



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 370—2007

在线振动管液体密度计

Vibration Tube Liquid Density Meter on Line

2007-06-14 发布

2007-12-14 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

在线振动管液体密度计 检定规程

Verification Regulation for Vibration

Tube Liquid Density Meter on Line

JJG 370—2007

代替 JJG 370—1984

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2007 年 6 月 14 日批准，并自 2007 年 12 月 14 日起实施。

归口单位：全国质量、密度计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：国家原油大流量计量站

本规程委托全国质量、密度计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

陈朝晖（中国计量科学研究院）

曹凤梅（中国计量科学研究院）

参加起草人：

方井涛（国家原油大流量计量站）

顾英姿（中国计量科学研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
2.1 用途	(1)
2.2 原理	(1)
3 计量性能要求	(1)
4 通用技术要求	(2)
4.1 耐压强度	(2)
4.2 可连续测量性	(2)
4.3 外观及随机文件要求	(2)
5 计量器具控制	(2)
5.1 检定条件	(2)
5.2 检定项目和检定方法	(5)
5.3 检定结果的处理	(10)
5.4 检定周期	(11)
附录 A (19~21)℃酒精水溶液密度表	(12)
附录 B 油品密度温度系数 γ 表	(13)
附录 C (18~26)℃钨酸钠水溶液密度温度系数表	(14)
附录 D (1~100)℃纯水密度表	(15)
附录 E 油品压缩系数表	(16)
附录 F 钨酸钠水溶液毛细常数表	(18)
附录 G 水压缩系数表	(19)
附录 H 密度计特性曲线实验记录	(20)
附录 J 密度计温度实验记录	(21)
附录 K 密度计压力实验记录	(22)
附录 L 检定证书内页格式	(23)

在线振动管液体密度计检定规程

1 范围

本规程适用于在线振动管液体密度计(以下简称液体密度计)的首次检定和后续检定。

2 概述

2.1 用途

液体密度计用于液体密度的在线连续测量,适用于大宗液体物料贸易交接中的密度测量,与体积流量计配合使用可进行质量流量的在线连续测量。

2.2 原理

液体密度计的工作原理是根据流经振动管内固定容积的流体密度变化,从而改变振动管的振动频率,通过检测频率(周期)信号来测量液体密度。液体密度计一般由密度传感器及显示仪表组成。

液体密度计的振动频率与管内液体密度之间有以下关系:

$$f = \frac{f_0}{\sqrt{1 + \frac{\rho}{\rho_0}}} \quad (1)$$

式中: f ——液体密度为 ρ 时的振动频率, Hz;

f_0 ——在一个大气压下空气的振动频率, Hz;

ρ ——被测液体密度, kg/m^3 ;

ρ_0 ——仪表常数, kg/m^3 。

在实际中,一般用下式表示:

$$\rho = K_0 + K_1 T + K_2 T^2 \quad (2)$$

式中: K_0 、 K_1 、 K_2 ——液体密度计系数,由实验确定;

T ——振动周期, μs 。

3 计量性能要求

液体密度计按其误差限分为 0.2 级、0.5 级、1.0 级和 2.0 级四个准确度等级,各等级的拟合标准差限应符合表 1 的要求。在测量液体的密度时,温度、压力影响误差应不超过表 1 规定的误差限。

表 1

准确度等级	0.2	0.5	1.0	2.0
拟合标准差限 $E/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	$3s \leq 0.2$	$2s \leq 0.5$	$2s \leq 1.0$	$2s \leq 2.0$
$\Delta\rho_{11}/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^\circ\text{C}^{-1})$	$-0.04 \sim +0.04$	$-1.0 \sim +1.0$	/	/

表 1 (续)

准确度等级	0.2	0.5	1.0	2.0
$\Delta\rho_{t2}/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1})$	$-0.009\sim+0.009$	$-0.05\sim+0.05$	/	/
$\Delta\rho_{p1}/[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot(0.1\text{MPa})^{-1}]$	$-1\sim2$	$0\sim8$	/	/
$\Delta\rho_{p2}/[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot(0.1\text{MPa})^{-1}]$	$-0.003\sim+0.003$	$-0.003\sim+0.003$	/	/

注：(1) $\Delta\rho_{t1}$ 为未作修正的密度随温度变化量；

(2) $\Delta\rho_{t2}$ 为修正后的密度随温度变化量；

(3) $\Delta\rho_{p1}$ 为未作修正的密度随压力变化量；

(4) $\Delta\rho_{p2}$ 为修正后的密度随压力变化量；

(5) s 为拟合标准差；

(6) 准确度等级 ≤ 0.2 级时， $E=3s$ ；

准确度等级 >0.2 级时， $E=2s$ 。

4 通用技术要求

4.1 耐压强度

液体密度计经耐压实验后，其外壳不得有渗漏或破裂现象。

4.2 可连续测量性

4.2.1 在 $(650\sim 1400)\text{kg}/\text{m}^3$ 密度范围具有可连续测量性。

4.2.2 在 $(15\sim 70)^{\circ}\text{C}$ 温度范围内具有可连续测量性。

4.3 外观及随机文件要求

4.3.1 外观要求

4.3.1.1 液体密度计壳体上应有铭牌，其上应注明：制造厂或厂标、商标、型号及出厂编号。

4.3.1.2 首检密度计，应外观整洁，表面涂镀层均匀，不得有起皮、剥落、锈蚀等现象。

4.3.2 液体密度计应附有使用说明书及与技术条件有关的技术指标。

4.3.3 进行周期检定的液体密度计应附有上次的检定证书。

5 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定和后续检定。

5.1 检定条件

5.1.1 检定环境条件

5.1.1.1 检定 0.2 级或 0.5 级液体密度计时，作准确度实验要求室温在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.1.2 检定 1.0 级液体密度计时，作准确度实验要求室温在 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.1.3 湿度小于 70%RH。

5.1.1.4 实验室要求有排风、防火设备。

5.1.1.5 实验室无明显机械振动和强磁场影响。

5.1.2 检定设备

5.1.2.1 标准装置

a) 玻璃密度计法标准装置(见图 1)

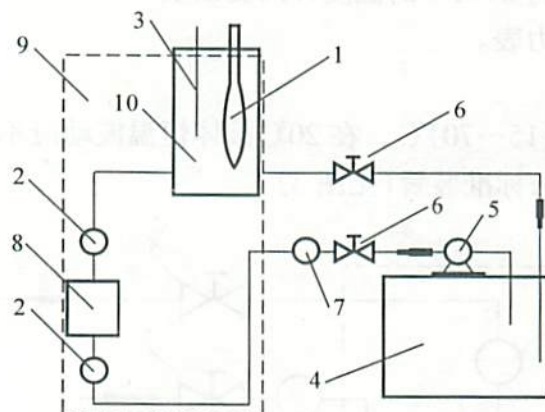


图 1 玻璃密度计法标准装置示意图

1—玻璃密度计；2—液体分配器及温度计；3—温度计；4—液体恒温槽；5—循环泵；
6—阀门；7—压力指示器；8—被检液体密度计；9—保温罩；10—测量筒

- 1) 基准密度计或一等标准密度计。
 - 2) 分辨率或分度值为 0.01°C 的温度计三支。
 - 3) 液体密度计的密度、温度显示仪表。
 - 4) 恒温槽控温范围 $(15\sim 70)^{\circ}\text{C}$ ，在 20°C 时液体温控波动不超过 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 压力密度瓶法标准装置(见图 2)

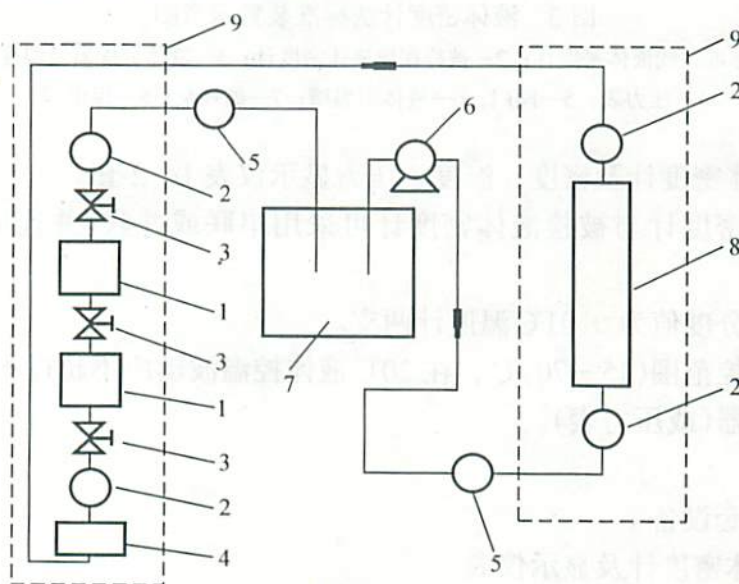


图 2 压力密度瓶法标准装置示意图

1—压力密度瓶；2—温度计；3—阀门；4—流量指示器；5—压力表；6—循环泵；
7—液体恒温槽；8—被检液体密度计；9—保温罩

- 1) 压力密度瓶两个, 标称容积在 500mL 以上, 容积准确度为 0.005%。
- 2) 天平称量范围大于 5kg, 准确度等级在 ①_6 级以上。
- 3) 分辨率或分度值为 0.01°C 的温度计两支以上。
- 4) 压力传感器或压力表。
- 5) 流量指示器。
- 6) 恒温槽温控范围 $(15\sim 70)^\circ\text{C}$, 在 20°C 液体恒温波动应不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。
- c) 标准液体密度计法标准装置(见图 3)

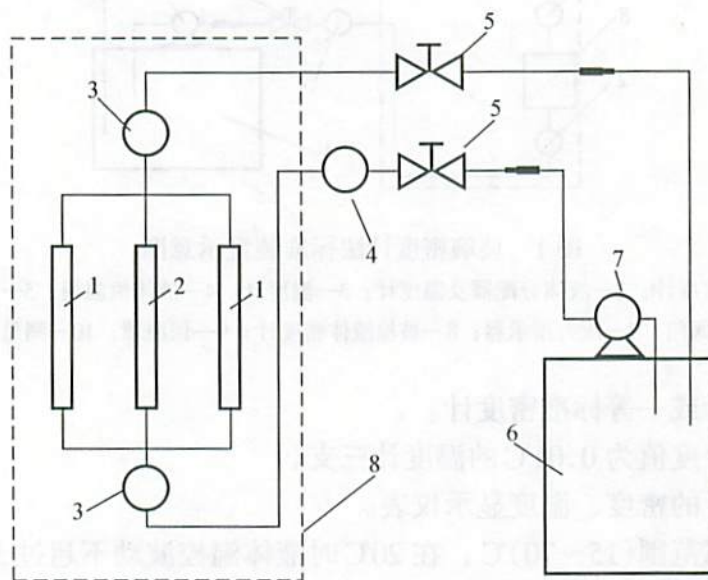


图3 液体密度计法标准装置示意图

1—标准在线液体密度计；2—被检在线液体密度计；3—液体分配器及温度计；
4—压力表；5—阀门；6—液体恒温槽；7—循环泵；8—保温罩

- 1) 0.2 级液体密度计及密度、温度、压力显示仪表 1~2 套。
- 2) 标准液体密度计与被检液体密度计可采用串联或并联(并连应用液体分配器)方法。
- 3) 分辨率或分度值为 0.01°C 温度计两支。
- 4) 恒温槽温控范围 $(15\sim 70)^\circ\text{C}$, 在 20°C 液体控温波动应不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。
- 5) 压力传感器(或压力表)。
- 6) 循环泵

5.1.2.2 主要配套设备

- a) 0.2 级液体密度计及显示仪表。
- b) 交流稳压电源, 直流稳压电源, 示波器, 计算机。
- c) 计数器有效位数不得少于 7 位, 频率测量范围 DC-10MHz, 灵敏度不低于 45mV, 时基准确度优于 10^{-7} , 计数器不得少于两台。
- d) 活塞压力计和压力表, 测量范围为 $(0\sim 6)\text{MPa}$ 。
- e) 保温装置。

f) 检定用液体：120[#] 溶剂汽油、25[#] 变压器油、无水酒精、纯水、钨酸钠及配制而成的各种不同密度的液体。

g) 标准计量仪器及配套计量仪器应具有有效检定证书。液体密度计作为标准器使用时，应半年用一等标准密度计进行一次运行检查。

h) 标准设备的测量扩展不确定度应优于被检密度计基本误差限的 1/3。

5.2 检定项目和检定方法

5.2.1 外观和随机文件检查

5.2.1.1 外观检查

用目测方法检查密度计外观应符合 4.3.1 要求。

5.2.1.2 随机文件检查

应符合 4.3.2、4.3.3 要求。

5.2.2 耐压强度实验

将液体密度计安装在压力实验台上，在 1.5 倍最大工作压力下，历时 5min，压力表的示值无明显下降，其结果应符合 4.1 要求。

5.2.3 检定前的准备工作

5.2.3.1 清洁、准备工作

a) 设备与液体接触的部分应清洗干净，晾干。

b) 液体密度计必须仔细清洗(清洗过程中不得浸湿电路部分)。若管内有原油，必须先用汽油清洗晾干，再用酒精、水清洗干净，管壁上不得有任何异物。

c) 压力密度瓶应严格按以下步骤清洗：

1) 用 120[#] 溶剂汽油冲洗压力密度瓶内腔；

2) 用无水酒精清洗内腔残流的汽油；

3) 用蒸馏水湿润内腔；

4) 用无水酒精清洗残流的蒸馏水；

5) 用干氮气或空气吹干内腔；

6) 关闭瓶体两端阀门。

用同样的方法和步骤清洗密度瓶外表。

5.2.3.2 液体密度计按仪器说明书中的技术要求进行安装，并通电检查仪器是否工作正常。

5.2.3.3 以空气为介质，检查振动周期是否正常、稳定，并记录其周期 T_k 。

5.2.3.4 对显示仪表的温度示值进行校准，并输入各系数，使其处于正常工作状态。

5.2.3.5 以上都正常时，将液体密度计与循环系统连接，安装应保证管路不泄漏(安装方法参见图 1、图 2、图 3)。

5.2.3.6 启动循环泵使液体由下向上进入液体密度计，排除系统中所有气泡，然后对循环系统和液体进行恒温。

5.2.4 标定特性曲线

5.2.4.1 在液体密度计实际工作密度范围内均匀选择至少 5 种不同密度的液体，在相同的温度(20℃)和压力下依次在循环系统中循环，直至液温与系统达到平衡。

5.2.4.2 对每一种密度的液体应至少测量 3 次。

5.2.4.3 检定方法

a) 玻璃密度计法

1) 在 20℃ 下, 当液体密度计进出口处的温度平均值与显示仪表所显示的温度均达到 $(20 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 时, 开始测试, 并记录:

①被检液体密度计的周期 T_i , 5 次以上;

②两支温度计示值 t_1 、 t_2 ;

③显示仪表所显示的温度 t_r 、密度 ρ_r 。

2) 关上阀门 6 并记录:

①温度计 3 的示值 t_3 ;

②待密度计稳定后记录其示值 ρ_a 。

3) 打开阀门 6 使液体循环 5min 后, 按 1)、2) 要求至少重复 2 次。

4) 更换其他液体, 重复 1)、2)、3) 的内容。

b) 压力密度瓶法

1) 在 20℃ 下, 密度瓶出入口温度计的平均值与显示仪表所显示的温度均达到 $(20 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 时, 开始测试, 并记录:

①被检密度计的周期 T_i , 5 次以上;

②显示仪表所显示的 t_r 、 ρ_r 值;

③各温度计的温度值 t_i ;

④压力表的压力值 p 。

2) 关闭密度瓶两端阀门取下密度瓶, 清洁密度瓶外表。

3) 放到天平上进行称量。

4) 两台密度瓶所测液体密度之差若大于 0.07kg/m^3 , 则应重新进行测量。密度瓶应重新按 5.2.3.1.c) 进行清洗, 清洗后重新按 5.2.4.3.b) 进行测量。

5) 每种液体至少进行 3 次测量后, 更换其他液体, 重复 1)、2)、3)、4) 的内容。

c) 标准液体密度计法

1) 在 20℃ 下, 标准液体密度计的显示仪表所显示的温度在 $(19 \sim 21)^\circ\text{C}$ 范围内波动不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 两台标准液体密度计的显示仪表所显示的密度值之差不超过 0.1kg/m^3 时, 开始测试, 并记录:

①被检液体密度计的周期 T_i , 5 次以上;

②两台标准液体密度计的温度 t_a 、 t_b , 密度 ρ_a 、 ρ_b ;

③压力表的压力 p 。

2) 循环数分钟后, 当系统温度和液体温度达到稳定时, 则重复以上①、②、③的内容。

3) 更换液体, 重复 1)、2) 的内容。

5.2.4.4 玻璃密度计法使用基准密度计作为仲裁方法。

5.2.5 温度修正系数实验

用纯水、油品或其他液体作介质,在温度实验范围内均匀选取至少4个温度点。实验由高温到低温或由低温到高温,在每个温度实验点要使液体温度与液体密度计的温度达到平衡,即进出口处液体温度的平均值与显示仪表所显示的温度应一致,其差值:

①在(10~40)℃(含40℃)不超过0.2℃;

②在(40~70)℃不超过0.4℃。

当温度与周期稳定后,记录:

1) 被检密度计的周期 T_{ii} , 5次以上;

2) 液体密度计进出口处的温度 t_1 、 t_2 取其平均值为 $\bar{t}$ 。

使液体循环数分钟后,当进出口的温度平均值与前次的温度之差小于0.1℃时,则重复1)、2)的内容。

每个温度点重复实验不得少于3次。

5.2.6 压力修正系数实验

将液体密度计安装在压力实验台上,选择纯水、油品或其他液体作介质,注入后首先排净气泡,然后加压到工作压力上限的1.5倍,观察 min,无任何泄漏时,方可进行实验。

在工作压力实验范围内均匀选取至少6个压力点,每个压力点要待周期稳定后方可记录:

1) 周期 T_{pi} , 5次以上;

2) 压力 p_i ;

3) 温度 t_{pi} 。

正反行程3次,得到 n 组 p_i 、 T_{pi} 、 t_{pi} 。

整个实验温度应稳定,其变化应控制在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内。

5.2.7 数据处理

5.2.7.1 特性曲线实验数据处理

a) 玻璃密度计法的数据处理

密度计示值应考虑以下几项修正

1) 基、标准玻璃密度计的标准温度为20℃,当(图12中的温度计3测得测量筒内的液体温度值 t_3 不等于20℃时应对其示值进行温度修正,即

$$\Delta\rho_{t1} = \rho_a \beta (20 - t_3) \quad (3)$$

式中: $\Delta\rho_{t1}$ ——基、标准玻璃密度计的温度修正值;

ρ_a ——测量筒内液体的密度;

β ——玻璃的体膨胀系数, $25 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ 。

2) 当 t_1 、 t_2 的平均值 $\bar{t} \neq t_3$ 时,需要按下式对 ρ_a 进行修正,即

$$\Delta\rho_{t2} = r \cdot (t_3 - \bar{t}) \quad (4)$$

式中: $\Delta\rho_{t2}$ ——基、标准玻璃密度计的温度修正值;

r ——液体的密度温度系数, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

3) 如果所用液体与基、标准玻璃密度计的工作用液不同时,需要按下式对 ρ_a 进行

毛细常数修正, 即

$$\Delta\rho_a = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \pi \cdot D \cdot \rho^2}{M} \times 1000 \quad (5)$$

式中: $\Delta\rho_a$ ——玻璃密度计毛细常数修正值, kg/m^3 ;

α_1 ——证书上给出工作用液的毛细常数, mm^2 ;

α_2 ——所测液体的毛细常数, mm^2 ;

D ——被修正密度计所测点的干管平均直径, mm ;

ρ ——液体密度, g/cm^3 ;

π ——圆周率, 可取 3.14;

M ——密度计质量, mg 。

4) 基、标准玻璃密度计按上缘读取示值时, 则应考虑上下缘读数之差的修正量 $\Delta\rho_s$ 。

5) 基、标准玻璃密度计的修正值 $\Delta\rho$ 。

6) 基、标准玻璃密度计测得液体的密度为:

$$\rho_i = \rho_a + \Delta\rho_{t1} + \Delta\rho_{t2} + \Delta\rho_a + \Delta\rho_s + \Delta\rho \quad (6)$$

b) 压力密度瓶法的数据处理

1) 实验温度 t 、压力 p 下的密度瓶体积 V_{tp}

$$V_{tp} = [V_0 + E_p(p - p_0)] \times [1 + E_t(t - t_0)] \quad (7)$$

式中: V_0 ——标准条件下的密度瓶容积, mL ;

E_p ——密度瓶容积的压力修正系数, $\text{mL} \cdot \text{MPa}^{-1}$;

E_t ——密度瓶的体膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

p ——工作压力(绝对压力), MPa ;

p_0 ——标准大气压力, 0.101325MPa ;

t ——工作温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 ——标准温度, 20°C 。

2) 密度瓶内液体的质量 m

$$m = m_H \times \frac{1 - \rho_k/\rho_f}{1 - \rho_k/\rho_e} - M \times \frac{1 - \rho_k/\rho_B}{1 - \rho_k/\rho_e} \quad (8)$$

式中: m_H ——在空气中密度瓶充满液体的质量, g ;

M ——密度瓶的真空质量, g ;

ρ_k ——空气密度, kg/m^3 ;

ρ_f ——砝码材料密度, kg/m^3 ;

ρ_B ——密度瓶材料密度, kg/m^3 ;

ρ_e ——液体密度, 准确到 10kg/m^3 。

当密度瓶与砝码所用材料密度相同时, 公式为:

$$m = (m_H - M) \cdot C \quad (9)$$

$$C \text{ 为空气浮力修正系数: } C = \frac{1 - \rho_k / \rho_f}{1 - \rho_k / \rho_e} \quad (10)$$

3) 实验条件下液体的密度

$$\rho_{tp} = \frac{m}{V_{tp}} \quad (11)$$

4) 非标准温度、压力下的液体密度 ρ_{tp} 修正到标准温度 20℃ 和标准大气压下的液体密度 ρ_i

$$\rho_i = \rho_{tp} \cdot (1 - F \cdot p) + \gamma \cdot (t - 20) \quad (12)$$

式中: γ ——液体的密度温度系数, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

F ——液体的压缩系数, MPa^{-1} ;

p ——工作压力(表压), MPa ;

t ——工作温度, $^\circ\text{C}$ 。

5) 被检液体密度计在非标准温度、压力下的周期 T_{tp} 修正到标准温度 20℃、标准大气压下的周期 T_i

$$T_i = T_{tp} + f(20 - t) - h \cdot p \quad (13)$$

式中: f ——被检液体密度计的周期随温度变化率, $\mu\text{s} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

h ——被检液体密度计的周期随压力变化率, $\mu\text{s} \cdot \text{MPa}^{-1}$ 。

c) 标准液体密度计法的数据处理

1) 当实验 t 达到 $(20 \pm 0.1)^\circ\text{C}$, 压力为标准大气压时, 测量所得标准液体密度计的密度值 ρ_a 、 ρ_b 取平均值为 $\bar{\rho}_i$, 被检液体密度计的周期平均值 $\bar{T}_i$, 直接代入方程(12)进行计算。

2) 当实验温度 t 不等于 20℃、压力 p 不等于标准大气压时, 标准液体密度计的密度应按公式(12)进行计算。被检液体密度计的周期按公式(13)进行计算, 得到在标准状态下的 $\bar{\rho}_i$ 、 $\bar{T}_i$ 。

5.2.7.2 ρ 、 T 二次曲线方程系数的计算

将计算得到在标准状态下 n 组 $\bar{\rho}_i$ 、 $\bar{T}_i$, 代入 ρ 、 T 二次曲线方程

$$\bar{\rho}_i = K_0 + K_1 \bar{T}_i + K_2 \bar{T}_i^2 \quad (14)$$

用最小二乘法解得系数 K_0 、 K_1 、 K_2 值, 从而得到最佳拟合曲线方程

$$\rho_T = K_0 + K_1 T + K_2 T^2 \quad (15)$$

及拟合标准差

$$s = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n - n'}} \quad (16)$$

式中: v ——各密度测量值与相应计算值的残差;

n ——测定方程个数;

n' ——未知系数的个数, 在(16)式中 $n' = 3$ 。

也可根据液体密度计给出的公式, 用最小二乘法计算出公式中的各系数。

5.2.7.3 温度实验数据处理

- 1) 由温度实验得到的每一温度点的平均值 $\bar{t}_j$;
- 2) 根据所用介质查温度密度表, 计算出 $\bar{t}_j$ 所对应的液体密度 ρ_i ;
- 3) 将测得周期平均值 $\bar{T}_i$ 代入公式(15), 计算出不同温度下的 ρ_{Ti} ;
- 4) 由以上计算得到 n 组 $\bar{t}_j$ 、 ρ_i 、 ρ_{Ti} 代入下列方程

$$\rho_i = \rho_{Ti} [1 + K_{18}(\bar{t}_j - 20)] + K_{19}(\bar{t}_j - 20) \quad (17)$$

用最小二乘法解得系数 K_{18} , K_{19} 值, 从而得到温度修正公式:

$$\rho_t = \rho_T [1 + K_{18}(t - 20)] + K_{19}(t - 20) \quad (18)$$

也可根据液体密度计的设计所提供的温度修正公式, 用最小二乘法计算出温度修正公式中的各系数。

5.2.7.4 压力实验数据处理

1) 由压力实验得到的每一压力点的周期平均值 $\bar{T}_{pi}$ 代入公式(15), 计算出各压力点的密度 ρ_T 。

2) 如果压力实验时温度 $\bar{t}_p$ 不等于 20℃ 应将 ρ_T 和 $\bar{t}_p$ 代入公式(18), 计算出经温度修正后各压力下的密度 ρ_{tp} 。

3) 查表得到所用介质的压缩系数 F , 在标准大气压下的密度 ρ_{t0} 和各压力点 p_i 的实际密度值为:

$$\rho_{ps} = \rho_{t0}(1 + F \cdot p_i) \quad (19)$$

式中: p_i ——为压力表的压力, MPa。

4) 由 2)、3) 计算出的各压力 p_i 下的 ρ_{ps} 、 ρ_{tp} 代入下列方程:

$$\rho_{ps} = \rho_{tp} \cdot (1 + K_{20} \cdot p_i) + K_{21} \cdot p_i \quad (20)$$

用最小二乘法可求得 K_{20} 、 K_{21} , 通过

$$K_{20} = K_{20A} + K_{20B} \cdot p_i$$

$$K_{21} = K_{21A} + K_{21B} \cdot p_i$$

用最小二乘法可求得系数 K_{20A} 、 K_{20B} 、 K_{21A} 、 K_{21B} 。得到最佳压力修正公式:

$$\rho_p = \rho_t(1 + K_{20} \cdot p) + K_{21} \cdot p \quad (21)$$

$$K_{20} = K_{20A} + K_{20B} \cdot p$$

$$K_{21} = K_{21A} + K_{21B} \cdot p$$

也可根据密度计的设计所给出的压力修正公式, 用最小二乘法计算出公式中的各系数。

5.3 检定结果的处理

5.3.1 密度计的拟合标准差限 E 按下式计算:

$$0.2 \text{ 级}, E = 3s \quad (22)$$

$$0.5 \sim 2.0 \text{ 级}, E = 2s \quad (23)$$

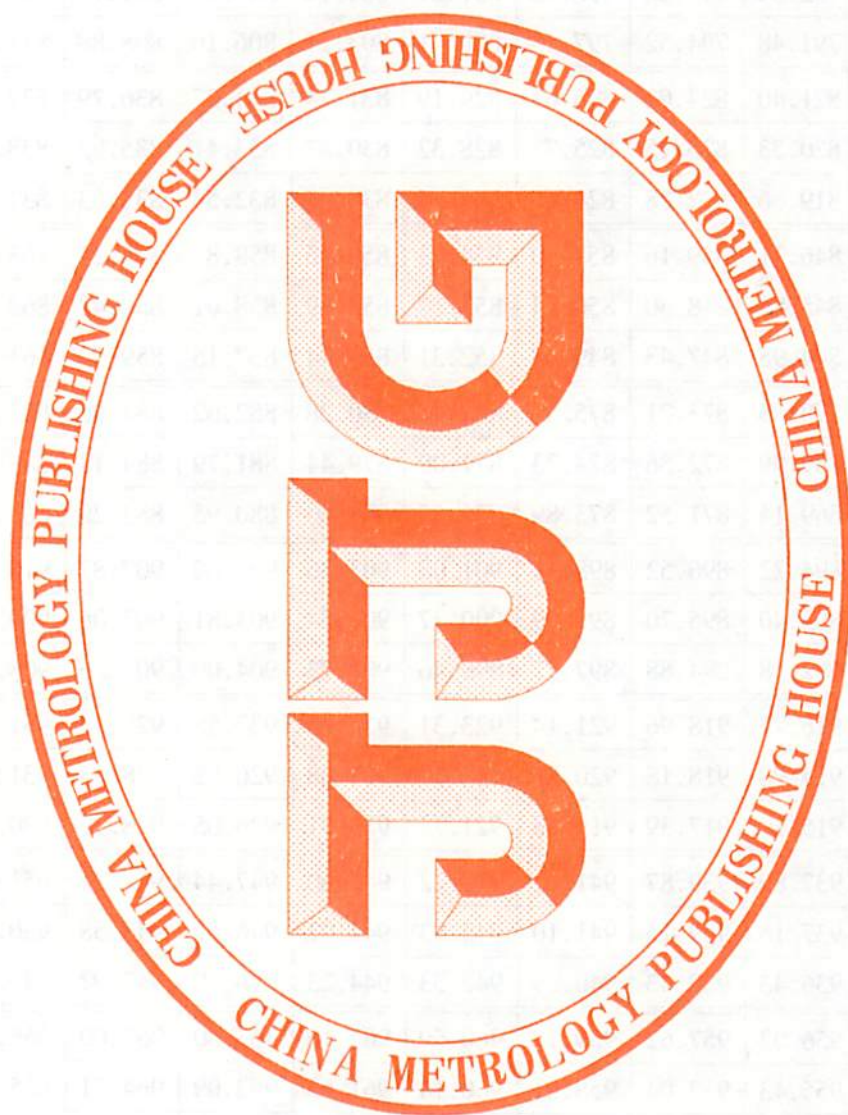
式中: s ——由(16)式计算得到曲线拟合标准差。

5.3.2 液体密度计的等级应符合表 1 规定。0.2 级液体密度计可作为标准液体密度计使用。

5.3.3 根据检定结果,对照表 1 中的技术指标,并符合本规程第 4 条规定的液体密度计,出具相应的检定证书。 $E > 2.0 \text{ kg/m}^3$ 的液体密度计出具检定结果通知书。

5.4 检定周期

首次检定后的液体密度计其第一个后续检定周期为 1 年;作为标准器使用的液体密度计其检定周期为 1 年;作为工作表使用的液体密度计年变化小于拟合误差限 E 的,周期可适当延长,但不得超过 2 年。



附录 A

(19~21)℃ 酒精水溶液密度表

温度	标准溶液密度值/ (kg·m ⁻³)									
19℃	790.09	793.20	796.24	799.21	802.13	805.00	807.83	810.61	813.36	816.07
20℃	789.23	792.34	795.38	798.35	801.27	804.14	806.96	809.75	812.49	815.20
21℃	788.38	791.48	794.52	797.49	800.41	803.27	806.10	808.88	811.62	814.33
19℃	818.75	821.40	824.02	826.61	829.19	831.74	834.27	836.79	839.29	841.77
20℃	817.88	820.53	823.15	825.75	828.32	830.87	833.41	835.92	838.42	840.91
21℃	817.01	819.66	822.28	824.88	827.45	830.00	832.54	835.05	837.55	840.04
19℃	844.25	846.71	849.16	851.60	854.03	856.45	858.87	861.27	863.67	866.07
20℃	843.38	845.84	848.30	850.74	853.17	855.59	858.01	860.42	862.82	865.22
21℃	842.52	844.98	847.43	849.88	852.31	854.74	857.15	859.57	861.97	864.37
19℃	868.45	870.83	873.21	875.57	877.93	880.28	882.62	884.96	887.29	889.61
20℃	867.61	869.99	872.36	874.73	877.09	879.44	881.79	884.13	886.46	888.78
21℃	866.76	869.14	871.52	873.89	876.25	878.60	880.95	883.29	885.62	887.95
19℃	891.92	894.22	896.52	898.81	901.08	903.36	905.62	907.87	910.11	912.34
20℃	891.09	893.40	895.70	897.99	900.27	902.54	904.81	907.06	909.31	911.54
21℃	890.27	892.58	894.88	897.17	899.46	901.73	904.00	906.26	908.51	910.74
19℃	914.56	916.77	918.96	921.14	923.31	925.45	927.58	929.69	931.78	933.84
20℃	913.77	915.98	918.18	920.36	922.53	924.68	926.82	928.93	931.03	933.10
21℃	912.97	915.19	917.39	919.58	921.75	923.91	926.05	928.17	930.27	932.35
19℃	935.88	937.89	939.87	941.81	943.72	945.60	947.44	949.24	951.00	952.72
20℃	935.14	937.16	939.15	941.10	943.03	944.92	946.77	948.58	950.36	952.09
21℃	934.40	936.43	938.43	940.39	942.33	944.23	946.09	947.92	949.70	951.45
19℃	954.40	956.03	957.62	959.18	960.69	962.16	963.60	965.00	966.37	967.71
20℃	953.78	955.43	957.04	958.61	960.14	961.63	963.09	964.51	965.90	967.26
21℃	953.16	954.83	956.45	958.04	959.59	961.10	962.57	964.01	965.42	966.81
19℃	969.03	970.34	971.62	972.91	974.18	975.46	976.75	978.06	979.38	980.73
20℃	968.60	969.93	971.24	972.54	973.83	975.13	976.44	977.76	979.09	980.46
21℃	968.17	969.51	970.84	972.16	973.47	974.79	976.11	977.45	978.80	980.17
19℃	982.10	983.52	984.97	986.46	988.00	989.59	991.23	992.93	994.69	996.51
20℃	981.85	983.27	984.73	986.23	987.78	989.38	991.02	992.73	994.48	996.31
21℃	981.58	983.01	984.48	986.00	987.55	989.15	990.81	992.51	994.27	996.10

附录 B

油品密度温度系数 γ 表

$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	$t/^\circ\text{C}$						
	10~20	20~30	20~40	20~50	20~60	20~70	20~80
650(石油醚)	0.954	0.964	/	/	/	/	/
700(汽油)	0.849	0.852	/	/	/	/	/
750(油品)	0.787	0.788	/	/	/	/	/
800(油品)	0.740	0.735	/	/	/	/	/
840(油品)	0.699	0.695	0.699	0.700	0.699	0.699	0.698
860(油品)	0.679	0.676	0.674	0.676	0.678	0.678	0.677
880(油品)	0.661	0.658	0.658	0.659	0.659	0.659	0.660

注： γ ——密度温度系数， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$ 。

附录 C

(18~26)℃ 钨酸钠水溶液密度温度系数表

$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450
γ	0.245	0.277	0.293	0.329	0.356	0.371	0.396	0.415	0.432

注： γ ——密度温度系数 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。



附录 D

(1~100)℃ 纯水密度表

(不含空气)

 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$t/^\circ\text{C}$	ρ	$t/^\circ\text{C}$	ρ	$t/^\circ\text{C}$	ρ	$t/^\circ\text{C}$	ρ	$t/^\circ\text{C}$	ρ
1	999.898	21	997.991	41	991.826	61	982.673	81	971.159
2	999.940	22	997.769	42	991.432	62	982.150	82	970.528
3	999.964	23	997.537	43	991.031	63	981.621	83	969.893
4	999.972	24	997.295	44	990.623	64	981.086	84	969.252
5	999.964	25	997.043	45	990.208	65	980.546	85	968.606
6	999.940	26	996.782	46	989.786	66	980.000	86	967.955
7	999.901	27	996.511	47	989.358	67	979.448	87	967.300
8	999.848	28	996.231	48	988.922	68	978.890	88	966.640
9	999.781	29	995.943	49	988.479	69	978.327	89	965.975
10	999.699	30	995.645	50	988.030	70	977.759	90	965.305
11	999.605	31	995.339	51	987.575	71	977.185	91	964.630
12	999.497	32	995.024	52	987.113	72	976.607	92	963.950
13	999.377	33	994.700	53	986.644	73	976.022	93	963.266
14	999.244	34	994.369	54	986.169	74	975.432	94	962.577
15	999.099	35	994.029	55	985.688	75	974.837	95	961.883
16	998.943	36	993.681	56	985.201	76	974.237	96	961.185
17	998.774	37	993.325	57	984.708	77	973.632	97	960.482
18	998.595	38	992.962	58	984.208	78	973.021	98	959.774
19	998.404	39	992.591	59	983.702	79	972.406	99	959.062
20	998.203	40	992.212	60	983.191	80	971.785	100	958.345

注： $t/^\circ\text{C}$ 是基于1990年的国际温标。

附录 E

油品压缩系数表

 $F \times 10^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$

$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ F $t / ^\circ\text{C}$	800	802	804	806	808	810	812	814	816	818	820
15.00	0.854	0.848	0.842	0.836	0.830	0.824	0.818	0.812	0.807	0.801	0.796
15.25	0.855	0.849	0.843	0.837	0.831	0.825	0.819	0.814	0.808	0.803	0.797
15.50	0.857	0.851	0.844	0.838	0.832	0.827	0.821	0.815	0.809	0.804	0.798
15.75	0.858	0.852	0.846	0.840	0.834	0.828	0.822	0.816	0.811	0.805	0.800
16.00	0.860	0.853	0.847	0.841	0.835	0.829	0.823	0.818	0.812	0.806	0.801
16.25	0.861	0.855	0.849	0.843	0.837	0.831	0.825	0.819	0.813	0.808	0.802
16.50	0.863	0.856	0.850	0.844	0.838	0.832	0.826	0.820	0.815	0.809	0.804
16.75	0.864	0.858	0.852	0.845	0.839	0.833	0.828	0.822	0.816	0.810	0.805
17.00	0.866	0.859	0.853	0.847	0.841	0.835	0.829	0.823	0.817	0.812	0.806
17.25	0.867	0.861	0.854	0.848	0.842	0.836	0.830	0.824	0.819	0.813	0.808
17.50	0.868	0.862	0.856	0.850	0.844	0.838	0.832	0.826	0.820	0.814	0.809
17.75	0.870	0.864	0.857	0.851	0.845	0.839	0.833	0.827	0.821	0.816	0.810
18.00	0.871	0.865	0.859	0.852	0.846	0.840	0.834	0.829	0.823	0.817	0.811
18.25	0.873	0.866	0.860	0.854	0.848	0.842	0.836	0.830	0.824	0.818	0.813
18.50	0.874	0.868	0.862	0.855	0.849	0.843	0.837	0.831	0.825	0.820	0.814
18.75	0.876	0.869	0.863	0.857	0.851	0.845	0.839	0.833	0.827	0.821	0.815
19.00	0.877	0.871	0.864	0.858	0.852	0.846	0.840	0.834	0.828	0.822	0.817
19.25	0.879	0.872	0.866	0.860	0.853	0.847	0.841	0.835	0.830	0.824	0.818
19.50	0.880	0.874	0.867	0.861	0.855	0.849	0.843	0.837	0.831	0.825	0.819
19.75	0.882	0.875	0.869	0.863	0.856	0.850	0.844	0.838	0.832	0.826	0.821

表 (续)

 $F \times 10^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$

$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ F $t / ^\circ\text{C}$	800	802	804	806	808	810	812	814	816	818	820
20.00	0.883	0.877	0.870	0.864	0.858	0.852	0.845	0.839	0.834	0.828	0.822
20.25	0.885	0.878	0.872	0.865	0.859	0.853	0.847	0.841	0.835	0.829	0.823
20.50	0.886	0.880	0.873	0.867	0.861	0.854	0.848	0.842	0.836	0.830	0.825
20.75	0.888	0.881	0.875	0.868	0.862	0.856	0.850	0.844	0.838	0.832	0.826
21.00	0.889	0.883	0.876	0.870	0.863	0.857	0.851	0.845	0.839	0.833	0.827
21.25	0.891	0.884	0.878	0.871	0.865	0.859	0.852	0.846	0.840	0.835	0.829
21.50	0.892	0.886	0.879	0.873	0.866	0.860	0.854	0.848	0.842	0.836	0.830
21.75	0.894	0.887	0.881	0.874	0.868	0.861	0.855	0.849	0.843	0.837	0.831
22.00	0.895	0.889	0.882	0.876	0.869	0.863	0.857	0.851	0.845	0.839	0.833
22.25	0.896	0.889	0.882	0.876	0.869	0.863	0.857	0.851	0.845	0.839	0.833
22.50	0.898	0.892	0.885	0.879	0.872	0.866	0.860	0.853	0.847	0.841	0.835
22.75	0.900	0.893	0.887	0.880	0.874	0.867	0.861	0.855	0.849	0.843	0.837
23.00	0.902	0.895	0.888	0.882	0.875	0.869	0.862	0.856	0.850	0.844	0.838
23.25	0.903	0.896	0.890	0.883	0.876	0.870	0.864	0.858	0.851	0.845	0.840
23.50	0.905	0.898	0.891	0.884	0.878	0.872	0.865	0.859	0.853	0.847	0.841
23.75	0.906	0.899	0.893	0.886	0.879	0.873	0.867	0.860	0.854	0.848	0.842
24.00	0.908	0.901	0.894	0.887	0.881	0.874	0.868	0.862	0.856	0.850	0.844
24.25	0.909	0.902	0.896	0.889	0.882	0.876	0.870	0.863	0.857	0.851	0.845
24.50	0.911	0.904	0.897	0.890	0.884	0.877	0.871	0.865	0.858	0.852	0.846
24.75	0.912	0.905	0.899	0.892	0.885	0.879	0.872	0.866	0.860	0.854	0.848

注：F 为根据液体在 15℃ 时的密度和液体的温度查得的压缩系数 (MPa^{-1})； ρ 为 15℃ 时的密度 (kg/m^3)；t 为温度 ($^\circ\text{C}$)。

附录 F

钨酸钠水溶液毛细常数表

$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
$\alpha/(\text{mm}^2)$	6.94	6.69	6.45	6.21	5.95	5.73	5.45	5.25

附录 G

水压缩系数表

 $F \times 10^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$

$t/^{\circ}\text{C}$	15	16	17	18	19	20	21	22
F	0.497	0.491	0.484	0.478	0.471	0.465	0.458	0.455
$t/^{\circ}\text{C}$	23	24	25	26	27	28	29	30
F	0.453	0.452	0.451	0.451	0.450	0.449	0.448	0.448

附录 H

密度计特性曲线实验记录

No.	No.						$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$t_3, \Delta t_3, t_3 + \Delta t_3$	$\text{Pa} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\Delta \rho$	$\Delta \rho_{t1}$	$\Delta \rho_{t2}$	$\Delta \rho_s$	$\Delta \rho_s$	ρ_i

 $\bar{\rho} =$

密度/温度显示仪

$T_i / ^\circ\text{C}$	
$\rho_i / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	

No.		No.		$\bar{t} / ^\circ\text{C}$
$t_1 / ^\circ\text{C}$	$\Delta t_1 / ^\circ\text{C}$	$t_2 / ^\circ\text{C}$	$\Delta t_2 / ^\circ\text{C}$	

振动周期 $T / \mu\text{s}$

 $\bar{T} =$

实验员_____ 核验员_____ 页

附录 J

密度计温度实验记录

No.

No.		No.		$t_i/^\circ\text{C}$	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$
$t_1/^\circ\text{C}$	$\Delta t_1/^\circ\text{C}$	$t_2/^\circ\text{C}$	$\Delta t_2/^\circ\text{C}$		

 $\bar{t} = \quad ^\circ\text{C}$ $\rho_i = \quad \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

密度/温度显示仪

$t/^\circ\text{C}$					
$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$					
$t/^\circ\text{C}$					

振动周期 $T/\mu\text{s}$

 $\bar{T} = \quad \mu\text{s}$

实验员_____ 核验员_____ 页

附录 K

密度计压力实验记录

No.

p/MPa						
$T/\mu\text{s}$						
1						
2						
3						
4						
5						
$\bar{T}/\mu\text{s}$						
显示仪	$t/^\circ\text{C}$					
	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$					
p/MPa						
$T/\mu\text{s}$						
1						
2						
3						
4						
5						
$\bar{T}/\mu\text{s}$						
显示仪	$t/^\circ\text{C}$					
	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$					
p/MPa						
$T/\mu\text{s}$						
1						
2						
3						
4						
5						
$\bar{T}/\mu\text{s}$						
显示仪	$t/^\circ\text{C}$					
	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$					

实验员_____ 核验员_____ 页

附录 L

检定证书内页格式

1. 准确度实验

标定范围: $(\times \times \times \sim \times \times \times)(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ 标准温度: $\times \times ^\circ\text{C}$

$$\rho = K_0 + K_1 T + K_2 T^2 \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

 $K_0 =$ $K_1 =$ $K_2 =$ $s =$

2. 温度实验

测试范围: $(\times \times \sim \times \times)^\circ\text{C}$

$$\rho_t = \rho_{Tt} [1 + K_{18}(t - 20)] + K_{19}(t - 20) \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

 $K_{18} =$ $K_{19} =$

3. 压力实验

测试范围: $(\times \times \sim \times \times)\text{MPa}$

$$\rho_p = \rho_t \cdot (1 + K_{20} p) + K_{21} p \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

$$K_{20} = K_{20A} + K_{20B} p$$

$$K_{21} = K_{21A} + K_{21B} p$$

证书中: T ——振动周期, μs ; t ——温度, $^\circ\text{C}$; p ——压力表所示压力, MPa 。4. 以空气为介质的振动周期(μs)

$$T_k =$$

(以下空白)

* 也可根据液体密度计给出的各公式出具证书 *

中华人民共和国
国家计量检定规程
在线振动管液体密度计
JJG 370—2007
国家质量监督检验检疫总局发布

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

880 mm×1230 mm 16开本 印张1.75 字数33千字

2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

印数1—2 000

统一书号 155026-2259 定价: 24.00元