

中华人民共和国工业和信息化部 石油和化工计量技术规范

JJF（石化）XXXX-XXXX

天然气烃露点测定仪校准规范

Calibration Specification for
Natural Gas Hydrocarbon Dew Point Analyzers

（报批稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

天然气烃露点测定仪校准规范

JJF(石化) XXXX-XXXX

Calibration Specification for

Natural Gas Hydrocarbon Dew Point Analyzers

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：中国测试技术研究院化学研究所

国家管网集团联合管道有限责任公司西气东输
分公司

中国石油化工股份有限公司天然气榆济管道分公
司

参加起草单位：中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司天
然气研究院

本规范主要起草人：

邓凡锋（中国测试技术研究院化学研究所）

宋超凡（国家管网集团联合管道有限责任公司西气东输分公司）

姜琛（中国石油化工股份有限公司天然气榆济管道分公司）

参加起草人：

周理（中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司天然气研究院）

赵星宇（中国测试技术研究院化学研究所）

崔健（国家管网集团联合管道有限责任公司西气东输分公司）

目 录

引言.....	(IV)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
5 校准条件.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 测量标准及其他设备.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(3)
6.1 校准项目.....	(3)
6.2 校准方法.....	(3)
7 校准结果的表达.....	(4)
7.1 校准记录.....	(4)
7.2 校准证书.....	(4)
7.3 不确定度.....	(4)
8 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 天然气烃露点测定仪校准记录格式.....	(6)
附录 B 天然气烃露点测定仪校准证书的内页格式.....	(8)
附录 C 天然气烃露点温度与气体压力的对应关系及计算.....	(9)
附录 D 天然气烃露点测定仪示值误差不确定度评定示例.....	(10)
附录 E 天然气烃露点测定仪重复性评定示例.....	(13)
附录 F 天然气烃露点测定仪示值漂移评定示例.....	(14)

引言

本规范以JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》等基础性系列规范进行编制。

本规范主要参考GB/T 27895—2011《天然气烃露点的测定 冷却镜面目测法》、SY/T 7484—2020《天然气 烃露点的测定 冷却镜面自动检测法》制定。

本规范为首次发布。

天然气烃露点测定仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围（-40~20）℃天然气烃露点测定仪（以下简称烃露点仪）校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

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 概述

在恒定测试压力下，天然气样品以一定流量流经烃露点仪气室中的抛光金属镜面。该镜面可以自动降温并准确测量镜面温度，同时可以实现自清洁。当气体随着镜面温度的逐渐降低，刚开始析出凝析物时，烃露点仪通过镜面反射光信号的变化自动检测并判断此凝析物是否为液态烃。若不是烃凝析物，烃露点仪将继续降温；若检测为烃凝析物，烃露点仪将记录此时的镜面温度和压力，此时所测量到的镜面温度即为该压力下天然气的烃露点。天然气烃露点仪器原理示意图如图 1 所示。

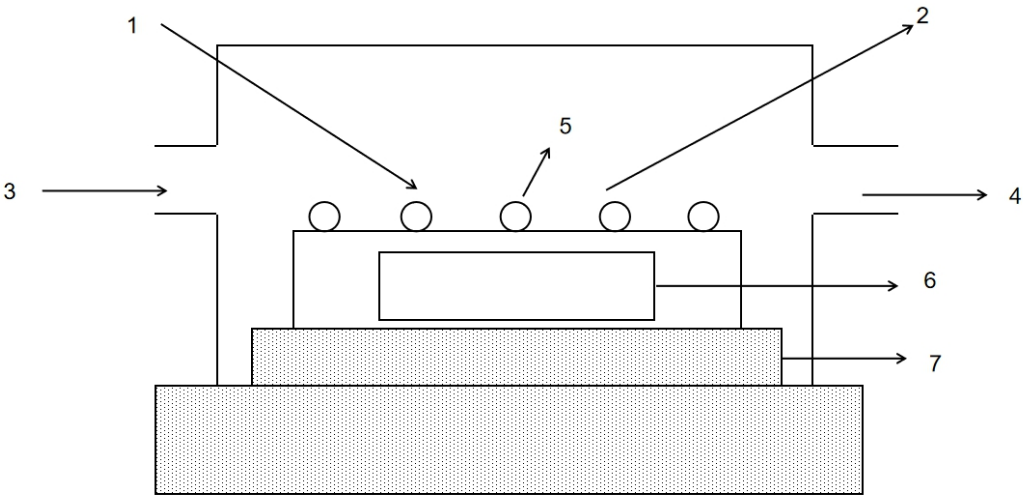


图 1 天然气烃露点仪原理示意图

1—发射光信号；2—接收光信号；3—进气口；4—出气口；5—液态丙烷

6—温度传感器；7—热电制冷器冷端

4 计量特性

具体计量特性见表1。

表1 烃露点仪计量特性一览表

序号	项目	技术要求	
1	示值误差/℃	-40~20	MPE：±2.0
2	重复性/℃	MPE：±1.0	
3	示值漂移/℃	MPE：±1.0	
注： 1 MPE 为最大允许误差。 2 以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。			

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度条件

环境温度: (5~40)℃。

5.1.2 湿度条件

相对湿度: 不大于 85%。

5.1.3 其他条件

工作环境应无影响烃露点仪正常工作的电磁场及干扰气体。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准名称及技术要求
1	示值误差	数字压力表: 测量范围 (0~1.0) MPa, 分辨力 0.001 MPa, MPE ± 0.01 MPa
		流量计: 测量范围 (0~0.5) L/min, 分辨力 0.01 L/min, MPE ± 0.1 L/min
		高纯丙烷气体标准物质: 浓度 99.95 mol/mol, 不确定度 $U_{rel} \leq 0.01\%$ ($k=2$)
		高纯甲烷气体标准物质: 浓度 99.99 mol/mol, 不确定度 $U_{rel} \leq 0.01\%$ ($k=2$)

2	重复性	MPE: $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
3	示值漂移	MPE: $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

烃露点仪的校准项目见表 2。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前准备

6.2.1.1 外观检查

检查烃露点仪的外形结构是否完好, 型号规格、出厂编号、制造厂商等应有明确标注; 仪表外露部件不应出现松动、破损等问题, 烃露点仪开机后可以正常工作; 确保供气线路通畅, 无任何固体和液体污染物; 将零点气体和丙烷气体标准物质分别连接到相应的端口, 气体的输出压力和流量应符合烃露点仪使用说明书要求。

6.2.2 示值误差

烃露点仪通电预热稳定后, 分别通入零点气体和气体标准物质调整烃露点仪的零点和示值。依次通入 0.1 MPa、0.2 MPa、0.3 MPa、0.4 MPa、0.5 MPa、0.6 MPa 的丙烷气体标准物质进行示值误差校准。

校准时, 通入气体标准物质待示值稳定后, 记录示值, 每个压力点重复测量不少于 6 次, 取后 6 次测量数据的算术平均值作为烃露点仪各压力点的示值, 丙烷标准物质露点与温度和压力的理论计算值见附录 C。按式 (1) 计算各压力点的示值误差 ΔT , 取不同压力点中示值误差的最大值为烃露点仪的示值误差, 气体标准物质露点值见附录 C。

$$\Delta T = \bar{T} - T_s \quad (1)$$

式中:

$\bar{T}$ ——6 次露点示值的算术平均值, $^{\circ}\text{C}$;

T_s ——气体标准物质露点值, $^{\circ}\text{C}$;

ΔT ——示值误差, $^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.3 重复性

以 6.2.2 示值误差的测量数据进行重复性计算, 取后 6 次测量数据计算相对标准偏差 s_r 。取最大的 s_r 作为烃露点仪测量重复性, 按式 (3) 计算重复性 s_r 。

$$s_r = \frac{1}{\bar{T}} \sqrt{\frac{\sum_1^6 (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

T_i — 烃露点仪第 i 次测量的示值，℃；

$\bar{T}$ — 烃露点仪示值的算术平均值，℃；

n — 重复测量次数。

s_r — 相对标准偏差，℃。

6.2.4 示值漂移

烃露点仪通电预热稳定后，分别通入零点气体和0.3 MPa的气体标准物质调整烃露点仪的零点和示值。然后通入0.1 MPa的气体标准物质，当示值稳定至少5 min后读取稳定示值为 T_{s0} 。对于使用中的烃露点仪，应连续运行4 h，每间隔0.5 h通入上述同一气体标准物质并记录稳定示值为 T_{si} 。按（4）式计算量程漂移：

$$\Delta S_i = T_{si} - T_{s0} \quad (4)$$

取绝对值最大的 ΔS_i 作为烃露点仪的漂移。

式中：

ΔS_i — 烃露点仪第 i 次测量漂移值，℃；

T_{si} — 烃露点仪第 i 次测量的漂移后示值，℃；

T_{s0} — 烃露点仪第 i 次测量的漂移前示值，℃。

7 校准结果的表达

7.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果，推荐的校准记录格式见附录 A。

7.2 校准证书

经校准的烃露点仪应出具校准证书，校准结果应在校准证书上反应。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071-2010 中 5.12 的要求，推荐的校准证书内页格式见附录 B。

7.3 不确定度

校准证书应给出个校准项目的扩展不确定度，评定示例见附录 D。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由烃露点仪的使用情况、使用者、烃露点仪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，建议一般不超过 1 年。

附录 A

天然气烃露点测定仪校准记录格式

基本信息						
委托单位		原始记录号		校准证书号		
仪器名称		规格型号		设备编号		
制造厂商		环境温度	℃	相对湿度	%	
校准使用的主要标准器（标准物质）/主要仪器						
名称	型号/编号	证书号	测量范围	有效期	不确定度/准确度等级/最大允许误差	
校准前检查						
1. 仪器外观完好，规格型号、出厂编号、测量范围等标注明确 是□ 否□						
2. 仪器外露部件可以完好，未出现松动、破损等问题 是□ 否□						
3. 仪器供气管路通畅，无固体和液体污染物 是□ 否□						
校准结果						
示值（℃） 压力（MPa） 序号	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1						
2						
3						
4						
5						
6						
被校烃露点平均值/℃						
烃露点标准值/℃						
示值误差/℃						

重复性/℃									
记录时间/h	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
示值/℃									
示值漂移/℃									
扩展不确定度/℃ ($k=2$)									

校准员：

核验员：

附录 B

天然气烃露点测定仪校准证书的内页格式

证书编号 XXXXXX—XXXX					
校准机构授权说明					
校准的技术依据 JJF(石化) XXX-XXX 《天然气烃露点测定仪校准规范》					
校准环境条件及地点					
地点					
环境温度	℃	相对湿度	%	其他	
校准使用的计量(基)标准装置					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差		计量(基)标准 证书编号	有效期至
校准结果					
序号	项目	技术要求		校准结果	
				测量值	扩展不确定度 /℃ (k=2)
1	示值误差/℃	(0.1~0.6) MPa	(-40~20)℃		
2	重复性/℃				
3	漂移	0.1 MPa			
备注					

附录 C

天然气烃露点温度与气体压力的对应关系及计算

天然气主要是由烃类以及少量非烃类组成的混合物，其相态因其所处温度、压力的不同有所变化，有时是气相或者液相，有时则是处于平衡共存的两相（例如气液、液固、或气固）甚至是更多的相。为此需要了解已知组成的天然气在一定压力、温度下的相特性，例如其压力-摩尔体积（或质量体积）-温度（ p - V - T 或 p - O - T ）之间的关系图，即描述其在各种压力和温度组合下存在不同相（例如气液两相）的相图。烃类体系的相图可以由实验数据绘制，也可通过热力学模型法预测。目前，天然气相图描述及相平衡计算大多采用有关软件中热力学模型由计算机完成，本规范选择丙烷纯物质的 Antoine 公式进行计算比对。纯丙烷的饱和蒸汽压只是温度 T 的函数，可以由 Antoine 公式计算：

$$\lg P = A - \frac{B}{T+C} \quad (C.1)$$

式中：

P -压力，MPa；

T -烃露点温度，℃。

A 、 B 、 C 为 Antoine 方程的经验常数，当气体为纯丙烷时 $A=3.92828$ ， $B=803.997$ ， $C=247.04$ ；本规范采用的纯丙烷标气，其在不同压力下所对应的烃露点温度经过公式 (C.1) 计算，部分值见表 C.1。

表 C.1 丙烷理论露点与压力对照表

压力/MPa	露点/℃	露点/K
0.112	-40	233.15
0.139	-35	238.15
0.168	-30	243.15
0.203	-25	248.15
0.244	-20	253.15
0.291	-15	258.15
0.343	-10	263.15
0.404	-5	268.15
0.471	0	273.15
0.549	5	278.15
0.638	10	283.15
0.734	15	288.15
0.839	20	293.15

附录 D

天然气烃露点测定仪示值误差不确定度评定示例

D.1 测量方法

将纯丙烷标准气体以不同压力通入被校准烃露点测定仪,准确测量通入气体的压力,计算出对应的烃露点标准值,被校准烃露点仪显示值为测量值。计算依据参考表 D.1 所示。

D.2 测量模型

$$\Delta T = T_d - T_b \quad (\text{D.1})$$

式 (D.1) 中

ΔT — 被校烃露点仪示值误差, $^{\circ}\text{C}$;

T_d — 被校烃露点仪的示值平均值, $^{\circ}\text{C}$;

T_b — 烃露点标准值, $^{\circ}\text{C}$ 。

D.3 示值误差不确定度评定

D.3.1 不确定度来源

烃露点仪测量结果的示值误差不确定度来源主要由上级标准给出的烃露点仪不确定度 $u(T_B)$, 被校烃露点仪分辨力引入的不确定度 $u(T_1)$, 由示值重复性估算的不确定度 $u(T_2)$, 甲烷标准物质和纯丙烷标准物质引入的不确定度忽略不计。

D.3.2 由上级标准所给出的烃露点仪不确定度 $u(T_B)$

主要考虑数字压力测量不确定度引入的烃露点标准不确定度 $u(T_B)$, 数字压力计量程为 (0~6) MPa, 准确度等级为 0.02 级, 其最大允许误差 ΔP 为:

$$\Delta P = 6 \times 0.0002 \text{ MPa} = 0.0012 \text{ MPa}$$

$$u(P) = \frac{\Delta P}{\sqrt{3}} = 0.000289 \text{ MPa}$$

由 Antoine 公式 $\lg P = A - \frac{B}{T+C}$ (纯丙烷的经验参数 $A=3.92828$, $B=803.997$,

$C=247.04$) 可知 $T = \frac{B}{A - \lg P} - C$ 。

对 P 求偏导数, 得到

$$\frac{\partial T}{\partial P} = \frac{B}{(A - \lg P)^2 \ln 10} \quad (\text{D.2})$$

将最大允许误差 $\Delta P=0.0012$ MPa 代入式 (C.2), 计算后引入的烃露点标准不确定度为:

$$u(T_B) = \frac{803.997}{(3.92828 - \lg 0.0012)^2 \times 0.0012 \ln 10} \times u(P) ^\circ\text{C} = 0.22^\circ\text{C}$$

即由上级标准引入的不确定度为: 0.22°C

D.3.3 量化误差 $u(T_1)$

被校烃露点仪分辨率为 0.1°C , 且均匀分布

$$u(T_1) = \frac{0.1/2}{\sqrt{3}} = 0.029^\circ\text{C}$$

D.3.4 由示值重复性估算的不确定度 $u(T_2)$

以烃露点温度 0.0°C 为例, 此时对应的压力应为 0.471 MPa, 在相同条件下重复测试 6 次, 结果见表 D.1。

表 D.1 0.0°C 点测量数据

序号	1	2	3	4	5	6
数据	0.3°C	0.4°C	0.3°C	0.2°C	0.2°C	0.5°C

单次实验标准偏差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_d)^2}{n-1}} = 0.117^\circ\text{C}$$

于是得到示值重复性引起的不确定度:

$$u(T_2) = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.048^\circ\text{C}$$

D.3.5 不确定分量汇总

不确定度来源见表 D.2。

表 D.2 不确定分量表

不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量的值/ $^\circ\text{C}$
$u(T_B)$	由上级标准所给出的仪器的不确定度	0.22
$u(T_1)$	由被校仪器分辨力引入的不确定度	0.029
$u(T_2)$	由示值重复性估算的不确定度	0.048

D.4 合成标准不确定度

以上各量互不相关, 故合成标准不确定度为:

$$u(T) = \sqrt{u^2(T_B) + u^2(T_1) + u^2(T_2)} = 0.23^\circ\text{C}$$

D.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U = 2u(T) = 0.46^\circ\text{C}$

附录 E

天然气烃露点测定仪重复性评定示例

E.1 测量方法

测量方法见 6.2.3。

E.2 测量模型

烃露点测定仪重复性的测量模型见式 (E.1)

$$s_r = \frac{1}{\bar{T}} \sqrt{\frac{\sum_1^6 (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (\text{E.1})$$

式中：

T_i — 烃露点仪第 i 次测量的示值，℃；

$\bar{T}$ — 烃露点仪示值的算术平均值，℃；

n — 重复测量次数。

s_r — 相对标准偏差，℃；

E.3 烃露点测定仪测量结果重复性评定

以烃露点 0.0℃ 为例，在相同条件下重复测试 6 次，结果见表 E.1。

表 E.1 0.0℃ 点测量重复性数据

序号	1	2	3	4	5	6
测量值	0.2℃	0.1℃	0.2℃	0.1℃	0.2℃	0.4℃

计算测量值的重复性：

$$s_r = \frac{1}{\bar{T}} \sqrt{\frac{\sum_1^6 (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} \times 100\% \approx 0.548\%$$

附录 F

天然气烃露点测定仪示值漂移评定示例

F.1 测量方法

测量方法见 6.2.4。

F.2 测量模型

烃露点测定仪示值漂移的测量模型见式 (F.1)

$$\Delta S_i = T_{si} - T_{s0} \quad (\text{F.1})$$

式中：

ΔS_i — 烃露点仪第 i 次测量漂移值，℃；

T_{si} — 烃露点仪第 i 次测量的漂移后示值，℃；

T_{s0} — 烃露点仪第 i 次测量的漂移前示值，℃。

F.3 烃露点测定仪示值漂移评定

以烃露点 0.0℃为例，烃露点仪示值漂移的测量结果见表 F.1。

表 F.1 0.0℃点测量示值漂移数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
记录时间/h	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
示值/℃	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
示值漂移/℃	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3

计算各点的示值漂移，取绝对值最大的 ΔS_i 作为示值漂移：

$$\Delta S_9 = T_{s9} - T_{s0} = 0.4 - 0.1 = 0.3^\circ\text{C}$$