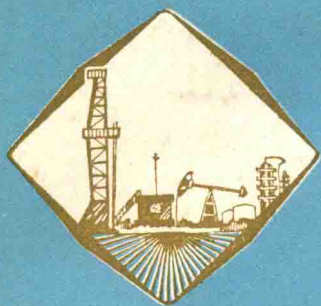




石油工业干部科技学习丛书

测井资料的应用

洪 有 密 编

石油工业出版社

石油工业干部科技学习丛书

测井资料的应用

洪有密 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

目 录

一、油、气、水层的特点	1
(一) 根据试油结果判断油、气、水层的标准	2
(二) 油、气、水层都是孔隙性、渗透性良好的储集层	3
(三) 油气层与水层的主要区别是含水饱和度有明显不同	5
(四) 油、气、水层在构造上的分布	6
(五) 油、气、水层的侵入特性	7
二、测井方法的特点及其综合应用	9
(一) 测井方法的特点	9
(二) 测井资料的综合应用	10
三、定性判断岩性、含油性和划分渗透层	15
(一) 标准测井图	15
(二) 组合测井图	19
四、计算储集层的基本参数	24
(一) 孔隙度	24
(二) 含油气饱和度	27
(三) 渗透率	28
(四) 油气层有效厚度	30
五、直观显示油、气、水层	30
(一) 复杂岩性解释成果图	31
(二) 砂泥岩剖面解释成果图	37
六、综合判断油、气、水层	40
思考题	42

石油工作者斗争的对象是油、气、水层。而油、气、水层往往埋在地下数千米甚至上万米处，我们如何认识和区分它们呢？一种方法是以钻井取心为主的，另一种方法是以测井资料的综合应用为主的。前者是一种直接认识油、气、水层的方法，需要耗费巨大的人力、物力和时间，不可能每口井都用。后者虽是一种间接认识油、气、水层的方法，但由于测井技术是建立在现代科学技术基础之上的，因而具有快速、准确、成本低和应用方便的特点，从钻井到油井管理的各个环节都少不了它。本文篇幅有限，不可能把这些应用一一列举，只能介绍其中一些基本的问题。

一、油、气、水层的特点

试油的时候，常常看到石油象喷泉一样流出来。地下是不是有一条石油河呢？不是的，石油和天然气是储藏在具有孔隙或裂缝、孔洞的岩石中的。我们把储藏油气的场所叫油气藏，一些大的油气田常常有不同类型的油气藏。图1是最简单的背斜油气藏剖面图，在背斜隆起的顶部是含气的岩石，两翼是含油的

岩石，再往下（包括向斜）是含水的岩石，通常简称为气层、油层和水层。我们把能够储藏油、气、水的岩石叫做储集层或渗透层，而把渗透层上面和下面的岩石叫做不渗透层，它们使油、气在储集层中保存下来。从图1可以看出，如果我们打井的位置不同，同一个储集层可能是油层，也可能是气层、油水同层或水层。那我们如何区分它们呢？油、气、水层有些什么共同点和不同点呢？这是我们用测井资料评价油、气、水层必须考虑的问题。

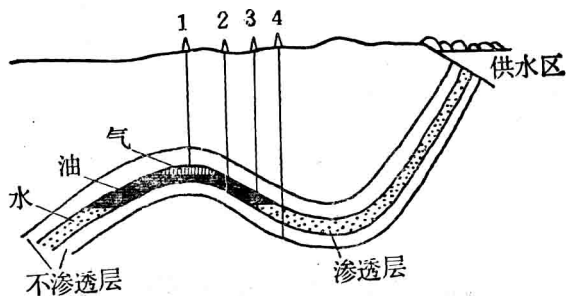


图1 背斜油气藏剖面图

（一）根据试油结果判断油、气、水层的标准

测井资料在油气勘探开发中最重要的应用之一，就是对勘探开发的目的层段找出油、气、水层。目前测井解释对一个储集层做出的结论，是根据试油结果划分的，主要有以下几种：

油层：产水小于 5 %，出纯油或带少量气；

气层：产水小于 5 %，出纯气或以产气为主；

油水同层：产水 5 ~ 90 %；

含油水层：产水大于 90 % 到见油花；

水层：完全出水，有时也把含油水层归入水层；

干层：按干层求产工作制度求出的日产量（油、水或油水同出）甚小。所谓“干层”，意思是不怎么出东西。

例如图 1，如果所画的储集层渗透性都很好，则 1 号井为气层（含油），2 号井为油层，3 号井为油水同层，4 号井为水层。

（二）油、气、水层都是孔隙性、渗透性良好的储集层

孔隙性好是指岩石有效孔隙度比较高。我们把彼此连通、又能让油气水在其中流动的孔隙称为有效孔隙，把有效孔隙体积占岩石体积的百分数称为有效孔隙度，常简称孔隙度。泥岩孔隙本来是比较多的，但因其孔隙直径非常小，连通性不好，油气水不能在其中流动，故为非储集层。

渗透性好是指油气水在岩石孔隙中比较容易流动。岩石渗透性好坏用渗透率表示，常用单位是毫达西。实验证明，当只有一种流体（油或气或水）通过

岩石时，其渗透率大小与流体性质无关，只与岩石结构有关。这时的渗透率叫绝对渗透率，测井资料计算的渗透率就是绝对渗透率。

有储集性质的岩石主要有两大类，一是孔隙性较好的砂岩、砾岩等碎屑岩，二是孔隙或裂缝、孔洞比较发育的生物灰岩、石灰岩、白云岩等碳酸盐岩石。碎屑岩的孔隙一般是在岩石形成的时候就有的，称为原生孔隙。而碳酸盐岩石储集层除了这种原生孔隙，还常常有裂缝和孔洞等次生孔隙，也称缝洞孔隙，后者对其储集性质有重大影响。碎屑岩储集性质的好坏主要与碎屑颗粒的粗细、分选好坏、磨圆程度及胶结物多少有关，一般颗粒愈粗、大小愈均匀、愈成圆球状、泥质胶结物愈少，则其孔隙性渗透性愈好。表1表示几种假想情况下的孔隙度和渗透率，但实际砂岩孔隙度的范围是3%~40%。原生孔隙度比较高的碳酸盐岩石（如生物灰岩），其储集性质与砂岩相似；而原生孔隙度比较低的碳酸盐岩储集层，其储集性质与砂岩差别较大，一般认为其孔隙和孔洞主要起储集作用，而裂缝主要起渗透作用。渗透率与裂缝的宽度大致有如下关系：

$$\text{渗透率} = 54000000 \times \text{宽} \times \text{宽}$$

如果裂缝宽0.001英寸（0.00254厘米），则渗透率可

达54000毫达西。在砂岩中极少见到这么高的渗透率。因此，用测井资料划分和评价碳酸盐岩石中的裂缝带是很重要的。

表 1 砂岩储集性质与其结构的关系

岩 石 结 构	孔 隙 度	渗 透 率
	47.6%	高
	47.6%	较 低
	25.9%	更 低

此外，碎屑岩储集层上下的隔层（不渗透层）一般是电阻率比较低的泥岩，而碳酸盐岩储集层上下的隔层一般是电阻率很高、孔隙性渗透性极差的致密碳酸盐岩石。我们把前者称为砂泥岩剖面，把后者称为碳酸盐岩剖面。这两种剖面在岩性组合和储集性质上的不同，必然使划分和评价储集层的测井方法有所区别。一般来说，对砂泥岩剖面储集层的评价要比碳酸盐岩剖面简单些。

（三）油气层与水层的主要区别是含水饱和度有明显不同

从油基泥浆取心和试油结果来看，油、气、水层

的岩石孔隙都是含水的，只是油气层含水较少，而水层含水较多或完全含水。岩石孔隙含水多少用含水饱和度表示，含油多少用含油气饱和度表示，两者加起来是100%。一般油气层的含油气饱和度在60%以上，有的高达80%以上，而水层含水饱和度大多接近100%，也有的只有70%左右。油气层与水层含水饱和度的差别，是用测井资料区分油气层与水层的主要依据。泥岩孔隙也是完全含水的，但水不能流动。

既然油水层都是含水的，为什么油层只出油而水层只出水呢？这是由于油水同时存在于岩石孔隙，油与水的流动能力是不同的。当油层含水饱和度很低时，油容易流动，水几乎不能流动，常称为束缚水饱和度。而当水层含油气饱和度较低时，水容易流动而油几乎不能流动，常称为残余油气饱和度。油与水含量比较相当时，油水都可以流动，便成为油水同层。

（四）油、气、水层在构造上的分布

如图1的背斜构造中，油气水在储集层中是按其比重大小分开的，最轻的气在上面，比水轻点的油在中间，水在下面。气与油、油与水之间大致有个分界面，但实际上是逐渐过渡的。这种背斜油气藏的特点之一，是它的油水界面深度基本一致。如果该储集层各处的渗透性都很好，则由于井位不同，同一储集层

可分别是气层（1井）、油层（2井）、油水同层（3井）、水层（4井）。如果同一个油水系统中有好几个储集层，则由上往下，每个储集层也可依次为气层、油层、油水同层和水层（图2）。如果其中某个地层的渗透性局部变差，也可在本井成为干层。

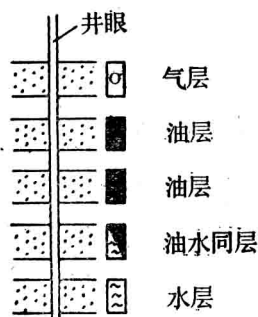


图2 同一油水系统中气、油、水层的分布

如果是由断层等其他封闭条件造成的油气藏，每个储集层中的油气水同样是按其比重大小分开的，但在同一井中油、气、水层的分布可能不象图2那么简单，有时在相邻的两个油层之间也可能出现水层。这就有必要用测井资料对每个储集层的性质作出比较准确的评价。

（五）油、气、水层的侵入特性

因为油、气、水层都是孔隙性渗透性良好的储集层，钻井时泥浆柱的压力常常大于地层压力，故在这个压力差的驱使下，泥浆中的水分（滤液）将不断往储集层孔隙中渗透，挤走一部分原来的流体。这种作用叫泥浆侵入。由于泥浆侵入的结果，在储集层井眼周围将形成一些不同性质的环带（图3），由里向外依次

是泥饼、冲洗带、过渡带和未侵入带（原始地层）。冲洗带是井壁附近受到泥浆强烈冲洗的部分，不论油气层与水层，冲洗带含水饱和度都很高。过渡带中，泥浆侵入的影响逐渐减小。有时也把冲洗带和过渡带统称为侵入带。油气层与纯水层（不含残余油气的水层）在侵入性质上的区别，是用测井资料评价储集层的重要基础之一。这些区别列于表2，其意义和应用以后还有介绍。

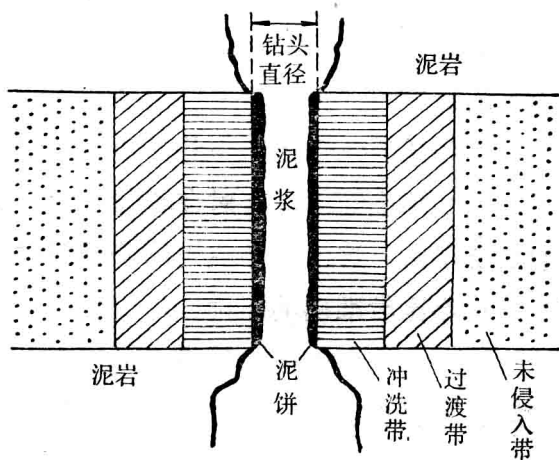


图3 储集层侵入特性（剖面图）

以上我们从地质角度对油、气、水层的特点作了粗略的介绍，下面谈谈如何运用测井资料判断、分析油、气、水层。

表 2 油气层与纯水层在侵入性质上的区别

		油 气 层	纯 水 层
孔隙流体	冲洗带	含盐量比较低的泥浆滤液为主，残余油气约20%	含盐量比较低的泥浆滤液为主，残余地层水约7%
	未侵入带	油气为主，少量地层水	全是含盐量较高的地层水
含水饱和度	冲洗带	50%到80%	100%
	未侵入带	20%到40%	100%
电 阻 率	冲洗带	比未侵入带要低（泥浆低侵）	比未侵入带要高（泥浆高侵）
	未侵入带	油气层未侵入带电阻率是纯水层电阻率3~5倍以上	

二、测井方法的特点及其综合应用

（一）测井方法的特点

要正确运用测井资料解决地质问题，不但应该知道油气水层的特点，还应该了解测井方法本身的特点。从测井资料的应用来说，需要特别注意以下两点。

1. 每一种测井方法都只从某一种物理性质上间接反映地层情况。地层情况是千变万化的，岩石的种类繁多、结构复杂，岩石孔隙性、渗透性变化范围也

很大，岩石孔隙中还有油、气、水含量的区别等。每一种测井方法只是反映地层的某一种物理性质，不可能完全反映地层这种千变万化的情况。如电阻率测井只是测量岩石的电阻率，而很多不同的岩石在特定的情况下都可能具有相同的电阻率，那就很难说电阻率多大代表什么岩石。这就是单独应用每一种测井资料时的多解性。

2. 每种测井方法的探测范围是有限的，有差别的。所谓每种测井方法的探测范围，是指它测量的结果主要反映这个范围物质对它的影响。例如，声波测井、密度测井和中子测井等孔隙度测井，其探测范围仅是离井壁10~20厘米内的冲洗带。在电阻率测井中，微梯度主要反映泥饼的影响（离井壁约3厘米），微电位主要反映冲洗带的影响（离井壁约7厘米）；探测范围比较浅的感应或侧向测井主要反映侵入带的影响，探测范围比较深的感应或侧向测井才能探测到未侵入带。每种测井方法在探测范围上的差别，既反映了每种测井方法的局限性，又提供了综合应用测井资料的可能性。

（二）测井资料的综合应用

由于测井方法有上述两个特点，几乎可以说单独应用任何一种测井方法都有一定的片面性。克服这种

片面性的最好方法，是根据地质任务选择多种测井方法进行综合测量，然后对测井资料和其他资料进行综合分析。测井方法繁多，正是适应这种综合应用的需要而发展起来的。下面我们先对测井资料的综合应用简要介绍一下，然后再就几个基本问题分题介绍。

1. 按地质任务选择综合测井方法

根据油田地质地球物理特点和预定的地质或工程任务，选择几种测井方法进行综合测井，是应用测井资料解决地质及工程问题的前提条件。大致有以下几种主要的综合测井方法。

(1) 标准测井（对比测井）

标准测井一般包括三条测井曲线：标准电极系视电阻率曲线，自然电位和井径（图4）。凡钻了一口井、都要从井底到井口测量这几条曲线。这些资料主要用来确定本井有些什么岩石，是那些地质时代的地层，并尽可能反映油、气、水层。在此基础上，可把不同井的资料进行对比（地层对比），研究构造形态（包括断层）和岩性岩相变化，帮助作钻井工程设计。许多地质图件都有电阻率和自然电位两条曲线。井径曲线除用来帮助判断岩性变化，还用来计算固井需要的水泥量。

(2) 组合测井（综合测井或横向测井）

组合测井主要用来详细研究和评价油、气、水层，只在勘探开发的目的层段进行测量。一般要求组合测井能准确判断地层的岩性和确定岩层的深度，区分出0.2米左右的薄层；能划分储集层并反映储集层冲洗带和未侵入带的区别；能准确判断油、气、水层，并计算油气层的孔隙度、含油气饱和度、渗透率、有效厚度、甚至岩石矿物成分和油气密度等。在此基础上，可作油层对比，计算油气储量，编制开发方案和制订增产措施。因此，组合测井是最基本的综合测井方法。

组合测井的内容并不象标准测井那样是固定不变的，除一些基本的测井方法外，可根据地质情况适当增减，而且随着测井技术的发展，不同时期有不同的组合测井方法。如我国早期使用梯度电极系横向测井，没有能反映岩石孔隙度的测井方法；六十年代开始使用能求孔隙度的声波测井，并用感应或侧向代替横向测井；七十年代开始使用密度测井求孔隙度，并开始发展双侧向测井等新技术。但同世界先进水平相比，我国目前测井方法的品种还不齐全，尤其是声波、密度、中子三种孔隙度测井还不配套；有的测井方法虽然有了，但在技术上还不怎么过关，各油田技术情况也不相同。因此，我国各油田是根据本地的地质地球物理特点和测井技术发展情况选择组合测井方

法，基本上有砂泥岩剖面 and 碳酸盐岩剖面两种类型。图 5 是砂泥岩剖面组合测井实例，其具体应用以后再分题介绍。

(3) 生产测井 (动态测井)

生产测井主要研究油气田开发过程中的生产动态，如油气层产量、含水量，油气层含水饱和度的变化、水淹情况和采收率，注水井分层吸水量等。测井方法包括油井分层测试仪、水井流量计、放射性同位素测井、中子寿命测井、地层测试器等。

(4) 工程测井

工程测井主要是为了检查工程质量和排除工程事故而进行的，如用井斜测量检查钻井的井身质量，用水泥胶结测井检查固井质量，用放射性同位素测井确定串槽位置，用井温、流体测量确定出气、出水层位，用微井径检查射孔质量，用电阻率曲线确定套管位置和井下金属落物等。

(5) 环境测井

环境测井主要是地层倾角测井，结合自然电位、电阻率等方法，可以研究地层及构造的形态、岩相变化和沉积环境，从而预测有勘探前景的地区。

以上几种综合测井方法虽然各有特定的用途，但也是互相联系的，尤其是组合测井在综合分析中是经

常用到的。因为这些综合测井大都也需要判断岩性、划分渗透层和油气水层、估计油气层的产能等，而要比准确地解决这些问题，都必须用到组合测井资料。这些问题也正是应用测井资料中最基本的问题。因此，我们以后将只讲测井资料这些最基本的应用，上面提到的其他应用，请参看地球物理测井方面其他专题的介绍。

2. 在详细占有资料的情况下综合解释

在测井资料的应用中，不但要综合应用有关的测井资料，而且应该综合应用有关的钻井、地质及工程资料。因此，深入实际，详细占有第一性资料，掌握油田的地质地球物理特点和本井的地质及工程情况，是综合应用测井资料的基础；对所有这些资料进行正确的综合分析，则是综合应用测井资料的关键。

直接反映地层情况的第一性资料，包括钻井过程中的油气水显示，钻井取心，井壁取心，岩屑录井，气测井，试油试水，以及对岩样和油气水样品的实验分析（如岩石成分、孔隙度、渗透率、含水饱和度、油气密度、地层水含盐量等）。对第一性资料和测井资料比较齐全准确的重点井，要将这些资料进行认真的综合分析，搞清楚油气水层的岩性、储油物性（孔隙度和渗透率）、含油性（含油气饱和度或含水饱和