

油、气田开发译文集

油田开发速度

2

中国工业出版社

本书选譯了 9 篇国外討論油田开发速度对油田开发动态和最終采收率影响的文章，內容都是結合具体油层条件介紹了采用不同开发速度和注水速度、注水方式所达到的效果，分析了开发动态。

本书可供油田开发工程技术人員及有关科研、教学人員参考。

油、气田开发譯文集(2)

油田开发速度

*

石油工业部石油科学技术情报研究所图书編輯室編輯

(北京北郊六鋪炕石油工业部)

中国工业出版社出版(北京修繕厂路西10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $6^{1/8}$ ·字数143,000

1965年2月北京第一版·1965年2月北京第一次印刷

印数001—980·定价(科七)1.10元

*

統一书号: 15165·3117(石油-179)

目 录

地台型油田开发过程的控制	M. Л. 苏尔古切夫 (1)
注水速度对石油采收率的影响	J. K. 焦尔丹等 (56)
勃朗宁矿区注水速度对开发动态的影响	F. F. 韦吉脱 (138)
斯泰因砂层注水很有成效	E. A. 瑞烈 (145)
靠近生产井注水的效果问题	A. H. 布钦等 (158)
論测定油井最小井底自噴压力	A. A. 布里斯克曼等 (164)
注水井与生产井之間的最合理的相互关系和在边內 注水条件下注水压力的作用	M. И. 馬克西莫夫 (171)
开发油层不均匀的地台型大油田时边外注水过程 的控制	И. Г. 彼尔苗科夫 (179)
評И. Г. 彼尔苗科夫的文章	M. 米尔欽克等 (192)

地台型油田开发过程的控制

M. И. 苏尔古切夫

摘要 本文介绍了地台型油田产层非均质的性质，产层的非均质性造成的油田开采特点，开发速度对宏观非均质层状油层水淹性质的影响，产层的纵向水淹，水淹单层中的水如何窜流入含油单层以及如何从其中开采石油的各种条件之研究，高渗透单层水淹后从低渗透单层中开采石油的途径，带状非均质油层中边水推进的调节，外含油边界落后于内含油边界，水淹井停产时对层状油层中产生的现象的研究，随开采条件为转移的油井水淹性质，油井停产对油层采油水平的影响，关于补钻的生产井和注水井的布置。

地台型油田产层非均质的性质

许多油田的产层性质是非均质的，其渗透率变化多端，差别很大，由10~50毫达西到2~3达西不等。最大渗透率与最小渗透率之间相差20~30倍以上。当液体的粘度不变时，岩层的渗透率是影响油层液体流动过程的最重要的参数。因之，油层的非均质性只能从渗透率的角度去研究。

研究油层的非均质性时，利用了許多油田的岩心分析、电测井、放射性测井、油矿试测、油井水淹和油层情况等资料。根据这一整套资料查明，許多油层具有下列几种主要非均质特征：

- 1) 带状非均质——油层物性一段一段地发生变化。
- 2) 层状非均质——同一岩性层由渗透率不同的若干小层构成。
- 3) 渗透层与不渗透层的互层。

带状非均质

以波克罗夫油田为例，就能得出这类非均质的概念。

这个油田的 B_2 油层，在短距离内两个地段之间的物性相差 2~7 倍之多。井与井之间渗透率变化非常显著，在此背景上，能划分出许多油层物性变差的地带。例如，油藏南端的物性差，渗透率不超过 100~200 毫达西，而其临近的地带（122、172、153 等井区）却具有高的渗透率。102、170、171 和 203 等井区的渗透率低，再往前，在 6、169、143 和 144 等井区的渗透率又变好了。总的讲，北段油井的产油能力比南段差，这就说明该段的油层性质已变坏。

4. 碳酸盐层的带状非均质性，在全油藏范围内从西翼到东翼表现得很清楚。西翼油井产率非常高，达到 4~6 吨/日，大气压。这里油层渗透率为 2000~3000 毫达西。到东翼，油井产率降为 0.1~1 吨/日·大气压，油层渗透率下降为 100~300 毫达西。东翼含油边界部分有一个 400~600 米的地带实际上已变得不渗透了。油层在南北方向也是非均质的。南端和南段的渗透率比北段高。这类的油层非均质性对开发的影响很大，因为它能使边水沿走向发生不均衡的推进现象，并且能形成水舌，把油藏切割开等等。

层状非均质

这种非均质最重要，因为它能决定油层纵向水淹的性质。当岩心收获率高时，根据岩心分析资料就能清楚地判断出这类非均质性。

例如，波克罗夫油田 5、12、37 和 412 号井 B_2 层岩心分析结果表明，纵向 0.4~1.0 米的范围内，渗透率相差 2~5 倍。而且，在渗透率不同的各单层之间不存在泥质夹层。单层的厚度不一致，介于 0.2~2.0 米之间。5 号井 1614~1619 米井段岩心收获率约为 100%（4.5 米），该井段岩层孔隙度变化范围仅仅是由 17.4

~19.6%。1615米井段的岩心渗透率为3360毫达西，1616米的岩心渗透率为1860毫达西，1617.5米的岩心渗透率为635毫达西，1618.4米岩心渗透率为3600毫达西，即渗透率相差5倍多。

A₄层的层状结构性质，在许多场合下甚至用肉眼都可以观察得到。在长度大的岩心上，有些单层的晶洞很多，而其上下的单层却是致密的。这种现象在微电极测井资料上看得特别清楚。

A₄层的层状非均质程度比B₁层高的多。

其它油田也有油层呈小层状的资料。这方面最有代表性的是杜瑞兹油田1283号井和斯库勒耳油田(章斯层，美国阿肯色州)。

1283井是一口试验井，岩心总收获率占油层厚度的80%以上。有些井段全取心。每米油层分析了5~6个岩样，即每隔15~20厘米一个岩样。在大多数情况下，岩样渗透率相差3~5倍以上。例如，1641米的渗透率为403毫达西，相距30~40厘米达到1720毫达西，即增加了3倍多。

章斯层是砂岩，厚度21米。140口井都取心，收获率70~95.3%，一共分析了15,000多块岩样。有一口井，油层厚度21米，共划分为116段，每段分别进行了描述。这个事实说明，油层的研究程度是多么详细。每个层段平均厚度18厘米，其性质极其多种多样。剖面物性对比时发现，有些高渗透层或者低渗透层，其离油层顶部的距离相等，这种地层在相邻的2~3口井中能见得到，然后就消失了。在较远的油井中，这些地层离油层顶部的距离又不一样了。但可以推测，在地层剖面中不同深度看到的这些高渗透层或渗透较低的单层(凸镜体)，以各种方式相互连通在一起，形成渗透较稳定的地层，在油层顶部之下和底部之上成弯曲状分布。

低渗透单层的孔隙度一般很高(超过13~15%)，所以含有不少石油。致密单层的含油饱和度，根据电测的高电阻就能加以证实。所以，当低渗透率单层的总厚度很大时，全油层的剩余含油饱和度和采收率将在很大的程度上取决于这些单层中的原油量。

渗透层与不渗透层的互层

这是前一类非均质性的常见的极端情况。这时，渗透性较差的砂岩单层转变为泥质单层，石灰岩单层转变为白云岩层和无水石膏单层。这类非均质非常普遍，许多油田上都见到这种情况。

在一定的程度上，这种非均质性对开发是有利的，因为它能使液体分层流动，可以预防水锥的形成，防止油井中整个油层过早的水淹，等等。

产层的非均质性造成的油田开采特点

从油层中排液时，其中所发生的一切现象都受油层本身及其所含液体的性质的控制。如果产层是均质的，油水的粘度一样，油层的采液工作用坑道办法，则油藏的开采过程就变得简易和好办。就能预先非常准确地掌握液体在油层中的流动过程，了解一切即将发生的变化。在这种条件下，油层的采收率很少与开发条件有关。

由于产层在横向和纵向上的非均质性，驱挤液体和被驱挤液体的粘度和其它性质相差很悬殊，而且采油工作是利用少数油井来进行，这就使开发过程变得非常复杂。在现实条件下，在油田开发的许多指标（油层最终采收率、采油量、油井产量等等）与开采条件和开发系统之间出现了依赖关系。在油田开发过程中，会产生一些开采上的特点，这些特点是非常普遍的。兹将水驱油田由于实际产层的非均质性和液体性质的不一致而造成的最主要的开采特点分述如下。

1. 油层纵向（在剖面中）单层水淹现象。边水驱挤石油，首先沿渗透性最好的单层窜流到油井中，而渗透性较差的单层中却仍然残留着石油。在开发的某些时期，油层便成为高渗透率水淹单层和低渗透率含油单层的互层。

2. 边水沿油层的走向不均衡推进。有时，必需沿高渗透带把油藏切割成小开发区。

3. 当油-水带的宽度很大时, 外含油边界的推进速度往往比内含油边界慢的多。

4. 当水沿着油层中渗透率高但厚度不大的部分窜流时, 往往在井壁上水淹程度较小(与整个渗滤面相比)部分的采出液体中含水量高。

5. 油井的水淹取决于开采条件。油井停产以后, 采出液体中的含水量增加, 原油产量和油井产油能力下降。

6. 局部被水淹的高产井停产后, 会使油层的采油量下降。

7. 开采过程中, 必须钻一些补充生产井和注水井, 以便从第一套井网开采不足的地带采油。

现在, 我们将所有这些开采上的特点和如何调整开发过程的问题一起作如下的探讨。

开发速度对宏观非均质层状油层水淹性质的影响

油层纵向的非均质, 即单层渗透率的变化, 造成液体和边水分层流动的性质。油层剖面中边水不均衡的推进, 使开发过程变得复杂起来。因此, 必须研究清楚, 采取改变油层采液速度的办法是否能改变渗透率不同的单层的水淹次序。

有一种意见认为, 如果液体的流动(水的推进线)速度慢, 则渗透率低的单层和凸镜体也会象高渗透层一样地受到水的冲洗。这种意见的流行起源于巴克列和列维列特 1941 年发表的看法。他们认为, 当驱替速度低时, 就能依靠毛细管力在渗透率不同的单层中造成油水接触面均衡一致的条件[4]。1957 年詹尔且、马克·卡尔德尔和郝考特等人也作出了同样的结论[3]。

但是, 这些原理并非任何时候都是正确的。笔者研究了开发速度对层状油层中油水接触面移动性质的影响问题, 并且对毛细管在该过程中的作用提出了评价[6]。

亲水油层中, 油水接触面上的毛细管力与外压力聚合在一起, 因为毛细管力的方向与油水接触面流动方向一致。而在憎水油层中, 毛细管力与接触面流动方向相反, 给流动造成阻力, 所

以应从油水接触面和采液綫之間造成的外压差中把毛細管压力扣除掉。我們知道，毛細管压力和孔道半径的一次冪成反比，或者是从油层渗透率和孔道半径的关系来看，毛細管压力与渗透率的平方根成反比。在渗透率为 50~100 毫达西的細粒油层中，毛細管压力达到 0.6~1.0 大气压。油层中液体（接触面）推进速度与孔道半径的平方或渗透率平方成正比。因之，无论外压力多大，液体在半径大的孔道中（渗透率高的单层）的流动速度比半径小的孔道中要快一些。

如果外压差比接触面上的毛細管压力高出很多，可以把毛細管压力忽略不計的話，則各种单层中接触面移动速度的关系等于相应的渗透率关系，即

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{K_1}{K_2}.$$

当开发速度很低，外压差接近于零时，亲水油层的速度关系是

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}}.$$

因之，在介于上述两种极端情况之間的任一油层采油速度时，亲水油层不同单层中的接触面推进速度关系的变化范围是

$$p_{k_2} > \Delta p > p_{k_1} \text{ 时 } \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \leq \frac{V_1}{V_2} \leq \frac{K_1}{K_2}.$$

对于憎水油层来讲，这种速度关系的变化范围是

$$p_{k_2} < \Delta p < p_{k_1} \text{ 时 } \frac{K_1}{K_2} \leq \frac{V_1}{V_2} \leq \infty,$$

式中 p_{k_2} ——渗透較低单层中的毛細管压力；

Δp ——外压差。

后一种情况下的无限性，意味着在亲水油层的渗透性差的单层中，当外压差小时就完全停止流动。

上述的关系式是针对驅挤液体和被驅挤液体的粘度相等的情况求出的。显然，对于两种液体的系統来讲，在渗透較好的单层中接触面推进較快的情况，当 $\mu_k > \mu_s$ 时会加快，相反，当 $\mu_k <$

μ_o 时就减缓。

图1用表格形式表明,当单层的渗透率相差5倍($K_1=5K_2$)时,开发速度对不同单层中油水分界面推进速度关系发生的影响。

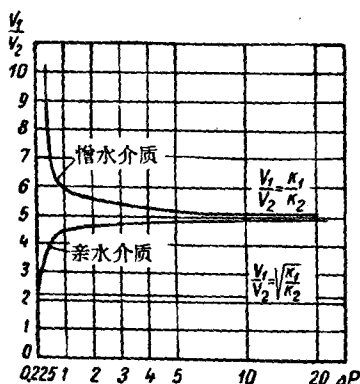


图1 不同单层油水接触面推进速度关系 V_1/V_2 与压差 ΔP (采液速度)的关系曲线

从图1可以看出,当油水分界面与排液线之间的压差为10个大气压时,不同单层中油水接触面推进速度的关系实际上等于各单层的渗透率比 $\frac{V_1}{V_2} = 4.94$ 。当压差较高时,速度比更等于渗透率比。甚至当油层采液速度非常低时,在 $\Delta P=0$ 的情况下,速度比 $\frac{V_1}{V_2} = 2.24$ 。因之,在这些条件之下,高渗透率单层中油水接触面的推进速度要比渗透率低的单层中快的多。

笔者证明〔6〕,不同单层中油水接触面推进速度的比值并不取决于非均质单层的长度,而仅取决于外压差、毛细管压力和渗透率。因之,如果沿油层走向出现面积小渗透性差的凸透镜体或包裹体时,则油水分界面在它们中间和其临近高渗透带中的推进情况是相似的。这样看来,在任何实际上可采取的宏观非均质油层

采液速度的情况下，不論非均质的性质如何，油水分界面在高渗透单层和凸鏡体中推进的速度总是高于低渗透的单层和凸鏡体。在实际上合理的采液速度之下（ $\Delta P = 5 \sim 50$ 大气压），油水分界面的推进速度与不同单层和凸鏡体的渗透率成正比。如果不考虑分子表面现象，則由此就可以得出結論，在水未窜流入油井之前，油层的采收率不取决于采液速度和开发速度。当开发速度高时，只不过是水到达油井的速度比开发速度低时快一些而已。但是，当含油边界均匀收缩时，无水期的总采油量将是一致的。

含水开采期的采液速度高时，只不过是加快了液体含水量增加的速度而已。但这时并不能根本改变液体含水的规律，含水规律取决于不同单层水淹的顺序，即取决于油层的天然层状非均质性。

产层的纵向水淹

如上所述，实际的产层具有层状非均质性，而水在纵向上进入油藏的性质决定于油层非均质性的分布与程度，并不决定于开发速度^①。所以說，研究产层在现实条件下的水淹性质是有意义的。

根据油层水淹带所钻油井的电测資料，就能很好地了解油层纵向水淹情况。水侵入油层中間和上部高渗透井段的情况是一种普遍现象。許多油田的大量資料都說明这类水淹情况。例如，在包克罗夫油田上有的井中发现油层中部被水所淹。含煤层油藏南段的183、184、54、119、704和74井，以及北段的709、420、612、440、426、624、59和617井（图2）均属于这类油井。应当說明的是，119、183、54、126等井是1954~1955年钻成的，那时从油层中采出的液体还不多。其余的井都是1956~1958年钻成的，这时，采液量已显著增加。这在一定程度上可以証明采液速度对油层纵向水淹性质沒有影响的結論。

● 油、水的粘度差将起一定的作用。——原編者

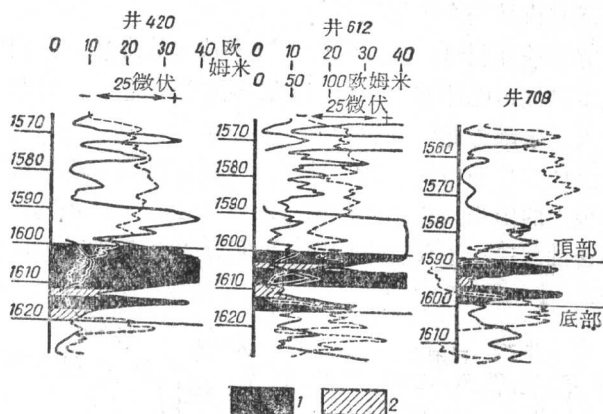


图 2 油层纵向水淹性质。波克罗夫油田北段的 B_2 层
1—含油层段；2—水淹层段

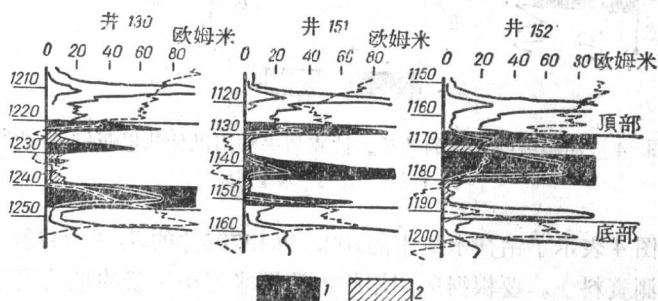


图 3 油层纵向水淹性质。佐里内依油田 B_2 油层
1—含油层段；2—水淹层段

在佐里内依油田上，油层在纵向上单层水淹的性质看得更清楚。这个油田的 B_2 层已处于开发晚期，已采出可采原油储量80%，油田大部分已被水所淹。图3表示了佐里内依油田 B_2 油层在130、133、146、151和152井区的水淹性质。甚至观察到水在油层中部2~3个井段窜流的现象。这种资料在佐里内依油田上非常多。从图2和图3可以看出，含油层段并没有和含水层段分

隔开，而是直接与含水层段接触。

研究碳酸盐层纵向水淹的性质具有特殊的意义。我們可以举出波克罗夫油田巴什基里亚組 A_4 层为例来研究这个問題。該油田是在人工水驅方式下开发的。

在巴什基里亚組油藏的条件下，对油层纵向水淹性质的研究碰到了很大的困难。这个問題的全部复杂性在于，碳酸盐层中的含水和含油层段，不仅在电测图上，就是在放射性图上也极不易区别开。

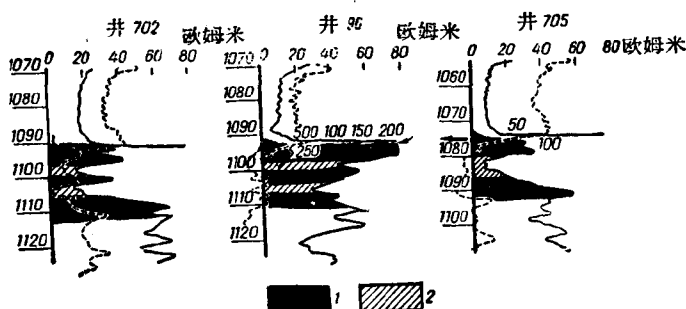


图 4 油层纵向水淹的性质。波克罗夫油田巴什基里亚組 A_4 油层
1—含油层段；2—水淹层段

图 4 表示了钻在水淹带的 702、96 和 705 井的 A_4 层的特性（根据电测資料）。要根据所引用的电测图来正确无误的把油层中的含油层段和含水层段加以解释，这当然是不可能的。但是，考虑到这些井肯定钻在油层水淹带中的事实，所以可以认为水已经通过了油层原先的含油部份。我們就在电测图上划分出了被水淹的可能性最大的层段。

凡是视电阻很低、 ΠC 为負異常的层段，我們都划为水淹层段。

根据水淹带油层采收率的資料，就能部分地說明 A_4 油层的单层水淹性质，說明水并不是在整个油层侵入井中，而只是沿着个别层段进入油井。分析資料表明， A_4 油层水淹带的目前采收

率为31.0%，这就是說，这些地帶的含油飽和度占原始含油飽和度的69.0%〔1〕。在粗晶粒洞狀的非均质油层中，水淹帶的含油飽和度这样高，不可能是均匀分布的。很可能，大部分石油集中在渗透性低的較致密的单层中。

水是沿着个别渗透性最高的层段窜流，而这些层段的地层剖面中的分布情况可能是多种多样的，因之，就产生了单层水淹的性质。所以說，这种高渗透单层已被水淹而低渗透单层仍然含油的條件，可能在許多油田的砂质产油层和碳酸盐类产油层中都存在。

水淹单层中的水如何窜流入含油单层 以及如何从其中开采石油的各种条件之研究

由于产层具有单层水淹的性质，所以有必要探索和研究如何从低渗透单层中更充分地开采石油的有利条件。在稳定的方式下，油层中的液体沿着与层面平行的流动綫向前移动。所以，当油层具有非常明显的层狀非均质性时，为了在高渗透单层水淹后从渗透性低的单层中开采石油，需要一段十分长的阶段。根据許多油田的經驗得知，在开发末期要采出石油儲量的5~10%，其所需要的时间比开发前期采出50~60%石油儲量要长的多。其原因是当高渗透单层水淹后，油井的产油能力下降，而从低渗透层中采出的石油非常少。

显然，如果能迫使水不仅沿层理侵入油层，而且能通过含油单层与水淹单层的广大接触面侵入油层时，如果在它們之間沒有不渗透的分隔夹层，則从渗透性低的单层中采油的过程将会是有效的，而且也将会是較强烈的。只有油层中液体流动的方式不定时，例如提高供水边缘上的压力时，才能出現这种使水侵入油层的条件。

提高供水边缘上的压力时，各单层的压力开始重新分布，并且开始以不同的速度提高。在已被水淹的单层中，由于其导压性能較高，所以压力提高的速度要比渗透性低的含油单层中快的

多。其結果是在水淹单层与含油单层之間造成一种压差，如果它們之間不存在不渗透夹层，則由于造成的压差就会发生水的窜流。因为在油层纵向非均质和几种液体并存的条件下，单层之間的压差不会任何时候恒定不变，也不会在整个的单层接触面上都一致，所以对水的层間窜流现象要进行严谨的数学研究是极其复杂的，特别是在液体接触面向前移动的情况下。

如果假定，在一段时间內，单层間的压差在它們接触的每一点上保持不变，則研究水从具有一种导压性的单层向具有另一种导压性的单层窜流的过程就較简单（类似固定状态的替换），并可归結为解下列数学題。

需解方程式

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0$$

在平面所夹的范围內（图 5）

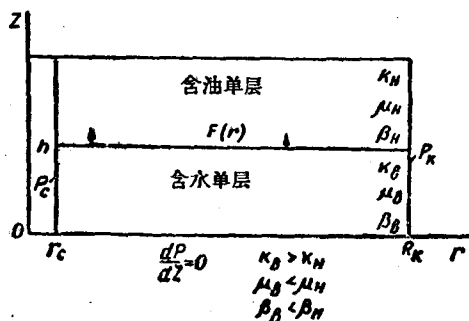


图 5

$$r=r_c, \quad r=R_k, \quad z=0 \quad \text{和} \quad z=h,$$

需滿足下列条件:

$$0 \leq z \leq h \text{ 时 } P(r_c, z) = 0,$$

$$0 \leq z \leq h \text{ 时 } P(R_k, z) = P_k,$$

$$r_c \leq r \leq R_k \text{ 时 } \left. \frac{\partial P}{\partial z} \right|_{z=0} = 0,$$

$$r_c \leq r \leq R_k \text{ 时 } P(r, h) = F(r),$$

式中 $F(R_\kappa) = P_\kappa$ 和 $F(r_c) = P_c$ 。

函数 $F(r)$ 反映单层接触面上的状态，在改变供水边缘的压力后，不同时间的函数 $F(r)$ 可根据已知的弹性驱动公式来求。

题解的结论复杂，略去不列。我们现将利用 H.C. 皮斯库诺夫方法求得的^①并用富列-别斯谢尔级数表示的 (10a) 最终所求的题解（方程式）列述如下。

$$\begin{aligned}
 P(r, z) = & P_\kappa + \frac{2}{R_\kappa^3} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{l_0 \left(\lambda_m \frac{r}{R_\kappa} \right) \operatorname{ch} \frac{\lambda_m^3}{R_\kappa}}{l_0'^2(\lambda_m) \operatorname{ch} \frac{\lambda_m h}{R_\kappa}} \times \\
 & \int_0^r [F(\tau) - P_\kappa] l_0 \left(\lambda_m \frac{\tau}{R_\kappa} \right) d\tau + \sum_{n=0}^{\infty} C_n \times \\
 & - K_0 \left(\frac{2n+1}{2h} \pi R_\kappa \right) T_0 \left(\frac{2n+1}{2h} \pi r_c \right) + T_0 \left(\frac{2n+1}{2h} \pi R_\kappa \right) \\
 & \times \frac{T_0 \left(\frac{2n+1}{2h} \pi R_\kappa \right) K_0 \left(\frac{2n+1}{2h} \pi r_c \right) - T_0 \left(\frac{2n+1}{2h} \pi r_c \right)}{K_0 \left(\frac{2n+1}{2h} \pi r_c \right)} \times \cos \frac{2n+1}{2h} \pi z, \\
 & K_0 \left(\frac{2n+1}{2h} \pi R_\kappa \right)
 \end{aligned}$$

式中 l_0 —— 一级别斯谢尔函数；

K_0, T_0 —— 根据为虚构的别斯谢尔函数；

C_n —— 富列系数；

λ_m —— 别斯谢尔函数根；

ch —— 双曲余弦。

为了确定从水淹单层向临近的含油单层中窜流的液体量，需要计算积分

① 全苏采油研究所文集，第Ⅺ期，苏联石油燃料技术出版社1958年版。

$$\frac{K}{\mu} \int_{r_0}^R \frac{\partial P}{\partial z} \Big|_{z=h} 2\pi r dr.$$

从上述题解的研究中来看，計算后一积分是困难的。因之，在提高供水边界上的压力情况下，为了估計从一个单层向另一个单层窜流的水量，可以利用作者也根据 H.C. 皮斯庫諾夫方法求出的近似题解[7]。

近似题解的实质是，在低渗透含油单层中，窜流水的流动綫复杂，近似断綫一般。因之，得出了在增加油层注水量时表示层間水窜流量的公式。

例如，边外注水时层間窜流量用下列公式来求，

$$\frac{\mu_{\kappa}}{2\pi K_2} Q = \int_{R_2}^{R_{\kappa}} \frac{(P_{\kappa} - P_c) dr}{h[(R_{\kappa} - R_2)^n - (r - R_2)^n] + \frac{\ln \frac{r}{R_2} (R_{\kappa} - R_2)^n}{nh(r - R_2)^{n-1}}}$$

压力差 $P_{\kappa} - P_c$ 是压力提高的差值； $\Delta P_1(r, t)$ ——水淹单层中压力提高值； $\Delta P_2(r, t)$ ——含油单层中压力提高值。

$$P_{\kappa} - P_c = \Delta P_1 - \Delta P_2 = \Delta P(r, t)$$

它們根据已知的弹性驱动公式来求。后一种公式要进行精确的积分也是困难的。

为了对窜流水量作出大致的定量估計，可以利用近似积分法——梯度法或拋物綫法（辛普生）。

在我們的著作中[7]，引証了一个在下列实际条件下这类計算的实例。一个地层由两个单层組成——一个水淹单层和一个含油单层——厚度 1 米。水淹单层的渗透率 1.2 达西，含油单层的渗透率 0.2 达西。水的粘度 1.2 厘泊，原油粘度 3.6 厘泊，孔隙度 0.2，水的压缩系数 $4 \cdot 10^{-5}$ ，原油的压缩系数 $2 \cdot 10^{-4}$ ，孔隙介质的压缩系数 $1.2 \cdot 10^{-5}$ 。在这些条件下，水淹单层的导压性 $n_1 =$