

中华人民共和国国家标准

GB/T 11605—2026

代替 GB/T 11605—2005

湿度测量方法

Methods of humidity measurement

2026-05-25 发布

2026-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 伸缩法 2

5 干湿球法 3

6 冷凝露点法 5

7 电阻电容法 7

8 电解法 8

9 重量法..... 10

10 卡尔·费休法 11

11 光谱法 13

12 石英晶体振荡法 15

附录 A（资料性） 试验报告 18

附录 B（资料性） 饱和水蒸气压表 19

附录 C（资料性） 湿度换算 27

附录 D（资料性） 气体闪蒸仪法和体积流量计法（卡尔·费休） 33

参考文献 39

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 11605—2005《湿度测量方法》，与 GB/T 11605—2005 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了范围(见第1章,2005年版的第1章)；
- 增加了术语和定义(见第3章)；
- 增加了伸缩法的湿度计示意图(见图1)；
- 更改了伸缩法的概述、测量原理、测量仪器、测量步骤(见第4章,2005年版的第2章)；
- 增加了冷凝露点法原理示意图(见图3)；
- 更改了冷凝露点法测量步骤(见6.4,2005年版的4.3)；
- 增加了阻容法湿度传感器结构示意图(见图5)；
- 更改了电解法原理图(见图6,2005年版的图3)；
- 删除各章中的注意事项(见2005年版的第2章～第8章)；
- 增加了卡尔·费休法、光谱法、石英晶体振荡法(见第10～第12章)；
- 更改了各章中精密度要求(见4.5、5.5、6.5、7.5、8.5、9.5、10.5、11.5及12.5、2005年版的2.5、3.6、4.5、5.5、6.5、7.6及8.6)；

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专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC 124)归口。

本文件起草单位：成都仪器厂、中国测试技术研究院、内蒙古光能科技有限公司、机械工业分析仪器产品质量监督检测(北京)有限责任公司、大漠天宇有限公司、国网上海市电力公司电力科学研究院、大庆市日上仪器制造有限公司、新疆维吾尔自治区计量测试研究院、中国科学院合肥物质科学研究院、中国计量科学研究院、江苏方天电力技术有限公司。

本文件主要起草人：赵微虹、张雯、阎文斌、张钰卓、周启朝、邓先钦、段景峰、卓华、阚瑞峰、刘运航、李占元、祁昂、叶加星、聂伟、刘虹谷、陈欠、余海洋、傅朝辉。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1989年首次发布为 GB/T 11605—1989,2005年第一次修订；
- 本次为第二次修订。

湿度测量方法

1 范围

本文件描述了用伸缩法、干湿球法、冷凝露点法、电阻电容法、电解法、重量法、卡尔·费休法、光谱法和石英晶体振荡法测量气体的湿度的方法。

本文件适用于工业、农业、气象、电力和环境等领域的气体湿度的测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

GB/T 6379.2 测量方法与结果的准确度（正确度与精密度） 第2部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法

GB/T 6681—2003 气体化工产品采样通则

JB/T 9356 电解湿度计 通用技术条件

JJF 1012—2007 湿度与水分计量名词术语及定义

3 术语和定义

JJF 1012—2007 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

湿度 **humidity**

气体中水蒸气的质量混合比或体积分数。

3.2

绝对湿度 **absolute humidity**

水分浓度

单位体积湿气中水蒸气的质量。

3.3

相对湿度 **relative humidity**

湿气中水蒸气的摩尔分数与相同温度和压力条件下饱和水蒸气的摩尔分数的百分比，或者湿气中水蒸气的分压值与相同温度下饱和水蒸气压的比值。

3.4

露点温度 **dew-point temperature**

在等压的条件下将气体冷却，当气体中的水蒸气冷凝成水或霜（冰）并达到相平衡状态时的气体温度。

3.5

伸缩法 **stretching method**

利用毛发、尼龙和聚酰亚胺等有机高分子材料制成感湿元件，该元件的几何尺寸随着相对湿度的变

化而发生变化的原理进行湿度测量的方法。

3.6

等压冷却 isobaric cooling

在压强保持不变的情况下,气体温度降低的过程。

3.7

石英晶体微天平 quartz crystal microbalance; QCM

利用石英晶体的压电特性制成的谐振式质量传感器。

注:当传感器加有电压时,会产生频率稳定的振动。

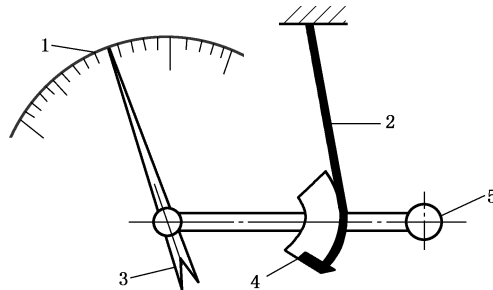
4 伸缩法

4.1 概述

本方法规定了利用伸缩法来测量空气相对湿度的方法。伸缩法是通过感湿元件伸长缩短的原理来测量空气的相对湿度,在 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,测量范围通常为相对湿度 $10\%\sim 100\%$ 。基于伸缩法原理的湿度计一般称为“毛发湿度表(计)”或“机械式湿度计”(以下简称“湿度计”)。

4.2 测量原理

利用毛发、尼龙和聚酰亚胺等有机高分子材料的几何尺寸随着相对湿度的变化而变化,从而实现相对湿度的测量。基于伸缩法的湿度计就是利用这一特性,将上述材料制成线状、带状感湿元件或涂覆在弹性材料上卷成游丝状感湿元件,然后通过机械放大装置将由湿度改变引起的几何量变化用指针指示出来或用记录笔记录下来,从而直接指示相对湿度。伸缩法湿度计示意图见图1。



标引序号说明:

- 1——刻度盘;
- 2——毛发;
- 3——指针;
- 4——凸轮;
- 5——重锤。

图1 伸缩法湿度计示意图

4.3 测量仪器

湿度计的相对湿度示值误差不超过:

- a) $\pm 5\%$ ($40\%\sim 70\%$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- b) $\pm 7\%$ (40% 以下或 70% 以上, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

4.4 测量步骤

4.4.1 测量准备及注意事项

4.4.1.1 湿度计应垂直地悬挂在支架上或固定在支架上,支架底座保持水平。

4.4.1.2 安装地点风速应不大于 0.2 m/s,其温度不能高于 45 ℃。

4.4.1.3 湿度计的湿敏材料应保持清洁。

4.4.1.4 若湿度计长期置于低于相对湿度为 10% 的环境条件下,使用前应放置在相对湿度大于 95% 的环境条件下恢复,并经过校准才能使用。

4.4.2 测量方法

按指针指示或笔尖画出记录曲线的位置观测读数。

4.4.3 测量结果

按湿度计最小分度值的 1/2 读数。

4.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

4.6 试验报告

试验报告见附录 A。

5 干湿球法

5.1 概述

本方法规定了利用通风干湿表(计)测量空气的相对湿度,在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下,测量范围通常为相对湿度 10%~100%。

5.2 测量原理

用两支型式和尺寸均相同的温度计,其中一支作为干球温度计,另一支的球部缠上一层洁净纱布,并用蒸馏水保持润湿,作为湿球温度计。在规定的通风条件下,干球温度计指示出气流的温度称为干球温度;湿球温度计则由于球部纱布的水分蒸发吸热,指示出较低的温度称为湿球温度。干球温度与湿球温度之差取决于当时环境空气的相对湿度,从而可利用干球温度与湿球温度来求得空气的相对湿度值。

5.3 测量仪器

通风干湿表(计)相对湿度最大允许绝对误差应不超过 $\pm 5\%$ 。

5.4 测量步骤

5.4.1 测量准备及注意事项

5.4.1.1 湿球应用专用纱布(或棉纱布套管)包扎,只包一层纱布,重叠部分应不大于球部周长的 1/3,用纱布上的棉纱在首尾两处打结,如图 2 所示。包扎后的纱布应紧贴球部,不能有褶皱。

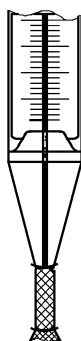


图2 干湿球法试验示意图

- 5.4.1.2 通风干湿表(计)应垂直地悬挂在支架上。
- 5.4.1.3 安装地点应无太阳直射或其他热辐射源的影响。
- 5.4.1.4 当湿球纱布被污染,应进行更换。
- 5.4.1.5 气样中不宜含有杂质微粒、油污及其他破坏性组分。
- 5.4.1.6 当气样为有毒有害气体时,应对废气作妥善处理或回收。

5.4.2 测量方法

- 5.4.2.1 用蒸馏水充分润湿湿球纱布,启动通风器。使用机械通风器时,需一次性将发条上满。
- 5.4.2.2 在通风器开动 2 min 后读数,先读湿球温度,后读干球温度,同时记录大气压。若需进行多次读数,按使用说明书操作。

5.4.3 测量结果

5.4.3.1 计算法

按公式(1)、公式(2)计算水蒸气压。

$$e = e_{tw} - A \cdot p(t - t_w) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$U = \frac{e}{e_w} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- e ——水蒸气压,单位为帕(Pa);
- e_{tw} ——在湿球温度 t_w 下的饱和水蒸气压,单位为帕(Pa);
- A ——干湿表系数,单位为负一次方摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$)。在风速为 2.5 m/s 条件下,湿球未结冰时,
 $A = 6.62 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;湿球结冰时, $A = 5.84 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- p ——大气压,单位为帕(Pa);
- t ——干球温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- t_w ——湿球温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- U ——相对湿度,%;
- e_w ——在干球温度 t 下的饱和水蒸气压,单位为帕(Pa)。

注: e_{tw} 、 e_w 见附录 B。当湿球结冰时,取冰的饱和水蒸气压;当湿球未结冰时,取水(包括过冷却水)的饱和水蒸气压。

注: 其他单位相对湿度计算方法见附录 C 的 C.1(其余各方法同此)。

5.4.3.2 查表法

用所得干球温度、湿球温度和当时的大气压,在干湿温度计自带的《湿度查算表》内查到所求的相对

湿度值；也可参照 C.2，查表得到其他单位的湿度值(其余各方法同此)。

5.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

5.6 试验报告

试验报告见附录 A。

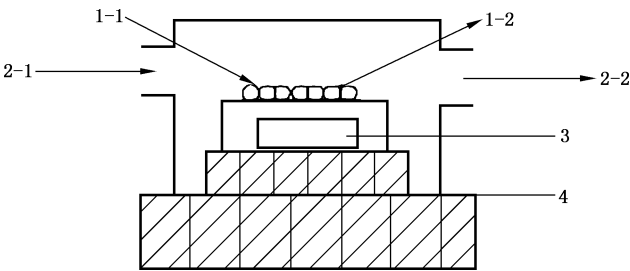
6 冷凝露点法

6.1 概述

本方法规定了用冷镜式露点仪(以下简称“仪器”)测量非腐蚀性气体的湿度,测量范围通常为露(霜)点 $-90\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2 测量原理

用等压冷却的方法使被测气样中的水蒸气在铂电阻温度传感器(冷镜)表面与水(或冰)的平展表面呈热力学相平衡状态,测量此时的温度,即为该气体的露(霜)点。冷镜式露点仪测量原理示意图见图 3。



- 标引序号说明：
- 1-1——发射光信号；
 - 1-2——接收光信号；
 - 2-1——进气；
 - 2-2——出气；
 - 3 ——铂电阻温度传感器；
 - 4 ——热电制冷器。

图 3 冷镜式露点仪原理示意图

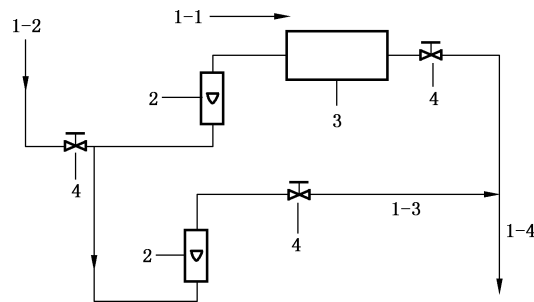
6.3 测量仪器

仪器露点温度最大允许误差应不超过 $\pm 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.4 测量步骤

6.4.1 测量准备及注意事项

6.4.1.1 仪器采用导入式的取样方法。取样点应设置在足以获得代表性气样的位置并就近取样。典型取样系统流程如图 4 所示。



标引序号说明：

- 1-1——流程气；
- 1-2——总取样流量；
- 1-3——旁通流量；
- 1-4——排气；
- 2 ——流量计；
- 3 ——露点仪；
- 4 ——流量控制阀。

图 4 典型取样系统流程图

6.4.1.2 取样阀选用死体积小针阀。取样管道选用长度不大于 2 m、内径 2 mm~4 mm 的不锈钢管、紫铜管，壁厚不小于 1 mm 的聚四氟乙烯管等。管道内壁应光滑清洁，不应使用高弹性材质的管道，如橡胶管、聚氯乙烯管等。

6.4.1.3 增大取样总流量，在气样进入仪器之前设置旁通气路，是提高测量准确度和缩短测量时间的有效途径。

6.4.1.4 环境温度应高于气样露点温度至少 5℃，否则要对整个取样系统以及仪器排气口的气路系统采取升温措施，避免因冷凝造成气样湿度改变或堵塞管路。

6.4.1.5 接好气路后，检查气路的气密性。

6.4.1.6 若对铂电阻温度传感器表面污染误差无自动补偿功能，或者此表面污染严重时，均应用适当溶剂对其人工清洗。

6.4.1.7 如果气样中含有比水蒸气先冷凝的其他气体杂质（如某些烃类），或者气样中含有能与水共同冷凝的物质（如甲醇），则应使之分离。

6.4.1.8 露点介于 -20℃~0℃ 时，铂电阻温度传感器表面上的冷凝物可能是霜也可能是露（过冷水），此时对目视露点仪应借助显微镜仔细观察加以区别。

6.4.1.9 气样中不宜含有杂质微粒、油污及其他破坏性组分。进气口的过滤器应定期清洗，以保持气路清洁畅通。

6.4.1.10 当气样为有毒有害气体时，应对废气作妥善处理或回收。

6.4.2 测量方法

6.4.2.1 仪器操作程序按使用说明书进行。

6.4.2.2 根据取样系统的结构、气样湿度的大小，用被测气体对气路系统分别进行不同流量、不同时间的吹洗，以保证测量结果的准确性。

6.4.3 测量结果

直接读取仪器示值。

6.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

6.6 试验报告

试验报告见附录 A。

7 电阻电容法

7.1 概述

本方法规定了用阻容法(露点)湿度计测量空气或其他气体的湿度。在-10℃~80℃条件下,电阻式湿度计的测量范围通常为相对湿度10%~90%;电容式湿度计的测量范围通常为相对湿度0%~100%。

7.2 测量原理

利用氯化锂、聚苯乙烯磺酸锂、陶瓷、氧化铝、高分子聚合物薄膜等湿敏元件的电阻电容值随环境湿度的变化而按一定规律变化的特性进行湿度测量。电阻电容法湿度传感器结构示意图见图5。

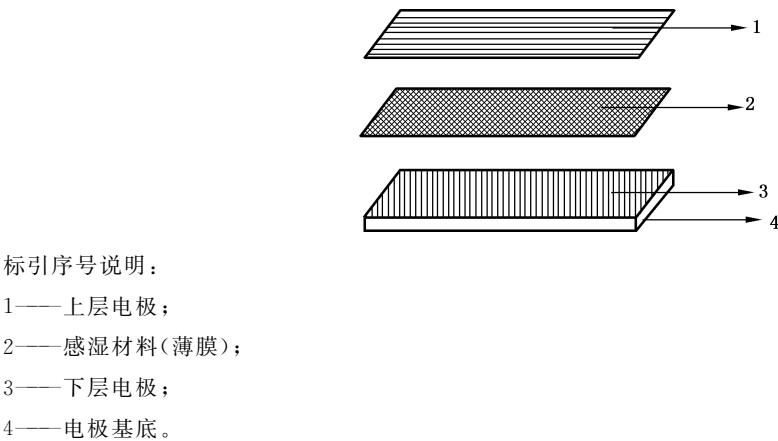


图5 电阻电容法湿度传感器结构示意图

7.3 测量仪器

在25℃条件下,相对湿度最大允许误差应不超过±5%。

7.4 测量步骤

7.4.1 测量准备及注意事项

- 7.4.1.1 将传感器直接置入气体中适当的部位以获得有代表性的湿度值。
- 7.4.1.2 湿敏元件的感湿部分不应以手触摸,并避免受污染、腐蚀或凝露。
- 7.4.1.3 在尘土较多的场所使用时,应安装外罩或过滤器等装置。
- 7.4.1.4 仪器应按仪器说明书适时校准。当仪器无温度补偿时,校准温度宜接近使用温度。
- 7.4.1.5 不应在相对湿度接近100%的气体中长期使用。
- 7.4.1.6 气样中不宜含有杂质微粒、油污及其他破坏性组分。

7.4.1.7 当气样为有毒有害气体时,应对尾气作妥善处理或回收。

7.4.2 测量方法

仪器操作程序按使用说明书进行。

7.4.3 测量结果

待仪器示值稳定后读数。

7.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

7.6 试验报告

试验报告见附录 A。

8 电解法

8.1 概述

本方法规定了用以五氧化二磷为吸湿剂的电解湿度计测量气体中微量水分含量,被测气体为空气、惰性气体、烃类、氟代甲烷类、六氟化硫及其他不与五氧化二磷发生化学反应并不参与电解的气体。测量范围通常为 $0\ \mu\text{L/L} \sim 1\ 000\ \mu\text{L/L}$ 。

8.2 测量原理

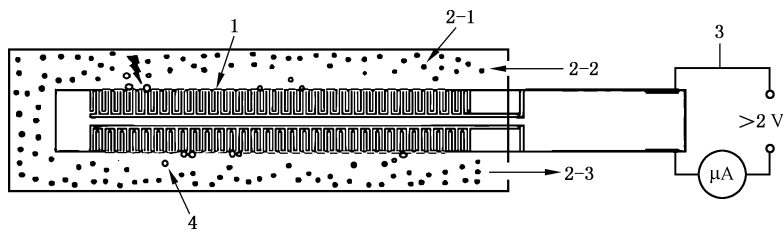
气样流经一个特殊结构的电解池(电解池原理示意图 6)时,所含的水蒸气被五氧化二磷膜层吸收并电解,当吸收和电解过程达到平衡时,电解电流正比于气样中的水蒸气含量,从而可通过测量电解电流得知气样的湿度。

根据法拉第电解定律和气体状态方程式,可导出电解电流与气样湿度之间的关系,见公式(3)。

$$I = \frac{QPT_o F V_r}{3P_o T V_o} \times 10^{-4} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- I ——电解电流,单位为微安(μA);
- Q ——气样流量,单位为毫升每分(mL/min);
- P ——大气压,单位为帕(Pa);
- T_o ——273.15,单位为开(K);
- F ——法拉第常数,96 485.309 C/mol;
- V_r ——气样湿度体积比,单位为微升每升($\mu\text{L/L}$);
- P_o ——标准大气压,101 325 Pa;
- T ——环境温度,单位为开(K);
- V_o ——摩尔体积,22.4 L/mol。



- 标引序号说明：
- 1 ——五氧化二磷；
 - 2-1 ——气体；
 - 2-2 ——气体进口；
 - 2-3 ——气体出口；
 - 3 ——电子；
 - 4 ——水分。

图 6 电解池原理示意图

8.3 测量仪器

电解湿度计应符合 JB/T 9356 的要求。

8.4 测量步骤

8.4.1 测量准备及注意事项

- 8.4.1.1 按使用说明连接仪器和管路,确保管路气密性良好。
- 8.4.1.2 当气样条件改变时,应重新对流量计进行标定。
- 8.4.1.3 当样品为瓶/罐装或袋装气体时,因湿度随瓶压降低而升高,所以应在接近气体生产厂标明的压力下取样。
- 8.4.1.4 气样中不宜含有杂质微粒、油污及其他破坏性组分。
- 8.4.1.5 当气样为有毒有害气体时,应对尾气作妥善处理或回收。

8.4.2 测量方法

- 8.4.2.1 用干燥的氮气吹扫仪器,同时电解,连续测量 20 min 且示值的变化不大于 1 μL/L 时,该示值为仪器的本底值。
- 8.4.2.2 按照说明书调整气体流量(通常为 100 mL/min),调节旁通流量约为 1 L/min,在仪器示值稳定后读数。

8.4.3 测量结果

仪器示值减去本底值为气样的湿度值,按公式(4)计算。

$$V_r = V'_r - V_{r0} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- V_r ——气样的湿度值,单位为微升每升(μL/L)；
- V'_r ——仪器示值,单位为微升每升(μL/L)；
- V_{r0} ——本底值,单位为微升每升(μL/L)。

8.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

8.6 试验报告

试验报告见附录 A。

9 重量法

9.1 概述

本方法是湿度测量方法中最高准确度的绝对湿度测量方法。重量湿度计通常用于湿度的精密测量及仲裁测量。测量范围通常为 0.19 g/kg~15 g/kg。

9.2 测量原理

利用五氧化二磷吸收管吸收气样中的水蒸气,用精密天平称取该水蒸气质量,同时测量通过吸收管而被干燥的气体体积,并记录测量时的室温和大气压,即可按公式(5)计算气样中的水蒸气质量混合比。

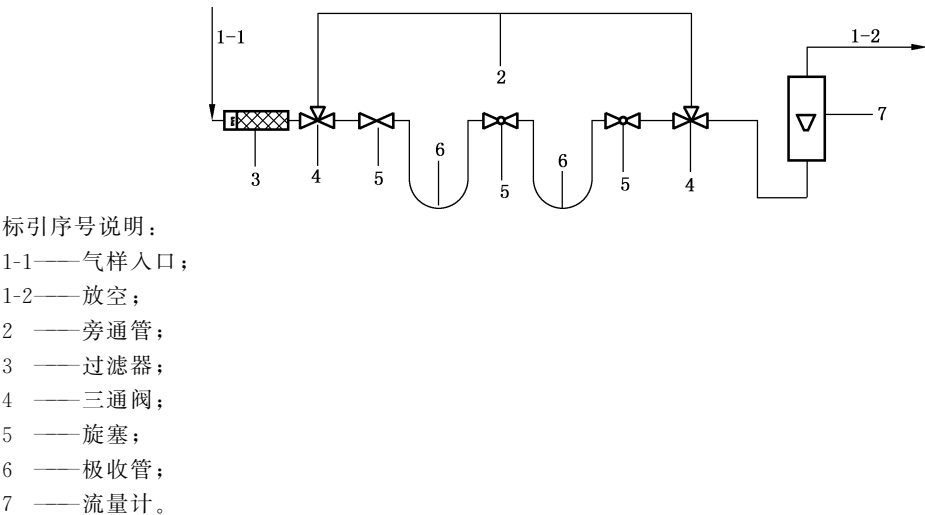
$$r = \frac{m_v}{m_a} = \frac{m_v}{V \cdot \rho} \times 1\,000 \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- r ——质量混合比,单位为千克每千克 (kg/kg);
- m_v ——水蒸气质量,单位为千克(kg);
- m_a ——干气质量,单位为千克(kg);
- V ——在室温 T 和大气压 P 时的干气体积,单位为立方米(m^3);
- ρ ——在室温 T 和大气压 P 时的干气密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

9.3 测量仪器

重量湿度计的流程示意图 7,吸收管用来吸收气样中的水蒸气,流量计用于测量干气流量,旁通气路供取样前气样吹洗系统用。



- 标引序号说明:
- 1-1 —— 气样入口;
 - 1-2 —— 放空;
 - 2 —— 旁通管;
 - 3 —— 过滤器;
 - 4 —— 三通阀;
 - 5 —— 旋塞;
 - 6 —— 吸收管;
 - 7 —— 流量计。

图 7 重量湿度计流程示意图

9.4 测量步骤

9.4.1 测量准备及注意事项

9.4.1.1 清洗并烘干吸收管。

9.4.1.2 校准流量计。

9.4.1.3 填装干燥剂,应戴清洁手套进行操作并在专用手套箱中进行。装填过程中,应添加玻璃丝之类的填料,以减少吸收管阻力,操作应迅速。

9.4.1.4 填装好后立即擦净吸收管玻璃磨口(若粉末进入侧管,也应擦净),涂以少量真空脂,密封。

9.4.1.5 开始通气吸收及停止吸收时,应注意气路的压力平衡,以防喷五氧化二磷粉末。如果喷粉,应拆下吸收管并擦净,重复 9.4.2.1 及其后的操作。

9.4.1.6 根据测量准确度的要求确定适当的吸收量,并根据气样湿度的高低确定吸收时间。

9.4.1.7 气样中不宜含有杂质微粒、油污及其他破坏性组分。

9.4.1.8 当气样为有毒有害气体时,应对废气作妥善处理或回收。

9.4.2 测量方法

9.4.2.1 用精密天平准确称量吸收管质量并作记录。

9.4.2.2 将吸收管接入系统。切换两只三通阀,让气样通过旁通管以选定的流量吹洗取样系统数小时。

9.4.2.3 切换三通阀,同时打开吸收管的旋塞,使气样以选定的流量通过吸收管,并记录环境温度、大气压、吸收时间、流量等参数。

9.4.2.4 切换三通阀并迅速关闭吸收管旋塞,拆下吸收管,再次准确称量并记录。

9.4.3 测量结果

按 9.2 中公式(5)计算。

9.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

9.6 试验报告

试验报告见附录 A。

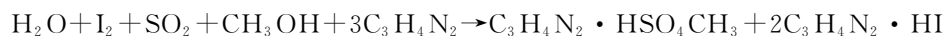
10 卡尔·费休法

10.1 概述

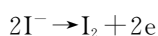
本方法规定了用卡尔·费休法测定气体样品中水分质量。该方法适用于测量不与卡尔·费休试剂中的主要成分(即碘、甲醇、二氧化硫和有机碱)发生化学反应的样品的水分质量。测量范围通常为 10^{-2} mg~ 10^3 mg。

10.2 测量原理

被测气体通过卡尔·费休水分仪的滴定池时,气体中的水与卡尔·费休试剂中的碘、二氧化硫在有机碱(如咪唑)和甲醇存在下,发生下列反应:



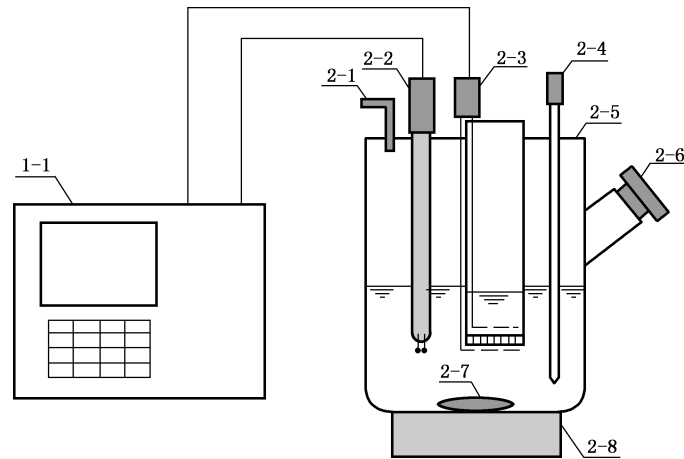
消耗的碘由含有碘离子的阳极液通过电解反应补充:



直到达到滴定终点,根据法拉第定律,碘的生成量与消耗电量成正比,发生反应的碘的物质的量与水相同,仪器通过电量消耗计算出样品的含水量。

10.3 测量仪器

卡尔·费休水分仪(如图 8 所示,以下简称“仪器”):检测水分准确度为 $0.1\ \mu\text{g}$ 。



标引序号说明:

- 1-1——卡尔·费休水分仪控制部分;
- 2-1——排气管;
- 2-2——检测电极;
- 2-3——阴极池;
- 2-4——进气吹管;
- 2-5——滴定池;
- 2-6——进样塞;
- 2-7——磁力搅拌子;
- 2-8——磁力搅拌器。

图 8 卡尔·费休水分仪结构示意图

10.4 测量步骤

10.4.1 测量准备

加入约 150 mL 阳极液于滴定池,加入阴极液于阴极池直到液面与滴定池内的阳极液基本持平。接通仪器电源,用塞子堵住进气接头,调节磁力搅拌器至阳极液刚好不泛起气泡的转速挡位。开启仪器的电解(滴定)功能,反应滴定池内的水分。当仪器显示的水分的反应速率低于 $0.30\ \mu\text{g/s}$ 时,开始测量。

10.4.2 仪器校准

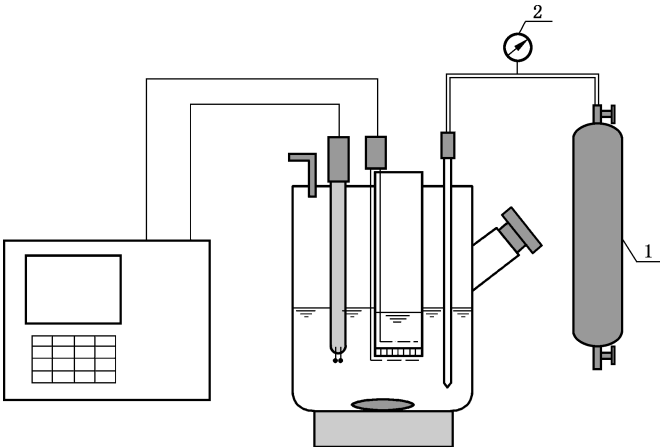
用微量注射器抽取 $0.5\ \mu\text{L}$ 纯水,按下启动按钮,通过聚四氟进样塞注入滴定池,进行仪器校准。仪器示值误差不超过 $\pm 5\%$ 。

10.4.3 测量方法

10.4.3.1 气体采样:按 GB/T 6681—2003 中 7.10 的规定进行。

10.4.3.2 用电子天平称量气体采样钢瓶和气体样品的质量。

10.4.3.3 将气体采样钢瓶按图 9 所示的方式连接至仪器的进气口,按下仪器的启动按钮,缓慢打开气体采样钢瓶的出口阀门,调节气体呈连续均匀的气泡通过滴定池中的试剂。



标引序号说明：
1——气体采样钢瓶；
2——压力表。

图 9 卡尔·费休水分仪连接气体采样钢瓶示意图

10.4.3.4 通入一段时间后,关闭气体采样钢瓶的出口阀门,等待仪器的滴定反应达到终点停止,读取仪器显示测得的水分质量。

10.4.3.5 取下气体采样钢瓶,用电子天平称量气体采样钢瓶和剩余气体样品的质量。

10.4.3.6 将进样前和进样后两次称量气体采样钢瓶的质量差值输入到仪器中。

注：若采用气体闪蒸仪法和体积流量计法,测量方法见附录 D。

10.4.4 测量结果

待仪器示值稳定后读数,按公式(6)计算含水量。

$$w = \frac{M}{m_0 - m_1} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- w ——样品的含水量,单位为微克每克($\mu\text{g/g}$)；
- M ——仪器测量的水分的质量,单位为微克(μg)；
- m_0 ——进样前气体采样钢瓶和气体样品的质量,单位为克(g)；
- m_1 ——进样后气体采样钢瓶和气体样品的质量,单位为克(g)。

10.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

10.6 测量报告

试验报告见附录 A。

11 光谱法

11.1 概述

本方法规定了采用光谱法测量气体的湿度,主要利用激光能量被水汽分子吸收形成吸收光谱,根据激光能量变化与水汽含量的关系计算气体湿度。测量范围通常为露点 $-90\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$,测量结果为体

积分数或露点温度。

11.2 测量原理

11.2.1 光腔衰荡光谱法

一束单波长激光进入光腔后,光束在腔镜之间来回反射振荡(光腔衰荡原理示意图 10)。当切断光源后,其能量就会随时间而衰减,衰减的速度与光腔自身的损耗(包括透射、散射)和腔内被测组分(介质)的吸收有关。对于给定的光腔,其自身的损耗为常量。光能量衰减的速度与被测组分的含量有关。被测组分的含量与其分子在光腔内的体积分子数成正比,按公式(7)计算被测气体体积分子数。

$$D = \frac{1}{c \times \sigma(\nu)} \times \left(\frac{1}{\tau(\nu)} - \frac{1}{\tau_{\text{empty}}} \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

D ——被测组分的体积分子数,与含量成正比,单位为每立方米(m^{-3});

c ——光速,单位为米每秒(m/s);

$\sigma(\nu)$ ——分子在激光频率 ν 的吸收横截面,单位为平方米(m^2);

$\tau(\nu)$ ——有吸收介质的衰荡时间,单位为秒(s);

τ_{empty} ——无吸收介质的衰荡时间,单位为秒(s)。

按公式(8)计算被测组分的含量。

$$x = \frac{D}{D_{\text{总}}} = \frac{D}{\frac{N_{\text{A}} P}{RT}} = \frac{RT}{N_{\text{A}} P V c \sigma(\nu)} \times \left(\frac{1}{\tau(\nu)} - \frac{1}{\tau_{\text{empty}}} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

x ——被测组分含量,单位为摩尔每摩尔(mol/mol);

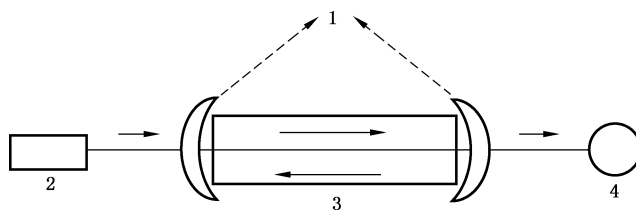
$D_{\text{总}}$ ——气体分子总体积分子数,单位为每立方米(m^{-3});

N_{A} ——阿伏加德罗常数, $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

P ——光腔池中的压力,单位为帕(Pa);

R ——气体常数, $8.314\ 510 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 (\text{mol} \cdot \text{K})$;

T ——光腔池中的温度,单位为开(K)。



标引序号说明:

1——高反射率镜片;

2——激光器;

3——衰荡腔;

4——电探测器。

图 10 光腔衰荡原理示意图

11.2.2 可调谐激光吸收光谱法

利用可调谐半导体激光器的窄线宽和波长可调谐特性,实现对被测分子的单个或几个波长相近但

容易分辨的吸收光谱进行扫描测量。通过快速调谐激光频率,使激光扫过被测气体,然后采用相敏检测技术测量被气体吸收后的透射激光光强中的谐波分量来分析气体的浓度。

11.3 测量仪器

示值误差应不超过 $\pm 3\%$ 。

11.4 测量步骤

11.4.1 测量准备及注意事项

11.4.1.1 应使用无死体积或死体积小的采样阀。

11.4.1.2 采样时应采用管径小、尽量短的内抛光不锈钢管。管壁对水分应无吸附,接头应无渗漏,应无死体积。不应使用铜管、聚四氟乙烯管、乳胶管、普通橡胶管或尼龙管等。

11.4.1.3 采样管路连接完成后应进行泄漏检测,以保证采样系统无泄漏。并应用样品气体对采样管路进行充分吹扫置换。

11.4.1.4 气样中不宜含有杂质微粒、油污及其他破坏性组分。

11.4.1.5 当气样为有毒有害气体时,应对废气作妥善处理或回收。

11.4.2 测量方法

按仪器说明书开启仪器,选择被测气体的种类。用被测气体吹扫气路系统。调节进气压力和流量,进行测量。

11.4.3 测量结果

当仪器稳定时,读取气体湿度值。

11.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

11.6 试验报告

试验报告见附录 A。

12 石英晶体振荡法

12.1 概述

本方法规定了采用石英晶体振荡法测定气体的湿度,适用于氢、氧、氮、氦、氖、氩、氪、氙、六氟化硫、一氧化碳、氧化亚氮、空气等气体及其混合气体湿度的测定,不适用于对石英晶体有腐蚀的气体以及能与水分发生反应的气体。测量范围通常为 $0.1 \mu\text{L/L} \sim 2\,000 \mu\text{L/L}$ 。

12.2 测量原理

石英晶体微天平(QCM)在气相中使用的基本原理和依据是绍尔布雷方程(Sauerbrey),当外部附着物均匀分布在石英晶体表面,且吸附物质的质量远小于石英晶体的质量时,质量与频率之间的变化成正比关系。测定气体中微量水分时,石英晶体的表面涂覆有吸湿性的涂层(图 11 为感湿石英晶体结构示意图),当样品气通入置有 QCM 的测量腔室时,石英晶体表面的涂层吸湿,石英晶体表面的质量改变使石英晶体的固有振荡频率发生改变,且振荡频率随涂层吸收水分含量的变化而成比例地改变。

Sauerbrey 方程见公式(9):

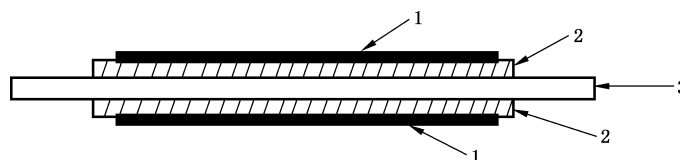
$$\Delta f = -c_f \Delta m \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

Δf ——频率变化值,单位为赫兹(Hz);

c_f ——质量灵敏度系数, $56.6 \text{ Hz} \cdot \mu\text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$;

Δm ——石英晶体表面涂层吸附水分的质量,单位为克每平方米(g/cm^2)。



标引序号说明:

1——感湿性涂层;

2——金属电极;

3——石英晶体。

图 11 感湿石英晶体结构示意图

12.3 测量仪器

示值误差应不超过 $\pm 3\%$ 。

12.4 测量步骤

12.4.1 测量准备及注意事项

12.4.1.1 检查并确认样品气中无粉尘、油污,必要时可增加除尘除油的前处理装置。

12.4.1.2 检查并确认采样管、采样阀清洁、干燥,仪器气路系统密闭无泄漏。

12.4.1.3 必要时应对采样系统、仪器气路系统、干燥筒进行清洁、干燥处理。

12.4.1.4 应使用无死体积或死体积很小的采样阀。

12.4.1.5 采样管线应采用不锈钢管,测定低水含量的样品气时,推荐采用内抛光的不锈钢管。

12.4.1.6 在满足仪器使用要求的前提下,应采用管径小、尽量短的内抛光不锈钢管将样品气直接引入仪器,接头应无渗漏、无死体积。

12.4.1.7 采样管路连接完成后应进行气密性检测,以保证采样系统无泄漏,并用样品气充分吹扫置换采样系统和仪器气路系统,直至取得具有代表性样品气。

12.4.1.8 气态气体样品应经减压阀减压后引入仪器,液化气体样品应经气化后引入仪器。

12.4.1.9 气样中不宜含有杂质微粒、油污及其他破坏性组分。

12.4.1.10 当气样为有毒有害气体时,应对尾气作妥善处理或回收。

12.4.2 测量方法

12.4.2.1 按仪器说明书要求调节样品气或干燥气压力和流量,开启仪器。

12.4.2.2 样品气和干燥气的压力和流量应一致。

12.4.2.3 用待测样品气充分吹扫采样系统和仪器气路系统。

12.4.2.4 按仪器说明书设定仪器的各项参数,将仪器设定为测量状态,测量待测样品气。

12.4.3 测量结果

当仪器示值稳定时(偏差符合表 1 的规定),读取湿度值,至少连续读取 2 次读数,取其算术平均值

作为最终分析结果。

表 1 偏差要求

测量范围/($\mu\text{L/L}$)	偏差
0.1~1	$\pm 0.1 \mu\text{L/L}$
$>1\sim 10$	$\pm 10\%$ (相对偏差)
$>10\sim 2\ 000$	$\pm 5\%$ (相对偏差)

12.5 精密度

按 GB/T 6379.2 的规定执行。

12.6 试验报告

试验报告见附录 A。

附 录 A
(资料性)
试验报告

湿度与测量条件密切相关,测量宜有详细记录和测量报告。试验报告宜包括以下内容:

- a) 测量所依据的标准;
- b) 测量方法;
- c) 被测气体名称和编号;
- d) 湿度计的名称、型号、编号和准确度;
- e) 环境和气样的温度、压力;
- f) 测量数据(列表);
- g) 测量人员;
- h) 测量日期;
- i) 其他需要说明的情况。

附 录 B
(资料性)
饱和水蒸气压表

饱和水蒸气压在水、过冷水及冰这 3 种状态下的温度换算值见表 B.1～表 B.4。

表 B.1 水的饱和蒸气压(0℃～100℃)

单位为帕

温度 ℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	611.213	615.669	620.154	624.668	629.210	633.783	638.384	643.015	647.676	652.367
1	657.088	661.839	666.621	671.433	676.276	681.149	686.054	690.990	695.958	700.957
2	705.988	711.051	716.146	721.273	726.433	731.625	736.850	742.108	747.399	752.724
3	758.082	763.474	768.900	774.360	779.854	785.383	790.946	796.544	802.177	807.846
4	813.549	819.289	825.064	830.875	836.722	842.605	848.525	854.482	860.476	866.507
5	872.575	878.681	884.824	891.005	897.225	903.482	909.779	916.114	922.488	928.901
6	935.353	941.845	948.377	954.948	961.560	968.212	974.905	981.639	988.414	995.229
7	1 002.087	1 008.986	1 015.927	1 022.910	1 029.935	1 037.003	1 044.113	1 051.267	1 058.464	1 065.704
8	1 072.988	1 080.315	1 087.687	1 095.103	1 102.564	1 110.070	1 117.620	1 125.216	1 132.857	1 140.544
9	1 148.277	1 156.056	1 163.881	1 171.753	1 179.672	1 187.638	1 195.652	1 203.713	1 211.822	1 219.979
10	1 228.184	1 236.438	1 244.740	1 253.092	1 261.493	1 269.944	1 278.444	1 286.995	1 295.596	1 304.247
11	1 312.949	1 321.702	1 330.507	1 339.363	1 348.271	1 357.231	1 366.244	1 375.309	1 384.427	1 393.598
12	1 402.822	1 412.101	1 421.433	1 430.819	1 440.260	1 449.755	1 459.306	1 468.912	1 478.573	1 488.290
13	1 498.064	1 507.893	1 517.780	1 527.723	1 537.724	1 547.782	1 557.897	1 568.071	1 578.304	1 588.594
14	1 598.944	1 609.353	1 619.821	1 630.350	1 640.938	1 651.586	1 662.296	1 673.066	1 683.897	1 694.790
15	1 705.745	1 716.762	1 727.841	1 738.983	1 750.188	1 761.457	1 772.789	1 784.185	1 795.645	1 807.169
16	1 818.759	1 830.414	1 842.134	1 853.920	1 865.772	1 877.691	1 889.676	1 901.728	1 913.848	1 926.035
17	1 938.291	1 950.615	1 963.007	1 975.468	1 987.999	2 000.599	2 013.269	2 026.010	2 038.821	2 051.703
18	2 064.657	2 077.681	2 090.778	2 103.948	2 117.189	2 130.504	2 143.892	2 157.354	2 170.890	2 184.500
19	2 198.184	2 211.944	2 225.779	2 239.690	2 253.677	2 267.740	2 281.880	2 296.097	2 310.392	2 324.764
20	2 339.215	2 353.744	2 368.352	2 383.039	2 397.807	2 412.654	2 427.581	2 442.589	2 457.678	2 472.849
21	2 488.102	2 503.436	2 518.854	2 534.354	2 549.938	2 565.605	2 581.357	2 597.193	2 613.113	2 629.120
22	2 645.211	2 661.389	2 677.653	2 694.004	2 710.442	2 726.968	2 743.582	2 760.284	2 777.074	2 793.954
23	2 810.924	2 827.983	2 845.133	2 862.374	2 879.705	2 897.129	2 914.644	2 932.252	2 949.952	2 967.746
24	2 985.633	3 003.614	3 021.690	3 039.861	3 058.127	3 076.488	3 094.946	3 113.500	3 132.152	3 150.900
25	3 169.747	3 188.692	3 207.735	3 226.878	3 246.120	3 265.462	3 284.904	3 304.448	3 324.092	3 343.839
26	3 363.687	3 383.639	3 403.693	3 423.851	3 444.113	3 464.479	3 484.950	3 505.526	3 526.209	3 546.997
27	3 567.892	3 588.894	3 610.004	3 631.222	3 652.548	3 673.984	3 695.529	3 717.184	3 738.949	3 760.825
28	3 782.813	3 804.912	3 827.124	3 849.448	3 871.886	3 894.437	3 917.103	3 939.883	3 962.778	3 985.790
29	4 008.917	4 032.161	4 055.522	4 079.001	4 102.598	4 126.313	4 150.148	4 174.102	4 198.177	4 222.372
30	4 246.688	4 271.126	4 295.686	4 320.369	4 345.175	4 370.105	4 395.159	4 420.337	4 445.641	4 471.071
31	4 496.626	4 522.309	4 548.119	4 574.057	4 600.123	4 626.319	4 652.643	4 679.098	4 705.683	4 732.399
32	4 759.247	4 786.227	4 813.340	4 840.586	4 867.965	4 895.479	4 923.128	4 950.912	4 978.833	5 006.890

表 B.1 水的饱和蒸气压(0℃~100℃)(续)

单位为帕

温度 ℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
33	5 035.083	5 063.415	5 091.885	5 120.493	5 149.241	5 178.129	5 207.157	5 236.326	5 265.637	5 295.090
34	5 324.685	5 354.424	5 384.307	5 414.334	5 444.507	5 474.825	5 505.289	5 535.900	5 566.659	5 597.565
35	5 628.620	5 659.824	5 691.178	5 722.683	5 754.338	5 786.145	5 818.104	5 850.216	5 882.481	5 914.900
36	5 947.474	5 980.203	6 013.087	6 046.129	6 079.327	6 112.683	6 146.197	6 179.870	6 213.703	6 247.696
37	6 281.849	6 316.164	6 350.642	6 385.281	6 420.085	6 455.052	6 490.184	6 525.481	6 560.944	6 596.573
38	6 632.370	6 668.334	6 704.467	6 740.769	6 777.241	6 813.884	6 850.697	6 887.682	6 924.840	6 962.171
39	6 999.676	7 037.355	7 075.209	7 113.239	7 151.445	7 189.829	7 228.390	7 267.130	7 306.049	7 345.148
40	7 384.427	7 423.888	7 463.531	7 503.356	7 543.365	7 583.558	7 623.935	7 664.498	7 705.247	7 746.182
41	7 787.306	7 828.617	7 870.118	7 911.808	7 953.688	7 995.760	8 038.024	8 080.480	8 123.129	8 165.972
42	8 209.010	8 252.244	8 295.673	8 339.300	8 383.124	8 427.147	8 471.368	8 515.790	8 560.412	8 605.236
43	8 650.261	8 695.490	8 740.922	8 786.558	8 832.400	8 878.448	8 924.702	8 971.163	9 017.833	9 064.712
44	9 111.800	9 159.099	9 206.609	9 254.331	9 302.266	9 350.415	9 398.778	9 447.356	9 496.150	9 545.161
45	9 594.39	9 643.84	9 693.50	9 743.39	9 793.49	9 843.82	9 894.37	9 945.14	9 996.14	10 047.36
46	10 098.81	10 150.48	10 202.39	10 254.51	10 306.87	10 359.46	10 412.28	10 465.33	10 518.61	10 572.12
47	10 625.87	10 679.85	10 734.07	10 788.53	10 843.22	10 898.15	10 953.32	11 008.73	11 064.38	11 120.27
48	11 176.40	11 232.77	11 289.39	11 346.26	11 403.37	11 460.73	11 518.33	11 576.18	11 634.29	11 692.64
49	11 751.24	11 810.10	11 869.20	11 928.56	11 988.18	12 048.05	12 108.18	12 168.56	12 229.21	12 290.11
50	12 351.27	12 412.69	12 474.38	12 536.32	12 598.53	12 661.01	12 723.75	12 786.76	12 850.03	12 913.57
51	12 977.38	13 041.47	13 105.82	13 170.44	13 235.34	13 300.51	13 365.95	13 431.67	13 497.67	13 563.95
52	13 630.50	13 697.33	13 764.45	13 831.84	13 899.52	13 967.48	14 035.72	14 104.25	14 173.07	14 242.17
53	14 311.56	14 381.24	14 451.21	14 521.47	14 592.03	14 662.87	14 734.01	14 805.45	14 877.18	14 949.21
54	15 021.54	15 094.16	15 167.09	15 240.31	15 313.84	15 387.67	15 461.81	15 536.25	15 611.00	15 686.05
55	15 761.41	15 837.08	15 913.07	15 989.36	16 065.96	16 142.88	16 220.12	16 297.66	16 375.53	16 453.71
56	16 532.21	16 611.03	16 690.17	16 769.63	16 849.42	16 929.53	17 009.96	17 090.72	17 171.81	17 253.22
57	17 334.97	17 417.04	17 499.45	17 582.19	17 665.26	17 748.67	17 832.41	17 916.49	18 000.90	18 085.66
58	18 170.75	18 256.19	18 341.97	18 428.09	18 514.56	18 601.37	18 688.53	18 776.04	18 863.89	18 952.10
59	19 040.66	19 129.57	19 218.83	19 308.45	19 398.42	19 488.75	19 579.44	19 670.49	19 761.90	19 853.67
60	19 945.80	20 038.30	20 131.16	20 224.39	20 317.98	20 411.94	20 506.28	20 600.98	20 696.06	20 791.51
61	20 887.33	20 983.53	21 080.10	21 177.05	21 274.39	21 372.10	21 470.19	21 568.67	21 667.53	21 766.78
62	21 866.41	21 966.43	22 066.84	22 167.63	22 268.82	22 370.41	22 472.38	22 574.75	22 677.52	22 780.68
63	22 884.24	22 988.20	23 092.57	23 197.33	23 302.50	23 408.07	23 514.05	23 620.44	23 727.23	23 834.44
64	23 942.05	24 050.08	24 158.52	24 267.38	24 376.65	24 486.34	24 596.45	24 706.98	24 817.93	24 929.30
65	25 041.10	25 153.32	25 265.97	25 379.04	25 492.55	25 606.48	25 720.85	25 835.65	25 950.88	26 066.55
66	26 182.66	26 299.20	26 416.18	26 533.61	26 651.47	26 769.78	26 888.54	27 007.74	27 127.39	27 247.49
67	27 368.04	27 489.03	27 610.49	27 732.39	27 854.76	27 977.58	28 100.85	28 224.59	28 348.79	28 473.45
68	28 598.58	28 724.17	28 850.22	28 976.75	29 103.74	29 231.21	29 359.14	29 487.56	29 616.44	29 745.80
69	29 875.64	30 005.96	30 136.76	30 268.05	30 399.81	30 532.06	30 664.80	30 798.02	30 931.74	31 065.94
70	31 200.64	31 335.83	31 471.51	31 607.69	31 744.37	31 881.55	32 019.23	32 157.41	32 296.09	32 435.28
71	32 574.98	32 715.18	32 855.89	32 997.12	33 138.85	33 281.10	33 423.87	33 567.15	33 710.95	33 855.28

表 B.1 水的饱和蒸气压(0℃~100℃)(续)

单位为帕

温度 ℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
72	34 000.12	34 145.48	34 291.37	34 437.79	34 584.73	34 732.20	34 880.21	35 028.74	35 177.81	35 327.41
73	35 477.55	35 628.23	35 779.44	35 931.20	36 083.50	36 236.34	36 389.73	36 543.67	36 698.16	36 853.19
74	37 008.78	37 164.92	37 321.62	37 478.87	37 636.69	37 795.06	37 953.99	38 113.48	38 273.54	38 434.17
75	38 595.36	38 757.13	38 919.46	39 082.36	39 245.84	39 409.90	39 574.53	39 739.74	39 905.54	40 071.91
76	40 238.87	40 406.41	40 574.54	40 743.26	40 912.57	41 082.47	41 252.96	41 424.05	41 595.73	41 768.02
77	41 940.90	42 114.39	42 288.47	42 463.17	42 638.47	42 814.38	42 990.90	43 168.03	43 345.77	43 524.13
78	43 703.10	43 882.70	44 062.91	44 243.75	44 425.20	44 607.29	44 790.00	44 973.34	45 157.31	45 341.91
79	45 527.14	45 713.01	45 899.52	46 086.67	46 274.45	46 462.88	46 651.95	46 841.67	47 032.04	47 223.05
80	47 414.72	47 607.04	47 800.01	47 993.64	48 187.93	48 382.88	48 578.48	48 774.76	48 971.69	49 169.30
81	49 367.57	49 566.51	49 766.13	49 966.41	50 167.38	50 369.02	50 571.34	50 774.34	50 978.03	51 182.40
82	51 387.45	51 593.20	51 799.63	52 006.76	52 214.58	52 423.09	52 632.31	52 842.22	53 052.83	53 264.15
83	53 476.17	53 688.90	53 902.33	54 116.48	54 331.34	54 546.91	54 763.20	54 980.21	55 197.93	55 416.38
84	55 635.55	55 855.45	56 076.07	56 297.42	56 519.50	56 742.32	56 965.87	57 190.16	57 415.18	57 640.95
85	57 867.45	58 094.71	58 322.71	58 551.45	58 780.95	59 011.20	59 242.20	59 473.95	59 706.47	59 939.74
86	60 173.78	60 408.58	60 644.15	60 880.48	61 117.58	61 355.45	61 594.10	61 833.52	62 073.72	62 314.70
87	62 556.46	62 799.00	63 042.32	63 286.44	63 531.34	63 777.04	64 023.52	64 270.80	64 518.88	64 767.76
88	65 017.44	65 267.92	65 519.21	65 771.30	66 024.21	66 277.92	66 532.45	66 787.79	67 043.95	67 300.93
89	67 558.73	67 817.36	68 076.81	68 337.08	68 598.19	68 860.13	69 122.90	69 386.51	69 650.95	69 916.23
90	70 182.36	70 449.33	70 717.15	70 985.81	71 255.33	71 525.69	71 796.92	72 068.99	72 341.93	72 615.73
91	72 890.39	73 165.91	73 442.30	73 719.57	73 997.70	74 276.70	74 556.59	74 837.34	75 118.98	75 401.50
92	75 684.91	75 969.20	76 254.38	76 540.45	76 827.41	77 115.27	77 404.03	77 693.68	77 984.24	78 275.69
93	78 568.06	78 861.33	79 155.51	79 450.61	79 746.62	80 043.54	80 341.39	80 640.16	80 939.84	81 240.46
94	81 542.00	81 844.47	82 147.88	82 452.22	82 757.49	83 063.71	83 370.86	83 678.96	83 988.00	84 298.00
95	84 608.94	84 920.83	85 233.68	85 547.49	85 862.25	86 177.98	86 494.67	86 812.32	87 130.94	87 450.54
96	87 771.10	88 092.64	88 415.16	88 738.66	89 063.14	89 388.60	89 715.06	90 042.49	90 370.92	90 700.35
97	91 030.77	91 362.18	91 694.60	92 028.02	92 362.45	92 697.88	93 034.32	93 371.78	93 710.25	94 049.73
98	94 390.23	94 731.76	95 074.31	95 417.89	95 762.49	96 108.13	96 454.79	96 802.50	97 151.24	97 501.02
99	97 851.85	98 203.72	98 556.63	98 910.60	99 265.62	99 621.70	99 978.83	100 337.02	100 696.27	101 056.59
100	101 417.98									
注：本表根据国际水和蒸汽性质协会(The International Association for the Properties of Water and Steam,IAP-WS)参照 90 国际温标(ITS-90)于 1997 年发布的方程式计算(Release on The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam)： $\beta^2\vartheta^2+n_1\beta^2\vartheta+n_2\beta^2+n_3\beta\vartheta^2+n_4\beta\vartheta+n_5\beta+n_6\vartheta^2+n_7\vartheta+n_8=0$										

表 B.2 过冷却水的饱和蒸气压(0℃~−50℃)

单位为帕

温度 ℃	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	611.21	606.79	602.39	598.02	593.67	589.36	585.07	580.81	576.58	572.38
−1	568.20	564.05	559.93	555.83	551.76	547.72	543.70	539.71	535.74	531.81
−2	527.89	524.00	520.14	516.31	512.49	508.71	504.95	501.21	497.50	493.81
−3	490.14	486.50	482.89	479.30	475.73	472.18	468.66	465.17	461.69	458.24
−4	454.81	451.41	448.02	444.66	441.32	438.01	434.72	431.44	428.19	424.97
−5	421.76	418.58	415.41	412.27	409.15	406.05	402.97	399.91	396.88	393.86
−6	390.86	387.89	384.93	382.00	379.08	376.18	373.31	370.45	367.61	364.79
−7	362.00	359.22	356.46	353.71	350.99	348.29	345.60	342.93	340.29	337.66
−8	335.04	332.45	329.87	327.31	324.77	322.25	319.74	317.25	314.78	312.33
−9	309.89	307.47	305.07	302.68	300.31	297.96	295.62	293.30	291.00	288.71
−10	286.44	284.18	281.94	279.72	277.51	275.32	273.14	270.98	268.83	266.70
−11	264.58	262.48	260.39	258.32	256.26	254.22	252.19	250.18	248.18	246.19
−12	244.22	242.27	240.32	238.39	236.48	234.58	232.69	230.82	228.96	227.11
−13	225.28	223.46	221.65	219.85	218.07	216.30	214.55	212.81	211.08	209.36
−14	207.65	205.96	204.28	202.61	200.96	199.31	197.68	196.06	194.46	192.86
−15	191.27	189.70	188.14	186.59	185.05	183.53	182.01	180.51	179.01	177.53
−16	176.06	174.60	173.15	171.71	170.29	168.87	167.46	166.07	164.68	163.31
−17	161.94	160.59	159.24	157.91	156.58	155.27	153.96	152.67	151.38	150.11
−18	148.84	147.59	146.34	145.10	143.87	142.66	141.45	140.25	139.06	137.87
−19	136.70	135.54	134.38	133.24	132.10	130.97	129.85	128.74	127.64	126.54
−20	125.46	124.38	123.31	122.25	121.20	120.15	119.12	118.09	117.07	116.05
−21	115.05	114.05	113.06	112.08	111.11	110.14	109.18	108.23	107.29	106.35
−22	105.42	104.50	103.59	102.68	101.78	100.89	100.00	99.12	98.25	97.39
−23	96.53	95.68	94.83	93.99	93.16	92.34	91.52	90.71	89.90	89.11
−24	88.31	87.53	86.75	85.97	85.21	84.45	83.69	82.94	82.20	81.46
−25	80.73	80.01	79.29	78.58	77.87	77.17	76.47	75.78	75.10	74.42
−26	73.74	73.08	72.41	71.76	71.10	70.46	69.82	69.18	68.55	67.92
−27	67.30	66.69	66.08	65.47	64.87	64.28	63.69	63.10	62.52	61.95
−28	61.38	60.81	60.25	59.69	59.14	58.59	58.05	57.51	56.98	56.45
−29	55.92	55.40	54.89	54.37	53.87	53.36	52.86	52.37	51.88	51.39
−30	50.91	50.43	49.96	49.49	49.02	48.56	48.10	47.65	47.20	46.75
−31	46.31	45.87	45.43	45.00	44.58	44.15	43.73	43.31	42.90	42.49
−32	42.09	41.68	41.28	40.89	40.50	40.11	39.72	39.34	38.96	38.59
−33	38.21	37.85	37.48	37.12	36.76	36.40	36.05	35.70	35.35	35.01
−34	34.67	34.33	34.00	33.66	33.33	33.01	32.69	32.37	32.05	31.73
−35	31.42	31.11	30.81	30.50	30.20	29.90	29.61	29.32	29.03	28.74
−36	28.45	28.17	27.89	27.62	27.34	27.07	26.80	26.53	26.27	26.00
−37	25.74	25.49	25.23	24.98	24.73	24.48	24.23	23.99	23.75	23.51
−38	23.27	23.03	22.80	22.57	22.34	22.11	21.89	21.67	21.45	21.23

表 B.2 过冷却水的饱和蒸气压(0℃～-50℃)(续)

单位为帕

温度 ℃	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-39	21.01	20.80	20.59	20.38	20.17	19.96	19.76	19.55	19.35	19.15
-40	18.96	18.76	18.57	18.38	18.19	18.00	17.81	17.63	17.45	17.27
-41	17.09	16.91	16.73	16.56	16.39	16.21	16.05	15.88	15.71	15.55
-42	15.38	15.22	15.06	14.91	14.75	14.59	14.44	14.29	14.14	13.99
-43	13.84	13.69	13.55	13.40	13.26	13.12	12.98	12.84	12.71	12.57
-44	12.44	12.30	12.17	12.04	11.91	11.79	11.66	11.53	11.41	11.29
-45	11.16	11.04	10.93	10.81	10.69	10.57	10.46	10.35	10.23	10.12
-46	10.01	9.90	9.80	9.69	9.58	9.48	9.38	9.27	9.17	9.07
-47	8.97	8.87	8.78	8.68	8.58	8.49	8.39	8.30	8.21	8.12
-48	8.03	7.94	7.85	7.77	7.68	7.59	7.51	7.43	7.34	7.26
-49	7.18	7.10	7.02	6.94	6.86	6.79	6.71	6.63	6.56	6.49
-50	6.41	6.34	6.27	6.20	6.13	6.06	5.99	5.92	5.85	5.79
注：本表根据国际水和蒸汽性质协会(The International Association for the Properties of Water and Steam,IAP-WS)参照 90 国际温标(ITS-90)于 1997 年发布的方程式延伸至负温区计算(Release on The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam)： $\beta^2\vartheta^2+n_1\beta^2\vartheta+n_2\beta^2+n_3\beta\vartheta^2+n_4\beta\vartheta+n_5\beta+n_6\vartheta^2+n_7\vartheta+n_8=0$										

表 B.3 冰的饱和蒸气压(0℃～-100℃)

单位为帕

温度 ℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-0	611.154	606.140	601.163	596.224	591.322	586.456	581.627	576.834	572.078	567.357
-1	562.671	558.021	553.405	548.825	544.279	539.767	535.290	530.846	526.436	522.059
-2	517.716	513.405	509.128	504.882	500.669	496.488	492.339	488.222	484.136	480.081
-3	476.057	472.063	468.101	464.168	460.266	456.394	452.552	448.738	444.955	441.200
-4	437.474	433.777	430.109	426.469	422.857	419.273	415.716	412.187	408.686	405.211
-5	401.764	398.343	394.949	391.581	388.240	384.924	381.635	378.371	375.132	371.919
-6	368.731	365.568	362.430	359.316	356.227	353.162	350.121	347.104	344.111	341.141
-7	338.195	335.272	332.372	329.495	326.640	323.809	320.999	318.212	315.447	312.705
-8	309.983	307.284	304.606	301.949	299.314	296.699	294.105	291.533	288.980	286.448
-9	283.937	281.445	278.974	276.522	274.090	271.678	269.285	266.911	264.556	262.221
-10	259.904	257.606	255.326	253.066	250.823	248.598	246.392	244.203	242.033	239.879
-11	237.744	235.626	233.525	231.441	229.374	227.324	225.291	223.275	221.275	219.291
-12	217.324	215.373	213.438	211.518	209.615	207.727	205.855	203.998	202.157	200.331
-13	198.520	196.724	194.942	193.176	191.424	189.687	187.964	186.256	184.561	182.881
-14	181.215	179.563	177.925	176.300	174.689	173.091	171.507	169.936	168.378	166.833
-15	165.302	163.783	162.277	160.783	159.303	157.834	156.378	154.935	153.504	152.084

表 B.3 冰的饱和蒸气压(0℃~−100℃)(续)

单位为帕

温度 ℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
−16	150.677	149.282	147.898	146.527	145.167	143.818	142.481	141.156	139.842	138.538
−17	137.247	135.966	134.696	133.437	132.189	130.951	129.724	128.508	127.302	126.106
−18	124.921	123.746	122.581	121.427	120.282	119.147	118.022	116.907	115.801	114.705
−19	113.618	112.541	111.473	110.415	109.366	108.326	107.295	106.273	105.260	104.256
−20	103.260	102.274	101.296	100.326	99.365 2	98.412 7	97.468 7	96.532 9	95.605 4	94.686 1
−21	93.774 9	92.871 8	91.976 6	91.089 4	90.210 0	89.338 4	88.474 6	87.618 4	86.769 9	85.928 9
−22	85.095 4	84.269 3	83.450 5	82.639 1	81.835 0	81.038 0	80.248 2	79.465 4	78.689 7	77.920 9
−23	77.159 0	76.403 9	75.655 7	74.914 2	74.179 4	73.451 1	72.729 5	72.014 4	71.305 7	70.603 5
−24	69.907 6	69.218 0	68.534 7	67.857 6	67.186 6	66.521 8	65.863 0	65.210 1	64.563 3	63.922 3
−25	63.287 2	62.657 9	62.034 3	61.416 5	60.804 3	60.197 7	59.596 7	59.001 3	58.411 3	57.826 7
−26	57.247 5	56.673 6	56.105 1	55.541 7	54.983 6	54.430 7	53.882 8	53.340 1	52.802 4	52.269 6
−27	51.741 8	51.219 0	50.700 9	50.187 7	49.679 3	49.175 7	48.676 7	48.182 4	47.692 7	47.207 6
−28	46.727 0	46.251 0	45.779 4	45.312 2	44.849 4	44.391 0	43.936 9	43.487 1	43.041 5	42.600 1
−29	42.162 9	41.729 8	41.300 9	40.876 0	40.455 1	40.038 2	39.625 2	39.216 2	38.811 1	38.409 8
−30	38.012 4	37.618 7	37.228 8	36.842 7	36.460 2	36.081 4	35.706 2	35.334 6	34.966 6	34.602 1
−31	34.241 1	33.883 5	33.529 5	33.178 8	32.831 5	32.487 6	32.147 0	31.809 6	31.475 6	31.144 8
−32	30.817 1	30.492 7	30.171 4	29.853 2	29.538 2	29.226 2	28.917 2	28.611 3	28.308 3	28.008 3
−33	27.711 2	27.417 1	27.125 8	26.837 3	26.551 7	26.269 0	25.988 9	25.711 7	25.437 1	25.165 3
−34	24.896 2	24.629 7	24.365 8	24.104 6	23.845 9	23.589 8	23.336 3	23.085 2	22.836 7	22.590 6
−35	22.347 0	22.105 8	21.867 0	21.630 5	21.396 5	21.164 8	20.935 4	20.708 2	20.483 4	20.260 8
−36	20.040 5	19.822 4	19.606 4	19.392 7	19.181 1	18.971 6	18.764 2	18.558 9	18.355 7	18.154 6
−37	17.955 5	17.758 4	17.563 3	17.370 2	17.179 1	16.989 9	16.802 6	16.617 2	16.433 7	16.252 1
−38	16.072 4	15.894 5	15.718 4	15.544 1	15.371 6	15.200 9	15.031 9	14.864 6	14.699 1	14.535 3
−39	14.373 2	14.212 7	14.053 9	13.896 8	13.741 2	13.587 3	13.435 0	13.284 2	13.135 0	12.987 4
−40	12.841 3	12.696 7	12.553 6	12.412 0	12.271 9	12.133 3	11.996 1	11.860 3	11.726 0	11.593 1
−41	11.461 5	11.331 4	11.202 6	11.075 2	10.949 1	10.824 3	10.700 9	10.578 7	10.457 9	10.338 3
−42	10.220 0	10.102 9	9.987 1	9.872 5	9.759 2	9.647 0	9.536 0	9.426 3	9.317 6	9.210 2
−43	9.103 9	8.998 7	8.894 7	8.791 7	8.689 9	8.589 1	8.489 5	8.390 9	8.293 4	8.196 9
−44	8.101 5	8.007 1	7.913 7	7.821 3	7.729 9	7.639 5	7.550 1	7.461 7	7.374 2	7.287 7
−45	7.202 1	7.117 4	7.033 7	6.950 9	6.869 0	6.787 9	6.707 8	6.628 5	6.550 1	6.472 6
−46	6.395 9	6.320 1	6.245 1	6.170 9	6.097 5	6.025 0	5.953 2	5.882 3	5.812 1	5.742 7
−47	5.674 1	5.606 2	5.539 1	5.472 7	5.407 1	5.342 2	5.278 0	5.214 5	5.151 7	5.089 7
−48	5.028 3	4.967 6	4.907 6	4.848 3	4.789 7	4.731 7	4.674 3	4.617 6	4.561 5	4.506 1
−49	4.451 3	4.397 1	4.343 5	4.290 5	4.238 2	4.186 4	4.135 2	4.084 6	4.034 5	3.985 1
−50	3.936 2	3.887 8	3.840 0	3.792 8	3.746 1	3.699 9	3.654 3	3.609 1	3.564 5	3.520 4
−51	3.476 8	3.433 8	3.391 2	3.349 1	3.307 5	3.266 3	3.225 7	3.185 5	3.145 7	3.106 5
−52	3.067 7	3.029 3	2.991 4	2.953 9	2.916 9	2.880 3	2.844 1	2.808 4	2.773 0	2.738 1
−53	2.703 6	2.669 5	2.635 8	2.602 5	2.569 5	2.537 0	2.504 9	2.473 1	2.441 7	2.410 7
−54	2.380 0	2.349 7	2.319 8	2.290 2	2.260 9	2.232 1	2.203 5	2.175 3	2.147 4	2.119 9
−55	2.092 7	2.065 8	2.039 2	2.013 0	1.987 1	1.961 5	1.936 1	1.911 1	1.886 4	1.862 0
−56	1.837 9	1.814 1	1.790 5	1.767 3	1.744 3	1.721 6	1.699 2	1.677 0	1.655 2	1.633 6
−57	1.612 2	1.591 1	1.570 3	1.549 7	1.529 4	1.509 3	1.489 4	1.469 9	1.450 5	1.431 4
−58	1.412 5	1.393 9	1.375 4	1.357 2	1.339 3	1.321 5	1.304 0	1.286 7	1.269 6	1.252 7
−59	1.236 0	1.219 6	1.203 3	1.187 2	1.171 4	1.155 7	1.140 2	1.125 0	1.109 9	1.095 0

表 B.4 冰的饱和蒸气压(0℃～－100℃)

单位为毫帕

温度 ℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
－60	1 080.25	1 065.72	1 051.38	1 037.21	1 023.22	1 009.41	995.77	982.31	969.01	955.88
－61	942.92	930.12	917.48	905.01	892.69	880.52	868.52	856.66	844.96	833.40
－62	821.99	810.73	799.61	788.64	777.80	767.10	756.55	746.12	735.83	725.67
－63	715.65	705.75	695.98	686.34	676.82	667.42	658.15	648.99	639.96	631.04
－64	622.24	613.55	604.98	596.52	588.17	579.92	571.79	563.76	555.84	548.02
－65	540.30	532.69	525.18	517.76	510.44	503.22	496.10	489.06	482.13	475.28
－66	468.52	461.86	455.28	448.79	442.39	436.07	429.84	423.69	417.62	411.63
－67	405.72	399.90	394.15	388.47	382.88	377.36	371.91	366.54	361.24	356.01
－68	350.85	345.76	340.74	335.79	330.91	326.09	321.34	316.65	312.03	307.47
－69	302.97	298.54	294.16	289.85	285.59	281.39	277.25	273.17	269.14	265.17
－70	261.25	257.39	253.58	249.83	246.12	242.47	238.87	235.32	231.81	228.36
－71	224.95	221.59	218.28	215.02	211.80	208.63	205.50	202.41	199.37	196.37
－72	193.41	190.50	187.62	184.79	181.99	179.24	176.52	173.85	171.21	168.61
－73	166.04	163.52	161.02	158.57	156.15	153.76	151.41	149.09	146.81	144.55
－74	142.33	140.14	137.99	135.86	133.77	131.70	129.67	127.66	125.69	123.74
－75	121.82	119.93	118.06	116.23	114.42	112.63	110.88	109.15	107.44	105.76
－76	104.10	102.47	100.86	99.28	97.71	96.18	94.66	93.17	91.70	90.25
－77	88.82	87.41	86.03	84.66	83.32	81.99	80.69	79.40	78.13	76.89
－78	75.66	74.45	73.26	72.08	70.92	69.79	68.66	67.56	66.47	65.40
－79	64.34	63.30	62.28	61.27	60.28	59.30	58.34	57.39	56.45	55.53
－80	54.63	53.74	52.86	51.99	51.14	50.30	49.48	48.67	47.87	47.08
－81	46.30	45.54	44.79	44.05	43.32	42.60	41.90	41.20	40.52	39.84
－82	39.18	38.53	37.88	37.25	36.63	36.02	35.41	34.82	34.24	33.66
－83	33.10	32.54	31.99	31.45	30.92	30.40	29.88	29.38	28.88	28.39
－84	27.91	27.43	26.96	26.51	26.05	25.61	25.17	24.74	24.32	23.90
－85	23.49	23.09	22.69	22.30	21.91	21.54	21.16	20.80	20.44	20.08
－86	19.73	19.39	19.06	18.72	18.40	18.08	17.76	17.45	17.15	16.85
－87	16.55	16.26	15.97	15.69	15.42	15.15	14.88	14.62	14.36	14.10
－88	13.85	13.61	13.37	13.13	12.90	12.67	12.44	12.22	12.00	11.79
－89	11.57	11.37	11.16	10.96	10.77	10.57	10.38	10.19	10.01	9.83
－90	9.65	9.48	9.31	9.14	8.97	8.81	8.65	8.49	8.33	8.18
－91	8.03	7.89	7.74	7.60	7.46	7.32	7.19	7.06	6.93	6.80
－92	6.67	6.55	6.43	6.31	6.19	6.08	5.96	5.85	5.74	5.64
－93	5.53	5.43	5.33	5.23	5.13	5.03	4.94	4.84	4.75	4.66
－94	4.57	4.49	4.40	4.32	4.24	4.16	4.08	4.00	3.92	3.85
－95	3.78	3.70	3.63	3.56	3.50	3.43	3.36	3.30	3.23	3.17
－96	3.11	3.05	2.99	2.93	2.88	2.82	2.77	2.71	2.66	2.61
－97	2.56	2.51	2.46	2.41	2.36	2.32	2.27	2.23	2.18	2.14
－98	2.10	2.06	2.01	1.97	1.94	1.90	1.86	1.82	1.79	1.75
－99	1.72	1.68	1.65	1.61	1.58	1.55	1.52	1.49	1.46	1.43
－100	1.40									

表 B.4 冰的饱和蒸气压(0 ℃ ~ -100 ℃) (续)

单位为毫帕

温度 ℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
注：本表根据国际水和蒸汽性质协会(IAPWS)参照 90 国际温标(ITS-90)于 1993 年发布的方程式计算[IAPWS Release on the Pressure along the Melting and the Sublimation Curves of Ordinary Water Substance,IAPWS Secretariat(1993)]： $\ln\left(\frac{e_s}{e_1}\right)=a_1(1-\theta^{-1.5})+a_2(1-\theta^{-1.25})$										

附 录 C
(资料性)
湿度换算

C.1 主要的湿度换算公式

C.1.1 质量混合比

按公式(C.1)计算质量混合比:

$$r = \frac{m_v}{m_a} = \frac{M_v e_d}{M_a (p - e_d)} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:
 r ——质量混合比,单位为千克每千克(kg/kg);
 m_v ——水蒸气质量,单位为千克(kg);
 m_a ——干气质量,单位为千克(kg);
 M_v ——水蒸气的摩尔质量,18.015,单位为千克每摩尔(kg/mol);
 e_d ——在露点温度 T_d 下的饱和水蒸气压,单位为帕(Pa)。当露点低于 0 ℃时,如果铂电阻温度传感器表面上的冷凝物为露(过冷却水),取过冷却水面上的饱和水蒸气压;如果铂电阻温度传感器表面上的冷凝物为冰晶,取冰面上的饱和水蒸气压;
 M_a ——干气的摩尔质量,单位为千克每摩尔(kg/mol);
 p ——取样期间的平均大气压,单位为帕(Pa)。
对空气按公式(C.2)计算质量混合比:

$$r = 0.622 \frac{e_d}{p - e_d} \dots\dots\dots (C.2)$$

C.1.2 比湿

按公式(C.3)计算比湿:

$$q = \frac{m_v}{m_a + m_v} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:
 q ——比湿,单位为千克每千克(kg/kg)。

C.1.3 绝对湿度

按公式(C.4)计算绝对湿度:

$$d_v = \frac{e_d M_v}{TR} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:
 d_v ——绝对湿度,单位为千克每立方米(kg/m³);
 T ——气样温度,单位为开尔文(K);
 R ——摩尔气体常数,8.314 510,单位为焦耳每摩尔开尔文[J/(mol · K)]。

C.1.4 相对湿度

按公式(C.5)计算相对湿度:

$$U = \frac{e_d}{e_t} \times 100 \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：
 U ——相对湿度，%；
 e_t ——在气样温度 T 下的饱和水蒸气压，单位为帕(Pa)。

C.1.5 重量比

按公式(C.6)计算重量比：

$$W_r = r \times 10^6 \dots\dots\dots (C.6)$$

式中：
 W_r ——重量比，单位为微克每克($\mu\text{g/g}$)。

C.1.6 体积比

按公式(C.7)计算体积比：

$$V_r = \frac{e_d}{p - e_d} \times 10^6 \dots\dots\dots (C.7)$$

式中：
 V_r ——体积比，单位为微升每升($\mu\text{L/L}$)。

C.2 换算表

露点温度与其他主要湿度单位换算值见表 C.1、表 C.2。

表 C.1 露点温度与其他主要湿度单位换算表(0℃~80℃)

露点 ℃	饱和水蒸气压 Pa	混合比(空气) g/kg	比湿(空气) g/kg	绝对湿度 (20℃) g/m ³	体积比 μL/L	重量比(空气) μg/g	相对湿度 (20℃) %
0	611.21	3.775	3.761	4.518	6 068.8	3 774.8	26.13
1	657.09	4.060	4.044	4.857	6 527.3	4 060.0	28.09
2	705.99	4.364	4.345	5.218	7 016.4	4 364.2	30.18
3	758.08	4.689	4.667	5.603	7 538.1	4 688.7	32.41
4	813.55	5.035	5.009	6.013	8 094.1	5 034.5	34.78
5	872.57	5.403	5.374	6.450	8 686.4	5 403.0	37.30
6	935.35	5.795	5.762	6.914	9 317.2	5 795.3	39.99
7	1 002.09	6.213	6.175	7.407	9 988.6	6 212.9	42.84
8	1 072.99	6.657	6.613	7.931	10 702.9	6 657.2	45.87
9	1 148.28	7.130	7.079	8.488	11 462.5	7 129.7	49.09
10	1 228.18	7.632	7.574	9.078	12 270.0	7 631.9	52.50
11	1 312.95	8.166	8.099	9.705	13 127.9	8 165.6	56.13
12	1 402.82	8.732	8.657	10.37	14 039.1	8 732.4	59.97
13	1 498.06	9.334	9.248	11.07	15 006.6	9 334.1	64.04
14	1 598.94	9.973	9.874	11.82	16 033.4	9 972.8	68.35
15	1 705.74	10.65	10.54	12.61	17 122.6	10 650.3	72.92
16	1 818.76	11.37	11.24	13.44	18 277.8	11 368.8	77.75

表 C.1 露点温度与其他主要湿度单位换算表(0 ℃ ~80 ℃) (续)

露点 ℃	饱和水蒸气压 Pa	混合比(空气) g/kg	比湿(空气) g/kg	绝对湿度 (20 ℃) g/m ³	体积比 μL/L	重量比(空气) μg/g	相对湿度 (20 ℃) %
17	1 938.29	12.13	11.99	14.33	19 502.5	12 130.6	82.86
18	2 064.66	12.94	12.77	15.26	20 800.4	12 937.9	88.26
19	2 198.18	13.79	13.61	16.25	22 175.5	13 793.1	93.97
20	2 339.21	14.70	14.49	17.29	23 631.8	14 699.0	100.00
21	2 488.10	15.66	15.42	18.39	25 173.8	15 658.1	
22	2 645.21	16.67	16.40	19.55	26 806.0	16 673.3	
23	2 810.92	17.75	17.44	20.78	28 533.2	17 747.7	
24	2 985.63	18.88	18.53	22.07	30 360.5	18 884.2	
25	3 169.75	20.09	19.69	23.43	32 293.2	20 086.4	
26	3 363.69	21.36	20.91	24.86	34 336.9	21 357.5	
27	3 567.89	22.70	22.20	26.37	36 497.5	22 701.5	
28	3 782.81	24.12	23.55	27.96	38 781.3	24 122.0	
29	4 008.92	25.62	24.98	29.63	41 194.8	25 623.2	
30	4 246.69	27.21	26.49	31.39	43 745.0	27 209.4	
31	4 496.63	28.89	28.07	33.24	46 439.1	28 885.1	
32	4 759.25	30.66	29.74	35.18	49 285.0	30 655.3	
33	5 035.08	32.52	31.50	37.22	52 290.9	32 524.9	
34	5 324.69	34.50	33.35	39.36	55 465.3	34 499.4	
35	5 628.62	36.58	35.29	41.60	58 817.5	36 584.5	
36	5 947.47	38.79	37.34	43.96	62 357.2	38 786.2	
37	6 281.85	41.11	39.49	46.43	66 094.7	41 110.9	
38	6 632.37	43.57	41.75	49.02	70 041.0	43 565.5	
39	6 999.68	46.16	44.12	51.74	74 207.8	46 157.3	
40	7 384.43	48.89	46.61	54.58	78 607.4	48 893.8	
41	7 787.31	51.78	49.23	57.56	83 253.1	51 783.4	
42	8 209.01	54.83	51.98	60.68	88 159.0	54 834.9	
43	8 650.26	58.06	54.87	63.94	93 340.0	58 057.5	
44	9 111.80	61.46	57.90	67.35	98 812.3	61 461.3	
45	9 594.39	65.06	61.08	70.92	104 593.1	65 056.9	
46	10 098.81	68.86	64.42	74.65	110 700.8	68 855.9	
47	10 625.87	72.87	67.92	78.54	117 155.2	72 870.5	
48	11 176.40	77.11	71.59	82.61	123 977.5	77 114.0	
49	11 751.24	81.60	75.44	86.86	131 190.7	81 600.6	
50	12 351.27	86.35	79.48	91.30	138 819.3	86 345.6	
51	12 977.38	91.37	83.72	95.92	146 890.0	91 365.6	
52	13 630.50	96.68	88.16	100.75	155 431.6	96 678.5	
53	14 311.56	102.30	92.81	105.78	164 475.3	102 303.6	
54	15 021.54	108.26	97.69	111.03	174 054.8	108 262.1	
55	15 761.41	114.58	102.80	116.50	184 207.0	114 576.8	

表 C.1 露点温度与其他主要湿度单位换算表(0℃~80℃)(续)

露点 ℃	饱和水蒸气压 Pa	混合比(空气) g/kg	比湿(空气) g/kg	绝对湿度 (20℃) g/m ³	体积比 μL/L	重量比(空气) μg/g	相对湿度 (20℃) %
56	16 532.21	121.27	108.16	122.20	194 971.9	121 272.5	
57	17 334.97	128.38	113.77	128.13	206 393.2	128 376.5	
58	18 170.75	135.92	119.66	134.31	218 518.7	135 918.6	
59	19 040.66	143.93	125.82	140.74	231 400.8	143 931.3	
60	19 945.80	152.45	132.28	147.43	245 097.1	152 450.4	
61	20 887.33	161.52	139.06	154.39	259 671.0	161 515.3	
62	21 866.41	171.17	146.15	161.63	275 192.5	171 169.7	
63	22 884.24	181.46	153.59	169.15	291 739.2	181 461.8	
64	23 942.05	192.44	161.39	176.97	309 397.0	192 445.0	
65	25 041.10	204.18	169.56	185.09	328 261.9	204 178.9	
66	26 182.66	216.73	178.13	193.53	348 440.8	216 730.1	
67	27 368.04	230.17	187.11	202.29	370 053.5	230 173.3	
68	28 598.58	244.59	196.52	211.39	393 235.0	244 592.2	
69	29 875.64	260.08	206.40	220.83	418 137.3	260 081.4	
70	31 200.64	276.75	216.76	230.62	444 932.9	276 748.3	
71	32 574.98	294.71	227.63	240.78	473 817.7	294 714.6	
72	34 000.12	314.12	239.03	251.31	505 015.6	314 119.7	
73	35 477.55	335.12	251.01	262.23	538 783.9	335 123.6	
74	37 008.78	357.91	263.57	273.55	575 419.1	357 910.7	
75	38 595.36	382.69	276.77	285.28	615 265.2	382 695.0	
76	40 238.87	409.73	290.64	297.43	658 723.4	409 726.0	
77	41 940.90	439.30	305.22	310.01	706 264.8	439 296.7	
78	43 703.10	471.75	320.54	323.03	758 446.1	471 753.5	
79	45 527.14	507.51	336.65	336.52	815 929.9	507 508.4	
80	47 414.72	547.06	353.61	350.47	879 511.7	547 056.3	

表 C.2 露点温度与其他主要湿度单位换算表(0℃~-75℃)

露点 ℃	饱和水蒸气压 Pa	混合比(空气) g/kg	绝对湿度 (20℃) g/m ³	体积比 μL/L	重量比 (空气) μg/g	重量比(SF ₆) μg/g	相对湿度 (20℃) %
-0	611.154	3.774 4	4.517 4	6 068.22	3 774.4	750.68	26.13
-1	562.671	3.473 3	4.159 0	5 584.14	3 473.3	690.80	24.05
-2	517.716	3.194 4	3.826 7	5 135.70	3 194.4	635.32	22.13
-3	476.057	2.936 1	3.518 8	4 720.49	2 936.1	583.96	20.35
-4	437.474	2.697 2	3.233 6	4 336.26	2 697.2	536.42	18.70
-5	401.764	2.476 1	2.969 7	3 980.88	2 476.1	492.46	17.18
-6	368.731	2.271 8	2.725 5	3 652.38	2 271.8	451.82	15.76
-7	338.195	2.083 0	2.499 8	3 348.90	2 083.0	414.28	14.46

表 C.2 露点温度与其他主要湿度单位换算表(0℃～-75℃)(续)

露点 ℃	饱和水蒸气压 Pa	混合比(空气) g/kg	绝对湿度 (20℃) g/m ³	体积比 μL/L	重量比 (空气) μg/g	重量比(SF ₆) μg/g	相对湿度 (20℃) %
-8	309.983	1.908 7	2.291 3	3 068.69	1 908.7	379.62	13.25
-9	283.937	1.747 9	2.098 7	2 810.11	1 747.9	347.63	12.14
-10	259.904	1.599 6	1.921 1	2 571.65	1 599.6	318.13	11.11
-11	237.744	1.462 9	1.757 3	2 351.87	1 462.9	290.94	10.16
-12	217.324	1.336 9	1.606 4	2 149.43	1 336.9	265.90	9.290
-13	198.520	1.221 0	1.467 4	1 963.08	1 221.0	242.85	8.487
-14	181.215	1.114 4	1.339 5	1 791.66	1 114.4	221.64	7.747
-15	165.302	1.016 4	1.221 8	1 634.07	1 016.4	202.14	7.067
-16	150.677	0.926 3	1.113 7	1 489.28	926.33	184.23	6.441
-17	137.247	0.843 7	1.014 5	1 356.36	843.65	167.79	5.867
-18	124.921	0.767 8	0.923 4	1 234.40	767.80	152.70	5.340
-19	113.618	0.698 2	0.839 8	1 122.58	698.25	138.87	4.857
-20	103.260	0.634 5	0.763 3	1 020.14	634.53	126.20	4.414
-21	93.774 9	0.576 2	0.693 1	926.34	576.19	114.59	4.009
-22	85.095 4	0.522 8	0.629 0	840.53	522.81	103.98	3.638
-23	77.159 0	0.474 0	0.570 3	762.08	474.01	94.27	3.298
-24	69.907 6	0.429 4	0.516 7	690.41	429.44	85.41	2.989
-25	63.287 2	0.388 7	0.467 8	624.99	388.74	77.32	2.705
-26	57.247 5	0.351 6	0.423 1	565.31	351.62	69.93	2.447
-27	51.741 8	0.317 8	0.382 5	510.91	317.79	63.20	2.212
-28	46.727 0	0.287 0	0.345 4	461.37	286.97	57.07	1.998
-29	42.162 9	0.258 9	0.311 7	416.29	258.93	51.50	1.802
-30	38.012 4	0.233 4	0.281 0	375.29	233.43	46.43	1.625
-31	34.241 1	0.210 3	0.253 1	338.05	210.27	41.82	1.464
-32	30.817 1	0.189 2	0.227 8	304.23	189.23	37.64	1.317
-33	27.711 2	0.170 2	0.204 8	273.56	170.16	33.84	1.185
-34	24.896 2	0.152 9	0.184 0	245.77	152.87	30.40	1.064
-35	22.347 0	0.137 2	0.165 2	220.60	137.21	27.29	0.955 3
-36	20.040 5	0.123 0	0.148 1	197.82	123.05	24.47	0.856 7
-37	17.955 5	0.110 2	0.132 7	177.24	110.24	21.93	0.767 6
-38	16.072 4	0.098 7	0.118 8	158.65	98.679	19.63	0.687 1
-39	14.373 2	0.088 2	0.106 2	141.87	88.245	17.55	0.614 4
-40	12.841 3	0.078 8	0.094 9	126.75	78.838	15.68	0.549 0
-41	11.461 5	0.070 4	0.084 7	113.13	70.366	13.99	0.490 0
-42	10.220 0	0.062 7	0.075 5	100.87	62.743	12.48	0.436 9
-43	9.103 87	0.055 9	0.067 3	89.856	55.891	11.12	0.389 2
-44	8.101 47	0.049 7	0.059 9	79.962	49.736	9.892	0.346 3
-45	7.202 08	0.044 2	0.053 2	71.084	44.214	8.794	0.307 9
-46	6.395 92	0.039 3	0.047 3	63.127	39.265	7.809	0.273 4

表 C.2 露点温度与其他主要湿度单位换算表(0 ℃～－75 ℃) (续)

露点 ℃	饱和水蒸气压 Pa	混合比(空气) g/kg	绝对湿度 (20 ℃) g/m ³	体积比 μL/L	重量比 (空气) μg/g	重量比(SF ₆) μg/g	相对湿度 (20 ℃) %
－47	5.674 05	0.034 8	0.041 9	56.002	34.833	6.928	0.242 6
－48	5.028 32	0.030 9	0.037 2	49.628	30.869	6.139	0.215 0
－49	4.451 28	0.027 3	0.032 9	43.933	27.326	5.435	0.190 3
－50	3.936 17	0.024 2	0.029 1	38.849	24.164	4.806	0.168 3
－51	3.476 84	0.021 3	0.025 7	34.315	21.344	4.245	0.148 6
－52	3.067 67	0.018 8	0.022 7	30.276	18.832	3.745	0.131 1
－53	2.703 59	0.016 6	0.020 0	26.683	16.597	3.301	0.115 6
－54	2.379 99	0.014 6	0.017 6	23.489	14.610	2.906	0.101 7
－55	2.092 69	0.012 8	0.015 5	20.654	12.847	2.555	0.089 5
－56	1.837 89	0.011 3	0.013 6	18.139	11.282	2.244	0.078 6
－57	1.612 196	0.009 9	0.011 9	15.911	9.896 9	1.968	0.068 9
－58	1.412 502	0.008 7	0.010 4	13.941	8.671 0	1.725	0.060 4
－59	1.236 025	0.007 6	0.009 136	12.199	7.587 6	1.509	0.052 8
－60	1.080 251	0.006 6	0.007 985	10.661	6.631 4	1.319	0.046 2
－61	0.942 919	0.005 8	0.006 970	9.306	5.788 3	1.151	0.040 3
－62	0.821 993	0.005 0	0.006 076	8.113	5.046 0	1.004	0.035 1
－63	0.715 647	0.004 4	0.005 290	7.063	4.393 1	0.873 7	0.030 6
－64	0.622 240	0.003 8	0.004 599	6.141	3.819 7	0.759 7	0.026 6
－65	0.540 304	0.003 3	0.003 994	5.332	3.316 8	0.659 7	0.023 1
－66	0.468 524	0.002 9	0.003 463	4.624	2.876 1	0.572 0	0.020 0
－67	0.405 722	0.002 5	0.002 999	4.004	2.490 6	0.495 3	0.017 3
－68	0.350 851	0.002 2	0.002 593	3.463	2.153 8	0.428 4	0.015 0
－69	0.302 972	0.001 9	0.002 239	2.990	1.859 9	0.369 9	0.013 0
－70	0.261 254	0.001 6	0.001 931	2.578	1.603 8	0.319 0	0.011 2
－71	0.224 953	0.001 4	0.001 663	2.220	1.380 9	0.274 6	0.009 6
－72	0.193 411	0.001 2	0.001 430	1.909	1.187 3	0.236 1	0.008 3
－73	0.166 043	0.001 0	0.001 227	1.639	1.019 3	0.202 7	0.007 1
－74	0.142 332	0.000 9	0.001 052	1.405	0.873 7	0.173 8	0.006 1
－75	0.121 820	0.000 7	0.000 900	1.202	0.747 8	0.148 7	0.005 2

附 录 D
(资料性)

气体闪蒸仪法和体积流量计法(卡尔·费休)

D.1 气体闪蒸仪法

D.1.1 气体闪蒸仪法概述

气体闪蒸仪法是将被测气体直接引入卡尔·费休水分仪,在测定气体中水分质量的同时,通过体积流量计测量通入气体体积,并据此计算气体样品含水量的方法。该方法装置简单、操作方便,适用于混合气体样品及一般精度要求的气体水分测量。

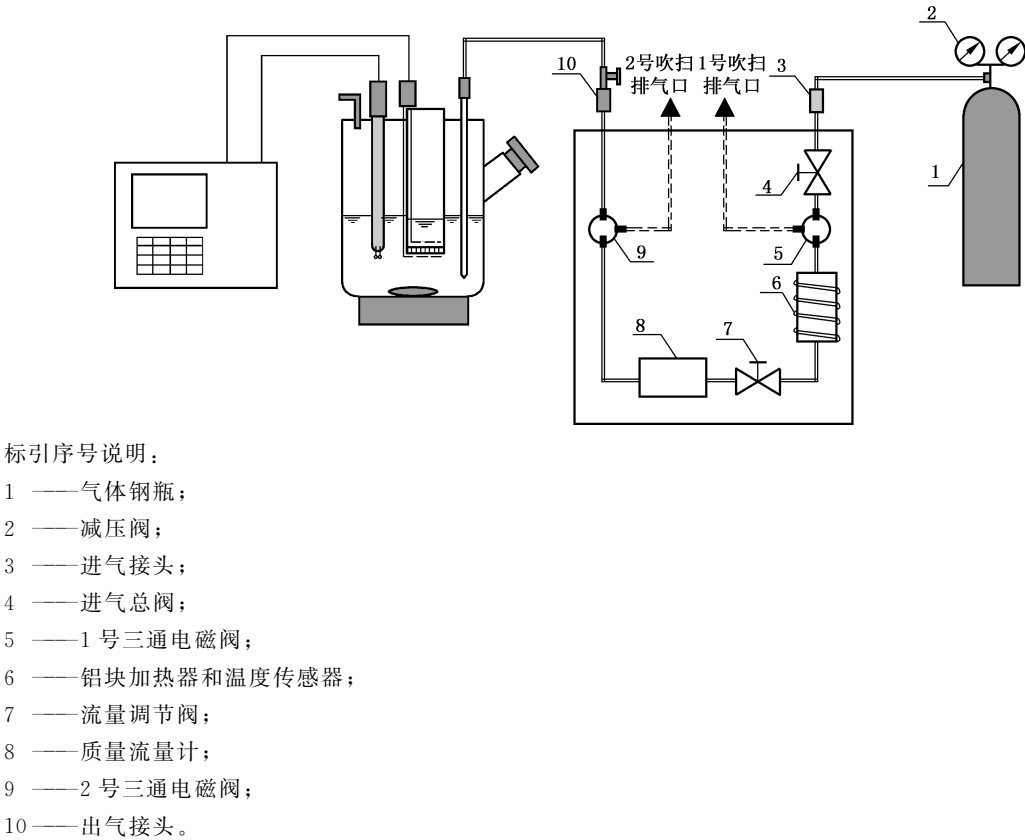


图 D.1 卡尔·费休水分仪连接气体闪蒸仪示意图

D.1.2 设备组装

按图 D.1 所示,将气体样品气源(气体钢瓶或气体采样钢瓶)通过气管连接至气体闪蒸仪的进气接头。

D.1.3 测量步骤

利用气体闪蒸仪法取样测量步骤如下。

- a) 打开气体样品气源阀门,调节气源的减压阀将气体输出压力调节至气体闪蒸仪的额定压力范围以内。

- b) 打开气体闪蒸仪的进气总阀,接着控制 1 号三通电磁阀和 2 号三通电磁阀使样品流经气体闪蒸仪到出气接头,调整流量调节阀控制气体流速在 300 mL/min~600 mL/min,让气吹扫进样系统 3 min 以上。然后关闭闪蒸仪的进气总阀。(如果气体样品总量不够用于吹扫,可使用纯度 $\geq 99.999\%$ 的氮气或氩气预先吹扫。)
- c) 气体闪蒸仪的出气口连接至仪器的进气口,按下仪器的启动按钮。打开气体样品气源阀门,调节气体闪蒸仪流速调节阀控制气体流速在 300 mL/min~600 mL/min。
- d) 通入一定量的气体样品后,关闭进气总阀,读取热式质量流量计测得通入气体样品的体积;接着等待仪器的滴定反应达到终点停止,读取仪器显示的水分质量。

D.1.4 测量结果

按公式(D.1)计算样品的含水量。

$$w = \frac{M \times V_m}{V \times N \times f} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

w ——样品的含水量,单位为微克每克($\mu\text{g/g}$);

M ——仪器测量的水分的质量,单位为微克(μg);

V_m ——气体摩尔体积,常量 22.4 L/mol;

V ——热式质量流量计测得通入气体样品的体积,单位为毫升(mL);

N ——水的分子质量,常量 18 g/mol;

f ——热式质量流量计气体系数(见表 D.1)。

注:热式质量流量计是以氮气为标准气进行流量标定。

热式质量流量计常见气体与相对于氮气的转换系数见表 D.1。

表 D.1 热式质量流量计常见气体转换系数表

气体种类	化学式	相对氮气的转换系数
氮	N_2	1
空气	—	1
氩气	Ar	1.443
三氟化溴	BrF_3	0.38
五氟化溴	BrF_5	0.26
1,2-二氯四氟乙烷(氟利昂-114)	$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$	0.22
氯五氟乙烷(氟利昂-115)	C_2ClF_5	0.24
四氟乙烯	C_2F_4	0.33
六氟乙烷(氟利昂-116)	C_2F_6	0.24
乙炔	C_2H_2	0.602
1,1-二氟乙烯(氟利昂-1132A)	$\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2$	0.43
溴乙烯	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Br}$	0.46
氯乙烯	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$	0.48
氟乙烯	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}$	0.551
乙烯	C_2H_4	0.622

表 D.1 热式质量流量计常见气体转换系数表（续）

气体种类	化学式	相对氮气的转换系数
环氧乙烷	C_2H_4O	0.52
氯乙烷	C_2H_5Cl	0.4
乙烷	C_2H_6	0.497
二甲醚	$(CH_3)_2O$	0.39
全氟丙烷	C_3F_8	0.17
丙二烯	C_3H_4	0.43
甲基乙炔	C_3H_4	0.43
环丙烷	C_3H_6	0.46
丙烯	C_3H_6	0.405
丙烷	C_3H_8	0.372
八氟环丁烷(氟利昂-C318)	C_4F_8	0.17
丁烷	C_4H_{10}	0.26
异丁烷	C_4H_{10}	0.26
丁二烯	C_4H_6	0.32
乙基乙炔	C_4H_6	0.32
1-丁烯	C_4H_8	0.295
顺式-2-丁烯	C_4H_8	0.324
异丁烯	C_4H_8	0.29
反式-2-丁烯	C_4H_8	0.291
2,2-二甲基丙烷	C_5H_{12}	0.22
三异丁基铝	$(C_4H_9)_3Al$	0.061
二溴二氟甲烷	CBr_2F_2	0.19
溴三氟甲烷(氟利昂-13B1)	$CBrF_3$	0.37
二氯二氟甲烷(氟利昂-12)	CCl_2F_2	0.354
三氯氟甲烷(氟利昂-11)	CCl_3F	0.33
四氯化碳	CCl_4	0.309
氯三氟甲烷(氟利昂-13)	$CClF_3$	0.38
四氟化碳(氟利昂-14)	CF_4	0.42
溴甲烷	CH_3Br	0.56
氯甲烷	CH_3Cl	0.63
氟甲烷	CH_3F	0.559
甲烷	CH_4	0.731
二氯氟甲烷(氟利昂-21)	$CHCl_2F$	0.417
氯二氟甲烷(氟利昂-22)	$CHClF_2$	0.456

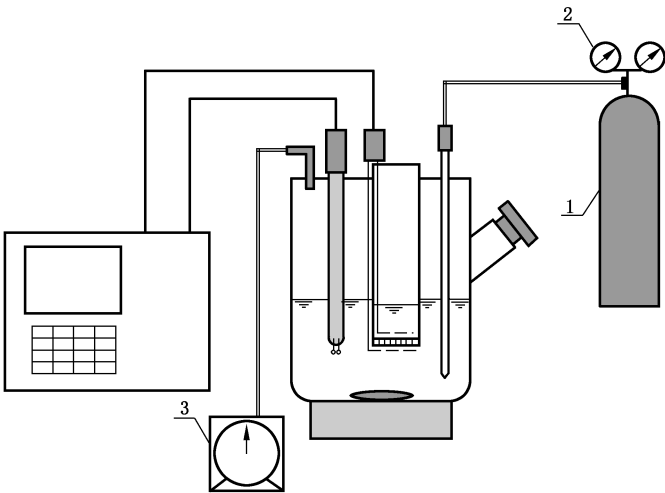
表 D.1 热式质量流量计常见气体转换系数表（续）

气体种类	化学式	相对氮气的转换系数
三氯甲烷(氟利昂-23)	CHF ₃	0.506
一氧化碳	CO	1.001
二氧化碳	CO ₂	0.745
光气	COCl ₂	0.44
氟	F ₂	0.978
四氯化锗	GeCl ₄	0.27
锗烷	GeH ₄	0.596
氢	H ₂	1.021
氦	He	1.444
氟化氢	HF	0.997
五氟化碘	IF ₅	0.25
氪	Kr	1.45
六氟化钼	MoF ₆	0.21
四氟肼	N ₂ F ₄	0.32
一氧化二氮	N ₂ O	0.713
氖	Ne	1.445
三氟化氮	NF ₃	0.48
一氧化氮	NO	0.997
二氧化氮	NO ₂	0.74
亚硝酰氯	NOCl	0.61
氧	O ₂	0.994
二氟化氧	OF ₂	0.63
磷五氟化物	PF ₅	0.3
磷化氢	PH ₃	0.76
六氟化硫	SF ₆	0.27
四氯化硅	SiCl ₄	0.288
四氟化硅	SiF ₄	0.35
二氯硅烷	SiH ₂ Cl ₂	0.4
二氧化硫	SO ₂	0.687
氟化硫酸	SO ₂ F ₂	0.39
六氟化铀	UF ₆	0.2
六氟化钨	WF ₆	0.25
氙	Xe	1.41

D.2 体积流量计法

D.2.1 体积流量计法概述

体积流量计法是将被测气体直接通入卡尔·费休水分仪,在测定气体中水分质量的同时,利用体积流量计测量通入气体的体积,并据此计算气体样品含水量的方法。该方法装置简单、操作方便,适用于气体样品气体水分测量。



标引序号说明:
1——气体钢瓶;
2——减压阀;
3——体积流量计。

图 D.2 卡尔·费休水分仪连接体积流量计示意图

D.2.2 设备组装

按图 D.2 所示,将气体样品气源(气体钢瓶或气体采样钢瓶)通过气管连接至仪器的进气口。将体积流量计连接至仪器的排气管。

D.2.3 测量步骤

利用体积流量计取样测量步骤如下。

- a) 按下仪器的启动按钮,缓慢打开气体钢瓶的出口阀门,调节气体呈连续均匀的气泡通过滴定池中的试剂。
- b) 通入一定量的气体样品后,关闭气体钢瓶的出口阀门,接着等待仪器的滴定反应达到终点停止,读取仪器显示测得的水分质量。读取体积流量计测得通入气体样品的体积、温度和压力。

D.2.4 测量结果

按公式(D.2)计算样品的含水量。

$$w = \frac{M \times (273.15 + t) \times 101.325}{V \times (P - P_w) \times 293.15} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:
w ——样品的含水量,单位为微克每毫升(μg/mL);

M ——仪器根据卡尔·费休法的反应原理测得水分的质量,单位为微克(μg);

t ——湿式气体流量计所计量的气体温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

V ——通过滴定池的气体体积,单位为毫升(mL);

P ——湿式气体流量计所计量的气体的绝对压力,单位为千帕(kPa);

P_{w} ——在温度 t 下水的蒸汽压,单位为千帕(kPa)。

参 考 文 献

- [1] GB/T 5832.1—2016 气体分析 微量水分的测定 第1部分:电解法
 - [2] GB/T 5832.2—2016 气体分析 微量水分的测定 第2部分:露点法
 - [3] GB/T 5832.3—2025 气体分析 气体中微量水分的测定 第3部分:光腔衰荡光谱法
 - [4] GB/T 5832.4—2020 气体分析 微量水分的测定 第4部分:石英晶体振荡法
 - [5] GB/T 18619.1—2002 天然气中水含量的测定 卡尔费休-库仑法
 - [6] JJF 1001—2011 通用计量术语及定义
 - [7] JJF 1012—2007 湿度与水分计量名词术语及定义
 - [8] JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示
 - [9] JJF 1272—2011 阻容法露点湿度计校准规范
 - [10] JJG 1044—2008 卡尔·费休库仑法微量水分测定仪
 - [11] ITS-90 International temperature scale of 1990
 - [12] 朱卫东,现代在线分析仪器技术与应用[M].北京:化学工业出版社,2022.
 - [13] 水和蒸气热力学性质计算手册(基于 IAPWS-IF97)拓展篇.
 - [14] 中国气象局.湿度查算表(甲种本)[M].北京:气象出版社,1986.
-

