

世界油氣田

油田部分

(二)



石油工业部科学技术情报研究所

TE-1
201

51778



51778

世界油气田

油田部分

(二)

5456/08



00452939



200440497



石油工业部科学技术情报研究所

一九八八年

正文设计: 何 思

责任编辑: 李小平

封面设计: 吕 莉

世界油气田 油田部分(二)

开本787×1092毫米 1/16 印张177/8

字数: 40.6 万印数: 2000

1989年1月北京第一次印刷

油情(单)88033 工本费: 6.00 元

编辑: 石油工业部科学技术情报研究所

出版: 石油工业部科学技术情报研究所

印刷: 北京燕山学校印刷厂

发行: 石油工业部科学技术情报研究所

(北京和平里七区十六号楼)

主 编

金 静 芷

副主编

胡征钦 唐养吾

责任编辑

黄希陶	张克有	刘方槐	赵铁城
陈宝来	范友仁	牟而中	戚声范
应维华	史廷友	吴 伟	

目 录

东得克萨斯油田 (美国)	(1)
概况	(1)
勘探简史	(2)
地质构造简介	(3)
油田开发史	(5)
油田开发过程中的主要问题	(8)
开发效果分析	(11)
问题与教训	(13)
威明顿油田 (美国)	(16)
勘探历程	(17)
地质情况	(20)
油田开发	(21)
油田开发过程中的一些主要问题和作法	(33)
普鲁德霍湾油田 (美国)	(47)
概况	(47)
勘探历程	(48)
油田地质	(50)
油田开发和提高采收率措施	(54)
俄克拉何马城油田 (美国)	(58)
前言	(58)
勘探历程	(60)
油田地质	(61)
油田开发史	(65)
油田地质研究和开发的若干经验与教训	(68)
克恩河油田 (美国)	(71)
地质概况	(72)
油田开发	(74)
采油工艺发展情况	(80)
有关油田生产的其他系统和装置	(83)
福多契油气田 (美国)	(86)
油田勘探和地质构造	(86)
油田开发	(90)
油田开发中的模拟研究	(97)
油田开发过程中遇到的问题和解决的办法	(99)
杜玛兹油田 (苏联)	(102)

概况.....	(102)
油田地质.....	(103)
杜玛兹油田的开发.....	(107)
目前重点研究的几个问题.....	(125)
罗马什金油田 (苏联)	(129)
概况.....	(129)
勘探历程.....	(129)
油田地质概况.....	(130)
油田开发史.....	(133)
油田的稳产状况及主要措施.....	(136)
开发上重点研究的几个问题.....	(139)
巴夫雷油田 (苏联)	(144)
概况.....	(144)
油田地质.....	(145)
巴夫雷油田的开发.....	(147)
巴夫雷油田抽稀井网工业试验.....	(149)
下石炭系鲍勃里科夫层油藏的开发情况.....	(161)
巴夫雷油田的稳产状况.....	(163)
乌津油田 (苏联)	(167)
概况.....	(167)
勘探历程.....	(168)
油田地质.....	(168)
油田开发.....	(173)
油田开发特点.....	(178)
油田开发过程中所采取的主要增产措施.....	(182)
重点研究的几个问题.....	(183)
什卡波夫油田 (苏联)	(192)
概况.....	(192)
油田地质.....	(192)
油田开发状况.....	(197)
什卡波夫油田在开发过程中重点研究的问题.....	(205)
几点认识.....	(211)
卡拉布拉克-阿恰鲁基油田 (苏联)	(213)
概况.....	(213)
勘探历程.....	(215)
地层、构造及储集层若干特点.....	(216)
油井完成和增产措施.....	(219)
油藏流体渗滤特征.....	(220)
油田开发.....	(222)
油田基本数据.....	(230)

穆拉德汉油田 (苏联)	(234)
油田地质	(234)
油田开发	(238)
钻、采过程中遇到的主要问题	(242)
来达克-伍德本 D-3 A 油田 (加拿大)	(245)
勘探简况及油藏地质	(245)
油田开发	(250)
油气、油水界面研究	(258)
油藏后期开发问题	(263)
巴罗岛油田 (澳大利亚)	(266)
概要	(266)
油田勘探过程和地质情况	(267)
油田开发情况	(271)
开发过程中的油层研究和保持油田高产稳产的措施	(275)

东得克萨斯油田

摘要

东得克萨斯油田是美国的第二大油田,也是世界上特大的地层圈闭型水驱油田。油田含油总面积约560公里²,生产层为白垩系乌德宾砂岩。原油地质储量约9亿吨,可采储量预计可达到8亿吨,即最终采收率估计可达82%以上。

油田所在地区的勘探工作始于1927年。油田于1930年9月发现,同年底投入开发,至今已采油55年。到1984年底,油田已累计产油6.378亿吨,采出程度达71%。目前还有约1.54亿吨的剩余石油可采储量。

东得克萨斯油田部分油井很早就大量出水,所以油田污水回注在世界上来说也是最早的。由于大规模地回注污水,使油田80~90%的产量在高于饱和压力条件下采出。油田在含水20%前采出程度14%;50%前,采出程度24%;含水50%后又采出47.35%的地质储量。目前油田综合含水85.6%。

东得克萨斯油田开采效果好有其得天独厚的油藏条件,加上人工措施;但其无计划的采油、打井也使油田遭受了无法弥补的损失。

预计油田还有40余年的开采寿命。

概况

东得克萨斯(East Texas)油田位于美国得克萨斯州东部,分布在该州格雷格(Gregg)、鲁斯克(Rusk)、切罗基(Cherokee)、史密斯(Smith)和乌普舒尔(Upsur)五县境内,是美国的第二大油田,也是世界上少有的特大地层圈闭型水驱油田。在构造上,它处于东得克萨斯盆地内沿着向西倾斜的上白垩统乌德宾(Woodbine)砂岩层的楔状尖灭带分布,其西为泰勒(Tyler)盆地,其东为萨宾(Sabine)隆起。该油田于1930年9月发现,含油总面积约为560公里²。油田的生产层为白垩系乌德宾砂岩,属三角洲沉积。其原油地质储量多数报道为68亿桶(约合9亿吨)^[1,2],也有报道为75亿桶^[3](约合9.9亿吨)或79亿桶(约合10.4亿吨)^[4],最终可采储量估计为60亿桶(约合8亿吨)^[1,2,4],即最终采收率预计可达82%^[5]。该油田于1930年末投产,至今已开采了55个年头,其最高年产量曾经接近2800万吨,年产量最低时也在500万吨以上,历年平均采油量约为1160万吨,到1984年底已累计产油6.378亿吨,采出程度达71.0%,目前还有1.54亿吨的剩余可采储量。由于市场需求和油价的关系,自投入开发以来,一直对此油田进行限产,平均日产油量只有2.78万吨左右,据统计,油田产油

* 按1桶=0.159米³再乘以原油比重0.83计算,下同。——编者

以后的地质储量均取此数值——编者。

能力最高可达7.92万吨/日^[2]。即按365天计算可达年产量2890万吨。据估计,此油田还有40余年的开采寿命^[5]。

值得注意的是,这个油田水淹严重,产水量很大,目前日产水量为日产油量的6.3倍,但采油速度仍达0.78%,折算出的1983年3月油田综合含水已达85.6%^[3]。因此,在东得克萨斯油田所采用的一些措施,包括关闭含水高的井、封堵高产水层、限产、注水以恢复地层压力、打更新井以及修井作业等,是有成效的。

需要指出的是,在发现井以北16公里处钻了一口日产2900吨的高产油井和40公里处钻了另一口日产1644吨的高产油井后,许多公司蜂拥而上。当时据统计共有2400块租地,400多家经营者。到1931年底,油田已钻生产井3612口,两年后,增至11875口,有1715个经营者。仅1932年就打井5760口,平均每周有100多口新井投产,因此,油田开发进展过快。无计划不保持压力的高速开采带来很多未预料到的问题。然而,由于该油田的得天独厚的油藏条件以及人为的措施,还是取得了很好的开发效果^[7]。

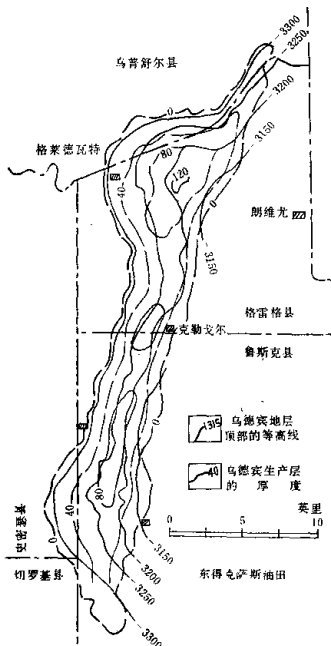


图1 油田位置图

公司、太阳(Sun)石油公司和亨堡(Humble)石油公司[即后来的埃克森(Exxon)石油公司]就已在油田所处的东得克萨斯盆地内做了大量的地质普查和地质填图等工作,此外,地球物理研究公司(Geophysical Research Co)也在1927年5—6月间为普尔石油公司做过折射地震勘探工作。当时普尔公司租有68公里²的面积,勘探结果表明有埋藏较深的盐丘和隆起存在。另外,扭称和磁力勘探结果又与浅部盐丘对比,而后再进行详细的地表制图。在综合研究的基础上,于1927年7—8月间,在离东得克萨斯油田不远的范(Van)地区开钻,1929年10月一口井日产油245.2吨,从而发现了范油田。该油田的产油层为乌德宾砂层,深度795.5米~826米,面积为7公里²,为一高产油田。

范油田的发现和开发促使人们继续在乌德宾砂岩层找油。当时有一位叫“Dad”Joiner的人,在鲁斯县境内租借地400公里²,在总结以前各公司所做工作的基础上,与另一位地质师(A. D. Lloyd)合作,于1927年8月开钻,用的是低劣的设备,资金也不足,连续打了两口干井之后钱也用光,雇用人员离散,但就在此时,打第三口井,于1930年10月5日在

勘探简史

在发现东得克萨斯油田之前的好几年里,当时的普尔(Pure)石油公司、壳牌(Shell)石油公司、德士古(Texaco)石油公司

1095米深处完钻，此井初期日产油41吨，这就是东得克萨斯油田的发现井。后来证实这口井在油田的东部。

在“Dad” Joiner打井之前，亨堡公司在此区所做工作最多。其中几位地质学家在做了大量地质勘探工作后就断定乌德宾砂岩层在萨宾隆起的尖灭处有油田存在，“油可能出现在鼻状构造之下或圈闭在该砂层的上倾边缘”。然而，由于在得克萨斯州东北部于1927年发现了油后，就把勘探重点放在寻找东得克萨斯盆地的盐丘构造，而将所有的地质工作者都调到东北部，从而忽略了这个地区的乌德宾砂层的继续勘探。但在Joiner找到油后，亨堡公司立即将租借地扩大到48公里²，正处在油田上。接着很多小公司蜂拥而至。1930年12月4日深岩石（Deep Rock）石油公司在Joiner号井以西1.6公里处打了一口日产411吨的井。几天后，1930年12月28日，西北方向离发现井16公里处完钻Batoman-Crim 1号井，获日产油2900吨，井深1113米。1931年1月16日离发现井40公里的北方又完钻一口叫Lathrop 1号井，深度1093米，获68.5吨/时的产量，合日产油1644吨。当时以为是三个油藏，后来井打多了，才知是一个特大油田。

在打完这三口井后，几位地质师就形成了地层圈闭的概念。在萨宾隆起的高点处附近乌德宾砂层缺失证明了这一点。鲁斯克和格雷格县境内的地表制图暗示有广大的鼻状构造，证明产油面积很大，直到油水界面拼入砂层的边缘时才到边界。后来的情况证明确实如此^[8]。

地质构造简介

一、油田的形成

东得克萨斯油田是一个地层圈闭型大油田，位于东得克萨斯盆地的东侧，处于墨西哥湾白垩纪和第三纪岩石带内，不整合地超覆在内陆白垩纪前岩系上。油田沿着向西倾斜的上白垩统乌德宾砂层的楔状尖灭带分布，其西为次一级的泰勒小盆地，其东为萨宾隆起。储集层系由乌德宾砂层向萨宾隆起上的背斜尖灭而形成。其上倾部位呈楔状插在奥斯汀（Austin）层与华什塔（Washita）层的不整合超覆接触之间，其东部深度为1079米，西部深度为1162米。向西，油层以平缓的角度下倾，下倾坡度为7.6~15.2米/公里（图2）。构造闭合度最大为

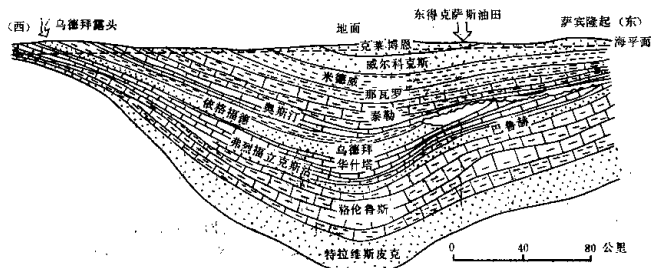


图2 东得克萨斯盆地横切面图

70米。

大体上说来，东得克萨斯油田的形成过程为：(1) 在古新世米德威 (Midway) 组沉积时，乌德宾组内的油气聚集于较高的位置；(2) 当萨宾隆起上升使米德威组成为背斜式样时，乌德宾组内的油气略为集中；(3) 第三纪后，向南边的墨西哥湾方向的偏斜使原构造的一翼变陡，而使另一翼变得较为平缓，此外，油藏范围有所扩大，但油柱高度有所减小。

现已逐渐搞清东得克萨斯油田的乌德宾砂层是一个非海相的三角洲沉积^[2]。在早白垩世之后，萨宾隆起的两侧有两个三角洲体系，东侧一个厚达270米，上部含天然气，中部为海相页岩，下部的80米是重要油层；西侧就是乌德宾砂岩组沉积时的三角洲，其底积层与前积层发育较好，顶积层发育较差^[1]。(图3)

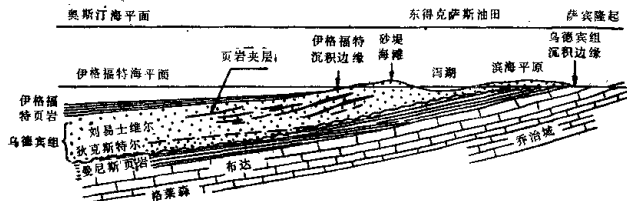
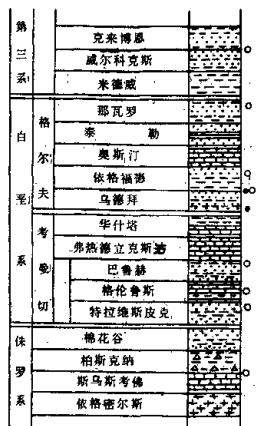


图3 东得克萨斯油田东-西向横剖面图



● 主要产油层 ○ 次要产油层

图4 东得克萨斯油田柱状剖面

面积达60%，原始油水接触面的海拔为-1010米，为一典型水驱油藏。

二、地 层

本油田的柱状图见图4。

本油田的产油层——乌德宾砂层的含水量，据统计达6350亿吨，油田60%的面积在油水接触面以西水面。砂层含束缚水14%，含油饱和度为86%。

乌德宾产层呈单斜状，向东尖灭，在盆地中心最厚处约有300米，但在油田范围内北部最厚处只有38米。由黑色易裂页岩、灰色及绿色页岩、红色页岩、砂质页岩、页岩质粉砂质砂岩，以及具交错层理砂岩、粉砂质和含砂砾岩组成，其中砂岩及砾岩为储油层。砂岩组内的页岩含量平均为20%，由北部的15%向南增高到33%。另外，砂岩的粒度向南变细，这些都反映了物源的位置应在北方。

油层有效厚度在油田东部只有数米，向西边缘增厚至30米，平均厚11.4米，油层储油物性好，平均孔隙度为25%；渗透率变化为0.987~3.948微米² (1~4达西)，平均为2.073微米² (2.1达西)。含油范围内底水分布

伊格福德·乌德宾层的面积分布广，在东得克萨斯盆地边缘，该层出露至地表，形成一统一的供水水压系统。东得克萨斯油田直接与此水压系统相联系。油层原始地层压力为11.1兆帕（113.4大气压）^[6]，与油层埋藏深度及地面露头海拔高差的静水柱压头相等，油藏具有天然水压驱动条件。

油层岩石为混合润湿性（即微细孔道和颗粒接触处优先为水湿，而大孔道表面为强油湿）。如果油湿通道在岩石里是连通的，这样水可将大孔隙中的油驱替出，而极少或没有原油在小孔道或颗粒接触处被毛细管力吸附^[10]。

东得克萨斯油田原油属石蜡基原油，一般呈绿色，西部原油呈黑绿色；原油密度为0.827~0.835克/厘米³；地下原油粘度为0.93毫帕·秒（0.93厘泊）；油层水的密度为1.05克/厘米³；原油中轻质馏分比重35.8%；原始油气比59米³/米³（72米³/吨）；原油体积系数为1.256；原油收缩率20~21%；油层温度82℃；油层饱和压力5.1兆帕（52大气压）；油田水盐度高达67000ppm；油层条件下，油水体积压缩系数相应为 1.4×10^{-2} 1/千帕和 3.82×10^{-3} 1/千帕（ 1.39×10^{-4} 1/大气压和 3.78×10^{-5} 1/大气压）；孔隙介质的体积压缩系数为 $1.01 \sim 2.02 \times 10^{-3}$ 1/千帕（ $1 \sim 2 \times 10^{-3}$ 1/大气压）^[11]。

油田开发史

东得克萨斯油田于1930年末开始产油。由于开发初期每口井有很高的日产量，所以各公司蜂拥而至，竞争激烈，井数增加很快，普遍畅喷，仅1931年7月份，就有1300口井，日产原油18万多吨，平均单井日产量140吨，年产油1470万吨。同年钻井3612口。到1933年，生产井已经增至11875口，当年的产量也达到了油田开采历史上的最高年产量，即2740万吨。这种开采使油田油层压力迅速下降，1933年为8.4兆帕（86大气压），已损失22%，许多自喷井只得转为气举井和机械采油井，而且从1932年起，已开始有些井因枯竭而放弃。1939年采油井数最多为26000口，其中自喷井为19000口，抽油井为6000余口，气举井700多口，即抽油和气举井数已占自喷井数的三分之一。1940年枯竭井已达736口，而到1965年，自喷井为8683口，机械举升井为8378口，几乎不相上下。产油量也是如此，从1933年以后，油田产量即趋于下降。1938年后，年产量即不足2000万吨，到1955年以后更低到1000万吨以下。在油田开采历史上产量最低的1962年，只有505万吨。在这二十多年中，产量偶而略有回升，其中三个年产量较高的年份为1936年（1990万吨）、1944年（1780万吨）以及1951年（1450万吨）。由此可见，倘无有效措施，油田的衰落会是很快的。

由于油田经营者过多，各公司争相抢占一方，拼命开采，全无规划，生产大幅度波动，油层压力急剧下降。但是，在开发初期还未曾考虑用注水来保持油层压力，而只是想用控制产量的方法来解决生产中出现的产量问题。限产措施于1931年4月10日开始实行，限产包括规定单井口产油和水不得超过多少吨，以及每月每口井开井多少天。但实际上，由于生产井数不限，生产井不断增多，尽管有此规定，各公司为了追逐利润，仍然拼命多采油，仅1933年春季，每日就多采2万吨左右。

除了限产以外，过去还普遍使用关井停产的办法，以图油层压力有所回升，避免油井枯竭。从1933年11月起，先是每口井每月停产两天；以后为每星期日停产制，最多时每月只采

* 在换算储量和产量时取值0.83克/厘米³。——编者注

油14天。由于生产层的渗透性极好，底水活跃，所以每次在关井停产，油层压力即见回升，许多油井又能恢复自喷^[12]。

东得克萨斯油田在开发初期，除了油层压力下降外，油田上出现的另一个严重问题就是采出盐水的处理问题。该油田60%的面积是在油水接触面以内的水面上。由于底水很活跃，构造下部井几乎一开始开发就见水。1933年底油田日产量达1600吨，到1938年7月受上升水位影响的抽油泵的井数达3475口，年末产量曾达2200吨/口。盐水产量高，一是可能影响最终采收率，二是对民用水和农作物造成严重污染，为了限制产水量，采取了三个方面的措施：

(1) 关闭一些产水量高的边缘井。根据1947年7月法定该油田每口井日产量达15.9吨后就可关井或转为其他类型井，关闭井由该井每六个月测试一次^[2]；

(2) 用水泥封堵产水层；

(3) 将采出盐水回注到油层内。

通过上述措施，在一定程度上保持了油层的天然能量。特别是将盐水回注到油层内，一方面可保持油层压力，另一方面可解决污染问题。回注试验始于1937年，1939年起正式回注，以后回注量逐渐增加，到1947年产水2880万吨全部回注油层。该油田对采出盐水的回注成功，不自觉地开始了油田开发史上的二次采油新阶段。由于是将污水回注到底水中，因而美国仍叫天然水驱，而不叫二次采油。目前有注水井70多口，注水井位都处于油层边缘，为典型的边外注水。1983年7月的日注水量为14.52万吨。自产出盐水全部回注油层后，油层压力保持稳定或稍有回升〔每年回升0.098兆帕（1大气压）〕^[9]。1943到1949年油层压力稳定在6.66兆帕（68大气压），1950~1954年稳定在6.72兆帕（69大气压），1955~1958年稳定在6.86兆帕（70大气压），以后稳定在7.06~7.55兆帕（72~77大气压）之间。由于不断加强注水，保持住了一定的油层压力，使1942~1955年间的产量能维持在1000万吨以上，采油速度保持在1%以上。

由于污水回注井都处于油田边缘，离油田中部生产井较远，油田中部，特别是油田南部的中区受效很少。注水井远离油井3.2公里远。为了控制油层压力进一步下降，于1971年开始了美国人称为真正二次采油的内部注水开采试验阶段。此时，部分井的井底压力随着天然水驱能量下降已经降至0.71兆帕（7个大气压）。试验区为16公里²，有注水井115口^[9]。

由于油田部分地区的油层非均质性严重，为了减缓水的指进，在高含水区（含水96%），亨特（Hunt）和普拉西德（Placid）石油公司开展了面积为1.92公里²（480英亩）的聚合物驱三次采油试验，使此地区内的原油增产6335吨。此项试验于1982年1月1日开始，开始时的油层压力已降至0.34兆帕（3.5大气压）。此方案要持续15年，将有注水井13口，单井日注聚合物39.8米³。聚合物溶液为含纯聚合物3.3公斤/米³的淡水。总的聚合物溶液注入量为40%PV（孔隙体积）。聚合物注入后提高了驱扫效率，降低了水的流动性，从而提高了采收率^[13]。

油田产出的伴生气有86%以上由7个大的天然气处理厂处理，其中3个厂可处理管辖区100%的产出气，所以放空的天然气不多^[14]。

东得克萨斯油田也是较早试验自动化生产管理的大油田之一。其自动化试验区包括101个矿区，974口井，142.45公里²面积，在油田北部，其95%的井是自喷井，生产不需处理的合格原油。试验区的自动化过程可分为三个阶段：

(1) 在1955年，几乎自喷井的每个井口都装备了电动液压马达阀，油库上安装了自动开

关设备以及自动时钟控制器。这是由手工操作到自动化的第一阶段，井和油库之间用两根电线连接起来。

(2) 后来的十年，即第二阶段，研制成功了矿区自动保护传送装置(LACT)，这样整个租借地的产量可以通过运用正面驱动仪表而加以汇总。在产油矿区，原油在销售之前通过LACT装置汇集到缓冲罐中。在产水矿区，原油先汇集而后再处理。到1964年底，已有15%的油田范围用上了LACT装置。

(3) 第三阶段，1964年末，对所有贮油罐的现场考察表明，66%的贮罐需要立即更换或修理。运用普通方法更换或修理需要28.5万美元。为了解决此问题，在综合各种建议的基础上最后决定将油罐组合并、原油集中处理、安装LACT装置以及对产油量实行监控。这些全部由离油田64公里远的计算机监控系统进行控制。控制内容包括自动监测故障和查泵、监控矿区的产油天数、监控所有报警点、准备产量日报表、将总的销售量分配到各矿区、准备月份报告、报告单并测试数据(包括分离器、计量仪表、测试报告)、每10分钟打出各井的油、水产量。整个试验方案总费用为52.5万美元，两年半内就可收回成本。仅此区实行自动化后，一年可减少6万美元的操作费用^[16]。

为了保持一定的产油量，东得克萨斯油田采取了一定的增产措施，其中包括修补套管、堵漏、补孔、酸化、压裂、检泵等等^[4,16]。

东得克萨斯油田主要开采数据见表1。

表 1 油田主要开采数据表

年份	年产量 (万吨)	累计产量 (万吨)	年注水量 (万吨)	年注水量 (万吨)	采油速度 (%)	采出程度 (%)	综合含水 (%)	生产井数 (口)
1931	1470	1470	0	0	1.63	1.63	1	3612
1932	1630	3100	16	0	1.82	3.44	0.69	9372
1934	2450	8310	48	0	2.72	9.23	1.62	15507
1936	2260	12970	190	0	2.51	14.41	6.8	21660
1938	2060	17520	638	0	2.29	19.24	21.1	25765
1940	1900	21160	980	159	2.11	23.51	30.5	25821
1942	1620	24570	1980	476	1.8	27.30	50.7	25483
1943	1700	26270	2070	1160	1.89	29.19	50.5	25100
1944	1780	28050	2500	1920	1.97	31.17	54.0	
1945	1720	29770	2700	2200	1.91	33.08	56.0	
1946	1580	31350	2880	2500	1.76	34.83	60.0	
1947	1540	32890	3240	2860	1.71	36.54	63.5	
1948	1460	34350	3340	3010	1.62	38.17	63.3	
1949	1220	35570	3160	2950	1.36	39.52	68.0	22487
1950	1270	36840	2860	2710	1.41	40.93	65	
1951	1300	38140	2430	2390	1.44	42.38	60.9	
1952	1260	39400	2410	2370	1.40	43.78	61.1	
1953	1180	40580	2320	2270	1.31	45.09	62	
1954	995	41575	2350	2300	1.11	46.19	67.0	
1955	1021	42596	2450	2810	1.13	47.31	73.2	20240
1956	850	43446	2550	2550	0.94	48.27	71.0	19902
1957	910	44356	2620	2620	1.01	49.28	70.0	19244

续表

年份	年产油量 (万吨)	累计产油量 (万吨)	年产水量 (万吨)	年注水量 (万吨)	采油速度 (%)	采出程度 (%)	综合含水 (%)	生产井数 (口)
1958	620	44976	2630	2630	0.69	49.97	79.2	
1959	700	45676	2780	2780	0.78	50.75	76.5	18850
1960	568	46244	2700	2700	0.63	51.36	80.0	18856
1961	578	46822	2610	2550	0.64	52.02	79.0	18753
1962	505	47327	2420	2420	0.56	52.59	80.0	19067
1963	538	47865	2660	2660	0.60	53.18	80.5	19037
1964	528	48393	2680	2680	0.59	53.77	81.0	17227
1965	540	48933	2680	2680	0.60	54.37	80.0	17015
1966	605	49538	2920	2920	0.67	55.04	80.0	16833
1967	680	50218	2900	2900	0.76	55.80	78.0	16315
1968	700	50918	3070	3070	0.78	56.58	70.5	15886
1969	740	51658			0.82	57.40		15550
1970	946	52604			1.05	58.49		15136
1971	940	53544			1.04	59.49		14625
1972	1058	54602	3212		1.18	60.67	76.2	14279
1973	935	55597			1.11	61.77		13638
1974	954	56551			1.06	62.83		13360
1975	933	57480	3291		1.04	63.37		12958
1976	958	58442			1.06	64.94		12709
1977	856	58635	3562		0.95	65.15		12399
1978	815	59450			0.91	66.06		12213
1979	792	60242			0.88	66.94		12070
1980	785	61037			0.88	67.82		11807
1981	730	61707			0.81	68.56		11685
1982	700	62407			0.78	69.34		11453
1983	687	63104	4558	4558	0.77	70.12	85.6	11249
1984	671	63776			0.75	70.86		10865

资料来源：参考文献〔7〕、〔17〕、〔18〕、〔19〕；采油速度和采出程度按地质储量9亿吨计算

该油田历年产量的波动，还有一些非技术的原因，如市场供销的矛盾、1932年美国金融危机的影响和1940至1945年战争期间耗油量增大等原因。从1963年起，每年生产日均已在300天左右，产量上升，到1970年又达1000万吨。

油田开发过程中的主要问题

一、油田储量与采油速度

东得克萨斯油田的储量，特别是可采储量，随着油田的开发进程以及采油技术的不断改进，而不断地增加。

1931年9月，在打完1650口生产井和探明油田面积为372公里²时，估算的可采储量为2.82亿吨，采收率为40%^{〔20〕}，按此折算的地质储量为7.07亿吨。

1951年估算的可采储量为6.6亿吨^[21]。

1962年报导的可采储量为7.08亿吨，估算最终采收率为76.4%^[12]。

1970年估算的可采储量为7.92亿吨^[12]，80%的最终采收率，原油地质储量估算为9亿吨^[21]。

1978年美国埃克森(Exxon)公司公布的最终采收率要高达82%^[15]。

1962年估算的纯产油砂岩体积为6564.7公里³，其中约4305公里³已被注入水前缘驱替过。依据25%的孔隙度，14%的束缚水饱和度以及20.6%的收缩率，估算出的原油地质储量为9.3亿吨。即每米³岩石含油0.142吨，可采出0.11吨，采收率为76.4%^[12]。

估算的最终采收率逐年升高的原因有两条：一是因采油工艺的改进，使可采出油量增多了；二是近几年来，在乌德宾层之下20—30米深处发现一个新油层，在此新油层内每年可钻70—80口井，据计算每口井可采出6500吨原油。目前这个层未算地质储量，因此油田地质储量仍用原来数字，但油田累积产油量包括了这个层的产量，所以目前计算的采收率偏高^[16]。

油田上的生产井，1936年时已超过2万口，1939年底已达25976口，1942年以后逐渐减少，但因每年总要增加一些新井，所以累积到1967年底，全油田上的总井数已达3万口以上。除了因枯竭的井之外，气举井和抽油机井都在日益增加。在1939年，机械举升井数大约只占自喷井数的三分之一，而到1965年，自喷井与机械举升井几乎不相上下。由此可见，油田开采前25年内产能下降很快。

回顾这个油田50多年的开发历史，可以看出：在1933至1940年，采油速度在2%以上，从1941年起采油速度逐渐降低，到1956年降至1%以下。1970年后产量有所回升，1970到1976年间以1%以上的采油速度又稳产了7年。1977年后再次降到1%以下。这可能是由于剩余可采储量不多的缘故。

从采出程度分析，油田在含水20%以前，采出程度为14%；在含水50%之前共采出24%；而在含水50%以后，所采出原油达地质储量的47.35%。由此可见，高含水期是得克萨斯油田开采历史上的重要阶段，若无有效措施，是难以维持生产的。

二、限制产量的措施

东得克萨斯油田初期生产情况好，各公司争相抢占一方，拼命开采，全无规划，因而使油层压力骤降，生产大幅度波动。但是当时还未曾考虑用注水来保持油层压力，而只是想用控制产量的方法来解决生产中出现的问题。当时遂规定出一些限额，譬如1931年4月16日，限定油田的日产量不得超过29550吨，同年9月5日，又限定单井日产油量不得超过29.5吨，

这是根据用4.36毫米油嘴连续生产3小时，或者用 $2\frac{1}{2}$ 英寸（即63.3毫米）直径的油管以冲程为1.81米的抽油机每分钟抽提不超过22次所定下的。但是，到了1932年，由于油层压力急剧下降，这种限额又不得不再次降到单井日产量不得超过9.9吨。

1933年4月，对油井生产能力的测定标准是在畅喷1小时后，关闭15分钟，又开井畅喷1小时，再关闭15分钟，重复多次后，求得每小时的平均产油量，当时最高为147吨，然后即限定单井的允许日产量为其每小时平均产量的15%。但实际上，由于生产井不断增多，到1936年中期，单井的允许日产量只能降低到它每小时平均畅喷量的2.32%。

油田的允许年产量，1932年初为660万吨，1933年底增到2280万吨，1942年降到1540万吨，1944年为1810万吨，到1950年初降低到1180万吨，后来逐渐减低，1961年时才又回到

1932年的限额。

总的看来,1932至1937年基本上为全年生产,1938年生产即不足300天,1940年和1942年都只有230多天,其后除1944和1945年的生产达270多天外,生产日数日益减少,到1981年只有100天生产,尚不足全年的三分之一。

对于枯竭井,也作过一些规定,最初是在1931年,而在1933年和1941年又作了补充修订,规定用机械抽油作30天试验,单井平均日产量必须低于随井深而限定的产量,即:610米内为1.32吨,610~1220米为2.63吨,1220~1830米为3.3吨,1830~2440米为3.85吨,2440米以外可为4.6吨。在此期间,经采取关井和限产措施,特别是进行注水,使枯竭井的允许产量从全部允许产量的1.5%提高到32.2%,近200万吨,表明了上述措施是有效的^[12]。到1933年由于市场供销的矛盾,每年生产日仍在314天左右,单井允许产量为2.64~3.17吨/日^[6]。

三、产水问题与注水的效果

油田因具强烈的底水驱动,所以开采的早期即已产水。油田东部的井,一般完井位置放在原始油水界面以上15米或更高处,油田西部的井则完井位置很不一致。到1933年底,油田日产水量近1600吨,对于地面上,尤其是民用水和农作物造成严重污染,成为一大问题。同时由于水的盐度很高,对管线的腐蚀也很严重。在此期间,因油层压力不断下降,遂用限制产水量以期维持压力,关闭了一些产水多的边缘井,并用水泥封堵塞含水层,后来又考虑将此盐水回注至油层内,一方面可保持油层压力,另一方面也可解决污染问题。但由于成本问题,有些井并未做到。1940年3月,允许将原先大致为正方形井网中的任一井转为注水井,并关闭水淹井,未能解决问题。1941年11月又提出每回注50吨水可以多采一吨原油的办法来刺激注水,也由于这样大量回注的成本超出了所许可多采的原油价值而收获甚微。1942年5月产水量超过产油量。

油田从1939年起正式注水,当年产水810万吨,约回注了5%。1940年注水160万吨,占产水量的17.1%;1941年注水380万吨,约占产水量1880万吨的20%。

从1942年起,油田设立盐水处理机构,进行全面注水。1943年所产的2070万吨水中,已有55%(1160万吨)回注到生产层中。1944年回注78%,1951年回注量达98.4%。

在油田开采历史上,产水最多的1948年,达3340万吨,回注了91%。大抵从1951年起,注水量和产水量基本上平衡,对于稳定油层压力,起了重要作用,到1955年底时,油水界面已从原始油水界面上升了10米至17米。

值得注意的是东得克萨斯油田的注水井并不多,总共不到100口,统计到1968年,累积产水量有7.75亿吨,回注量6.58亿吨,占87%,所以注水井的单井回注量相当大,平均每日为1500吨左右。自然,这与乌德宾砂岩的渗透率非常高是有关的^[12,13]。

根据这个油田历年的产水量与产油量的相互关系的分析,起初6年,含水量不到10%;其后有4年含水量从20至50%;从含水量50%到60%也经历了4年时间;再以后的近40年都是含水量60%以上的高含水期。

这个油田的注水进行得很顺利,注水效果也很好。比如,1973年到1977年4年间,平均地层压力只下降了0.014兆帕(0.14大气压),但却产油3775万吨,产水1.352亿吨。1977年7月产出水油比为3.56:1^[23]。就产油量增长和产水量增长幅度看也是如此:比如,1965年至1972年3月间,由于市场供需量增加,日产油从1.58万吨增至2.9万吨时,日产水量从7.16万吨增至8.75万吨,后者的幅度比前者小得多。据统计80~90%的东得克萨斯油田原油是在