

内部资料

赴美国稠油开采技术考察报告



克拉玛依石油天然气勘探开发公司编

一九八五年九月

赴美国稠油开采技术考察报告

考察人员：谢 宏 王照明
郑良宏 沙白坚
杨良贤 芦连生
季 开 金效国



200416923



00284196



克拉玛依石油天然气勘探开发公司编

目 录

一、概况.....	1
二、美国热采近况及远景预测.....	1
三、四个油田的热力采油.....	10
(一) 加州克恩河油田注蒸汽面积汽驱开采	
(二) 加州前克恩河油田注蒸汽吞吐开采	
(三) 加州中途日落油田注蒸汽开采	
(四) 得克萨斯州伍德县森林山油田注空气火烧油层及注氧气火驱试验	
四、几项先进技术.....	41
(一) 应用薄膜扩散剂提高蒸汽吞吐产油量	
(二) 就地产生氮气系统及其在油井作业中的应用	
(三) 热力封隔器, 高温筛管和热膨胀接头	
(四) 蒸汽和电能的联合生产	
五、结论和建议.....	50

一、概 况

赴美国稠油开采技术考察是1984年世界银行向克拉玛依石油天然气勘探开发公司贷款项目中的技术考察项目。经我国财政部、石油部批准，世界银行同意安排一个由8人组成的稠油技术考察团入美国进行为期25天的技术考察。石油部计划司、外事司、开发司审定考察提纲，以周庆祖司长的名义和世界银行联系。石油部领导李敬付部长、李天相付部长对这次考察很关切，出国前后都亲自出面组织有关司局的领导听取汇报，对这次考察做出周密的安排和明确的要求。接待单位世界银行和美中贸易委员会对这次考察很重视，他们委托贝克石油工具公司做为东道主公司，按照以周庆祖司长名义提出了考察提纲，安排了25天的考察日程，使这项技术考察达到了预期的目的，圆满成功。

考察团于1984年11月19日抵旧金山，12月12日由纽约回国。考察日程结束时，世界银行能源处处长内亚、麦卡维、赛琳娜……等在华盛顿和考察团进行了会谈，为稠油开采贷款项目的实现和引进先进技术、先进设备打下了良好的基础。

在短短的25天时间里，我们在加利福尼亚州和得克萨斯州共考察了十四个单位，由103位石油技术专家，石油企业家向我们热情友好地介绍情况并提供了技术资料。较全面地考察了美国稠油开采最有代表性的克恩河油田（德士古石油公司），前克恩河油田（西方石油公司），中途一日落油田（西方石油勘探生产公司及泰聂柯石油勘探生产公司），森林山油田（格林威治石油公司）和热采工具制造公司（贝克石油工具公司及其下属的防砂、封隔器热力系统、石油处理等子公司，休斯顿系统制造公司），及两家大的咨询工程公司（柏克德咨询工程服务公司和福陆工程公司）和一家小的咨询公司（格鲁意联合公司），另外美国通用电气公司派专人向考察团介绍了汽电联产装置。

由于这次考察专业性强、问题集中，各公司接待均较重视，派出有经验的工程师和高级科研人员进行讲解和提供一些实际资料。所以经过这次考察，主要收获是搞清了美国大规模进行工业性稠油开采的特点和一些实际做法及目前一些新的先进技术。

考察团成员以克拉玛依石油天然气勘探开发公司为主组成，辽河石油勘探局派二人参加，具体成员由石油部批准。由谢宏任团长，王照明任顾问，郑良宏任付团长，团员为石油部科技司沙白坚和杨良贤、芦连生、季开、金效国等8人。这次技术考察报告是由谢宏、杨良贤两位同志为主编写的。

二、美国热采近况及远景预测

美国稠油储量有200亿吨，重质油田1500多个，分布在26个州，但主要分布在加利福尼亚州、德克萨斯州、路易斯安那州、阿肯色州、俄亥明州、及尤他州。如图2—1所示。

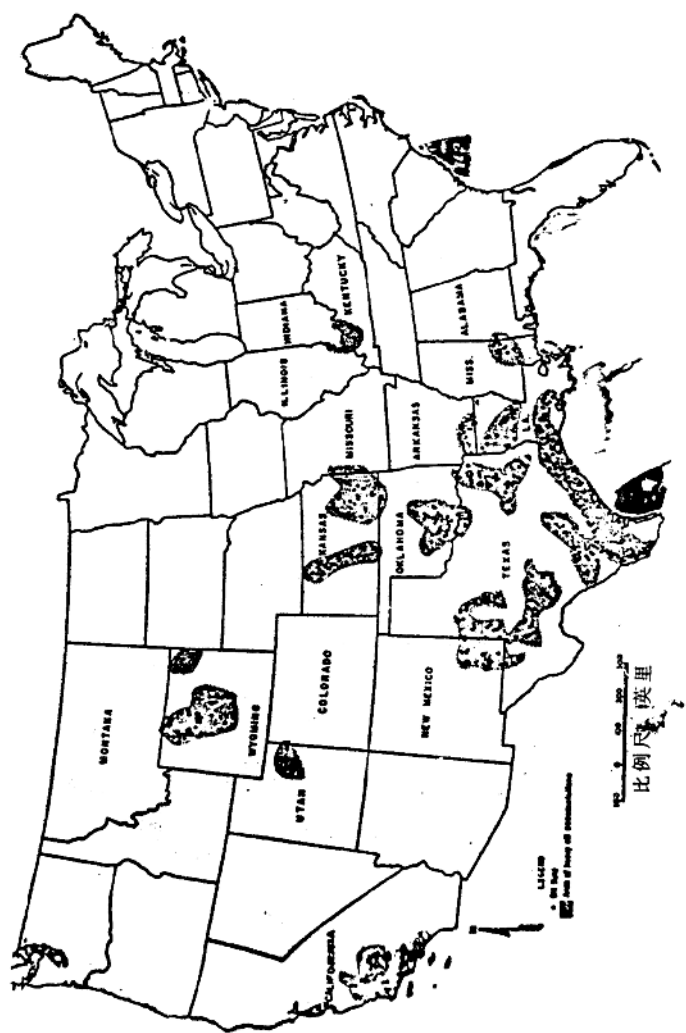


图 2—1 美国重质油矿床主要分布地区

1984年6月美国国家石油委员会(NPC)发表了美国提高石油采收率(EOR)的报告,该报告内容充实,有许多统计图表和分析数据。在热采部分中对美国热采的近况和远景作了介绍和预测,概括如下:

1、美国热采技术分两种,注蒸汽和火烧油层,以注蒸汽为主,占98%以上,火烧油层仅占2%左右。美国注蒸汽热采自60年代早期以来已进入工业性开采,70年代趋于稳步发展,80年代则迅速发展。

美国热采方法提高采收率方案活动情况

表 2—1

	1971	1974	1976	1978	1980	1982	方案增加数
蒸 汽	53	64	85	99	133	118	33
火烧油层	38	19	21	16	17	21	0
合 计	91	83	106	115	150	139	33

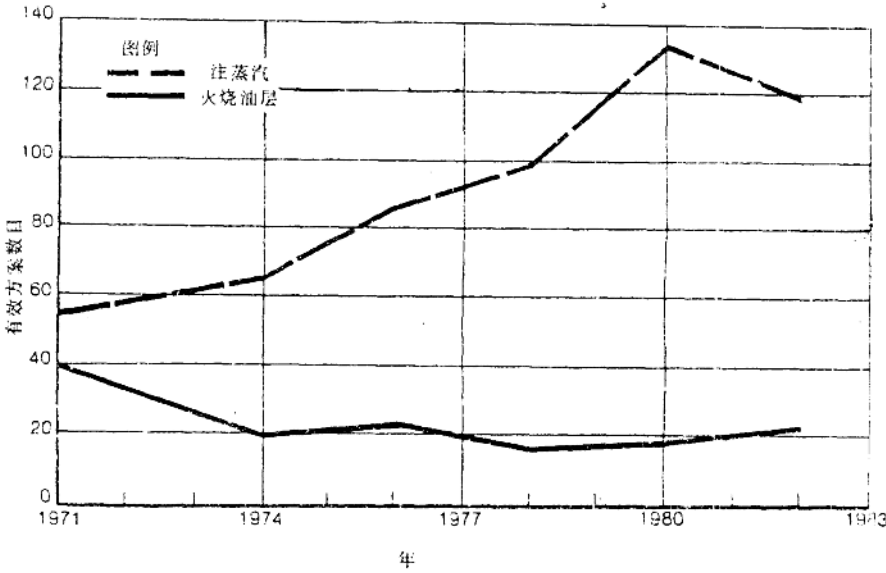


图 2—2 1971—1982年美国有效的热采方案数目

由表 2—1, 图 2—2 可见, 注蒸汽开发方案数目从71年到82年由53个增至118个, 增加了65个。其中发展最快的是78年至80年, 两年中增加了34个。火烧油层从71年到82年由38个减到21个, 减少了17个, 而且10年来, 没有发展, 保持在20个方案左右。这些图表说明注蒸汽开采, 美国工业性生产的油田正在逐年扩大, 而火烧油层则处于不增不减的局面。

2、美国热采产量见表 2—2

美国热采法提高采收率产量 (桶/天)

表 2—2	1976	1978	1980	1982
蒸 汽	270,000 [#]	280,000 [#]	340,000 [#]	440,000 ^{\$}
火烧油层	10,000	10,000	12,130	10,200
合 计	280,000	290,000	352,130	450,200

1982年注蒸汽日产440000桶(原油比重按0.97折算日产67856吨,年产2470万吨)占热采总产量98%;火烧油层日产10200桶(日产1573吨,年产57万吨,占热采总产量2.2%)。合计日产69429吨,年产2527万吨。

3、美国热采以加利福尼亚州为主 见图 2—3

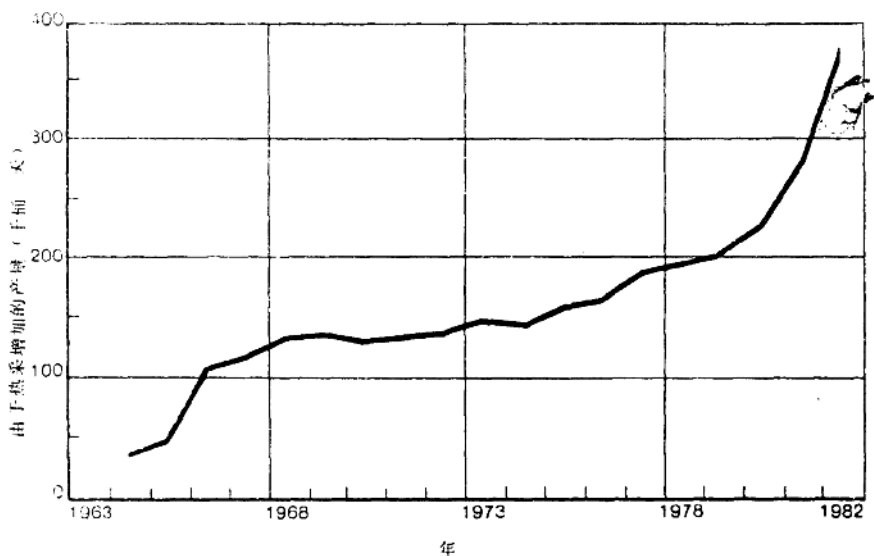


图 2—3 加利福尼亚从1964—1982年由于应用热采方法的采油量

1982年加州热采日产油量370000桶(日产57060吨,年产2083万吨,比重按0.97折算),几乎全部都是靠注蒸汽采出的。热采方法采出的油量占该州总产油量的33%。

4、热力采油是美国提高石油采收率项目中最主要的一个开采手段。据NPC估计,若油价按30元/桶,最低回收率按10%计算,用提高采收率方法最终采油量为 14.5×10^9 桶,各种方法所占的百分数如下:(见图 2—4)。

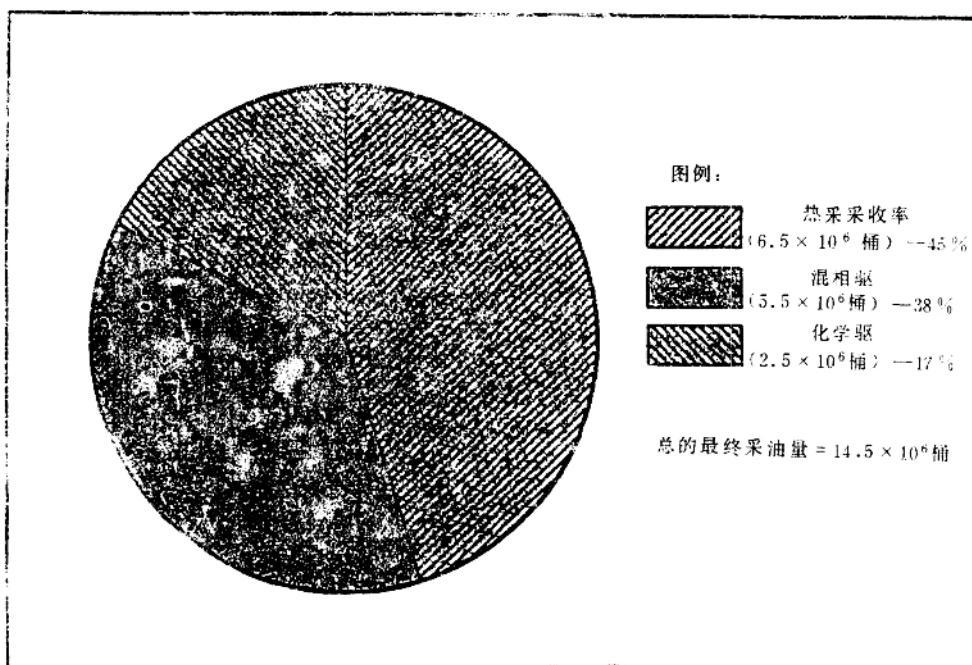


图 2 — 4 最终采收率—现行工艺技术 (标称油价30美元/桶, 最低回收率10%)

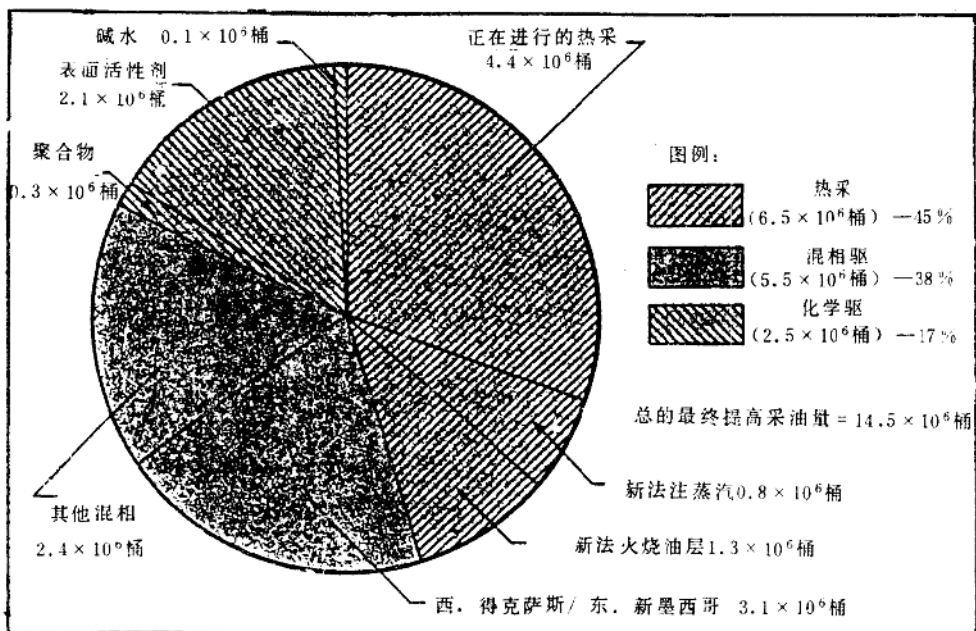


图 2 — 5 根据现行工艺技术的最终采油量 (标称油价30美元/桶, 最低回收率10%)

5、美国注蒸汽开采技术分二种，一种是常规注蒸汽，即在注蒸汽过程中只注蒸汽不加其他成分；另一种是新法注蒸汽，即在注汽过程中加入化学剂，如注入表面活性剂，碱水，CO₂及泡沫剂以改善波及效率/和驱油效率。但以常规注蒸汽为主，新法注蒸汽所占的最终采油量预计为热采总量的12.3%。见图2—5。

6、美国NPC提出热采筛选标准如下（见表2—3）

热 力 采 油 筛 选 标 准

表 2—3

	注 蒸 汽		火 烧 油 层	
	现行工艺技术	先进工艺技术	现行工艺技术	先进工艺技术
深度（英尺）	<3,000	<5,000	<11,500	-
有效厚度（英尺）	>20	>15	>20	>10
孔隙度	>0.20	>0.15	>0.20	>0.15
含油饱和度×孔隙度	>0.10	>0.08	>0.08	>0.08
渗透率（毫达西）	>250	>10	>35	>10
原油重度（°API）	10 to 34	-	10 to 35	-
原油粘度（厘泊）	<15,000	-	<5,000	<5,000
流动系数 （毫达西—英尺/ 厘泊）	>5	-	>5	-
目前油层压力 （磅/ 英寸 ² ）	<1,500	<2,000	<2,000	<4,000

•如果忽视含油饱和度，就以孔隙度为标准。

7、注蒸汽采油的专项费用，美国根据现行工艺技术和先进工艺技术按高、中、低三挡进行测算，共分十三项，详见表2—4。

8、美国热采产油量，在现行的工艺技术上，1984年日产油量为55万桶（日产8.48万吨，年产3095万吨，比重按0.97折算）。盛期从1984年开始至2005年。最盛期是在1990—1995年，日产可达73万桶（日产11.25万吨，年产4110万吨），以后逐渐下降。2010年日产量降至28万桶（日产4.3 万吨，年产1576万吨）。那时，热采产油量略低于混相驱的产油量（见图2—6）。若采用先进的工艺技术则自1984年开始将保持良好的发展势头，直至2010年。盛期为1995—2010年产量为85万桶（日产13.1万吨，年产4785万吨）—93万桶（日产14.34 万吨，年产5235万吨）。2010年以后开始下降至2013年为75万桶（日产11.56 万吨，年产4222万吨），仍比混相驱产量高（见图2—7）。

注 蒸 汽 采 油 专 项 费 用

表 2—4

项 目	费 用		
	高	中	低
I、产出的水再循环厂			
A) 装置投资 (美元/蒸汽桶)	190	75	50
B) 操作费用 (美元/蒸汽桶)			
II、蒸汽发生器—原油点火 (5千万BTU/小时和3500桶水/天)			
A) 装置投资 (美元)	850,000	800,000	750,000
B) 燃料费用 (美元)	燃料量×原油价格, 原油价格指生产出的那种原油重度的价格。		
C) 其他操作费用 (美元/蒸汽桶)			
电	0.12	0.11	0.10
维修及劳务	0.13	0.12	0.10
化学药品	0.17	0.13	0.10
	0.42	0.36	0.30
D) 有效利用率 (%)	85	85	85
III、蒸汽发生器—天然气点火 (5千万BTU/小时和3500桶水/天)			
A) 装置投资 (美元)	全部发生器 = 650,000 美元		
B) 燃料费用	燃料量、天然气价格, 按原油价格及当地情况折算, 在加州 1.42 美元/千呎 ³ 中部大油 40 °API 原油为 30 美元/桶、		
C) 其他操作费用	0.24 美元/千呎 ³		
IV、蒸汽管汇及出油管线			
A) 投资费用 (美元/英亩)	10,000	8,750	7,500
V、地面生产及蒸发回收			
A) 地面生产管线 (美元/英亩)	10,000	8,500	7,000
B) 蒸发回收 (美元/英亩)	5,000	4,500	4,000
	15,000	13,000	11,000
VI、中心厂设备 (处理器, 试验装置, 分离器等)			
A) 投资费用 (美元/每天桶油)	500	400	300
VII、固定的操作费用			
A) 车辆、电、公司劳务 (美元/产量一年)	20,000	18,000	16,000
VIII、易变的操作费用			
A) 化学药品, 燃料处理器, 承包劳务等 (美元/桶油)	3.00	2.50	2.00
IX、水处理			
A) 操作费用 (美元/桶)	0.025 × 蒸汽桶数		
X、井费用 (美元)	120 × 深度	100 × 深度	80 × 深度
采用先进的工艺技术情况下			
XI、工厂设备投资费用 (美元)	单个井网开采期每全轮回增加每桶油为 2 美元。增加油量 = 储量的 10%。		
A) 控制流动性的化学加药			
XII、易变的操作费用 (美元/桶)	相应的改进费用 化学药品 = 0.25 美元/蒸汽桶		
XIII、深井完井费用 (美元)	深度大于 3,000 英尺, 选择高费用一档加每井网增加费用 20,000 美元。		

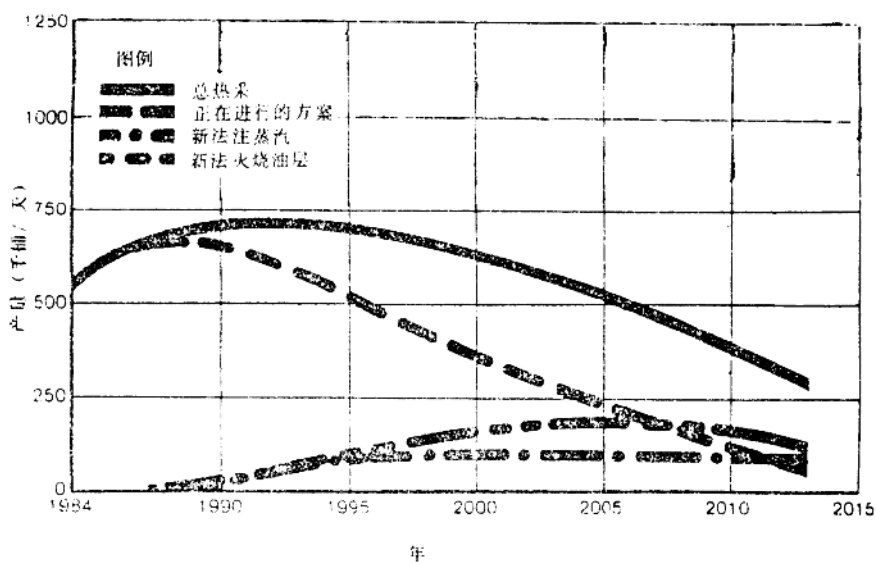


图 2—6，现行工艺技术下热采产量经济基础—标称原油价格30美元/桶，最低回收率10%。

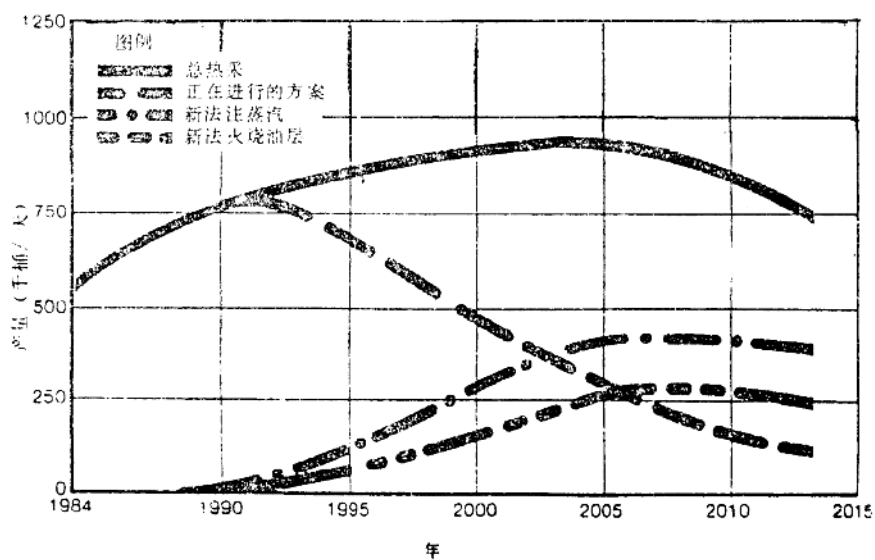


图 2—7，先进工艺技术下热采产量经济基础—标称原油价格30美元/桶，最低回收率10%。

9、美国加利福尼亚州原油价格，按原油重度计价。见原油重度与油价之间的关系曲线，如图2—8所示。

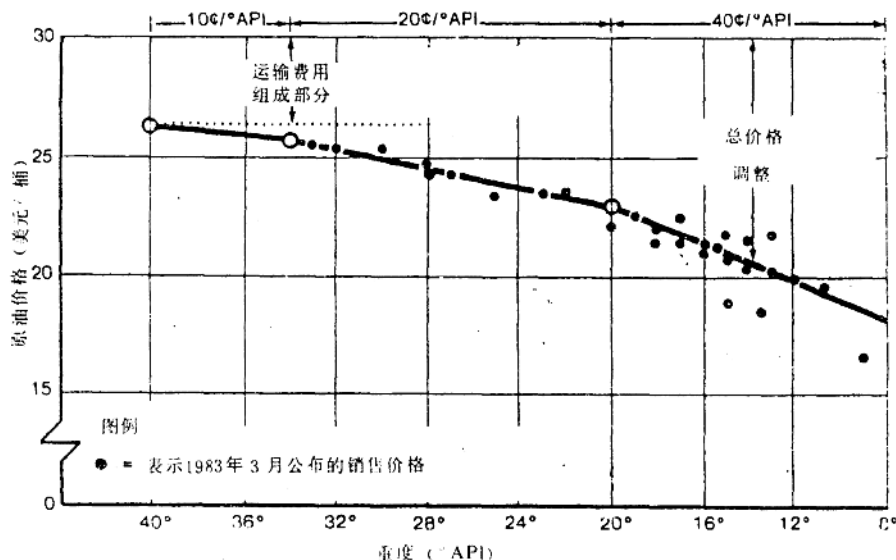


图2—8、加利福尼亚1983年3月公布的销售价格

该关系曲线，是以1983年3月加州所公布的原油销售价为基础绘制的。纵座标为油价以每桶的美元数计算，横座标为API重度，顶部的横座标表示随着石油API重度的增加，其运输成本也随之增加，大体情况是：40—34 °API（比重0.8251—0.8550），每增加1重度，运输费要增加10美分/桶；34—20 °API（比重0.8550—0.9340），每增加1重度，运输费用要增加20美分/桶；20—8 °API（比重0.9340—1.0143），每增加1重度，运输费要增加40美分/桶。图中曲线清楚地表示，随着原油重度的减少（即比重的增大），每桶原油的销售价也逐渐降低，如32 °API（比重0.8654）重度的原油每桶销售价约为25.5美元，而12 °API（比重0.9861）重度的重油的销售价则为20美元。

三、四个油田的热力采油

(一) 加州克恩河油田注蒸汽面积汽驱开采

克恩河油田位于加利福尼亚州贝克斯菲尔德北东几哩处，是加州大的重质油田之一。由几家石油公司在进行开采。我们考察的是开采该油田的主要公司之一的盖蒂石油公司。该公司在他们控制的范围内，正在进行大规模工业性汽驱开发，技术全面、成熟。公司较系统地介绍了油区地质、油藏开发、开采工艺，地面集输流程等方面的情况及一些做法提供了一些统计数字及图表。整理如下。

1、地质概况

克恩河油田区域地质构造为加州圣华金盆地东南部的东翼上的一个简单单斜，向西南方向倾斜，倾角4度（见图3—1、3—2、3—3）。产油层系为上新世/中新世克恩河组，埋藏深度70—460米。克恩河组是一套大陆冲积扇沉积，它大部份来自向西流的古克恩河。油层岩性为未胶结的砂岩，其中具有较多蓝绿色粘土夹分散状粉砂岩的夹层。克恩河组分四个砂层自下而上为R层、K层、G层、C层，见克恩河地区构造横剖面图（图3—4）。

2、油藏参数:

油藏深度	500—1500英尺 (152—456米)
含油面积	49平方公里
厚度	200英尺 (60.8米)
孔隙度	32%
渗透率	1—5达西
含油饱和度	50%
原油粘度	85° F下4000厘泊 (29.4℃4000厘泊)
原油比重	13° API (比重0.9792)
地质储量:	全区: 20亿桶 (3亿吨)
	盖蒂公司控制区: 11.89亿桶 (1.83亿吨)

3、开发简况

克恩河油田进行热法采油是从五十年代中期开始的，当时油井安装井底加热器以改善油的流动度，减少井底出油孔眼堵塞，改进抽油泵的状况来开采重油。进入六十年代，由于蒸汽吞吐在该区的应用成功，使重油开采快速发展。七十、八十年代进入汽驱开发。由于世界性油价的上涨，使重油开采迅猛发展。盖蒂公司对克恩河油田及他们控制的范

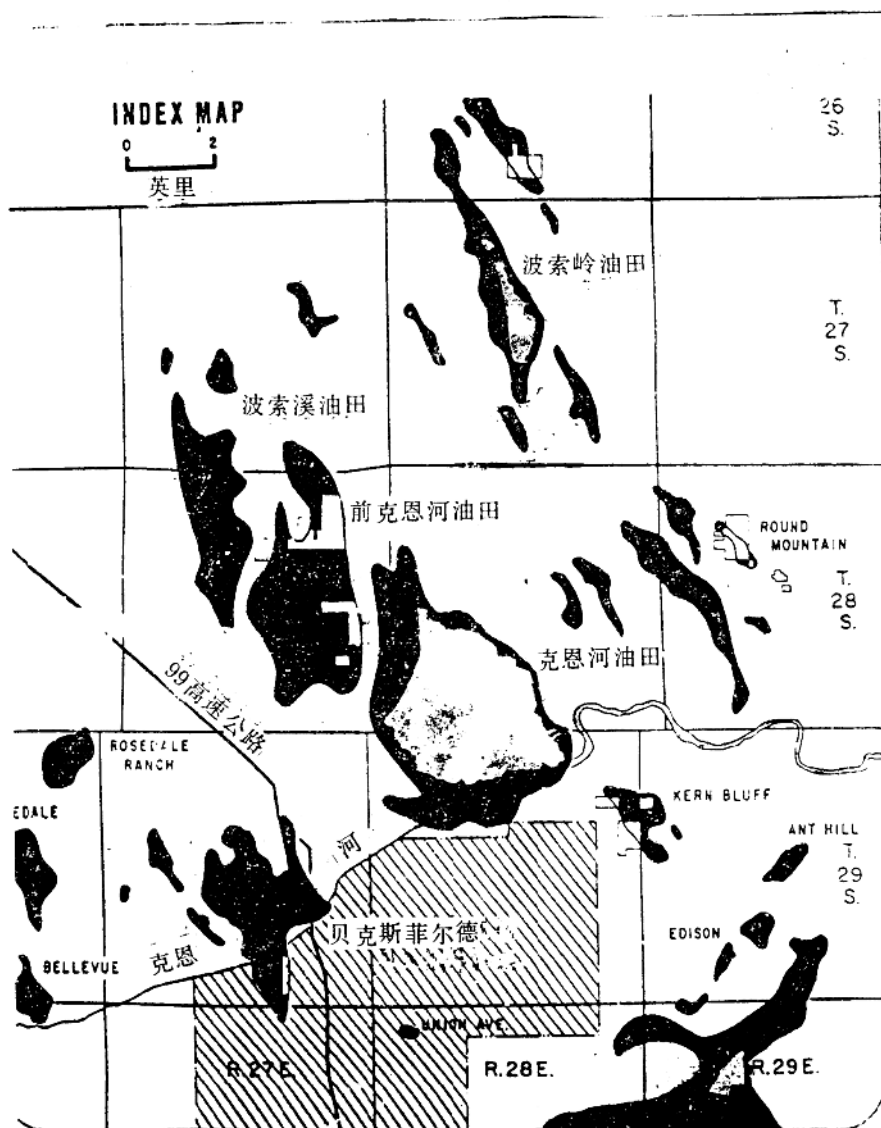


图 3—1 美国加州克恩河油田位置图

图 3—2 美国加利福尼亚州圣华金盆地南部横剖面图

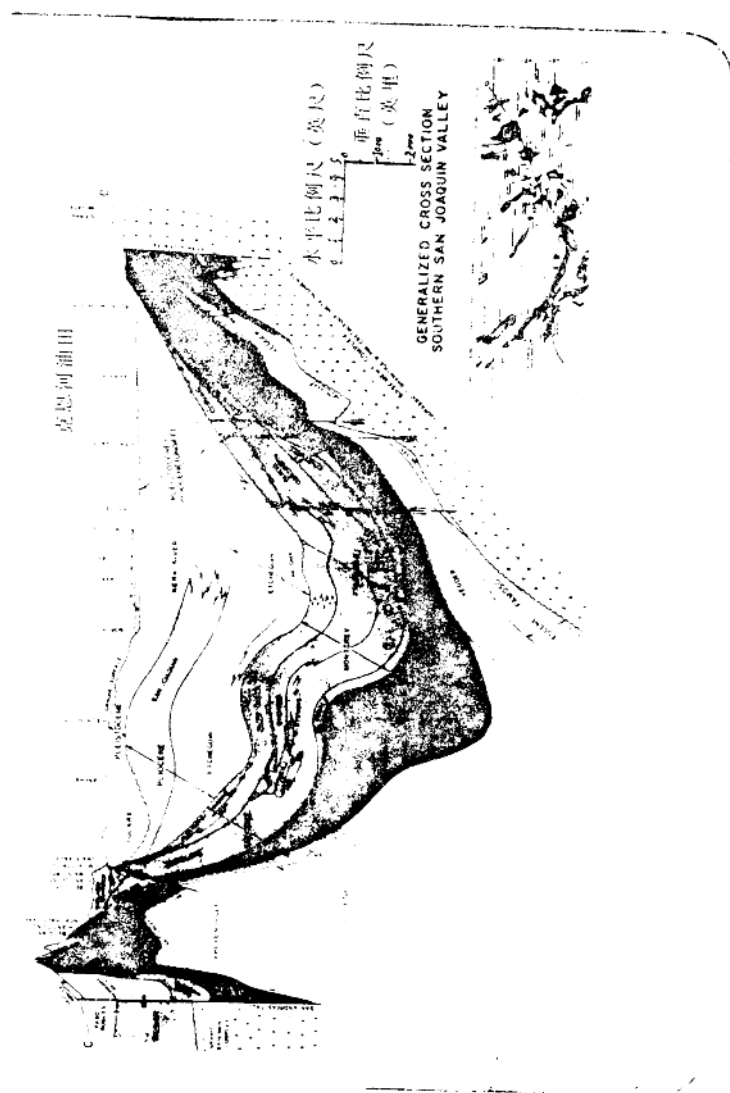


图 3—4 贝克斯菲尔德地区克恩河油田构造剖面图

