

ICS 75.180
E 90
备案号：60747—2018

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 7383—2017

石油专用液位计校准方法

The calibration method of the liquid level measuring devices

2017—11—15 发布

2018—03—01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 概述	1
5 技术要求	1
6 校准条件	3
7 校准项目和校准方法	4
8 校准结果	7
9 复校时间间隔	7
附录 A (资料性附录) 液位计校准记录	8
附录 B (资料性附录) 校准证书内页格式	10
附录 C (资料性附录) 测量结果不确定度评定报告	11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。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。

本标准由石油专用计量器具校准规范直属工作组提出并归口。

本标准起草单位：中国石油天然气集团公司大庆石油管理局技术监督中心。

本标准参加起草单位：中国石油化工集团公司胜利油田分公司技术监督处、中国计量科学研究院、石油工业流量计量仪表质量监督检验中心。

本标准主要起草人：刘杰、关聪。

本标准参加起草人：熊兆洪、刘振彪、郭立功、王玉博、盛楠、宋庆华、付子恒、姜喜胜。

石油专用液位计校准方法

1 范围

本标准规定了石油工业用液位计的技术要求、校准条件、校准项目、校准方法、校准结果和复校时间间隔的要求。

本标准适用于石油工业中液位测量与控制的液位计实验室校准。

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。

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

设定点误差 set point error

输出变量按规定的要求输出时，测得的实际液位与液位设定值之差。

3.2

切换值 switching value

位式控制仪表上行程（或下行程）中，输出从一种状态变换到另一种状态时所测得的输入（液位）值。

3.3

切换差 differential gap

同一设定点上、下行程切换值（测量值）之差。

4 概述

液位计是工业过程测量和控制系统中用以指示液位的仪表。通常由传感器、转换器和指示器三部分组成。具有控制作用的液位计，还有设定机构。

按测量方式不同，液位计分为接触式和非接触式两大类。接触式液位计包括浮子式、浮球式、浮筒式、压力式、电容式、电导式、射频式、磁致伸缩式、伺服式和导波雷达式等液位计；非接触式液位计包括超声波液位计和智能雷达液位计等。

5 技术要求

5.1 外观

液位计铭牌应注明厂商、产品名称、计量单位、型号规格、准确度等级、测量范围、出厂编号、

SY/T 7383—2017

制造年月和制造计量器具许可证标志及编号；接线端子标牌上的文字、数字与符号应正确、清晰、不应残缺；具有防爆要求的液位计，应具有防爆合格证和防爆标志。

液位计应通电正常；用数码指示的液位计显示的亮度均匀，不应出现笔划残缺现象。

5.2 示值误差

示值的最大允许误差有两种表示方式：

a) 示值的最大允许误差为 $\pm(a\%FS+b)$ 。

其中： a 为液位计的准确度等级； FS 为液位计的量程，单位为毫米（mm）； b 为数字指示液位计的分辨力，单位为毫米（mm），模拟指示液位计 b 取 0。

b) 示值的最大允许误差为 $\pm N$ 。

其中： N 为直接用长度单位表示的最大允许误差，单位为毫米（mm）。

5.3 回程误差

反射式、压力式的液位计回程误差应不超过示值最大允许误差绝对值的 1/2。其他液位计回程误差应不超过示值最大允许误差的绝对值。

5.4 设定点误差

设定点的最大允许误差有两种表示方式：

a) 设定点的最大允许误差为 $\pm a\%FS$ 。

其中： a 为液位计的准确度等级； FS 为液位计的量程，单位为毫米（mm）。

b) 设定点的最大允许误差为 $\pm N'$ 。

其中： N' 为直接用长度单位表示的设定点最大允许误差，单位为毫米（mm）。

5.5 切换差

具有位式控制的液位计，切换差应不超过设定点最大允许误差绝对值的 2 倍。

5.6 液位信号输出误差

液位信号输出的最大允许误差为 $\pm a\%FS'$ 。

其中： a 为液位计准确度等级； FS' 为输出电流信号的量程，单位为毫安（mA）。

5.7 防爆性能

具有防爆性能的液位计必须符合防爆等级要求。

5.8 绝缘电阻与绝缘强度

具有电源供电的液位计，在环境温度 $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $45\% \sim 75\%$ 条件下，其电源、接地端子（或外壳）之间的绝缘电阻不低于 $20\text{M}\Omega$ ；绝缘强度应符合施加表 1 所规定的试验电压，保持 1min 不出现击穿或飞弧现象。

表 1 液位计端子公称电压与试验电压

液位计端子公称电压, V	试验电压, V
$0 < U < 60$	500

表 1 (续)

液位计端子公称电压, V	试验电压, V
$60 \leq U < 130$	1000
$130 \leq U < 250$	1500

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

相对湿度：45%~75%。

6.2 其他条件

具有电源供电的液位计，电压变化不超过额定值的 $\pm 1\%$ ，频率变化不超过额定值的 $\pm 1\%$ 。

6.3 校准设备

校准时所需的仪器设备见表 2。视被校准液位计的测量范围和准确度等级要求，从表 2 的标准器中任选其一与辅助设备组合成套，形成液位计校准装置。液位计校准装置的扩展不确定度 U ($k=2$) 应不超过被校准液位计最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

表 2 校准设备

序号	仪器设备	最大允许误差或准确度等级	用途	
1	标准器	直线运动单元 (含编码器)	$\pm 0.01\text{mm}$	校准示值误差
2		溢流口	$\pm 0.2\text{mm}$	校准示值误差
3		激光干涉仪	$\pm 0.005\text{mm}$	校准示值误差
4		光栅尺	$\pm 0.01\text{mm}$	校准示值误差
5		钢板尺	$\pm 0.35\text{mm}$	校准示值误差
6	辅助设备	直流电流表	0.02 级	校准液位输出信号
7		温度传感器 (温度计)	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	温度测量
8		绝缘电阻表	10 级	绝缘电阻测试
9		耐电压测试仪	$\pm 3\%$	绝缘强度测试
10		压力传感器	$\pm 3\%$	压力测量与液位控制

6.4 校准介质

水；

温度： $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

SY/T 7383—2017

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

液位计的校准项目为：示值误差、回程误差、液位信号输出误差、设定点误差、切换差、绝缘电阻和绝缘强度。可根据委托者的要求进行校准项目的选择。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

7.2.1.1 目测，符合 5.1 的要求。

7.2.1.2 通电检查，符合 5.1 的要求。

7.2.2 示值误差的校准

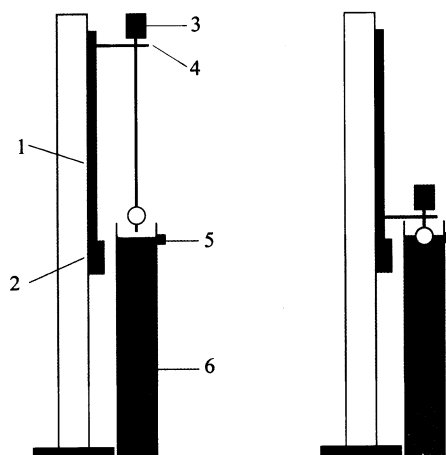
7.2.2.1 将液位计安装在液位计校准装置上。安装时要求液位计与水平面垂直，偏差不大于 1° 。

7.2.2.2 具有电源供电的液位计应通电预热（一般为 15min）。

7.2.2.3 校准方式：采用直接比较法，即被校准液位计的示值与液位计校准装置测得的实际液位值进行比较的方法。比较时可对准标准看被校，或对准被校看标准。首先，设置校准点，校准点在量程范围内按均匀分布的原则确定，一般上、下行程均选择 3 ~ 5 个点；上行程时，计算机或手动控制，从零位开始，当到达第一个校准点时，液面稳定后读取并记录数据。然后，依次测量各校准点并记录数据，直至上限；同理，下行程时，测量各校准点并记录相应数据，直至下限。取整个测量过程中示值误差最大值作为该液位计示值误差的测量结果。

一般只进行一个循环的校准，如果对校准结果有异议或委托者有特殊要求可进行三个循环的校准。

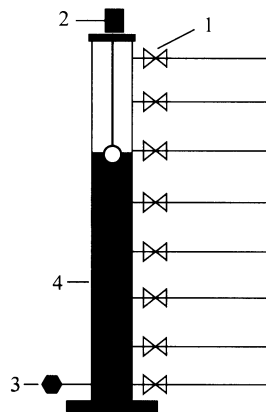
a) 方式一：用具有直线运动单元（含编码器）的装置进行校准。如图 1 所示，以溢流排水口位置为基准，保持水箱液位稳定，直线运动单元带动液位计相对液面上下移动，按选定的校准点依次测量，完成测量过程。



1—直线运动单元；2—伺服电机及编码器；3—液位计；4—支架；5—溢流排水口；6—水箱

图 1 直线运动单元装置示意图

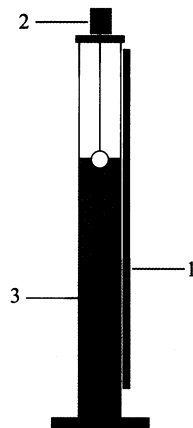
b) 方式二：用具有溢流口的装置进行校准。如图 2 所示，以液位计安装点为基准，控制水箱液位升降，按选定的溢流口为校准点依次测量，完成测量过程。



1—溢流口；2—液位计；3—压力传感器；4—水箱

图2 溢流口装置示意图

c) 方式三：用具有激光干涉仪（或光栅尺、钢板尺）的装置进行校准。如图3所示，以液位计安装点为基准，控制水箱液位升降，按选定的校准点依次测量，完成测量过程。



1—钢板尺；2—液位计；3—水箱

图3 其他装置示意图（以钢板尺为例）

示值误差按公式（1）和公式（2）计算，结果应符合5.2的要求。

示值误差计算公式：

$$\Delta_1 = H_d - H_{w1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta_2 = H_d - H_{w2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Δ_1, Δ_2 ——液位计上、下行程的示值误差，单位为毫米（mm）；

H_{w1}, H_{w2} ——液位计上、下行程示值对应的实际液位值（标准器示值），单位为毫米（mm）；

H_d ——液位计示值，单位为毫米（mm）。

7.2.3 回程误差

回程误差的校准与示值误差的校准同时进行。

回程误差按公式（3）计算，结果应符合5.3的要求。

SY/T 7383—2017

$$\Delta H = |H_{w1} - H_{w2}| \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ΔH ——回程误差，多次测量则取 ΔH 的最大值，单位为毫米 (mm)；

H_{w1} , H_{w2} ——上、下行程同一液位示值时的实际液位值，单位为毫米 (mm)。

7.2.4 液位信号输出误差

液位信号输出误差的校准可与示值误差的校准同时进行。在读取水箱实际液位值的同时，读取变送器输出的电流值；液位信号输出误差按公式 (4) 和公式 (5) 计算，结果应符合 5.6 的要求。

$$\Delta I_1 = I_1 - \left(\frac{I_m}{H_m} \times H_{w1} + I_0 \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta I_2 = I_2 - \left(\frac{I_m}{H_m} \times H_{w2} + I_0 \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

ΔI_1 , ΔI_2 ——液位计上、下行程的液位信号输出误差，单位为毫安 (mA)；

I_1 , I_2 ——液位计上、下行程的输出电流值，单位为毫安 (mA)；

I_m ——液位计的变送输出量程 (通常为 16)，单位为毫安 (mA)；

H_m ——液位计的量程 (即 FS)，单位为毫米 (mm)；

I_0 ——液位计的变送输出起始值，单位为毫安 (mA)。

7.2.5 设定点误差

设定点误差的校准过程与示值误差相同。设定点可调的液位计应在其量程 10%，50%，90% 附近的设定点上进行，或根据委托者要求选择。在上、下行程时分别读取各校准点实际液位值 H_{sw1} (上切换值) 和 H_{sw2} (下切换值)。按公式 (6) 计算液位计的设定点误差，结果应符合 5.4 的要求。

$$\Delta_{sw} = [(H_{sw1} + H_{sw2}) / 2] - H_{sp} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

Δ_{sw} ——位式控制的设定点误差，单位为毫米 (mm)；

H_{sw1} , H_{sw2} ——上、下行程输出状态改变时实际液位值，单位为毫米 (mm)；

H_{sp} ——设定点液位值，单位为毫米 (mm)。

7.2.6 切换差

与设定点误差校准同时进行。

按公式 (7) 计算液位计的切换差，结果应符合 5.5 的要求。

$$\Delta_{sd} = |H_{sw1} - H_{sw2}| \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

Δ_{sd} ——液位计的切换差，单位为毫米 (mm)；

H_{sw1} , H_{sw2} ——上、下行程输出状态改变时实际液位值，单位为毫米 (mm)。

7.2.7 绝缘电阻和绝缘强度

7.2.7.1 绝缘电阻

断开电源，将各电路本身端钮短路。用绝缘电阻表测量电源端子与接地端子（外壳）之间的绝缘电阻。测量时，应稳定 5s 后读数。结果应符合 5.8 的要求。

7.2.7.2 绝缘强度

断开电源，将各电路本身端钮短路。在耐电压测试仪上测量电源端子与接地端子（外壳）之间的绝缘强度。测量时，试验电压应从零开始增加，在 5s ~ 10s 内平滑均匀地升至试验电压规定值（误差不大于 10%），保持 1min 后，平滑地降低电压至零，切断试验电源。结果应符合 5.8 的要求。

8 校准结果

8.1 校准结果应记入校准记录，校准记录的格式参见附录 A。

8.2 校准的液位计应出具校准证书（校准报告），校准证书（校准报告）的格式参见附录 B。

8.3 校准证书（校准报告）应给出校准结果的不确定度评定报告，测量不确定度评定应符合 JJF 1059.1 的要求，参见附录 C。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过一年。

附录 A
(资料性附录)
液位计校准记录

原始记录(证书)编号: _____
 仪表名称: _____ 送检单位: _____
 型号: _____ 编号: _____ 制造厂: _____
 量程范围: _____ 工作介质: _____ 准确度等级: _____

示值误差和回程误差校准记录

校准说明	1. 使用的计量标准装置 名称: _____ 测量范围: _____ 编号: _____ 不确定度/最大允许误差/准确度等级: _____ 2. 证书号: _____ 3. 依据的技术文件(代号、名称): _____ 4. 环境条件: 温度: _____ °C; 湿度: _____ %RH				
液位计示值 mm	实际液位值 mm			回程误差 mm	示值误差 mm
	上行				
	下行				
	上行				
	下行				
	上行				
	下行				
	上行				
	下行				

示值最大误差 _____ 不确定度 $U_1 =$ _____ mm , $k = 2$
 回程最大误差 _____ 不确定度 $U_2 =$ _____ mm , $k = 2$

设定点误差和切换差校准记录

液位计设定值 mm	实际液位值 mm				切换差 mm	设定点误差 mm
	上切换					
	下切换					
	上切换					
	下切换					
	上切换					
	下切换					

设定点最大误差 _____ 不确定度 $U_3 =$ mm , $k = 2$
 切换差最大误差 _____ 不确定度 $U_4 =$ mm , $k = 2$

液位信号输出误差校准记录

实际液位值 mm	理论输出值 mA	液位计输出值 mA				输出误差 mA
		上行				
		下行				
		上行				
		下行				
		上行				
		下行				
		上行				
		下行				
		上行				
		下行				

液位信号输出最大误差 _____ 不确定度 $U_5 =$ mA , $k = 2$
 校准人员 _____ 核验人员 _____ 校准日期 年 月 日

附 录 B
(资料性附录)
校准证书内页格式

B.1 本次校准所使用的主要计量标准器：

设备名称	不确定度 / 准确度等级 / 最大允许误差	证书号	设备编号

B.2 校准地点：**B.3** 校准条件：

环境温度： ℃
测量范围：(~) m

相对湿度： %
校准介质：

B.4 校准结果：

校准项目	实际最大误差	不确定度
示值误差	mm	$U_1=$ mm, $k=2$
回程误差	mm	$U_2=$ mm, $k=2$
设定点误差	mm	$U_3=$ mm, $k=2$
切换差	mm	$U_4=$ mm, $k=2$
液位信号输出误差	mA	$U_5=$ mA, $k=2$
外观检查		/

-
1. 未经许可，部分采用本证书内容无效。
 2. 本证书提供的结果仅对本次被校准的器具有效。
 3. 本证书封面未加盖校准专用章无效。

附 录 C
(资料性附录)
测量结果不确定度评定报告

C.1 液位计示值误差的不确定度评定

C.1.1 测量方法

液位计示值校准是以液位计示值误差来衡量的，用被检液位计的示值与液位计校准装置测量的实际液位值进行比较，取整个测量过程中示值误差最大值作为测量结果。

C.1.2 测量条件

环境温度：20℃ ± 5℃。

相对湿度：45% ~ 75%。

校准介质：水。

C.1.3 数学模型

$$\Delta = H_d - H_w \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

Δ ——液位计示值误差，单位为毫米（mm）；

H_w ——实际液位值，单位为毫米（mm）；

H_d ——液位计示值，单位为毫米（mm）。

C.1.4 方差和灵敏系数

对公式（C.1）分别求偏导，得灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial H_d} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial H_w} = -1$$

C.1.5 输入量的标准不确定度

C.1.5.1 输入量 H_d 引入的标准不确定度

本标准规定液位计示值误差取各校准点示值误差的最大值，并且一般只进行一个循环的测量，因此，这里不考虑测量结果的重复性，仅考虑液位计液位示值分辨力引入的不确定度。该液位示值的分辨力为 δ （mm），考虑服从矩形分布，则分辨力引入的不确定度为：

$$u(H_d) = \frac{0.5\delta}{\sqrt{3}} = 0.29\delta$$

C.1.5.2 输入量 H_w 引入的标准不确定度

本标准规定的环境条件和介质条件下，液位计校准装置实际液位值测量的扩展不确定度为 $U(H_w)$ ($k=2$)，则其标准不确定度为：

$$u(H_w) = U(H_w) / k = U(H_w) / 2$$

C.1.6 标准不确定度汇总

标准不确定度分量见表 C.1。

表 C.1 示值测量标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	符号	灵敏系数	标准不确定度分量 $ c_i \times u(x_i)$
1	液位计示值分辨力	$u(H_d)$	1	$u(H_d)$
2	液位计标准装置（或标准器）	$u(H_w)$	-1	$u(H_w)$

C.1.7 合成标准不确定度的计算

各标准不确定度分量不相关，则合成标准不确定度按公式 (C.2) 计算：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{[u(H_d)]^2 + [u(H_w)]^2} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

- $u_c(\Delta)$ —— 示值误差的合成标准不确定度，单位为毫米 (mm)；
- $u(H_d)$ —— 输入量 H_d 引入的标准不确定度，单位为毫米 (mm)；
- $u(H_w)$ —— 输入量 H_w 引入的标准不确定度，单位为毫米 (mm)。

C.1.8 扩展不确定度的计算

取 $k=2$ ，则示值误差的扩展不确定度 $U_1=2 \times u_c(\Delta)$ 。

注 1：回差、设定点误差和切换差的不确定度与示值误差的不确定度相等。

注 2：进行三个循环的校准时，可考虑测量重复性带来的不确定度，此时，测量重复性采用极差法计算。

C.2 液位计信号输出误差测量结果的不确定度评定

C.2.1 测量方法

与液位计示值误差校准同时进行，在采集或读取实际液位值 H_w 的同时，采集或读取变送器输出的电流值 I ，取整个测量过程中电流信号输出误差最大值作为测量结果。

C.2.2 数学模型

$$\Delta_1 = I - \left(\frac{I_m}{H_m} \times H_w + I_0 \right) \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

- Δ_1 —— 液位计的信号输出误差，单位为毫安 (mA)；

- I ——液位计输出的电流值，单位为毫安（mA）；
 I_m ——液位计的变送输出量程，单位为毫安（mA）；
 H_w ——实际液位值，单位为毫米（mm）；
 H_m ——液位计的量程，单位为毫米（mm）；
 I_0 ——液位计变送输出起始值，单位为毫安（mA）。

C.2.3 方差和灵敏系数

对公式（C.3）分别求偏导，得灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta_1}{\partial I} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta_1}{\partial H_w} = -I_m / H_m$$

C.2.4 输入量的标准不确定度

C.2.4.1 输入量 I 引入的标准不确定度

这里不考虑测量结果重复性带来的影响。液位计信号输出，由直流电流表测量。0.02级直流电流表示值的分辨力为 δ' （mA），考虑服从矩形分布，落在宽度为 $0.5\delta'$ （mA）区间内，输入量 I 引入的标准不确定度为：

$$u(I) = 0.5\delta' / \sqrt{3} = 0.29\delta'$$

C.2.4.2 输入量 H_w 引入的标准不确定度

本标准规定环境条件和介质条件下，测量液位实际值 H_w ，使用的液位计校准装置的扩展不确定度为 $U(H_w)$ ($k=2$)，则实际液位值 H_w 引入的标准不确定度 $u'(H_w)$ 为：

$$u'(H_w) = U(H_w) / 2$$

C.2.5 标准不确定度汇总

标准不确定度分量见表 C.2。

表 C.2 信号测量标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	符号	灵敏系数	标准不确定度分量 $ c_i \times u(x_i)$
1	直流电流表分辨力	$u(I)$	1	$u(I)$
2	液位计标准装置（或标准器）	$u'(H_w)$	$-I_m/H_m$	$u'(H_w) I_m/H_m$

C.2.6 合成标准不确定度的计算

各标准不确定度分量不相关，则合成标准不确定度按公式（C.4）计算：

$$u_c(\Delta_1) = \sqrt{[u(I)]^2 + [u'(H_w) I_m / H_m]^2} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

$u_c(\Delta_1)$ ——液位计信号输出误差的标准不确定度，单位为毫安（mA）；

$u(I)$ ——输入量 I 引入的标准不确定度，单位为毫安（mA）；

$u'(H_w)$ ——输入量 H_w 引入的标准不确定度，单位为毫米（mm）；

I_m ——液位计的变送输出量程，单位为毫安（mA）；

H_m ——液位计的量程，单位为毫米（mm）。

C.2.7 扩展不确定度的计算

取 $k=2$ ，则信号输出误差的扩展不确定度 $U_2=2 \times u_c(\Delta_1)$ 。