

# 第八章 混合过程

## 8.1 绝热混合

### 8.1.1 无凝结的绝热等压混合过程

详见 3.2.1 内容

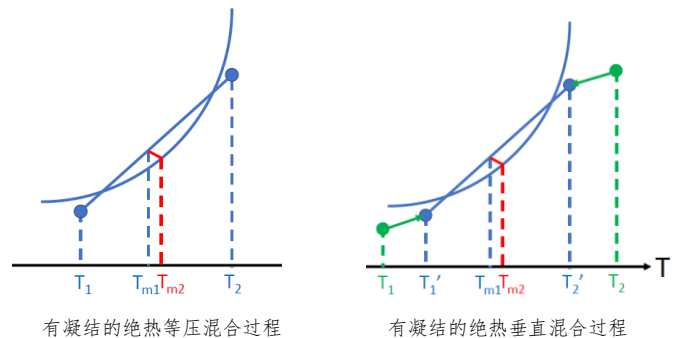
### 8.1.2 有凝结的绝热等压混合过程

详见 3.2.2 内容  $m_{water} = (m_1 + m_2)(q - q_s)$

### 8.1.3 有凝结的绝热垂直混合过程

详见 3.2.3 内容 先绝热上升(下降), 再水平等压混合、最后绝热凝结

$$\text{红线斜率} \frac{e - e_s(T_{iw})}{T - T_{iw}} = - \frac{PC_{pd}}{l_v \epsilon}$$



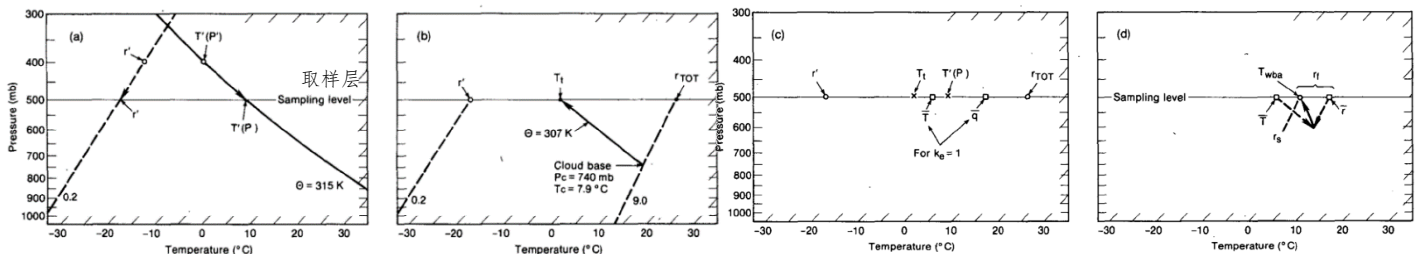
## 8.2 积云的夹卷混合

### 8.2.1 基本情况与公式

- 条件**
1. 云内由饱和湿空气和液态水组成
  2. 云外的环境大气是不饱和的
  3. 云外的未饱和气块与云中的某一气块混合, 这两个气块组成一个封闭系统
  4. 这一过程看成是绝热的
- 推导**
- 初步混合后温度**  $\bar{T} = [T_t + k_e T'(P)] / (1 + k_e)$  其中  $T'(P) = T'(P')(P/P')^{0.286}$
- 初步混合后比湿**  $\bar{q} = \{[r_{tot} / (1 + r_{tot})] + k_e (r' / 1 + r')\} / (1 + k_e)$
- 初步混合后混合比**  $r_f = \bar{r} - r_s(T_{iwb})$  其中  $T_{iwb} = \bar{T} + (L_v / c_{pd})[\bar{r} - r_s(T_{iwb})]$
- 垂直速度变化**  $dw/dt = [(T_v - T_{ve}) / T_{ve} - r_f]g - k(w - w')$
- ① 其中,  $k_e$  为卷入气块的比例。 $k_e$  为 0, 说明无卷入,  $k_e$  为无穷大, 说明云被环境气块替换了。
  - ②  $r_{tot}$  为总水的混合比,  $r_f$  是最终液态水的混合比。
  - ③  $k$  为混合率。Boatman 在文中设为  $0.001s^{-1}$ 。初始速度为 0。

### 8.2.2 实际情况图解

在斜温图上的夹卷混合过程: 有气块从不同高度卷入, 且比例均为 1:1、同一层高度, 有不同比例气块卷入



(a) 垂直方向混合: 将环境空气( $r'$   $T'(P)$ )可逆绝热地下降至取样高度。

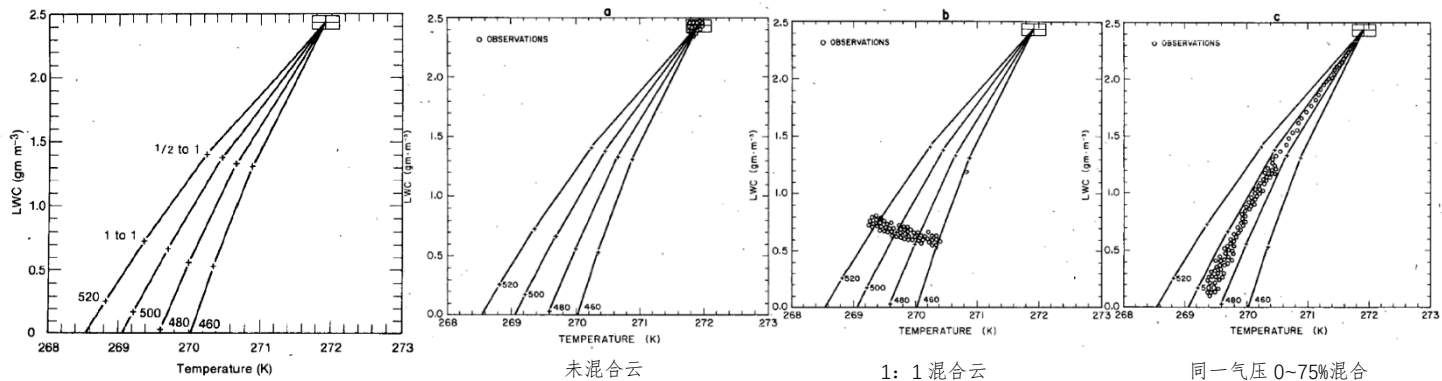
上面气块卷入观测位置, 上方空气未饱和, 温度沿干绝热线绝热下降, 比湿沿等饱和比湿下降

(b) 下方气块上升: 将云底空气( $P_c$   $T_c$ )可逆绝热地抬升至取样高度。无液态水, 沿干绝热线上升。该过程中水汽超过饱和水汽, 应该要有液态水凝结, 然而, 我们假定没有凝结, 达到  $r_{TOT}$

(c) 将两者按照比例混合。  $r' + r_{TOT} \rightarrow \bar{q}$   $T_t + T'(P) \rightarrow \bar{T}$  水平混合水汽超过饱和水汽

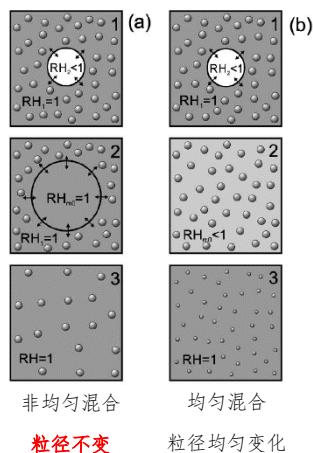
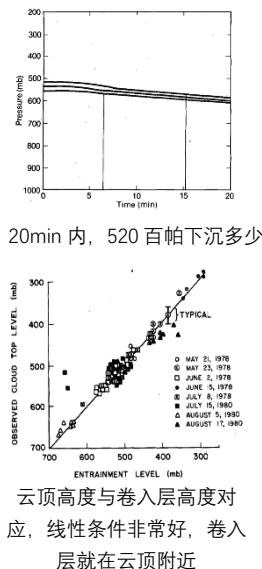
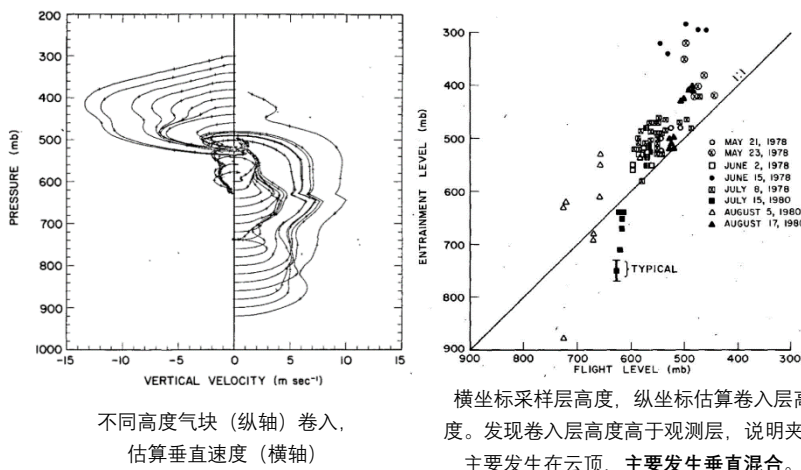
(d) 进行湿球过程, 蒸发多余水分或凝结额外的液态水。

$\bar{q}, \bar{T}$  各自沿干绝热线和等饱和比湿下降, 再沿着湿绝热线上升, 到达最终点  $T_{wba}, r_s$ 。



云底空气 (740 mb, 温度为 7.9°C) 与来源于 460 mb、480 mb、500 mb 和 520 mb 的环境空气按比例混合, 在 595 mb 高度处预测的云湿和液态水含量

可以看到, 如果完全绝热 (顶点比例 0:1), 液水含量最大  
不同高度同一比例 同一高度不同比例



## 8.2.3 混合后对云内特性产生的影响

### 云滴情况 比湿

① 非均匀混合 (影响粒子浓度, 不影响大小)

② 均匀混合

两者都是极端情况

混合后最终液态水的比湿可以表示为:  $q = \mu q_l - \delta q_m$

其中,  $\mu$  为被混合的云的比例,  $\delta q_m$  为混合后气块达到饱和需要蒸发的水汽比湿。

$\delta q_m = (1 - \mu) \delta q^*$   $\delta q^*$  为使得 1kg 卷入的未饱和气块达到饱和所需的液态水比湿。

定义  $\mu_{cr}$  为使得混合后气块液态水全部蒸发的临界比例。

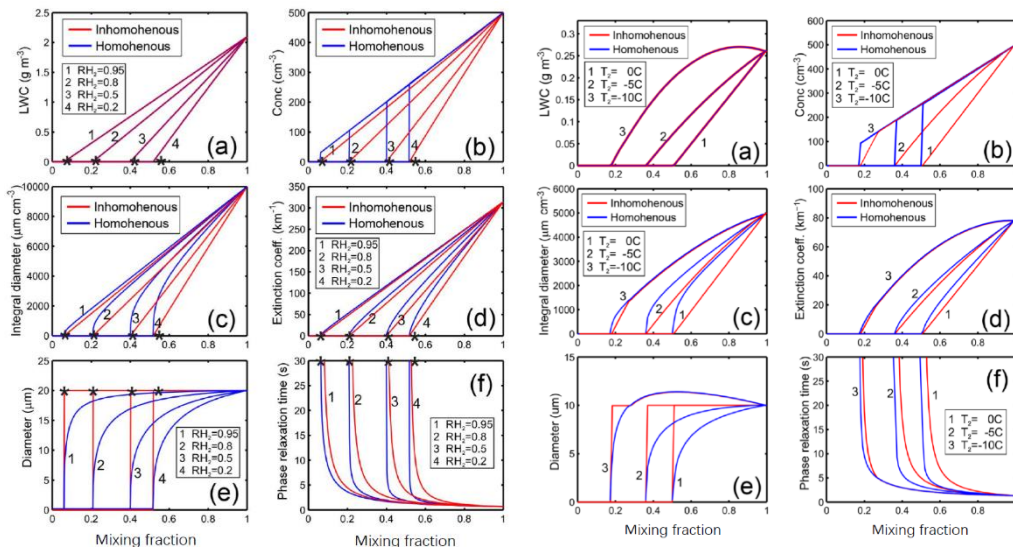
当  $\mu < \mu_{cr}$  会导致混合后气块中没有液态水。

### 影响因素

相变的时间尺度小、混合的时间尺度大、混合受湍流密切影响。

#### 水平混合

#### 垂直混合



对于给定的  $q$ 、 $l$ , 不同线表示不同的环境相对湿度。环境相对湿度越大, 临界比例越小。

关键: 通过观测判断均匀或非均匀混合。  
e: 如果是非均匀混合, 是红色线 (横坐标混合比例, 纵坐标云滴大小); 蓝线: 混合越多, 半径减小越厉害。

垂直混合: 向上弯的情况: 液态水比原始的还多, 温度降低, 更加过饱和