

石油工人自学丛书



试井

石油工业出版社

TE353

12

3

油田工人自学丛书

试 井

徐锡良 黄大权 编

17x28/1/2



D 468209

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是在原《试井工人读本》的基础上修订而成。现纳入油田工人自学丛书。

本书从试井基本概念、试井常用仪表及主要设备、试井方法、现场操作工艺等方面对试井工作作了较全面的介绍。内容包括油田地质基础、试井目的及内容、试井基本原理、各种试井内容所用不同仪器和设备的基本结构及工作原理、现场常用试井方法及应用,以及现场操作基本要求等。为便于直观理解,在适当章节中还附有实例。

本书内容实用性强,文字简洁易懂,是现场试井工人特别是初级试井工人通过自学提高自身技术素质的必备读物。

油田工人自学丛书

试 井

徐锡良 黄大权 编

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 11印张 241千字 印1—1,800

1988年1月北京第1版 1988年2月北京第1次印刷

书号: 15037·2847 定价: 1.60元

ISBN 7-5021-0143-8/TE·141

出版说明

油田工人自学丛书是为各油田刚从事采油工作的青年工人熟悉和掌握本职专业技能的普及性技术读物。为了适应各种工人不同的学习重点，该丛书将根据采油专业分工情况分册出版。丛书共包括：采油（上、中、下）三册，修井（上、下）二册，抽油井示功图的测试和分析、试井、油层压裂、油气井酸化、原油脱水、天然气加工操作、原油矿场集输、输油管道阴极保护等分册。

这套丛书一部分是我社以前出版的各工人读本经修订而成，一部分是新组织编写的。今后还将根据需要陆续组织编写采油专业其它技术读物，以满足广大采油工人更广泛的学习要求。

目 录

第一章 试井基础	1
第一节 地质基本知识	1
一、含油气层的地质构造	1
二、油、气储集层基本性质	3
三、地下流体的基本性质	6
第二节 流体从地层向井流动的基本条件	8
一、油井及油井的完成	8
二、驱动方式	13
三、油井压力	14
四、流体向井基本渗流模式	16
第三节 试井目的及内容	19
一、试井目的	19
二、试井基本内容	20
第四节 试井基本原理	21
一、基本微分方程	22
二、试井解释理论模型	23
三、数学上的反问题法	23
四、迭加原理	24
第二章 压力测量及仪表	27
第一节 压力测量基本概念	27
一、关于压力单位的概念	27
二、压力测量仪表的基本概念	29
第二节 压力测量仪表	30
一、地面压力测量仪表	30

二、井下压力测量仪表	38
第三节 压力测量仪表的校验、使用及维修	63
一、地面压力测量仪表——压力表的校验、使用及维修	63
二、井下压力计的校验、使用及维护	67
第三章 流量、温度及其测量仪表	78
第一节 流量及其测量仪表	79
一、流量的定义和单位	79
二、流量计量仪表	80
三、井下流量测量仪表	99
第二节 温度测量仪器	104
一、常用感温元件	104
二、井下温度计	105
第四章 井下取样、液面及示功图测试仪器	109
第一节 井下取样	109
一、井底取样原则	109
二、井下取样器	110
第二节 液面探测及回声仪	117
一、液面探测	117
二、回声仪的结构与工作原理	118
三、几种晶体管回声仪	120
四、液面曲线的计算	124
第三节 示功图及示功仪	125
一、液力机械式示功仪	126
二、电传示功仪	132
三、示功图绘制与解释	133
第五章 试井常用设备及工具	140
第一节 试井车	140
一、试井车类型	140
二、试井车主要结构	140

三、试井车动力传动原理	145
四、试井车技术规范	145
五、试井车绞车的使用	145
六、试井车的维护与保养	147
第二节 井口钢丝防喷装置	149
第三节 录井钢丝	150
第四节 钢丝测深器	151
一、钢丝测深器结构	151
二、钢丝测深器技术规范	151
三、钢丝测深器的使用	154
第五节 井下钟机	154
一、机械式井下钟机	155
二、井下电子钟	155
第六节 记录卡片阅读器	160
一、国产阅读器	160
二、美国哈利巴顿读卡器	162
三、考斯特读卡器	163
第七节 井下落物打捞工具	163
第六章 试井方法	168
第一节 稳定试井	168
一、稳定试井基本公式	169
二、稳定试井资料的利用	171
第二节 不稳定试井法	177
一、井底压力恢复曲线试井法	178
二、注入井压降曲线试井法	202
三、不关井不稳定试井法	205
四、干扰试井法	208
五、脉冲试井法	225
六、油层边界试井法	243
七、钻杆一中途测试	257

第七章 试井现场操作工艺	281
第一节 试井前的准备	281
一、明确具体试井内容及要求	281
二、测试井应具备的条件	281
三、试井仪器的准备	282
四、配齐所需各种井下工具及操作工具	282
五、记录报表和记录笔墨	282
六、试井设备	282
七、穿戴好工作服、工作帽、工作鞋、 工作手套并准备好安全带	285
第二节 试井基本操作工艺	285
一、对中井口	285
二、安装试井防喷装置	285
三、下井仪器的组装	285
四、下井仪器或工具与钢丝连结方式	286
五、安装测深器	286
六、上起工艺	286
七、下放工艺	287
八、开关闸门	288
九、打捞工艺	288
十、试井现场安全	289
十一、试井岗位职责	291
第三节 取样操作工艺	292
一、地面取样	292
二、井下取样	293
第四节 回声仪测液面操作工艺及示功图测试工艺	294
一、回声仪测液面操作工艺	294
二、示功图测试操作工艺	295
第五节 井下压力测试卡片分析	297

第六节 液面曲线及示功图分析	301
一、液面曲线分析	301
二、典型示功图分析	304
第八章 分层测试	308
第一节 分层注水（采油）管柱的主要工具	308
一、封隔器	308
二、配水器	313
三、配产器	316
四、辅助工具	321
第二节 分层注水（采油）管柱	325
一、分层注水管柱	325
二、分层采油管柱	328
第三节 分层测试工艺	329
一、分层测试工具	329
二、分层测试现场工艺	338

第一章 试井基础

第一节 地质基本知识

一、含油气层的地质构造

含油气层深埋地下，人们在地面上看不见、摸不着。油、气层在地下所处的状态是十分复杂的，它受各种地质因素的影响，使它有着各种形状和具有一系列特性。

油气层是地壳的一部分。在一个区域面积范围内，具有工业开采价值的油、气层总体称为油-气田。

油、气层的形状和结构为油、气层构造。聚集油、气的构造即为含油、气构造。它的特点是具有不渗透岩层，使聚集了的油、气圈闭住，不让它跑掉。

储油构造的类型很多，最常见的有如下五种类型：

1. 背斜圈闭构造

这种类型可能有三种不同的圈闭情况。

1) 油-气-水三者共存的背斜圈闭构造如图1-1所示。油、气、水在地球重力作用下，各自处在地层的不同位置。它们之中，水最重，处在地层低部位即背斜圈闭构造的底部，构成了油(气)藏的边水；而天然气最轻，处于地层圈闭的顶部构成油藏的气顶；油的比重居中，处于水、气之间位置。

2) 油-水共存背斜圈闭构造，如图1-2所示。

3) 气-水共存背斜圈闭构造，如图1-3所示。

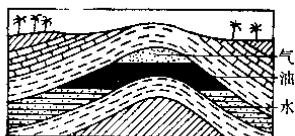


图 1-1 背斜圈闭构造油气藏



图 1-2 背斜圈闭构造油藏

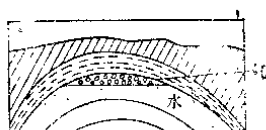


图 1-3 背斜圈闭构造气藏

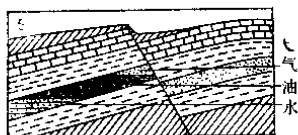


图 1-4 断层圈闭构造

2. 断层圈闭构造, 如图1-4所示

世界油气田勘探实践证明, 在沉积盆地内断裂带的断层圈闭构造中可以储存油、气, 形成产量相当可观的油田。



图 1-5 地层圈闭构造

3. 地层圈闭构造, 如图1-5所示

图1-5所示

这类构造是由沉积环境所决定的, 其岩性在横向发生变化而形成圈闭条件。这种岩性变化可能是

区域性的, 也可能是局部的, 从而形成地层尖灭或透镜体。

4. 盐丘圈闭构造, 如图1-6所示

5. 生物礁圈闭构造, 如图1-7所示

生物礁油、气圈闭构造常常具有惊人的储量和很高的产

量。因为生物礁储层具有独特的孔隙空间，无论渗透率或孔隙度都很高。一旦找到这类油田就是大油田，油源丰富。



图 1-6 盐丘圈闭构造

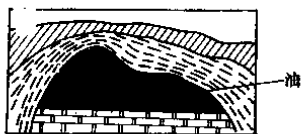


图 1-7 生物礁突起圈闭构造

二、油、气储集层基本性质

油、气储集层是指能使油、气在其中聚集、储存并流动的岩层。因此，并不是任何岩层都能成为油、气储集层的，而必须具有一定的条件。油、气储集层的基本性质是：

1. 孔隙度

不管岩石多么致密，其内部总是存在着各种各样的形状和大小不一的空隙、孔洞、裂缝，如图1-8所示。

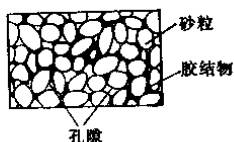


图 1-8 储集层岩石的孔隙结构示意图

这些孔隙、孔洞、裂缝在一个岩石介质中可多可少，相互间有连通的，也有相互间不连通的。若要使油、气在岩石介质中具有流动能力，除要有压差外，还必须有足够的孔隙，而且这些孔隙相互间是连通的。为了描述岩石的这一特性，通常使用孔隙率这一概念来表示。

1) 绝对孔隙率 ϕ' (%)

岩石中孔隙空间的总体积 $V_{孔}$ (包括连通的和不连通的)

的)与岩石的总体积 $V_{岩}$ 之比,用百分数表示,即:

$$\phi' = \frac{V_{孔}}{V_{岩}} \% \quad (1-1)$$

2) 有效孔隙率 ϕ (%)

在互相连通的孔隙中,有一些是允许油气在其中流动,但也还有些孔隙尽管是互相连通的可不具备油气流动能力,如毛细管孔隙。在岩石的总孔隙体积中,除去相互间不连通的孔隙和不能使油气流动的孔隙体积后剩余的孔隙空间为有效孔隙体积。

岩石中有效孔隙体积 $V_{有效}$ 与岩石总孔隙体积 $V_{总}$ 之比,用百分数表示,即

$$\phi = \frac{V_{有效}}{V_{总}} \% \quad (1-2)$$

通常所说的地层孔隙率即是指地层有效孔隙率。

2. 渗透率

油气在孔隙介质中流动称为渗流,渗流能力为渗透率。

1) 绝对渗透率 k' (达西)

流体具有一定的物理化学性质,它能使岩石的渗透能力发生变化,如水可使泥岩膨胀而降低渗透率。岩石与流体相接触会表现出某些现象,如毛管现象、吸附作用等,这也能改变岩石的渗透能力。因此,常常用与岩石作用不明显的气体去测定岩石的渗透率。用这种方法测定出来的渗透率叫绝对渗透率。我国和世界各国广泛使用空气测定绝对渗透率,因此,也有称绝对渗透率为空气渗透率。绝对渗透率只是岩石本身的属性,与流过的流体性质无关。

2) 有效渗透率 k (达西)

当两种以上流体通过岩心时,岩石让某一相流体通过的

能力叫有效渗透率又称相渗透率。有效渗透率不仅反映了岩石的属性，而且与流体在其中的运动状态、流体性质有关。

我们通常说的渗透率是指有效渗透率。

3) 相对渗透率 $k_{\text{相}}$ (达西)

有效渗透率与绝对渗透率的比值叫相对渗透率。

3. 含油、气、水饱和度

在油藏岩石中通常除石油外还含天然气和水。

含油(气)饱和度 $S_{\text{油(气)}}$ (%) :

油层孔隙中含油(气)的体积 $V_{\text{油(气)}}$ 与其有效孔隙体积 $V_{\text{孔}}$ 之比, 即

$$S_{\text{油(气)}} = \frac{V_{\text{油(气)}}}{V_{\text{孔}}} \% \quad (1-3)$$

在一个油藏中, 含油(气)饱和度与含水饱和度之和为1, 即 $S_{\text{油(气)}} + S_{\text{水}} = 1$ 。

4. 岩石的弹性压缩系数

由于油藏是埋于数百米以至数千米以下的深处, 故在其未开发之前, 它是处于高温高压状态之下。一经开发, 由于其内部压力的某一降落, 造成一定的压差。在此压差的作用下, 岩石的弹性压缩能量就被释放出来。油藏岩石的弹性压缩能量在采油中是一个相当大的能量。

1) 岩石的弹性压缩系数 C_r (1/大气压)

在单位压力降下岩石孔隙体积相对的变化量, 用数学式表示, 即为:

$$C_r = \frac{1}{v} \frac{\Delta v}{\Delta p} \quad (1-4)$$

岩石的弹性压缩系数一般在 $0.8 \sim 4.5 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{大气压}}$ 的范

围内变化。

三、地下流体的基本性质

在油层条件下的油、气、水性质与其在地面上的性质是不同的。其基本性质主要表现在以下参数上：

1. 饱和压力

地层原油在一定压力下通常都含有一定量的气体，这正如汽水中溶有 CO_2 气一样。

所谓饱和压力，就是指地层原油当压力降低到原油中开始出现第一个气泡点时的压力。通常，它是在油田勘探开发初期对油井下入井底取样器进行取样，然后将取得的样品在专门的高压物性实验室里做原油高压物性（PVT）分析得到的。由于油样是保持在地层原始状态下取得的，所以分析所得的饱和压力又叫它为原始饱和压力。其单位是大气压。

有时，饱和压力也可以从地面油、气分离器中取出油样和气样，按地层条件（地层压力和地层温度）模拟配制油样，进行分析测定。

2. 地层原油粘度

地层原油粘度表示原油在地下流动的难易程度，更明确地说表示地层原油从油层流向井底时所产生的流动阻力的大小。地层原油粘度越大，其流动性就越差。其单位厘泊或泊。百分之一泊等于1厘泊。1泊是这样的一个单位即用一标准液体，当它两层面积各为1平方厘米，两者互相距离1厘米，并以1厘米/秒的速度作相对流动时产生1达因的阻力。采油过程中往往要采取一些措施来降低地层原油的粘度，如化学降粘、井底电热降粘等以促原油在井底流动。

3. 地层原油密度

地层原油密度是指地层原油单位体积的重量。其单位是

克/厘米³。

地层原油密度在地层条件下与在地面条件下是不同的。因此决不能用地面原油的密度来代替地层原油密度。

4. 地层原油体积系数

地层原油体积系数即为在地面条件下单位体积的原油在地层条件下所占的体积。用数学表示式，即地层原油体积系数B为

$$B = \frac{V_{\text{地下}}}{V_{\text{地面}}} \quad (1-5)$$

我们把地层条件下1米³的原油采到地面时，由于温度、压力的降低，原来溶于地层原油中的气体分离出来了，致使其体积变小一些。因此，地层原油体积系数B，一般来说总是大于1的。

假设某油田原油体积系数B=1.15，这就是说，该油田原油体积在油层条件下比在地面条件下高15%。

5. 原油收缩率

地层原油采到地面由于压力降低逸出溶解气和温度的降低，致使其体积收缩。其收缩的百分数为地层原油收缩率(%)。

6. 地层原油压缩系数

地层原油压缩系数是指每增加或降低1个大气压，单位地层原油体积变化的数值。它的单位是厘米³/厘米³·大气压，工程上常用 $\frac{1}{\text{大气压}}$ 表示。

原油压缩系数不仅取决于压力和温度，更决定于原油中含气的多少。地层原油含气越多则其压缩系数也就越大。一般地层原油的压缩系数的变化范围为

$$7 - 9.5 \times 10^{-6} \text{ l/大气压}$$

地层原油具有压缩系数值，此表明在油层孔隙中的地层原油是一种弹性流体。因此，在地层中任一点的压力变化，不可能瞬间传到整个油层而是需要经过一定的时间。

7. 溶解系数

地层原油溶解系数是指在一定压力范围内，每增加一个大气压，在单位体积原油内能溶解的天然气的量。其单位厘米³/厘米³·大气压。溶解系数值越大表明在原油中溶解的天然气越多。

8. 油气比

每采出单位体积或重量原油的同时产出的天然气的量称为油气比，其单位是米³/米³或米³/吨。

油气比可分为原始油气比和生产油气比。

油田尚未投入开发时，在原始压力状态下所测定的油气比叫原始油气比；在油田开发过程中，所测定的油气比为生产油气比。

9. 地层原油热膨胀系数

地层原油与一般物质一样也具有热胀冷缩的特性。温度每变化一度时，单位体积的地层原油的体积变化值称原油热膨胀系数，其单位为米³/米³·℃。

第二节 流体从地层向井流动的基本条件

一、油井及油井的完成

地下石油能被采到地面上来的重要手段是油井。一口钻达目的油层的油井应该采取什么样的结构才能满足采油工程（包括试井）的求呢？