



中华人民共和国国家标准

GB/T 26981—2020
代替 GB/T 26981—2011

油气藏流体物性分析方法

Analysis method for reservoir fluid physical properties

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
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	4
5 样品检查	4
6 地层流体配制	9
7 转样	12
8 热膨胀实验	13
9 单次脱气实验	13
10 恒质膨胀实验	14
11 多次脱气实验	15
12 定容衰竭实验	15
13 地层油黏度测定	16
14 地层原油流体物性分析	19
15 凝析气地层流体物性分析	27
16 易挥发性原油地层流体物性分析	30
17 湿气地层流体物性分析	30
18 干气地层流体物性分析	30
附录 A (规范性附录) 仪器仪表标定	32
附录 B (资料性附录) 单组分密度与摩尔质量基础参数表	38
附录 C (资料性附录) 地层原油分离实验	40
附录 D (资料性附录) 黑油地层流体物性分析报告格式	43
附录 E (资料性附录) 凝析气地层流体物性分析报告格式	57
附录 F (资料性附录) 凝析气各级定容衰竭流出物的分离实验计算	72
附录 G (资料性附录) 易挥发性原油地层流体物性分析报告格式	75
附录 H (资料性附录) 干气地层流体物性分析报告格式	76



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 26981—2011《油气藏流体物性分析方法》，与 GB/T 26981—2011 相比，主要技术变化如下：

- 增加了溶解气油比、拟组分的定义(见 3.9.3、3.23)；
- 修改了单次脱气、黑油、易挥发性原油、凝析气、湿气、干气、泡点压力、露点压力的定义(见第 3 章,2011 年版的第 3 章)；
- 修改了仪器仪表的名称及规格(见 4.1,2011 年版的 4.1)；
- 删除了死油切割蒸馏,测定 C_{7+} 馏分平均相对摩尔质量和密度的方法(见 2011 年版的 9.2.6)；
- 增加了毛细管黏度测试方法与电磁式黏度测试方法(见 13.3、13.4)；
- 增加了地层流体密度的直接测试方法,即高温高压密度计法(见 13.5.3)；
- 增加了拟组分密度与摩尔质量计算方法(见 14.2.2.2、14.2.2.3)；
- 将凝析气各级定容衰竭流出物的分离实验计算部分移至资料性附录(见附录 F,2011 年版的 15.6)；
- 修改了易挥发性原油物性分析项目种类(见第 16 章,2011 年版的第 16 章)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本标准起草单位：提高石油采收率国家重点实验室(中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院)、中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院、中海油能源发展股份有限公司工程技术公司、塔里木油田公司质量检测中心、中国石油大学(北京)。

本标准主要起草人：张可、李实、伦增珉、张旭东、陈兴隆、王小强、杨发荣、孙长宇、俞宏伟、韩海水。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 26981—2011。

油气藏流体物性分析方法

1 范围

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

本标准适用于油气藏流体物性的测定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

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)

SY/T 5154 油气藏流体取样方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

标准条件 reference conditions

计量油气所规定的标准温度和大气压力。

注:我国石油天然气计量标准条件规定为 20 °C 和 0.101 325 MPa。

3.2

单次脱气 single flash

处于某一状态的单相烃类流体,通过节流膨胀到另一状态的过程,体系由单相变为气液两相而总组成保持恒定。

注:气相称为单脱气,液相称为单脱油。

3.3

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。

注:该项实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,也称 PV 关系测试。

3.4

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。

注: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。

3.5

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。

3.6

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。

注：溶解有气体的液态烃，称为活油。

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

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实验后，在大气压力下所剩余的液态烃。

3.9

气油比 gas oil ratio



3.9.1

生产气油比 produced gas oil ratio

一级分离器条件下的气产量与油罐油产量之比。

注：单位 m^3/m^3 。

3.9.2

分离器气油比 separator gas oil ratio

一级分离器条件下的气产量与一级分离器条件下的油产量之比。

注：单位 m^3/m^3 。

3.9.3

溶解气油比 solution gas oil ratio

单次脱气实验获得的单脱气与单脱油在标准条件下的体积之比。

注：单位 m^3/m^3 。

3.10

体积系数 volume factor

3.10.1

饱和压力体积系数 saturation pressure volume factor

饱和压力下原油体积与单次脱气得到的死油体积(20℃)之比。

3.10.2

分离器油体积系数 separator oil volume factor

分离器条件下的油体积与油罐油体积(20℃)之比。

3.10.3

气体体积系数 gas volume factor

地层条件下气体的体积与其在标准条件下的体积之比。

3.10.4

油气双相体积系数 oil-gas volume factor

当压力低于饱和压力时，某一压力下的油气总体积与其残余油体积(20℃)之比。

3.11

黑油 black oil

气油比小于 $250 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ，密度通常介于 $0.83 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 0.98 \text{ g}/\text{cm}^3$ 之间，饱和压力体积系数小于 2 的一种烃类混合物流体。

3.12

易挥发性原油 volatile oil

气油比介于 $250 \text{ m}^3/\text{m}^3 \sim 550 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 之间,密度通常介于 $0.76 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 0.83 \text{ g}/\text{cm}^3$ 之间,饱和压力体积系数大于 2 的烃类混物流体。

注: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,体积收缩很大的一种烃类混物流体。

3.13

凝析气 condensate gas

气油比介于 $550 \text{ m}^3/\text{m}^3 \sim 18\,000 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 之间,密度通常介于 $0.72 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 0.82 \text{ g}/\text{cm}^3$ 之间的烃类混物流体。

注: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。

3.14

湿气 wet gas

甲烷在烃类组分中的含量小于 95%,气油比大于 $18\,000 \text{ m}^3/\text{m}^3$,密度通常介于 $0.70 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 0.80 \text{ g}/\text{cm}^3$ 之间的烃类混物流体。

注: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,也称作富气。

3.15

干气 dry gas

甲烷在烃类组分中的含量大于 95%,含少量乙烷或含乙烷以上的烃类气体。

注:也称作贫气。

3.16

泡点压力 bubble point pressure

在一定温度条件下,处于液相的体系中,当压力下降至体系出现第一个气泡时的压力;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。

3.17

露点压力 dew point pressure

在一定温度条件下,处于气态的体系中,当压力下降至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,当压力升高至液体完全被溶解成为气态时的压力。

3.18

饱和压力 saturation pressure

泡点压力和露点压力的总称谓。

3.19

井流物 well stream

从油气井中产生的烃类流体物质,或实验室定容衰竭实验中排出的液态和气态的烃类流体物质。

3.20

压缩系数 compressibility factor

等温条件下原油体积随压力的变化率。

3.21

热膨胀系数 thermal expansivity factor

等压条件下原油体积随温度的变化率。

3.22

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：在指定的温度和压力条件下，一定质量的气体实际体积与在该温度和压力条件下按理想气体定律计算出的体积之比。

注：又称气体压缩因子。

3.23

拟组分 pseudo-component

将石油馏分切割成有限数目的窄馏分，每一个窄馏分都视为一个纯组分。

4 仪器仪表

4.1 名称及规格

下列为实验用仪器仪表名称及规格、精度要求：

- PVT 仪及配样装置：可使用柱塞或活塞式 PVT 仪，额定工作温度大于或等于 150 °C，控温精度 ± 0.5 °C，额定工作压力大于或等于 70 MPa。
- 高压计量泵：容量 100 cm³~500 cm³，最小刻度分辨率小于或等于 0.01 cm³，额定工作压力大于或等于 70 MPa。
- 分离器：额定工作压力大于 3 MPa，额定温度大于或等于 35 °C，控温精度 ± 0.5 °C。
- 高压黏度计：测量相对偏差小于 3%，额定温度大于或等于 150 °C，控温精度 ± 0.5 °C，额定工作压力大于或等于 70 MPa。
- 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 $\pm 0.5\%$ FS。
- 常压密度计和高温高压密度计：高温高压密度计，压力不低于 70 MPa，温度不低于 180 °C；读数精度小于或等于 0.000 1 g/cm³，控温精度 ± 0.05 °C。
- 气相色谱仪：天然气组分分析到庚烷以上，摩尔分数精确到 0.000 1，原油组分分析到 C₃₆ 以上，质量分数精确到 0.001。
- 相对分子质量测定仪：测量范围 100~700，测量相对偏差小于或等于 5%。
- 气体计量计：容量大于或等于 1 000 cm³，最小刻度分辨率小于或等于 1 cm³。
- 天平：量程大于或等于 1 200 g，感量大于或等于 0.001 g。
- 大气压力表：精度 0.4 级。
- 温度计：测量范围 0 °C~100 °C，分度值 0.01 °C。

4.2 仪器仪表的标定或校验

仪器仪表应定期进行标定或校验。PVT 容器、高压计量泵、高压落球黏度计、气量计、密度和相对密度测定仪、平均分子量测定仪的标定以及气相色谱仪的校验见附录 A。

5 样品检查

5.1 目的



判断取样质量和样品储运过程中是否有漏失。检查项目包括初检、井下流体样品检查及地面流体样品检查。

5.2 初检

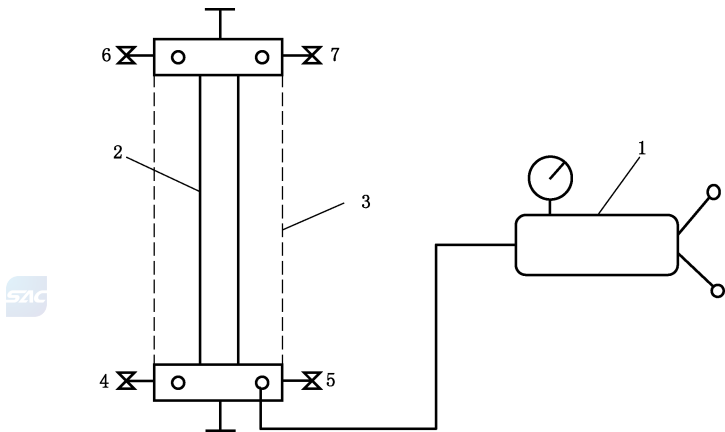
当接到样品时,检查样品的数量、井号及标签是否与送样单一致,取样记录资料是否齐全,取样容器外观是否有漏油现象等。

5.3 井下流体样品检查

5.3.1 打开压力测定

5.3.1.1 计量泵中充满工作介质,按图 1 连接流程。计量泵加压至高于取样点压力,连通样品。

5.3.1.2 取样器加热至取样点温度,加热过程中不断摇动保证样品受热均匀;恒温在取样点温度,连续 30 min 以上,压力波动小于 1%(或绝对变化量)时,该点压力为样品打开压力。



- 说明:
- 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 1 井下流体样品检查流程

5.3.2 含水量检查

在取样点温度下将取样器直立、恒温静放 8 h 后,将水及污物完全放出,计量放出物体积,含水量低于 5%为合格,检查方法按照 SY/T 5154 执行。

5.3.3 泡点压力测定

5.3.3.1 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。

5.3.3.2 降压至下一预定压力,每次降压 1 MPa~2 MPa,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。

5.3.3.3 将测量结果标绘在算术坐标系上,如图 2 所示,得到泡点压力测量曲线,曲线之拐点即为泡点压力。

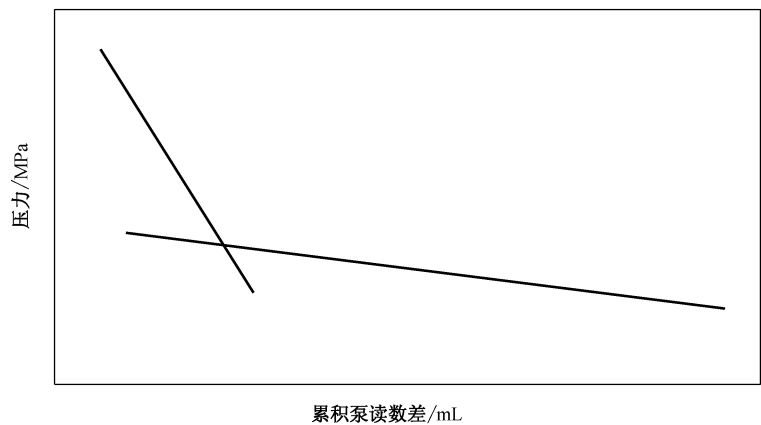


图 2 泡点压力测量曲线

5.3.4 代表性样品的确定

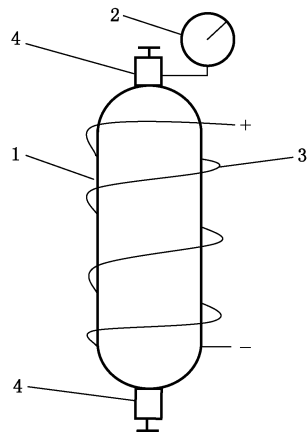
样品数量和样品检查质量应满足以下要求：

- a) 井下流体要求取三支或以上样品；
- b) 至少有两支以上样品泡点压力相对偏差小于 3%；
- c) 泡点压力小于或等于取样点压力，相对偏差应不大于 3%；
- d) 如果几支样品经检查均合格，宜取泡点压力较高的那支样品为分析样品。

5.4 分离器样品检查

5.4.1 分离器气样检查

- 5.4.1.1 将分离器气样瓶直立加热至分离器温度，恒温 4 h 以上，如图 3 所示连接压力表。
- 5.4.1.2 打开气瓶上阀连通压力表，压力表读数即为气样压力。
- 5.4.1.3 气样压力与分离器压力相对偏差小于 5%为合格。
- 5.4.1.4 取气样分析其组分组成，分析方法按 GB/T 13610 执行。



- 说明：
- 1——分离器气样瓶；
 - 2——压力表；
 - 3——恒温套；
 - 4——阀门。

图 3 分离器气样检查流程

5.4.2 分离器油样检查

- 5.4.2.1 分离器油样检查参照 5.3.1~5.3.3 执行。
- 5.4.2.2 分离器油泡点压力与分离器压力相对偏差小于 5% 为合格。
- 5.4.2.3 在测定泡点压力的同时,参照 10.2 测定分离器油压缩系数(C_{os}),计算方法与地层原油压缩系数(C_{oi})一致,见式(26)。

5.4.3 分离器油单次脱气实验

选择一只合格的分离器油瓶,参照 9.2 方法和步骤,在分离器温度下进行单次脱气实验。

5.4.4 数据整理

5.4.4.1 计算油罐油体积

油罐油体积计算见式(1)。

$$V_{ot} = \frac{m_{ot}}{\rho_{ot}} \dots\dots\dots (1)$$

- 式中:
- V_{ot} ——油罐油体积,单位为立方厘米(cm^3);
 - m_{ot} ——油罐油质量,单位为克(g);
 - ρ_{ot} ——油罐油密度(20 °C),单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

5.4.4.2 计算分离器油体积系数



分离器油体积系数计算见式(2)。

$$B_{os} = \frac{V_{os}}{V_{ot}} \dots\dots\dots (2)$$

- 式中:
- B_{os} ——分离器油体积系数;
 - V_{os} ——分离器油体积,单位为立方厘米(cm^3)。

5.4.4.3 计算分离器油气油比

分离器油气油比计算见式(3)。

$$\text{GOR}_t = \left(\frac{T_o \cdot p_1 \cdot V_1}{p_o \cdot T_1 \cdot V_{ot}} \right) - 1 \dots\dots\dots (3)$$

- 式中:
- GOR_t ——分离器油气油比,单位为立方厘米每立方厘米(cm^3/cm^3)或立方米每立方米(m^3/m^3);
 - T_o ——标准温度,单位为开(取值为 293.15 K);
 - p_1 ——当日大气压力,单位为兆帕(MPa);
 - V_1 ——放出气体在室温和大气压力下的体积,单位为立方厘米(cm^3);
 - p_o ——标准压力(取值为 0.101 325 MPa),单位为兆帕(MPa);
 - T_1 ——室温,单位为开(K)。

5.4.4.4 计算油罐油摩尔组成

油罐油摩尔组成计算见式(4)。

$$X_{ti} = \frac{X_{wi}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_{wi}}{M_i} \right) M_i} \dots\dots\dots (4)$$

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 ——油罐油 i 组分的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol)。

5.4.4.5 计算分离器油组成

分离器油组成计算见式(5)。

$$X_{si} = \frac{X_{ti} + 4.157 \times 10^{-5} \frac{\overline{M}_{ot}}{\rho_{ot}} \text{GOR}_t \cdot Y_{ti}}{1 + 4.157 \times 10^{-5} \text{GOR}_t \frac{\overline{M}_{ot}}{\rho_{ot}}} \dots\dots\dots (5)$$

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} ——油罐油的平均摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol)。

5.4.5 油气分离平衡状态和取样质量检查

5.4.5.1 检查目的

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。

5.4.5.2 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, $\lg K_i \cdot p_{\text{sep}}$ 与 $b_i \left(\frac{1}{T_{bi}} - \frac{1}{T_{\text{sep}}} \right)$ 应成线性关系,计算公式见式(6)~式(8),其线性相关系数达 95% 为合格。

$$\lg K_i \cdot p_{\text{sep}} \propto b_i \left(\frac{1}{T_{bi}} - \frac{1}{T_{\text{sep}}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$K_i = \frac{Y_{si}}{X_{si}} \dots\dots\dots (7)$$

$$b_i = \frac{\lg p_{ci} - \lg(0.101)}{\frac{1}{T_{bi}} - \frac{1}{T_{ci}}} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

K_i ——分离器气 i 组分的平衡常数;

p_{sep} ——一级分离器压力(绝对),单位为兆帕(MPa);

b_i ——分离器气 i 组分的特性常数,由式(8)计算;

T_{bi} ——分离器气 i 组分的沸点,单位为开(K);

T_{sep} ——一级分离器温度,单位为开(K);

Y_{si} ——分离器气 i 组分的摩尔分数;

p_{ci} ——分离器气 i 组分的临界压力(绝对),单位为兆帕(MPa);

T_{ci} ——分离器气 i 组分的临界温度,单位为开(K)。

6 地层流体配制

6.1 样品准备

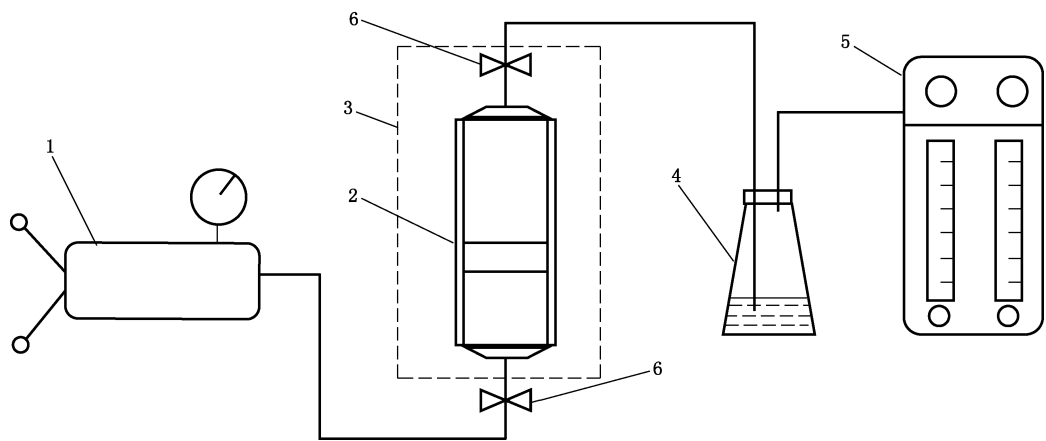
6.1.1 分离器气体压力恢复

采用气体增压泵法或冷冻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。

6.1.2 配样条件下气体偏差系数测定

6.1.2.1 实验步骤

- 6.1.2.1.1 按图 4 连接流程。
- 6.1.2.1.2 在配样温度下,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,恒温平衡 4 h 后,连续 30 min 内体积变化小于 1%。
- 6.1.2.1.3 记录计量泵和气量计初读数。
- 6.1.2.1.4 打开高压容器样品端阀门,保持配样压力,并将约 20 cm³ 高压气体缓慢放出,关闭阀门。
- 6.1.2.1.5 读取泵、气量计末读数,记录室温 and 大气压力。
- 6.1.2.1.6 按 6.1.2.1.3~6.1.2.1.5 重复测定三次以上。



- 说明:
- 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 4 气体偏差系数测定流程

6.1.2.2 计算配样条件下的气体偏差系数

配样条件下的气体偏差系数计算见式(9)。

$$Z_p = \frac{p_p \cdot V_p \cdot T_1 \cdot Z_1}{T_p \cdot p_1 \cdot V_1} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

Z_p ——配样条件下的气体偏差系数;

p_p ——配样压力(绝对),单位为兆帕(MPa);

V_p ——高压气体的体积,单位为立方厘米(cm^3);

T_p ——配样温度(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)。

6.2 配样计算

6.2.1 现场气油比校正

现场气油比校正计算见式(10)。

$$\text{GOR}_c = \text{GOR}_f \sqrt{\frac{d_f \cdot Z_f}{d_L \cdot Z_L}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

GOR_c ——校正气油比,单位为立方米每立方米(m^3/m^3);

GOR_f ——现场气油比,单位为立方米每立方米(m^3/m^3);

d_f ——现场计算气量所用天然气相对密度;

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;

Z_L ——实验室所测分离器条件下的天然气偏差系数。

6.2.2 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 6.2.1 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(11)。

$$\text{GOR}_s = \frac{\text{GOR}_c}{B_{os}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

GOR_s ——一级分离器气油比,单位为立方米每立方米(m^3/m^3)。

6.2.3 配样用油量计算

6.2.3.1 根据分析项目确定地层流体样品需要量

对黑油,可近似地定为分离器油的用量为配制地层流体样品的量;对凝析气,若配 $x \text{ cm}^3$ 的地层流体所需分离器油的用量由式(13)求出。

6.2.3.2 配制黑油流体样品用油量

配制黑油流体样品用油量计算见式(12)。

$$V_{op} = V_{os} [1 - C_{os}(p_p - p_{sep})] \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

V_{op} ——配样条件下的用油量,单位为立方厘米(cm^3);

C_{os} ——分离器油的压缩系数,单位为每兆帕(MPa^{-1})。

6.2.3.3 配制 $x \text{ cm}^3$ 体积凝析气流体样品用油量

配制 $x \text{ cm}^3$ 体积的凝析气流体样品用油量计算见式(13)。

$$V_{op} = \frac{366x}{GOR_s + 183}$$

.....(13)

6.2.4 配样用气量计算

配样条件下用气量计算见式(14)。

$$V_{sg} = \frac{p_o \cdot V_{os} \cdot GOR_s \cdot T_p \cdot Z_p}{Z_o \cdot T_o \cdot p_p}$$

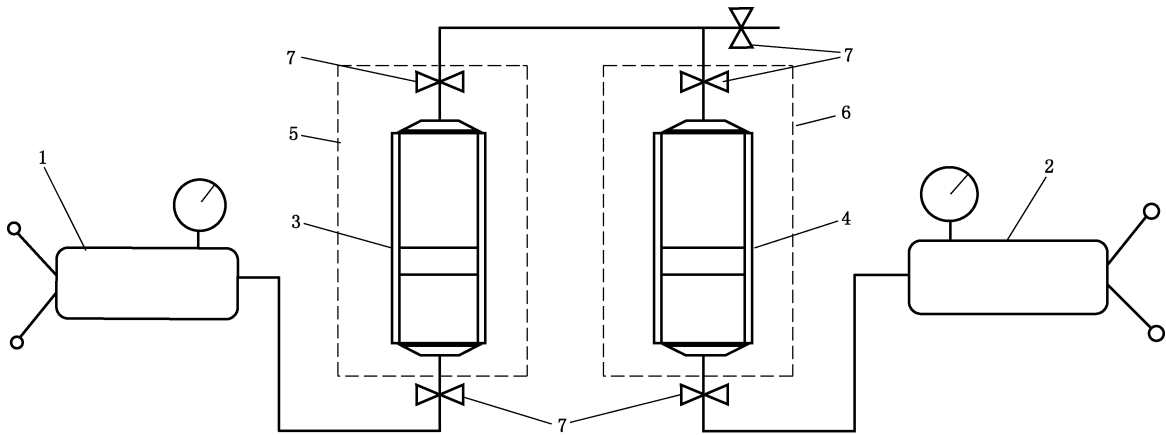
.....(14)

式中：
V_{sg} —— 配样条件下的用气量,单位为立方厘米(cm³)；
Z_o —— 标准条件下的气体偏差系数(一般可近似取值为 1)。

6.3 配样操作步骤

6.3.1 转油样

- 6.3.1.1 将配样容器清洗干净,按图 5 连接流程。
- 6.3.1.2 将两恒温浴升温至配样温度。
- 6.3.1.3 抽空配样容器达 133 Pa 后再抽 30 min。
- 6.3.1.4 将分离器油样恒定在配样压力,恒温平衡 4 h 后,连续 30 min 内高压计量泵体积变化小于 1%。
- 6.3.1.5 用双泵法将所需的分离器油量转入配样容器中。



说明：
1、2—— 高压计量泵；
3 ——分离器油(或气)储样瓶；
4 —— 配样容器；
5、6—— 恒温浴；
7 —— 阀门。

图 5 地层流体配样流程

6.3.2 转气样

- 6.3.2.1 将恒温浴中的油瓶更换为气瓶,在配样温度下恒定压力平衡 4 h 后,连续 30 min 内高压计量泵体积变化小于 1%。
- 6.3.2.2 用双泵法将所需的分离器气量转入配样容器中。

6.4 配样质量检查

6.4.1 将配样容器中的流体样品加热至地层温度,充分搅拌并将样品压成单相,在地层压力下恒温平衡 4 h 后,连续 30 min 内体积变化小于 1%。

6.4.2 参照 9.2 方法和步骤进行地层流体单次脱气实验,平行测试三次以上。

6.4.3 配制地层流体的组成计算。

配制地层流体的组成计算见式(15)。

$$X_{fi} = \frac{\frac{m_d}{M_d}x_i + \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot Z_1 \cdot T_1}y_i}{\frac{m_d}{M_d} + \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot Z_1 \cdot T_1}} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

X_{fi} ——地层流体 i 组分的摩尔分数;

m_d ——死油的质量,单位为克(g);

M_d ——死油的平均摩尔质量,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 8.314 5;

y_i ——单次脱气放出气 i 组分的摩尔分数。

6.5 配样质量要求

配制的地层流体经单次脱气按式(15)与按气油比式(16)计算的地层流体中各组分的组成应一致,凝析气各式计算的甲烷含量相差不大于 3%为合格;黑油饱和压力或气油比相对偏差不大于 1%为合格。

7 转样

7.1 向 PVT 容器中转样

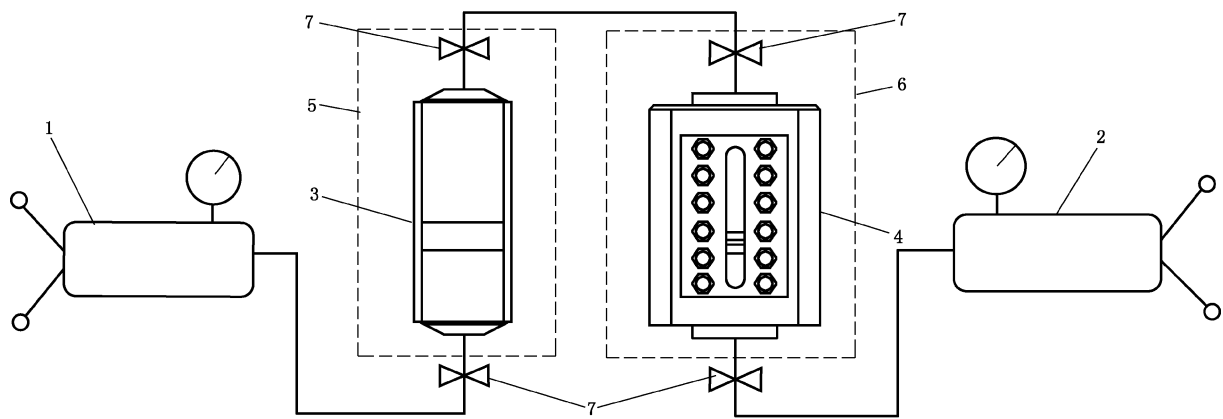
7.1.1 将 PVT 容器清洗干净并按图 6 连接流程。

7.1.2 将 PVT 容器和储样器加热至地层温度。

7.1.3 将 PVT 容器及外接管线抽空到 133 Pa 后继续抽 30 min。

7.1.4 用计量泵将样品增压并充分搅拌,恒定到地层压力,使其成为单相,平衡 4 h 后,连续 30 min 内体积变化小于 1%。

7.1.5 在保持地层压力条件下缓慢打开储样器样品端阀门和 PVT 容器样品端阀门,将所需样品量转入 PVT 容器中。



说明：

- 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 6 转样流程

7.2 黏度计转样

7.2.1 带脱气室的高压落球黏度计、高温高压电磁黏度计以及高温高压毛细管黏度计转样按 7.1 方法转至黏度计。

7.2.2 不带脱气室的小容量黏度计转样,应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。

8 热膨胀实验

8.1 实验原理

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。

8.2 实验步骤

8.2.1 将 PVT 容器中的地层原油样品加热恒定在某一设定温度,在地层压力下将样品搅拌均匀,使其成为单相,平衡 4 h 后,连续 30 min 内体积变化小于 1%,测定样品体积。

8.2.2 将样品升温至地层温度,在地层压力下将样品搅拌均匀,使其成为单相,平衡 4 h 后,连续 30 min 内体积变化小于 1%,测定样品体积。

9 单次脱气实验

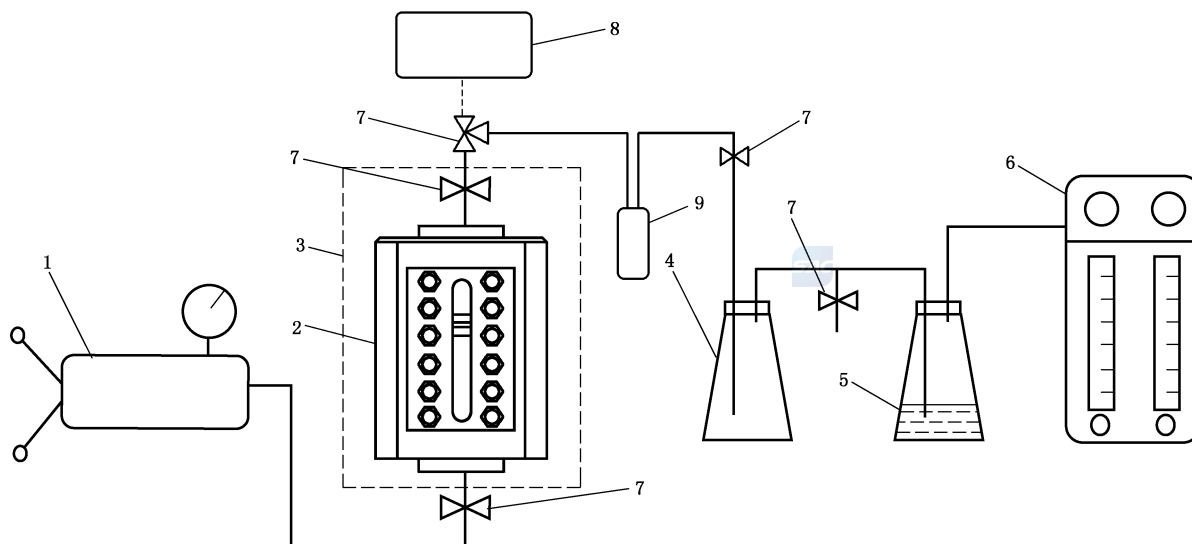
9.1 实验原理

单次脱气实验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通过节流膨胀到大气条件,测量其体积和气液量变化。对地层原油,实验目的是为了测定油气组分组成、气油比、体积系数、地层油密度等参数;对凝析气,实验目的是为了测定凝析油气组分组成、凝析气

藏流体的偏差系数等参数。

9.2 实验步骤

9.2.1 按图 7 连接流程,在地层温度下,将样品加压至高于饱和压力并充分搅拌,使其成为单相。然后按 7.1 步骤将单相地层流体样品转入 PVT 容器。



说明:

- 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;
- 8——高温高压密度计;
- 9——单脱容器。

图 7 单次脱气实验流程

9.2.2 压力稳定后记录压力值和样品体积。

9.2.3 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,称量剩余油质量,记录样品体积、大气压力和室温。

9.2.4 取油、气样分析组分组成。

9.2.5 测定死油密度和平均分子量,测定方法按 SH/T 0604 和 SH/T 0169 执行。

9.2.6 按 9.2.2~9.2.5 平行测定三次以上,地层原油测定的气油比相对偏差小于 2%,体积系数相对偏差小于 1%;凝析气地层流体测定的偏差系数相对偏差小于 1%。

10 恒质膨胀实验

10.1 实验原理

恒质膨胀实验又称 *PV* 关系实验,是指在地层温度下测定恒定质量的地层流体压力与体积的关系。

对于地层原油,可获取流体的泡点压力、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,可获取流体的露点压力、气体偏差系数和不同压力下流体的相对体积等参数。

10.2 实验步骤

10.2.1 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,充分搅拌均匀稳定。

10.2.2 对于地层原油流体,在泡点压力以上按逐级降压法测量(固定压力读体积),每级降 1 MPa~2 MPa;在泡点压力以下按逐级膨胀体积法测量(固定体积读压力),每级膨胀 $0.5\text{ cm}^3 \sim 20\text{ cm}^3$ 。每级降压膨胀后应搅拌均匀,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,作出 PV 关系曲线,曲线拐点即为粗测的泡点压力。

10.2.3 对于凝析气流体,首先测定其露点压力。测试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 0.1 MPa 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。在露点压力以上时每级压力取 0.5 MPa~2 MPa,平衡 0.5 h 后记录压力和样品体积;在露点压力以下时每级压力下应搅拌 0.5 h 并静置 0.5 h 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 3 倍以上时结束实验。

注意:当压力降到某一值时,液体可能重新消失,此时的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,但升压和降压时液体出现和消失现象与第一露点正好相反。

11 多次脱气实验

11.1 实验原理

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 3~12 级。

11.2 实验步骤

11.2.1 参照图 7 连接流程。

11.2.2 在地层温度下,将 PVT 容器中的地层原油样品加压至地层压力,充分搅拌并恒温平衡 4 h 后,30 min 内体积变化小于 1%,读取样品体积。

11.2.3 降压至第一级脱气压力,搅拌均匀后静止,读取样品体积。

11.2.4 打开样品端阀门,保持压力缓慢排气,气体排完后迅速关闭阀门。注意排气过程不能有油排出。记录排出气量、室温和大气压力,取气样分析其组分组成。

11.2.5 重复 11.2.3~11.2.4,逐级降压脱气,一直进行到大气压力级。

11.2.6 将残余油排出称质量,测定残余油组成、平均分子量和 20 °C 下的密度。

12 定容衰竭实验

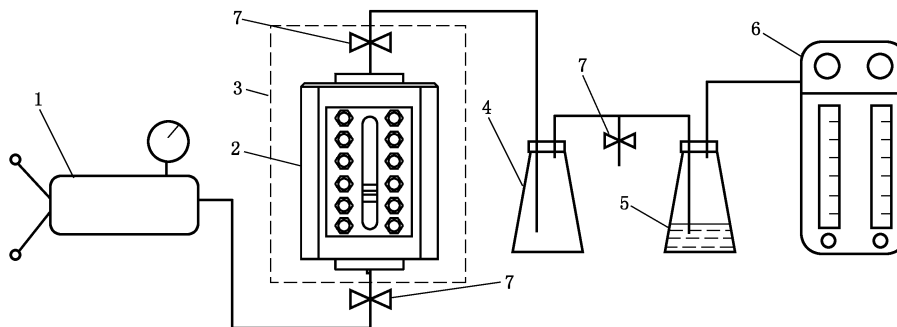
12.1 实验原理

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

式开采是一连续降压和产出的过程。在实验室,由于受条件所限,只能近似模拟这一过程,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 4~8 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。

12.2 实验步骤

12.2.1 定容衰竭实验流程如图 8 所示。



说明:

- 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 8 定容衰竭实验流程

12.2.2 将约为 PVT 容器容积 2/5 的凝析气流体样品转入容器中,在地层温度、地层压力下将样品搅拌均匀并恒温平衡 4 h 后,连续 30 min 内体积变化小于 1%。

12.2.3 将压力降至露点压力后平衡 1 h 以上,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_0 。

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

12.2.5 慢慢打开 PVT 容器样品端阀门排气,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、油量并取油样分析组成,同时记录室温和大气压力。

12.2.6 重复 12.2.4~12.2.5,一直进行到压力为 4 MPa~6 MPa 的最后一级压力为止。

12.2.7 最后一级压力到零压的测定过程是:打开样品端阀门,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。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。

13 地层油黏度测定

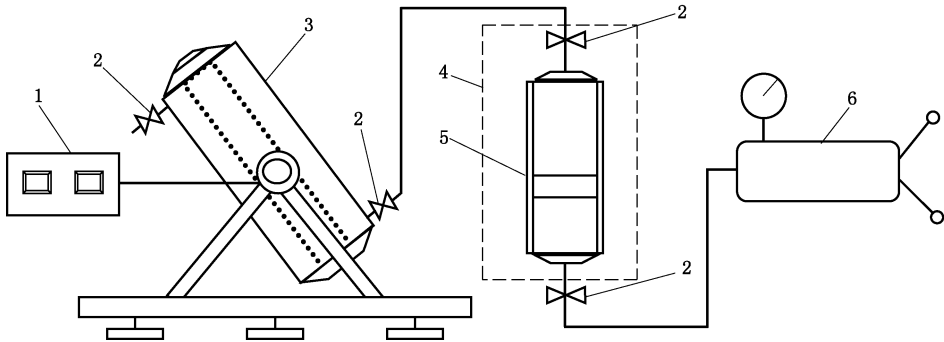
13.1 实验原理和目的

油藏流体黏度测定一般是指液相油黏度的测定。可选用高温高压落球黏度计、高温高压电磁黏度计和高温高压毛细管黏度计,目的是为获得地层条件及不同脱气压力级下单相油的黏度。

13.2 高温高压落球黏度计黏度测定

13.2.1 带脱气室落球黏度计黏度测定步骤

- 13.2.1.1 将黏度计清洗干净,选择合适尺寸钢球放入测试腔内,按图 9 连接流程。
- 13.2.1.2 将黏度计升温到地层温度并恒温 4 h 以上,抽空黏度计至 133 Pa 后继续抽 30 min。
- 13.2.1.3 按 7.2 将地层条件下的原油样品转入黏度计中,调整到测定压力。
- 13.2.1.4 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。
- 13.2.1.5 选定测量角度,按测定规程测定落球时间,落球时间介于 10 s~80 s 间为宜。
- 13.2.1.6 每个压力级至少测定两个角度,每个角度平行测定五次,要求相对偏差应小于 1%。
- 13.2.1.7 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,反复翻转黏度计,搅拌油样使其达到平衡,重复 13.2.1.5~13.2.1.6 步骤。
- 13.2.1.8 在泡点压力以上至少测 4 个点,泡点压力以下测 6~12 个点,一直进行到大气压力级。



- 说明:
- 1——控制器;
- 2——阀门;
- 3——黏度计;
- 4——恒温浴;
- 5——储样器;
- 6——高压计量泵。

图 9 高温高压落球黏度计黏度测定流程

13.2.2 不带脱气室落球黏度计黏度测定步骤

不带脱气室落球黏度计与带脱气室落球黏度计黏度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黏度计。

13.3 高温高压毛细管黏度计黏度测定

13.3.1 毛细管黏度计黏度测定原理

毛细管黏度计的测定原理是指在设定的温度和压力条件下,测定一定体积的液体在一定的驱替速度(压差)下通过特定毛细管所需的时间,黏度计的毛细管常数与时间的乘积即为该温度、压力条件下液体的运动黏度。黏度计的毛细管常数与毛细管的材质、管径、表面性质等有关,通常由标准黏度油和去离子水等进行校正得出。毛细管黏度计只适合单相流体的黏度测定。

13.3.2 高温高压毛细管黏度计黏度测定步骤

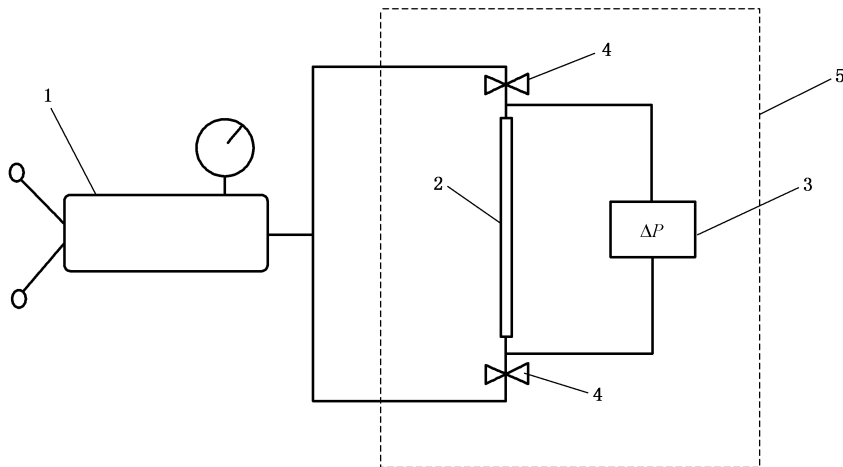
13.3.2.1 按图 10 连接流程,用标准黏度油或去离子水在设定温度和压力下对黏度计进行标定,获得该黏度计的毛细管常数。

13.3.2.2 黏度计清洗干净后进行抽空,然后将黏度计预热至实验温度。

13.3.2.3 按 7.2 方法在实验压力下向黏度计转样。

13.3.2.4 将实验样品加热至实验温度后恒温恒压 4 h 以上。

13.3.2.5 按照仪器说明书要求,采用与标准黏度油或去离子水标定毛细管常数的相同步骤测定实验样品的黏度。



说明:

- 1——高压计量泵;
- 2——高温高压毛细管;
- 3——压差测定装置;
- 4——阀门;
- 5——恒温浴。

图 10 高温高压毛细管黏度计黏度测定流程

13.4 高温高压电磁式黏度计黏度测定

13.4.1 高温高压电磁式黏度计黏度测定原理

高温高压电磁式黏度计工作原理基于金属活塞在电磁力驱动下做往复运动,通过测量金属活塞在测量室内两端运动时间而获取流体黏度。

13.4.2 高温高压电磁式黏度计黏度测定步骤

13.4.2.1 将高温高压电磁式黏度计清洗干净,选择合适量程的金属活塞放入测量室内,按图 11 连接流程。

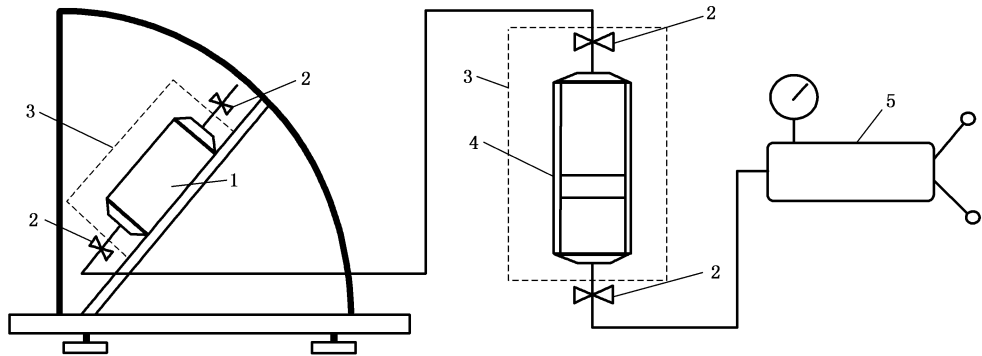
13.4.2.2 将黏度计升温并恒定在地层温度 4 h 以上,抽空黏度计至 133 Pa 后继续抽 30 min。

13.4.2.3 按 7.2 将地层条件下的原油样品转入黏度计中,调整到测定压力。

13.4.2.4 搅拌油样使其达到单相平衡,每个压力级平行测定五次,要求相对偏差小于 1%。

13.4.2.5 打开排气阀,缓慢降压脱气到下一级压力,关闭排气阀,重复 13.4.2.4 步骤。

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



- 说明:
- 1—— 高温高压电磁式黏度计;
 - 2—— 阀门;
 - 3—— 恒温浴;
 - 4—— 储样器;
 - 5—— 高压计量泵。

图 11 高温高压电磁式黏度计黏度测定流程

13.5 单相地层原油密度测定

- 13.5.1 准备三个耐压、体积大于 20 cm³单脱容器,称重,质量精确到 0.001 g。
- 13.5.2 按 9.2 步骤将单相约 20 cm³的地层流体样品分别转入三个单脱容器中,记录转样前后的泵读数,精确到 0.01 cm³,称量三个带样单脱容器的质量,精确到 0.001 g。
- 13.5.3 对于具有高温高压密度计的实验室,将 PVT 容器中的单相地层流体直接转入该设备中,进行不同压力下密度的在线测量,测定方法参照 SH/T 0604 执行。

14 地层原油流体物性分析

14.1 地层原油流体物性分析步骤及分析报告格式

地层原油流体物性分析按照第 5 章~第 13 章步骤执行。计算所需的单组分密度与分子量基础参数参见附录 B,地层原油分离实验参见附录 C,分析报告项目及格式参见附录 D。

14.2 地层原油单次脱气实验数据计算

14.2.1 分离器样品井流体组成计算

分离器样品井流体组成计算见式(16)。

$$X_{fi} = \frac{X_{ti} + 4.157 \times 10^{-5} \frac{\overline{M}_{ot}}{\rho_{ot}} (GOR_t \cdot Y_{ti} + GOR_s \cdot B_{os} \cdot Y_{si})}{1 + 4.157 \times 10^{-5} \frac{\overline{M}_{ot}}{\rho_{ot}} (GOR_t + GOR_s \cdot B_{os})} \dots\dots\dots (16)$$

14.2.2 井下样品井流体组成计算

14.2.2.1 井流体组成计算

井流体组成通过单次脱气实验数据按式(15)计算。

14.2.2.2 拟组分密度计算

拟组分密度计算见式(17)。

$$\rho_+ = \frac{\rho_{ot} \omega_+}{1 - \rho_{ot} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\omega_i}{\rho_i}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

ρ_+ ——拟组分的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);

ρ_i ——组分 i 在标准状态下的液体密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);

ω_+ ——拟组分的质量分数;

ω_i ——组分 i 的质量分数。

14.2.2.3 拟组分摩尔质量计算

拟组分摩尔质量计算见式(18)。

$$M_+ = \frac{\overline{M_{ot}} \omega_+}{1 - \overline{M_{ot}} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\omega_i}{M_i}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

M_+ ——拟组分的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol)。

14.2.3 地层原油单次脱气体积系数

14.2.3.1 计算死油体积

死油体积计算见式(19)。

$$V_d = \frac{m_d}{\rho_d} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

V_d ——死油体积,单位为立方厘米(cm³);

ρ_d ——死油密度(20℃),单位为克每立方厘米(g/cm³)。

14.2.3.2 计算原油体积系数

原油体积系数计算见式(20)。

$$B_{of} = \frac{V_{of}}{V_d} \quad \dots\dots\dots (20)$$

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,单位为立方厘米(cm³)。

14.2.4 地层原油的单次脱气气油比

单次脱气气油比计算见式(21)。

$$GOR_o = \frac{T_o \cdot p_1 \cdot V_1}{p_o \cdot T_1 \cdot V_d} - 1 \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中:

GOR_o ——地层原油单次脱气气油比,单位为立方厘米每立方厘米(cm³/cm³)或立方米每立方米(m³/m³)。

14.2.5 地层原油平均溶解气体系数

地层原油平均溶解气体系数计算见式(22)。

$$\varphi = \frac{GOR_o}{p_b} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

φ ——地层原油平均溶解气体系数,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(绝对压力),单位为兆帕(MPa)。

14.2.6 地层原油体积收缩率

地层原油体积收缩率计算见式(23)。

$$\eta = \frac{B_{of} - 1}{B_{of}} \times 100\% \dots\dots\dots (23)$$

式中:

η ——地层原油体积收缩率。

14.2.7 地层原油密度

地层原油密度计算见式(24)。

$$\rho_{of} = \frac{m_2 - m_1}{V_{of}} \dots\dots\dots (24)$$

式中:

ρ_{of} ——地层原油密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);

m_2 ——地层流体样品加单脱容器质量,单位为克(g);

m_1 ——空单脱容器质量,单位为克(g)。

14.3 恒质膨胀实验数据计算

14.3.1 地层原油热膨胀系数

地层原油热膨胀系数计算见式(25)。

$$\alpha_o = \frac{V_{of} - V_T}{V_{of}(T_r - T_T)} \dots\dots\dots (25)$$

式中:

α_o ——地层原油热膨胀系数,单位为每开(K⁻¹)或每摄氏度(°C⁻¹);

V_{of} ——地层压力、地层温度下的样品体积,单位为立方厘米(cm³);

T_r ——地层温度,单位为开(K)或摄氏度(°C);

V_T ——设定温度,单位为开(K)或摄氏度(°C)。

14.3.2 饱和压力以上地层原油压缩系数

地层原油压缩系数计算见式(26)。

$$C_{oi} = -\frac{1}{V_i} \frac{\Delta V_i}{\Delta p_i} \dots\dots\dots (26)$$

地层原油压缩系数也可由饱和压力以上测试的 PV 关系拟合一个二次方程式,见式(27),对式(27)求导整理得到地层原油压缩系数计算式,见式(28)。

$$V = ap_i^2 + bp_i + c \dots\dots\dots (27)$$

$$C_{oi} = \frac{2ap_i + b}{V_i} \dots\dots\dots (28)$$

式中:

C_{oi} —— i 级地层原油的等温压缩系数,单位为每兆帕(MPa^{-1});

V_i —— i 级压力下的样品体积,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,单位为立方厘米(cm^3);

p_i —— i 级压力,单位为兆帕(MPa);

Δp_i —— i 级与 $i-1$ 级压力差,单位为兆帕(MPa)。

14.3.3 地层流体相对体积

地层流体相对体积计算见式(29)。

$$R_i = \frac{V_i}{V_b} \dots\dots\dots (29)$$

式中:

R_i ——第 i 级压力下地层流体的相对体积;

V_b ——泡点压力下的地层流体体积,单位为立方厘米(cm^3)。

14.3.4 Y 函数

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

$$Y = \frac{p_b - p_i}{p_i(R_i - 1)} \dots\dots\dots (30)$$

式中:

Y ——Y 函数;

p_b ——地层原油的泡点压力(绝对),单位为兆帕(MPa)。

14.3.5 第 i 级压力下地层原油单相流体密度

地层原油单相流体密度计算见式(31)。

$$\rho_i = \frac{V_{of} \cdot \rho_{of}}{V_i} \dots\dots\dots (31)$$

式中:

ρ_i —— i 级压力下地层原油单相流体密度,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,单位为立方厘米(cm^3)。

14.4 多次脱气实验数据计算

14.4.1 各级压力下的溶解气油比

14.4.1.1 各级压力下脱出气体积

各级压力下脱出气体积计算见式(32)。

$$V_{gi} = \frac{T_o \cdot p_1 \cdot V_{1i}}{p_o \cdot T_1} \dots\dots\dots (32)$$

式中:

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

V_{1i} ——第 i 级压力下脱出气在室温、大气压力下的体积,单位为立方厘米(cm^3)。

14.4.1.2 累积脱出气体积

累积脱出气体积计算见式(33)。

$$V_g = \sum_{i=1}^n V_{gi} \dots\dots\dots (33)$$

式中:

V_g ——累积脱出气在标准条件下的体积,单位为立方厘米(cm^3)。

14.4.1.3 各级压力下溶解气体积

各级压力下溶解气体积计算见式(34)。

$$V_{gri} = V_g - \sum_1^i V_{gi} \dots\dots\dots (34)$$

式中:

V_{gri} ——第 i 级压力下溶解气体积,单位为立方厘米(cm^3)。

14.4.1.4 残余油体积

残余油体积计算见式(35)。

$$V_{or} = \frac{m_{or}}{\rho_{or}} \dots\dots\dots (35)$$

式中:

V_{or} ——标准条件下残余油体积,单位为立方厘米(cm^3);

m_{or} ——残余油质量,单位为克(g);

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

14.4.1.5 各级压力下溶解气油比

各级压力下溶解气油比计算见式(36)。

$$\text{GOR}_{ri} = \frac{V_{gri}}{V_{or}} \dots\dots\dots (36)$$

式中:

GOR_{ri} ——第 i 级压力下原油溶解气油比,单位为立方厘米每立方厘米(cm^3/cm^3)或立方米每立方米(m^3/m^3)。

14.4.2 各级压力下脱出气密度和相对密度

14.4.2.1 各级压力下脱出气摩尔质量

各级压力下脱出气的摩尔质量计算见式(37)。

$$M_{gi} = \sum_{i=1}^n y_{gi} \times M_i \dots\dots\dots (37)$$

式中:

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

y_{gi} ——第 i 级压力下脱出气的组成。

14.4.2.2 各级压力下脱出气密度

各级压力下脱出气的密度计算见式(38)。



$$\rho_{gi} = \frac{M_{gi} \cdot p_o}{RT_o} \dots\dots\dots (38)$$

式中:

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

14.4.2.3 各级压力下脱出气相对密度

各级压力下脱出气的相对密度计算见式(39)和式(40)。

$$\gamma_{gi} = \frac{\rho_{gi}}{\rho_a} \dots\dots\dots (39)$$

$$\gamma_{gi} = \frac{M_{gi}}{M_a} \dots\dots\dots (40)$$

式中:

γ_{gi} ——第 i 级压力下脱出气的相对密度;

ρ_a ——标准条件下干燥空气的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);

M_a ——标准条件下干燥空气的摩尔质量(空气的摩尔质量取值为 28.96),单位为克每摩尔(g/mol)。

14.4.3 各级压力下脱出气偏差系数

各级压力下脱出气的偏差系数计算见式(41)。

$$Z_i = \frac{Z_o \cdot T_o \cdot p_i \cdot \Delta V_{gi}}{p_o \cdot T_r \cdot V_{gi}} \dots\dots\dots (41)$$

式中:

Z_i ——第 i 级压力、地层温度下脱出气的偏差系数;

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

14.4.4 各级压力下脱出气体积系数

各级压力下脱出气的体积系数计算见式(42)。

$$B_{gi} = \frac{Z_i \cdot T_r \cdot p_o}{Z_o \cdot p_i \cdot T_o} \dots\dots\dots (42)$$

式中:

B_{gi} ——第 i 级压力下气相体积系数。

14.4.5 各级压力下单相流体体积系数

各级压力下单相流体体积系数计算见式(43)。

$$B_{oi} = \frac{V_{oi}}{V_{or}} \dots\dots\dots (43)$$

式中:

B_{oi} ——多次脱气 i 级压力下单相油体积系数;

V_{oi} ——多次脱气 i 级压力下单相油体积,单位为立方厘米(cm³)。

14.4.6 各级压力下的油气双相体积系数

各级压力下油气双相体积系数计算见式(44)。

$$B_{ti} = (GOR_o - GOR_i) \times B_{gi} + B_{oi} \dots\dots\dots (44)$$

式中：
 B_{ti} —— i 级压力下油气双相体积系数。

14.4.7 各级压力下单相油密度

14.4.7.1 第 i 级压力下脱出气质量

第 i 级压力下脱出气质量计算见式(45)。

$$m_{gi} = V_{gi} \cdot \rho_{gi} \dots\dots\dots (45)$$

式中：
 m_{gi} —— i 级压力下脱出气质量,单位为克(g);
 ρ_{gi} —— i 级压力下脱出气在标准条件下的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³)。

14.4.7.2 累积脱出气质量

累积脱出气质量计算见式(46)。

$$m_g = \sum_{i=1}^n m_{gi} \dots\dots\dots (46)$$

式中：
 m_g ——累积脱出气质量,单位为克(g)。

14.4.7.3 第 i 级压力下溶解气质量

第 i 级压力下溶解气质量计算见式(47)。

$$m_{ri} = m_g - \sum_1^i m_{gi} \dots\dots\dots (47)$$

式中：
 m_{ri} ——第 i 级压力下溶解气质量,单位为克(g)。

14.4.7.4 残余油体积

残余油体积计算见式(48)。

$$V_{or} = \frac{m_{or}}{\rho_{or}} \dots\dots\dots (48)$$

式中：
 V_{or} ——标准条件下残余油体积,单位为立方厘米(cm³);
 m_{or} ——残余油质量,单位为克(g);
 ρ_{or} ——残余油密度(20 ℃),单位为克每立方厘米(g/cm³)。

14.4.7.5 第 i 级压力下原油密度

第 i 级压力下原油密度计算见式(49)。

$$\rho_{oi} = \frac{m_{or} + m_{ri}}{V_{oi}} \dots\dots\dots (49)$$

式中：
 ρ_{oi} —— i 级压力下原油密度,单位为克每立方厘米(g/cm³)。

14.4.8 各级压力下脱出气黏度

各级脱气压力下的气体黏度一般采用图版法或计算法得到。有条件的实验室也可以采用高温高压

电磁黏度计或高温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公式,其精度可以满足绝大多数油藏工程计算的要求。计算见式(50)~式(54)。

$$\mu_{gi} = 10^{-4} J \cdot \exp(K \cdot \rho_{gpi}^L) \quad \dots\dots\dots (50)$$

$$J = \frac{(9.4 + 0.02M_{gi})(1.8T_r)^{1.5}}{209 + 19M_{gi} + 1.8T_r} \quad \dots\dots\dots (51)$$

$$K = 3.5 + \frac{986}{1.8T_r} + 0.01M_{gi} \quad \dots\dots\dots (52)$$

$$L = 2.4 - 0.2K \quad \dots\dots\dots (53)$$

$$\rho_{gpi} = \frac{M_{gi} \cdot p_i}{Z_i \cdot R \cdot T_r} \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中:

μ_{gi} ——第 i 级压力和地层温度下脱出气黏度,单位为毫帕秒(mPa·s);

ρ_{gpi} ——第 i 级压力和地层温度下脱出气密度,单位为克每立方厘米(g/cm³)。

14.4.9 各级压力下单相原油黏度

各级压力下单相原油黏度计算见式(55)。

$$\mu_i = k_i (\rho_b - \rho_i) t_i \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中:

μ_i ——第 i 级压力和地层温度下原油黏度,单位为毫帕秒(mPa·s);

k_i ——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,单位为克每立方厘米(g/cm³);

ρ_i ——第 i 级测定条件下原油密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);

t_i ——第 i 级压力和任一测量角度下的落球时间,单位为秒(s)。

14.5 分离器气重质组分含量

分离器气重质组分含量计算见式(56)。

$$G_{sj} = \frac{Y_{sj} \cdot M_j \cdot p_o}{Z_o \cdot R \cdot T_o} \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中:

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

Y_{sj} ——分离器气中自 C₂ 之后 j 组分摩尔分数;

M_j ——自 C₂ 之后 j 组分摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol)。

14.6 分离器气热值

分离器气热值计算见式(57)。

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot Y_{si}}{Z_o} \quad \dots\dots\dots (57)$$

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),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),单位为千焦耳每立方米(kJ/m³)。

14.7 分离实验

地层原油的分离实验参见附录 C。

14.8 分析报告项目及要求

分析报告项目及格式要求参见附录 D。

15 凝析气地层流体物性分析

15.1 凝析气地层流体物性分析步骤及分析报告格式

凝析气地层流体物性分析按第 5 章～第 7 章、第 9 章～第 10 章和第 12 章分析步骤执行。分析报告项目及格式要求参见附录 E。

15.2 凝析气地层流体井流物组成

凝析气井流物组成计算见式(16)。

15.3 地层压力下流体偏差系数

15.3.1 脱出气体体积

脱出气体体积计算见式(32)。

15.3.2 析出凝析油相当的气体体积

析出凝析油相当的气体体积计算见式(58)。

$$V_{ogi} = \frac{m_{oi} \cdot R \cdot T_o}{M_o \cdot p_o}$$

.....(58)

式中：

V_{ogi} ——析出凝析油相当的气体在标态时体积，单位为立方厘米(cm^3)；

m_{oi} ——析出凝析油质量，单位为克(g)；

M_o ——析出凝析油摩尔质量，单位为克每摩尔(g/mol)。

15.3.3 地层压力下流体偏差系数

地层压力下流体偏差系数计算见式(59)。

$$Z_r = \frac{p_r \cdot V_r \cdot T_o}{p_o(V_g + V_{ogi})T_r}$$

.....(59)

式中：

Z_r ——地层压力下流体偏差系数；

p_r ——地层压力(绝对)，单位为兆帕(MPa)；

V_r ——地层压力和温度条件下流体体积，单位为立方厘米(cm^3)；

T_r ——地层温度，单位为开(K)。

15.4 恒质膨胀实验数据计算

15.4.1 各级压力下流体相对体积

各级压力下流体相对体积计算见式(60)。

$$R_i = \frac{V_i}{V_d} \quad \dots\dots\dots (60)$$

式中:

R_i ——第 i 级压力下流体相对体积;

V_i ——第 i 级压力下流体体积,单位为立方厘米(cm^3);

V_d ——露点压力下流体体积,单位为立方厘米(cm^3)。

15.4.2 露点压力以上各级压力流体偏差系数

各级压力流体偏差系数计算见式(61)。

$$Z_i = \frac{p_i \cdot V_i \cdot Z_r}{P_r \cdot V_r} \quad \dots\dots\dots (61)$$

式中:

Z_i ——第 i 级压力下的气体偏差系数,无量纲单位。

15.5 定容衰竭实验数据计算

15.5.1 排出气标态体积

排出气在标准状态下的体积计算见式(32)。

15.5.2 每级排出井流体组成

每级排出井流体组成计算见式(15)。

15.5.3 分级压力下平衡气相偏差系数

分级压力下平衡气相偏差系数计算见式(62)。

$$Z_{gi} = \frac{p_i \cdot \Delta V_i \cdot T_o}{p_o \cdot T_r (V_{gi} + V_{ogi})} \quad \dots\dots\dots (62)$$

式中:

Z_{gi} ——第 i 级压力下的平衡气相偏差系数;

ΔV_i ——第 i 级压力和地层温度下排出样体积,单位为立方厘米(cm^3);

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

15.5.4 定容条件下流体样品在标态时的气体积

定容条件下流体样品在标态时的气体积计算见式(63)、式(64)。

$$V_{tgi} = V_{gi} + V_{ogi} \quad \dots\dots\dots (63)$$

$$V_{tg} = \sum_{i=1}^n V_{tgi} \quad \dots\dots\dots (64)$$

式中:

V_{tgi} ——第 i 级压力下排出流体样品在标态时的气体积,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,单位为立方厘米(cm^3)。

15.5.5 分级压力下双相偏差系数

分级压力下双相偏差系数计算见式(65)。

$$Z_{ii} = \frac{p_i \cdot V_d \cdot T_o}{p_o (V_{tg} - \sum_{j=1}^i V_{tgi}) T_r} \quad \dots\dots\dots (65)$$

式中：
 Z_{ti} ——第 i 级压力下双相偏差系数；
 V_{tgi} ——第 j 级压力下排出井流物的标态体积，单位为立方厘米(cm^3)。

15.5.6 累积采收率

累积采收率计算见式(66)、式(67)。

$$\phi_i = \sum_{j=1}^i \frac{V_{tgi}}{V_{tg}} \times 100\% \dots\dots\dots (66)$$

式中：
 ϕ_i ——第 i 级压力下采出井流物体积分数。

$$\omega_i = \sum_{j=1}^i \phi_i \dots\dots\dots (67)$$

式中：
 ω_i ——第 i 级压力下累积采收率。

15.5.7 累积产出井流物体积

累积产出井流物体积计算见式(68)。

$$V_{wi} = \sum_{i=1}^n \phi_i \times 10 \dots\dots\dots (68)$$

式中：
 V_{wi} ——第 i 级压力下每百万立方米原始流体累积产出井流物体积，单位为立方千米(km^3)。

15.5.8 反凝析液量占孔隙体积百分数

反凝析液量占孔隙体积百分数计算见式(69)。

$$L_i = \frac{V_{li}}{V_d} \times 100\% \dots\dots\dots (69)$$

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积，单位为立方厘米(cm^3)。

15.5.9 井流物中重质组分含量

井流物中重质组分含量计算见式(70)。

$$G_{wj} = \frac{y_{wj} \cdot M_j \cdot p_o}{Z_o \cdot R \cdot T_o} \dots\dots\dots (70)$$

式中：
 G_{wj} ——井流物中重质组分产量，单位为克每立方米(g/m^3)；
 y_{wj} ——井流物中自 C_2 之后 j 组分的摩尔分数。

15.5.10 井流物中重质组分产量

井流物中重质组分产量计算见式(71)。

$$W_j = G_{wj} \cdot \phi_i \times 10 \dots\dots\dots (71)$$

式中：
 W_j ——每百万标准立方米井流物中重质组分产量，单位为千克(kg)。



15.5.11 井流物中累积重质组分产量

井流物中累积重质组分产量计算见式(72)。

$$CW_i = \sum_{j=1}^n W_j \quad \dots\dots\dots (72)$$

式中:

CW_i ——每百万标准立方米井流物中 i 级重质组分产量,单位为千克(kg)。

15.6 分离实验计算

衰竭实验中分级压力下一级分离器气产量、累积一级分离器气产量、油罐油产量、累积油罐油产量、气油比、一级分离器中的重质组分含量、一级分离器中的重质组分产量、一级分离器中累积重质组分产量、油罐气产量、累积油罐气产量、一级分离器气量与井流物之比的计算参见附录 F。

16 易挥发性原油地层流体物性分析

16.1 易挥发性原油地层流体物性分析步骤及分析报告格式

易挥发性原油地层流体物性分析按第 5 章~第 10 章、第 12 章~第 13 章分析步骤执行。分析报告项目及格式要求参见附录 G。

16.2 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计算见式(16)。

16.3 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地层原油流体 14.2 的内容相同。

16.4 易挥发性原油黏度

易挥发性原油黏度与地层原油流体黏度计算相同。

16.5 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。

16.6 易挥发性原油多次脱气实验数据

易挥发性原油多次脱气实验数据计算与地层原油流体 14.4 的内容相同。

17 湿气地层流体物性分析

湿气地层流体物性分析、计算和分析报告项目及格式要求与凝析气地层流体物性分析相同。

18 干气地层流体物性分析

18.1 干气地层流体物性分析步骤及分析报告格式

干气地层流体物性分析执行第 9 章~第 10 章和 13.4 实验步骤。分析报告项目及格式要求参见附

录 H。

18.2 干气地层流体井流物组成

干气地层流体井流物组成直接由气相色谱分析得出。

18.3 地层压力下流体偏差系数

地层压力下流体偏差系数计算见式(59)。

18.4 恒质膨胀实验数据

恒质膨胀实验数据计算见式(60)、式(61)。

18.5 流体密度

地层流体密度计算见式(24)、式(54)。

18.6 压缩系数

地层流体天然气压缩系数计算见式(73)。

$$C_{gi} = \frac{1}{p_i} - \frac{1}{Z_i} \frac{\partial Z_i}{\partial p_i} \dots\dots\dots (73)$$

式中：

C_{gi} ——天然气压缩系数，单位为每兆帕(MPa⁻¹)。

将 p_i 和 Z_i 值作 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(73)即可求出该压力 p_i 下的 C_{gi} 值。



附 录 A
(规范性附录)
仪器仪表标定

A.1 PVT 容器标定

A.1.1 标定内容

PVT 容器标定包括死体积和容积的标定。

A.1.2 标定方法

多压力线性回归连续注入法。

A.1.3 标定步骤

A.1.3.1 按图 A.1 连接流程。

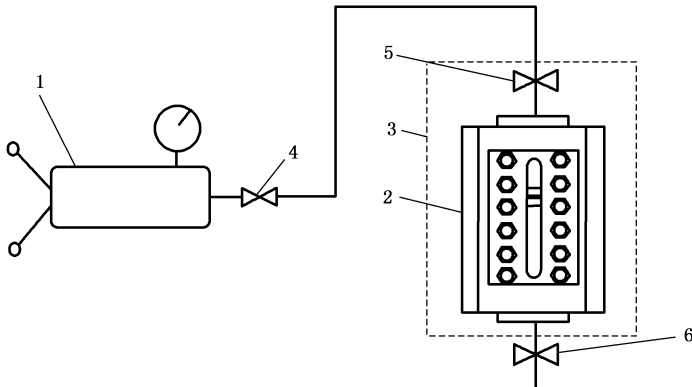
A.1.3.2 将 PVT 容器和管线清洗干净,活塞(柱塞)推至顶部(样品流出端)标定死体积或底部标定容积。

A.1.3.3 全流程抽真空至 133 Pa 后再抽 30 min。

A.1.3.4 打开阀 4,将蒸馏水充至阀 5。

A.1.3.5 间隔 5 MPa,连续增压,每升压 5 MPa 记录一次泵读数录,共记录 5 次。

A.1.3.6 打开阀 5 将死体积或 PVT 容器充满蒸馏水,读取与步骤 A.1.3.5 的压力梯度相同时的泵读数。



说明:
1 —— 高压计量泵;
2 —— PVT 容器;
3 —— 恒温浴;
4、5、6 —— 阀门。

图 A.1 装置连接图

A.1.4 数据整理

将上述 A.1.3.5 压力值与对应的泵读数整理为线性方程,计算见式(A.1)。

$$y_1 = a_1 x_1 + b_1 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：
 y_1 ——泵读数的值，单位为毫升(mL)；
 x_1 ——压力值，单位为兆帕(MPa)。
将上述 A.1.3.6 压力值与对应的泵读数整理为线性方程，计算见式(A.2)。

$$y_2 = a_2 x_2 + b_2 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：
 y_2 ——泵读数的值，单位为毫升(mL)；
 x_2 ——压力值，单位为兆帕(MPa)。
式(A.1)与式(A.2)截距的差即为 PVT 容器死体积，或容积。

A.2 高压计量泵标定

A.2.1 标定方法

高压计量泵刻度标定采用分段排水称量法。

A.2.2 标定步骤

- A.2.2.1 计量泵标定在某一预定压力下进行，压力通常定为 10.00 MPa(绝对压力)。
- A.2.2.2 将泵腔清洗干净，抽空至 133 Pa 后，继续抽 30 min 后充满二次蒸馏水。
- A.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 20 cm³，质量精确到 0.001 g(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 0.01 cm³)。
- A.2.2.4 记录室温。

A.2.3 数据整理

A.2.3.1 计算泵读数差

泵读数差计算见式(A.3)。

$$\Delta N_i = N_{2i} - N_{1i} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：
 ΔN_i ——第 i 次泵读数差，单位为立方厘米(cm³)；
 N_{2i} ——第 i 次泵末读数，单位为立方厘米(cm³)；
 N_{1i} ——第 i 次泵初读数，单位为立方厘米(cm³)。

A.2.3.2 计算排出水体积

排出水体积计算见式(A.4)。

$$V_{wi} = \frac{m_{wi}}{\rho_w} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：
 V_{wi} ——第 i 次泵实际排出水体积，单位为立方厘米(cm³)；
 m_{wi} ——第 i 次排出水质量，单位为克(g)；
 ρ_w ——蒸馏水在标定压力、室温下的密度，单位为克每立方厘米(g/cm³)。

A.2.3.3 计算泵校正系数

泵校正系数计算见式(A.5)。



$$F = \sum_{i=1}^n \frac{V_{wi} \cdot n}{\Delta N_i} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

F ——泵的校正系数；

n ——排水总次数。

A.2.4 泵的标定

A.2.4.1 泵的标定周期应不超过 12 个月。

A.2.4.2 在实验过程中(除气量计标定外)泵读数都应在标定压力(10.00 MPa)和进泵状态下读数。

A.2.4.3 当室温与标定时的温度相差 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时,应在相应温度下重新标定泵的校正系数。

A.3 高压落球黏度计标定

A.3.1 标定方法

用已知不同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质量钢球的降落时间,得到黏度与落球时间的关系曲线或关系式。

A.3.2 标定步骤

A.3.2.1 准备一系列已知黏度和密度的黏度标准液。

A.3.2.2 清洗并吹干黏度计后,选择一合适钢球装入测试腔内。

A.3.2.3 将黏度计测试腔充满黏度标准液。

A.3.2.4 黏度计恒温至标准液要求的温度 3 h 以上。

A.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。要求落球时间相对偏差小于 1%。

A.3.2.6 改变测定角度,重复 A.3.2.5 步骤测定。

A.3.2.7 选择另一标号黏度标准液,重复 A.3.2.2~A.3.2.6 步骤测定。

A.3.2.8 每条黏度标定曲线至少需 6~7 种不同黏度值的标准黏度液进行标定。

A.3.2.9 落球时间控制在 10 s~80 s 为宜。

A.3.3 数据整理

A.3.3.1 绘制黏度标定曲线

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 A.2 所示的钢球在不同测角下的标定曲线。

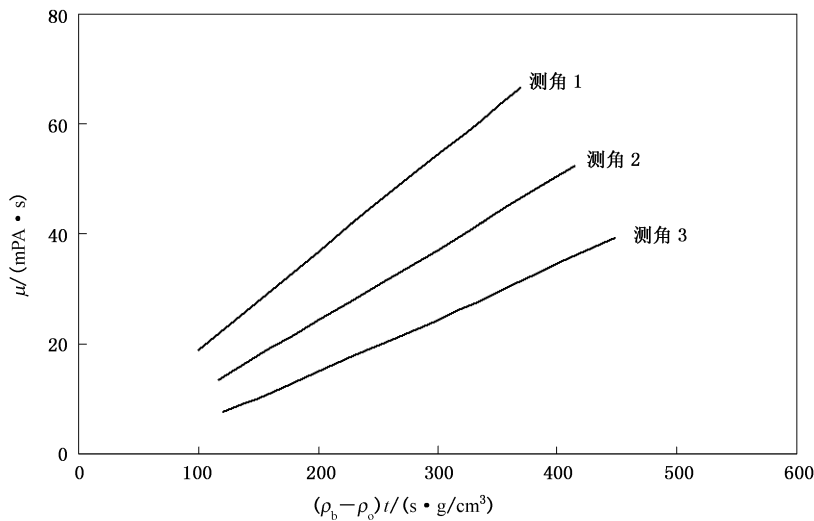


图 A.2 落球黏度计标定曲线

A.3.3.2 回归黏度计算公式

根据测定结果回归相应的黏度计算公式,见式(A.6)。

$$\mu = k_i (\rho_b - \rho_o) t \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

- μ ——被测标准液体的黏度,单位为毫帕秒(mPa·s);
- k_i ——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,单位为克每立方厘米(g/cm³);
- ρ_o ——测定温度下标准液的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
- t ——落球时间,单位为秒(s)。

A.3.4 标定周期

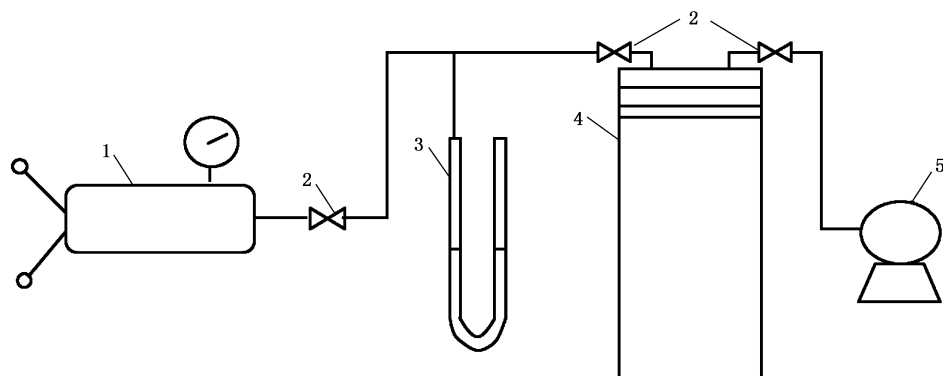
高压落球黏度计的标定周期应不超过 1 年。

A.4 气量计标定

A.4.1 气量计死体积标定

- A.4.1.1 按图 A.3 接好流程,将气量计活塞置于进气端的上限点。
- A.4.1.2 用真空泵将死体积抽空,真空度达 133 Pa 后再抽 2 h。
- A.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。
- A.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 5 min 后记录泵的末读数。
- A.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即为气量计死体积。





说明：

- 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 A.3 气量计死体积标定流程图

A.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。

A.4.3 标定步骤

- A.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。
- A.4.3.2 打开泵排空阀，泵中充满空气。
- A.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。
- A.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后记录泵初读数。
- A.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。
- A.4.3.6 气量计全量程均分为四段，按 A.4.3.2～A.4.3.5 步骤分段标定。

A.4.4 数据整理

A.4.4.1 计算泵读数差

泵读数差利用式(A.3)计算。

A.4.4.2 计算气量计读数差

气量计读数差计算见式(A.7)。

$$V_{gi} = V_{2i} - V_{1i} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

- V_{gi} ——第 i 次气量计读数差，单位为立方厘米(cm^3)；
- V_{2i} ——第 i 次气量计末读数，单位为立方厘米(cm^3)；
- V_{1i} ——第 i 次气量计初读数，单位为立方厘米(cm^3)。

气量计校正系数计算见式(A.8)。

$$F_g = \sum_{i=1}^{n_g} \frac{\Delta N_i \cdot F \cdot n_g}{V_{gi}} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：
F_g ——气量计校正系数；
n_g ——气量计标定总次数。

A.4.5 标定周期

气量计标定周期应不超过 24 个月。

A.5 原油密度和相对密度测定仪标定



数字式密度仪标定按 SH/T 0604 执行,其他密度测定仪按相关标准执行。

A.6 原油平均分子量测定仪标定

原油平均分子量测定仪标定采用冰点降低法,标定按 SH/T 0169 执行。

A.7 气相色谱仪校验

气相色谱仪除按周期检定外,对气体分析还应采用标准气在每次实验期间进行校正,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。

附 录 B
(资料性附录)

单组分密度与摩尔质量基础参数表

单组分密度与摩尔质量基础参数见表 B.1。

表 B.1 单组分密度与摩尔质量基础参数表

组分	摩尔质量/(g/mol)	密度/(g/cm ³)
H ₂ S	34.080	
N ₂	28.014	
CO ₂	44.010	
C ₁	16.043	
C ₂	30.070	
C ₃	44.097	
<i>i</i> C ₄	58.124	
<i>n</i> C ₄	58.124	
<i>i</i> C ₅	72.151	
<i>n</i> C ₅	72.151	
C ₆	86.178	0.664 0
C ₇	96.000	0.738 0
C ₈	107.000	0.765 0
C ₉	121.000	0.781 0
C ₁₀	134.000	0.792 0
C ₁₁	147.000	0.796 0
C ₁₂	161.000	0.810 0
C ₁₃	175.000	0.825 0
C ₁₄	190.000	0.836 0
C ₁₅	206.000	0.842 0
C ₁₆	222.000	0.849 0
C ₁₇	237.000	0.845 0
C ₁₈	251.000	0.848 0
C ₁₉	263.000	0.858 0
C ₂₀	275.000	0.863 0
C ₂₁	291.000	0.868 0
C ₂₂	305.000	0.873 0
C ₂₃	318.000	0.877 0
C ₂₄	331.000	0.881 0

表 B.1 (续)

组分	摩尔质量/(g/mol)	密度/(g/cm ³)
C ₂₅	345.000	0.885 0
C ₂₆	359.000	0.889 0
C ₂₇	374.000	0.893 0
C ₂₈	388.000	0.897 0
C ₂₉	402.000	0.900 0
C ₃₀	416.000	0.903 0
C ₃₁	430.000	0.907 0
C ₃₂	444.000	0.910 0
C ₃₃	458.000	0.913 0
C ₃₄	472.000	0.916 0
C ₃₅	486.000	0.919 0
注：本基础参数表引自 PVTsim 相态软件。		



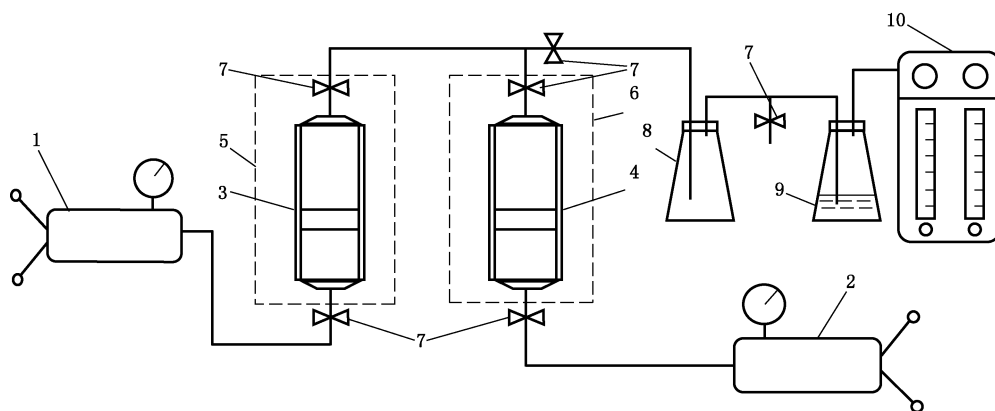
附 录 C
(资料性附录)
地层原油分离实验

C.1 实验目的

地层原油分离实验的目的是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,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不同的分离压力,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)。

C.2 实验步骤

C.2.1 按图 C.1 连接流程。



说明:

- 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 C.1 分离实验流程

C.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。

C.2.3 抽空分离器及管线至 133 Pa 后继续抽 30 min。

C.2.4 利用 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转入分离器中,记录进入分离器中的地层原油体积。

C.2.5 排空并清洗干净外部管线。

C.2.6 使分离器内样品的压力、温度充分平衡稳定。

C.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,注意排气过程不应有液体(油)排出。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。

C.2.8 保持分离压力,将部分一级分离器油节流膨胀到大气条件,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。

C.2.9 清洗干净分离器及管线,重复 C.2.3~ C.2.8 步骤,直到实验完成四个不同分离压力的实验。

C.3 数据整理

C.3.1 以分离器油为基准计算气油比

以分离器油为基准计算气油比计算见式(C.1)、式(C.2)。

$$\text{GOR}_1 = \frac{T_o \cdot p_1 \cdot V_{gs}}{p_o \cdot T_1 \cdot V_{os1}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

$$\text{GOR}_2 = \frac{T_o \cdot p_1 \cdot V_{gt}}{p_o \cdot T_1 \cdot V_{os2}} - 1 \quad \dots\dots\dots (\text{C.2})$$

式中:

GOR_1 ——一级分离器气油比,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和大气压力下的体积,单位为立方厘米(cm^3);

V_{os1} ——一级分离器油体积(分离器条件),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,单位为立方米每立方米(m^3/m^3);

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

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

C.3.2 以油罐油(20℃)为基准计算气油比

以油罐油(20℃)为基准气油比计算见式(C.3)、式(C.4)。

$$\text{GOR}_3 = \frac{T_o \cdot p_1 \cdot V_{gs}}{p_o \cdot T_1 \cdot V_{ot}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.3})$$

$$\text{GOR}_4 = \frac{T_o \cdot p_1 \cdot V_{gt}}{p_o \cdot T_1 \cdot V_{ot}} - 1 \quad \dots\dots\dots (\text{C.4})$$

式中:

GOR_3 ——生产气油比,单位为立方米每立方米(m^3/m^3);

GOR_4 ——油罐气油比,单位为立方米每立方米(m^3/m^3)。

C.3.3 计算地层油体积系数

地层油体积系数计算见式(C.5)。

$$B_o = \frac{V_{of}}{V_{ot}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.5})$$

式中:

B_o ——地层油体积系数。

C.3.4 计算分离器油体积系数

分离器油体积系数计算见式(2)。

C.3.5 计算分离器气重质组分含量

分离器气重质组分含量计算见式(56)。

C.3.6 计算分离器气热值

分离器气热值计算见式(57)。

C.3.7 计算分离器气相对密度

分离器气相对密度计算见式(39)、式(40)。



附 录 D
(资料性附录)
黑油地层流体物性分析报告格式

D.1 分析报告封面格式见图 D.1。

××××××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 D.1 分析报告封面格式

D.2 分析报告首页格式见图 D.2。

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 D.2 分析报告首页格式

D.3 油藏特征及取样资料格式见图 D.3。

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/100 m	温度梯度	℃/100 m

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 ₂ S 含量	
CO ₂ 含量		取样日期	

注 1：标准条件:20 ℃,0.101 325 MPa。

注 2：报告中压力均为绝对压力。

图 D.3 油藏特征及取样资料格式

D.5 井流物烃组分组成分析数据格式见图 D.5。

检测单位：

第__页 共__页

送样单位：

归档号：_____

油田：_____井号：_____

层 位：_____

井流物烃组分组成分析数据			
组分	单脱油组成 %(摩尔分数)	单脱气组成 %(摩尔分数)	井流物组成 %(摩尔分数)
H ₂ S			
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			
C ₁₂			
C ₁₃			
C ₁₄			
C ₁₅			
C ₁₆			
C ₁₇			
C ₁₈			
C ₁₉			
C ₂₀			
C ₂₁			
C ₂₂			
C ₂₃			
C ₂₄			
C ₂₅			
C ₂₆			

图 D.5 井流物烃组分组成分析数据格式

检测单位：

送样单位：

油田：井号：

第 页 共 页

归档号：

层 位：

井流物烃组分组成分析数据

组分	单脱油组成 %(摩尔分数)	单脱气组成 %(摩尔分数)	井流物组成 %(摩尔分数)
C ₂₇			
C ₂₈			
C ₂₉			
C ₃₀			
C ₃₁			
C ₃₂			
C ₃₃			
C ₃₄			
C ₃₅			
C ₃₆₊			
合计	100.00	100.00	100.00

C₃₆₊ 摩尔质量：

C₃₆₊ 相对密度：

气油比(单脱气/单脱油)：m³/m³




图 D.5（续）

D.6 单次脱气实验数据格式见图 D.6。

检测单位：

第__页 共__页

送样单位：

归档号：_____

油田：_____井号：_____

层 位：_____

单次脱气实验数据

溶解气油比 GOR

m³/m³

地层体积系数 B_o(℃,MPa)

地层油平均溶解气体系数

(m³/m³)/MPa

地层油体积收缩率

%

地层油密度(℃,MPa)

g/cm³

死油密度(20.0℃,0.101 325 MPa)

g/cm³

死油摩尔质量

图 D.6 单次脱气实验数据格式

D.7 恒质膨胀实验数据格式见图 D.7。

检测单位：

第__页 共__页

送样单位：

归档号：_____

油田：_____井号：_____

层 位：_____

恒质膨胀实验数据(℃)

饱和压力/℃

MPa

热膨胀系数(MPa 下从 ℃至 ℃)

饱和压力下地层油密度/℃

g/cm³

图 D.7 恒质膨胀实验数据格式



D.8 恒质膨胀压力与体积关系数据格式见图 D.8。

检测单位：

第__页 共__页

送样单位：

归档号：_____

油田：_____ 井号：_____

层 位：_____

SAC

恒质膨胀压力与体积关系数据(℃)

压力 MPa ^a	相对体积 ^a V_i/V_b	油密度 g/cm ³	Y 函数 ^d	压缩系数 $C_o \times 10^{-3}$
b				
c				

^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。

^c 泡点压力。

^d Y 函数: $Y = (P_b - P_i) / [(v_i/v_b - 1) \cdot P_i]$

图 D.8 恒质膨胀压力与体积关系数据格式

D.9 多次脱气实验数据格式见图 D.9。

检测单位：

第__页 共__页

送样单位：

归档号：_____

油田：_____井号：_____层 位：_____

多次脱气实验数据(℃)

压力	溶解气油比 ^a	地层油	双相体积	油密度	气体偏差	气体体积	气体相对密度
MPa	m ³ /m ³	体积系数 ^b	系数 ^c	g/cm ³	系数 Z	系数 ^d	(空气=1)

注：残余油密度 = g/cm³ (20 ℃ ,0.101 325 MPa)。

^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 ℃、0.101 325 MPa 下气体体积之比。




图 D.9 多次脱气实验数据格式

D.10 地层温度下地层流体黏度测定数据格式见图 D.10。

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(°C)

压力

原油黏度

MPa

mPa · s

a

b

a 地层压力。

b 饱和压力。

图 D.10 地层温度下地层流体黏度测定数据格式

D.11 相对体积与压力关系曲线格式见图 D.11。

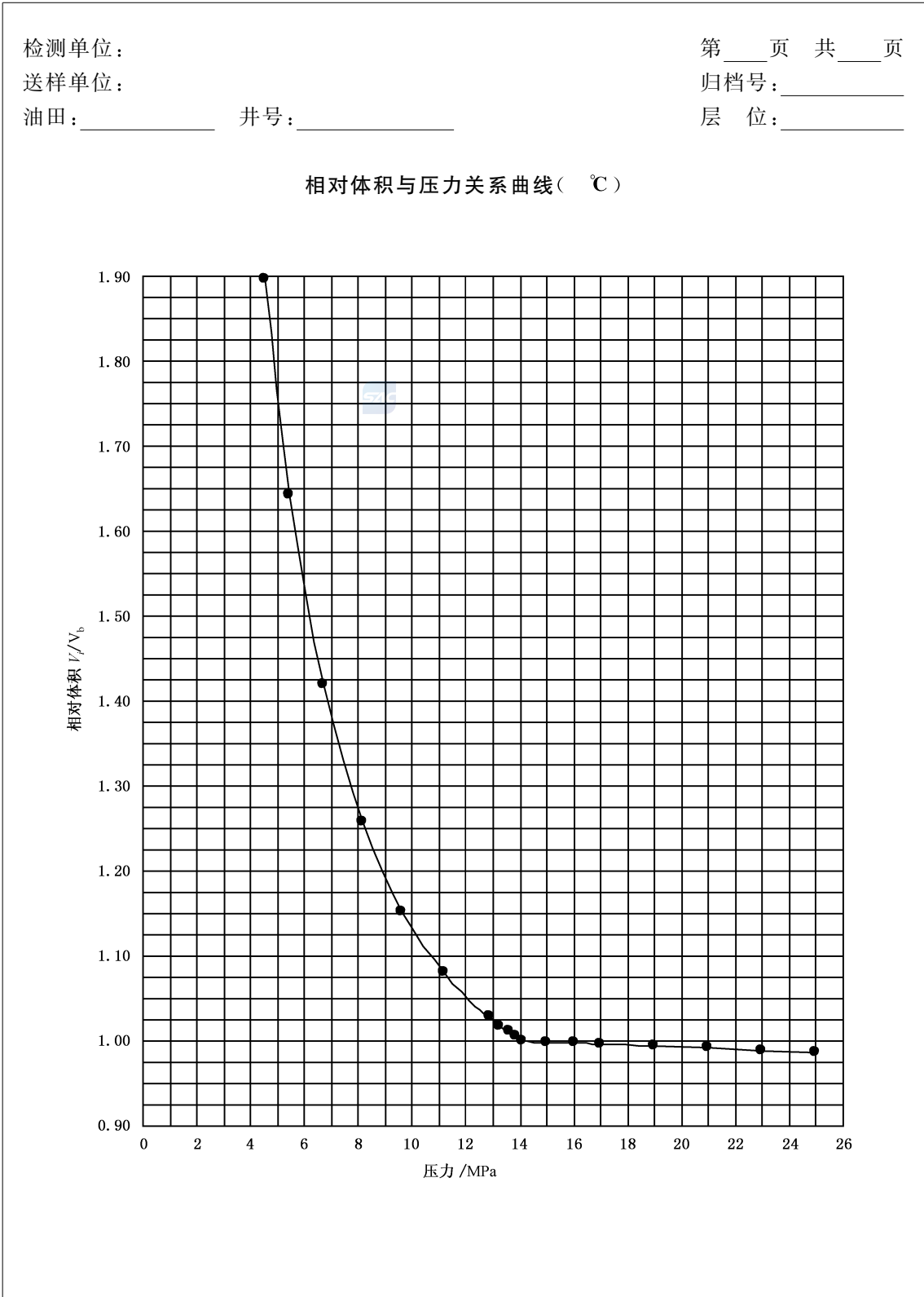


图 D.11 相对体积与压力关系曲线格式

D.12 多次脱气溶解气油比与压力关系曲线格式见图 D.12。

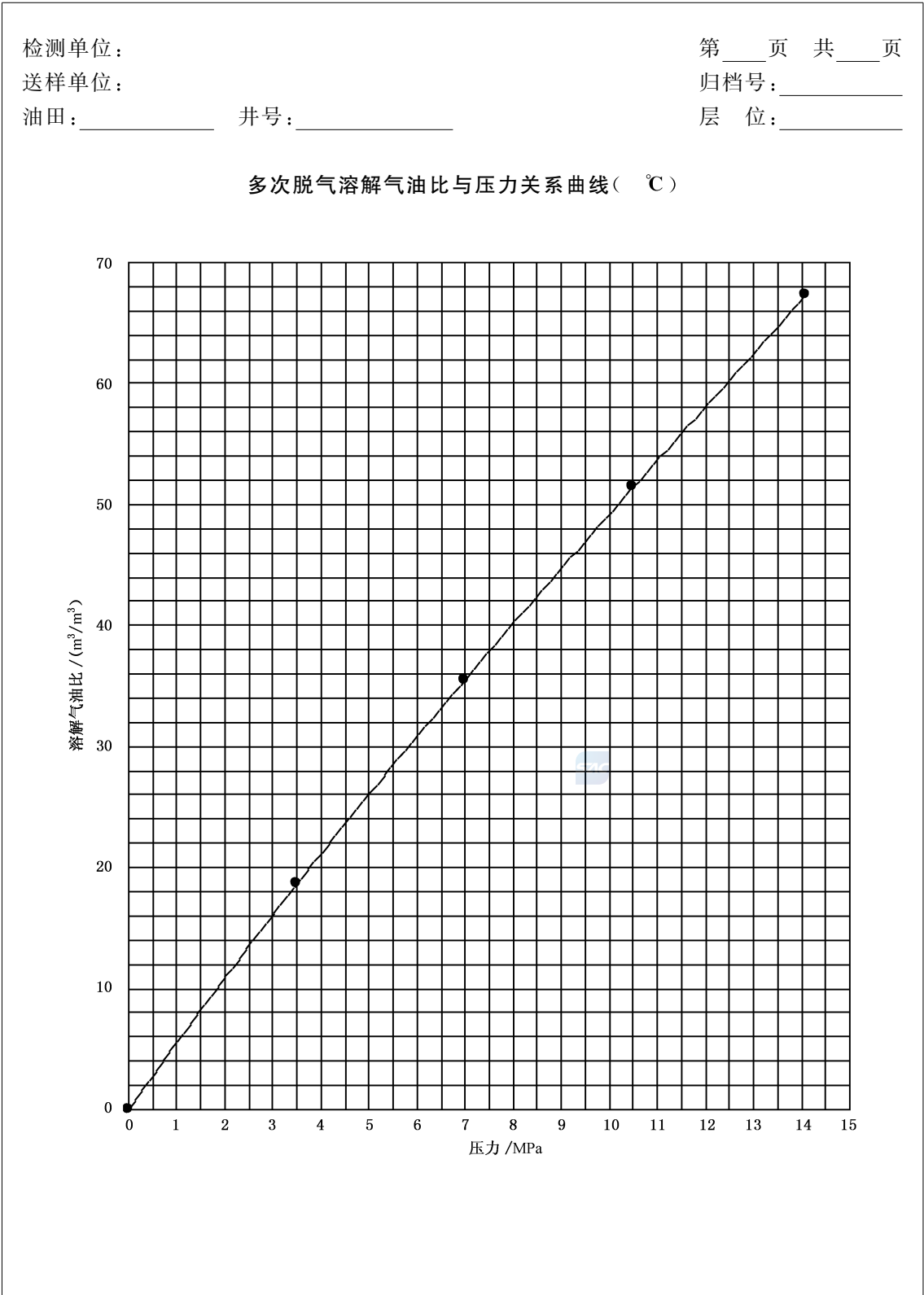


图 D.12 多次脱气溶解气油比与压力关系曲线格式

D.13 多次脱气地层油体积系数与压力关系曲线格式见图 D.13。

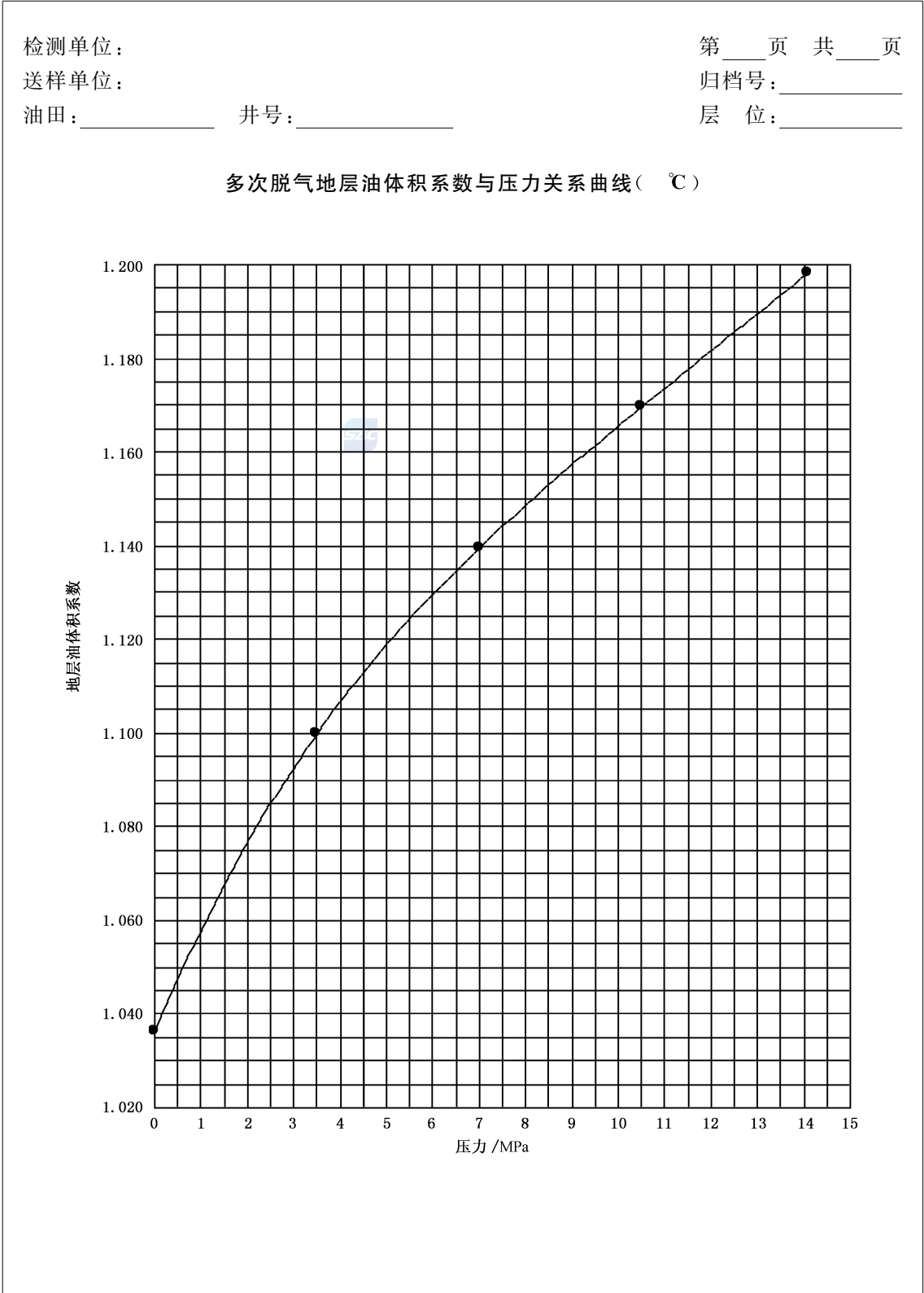


图 D.13 多次脱气地层油体积系数与压力关系曲线格式

D.14 原油黏度与压力关系曲线格式见图 D.14。

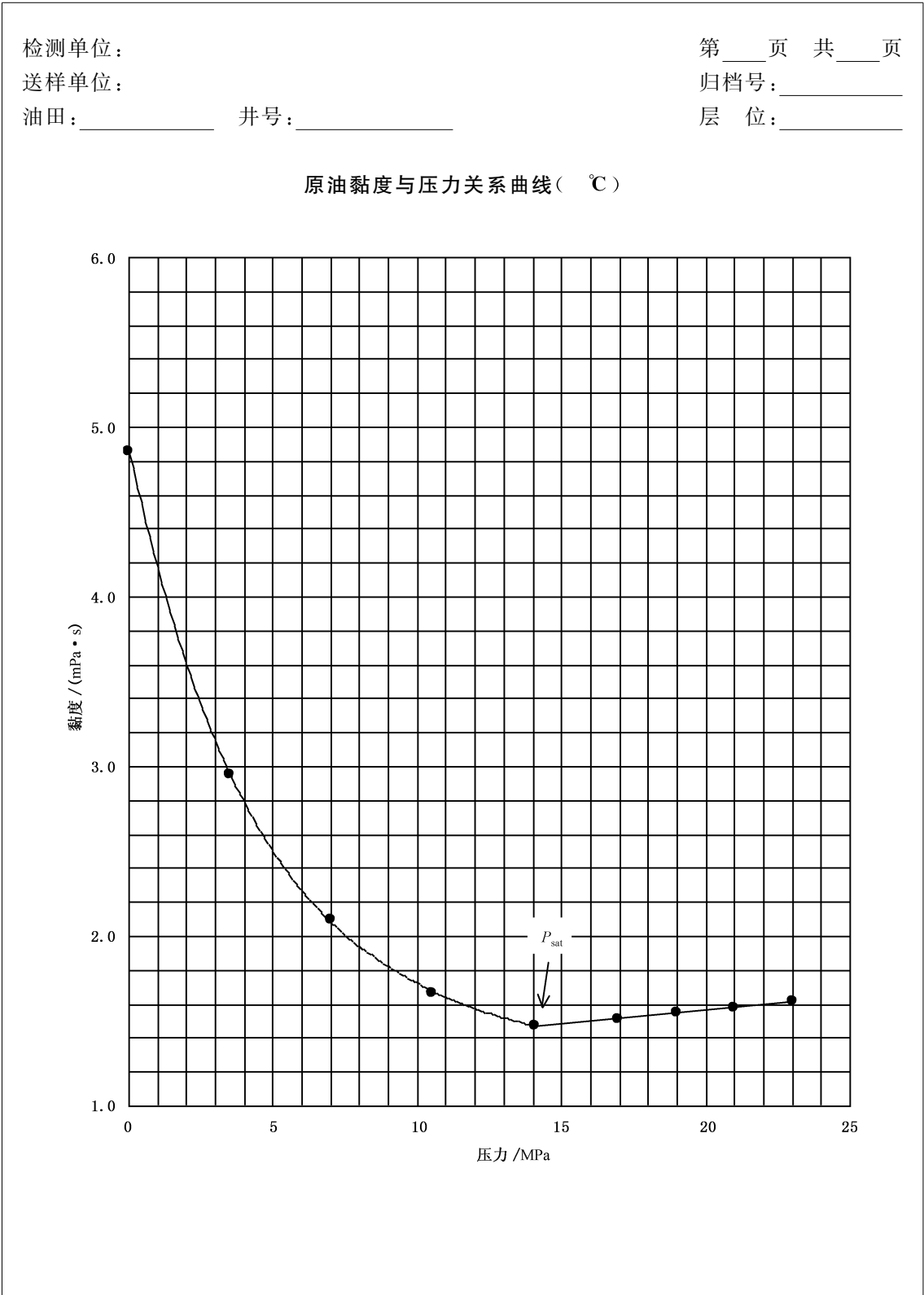


图 D.14 原油黏度与压力关系曲线格式

附录 E

(资料性附录)

凝析气地层流体物性分析报告格式

- E.1 分析报告封面格式同图 D.1。
E.2 分析报告首页格式同图 D.2。
E.3 凝析气特征及取样资料格式同图 D.3。
E.4 样品检查记录格式见图 E.1。

检测单位：		第____页 共____页	
送样单位：		归档号：	_____
气田：_____	井号：_____	层 位：	_____

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 E.1 样品检查记录格式

E.5 井流物烃组分组成数据格式见图 E.2。

检测单位：

第__页 共__页

送样单位：

归档号：_____

气田：_____ 井号：_____

层 位：_____

井流物烃组分组成数据					
组分	分离器油	分离器气 ^a		井流物	
	%(摩尔分数)	%(摩尔分数)	g/m ³	%(摩尔分数)	g/m ³
H ₂ S					
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					
C ₁₂					
C ₁₃					
C ₁₄					
C ₁₅					
C ₁₆					

图 E.2 井流物烃组分组成数据格式



检测单位：

第 页 共 页

送样单位：

归档号：

气田：井号：

层 位：

井流物烃组分组成数据					
组分	分离器油	分离器气 ^a		井流物	
	%(摩尔分数)	%(摩尔分数)	g/m ³	%(摩尔分数)	g/m ³
C ₁₇					
C ₁₈					
C ₁₉					
C ₂₀₊					
合计	1.000 0	1.000 0		1.000 0	
C ₂₀₊ 物性:摩尔质量=					
密度相对=					
气油比(分离器气/油罐油)= m ³ /m ³					
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 标准条件下的重质组分含量。					

图 E.2 (续)



E.6 压力与体积关系数据格式见图 E.3。

检测单位：第__页 共__页

送样单位：归档号：_____

气田：_____ 井号：_____层 位：_____

压力与体积关系数据(℃)

压力/MPa	相对体积 V_i/V_d	偏差系数
--------	----------------	------

注 1：露点压力 (P_d) = _____ MPa。

注 2： V_i/V_d 为 i 级压力与露点压力下体积之比。

注 3：露点压力下的体积系数 = _____。

图 E.3 压力与体积关系数据格式

E.7 定容衰竭实验数据格式见图 E.4。

检测单位：

送样单位：

气田：井号：

第__页 共__页

归档号：

层 位：

定容衰竭实验数据(℃)

组分 摩尔分数	分级压力/MPa						
H ₂ S							
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	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
C ₁₁₊ 物性：							

图 E.4 凝析气地层流体定容衰竭实验数据格式

检测单位：

第__页 共__页

送样单位：

归档号：_____

气田：_____井号：_____

层 位：_____

定容衰竭实验数据(℃)

组分	分级压力/MPa						
	摩尔分数						
摩尔质量							
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 E.4 (续)

E.8 定容衰竭反凝析液量数据格式见图 E.5。

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百分数/%




图 E.5 定容衰竭反凝析液量数据格式

E.9 定容衰竭累积采出量数据格式见图 E.6。

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

	每百万方 储量	油层压力/MPa						
井流物/km³								
油罐液体积/m³								
单脱气/km³								
单脱气重质产量/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 E.6 定容衰竭累积采出量数据格式



E.10 定容衰竭瞬时采出量数据格式见图 E.7。

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 ℃)							
单脱气/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 E.7 定容衰竭瞬时采出量数据格式



E.11 恒质膨胀过程相对体积与压力关系曲线格式见图 E.8。

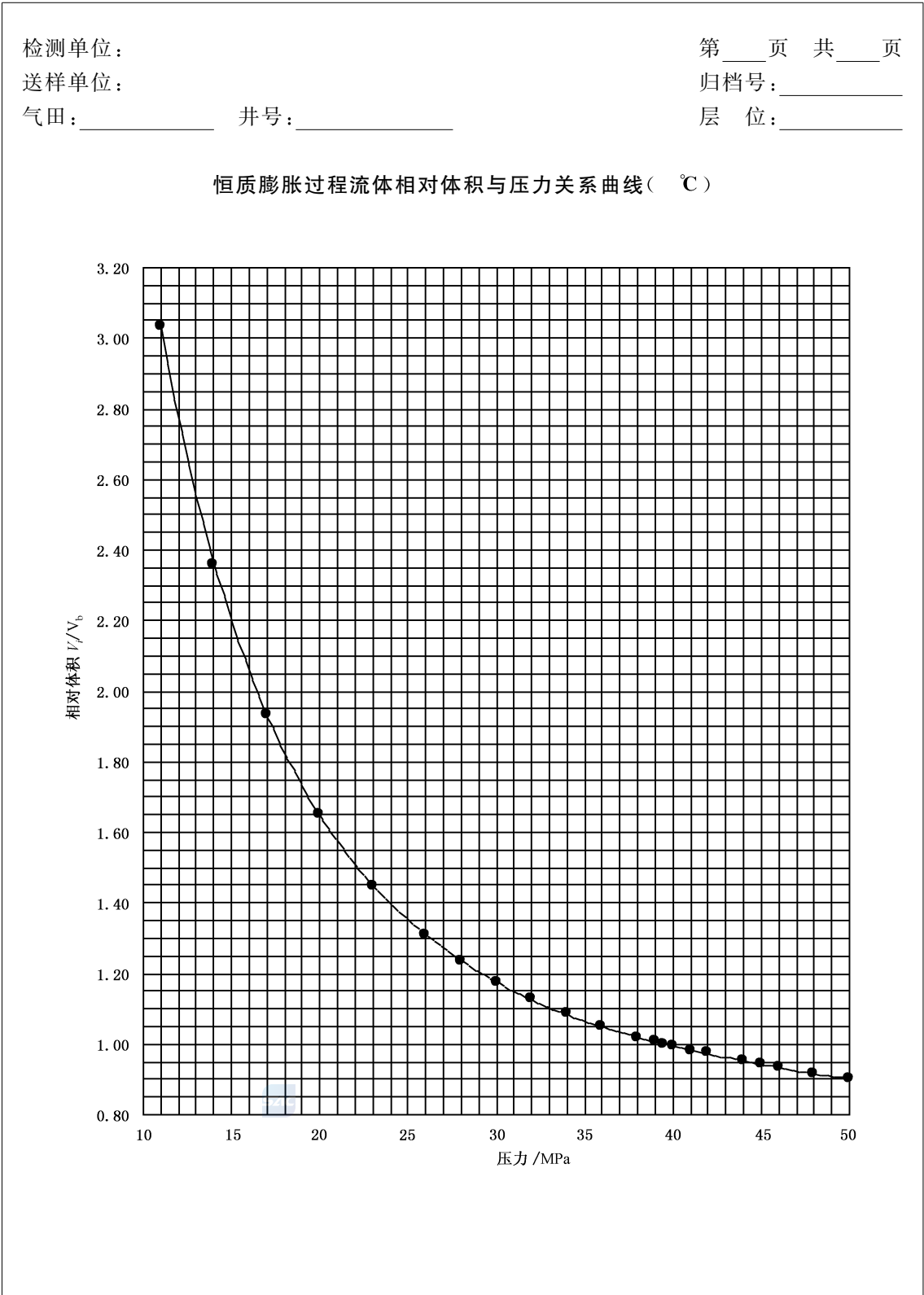


图 E.8 恒质膨胀过程相对体积与压力关系曲线格式

E.12 衰竭过程中累积产出井流物体积与压力关系曲线格式见图 E.9。

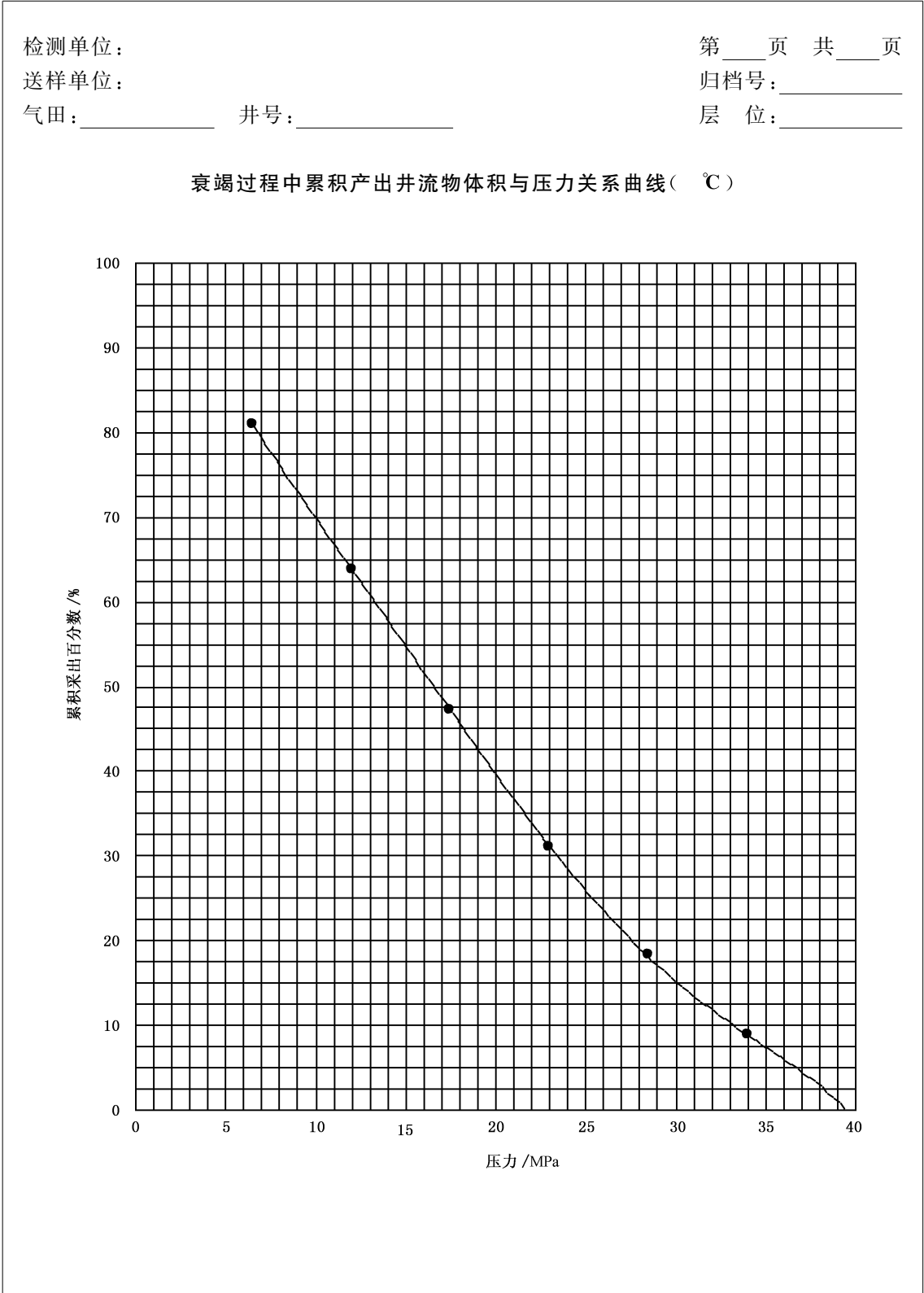


图 E.9 衰竭过程中累积产出井流物体积与压力关系曲线格式

E.13 衰竭过程中流出物偏差系数与压力关系曲线格式见图 E.10。

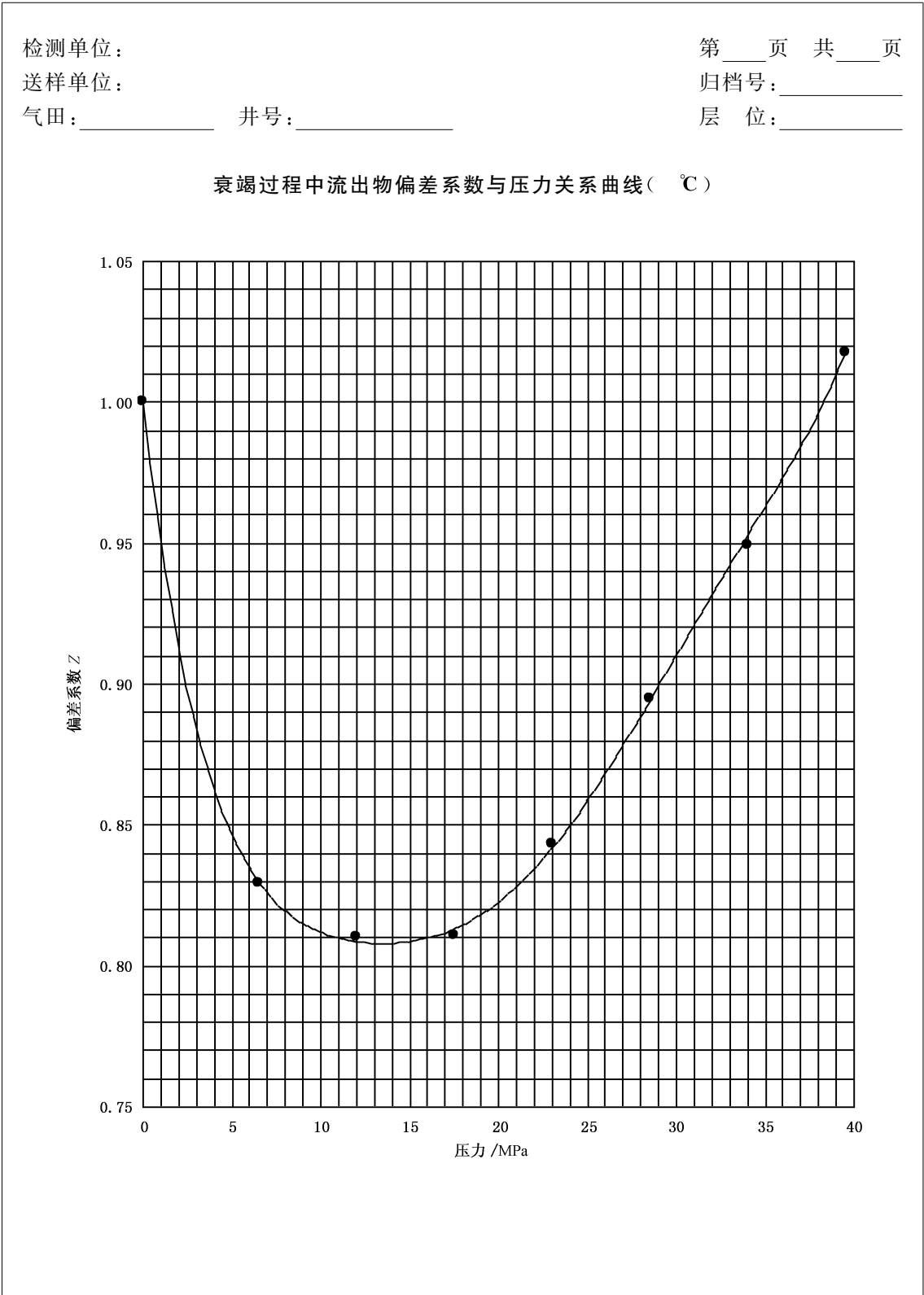


图 E.10 衰竭过程中流出物偏差系数与压力关系曲线格式



E.14 衰竭过程中反凝析液量与压力关系曲线格式见图 E.11。

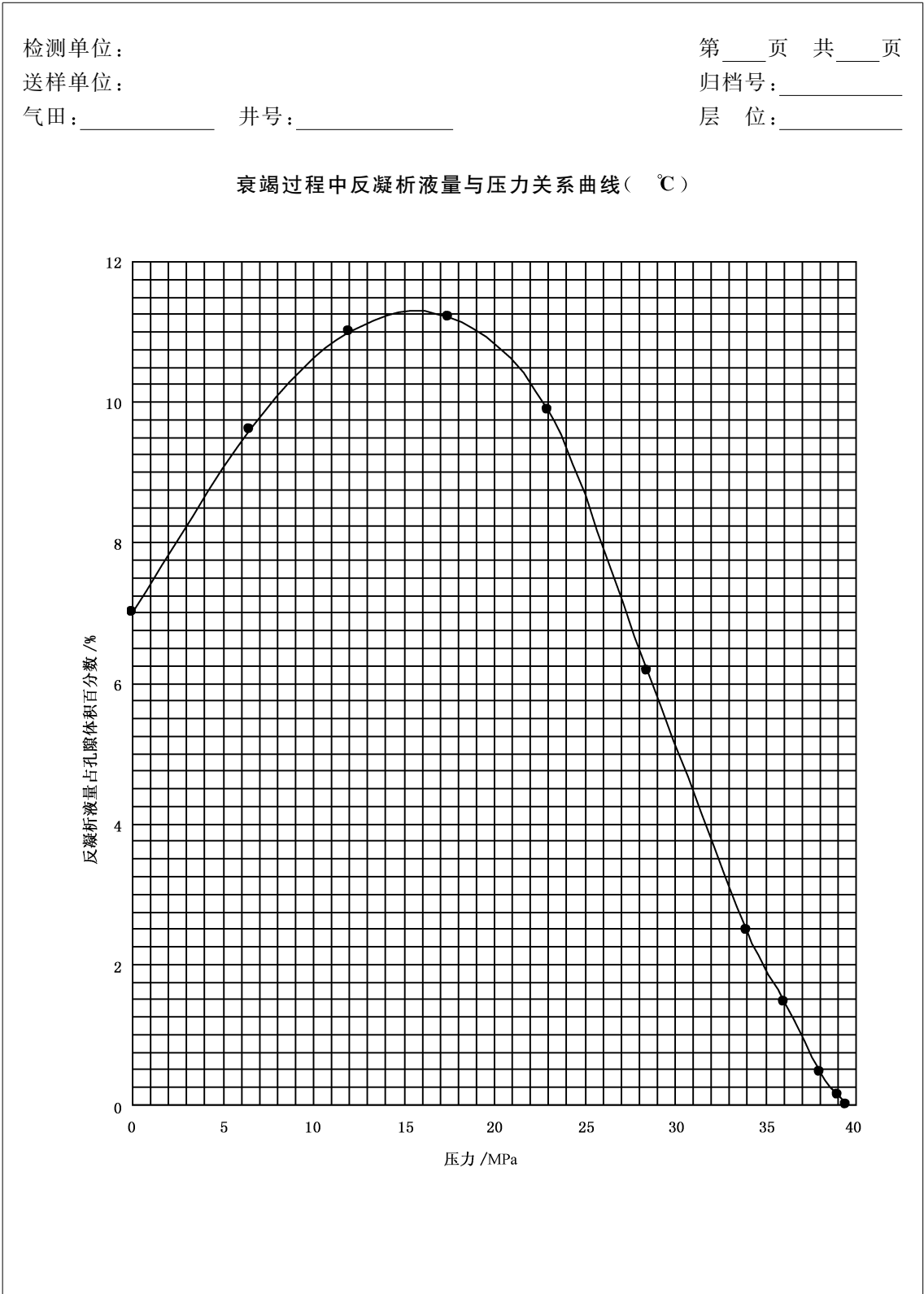


图 E.11 衰竭过程中反凝析液量与压力关系曲线格式

E.15 一级分离器气重质累积产出量与压力关系曲线格式见图 E.12。

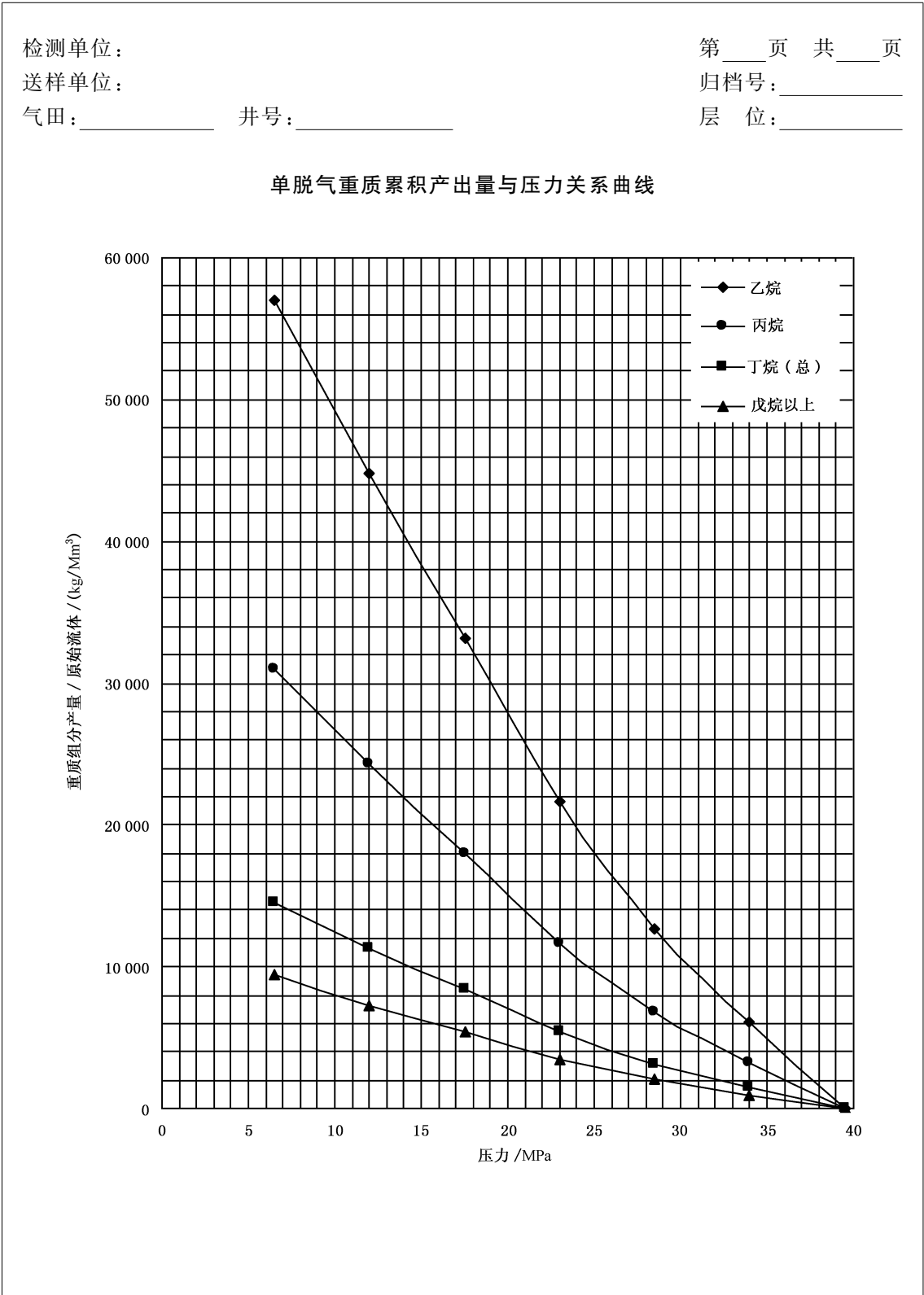


图 E.12 一级分离器气重质累积产出量与压力关系曲线格式

E.16 衰竭过程中累积采出量与压力关系曲线格式见图 E.13。

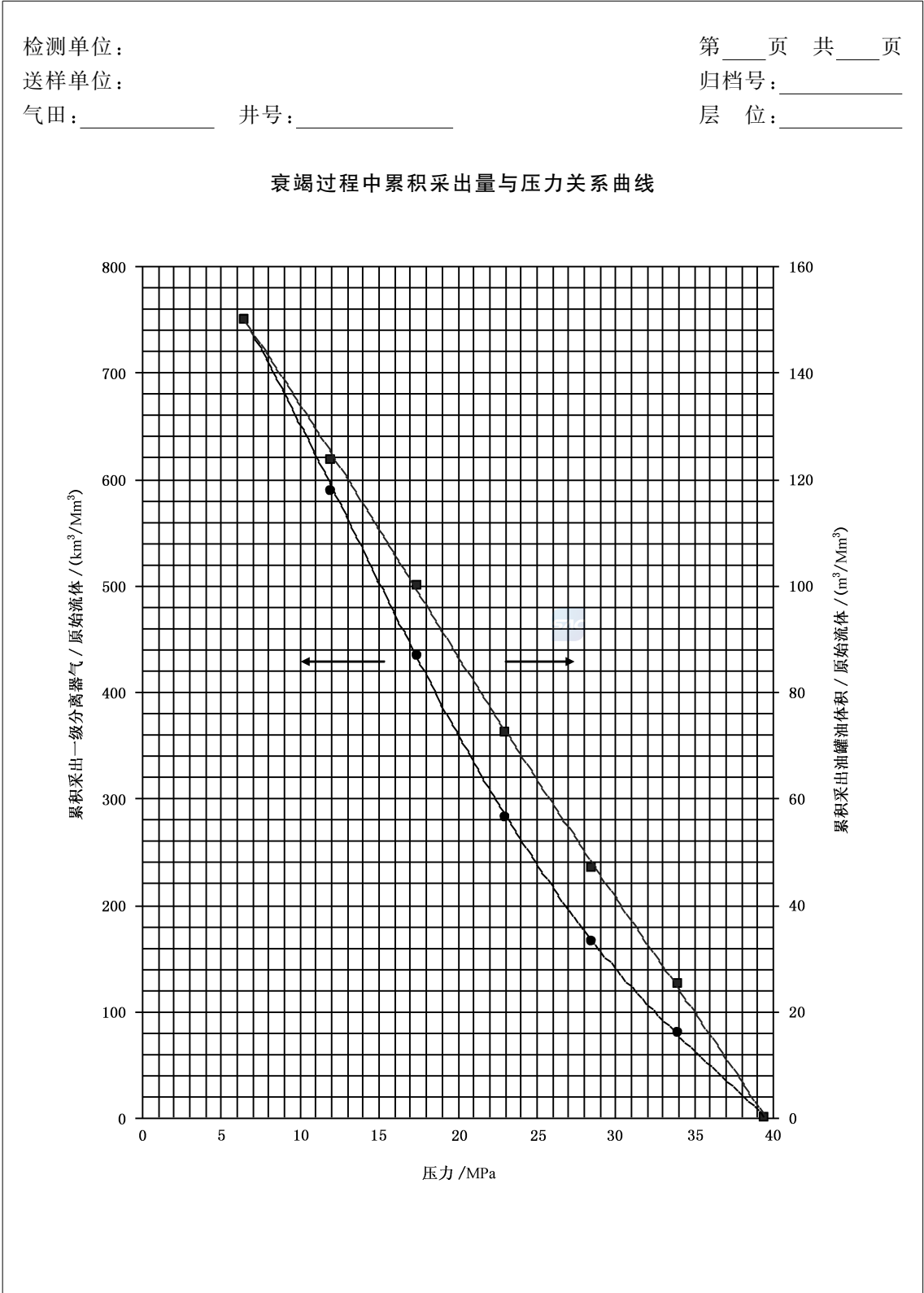


图 E.13 衰竭过程中累积采出量与压力关系曲线格式

附 录 F (资料性附录)

凝析气各级定容衰竭流出物的分离实验计算

F.1 实验目的

进行定容衰竭实验时,由于受到在 PVT 容器内样品量的限制,每级衰竭出的流体不可能再进行分离实验,因此需用相态软件进行辅助计算。

F.2 分级压力下一级分离器气产量

衰竭实验中分级压力下一级分离器气产量计算见式(F.1)。

$$V_{sg i} = \frac{V_{c g i} \cdot \phi_i \cdot p_o}{100 Z_o \cdot R \cdot T_o} \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

式中:

$V_{sg i}$ ——每百万标准立方米流体产出一级分离器气量,单位为立方千米(km³);

$V_{c g i}$ ——每摩尔流体产出一级分离器气量,单位为立方米(m³)。

F.3 分级压力下累积一级分离器气产量

衰竭实验中分级压力下累积一级分离器气产量计算见式(F.2)。

$$CV_{sg i} = \sum_{i=1}^n V_{sg i} \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

式中:

$CV_{sg i}$ ——分级压力下每百万标准立方米流体产出一级分离器气量,单位为立方千米(km³)。

F.4 分级压力下油罐油产量

衰竭实验中分级压力下油罐油产量计算见式(F.3)。

$$V_{oi} = \frac{10 V_{coi} \cdot \phi_i \cdot p_o}{Z_o R T_o} \quad \dots\dots\dots (F.3)$$

式中:

V_{oi} ——每百万标准立方米流体产出油罐油量,单位为立方米(m³);

V_{coi} ——每摩尔流体产出油罐油量,单位为立方米(m³)。

F.5 分级压力下累积油罐油产量

衰竭实验中分级压力下累积油罐油产量计算见式(F.4)。

$$CV_{oi} = \sum_{i=1}^n V_{oi} \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

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，单位为立方米(m³)。

F.6 分级压力下气油比

衰竭实验中分级压力下气油比计算见式(F.5)。

$$GOR_i = \frac{V_{sg i}}{V_{oi}} \dots\dots\dots (F.5)$$

式中：
GOR_i——i 级压力下的气油比，单位为立方米每立方米(m³/m³)。

F.7 分级压力下一级分离器中的重质组分含量

衰竭实验中分级压力下一级分离器中的重质组分含量计算见式(F.6)。

$$G_{sj} = \frac{y_{sj} \cdot M_j \cdot p_o}{Z_o \cdot R \cdot T_o} \dots\dots\dots (F.6)$$

式中：
G_{sj} ——一级分离器中的重质组分产量，单位为克每立方米(g/m³)；
y_{sj} ——一级分离器中自 C₂ 之后 j 组分的摩尔分数。

F.8 分级压力下一级分离器中的重质组分产量

衰竭实验中分级压力下一级分离器中的重质组分产量计算见式(F.7)。

$$W_{sj} = G_{sj} \cdot V_{sg i} \dots\dots\dots (F.7)$$

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，单位为千克(kg)。

F.9 分级压力下一级分离器中累积重质组分产量

衰竭实验中分级压力下一级分离器中累积重质组分产量计算见式(F.8)。

$$CW_{sj} = \sum_{j=1}^n W_{sj} \dots\dots\dots (F.8)$$

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

F.10 分级压力下油罐气产量

衰竭实验中分级压力下油罐气产量计算见式(F.9)。

$$V_{stgi} = \frac{10V_{csg i} \cdot V_{sg i} \cdot p_o}{Z_o \cdot R \cdot T_o} \dots\dots\dots (F.9)$$

式中：
V_{stgi} ——每百万标准立方米流体产出油罐气量，单位为立方米(m³)；
V_{csg i} ——每摩尔流体产出油罐气量，单位为立方米(m³)。

F.11 分级压力下累积油罐气产量

衰竭实验中分级压力下累积油罐气产量计算见式(F.10)。

$$CV_{stgi} = \sum_{i=1}^n V_{stgi} \dots\dots\dots (F.10)$$

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,单位为立方米(m^3)。

F.12 分级压力下一级分离器气量与井流物之比

衰竭实验中分级压力下一级分离器气量与井流物之比计算见式(F.11)。

$$GOR_{wi} = (1 - v_i) \times 1\,000 \dots\dots\dots (F.11)$$

式中:

GOR_{wi} ——分级压力下一级分离器气量与井流物之比,单位为立方千米每百万立方米(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,单位为摩尔(mol)。

附录 G
(资料性附录)

易挥发性原油地层流体物性分析报告格式

- G.1 分析报告封面格式同图 D.1。
- G.2 分析报告首页格式同图 D.2。
- G.3 易挥发性原油特征及取样资料格式同图 D.3。
- G.4 样品检查记录格式同图 D.4。
- G.5 井流物烃组分组成数据格式同图 D.5。
- G.6 单次脱气实验数据格式同图 D.6。
- G.7 恒质膨胀实验数据格式同图 D.7。
- G.8 压力体积关系数据格式同图 D.8。
- G.9 定容衰竭实验数据格式同图 E.4。
- G.10 定容衰竭反凝析液量数据格式同图 E.5。
- G.11 定容衰竭瞬时采出量数据格式同图 E.7。
- G.12 地层温度下地层流体黏度测试数据格式同图 D.10。
- G.13 地层流体相对体积与压力关系曲线格式同图 D.11。
- G.14 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 E.9。
- G.15 衰竭过程中流出物偏差系数与压力关系曲线格式同图 E.10。
- G.16 衰竭过程中反凝析液量与压力关系曲线格式同图 E.11。
- G.17 原始流体重质累积产出量与压力关系曲线格式同图 E.12。
- G.18 地层原油黏度与压力关系曲线格式同图 D.14。
- G.19 定容衰竭累积采出量数据格式见图 G.1。

检测单位：第__页 共__页

送样单位：归档号：_____

油田：_____ 井号：_____层 位：_____

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/km³	产出气体中的重质产量/kg			
		C ₂	C ₃	C ₄	C ₅₊

图 G.1 定容衰竭累积采出量数据格式

附 录 H
(资料性附录)

干气地层流体物性分析报告格式

- H.1 分析报告封面格式同图 D.1。
- H.2 分析报告首页格式同图 D.2。
- H.3 干气特征及取样资料格式同图 D.3。
- H.4 样品检查记录格式同图 D.4。
- H.5 压力体积关系曲线格式同图 E.8。
- H.6 井流物烃组分组成数据格式见图 H.1。

检测单位：第__页 共__页

送样单位：归档号：_____

气田：_____ 井号：_____层 位：_____

井流物烃组分组成分析数据

组分	气体组成	
	%(摩尔分数)	g/m ³
H ₂ S		
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₊ 相对分子质量		
C ₁₁₊ 相对密度		
热值/(kJ/kg)		

图 H.1 井流物烃组分组成数据格式

H.7 恒质膨胀实验数据格式见图 H.2。

检测单位：

第__页 共__页

送样单位：

归档号：_____

气田：_____井号：_____层位：_____

恒质膨胀实验数据(℃)

压力	相对体积 ^a	密度	压缩系数 C_o	偏差系数	气体体积系数
MPa	V_i/V_f	g/cm ³	MPa ⁻¹	Z	10 ⁻³
b					

^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 H.2 恒质膨胀实验数据格式

H.8 压缩系数与压力关系曲线格式见图 H.3。

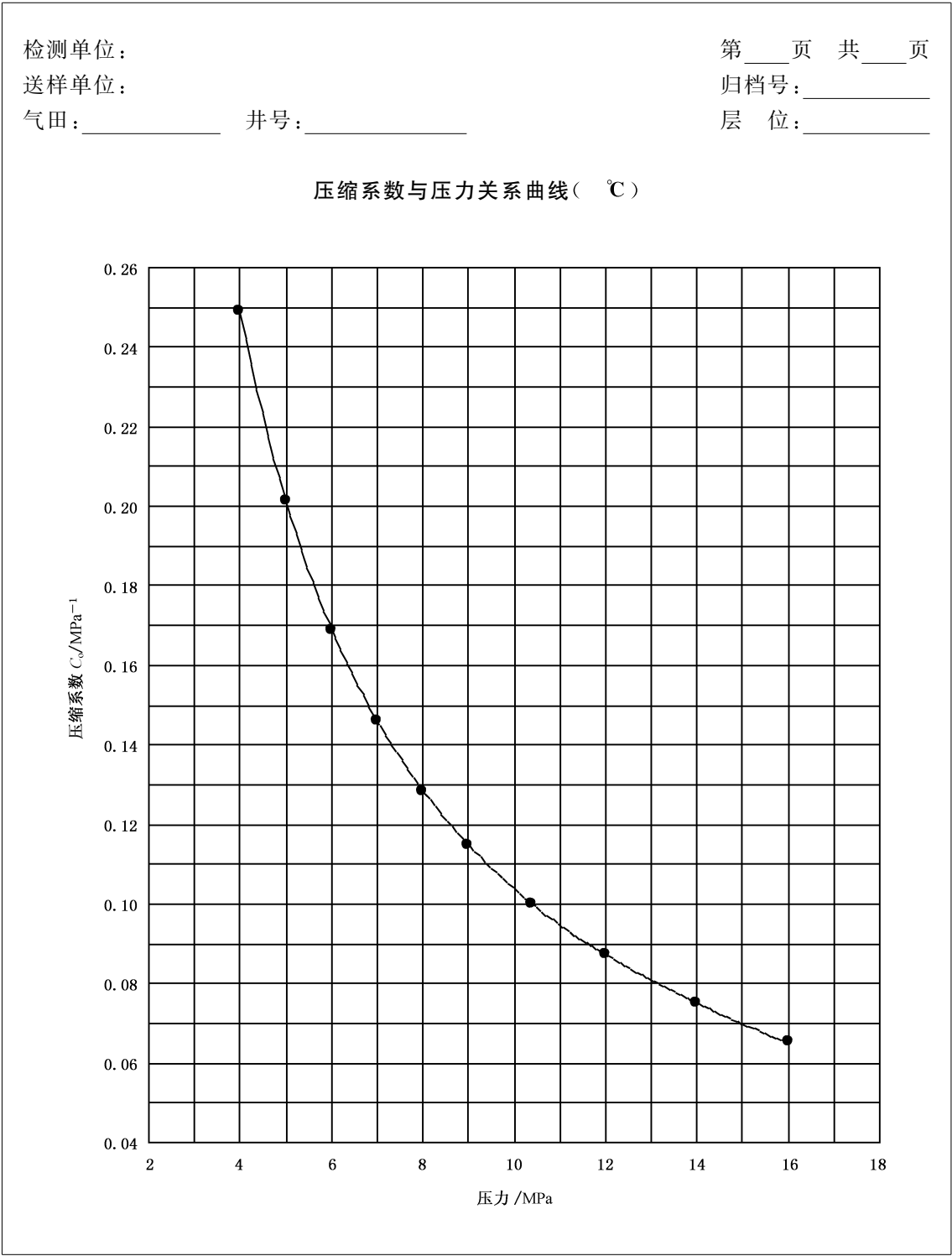


图 H.3 压缩系数与压力关系曲线格式

H.9 偏差系数 Z 与压力关系曲线格式同图 E.10。