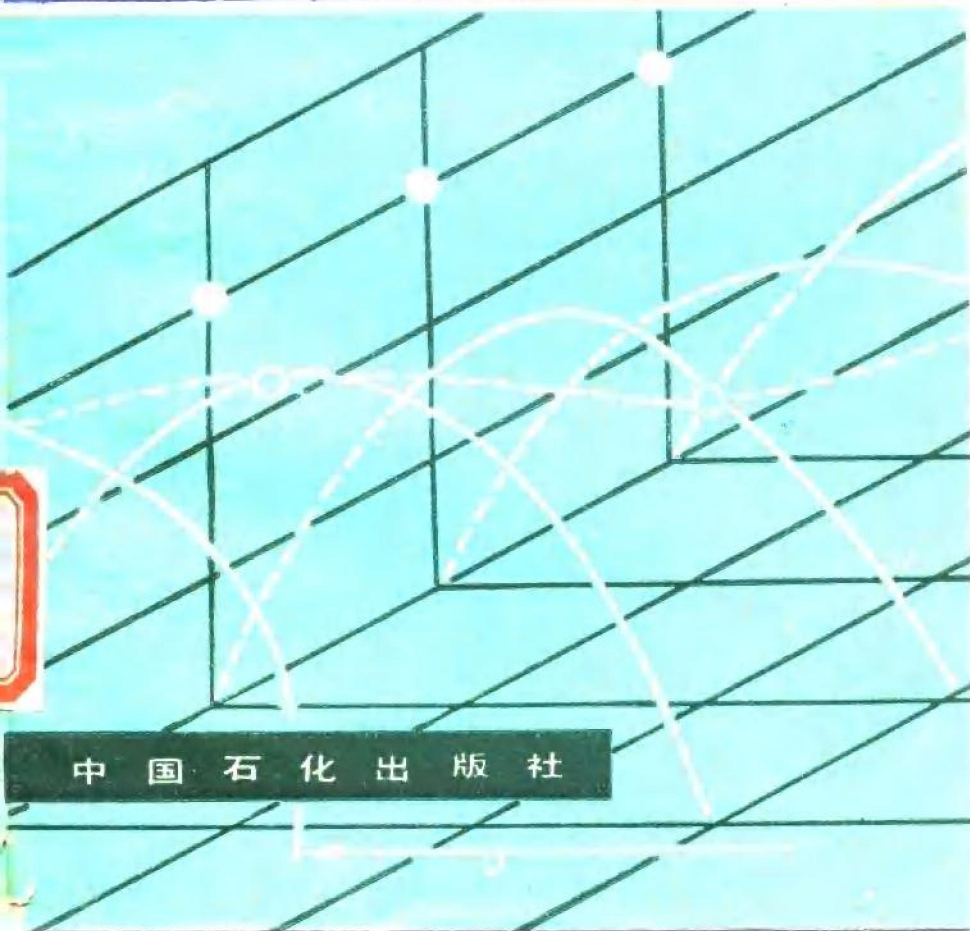


K. S. 佩 德 著

石油和天然气的性质



中国石化出版社

81.71
361
C.1

石油和天然气的性质

[美] K.S.佩德森 等著

郭天民 等译

4224/14

中国石化出版社



(京)新登字048号

内 容 提 要

本书主要介绍了石油和天然气相态行为、热力学性质以及传递性质的实验测定技术和基于状态方程的模型化方法,还讨论了石油类复杂混和物的特性化方法和各类相平衡问题的严格热力学计算方法。

本书紧密联系生产实际,内容反映了当代最新研究成果,适合于从事石油、天然气和石油化工专业的生产、设计、研究单位的工程技术人员及有关院校师生阅读。

**Contributions in Petroleum Geology and
Engineering Properties of Oils and
Natural Gases**

K.S. Pedersen

Aa. Fredenslund

P. Thomassen

Gulf Publishing Company, 1989

石油和天然气的性质

〔美〕K.S.佩德森 等著

郭天民 等译

中国石化出版社出版

北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米32开本8¹/₈印张 198千字 印1—2000

1992年3月北京第1版 1992年3月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-190-8/TE·029 定价:4.20元

译 者 的 话

本书系统、简明地介绍有关石油和天然气相态行为与物性的实验测定技术、热力学模型及模拟计算方法，内容反映该领域的最新进展。

全书共分十六章，在实验技术方面介绍了油气组成， PVT 行为（泡/露点、闪蒸、恒组成膨胀、恒容衰竭和微分释放）及物性（密度、分子量、粘度和表面张力）测定的典型设备及测试技术。在模型化方面介绍了状态方程、重烃馏分的特征化方法及计算粘度、导热系数和表面张力的数学模型。此外，还讨论了描述气体水合物及石蜡生成的热力学模型。在模拟计算技术方面详细阐述了闪蒸和 PVT 实验的模拟计算方法，并对注气混相驱的模拟作了简要的说明。

本书的翻译工作是和王君钰教授合作完成。翻译过程中发现原著中的一些错误，经与原作者核实后已在译文中改正。

本书适用于石油、天然气和石油化工等大专院校的参考书，并可供有关生产、设计和研究单位的工程技术人员参考。

郭天民

1990年6月

42268

符 号 表

a :	状态方程参数
a :	式15-18定义的常数
$a_1 \sim a_2$:	式5-54与式5-55定义的常数
$a_1 \sim a_5$:	式11-6定义的常数
A :	芳香烃 (第一章)
A :	式5-23定义的常数
A :	式7-13定义的常数
A :	表面积 (第十三章)
A :	式13-15定义的常数
A :	式15-5定义的常数
A_c :	式13-3定义的常数
$A_0 \sim A_2$:	式5-51~5-53定义的常数
$A_0 \sim A_3$:	式5-86定义的系数
API :	API 重度 (141.5/ $SG-131.5$)
b :	状态方程参数
b :	式15-18定义的常数
$b_1 \sim b_4$:	式5-59~5-62定义的参数
B :	式7-13定义的常数
B :	式5-24定义的常数
B :	式13-15定义的常数
B :	式15-5定义的常数
B_o :	收缩因子 (式3-2所定义)
$B_0 \sim B_1$:	式5-57与5-58定义的参数
$B_0 \sim B_4$:	式5-87定义的系数

B' :	式13-5定义的常数
c :	式5-39定义的 <i>Peneloux</i> 参数
$c_1 \sim c_8$:	式5-68~5-73定义的参数
$c_1 \sim c_9$:	式13-16与13-17定义的常数
C_c :	临界点 (第一章)
C_c :	式5-46定义的常数
C_c :	式5-86定义的密度关联因子
C_c :	吸附系数 (第十五章)
CF :	式7-47定义的函数
C_N :	碳原子数
C_P :	恒压下摩尔热容
C_V :	恒容下摩尔热容
C_1 :	标准情况下的密度关联因子 (第五章)
C_2 :	实际情况下的密度关联因子 (第五章)
$C_0 \sim C_3$:	式5-64~5-67定义的参数
$C_1 \sim C_4$:	理想气体热容多项式5-36与式7-43~7-46中的系数
C_{7+} :	碳原子数为7和多于7的烃
D :	直径 (第三章)
DL :	微分释放
$e_1 \sim e_3$:	式6-54与式6-56定义的函数
$e_1 \sim e_8$:	式5-79~5-84定义的参数
EOS :	状态方程
$E_0 \sim E_3$:	式5-75~5-78定义的参数
f :	逸度
f :	式12-12定义的函数
f_i :	式12-36定义的函数

II

f_{ij} :	式12-24定义的函数
$f_{x,0}$:	式12-22定义的函数
F_{λ} :	式12-21定义的函数
F :	分布函数 (第七章)
$FCMP$:	一次接触最低混相压力
F_1 :	式11-41定义的函数
F_2 :	式11-41定义的函数
g :	重力加速度
g_1 :	式6-26定义的函数
g_2 :	式6-28定义的函数
G :	Gibbs能
GOR :	气/油比
h_i :	式12-27定义的函数
h_{ij} :	式12-25定义的函数
$h_{x,0}$:	式12-23定义的函数
H :	式3-11定义的函数
H :	摩尔焓
H :	式6-23定义的函数
$HTAN$:	式11-41定义的函数
I :	式7-21与式7-22定义的特性因子
I :	用于定义连续分布的变量 (第七章)
I_p :	求积点 (第七章)
$j_1 \sim j_7$:	式11-38定义的系数
J :	相数 (第六章)
k :	式6-9定义的常数
k :	Boltzmann常数 (第十四章)
k_{ij} :	二元交互作用系数

$k_1 \sim k_7$	式11-40定义的常数
K	相平衡常数 (汽相摩尔分数/液相摩尔分数)
K	式5-45定义的常数
K	Watson特性因子 (第七章)
K	式15-21定义的常数
$l_1 \sim l_7$	式12-18定义的常数
L	式3-10中的毛细管长度
L	两个分子间的平均自由程
m	式5-16定义的偏心因子函数
m	式5-46定义的常数
m	假组分数
M	抑制剂的分子量除以水的分子量
MMP	最低混相压力
M_r	式(7-40)定义的r秩统计矩
MW	分子量
n	折光指数 (第七章)
n	式3-5与第六章中的摩尔数
n	式5-45定义的常数
n	离散组分数 (第七章)
N	环烷烃 (第一章)
N	级数 (第三章)
N	组分数 (第六章)
$NCOMP$	组分数
$NSTEP$	总闪蒸级数
P	烷烃 (第二章)
P	式7-17定义的概率函数
$[P]$	等张比容 (第十三章)

$PVT,$	压力、容积、温度
q_{∞}	式6-46定义的函数
q_p	式6-47定义的函数
q_0	式6-45定义的函数
q	单位面积的热流 (第十二章)
r	晶体半径 (第十四章)
r	自晶格壁的距离 (第十五章)
r^*	临界半径 (第十四章)
R	气体常数
R	式7-27定义的参数
Rs	溶解气/油比 (式3-3所定义)
s	求积点数 (第七章)
s	固相中的摩尔分数
s	抑制剂浓度 (第十五章)
S	标准条件 (通常为15℃与101kPa)
S	熵
SG	相对密度
SRK	Soave-Redlich-Kwong
T	温度
$\bar{T}$	式15-8定义的平均温度
T^*	第六章定义的转化温度
TBP	实沸点
v	速度
v	式7-23定义的参数
v	体积分数
V	式5-41定义的SRK体积
w	式7-24定义的参数

w ;	重量分数 (或重量百分数)
w ;	加权函数 (第七章)
w ;	孔穴势能 (第十五章)
x ;	液相摩尔分数
y ;	汽相摩尔分数
Y ;	式6-10定义的变量
Y_{Ki} ;	i 类孔穴被 K 类气体分子占据的概率
z ;	摩尔分数
Z ;	压缩因子

α' ;	式6-43定义的参数
α ;	式7-17中的参数
α ;	式11-34定义的参数
α ;	式16-1定义的参数
α_0 ;	式13-4定义的Riedel参数
β ;	汽相摩尔分数
β ;	式7-17中的参数
β ;	式13-5定义的常数
γ ;	活度系数 (第十四与十五章)
Γ ;	Gamma函数 (第七章)
δ ;	溶解度参数 (第十四章)
Δ ;	步长 (第六章)
$\Delta\lambda_c$;	式12-16定义的函数
$\Delta\lambda'$;	式12-16定义的函数
$\Delta\lambda''$;	式12-17定义的函数
$\Delta\eta$;	式13-18定义的函数

$\Delta\eta'$:	式11-38定义的函数
$\Delta\eta''$:	式11-40定义的函数
ϵ :	第二相中的摩尔数 (第六章)
ξ :	式6-27定义的参数
η :	粘度
η :	式7-17中的参数
η :	“连续组分”的摩尔分数 (第七章)
η_0 :	式11-37定义的函数
η_1 :	式11-37定义的函数
$\Delta\eta'$:	式11-37定义的函数
θ :	形状因子 (第十一章)
θ :	式11-39定义的参数
λ :	导热系数
λ_0 :	式12-16定义的函数
λ_1 :	式12-16定义的函数
λ' :	式12-20定义的函数
λ'' :	式12-29定义的函数
μ :	化学位
v_i :	i 类孔穴数 (第十五章)
ξ :	摩尔汽相分数 (第七章)
ξ :	粘度变换参数 (第十一章)
ρ :	密度
$\bar{\rho}$:	摩尔密度
σ :	表面张力
σ :	硬球分子的直径 (第十一章)
τ^* :	式6-32定义的参数
τ :	剪切应力

Φ :	逸度系数
Φ :	体积分数 (第十四章)
χ :	二元交互作用系数 (第十四章)
ω :	偏心因子

下角标与上角标

attr:	引力
α :	纯水态 (第十五章)
B :	沸点
B_r :	对比沸点
β :	空水合物晶格 (第十五章)
c :	临界态
e :	中线
F :	进料 (第五章)
F :	凝固点
G :	气相
H :	水合物相 (第十五章)
i :	组分标号
I :	相数
II :	相数
id:	理想
int:	内部
j :	组分标号
k :	组分标号
L :	液相
mix:	混合物
M :	甲烷

N_i	组分鉴别号 (第十六章)
o_i	参比状态 (第六章)
o_i	参比组分 (第十一与十二章)
p_i	分离器条件 (第二章)
$pure_i$	纯组分
r_i	对比状态 (实际条件下的性质/临界条件下的性质)
R_i	参比状态 (通常为15℃与101kPa)
RA_i	Racket (式5-43)
ref_i	参比状态
rep_i	斥力
res_i	油藏条件
res_i	残余 (第五章)
S_i	固相 (第十四章)
$spec_i$	给定值
σ_i	表面张力
tr_i	平移
V_i	蒸汽
vap_i	蒸汽
w_i	水
$\% (wt)_i$	重量百分数
x_i	X-方向
y_i	Y-方向
$'_i$	虚拟状态 (第五章)
$*_i$	稀薄气体 (第十一章)

序 论

从事于从贮藏的油气中生产石油和天然气的化学和石油工程师，传统上对所生产出的烃类流体的性质和组成的细节并不太感兴趣。生产方案与设备的设计主要是基于经验。考虑到油和气勘探与开发所需的巨额投资，这样做是不足取的。现今生产系统和设备都需经过详细的工程分析和精心的设计，以期获得最优的烃生产量并使操作和投资费用达到最小。

分析和设计生产油和气的设备与方案需要对烃类流体的热力学及物理性质具有充分的知识。要了解一个分离器在给定条件下能生产多少气体和多少油，必须知道混合物的汽-液平衡关系和密度。了解油藏中的流动过程需要粘度和表面张力的知识。换热器设计需要流动流体导热系数的知识。其它例子还很多。

显然，如拥有由实验观测得到的上述性质的知识，那将是最好不过的。然而，要测定所有烃类流体在所有相关条件下的那些性质是不可能的。因而，本书的主要目的是详细介绍如何应用数学模型来准确预测自然生成的油和气体混合物的传递性质（粘度和导热系数）、表面张力以及热力学性质（密度、焓和相平衡）。本书是为石油和天然气及相关工业中的设计（化学或石油）工程师编写。

本书中所描述的模型是三个单位：Statoil，即挪威State石油公司，Calsep A/S，丹麦的一个工程顾问公司，以及丹

麦技术大学的化工系，执行合作科研与开发计划的结果。科研计划是在以下三个水平上开展。

基础水平是关于油或气的描述。对Statoil的北海油曾作了详细的组成分析，包括色谱分析，实沸点蒸馏等。对分析结果曾作了内在一致性的检验，例如通过计算和测定残液的平均分子量。这一基础水平研究的最终结果是得到对烃类混合物的分析，它比前人工作的结果详细得多而且有显著的改进。

研究的第二级水平是关于扩展改进的烃馏分 T_c ， P_c 和 ω （临界温度，压力和偏心因子）关联式，将之表示为分子量和其它性质的函数。此外，还开发了用于估计（“特征化”） C_{20+} 残液组成的程序。

第三级水平是关于通过比较实测和预测的性质来选择状态方程、粘度模型等。此级研究水平还包括模型的进一步发展，例如通过改进混合规则，以及将模型应用于模拟宏观过程，例如闪蒸操作、石蜡生成以及油藏油/气的混溶性。

这三级研究水平之间相互影响很大。拥有准确与详细的组成分析对开发有意义和确有改进的状态方程中所用 T_c ， P_c 和 ω 关联式是一个必要条件。应用状态方程预测密度和露点时，为获得较好结果需要有可靠的 T_c ， P_c 和 ω 模型。在所有三个水平上继续进行改进和调整，贯穿了整个科研计划。

由于本书中所提出的模型是基于可能得到的最详细和最正确的分析资料，因此，模型的预测性很高。虽然模型几乎是完全基于北海油藏流体的数据而开发的，但是也有把握将它们应用于其它地区的油藏流体。认识到这一点也很重要，即开发模型虽然需要非常详细的分析数据，但使用这些模型时却无需拥有同样详细的数据。

本书分为四部分。第一部分（第一至第四章）介绍和描述油和气。第一章中描述了不同种类的油，而测定组成和性质的实验室方法则在第二和第三章中给出。第四章列出几种混合烃的组成数据，还给出包括密度、露点和粘度等的详细数据。

第二部分（第五～十章）描述热力学性质，如密度、露点和闪蒸分离的模型化。在已有的许多不同模型中，选择Soave-Redlich-Kwong状态方程作为这些性质的基本模型。在第八和第九章中指出这一模型（经采用体积平移概念稍作修正）给出的结果与实验值很吻合。然而，选择Soave-Redlich-Kwong状态方程具有一定的任意性。应用其它状态方程，如Peng-Robinson，也可能获得同样良好的结果。但需强调第七章中详细描述的特征化程序是与所选状态方程相结合的，虽然其原理可应用于任一状态方程。第六章中所阐述的闪蒸计算程序可与任一状态方程结合使用。

本书的第三部分（第十一～十三章）描述新近发展的用于预测烃类混合物的传递性质（粘度与导热系数）和表面张力的关联式。传递性质的模型是基于对应状态原理，并可同时应用于气相和液相。表面张力关联式之一与粘度关联式紧密相联系。

本书最后一部分（第十四～十六章）阐述本工作中所开发的一些模型的若干新颖而重要的应用：管线中石蜡的生成、气体水合物的生成和注气混相过程的研究。

作者的意图是给出尽可能完整的论述。因而书中列出了许多详细的实验数据，并给出所开发的模型的细节，因此，根据本书所给的材料即可很容易地应用这些模型。

目 录

符号表	I
序 论	X
第一章 油藏流体	1
第二章 组成的测定	8
第三章 油与气体性质的测定	41
第四章 组成和性质数据	71
第五章 状态方程	83
第六章 闪蒸计算	104
第七章 特征化方法	120
第八章 <i>PVT</i> 实验的模拟	137
第九章 实测和预测的热力学性质之间的比较	150
第十章 状态方程参数的调节	165
第十一章 粘度	183
第十二章 导热系数	200
第十三章 表面张力	209
第十四章 蜡的生成与抑制	222
第十五章 气体水合物	236
第十六章 注气混相的模拟	252