

石油地质学进展

(二)

G. D. 霍布森 编

石油工业出版社

26396

石油地质学进展 (二)

G.D.霍布森 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书继《石油地质学进展(一)》之后, 主要从新理论和新方法这两个方面介绍了石油地质科学的新发展。书中论述了除砂岩外的其它主要储集岩性质, 论述了普遍存在的油田卤水与注入流体的关系, 以及有关地震地层学、测井资料的地质应用方面的新进展, 并对近年来愈来愈引起注意的勘探风险分析、常规油气资源估算进行了探讨, 可供石油地质和地质部门的科技人员及院校师生参考。

本书第一、二、四章由周自立同志翻译, 胡文海同志校订; 第三章由陈发景同志翻译, 柯保嘉、陈景山同志校订; 第五章由袁秉衡同志翻译, 范伟粹同志校订; 第六章由徐怀大同志翻译; 第七章由范从武同志翻译, 孙惠文同志校订; 第八章由甘克文同志翻译。

Edited by G.D.HOBSON

Developments in Petroleum Geology-2 1980

APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD

RIPPLE ROAD, BARKING, ESSEX, ENGLAND

石 油 地 质 学 进 展

(二)

G.D.霍布森 编

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32开本 $10\frac{1}{8}$ 印张267 千字 印1—1600

1986年9月北京第1版 1986年9月北京第1次印刷

书号: 15037·2641 定价: 2.00元

前 言

近来, Finniston强调了对工程技术人员进行继续教育的必要性。与石油工业有关的工程师和其他人员在这个问题上并不需要新的说教,因为在过去的十年中,针对油田工作各方面的多种来源的短期培训已大量增加。但并不是每个人都能够参加这些短训班的,因此通过出版物比如这本书进行继续教育是一个有效的方法。

《石油地质学进展(一)》中有三章对砂岩给予了特别的注意。但由于石油地质学也包含有其它岩石类型方面的内容,故本书试图以其所含章节来填补上一本书关于石灰岩、粘土或页岩、蒸发岩等沉积方面的空白。从而,注意力转向了其它主要储集岩性质,转向那些可作为封闭层的岩石以及在蒸发条件下对构造的产生起作用的岩石;另外,粘土或页岩可作为油源岩,因为它们是在有利于有机质的结合和“储藏”的条件下形成的,并且它们可以参与烃类演化的作用过程。

普遍存在的地下卤水,由于其流动性,某些部分具有复杂的历史。其溶解的成分可用于对比和鉴定,并有利于发现油气聚集。当考虑提高采收率时,油田卤水与注入流体的配伍性将是很重要的。

在地震地层学中对不整合的识别可以描绘出主要岩石充填带的轮廓,地震地层学也可利用反射层的排列给我们提供沉积单元的成因模式方面的线索。

五十多年前, Schlumberger兄弟根据地面电法测量原理,首先提出了电缆测井工艺方法,他们采用的方法是大大缩短电极距,并将地面电极系旋转 90° ,在井下进行测量。许多进展都源于这一早期工作的改进。目前电缆测井技术已运用于所有油气探

井中。测井的最终目的是确定油气层位置，但新油田的发现及其最有效开发均需从每口井（无论是油井还是干井）中获得最合理的地质推论。传统的钻井取芯是昂贵的，因此从岩芯和钻屑中补充资料的方法是很受欢迎的，而且在适当的条件下，较新的测井技术可提供有关岩石性质和结构方面的资料。

某些**风险**测量是油气聚集区的勘探和开发所固有的，在考虑勘探开发的可能财政支出的前提下，尝试进行这方面的风险测量是必要的。在理想情况下，风险分析应能识别有特殊意义的因素，并能确定那些因素的哪些取值范围是可能的，那些因素的影响最小，也能认识这样一个事实，即特定成功率不能永远一成不变地在某一给定盆地和地区使用。在有关的矿脉中，存在着燃料可用量潜力这一提高公众兴趣的问题。由于油和气在使用中的适应性，所以它们具有特殊的重要地位或意义，因而对解决估算未发现石油量这一难题的方法值得研究。石油公司必须注意到未来15年或更长时间的情况；许多处于衰退阶段目前仍在活动的油田的产量仍是有价值的，但必须要搞清输油管线中是什么。

电缆测井剖面的重现（如书中插图）几乎不可避免地产生一些细节问题，然而一个简单的手持放大镜——这一所有地质学家的基本工具，就能使剖面图上主要的微小字体显得很清楚。

本书的筹备出版是投稿者们全力协作的结果，并得到应用科学出版有限公司的帮助。

目 录

第一章	石灰岩及白云岩储集层.....	J.L.Wilson(1)
第二章	沉积物及沉积岩中的粘土矿物.....	H.F.Shaw(52)
第三章	蒸发岩.....	B.C.Schreiber和K.J.Hsü(82)
第四章	油田卤水.....	A.G.Collins(132)
第五章	地震地层学.....	R.E.Sheriff(179)
第六章	测井资料的地质应用.....	R.P.Alger(196)
第七章	石油勘探风险分析.....	P.D.Newendorp(259)
第八章	常规油气资源的估算: 评价方法及其对 制订计划和颁布政策的意义.....	D.L.Barss(282)

第一章 石灰岩及白云岩储集层

J.L.Wilson

摘 要

实际上,所有的地质学家都知道,石灰岩及白云岩可构成重要的油气储集层,但是许多地质学家可能还没有认识到,在资本主义世界中,这种地层对未来油气产量的重要性。目前从世界特大油气田中产出的油气,有38%产自碳酸盐岩。这是对全世界产量的一个较准确的估算,因为240个特大油田(各有相当于五亿桶石油)拥有世界已探明储量的近3/4。除苏联和中国外,当中东油田达到最大开发程度时,大概有2/3的油气产量采自碳酸盐岩。在所选出的大油田中,经常发现碳酸盐岩层是产层;世界特大油田,约有60%是属于这种储集层类型。

此外,白云岩及石灰岩是世界各地铅锌硫化物的主要母岩,这一事实归因于碳酸盐岩对交代作用的化学不稳定性和敏感性。碳酸盐岩也是重要的含水层,而且还可提供大量建筑石料和水泥原料。因此,本文试图对这种在经济上有重要意义的沉积物的成因、相、模式、地层、成岩作用及石油储集层发育的各个方面予以评述。

一、碳酸盐沉积物的成因

一切环境的碳酸盐沉积物,基本上都是古代生物化学体系的产物。已知最古老的可标绘在图上的碳酸盐相(现为白云岩)岩体,年龄约为25亿年(见于Hoffman^[1], Cecile及Campbell^[2]所叙述过的加拿大西北地区大斯莱夫湖区)。

CaCO_3 沉淀或溶解的通式为 $\text{Ca} + 2\text{HCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ 。在这最简单的化学解释中, CO_2 逸出(降低其分压),

而且形成的水带走 H^+ 离子，这就抑制易溶重碳酸盐的形成，并促进不易溶碳酸盐的沉淀。我们知道在自然界中，有几种因素能促进失去 CO_2 ：温度增高（由于浅陆棚上方有上涌水流）；压力降低（由于海流上涌以及从淡水释放压力）；通过有机质腐烂增高pH值，产生 NH_3 。（在海底围绕着结核和腐烂物质进行碳酸钙的沉淀作用）；浅海底上方水连续搅动（如在沿岸的溅落带及在礁体上方通过的涌浪）；以及也许是最重要的植物光合作用。

目前已知的碳酸盐沉积物形成于四种主要环境，各自具有其独特的生物群及矿物特征。在地质史中已知类似环境形成的岩石都是从这四种环境中形成的。

（1）在淡水和咸水内陆封闭湖泊中，钙化的蓝绿藻体（轮藻类）^①，可破碎成细的碳酸钙泥，由低镁方解石（4摩尔%）^②所组成。泉的周围（如黄石公园的马默思温泉）以及沿碳酸盐海岸线低凹处附近的淡水沼泽（如佛罗里达，埃弗格莱兹）的石灰华体，就属于此类。该处携带 $CaCO_3$ 的淡水涌到地表而失去 CO_2 ，碳酸盐就围绕着茂盛生长的植物，诸如藻、苔藓类或栲树进行沉淀。蒸发作用也和光合作用一样，有助于这种作用的进行。许多盐湖有边缘相碳酸盐泥，常构成藻叠层石（如大盐湖及始新统绿河组）。但是，总的来看，在现代非海相环境中所形成的 $CaCO_3$ ，较之海洋中形成的，在量上是微不足道的。

（2）深海显微蓝绿藻（颗石藻球），可繁生于海洋100米以上的透光带，与浮游的抱球虫类有孔虫一起落入海底，形成由低镁方解石所组成的厚层软泥，海底要浅于方解石的补偿深度（4000米）。在有些地区，甚至于深海软体动物翼足类的文石贝壳可铺满海底，尽管海底通常在3000米深处或浅一些。这种海洋软泥的分布，受热带暖水表流的控制，而且由来自极地地区较深

① 轮藻类不属于蓝绿藻类，可能原文有误。——译者

② （4摩尔%）应改为（Mg低于4摩尔%）。——译者

的高密度冷水流加以改造，这种水流富含 CO_2 ，并在到达海底前，有能力溶解表面形成的 CaCO_3 。尽管有这种溶解作用，但由于海洋的巨大体积，深海碳酸盐的堆积量仍然是令人惊愕的。当今世界上沉积的 CaCO_3 ，至少有90%是在浅于方解石—文石补偿深度(3000~4000米)的洋底上形成的。

(3) 在温带和热带的水中，沿着海岸和在浅海海底上，形成并堆积了海洋底栖生物碳酸盐。温水碳酸盐少见，但很特殊^[3]。其组分有软体动物及有孔虫的生物碎屑及灰屑，附加大量介屑，有苔藓虫、藤壶、红藻和某些腕足类以及棘皮动物。马尔他和新西兰的某些第三系石灰岩^[4]，可代表地质史中的这种生物组合。矿物特征是有低镁方解石(镁低于4摩尔%)和高镁方解石(镁约为12~20摩尔%)。

(4) 所有现代海洋碳酸盐的10%左右，和实际上所有的浅海灰质沉积物，是纬度低于 30° 的热带温暖净水中生物活动的产物。珊瑚和珊瑚藻礁块、鲕粒和似球粒砂以及大型闭塞区的灰泥，代表这种低纬度浅水碳酸盐的特征。主要生物有大量绿藻，有软体动物、棘皮动物和有孔虫，有些有孔虫很大。文石是主要碳酸盐矿物，但高镁方解石含量有可能高达25~35%，而低镁方解石不多。因此这类碳酸盐有大量准稳定的 CaCO_3 。

有意义的是，地质剖面中所见的多数碳酸盐岩层和实际上所有的碳酸盐岩储集层，都含有标志浅海沉积环境的生物、沉积构造和结构。因此，对世界上热带和干旱地区附近低纬度带浅海水中的近代沉积，沉积岩石学家已进行过广泛的研究。较著名的浅海碳酸盐有：某些太平洋环礁、尤卡坦和伯利兹的加勒比海岸、佛罗里达州南部海岸、尤卡坦半岛外的坎佩切滩、亚喀巴湾、巴哈马、百慕大、波斯湾、澳大利亚大堡礁和澳大利亚西部的沙克湾。此外还必须对其加以详细研究的几个已知的低纬度现代海洋碳酸盐和蒸发盐地区是：东非的肯尼亚及苏丹海岸、红海、澳大利亚近海的萨哈尔陆棚、中国南海及印度尼西亚—菲律宾陆棚、加勒比的尼加拉瓜陆棚以及加利福尼亚湾的南区。

二、温暖浅海中碳酸盐的沉积特征

对多数碳酸盐岩油气藏进行沉积学解释时，应当认识到下列几条基本原理：

(1) 形成该沉积物的水必须是清澈的。泥质区，诸如热带区的三角洲入口处，即使是温暖浅水，也没有碳酸盐沉积物。热带的混浊浅海陆棚（如巽他陆棚），不会形成大量 CaCO_3 。由此得出的论断是，碳酸盐的形成受透光带的控制，而且限于清水浅海陆棚以及远洋地区，特别是在较低纬度区。

(2) 诚然，在海水中仅有极少量 Ca^{2+} （约占总溶解离子的1.2%），但 CaCO_3 能形成令人惊异的巨厚的沉积堆积物。可以设想，这是由生物作用造成的，如光合作用及动物利用碳酸钙造壳，这就能富集大量灰质。而且，尽管事实上赤道表面海水 CaCO_3 是过饱和的，但除非在蒸发作用和搅动作用极强的情况下，没有依据表明它是物理—化学沉淀的。假如是这种情况，在马拉开波和新奥尔良之间，往返于加勒比海和墨西哥湾的油轮外壳上就应当有一层 CaCO_3 ，但经常见到的仅是藤壶和苔藓虫。扫描电子显微镜的问世，已清楚表明甚至于灰泥也是由极小的生物碎屑颗粒、破碎的藻和有孔虫颗粒组成的，也许还有一些由光合作用形成的文石针。正如 Bathurst^[5] 所指出，海底的碳酸盐沉积物基本上是生物的碎屑和排泄物，可反映海底内、海底面上以及海底上方产生的多种生态作用。生物可以提供一切形状和大小的碳酸盐颗粒，从最微细的文石针和镁方解石薄膜（以微米测量），到相当大的海螺壳及鱼骨，有些长达若干厘米。因此，颗粒大小在解释 CaCO_3 沉积物的沉积结构方面并不是重要的。

(3) 碳酸盐沉积物是原地形成的，成因上主要是盆内的。它能较如实地反映出其形成场所附近植物和动物的生存情况。早在二十年以前，Mckee等^[6]对卡平加马兰吉（Kapingamarang）环礁的研究，以及 Ginsburg^[7]对佛罗里达礁区的研究，都指明了这一点。即使搅动水体的沉积物，如鲕粒岩，也是由潮或浪的

作用在原地形成的颗粒所组成的，而且主要堆积在形成处。因此，水文控制因素，如水运动程度、水温、营养物含量等，可以控制由增生作用形成的某些碳酸钙颗粒（除生物颗粒外）。为了解释沉积相，在划分碳酸盐沉积类型时，沉积岩石学家要识别主要的控制因素，并与结构参数一道来使用它们。已鉴别出的有六种主要的颗粒类型(Folk^[8] 的异化颗粒)：(a)由原地碳酸盐沉积物改造成的内碎屑或石屑；(b)鲕粒或多层包粒；(c)生物碎屑或骨骼残片；(d)似球粒或硬化的粪球粒，或由不同成因的均质细粒成分经破坏圆化的颗粒；(e)粘结颗粒或团块；(f)藻包粒或藻包球。这些颗粒的大小变化范围，从粗粉砂级到砂级或细砂级。通常能作成因鉴定的最小颗粒在25~50微米之间。

巴哈马滩的相组合已成为解释古代碳酸盐序列的经典模式。用上述主要颗粒类型，加上礁体的存在，可用来确定其相带。Milliman^[9]，Bathurst^[5]，Newell^[10]和Purdy^[11]都已阐述过，这些相如何受上述水文参数的控制。

(4)碳酸钙对成岩作用的敏感性是众所周知的，下面要较详细地加以讨论，因为它直接影响储集岩的孔隙度和渗透率。 CaCO_3 的转变作用，从矿物在海中一旦形成就开始进行，并在所有的不同成岩环境中持续进行，经数百万年遭受到变化。由于形成于海水中的碳酸盐矿物，在淡水中（含镁低）不稳定，因此海生的镁方解石和文石，当埋藏并抬起后以及后来暴露于大气水或原生水期间，就转变成低镁方解石或白云石。实际上，对微量元素及氧、碳同位素的研究表明，事实上在古代碳酸盐岩中，即使看起来完全保存着原来的结构，也没有保存原始沉积颗粒中的任何碳酸盐离子。

(5)浅水碳酸盐形成的速度，既受有利于生物繁殖场所的控制，也受沉降速度和水文因素的控制。形成速度可以很迅速但为间歇的，当有些因素如水的含泥量或盐度及温度变化抑制生物产生时，会完全停止形成碳酸盐。形成速度方面的反常现象，可以产生具特征的 CaCO_3 组合，这方面也要在下面以单独一节加以讨论。

三、碳酸盐岩相的解释

碳酸盐沉积物基本上是生物成因的，而且主要来自原地，这一事实大大有利于沉积相的解释。生物相，包括经生物改造过的颗粒类型（内碎屑、似球粒、粪球粒、某些鲕粒、某些聚合团块、藻球等），以及生物碎屑骨骼残片，可以反映出沉积时原来的生态体系。综合结构参数及全面的岩石学研究，包括薄片、醋酸酯揭皮、酸腐蚀并用油抛光的面以及纵切的岩芯，我们就有可能仔细描述并确切解释原来的沉积相。

微相（或沉积相）的概念，如Fairbridge^[12]在欧洲发展的以及1950~1975年在美国发展的，已在将描述系统化为解释模式^[13,14,15]方面，具有很大价值。有许多图册对鉴定碳酸盐生物相是有用的。包括有Cuvillier及Schurmann^[16]、Horowitz及Potter^[17]、Scholle^[18]、AGIP Mineraria^[19]、Carozzi等^[20]、Flügel^[14]、Wilson^[15]以及利比亚石油勘探协会的Lehmann^[21]。这些图册主要说明生物相和特殊沉积单位中有关的非生物颗粒类型。

两种彼此有关而又独立的碳酸盐结构分类^[22,23]的依据是：
(a)颗粒类型；(b)微晶方解石（4~10微米的菱面体微晶）存在与否，这种方解石解释为由填隙灰泥成岩变化而形成的；(c)颗粒填集成颗粒支撑或基质支撑结构。对填集参数，颗粒形状比颗粒大小更重要，而且点接触或面接触表面的多寡，有些可用于推论成岩作用。Dunham的分类为纯结构分类而且较简单，但是由Folk较早提出的分类正象Dunham的分类一样有用，虽然其分类名称较为刻板，因为它是将结构与颗粒种类（异化粒）的定量估计结合在一起考虑的（图1及2）。

对关键的颗粒类型、标志环境的沉积构造、生物群及结构进行综合研究，能定出24种微相，可以方便地用以为沉积作用解释而记录碳酸盐^[15]。下面列出这些微相，并图示一种记录格式（图3）。

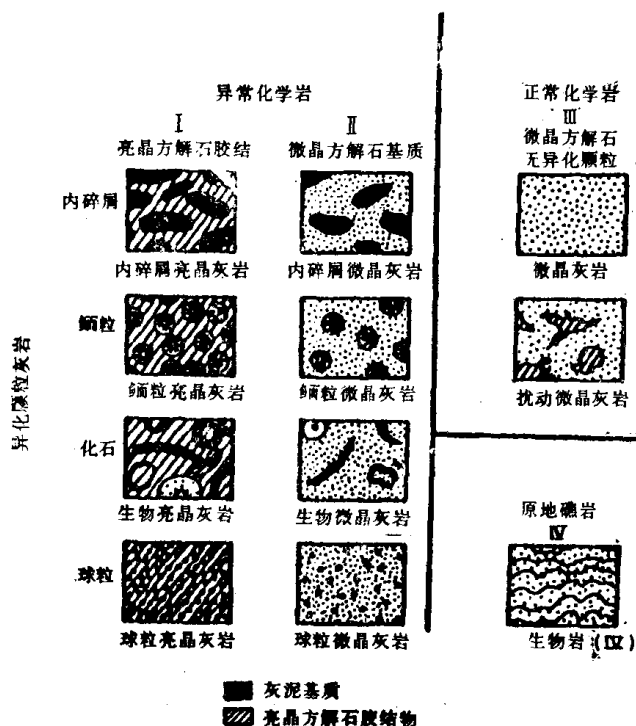


图 1 实用岩石学分类 (据Folk) [8]

- (1) 黑色泥晶灰岩及盆地骨针岩;
- (2) 微生物碎屑及似球粒粉砂屑灰岩 (颗粒灰岩到泥粒灰岩);
- (3) 由超微浮游生物 (颗石藻) 和远洋有孔虫构成的泥晶灰岩;
- (4) 由石屑砾岩或石屑—生物碎屑显微角砾岩构成的碎屑堆积物;
- (5) 生物碎屑泥粒灰岩到颗粒灰岩或漂浮状灰岩;
- (6) 礁砾屑灰岩: 在礁块翼部的粗砾或生物成因的碎块;
- (7) 不同类型的礁状粘结灰岩;
- (8) 开阔环流陆棚上所见含完整化石粒泥灰岩;
- (9) 生物碎屑粒泥灰岩, 常含似球粒及生物扰动;
- (10) 开阔陆棚浅滩附近洼地内形成的泥晶基质中的具包层或

异 地 石 灰 岩					原 地 石 灰 岩			
原始组分在沉积过程中未被有机物粘结					原始组分在沉积过程中被有机物质粘结			
大于 2 毫米的组分 $<10\%$			大于 2 毫米的组分 $>10\%$		由能	由结	由能	
含灰泥(<0.03 毫米)		无灰泥	基质	大于	起障碍	壳生物	营造坚	
泥支撑的		颗粒支撑的	支撑的	2 毫米	作用的	粘结	固骨架	
颗粒 (2~ 0.03毫 米) $<$ 10%	颗粒 $>10\%$			的组分	生物粘		的生物	
				支撑的	结		粘结	
泥晶灰岩	粒泥灰岩	泥粒灰岩	颗粒灰岩	漂 浮 状 灰 岩	砾屑灰岩	障积灰岩	粘结灰岩	骨架灰岩

图2 经Embry和Klovan^[24]补充的Dunham的碳酸盐结构分类

受磨损的生物碎屑；

(11) 亮晶胶结的具包层的生物碎屑颗粒灰岩；

(12) 由粗生物介壳碎屑组成的介壳灰岩；

(13) 藻包颗粒灰岩或生物亮晶灰岩；

(14) 残积角砾岩或砾岩，含有变黑具铁染膜的颗粒，有时含磷结核和海绿石；

(15) 鲕状岩；

(16) 似球粒颗粒灰岩，混含局限海的有孔虫及介形虫；

(17) 葡萄石球粒亮晶灰岩，或者为包粒或团粒亮晶灰岩（巴哈马岩）；

(18) 含有孔虫和（或）伞藻的颗粒灰岩；

(19) 纹层状到生物扰动状含球粒泥晶灰岩，有的地方可递变为具窗格组构的球粒亮晶灰岩（鸟眼灰岩）；

(20) 藻叠层石泥晶灰岩；

在颗粒百分含量栏内，以缩写尾随数字，表示Dunham或Folk的分类。W—15表示粒泥灰岩含有估计15%的颗粒。主要颗粒类型也能用符号表示（如壳牌公司的标准图例），并在岩石类型栏内加入岩性符号

- (21) 海绵叠层泥晶灰岩组构;
(22) 含有大漂浮状藻包层的泥晶灰岩;
(23) 无纹层无化石均质泥晶灰岩;
(24) 粗石屑砾屑灰岩, 竹叶状砾岩。

9

四、碳酸盐岩沉积物形成的地层模式

对各种构造背景下所见的石灰岩沉积相，存在着—特征系列。虽然生物体系是敏感的并容易被抑制或停止，但当条件适合时，碳酸盐沉积作用极快，由此事实就决定了特征系列。在浅海湾及潮坪，现代海岸碳酸盐沉积物的沉积速度，在几个地区都已被确定，这几个地区由于威斯康星冰川溶化后，海面上升，在五千年前被淹没了。在一千年中沉积物加积的速度约为一米，速度之快，足以使广泛分布的海岸线向海推进。原来出露的更新世卡斯特台地边缘淹没区，全新世礁体的生长较上述速度约增加3~5倍。该速度较之地质史中最厚的碳酸盐台地堆积物的速度记录快2~10倍，如墨西哥中白垩统黄金巷环礁以及意大利多洛迈特(Dolomite)西部中三叠统的滩和环礁。显然，沉积很快的碳酸盐体系，由于水的含盐度、温度及浊度变化，可频繁地停止沉积。

离开任何低缓的正地形单元一定距离处的海域中，这种多变而快速的沉积作用，可形成建设型地形。远离陆地的向海斜坡底与透光带和浪底的交叉处，就是快速沉积的关键地带，因此粘土矿物泥以及淡水或超咸水就不会抑制生物生长。下面的两张图解可以表明台地的演化及形成的相谱(图4及图5)。

碳酸盐快速沉积，结合下降与海面波动，可形成几种特征的地层模式：

(1) 陆棚旋回模式 横穿浅海陆棚及内克拉通盆地的快速碳酸盐堆积可形成许多向上变为浅滩旋回的地层，这是由横穿陆棚的几种相的加积和充填而形成。这种旋回厚数十米，时间为五万年到几十万年，而且具有宽而略不规则的相带，常见于克拉通碳酸盐地层。

广布的加积沉积旋回，经常被鲕滩、潮坪或萨勃哈蒸发岩层所覆盖，在现代环境，仅在狭窄的向岸带中所沉积的薄层岩石单元有广泛的扩展，可证明是时间—海侵的特点。旋回几乎总是不

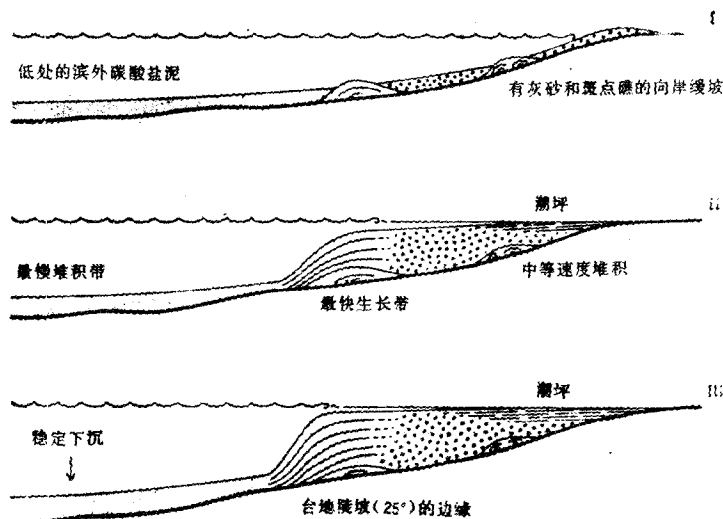


图 4 含近岸砂和滨外泥的碳酸盐缓坡过渡到主要碳酸盐台地的演化

外缘带上碳酸盐台地前端的坡度为 25° ，而且其前后为差异很大的两种相。礁前的岩石特征是由重力滑塌作用（碎屑流堆积）形成，除某些真正的浊流之外，还有从陆棚（坡脚）冲走的灰泥。在离高陆棚边缘之后横穿浅陆棚，由局限环流形成礁后相且潮坪扩展增大

对称的，具有迅速返回开阔海洋条件的特点（形成一薄层段），这表明海侵时快速加深或沉积作用弱。

这种旋回陆棚单元进入浅海盆地，往往规则地加厚两三倍，并在数千平方英里的范围内保持均匀。

向着大陆边缘，在冒地槽的沉积物中，这种旋回“扩展”或加厚，并并入周期较长的旋回中〔26,27,28〕。

(2) **碳酸盐台地模式** 在克拉通（稳定地块）边缘的某些地区，可发育巨大的碳酸盐台地。此处的碳酸盐层系可突然加厚，穿过陆棚边缘区时，相带变窄且更不规则，然后向盆地方向几公里处就消失了。这种碳酸盐单元呈不规则的楔形，碳酸盐台地可由许多楔形体构成。由于碳酸盐沉积作用的速度可以是很快的，台地边缘可加积。这在地质史中相当普遍，看来大部分碳酸盐台