

美国石油地质学家协会进修丛书

〔美〕O.E.韦 塞著

深水砂岩油藏 古代实例和现代概念

石油工业出版社

美国石油地质学家协会进修丛书(六)

深水砂岩油藏 古代实例和现代概念

〔美〕O. E. 韦塞 著

吴 伟 译 陈景山 校订

石油工业出版社

内 容 提 要

全书共三部分。第一部分论证了现代和古代浊积岩研究,主要包括密度流、重力沉积物的定义,浊积岩的重要性及其形成因素;浊积岩的沉积地形;浊积物流动条件等。第二部分介绍“深海钻探计划”(印度洋及太平洋东北部)的取芯结果。第三部分讲述了其他深水搬运机制。

本书可供石油地质技术人员、科研人员及院校师生参考。

Oscar E. Weser

Deep-Water oil sand Reservoirs—Ancient Case Histories and Modern Concepts

AAPG Continuing Education Course Notes Series #6

Second Printing, November, 1978

美国石油地质学家协会进修丛书(六)

深水砂岩油藏

古代实例和现代概念

〔美〕O. E. 韦塞 著

吴伟 译 陈景山 校订

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

人民交通印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 开本5¹/₂ 印张1 插页132千字印1—5,000

1983年1月北京第1版 1983年1月北京第1次印刷

书号: 15037·2384 定价: 0.65元

序 言

作者从1952年到1971年在南加利福尼亚担任加利福尼亚美孚石油公司雇员时，曾有机会研究由各种各样搬运营力沉积成的储集层。由于该地区的浊积岩具有较重要的经济意义，故把研究工作的重点放在深海浊积岩沉积上。工作的最终目标是更好地确定浊积岩沉积的形态和分布型式。这样做能够提高预测地下浊积岩沉积的产状和性质的能力。另一个目标是研究形成浊流所必需的环境因素。

浊积岩的研究方法是：将较老岩层中浊积岩的地表特征和地下特征绘制成图，然后将这些成果和较新的浊积岩，特别是岸外盆地附近的浊积岩的研究成果进行比较。附图中（见下页）描绘的是岸上的洛杉矶盆地和文图拉盆地具有老地层以及近岸的圣巴巴拉盆地、圣莫尼卡盆地和圣佩德罗盆地的位置图。将这两类盆地进行比较十分恰当，因为今天影响加利福尼亚州岸外一些未填满的盆地中沉积作用的环境因素似乎和古代地层沉积时应该存在的环境因素是相似的。古代地层的井下特征主要通过研究岩芯、电测曲线和地球物理记录来鉴定。

另外还进行了文献调查和对世界上其他盆地的浊积岩沉积进行了野外调查，作为南加利福尼亚诸盆地研究工作的补充。

以前许多研究项目的成果和结论均汇编在加利福尼亚美孚石油公司的一本内部出版物中。该出版物的材料稍经修改构成了本书的第一部分。

从1971年以来，作者受雇于“深海钻探计划”（Deep Sea Drilling Project）（DSDP）继续研究浊积岩。研究工作包括鉴定“深海钻探计划”所钻许多口井取到的大量岩芯和地震资料。根据这些资料作出的解释进一步证实了第一部分中所讨论的浊积岩的形态和分布型式。由此得出的文稿和综合材料构成了本书的第二部分。

为了研究深水砂岩油藏，作者曾研究了非浊积砂的搬运机理。即构成了本书的第三部分。遗憾的是，对现代地层和古代地层中这种机理形成的沉积物的辨认仍很肤浅。有关这个主题的文章发表得较少，而且许多是有争议的。因此，工作重点要放在弄清这种搬运机理上，并进一步研究其所形成的环境因素。一个地质学家掌握了这些因素的知识就能够预测古代盆地沉积剖面中是否存在这些因素的产物。这种沉积物的沉积特征的某些讨论已包括在讲座报告中。因此第三部分只列出标题。

作者感谢加利福尼亚美孚石油公司允许我出版本书的第一部分。同时衷心地感谢许多过去的和现在的同事，他们通过真诚的讨论帮助作者，使作者的一些想法能够系统起来。最后，作者还要感谢有关工作人员提供了许多很有用、很有价值的图件。有些作了修改的图均得到了原作者的认可。

O.E.韦塞

目 录

第一部分 现代和古代浊积岩的研究

第一章 定义和术语	1
A. 密度流的定义	1
B. 重力沉积物和正常沉积物的定义	2
C. 近端相和远端相的定义及特征	3
第二章 浊积岩的重要意义	5
A. 地质意义	5
B. 生油岩-储集岩的关系	5
C. 经济意义	7
第三章 形成因素	8
A. 足够的水深	8
B. 足够的坡角	8
C. 实际的海退	9
第四章 环境旋回概念	13
第五章 与浊积岩沉积作用有关的侵蚀方式和沉积方式	17
A. 浊积岩的沉积地形与其他沉积地形的关系	17
B. 海底峡谷	17
C. 海底冲沟	19
D. 海底扇和海底沟道	21
E. 海底滑积裙	23
F. 深海平原	24
G. 深海平原间沟道	24
H. 洋中沟道	26
第六章 浊积物流动的条件	28
A. 速度	28
B. 时间	30
C. 体积	30
D. 厚度	31
第七章 加利福尼亚边缘地带的实例	32
A. 各种自然地理单元上的沉积作用	32
B. 盆地充填作用的阶段和时期	36
C. 海底峡谷的活动性	40
D. 圣莫尼卡盆地的地震剖面	42
第八章 古代浊积岩的特性	45
A. 远端相	45

参考文献.....	54
第二部分 “深海钻探计划”的取芯结果.....	56
A. 印度洋.....	56
B. 太平洋东北部.....	71
参考文献.....	82

第一部分

现代和古代浊积岩的研究

第一章 定义和术语

A. 密度流的定义

地质工作者一般要问的一个问题是：“浊流的定义是什么？”通常，这个问题既可以用纯水动力学理论的几句话来回答，也可以用一篇包括流体运动数学问题在内的长篇论文来回答。但这两种回答通常仍使地质工作者迷惘如初。

“浊流”这个术语，或许把它和二十年代气象工作者描述一定的空气质量所创立的术语——密度流联系起来最容易理解。后来密度流这个术语也曾用于流体力学研究。简单地说，密度流是一种气体或液体在另一种密度几乎相等的气体或液体下面或上面流动的气流或液流。密度差可能由于温度或成分变化而造成的，结果形成了其密度比周围介质或大或小的密度流。这种密度流的一个特点是它们相对于周围气体或液体的密度差是均匀分布的。还有密度差不是均匀分布而是较大密度位于其底部的各种密度流。这种密度差完全是由于呈悬浮态搬运的沉积物颗粒的不均匀分布引起的。它可能产生于空气或水中。在空气中发生的密度差是火山喷发的结果，其沉积物即通常所说的熔结凝灰岩。水中发生的密度差可以进一步细分成三种类型。第一种类型，其密度小于周围水体的密度。它作为表流流动，通常从空中看到的是洪水期河口外的泥水卷流(Plume)。这种悬浮沉积物的卷流能延伸到岸外好几英里远。卷流中推移质的沉积，形成具有递变层理的薄沉积层。粘土级和细粉砂级物质被一种叫做低重流(hypopycnal current)的流搬运。

第二种类型是在中等水深搬运其携带的沉积物。一种叫做等重流(homopycnal flow)的流，可以通过陆架细粒碎屑因长期受风浪作用而重新悬浮而成。这种搬运作用也包括完全是细粒沉积物的移动。

上述两种类型的特征是它们和周围海水之间的密度差较小。

第三种类型，相对上面的流体而言，具有相当大的密度差，所以，它沿着盆地底部流动。一种叫做超重流(hyperpycnal flow)的密度流通常被称为浊流(turbidity currents)或者浊层流(turbid layer flow)。石油地质工作者比较关心前者，因为它能搬运粗粒碎屑。然而，浊层流的潜力也不应忽视，它搬运的粉砂物质也能充当储集岩。不管是什么类型，各种密度流都要求一种能使它们运动的力。对浊流来说，运动是由作用于不稳定沉积物堆的重力引起的。那种影响是否能发展成浊流，取决于沉积物堆的体积和组成、陆坡倾角和沉积物搬运的距离。假定一切因素都有利，当移位沉积物流到河口盆地底时，就会形成浊流。

B. 重力沉积物和正常沉积物的定义

有时与近端相(proximal facies)内浊积岩共生的是一些成因上与滑动、滑塌、碎屑流等有关的地层。所有这些沉积物类型具有的一个共同特征是：它们都是受作用于不稳定沉积物堆积体的重力影响而开始搬运的。这些有关沉积物这里统称为重力沉积物(gravity sediments)。其成因是与通常使沉积物运动的动力，诸如风、浪和水流的力大不相同的。

就这种沉积物在盆地底的产状而言，在勘探工作中使用这种共同的术语(重力沉积物)是有用的，因此在储油层中一般也相互通用。然而，浊积岩在数量上通常比其他类型的沉积物多，因此在这本报告中，常用“浊积岩”这个术语，在辨认浊积岩时我们可能也要研究其他沉积物。

表1所示为早期文献中浊积岩这个术语的一些同义词。用得最广的术语是复理石、杂砂岩或深水沉积物。只有少数情况下才用滑动沉积物或滑塌沉积物这样的同义词，表明早期少数工作者把滑动相和滑塌相看作是浊流沉积物的一部分。对浊积岩和滑动沉积物或滑塌沉积物之间的过渡沉积物，常用的同义词是滑塌浊积岩(fluxoturbidite)。最近论述重力沉积物的著作，如沃克和默蒂(Walker and Mutti, 1973)认为这种沉积作用发生在这三种类型沉积物之间的连续统一体内。这就可以在露头上能辨认出重力沉积物的各种亚相。

表1 不同作者对不同地区的主要沉积相的术语

* 韦 塞	沉 积 物 的 术 语			
	正 常 沉 积 物	远 洋 沉 积 物	重 力 沉 积 物	
			浊 积 岩	滑动或滑塌沉积物
加里东地槽	贝壳沉积物	grisen	笔 石 层	野 复 理 石
阿尔卑斯山	磨 拉 石		复 理 石	
阿尔卑斯山	钙 质 沉 积 物		泥 质 沉 积 物	
*特西尔(Tercier)	磨 拉 石		brianconnaise	
哈茨山脉			蒙 瓦 克 岩	
哈茨山脉			杂 砂 岩	
*费希尔(Fischer)			einschutt	
*施韦特佐夫(Schwetsoff)	单岩碎屑沉积物		复岩碎屑沉积物	
纽约和弗蒙特	占 勃 兰 统		magog	
俄克拉何马	阿 尔 布 克 岩		奥奇塔岩(ouachita)	
特里尼达	磨 拉 石		复 理 石	morros 乱 石
*多临(Dorreen)	原 生 沉 积 物		再 沉 积 岩	
*帕克哈姆(Packham)	浅 水 沉 积 物		深 水 沉 积 物	
莱茵地槽			allodapic	滑 塌 浊 积 岩
*泽林斯基(Dzulynski)				

* 为作者名。

重力沉积物可同另一大类碎屑储集岩对比。盆地重力沉积物在向岸方向上是浅海相砂岩和陆相砂岩。作为不同沉积环境的产物，浅海相和陆相砂岩与重力沉积物之间往往被细粒沉积层序隔开。浅海相砂和陆相砂由“正常的”营力(风、浪和水流)搬运，因此这些砂就称为正常沉积物。如表1指出，这种相也有许多同义词。被这些沉积物包围的各种不同环境的砂堆积，虽然在构造作用强烈地区，快速沉积作用的影响会使单独鉴定造成困难，但有时是能够

做到的。当认为盆地充填作用具有完整旋回时,把沉积物划分为正常沉积物和重力沉积物,为分辨地层提供了一种有用的方法。分隔两种主要砂岩储集层的远洋或半远洋沉积物的细粒包层,通常也充当这两种主要砂岩储集层之间的隔层。这种隔层能封住运移到重力沉积物内的一切石油,从而保存了重力沉积物的勘探远景。

在表1中作者所使用的术语很适用于不同盆地中相的粗分。它不仅把两种主要储集岩类区分开,而且也区分了露头中可作图的主要岩石单位。后面的讨论(见第四章)将描述盆地充填旋回中,主要沉积相之间的几何形态关系。

C. 近端相和远端相的定义及特征

浊积岩的研究工作表明,有两种主要的相可以定义为近端相和远端相。这两种相是根据整个砂体形态、电测曲线的可对比性、粒度特征和沉积构造确定的。

近端相浊积砂有几种主要的明显特征。它们分布在一个形成沟道状(Channel-like)透镜体的沉积体(bundle)内。在盆地入口初始点,其长轴方向垂直于大陆边缘。当它们横越大陆隆或海底扇时,其方向会迅速改变;或者当盆地底倾角不同于这两种深海地形时,其方向也会迅速改变。在近端相沉积中,砂的百分含量变化很大,即使控制井很密,也很难追索出地下的单个砂体。造成这种困难的部分原因,是由于较老的砂段被侵蚀而代之以更年青的砂体。这种被侵蚀后又充填的数量变化很大,从单个沉积层一直到几百米厚的层段。层理不规则,泥岩夹层很少或者没有。因此,砂层叠覆的现象很普遍,储集层横向和垂向连续性很好。砂体内粒度变化很大,通常从粗砾到粗粉砂。四周的地层通常为粉砂质页岩。在井下,砂沟道(sand channel)的长轴方向和电测曲线容易对比的方向是一致的。相反,电测曲线很难对比,则表明电测曲线剖面的方向垂直于砂沟道。

在远端相内,砂体相对地呈席状。不管电测曲线剖面呈什么方向都很容易对比。利用测井资料或是地震资料都能在大面积地区内查明单个砂层。一般能够依据有限的资料为区域等厚图精确地预测砂岩百分含量。层理大都是平行的,单个砂层相互间通常被较细的远洋沉积物分隔。储集岩的垂向均一性比横向均一性要差。这些地层的粒度比近端相内的均匀,颗粒也比近端相内的细一些。

许多沉积学家对使用近端和远端两个术语,是有争论的。从六十年代中期起,这两个术语主要用来表示沉积物沉积时的流动状态。最初,这样使用(Walker, 1967)的结论是:较高速度的流动状态是盆地入口处浊积岩的特征(近端相沉积),而低速度的流动状态是搬运得更远的沉积的特征(远端相沉积)。可是,不久以后,以沟道充填物为例子的近端相沉积和代表漫滩沉积(overbank deposits)或沟道间沉积(inter-channel deposits)的远端相沉积同时在应用(Haner, 1971; Nelson and Kulm, 1973; Bouma and Hollister, 1973)。沃克和默蒂(Walker and Mutti, 1973)根据层理特征、沉积结构和构造以及流动状态赋予浊积岩相一个比较全面的定义。

要精确地说明象笔者所用的近端相和远端相如何与沉积浊积岩的海底扇-深海平原地形联系起来,还是个问题。近几年,对这种地形所做的工作把海底扇分成上、中、下三段(Haner, 1971; Nelson and Kulm, 1973)或内、中、外三部分(Mutti and Lucchi, 1972)。也用过其他一些术语。一般都没有象沃克和默蒂于1973年(Walker and Mutti, 1973)所做的那样在它们之间进行直接比较。按照海底扇划分为上、中、下三段的标准,近端相结束和远端相开

始的地带可能位于中扇的下部某处。这可能是在沟道范围外分布的重要的横向沉积体最初发生的地点。

对于勘探地质工作者来说，将海底扇划分成三段可能比笔者所用的近端-远端的划分优越一些。凡是能够进行详细地面制图的地方，就能比较精确地恢复当地的古地理，也能较好地确定储集岩的轮廓。有时候，储集岩的轮廓还可外推到邻接的井下地区。然而，从实践的立场看，井下资料用这种细分等级有其局限性。一个盆地刚勘探时即使有比较完整的岩芯，也很难一开始就辨认出浊积环境（或其他任何环境）。只有随着地下资料，包括测井、地震和古生物资料的不断增加，这种或那种主要沉积环境的特征才逐渐暴露出来。一旦浊积环境被确定，盆地内的近端相或远端相地区就很容易查明。通常，也能确定它们接近近端相或远端相的相对程度。但是，作出这样的细分也可能是瞎懵的，尤其是在估计地层厚度相当大的地方。随着时间的推移，由于水深、陆坡倾角、粒度分布以及水流携带沉积物数量的变化，或者由于物源区的简单变化，都会引起流动状态的改变，从而使解释复杂化。在盆地的小部分地区，如有大量井控制的油田范围内，可以将近端环境或远端环境的具体特征进行分类。但是，单单根据井下资料要确定海底扇的各个段是极困难的。因此，作者提出的近端-远端的区分，对于大多数井下研究来说，是一种比较切实可行的勘探手段。

第二章 浊积岩的重要意义

A.地质意义

1.大陆地层

在大陆岩层中，浊积岩沉积作用的记录可往前追溯到前寒武纪。当然，从古生代、中生代一直到新生代都发现过浊积岩。在地理分布上虽然有些地区内浊积岩比另一些地区更常见，实际上分布是世界性的。十分明显，浊积岩都分布在活动带或沉积物注入速度很高的盆地内。也有资料记载，克拉通盆地和湖相沉积中有浊积岩。在各个大陆和许多岛屿上都确定有浊积岩。

在美国西部大多数州内都描述过浊积岩，在古海岸盆地中尤多。在瓦契塔褶皱带和阿巴拉契亚褶皱带内也发现过浊积岩。

直到五十年代初，才在文献中描述浊积岩。从那时起，浊积岩被确认的数字在稳定增长。因此，浊积岩已经从被认为是外来岩类的阶段，过渡到认为是许多类型盆地中的沉积充填物的正常阶段。在文献中出现过一些解释上的错误，有一些并不是真正浊积岩的沉积物而被描述为浊积岩。相反，许多不太典型的重力沉积却被解释为冰川沉积或三角洲沉积。

2.海相地层

活塞式取芯工作首先在更新世海相地层中发现了浊积岩。后来“深海钻探计划”的钻井工作表明新生代和中生代沉积中也存在浊积岩。在那些具有相当大的沉积物锥、深海平原和一些岛裙的大陆边缘或大型岛屿周围浊积岩特别普遍。它们甚至在开阔大洋内与海脊或海底滩相邻接的地方也有发育。世界各大洋的许多盆地都已鉴定出浊积岩。例如，在印度洋“深海钻探计划”的钻井工作结果表明，在八个主要盆地中有七个存在浊积岩。其分布面积使任何陆地上所看到的相形见绌，某些浊积盆地拥有几十万平方公里的洋底。图1表示世界各大洋表层沉积层中浊流沉积的分布情况。在这张图上，浊积岩不仅分布于深海平原区，而且分布在平滑海底的某些地段。“深海钻探计划”钻井时所发现的浊积岩地点（如果绘在图上的话）将会使这种沉积物的分布面积大为扩展。

B.生油岩-储集岩的关系

浊积岩沉积的一个重要特征是在这种环境内发育有理想的生-储关系。在正常情况下，整个浊积岩体，包括滑动沉积和滑塌沉积在内，被远洋沉积物的毯状层包住。这种毯状层的厚度可能是几米或几百米。这种远洋沉积物可作为不渗透隔层，使石油不会运移出浊积岩。它们通常也是很好的生油岩。因此，运移到浊积岩中的石油就会滞留在那儿。但是也有少数例外，这将在后面再讨论。这种远洋软泥除了包住整个浊积岩体以外，还能起分隔单个储集层的作用。这就使生油岩和储集岩的搭配更为有利，这也是油藏工程和油田开发所要考虑的一个因素。

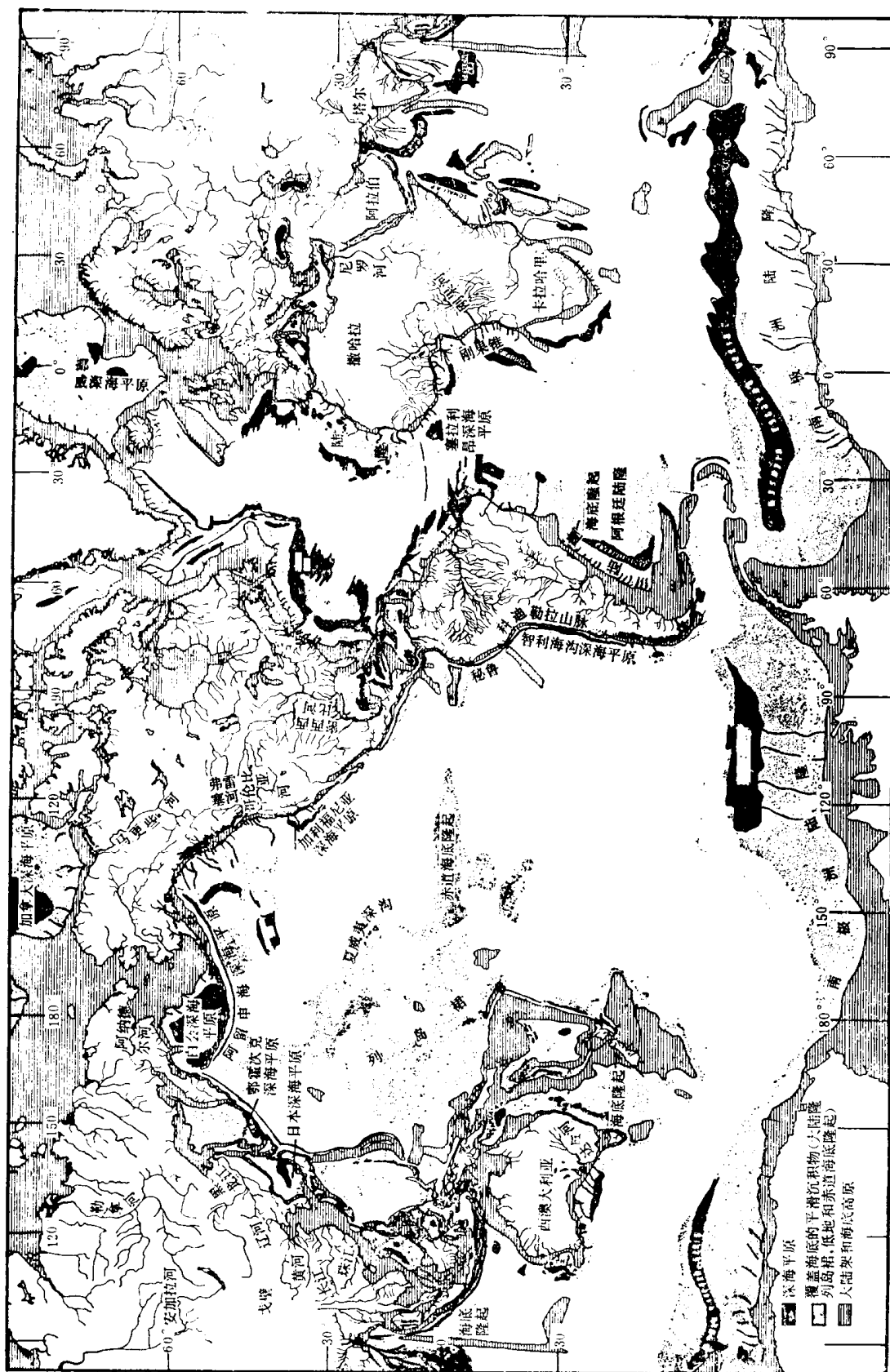


图 1 在表层沉积物中发现的、建造深海平原的浊积岩分布图 (据 B. C. Heezen and C. D. Hollister, 1971)

C. 经济意义

作者不熟悉世界范围内作为含油浊积岩的重要性。然而，在参考文献中发现有许多文章提到浊积岩产油。南加利福尼亚的浊积岩的经济意义可以通过图 2 的研究成果来判断。该图表明洛杉矶盆地和文图拉盆地内各种不同环境的石油产量。在洛杉矶盆地，截至1958年，属重力沉积物的储油层即占石油产量的 99%。这个百分比一直保持到现在。而浅海相和陆相储油层只含已发现石油的1%。这个数字还包括了裂缝性基岩的产油量。在文图拉盆地内，到1958年为止，重力沉积物中所含的石油即占石油产量的83%。在这个盆地的海上部分圣巴巴拉海峡，这个比例可能还要更高一些。

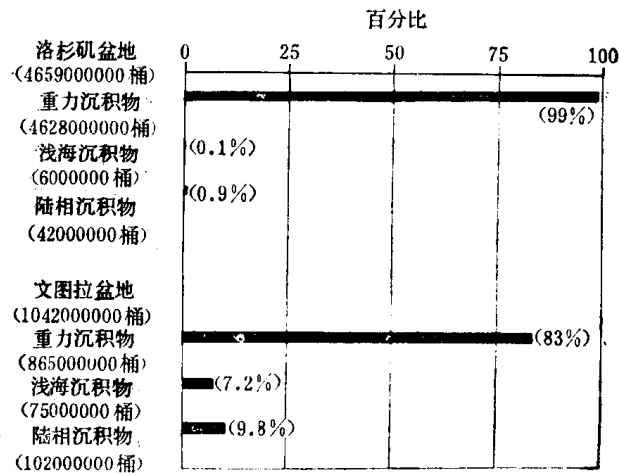


图 2 南加利福尼亚各种不同环境的石油产量

第三章 形成因素

发生浊流流动所必须的环境因素有三，它们是：足够的水深、足够的坡角和实际的海退。

A. 足够的水深

“足够的水深”，对这个术语是有些争论的。一名地质学家的深水定义和另一名地质学家的浅水概念一致。最早在加利福尼亚州确定海相地层的最大水深时确定，与晚第三纪浊积岩有关的深度为1500米或1800米。在现代沉积物中曾在波多黎各海沟水深达8200米处取芯获得浊积岩。在更深的地方发现的其他平底深海海沟，据信也能接受浊积岩。因此，如果形成浊积岩所必需的其他因素都存在，那就没有理由相信，浊积岩会受到水深最大值的限制。

后来又提出了关于能够发育浊积岩的最小水深是多少这样的问题。在加利福尼亚州的上第三系老岩层中再次发现了有关证据。对圣莫尼卡山某些中新世浊积岩判断，最小水深大约是100~125米。水深依据底栖有孔虫组合而定。在洋水中，文献(Hand and Emery, 1964)中描述的最浅的产地是加利福尼亚岸外纽波特峡谷头部附近1米厚的递变砂层。该层位于目前184米水深。据推测，它是在更新世冰川期海平面处于低位时沉积的。如果这种推测是正确的，则我们就要从184米水深中减去90米或125米。这样，沉积时的最小水深就小于100米了。是否还有更浅的实例，还不能排除这个可能性。

目前提出100米左右水深作为海相浊积砂岩能够存在的最小水深。在这样的水深中，在砂的分布上当然必须考虑其他沉积机制。因此，单凭在这样深度找到的砂层是不能把它们定为浊积岩的。

B. 足够的坡角

形成海相浊积岩第二个必要的因素是斜坡的不稳定性。换句话说，如果沉积物在它的所在地不能变得不稳定，则它们就不会下滑到深水中形成悬移流。造成不稳定性的临界角因地而异。例如在密西西比三角洲，四十多米厚的沉积物，休止角只有1度，也能超过其切变强度而滑塌到较深的水中去。

另一个例子是加利福尼亚湾，据记载，那里在倾角为7度的陆坡上堆积的沉积物仍是稳定的。这些沉积物实际上正在把大陆坡逐渐推进，或者实际上正在形成斜坡沉积(clinothem deposits)。

因此，人们发现沉积物的稳定角变化很大。引起这种变化的主要因素是颗粒形状、颗粒大小和沉积速度。在任何给定的陆坡上，快速沉积细粒沉积物时超过切变强度，要比慢速堆积粗粒沉积物时容易得多。这种易变性要求我们对每个沉积盆地分别确定，古坡角是否足以形成浊积岩。或许，作为陆坡不稳定性下限的合理平均值为3~5度，在那些没有大河流出的地方（前已指出），其值可能更高一些。

C. 实际的海退

形成重力沉积物所必须的第三个因素是“实际的海退”。“实际的海退”是指任何能使沉积物进入斜坡可能不稳定的地区的机制。或者，更确切地说，是指任何使沉积物堆积在峡谷头、陆架或滩缘等地的机制。有四种可能的机制能够引起这种情况，它们是：(1)海平面下降；(2)大地构造作用；(3)有利的海岸线地形；(4)活跃的沉积作用。这些机制分别称为：(1)“海面升降性海退”；(2)“大地构造性海退”；(3)“地形性海退”和(4)“沉积性海退”。

1. “海面升降性海退”(eustatic regression)

如果海平面由于冰盖的再次推进而曾下降100米，则那时海岸线将处于陆架外缘，而不是处于内缘。因此，海岸沉积物就会沿着面临高坡角的地区堆积，而且比现在更容易下滑到深水中。这就是更新世一再出现的“海面升降性海退”的机制。这种世界性的海退可能是今天沿着大洋边缘、甚至沿着某些内陆海的边缘（即受到海平面升降变动的任何地区）发现许多海底峡谷的原因。这个概念起源于这样一种想法：大多数海底峡谷是由目前呈海底扇分布在河口以外的粗粒沉积物切割而成。然而，如果认为所有的海底峡谷都是在更新世形成，又不好解释了。因为确实有相反的肯定证据。

2. “大地构造性海退”(tectonic regression)

大地构造运动是另一种形成“实际的海退”的机制。在海岸山脉上升速度超过滨线侵蚀速度的地方能够使台地倾斜，海岸线发育呈狭窄的、倾斜陆架的地形。在这样的海底上堆积的砂，很容易滑塌到较深的水中去。

3. “地形性海退”

通过适宜的海岸线地形也能形成“实际的海退”。沿着陆架外缘有凸出地形分布的滨线就是这种地形。当沿岸流沿着这种滨线搬运砂时，将把砂子沉积在凸出地形的向流侧，因为沿岸流围绕着凸出地形流动，其携带能力较小。这种沉积物的沉积地点接近陆坡，也就是说接近不稳定区，而沿着滨线其他部分不存在不稳定区。在滨线凸出地形的向流侧发现许多海底峡谷，似乎也不是罕见的现象。

4. “沉积性海退”(sedimentary regression)

可能，最常见的“实际的海退”是由快速沉积作用引起的。这种海退叫做“沉积性海退”这是一种靠沉积作用将沉积物置于不稳定区的机制。这种情况能在两种同时发生或分别发生的不同作用的影响下产生。首先，可以设想的情况是：沿着海岸的某一部分，沉积物的流入量大于侵蚀营力的运走量，结果造成滨线后退。发生这种过程的有利地区是携带大量沉积物的河流的河口外地区。通过对世界性地质图件的研究可以看到：自最后一次冰川退缩以来，有一些河流已向前推移到陆架边缘，并把携带的沉积物沉积在不太稳定的地区。因此可以说，如果存在其他两种环境因素，则三角洲是可望形成浊积岩的最好地区。的确，地质学家们也正在愈来愈多地注意三角洲沉积物和重力沉积物间的相互联系。在古代资料中，沿着俄勒冈州海岸线出露的始新统科阿列多组，提供了一个良好的实例。

现代三角洲也提供了许多这种实例。另外，根据海底峡谷是浊积岩形成过程的一部分以及沉积物的高供给量有利于峡谷的深切割这一设想，看一下具有不同输沙率的河流外面的海底峡谷，将会表明是否存在一种因果关系。通过对表2的研究，可以看清这种设想的正确

性。表内所列的河流均测定过年输沙量，也作过海底地形测量。结果表明，河口外发现海底峡谷的数量随着输沙量增加而增加。

表2 河流输沙量和海底峡谷形成的关系

输沙量, 吨/年	河 流 数	海 底 峡 谷 数
1,000,000,000	2	1
100,000,000	10	5
10,000,000	24	7
1,000,000	18	1
100,000	4	—

影响“沉积性海退”的另一种沉积作用发生在洋流把近岸沉积物搬运到海水较深的不稳定区去（即搬运到海底峡谷头或陆架边缘）。大多数近岸流不能把沙搬运到碎波带(surf zone)以外很远的地方。但是有一种海流，即潮流能很有效地把沉积物带到水深200米或更深处。因此，潮流能够作为“沉积性海退”的一种营力。

把潮差和那些潮汐对海底地形有重要影响的沿岸地区进行比较，就能得出一种粗略测定潮汐能力的方法。这种测定表明，潮差在1.5米以上，潮流就能获得把沉积物运过陆架的速度。图3表示哥伦比亚河附近强烈潮汐和滨外沙堆积的关系。这里，由于滨线流(shoreline current)的破坏力，哥伦比亚河未能形成三角洲。到达海洋内的河沙被强烈的风生滨流(wind-induced shoreline current)带到北部和南部。但有一部分被潮流带到海中的哥伦比亚海底峡谷头。在那里沉积物堆成了不稳定体，时常下滑到较深水中去。在哥伦比亚海底扇内发现了具有放射性的沙，说明这种作用甚至在今天仍很活跃。这些沙是在流过哥伦比亚河上游的汉福德反应堆所在地时带有放射性的。

孟加拉三角洲内有一地区，三角洲形成过程和潮汐作用相结合造成“沉积性海退”。在那儿，河流体系将大量泥沙沉积物搬运入海，使滨线逐渐推进到孟加拉湾内。湾内潮流造成一些指向海底大峡谷“无底坑”(“Swatch of No Ground”)的沙垅。沙垅的排列方向表明有大量沉积物“漏”入了峡谷头，在那里沉积物最终被浊流带到孟加拉海底扇。

另外一些沉积作用也能造成“沉积性海退”。活跃的火山作用能导致不稳定沉积物堆的快速形成。同样，浮游微生物也能在浅的或深的海底滩和海脊上形成很厚的远洋软泥。这种类型的重要碎屑堆积体(buildup)无疑对于在“深海钻探计划”许多口井钻遇的火山成因浊积岩和远洋软泥浊积岩的形成是起作用的。

在谈到“沉积性海退”时，有些地质学家通常总是相信：一条河流在发洪期会连续不断地将沉积物从河口运过陆架，然后进入较深水而形成浊积岩。考虑到河流的搬运能力，认为这不是一种有效的机制。大家知道，砂级物质具有较高的下沉速度。因此，当淡水流入大洋时，其流动速度受到密度较大的海水的制止，因此很容易失去粗粒的推移质。

能使沉积物连续搬运的最有利的地区，也许是海底峡谷头部伸入河口的地方。图4表明刚果海底峡谷的头部实际上越过了陆架而在河口被发现（见图的最右端）。峡谷头部的水深约为100米。峡谷内填满了周期性下滑到较深水中的沙。其证据是在加深河口时偶然发现的，另一证据是横跨离海岸较远的海底峡谷的海底电缆的毁损。有些人认为，当河流发洪时，河流沉积物不断流入较深水中有时也会发生这样的毁损。但是，比较合乎逻辑的解释是：已充