

美国石油地质学家协会进修丛书

(十一)

[美] C. H. 小穆尔等著

碳酸盐岩孔隙地质学

石油工业出版社

27876

美国石油地质学家协会进修丛书 (十一)

碳酸盐岩孔隙地质学

【美】C.H.小穆尔 等著

李 汉 瑜 译

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书介绍了碳酸盐岩层系内利用沉积模式方案预测有利的储集层分布趋向,碳酸盐岩的原生孔隙在埋藏期间和埋藏之后成岩作用对沉积模式的制约,以及在一种成岩环境格局内碳酸盐岩孔隙度的演化。论述了碳酸盐岩次生孔隙和白云岩的储集层,以及浅水石灰岩与深水石灰岩的原生孔隙保存的比较和孔隙度的预测。最后阐述了碳酸盐岩中的孔隙系统及其对油气采收率的影响。

本书可供石油、地质部门有关地质专业技术人员、科研人员和院校师生学习。

Clyde H. Moore et.al

Geology of Carbonate Porosity

This is an author-prepared publication distributed by the AAPG
Educational Department First Printing, March, 1979

•
美国石油地质学家协会进修丛书(十一)

碳酸盐岩孔隙地质学

【美】C.H.小穆尔 等著

李汉瑜 译

•
石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

轻工出版社印刷厂排版

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

•
787×1092毫米 16开本 13印张 326千字 印1—1,800

1986年6月北京第1版 1986年6月北京第1次印刷

书号: 15037·2493 定价: 2.50元

目 录

一、碳酸盐岩层系内的孔隙度.....	(1)
在碳酸盐岩层系内利用沉积模式方案预测有利的储集层分布趋向	C.H. 小穆尔 (1)
碳酸盐岩的原生孔隙在埋藏期间和埋藏之后的变化结果—— 成岩作用对沉积模式的制约.....	C.H. 小穆尔 (13)
白垩纪碳酸盐海滩层系中孔隙系统的演化	C.H. 小穆尔, J.M. 史密瑟曼, S.H. 艾伦 (15)
沃克溪油田一个斯麦考弗组内的成岩圈闭.....	J.W. 比彻, C.H. 小穆尔 (26)
在一种成岩环境格局内碳酸盐岩孔隙度的演化.....	C.H. 小穆尔 (56)
结晶质碳酸钙的天然历史: 镁含量与含盐度的效应.....	R.L. 福克 (31)
二、碳酸盐岩次生孔隙.....	D.G. 比布特 (98)
引言.....	(98)
南部得克萨斯州, 早白垩世斯图阿特城趋向内的孔隙度分布	D.G. 比布特, R.A. 沙钦格, R.G. 劳克斯 (99)
利比亚捷尔滕油田与早第三纪沉积相有关的碳酸盐岩次生孔隙	D.G. 比布特, C. 彭迪克斯特 (127)
墨西哥湾沿岸下第三系弗里奥组砂岩固结作用历史中孔隙的 形成与保存的关系.....	R.G. 劳克斯, D.G. 比布特, W.E. 盖洛韦 (154)
综述.....	D.G. 比布特 (170)
三、白云岩储集层: 作用、控制、孔隙的发育.....	G.R. 戴维斯 (172)
四、在埋藏条件下浅水石灰岩与深水石灰岩的原生孔隙 保存的比较以及孔隙度的预测.....	P.A. 肖勒 (182)
五、碳酸盐岩中的孔隙系统及其对油气采收率的影响.....	N.C. 沃德洛 (190)

一、碳酸盐岩层系内的孔隙度

在碳酸盐岩层系内利用沉积模式方案 预测有利的储集层分布趋向

C.H. 小穆尔

用于和沉积环境有关的、具有潜力的、原生孔隙度的基本方案 在碎屑岩的情况下，原生孔隙度是直接随结构和组构，包括粒度、分选和形状而变化的（图1）。粒度、分选、组构以及沉积构造都是和作用于沉积时期的沉积作用直接有关的（图1）。每一沉积环境都是属于该环境内特有的一系列明显的作用穿过活跃的沉积物-水界面分布为特征（图2）。这一系列作用产生了一组产物，包括对于每一沉积环境是唯一的格局、在分布上穿过活跃的沉积物-水界面的沉积结构、组构和构造（图1和图2）。在一种前积的或海退的位置，当沉积作用发生于活跃的沉积物-水界面时，遂形成沉积物的垂直层序，它反映了一种有顺序的样式，从底部最深处到顶部最浅处。在结构、组构和沉积构造上的逐渐变化反映了沿着这一界面从浅水变到深水（图3）。那么，每一沉积环境，均能以沉积结构、组构和沉积构造的唯一垂向层序为特征。这套独特的特征通常用来鉴别古代岩石层系的沉积环境，而且最重要的是可以用来预测最富含孔隙（分选最佳、最粗粒的）并有潜力的储集层岩相的存在及其详细分布情况（图3）。

在区域背景上，对不同沉积环境的认识及横向上合理关系的了解，乃是预测有潜力的储集层岩相在横向上的分布甚至它是否存在的关键。不言而喻的假定即原生孔隙的分布格局与这些不同的、但仍完整保留下来的沉积环境有关，虽然在实际上，孔隙度值已被埋藏期间的压实作用而减少。

应用沉积模式方案预测碳酸盐岩层系，有利于作为储集层的特征 对于大部分来讲，由总的作用-产物概念出发，在碎屑的碳酸盐岩层系中预测有利的储集层特征，是已研究得较好的。碳酸盐颗粒一旦形成，反应就很像活跃于环境内的与各种作用相适应的石英质碎屑颗粒。尤其要涉及到沉积构造如水流层理、重力沉降、波浪冲洗的痕迹以及干燥特征。在石英质碎屑与碳酸盐沉积物之间相应的作用-产物的主要差别是在结构上和组构上的参数如粒度、分选、圆化和形状等方面的基本控制。在碳酸盐岩内，粒度和分选在搬运和沉积过程中往往较易受生物学的参数所控制，而不是受物理参数的控制。每一碳酸盐质的生物分泌骨骼都有整个限定的大小范围。在低水平上，骨骼的超微构造可以控制来源于生物物质的最终粒度范围。碳酸盐物质的圆化在用作搬运和能量水平的指标时，必须很谨慎，因为许多生物以及即使是非生物的颗粒本来已经有了圆化的形状（有孔虫、球粒、鲕粒）。形状显然要受生物生活期间的骨骼形状的控制。一个砂币（Sand dollar）是圆盘形的；头状的珊瑚，呈球形；而一种指状珊瑚则是杆形的（图4）。

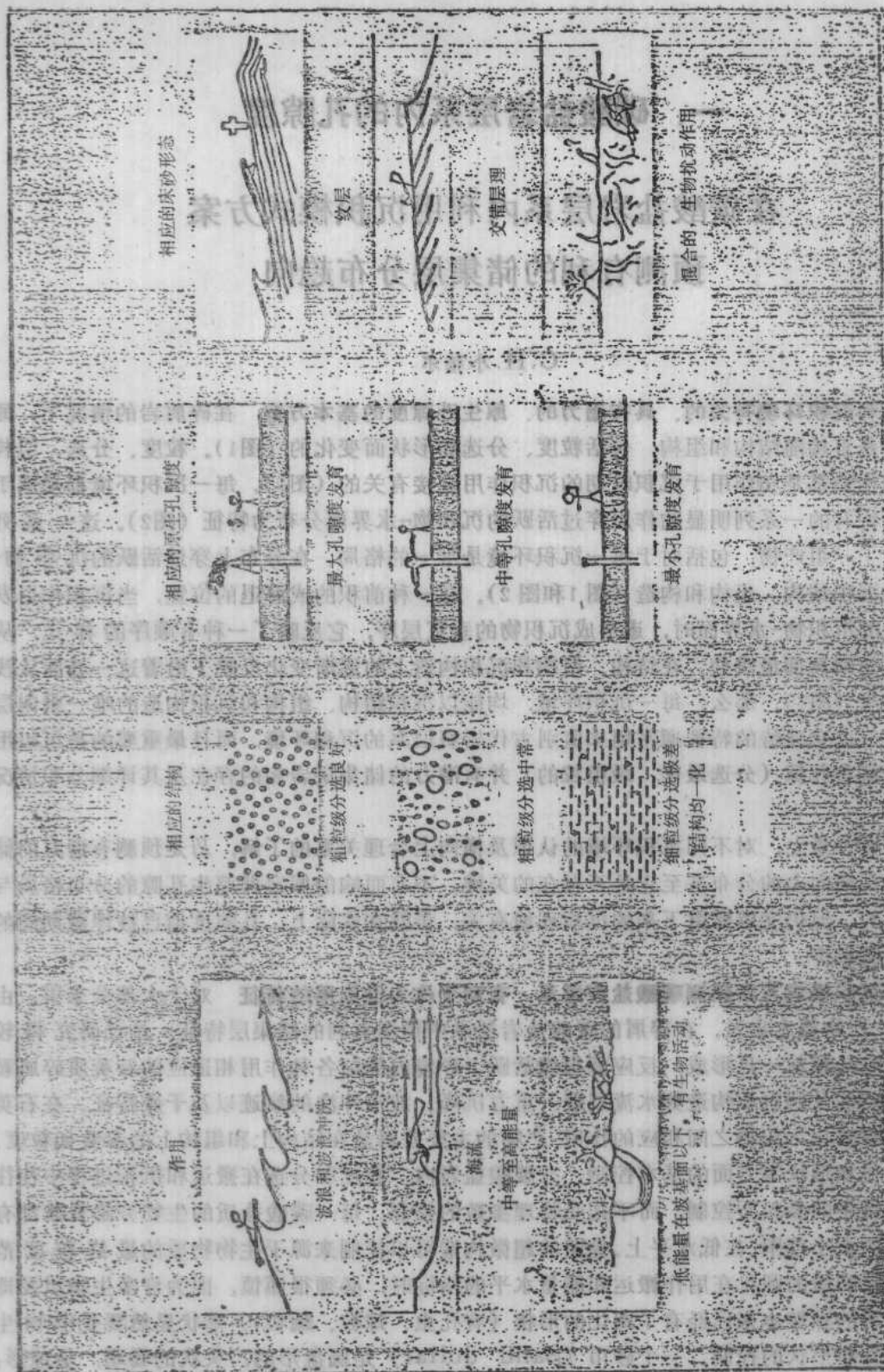


图 1 沉积作用与产物的关系, 表示与沉积作用相应的原生孔隙度

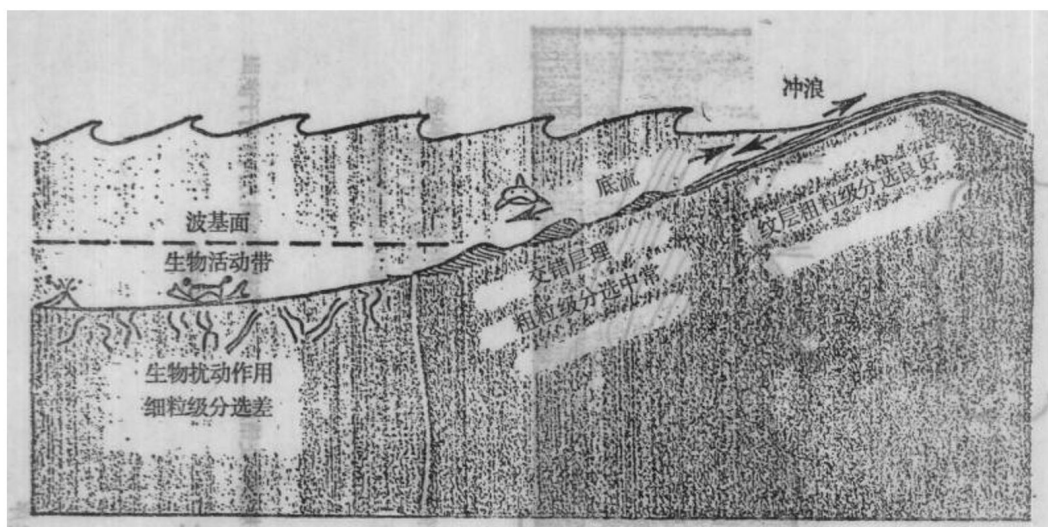


图2 每一沉积环境均有某种独特的作用和产物分布

碳酸盐岩层系的一个最有用的能量水平参数就是碳酸盐质的粘土级粒物质（微晶）的存在或不存在。虽然这种微晶与石英质陆源粘土有很不相同的成因（并且微晶本身确实可以有几种成因），它一旦形成，大抵有如其石英质同类物对自然作用适应的同样状况，如像对水流筛选作用活动性的适应。

碳酸盐沉积物有许多独特的特征，它不像石英质碎屑同类物，可用于鉴别沉积环境。颗粒成分可作为沉积环境的反映，因为环境控制超过了沉积位置附近由生物产生的颗粒组合（图5）。早期成岩的作用-产物是对于某些广泛环境的控制，如像潮上带的准同期的白云岩化作用。在潮间带的准同期的胶结作用如海滩岩。活跃的造礁环境中的准同期的胶结作用、沉积作用和生物侵蚀作用（图6）。

总言之，曾用于石英质碎屑岩体系中的基本勘探方案，即为了查明在沉积的-沉积学的构架中有利的原生孔隙的发育而具有关键性的概念就是对各种沉积环境的认识，显然也可应用于碳酸盐岩地区。

具有利的原生孔隙度的碳酸盐沉积环境有着熟知的石英质碎屑同类物 海相砂岩带，平行于陆棚边缘-滨线，系由于浪底与陆棚交切所致。它可以形成于陆棚转折处，即在一轻微倾斜陆棚的内部或在滨线上。如果有丰富的沉积物可利用，并且水体能量水平也是平衡的，则海相砂带就能够堆积达到海平面，形成一种砂质障壁坝复合体，它可以活跃地向海的方向前积而形成一种很重要的毯状砂体。当海相砂带达到海平面并变为障壁坝复合体时，就展现出许多种重要的次级环境，如像碎屑障壁海滩、海岬-潮汐水道的相配带、潮汐小湾-潮汐水道：潮汐三角洲以及最终的伴随着海滩-障壁坝泻湖的溢流叶状体。每一种次生环境都具有明显不同的垂向层序，而且与这些次级环境密切伴生的就是在认识这种海相砂带、预测有利的孔隙度分布趋向的详细情况时是有用的。（全新世碳酸盐的实例——西部巴哈马台地的海相砂带，如图7；全新世石英质碎屑沉积的实例——墨西哥湾西南部的障壁坝复合体；古代的实例——湾岸中部地区的地下侏罗统斯麦考弗组，北部阿拉巴马州的密西西比系，田纳西州的南部）。

潮汐砂坝带系由流过陆棚的强烈潮汐水流所形成，是由于陆棚或滨线的几何形态对每天

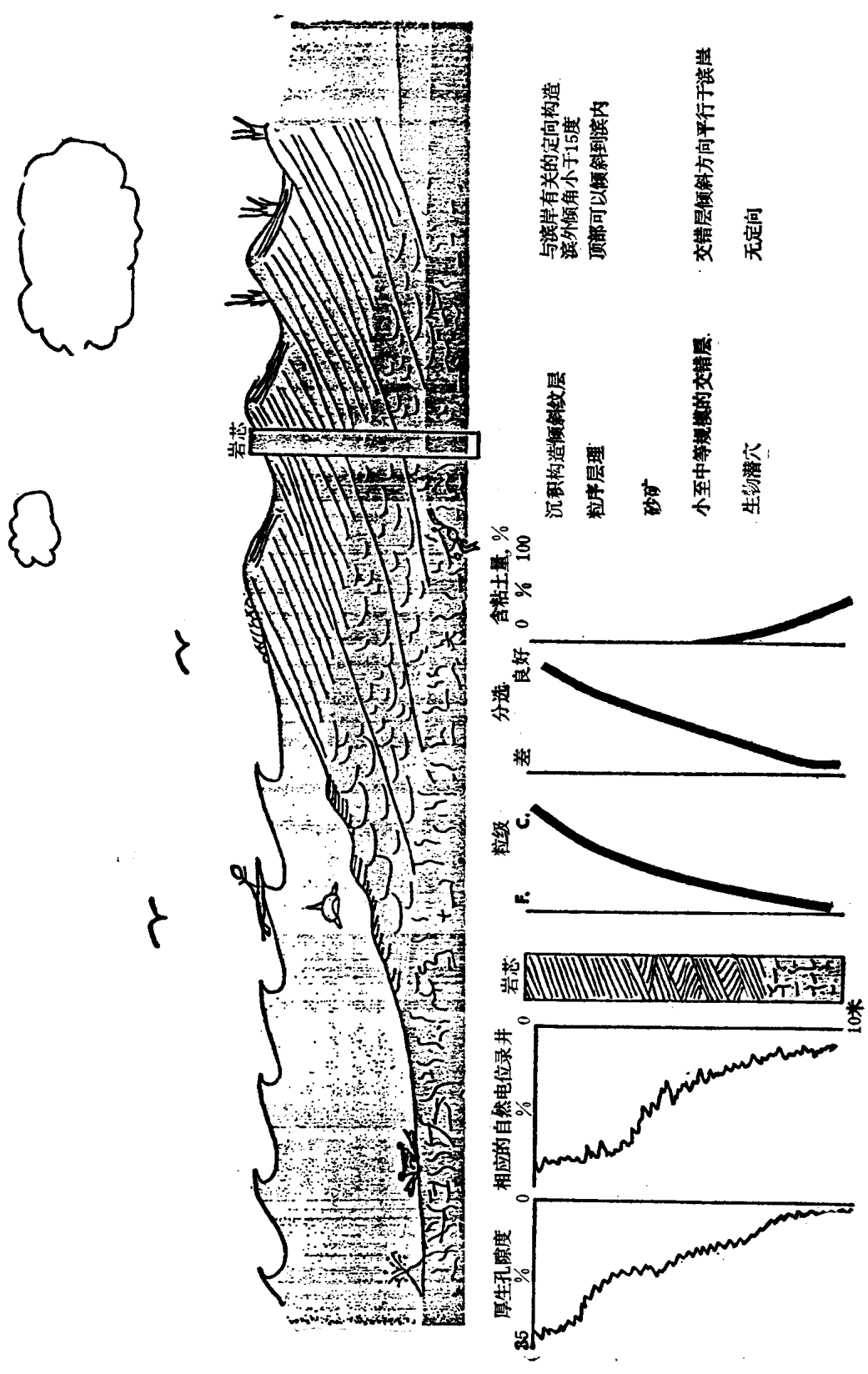


图3 依沃尔瑟律, 与沉积环境相联系的垂向层序

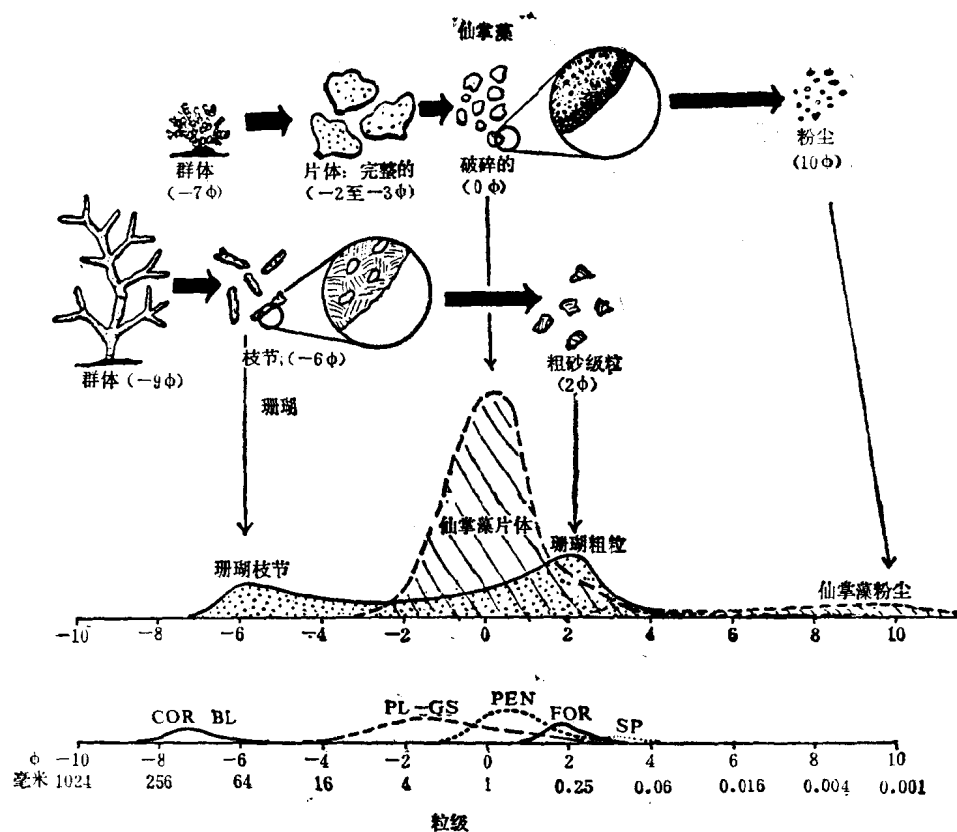


图 4 由组成生物的结构对控制粒度所产生的影响, 如Folk和Robles在1964年所作的佩雷兹岛沉积物图

变 量	礁 平 均	陆棚平均	海湾平均	整体平均
珊 瑚	32.97	16.70	2.00	20.59
软体动物	6.78	19.94	54.80	19.19
仙 掌 藻	31.16	34.96	13.10	31.42
珊 瑚 藻	23.19	3.26	9.80	10.58
有 孔 虫	4.28	4.57	24.70	6.57
平均粒级 (ϕ)	0.375	1.594	0.998	1.105
标准偏差	0.819	1.052	1.372	1.008
	分选中等	分 选 差	分 选 差	

图 5 佛罗里达暗礁的主要沉积环境的沉积物的平均颗粒成分、粒度及分选的特征, 说明了环境对颗粒类型的控制以及在较小的程度上对沉积物结构的控制 (据 Thibodaux, 1972)

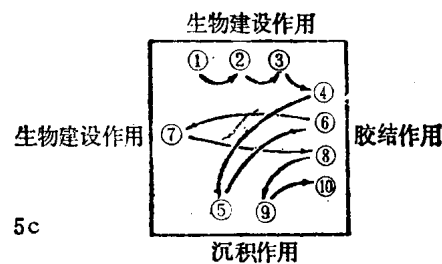
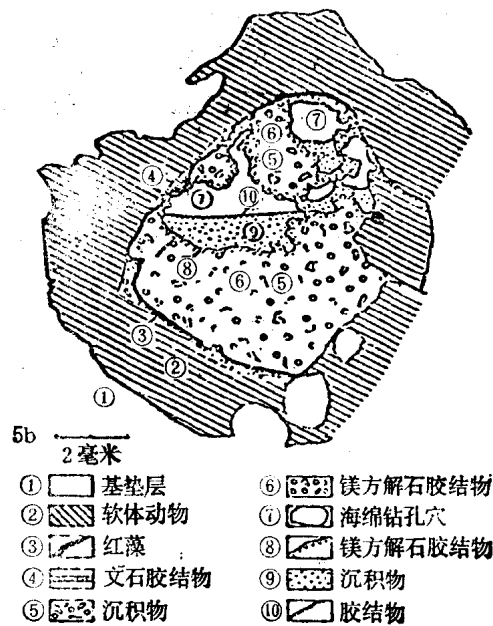
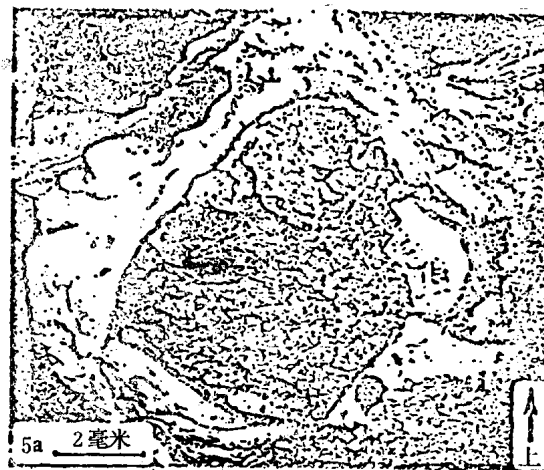


图 6 百慕大群岛的一个藻类杯状礁，礁岩的层序形成的事件
(据Schroeder和Zankl, 1974)

的潮汐波浪的阻挡作用所成。主要的砂体方位垂直于陆棚坡折处或垂直于滨线。砂体一般地仍留在海下，通常为一向上变细的层序，具有一个底部的再改造带；加积作用平行于砂体的长轴。潮汐砂坝带发现于海湾口，或在任何一个每日潮汐波浪产生的潮汐高度和速度均有所

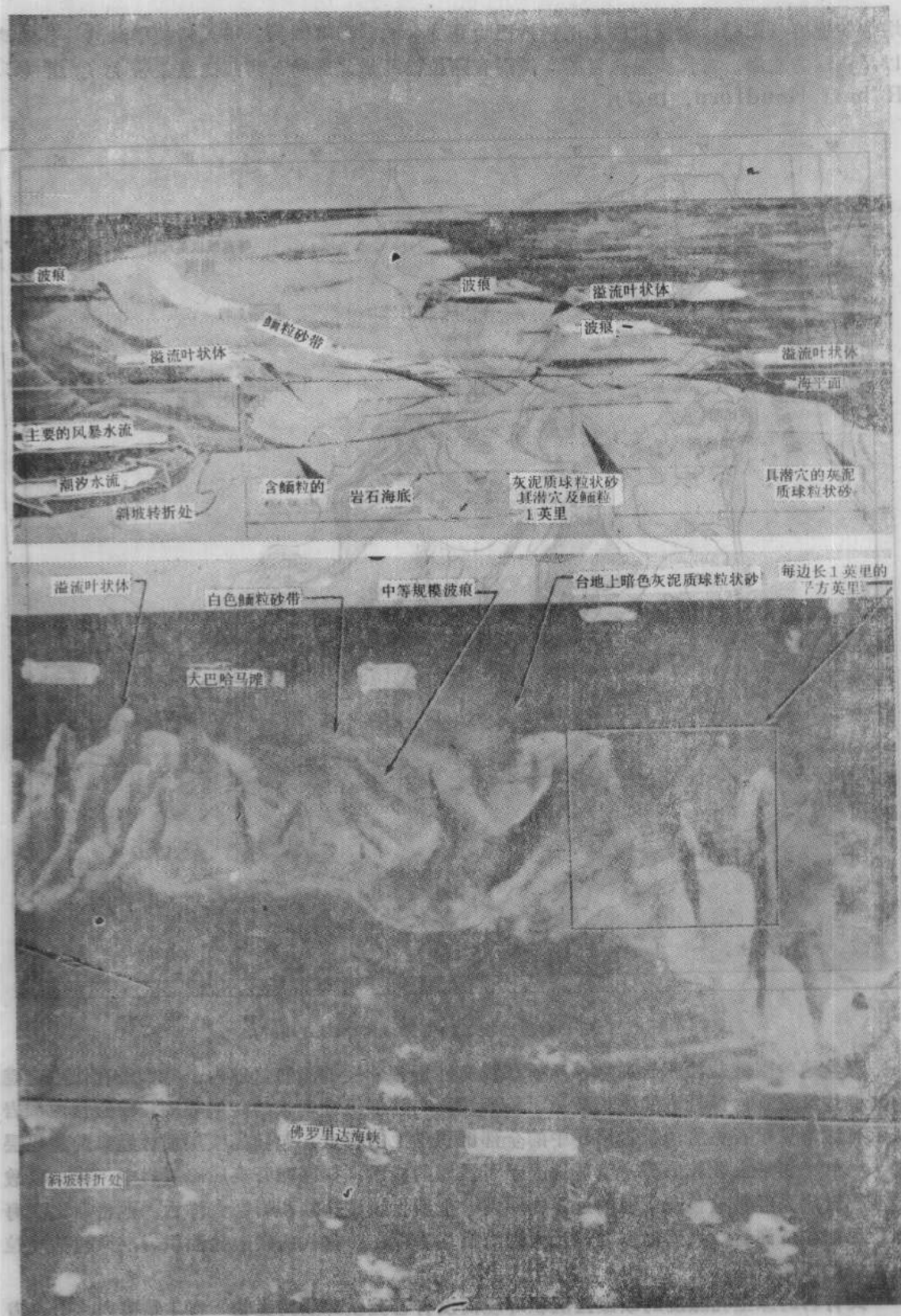


图7 猫砂洲的海相砂带 (据Ball, 1967)

增加的地方(图8)。全新世的实例包括巴哈马的舍纳砂洲(图9), 进入特拉华海湾 芬地湾以及西欧的北海。古代碳酸盐岩的实例则有阿拉巴马州北部的密西西比系蒙蒂格 尔 组 (C. Robert Handford, 1977)。

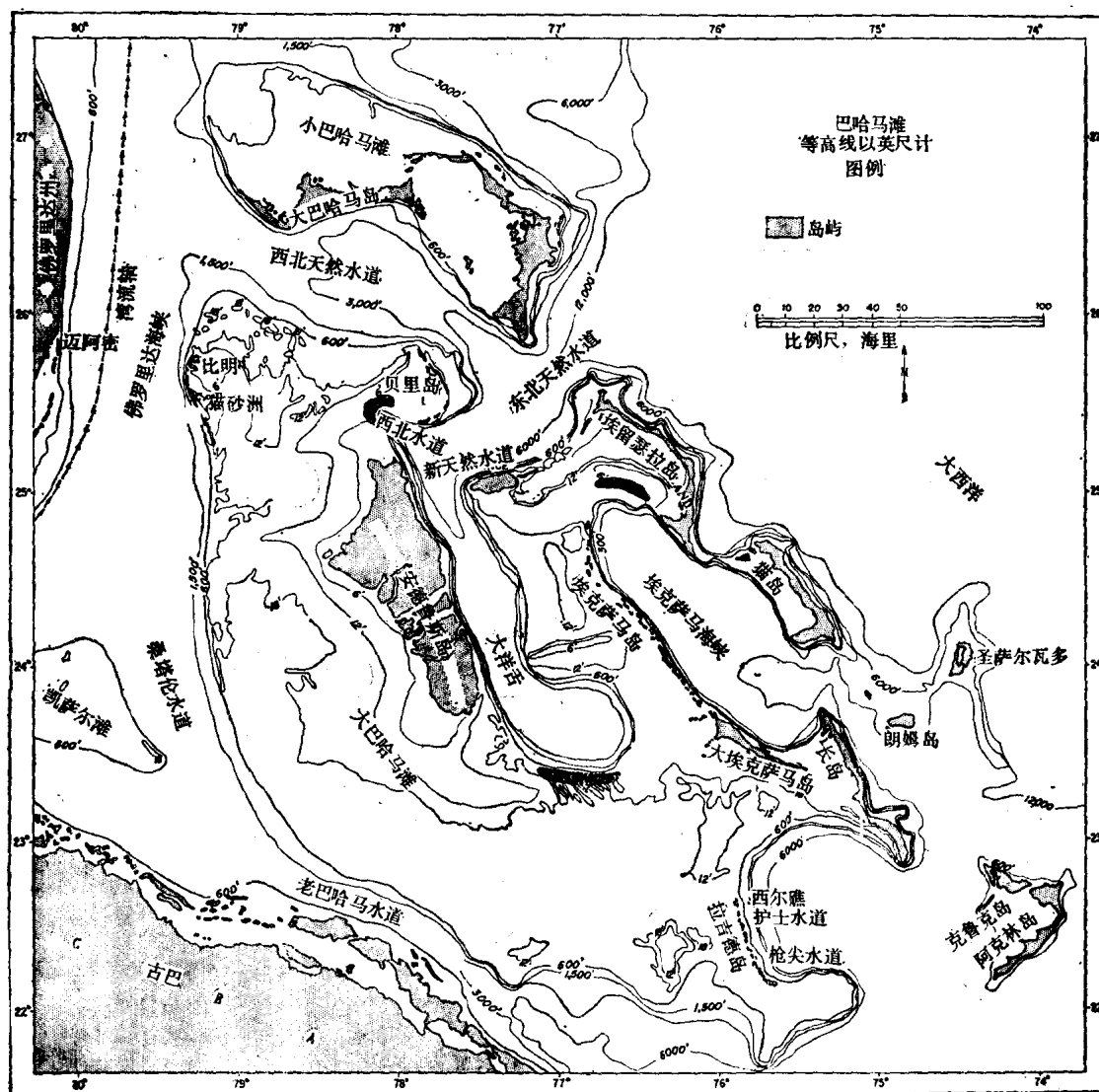


图8 巴哈马潮汐砂坝带的位置 (据Ball, 1967)

深盆地的碳酸盐浊积岩通常都产于和浅海陆棚相邻近的深海盆地内, 特别是在伴生有礁的陆棚边缘位置, 该处礁的生长超过了陆棚边缘与陆坡上部本来的陡峭程度。碳酸盐浊积岩展示有通常见于石英质浊积岩层序中的全部沉积学上的特点, 包括递变层理、经典的鲍玛层序、底痕、再加上颗粒成分, 清楚地显示了浅海的成因。如同在石英质碎屑岩中一样, 碳酸盐浊积岩层系经常被包在细粒的远洋物质内。全新世碳酸盐浊积岩在大洋舌、西格斯比深海渊及尼加拉瓜海盆, 大鳄岛以北以及大鳄海槽均有存在。古代的碳酸盐浊积岩层系包括马拉松盆地的凹陷(图10)。

具有利的原生孔隙度的碳酸盐沉积环境而没有石英质碎屑同类物 在生物礁内, 分泌着碳酸盐, 造礁生物形成石灰岩层系, 这只有碳酸盐范畴才能形成这样的沉积。造礁生物能够



图9 舍纳砂洲的潮汐砂坝带 (据Ball, 1967)

在迅速上升的海平面上建成很厚的石灰岩：它们能够形成并保持格外陡的斜坡（陆棚边缘），其角度远远超过碎屑颗粒的天然安定角（图11）。造礁生物的碳酸盐骨骼内可以有高的骨内原生孔隙度；造礁生物的生长格局能产生未受限制的原生的生长孔隙。这些特征使得生物礁成为一种主要的勘探目标。生物礁的分布是强烈地受着环境的控制。礁体通常形成于斜坡的

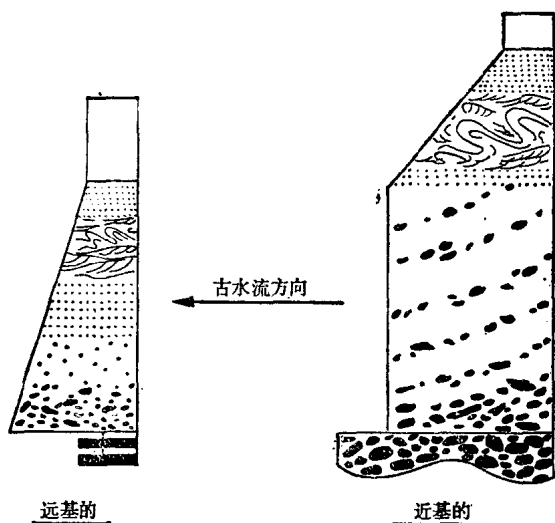


图 10 斜坡或近基的碳酸盐浊积岩与盆地或远基的碳酸盐浊积岩的比较图解 (据 Thomson 和 Thomasson, 1969)

地形转折带附近或在此转折带上；它们特别位于主要陆棚边缘，在陆棚原有的地形高上，如像由盐丘、断裂作用、火山活动等所形成的准同期构造；在浪底与陆棚交切处；以及沿着原有的滨线处。因为造礁生物特别快地产生碳酸钙，并且这些骨骼迅速转变成碳酸盐砂和粉砂，造礁的环境趋向于产生数量惊人的碎屑碳酸盐岩，主要以礁前岩屑锥的形式出现于陆棚边缘，以及呈滨线障壁坝型礁体（图12）。在那些伴随局部陆棚构造的补丁型礁（也可译作点礁——译者注），环绕礁的碎屑岩可以对称地分布于礁核的周围，或者如果有一个主要的水流方向或风向，碎屑岩即可展示出一种显然不对称的分布。礁核以及其内在的骨骼内的孔隙与生长孔隙再配合上环绕礁的粗粒碎屑碳酸盐岩，形成了一种显然有吸引力的、有潜力的勘探目标。虽然在时间历程中，占优势的造礁生物的性质有渐进的和剧烈的变化(图13)，可以感受到控制礁的分布的基本因素、造礁环境中所发

性质有渐进的和剧烈的变化(图13)，可以感受到控制礁的分布的基本因素、造礁环境中所发

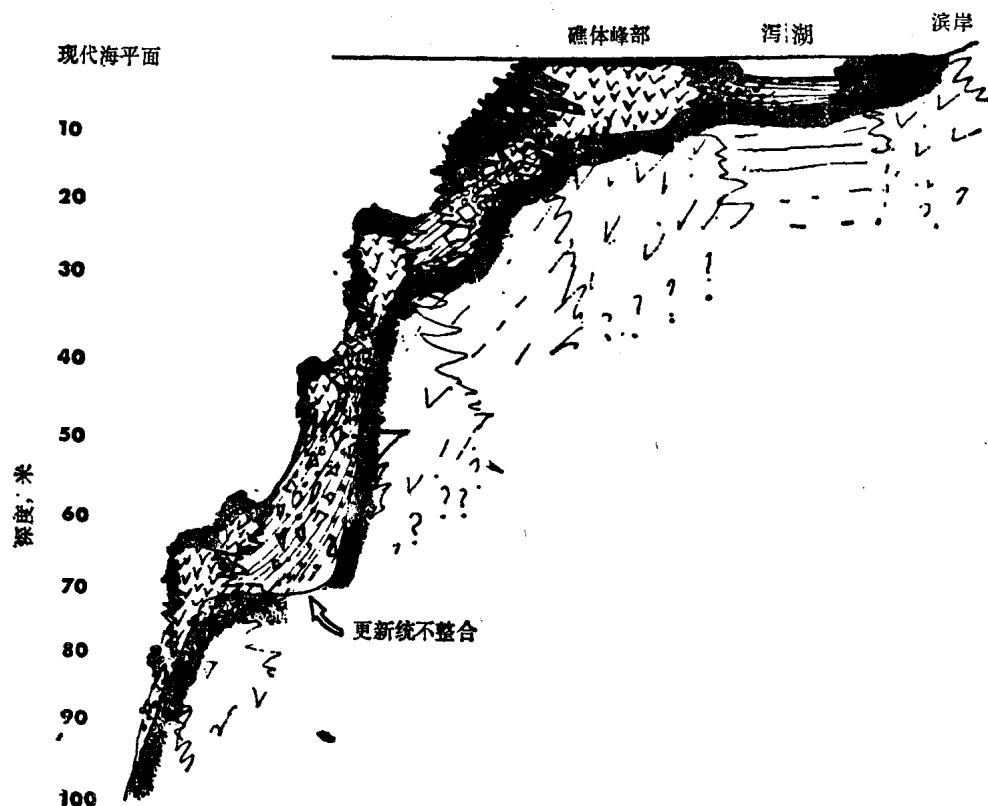


图 11 牙买加北部，全新世的礁生长于更新统表面的阶地上 (据Goreau和Land, 1974)

现的原生孔隙的基本特征、以及在此环境中活跃的、占优势的一些作用，在时间历程中仍保持相对的稳定。



图 12 礁前带 (据Goreau, 1973)

深水石灰岩-白垩为细粒的、纯的碳酸盐，深水沉积物与它们的石英质陆源同类物不同，一个很重要的方面就是颗粒形状不同。粘土是倾向于呈薄板状的颗粒，而远洋深海碳酸盐粘土级的颗粒则倾向于呈球粒至各方向等长的形状，因为占优势的生物方面的作用影响了它们的形成。这种形状上的基本差别意味着当深海碳酸盐细粒沉积物被埋藏的早期阶段，压实作用可保持其原生孔隙度达到较高的百分率，而它们的石英质碎屑同类物的原生孔隙度则很快

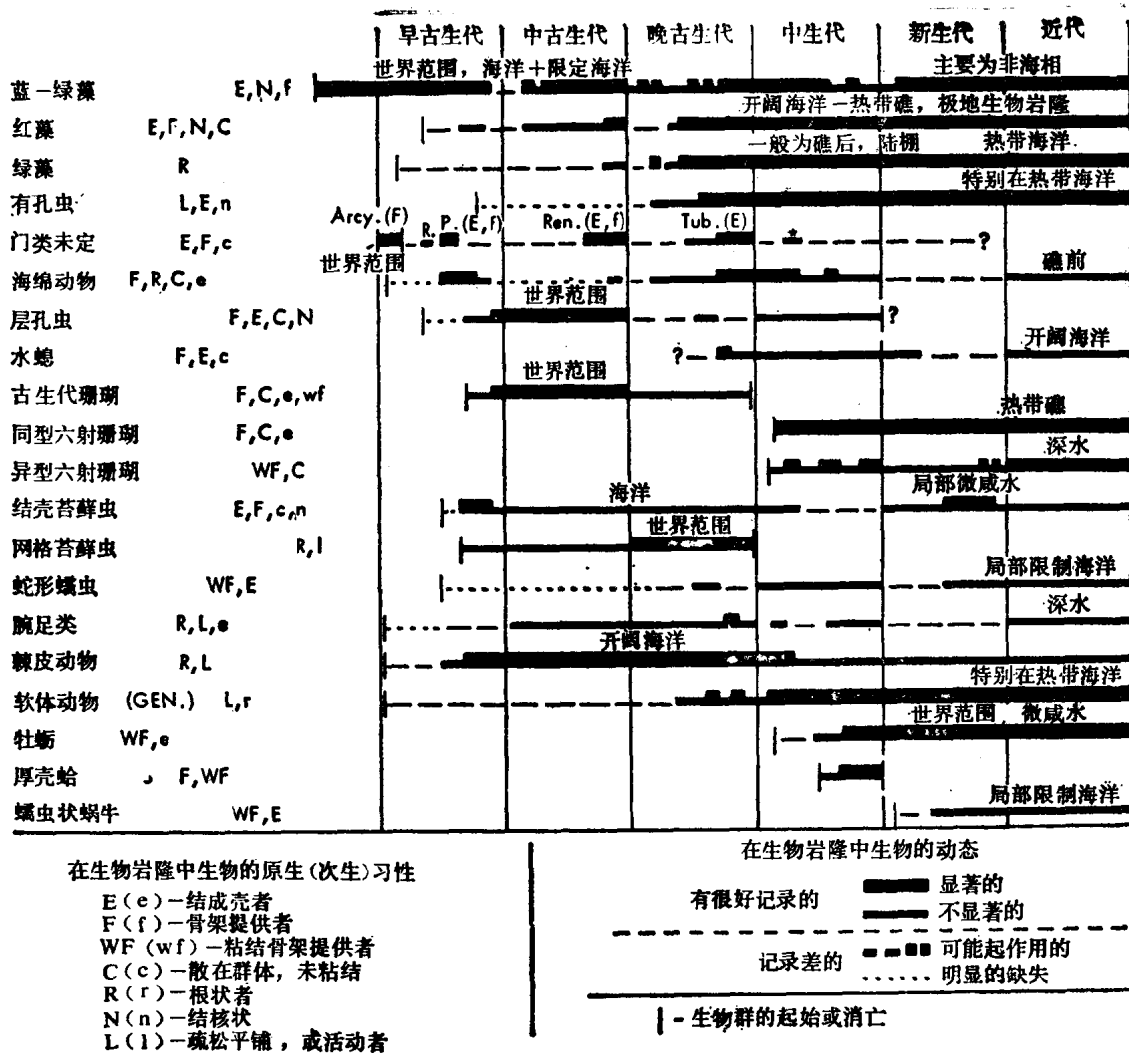


图 13 对于建成碳酸盐生物岩隆, 主要提供骨骼的生物的地质历史 (据Heckel, 1974)

地失掉。细粒远洋碳酸盐岩或白垩, 后来形成很重要的、有潜力的勘探目标。虽然其渗透率明显的低, 但它的孔隙度却惊人的高, 而且当与具裂缝的储集层配合时, 白垩也能够成为意外的油气生产层,

碳酸盐岩的原生孔隙在埋藏期间和埋藏之后的 变化结果——成岩作用对沉积模式的制约

C.H. 小穆尔

如早先所述, 利用沉积模式来作为一种勘探手段, 就需要在埋藏期间和埋藏以后至少有一些孔隙被保存下来。但无论如何, 这也不是对于碳酸盐岩层系进行工作的一种有效的计策。在深埋藏的条件下有效的原生孔隙的保存乃是一种例外而不是一种规律, 因为大部分碳酸盐岩储集层似乎是以次生淋滤孔隙为特征, 或者在最佳的情况下, 是与后来的白云岩化作用相伴生的晶间孔隙——这两种孔隙度的好坏是受化学的成岩作用过程所控制而不是受物理的沉积作用所控制。确实, 在原生孔隙被保存下来的环境中, 实际上的原生孔隙空间的详细分布情况可能在很大的程度上决定于充填孔隙的胶结物的有无, 而并不决定于其沉积位置出现的自然作用所伴生的相变。

碳酸盐矿物作为一个组, 特别是在形成期间(文石和镁方解石), 其相对的可溶性造成了碳酸盐沉积物和岩石层系特别易于感受在它们的时间历程中化学成岩作用的变化, 尤其是在了解到埋藏过程中孔隙流体的成分有变化时更是如此。这种感受性在涉及到碳酸盐岩层系包括埋藏之后孔隙可能控制着成岩作用的途径时, 就需要扩大原先预计的基本勘探方针。

以下两篇论文有力地阐明了这一点。Moore 等人所写的第一篇论文, 描述了包含着所有的沉积构造并且正常地伴生有石英质碎屑海滩的一个早白垩世的海滩层系, 包括结构及沉积构造二者。然而早期的成岩作用, 通过早期胶结作用, 完全毁坏了所预计的原生孔隙的格局, 并且最终发育的是次生的淋滤孔隙和晶间孔隙, 是发育在原始层系中孔隙最少的部分。最终孔隙的发育和分布完全决定于成岩作用的情况是很清楚的。

第二篇论文, 系由 Becher 和 Moore 在 1976 年所著, 是关于在一种鲕粒浅滩相内发育的阿肯色州的侏罗系斯麦考弗组的油田的研究, 它曾被描述为具有相变引起孔隙分布而成的一个典型的地层圈闭。然而, Becher 和 Moore 经详尽研究后所作的报导, 却展示出基本上为孔隙度控制, 其圈闭机理可能确实与胶结作用有关, 为一沉积后的成岩作用过程。此文强调了在碳酸盐岩层系中孔隙演化方面成岩作用的重要性, 并论述了不考虑岩层层系的成岩历史即应用沉积模式方案的危险性。

参 考 文 献

- Ball, M. M., 1967, Carbonate sand bodies of Florida and the Bahamas. *J. Sediment. Petrol.*, 37:556-591.
- Becher, Jack W., and Moore, Clyde H., The Walker Creek Field A Smackover diagenetic trap. *Transactions-Gulf Coast Association of Geological Societies*, v.26, 1976, pp.34-56.
- Folk, R.L., and Robles, R., 1964. Carbonate sands of Isla Perez, Alacran Reef Complex, Yucatan. *Jour. of Geol.*, v.72, 255-292.