

— 美国石油工程师学会重印丛书 —

油田开发实例一 油藏

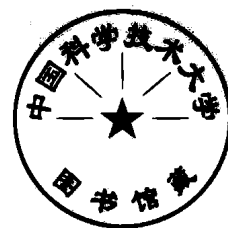
闵 豫 译

石油工业出版社

美国石油工程师学会重印丛书

油田开发实例——油藏

闵 豫 译



石油工业出版社

内 容 提 要

本书的目的是收集一批油藏类型和开采机理各不相同的文章。所阐述的油田中包括有浅的和深的构造或圈闭,有些断层发育,有些倾角较大。产油层有砂岩,也有碳酸盐岩,渗透率从高到低不等。也有高度非均质性油藏。书中所介绍了溶解气驱开采、溶解气驱后用注水或注气法开采,边水驱,底水驱,气顶扩展,随压力降落的重力排油,以及注入惰性保持压力的重力排油等开采的油藏的动态历史。书中所选的16篇文章,在地质和地理位置、出版时间、油田层外、岩性、流体特征和开采机理等特性方面给出了一个宽广的横断面,并用所选的文章说明油藏机理的基本原理的应用,以及为一些特殊油田的石油工程问题而发展的求解方法的应用。

本书对从事油气田开发实际工作的工程技术人员和研究人员、石油院校石油地质及开发开采专业的师生都有参考价值。

SPE REPRINT SERIES NO.4

FIELD CASE HISTORIES—OIL RESERVOIRS

Society of Petroleum Engineers of AIME Texts

*

美国石油工程师学会重印丛书

油田开发实例——油藏

闵 豫 译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门内外馆东后街甲36号)

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 16 1/2 印张 413 千字 印1—1,000

1986 年 11 月北京第 1 版 1986 年 11 月北京第 1 次印刷

书号: 15037·2546 定价: 3.10 元

译者序

1981年翻译出版了包括油藏和气藏的《油田开发实例》，此系美国石油工程师学会（SPE）出版的No.4A重印本。经SPE总干事Adamson先生协助，得到了这本在若干年之前出版的No.4重印本，其中包括各种油藏的开发实例。本书中15个油田开发的实例，虽然大多数是1949—1957年间发表的论文，还包括1934年，1942年发表的二篇论文，但是至今仍然值得参考。因此继续译出出版。

应该说明的是，为什么要译出这些已经过了三、四十年的文章。首先，一个油田的开采年限越长，越能反映出它完整的开采过程，并真正反映出油田开发的全面效果。第二，一些近期开发的油田，虽然在开发技术上有新的发展，但是对最终采收率只能采用预测数字，而这项资料只有根据开发较长久的油田来研究。这些油田的开发后期的状况，都有1962年及1975年的补充文章，1975年的补充文章已在1981年翻译出版的No.4A重印本中包括进去。第三，在美国，四十年代到五十年代初，正好是广泛应用油藏研究和油藏工程等科学方法的时候。当时，一些开采油田的经理人员，对这些先进的科学方法和理论的作用也认识不足，甚至有人也并不相信。在油田开发中不愿花钱去钻取岩心，不愿进行油藏工程分析和数学模拟研究，只凭简单的直观经验去钻井采油。对注水、注气等二次采油方法也正在推广之中。特别是对碳酸盐岩裂缝型油藏的双重介质特征和开采机理也刚开始讨论。所有这些情况，与我国当前的油田开发状况很有类似之处。对油藏研究和油藏工程的科学方法并不相信和重视不够的情况，在我国至今仍然存在。为此，这本重印本的出版，会对我们有一定的帮助。

收集各种油田开发实例，对于油藏工程师和开发地质师甚为重要，这一点在本书原编者的序言中作了相当好的论述。

译文翻译水平不高，系译者能力所限，请各方指出和帮助。其中《Shuler油田Jones砂层油藏联营保持压力开采的九年》、《West Edmond Hunton油藏的储层研究》、《Fall City油田下Pawelek油藏动态》、《Cole Creek油田Shannon油藏的采油工程》四篇文章是孙伟同志所译。另外，有关油藏工程计算部分请张朝琛同志校阅过，在此致谢。

译者

一九八三年二月于北京

序 言

石油工程师，与其他应用科学领域的专家们不同，他的专业是用于对庞大而不确切的天然系统进行研究。这些天然系统包含着油气和油田盐水的聚集，它们都处在埋藏于地下较深处的沉积岩的孔隙空间中，而这些孔隙空间是分散的而且经常是连通较差的。用生产井开采这些地下的油藏时，对以后的开采过程往往很难预测的。因此期望石油工程师提供关于今后的日产油量和最终采出量的预测。石油工程师根据对所研究油田的油藏流体和储层物理特征的认识，通过油藏机理理论的综合应用以及与其它油田的动态进行比较，来完成上述的任务。因为没有两个油田是一样的，对于石油工程师来说，重要的是根据自己专业经历或者从专业文献的报导中，取得可以进行比较的对具代表性的油田实际例子的足够详尽的描述。

石油工程师学会（SPE）长期以来就认识到这种工程动态数据的重要性。过去四十多年来，在学会出版的文献中发表了不少油田实例。本书的目的是收集一批油藏类型和开采机理各不相同的文章。而且限定都是报导了油田动态的文章。作出这个限定主要是限制本书的大小和现在计划的范围。下一步应该可以和须要收集出版与气田生产动态有关的实例。

当然，在一个油田采出最后一桶油之前或在把油井封堵之前，油田的实例总还不是完全的。为此本书请作者们对他们原来的文章给以补充，提供了到最近的数据，力图使得在原来已经有用的开采历史上取得油田更加有意义阶段。重印本中所选的16篇文章，在地质和地理位置、出版时间，油田层位、岩性、流体特征和开采机理等特性方面给出了一个宽广的横断面。并用所选的文章说明油藏机理的基本原理的应用，以及为一些特殊油田的石油工程问题而发展的求解方法的应用。

所阐述的油田中包括有浅的和深的构造或地层圈闭，有些断层发育，有些倾角较大。产油层有砂岩，也有碳酸盐岩，渗透率从高到低不等。关于西埃德蒙特的文章是对高度非均质性油藏的深入描述。

阐述了原始条件下为气所饱和的以及不饱和的油藏油，具有不同的压力和温度。毕克顿油田是高收缩率原油的极好实例；埃尔克盆地油田的文章说明了一个油藏中的流体性质会有较大的变化。

所包括的文章中介绍了溶解气驱开采，溶解气驱后用注水或注气法开采，边水驱，底水驱，气顶扩展，随压力降落的重力排油，以及注入惰性保持压力的重力排油等开采的油藏的动态史。

对于工程应用问题没有详细讨论，但是例如东德克萨斯油田一文，表明了对当前著名原理在早期时的认识，其后的东德克萨斯和列杜克油田的文章，说明油藏分析时不能只限制在油田“边界”以内；舒勒油田一文是应用物质平衡法的标准实例；莱克维油藏一文表明了缺少基础数据时对动态的综合分析。有些文章叙述了由注入流体所得到的经济收益以及增加的采出量。叙述最新开采技术的实例没有包括在本书内，它们已收集在最近出版的文献中。

这些就是本书中重印的油田实例的选择的基本要点。列入文献目录中可供查阅的都是认为具有代表性的优秀的文章。

Eraser H. Allen

目 录

译者序

序言

Shuler油田和单元开采的工程特征.....	(1)
Shuler油田Jones砂层油藏联营保持压力开采的九年	(27)
Midway-Sunset油田Lakeview油藏.....	(40)
Brookhaven油田注气保持压力	(56)
Coldwater油田的历史和动态	(74)
Leduc D-3油藏动态	(88)
埃尔克盆地油田注惰性气体保持压力	(101)
Pickton 油田动态	(116)
West Edmond Hunton油藏的储层研究.....	(126)
东得克萨斯油田油藏压力的变化	(152)
Woodbine砂层的压力特征.....	(160)
Woodbine盆地的油藏模拟研究.....	(175)
Falls City油田下Pawelek 油藏动态	(194)
Frio砂层注气二十年.....	(206)
Cole Creek油田Shannon 油藏的采油工程.....	(218)
Forsterton油田——少见的底水锥进和水侵体积系数.....	(230)
Cedar Lake油田注气结果	(243)

Shuler油田和单元开采的工程特征●

H. H. Kaveler

摘 要

本文介绍了阿肯色州尤尼恩县Shuler油藏工程和有关地质资料的概要,以引起从事技术工作的和非技术工作的读者们的注意。

Shuler油田的Cotton谷层和 Reynolds 鲕灰岩都是产油层位,但 Jones 砂层油藏是主要油藏,深度7500英尺,用146口井开发,井距20英亩。

Jones 砂岩油藏是个背斜圈闭,是典型的气驱式或消耗式开采动态。对占钻井进尺 88%的岩心进行分析,并与钻时和电测资料相结合,求得了“产油”砂层厚度的精确估算值及其在油藏平面上的分布。用精确的产量统计值、每月的油藏压力测定值以及井底取样分析资料进行“物质平衡方程”的比较时,表现出与该机理具有极好的吻合。用物质平衡法和砂层体积法估算的原始原油地质储量一致为1.16亿桶到1.2亿桶。油藏压力史反映了油藏产油、配产和二次采油实施的反应。

估算了对 Jones 砂层油藏深入进行油藏研究的费用,强调了对油藏产油实践的反应的更好了解而使这样的投资所取得的价值。

由146口Jones砂层油井中的140口井组成的单元开采,有可能进行有效的联合注气保持压力的方案。油层压力的下降已经制止,保持了天然自喷,节省了泵和专用设备。目前表现出,在估算的一次采油量3400万桶之后增加的最终采油量为2000万桶。

把 Jones 砂层的单元扩大,包括了尚未开发的Cotton谷层,这就可以通过Jones砂层开采中不再需要的井,附带开采出这些原来不具经济价值的原油储量。

引 言

Shuler油田位于阿肯色州 Union县中西部 T. 18S., R. 17W. 的18区段及其附近,大致有4000英亩。三个产油气的储层是: cotton谷层, Jones砂层和 Smackover 灰岩 Reynolds 鲕灰岩层。从工程观点来看, Jones砂层油藏是最重要的油藏。它具有背斜圈闭所常有的和典型的特征。按照先进的工程技术的要求进行了开发和开采。因为取得了不多见的详细的油藏资料,它的有意义的产油历史,以及目前正进行着的联合注气保持压力开采的成功,使这个油藏引起了人们的注意。

本文的目的是介绍与此油田有关的工程资料概要,特别有意义的是关于这些资料在Jones砂层油藏开采的各个油藏工程阶级中的应用。Jones砂层油藏的产油历史有足够长的时间,可以对油藏资料在资源保护措施中的应用作出部分的评价,因而受到了石油工业界的注意。

勘 探 历 史

Shuler油田的综合地层剖面见图1中表示的综合柱状剖面图。1920年到1930年间,于井深4385英尺钻入 Hosston 红层顶部的都是干井。在该井进行的对比工作确定在Gulf系地层中存在着一个狭长的向东南倾没的鼻状构造。

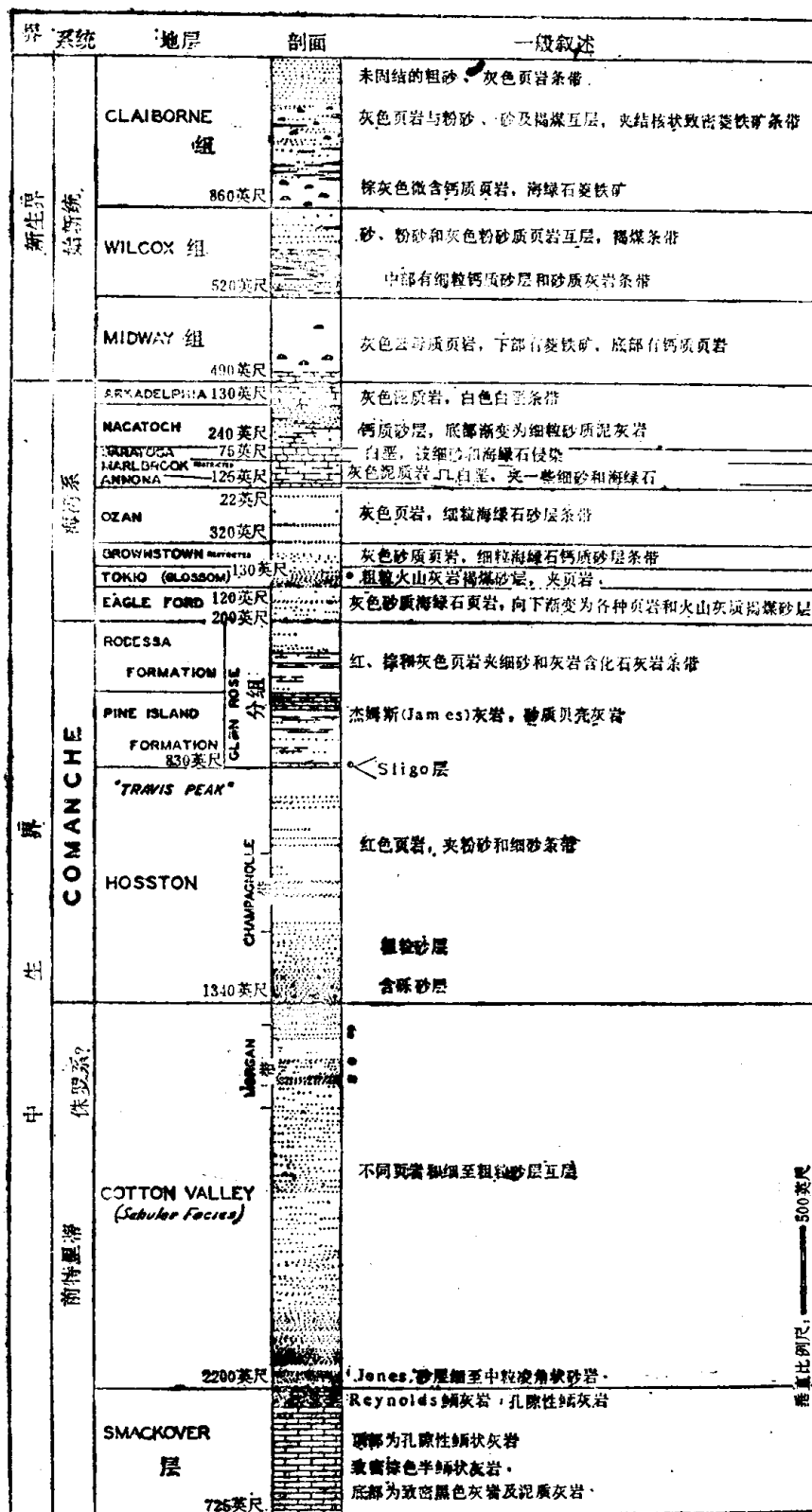


图1 Shuler油田的柱状剖面（据Week和Alexander）

Cotton谷层产油

1937年4月，Lion炼油公司和Phillips石油公司在地震调查表明深层的有利构造之后，在T.18S., R.17W.的18区段，钻了Morgan I-A井。于井深5536英尺处，大约在Cotton谷层顶界以下140英尺处，钻遇产油砂层（Morgan）。此后，钻了140口井并从这些井已证实Cotton谷层中高度分散的透镜状砂岩中产油。这些井的深度都不超过6000英尺。在此开

发期间钻了7口干井，表明要发展成为有经济价值的储量的希望不大。

Jones砂层产油

1937年7月E.M.Jones等人在T.18S., R.17W.的17区段东南部钻了海洋Marine石油公司I号井。在Morgan砂层及Cotton谷层的其余部分中都没有发现可产油的层位，而在加深钻探Smackover灰岩层中，在7553到7601英尺处发现48英尺含油砂岩井段。该井于井深7615英尺完井，成为该砂层——“Jones砂层”的发现井。初期测试产量每天2500桶带少量水，随后重新注水泥封闭。

到1940年7月1日，该砂岩油藏用20英亩井距的146口生产井全面开发已成为一个主要油藏。只钻了3口干井，这样高的成功率是对Jones砂层钻井阶段中所取得的全面的油藏资料进行详细研究所得到的价值的证明。

Reynolds鲕灰岩产油

Morgan砂层发现井的产油能力递减到报废阶段之后，该井加深钻探Smackover灰岩层。虽然这口井中有Jones砂层，1937年10月22日在Smackover层的Reynolds鲕灰岩剖面的上部50英尺中完井。该井初期产天然气凝析物，后来在剖面下部重新完井，成为一口油井。1938年3月一口邻井在相同层位中完井。到1938年6月，油藏用40英亩井距的16口井开发。

地 质

Weeks和Alexander在最近的杰出文章中详细介绍了Shuler油田的地质⁽¹⁾。引用他们的成果作为关于这次讨论的地质解释。

Cotton谷层

在Jones砂层油藏的开发中，发现除了原来“Morgan砂层”油井的面积和深度以外，整个Cotton谷层中都有含油气的砂岩透镜体。这些砂岩为细至粗粒，与杂色页岩互层。它们不具构造的特点，石油聚集完全是由于透镜体被页岩所包围，透镜体的厚度平面分布范围和原油含量的变化都很大。油水接触面相差悬殊，游离气含量和油气接触面变化也很大。少数透镜体是含量低的天然气凝析油藏。

砂岩平均孔隙率16%。平均渗透率的范围为500—1000毫达西。

总之，Shuler油田的Cotton谷砂岩，直接从它的开发来考虑，应该属于不具经济价值的石油资源。产油的透镜体难以发现，到现在为止，在油井钻过的剖面中，它们的叠加厚度往往不超过30英尺。产油透镜体的厚度不等，最大达20英尺。

Jones砂层

在阿肯色州南部的其他相邻地区，Smackover灰岩的上面整合地覆盖着Buckner红色页岩和硬石膏层，Shuler油田位于该层南面的沉积边界以内。可是在Shuler油田处缺失Buckner层，Cotton谷层底部的Jones砂层直接盖在Smackover层之上。Weeks和Alexander⁽¹⁾认为，Cotton谷层沉积前明显的构造运动，使Buckner层出露面被侵蚀。他们认为也可能并未沉积，或者Shuler油田处的Jones砂层可能相当于Buckner层的层位。

Jones砂层是油田上最浅的可以作图的层位，表现出明显的构造闭合。图2表示出砂岩顶面的构造等高线。最小闭合高度90英尺，预计至少有135英尺。砂岩的砂粒为棱角状，细到中粒。靠近含油剖面的底部和边部，砂岩含有粉砂和沥青残留物。此外，向东和围绕构造翼部处渗透层剖面变薄。这些现象是重要的，由此他们认为由于储层本身的分布范围有限，或者由于含水砂岩缺少渗透率，而使含部分与大的含水储层之间是隔开的。

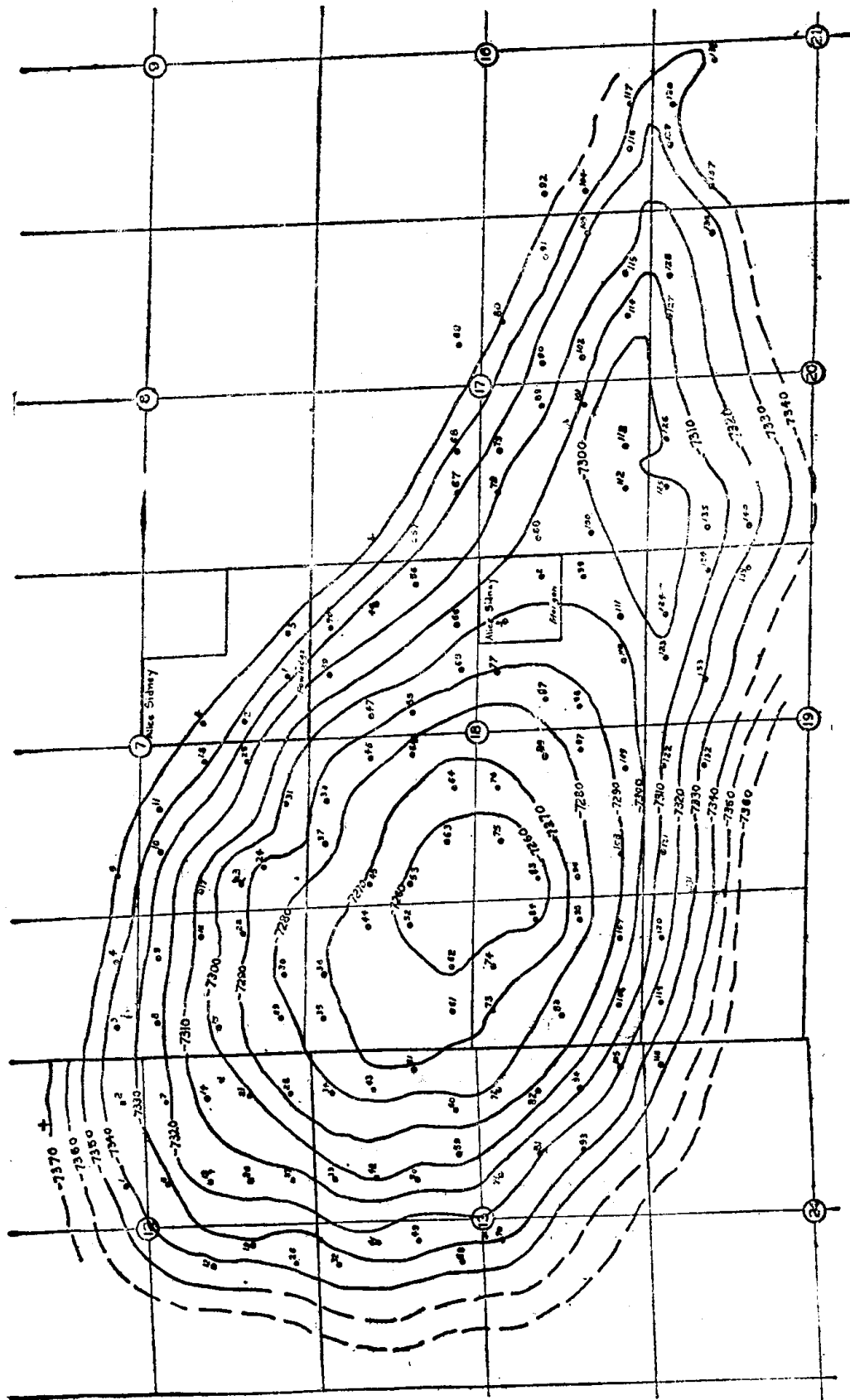


图2 Shuler油田Jones砂层油藏构造等高线

Jones砂层中发现有一个小的原始气顶, 估据含油气孔隙体积的2.9%左右。原始油气接触面在海面以下7270英尺外, 油水接触面稍有变化, 平均深度为海面以下7370到7380英尺。

雷诺斯鲕灰岩

Smackover灰岩层上部的鲕状孔隙层是Shuler油田最深的产油剖面。致密的隐晶质灰岩组成盖层, 在东南部厚2—3英尺, 到西北部厚15英尺。不同厚度的盖层的上面是砾岩薄层, 是Smackover高地侵蚀断面的证据, 由此可认为缺失Buckner层上造成Smackover层与Jones砂层和伴随的Cotton谷层的不整合(图1)。

Reynolds孔隙层顶面的构造等高线图表示在图3中。孔隙剖面由典型的浓缩作用生成的细到粗粒球形鲕粒组成。孔隙率高达23%, 平均接近16.7%。孔隙剖面的渗透率变化很大, 但是每个层内部的水平和垂直渗透率接近相等。有些层的渗透率高达15000毫达西。剖面平均约1200毫达西。

有个原始气顶, 油气接触面在海面以下7394英尺, 占有2780英田一英尺。油田接触面在海面以下7420英尺, 在此接触面以上的原始含油部分约258000英亩一英尺。

总 述

Weeks和Alexander^[1]编制了Jones砂层和Reynolds鲕状灰岩层的综合横剖面图(图4), 概括了构造关系和后面有意义的一些问题。

在Jones砂层油藏的产油范围内, Smackover灰岩层有两个构造高点。但是次高点以东, 即使比高点西侧产油地区的油水接触面要高, 在孔隙性鲕灰岩中也不含油气。东部地区Reynolds鲕灰岩上面的盖层很薄, 因而推测在遥远的过去可能发生过油气从Smackover灰岩面Jones砂层的运移。事实上这个地区中的一口井在鲕灰岩上面没有钻遇可测出厚度的致密灰岩。Jones砂层的沥青含量也表明, 过去发生过多次的聚集。

反对两个油藏之间发生过运移的根据, 是Jones砂层和灰岩层中油藏液体的组成完全不同, 在油藏横面上也没有表现出可看到的变化。Reynolds层气体含硫化氢约1500格令(译者注: Grain, 系英制质量单位, 等于64.8毫克), 而Jones层气体只含10到350格令, 油藏东侧含量较高。过去可能存在着油藏之间的连通, 目前并不影响Jones油藏的开采特征。

Cotton谷层的油气与Jones砂层或Reynolds层的油气都不同。没有硫化氢。油的比重轻, 烃类组成也不同, 因此认为其油源与下面两层不同。

Cotton谷层的产油史

cotton谷层初期完成14口生产井和7口干井之后再没有钻生产井。到1943年1月1日, 14口井中有13口井还在产油。累计产量250.9万桶。产出原油为40°到43°A.P.I.

透镜体砂岩的原始油藏压力, 对于其深度来说是正常的。油井自喷期限决定于游离气的数量和侵入水的体积, 但总的说来自喷期比较短。

为增减Cotton谷层的最终采油量, 1942年1月7日生效的修订协议, 扩大了Jones砂层单元, 把联营地区中除了继续产油的原先14口井之外的全部Cotton谷层都包括在内。因此, Shuler单元现在可以利用Jones砂层的油井进行永久性或暂时性封堵来回采Cotton谷层的油, 这样可以采出相当数量的、否则是不能采出来的油。

1942年元月7日以来, Jones砂层单元中有7口Jones砂层的油井已上返成为Cotton谷层的油井。到1943年元月1日累计产油量为20万桶左右。

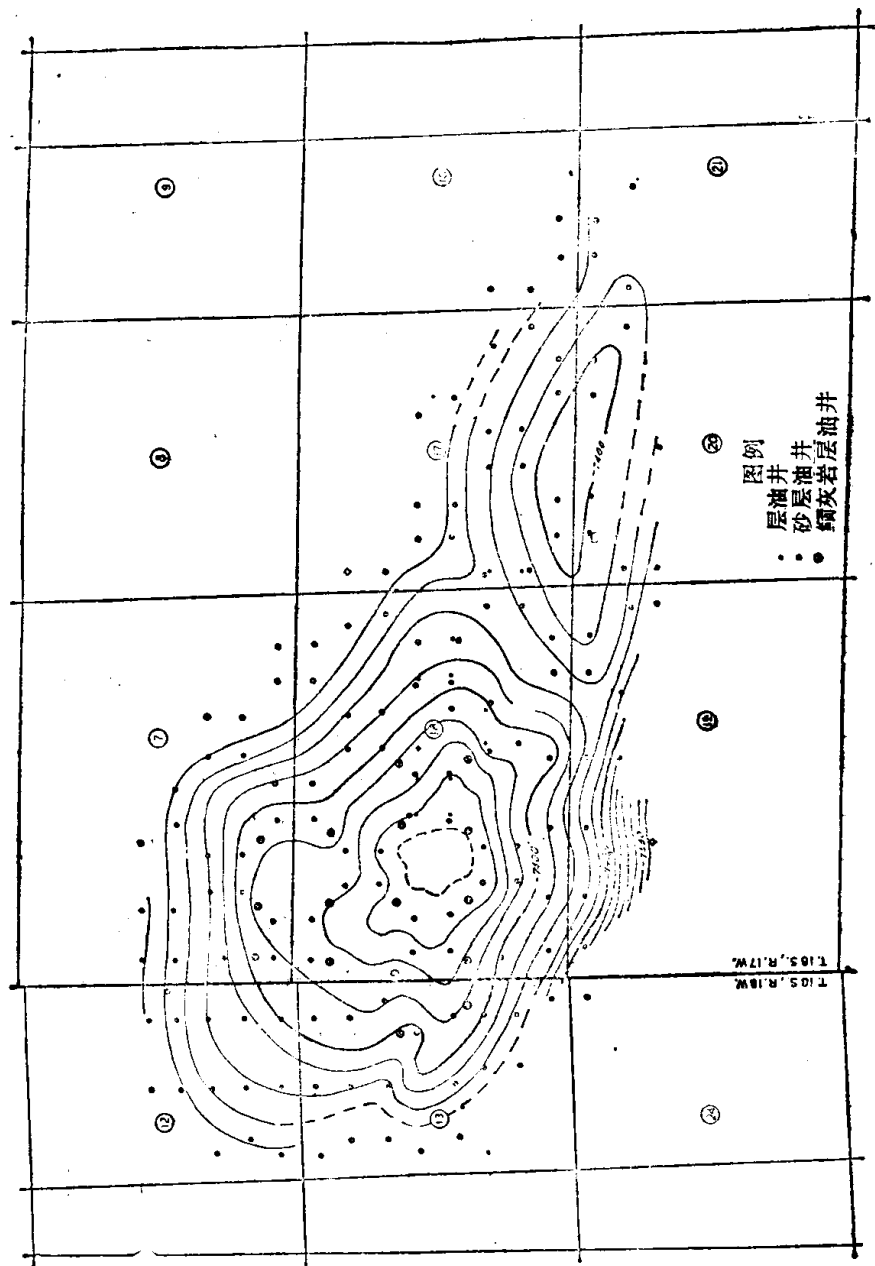


图3 Shule:油田Reynolds鲕灰岩孔隙层顶部构造等高线

Reynolds 鲕灰岩的产油史

Shuler油田Reynolds鲕灰岩的产油史在阿肯色州南部Smackover灰岩的产油中是有代表性的。由于非常活跃的水侵保持了油层压力。尽管剖面中渗透率变化大，在较小的油藏中，水的侵入是十分规则的。

海面以下7300英尺处的原始油藏静压是3530磅/平方英寸。油层温度200°F。原始条件下油藏体积系数1.56。200°F下按差异蒸发测定每桶剩余油的原始溶解气是930立方英尺。

原始气顶和水的侵入使其长期自喷。油井产水高达75%时继续自喷达到允许产量。保持了低的生产油气比，800—1500立方英尺/桶。在大部分配产期间是按“英亩—磅”的原则来配产的，40英亩单元的允许产量为每天150桶。

Shuler油田Reynolds鲕灰岩的原始原油地质储量大致为1300—1500万桶。到1943年1月1日累积产油401.2万桶。那时的油藏静压在海面以下7300英尺处为3353磅/平方英寸。15口井仍在产油，但边部油井目前含水高并近于枯竭。地面油比重为36—38°A.P.I.。

Jones砂层特征

岩心分析资料

按油田的说法，Jones砂层的砂岩可列入“好油砂”。细到中粒的棱角状砂粒。加权平均孔隙率20%。加权平均渗透率约400毫达西，变化范围自0到4000毫达西。

对Jones砂层通过取心进行了详细的研究。油田中首先开发的Cottor谷砂岩的透镜体特点，要求在钻井作业中非常详细地观察，并且用各种方法确定地层层位和存在的产油剖面。因此制定了测定钻时、检验岩屑、取心和岩心分析的组织良好的方案。在Jones砂层油藏的钻井中继续了这样详细的方案。

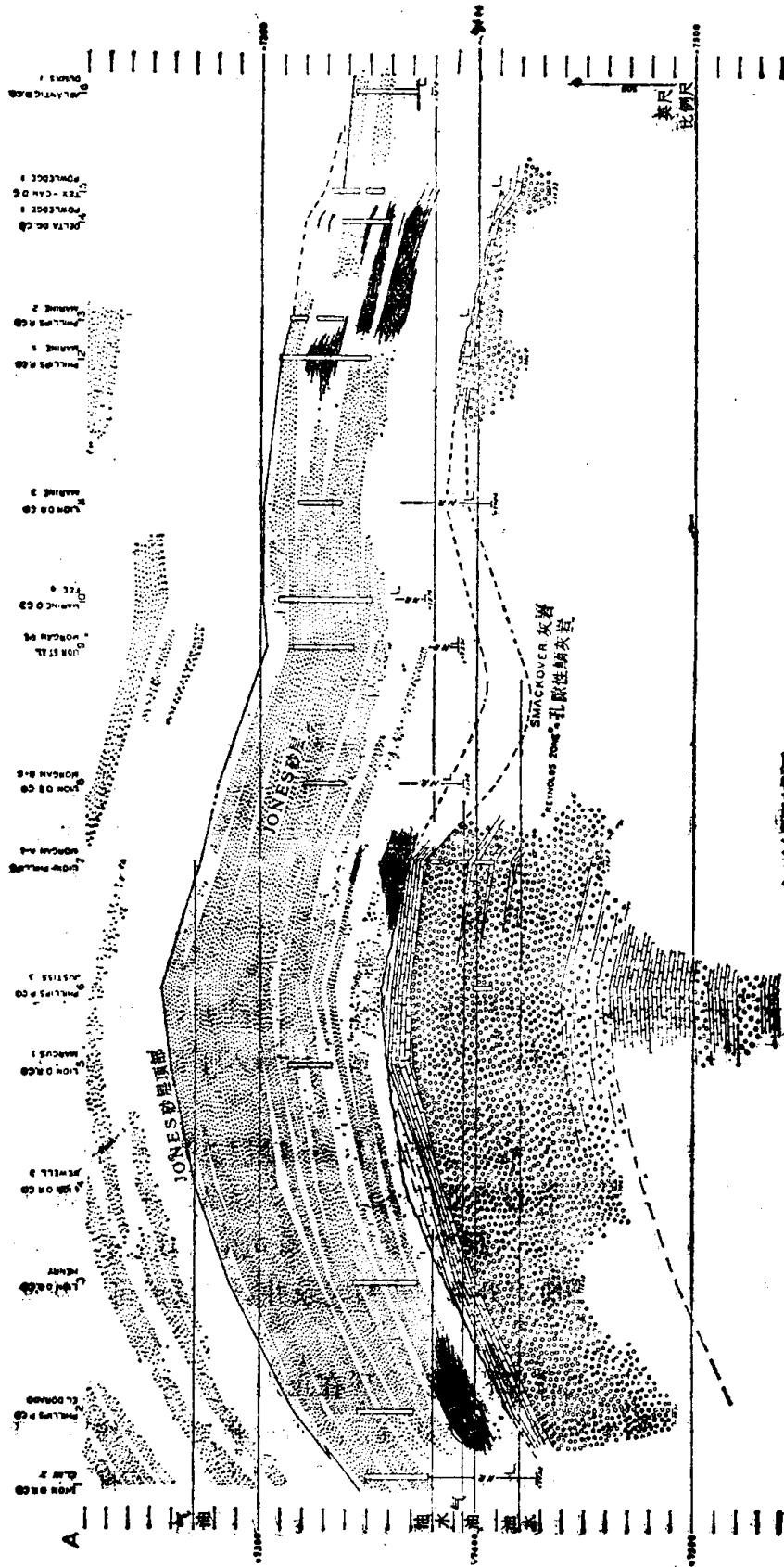
钻入Jones砂层的井总共165口，其中146口为Jones层油井，3口干井以及16口Reynolds鲕灰岩层油井。除了3口井之外所有井都穿过Jones砂层钻入下面的灰岩，把套管下入灰岩，提供了良好的套管鞋位置。

在146口井中对Jones砂层取了岩心，占钻进Jones砂层总进尺的88%，在136口井中对全部剖面取了岩心（82%）。砂岩取心总进尺9827英尺，总共取出岩心8292英尺（84%）。岩心在油田或附近的实验室作了分析和研究，由几家公司的地质家和岩心分析人员密切合作。在162口井中作了电测，几乎所有井都作了钻时录井，必要时可以从这些记录估算未取心部分的性质。

已证明在完井、产量控制、油藏工程研究和现在正进行的注气开采的控制中，岩心资料是极为有用的。由于录井资料的完全，大大提高了岩心分析资料的作用，因为这些录井资料包括了油藏的全部范围。认为从一口井中取出的岩石不能代表周围油藏的一般特性，因而根据岩心分析资料所作的推断常常遭到批评。像在Jones砂层的开发中，在那样多的井点上取得了油藏样品的情况下，这种看法是错误的。

图5是Weeks和Alexander⁽¹⁾编制的表示Jones层和Reynolds层的典型剖面图。钻时录井在井与井之间对比得很好，并证明在确定孔隙层顶面和取心位置时是极为有用。电测曲线的不规则性大致定性地表示出低渗透率地层的存在，但是只有实际的岩心分析数据才提供了关于渗透率、孔隙率和饱和度的可用资料。

图6.7.8是补充的岩心图，表示出Jones砂层另一些具代表性的剖面。渗透率剖面特别



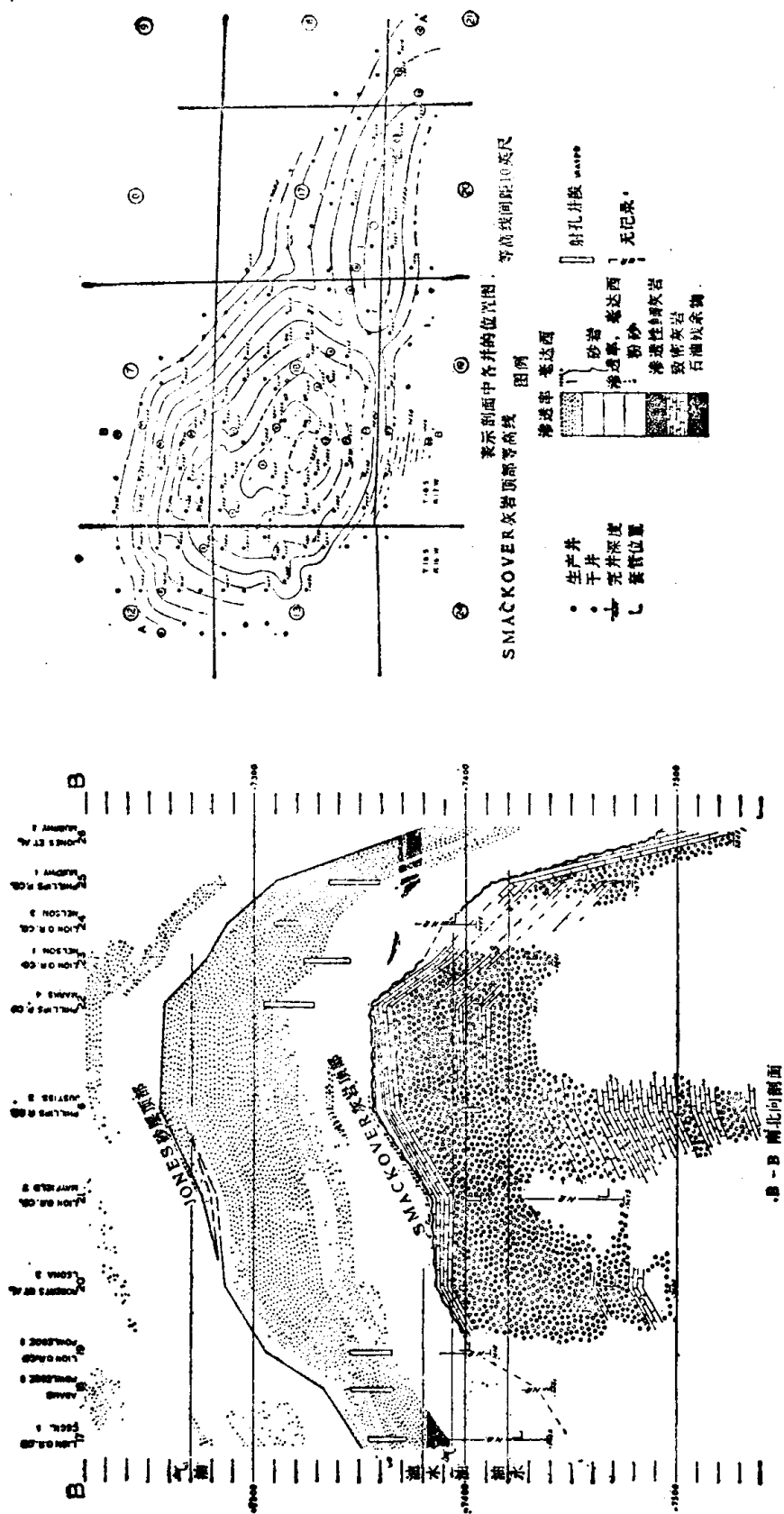


图4 Shuler油田，下部产油层位横剖面图

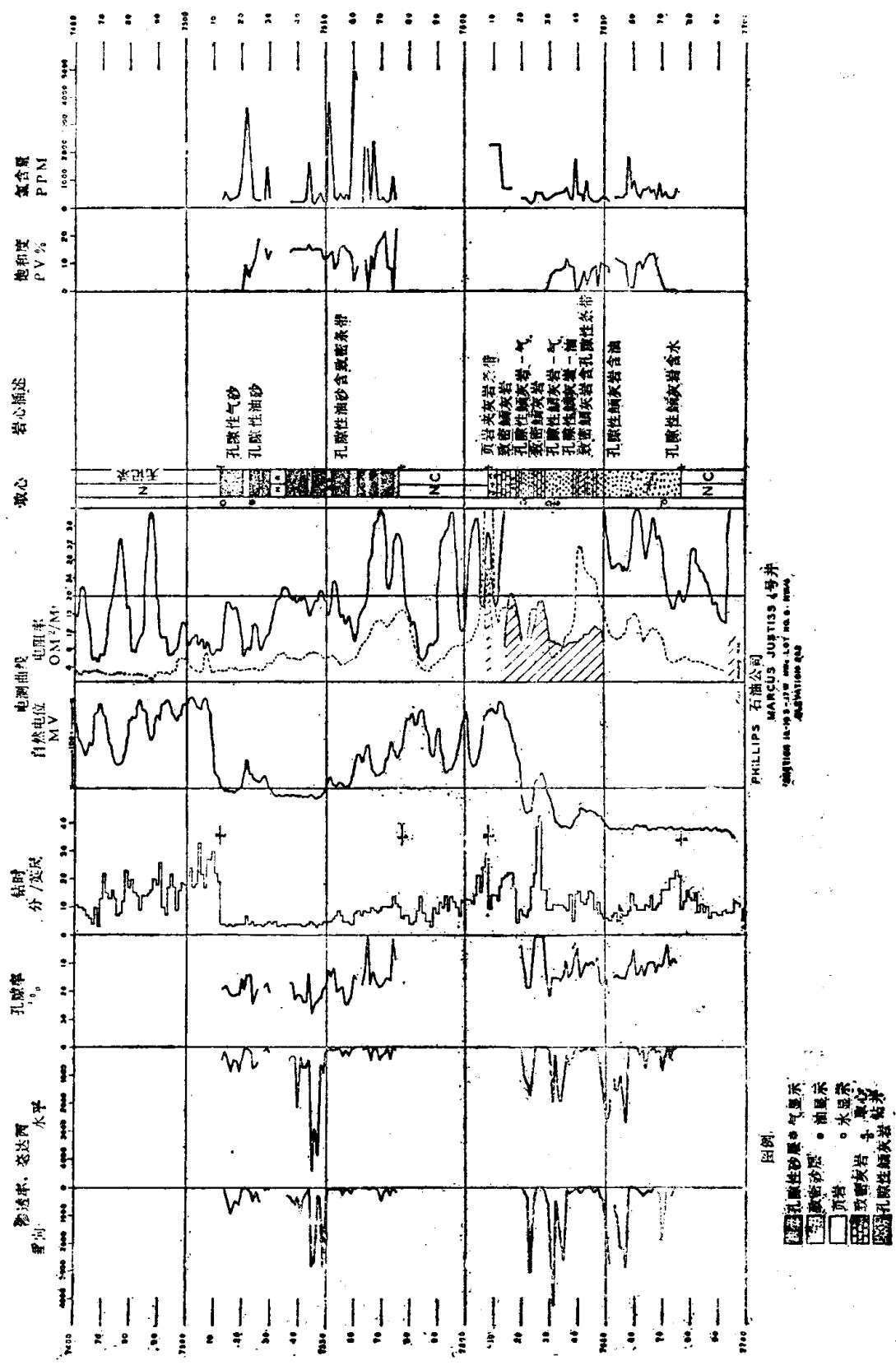


图5 Jones砂层和Smackover灰岩典型录井图

有意义。渗透率变化范围很大。图8表示出较厚的和较薄的砂岩都是这样，并表现了东部含粉砂及含沥青的剖面。渗透性层位在井间或油藏横向上都不好对比。从气驱采油过程来说，可以认为砂层的分布在总体上多少是均质的，而在局部上为非均质的。图4中根据岩心分析结果用阴影的程度定性地表示出横剖面上渗透性砂层的分布。较深的阴影相当于较高的渗透率，黑色部分表示沥青残余物。

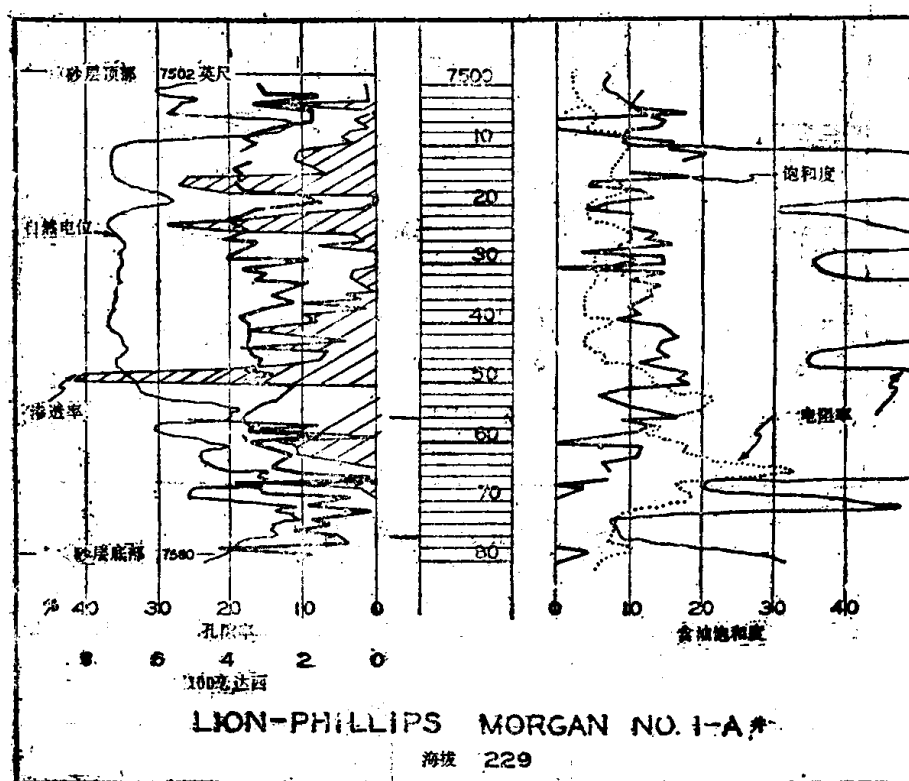


图6 Jones砂层岩心图

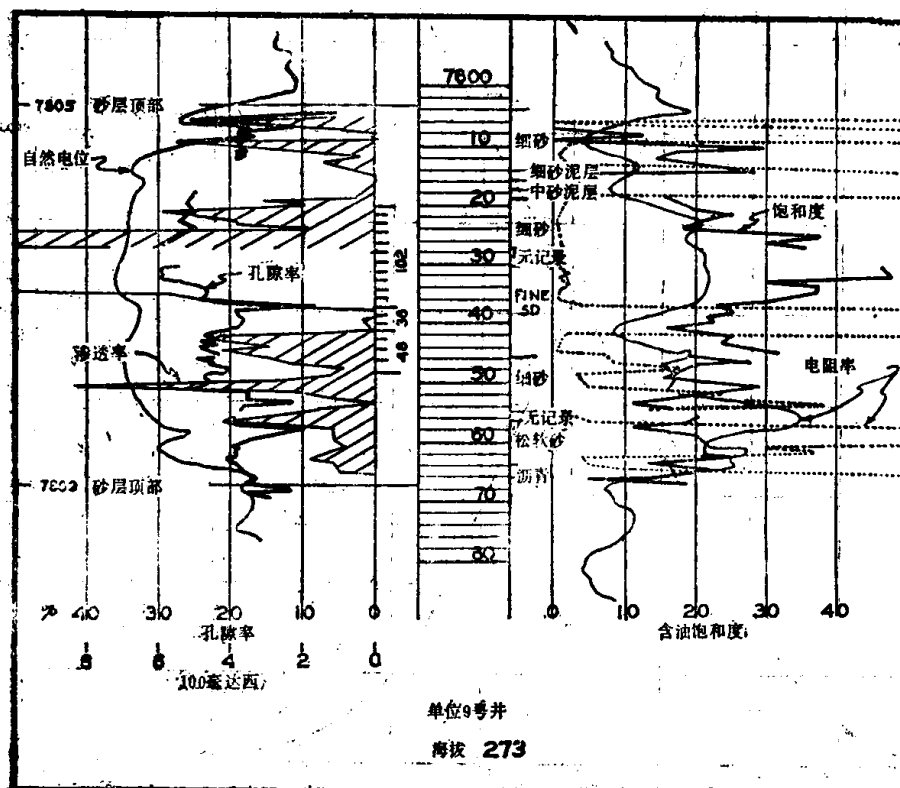


图7 Jones砂层岩心图