

第五章 空气湿度的测量

5.1 湿度的参数及其观测

定义 表示空气中的水汽含量和潮湿程度的物理量（离地面 1.5 米高度处）

混合比 γ 湿空气中**水汽质量 m_v** 与**干空气质量 m_a** 的比值

$$\gamma = \frac{m_v}{m_a}$$

比湿 q 湿空气中**水汽质量 m_v** 与**湿空气总质量 $m_a + m_v$** 的比值

$$q = \frac{m_v}{m_a + m_v} = \frac{\gamma}{\gamma + 1}$$

水汽压 e 湿空气中的水汽在**单位面积上产生的压力**。在大气压为 P ，混合比为 γ 时，有

$$e = x_v P = \frac{\gamma}{0.622 + \gamma} P \quad \text{单位: hPa}$$

其中 x_v 为水汽的**相对摩尔分数**，有 $x_v = \frac{n_v}{n_v + n_a} = \frac{\gamma}{\gamma + 0.62198}$ ， n_v 为水汽摩尔质量， n_a 为干空气摩尔质量

饱和水汽压 e_{sw}

气压气温不变时，水汽和水面达到**气液两相中性平衡**时，纯水蒸气产生的压力
水汽压的极限值，超过极限值的部分凝结为液态水或凝华为冰。此极限值即为饱和水汽压。

$$e_{sw} = 6.112 e^{\frac{17.62t}{243.12+t}} \quad \text{随温度上升而上升}$$

冰面饱和水汽压 e_{si}

气压气温不变时，水汽和冰面达到**气固两相中性平衡**时，纯水蒸气产生的压力

$$e_{si} = 6.112 e^{\frac{22.46t}{272.62+t}}$$

关系：同一温度下，**水面上饱和水汽压大于冰面，水>冰**。

水汽动态包和过程：离开水面（或冰面）的水分子与从空气中回到水中（或冰中）的数目相等

露点温度 t_d 空气中水汽含量与气压不变时，冷却达到饱和的温度称露点温度

空气中水汽饱和时， $t = t_d$ ，未饱和时，使用 **$t - t_d$ 露点温度差**表征湿度

霜点温度 t_f 同上，对冰面达到饱和的温度

相对湿度 U 空气中**实际水汽压 e** 与**饱和水汽压 e_{sw}** 比值

$$U = \left(\frac{e}{e_{sw}}\right)_{(p,T)} \times 100\%$$

绝对湿度 ρ_w **水汽密度**或**水汽浓度**。体积为 V 的湿空气中，**水汽质量**为 m_v

$$\rho_w = \frac{m_v}{V} \quad \text{单位 kg/m}^3$$

常用换算 $\rho_w = 216.6 \frac{e}{p} \quad q = 0.622 \frac{e}{p} \quad \gamma = 0.622 \frac{e}{p - e}$

观测项目 水汽压 e 、相对湿度 U 、露点温度 t_d

测湿手段分类

1. **热力学方法**：蒸发表面**冷却降温**的程度随湿度而变。干湿表。

2. 吸湿法：吸湿物质吸湿后的尺度变化或电性能变化来测湿度。有毛发、肠膜元件、氯化锂元件、氧化铝元件等
3. 凝结法：测量凝结面降温产生凝结时的温度，即露点温度。主要仪器是露点仪。
4. 光学方法：测量水汽对光辐射的吸收衰减作用。主要仪器有红外湿度计和赖曼α湿度计。
5. 称量法：直接称量出一定体积湿空气中的水汽含量。测量的要求较高，时间长，操作较繁，但其测湿准确度相当高，是湿度计量基准的一级标准，作为检定校准的基准。

5.2 干湿球温度表

原理 由于蒸发，湿球表面不断有耗散蒸发潜热，使湿球温度下降；由于湿球与四周空气有温差，四周空气与湿球产生热交换。

当达到稳定的热平衡状态时，湿球温度表蒸发支出的热量应等于与从四周空气中热交换得到的热量

概述 目前普遍使用的精度较高的一种测湿方法。干湿球温度表二者温度之差（ $t-t_w$ ）就指示空气的湿度

干湿表测湿方程 $e = e_{t_w} - Ap(t - t_w)$ **干湿表系数** $A = \frac{h_c}{CL}$ 可查表，A 值一般为实验测定

注意 当湿球纱布结冰时，会增加温度表滞后效应而造成干湿球温度表的读数误差。在-10℃时，即停止使用干湿表测湿

毛发湿度表

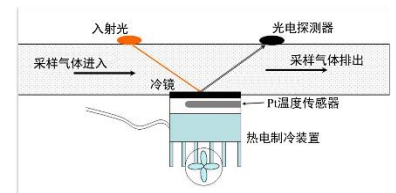
原理 当相对湿度从 0% 变到 100% 时，毛发总伸长量是原有长度的 2.5%

关系 $\lg U_h = 1.086 \frac{\Delta L}{\Delta L_0} + 0.918$ ΔL_0 相对湿度从 0% 到 100% 时毛发的总伸长量， ΔL 毛发随相对湿度的

改变量

使用 在相对湿度>30%时使用

低湿瘫痪：毛发在相对湿度低于 30% 的空气中放置过久时，当湿度再回升时，毛发表度总是低于空气的实际湿度。消除的办法是将毛发放在饱和空气中，使其逐渐复原。



5.3 冷镜式露点仪

原理 若使空气通过一个光洁的金属镜面时等压降温，直到镜面上开始出现露，读取这瞬间的露点温度。通过露点可以推算出实际水汽压 e、相对湿度等

光信号探测露点仪

工作原理 当镜面温度高于露点温度时，镜面呈干燥状态，无凝结物形成，此时光源发出的入射光经镜面被完全反射至光电感应器。制冷器对镜面进行降温。

当镜面温度降至露点温度时，镜面出现凝结物，入射光在镜面上呈现漫反射，此时，光电信号减弱，通过电路反馈调节制冷装置，使制冷功率减小直至加热。

经过动态二阶响应后，镜面温度稳定在气体的露（霜）点温度

误差来源 ① 过冷水对霜点温度的影响：由于气体和镜面干净，以致缺少足够数量的露核。可对镜面进行反复加热和冷却

② 开尔文效应：露滴的曲面饱和水汽压稍高于平面饱和水汽压，低于真实露点温度，误差约 0.1℃

③ 拉乌尔效应：空气与镜面之间有杂质，特别是有一定量的可溶性物质时，使饱和水汽压低于洁净空气和镜面的饱和水汽压，使露点温度值偏高。

5.4 电学湿度传感器

综述：利用吸湿物质的电学参数进行湿度测量。

电阻式湿度传感器

碳膜湿敏电阻

基本原理：高分子聚合物基底（极性），形成电棒，能够吸水。在上表面涂碳粒，形成大量粉末状胶体。一旦有湿气吸附，则**高分子聚合物膨胀**，则碳粒之间的间隔增大。大量的碳相连导电能力强，但间隔增大后**碳粒导电性能下降**，则**电阻增高**。

特点：工艺要求复杂，**探空仪标配**

氯化锂湿敏电阻

基本原理：溶液浓度随着湿度变化。拉乌尔特定律。基底使用干的绝缘的聚四氟乙烯等，上面涂上氯化锂干粉，两端书状电极。当没有湿度时，干粉不导电，若湿度增加，氯化锂强吸湿，湿度越大，**氢离子越多**，**导电率越高**，**电阻下降**。

特点：成本低，便宜。有良好的线性关系，但曲线随温度变化而变，需要标定。

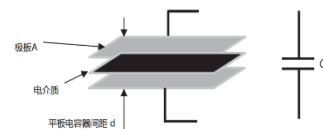
应用：**广泛应用于探空（一次性）**

电容式湿度传感器

基本原理：中部使用高分子聚合物为电介质，上下镀薄电极多孔金膜，湿度改变**电介质介电系数与板间距 d** ，导致电容器电容发生变化。

电容量的变化正比于相对湿度。

特点：**最为常用，精度最高**。极板需要全面吸水，强透水性，电极需要极薄 0.2 微米。



5.5 光学湿度传感器

综述 **比尔朗伯定律** E 指数关系 利用空气中的水汽对某特定波段的光通量产生的衰减量进行湿度测量。水汽在红外有强吸收 2500-2900。发射 L_0 的光，测得的 L_1 光，得到消光系数=水汽吸收系数*水汽密度，则可得水汽密度。

基本原理： **差分吸收** 选择两个不同的波长，一个对应于强水汽吸收带 3.95，一个弱水汽吸收带 2.59，通过比较两个吸收系数的差异得到**消光系数与水汽含量**。

可以消去噪声。

应用 水汽、二氧化碳等测量

