

京津冀地方计量技术规范

JJF(津)3017—2021

付油控制装置现场校准规范

Calibration Specification for Oil-dispensing Equipment

2021—04—16 发布

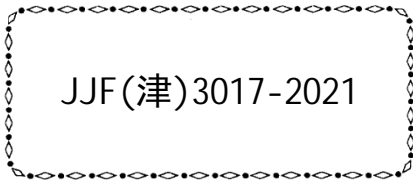
2021—05—16 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

付油控制装置现场校准规范

Calibration Specification for

Oil-dispensing Equipment



JJF(津)3017-2021

归口单位： 天津市市场监督管理委员会

主要起草单位： 天津市计量监督检测科学研究院

北京市计量检测科学研究院

河北省计量监督检测研究院

参加起草单位： 包头市产品质量计量检测室

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

安海骄 (天津市计量监督检测科学研究院)

张 璋 (天津市计量监督检测科学研究院)

李晶晶 (北京市计量检测科学研究院)

王 波 (河北省计量监督检测研究院)

参加起草人：

马云峰 (天津市计量监督检测科学研究院)

崔 越 (天津市计量监督检测科学研究院)

耿洪燕 (包头市产品质量计量检测室)

目 录

引言	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 术语.....	(1)
3.2 计量单位.....	(1)
4 概述.....	(2)
4.1 工作原理.....	(2)
4.2 分类和组成.....	(2)
4.3 用途.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 结算值误差.....	(2)
5.2 预装量控制误差.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 主标准器及配套设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果表达.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 校准记录参考格式.....	(8)
附录 B 校准证书(内页)参考格式.....	(10)
附录 C 评定合成不确定度的参考方法.....	(11)
附录 D 不确定度评定实例.....	(14)

引 言

本规范根据我国付油控制装置的使用和溯源现状，参考 JJG 1038—2008《科里奥利质量流量计》、JJG 667—2010《液体容积式流量计》进行制定。

本规范所用术语，除在本规范中专门定义的外，均采用 JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1004—2004《流量计量名词术语及定义》定义的术语。

根据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》第 3.1、3.2 条，本规范将结算值误差及其扩展不确定度、结算值修正系数及其扩展不确定度和预装量控制误差及其扩展不确定度列为计量性能并作为计量校准的主要工作。

本规范是首次制定。

付油控制装置现场校准规范

1 范围

本校准规范适用于付油控制装置的现场校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1004—2004 流量计量名词术语及定义

JJF 1708—2018 标准表法科里奥利质量流量计在线校准规范

JJG 164—2000 液体流量标准装置

JJG 667—2010 液体容积式流量计

JJG 1038—2008 科里奥利质量流量计

GB/T 1885—1998 石油计量表

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

引用文件中界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1.1 付油控制装置 oil-dispensing equipment

对石油产品装车过程进行控制、计量、管理的装置。

3.1.2 付油设定值 set flow of dispensing oil

通过主控单元输入的石油产品装车量设定值。

3.1.3 付油显示值 displayed flow of dispensing oil

通过计量单元获得并显示的石油产品装车量值。

3.1.4 付油结算值 settlement flow of dispensing oil

作为付油结算依据的量值，一般为付油显示值或设定值。

3.1.5 零点调整 zero adjustment

建立零流量参考点的过程。

3.1.6 修正系数 correction factor

通过对付油装置校准得到，计量标准器的标准值与付油结算值的比值。

3.1.7 预装量控制误差 error of set flow of dispensing oil

付油设定值与显示值的差值。

3.2 计量单位

3.2.1 体积单位：立方米，符号 m^3 ；或升，符号 L。

3.2.2 质量单位：千克，符号 kg；或吨，符号 t。

- 3.2.3 时间单位：小时，符号 h；或分钟，符号 min。
- 3.2.4 瞬时流量单位：立方米每小时，符号 m^3/h ；或升每分钟，符号 L/min。
- 3.2.5 密度单位：千克每立方米，符号 kg/m^3 。
- 3.2.6 压力单位：帕[斯卡]，符号 Pa；或千帕，符号 kPa。
- 3.2.7 温度单位：摄氏度，符号 $^{\circ}\text{C}$ 。

4 概述

4.1 工作原理

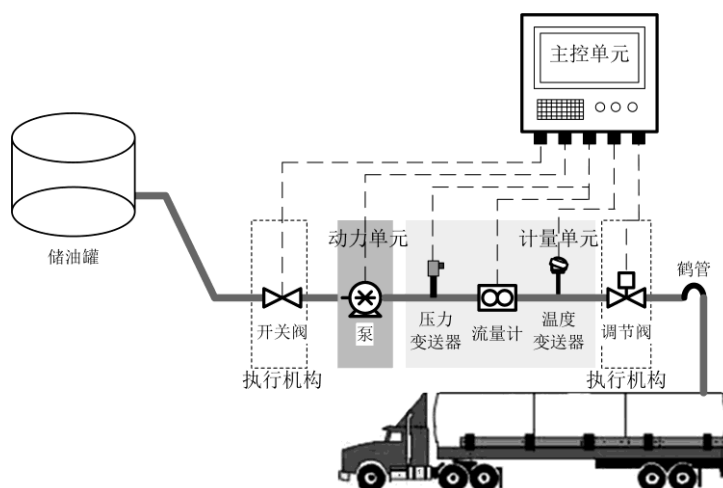


图 1 付油控制装置示意图

付油控制装置是将石油产品经装车设施装车并完成计量的装置，通过对装置中流量、温度、压力等仪表数据的采集，并控制泵、阀门等机构，实现定量、准确输送油品的功能，如图 1 所示。

4.2 分类和组成

付油控制装置主要由计量单元、安全防护单元、动力单元、主控单元和执行机构等部分组成。按照计量单元中流量计种类可为质量式和容积式。

4.3 用途

付油控制装置常用于石油公司油库，在对外销售石油产品（如汽油、柴油等）的过程中，负责油品的计量和输送。

5 计量特性

5.1 结算值误差

付油控制装置准确度等级为 0.2 级，对应付油结算值的最大允许误差为 $\pm 0.2\%$ 。

5.2 预装量控制误差

付油控制装置在实际付油状态下，付油量应不小于 3000L 或 3000kg，对应的预装量控制误差应不超过 $\pm 5\text{L}$ 或 $\pm 5\text{kg}$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 校准环境条件一般应满足：

环境温度：（-20~40）℃；

相对湿度：≤95%；

大气压力：（86~106）kPa。

6.1.2 在一次校准过程中，环境温度的变化应不超过 5℃；机械振动、噪声、磁场等对标准装置和付油控制装置的影响应小到可以忽略不计。

6.1.3 场地及校准过程应满足安全操作要求。在防爆区域开展工作时，所有设备、环境条件必须符合 GB3836 的相关安全防爆要求。

6.2 主标准器及配套设备

6.2.1 主标准器及配套设备均应有有效的检定/校准证书，且具备防爆（隔爆）功能。

6.2.2 主标准器及配套设备应满足如下要求。

表 1 标准器及主要配套设备一览表

名称	测量范围	技术要求
衡器	(100~3000)kg	检定分度数 $n \geq 6000$
标准金属量器	200L、2000L 等	MPE: $\pm 0.025\%$
温度计	(-30~50)℃	MPE: $\pm 0.2^\circ\text{C}$
标准石油密度计	(600~1100)kg/m ³	准确度等级：二等
秒表（计时器）	/	MPE: $\pm 0.5\text{s/d}$

注：如采用科里奥利质量流量计在线校准装置作为主标准器，参照 JJF 1708—2018《标准表法科里奥利质量流量计在线校准规范》进行校准。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

7.1.1 付油结算值误差/修正系数的校准。

7.1.2 预装量控制误差的校准。

7.2 校准方法

7.2.1 一般检查

7.2.1.1 付油控制装置应有铭牌并附有使用说明书。

7.2.1.2 流量计应满足相应检定规程中外观、标识和铭牌的要求。

7.2.2 封印与保护功能检查

7.2.2.1 付油控制装置应具有可加封印的机构，以保证在不损坏封印的情况下无法调

整付油控制装置的计量性能。

7.2.2.2 对于软件程序及流量计中影响计量性能的特征参数，应具备加密保护功能。

7.2.3 密封性检查

校准过程中付油控制装置各部件及连接处不应有泄漏现象。

7.2.4 校准操作

7.2.4.1 校准前使付油控制装置通电预热至少 30min；在常用流量下运行一段时间，保证管道内无气体。检查装置的参数设置，对流量计进行零点调整。

7.2.4.2 将主标准器调整水平，并将其有效接地。如有需要，进行通电预热等操作，最终置于准备状态。

7.2.4.3 关闭鹤管上的排气阀，安置发油鹤管至标准器。

7.2.4.4 在付油控制装置实际工作流量下设置发油量，下达发油指令。

7.2.4.5 付油结束后，打开鹤管上的排气阀，将油品排空，再将鹤管移出标准装置，待稳定后，分别记录标准器示值、付油控制装置显示值、标准器处温度、压力、流量计处温度、压力、标准器处油品视密度等必要的参数。

7.2.4.6 排出标准器内的油品，在滴流状态下等待 2min，关闭放液阀门，再次将其置于准备状态，完成一次校准。

7.2.4.7 重复 7.2.4.3 到 7.2.4.6 步骤至少三次。

7.2.4.8 预装量控制误差试验通过实际付油过程进行测量，记录每次付油过程的装置设定值和显示值，至少重复测量三次。

7.2.5 数据处理

7.2.5.1 付油结算值误差

(1) 付油控制装置的计量单元为质量流量计时，单次测量的付油结算值误差按式

(1) 计算：

$$E_i = \frac{M_i - (M_s)_i}{(M_s)_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中： E_i ——第 i 次测量的付油结算值误差，%；

M_i ——第 i 次测量的付油结算值（付油显示值或设定值），kg；

$(M_s)_i$ ——第 i 次测量的付油标准值，kg。

使用不同主标准器时，付油标准值的计算方法如下。

a) 以衡器作为主标准器

$$(M_s)_i = (m_s)_i \cdot C_f \quad (2)$$

式中： $(m_s)_i$ ——第 i 次测量的衡器质量示值，kg；

C_f ——浮力修正因子，根据式 (3) 计算。

$$C_f = \frac{\rho_s(\rho_b - \rho_a)}{\rho_b(\rho_s - \rho_a)} \quad (3)$$

式中： ρ_s ——主标准器处油品的视密度， kg/m^3 ；

ρ_b ——衡器检定用标准砝码的密度， kg/m^3 ；

ρ_a ——空气密度， kg/m^3 。一般空气密度取 1.2kg/m^3 。

若检定衡器时不使用砝码，则

$$C_f = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_a} \quad (4)$$

b) 以标准金属量器作为主标准器

$$(M_s)_i = (V_0)_i [1 + \beta_s(t_s - 20)] [1 + \beta(t_m - t_s)] [1 - k(p_m - p_s)] \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20} \quad (5)$$

式中： $(V_0)_i$ ——第 i 次测量标准金属量器的示值， m^3 ；

β_s ——标准金属量器的体膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

β ——油品的体膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

k ——油品的压缩系数， Pa^{-1} ；

t_m ——流量计处油品的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_s ——标准金属量器处油品的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

p_m ——流量计处油品的压力， Pa^{-1} ；

p_s ——标准金属量器处油品的压力， Pa^{-1} ；

VCF_{20} ——将计量温度 (t_m) 下的体积修正到 20°C 下的体积修正系数，由标准密度和计量温度查 GB/T 1885 中的体积修正系数表得到；

ρ_{20} ——由视密度和计量温度查 GB/T 1885 中的产品标准密度表得到的标准密度， kg/m^3 。

(2) 付油控制装置的计量单元为容积式流量计时，单次测量的付油结算值误差按下式计算：

$$E_i = \frac{V_i - (V_s)_i}{(V_s)_i} \times 100\% \quad (6)$$

式中： E_i ——第 i 次测量的付油结算值误差，%；

V_i ——第 i 次测量的付油结算值（付油显示值或设定值），L；

$(V_s)_i$ ——第 i 次测量的付油标准值，L。

使用不同主标准器时，付油标准值的计算方法分别根据式 (7) 或 (8) 进行。

a) 以衡器作为主标准器

$$(V_s)_i = \frac{(M_s)_i}{\rho_{20} \cdot VCF_{20}} \quad (7)$$

b) 以标准金属量器作为主标准器

$$(V_s)_i = (V_0)_i [1 + \beta_s(t_s - 20)] [1 + \beta(t_m - t_s)] [1 - \kappa(p_m - p_s)] \quad (8)$$

(3) 付油结算值误差

付油控制装置的付油结算值误差 E 按式 (9) 计算。

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (9)$$

式中: n ——校准次数。

(4) 重复性

付油结算值误差的重复性 E_r 按 (10) 式计算。

$$E_r = \frac{(E_i)_{\max} - (E_i)_{\min}}{d_n} \quad (10)$$

式中: $(E_i)_{\max}$ ——单次测量付油结算值误差中的最大值;

$(E_i)_{\min}$ ——单次测量付油结算值误差中的最小值;

d_n ——极差系数, 其值见表 2。

表 2 极差系数表

校准次数 n	3	4	5	6	7	8	9	10
极差系数 d_n	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

7.2.5.2 付油结算值修正系数

(1) 付油控制装置的计量单元为质量流量计时, 单次测量的付油结算值修正系数按式 (11) 计算:

$$k_i = \frac{(M_s)_i}{M_i} \quad (11)$$

(2) 付油控制装置的计量单元为容积式流量计时, 单次测量的付油结算值修正系数按式 (12) 计算:

$$k_i = \frac{(V_s)_i}{V_i} \quad (12)$$

(3) 付油结算值修正系数

付油结算值修正系数 k 按式 (13) 计算:

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (13)$$

(4) 重复性

付油结算值修正系数的重复性 E_r 按式 (14) 计算:

$$E_r = \frac{(k_i)_{\max} - (k_i)_{\min}}{d_n} \quad (14)$$

式中: $(k_i)_{\max}$ ——单次测量付油结算值修正系数中的最大值;

$(k_i)_{\min}$ ——单次测量付油结算值修正系数中的最小值。

7.2.5.3 预装量控制误差

(1) 单次测量的预装量控制误差

单次测量的预装量控制误差 Δ_i 按 (15) 式计算。

$$\Delta_i = (Q_{\text{set}})_i - (Q_{\text{dis}})_i \quad (15)$$

式中: $(Q_{\text{set}})_i$ ——第 i 次测量装置的付油设定值, kg 或 L;

$(Q_{\text{dis}})_i$ ——第 i 次测量装置的付油显示值, kg 或 L。

(2) 预装量控制误差

付油控制装置的预装量控制误差 Δ 按 (16) 式计算:

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad (16)$$

(3) 重复性

预装量控制误差的重复性 $E_{r\Delta}$ 按 (17) 式计算。

$$E_{r\Delta} = \frac{(\Delta_i)_{\max} - (\Delta_i)_{\min}}{d_n} \quad (17)$$

式中: $(\Delta_i)_{\max}$ ——单次测量预装量控制误差中的最大值;

$(\Delta_i)_{\min}$ ——单次测量预装量控制误差中的最小值。

8 校准结果的表达

原始记录和校准证书格式见附录 A 和 B, 不确定度评定方法参考附录 C, 不确定度评定实例见附录 D。

9 复校时间间隔

付油控制装置的复校时间间隔建议一般为 1 年。

注: 由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

校准记录参考格式

送校单位_____器具名称_____

制造单位_____型号规格_____器具编号_____

鹤位号_____校准地点_____

环境温度_____℃ 相对湿度_____% 大气压力_____kPa

校准日期_____证书编号_____

校准员_____核验员_____

校准依据_____

校准所用的主要标准器:

名称_____型号_____

编号_____测量范围_____

准确度等级□/最大允许误差□/扩展不确定度□:

证书编号_____有效期限_____

表 A.1 付油结算值误差/修正系数校准记录

付油结算值	主标准器示值	标准器处压力	标准器处温度	流量计处压力	流量计处温度	标准器处油品视密度	修正系数 k_i 或结算值误差	修正系数 k 或结算值误差	重复性	合成标准不确定度	扩展不确定度
M_i (kg)/ V_i (L)	m_i (kg)/ $(V_0)_i$ (L)	p_s (kPa)	t_s (°C)	p_m (kPa)	t_m (°C)	ρ_s (kg/m ³)	E_i (%)	E (%)	E_r (%)	(%)	% ($k=2$)

测量介质:

流量点: m³/h

表 A.2 预装量控制误差校准记录

序号	付油设定值	付油显示值	预装量控制误差	预装量控制误差	重复性	合成标准不确定度	扩展不确定度
	$(Q_{set})_i$ (kg 或 L)	$(Q_{dis})_i$ (kg 或 L)	Δ_i (kg 或 L)	Δ (kg 或 L)	E_{Δ} (kg 或 L)	(kg 或 L)	(kg 或 L) ($k=2$)
1							
2							
3							

测量介质:

流量点: m³/h

一般性检查：

封印与保护功能检查：

密封性检查：

付油结算值：付油显示值/付油设定值

附录 B

校准证书（内页）参考格式

1. 校准依据：

2. 校准所用主要标准器

名称：

不确定度或准确度：

有效期至：

3. 环境条件

环境温度：

相对湿度：

大气压力：

4. 校准结果

修正系数或结算值误差校准结果

测量介质：

序号	流量点 (m ³ /h)	修正系数 k 或结算值误差 E (%)	扩展不确定度 U_r ($k=2$)
1			

预装量控制误差校准结果

测量介质：

序号	流量点 (m ³ /h)	预装量控制误差 Δ	扩展不确定度 U ($k=2$)
1			

5. 一般性检查：

6. 封印与保护功能检查：

7. 密封性检查：

8. 复校时间间隔建议： 年

附录 C

评定合成标准不确定度的参考方法

C.1 付油结算值误差/修正系数的标准不确定度评定

根据付油结算值误差和修正系数的计算公式可知二者具有类似的不确定度传播率，因此下文以付油结算值误差为例分析合成标准不确定度。

C.1.1 计量单元为质量流量计，以衡器作为主标准器进行校准

付油结算值误差按式 (C.1) 计算。

$$E = \frac{M}{m_s \cdot C_f} - 1 \quad (\text{C.1})$$

式中

$$C_f = \frac{\rho_s(\rho_b - \rho_a)}{\rho_b(\rho_s - \rho_a)} \quad (\text{C.2})$$

其中视 ρ_b 、 ρ_a 为常数，并忽略 ρ_s 的变化，可将 C_f 视为常数。

付油结算值误差的不确定度传播率：

$$u^2(E) = c^2(M)u^2(M) + c^2(m_s)u^2(m_s) \quad (\text{C.3})$$

其中，灵敏系数：

$$c(M) = \frac{\partial E}{\partial M} = \frac{1}{m_s \cdot C_f}$$

$$c(m_s) = \frac{\partial E}{\partial m_s} = -\frac{M}{m_s^2 \cdot C_f}$$

由式 (C.3) 可知，付油结算值误差的不确定度来源主要有：

- a) 衡器引入的不确定度分量 $u(m_s)$ ；
- b) 被校装置引入的不确定度分量 $u(M)$ ，即重复测量引入的 A 类不确定度。

C.1.2 计量单元为质量流量计，以标准金属量器作为主标准器进行校准

付油结算值误差按式 (C.4) 计算。

$$E = \frac{M}{V_0 \cdot K \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}} - 1 \quad (\text{C.4})$$

其中

$$K = [1 + \beta_s(t_s - 20)][1 + \beta(t_m - t_s)][1 - \kappa(p_m - p_s)] \quad (\text{C.5})$$

由于 $\beta_s \approx 5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ， $\beta \approx 12 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ， $\kappa \approx (4 \sim 15) \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$ ， t_s 、 t_m 、 p_s 、 p_m 的不确定度贡献量可忽略不计，并将 K 视为常数，得到付油结算值误差的不确定度传播率：

$$u^2(E) = c^2(M)u^2(M) + c^2(V_0)u^2(V_0) + c^2(VCF_{20})u^2(VCF_{20}) + c^2(\rho_{20})u^2(\rho_{20}) \quad (\text{C.6})$$

其中，灵敏系数：

$$c(M) = \frac{\partial E}{\partial M} = \frac{1}{V_0 \cdot K \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}}$$

$$c(V_0) = \frac{\partial E}{\partial V_0} = -\frac{M}{V_0^2 \cdot K \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}}$$

$$c(VCF_{20}) = \frac{\partial E}{\partial VCF_{20}} = -\frac{M}{V_0 \cdot K \cdot (VCF_{20})^2 \cdot \rho_{20}}$$

$$c(\rho_{20}) = \frac{\partial E}{\partial \rho_{20}} = -\frac{M}{V_0 \cdot K \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}^2}$$

由式 (C.6) 可知, 付油结算值误差的不确定度来源主要有:

- 标准金属量器引入的不确定度分量 $u(V_0)$;
- 被校装置引入的不确定度分量 $u(M)$, 即重复测量引入的 A 类不确定度;
- 体积修正系数引入的不确定度分量 $u(VCF_{20})$;
- 介质标准密度引入的不确定度分量 $u(\rho_{20})$ 。

由于介质标准密度和体积修正系数是由温度和密度查表获取的, 因此二者引入的不确定度分量与测量的温度、密度有关。假设标准密度和体积修正系数服从均匀分布, 可通过估计区间半宽度计算其不确定度分量。

例如, 测量标准器处油品视密度用的标准石油密度计最大允许误差为 $\pm 0.3 \text{ kg/m}^3$, 测量值为 739.1 kg/m^3 , 则视密度的最佳估计值所在区间为 $(738.8 \sim 739.4) \text{ kg/m}^3$; 测量计量温度用的温度计最大允许误差为 $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$, 测量值为 $38.75 \text{ }^\circ\text{C}$, 则计量温度的最佳估计值所在区间为 $(38.55 \sim 39.95) \text{ }^\circ\text{C}$ 。通过查表获得表中在此视密度和计量温度区间内的所有标准密度值, 其中最大值与最小值差值的一半即为介质标准密度的区间半宽度, 并计算得到其不确定度分量。用同样的方法可获得体积修正系数的不确定度分量。

C.1.3 计量单元为容积式流量计, 以衡器作为主标准器进行校准

付油结算值误差按式 (C.7) 计算。

$$E = \frac{V \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}}{m_s \cdot C_f} - 1 \quad (\text{C.7})$$

得到付油结算值误差的不确定度传播率:

$$u^2(E) = c^2(V)u^2(V) + c^2(VCF_{20})u^2(VCF_{20}) + c^2(\rho_{20})u^2(\rho_{20}) + c^2(m_s)u^2(m_s) \quad (\text{C.8})$$

其中, 灵敏系数:

$$c(V) = \frac{\partial E}{\partial(V)} = \frac{VCF_{20} \cdot \rho_{20}}{m_s \cdot C_f}$$

$$c(VCF_{20}) = \frac{\partial E}{\partial VCF_{20}} = \frac{V \cdot \rho_{20}}{m_s \cdot C_f}$$

$$c(\rho_{20}) = \frac{\partial E}{\partial \rho_{20}} = \frac{V \cdot VCF_{20}}{m_s \cdot C_f}$$

$$c(m_s) = \frac{\partial E}{\partial m_s} = -\frac{V \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}}{m_s^2 \cdot C_f}$$

由式 (C.8) 可知, 付油结算值误差的不确定度来源主要有:

- a) 衡器引入的不确定度分量 $u(m_s)$;
- b) 被校装置引入的不确定度分量 $u(V)$, 即重复测量引入的 A 类不确定度;
- c) 体积修正系数引入的不确定度分量 $u(VCF_{20})$;
- d) 介质标准密度引入的不确定度分量 $u(\rho_{20})$ 。

C.1.4 计量单元为容积式流量计, 以标准金属量器作为主标准器进行校准付油结算值误差按式 (C.9) 计算。

$$E = \frac{V}{V_0 \cdot K} - 1 \quad (\text{C.9})$$

付油结算值误差的不确定度传播率:

$$u^2(E) = c^2(V)u^2(V) + c^2(V_0)u^2(V_0) \quad (\text{C.10})$$

其中, 灵敏系数:

$$c(V) = \frac{\partial E}{\partial(V)} = \frac{1}{V_0 \cdot K}$$

$$c(V_0) = \frac{\partial E}{\partial(V_0)} = -\frac{V}{V_0^2 \cdot K}$$

由式 (C.10) 可知, 付油结算值误差的不确定度来源主要有:

- a) 标准金属量器引入的不确定度分量 $u(V_0)$;
- b) 被校装置引入的不确定度分量 $u(V)$, 即重复测量引入的 A 类不确定度。

C.2 预装量控制误差的标准不确定度评定

预装量控制误差按式 (15) 计算, 由于付油设定值为常数, 得到预装量控制误差的不确定度传播率:

$$u^2(\Delta) = c^2(Q_{\text{dis}})u^2(Q_{\text{dis}}) \quad (\text{C.11})$$

其中, 灵敏系数:

$$c(Q_{\text{dis}}) = \frac{\partial \Delta}{\partial(Q_{\text{dis}})} = -1$$

因此, 付油设定值预装量控制误差的不确定度来源主要为付油显示值的不确定度分量, 即重复测量引入的 A 类不确定度。

附录 D

不确定度评定实例

D.1 概述

D.1.1 被校付油控制装置

付油控制装置准确度等级：0.2 级

计量单元流量计种类：质量流量计

计量单元温度变送器最大允许误差： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

付油结算值采用付油显示值

D.1.2 标准器及配套设备

主标准器：二等标准金属量器，2000L

温度计最大允许误差： $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$

标准石油密度计：二等

D.2 付油结算值误差的校准

D.2.1 测量数据

表 D.1 付油结算值误差校准记录

付油结算值	主标准器示值	标准器处压力	标准器处温度	流量计处压力	流量计处温度	标准器处油品视密度	油品标准密度	体积修正系数	结算值误差	结算值误差	重复性
M_i (kg)	$(V_0)_i$ (L)	p_s (kPa)	t_s ($^{\circ}\text{C}$)	p_m (kPa)	t_m ($^{\circ}\text{C}$)	ρ_s (kg/m^3)	ρ_{20} (kg/m^3)	VCF_{20}	E_i (%)	E (%)	E_r (%)
1478.48	1994.399	102.3	17.3	403.8	16.5	742.5	740.1	1.0043	-0.19	-0.19	0.03
1474.64	1990.754	102.3	17.8	403.5	17.1	742.0	740.0	1.0037	-0.20		
1471.35	1985.520	102.3	16.8	403.3	16.1	742.0	739.2	1.0049	-0.17		

测量介质：汽油； 流量点：60 m^3/h

D.2.2 数学模型

付油结算值误差按式 (D.1) 计算。

$$E = \frac{M}{V_0 \cdot K \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}} - 1 \quad (\text{D.1})$$

其中

$$K = [1 + \beta_s(t_s - 20)][1 + \beta(t_m - t_s)][1 - \kappa(p_m - p_s)] \quad (\text{D.2})$$

由于 $\beta_s \approx 5 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $\beta \approx 12 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $\kappa \approx (4 \sim 15) \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$, t_s 、 t_m 、 p_s 、 p_m 的不确定度贡献量可忽略不计，并将 K 视为常数，付油结算值误差的不确定度传播率：

$$u_r^2(E) = c^2(M)u^2(M) + c^2(V_0)u^2(V_0) + c^2(VCF_{20})u^2(VCF_{20}) + c^2(\rho_{20})u^2(\rho_{20}) \quad (\text{D.3})$$

其中，灵敏系数：

$$c(M) = \frac{\partial E}{\partial M} = \frac{1}{V_0 \cdot K \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}}$$

$$c(V_0) = \frac{\partial E}{\partial V_0} = -\frac{M}{V_0^2 \cdot K \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}}$$

$$c(VCF_{20}) = \frac{\partial E}{\partial VCF_{20}} = -\frac{M}{V_0 \cdot K \cdot (VCF_{20})^2 \cdot \rho_{20}}$$

$$c(\rho_{20}) = \frac{\partial E}{\partial \rho_{20}} = -\frac{M}{V_0 \cdot K \cdot VCF_{20} \cdot \rho_{20}^2}$$

D.2.3 标准不确定度分量

由式 (D.3) 可知, 付油结算值误差的不确定度来源主要有:

- 标准金属量器引入的不确定度分量 $u(V_0)$;
- 被校装置引入的不确定度分量 $u(M)$, 即重复测量引入的 A 类不确定度;
- 介质标准密度引入的不确定度分量 $u(\rho_{20})$;
- 体积修正系数引入的不确定度分量 $u(VCF_{20})$ 。

D.2.4 标准不确定度的评定

- 标准金属量器引入的不确定度分量 $u(V_0)$

标准金属量器的准确度等级为二等, 其最大允许误差为 $\pm 0.025\%$, 按照均匀分布考虑, 则:

$$u(V_0) = \frac{0.025\%}{\sqrt{3}} \times 1990.77\text{L} = 0.00029\text{m}^3 \quad (\text{D.4})$$

灵敏度系数 $c(V_0) = -0.501 (1/\text{m}^3)$ 。

- 被校装置引入的不确定度分量 $u(M)$

被校装置引入的不确定度 $u(M)$ 考虑主要为重复测量引入的 A 类不确定度, 按照式 (D.5) 计算。

$$u(M) = \frac{E_r}{\sqrt{n}} \cdot M = \frac{[-0.19\% - (-0.24\%)] / 1.69}{\sqrt{3}} \times 1474.82\text{kg} = 0.202\text{kg} \quad (\text{D.5})$$

灵敏度系数 $c(M) = 0.000677 (1/\text{kg})$ 。

- 介质标准密度引入的不确定度分量 $u(\rho_{20})$

由于介质标准密度是由标准器处油品计量温度 (t_s) 和视密度 (ρ_s) 查石油产品标准密度表获取的, 因此介质标准密度引入的不确定度分量与计量温度、视密度有关。以第一次测量数据为例, 由于温度计的最大允许误差为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$, 二等标准石油密度计的最大允许误差为 $\pm 0.3 \text{ kg/m}^3$, 按照均匀分布考虑, t_s 和 ρ_s 的最佳估计值分别落在 $(17.1 \sim 17.5)^\circ\text{C}$ 和 $(742.2 \sim 742.8) \text{ kg/m}^3$ 的范围内, 忽略标准密度表的不确定度, 通过查表可得到在此计量温度和视密度区间内的所有标准密度值, 获得 ρ_{20} 的范围为 $(739.6 \sim 740.6) \text{ kg/m}^3$, 假设其服从均匀分布, 则有:

$$u(\rho_{20}) = \frac{740.6 - 739.6}{2\sqrt{3}} = 0.289 (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (\text{D.6})$$

灵敏度系数 $c(\rho_{20}) = -0.00135 (\text{m}^3/\text{kg})$ 。

同理，计算另外两次测量的对应值，取其中最大者作为 $u(\rho_{20})$ ，本例中最大值即为 $0.289 (\text{kg}/\text{m}^3)$ 。

d) 体积修正系数引入的不确定度分量 $u(VCF_{20})$

体积修正系数由流量计处油品计量温度 (t_m) 和标准密度 (ρ_{20}) 查石油产品体积修正系数表获取。其标准不确定度评定方法与标准密度类似，仍以第一次测量数据为例，由于付油控制装置温度变送器的最大允许误差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ， ρ_{20} 的范围为 ($739.6 \sim 740.6$) kg/m^3 ，通过查表可得到 VCF_{20} 在 $1.0037 \sim 1.0049$ 的范围内，假设其服从均匀分布，则有：

$$u(VCF_{20}) = \frac{1.0049 - 1.0037}{2\sqrt{3}} = 0.000346 \quad (\text{D.7})$$

灵敏度系数 $c(VCF_{20}) = -0.994$ 。

同理，计算另外两次测量的对应值，取其中最大者作为 $u(VCF_{20})$ ，本例中最大值即为 0.000346 。

D.2.5 合成标准不确定度计算

将各标准不确定度分量代入式 (D.3)，得到 E 的合成标准不确定度

$$u(E) = \sqrt{0.015^2 + 0.014^2 + 0.039^2 + 0.034^2} = 0.056\%$$

D.2.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为

$$U = 2 \times 0.056\% = 0.11\%$$

D.2.7 校准结果 (表 D.2)

表 D.2 结算值误差校准结果

序号	工作流量点 (m^3/h)	结算值误差 E	扩展不确定度 $U (k=2)$
1	60	-0.19%	0.11%

D.3 预装量控制误差的校准

D.3.1 测量数据

表 D.3 预装量控制误差校准记录

序号	付油设定值 ($Q_{\text{set}})_i$ (kg)	付油显示值 ($Q_{\text{dis}})_i$ (kg)	预装量控制误差 Δ_i (kg)	预装量控制误差 Δ (kg)	重复性 $E_{r,\Delta}$ (kg)
1	3075	3078.48	-3.48	-2.49	1.09

2	3075	3076.64	-1.64		
3	3075	3077.35	-2.35		

测量介质：汽油； 流量点： 60m³/h

D.3.2 数学模型

预装量控制误差按式 (D.8) 计算。

$$\Delta = Q_{\text{set}} - Q_{\text{dis}} \quad (\text{D.8})$$

由于付油设定值为常数，得到预装量控制误差的不确定度传播率：

$$u^2(\Delta) = c^2(Q_{\text{dis}})u^2(Q_{\text{dis}}) \quad (\text{D.9})$$

其中，灵敏系数：

$$c(Q_{\text{dis}}) = \frac{\partial \Delta}{\partial (Q_{\text{dis}})} = -1$$

D.3.3 标准不确定度分量

由 (D.9) 式可知，付油设定值预装量控制误差的不确定度来源主要为付油显示值的不确定度分量，即重复测量引入的 A 类不确定度。

D.3.4 标准不确定度的评定

重复测量引入的 A 类不确定度，按照式 (D.10) 计算。

$$u(Q_{\text{dis}}) = \frac{E_{r\Delta}}{\sqrt{n}} = 0.63\text{kg} \quad (\text{D.10})$$

灵敏度系数 $c(Q_{\text{dis}}) = 1$

D.3.5 合成标准不确定度计算

将标准不确定度分量代入式 (D.9)，得到 Δ 的合成标准不确定度 $u(\Delta) = 0.63\text{kg}$

D.2.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为 $U = 2 \times 0.63\text{kg} = 1.3\text{kg}$

D.2.7 校准结果 (表 D.4)

表 D.4 预装量控制误差校准结果

序号	工作流量点	预装量控制误差 Δ	扩展不确定度 $U (k=2)$
1	60m ³ /h	-2.49kg	1.3kg

