



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 759—1997

静压法油罐计量装置

Hydrostatic Tank Gauging

1997-06-26 发布

1998-01-01 实施

国家技术监督局 发布

静压法油罐计量装置

检 定 规 程

Verification Regulation of

Hydrostatic Tank Gauging

JJG 759—1997

本检定规程经国家技术监督局于 1997 年 06 月 26 日批准，并自 1998 年 01 月 01 日起施行。

归口单位： 中国计量科学研究院

起草单位： 中国计量科学研究院

中国航空工业总公司第六三四研究所

(北京长城航空测控技术研究所)

本规程技术条文由起草单位负责解释

本规程主要起草人：

刘子勇 （中国计量科学研究院）

王北安 （中国航空工业总公司第六三四研究所）

参加起草人：

王本善 （中国计量科学研究院）

董海风 （中国航空工业总公司第六三四研究所）

徐俊田 （总后勤部物资油料部）

董 波 （中国计量科学研究院）

目 录

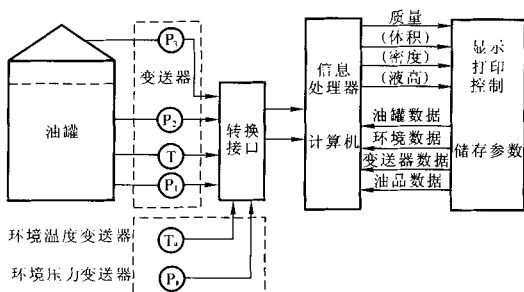
一 概述	(1)
二 技术要求	(1)
(一)压力变送器主要技术要求	(1)
(二)温度变送器主要技术要求	(2)
(三)计量装置安装要求	(2)
(四)计量装置技术要求	(2)
(五)油罐容积表准确度要求	(3)
三 检定条件	(3)
(一)检定要求	(3)
(二)检定设备	(3)
四 检定项目和检定方法	(4)
(一)计量装置信息处理器储存参数检查	(4)
(二)计量装置基本计算公式的检查	(4)
(三)计量装置示值检定	(5)
五 检定结果处理和检定周期	(6)
附录 1 静压法油罐计量装置计算概述	(7)
附录 2 我国部分城市的重力加速度表	(11)
附录 3 静压法油罐计量装置检定记录	(12)
附录 4 检定证书背面格式	(16)

静压法油罐计量装置检定规程

本规程适用于新安装、使用中和维修后的静压法油罐计量装置（以下简称计量装置）的检定。

一 概 述

1 计量装置是由安装在罐壁上的压力变送器、温度变送器、转换接口、信息处理器、计算显示仪表或计算机等相关设备组成。其工作原理是，用压力变送器测得罐内液体石油产品（以下简称油品）静压，再利用油罐容积表计算出罐内油品静态质量。计量装置的组成见下图。



计量装置组成图

P_1 ——用于测量罐内油品压力的压力变送器；

P_2 ——用于测量计算罐内油品密度和油品高度的压力变送器；

P_3 ——用于测量罐内顶部蒸气压力的压力变送器；

T ——用于测量罐内油品温度的变送器；

T_a ——用于测量环境温度的变送器；

P_a ——用于测量环境压力的变送器

注：图括号中的参数不属于本规程的检定范围。

二 技 术 要 求

(一) 压力变送器主要技术要求

2 压力变送器测量准确度应优于 0.1%。

3 压力变送器输出温度影响应小于 $2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

在 $-25 \sim +55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内或在规定的使用温度下, 压力变送器输出温度影响大于规定值时必须进行温度补偿。

(二) 温度变送器主要技术要求

4 温度变送器的测量准确度应优于 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 。

(三) 计量装置安装要求

5 压力变送器、温度变送器和计算显示仪表及相关设备都必须具有相应等级的防爆合格证; 其设备安装都必须符合相应等级的防爆要求。

6 压力变送器安装位置的确定。

6.1 所有压力变送器安装在罐的外部, 并在罐的相同一侧。

6.2 压力变送器取压孔应位于罐壁上油品相对静止的地方, 以防油泵或搅拌操作引起油品运动, 而可能产生附加的静压力。

6.3 底部压力变送器 P_1 应尽可能低地安装, 一般情况下不应高于输油管线, 但应在沉淀物和水的液面之上。其相对于计量装置基准点的高度测量误差应不超过 $\pm 1 \text{ mm}$ 。

6.4 用于测量计算油品密度和油品高度的压力变送器 P_2 , 应安装在底部压力变送器 P_1 之上。这两个变送器之间的垂直距离应在 1.5~2.5 m 之间, 垂直距离的测量误差应不超过 $\pm 1 \text{ mm}$ 。

6.5 为了减小风的影响, 就将压力变送器 P_1 , P_2 , P_3 的负压孔用一压力平衡管连在一起。该管应基本垂直, 在顶部封闭, 底部开口。如果不用 P_3 (对于浮顶罐), 则压力变送器 P_1 和 P_2 的负压孔也用一压力平衡管连在一起。

6.6 计量装置安装位置基准点应该确定, 该基准点应在罐的外侧, 一般取压力变送器下方, 油罐的底板外沿; 与油罐计量基准点的垂直距离应使用标准测量技术 (如水准仪测量) 测量, 测量误差应不超过 $\pm 1 \text{ mm}$ 。

7 压力变送器引压方式应采用无隔离液直接引压。引压管内直径应不小于 32 mm。

8 压力变送器与油罐之间应有阀门和标定口。压力变送器应有固定支撑装置和保护装置, 防止日晒雨淋和其他外界影响。

9 压力变送器的垂直位置应测量到压力变送器的有效中心, 在变送器的壳体上应提供外部参考标志。

10 温度变送器 T 应安装在底部压力变送器 P_1 与 P_2 之间, 其探头应深入到罐内至少 0.5 m, 对浮顶罐应低于浮盘支架。

11 环境温度变送器 T_e 应安装在压力变送器的同一侧, 并距罐壁的距离与压力变送器一样, 且应有保护装置。

(四) 计量装置技术要求

12 计量装置用于可流动油品的计量。

13 计量装置的测量结果应是油品在空气中的质量 (商业质量)。

14 计量装置的稳定度应不大于 0.14%。

15 计量装置在正常工作条件下的扩展不确定度不大于 0.35%。

(五) 油罐容积表准确度要求

16 700 m³ 以下立式罐不确定度为 0.2%；700 m³ 以上立式罐不确定度为 0.1%。

17 立式罐必须经过有关计量部门检定，并且具有有效检定证书和全套容积表，在使用时必须按检定证书说明予以修正。

三 检 定 条 件

(一) 检定要求

18 计量装置应有制造单位的检验合格报告，压力变送器的技术指标应符合第 2 条、第 3 条的规定。

19 计量装置安装应符合第 6 条至第 11 条的要求，调试后必须经过以下试验方能进行检定。

油罐内至少应有总储存量 30% 的油品。首次检定在 15 天期间中，随后检定在 3 天期间中保持不进出油品状态。每天上午 8 时左右和下午 3 时左右分别读取计量装置显示质量值，用式 (1) 计算其稳定度。

$$S_w = \frac{m_{x,\max} - m_{x,\min}}{m_{x0}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $m_{x,\max}$ ——试验期间内，读取显示质量值的最大值，kg；

$m_{x,\min}$ ——试验期间内，读取显示质量值的最小值，kg；

m_{x0} ——试验初始时，读取的显示质量值，kg。

(二) 检定设备

20 检定设备见表 1，表 1 中的设备必须经过检定，并具有在有效期内的检定证书。

表 1 主要检定设备

设备名称	测量范围或型号	主要技术指标
标准压力装置	满足测量要求	测量误差 ± 25 Pa
数字电流（压）表	满足测量要求	分辨率 1 μ A (μ V)
量油尺	0~15 m, 0~20 m	分度值 1 mm
温度计	满足测量要求	分度值 0.1 $^{\circ}$ C
石油密度计	满足测量要求	分度值 0.000 5 g/cm ³

四 检定项目和检定方法

(一) 计量装置信息处理器储存参数检查

21 现场复核压力变送器的安装高度, 若有变化应及时改变原有参数。

参数分类见表 2。

表 2 计量装置信息处理器储存参数表

参数组	参 数	注
油罐数据	罐顶类型 浮顶质量 起浮高度 起点高度 线膨胀系数 罐壁类型 罐容积表 罐检定温度	拱顶、浮顶 浮顶 浮顶 浮顶 罐壁材料 保温或非保温 给定高度下的容积表 容积表被修正到的温度
计量装置变送器数据	变送器的个数 P_1 高度 P_2 高度 P_3 高度	压力变送器有 1, 2 或 3 个 至计量装置的基准点 P_2 点至 P_1 点 P_3 点至 P_1 点
油品数据	油品密度 油品膨胀系数 沉积水面高度	如果没有 P_2 变送器, 可人工输入油品密度
环境数据	当地重力加速度 环境温度 环境压力	见附录 2 任选

(二) 计量装置基本计算公式的检查

22 通常基本计算公式应包括: 罐内油品的商业质量测量计算、油品体积计算、密度计算、液位高度计算、罐底沉积水量的测量计算、油罐全容量计算、空高容量计算以及液位报警、打印日报表、月报表、年报表等。

(三) 计量装置示值检定

计量装置示值检定最好使用标准压力源检定方法检定, 若没有标准压力源装置也可用人工检尺法进行比对。

23 标准压力源检定法

23.1 检定应在油罐总储存量的 90%, 60%, 30% 三个液面状态下进行。在每一液面状态应保持 30 min 的稳定时间。在每个液面状态读取计量装置显示质量值 m_{xi} , 并用数字电流(电压)表读取在该测量点上的压力变送器输出值 I_{Li} 。

23.2 关闭压力变送器与油罐之间的阀门, 打开放气阀使压力变送器处于零载荷状态, 通过标定口, 用标准压力装置给压力变送器施加额定压力 p_F 三次, 分别计算压力变送器零载荷和额定载荷输出值的平均值 I_0 和 I_F , 并用式(2)分别计算该测量点压力值 p_{bi} :

$$p_{bi} = \frac{p_F}{I_F - I_0} \times (I_{Li} - I_0) \quad (2)$$

式中: p_{bi} ——第 i 点压力值, kPa, $i=1\sim3$;

I_{Li} ——第 i 点压力变送器输出值, mA;

I_0 ——压力变送器零载荷输出平均值, mA;

I_F ——压力变送器额定载荷输出平均值, mA。

23.3 用标准压力装置分别给压力变送器施加压力 p_{bi} , 并读取计量装置在该压力下的质量显示值 m_{Li} , 然后按式(3)分别计算, 其最大相对误差应不大于 0.14%。

$$E_i = \frac{m_{xi} - m_{Li}}{m_{Li}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: E_i ——第 i 点的相对误差, $i=1\sim3$;

m_{xi} ——第 i 点计量装置测量显示的质量值, kg;

m_{Li} ——第 i 点标准质量显示值, kg。

24 人工检尺比对法

比对应应在油罐总储存量的 90%, 60%, 30% 三个液面状态下进行, 在每一液面状态稳定 30 min 后, 用人工检尺法测量三次, 取三次测量计算的平均质量值与计量装置显示的质量值比对, 按式(4)分别计算, 其差值相对误差均应不大于 0.35%。

$$E_{Ri} = \frac{m_{xi} - m_{Ri}}{m_{Ri}} \times 100\% \quad (4)$$

式中: E_{Ri} ——第 i 点的差值相对误差, $i=1\sim3$;

m_{xi} ——第 i 点计量装置测量显示的质量值, kg;

m_{Ri} ——第 i 点人工检尺计算的质量值, kg。

五 检定结果处理和检定周期

25 经检定合格的计量装置，发给检定证书；经检定不合格的计量装置，发给检定结果通知书。

26 计量装置的检定周期，视装置的稳定度而定。一般首次检定周期最长不得超过半年，随后检定周期最长不得超过1年。

附录 1

静压法油罐计量装置计算概述

1 概述

本附录叙述了由计量装置信息处理器完成计算油罐内的质量和其他变量。制造厂计量装置的设计所特有的特殊计算和性能不包括在内（例如压力变送器的线性化公式）。

本附录示意图见图 1 和图 2。

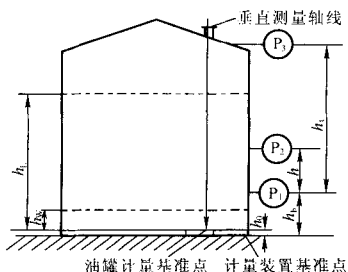


图 1 拱顶罐示意图

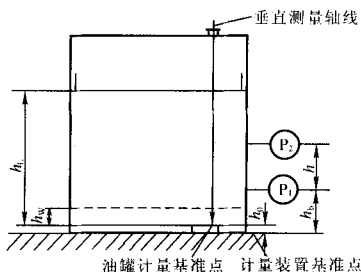


图 2 浮顶罐示意图

本附录中公式的量值应使用公制单位（国际单位制），如果得到的是其他单位的值，应换算到以下公制单位值。

压力：Pa；

液面高度：m；

面积： m^2 ；

体积： m^3 ；

质量：kg；

密度： kg/m^3 ；

重力加速度： m/s^2 。

拱顶罐和浮顶罐计算方法相同。

罐内蒸气和环境空气的密度对被计算的变量仅产生二次项效应，可以把它们看作一常数，高精度测量时可以作计算。

2 符号表

A_E 液面高度下油罐平均截面积

ρ 油品密度

ρ_a 环境空气密度，一般取 $1.2 kg/m^3$

ρ_V	罐中蒸气密度
h	P_1 和 P_2 变送器之间的垂直距离
h_0	油罐计量基准点(基准板)和计量装置基准点之间垂直距离
h_b	计量装置基准点和 P_1 变送器之间垂直距离
h_t	P_3 和 P_1 变送器之间的垂直距离
h_L	液面高度
h_w	沉积水面高度
m	油品总质量
m_a	油品在空气中的质量(商业质量)
m_b	底部油品质量
m_t	静压质量
V	液面高度下的体积
V_b	底部油品体积
m_R	浮顶质量
V_d	总底部体积
V_w	沉积水体积

3 压力平衡

计量装置计算的基础是任意两点之间压力增量的总和都是相同的,压力增量与被加的路径无关。因此:

$p_1 - p_3 =$ 总的油品静压力 + 罐内蒸气静压力 — 在压力变送器 P_1 与 P_3 之间的环境空气静压力

$p_1 - p_2 =$ 在压力变送器 P_1 与 P_2 之间的油品静压力 — 在压力变送器 P_1 与 P_2 之间的环境空气静压力

在拱顶罐,罐内蒸气是油品蒸气与空气的混合物,或者是填充气体。蒸气和空气混合物的浓度将随蒸气温度和压力而变。在浮顶罐,罐内蒸气可能是由油品蒸气污染的环境空气。

浮顶负载有不变的(浮顶质量)和可变的(浮顶负载质量)两部分,在本规程中,均由用户输入。

4 油品密度计算

$$\rho = (p_1 - p_2)/(g \times h) + \rho_a \quad (1)$$

式中: h ——压力变送器 P_1 与 P_2 膜片受力中心间的垂直距离;

g ——当地的重力加速度;

ρ_a ——环境空气密度。

油品密度也可以人工输入标准密度换算得到。

5 液面高度计算

$$h_L = h_0 + h_b + [(p_1 - p_3)/g - h_t \times (\rho_v - \rho_a)]/(\rho - \rho_v) \quad (2)$$

式中： h_0 ——油罐计量基准点至计量装置基准点之间的垂直距离，当油罐计量基准点高于计量装置基准点时， h_0 取负值；

h_b ——从变送器 P_1 受力中心距计量装置基准点的垂直距离；

$p_1 - p_3$ ——压力变送器 P_1 和 P_3 读数之差；

g ——当地的重力加速度；

h_t ——压力变送器 P_1 与 P_3 膜片受力中心之间的垂直距离；

ρ_v ——罐内蒸气密度，如果 ρ_v 得不到，可以假定它等于 ρ_a ；

ρ_a ——环境空气密度；

ρ ——按式 (1) 计算的油品密度。

6 平均截面积的计算

$$A_E = (V - V_d)/(h_L - h_b - h_0) \quad (3)$$

式中： h_L ——按式 (2) 计算得到的液面高度；

h_b ——由计量装置基准点到压力变送器 P_1 受力中心的垂直距离；

h_0 ——油罐计量基准点至计量装置基准点之间的垂直距离；当油罐计量基准点高于计量装置基准点时， h_0 取负值；

V ——液面高度下的油品体积；

V_d ——总的底部体积。

V 和 V_d 应由液面高度和压力变送器 P_1 的高度 ($h_b + h_0$) 分别从容积表上计算得到。

7 静压质量的计算

$$m_t = A_E \times [(p_1 - p_3)/g - \rho_v \times (h_t + h_b - h_L) + \rho_a \times h_t] \quad (4)$$

式中： A_E ——按式 (3) 计算得到的油罐平均截面积；

h_L ——按式 (2) 计算得到的液面高度；

g ——当地的重力加速度；

h_b ——从压力变送器 P_1 受力中心距计量装置基准点的垂直距离；

h_t ——压力变送器 P_1 与 P_3 膜片受力中心之间的垂直距离；

ρ_v ——罐内蒸气密度，如果 ρ_v 得不到，可以假定它等于 ρ_a ；

ρ_a ——环境空气密度。

8 底部质量的计算

底部油品体积：

$$V_b = V_d - V_w \quad (5)$$

式中： V_d ——由 P_1 变送器高度 ($h_b + h_0$) 和罐容积表计算得到的总的底部体积；

V_w ——由沉积水面高度 h_w 和罐容积表计算得到的沉积水体积。

底部油品质量：

$$m_b = V_b \times \rho \quad (6)$$

式中： V_b ——按式 (5) 计算得到的底部油品体积；

ρ ——按式 (1) 计算得到的油品密度。

9 总质量的计算

$$m = m_t + m_b - m_R \quad (7)$$

式中： m_t ——按式 (4) 计算得到的静压质量；

m_b ——按式 (6) 计算得到的底部质量；

m_R ——浮顶质量。

总质量的计算，对拱顶罐和浮顶罐都是相同的，如果是拱顶罐把浮顶质量调整为零。

当浮顶落到起点高度后，可按拱顶罐计算。

10 油品在空气中的质量（商业质量）的计算

$$m_a = m(1 - \rho_a/\rho) \quad (8)$$

式中： m ——按式 (7) 计算得到的总质量；

ρ_a ——环境空气密度；

ρ ——按式 (1) 计算得到的油品密度。

11 库存量误差分析

如压力变送器安装的参数是正确的，计算质量的精度只取决于压力变送器、罐容积表和当地重力加速度的精度。对计量装置系统，典型的计算如下：

忽略 p_3 并认为

$$\text{静压质量} = p_1 \times \frac{\text{罐的平均截面积}}{\text{当地的重力加速度}}$$

假定所有的误差统计是独立的，则

$$E(m)^2 = E(p_1)^2 + E(g)^2 + E(A_E)^2 \quad (9)$$

式中： $E(m)$ ——质量测量相对误差；

$E(p_1)$ —— P_1 的压力测量误差；

$E(g)$ ——当地重力加速度误差；

$E(A_E)$ ——油罐平均截面积误差。

油罐平均截面积的误差与油罐容积表的误差相同，一般这种误差范围为：0.05% ~ 0.2%。

附录 2

我国部分城市的重力加速度表

城 市	纬 度(北)	重力加速度/(m·s ⁻²)
北 京	39°56′	9.801 22
张家口	40°48′	9.799 85
天 津	39°09′	9.800 94
太 原	37°47′	9.796 84
济 南	36°41′	9.798 58
郑 州	34°45′	9.796 65
徐 州	34°18′	9.796 64
南 京	32°04′	9.794 42
上 海	31°12′	9.794 36
宜 昌	30°42′	9.793 12
汉 口	30°33′	9.793 59
安 庆	30°31′	9.793 57
杭 州	30°16′	9.793 00
重 庆	29°34′	9.791 52
南 昌	28°40′	9.792 08
长 沙	28°12′	9.791 63
福 州	26°06′	9.791 44
厦 门	24°27′	9.789 17
广 州	23°06′	9.788 31
南 宁	22°48′	9.787 93
香 港	22°18′	9.787 69

重力加速度也可用下式计算：

$$g_{h\varphi} = \frac{9.806\ 65 \times (1 - 0.002\ 65 \times \cos 2\varphi)}{1 + \frac{2h_e}{R}}$$

式中：R——地球半径，6 371 000 m；

h_e ——当地的海拔高度，m；

φ ——当地的纬度。

附录 3

静压法油罐计量装置检定记录

受检单位 _____

型号规格 _____

制 造 厂 _____

设备编号 _____

出厂编号 _____

检 定 员 _____

检定日期 _____

(一)油罐计量装置基本计算公式检查记录

油罐编号: _____

油品种类: _____

检定: _____

复核: _____

基本计算公式	检 定 结 果	备 注
商业质量测量计算		
油品体积计算		
油品密度计算		
液面高度计算		
罐底沉积水量计算		
油罐全容量计算		
空高容量计算		
液位报警		
打印日报表		
打印月报表		
打印年报表		

(二)油罐计量装置稳定度检定记录

油罐编号:

油品种类:

检定:

复核:

日 期		时 间	环境温度/℃	显示质量值/kg	备 注
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				
	上午				
	下午				

初始显示质量 m_{x0} : 显示质量最大值 $m_{x,\max}$: 显示质量最小值 $m_{x,\min}$:

$$\text{稳定度 } S_W = \frac{m_{x,\max} - m_{x,\min}}{m_{x0}} \times 100\% =$$

(三)油罐计量装置示值检定记录(标准压力源法)

油罐编号:

油品种类:

检定:

复核:

油 罐 存 量	90 %	60 %	30 %	
计量装置显示质量值 m_{xi}/kg				
压力变送器输出值 I_{Li}/mA				
测点压力值 p_{bi}/kPa				
测点标准质量显示值 m_{Li}/kg				
测点相对误差 E_i				
压力变送器额定载荷 p_F : kPa				
加卸载荷次数	1	2	3	平均值
额定载荷输出值 I_F/mA				
零载荷输出值 I_0/mA				

计算公式:

测点压力值

$$p_{bi} = \frac{p_F}{I_F - I_0} \times (I_{Li} - I_0) (\text{kPa})$$

相对误差

$$E_i = \frac{m_{xi} - m_{Li}}{m_{Li}} \times 100\%$$

(四)油罐计量装置示值检定记录(人工检尺比对法)

油罐编号:

油品种类:

检定:

复核:

油 罐 存 量	90 %				60 %				30 %			
检测次数	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
显示质量值 m_{xi}/kg												
人工检尺质量值 m_{Ri}/kg												
差值相对误差 E_{Ri}												

计算式:

$$E_{Ri} = \frac{m_{xi} - m_{Ri}}{m_{Ri}} \times 100\%$$

(五)检定结果

1. 检定合格后以_____字第_____号证书于_____年_____月_____日发给受检单位。
2. 检定不合格于_____年_____月_____日通知受检单位。

附录 4

检定证书背面格式

- | | |
|----------------------|----|
| 1 压力变送器 P_1 零载输出值: | mA |
| 2 压力变送器 P_2 零载输出值: | mA |
| 3 油罐计量装置稳定性: | % |
| 4 油罐计量装置准确度: | % |

说明:

1. 容积表检定证书编号:
 2. 压力变送器安装高度:
-