



成都理工大学
能源学院
60周年校庆文集

CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
COLLEGE OF ENERGY
THE 60TH ANNIVERSARY

油气藏流体相行为研究

侯大力 孙 雷 闫长辉 邓虎成 张 浩 何勇明 著



科学出版社

油气藏流体相行为研究

侯大力 孙 雷 闫长辉 著
邓虎成 张 浩 何勇明

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要围绕油气藏地层流体的 PVT 相态实验、相平衡理论及地层流体的 PVT 相态模拟三个方面,开展油气藏地层流体 PVT 相态实验的归纳总结,相平衡理论系统的文献调研和油气藏地层流体 PVT 相态模拟等大量工作。全书共分五章,第一章油气藏流体相态基础;第二章油气物性及关联式;第三章油气藏流体 PVT 相态实验;第四章状态方程;第五章油气藏流体 PVT 相态模拟。

本书可供油气田开发工程技术和生产管理人员及相关科研人员参考,也可作为相关院校师生、硕士和博士研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

油气藏流体相行为研究 / 侯大力等著. —北京:科学出版社, 2016.9
ISBN 978-7-03-049712-3

I. ①油… II. ①侯… III. ①油气藏-流体-研究 IV. ①P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 206382 号

责任编辑:杨 岭 郑述方 / 责任校对:韩雨舟

责任印制:余少力 / 封面设计:墨创文化

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年9月第一次印刷 印张:11.25 插页:2

字数:270千字

定价:82.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



油气藏流体相行为研究编委会

编写人员 侯大力 孙 雷 闫长辉 邓虎成 张 浩
何勇明 鲁洪江 潘 毅 焦保雷 王长权
朱秀兰 汤 勇 刘浩成 钱 真 崔飞飞
王建海 马淑芬 李 凯 林仁义 焦军伟
万 巍 房 明 张利明 尹 鹏 阮洪江

序

我国各大油田地质条件复杂，现已发现并投入开发的油藏类型多样，油气组分变化大。从油气性质上看，有特稠油、超稠油、普通稠油、常规黑油、凝析油、易挥发油、近临界凝析气、凝析气、天然气。由于每种油、气组分及物性呈现出千差万别的区别，而且，随着油、气藏的开发，油、气的 PVT 物性开发初期相比有了很大的变化。摸清油、气藏流体 PVT 相态高压物性的变化规律对油、气田下一步的生产方案的调整有着重大的意义。

油、气藏流体 PVT 相态数据用途很广，无论是在油、气藏模拟，还是在油、气藏工程的各种计算中，这些参数都是必不可少的资料。在试井测试所录取的资料中，压力和流体 PVT 相态高压物性是研究油、气田驱动类型、确定油、气田开采方式、计算油、气田储量、选择油、气井制度的基础。在测量手段不断精确的今天由以往的传统机械压力计发展到高精度电子压力计，这些基本参数将对正确认识油层和评价油层产生直接影响。所以，长期以来受到国内外石油行业研究学者的重视，目前已发展形成了油气流体 PVT 相态专门实验分析测试技术、理论表征方法和模拟研究方法。

本书以目前国内外对油气流体 PVT 相态的基础和应用研究为基础，借鉴油气流体相态的实验、理论和模拟研究，在依托国内部分油田地层油气流体样品研究的基础上，通过对油气藏的分类、油气流体 PVT 相态实验、油气流体 PVT 相态表征和油气流体 PVT 相态模拟等几方面的系统阐述，系统总结了油气流体 PVT 相态研究的评价方法。本书的作者大都具有油气流体相态、油气藏工程和油气藏数值模拟等方面的理论和应用研究的经历，具有理论和实践应用相结合的优势。该书依托“凝析油气藏开发新技术研究(2011B-1507)” CNPC 重大专项“花场凝析气藏 CO_2 、 N_2 提高凝析油采收率可行性室内评价研究”和国家自然科学基金青年基金“高温高压 CO_2 -原油-地层水三相相平衡溶解度规律(5140040257)”等多个课题，通过理论、实验和模拟的结合、理论与实际的结合，系统且全面的总结了油气流体相态研究的方法。该书是对油气流体相态研究介绍较为全面的一本专著，特向广大从事相关研究的研究者推荐。



2016.5.1

前 言

本书关于油气流体相行为的研究，与国内外的同类书籍相比，本书提供的大量油气藏地层流体 PVT 相态实验数据，源于我国各大油气田地层流体 PVT 相态实验测试结果，同时，在实验的基础上还进行了油气藏地层流体 PVT 相态模拟研究，这些测试和模拟结果对判断油气藏类型、估算储量、编制开发方案、确定开发方式、估算最终采收率及进行经济评价等都具有十分重要的意义。

《油气藏流体相行为研究》一书是笔者在参加“凝析油气藏开发新技术研究(2011B-1507)” CNPC 重大专项“花场凝析气藏 CO₂、N₂ 提高凝析油采收率可行性室内评价研究”、国家自然科学基金青年基金“高温高压 CO₂-原油-地层水三相相平衡溶解度规律(5140040257)”等多个课题中不断积累、研究后编写而成。全书共分六分类。第一章油气藏流体相态基础，主要阐述了油气藏地层流体的组成、流体组成的物性以及油气藏及关联式，综述了天然气和原油物性及关联式。第二章油气物性。第三章油气藏流体 PVT 相态实验，系统介绍了油气藏地层流体的流体取样、组分分析以及不同油气藏 PVT 相态实验，主要包括：干气、湿气、凝析气、近临界凝析气藏、挥发油和普通黑油 PVT 相态实验。第四章状态方程，归纳总结了文献上已经存在的立方型状态方程以及混合规则。第五章油气藏流体 PVT 相态模拟，主要对油气藏流体 PVT 相态模拟涉及的重质组分特征化以及两相闪蒸、等组成膨胀、定容衰竭和注气膨胀模拟等进行了阐述。

油气藏流体相行为研究涉及多学科、多专业，包括多相多组成相态理论、物理模拟和数值模拟等，是一项理论和实际结合的系统工程。本书依靠现场研究人员和高校研究人员组合的研究团队，在国内外相关学者的研究的基础上，结合自身的基础研究及现场应用，完成了书稿的编写和审定。在书稿的完成过程中，得到了成都理工大学能源学院和“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室及相关油田(中石油南方勘探开发股份有限公司、中石化勘探开发研究院和中石化西北油田分公司等)的大力支持。由于笔者水平所限，书中难免会出现一些不足之处，敬请读者同仁批评指正。

编者

2016 年 4 月

目 录

第 1 章 油气藏流体相态基础	1
1.1 油气藏流体组成及性质	1
1.2 油气藏分类	5
1.2.1 按流体性质划分	5
1.2.2 按流体相态特征划分	6
1.2.3 按气油比划分	7
1.2.4 按流体组分摩尔百分数划分	8
1.3 油气藏流体的相态特征	9
1.3.1 干气相态特征	9
1.3.2 湿气相态特征	10
1.3.3 凝析气相态特征	10
1.3.4 挥发油相态特征	11
1.3.5 黑油相态特征	12
参考文献	13
第 2 章 油气物性及关联式	14
2.1 物性命名及单位	14
2.1.1 分子量	14
2.1.2 临界特性及相对特性	15
2.1.3 组分组成及混合规则	15
2.1.4 体积特性	16
2.1.5 黏度	18
2.2 天然气物性	19
2.2.1 体积特性	19
2.2.2 偏差系数	21
2.2.3 气体拟临界特性	22
2.2.4 气体黏度	24
2.2.5 露点压力	25
2.2.6 天然气体积系数	26
2.3 原油物性	27
2.3.1 泡点压力	27
2.3.2 原油密度	28
2.3.3 欠饱和油的等温压缩系数	32

2.3.4	饱和油的等温压缩系数	33
2.3.5	饱和油的地层体积系数	33
2.3.6	原油黏度	34
	参考文献	36
第3章	油气藏流体 PVT 相态实验	38
3.1	流体取样	38
3.1.1	取样基本原则	38
3.1.2	取样方法	38
3.1.3	取样时机	39
3.1.4	取样井的选择	40
3.2	组分分析	40
3.3	PVT 相态实验	42
3.3.1	干气	42
3.3.2	湿气	48
3.3.3	凝析气	52
3.3.4	近临界凝析气	63
3.3.5	挥发油	71
3.3.6	普通黑油	80
	参考文献	92
第4章	状态方程	93
4.1	立方型状态方程	93
4.1.1	范德华方程	93
4.1.2	RK 方程	96
4.1.3	SRK 方程	98
4.1.4	PR 方程	101
4.1.5	SW 方程	103
4.1.6	PT 方程	106
4.1.7	LHSS 方程	108
4.1.8	Peneloux 体积方程	111
4.1.9	其他立方型状态方程	113
4.2	混合规则	115
4.2.1	维里型混合规则	115
4.2.2	范德华混合规则	115
4.2.3	交互作用参数与组成有关的混合规则	116
4.2.4	基于过量自由能(G^E/A^E)模型的局部组分型混合规则	117
	参考文献	123

第 5 章 油气藏流体 PVT 相态模拟	127
5.1 组分的分类	127
5.1.1 确定组分	130
5.1.2 C_{7+} 组分	130
5.1.3 劈分组分	133
5.2 二元相互作用系数	138
5.3 归并	138
5.4 相态模拟实例应用	144
5.4.1 组分劈分与归并	144
5.4.2 流体回归变量调整	145
5.4.3 等组成膨胀	147
5.4.4 定容衰竭	149
5.4.5 注气膨胀	150
参考文献	156
附录	158
索引	167

第 1 章 油气藏流体相态基础

油气藏流体主要由烃类成分组成,但油气藏中也存在地层水。大多数情况下地层水对烃类的相态和性质影响不大,除非水-烃形成固体结构,即水合物。所以一般情况下油气的相态按不考虑水的影响来处理。

在油藏及地面条件下,烃类混合物的性质取决于其化学成分及给定的温度和压力。这些性质影响到石油勘探和开发的各个方面,在油藏开发和管理中应首先给予考虑。

虽然油藏流体可能由成千上万种化合物组成,但其相态基础可通过纯物质和简单多组分混合物的性质来加以说明。虽然所有实际油藏流体的性质基本上遵循统一规律,但为了工业技术的应用方便,我们把油藏流体分为干气、湿气、凝析气、挥发油和黑油。

1.1 油气藏流体组成及性质

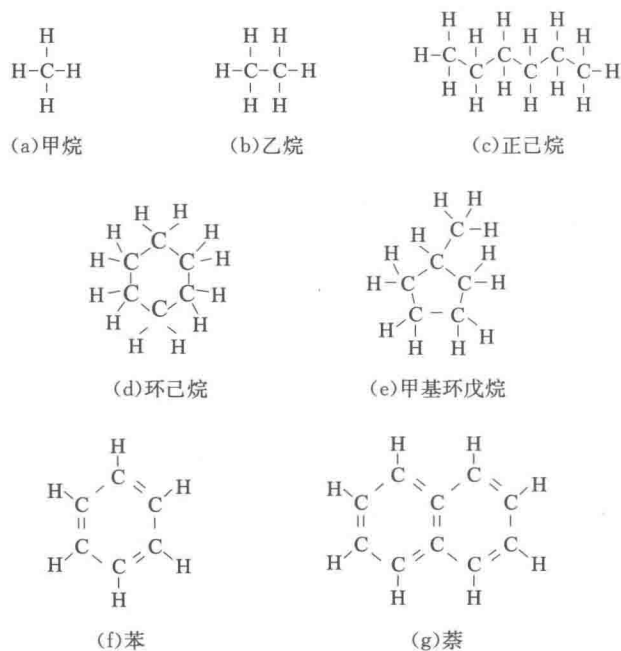
油气藏储层流体主要是由碳氢化合物组成的多组分混合物。油气藏储层流体中最简单的碳氢化合物是甲烷(CH_4),也是储层流体中最常见的组分。由于甲烷包含一个碳原子,它通常被表示为 C_1 。同样, C_2 用于表示乙烷(C_2H_6), C_3 用于表示丙烷(C_3H_8),然后其他烷烃以此类推。油气藏储层流体中碳原子数大于等于 7 的组分被称为 C_{7+} 组分, C_{7+} 组分的摩尔百分数之和被称为 C_{7+} 的摩尔分数。例如:油气藏储层流体中甚至含有像 C_{200} 一样重的碳氢化合物。通常,油气藏流体组分包括以下几类^[1]:

(1)石蜡烃。石蜡烃化合物由 C 、 CH 、 CH_2 或 CH_3 等组成,其中碳原子以单键连接。石蜡烃化合物分为正构石蜡烃(*n*-paraffins)和异构石蜡烃(*i*-paraffins)。正构石蜡烃中碳原子骨架为直链结构,而异构石蜡烃至少含有一个支链。所以,石蜡烃也称为烷烃。例如石蜡烃化合物中甲烷(C_1)、乙烷(C_2)和正己烷(C_6)。

(2)环烷烃。环烷烃化合物类似于石蜡烃,二者具有相似的烃类结构,不同之处在于环烷烃具有一个或多个环状结构。环状结构部分(如: CH_2)由单键连接。大多数环烷烃环状结构含有六个碳原子,它与常见的油气藏流体中的五或七个碳原子组成的环状结构也具有相同点。环烷烃也称为环烷,例如环己烷和甲基环己烷。

(3)芳香烃。芳香烃类似于环烷烃,芳香烃具有一个或多个环状结构,但是在芳香族化合物中碳原子以碳碳双键连接。苯(C_6H_6)是最简单的芳香烃,其分子结构如图 1-1 所示。另外,油气藏流体中的多环芳香烃具有两个或两个以上的环状结构,如:萘(C_{10}H_8)的分子结构,以上七种组分的分子结构如图 1-1 所示。

储层流体中石蜡烃(P),环烷烃(N)和芳香烃(A)的百分含量通常被称为 PNA 分布。

图 1-1 油气藏流体某些组分的分子结构^[1]

除此之外，油气藏流体也可能含有一些无机化合物，其中常见的有：氮(N_2)、二氧化碳(CO_2)和硫化氢(H_2S)。水(H_2O)也是重要的油气藏流体。由于水在油气中的溶解能力有限，在油气藏储层的下方通常会存在一个独立水层。

表 1-1 为油气藏流体常见组分的物理性质。对比发现，油气藏流体中烃类物质的正常沸点值范围较大。当压力为 0.1MPa，温度高于 $-161.6^{\circ}C$ 时，甲烷将以气态形式存在，而在相同压力下，温度只有达到 $218.0^{\circ}C$ 时，萘才以气态形式存在。烃类物质的碳原子数相同时，其属性也会大大不同。如：正己烷($n-C_6$)，甲基环戊烷($m-cC_5$)和苯都含有六个碳原子，但这三个组分的性质有很大的不同。从表 1-1 可以看出，在大气条件下 $n-C_6$ 的密度低于 $m-cC_5$ ，而 $m-cC_5$ 的密度低于苯。这表明具有相同碳数组分的密度将根据 $P \rightarrow N \rightarrow A$ 的规律增大。尤其在缺乏主要组分结构的实验资料时，组分密度的变化趋势可以用来确定在一个给定的 C_{7+} 组分中 PNA 分布，但这种方法很少使用。

表 1-1 油气藏流体常见组分的物理性质^[1]

组分	分子式	分子量 (g/mol)	熔点/ $^{\circ}C$	标准沸点 / $^{\circ}C$	临界温度 / $^{\circ}C$	临界压力 /bar	偏心因子	密度/(g/cm ³) 1atm, 20 $^{\circ}C$
无机氮	N_2	28.013	-209.9	-195.8	-147.0	33.9	0.040	—
二氧化碳	CO_2	44.010	-55.6	-78.5	31.1	73.8	0.225	—
硫化氢	H_2S	34.080	-83.6	-59.7	100.1	89.4	0.100	—
烷烃								
甲烷	CH_4	16.043	-182.5	-161.6	-82.6	46.0	0.008	—
乙烷	C_2H_6	30.070	-183.3	-87.6	32.3	48.8	0.098	—
丙烷	C_3H_8	44.094	-187.7	-42.1	96.7	42.5	0.152	—

续表

组分	分子式	分子量 (g/mol)	熔点/°C	标准沸点 /°C	临界温度 /°C	临界压力 /bar	偏心因子	密度/(g/cm ³) 1atm, 20°C
异丁烷	C ₄ H ₁₀	58.124	-159.6	-11.8	135.0	36.5	0.176	—
正丁烷	C ₄ H ₁₀	58.124	-138.4	-0.5	152.1	38.0	0.193	—
异戊烷	C ₅ H ₁₂	72.151	-159.9	27.9	187.3	33.8	0.227	0.620
正戊烷	C ₅ H ₁₂	72.151	-129.8	36.1	196.4	33.7	0.251	0.626
正己烷	C ₆ H ₁₄	86.178	-95.1	68.8	234.3	29.7	0.296	0.659
异辛烷	C ₈ H ₁₈	114.232	-109.2	117.7	286.5	24.8	0.378	0.702(16°C)
正癸烷	C ₁₀ H ₂₂	142.286	-29.7	174.2	344.6	21.2	0.489	0.730
环烷烃								
环戊烷	C ₅ H ₁₀	70.135	-93.9	49.3	238.6	45.1	0.196	0.745
甲基环戊烷	C ₆ H ₁₂	84.162	-142.5	71.9	259.6	37.8	0.231	0.754(16°C)
环己烷	C ₆ H ₁₂	84.162	6.5	80.7	280.4	40.7	0.212	0.779
芳族烃								
苯	C ₆ H ₆	78.114	5.6	80.1	289.0	48.9	0.212	0.885(16°C)
甲苯	C ₇ H ₈	92.141	-95.2	110.7	318.7	41.0	0.263	0.867
邻二甲苯	C ₈ H ₁₀	106.168	-25.2	144.5	357.2	37.3	0.310	0.880
萘	C ₁₀ H ₈	128.174	80.4	218.0	475.3	40.5	0.302	0.971(90°C)

数据源自于气液性质, McGraw-Hill, 纽约, 1977年^[2]

纯组分的蒸气压力和临界点对于计算多组分性质是非常重要的。根据纯组分从液体转变为气体时的温度值(T)和对应压力值(P)的实验来测定纯组分的蒸气压力。图 1-2 为甲烷、苯及其混合物的蒸气压力曲线。蒸气压力曲线端点为临界点(CP), 且不存在气液两相区。甲烷的临界温度 -82.6°C , 临界压力 46.0bar; 苯的临界温度 289°C , 临界压力 48.9 bar。

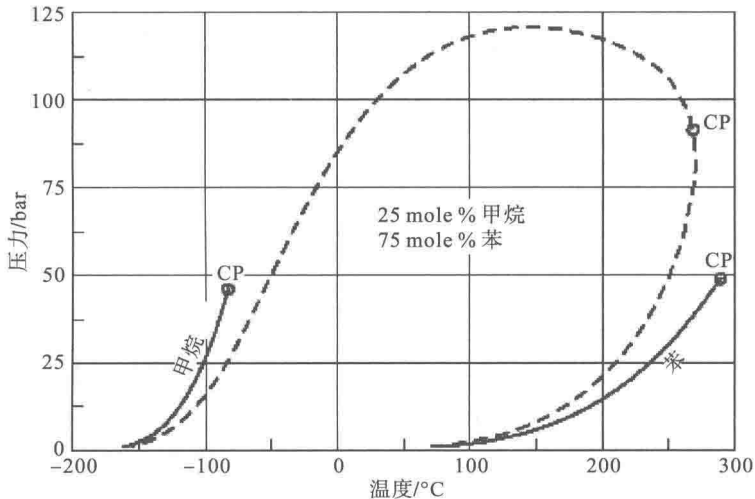


图 1-2 甲烷、苯及其混合物的蒸气压力曲线

实线分别表示甲烷、苯的蒸气压力曲线; 虚线是根据第 4 章 SRK 状态方程计算的 25mol%甲烷和 75%mol 苯的混合物的相包络线; CP 为临界点^[1]

如图 1-3 中的右图所示, 在一个给定的温度 T_1 下, 纯组分相态及其组分数量不变且位于一个区间内。组分体积随活塞上下移动而变化。在 A 点, 组分呈气态。如果活塞向下移动, 体积将减小而压力将增大, 直到位于 B 点时, 出现液相。当活塞继续向下移动, 体积将继续减小, 但压力保持不变直到所有气体转化为液体, 到达 C 点。降低组分体积将导致压力急剧增加, 即到达 D 点。如图 1-3 中的左图所示, 相变穿越一个蒸气压曲线。纯组分的两种相态只存在于蒸气压曲线上。在蒸气压曲线上将发生从气相到液相或液相到气相的转换。 T 恒定时, 改变 P 将出现伴随体积变化的相变。在 D 点, 体系组分为欠饱和液体。在 B 点, 组分位于露点且为饱和气体。在 C 点, 组分位于泡点且为饱和液体。在 A 点, 体系组分为欠饱和气体。

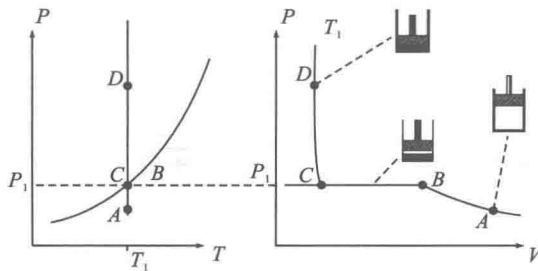


图 1-3 纯组分的 P - T 相图和 P - V 相图^[1]

另一个重要属性为(Pitzer, 1955)定义的偏心因子 ω :

$$\omega = -1 - \lg P_r^{sat} \quad (1-1)$$

式中, P_r^{sat} 为对比蒸气压, 具体定义如图 1-4 所示。纯组分对比蒸气压 $P_r^{sat} = P_{sat}/P_c$ 的对数与对比温度的倒数 $T_r = T/T_c$ 的关系曲线图为一近似的直线。图 1-4 给出了 nC_{10} 和 Ar 的 $\lg P_r^{sat}$ 和 $1/T_r$ 的关系曲线图。当 T_r 为 0.7, 即 $1/T_r$ 为 1.43 时, Ar 的 $\lg P_r^{sat}$ 值为 -1.0, nC_{10} 的 $\lg P_r^{sat}$ 值为 -1.489, 则 Ar 的偏心因子为 0。一般来说, 任一组分的偏心因子等于 Ar 的 $\lg(P_r^{sat})_{T_r=0.7}$ 值减去该组分的 $\lg(P_r^{sat})_{T_r=0.7}$ 值。用上述方法计算出来 nC_{10} 的偏心因子为 $[-1 - (-1.489)] = 0.489$, 其符合表 1-1 给出的 nC_{10} 的偏心因子的值。

偏心因子 ω 被认为是衡量分子偏心度或非球形度的物质特性常数。符合正链烷烃组分的偏心因子的变化规律如下: 甲烷(C_1)的偏心因子为 0.008, 乙烷(C_2)的偏心因子为 0.098、丙烷(C_3)的偏心因子为 0.152, 其他烷烃的偏心因子详见《物理化学手册》^[3]。更重要的是, 偏心因子是衡量纯组分蒸气压曲线的曲率。图 1-5 给出与 nC_{10} (温度 344.5°C, 压力 21.1bar) 具有相同临界温度和临界压力的 3 种物质的蒸气压曲线, 3 种物质的偏心因子分别为 0.0, 0.5 和 1.0 (nC_{10} 的偏心因子为 0.489)。三条蒸气压曲线端点结束在同一个临界点处, 曲线的弯曲度由偏心因子决定。当偏心因子为 1.0 时, 在低温处蒸气压曲线相对平缓, 而当接近临界温度时曲线急剧增加。如果偏心因子较小, 在某一温度时对应的蒸气压值更大。

图 1-5 蒸气压曲线是根据第 4 章 Peng-Robinson 状态方程计算得到。

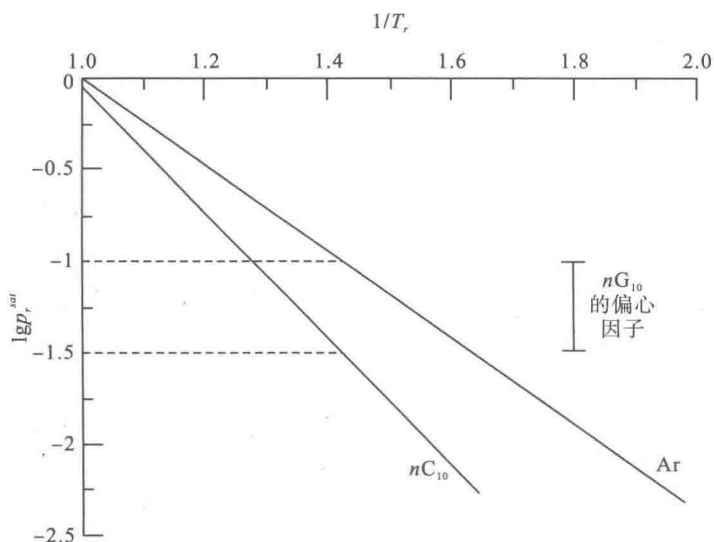


图 1-4 Ar、 nC_{10} 蒸气压曲线所确定的 nC_{10} 偏心因子图； T_r 为对比温度 (T/T_c)， P_r^{sat} 为对比饱和压力点为 (P^{sat}/P_c) [1]

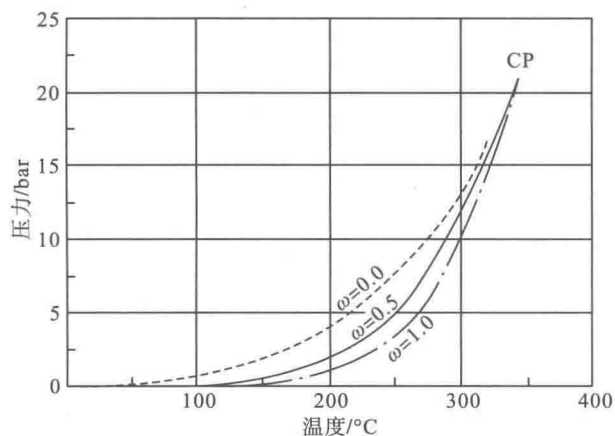


图 1-5 T_c 和 P_c 相同的 3 种物质 (偏心因子为 0.0, 0.5 和 1.0) 和 nC_{10} 组分 (偏心因子为 0.489) 的蒸气压曲线 [1]

1.2 油气藏分类

正确划分和判断油气藏类型是确定各种油气藏合理开发模式的基础。然而，从目前国内外研究的现状看，国内外学者对油气藏类型划分还没有统一的标准。但大体可以归为四类 [4]，即按流体性质划分、按流体的相态特征划分、按气油比划分和按流体组分摩尔百分数划分。

1.2.1 按流体性质划分

根据流体性质划分油气藏类型的条件如表 1-2 所示。关键的问题是如何区分黑油、挥发油

和凝析气。因此，表中只将这三种油气藏流体的性质列于表内。从黑油到挥发油，原油组分和性质的变化是逐步过渡的，因而严格地制定黑油和挥发油之间的界限有一定的难度。

表 1-2 不同油气藏的流体性质^[4]

流体分类	黑油	挥发油	凝析气
油藏流体颜色	棕—深绿	浅绿—枯黄	枯黄—黄或浅黄透明
地面相对密度	0.966~0.825	0.850~0.759	0.802~0.739
气油比/(m ³ /m ³)	36~125	267~623	623~5343
体积系数	<2	>2	>2.5
井流体组分 C ₇₊ 含量/mol%		10~40	2~10
油藏温度/°C	37.8~93.3	65.6~148.9	65.6~148.9
饱和压力/MPa	2.1~20.7	24.1~37.9	20.7~62.4

1.2.2 按流体相态特征划分

石油是由有机化合物组成的混合物，不同油气藏中流体的组分及其比例是不同的。因此，在不同地层温度和压力下，不同油气藏具有不同的相态特征，所以利用相态特征可有效地判断油气藏类型。图 1-6 给出了一个多组分烃类的典型相态图。根据地层温度与临界点温度和最大温度之间的相对位置，将油气藏划分为黑油油藏、轻质油藏、凝析气藏和气藏四大类，并进一步细分为下面八类^[4]：



从图 1-6 可以看出，轻质油的热力学特性位于黑油和凝析气之间，轻质油藏的地层温度低于临界温度，但靠近临界温度，而黑油油藏的地层温度同样低于临界温度，但远离临界温度。凝析气藏地层温度高于临界温度。

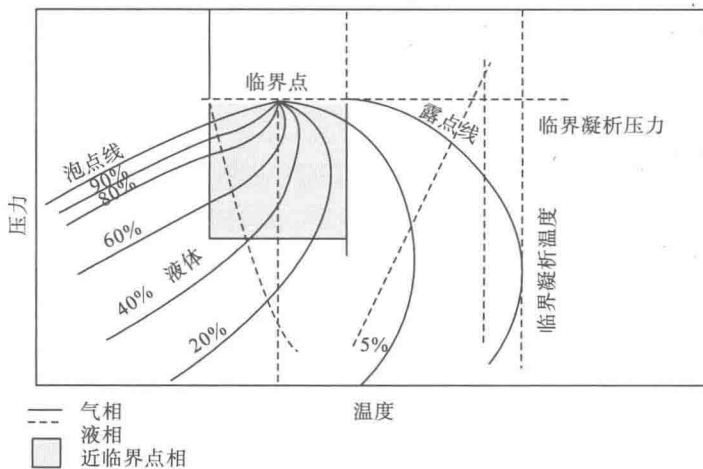


图 1-6 多组分烃类相态图^[4]

1.2.3 按气油比划分

图 1-7 给出了从黑油到干气的气油比范围，其中包括挥发油和凝析气的气油比。挥发油和凝析气的气油比范围是有一部分重叠的，并分布在黑油和干气之间的中间区域或过渡区域。挥发油的气油比通常在 $267 \sim 623 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

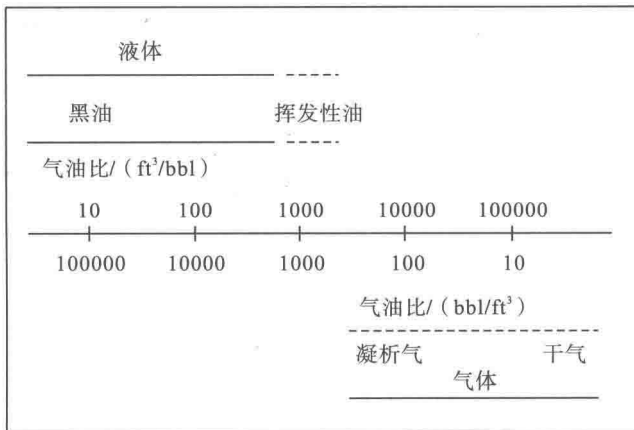


图 1-7 油气藏的气油比分布范围^[4]

图 1-8 是根据一些黑油油藏、轻质油藏和凝析气藏的资料绘制而成，此图可作为划分油气藏类型的参考。它的纵坐标是地下单位体积烃采到地面时液体体积(采液量/百桶)，横坐标为气油比。由图 1-8 看出，不同类型油气藏采液量和气油比的变化范围与表 1-3 中相应指标基本相同。

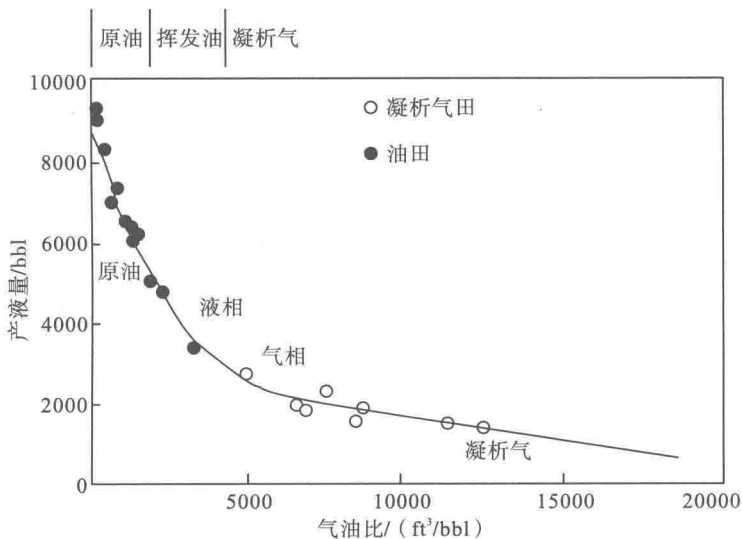


图 1-8 油气藏的产液量体积百分数和气油比^[4]

1.2.4 按流体组分摩尔百分数划分

国外学者 Chapman Croaquist 统计了一些油田的组分资料, 提出了油气藏类型的三角相图, 如图 1-9 所示^[4]。气藏和凝析气藏集中地分布在 C_1+N_2 顶部范围, 挥发油的组分位于凝析气和黑油之间。图中虚线代表 C_{7+} 为 12.5mol%, 这一条虚线将挥发油区和凝析气区分隔开。符号旁边的数字是油藏流体编号。

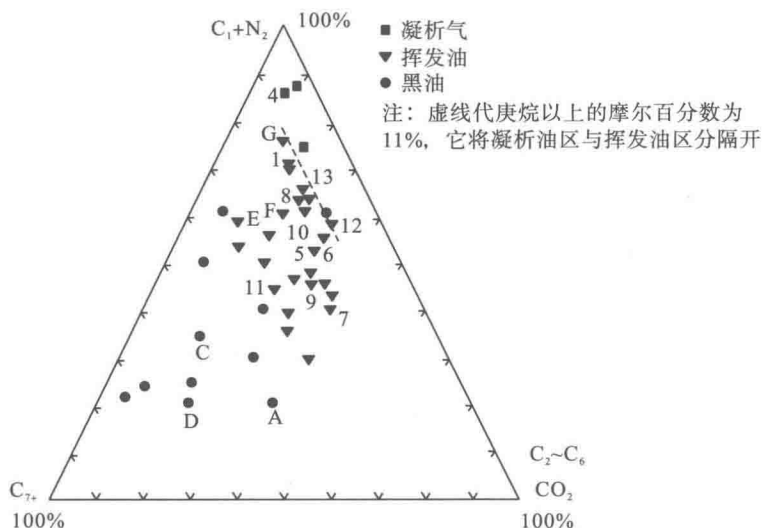


图 1-9 油气藏类型三角相图^[4]

不同的储层流体具有不同的组分摩尔百分数, 如表 1-3 所示。从表 1-3 可以看出, 典型黑油的甲烷含量(39.24mol%)较低, 而典型挥发油(62.36mol%)则略高于黑油, 低于凝析气(72.98mol%)。挥发油中间烃类的组分 $C_2 \sim C_6$ 含量(19.84mol%)远高于黑油(2.39mol%)。黑油其余组分的含量远远高于挥发油和凝析气。

表 1-3 各类型典型油气藏流体组分组成摩尔百分含量(mol%)对比^[1]

组分	凝析气藏	挥发油	组分	黑油
N_2	0.53	0.46	N_2	0.04
CO_2	3.30	3.36	CO_2	0.69
C_1	72.98	62.36	C_1	39.24
C_2	7.68	8.90	C_2	1.59
C_3	4.10	5.31	C_3	0.25
C_4	0.70	0.92	C_4	0.11
C_4	1.42	2.08	C_4	0.10
C_5	0.54	0.73	C_5	0.11
C_5	0.67	0.85	C_5	0.03
C_6	0.85	1.05	C_6	0.20
C_7	1.33	1.85	C_7	0.69
C_8	1.33	1.75	C_8	1.31