

张增明, 代如成: 1238.

phone: 63607671. zzm@ustc.edu.cn.

第一章. 绪论.

朝鲜战争. 1950.6.25 - 1953.7.27 北京. 325m塔.

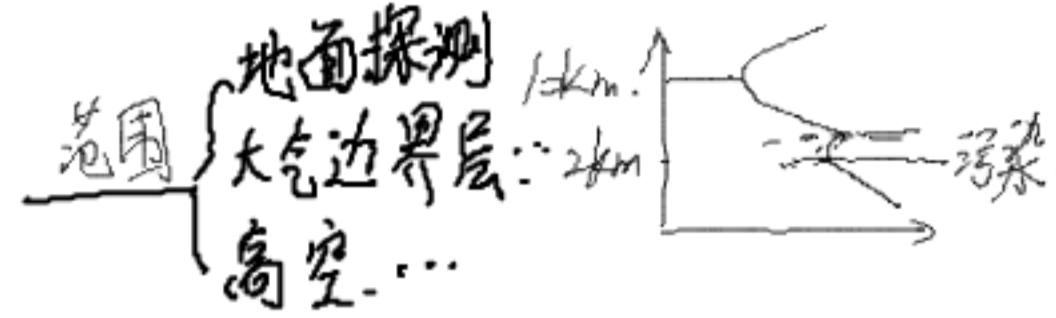
§1. 大气探测的任务和特点.

对象: (a) 对流层大气.

任务: 观测. 测定. 气象要素. 天气现象及其变化过程. 为相关行业提供气象资料和教育.

手段: 目测, 器测

方法: 直接观测. 仪器的传感器置于被测大气中. 间接... 无线电波.



平台: 固定平台, 移动平台.

§2. 发展简史.

始创时期: 测风鸟, 雨量器, 风压板.



地面观测: (Torricelli) 水银气压表, (Galileo) 气体温度计, 毛发湿度表, 干湿表.



高空探测: 1919. 无线电探空.



近代高空 & 高层大气探测

§3. 气象仪器 & 测量误差.

1. 气象仪器的分类: 接触式, 遥测式.

构成: 感应元件 -> 传感部分 -> 读数部分

特性: 静态: 线性度, 迟滞, 重复性, 灵敏度, 信噪比, 准确度, 精密性, 分辨率, 量程. 动态: 仪器对测量值变化的反应 (微分方程).

Equations: a1 dy/dt + a0 y = b0 x(t); a2 d^2y/dt^2 + a1 dy/dt + a0 y = b0 x(t). 振荡.

仪器的选择

2. 测量误差 (不确定性).

测量值与实际值之差: 绝对误差, & 相对误差. 系统误差: 仪器性能 & 测量方法不完善, etc. T = f(Q, Y). 随机误差.

§4. 测量的“三性”要求.

1. 代表性.

指某空间/时间范围内的一组测量值能反映相同 & 不同空间/时间范围内的实际状态程度. 取平均.

2. 准确性

sigma\_a^2 = sigma\_1^2 + sigma\_2^2. 多个仪器间. 单个仪器的偶然误差. => 资料同化

3. 可比性. (控制变量).

## 6. 仪器静态特性.

① 迟滞: 一般的仪器, 当用来测定某一对象的某个属性时, 不能立即指示该对象的某个属性的真值, 它的示度总是逐渐地接近所要测定属性的真值的. 对于一种物理属性而言, 不同构造特性的仪器, 所需要的响应时间不同.

② 灵敏度: 它的示度在被测要素改变单位物理量时所移动的距离或旋转角度大小.

③ 准确度: 仪器测值与真值的符合程度.

精密度: 对所测的量的若干独立测值彼此间的符合程度.

④ 分辨率: 导致一个测量系统响应值变化的最小的环境改变量.

⑤ 量程: 仪器的测量范围.

8. 开展气象观测需要考虑: <sup>1.</sup> 台站配置, <sup>2.</sup> 站址的选择, <sup>3.</sup> 观测场的选定, <sup>4.</sup> 仪器的安装与检定以及 <sup>5.</sup> 观测方法、次数和时间等方面规定统一的标准和提出统一的要求.

# Chapt 2. 云的观测.

## §1. 云的概念.

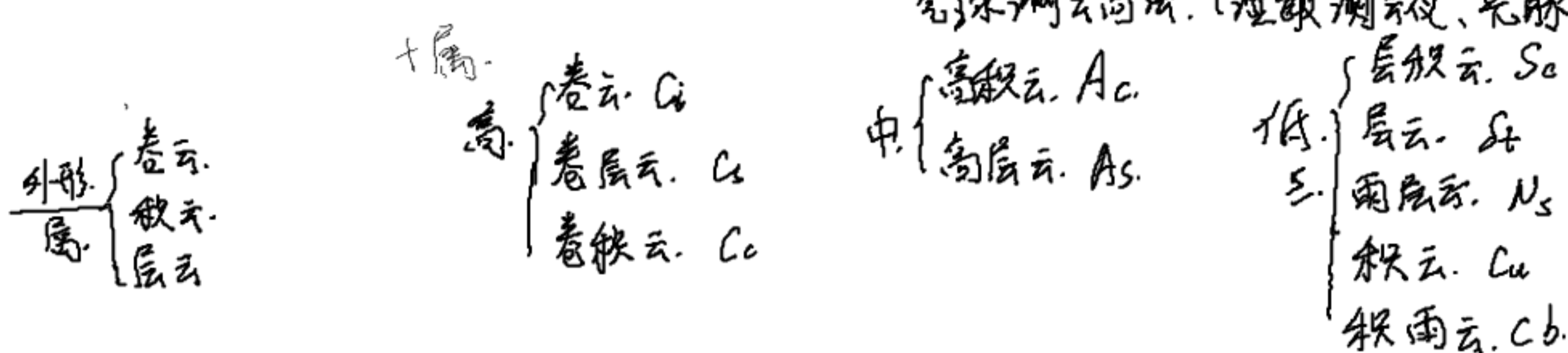
云: 大气中水汽凝结(凝华)成的水滴、过冷水滴、冰晶或他们混合组成的可见聚合物, 其底不接地.

描述: 云状, 云量(云遮蔽天空的成数), 云高(云底离地面的垂直高度)

观测方法: 目力估测法, 夜间用云幕灯测云高法, 公式估算法, 激光测云测云高, 气球测云高法. (湿敏测云仪, 气脉冲测云仪及光雷达)

## §2. 云的分类. 云状的定义与识别.

云高: 高云: 6km+  
中云: 2km-6km  
低云: 2km-



PPT.

§3. 云的形成条件: 1. 水汽含量不变, 空气冷却降温; 2. 温度不变,  $\uparrow q$ ; ③  $\downarrow T, \uparrow q$ .

形成过程: 空气中的水汽经各种原因达到饱和/过饱和状态而发成凝结的过程.

# Chapt 3. 大气现象的观测.

- §1. 天气现象: 发生在大气中和贴地面的各种现象. (降水现象, 地面凝结现象, 视程障碍现象, 大气现象, 雷电, 风暴, 积雪 etc)
- §2. 通过观测天气现象, 可获取重要的气象气候资料. (11种) 雨, 毛雨, 雪, 霰, 雹, 冰粒, 未雪, 冰针.
- 与生产生活有密切关系, 可直接/间接为 2 农业和其他建设事业服务.

# Chapt 4. 能见度测量.

§1. 能见度: 目标物的能见距离. (发现距离, 消失距离, 指观测目标物时, 能从背景上分辨出目标物轮廓的最大距离)

影响因素: 目标, 背景, 大气特性, 光源, 探测器 (观测者视力指标).

(1). 目标与背景的亮度对比.

$$\text{亮度对比值 } C = \frac{|B_0 - B_0'|}{\max\{B_0, B_0'\}} \in [0, 1] \rightarrow \text{清晰.}$$

(2). 观测者视力指标: 描述观测器的性能.

对比视感阈  $\epsilon$ .  $C > \epsilon$  能见;  $C < \epsilon$  不能见.  $\left\{ \begin{array}{l} 0.05 \text{ 发现距离} \\ 0.02 \text{ 消失距离 } (L) \end{array} \right.$  def: 目标物与背景的亮度差异增大到一定值时, 方能辨认出目标物. 这时亮度对比值叫对比视感阈.

(3). 大气特性 (大气透明度).

物体削弱:  $B_L = B_0 e^{-\int \sigma_L dL}$  消光系数  $\sigma$  (cm<sup>-1</sup>). (吸收, 散射,  $\alpha, \beta$ )  
透射率  $T = e^{-\int \sigma dL}$ . 光学厚度  $\tau = \sigma L$  (无量纲).

背景光增强.

$$dB = \frac{\tau \alpha dV}{dA} = \tau \alpha dL \quad \text{背景光 } B_L = \int_0^L E \alpha e^{-\sigma L} dL = \frac{E \alpha}{\sigma} (1 - e^{-\sigma L}) \quad B_H = B_L / L \rightarrow \frac{E \alpha}{\sigma}$$

人眼接收到的目标物总亮度  $B_L = B_0 e^{-\sigma L} + B_H (1 - e^{-\sigma L})$

## §2. 气象能见度如何观测.

$\epsilon$ : 单位面积通过功率,  $B = \frac{P}{dA}$ . 单位面积单位立体角功率.

$$W \cdot m^{-2} = \frac{W \cdot m}{s} \cdot m^{-2} = cd \cdot m^{-2}$$

$$\begin{cases} B_L = B_0 e^{-\sigma L} + B_H (1 - e^{-\sigma L}) \\ B_L' = B_0' e^{-\sigma L} + B_H (1 - e^{-\sigma L}) \end{cases} \Rightarrow C_L = \frac{B_L' - B_L}{B_L'} = \frac{(B_0' - B_0) e^{-\sigma L}}{B_0' e^{-\sigma L} + B_H (1 - e^{-\sigma L})} = \frac{B_0' - B_0}{B_0'} \cdot \frac{1}{1 + \frac{B_H}{B_0'} (e^{\sigma L} - 1)} = C_0 F(L)$$

观测法: 若选择水平天空作为背景,  $B_0 = B_H$ .  $C_L = C_0 e^{-\sigma L} = \epsilon \Rightarrow L = \frac{1}{\sigma} \ln \frac{C_0}{\epsilon}$  为能见度.

若选黑体作目标,  $B_0 = 0, C_0 = 1$ . 取  $\epsilon = 0.02 \Rightarrow L = \frac{1}{\sigma} \ln \frac{1}{\epsilon} = \frac{3.912}{\sigma}$  为白天气象能见度.

(2) 夜间气象能见度.

①. 照度视觉阈  $E_0$ : 人眼光源,  $10^{-6.0} lx$ ; 夜间人眼所能感受的最小照度  $10^{-6.7} lx$ ; 有背景亮度, 灯光色彩, 环境亮度  $10^{-7.5} lx$ .

$$1/x = 1/Lm \cdot m^{-2}, Lm = 4\pi \cdot cd$$

$$\text{②. 灯光能见距离 } S \quad E = \frac{I}{r^2} e^{-\sigma L}, L = S \text{ 时 } E = E_0, E_0 = \frac{I}{S^2} e^{-\sigma S} \Rightarrow S = \frac{1}{\sigma} (\ln I - \ln E_0 - 2 \ln S)$$

③. 观测方法.

$$Lm = \frac{3.912 S}{\ln I - \ln E_0 - 2 \ln S}$$

(3) 气象光学距离 MOR  $F_0 \xrightarrow{(2700K) MOR} 0.05 F_0$ ,  $0.05 = e^{-\alpha L} \Rightarrow L = -\frac{\ln 0.05}{\alpha}$

色温为 2700K 的白炽灯发出平行无辐射通量经大气衰减到起始值的 0.05 时, 在大气中所经过的路程。

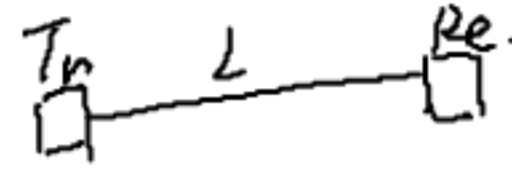
14. 跑道能见度距离 RVR

选取目标物: ① 视张角大于 0.5° 且大小适度的黑色目标物 / 浅色不发光, 以天空为背景。  
② 灯光: 孤立的灯光。

§3. 能见度测量法 / 大气消光系数测。

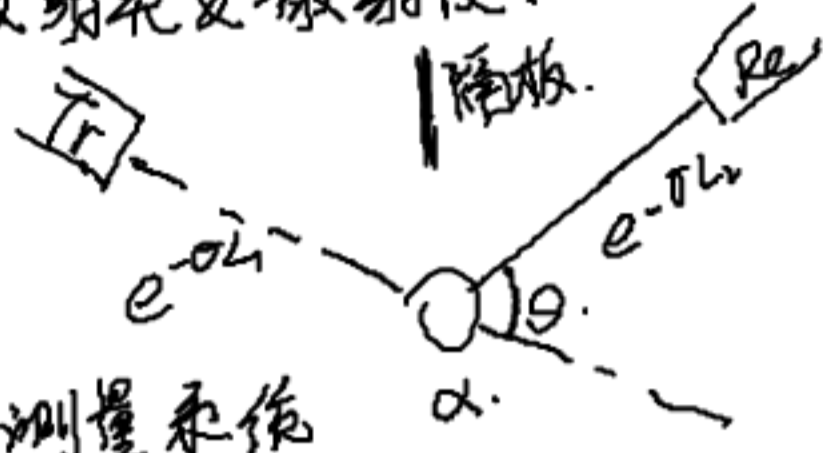
1. 遥测光度计 (Telephotometer).

2. 测透射率法。  
透射表:  $L_m = -\frac{3.912L}{\ln T} = -\frac{3L}{\ln T}$   
( $\epsilon = 0.02, 0.05$ )



同上使误差尽可能小。① 数、物、L、T。  
② 相对误差  $\frac{\Delta L}{L}$ 。

3. 测散射光 & 散射仪。



假设: 散射与吸收成比例。  
脉冲光  $\Rightarrow$  散射  $\Rightarrow$  接收机

4. RVR 测量系统

Chapt 4. 温度测量。

§1. 温度: 表示物体冷热程度。

温标: 温度定量的表示方法, °C, K, °F

测温器: (热胀效应, 晶体振动效应, 热阻温差效应, 电阻效应, 电压差效应, 辐射效应, 量子效应。)

气温: 离地面 1.5m 左右, 处于通风防辐射条件下温度表读取的温度。  
地温: 地面温度和不同深度的土壤温度的总称。

§2. 玻璃液体温度表。

感温部分: 充满液体的玻璃球。

测温物体: 水银, 酒精, 等, etc. 测温属性: 体积随温度变化。

一. 基本原理。

灵敏度  $\frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{V_0}{S}(\mu - \gamma)$

$\mu, \gamma$  为液体、玻璃的热胀系数。  
 $V_0$ : 0°C 管内液体体积,  $S$ : 管的横截面。

二. 基本结构。

套管, 棒状, 水银;

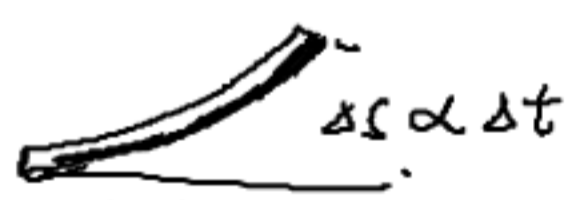
干湿球温度表, 最高温度表, 最低温度表, etc.

三. 常用, \* 地表温度表。

四. 测量误差。

系统误差: 仪器误差 (零点, 永恒位移引起误差, 球部暂时变形, 刻度不准确), + 偶然误差。  
 $\Rightarrow$  定期检定, 求出逐般的器差来加以订正。

§3. 双金属表温度计



灵敏度:  $L$  长,  $t$  薄, 金属片膨胀小,  $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ,  $\frac{B(\alpha_1 - \alpha_2)}{4}$  较大。  
误差: 机械摩擦, 热滞现象。

§4. 电测温度表。

一. 热电偶温度表。

$E = \epsilon(t_2 - t_1) + \gamma(t_2 - t_1)^2$ . 选热电序上相距较远的两项, 热电堆放大。  
若左右金属一样, 则无电势差。误差: 元件受潮产生化学势  $\rightarrow$  制作, 使用过程中防止受潮或根介质侵蚀。

$T_1, T_2, E_1, E_2 \Rightarrow T_1, T_2, E_1 + E_2$   
工作

二. 金属电阻温度表。

$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \approx R_0(1 + \alpha t)$ , 铂,  $\alpha = 3.9 \times 10^{-3} \Omega/^\circ C$   
(1) 用平衡电桥测  $R_t = \frac{R_2 R_3}{R_1}$

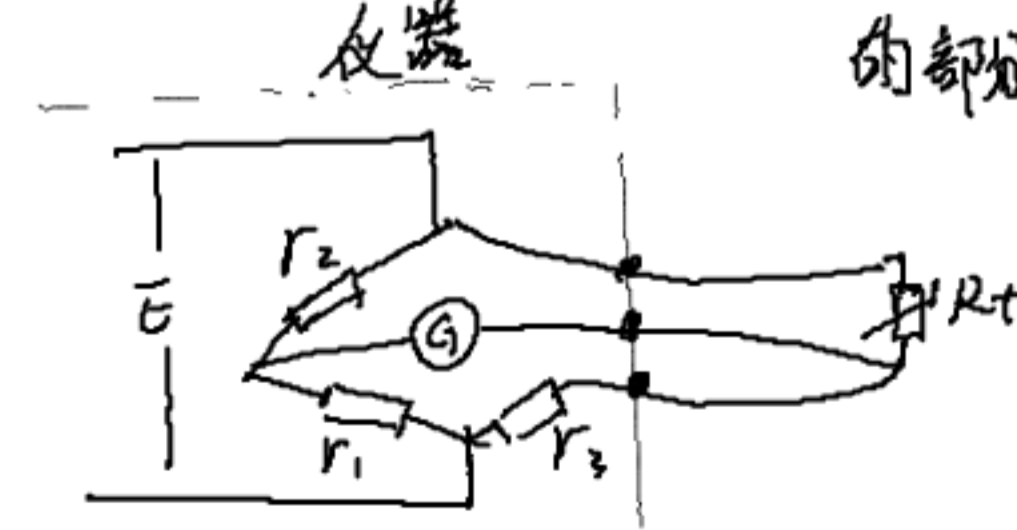
(2) 非平衡电桥,  $I_g = \frac{E}{R_t} \frac{\alpha}{A} t$

三. 半导体热敏电阻温度表。

$R = A e^{\frac{B}{T}}$ , 灵敏度  $\alpha = -\frac{B}{T^2} < 0$

四. 其余。

P-N 结 (压降), 石英晶体 (振荡频率)。



① 令  $r_1 = r_2$ : 减小导线电阻随着环境的变化。  
② 电热效应: 限制测量电流, 增大元件表面积。

28. 电阻温度表长引线的误差:

① 用内阻较大的检流计 / 在灵敏度及检流计临界电阻许可的条件下串联一合适电阻, 以  $\downarrow$  导线电阻随温度变化  
②  $\downarrow$  延引导线的电阻。

§4.

(1) 气温: 地面 1.5m 高, 通风无辐射的温度. ① 屏蔽; ② 增加元件反射率; ③ 人工通风; ④ 用极细的金属丝元件.

(2) 测温仪器的热滞效应/热惯性.

测温元件与被测物体接触后, 总需要一段时间才能建立热平衡.

(3) 热滞系数/时间常数, 衡量热滞大小.

温度表测温质的质量, 比热  
... 与介质的热交换系数、表面积.

热交换  $dQ = -hS(t-\theta)dt$  (无辐射).

吸热  $dQ = CMdt$

$\Rightarrow \frac{dt}{dt} = -\frac{1}{\lambda}(t-\theta)$

温度表温度  
介质温度  
热滞系数  $\lambda = \frac{MC}{hS}$   
(热惯性系数)

温度表示度和介质温度之差  $t-\theta$ : 减小到起始温度差  $t-\theta$  的  $1/e$ . 即: 减小到起始温度差的 36.8% 所需时间

(4) 热传导系数  $h \propto \sqrt{v}$ .  $\Rightarrow$  通风.

(5) 热滞误差

1. 环境温度恒定:  $\tau=0$  时,  $t=t_0$ ,  $\frac{dt}{d\tau} = -\frac{dt}{\lambda} \Rightarrow t-\theta = (t_0-\theta)e^{-\frac{\tau}{\lambda}}$

$\tau=\lambda$  时,  $t-\theta = \frac{t_0-\theta}{e}$

2. 介质温度是线性变化  $\theta = \theta_0 + \beta\tau$ .  $\tau=0$  时,  $t=t_0-\theta$ .  $\frac{dt}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}(t-\theta) = -\frac{1}{\lambda}(t_0-\theta_0 + \beta\tau)$

$\Rightarrow t-\theta = -\beta\lambda(1-e^{-\frac{\tau}{\lambda}}) \rightarrow -\beta\lambda$  ( $\tau \rightarrow \infty$ ).

3. ... 周期性变化.  $\theta = \theta_0 + A\sin\frac{2\pi\tau}{T} + B\cos\frac{2\pi\tau}{T}$ .  $\frac{dt}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}[t-\theta_0 + A\sin\frac{2\pi\tau}{T}]$

$\Rightarrow t = \theta_0 + \frac{A \frac{2\pi\lambda}{T}}{\sqrt{1 + (\frac{2\pi\lambda}{T})^2}} e^{-\frac{\tau}{\lambda}} + \frac{A}{\sqrt{1 + (\frac{2\pi\lambda}{T})^2}} \sin(\frac{2\pi\tau}{T} - \tau \frac{2\pi\lambda}{T})$ .  $\lambda \downarrow$  越好. 宜测  $T > 2\pi\lambda$  的信号.

\* ①. 温度表示度也是周期性变化, 周期  $T$ ;

② 示度振幅  $A' <$  介质温度振幅  $A$ :  $\frac{A'}{A} = [1 + (\frac{2\pi\lambda}{T})^2]^{-\frac{1}{2}}$ .  $\rightarrow$  自动平均能力.  $\lambda \uparrow$ , 平均能力越强.

③ 示度有位相落后:  $\phi = \tau \frac{2\pi\lambda}{T}$ .

# Chapt 6. 湿度的测量

6.1. 湿度: 表征大气中水汽含量程度:

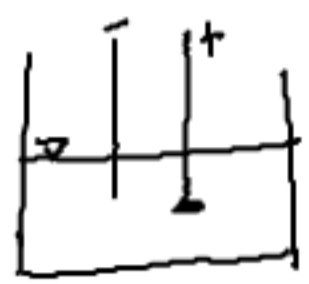
$e, e_s, \text{hd}, \text{tf}, q, \text{r.f.}, p_w$   
比湿



6.2. 测量办法

- ① 称重法: 绝对湿度  $a = \frac{m_b - m_a}{V}$ ; ② 吸湿法: 毛发湿度计 (用脱脂毛发)

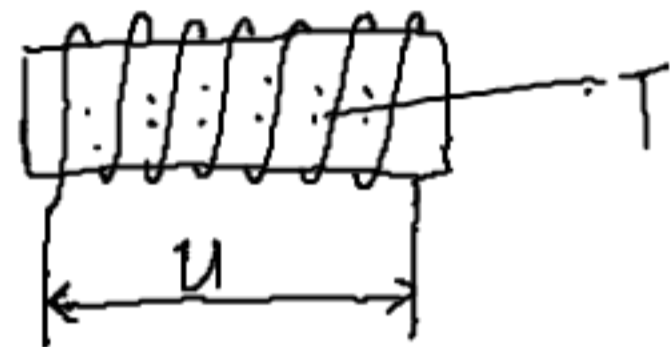
2.2. 氯化锂湿度片. 拉乌尔定律: 溶液上方饱和水汽压  $E_p = \frac{n}{n+1} E_{\infty}$ .  $N$ : 溶质摩尔数.



溶液表面饱和水汽压和空气水汽压相等.  $\Rightarrow$  溶液电阻随浓度变化而变化.  
 $\uparrow$  溶液浓度决定.

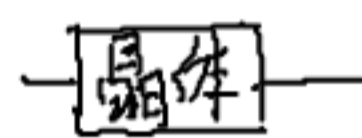
② 露点法

3.1 氯化锂露点湿度计. (溶液浓度大小随湿度变化)



实际水汽压  $>$  LiCl 溶液饱和水汽压. 潮解  $\rightarrow R \downarrow, \frac{U^2}{R} \uparrow, T \uparrow$  }  $\left. \begin{array}{l} \text{LiCl 饱和水汽压} \uparrow \\ \text{蒸发水汽} \rightarrow \text{电阻} \uparrow, Q \downarrow \end{array} \right\}$  平衡

3.2 露点仪



通过测量露点温度, 得到实际水汽压大小.  
\* 判断开始凝结的时刻.

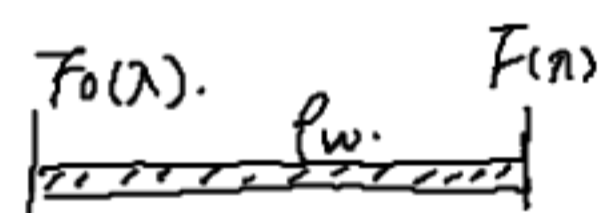
2-4 湿敏电阻, 湿敏电容.

利用高分子聚合物吸湿膨胀特性. 将高分子聚合物材料配上其它成分 (炭粉) 制成电阻式. 和电容性吸湿元件.

如: 薄膜湿敏电阻, 薄膜湿敏电容.

A ④ 光学法: 光学湿度计

唯一用来测量快速湿度脉动的方法: 通过测量水汽吸收线在大气中传输一段距离后的衰减来实现  
水汽吸收线: 1.38  $\mu\text{m}$ , 6.3  $\mu\text{m}$ , 9.4  $\mu\text{m}$ .



$F_1(\lambda) = F_0(\lambda) T = F_0(\lambda) \cdot e^{-\alpha_w \rho_w l}$

消光系数  $\sigma = \alpha_w \rho_w + \sum \alpha_i \rho_i$

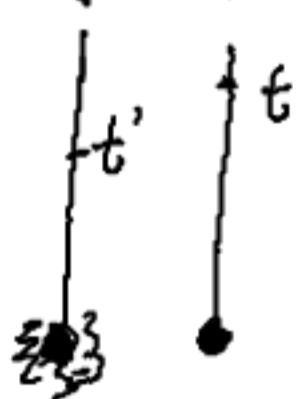
1. 差分吸收. 选择两个波长相差很小, 一个在水汽吸收带上, 另一个对水汽吸收微弱的光源.

2. 选择一个已知水汽密度样本通过, 使用同一探测波长. 比较待测样本  $\rho_w$  与基准样本  $\rho_{w0}$  的  $F_1(\lambda, \rho)$

A ⑤ 干湿表法 (热力学法).

干湿表: 由两支结构完全相同的温度表组成. 一支球部包扎有湿润纱布 (湿球温度表), 另一支干球温度表.

一. 测量公式.



① 由道尔顿蒸发定律. 蒸发量  $M = \frac{CS(e_w - e)}{P}$

$\Rightarrow$  蒸发吸热  $Q_1 = ML = \frac{LCS(e_w - e)}{P}$

而湿球吸热  $Q_2 = h_c S (t - t_1)$

②.  $Q_1 = Q_2 \Rightarrow e = e_w - A_p (t - t_1)$ . 干湿表系数  $A = \frac{h_c}{CL}$

湿球球部附近的气流速度  $\uparrow$ , 球部直径  $\uparrow \Rightarrow A \downarrow$ .

气压变化  $\Rightarrow A$  变化很小.

二. 测量误差.

相对湿度  $f = \frac{e}{e_s}$ .

相对误差  $\frac{\Delta f}{f}$ . 影响因素:  $P, \eta$ . 通风干湿表.

# Chapt 7. 气压测量.

气压概念  $P_z = \int_z^{\infty} \rho g dz$ . (Pa, mba, mmHg). 在任何表面的单位面积上, 空气分子运动所产生的压力

## §1. 水银气压表.

在  $0^\circ\text{C}$ ,  $45^\circ$  海平面的地方 1mm 水银产生的气压,

∴ 要将水银柱高度订正到标准条件下.

### 一. 测压原理.

由于大气压的作用, 管内水银柱将具有一定高度. 当管内水银柱对水银槽面的压力

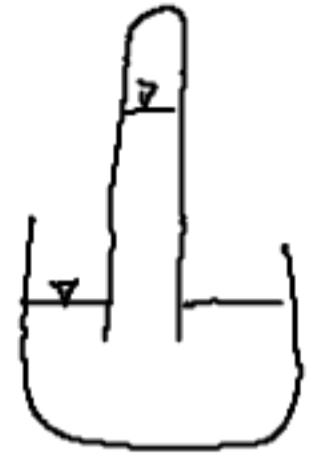
1. 压强公式.  $P = \rho_{Hg}(t) g_{0,z} H_{Hg}(t, g_{0,z})$ . 与作用在水银槽面的大气压相等时, 水银柱将维持此高度.

### 2. 水银柱高度订正.

$$H_{Hg}(0, g_{45,0}) = \frac{\rho_{Hg}(t)}{\rho_{Hg}(45)} \frac{g_{0,z}}{g_{45,0}} H_{Hg}(t, g_{0,z}).$$

重力订正 温度订正.

二.



动槽式水银气压表: 感应部分, 刻度部分和附属部分; 调节螺旋 → 读数.

定槽式: ... 固定槽, 刻度 1mm 实际为 0.98mm (考虑玻璃管与水槽截面积).

### 三. 气压表的安置和观测方法

1. 安置: 在气压室(实验室内), 严格垂直悬挂在墙壁上. ①室内温度均匀少变. ②避免阳光直射.

2. 观测步骤: ①测定室温, 准确到  $0.1^\circ\text{C}$ . ②(动)调整; (静)轻敲; ③读数 ④归数.

### 四. 订正.

(1). 器差订正.

(2). 温度订正. (水银密度, 玻璃管温度特性).

(3). 重力订正. (纬度订正, 高度订正).  $\Delta H_p = -0.00265 \cos 2\phi h(0, g_{p,0})$   $\Delta H_z = h(0, g_{45,z}) - h(0, g_{45,0}) = -0.00000196 h(0, g_{45,z}) z$ .

$$\Delta H_t = k_t h_t = h_0(1+\lambda t) - h_0(1+\lambda t) = \frac{-(1-\lambda)t}{1+\lambda t} h_t = -\frac{0.000163t}{1+0.0001818t} h_t$$

黄铜. 水银.  $t/^\circ\text{C}$ ,  $z/\text{m}$

### 五. 海平面气压换算. (气象预报上需要使用同高度的气压值, 不同高度的气压值不具有比较性).

本站气压: 测站所在温度的气压, 求算本站气压与海平面气压之间的气压差, 即海平面气压换算

$$\lg \frac{P_0}{P_z} = \frac{z}{18400 \left(1 + \frac{t_m}{273}\right)} \quad \dots \text{hw1.}$$

$P_0$ : 海平面气压;  $P_z$ : 本站气压;  $t_m$ : 测站到海平面间空气假想温度:  $t_m = \frac{t_z + t_0}{2} = \frac{t + t_0}{2} + \frac{z}{400}$

$$z < 15\text{m}, \Delta p = 34.68 \frac{z}{z + 273} \text{ (hPa)} \quad \dots \text{hw2.}$$

z: 测站年平均气温.

## §2. 空盒气压表.

携带方便, 操作简单.

感应元件: 由一组具有弹性的薄片所构成的扁圆空盒.



### 一. 原理. $\Delta S \propto \Delta P$

### 二. 空盒特性.

(1). 弹性后效 - 反复老化处理.

(2). 弹性的温度效应 - 加入少量空气; 底部固定在双金属片上.

### 三. 使用方法.

读数温 (准确到  $0.1^\circ\text{C}$ ) → 轻敲盒面 (克服表中机械摩擦) → 静止后读数.

四. 1. 刻度订正: 从仪器检定证中的刻度订正曲线获取. (空盒气压表制作过程中, 由于部件不精细, 装配不准确, 刻度不均匀等原因) → 刻度误差

2. 温度订正:  $\Delta p = \alpha t$ , 空盒的温度效应.

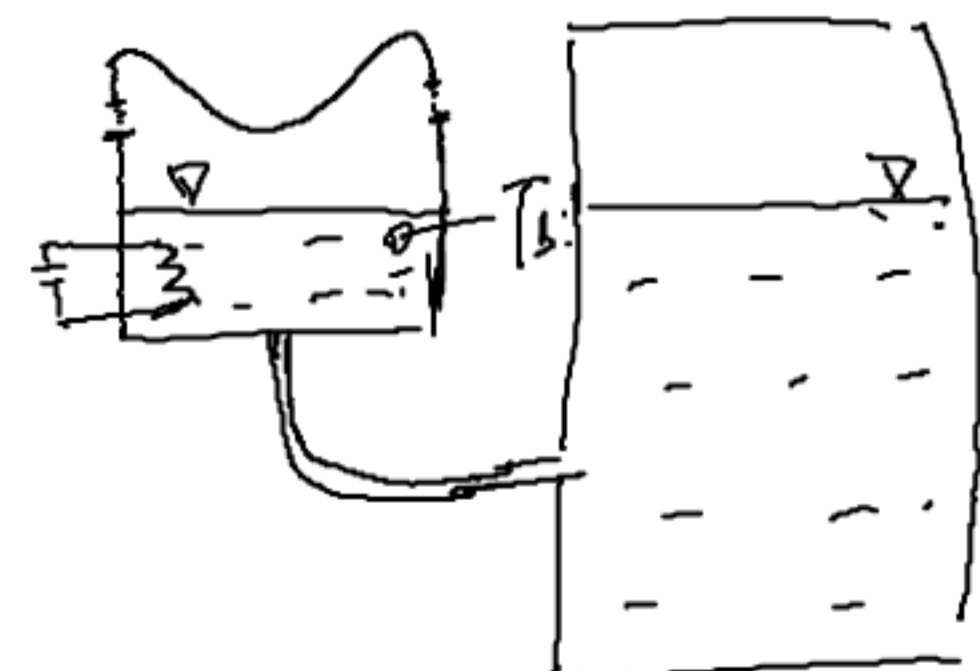
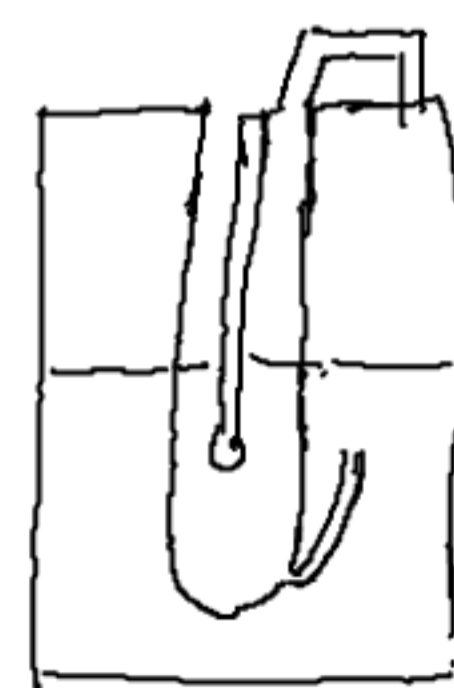
3. 补偿订正: 每年与标准水银气压表对比观测一次, 空盒的弹性后效与滞差环引起的测量误差.

## §3. 其它测压仪器.

一. 沸点气压表.  $\frac{d \ln p}{d T_b} = \frac{L}{R T_b^2}$ ,  $L$  汽化潜热;  $T_b$ : 沸点温度  $\Rightarrow P$ .

二. 振动筒式压力传感器.  $f = f_0 \sqrt{1 + \beta p}$

三. 单晶硅压力传感器



# Chapt 8. 地面风的测量.

## §1. 风的概述.

一. 空气的水平运动. (垂直方向风速大小, 难以测量).

→ 瞬时风的时间平均值.

二. 平均风 ⊙ 算术平均.  $\bar{v}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$ ,  $\bar{D}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$ .

\* 风向的过零问题.

② 矢量平均. 先正交分解, 再求平均.

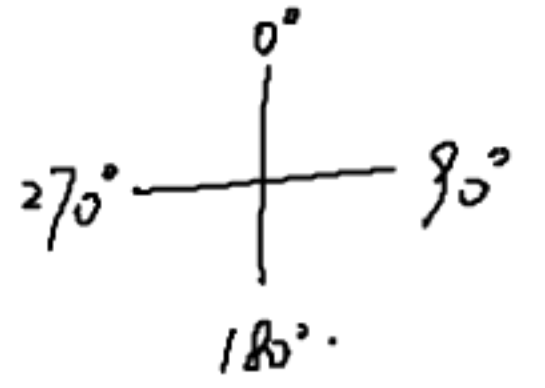
② 滑动平均?  $\bar{v}_i(t) = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^{i+n} v_j$ ,  $\bar{D}_i(t) = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^{i+n} D_j$

最多风向: 一段时间内出现概率最大的风向. (逐段细分)

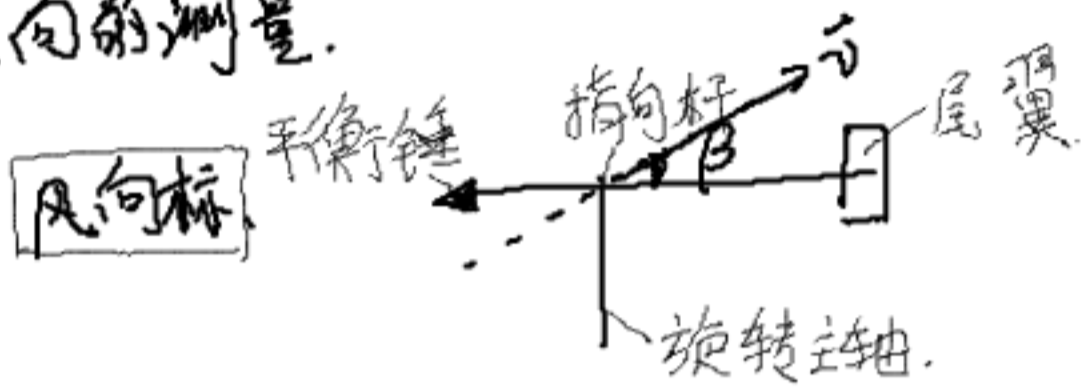
三. 阵风: 湍流引起的风的急剧变化.

阵风指数  $g_m = \frac{v_{max} - v_{min}}{\bar{v}} = \frac{\sum |v_i - \bar{v}|}{N \bar{v}}$

风向(风的来向). E S W N, NE, NW, 度.  
风速(单位时间内气流经过的水平距离). m/s



## §2. 风向的测量.



尾翼面积  $S$ , 转轴阻,  $c \ll 1$

启动特性.

风压转矩  $M_v = \frac{1}{2} c \rho V^2 S R \sin \beta \approx \frac{1}{2} c \rho V^2 S R \beta$ , 摩擦力矩  $M_f$ .

启动速度  $V_f = \sqrt{\frac{2 M_f}{c \rho S R \beta}}$ , 启动风向  $\beta_0 = \frac{2 M_f}{c \rho V^2 S R}$

动态特性.

风向标受力需考虑. 风向标相对空气的运动速度.  $u \sin \beta + r \frac{d\beta}{dt}$

力矩平衡:  $N \beta_0 = r F$ ,  $F = \frac{1}{2} c \rho V^2$ , 其中单位力矩  $N = \frac{r F}{R}$ , 相对迎角  $\beta_0$ .  $\tan \beta_0 = \frac{u \sin \beta + r \frac{d\beta}{dt}}{u \cos \beta} \Rightarrow \beta_0 = \beta + \frac{r}{u} \frac{d\beta}{dt}$

★ 动力学方程  $-J \frac{d\beta}{dt} = N \beta_0 = N \beta + N \frac{r}{u} \frac{d\beta}{dt} = N \beta + d \frac{d\beta}{dt}$ , 风向标阻尼  $d = \frac{N r}{u}$ .

$\Rightarrow \beta = \beta_0 \exp \left\{ -\frac{d}{J} t - 2\pi i \frac{t}{t_d} \right\}$ , 风向标阻尼谐振周期  $t_d = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{N}{J} - \left(\frac{d}{J}\right)^2}}$ . 无阻尼  $d=0$  时,  $t_d = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{N}{J}}}$

风向信号的转换与记录.

①. 电传送: 光电传送, 格雷码盘, 电指式, 电位计式; (滑动变阻器)



②. 机械传送

## §3. 风速测量.

旋转式风速表(计). 感应元件, 固定于旋转轴的感应风的组件.

①. 风杯风速表. 三杯/四杯. 转动与风向无关, 与风速呈线性.

启动特性: 摩擦力矩  $M_f$ , 风压力矩  $M_v$ , 启动条件  $M_v \geq M_f$ ,  $v \approx 0.1 \text{ m/s}$

动态特性: 忽略  $M_f$ ,  $M_v = I \frac{d\omega}{dt}$ . 匀速转动灵敏度(风标系数)  $\frac{v}{\omega R} \approx 2.83$ .

$\Rightarrow \frac{d\omega}{dt} = \frac{A V^2}{I} (\omega_2 - \omega) = \frac{1}{T} (\omega_2 - \omega)$ . 其中系数  $A$  与风杯特性有关, 当前气流速度  $v$ , 在灵敏度下对应  $\omega_2$ .

风杯时间常数  $T = \frac{I}{A V^2} = \frac{I}{v^2}$ , 尺度常数  $L = \frac{1}{A}$ .

★. 与温度计相比.

\*  $T \propto \frac{1}{v^2}$ . 与当前风速有关. 小风  $\rightarrow$  大风. 响应快.

而温度计  $\lambda = \frac{m c}{k s}$ . 与当前温度无关.

误差: ① 滞后引起的误差; ② 过高效差

$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2}$ ,  $\bar{v} = \bar{v} + 2 \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \frac{1}{2} \frac{1 - e^{-v^2 T/L}}{1 + e^{-v^2 T/L}}$ . 风杯测量结果均值  $>$  实际.

② 因空气密度引起; ④ 垂直气流引起.

当风速由低突升至高风速时, 由于时间常数  $T$  小, 风杯的跟踪能力将优于风速由  $v_1 \rightarrow v_2$ ; 即后者惯性大.

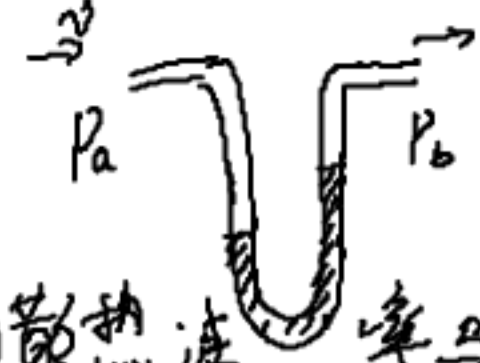
即当风速突降时, 风杯的惯性影响更大  $\Rightarrow$  一定时间内风速表的平均风速高于实际风速平均值.



$\omega_2 = \frac{v}{2.83 R}$

(2) 压力式风速表 (皮托管式风速计).

原理: 液体的全压力与静压力之差  
(伯努利方程)

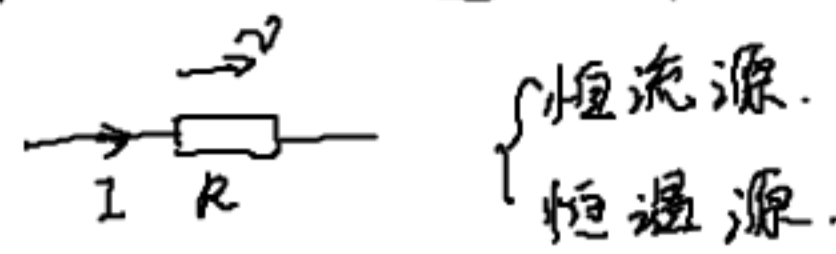


$$\begin{cases} P_a = P_0 + \frac{1}{2} \rho v^2 c_1 \\ P_b = P_0 - \frac{1}{2} \rho c_2 v^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} (c_1 + c_2) \rho v^2 = P_a - P_b \Rightarrow v = \left( \frac{2 \Delta P}{\rho (c_1 + c_2)} \right)^{1/2} \approx \sqrt{\Delta P}$$

(3) 热式风速表: 一个被加热的物体的散热速率与周围空气流动速率有关.

原理: 焦耳热  $I^2 R t$ .

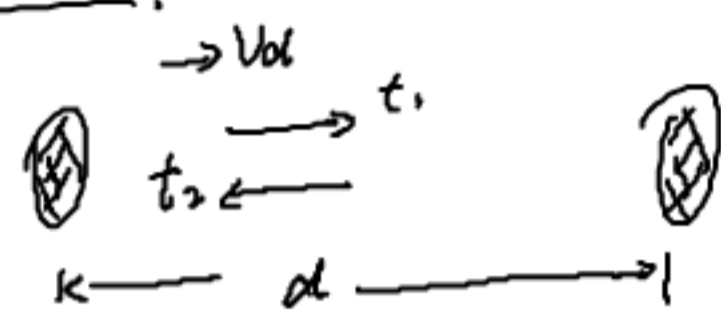


$$= \text{散热 } (A + B\sqrt{v})(t - \theta), \quad t \gg \theta \Rightarrow (A + B\sqrt{v})t$$

$$\frac{2U_a d}{C^2 - U_a^2}$$

(4) 声学风速表.

原理: 声波在大气中传播的速度为声波传播速度和气流速度的代数和



$$\begin{cases} t_1 = \frac{d}{c + v_a} \\ t_2 = \frac{d}{c - v_a} \end{cases} \Rightarrow t_2 - t_1 = \frac{d}{c - v_a} - \frac{d}{c + v_a} = \frac{2v_a d}{c^2 - v_a^2} \Rightarrow v_a = \frac{c^2 \Delta t}{2d}$$

$$c^2 = 403T (1 + 0.32 \frac{\rho}{p})$$

(3) PS.

热线风速仪: 用加热的电阻丝作为热线实现风速测量.

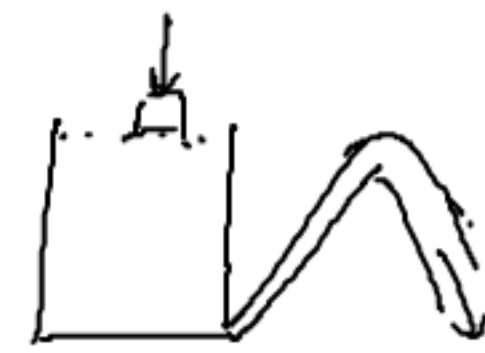
① 直热式 ..... : 热线不仅作为风速感应元件, 也用作温差的测量.  
极细的铂丝.

# C9. 降水、积雪和蒸发的测量

## §1. 降水的测量

降水量、降水强度  
 (降水在地面上, 未经蒸发、渗透和流失的液态/固态降水的积水量). (单位t的降水量)

雨量器: 雨量筒, 雨量杯.  
 雨量计: 虹吸式雨量计 (排水时间  $\leq 14s$ ).  
 翻斗式雨量计.



降水时数  
 (降水实际持续时间).

影响因素: 雨水溅失, 蒸发损失, 风的影响.

## §2. 积雪测量

测站视野中, 地面有 一半以上 被雪覆盖.

雪压: 单位面积上的积雪重量 ( $1g/cm^2$ ). 一体积量雪器 / 称雪器.  
 雪架: 从积雪表面到地面的垂直深度. (取整数, cm)

- ① 量雪尺取三个不同地点 - 测量取平均值;
- ② 声波探测.

## §3. 蒸发量的测量

从水(冰)面飞出的水汽分子通量与回到水(冰)面的水汽分子的差值.

蒸发: 温度低于水的沸点时, 水汽从水面、冰面/其它含水物质表面逸出的过程. (潜热: 只有发生相变时才会体现)

测量仪器: 蒸发器.

测量方法: 通过测量其它气象要素计算蒸发量.

$$E = -\rho k_2 \frac{\partial q}{\partial z} = -\frac{\rho(q_2 - q_1)}{\int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{k_2}} \quad \text{绝热, } k_2 = k_1' z \quad \frac{-\rho(q_2 - q_1)k_1'}{\ln(z_2/z_1)}$$

风速廓线  $\frac{k(z_2 - z_1)}{z_1} = \ln \frac{z_2}{z_1}, k=0.4 = \frac{-0.16\rho(q_2 - q_1)(z_2 - z_1)}{[\ln(z_2/z_1)]^2}$

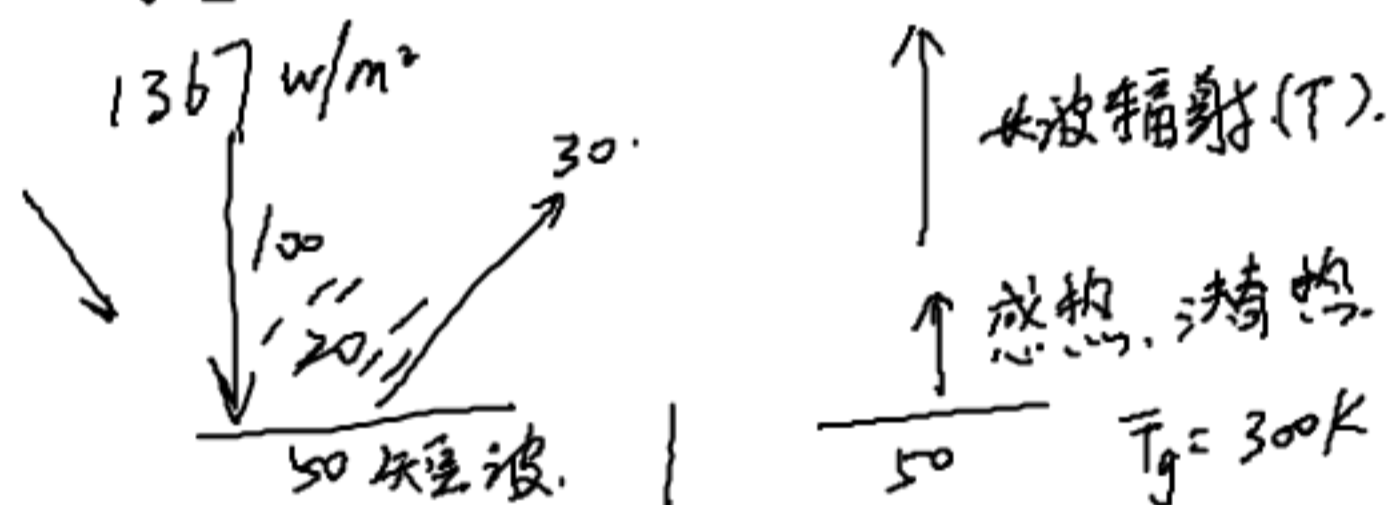
蒸发率 (近蒸发面气层中的垂直水汽湍流扩散通量密度)

空气密度  $\rho$ ; 垂直方向上的比湿梯度  $-\frac{\partial q}{\partial z}$ ; 垂直方向上湍流扩散系数  $k_2$ , 风速函数  $f(w) = \begin{cases} v^n \\ A \cdot B \cdot n \end{cases}$  为经验常数

意义: 自然界中, 蒸发是海洋和陆地水分进入大气的唯一途径, 是地球水文循环的主要环节之一. 对农业、气象、水文研究

均有重要意义.

## C10. 辐射的测量



通过大气时, 由于气体分子、气溶胶粒子、云内水滴和冰晶的散射和吸收而受到削弱.

## §1. 辐射基本量及观测项目

一. 基本量: (见光学). F, E.

二. 气象学观测项目: 辐射能流率  $M/E (W \cdot m^{-2})$ , 日照时数.

### (1) 短波

1. 太阳直接辐射 ( $S$ ): 包含了太阳面的辐射和太阳周围一个非常狭窄的环形天空的辐射.

水平太阳直接辐射:  $S_0 = S \cdot \sin \theta_0$

2. 散射辐射 ( $E_{ad}$ ): 太阳辐射大气分子及粒子散射从  $2\pi$  立体角到达地面的那部分辐射.

3. 总辐射 (短波辐照度):  $E_{g\downarrow} = E_{ad} + S_0$

4. 短波反射辐射 (反射太阳辐射)  $E_r \uparrow$ .

反射比  $\alpha_r = \frac{E_r \uparrow}{E_{g\downarrow}}$

### (2) 长波

1. 大气逆辐射; 2. 地面长波辐射.

(3) 全辐射: 短波和长波的总和.  $0.2\mu m \sim 100\mu m$ .

(净全辐射)  $E^* = E_{g\downarrow} + E_{l\downarrow} - E_r \uparrow - E_e \uparrow$  长波



## §2. 测量原理、仪器及基本操作

一. 原理: 辐射能产生热、电、化学效应等效应。

相对法:  $E = k \Delta T$ ,  $k$  由标定得到。

绝对法:



## §3 太阳直接辐射测量 ① 辐射感应面。

② 出光筒: 散射辐射干扰↓; 方便跟踪。

半张角  $\alpha = \tan^{-1} \frac{R}{d} \sim 25^\circ$ , 倾斜角  $\beta = \tan^{-1} \frac{R-r}{d} \sim 1^\circ$



自动跟踪: 计算大概位置 → 俯仰抖动寻找。

## §4. 短波总辐射的测量

玻璃罩: 仅让短波透。



① 无黑漆  $\Delta T$  与空气温差  $\Delta T_a$

② - - - - 与白漆  $\Delta T_w$

带宽、半径、太阳赤纬、散射辐射率、太阳高度角  $h_0$

$$E_0 = \frac{b}{r} \cos^2 \delta \int_{t_r}^{t_s} L(t) \sin h_0 dt$$

散射辐射测量: **遮光环**: 保证从日出到日落能连续遮出太阳直接辐射, 同时截去了与整个环带相应部分的天空辐射, 因此观测结果偏小, 需订正。

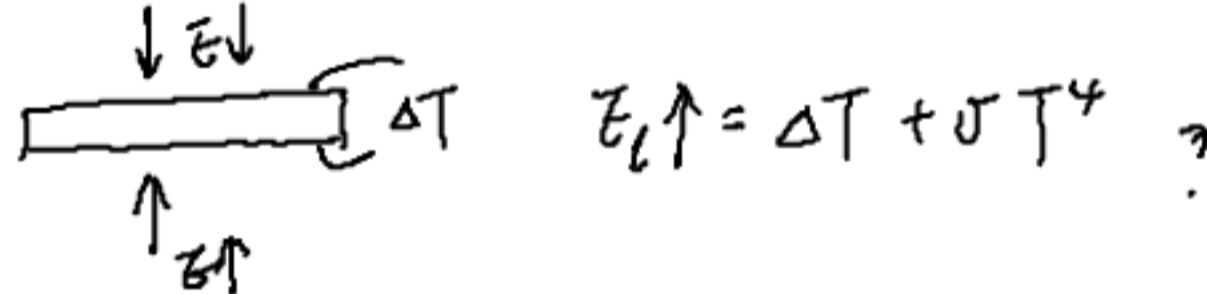


65mm. 减少调整频率。

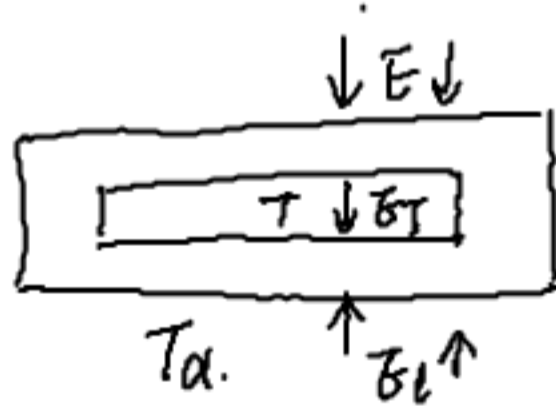
气候因子 → 修正因子  $f = \frac{1}{1 - \frac{E_0}{E}}$

## §5. 全辐射净辐射测量: 测量原理结构基本相同, 全辐射表只需一个感应面, 而净辐射表需上下两个感应面;

净辐射表加上一个配件可测全辐射。



★ 长波辐射:



$$E_T = \sigma T^4$$

$$E_{L\uparrow} - E_T \propto T_a - T$$

$$\Rightarrow E_{L\uparrow} = E_T + k(T_a - T)$$

日照时间(天文日照时间): 无任何遮蔽的条件下, 太阳中心从某地东方地平线到进入西方地平线, 其光线照射地面所经历的时间。

所经历的时间 { 查天文年历。  
 $T = \frac{2}{15} \cos^{-1} (-\tan \varphi \cdot \tan \delta)$

§1. 高空风(空中风): 地面上空各高度的空气水平运动.

测量方法: ①. 示踪物: 随气流飘浮, 观测示踪物的位移并确定空中的风向、风速.

②. 用系留气球、风筝、飞机、气象塔等观测平台, 使测风仪器安置在不同高度上, 根据气流对测风仪器的动力作用来测量空中的风向、风速.

③. 用大气中的质点/湍流团块与无线电波、声波、光波的相互作用, 由多普勒效应引起的频率变化, 推算空中的风向、风速.

§2. 气球测量高空风的原理:

用气球作为气流的示踪物, 使用地面跟踪设备观测它的运行轨迹, 测定它在空间各个时刻的位置, 确定大气层中的平均风向、风速.

§3. 测风经纬仪: 一种跟踪观测和测定空中测风气球仰角、方位角的光学仪器.

气球 { 膨胀型: 保持气球弹性, 上升直至破裂.  
非膨胀型: 球皮无伸缩性, 可保持一定形状, 一般在超压状态下工作.

①. 单经纬测风仪: 假定气球的升速不变, 用一台经纬仪跟踪观测气球在每一分钟的仰角、方位角.  
$$H = vt$$

②. 双经纬仪(基线测风法): 将两台经纬仪分别安装在已知距离的两个观测点上, 同时观测气球的运动, 读出仰角、方位角并通过三角函数关系计算气球的实际高度, 再与单经纬仪测风法一样计算各高度上的风向、风速.

误差主要原因:  $\delta$ ,  $\alpha$ ,  $H$  的测量误差.

逃了一年, 再逃十天就行.

§4. 无线电测风 { 定向法: 测出大气中的气球位置, 由仰角、方位角、高度/斜距计算高空风.  
定位法.

原理: ①. 测距原理: 假设电磁波传播速度为常数  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , 测得电磁波由雷达到目标物(反射体或应答器)的往返时间  $t$ .  $R = \frac{1}{2} ct$ .

②. 测角原理: 根据雷达天线波瓣扫描的原理, 采用等信号法测量角坐标.

误差:  $\delta$ ,  $\alpha$ ,  $H$  的测量误差. 系统误差: 雷达调整和标定不可能完全准确  $\rightarrow$  测风前细致调整和标定.  
随机误差: 雷达装置复杂, 实际工作中难以分清, 作为随机误差处理.

§5. 无线电探空仪: