

国际重质原油开采会议 论文选集

下 册

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是继上册之后又从第一、二届国际重质原油会议论文集中选译了其中31篇论文。这些论文分别介绍了世界著名的重质油田开采经验,并着重从各种开采工艺的角度介绍了他们的矿场试验及其模拟技术。此外,还有相当篇幅以开采为中心介绍了重油储运、改质、油品分析及重质油藏的特殊钻井、测井和地球物理勘探方面的技术经验。

本书适合广大石油工程技术人员尤其是开采方面的技术干部阅读参考。

国际重质原油开采会议 论 文 选 集 下 册

刘文章 唐养吾 等译

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京顺义燕华营印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 20印张 480千字 印1—1,500

1988年6月北京第1版 1988年6月北京第1次印刷

书号: 15037·2836 定价: 3.95元

ISBN 7-5021-0174-8/TE·172

目 录

一、重油和沥青砂开采经验和矿场试验	(1)
委内瑞拉开采重油的经验和近期开发情况	(1)
劳埃德明斯特油田综合热采方案	(24)
加拿大冷湖沥青油藏蒸汽驱试验	(33)
加拿大沥青砂和重质油强化开采矿场试验的总结	(41)
包李克雷克油田蒸汽驱工程	(62)
东委内瑞拉奥维杰稠油油田采用注气方法提高采收率	(77)
委内瑞拉石油公司应用水力开采法开采超重质原油	(91)
二、钻井、取心和完井技术	(96)
开发重质油田的丛式钻井	(96)
三口水平井的组合	(106)
加拿大和委内瑞拉非胶结油层的取心	(116)
和平河现场试验方案的油藏动态和热采井的完井	(129)
三、机械采油工艺	(141)
加利福尼亚州猫峡谷油田采用特殊的抽稠油技术	(141)
委内瑞拉机械采油工艺 (气举除外) 的现状	(154)
四、管道输送重油	(166)
利用管道输送重油	(166)
重质原油的输送	(177)
五、重质原油生产的经济问题	(184)
改善经营管理, 提高常规重质原油生产的经济效益	(184)
计算劳埃德明斯特地区重油热采费用时需要考虑的若干问题	(192)
六、模拟技术在重油开采中的应用	(198)
模拟原油在高温高压下的蒸馏作用	(198)
蒂亚胡安那油田M-6蒸汽驱方案设计中数学模拟的应用	(212)
七、地球物理勘探和地球物理测井	(226)
在裸眼和套管井中应用地球物理测井技术评价重质油和沥青砂矿藏	(226)
应用地球物理测井资料评价重质油藏的新进展	(238)
应用地球物理电法勘探并绘制沥青砂和重油油藏分布图	(244)
八、其它	(251)
蒸汽的液相和汽相在注入井内的分布	(251)
热力采油在壳牌石油公司的发展	(257)
实验室研究土耳其重油油藏注CO ₂ 进行非混相驱油	(263)
重油的水热解	(278)

委内瑞拉的重油是特殊产品的资源	(287)
波利瓦尔湖岸油区的地面沉降	(294)
联合国发展计划署重质原油和沥青砂情报中心	(302)
国际合作的一般情况	(306)
掺轻油生产和输送重油工艺	(308)

一、重油和沥青砂开采经验和矿场试验

委内瑞拉开采重油的经验及近期开发情况

Carlos J. Borregales 杨瑞麟 译

摘要 多年来, 委内瑞拉, 加拿大及其它一些国家都有丰富的重油矿藏, 然而由于经济和技术方面的原因, 没有大规模地开采这些矿藏。在当今世界原油产量中, 重油仅占 4%, 但随着将来世界石油价格提高, 重油所占比重将会增加。随着可供开采的轻质和中质原油日益减少, 这就使得开采重油更具有竞争力, 对重油的需求也将日益增长。

发展最新的开采、提高重油品位的技术可得到相当大的经济利益。注蒸汽方法已成功地用于提高重油油藏的采收率。然而, 为进一步提高这些方法的效率及相应的热利用率, 还需要进行更多的研究。对于金属含量较多的重油, 可采用加氢法提高其品位, 因为采用加氢法能比通常使用的脱碳法生产出更多的轻质优质的合成石油。

使用综合设备(生产-改质)开采重油可以提高整个重油开采的经济效益, 因为使用这种综合设备可以使能量的供求系统达到平衡, 增加液体产量, 使用改质工厂的低值副产品作为生产蒸汽和电能的燃料。

委内瑞拉和加拿大都正在实施提高重油产量的具体计划。1979年委内瑞拉重油的平均日产量为 725 000 桶, 计划到 1985 年和本世纪末, 将产能分别提高到每天 1 300 000 桶和 17 000 000 桶。

引 言

在以前的原油市场上, 人们忽略了重油的存在。1978 年重油日产量约为 2 百万桶, 其中大多产自委内瑞拉、美国及其它约十多个小石油生产国, 重油产量还不到世界原油总产量的 4%。但是, 由于原油价格上涨, 补充轻质和中质油的不足, 提高重质油生产的机会越来越好。即使按预定的要求继续保护节省能源, 但由于人口增加和经济发展, 在中、长期内, 能源的消耗将继续增加。尽管要开发利用其它能源, 但仍将需要大量的原油, 其中相当大一部分是重油, 因为发现的轻质和中质石油预期将逐渐减少, 老油田的产量将下降。

虽然按 R. F. Meyer 的估算, 已证实的重油可采储量是不大的, 仅为 130 亿桶, 约占原油总储量的 2%, 其中很大一部分目前认为是所谓异常重油, 而事实上沥青砂可以认为是常规的重油, 因为在油藏条件下, 它们是可流动的, 并可用现行的蒸汽开采法经济地开采出来。R. F. Meyer 还估算出全世界的沥青砂和超重油的可采储量是 4 360 亿桶。应指出的是, 以上估计数字是偏低的, 因为单在委内瑞拉, 已证实的重油可采储量就有 100 亿桶。对奥里诺科(Orinoco)重油带可采储量的最新估计数字就比 R. F. Meyer 所估计的整个南美大陆的重油可采储量还要多。

由于重油粘度高、产能低、污染严重, 故重油生产是资本和能源密集的工业。总的来

说，现在用来抽提重油和产生能量的各种技术和方法都是低效率的。因此，为了使重油开采最优化，新的方法、技术和设备具有广阔的发展前景。例如，使用综合的生产和改质系统来生产重油，那么改质工厂的剩料就可作为燃料使用，从而提高经济效益。

本文中提供了委内瑞拉开采重油的经验，总结了最近在重油生产方面的发展，特别指明了应在哪些方面进行重点研究。

委内瑞拉的重油生产

长期以来委内瑞拉就是一个重要的重油生产国（原油重度小于 22°API ）。1979年重油平均日产量是725 000桶，其中413 000桶的重度小于 14°API 。重油产量占委内瑞拉原油总日产量2 350 000桶的三分之一。如果从现有重油的剩余可采储量加上奥里诺科重油带丰富的重油资源来看，很明显委内瑞拉重油生产今后会进一步增加，成为重油生产国。事实上，人们估计到1985年其重油生产能力将增加到1 300 000桶/天，占总原油产量的46%。到本世纪末，重油产量将增加到1 700 000桶/天，占原油总产量的61%。

提高重油产量的措施主要以注蒸汽为基础。今后五年内，至少要开始实施十个大规模的蒸汽吞吐方案和两个蒸汽驱方案。与之相适应的蒸汽生产容量每天将增加36 000吨。其中一半用于蒸汽吞吐，另一半用于蒸汽驱。

到本世纪末，奥里诺科重油带日产量将达到约一百万桶，其中需改质的重油量尚未确定出来。

委内瑞拉在重油开采方面获得了宝贵的经验，特别是在强化采油、人工举升、钻井、完井、修井、管理、处理和运输等诸方面。

二次采油

为了提高重油的生产，委内瑞拉已试验了若干开采方法。曾开展了先导性和商业性的工程，采用的技术是：1）注水；2）注气；3）碱水驱；4）干式、湿式、超湿式层内燃烧法；5）蒸汽吞吐；6）蒸汽驱。

1. 常规注水注气

目前，在重油油藏中正实施着26个常规注气、注水方案，动用的地层储量为200亿桶，平均采收率可望达到25%。

2. 碱水驱

在重油油田波斯肯（Boscan原油重度为 10°API ）进行的先导性试验未得出结论，原因是存在过多的串槽、水过早的突破、注入压力低等。

3. 层内燃烧法

进行了正向、反向、干式、超湿式等十二个不同的小型层内燃烧试验，其结果无法弄清，但总的来说，由于机械故障，其结果是无吸引力的。三个干式燃烧方案的日产量仅为600桶。

4. 注蒸汽

这种方法已证明是最有吸引力的。在委内瑞拉广泛地应用此法生产重油和起重油。最常用的方法是蒸汽吞吐，43项工程总共约有2000口蒸汽吞吐井，每天生产190 000桶重油。估计增产的原油为480 000 000桶，累积油与蒸汽的比率为每注入一吨蒸汽，生产25桶

原油。

根据委内瑞拉的发展政策，在蒸汽吞吐的储量采完后接着进行蒸汽驱，故在不久的将来，蒸汽驱将在重油生产中起重要的作用。目前，正实施着三个蒸汽驱工程。这项工程包括19个并开式的反七点法井网，19口注入井，131口生产井，总面积为750公顷，日注汽量是7500吨饱和蒸汽，原始原油储量为5.75亿桶，其原油重度为 12°API ，目前原油日产量为18000桶。总的采收率为45%，其中蒸汽驱所增加的采收率估计约为21%。已采出的累积油量为地层原始储量的22%。

位于奥里诺科(Orinoco)重油带北部边缘的角博(Jobo)油田的角博(Jobo) II 先导性试验工程于1981年开始注蒸汽。它包括六个反七点法井网，原油重度为 8°API ，蒸汽注入深度为3800英尺，每天注入约1500吨饱和蒸汽。既使用集中式，也使用分散式的装置来生产蒸汽。这些装置除一个热沉降系统外，主要是直流锅炉。将马拉开波湖的微咸水或地下淡水软化处理后作为锅炉用水。井口注入压力为500~1800磅/英寸²。为尽量减少热损失和保护套管，使用了多种不同的绝热材料。

人 工 升 举

由于原油粘度高，几乎所有的井都使用机械泵或气举来升举原油。对于更重的 14°API 原油，一般采用泵抽汲，有的注入井下稀释剂，有的不注稀释剂。对于比 14°API 轻的原油，应用气举法比较成功。

为减少抽油井能量的消耗，目前正在试验一些有发展前途的新设备。

脱 水 脱 盐

为控制重油生产中伴随生成的泡沫和乳化液，已使用过不同的化学剂并不断地对其性能进行了评定。为了脱水、脱盐，根据油的化学性质在使用不同的方法时决定是否加稀释剂。

输 送

使用下述一种方法或将几种方法结合起来输送重油：1) 掺水；2) 掺稀释剂或中等重度的原油；3) 加热。

为了经济效益，集输西委内瑞拉 10°API 的波斯肯(Boscan)原油和 11°API 的拉古纳(Laguna)原油都没有掺稀释剂，而是加热后用管线分别输送到40和110公里之外。

1979年委内瑞拉重油的产量占当年世界总重油产量的35%。目前，注蒸汽的重油日产量约为210000桶（美国重油日产量为300000桶）。由此可见，已积累了很多技术和实践经验。

重油生产的前景

由上述可见，生产重油可增加对世界液态碳氢化合物的供应，其理由如下：

1. 世界上的沥青砂和超重油矿藏已基本探明。据 R. F. Meyer 作相当保守的估计，其可采储量约为4360亿桶。其中大部分重油是常规重油，可用现有技术经济地进行开

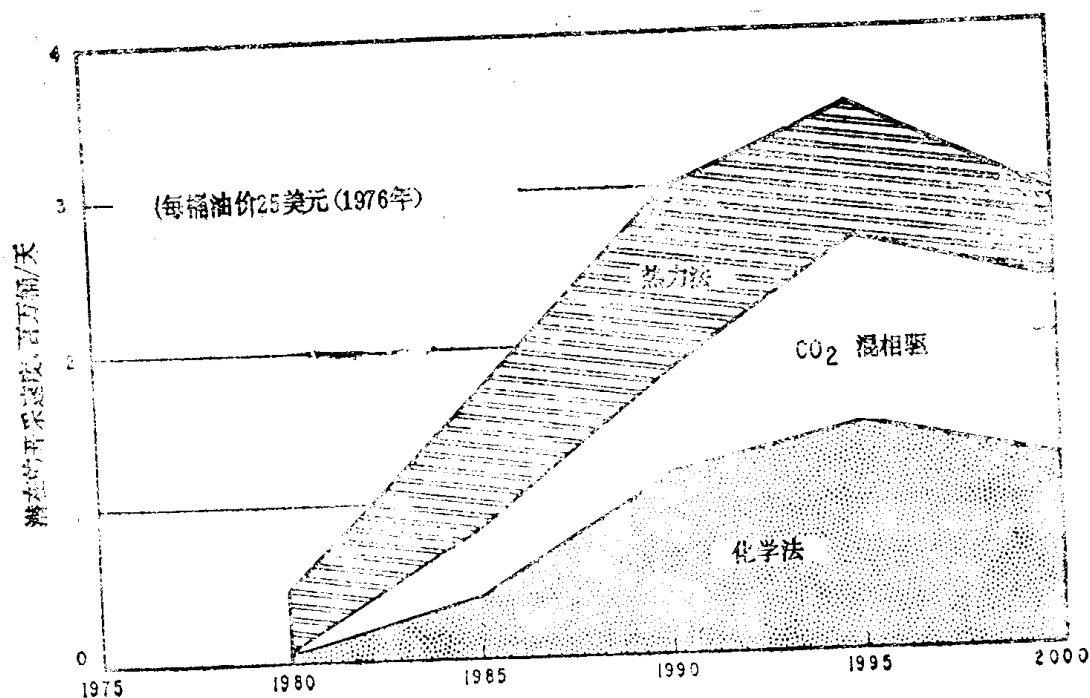


图 3 美国强化采油潜力

加 拿 大

加拿大是一个迫切需要提高原油开采效率的国家，因为它的常规原油开采量几乎停滞不前并预料到会进一步下降。常规原油的降低，极有可能要由新发现的矿藏以及沥青砂和重油来补充。

目前，加拿大有14个强化采油工程，其中大多数是开采重油的热采先导试验工程。预计未来新增加的大部分原油产量将主要依赖于这种热采法及开采新的重油矿藏（图2）。

委 内 瑞 拉

委内瑞拉也将不得不在很大程度上依靠强化采油法来提高轻质油产量，这是因为现有的轻质油储量相对来说比较少。另外，预期增加的储量也大多来自重油油田。到目前为止，所有正在进行的强化采油工程都是热采工程。大多数轻质油油藏都已进行常规注水注气，并已进入生产后期。所以在今后十年内，将需要采用先进的方法开采。应指出的是，目前仅有25%地质储量的轻、中质油投入了常规注水、注气，仍有足够的余地用二次采油法来增产。

表 2 委内瑞拉现行热力采油工程一览表

工程项目数	类型	油藏孔隙体积 百万桶	采收率			至78年12月 累积原油， %孔隙体积	至80年3月 原油产量， 千桶/天
			一次采油 %孔隙体积	热力法 %孔隙体积	总计 %孔隙体积		
32	蒸汽吞吐	29 912	9.2	3.5	12.7	6.0	188.0
2	蒸汽驱	577	18.3	26.4	44.7	20.7	22
3	火烧油层	35	6.9	17.9	24.8	16.2	0.5
总计37		30 524	9.4	3.9	13.3	6.3	210.5

表2展示了委内瑞拉正在进行的强化采油工程。图4为委内瑞拉四个石油公司之一的马

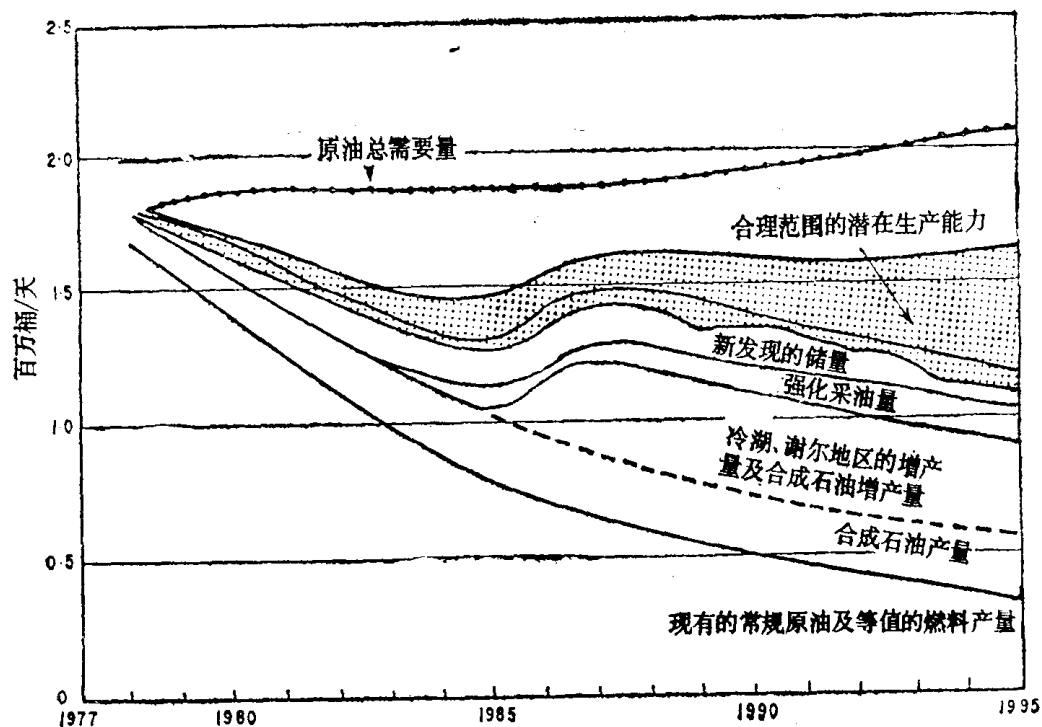


图 2 加拿大原油需求量及生产能力

强 化 采 油

现将世界强化采油状况按地区概述如下：

美 国

美国是进行强化采油最广泛的国家，共有226个强化采油工程（见表1）。

表 1 现行美国强化采油工程

	1971	1974	1976	1970	1980
热力法					
注蒸汽	53	64	85	99	133
火烧油层	38	19	21	16	17
化学法					
胶束-聚合物驱	5	7	13	22	14
聚合物驱	14	9	14	21	22
碱性水驱	0	2	1	3	6
气 法					
二氧化碳混相驱	1	6	9	14	17
烃混相驱	21	12	15	15	9
其它气体驱	0	1	1	6	8

1974年仅有120个强化采油工程，从那时开始，工程项目大量增加。图3表明了美国在强化采油方面的潜力。

表 3 各种强化采油方法的筛选准则

筛 选 参 数	强 化 采 油 方 法				
	注蒸汽	火烧法	二氧化碳混相驱	活性剂驱	聚合物驱
1. 原油重度, °API	≤25	≤25	≥27	≥25	—
2. 渗透率, 毫达西	—	—	—	≥20	≥20
3. 净油层厚度, 英尺	≥20	≥10	—	—	—
4. 原油粘度, 厘泊	≥20	≥20	≤10	≤30	≤200
5. 渗透率 $\frac{\text{毫达西} \cdot \text{英尺}}{\text{厘泊}}$	≥100	≥20	—	—	—
6. 原始油藏压力, 磅/英寸 ²	—	—	>1 200	—	—
7. 油藏温度 °F	—	—	<250	≤250	≤200
8. 油藏深度, 英尺	>200 ≥5 000	≥5 000	>2 300	—	—
9. 地层原油 标准桶/英亩英尺	>500	>500	—	—	—
10. 强化采油前, 油藏中原始油饱和度, %	≥50	≥50	≥25	≥25	≥50
11. 岩性	砂岩或碳酸岩	砂岩	砂岩或碳酸岩	砂岩	—
12. 裂缝	无到极小	无到极小	无天然的	无到极小	无到极小
13. 水驱状况	无到弱	无到弱	无到弱	无到弱	无到弱
14. 气顶	无到极小	无到极小	无到极小	无到极小	无到极小
15. 水的矿化度 ppm	—	—	—	≥200 000	—
16. 水的硬度 (钙、镁), PPM	—	—	—	>1 000	—

1. 蒸汽吞吐

全世界现有100个蒸汽吞吐工程, 日产量超过 350 000桶。普遍认为此法是蒸汽驱之前必须经历的一个阶段, 因为它能提高蒸汽驱的效率。

在委内瑞拉, 蒸汽吞吐具有很高的灵活性。在需求处于低潮时, 可将蒸汽注入井内而不开井生产, 到需要时再开始采油。此法对生产无不利影响。

此法并未大量地增加油藏中的能量, 故增产的油量取决于一次采油的驱动力。蒸汽吞吐主要加快了采油速度, 其采收率稍高于一次采油。其机理主要是热膨胀、残余油饱和度降低及恢复了溶解气驱。在委内瑞拉, 蒸汽吞吐法应用得非常成功, 注入四分之一桶蒸汽即可采出 1 桶油; 而在美国加利福尼亚, 采1桶油需要注入2桶蒸汽, 用蒸汽吞吐法生产 1 桶油的成本比其它强化采油法低。在委内瑞拉, 生产 1 桶油所需燃料的成本为0.55美元 (假定油与蒸汽的比率是20桶/1吨, 即生产20桶油需要 1 吨蒸汽, 燃料的价格是每桶20美元), 而在美国加利福尼亚, 生产 1 桶油所需燃料的费用为3.5美元 (油与蒸汽的比率是 3 桶/ 1 吨, 即生产 3 桶油就需要注入 1 吨蒸汽, 燃料价格也是每桶20美元)。以下是蒸汽吞吐的经济指标。

成 本	生 产 每 桶 油 费 用 (美 元)
燃 料	0.5~3.5
蒸 汽 发 生 器	0.1~0.2
钻 井	1.0~1.5
折 旧	1.0~2.0
操 作 和 维 修	1.0~2.5
总 计	3.6~9.7

拉维(Maraven)公司的热力采油曲线。

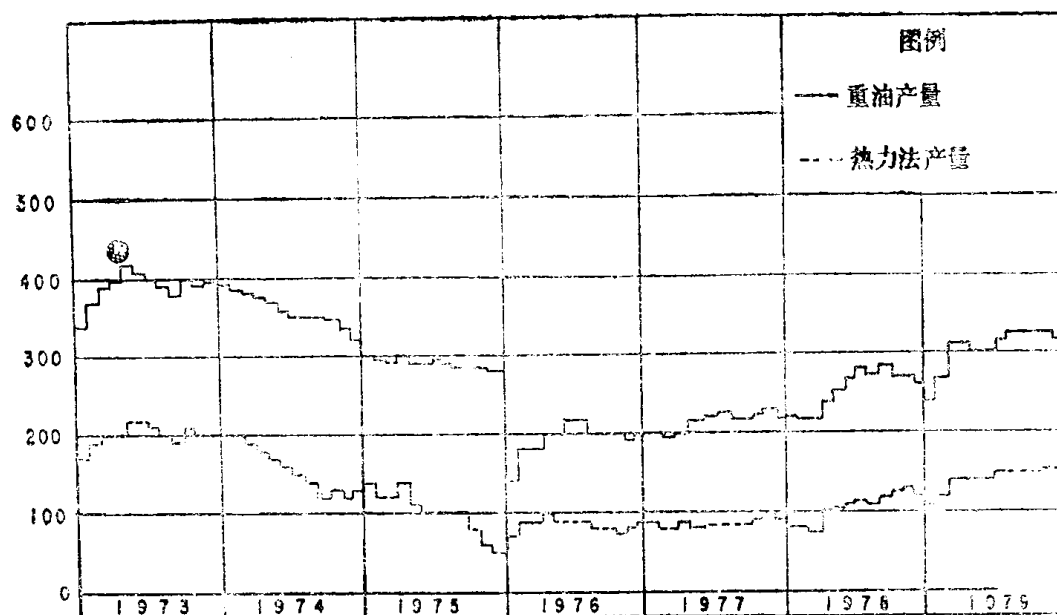


图 4 马拉维S.A.的重油产量和热力采油曲线

西 欧

新开发的北海油田仍处于一次采油阶段，故西欧很少进行强化采油技术的试验。西德目前正开展一些强化开采重油的试验工程。

中 东

在此地区，石油输出国组织在强化采油方面所做的工作甚少，他们的工作仍集中在一次采油和常规注水、注气。

强化开采重油

筛选强化采油方法的标准列于表3。这个标准只应作为初步参考，因为这些方法的选择取决于原油和油藏的性质。

适用于重油的强化采油方法有：

注 蒸 汽

注蒸汽是一种最先进的强化采油技术。1980年美国强化采油的总日产量为385 000桶，其中蒸汽法的日产量为295 700桶；而委内瑞拉则几乎所有的强化采油都是注蒸汽法。在美国共有226个强化采油工程，其中注蒸汽就占133个。大多数化学和注二氧化碳方法仅处于先导性试验阶段，而注蒸汽法已处于商业性使用阶段。

注蒸汽开采重油是一种得到确认的方法，故一些人认为，应象注水一样将它列为一种成功的技术。

还应指出的是，注蒸汽法可能是适用于开采各类油藏的唯一方法。

注蒸汽有两种不同的方式：第一种方式叫蒸汽吞吐；另一种叫做蒸汽驱。

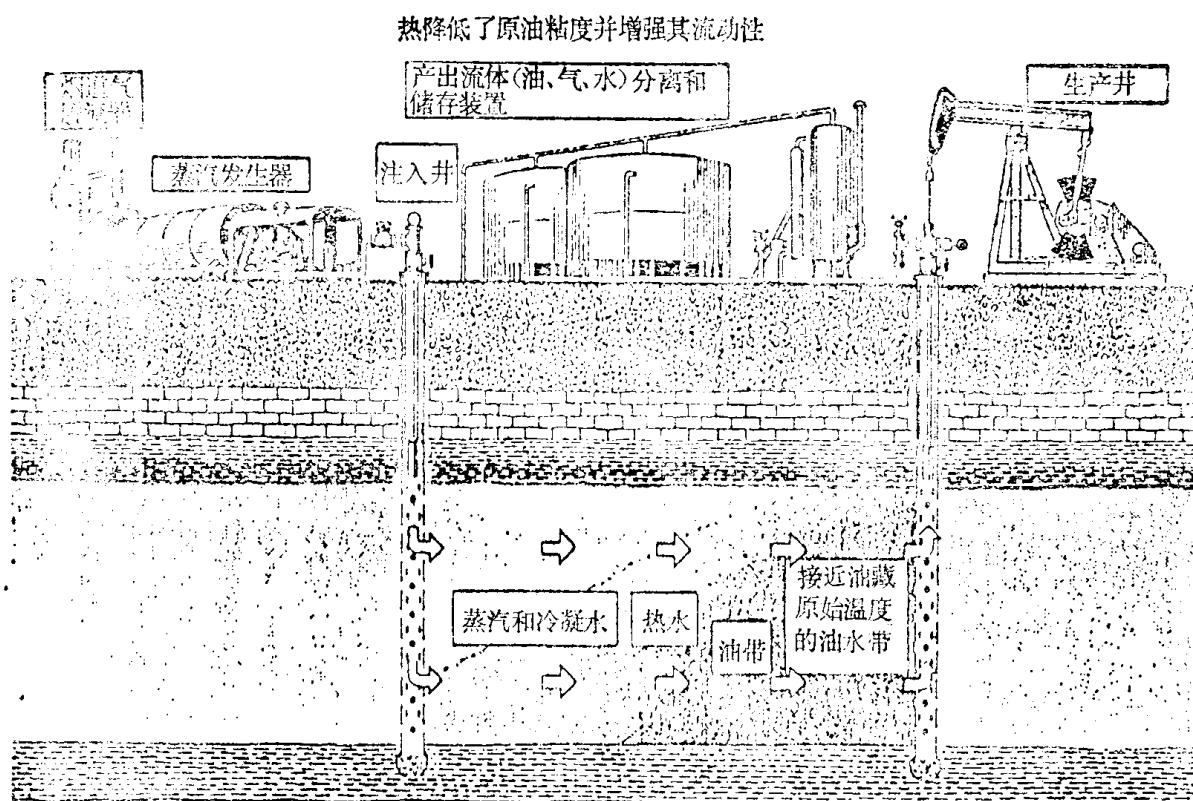


图 6 蒸汽驱运行示意图

必须解决这个问题。目前使用化学剂和机械设备取得一些成功，还要进一步改进。

(2) 重力分离。由于蒸汽密度低，常出现蒸汽上浮和严重窜流。蒸汽添加剂可用于封堵充满蒸汽的层位，从而将蒸汽注入含油带。泡沫是一种具有巨大潜力的化学剂。

(3) 采油效率。为提高采油效率，应做到以下两点：

A. 使用添加剂降低表面张力；

B. 采用机械封堵，以便在蒸汽突破后能继续生产。

(4) 机械问题。最近，桑迪实验室(Sandia Labs)对各种隔热和封隔器系统作出了评价，并于1980年4月在由美国石油工程师协会和美国能源部联合召开的第一次强化采油专题讨论会上发表。业已证实，可以用现行的方法降低套管温度和油管热损失，但大多数封隔器系统在高温高压下不能长期保持有效或重复使用，需进一步改进提高。

(5) 蒸汽注入深度问题。使用井底蒸汽发生器和改进隔热材料可增加注蒸汽的最大经济注入深度。

蒸汽驱采油法的主要不利因素就是需要用大量的燃料来产生蒸汽。如下表所示，燃料消耗甚至达到40%产出的原油。

油气比, 桶(油)/桶(蒸汽)	供给蒸汽发生器的燃料(相当于产出油的%)
0.15	59%
0.24	36%
0.28	31%
0.32	27%

蒸汽吞吐法的改进与蒸汽驱相类似，后面将加以讨论。

2. 蒸汽驱

1959年首先在委内瑞拉进行这种方法的尝试。这个试验虽然中途停止了，却偶然发现蒸汽吞吐这个办法。在其后的20年里，广泛地采用蒸汽驱，现已成为一种开采重油的常规方法。

根据《油气杂志》报导，目前在美国有63个蒸汽驱工程，总日产量为160 000桶。图5所示的加利福尼亚热力采油曲线表明，蒸汽驱方法已越来越重要了。按《油气杂志》所提供的数字，以下是美国在现场使用蒸汽驱所取得的总结果：

	为时尚早未 得出结论者	成功者	有希望者	失败者 (前景悲观)
方案数	16	32	13	2

从以上数字看出，仅有两项工程前景悲观，而其中一个尚还可以认为有利可图。

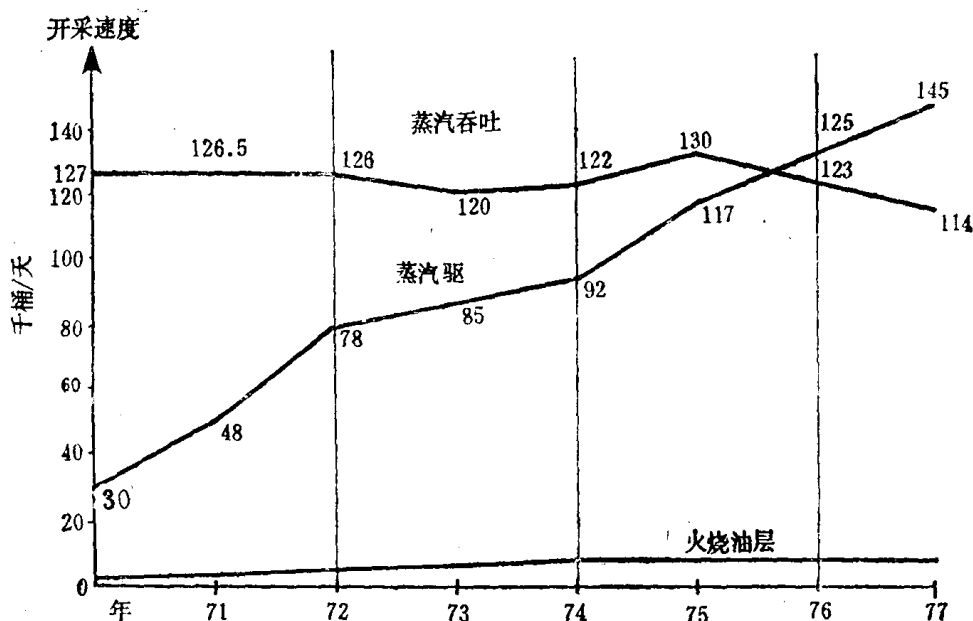


图5 美国加利福尼亚热力开采原油产量

图6以图解法描述了蒸汽驱的情况。表3指出了采用此法的筛选标准。蒸汽驱有可能采出地下原油储量的一半，但大规模应用时，采收率可达到开始注蒸汽时地下储量的30~40%。蒸汽驱仅能应用于埋藏深度较浅的油藏，最大注入深度取决于蒸汽注入能力和热损失。预期1981年在委内瑞拉开始进行蒸汽驱先导性试验，注入深度为3 800英尺。

在蒸汽吞吐后进行蒸汽驱的不利之处在于：连续注蒸汽之前，水的饱和度增加了，因而有一部分注入蒸汽的热量要用于加热水。然而事实证明，在蒸汽吞吐后进行蒸汽驱可得到较高的采收率和较高的总油/蒸汽比，因而提高了经济效益。

注蒸汽中遇到并需要加强研究和改进的问题有以下几方面：

(1) 蒸汽沿垂向分布差。这个问题一般发生在多油层完井。为提高注蒸汽的效果，就

另一种综合式系统是将重油的生产和提高品位结合起来，将升级后的渣油作为生产蒸汽和电力的燃料，从而提高总的经济效益。关于这个系统的细节将在后面讨论。

另一需要考虑的重要问题就是井距。由于燃料的成本比井的成本高，而较小井距可生产更多的油，得到较高的油气比，加之生产时间也较短，因此缩小井距可能是非常经济的。最近对M-6方案所作的评价表明，将井距由10英亩减小到3.3英亩，并保持总的注入速率不变（因井数多了三倍；每口井的注入速率就小了约70%）时，蒸汽驱的采收率由原始储量的25.9%提高到29.3%（即增加了19 600 000桶油），同时油气比由0.40桶/桶增加到0.45桶/桶。

火烧油层

这是一种可以代替蒸汽驱的方法。它将热和压力直接引入油藏中，将空气注入油藏并烧掉其中部分原油来产生热量（见图7）。油藏中所烧掉油的数量及其所产生的热是由注入空气量来控制的。

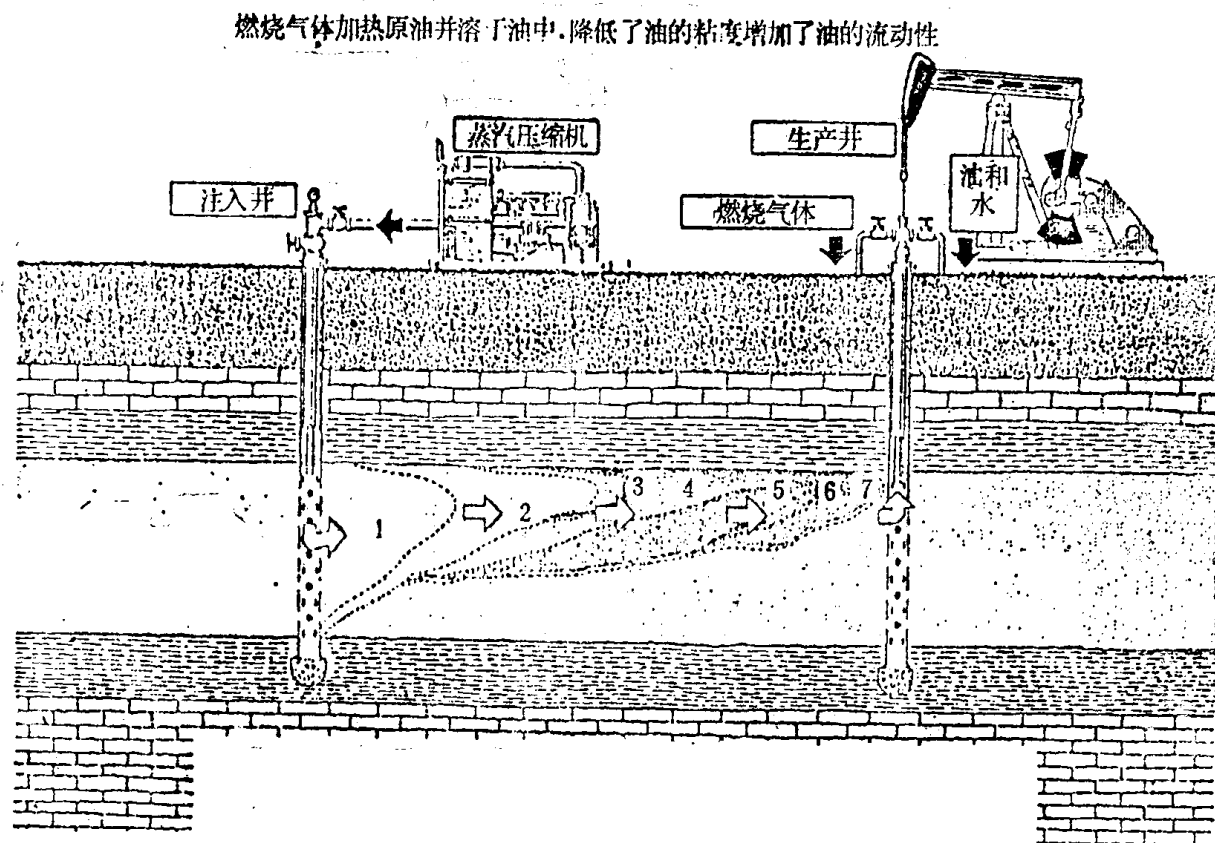


图 7 火烧油层法示意图

1—注入空气和水带（已燃带）；2—空气和汽化水带；3—燃烧前缘和燃烧带（600~1200°F）；4—蒸汽带；5—冷凝热水带（在原始地层温度50~200°F以上）；6—油带（接近原始地层温度）；7—已冷却的燃烧气体

所产生热的温度一般为600°F~1200°F。高温使火焰前缘的原油中较轻的部分汽化，而剩下的重质残焦或碳可作为燃料。在缓慢向前移动的燃烧前沿上烧掉。同时热使油藏中的水汽化，产生了一个蒸汽带，使重油变为可流动的并能被驱替出来。燃烧前缘通过油藏将加热原油驱替到生产井中。驱替机理包括热汽驱、水驱、热水驱及有助于蒸汽驱的溶剂驱。

如果加上驱动抽油泵的电机、输送、原油处理（脱盐、脱水）等所需要的能量，预计开采重油需要花费很多能量和投资。但已证明蒸汽驱是强化采油中最有效的方法。因此，应仔细评价整个生产过程，提高热效率，推广应用这一方法，提高蒸汽和发电的热效率、减少能量消耗将可提高重油开采的总经济效果。

在不同的油/蒸汽比条件下，产生蒸汽所需燃料的价格如下：

油/蒸汽比，桶/桶	产生蒸汽所需燃料价格，美元/桶(油)
0.15	11.8
0.24	7.2
0.28	6.2
0.32	5.4
假定一桶燃料油的价格为20美元	

因此，采用蒸汽驱，生产一桶原油所需成本估算如下：

成 本	原油生产费，美元/桶
产生蒸汽的燃料费	5.4~11.8
蒸汽发生器费用	0.1~0.2
废气处理装置费用	0.1~0.2
钻井费	1.0~1.5
折旧费	1.0~2.0
<u>操作维修费</u>	<u>2.0~3.0</u>
总计	9.6~18.7

需要研究解决的问题是：

- 提高采油效率；
- 将此法推广应用到埋藏深的重油藏；
- 使用价格便宜的燃料，如渣油或非石油燃料来产生蒸汽；
- 解决使用低质燃料时产生的乳化问题；
- 提高生产过程的效率，如泵装置、输送等；
- 使用低质量的水，如高矿化度水或产出水；
- 采用联合生产法提高蒸汽和发电效率。

最后这一项是委内瑞拉马拉维（Maraven-S. A.）公司最近研究完成的。此项研究评价了用于蒸汽吞吐的集中式蒸汽站，每天生产蒸汽量为4 320吨，得出结论如下：

如果在四台容量为30吨/小时的锅炉上各安装一台废气预热器，那么每小时可节省相当于 27×10^6 英热单位热量的燃料。所研究的联合生产法可以利用热废气的热量来加热锅炉，产生新的蒸汽，可以同时产生出稍多于2万瓩的电力，而且产出的蒸汽比现有蒸汽站的还要多。评价上述联合生产法时使用了可靠的设备。发电和增产蒸汽可能会增加一些燃料消耗，但燃料消耗量增加不多。这种联合生产法与分开产生蒸汽和电力的方法相比较，每年可节省165 000桶燃料或8亿两千万英尺³天然气。

综合系统还包括将烟道气的热量利用后再回供给附近的轻质或中质油藏，用于强化采油。

- (3) 缺乏适当的监控;
- (4) 研究人员和油藏工程师们对现场监控不够注意。
- (5) 井的机械状况差, 井位于油田的较差部位。

虽然在适当的条件下, 层内燃烧可与蒸汽驱相匹敌, 但在热力开采法中仍然是成本最昂贵的方法。

影响这种方法经济效率的基本参数是空气-油的比率。机械压缩的效率低和驱动马达所需要的电力是造成成本高的原因。

应着重研究如何提高空气压缩机的效率 and 解决火烧法所固有的机械问题。

层内燃烧法所生产的原油的平均成本如下:

成本	生产每桶原油价, 美元
空气压缩	7.00~20.00
压缩机	1.00~1.50
钻井	2.00~2.50
设备使用和维修	2.00~5.00
折旧	1.00~2.00
总计	13.00~31.00

注二氧化碳

图 8 表明了注二氧化碳的基本过程。在重油油藏中, 注二氧化碳不能用作混相驱, 原因是: 所需的压力很高 (4000 磅/英寸²以上), 一般来说, 重油油藏的埋藏深度浅; 重油

原油降粘, 混相驱更为有效

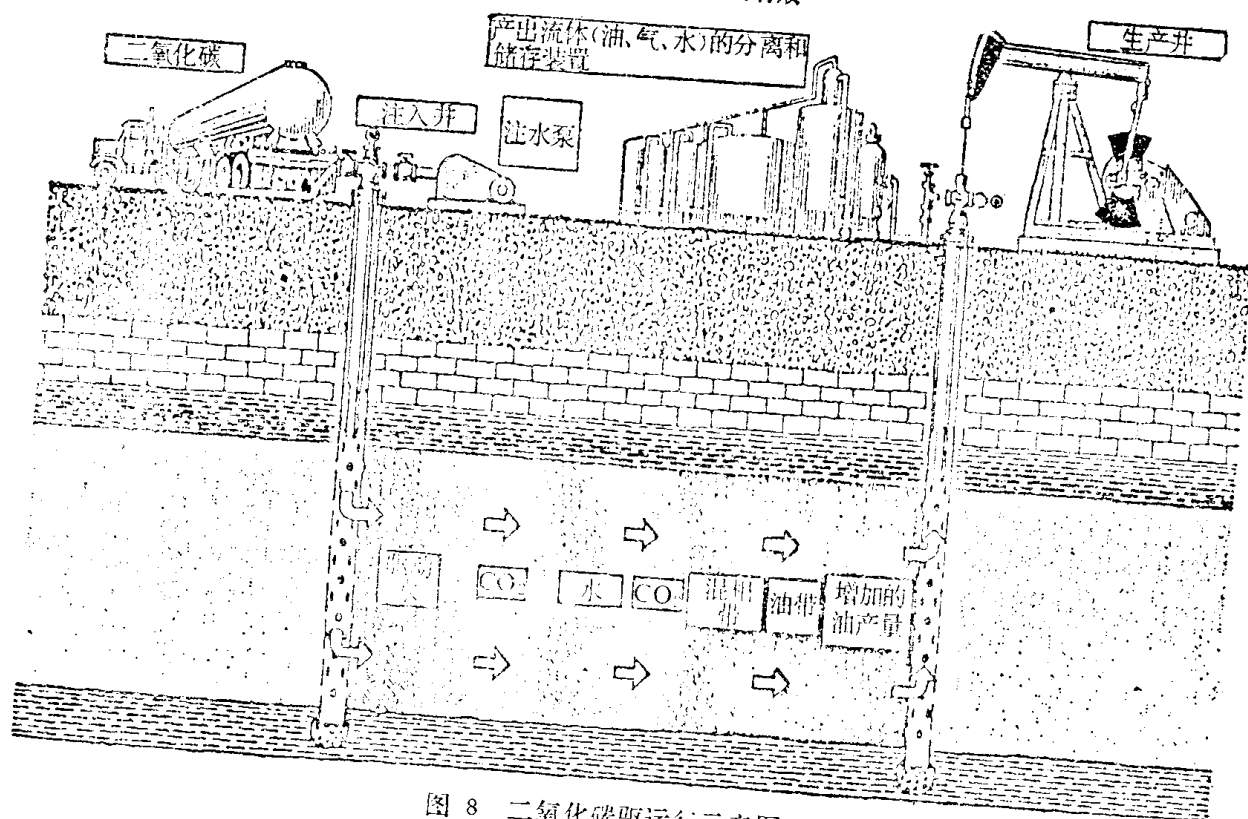


图 8 二氧化碳驱运行示意图

此法的两个主要经济参数是空气-油比和压缩空气的成本。

为控制温度和减小空气-油比,采用了注水的办法。根据注入水量的多少,分别称为湿式燃烧和超湿式燃烧。水流经已燃烧过的区域时吸热后汽化。可以认为从蒸汽突破到燃烧前缘到达生产井这一段较长时间内为热油生产期。湿式燃烧最大的好处是燃烧的焦油量减少了。因此,燃烧一个单位体积的油藏需要的空气注入量减少了,驱出的油更多了。在高含油饱和度油藏中,按1立方英尺空气配0.3~0.5桶水的比例注入水,可减少空气需要量高达30~50%。

然而,对于水饱和度高的油藏,如预先经过水驱的油藏,干式燃烧比湿式燃烧法的采收率高,空气-油比低。

火烧法的优点如下:

(1)注入物质,如水和空气,容易处理和获得。

(2)使用重渣油作燃料在油藏内部产生热。产出的油比原来油藏中的油的品位提高了。原油重度提高了3~4°API。同时油中的硫和金属的含量减少了。压缩机的临界压缩比也降低了。

(3)重度8~10°API的原油提高3~4°API后,运输、脱水、脱盐的成本将大大降低。

(4)在理想情况下,火烧法开采重油油田的采收率可高达55%,较蒸汽驱采收率40%为高。

虽然在1923年就发表了火烧法专利,并进行了50多个现场试验,但采用此法仍有风险,在现场难以控制,而且对此法的机理还了解得不够,试验结果也混淆不清。

自1971年以来在美国火烧法方案不断减少,而在1980年又开始增加。现有六个以上的方案正在计划实施。虽然产量不高(在美国日产量为12000桶),但仍然比1978年的产量高。

在实施一个火烧方案时,认识到它是一个复杂而又操作困难的方法是很重要的。成功的关键是如何控制高温生产条件下所引起的许多问题。一般来说,常常造成水泥环、管柱和抽油泵设备高温引起的热应力损坏。出砂造成泵严重磨损。乳化问题在高温期内最为严重。在整个火烧过程中,乳化问题也相当突出。强油水乳化使处理设施和抽油泵运转出问题,从而使油的产能降低。现场试验和实验室研究必须贯穿于整个方案的始终,以便找出实际解决乳化和腐蚀问题的办法。必须预先考虑到热气产量大会引起腐蚀及效率问题。监测工作不但要由操作人员,而且还要由油藏和研究工程师们来做。

当燃烧前缘接近生产层段时,应经常关注井的情况以确保最高的泵效;在使用特殊的材料和技术保证井的生产。燃烧最初只发生在生产层段顶部,水泥的挤压使油井能继续生产。目前油的价格高。即使使用特殊材料也是合算的。

不可能预先考虑到火烧法遇到的所有问题。对现场操作人员来说,仍有许多新问题。在进行方案设计时,必须考虑进行最有效的监控,以便得到所需要的最佳动态和最高效率。这也可以促使改进操作技术。

火烧方案失败的其它主要原因是:

(1)腐蚀和机械问题;

(2)缺乏技术熟练的人员;