

美国石油工程师学会专论丛书

混相驱开发油田

〔美〕 F.I.小斯托卡 著

石油工业出版社

39225

美国石油工



00294867

书

混相驱开发油田

〔美〕 F. I. 小斯托卡 著

王 福 松 译



200419109

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是美国石油工程师学会采油机理专著丛书之一,它系统地总结了美国在混相驱开发油田的理论研究、室内试验研究和现场试验方面所取得的成果,并指出了今后进一步研究和开发的领域。

本书共分九章。前四章重点介绍了相态和混相原理,影响混相驱油的因素和混相驱现场工程设计考虑的因素及预测方法。第五章到第八章分别介绍了初接触混相驱、凝析气混相驱、汽化气混相驱和 CO_2 混相驱有关参数的估算方法、现场试验和评价及筛选标准。第九章概述混相驱的目前工艺水平、将来的展望和进一步研究的领域。

本书可供油田开发的科研人员,现场工程技术人员和石油院校有关专业的师生参考。

FRED I. STALKUP JR.

MISCIBLE DISPLACEMENT

Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME Society of Petroleum
Engineers of AIME New York 1983 Dallas

美国石油工程师学会专论丛书
混相驱开发油田

(美) F. I. 小斯托卡 著
王福松 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里三区一号楼)

石油出版社激光照排室排版

北京石油附中校办厂印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32开本 14 1/2印张 380千字 印1-2,000

1989年6月北京第1版 1989年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0203-5/TE·199

定价: 5.65元

目 录

第一章 序言	(1)
1.1 本专著的范围和目的	(1)
1.2 本专著的编排	(2)
1.3 常规采油方法评述	(3)
1.4 不混相驱替	(4)
1.5 混相驱替	(6)
1.6 混相驱史	(7)
1.7 混相驱的适用性	(10)
第二章 相态和混相原理	(13)
2.1 用三角形图表示三组分相态	(13)
2.2 用假三元图表示多组分的相态	(16)
2.3 其他表示相态的有用方法	(18)
2.4 初接触混相过程	(23)
2.5 凝析气驱过程	(29)
2.6 汽化气驱过程	(34)
2.7 CO_2 混相过程	(40)
2.8 确定混相条件的方法	(52)
第三章 影响驱替动态的因素	(73)
3.1 流度和流度比	(73)
3.2 流体的分散混合	(75)
3.3 混相驱替中的流态	(90)
3.4 粘性指进	(95)
3.5 面积驱扫效率	(107)
3.6 垂向驱扫效率	(118)
3.7 单位驱替效率	(135)
3.8 改善驱替效率和驱扫效率的方法	(154)
第四章 设计的考虑和预测的方法	(182)
4.1 混相驱设计和动态预测中的某些重要考虑	(182)

4.2	数值有限差分模型	(188)
4.3	流管模型	(216)
4.4	有限元模型	(220)
4.5	比例化物理模型	(221)
4.6	包括单分层动态物理模型数据的多分层计算	(223)
4.7	单一分层的简单计算方法	(225)
第五章	初接触混相驱	(255)
5.1	混相条件的估算	(255)
5.2	液化石油气溶剂的粘度和密度	(262)
5.3	液化石油气和驱动气的来源	(267)
5.4	现场经验	(268)
5.5	初接触混相驱评价	(284)
5.6	筛选标准	(291)
第六章	凝析气混相驱	(301)
6.1	混相条件的评价	(301)
6.2	烃气的粘度和密度	(305)
6.3	富气和驱动气的来源	(307)
6.4	现场经验	(308)
6.5	凝析气混相驱评价	(317)
6.6	筛选标准	(325)
第七章	汽化气混相驱	(332)
7.1	混相压力的估算	(332)
7.2	注入气的性质	(336)
7.3	注入气的来源	(336)
7.4	现场经验	(340)
7.5	汽化气混相驱评价	(347)
7.6	筛选标准	(350)
第八章	CO₂ 混相驱	(355)
8.1	引言	(355)
8.2	混相压力的估算	(356)
8.3	CO ₂ 和 CO ₂ 混合物的特性	(365)
8.4	CO ₂ 的来源	(369)
8.5	现场经验	(377)
8.6	CO ₂ 混相驱评价	(389)

8.7	鉴别适合 CO_2 混相驱油藏的指导原则	(401)
第九章	结束语	(414)
9.1	目前的工艺水平	(414)
9.2	各种混相驱的对比	(415)
9.3	关于混相驱的展望	(417)
9.4	进一步研究和开发的领域	(418)
附录 A	连续注入溶剂进行三次采油的简单算法计算 实例	(424)
附录 B	小溪油田 CO_2 驱先导性试验的简单算法计算 实例	(426)
附录 C	用水驱动溶剂段塞进行三次采油的简单算法 计算实例	(430)
附录 D	用气驱段塞进行三次采油的简单算法计算 实例	(434)
附录 E	为估算混相压力和物理特性而选用的整页码 图幅	(439)
附录 F	国际(SI)单位制换算系数	(448)
	符号说明	(448)

第一章 序 言

1.1 本专著的范围和目的

本专著仅包括烃溶剂、烟道气、氮气和二氧化碳气混相驱，不包括醇驱，因为醇的费用和有效采油所要求的醇段塞的规模使这一方法仅具有学术意义。在注含表面活性剂流体的各种采油方法中虽然也涉及到混相驱的某些方面，并且混相驱在聚合物驱和碱水驱中起一定的作用，但它终究只是这些采油方法的重要机理之一，因而由另一专著全面地阐述化学驱就更为合适一些。虽然如此，这里讨论的混相和混相驱替的原理同样适用于化学驱过程中有关混相驱替的一些问题。

撰写本专著有四个目的。一个目的是把现在从实验室研究、工程研究和现场试验可以获得的资料汇编出版，为这一专题提供一个更具有综合性的参考文献目录。关于混相驱，现在有大量的文献。虽然出版了一卷再版本⁽¹⁾，其中收集了当时的一些比较重要的文献，并且有少数著作进行了概括性的有重点的综述^(2, 3)，但所汇编的综合性资料仅限于从现场专家、偶而还包括从私人公司雇员手册中得到的资料。

另一个目的是不考虑专门的混相驱过程而评述和介绍混相驱替的一般原理和基本现象。掌握这些原理，对于熟悉在评价和设计混相驱工程项目时应明智考虑的重要因素来说是必需的。

第三个目的是对混相驱的设计和动态预测给予了最新的工程技术方面的指导。然而，读者应当知道，我们计算混相驱动态的能力受以下几方面的限制：目前能够使用的预测模型；在混相驱机理的某些方面仍然存在的知识空白；以及我们描述油藏的能力。在某些情况下，甚至我们手头都没有可供使用的足够精确的

预测方法，而仅能使用“粗线条的”预测方法。我们并不想把这一专著写成一步一步如何做的设计手册或“食谱”，而是教会读者能够选用他所需要的最合适的工具和方法。

最后一个目的是对现场试验中如何形成各种混相过程的问题给予一个最新水平的评价。在这一评价中包括每一种混相驱适用范围的讨论和关于论证各种可能方案适用性的指导原则。

本专著打算写成供有关科研人员、师生和现场工程技术人员使用的著作。但重点则更趋向于供混相驱油藏工程技术人员使用。对于专家可能更感兴趣的材料，也列出供参考。

混相驱是一项复杂的工艺技术。虽然它成为研究、开发和现场试验的课题已经 30 多年，但在实验室和现场试验数据的解释方面和预测方法的选择方面仍然存在某些争执。本专著努力公正地处理这类问题，并在适当的地方列出争论的论点。但本专著必然是按作者自己的观点来写的，这一点读者应当记住。

1.2 本专著的编排

论题从介绍混相驱替的相态和流态的基本原理开始，然后讨论设计和预测方法，并评述现场试验的经验。第二章专门介绍了相态和混相的基本原理。并介绍了用假三元图说明为与液化石油气达到初接触混相并与烃类气体、烟道气、氮气和二氧化碳气达到动态混相所要求相态的目前概念，讨论压力-组成图的重要作用。描述试验测定混相条件和计算相态的方法，并推荐优先采用的试验方法。

第三章讨论了影响驱替效率的因素。其中包括：流体的分散混合；粘性指进及其对面积驱扫效率和溶剂段塞完整性的影响；重力分离和垂向驱替效率；影响单位驱替效率的因素；以及油藏非均质性的重要作用等。

第四章介绍了设计混相驱和预测油藏混相驱动态的油藏工程方法，讨论现代数学模型的优点和限制。

后面四章介绍了初接触混相驱、凝析气驱、汽化气驱和二氧化碳混相驱的现场试验。对所选择的工程项目作出简短的小结，并对每一混相驱的现场动态结果作出了评价。这几章还包括筛选油藏和论证可能方案适用性的指导原则。对可能的溶剂来源专门作了一些讨论。

结尾一章综述混相驱工艺技术的目前水平，并指出需要进一步研究的重要领域，还包括对混相驱潜力的评价。

1.3 常规采油方法评述

大部分油藏在发现以后一般生产一段时间，称作“一次采油”，在这一段时间内是利用油藏的天然能量采出一部分原油。开始时，诸如液体的膨胀和岩石的压缩等机理，随着压力的降低帮助把油藏流体驱入井眼。当压力降低到原油泡点压力以下时，利用气体的逸出和膨胀再采出一部分原油。某些油藏有气顶，气顶的膨胀，也许还结合出现重力驱，也可以帮助把原油驱入生产井。其他一些油藏可能与水体相联通，水体可提供活跃的或部分活跃的水驱。自水体浸入的水量，既驱替油藏孔隙中的原油，又有助于抑制由于采出流体而造成的压力下降。

自石油生产的早期，直到大约三十年代初，大部分油藏是利用一次采油机理一直生产到原油产量达到不经济为止。届时油藏即被废弃。当发生这种情况的时候，油藏压力一般已衰竭到一个很低值，或者具有强烈天然水驱的那些油藏水油比已经过高。油藏和油藏之间一次采油的原油采收率相差很大，正如今天所研究的，它取决于采油的机理或各种采油机理的组合，取决于油藏的类型、岩石的性质和原油的性质。采收率的变化范围一般在原始石油地质储量的5~20%之间。

往一口井或更多的井中注入流体，作为可把原油采收率和产能提高到高于一次采油水平的方法，逐渐地被接受下来。水和（或）天然气（在不与原油混相的压力下注入）是过去为此目的

主要应用的注入流体。把气体注入气顶，把水从靠近油水界面处注入水体，或者把任何一种流体注入油柱之中，是常用的流体注入技术。早先认为采收率的改善是由于抑制或阻止油藏压力下降的结果，从而在更长的时间内使产量要比仅依靠一次采油机理保持更高的水平。这种技术过去称之为“压力保持”技术。后来认识到，除保持油藏压力以外，注入流体也从岩石孔隙空间驱替出某些石油，并把它们驱入生产井。在今天，把在一次采油期间或者一段较长时间之后所进行的流体注入一般称作“二次采油”。一次采油和注水或注不混相气体的二次采油两者合计的最终采收率，一般来说是原始石油地质储量的 20~40%，虽然也存在最终采收率比这一范围高出很多或低很多的情况。

注不混相的气体或注水达到的最终采收率，受以下三项因素的限制：(1) 注入流体的体积驱扫效率；(2) 在生产井处被驱替原油的采出系数；(3) 在驱扫到的岩石中注入流体的驱替效率。由于渗透率的层状非均质性、粘性指进、重力分离和面积驱扫的不完全性，油藏的体积驱扫效率总是小于 100%。另外，从油藏驱扫体积中驱替出来的原油并没有被生产井全部采出，其中一部分又重新饱和了注入流体未驱扫到的而在一次采油期间曾部分出油的岩石。即使在注入流体驱扫到的体积中，原油的驱替也是不完全的，在注入流体的推进过去以后，在它后面仍然留有残余油饱和度。在某些情况下，岩石的孔隙结构可能促使注入流体不能完全驱替原油（例如充满原油的死胡同孔隙），而原油与水之间和原油与天然气之间的不混相性，就成为大部分岩石中残余油饱和度高的主要原因。注混相流体的优点，就是能使驱扫到的油藏岩石中只留下很少的残余油。

1.4 不混相驱替

原油和水是不混合的。如果把这两种流体倒入容器中并静止澄清，就有两种明显的液相出现，并为一清晰的界面所分开。原

油和水称之为不混相的。

同样，原油和天然气也是不混相的，虽然天然气在原油中有一定的溶解度。但这一溶解度取决于压力的高低，一旦超过溶解度极限，即形成了一界面分开的两相——气相和液相。

当两种不混相流体同时在孔隙介质中流动时，例如在水驱替原油时，在给定的单位岩石体积中，流态取决于岩石的相对渗透率特性。原油的相对渗透率随着原油饱和度的降低而减少，直到原油饱和度达到极限时，原油渗透率减小到零并且原油停止流动为止。这一极限饱和度称为残余油饱和度，或者更精确地说，称为相对渗透率端点残余油饱和度，以便把它与注水后油藏中的物质平衡或平均残余油饱和度相区别。同样，在含水饱和度的极限值时水的渗透率减少到零，这一含水饱和度称为束缚水饱和度。处于这两个端点之间的饱和度值时，原油和水都能流动，并且两端点之间的相对渗透率决定着必须注入多少流体使驱扫到岩石中的含油饱和度减少到一个给定水平。

除了受岩石孔隙结构的影响以外，残余油饱和度和相对渗透率还受岩石润湿性和油水界面处界面张力的影响。克雷格⁽⁴⁾把润湿性定义为在有其它不混相流体的情况下，一种流体在固体表面上扩散或粘附于这一固体表面的趋势。它对于不混相驱替有明显的影响。例如，油润湿岩石的相对渗透率与水润湿岩石的相对渗透率相比，对注入更为不利。在其他因素相同的情况下，这会造成油润湿岩石过早见水，并为达到含油饱和度降低值要比水润湿岩石注入更多的水。

图 1.1 说明了油水界面张力对残余油饱和度的影响。该图是残余油饱和度与毛管准数的关系曲线。毛管准数等于达西速度和原油粘度的乘积除以界面张力。毛管准数是粘滞力与毛管力比率的近似度量值。在常规注水观察到的达西速度、原油粘度和油水界面张力的变化范围内，残余油饱和度对毛管准数是不敏感的。图 1.1 表明，为使注水残余油饱和度大量降低，油水界面张力必须降低数个数量级或更多。

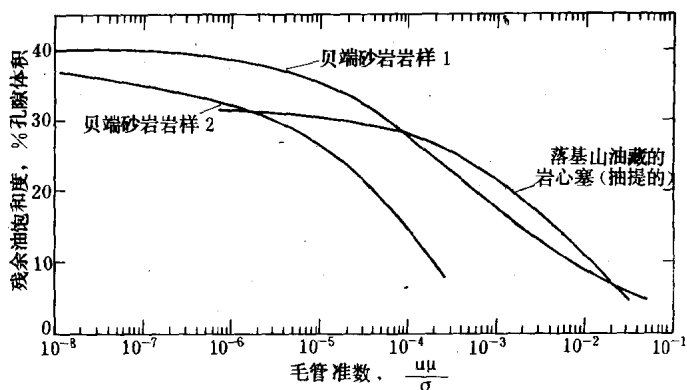


图 1.1 残余油饱和度取决于毛管准数

虽然这一部分讨论的是注水的情况，但当气体不混相驱替原油时也得到了相同的结果

1.5 混相驱替

当两种流体按任何比例都能混合在一起，并且所有的混合物都保持单相时，这两种流体即为混相流体。天然汽油和煤油就是两种混相的流体。因为混相流体的混合物仅为单相，在流体之间不存在有界面，从而也就不存在界面张力。

由图 1.1 可见，如果原油与驱替流体之间完全消除了界面张力，也就是说毛管准数变为无限大时，残余油饱和度能够降低到它的最低可能值。这就是混相驱替的目的。

某些为混相驱替注入的流体按任何比例都能直接与油藏原油相混合，并且它们的混合物保持单相。这些流体称作“初接触混相”流体。用于混相驱的其它流体，当它们与油藏流体直接混合时形成两相，也就是说它们不是初接触混相的流体。然而，当注

入这些流体时，在油藏原油与注入流体之间出现就地的组分传质作用，形成一个驱替相过渡带，其流体组成由原油组成变化过渡为注入流体的组成，并且在这一驱替相过渡带内所有的组成是接触混相的。由于原油和注入流体在流动过程中重复接触而靠组分的就地传质作用达到的混相，称作“多次接触混相”或“动态混相”。^① 在本专著的后面各章，把形成初接触混相或动态混相的注入流体称作混相“溶剂”。

因为不管是初接触混相还是动态混相，在原油-溶剂过渡带中的混合物保持单相，也就不存在溶剂与原油之间的相对渗透率对混相驱替采油效率的影响。岩石对原油和溶剂的相对润湿性也就不是一个影响因素。混相驱替在油润湿和水润湿岩石中是等效的。^②

经常注入一定量的溶剂或溶剂段塞，用廉价的驱动流体驱替溶剂段塞来实现混相驱。溶剂段塞可以用适当的驱动流体来混相驱替，这种混相驱称作混相段塞驱。另一种是不混相驱替溶剂段塞，例如用水驱替丙烷段塞。然而，不混相驱替溶剂段塞会在油藏中留下残余溶剂饱和度。

1.6 混相驱史

自 50 年代初以来，在开发和现场试验混相驱的同时，一直在探寻有效的和经济的溶剂。在早期，集中在烃溶剂上，并开发了三种烃混相驱：初接触混相驱、汽化气驱和凝析气驱。后两种混相驱是动态混相。

一般丙烷或液化石油气混合物是由于初接触烃混相驱的溶

① 实际上，正如在 2.5~2.7 节所讨论的，一种或多种次一级的不混相的相，与达到动态混相的驱替中的主相可能是共存的。以往文献中所指的过渡带发生在主驱替相中——作者。

② 然而，水相与非水相之间的相对渗透率和润湿性能够影响混相驱替的效率，例如在水气交替注入过程中或者在毛管过渡带——作者。

剂，而高压天然气和具有中间分子量浓度的天然气是汽化气驱和凝析气驱的注入流体。还发现烟道气依靠汽化气驱机理在高压下与某些原油能达到动态混相。由于丙烷、液化石油气或富烃气成本高，这些溶剂都是以段塞的形式注入，通常用天然气驱动。

在 50 年代和 60 年代，美国和加拿大对烃混相驱进行了大量的现场试验^①。在这一段时间内，开始了 150 多个工程项目。大量的工程项目是小型的先导性试验，包括一口或最少数几口注入井；然而也在进行一些大型的工程项目，包括数千英亩或更大的面积。有少数几个工程项目试验注烟道气。

大部分混相驱是在构造平缓的油藏中进行的，虽然也有一些工程项目是在高闭合度油藏中把溶剂注到构造的上倾部位，而向构造的下倾部位驱替原油。后一种类型的混相驱的目的是利用重力和溶剂与原油之间的密度差异的作用来改善混相驱扫效率的。例如，在几个加拿大塔式礁中进行的工程项目，溶剂几乎是垂直向下驱替原油。大部分现场工程项目是作为二次采油方法应用烃混相驱的，虽然也有有限的工程项目是在注过水的油藏中进行三次采油混相驱。

现场试验和实验室研究发现了烃混相驱的一些问题，由于这些问题的影响，限制了这些混相驱的原油采收率和它们在经济上的吸引力。烃溶剂一般比油藏原油粘度小、密度低。由于这些特性，注入流体的窜流和重力分离就比注水中更为严重，因而混相驱扫效率往往很低。单位驱替效率高的优点常为体积驱扫效率低所抵销。溶剂段塞被破坏也是一个限制因素。段塞前缘溶剂和原油之间的混合，和段塞尾部溶剂与气体的混合，由于指进而加剧，很快使小于百分之几孔隙体积的小段塞稀释到无法再与原油混相的浓度。虽然存在这些缺点，仍在烃混相和注烟道气的工程项目中取得了某些技术上和经济上明显的成功。在某些混相驱中看来将达到 60%（占原始原油地质储量）以上的原油采收率。

① 烃混相驱现场试验的参考文献，列在第五、六和七章中——作者。

在 50 年代末到 60 年代初，公布了关于醇类混相驱的实验室研究成果⁽¹⁾。低分子量的醇，如异乙醇和特丁醇，都是与油藏原油和盐水初接触混相的流体。曾设想了一个混相驱方案，其中小的醇段塞用盐水驱过油藏，它们混相驱替前面的原油和水，并达到可以与注水相比拟的体积驱扫效率。然而，在实践中醇指状进入了原油，并且实验室研究发现，为防止段塞被原油和盐水稀释到不混相的浓度，需要注入大到不经济程度的大段塞。至少有一个现场试验曾试验过这种混相驱⁽¹⁾。

在 50 年代末和 60 年代初，公布了关于开发既有高单位驱替效率又有高驱扫效率的混相驱的研究，其中描述把可溶油和胶束溶液作为注入流体⁽⁵⁾。这些流体包含原油、水、表面活性剂、无机盐和潜溶剂，如醇类和低分子量的酯类。与在醇混相驱中一样，在这种混相驱中用盐水驱动一个较小的胶束溶液段塞通过油藏。为了在胶束溶液与驱动盐水之间达到有利的粘度比，在盐水中加入水溶性聚合物。还必须控制盐水的含盐度，使其保持在对驱油过程来讲最优值的水平。段塞的粘度靠段塞各组成的成分和浓度来控制。

自这些早期研究成果公布以来，对用不同配方的表面活性剂溶液驱替原油进行了大量的研究。这些流体可组配成至少在初期与原油混相或者与驱动聚合物溶液混相的流体⁽⁵⁾。一般说来，表面活性剂溶液段塞与原油和驱动聚合物都是不混相的，但视特定配方的不同，它可与其中任何一种流体不混相。设计追求的目的是要达到与不混相的相或各项具有极低的界面张力。表面活性剂溶液驱，虽然其注入流体可以配成与原油具有初期的混相性，但划归为低表面张力驱要比划归混相驱更合适。油藏中的混合几乎很快就把初期的组成稀释到具有低界面张力的两相或更多相。

到今天为止，含表面活性剂注入流体的现场试验数量有限，并且大部分试验仅具有先导性试验的规模。试验发现，要保持小的表面活性剂溶液-胶束溶液段塞的完整性和有效性是有问题的。

现在，在混相驱方面的活动集中在 CO_2 混相驱上^①。 CO_2 具有与烃混相溶剂相同的低粘度。和烃混相驱一样， CO_2 混相驱的体积驱扫效率受不利的粘度比的影响。在许多油层中， CO_2 的密度与原油的类似，从而减小了 CO_2 与原油的重力分离，但当油藏中有可流动的盐水时，它与盐水的密度差足以产生重力分离。

尽管 CO_2 的粘度低，但它可能是有吸引力的注入流体。 CO_2 要求较低的注入压力，因而在许多油藏中都可能达到动态混相。另外，对混相驱来说，将来 CO_2 的供应和成本都比烃-混相溶剂更为有利。这是因为有大量的天然 CO_2 和制造厂与发电厂副产品 CO_2 可供利用。其中某些供应地，特别是天然矿藏的 CO_2 ，有可能以可接受的成本开发并运输到位置有利的油田。

现在已经有了有限的 CO_2 混相驱现场试验。

1.7 混相驱的适用性

混相驱采油并不象注入那样广泛应用。从技术和经济观点来看，在大量的油藏中都能够成功地实施注水采油。对于烃气、烟道气、氮气或 CO_2 混相驱来讲，就不是这种情况了。其中一个限制因素是混相对压力-组成的要求。这一要求，例如当使用天然气、烟道气和氮气时，使有可能实施混相驱的油藏的数量受到严格限制，或者当使用 CO_2 时仅受到一定的限制。

然而，高成本是更为重要的一个限制。当对一个油藏来评价混相驱时，必须把预测的经济效益与对其他可供选择的方法所预测的经济效益作比较。继续进行一次采油，压力保持，注水，甚或废弃油藏，都是可能的可供选择的办法。混相驱可能比其他办法多花很多钱，主要是因为溶剂的成本高，设备费和操作费可能也高些。而且大量的附加费用集中花在工程项目的早期或者前期

① CO_2 混相驱的参考文献列在第八章——作者

工程上，而增产原油的收益则多集中在工程项目的中期。虽然混相驱的原油采收率比其他采油方法高些，但工程项目经济效益的这一有利因素，可能被高成本和前期投资所抵销。这是许多以往的现场工程项目的经验。

溶剂的供应量是另一个影响应用混相驱的重要因素。所要求的溶剂的最终供应量和供应速度可能很大。例如，一个 CO_2 驱工程项目可能要求的 CO_2 资源从数百亿英尺³ 到一万多亿英尺³，供应速度由每天数千万标准英尺³ 到数万标准英尺³。

对一个给定的油藏来讲，为使混相驱是一个有竞争力的方法，必须满足以下几个条件：（1）必须有足够的溶剂，其供应速度和成本允许获得有利的经济效益；（2）必须能够达到溶剂与原油混相所要求的油藏压力；（3）增产的原油数量必须很大并且及时，足以使工程项目的经济收益对付得了增加的成本。

增产的油量在很大程度上决定于油藏的特性，必须谨慎地予以评价，以便确定是否存在应用混相驱的可能性。对于一个典型的混相驱工程项目来讲，与注水相比需要更细致的和综合性的油藏工程、成本的确定和控制，以及对工程进展的监测。对培训的人员也相应的提出了更高的要求。

将来，在美国实施混相驱烃溶剂的成本可能是很高的，并且供应短缺（特殊情况例外）。但是，在某些其他主要产油国家中，烃溶剂的供应和成本，以及资源保护政策，可能有利于烃溶剂混相驱的工程项目。烟道气和氮气，在可以达到混相压力的深一些和压力高一些的油藏中将得到某些有限的应用。 CO_2 是美国将来最有潜力的混相驱工程项目，但这一潜力的发挥主要取决于将来供应 CO_2 的能力和成本。

参 考 文 献

1. *Miscible Processes*, Reprint Series, SPE, Dallas (1972) No. 8.
2. Smith, C. R.: *Mechanics of Secondary Oil Recovery*,