

第三章 等压过程

章节概述 水要发生相变，可以通过很多方式。本章讲解通过等压过程的状态变化。

3.1 等压过程

等压过程 大气中气压随高度逐渐降低，因此等压过程一般发生在水平面上。
且在小范围内，同一高度压强近似不变。

近地面典型现象：露珠形成（近地面层发生的相态变化）、冬季无风夜晚成雾（空气冷，无风水汽集聚）
冬季清晨树枝成霜（直接凝华，由于 $e_i < e_s$ ）

干球温度 气块不受太阳直接辐射所有的温度

露点温度 水汽含量不变，气块等压降温达到水面饱和的温度

霜点温度 水汽含量不变，气块等压降温达到冰面饱和的温度

湿球温度 绝热条件与**等压条件**，通过向一个空气块蒸发水汽使其冷却，直到其相对于平水面饱和时所具有的温度。水缓慢蒸发为水汽，**水蒸发所需的潜热完全来自于湿空气**，降温到一定程度时，**空气块饱和**，此时的温度即为湿球温度。

测量：在温度表底部的玻璃球外面包裹一层**湿棉布**来测量

露点、霜点温度的计算 C-C 方程

目的 已知气块初始温度和水汽，求 T_f 、 T_d

方法 $e_s = A \exp(-B/T)$ 饱和曲线与 T 相关。使用气块所有的 e 代入，即可解的 T_d

湿球温度的计算

图示 气块斜向上升， e 增加， T 减小，直到与 e_s 线交汇，交点温度即为湿球温度

反方向：当所有水汽全部凝结为水，即得到相当温度（饱和混合比为零时空气块的位温）

求解方法 找到斜线的表达式→找到某个等式(不变的量)：**空气焓不变**

推导 干空气 T_{ie} 干空气+水汽 T 饱和湿空气+水汽： T_{iw}

$$\text{将过程拆分为降温+相变: } \left\{ \begin{array}{l} T_0 \\ m_d \text{ 干空气质量} \\ m_v = 0 \\ m_w \text{ 总水质量} = m_t \end{array} \right\} \stackrel{\text{①降温}}{=} \left\{ \begin{array}{l} T \\ m_d \\ m_v = 0 \\ m_w \text{ 总水质量} = m_t \end{array} \right\} \stackrel{\text{②等温}}{=} \left\{ \begin{array}{l} T \\ m_d \\ m_v \\ m_w = m_t - m_v \end{array} \right\}$$

已知： $dh = c_p dT$

$$\Delta H_{①} = (m_d C_{pd} + m_t C_{w \text{ 液水比热容}})(T - T_0) \quad \Delta H_{②} = l_v(T) \text{ 相变潜热 } m_v \quad \Delta H = \Delta H_{①} + \Delta H_{②}$$

$$\text{则两端同除 } m_d \quad \Delta h = \frac{(m_d C_{pd} + m_t C_w)(T - T_0) + l_v(T) m_v}{m_d} \rightarrow \Delta h = (C_{pd} + w_t C_w)(T - T_0) + l_v w_v$$

更换起始点 $\Delta h = (C_{pd} + w_t C_w)(T' - T_0) + l_v w'_v$ 两式相同：

$$(C_{pd} + w_t C_w)(T - T') + l_v(w'_v - w_v) = 0$$

$$T' = T + \frac{l_v(w'_v - w_v)}{C_{pd} + w_t C_w} \quad \text{则 } T_{ie} = T + \frac{l_v w_v}{C_{pd} + w_t C_w} \quad (w_v = 0)$$

$$T_{iw} = T + \frac{l_v(w'_v - w_s)}{C_{pd} + w_t C_w} \quad (w_s = \frac{\varepsilon e_v}{p} \text{ 为通过等焓过程达到饱和时的饱和混合比})$$

$$\text{斜率: } T_{ie} = T + \frac{l_v w_v}{c_{pd} + w_t c_w} \approx T + \frac{l_v w_v}{c_{pd}} = T_{iw} + \frac{l_v w_s}{c_{pd}} \quad (w_t \text{ 很小})$$

$$T_{iw} + \frac{l_v \frac{e e_s(T_{iw})}{p}}{c_{pd}} = T + \frac{l_v e e}{p c_{pd}} \quad \text{则斜率为 } \frac{e - e_s(T_{iw})}{T - T_{iw}} = -\frac{p c_{pd}}{l_v e}$$

3.2 混合过程

- 产生影响**
- ① 混合成云（两个气块全部不饱和，混合后有可能饱和（一个很冷少水，一个高温水多），主要看气块温度差异）
 - ② 混合蒸发→降温→下沉气流
 - ③ 混合蒸发→云滴粒子变小→悬浮空中，延迟降水

无凝结的绝热等压混合过程

有凝结的绝热等压混合过程 先水平等压混合，再等压绝热凝结 $T_1, T_2 \rightarrow T_{m1} \xrightarrow{\text{上式斜率}} T_{m2} \text{ 最终温度}$

目的 已知初始气块质量与温度，可知最终温度

推导

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = (m_1 + m_2) h = m h \quad \Delta H = m_1 (h - h_1) + m_2 (h - h_2) = 0$$

$$m_1 \Delta h_1 + m_2 \Delta h_2 = 0 \Rightarrow m_1 c_{pd} (1 + 0.861 q_1) (T - T_1) + m_2 c_{pd} (1 + 0.861 q_2) (T - T_2) = 0$$

$$T = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2 + 0.681 (m_1 q_1 T_1 + m_2 q_2 T_2)}{m_1 + m_2 + 0.681 (m_1 q_1 + m_2 q_2)} \approx \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} \quad (\text{由于 } q_1, q_2 \text{ 很小}) = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m}$$

$$m_{\text{water}} = (m_1 + m_2) (q_{\text{总水比湿}} - q_{s\text{饱和比湿}}) \quad q = q_1 + q_2 \quad (\text{质量一致时})$$

有凝结的绝热垂直混合过程 先绝热上升(下降)，再水平等压混合，最后绝热凝结 $T_1 \rightarrow T'_1; T_2 \rightarrow T'_2 \rightarrow T_{m1} \rightarrow T_{m2}$