

岳清山 杨承志 沈平平 编译

混相驱提高石油采收率

(下册)

石油工业出版社

073504



混相驱提高石油采收率

(下册)

岳清山 杨承志 沈平平 编 译



200348043



石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书文章是从六十年代末,特别是八十年代以来发表的大量有关“混相驱提高石油采收率”论文中精选出来的。它综合了混相驱技术的发展和最新成果,分上、下册出版。下册主要内容包括影响混相驱效果的因素分析、数值模拟以及矿场试验的设计、实施和评价。

本书可供从事混相驱的研究和工程技术人员以及石油院校有关师生参考。

混相驱提高石油采收率 (下册)

岳清山
杨承志 编译
沈平平

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京海淀昊海印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

850×1168 毫米 32开本 15⁸/₄印张 419千字 印 1—1,700

1993年9月北京第1版 1993年9月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0855-6/TE·800

定价: 12.00元

目 录

层状油藏混相驱实验和计算方法.....	(1)
实验室模拟研究: 预测油藏动态的实用性和局限性.....	(26)
垂直向下混相驱中的稳定性研究.....	(46)
混相驱的不稳定性实验研究.....	(61)
宏观弥散.....	(77)
弥散和非连通孔隙对混相的影响.....	(116)
扩散因子对层状油藏混相驱段塞大小的影响.....	(139)
注水对烃和CO ₂ 混相驱的影响.....	(166)
水驱砂岩油藏中CO ₂ 混相驱的评价.....	(188)
油田规模CO ₂ 混相驱可行性评价方法.....	(211)
Wizard Lake D-3A 油藏的混相驱	(232)
一个有效的多组份数值模拟器.....	(257)
状态组份模型方程.....	(290)
数值模拟在二氧化碳混相驱方案设计中的应用.....	(327)
西得克萨斯地层原油的二氧化碳驱替试验研究.....	(348)
西得克萨斯二氧化碳先导试验观察井采出流体组分资料 的应用.....	(377)
北海油田注水开发油藏注氮气三次采油可行性研究.....	(400)
Jay/LEC油田的三次采油方案.....	(418)
Nagylengyel油田喀斯特型油层CO ₂ 人工气顶矿场试验	(440)
特征线法在气藏混相气体流动中的应用.....	(454)
小湾油田CO ₂ 先导试验的历史拟合分析.....	(472)

层状油藏混相驱实验和计算方法

R.A.Fitch, J.D.Griffith

一、摘 要

本文叙述将实验研究与计算方法相结合,从而改进混相驱方法的预测和解释,同时探索了提高混相驱效率的有效方法。本计算方法的基础是将油藏分成若干个独立的层段。通过室内驱替试验结果与矿场试验方案对比得到了该方法的应用范围。

本文从两个方面研究了混相驱替过程:

(1) 混相驱前沿通过油藏的方式;

(2) 为了保持混溶,注入溶剂的体积分配和利用方式。计算和实验结果表明:不论在单层或是在多层油藏中,在混相前缘之后交替注入气和水都能显著地改善混相驱特性。

本文对多层油藏中保持一定混溶体积溶剂的状态进行了计算,讨论了确定最佳注入溶剂体积的准则,提出了在混相段塞之前预先注入一定体积的水以更有效地利用混相溶剂的方法,计算并试验研究了预先注入的水对混相驱效率的影响。

二、引 言

多年来,混相驱作为提高石油采收率的一种有效方法,已经进行了大量的研究和现场试验。研究表明,混相驱的优点在于可以驱出与混相溶剂接触的所有的油,显著降低残余油饱和度;然而,混相驱的波及效率很低,驱替液过早地突破,一些油田试验证明了这一点。要将其在油田推广需要开发先进技术以控制段塞的推进。

本研究的目的在于正确地设计混相驱，以获得好的驱替效果。实验研究与动态计算相结合发展了预测和解释混相驱的手段并探索了改进驱替的可行方法。从两个方面研究了混相驱并分别给出了研究结果。第一部份研究了混相前沿通过油藏的方式，计算时假设地层中的油与驱替液完全混溶；第二部份，为了保持混相，研究了预注入的溶剂分配方式，预注入的溶剂包括富气或液化气。

三、计算方法和实验研究

1. 计算模型

油藏动态的预测计算是建立在多层油藏概念上的。假设油藏由多个独立的油层组成（层间无窜流），并且包括井网、注入能力、面积波及和驱替效率的变化。在假设各层段的变化相似条件下，计算中将考虑各层中侧向渗透率的变化（如定向渗透率）。应用此模型，计算出了各层中油和驱替液的生产和注入速度。

为了在所描述的模型上进行计算，当所采用的井网为单层时，需要驱替过程的动态数据，特别是对于给定的井网和驱替过程，也需要与注入流体体积相关的注入能力和产出流体组份的数据。如果要对多层模型的面积波及情况进行跟踪，还必须有面积波及系数变化的数据。这些数据可从模型研究或其它适当方法的实验得到。

当然油藏性质的描述是近似的，在某些情况下也许不合适。但油藏描述不是任意的，因为大多数油藏都是沉积层，通常包括一部分具有生产能力的层段，垂向的渗透率总是小于水平渗透率。这些事实为这种模型的有效率提供了某些证据。随着描述和测定方法的不断发展，这种类型的计算也许会被修改或被取代，这时需要更完善的模型。

以前的文章曾描述了相似的模型，Prat等人给出了计算步骤的推导，这里不再讨论，在IBM.704计算机上已编入了这种计算方法的程序。

2. 单层的实验数据

在本研究中,对不同井网和流度比的均质系统,进行了一系列实验模型研究。从这些实验中直接测量了注入能力的变化以及产出液中注入流体的系数, f_i 的变化。在某些实验中,对不同驱替阶段的面积波及进行了示踪,除严格的混相驱外,对混相前缘之后周期性注水的影响也作了实验。做为驱替液气和水的联合注入是一种增加混相驱替波及系数的方法^[4]。本研究的重要目标之一就是确定交替注入气和水所获得的改善程度。用来确定交替气水段塞大小的公式列在附录中。其条件是允许混相驱替为连续的。线性模型检验这个方程,表明它很适合描述交替注入的流动特性。

附录中描述了这些模型和实验方法。图1至10给出了相对注入能力与 f_i 的关系曲线。这些数据相对应的流度比是10和50、本文研究了四种井网,它们分别是:五点,反五点,线性和九点井网。从几个实验的数据图可看出实验的分散程度,把从3到10的实验数据用平滑曲线来表示,所有这些数据都适用于有初始气体饱和度的均匀系统的完全混相驱替。

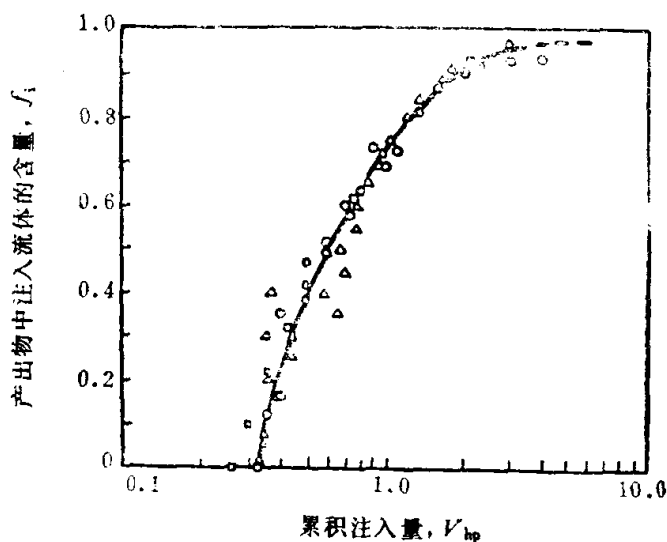


图1 产出流体组成与注入体积的关系, 五点井网, 流度比为10

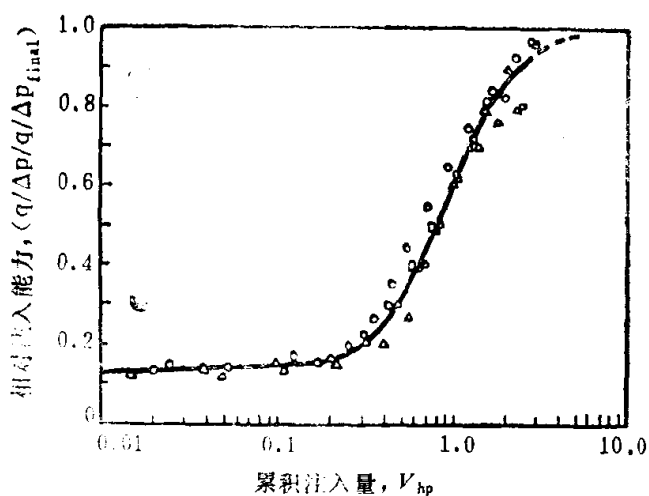


图2 相对注入能力与注入体积的关系, 五点井网, 流度比为10

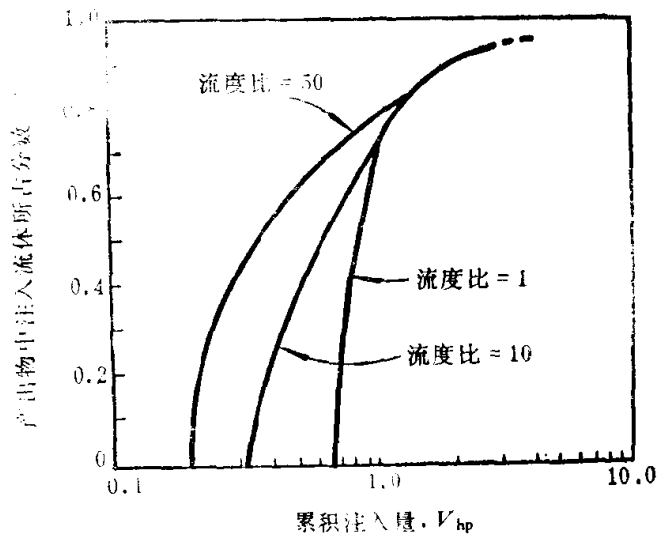


图3 产出流体组成与注入体积的关系, 五点井网

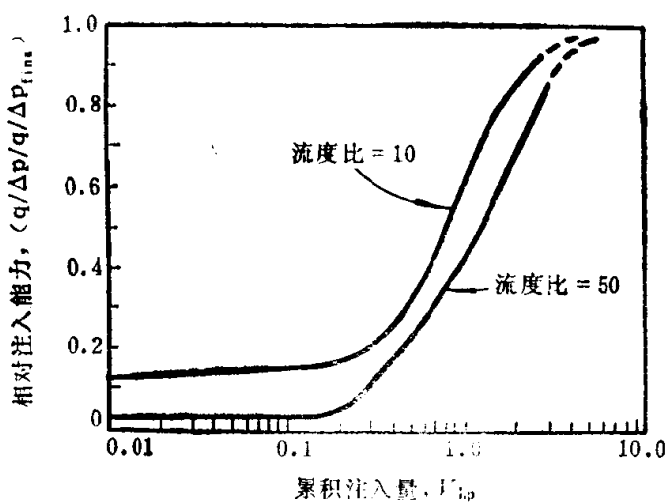


图4 相对注入能力与注入体积的关系, 五点井网

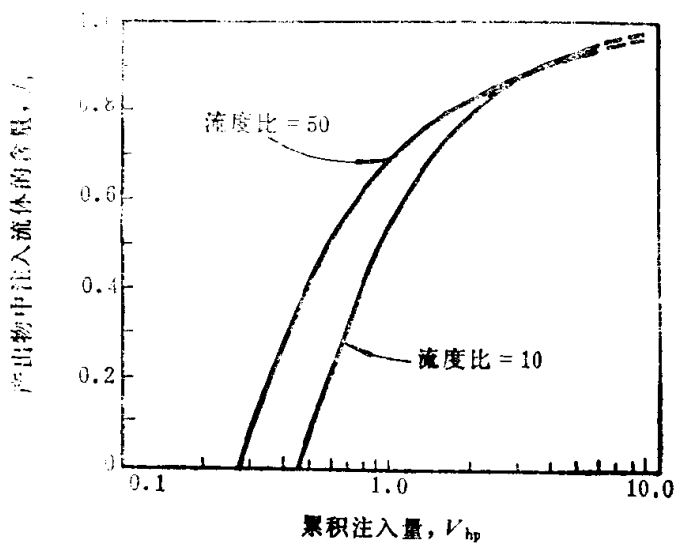


图5 产出流体组成与注入体积的关系

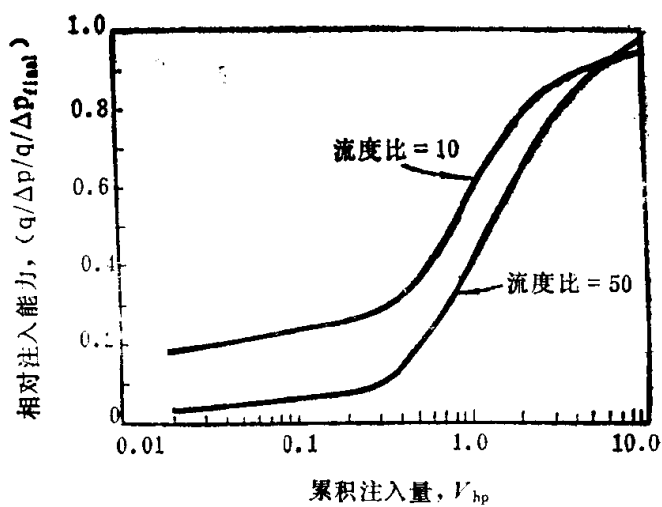


图6 相对注入能力与注入体积的关系, 五点先导井网

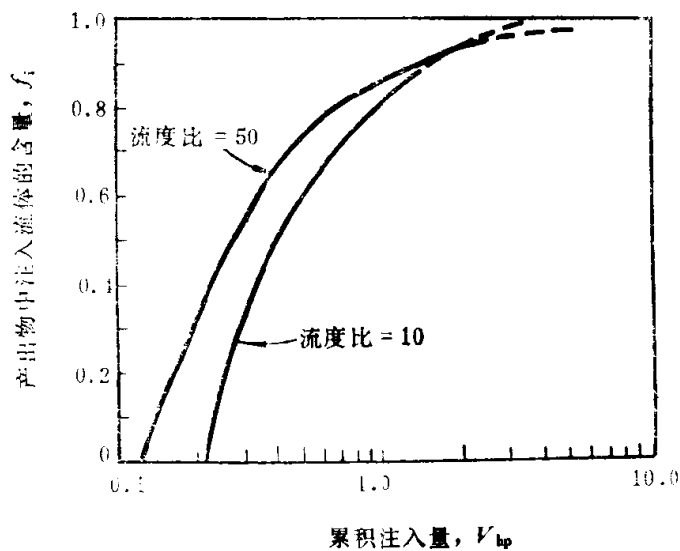


图7 产出流体组成与注入体积的关系, 行列注水 ($d/a=1$)

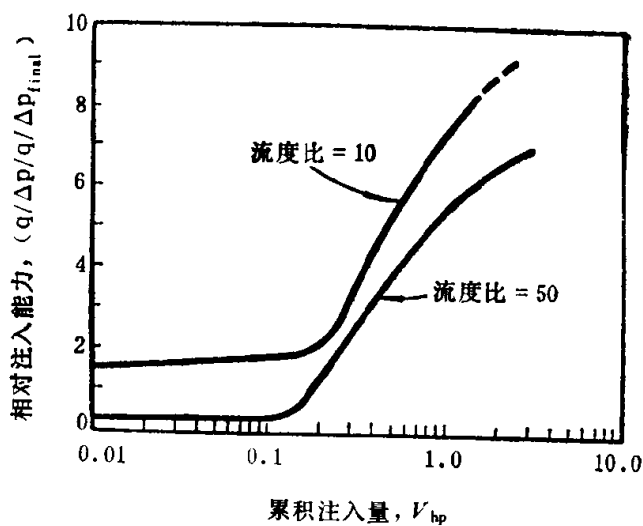


图8 相对注入能力与注入体积的关系, 行列注水 ($d/a=1$)

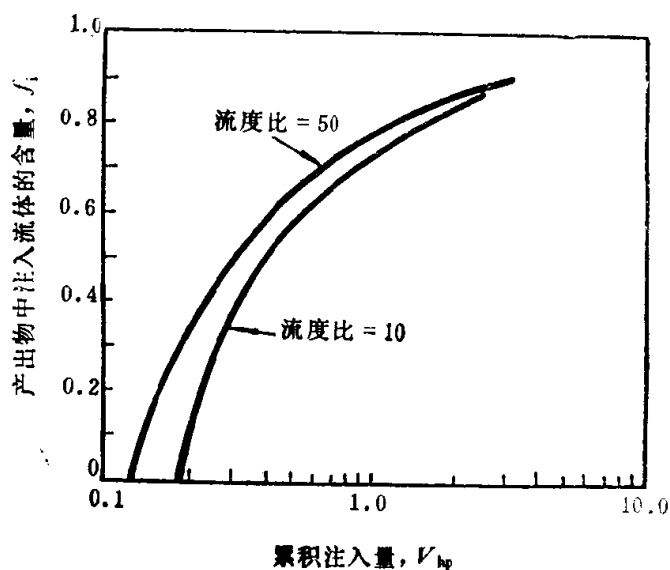


图9 产出流体与注入体积的关系, 五点井网, 生产井定压

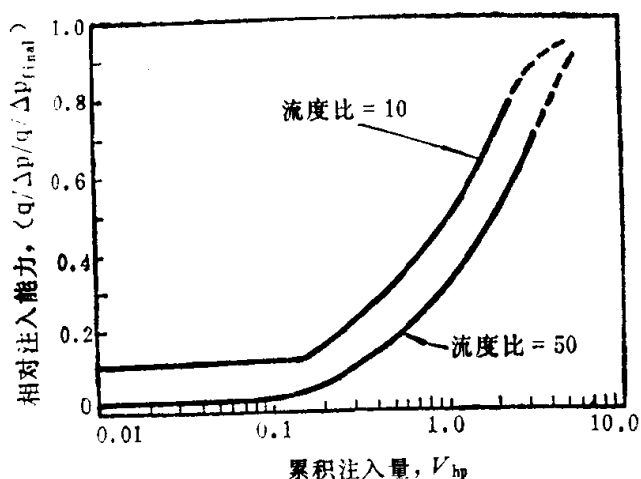


图10 相对注入能力与注入体积的关系,五点井网,生产井定压

这些混相实验中明显的特点是驱替液的过早突破(12%~40%的烃孔隙体积(V_{hp})以及突破时 f_i 和注入能力的剧增)。大多数实验所用的流体密度几乎相同。只有个别一些流体具有不同的密度,此时重力可能会影响驱替前缘。两种条件下所记录的结果差别在实验精度范围之内,这表明重力的影响很小。

气水交替注入的实验结果与完全混相驱试验明显不同,图11和12绘出了这些结果。由于水的注入,把五点井网模型实验的突破从35%推迟到50%。不过由于驱动水捕集了一些油,使总的采出量将小于100%。气水交替注入引起的某些明显变化以注入能力的函数表示。注入能力随注入流体的改变循环变化,而不是急剧上升。在驱替期间总的注入能力大大地减小了。图12给出注入能力的循环变化和平均曲线。先对两条曲线同时计算并检验,然后讨论确定平均曲线的可能性。

图12给出了一定系统的混相气驱和气水交替驱的注入能力曲线。它们是流体粘度、相对渗透率特性以及气水注入比和井网的函数。对于这个研究目的来说,这个系统合理地代表了现场注水应用中所预计的特性。为了得出模拟气、水、溶剂及油这些流体间的流度对比,附录中给出了实验流体的粘度。

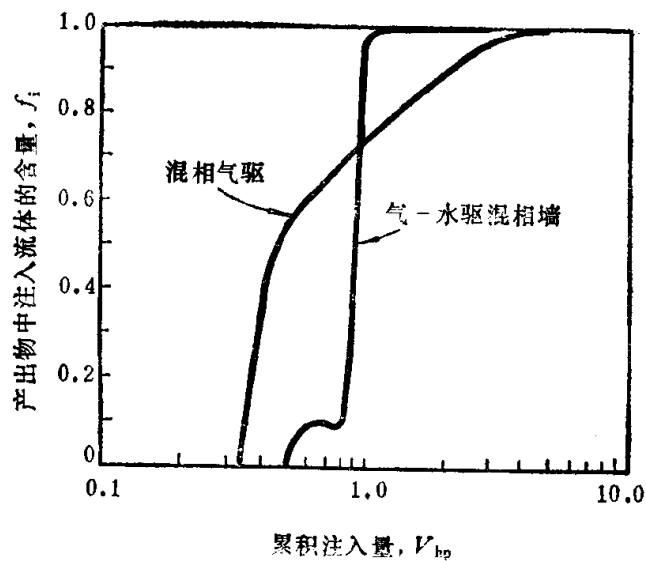


图11 产出流体组成与注入体积的关系五点井网，混相气驱和气-水交替段塞驱

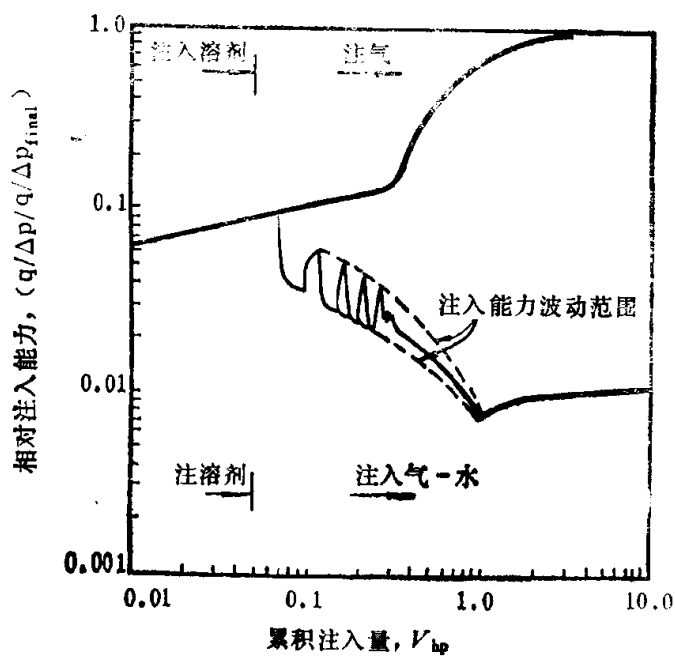


图12 相对注入能力与注入体积的关系，五点井网，混相气驱和气-水交替段塞驱

这些实验数据足以用来计算适合这一研究目的的模拟油藏。对于一般的油藏应用来说，由于条件的广泛变化，使得数据的任何综合表示不切合实际。如果进行一些简单的假设，在某些情况下，这些数据就可能用于其它的一些情况。例如，对有初始气体饱和度的油藏，可以假定注入井的流动是径向的，直到发生其它井的干扰为止。为了估计这种情形下的注入能力，径向流计算将提供初始阶段的注入能力曲线，其后的开采阶段这些曲线将与实验曲线相重合。对于这种情况，必须调整总产液量和 f_i 曲线，以便适合注水前的初始生产阶段。

同样，对于注入井周围有大量生产井的井网，其动态数据也可近似地使用径向流方程计算。如果是边缘井生产，这种井网就接近完整的径向流井网。对于没有进行特定试验的井网，在气水注入时注入能力的降低，使得注入能力曲线的近似更为简单，而且临界点很少。在文献中还介绍了注入能力波及系数和 f_i 变量的其他近似方法。

3. 油藏混相前缘的驱替

用这些数据和编好程序的计算方法，对多层油藏混相缘的运动作了两种初步检验。并把多层油藏模型所得到的实验数据Pembina油田的先导混相驱的数据作了比较。^[6]这些计算确定了气水注入对多层油藏的影响。

4. 计算和实验特性的比较

为了取得对照的实验数据，在两个三层模型上进行了实验。其中有一个有层间窜流限制，而另一个则没有。分别采用了密度相差不太大和密度有差别的流体进行驱替。为了比较，计算出了每种情况下的特性。通过比较检验以下几点：

- (1) 符合没有窜流假设的数据的精度和计算方法；
- (2) 多层间的连系完全没有限制的情况下的适用性；
- (3) 在两个系统中重力分离可能产生的影响。这组实验是在流度比为10的五点模型上做的，结果如图13和图14所示。

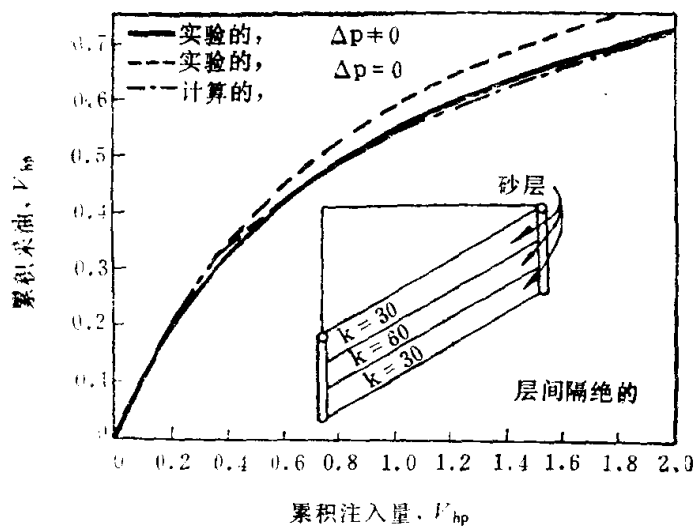


图13 实验和计算的比较，多层模型，层间非数值的，
流度比为10

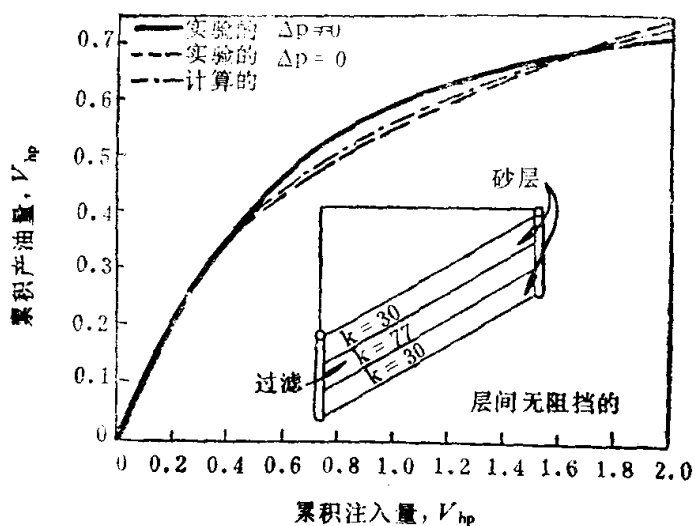


图14 实验和计算的比较，多层模型，层间数值化的，
流度比为10

层间没有窜流的条件下（有夹层）所做的对比表明，计算的精度是好的。从图13可以看出采油量的最大偏差是6% HCPV。这些试验模型表明，由每个口井中的液体密度差所引起的，每层的压降对每层中的流体流动没有引起任何显著的变化。在具有相同渗透率的底层和顶层所观察到流体的前进几乎是一致的。

没有夹层的模型试验表明，对于没有密度差的流体来说，其驱替特性与没有层间联系的计算结果是接近的，（如图14）。在这种驱替中，产生窜流的唯一动力是两层间相邻两点之间的压力差，这个压力差是由每层中前缘位置的不同引起的。结果的一致性意味着在实验条件下由相邻点压差所引起的窜流并不是重要的。对可能发生重力分离的流体系统来说，能直接观察到由于重力分离作用产生的一些窜流，而且实验与计算结果的符合也许是偶然的。直观的观察得出以下结论：在垂向连通完全的情况下计算的应用将受到限制。

5. 现场试验的计算

1958年Mobil石油公司在—个开放的先导五点井网上进行了—个精确控制的先导LPG（液烷烃气）段塞混相驱试验。现场试验的条件与本实验条件非常相似。其结果如图5和6所示。试验中没有初始气体饱和度，注入能力和采出量是平衡的，粘度比（ μ_o/μ_i ）较高，建立在试验数据上的计算结果和油藏的分层情况如表1所示。正如报告中所示的，分层情况是复杂的，图15给出了实际动态和计算动态的比较，在驱替早期两者间非常接近，对突破前大约11%。 V_{hp} 时的采收率也进行了比较，计算的突破时间是40天，井间的压力降约为130磅/英寸²（注入井的井底流压为1700磅/英寸²，产量为150桶/天的生产井的井底流压为1570磅/英寸²）。实际突破时间，包括暂时关井时间是30天。对于渗透性的层，计算得出的最大的面积波及为试验区面积的140%。

6. 典型油藏的计算

数据和计算方法应用性的初步检验指出，对于探索一些可能的改进方法来说是足够的。在不同条件下进行了一系列的计算，

计算中主要考虑了五点井网模型，因为在这种井网下有可以利用的比较完整的数据，特别是关于气-水注入影响方面的数据。其它接近径向流的井网也可能会改进驱替特性，但没有做井网的比较，典型油藏如图16所示。

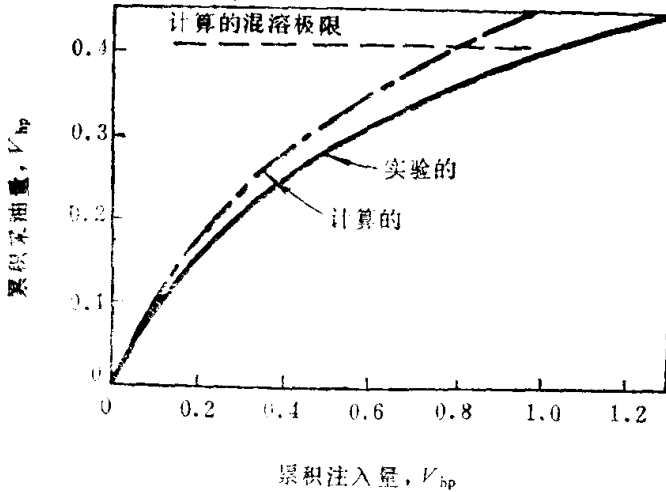


图15 计算和观测的采油量与累积注入体积关系的比较，Pembina
五点井网先导混相驱

图16给出了多层油藏中流度比为20的混相气驱的一些计算结果。在高的气油比下，注入到12% HCPV时，驱替液突破。当注入一倍孔隙体积的驱替液之后，采收率达到了34%，通过比较单层和多层混相气驱的特性可以看出，分层情况是控制特性的主要因素，用气-水注入的实验数据进行了一些相似的计算，其结果如图16所示。通过注入气水，混相驱特性得到了显著的改进。突破时的采收率也从12% HCPV增加到26%。在注入一倍孔隙体积驱替液后，采收率是71% OIP。用平均注入曲线代替观察其周期变化的注入曲线，重新对气-水注入进行计算，两条曲线的计算结果没有多大的差别，这表明非常简单的平均曲线就可以满足实际使用。

从这些计算明显看出，气-水交替注入提供了一种非常重要的，能获得更好的混相驱特性的手段。气-水交替注入的影响对