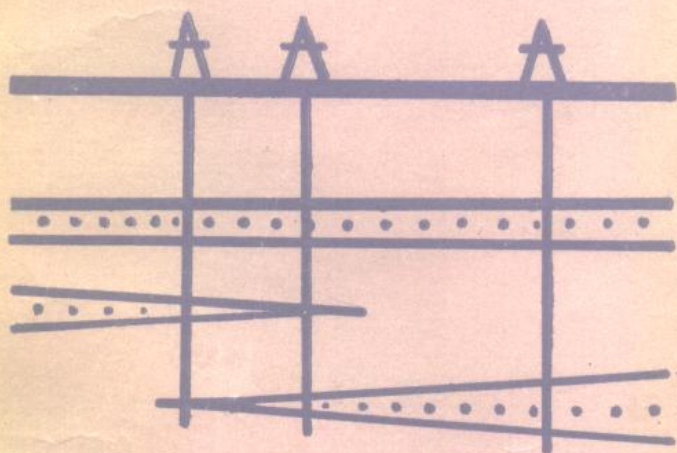


现场油水井 动态分析方法

韩丽卿 编



石油大学出版社

51898



51898

JZ33/007

现场油水井

动态分析方法



200418360



00361828



石油大学出版社

前 言

本书是为了进一步提高采油工人的油水井管理水平及地下动态分析能力而编写的培训中级采油工教材。

本书根据现场生产的需要，主要编写了进行油水井动态分析所必须掌握的采油地质，油田开发，生产动态指标的计算等方面的基础知识，以及现场油水井动态分析方法，同时汇编了不同类型的注采井组动态分析的实例。先后在胜利采油厂培训学校进行了试用。因为它是为中级采油工人编写的初等教材，所以它的内容浅显易懂、简明扼要，附有必要的图表。

编写本书一直得到胜利石油开发技校校长、高级讲师刘广同志的热情指导和支持。成稿后，曾先后请胜利采油厂地质所副所长孙学书工程师、胜利采油厂厂长刘保和高级工程师、局开发处高正轩高级工程师、局地质处陈铁梅高级工程师审核，提出了许多宝贵意见，谨在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，水平有限，难免有错误，恳请读者予以批评指正。

编 者

一九九〇年十月

目 录

绪论	(1)
第一章 油水井动态分析基础知识	(2)
第一节 储油层的主要特性	(2)
第二节 原油的性质及油田水的化学成分	(7)
第三节 油田的储量	(12)
第四节 注水开发中的三大矛盾	(15)
第二章 生产动态指标的计算	(19)
第一节 产油指标	(19)
第二节 油田压力指标	(24)
第三节 产水指标与注采比	(28)
第三章 油水井动态分析所必需的图表和曲线	(32)
第一节 地质图	(32)
第二节 曲线图	(38)
第三节 表格的设计和应用	(42)
第四章 油水井动态分析程序	(44)
第一节 资料的收集和整理	(44)
第二节 指标的对比与原因分析	(47)
第三节 存在问题及油水井措施	(51)
附：油水井动态分析实例	
一、调整平面关系，保证井组稳产	
——13173注采井组分析	(66)
二、34140注采井组堵水效果分析	(74)
三、协调注采关系，确保油井正常生产	
——3682注采井组分析	(84)

四、解决平面矛盾，保持井组稳产

——成立QC小组进行攻关……………(92)

五、39291注采井组分析……………(101)

六、调整注采关系，降低含水，保持井组稳产

——269注采井组分析……………(107)

绪 论

油水井的动态分析，是油田开发工作的一个重要组成部分，也是合理开发油田，管好油田必不可少的工作。它是采油队地质工程技术人员和采油工人经常性的任务之一。

据笔者到基层采油队的调查了解，深感目前采油工人油水井分析的能力和知识，远远不能适应油田开发以及油水井管理的需要。为此特向他们简明扼要地介绍油水井动态分析的有关知识和现场的一般分析方法。

一个油田在投入开发之前，油层内的油气水处于相对静止的状态。当钻井打开油层，油田投入开发后，这种状态就会受到破坏。油层中的油气水就会在各种压力（如水头压力、重力、毛细管力等）的作用下，产生流动和重新分布，整个油层都处在不停地变化之中。尤其注水开发的油田，随着注采时间的推移，各部分的相对运动加剧。对于非均质多油层的油田，由于油层内原始储量的不断减少，注入水的增多，各类油层的动态变化就更为复杂。在这种情况下，需要运用一切可能的理论方法和工艺技术手段，准确地说明油田在投产以后，地下油气水运动的情况和各种生产指标（如压力、产量、含水等）的变化情况，使我们对油田生产规律的认识符合客观实际。根据这些规律提出相应的调整措施，以达到充分发挥区块、井组、小层的生产能力，保持油田的高产稳产以提高最终采收率。

第一章 油水井动态分析基础知识

第一节 储油层的主要特性

石油在较高的压力和温度下，以流体状态存在于岩石的孔隙之中，分布于一定的面积之内。因此原油的产量在很大程度上取决于储油层的特性，它主要包括储油层岩石的孔隙性，渗透性和含油性。

一、储油层的孔隙度

岩石的孔隙体积与岩石的总体积之比叫岩石的孔隙度，是表示岩石中孔隙多少的指标。埋在地下的岩石，虽然受压力的作用和胶结物的粘结已经变得坚硬紧密。但是组成岩石的颗粒与颗粒之间仍有一定的孔隙，石油就是储存在这些小孔隙里。岩石的孔隙度分为绝对孔隙度和有效孔隙度。

1. 绝对孔隙度

是指岩石全部孔隙的体积（包括不连通的孔隙在内）与该岩石总体积的比值。

$$\text{绝对孔隙度} = \frac{\text{岩石全部孔隙体积}}{\text{岩石的总体积}} \times 100\%$$

2. 有效孔隙度

是指岩石中互相连通的孔隙体积与岩石总体积的比值。一般所指的孔隙度为有效孔隙度，用百分数表示。

$$\text{有效孔隙度} = \frac{\text{岩石互相连通的孔隙体积}}{\text{岩石的总体积}} \times 100\%$$

孔隙度是计算储量和评价油层特性的一个重要指标。砂岩的孔隙度一般在0.25—0.35之间。胜利油田沙二段油层的孔隙度在0.27—0.30之间。孤岛地区孔隙度通常达到0.3以上。

3. 影响孔隙度大小的因素

(1) 砂岩碎屑颗粒对孔隙度的影响

如果砂岩粒度均匀，孔隙度就比较大；如果砂岩粒度不均匀，则可能出现大颗粒中间充填小颗粒的现象，使孔隙度变小。如果颗粒直径大，孔道也大，孔隙度也就大。

(2) 胶结物对孔隙度的影响

砂岩主要胶结物是泥质和灰质。灰质中主要是石灰质和白云质。通常用胶结物在岩石中的含量来表示岩石的胶结程度。胶结物含量高，岩石比较坚硬；胶结物较少，岩石就比较疏松。灰质胶结比泥质胶结牢固。例如：胜利油田沙一段油层和孤岛油田油层的胶结物主要为泥质，其含量在6.5%—1.25%之间，由于胶结物含量少，而且是泥质胶结，因此在生产过程中油井易于出砂。

(3) 胶结方式对孔隙度的影响

胶结方式是指砂粒与胶结物之间的接触关系。

第一种为基底式胶结，胶结物含量很多，碎屑都孤立地分散在胶结物中，彼此不相接触。此种胶结的储油物性最差。

第二种为孔隙式胶结，胶结物含量较基底胶结少，胶结物多分布在碎屑颗粒之间的孔隙中，碎屑大都是互相接触

的，但仍有孔隙，故其储油物性较好。

第三种为接触式胶结，胶结物含量更少，只分布在碎屑岩颗粒接触的地方，其颗粒之间的孔隙常无胶结物，故其储油物性最好。

二、储油岩的渗透性

地下原油在一定的压差下，从岩石孔隙中流向井底，多孔岩石允许流体(油气水)通过的性质，称为岩石的渗透性。

在油井开采中，我们发现油井的产能与油层岩石的渗透性有着密切的关系。一般渗透性差的油层产能都比较低。当然油井的生产能力还与井底的压力差、油层厚度和原油性质有关。但渗透性的好坏也是影响产量的一个重要因素。因此，在油田开发以及油水井动态分析中经常应用到这个指标。

1. 渗透率

是指液体流过岩石的难易程度，是表示储油岩渗透性大小的指标。

目前，国际上通用的渗透率单位是平方米，以符号 m^2 来表示；或二次方微米，以符号 μm^2 来表示。

它们与达西、毫达西的关系为：

$$1 \mu m^2 = 1.01325 \text{ 达西} = 1013.25 \text{ 毫达西}$$

2. 绝对渗透率

当一种流体通过岩石，所测出来的渗透率叫绝对渗透率。在岩心分析中，一般用气体测定绝对渗透率，因为气体对岩石孔隙的影响很小。

3. 有效渗透率

在开采的大部分油层或区域，都是两种或两种以上的流体共存，如油—水，油—气或油—气—水等。有两种或两种以上的流体通过岩石时，岩石对其中一种流体的渗透率叫做对

这种流体的有效渗透率或相渗透率。

4. 相对渗透

有效渗透率与绝对渗透的比值叫相对渗透率。

$$\text{相对渗透率} = \frac{\text{有效渗透率}}{\text{绝对渗透率}}$$

岩石的绝对渗透率，反映了岩石的物理性质。岩石的有效渗透率，除了反映岩石的物理性质以外，还与流体的性质及流动特性有关。油田在开发过程中，油层的有效渗透率是在不断发生变化的，即油层中由油的单相流动变为油气水同时流动，岩石对油的有效渗透率就会随着这种变化而降低。

5. 渗透率在油层纵向上和平面上的差异

渗透率在油层纵向和平面上的差异是很大的。这是因为岩石在沉积成岩时，受许多因素影响。这些因素是：

(1) 岩石孔隙度的大小。岩石孔隙度大，则渗透率高。孔隙大小与组成岩石的颗粒大小有关，粗砂岩的渗透率比细砂岩的渗透率高。

(2) 岩石颗粒的均匀程度，如果岩石颗粒比较均匀，渗透率较高。如果颗粒大小不一，小颗粒常堵塞大颗粒之间的孔隙通道，因而影响原油的流动。颗粒的均匀程度叫分选，分选好的岩石渗透率高。

(3) 胶结物含量的大小，胶结物是使岩石颗粒相互联结的充填物质。胶结物含量多时，常包围着颗粒，充填了孔隙，使孔隙孔道变小，增加油流阻力，使渗透率降低。

渗透率在平面上和纵向上的差异与油田开发关系十分密切。纵向上的差异构成了注水开发中的层间矛盾和层内矛盾；平面上的差异构成了注水开发中的平面矛盾。它们成为

油田开发中的不利因素。

例如，胜坨油田二区沙二段油层在纵向上渗透率的差异是很大的。从以下资料可以明显看出：7³层平均渗透率为4—10 μm^2 ；7⁴层平均渗透率为1.7 μm^2 ；8砂层组的平均渗透率为3—10 μm^2 ；9砂层组为1.5 μm^2 。

在平面上的差异，以沙二段2²层为例，在不同的井点渗透率的差异是很大的。20139井2²层为4.86 μm^2 ；20102井2²层为9.10 μm^2 ；20132井2²层为2.8 μm^2 。

三、油层的含油性

油层绝大多数为沉积岩。这些沉积岩又是在水体中形成的。成岩之后在岩石孔隙中首先充满了水，石油是在生油层中生成后运移到储集层中去的。因此储油层中除了含有石油外，还有不同数量的残存水。我们把油层孔隙中含有石油的多少叫做油层的含油性，表示含油性大小的指标叫含油饱和度。含油饱和度是指油层孔隙中的石油体积与油层有效孔隙体积的比值。

$$\text{含油饱和度} = \frac{\text{油层孔隙中的石油体积}}{\text{油层有效孔隙体积}} \times 100\%$$

在原始状况下，如果油层中没有游离的气体，则油层孔隙中必然充满了油和水，也就是含油饱和度与含水饱和度之和应该是100%。

对于一个油藏来说，含油饱和度也不是一成不变的，一是随着油层岩性的区域性变化而变化；二是随着油田注水开发时间的延长，含油饱和度也会发生变化。含油饱和度是油田开发中的一项重要数据。通过它可以推算出油层含水的高低以及产能的高低。

总之，油层的孔隙度、渗透率和含油饱和度等项指标，均是与油水井的动态分析有着密切关系的重要资料。

作 业

1. 名词解释：

(1) 有效孔隙度 (2) 有效渗透率 (3) 含油饱和度 (4) 绝对渗透率

2. 将你所管的油井的有效孔隙度、有效渗透率和含油饱和度等资料收集并整理出来。

第二节 原油的性质及油田水的化学成分

石油是一种十分复杂的天然有机化合物的混合物。它主要是由碳、氢及少量的氧、硫、氮等元素组成。不同地区，不同时代的石油，化学组成和物理性质可有千差万别，但其元素组成却变化不大。

根据分析，世界上大多数石油的元素组成为：碳——80%~88%，氢——10%~14%，氧、硫、氮——0.3%~7%。我国各油田所产的油也基本在这个范围内。其具体数值是：碳——83%~86%，氢——12%~14%，氧加硫加氮——2%~3%。只有个别情况的原油含硫较高，可达7%以上。

一、地面原油的物理性质

地面原油的物理性质，取决于它们的化学组成，同一地区，甚至同一油田不同层位的石油，其物理性质可能也有明显的差别。

1. 颜色

石油的颜色不一，有无色透明、淡黄、黑绿、淡红、黑色等。我国川中某浅井的石油近于无色，克拉玛依的石油呈黑褐色。玉门、大庆、胜利油田的石油均为黑色。

石油的颜色，与其胶质、沥青质的含量有关，一般它们的含量愈高，颜色愈深。

2. 相对密度

原油的相对密度，是指在标准条件（温度在 20°C 和压力为 0.1 兆帕）下原油密度与 4°C 下纯水密度的比值。原油的相对密度变化比较大， 20°C 时，一般介于 0.75 — 1.00 之间。

大庆原油的相对密度： 0.857 — 0.860

胜利原油相对密度： 0.85 — 0.93

大港原油相对密度： 0.84 — 0.86

通常把相对密度大于 0.90 的石油，称为重质石油；把相对密度小于 0.90 的石油，称为轻质石油。相对密度大于 1.00 和小于 0.75 的石油，在自然界也有发现。我国胜利油田、伊朗、美国的加利福尼亚和墨西哥等处，就发现过相对密度大于 1.00 的石油。苏联拉罕石油的相对密度仅 0.71 。

石油的相对密度决定于：胶质、沥青质的含量，含量高者相对密度大；轻烃含量，含量高相对密度小；溶解气数量，含溶解气多者相对密度小。

相对密度是石油的重要物理参数之一，相对密度的大小反映了其石油工业价值。一般石油的相对密度小，表明轻馏份多，工业价值高。

3. 粘度

粘度是流体流动性能的量度。即流体流动时分子之间因内摩擦而引起的粘滞阻力的大小叫粘度。

粘度的单位是帕斯卡·秒和毫帕·秒。它与泊、厘泊的关系为：1泊= 10^{-1} 帕斯卡·秒；1厘泊=1毫帕·秒。胜利油田沙河街组原油的粘度为10—90毫帕·秒。

影响石油粘度的主要因素：石油相对密度增大，粘度升高；温度增高，粘度降低；压力增大，粘度升高；烷烃含量高粘度低；环烷烃含量高粘度高。

粘度的高低，决定了石油流动能力的强弱，与油井的产油量密切相关。为石油的一项重要物理参数。

原油的物理性质还包括：凝固点、初馏点、荧光性、旋光性、溶解性等。

胜利油田不同地区和不同的油层，原油的相对密度和粘度往往差异很大。因此，在油水井动态分析中，我们经常根据原油物性的化验资料来判定和鉴别主要出油层。

基层采油队通过原油全分析和半分析取得原油物性资料。半分析的内容为原油密度和原油粘度；全分析的内容为：原油密度、动力粘度、运动粘度、凝固点、初馏点、馏程等内容。

二、地层原油的物理性质

地层原油和地面原油在性质上有很大的差异。地层原油的许多物性与压力和溶解气有着密切的关系。因此，在油田开发过程中，由于地层压力下降，溶解气量的析出，使地层原油的性质在不断发生变化。

1. 地层原油的体积系数

地层原油的体积系数是指地层原油的体积与地面脱气原油的体积的比值。

$$B_{\text{油}} = \frac{V_{\text{地下}}}{V_{\text{地面}}}$$

式中: $B_{\text{油}}$ —地层油的体积系数;

$V_{\text{地下}}$ —原油的地下体积(米³);

$V_{\text{地面}}$ —地面脱气后原油的体积(米³).

在地层条件下的原油, 由于溶解大量的气体和热膨胀的影响大于弹性的影响, 所以原油的地下体积一般大于其地面体积。因此, 一般地层油的体积系数大于1。地层油的体积系数与油气的性质, 溶解气量以及温度、压力有关。油中溶解气量越多, 油的相对密度越小; 气的重组分越多, 相对密度越大。原油体积系数也就越大。

2. 地层油的压缩系数

地层油的压缩系数是指压力每增减一个兆帕时, 地层油的体积变化率。地层原油的压缩系数, 对分析油层驱油能量, 不稳定试井压力传导计算都是一个重要参数。

3. 地下原油的粘度

地下原油的粘度比地面原油要小得多, 这是因为地下温度高, 液体分子之间的吸引力相对减小, 所以液体的粘度就减小。另外, 地层油中溶解的气量, 原油中所含的沥青、胶质数量以及地层压力都是影响地层原油粘度大小的重要因素。

三、油田水

凡与油藏有接触的水统称油田水, 也称地层水。油田水的成分比较复杂, 这不仅因为油田水长时间同油气相接触, 而且还因为它原先被埋藏的时候, 来自不同的环境(如淡水湖、咸水湖和海水等等)。在埋藏之后又经历了相当长的复杂的演化历史。在这期间, 同其接触的周围岩石的性质、温度、压力的变化以及同地表水连通的程度, 都可给油田水的化学成分以重要影响。

1. 油田水中所含的主要离子

阳离子包括：钠 (Na^+)、钾 (K^+)、钙 (Ca^{2+}) 和镁 (Mg^{2+})；阴离子包括：氯 (Cl^-)、硫酸根 (SO_4^{2-})、碳酸氢根 (HCO_3^-) 和碳酸根 (CO_3^{2-})。

地层水生成于封闭的还原环境，所以它不含硫酸根离子；而地表水生成于氧化环境，所以它含硫酸根离子。因此，硫酸根离子的有无是区别地层水和地表水的依据之一。

2. 油田水的总矿化度

为了表示地层水中含有溶解物质的多少，常采用总矿化度这个概念。总矿化度是指溶解在水中矿物盐的总量，用毫克/升表示。即一升油田水中含有多少毫克的盐类。不同油田、不同油层的水，它们的矿化度差别很大。另外地层水和地表水的矿化度差别更大。在油水井动态分析中常常根据总矿化度和氯离子的多少来判定油井见的是注入水还是地层水。

3. 油田水的水型

根据油田水的总矿化度，可以对油田水进行大概的了解，但是要从本质上认识地层水的形成，并用以指导油田开发工作，还必须对水中的各种矿物盐类进行定量的分析。根据离子的不同含量，按苏林分类法可以把油田水分为不同的水型。即硫酸钠 (Na_2SO_4)、氯化钙 (CaCl_2)、氯化镁 (MgCl_2) 和碳酸氢钠 (NaHCO_3) 型水。不同的水型标志着油田水的不同成因。

硫酸钠和碳酸氢钠水型生成于大陆环境，表明油层或近或远与地面相连通，油田水与地面水相交替。

氯化镁水型生成于海洋环境，说明油层与地面不连通，而且含水层面积巨大。

氯化钙水型生成于地下深处的封闭环境，是典型的油田水。具有这种水型的油田，油层保存完好，油层不但不与地面连通，而且不与广大水层相连通，封闭良好。

在现场油水井动态分析中，我们经常根据油田水的水型和总矿化度来分辨注入水和地层水。胜利油田在注水开发初期，所注的是黄河水，其总矿化度一般在1000~4000毫克/升左右，水型为碳酸氢钠。边水或底水的总矿化度一般都大于10000毫克/升，水型常常是氯化钙或氯化镁。不同油田不同油层的水，它们所含离子的多少，总矿化度差别很大，水型也往往是不同的。

作 业 题

1. 什么叫总矿化度？油田水中所含的阳离子和阴离子有哪些？
2. 怎样利用水型和总矿化度进行油水井动态分析？
3. 调查你所管的油井，注黄河水时水型和总矿化度怎样？实行污水回注后水型和总矿化度又有什么变化？

第三节 油田的储量

石油储量是制定开发方案的物质基础，是确定矿场规模和开发年限的依据。储量计算不准就会给国家造成巨大的损失。

一、地质储量和可采储量

石油深埋在地底下，由于地质上和技术上以及经济上的各种原因，不能全部采出。通常把石油储量分为两类，即地质储量和可采储量。