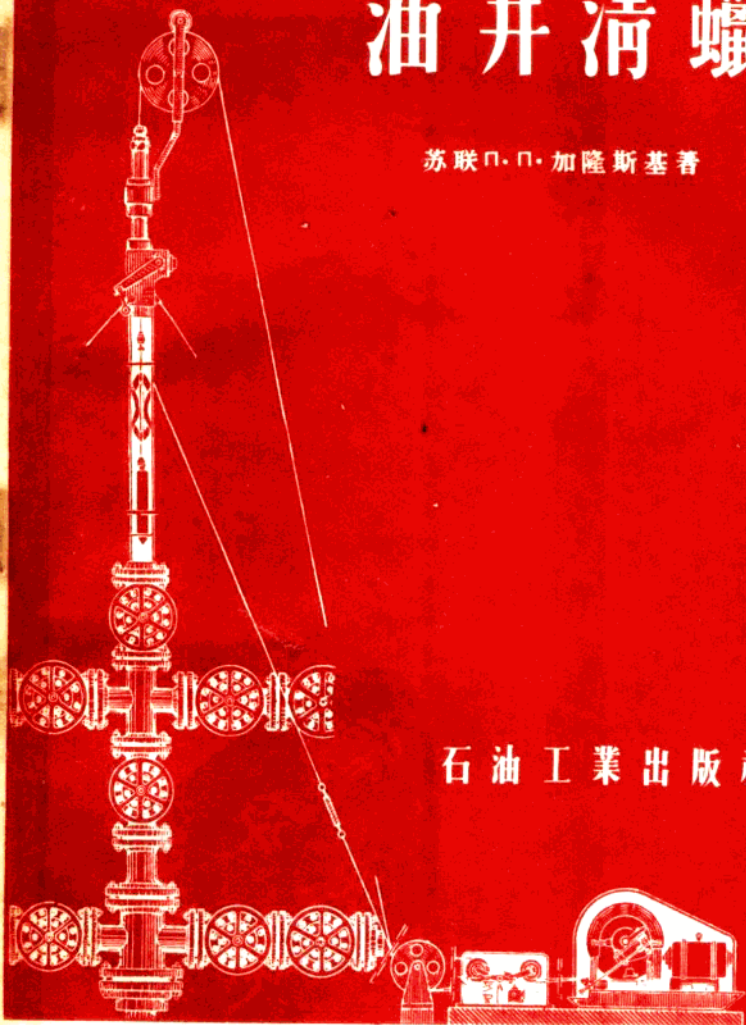


油井清蠟

苏联П.П.加隆斯基著

石油工業出版社



序 言

在開發性質不同的油層時，在油井采油的过程中將會遇到不同的复杂情况。

假若在采出的原油当中含有砂粒，那么就会很快的磨損井下設備和地面設備。砂粒沉积在井底而形成砂塔，从而妨害原油由油層流入井內。大量的从油層內出砂，就会使油層頂部塌陷，損坏管外的水泥，压折套管。假若在石油里面含有硫化氢，那么就会腐蝕坏井下設備和地面設備。

由結蠟而造成的复杂情况，將减小井底附近地区的出油率，降低油井的出油能力，也就是說，將减小采油量。石蠟凝結在地面管綫設備和容器中，同样会降低它們的輸油能力和貯油能力。

在苏联各油矿，含蠟石油的产量不断增加，約佔全国总采油量的一半。因此，油矿工作人員重視清除和防止在油層中、井中以及地面管綫設備中結蠟的技术問題是完全可以理解的。

正确地選擇清蠟和防止結蠟的技术，可以防止油層出油率降低、保持油井产量不变、縮短修井時間、保証油矿正常地进行生产并降低每吨原油的成本。同时，还能使清蠟和防止結蠟的操作机械化和自动化具有很大的可能性。但是，虽然已經积累了与結蠟的不良影响作斗争的丰富經驗，在許多油矿上还是采用旧的、要求付出大量劳动的、效率低的方法。在这些油矿上，由于結蠟日产量有很大的降低。全部

油井的免修期很短，而花在清蠟措施上的費用也很大。

在有关油矿的書籍里面，沒有在理論上闡述过石蠟在油層条件下，在出油管內以及在含蠟石油繼續运动的过程中析出和凝結的条件，也沒有充分地綜合过苏联各油矿工作人員的丰富經驗。

在本書中，作者綜合了清蠟方面的多年工作經驗，提出了一些理論前提，以解釋在石油整个运动过程中碳氢化合物內部發生的热力过程，指出了石蠟由溶解状态(液相)轉为固态的热力条件。在本書中对清除和防止在出油管中和地面設備內結蠟的方法进行了分类。

闡述石蠟析出过程，闡述防止石蠟从液相內析出的技术，以及对清除和防止結蠟的方法进行分类，这都是首次，所以作者將对提出批評性意見的讀者們致最大謝意。

目 录

序言

第一章 石蠟、含蠟石油及其性質概述	1
-------------------------	---

第二章 天然碳氫化合物溶液的相态变化对石蠟析出的影响	3
----------------------------------	---

压力和溫度对碳氫化合物相态的影响	3
------------------------	---

油層条件	10
------------	----

油井条件	16
------------	----

套管空間內的情况	20
----------------	----

同石油一起流出的物質对石蠟形成的影响	20
--------------------------	----

管面和管材对結蠟的影响	21
-------------------	----

第三章 出油管 and 井底附近地区結蠟对油井出油能力的影响	22
--------------------------------------	----

自噴采油	22
------------	----

气举采油	37
------------	----

深井泵采油	44
-------------	----

井底附近地区結蠟对油井出油能力的影响	50
--------------------------	----

第四章 油管清蠟的方法	51
-------------------	----

油管清蠟方法的分类	52
-----------------	----

地面設備清蠟法的分类	55
------------------	----

第五章 清蠟用的刮蠟器	57
-------------------	----

用于自噴采油井、气举采油井和使用电动沉沒泵采油的油井的刮蠟器	58
--------------------------------------	----

对深井泵抽油井采用的刮蠟器	78
---------------------	----

造成渦流的刮蠟器	31
第六章 往井中注熱原油清蠟	92
外注方式	92
內注方式	94
原油加熱裝置	101
第七章 利用蒸汽进行油管清蠟	104
第八章 电热清蠟	108
电阻式清蠟裝置的工作原理	109
电阻式清蠟裝置的电路	110
电热清蠟的油井裝置	116
加熱过程	127
关于电热清蠟过程中的某些数据	132
用感应式电热器的油管清蠟	136
低溫加熱	141
高週率电流	141
第九章 油管清蠟的其他方法	143
第十章 地面管綫裝置的清蠟工作	146
防止利得管結蠟的方法	146
油矿內部設備、管綫及容器的清蠟	152
第十一章 防止井底附近地帶結蠟的方法	156
熱处理方法	158
爆炸与射孔工作	169
第十二章 油矿石蠟的收集及其加工	169
油管清蠟时蠟質的收集	170
收集油矿儲油罐內的蠟質	173
蠟質的黏性	174
蠟質的提純处理	175

第一章 石蠟、含蠟石油及其性質概述

由 $C_{16}H_{34}$ 到 $C_{64}H_{130}$ 的烷烴，称作石蠟。

蠟質由各种石蠟混合物構成。蠟質的成分是各种各样的，因此它的物理-化学性質也有变化。

净化过的石蠟为白色、無味的結晶体。净化过的石蠟的比重介于 0.907—0.915 之間，沒有净化过的石蠟的比重介于 0.881—0.905 之間。石蠟熔点介于 49—60°C 之間。在温度較低时，石蠟处于固体状态。固体石蠟經受各种化学藥剂作用时不起变化。例如，用塗了石蠟的罐子可以保存和运输 氫氟酸。石蠟在水中不溶解，在酒精中溶解很微。

在有机溶剂里——石油、苯、矿物油、醚等——石蠟溶解得很好，而在輕質石油里比在重質石油里溶解得更好。石蠟的溶解性随着温度的增加而增長。在高温下石蠟遇到氧气即行氧化。

在自然条件下，石油和地蠟中均含石蠟。石油中含有两种状态的石蠟：溶解状态的和悬浮状态的。后一种状态的石蠟呈結晶体。所有的石油中含有溶解状态的石蠟。但是在石油中溶解状态的石蠟的数量是不同的——由不到百分之一到百分之几。

根据溶解在石油中的石蠟的数量，可以把所有的石油分成三类：

- 1) 含蠟石油(按重量計算含石蠟 2% 以上);
- 2) 稍含蠟石油(按重量計算含石蠟 1—2%);

3)不含蠟石油(按重量計算含石蠟在1%以下)。

通常,含蠟石油含有大量的汽油,而不含蠟石油則是潤滑油品種的石油。

某些含蠟石油的含蠟量列在表1內。

表 1

石 油	含 蠟 量 %	石 油	含 蠟 量 %
第二巴庫的泥盆紀石油	約 8	庫頁島的石油	6—8
契列肯半島的石油	4—6	格羅茲內的石油	4.5—8
巴庫的石油	4—6	費爾干的石油	8
烏克蘭西部的石油	7—12		

含蠟石油蘊藏在不同的地質條件下:不同的深度、不同地質時代、不同構造的貯油層內,具有不同壓力、不同溫度的地層內。

含蠟石油是氣態、液態和固態碳氫化合物的複合溶液。

含蠟石油在油層條件下成單相液態存在,當壓力和溫度下降到一定程度時,由於溶解在油內的氣體和固體碳氫化合物析出,即轉為二相(石油+氣體),而後轉為三相(石油+氣體+石蠟)。

各種碳氫化合物的物理參數,隨著壓力和溫度的變化而變化。它們變化的結果使每種相的性質也起變化,例如:每種相的溶解能力和穩定性增加或減小;每種相的數量組成變化。

石蠟從溶液中析出後成結晶體存在,各結晶體互相結合,而形成蠟質。蠟質是有孔的晶架,在它的孔隙中充滿

着石油和水。这种蠟質的熔点視它的成分而定，一般介于 $40-50^{\circ}$ 之間。蠟質的顏色決定于它沉淀时的热力条件，決定于各晶体間孔隙內充填的物質，和決定于石蠟結晶体的氧化程度。

含蠟石油的粘度決定于它的含蠟量和溫度。含蠟量越大，溫度越低，則石油的粘度也越大，并且当溫度低时，例如在 20° 以下，含蠟量約为 $5-8\%$ 的石油就失去了流动能力。在冬天用敷設在地面上的管綫輸送这种石油是很困难的，特別是不連續輸送。

石蠟凝結在井底附近地区、管壁上和貯油罐內給管理油井和設備的工作造成很大困难。同时，石蠟对国民經济是一种非常貴重的产品。

第二章 天然碳氫化合物溶液的相态

变化对石蠟析出的影响

压力和溫度对碳氫化合物相态的影响

气体碳氫化合物很容易互相混合。同时也可以和液体碳氫化合物混合，例如，很容易得到任何比例的汽油、煤油和重油的混合物。

当压力和溫度增加时，气体碳氫化合物可以溶解在液体碳氫化合物里。当压力降低时，气体碳氫化合物从石油里析出来。固体碳氫化合物，在相当的热力条件下可以溶解在石油里面或从石油中析出。当压力和溫度很高时，液体碳氫化

合物轉为气相。

我們先来研究一下液体碳氢化合物和純粹的气体碳氢化合物相互作用的最簡單的过程。

假若在一一定的压力下把石油放在容器中，并向容器內压入純粹的碳氢化合物，例如，甲烷(CH_4)，那么在这种压力下有一部分气体將溶解在石油里面。

当温度不变时，溶解的气量將与所加的压力成正比，根据亨利定律，在数学上可以用下列公式表示：

$$V_{p,r} = \alpha V_H P,$$

式中 $V_{p,r}$ ——溶解气的体积；

α ——溶解系数；

V_H ——石油的体积；

P ——所加的压力。

若發生与此相反的过程，也就是說，假若現在降低压力，那么將从石油中分离出来数量完全相同的气体。

假若我們不是用一种碳氢化合物，而是用輕質和重質气体碳氢化合物的混合物，那么，当压力增加时，这种混合物溶解在石油中的量將增加，但不是按正比的定律增加，因为不同的碳氢化合物的溶解度不同。开始时在極大程度上將溶解重質碳氢化合物，而后才是比較輕質的，所以溶解过程也不是按直綫定律进行。

当發生相反的过程时，气体的析出也不符合亨利定律，因为开始將主要析出輕質气体，而后当大量脫气时較重的分子才开始游离出来。

气体溶解在石油里面或从石油內析出，都能使石油的物理性質——密度、粘度、溶解能力等發生变化。地下的石油

也發生这些变化。

現在我們根据所加的压力和温度来分析一下在碳氢化合物溶液內所發生的相变。

为了进行分析，我們使用气体、液体和固体饱和碳氢化合物的混合物。

假定当压力等于 P 和温度等于 t 时碳氢化合物的溶液是稳定的，并且呈液相存在。

使压力保持不变 ($P = \text{常数}$) 而降低温度，我們可以看出，当温度达到 $t_1 < t$ 时，溶液开始变濃，而成为流动性弱的液体。

溶液变濃是因为石蠟由液相变成了固相，在石油中出現了結晶体。此刻已不是一种液相，而变成了二相：液相和固相(石油和石蠟)。

在石油中出現石蠟結晶体是因为当溫度降低时石油对石蠟的溶解能力減小了，溶液已成了不稳定的相态。繼續冷却溶液，將有更多的石蠟从液相中分离出来。

石油不同，压力不同，石蠟开始析出的温度，即由液相轉为二相(石油 + 石蠟)的温度亦將不同。

此外，石油是处在靜止状态或是处在运动状态对石蠟开始析出的時間也有影响。当石油处在靜止状态时，固相形成得就早一些，也就是說，石油冷却的程度低一些就可以形成固相，而当石油处在运动状态时，石油冷却的程度要高一些才能形成固相。这一点已为多次的觀察所証实，例如，在輸送含蠟很多的石油时做的觀察。

在我們所研究的例子的条件下，当对石油加热时石蠟結晶体即重新溶解于油中。

現在使溫度保持不變($t = \text{常數}$)而來改變壓力。當降低壓力時，氣體從飽和的石油中開始逸出。這是因為當壓力降低時碳氫化合物溶液的單相平衡遭受了破壞而出現了自己新的二相(石油+氣體)平衡。

當壓力繼續變化時，碳氫化合物的相態條件將繼續遭受破壞，氣相的體積將增加，而液相的體積將減小。

當壓力發生相反的变化時，也將破壞相的平衡條件，氣相減少，液相增加。當達到原來的壓力時，仍然僅是一種液相。

在我們所研究的例子中，形成氣相是因為輕質碳氫化合物從液相中分離了出來。在這種情況下，液相的性質已經變化了：液相的溶解能力減小了，它的密度和粘度增加了。液相對輕質碳氫化合物和對重質碳氫化合物即對石蠟的溶解能力減小了。

因此，應當預料到，在一定的條件下，由於石蠟從溶液中析出，必定要形成固相。保持高溫可以給石蠟分子保存在液相內創造條件。這已為開發含蠟石油油田的豐富實踐所証實。

現在我們來研究一下在現實條件下所存在的狀況，即研究一下當壓力 P 和溫度 t 同時變化時含蠟石油的相態將如何變化。在含蠟石油的整個運動過程中壓力和溫度不斷變化。當石油在油層內部運動時，溫度變化不大，壓力的變化梯度由零起而在井壁處達到最高峯，此時壓力按曲綫下降。

在油井條件下，當采油方法不同時，壓力下降的形式也不同。在自噴井和氣舉采油井中，壓力連續地由井底壓力降達井口壓力，而在深井泵抽油井中和當使用電動沉沒泵采油

时，压力由井底压力降达沉沒处的压力，而后急剧上升，經常超过油層压力数倍，然后再降达井口压力。

差不多在所有情况下，混合物的温度都由井底温度降到井口温度。

当石油在地面上运动时，經常遇到截然不同的条件：它和气体一起运动，或是单独运动，在一定的压力下运动，或是在沒有压力的条件下运动。在后一种情况下，温度动态通常决定于大气温度。

在圖 1 上表示的是在地下石油的整个运动过程中一般的流动情况。地下石油在出油管内經受的压力数值，决定着液体、气体和石蠟的相的关系。

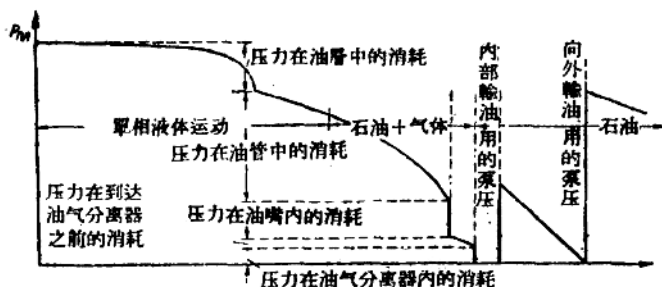


圖 1 在石油由油層排油地区直到向外輸送为止这一整个运动过程中压力的变化曲线圖

在圖 2 上所示的，是石蠟开始析出的温度 t_{kp} 和压力 P 的关系。

当压力降低时，較多的重碳氢化合物將由液相轉为气相，結果減小了液相的溶解能力。从上述圖表中可以看出，压力愈低，开始析出石蠟的温度也愈高，这也符合于上述情况。这一点也为在井口造成高回压与結蠟作斗争的經驗所証

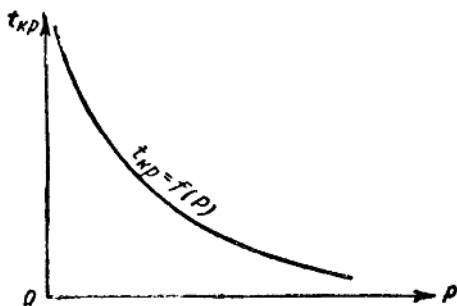


圖 2 石蠟开始析出的温度和压力关系曲线圖

实。

在圖 3 上所示的是一种簡圖，說明在具有不同含蠟量的石油中石蠟形成的程度与压力、温度的关系。繪制这一簡圖的基础是解釋促使石蠟析出的热力条件的一般前提。这种簡圖虽然不太精确，但并没有歪曲石蠟形成的物理过程，并且使我們可以很明显地看出影响石蠟形成程度的各种条件。

在圖 3 上所示的簡圖，是由压力、温度、溶解在石油里面的和凝結在管子上的蠟量的圖表关系構成的。

在綫 $OP_{H.P}$ 上从零开始以百分比标出了石油在油層条件下的含蠟量。百分比讀数的順序由左向右。

在同一条横綫上由 0 开始向左标出了凝結在管子上的石蠟量。百分比讀数的順序是由右向左。

在綫 $O_1P_{H.P}$ 上标出压力，由 0 起直到油層压力 P_m 。在这里定 P_0 为大气压， $P_{H.P}$ 为石油开始脫气的压力。由点 0 开始向綫 $O_1P_{H.P}$ 上引符合于压力規定数值的斜綫，例如，每隔 5 个或 10 个大气压引一条。

在“石油温度”綫的一段横綫上标出温度；由 0° 起到石

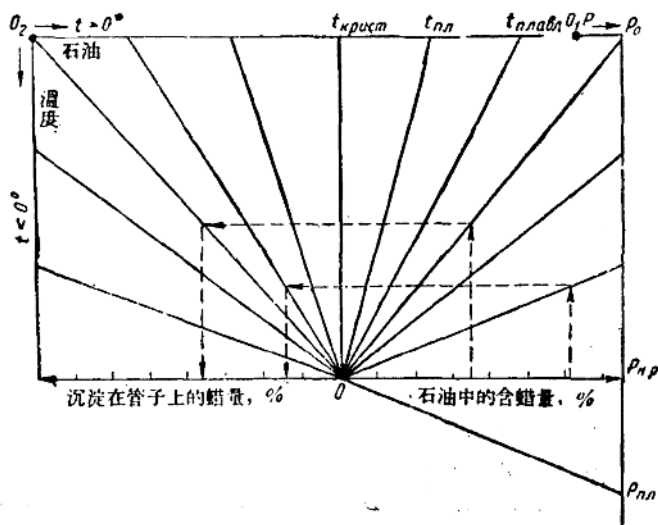


圖 3 当二相(石油+气体)运动时管内結蠟程度与压力和温度的关系簡圖
蠟的熔点 $t_{\text{плавл}}$ ，在縱綫上标出低于 0° 的温度。

在温度的标度上有下列温度符号： $t_{\text{пл}}$ ——油層温度；
 $t_{\text{крис}}$ ——石蠟开始結晶的温度。

从上圖中可以看出，不管石油含蠟多寡，不管压力大小，从而也不管石油的脫气程度如何，只要石油的温度不低于石蠟开始結晶的温度，石蠟就根本不从石油中分离出来。此外，假若 $t_{\text{крис}} < t_{\text{пл}}$ ，那么不管油層压力大小，从而不管石油的脫气程度如何，石蠟在油層中也不从溶液內析出。

从圖中也可以看出，石油的温度愈低，石蠟析出的程度也愈大。

在圖上对含蠟量不同的兩种石油显示出了兩种情况。在压力 P_0 和温度 t_0 下从含蠟量小的石油中析出的石蠟多，而

在較好的热力条件下($t > t_0$, $P > P_0$)从含蠟量大的石油中析出的石蠟比前者少。

从研究圖 3 上的簡圖中得出的結論，完全和开采含蠟石油时呈現的情况相符合。結蠟的程度随着温度的降低而增長。例如，冬季里，当天冷时利得管內的石蠟比天暖时凝結的快，数量也大，而在夏天，石蠟在炎热的天气里就根本不凝結。众所週知，在利得管綫上的結蠟程度随着油气分离器內压力的增高而減小。

同样，当井底压力和井口压力下降时，开始結蠟的深度增加，在管壁上凝結的石蠟变多。

从油矿的經驗中得出，保持高压和高温可以降低管壁結蠟的程度。从我們提出的圖中也可以得出同样的結論。

因此，这个圖使我們可以根据石油的含蠟量分析出热力条件对石蠟形成程度的影响。

当开采含蠟石油时，实际上有必要根据对石油結蠟的热力条件所做的研究繪制出这种圖来。它可以帮助生产人員和研究工作人員正确的選擇出清蠟技术措施，拟定出研究結蠟条件的途徑。我們所引証的圖仅适用于气化液体运动的情况，沒有反映出脫气石油的石蠟形成条件。

油 層 条 件

在开发油田以前，由于油層压力和油層温度沒有發生变化，因此碳氢化合物处在相的平衡中。

只要油層条件不变，碳氢化合物的相态在油層中也保持不变。在油層里面，气体碳氢化合物、液体碳氢化合物和固体碳氢化合物的比例关系可能是各种各样的。

視每种碳氢化合物成分和数量的不同，以及油層条件（压力和温度）的不同，碳氢化合物可能呈各种相态存在：

1) 單相液态，当所有的碳氢化合物成液态存在时；

2) 二相状态（液体+气体），当一部分碳氢化合物成液态存在，而另一部分成气态存在时；

3) 單相气态，当油層仅含有輕質气体碳氢化合物（气田）时，或者当油層也含有重質碳氢化合物，但由于油層条件（压力和温度）它們溶解在气相中（凝縮气田）时。我們只研究碳氢化合物的第一种相态和第二种相态。

按照气体在液体中溶解的定律和碳氢化合物的相态定律，在石油中溶解的气量决定于溶解系数，决定于压力和温度，而相态决定于气相和液相中的碳氢化合物的分压力，也决定于压力和温度。因此，并不是所有的气体碳氢化合物在一定的条件下都溶解在石油里面。

假若在油層中气体碳氢化合物的总体积大于在这种油層条件下能够溶解在石油里面的气体体积，那么在油層中将出現二相（液体+气体）。

在油層中气体的总体积 V_r ，將由溶解气的体积 $V_{r.p}$ 和游离气的体积 $V_{r.c}$ 組成：

$$V_r = V_{r.p} + V_{r.c} = V_H P_{rn} (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) + V_{r.c},$$

式中 V_H ——石油的体积；

P_{rn} ——油層压力；

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ——各种气体碳氢化合物的溶解系数。

因此，在下列条件下出現二相状态：

$$V_{r.p} \leq V_r.$$

在有些油田（例如泥盆紀油田）里面 $V_{r.p} > V_r$ 。在这种

情況下，所有的碳氫化合物都成單相液態。

根據 $V_{r.p}$ 和 V_r 的比例關係來分別氣體飽和石油的程度。石油分飽和石油和不飽和石油兩種。

當油層有游離氣體時，石油稱作飽和石油。當全部氣體都溶解在石油裡面，並且 $V_{r.p} > V_r$ 時，石油稱作不飽和石油。

這兩種情況對確定油層的開採方法具有重大的意義，並且在極大程度上決定着石蠟形成的條件。

所以，在開發含蠟石油的油田時，必須知道石蠟形成的條件，以免在油層孔隙中形成石蠟。

假若在開發油田以前油層處在平衡狀態中，那麼從開發油田開始油層壓力將不斷下降，因為把石油推到井底要消耗壓力。

由於在油層壓力 (P_m) 和井底壓力 (P_{sa6}) 之間造成了壓差，因此就出現了壓差地區，壓差 $\Delta P = P_m - P_{sa6}$ 。

很明顯， ΔP 愈大，從石油里逸出的氣體也就愈多，液相的成分變化也就愈大。石油的溶解性減小，可能使石蠟在油層條件下從溶液中析出，假若油層溫度低於石蠟熔點的話。

現在我們在兩種情況下——飽和石油和不飽和石油——來研究油層條件。

在飽和石油的情況下

從條件式 $V_{r.p} \leq V_r$ 中得出，所有的氣體溶解在石油裡面，或者一部分氣體成游離狀態懸浮在石油裡面，或者形成氣頂。在液相裡面溶解 $\alpha P_m V_H$ 公尺³的氣體。