

● 石油科学进展20

〔美〕A.J.迪克斯

石油开发地质



石 油 工 业 出 版 社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

前 言

这本书同许多其他这类书一样，都是根据讲课稿整理出来的，有关实用油田开发地质学的课程，对于各种读者来说已读过许多年了。在最近进行的课程总结复习中，其中的一名学员说：“所有的课程都不是新的，任何一名地质学家都知道这些。”也许如此，但是我过去和白那时起经常遇到一些地质学家，尽管他们在石油工业方面是有经验的，但他们仍承认他们至少不知道在实际油田地质中使用的一些很常见的方法。因此，最后我得出结论：以我希望的适当方式，把我在大约三十年实际工作中所熟悉的那些基本的、而且有效的方法结合在一起是有用的。

我愿强调这本总结性的书不仅仅作为入门书，而且作为供地质学家、地球物理学家、石油工程师，也许还有油田工作的其他人员使用的基础书籍。使用时，无需任何深奥的知识。同样，也没有更深入地研究与其密切相关的学科，例如：测井评价、地震解释方法、沉积岩石学、计算机科学等；因为这些学科的好教课书是容易得到的。

本书标题的另一层含义可能要加以某些阐述。在我的工作生涯中，我的工作职别是变化的，我曾当过工程地质学家、地下地质学家、地下工程师、采油地质学家、地质工程师、开发地质学家。依我看，这里所说的专家主要是地质学家，与石油工业中的大多数的“石油勘探”地质学家不同，而是指“采油方面”的地质学家。因此把这种人明确地叫做油田地质学家，他们所研究的学科就是“开发地质”。

我大学时代的教授——B. G. Escher在黑板上常画的精致图——地图、剖面图、晶体形态图使他的学生至今仍牢牢地记住他说的这样一句话：“真正的地质学家是用图来说话的。”这本连环画式的书就起源于这个传统。评论家们常反对我使用小说式的例子，而不描述事实上所发现的实际地质情况。除了收集这些证据所涉及的行政和法律上的困难外，油田本身也很少能为我们提供所需要满意的、清晰的实例。我仅希望我的图，尽管是人工画的，也会达到本书的目的：为石油工作同事们提供一套完善的开发地质工作技巧。

我由衷地感谢许多老师、同事和朋友，他们多年帮助我研究我的工作，并使我彻底地喜欢上这一行。

目 录

1. 引言	(1)
1.1 机构组织	(1)
1.2 组织实施	(2)
1.3 石油工程部门的作用	(6)
1.4 油田地质学家的作用	(7)
1.5 术语	(9)
1.6 本书的计划	(9)
2. 对比	(10)
2.1 基本原理	(10)
2.2 资料来源	(11)
2.3 技术	(13)
2.4 对比方法	(15)
2.5 复杂条件	(16)
2.6 总结	(19)
3. 构造地质学	(21)
3.1 基本原理	(21)
3.2 深度资料	(22)
3.3 倾角资料; 地层倾角测量仪	(23)
3.4 地震信息	(28)
3.5 方法	(32)
3.6 构造剖面图	(33)
3.7 构造图	(40)
3.8 厚度图	(46)
3.9 各种图	(48)
3.10 构造型式	(50)
3.11 断层	(53)
3.12 总结	(60)
4. 油藏地质	(61)
4.1 原理	(61)
4.2 孔隙度	(61)
4.3 渗透率	(63)
4.4 孔隙空间和沉积学	(65)
4.5 砂体和砂岩中的孔隙空间	(67)
4.6 碳酸盐岩中的孔隙空间	(71)
4.7 裂缝孔隙度	(73)

4.8 描述用图概述.....	(74)
4.9 总结.....	(82)
5. 油藏流体.....	(83)
5.1 原理.....	(83)
5.2 地层水.....	(83)
5.3 原油.....	(84)
5.4 PVT 分析	(86)
6. 聚集条件.....	(88)
6.1 引言.....	(88)
6.2 数据和方法.....	(88)
6.3 控制条件.....	(91)
6.4 圈闭类型.....	(94)
6.5 多油层.....	(95)
6.6 密封和非密封断层.....	(96)
6.7 异常压力.....	(98)
6.8 总结.....	(100)
7. 钻评价井.....	(101)
7.1 原理.....	(101)
7.2 早期评价.....	(101)
7.3 资料的价值.....	(103)
7.4 地质控制.....	(104)
7.5 二次探边井.....	(106)
7.6 后期阶段.....	(107)
7.7 总结.....	(109)
8. 钻开发井.....	(111)
8.1 原理.....	(111)
8.2 油藏动态.....	(111)
8.3 初始开发方案.....	(113)
8.4 补充能量开采.....	(118)
8.5 方案调整.....	(123)
8.6 总结.....	(124)
9. 储量估算.....	(125)
9.1 原理.....	(125)
9.2 砂岩厚度.....	(125)
9.3 岩石 (总) 体积.....	(126)
9.4 体积方程.....	(129)
9.5 过程.....	(131)
9.6 误差.....	(133)
9.7 联合开采.....	(137)
10. 油田再认识	(139)

10.1 原理	(139)
10.2 结果	(140)
10.3 文件	(140)
结束语	(142)
图例	(143)
缩写和符号	(144)

1. 引 言

1.1 机构组织

在前言中已指出油田地质学家不负责他公司的勘探工作(图1—1),这部分工作由他的同伴——地质学家做,而他仅负责开发方面的工作。希望这本书能表明这个事实,即对油田地质学家的任务、工作方法及他同机构中其他成员的关系有个深刻的认识。在开始阐述油田地质学家的工作之前,检查一下他在机构图中所占的位置并勾画出他在机构活动中的作用是很有用的。

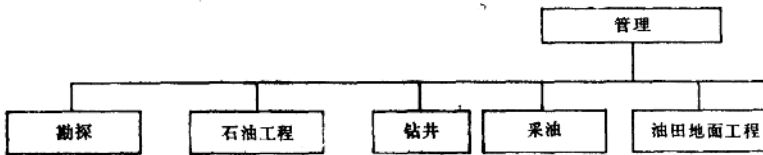


图1—1 机构组织

从事油气勘探和开采的公司——也叫E-P或E & P公司很明显在它们的组织机构方面是极相似的。

一般来讲,人们能把该机构的技术/操作方面与服务和管理方面区分开,在技术范围内,如上所示意出,各个部门都有其各自的职能:

- (a) 勘探部门,进行寻找油气藏。
- (b) 石油地面工程部门,负责所有工业油气生产操作计划和执行的监督管理,但一般不负责实际工作。
- (c) 钻井部门,负责钻井,它是根据石油工程部门制定的一般计划进行的。

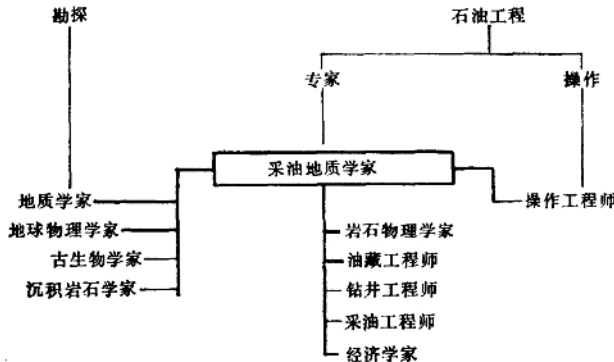


图1—2 各部门的联系

(d) 采油部门, 执行使油气通过井眼从油层中流到地面设施内的一切工作。

(e) 油田工程部门, 建造和管理所有的地面设施: 如: 钻井场、筑路、建油罐、铺设管线、建泵站等等。

在大多数勘探和采油公司中, 油田地质学家都是石油工程部门的成员之一, 这个石油工程部门由两组成员组成 (图1—2):

(a) 专家, 负责各学科分支的工作。

(b) 操作工程师, 他们保持与钻井和采油部门协作。

油田地质学家是专家组的成员之一。他的工作情况将在1.4中详细地讨论; 在这个阶段, 他同技术组中其他成员的关系就能得到检验。

油田地质学家可能同岩石物理学家的关系最密切, 他的许多基础资料都从岩石物理学家对测井曲线的解释中得到的。油藏工程师研究在开发期间由于流体的流出在油藏内所发生的一切物理过程; 为进行这些研究, 他必须有油田地质学家所提供的油藏地质图。这两类专家的共同合作就制定出了油田内的钻井和采油计划。他们同钻井和采油工程师的关系不太密切。然而, 油田地质学家经常与经济学家密切联系, 主要的原因是钻井计划不仅要考虑技术问题, 而且要符合工业价值的要求。

油田地质学家也与勘探机构密切相关。他要从勘探地质学家那里得到有关区域地质构造的资料, 以它作为背景材料来绘制油田地质图。在3.4中将会讨论在地球物理资料方面他与勘探部门的依赖关系。从沉积岩学家那里得到的资料用于油藏地质研究; 而从古生物学家那里得到的古生物资料用于地层对比。

1.2 组织实施

石油工程部门的主要任务就是制定从地下油层中开采油气的计划, 通常也叫油田开发方案。为了更明了化, 就要绘出想象的油田开发历史图 (图1—3); 从第一口成功的探井起直到采收率降到经济界线以下, 油田即将废弃时为止。

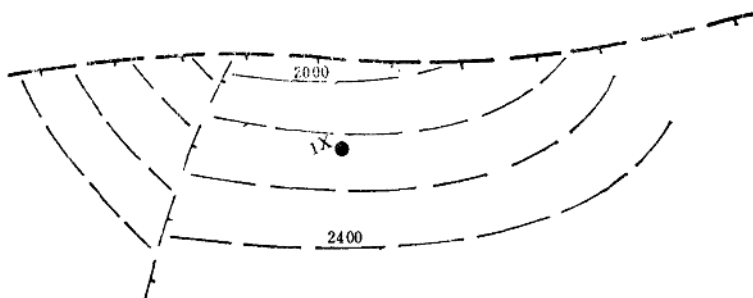


图1—3 发现井位置图

在现行的实践中, 新发现的油田都是根据地震勘查而得到的, 原因是它指明了含有可采油气的构造轮廓。为了检验这样的油藏是否确实存在, 就要打探井 (图1—4)。此时勘探部门的主要任务是: 确定所要钻井的位置, 同时也要确定下列各项, 即: 要钻的深度; 地层取样; 测井和测试。

在理想情况下，这样的井能穿透一个或多个含油（气）层，这些都是由测井和地层取样资料所指示出的。如果井中的技术条件许可的话，就要进行试井，目的是得到将来生产井的可能产量情况。

现在这个探井就变成了发现井，而这个新的油田或气田的进一步开发则是石油工程部门的任务。

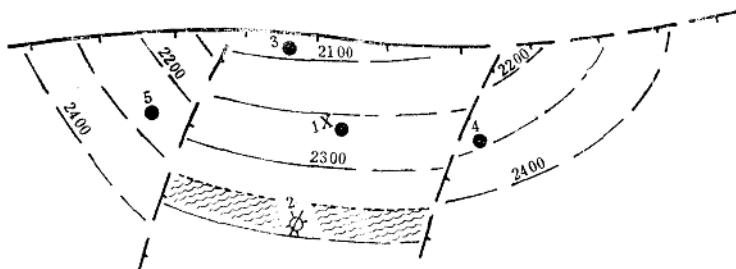


图1—4 评价井位置图

对于该构造地层中是否有油气存在和要钻的井是否能一定产生工业性油气流这两个极重要的问题，这口见油井给出了肯定的回答。

然而，了解到该构造中确有可采油气存在并不是决定投资开发工业性油田所必需具备的充分根据，因此，下一个问题就是：

能从该构造中产出多少油（气）？

换句话说，就是必须估计出该构造中所含的储量。此阶段的有效资料——即，大体上不太清楚的地震图和取自见油井的资料——几乎不能满足进行可靠评价的需要。就此而言，我们必须再钻一些井来取得更详尽的资料；所要钻的这种井叫做评价井或估价井。

在钻完四口评价井后，该油田的分布图就可示出；符号解释见图例。其中三口见到了含油储层，第四口仅见水，无油气。这些情况给出了该油田的新的地质定义即：油水接触带的位置处于中央断块中；东侧存在一个断层局限了中央断块的边界；东西两个断块中也含有油。其他的问题仍未解决，尤其是有关在这两个断块上的构造和油水接触带的位置问题。

然而，为了便于讨论，已假设用现有的可靠资料估算出的储量足以满足决定着手开发该油田的要求。

一旦决定开发，就必须准备开发方案（图1—5）。

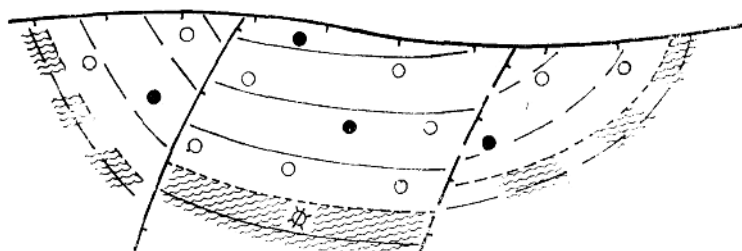


图 1—5 开发方案图

所决定的主要项目如下：

(a) 所要求的生产井或“排液井”的数量。

(b) 要钻的井的位置。

油藏正常泄油所需的生产井数是油藏工程中的主要问题。从采油地质学家提供油田地质图起，油藏工程师就开始考虑有关油田可能采出的油气量，油井的可能采油速度，和一旦投产时可能的油藏流体动态这些情况。根据对这些情况的估计他就会暂时地决定所需生产井数。

油藏流体的可能动态，或“油藏开采机理”，也会指导我们全面地、极好地在油田区域内布置生产井。那么，必须在采油地质学家和油藏工程师的共同努力商定下才能选定实际的生产井位置。在制订详细的布井方案中，必须尽可能地考虑地质构造情况，同时也要考虑在油田产油区内生产井达到规则分布的客观要求（图1—6）。

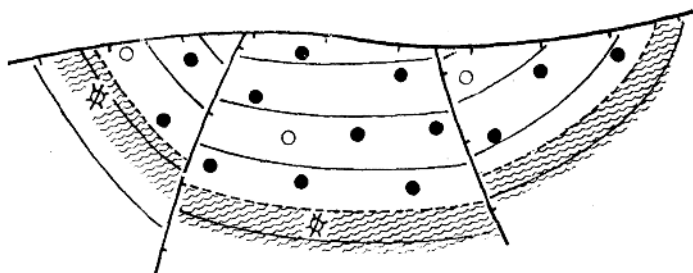


图 1—6 开发布井图

在认为评价井已提供了足以制定方案的地质和其他资料时，就要拟出开发方案。然而，那些早期阶段的资料通常不能完全可靠地描绘出地质和技术情况。在进一步的开发过程中，由于打了生产井，新得到的资料是很有用的，它们通常会导致地质图的改变，相应地，也就可能要求修改钻井方案。

在实例中，开发实施被认为进展得很好。大多数计划的井位都已钻完，与原始构造图基本相符。但发现有两处与该图有偏差，并且导致改变钻井方案。

在西部断块中，由于缺少更好的油水界面资料，假设它同中央断块中的油水界面处于同一深度，实际上，的确证实了它处于更高的位置。结果，该断块中最下倾部位的井发现了该储层含水，并报废了这口井。这样，就在上倾方向很远处选择了新的位置补入该方案。

已证实中央断块和东部断块间的断层处于不同的方位中。这就要求把新的井位定于该断块的最高点，目的是排泄出该部位的液体。

开采资料表明，中央断块中的生产井数不够，需要设计新的井。这样的井必须在以前钻的井之间，因此把它叫做加密井。

随着生产井的不断增多，产自井中的总产量就会增加，在所有预计的井都钻完时，产量达到最大。一旦没有新的井投产，油田的产量就会下降。如不采取新的措施，产量就会下降到再也没有费用维持油田保养和生产的的地步了，这样该油田就达到了它的“经济极限”，因此，很可能废弃它。

在许多情况下，整个油田产量下降的原因就是在生产过程中由于流体的排出使油藏压力

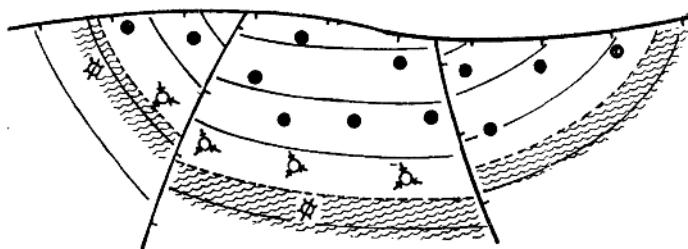


图 1—7 补充能量开发图

下降而致。很明显，如压力下降能停止，或至少渐减，产量的下降也会减少，并且能保持较长一段时间的经济生产。

这个问题导致了所谓二次采油或补充能量采油技术的引入（图1—7）。保持油藏压力最明显的方法是向油藏注入某些流体来代替已排出的油气，最常见的注入流体是水。由于水比油藏中的烃类混合物重，最普通的注水位置就是油藏的较低部位，即，油水界面附近。在上面的例子中（图1—7）会看出中央断块中的许多井，在以前的图上是以生产井出现的，而现在都变成了注水井。

前面描述的油田开发实例仅仅是用于介绍性的高度简化过程。也许在读者的脑海中还留有许多问题，这些问题在第七章和第八章较详细地论述油田开发阶段时会找到答案。

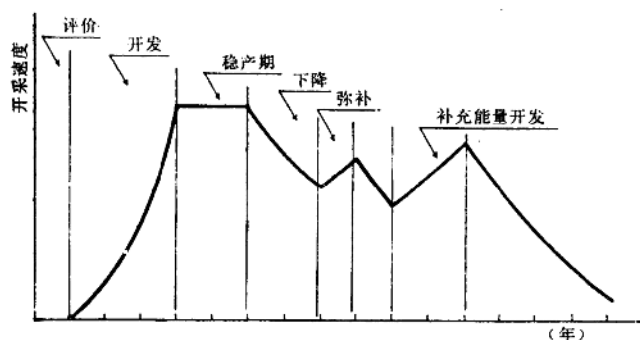


图 1—8 开采历史曲线

开发油田的目的是为了采油（气）。上面的例图以高度图解的方式表明油田产量在油田开发的各个阶段的变化情况（图1—8）。

已假定只有评价井提供了有关油藏可能大小的充分资料时，才能做出开发油田的决定。一旦做出决定，就必须钻生产井，并且要建设生产所需的地面设施。当各设施准备好时，就会首先获得实际产量，并且在随后的期间内，就要恢复生产压力。当大部分生产井都钻完时，通常能保持稳定生产或“稳产期”一段时间。

然而在一段时间以后，稳产就不能持续下去了，产量就开始下降。同前面段落中陈述的一样，大部分是由油藏压力下降而引起的，部分可能是由于生产井的机械条件恶化而引起。一般通过修井能补偿该生产井减产的幅度，那么，这些往往会使产量下降停止或至少使下降

幅度减小一段时间。

解决产量下降较有效的方法可能是进行补充能量开采，但应认为油田内有可行的条件，最简单、最常见的就是借助注水来维持压力。这会有效地补偿油田产量下降，但最后，各种负效应会超过二次采油法的正效应，从而使产量再度下降。

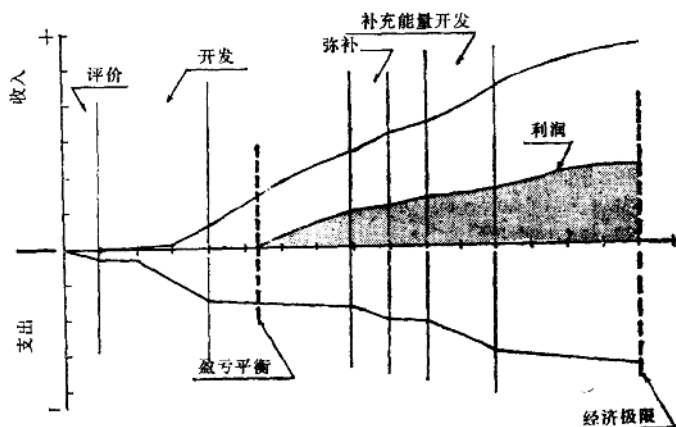


图 1-9 累积现金流曲线

投产背景的主要因素是油田操作的经济状况。用图1-9中明显的收入—支出利润累积曲线的形式检验其经济状况是容易的。

费用支出是从钻评价井开始的。为了做出决定和准备，暂休一段时间以后，钻开发井就使付出的现金大量增加了。在此开发阶段的某时刻开始投产，并同时开始获得收入。此后开始一阶段总支出仍超过总收入，即，无利润。获得利益的阶段是从盈亏平衡点，即累积收入等于累积支出的时刻开始的。

在钻完开发井以后，支出就主要用于采油了，这部分费用相对较少，如累积支出曲线低斜率的倾斜段所示那样。在维修费用和补充能量开采费用都加入日常操作费用的后来阶段，这个曲线再次变陡，利润率减小。

在油田生产的最后阶段，不再能阻止产量下降了。与此同时，收入曲线变平，而操作费用虽然很低，但仍继续投入。最后，收入和支出率相同，结果利润逐渐减为零。这就是说已达到了油田经济极限，必须考虑停止操作了。

1.3 石油工程部门的作用

以前节中描述的油田操作为背景，现在可集中精力考虑石油工程部门在执行这些生产机构中的作用（图1-10）。

采油是一种商业活动，其目的显然是为了获得最大利润。这就意味着必须努力增加收入，也就是说要提高采收率；总的来说多打井也能达到这一点。但另一方面，支出必须保持在尽量最低的标准，大体上也就是指要少钻井。这些相反的要求都必须在实际油田生产中进行协调。

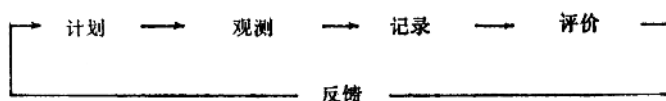


图 1—10 石油工程部门的作用

时间这个因素引入了一个更加复杂的过程，即：从现在起一年所获得的（“现在的”）利润值要比从现在起十年所获得的同样多的利润更有价值。因此，笼统地讲，在油田寿命的尽可能的最早阶段获得利润是所期望的。例如，应计划生产，目的是使生产开始与达到盈亏平衡点所消耗的时间尽量短。在不考虑增加从油田中所获的油和钱的总数的情况下，弥补和补充能量开采操作的优点是使油田产量保持在较高的标准；因此，原来产自油田产量下降曲线“尾巴”的那部分油，现在已在更早阶段产出。

为了达到这些目的，石油工程部门就执行了它的日常工作（图1—10）。

计划阶段的基本情况已在1.2中描绘过了。

钻井和采油部门就是要根据这些计划进行钻井和采油，但是在油田开发这一节中要强调的是：所发现的情况实质上不总是我们在计划时所想象的那样。为了确定油田情况中的这些“意外事件”是否确实存在，石油工程部门必须执行第二个功能；这里为方便起见，叫做“监测”，也就是说，在正在钻井和采油时，我们要收集这方面的资料，即：所钻透地层的特征；钻遇各种地层事件在井中的深度；油、气、水产出的速度；这些速度随时间的变化；油藏压力和油藏压力变化等等。

所有这些资料都必须尽量详细地记录下来以便备用。石油工程部门为了满足这个要求，保留了这些综合记录体系，即：油井记录；日、周、月记录；采油记录等等。

然后，该部门的各类专家就要研究所收集的这些资料，其目的是为了校正或不断改进现有的油田分布图和油田开采特征图。在这个图中，把这项叫做“评价”。该评价的例子在开发部分给出了。

油田原始图和修改图之间的这些差异很可能导致修改进一步的开发方案。因此，事实上，从评价阶段到计划阶段就有反馈存在。

图1—10的目的是指明石油工程部门各项工作的不同阶段实际上不是独立的，而是一个连续的循环系统，即，制定方案；监测方案实施时发生的所有情况；应用所收集的资料制定出最适合于下步操作的方案。那么，这就是石油工程师每天必须从事的工作的一部分，并且要求不断的留心观测。

这本书不是石油工程的教科书，因此，就没有试图用更多的一般性实例来详细论述这简要的文稿。希望该书的后继章节会给读者提供理解采油地质学家作用的更多机会。

1.4 油田地质学家的作用

根据1.3中对石油工程部门作用的图示解释和油田地质学家是该部门的成员的事实，则他的任务如下：

- (a) 从他的特殊观点看，他应为该部门负责的优化过程做贡献；
- (b) 他应参加该部门的日常工作。

下面这段简要的和想象的、但实际上是极其常见的描述给出了采油地质学家的日常工作实例。

在油田中钻开发井时，油田地质学家就已在准备中检查了他的图和其他文件，并起草了钻井“预测”（计划）。这就包括他要在深度 Z_1 处（图1—11）钻遇油藏顶部的设想。

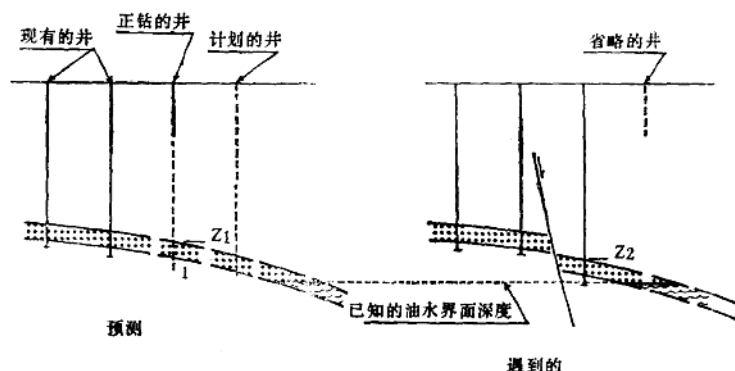


图 1—11 预测和实际情况对比图

根据对钻井时从井中取的岩样的检查（观测），他总结出，在达到这一深度时，根本没有钻遇该油藏。因此，需继续往下钻，此时取得的岩样表明在更深的深度 Z_2 处才钻遇该油藏的顶部；后来进行的测井证实了这个结论。

这时，油田地质学家就把新的资料填入了他的油田分布图和剖面中（记录）。

在考虑了与预测（评价）不符的各种可能解释后，他得出的结论是，最合适的解释是假设在以前钻的最临近的井和正钻的井之间存在着一个至今未知的断层。

这也就是说油田界限——即，油水界面位置或边水界限，实际上比以前认为的更加靠近新井。因此，必须从方案中删除原设计的下一口生产井位，原因是它钻达的目的层是主要的含水层，并且不能成为生产井（反馈）。

根据这段小小的历史，就能把对油田地质学家的基本要求简述如下：

（a）必须尽可能地保证地质图与实际情况相符。如果没有这个图，油田地质家对新得到的资料的评价就不会成为适当整理以前事实的充分依据。

由于这个可能性最大的地质图正在不断地完善中，因此，他的任务就没有完成。此时，不能把他的图转给该部门的其他成员，让他们去推出适合的计划结论，换句话说，就是不能把反馈阶段的工作留给其他成员去做。他应充分了解在正开发的油田中所发生的一切情况，并且肯定他自己的地质结论能被操作人员适当地采用。

这里也要强调，在以前的讨论中根本没有提到的“找油”。因为找油不是油田地质学家的主要任务，而是勘探地质学家的任务。采油地质学家的主要任务就是尽最大努力提高现有油田的采收率。

当然，如果在他的研究过程中，确实在油田中发现了新增储量，这确实是极受欢迎的（参考8.7）。

1.5 术 语

在讨论油田地质学家和他们的同事的任务中所遇到的主要困难就是在油田实践中经常使用的各种术语很不系统化。常用的许多术语通常应用范围极广，超出了它们的科学定义，或甚至可用来表示那些术语根本不能公开描述的概念。当然有些术语仅能在其正确的场合下使用，并且，其他的术语或遁辞能用于其他概念。尽管在该书中这种情况会在某种程度上进行尝试，但以此种方式走向极端就太教条了，并且不方便，甚至没有必要。

常见的例子是“油”这个词，它正规地仅指液态烃的混合物。如果把采油地质学家的任务说成是共同协作制定最佳的采油方案，那么，严格地讲就不包括采气。人们可写“油和/或气”，或“烃”（同前几页中偶而出现的那样），但这是多余的，因为读者可能完全知道采气问题与采油问题极其相似，至少就油田地质学家所涉及的工作而言。类似地，“油田”（Oil-field）这个术语在许多情况下也用来包括气田；就象“石油工业”这个术语在许多情况下也指天然气工业一样。

另一个常误用的术语就是“砂”（sand）。很明显，它是在地质应用中科学定义的。然而，在油田中，它当然也含有砂岩的含义。并且甚至可用来指可渗透的，有生产潜力的碳酸盐岩。类似地，“页岩”这个术语经常用于所有泥质岩石，但不考虑固结程度和页岩结构。

在后继章节读者会找到以这种方式不严格地使用术语的情况。希望仅在这个双用途不会引起混淆的情况才使用它们；在可能出现这种混淆的情况下，就要想办法使用规定好的术语。

1.6 本书的计划

在前节中已确立了油田地质学家的两项任务。它们是：

- (a) 保持可能性最大的油田地质图。
- (b) 保证这个资料能适用于制定油田开发方案。

这两项都在该书的计划中反映出。

第2~6章论述了采油地质学家用来绘制油田图象的方法。一个完整的油田研究可分为几个阶段，从原始资料开始到综合地质描述而结束。本文的第一部分就按逻辑顺序论述这些阶段。

以后的几章就论述了采油地质学家的资料和专业知识的在油田开发中的应用。油田开发历史中的后来几个阶段，已在1.2中简述过，将在7—10章全面的论述。

2. 对 比

2.1 基 本 原 理

对所有开发地质工作而言，对比是最基本的工作；没有对比就没有有效的工作。然而，要想给该过程下一明确的定义或清晰的描述是很困难的。

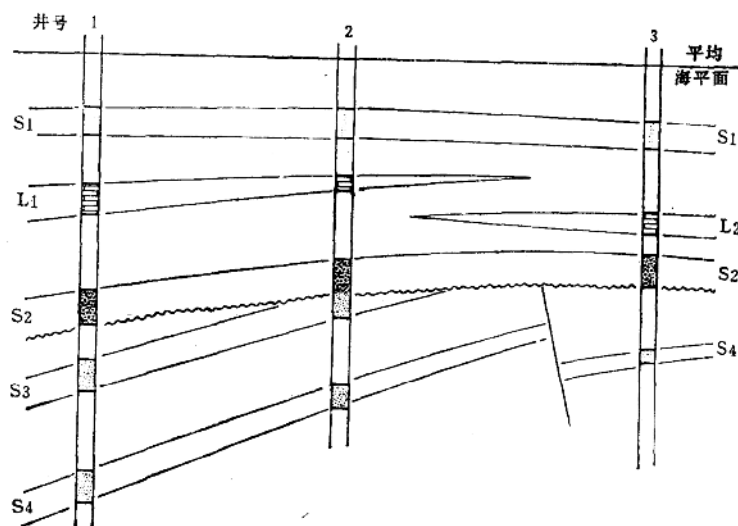


图 2-1 “对比”定义的困难性

图2-1有助于理解这句话。它示出了一条地层横剖面，在该剖面上有三口井“取了样”。井中资料显示了砂岩和碳酸盐岩与页岩互层。采油地质家的任务是在仅有很少可利用取样资料的情况下，恢复全部地质发育史。

显然，由所示出的三口井中地层开始，恢复意味着剖面中的线必须连接三口井中相同的岩层。第一步是确定三口井中哪一层是真正“同一层”，换言之，该操作是一个鉴定的过程，称为‘对比’。

任何鉴定过程都需要有所依据的标志，而在这里出现了对比过程的主要困难。有人认为可能用作鉴定标志，而井中的岩层则具有不同的特征。

这些特征之一是岩层厚度，但是任何一位在野外追踪过地层的地质家都会知道其变化性是很大的，厚度是不能做为对比标志的。该剖面中， L_1 灰岩和 S_4 砂岩在三口井中的厚度不同，但图中示出：对比相应的层段是正确的。

岩性的相似性也不能普遍应用于对比。它适用于 S_2 砂岩层：在这三口井都存在的一层粗

砂岩。但是1号井和2号井的 L_1 灰岩与3号井的 L_2 相似，但是这三层并不属于同一灰岩层。相反， S_1 砂层在三口井中是同一层，但岩性不一样。

地层位置也不是可靠的标准。在这三口井中 S_1 和 S_2 砂层中间都钻遇了一层灰岩，但在三口井中不是同一层灰岩。1号井中 S_2 砂岩之下第一层砂岩是 S_3 ，而在3号井中却是 S_4 砂岩。

希望本节之后的几节能够解决油田实际对比工作中的困难。

2.2 资料来源

对比是在一个油田中相互判断不同井钻遇的岩层或岩层组，因此，它有助于考虑钻井所提供的哪种资料可用于不同岩层的对比。

在区域地质中，根据地层中化石进行这样的对比常常是可行的，换句话说，用古生物学和孢粉分析进行对比。在油田工作的实际中，这样做通常不行。首先，所需要的分析通常是费力又费时间的，这在油田开发中是不利的，常常需要快速给出分析结果。此外，在区域地质工作中足以对比相对来说厚的地层。但经常不能满足油田的小比例尺对比，原因是油田工作中的对比常常必须进行细分层，而且要解决古生物和孢粉分层能力。

因此，实际中不同井间岩层的对比基础是组成这些岩层的岩性。换句话说，油田中的对比是对比岩性的实习。因此对读者而言，现代沉积学已帮助提高了这些实习的质量是显而易见的。另一点也应是明显的，即必须应用由钻井资料所提取的全部岩性信息。

获得钻遇岩层岩性资料的最直接方式显然是采集实际岩样；有三类岩样：

泥浆槽砂样(钻屑，碎岩样)是被钻头破碎的岩样，它们由循环泥浆带到地表。它们的优点是：费用低，钻井剖面连续，而且在钻井期间中获得信息的延迟时间非常短。因此，适用于随时检查。它们的主要缺点是：它们未必能完全代表所钻遇的地层。一是有些地层(白垩、软泥、流砂)可能在泥浆中崩解，因而可能大量或全部流失。二是岩样常常被钻岩层之上的井壁塌落物所污染(塌落)。

井壁岩样是从井壁上取的小的圆柱形样品($0.0254 \times 0.0508\text{m}$)，方法是用在电缆上能滑动“枪”取样，该电缆也用于测井。它们的优点是测井完成后就进行取样，可允许精确地选择采样层。它们也能定位准确和基本上无污染；因此，它们通常是所采岩层的真实岩样。缺点是：体积小，而且仅在井中岩层钻完后很长时间才能利用，因而不适用于钻进过程中的日常观测。

岩芯是大的岩层样品；直径为几英寸(取决于井眼的大小)，长度可达数十英尺。它们的最主要优点是尺寸大，提供进行岩石材料综合研究的机会。同时，一般可以精确地确定岩样的原始深度。当然，在岩芯收获率低的情况下例外，如，钻进10m只取到2m岩芯，那么就不能准确地确定这2m岩芯的实际位置。然而，取芯是费时的操作，常常发生井眼事故，而且费用高。因此，实际中只有在能精确预测取芯深度时才进行取芯。如没有把握这样做，取到的很可能是无用信息，这就是浪费人力、物力。

在日常的油田开发钻井中，因为很难证明这种耗资大的工作是合理的，所以很少取芯。用井壁取芯可以解决特殊的对比问题，而且是经常用于取得储层特性资料的方法。泥浆槽采样是很多油田的日常工作，要求采油地质家确保岩屑描述的准确性(在合适的条件下可委托给服务公司)；在地质构造相当简单的油田，在常规钻井中甚至可以省略泥浆槽取样。

现在，岩石物性测井为对比提供了最重要的岩性资料来源，如，裸眼井中连续测量的物

理参数，反映了钻遇地层的特性。这些测井曲线由与一条电缆相连的专用仪器得到，而且它们的岩性和流体含量解释已发展成为石油工程的一个主要分支。

测井具有连续分辨非常好的极大优点，一米左右厚的岩层可分辨出来，确定深度非常准确。应用它们的限制是：只有钻完井才能测剖面而且在重要阶段测井操作要中断钻井，所以是一笔主要费用。

因此，特别在油田开发钻井中，尽量少测井，而且基于测井曲线的对比在钻完井之后再进行。只有在特别重要的情况下，即为了确定当时所钻遇的地层才例外地进行“对比测井”。

对绝大多数开发地质研究而言，如果进行对比的岩性资料来源不是唯一的话，测井是最重要的。下面将讨论如何应用测井资料，但这里必须提出两点：

(1) 不论较大或较小范围，所有测井曲线都反映岩性，当进行岩性对比时，必须把测井曲线作为可能的对比资料来源考虑。

(2) 在实际的测井曲线中，某些范围其他因素可能掩盖岩性作用，因此，仅依靠岩性指标得出对比结论时必须格外小心。

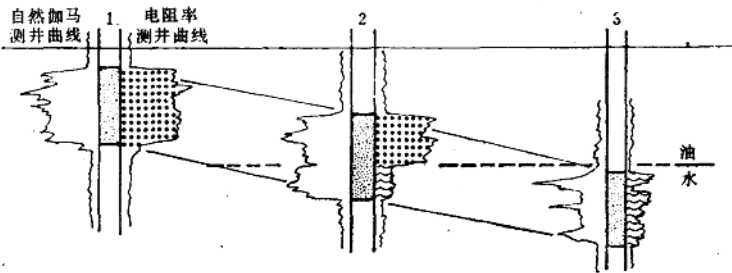


图 2—2 测井效果

图2—2可阐明以后要说明的观点。一般情况下，岩性柱右边的电阻率测井曲线能明显区分页岩和砂岩，页岩的电阻率相对较低。然而，后面的电阻率在大范围内是取决于岩石孔隙中所含流体的成分。因而钻遇的一个砂层基本上具有从顶到底均匀的岩性特征，但是如果该砂层上部含油下部含盐水（2号井），那么测井曲线决不是均匀的。同样，同一砂层可能在一口井含油而另一口井含盐水，那么两口井的测井曲线将完全不同，不同井之间的测井曲线对比将是更困难（对比1号井和3号井）。

在多数情况下，最能清楚反映岩性、受其他因素干扰最小的是伽马测井曲线（岩性柱左边）。该测井方法测量岩石的天然放射性。泥质矿物势必比石英和碳酸盐矿物的放射性更强，因此，具有不同含量泥质物质的岩石在自然伽马测井曲线上清楚地显示出不同的偏差。

通常所说的自然电位是用在测井中的最重要的物理参数，它是由钻井泥浆和地层流体之间含盐度差所产生。它的曲线所反映的岩性在绝大多数情况下与自然伽马测井曲线的方式相同。因而自然电位测井经常被用来作对比测井，但由于存在固有误差，现在很少用。

有必要再强调一次，在对比中仅考虑一种测井是不够的。一定要仔细检查由一种测井曲线对比所得到的结果，例如自然伽马曲线，也要与不同井同一层的其他测井曲线对比，这样常常能避免可能的误差。