

第四章 温度测量

氧气在全球变暖升温作用下逐渐减少，雨林产氧能力下降，雨林鸟类物种灭绝速率+机制判断得到关联性，做出预测，氧气幅度的下降。全球变暖的影响全方位宽领域多角度。

4.1 概述

温度是表征物体冷热程度的物理量，是一个宏观量。

微观：反应物体系统中大量分子热运动的激烈程度或平均动能大小

宏观：温度概念建立在热平衡基础上，当两个物体系统通过热交换达到动态平衡时，具有一个共同的温度

温标 开尔文温标： $K = C + 273.15$

摄氏温标：

华氏温标： $F = \frac{9}{5}C + 32$

观测项目

气温	定时 日最高 日最低
地温	定时 地面最高 地面最低 浅层地温 5、10、15、20cm 深层低温 40、80、160、320cm 草面温度

4.2 玻璃液体温度表

基本原理：充满液体的玻璃球，温度变化，引起测温液体体积膨胀收缩

常见液体介质性质

	膨胀系数	熔点	沸点	比热容	
水	0.21	0	100	4200	
水银	0.18	-39	357	0.14	具有线性关系
酒精	1.1	-114	78	2400	线性关系

不选用水的原因

- ① 水的温度测量范围有限，在 0℃到 100℃
- ② 水的比热容是水银的 30 倍
- ③ 同样体积的液体都升高 1℃，酒精膨胀的体积约是水的 5 倍
- ④ 水有反常膨胀现象

水银温度计的其它优势

- ① 水银金属颜色容易读出
- ② 水银对温度变化的线性关系理想
- ③ 水银的金属性质使他的蒸气压很小，因温度变化而使温度计内液体蒸发的量以及因为液体蒸发导致管内压力上升的危险性也小

这才是水银被遴选为最佳温度计物质的原因，像煤油或酒精有一定的挥发性，温度未到沸点就开始变气态了

种类 干湿球，最高，最低，地面，曲管，直管

百叶箱中位置：干球左，湿球右，最高上，最低下

干湿球温度表

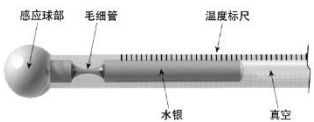
作用：用于测量空气温度与湿度

原理：湿球蒸发吸热，温度总低于干球，温差越大，湿度越低。

最高温度表

原理：毛细孔，温度升高水银膨胀，水银面向右端移动；温度降低，左端截面大，流量大，右端截面小，流量小，中间出现真空层，移动停止，液面无法回缩。在狭管处的摩擦力超过了水银的内聚力，水银就在此中断

放置：右端高左端 1cm，倾斜放置，不让水银由于重力作用出现自然断裂。



最低温度表：

原理：使用酒精，酒精的表面张力作用很大，表面的膜难以突破。内部有一小游标（铝合金），温度升高，酒精膨胀，酒精无法携带游标移动。但温度降低时，由于酒精液面的表面张力比游标对管壁的摩擦力要大，酒精右端液

面在**表面张力作用下会拉动游标向左**，并停止在最低温度位置。

复位：抬高感应部分即可

地温 定义：地面表层土壤的温度为地面温度。是大气与地表结合部的温度状况。

特点：有明显的日、季节性周期性变化。

地面温度表

特点：**刻度与量程较大**，可以到 80℃；在土壤中安放方式：感应球部**一半土壤，一半气温**，实际测得为平均温度。最下方为定时。

包括：地面最高温度表、地面最低温度表、定时地温表

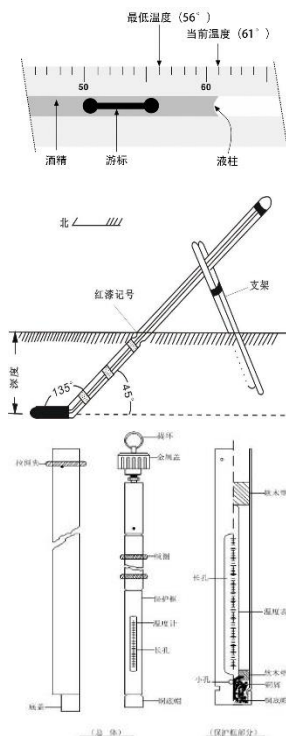
浅层地温表（曲管地温表）

原理：5、10、15、20cm 感应部分上端弯折，与表身呈现 135°夹角（**方便读数**）**由东向西、从左到右**由浅入深。

深层地温表（直管地温表）

原理：40、80、160、320cm 装在带有铜底帽的管型保护框。由东向西排列，由浅而深。

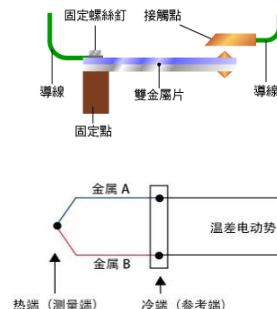
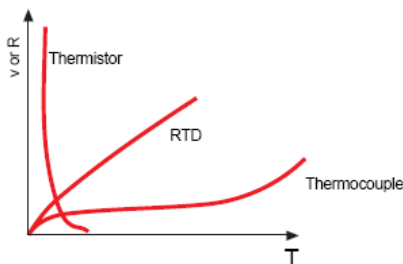
1. 使用碎棉花木屑等，使温度表具有必要的滞后性，用于缓冲（冬季寒冷天气，让读数时温度变化速率低）
2. 木头杆上有多个小绒圈，隔断空气，防止管内空气流动导致的温度混合。



双金属片自动温度计

感应元件：双金属片（一般为铜片/锌片或铝片/铁片），有**膨胀系数相差较大**的两片金属焊接而成（耐温膨胀合金）

原理：将金属片一端固定，另一端随温度变化产生位移，带动杠杆出现摆动（传递放大），杠杆在自记钟上记录（发条驱动 24h 一周）。



4.3 电学温度传感器

有热电偶、金属电阻、热敏电阻、石英、红外

热电偶温度传感器 Thermocouple

基本原理：**温差电现象**（贝塞克效应）：使用两根不同导电率的金属丝，一根纯铜，一根掺了杂质的铜（康铜），形成闭合回路。

若两个接点在不同温度下，可见电流。电子在热端聚集多，电势差增大，产生**温差电动势**。

电动势 $E = a(T_1 - T_2) + b(T_1 - T_2)^2$ ，其中 $a \gg b$ ，可近似为 $E = a(T_1 - T_2)$

使用康铜原因：1. 灵敏度高 2. 稳定性好 3. 工艺简便 4. 成本低

应用：测量辐射差值

缺陷：测温时**参考端温度固定**（例如参考端 0°时线性关系好，但参考端温度变化后线性曲线发生变化），参考端温度的稳定程度**直接影响观测**的一致性与测量精度。

金属电阻温度传感器 RTD

原理：金属导体的**电阻值**与温度呈现一定的函数关系。温度升高引起**金属晶格振动加剧**，影响自由电子有序快速移动，**导致电子迁移率降低**。

大多数金属电阻温度上升 1K 时，其**电阻值增大 0.4%-0.6%，约 200mV**

应用：其**量程很大**，广泛用于测量 -200-850℃ 范围，特殊情况下，量程可扩展至 1k-1250k。

目前广泛应用于业务环境，地温场等

特点：**线性度良好**

$$R_T = R_0(1 + \alpha(T - T_0)) \quad \alpha \text{ 为金属电阻在 } T_0 \text{ 时的温度系数}$$

选材：铂电阻（灵敏度高、线性度好，化学性质稳定，不会生锈）、铜电阻（成本低）。价格低廉。

热敏电阻温度传感器 Thermistor

原理： $R = a \cdot e^{\frac{b}{T}}$ 温度越高，阻值越低（负温效应）。吸收热能，会增加感生载流子，增强导电能力，电阻值降低。

材料使用半导体热敏电阻 RT（负温度系数热敏电阻）

应用：一般阻值大便于测量，适应于测量地温，**可探空**，灵敏性适应能力强

优点：感应时间常数小、体积小，重量轻、电阻输出变化量较大、便于生产，成本低廉、珠状热敏电阻误差小，机械强度也比棒状好 **运动中测量的特点、热惯性角度、测量分辨力角度、成本和生产角度**

缺陷：数据过于灵敏，会抖动。

红外测温

原理：黑体辐射，与探测视场范围有极大关系。

石英传感器

原理：有石英晶体，其具有**自身固有的振动频率**，这个频率会随**温度**、压力、加速度而**变化**。在切割石英时，不按照晶面切割，沿与晶阵纵向成一定角度切得晶体破坏晶体完整性，其振荡频率具有较大的温度系数。

应用：胎压检测

地温变化行业应用：土体含水量、浅层土体破坏形式变化、建筑材料腐蚀性影响、地温应力变化影响

4.4 热滞效应

概念定义：需要使测温元件与被测对象想接触并建立热平衡。这种热交换**需要一个过程**，测温元件对温度的变化的响应总是滞后的。

热滞误差：热滞效应将引起测温误差

定量描述：热滞系数

描述温度随时间变化的滞后过程。 $dT/d\tau$

两个物理过程

① 由于温差的存在，将从外界吸收热量或者向外界释放热量【热交换】

② 吸收或释放能量后自身的温度会上升或下降，直至与外界环境温度相同【比热容】

外界接触→热交换→热平衡→比热容，热量转换为温度

热交换方程 $dQ = -hs(T - \theta)dt$ 在 dt 时间内交换的热量 dQ，与温差有关，温差越大，转换能量越多
h 热交换系数 s 感应球部表面积 T 温度表温度 θ 介质温度 -负号表示热量从高温流向低温

比热容方程 $dQ = CMdT$ 自身温度变化值取决于材料比热容
M 是测温元件的质量 C 是测温元件的比热容

联立： $\lambda = (hs/CM)^{-1}$ 为**热滞系数**（取倒数，得到 s 单位） $dT/dt = -(\frac{1}{\lambda})(T - \theta)$

$$\lambda = \frac{CM}{hs} \quad (s)$$

特性：元件的热容量 MC 越大，散热面积越小，则 λ 越大；热交换系数 h 的大小取决于环境介质性质和通风量

不同环境温度变化情况下，热滞系数如何影响滞差 (T- θ)

1. 环境温度恒定。即 θ 为常数。经过一段时间 t 以后，热滞误差随时间 t 按**负指数规律**减小。

$$\frac{T - \theta}{T_0 - \theta} = e^{-\frac{\tau}{\lambda}}$$

热滞系数确定：此时，当介质温度保持不变时，减小到**起始温差的 37%**时，**所需要的时间**即为热滞系数。

2. 环境温度呈线性变化时 $T - \theta = -\beta\lambda(1 - e^{-\frac{\tau}{\lambda}})$ 当 $\tau/\lambda > 5$ ，即感应时间远大于热滞系数 λ 时，上式简化为 $T - \theta = -\beta\lambda$

说明在观测时间足够长以后，**热滞误差将近似为常数**，并且等于介质温度的变化率与测温元件热滞系数的乘积 β 为正时， $T < \theta$ ，即仪器温度示数偏低； β 为负时， $T > \theta$ ，即仪器温度示数偏高

3. 环境温度呈周期性变化
$$T = \theta_0 + \frac{A_0}{\sqrt{1 + \frac{4\pi^2 \lambda^2}{T_{sr}^2}}} \sin\left(\frac{2\pi\tau}{T_{sr}} - \tan^{-1} \frac{2\pi\lambda}{T_{sr}}\right)$$

① 温度表示度也呈周期性变化，其周期也是 T_{sr}

② 温度表示度的振幅小于介质温度的振幅，为介质振幅的 $\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4\pi^2 \lambda^2}{T_{sr}^2}}}$

③ 温度表示度有位相落后，其落后相位角为： $\phi = \tan^{-1} \frac{2\pi\lambda}{T_{sr}}$

元件测温的自动平均能力

每个时刻测温元件的输出值，是此时刻之前一段时间内外界温度输入值的**不等权平均值**，其权重随着输入与输出时刻间隔的增大呈指数减小。

适当的热滞系数不仅可以自动有效地削弱短周期的温度脉动，而且使温度观测资料能代表更长时段内的平均值，从而代表更大空间范围内的平均值

WMO 对地面观测中气温测量元件的要求：

当通风速度为 5 m/s 时，热滞系数在 **30 ~ 60 s** 之间

4.5 温度测量的防辐射

白天，空气对太阳辐射的吸收能力弱于任一种温度感应元件；夜晚，空气的红外辐射能力又弱于任一种温度感应元件的表面。

任何直接暴露在太阳辐射中的测温元件，**测量值在白天将偏高于气温，夜间则偏低**。为避免这种辐射误差，必须对测温元件采取有效的**辐射屏蔽措施**。

防辐射设备

百叶箱

四壁是由双层百叶玻璃钢片组成

作用是防止太阳对仪器的直接辐射和地面对仪器的反射辐射，保护仪器免受强风、雨、雪等的影响，并使仪器感应部分有适当的通风

人工通风屏蔽罩

防辐射罩

防辐射罩有轻便防辐射罩和小型防辐射罩两种。主要在野外考察时使用。

两块金属板之间嵌有两块透明的有机玻璃，传感器就安置在它们之间的夹层中，板的作用是为了隔绝金属板上的热对流。

防辐射的途径和手段 防辐射屏蔽；增加元件的反射率；人工通风，促使元件散热；采用极细金属丝元件，细丝具有较大散热系数