

# 钻井工程

——整套油井设计方法

N.J. 亚当斯

石油工业出版社

登录号	086970
分类号	T E 22
种次号	005

# 钻 井 工 程

——整套油井设计方法

N.J. 亚当斯

史久光 胡湘炯 李邦达 译



(S2)47/34 8247/11



石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

### 内 容 提 要

本书以理论与实践相结合的方式,提出了一整套合理的钻井设计、施工和完井的计算方法,为科学钻井提供了依据,其内容包括油井设计、工具选择、各种钻井参数的计算、油井测试及成本估算等各个方面,它能够指导人们在保证安全的前提下,使用最低的费用来合理地开采油气藏。

本书具有理论分析与实践并重的特点,书中备有一定数量的例题和习题,适合于钻井工程技术人员和院校有关专业师生学习和参考。

\* \* \*

本书选题由大庆石油学院李邦达同志提出。史久光同志翻译第一、二、三、四、五、十九章;李邦达同志翻译第七、八、九、十、十二、十三、十四章;罗伟同志翻译第十六章;胡湘炯同志翻译第十七、十八章,并对全书进行统校。

### Drilling Engineering

#### A Complete Well

#### Planning Approach

Neal J. Adams

Penn Well Publishing Company

Tulsa, 1985

\*

### 钻 井 工 程

——整套油井设计方法

N.J. 亚当斯

史久光 胡湘炯 李邦达 译

\*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092毫米 16开本 30 $\frac{1}{2}$ 印张 767千字 印1-1.500

1992年1月北京第1版 1992年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0726-6/TE·686

定价: 16.85元

## 序 言

本书旨在提供一本理论与实践紧密结合，并能指导大多数钻井和油井设计工作的有用教材。其中的许多概念用例题加以阐明，这使钻井工程师能用书中的有关理论，正确处理所遇到的各种特殊问题。

钻井工作必须按一定程序进行，因此本书的各章节也都按钻井设计与施工的顺序编写。例如在设计套管柱程序之前必须收集各种钻井资料，所以就把收集资料这一章放在了套管柱设计之前。

本书把异常压力井的钻井设计列为论述的重点。因为它通常是引起各种复杂情况和增加钻井费用的重要根源。同时，书中也考虑了低于正常压力的油井，因为它也是造成复杂情况的原因之一。

在本书内没有把钻井复杂情况单列一章。对于这些问题都结合其对套管设计和钻井液等的影响进行论述。因为在笔者编写的第一本书《井控问题及其处理方法》中，已对许多主要的钻井复杂情况作了深入地讨论。将来在本书再版时或许把它单列一章。

书中附有不少例题和作业。对于这些作业的题解和问题分析，将以附录方式提供参考<sup>①</sup>。

我曾用三年多时间编写此书，并想竭尽所能力求使它具有最好的实用价值。但因本书内容广泛，课题又较繁杂，加上又受时间的限制，难免有所遗误。因此热诚欢迎工业界的同行们对书中的任何专题，提出宝贵的修正补充意见。

在本书编写过程中，充分利用了公开出版的各种有价值的石油文献资料。若引用有误，在此先向有关作者致歉。今后一经原著作者指出，我一定在再版时进行修正。

第十九章的油井费用估算是1982年写的。其中列举的各种价格已与现价不同。有趣的是我在1984年写此序言时的钻井费用，竟比1982年低。

书中还会有少量虽经多次检查而未发现的错误，校对时也未能及时发现修正。这是著作中常难避免的一个问题。为此我衷心感谢能对书中的有关错误给予指出的工业界同行。

最后，我热诚希望这本书对钻井工程师们的日常工作能够有所帮助。

N.J. 亚当斯

---

<sup>①</sup>附录已删除。——译者

# 目 录

<b>第一章 钻井设计引言</b> .....	( 1 )
§ 1-1 钻井设计的目的 .....	( 1 )
§ 1-2 井的分类 .....	( 2 )
§ 1-3 地层压力 .....	( 3 )
§ 1-4 计划费用 .....	( 4 )
§ 1-5 设计过程综述 .....	( 4 )
<b>第二章 资料收集</b> .....	( 6 )
§ 2-1 邻井的选择 .....	( 6 )
§ 2-2 资料来源 .....	( 7 )
§ 2-3 资料内容 .....	( 8 )
<b>第三章 地层压力预测</b> .....	( 20 )
§ 3-1 地层压力预测方法 .....	( 20 )
§ 3-2 异常压力的起源 .....	( 21 )
§ 3-3 地震资料分析 .....	( 26 )
§ 3-4 录井资料分析 .....	( 28 )
<b>第四章 确定地层破裂压力梯度</b> .....	( 59 )
§ 4-1 理论确定方法 .....	( 59 )
§ 4-2 现场确定方法 .....	( 67 )
<b>第五章 套管下入深度的选择</b> .....	( 70 )
§ 5-1 套管和油管的类别 .....	( 70 )
§ 5-2 套管下入深度的设计步骤 .....	( 72 )
<b>第六章 井眼尺寸的选定</b> .....	( 84 )
§ 6-1 一般设计步骤 .....	( 84 )
§ 6-2 井眼尺寸选择原则 .....	( 85 )
§ 6-3 套管和钻头尺寸的选择 .....	( 89 )
§ 6-4 钻头—套管的标准组合 .....	( 91 )
<b>第七章 钻头规划</b> .....	( 93 )
§ 7-1 钻头类别 .....	( 93 )
§ 7-2 牙轮钻头设计 .....	( 95 )
§ 7-3 金刚石钻头 .....	( 115 )
§ 7-4 优化钻井 .....	( 123 )
§ 7-5 取心 .....	( 133 )
§ 7-6 钻头尺寸 .....	( 133 )
§ 7-7 金刚石钻头的使用 .....	( 134 )
<b>第八章 钻井液的选择</b> .....	( 138 )

§ 8-1 钻井液的作用 .....	(138)
§ 8-2 钻井液类型 .....	(142)
§ 8-3 钻井液化学性质简介 .....	(149)
§ 8-4 现场试验程序 .....	(152)
§ 8-5 常用的处理剂类型 .....	(153)
§ 8-6 特殊的钻井液处理剂 .....	(162)
<b>第九章 注水泥</b> .....	(167)
§ 9-1 油井注水泥的目的 .....	(167)
§ 9-2 水泥特性 .....	(171)
§ 9-3 水泥添加剂 .....	(178)
§ 9-4 水泥浆设计 .....	(183)
§ 9-5 注水泥设计 .....	(187)
§ 9-6 水泥浆顶替过程 .....	(190)
§ 9-7 特殊注水泥问题 .....	(196)
<b>第十章 定向井的设计</b> .....	(200)
§ 10-1 钻定向井的目的 .....	(200)
§ 10-2 设计要点 .....	(201)
§ 10-3 计算方法 .....	(205)
§ 10-4 定向钻井技术 .....	(210)
<b>第十一章 套管和油管</b> .....	(214)
§ 11-1 管体加工 .....	(214)
§ 11-2 套管物理性能 .....	(215)
§ 11-3 套管接箍 .....	(228)
<b>第十二章 套管柱设计</b> .....	(233)
§ 12-1 最大载荷的概念 .....	(233)
§ 12-2 套管设计的一般准则 .....	(233)
§ 12-3 表层套管 .....	(239)
§ 12-4 中间套管 .....	(245)
§ 12-5 中间套管和尾管 .....	(250)
§ 12-6 油层套管 .....	(252)
§ 12-7 特种套管设计标准 .....	(255)
<b>第十三章 油管设计</b> .....	(259)
§ 13-1 油管设计标准 .....	(259)
§ 13-2 封隔器和密封装置 .....	(261)
§ 13-3 影响油管设计的采油条件 .....	(263)
§ 13-4 应力计算 .....	(265)
<b>第十四章 完井对油井设计和钻井的影响</b> .....	(273)
§ 14-1 储集层和生产参数 .....	(273)
§ 14-2 地面和井下完井设备 .....	(275)
§ 14-3 完井类型 .....	(286)

§ 14-4 封隔液 .....	(287)
<b>第十五章 钻柱设计</b> .....	(290)
§ 15-1 钻柱的组成和作用 .....	(290)
§ 15-2 钻柱设计 .....	(297)
§ 15-3 狗腿严重度分析 .....	(308)
§ 15-4 工具接头的侧向载荷 .....	(312)
<b>第十六章 钻机类型的选择</b> .....	(318)
§ 16-1 钻机类型 .....	(319)
§ 16-2 动力系统 .....	(331)
§ 16-3 提升系统 .....	(335)
§ 16-4 井架及井架底座 .....	(345)
§ 16-5 旋转系统 .....	(347)
§ 16-6 循环系统 .....	(349)
§ 16-7 钻井液处理设备 .....	(358)
§ 16-8 钻台辅助设备 .....	(365)
§ 16-9 防喷器 .....	(369)
§ 16-10 井场准备 .....	(381)
§ 16-11 海上活动式钻井装置的特殊问题 .....	(384)
<b>第十七章 钻井工程专用测井</b> .....	(389)
§ 17-1 井温测量 .....	(390)
§ 17-2 放射性示踪仪 .....	(391)
§ 17-3 噪声测井 .....	(391)
§ 17-4 卡钻测量 .....	(393)
§ 17-5 水泥胶结测井 .....	(394)
§ 17-6 套管探测器 .....	(395)
§ 17-7 钻井液录井 .....	(396)
§ 17-8 随钻测量 .....	(397)
§ 17-9 特长距电法测井 .....	(398)
§ 17-10 磁力探测仪 .....	(400)
<b>第十八章 钻井水力学</b> .....	(402)
§ 18-1 静水压力 .....	(402)
§ 18-2 流动特性 .....	(406)
§ 18-3 流动数学模型 .....	(409)
§ 18-4 摩阻压力的确定 .....	(413)
§ 18-5 射流优化设计 .....	(422)
§ 18-6 激动压力 .....	(433)
§ 18-7 岩屑滑脱速度 .....	(440)
<b>第十九章 油气井的费用估算</b> .....	(451)
§ 19-1 计划的钻井时间 .....	(451)
§ 19-2 时间的分类 .....	(454)

§ 19-3	费用的分类	.....	(455)
§ 19-4	井场准备费	.....	(461)
§ 19-5	钻机和工具	.....	(461)
§ 19-6	钻井液	.....	(465)
§ 19-7	租用设备	.....	(467)
§ 19-8	注水泥	.....	(470)
§ 19-9	支持服务	.....	(471)
§ 19-10	交通运输费	.....	(474)
§ 19-11	监督和管理	.....	(475)
§ 19-12	管材	.....	(475)
§ 19-13	井口设备	.....	(477)
§ 19-14	完井设备	.....	(477)
<b>附录</b>	<b>本书常用许用单位和非许用单位换算表</b>	.....	<b>(479)</b>



# 第一章 钻井设计引言

钻井设计可能是钻井工程中最迫切需要的一方面。它需要把工程原则、公司或个人的宗旨和经验因素结合在一起。虽然在钻井界内编制钻井计划的方法和习惯作法可能不一样，但是最终结果应该是安全钻进、费用最低并能满足油藏工程师对油气生产的要求。

熟练的钻井设计人员应该具有三种品质。他们应是了解怎样把钻井作业的各个方面均衡而有机地组织在一起的钻井人员。他们能利用可得到的工程手段，如计算机和第三方的建议来指导编制钻井设计。他们常具有“福尔摩斯”的特性，驱使他们钻研并回顾计划中的每个方面，努力避免并消除可能出现的问题。

## § 1-1 钻井设计的目的

钻井设计的目的就是根据钻一口井的许多变数列出一个纲要，并具有下述特征：

- ①安全；
- ②费用最低；
- ③有用的井。

然而，由于受到地质和钻井因素的制约，如温度、套管强度极限、井眼尺寸、或者预算的限制，不是每一口井都能达到这三项目标。

### 一、安全

在钻井设计中安全应该具有最优先的地位。人员的安全必须放在设计中各个方面的首位。某些情况下，在钻进的过程中，一旦未能预见的问题威胁着工作人员时，必须改变原来的计划。忽视人员安全，曾造成人员的死亡和烧伤或永久残废。

第二位的就是井的安全。钻井计划必须设计得把井喷的危险和可能产生问题的因素降到最小的程度。这一设计要求必须紧密地与计划的各个方面结合。下面给出的例 1.1 说明编钻井计划的初期，在搜集资料期间忽视了上述情况，以致造成了钻井事故的发生。

**例 1.1** 1979 年 9 月根据“交钥匙”合同开始钻一口 9000ft 深的井。该井位于地下情况高度活跃地区，在此地区已经钻了 52 口井。钻井承包商的名声很好，并有成功的历史。

钻井总监向钻井公司要到了设计井所在地区内两口井的记录。虽然井的记录是 15 年前的，但看起来到井深 9800ft 之前地层压力是正常的。因为设计井只要求钻到 9000ft，预期不会出现压力问题。承包商选择了把  $10^3/4$ ” 套管下到 1800ft，并用  $9^7/8$ ” 钻头和 9.5lb/gal 钻井液钻到 9000ft。钻达这一深度后改由油公司对这口井负责。

在 8750ft 前没有发生较大的意外情况。但是钻达这一深度时发生了严重的井涌。由于出现了地下井喷，很快发生了地面井喷。钻机被毁，自然资源遭到损失，三个星期后井被压住。

欧洲一家大保险公司集团聘的顾问对此事进行了调查，得到下述结果：

- ①从该区内所有的井看来，在 9800ft 之前压力都是正常的。
- ②以往的 5 年内，在该区的 52 口井中有 4 口曾发生井喷。而且发生井喷的层位都与这

口井的层位相同。

③剩下 48 井内的 16 口井，都在同一层发生过井涌或严重气侵。

④所有问题似乎都是在 1973 年一口 12200ft 深的井在高压层发生井喷之后发生的。

由此获得下列结论：

①钻井承包商没有对周围的井进行全面详细的调查，以发现可能危害他的工作人员和井的问题。

②最终的结局是由保险公司赔偿了  $\$ 1.6 \times 10^7$ 。如果承包商事先多花  $\$ 800$  象保险公司请的钻井顾问那样进行调查而取得正确的钻井资料，可能不会发生上述事故。

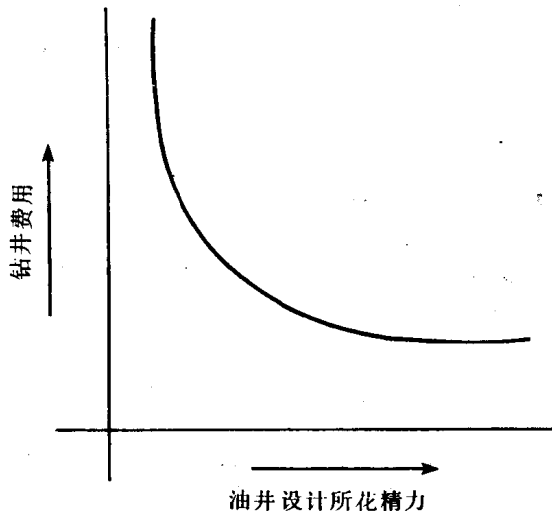


图 1-1 恰当的钻井计划可以大大削减井的费用

## 二、最低的费用

编制钻井计划时一个正确的目标就是把井的费用降得最低，但不能危及安全。绝大多数情况下，编制计划时多付出一些精力就能把费用降低到一定的水平，见图 1-1。打着安全的旗号，花一些不必要的钱来建造一座“钢的纪念碑”是不光彩的。另一方面，为了安全必须要花的钱还是应该花的。

## 三、有用的井

如果井的最终结构是不适用的，即使把井钻到计划深度，也是不能认为满意的。在这一情况下，“有用的”这个词指的是下述含意：

①完井的井径足够大，以便能进行恰当的完井作业。

②井或生产层未遭受不可挽救的损害。

在深的高压地区，可能出现井眼尺寸和钻井液问题，设计井的一些前述要求可能难于达到。

## § 1-2 井的分类

钻井工程师们常要设计不同类型的井，其中包括下述各类：

- ①野猫井；
- ②探井；
- ③探边井；
- ④加密井；
- ⑤重返井。

一般来说，野猫井的设计工作量比其它的要大。绝大多数情况下，加密井和重返井的计划工作量最小。

野猫井是钻在一些地质资料很少甚至没有资料的地方的井。拟钻井位的选择有可能是因为在相当远的距离处钻过井，实际探井井位与拟钻探井井位的地形相似。“钻野猫井者”这一

名词的起源是用来描写一个大胆的边远地区人员愿意对一个隆起或预感下赌注。

真正的野猫井已经几乎没有人肯钻了，因为钻井费用非常高，在绝大多数情况下谁都不愿意在选井位上去赌博。此外，从几方面的资料都说明，有生产希望可供钻探的地方是很多的。可是，关于钻野猫井者的一些浪漫传说或许不会失传。

井的类型所具有的特征列于表 1-1 中。

表 1-1 各类型井的特征

井 类	特 征
野猫井	选择井位时没有或只有极少地质依据
探 井	根据地震资料，卫星测量等多种信息选定井位。对拟探层位无钻井资料
探边井	探某一储集层的边界；在发现探井之后钻的探边井；通常根据地震资料定井位
加密井	在已具产能的储集层钻的井。常根据井网、泄油（气）半径等定井位
重返井	重返已有的井进行加深、侧钻、重新进行工作或重新完井；根据重返的目的，需作不同的计划

### § 1-3 地 层 压 力

一口井将遇到的地层压力或孔隙压力会显著地影响井的设计。所遇到的压力可以是正常的、异常（高）的，或低于正常的压力（第三章将详细讨论孔隙压力及其预测方法）。

设计正常压力的井一般不会出现什么问题。钻井液密度范围约在 8.5~9.5lb/gal 之间。一般很少出现井涌和井喷问题，但不是不会出现。正常压力的井如果井深超过 20000ft，由于张力/抗挤毁力的设计限制，对套管的要求可能非常苛刻。

低于正常压力的井可能要多下一层套管把低压层隔开。低于正常压力可能是由于地质或构造因素，或者生产层段的压力耗竭所致。如果本井的其它井段是压力异常时，进行设计时要作特殊考虑。

异常压力在很多方面影响着井的设计，包括以下各项：

- ① 套管和油管设计；
- ② 钻井液密度和类型的选择；
- ③ 套管下深的选择；
- ④ 注水泥计划。

此外，由于地层压力高的原因，必须考虑以下问题：

- ① 井涌和井喷；
- ② 压差卡钻；
- ③ 由于钻井液密度高而引起的井漏；
- ④ 易坍页岩。

井的费用随着压力异常地层压力的增高而显著增高。

因为高压探井设计里有许多难点，有许多设计准则、文章和研究都致力于这一方面的研究。在这上面花费精力是有价值的。然而，钻井工程师仍然必须在钻正常压力井或探边和加密井放宽或修改部分参数。

## § 1-4 计划费用

严格地编制一口井的设计所花的费用与实际钻井费用相比是无足轻重的。在很多情况下，一口要花费一百万美元的井的设计费还不到 \$ 1000。这只占井的费用的千分之一。

然而，有许多历史上的例子可以用来说明，由于有意识地过分强调费用问题，而牺牲或省略了钻井设计费用，结果是该井的最后费用超过了经过正确设计的费用。或许最常走的捷径是把搜集资料工作压到最低限度。虽然为一口拟钻探井搜集到齐全良好的资料一般费用少于 \$ 2000 ~ \$ 3000，但在很多钻井设计中缺少对可能出现钻井问题的描述。这种在作钻井设计时少花些钱几乎经常造成钻井费用的超支。

## § 1-5 计划过程综述

钻井设计是一项顺序而进的过程。有必要先编制几个有关方面的计划，然后设计其它项目。例如，必须先制订钻井液密度，然后确定套管程序，因为钻井液密度对管子的要求有影响。图 1-2 给出了常用的钻井设计流程。

在分析了钻井历史资料之后，钻头程序可以在设计中的任何时间予以确定。钻头程序通常以邻井的钻井参数为依据。可是，钻井液计划可以影响钻头的选择，例如在油基钻井液中 PDC 钻头的使用效果。此外，钻头尺寸还受到套管通径的限制。

套管和油管应该作为一个整体设计进行考虑。这一事实对于生产套管来说更是如此。油管设计的标准是生产套管的通径，而生产套管又反过来受封隔器—油管之间的力的影响。这个封隔器—油管之间的力是由于油管有上下运动的趋势而产生的。然而，这些计算很复杂而常被忽略。

完井计划必须在钻井设计初期就予以具体化。它对套管和油管的尺寸有重大的影响，特别是要求使用超大的油管和封隔器时更是如此。此外，设计中有可能要求使用高强度油管或在某些特定条件下要求使用超长的密封组件。

图 1-2 给出了钻井设计的步骤。这个进程在不同的情况下应作适当的调整。本书的绝大部分都是遵循着这个流程的。

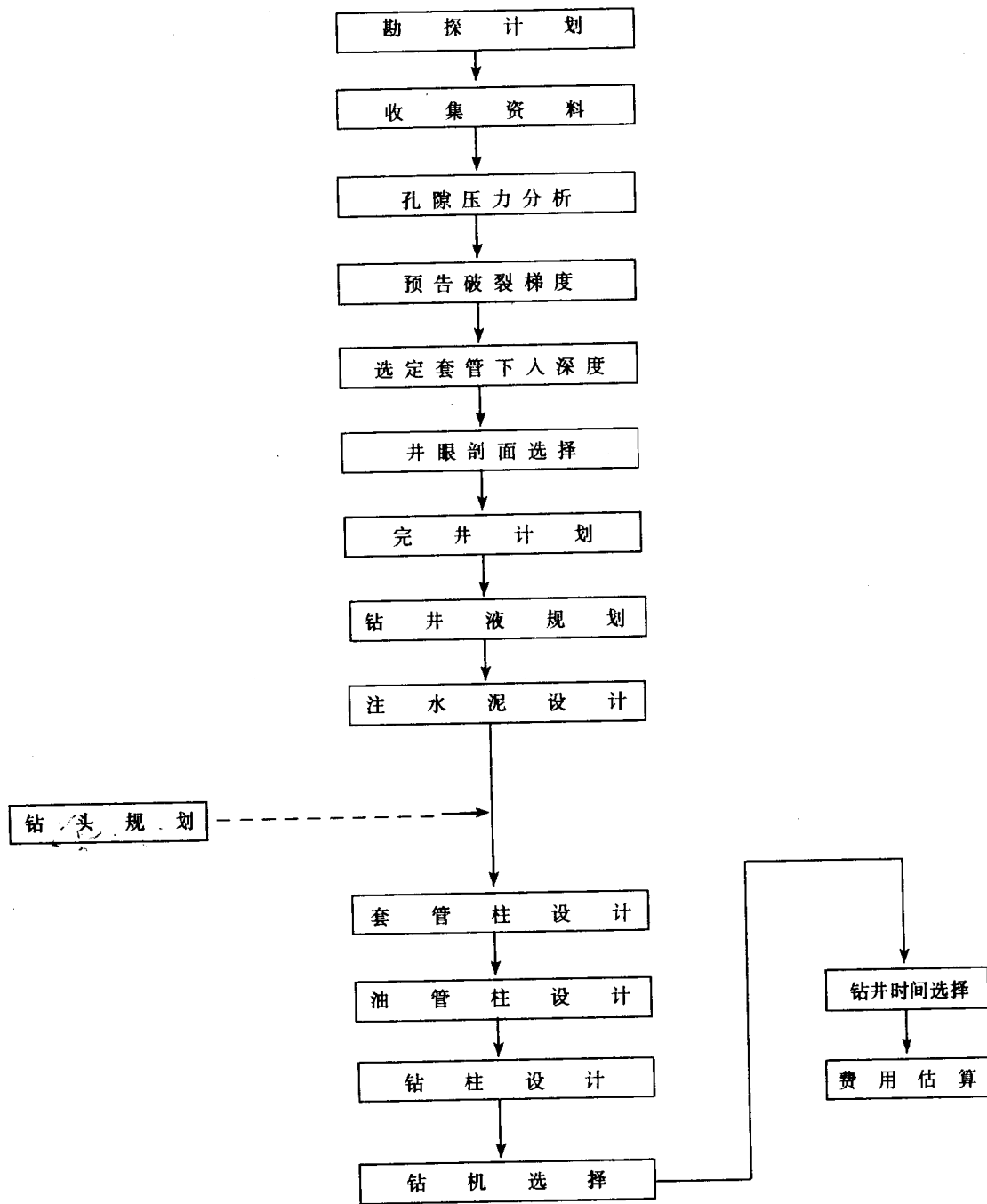


图 1-2 钻井设计流程图

## 第二章 资料收集

钻井设计和随后的钻井施工中最重要方面就是确定该井将遇到的问题和预期的特征。如果这些情况事先不知道，那么就不可能恰当地作出一口井的设计。所以，钻井工程师必须从一开始就搜集各种不同的资料，从而获得详细情况，以适应设计的钻井条件。

### § 2-1 邻井的选择

通常钻井工程师不负责选定井位。可是，他必须与地质人员共同工作，这是基于以下的原因：

①提高对拟钻井地质情况的了解；

②明确断块构造以帮助选择与设计井有相似性质的邻井；

③弄清楚设计井中可能遇到的地质异常现象。

钻井和地质人员之间能否紧密地合作是一口井成败的关键。

图 2-1 给出了钻井队可能获得的地质资料。地质人员从 E.B. White—2 井发现有可观的产量。对产层的高程做图就得到了图 2-1 的等高线图。一口探井应该与 E.B. White—2 井大致相同的深度遇到产层。

图 2-2 是一张三维图。它给出了图 2-1 所没有表示出来的第三维。钻井工程师能从图中看到钻探的目标，并得到较深的了解。

从商业制图员那里可以获得标明有邻井地面位置的图。这些图通常提供有与其它井的相对位置、作业者、井号、

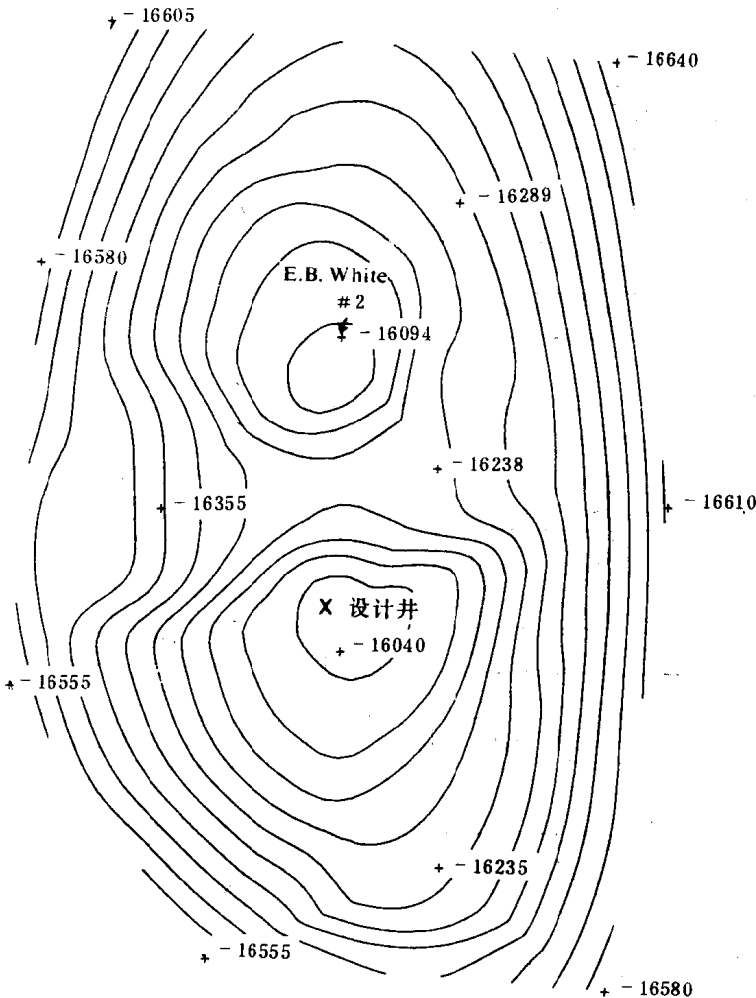


图 2-1 等高线图

井深和所产流体的类型。此外，有些图还勾画出了区域性地层的顶部。  
在资料搜集中邻井的选择是很重要的。

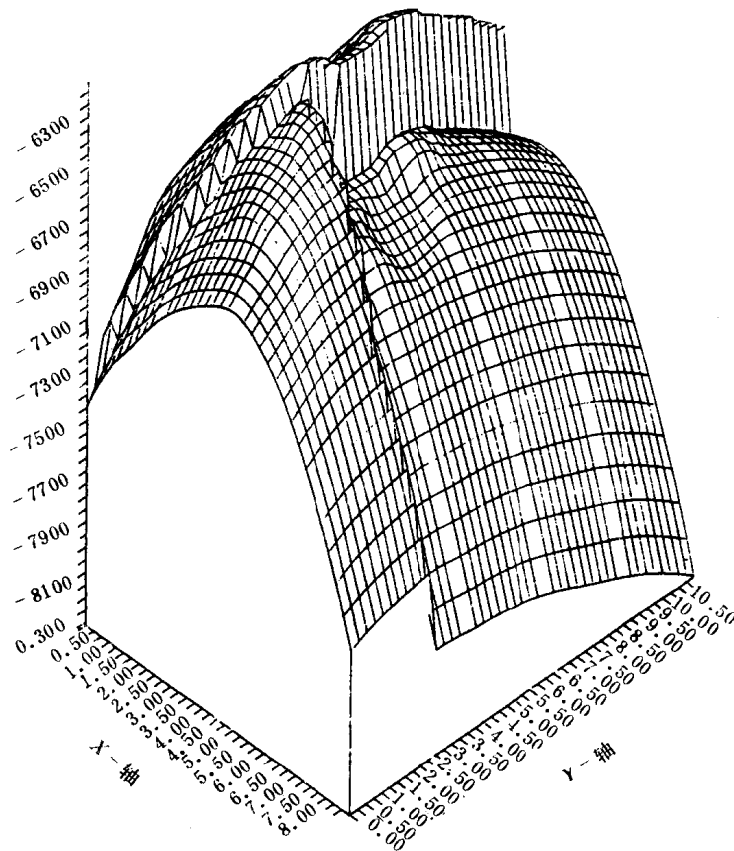


图 2-2 三维图

## § 2-2 资料来源

实际在美国钻的每口井的资料都是应当能够得到的。由于高昂的钻井费用限制了象好多年前那样钻很多的野猫井。尽管当前还在钻野猫井，但是最低限度应该能获得地震资料，以便估计地层孔隙压力。

钻井工程师们常用的资料如下：

- ① 钻头记录；
- ② 钻井液记录；
- ③ 钻井液录井资料；
- ④ IADC 钻井报告；
- ⑤ 检索资料卡；
- ⑥ 测井图表头资料；
- ⑦ 生产史；
- ⑧ 地震研究；

- ⑨录井资料;
- ⑩地质等高线图;
- ⑪数据库或服务公司的档案。

每一类记录都包含有价值的资料,而是其它记录可能没有的。例如,测井表头资料和地震资料都是有用的,特别是这些资料是有关井仅能获得的参考资料时更是如此。

在石油业中有很多的资料来源。然而,有些作业者错误地认为这些资料是机密的,事实上,当完井之后短暂的时间内,一些重要资料,如试井资料和生产数据已为公众所掌握。钻井工程师常需扮演“侦探”的角色去寻找并分析所需要的资料。

资料来源包括钻头制造厂和钻井液公司在内,它们经常在井的摘要内记载着有关的资料。钻头公司和钻井液公司常向作业者提供这些资料。测井图书馆收藏有测井表头资料和检索资料卡。油公司内部档案常存有钻井报告、IADC报告和钻井液录井报告。许多作业者如果它们当前对某地区没有勘探的兴趣,它们会愿意把一些老的邻井资料提供给别人。

## § 2-3 资料内容

### 一、钻头记录

钻头记录是邻井钻井资料的最好来源。它包含着与实际钻井作业有关的资料。

钻头记录一般应包括下列内容:

- ①作业者;
- ②钻井承包商;
- ③钻机号;
- ④井位;
- ⑤钻柱特征;
- ⑥泵的资料。

此外,记录中还应给出开钻日期、钻出表层套管的日期,钻出中间套管的日期和钻达井底的日期。

钻头记录的主体包括下述详细资料:

- ①使用钻头的数量和类型;
- ②喷嘴尺寸;
- ③每只钻头的进尺和钻速;
- ④钻压和转速;
- ⑤井斜;
- ⑥泵的数据;
- ⑦钻井液性能;
- ⑧钻头用旧的程度(钝度分级);
- ⑨说明或评论。

其中,井斜对预测可能出现的狗腿是有用的。

对所用各钻头的评述是重要的信息。典型的注释,如“卡钻”和“钻柱遭到冲蚀”能解释为什么钻井时间比预期的长。钻井工程师常认为对钻头(及钻井液)的评述与记录的主体资料同样重要。



如果作业者认为所观察到的旧钻头的分级资料是正确的，并能代表钻头实际情况，在作井的计划时可能是很有价值的。在旧钻头的分级中，把该地区使用的最成功的和最不成功的钻头加以比较，有助于制定设计井的钻头计划。钻头使用中的问题，如断齿、直径磨损和过早地损坏等都能观察到，这样就可以在钻新井时拟订预防措施。

如果能对原始资料进行分析，钻头记录就能提供更有用的资料。通过这些资料可以画出岩性变化和岩性变化趋势的图来，还可以作出每英尺的费用分析，同时可以作出粗略的，但是有用的孔隙压力图。

从一口井和一个地区的原始钻速资料能发现趋势和异常情况。图 2-3 给出了路易斯安那州南部一口井的钻速图，从中可以看出钻速正如预期那样随井深的加深而降低。

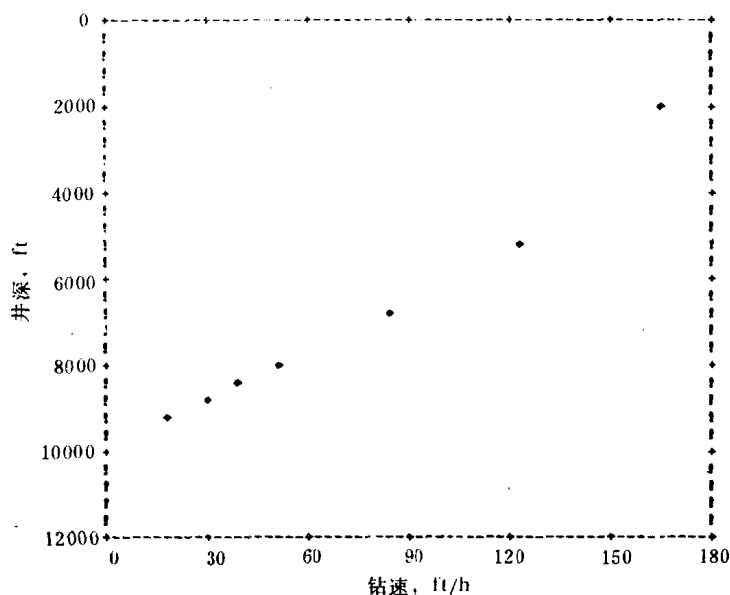


图 2-3 钻速—井深关系图

趋势上的突然变化可能提示情况有些异常（图 2-4）。这个图给出了路易斯安那州南部一个区所有井的综合钻速。在约 10000ft 处被确定为进入厚的页岩层段。

研究每英尺的费用对确定最优、最经济的钻进条件是有用的。对一个地区所能获得的井的每一只钻头的费用进行比较，就能找出使钻进费用最低的钻头和钻进条件。钻井工程师提供了预期的钻机费、钻头费，并假设了平均起下钻时间。用式 2-1 就能计算出每英尺的费用：

$$\$/ft = \frac{C_B + C_R T_I + C_R T_R}{Y} \quad (2-1)$$

式中  $\$/ft$ ——每英尺的美元数，\$；

$C_B$ ——钻头费，\$；

$C_R$ ——钻机费，\$/h；

$T_R$ ——旋转小时，h；