

采油中的图表分析法

〔苏〕Л. И. 梅尔库洛娃 А. А. 金兹布尔格著

蔡尔范 译



石油大学出版社

ISBN7-5636-0200-3/TE·44

定价：2.50元

采油中的图表分析法

[苏]Л. И. Меркулова · А.А.Гинзбург

蔡尔范译

石油大学出版社



鲁新登字 10 号

内 容 简 介

本书叙述了对油井工作的图表分析方法,并特别说明了水淹油田开发后期利用该方法的优越性。该方法可用来搞清产层地质结构特征,并可用来解决与限制产水、预测开发指标、提高原油采收率、降低油层水淹速度等有关问题。分析了各种强化开发方法对油井含水动态的影响。表明了不用地球物理测井方法确定水流入油井途径的可能性,以及对堵水效果和措施井选择作出评价的可能性。

本书供从事油田开发和采油工作的工程技术人员使用。

采油中的图表分析法

[苏]Л. И. Меркулова А.А.Гинзбург

蔡尔范译

石油大学出版社出版

新华书店发行

江汉石油学院印刷厂印刷

开本 787×1093 1/32 印张 4.75 字数 115 千字

1991 年 5 月第一版 1991 年 5 月第一次印刷

印数 1-2000 册

ISBN7-5636-0200-3/TE·44 定价: 2.50 元

目 录

第一章 油井含水动态分析方法	(1)
§ 1 油井含水动态	(2)
§ 2 油井驱替特征曲线	(3)
§ 3 油井含水特征曲线	(4)
§ 4 含水特征曲线类型	(7)
§ 5 根据含水特征曲线对油井工作 某些指标的预测	(11)
§ 6 含水特征曲线类型与油层地质 结构特征的关系	(13)
§ 7 确定水侵入生产井的途径	(18)
§ 8 油水过渡带油井的含水特征	(26)
§ 9 地层压力变化对油井含水 动态的影响	(31)
§ 10 根据油井对地层压力变化 反应将油井分组	(32)
§ 11 含水率低速增长井	(34)
§ 12 含水率中、高速增长井	(39)
§ 13 博布里科夫层的井	(45)
§ 14 地层压力对含水特征曲线 形状的影响特征	(47)
第二章 堵水效果	(52)
§ 1 堵水效果评价方法	(52)

§ 2	管外窜槽的封堵	(56)
§ 3	底水的封堵	(60)
§ 4	油井含水特征类型与堵水 效果的关系	(63)
第三章	开发指标预测	(66)
§ 1	图表预测法	(67)
§ 2	用于短期预测的自适应法	(81)
§ 3	用含水特征曲线评价提高 采收率方法的工艺效果	(88)
第四章	含水层各种提高采收率方法 的工艺效果	(94)
§ 1	点状注水	(95)
§ 2	注硫酸	(102)
§ 3	注表面活性剂	(114)
§ 4	注磷酸三钠溶液	(124)
§ 5	间歇注水	(132)
§ 6	各种注水提高采收率方法的 效果对比	(138)
参考文献		(144)



第一章 油井含水动态分析方法

在天然或人工弹性水压驱动下开发油田，其油井往往较早就会见水。每个油田，甚至其个别区块的水淹特征往往也有很大差别，其水淹特征取决于产层的地质物理特征，地层所饱和液体性质，以及开发条件和油井井底状况等。

上述因素，即使是在一个油藏范围内，对各井水淹特征的影响也不相同。因此，水淹过程有其自己的特征，并在不同的油井生产条件、甚至不同的油藏开发条件下，其影响也不相同。

油井含水采油将带来很多弊端：缩短最便宜的自喷开采期，为了保持地层压力而增加注入水量，提高含水原油的开采成本和运输费用，增加原油初加工成本等。

含水采油将使油藏储量的开采过程复杂化。多层层系的开发，当含水率比较大时，有时会使一些地层压力低的小层不出油。被底水所淹井的开采将使含水储集层的压力下降，而该含水储集层为天然水压驱动下的供给源。这时，油井的生产能力下降，在很大程度上还由于盐与石蜡在设备壁上析出，并使其腐蚀。这些都会破坏所给定的油层开采工作制度。根据水淹井的生产条件可以确定油藏开发工艺。因此，生产井水淹过程的研究，研究并查明决定其某个特征的因素，将有助于发现解决提高整个油藏采收率问题的途径。

§ 1 油井含水动态

虽然单个井的水淹特征是各种各样的,但收集、整理大多数井的油矿资料可以确定出典型的水淹动态。例如在著作^[19]中对波克罗夫油田 A_4 层油井提出有下列含水特征(图 1):

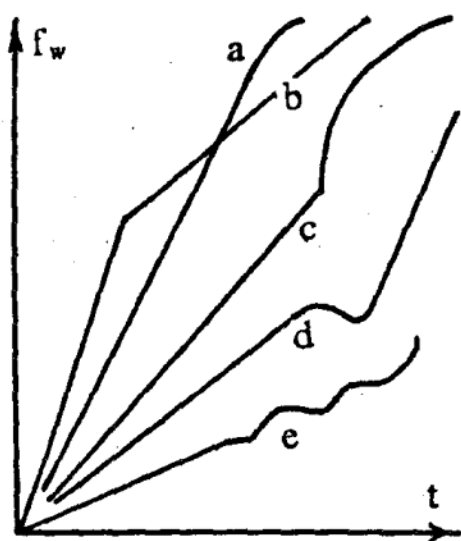


图 1 典型含水-时间关系曲线

- 1) 见水后含水率均匀增长,直至开采结束,即一直生产到经济极限(曲线 a);
- 2) 含水率开始增长很快,然后变缓(曲线 b);
- 3) 含水率开始增长较慢,后来增长很快(曲线 c);
- 4) 在含水率长期平缓增长以后有一短时期的下降,然后增长较快(曲线 d);
- 5) 在其总的增长背景下有若干短时期的下降(曲线 e)。

对巴夫雷油田 Π_1 层油井含水特征的研究,可得出另一种含水动态的分类^[40]。曾分出六种水淹特征的油井。第一

组油井在若干年生产过程中含水率基本上保持常数(变化不大)。第二组油井的含水率随时间缓慢而有规律地上升。第三组油井在长期生产中含水率不变或增长很缓慢,然后很快水淹。第四组油井的含水是其它层(下或上层)水的侵入,这是由于固井质量不高或套管损坏。第五组(Π_1 层的大多数井)油井在一些年含水率小于1%。第六组油井在生产初期就采出大量水,然后未进行堵水而自行消失,这类特征基本上反映了油水边界和含油边界的推进。

上述两种油井含水动态分类组合起来可以得出五至七种典型含水随时间的变化动态。在对鞑靼各油田大量采油井含水特征分析研究中发现有类似情况。

§ 2 油井驱替特征曲线

当用横坐标为时间的图幅来分析含水过程时,往往不能判断油井的工作特征。因此为了解决当前的开发实际问题和个别井工作指标预测问题,这样的图表并不合适。为此目的常用所谓驱替特征曲线(或为累积产油量与累积产液量关系曲线,或为累积产水量与累积产油量关系曲线^[36,41]等)。该驱替特征曲线能反映出在该井泄油范围内所发生的现象和各因素影响下的水驱过程特征。用累积产液量-累积产油量为坐标的图幅具有曲线形状,这将使其难以用函数来近似。因此用其难以分析和预测油井的开发指标。图2(曲线a)为对北阿利梅季耶夫区5658井用上述坐标绘制的驱替特征曲线。

采用对数与半对数坐标并不能使它显著地线性化(见图2,曲线b)。因此,一般用在油井开采结束阶段高含水率时的资料8来绘制曲线,因为这时的曲线比较平缓。但当将这

些关系式外推时只能用于油井工作指标的短期预测。用这些图表所估算的储量可能有很大的误差，这是由于当其驱替特征的含水率进一步增长时，曲线的斜率将不断地变化，并趋向于与横坐标平行的方向。由于半对数坐标没有明显的物理含义，采用驱替特征曲线来分析油井工作情况就很复杂。

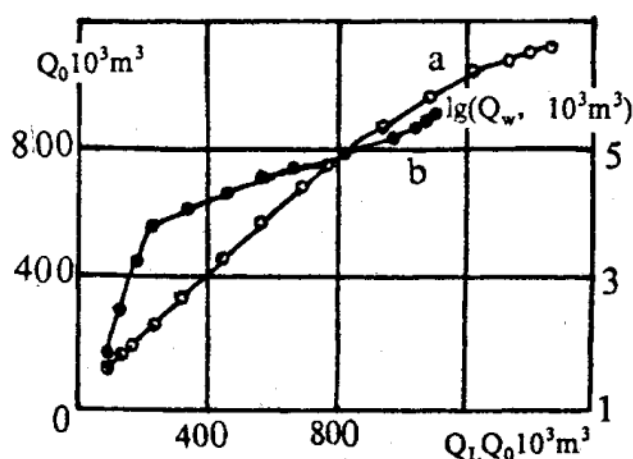


图 2 北阿利梅季耶夫区 5658 井的驱替特征曲线

对油井泄油区可采储量的估算有着很大的意义。在这些资料的基础上可以确定区块的采收率，确定油井工作制度，选择补钻井的井位，评价所采用的井网效率及其合理井网密度^[41]。并且用来估算可采储量的前阶段生产时间越长，则所取得的资料意义越大。

我们认为，用油井的含水特征曲线可以顺利地对口井进行含水特征研究，并确定其工作指标。

§ 3 油井含水特征曲线

今后我们将用油井从其含水开始起的资料所绘制的图表称之为油井含水特征曲线。采用下列无因次坐标：

$$Y = \frac{Q_{o.w}}{Q_{o.w} + Q_w}, \quad X = \frac{Q_{o.w} + Q_w}{Q_{o.w.e} + Q_{w.e}} \quad (1)$$

式中 Q_w , $Q_{o.w}$ ——分别为油井含水产油期当前累积产水量和累积产油量, 地下立方米;

$Q_{w.e}$, $Q_{o.w.e}$ ——分别为分析日期, 即在绘制含水特征曲线时在含水采油期内的累积产水量与累积产油量, 地下立方米。

因此含水特征曲线表示(作为分析日期累积产液量百分数的)含水采油期间累积产油量, 随累积产液量的变化情况。通常该关系曲线能较好地近似为直线段。这是由于累积产油量与累积产液量关系曲线, 按其形状来说, 能用二阶抛物线段来描述。

图 3 为 5658 井的含水特征曲线, 其驱替特征曲线见图 2。该井 1963 年 5 月投产。其无水产油期一直延续到 1965 年 5 月, 其无水采油量为 68799t。绘制特征曲线时, 其平均含水已达 92%。采出的伴随水密度为 $1100\text{kg}/\text{m}^3$ 。将原油换算为地下体积的换算系数, 与整个罗马什金油田的 Π_1 层相同, 为 1.4。

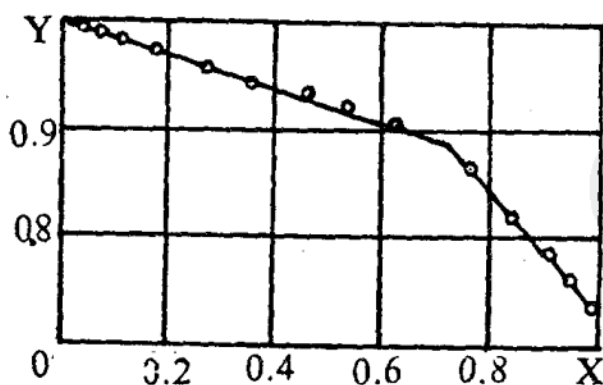


图 3 5658 井含水特征曲线

所绘制的油井无因次含水曲线有两个明显的直线段，其每一个直线段可以用线性回归方程来近似： $y=a-bx$ (2) 式中 a 与 b ——分别为含水特征曲线每条直线段回归方程的截距与斜率。

这些参数可按下列公式用最小二乘法求出：

$$a = \frac{\sum y_i + b \sum x_i}{m}; \quad b = \frac{\sum x_i \sum y_i - m \sum (x_i y_i)}{m \sum (x_i)^2 - (\sum x_i)^2}$$

式中 m ——含水特征曲线直线段上的点数；

x_i, y_i ——这些点的坐标。

方程(2)中 x 与 y 之间的相关程度可用相关系数表示：

$$r = -b \sqrt{\frac{m \sum (x_i)^2 - (\sum x_i)^2}{m \sum (y_i)^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (4)$$

5658 井含水特征曲线两段直线段的相关系数值接近于 1(大于 0.99)。因此可以认为图上这两段实际上是线性的。

对罗马什金油田 Π_1 层大量井的含水特征曲线研究表明，其中大约有 80% 的曲线可以近似地用直线段表示。这样的直线段可以有 1 至 3 段。而每一直线段的描述仅限于油井的相应含水期(相应的工作阶段)。

其它开发层系(新叶尔霍夫油田 Π_1 层，什卡波夫油田 Π_1 与 Π_4 层，杜玛兹油田 Π_1 层)油井含水特征曲线的形状与罗马什金油田 Π_1 层油井含水特征曲线类似。应指出，总的来说上述层系具有相似的地质结构，为渗透率相近(约为 0.18—0.6 μm^2)的砂岩，其地下原油粘度为 6 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

§ 4 含水特征曲线类型

为了搞清含水特征曲线的特点曾分析了罗马什金油田 Π_1 层原先射开纯油层的 670 口油井工作情况。只分析了在绘制含水特征曲线时含水率大于 70% 的油井。此外，对这些含水井是按下列要求来选择的：

a) 到进行分析时，含水采油时间不少于 2.5-3 年。如果在短时期内含水，然后长时期无水采油，原则上在绘制含水特征曲线时不应考虑这些资料。

b) 从含水时起到绘制含水特征曲线时止从未进行过堵水，补孔，改变射孔井段，用封隔器隔去射孔井段的边缘部分，并且还尚未采用过单井各层分采措施。

当满足上述条件时就可以对只处于天然地质物理因素影响下的油井用含水特征曲线进行分析。

对油井含水过程的资料进行研究，曾找出五种含水特征曲线类型。与此相适应的是可将油井划分为五个组(图 4)。

第一组井的含水特征曲线是由两个直线段所组成(见图 4, a, 曲线 1)。第一直线段相应地为油井初始含水阶段，其与横坐标轴的交角相对较小(有时它与该轴平行)。第二直线段与横坐标的交角较大。由第一直线段转为第二直线段的时间相对应于当前含水率与含水上升速度剧烈增加的时候。

我们将油井含水率平均上升速度 w (其值为采出单位体积液体的含水率增量，%) 作为评价含水上升速度的参数。在第一直线段内含水率上升速度为常数，当由一直线段转为另一直线段时其值发生变化。因此，在第一类含水特征曲线上直线段向下转折表示油井下一阶段工作的含水率将相应地

明显增长。

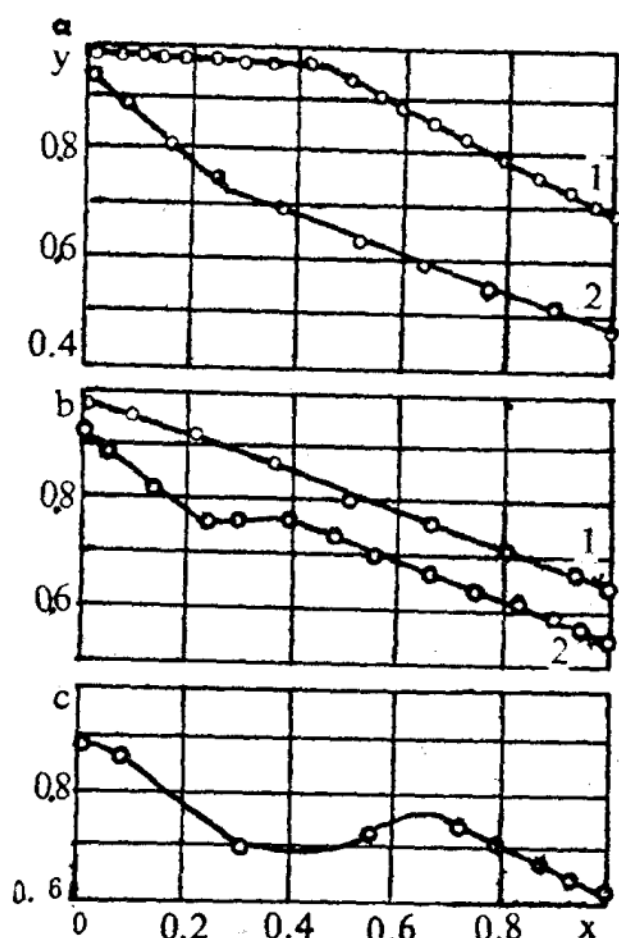


图 4 油井含水特征曲线

a: 1—第一类(巴夫洛夫区 392 井); 2—第二类(北阿利梅耶夫区 5526 井); b: 1—第三类(西列宁诺戈尔区 6202 井); 2—第四类(卡拉马林区 2917 井); c—第五类(北阿利梅季耶夫区 5694 井)。

在 670 口所研究的井中, 具有第一类含水特征的井为 36%。

第二类油井含水特征曲线(见图 4, a, 曲线 2)是由两段曲线所组成。但其初始直线段与后一直线段相比, 斜率较陡。由第一直线段转为第二直线段的转折点处油井含水率上升速度开始明显下降。这类油井占所研究井数的 29%。第

- 三组油井的含水变化过程可以用第三类含水特征曲线来描述(见图 4, b, 曲线 2)。对第三组井所绘制的含水特征曲线不同于第一, 第二类特征曲线, 不是由两段, 而是由三个直线段所组成。与第二类含水特征曲线一样, 其第一直线段较陡, 第二直线段较平缓, 有时它几乎与横坐标轴平行。这表示这一阶段的含水上升速度很小。第三直线段较陡(与第二阶段相比)。具有第三类含水特征曲线的井占总井数的 8%。

由上述分析可以看出, 73%的油井, 即三分之二以上的井, 可以近似为具有一个或两个转折点的直线段。

第四类含水特征曲线(见图 4, b, 曲线 1)为一直线。显然, 第四组油井只具有一个生产阶段, 一直到其完全水淹, 属于该组的还有前两类油井, 但转折点相对应于其生产结束时, 这组井的含水上升速度是很高的。

第五类含水特征曲线(见图 4, c)为曲线。这表明其含水上升速度是不断变化的, 其变化方向是正的, 也可能是负的。在其纵坐标轴的增长区段, 速度 w 是负的, 在其减少区段, w 为正值, 在其极值点处, w 为零。具有这类含水特征曲线的油井约占总井数的 18%。

当对具有不同含水特征的油井在各油田平面上的分布作研究时可以发现, 各类曲线的分布资料与其全油田总平均分布值有偏差。例如, 第一类油井含水特征曲线为: 奇什明区(48%), 塔什利亚尔区(44%), 明尼巴耶夫区(44%), 阿兹纳卡耶夫区(43%), 巴夫洛夫区(31%), 阿利克耶夫区(27%)。

第二组油井在下列区块分布为最广: 东苏列耶夫区(33%), 阿利克耶夫区(39%), 东列宁诺戈尔区(45%)。第

二组油井在很多区块的比例很小。例如，塔什利亚尔区为8%，阿布德拉马诺夫区和奇什明区分别为18与19%。

第三组井在泽列诺戈尔区(17%)和阿布德拉马诺夫(12%)区为最多。而在东列宁诺戈尔区和巴夫洛夫区这组井连一口也没有。

在对阿兹纳卡耶夫，塔什利亚尔，奇什明等区油井进行分析时，没有发现哪怕是一口井具有第四类含水特征。在北阿利梅季耶夫区这类井占16%，巴夫洛夫区占13%。当对阿布德拉马诺夫区油井工作指标进行分析时发现具有第四类含水变化特征曲线的油井最多(22%)。

具有第五类含水特征曲线的油井比 Π_1 层平均值大的有塔什利亚尔区(37%)，奇什明区(22%)与巴夫洛夫区(22%)。而在明尼巴耶夫区和东列宁诺戈尔区其比例很小(分别为7与9%)。

进行含水分分类分析的井，在与注水井井排关系，以及含油边界的关系等方面完全是任意的。因此，对各区和各油田在含水特征类型方面分布上的差别，显然，是取决于地质结构的不同。

但同一油田的油井含水特征曲线不仅仅是在外部形式(类型)方面不同，甚至当其为同一类型时，其参数(截距，转折点坐标，转折点的含水率，含水上升速度)也不相同。搞清含水特征(其类型，基本参数)与地质结构的关系是很有意义的。

§ 5 根据含水特征曲线对油井 工作某些指标的预测

所作的分析表明, 80%以上的井在其工作结束阶段含水特征曲线为直线段。因此, 当油井含水特征曲线的类型已经确定, 并且其含水阶段相对应于最后直线段时(一般当含水率为 30—70%时)就有可能预测其工作指标。其关系可按下列方式得到。

对于直线段方程(2)可表示为:

$$y = a_y - \frac{b_y}{b_x} x \text{ 或 } x = \frac{b_x}{b_y} (a_y - y) \quad (5)$$

式中 b_x , b_y ——直线段 CD 或任一与其平行直线 AB 在坐标轴上的截距(图 5); a_y ——直线段 CD 在纵坐标轴上的截距。

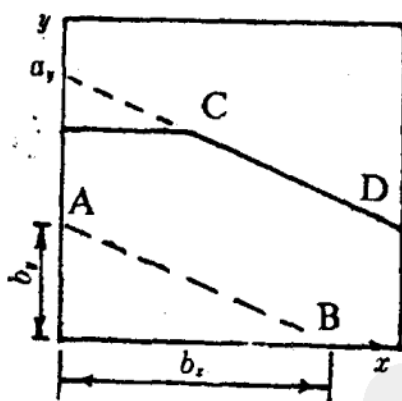


图 5 确定油井工作指标预测值示意图

a_y , b_x , b_y 可以用最小二乘法解析表达式(3), 或简单地用图解法确定。这样所求得的精度对于解决实际问题足够了。