
《油层物理学》

第四章

第一节、地层油的高压物性

第二节、地层水的高压物性

第三节、地层油、气高压物性参数的测算

第四节、流体高压物性参数应用示例——
油气藏物质平衡方程

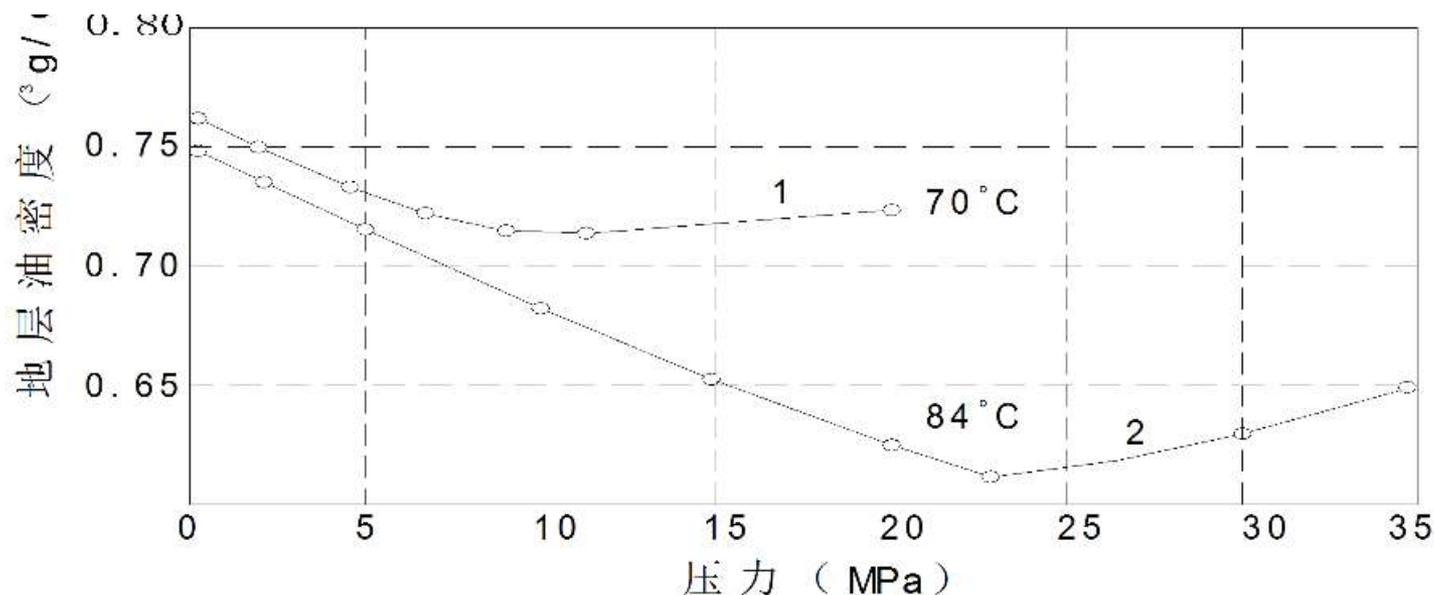
第一节 地层油的高压物性参数

- 1 地层油的密度和相对密度
- 2 地层原油的溶解气油比
- 3 地层原油的体积系数
- 4 地层原油的压缩系数
- 5 地层原油的粘度
- 6 原油凝固点

第一节 地层油的高压物性参数

1. 地层油的密度和相对密度

地下原油由于溶解有大量的天然气，因而其密度与地面脱气原油密度相比通常要低。地下原油密度随温度的增加而下降。随压力的变化关系比较复杂，以饱和压力为界，当压力小于饱和压力时，由于随压力增加，溶解的天然气量增加，因而原油密度减小；当压力高于饱和压力时，天然气已全部溶解，随压力增加原油受压缩，因而原油密度增大（图4—1）。



2. 地层原油的溶解气油比

地层油的溶解气油比 R_s 是指单位体积地面原油在地层压力、温度下所溶有的天然气在标准状态下的体积。

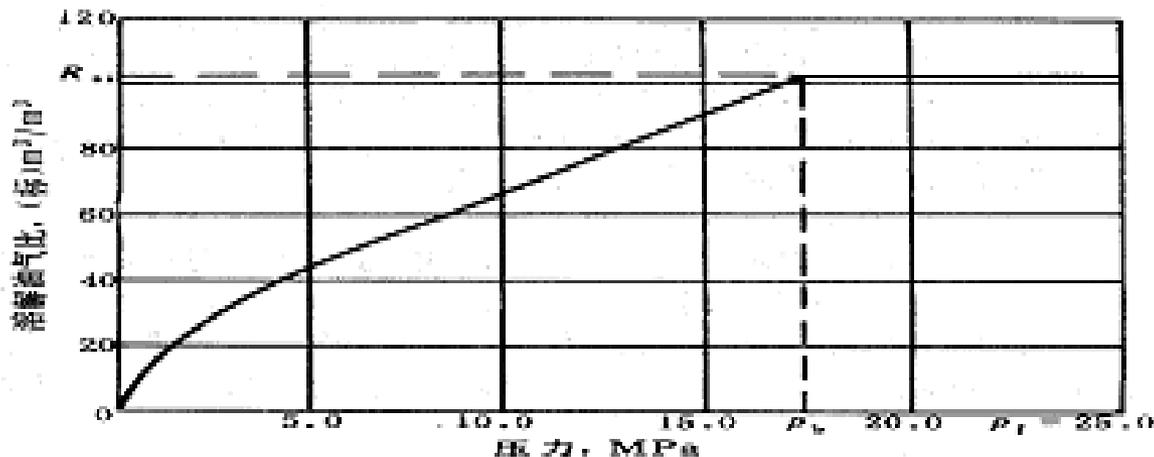


图 4-2 典型地层油接触脱气溶解气油比曲线

图4—2给出了某地层油在71℃下一次脱气的溶解气油比与压力的关系，它是典型的未饱和油藏的溶解曲线。

由图可见：地层压力高于饱和压力时的溶解气油比均为原始溶解气油比 R_{si} 。当地层压力降至低于饱和压力后，随着压力降低一部分气体已从地层原油中逸出，溶解于原油中的气量减少，故溶解气油比 R_s 减少。如果将油、气加压溶解，则随着压力的增加，溶解气油比越来越大，当 $P = P_b$ (饱和压力)时，溶解气油比为 R_{si} ，气体全部溶解完毕，压力继续增大直到原始地层压力，溶解气油比不再变化。

1.3 地层原油的体积系数

1、地层原油体积系数

原油地下体积系数，简称为原油体积系数，是原油在地下的体积(即地层油体积)与其在地面脱气后的体积之比，用 B_o 表示，即：

$$B_o = \frac{V_f}{V_{os}}$$

2、原油收缩系数

地层油由地下至地面脱气后，其体积必然变小，这种现象称为地层原油的收缩，收缩的程度用原油收缩系数或原油收缩率表示：

(1) 定义收缩系数为原油体积系数的倒数，即 $\delta_o = 1 / B_o = V_{os} / V_f$ 。用收缩系数乘以地层条件下的体积，可求得地面脱气油体积；反之，用体积系数乘以地面脱气油体积，也可求得地层油体积。这样很方便地进行地面油体积与地层油体积的换算。

(2) 收缩率定义为 $\beta = (V_f - V_{os}) / V_f = (B_o - 1) / B_o$ 。从物理意义上讲， $V_f - V_s$ 反应了原油采至地面后体积的收缩量。

地层原油体积系数随油层压力的改变而变化，图4—3中实线给出了原油体积系数随压力的变化关系，从中可以看出：

(1) 当 $P < P_b$ 时，随地层压力的降低，溶解气量减小，地层油体积 V_f 收缩，故 B_o 随压力降低而减小。

(2) 当 $P > P_b$ 时，体积系数随压力的增加而降低。这是由于地层油受压缩，地层油体积 V_f 缩小，故 B_o 也减小。

(3) 当 $P = P_b$ 时，溶解气油比 R_s 最大，体积系数 B_o 也最大。

4、地层油气两相体积系数

地层油气两相体积系数是指:当油层压力低于饱和压力时,地层中原油和析出气体的总体积与它在地面脱气后原油体积之比,用符号 B_t 表示。

$$B_t = \frac{V_f + (R_{si} - R_s)V_{os} \cdot B_g}{V_{os}} = \frac{V_f}{V_{os}} + (R_{si} - R_s)B_g = B_o + (R_{si} - R_s)B_g$$

(1)当地层压力大于或等于饱和压力(即 $P \geq P_b$)时, $R_s = R_{si}$, 使 $R_{si} - R_s = 0$, 则 $B_t = B_o$, 即两相体积系数等于单相油体积系数。

(2)当地层压力降低到地面大气压时, 油中溶解气全部脱出, $R_s = 0$; 此时, $B_g = 1$, $B_o = 1$, 故得出 $B_t = 1 + R_{si}$, 此时 B_t 为最大值。

(3)由于 B_o 、 B_g 、 R_s 均为压力 P 的函数, B_t 也是压力的函数, B_t - P 关系曲线如图4—3中虚线所示。

(4) B_t - P 曲线只在 $P < P_b$ 时才存在, 因为当 $P > P_b$ 时为单相油。

1.4 地层原油的压缩系数

所谓原油压缩系数是指地层油体积随压力的变化的变化率。

在等温条件下原油的压缩系数定义为：

$$C_o = -\frac{1}{V_f} \left(\frac{\partial V_f}{\partial P} \right)_T \approx -\frac{1}{V_f} \cdot \frac{\Delta V_f}{\Delta P} = -\frac{1}{V_f} \frac{V_b - V_f}{P_b - P}$$

$$C_o = -\frac{1}{B_o} \frac{B_{ob} - B_o}{P_b - P}$$

第四章 地层流体的高压物性

我国油田名称	R_{si} (标) M^3 / m^3	B_o	C_o $\times 10^{-4} MPa^{-1}$	国外油田名称	R_{si} (标) m^3 / m^3	B_o
大庆油田 P 层	48.2	1.13	7.7	格比尔—玛利 (罗马尼亚)	1.1	1.05
大港西区 44 井 M 层	37.3	1.09	7.3	米德兰·范姆斯 诺斯(美国)	11.0	1.07
胜利油田营 一 4 井	70.1	1.22	—	玻璃瓦油田 (委内瑞拉)	85.1	1.26
孤岛渤 26—18 井 G 层	27.5	1.10	7.3	帕宾拉油田狄 姆砂层(加拿大)	89.0	1.25
任丘油田 Ps 层	7.0	1.10	10.35	阿加贾里 (伊朗)	190.0	1.42
玉门油田 L 层	65.8	1.16	9.6	北海油田埃克 菲斯克(挪威)	580.0	1.78

4、地层油气两相体积系数

地层油气两相体积系数是指:当油层压力低于饱和压力时,地层中原油和析出气体的总体积与它在地面脱气后原油体积之比,用符号 B_t 表示。

$$B_t = \frac{V_f + (R_{si} - R_s)V_{os} \cdot B_g}{V_{os}} = \frac{V_f}{V_{os}} + (R_{si} - R_s)B_g = B_o + (R_{si} - R_s)B_g$$

(1)当地层压力大于或等于饱和压力(即 $P \geq P_b$)时, $R_s = R_{si}$, 使 $R_{si} - R_s = 0$, 则 $B_t = B_o$, 即两相体积系数等于单相油体积系数。

(2)当地层压力降低到地面大气压时, 油中溶解气全部脱出, $R_s = 0$; 此时, $B_g = 1$, $B_o = 1$, 故得出 $B_t = 1 + R_{si}$, 此时 B_t 为最大值。

(3)由于 B_o 、 B_g 、 R_s 均为压力 P 的函数, B_t 也是压力的函数, B_t - P 关系曲线如图4—3中虚线所示。

(4) B_t - P 曲线只在 $P < P_b$ 时才存在, 因为当 $P > P_b$ 时为单相油。

4、地层油气两相体积系数

地层油气两相体积系数是指:当油层压力低于饱和压力时,地层中原油和析出气体的总体积与它在地面脱气后原油体积之比,用符号 B_t 表示。

$$B_t = \frac{V_f + (R_{si} - R_s)V_{os} \cdot B_g}{V_{os}} = \frac{V_f}{V_{os}} + (R_{si} - R_s)B_g = B_o + (R_{si} - R_s)B_g$$

(1)当地层压力大于或等于饱和压力(即 $P \geq P_b$)时, $R_s = R_{si}$, 使 $R_{si} - R_s = 0$, 则 $B_t = B_o$, 即两相体积系数等于单相油体积系数。

(2)当地层压力降低到地面大气压时, 油中溶解气全部脱出, $R_s = 0$; 此时, $B_g = 1$, $B_o = 1$, 故得出 $B_t = 1 + R_{si}$, 此时 B_t 为最大值。

(3)由于 B_o 、 B_g 、 R_s 均为压力 P 的函数, B_t 也是压力的函数, B_t - P 关系曲线如图4—3中虚线所示。

(4) B_t - P 曲线只在 $P < P_b$ 时才存在, 因为当 $P > P_b$ 时为单相油。

1.5 地层原油的粘度

地层原油粘度是石油工程计算中的重要参数之一。它是影响油井产量的重要因素，有些原油由于粘度过大，致使油井无法产油。

1.5 地层原油的粘度

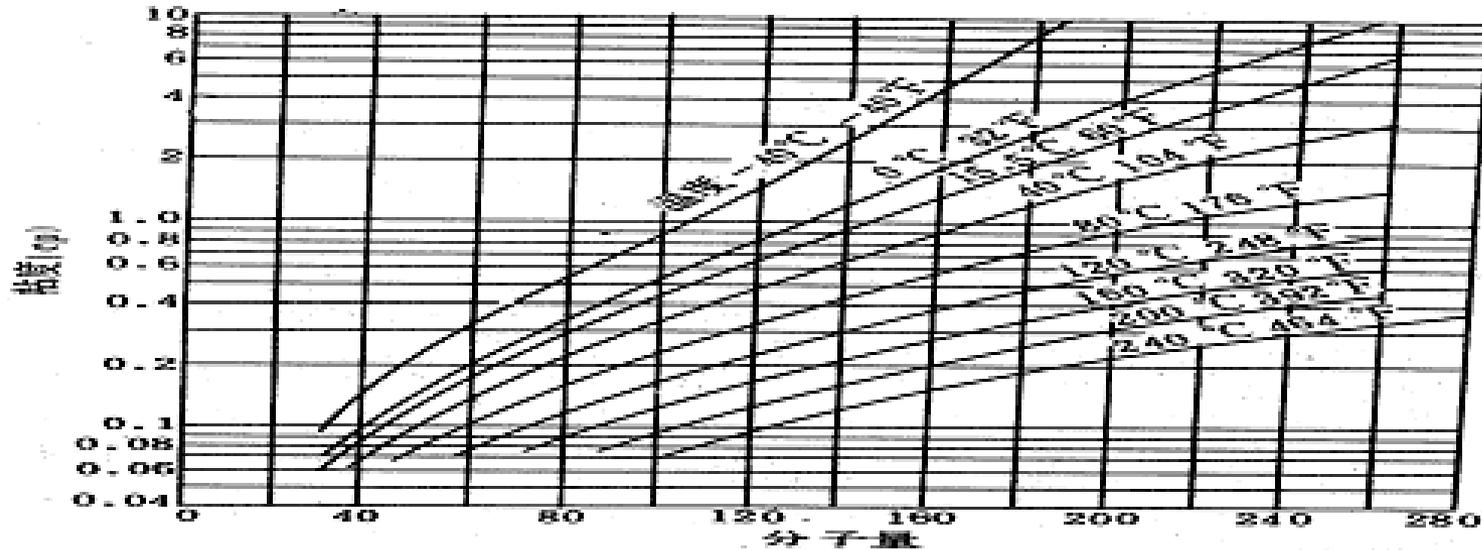
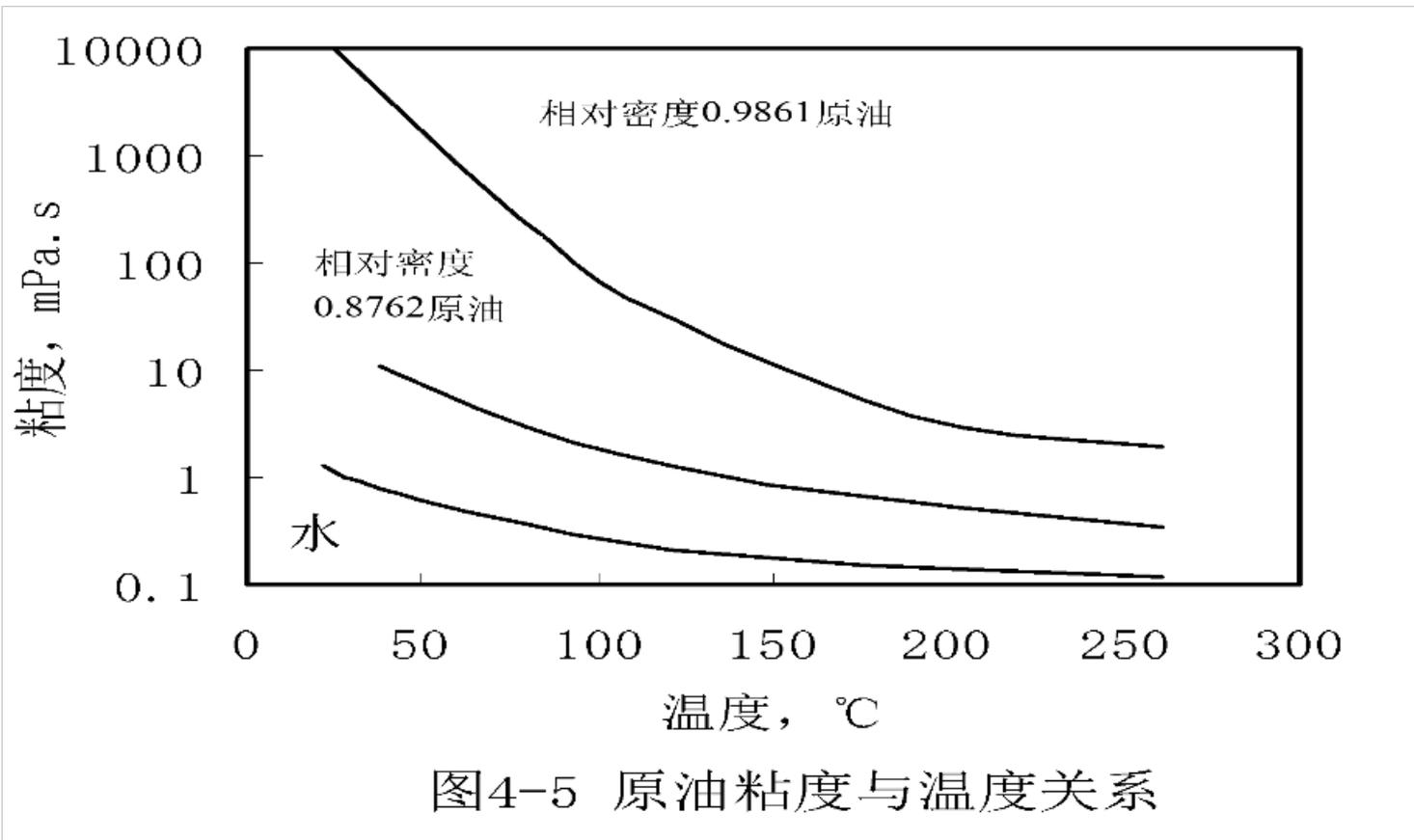
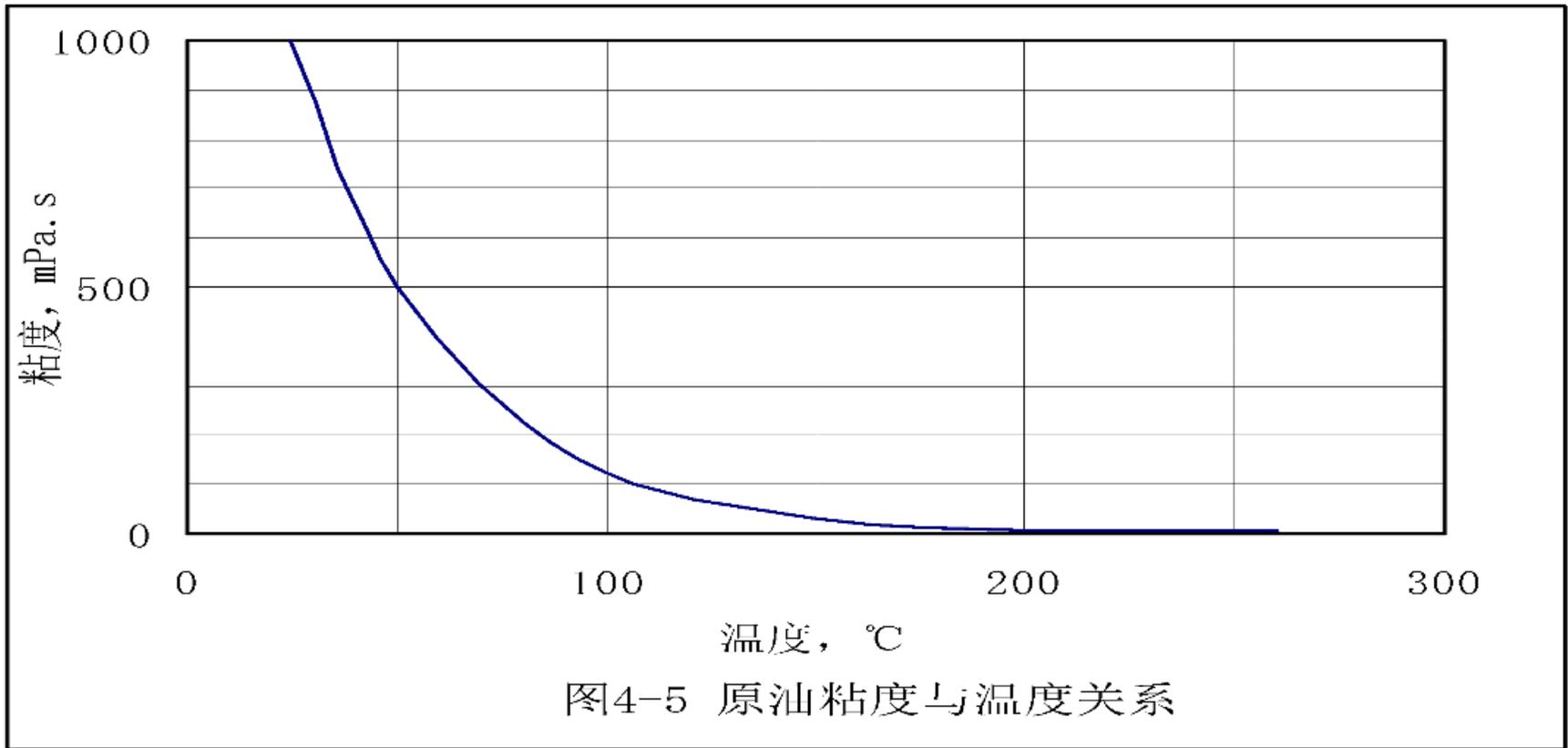


图 4-4 原油粘度与分子量的关系 (据 Brown, 1948)

原油的化学组成是决定粘度高低的内因，是原油粘度的主要影响因素。一般地说，原油的分子量越大，则粘度越高（图4—4），原油中非烃含量（即胶质-沥青含量）的多少对原油粘度有着重大的影响



原油粘度对于温度的变化是很敏感的。温度提高，原油粘度降低。各种原油对温度的敏感性不同，对有些原油温度升高 10°C ，原油粘度降低约一半（见图4—5）。



50C时, 500mPa. s
100C时, 100mPa. s
8mPa. s/10C

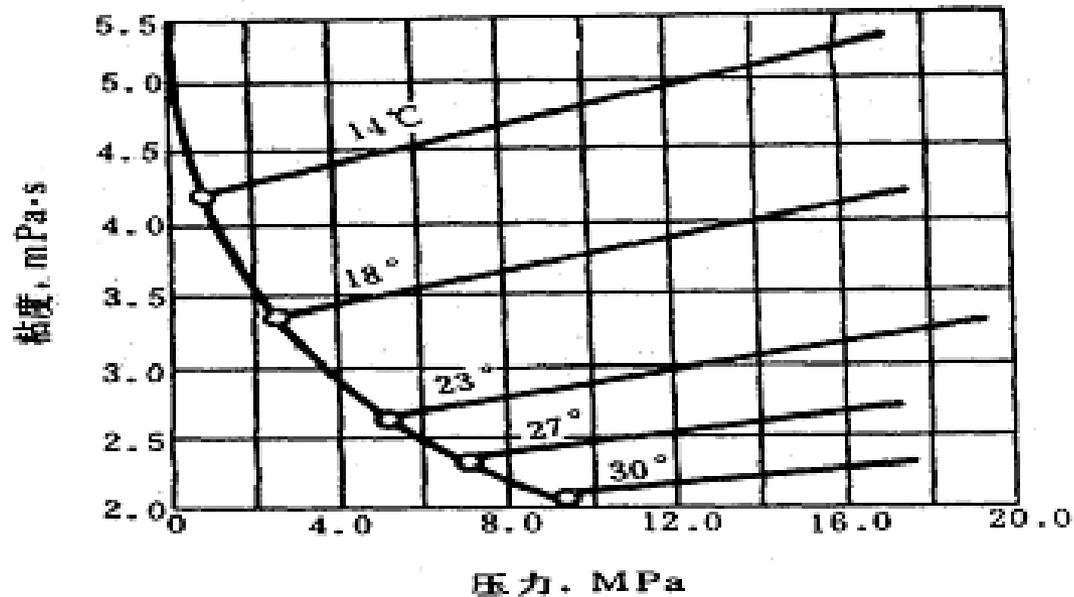


图 4-6 原油粘度与压力的关系 (据卡佳霍夫, 1956)

压力对地层原油粘度的影响 (见图4—6), 以饱和压力 P_b 为界, 在不同区间段压力对粘度的影响不同。

1.6 原油凝固点

原油的凝固点是指原油冷却由流动态到失去流动性的临界温度点

。

石蜡的初始结晶温度，随溶解气量的增加而降低。

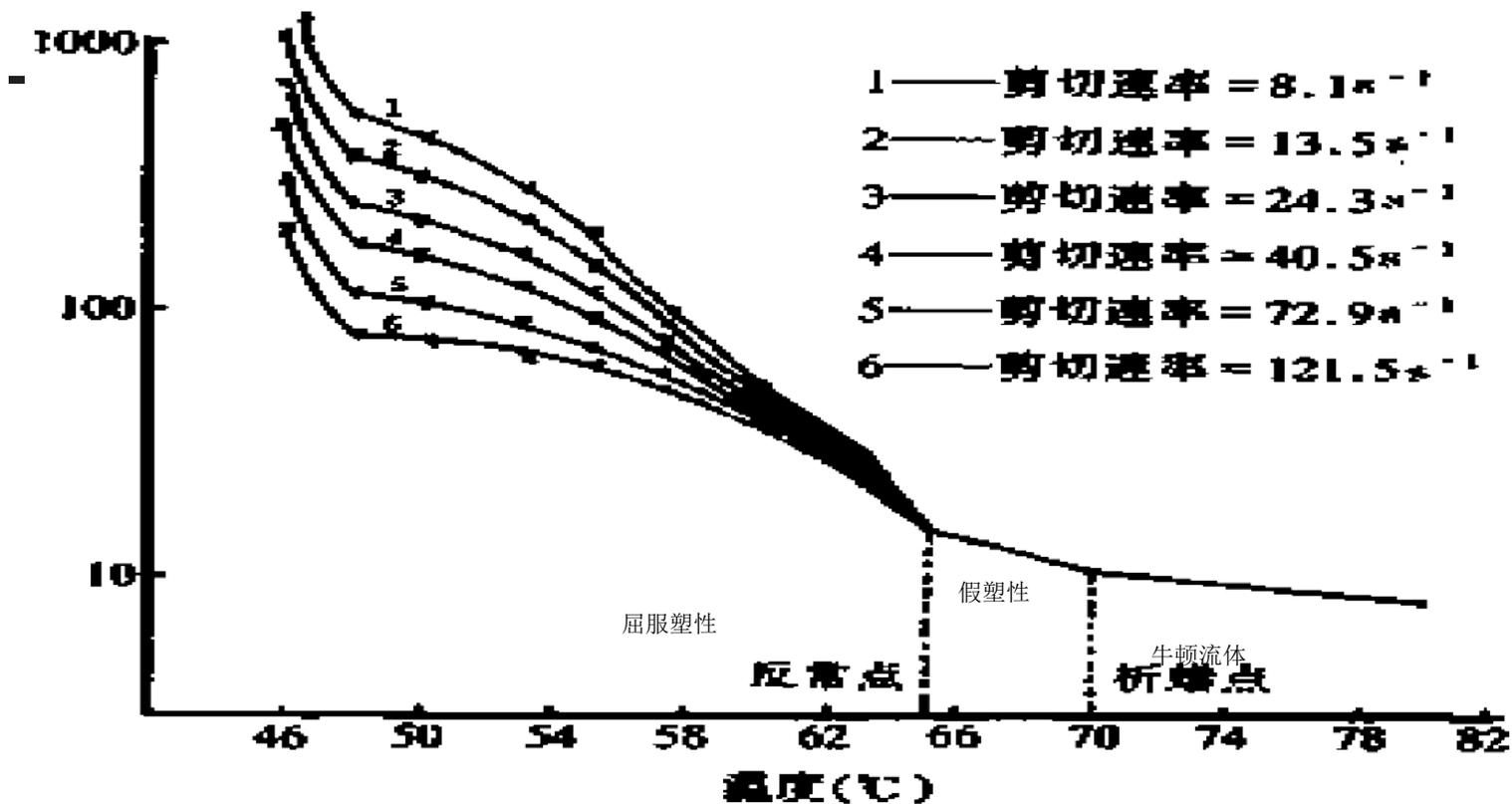


图 2 原油的全粘温曲线

三个温度点：凝固点、反常点、析蜡点
 三个区域：固体区、牛顿流体、非牛顿流体

典型未饱和油藏地层油高压物性参数随压力的变化规律

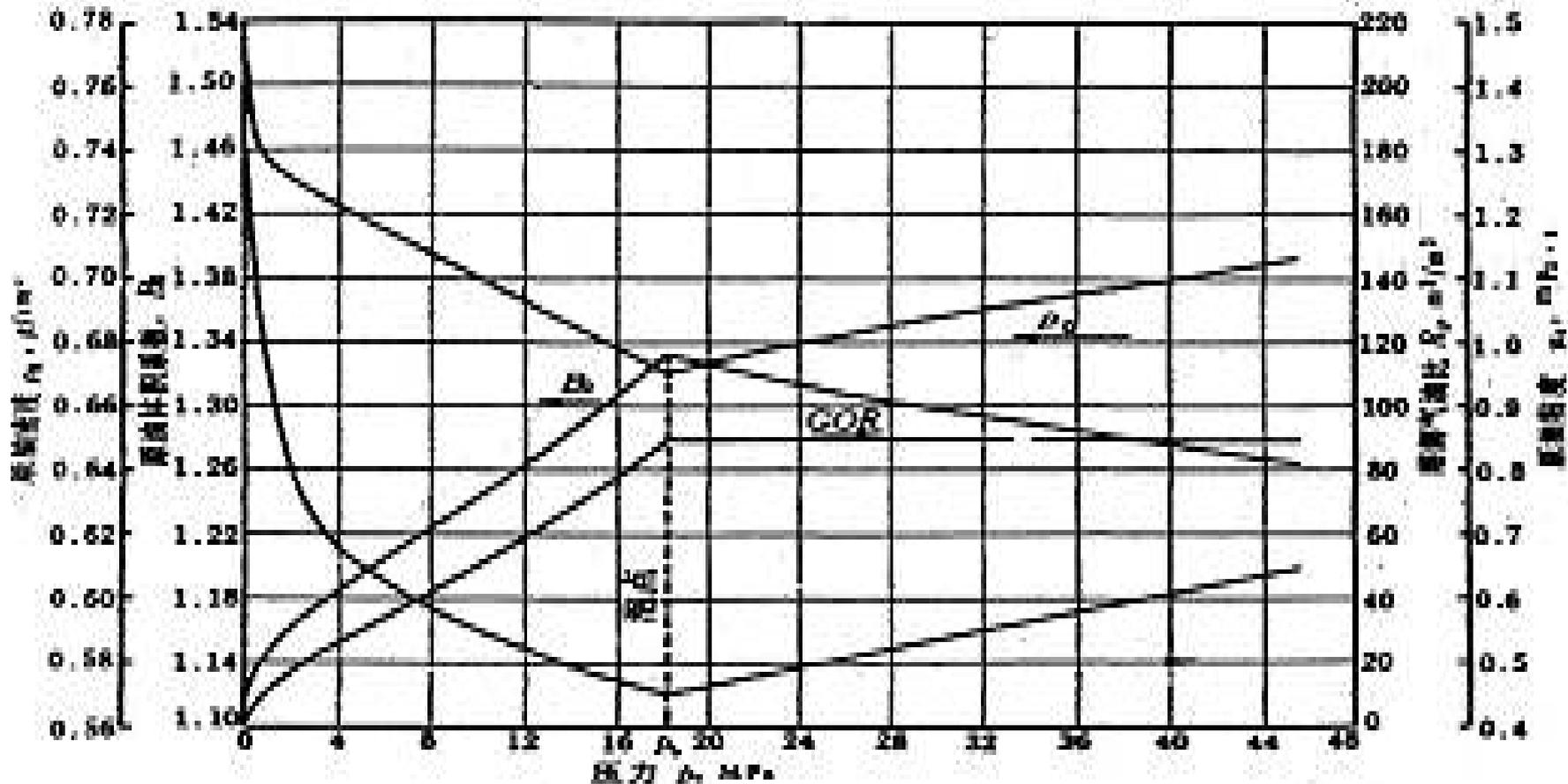


图 4-7 典型未饱和油藏地层油高压物性曲线

第二节 地层水的高压物性

地层水或称油层水是指处于油藏边部和底部的边水和底水、层间水以及与原油同层的束缚水的总称。

束缚水是油藏形成时残余在孔隙中的水，它与油气共存但不参与流动，因此称为束缚水。

地层水是与石油天然气紧密接触的地层流体，边水和底水常作为驱油的动力，而束缚水尽管不流动，但它在油层微观孔隙中的分布特征直接影响着油层含油饱和度。

第二节 地层水的高压物性

了解地层水的性质和组成具有如下意义：

- (1)** 可以判断边水流向、判断断块的连通性，分析油井出水原因；
- (2)** 研究注入水的配伍性、分析储层伤害原因和程度（如结垢）；
- (3)** 为油田污水处理及排污设计的提供依据。
- (4)** 根据油田水型判断沉积环境。

第二节 地层水的高压物性

一、地层水的化学组成及地层水的分类

二、地层水的高压物性

- 1)、天然气在地层水中的溶解度
- 2)、地层水的压缩系数
- 3)、地层水的体积系数
- 4)、地层水的粘度

第二节 地层水的高压物性

一、地层水的化学组成

1、化学组成

地层水在地层中长期与岩石和原油接触，通常含有相当多的金属盐类，如钾盐、钠盐、钙盐、镁盐等，尤其以钾盐、钠盐最多，故称为盐水。

地层水溶液中：

- 1) 常见的阳离子为 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，
- 2) 常见的阴离子为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 、 NO_3^- 、 Br^- 、 I^-
- 3) 不同种类的微生物，其中最常见的是非常顽固的厌氧硫酸还原菌，它们助长了油井套管的腐蚀，在注水过程中导致地层堵塞。这些微生物的来源尚不十分清楚，它们可能存在于封闭油藏中，或由于钻井而带入地层。
- 4) 微量有机物质，如环烷酸、酯肪酸、胺酸、腐植酸和其它比较复杂的有机化合物等。因为这些有机酸对注入水洗油能力有直接影响，所以，在油田注水的水质选择上要对它们予以重视。

2、矿化度与离子毫克当量浓度

矿化度:

代表水中矿物盐的总浓度，用 mg / L 或 ppm （百万分之一）来表示。地层水的总矿化度表示水中正、负离子含量之总和。

原始地层条件下，高矿化度的地层水处于饱和溶液状态，当由地层流至地面时，会因为温度、压力降低，导致盐从地层水中析出，严重时还可在井筒中结盐，给生产带来困难。

离子毫克当量浓度:

离子毫克当量浓度等于某离子的浓度除以该离子的当量。

例如，已知氯离子(Cl^-)的浓度为 $7896\text{mg} / \text{L}$ ，而氯离子的化合当量=35.

3, 则氯离子的**毫克当量浓度**= $7896 / 35.3 = 225.6$ 毫克当量 / 升。

一、地层水的化学组成及地层水的分类

表 1—12 地层中常见离子当量

序号	阳离子	化合当量	序号	阴离子	化合当量
1	Ba ²⁺	68.7=137.33/2	1	CO ₃ ²⁻	30
2	Ca ²⁺	20=40/2	2	HCO ₃ ⁻	61
3	H	1=1/1	3	O ⁻	35.3
4	Fe ³⁺	18.6=55.84/3	4	OH ⁻	17
5	Fe ²⁺	27.9=55.85/2	5	O ²⁻	8
6	Mg ²⁺	12.2	6	SO ₄ ²⁻	48
7	Na ⁺	23	7	S ²⁻	16
8	Sr ²⁺	43.8	8	SO ₄ ²⁻	40

第二节 地层水的高压物性

一、地层水的化学组成

3、硬度

地层水的硬度是指地层水中钙、镁等二价阳离子含量的大小。在使用化学驱(如注入聚合物或活性剂等)时,水的硬度太高,注入化学剂会产生沉淀而影响驱替效果。所以,在油田生产中必须对地层水的矿化度、硬度有清楚的认识。

二、地层水的水型分类

1、水型分类——苏林分类法

(1)**硫酸钠(Na_2SO_4)水型**：代表大陆冲刷环境条件下形成的水，一般来说，此水型是环境封闭性差的反映，该环境不利于油气聚集和保存。地面水多半为该水型。

(2)**重碳酸钠(NaHCO_3)水型**：代表大陆环境条件下形成的水型，该水型水在油田中分布很广，它的出现可作为含油良好的标志。

(3)**氯化镁(MgCl_2)水型**：代表海洋环境下形成的水。该水型一般多存在于油、气田内部。

(4)**氯化钙(CaCl_2)水型**：代表深层封闭构造环境下形成的水，环境封闭性好，有利于油、气聚集和保存，是含油气良好的标志。

表 1—14 苏林对水型的判别

当量比	成因系数	水型	环境
$\frac{Na^+}{Cl^-} > 1$	$\frac{Na^+ - Cl^-}{SO_4^{2-}} < 1$	硫酸钠型	大陆冲刷环境 (地面水)
	$\frac{Na^+ - Cl^-}{SO_4^{2-}} > 1$	重碳酸钠型	大陆环境 (油、气出水)
$\frac{Na^+}{Cl^-} < 1$	$\frac{Cl^- - Na^+}{Mg^{2+}} < 1$	氯化镁型	海洋环境 (海水)
	$\frac{Cl^- - Na^+}{Mg^{2+}} > 1$	氯化钙型	深层封闭环境 (气出水)

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/637023112105006066>