

油田开发动态分析方法

〔苏联〕H. T. 皮尔苗科夫等著

楊通佑 齐小惠 王丹阳 周炳元等译

中国工业出版社

油田开发动态分析方法

〔苏联〕 И.Г.皮尔苗科夫等著

楊通佑 齐小惠 王丹阳 周炳元等譯

中国工业出版社

书中介绍了油田开发动态的地质分析方法, 包括生产层、小层的划分, 构造图的编制等, 并着重介绍了了解油水界面和含油边界推进的方法, 以及对油田开发过程的工艺分析, 如油层压力的变化、液体采出量的变化、油田水淹速度等。

本书可供油田开发开采工程技术人员和石油院校教学人员参考。

* * *

原文中的前言、第十二章2—4节、第十三章及附录, 因参考价值不大, 中译本均删节未印。

И. Г. Пермяков М. М. Саттаров И. Б. Генкин
МЕТОДИКА АНАЛИЗА РАЗРАБОТКИ
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Гостехиздат Москва 1962

* * *

油田开发动态分析方法

楊通佑 齐小惠 等译
王丹阳 周炳元

*

石油工业部石油科学技术情报研究所图书编辑室编辑 (北京北郊六铺炕)

中国工业出版社出版 (北京佳林路路西10号)

北京市书刊出版业营业许可出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $9^{1/4}$ ·字数221,000

1965年10月北京第一版·1965年10月北京第一次印刷

印数0001—1150·定价(科六)1.30元

*

统一书号: 15165·4134(石油-370)

序

在油藏开发过程中，系統地进行开发分析的目的首先是通过了解水的运动特点，地层压力的分布及随時間而变的情况，分井及全油田的产量和水淹程度，以及其采出程度等来更好的掌握油藏的开采情况。

只有在掌握了油藏的地质結構，儲油层的变化特征及油层的动态以后，才有可能采取及时而正确的改善油田开发的措施。

只有經常充实与提高采收率及各种工艺措施的經濟效果有关的油田开发基本理論知识，才有可能不断改善油田的开发状况。因此，通过对矿場观察資料和地质静态資料的研究来进一步发展油田开发理論就很重要。

开发分析工作者的任务是：1) 作动态分析，其任务是搞清所开发油藏的目前状况，編制計劃及进行各种矿場研究，系統整理和积累这些研究的成果并提出改善油藏开发状况的措施；2) 解决油田开发方面的某些理論問題。

开发分析一般是每年作一次。

解决某些开发理論問題的工作是根据矿場資料的积累程度逐步进行的。

各油田及同一油田在不同时期的开发分析报告所需要闡明的问题无法取得統一，更无法规格化。但有些問題則在各油田及其各时期的开发分析报告中都必须提到。首先必須闡明写报告时已认识到的油层及油藏的地质結構，并必須附有标有原始和目前内外含油边界的开采层的頂面图及底面图。在开发头二年的地质报告中还必须附有修正后的原始油水界面图。

同时还需要闡明油藏目前的开发状况，因此需要有开采現狀图、等压图和开采曲线，它們表明从开始开发到写报告时的采液量、注水量及地层压力的变化情况。

應該把开发設計与总体规划中所訂的指标和目前开发指标相比，并在对比的基础上作出結論，提出改进意見。

在油田各阶段的开发分析报告中，还应提到該阶段最重要的研究成果。

在开发初期約2—3年時間內，特別要注意搞清油藏和儲油层的地质結構。

各阶段的开发分析报告还應該附有水动力系統的詳尽分析，尤其是各个油层間的水动力系統連通情况。它們能間接的表明油藏結構的特征。

在开发初期的分析报告中必須附有每年年初沿同一方向的压力对比剖面、各开采层的計算压力分布图，并与实测压力图作对比，作出計算与实测压力差值图。編制类似图幅的經驗表明，它們能間接的指出地层裂縫的发育带与裂縫方向。

在头几年內，应在所有井中测压力恢复曲线，研究油层的渗透率及个别层間和同一层各地区的連通情况。

在开发較小的油藏时，油藏往往在第一阶段已被全部鉆开。在大油田上則只有当其鉆开程度达60—70%时才能对某些地质細节做出結論。

如果說在开发第一阶段，开发分析的主要任务是搞清油田的地质結構，則第二阶段开发分析的主要任务應該是研究油、水界面和油、水边界的推进情况。

在这个阶段就无需再用計算方法編制等压图以及一些由其衍生的图幅。一般來說，按分井实测資料所作的等压图，对压力变化的分析來說是足够的。但此外还必须編制目前油、水界面图和它的一些衍生图：含油边界推进图、未被驅替的油层等厚图、水淹油层等厚图。由于缺乏实际資料，这些图幅在油田开发初期都是无法編制的。

綜合分析上述图幅和地质靜态資料后就能够对油田采收率作出評價，并能了解所实施的开发方案与油田地质結構的适应程度。

根据該阶段矿場分析資料的結果，應該提出改善开发方案的

措施，以提高油层采收率和降低原油成本。

上述問題非常重要，因为油田开发方案那怕只有很小的改进，便有可能收到很大的經濟效果。如果有类似杜瑪茲、什加波夫、阿尔兰油田的情况，即在开发过程中发现目前的注水系統由于特殊的地质情况，而不能保証最大限度的采出地下原油的話，則可以提出改变注水井和生产井的分布方案，甚至可另提出新的布井方案来。

在搞清含油边界的推进情况与含油界面的上升情况后，开发分析的任务就應該是研究水沿各小层的推进情况并提出能使水线推进最均匀、油藏注水受效面积最大的措施来。

在开发珊瑚礁和其他溶解气驅油藏时，在开发的第一阶段产量不断上升，达到最高值后就立即逐年的下降，即使再增加生产井也再无法維持原来的水平。此后就开始了珊瑚礁油藏开发的第二阶段，油藏便有規律的逐渐枯竭。

此阶段所积累的矿場資料很宝贵，这些資料有助于核实剩余儲量和解决一系列理論問題。

用第八章中的統計法能很容易的估价此阶段对地层采用人工措施的效果。

在进行开发分析时，預測与开发方案的变动有关的油井水淹程度及油井动态（按油井水淹程度分）相当重要。

烏发石油研究所和全苏石油研究院的工作人員提出了分区和全油层水淹程度的計算方法。同时还提出了随采出程度并况变化的計算方法，其中考虑了地层滲透率的不均质程度及注水井与生产井在构造上的相互位置。

这些問題只能用地质、水动力学、工艺、經濟的綜合分析方法才能解决。

当然，由于油田地质结构的特征，矿場的具体条件和采油計劃的要求，任何油田都有自己独特的問題，本书不可能全部提到，但是本书所談到的开发分析方法已足以解决在任何油田开发过程中所出現的主要問題。

目 录

序

第一部分 研究油藏地质结构和油层性质时地质与矿场资料的分析

第一章	研究油田结构时地质和矿场资料的综合利用	1
第二章	利用地质与地球物理资料研究油藏地质结构	7
第1节	关于油层及油层组结构概念的说明	7
第2节	在油井剖面上油层和油层组的划分	11
第3节	油层非均质性的定量解释	12
第4节	标准层构造图的绘制	17
第5节	对比图的绘制	17
第6节	等厚图的绘制	20
第7节	地质剖面的绘制和应用	23
第8节	油层及油层组顶、底界面图的绘制	25
第三章	地层参数的研究	27
第1节	地层渗透率的确定	27
第2节	根据指示曲线确定渗透率	29
第3节	根据压力恢复曲线确定渗透率	30
第4节	确定渗透率的地球物理方法	36
第5节	利用各种方法确定渗透率的实例	39
第6节	用数学统计法确定地层平均渗透率	48
第7节	孔隙度的确定	61

第二部分 油田开发过程中的工艺分析

第四章	孔隙介质中液体渗流的理论基础	62
第1节	基本微分方程式	62
第2节	稳定流动(刚性水压驱动)	63

第3节	不稳定流动(弹性驱动)	68
第4节	迭加原理	77
第5节	溶解气驱	79
第6节	混合驱动	83
第7节	确定油井生产能力时对油层非均质的考虑	83
第五章	地层压力变化的观察	89
第1节	若干名词的解释——地层压力和井底压力	89
第2节	地层压力的测定	95
第3节	测压数据的初步整理	99
第4节	根据测压资料绘制等压图	101
第5节	用算法绘制等压图	104
第六章	在油藏的各种开采条件下采液量、注水量及地层 压力变化的预测	123
第1节	边外地区油层参数的确定	123
第2节	在未保持压力的油藏开采时压力及产液量变化的预测	127
第3节	保持压力开发油藏时压力及产液量变化的预测	130
第4节	增加采液水平的途径	131
第七章	预测油藏及油井的水淹速度	138
第1节	油藏水淹速度的计算方法	139
第2节	开发方式对油藏水淹性质的影响及减少采水量的办法	152
第3节	生产井水淹的预测	156
第八章	用统计法计算产油量和产水量	158
第1节	统计法在油田开发方面应用的范围	158
第2节	应用开采曲线来说明油藏开发现状	162
第3节	积分曲线	166
第4节	绘制产率曲线和累积曲线的理论根据	177
第5节	研究用开采资料绘制的累积曲线	184
第6节	整理矿场观察资料的方法	187
第九章	油水界面和含油边界移动情况的观察	200
第1节	术语解释及关于研究油水界面移动的问题	200
第2节	绘制油水界面图所需的原始数据	201
第3节	油水界面图的绘制原则	202
第4节	油水界面上升速度分布图(辅助图)的绘制	205

VII

第5节	油水界面图的绘制	207
第6节	根据油井含水百分数确定油水界面的位置	208
第7节	含油边界图的绘制	211
第十章	利用矿场资料确定储量利用系数	212
第1节	概念与术语的说明	212
第2节	有效储量系数的计算方法	214
第3节	利用矿场资料确定储量利用系数	219
第4节	砂层水洗部分等厚图的绘制及其体积的计算方法	220
第5节	确定储量利用系数时应该考虑的条件	224

第三部分 油田开发经济分析和确定开发效果的方法

第十一章	油田开发经济分析和确定开发效果的意义	227
第十二章	油田开发经济分析和确定开发效果的方法	228

第四部分 大油田局部区开发分析实例

第1节	开发区概述	243
第2节	区的开发现状	246
第3节	边内注水井吸水能力的研究	251
第4节	靠边内注水所增产的油量的计算	256
第5节	开发期限和油井水淹速度的计算	259
第6节	开发区采用边内注水的经济效果	269
第7节	边外注水时开发区的工艺指标	276
参考文献		281

第一部分 研究油藏地质結構和 油层性质时对地质与矿場資料的分析

第一章 研究油田結構时地质和 矿場資料的綜合利用

在制定油田开发方案时，确定开发系統所必須的油田結構的許多重要特征往往是未知的。只有按选定的方案开发之后，才有可能弄清油藏結構和更准确的确定油层的儲油性质。

摸清油田地质情况和比較正确的了解水在油层內的运动規律，是解决油田开发过程中出現的一系列問題时所必須的。因此，油田开发分析工作者的首要任务，便是在开发初期就要設法搞清油田的結構，研究油层的不均质性和油层的性质。

但是往往在油田开发初期，从新完鈇井所取得的地质資料（岩心与电測曲线）远不足以确定油田的地质結構，从而也不能判断所采用的开发方案是否与油藏地质結構相适应。

巴什基里亚油田的开发經驗表明，在开发初期，很多油田地质結構資料可用来概略地研究压力分布与油井产量的变化情况。这是因为，压力与产量的变化情况与油藏的地质結構，地层儲油性质的分布情况以及与是否有裂縫带存在及裂縫的方向等有关。因此，研究压力与产量的变化情况也可以間接地闡明油藏地质結構特征，而单靠探井与生产井的鈇井資料則不能做到这一点。

綜合利用地质和矿場資料，可以在开发早期就确定高产带与低产带的大致分布状况及油田結構的特征，例如是否有层間連通和串流現象，是否有沿某方向的裂縫等。

杜瑪茲油田早期边外注水的开发分析，可以作为在油田开发早期用綜合分析地质資料和开发技術資料的方法来确定地质結構

特征的很好的例子。

杜瑪茲油田第二层 (II) 在 1948 年 6 月开始注水, 第一层 (I) 在 1949 年 7 月开始注水。

虽然第一层注水是在 1949 年年中开始的, 1950 年才全部投注, 但 II 层因为受 III 层注水的影响, 在 1949 年初压力就有所上升。这种影响是用下述方法确定出来的。用实测資料和按弹性水驅理論的計算数据作了 1948 年与 1949 年每季度初的 II 与 III 层的压力分布图^[125]。

比較用实测地层压力資料所作的等压图与理論計算的压力分布图后发现, 在 III 层的某些区域内实测压力低于計算值, 而第一层在相同区域内則正好相反, 实测压力高于計算值。

为了更清楚的表示实测油层压力与計算压力之間的异常, 还作了实测与計算压力差图。編制了 III 层的負差图, II 层的与計算值相比的剩压图及泥岩夹层等厚图。对比这三张图后表明, II 层的剩压区不仅与 III 层的負压区相吻合, 而且还与泥岩夹层最薄的地区对应。所有这些足以說明 III 向 II 的窜流現象, 并在 1950 年初就大致的确定了这些窜流区的位置。因此, 綜合研究矿場資料就能在开发的头几年弄清杜瑪茲油田結構的主要特征^[127]。

由于水动力学計算和弹性驅动理論于 1950 年才开始用于开发分析, 所以多数矿場工作者对由此而得出层間連通結論的水动力学計算方法不很信服。因而关于层間相互干扰的觀點也被推翻了。

只有在 1953 年, 当油田鉆开程度与 1950 年相比已相当高时, 此时压力的异常現象才被明显的觉察: 油、水边界內的很多井已見水。至此, 层間的連通才被承认^[127]。

为了証实层間的連通性, 作了四十多个杜瑪茲油田的縱橫地质剖面, 并且为每个地质剖面都編制了 1950 年和 1953 年初的压力剖面。例如图 1 所示的就是这样一个附有压力剖面的油田构造西北翼的地质剖面。

当 II 层的注入量远少于采出量时, III 层的注入量却大大地

超过了它的采出量。因此第二层的压力就比第一层的高很多，在等压图上窜流区就显得特别清楚。

比較 1950 年与 1953 年的压力剖面的压力值，发现 1953 年的压力值在泥岩夹层未被侵蚀的部分和夹层较厚的地方下降很多。而在 501、551、576 井区与 1950 年相比压力反而有所升高。

这可用下列事实来解释。由钻井资料证明，551 井区 Π 、 Π 层間泥岩夹层缺失，因此在 551 井区应该存在 Π 向 Π 的窜流现象。此外 551 井虽然位于离含油边界很远的純油区内，却发现含有油层水，油、水界面高得反常。501 与 576 井区异常高的压力值同样可解释为在它們附近有 Π 层通过泥岩天窗向 Π 层的窜流现象。

事实上，与 551 井区相比，在 501 井区含油边界內的油、水界面更高，压力值也更大。在剖面上虽然表示出泥岩夹层有侵蚀，但未侵蚀到夹层底，故可以认为在 501 井附近有天窗存在，只是它未落到此剖面上罢了。

576 井区的压力很高，可认为是因与窜流带很近的缘故。通过 576 井的剖面证明，在此井附近的 846 井区泥岩夹层缺失。虽然 846 井含油边界很远，油层頂面比 551、576 井高得多，但在此井区 Π 层却已被水淹到頂面。

1953 年底，用对比这些剖面的方法編制了精确表示窜流带和层間泥岩夹层侵蚀区的平面图。

如果只利用地质资料这是不可能做到的。

从上述例子可以看出，只借助于綜合分析地质资料、产量及压力数据，到 1953 年就搞清了杜瑪茲油田的地质特征，証实了油层間的連通，并較精确的画出了从 Π 向 Π 窜流的地区。

对比 1953 年与 1950 年所作的图幅后可看出，1950 年所划出的层間連通区是正确的。

編制地质剖面与压力剖面并不特別困难，矿場研究实验室就可編制这些图幅。但在描述油藏地质结构的性质与其在开发过程中变化的特点时，这些剖面的作用却很大。在油藏开发初期最好能系統的編制地质剖面与压力剖面。如果确实认为油层与其他层

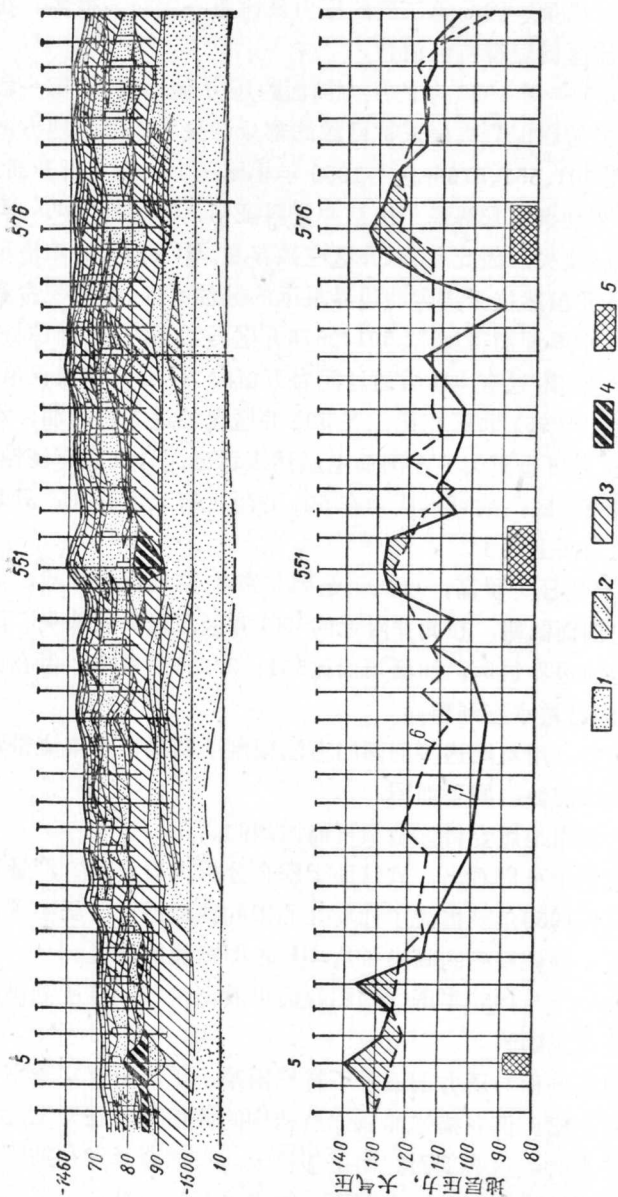


图 1 地质剖面与压力剖面

1—砂岩；2—粉砂岩；3—泥岩与泥砂岩；4—第一层的水淹部分；5—泥岩侵蚀带的砂岩发育区；6—1950年油层压力分布曲线；7—1953年1月1日油层压力分布曲线

有可能連通时，則編制这类图幅就更为必要了。

研究裂縫方向及其对各方向渗透率的影响，可作为利用綜合分析地质与矿場資料来研究油层性质的第二个較成功的例子。

图 2 是 1949 年 10 月 1 日，即第二层在注水后三个月的分井产量图。产量的增长間接表明了油层压力的增长情况。如果油层各方向厚度相等，則来自注水井的压力增长速度将与油层导压系数成正比。

从开采图(图 2)可以看出，主要由 297、521 注水井管轄的构造东南翼的产量增长情况很不均匀。压力增长最快的是东南翼沿 25、36、5 井这一带，最慢的是 50 号井区与走向垂直方向的这一带。

由于地层的导压系数决定于其渗透率的大小，所以同一油层內某区各方向上导压系数不等，这只能被解释为由于各方向渗透率不同的緣故。

均一地层各方向具有不同的渗透率，則可被解释为沿渗透率較高的方向可能有裂縫存在。

在 E. H. 彼尔苗可夫的著作中指出^[120]，俄罗斯地台穹状隆起的裂縫沿二个方向发育：一是在构造翼部，其方向与走向平行，另一是在隆起的頂部，其方向与构造軸线成 $40-45^\circ$ 角。

压力分布的速度由 297 井向 25、26、5 井增高，是因为这些井位于油层凹陷較陡的东南翼，此区裂縫发育，裂縫的走向与构造翼部的地层走向平行。

存在裂縫的推测，已为油层导压性的研究所証实。研究表明，該区油层沿走向的导压性比垂直于走向方向的导压性大三倍多。当各方向的渗透性都相同时，某一方向导压性的增长只能被解释为在此方向有裂縫存在的緣故。

在西北翼，油井受效最快的是 170、407、101 井线。这同样可解释为可能在西北翼有与构造軸线成 40° 相交的裂縫存在。

應該指出，証实裂縫存在的主要依据不是岩心資料，而是試井、水动力学計算，采液和注水等資料。

所举的在研究油田地质結構时，綜合利用所有地质与矿場資

料的两个例子表明，同时应用間接的与在钻井过程中所得到的地质与地球物理直接资料的重要性。

油矿地质师同时还需要研究油田的水淹情况。观察油、水界面在开发过程中移动情况的方法下面将会提到。

地质与矿場資料分析的主要任务是解决与改善油藏开发方案有关的一些問題及一些开发理論問題。属于理論問題的有：考虑油田地质結構时的注水井和生产井的布置与采收率之間的关系；确定注采强度对开发期限及原油采出程度的影响；預測在各种开采速度下整个油藏和个别油井的水淹增长情况及一些其他問題。

为解决这些問題必須編制分层等厚图，每年的油、水界面图及表現开采层儲油性质的图幅。

在油矿地质教程^[106]中一般所提到的上述图幅的編制方法，对解决上述問題來說根本无法保証必要的精度，特别是在大油田开发初期，当井网还很稀，地质資料还不足以編制具有必要精度的图幅时就更是这样。因此在开发初期地质資料的整理，必須与开发过程中所取得資料的水动力学分析相結合。綜合利用地质、矿場資料的必要性已为上述各例所証实。

第二章 利用地质与地球物理資料 研究油藏地质結構

第1节 关于油层及油层組結構概念的說明

在油层和油层組的定义之間沒有明显的区别。当开采对象如格罗茲內区或菲尔干区油田那样，沿走向分布稳定的单一油层时，則称其为油层較合适。在巴什基里亞各油田就沒有这种稳定油层。一般从最初几口井所取得的資料看，开采对象总好象是一均质地层。但当再继续鑽开油区时，往往会在构造的某些地区发现

有油层被泥岩夹层分为好几个小层的现象。

所以当开采巴什基里亚和韃靼地区的泥盆紀和石炭紀油藏时，所有为同一井网所开发的开采对象，不管它是一均质油层或是一組油层，都称其为油层組较为合适。

为油田开发所作的地质研究，經常是从划分油层剖面的生产层和其間的泥岩夹层开始的。因此在制定油田的总体設計和开发設計时，开采层組就应该已經确定。

一般在进行油田开发分析时就不再划分任何新的开采层組了。但在实际开采过程中却往往并非如此，常常在已被确定的开采层組中找到新的油层。新发现的油层或用单独的井网开采，或为其补钻注水井，使其受到充分的注水效果。因此为了要搞清油藏的结构就应该检查分井或全油田油层組划分的正确性。这可以通过編制表現油藏结构的剖面图和平面图来进行。假如油层为一沉积比較稳定的地层，則可以先編制油层頂面构造图；假如在开发区內油层組岩性不稳定，則可以按靠近油层組的任一标准层来編制其构造图。

借助构造图可以合理地确定地质剖面的位置。地质剖面最好沿两个相互垂直的方向布置，即一組剖面沿走向布置，另一組則垂直于走向而沿构造的长軸布置。

在平緩的地台型构造条件下，編制构造图以前需要作对比图。对比图是在保持一定的垂直与水平比例尺的条件下，按上部标准层对比油井剖面而編制的(图3)。

这样編制而得的对比图即为上部标准层沉积时的古地质剖面。这种剖面能詳細的解释油层組的沉积条件。在作对比图的过程中，需要按上、中、下各标准层依次对比各井的剖面。但最后作对比图时就不应按中或下标准层进行，因为在这种情况下只能得到各层厚度間的关系，它不反映沉积条件。这样的剖面不便于地质分析。

在对比油井剖面时往往不按一定的水平与垂直比例尺进行。这就会引起对油层的大小和其相互位置产生很大的假象。因为油