



中央民族大学特色教材

生态学实验

● 主编 / 冯金朝

● 副主编 / 石莎

赵昌杰
刘越



中央民族大学出版社



中央民族大学特色教材

生态学实验

Shengtaixue Shiyan

主编 / 冯金朝

副主编 / 石 莎 赵昌杰 刘 越



中央民族大学出版社
China Minzu University Press

图书在版编目 (CIP) 数据

生态学实验/冯金朝主编. —北京: 中央民族大学出版社, 2011. 10

ISBN 978-7-5660-0141-2

I. ①生… II. ①冯… III. ①生态学—实验—高等学校—教材 IV. ①Q14-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 279342 号

生态学实验

主 编 冯金朝
责任编辑 满福玺
封面设计 布拉格
出 版 者 中央民族大学出版社
北京市海淀区中关村南大街 27 号 邮编:100081
电话:68472815(发行部) 传真:68932751(发行部)
68932218(总编室) 68932447(办公室)
发 行 者 全国各地新华书店
印 刷 者 北京宏伟双华印刷有限公司
开 本 787×1092(毫米) 1/16 印张:14.125
字 数 238 千字
版 次 2011 年 10 月第 1 版 2011 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5660-0141-2
定 价 37.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

生态学 (ecology) 是研究生物与环境之间相互关系的科学。随着人类社会的不断发展, 生态学理论和应用, 由于其与世界的环境保护、资源的合理开发、利用和保护, 乃至人类本身在地球上的持续生存和发展有着最紧密的关系。因此, 生态学受到了世界范围的高度关注和重视。

生态学是一门应用性和综合性很强的实验学科, 在教学工作中需要理论和应用并重。因此, 生态学实验教学在生态学教学中具有非常重要的地位和作用, 对于学生实践动手能力、综合分析能力和创新能力的培养具有重要意义。

生态学具有显著的实验学科特点, 部分实验需要在实验室内进行, 部分实验则需要在野外条件下进行, 甚至部分实验需要进行模拟实验。因此, 本教材在实验设计上充分体现了生态学的学科特点和生态学创新性人才培养的需要, 将实验内容分为三大类型, 即野外实验基本方法、基础生态学实验和应用生态学实验, 具有实用性、可操作性和灵活性等特点。

本教材的基础生态学实验涵盖了生物与环境的关系、种群生态学、群落生态学和生态系统生态学等方面的内容。通过学习使学生掌握生态学的基本知识和基本技能, 为综合性、设计性实验奠定良好的基础。该部分实验分四章, 其中第三章为生物与环境关系, 安排 7 个实验, 包括光照、温度、水分等主要生态因子作用方面的内容; 第四章为种群生态学, 安排 10 个实验, 包括种群生命表、种群增长、种内关系和种间关系等方面的内容; 第五章为群落生态学, 安排 6 个实验, 包括群落组成与结构、物种多样性、群落演替、群落分类与排序等方面的内容; 第六章为生态系统, 安排 5 个实验, 包括生态系统的物质生产、能量流动等方面的内容。

综合性、设计性实验是指由多种实验技术、实验方法和多层次实验内容构成的综合性实验, 以及在教师指导下学生根据所学知识和实验条件自主设计的研究性实验。开展生态学综合性、设计性实验是培养学生实践能力和创新意识的重要途径。本教材在实验内容安排方面充分考虑了对学生开展生态学综合性、设计性实验的指导作用。其中野外实验基本方法部分

包括自然环境因子的测定、野外取样技术和数量分析方法，可以用于学生针对开展生物与环境关系方面的综合性、设计性实验，训练学生对实验数据可靠性和准确性的检验，对实验中获得各类数据资料进行相应生态学分析的基本技能；训练学生对生态学知识、生态学方法和技术的综合运用能力、独立工作能力和创新能力，使学生初步具备科学研究的技能和素质。

本教材在第七章安排了现代技术应用生态学研究方面的内容，介绍了生态学研究的新技术和新方法，使学生了解现代技术在生态学研究中的重要作用。

总之，在实验教学内容的编写过程中，本教材体现了以学生为主体，以提高学生的综合素质、培养学生的创新精神与实践能力的核心教育思想，目的在于启发学生科学思维，引导学生实践创新。

冯金朝

目 录

第一章 自然环境	(1)
实验 1 大气生态因子的测定	(2)
实验 2 土壤生态因子的测定	(11)
实验 3 水体生态因子的测定	(17)
第二章 取样技术与数量统计	(24)
实验 4 样品采集与制备	(25)
实验 5 取样技术	(33)
实验 6 数量统计方法	(46)
第三章 生物与环境	(62)
实验 7 光照对植物光合作用的影响	(63)
实验 8 水分对植物生长的影响	(65)
实验 9 SO_2 对植物叶片叶绿素的影响	(67)
实验 10 光照周期对动物昼夜活动的影响	(68)
实验 11 动物对环境温度的选择	(70)
实验 12 生物对环境因子的耐受性实验	(72)
实验 13 昆虫发育总积温的测定	(75)
第四章 种群生态学	(81)
实验 14 种群生命表编制	(82)
实验 15 种群存活曲线	(85)
实验 16 有限环境种群增长	(88)
实验 17 种内竞争与自疏现象	(91)
实验 18 种间竞争与他感作用	(94)
实验 19 种群空间分布格局	(96)
实验 20 种群大小估算	(100)
实验 21 种群扩散实验	(107)

实验 22 种群巢区实验	(109)
实验 23 捕食作用模拟实验	(116)
第五章 群落生态学	(118)
实验 24 植物群落组成与物种多样性测定	(119)
实验 25 淡水无脊椎动物多样性	(121)
实验 26 植物群落生活型分析	(123)
实验 27 植物群落结构及影响因子分析	(125)
实验 28 植物群落演替分析	(128)
实验 29 植物群落分类与排序	(131)
第六章 生态系统	(139)
实验 30 植被生物量测定	(140)
实验 31 水体初级生产力测定	(146)
实验 32 动物耗氧量测定	(151)
实验 33 动物能量收支测定	(165)
实验 34 农业生态系统物流和能流分析	(168)
第七章 应用生态学	(183)
实验 35 景观生态分析	(184)
实验 36 生态影响评价	(193)
实验 37 生态规划	(198)
实验 38 3S 技术应用	(200)
参考文献	(213)
附录	(215)
附表 1 温度—25℃到 49℃的饱和水汽压	(215)
附表 2 空气相对湿度查算表	(217)
附表 3 t 分布表	(218)
附表 4 X^2 分布表	(219)

第一章 自然环境

一、基本概念

1. 环境 (environment) 是指某一特定生物体或生物群体以外的空间, 以及直接或间接影响该生物体或生物群体生存的一切事物的总和。

2. 环境因子 (environmental factor) 是指生物有机体以外的所有环境要素。环境因子分为三大类: 气候类、土壤类和生物类。其中光照、温度、水分和土壤是较为常见的主要环境因子。

3. 生态因子 (ecological factors) 是指环境中对生物生长、发育、生殖、行为和分布有直接或间接影响的环境要素。所有生态因子构成生物的生态环境 (ecological environment); 具体的生物个体和群体生活地段上的生态环境称为生境 (habitat)。

4. 环境是由许多生态因子组合起来的综合体。各单因子之间不是孤立的, 而是相互联系、相互制约的。不同环境因子对生物的影响和作用是不同的; 环境中任何一个因子的变化必将引起其他因子不同程度的变化, 并对生物起着综合生态作用。

二、实验简介

1. 本实验目的是了解自然条件下各种环境因子的基本特征及其变化特点, 以便更好地理解环境因子对生物的作用特点和作用规律, 以及生物对自然环境的适应性。

2. 实验内容涉及大气环境因子、土壤环境因子和水环境因子三个部分。重点掌握特定生境中小气候因子的测定方法, 主要包括光照、气温和空气湿度的测定方法; 了解生态因子作用的一般特征, 包括生态因子的综合作用、主导因子作用、限制因子作用、直接作用与间接作用、不可替代性与补偿作用等; 加深对生态因子相互联系规律的认识。

3. 实验可根据具体环境条件, 选择不同地点, 如树木下、草地、裸露

地、水泥地等，开展不同地表自然环境因子变化特点的对比实验，比较不同地点（群落）小气候的差异。

4. 本实验可以和种群生态学实验、群落生态学实验相结合，开展生物与环境关系方面的综合性实验和设计性实验。

实验1 大气生态因子的测定

一、实验目的

学习常见的大气环境因子测定仪器的使用方法；掌握大气环境中主要生态因子的观测技术和测定方法；比较不同大气环境中主要生态因子的变化规律，认识生物与环境的相互作用和相互关系。

二、实验原理

陆地动物和植物的生长、发育、分布以及生存繁殖都受到复杂的大气环境的影响。大气环境因子主要包括太阳辐射、气温、空气湿度等。

1. 太阳辐射

太阳辐射观测包括三方面内容：辐射强度观测、光照度观测和日照时间数观测。

1.1 辐射仪

测量辐射强度的仪器统称为辐射仪（图 1.1）。辐射仪根据热电效应原理制成，感应元件由感应面和热电堆组成，感应面上涂有高吸收率的黑色涂层，绕线型电镀式多接点热电堆采用康铜或锰铜镀层，热接点在感应面

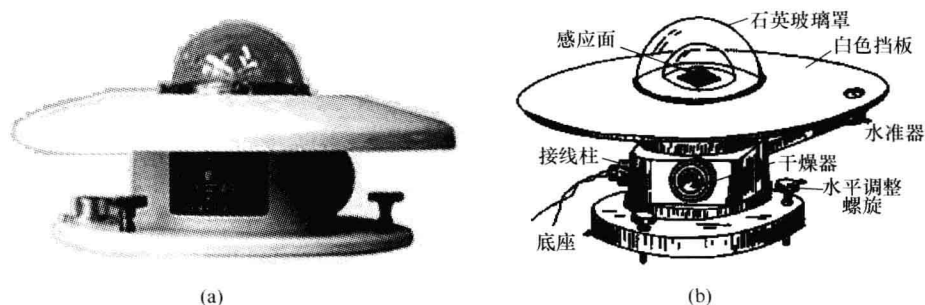


图 1.1 总辐射仪示意图

(a) 实物图；(b) 结构图

上,冷接点通常位于机体内。当感应面接收到辐射能时,温度升高,热电堆冷热接点间产生温差,形成电位差(或称电动势),电位差的存在产生了电流,电流大小与接收到的辐射强度成正比。

1.2 照度计

测定光照度的仪器为照度计(图 1.2),是根据光电效应的原理制成的。感光组件为光敏半导体,通常采用硅或者硒光电池。当光线投射到光电池上时,光电池转化为电能,反映在电流表上,电流强度与光照度成正比。

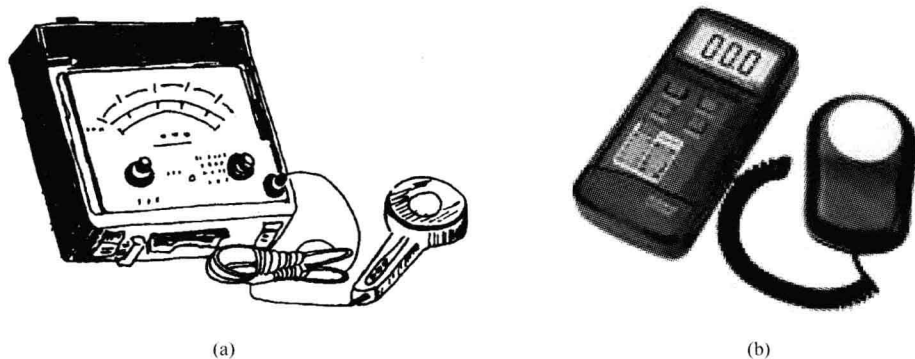


图 1.2 照度计示意图
(a) 指针式照度计; (b) 数字照度计

照度计是用于测量被照面上的光照度的仪器。光照度是反映光照强度的一种单位,其物理意义是照射到单位面积上的光通量,照度的单位是每平方米的流明数(Lm),也叫勒克斯(Lux): $1\text{Lux}=1\text{Lm}/\text{m}^2$ 。一般情况下,夏日阳光下的光照度为 $100\,000\text{Lux}$; 阴天室外为 $10\,000\text{Lux}$; 室内日光灯为 100Lux ; 烛光(20cm处)为 $10\sim 15\text{Lux}$ 。

1.3 日照计

日照计是测定某一地方在一天中太阳所照射地面时间长短的仪器,有暗筒式日照计(图 1.3)和聚焦式日照计两种类型。

常用的暗筒式日照计是利用感光显影原理,根据感光迹线长短来测定日照时数的。即利用太阳光通过仪器上的小孔射入筒内,使涂有感光剂的日照纸上留下感光迹线,来计算日照时数,可精确到 0.1h 。

2. 大气温度测定

任何物质的温度变化,都会引起自身特性的改变。热胀冷缩反映了物

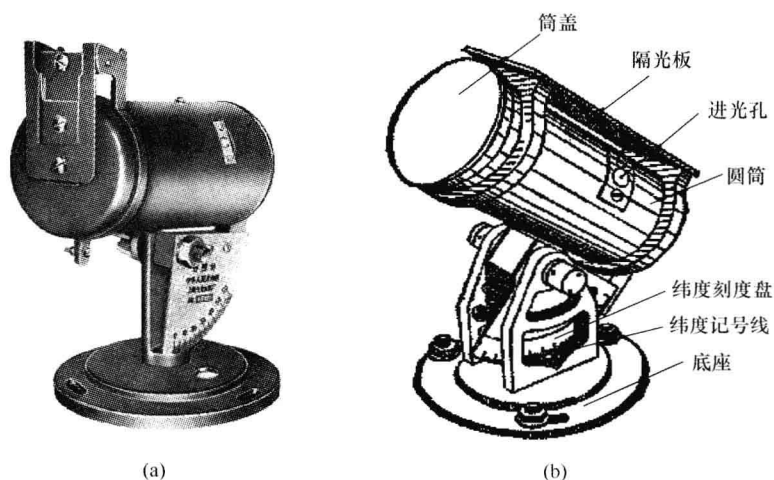


图 1.3 暗筒式日照计

(a) 实物图; (b) 结构图

质物理特性（体积大小）与温度之间的定量关系，利用物质的这种特性来测量研究对象的温度大小及其变化。

温标是用于衡量物体温度大小的量度标尺。制定温标时，常以标准大气压力下纯水的冰点和沸点作为基准点，再把这两点之间等分为若干份，每份为一度。常用的温标有摄氏温标（Celsius, °C）、华氏温标（Fahrenheit, °F）和绝对温标（Kelvin, K），我国的气象工作和日常生活中均采用摄氏温标。三种温标的换算关系如下：

$$\text{摄氏温标 (°C): } t(^{\circ}\text{C}) = 5/9 [t(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

$$\text{绝对温标 (K): } t(\text{K}) = 273.16 + t(^{\circ}\text{C})$$

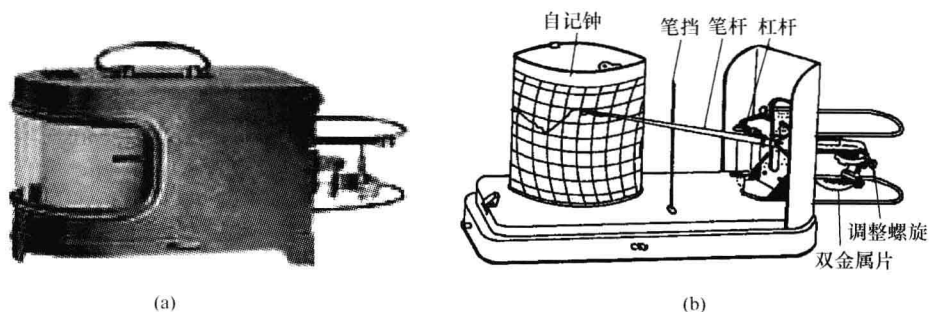


图 1.4 温度计

(a) 实物图; (b) 结构图

温度的测定采用温度计。温度计是测温仪器的总称。根据所用测温物质的不同和测温范围的不同，有煤油温度计、酒精温度计、水银温度计、气体温度计、电阻温度计、温差电偶温度计、辐射温度计、光测温度计和双金属温度计等。

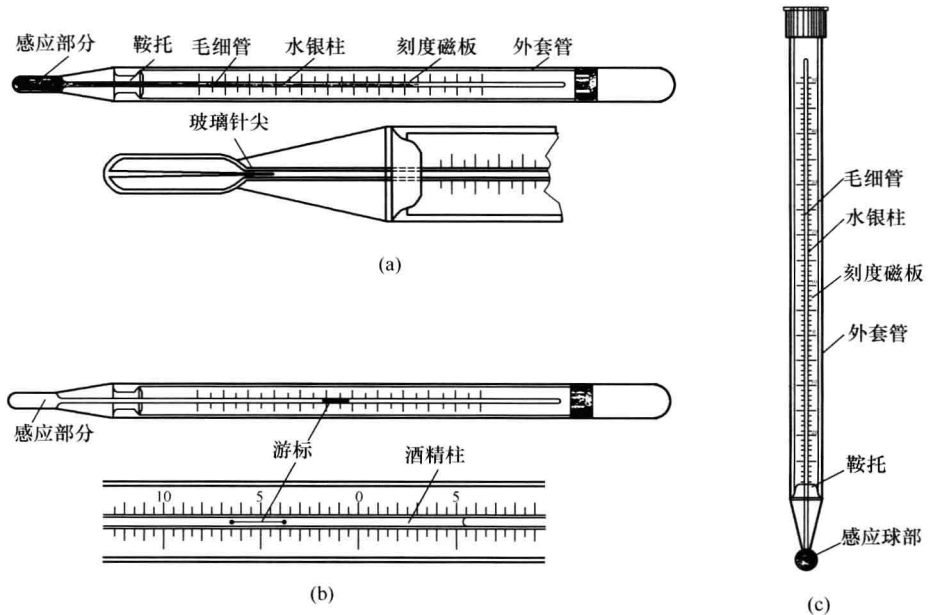


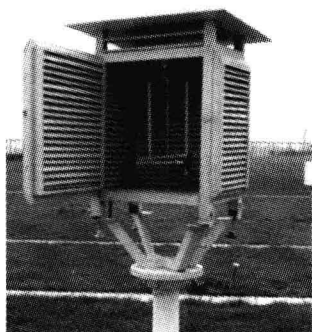
图 1.5 不同温度计示意图
(a) 最高温度计；(b) 最低温度计；(c) 普通温度计

3. 空气湿度测定

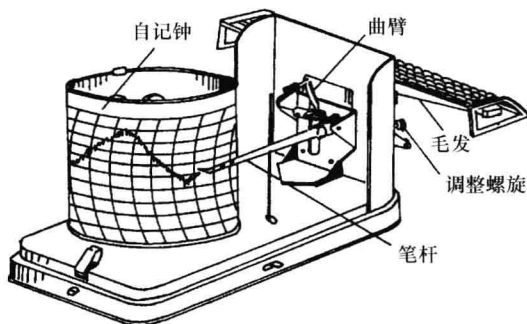
空气湿度是指空气中的水汽含量或潮湿程度。用于表示空气湿度的物理量主要有：①绝对湿度 (g/m^3)，又称水汽密度，即每立方米湿空气中实有水汽量的质量；②水汽压 (hPa)，是指湿空气中水汽的分压；③相对湿度 (%)，是指空气中实际水汽压与同温度下的饱和水汽压之比；④饱和水汽压差 (hPa)，是指在当时温度下，饱和水汽压与实际水汽压的差值；⑤露点温度 ($^{\circ}\text{C}$)，是指在气压不变、水汽含量也不变的情况下，空气冷却到饱和时的温度；⑥混合比 (g/g 或 g/kg)，是指湿空气中水汽质量与干空气质量之比。其中饱和湿空气的混合比称为饱和混合比；⑦比湿 (g/g 或 g/kg)，是指湿空气中水汽质量与湿空气质量之比。

测量空气湿度的仪器 (图 1.6) 主要有干湿球温度计、毛发湿度计、

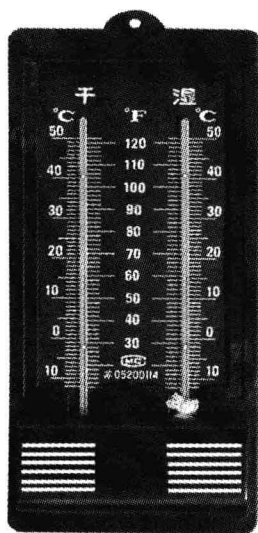
通风干湿计、手摇干湿计等。



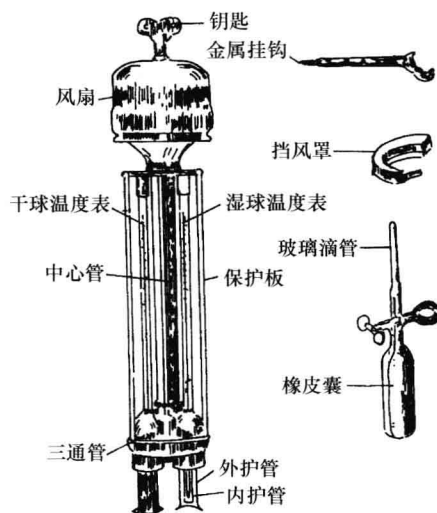
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1.6 各种湿度计示意图

(a) 百叶箱；(b) 毛发湿度计；(c) 干湿球湿度计；(d) 通风干湿计

3.1 干湿表法

利用干湿表法测量空气湿度的仪器是一对干湿球温度表（图 1.7），干湿球温度表由两支型号完全一样的温度表组成，一支测量空气温度，称为干球温度表，另一支感应球部包扎着纱布，如图 1.8，纱布用蒸馏水浸湿，并保持湿润状态，称为湿球温度表。在空气未饱和时，湿球纱布水分蒸

发，蒸发消耗的热量直接来自湿球温度表的感应球部及球部周围的空气，因此湿球温度表的示数低于干球温度表的示数，其差值称为干湿差。空气湿度越小，湿球纱布水分蒸发越快，消耗的热量越多，干湿差越大；反之，干湿差就越小。因此，根据干湿球温度表的示数，通过查表或计算，可以得到各种空气湿度参量值。

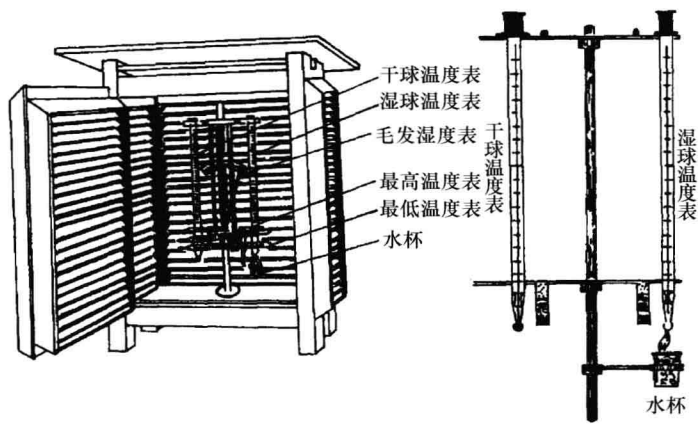


图 1.7 百叶箱干湿表

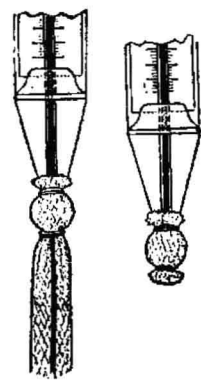


图 1.8 湿球纱布包扎

3.2 空气湿度查算方法

(1) 利用干湿表的测湿公式计算空气湿度

干湿表的测湿公式为： $e = E' - A \cdot P (t - t')$ 。式中： e 为实际水汽压 (hPa)。 t 为干球温度 ($^{\circ}\text{C}$)。 t' 为湿球温度 ($^{\circ}\text{C}$)。 $t - t'$ 为干球、湿球的温度差 (干湿差)。 E' 为湿球温度 t' 下的饱和水汽压 (hPa)，可用湿球温度 t' 在《饱和水汽压表》中查出。 P 为大气压强 (hPa)，由气压表测量，实际计算中常取 $P = 1000\text{hPa}$ 。 A 为干湿表的测湿系数，取决于通风速度和温度表感应球部的形状，当湿球未结冰时，球状百叶箱干湿表的 A 为 0.000857，柱状百叶箱干湿表为 0.000815，通风干湿表为 0.000662；当湿球结冰时，球状百叶箱干湿表为 0.000756，柱状百叶箱干湿表为 0.000719，通风干湿表为 0.000584。

空气绝对湿度是在一定温度下每单位体积空气的水汽重量。其计算公式为：

绝对湿度 (g/m^3)， $a = 289.30e / T$

空气相对湿度是在一定温度下实际水汽压对该温度饱和水汽压 (饱和水汽压可由附表 1 查出) 的比率乘 100，其计算公式为：

相对湿度 (%), $r = (e / E) \times 100\%$

饱和水汽压差 (hPa), $d = E - e$

式中, T 为绝对温度 (K), E 为干球温度 t 对应的饱和水汽压 (hPa), 可用干球温度 t 在《饱和水汽压表》(附表 1) 中查出。

(2) 用湿度查算表查算空气湿度

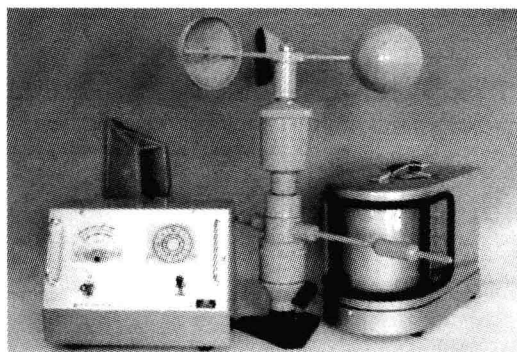
从百叶箱干湿表或通风干湿表读取干球温度和湿球温度后, 可以由《湿度查算表》查出水汽压、相对湿度和露点温度。在农业上相对湿度最为常用, 可以由《空气相对湿度查算表》(附表 2) 用湿球温度和干球温度差查算出空气的相对湿度。

(3) 风向和风速测定

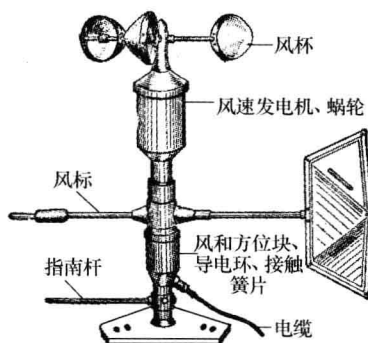
测定风有两个参数指标, 即风向和风速。测量风速风向的常用仪器设备有电接风向风速仪 (图 1.9)、EN 型测风数据处理仪、轻便三杯风向风速仪等。

电接风向风速仪由感应器、指示器和记录器三大部分组成。感应器安装在室外的杆子上, 指示器与记录器则放在室内。感应器分风速表和风向标两部分。风速表是一组风杯, 风愈大时, 风标转动得愈快; 风向标是一个流线型的风标, 当空气流动时, 风标始终指着风的来向, 通过电动装置, 即可从室内的仪表上读出当时瞬间的和平均的风向、风速。

电接风向风速仪的感应器安装在室外 10~12m 高杆上, 指示器、记录器安放在室内。每次观测时, 观测指示器的 2min 平均风速和相应的盛行风向。每次整理自计纸上的风速记录和风向记录。



(a)



(b)

图 1.9 电接风向风速仪

(a) 实物图; (b) 结构图

风向采用十六方位法表示（如图 1.10），通常以符号记录，也可以简单地用罗盘或通过云的运动方向或植被弯曲的方向测得。

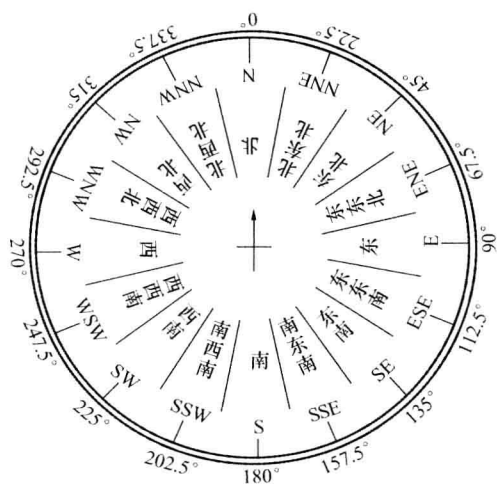


图 1.10 风向十六方位图

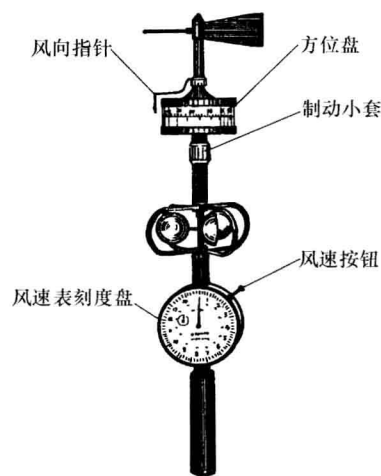


图 1.11 轻便风向风速表

轻便三杯风向风速仪（图 1.11）是测定风向和 1min 平均风速的仪器，适用于野外流动观测，也可作为台站备份仪器。仪器由风向部分、风速部分和手柄部分组成。当压下风速按钮，启动风速表后，风杯随风转动，带动风速表主体上的齿轮组，指标即在刻度盘上指示风速。同时，时间控制系统也开始工作，待 1min 后自动停止计时，风速指针也停止转动。指示风向的方位盘，系一磁罗盘，当制动一套管打开后，罗盘按地磁子午线的方向稳定下来，风向随风摆动，其指标即指出当时风向。

三、实验仪器与材料

辐射仪、照度计、水银温度计、酒精温度计、干湿球温度计、数字式风速测定仪（或手持式风速测定仪）、细绳、竹竿、皮尺、卷尺、记录笔、记录纸等。

四、实验步骤

1. 太阳辐射测定

辐射仪可分为总辐射仪、直射辐射仪、散射辐射仪、反射辐射仪和净辐射仪。实验时，调节太阳辐射仪到水平位置，连接辐射仪与辐射电流

表；或调整照度计至“0”的位置，测下列项目：

(1) 总太阳辐射量：将太阳辐射仪的探头直接暴露于太阳辐射下，待辐射电流表稳定后，记录读数，通过换算得出总太阳辐射量。

(2) 散射辐射量：在太阳辐射仪上面的一定高度，用黑色遮阳板遮住太阳辐射的直射部分，待辐射电流稳定后，记录读数。

(3) 直射辐射量：太阳直射辐射量等于太阳总辐射与散射辐射量之差。

(4) 地面反射辐射量：将太阳辐射仪探头朝向地面，并与地面平行，待辐射电流表读数稳定后，记录读数。

2. 大气温度测定

在常规地面气象观测中，大气温度在每天 2:00、8:00、14:00、20:00 进行观测。最高温度和最低温度每天观测一次，在 20:00 进行，读数后要对最高温度表和最低温度表进行调整。

(1) 将一木杆（2~4m）垂直于地面，从地面起每隔 50cm 放一多接头自动记录温度测定仪探头或温度计（注意不要让太阳光直射探头或温度计的下部，可用黑色遮阳板遮住阳光）。

(2) 每隔约 10min 记录一次读数，需要注意的是，当用温度计测定温度的时候，取出或取下温度计时应尽快地读数，否则会增大误差。

(3) 也可以采用能够自动记录温度连续变化的双金属片自记温度计进行测定，但其精确度比温度表差，使用时要用温度表来对温度计的记录进行订正。

3. 大气湿度测定

本实验采用干湿表法测定。温度表读数时应注意：①观测时必须保持视线和水银柱顶端齐平，以避免视差；②读数动作要迅速，力求敏捷，不要对着温度表呼吸，尽量缩短停留时间，并且勿使头、手和灯接近球部，以避免影响温度示度；③注意复读，以避免发生误读或颠倒零上、零下的差错。

实验时，可选择林地和空旷地进行对比观测，记录数据，多测几次取其平均值。记录干球温度表和湿球温度表的读数，见表 1.1。由《空气相对湿度查算表》查算空气的相对湿度。

4. 风向和风速测定

(1) 将数字式风速测定仪或手持风速测定仪放置距地面 0.5m 和 1.5m 处，记录风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)，注意不同高度风速的变化。