

232068



火燒油層選輯



38
003
12

石油工业出版社

內 容 提 要

这四篇文章主要介绍火燒油层的实验室試驗和現场实地試驗的經驗，它肯定了火燒油层法的优越性，並根据試驗結果确定了大規模实行这种方法的主要工程数据，其中包括燃燒面的推进速度、燃燒率、自行燃燒的最低速度和空气量等等。

本选輯除可供进行火燒油层試驗的同志、石油科学研究人員和現場工作人員参考。

統一書号：T15037·828

火 燒 油 层 选 輯

*

石油工业出版社出版（地址：北京六鋪炕石油工業部內）

北京市書刊出版登記證 新出字第 003 號

石油工业出版社印刷厂印刷 新华書店发行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 印張1 $\frac{1}{2}$ * 30千字 * 印1—2,000册

1958年12月北京第1版第1次印刷

定價(10)0.22元

目 录

一、提高油层采收率的最新方法——火烧油层·····	1
二、火烧油层的再一次实地試驗·····	12
三、火烧油层法的几个重要因素·····	20
四、火烧油层試驗的最近发展·····	38

提高油层采收率的最新方法——火烧油层

C.S.孔, R.L.柯奇

多年来石油工业面临着这样一个重大问题：如何在油层原始能量耗尽后把油层里剩下的一部分油采出来。虽然，用普通的注气和注水等二次采油法能提高比重小的原油采收率，但是对于比重大而粘性大的原油，用这种方法却未必一定有效。

在已经提出的增加粘油采收率的方法之中，最受人重视的就是在油层内加热使油的粘度降低以提高它的流动力。但是，在六年多前，当马格诺利亚石油公司第一次用这种油层加热采油法在现场实验室进行试验研究时，只有少数试验获得圆满的结果，而且所得的资料也不多，所以无法从技术上或经济上作出适当的评价。

以后进行的一系列火烧油层试验是相当成功的，因此最近开始把这种方法搬到五井布置法的现场上去试验，以便获得有关各种影响因素的数据，大规模应用火烧油层法。兹将在实验室以及在现场所获得的结果简单介绍如下。

实 验 室 工 作

最初的火烧油层试验是用小管子里面装满了油、水、砂进行的，主要是属于试验的性质。即便在这些初期的试验中，热量的损耗那样大，我们已可以证明在有砂和水的条件下原油是可以燃着的，而且只要不断的供应空气以维持燃烧，

它总能繼續燒下去，形成一個具有一定厚度的高溫燃燒面，慢慢向前推進。

同時，我們還發現在燃燒的地方，大約有15%的油（在最初次空氣驅動後及燃燒前）被作燃料消耗掉了，但所增產的油量則比單用熱氣驅動要多得多。

以後若干年，又在裝砂的管子內進行過100多次試驗（如圖1所示），其目的為確定進氣率、壓力、油的性質、油砂的性質等等主要變數對於燃燒以及液體排替作用的影響。這種管子的直徑為4—16吋，長度為2—35呎。操作時可以把它們平放或直立起來，一端有控制進氣的裝置和電燃油層的設備，另一端有放出和測算氣體和液體的裝置。

另外，在沿管子的中央軸綫裝有一串熱電偶以探測燃燒面的推進情況。管內的壓力降變化可用差壓計測定。

在用這種管子進行燃燒試驗以前，先要在管子中裝滿適量的油、水和砂，並在固定的注氣壓力下向帶着油、水和砂的管子注入空氣（室內溫度），直到基本上停止采收液體時為止。那一部分減低了飽和度的“油砂”就用裝在油砂進氣口2—3吋處的電熱器把它點着，同時保持燃燒所必需的注氣率。等到已經肯定燃燒確已開始（這可以從高溫燃燒面在管子中的均勻推進感覺到），就把電熱器关上，管內的反應在控制的注氣率和絕對壓力下還是繼續進行着。

在沿着管子中央軸綫的一串熱電偶點上，平常可以作出連續的時間—溫度記錄。圖2所示為某一次試驗中選出的三個時間的油砂管內的溫度—距離變化曲綫。從圖中可以立刻看出燃燒面繼續均勻推進的情況（相當於1600°F的最高溫度）。

一般說來，在燃燒面的後面都是完全不含液體的純砂。

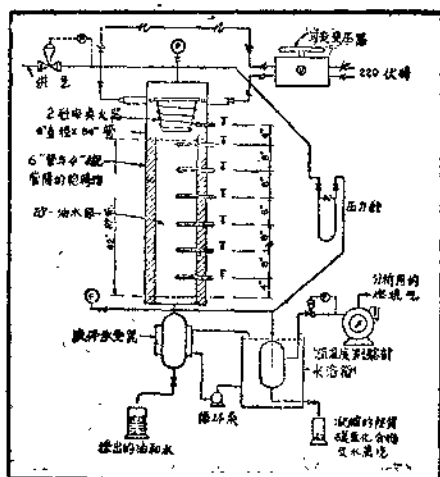


图 1 火燒油層的試驗設備的布局

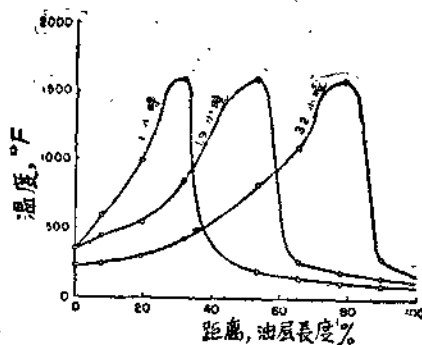


图 2 燃燒時油砂管內的溫度分布情況

条件：油的比重在60°F时为API9.6°；注氣壓力为87磅/吋²表压；注氣率为324 i.c.f.h/呎²；管长41.5吋。結果：平均CO₂含量11.1%；燃燒面推進速度为每日27呎。

根据各燃烧阶段油砂管中情况的直接观察，证明在管中至少有四个同时存在的很明显的过渡区：（1）烧净的砂区；（2）燃烧区；（3）含焦砂区；（4）部分脱水油砂区。燃烧面前面是含焦砂区，表示原油的裂化、去粘及蒸馏作用是在该区内发生的，而生成的焦代表在燃烧过程中实际消耗的燃料。

在燃烧面后面，有大量热量传给了油砂。燃烧气体中的二氧化碳和水蒸汽是特别良好的传热剂，因为它们有很高的导热性；实际上，有时在注入空气时我们还特别需要同时注入二氧化碳和水蒸汽，以促进燃烧过的砂区的传热作用。在温度曲线上，常可以看到很清楚的、突出如高原似的水蒸汽曲线段，这主要是由于油砂中间隙水蒸汽化和凝结产生的。

虽然，在火烧油层采油过程中所牵涉的流体流动和热传导作用非常复杂，但是它们能很好地结合起来以保证很有效地把油砂中的液体排替出来。在这些实验中，可以采出燃烧前试管中原有含油量的60%以上，有时可达90%^①。图3表示燃烧面的位置与累积采油量及累积油气比的曲线；这些资料 and 图2中所示的同样试验的温度分布情况相符。

在油砂管长度不同而含油率大致相似的各种情况下，都可得到类似这样的曲线，因此，我们可以说这种采油率曲线可以代表所有线状热流燃烧试验的排油过程。含油量的大或小，反映在采油曲线的向左或向右移动上，但在所有情况下，大部分油是在试验的后半期采出的。

①此处计算百分率时所指的采油量，并不包括轻质碳氢化合物或其他气体或容易蒸发的产品，也不包括试验中烧掉的油。

在燃烧过程中所烧掉的原油数量，很少超过燃烧前原有的油量的15%，有时可低到2%；大致等于每1呎³油砂烧掉2磅（即15%）及0.8磅（即2%）。一般說来，API比重

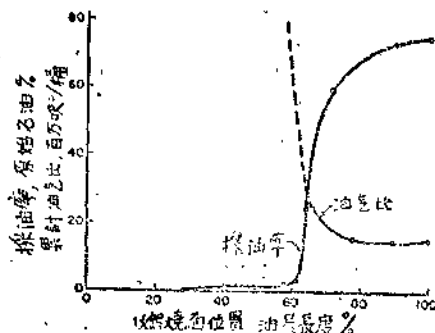


图3 油砂管燃烧时期的采油率及油气比条件：油的比重在60°F时为API9.6°；注气压力为87磅/吋²表压；注气率324 s.c.f./h/呎²；管长41.5吋。

度低的原油，消耗量要高一些。在控制燃烧面推进速度时，燃料消耗量是个重要的因素。

从試驗以及根据热传导作用的計算，曾确定了要防止燃烧熄灭，必須維持一种燃烧面推进的最低限度的速度。这个最低限度

的速度决定于从燃烧带到周围地区的失热率，而后者又决定于砂层厚度、地层导热性及燃烧温度。

理 論 研 究

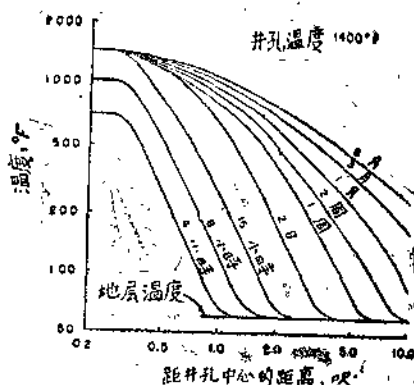
除去我們上面或談的一些試驗以外，某些理論上的和計算上的研究工作，对于发展火烧油层的应用，特别是从解释綫状热流試驗到实际应用的二向度及三向度辐射热流系統的資料的分析研究，都有很大的作用。这里有几項研究工作是值得一提的：即关于燃着油砂过程中热传导的动态，在三向度系統中的温度分布，以及在二向度系統中的流体流动。

在点燃油砂过程中，井孔附近短暫的温度分布情况对于

液体饱和度的分布有相当影响。图4表示在油砂层中点火后每小时散热量为 $0.023/\text{呎}^2$ 的温度分布情况，这种点火操作用的固定供电量为每1呎厚的砂层1.5瓩，等到温度达 1400°F 时即控制供电量，使温度保持 1400°F 。

如假定，为了点着这个油砂层，需要有 400°F 的温度和从

井轴算起2呎的半径，那么加热的時間估計需要一个星期。当然，这些数字是根据注气井附近实际上並沒有燃烧而計算的。



孔隙率.....	29%
对空气的比渗透度, 千分达西.....	2300
含水率.....	40%
含油率.....	60%
含气率(估计).....	很低
采油时用的油气比.....	很低
油层温度°F	61
油层压力, 磅/时 ² 表压.....	57
60°F时油的API比重	13.5
在下列温度时油的粘度:	
60°F, CP.....	7413
100°F, CP.....	876
212°F, CP.....	35
水的含盐度, P.P.m.....	14266

在第一次进行试验时, 首先确定了在天然油层驱动下的流体生产率, 然后再确定出在控制注气速度下的流体生产率。确定天然油层驱动下的油、水产量时, 曾在4口井中费了2个月的时间用提捞和抽油泵进行试验; 试验结果确定, 油的平均日产量为0.3桶, 水的平均日产量为0.8桶。图6表示往14号井注气后在40呎以外的13号井的气体与液体的排出情况。我们还能看到在注气后的23天内, 这两口井之间的有效渗气率有显著的提高: 从3千分达西增加到13千分达西。在油层渗气率达13千分达西时(一般认为这已足以保持点燃油层所需的气流), 就中止注气试验而开始燃烧试验。

第一次燃烧试验的目的就是要试验一种特别设计的电动点火设备的操作情况, 同时还要查明在真油层中是否容易点火和保持燃烧。试验时仍用13、14号井(相距40呎)以及注

气时所用的附属设备；另外，还用了11号井，这口井正位于13号与14号两井的中间。

点火时，用了一个特别设计的电阻型加热器，装在一根4吋直径、36呎长的不锈钢管子里。先要把这个点火燃器下到14号井里，这口井穿入了油层，里面装着带筛孔的7吋金属衬管。因此，必须把热从点火器外壳和衬管传导到油层中。在整个试验时间需要继续注气。大概是在点着后5小时，就发现在13号井采出的气体中有二氧化碳。大约在55天以后，燃烧面就突入了11号井（距14号井20呎；见图5），同时还出现有蒸汽、烟和臭。

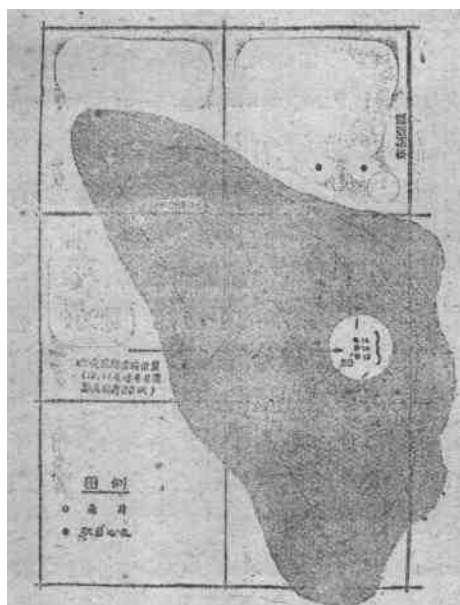


图 5 俄克拉荷馬州南部进行燃烧试验的透油状油层的等厚图。比例尺：1吋=350呎

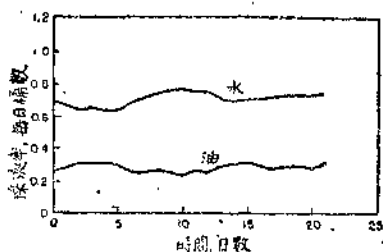
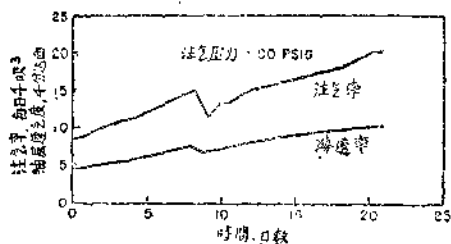


图 6 为造成油层渗气条件而把空气从14号井注入13号井的情况和所得的结果

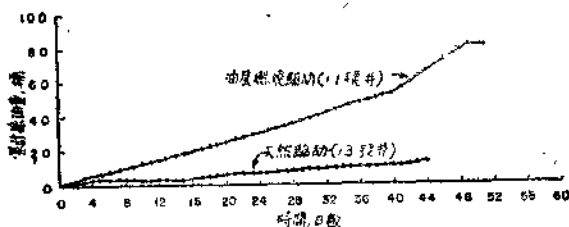


图 7 油层天然驱动及火烧油层产量的比较

在这次試驗中，燃燒面的推進並不是連續的，我們間或發現有燃燒停止的現象，但是經過适当地調节点火器開關的時間使它能平衡注氣率的变化，就能恢復燃燒。大家認為，用這種點火操作方法能把注氣井附近所富集的大量液體驅

散。关于这个问题，以后将用五井布置法做试验来研究。

图8中所示为14号井的注气压力与注气率的关系曲线。从图中可以看出，在接通点火器后，注气率便立刻下降得很快，而且虽然把注气压力从130磅/吋²增加到150磅/吋²，在一个相当长的时间内注气率总是很低的。据估计，对于180

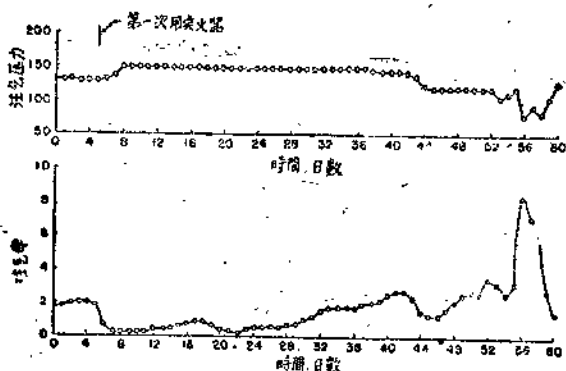


图8 燃烧时14号井注气压力与注气率的记录

呎的深度，150磅/吋²的注气压力是最大的安全操作压力；因此，在接通了点火器4天以后，就把11号井打开作生产井（11号井距14号注气井20呎，和13号井在一条直线上）。但这样做对于注气率影响并不大，表示阻止气流的地方主要是在11号井与14号井之间。以后就采用上面提到的调节点火器开关时间的办法，结果看到注气率逐渐增加；实际上，在燃烧面突破液体富集带两星期以前，注气率就已经非常高了，所以就把注气压力降低到120磅/吋²。

点火后到燃烧面突破液体富集带共55天，一共往14号井中注入了230万呎³的空气，并从20呎以外的11号井里采得了

150万呎³天然气。根据氮的质量平衡以及燃烧气体的分析,估计在试验中一共消耗了3100磅(9.5桶)原油作为燃料;而在同时期内一共采了81桶原油。在燃烧时一共在油层中散布了7500万b.t.u.的热量。在同时期内另由电点火器供给的热量为3200万b.t.u.。

燃烧试验終了后,即进行钻井、取岩心及测井工作,以确定燃烧的范围及位置,并估计燃烧区附近的残余油量及含油量。结果证明,实际被燃烧的油层是在顶部,只有8呎厚(全部油层厚度为20呎),但燃烧的部分是在注气井与生产井之间一条直线的两边各向外延展达10呎。

当把7吋带筛孔的衬管从注气井中起出后,我们发现该衬管的底部几乎全被焦和垢堵塞了。看来,燃烧只限于油层的顶部,因为只有这部分有气流进去。

大概,油是在装备注气井和开电点火器时进入注气井的,因此而在油层的下部复盖了一层油,并在试验初期在衬管底部周围可能进行过油的裂化,结果把油层下部堵住而阻止空气的进入。

火烧油层采油法的展望

这个方法的某些方面,特别是如何保持燃烧面的继续推进,牵涉许多技术上的问题需要深入研究。要想从经济方向评价这个方法,还需要做更多的试验。但一般认为,从技术上看,火烧油层采油法是可行的,而且也值得继续在这一方面进行研究的。

王 行(摘译自美国“油、气杂志”第52卷14期)

火燒油層的再一次實地試驗

R.L.柯奇等著

火燒油層采油法就是在地下燃燒一小部分油層中的原油，使其發出熱能以進行采油。去年第一次實地試驗時用的是三井井位布置法，而目前正在廣泛進行試驗的是五井井位布置法，試驗地點仍在去年第一次進行試驗的地方，即俄克

拉荷馬州。

試驗時，就在一口位置適中的注氣井附近，把油層內的原油燒着造成一個高溫燃燒區。當把含氧的氣體（此處所用的是空氣）注入時，燃燒就開始，燃燒面就从這口中央注氣井向4口等距的生產井推進。油層中的原油和水就是被燃燒及燃燒氣流發出的熱能推動前進。

這次試驗的目的是要收集一些有關工程技術方面的資料，如燃燒效率，供氣量等，以便對火燒油層采油法作適當的經濟評價。

試驗是在一個小的透鏡狀油層中進行的。該油層深達180—195呎，面積為30畝，試驗部分

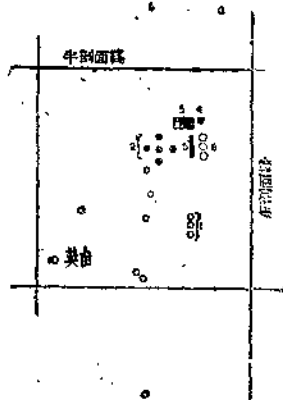


圖 1 火燒油層試驗區井位及地面設備分布簡圖
●—試驗井；○—老井及取岩心孔；1—第一次試驗時用的井；2—第二次試驗時用的五井分布位置；3—工作房；4—儲藏房；5—分離設備及量測設備；6—儲油罐。

的厚度为15—20呎。試驗区的井位分布及地面設備如图1所示。

根据第一次試驗証明，油层是可以燃烧的，而且儘管原油的粘度非常高（在油貯条件下为7300厘泊）；由于燃烧面的推动，采油量是可以提高的。在这次試驗中，中央注气井和4口生产井的距离为40呎。另外，还有4对观察井位于注气井与生产井之間，以便观察燃烧面的推进情况。

試驗时用的4个主要設備系統的分布情况；见图2，这里包括：（1）注气系統；（2）点火系統；（3）观察系統；（4）采液及采气系統。

完 井 法

在图3中，列有4种試井。7吋或9⁵/₈吋的地面套管要注在离油层上面至少25呎的地方，以免套管受到地下燃烧所产生的高温的影响。井孔要繼續钻到距油层顶部3呎处，然后把泥浆循环系統拿走繼續用空气钻进，以避免把油层沾污或糊住。每口井都要做井向检查及电測工作，进行电測时允許在井孔中灌注地层水。

在注气井中对着油层的部分，从井口9⁵/₈吋套管处悬下一根6⁷/₈吋的衬管，上面有1¹/₄吋×3吋的篩眼，衬管下端要离开井底一定距离，因为井孔加热到1200°F时管子会膨胀。井中装还一根3³/₄吋的油管直达油层，以备流油之用。

在温度观察井中，用12个热电偶放在油层部分（各热电偶相隔2呎），以观察燃烧面推进的情况，为繪制温度剖面提供資料。热电偶放入后就用砂子把观察井填满，使这些热电偶和油层之間有更好的接触。另外一口观察井的主要用

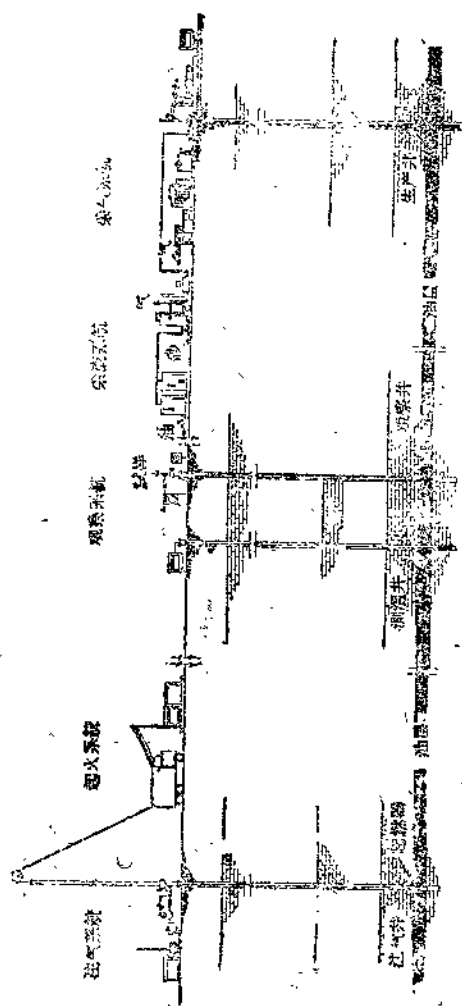


图 2 本簡圖表示各項比較重要的試驗設備之間的關係