

大气探测学复习提纲

卢蒲诚

January 8, 2024

- 1. 大气探测的对象和任务，大气探测的“三性”要求。

大气探测是对表征大气状况的气象要素、天气现象及其变化过程进行个别或系统的、连续的观察和测定，并对获得的记录进行整理。

探测对象：

- 近地面层大气：包括地面气象观测和近地面层大气探测。地面气象观测 (-1 10 m, 标准气象观测站的风速、风向观测高度为 10 m) 的观测项目包括云、能见度和天气现象状况，地温，大气温度、湿度、压力、风速、风向、降水、蒸发和辐射等。近地面层大气 (0 3000 m) 的观测项目包括大气温度湿度、压力、风速、风向等。
- 高空大气：高空大气探测是对 3000 m 以上的大气层状况进行探测。探测的项目主要有：大气温度、压力、风速、风向和湿度等。
- 专业性大气：如区域大气环境容量研究、大气边界层特征研究城市热岛环流研究、海陆风场研究和峡谷风场研究等是取决于研究项目需要的大气探测项目。

探测任务：研究大气探测系统的建立原则与方法，以便获得有代表性的全球三维空间分布的气象资料；制定大气探测技术规范来统一各种观测技术和方法，使其标准化，确保气象资料具有可比较性；研制探测仪器标准计量设备、制定计量校准方法，确保测量结果的准确性。

- 代表性：所测得的某一要素在所规定的精度范围内能反映观测站该要素的局地情况，且能代表观测站周围一定范围内的平均情况。分为时间代表性和空间代表性。
- 对比性：不同测站同一时间测得的同一大气要素可以相互比较，同一测站不同时间的大气要素也可相互比较。
- 准确性：反映测量中随机误差和系统误差合成大小的程度。

- 2. 地面观测的气象要素主要包括哪些，常规气象仪器从结构上包括哪几个关键部分。

地面气象观测的气象要素包括云、能见度和天气现象状况，地温，大气温度、湿度、压力、风速、风向、降水、蒸发和辐射等。

气象仪器需要包括感应元件、传感部分、读数部分。

- 3. 如何理解测量仪器的测量误差。

系统误差：由于仪器性能和测定方法不完善而引起的某种定常误差，或当环境改变时按一定规律变化的误差。

-
- 仪器误差：①仪器本身材料性能的限制。②制造工艺过程和技术要求的限制。③机械传递和装配组合不够紧密。④调整装置调节不当。可以通过仪器误差订正来减小消除。
 - 条件误差：仪器由于外界的影响造成观测记录的误差。如气压表环境温度变化导致气压读数误差。一般可以通过订正或选取适当条件减小误差。
 - 读数误差：由于小数位估值不同、视线高低、读数习惯差异导致的一类误差。可以采取统一观测方法、多人读数求平均来处理。

随机误差：误差无论大小或正负都不可预知。随机误差的大小和频率符合正态分布的统计规律，且有这些特征：①随机误差的绝对值不会超过某个界限（孤点除外）。②绝对值相等的正负误差出现概率相等。③绝对值小的误差比绝对值大的误差出现概率大。多次读数取平均可以减少随机误差。

- 4. 实际气象观测中仪器选择的原则是什么。

仪器应具有较高的灵敏度、测量准确度和较大的动态范围、以及长期稳定可靠的探测性能，能够适应各种复杂和恶劣的天气条件。此外还需要考虑不同平台的需要。

对仪器的要求是需要有以下特性：准确度、可靠性、操作与维护方便、设计简单和耐用性。

- 5. 表示仪器静态特性和动态特性的指标分别有哪些。

静态特性：

- 灵敏度：测量仪器的响应变化除以相应的激励变化。
- 识别率：测量仪器响应激励值微小变化的能力。
- 分辨率：指示器件对被指示量的紧密相邻值做有意义的辨别能力的定量表示。

动态特性：

- 滞差：测量仪器对确定的激励作用的响应特性，表现为与先前的激励结果有关。
- 滞后误差：由于观测仪器的有限响应时间而使一组测量可能具有误差。
- 稳定度：仪器维持计量特性随时间不变的能力。
- 飘移：测量仪器的计量特性随时间的缓慢变化。
- 阶跃响应、频率响应

- 6. 测量系统中，如何界定一阶系统和二阶系统，它们分别对阶跃函数型输入信号的响应如何。

一阶系统：类似温度表的热滞效应，可以用一阶微分方程表达其关系式。在输入阶跃信号下，测量值逐渐趋近于真实值，为一阶响应。

二阶系统：类似风向标，在风向骤变的时候经过一个阻尼简谐振动产生过量指示而逐渐趋近于真实值。仪器的响应决定于环境量以及仪器的响应速度和加速度，函数表达式是二阶微分方程。在输入阶跃信号下，产生二阶响应。

- 7. 什么是云高、云量和云状，云的分类标准是什么，云的三族名称和 10 属名称。

云高：云底距离测站地面的垂直距离。

云量：指云块占据天空的面积，云量观测包括总云量、低云量。总云量是指观测时天空被所有云遮蔽的总成数，低云量是指天空被低云族的云所遮蔽的成数，均记整数。通常将整个天空划分为 10 等份，碧空无云或被云遮蔽不到 0.5 份时，云量为“0”；云遮盖天空一半时，云量为“5”。云量多时，估计露出的蓝天，再推算出云量。

云状：云的外部形状，按云的外形特征、结构特点和云底高度，将云分为三族，十属。

低云：云高小于 2km. 多数低云可产生降水。雨层云产生连续性降水，积雨云产生阵性降水。

- 积云：轮廓分明、顶部突起、底部平坦，云块间多不相连。是由底层空气对流作用使水汽凝结或在冬季凝华而成的云，由水滴组成。除非变成积雨云否则不会有降水。
- 积雨云：云体庞大、浓厚。顶部开始冻结，呈白色，轮廓模糊。底部阴暗，起伏明显，气流混乱。积雨云是对流发展的极盛阶段，内部上升气流剧烈，常产生较强的阵性降水。
- 层积云：结构松散的大云块、云条组成的云层，颜色灰白或灰色。主要由空气的波动和乱流混合作用形成，一般由水滴构成。厚的层积云可产生间歇性降水。
- 层云：云体均匀成层，呈灰色，像雾，云底很低。由水滴或过冷水滴组成。在气层稳定时，由夜间较强的辐射冷却或湍流混合作用，水汽凝结或由雾抬升而成。常在太阳升起之后气温逐渐升高，稳定层被破坏，层云也逐渐消散。有时降毛毛雨或米雪。
- 雨层云：低而厚的灰暗均匀云层。云底混乱，没有明显的界限，云层水平分布范围很广。一般伴有连续性降水。雨层云多由高层云发展而成。是锋面等大型天气系统侵入时，由于暖湿空气受到冷空气缓慢抬升发生绝热冷却凝结而成的，由水滴或水滴和冰晶构成。

中云：中云是由微小水滴、过冷水滴或者冰晶、雪晶混合而组成。中云的云底高度一般在 2500-5000 米之间。高层云在夏季多出现降雨，而在冬季多出现降雪。高积云较薄时不会出现降水，但在高原地区的高积云出现雨（雪、幡）。

- 高积云：云块较小，轮廓分明。薄的云块呈白色，厚的为灰色。常呈波纹状排列，鱼鳞状的密集云条。由水滴，过冷水滴，冰晶混合而成。薄的高积云稳定少变，一般预示天晴；厚的高积云如继续增厚，有时也有零星雨雪。
- 高层云：云体均匀成层，呈灰白色或灰色，云体常有条纹结构。由水滴、过冷水滴、冰晶组成，可降小量雨雪。高层云是层结稳定的暖湿空气沿锋面缓慢滑升，或受对流层气流的辐合作用缓慢上升，经绝热冷却而形成的范围广大的层状云幕。

高云：高云云滴高度通常在 5 千米以上，主要由冰晶组成，一般不直接产生降水，冬季北方的卷层云、密卷云偶尔会降雪，有时可以见到雪幡。

- 卷云：云体具有纤维状结构，通常成白色，有柔丝般的光泽。由冰晶组成，形成原因多样。
- 卷层云：云体均匀成层，透明或呈乳白色。日月轮廓清晰，地物有影，常伴有晕。卷层云中的冰晶是一种类似于金刚石的面心立方结构。这种云由湿空气作大范围缓慢斜升运动而膨胀冷却所造成。
- 卷积云：卷积云云块很小，云体呈白色细鳞，常排列成群或成行。通常是由高空层结不稳定产生波动形成的。

- 8. 层状云和积状云的主要差别是什么。

由热力对流和动力抬升而形成的云，往往垂直向上发展较旺盛，云体的轮廓一般比较分明，按前节所述的分类称为积状云。由波动作用和湍流交换而形成的云多形成于逆温层或稳定层附近，云层沿水平方向散布，称为波状云。由于自身冷却或气团沿锋面缓慢抬升而形成的云常呈均匀幕状，称之为层状云。

层状云：布满全天或部分天穹的均匀（指厚度、灰度和透光程度均匀）云层。产生连续性降雨。

积状云：积状云是垂直发展的云块，主要包括淡积云、浓积云和积雨云。积状云多形成于夏季午后，具孤立分散、云底平坦和顶部凸起的外貌形态。

- 9. 观测云高有哪些方法，如何利用地面气象数据估测云高。

人工目测云高：利用云状、颜色等特征，判断云的种属，再根据这一种属云的特征高度进行估计。

仪器观测：

地基观测仪器

- 雷达：毫米波云雷达、W-带雷达（多普勒后向散射雷达）、激光测高仪
- 辐射计：22 通道辐射计（微波辐射）、红外辐射计、反射率测量仪（总辐射量值）
- 气球
- 全天空成像仪（可见光波段、红外波段）
- 探照灯

天基观测仪器

- 云粒子探测器：通过 He-Ne 雷达测量前向散射，确定云粒子数密度和谱分布以及液态水含量
- 辐射和微物理测量仪

- 10. 主要的天气现象包括哪些类型。

- 降水现象
- 地面凝结现象：水汽从空气中直接凝结在地表或物体上的凝结现象
- 视程障碍现象：由固体或液体微粒漂浮于大气中造成的视程障碍使能见度降低的天气现象
- 大气光学现象：由于日月光线在空气分子或悬浮在空气中的水珠上折射、反射、散射或衍射而产生的天气现象
- 雷电现象：雷雨云中出现的闪电和雷声的天气现象
- 特征风现象

- 11. 什么是气象能见度，什么是气象光学距离（MOR），影响能见度的因素有哪些。

气象能见度：指标准视力的眼睛观察水平方向以天空为背景的黑体目标物（视角在 0.5° ）时，能从背景上分辨出目标物轮廓的最大水平距离。

气象光学距离：色温为 2700 K 的白炽灯的平行光束，光通量变为其初始值的 0.05 时所通过的大气路径长度。

影响因子：

- 大气透明度：影响能见度的主要因子。大气中气溶胶粒子通过反射、吸收、散射等机制削弱光的能量，导致目标物固有亮度减弱。
- 目标物和背景亮度的对比
- 观察者的视觉感应

- 12. 一定距离以外，人眼所见目标物总视亮度的表达式是什么。

目标物固有视亮度 B_0 ，通过距离为 L 的空气层减弱后为 B_{0L} ，可知

$$B_{0L} = B_0 e^{-\int_0^L \sigma dL} \quad (1)$$

此外大气散射会形成气幕光，体积为 dV 、长度为 dL 的元体积在观测方向的散射光强为 $dI_\lambda = E_\lambda \alpha_\lambda^\theta dV$ ，其中入射到体积元上光的照度为 E_λ ，体积角散射系数为 $d\alpha_\lambda^\theta$ 。因此空气元的原始亮度为 $dB' = E_\lambda \alpha_\lambda^\theta dL$ 。距离观察者水平距离 L 处的元体积在经过大气减弱后的视亮度为：

$$dB'_L = dB' e^{-\sigma L} = E_\lambda \alpha_\lambda^\theta e^{-\sigma L} dL \quad (2)$$

假定水平方向空气均一，则天空产生的视亮度为：

$$B'_L = \frac{E \alpha_\lambda^\theta}{\sigma} (1 - e^{-\sigma L}) \quad (3)$$

因此，人眼所见目标物的总视亮度为：

$$B_L = B_{0L} + B'_L = B_0 e^{-\sigma L} + \frac{E \alpha_\lambda^\theta}{\sigma} (1 - e^{-\sigma L}) \quad (4)$$

- 13. 如何导出能见度与消光系数的关系式。

根据 Beer 定律，有：

$$B_{0L} = B_0 e^{-\int_0^L \sigma dL} \quad (5)$$

如果大气水平均一，则有

$$\sigma = \frac{1}{L} \ln \frac{B_0}{B_{0L}} \quad (6)$$

这里的比例一般取 50.

- 14. 气象能见度观测中，什么样的目标物符合观测要求。

白天：以天空为背景视张角 ($\sqrt{Widthangle \times Heightangle}$) 大于 0.5° ，小于 5° ，仰角小于 6° ，且大小适度的黑色目标物。

夜晚：点源的灯光目标物。

- *15. 测量能见度的仪器有哪些，大气消光系数测量的原理是什么。

仪器测量方法有遥测光度计、测透射率仪器及透射表、散射仪以及激光雷达方法。

遥测光度计可以测量远处目标物和天空背景的视亮度，加以比较给出大气消光系数，推算气象能见度。

测透射率仪器由光发射器、反射器和接收器构成。发射器发射的光分为两束，一束射入大气再反射、另一束不射入大气作参考光，由比较法确定透射率。气象能见度为：

$$L_M = -\frac{3.912l}{\ln T} \quad (7)$$

其中 l 是两点间距离， T 是两点间的大气透射率。

测散射光及散射仪

- 16. 气温、地温的概念，哪些物理原理可用于测量温度，由原理到测量仪器要开展哪些工作。

气温：某一地点在防止太阳辐射且距地高度 1.5 米的百叶箱内并暴露在空气中的温度计所示温度

地温：地面温度和不同深度的土壤温度的统称。

原理：热胀冷缩效应（体积及曲率的几何形变）、晶体振动效应（晶体的几何形状及振动频率随温度改变）、热电温差效应（两接点间电动势随温度差变化）、电阻效应（金属电阻随温度升高而增加、半导体电阻随温度升高而减小）、电位差效应（二极管、三极管正向降压随温度升高而增大）、辐射效应（利用物体的辐射特性或辐射吸收能力随温度而改变的性质）、声学效应（利用声波传播速度随介质温度改变的性质）

仪器研发流程：①设计和原型制作；②工程开发和测试；③质量控制和标准化；④编写操作手册和技术文档。

- 17. 玻璃液体温度计测温灵敏度与哪些因素有关，测温误差有哪些，如何减小误差。

灵敏度公式：

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{V_0}{S} \mu - \gamma \quad (8)$$

V_0 为表内液体体积， μ 为液体热膨胀系数， γ 为玻璃球热膨胀系数， S 为毛细管截面积。

误差：①基点误差：玻璃温度表球部的容积随时间缩小变化，使得基点提高，造成基点误差。②刻度误差：由于玻璃膨胀的非线性，温度表的刻度会有误差。③玻璃变形引起的误差：温度由低温升至高温后，再急速冷却到初始温度，温度表的指示会偏低，随后逐渐恢复正常。升温的范围、降温的速率、玻璃的种类都会影响。

- 18. 双金属片温度计、热电偶温度计的测温灵敏度和误差如何。

双金属片温度计灵敏度：

$$\frac{ds}{dt} = L^2 \frac{B(\psi)}{\psi} \frac{A}{2(h_1 + h_2)} (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (9)$$

L 是双金属片弧线总长度， h_1 和 h_2 为两种金属片的厚度， α_1 和 α_2 为热膨胀系数， A 为系数取决于两种杨氏模量的比和 $\frac{B(\psi)}{\psi}$ 。误差主要是摩擦力，此外金属弹性也与温度有关。

热电偶温度计：

利用温差电现象，两种不同的金属导体 A 和 B 两端都焊在一起，构成闭合回路，如果接触点温度不同，回路中产生电流。热电偶的电动势与温差之间的关系：

$$\epsilon_t = \alpha(t_2 - t_1) + \beta(t_2 - t_1)^2 \quad (10)$$

其中 $\alpha \gg \beta$ ，因此可以知道灵敏度应该为 α 。其误差主要是感应元件，产生的电动势可能除了热电势还有化学电势等其他部分，但是我们只需要用热电势。除此之外电路部分也会产生一些误差。仪器的稳定性会随时间变化。

- 19. 电阻温度表的热电效应对温度测量有何影响，如何减小相关误差。

电阻温度表原理是利用电阻随着温度升高而增大，因此可以通过电阻测量温度。电阻和温度的关系是：

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (11)$$

电热效应：电阻产热时会使测量值偏大。

解决方法：迅速打开和关闭电源，在较短的时间内测量电阻，这样可以避免产过多的热，同时可以确定电阻，以此推断温度；限制测量电流在一定范围内；增大元件表面的接触面积与热交换的能力；设有通风设备。

- 20. 什么是测温仪器的热滞现象，怎样理解热滞系数的定义，热滞系数的大小与哪些因素有关。

热滞现象：测温元件从一个环境迅速转移到另一个温度不同的环境时，温度测量仪器的示数不能立即指示新的环境温度，而是逐渐趋近于新的环境温度。

滞差：测温元件的示数在尚未达到新的环境温度之前进行观测，产生的误差。

热滞系数：量纲是时间，含义为介质温度恒定时滞差降为初始滞差的 e^{-1} 所需时间。

$$\lambda = \left(\frac{hs}{CM}\right)^{-1} \quad (12)$$

其中 λ 是热滞系数、 C 为比热， M 为元件质量、 S 是有效散热面积、 h 是热交换系数。

$$\frac{dT}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}(T - \theta) \quad (13)$$

T 是元件温度、 θ 是环境温度。

- 21. 热滞（热惯性）误差的概念，被测目标的温度线性变化时，测温仪器的热滞误差有何规律。

滞差：测温元件的示数在尚未达到新的环境温度之前进行观测，产生的误差。

温度 $\theta = \theta_0 + \beta\tau$ 线性变化，其中 β 是变温率：

$$\frac{dT}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}(T - \theta_0 - \beta\tau) \quad (14)$$

解出上式，并且初始条件为 $\tau = 0$ 时 $T = T_0 = \theta_0$ ：

$$T - \theta = -\beta\lambda(1 - e^{-\frac{\tau}{\lambda}}) \quad (15)$$

热滞系数越小，滞差越小。并且当时间足够长时，滞差为一常数。

- 22. 湿度的概念和表示，哪些物理参数可以表征湿度。

湿度：（世界气象组织）空气中水汽含量的多少。

大气湿度：（地面气象观测）离地面 1.5m 高度处的湿度。

空气湿度的表示方法：绝对湿度、相对湿度

表征湿度的物理参数：

- 混合比 γ : 湿空气中水汽质量为 m_v , 干空气质量为 m_a , $\gamma = \frac{m_v}{m_a}$
- 比湿 q : $q = \frac{m_v}{m_v + m_a}$
- 绝对湿度 ρ_v : 单位体积的湿空气中所含的水汽质量, 即水汽密度 $\rho_v = \frac{m_v}{V}$
- 水汽的摩尔分数: $X_v = \frac{n_v}{n_v + n_a}$
- 水汽压: $e' = X_v \cdot p = \frac{n_v p}{n_v + n_a}$, 当 $e' \ll p$ 时有 $\gamma = 0.622 \frac{e'}{p}$
- 饱和蒸汽压
- 相对湿度: 空气中水汽压与相同温度下饱和水汽压的百分比
- 露点温度 T_d 、霜点温度 T_f : T_d 定义为 T 、 γ 的湿空气在压强不变的条件下, 降温到对水面饱和时的温度; T_f 定义为 T 、 γ 的湿空气在压强不变的条件下, 降温到对冰面饱和时的温度。

• 23. 湿度测量有哪些原理和常用仪器方法。

- 毛发湿度表

原理: 根据毛发的吸水性与伸长量之间的关系确定的。相对湿度从 0 – 100% 变化时, 毛发的伸长量从 0 到 2.5% 线性变化。

误差: 毛发感湿的滞后性、毛发测湿的温度误差 (长度也随温度变化)、毛发测湿的瘫痪现象 (相对湿度低于 30% 时湿度再次回升, 毛发的湿度总是低于实际)

- 露点仪

原理: 通过金属镜面对空气等压降温, 直到镜面出现露或霜, 记录此时的镜面温度, 即露 (霜) 点温度, 可计算空气湿度。

影响因子: 开尔文效应 (弯曲水面饱和蒸汽压与平面饱和蒸汽压不同, 镜面的结霜温度低于真实霜点温度)、拉乌尔特效应 (空气和镜面的杂质使饱和蒸汽压低于干净空气的饱和蒸汽压, 会使露点偏高)、部分压力效应、镜面凝结相态的判断、操作的正确性

- 干湿球温度表

原理: 由于蒸发, 湿球表面不断耗散蒸发潜热, 湿球温度下降; 湿球与四周空气有温度差, 在稳定平衡时湿球温度表蒸发支出的热量等于周围热空气交换得到的热量:

$$Q = h(T - T_w) \quad (16)$$

h 是热扩散系数, T 为干球温度, T_w 为湿球温度, 单位时间通过单位湿球面积蒸发水分的质量可以表示为:

$$M = k[r_s(T_w) - r] \quad (17)$$

式中 k 是水汽扩散系数, r 为空气的混合比, $r_s(T_w)$ 为湿球温度 T_w 时的饱和混合比, 湿球蒸发时消耗的热量为:

$$Q_m = kL(T_w)[r_s(T_w) - r] \quad (18)$$

$L(T_w)$ 为水的蒸发潜热。令 $Q = Q_m$ ，并设 $r = 0.622 \frac{e}{p}$ ， $r_s(T_w) = 0.622 \frac{e_s(T_w)}{p}$ ，因此我们可以得到：

$$e = e_s(T_w) - \frac{ph}{0.622kL(T_w)}(T - T_w) \quad (19)$$

主要误差：干湿表的相对误差与风速的二次方根成反比，与湿球直径的二次方根成正比。

- 吸湿称重法：利用吸湿剂吸收一定容积空气中的水汽，求出重量变化，即可算得含水量。
 - 光谱吸收法：利用空气中水对红外辐射的吸收原理确定空气湿度。
 - 氯化锂测湿：分为电阻式氯化锂元件（水汽多电阻小）和露点式氯化锂元件（测量饱和溶液水汽压与环境水汽压平衡时的露点）。
 - 碳膜湿敏元件：根据高分子聚合物吸湿后膨胀，元件电阻增大，通过确定电阻确定大气中的湿度。
 - 高分子湿敏电容湿度计
- 24. 干湿表的测湿原理及主要误差来源。
见上题。
 - 25. 气压的概念，气压测量的原理。

气压数值上等于单位面积上从所在地点向上直至大气层上界的整个空气柱的重量。

水银气压表：大气压力的作用将水银柱维持在一定高度，当水银柱产生的压力与大气压力平衡时，可以通过测量水银柱压力来确定。

空盒气压表和气压计：空盒具有弹性，内部抽成真空，底部固定，顶部可以自由移动，依据弹性来反应读数。

沸点气压表：溶液的沸点温度与大气压之间关系稳定，在低气压条件下精度更准确。

震动筒式压力传感器：弹性金属圆筒在外力作用下发生震动，当筒壁两侧具有压力差，频率会随压力差变化。

单晶硅压力传感器：单晶硅压敏元件在压力作用下会发生形变，改变电阻。

- 26. 动槽式水银气压表和定槽式水银气压表的构造有何不同，定槽式气压表为何需要标尺补偿。

动槽式水银气压表：水银槽边的标尺上具有固定的零点，每次读数时需要将水银表面调至这一零点处，然后读出水银柱顶的刻度。结构包括水银、玻璃管内柱、标尺、游标尺、象牙针、附属温度表。

定槽式水银气压表：水银槽是一个固定容积的铁槽，没有皮囊、水银面调节螺钉以及象牙针。当水银柱上升的时候水银槽内的水银面会向下移动，基点随水银柱顶的高度变动。由于槽部水银面不能像动槽式那样进行调整，随着气压的变化，水银柱高度的变化也造成槽内水银面高度的变化，而标尺是固定刻在铜管上的，不能随水银面活动，因此就需要把这种由于基点变化而影响示度的量考虑进标尺的刻度大小上去，这样的标尺就称为补偿标尺。

- 27. 什么是水银气压表的温度订正和重力订正，由当前读数直至获取本站气压的完整过程如何。

由于大气压力的公式为：

$$p_h = \rho_{hg}(t)g(\psi, h)H_{hg}[t, g(\psi, t)] \quad (20)$$

其中 $\rho_{hg}(t)$ 为温度为 t 时的水银密度, $g(\psi, h)$ 为测站纬度 ψ 、海拔高度 h 处的重力加速度, $H_{hg}[t, g(\psi, t)]$ 为气压表读数。

国际上统一规定, 温度为 0°C 、纬度为 45° 的海平面为标准条件。不在标准条件的测站需要订正到标准条件下。温度订正因子为 $\frac{\rho_{hg}(t)}{\rho_{hg}(0^\circ\text{C})}$ 、重力订正因子为 $\frac{g(\psi, h)}{g(45^\circ, 0)}$ 。

当前读数需要经过仪器误差的订正, 再进行气压表读数的温度订正和重力订正。

- 28. 为何要进行本站气压和海平面气压的换算, 如何换算。

在绘制天气图的时候, 仅仅知道测站的场面气压是不能绘制等压线的, 高山上的场面气压比平原上的低, 因此需要将所有气压都订正到海平面上。

若某站的场面气压为 p_h , 相应海平面气压为 p_0 , 海拔高度为 h , 则有

$$p_0 = p_h 10^{\frac{h}{18400(1 + \frac{t}{273})}} \quad (21)$$

- 29. 空盒气压表的构造、测量原理及误差来源, 什么是弹性后效, 对空盒气压测量有何影响。

空盒具有弹性, 内部抽成真空, 底部固定, 顶部可以自由移动, 依据弹性来反应读数。包括感应部分、传动放大部分、显示部分。并且需要测量空盒温度。

误差主要来源是仪器不够精密导致的刻度误差和温度改变空盒弹性。

弹性后效: 气压停止变化后, 空盒形变还继续一段时间, 升降压曲线不重合, 形成滞差环。

- 30. 通过测量溶液沸点的方式测量气压, 原理是什么。

见 25 题。

- 31. 风速、风向、平均风、最多风向的概念, 风向和风速测量有哪些原理。

风速: 单位时间气流运动距离

风向: 风的来向

平均风: 瞬时风的时间平均值

最多风向: 在一个地区某一时间段内出现频数最多的风或风向

风向的测量原理: 如果风向标偏离风向的角度, 则会在风力的作用下产生扭力矩, 使得风向标转动到风向。

风速的测量原理: 稳定的风力作用下, 风杯受到扭力矩开始旋转, 转速与风速成一定关系。

- 32. 风向标的临界阻尼、阻尼比, 风杯风速表的时间常数 (距离常数)。

临界阻尼: $D_0 = 2\sqrt{NJ}$ 为临界阻尼。其中 $N = \gamma_v F_v / \beta$ 为扭力矩, γ_v 为力 F_v 作用中心相对转轴的力臂, β 为风向标偏离风向的角度。 $J = m\gamma_v^2$ 为转动惯量, m 为风标质量。

阻尼比: 阻尼比 ζ 为风标阻尼 $D = \frac{\gamma_v N}{u}$ 与临界阻尼的比值, 有

$$\zeta = \frac{D}{D_0} = \frac{\gamma_v N}{uD_0} = \frac{\pi\gamma_v}{ut_0} \quad (22)$$

风杯风速计常数：时间常数 $T = \frac{2\pi J}{B_1 + Du_1} \approx \frac{2\pi J}{Du_1}$ ，距离常数 $L = \frac{2\pi J}{D} = \frac{I}{\rho S R^2}$ ，其中 B_1 是动摩擦力矩，有公式：

$$nB_1 + B_0 = 2Nu^2 - Dun \quad (23)$$

- 33. 风杯是一阶系统，温度表也是一阶系统，这两个一阶系统的动态特性有何差别。

风速从 v 跃变为 v_1 ，风杯的转速 N ：

$$\frac{dN}{dt} = \frac{v_1}{L}(N_1 - N) \quad (24)$$

温度表的滞后：

$$\frac{dT}{d\tau} = -\frac{T - \theta}{\lambda} \quad (25)$$

可以看出明显的差别：风速表的时间常数随风速改变，而温度表的时间常数与环境温度无关。

- 34. 什么是风速表的过高效应，偏高误差的原因是什么。

当风速增加时转杯能迅速增加转速，以适应气流速度，风速减小时，由于惯性影响，转速却不能立即下降，旋转式风速表在阵性风里指示的风速一般是偏高的，称之为过高效应。

- 35. 风向信号有哪些转换方法，风速信号有哪些转换方法。

风速信号的转换方法：机械式、电接式、电机式、光电式。

风向的信号转换方法：机械传送、电传送（电接式、电位计式）、光电转换。

- 36. 如何实现风速三个分量的测量。

可以安装三对探头以确定三个分量。

- 37. 直热式热线风速表、超声风速仪、压力式风速表的测量原理。

直热式热线风速仪：以一定电功率的电流连续加热金属丝，热丝的温度与气温存在一定的差值，差值的大小随风速的大小而异，利用热丝的温差电动势可测定风速，利用这种原理制成的风速仪称作热线风速仪。直热式热线风速仪感应部分是直径 $5 - 10\mu m$ 的铂金属丝，当加热电流足够大时，温差也会变大，可以利用阻值计算热线的温度，以此确定风速。

$$0.24i^2 R_t = K(\rho v)^n(t - \theta) \quad (26)$$

$$R_t = R_\theta[1 + \alpha(t - \theta)] \quad (27)$$

K 为分子导电率， n 为实验系数， ρ 为空气密度。

超声风速仪：声波发射器使用超声波，在距测风仪器一定距离的两端各置一对超声波发射器和接收器，超声波从发射器到接收器顺风传播时间与顺风传播时间之差与该距离上风速分量成正比，而顺风传播与顺风传播时间之和与该距离上空气温有关。通过电子线路测得时间差和时间之和就可求得风速。

压力式风速仪：压力式风速计是利用风的全压力与静压力之差来测定风速的大小。通过双联皮托管，一个管口迎着气流的方向，感应着气流的全压力，另一个管口背着气流的来向，因为有抽吸作用，所感应的压力要比静压力要低一些。两个管子所感应的压力差与风速成一定的关系。

- 38. 描述降水的物理量有哪些。

降水量：降落在地面上未经蒸发、渗透、流失的液态降水或固态降水的积水量，以积水深度来表示，单位为 mm 。

降水时数：降水实际的持续时间，以 h 和 min 表示。

降水强度：指单位时间的降水量，单位是 mm/h 。

- 39. 影响降水量测量的因子有哪些。

雨水溅失：大多数雨量器为 $0.1mm - 0.2mm$ 。

蒸发损失：蒸发引起的误差与许多因素有关，如台站的地理位置，气象条件及仪器本身的结构、材料等。为减少蒸发影响，一般要求承水器接水面光滑，使雨水到达接水面更快通过漏斗；使用窄颈玻璃容器收集；降水停止及时测量；不使用量杯转换而采用随降随测。随季节变化。

风的影响：是影响准确测量的最主要因素，观测误差取决于降雨类型和风速大小。风速等数据可以通过测点的标准气象观测值算出，以提供每日的修正值。应该使用自然/人工方式减少风速对降水量的负面影响。

沾湿误差：人工观测的一种累计系统误差。

- 40. 积雪的概念，积雪的测量方法。

降雪：在一段时间内（一般 24h）降落的新雪深度，不包括飘雪和吹雪。雪还包括直接或间接地由降水形成的冰丸、雨凇、冰雹和片冰。

积雪：测站视野中，地面有一半以上被雪覆盖。

雪深：从积雪表面到地面的垂直深度，以 cm 为单位，取整数。

雪深的测量：一般用雪尺测量，雪尺是一根木质长 $100cm$ 、宽 $4cm$ 、厚 $2cm$ 的直尺。测量时选 3 个不同点（相距 $10m$ 以上）进行测量取平均。在没有吹雪的开阔地上新雪深度用有刻度的直尺或标尺直接测量。不能测量陈雪，可以清理掉陈雪或者放上一块漆成白色表面略微粗糙的木板。

雪压的测量：雪压是单位面积上积雪的重量，以 g/cm^2 为单位，取一位小数，雪深为 $5cm$ 或以上时一般用体积量雪器或称雪器测量。体积量雪器是由一个内截面积为 $100cm^2$ 的金属筒，小铲，带盖的金属容器和量杯组成。取样时将量雪器垂直插入雪中，直到地面，再利用小铲将雪样放入容器，雪融化后用量杯测其容量。

- 41. 什么是蒸发量，测量蒸发量的意义何在，如何利用气象要素计算蒸发量。

实际蒸发量是指地表处于自然湿润状态时来自土壤和植物蒸发的水总量。潜在蒸散量是在给定气候条件下，覆盖整个地面且供水充分的成片植被蒸发的最大水量的能力。用深度表示。

蒸发率：蒸发率定义为单位时间内从单位表面面积蒸发的水量，可以表示为在单位时间内单位面积所蒸发的液态水的质量或容积，通常表示为单位时间内从全部面积上所蒸发的液态水的相当深度。

影响蒸发率的因子：气象因子（能量变量因子和空气动力学变量），表面因子（水量、水的状态、影响水汽向空气输送过程的表面特性）

蒸发量测量意义：自然界中，蒸发是海洋和陆地水分进入大气的唯一途径，是地球水循环的重要环节之一，对农业、气象、水文研究都有很重要的意义。

利用气象要素测量蒸发量的方法：

– 水汽湍流扩散法

由湍流及热力作用从地面损失的水分，称之为蒸发。一般蒸发与土壤含水量、大气热力、动力、及大气层的水汽压、饱和蒸汽压有关。风速的增大有助于水汽的扩散输送，蒸发率 E 随风速增大而增大，有：

$$E = f(u)(e_s - e) \quad (28)$$

其中 u 为风速。进一步可以表示为：

$$E = \frac{0.16\rho(q_1 - q_2)(v_2 - v_1)}{[\ln(z_2/z_1)]^2} \quad (29)$$

只要测到 z_1 、 z_2 高度上的比湿 q_2 、 q_1 和风速 v_2 、 v_1 即可算出蒸发率。对时间积分即可得到蒸发量。

– 经验公式

水面饱和蒸汽压 e_s 大于空气中的蒸汽压 e 促使水汽由水面向空气中扩散，造成水面附近薄层空气中蒸汽压下降，为保持水面上蒸汽饱和，造成了蒸发。蒸发率迎合蒸汽压差成正比，又认为风速 v 的增大有助于水汽的扩散输送，蒸发率随风速增大而增大，假定风速函数为 $f(v)$ ，有：

$$E = f(v)(e_s - e) \quad (30)$$

– 涡动相关法、梯度法原理、热量平衡方法、空气动力学方法、Monteith 综合法

- 42. 大气对太阳辐射（短波辐射）和地表辐射（长波辐射）的作用如何。

太阳辐射通过大气时由于气体分子、气溶胶分子、云内水滴和冰晶散射和吸收削弱。太阳辐射是地球的主要能量来源，主要与最外层大气作用，臭氧吸收极紫外辐射，引起化学变化（光离解）。氧原子和光子形成氧离子和电子（光致电离），形成电离层电子密度的高度分布。

地表辐射同样会削弱，水汽和二氧化碳吸收地表红外辐射。

- 43. 辐射测量的最基本方法是什么，什么是绝对法和相对法测量。

测定辐射能是利用辐射能产生的热、电和化学等效应来进行。仪器利用热效应，感应器用黑体制成，吸收入射辐射的 99%。一般测量方法有两种：直接测温度法和补偿法。

直接测温度法：让感应器吸收辐射，温度上升，同时向周围环境传递热量，被测辐照度与感应器同支架间的温差成正比，测得该温差即可测出辐照度。

补偿法：用两个面积相等吸收率完全相同的感应器，一个由被测辐射加热到平衡状态，另一个同时用电流加热到同一温度，由下式可以算出待测辐照度：

$$S = \frac{cri^2\tau}{\delta Lb} \quad (31)$$

其中 r 为感应器电阻， i 为流过感应器的电流， τ 为通电加热时间， δ 为感应器吸收率， L 和 b 为感应片的长和宽， c 为比例系数。

- 44. 气象上关注和测量哪些辐射量。

- 太阳直接辐照度 S : 太阳在地面的辐射减去大气吸收散射的那部分
 - 散射辐射辐照度 D : 水平面接收到的天空 2π 立体角减去日冕所张立体角内的大气等的散射辐射。
 - 总辐射 (短波辐照度) $S' + D$: 投射到水平面上的太阳直接辐射和天空 2π 立体角天空散射辐射之和。
 - 反射太阳辐射 (辐照度): 地面对太阳直接辐射的反射辐射。
 - 净辐射 (辐照度): 通过某水平面的短、长波辐射的差额。
- 45. 太阳直接辐射表的重要部件是辐射感应面和进光筒, 该部件有哪些几何参数, 要满足哪些条件。

感应面: 应垂直于太阳光线。

进光筒: 有多个光阑的准直管, 保证仪器的视场角, 防止风对感应器的影响, 减少管壁杂散反射。为了将日面所张的小立体角分离, 进光筒应很长。这样容易引起观测误差, 因此需要放大进光筒的孔径角 (张角大于 0.5°), 感应面接受不仅是日面直接辐射, 还有一部分环日天空的散射辐射。进光孔半张角 $\alpha = \tan^{-1} \frac{R}{d}$, 光阑倾角 $\beta = \tan^{-1} \frac{R-r}{d}$ 。目前设计的参数: $\alpha = 2.5^\circ$ 、相应球面度为 5×10^{-3} 、 $\beta = 1^\circ$ 。示意图如下:

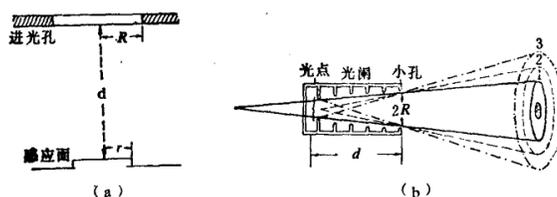


图10.2 直接日射表的进光筒
(a) 进光孔与感应面, (b) 视场剖面 (1为全辐照区, 2、3为部分辐照区)

- 46. 用遮光环测量散射辐射时为何要进行订正, 订正什么, 订正系数与哪些因素有关。
- 因为遮挡太阳直射辐射时也会遮挡部分散射辐射, 在假设大气散射辐射均匀的情况下需要乘上一个大于 1 的订正系数使得所得的量为真实的量。
- 订正系数与遮光环宽度、半径、太阳赤纬、时角、当地的维度有关。
- 47. 什么是高空风, 高空风测量有哪些方法。
- 高空风指的是地面上空各高度的空气水平运动, 一般指从地面到空中 30km 各高度的风速风向的测定。
- 测量方法:
- 利用示踪物随气球漂浮、观测示踪物的位移来确定空中的风向、风速。
 - 利用系留气球、风筝、飞机、气象塔等观测平台、使测风器安置在不同的高度上, 根据气流对测风仪器的动力作用来测定空中的风向、风速。

-
- 利用大气中的质点和湍流团块与无线电波、声波、光波的相互作用，产生多普勒效应的频移变化，计算风速、风向。
 - 48. 气球测量高空风的原理，单经纬仪和双经纬仪测量高空风的原理及误差的主要来源。

原理：以气球作为示踪物进行跟踪，气球内充满氦气或氢气，由于空气浮力作用上升，并跟随大气流场改变。一般可分为光学经纬仪测风和无线电测风。

单经纬仪测风：假设气球升速不变，利用一台经纬仪跟踪观测气球在空间每一分钟的仰角和方位角。由于气球升速不变，高度可以由时间计算出来，根据几何原理，可以根据每分钟气球的仰角、方位角、高度来获得高空风速和风速大小。误差主要是气球有上升、下沉，升速并非不变，导致测量气流时速度偏大或偏小。

双经纬仪测风：把两台经纬仪安装在两个已知地点上，通过气球仰角、方位角和几何关系计算气球的实际高度，并计算这一高度上的风向、风速。为了提高精度，两测站的连线应垂直于盛行风向。最主要误差是两台经纬仪测量的同时性，测量角度的准确性。
 - *49. 无线电方法测量高空风的原理及误差的主要来源。

定向法：气球悬挂定向发射机，地面上利用定向天线接受发射信号，测定仰角方位角，并在探空记录上求出高空风。可以测定气球的角坐标、方位角、高度。

定位法：利用雷达测定自由大气中气球的位置。测定气球角坐标和气球与雷达之间的距离，以此来计算高空风。
 - 50. 什么是无线电探空仪，无线电探空仪如何实现高空温压湿的测量。

无线电探空仪是随着探空气球上升，用传感器、转换器和无线电发射机组成的直接测量大气压力、温度和相对湿度层结曲线的无线电遥测仪。在测量后实时将数据转换成无线电信号发回，以此可以画出层结曲线。