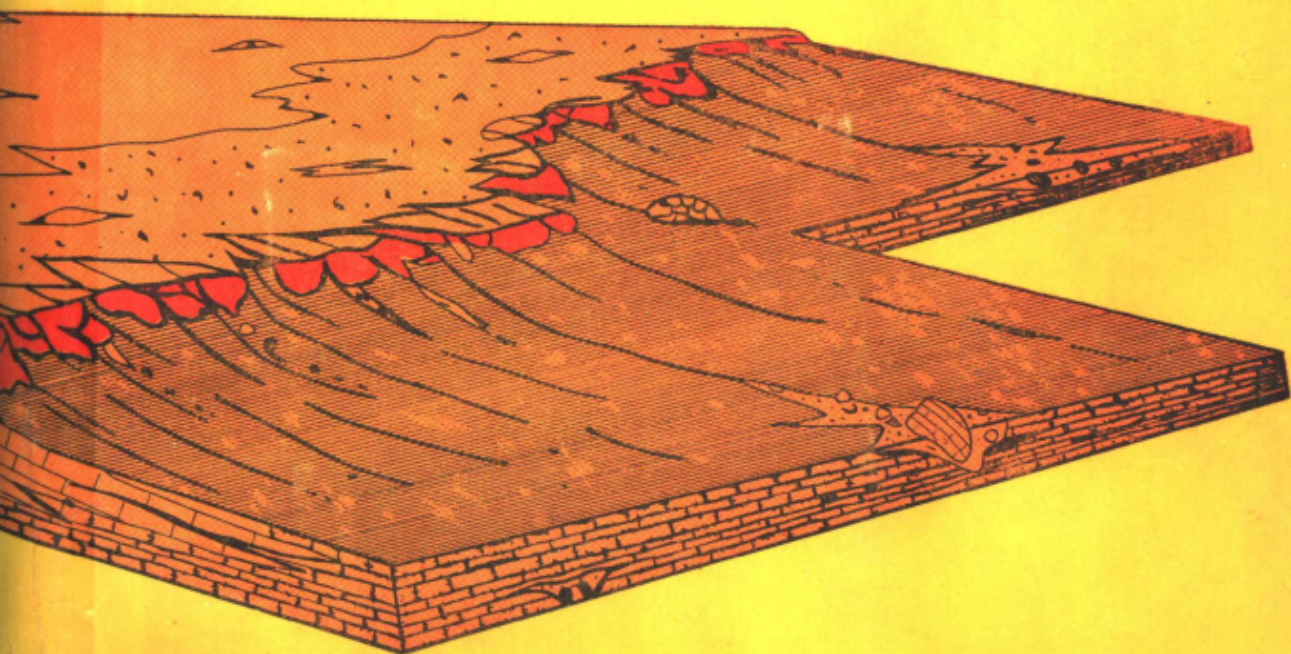
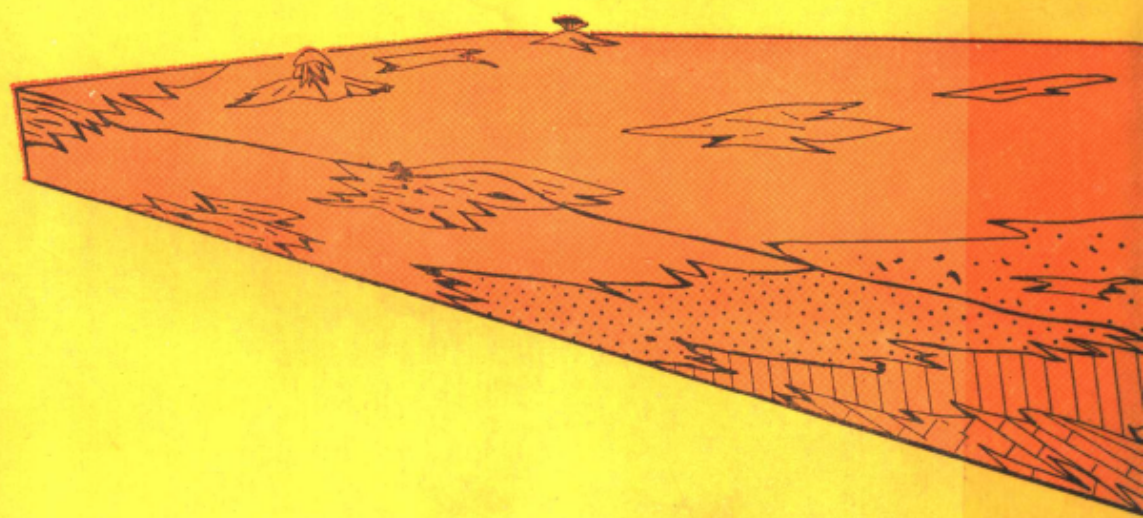


地质历史中的碳酸盐相

J·L·威尔逊著



地质出版社



统一书号：15038·新407

定 价：4.50 元

科技新书目：191—107

地质历史中的碳酸盐相

J. L. 威尔逊 著

冯 增 昭 等 译

地质出版社

James L. Wilson
Carbonate Facies in Geologic History

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York

地质历史中的碳酸盐相

J. L. 威尔逊 著

冯增昭 等译

•

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行 • 各地新华书店经售

•

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ • 印张: $23^{1/2}$ • 字数: 509,000

1981年3月北京第一版 • 1981年3月北京第一次印刷

印数1—2,400册 • 定价4.50元

统一书号: 15038 • 新407

译者序

《地质历史中的碳酸盐相》是第一本用新的碳酸盐岩石学的知识和观点，系统地论述地质历史时期中的碳酸盐相的专著。本书内容丰富，包括世界上许多碳酸盐岩发育地区的第一性资料，而且大都是本书作者长期工作实践中所积累的，这是很难得的。本书观点新颖明确，既反映了近二十多年来碳酸盐岩石学快速发展的崭新内容，也有作者本人经过综合抽象的独到见解，这更是十分可贵的。这些，都是本书的基本方面和主要的优点。

但是，本书也有一些不足之处。第一，内容尚欠全面。从空间上看，缺少深水海洋碳酸盐相和各种非海洋碳酸盐相；从时间上看，缺少老的震旦纪碳酸盐相和新的第三纪碳酸盐相，同时对寒武纪和奥陶纪碳酸盐相的论述也尚未成独立的体系。空间上的欠缺，正如作者所说，关系还不大，因为绝大多数的古代碳酸盐岩都是在浅水海洋环境中沉积的；但是，缺少震旦纪和第三纪的碳酸盐相，以及对寒武纪和奥陶纪碳酸盐相的论述不足，就是比较大的缺陷了。这一点，也许我们中国的读者会感觉得更深些，因为这些时代的碳酸盐岩在我国特别发育。第二，去粗取精去伪存真的综合提炼工作还不够，有一些地方，还仍然停留在原始资料的叙述上；而本书的重点内容之一，即九个相带，也不是一气写成，而是分隔在两章（第二章和第十二章）重复地论述，这既费篇幅，又欠深透。第三，在一些地方，叙述欠明白，文字欠通顺，使人费解；这一点大概也和前一点即加工提炼不够有关。

但是，金无足赤。对于这么第一本用新的碳酸盐岩石学的观点论述世界各地各个地质时代的碳酸盐相的专著，是不能求全责备的。本书的优点方面是基本的，也是十分难得的和可贵的。至于本书的不足之处，这是作者本人经验和科学历史发展阶段的限制，是在所难免的，今后碳酸盐岩石学和碳酸盐岩相古地理学的发展，一定会弥补这一缺陷的。因此，本书还是一本相当好的碳酸盐相的专著，是值得阅读和借鉴的。

本书译者有冯增昭、张永一、曾允孚、潘正莆、陈孟莪、黄家宽、王尧、李菊英、乐昌硕、余素玉、杨广福、李永宜、张丽娟、赵霞飞、李祐佑、赵幼航等；校者有范嘉松、陈孟莪、冯增昭、何镜宇、张永一、方少仙等；全书的统一审校和定稿工作由主译者冯增昭担任。

在本书的翻译和定稿过程中，曾参阅成都地质学院有关本书第一、二章以及图版说明的油印译稿。贵州第八石油普查大队的何全禄协助图版植字，黄育才和乐昌硕也参加了植字工作。特此一并致谢。

我们首先力求译文内容确切和文字通顺；但由于本书加工提炼和文字阐述上都存在着一些不足之处，因此在许多地方我们不得不反复斟酌，进行必要的但又不影响内容的文字增删和修饰。其次，我们还根据原书的内容和系统，对原书中的节和节下的大小段落进行了认真的核对和适当的调整，有的地方还增加了相应的标题；并在此基础上，按我国的习惯，拟定了详细的目次。第三，对一些重要的术语的译名，尤其是一些新的或有争议的术语的译名，大都加了相应的页下“译者注”，说明各种不同的观点或意见以及我们的抉择。

所有这些，都是为了本书的中译本能有一个较好的水平，以便于我国读者的阅读。

但是，由于我们水平所限，尽管作了很大的努力，译文的水平还是不高的，甚至还难免有错误和不当之处。敬希广大读者批评指正。

主 译 者 冯 增 昭

1978年9月

作者序

自1950年以后,地质学家们对碳酸盐沉积物的成因和石化作用的了解,要比以前所有的历史岁月还多。在碳酸盐地质学的所有领域,如近代环境的研究、海洋动物学和植物学、生物地球化学、痕量元素和同位素地球化学、矿物学、沉积环境的微相、以及痕迹化石的沉积构造的调查研究等,都是如此。这些新知识的系统综合和提高,现在已开始进行。

本书的目的在于向高年级大学生和石油勘探工作者介绍这一科学领域的重要方面,即介绍一些碳酸盐地质学的原理,以便用于古代地层的沉积环境的解释以及更好地确定它们的层序和模型。

第一章是碳酸盐沉积作用的简要论评。关于碳酸盐的矿物学、地球化学、和成岩作用的讨论,以及全新世沉积物的评论,可参看巴瑟斯特(Bathurst, 1971)的《碳酸盐沉积物及其成岩作用》和米利曼(Milliman, 1974)的《现代沉积碳酸盐·第一卷·海洋碳酸盐》。第二章主要评论碳酸盐沉积作用的地层学和古构造学的观点,并论述了一个碳酸盐沉积作用的综合概括模式。第三章提出了一个碳酸盐岩类学纲要,主要是用于环境解释的岩性学的描述。关于这一课题的进一步评论以及一些很好的显微镜照片,可参看霍罗威茨和波特(Horowitz and Potter, 1971)的《化石岩类学导论》和马耶夫斯基(Majewske, 1969)的《岩石和薄片中无脊椎化石碎屑的鉴别》。

其余各章,即第四章至第十二章,是试图从许多碳酸盐相的实例中,对大量的描述性资料进行综合,从而解释其沉积模型。在此基础上,作者提出了一些概括性的论点,这些论点主要反映在第二章和第十二章中。这个方法主要是归纳的方法:只要我们放眼观察一下海洋灰泥沉积作用的记载,我们就会明白到底有些什么,就会知道怎样去描述它和解释它。应当同时采用两种方法,即地层学的方法和岩类学的方法,并化费同等的精力。已经对一些模型进行了对比,以便选定一些有关它们形成作用的最重要的参数。

归纳的方法总是有些困难的,这需要调研并掌握大量的实际资料。那么,关于我们的这一综合归纳工作,我们是否已经观察了足够多的模式呢?作者的回答很明确:我们刚刚开始。本书中的相模式的描述主要是作者个人的实际经验,这些实例主要来自欧洲和中东地区、加拿大西部、落基山脉、阿巴拉契亚山脉、美国和墨西哥西南部。这些地区都有大面积的碳酸盐岩。没有大盆地、澳大利亚、西伯利亚的地层学资料。尽管如此,从这些已知的地层学资料中,似乎还可以归纳出一些关于相模型的一般规律,这些规律可以作为预测尚未完全了解地区的相分布的有效工具。本书的中间各章反复列举了许多具有不同生物群的模型,因为碳酸盐都倾向于遵循一个基本的沉积模型,而大地构造、气候、水文学的因素对这一基本沉积模型的影响是不大的;这样,就使我们的归纳概括工作简单化了。

由于总是把综合归纳的任务放在心里,所以在本书中有许多分类和纲要,这些都是试图把已有的知识系统化和标准化。这包括:

1. 碳酸盐微相(24个SMF类型,即24个标准微相类型)。

2. 碳酸盐建隆的术语 (23个定义)。
3. 陆棚-边缘剖面的类型 (3个类型)。
4. 沿陆棚边缘的相带 (一个理想剖面中的9个相带)。
5. 一个理想碳酸盐丘的发展层序 (7个相)。
6. 碳酸盐建隆和相模型的构造背景 (4个主要的范畴)。
7. 碳酸盐旋回层序 (5个类型)。
8. 在地质历史中, 碳酸盐建隆中的生物发展情况 (4个阶段)。

碳酸盐沉积的某些方面并未包括在第十二章的评论中。大洋沉积物、淡水及温带的海洋碳酸盐都略去了, 因为在地质记录中, 所有常见的碳酸盐相, 显然都是在浅的、热带的、海洋环境中沉积的。全新世碳酸盐沉积作用的模式的描述, 对于古代相模式的解释是最基本的, 但本书却介绍的不多; 这些描述见巴瑟斯特 (1971) 及米利曼 (1974) 的著作、AAPG (美国石油地质学家学会) 及 SEPM (经济古生物学家和矿物学家学会) 的许多专刊和文集、迈阿密大学的沉积丛书、珀泽 (Purser, 1973) 主编的波斯湾文集, 以及许多关于英属洪都拉斯、佛罗里达、巴哈马、和尤卡坦地区的报导。

读者可能还会发现一些更为严重的忽略。像蒸发岩, 就讨论的很少, 而它却是碳酸盐沉积作用领域的重要组成部分。但是, 从已经出版的一些专辑和书刊中, 现在是可以对蒸发岩的文献进行概括综合的。另外, 像白云岩的成因及地层学这个与碳酸盐相有密切关系的课题, 也只是在第十章简要地讨论了一下。还有, 第三纪的建隆和模型, 对于石油勘探者来说也是同样重要的, 但是, 由于作者个人了解的很不够, 所以也没有进行确切的描述。

此书的写作是一个十分艰难的劳动过程。但愿读者阅读和研究此书时, 不致这么费劲。

J. L. 威尔逊

1975年7月

目 录

第一章 碳酸盐沉积作用原理	1
第一节 必需的海洋环境: 温暖、光、和水运动.....	1
第二节 碳酸盐产生作用基本上是有机的.....	3
第三节 碳酸盐堆积的主要水文控制.....	4
第四节 碳酸盐质点的当地成因——结构解释及分类.....	5
第五节 碳酸盐沉积作用很快速但易于受到抑制, 因此在地质历史中是间歇性的.....	12
第六节 碳酸盐沉积物及碳酸盐岩受多阶段的成岩作用的影响.....	13
第七节 结束语.....	14
第二章 碳酸盐沉积地层学	16
第一节 一些术语的定义.....	16
第二节 基本相模型.....	19
第三节 碳酸盐相的古构造背景.....	23
第四节 碳酸盐陆棚边缘及盆地的地层层序、几何形态和相.....	27
第五节 陆棚上和浅水盆地中陆表海的碳酸盐地层层序.....	38
第三章 碳酸盐岩类学纲要	46
第一节 碳酸盐岩的研究方法.....	46
第二节 微相解释.....	48
第三节 标准微相类型.....	52
第四节 碳酸盐沉积物的成岩变化.....	57
第五节 生物学观察.....	60
第六节 碳酸盐岩沉积构造辞汇.....	63
第七节 一个碳酸盐薄片的环境分析.....	73
第八节 碳酸盐岩颜色的意义.....	75
第九节 碳酸盐中的碎屑含量.....	76
第十节 孔隙度和渗透率.....	78
第四章 中古生代造架生物的出现	81
第一节 最早的建隆.....	81
第二节 志留纪建隆—古构造背景.....	87
第三节 泥盆纪建隆.....	100
第四节 总结.....	117
第五章 早石炭世的沃尔索蒂相	124
第一节 绪言.....	124
第二节 沃尔索蒂相与区域古构造的关系.....	125

第三节	典型的沃尔索蒂相的组成·····	136
第四节	丘的成因理论·····	139
第五节	结束语·····	141
第六章	美国西南部宾夕法尼亚纪—早二叠世陆棚边缘相·····	142
第一节	绪言·····	142
第二节	古大地构造背景、地质历史和气候·····	142
第三节	晚古生代地层中形成碳酸盐建隆的特殊生物群落·····	144
第四节	二叠—宾夕法尼亚纪碳酸盐建隆实例·····	147
第五节	结论·····	166
第七章	晚古生代的陆棚陆源物—碳酸盐旋回·····	170
第一节	绪言·····	170
第二节	约代尔旋回·····	170
第三节	内陆和南落基山脉的宾夕法尼亚系和狼营统的陆棚旋回层·····	173
第八章	二叠—三叠纪建隆和晚三叠世生态礁·····	183
第一节	二叠纪礁组合·····	183
第二节	多罗迈特山的中三叠统·····	197
第三节	奥地利和巴伐利亚晚三叠世的礁线滩和盆地丘·····	206
第四节	二叠纪和三叠纪礁组合的异同·····	215
第九章	欧洲和中东晚侏罗世的礁延伸带及盆地沉积·····	218
第一节	概述·····	218
第二节	区域背景·····	219
第三节	基本微相·····	222
第四节	中欧的礁带·····	226
第五节	索尔霍芬相·····	233
第十章	向上浅滩化的陆棚旋回和陆棚白云化作用·····	237
第一节	概述·····	237
第二节	鲕粒岩—颗粒岩旋回·····	238
第三节	灰泥—萨巴哈旋回·····	250
第四节	具强烈成岩作用的台地旋回·····	255
第五节	碳酸盐滩和内陆棚旋回的白云化作用·····	260
第十一章	厚壳蛤隆起, 墨西哥和中东的中白垩世相·····	267
第一节	厚壳蛤双壳类·····	267
第二节	墨西哥和湾岸中白垩世陆棚边缘和台地—滩内相·····	272
第三节	中东地区中、早白垩世相·····	283
第十二章	总结·····	291
第一节	地层学原理·····	291
第二节	碳酸盐组合理想模式中的九个标准相带·····	292
第三节	陆棚边缘剖面的三个主要类型·····	301
第四节	碳酸盐丘和共生的生态礁·····	304

第五节 控制和修饰碳酸盐堆积的各种参数之间的相互关系.....	308
第六节 碳酸盐建隆和旋回的构造背景评述.....	312
图版及说明.....	317
参考文献.....	348

第一章 碳酸盐沉积作用原理

第一节 必需的海洋环境：温暖、光、和水运动

绝大多数的碳酸盐沉积作用基本上都是化学的或生物化学的作用，它发生在一种特殊的海洋环境中，即清洁、温暖、和浅的水域中。图1—1是全世界现代碳酸盐沉积作用分布图，它清楚地表明碳酸盐沉积作用与赤道地区和温暖洋流之间的肯定关系。费尔布里奇（见Chilingar et al., 1967）曾提出一幅图，此图表明浅海碳酸盐主要位于南北纬30°之间的温热地带。在南北纬40°之间的深海盆地的底部，也有许多浮游生物碳酸盐；但是，在更高的纬度地区，除了墨西哥湾流经过的北大西洋的部分地区以外，则没有这些碳酸盐沉积。在清洁和温暖的水中，无脊椎动物可沉淀出较厚的方解石和文石质的壳，许多含有更多钙质的藻也在这里繁殖起来，与藻共生的造礁珊瑚也局限于这一环境中。较冷的海洋水也可以养育一些无脊椎动物，它们的介壳也可以形成当地的介壳灰砂的堆积（Lees, 1973; Chave, 1967），但是，其他类型的灰质沉积物，如鲕粒、葡萄粒、似球粒、礁粘结岩、以

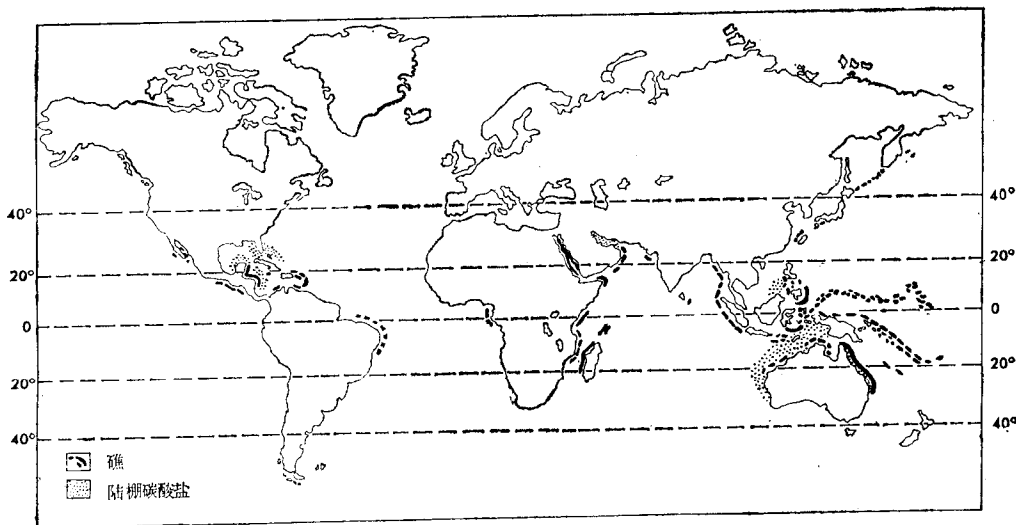


图 1—1 浅水中现代海洋沉积物的分布

及灰泥堆积，则均限于热带和亚热带的水域中。

但是，对于碳酸盐沉积作用来说，单是热带水还是不够的。水还必须是清洁的。围绕墨西哥湾的三大碳酸盐滩都位于没有大量细碎屑沉积物流入的地区。这些地区都远离密西西比河泥的向西运动的沿岸漂流，即都位于这一岸流的很远的东南方；同时，来自古巴这一大岛的粘土和粉砂也被深水阻绝了。相反的情况出现在印度尼西亚北面的巽他陆棚，在那里有一个被浅的赤道水覆盖着的广阔台地。这个巽他陆棚只有一些零星的礁堆积并沿其

北部及东部边缘分布，因为来自苏门答腊、爪哇、以及加里曼丹的大河流污浊了其南边和西边的海，这样就抑制了碳酸盐的形成。费尔布里奇（见Chilingar et al., 1967）指出，实际上，所有的赤道地区的浅碳酸盐陆棚，似乎都受到来自赤道的大河流的细陆源碎屑的严重干扰。

那么，在必需的海洋环境中，产生大量碳酸盐的科学的及生物化学的控制因素到底是什么呢？ CaCO_3 矿物从海水中沉淀的复杂的化学问题已超出本书的范畴。关于这一问题的讨论，读者可以参看巴瑟斯特（Bathurst, 1971）和米里曼（Milliman, 1974），他们都引证了很多有关的文献。现在，热带海对于碳酸钙基本上都是饱和的。因此，任何从正常海水（ $\text{pH}=8.4$ ）中逸出 CO_2 的作用，都倾向于把重碳酸盐离子变为碳酸盐离子，从而促进灰质的沉淀。对这一作用行之有效的机理至少有以下8个：温度的增加和蒸发作用的加强，过饱和的水流入有 CaCO_3 核和催化剂的地区，海水从高压区向低压区的上升作用，富含 CO_3 的水和贫含 Ca^{++} 的海水的混合作用，流体中的有机作用，细菌的破坏作用从而产生氨， pH 的升高和碳酸盐浓度的增高，以及光合作用逸出 CO_2 。

由微浮游生物的新陈代谢作用所引起的光合作用，特别是在温暖和动荡的海水中，可能是头等重要的。假如真是这样，再加上生物化学研究资料愈来愈多地表明，有机氨基酸可以沉淀 CaCO_3 ，从而使海中的几乎所有质点都披上 CaCO_3 外壳（Mitterer, 1971），那么就意味着，在碳酸盐产生作用的速度上，深度控制是存在的。尽管热带海洋藻类的深度范围可达100米或更深，但海松藻和蓝绿藻却在小于10—15米的深度广泛分布。在较深的水中很少有绿藻生长，但是在热带陆棚边缘非常清的水中，大量的仙人掌藻可以生长到70米左右的深度。一般说来，似乎在很浅的深度就可以达到主要藻类产生 CaCO_3 的境界。因此，在10—15米深的广阔水域的任何地理场所中所产生的 CaCO_3 ，要比较深的陆表海所产生的 CaCO_3 （每单位面积）大好几倍（图1—2）。

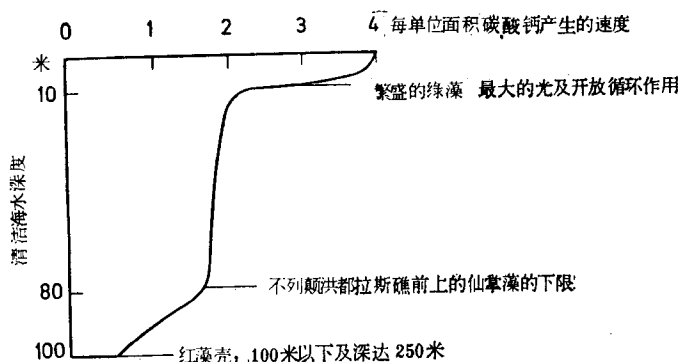


图 1—2 有机碳酸盐的产生可能不是深度的直线函数的理论图解。产生比率的估计

R. N. Ginsburg

不仅仅深度，还有混浊度，即由水中悬浮的粘土和粉砂质点所引起的混浊度，也强烈地抑制 CaCO_3 的产生。这一抑制作用有两种方式：（1）混浊度减弱光线，这就影响了光合作用，减弱了钙藻的生长，而钙藻外壳的破碎却提供了大量的文石质灰泥。确实，假如海水中灰泥的沉淀作用主要是生物化学的，那么泥质水和较暗的水对浮游植物的抑制作用将基本上消除碳酸盐的产生。（2）底栖无脊椎动物提供大量的各种粒级的碳酸钙质点，但

这些动物的绝大多数都受到悬浮粘土质点的抑制，这些粘土质点堵塞了它们的寻食途径。

值得注意的是，绝大多数的石灰岩及白云岩沉积都是很纯的碳酸盐，只含有很少量的粘土及粉砂不溶物。这些“污染物”对钙质沉积物显然是不利的。

另外有两种作用，即水的搅动作用和强烈的蒸发作用，对于碳酸盐沉积作用也是重要的，但可能不一定是必需的。水的搅动作用将在后面论述。在盆地和潮坪上，蒸发作用对海水的浓缩已得到很好的证实。当溶解盐类的浓度到达 CaSO_4 足以发生沉淀以前， CaCO_3 必定以生物化学的或完全无机的方式从海水中移出。互层的、无化石的、细粒的、均一的碳酸盐，与盆地蒸发岩（硬石膏或石膏）共同出现，证实了这一作用。

上述形成海洋 CaCO_3 的各种因素可以综合地看作一个相互联系的自然作用体系。其他的沉积作用以一种或另一种方式影响这一体系的产物。因此，生物类型、海平面的波动、沉降作用的速度、水文学因素、以及气候，均对这一“碳酸盐工厂”有影响，从而产生出地质记录中的各种石灰岩和白云岩。

第二节 碳酸盐产生作用基本上是有机的

生物可以提供各种粒级的灰质碎屑沉积，并可形成巨大规模的沉淀石灰岩。

一、绝大多数的灰泥是有机来源的

沉积学工作者曾广泛地讨论过灰泥的成因及其堆积方式。灰泥是浅的热带水或广海上层水的常见产物。温带的浅冷水仅能产生介壳质及粉砂质碳酸盐生物碎屑。大洋盆地中的浮游生物堆积主要由粉砂级物质组成，这些物质形成于低纬度的透光带。

细的灰质沉积物沉降到海底，不具有明显的压实作用。海底表面几厘米以下的松软沉积物由大致等量的 CaCO_3 及水组成。现代的浅水灰泥主要是文石，但也可以含有相当多的（可达50%）高镁方解石（晶格中的镁一般 $>10\%$ 克分子）和低镁方解石（含量可达10—15%，晶格中的镁一般 $<5\%$ 克分子）。

业已证明，灰泥来自以下不同的途径：底栖生物（主要为钙藻）的死亡和破坏、较大碳酸盐质点的磨蚀碎屑，浮游生物的堆积、以及海水的直接沉淀作用（可能是繁茂的浮游植物所引起的生物化学作用）。沉淀在海水中的高镁和低镁方解石都是来自介壳物质的生物磨损作用或机械磨损作用；但是文石的成因却是有很多争论的。文石一般占灰泥的一半以上，而有的地方可达95%。争论的焦点是细小的（4微米）文石针是海松藻的破碎产物呢？还是无机沉淀的？资料表明，不管文石针的成因如何，大部分的（假如不是绝大部分或全部）细灰泥质沉积物都是有机来源的。

二、绝大多数的较粗的灰质质点也是有机成因的

许多砂级到砾级的碳酸盐沉积物是介壳和贝壳的破碎产物（生物碎屑）。例如软体动物、绿藻、现代珊瑚、以及许多有孔虫，现在都在提供文石质点；另外的有孔虫（粟孔虫类和马刀虫类）、红藻、以及棘皮动物，则提供高镁方解石。少量的低镁方解石是由腕足类、苔藓虫、介形虫、有孔虫、以及古生代的三叶虫和四射珊瑚提供的。灰泥也可以被生物聚集成粪球粒和葡萄粒团块，并以很低密度的砂粒运移。生物也可以间接地提供砂级质

点并对其进行改造。生物碎屑被微穿孔的真菌、藻类、以及海绵腐蚀,从而转变为似球粒(磨圆的、均一的、由微晶方解石组成的砂级质点)。虫孔的坍塌或藻席的干裂也可以形成较大的碳酸盐碎屑。因此,生物实际上直接或间接地创造了所有主要的碳酸盐质点类型。这个,甚至对于鲕粒也是正确的;具包壳作用的蓝绿藻在建造同心纹层中起着重要的作用,而这同心纹层可能是由沉淀文石形成的。

三、地质记录中的生物沉淀的碳酸盐是大量的

除了细的和粗的碳酸盐碎屑质点以外,许多原始固着无脊椎动物以及藻类都可以在其组织中或其组织周围直接分泌碳酸盐,形成各种类型的巨大的和坚硬的格架和包壳。在这一方面,腔肠动物(水螅类和珊瑚类)、海绵、珊瑚红藻、苔藓虫、以及软体动物,都是很重要的。由于能形成坚硬的粘结岩(Dunham, 1962)或生物岩(Folk, 1959),所以就可以形成巨大原地碳酸盐建隆(生物-生态礁)。这正是碳酸盐沉积的独有特征,这与任何其他形式的陆源碎屑沉积作用是完全不同的。

第三节 碳酸盐堆积的主要水文控制

碳酸盐沉积物一旦形成,它们就和陆源沉积物一样受海洋沉积作用的控制。在开阔海或边缘(外克拉通)盆地的陆棚边缘尤其是这样。水流和波浪簸选走细粒沉积物,从而在开阔的陆棚上便形成了砂和砾的残留沉积。这些沉积可从潮差较大的(2—3米)的沿岸砂坪延续到50—100米水深的坎佩切和西佛罗里达广阔的陆棚。波浪和水流还倾向于堆积碳酸盐砂和砾石堆积。介壳滩、沿岸的砂嘴、以及水下的坝是由沿岸漂流形成的,潮汐通道中的潮汐三角洲和坝是众所周知的机械沉积的碳酸盐沉积体。同样,在主要的全新世碳酸盐滩的边缘,也有鲕粒和似球粒的潮汐坝。

从陆棚簸选出来的较细粒的碳酸盐沉积物倾向于堆积在陆棚边缘的两个地区,一个是远离陆棚的与海岸相邻的较深水地区,一个是坝后的受保护的静水地区。在波斯湾的轴部,钙质泥位于大珍珠滩北部边缘以外的地区;在墨西哥湾,细的钙质泥沉积物堆积在坎佩切滩正北的西格斯比深渊中。与这些产状相反的是尤卡坦东北沿岸的被沿岸砂嘴加积作用所包围的浅泻湖,在这个泻湖中含有30英尺以上的灰泥,还有安德罗斯岛背风侧(西侧)巨大的泥^①质潮汐坪,还有波斯湾西岸的潮汐泻湖,以及佛罗里达由泥^②淤积的海湾。在这些情况中,大量的细泥^③沉积物就被风暴和潮汐水流从外陆棚带到泻湖中和潮汐坪上;虽然在这些地区,原地堆积作用也正在进行。

尽管在碳酸盐和陆源物的沉积作用中,其水文作用相似,但是由于碳酸盐主要是有机成因的,因此在碳酸盐沉积作用中,还有另外一些水运动的影响。这些影响可以区分为与广海相邻的边缘盆地中的和陆表海中的。由强大水流及海岸地区的撞击波浪所引起的水运动,对于产生碳酸盐的植物的生长速度有重要的促进作用。由于波浪作用,CO₂被排出,压力也变化了,由新鲜的海洋水带来的养料促使生物繁殖,并使CaCO₃沉淀。在这些地区,特别是在陆棚坡折处,现代礁得到最好的发育。即令是在平静的气候或有向岸风的气候

①②③ 此处的“泥”,是灰质的或碳酸盐质的,不是粘土质的。——译者注。

中,沿陡峻的斜坡上升的海水也给陆棚边缘带来新鲜的养料。这样,生物成因的碳酸盐堆积就很快地长到海平面,同时大量的碎屑也从生物生长的中心快速地倾泻出来。因此,尽管强大的水运动有剥蚀作用,但还是产生了大量的碳酸盐沉积物。持续的、强到中等的水运动(例如在浅水热带陆棚上的),由于海底加积作用及胶结作用,还可以产生砂级的质点,如鲕粒、葡萄粒、以及变硬的粪球粒。这些作用部分地是有机的,部分地是物理-化学的,它们不仅能产生变硬的砂级质点,还可以通过普遍的海底胶结作用稳定住这些沉积物。

在静水地区,例如在礁或砂坝后面,或在广阔的平坦的浅水陆棚,局限的水循环和气候因素以不同的方式强烈地影响着碳酸盐沉积作用的类型。这些条件已被欧文(Irwin, 1965)和肖(Shaw, 1964)详尽地描述过,罗尔(Roehl, 1967)和露西亚(Lucia, 1972)已把它们应用到地质记录中。水循环不畅对于绝大多数海洋动物来说是个受局限的环境。在蒸发气候下,这种停滞水的环境还将引起含盐度的变化,甚至达到很高的含盐度。在泻湖的泥^①沉积物中,泥^②的球粒化对于产生某些砂^③和粉砂^④是重要的;同时,泻湖中占统治地位的生物如软体动物、某些藻类、有孔虫、以及介形虫,也在提供砂级的组份。在潮间带,由于间歇性地海水泛滥及陆上暴露,在灰泥中形成了许多特殊的沉积构造。在蒸发气候下,普遍形成硫酸钙及白云石;在热带多雨地区,淡水透镜体提供泉水并造成富含半咸水植物的沼泽,这种植物可以沉淀非海洋的低镁方解石。

第四节 碳酸盐质点的当地成因 ——结构解释及分类

由于绝大多数的碳酸盐沉积物都是生物产生的,所以它们当然是原地生成的,即在一个特定的盆地中生成的,不是由河流或流水从其他地方搬来的。碎屑成因的碳酸盐砂或粉砂颗粒沉积当然也有,但其量很少,因为 CaCO_3 的溶解度在淡水中很大,而在溶有 CO_2 的淡水中更大。绝大多数的粗碳酸盐颗粒不可能移动很远的距离,除非它们从陡峻的陆棚边缘滚下去或者被沿岸漂移搬运。绝大多数的粗碳酸盐颗粒似乎是从它们生长的地方呈碎屑质点降落下来的,或者就遗留在生物生长、死亡和分解的地方,它们的横向移动是很小的。这已被金斯伯格(Ginsburg, 1956)在佛罗里达礁区、麦基等(McKee et al., 1959)在太平洋的开平伽马兰基环礁的生物学研究证实。在这两种情况中,底部沉积物中的生物成因的质点,尽管有强烈的生物搅动,仍然可靠地反映当今活生物群的一般面貌,因此也反映海洋环境的条件(含盐度、循环作用、温度、深度、底质等)。即令是在潮汐坝中形成的鲕粒,也是基本上堆积在它们形成的地方。经常涨落的潮水可以引起质点的加积,也可以形成带状的或近于扇形的潮汐坝。这些质点都是在陆棚边缘的特定位置上形成和保存下来的,特别是在由于垂直方向和横向的阻碍而使水运动增大的地方。一些细小的质点(包括灰泥)可能被风暴波浪的水流搬运许多英里,并可能堆积在某个深水或浅水盆地的特别掩蔽的地方;但是,在广阔的泻湖或浅陆棚上,也可以产生并就地堆积这种细小的质点。

①②③④ 此处的“泥”、“砂”、“粉砂”,都是灰质成分的,不是粘土质和硅酸盐质成分的。在本书中,凡未注明是粘土质或硅酸盐质的“泥”、“粉砂”、“砂”等,均是灰质的或碳酸盐质的。——译者注。

显然，绝大多数碳酸盐沉积物的原地成因，对于其环境解释提供了很大的方便，这样就增加了对这些质点类型的鉴别（特别是薄片研究）的地质意义和重要性。从索比（Henry Sorby, 1879）以后，碳酸盐岩石学已成为一个完整的学科。自50年代中期到现在这20年中，又有了巨大的进展。巴瑟斯特（Bathurst, 1971）曾指出，海底沉积物只是名目繁多的生物及其生态系统提供到海底的一个很不重要的残留部分。依靠这种残留物进行环境恢复工作当然是很困难的。典型的碳酸盐质点可以提供生态学的线索，这些典型质点的很好描述和图示见马耶夫斯基（Majewske, 1969）以及霍罗威兹和波特（Horowitz and Potter, 1971）。

许多碳酸盐质点的当地成因以及它们具有各种形状和大小，这就需要一些与陆源碎屑沉积物完全不同的结构解释和分类。许多很细小的颗粒物质如藻类或化学沉淀的2—4微米文石针是原地产生的，也可以是微浮游生物（颗石藻）和细小的碎屑碳酸盐颗粒形成的。还有，由于物理磨蚀作用，由于生物摄食的磨蚀作用或腐蚀作用，或者由于骨骼腐烂而引起的简单分解作用，都可以产生大量的粉砂、砂、和砾石级的质点，并且还具有各种各样的形状。另外，这些质点在矿物成分及内部构造上也是多样的，而其矿物成分和内部构造的多样性对其最终的形状和大小的控制要比破碎营力大得多。根据形成的质点的构造，可以鉴别出骨骼或贝壳的一些类型以及它们对磨蚀作用的抵抗性。这一分类与霍罗威兹和波特（Horowitz and Potter, 1971, 表7）关于化石碎片的分类相比略有重复，但也有所不同。下面是金斯伯格的分类。根据骨骼抵抗破坏作用的相对强弱程度，可以鉴别出六种骨骼类型。

1. 鞘状及针状骨骼：在这些骨骼中，矿物质点都很小（粉砂-细砂级），被生物组织的联结也很疏松。生物死后，生物组织腐烂，这些质点就呈细粒沉积物释放出来。例如笔藻、四射珊瑚、珊瑚、海绵、被囊类、海参类。

2. 分节状骨骼：由被生物组织联结起来的矿物质点组成。生物死亡和腐烂后，最常见的产物是砂级的质点。例如仙人掌藻、连结的红藻和棘皮类。

3. 分枝状骨骼：由方解石化的圆柱状或片状枝体组成。在沉积物中，这种碎屑的大小取决于生物的原始大小、分枝的大小和长度、以及它们所遭受的生物破碎和机械破碎的性质和强度。例如一些珊瑚（鹿角珊瑚）、红藻和苔藓虫。

4. 房室状骨骼：包括所有空的或部分空的骨骼。在生物死后，房室仍保存下来；但是，不同类型房室的抗破碎性是大不相同的，这取决于它们的绝对大小、壁的厚度、形状、以及显微构造。一般说来，弓形可有效地抗拒破碎。例如腹足类、龙介虫管、有孔虫、一些甲壳类、瓣鳃类、一些棘皮类和腕足类。

5. 结壳骨骼：包括所有的具结壳面的植物和动物。在大多数情况下，这些骨骼的破碎主要取决于结壳面和底质的生物破碎。这些是抗机械破碎的构造。例如一些藻类、有孔虫、珊瑚、苔藓虫、蠕虫、水螅珊瑚。

6. 块状骨骼：一般是大型的和半圆形的。由于它们的形状以及它们的显微构造（在某些情况下），它们最不易破碎。例如珊瑚及一些珊瑚藻。

在本书中，术语“生物碎屑”（bioclast）是指任何种类的钙质介壳、贝壳、或骨骼破碎而成的碎屑质点，不管这种破碎作用是机械的或是生物营力引起的。但有的作者却把这一术语仅限于生物营力破碎而成的骨骼碎屑；葛利普（Grabau, 1970）就是这样定义的。