



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 499—2021

精 密 露 点 仪

Precision Dew Point Hygrometers

2021-12-28 发布

2022-06-28 实施

国家市场监督管理总局 发布

精密露点仪检定规程

Verification Regulation of
Precision Dew Point Hygrometers

JJG 499—2021
代替 JJG 499—2004

归口单位：全国物理化学计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

航空工业北京长城计量测试技术研究所

参加起草单位：中国兵器工业集团第五三研究所

江苏省计量科学研究院

本规程委托全国物理化学计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

易 洪（中国计量科学研究院）

张文东（上海市计量测试技术研究院）

吕国义（航空工业北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

李占元（中国计量科学研究院）

张学范（中国兵器工业集团第五三研究所）

郑胜清（江苏省计量科学研究院）

任长青（中国计量科学研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(2)
5 通用技术要求	(2)
5.1 外观	(2)
5.2 露点传感器测量室及制冷器	(2)
5.3 相对湿度计算功能检查	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定条件	(2)
6.2 检定项目	(4)
6.3 检定方法	(4)
6.4 检定结果的处理	(6)
6.5 检定周期	(6)
附录 A 露点仪用于相对湿度测量的计算	(7)
附录 B 不同压力下露点温度的修正计算	(9)
附录 C 二级精密露点仪示值误差测量结果的不确定度评定示例	(10)
附录 D 检定原始记录格式	(12)
附录 E 检定证书内页格式	(13)
附录 F 检定结果通知书内页格式	(14)

引 言

本规程依据 JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规程是对 JJG 499—2004《精密露点仪》的修订，与 JJG 499—2004 相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 删除了声表面波原理检测露点的冷镜精密露点仪；
 - 扩展了精密露点仪的检定范围，增加了重复性技术指标项目，规定了最大允许误差和重复性技术要求（见第 4 章）；
 - 增加了相对湿度计算功能检查（见 5.3）；
 - 增加了测量气路系统的管材和连接方式相应的技术要求（见 6.1.5，6.3.4.2）；
 - 优化了检定点的选取方式，增加了重复性计算公式；
 - 增加了饱和水蒸气压及其增强因子推荐计算公式（见附录 A）；
 - 增加了附录 A “露点仪用于相对湿度测量的计算”（见附录 A）；
 - 增加了附录 B “不同压力下露点温度的修正计算”（见附录 B）。
- 本规程的历次版本发布情况为：
- JJG 499—2004；
 - JJG 499—1987。

精密露点仪检定规程

1 范围

本规程适用于水蒸气压相平衡原理、采用制冷镜面光电自动检测的精密露点仪的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJF 1012—2007 湿度与水分计量名词术语及定义

BS 1339-1: 2002 湿度 第 1 部分：术语、定义和公式（Humidity—Part 1: Term, definitions and formulae）

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

3 概述

制冷镜面自动检测露点温度的平衡式精密露点仪（以下简称露点仪），是利用热电制冷器（由半导体的热电效应制取冷量的器件组成）等制冷器件给露点传感器（包括镜面、发光器件及光接收器件等）镜面降温，使样气中的水蒸气在镜面上冷凝；经光接收器采集镜面的反射光信号，通过自动控制电路使镜面上的结露（或结霜）与气体中的水蒸气呈相平衡状态；用铂电阻温度传感器准确测量镜面的结露温度，从而获得气体的露点温度。

如图 1 所示，气体通过露点传感器测量室时掠过镜面。当镜面温度高于该气体的露点温度时，镜面呈干燥状态，此时，通过露点传感器的发射光信号和接收光信号，经控制回路比较、放大，驱动热电制冷器对镜面制冷；当镜面温度降至样气的露点温度以下时，镜面上开始结露，这时光接收器采集的光信号发生变化，此变化经控制回路比较、放大后调节热电制冷器激励，使其制冷功率减小，最后使镜面温度保持在样气的露点温度上。

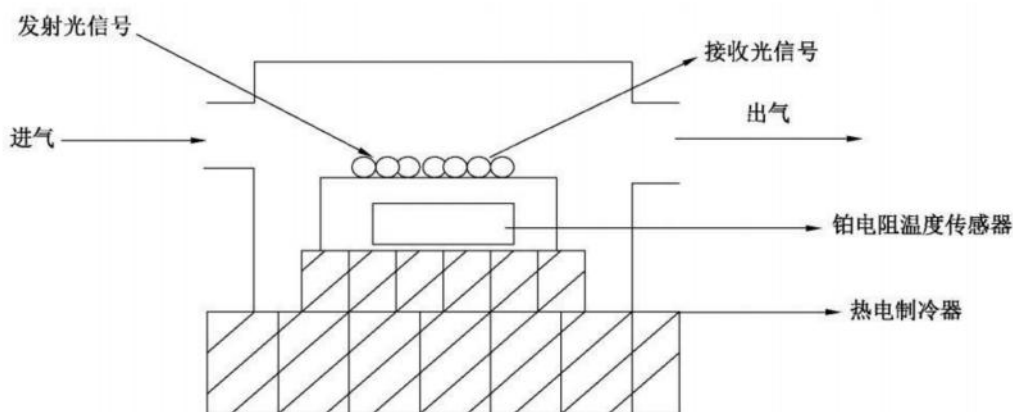


图 1 露点仪测量原理示意图

由一紧贴在镜面下方的铂电阻温度传感器检测镜面温度。通过镜面冷凝状态检测或观测装置，可以判断镜面上的冷凝物是液态的露（呈圆形或椭圆形）还是固态的霜（呈晶形）。露点仪用于气体中水蒸气露点温度的准确测量。

属于这类原理的露点仪，主要由高重复性的露点传感器伺服机构、准确地测量镜面温度的温度测量系统和在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下霜点测量时判断镜面上生成的是霜（冰晶）还是露（水珠）的设施三大部分组成。根据露点仪测量的示值误差和重复性可分为一级湿度标准和二级湿度标准。

4 计量性能要求

示值误差和重复性应符合表 1 中的要求。

表 1 露点仪的计量性能要求

露点温度 T_d 范围		$-90\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_d < -70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-70\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_d < -50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-50\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_d < -20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_d < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$40\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_d \leq 90\text{ }^{\circ}\text{C}$
一级	最大允许误差	$\pm 0.40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$
	重复性	$\leq 0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.10\text{ }^{\circ}\text{C}$
二级	最大允许误差	$\pm 0.80\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.40\text{ }^{\circ}\text{C}$
	重复性	$\leq 0.40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$

5 通用技术要求

5.1 外观

外壳无明显锈蚀、碰损之痕迹，各电缆和接头的接触良好。各功能键操作正常，显示器显示完整、清晰。

5.2 露点传感器测量室及制冷器

5.2.1 露点传感器测量室内应清洁、镜面无污染，无划痕。

5.2.2 热电制冷器及辅助制冷器工作正常。

5.3 相对湿度计算功能检查

当精密露点仪用作相对湿度标准器时，如果直接使用其相对湿度显示值，则该显示值应与仪器采集的露点和温度值计算得到的相对湿度值相差不超过 $\pm 0.1\%$ （按附录 A 的方法计算，修约至 0.1% ）。

6 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检查。

6.1 检定条件

6.1.1 环境条件

6.1.1.1 环境温度

测量时环境温度应在 $15\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间，且相对恒定。此外，露点测量室和采样管

路系统所处的环境温度应高于待测气体的露/霜点温度 5℃ 以上；当测量时的露点温度高于环境温度时，所有测量管路应加热，使管路温度高于露点温度 5℃～10℃。

6.1.1.2 大气压力

气体露点温度与气体压力有关，露点温度应指明测量的气体压力，环境大气压波动不超过 200 Pa/h。

6.1.1.3 环境湿度

露点仪主机应在相对湿度 10%～85% 之间使用。

6.1.2 辅助制冷

用自来水或循环冷却液来冷却热电制冷器的散热器热端时，冷却液的温度和流量应相对恒定。采用其他辅助制冷系统时，散热器热端的温度应控制稳定。

6.1.3 电源

按露点仪的要求供电，电源电压应不超过额定值的±10%。

6.1.4 计量标准器及主要配套设备

6.1.4.1 计量标准器

计量标准器技术要求见表 2。

表 2 计量标准器技术要求

被检露点仪 准确度等级	基（标）准器		
	名称	露点测量范围	技术要求
一级	基准湿度发生器	-90℃～+90℃	露点： $U/MPEV \leq 1/3$
	重量湿度计	-30℃～+25℃	混合比： $U_{rel} \leq 0.31\%$
二级	一级标准湿度发生器	-90℃～+90℃	一级或露点： $U/MPEV \leq 1/3$
	一级精密露点仪	-90℃～+90℃	一级或露点： $U/MPEV \leq 1/3$
注： 1 被检的一级精密露点仪所使用的计量标准器可以是基准湿度发生器或重量湿度计；如果采用重量湿度计必须配置一级标准湿度发生器。 2 被检的二级精密露点仪使用的计量标准器可以采用一级标准湿度发生器或一级精密露点仪；如果采用一级精密露点仪必须配置二级及以上标准湿度发生器。 3 MPEV 为被检仪器最大允许误差绝对值， U 为标准器的扩展不确定度（ $k=2$ ）， U_{rel} 为标准器的相对扩展不确定度（ $k=3$ ）。 4 露点测量范围以满足表 1 中的全部或部分测量段的要求为准。			

6.1.4.2 主要配套设备

a) 湿度发生器

湿度发生器的技术指标见表 3。

表 3 湿度发生器的技术要求

被检露点仪 准确度等级	湿度发生器	
	露点发生范围	技术要求
一级	$-90\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+90\text{ }^{\circ}\text{C}$	露点波动度： 不超过 $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{ min}$
二级	$-90\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+90\text{ }^{\circ}\text{C}$	露点波动度： 不超过 $\pm 0.10\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{ min}$

b) 流量计

带流量调节阀，用于调节和测量样气的流量。测量范围： $0\text{ L/min}\sim 2\text{ L/min}$ ，准确度等级 5.0 级及以上。

c) 压力计

用于测量大气压，测量范围应满足当地大气压要求，最大允许误差： $\pm 100\text{ Pa}$ 。

6.1.5 测量气路系统的管材

可以使用不锈钢管、紫铜管或壁厚不小于 1 mm 的聚四氟乙烯管、聚丙烯管作为采样管。检定露点温度在 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时，应采用不锈钢管；露点温度 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时，应采用电解抛光内壁的不锈钢管；检定露点温度在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，可以使用氟橡胶管。不允许使用乳胶管、普通橡胶管和薄壁塑料管。

6.2 检定项目

检定项目见表 4。

表 4 检定项目

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观	+	+	+
露点传感器 测量室及制冷器	+	+	+
示值误差	+	+	+
重复性	+	+	+
相对湿度计算功能检查	+	—	—
注： 1 “+” 为需检定项目，“—” 为不需检定项目。 2 “相对湿度计算功能检查” 仅适用于具有相对湿度显示功能的露点仪。			

6.3 检定方法

6.3.1 外观检查

目视方式检查是否符合 5.1 的要求。

6.3.2 露点传感器测量室及制冷器的检查

打开露点测量室、检查镜面是否有明显的划痕。清洗镜面及发光管、接收管，清洗

时使用棉签蘸清洗剂或无水乙醇轻轻擦洗，并用干棉签将残留的清洗剂吸干。注意不要在镜面上和光学器件上留下棉花纤维。

接好气路后用憋压的方法检查气路的气密性。接通电源，检查热电制冷器、辅助制冷器运行是否正常。

6.3.3 相对湿度示值计算功能检查

当露点仪具有相对湿度显示功能时，除需要进行露点示值误差检定外，还需将露点仪的温度探头置于恒温环境中，分别记录露点仪的露点温度、环境温度和相对湿度示值，并按附录 A 的方法计算相对湿度值。露点仪相对湿度显示值与计算值之差应不超过 $\pm 0.1\%$ 。

6.3.4 示值误差的检定

6.3.4.1 仪器的连接方式

a) 使用基准湿度发生器或一级标准湿度发生器作为检定标准时，直接检定被检露点仪的连接方式如图 2。



图 2 基准、一级标准湿度发生器作为检定标准的连接方式

b) 使用湿度发生器提供稳定气源，重量湿度计或一级精密露点仪作为检定标准时，采用比较法检定被检露点仪的连接方式如图 3。

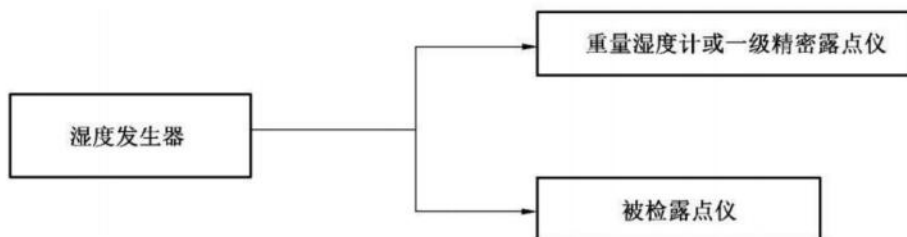


图 3 重量湿度计或一级精密露点仪作为检定标准的连接方式

6.3.4.2 管路的连接方式

可以使用锥型密封垫、卡套接头或硅（氟）橡胶“O”形密封圈的活接头。露点温度 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时，应采用金属垫片面密封 VCR 接头。

用软管套接时，应内衬一段硬质材料的衬管。被检露点仪的测量室出口放空时，需接一根不短于 1 m 的放空管。

6.3.4.3 露点仪测量室压力修正

a) 采用直接检定法时，如图 2 所示，当被检露点仪的测量室出口放空大气时，一级标准湿度发生器的露点值也应换算到大气压下的露点值。当被检露点仪的测量室出口接抽气泵时，应使用压力计测量其压力，并将标准器露点值修正到被检仪器测量压力下的露点值。

b) 采用比较检定法时，如图 3 所示，应通过合理的管路和流量配置以确保标准器露点测量室和被检露点仪测量室的压力相差不超过 100 Pa 。如无法实现时，应使用压力计分别测量两者的压力，并将标准器露点值修正到被检仪器测量压力下的露点值。

压力修正方法见附录 B。

6.3.4.4 管路吹扫

检定用载气一般为干燥氮气、干燥洁净空气或其他纯净惰性气体。检定前先用载气吹扫管路，吹扫时间根据使用的管材和测量的露点温度从 30 min 至 12 h 不等，露点越低吹扫时间应越长。

6.3.4.5 检定顺序

露点的检定顺序一般为从低到高，检定点间隔不超过 10 °C，设定露点值偏离检定点应在 ±2 °C 以内（以标准器值为准）。

使用重量法湿度计检定时，检定顺序为（露点/霜点温度）：-20 °C、+1 °C、+20 °C、+1 °C。

6.3.4.6 记录方法

记录时，湿度发生器和露点仪显示值应相对稳定，其波动值应满足表 2 的要求。采用定时记录的方法，待标准器示值稳定 30 min 后，每隔 2 min 记录一次标准器和被检露点仪示值，累计记录 6 次，同时记录大气压的数值。

6.3.4.7 示值误差计算

对每一检定点取平均值，被检露点仪的示值平均值与标准器平均值之差称为该被检露点仪的示值误差，按式（1）计算。

$$\Delta T_d = T_d - T'_d \quad (1)$$

式中：

ΔT_d ——被检露点仪的示值误差，°C；

T_d ——被检露点仪的示值平均值，°C；

T'_d ——标准器露点平均值，°C。

注：小数点后保留两位数字。

6.3.5 重复性计算

对每一检定点，将被检露点仪记录 6 次的露点示值 T_i ，按式（2）计算示值的实验标准偏差作为其重复性。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_d)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

式中：

s ——示值的实验标准偏差，°C；

T_d ——被检露点仪的示值平均值，°C；

n ——重复测量次数，此处 $n=6$ 。

6.4 检定结果的处理

按本规程要求，全部项目均检定合格的露点仪发给检定证书，并在检定证书封面注明“准予该仪器作为一级（或二级）精密露点仪使用，并注明使用范围”。有任一项目检定不合格的填发检定结果通知书，并指出不合格项目。

6.5 检定周期

露点仪检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

露点仪用于相对湿度测量的计算

A.1 用露点仪进行相对湿度测量计算

根据相对湿度定义，露点仪的相对湿度可按式 (A.1) 计算：

$$H_s = \frac{f(p, T_d) \times e_s(T_d)}{f(p, T_s) \times e_s(T_s)} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中：

H_s ——被测气体相对湿度；

f ——被测气体增值系数，为被测气体温度与压力的函数；

T_d ——被测气体露点温度，℃；

T_s ——被测气体温度，℃；

p ——被测气体压力，Pa；

$e_s(T_d)$ ——露点温度 T_d 对应的纯水平面或冰平面饱和水蒸气压，Pa。

$e_s(T_s)$ ——温度 T_s 对应的纯水平面或冰平面饱和水蒸气压，Pa。

A.2 饱和水蒸气压

饱和水蒸气压按 BS 1339-1: 2002 中推荐的 Sonntag 公式计算。

—100.0℃~100.0℃ 纯水或过冷水平面饱和水蒸气压 $e_s(T)$ 按式 (A.2) 计算：

$$e_s(T) = e^{-6.096.9385/T + 21.2409642 - 0.02711193T + 0.00001673952T^2 + 2.433502\ln T} \quad (\text{A.2})$$

—100.0℃~0.01℃ 纯冰平面饱和水蒸气压 $e_s(T)$ 按式 (A.3) 计算：

$$e_s(T) = e^{-6.024.5282/T + 29.32707 + 0.010613868T - 0.000013198825T^2 - 0.49382577\ln T} \quad (\text{A.3})$$

式中：

T ——热力学温度，K。

A.3 增值系数

湿空气的增值系数按 BS 1339-1: 2002 中推荐的 Hardy 公式计算，见式 (A.4)：

$$f(p, t) = e^{a[1 - e_s(t)/p] + \beta[p/e_s(t) - 1]} \quad (\text{A.4})$$

式中：

$f(p, t)$ ——在压力 p 、温度 t 下湿空气的增值系数；

t ——湿空气温度，℃；

$e_s(t)$ ——温度 t 对应的纯水（冰）平面饱和水蒸气压，Pa；

p ——湿空气压力，Pa；

α 、 β ——计算过程中的参数，为温度 t 的函数。

其中，0℃~100℃水面上：

$$\alpha = 3.53624 \times 10^{-4} + 2.9328363 \times 10^{-5}t + 2.6168979 \times 10^{-7}t^2 + 8.5813609 \times 10^{-9}t^3$$

$$\beta = e^{-10.7588 + 0.063268134t - 0.00025368934t^2 + 0.00000063405286t^3}$$

—50℃~0℃过冷水面上：

$$\alpha = 3.62183 \times 10^{-4} + 2.6061244 \times 10^{-5}t + 3.8667770 \times 10^{-7}t^2 + 3.8268958 \times 10^{-9}t^3$$

$$\beta = e^{-10.760\,4 + 0.063\,987\,441t - 0.000\,263\,515\,66t^2 + 0.000\,000\,167\,259\,84t^3}$$

—100 °C ~ 0 °C 水面上:

$$\alpha = 3.644\,49 \times 10^{-4} + 2.936\,758\,5 \times 10^{-5}t + 4.887\,476\,6 \times 10^{-7}t^2 + 4.366\,991\,8 \times 10^{-9}t^3$$

$$\beta = e^{-10.727\,1 + 0.076\,215\,115t - 0.000\,174\,901\,55t^2 + 0.000\,002\,466\,827\,9t^3}$$

A.4 计算示例

测得某湿空气的温度为 20.02 °C、露点温度为 12.04 °C、压力为 101.21 kPa，则相对湿度计算如下：

$T_s = 20.02\text{ °C}$ ，代入式 (A.2) 计算得到： $e_s(T_s) = 2\,342.15\text{ Pa}$ 。

$T_d = 12.04\text{ °C}$ ，代入式 (A.2) 计算得到： $e_s(T_d) = 1\,406.48\text{ Pa}$ 。

$p = 101.21\text{ kPa}$ ， $T_s = 20.02\text{ °C}$ ，代入式 (A.4) 计算得到： $f(p, T_s) = 1.003\,987$ 。

$p = 101.21\text{ kPa}$ ， $T_d = 12.04\text{ °C}$ ，代入式 (A.4) 计算得到： $f(p, T_d) = 1.003\,874$ 。

将以上数据代入式 (A.1) 计算得到该湿空气相对湿度： $H_s = 60.0\%$ 。

附录 B

不同压力下露点温度的修正计算

在不产生相变条件下，湿气从压力 p' 状态变到压力 p 状态，露点从 T'_d 变到 T_d ，不同压力下的露点可按公式 (B.1) 计算：

$$e_s(T_d) = \frac{f(p', T'_d) \times e_s(T'_d)}{f(p, T_d)} \times \frac{p}{p'} \quad (\text{B.1})$$

式中：

f ——被测气体增值系数，为被测气体温度与压力的函数；

T_d ——压力 p 状态下被测气体露点温度，℃；

T'_d ——压力 p' 状态下被测气体露点温度，℃；

p ——被测气体终态压力，Pa；

p' ——被测气体初态压力，Pa；

$e_s(T_d)$ ——露点温度 T_d 对应的纯水平面或冰平面饱和水蒸气压，Pa；

$e_s(T'_d)$ ——露点温度 T'_d 对应的纯水平面或冰平面饱和水蒸气压，Pa。

通过测量被测气体初态压力，终态压力以及被测气体的初始露点，由式 (B.1) 可以得到 $e_s(T_d)$ 值，查饱和水蒸气压力表得到 [由附录 A 中式 (A.2) 或式 (A.3) 计算得到] 终态压力 p 状态下露点值 T_d 。反之亦然。

计算示例：

采用比较法检定精密露点仪时，经测定标准露点仪测量室内压力为 101.12 kPa，被检露点仪测量室内压力为 103.30 kPa，标准露点仪露点值为 -31.43 ℃。将标准露点仪露点值修正到被检仪器测量压力下的露点值的方法如下：

初态压力 $p' = 101.12$ kPa；终态压力 $p = 103.30$ kPa；初态露点 $T'_d = -31.43$ ℃，由式 (A.3) 计算得到： $e_s(T'_d) = 32.716 4$ Pa。由于初、终态压力变化很小，相应增值系数的变化可忽略，即 $f(p', T'_d) = f(p, T_d)$ 。

将以上各参数代入式 (B.1)，得到 $e_s(T_d) = 33.421 7$ Pa，查饱和水蒸气压力表得到 [由式 (A.3) 计算得到] 终态露点 $T_d = -31.23$ ℃。

附录 C

二级精密露点仪示值误差测量结果的不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 被测对象

被测对象为二级精密露点仪，分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，露点测量范围为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最大允许误差为 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.1.2 测量标准

以一级精密露点仪作为计量标准，以二级精密湿度发生器作为配套设备，主要技术指标如表 C.1 所示。

表 C.1 标准器技术参数表

名称	露点范围	技术指标
一级精密露点仪	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim +20\text{ }^{\circ}\text{C}$	MPE: $\pm 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$
二级精密湿度发生器	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim +20\text{ }^{\circ}\text{C}$	露点波动度：不超过 $\pm 0.10\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{ min}$

C.1.3 检定方法

按照本规程进行，检定露点温度从 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.1.4 测量环境条件

温度 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 85\%$ 。

C.2 测量模型

$$\Delta T_d = T_d - T'_d \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔT_d ——被检露点仪的示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

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

T'_d ——标准器露点的平均值， $^{\circ}\text{C}$ 。

C.3 灵敏系数及不确定度计算公式

由式 (C.1) 可以得到输入量的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta T_d}{\partial T_d} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta T_d}{\partial T'_d} = -1$$

各输入量彼此不相关，因此合成不确定度 $u_c(\Delta T_d)$ 计算公式为：

$$u_c(\Delta T_d) = \sqrt{[c_1 \cdot u(T_d)]^2 + [c_2 \cdot u(T'_d)]^2} = \sqrt{u^2(T_d) + u^2(T'_d)} \quad (\text{C.2})$$

式中， $u(T_d)$ 、 $u(T'_d)$ 分别是被检露点仪示值误差的不确定度和由被检露点仪示值、标准器示值所引入的不确定度分量。

C.4 输入量的不确定度分析

C.4.1 被检露点仪示值平均值 T_d 的标准不确定度 $u(T_d)$

输入量 T_d 的不确定度来源主要是被检仪器的重复性。以 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 测量点情况为例，在相同条件下重复测量 6 次，结果见表 C.2。

表 C.2 20 ℃ 测量重复性数据

序号	1	2	3	4	5	6
数据	20.01 ℃	20.03 ℃	20.05 ℃	20.03 ℃	20.04 ℃	20.02 ℃

单次实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_d)^2}{n-1}} = 0.014 \text{ ℃} \quad (\text{C.3})$$

于是得到：

$$u(T_d) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.014 \text{ ℃}}{\sqrt{6}} = 0.006 \text{ ℃} \quad (\text{C.4})$$

露点仪分辨力为 0.01 ℃，由此带来的测量结果的标准不确定度 $0.01 \text{ ℃} / (2 \times \sqrt{3}) = 0.003 \text{ ℃}$ ，且其数值小于 $u(T_d)$ ，故不再重复计入。

C.4.2 标准器露点平均值 T'_d 的标准不确定度 $u(T'_d)$

输入量 T'_d 的不确定度来源主要有一级精密露点仪测量不确定度 $u(T'_{d1})$ 以及湿度发生器露点波动性不确定度 $u(T'_{d2})$ 。

一级精密露点仪测量不确定度 $u(T'_{d1})$ ，根据一级精密露点仪溯源证书，一级精密露点仪溯源扩展不确定度为 0.1 ℃ ($k=2$)，于是引入的不确定度分量为：

$$u(T'_{d1}) = 0.1 \text{ ℃} / 2 = 0.05 \text{ ℃} \quad (\text{C.5})$$

湿度发生器波动性不超过 $\pm 0.1 \text{ ℃} / 30 \text{ min}$ ，湿度发生器露点的可能值出现在 $\pm 0.1 \text{ ℃}$ 中心附近的概率大于接近区间边界的概率，近似于三角分布。因此，按三角分布计算，取 $k = \sqrt{6}$ ，于是：

$$u(T'_{d2}) = 0.1 \text{ ℃} / \sqrt{6} = 0.041 \text{ ℃} \quad (\text{C.6})$$

$u(T'_d)$ 由 $u(T'_{d1})$ 和 $u(T'_{d2})$ 合成得到：

$$u(T'_d) = \sqrt{u^2(T'_{d1}) + u^2(T'_{d2})} = 0.065 \text{ ℃} \quad (\text{C.7})$$

C.5 合成标准不确定度

合成标准不确定度由式 (C.2) 计算：

$$u_c(\Delta T_d) = \sqrt{u^2(T_d) + u^2(T'_d)} = 0.065 \text{ ℃}$$

C.6 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U(\Delta T_d) = k \cdot u_c(\Delta T_d) = 2 \times 0.065 \text{ ℃} = 0.13 \text{ ℃}$$

附录 D

检定原始记录格式

送检单位_____ 原始记录号_____

仪器名称_____ 型 号_____

生 产 厂_____ 出厂编号_____

设备编号_____ 检定用标准及设备_____

检定环境温度_____ 相对湿度_____

大气压_____ 气体流量_____

散热器温度或循环水温及水流量_____

测试室压力_____

1. 外观检查_____

2. 露点传感器测量室及制冷器_____

3. 示值误差和重复性的检定

时间	露点标准值/℃	被检露点仪示值/℃							示值误差/℃	重复性/℃
		1	2	3	4	5	6	平均值		

4. 相对湿度计算功能检查

检定点（露点示值）/℃	温度传感器示值/℃	相对湿度显示值/%	相对湿度计算值/%

注：

1 检定露点仪相对湿度示值应分别检定露点仪测量的气体露点和气体温度。

2 相对湿度计算功能检查项目仅针对具有相对湿度显示功能的露点仪。

检定员_____

核验员_____

检定日期_____

附录 E

检定证书内页格式

一、外观检查：_____

二、露点传感器测量室及制冷器：_____

三、示值误差和重复性检定结果：

序号	露点标准值 ℃	仪器示值平均值 ℃	示值误差 ℃	重复性 ℃
示值误差		符合 技术要求		
重复性		符合 技术要求		
露点仪准用范围				

四、相对湿度计算功能检查：

检定点（露点示值） ℃	温度传感器示值 ℃	相对湿度显示值 %	相对湿度计算值 %

注：相对湿度计算功能检查项目仅针对具有相对湿度显示功能的露点仪。

结论：准予该仪器作为一级（二级）精密露点仪使用。

附录 F

检定结果通知书内页格式

- 一、外观检查：_____
- 二、露点传感器测量室及制冷器：_____
- 三、示值误差和重复性检定结果：

序号	露点标准值 ℃	仪器示值平均值 ℃	示值误差 ℃	重复性 ℃
示值误差		不符合检定规程最低要求		
重复性		不符合检定规程最低要求		
露点仪准用范围		_____		

四、相对湿度计算功能检查：

检定点（露点示值） ℃	温度传感器示值 ℃	相对湿度显示值 %	相对湿度计算值 %

注：相对湿度计算功能检查项目仅针对具有相对湿度显示功能的露点仪。

结论：该仪器不合格。
