

中华人民共和国国家标准

GB/T 24960—2010/ISO 8309:1991

冷冻轻烃流体 液化气储罐内液位的测量 电容液位计

Refrigerated light hydrocarbon fluids—
Measurement of liquid levels in tanks containing liquefied gases—
Electrical capacitance gauges

(ISO 8309:1991, IDT)

2010-08-09 发布

2010-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准等同采用 ISO 8309:1991《冷冻轻烃流体 罐内液化气液位的测量 电容液位计》(英文版)。

本标准等同翻译 ISO 8309:1991。

为便于使用,本标准还做了下列编辑性修改:

——“本国际标准”一词改为“本标准”;

——删除 ISO 8309:1991 的前言,重新编写本标准的前言;

——第 2 章规范性引用文件中,将一些适用于国际标准的表述修改为适用于我国标准的表述,将部分 IEC 标准替换为我国对应内容的国家标准,其余章节对应内容也同时修改;

——按 GB/T 1.1—2000 的要求对附录 A 和附录 B 中的公式进行统一编号。

本标准的附录 A 和附录 B 均为资料性附录。

本标准由全国天然气标准化技术委员会(SAC/TC 244)提出。

本标准由全国天然气标准化技术委员会(SAC/TC 244)归口。

本标准负责起草单位:中国石油西南油气田分公司天然气研究院。

本标准参加起草单位:中国石油西气东输管道公司南京计量测试中心、中国石油西南油气田分公司计量检测中心、中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司、中国海油天然气及发电有限责任公司、中国石油大连 LNG 项目部。

本标准主要起草人:许文晓、罗勤、张福元、段继芹、黄黎明、常宏岗、王沁、殷虹、赵静。

冷冻轻烃流体 液化气储罐内液位的测量 电容液位计

1 范围

本标准规定了装载冷冻轻烃流体的船上和岸上储罐所使用的电容液位计的基本要求和检定程序。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 3836.6 爆炸性气体环境用电气设备 第6部分:油浸型“o”¹⁾(GB 3836.6—2004,IEC 60079-6:1995,IDT)

GB 3836.7 爆炸性气体环境用电气设备 第7部分:充砂型“q”¹⁾(GB 3836.7—2004,IEC 60079-5:1997,IDT)

GB 3836.12 爆炸性气体环境用电气设备 第12部分:气体或蒸气混合物按照其最大试验安全间隙和最小点燃电流的分级¹⁾

GB 3836.14 爆炸性气体环境用电气设备 第14部分:危险场所分类¹⁾(GB 3836.14—2000,idt IEC 60079-10:1995)

GB/T 5332 可燃液体和气体引燃温度试验方法¹⁾(GB/T 5332—2007,IEC 60079-4:1975,IDT)

GB/T 10250 船舶电气与电子设备的电磁兼容²⁾(GB/T 10250—2007,IEC 60533:1999,IDT)

GB/T 17214.2—2005 工业过程测量和控制装置的工作条件 第2部分:动力¹⁾(IEC 60654-2:1979,IDT)

IEC 60079-0 爆炸性气体环境用电气设备 第0部分:通用要求¹⁾

IEC 60079-1 爆炸性气体环境用电气设备 第1部分:隔爆型“d”¹⁾

IEC 60079-2 爆炸性气体环境用电气设备 第2部分:正压外壳型“p”¹⁾

IEC 60079-7 爆炸性气体环境用电气设备 第7部分:增安型“e”¹⁾

IEC 60079-11 爆炸性气体环境用电气设备 第11部分:本质安全型“i”¹⁾

IEC 60092-504:1974 船上电气设备 第504部分:特性 控制与仪器²⁾

IEC 60654-1:1979 工业过程测量和控制装置工作条件 第1部分:气候条件¹⁾

IMO(国际海事组织) 大批运输液化气船舶构造和设备规范,决议 A. 328(IX)²⁾

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

准确度测试 accuracy test

确定误差范围的测试。

1) 作为岸上储罐内液位计的参考。

2) 作为船上储罐内液位计的参考。

3.2

气体危险区域 gas-dangerous space

气体或蒸气与空气混合时可能形成易燃混合物的区域。与 GB 3836.14 描述的适用于岸上储罐的“危险区域”及 IMO 决议 A.328(IX)中描述的适用于船上储罐的“气体危险区域或地带”含义相同。

3.3

测量参比点 gauge reference point

测量液位时作为参比的固定不变点。

3.4

本质安全结构 intrinsically safe construction

根据 GB 3836.4,通过测试证明在正常或故障状态下在规定的液体或蒸气中不会产生可燃火花的结构。

3.5

液位 liquid level

沿液位计中心线测量的储罐中液面与测量参比点之间的距离。

3.6

偏置常数 offset constant

主传感器在罐内安装后,从储罐底部到主传感器下端的高度。

3.7

最大允差 maximum permissible error

系统中规定的允许误差极值。

3.8

传感器 sensors

3.8.1

主传感器 main sensor

液位计中对液位变化做出响应的部分。

3.8.2

参比传感器 reference sensor

液位计中测定液体介电常数的部分。

3.9

标准刻度表 standard scale

用以测试液位计准确度的一种量具。

4 液位计设计

电容液位计由图 1 所示的部件构成。

液位计的材质和构造应使其暴露于表 1 和表 2 所列的环境条件下时不受损害。

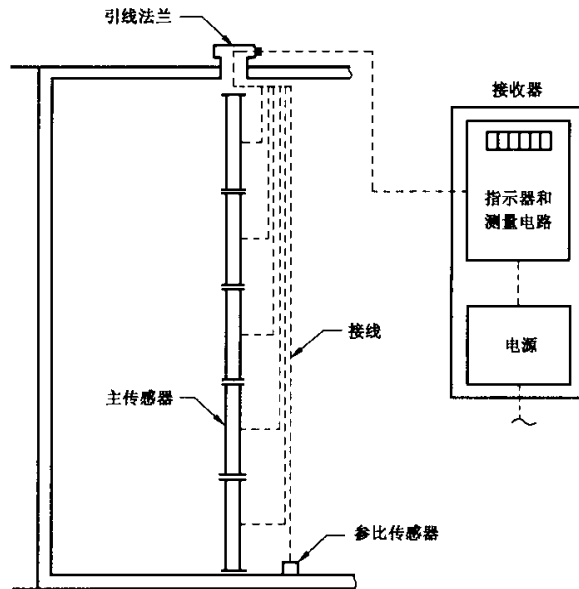


图 1 电容液位计示例

表 1 电容液位计各部件的环境条件(岸上储罐)

	罐 内	罐 外	
		外露部分	其他部分
温 度	LNG: -165 °C ~ +55 °C LPG: -50 °C ~ +55 °C	-25 °C ~ +70 °C ^a	0 °C ~ 55 °C ^a
相对湿度	0 °C ~ 40 °C 时为 5% ~ 100% ^a 高于 40 °C 时为 5% ~ 70%		
注 1: 如果是液化天然气和液化石油气以外的液体, 储罐内低温限制可根据该液体的沸点而定。 注 2: 安装在罐内设备的各部件都应具备足够的强度来承受液体的静压和波动或其他作用。 ^a 引用 IEC 60654-1:1979。			

表 2 电容液位计各部分的环境条件(船上储罐)

	罐 内	罐 外	
		外露部分	其他部分
温 度	LNG: -165 °C ~ +80 °C LPG: -50 °C ~ +80 °C	-25 °C ~ +70 °C ^a	0 °C ~ 55 °C
振 动	设备的自然频率不在 0 Hz ~ 80 Hz ^a 振幅: 2.0 Hz ~ 13.2 Hz 范围内为 ±1.0 mm 加速度: 13.2 Hz ~ 80 Hz 范围内为 0.7 G 最大加速度: 0.7 G		— — — —
相对湿度	0 °C ~ 40 °C 时为 0% ~ 100% ^a 高于 40 °C 时为 0% ~ 70%		

表 2 (续)

	罐 内	罐 外	
		外露部分	其他部分
倾 斜	倾角(所有方向):22.5° 横摇角(横摇周期 10 s):22.5°		
纵 摇	加速度:垂直方向为+1.0 G ^a		
电磁兼容性	符合 GB/T 10250 的规定		
<p>注 1: 上表中所有值都指示操作时的条件。</p> <p>注 2: 连接到传感器和储罐内的接线应具备足够的强度来承受液体波动或其他作用。</p> <p>注 3: 所有安装在露天甲板上的设备都应给予适当的保护,防止其暴露或浸入海水中。</p> <p>注 4: 如果是液化天然气和液化石油气以外的液体,储罐内低温限制可根据该液体的沸点而定。</p> <p>^a 引用 IEC 60092-504:1974。</p>			

4.1 传感器

传感器应由主传感器和参比传感器构成。

4.1.1 主传感器

主传感器由双同轴管或类似结构组成的两个电极构成。主传感器通过测量因液位变化而导致的传感器电容值的变化来测量液位。主传感器在构造上应考虑以下要求:

- 为了达到每个测量范围所要求的测量准确度,应将电极分为适当长度的几个部分,使其能够提供第 6 章规定的准确度。
- 非传感部分,也就是被分开电极的连接处,应尽可能小,以减少连续测量时的断点。
- 为了维持所有电极的线性关系,例如,双同轴管电极,在生产时应严格控制管子内外径尺寸的变化。两管应紧密装配以防止其同轴移动,但应尽可能限制在电极之间使用支撑。
- 应采取的措施使电极内外的液体能够自由循环,以保持电极内外的液体组成相同。建议有规律地在一定间隔开孔以供液体流动。

4.1.2 参比传感器

参比传感器应始终浸没在液体中,以便检测液体介电常数的变化。使用参比传感器是在液体介电常数变化时为主传感器提供补偿。进行高准确度测量时参比传感器是必须的。参比传感器既可以是某一专门设备;也可以是完全浸没在液体中的主传感器的一部分。

直接安装在储罐底部的专用参比传感器的构造应以不聚集杂质、且尽可能简单以方便清洗与维修为宜。

4.2 接收器

接收器由下列单元构成:

- 供电单元,提供电源驱动传感器;
- 测量单元,用来测量阻抗变换、传感器信号的放大和转换;
- 控制单元,用于开关、计算和逻辑操作,控制设备的所有功能;
- 指示器。

接收器显示测量结果,并应满足下列条件:

- 控制器单元的性能应易于校准;
- 接收器的设计应对对测量有重要意义的数值,如传感器的零点等,不受电源故障、振动等的影响,且每次测量时都应易于校准。

4.3 接线

穿过储罐上的引线法兰连接传感器和接收器的接线应满足下列条件:

- a) 接线应不受电干扰的影响；
- b) 储罐内接线应能经得起低温及振动或流动液体造成的任何冲击；
- c) 储罐上的引线法兰应为密封结构，并能把储罐内外安全地隔离。

5 环境条件和允许的电源波动

电容液位计各部分的环境条件见表 1(岸上储罐)和表 2(船上储罐)。电源波动不应超过表 3 中的规定值。应注意：这些极限值是防止系统损坏所必需，而不是用来维持其准确度的。

表 3 电源波动

电 源	变 量	变 化		
		永久变化	瞬时变化	
		变量值 %	变量值 %	恢复时间 s
交流电	电压频率	$\pm 10^*$ ± 5	$\pm 20^*$ ± 10	3^* 3
电 池	电 压	$+30^*$ -25	—	—

注：电池充电过程中不连接设备，或使用稳压设备时，电池的电压变化值可降低到 $\pm 20\%$ 。
^a 引用 GB/T 17214.2—2005 和 IEC 60092-504:1974。

6 性能

6.1 主传感器和接收器的合成误差

主传感器和接收器的合成误差(定义见 8.2.3)不应超过下列极限值：

- a) A 级：5 mm
- b) B 级：按需要而定

6.2 最大允差

一个系统的液位计的最大允差(定义见 3.7)不应超过下列极限值：

- a) A 级： $(7.5+0.05L)$ mm
式中 L 为液位，m
- b) B 级：按需要而定

6.3 液位指示

应在某个仪器上指示液位，分辨率为：

- a) A 级：1 mm
- b) B 级：按需要而定

6.4 液位计等级

根据实际应用选择液位计等级(A 级或 B 级)。

7 安装

7.1 主传感器

7.1.1 原则上，主传感器的最低点应直接或用一连接件固定在储罐底部。传感器最低点的位置不应随温度变化而过多的改变。

7.1.2 应沿着具有足够强度的支柱安装主传感器，并按一定的间隔对其进行加固。传感器的结构应具有柔韧性，以便热胀冷缩时沿支柱垂直移动。

7.1.3 主传感器应与罐底成垂直方向安装。

7.2 参比传感器

为了使由组成或温度变化而造成的液体分层引起的介电常数差降低到最小,主传感器的感应部分和参比传感器应安装得尽可能的接近。因此,除了主传感器,还要安装参比传感器时,两传感器之间的距离应降至最小,且应使用参比传感器距液体表面最近的部分作为测量段。

当将主传感器的某一段用作参比传感器时,应使用距离液面最近的浸入液体的测量段。

7.3 接线

7.3.1 在小间隔内将储罐内的任何接线固定在储罐的刚性元件或其他结构上,以避免过度外力(如液体的波动)施加到接线柱上。

7.3.2 接线柱应为坚固的结构,应用锁定装置牢固地保护起来,防止因振动或温度变化引起松动。

7.3.3 为防止由于潮湿气体冷凝引起的绝缘性能的下降,应使用绝缘不渗透的材料密封引线法兰。

8 准确度保证

8.1 一般要求

测量液位时应进行切实可行的校正,自动校正更好。

8.2 准确度测试

传感器和接收器制造完成后,应按 8.2.1 和 8.2.2 的规定分别对主传感器和接收器进行准确度测试。

8.2.1 主传感器的准确度测试

主传感器的准确度测试是逐段测试其线性。主传感器的每个测量段都应标出 5 个或更多的等距离点作为测试点。

将传感器浸入液氮、液态氟化烃制冷剂或其他具有相似介电常数的液体中测定每个测试点处的电容。然后将测得的电容计算的液位与用标准刻度表测量的实际液位进行对比。

8.2.2 接收器的准确度测试

主传感器的每段测量电路上都应进行接收器的准确度测试。该项测试由两部分组成:沿主传感器每个测量段长度规定 5 个或更多等距离划分点的测试值;并将与这些测试值相对应的标准电容器连接到接收电路上。

读取接收器指示的液位,并与由测试值模拟的液位进行对比。

现场安装中使用的电缆长度大于 300 m 时,上述测试应与一个类似测试相结合,在该类似测试中,连接标准电容器和接收器的电缆与实际电缆的长度相同。

8.2.3 合成误差

合成误差应视为 8.2.1 和 8.2.2 中所规定测试的各仪器最大误差平方和的平方根。

8.3 传感器长度测量

应测量主传感器每个测量段的长度,测量准确度应优于 0.1 mm,测量时应同时记录温度。

8.4 安装后的检查和测试

液位计现场安装后应进行下列检查和测试:

- 根据设计图检查以确认每个部分均已装配、安装或连接。这些检查应特别注意储罐内部。
- 安装在储罐内后,应测量并记录偏置常数,同时记录储罐内的温度。
- 应确定所有装配部分以一个整体模式正常操作。

8.5 投产后的检查和测试

建议定期进行下列检查和测试:

- 检查以确认储罐内传感器、电缆等处于正常状态(储罐被打开时可进行此项检查);
- 液位计交叉检查(在一个储罐内安装两个或多个液位计时);

c) 接收器测试按 8.2.2 中规定方法进行。

9 气体危险区域的仪器要求

液位测量系统应符合相关国家标准或国际标准,如 GB 3836.6、GB 3836.7、GB 3836.12、GB 3836.14、IEC 60079-1、IEC 60079-2、IEC 60079-7、IEC 60079-11、IEC 60092-504 和 IMO 决议 A.328(IX)中 10.2。

附录 A
(资料性附录)
一般原理

由式(A.1)计算真空(介电常数为 ϵ_0)中两个平行金属板的电容 C_0 :

$$C_0 = \frac{aH}{d} \times \epsilon_0 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中的 a 、 H 和 d 的含义见图 A.1。

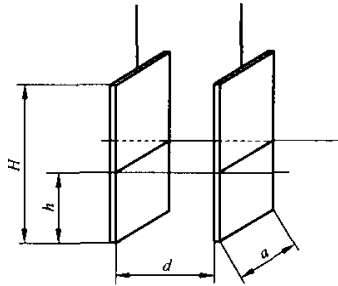


图 A.1 基本原理图

由式(A.2)计算介电常数为 ϵ_G 的气体中金属板的电容 C_G :

$$C_G = \frac{aH}{d} \times \epsilon_G \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

当 2 个金属板之间介电常数为 ϵ_L 的液体高度达到 h 时(见图 A.1),金属板的电容 C 由式(A.3)计算:

$$\begin{aligned} C &= \frac{a(H-h)}{d} \times \epsilon_G + \frac{ah}{d} \times \epsilon_L \\ &= \frac{aH}{d} \times \epsilon_G + \frac{ah}{d} (\epsilon_L - \epsilon_G) \\ &= C_G + C_G \times \frac{h}{H} \left[\frac{\epsilon_L}{\epsilon_G} - 1 \right] \quad \dots\dots\dots (A.3) \end{aligned}$$

由于比率 ϵ_G/ϵ_0 非常接近 1,

$$\begin{aligned} \frac{\epsilon_L}{\epsilon_G} &= \frac{(\epsilon_L/\epsilon_0)}{(\epsilon_G/\epsilon_0)} \\ &= \epsilon_{L,0}/\epsilon_0 \\ &= \epsilon_{L,0} \quad (\text{液体的相对介电常数}) \end{aligned}$$

$$C = C_G + C_G \times \frac{h}{H} (\epsilon_{L,0} - 1)$$

假设 $\frac{C_G}{H} (\epsilon_{L,0} - 1) = b$

$$C - C_G = bh$$

因此电容的变化与液面高度 h 成正比。

附录 B
(资料性附录)
误差分析

A 级液位计产生误差的主要原因如下:

B.1 与液位无关的误差

B.1.1 由主传感器的非线性产生的误差³⁾

主传感器由两根管子构成,每根管子都应具有精确的圆形截面。该类误差产生于这些管子的变形或位移,可按 8.2.1 所描述的方法估计这些误差。通常,这些非线性值小于 5 mm,但不会得到补偿,因此成为一种误差因素。

假定主传感器某测量段末端的间隙造成的非线性可忽略不计。

B.1.2 电缆中杂散电容造成的误差

这些误差来源于沿传感器和接收器之间电缆不规则产生的“杂散电容”。一定的天气条件或其他因素都会造成这种现象的发生。

B.1.3 接收器误差

相关技术的进步降低了与电路有关的误差。因此,该类误差主要归因于分辨极限。

B.1.4 误差估算

上述三类误差中,B.1.2 所述误差是最难估算的。研究表明,B.1.2 中的误差估算约为 1 mm 液位/100m 电缆。船上的最大电缆长度为 100 m~200 m,陆上最大电缆长度约为 500 m。

一般而言,假定 B.1.1~B.1.3 的总误差 e_0 约为 7.5 mm,目前这个误差值是不能避免的。

B.2 与液位有关的误差

B.2.1 由传感器材料(铝)³⁾的线性膨胀系数的不确定度产生的误差 e_1 (以毫米计)

$$e_1 = 0.03 \times \bar{\alpha} \times (T_R - T_L) \times L \times 10^3 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$\bar{\alpha}$ ——温度介于 T_R 和 T_L 之间时铝的平均线性膨胀系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

T_R ——环境温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

T_L ——液体温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

L ——液位,单位为米(m)。

当 T_R 等于 $+20^{\circ}\text{C}$, T_L 等于 -160°C 时, $\bar{\alpha}$ 将约等于 $18 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

这时, $e_1 = 0.097 L$

B.2.2 由液体温度的假设值和实际值之间的差异产生的误差 e_2 (以毫米计)

$$e_2 = \alpha \times \overline{\Delta T} \times L \times 10^3 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

α ——传感器处于液体温度时的线性膨胀系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

$\overline{\Delta T}$ ——液体温度假设值和实际值之间的平均差值(根据现有数据,约为 2°C 或更低),单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

L ——液位,单位为米(m)。

当液体温度为 -160°C , α 将约等于 $12 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

3) 见 NIST(前美国国家标准局)IR 82-1668,液化天然气液位计的不确定度测定,第 18 页。

如果 $\overline{\Delta T}=2\text{ }^{\circ}\text{C}$,则

$$e_2=0.0024L$$

上述三种主要误差(e_0 、 e_1 和 e_2)的合成误差 e 随储罐内液位 L 的不同而变化,如表B.1所示。如果以图形表示,这种变化见图B.1。

最大允差见6.2和图B.1,仅作参考。

表 B.1 合成误差 e 随储罐内液位 L 的变化

L m	e_0 mm	e_1 mm	e_2 mm	$e = \sqrt{e_0^2 + e_1^2 + e_2^2}$ mm
0	7.5	0	0	7.5
10	7.5	1.0	0.2	7.6
20	7.5	1.9	0.5	7.8
30	7.5	2.9	0.7	8.1
40	7.5	3.9	1.0	8.5
50	7.5	4.9	1.2	9.0

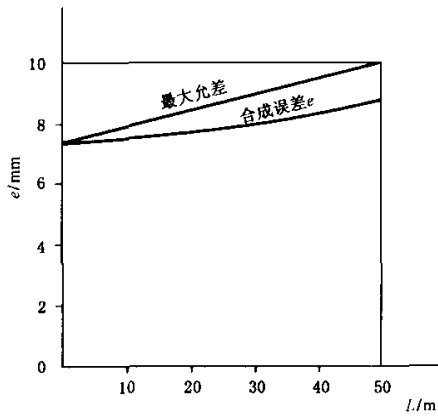


图 B.1 储罐内液位 L 与合成误差 e 之间的关系