

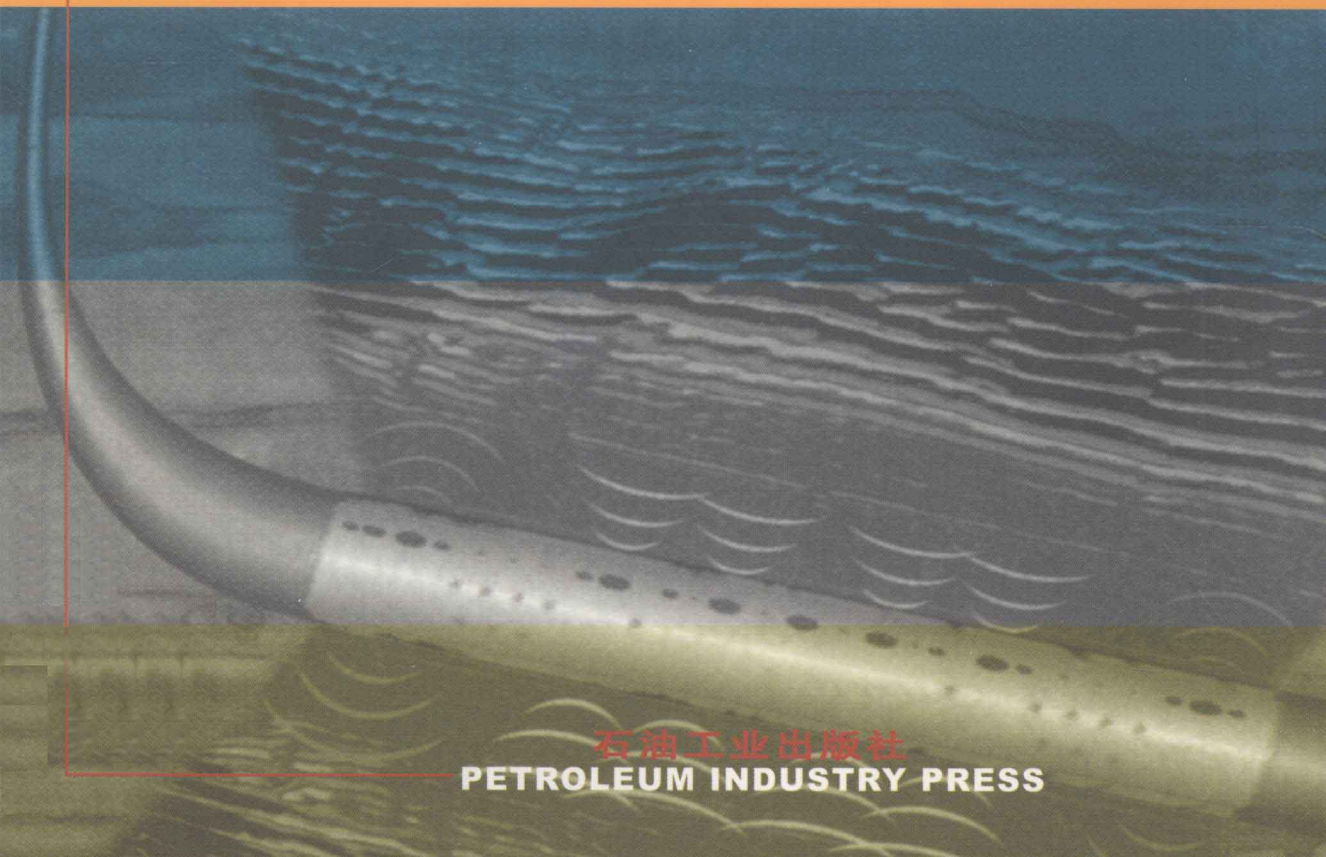


GUOWAI SHUIPING JING JISHU YINGYONG LUNWEN JI

国外水平井技术应用论文集

(上册)

刘翔鸮 刘尚奇 等编译

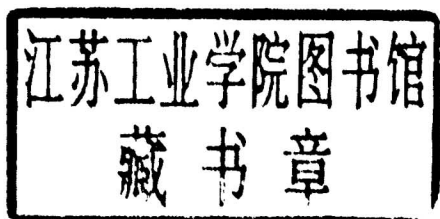


石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

国外水平井技术应用论文集

(上册)

刘翔鹄
刘尚奇 等编译



石油工业出版社

内 容 提 要

本论文集分上、下两册。全书选择翻译了在加拿大卡尔加里市召开的一次“水平井技术的新进展 (Advances in Horizontal Well Technology)”国际会议上的论文共 48 篇, 主要包括已成熟轻质和重质油藏的再开发、混相驱油藏的再开发、水平井在天然裂缝油藏中的应用、水平井在浅海地区的应用、水平井技术研究展望、水平井钻井工艺最新动态、水平井试井理论及解释方法、水平井经济评价、水平井蒸汽辅助重力泄油理论及现场实例、水平井火烧油层及溶剂萃取等过程的物理模拟、水平井完井方法、井下作业工具及增产措施等。

本书的翻译和出版对于了解国外水平井技术的研究与应用现状及发展趋势, 指导我国水平井技术的研究及应用有一定的借鉴作用, 可供全国各油田、科研院所的专家与技术人员及大专院校的师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

国外水平井技术应用论文集. 上/刘翔鹗等编译.

北京: 石油工业出版社, 1999.12

ISBN 7-5021-2748-8

I. 国…

II. ①刘…

III. 定向井—油气钻井—文集

IV. TE243-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 47894 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 14 $\frac{3}{4}$ 印张 367 千字 印 1—1000

1999 年 12 月北京第 1 版 1999 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2748-8/TE·2157

定价: 25.00 元

前 言

水平井技术已成功地用于开发各种类型的油田，正得到越来越广泛的应用。据统计，仅美国和加拿大就分别以每年钻 1000 口水平井的速度增加。为了总结这项技术的研究成果及应用经验，展望研究动态及发展趋势，石油工程学会（SPE）加拿大分会，加拿大矿业协会（CIM）石油学会及 CANMET 联合在加拿大卡尔加里市举办了一次“水平井技术的新进展（Advances in Horizontal Well Technology）”国际会议，这次会议征集了世界各地有关水平井技术的论文共 78 篇，分水平井钻井、油藏工程、油藏模拟、老油田再开发、天然裂缝油藏、稠油热采、完井与采油工艺、地层伤害与增产措施等共八个专题进行了交流与讨论。

我国在“八五”和“九五”期间也开展了对水平井技术的研究与应用，并在不同类型油藏进行了先导试验或商业性应用。为了学习和借鉴国外水平井开采技术的研究成果和实践经验，了解水平井的应用潜力及发展趋势，促进我国水平井技术的应用及发展，由中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院刘翔鹏总工程师组织有关专家和技术人员从中选出 48 篇论文进行了翻译和校审，形成本论文集，分为上、下两个分册。本论文集涉及范围广，包括了水平井技术的各个研究方面及在不同油藏的实际应用评价，如成熟混相驱油藏的再开发、已成熟轻质和重质油藏的再开发、水平井在天然裂缝油藏中的应用、水平井在浅海地区的应用、水平井技术研究展望、水平井钻井工艺最新动态、水平井试井理论及解释方法、水平井与直井组合方式、水平井经济评价、水平井蒸汽辅助重力泄油理论及现场实例、水平井火烧油层及溶剂萃取等过程的物理模拟、水平井完井方法、井下作业工具及增产措施。这是一本全面反映水平井技术研究及应用的论文集，可供全国各油田、研究院所的专家与技术人员及大专院校的师生学习参考。

本书的出版得到了集团公司科技部及石油工业出版社的大力支持和帮助，谨致衷心的感谢。

目 录

1	不利条件下用水平井对成熟混相驱油藏进行二次开发的改进	(1)
2	萨斯卡彻温省已成熟轻质和重质油藏的再开发实例	(10)
3	利用水平井对 Brazeau 河 Nisku A 和 D 油藏进行垂向混相驱二次开发	(16)
4	萨斯卡彻温东南部 Weyburn 单元多水平井开发——模拟研究	(28)
5	水平井水驱最新实例——得克萨斯浅海地区的新希望	(37)
6	垂向混相驱中应用水平井补偿垂直井的产能取得了很好的效果	(43)
7	萨斯卡彻温东南部的 Midale 油藏西南地区水平井动态和水驱优化数值模拟	(52)
8	水平井技术研究展望	(57)
9	加拿大挠性管水平井钻井工艺及应用	(66)
10	双水平井经济分析	(74)
11	水平井钻井新动态	(81)
12	利用干扰试井数据估算水平井的长度	(87)
13	消除沿水平井窜流的现场对策	(101)
14	非均质油藏中水平井的压力动态	(112)
15	水平井的生产效果总是优于直井的吗?	(127)
16	水平井试井分析的数字方法	(136)
17	俄罗斯水平井技术最新进展	(151)
18	地应力状态对褶皱性裂缝渗透率的影响	(159)
19	得克萨斯油藏深层奥斯汀白垩露头裂缝数据的外推法	(168)
20	水平井筒中的裂缝统计规律	(177)
21	多裂缝相交的水平井分析	(181)
22	建立水平井开采天然裂缝油藏模型的系统方法	(197)
23	褶皱性碳酸盐岩油藏中裂缝间距的横纵向变化及其与水平井定位的关系	(211)
24	泥盆系页岩层中水平井完井后的生产动态	(215)
25	水平井火烧油层过程	(219)

1 不利条件下用水平井对成熟混相驱油藏进行二次开发的改进

F.J.McInyre, B.E.Hunter, D.See,

F.Y.Wong, D.K.Fong

Husky Oil Operations Ltd.

I.Adamache

Adamache Petroeng Ltd.

刘翔鹤 李二泉 编译 刘翔鹤 校

摘要 Husky 公司在 Rainbow 油田经营着 7 块直井混相驱油藏 (见图 1 及表 1)。这些油藏都发生了气和水的锥进, 气油比与水油比升高, 产油量下降, 已达到混相驱的经济极限, 准备对其进行“降压开采”, 而且, 每块油藏在地质环境、油层厚度与面积、直井完井等方面均各不相同。

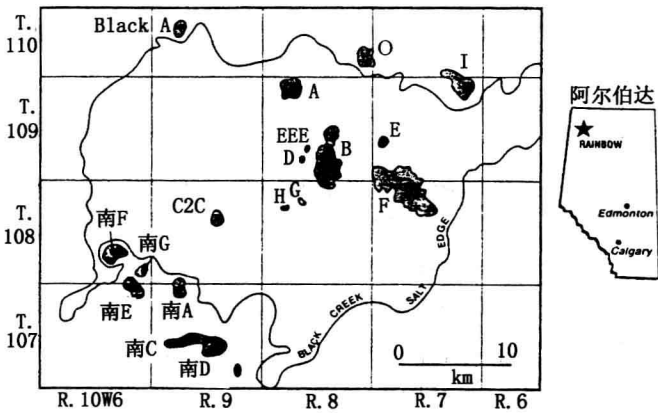


图 1 Rainbow Keg River 的主要油藏

表 1 Rainbow Keg River 油藏的水平井

油 藏	井 位	投产日期 (年、月)	备 注
G	16-29-108-8	1989.07	
E	02/2-18-109-7	1990.05	
H	02/11-29-108-8	1991.01	
O	02/8-12-110-8	1991.03	
A	11-32-109-8	1991.05	
G	11-28-108-8	1991.10	
A	02/6-32-109-8	1992.03	
D	3-9-109-8	1992.03	
O	15-1-110-7	1992.04	
E	1-18-109-7	1993.02	02/2-18 的扩展井
O	14-12-110-8	1993.03	
G	14-28-108-8	1993.05	
A	02/8-32-109-8	1993.10	直井重钻井

在这些不利的条件下, Husky 公司用水平井对这些油藏进行了二次开发, 开发过程中使用了多项新技术来减缓锥进并提高采油量, 显著地提高了经济效益和开采寿命。

截止 1993 年 6 月, 共钻了 11 口水平井, 其中有一口水平井重新钻进并延长, 另外一口垂直井重新钻成一口多底井。虽然这些井全部都钻入老的混相驱油藏。但是由于油藏特点、水平井位置及开发过程各不相同, 使得每口井在钻井、完井、修井和生产等方面亦各具特色。

本文描述了应用水平井进行二次开发的发展过程和改进。在钻井方面的改进有:

- 采用定位射孔;
- 侧向钻进暗礁;
- 克服对地层的污染、循环漏失及高扭矩、高阻力;
- 对原有水平井段延伸。

在完井及修井方面有:

·沿水平井段不同区域使用多级裸眼封隔器、滑套或管接跨式封隔器等进行选择性测试和增产措施。

在开采及提高采收率的油藏最优化方面有:

- 控制含油带纵向运动;
- 用直井进行干扰试验;
- 使用井底节流器;
- 使用防沥青质沉积的循环管柱。

引 言

为了提高混相驱油藏中夹在溶剂与水层中间的原油的采收率, 自 1989 年以来, Husky 公司已对 6 个油藏进行了二次开发, 共计钻 11 口水平井, 一口水平段延伸井和一口垂直井再钻入井。每口井的弯曲段均采用中曲率半径, 但每口井的钻井、完井、开采所用技术及遇到的问题都极不相同。每口井在原油产量 (图 2) 和气油比 (图 3) 方面都优于同区块的垂直井。对这样大的一个油井项目来说是十分罕见的。这些井的效益都很好, 在平均不足一年的时间里, 累计产油达 590000m^3 , 其中大部分都是垂直井生产增产的油量。

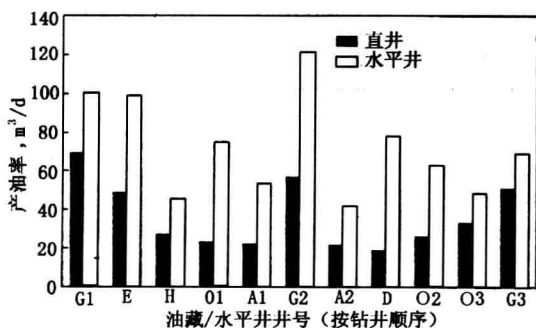


图2 产油率比较

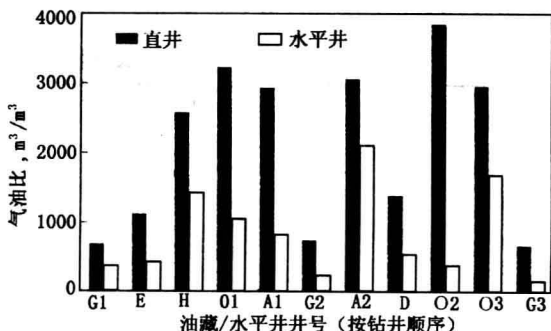


图3 气油比比较

从成功的水平井学到很多必须的技术和策略^[1-7], 本文只对其中最重要的加以叙述。

钻井操作

为了减少遇到贫油油藏或发生气涌的危险和评估未来开发的潜力以及解决循环漏失及井眼长度延伸等问题，我们做了多项技术改革。

一、钻先导井

钻先导井在两种情况下是很有用的（图 4），1989 年在 Rainbow 盆地 Key River G 油藏 11-29 井（1989）中钻了先导井并进行了取心、测井和钻柱中途测试等，确定了：①油/水界面位置，这一界面曾由于致密层的存在而模糊不清；②该不产油致密层的延伸范围。

在 E 油藏第二口中曲率半径井 R2-18（1990）中，钻了一个先导井，并进行了取心、测井和测试来确定礁群沉积的范围，而礁群即水平井的标的。

二、扭矩和阻力

E 油藏 R2-18 井原计划使弯曲井段裸眼以节省衬管的费用，但是由此造成的扭矩和阻力使得水平段只有 250m 长。四年后，弯曲井段和整个水平井井段都下了衬管，井又延长了 693m（图 5），而且没有扭矩和阻力的问题，增加的费用却是一口新水平井的三分之一。

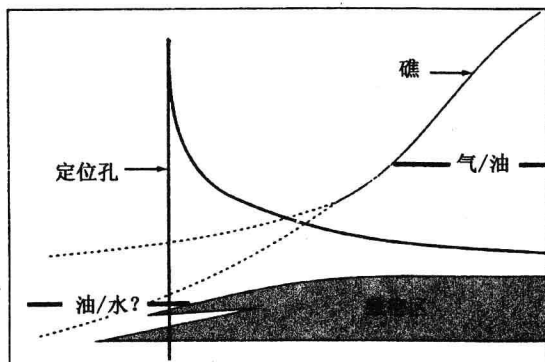


图 4 定位孔钻探情况

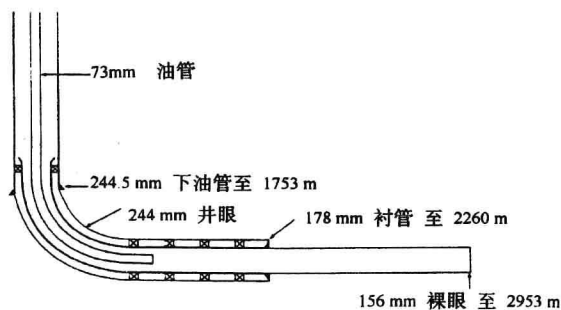


图 5 Rainbow R2-18-109-7W6M 井完井

在 Rainbow Keg River A 油藏的重钻水平井钻井过程中，使用了含碳酸钙微粒的高失水凝胶泥浆，故意对弯曲段的气层造成堵塞，这使得在水平段由于泥浆漏失而降低了循环压力，减少了气层的流入量。

在这口重钻井（Rainbow Keg River A 油藏 02/8-32 井）中整个弯曲井段和水平段的井眼尺寸是相同的，而且和 E 油藏的井一样弯曲井段也下了衬管（图 6）。与 E 油藏的井相比，这口井之所以没有扭矩及阻力问题是因为其较小的造斜率（ $8^{\circ}/30\text{m}$ ，而 E 油藏的井是 $14^{\circ}/30\text{m}$ ）和应用了更现代化的工具及钻井技术而钻成的更光滑的弯曲井段。这口井的生产能力已达预期值，现在正计划在其它区块钻几口重钻井。

三、侧向钻进暗礁

除去从垂直重钻的井外，1990 年之后钻的所有水平井都通过侧向钻进暗礁而避免了穿透渗透率极高的气层（图 7），这避免了钻水平井段打开高产气层，否则随时都有可能造成循环漏失。

四、循环漏失问题

在钻 Rainbow Keg River O 油藏的三口水平井时，发生了严重的循环漏失，第一次是在

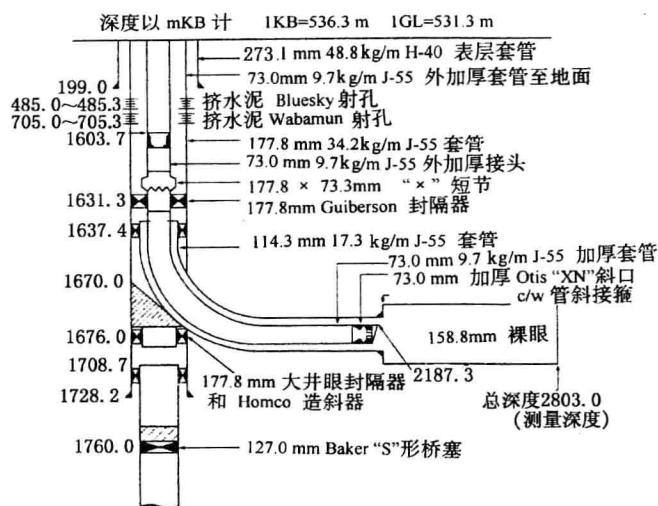


图6 Husky Mobil Rainbow 8-32-109-8W6 井
井底设备示意图

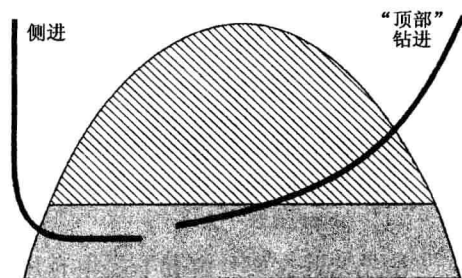


图7 侧向钻进礁层减少气涌危险

第一口井进入水平段后约70m的时候,用加碳酸盐的方法试了几次都没成功,因为由碳酸盐形成的桥塞被钻掉之后又发生了循环漏失。当时看来必须继续用昂贵的聚合物泥浆,但鉴于这高渗透漏失层的存在,我们决定不用聚合物—碳酸盐泥浆,因为这对地层伤害

的关系不大。在碳酸盐泥浆顶替过程中,井筒流动面上造成的循环小段塞的漏失,可能是由于碳酸盐颗粒在井筒中形成沉淀和桥塞,而不是愈合储层中的漏失层。同样,安全问题当时也关系不大,因为某些返出物排量高,并且起钻也比较安全。鉴于此,决定使用常规井下钻具组合,钻井液则改用低成本的常规循环漏失量的材料,所钻水平井段的截面应确保漏失层的愈合,然后重新下入定向钻具,采取这个对策的结果钻成了水平段661m。目前正计划从O油藏第一口水平井中再钻两个分支井。

完井与修井

一、选择性试井与增产措施

Rainbow 地区所有的水平井开始都是裸眼开采,只有一口井(H油藏 R11-29 井)需要实施增产措施以获得初始产量,但是也实施了其它一些增产措施,如:同时使用无接箍的油管和可膨胀跨式封隔器等控制井筒不同位置的流入量^[6]。

在D油藏3-9井,对起伏的水平井段的各部位同时采用了无接箍油管冲洗及跨式封隔器挤注酸化处理,以获得较高的采油量(图8)。这些措施未能成功地提高此井的产油量,但随着油层间隔离带向这口井移动而使之成为 Rainbow 油田最好的生产井之一。

二、层间隔离

在 Rainbow Keg River A 油藏的 R6-32 井中,为了降低生产油气比,使用了裸眼膨胀性封隔器和油管滑套^[5](图9),分隔了十个层段,其中一些层段通过滑套进行了增产措施,随后进行了选择性试井与生产测井。虽然有证据显示出封隔器有效地隔离了井中的不同部分(生产测井时的层间窜流与试井时某层出水),但是此装置并没有明显降低生产油气比(图10)。同样,在第二口安装多眼封隔器的 Rainbow Keg River H 油藏 R11-29 井,虽然增产措施证明层间分隔很好,但这些装置未能控制气油比。对第二套多级封隔器装置(图11)进行了两套革新:首先,对生产层下入化学剂注入管柱,用以减少固体沉积;其次,第一

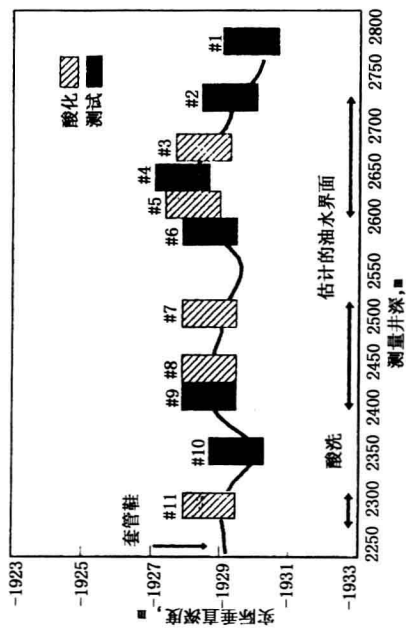


图 8 3-9 井的酸化与试井

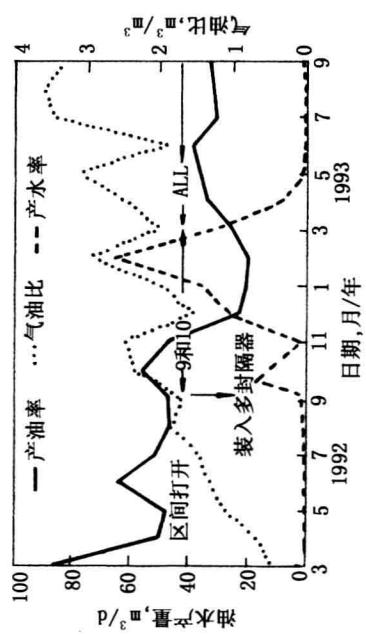


图 10 02/6-32 井的生产情况

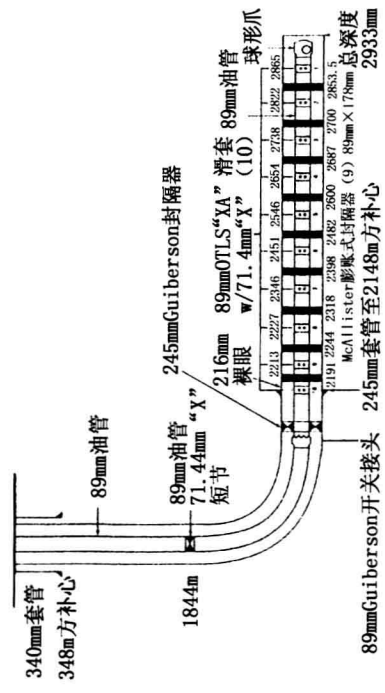


图 9 Husky Mobil Rainbow 02/R-32-109-8W6 井的
井底设备示意图

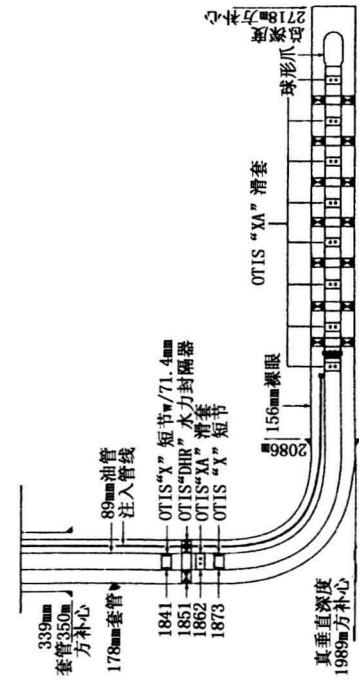


图 11 Husky Mobil Rainbow R11-29-108-8W6 井的
井底设备示意图

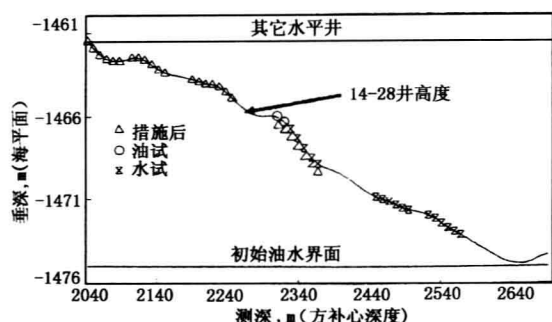


图 12 14-28 井纵剖面图

层可以通过垂直面上的滑套生产，这样就可用电缆工具进行选择测试，而不必象其它层段选择性试井那样用挠性油管传输工具。

第三口水平井是完钻于 Rainbow Keg River G 油藏的 14-28 井，为了穿过油/水界面而使井斜较小，选择试井时使用了跨式可膨胀封隔器，以确保测井能显示油/水界面，并且对产油层进行选择增产措施（图 12）。这口井没有封隔水层就投入了生产，这一作业成功地生产了纯原油，并正在从更深的井中识别一个大的采油目的层^[6]。

生 产

一、对策

这些井的生产方案是限制初始采油量在 $100\text{m}^3/\text{d}$ 以下，接着对气油比与水油比进行敏感性测试，这些测试都是逐步进行的，因为稳定时间长，如相对渗透率滞后（一旦形成气槽，就很难把它“合拢”）。典型的井口节流器要打开 0.8mm ，并保持两个月时间。如果产油量增加 5% 而气油比仍低于 $1000\text{m}^3/\text{m}^3$ ，那就再把井打开。

为了确定沿水平井段的流体类型和流入量进行了几种生产测井。在 G 油藏 16-29 井进行了包括转子流量计、温度、压力、放射性流体密度和示踪流体的速度的测井。转子流量计由于存在固体颗粒而被堵塞了，而多种测井的综合则显示出重流体堆积在弯曲段而静止重流体处于井段的低部位。流入剖面正比于裸眼测井的孔隙度，而从井段的远端的高流量除外，此外，不能获得测井的孔隙度、流体流入类型。

H 油藏 R11-29 井进行了一套相同的测井，另外还用了一套 TDT（热中子衰减时间测井仪）和一套井底流体取样器^[3]，温度及流体速度显示出气体从井段的中部流入。所有测井（包括流体取样）都证明该井最后 300m 井段没有流体进入。

在 A 油藏 R6-32 井，安装了多级封隔器与滑套装置，并在对低注入层进行了增产措施之后，进行了一套与 G 油藏 16-29 井相似的生产测井^[8]。测井数据表明，发生了较严重的层间窜流，但却不能确定流体类型，原因是生产压差极低和放射性密度计径向探测位置较深。

有几口井做了压力恢复试验^[1,2]。由于邻近油气界面、井筒存储效应大、压降小和缺少入井流体的资料帮助区别地层伤害和有效的井段长度等原因，一个数量级的渗透率和压降值可以从实验中确定。因为某些井的压差极小（ 30kPa ），需要把压力计安放在接近裸眼的井段位置，以尽量防止因流体的分离效应掩盖井的压差。

二、被控制的油水界面移动

Rainbow Keg River D 油藏的水平井 3-9 井，针对其高部位进行了增产措施，但仍为高含水，这证明该井是由于疏忽而布在油水过渡带上跟踪气顶指数（chase gas VRR）增高大于 1，迫使 D 油藏内的油带进入水平井。这项措施很成功，在图 13 的生产曲线上可以看得很清楚^[6]。

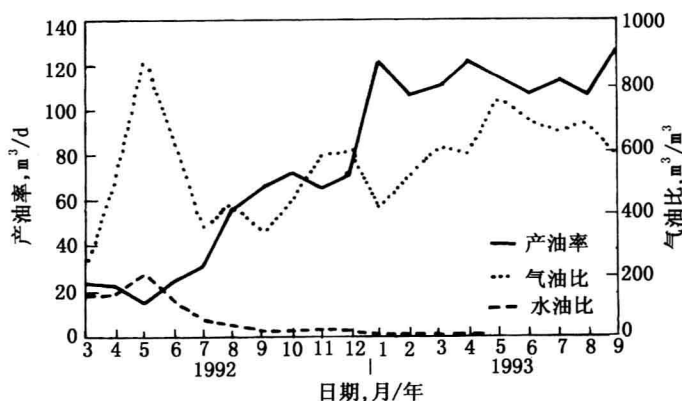


图 13 3-9 井的生产情况

三、井底节流器

Rainbow 油田的许多井都使用了井底节流器来防止蜡质原油堵塞井筒和近井口的地面设施。当主要压降（冷却带）接近井底时，高温地层就有机会在原油到达地面前重新加热流体。故可防止油管结蜡。为了防蜡有几口水平井使用了井底节流器，其中一口井发现还降低了生产气油比。因为这些水平井的压差很低，所以很难从地面控制压差，尤其是当生

产水油比或油气比（也就是静水压头）变化特别大时。在这种情况下，安装井底节流器，产出液量相对稳定，这样对地层压差也有稳定效应，此效应见 Rainbow Keg River E 油藏 R2-18 井^[3]（表 2）。

表 2 RAINBOW KEG RIVER 油藏水平井试井结果

日期	井底节流器 (mm)	井口油压 (kPa)	C ₅₊ (m³/d)	售油 (m³)	气 (10³/m³)	气油比 (m³/m³)
11 月 16 日	—	5800	90.2	113.2	53.50	593
12 月 03 日	10.3					
12 月 04 日	6.4					
12 月 09 日	6.4	4150	77.8	93.4	36.98	475
01 月 06 日	6.4	4200	93.1	108.3	37.67	404
01 月 09 日	6.4	4400	89.3	102.8	33.75	378
01 月 12 日	6.4	4350	88.8	104.6	38.15	430

四、用直井进行干扰试井

有两个实例认为直井的产出和注入对水平井的动态有一定影响，或是相反，于是进行了压力干扰试验以验证这一假设。

第一个实例，H 油藏的 horizontal 井生产的气油比大于预计值，人们怀疑可能是附近的一口直井产层中有气锥过来，或是从注入井中窜槽而来。因设备检修而油藏关井之后，在直井开井之前（图 14）于水平井内使用了石英压力计虽显示了一些干扰，但均在仪器精度范围之内。

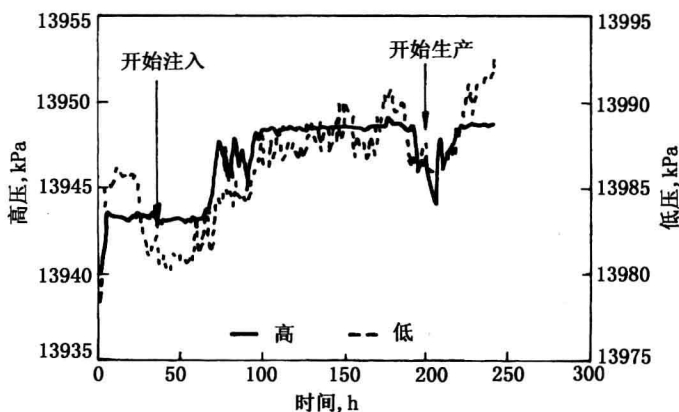


图 14 Keg River H 油藏——井间干扰

第二个实例，E 油藏正在延伸的一口水平井对周围的直井产生了正影响。短期关井之

后，在水平井开井以前在直井中下入了压力计，结果水平井开始生产后 4 小时，在直井中出现了压力变化。

五、化学剂注入管柱

在 Rainbow 混相驱中，溶剂和油混合产生沥青质沉积，当一层生产液为高含溶剂而其它为高含油时，这种混合和沉积容易在井筒内发生。通常首次是在井筒内的混合发生在油管的底部，但也可能发生在沿水平井段的任一点。当这种堵塞在井中开始时，自油管注入一种沥青溶剂，并经一段时间的浸泡，这些溶剂同时溶解沥青质并使其离开油管，这样可使其从井筒中产出。当井的堵塞发生的很快的时候，这种溶剂浸泡法就非常昂贵，不仅是由于化学剂的用量，同时也因为在堵塞和浸泡期间产量的损失。

Rainbow 油田有三口水平井使用了化学剂注入管柱。连续注入化学剂使得油管中没有沥青固体生成。首先装这套设备的是 D 油藏 3-9 井，一条 $\phi 33\text{mm}$ 的管柱从生成油管旁穿下去（图 15），这需要特殊的下管设备：双管封隔器和双管井口装置^[6]。第二口井是 H 油藏 11-29 井，是把一根 $\phi 9.5\text{mm}$ 的无接头管柱捆绑在油管上一起下入的（图 16），这需要较少的地面提升设备，但仍需要特殊的封隔器与井口。第三口井 G 油藏 11-28 井，是在生产油管已就位之后再下入的。一根 $\phi 31.7$ 的无接头管柱从生产油管中下入，并伸进水平井段 50m 后截断并排在油管头上。这样是最经济的装入法，但当有任何井下工具如生产测井设备要下入时，都得把此管柱提出来。

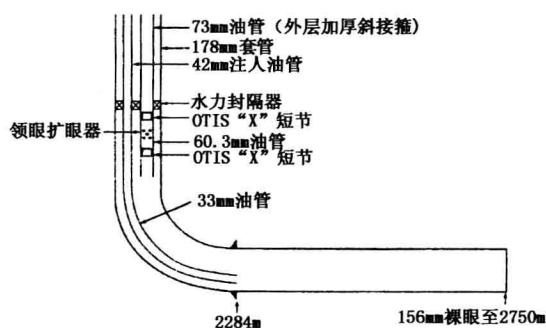


图 15 Rainbow 3-9-109-8W6M 井
当时完井情况

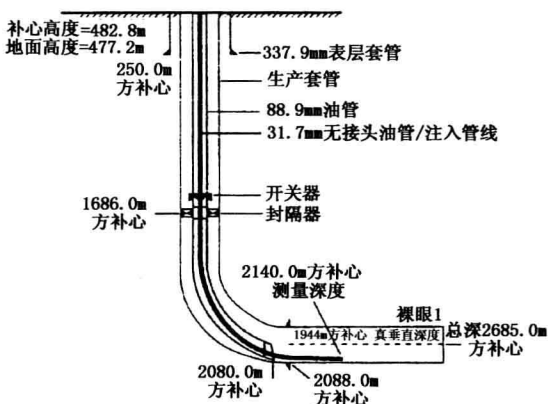


图 16 11-28-108-08W6M
水平井横截面

结 论

一、钻井

- 使用先导井眼可以确定主水平井井眼的最佳位置及最佳开发潜力；
- 侧向钻入礁层及对气层进行有意“污染”，降低井喷的危险；
- 常规循环漏失材料对水平井漏失层的弥合是最成功的；
- 采用中曲率半径钻井技术在弯曲段下入套管可减小扭矩和阻力。扩展已有水平井井眼比从已有的直井再侧钻要经济。

二、完井

- 使用多级封隔器进行选择试井与增产措施很成功，但封隔高气油比层至今未成功；

·使用斜井并进行选择性试井与增产措施成功地定位了油/水界面,使水层保持裸眼后产液中也不含水。

三、生产

·成功地做到了把油带移至水平井段的高度。压力干扰试验可以确定水平井与直井间的相互影响,这种影响并非总是负影响;

·井底节流器最初用于保持流体温度以减少结蜡,在特定流动条件下,又能稳定气油比;

·为防止沥青沉积,使用了几种不同的化学剂注入管柱设计方案,其中油管中下无接头管柱是成本最低的。

参考文献

- [1] Adamache, I., McIntyre, F. J., Pow, M., Lewis, D., Davis, R., Kuhme, A., Bloy, G., Van Regen, N., Butler, S., Sheppard, G., and Grenon, J. P.: "Horizontal Well Application in a Vertical Miscible Flood", CIM/SPE Paper No. 90-125 presented at the International Technical Meeting, jointly hosted by the Petroleum Society of CIM and the Society of Petroleum Engineers in Calgary, June 10-13, 1990
- [2] McIntyre, F. J., See, D. L., Mallmes, R. M., Burger, D. H., Tsang, P. W., Zanussi, L. M.: "Production Optimization of a Horizontal Well in a Vertical Hydrocarbon Miscible Flood Reservoir", CIM Paper No. 91-68 presented at the CIM/AOSTRA 1991 Technical Conference in Banff, April 21-24, 1991
- [3] McIntyre, F. J., See, D. L., Wong, F. Y., Fong, D. K., Adamache, I.: "Keys to Successful Application of Horizontal Wells in Rainbow Carbonates," CIM Paper No. 92-32 presented at the CIM 1992 Annual Technical Conference in Calgary June 7-10, 1992
- [4] Chernyk, J. F.: "Horizontal Drilling in the Keg River Carbonate Reefs", CIM Paper No. 92-27 presented at the CIM 1992 Annual Technical Conference in Calgary, June 7-10, 1992
- [5] Grenon, J. P. et al.: "Rainbow Keg River Horizontal Well Stimulation - Case Histories", presented at the Petroleum Society of CIM, Horizontal Well Special Interest Group, November 1992 One Day Conference on Horizontal Wells
- [6] Hunter, B., See, D., McIntyre, F. J.: "Challenges of Successfully Producing Horizontal Wells From Thin Oil Banks Between Water and Gas Zones in Rainbow Miscible Floods", presented at the SPE/CIM One Day Conference on Horizontal Well Applications held in Calgary November 1993
- [7] Fong, D. K., Wong, F. Y., McIntyre, F. J.: "An Unexpected Benefit of Horizontal Wells on Offset Vertical Well Productivity in Vertical Miscible Floods", to be presented at the Canadian SPE/CIM/CANMET International Conference on Recent Advances in Horizontal Well Applications held in Calgary, March 21-23, 1994
- [8] Wong, F. Y., Fong, D. K.: "Developing a Field Strategy to Eliminate Crossflow Along a Horizontal Well", to be presented at the Canadian SPE/CIM/CANMET International Conference on Recent Advancements in Horizontal Well Applications held in Calgary, March 21-23, 1994

2 萨斯卡彻温省已成熟 轻质和重质油藏的再开发实例

David Bohun and Steve Sugianto

John Chodzicki and Bill Beckie

Wascana Energy Inc.

刘尚奇 编译 岳清山 校

摘要 本文回顾了几个已成熟的重质和轻质油藏利用水平井再开发的实例。其中之一是密西西比 (Mississippian) 碳酸盐岩油藏, 该油藏初始以 4000m^2 井网开发, 并接着进行了水驱。目前, 该油藏有两口水平井。

另一个实例是 Cummings/Dian 底水重油油藏, 地下原油粘度超过 $3000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。该油藏用 16 口直井以 $16\times 10^4\text{m}^2$ 的井网进行了部分开发 (当认识到最终开发在经济上不可行时, 终止了进一步的开发)。目前, 该油藏有 32 口水平井, 并且整个开发方案中还计划每年钻一定数量的水平井, 使原油产量保持稳定。

第三个实例是 Manville 砂岩稠油油藏, 地面原油粘度为 $15000\sim 30000\text{mPa}\cdot\text{s}$, 以 $16\times 10^4\text{m}^2$ 的井网钻井, 采用一次枯竭式开采 (溶解气驱)。目前, 该油藏已加密钻了 10 口水平井, 现在的日产量为 1988 年实施再开发时的 5 倍。

为了使增加的可采储量 (与加速采油相反) 定量化, 在每个实例中, 都分析了水平井生产前后的历史。

引 言

由于水平井技术的应用还处于初期, 这样, 有关现有油藏利用水平井再开发的历史动态数据还很少。因而, 提出的一个问题是: “水平井确实能增加采收率还是它们仅能加速现有可采储量的开发?” 本文讨论了 3 个以前用垂直井开发, 而现在用水平井或水平井与垂直井组合开发的油藏。这 3 个油藏是: Edam 西 Sparky 砂岩油藏、Midale Beds 油藏五单元与 Winter Cummings 砂岩油藏。图 1 示出了这些油藏的相对位置。

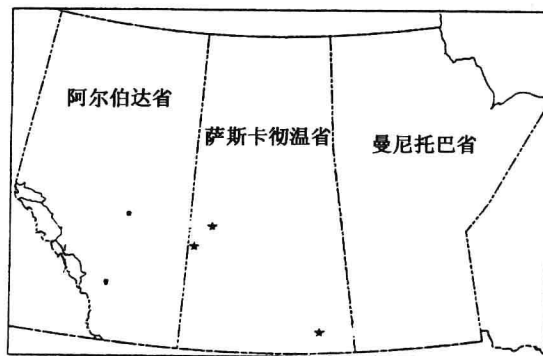


图 1 油藏位置图

选择这 3 个油藏的原因是: 只有这些油藏有足够的生产数据来分析生产动态, 并确定水平井的整体效果。通过递减分析估算了初始开发的可采储量和水平井再开发的可采储量。这项工作仅着眼于探明已开发的可采储量, 而不

讨论其它的或最优的再开发。本文所指的可采储量是作者为了本文的目的而作的解释，未必反映 Wascana 能源公司所取的值。

Edam West Sparky 砂岩油藏

Wascana Edam West 油藏位于萨斯卡彻温省 Lloydminster 以东 80km。产油层由 Waseca 和 Sparky 薄互层区域砂与 Sparky 厚层河道砂组成。该油藏于 1981 年发现。Sparky 河道砂是 1983 年钻 10—24—48—21 井发现的。

Wascana 公司操作并拥有大约 100 口 Waseca 和 Sparky 层的产油井。目前的总产量为 510m³/d。

1988 年在 Sparky 河道砂钻第一口水平井 C10—24—48—21W3M 井，从而开始了水平井的钻井程序。令人鼓舞的开采效果导致后继的钻井计划，到现在为止，Wascana 公司共钻了 10 口水平井，但本文主要研究的仅是从 1988 年到 1992 年所钻的前 6 口水平井。

Sparky 河道砂是一种潮汐河道砂沉积，区域性走向为东—西，但在 24 块局部为南西—北东走向。水平夹层普遍存在，但一般很薄。这种河道砂地质非常适合水平井开发，沿河道走向水层厚度超过 20m。

Sparky 河道油藏具有良好的孔隙度 (34%)，油层部分的平均含水饱和度为 10%~25%，下面是有限的无源水层。水平渗透率在 7μm² 以上。死油粘度为 15000~30000mPa·s，估计原始油藏压力为 3300kPa。采油机理为溶解气驱。

在 24—48—21W3M 块，有 16 口垂直井和 10 口水平井 (图 2)。目前的总产量约为 185m³/d，垂直井的产量从 0.5m³/d 以下到 12m³/d，水平井的产量为 12~45m³/d。产量低的垂直井有严重的产水问题，水平井的产量一般为垂直井的 3~10 倍。

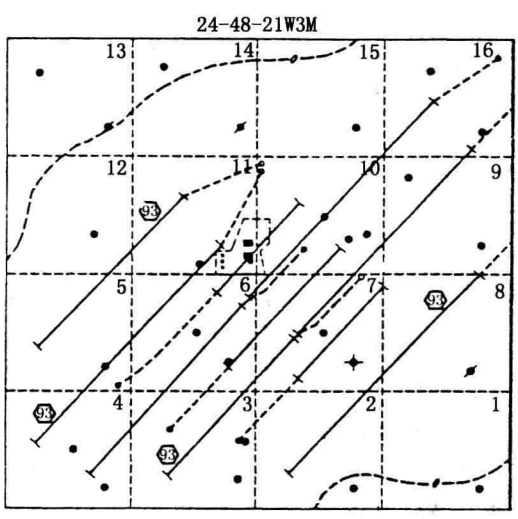


图 2 EDAM 块水平井项目

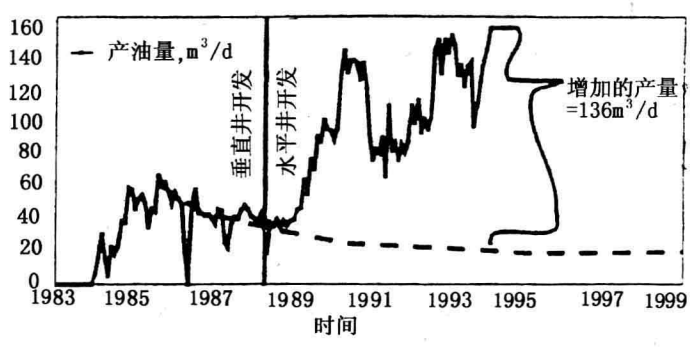


图 3 水平井在溶解气驱油藏中的应用
(Edam West Sparky 河道砂)

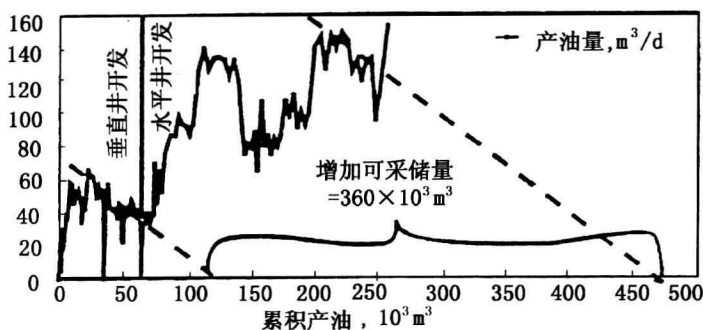


图4 水平井在溶解气驱油藏中的应用
(Edam West Sparky 河道砂)

图3概括了全部井的生产动态。估计前6口水平井增加的产量约为136m³/d。图4展示垂直井和水平井的可采储量预测。估计6口水平井所增加的可采储量约为360000m³。

Midale Beds 水驱油藏 Weyburn 五单元

Weyburn 五单元是萨省东南部大 Weyburn 单元的北部延伸部分。该油藏从 Midale 层油层采油，该油层由泥灰岩 (Marly) 层 (一种微晶白云石化的石灰质泥岩) 和溶洞 (Vuggy) 层 (一种孔隙尺寸变化巨大的微粒碎屑石灰岩) 组成。油藏驱动机理是溶解气驱，因此，必须对该油藏进行水驱以采出额外的可采储量。该油藏明显有一 NE—SW 渗透带，使带上的生产井过早水淹。

20 世纪 70 年代末和 80 年代初进行开发钻井，1988 年开始进行水驱开发。水驱反应相当快，特别是渗透带上的生产井。1989 年和 1990 年又钻了加密井。该单元如图 5 所示。

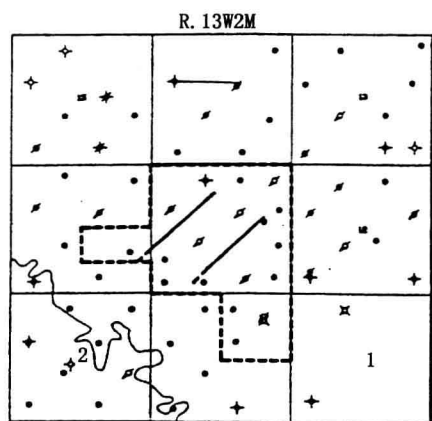


图5 水平井/水驱开发

Marly 层是水平井钻井的主要目的层，油残留于注采井排之间的地带，人们深信通过布置与渗透带平行的水平井可采出这些原油。该层段的油层厚度变化为 1~4m，孔隙度 22%，渗透率 $5 \sim 20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。原油粘度为 1.2mPa·s，可以有效地进行水驱。

1991 年 8 月在该单元钻了第一口水平井，9B—11—7—13W2。其初始产油 50m³/d，但递减很快。如图 6 所示，水平井大大地增加了单元产量。相应地，随着水平井产量的递减，单元产量也减少。1992 年 5 月一口注入井的转注以适当恢复亏空，水平井与周围直井的产量有几个月增加。

1992 年 12 月钻了第二口水平井：14A—11—7—13W2。该地区的开发不如预期的好，井的初始产量 20m³/d，但以后几个月内逐渐递减。为了加速该新井周围区域的亏空驱替，1993 年 10 月转注了一口注入井。目前，该单元有两口水平井，6 口注入井和 11 口垂直生产井。单元总产量是 78m³/d，其中两口水平井的产量为 43m³/d。

钻水平井前所作的模拟工作表明，产量呈调和递减，这是水驱油藏的特征。正如在调和