



石油工業基本知識叢書

怎樣开采石油

秦 同 洛編著



石油工業出版社

序 言

石油是一种很重要的矿物，它不仅是主要的动力源泉，而且是很重要的化工原料。石油有着極重大的国防意义。石油的产量常被看作国家工業化程度和生产力水平的重要标志之一。

我国对石油的認識和应用是有着悠久历史的。在“后汉書”上就有着关于石油的記載，而且所記載的石油产地正是現在的玉門和延長油矿。

由於長期的封建統治阻碍了生产力的發展，更由於近百年来反动的統治者甘願作帝国主义的走狗，使得我国的科学技术水平極端落后。这在石油工業上的反映不但是石油产量極小，而且資源不清。在整个国民党統治的几十年中，只有一个比較像样的油矿——玉門油矿，而那里的生产和技术水平是極低的。

中国人民解放战争的胜利解放了生产力。党和政府以及全国人民对石油工業給予了極大的关怀和重視。执行第一个五年計劃的結果，發現了像克拉瑪依那樣的大油田，而且石油的年产量也提高到了1952年的三倍以上。

在兄弟国家特別是苏联政府和人民的無私援助下，我国开採石油的技术水平正在迅速的提高。我們已經掌握了現代化的採油技术。

随着石油工業的發展，石油工作者的队伍也在日益成長壯大。現在我們已經拥有一支近十万人的石油工人队伍，並

且还会繼續扩大。

为了向新参加石油工作的同志們介紹一下石油开採的特点和一般的技术問題，写出了这本小册子。里面概括的敘述石油开採的基本原理和各种工艺技术問題。为了便於閱讀，書里不介紹任何数学公式和复杂的計算。讀者如有兴趣深入鑽研，可以进一步閱讀專門的書籍。

作者从来沒有写过这样的小册子，因此一定有着很多不切合实际甚至錯誤的地方。希望讀者同志們多予批評和指正。

秦同洛

1957年12月

目 录

序 言

第一章 油藏和石油的物理性質·····	1
第1节 儲油層、油藏和油田·····	1
第2节 油藏的物理性質·····	2
第3节 石油和天然气的物理性質·····	7
第二章 採油的物理原理·····	8
第三章 油井採油的准备工作·····	12
第1节 油井·····	12
第2节 鑽开油層·····	14
第3节 井底結構·····	14
第4节 誘导油流·····	19
第四章 自噴採油·····	22
第1节 自噴的基本原理·····	22
第2节 自噴井的地面和井下設備·····	23
第3节 自噴井的試驗、監督和管理·····	29
第五章 气举採油·····	32
第1节 基本原理和簡單流程·····	32
第2节 气举井的井口設備·····	37
第3节 降低起動压力的方法·····	38
第4节 气举採油的附屬設備·····	41
第5节 气举井的試驗、監督和管理·····	43
第6节 間歇气举和活塞气举·····	45
第六章 抽油·····	48

第1节	抽油法的基本原理	48
第2节	影响抽油泵排量的因素	49
第3节	抽油井的主要设备	51
第4节	抽油井的其他设备	63
第5节	抽油设备的选择和抽油井的管理	66
第6节	其他抽油方法和设备	71
第七章	强化油流的措施	73
第1节	井底化学处理	73
第2节	爆炸	76
第3节	地层水力压裂	77
第八章	复压法和二次采油法	80
第1节	注水	80
第2节	注气	83
第3节	强烈排出法和真空法	85
第九章	油井的修理	86
第1节	修井设备和工具	86
第2节	起下油管操作	92
第3节	泵的起下操作和更换	93
第4节	清蜡	94
第5节	清砂	98
第6节	油井大修	101
第十章	油气的收集	102

第一章 油藏和石油的物理性質

第 1 节 儲油層、油藏和油田

顧名思義，石油是从地下深处的岩石中採出来的油料。这种岩石在顆粒之間有着較多的孔隙，石油就聚集在这些孔隙中。由这些有孔隙性的岩石組成的地層，我們叫它儲油層。在儲油層的上面和下面，通常是結構很致密而不透水的地層，因此石油只能在儲油層中流动，而不会跑到別的地層中去。

儲油層一般是孔隙性較好的砂岩和砂層。这些地層是很久以前在淺海灘上沉积下来的砂子，后来由於地壳变动下沉到了地壳深处。所以在这些地層里面本来就是充滿了水的。以后石油从別处移到这里，把地層里的水挤走了。但在一些很小的孔隙中仍殘留着一部分水，这种水我們把它叫做共生水，也叫做束縛水或封存水。

在儲油層中石油自然聚集的区域称做油藏。

因为油藏是在石油从油層中把水排走以后形成的，所以油藏的周圍往往是很大的含水區。这种含水區和油藏互相連通，而且往往比油藏大很多，甚至大几十到几百倍。所以在採油时水能补充到油藏里来。这一点对採油是有很大意义的。

有些油藏，因为地壳运动的关系，並不和含水區相連通。从这种油藏里開採石油比起前一种来要困难得多。

天然气是和石油一起生成的，它一般溶解在石油里。但是，当石油已经饱和而不能再溶解气体时，由于比重的关系（气比油轻），剩下的天然气就游离在油面上；如果地层的形状合适，如穹隆形地层，也就是地质学上所称的背斜构造，就会在它的顶部形成一个气顶。

我們通常所说的油田，就是指同一地区的一个或数个油藏。油田的简单情况如图 1 所示。

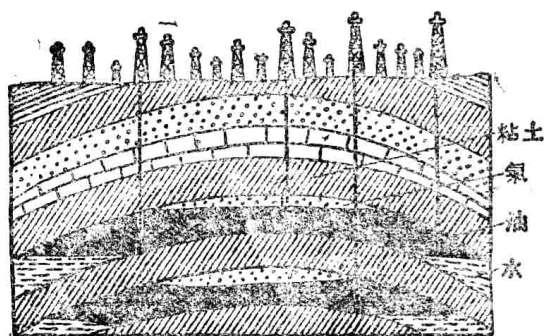


圖 1 油田簡圖

油藏的性質和石油的性質決定一個油藏的工業價值。在裂縫性即有大量裂縫的油藏內，有工業價值的石油儲藏在裂縫中。在決定這種油藏的工業價值時，還需要決定裂縫中和孔隙中石油數量的比例。

第 2 节 油藏的物理性質

在油藏的物理性質中最重要的是孔隙性、滲透性、岩石的顆粒組成、岩石的油水飽和度等等。

岩石的孔隙性是岩石能不能儲油的最重要的條件。孔隙性通常用孔隙率來表示。孔隙率就是岩石中孔隙的體積與岩

石总体积的比值，用公式表示就是：

$$\text{孔隙率} = \text{孔隙体积} \div \text{岩石总体积}.$$

这样得出的孔隙率值是小数。有时孔隙率值用百分比表示：

$$\text{孔隙率} = (\text{孔隙体积} \div \text{岩石总体积} \times 100) \%.$$

測量岩石孔隙体积的方法是很多的，例如直接用水、空气或者油类充滿岩石样品（即通常所說的岩样）的孔隙，然后量出它們的体积来；測量整个岩石样品的所有顆粒的体积，然后从整个岩石样品的总体积中減去顆粒的体积；等等。其中以用火油充滿孔隙的方法求出的孔隙体积比較正确。

孔隙率是在实验室内用專門的仪器測定的。

在油藏内各处的孔隙率是不同的，因此要在油藏各个部位的油井里取出岩心样品来測量它們的孔隙率，然后按面积或体积平均法求出整个油藏的平均孔隙率来。

含油砂岩和砂層的孔隙率的变化是很大的：砂岩一般为13—28%；砂層一般为18—35%。

並不是所有岩石孔隙都被石油所充滿了。我們在前面說过，与石油同时存在的还有共生水，它們也佔据了一部分孔隙体积。为了要决定油藏中的石油儲量，就應該知道石油佔据了百分之几的孔隙体积，也就是它在岩石内的飽和度。

岩石的飽和度通常用飽和率值来表示。飽和率就是石油体积与总孔隙体积的百分比，一般用下式表示：

$$\text{飽和率(油或水)} = [\text{石油(水)的体积} \div \text{总孔隙体积} \times 100] \%.$$

量測飽和率的方法，通常是把已測出孔隙体积的岩石样品用水充滿，然后用油或空气把水替出並記錄替出的水量，替出的水量就相当於岩石中的含油量，而殘留在岩石中的水

量就相当於岩石中的共生水量。

在新油藏中含油飽和率一般是 60—70%。个别油田中油藏的含油飽和率与此範圍差別很大。

用上面的方法求出的数值是相当可靠的，但試驗时需要比較高的技术。这种工作是在实验室內用專門的仪器进行的。

岩石的另外一个重要的性質是滲透性，亦即常說的滲透率，它表示流体通过岩石的难易程度。

孔隙性和滲透性並沒有直接的关系。例如粘土有很好的孔隙性，但液体和气体一般不能通过它，这是因为它里面的孔隙通道太細，內摩力太大。但是凡有滲透性的岩石一定具有某种孔隙性。

儲油層不仅要有孔隙性，而且还要有滲透性。

滲透率的單位是达西。因为这个單位在工程上应用显得太大，所以在工程計算中常用的單位是达西的千分之一，亦即毫达西。

一个达西代表着这样一种岩石的性質，当它的截面为一平方公分，長度为一公分时，若上流和下流的压力差別是一个大气压（相当於在一个平方公分的面积上有 10 公尺高的水柱的重量），在 1 秒鐘內能流过一立方公分粘度为一厘泊的液体（圖 2）。

按照滲透率的不同我們把油藏分成低滲透率（100 毫达西以下）、中等滲透率（100—500 毫达西）和高滲透率的（500 毫达西以上）三种。

岩石的滲透率是它本身結構的一个特性。但是当岩石中存在有二种以上的流体时，岩石对每种流体的滲透率值都比

原来只有一种流体存在时要低得多；而且就是把对这几种流体的不同渗透率值加起来，也达不到原来只有一种流体时的渗透率值。

当只有一种流体流过岩石时，求出的岩石的渗透率叫做绝对渗透率。当有二种以上的流体通过岩石时，对每一种流体的渗透率值称为该种流体的相渗透率。相渗透率值与绝对渗透率值之比叫作相对渗透率。

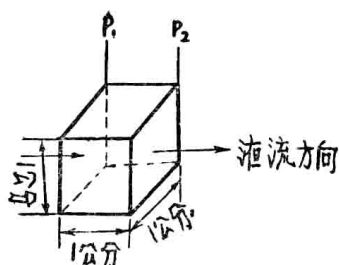


圖2 渗透率值示意图 (流过液体的粘度为1厘泊, $P_1 - P_2 = 1$ 大气压)

绝对渗透率和相对渗透率值都可以在实验室中用专门的仪器来测定。但是测定相对渗透率所用的仪器要复杂得多，要求的技术要高得多，因此除了少数的专门研究机构外，一般实验室是不作这样的测定的。

在实际油藏中永远有共生水存在，所以在工程计算上所用的渗透率都是相渗透率。在实验室取得的数据是不能直接用到工程上去的。因此在实际工作中我们常常通过试井取得的数据来计算渗透率，而实验室求出的数据则作为对比用。

油藏的另外一个物理性质是岩石的颗粒组成，就是岩石中大小不同的颗粒各占颗粒总重量的百分之几。

我们都知道，岩石的颗粒组成愈均匀，岩石的孔隙性就愈好。如果组成岩石的颗粒大小参差得很厉害，那么小的颗粒往往会填到大颗粒间的孔隙中间，减低岩石的孔隙性，影响岩石的渗透能力。

测定岩石颗粒组成的另一个作用是可以计算岩石的比表

面。岩石的比表面就是在單位体积(一立方公尺)内岩石顆粒表面的面积有多大。岩石的比表面一般是極大的,例如由1公厘直徑的顆粒組成的岩石,其比面值為4450平方公尺/立方公尺。这样大的表面上如果粘附上一層即使極薄的石油,就会有大量的油留在地下。所以現在有很多人都在研究怎样使这个粘附層變得很薄,以提高單位体积內的探出油量(採收率)。

对結構疏松的岩石來說,了解了顆粒大小的組分以后,还可以設計出正确的井底裝置,減少採油工作中的很多麻煩。

岩石顆粒組成一般用篩析法确定。篩析法就是把岩石弄碎以后用各种網眼大小不同的篩子來篩,然后分別称量留在各篩子上的砂粒的重量,最后求出各次称量出的不同砂粒的重量与砂粒总重量的百分比,並画成曲綫。圖3所示为苏联阿普謝龍半島产油層系的砂層的顆粒組成曲綫。

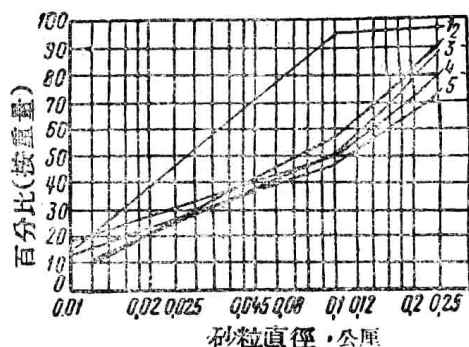


圖3 阿普謝龍半島产油層系的砂層的顆粒組成曲綫

阿普謝龍半島产油層系的砂層的顆粒組成曲綫。

岩石的物理性質还有很多,如岩石的破碎性能、磁学性質、热学性質、电学性質、光学性質以及放射性能等等。因为它们和探油的关系並不十分密切,在这里就不再一一敘述。

不十分密切,在这里就不再一一敘述。

油藏的物理性質都是通过地下岩石的样品來測定的,所

以对取岩心工作應該非常注意，已經到手的岩心也要很好的保护和使用的。

第3节 石油和天然气的物理性質

石油是一种油性液体，顏色从淡黃到紅棕色和暗黑色。絕大多數的石油是暗黑色的。組成石油的是各种各样的碳氢化合物，其中包括分子量最低的甲烷气，直到固体的石蜡、膠質及瀝青。

石油的比重就是單位体积石油的重量。在实际工作中多用石油的相对比重，就是一定体积的石油的重量与同样体积的水的重量的比值。石油的相对比重一般小於1，但在个别情况下也大於1（設水的比重为1）。

粘度代表液体（气体）在流动时的内部摩擦力。液体的粘度愈高，流动就愈困难。所以石油的粘度大小在採油上有很重要的意义。

我国克拉瑪依油田石油的粘度就比較高，在进行開發时必须考虑到这一点。

粘度的工程單位是泊和厘泊。泊是一种标准液体的粘度，当兩層面积各为1平方公分的这种液体互距1公分，並以1公分/秒的速度相对流动时，产生1达因的阻力。百分之一泊叫做厘泊。

与石油共生的天然气也叫作石油气。这种气体一般由各种輕質碳氢化合物組成，有时它也含一些硫和氧等等。

天然气的比重是以空气为标准而量出的（把空气的比重当作1）。它随着气体組分的不同而不同。

天然气和其他气体具有同样的性質，这就是在压力增高

时体积很快的收缩，在温度增加时体积也跟着增加。

在油層中天然气溶解在石油里。每一立方公尺石油中能溶解的天然气体积(立方公尺)称为天然气的溶解度。这一数值决定於天然气和石油的成分，同时也与油藏中的温度和压力有关。每改变一个大气压的压力时溶解度的变化称为溶解系数。一般原油的溶解系数在 0.5 到 1 之間，很少超过 1 以上。

天然气溶解在石油中会很显著地改变石油的性质，如比重、粘度等等，而且这些变化往往对採油是有利的。因此我們要想办法尽量使天然气在石油中保持溶解状态。

在油層中天然气开始从原油中分离出来的最低压力，称为饱和压力。因此我們在採油时应该尽量使油層压力不要小于饱和压力。

石油在油層中溶解有气体，而且油層温度和压力也都比较高，因此在採出地面以后它的体积就会缩小。地面一立方公尺石油在地下佔据的立方公尺数称为石油的体积系数。石油的体积系数在油田开发計算中和儲量計算中都很重要。

石油和天然气的这些性质在專門的實驗室中測定。因为这些性质都与較高的压力有关，所以这些实验通常叫作高压物性实验。

第二章 採油的物理原理

在开采石油的时候，石油由於各种力的作用从油層中流到油井內，並在井內升到一定高度或噴出地面。为了把更多

的油採出來，就有必要來研究這些能力的來源、作用方式和有效程度。

推動石油的力量有幾種：

1. 邊緣水的壓力。前面說過油藏的周圍有着廣大的含水区。含水区有時露出地面，但更多的是並不與地面相連通。含水区地層中的壓力與含油區中的壓力是平衡的，所以在油藏沒有被打開以前液體在油藏和含水区之間沒有什麼流動。當井打開了油藏以後在井底造成了低壓區，油就從油層中流到井底而被採出來。不斷地採油使油層中的壓力降落，於是周圍的水就從含水区流入油藏中，原來儲油的地方就逐漸地被水所佔據。這種水推油的力量是採油中最有效的一種。

2. 油藏岩石和液體的彈性。油藏和廣大的含水区都是處在高壓下的。當壓力減低時油、水和岩石都要膨脹，這樣就可以把石油從油層中擠向井底。

在物理學中我們一般認為液體是不可壓縮的。但在實際上它們是可以壓縮的，只是壓縮的範圍很小罷了。根據試驗，壓力每升高或降低一個大氣壓水的體積減小或增加 $\frac{1}{20000} - \frac{1}{25000}$ ，石油的體積減小或增加 $\frac{1}{700} - \frac{1}{14000}$ ，而岩石的體積減小或增加 $\frac{1}{70000} - \frac{1}{600000}$ 。數值雖然極小，但由於油藏和含水區的體積都很大，而且壓力相當高，因此在實際工作中已証實有相當數量的石油是依靠彈性膨脹採出來的。

彈性力的作用在含水区沒有地面露頭且範圍極大的油藏中（直徑在 15 公里以上的油藏）最為重要，而且一般在開採的初期起的作用更大。

3. 油層氣頂中的壓力。上面說過有一些油藏中有氣頂。

气頂的作用与含水区的作用相类似。当油藏压力因採油而降低时，气頂就会膨胀，把含油区的油推向井底。

气頂压力和边水压力不同的地方，在於前者是自上而下的作用於油藏，而后者是自下而上的作用於油藏。此外气頂的体积往往比油藏小得多。

4. 从原油中分出的天然气的的能力。石油中溶解着很多天然气。当油層压力降低时天然气就从油里分离出来，並随着压力的降低而膨胀。由於天然气的流动性很大，所以它就很快地向井底流动。在流动过程中天然气排挤和挟帶石油，而在到达井底以后把石油向地面升举。

这种力量和气頂压力不同，它是在油藏含油部分内部作用於石油的。

气体的流动性比石油高得多，它常常在流动过程中超越过石油。因此这种能量消失得很快，往往只有很少一部分石油能利用它来採出。但在另一方面，它是把石油从井底升举到地面的很重要的能力。

5. 重力。一切物体都受重力的作用。在油藏内部重力是一种很弱的力量，只有当地層条件合适(傾角大、滲透性好、厚度大)，而且其它能力已經大量消耗时，它才能显出自己的作用。一般在开採的后期才能够观察到重力的作用。

我們根据油藏中主要的能力和油藏的特点来划分油藏的驅动。所謂驅动就是指主要的採油动力。

与上述的各种力量相适应，我們把油藏的驅动分成水压驅动、气压驅动、溶气驅动、重力驅动四类。彈性力常常在水压驅动的开始阶段出現，因此不单独列为一种驅动方式。

儲藏在油層中的石油不可能百分之百地採出来。採出的

石油佔总儲量的百分数叫作採收率。这一数值首先就和驅動的类别有关。

1. 水压驅动。这是一种最有效的驅动。它的特点是油層压力变化小、油井产量大而稳定。这种驅动存在的条件是要有含水区，而且含水区与地面水源相連通，能够經常得到地面水或雨水的补充，油藏和含水区之間連通良好，且地層具有較高的滲透率。

开採这样的油藏时應該使油水邊緣(油水分界)均匀地收縮，不要發生舌进現象（即边水推进不均匀，有的地方快有的地方慢）。这一点可以用合理分佈油井，把井列綫分佈得大致上与油水分界綫並行，並合理地控制油井产量来达到。

在有广大含水区而沒有地面露头的油藏中，彈性驅动將为主要的_{方式}。如果不及时地从油水邊緣以外向含水区注水，这种驅动方式將會很快的結束而轉变成另一种。

严格的講，純粹的水压驅动只有在井底压力高於飽和压力时才能存在。这一点在大多数油田上是很难办到的。

在严格的控制下这种油田的採收率可达 50—80%。

2. 气压驅动。气压驅动的採油效率比水压驅动要低一些，因为气替油不像水洗油那样干淨。产生这种驅动的条件是在油藏頂部有一个相当大的气頂；其它条件与水压驅动相类似。

對於这样的油田，最重要的是不要在气頂部分採气，而且当气頂擴張到那些井时，就要把那些井关闭。在这种驅动下油層的採收率可以达到 40—70%。

气頂驅动常常与溶气驅动一起出現，因此在鑑別时有时也会發生一些困难。

3. 溶气驱动。这类油田的特征是油層压力和油井的产油量下降很快，而气的产量增加很快。最后油、气产量和压力都在極低的水平上稳定下来，这就到了开採的末期。

产生这种驱动的条件是地層中沒有含水区和气頂。当井底压力或油層压力低於飽和压力时也會出現这样的驱动。

完全依靠溶解气开採的油田是極少的。这种驱动的採收率極低，不到 40%。因此在採油中應該極力避免出現这样的驱动方式。

4. 重力驱动。在前面已經談过产生重力驱动的条件。在开採油田的初期就出現重力驱动的情况是很少的。它常常作为气压驱动和溶气驱动后期的一种方式而出現。

在这种方式下油層的採收率最大可达 50%。

驱动方式不是一成不变的，它随着採油条件的改变而变化。可以用注水或注气的方法保持有效的驱动方式，或者把排油效率不高的驅油方式改为最有效的水压驱动或气压驱动。但这样作时必须仔細地研究油田的自然条件、技术条件和經濟条件。

第三章 油井採油的准备工作

第 1 节 油 井

石油和别的矿物不一样，不是採矿工人下到矿井去开採，而是通过油井来开採的。油井是直徑不很大的（100—200 公厘）圓形井。石油从油層內流到油井里，再从井底上