

采油工程
第三分册

保存本

高等学校教学用书

采油工程

第三分册

石油院校教材编写组编

只限学校内部使用



TE35
2/3

中国工业出版社

社

本书共有五篇,分四个分册出版。书中分别叙述了油层的地质-物理性质,油田和油井开采的基本方法,油井的分析与管理,增产措施与修井工艺,以及油田注水、注气工艺和提高采收率的新方法等内容。本书为第三分册,主要内容叙述了油井分析与管理;分别介绍了油井分析的原则,试油和试采等各种试井方法,自喷井和抽油井的管理以及含蜡、出砂、产水井的管理等内容。本书可作为高等石油院校油田开采专业主要专业课的教材。

采 油 工 程

第 三 分 册

石油院校教材编写组编

*

石油工业部编辑室编辑(北京北郊六铺炕石油工业部)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $11^{3/8}$ ·插页1·字数261,000

1962年2月北京第一版·1962年7月北京第二次印刷

印数711—1,240·定价(10-6)1.40元

*

统一书号: K15165·656(石油-76)

目 录

第三篇 油井分析与管理

第十一章	油井分析与管理任务	3
第1节	羣众性油井分析与管理任务和原则	3
第2节	羣众性油井分析的步骤	6
第3节	试油与试采	8
第十二章	试井方法	12
第1节	概述	12
第2节	稳定试井方法	15
第3节	不稳定试井方法	30
第4节	水文勘探测定地层参数	40
第5节	试井方法和技术	43
第6节	井下测试流量的方法	61
第十三章	一般油井的分析与管理	68
第1节	自喷井的分析与管理	68
第2节	自喷井后期的分析与管理	78
第3节	抽油井分析与管理的特点	83
第4节	示功图的应用	86
第5节	小产量井的分析与管理	97
第十四章	含蜡油井的分析与管理	102
第1节	概述	102
第2节	油井的结蜡规律	103
第3节	油井防蜡	108
第4节	机械清蜡	112
第5节	加热清蜡	119
第6节	油层部位的清蜡	126
第十五章	出砂油井的分析与管理	127
第1节	概述	127
第2节	油层岩石的破坏和砂堵的形成	128
第3节	防砂入井	132
第4节	人工加固井底岩层	135
第5节	防止砂堵	142
第6节	清除砂堵	146
第十六章	产水油井的分析与管理	160
第1节	概述	160
第2节	油井出水原因及出水位置的确定	161
第3节	油井防水	165

第4节	水基泥浆封水	169
第5节	油基水泥浆封水	172
第6节	物理-化学封水	179

第三篇 油井分析与管理

油田开采过程是由若干不同的工种组成的，包括油井管理、修井、注水、输油、测井、维修等，分别由采油队、小修队、大修队、注水队……等工作队来完成。这些工种彼此衔接，彼此配合，形成一个有机的整体。在这些工作中油井管理、修井和注水三项是主要环节。

一般所指的油井管理工作常常把一部分为采好油、管好井服务的试井工作包括在内，通常这些工作由采油队来完成。采油矿场的一切工作归根结底都是为了多出油、出好油。显然，油井管理工作应该是采油矿场各项工作的中心环节。由于油层以及油井情况的复杂性，要搞好油井管理工作，应该贯彻“具体问题具体分析区别对待”的精神，掌握大量的实际资料，对油井的状况和动态进行具体的分析和研究，所以油井分析又是管好油井的一项重要内容。

但是油田开采过程是一个整体，需要各种工作密切配合、密切协作。没有修井工作，油井利用率和采油时率不高，产量也不会高；没有注水工作，油田所消耗的能量就不能得到充分的补充，产量也必然会发生递减。所以要多快好省的搞好油田开采工作，必须以采油为中心展开各工种的大协作。目前我国某些矿场上所提出的以采油队为龙头的采油、修井、注水、输油、测井、维修、消防“七队合一”的一条龙大协作意义就在于此。

本篇主要阐述有关一般油井管理，油井分析的基本原则、步骤和方法，试井的方法，以及小产量间歇抽油井、含蜡油井、出砂油井和产水井的管理方法。至于修井以及注水等问题，将分别在以后各篇内阐述。

第十一章 油井分析与管理的任务

第1节 群众性油井分析与管理的任务和原则

近年来，为管好油井，我国矿场上展开了轰轰烈烈的群众性油井分析运动，收到了很大的成效。这是我国采油工作中运用群众路线一个新的发展。

所谓油井分析就是从油层的情况出发，在深入细致地了解 and 掌握油井和油层的特性及其变化动态的基础上，全面分析并找出油井生产变化的原因，从而采取有效的措施管好油井，达到油井长期稳定高产的目的。

大家都知道，自然界中的地层是十分复杂的，固然不同的油层，其物理特性不相同，即使在同一油层上，油层的岩相岩性和其他物理特性也往往有很大的变化，虽然变化的程度有轻有重，但是油层性质的不均一性，看来是自然界中油层变化的一条普遍规律。特别是我国各油田的储油层，一般都是陆相地层，地层的纵向和横向变化尤其剧烈。因此这种油层变化的复杂性也就决定油井特性的多变性。在现场上，常常可以发现同一油层上不同区域的油井的差异很大，有时即使两口井相距很近，其出油能力却相差

很大。再加上完井时泥浆浸泡程度、射孔、誘噴以及設備和管理等情况的不同，而使同一油层上油井，除了具有它的共同特点外，还具有它自己独特的特性。因此，要管好油井，一方面要掌握住它的共性，以便制定一些带有普遍意义的共同措施（例如对于高含蜡油田防蜡及清蜡措施；带底水油田的防水及堵水的措施；以及疏松油层的防砂和清砂的措施等）；另一方面，更为重要的是必須強調“具体問題具体分析，区别对待”的原则，客观地、实事求是的分析和掌握每口油井的地质特点和变化动态。只有經常地对每口井进行分析及时发现問題，因时因地制宜地采取相应的措施，才能保証油井正常生产。

我們都知道，油井和油层是处于同一个水动力学系統中的統一體，油井存在于油层之上，是油层出油的通道和人們用以控制油层的手段。而采油过程是油层系統和油井系統相互協調相互作用的过程。油井管理的好坏会影响到油层整体开发；反过来，油层情况是变动的，油井也必然反映它的变化，油层开发的不合理也必然会影响到油井的管理。所以一口油井生产的正常与否，除了取决油井本身管理的好坏外，还与整个油层开发状况有关。例如对于溶解气驅后期的油井，油气比将会不断上升，产量、压力都会不断降低，并且一到末期，当气体消耗完以后，油气比还会下降，到一定程度油井就会停噴。对于这种情况，如果不从整个油藏去想办法，积极采取注水、注气等措施，維持地层的压力，补充油层的能量消耗，而只在个别井上采取措施，尽管这些措施有时能起相当的作用，但是，它最多只能延緩这个恶化的过程，而不能根本扭轉或改变它。所以要正确地管好油井，必須善于識別引起油井生产不正常的真正原因，才能对症下药，正确的采取措施。为此，在分析油井的情况时，除了要全面了解关于油井的一切情况以外，还必须全面了解整个油藏的变化动态，如目前油藏的驅动方式，油藏压力的变化趋势，油藏上各口油井的一般动向，特别是邻近油井的变化动态等等，也就是說在作这种分析时，應該把油井的动态分析和油层的动态分析結合起来，从各口油井动态的一般趋势有助于判断整个油层的变化动态，而油层的动态分析，反过来指导单个油井的分析。这就是油井动态分析和油层动态分析的相互連系和相互促进的辯証关系。

从上述可以看出，影响油井正常生产的各种因素是十分复杂的，其中属于油井本身工作方面的因素也是很复杂的。因此要管好油井除了要从油层的地层条件出发外，还必须根据地面設備的分析与地下情况的分析相結合的原则全面的加以考虑和分析。例如一口自噴井产量降低原因，除了由于油藏能量的衰减而造成的递减以外，还可能是以下种种原因：如結蜡的影响；附近新井投产使集輸管綫的回压加大的影响；地下形成砂塔的影响；也可能是产量計量不准而造成的假象等。从这个例子可以看出，影响产量降低的因素是多方面的，既可能是井下状况的变化所引起，也可能是由于地面設備的管理和使用不当所造成。这样，要找出使这口井产量降低的真正原因，就必须全面分析該井的产量、油管压力、套管压力、井底流动压力、油气比、結蜡和清蜡情况等油井生产的有关数据。并且，还要了解和分析当时的气候条件、地面設備（如采油树、出油管、分离器和集油管綫等）的保温和管理的情况以及量油、量气、測压等数据是否可靠等等。只有綜合地、全面地掌握和分析了一切有关的情况后，才能作出正确的判断，制定有效的措施。

从以上的分析可以看出，要全面地、辯証地分析好油井，首要的先决条件是准确地、完整地掌握原始資料，必須本着尊重客观、尊重实际、实事求是的精神，細致地进

行調查研究。只有情况明、才能决心大、方法对。总起来說这些原始資料應該包括油井在油层上的位置；油层地质物理性质、油井的钻进历史及完井情况、測井图件、油井的試油試采以及生产資料；油井地面及井下設備情况；以及矿上的气候的变化資料等。在这些資料中有些資料是生产过程的描述，應該力求真实、詳尽；有些資料要由測井、試井以及其他測量方法取得，應該力求精确、可靠；还有些資料不是任何記錄上所能找到的，必須在井上从事实际的操作和現場調查才能掌握的，應該力求細致、全面。

从油井和油层的地质条件出发，掌握了各項資料，进行了全面分析，找出了影响油井正常生产的因素后，最終目的还是为了提高产量，更多更好的采出油来。因此，要管好油井还必须对油井及时的采取措施。在油井中进行的一切措施，大致可分为两大类：一类是預防性措施，如防止地层結構破坏砂子入井，防止油井結蜡等等；另一类是整治性的措施，如清除砂堵、蜡堵等。这两类措施是非常重要的，二者不可偏廢。但是当事故形成以后，总免不了要或多或少的影影响生产，而且有时要耗費大量的人力、物力、财力和時間，所以應該尽量防患于未然，預防各种有碍油井正常生产的事故的发生。因此，我們认为，要管好油井應該根据“防治結合、以防为主”的精神及时采取有效的措施。

从上面分析可知，影响油井正常生产的因素是异常复杂的，为了管好油井所进行的工作也是多方面的，但所有这些工作，包括資料的取得、收集、整理、分析以及采取措施等，都必须由人来进行，所以这些工作的好坏，主要还在于人工作的好坏。进一步看，在人、油层系統、油井系統三者的关系中間，油层系統是客观存在，是我們采油的对象，油井是人們用以控制油层的一个手段，所以油层以及油井生产的好坏，除了与天然的地质条件等有关外，决定性的关键还在于發揮人的主观能动性，特别是工人羣众的积极性和主动性。

在一定条件下，油层有油层的变化規律，油井有油井的变化規律，人們不能違背这些或創造出新的規律，但是，当人們掌握了客观規律之后，却可以利用和駕馭它們，以改变使这些規律起作用的条件，促使油层和油井的变化向着有利于生产的方向发展，而限制其不利的方面。

为了在工作中充分發揮人的主观能动性，必須政治挂帅、加强党的领导，大搞羣众运动，把政治和技术、細致的思想工作和周密的組織工作結合起来；把冲天的革命干劲和严格的科学精神結合起来；把专业队伍和工人羣众結合起来。这样，才能調动一切积极因素，管好油井。

油井分析为什么要有羣众性，这是由油层和油井的特点以及采油工作的特点所决定的。上面已提到了油层和油井的复杂性，要作好油井分析工作，首先要求資料齐全、准确和可靠，而这些資料主要依靠广大的工人羣众去搜集，特别是最原始，最生动的第一手資料只有对油井最熟悉，实际經驗最丰富的工人才知道得最清楚。过去有的地方油井分析沒有交給工人去作，但資料却要工人搜集，工人不了解油井分析的意义，不了解原始数据的意义，当然不可能作好这项工作。其次，油井分析的最主要的直接目的之一是及时发现油井生产中的問題，并及时采取有效措施，保証油井有較高的产量。而油井的情况随时都在变化，只有广大羣众一起动手，才能作到在井口及时分析，及时解决問題。第三，通过油井分析对工人文化技术水平的提高，更有其重要意义。通过油井分析工人

不仅管了井口，管了井筒，而且还管到了油层。通过油井分析，逐步使采油的基层組織——采油队，既是生产队，也是学习場所和科学研究队。

但是，油井分析要求有广泛的羣众性并不排斥技术人員、专家和专业队伍的作用，而是应该搞好领导干部、技术人員、工人的三結合。不仅如此，还应该把专业队伍和羣众运动結合起来，只有作到在普及的基础上提高，在提高的指导下普及，不断的把普及和提高結合起来，才能不断的把油井分析工作推向前进。

不仅在政治工作中，要讲政策，在技术工作中也必须讲政策，沒有政策就沒有界綫，就会把事情办坏，政策观点是油井分析的又一重要的观点。

采油工作中除了要贯彻党在工业建設和生产方面的一切政策外，还必须遵守从当时油田的情况出发，符合于油田开发的长远利益的重大技术政策。例如在某些油田上对油田的开发提出“大井距，先注水后采油、合理油阻”的原则和“油田投入生产后前三年产量不递减，后五年产量递减不超过5%”的要求，对于油井的生产也具体規定了各类井的合理压差，这些都是采油工作中具体的技术政策。

这些技术政策，不仅規定了符合油田开发长远利益的原则、方針和措施，而且还規定了实现这些方針、原则所需的数量指标和界限。油井分析中就应该檢查这些技术政策的执行情况，提出进一步贯彻它們的办法和措施，并进而验证他們的合理性，进一步丰富和完善它們，必要时也可以提出修正和补充意見。

綜合上述，要搞好油井分析工作，必须以毛主席思想为指导，加强党的领导，大搞羣众运动，大兴調查研究之风，从油层和油井实际情况出发，在工作中坚持四个观点，即生产观点、辯証观点、羣众观点和政策观点，并且具体的做到政治与技术相結合，专家与羣众相結合，油层动态分析与油井动态分析相結合，地面分析与地下分析相結合，在采取措施时預防和整治相結合，这就是油井分析的一些主要的原则。

第2节 羣众性油井分析的步驟

根据上述原则，以及我国实践經驗，羣众的油井分析，一般包括以下的步驟：

一、收集資料

上面已經闡述了既全又准地收集第一手原始資料对油井分析的必要性。这些資料一般分別在钻井、試油、試采以及在正常生产阶段中取得。

1. 钻井过程中应该收集的資料，包括各种录井資料、钻进过程中的事故及处理情况、钻开油层时泥浆的性能、浸泡時間、取心情况、固井情况、井身結構、射孔情况、誘流情况以及电测、微电极测井、放射性测井等各种测井图件。至于岩心分析資料如渗透率、孔隙率等，可从各种实验室岩心分析报告中取得。

2. 試油試采阶段：这阶段所收集的資料应该包括油井初期的生产情况，如产量、油气比、流动压力、結蜡、出砂、产水情况等，以及各种試井及实验室分析資料，如原始油层压力、油气水的成份、比重、粘度、含蜡量、結蜡温度、凝固点、含水量以及饱和压力、原油地下粘度、地下油气比等高压物性資料。

3. 油井正常生产阶段：这阶段所收集的資料应该包括油井正常生产时的各种变化情况，除逐日的产量、流动压力、油层压力、油气比、砂蜡水的含量等情况以及各种試井資料。对自噴井还有油阻大小、油管压力、套管压力等。对抽油井还有泵的尺寸，泵挂

深度以及冲程、冲数、液面深度、示功图等。此外还应包括油井地面及地下设备情况，如地面管线流程、保温情况以及自喷井的采油树、油嘴、压力表和分离器等设备和仪表是否正常，抽油井的抽油机、抽油杆、深井泵以及气砂锚等设备的情况以及其他必须的情况。

二、大游“地宫”

为了把收集的各种原始资料系统化、通俗化和形象化，并且为了把油井分析的基本原理和方法向工人群众交待清楚，我国某些现场建立了所谓“地宫”（有的矿场也叫做“油井资料分析室”），就是在一个陈列室内，用各种直观的实物、模型、图表来表示油田以及各油层的地质变化特征、各种油田开发及开采的基本原理和方法、以及油井分析所需的其它资料，人们参观之后，使之好象在地下油层的“宫殿”内游历了一番似的，对地下情况一目了然，所以人们形象的称之为地宫。

目前在某些矿场上，根据规模的大小及目的不同，把地宫分为：1. 矿区地宫，2. 矿场（或区队）地宫，3. 小队地宫三级。

矿区地宫内容比较完善，规模也较大，包括大区的各种地质图件、油田的构造图、纵横剖面图、柱状剖面图以及油田构造模型、油矿和油井的模型等，能使人对整个油矿的情况有比较全面的印象。

矿场地宫的内容大致和矿区地宫相似，不过规模略小，且偏于介绍本矿或与本矿场有关的地质资料。

小队地宫则不同，主要是为小队的油井分析及油井管理服务的，包括本小队各井的井位图、柱状剖面图、测井曲线、井身结构图、地面管线流程图、采油曲线、试井曲线等图件以及采油工须知、油井分析和管理的原理挂图或模型，以及各种操作规程和其它有关资料，这些资料可以集中展览也可以分散到各个井陈列。

通过地宫的建立和不断的完善，可以大大促进原始资料的收集、加工、整理和系统化，另一方面通过地宫的讲解也向广大的采油工人进行了技术交底，可以培养采油工使他们迅速掌握油井生产的科学技术知识。

三、经常分析和定期总结

影响油井生产的因素繁多，油井的情况也是经常变化的，即使在生产很稳定的时候，也常常因为结蜡、砂堵、周围油井的干扰以及地面设备的失常等因素而使油井发生一定的变化，所以必须经常的进行油井分析研究，及时采取措施才能使油井经常保持较高产量；另一方面随着油层能量的消耗与补充情况的不同，油井也往往随着而作相应的改变，这种较长期的变化不是一两天内可以发觉的，必须作较长期的观察，必须要综合较多油井甚至全部油井的资料，找出它们的共同特点，因此又必须定期的作综合性和总结性分析。

根据这个道理油矿上常常规定一些逐级分析的制度，如有的矿场规定各井的井组每天分析一次，小队每3~5天分析一次，矿场或区队每7~10天分析一次，全矿区可以每半月至一月分析一次。在分析的内容方面，井组和小队主要是各井日常情况的分析；而矿场和矿区可着重于全区或全油田的分析，实际上这已经是整个油田的动态分析了。

另外，有时还可以定期地在矿场或全油田的范围，举行油井的典型分析，重点的解剖几个“麻雀”作为示范，并可结合评比对分析得好的井组或小队进行表扬和鼓励，以推

动油井分析工作。

四、及时正确的采取措施

前面已經指出，油井分析的最終目的是为了保持油田的生产能够长期稳定高产，所以在分析了油井的动态，找出了影响油井生产的原因以后，必須及时正确的采取措施，这就是油井分析的生产观点的具体体现。

在采取措施时，有的措施牵涉較小，属于日常维护性质的，如清蜡、通蒸气、檢查油嘴等等，一般可以由工人直接进行或者經過井长或小队长同意后即可进行；有的措施牵涉較大，則需經矿場(或区队)或更高一級的领导批准，与有关的修井单位联系才能进行。

在研究与确定各种措施时，在矿上广泛的采取领导干部、技术人員与工人三結合的办法，是一項行之有效的經驗。

也应该看到，由于油井和油层变化的复杂性，有时虽然綜合了实际資料，經過分析得出了初步的結論，但是否与实际情况符合，往往还需要在采取措施的过程中或在观察效果之后才能确定。所以在采取措施的过程中，还要不断地进行分析。可以说从油井实际情况出发，通过分析、采取措施再进行分析的反复过程，就是我們对油井变化的認識不断深化、逐步掌握它的变化規律的过程，也就是逐步解决生产中关键問題的过程。

第3节 試油与試采

上面已經提到，要搞好油井分析，首要的先决条件是要对油层和油井的情况进行調查研究，掌握大量的既全又准的第一手原始資料，这些資料一般分別在钻井、試油、試采(生产試驗区試生产)以及油井正常生产等阶段內收集。关于钻井阶段如何收集資料的問題在“油气田調查与勘探”課程中已經讲过了，正常生产阶段的問題在以后还要讲到，这里就順便讲一讲探井的試油和試采的問題。其所以要在采油課程里專門讲一下这个問題，是因为目前探井的試油工作仍是一个薄弱环节，对于探明和评价一个油田，試油和試采又有其十分重要的作用；就其业务性质來說，又比較复杂，需要綜合运用地质勘探、钻井，以及采油方面的知識和技能。但是，目前在各有关課程中常未予以应有的重視，缺乏这方面的內容；因此，我們认为有必要在这里作一簡單的介紹，并且，着重于闡述試油，試采阶段中的取資料問題。

探井的試油和試采是了解油层和油田的原始面貌以及对它們作出工业评价的重要手段。

試油和試采是一个过程的两个阶段，彼此区别而又互相联系着，当一个可能含油的构造投入钻探以后，单纯依靠钻井过程中的录井資料、岩心資料以及測井資料还不能完全肯定这个构造的工业价值，必須通过探井的試油和試采的阶段。試油的主要目的在于确定所試的层位有无工业性油流；并取得表征它原始面貌的数据（如地层压力，初始产量等）。

当得到工业性油流以后，就轉入較长时期的試采阶段，以便进一步掌握油层的变化規律，并为儲量計算以及合理开发及开采提供根据。

在試油試采阶段所应收集的資料和数据，一般都是用試井方法取得的。所以試井工

作在探井的試油和試采的阶段中有其突出重要的地位。

一、試油

当探井钻达目的层完成以后，就投入試油。在正式进行試油工作以前，事先必須根据钻井地质資料以及钻井資料等确定試油层位和程序。然后再根据这个程序分层进行测试。通常，試油程序往往采取自下而上逐层测试的办法；但是，有时也可以先試钻井过程中油气显示最好、最有希望的地层，以加快勘探的速度。

在开始試油时，一般为了满足分层测试的要求，都采用射孔的方法射开試油层位，然后可以用替噴抽吸等各种方法减低回压誘导油、气、水。如果該层具有足够渗透性的話，当回压降到該层地层压力以下时，油、气、水等就会从該地层中流出，进入井筒或甚至噴出地面。这时，就可以开始测量油、气、水的产量以及井口压力数据。当井筒内地面水、泥浆及其他污物等排淨后，就可以通过試井方法求得該层的原始油层压力并进行取样等工作。

求初产量时，特別对于能自噴的油井，一般至少必須連續測量24小时以上，最好能連續測量几天，不得測量若干分钟或若干小时后折算成日产量，以免对油层产油能力估計过高，造成錯覺。

对于首批探井的地层压力，必須予以极大的重視，因为它代表着該层的原始地层压力，是油田最重要的参数之一。

取样工作可分常压取样和高压取样二类。常压下取得的油、气样品供分析油，气在大气状况下的物理性质和化学性质，例如比重，密度，粘度，石油的馏分組成以及天然的成分等。另外，要进行原油中含水量、含砂量或其它杂质的含量的測定。原油中的輕质馏分容易揮发而影响分析原油性质的結果，所以，有时碰到在同一口井中前后两次取样分析結果相差較大。这常常是由于取样条件不同而引起的，所以历次取样的条件應該一致，所謂取样条件是指取样的方法，取样地点(位置)和样品取得后送化验室做分析前其样品容器的密封程度和存放情况。为了尽量减少輕馏分的損失，我們一般在井口出油管处(通常装有取样嘴)取样，样品取得后立即封閉好。而这样做，是由于在原油流动状态下取得的样品，对所測定的含水及砂量來說，也更有其代表性。除非在万不得已的情况下，一般最好在油池，油灌中取样。用提撈法試油的井，也可直接利用取样桶下至井中取样。

自噴油井取气样是在油气分离器出气口处，最簡單的方法是用球胆来收集。如要收集大量气体，也可用氧气瓶或其它耐压容器，不过最好能事先抽出其中的空气。碰到气层或井打在油藏的气頂部分时，气样可直接从井口装置的取样嘴上收集。但是要知，对气井产生物的含水量和含砂量等一般不易从气样中測定，而是在气井試井时，通过水气分离设备来測定的。此外，天然气中的天然汽油(凝析油)含量的測定也在井口进行。

当探井出水时，有时也必須测试，以摸清边水的天然驅动力或作为水源之用处时要特別注意水性一致的問題。一般认为，在排液过程中不同時間間隔取得的样品，其中主要离子含量相差不大于50%就可认为水性一致了。此时，即可証明原来留在井筒中以及浸入地层中的地面水均已排淨，井内液体已經完全是地层中所排出的水样，已不受地面水的影响，其分析結果可代表地层水的真实情况。所以水层的压力及产率也須在“水

性一致”后才能进行正式测定。对于油水同产的井，也同样要求水性一致。取水样的方法与常压下取油样相同。实际工作中，要达到水性一致往往需要很长的时间，尤其是深井更是如此。这就应该从如何提高排油速度方面想办法。

高压取样的目的是为了了解在地层条件下油、气的性质。利用特制的井下取样器在井底取样，以求得全套高压物性数据。此外，我们也常利用高压取样器到井底取样，检查井底的净洁程度（泥浆，地面水是否已经排尽等等）或在出水井中做井底取样，以便与井口水样分析结果对比，也是检查水性是否已一致的一种方法。

从所试油层已获得工业油流并取得所需资料以后，即可酌情将此层转入试采或打水泥塞封死转试地层。

当所试油层既无水又无油，或者有少量油气显示和油流而无工业价值时，这时需要判別該层确为干层，还是受严重泥浆浸、水浸或其它工程原因而被堵死。这牵涉到一个油层以至一个油田的评价问题，必须予以认真对待，决不能草率从事，以免把快要拿到的油田丢掉。此时，必须细致地研究該层钻井过程中的各种录井资料、油气显示测井资料以及试油的工艺。研究是否录井资料不正确、测井是否正确，其它人为地判断错误，如果各种显示都比较好而试不出油时，这时，一般有这样几种可能：

1. 泥浆堵死油层；
2. 井底附近地带渗透率不高；
3. 射孔深度不准，或命中率过低。

通常在这种情况下就需要系统补孔，酸化，压裂，爆炸等强化措施。

当然，对一些已经证实，确无工业价值的层位，也应该及早转移，以免消耗过多的时间、人力和物力，耽误其它探井的试油工作。

至于试油时所用的试井、降低井底回压，以及各种强化措施的工艺方法及设备等，都已分别在有关章节内阐述了，这里不再重复，不过需要提出，由于试油工作的流动性，以及新探区设备条件的限制，在设备方面应该特别注意因地制宜，土洋结合的精神，力求简便，易于移动，如现场所用的各种土油池，土分离器，土测试设备等，使用效果都很好。

深井试油时，如果油井不能自喷时，由于提捞开采而使得套管在外压力作用下产生变形。这是应当注意防止的。

由于试油在勘探以及评价油田的工业价值中的重要性，对待试油工作必须有严格的要求：

1. 试油工作者首先必须保证对所试油层的结论正确、可靠，不漏掉一个油层。
2. 试油工作者必须保证所取得的资料正确、齐全。
3. 尽一切办法提高试油速度，使油田早日投入合理的、全面地开发和开采。

归根到底，完成试油工作，必须注意高速优质，注意高速度与高水平的统一。

为了达到要求，必须在试油工作中提高各个工序的质量，如射孔正确，测量数据精确，水泥塞质量合格，位置准确，并要预防事故的发生。

此外，应该注意系统合理的试油程序。对于主要的试油层位应该普遍测试，次要的则可以根据各该探井在构造上的位置以及测井和油气显示的好坏选择部分测试。

在工序方面也可以适当注意精简试油的工序，必要时，可以用地层测验器采取裸眼

試油，以求更快地取得試油成果。

還有由于試油工序繁多，應該注意加強勞動力、器材、設備的調度工作，避免和減少窩工和停工現象，提高設備的利用率和勞動生產率，以加快試油的速度。

最後，在每一層位的試油工作結束後，應編制出試油的總結，說明該層的試油過程及成果，對該層作出評價，並提出下一步工作的意見。

二、試采

一口探井或一個油層在試油過程中已獲得工業性油流後，就必須進行一般較長時期的試驗性的采油工作。對該層的生產動態作細致地觀察，這就是所謂的試采工作。由于油層和油井的複雜性，只有通過試采工作，也就是通過試驗性的實踐，在油田的實際變動中，才能比較確實地掌握油層及油井的變化規律，才能據此而制定合理的開發及開采措施。所以試采工作可以說是油田投入開發以前必經的一個準備階段。

試采工作可以指一口探井而言，也可以指整個油層而言，當然，油層的試采是通過一口口探井的試采來完成的；對於大的油田，則可以開辟生產試驗區來進行試驗性的生產。

但是，它們總的目的都是為了進一步摸清油層的變化規律查明油層的生產能力，驅動類型，並且為儲量計算以及油田開發設計提供必要的參數和根據。

由于試采階段是在油層正式投入開發以前進行的，油層的開采還沒有作出全面的安排，因此在進行試采工作時，應該注意不使油田受致損害。

油層試采階段主要應完成以下任務：

1. 確定油、氣、水產量，油層壓力以及油氣比的變化情況；
2. 通過高壓取樣，測定油層、飽和壓力及油氣在地層條件下的物理性質。根據岩心分析，試井，以及地球物理測井資料，確定油層的孔隙度、氣油飽和度、滲透率、導壓系數、儲壓計算和油田開發設計所必須的參數，並且根據各井的資料，研究這些參數在全區的分布和變化規律；
3. 在有條件時，應該利用水文勘探方法（亦即水動力學方法），判斷油層構造條件，是否有斷層，岩性的突然變化形成的不透透邊界，以及它們的位置等；
4. 了解位於含油邊界以外的探井（如有邊水存在）內，在采油過程中，其中液面變化情況；
5. 根據上述資料及分析結果，並與室內試驗工作結果進行綜合研究，對油層的儲油性質（例如是屬於裂縫性、孔隙性）以及驅動類型作出初步判斷。

為此，油井的試采階段必須定期測定其油氣、水產量及流動壓力。一般流動壓力每3~5天至少測量一次。

試采開始，即應進行系統試井，以後每季度進行一次。在關井測靜壓過程中，亦可順便進行不穩定試井和井下取樣工作。

對於壓力變化不穩定的油層，應適當縮短測定靜壓的周期。以便獲得有代表性的地層壓力變化資料。

應選擇一些位於含油邊界以外的井做為測壓井，安裝連續自動記錄液面或壓力變化的儀器。在含油區內，如有條件也應建立少數的測壓井。定期從測壓井取得的壓力變化數據與同期采液量的變化繪出關係曲線。測壓井也作為研究油井干預及測定油層導壓

系数之用。

为了較早地了解整个油井的全部生产能力，以及研究油井分层合层开采的問題，常常选择一部分油井进行合层試采。但是，对于探边井，为了詳細搞清楚边水活跃情况，最好还是采取分层試采。

有时，为了尽可能早日深入了解油层的“脾气”，除了对油井在适宜工作方式下的生产情况进行較长时期观察外，还可考虑在少数井中进行各种試驗。例如，使个别油井的流动压力降低到饱和压力以下，长期观察它的变化等。在油田的試采期內，我們还應該针对該油田的具体条件，对采油工艺上的一切重大問題，进行研究，并积累經驗，这些問題有：

- 1) 檢驗已采用的完井方法是否合适；
- 2) 摸清油井結蜡出砂規律，积累油井管理經驗，确定油井合理的工作方式；
- 3) 合理增产措施的研究；
- 4) 如准备注水、注气时，应在此期內进行試注工作，取得試注經驗，并观察周圍井的反应；
- 5) 研究合理的油、气收集系統；
- 6) 在多油层油田內进行分采及合采的試驗等等。

試采時間也沒有一个固定的标准，因为它不仅取得在一定時間內压力和产量变化情况数据就算完了，而且必須能从这些資料中，經過綜合研究，使我們对油层驅动类型作出可靠的判断。

一般单口油井的試采，大致为半年到一年左右，而整个油田的試采期，則有拖延到3~4年的，为了能使油田及早投入全面开发及轉入正式生产，應該根据边勘探，边建設，边生产的精神，多方面設法提早完成試采期所担負的各项任务。

第十二章 試井方法

第1节 概 述

从上述可知，油层本身的结构又是变化多端的。如果我們缺乏对开采对象有足够的認識，如果对油层內部在开采过程中所发生的变化不清楚，就不可能合理地开发和开采油田，也不可能针对开采着的油层內部的变化提出任何控制和調节的措施。如何能迅速而又全面地摸清油田的各种特性是合理地开发和开采油田的基础。

試井工作就是通过油井来研究油田的各种特性，一般說来，它能帮助我們解决下列問題：

1. 油层压力及其分布；
2. 判断油藏中的水文系統是不是一个統一的整体，以及水压系統的范围；
3. 油藏上各部分的地质-物理参数变化及分布情况(如渗透率、孔隙度、厚度、油、气和水的性质等)；
4. 油层內部各种“边界”的分布情况(如油水界面、断层等的存在与否及其方位、大小等)；

5. 油藏上各部分的生产能力, 具备有确定油井合理生产方式的根据。

要了解油层的全貌, 只能通过对个别的油井的試驗研究。对油井的研究方法就广义来讲可分为三方面:

1. 实验室的;
2. 地球物理测井;
3. 水动力学(或称为根据矿场的)試井方法。

在本章中, 主要讲述水动力学試井方法。

我們知道, 实验室方法(根据对岩样的分析)和地球物理方法(根据对各种测井曲线的定量解释)都能确定出地层及其中流体的重要特性参数。缺少它們不能得到关于油田构造和性质的足够完整的概念。但是单独地利用这些方法来研究地层, 存在着不可克服的缺点。因为它们只能判断紧靠井底非常狭小区段内的性质。借助于个别井的試驗数据进行内插法来估价那些远离井底或井与井之间地带的性质, 是带有假定性的。因为它是基于假设井与井之间或自某个别井向外扩展的方向上, 地层各个参数是缓慢地或是按一定规律而变化。但实际上地层往往在相距不远的范围内也会发生巨大的变化, 所以借助于内插法(根据岩心或测井资料)所描述的地层性质常与实际情况有相当出入。用这些方法所制定的各种等值图表, 其精确性完全为井网密度的大小所控制。可以说井数越多, 其接近实际情况的程度越高。但是在油田开发初期, 不可能打过多的探井; 另一方面, 编制油田的合理开发方案, 却要尽早地取得大量正确的资料, 这往往是油田开发工作中一个很大的矛盾。近年来, 由于水动力試井方法的发展, 开始逐渐扭转这种局面。

我們知道, 利用水动力学方法研究油井, 只有卅年左右的历史。首先是应用所谓“探测液面”的方法, 然后又出现了所谓“稳定排液”的試井方法。那时限于理论和技术水平, 开始只是为了测定油层压力和油井的生产能力, 继而利用“稳定排液”試井资料来确定一些地层参数(如地层渗透率)。但是由于缺乏对油田的水文系统是统一整体的认识, “古典”的水动力学試井还只能限于对局部油层的研究, 而且在試井数据的处理方法上也存在许多缺点和错误。

随着对油井干扰现象的研究, 弹性理论和混气液体渗滤理论的发展, 给水动力学試井方法在迅速而正确地取得油层和油井的全面资料方面, 打开了广阔的道路。目前水动力学試井方法基本上可分为:

1. 稳定排液試井法;
2. 不稳定排液試井法(即利用油井关井后的压力恢复曲线的試井方法);
3. 水文勘探法;
4. 等压图法。

稳定排液試井方法: 就是在油井以不同的工作制度下生产, 并在其相应的产量和压力达到稳定不变时, 同时量测其产量和井底压力的数值。在試井时, 除了計量产油量外, 还要分別計量产气量, 含水量及含砂量等。在井底压力变化范围較大的几个阶段上, 作几个这样的量测, 便可以确定这些参数和压差(即油层压力和流动压力之差)的关系。

所以稳定試井是确定油井生产特征, 选择油井合理工作制度的重要手段。此外, 利用稳定試井結果也可求出某些地层特性参数(如油层渗透率等)。

为了确定注水井在不同注入压力下的吸水能力，也可利用稳定试井方法。

在进行稳定试井的同时，常常需要进行常压和高压井下取样工作，以便测定原油在常压下及在地层条件下的各种物理性质。

不稳定试井法就是从油井的工作方式改变(如开井、关井或产油量变化)时起，一直到其工作方式实际上达到稳定为止，在这一段时间内連續計量压力(或井内液面)的变化(测取压力恢复曲线)。改变油井工作方式而引起的油层内部压力重新分布的不稳定过程，是与油层的各种性质有关的；所以，根据不稳定试井数据，可以推断和計算一些重要的地层参数。把压力恢复曲线处理以后，可以使我們在关井時間比較短的条件下，推算出油层靜止压力。这样，就可以大大节省测取油层靜止压力所需的关井時間。

所謂水文勘探方法，是以压力波在油层中的傳导作为理論基础的，它能够在較远的距离上把具有孔隙的岩层内部的情况探索出来。如果說电测井能給出有关整个井身所穿透的岩层剖面特性的概念；那么，水文勘探就能提供出不論是在井与井之間还是远在已钻井的地区以外，地层的厚度和走向是否存在有連續性这一概念(也就是可以确定是否存在有断层，岩层尖灭等不渗透边界)。

水文勘探主要是对停产井(常称为反应井)进行靜液面或靜压力变化的观察，这种变化是由于采取同一层液体的相邻各井(常称之为激动井)工作方式的变化所引起的。我們知道，当井停产时，在井周圍的地层压力就要开始上升。这个过程，就是以所謂“压力波”的形式向各方面傳播的过程。压力波一經傳播到各停产井(反应井)，就使这些井内的靜压力(或靜液面)增加。上述的压力上升随時間的变化，可借助于精密的仪器記錄下来；按压力波到达的時間，压力变化的大小和所具有的特征，就可用以判定地层的許多性质——傳导压力波的导体的性质。

而“等压图法”是按照等压图的特征和油井产量分布情况来确定地层参数(主要是水力傳导系数 $\frac{kh}{\mu}$)变化規律的方法；此外，根据油藏内部压力的实际分布情况，可以求出在彈性驅动方式进行水动力学計算所需要的压力校正系数。它們都是在进行油田开发設計和开发分析时的重要資料。这方面将在“油田开发”課程中做比較詳細的讲述。

我們知道油井和油层动态在整个开采过程中是不停地在变化着。为了及时了解油层内部的变化情况，所以，试井工作必須經常地、定期地进行。

水动力学试井除了在一般的生产井和注入井中进行外，还应設有“观察井”和“测压井”，以便保証能够在其中对油藏内部及緣外地区的变化动态做經常性的系統的观测。

因为在某一段时间間隔内，不能对所有的生产井和注入井进行全面的测试工作，所以，在实际上，常常选择一批生产井和注入井做为观察井，它們应比較均匀地分布在油田的整个面积上。在观察井中应严格地按照试井制度(如试井程序、试井周期)进行全面的试井工作，以便能定期地(例如每三个月)通过对观察井的测试得到有关油藏内的各种动态变化(如压力分布，油水界面推进情况等)的資料。

测压井是設在緣外含水地区中的，这种井应装有自动記錄压力或液面变化的仪器；以便能随时了解緣外地区的压力变化情况。测压井也常可兼作水文勘探工作的反应井之用。打在含水区内的探边井可选作测压井，必要时，也可在含水区另打新井。

根据这些研究的結果，不仅可以解决有关一口井的生产能力等問題，还可以判断在

被研究井所处邻近地区的地层性质，以及一对相邻井之间或远离被研究井的地层特性。可以有助于确定各种类型边界（如断层，透鏡体，水油界面等）的存在与方位。它們可以比較准确地測出油井的水动力学不完善性，較之以室内实验为基础的实验曲线而查出的“油井不完善系数”有很大的优点。

水动力学試井法，不仅可以对已钻井的地区，而且可以对边缘以外地区的地层性质进行推断和估价。这方面对解决和确定合理的油田开发方法上，有着重要的意义。

由此看来，水动力学研究并配合以地球物理测井和实验室的研究方法，在井数較少的情况下，就可以得到較多的关于油层及其水压系統特性的全面概念。应用并进一步发展水动力学試井理論和技术，会使得我們可能在油田开发初期，就得到比較接近油田实际情况的各项資料和概念，从而使得我們有可能一开始就在正确的布井方案和开发方法下进行采油。

就各种水动力学試井方法而論，不稳定試井法較之稳定排液試井法有着更加广闊的发展前途。这是由于“稳定試井”方法只能通过測定油井的“生产能力”来推算某些地层特性参数，而这些参数只能代表井底附近地区的性质（当然要比岩心分析所得数据代表性要广泛些）。同时在推算参数时所必备的有关油井不完善数据，都是来自各种实验曲线，这样，会給求得参数带来很大的誤差。

不稳定試井法是基于对油层内部地层和地层液体的彈性波（具体表现在压力的变化上）的傳播規律的研究，所以它不受井底結構状况的限制，而可探索到地层深处。同时，如前面所提到的，它可以反过来正确地推断油井的水动力学不完善性。

但是目前不稳定試井方法还只能应用在单相液体渗滤的油层中，对混气液体渗滤（具体的讲，如溶解气驅油田）的油层來說，“稳定排液法”似乎是唯一的水动力学試井方法。这有待关于混气液体渗滤的彈性理論的进一步研究和发展。

应该指出，水动力学試井方法在研究油层各种特性参数及其变化規律，主要还只停留在橫向的研究上，而关于油层性质的在垂直方向上的变化，目前还只能依赖于实验室或测井方法来研究。而了解油层性质沿垂向的变化規律，无论是在制定开发方法和确定各种开采工艺措施方面都是重要的依据。所以近年来，在各地矿場上，开始研究和应用一种新的测井仪器——井下流量計。

井下流量計可以帮助我們測定井筒内不同截面上的流量数值，从而可以推断油层在垂向方面（各个小分层）的“产能”变化情况。虽然它仍处在萌芽阶段，所能解决的问题还有限，不过这是利用水动力学試井方法研究地层沿垂向变化的一个新方向。

随着不稳定試井方法的发展，常常要求測量出压力或井内液面微小的变化，这就需要設計和制造出大批的灵敏度高而結構又不能过于复杂的新型測量仪表。虽然，近年来在測量仪表上有着不断的創制和改进，但仍不能满足实际需要。就我国来讲，如何結合我国油田的具体特点，設計出滿足不稳定試井需要的測量仪表是迫不容緩的任务。

第2节 稳定試井方法

上节已經提到，稳定試井是通过人为地改变油井工作方式，在各种工作方式下，測量其相应的井底压力、产油量、产气量、含砂量和含水量等，以摸清油井的生产特性。稳定試井在矿場上也常称之为系統試井。