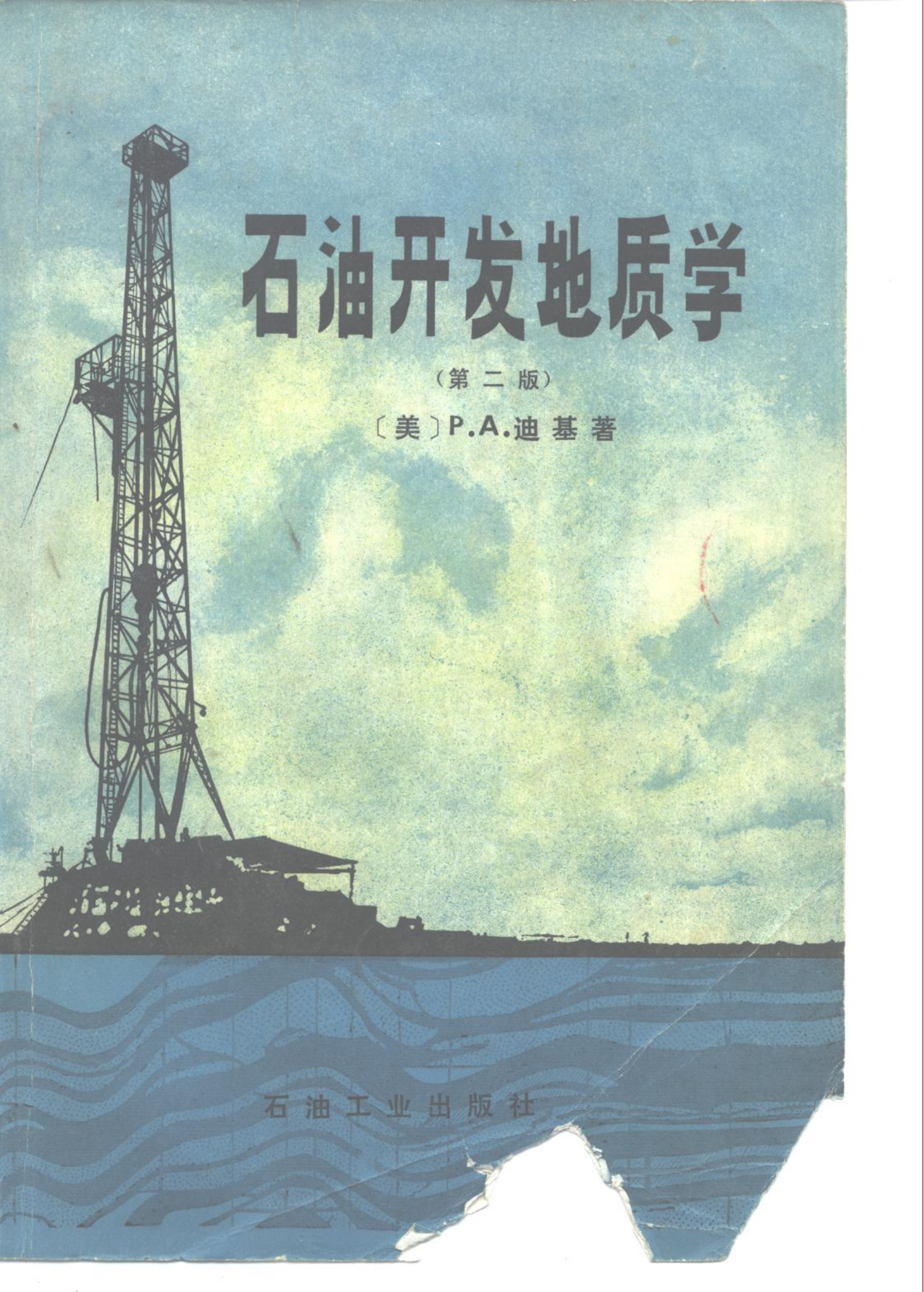


The background of the cover features a stylized illustration. On the left, a tall, dark silhouette of an oil derrick stands on a platform. The platform and the lower part of the derrick are reflected in the water below, which is depicted with dark blue, wavy lines. The sky is a mix of green and blue, with a bright yellow sun or moon on the right side, partially obscured by a red, curved mark.

石油开发地质学

(第二版)

〔美〕P.A.迪基 著

石油工业出版社

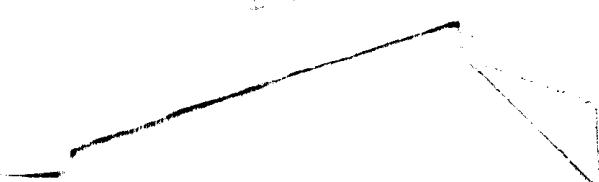
14746

石油开发地质学

(第二版)

〔美〕 P.A.迪基 著

石油工业出版社



第 二 版 前 言

《石油开发地质学》第二版的出版为作者提供了修改本书的机会。对印刷上的和其他方面的错误已经作了更正，并作了很多补充。碳酸盐岩一章增加了内容，并新加了碳酸盐岩油藏这一章。关于油藏流体特性一章全部重新改写。最后新加了一章关于评价一个新的发现，在哪里钻第二口和第三口井。

三年前第一版出版以来，地质学在油气田开发中的应用已有了很大的发展。已发表的强化采油设计的报告表明，现在已习惯于在油田开发之前进行详细的地质研究。很多公司已组织地质师、工程师和地球物理师一起工作来设计开发方案。这种方针上的改变是很好的，将会促使油气产量的提高。

P.A.迪基 (Parke A.Dickey)

奥瓦索，俄克拉何马 (Owasso, Oklahoma)

1981年11月

前 言

从石油工业开始以来，地质师们对它作出了贡献。直至最近，主要侧重于发现新油气田的方法的发展和应用。所以大部分石油地质师在勘探部门工作，一旦发现了油气田，把开发工作主要留给钻井人员和石油工程师。

近年来，油气田开发中对地质师的需要日益明显。油藏很少是均匀的孔隙性渗透性岩石，褶曲成穹窿。它们由狭窄的河道中和海滩上形成的渗透性砂层的复合体组成，在垂向上和侧向上相互为不渗透页岩所分隔。一般的油藏与其说象一叠薄饼，倒不如说象一盘通心粉。碳酸盐岩油藏，由于次生溶解和裂缝改变了原生孔隙而更加复杂。油气井的井网不应是随意确定间距的规则的正方形网格。而应该符合于储层的地质状况进行设计，这样用最少的井数可以采出最大量的油气，同时要从经济上考虑来确定。

应用各种强化采油方法时，要求对油藏的渗透率分布有详细的了解；否则昂贵的采油介质会在没有预料到的方向上流散，以致增产的油量很少，或者甚至根本没有增产。

本书是为塔尔萨大学编写的高级地质学教材，也曾被用作短期进修的教材。主要为从事开发工作的地质师所用。可是，也叙述了石油地质学方面的很多技术，希望本书将是大学石油地质课程的一本有用的教科书。

在本书中一些为开发地质师所用的方法，在大学中是不教的。新参加工作的人员一般派到井场去，让他们学习关于钻井和完井的方法。对于实践理解来说，这个过程是不可缺少的，但是应该再补充一些原理上的指导。这就是《石油开发地质学》的内容。

本书对于在数学模拟和强化采油设计中从事详细研究油藏的工程师们也是有用的。他们需要知道所依据的地质资料是怎么取得的，以及必须把油藏看成是在现实世界中真实存在的。

很多方法正在迅速地发展改进。可以编入一本教科书中的新技术，随着时间的发展它们会变为陈旧的。因此这里侧重于原理而不是操作实践。后者最好在现场学习，以及向技术服务公司的人员和操作手册学习。

这本书主要是作为教学用书，而不是一本参考书。在各章的末尾列出一些参考文献，但并不是所述内容的全部权威性文章。本书也不是文献中发表过的他人观点的概述，而是根据作者自己的经验和知识。有些观点和原理是新的，首次在这里提出。很多陈旧的和我所不同意的观点没有提及。可是，没有一本广泛的基本的教科书象本书那样包含这样众多的原始材料，以及每一章中都试图概括该主题方面的最新见解。

目 录

第二版前言

前言

第一章 开发地质学的任务..... 1	参考文献.....66
第1节 开发地质学..... 1	第七章 不同类型砂体的油田.....68
第2节 开发地质学的应用实例..... 1	第1节 河流砂体.....68
第3节 影响油藏特性的地质因素..... 4	第2节 海滩型砂体.....71
第4节 油藏的形状和大小..... 6	第3节 浊流沉积.....75
第5节 构造..... 7	第4节 由几种不同类型砂体组成的油田.....76
第6节 流体含量..... 7	第5节 电测曲线图型.....85
第7节 设计符合地质状况的开发方案..... 8	参考文献.....85
参考文献..... 9	第八章 砂岩的储层性质.....88
第二章 旋转钻井岩屑的检验.....11	参考文献.....98
第1节 历史.....11	第九章 碳酸盐岩储层地质..... 100
第2节 旋转钻井法.....11	第1节 碳酸盐岩中的石油..... 100
第3节 样品的检验与描述.....13	第2节 现代碳酸盐岩沉积环境..... 100
第4节 绘制录井图.....17	第3节 碳酸盐岩类型命名..... 103
参考文献.....19	第4节 古代碳酸盐岩沉积环境..... 106
第三章 岩芯分析.....21	第5节 碳酸盐岩的成岩作用..... 111
第1节 取芯次数和位置的选定.....21	第6节 碳酸盐岩的孔隙类型..... 112
第2节 取芯类型.....21	参考文献..... 117
第3节 岩芯的描述和保管.....23	第十章 碳酸盐岩储层的油田..... 119
第4节 岩芯分析.....24	第1节 礁块油田..... 119
参考文献.....28	第2节 陆棚碳酸盐岩中的油田..... 121
第四章 泥浆录井.....30	第3节 裂缝型油田..... 122
第1节 泥浆中的烃类显示.....30	第4节 深水碳酸盐岩中的油田..... 126
第2节 泥浆记录仪记录的其他钻井参数.....33	参考文献..... 128
参考文献.....36	第十一章 石油与天然气..... 130
第五章 电法测井及其它电缆测井.....37	第1节 原油..... 130
第1节 电法测井.....37	第2节 天然气..... 135
第2节 放射性测井.....46	第3节 油气的相态..... 135
第3节 其他测井.....48	第4节 石油的成因..... 137
参考文献.....52	第5节 生油岩..... 140
第六章 砂岩储层的沉积环境.....53	第6节 油气运移与聚集..... 143
第1节 密西西比河现代三角洲.....53	参考文献..... 148
第2节 其它现代河流三角洲.....55	第十二章 油田水..... 150
第3节 碎屑沉积的环境.....55	第1节 油田水的化学分析..... 150
第4节 深水沉积.....63	第2节 油田水的化学成分..... 150
第5节 风成沉积.....65	第3节 地下水的化学成分..... 156
第6节 沉积构造和结构.....65	第4节 地层水中溶解的有机化合物..... 165
	参考文献..... 169
	第十三章 地下压力..... 171

第1节 油藏压力的成因	171	第8节 碳酸盐岩中的油藏特性	239
第2节 低异常油藏压力	176	第9节 油藏模拟	240
第3节 水动力(流动)系统	184	参考文献	240
第4节 异常高压	188	第十六章 储层地质学在注水和强化采油法开	
参考文献	206	采中的应用	243
第十四章 钻柱测试和不稳定试井	209	第1节 储层划分为性质相似的单元的方	
第1节 钻柱测试工具	209	法	243
第2节 钻柱测试压力记录	210	第2节 沉积环境的鉴定	243
第3节 不稳定试井	212	第3节 绘制各个砂层单元图	247
参考文献	215	第4节 碳酸盐岩储层的剖析	253
第十五章 油气藏中的流体特性	216	参考文献	259
第1节 岩石、油和水的毛细管性质	216	第十七章 对石油发现的评价, 确定第二、三、	
第2节 相对渗透率	219	四口井的井位	261
第3节 一次采油机理	220	第1节 地震资料的重新解释	261
第4节 估算原油储量	224	第2节 钻第二口井的位置	267
第5节 估算气储量	226	第3节 第三和第四口井	270
第6节 注水	228	参考文献	271
第7节 强化采油(三次采油)	234		

第一章 开发地质学的任务

第1节 开发地质学

在第一口成功的探井钻完以后，开发地质师或生产地质师应用他的学识和技术去开发一个油田或气田。他必须把勘探阶段所获得的地球物理、地质和工程资料，用第一口探井的成果来进行重新解释，从而制订开发方案。

区域地质资料，加上从第一、二口探井获得的砂样、岩芯和电缆测井资料，有可能预测储层的规模、形状和侧向形式。钻柱测试与地层层段测试提供油藏的各种参数，如孔隙率、渗透率、流体饱和度、油气比以及油水接触面。

用这些数据，可以作出预测油藏动态和可采总储量的模型。这些早期的估算数字当然只是大致的，但是在着手考虑开发方案必须作出决定的时候，这个估算数字是不可少的。首先的决定是要不要进行开发，第二步是估算井数、大致的井位以及必要的生产设备。有了油气日产量的估计数之后，才可能编制出该项目的年度费用预算表。这个预算表用来判断开发的投资是否合理。

对老油田强化采油进行评价时，更加需要油藏的地质资料。用注入流体来开采剩余油时，流体必须能有效地驱扫油藏。整个开发计划包括开发方法的选择、井距、井网和完井实施等，必须符合油藏的地质条件。

一个油气远景地区是通过包括地下地质和地球物理在内的广泛而费钱的区域地质研究而得出的。钻凿探井要耗资数百万美元。由于部分钻井人员、工程师或井场地质师缺乏经验或掉以轻心而冒着漏掉远景地区的风险，这是愚蠢的。最好是对上述三种人员进行一些正规的培训。

一个好的勘探家，当钻机搬到他的远景地区时，不会把责任交给一名工程师。他是制订泥浆比重、下套管深度以及测井、测试和强化措施等钻井计划最有能力的人员。他也是进行经济预测和评价的最有能力的人员。

第2节 开发地质学的应用实例

石油开发地质学的作用，最好用它在实际油田中应用的例子来阐明。第一个是 Brent 油田，表明在钻了第一批四口井的时候，如何设计整个油田的开发方案和估算储量。第二个是 Hawkins 油田，这是一个老油田，在它发现之后三十五年设计不同采油方法的例子。第三个是 Bradford 油田，说明如何应用详细的地质研究作二次采油设计。

Brent油田 英国北海地区的Brent油田是近年来发现几个最大的油田之一 (Kingston 和 Niko, 1975)。它于1971年被壳牌-埃索石油公司所发现，由英国壳牌公司作为作业公司。图 1-1 是油田发现前的地震剖面图 (Bowen, 1975)。从图中可以看出有厚的相对未经扰动的沉积岩系，深度达到2~3秒。该处非常显著的高振幅反射层认为是东倾陡西倾平缓的侵蚀面。其下面为普遍向西倾斜的层序，被正断层断开。在潜伏隆起顶部以西近 1 公里的倾斜下方钻了发

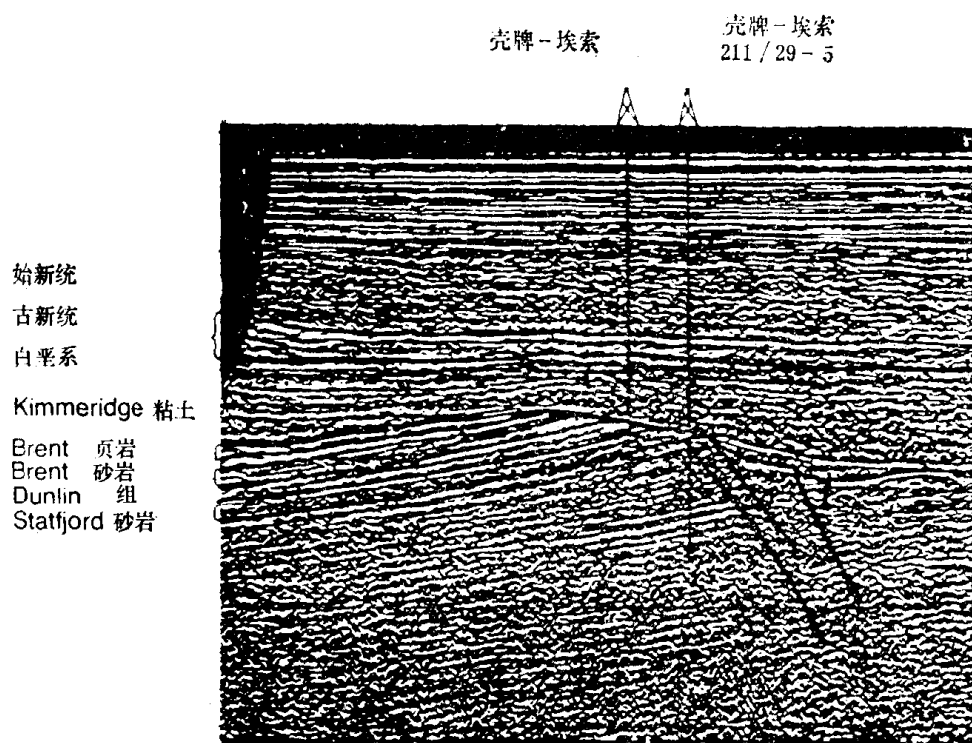


图 1-1 Brent油田附近的地震剖面 (据Bowen)

现井 (图1-2)。该处水深142米，在设得兰群岛东北150公里处。在北海最近的英国控制井以北370公里。

有根据确定出未扰动的沉积是第三系或白垩系，但不整合面以下的地层的年代则完全不知道——它们可能属前寒武系。实际证明是侏罗系。在不整合面以下有115米左右的黑色和灰色页岩，该页岩不整合于河流三角洲环境下沉积的侏罗系砂岩之上。第一口井发现了60米高的油柱；而一年后在该构造顶部所钻的第二口井中，发现在114米纯油砂的上面有53米天

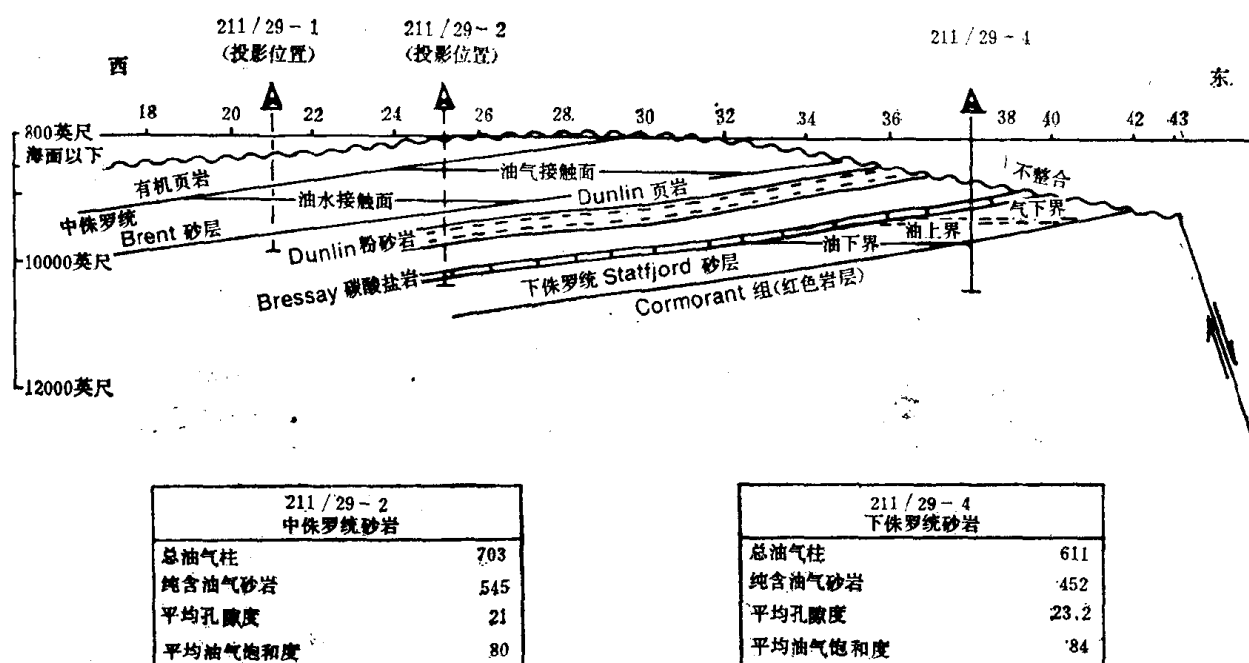


图 1-2 Brent油田横剖面草图 (据Kingston和Niko)

然气(图1-2)。这两口井在油的下面都发现有水。第二口井的全部产油井段取了岩芯,并进行了三次生产测试。多次的地层层段测试表明在油水接触面处的油没有被天然气所饱和,但是向上溶解油气比增高直到油气接触面。第二口井钻进更深,发现下面有下侏罗统Statfjord砂层,在该处是含水层。

由于油田离陆地较远和费用大,关于进一步开发的问题必须很快决定。这包括平台和生产装置的设计,这本身又需要有开采方法的设计。沉积环境的地质研究,提供了砂体的性质、分布范围和非均质性的预测。地震数据给出了已知油水接触面以上的油田的范围。可采储量估算为油10亿桶(1亿4千万吨)和天然气2万亿立方英尺(560亿立方米)。为了偿还开发所需的巨额投资,重要的是尽快和尽可能长地保持高的日产油量。因之在设计第一个平台时,计划日产油10万桶(即14000吨/日),日注水20万桶(31000立方米/日)以及所有产出的天然气。

一年后,即1973年,第三口井证实油田向北延伸,隆起东翼的第四口井发现了下侏罗统产油砂层。这样使油藏向东伸展,增加了3亿桶(4300万吨)油和14000亿立方英尺(400亿立方米)天然气,不过不必过多地改动开发计划。

此后进行了比较精细的油藏模拟研究。根据岩芯的地质研究,把油藏分成四个沉积旋回,从而认为具有三个分隔的油藏。上、下两个沉积旋回有良好的侧向连续性,但中间(下三角洲平原)的第二和第三旋回的侧向连续性差。剩下重要的问题是天然水侵的强度。

这些模型研究的结果,有可能在仅仅钻了四口井之后,对一个有数十亿桶的大油气田预测最终可采储量、最优日产油量和油藏动态,并且设计生产设备。

阿拉斯加的Prudhoe Bay是另一个特大油田,只钻了很少几口井,就研究了详细的地质情况。根据这些研究,决定了耗资巨大的横贯阿拉斯加的输油管线(Eckelman等,1975)。

Hawkins油田 得克萨斯州东部的Hawkins油田是一个老油田,对地质情况和过去的油藏动态仔细研究之后改变它的产油机理的例子(King和Lee,1976)。该油田于1940年发现,至1974年产油量已超过5亿桶(7100万吨)。产油砂层是白垩系Woodbine层,在原来开发期间取过大量岩芯和进行了地质研究。Hawkins油田与1930年发现的东得克萨斯油田为同一个含水层,东得克萨斯油田已经产出了大量的油和水,因此降低了压力,其影响甚至远及Hawkins油田。从岩芯看出,油田西区油水接触面之上有一层沥青(图1-3)。这是一个压力封闭层,因此原始油藏压力为1985磅/平方英寸(13680千帕),而含水层的压力为1830磅/平方英寸(12620千帕)。在南北向的主断层以东,沥青密封较差,油田在强烈水驱条件下采油。

油田西区的北部,水穿过沥青层起到水驱的作用。南部在重力排油作用下产油,引起气顶从北向南移动。北部的油侵入了气顶。根据1974年研究的结果,决定把燃烧产生的惰性气体注入气顶,以保持压力和阻止油的运移。主要靠重力排油作用产油。用这种采油方法估计能多采油1.89亿桶(2700万吨)。

Bradford油田 宾夕法尼亚州Bradford油田发现于1871年,在一次采油溶解气驱作用下已产油2亿桶(2800万吨)左右。它是第一个精心地注水以增加采油量的油田(Fettke, 1950)。油田经营者认识到二次采油需要搞清油藏地质和流体特征,因之在二十世纪三十年代宾夕法尼亚州就已奠定了油藏特征的现代科学基础。从砂层顶部绘制的图中可看到具背斜构造的席状砂。对顿钻砂样的仔细研究,发现油藏由一系列象瓦片那样叠覆的分隔的砂体所组成,都是向西倾斜(图1-4)(Wilson, 1950)。试图以不同的速度把水注入不同的单元中。

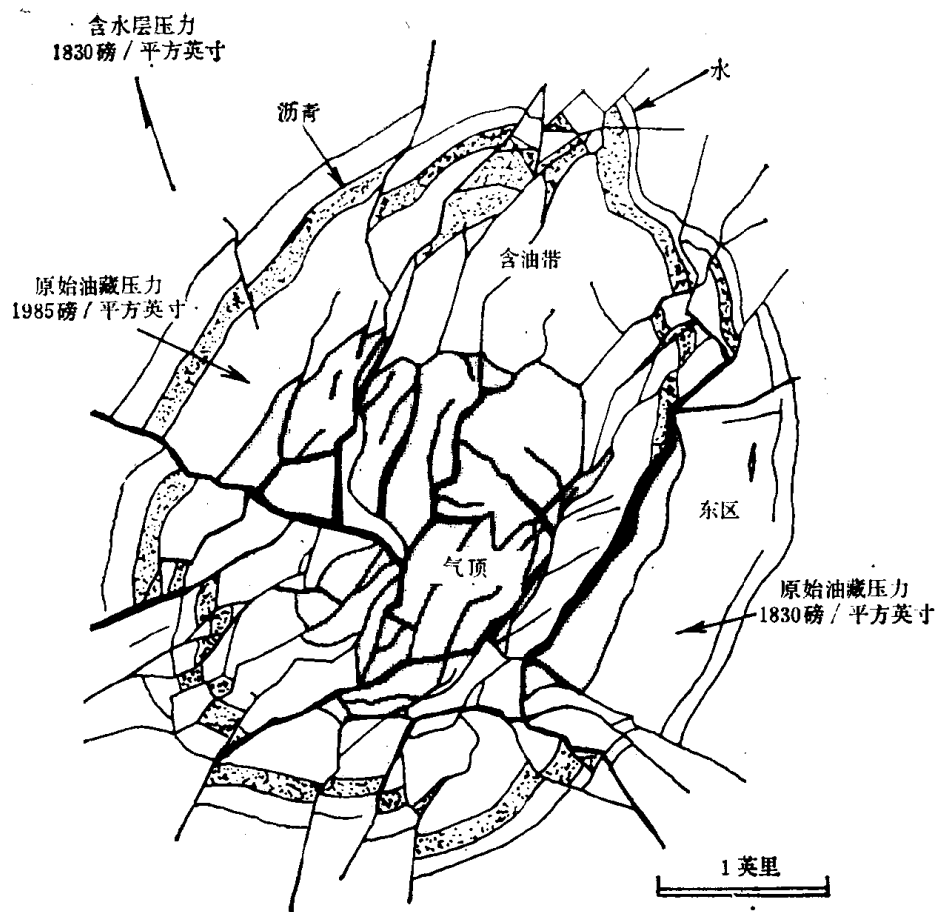


图 1-3 Hawkins油田的沥青层和断层的位置 (据King和Lee)

水力压裂提高了日注水量, 但往往引起天然节理张开使水直接流入生产井。因之把井网布置成注水井排和生产井排与天然裂缝系统平行。这样可以使注入水对人工张开的裂缝呈90度的方向上推油。

根据对各个砂体的大小和形状的地质解释, 设计二次和三次采油的其他有意义的实例有: 科罗拉多州的 Rangely 油田 (Larson, 1974), 得克萨斯州的 Monahans 油田 (Dowling, 1975), 以及伊利诺斯州的 Loudon 油田 (Harris, 1975)。

第3节 影响油藏特性的地质因素

过去油田在一次采油机理下产油, 油藏精确的地质描述是有用的, 但并不真正重要。油是自然地流出来的。非均质性和其他地质特性有助于或影响着采出油量, 但是油田经营者要取得它们的好处方面并没有更多的事情可做。

在1940~1960年的大部分年代里, 石油工程师曾力图说服经营者没有必要按密井网钻井来采油。每40、80或者甚至160英亩 (16、32或64公顷) 一口井可以把油藏采完, 这样可以节约很多不必要的钻井费用。在美国, 同一个油藏中经常有很多经营者。有些石油公司为了省钱用较少的井, 如40英亩一口井, 产出同样数量的油是不可能的, 因为别的经营者钻了更多的井, 如每40英亩 (16公顷) 4口井。石油将向井距最密的地区运移。

在进行二次采油和把流体注入油藏时, 比较聪明的经营者清楚地了解所注入的流体并不

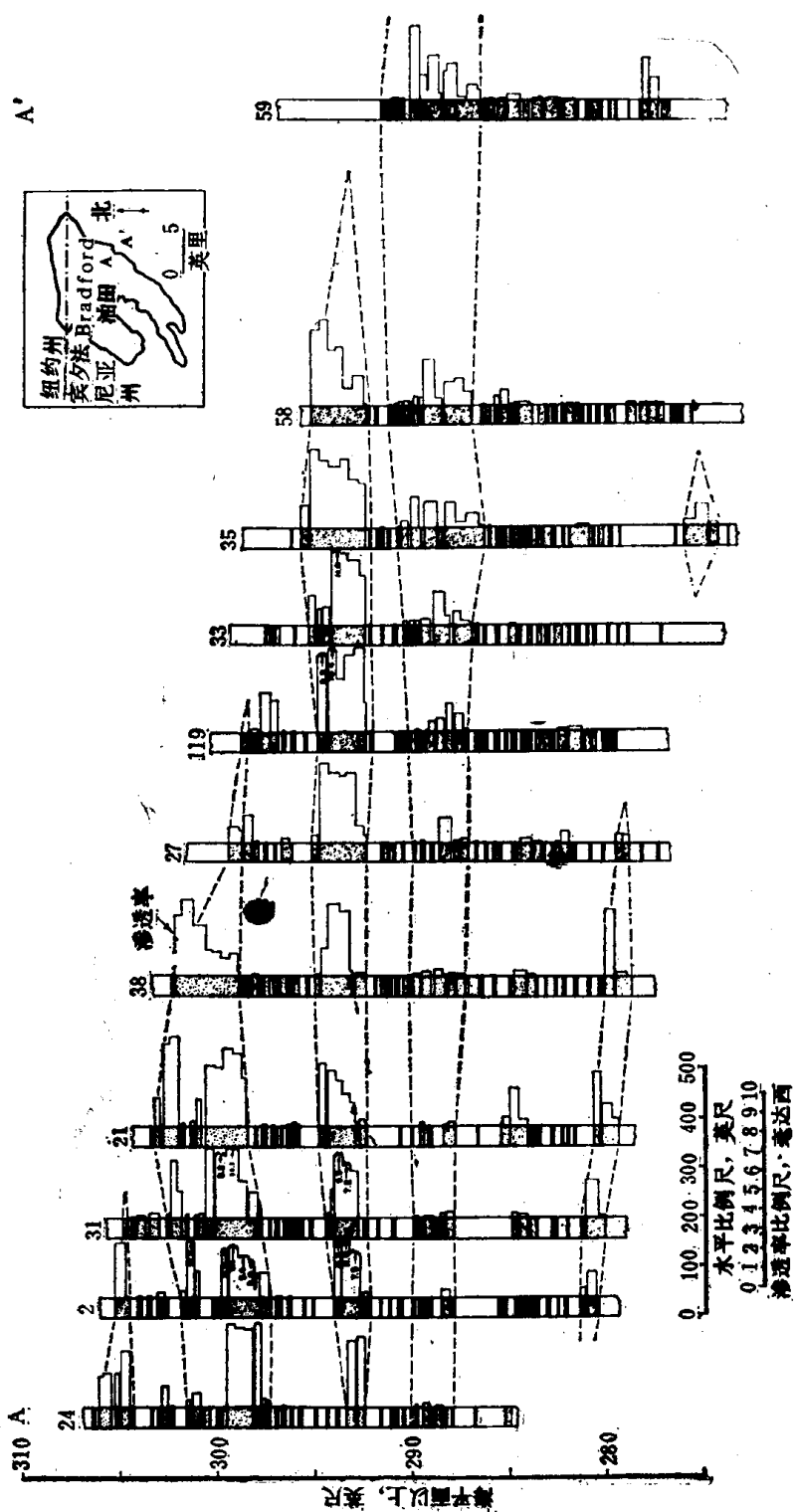


图 1-4 宾夕法尼亚州Bradford油田表示出各个砂层油藏的横剖面 (据Wilson)

是均匀地驱扫石油,而是在含有大量剩余油的地层的上下或周围绕流。在二次采油甚至三次采油中,良好的驱扫状况是方案成功的关键所在。一般可以用缩小井距来提高扫油系数。三次采油所以比一次或二次采油要昂贵得多,其主要原因是三次采油需要钻更多的井。

许多强化采油的方法在实验室中得到良好的结果,但在油田上作试验往往结果很差,因而产生了“适应性”的概念。希望能推导出一种表达理想状况和真实的非理想的地质领域中发生的状况的关系的数学式。这种提法表现了想法上的严重错误。油藏产油方法必须适应于地质条件;不能期望地质条件适应于数学方程。在考虑注水或强化采油开采时,必须适合油藏的地质条件来设计。强化采油方法的选择、井距和井网,以及全面的开采方案必须适应于具体地质条件来设计。

第4节 油藏的形状和大小

地层的连续性 砂层总是成层状的,并常常是多层,被薄页岩夹层所分隔。各个砂体相当于单一的沙滩、点砂坝或河道砂,它们或是并排分布或是上下相叠。每个单元内部的渗透性良好;但是从一个单元到另一个之间的渗透性就很差。渗透性遮挡层虽然在岩芯中能够明显地看到,但由于太薄而在电测曲线上往往不能反映出来。

在深入的开采作业中,要求区分各个砂体,并分别测定它们的渗透率。如果井钻得相当密,可以圈定出每个单层。然后有可能进行选择性地完井,并在不同压力下把流体注入不同的砂体。

横向连续性较好的砂体,给强化采油提供了较好的机会。水平夹层可能有助于使流体保持平行于层面的流动。可惜的是它们常常分隔渗透率明显不同的层位。油藏的非均质性是强化采油法失败的主要原因之一。

碳酸盐岩油藏难以用这样的方法来圈定。有些竖立的礁块具有良好的垂向渗透率。在这种情况下,重力排油作用、气顶驱或溶剂驱是有利的。在经常遇到的裂缝孔隙率的情况下,有时可以测定裂缝的方向,但是不能确定它们的平均间距或确切位置。

含水层的大小和形状决定着油田是在水驱下还是在溶解气驱下产油。有些油砂横向分布很广。其中如东得克萨斯盆地的Woodbine砂层以及俄克拉何马州Seminole地区的Wilcox砂层。这些砂层中的油藏在持续的水驱下产油。其他许多地区,经常是水侵入油藏几千英尺,然后就停止推进。这种现象说明,即使在大的含水层中,侵入油藏的水是来自含水层中水的体积膨胀作用,没有从地表来的补充。另一方面,油最普遍的是发现在近岸沉积环境的薄的透镜状储层中。这可能是因为在巨厚的砂层中没有足够的隔层把油挡住。所以,对新发现的油田中含水层的大小进行早期的推断是极为重要的。以后的全部动态将决定于含水层的状况。

许多碳酸盐油藏与大的含水层有水动力的连通。在礁块中尤其如此,它有大量的含水孔隙率,而油占据着塔柱体顶部很小的体积。如果有良好的垂向渗透率,采油时水将上升而置换油。另一方面,有些礁是孤立的,与大面积的孔隙性碳酸盐岩并不连通。

孔隙类型 孔隙的大小和形状有很大的变化。这决定于原来的颗粒大小分布,尤其决定于隙间粘土和次生二氧化硅的性质与数量。砂岩中的孔隙有的象四壁光滑的通道,有的是多少充填着松软粘土的不规则孔洞。一般认为,光滑而均匀的孔隙具有最佳的采收率,但是对这个因素很少注意。更重要的是孔隙内部表面的湿润性状况,但是对这个因素也很少注

意。

碳酸盐岩中孔隙率的差别更大。大的洞穴可行驶载重10吨的卡车，而就在旁边的细小孔隙是肉眼看不见的。因此，对碳酸盐岩中流体的状况了解得很差。经常试图把碳酸盐岩中的油藏动态和砂岩的油藏动态进行比较。我们真正需要的是定量地确定某种岩石的孔隙大小和形状，然后去解释该油藏的动态。

埃尔金斯 (Elkins, 1950) 曾指出，当溶解气从溶液中逸出时，它先在通道中然后在隙间孔隙中成为连续的细线。这意味着气体开始流动时的含油饱和度比在砂层条件下的高。因此在具有裂缝和孔洞的碳酸盐岩中气驱的效果要比砂岩中的差。认为把隙间孔隙中的油采出来的唯一办法是降低通道内的压力，从而油中的溶解气把油从孔隙中推出进入通道。注气或注水进行二次采油驱扫，只能把通道中的油驱出，对于隙间孔隙中的油，实际上被堵住和分隔。由于这一原因，在具有孔洞和裂缝的石灰岩中的二次采油方案成功的很少。

岩石的压实作用对采油的重要性还没有足够的认识。这主要发生在未固结的地层中。可以根据页岩密度定量地确定固结的程度。可以认为，如果页岩的密度小于2.2，应该考虑压实作用和地表沉降的可能性。

渗透率对采油量的影响很大。低渗透率岩石的一次采收率低。因此它们在地下还含有较多的油，对强化采油更为有利。另一方面，低渗透率大大增加了注入流体的难度和费用。

第5节 构造

倾角 只有当岩石具有比较陡的倾角（大约 15° 以上）时才能得到重力排油作用和气顶驱的有效采油。陡的倾角也有利于水驱，因为水具有较高密度往往可以保持均匀的推进前缘。盐丘翼部的特征是具有强烈水驱作用的倾角很陡的油藏。

断层 几乎所有背斜油藏都有断层。它们常常是垂直的并与背斜轴线呈 70° 夹角。断层一般是封闭的，把油藏分割成各个单元，每个单元有其本身的压力和油水接触面。为了有效的产油，每个断块必须按一个独立的油藏来考虑。

在很多情况下，断块油田中注水时，水沿断层流动。正常情况下断层是紧密闭合的，但当注入压力超过原始油藏压力时，流体把断层张开并沿着它流动。如果不把注入压力很快降低，会冲蚀成固定的通道，油藏将长期受到损害。

节理 节理是天然产生的垂直裂缝。在深处常常紧密闭合。可是注水时所施加的压力可使它们张开。发生这种情况时，产生严重的绕流现象。

第6节 流体含量

原油地质储量 无论一次采油或二次采油，要确定的最重要的数字是原油地质储量 (Bond, 1979)。不少强化采油项目仅仅由于地质储量不足而失败。根据岩芯和电测资料来确定原油地质储量的困难在第三、四章中详加阐述。

有时原始地质储量是固体的焦油沥青 (Tar)。石蜡、沥青以及焦沥青 (Pyrobitumen) 都会在油藏中存在。用岩芯分析和大多数测井的地层评价方法，无法从原始的原油储量中把它们区分出来。在发现大部或全部“原油”是固态物之前，就已经开始了二次采油。

因为钻井泥浆对岩芯和电测的影响，在一次采油以前确定原油地质储量是很困难的。严

格地说,在一次采油末期来确定也有同样的困难。二次采油方案的成功取决于方案开始时和结束时地下原油储量的差值。在二次采油结束以后,则很容易确定。因为那时的含油饱和度已降低到不能再低的程度,钻井和取芯已不能使其继续降低。

隙间水饱和度 在原始条件下,用储层的毛细管性质来确定孔隙中油和水的相对数量。如果砂岩主要是亲油的,一般认为,水是效果不好的驱油剂。它流过较大的孔隙,而不能把孔隙表面的油剥落和不能把细小孔隙中的油驱出。Bradford砂层的含水饱和度比根据毛管压力曲线所预测的要低得多,因此该砂层必然是部分亲油的。在这里注水取得了显著的成功。还没有搞清楚是否所有油藏都是以亲油为主的。

孔隙中含水饱和度高,在气驱条件下能提高采收率(Dickey和Bossler, 1944)。原因是水具有把油挤入较大孔隙的倾向,在那里可以被气驱出。

气体含量 在油中溶解的气越多,一次采油的效果越好。这是因为大量气体的膨胀,把油从孔隙中驱出。而且,在低粘度的油中含有大量溶解气。所以,对低粘度油进行二次采油的效果是最好的。

含气很少的油往往重而稠。认为在有些情况下,一次采收率低到10%。除了注入蒸汽以外,对高粘度油进行二次采油并不是很成功的。

有气顶的地方,气顶驱的作用有利于一次采油。不过由于原始气顶的压力下降,油向上运移进入气顶并湿润了砂层,以致不可挽回地损失了很多油。

第7节 设计符合地质状况的开发方案

井距 在分布广而均质的砂层中进行一次采油,一口井就可以采完整个油藏。所以增加井数的唯一好处是更快地得到油。

显然,井距越密则采出油量也更完全。不过许多研究者(Craze和Buckley, 1945; Arps等, 1967)并没有表示出一次采油时井距与最终采油量之间的任何定量关系。可是,很多油田原来用40或80英亩的井网开发,现在按较密的井网重新钻井,表明最终产油量实际上与井距并不是没有关系的。

二次采油更需要较密的井距。当注入流体(无论是气或水)时,注入速度必须快到足以使日产油量是经济可行的。为此井距随渗透率而定。还有一个重要问题,即注入井与生产井应钻入砂体的同一个单元内。

井网 在强化采油开采中,井网必须适应于地质条件。如果一个砂体由一系列相互并排分布的海滩砂或砂坝组成,应该确定出这些单元的方位。这可以用等厚图和电测对比来求得。砂层的电测曲线常常在一个方向上对比得很好,而在另一个方向上完全无法对比。横切砂体的井应布置得密一些,沿其长轴方向的井可以远一些。压力测定和干扰试验是有用的。

有天然裂缝存在或由于有意或无意地在高压下形成了裂缝的地方,井网排列必须使注入井至生产井的方向与裂缝走向成直角。

在强化采油的情况下,一般最好使注入井数至少等于生产井数。这一问题还没有普遍为人们所认识。如果一口注入井周围有一圈生产井,注入的流体可能在某一个方向上流去,很难影响到所有的生产井。反之,如果一口生产井被一圈注入井所包围,从各个方向上把油推入生产井而不会有散失。

完井方法 完井方法决定于地质情况,特别是岩石的特性。

在未固结的地层的情况下,砂粒进入井筒,使之堵塞而降低产油能力。它们会磨损泵和油管接头。在这种情况下,应把细筛管下入井中,外侧填入砾石。有时也在砂层中注入塑性物质使其固结。这些方法都不是全部成功的。

在地层为中等固结的情况下,下套管固井。用子弹或聚能炸药对套管和水泥进行射孔。

如果地层坚硬而不渗透,可泵入带有悬浮砂粒的流体进行水力压裂。压开垂直的径向裂缝,然后用砂支撑使裂缝张开。这一措施在靠近油水接触面处不宜使用,因为水会沿着裂缝上升。

参 考 文 献

Alpay, D.A., 1971, A practical approach to definition of reservoir heterogeneity, SPE Paper 3608.

Bond, D.C., 1979, Determination of residual oil saturation, Interstate Oil Compact Commission, Oklahoma City, Oklahoma.

Bowen, J.M., 1975, The Brent oil-field, in Austin W. Woodland, ed., Petroleum and the continental shelf of northwest Europe, New York, Halsted Press, p. 353-360.

Craig, F.F., Jr., P.O. Willcox, J.R. Ballard, and W.R. Nation, 1976, Optimized recovery through cooperative geology and reservoir engineering, SPE Paper 6108.

Craze, R.C., and S.E. Buckley, 1945, A factual analysis of the effect of well spacing on recovery, API Drill. and Prod. Practice, p. 144.

Dickey, P.A., and R.B. Bossler, 1944, Role of connate water in secondary recovery of oil, AIME Trans., v. 155, p. 175.

—, 1950, Influence of fluid saturation on secondary recovery of oil, in Secondary recovery of oil in the U.S., 2nd Edition, New York, American Petrol. Institute, p. 222-227.

Dowling, Paul L., 1970, Application of carbonate environmental concepts to secondary recovery projects, Soc. Petrol. Eng. SPE Paper 2987, 16p.

Eckelman, W.R., and R.J. Dewitt, 1975, Prediction of fluvial-deltaic reservoir geometry, Prudhoe Bay, Alaska, Trans. World Petroleum Congress, Tokyo, Japan, v. 2, p. 223-228.

Elkins, L.E., 1950, The importance of injected gas as a driving medium in limestone reservoirs as indicated by recent gas injection experiments and reservoir performance history, in Secondary recovery of oil in the U.S., 2nd Edition, American Petrol. Institute, New York, p. 370-382.

Fettke, C.R., 1950, Influence of geological factors on secondary recovery of oil, in Secondary recovery of oil in the U.S., New York, American Petrol. Institute, p. 204-213.

Fettke, C.R., 1950, Water flooding in Pennsylvania, in Secondary recovery of oil in the U.S., New York, American Petrol. Institute, p. 413-443.

Flewitt, W.E., 1975, Refined reservoir description maximizes petroleum recovery, Soc. Prof. Well Log Analysis, Annual Logging Symposium.

Halbouty, Michel T., 1975, Needed, more cooperation between earth scientists and petroleum engineers, SPE Paper 6107.

—, 1977, Synergy is essential to maximum recovery., Jour. Petrol. Tech., July 1977, p. 750-754.

Harris, D.G., 1975, The role of geology in reservoir simulation studies, Jour. Petrol. Tech. May, 1975, p.625-632.

Hewitt, C.H., 1966, How geology can help engineer your reservoirs, Oil & Gas Jour., Nov. 14, 1966.

Jardine, D., D.P. Andrews, J.W. Wishart, and J.W. Young, 1977, Distribution and continuity of carbonate reservoirs, Jour. Petrol. Tech., July 1977, p.873-885.

King, R.L., and W.J. Lee, 1976, An engineering study of the Hawkins (Woodbine) field, Jour. Petrol. Tech., February, p.123-128.

Kingston, P.E., and H. Niko, 1975, Development planning of the Brent field, Jour. Petrol. Tech., October 1975, p.1190-1198.

Larson, Thomas C., 1974, Geological considerations of the Weber Sand reservoir, Rangely field, Colorado, Soc. Petrol. Eng. SPE Paper 5023.8 p.

Morgan, J.T., F.S. Cordiner, and A.R. Livingston, 1977, Tensleep reservoir study, Oregon basin field, Wyoming, reservoir characteristics, Jour. Petrol. Tech., July 1977, p.886-896.

Wayhan, D.A., and McCaleb, 1968, Elk basin heterogeneity—its influence on performance, SPE Paper 2214.

Wilson, Wallace W., 1950, Supplement to Fettke, C.R., 1950, Influence of geological factors on secondary recovery of oil, in Secondary recovery of oil in the U. S., New York, American Petrol., Inst., p.211.

Zeito, George A., 1965, Interbedding of shale breaks and reservoir heterogeneities, SPE Paper 1128.

第二章 旋转钻井岩屑的检验

第1节 历史

检验岩屑是鉴定被钻穿岩石种类的最基本的和重要的方法。从最早的钻井到现在,钻井人员和地质师都注意于检验岩屑。

十九世纪七十年代初期,宾夕法尼亚地质调查所的卡尔(J.F. Carll)在宾夕法尼亚油区首次进行了油井岩屑的科学分析。他劝说Titusville附近几口油井的钻井人员,把地面以下的砂样保留下来。他把这些砂样放在架子上的小瓶中,并描述所钻穿的岩石的类型。然后他把不同岩性的厚度按比例绘制成图,并进行对比。最后他定出一些油井的海拔高度,并绘出最佳产油层——“第三油砂层”顶部的构造等高线图。

Carll并没有使用“录井(“log”)”这一名词,不知道什么时候首次使用此名词。这一名词来自水手们把缚有打结的长绳的圆木(log)扔到船外的习惯。根据在一定时间内从手中滑过的结数,便可算出船的航速。这种资料记录在船长的“航海日志”(log book)中。钻井人员需要保存一本“钻井日志”,记录钻井的有关事项,诸如停钻时间、钻头的更换、岩石的变化等等。地质师用录井日志记录岩石的层序。把这种资料标绘在狭长的纸带上,就是条带录井图(strip log)。

在石油工业的早期,钻井主要用顿钻方法。在沉重的铁棒下端的钻头,用绳索把它悬挂在井眼中。作上下运动,猛击岩石,使之成为碎片。经常在井底保持25英尺的水。钻进一定井段(一般约5英尺)之后,从井中起出钻头。随即把底部装有活瓣阀的管子组成的捞砂筒下入井内。当活瓣的舌簧触及井底时,水和岩屑涌入捞砂筒。井眼捞净后,继续下入钻头。因此顿钻的岩屑精确地表明了所钻的5英尺井眼。

顿钻还有更大的优点,由于水柱短,井眼内的流体压力总是很低。因之,如果钻过了产油砂层,油或气就会流入井内。其最大的缺点是,如果钻过含水砂层,井眼将充满水而妨碍钻进。顿钻方法目前已很少使用。

1935年以前,岩屑是地质资料的主要来源。由于它的局限性,造成对比上的误差,以及许多含油砂岩没有被发现而被套管封掉。

电测井约在1935年开始广为应用。尽管这种方法对有些岩性给出的标记较差以及油气含量的资料也不可靠,但是由于快速而精确,在很大程度上取代了岩屑录井。五十年代初期在阿尔伯达和Williston盆地发现石油时,当时的电测曲线对碳酸盐岩剖面不能解决问题,地质师们又重新使用岩屑。现在把岩屑检验作为泥浆录井作业的一部分,在最重要的预探井上进行。

第2节 旋转钻井法

旋转钻方法,钻头装在悬挂在井架上的钻杆的下端,并象麻花钻一样旋转(图2-1)。气体、空气、水或泥浆泵入钻杆的中心,从钻杆外侧的环形空间返出。岩屑被这股向上流动