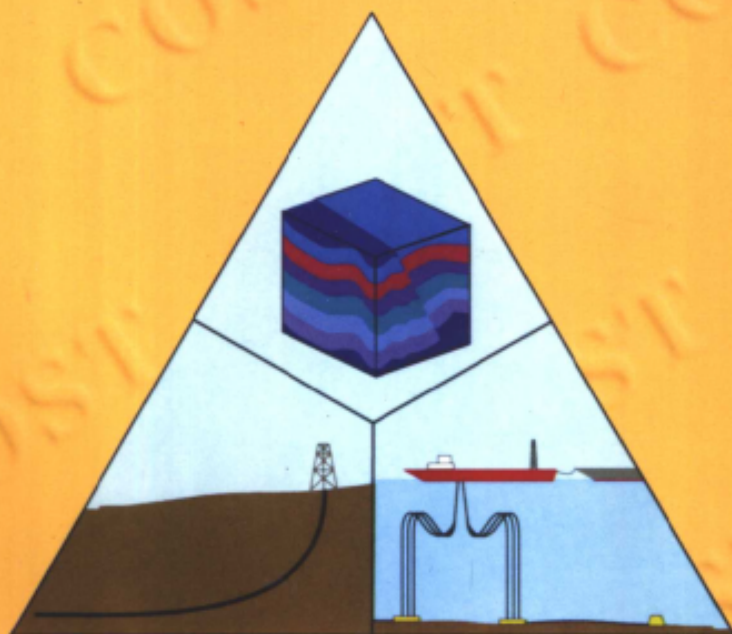


世界石油成本

(全球能源研究中心)



中国石油天然气集团公司
石油经济和信息研究中心
一九九九年九月



封面设计 王雪梅

世界石油成本（内部发行）

开本 889 × 1194 毫米 1/16 印张 5	编辑：中国石油天然气集团公司石油经济和信息研究中心
字数：9 万	出版：中国石油天然气集团公司石油经济和信息研究中心
印数：800 册	地址：北京安外安华里二区 3 号楼
1999 年 9 月印刷	邮编：100011 工本费：60 元

世界石油成本

全球能源研究中心报告

1996年冬/1997年

翻 译：王洪军 王雪梅
 林东龙 张卫忠 朱云祖
责任编辑：王雪梅

中国石油天然气集团公司
石油经济和信息研究中心
一九九九年九月

翻 译 出 版 说 明

现在企业的竞争越来越多地移向成本的竞争,油气成本的管理更是石油生产者关注的重点。为此,我们翻译了这本全球能源研究中心的《世界石油成本》研究报告。本报告综合介绍了国外降低石油勘探、开发及操作成本所采用的技术和做法,以及各项成本的对比等。希望能够对我国的石油工业提供参考价值。

本报告可供石油工业勘探开发及生产各个部门领导和技术人员参考。

本报告由中国石油天然气集团公司石油经济和信息研究中心科技信息研究室组织翻译。

由于我们水平有限,译文中的不妥及疏漏之处在所难免,敬请读者谅解及指正。

1999年9月

目 录

概述	(1)
一、引言	(3)
二、降低勘探成本	(6)
1. 确定潜力	(6)
2. 改进的地震技术	(7)
3. 地震采集技术的未来发展	(9)
4. 降低干井数量	(11)
5. 降低探井钻井成本	(19)
6. 发现成本对比	(20)
三、降低开发成本	(22)
1. 降低钻井成本	(22)
2. 少量的井产更多的油	(22)
3. 海上新方法	(26)
4. 风险分担	(30)
5. 油田开发成本对比	(33)
四、降低操作成本	(39)
操作成本对比	(40)
五、油田开发生产期成本	(45)
1. 油田整个寿命期单位成本	(45)
2. 部分油田整个寿命期成本计算	(47)
六、结论	(52)
附录 A 油田整个寿命期单位成本的计算	(53)
附录 B 部分油田整个寿命期单位成本	(55)
附录 C 图目录	(64)
附录 D 表目录	(65)

概 述

• 由于在整个石油工业的上游成功地应用了新技术,使得非欧佩克石油生产国是原油高成本生产者的说法发生了变化。先进的地震测量技术、大位移钻井技术、多分支井开采技术和新的海上油田开发技术(如海底完井和浮式生产系统),在很大程度上降低了新石油储量的发现、开发和生产成本。

三维地震测量技术以更快的速度和更低的费用提供了更加清晰的地下构造图象,大大改善了石油公司的勘探手段,且减少了找油过程中耗资极大的干井的数量。自 80 年代中期以来,七大石油公司已设法使钻干井的数量减少了 28%。随着技术的不断完善、更好的数据压缩方法的出现和更多的三维(3D)地震数据解释经验的积累,技术做为一种勘探工具越来越具有吸引力,特别是在过去的四年中,三维地震测量成本降低了 60%。

由于使用了新的先进工艺技术和作业者与承包商之间建立了新型的合作关系,所以,一旦发现了油田,就会比以前更快、更经济地开发这些油田。定向钻井(无论是水平井还是丛式井)已经能大大地降低开发成本,特别是海上油田。这些油田可利用陆上井场或其他海上油田现有卫星平台上的富余钻井能力进行开发。这有一个例子可以清楚地证明这一点,在英国的 Wytch Farm 油田进行的定向钻井,使开发成本降低了 33%,而且至少使该油田提前三年全面投产。在这些方法不能使用的地方,可以使用海底完井技术和浮式生产设备开发小型边远油田。在这两种情况下,油田投产的筹备期已大大地缩短了,而且油田建设整个寿命期间的单位成本费用(FBC)也降低了。实际上,在本书中全球能源研究中心(CGES)关于油田全部建设成本的研究结果表明降低开发成本和减少生产准备阶段的时间是改进油田生产期间经济效益的最重要因素。

本报告中对北海一些油田所进行的分析结果表明:随着开发成本的降低和通过对油藏本身的进一步了解使得估算的石油储量增加,油田生产期间内的设备成本大大地降低了,特别是在最近五年中。全球能源研究中心的研究结果表明,只要油价仍然保持在 1996 年不变价值美元的 13 美元/桶以上,几乎所有被调查的油田都能在生产期间内至少获得 10% 的实际利润率。在许多情况下,即使油价降到 10 美元/桶(1996 年不变美元价格),油田仍能得到超过 10% 的实际利润率。

这些先进的技术大部分是在北海和墨西哥湾开发的,当技术领先的公司把它们用于新的项目时,这些技术便开始在全世界产生很大的影响。这样,世界各地的生产者都能从石油储量的增加和经济开采原油中受益。这些新技术应当大规模地开始用于跨国石油公司目前被排斥的一些中东国家,跨国石油公司知道世界石油储量能够新增多少以及如何更加经济地开采这些储量,这种可能性实在是太大了。

一、引言

石油和天然气工业从开始以来一直是由技术推动发展的。所有大石油公司的许多科学家和工程技术人员都在不断地寻求更有效的和更经济的方法来寻找、生产和运输石油与天然气。工业史上曾有一段时期,由于有丰富的易开发的油田,使得技术优势并不是显得很重要,特别是在特权年代,当容易开发的储量枯竭及在大石油公司间合作的要求大于竞争的时候,这一时期由于环境的变化或有新的公司加入便很快结束了。

由于欧佩克国家在 70 年代期间上游工业受到严重的损失,使得油公司必须在其它地方寻找石油储量。显而易见,这些新储量是很难开发的,因此需要比原来更高的投入。这样,必须应用先进技术以便从更恶劣的环境如阿拉斯加和北海开采石油。当这些新的远景区投产时,油价高得足以使开采成本变成原油生产中的一个次要问题,这种情况随着 1986 年油价暴跌而发生变化。

到了 80 年代中期,在技术上已解决了北极圈地区的石油开采和穿过阿拉斯加的 1250 多公里的长距离输油以及在北海恶劣水下环境中的采油问题。然而,油价大幅下降的新时代给石油公司带来了新的挑战:在油价已接近于过去 80 年代前 5 年平均水平的一半时,他们必须开发这些困难远景区中的新油田,以弥补已投产的老油田的产量。技术进步的焦点已由着重解决石油自然开采与输送问题转移到降低每桶石油的勘探与开发成本上。

技术的进步有助于降低石油的生产成本,这方面已有大量的报道。尤其使非欧佩克产油国的生产成本降低,极大地刺激了非欧佩克和非 FSU 石油产量,从 1989 年的 2860 万桶/天增加到 1995 年的 3270 万桶/天,其中技术进步发挥着重要的作用。毫无疑问,通过技术的改进和更好地利用这些技术可以降低成本,这对提高产量起到重要作用,同时也有其它因素在

发挥作用,比如改善油公司和承包商之间的工作关系和由东道国发布双方互惠的上游税收政策。

在本研究中,全球能源研究中心试图说明与解释技术的进步已全面地影响石油工业的上游(勘探、开发和生产),并试图说明使新油田投产的有关各方之间新型的合作关系是如何大大降低成本的。实际上,还有更多有关更加经济地寻找、开发与开采新油田的例子。技术的进步也有助于我们更好地了解现有的许多大油田,从而大大提高这些油田的产量和采收率。

在实践中,评估技术发展和进步给降低成本带来的好处时,我们认为最重要的是一个油田开发与开采整个寿命期间的成本。新的技术可能比被其取代的技术昂贵得多,但是这种高成本的投入往往可以通过提高油田动态性能和降低随后的操作成本而得到更多的补偿。先进技术可以在许多方面降低石油工业上游成本,如降低某些生产操作费用;减少生产准备时间,从而提高各个工程的经济效益;发现使用其它方法没能发现的石油,特别是识别现有油田内部和周边地区的其它油藏;使用其它方法不能开发的油田得到继续开发;提高现有油田的采收率、提高可采储量和产量,从而将开发用的投资成本在大量的最终可采储量之间分配。使新的前沿含油区有可能投产,如萨特兰西部地区以及墨西哥湾的深水地区。

不难理解,油公司不愿意透露详细的有关油田的开发和操作成本。但是,从各种公开渠道和一些具体事件上还是可以得到大量的相关信息。本研究的每一部分都包括了新开发油田或目前正在开发的油田的成本对比。在这方面,对全球范围内不同地区和许多不同生产环境下的勘探、开发和操作成本做了大量的调查,给读者提供大量的有关许多工程项目的成本和成本目标的评价。

除了分析技术的发展和有关各方工作关系变化之外,我们试图建立许多油田的整个生产寿命期间单位产量成本这一概念,这次工作首先是在1992年开始的,当时我们在全球能源研究中心的环球石油报告(Global Oil Report)第3卷第一版中评估了北海石油生产成本。油田的整个生产寿命

期间成本是非常重要的,这是因为他们表明油田寿命期间内所需确定的原油价格不但要担负油田生产原油的成本,而且同时还要对油田开发中的投资者有所回报。

二、降低勘探成本

1. 确定潜力

在钻任何一口探井之前和进行地震详查以研究地下构造之前,需要进行初步的调查以详细地确定探区和有助于随后确定勘探目标。这些初始测量一般是采用直升机或遥感卫星进行的,以便生成研究区某些波段的电磁波谱照片。

遥感卫星,如美国的 Landsat 或法国的 SPOT,可以拍摄到可见光谱波段的照片,但是不能穿透云层或在黑暗的条件下拍摄,除非使用红外波段电磁波进行拍摄。然而,使用合成孔径雷达(SAR),可以克服这些问题

自从 70 年代初以来,SAR 成象一直用于石油工业的上游。但是当测量已相对较小时,用装备 SAR 的直升机进行测量受到了一定的限制。直到最近,安装商用 SAR 成象系统的第一颗卫星(Radarsat)才发射升空。最近几年,由于油公司不断地把其注意力转移到很难或不可能获得光学影象的地区,所以石油勘探初期需要的大面积 SAR 图像不断增加。南美、亚洲和非洲的热带地区上空的云层持续覆盖区和阿拉斯加与俄罗斯的极地地区上空的持续黑暗区使得 SAR 成像成为这些地区成图的一种理想工具。由于这些勘探地点都是很遥远的,而且缺乏已装备 SAR 的直升机,所以星载 SAR 测量比直升机装载的 SAR 测量更受欢迎。据 Radarsat 公司估算,星载 SAR 测量所节约的成本是显著的(见表 1)。

表 1 星载 SAR 测量与直升机装载 SAR 测量之间的成本对比

成像区 (平方公里)	直升机飞行费 (美元)	直升机操作费 (美元)	直升机测量总成本 (美元)	卫星成像成本 (美元)*
100000	97500	1502500	1600000	42000
10000	97500	184500	282000	4200
100	97500	32500	130000	5250
测量位置:巴布亚新几内亚 * 假设 12 小时数据处理时间的卫星成像成本 * * 2500 km ² 的覆盖区 来源:Radarsat 有限公司在《油气杂志》上发表的文章				

2. 改进的地震技术

地震测量给勘探者提供了地下环境的第一手详细的图像。在确定有远景油气田位置和确定为测试已发现油气藏的商业开采价值而钻的高费用井的最佳位置与轨迹中,地震测量是一种极其重要的工具。由此,提高地震剖面及其解释结果的分辨率与精度有助于通过提高随后的操作效率来大大降低油气发现成本。提高地震勘探分辨率当然会增加成本,但是我们希望通过减少钻干井的数量来降低钻井成本以弥补地震勘探费用的增加。少钻一口干井就足以补偿地震勘探所增加的成本。70年代中期出现的商用三维(3D)地震测量可以提高地下构造图像的分辨率。

常规的二维地震测量可以产生一系列间距1~2km的穿过地下岩石构造的垂向横向剖面。为了提供地下构造的完整图像,横剖面之间的数据空白必须通过内插来充填。这种处理显然不适于复杂地质构造地区的勘探,这种复杂地区的岩层通常出现大量的局部褶皱与断裂。这种处理更不适于确定小油田的位置。三维地震测量彻底改变了这种情况。三维地震可以产生充填在测区中的一系列小方块(称为面元)数据,它好比我们能看到每一个糖块被紧紧地装在盒子里,而不是仅仅能看到盒子的两端。在早期的商用三维地震测量中,这些面元的尺寸大约为75m(垂直于拖引方向,即横测线面元大小)×25m(平行于拖引方向,即主测线面元大小)。即使3D地震主测线的分辨率与二维地震相比没有提高,但是75m横测线面元大小表示横测线分辨率提高了20倍,因此3D地震特别适于复杂地区的勘探以及寻找小油田。

然而,提高分辨率正好可以解决早期的地震问题。分辨率提高20倍意味着数据量增加20倍。此外,更高的分辨率需要更精确的导航数据(不仅需要测量船而且也需要每条水中检波器串的数据,这样就大大地增加了需要处理的数据量。只有使用先进的全球定位卫星系统才能足够精确接收到全部导航数据,而处理(每秒采集大约1兆字节数据)需要极大地改进计算机技术和数据压缩技术:Chevron公司最近宣布在Niaian油田进行的一次三维地震测量,其数据的压缩比已达到60:1。

地震测量中不断增加的维数

二维地震

测量船在间距1~2km的测线网中拖着几公里长、含有100多个水听检波器的拖缆。一套压缩空气枪直接安装在采集船的后面,每隔几秒激发穿过水体和地下岩层的冲击波。然后冲击波由其经遇的岩层反射回来,并被水听器接收。测区上每条测线采

集的数据经分析、产生一张穿过地下岩石的横剖面,最终结果是产生一系列间隔 1~2km、穿过测区的垂直横剖面。

三维地震

一条或多条采集船拖着许多条几米间隔的拖缆(最先进的采集船所拖的拖缆最多可达 16 条)穿过测量区。利用一个或多个空气枪激发冲击波,所激发的冲击波由每条拖缆上的水听器记录。通过保证下一次采集船扫描通过区与上一次通过区有重叠区使许多横测线采集的数据互相有关联。这样,与电缆间距较小一起可以进行三维地震资料处理,其结果是产生一系列“立方体”数据(每个边大小为几米长),这些数据单元就能提供测量区下面岩石构造的三维图像。

四维地震(随时间推移的三维地震)

在同一构造上间隔几年重复进行三维地震测量,每次测量要保证用于接收的水听器要埋置在同一地方。这样可以建立油藏随时间的衰竭图,从而有助于油藏管理和提高采收率。

这种提高分辨率的代价是测量的高成本。1992 年,海上三维地震测量的平均成本为 15,000 美元/ km^2 ,而二维地震测量的费用仅为 2,000 美元/ km^2 左右。此外,应用新技术意味着需要更多的解释时间,早期测量时从放第一炮到初次解释一般需要 18 个月的时间,但到了 90 年代初减少到 12 个月。三维地震测量的成本很高,因此在早期,三维地震一般只局限于已做过二维地震的地区和已知存在有潜力的油田和地区。但不管怎样,技术的改进并没有因为三维地震测量技术的引入而停止。地震技术继续发展,促进进一步提高三维地震图象的分辨率、减少数据处理时间和降低 3D 测量的总成本。

由于测量船可以处理大量的水中检波串,所以 3D 测量可以很快地完成,而计算机技术的迅速发展(计算机功能更强、体积更小),以及全球范围内快速安全的数据传输技术导致大大地缩短解释时间。地震测量技术包括一系列的操作:采集数据、把数据存储在磁带上、把数据传送到陆上处理设备上进行处理、然后进行解释。计算机技术的进步使得现在有可能在测量船上几乎是实时地处理导航与地震资料,此外,复杂数据压缩技术的进展使得有可能通过卫星或因特网传送导航与地震资料到陆上解释中心。结果使得从放第一炮到初次解释的时间被大大地缩短到小于二个月。使得海上地震测量成本已经降到 6500 美元/ km^2 左右,即在四年以内几乎下降了 60%! 由于三维地震技术的新进展及其成本的大幅下降,使得它的应用越来越普及。实际上,1996 年北海就计划进行的地震测量几乎有 75% 是三维地震(见表 2)。

表 2 1995 和 1996 年北海地区地震测量计划

	1995				1996			
	2D	3D	总计	3D 占%	2D	3D	总计	3D 占%
英国	5	46	51	90%	2	23	25	92%
挪威	10	13	23	57%	10	17	27	63%
其它*	14	5	19	26%	3	3	6	50%
总计	29	64	93	69%	15	43	58	74%
* 丹麦, Faeroes, 爱尔兰和荷兰 来源: Euroil, 1995 年 11 月和 1996 年 5 月								

3. 地震采集技术的未来发展

作为一种勘探工具而不是一种油藏管理工具,地震测量技术已不断取得更多的进展。地震技术新进展必然包括新的测量船(如能拖引更多水中检波器)和用于资料解释的计算机软件的进展。其它进展包括开发新的地震数据采集技术,有必要在下面做一下阐述。

Texaco 公司已经开始使用垂直展布的水中检波器电缆网(而不是常规的采集船后面拖曳的水平电缆),与常规测量相比,这样可以以更低的成本获得更精确的地下构造图像。垂直电缆的测量成本比常规测量的低。水中检波器规则排列的垂直电缆是由锚和浮标导航的,用于接收采集船声波的反射脉冲(见图 1)。为了完成一次测量,可以在该测区内多次展布电缆排列。Texaco 公司发现这种方法很适合在恶劣的气候和深海条件下作业,特别适合象北海这样的地区。

技术进步不仅可以产生比常规三维地震更高分辨率的图象,而且可以降低成本。据 Texaco 公司估计,利用上述新方法在其北海 Strathspey 油田做三维地震测量的成本仅为常规的 1/3,即成本从 1200 - 1500 万美元降到 450 万美元。这次测量的处理成本(包括 3D 叠前深度偏移)为 100 万美元,而如果对相同道数的常规 3D 地震资料进行类似的处理则需 1000 万美元。

值得特别关注的其它地震技术进展包括采集由声波震源激发的、常规拖缆检波器接收不到的一整套新的能量波,即横波拖缆测量系统接收不到的波。在海底的表面,采集船空气枪产生的声波能量转换成一个由压力波(沿波传播方向振动)和横波(沿着与波传播方向垂直的方向振动)组成的复合波。压力波(P 波)和横波(S 波)都可以穿透岩石并在岩层边界反射回来。但是 S 波不能穿过海水,因此它在常规的地震测量中会丢失掉。把

合适的检波器埋在海底而不是靠近水面可以接收到 P 接和 S 波。Statoil 公司正在研究一种称为 Sumic(海底地震的缩写)以记录 S 波(见图 2)。

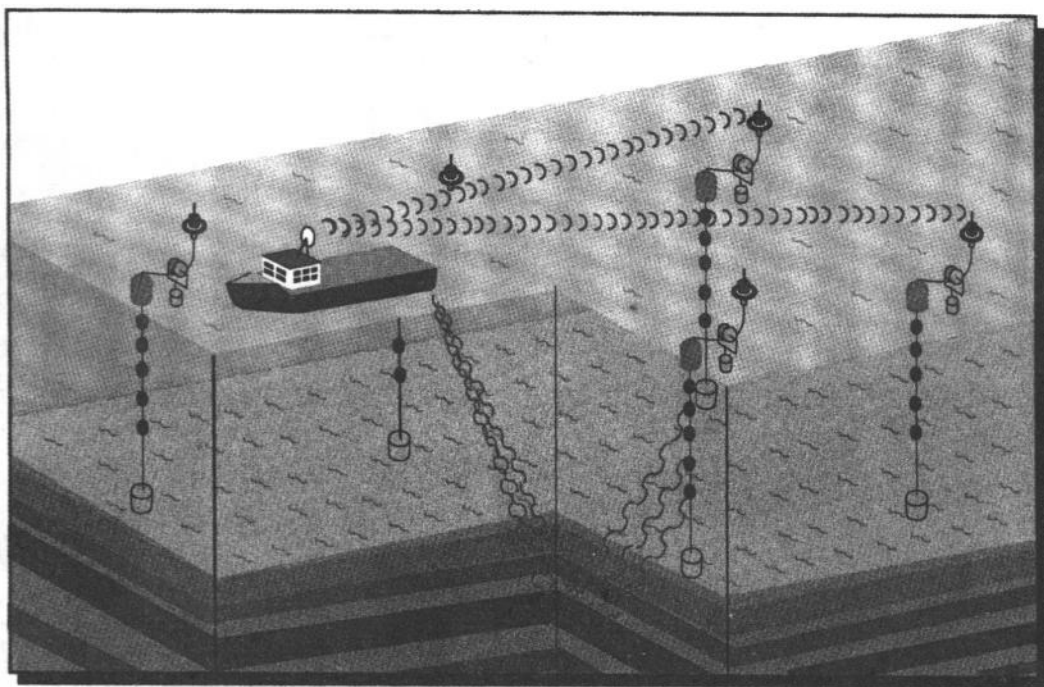


图 1 垂直电缆测量

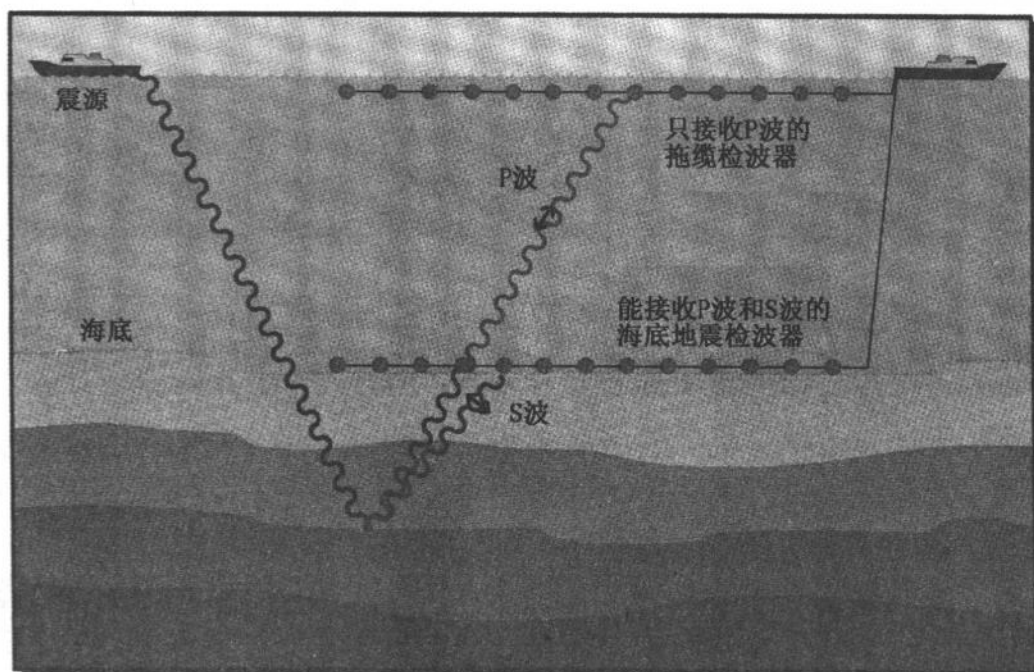


图 2 海底地震测量

采集更多信息除了能够产生更清晰的图像外,S 波的一个主要优点是它几乎完全不受多孔岩石中的气体影响。这样通过研究 S 波,勘探人员可

以获得小气藏下面更加清晰的构造图像,1993 - 1994 年在北海的 Tommeliten 油田上进行的试验可以很清楚地说明这一优点。一般来说,在理想环境下从 S 波得到的资料可以判断出油藏是否含油、气或水。

4. 减少干井数

高分辨率地震剖面对探井成功率的影响是显著的。在过去 10 年中大石油公司钻干探井的比例已大大下降了(见图 3)。七家公司(阿莫科、英国石油、雪夫隆、埃克森、莫比尔、皇家荷兰/壳牌和德士古)钻干探井的比例已由 1986 年每两口探井中有 1 口干井降至每五口探井中有两口干井的水平。

尽管单个的因素很难促进这种进步,但是改善钻井特性和作为一种勘探工具的 3D 地震的日益广泛应用,的确与这种进步有密切相关。图 3 中的全部七家公司由于 80 年代中期油价暴跌而造成探井总数大幅度减少。初始,这种减少对干探井的比例几乎没有什么影响,所有 7 家公司钻干探井的比例仍然保持在危机前的水平。直到 90 年代初,探井成功率的不断提高才变得明显起来(见表 3)。

表 3 改进勘探钻井后的生产井和干井数量

	阿莫科		英国石油		雪夫隆		埃克森		莫比尔		壳牌		德士古	
	生产井	干井	生产井	干井	生产井	干井	生产井	干井	生产井	干井	生产井	干井	生产井	干井
1984	233	214	31	77	165	202	103	230	136	111	78	149	93	117
1985	324	240	37	104	119	160	121	312	175	148	99	189	97	121
1986	226	170	36	88	49	79	65	181	132	145	84	142	48	71
1987	150	119	43	82	49	44	70	114	102	49	70	109	41	78
1988	150	117	55	91	24	77	77	118	76	71	65	97	74	130
1989	207	65	46	38	39	71	80	106	46	68	48	70	22	49
1990	376	71	53	72	51	79	68	71	72	64	38	67	55	77
1991	164	74	33	41	66	56	54	68	69	79	47	58	68	40
1992	45	103	13	20	60	23	37	44	40	38	30	52	45	30
1993	64	24	13	7	62	53	32	32	36	29	47	44	55	47
1994	93	45	16	10	113	61	31	29	61	54	28	38	41	32
1995	128	83	15	5	126	55	36	33	66	45	48	38	45	23
资料来源:公司年报														

探井钻探性能的提高不仅只局限于大石油公司,据 Statoil 公司报道,1993 年在挪威大陆架钻的 24 口野猫井中有 20 口发现了油气。不过,用现在的技术来评价至少有三分之一的井要被划为无商业价值的井。

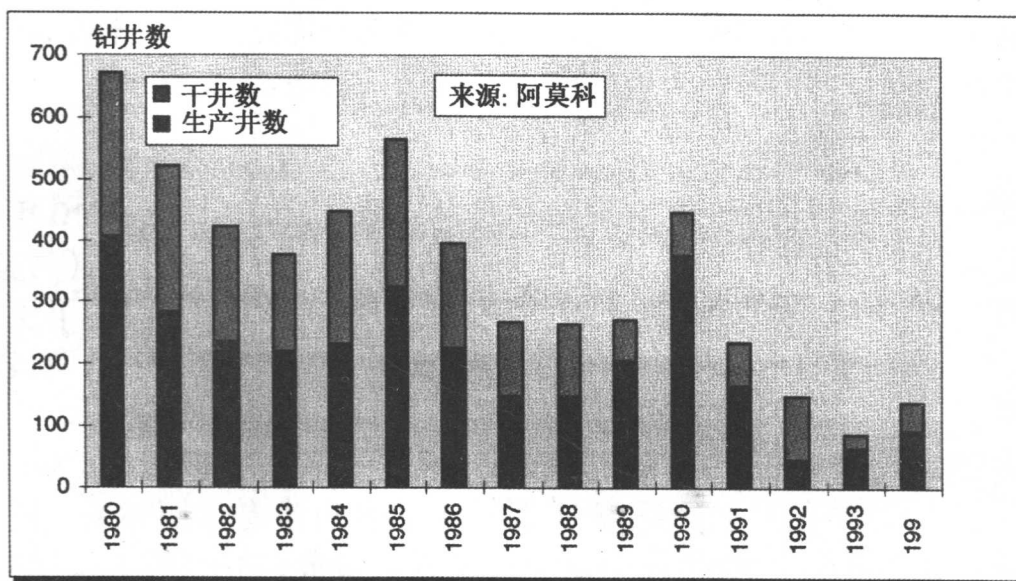


图 3a 阿莫科公司探井干井百分比

1983 - 1985: 44%

1993 - 1995: 33%

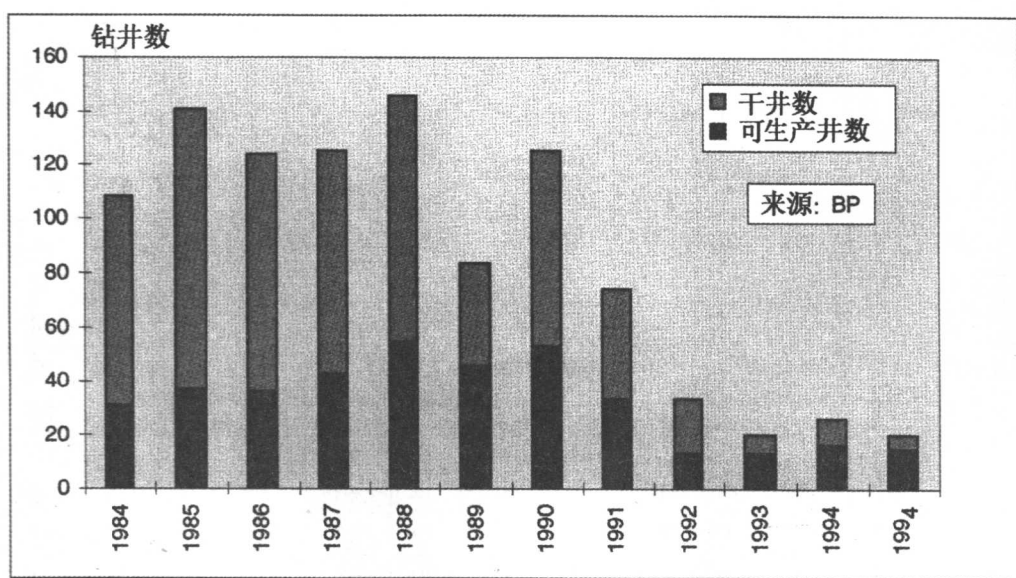


图 3b 英国石油公司探井干井百分比

1986 - 1988: 66%

1993 - 1995: 33%