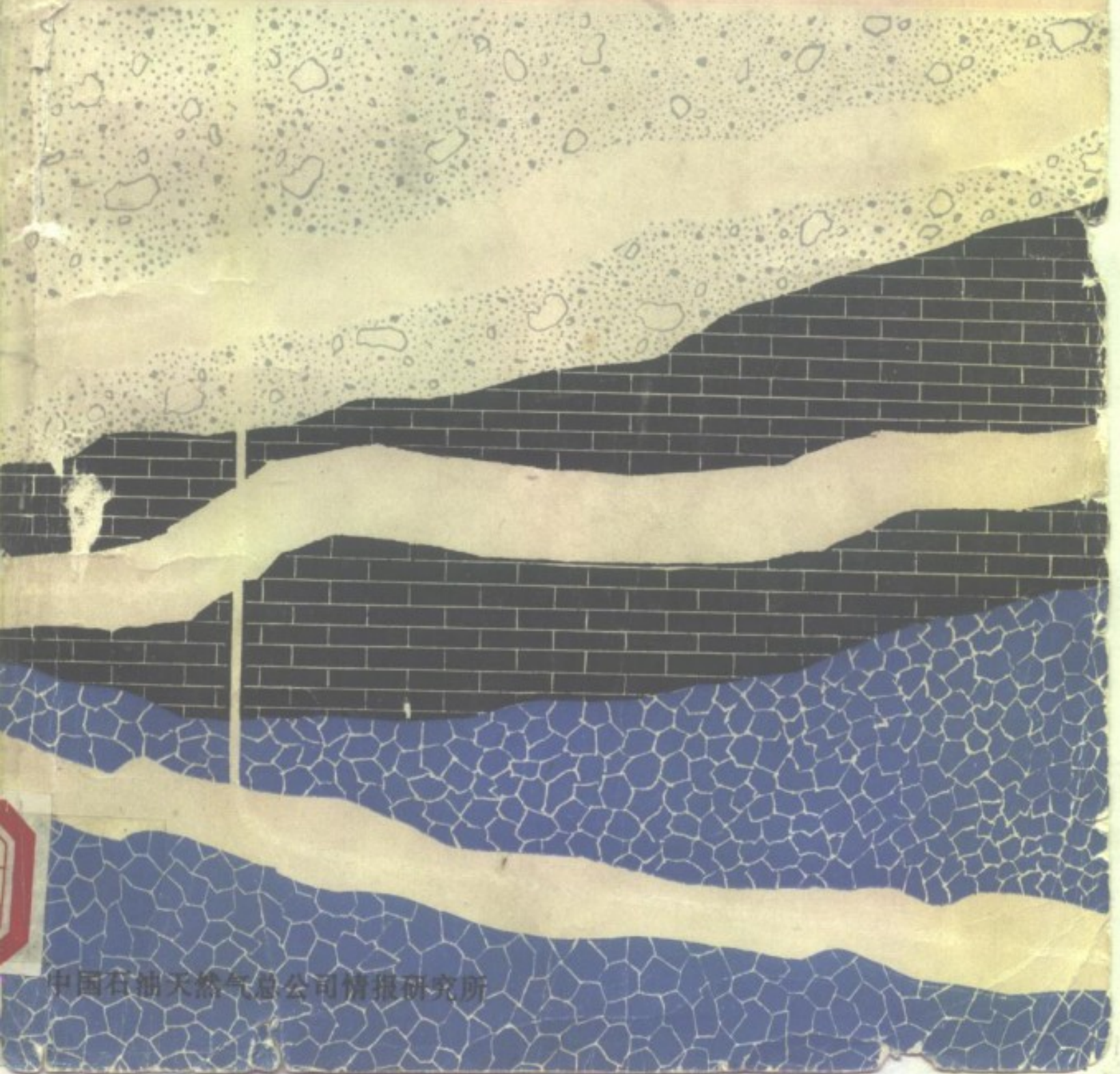




国外水平井技术



中国石油天然气总公司情报研究所

063009



国外水平井技术



200433655

主 编

张组兴

责任编辑

张祖兴

司艳姣

5252/10



中国石油天然气总公司情报研究所

一九九二年七月

国外水平井技术

开本787×1092毫米1/12·印张39

字数：90万 印数：5500

单价：25.00元

1992年7月 北京第一次印刷

编辑：中国石油天然气总公司情报研究所

出版：中国石油天然气总公司情报研究所

印刷：北京市朝阳区新源印刷厂

发行：中国石油天然气总公司情报研究所

邮编：100011（北京安外安华里二区三号楼）

出版说明

运用水平井技术开发许多油气藏的经济效益日益显著,大致可使单井产量增加4—5倍。为此,自80年代中、后期起,已在世界各地相继钻成了数千口水平井,并获得了重大的勘探开发经济效益,同时也逐步发展了一套可钻不同类型水平井的钻井技术。我国也不例外,在1991年全国成功地钻成了10口水平井,也取得了很好的勘探开发经济效益。为了更好地在我国发展水平井技术,我们根据总公司钻井工程局的指示和要求,将一套用外汇买来的水平井资料进行了整理和选择,本着实用、参考价值较大、可为我所用等宗旨,选编成此书,以奉献给广大钻井工作者。

总公司钻井工程局的倪荣富高级工程师和总公司勘探开发科学研究院钻井所的周煜辉高级工程师(教授级)为本书的选题和出版作出了重大的贡献,在此表示衷心的感谢。

全国各油田对出版此书在经费和工作上给予了大力支持和帮助,在此亦表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,在翻译、审校、编辑、出版过程中难免有差错,恳请广大读者批评指正。

中国石油天然气总公司
情报研究所
一九九二年七月

目 录

一、DEA-44油藏模型.....	(1)
1. 油藏筛选模型.....	(1)
2. 油藏筛选程序.....	(1)
3. RESMOD 3模型描述.....	(2)
4. RESMOD模型必要的输入参数.....	(6)
5. RESMOD VWELL模型(未压裂直井).....	(8)
6. RESMOD HWELL模型(未压裂水平井).....	(8)
7. RESMOD VFRAC模型(水力压裂直井).....	(9)
8. RESMOD HFRAC模型(水力压裂水平井).....	(12)
9. RESMOD NFRAC模型(穿过若干条天然裂缝的水平井).....	(15)
10. RESMOD模型运算.....	(17)
11. 直井历史拟合模型(VMATCH).....	(21)
12. RESMOD模型拟合实例.....	(25)
13. CONMOD模型(底水锥进模型).....	(32)
14. HOTWELL模型(水平井、重油模型).....	(38)
15. HOPE模型(井筒多相流模型).....	(40)
16. JRATIO模型(生产指数比).....	(41)
二、影响直井和水平井动态的油藏因素.....	(47)
1. 直井和水平井的基本流动方程.....	(47)
2. 直井与水平井的产能比.....	(47)
3. 影响产能比的因素.....	(48)
4. 产能比PC模型(JRATIO).....	(48)
5. 实例(未压裂的直井和水平井).....	(48)
6. 水力压裂的直井与水平井的比较.....	(50)
7. 实例(压裂和未压裂的直井).....	(52)
8. 水力压裂的水平井.....	(53)
9. 天然裂缝油藏.....	(55)
三、井眼轨迹设计模型(GCURVE)理论及用户手册.....	(58)
1. 前言.....	(58)
2. 基本井眼轨迹.....	(60)
3. 倾斜地层中的井眼轨迹(INCBED).....	(61)
4. 斜井眼中造斜.....	(63)
5. 单圆弧造斜段(水平目的层)(CIRKOP)(CIRBR).....	(64)
6. 双圆弧造斜段(水平目的层)(DCIRCLE).....	(66)

7. 双圆弧造斜段 (倾斜目的层) (DCIRCLEI)	(68)
8. 稳斜/圆弧造斜段 (水平目的层) (TCIRCLE)	(72)
9. 稳斜/圆弧造斜段 (倾斜目的层) (TCIRCLEI)	(75)
10. 一般稳斜、造斜轨迹 (水平目的层) (GENKOP)(GENL)(GENBR)	(79)
四、井底钻具组合的力学模型 (BHAMECH) 理论和用户手册	(89)
1. 引言	(89)
2. 数据输入	(90)
3. 井底钻具组合力学模型 (BHAPATH) 的摘要说明	(92)
4. 井底钻具组合模型 (BHA)	(94)
5. 带弯接头的BHA	(97)
6. 求解方法	(98)
7. 钻头和地层的各向异性指数及井眼轨迹计算	(99)
8. 计算机程序	(102)
9. 例子及讨论	(105)
10. 结论评述	(110)
11. 研究BHA和井眼轨迹的BHAPATH计算机程序	(111)
五、圆管的弯曲模型 (TBEND) ——理论和用户手册	(117)
1. 前言	(117)
2. 引言	(119)
3. 数据平滑处理和样条内插	(120)
4. 弯曲井眼中钻柱的平衡方程	(121)
5. 误差分析	(125)
6. 用于估算阻力的近似公式	(136)
7. 结论	(138)
六、扭矩/摩阻力计算	(144)
1. DDRAG (钻柱扭矩/摩阻力模型)	(144)
2. LDRAG (尾管注水泥扭矩/摩阻力模型)	(154)
3. CDRAG (软管扭矩/摩阻力模型)	(157)
七、定向控制	(161)
1. 定向控制工具	(161)
2. 下部钻具组合 (BHA) 计算机模型	(176)
3. 水平井钻井系统	(188)
4. 造斜段轨道控制	(195)
5. 稳斜段轨迹控制	(197)
6. 定向控制中的复杂情况和 问题	(198)
7. 可达到的水平定向控制 精度	(198)
8. 评论	(207)
八、水平井钻井系统	(218)
1. 超短曲率半径钻井系统	(219)

2. 中曲率半径钻井系统	(232)
3. 长曲率半径钻井系统	(248)
九、水平井钻井液技术	(251)
1. 水平井对钻井液的要求	(251)
2. 岩屑输送分析	(263)
3. Helder 油田实例	(273)
4. Prudhoe 海湾实例	(274)
5. Tangleflags 重油油藏实例	(279)
6. 萨斯喀彻温 Edam 地区的钻井实例	(287)
7. 结论和建议	(301)
十、井眼净化	(307)
1. 井眼净化	(307)
2. 现场经验做法	(320)
十一、注水泥	(332)
1. 环形空间全部充满水泥浆	(332)
2. 套管居中	(335)
3. 转动和上下活动尾管	(338)
4. 提高泥浆屈服值	(343)
5. 不要超过初始破裂压力	(348)
6. 使用泡沫水泥浆	(349)
7. 在侧钻水泥塞中限制使用缓凝剂	(351)
8. 使用带密封件的滤砂管	(352)
9. 现场经验	(354)
10. 软管注水泥	(354)
11. 法国埃尔夫公司和石油研究院的注水泥研究工作	(355)
12. Halliburton公司注水泥研究工作	(357)
13. Maersk油气公司的经验	(358)
十二、套管和尾管	(362)
1. 套管下到井底	(362)
2. 套管过度磨损	(369)
3. 工业界的经验	(371)
十三、完井设计	(374)
1. 完井方法选择	(374)
2. 水平井完井实例	(380)
3. 完井方法选择标准	(387)
十四、水平井测井	(390)
1. 将测井仪传送到井底	(390)
2. 传送系统	(391)
3. 管子传送的测井仪	(391)

4. 泵送测井系统	(401)
5. 挠性油管传送系统	(403)
6. 传送系统的比较	(416)
7. 测井仪长度的限制	(416)
8. 泥浆录井	(416)
9. 现场水平井测井问题	(419)
十五、砾石充填	(424)
1. 砾石充填设备	(424)
2. 砂丘层	(426)
3. 采用预填砾石筛管	(427)
4. 采用层段隔离筛管	(429)
5. 振动筛管	(430)
6. 超短曲率水平井的砾石充填	(437)
十六、封隔器	(443)
1. 水力式封隔器	(443)
2. 下封隔器	(445)
3. 过早坐封	(447)
4. 膨胀式套管外封隔器	(449)
5. 连续油管可回收封隔器	(454)
十七、增产措施	(459)
1. 酸化	(459)
2. 水力压裂(油藏选择)	(463)
3. 水力压裂(井眼方位)	(463)
4. 水力压裂设备	(469)
5. 支撑剂输送	(475)
6. 水力压裂(油藏预测)	(478)
7. 水力压裂(工业经验)	(482)
十八、11号水平井钻井实例	(495)
十九、13号水平井钻井实例	(514)
二十、24号水平井钻井实例	(536)
二十一、28号水平井钻井实例	(557)
二十二、47号水平井钻井实例	(576)
二十三、58号水平井钻井实例	(597)

DEA-44油藏模型

一、油藏筛选模型

关于DEA-44项目已推导出六个PC解析筛选模型：

- (1) RESMOD——存在水力压裂裂缝和天然裂缝的均质油藏模型
- (2) VMATCH——直井历史拟合模型
- (3) CONMOD——存在水锥和气锥的油藏模型
- (4) HOTWELL——重油模型（水平井相互平行）
- (5) HOPE——井筒多相流模型
- (6) JRATIO——水平井/直井生产指数比模型

这些PC解析程序计算速度快，深受用户欢迎，并且能提供可靠的初步近似产能和经济指标。在通过筛选模型识别出有开采价值的油藏后，可以采用主体数值模拟器进行细致的研究。

本章简要描述了这些模型，并给出了如何采用这些模型进行油藏筛选的方法。有关这些模型的更详细的论述请看DEA-44报告——水平井油藏模型。

二、油藏筛选程序

油藏筛选程序包括如下几个步骤：

第一步：从该油田的一口“平均”直井中采集数据。

第二步：用RESMOD直井模型（VWELL）对该油田一些直井的实测数据进行历史拟合，并确定合理的油藏参数。

第三步：用第二步所确定的油藏参数来预测水平井产量，并与压裂和未压裂直井的产量作对比。

- (1) VWELL——未压裂直井
- (2) VFRAC——水力压裂直井
- (3) HWELL——未压裂水平井
- (4) HFRAC——水力压裂水平井
- (5) NFRAC——天然裂缝油藏水平井

第四步：对有可能和有必要的区块进行细致的油田研究和油藏模拟等。

第五步：列出每个候选区块的风险大小和目标。

三、RESMOD 3模型描述

RESMOD 3 模型是由较早期的RESMOD 2、HFRAC和NFRAC模型汇编成的。这个联合模型加强了窗口型输入、改善了图形输出、在进行各类井对比时它更通用。

RESMOD 3 含有五个不同的模型，如图 1 所示。

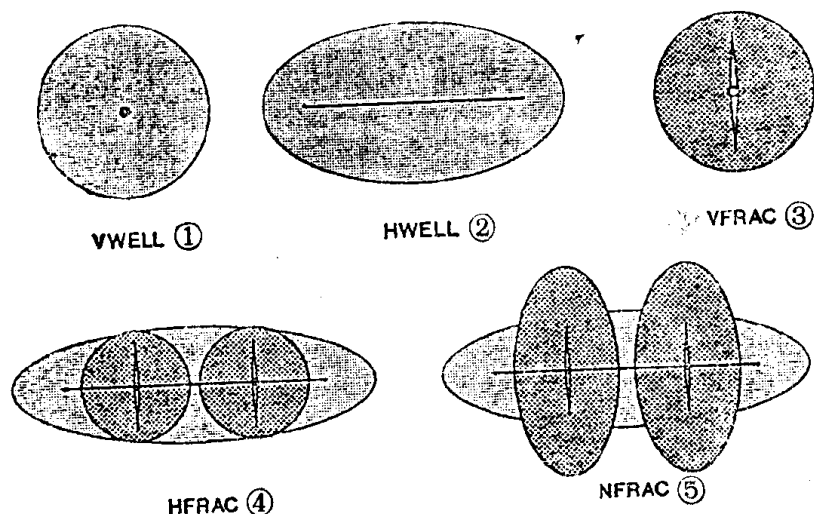


图 1 RESMOD油井模型

①直井模型 (VWELL) ; ②水平井模型 (HWELL) ; ③直井压裂模型 (VFRAC) ; ④水平井压裂模型 (HFRAC) ; ⑤天然裂缝模型 (NFRAC)

RESMOD 3 模型为用户提供了13种不同的选择，通过这13种选择，用户可以利用该程序预测出均质油藏中未压裂直井和水平井的产量与经济指标。

(1) VWELL——直井(无裂缝)；

(2) HWELL——水平井(无裂缝)。

用户可以单独运算这些模型(选择项12或13)，或者从下列模型中再选择一个外加模型，与上述两个模型进行对比。

(1) VFRAC——直井(存在水力压裂裂缝)；

(2) HFRAC——水平井(存在水力压裂裂缝)；

(3) NFRAC——水平井(存在天然裂缝)。

最多可以同时运算三个模型。

用户还可以选择：

(1) 油；

(2) 气；

和下面三个水力压裂模型中的任一个：

(1) McGuire和Sikora (油和气) 模型；

(2) Prats模型(油和气)；

(3) Tannich和Nierode模型(气)。

因此，用户可以采用模型选择方法，根据程序的主菜单从表 1 所示的13种不同的模型构型中选出任何一种。

表1

RESMOD模型选择

选择项	流体	模 型
1	油	VWELL+HWELL+VFRAC (Prats)
2	油	VWELL+HWELL+VFRAC (M和S)
3	气	VWELL+HWELL+VFRAC (Prats)
4	气	VWELL+HWELL+VFRAC (M和S)
5	气	VWELL+HWELL+VFRAC (T和N)
6①	油	VWELL+HWELL+HFRAC (Prats)
7①	油	VWELL+HWELL+HFRAC (M和S)
8①	气	VWELL+HWELL+HFRAC (Prats)
9①	气	VWELL+HWELL+HFRAC (M和S)
10	油	VWELL+HWELL+NFRAC
11	气	VWELL+HWELL+NFRAC
12	油	VWELL+HWELL
13	气	VWELL+HWELL

① 原文表1中第6、7、8、9行第三栏第三项为VFRAC有误，已更改为HFRAC。——译者注。

1. 模型假设

用户了解模型的限制条件和假设条件，由此可以根据需要适当改变输入参数，这一点是非常重要的。有关模型的详细解释请看DEA-44报告：“油藏模拟”。下面给出模型中最关键的特性参数。

1) 均质

实际上，纯粹均质油藏几乎是不存在的。大多数非均质油藏都具有变化的特性，这些特性可以通过一套“平均”参数相当精确地进行描述。把这些“平均”油藏参数的输入数据用来表示直井所控制的整个泄油面积内的特征。因此，这种模型最可信的方面是可以改变诸如孔隙度、渗透率和厚度等参数，使其与实际的直井动态较好地拟合。

2) 封闭边界

该模型假设直井正在泄油，其泄油半径以无流动边界为界确定。这些假设使有效的驱动能量和总可采油量受到限制，同时，还假设，在整个泄油面积范围内，油藏具有相同的水动力系统。

3) 单相流

这个模型仅适用于模拟单相流，因此，不考虑水和（或）气（产油情况）引起的相对渗透率下降。考虑这个影响的方法可以是提高表皮系数或降低渗透率。

4) 拟稳态流

该模型没有考虑波动或不稳态流生产，因此，当与传统的直井初始产量相比时，有可能低估水平井的初始产量。在产量波动很大的地区，最好不考虑早期的生产剖面，而与直井的稳态递减阶段相拟合。

5) 泄油面积

该模型假设，水平井的泄油区是一个椭圆形区域，其短轴长度等于直井的限定泄油半

径, 椭圆的焦距长度等于水平井的水平段长度。产能预测对直井的限定泄油半径敏感。直井的泄油半径越小和水平井越长, 则预测的水平井比直井的产能增加倍数越大。

6) 垂向渗透率与水平渗透率

对于直井来说, 所有的流动都是沿水平方向的, 因此, 只有水平渗透率对流量有影响。对于水平井来说, 有一部分流体穿过地层垂直到水平井, 因此, 在这种情况下, 地层的水平渗透率和垂向渗透率对流量都有影响。水平渗透率与垂向渗透率的比值越高, 则所预测出的水平井的流量越低。大多数水平井段是沿着水平段长度呈正弦波动的, 因此, 水平段往往穿过水平渗透率阻挡层(即, 致密薄间层)。该模型没有考虑这种因素, 因此, 对渗透率各向异性较大的情况或在水平井倾斜穿过垂向阻挡层的情况, 应用该模型应谨慎。

7) 油藏压力

RESMOD 3 模型假设在限定的泄油区椭圆形外边界处是等压的。驱油能量仅限于弹性驱(体积膨胀), 因此, 在这种情况下, 产能预测不会从未泄油(即未衰竭)油藏处受益。同时, 既不会受益于外界的压力保持(即天然水驱), 也不会受益于重力泄油作用。在许多情况下, 这三种因素是同时存在的。

8) 井筒压力

该模型根据油藏边界和井筒之间所出现的压降来预测驱动能量。目前的RESMOD3模型没有考虑井筒中的压力损失, 但井筒中的压力损失系数对于高产井(5000—10000桶/日)或水平段较长的重油开采井来说可能是很重要的。DEA-44项目已编出了一个称为“HOPE”的程序, 用该程序可以预测出井筒中每一段的多相流压降。在井筒中的压降有较大影响的情况下, 可以采用“HOPE”程序来计算沿井段长度的压力损失。然后, 设井筒中点的压力等于井筒压力, 以近似计算出该因素对水平井产能的影响。

9) 水平井长度

尽管模型假定沿着井筒的向井流动是均匀分布的, 但生产测井表明, 在实际过程中, 流入水平井中的流动常常是不均匀的。油藏变化越大, 则沿水平井筒的向井流越不均匀。油藏的横向变化越大, 水平井越有可能沿水平段方向接近“温和点”(Sweet spots)。钻井技术水平正在不断提高, 而且统计表明, 在完井设计简单的情况下, 加长水平段对于水平井成本并不是一个主要的影响因素。用户可以根据油田边界和钻井作业的限制确定水平段长度。应该进行井筒长度的敏感性试验, 以便检验钻出产层或钻遇数量不等的产层的影响。

10) 残余油饱和度(直井和水平井)

该模型允许用户对直井和水平井选用不同的残余油饱和度。变化残余油系数使产量递减曲线的形状发生改变, 但这并不影响初始产量。在最坏的情况下, 应把直井的残余油饱和度用于水平井。然后, 应用越来越低的水平井残余油饱和度来判断这个参数的影响。

11) 表皮系数

在这个模型中, 表皮损害是所采用的变化最大且未知的参数。在这种情况下, “表皮”可以指诱导表皮系数和动力表皮系数两种效应。把这个参数用压力损失单位表示, 它所造成的产能损失大小与直井的数据相同。也就是说, 若表皮系数为1使直井的产能降低20%(与表皮系数为零的情况比), 那么, 表皮系数为1也将使水平井的产能降低20%。对于水平井来说, 沿着水平段的全长, 其产能的损失都是20%。因此, 该模型允许用户对直井和水平井选择各自的表皮系数值, 其原因是:

(1) 有可能减小水平井油井平面内汇流点处的动力表皮效应。

(2) 许多作业者把水平井钻井看成是“完井”活动，并且集中精力来减小钻井或完井的地层损害或由这些作业引起的诱导表皮效应。

用户首先应该采用在进行直井生产历史拟合时所确定的表皮系数值。然后，用较大和较小表皮系数值进行敏感性分析，来确定表皮效应的大小对水平井产能的影响。

12) 驱油机理

(1) 原油内能衰竭驱动——假定产量递减速度与层内剩余可采储量成正比，结果以指数递减曲线表示：

$$Q(t) = Q(0) \cdot \exp(-ct) \quad (1)$$

式中：Q(t)——t时刻的产量；

Q(0)——t=0时的产量；

c——Q(0)与t=0时地层内可采储量之比；

t——时间。

(2) 气体内能衰竭驱动——封闭边界内储藏降压开采。

(3) 无重力影响。

13) 原油可采储量

(1) 原油可采储量等于原始含油饱和度减去残余油饱和度乘以地层孔隙体积。

(2) 水平井采油的残余油饱和度可能与直井采油的残余油饱和度不同。

14) 流体特性

(1) 凡·盖尔(1946)提出的曲线，根据原油API重度和地层温度查出原油粘度或把API重度和地层温度直接输入计算机计算出原油粘度。

(2) 用Lee等人(1966)的公式，根据气体比重、压力和温度确定气体粘度。

(3) 根据气体比重、压力和温度，用Thomas等人(1970)和Dranchuk等人(1974)的公式[以Standing和Katz的研究(1942)为基础]，确定气体的压缩系数。

15) 天然裂缝

假设天然裂缝的导流能力是无限的，裂缝的长度相当于天然裂缝的全长。

16) 水平供油系数(HCF)

目前，对于水力压裂裂缝或天然裂缝性裸眼井筒，没有精确的解析解。在这种情况下，RESMOD模型要求输入水平供油系数(HCF)(从0到1)。HCF=0时得出保守值或下限，而HCF=1时得出上限或高值。若没有另外的资料可用，则建议取HCF=0.5。

17) 结论

对DEA-44筛选模型中原有的假设条件作了了解之后，用户可以很快地运算实例以便对直井生产进行最佳的历史拟合。有一批输入参数组，可以紧密地拟合实际油藏动态。对特定油藏和生产动态进行专门了解后将决定出：哪些特定参数组更适合指定的油田。确定了一组(或几组)与直井动态很好拟合的输入参数后，用户就可以采用这个模型来预测位于目的油藏中的水平井的产能。

得出了水平井的“基本”预测结果后，用户可以进行敏感性试验，以便确定各种情况的影响(例如，改变生产段长度、地层特性、压力、表皮系数等)。这些敏感性研究对于确定各种情况(例如，如果水平段长度只达到设计长度的一半，或只钻遇一条天然裂缝等等，那

么对该项目的经济效益将有何影响)下的相对风险性是很有用的。

四、RESMOD模型必要的输入参数

表2 和表3 列出了使用RESMOD 3 模型所要求输入的参数。

表2 RESMOD输入参数 (原油)

参 数	VWELL+HWELL ^①	VFRAC	HFRAC+NFRAC
产量输入参数:		另外的资料	
RE—垂向外泄油半径, {660英尺}	X		
R _w —井筒半径, {4.25英寸}	X		
K _H —水平透渗率, {20毫达西}			
K _v —垂向渗透率, {2毫达西}	X		
FC—水力压裂裂缝导流能力, {1000毫达西·英尺}	N/A	X	X
L—水平井的水平段长度, {2000英尺}	X		
HF—水力压裂裂缝半长度, {300英尺}	N/A	X	X
H—地层厚度, {40英尺}	X		
M _a —粘度, {3厘泊}	X		
P _e —外泄油压力, {1200磅/英寸 ² }	X		
P _w —井筒压力, {200磅/英寸 ² }	X		
P _{hi} —孔隙度, {20%}	X		
SOI—原始含油饱和度, {50%}	X		
SR _h —残余油饱和度 (HWELL), {20%}	X		
SR _v —残余油饱和度 (VWELL), {20%}	X		
SK _h —水平井表皮系数 (>=0) {0}	X		
SK _v —直井表皮系数 (>=0) {0}	X		
VOL—地层体积系数 (地面桶/地下桶), {1}	X		
t—所考虑的生产时间, {10年}	X		
HCF—水平供油系数 {0到1}, {0.5}	N/A		XX
裂缝条数 {2}	N/A		XX
裂缝位置 { }	N/A		XX
经济输入参数 (任选):			
C\$—采出油价格, {17美元/桶}	X		
ARP—收益率, {15%}	X		
HCh—水平井成本 {600000美元}	X		
HCv—直井成本, {400000美元}	X		
HCF—直井压裂成本, {200000美元}	N/A	X	
CPF—水平井压裂成本/裂缝, {400000美元/裂缝}	N/A		X
DCh—水平井的日作业费用, {200美元/日}	X		
DCv—直井的日作业费用, {100美元/日}	X		
DCF—压裂直井的日作业费用, {100美元/日}	X		
①所有的选择都包括这两种基本情况。			

表 3

RESMOD输入参数 (气)

参 数	VWELL+ HWELL ^①	选 择 模 型		
		VFRAC	HFRAC	NFRAC
产量输入参数:		另外的输入参数		
RE—一直井外泄气半径, {660英尺}	X			
R _w —井筒半径, {4.25英寸}	X			
K _H —水平渗透率, {1毫达西}	X			
K _v —垂向渗透率, {0.1毫达西}	X			
FC—水力压裂裂缝导流能力, {1000毫达西·英尺}	N/A	X ^②	X	
L—水平井水平段长度, {2000英尺}	X			
HF—水力压裂裂缝半长度, {300英尺}	N/A	X	X	
H—地层厚度, {40英尺}	X			
G—气体比重, {0.66}	X			
P _e —外边界压力, {200磅/英寸 ² }				
P _w —井筒压力, {200磅/英寸 ² }	X			
T _r —气藏温度, {140°F}	X			
Ph _i —孔隙度, {20%}	X			
SK _h —水平井表皮系数 (>=0), {0}	X			
SK _v —一直井表皮系数, (>=0), {0}	X			
t—所考虑的生产时间, {10年}	X		X	X
HCF—水平井供油系数 (0到1), {0.5}	N/A		X	
裂缝数 {2}	N/A		X	X
裂缝位置 { }	N/A		X	X
经济输入参数 (任选):				
C\$—产出气价格, {2美元/千英尺 ³ }	X			
APR—收益率, {15%}	X			
HCh—水平井成本, {600000美元}	X			
HCv—一直井成本, {400000美元}	X			
HCF—一直井压裂成本, {200000美元/ 裂缝}	N/A	X		
CPF—水平井压裂成本/裂缝, {400000美元/裂缝}	N/A		X	
DCh—水平井日作业费用, {200美元/日}	X			
DCv—一直井日作业费用, {100美元/日}	X			
DCF—压裂直井日作业费用, {100美元/日}	X			

①所有的选择都包括这两种基本情况。

②Tannich和Nierode气体模型要求输入裂缝宽度 (英寸), 而不是裂缝的导流能力 (毫达西—英尺)。

由于许多公司都喜欢用他们自己的经济计算程序, 因此, 经济计算的输入参数是任选的。

HCF是水平井供油系数，对于裸眼水平井来说，该系数在0和1之间（如后面所述）。除非用油田的关系式得出更好的数值，否则应取HCF=0.5。

五、RESMOD VWELL模型（未压裂直井）

VWELL PC模型适用于描述无水力裂缝或天然裂缝的均质油藏中直井的稳态流情况，这口直井的泄油面积是一个半径为 R_e 的圆，如图2所示。

用常规达西公式计算直井产量如下：

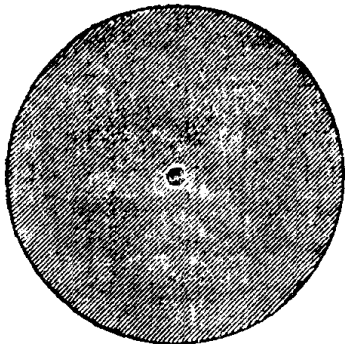


图2 直井的泄油面积
(VWELL)
①VWELL模型

$$Q_v = \frac{2\pi K_H H B [P_e - P_w]}{\mu \left[\ln \left[\frac{R_e}{R_w} \right] + S \right]} \quad (2)$$

- 式中： K_H ——水平渗透率，毫达西；
 H ——地层厚度，英尺；
 B ——地层体积系数，地面桶/地下桶；
 P_e ——油藏压力，磅/英寸²；
 P_w ——井底流压，磅/英寸²；
 μ ——粘度，厘泊；
 R_e ——泄油半径，英尺；
 R_w ——井筒半径，英尺；
 S ——表皮系数，无因次。

如果选定油田中直井的生产达到稳定状态，则可用这个模型进行“历史拟合”，从而确定运算VWELL模型的合适输入参数，预测该油藏中水平井的动态。

六、RESMOD HWELL模型（未压裂水平井）

HWELL PC模型用于描述无水力裂缝或天然裂缝的均质油藏中流入水平井的稳态流。这口水平井的泄油面积是一个椭圆，如图3所示。

该模型是在Giger (1984) 和Joshi(1986)的研究工作基础上建立起来的，如图4所示。

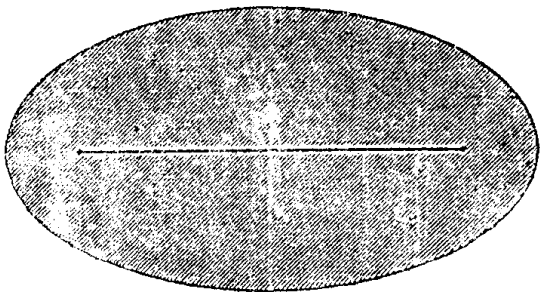


图3 水平井泄油面积 (HWELL)
①HWELL模型

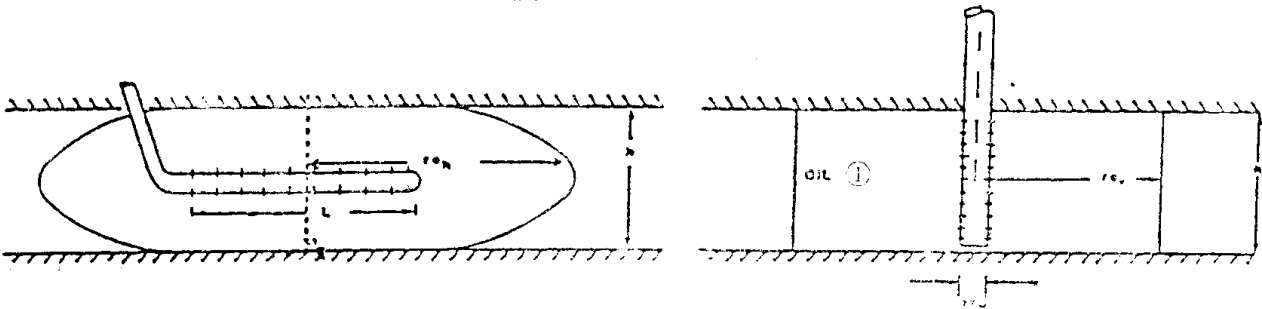


图4 水平井泄油示意图 (HWELL)
①油

Joshi把这个三维问题分解为两个二维问题，如图 5 所示。

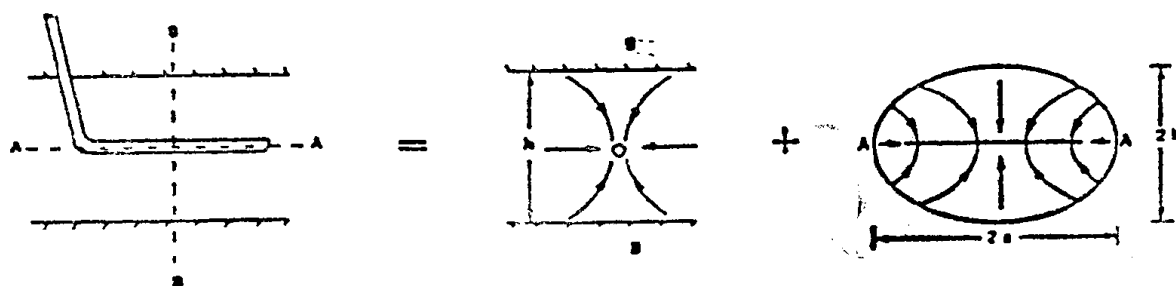


图 5 三维水平井流动问题 (Joshi, 1986)

把产量 q_H 代入水平井方程 (Joshi, 1986) 得:

$$q_H = \frac{2\pi K_H H B (P_e - P_w)}{\mu \left[\ln \left[\left[1 + \left(\frac{2R_e}{L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{2R_e}{L} \right] + \frac{\beta H}{L} \ln \left[\frac{\beta H}{2\pi R_w} \right] \right] \left[1 + \frac{S}{\ln \left[\frac{R_e}{R_w} \right]} \right]} \quad (3)$$

式中:

$$\beta = \sqrt{K_H / K_v} \quad (4)$$

K_v ——垂向渗透率，毫达西；

K_H ——水平渗透率，毫达西；

L ——水平井段长度，英尺。

其它变量的定义参见前面VWELL模型部分。

有关该模型的其它详细说明见DEA-44报告：“水平井油藏模型”。

用前面的一组输入参数（用于对选定油藏直井进行历史拟合的参数）来预测水平井产能，用户了解模型（第七部分第3节）中的各种假设条件是非常必要的。

七、RESMOD VFRAC模型 (水力压裂直井)

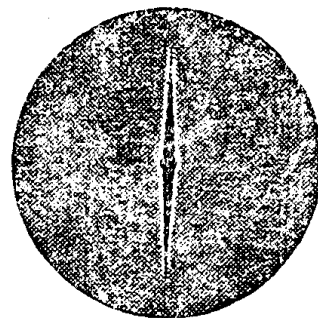
VFRAC PC模型用于计算水力压裂后直井的产量，该压裂直井的泄油面积是一个半径为 R_e 的圆，如图 6 所示。

水力压裂直井的泄油面积与未压裂直井的泄油面积相同（即，总产量相同）。但压裂井的好处是，生产油或气的速度较快，因此，提高了经济效益。

用户可以在下面三种通常使用的水力压裂模型中任选一种：

- (1) McGuire和Sikora模型（油或气）；
- (2) Prats模型（油或气）；
- (3) Tannich和Nierode模型（气）。

在选定油田中，若水力压裂直井的生产达到稳定状态，则可用VFRAC模型对动态进行



VFRAC ①

图 6 水力压裂后直井的泄油面积 (VFRAC模型)
①VFRAC模型