

ICS 75.020

E 12

备案号: 27457—2010



中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5542—2009

代替 SY/T 5542—2000, SY/T 5543—2002,
SY/T 6434—2000, SY/T 6435—2000

油气藏流体物性分析方法

Test method for reservoir fluid physical properties

2009—12—01 发布

2010—05—01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 仪器仪表	3
5 仪器仪表标定与检定	4
6 样品检查	7
7 地层流体配制	10
8 转样	13
9 热膨胀实验	14
10 单次脱气实验	14
11 恒质膨胀实验	15
12 多次脱气实验	15
13 定容衰竭实验	15
14 地层油黏度测定	16
15 原油地层流体物性分析	17
16 凝析气地层流体物性分析	24
17 易挥发性原油地层流体物性分析	28
18 湿气地层流体物性分析	28
19 干气地层流体物性分析	28
附录 A (资料性附录) 地层原油分离实验	29
附录 B (资料性附录) 原油流体物性分析报告的格式	31
附录 C (资料性附录) 凝析气藏流体物性分析报告的格式	43
附录 D (资料性附录) 易挥发油藏流体物性分析报告的格式	55
附录 E (资料性附录) 干气藏流体物性分析报告的格式	57

前 言

本标准整合修订并代替 SY/T 5542—2000《地层原油物性分析方法》、SY/T 5543—2002《凝析气藏流体物性分析方法》、SY/T 6435—2000《易挥发原油物性分析方法》和 SY/T 6434—2000《天然气藏流体物性分析方法》四个标准。

本次整合修订内容：

- 将四个标准进行整合并将标准名称改为《油气藏流体物性分析方法》；
- 统一了四个标准的术语和定义；
- 增加了单相原油密度测定方法和压缩系数计算方法；
- 将四个标准中相同的仪器仪表和标定方法及检定步骤进行了整合；
- 删去了 SY/T 6434—2000 中的天然气取样；
- 将四个标准中样品检查和样品配制及质量检查进行了合并；
- 将四个标准中相同的实验如热膨胀实验、单次脱气实验、恒质膨胀实验、多次脱气实验、定容衰竭实验、地层油黏度测定等进行了合并；
- 将 SY/T 6434—2000 分解成了湿气和干气地层流体物性分析方法，并将四个标准的分析方法分别修改成原油地层流体物性分析、凝析气地层流体物性分析、易挥发性原油地层流体物性分析、湿气地层流体物性分析、干气地层流体物性分析共 5 部分；
- 统一了分析报告格式和图表，并按照 GB/T 1.1—2000 的要求规范了标准格式。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 均为资料性附录。

本标准由油气田开发专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油勘探开发研究院石油采收率研究所。

本标准主要起草人：郑希谭、孙文悦、李实、陈钢、李军、洪颖。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- SY/T 5542—1992，SY/T 5542—2000；
- SY/T 5543—1992，SY/T 5543—2002；
- SY/T 6434—2000；
- SY/T 6435—2000。

油气藏流体物性分析方法

1 范围

本标准规定了油气藏流体物性分析的基本原理，所用主要仪器、仪表的校验方法，油、气样品的检验，地层流体的配制、转样、分析测试及计算方法。

本标准适用于油气藏流体的测定。柱塞或活塞式 PVT 仪均可使用，其他类型的 PVT 仪器可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法

SH/T 0169 矿物绝缘油平均分子量测定法（冰点降低法）

SH/T 0604 原油和石油产品密度测定法（U 形振动管法）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

标准条件 reference conditions

计量油气所规定的标准参比条件。我国石油天然气计量标准条件规定为 20℃ 和 0.101325MPa。

3.2

黑油 black oil

常规高压物性分析所指的黑油指气油比小于 $250\text{m}^3/\text{m}^3$ ，地面油密度通常介于 $0.83\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.98\text{g}/\text{cm}^3$ 之间，体积系数小于 2 的一种烃类混合物流体。

3.3

易挥发性原油 volatile oil

通常指气油比介于 $250\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 550\text{m}^3/\text{m}^3$ 之间，地面油密度介于 $0.76\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.83\text{g}/\text{cm}^3$ 之间，体积系数大于 2 的烃类混合物流体。其性质介于黑油和凝析气之间，在油藏条件下以液态形式存在。当油藏压力略低于饱和压力时，体积收缩很大。

3.4

凝析气 condensate gas

通常指气油比介于 $550\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 18000\text{m}^3/\text{m}^3$ 之间，地面油密度介于 $0.72\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.82\text{g}/\text{cm}^3$ 之间的烃类混合物流体。其特征在储层条件下呈气态，等温降压时会发生反凝析现象。采到地面后除大部分仍为气态外，还能凝析出液态烃类混合物。

3.5

湿气 wet gas (富气 rich gas)

通常指甲烷含量小于 95%，气油比大于 $18000\text{m}^3/\text{m}^3$ ，地面油密度介于 $0.70\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.80\text{g}/\text{cm}^3$

之间的烃类混物流体。其特征在储层条件下呈气态，采到地面后除绝大部分仍为气态外，还能凝析出少量液态烃类混合物。

3.6

干气 dry gas (贫气、瘦气 lean gas)

通常指甲烷含量大于95%，含少量乙烷或含乙烷以上的烃类气体，在储层条件下呈气态，采到地面后仍为气态的烃类混合物。

3.7

油罐油 stock tank oil

油气藏烃类流体经油气分离器分离后，进入储油罐并在大气条件下与油罐气处于平衡状态的液态烃。

3.8

死油 dead oil

油气藏烃类流体经单次脱气到大气条件下所得到的液态烃。

3.9

活油 live oil

溶解有气体的液态烃。

3.10

残余油 residual oil

油气藏烃类流体在地层温度下经多次脱气或定容衰竭试验后，在大气压力下所剩余的液态烃。

3.11

泡点压力 bubble point pressure

在一定温度条件下，处于液相的物系中，当压力下降时体系出现第一个气泡的压力或处于气液两相的体系中，当压力升高时，气体完全被溶解时的压力。

3.12

露点压力 dew point pressure

在一定温度条件下，处于气态的物系中，当压力下降时体系中凝析出第一滴液滴时的压力或处于气液两相的体系中，当压力升高时，液体完全被溶解成为单相时的压力。

3.13

饱和压力 saturation pressure

泡点压力和露点压力的总称谓。

3.14

井流物 well stream

从油气井中产出的流体物质。实验室等容衰竭试验中排出的液态和气态流体物质也称为井流物。

3.15

生产气油比 produced gas oil ration (GOR)

标准条件下的一级分离器气产量与油罐油产量(20℃)之比，单位为立方米每立方米(m^3/m^3)。

3.16

分离器气油比 separator gas oil ration

标准条件下的一级分离器气产量与一级分离器油产量(分离器条件)之比，单位为立方米每立方米(m^3/m^3)。

3.17

压缩系数 compressibility factor

等温条件下，原油体积随压力的变化率。

3.18

热膨胀系数 thermal expansivity

等压条件下，原油体积随温度的变化率。

3.19

体积系数 relative volume factor

体积系数的大小随脱气方式的不同而不同，有单次和多次脱气之分，引用时需注意区别。广义上讲，是指单相状态下的原油体积与其地面脱气死油体积（20℃）之比，称为地层原油体积系数或相对体积。

单次脱气地层原油体积系数：地层条件下原油体积与单次脱气得到的死油体积（20℃）之比。

分离器油体积系数：分离器条件下的油体积与油罐油体积（20℃）之比。

多次脱气油体积系数：多次脱气下，某压力下的油体积与其残余油体积（20℃）之比。

气体体积系数：地层条件下气体的体积与其在标准条件下的体积之比。

油气双相体积系数：当压力低于饱和压力时，某压力下的油气总体积与其残余油体积（20℃）之比。

3.20

气体偏差系数 gas deviation factor

为修正实际气体与理想气体的偏差而在理想气体状态方程中引进的乘数因子。其物理意义为：在规定的温度和压力条件下，任意质量气体的体积与该气体在相同条件下按理想气体定律计算出的体积之比，又称气体压缩因子。

3.21

单次脱气 single flash

处于某一状态的单相烃类流体，通过节流，瞬间膨胀到另一状态的过程。在这一过程中，体系由单相变为气液两相而总组成保持恒定，又称接触脱气或一次闪蒸。

3.22

恒质膨胀 constant composition expansion

体系中一定质量的烃类物质只有能量交换而无物质的传入与传出。该项试验一般是将一定量的地层流体样品，在恒温条件下，测定其体积随压力的变化关系，俗称 $p-V$ 关系测试。

3.23

多次脱气 differential liberation

在一定温度下，将烃类体系分级降压脱气和排气的过程。在这一过程中，体系的总组成不断改变。也称差异脱气或差异分离。

3.24

定容衰竭 constant volume depletion

将饱和压力下的体积作为定容体积，在恒温条件下，降低体系压力到预定压力；平衡后，保持该压力排出部分气态烃类物质到定容体积，测定不同压力级下排出烃类物质的量和组成的一种试验。

4 仪器仪表

4.1 PVT 仪及配样装置：额定工作温度大于或等于 150℃，控温精度小于 0.5℃，额定工作压力大于或等于 50MPa。

4.2 高压计量泵：容量 100cm³~500cm³，最小刻度分辨率小于或等于 0.01cm³，额定工作压力大于或等于 50MPa。

4.3 分离器：额定工作压力大于 3MPa，额定温度大于或等于 35℃，控温精度小于或等于 0.5℃。

4.4 高压黏度计：测量误差小于 3%，额定温度大于或等于 150℃，控温精度小于 0.5℃，额定工作

压力大于或等于 50MPa。

4.5 标准压力表或压力传感器：压力表精度小于或等于 0.25 级，压力传感器精度正负 0.5FS%。

4.6 密度仪：读数精度小于或等于 0.001g/cm³，控温精度小于或等于 0.05℃。

4.7 气相色谱仪：天然气组分分析到庚烷以上，摩尔分数精确到 0.0001，原油组分分析到 C₃₀ 以上，质量分数精确到 0.0001。

4.8 相对分子质量测定仪：测量范围 100~700，测量误差小于或等于 5%。

4.9 气体计量计：容量大于或等于 1000cm³，最小刻度分辨率小于或等于 1cm³。

4.10 天平：量程大于或等于 160g，感量大于或等于 0.1mg。

4.11 大气压力表：精度 0.4 级。

5 仪器仪表标定与检定

5.1 PVT 容器的标定

标定工作包括容器死体积、容器容积及温变系数、压变系数的标定。

5.2 高压计量泵的标定

5.2.1 标定方法

高压计量泵刻度标定采用分段排水称量法。

5.2.2 标定步骤

5.2.2.1 计量泵标定在某一预定压力下进行，压力通常为 10.00MPa（本标准中压力均为绝对压力）。

5.2.2.2 泵腔清洗干净，抽空至 200Pa 后，继续抽 30min 后充满二次蒸馏水。

5.2.2.3 计量泵全量程均分为四段标定，每段排水称量三次，每次约 20cm³，称准至 0.001g（每次排水时，泵的初、末读数都要在标定压力和进泵状态下读取，读数精确到 0.01cm³）。

5.2.2.4 记录室温。

5.2.3 数据整理

5.2.3.1 泵读数差的计算见式（1）。

$$\Delta N_i = N_{2i} - N_{1i} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔN_i —— i 次泵读数差的数值，单位为立方厘米（cm³）；

N_{2i} —— i 次泵末读数的数值，单位为立方厘米（cm³）；

N_{1i} —— i 次泵初读数的数值，单位为立方厘米（cm³）。

5.2.3.2 排出水体积的计算见式（2）。

$$V_{wi} = \frac{W_{wi}}{\rho_w} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

V_{wi} —— i 次泵实际排出水体积的数值，单位为立方厘米（cm³）；

W_{wi} —— i 次排出水质量的数值，单位为克（g）；

ρ_w ——蒸馏水在标定压力、室温下的密度的数值，单位为克每立方厘米（g/cm³）。

5.2.3.3 泵校正系数的计算见式（3）。

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{V_{wi} \cdot n}{\Delta N_i} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

F ——泵的校正系数；

n ——排水总次数。

5.2.4 泵的标定周期

5.2.4.1 泵的标定周期为 12 个月。

5.2.4.2 在以后的分析工作中（除气量计标定外），泵读数都应在标定压力（10.00MPa）和进泵状态下读数。

5.2.4.3 当室温与标定时温度相差 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以上时，需要在相应温度下重新标定泵的校正系数。

5.3 高压落球黏度计的标定

5.3.1 标定方法

用不同的已知黏度和密度的黏度标准液充满黏度计测试腔，在不同角度下测定不同直径钢球的降落时间，得到不同直径钢球的黏度与落球时间的关系曲线或关系式。

5.3.2 标定步骤

5.3.2.1 准备一系列已知黏度和密度的黏度标准液。

5.3.2.2 清洗并吹干黏度计后用黏度标准液充满黏度计测试腔。

5.3.2.3 选择一合适钢球装入测试腔内。

5.3.2.4 黏度计恒温至标准液要求的温度 3h 以上。

5.3.2.5 选定一个测定角度，按黏度计测试规程平行测定五次以上。要求落球时间相对误差小于 1%。

5.3.2.6 改变测定角度，重复 5.3.2.5 测定。

5.3.2.7 选择另一标号黏度标准液，重复 5.3.2.2~5.3.2.6 测定。

5.3.2.8 每条黏度标定曲线至少需 6 种~7 种不同黏度值的标准黏度液。

5.3.2.9 落球时间控制在 10s~80s 为宜。

5.3.3 数据整理

5.3.3.1 根据测定结果，分别计算每个钢球在不同测定角度下落球时间与钢球和标准液密度差的乘积，将其与已知黏度值标绘在算术坐标系上，得到如图 1 所示的某一钢球在不同测角下的标定曲线。

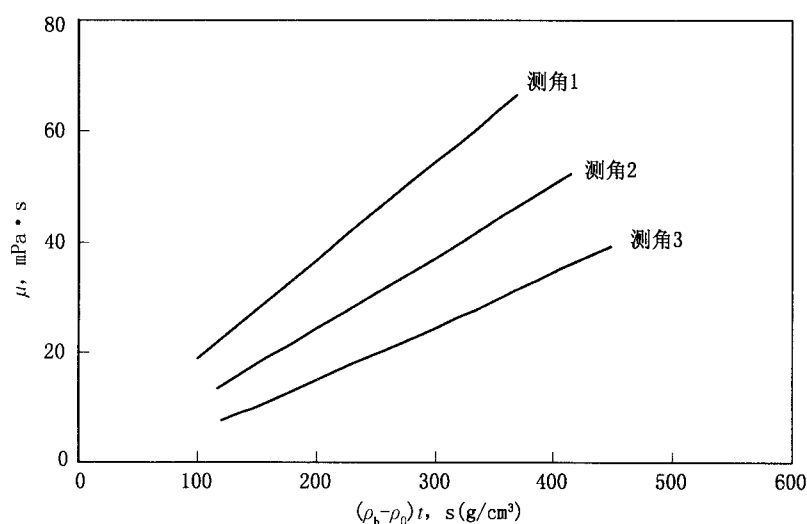


图 1 落球黏度计标定曲线

5.3.3.2 根据测定结果，也可回归出相应的黏度计算公式，见式（4）。

$$\mu = m_i (\rho_b - \rho_0) t \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

μ ——被测液体的黏度的数值,单位为毫帕秒 (mPa·s);

m_i ——某钢球在某一测角下的黏度计常数,从标定中求得;

ρ_b ——测定温度下钢球的密度的数值,单位为克每立方厘米 (g/cm³);

ρ_0 ——测定温度下标准液的密度的数值,单位为克每立方厘米 (g/cm³);

t ——落球时间的数值,单位为秒 (s)。

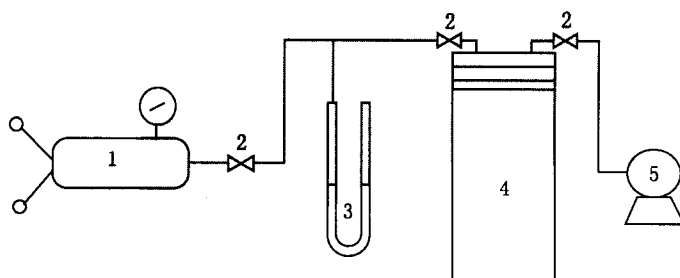
5.3.4 标定周期

高压落球黏度计的标定周期为 24 个月。

5.4 气体计量计的标定

5.4.1 气量计死体积标定

5.4.1.1 按图 2 接好流程,将气量计活塞置于进气端的上限点。



1—计量泵; 2—阀门; 3—U 型管压力计; 4—气体计量计; 5—真空泵

图 2 标定气量计死体积标定流程图

5.4.1.2 用真空泵将死体积抽空,真空度达 200Pa 后再抽 2h。

5.4.1.3 选择一台经标定过的计量泵,泵中充满空气。当 U 型管两水液面平齐后记录泵的初读数。

5.4.1.4 将计量泵中气体缓慢充入死体积中,调整计量泵使 U 型管两液面平齐,稳定 5min 后记录泵的末读数。

5.4.1.5 重复测定三次以上,将三次泵的初末读数之差的平均值乘以泵的校正值为气量计的死体积。

5.4.2 气量计刻度标定方法

气量计刻度标定采用在大气压力和室温下分段充气计量法。

5.4.3 标定步骤

5.4.3.1 准备一台经过校正并配有精密压力表的计量泵,将泵腔清洗干净并吹干。

5.4.3.2 打开泵排空阀,泵中充满空气。

5.4.3.3 气量计测筒压力稳定在大气压力后,记录气量计初读数。

5.4.3.4 关闭泵排空阀,泵接至气量计测筒入口,泵内空气压力稳定在大气压力条件下后记录泵初读数。

5.4.3.5 缓慢匀速地将一定体积的空气注入气量计中,当压力表稳定在大气压力后,记录泵和气量计末读数。重复测定三次以上。

5.4.3.6 气量计全量程均分为四段,按 5.4.3.2~5.4.3.5 分段标定。

5.4.4 数据整理

5.4.4.1 泵读数差的计算利用公式 (1) 计算。

5.4.4.2 气量计读数差的计算见式 (5)。

$$V_{gi} = V_{2i} - V_{1i} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

V_{gi} —— i 次气量计读数差，单位为立方厘米（ cm^3 ）；
 V_{2i} —— i 次气量计末读数，单位为立方厘米（ cm^3 ）；
 V_{1i} —— i 次气量计初读数，单位为立方厘米（ cm^3 ）。
气量计校正系数的计算见式（6）。

$$F_g = \sum_{i=1}^{n_g} \frac{\Delta N_i \cdot F \cdot n_g}{V_{gi}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：
 F_g ——气量计校正系数；
 n_g ——气量计标定总次数。

5.4.5 标定周期

气量计标定周期最长为 24 个月。

5.5 原油密度和相对密度测定仪的标定

数字式密度仪，标定按 SH/T 0604 执行，其他测定仪器按相关标准执行。

5.6 原油平均相对分子质量测定仪的标定

原油平均相对分子质量测定采用冰点降低法，标定按 SH/T 0169 执行。

5.7 气相色谱仪的校验

气相色谱仪除按期经法定计量单位检定外，对气体分析还应采用标准气在每次测试期间进行校正，以保证测试数据准确可靠。天然气组分组成分析标定按 GB/T 13610 执行。

5.8 分析天平、压力表或压力传感器、热电偶或温度计校检

分析天平、压力表或压力传感器、热电偶或温度计按计量检测的相关规定定期送检。

6 样品检查

6.1 目的

判断取样质量好坏和样品储运过程中是否有漏失。

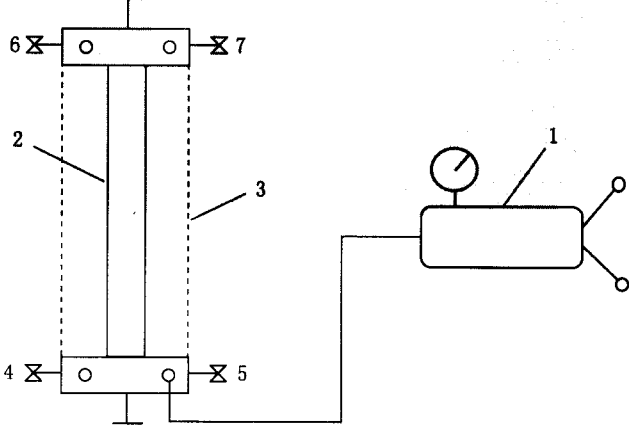
6.2 初检

当接到样品时，检查样品的数量、井号及标签是否与送样单一致，取样记录资料是否齐全，外观是否有漏油现象等。

6.3 井下流体（采用井下取样器于井筒中取得）样品的检查

6.3.1 打开压力的测定

6.3.1.1 计量泵中充满工作介质，按图 3 连接流程，管线排气并试压，读泵读数。



1—高压计量泵；2—井下取样器；3—恒温套；4，5，6，7—转样接头阀门

图 3 地下流体样品检查流程

6.3.1.2 计量泵加压至高于取样点压力，打开阀 5，连通样品。

6.3.1.3 取样器加热恒温至取样点温度。加热过程中要不断摇样（摇样时关阀 5），以防压力过高。

6.3.1.4 恒温 4h 以上，并经充分摇动，压力稳定后的压力值即为该样品的打开压力。

6.3.2 含水量检查

在取样点温度下，将取样器直立静放 4h 以后，关闭阀 5，微开阀 4，将水及污物全部放出。计量放出的水及污物。取样器中不含水及污物，或其含量不大于 5% 为合格。

6.3.3 泡点压力的测定

6.3.3.1 在取样点温度下将样品加压至地层压力以上，充分摇动，使样品成单相。稳定后记录压力值和泵读数。

6.3.3.2 降压至下一预定压力（压力间隔为 1MPa~2MPa），充分摇动至压力稳定后记录压力和泵读数。依次分别测得各压力下的泵读数。

6.3.3.3 以压力为纵坐标，泵读数为横坐标，将测试结果标绘在算术坐标系上，从而得到如图 4 所示的泡点压力测试曲线，曲线之拐点即为泡点压力。

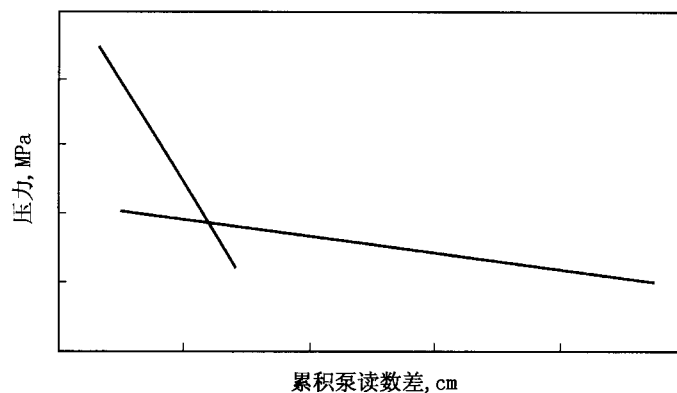


图 4 泡点压力测试曲线

6.3.3.4 更换另一支井下流体样品，重复 6.3.1~6.3.3.3 测定。

6.3.3.5 有代表性的样品具有以下条件：

- a) 至少有两支以上样品泡点压力相对误差小于 3%；
- b) 泡点压力小于或等于取样点压力，相对误差不大于 3%。

6.3.3.6 如果几支样品经检查均合格，则一般取泡点压力较高的那支样品为分析样品。

6.4 地面流体（从一级分离器取得）样品的检查

6.4.1 分离器气样的检查

6.4.1.1 将分离器气样瓶直立加热，恒温至分离器温度 4h 以上，如图 5 所示连接压力表。

6.4.1.2 打开气瓶上阀连通压力表，压力表读数即为气样压力。

6.4.1.3 气样压力与分离器压力相对误差小于 5% 为合格。

6.4.1.4 取气样分析其组分组成，测试方法按 GB/T 13610 执行。

6.4.2 分离器油样的检查

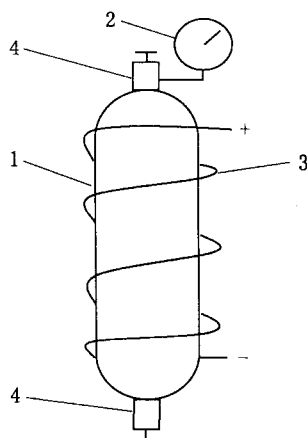
6.4.2.1 油样检查参照 6.3.1~6.3.3 进行。

6.4.2.2 分离器油泡点压力与分离器压力相对误差小于 5% 为合格。

6.4.2.3 在测定泡点压力的同时，参照 11.2 测定分离器油的压缩系数 C_{os} 。

6.4.3 分离器油的单次脱气测定

选择一经检查合格的分离器油瓶，参照 10.2 方法和步骤，在分离器温度下进行测试。



1—分离器气样瓶；2—压力表；3—恒温套；4—阀门

图5 分离器气样检查流程

6.4.4 数据整理

6.4.4.1 油罐油体积的计算见式 (7)。

$$V_{ot} = \frac{W_{ot}}{\rho_{ot}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

V_{ot} ——油罐油体积的数值，单位为立方厘米 (cm^3)；

W_{ot} ——油罐油质量的数值，单位为克 (g)；

ρ_{ot} ——油罐油密度的数值 (20℃)，单位为克每立方厘米 (g/cm^3)。

6.4.4.2 分离器油的体积系数的计算见式 (8)。

$$B_{os} = \frac{V_{os}}{V_{ot}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

B_{os} ——分离器油体积系数；

V_{os} ——分离器油体积的数值 (由泵读数差经校正求出)，单位为立方厘米 (cm^3)。

6.4.4.3 分离器油的气油比的计算见式 (9)。

$$GOR_t = \left(\frac{T_0 \cdot p_1 \cdot V_1}{p_0 \cdot T_1 \cdot V_{ot}} \right) - 1 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

GOR_t ——分离器油气油比的数值，单位为立方厘米每立方厘米或立方米每立方米 (cm^3/cm^3 或 m^3/m^3)；

T_0 ——标准温度的数值 (取值为 293.15K)，单位为开 (K)；

p_1 ——当日大气压力的数值，单位为兆帕 (MPa)；

V_1 ——放出气体在室温、大气压力下的体积的数值，单位为立方厘米 (cm^3)；

p_0 ——标准压力的数值 (取值为 0.101MPa)，单位为兆帕 (MPa)；

T_1 ——室温的数值，单位为开 (K)。

6.4.4.4 油罐油的摩尔组成的计算见式 (10)。

$$X_{ti} = \frac{X_{wi}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_{wi}}{M_i} \right) M_i} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

X_{ti} ——油罐油 i 组分的摩尔分数;

X_{wi} ——油罐油 i 组分的质量分数;

M_i —— i 组分的摩尔质量的数值, 单位为克每摩 [尔] (g/mol)。

6.4.4.5 分离器油的组成的计算见式 (11)。

$$X_{si} = \frac{X_{ti} + 4.157 \times 10^{-5} \frac{\overline{M}_{ot}}{\rho_{ot}} GOR_t \cdot y_{ti}}{1 + 4.157 \times 10^{-5} GOR_t \frac{\overline{M}_{ot}}{\rho_{ot}}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

X_{si} ——分离器油 i 组分的摩尔分数;

y_{ti} ——油罐气 i 组分的摩尔分数;

\overline{M}_{ot} ——油罐油的平均相对摩尔质量的数值, 单位为克每摩 [尔] (g/mol)。

6.4.5 油气分离平衡状态和取样质量的检查

6.4.5.1 检查目的: 地面分离器油、气样经检查合格后, 还需根据油、气样的组分组成数据, 检验现场分离器压力和温度控制是否稳定, 进一步判断样品的代表性。

6.4.5.2 检查方法: 根据热力学关系, 处于平衡状态的分离器油、气样品, 其组成从甲烷到己烷, $\lg K_i \cdot p_{sep}$ 与 $b_i \left(\frac{1}{T_{bi}} - \frac{1}{T_{sep}} \right)$ 应成线性关系 [见式 (12) ~ 式 (14)], 线性关系达 95% 为合格。

$$\lg K_i \cdot p_{sep} \propto b_i \left(\frac{1}{T_{bi}} - \frac{1}{T_{sep}} \right) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$K_i = \frac{Y_{si}}{X_{si}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$b_i = \frac{\lg p_{ci} - \lg 0.101}{\frac{1}{T_{bi}} - \frac{1}{T_{ci}}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

K_i —— i 组分的平衡常数;

p_{sep} ——一级分离器压力的数值 (绝对), 单位为兆帕 (MPa);

b_i —— i 组分的特性常数, 由式 (14) 计算;

T_{bi} —— i 组分的沸点的数值, 单位为开 (K);

T_{sep} ——一级分离器温度的数值, 单位为开 (K);

Y_{si} ——分离器气 i 组分的摩尔分数;

p_{ci} —— i 组分的临界压力的数值 (绝对), 单位为兆帕 (MPa);

T_{ci} —— i 组分的临界温度的数值, 单位为开 (K)。

7 地层流体配制

7.1 准备

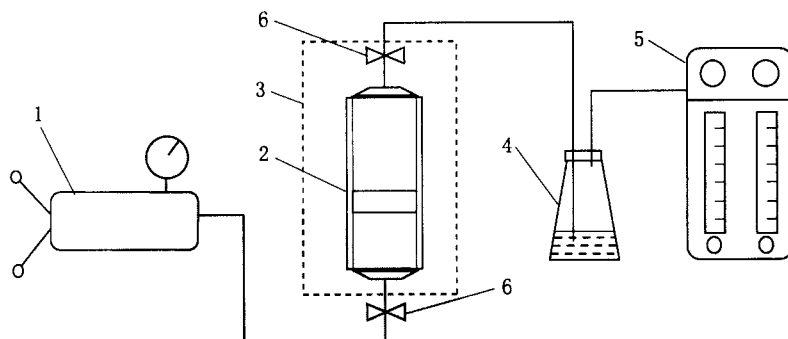
7.1.1 分离器气体的复压

采用气体增压泵法或冷冻复压法等方法将处于分离器温度下的分离器气体转入活塞式高压容器中, 并增压到配样压力。

7.1.2 配样条件下气体偏差系数的测定

7.1.2.1 实验步骤。

7.1.2.1.1 按图 6 连接流程。恒温浴恒温在配样温度 4h 以上。



1—高压计量泵；2—高压容器；3—恒温浴；4—气体指示瓶；5—气量计；6—阀门

图 6 气体偏差系数测定流程

7.1.2.1.2 用计量泵将高压容器中的分离器气样增压到配样压力并保持稳定。

7.1.2.1.3 记录计量泵和气量计初读数。

7.1.2.1.4 打开高压容器顶阀，保持压力将约 20cm³ 高压气体缓慢放出，关闭顶阀。

7.1.2.1.5 读取泵、气量计末读数，记录室温和大气压力。

7.1.2.1.6 按 7.1.2.1.3~7.1.2.1.5 重复测定三次以上。

7.1.2.2 配样条件下的气体偏差系数的计算见式 (15)。

$$Z_p = \frac{p_p \cdot V_p \cdot T_1 \cdot Z_1}{T_p \cdot p_1 \cdot V_1} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

Z_p ——配样条件下气体的偏差系数；

p_p ——配样压力的数值（绝对），单位为兆帕（MPa）；

V_p ——高压气体的体积的数值（由泵读数差经校正求出），单位为立方厘米（cm³）；

T_p ——配样温度的数值（一般可设定为分离器温度），单位为开（K）；

Z_1 ——室温、大气压力下的气体偏差系数（一般可近似取值等于 1）。

7.2 配样计算

7.2.1 现场气油比的校正

计算见式 (16)。

$$GOR_c = GOR_f \sqrt{\frac{d_f \cdot Z_f}{d_L \cdot Z_L}} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

GOR_c ——校正气油比的数值，单位为立方米每立方米（m³/m³）；

GOR_f ——现场气油比的数值，单位为立方米每立方米（m³/m³）；

d_f ——现场计算气量所用天然气相对密度的数值；

Z_f ——现场计算气量所用天然气偏差系数；

d_L ——实验室所测天然气相对密度的数值；

Z_L ——实验室所测分离器条件下的天然气偏差系数。

7.2.2 计算一级分离器气油比

如果送样单上提供的是分离器气油比，则按 7.2.1 校正即可。若提供的是生产气油比，则应换算为分离器气油比。

计算见式 (17)。

$$GOR_s = \frac{GOR_c}{B_{os}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

GOR_s ——分离器气油比的数值，单位为立方米每立方米 (m^3/m^3)。

7.2.3 配样用油量计算

7.2.3.1 根据分析项目确定地层流体样品需要量。对黑油来讲，可近似地定为分离器油的用量为配制地层流体样品的量；而对凝析气而言，若配 $x cm^3$ 的地层流体，则需分离器油的用量由式 (19) 求出。

7.2.3.2 配制黑油流体样品用油量计算见式 (18)。

$$V_{op} = V_{os} [1 - C_{os} (p_p - p_{sep})] \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

V_{op} ——配样条件下的用油量的数值，单位为立方厘米 (cm^3)；

C_{os} ——分离器油的压缩系数，单位为兆帕分之一 (MPa^{-1})。

7.2.3.3 配制 x 体积凝析气流体样品用油量计算见式 (19)。

$$V_{op} = \frac{366x}{GOR_s + 183} \quad \dots\dots\dots (19)$$

7.2.4 配样用气量

计算见式 (20)。

$$V_{sg} = \frac{p_0 \cdot V_{os} \cdot GOR_s \cdot T_p \cdot Z_p}{Z_0 \cdot T_0 \cdot p_p} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

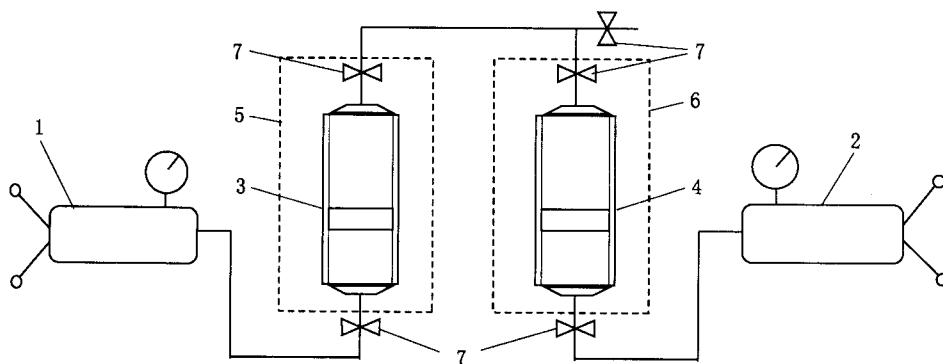
V_{sg} ——配样条件下的用气量的数值，单位为立方厘米 (cm^3)；

Z_0 ——标准条件下的气体偏差系数（一般可近似取值为 1）。

7.3 配样操作步骤

7.3.1 转油样

7.3.1.1 清洗干净配样容器，按图 7 连接流程。



1, 2—高压计量泵；3—分离器油（或气）贮样瓶；4—配样容器；5, 6—恒温浴；7—阀门

图 7 配样流程

7.3.1.2 将两恒温浴恒定在配样温度 4h 以上。

7.3.1.3 抽空配样容器达 200Pa 后再抽 30min。

7.3.1.4 将分离器油样恒定在配样压力。

7.3.1.5 用双泵法将所需的分离器油量转入配样容器中。

7.3.2 转气样

7.3.2.1 将恒温浴中的油瓶更换为储气瓶，恒定在配样温度和压力 4h 以上。

7.3.2.2 用双泵法将所需的分离器气量转入配样容器中。

7.4 配样质量检查

7.4.1 将配样容器中的流体样品加热恒温在地层温度 4h 以上，充分搅拌，将样品压成单相。

7.4.2 参照 10.2 方法和步骤进行地层流体的单次脱气试验，平行测试三次以上。

7.4.3 配制地层流体的组成的计算见式 (22)。

$$X_{fi} = \frac{\frac{W_d}{\bar{M}_d} x_i + \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot Z_1 \cdot T_1} y_i}{\frac{W_d}{\bar{M}_d} + \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot Z_1 \cdot T_1}} \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：

X_{fi} ——地层流体 i 组分的摩尔分数；

W_d ——死油的质量的数值，单位为克 (g)；

\bar{M}_d ——死油的平均相对摩尔质量的数值，单位为克每摩 [尔] (g/mol)；

x_i ——死油 i 组分的摩尔分数；

R ——摩尔气体常数，单位为兆帕立方厘米每摩 [尔] 开 [MPa · cm³ / (mol · K)] [取值为 8.3145MPa · cm³ / (mol · K)]；

y_i ——单脱放气 i 组分的摩尔分数。

7.4.4 配制的地层流体经单次脱气按式 (22) 与按气油比式 (23) 计算的地层流体中各组分的组成应一致，其中各次甲烷含量相差不大于 3% 为合格，可以交付使用。

8 转样

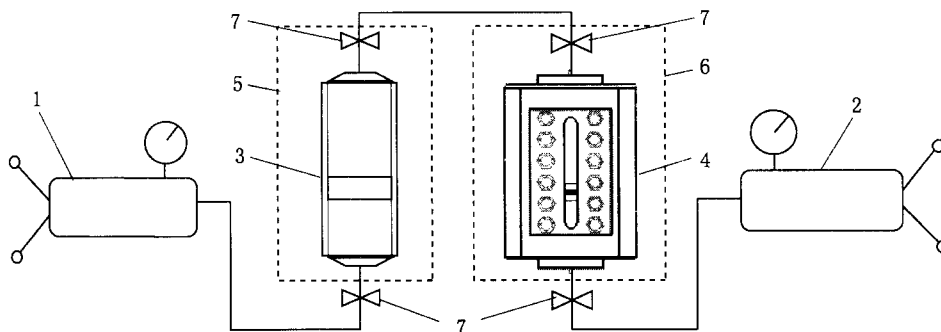
8.1 地下样品或配制样品经质量检验合格后可转入 PVT 分析容器和黏度计中进行相关分析测试。

8.2 往 PVT 容器中转样。

8.2.1 将 PVT 容器清洗干净，按图 8 连接流程。

8.2.2 PVT 容器、储样器均恒温到地层温度 4h 以上。

8.2.3 PVT 容器及外接管线抽空到 200Pa 后继续抽 30min。



1, 2—高压计量泵；3—储样器（井下取样器或配样容器）；4—PVT 容器；5, 6—恒温浴；7—阀门

图 8 转样流程

8.2.4 用计量泵将样品增压，充分搅拌，使其成为单相。

8.2.5 在保持压力条件下缓慢打开储样器顶阀和 PVT 容器顶阀，将所需样品量转入 PVT 容器中。

8.3 往黏度计中转样。

8.3.1 往带脱气室高压落球黏度计中转样按 8.1 执行。

8.3.2 往不带脱气室的小容量黏度计中转样采用保持压力排油方法，排油体积相当于黏度计容积的 2 倍以上。

9 热膨胀实验

9.1 实验原理和目的

热膨胀实验是指将一定质量的流体置于 PVT 容器中，在压力恒定的条件下，当体系温度由某一设定温度（一般指室温）向另一温度（地层温度）改变时，流体体积受热膨胀的变化关系。

9.2 实验步骤

9.2.1 将 PVT 容器中的地层原油样品加热恒定在某一设定温度 4h 以上。

9.2.2 在地层压力下将样品搅拌均匀，使其成为单相，测定样品体积。

9.2.3 将样品升温至地层温度，恒温 4h 以上，搅拌稳定，使其成为单相，在地层压力下测定样品体积。

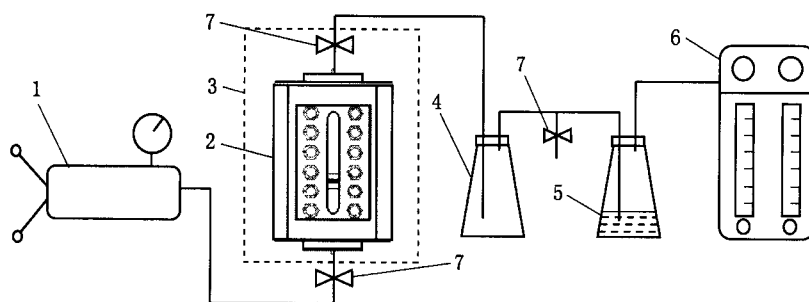
10 单次脱气实验

10.1 实验原理和目的

单次脱气实验的原理是保持油气分离过程中体系的总组成恒定不变，将处于地层条件下的单相地层流体瞬间闪蒸到大气条件，测量其体积和气液量变化。对地层原油来讲，实验的目的是为了测定油、气组分组成、单次脱气气油比、体积系数、地层油密度等参数；对凝析气藏而言，实验的目的是为了测定凝析油、气组分组成和凝析气藏流体的偏差系数等参数。

10.2 实验步骤

10.2.1 按图 9 连接流程，在地层温度下，将样品加压至高于饱和压力，充分搅拌，使其成为单相。然后按 8.1 步骤将单相地层流体样品转入 PVT 分析容器。



1—高压计量泵；2—PVT 容器；3—恒温浴；4—分离瓶；5—气体指示瓶；6—气量计；7—阀门

图 9 单次脱气实验流程

10.2.2 压力稳定后记录压力值和样品体积。

10.2.3 用计量泵保持压力，将一定体积的地层流体样品缓慢均匀地放出，计量脱出气体体积，称油质量，记录样品体积、大气压力和室温。

10.2.4 取油、气样分析组分组成。

10.2.5 测定死油密度和平均相对分子质量，测定方法按 SH/T 0604 和 SH/T 0169 执行。

10.2.6 将死油进行切割蒸馏，测定 C_7+ 馏分的平均相对分子质量和密度。

10.2.7 按 10.2.2~10.2.6 平行测定三次以上,要求对地层原油测定的气油比相对误差小于 2%,体积系数相对误差小于 1%;要求对凝析气藏流体测定的偏差系数相对偏差小于 1%。

11 恒质膨胀实验

11.1 实验原理和目的

恒质膨胀实验又简称 $p-V$ 关系实验,是指在地层温度下测定恒定质量的地层流体的压力与体积的关系。对于地层原油流体,得到地层流体的泡点压力、压缩系数、不同压力下流体的相对体积和 Y 函数等参数;对于凝析气藏流体,得到凝析气藏流体的露点压力、气体偏差系数和不同压力下流体的相对体积等参数。

11.2 实验步骤

11.2.1 在地层温度下将 PVT 容器中的地层流体样品加压到地层压力或高于泡点压力,充分搅拌稳定。

11.2.2 对于地层原油流体,泡点压力以上按逐级降压法测试(固定压力读体积),每级降 1MPa~2MPa。泡点压力以下按逐级膨胀体积法测试(固定体积读压力),每级膨胀 0.5cm³~20cm³。每级降压膨胀后应搅拌稳定,读取压力和样品体积。一直膨胀至原始样品体积的三倍以上为止,在算术坐标系上以压力为纵坐标,样品体积为横坐标,做出 $p-V$ 关系曲线,曲线的拐点即为粗定的泡点压力;而对凝析气藏流体,首先测定其露点压力。测试的方法是采用逐级降压逼近法,当液滴出现与消失之间的压力差小于 0.1MPa 时为止,取这两个压力值的平均值为第一露点压力。露点确定后,采用逐级降压的方式进行压力与体积关系测定。露点压力以上,每级压力 0.5MPa~2MPa,平衡 0.5h 后记录压力和样品体积;露点压力以下,每级压力下要搅拌 0.5h 并静置 0.5h 后才能记录压力、样品体积和凝析液量,一直膨胀至原始样品体积的三倍以上时为止。

注意:当压力降到某一值时,液体可能重新消失。这一液体消失压力为第二露点压力。确定第二露点压力的方法与确定第一露点压力的方法相同,但升压和降压时的液体出现和消失现象与第一露点正好相反。

12 多次脱气试验

12.1 实验原理和目的

多次脱气实验是在地层温度下,将地层油分级降压脱气、排气、测量油、气性质和组成随压力的变化关系。本项实验是为了测定各级压力下的溶解气油比、饱和油的体积系数和密度、脱出气的偏差系数、相对密度和体积系数,以及油气双相体积系数等参数。根据泡点压力的大小,确定分级压力的间隔,脱气级数一般均分为 3 级~12 级。

12.2 实验步骤

12.2.1 参照图 9 连接流程。

12.2.2 将 PVT 容器中的地层原油样品恒定于地层温度 4h 以上。

12.2.3 将样品加压至地层压力,充分搅拌稳定后读取样品体积。

12.2.4 降压至第一级脱气压力,搅拌稳定后静止,读取样品体积。

12.2.5 打开顶阀,保持压力缓慢排气,排完气迅速关闭顶阀,不允许排出油。记录排出气量、室温和大气压力,取气样分析其组分组成。

12.2.6 重复 12.2.4~12.2.5,逐级降压脱气,一直进行到大气压力级。

12.2.7 将残余油排出称质量,测定残余油组成、平均相对分子质量和 20℃ 下的密度。

13 定容衰竭实验

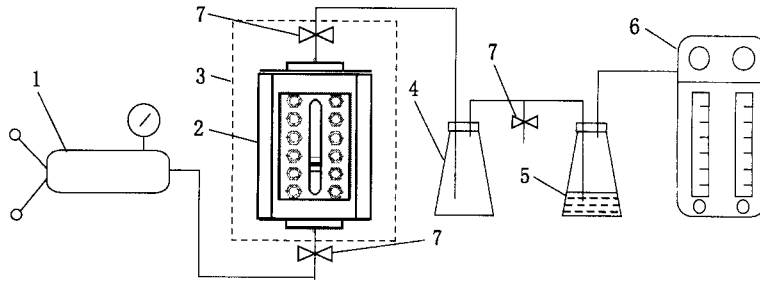
13.1 原理和目的

定容衰竭实验是为模拟凝析气藏、易挥发性油藏衰竭式开采过程,了解开采动态,研究油、气藏在衰竭式开采过程中油、气藏流体体积和井流体组成变化以及不同衰竭压力下的采收率。实际情况

下, 衰竭式开采是一连续的降压和产出的过程。在实验室里, 由于受条件所限, 完全模拟这一过程是不可能的。为实现这一目的, 其做法是: 将露点压力下的样品体积确定为油、气藏流体的孔隙定容体积, 根据露点压力的大小, 确定定容衰竭实验的压力分级间隔。自露点压力与零压 (表压) 之间一般均分为 4 个~8 个衰竭压力级, 每级降压膨胀, 然后恒压排放到定容体积。在这一实验过程中, 流体的压力和组成在不断变化, 而其所占体积保持不变, 故称为定容衰竭。

13.2 实验步骤

定容衰竭实验的测试流程如图 10 所示。



1—高压计量泵; 2—PVT 容器; 3—恒温浴; 4—分离器; 5—气体指示瓶; 6—气量计; 7—阀门

图 10 定容衰竭实验流程

13.2.1 将约为 PVT 容器容积 2/5 的凝析气藏流体样品转入带窗容器中, 在地层压力下将样品搅拌均匀并在地层温度下恒温平衡 4h。

13.2.2 将压力降至露点压力, 平衡 1h 后, 记下 PVT 容器内凝析气样品体积, 此时容器中气体所占体积为定容体积 V_c 。

13.2.3 退泵分级降压至预定压力, 降压后搅拌 1h 并静置 0.5h, 记下压力和容器内样品体积和液体体积。

13.2.4 慢慢打开容器顶阀排气, 同时保持压力进泵, 一直排到定容体积时为止。排气过程中取气样分析组成, 排气结束后记录气量、油量及取油样分析组成, 同时记录室温和大气压力。

13.2.5 重复 13.2.3~13.2.4, 一直进行到压力为 4MPa~6MPa 的最后一级压力为止。

13.2.6 最后一级压力到零压的测定过程是: 打开顶阀, 直接放气降压至零 (表压), 然后再进泵排出容器中的残留气和油, 并取气样分析残余气组成。对残余油称量, 测密度并进行组成分析。

14 地层油黏度测定

14.1 实验原理和目的

油藏流体黏度测定一般是指液相油黏度的测定。测定多使用高压落球黏度计, 有带脱气室和不带脱气室两种, 其工作原理均基于 Stokes 定律, 目的是为获得地层条件及不同脱气压力级下的单相油黏度数据。

14.2 带脱气室落球黏度计的测定步骤

14.2.1 将黏度计清洗干净, 选择合适尺寸钢球放入测试腔内, 按图 11 连接流程。

14.2.2 将黏度计升温并恒定在地层温度 4h 以上, 抽空黏度计至 200Pa 后继续抽 30min。

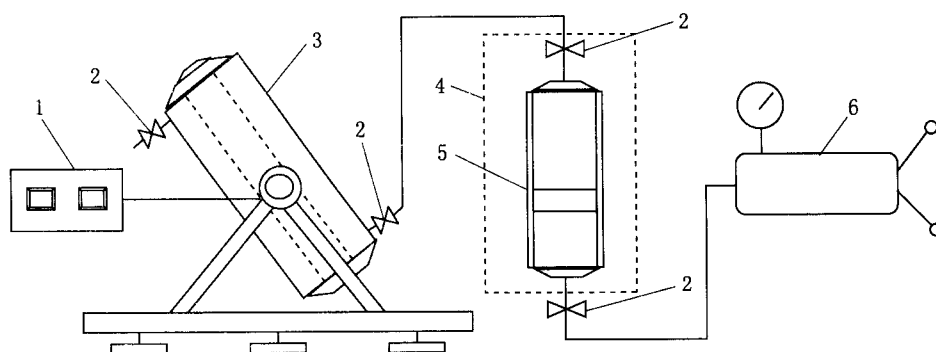
14.2.3 按 8.3 将地层条件下的原油样品转入黏度计中, 调整到测定压力。

14.2.4 反复翻转黏度计, 搅拌油样使其达到单相平衡, 关闭脱气室阀。

14.2.5 选定测角, 按测定规程测定落球时间, 落球时间介于 10s~80s 之间为宜。

14.2.6 每个压力级至少测定两个角度, 每个角度平行测定五次, 要求相对偏差小于 1%。

14.2.7 将脱气室朝上, 打开脱气室阀, 缓慢降压脱气到下一级压力, 关闭脱气室阀, 反复翻转黏度



1—控制器；2—阀门；3—高压落球黏度计；4—恒温浴；5—储样器；6—高压计量泵

图 11 原油黏度测定流程

计，搅拌油样使其达到平衡，重复 14.2.5～14.2.6 测定。

14.2.8 要求泡点压力以上至少测 4 个点，泡点压力以下测 6 个～12 个点，一直进行到大气压力级。

14.3 不带脱气室落球黏度计测定步骤

不带脱气室落球黏度计与带脱气室落球黏度计测定步骤不同之处在于各级压力下的脱气是在 PVT 容器中进行的，然后将脱气后的单相原油转入黏度计中并保持压力冲排 2 倍以上黏度计容积，使新鲜的单相油样充满粘度计。

14.4 单相地层原油密度测定

14.4.1 准备三个耐压、体积大于 20cm³ 小容器，称重，质量精确到 0.001g。

14.4.2 按 10.2 步骤将压成单相约 20cm³ 的地层流体样品分别转入三个小容器中。记录转样前后的泵读数，读数精确到 0.01cm³，称三个带样小容器的质量，质量精确到 0.001g。

15 原油地层流体物性分析

15.1 实验步骤及检测报告

原油地层流体物性分析执行第 6 章～第 14 章实验步骤。地层原油的分离实验参见附录 A，检测报告项目及格式要求参见附录 B。

15.2 地层原油单次脱气试验数据计算

15.2.1 分离器样品的井流物组成计算

计算见式 (23)。

$$X_{ti} = \frac{X_{ti} + 4.157 \times 10^{-5} \frac{\overline{M}_{ot}}{\rho_{ot}} (GOR_t \cdot Y_{ti} + GOR_s \cdot B_{os} \cdot Y_{si})}{1 + 4.157 \times 10^{-5} \frac{\overline{M}_{ot}}{\rho_{ot}} (GOR_t + GOR_s \cdot B_{os})} \quad \dots\dots\dots (23)$$

15.2.2 井下样品的井流物组成计算

井下样品的井流物组成利用单次脱气数据按式 (22) 计算。

15.2.3 地层原油单次脱气体积系数

15.2.3.1 计算死油体积

计算见式 (24)。

$$V_{do} = \frac{W_d}{\rho_d} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：

V_{do} ——死油体积的数值，单位为立方厘米 (cm³)；

ρ_d ——死油密度的数值 (20℃), 单位为克每立方厘米 (g/cm³)。

15.2.3.2 计算原油体积系数

计算见式 (25)。

$$B_{of} = \frac{V_{of}}{V_d} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:

B_{of} ——地层原油体积系数;

V_{of} ——地层温度、压力下的原油体积的数值, 单位为立方厘米 (cm³)。

15.2.4 地层原油的单次脱气气油比

计算见式 (26)。

$$GOR_o = \frac{T_0 \cdot p_1 \cdot V_1}{p_0 \cdot T_1 \cdot V_d} - 1 \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

GOR_o ——地层原油的单次脱气气油比的数值, 单位为立方厘米每立方厘米或立方米每立方米 (cm³/cm³ 或 m³/m³)。

15.2.5 地层原油的平均溶解气体系数

计算见式 (27)。

$$\varphi = \frac{GOR_o}{p_b} \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中:

φ ——地层原油的平均溶解气体系数, 单位为立方米每立方米兆帕 [m³ / (m³ · MPa)];

p_b ——地层原油的泡点压力的数值 (绝对), 单位为兆帕 (MPa)。

15.2.6 地层原油的体积收缩率

计算见式 (28)。

$$\eta = \frac{B_{of} - 1}{B_{of}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中:

η ——地层原油体积收缩率的数值。

15.2.7 地层原油密度

计算见式 (29) (也可由高温高压密度仪直接测量出)。

$$\rho_{of} = \frac{w_2 - w_1}{V_{of}} \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中:

ρ_{of} ——地层原油密度的数值, 单位为克每立方厘米 (g/cm³);

w_2 ——地层流体样品加小容器质量的数值, 单位为克 (g);

w_1 ——空小容器质量的数值, 单位为克 (g)。

15.3 恒质膨胀实验数据计算

15.3.1 地层原油的热膨胀系数

计算见式 (30)。

$$\alpha_o = \frac{V_{of} - V_T}{V_{of}(T_r - T)} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

α_o ——地层原油热膨胀系数，单位为开分之一或摄氏度分之一（ K^{-1} 或 $^{\circ}C^{-1}$ ）；

V_T ——地层压力、地层温度下的样品体积的数值，单位为立方厘米（ cm^3 ）；

T_r ——地层温度的数值，单位为开或摄氏度（ K 或 $^{\circ}C$ ）；

T ——设定温度的数值，单位为开或摄氏度（ K 或 $^{\circ}C$ ）。

15.3.2 饱和压力以上地层原油的压缩系数

方法 1：计算见式（31）。

$$C_{oi} = -\frac{1}{V_i} \cdot \frac{\Delta V_i}{\Delta p_i} \quad \dots\dots\dots (31)$$

方法 2：由饱和压力以上测试的 $p-V$ 关系拟合出一个二次方程式（32），对式（32）求导经整理得出式（33）。

$$V = a \cdot p_i^2 + b \cdot p_i + c \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$C_{oi} = \frac{2a \cdot p_i + b}{V_i} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中：

C_{oi} —— i 级地层原油的等温压缩系数，单位为兆帕分之一（ MPa^{-1} ）；

V_i —— i 级压力下的样品体积的数值，单位为立方厘米（ cm^3 ）；

ΔV_i —— i 级与 $i-1$ 级压力下的样品体积差的数值，单位为立方厘米（ cm^3 ）；

Δp_i —— i 级与 $i-1$ 级压力差的数值，单位为兆帕（ MPa ）。

15.3.3 地层流体相对体积

计算见式（34）。

$$R_i = \frac{V_i}{V_b} \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中：

R_i —— i 级压力下地层流体的相对体积的数值；

V_b ——泡点压力下的地层流体体积的数值，单位为立方厘米（ cm^3 ）。

15.3.4 “Y” 函数

计算见式（35）。因为“Y”函数与压力 p_i 在泡点压力以下的 90%~30% 的范围内，在算术坐标上成直线关系，所以可利用该式精确确定油藏流体的泡点压力。

$$Y = \frac{p_b - p_i}{p_i(R_i - 1)} \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中：

Y ——“Y”函数；

p_b ——地层原油的泡点压力的数值（绝对），单位为兆帕（ MPa ）；

p_i —— i 级压力的数值，单位为兆帕（ MPa ）。

15.3.5 i 级压力下地层原油单相流体密度

计算见式（36）。

$$\rho_i = \frac{V_{oi} \cdot \rho_{oi}}{V_i} \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中：

ρ_i —— i 级压力下地层原油单相流体密度的数值，单位为克每立方厘米（ g/cm^3 ）；

V_i —— i 级压力下地层原油单相流体的体积的数值,单位为立方厘米(cm^3)。

15.4 多次脱气试验数据计算

15.4.1 各级压力下的溶解气油比

15.4.1.1 各级压力下脱出气的体积

计算见式(37)。

$$V_{gi} = \frac{T_0 \cdot p_1 \cdot V_{li}}{p_0 \cdot T_1} \quad \dots\dots\dots (37)$$

式中:

V_{gi} —— i 级压力脱出气在标准条件下的体积的数值,单位为立方厘米(cm^3);

V_{li} —— i 级压力脱出气在室温、大气压力下的体积的数值,单位为立方厘米(cm^3)。

15.4.1.2 累积脱出气的体积

计算见式(38)。

$$V_g = \sum_{i=1}^n V_{gi} \quad \dots\dots\dots (38)$$

式中:

V_g ——累积脱出气在标准条件下的体积的数值,单位为立方厘米(cm^3)。

15.4.1.3 各级压力下溶解气的体积

计算见式(39)。

$$V_{gri} = V_g - \sum_1^i V_{gi} \quad \dots\dots\dots (39)$$

式中:

V_{gri} —— i 级压力下溶解气的体积的数值,单位为立方厘米(cm^3)。

15.4.1.4 残余油体积

计算见式(40)。

$$V_{or} = \frac{W_{or}}{\rho_{or}} \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中:

V_{or} ——标准条件下的残余油体积的数值,单位为立方厘米(cm^3);

W_{or} ——残余油质量的数值,单位为克(g);

ρ_{or} ——残余油密度的数值(20°C),单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

15.4.1.5 各级压力下的溶解气油比

计算见式(41)。

$$GOR_{ri} = \frac{V_{gri}}{V_{or}} \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中:

GOR_{ri} —— i 级压力下的原油溶解气油比的数值,单位为立方厘米每立方厘米或立方米每立方米(cm^3/cm^3 或 m^3/m^3)。

15.4.2 各级压力下脱出气的密度和相对密度

15.4.2.1 各级压力下脱出气的摩尔质量

计算见式(42)。

$$M_{gi} = \sum_{i=1}^n y_{gi} \cdot M_i \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中:

M_{gi} —— i 级压力下脱出气的平均摩尔质量的数值, 单位为克每摩 [尔] (g/mol);

γ_{gi} —— i 级压力下脱出气的组成的数值。

15.4.2.2 各级压力下脱出气的密度

计算见式 (43)。

$$\rho_{gi} = \frac{M_{gi} \cdot p_0}{R \cdot T_0} \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中:

ρ_{gi} —— i 级压力下脱出气的密度的数值, 单位为克每立方厘米 (g/cm³)。

15.4.2.3 各级压力下脱出气的相对密度

计算见式 (44) 和式 (45)。

$$\gamma_{gi} = \frac{\rho_{gi}}{\rho_a} \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$\gamma_{gi} = \frac{M_{gi}}{M_a} \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中:

γ_{gi} —— i 级压力下脱出气的相对密度的数值;

ρ_a ——标准条件下干燥空气的密度的数值, 单位为克每立方厘米 (g/cm³);

M_a ——标准条件下干燥空气的相对摩尔质量的数值 (空气的摩尔质量取值为 28.96g/mol), 单位为克每摩 [尔] (g/mol)。

15.4.3 各级压力下脱出气的偏差系数

计算见式 (46)。

$$Z_i = \frac{Z_0 \cdot T_0 \cdot p_i \cdot \Delta V_{gi}}{p_0 \cdot T_r \cdot V_{gi}} \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

Z_i —— i 级压力、地层温度下脱出气的偏差系数;

ΔV_{gi} ——脱出气在 i 级压力、地层温度下的体积的数值, 单位为立方厘米 (cm³)。

15.4.4 各级压力下脱出气的体积系数

计算见式 (47)。

$$B_{gi} = \frac{Z_i \cdot T_r \cdot p_0}{Z_0 \cdot p_i \cdot T_0} \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中:

B_{gi} —— i 级压力下的气相体积系数。

15.4.5 各级压力下单相流体的体积系数

计算见式 (48)。

$$B_{oi} = \frac{V_{oi}}{V_{or}} \quad \dots\dots\dots (48)$$

式中:

B_{oi} ——多脱 i 级压力下的单相油体积系数;

V_{oi} ——多脱 i 级压力下的单相油体积的数值, 单位为立方厘米 (cm³)。

15.4.6 各级压力下的油气双相体积系数

计算见式 (49)。

$$B_{ti} = (GOR_t - GOR_i) \cdot B_{gi} + B_{oi} \quad \dots\dots\dots (49)$$

式中:

B_{ti} —— i 级压力下的油气双相体积系数。

15.4.7 各级单相油密度

15.4.7.1 i 级压力下脱出气的质量

计算见式 (50)。

$$W_{gi} = W_{gi} \cdot \rho_{gi} \quad \dots\dots\dots (50)$$

式中:

W_{gi} —— i 级压力下脱出气质量的数值, 单位为克 (g);

ρ_{gi} —— i 级压力下脱出气在标准条件下的密度的数值, 单位为克每立方厘米 (g/cm^3)。

15.4.7.2 计算累积脱出气的质量

计算见式 (51)。

$$W_g = \sum_{i=1}^n W_{gi} \quad \dots\dots\dots (51)$$

式中:

W_g ——累积脱出气质量的数值, 单位为克 (g)。

15.4.7.3 i 级压力下溶解气的质量

计算见式 (52)。

$$W_{ri} = W_g - \sum_{1}^i W_{gi} \quad \dots\dots\dots (52)$$

式中:

W_{ri} —— i 级压力下溶解气质量的数值, 单位为克 (g)。

15.4.7.4 计算残余油体积

计算见式 (53)。

$$V_{or} = \frac{W_{or}}{\rho_{or}} \quad \dots\dots\dots (53)$$

式中:

V_{or} ——标准条件下的残余油体积的数值, 单位为立方厘米 (cm^3);

W_{or} ——残余油质量的数值, 单位为克 (g);

ρ_{or} ——残余油密度 (20°C) 的数值, 单位为克每立方厘米 (g/cm^3)。

15.4.7.5 i 级压力下的原油密度

计算见式 (54)。

$$\rho_{oi} = \frac{W_{or} + W_{ri}}{W_{oi}} \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中:

ρ_{oi} —— i 级压力下的原油密度的数值, 单位为克每立方厘米 (g/cm^3)。

15.4.8 各级压力下脱出气的黏度

各级脱气压力下的气体黏度一般采用查图版法或计算法得到高温高压下气体的黏度。有条件的实验室也可以采用高压毛细管黏度计等仪器测定。

计算气体黏度的经验关系式较多。最简便常用的是 Lee 等人提出的一组经验式, 其精度可以满足绝大多数油藏工程计算的要求, 见式 (55) ~ 式 (59)。

$$\mu_{gi} = 10^{-4} J \cdot \exp(K \cdot \rho_{gpi}^L) \quad \dots\dots\dots (55)$$

$$J = \frac{(9.4 + 0.02M_{gi})(1.8T_r)^{1.5}}{209 + 19M_{gi} + 1.8T_r} \quad \dots\dots\dots (56)$$

$$K = 3.5 + \frac{986}{1.8T_r} + 0.01M_{gi} \quad \dots\dots\dots (57)$$

$$L = 2.4 - 0.2K \quad \dots\dots\dots (58)$$

其中:

$$\rho_{gpi} = \frac{M_{gi} \cdot p_i}{Z_i \cdot R \cdot T_r} \quad \dots\dots\dots (59)$$

式中:

μ_{gi} —— i 级压力、地层温度下脱出气的黏度的数值,单位为毫帕秒(mPa·s);

ρ_{gpi} —— i 级压力、地层温度下脱出气的密度的数值,单位为克每立方厘米(g/cm³)。

15.4.9 各级压力下单相原油黏度

计算见式(60)。

$$\mu_i = k_i(\rho_b - \rho_i)t_i \quad \dots\dots\dots (60)$$

式中:

μ_i ——地层温度、 i 级压力下的原油黏度的数值,单位为毫帕秒(mPa·s);

ρ_i —— i 级测定条件下的原油密度的数值,单位为克每立方厘米(g/cm³);

t_i —— i 级压力、某测角下的落球时间的数值,单位为秒(s)。

15.5 分离器气的重质组分含量

计算见式(61)。

$$G_{sj} = \frac{Y_{sj} \cdot M_j \cdot p_0}{Z_0 \cdot R \cdot T_0} \quad \dots\dots\dots (61)$$

式中:

G_{sj} ——分离器气中自C₂之后 j 组分的含量的数值,单位为克每立方米(g/m³);

Y_{sj} ——分离器气中自C₂之后 j 组分的摩尔分数;

M_j ——自C₂之后 j 组分的相对摩尔质量的数值,单位为克每摩尔[尔](g/mol)。

15.6 分离器气的热值

计算见式(62)。

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot T_{si}}{Z_0} \quad \dots\dots\dots (62)$$

式中:

H ——分离器气(干)的高热值(燃烧和计量参比条件均为标准条件)的数值,单位为千焦[耳]每立方米(kJ/m³);

H_i ——分离器气中 i 组分的高热值(燃烧和计量参比条件均为标准条件)的数值,单位为千焦[耳]每立方米(kJ/m³)。

15.7 分离实验

地层原油的分离实验参见附录A。

15.8 检测报告项目及要求

检测报告项目及格式要求参见附录B。

16 凝析气地层流体物性分析

16.1 实验步骤及检测报告

凝析气地层流体物性分析按第 6 章～第 8 章、第 10 章～第 11 章和第 13 章实验步骤执行。检测报告项目及格式要求参见附录 C。

16.2 凝析气地层流体井流物组成

凝析气井流物组成计算见式 (23)。

16.3 地层压力下流体偏差系数

16.3.1 脱出气的体积的计算见式 (37)。

16.3.2 析出凝析油相当的气体体积的计算见式 (63)。

$$V_{\text{ogi}} = \frac{W_{\text{oi}} \cdot R \cdot T_0}{M_o \cdot p_0} \quad \dots\dots\dots (63)$$

式中:

V_{ogi} ——析出凝析油相当的气体体积的数值,单位为立方厘米 (cm^3);

W_{oi} ——析出凝析油质量的数值,单位为克 (g)

M_o ——析出凝析油摩尔质量的数值,单位为克每摩 [尔] (g/mol)。

16.3.3 地层压力下流体偏差系数的计算见式 (64)。

$$Z_r = \frac{p_r \cdot V_r \cdot T_0}{p_0 (V_g + V_{\text{ogi}}) T_r} \quad \dots\dots\dots (64)$$

式中:

Z_r ——地层压力下流体偏差系数;

p_r ——地层压力 (绝对) 的数值,单位为兆帕 (MPa);

V_r ——地层压力、温度下流体体积的数值,单位为立方厘米 (cm^3);

T_r ——地层温度的数值,单位为开 (K)。

16.4 恒质膨胀实验数据计算

16.4.1 各级压力下流体的相对体积的计算见式 (65)。

$$R_i = \frac{V_i}{V_d} \quad \dots\dots\dots (65)$$

式中:

R_i —— i 级压力下流体的相对体积的数值;

V_i —— i 级压力下流体的体积的数值,单位为立方厘米 (cm^3);

V_d ——露点压力下流体的体积的数值,单位为立方厘米 (cm^3)。

16.4.2 露点压力以上各级压力流体偏差系数的计算见式 (66)。

$$Z_i = \frac{p_i \cdot V_i \cdot Z_r}{p_r \cdot V_r} \quad \dots\dots\dots (66)$$

式中:

Z_i —— i 级压力下的气体偏差系数。

16.5 定容衰竭实验数据计算

16.5.1 排出气的标态体积的计算见式 (37)。

16.5.2 每级排出井流物的组成的计算见式 (22)。

16.5.3 分级压力下平衡气相的偏差系数的计算见式 (67)。

$$Z_{gi} = \frac{p_i \cdot \Delta V_i \cdot T_0}{p_0 \cdot T_r (V_{gi} + V_{ogi})} \quad \dots\dots\dots (67)$$

式中:

Z_{gi} —— i 级压力下的平衡气相偏差系数;

ΔV_i —— i 级压力、地层温度下排出样体积的数值, 单位为立方厘米 (cm^3);

V_{gi} —— i 级压力下排出气体在标态时体积的数值, 单位为立方厘米 (cm^3)。

16.5.4 定容条件下流体样品在标态时的气体积的计算见式 (68)、式 (69)。

$$V_{\text{tg}i} = V_{gi} + V_{ogi} \quad \dots\dots\dots (68)$$

$$V_{\text{tg}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{tg}i} \quad \dots\dots\dots (69)$$

式中:

$V_{\text{tg}i}$ —— i 级压力下排出流体样品在标态时的气体积的数值, 单位为立方厘米 (cm^3)

V_{tg} ——定容条件下流体样品在标态时的气体积的数值, 单位为立方厘米 (cm^3)。

16.5.5 分级压力下双相偏差系数的计算见式 (70)。

$$Z_{\text{ti}} = \frac{p_i \cdot V_d \cdot T_0}{p_0 (V_{\text{tg}} - \sum_{j=1}^i V_{\text{tg}j}) T_r} \quad \dots\dots\dots (70)$$

式中:

Z_{ti} —— i 级压力下的双相偏差系数;

$V_{\text{tg}j}$ —— j 级压力下排出井流物的标态体积的数值, 单位为立方厘米 (cm^3)。

16.5.6 累积采收率的计算见式 (71)、式 (72)。

$$\phi_i = \sum_{j=1}^i \frac{V_{\text{tg}j}}{V_{\text{tg}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (71)$$

式中:

ϕ_i —— i 级压力下采出井流物体积百分数。

$$\omega_i = \sum_{j=1}^i \phi_j \quad \dots\dots\dots (72)$$

式中:

ω_i —— i 级压力下的累积采收率。

16.5.7 累积产出井流物体积的计算见式 (73)。

$$V_{wi} = \sum_{i=1}^n \phi_i \times 10 \quad \dots\dots\dots (73)$$

式中:

V_{wi} —— i 级压力下每百万立方米原始流体累积产出井流物体积的数值, 单位为千立方米 (km^3)。

16.5.8 反凝析液量占孔隙体积百分数的计算见式 (74)。

$$L_i = \frac{V_{li}}{V_d} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (74)$$

式中:

L_i ——分级压力下反凝析液占孔隙体积百分数;

V_{li} ——分级压力下反凝析液体体积的数值,单位为立方厘米 (cm^3)。

16.5.9 井流体中重质组分含量的计算见式 (75)。

$$G_{wj} = \frac{y_{wj} \cdot M_j \cdot p_0}{Z_0 \cdot R \cdot T_0} \quad \dots\dots\dots (75)$$

式中:

G_{wj} ——井流体中重质组分含量的数值,单位为克每立方米 (g/m^3);

y_{wj} ——井流体中自 C_2 之后 j 组分的摩尔分数。

16.5.10 井流体中重质组分产量的计算见式 (76)。

$$W_j = G_{wj} \cdot \phi_i \times 10 \quad \dots\dots\dots (76)$$

式中:

W_j ——每百万标准立方米井流体中重质组分产量的数值,单位为千克 (kg)。

16.5.11 井流体中累积重质组分产量的计算见式 (77)。

$$CW_i = \sum_{j=1}^n W_j \quad \dots\dots\dots (77)$$

式中:

CW_i ——每百万标准立方米井流体中 i 级重质组分产量的数值,单位为千克 (kg)。

16.6 分离实验计算

16.6.1 进行衰竭实验时,由于受到在 PVT 筒内样品量的限制,每级衰竭出的流体不可能再进行分离实验,因此需借用商用相态软件包进行计算。

16.6.2 衰竭实验中分级压力下一级分离器气产量的计算见式 (78)。

$$V_{sgi} = \frac{V_{cgi} \cdot \phi_i \cdot p_0}{100Z_0 \cdot R \cdot T_0} \quad \dots\dots\dots (78)$$

式中:

V_{sgi} ——每百万标准立方米流体产出一级分离器气量的数值,单位为千立方米 (km^3);

V_{cgi} ——每摩尔流体产出一级分离器气量的数值,单位为立方米 (m^3)。

16.6.3 衰竭实验中分级压力下累积一级分离器气产量的计算见式 (79)。

$$CV_{sgi} = \sum_{i=1}^n V_{sgi} \quad \dots\dots\dots (79)$$

式中:

CV_{sgi} ——分级压力下每百万标准立方米流体产出一级分离器气量的数值,单位为千立方米 (km^3)。

16.6.4 衰竭实验中分级压力下油罐油产量的计算见式 (80)。

$$V_{oi} = \frac{10V_{coi} \cdot \phi_i \cdot p_0}{Z_0 \cdot R \cdot T_0} \quad \dots\dots\dots (80)$$

式中:

V_{oi} ——每百万标准立方米流体产出油罐油量的数值,单位为立方米 (m^3);

V_{coi} ——每摩尔流体产出油罐油量的数值,单位为立方米 (m^3)。

16.6.5 衰竭实验中分级压力下累积油罐油产量的计算见式 (81)。

$$CV_{oi} = \sum_{i=1}^n V_{oi} \quad \dots\dots\dots (81)$$

式中:

CV_{oi} ——分级压力下每百万标准立方米流体产出油罐油量的数值，单位为立方米（ m^3 ）。

16.6.6 衰竭实验中分级压力下气油比的计算见式（82）。

$$GOR_i = \frac{V_{sgi}}{V_{oi}} \quad \dots\dots\dots (82)$$

式中：

GOR_i —— i 级压力下的气油比的数值，单位为立方米每立方米（ m^3/m^3 ）。

16.6.7 衰竭实验中分级压力下一级分离器中的重质组分含量的计算见式（83）。

$$G_{sj} = \frac{y_{sj} \cdot M_j \cdot p_0}{Z_0 \cdot R \cdot T_0} \quad \dots\dots\dots (83)$$

式中：

G_{sj} ——一级分离器中的重质组分含量的数值，单位为克每立方米（ g/m^3 ）；

y_{wj} ——一级分离器中自 C_2 之后 j 组分的摩尔分数。

16.6.8 衰竭实验中分级压力下一级分离器中的重质组分产量的计算见式（84）。

$$W_{sj} = G_{sj} \cdot V_{sgi} \quad \dots\dots\dots (84)$$

式中：

W_{sj} ——每百万标准立方米一级分离器中的重质组分产量的数值，单位为千克（ kg ）。

16.6.9 衰竭实验中分级压力下一级分离器中累积重质组分产量的计算见式（85）。

$$CW_{sj} = \sum_{j=1}^n W_{sj} \quad \dots\dots\dots (85)$$

式中：

CW_{sj} ——每百万标准立方米井流物中 i 级重质组分产量的数值，单位为千克（ kg ）。

16.6.10 衰竭实验中分级压力下油罐气产量的计算见式（86）。

$$W_{stgi} = \frac{10V_{csgti} \cdot V_{sgti} \cdot p_0}{Z_0 \cdot R \cdot T_0} \quad \dots\dots\dots (86)$$

式中：

V_{stgi} ——每百万标准立方米流体产出油罐气量的数值，单位为立方米（ m^3 ）；

V_{csgti} ——每摩尔流体产出油罐气量的数值，单位为立方米（ m^3 ）。

16.6.11 衰竭实验中分级压力下累积油罐气产量的计算见式（87）。

$$CV_{stgi} = \sum_{i=1}^n V_{stgi} \quad \dots\dots\dots (87)$$

式中：

CV_{stgi} ——分级压力下每百万标准立方米流体产出油罐油量的数值，单位为立方米（ m^3 ）。

16.6.12 衰竭实验中分级压力下一级分离器气量与井流物之比的计算见式（88）。

$$GOR_{wi} = (1 - v_i) \times 1000 \quad \dots\dots\dots (88)$$

式中：

GOR_{wi} ——分级压力下一级分离器气量与井流物之比的数值，单位为千立方米每百万立方米（ km^3/Mm^3 ）；

v_i ——每摩尔流体在分离器条件下产出气体的摩尔量的数值，单位为摩[尔]（ mol ）。

17 易挥发性原油地层流体物性分析**17.1 实验步骤及检测报告**

易挥发性原油地层流体物性分析执行第 6 章～第 11 章、第 13 章～第 14 章实验步骤。检测报告项目及格式要求参见附录 D。

17.2 易挥发性原油井流物组成

易挥发性原油地层流体井流物组成的计算见式 (23)。

17.3 易挥发性原油单次脱气实验数据

易挥发性原油单次脱气实验数据计算与 15.1～15.2 的内容相同。

17.4 易挥发性原油黏度

易挥发性原油粘度与原油地层流体的黏度计算相同。

17.5 易挥发性原油衰竭实验数据

易挥发性原油衰竭实验数据计算与凝析气衰竭实验数据计算相同。

18 湿气地层流体物性分析

湿气地层流体物性分析、计算和检测报告项目及格式要求同第 16 章。

19 干气地层流体物性分析**19.1 实验步骤及检测报告**

干气地层流体物性分析执行第 10 章～第 11 章和 14.4 实验步骤。检测报告项目及格式要求参见附录 E。

19.2 干气地层流体井流物组成

井流物的组成直接由气相色谱分析得出。

19.3 地层压力下流体偏差系数

计算见式 (64)。

19.4 恒质膨胀实验数据

计算见式 (65)、式 (66)。

19.5 流体密度

计算见式 (29)、式 (59)。

19.6 压缩系数

计算见式 (89)。

$$C_{gi} = \frac{1}{p_i} - \frac{1}{Z_i} \cdot \frac{\partial Z_i}{\partial p_i} \dots\dots\dots (89)$$

式中：

C_{gi} ——天然气压缩系数，单位为兆帕分之一 (MPa^{-1})。

将 p_i 和 Z_i 值做 $Z-p$ 图，在相应的压力曲线上，求出该点的 Z 值和相应的斜率 $\partial Z / \partial p$ ，代入式 (89) 即可求出压力 p 下的 C_{gi} 值。

附录 A

(资料性附录)

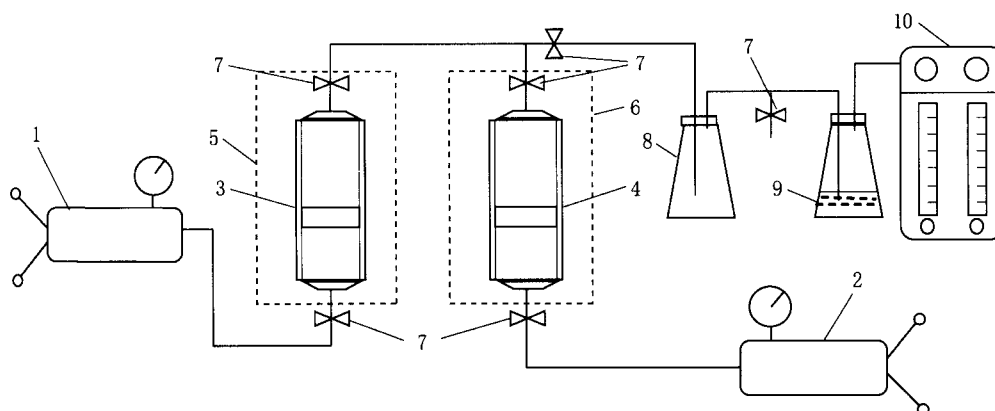
地层原油分离实验

A.1 实验目的

分离实验的目的在于通过对比不同分离条件下的气油比、油罐油密度和地层体积系数等参数，确定不同分离条件对原油采收率的影响，以选择最佳分离条件。通常规定两级分离。第一级分别实验四个分离压力，分离温度参照原油性质和油田分离器实际温度确定；第二级分离压力和温度均为大气条件（油罐条件）。

A.2 实验步骤

A.2.1 按图 A.1 连接流程。



1, 2—高压计量泵；3—储样器或 PVT 容器；4—一级分离器；5, 6—恒温浴；7—阀门；
8—二级分离瓶；9—气体指示瓶；10—气量计

图 A.1 分离实验流程

A.2.2 将 PVT 容器中的地层原油样品恒定到地层条件，分离器恒温到分离温度。

A.2.3 抽空分离器及管线至 200Pa 后继续抽 30min。

A.2.4 1 号泵保持地层压力，2 号泵保持分离压力，将一定体积的地层原油闪蒸进入分离器中，记录进入分离器中的地层原油体积。

A.2.5 排空并清洗干净外部管线。

A.2.6 使分离器内样品的压力、温度充分平衡稳定。

A.2.7 打开分离器顶阀，保持分离压力将一级气缓慢排出，排完气后迅速关闭顶阀，不准放出油。记录分离器中的油体积、排出气量、大气压力及室温，取气样分析组分组成。

A.2.8 保持分离压力，将部分一级分离器油闪蒸到大气条件，读取气量，称油质量，测油罐油密度，取气样分析组成。按比例折算出油罐油、气总量。

A.2.9 清洗干净分离器及管线，重复 A.2.3~A.2.8 步骤，直到实验完四个分离压力的实验。

A.3 数据整理

A.3.1 计算以分离器油为基准的气油比

计算见式 (A.1)、式 (A.2)。

$$GOR_1 = \frac{T_0 \cdot p_1 \cdot V_{gs}}{p_0 \cdot T_1 \cdot V_{os1}} \dots\dots\dots (A. 1)$$

$$GOR_2 = \frac{T_0 \cdot p_1 \cdot V_{gt}}{p_0 \cdot T_1 \cdot V_{os2}} - 1 \dots\dots\dots (A. 2)$$

式中：

GOR_1 ——一级分离器气油比的数值，单位为立方米每立方米 (m^3/m^3)；

V_{gs} ——一级分离器气在室温、大气压力下的体积的数值，单位为立方厘米 (cm^3)；

V_{os1} ——一级分离器油体积（分离器条件）的数值，单位为立方厘米 (cm^3)；

GOR_2 ——以二级分离器油为基准的油罐气油比的数值，单位为立方米每立方米 (m^3/m^3)；

V_{gt} ——油罐气在室温、大气压力下的体积（气量计测量值）的数值，单位为立方厘米 (cm^3)；

V_{os2} ——二级分离器油的体积（油罐油在分离器温度下的体积）的数值，单位为立方厘米 (cm^3)。

A. 3. 2 计算以油罐油（20℃）为基准的气油比

计算见式（A. 3）、式（A. 4）。

$$GOR_3 = \frac{T_0 \cdot p_1 \cdot V_{gs}}{p_0 \cdot T_1 \cdot V_{ot}} \dots\dots\dots (A. 3)$$

$$GOR_4 = \frac{T_0 \cdot p_1 \cdot V_{gt}}{p_0 \cdot T_1 \cdot V_{ot}} - 1 \dots\dots\dots (A. 4)$$

式中：

GOR_3 ——生产气油比的数值，单位为立方米每立方米 (m^3/m^3)；

GOR_4 ——油罐气油比的数值，单位为立方米每立方米 (m^3/m^3)。

A. 3. 3 计算地层油体积系数

计算见式（A. 5）。

$$B_o = \frac{V_{of}}{V_{ot}} \dots\dots\dots (A. 5)$$

式中：

V_o ——地层油体积系数。

A. 3. 4 计算分离器油体积系数

计算见式（25）。

A. 3. 5 计算分离器气的重质组分含量

计算见式（61）。

A. 3. 6 计算分离器气的热值

计算见式（62）。

A. 3. 7 计算分离器气的相对密度

计算见式（44）、式（45）

附 录 B
(资料性附录)
原油流体物性分析报告的格式

B.1 分析报告封面格式如图 B.1 所示。

××××××流体物性分析报告

油 田：_____

井 号：_____

层 位：_____

生产井段：_____

归 档 号：_____

报告页数：_____

报告日期：_____

×××××××× (检测单位) (单位及检测专用章)

图 B.1 分析报告封面格式

B.2 分析报告首页格式如图 B.2 所示。

样 品 名 称:	_____
送 样 单 位:	_____
检 测 依 据:	_____
检 测 设 备:	_____
检 测 人:	_____
审 核 人:	_____
报告编写人:	_____
技术负责人:	_____

图 B.2 分析报告首页格式

B.3 油藏特征及取样资料格式如图 B.3 所示。

检测单位：	第____页 共____页
送样单位：	归 档 号：_____
油田：_____ 井号：_____	层位：_____

油、气藏特征及油井生产情况	
原始地层压力：MPa	原始地层温度：℃
完井日期：	海拔高度：m
生产井段：m	生产层位：
原始生产气油比： m^3/m^3	生产油嘴：mm
总深：m	中部深度：m
目前地层压力：MPa	目前地层温度：℃
压力梯度：MPa/100m	温度梯度：℃/100m

取样条件	
取样方式：	生产油嘴：mm
取样点压力：MPa	取样点温度：℃
取样点深度：m	中部流压：MPa
取样器型号：	油井状况：
储样油瓶编号：	储样油瓶容量： cm^3
储样气瓶编号：	储样气瓶容量： cm^3
油管压力：MPa	套管压力：MPa
井口压力：MPa	井口温度：℃
一级分离器压力：MPa	一级分离器温度：℃
一级分离器产油量： m^3/d	一级分离器产气量： m^3/d
油罐产油量： m^3/d	油罐油密度： g/cm^3
产水量： m^3/d	一级分离器气油比： m^3/m^3
生产气油比： m^3/m^3	测气用气体相对密度（空气 = 1）：
测气用气体偏差系数：	H_2S 含量：
CO_2 含量：	取样日期：
注 1：标准条件为 20℃，0.101325MPa。 注 2：报告中压力均为绝对压力。	

图 B.3 油藏特征及取样资料格式

B.4 样品检查情况格式如图 B.4 所示。

检测单位：	第__页 共__页					
送样单位：	归 档 号：_____					
油田：_____	井号：_____ 层位：_____					
样品检查情况						
样品编号	检查温度 ℃	打开压力 MPa	样品体积 cm ³	含水量 cm ³	检查结果	备 注
注：选取_____号样品为检测样品。						

图 B.4 样品检查情况格式

B.5 油藏流体井流物组分组成分析数据格式如图 B.5 所示。

检测单位:	第__页 共__页		
送样单位:	归 档 号: _____		
油田: _____	井号: _____	层位: _____	
地层流体井流物组分组成分析数据			
组 分	闪蒸油组成 (摩尔分数) %	闪蒸气组成 (摩尔分数) %	井流物组成 (摩尔分数) %
CO ₂			
N ₂			
C ₁			
C ₂			
C ₃			
iC ₄			
nC ₄			
iC ₅			
nC ₅			
C ₆			
C ₇			
C ₈			
C ₉			
C ₁₀			
C ₁₁₊			
合 计	100.00	100.00	100.00
C ₁₁₊ 相对分子质量			
C ₁₁₊ 相对密度			
气油比 (闪蒸气/闪蒸油)		m ³ /m ³	

图 B.5 油藏流体井流物组分组成分析数据格式

B.6 地层流体单次脱气实验数据格式如图 B.6 所示。

检测单位:	第__页 共__页
送样单位:	归 档 号: _____
油田: _____	井号: _____
层位: _____	

地层流体单次脱气实验数据

溶解气油比 GOR	m ³ /m ³
地层体积系数 B ₀ (__ °C , __ MPa)	
地层油平均溶解气体系数	m ³ / (m ³ · MPa)
地层油体积收缩率	%
地层油密度 (__ °C , __ MPa)	g/cm ³
死油密度 (20.0 °C , 0.101 MPa)	g/cm ³
死油相对分子质量	

图 B.6 地层流体单次脱气实验数据格式

B.7 油藏流体恒质膨胀实验数据格式如图 B.7 所示。

检测单位:	第__页 共__页
送样单位:	归 档 号: _____
油田: _____	井号: _____
层位: _____	

油藏流体恒质膨胀实验数据 (__ °C)

饱和压力 (__ °C)	MPa
热膨胀 (__ MPa 下从 __ °C ~ __ °C)	
饱和压力下地层油密度 (__ °C)	g/cm ³

图 B.7 油藏流体恒质膨胀实验数据格式

B.8 油藏流体恒质膨胀压力与体积关系数据格式如图 B.8 所示。

检测单位：_____	第____页 共____页
送样单位：_____	归 档 号：_____
油田：_____ 井号：_____	层位：_____

恒质膨胀压力与体积关系数据 (__℃)				
压 力 MPa	相对体积 ^a V_i/V_b	油密度 g/cm ³	Y 函数 ^d	压缩系数 $C_o \times 10^{-3}$
<div style="position: absolute; top: 10px; left: 10px;">b</div> <div style="position: absolute; top: 10px; left: 100px;">c</div>				

^a V_i/V_b —— i 级压力与饱和压力下样品体积之比。 ^b 地层压力：_____ MPa。 ^c 泡点压力：_____ MPa。 ^d Y 函数： $Y = (p_b - p_i) / [(V_i/V_b - 1) \cdot p_{bsi}]$
--

图 B.8 油藏流体恒质膨胀压力与体积关系数据格式

B.9 地层流体多次脱气实验数据格式如图 B.9 所示。

检测单位：	第____页 共____页
送样单位：	归 档 号：_____
油田：_____ 井号：_____	层位：_____

地层流体多次脱气实验数据 (____℃)							
压力 MPa	溶解气油比 ^a m ³ /m ³	地层油体 积系数 ^b	双相体积 系数 ^c	油密度 g/cm ³	气体偏差 系数 Z	气体体积 系数 ^d	气体相对密度 (空气 = 1)

注：残余油密度 = _____ g/cm³ (20℃, 0.101MPa)。

^a 20℃下每立方米残余油溶解气体立方米数。

^b 油藏温度、分级压力下油体积与 20℃下残余油体积之比。

^c 油藏温度、分级压力下油气两相体积与 20℃下残余油体积之比。

^d 油藏温度、分级压力下气体与 20℃, 0.101MPa 下气体体积之比。

图 B.9 地层流体多次脱气实验数据格式**B.10 地层温度下地层流体黏度测定数据格式如图 B.10 所示。**

检测单位：	第____页 共____页
送样单位：	归 档 号：_____
油田：_____ 井号：_____	层位：_____

地层温度下地层流体黏度测定数据 (____℃)	
压 力 MPa	原油黏度 mPa · s

注 1：地层压力：_____ MPa。

注 2：饱和压力：_____ MPa。

图 B.10 地层温度下地层流体黏度测定数据格式

B. 11 地层流体相对体积与压力关系曲线格式如图 B. 11 所示。

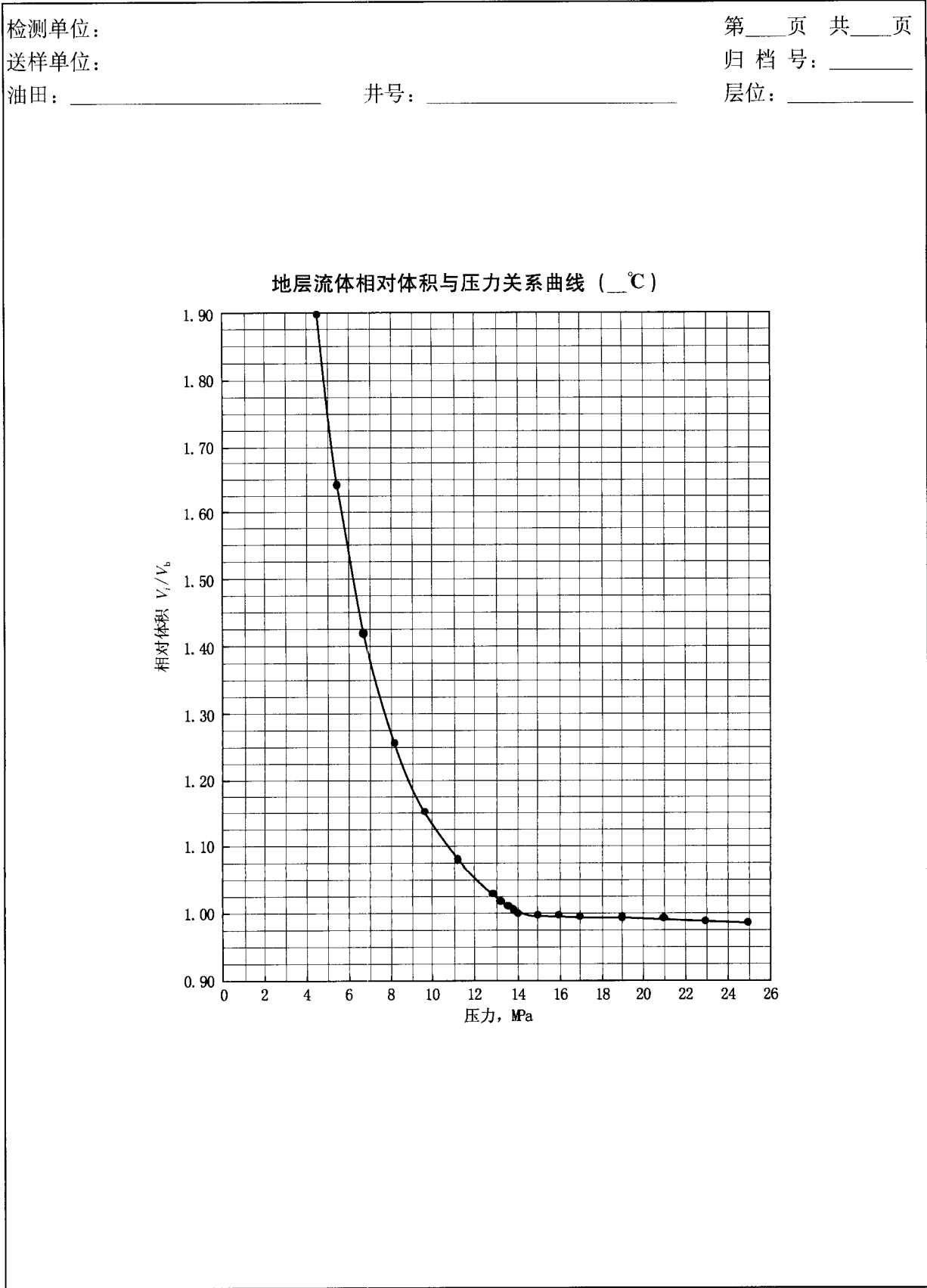


图 B. 11 地层流体相对体积与压力关系曲线格式

B. 12 多次脱气溶解气油比与压力关系曲线格式如图 B. 12 所示。

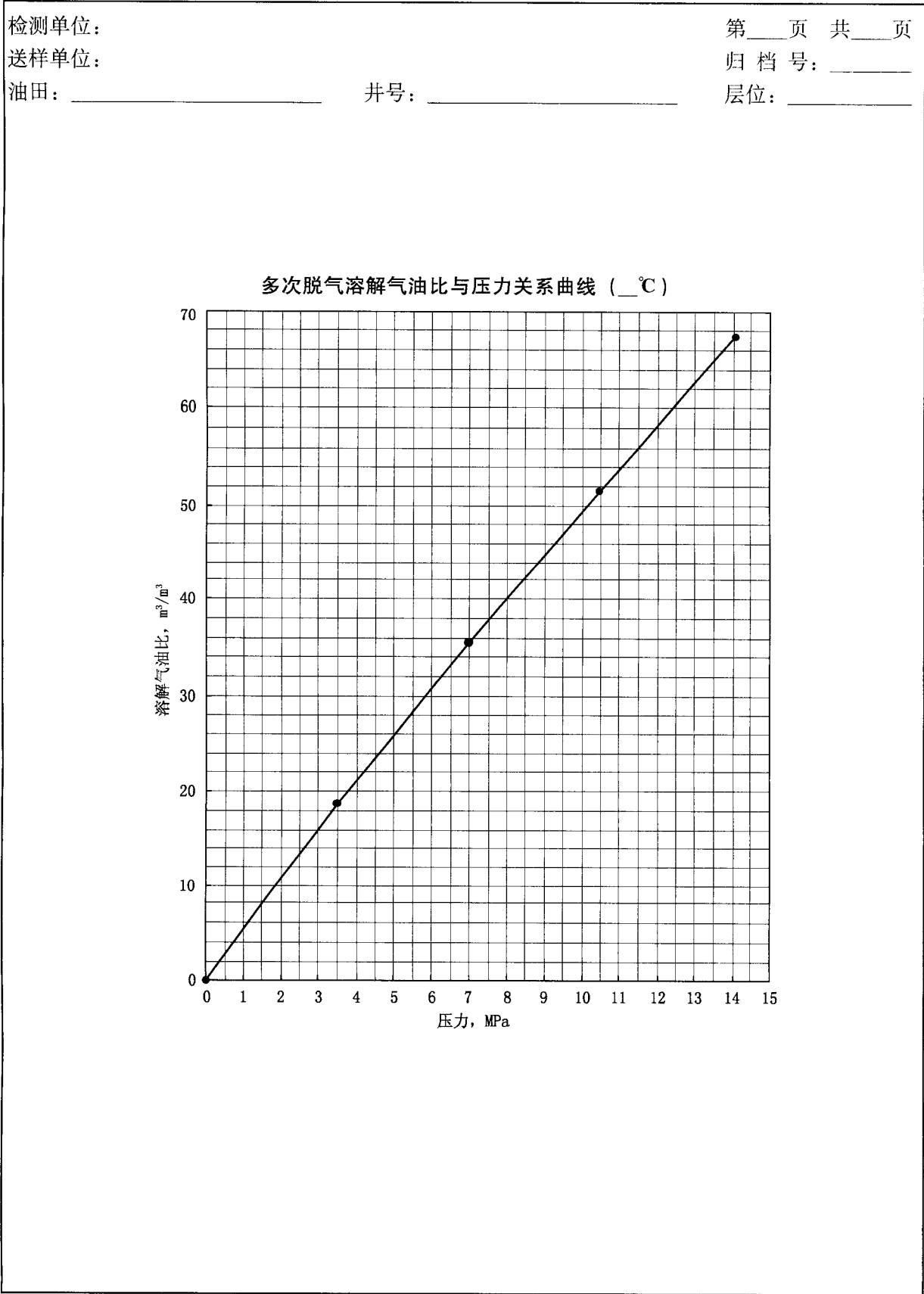


图 B. 12 多次脱气溶解气油比与压力关系曲线格式

B.13 多次脱气地层油体积系数与压力关系曲线格式如图 B.13 所示。

检测单位：

第____页 共____页

送样单位：

归 档 号：_____

油田：_____

井号：_____

层位：_____

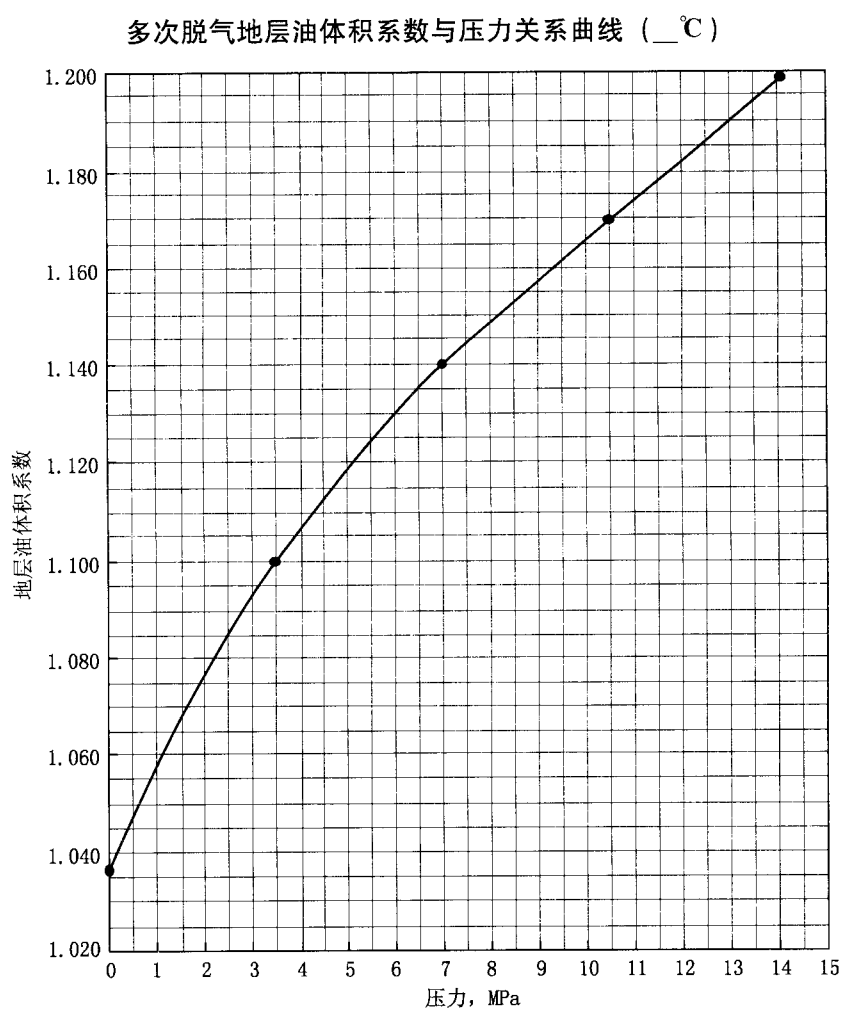


图 B.13 多次脱气地层油体积系数与压力关系曲线格式

B. 14 原油黏度与压力关系曲线格式如图 B. 14 所示。

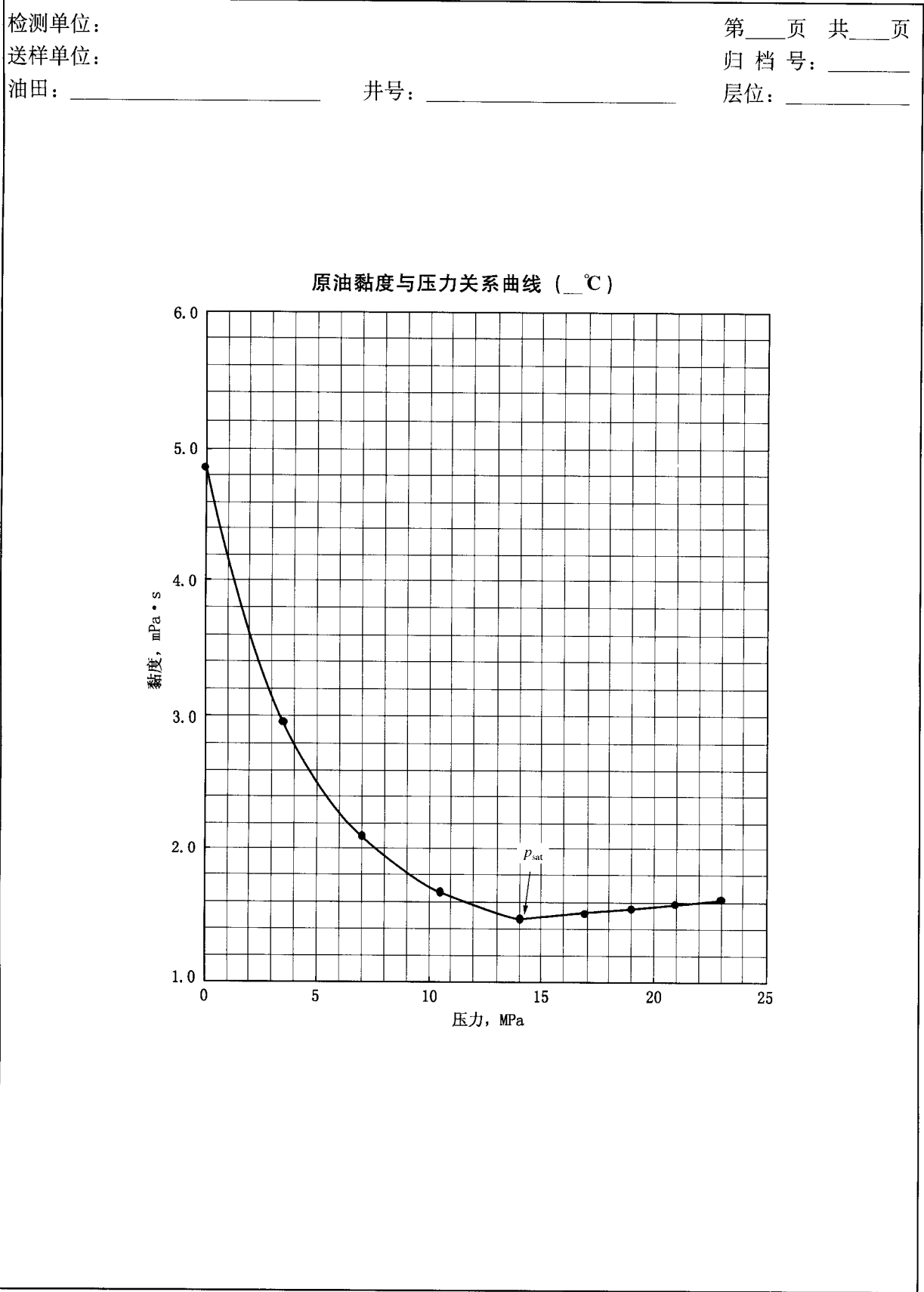


图 B. 14 原油黏度与压力关系曲线格式

附 录 C
(资料性附录)

凝析气藏流体物性分析报告的格式

- C.1 分析报告封面格式同图 B.1。
 C.2 分析报告首页格式同图 B.2。
 C.3 凝析气油藏特征及取样资料格式同图 B.3。
 C.4 样品检查情况格式如图 C.1 所示。

检测单位：	第____页 共____页
送样单位：	归 档 号：_____
气田：_____	井号：_____ 层位：_____

样品检查情况						
样品编号	检查温度 ℃	打开压力 MPa	样品体积 cm ³	含水量 cm ³	检查结果	备 注

注：选取_____号样品为检测样品。

图 C.1 样品检查情况格式

C.5 井流物组分组成数据格式如图 C.2 所示。

检测单位：第____页 共____页
 送样单位：归 档 号：_____
 气田：_____ 井号：_____ 层位：_____

井流物组分组成数据

组 分	分离器油	分离器气		井 流 物	
	% (摩尔分数)	% (摩尔分数)	g/m ³ ^a	% (摩尔分数)	g/m ³
CO ₂					
N ₂					
C ₁					
C ₂					
C ₃					
iC ₄					
nC ₄					
iC ₅					
nC ₅					
C ₆					
C ₇₊					
合 计	1.0000	1.0000		1.0000	

C₇₊ 物性：相对分子质量 =
 密度相对 =
 气油比（分离器气/油罐油） = m³/m³
 分离器气体偏差系数 =
 分离器气体相对密度 =
 分离器油体积系数 =
 油罐油相对密度 =

^a 重质组分含量（在标准条件下）。

图 C.2 井流物组分组成数据格式

C.6 凝析气藏流体压力与体积关系数据格式如图 C.3 所示。

[illegible]

图 C.3 凝析气藏流体压力与体积关系数据格式

C.7 凝析气藏流体定容衰竭实验数据格式如图 C.4 所示。

检测单位：		第____页 共____页
送样单位：		归 档 号：_____
气田：_____	井号：_____	层位：_____

定容衰竭测试数据 (____℃)							
组 分 (摩尔分数)	分级压力, MPa						
CO ₂							
N ₂							
C ₁							
C ₂							
C ₃							
iC ₄							
nC ₄							
iC ₅							
nC ₅							
C ₆							
C ₇₊							
合 计	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
C ₇₊ 物性：							
相对分子质量							
相对密度							
平衡气相 偏差系数							
气液两相 偏差系数							
累积采出 百 分 数							

图 C.4 凝析气藏流体定容衰竭实验数据格式

C.8 凝析气藏流体定容衰竭反凝析液量数据格式如图 C.5 所示。

检测单位：	第____页 共____页
送样单位：	归 档 号：_____
气田：_____ 井号：_____	层位：_____

衰竭过程中反凝析液量 (____℃)	
压力, MPa	反凝析液量占孔隙体积分数, %

图 C.5 凝析气藏流体定容衰竭反凝析液量数据格式

C.9 凝析气藏流体定容衰竭累积采出量数据格式如图 C.6 所示。

检测单位：	第____页 共____页
送样单位：	归 档 号：_____
气田：_____ 井号：_____	层位：_____

衰竭过程中累积采出量数据表								
	原始储量	油层压力, MPa						
井流物, km ³								
油罐液体积, m ³								
闪蒸气, km ³								
闪蒸气重质产量, kg								
C ₂								
C ₃								
C ₄ (总)								
C ₅₊								
井流物重质产物, kg								
C ₂								
C ₃								
C ₄ (总)								
C ₅₊								

图 C.6 凝析气藏流体定容衰竭累积采出量数据格式

C.10 凝析气藏流体定容衰竭瞬时采出量数据格式如图 C.7 所示。

检测单位:		第__页 共__页
送样单位:		归 档 号: _____
气田: _____	井号: _____	层位: _____

衰竭过程中瞬时采出量数据表							
	油层压力, MPa						
油罐油密度 (20℃), g/cm ³							
闪蒸气/油罐油, m ³ /m ³							
	各组分重质含量, g/m ³						
C ₂₊							
C ₃₊							
C ₄₊							
C ₅₊							

图 C.7 凝析气藏流体定容衰竭瞬时采出量数据格式

C.11 恒质膨胀过程相对体积与压力关系曲线格式如图 C.8 所示。

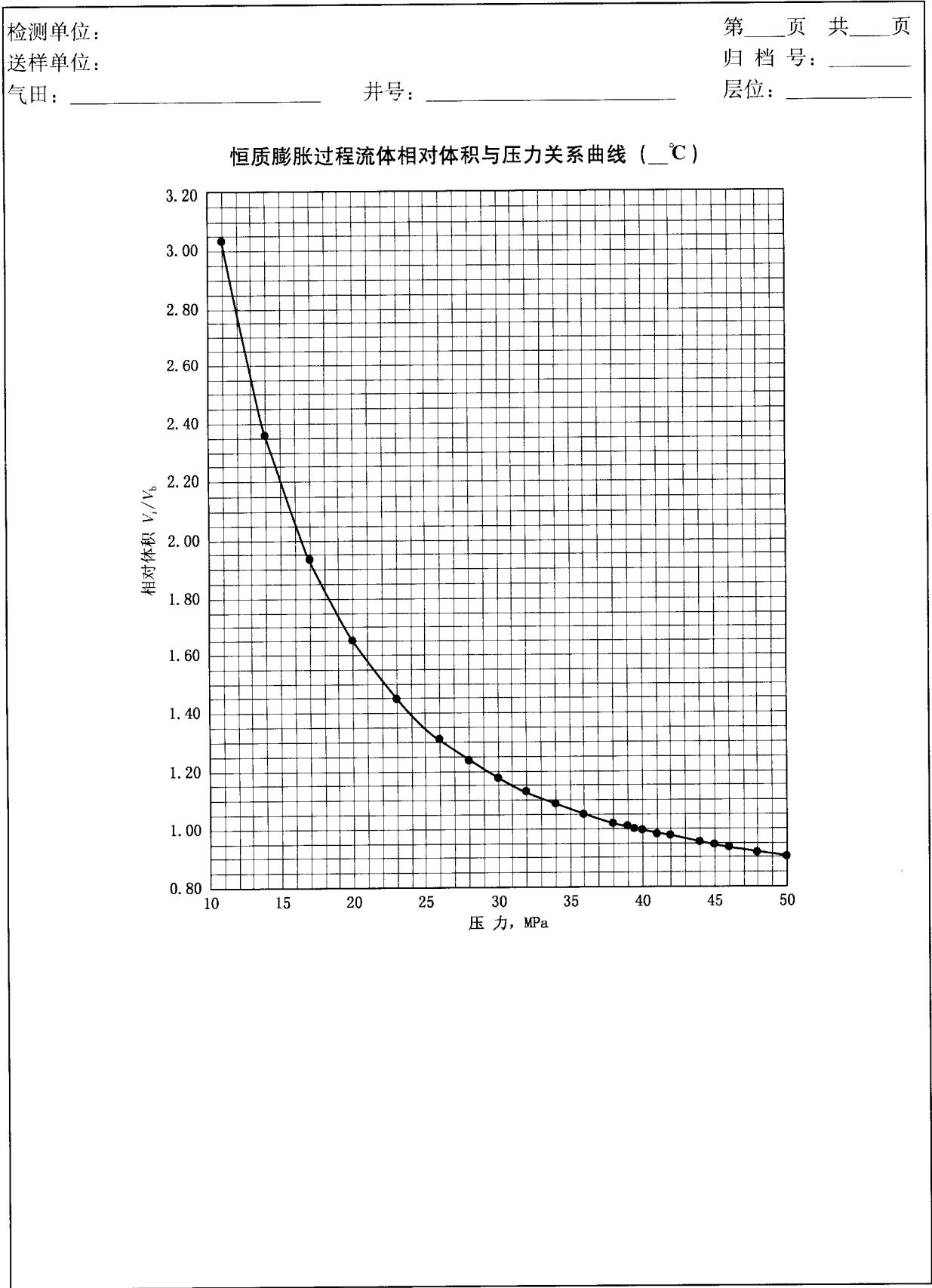


图 C.8 恒质膨胀过程相对体积与压力关系曲线格式

C.12 衰竭过程中累积产出井流物体积与压力关系曲线格式如图 C.9 所示。

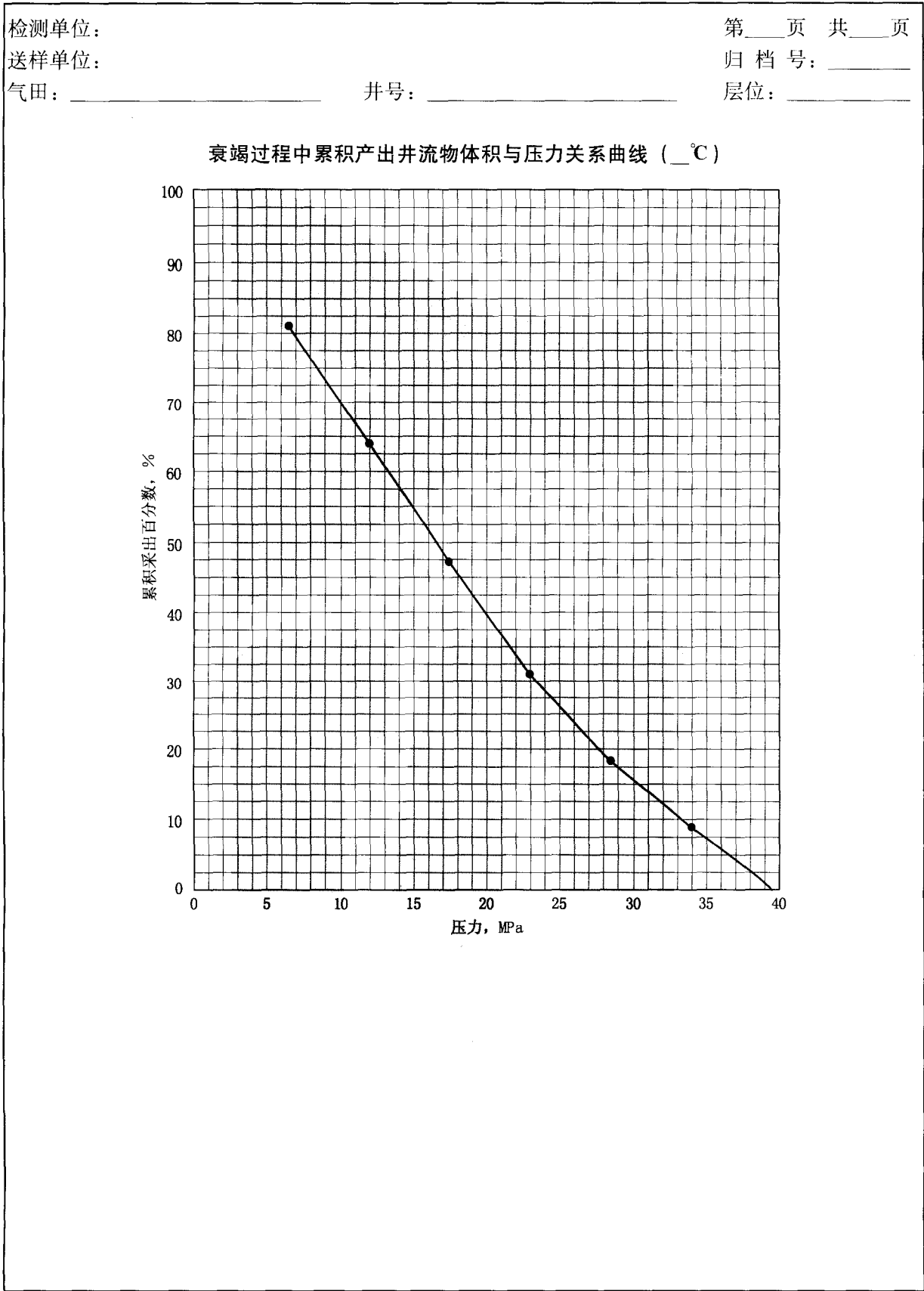


图 C.9 衰竭过程中累积产出井流物体积与压力关系曲线格式

C.13 衰竭过程中流出物偏差系数与压力关系曲线格式如图 C.10 所示。

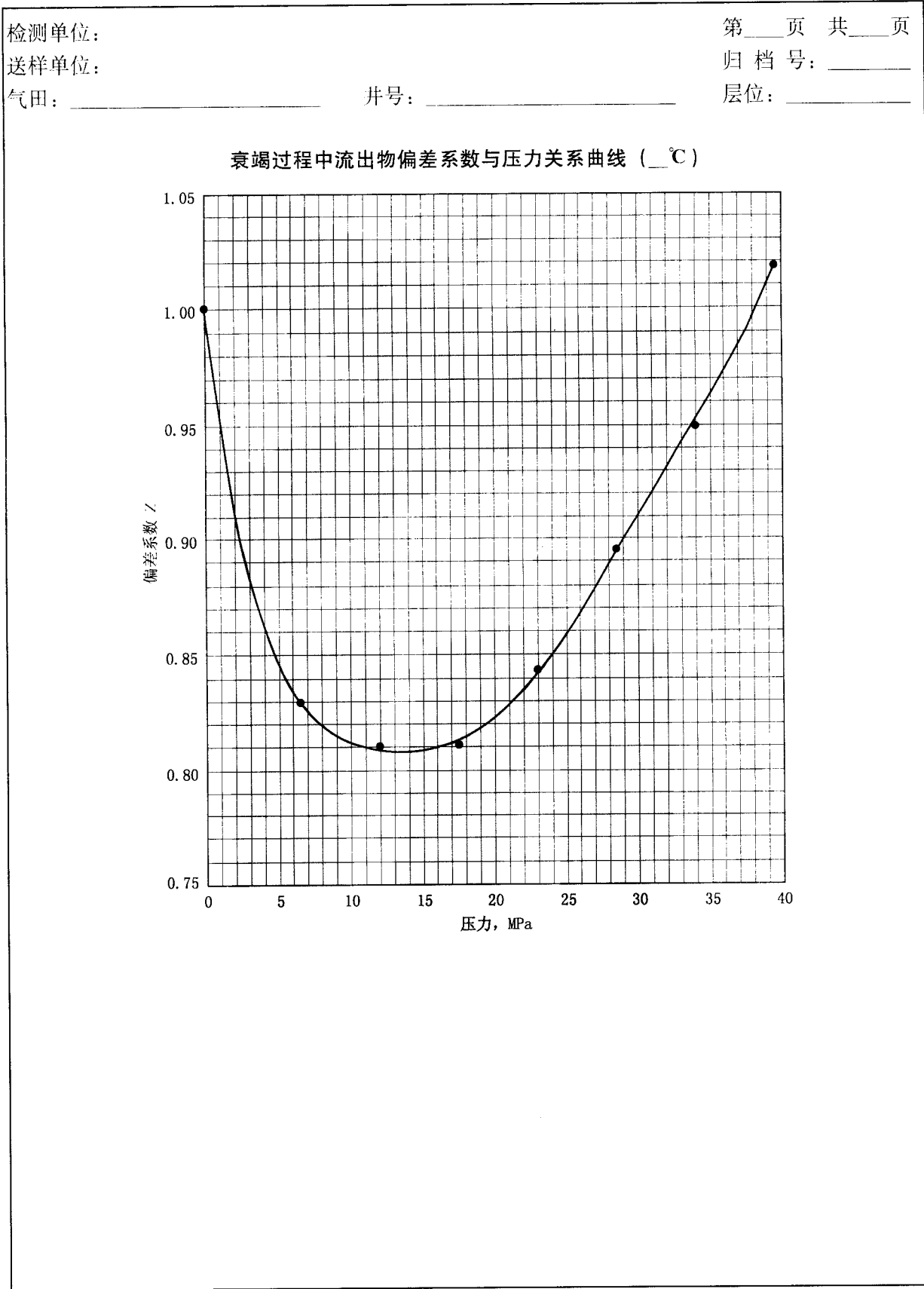


图 C.10 衰竭过程中流出物偏差系数与压力关系曲线格式

C.14 衰竭过程中反凝析液量与压力关系曲线格式如图 C.11 所示。

检测单位：_____ 第____页 共____页
 送样单位：_____ 归 档 号：_____
 气田：_____ 井号：_____ 层位：_____

衰竭过程中反凝析液量与压力关系曲线 (____℃)

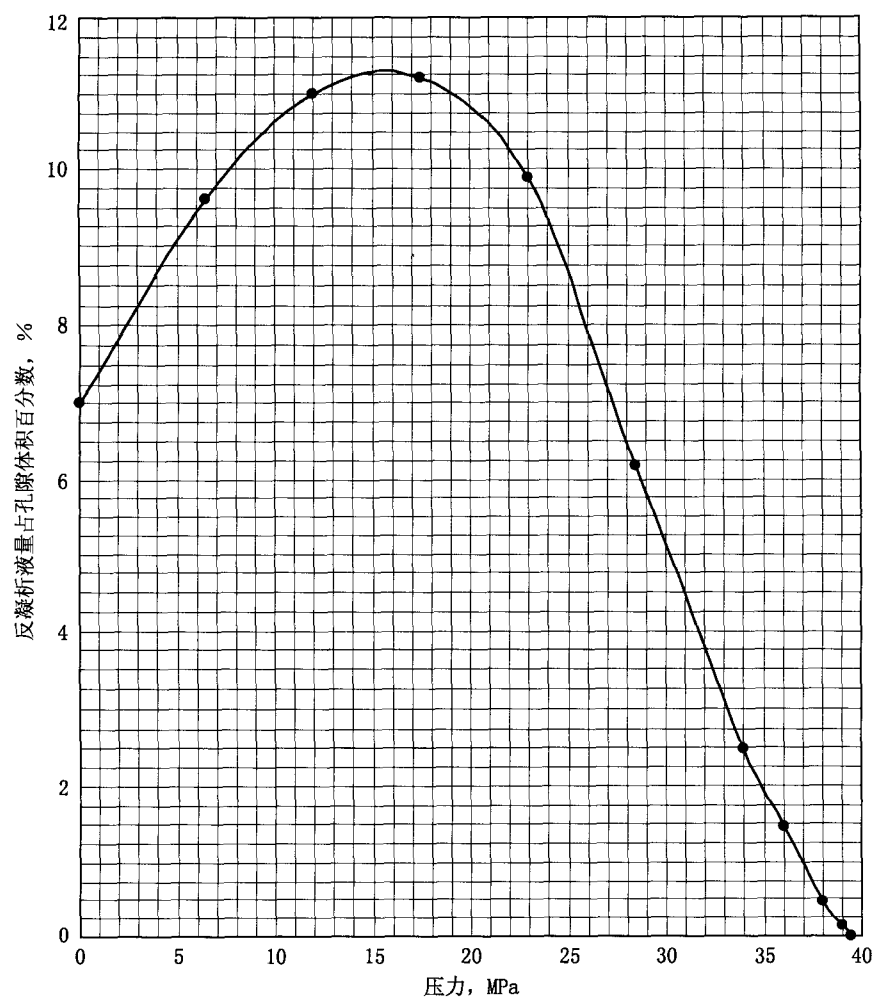


图 C.11 衰竭过程中反凝析液量与压力关系曲线格式

C.15 一级分离器气重质累积产出量与压力关系曲线格式如图 C.12 所示。

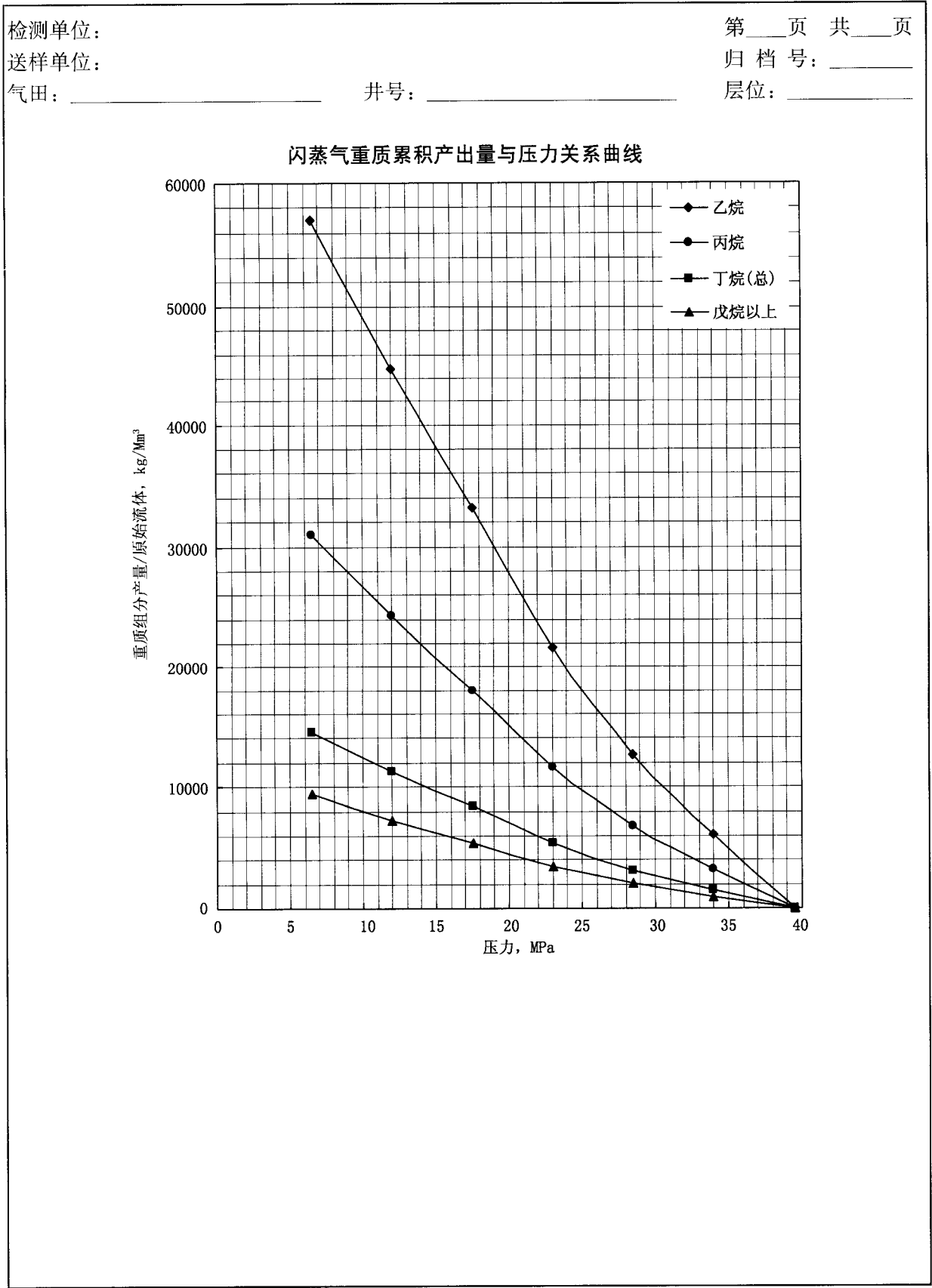


图 C.12 一级分离器气重质累积产出量与压力关系曲线格式

C.16 衰竭过程中累积采出量与压力关系曲线格式如图 C.13 所示。

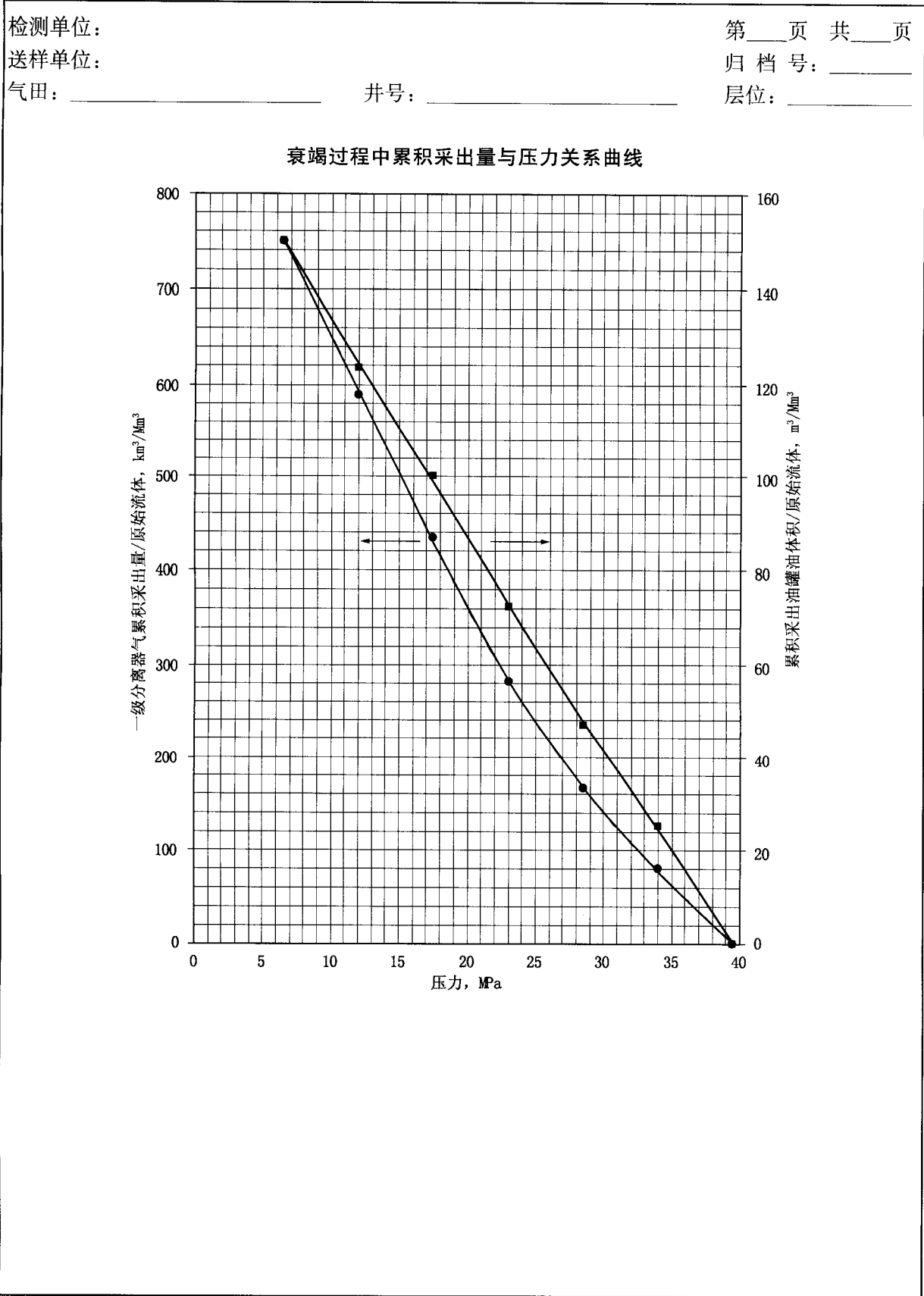


图 C.13 衰竭过程中累积采出量与压力关系曲线格式

附 录 D
(资料性附录)

易挥发油藏流体物性分析报告的格式

- D.1** 分析报告封面格式同图 B.1。
D.2 分析报告首页格式同图 B.2。
D.3 易挥发油藏特征及取样资料格式同图 B.3。
D.4 样品检查情况格式同图 B.4。
D.5 井流体组分组成数据格式同图 B.5。
D.6 地层流体单次脱气实验数据格式同图 B.6。
D.7 地层流体恒质膨胀实验数据格式同图 B.7。
D.8 地层流体压力体积关系数据格式同图 B.8。
D.9 地层流体定容衰竭实验数据格式同图 C.4。
D.10 地层流体定容衰竭反凝析液量数据格式同图 C.5。
D.11 地层流体定容衰竭累积采出量数据格式如图 D.1 所示。

检测单位：_____ 第____页 共____页
 送样单位：_____ 归 档 号：_____
 油田：_____ 井号：_____ 层位：_____

易挥发油藏流体定容衰竭累积采出量数据
(每百万标准立方米原始流体)

压力 MPa	气体积 km ³	产出气体中的重质产量 kg			
		C ₂	C ₃	C ₄	C ₅₊

图 D.1 地层流体定容衰竭累积采出量数据格式

- D.12** 地层流体定容衰竭瞬时采出量数据格式同图 C.7。
D.13 地层温度下地层流体黏度测试数据格式同图 B.10。
D.14 地层流体相对体积与压力关系曲线格式同图 B.11。

SY/T 5542—2009

- D. 15** 衰竭过程中累积产出井流物体积与压力关系曲线格式同图 C. 9。
- D. 16** 衰竭过程中流出物偏差系数与压力关系曲线格式同图 C. 10。
- D. 17** 衰竭过程中反凝析液量与压力关系曲线格式同图 C. 11。
- D. 18** 原始流体重质累积产出量与压力关系曲线格式同图 C. 12。
- D. 19** 地层原油黏度与压力关系曲线格式同图 B. 14。

附 录 E
(资料性附录)

干气藏流体物性分析报告的格式

- E.1 分析报告封面格式同图 B.1。
 E.2 分析报告首页格式同图 B.2。
 E.3 干气藏特征及取样资料格式同图 B.3。
 E.4 样品检查情况格式同图 B.4。
 E.5 地层流体压力体积关系曲线格式同图 C.8。
 E.6 井流体组分组成数据格式如图 E.1 所示。

检测单位：		第____页 共____页
送样单位：		归 档 号：_____
气田：_____	井号：_____	层位：_____

地层流体井流体组分组成分析数据		
组分	气体组成	
	摩尔分数, %	重质含量, g/m ³
CO ₂		
N ₂		
C ₁		
C ₂		
C ₃		
iC ₄		
nC ₄		
iC ₅		
nC ₅		
C ₆		
C ₇		
C ₈		
C ₉		
C ₁₀		
C ₁₁₊		
合 计		
C ₁₁₋ 平均相对分子质量：		
C ₁₁₊ 相对密度：		
热值, kcal _{th} /m ³		

图 E.1 井流体组分组成数据格式

E.7 恒质膨胀实验数据格式如图 E.2 所示。

检测单位：第__页 共__页

送样单位：归 档 号：_____

气田：_____井号：_____层位：_____

恒质膨胀试验数据（__℃）

压 力 MPa	相对体积 ^a V_i/V_f	密度 g/cm ³	压缩系数 C_o MPa ⁻¹	偏差系数 Z	气体体积系数 $\times 10^{-3}$
<div>b</div>					

^a V_i/V_f —— i 级压力与地层压力下样品体积之比。

^b 地层压力。

图 E.2 恒质膨胀实验数据格式

E.8 地层流体压缩系数与压力关系曲线格式如图 E.3 所示。

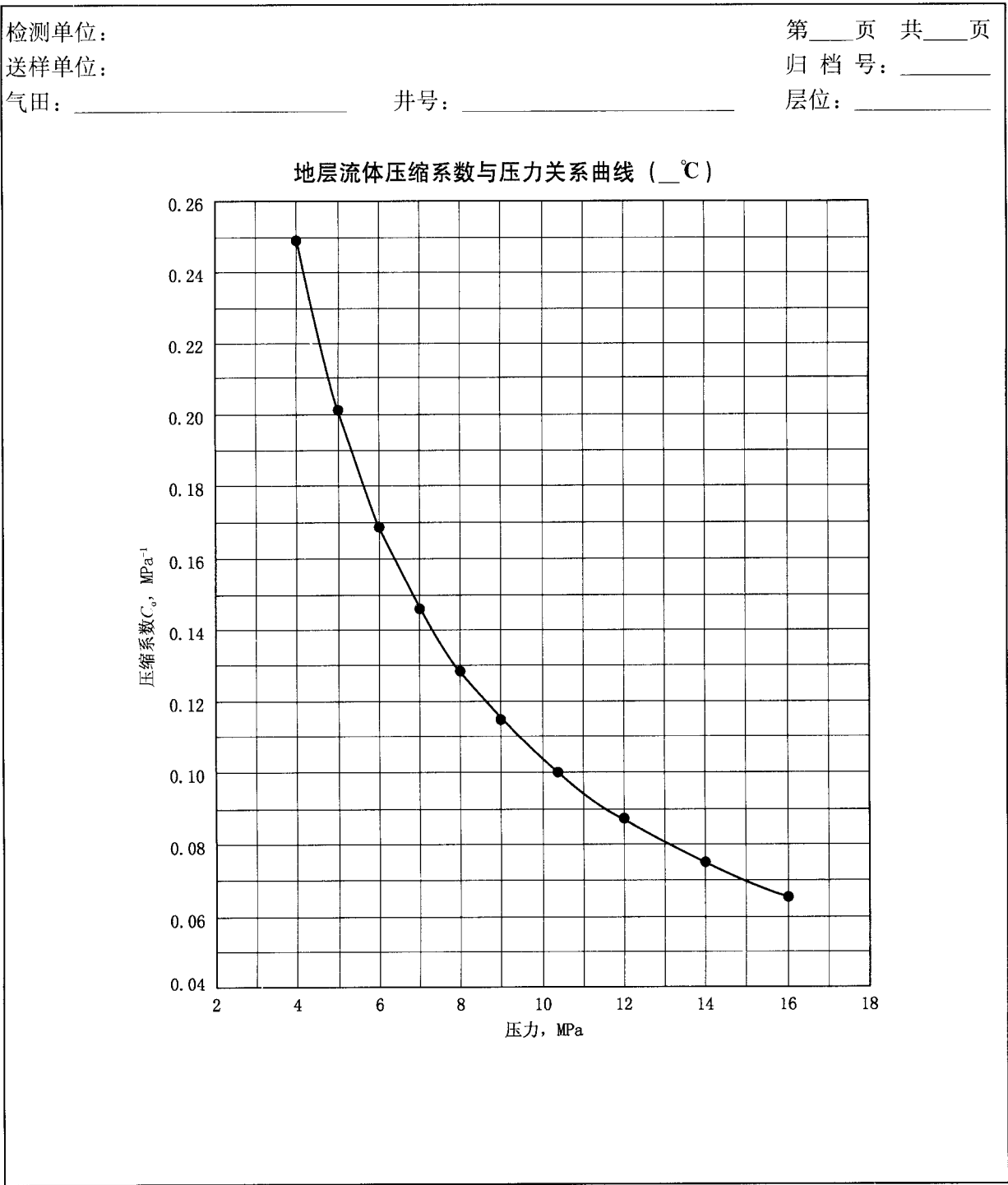


图 E.3 地层流体压缩系数与压力关系曲线格式

E.9 地层流体偏差系数 Z 与压力关系曲线格式同图 C.10。