

■ 大气科学专业系列教材.....

# 大气探测实验教程

金龙山 主编



南京大学出版社

■ 大气科学专业系列教材.....

# 大气探测实验教程

主 编 金龙山

编写人员 金龙山 王体健 孙鉴泞 王勤耕

谢国樑 潘裕强 张少宝 邹 钧



## 图书在版编目(CIP)数据

大气探测实验教程 / 金龙山主编. —南京: 南京大学出版社, 2018. 1

大气科学专业系列教材  
ISBN 978-7-305-19811-3

I. ①大… II. ①金… III. ①大气探测—实验—高等学校—教材 IV. ①P41-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 326940 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

出版人 金鑫荣

丛 书 名 大气科学专业系列教材

书 名 大气探测实验教程

主 编 金龙山

责任编辑 吴 华 编辑热线 025-83596997

照 排 南京理工大学资产经营有限公司

印 刷 南京大众新科技印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 5.5 字数 124 千

版 次 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-19811-3

定 价 20.00 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

微信服务号: njyuxue

销售咨询热线: (025)83594756

\* 版权所有, 侵权必究

\* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购图书销售部门联系调换

# 前 言

大气探测是利用各种探测手段,对地球大气不同地区、不同高度上的物理状态和化学特征的发生、发展和演变过程进行观测和测定,是大气科学研究所需观测资料的重要来源。大气探测学包含理论和实验两大部分,其中大气探测理论主要介绍探测各个气象要素仪器的工作原理和方法,大气探测实验主要介绍目前我国常用的大气探测仪器的使用方法,并利用各种探测仪器观测资料分析气象要素的变化规律,这些是大气探测学的重要组成部分。

作为本科生,除了掌握大气探测的基础理论之外,还必须学会使用大气探测仪器的基本技能。为此,本书设计了十个实验以强化对学生实验与实践能力的培养。金龙山负责本书总体框架的设计。实验一“地面气象(自动气象站)观测及数据分析”由金龙山编写,实验二“环境空气质量监测及数据分析”由王勤耕、金龙山编写,实验三“单经纬仪测风及数据处理分析”由金龙山、王体健编写,实验四“双经纬仪测风及编程计算”由王体健、金龙山编写,实验五“涡动相关系统观测及其数据分析”由金龙山、孙鉴泞编写,实验六“梯度气象观测系统及数据处理”由孙鉴泞、邹钧编写,实验七“系留气艇探测系统及数据处理”由金龙山编写,实验八“低空探空仪测温及数据处理”由谢国樑、金龙山编写,实验九“温度表的误差:滞后误差与辐射误差”由金龙山、谢国樑编写,实验十“热敏电阻测量温度”由潘裕强、张少宝编写。

本书是在《大气探测实验讲义》的基础上修改完成的,该讲义在南京大学大气科学学院试用了30多年。在这里要特别感谢南京大学出版社吴华女士的鼓励和帮助,使得本书能在规定时间内顺利出版。由于著者水平有限,书中难免有疏漏和不正之处,敬请读者不吝指正。

编 者

2017年10月

# 目 录

实验一 地面气象(自动气象站)观测及数据分析	1
一、实验目的	1
二、实验原理	1
三、实验步骤	15
四、实验报告	18
实验二 环境空气质量监测及数据分析	19
一、实验目的	19
二、实验原理	19
三、实验步骤	20
四、实验报告	26
实验三 单经纬仪测风及数据处理分析	27
一、实验目的	27
二、实验原理	27
三、实验步骤	32
四、实验报告	35
实验四 双经纬仪测风及编程计算	36
一、实验目的	36
二、实验原理	36
三、实验步骤	40
四、实验报告	41
实验五 涡度相关系统观测及其数据分析	43
一、实验目的	43
二、实验原理	43
三、实验步骤	46
四、实验报告	52





实验六 梯度气象观测系统及数据处理 .....	54
一、实验目的 .....	54
二、实验原理 .....	54
三、实验步骤 .....	59
四、实验报告 .....	62
实验七 系留气艇探测系统及数据处理 .....	63
一、实验目的 .....	63
二、实验原理 .....	63
三、实验步骤 .....	68
四、实验报告 .....	69
实验八 低空探空仪测温及数据处理 .....	70
一、实验目的 .....	70
二、实验原理 .....	70
三、实验步骤 .....	70
四、实验报告 .....	71
实验九 温度表的误差:滞后误差与辐射误差 .....	72
一、实验目的 .....	72
二、实验原理 .....	72
三、实验步骤 .....	73
四、实验报告 .....	74
实验十 热敏电阻测量温度 .....	75
一、实验目的 .....	75
二、实验原理 .....	75
三、实验步骤 .....	77
四、实验报告 .....	79
参考文献 .....	80

## 实验一

# 地面气象(自动气象站)观测及数据分析

### 一、实验目的

通过实验,熟练掌握地面气象(自动气象站)观测系统的观测项目、观测记录,了解相关气象传感器的观测原理、基本特点及使用方法,学会气象观测资料的统计处理方法,并根据统计结果进行气象要素变化规律分析。

### 二、实验原理

地面气象观测是气象观测的重要组成部分,它是对地球表面一定范围内的气象状况及其变化过程进行系统的、连续的观察和测定,为天气预报、气象信息、气候分析、科学研究和气象服务提供重要的科学依据。

#### 1. 地面气象观测台站分类

我国地面气象观测台站按承担的观测业务属性和作用分为国家基准气候站、国家基本气象站、国家一般气象站三类,此外还有无人值守气象站。

(1) 国家基准气候站(简称基准站)是根据国家气候区划,以及全球气候观测系统的要求,为获取具有充分代表性的长期、连续气候资料而设置的气候观测站,是国家气候站网的骨干。

(2) 国家基本气象站(简称基本站)是根据全国气候分析和天气预报的需要所设置的气象观测站,大多担负区域或国家气象情报交换任务,是国家天气气候站网中的主体。

(3) 国家一般气象站(简称一般站)是按省(区、市)行政区划设置的地面气象观测站,获取的观测资料主要用于本省(区、市)和当地的气象服务,也是国家天气气候站网观测资料的补充。

(4) 无人值守气象站(简称无人站)是在不宜建立人工观测站的地方,利用自动气象站建立的无人气象观测站,用于天气气候站网的空间加密,观测项目和发报时次可根据需要而设定。

#### 2. 地面气象观测场基本要求

(1) 地面气象观测场是取得地面气象资料的主要场所,地点应设在能较好反映本地较大范围的气象要素特点的地方,避免局地地形的影响,观测场四周空旷平坦,周边障碍物的影子不应投射到日照和辐射观测仪器上。

(2) 观测场一般为 25 米×25 米的平坦场地,四周应设置约 1.2 米高的稀疏围栏,作为明显的标志。



(3) 观测场内应保持均匀草层,草高不应超过 20 cm;场内应铺设 0.3~0.5 m 宽的小路,如图 1-1 所示。

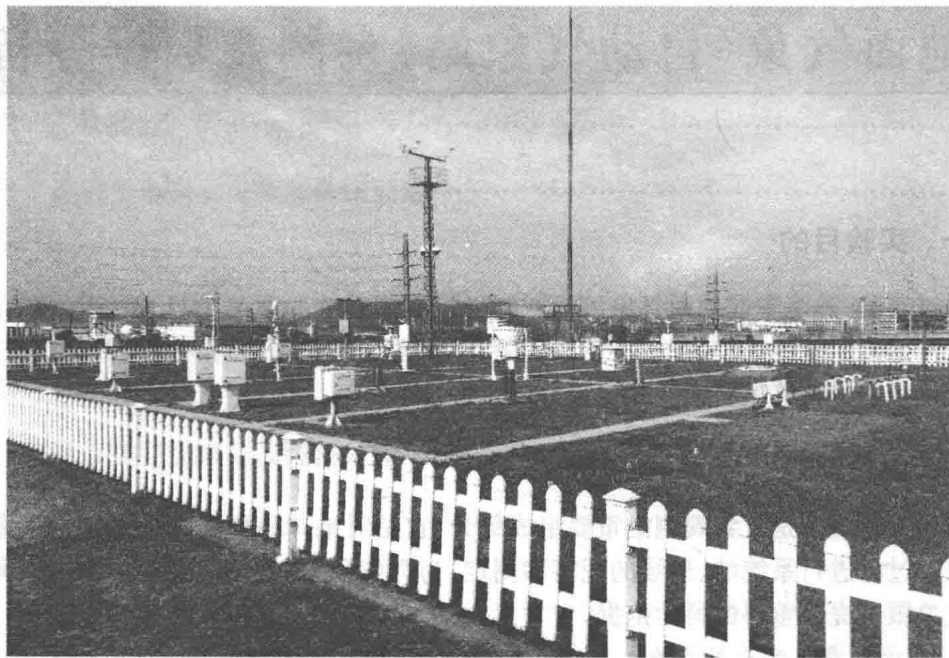


图 1-1 南京市国家基准气候站

### 3. 观测时次

- (1) 国家级地面气象观测站自动观测项目每天 24 小时连续观测。
- (2) 基准站、基本站定时人工观测次数为每日 5 次(08、11、14、17、20 时)。
- (3) 一般站定时人工观测次数为每日 3 次(08、14、20 时)。

### 4. 观测项目

各类地面气象观测台站均采用自动气象站进行观测,自动气象站可以对能见度、风向、风速、温度、湿度、气压、降水、蒸发、日照、地表温度(含草温)、浅层地温、深层地温、雪深等气象要素进行连续、自动测量。

#### (1) 人工观测项目

总云量、低云量、云底高度、天气现象等。

#### (2) 自动观测项目

能见度、气温、气压、相对湿度、风向、风速、降水、日照、地面温度(含草温)、浅层和深层地温、蒸发、总辐射、散射辐射和反射辐射等。

### 5. 观测记录

地面气象观测项目的各要素使用的单位及记录格式见表 1-1 所示。





表 1-1 地面气象观测项目记录格式

观测项目	单位	记录格式
云量	成,用 1/10 表示	取整数
云底高度	米(m)	取整数
能见度	米(m)	取整数
气温	摄氏度(°C)	取 1 为小数
相对湿度	百分率(%)	取整数
气压	百帕(hPa)	取 1 为小数
风向	度(°)	取整数
风速	米每秒(m/s)	取 1 为小数
降水	毫米(mm)	取 1 为小数
日照	小时(h)	取 1 为小数
地面温度(含草温)	摄氏度(°C)	取 1 为小数
浅层和深层地温	摄氏度(°C)	取 1 为小数
蒸发	毫米(mm)	取 1 为小数
总辐射	瓦每平方米(W/m <sup>2</sup> )	取整数
散射辐射	瓦每平方米(W/m <sup>2</sup> )	取整数
反射辐射	瓦每平方米(W/m <sup>2</sup> )	取整数

## 6. 自动气象站传感器

自动气象站是将敏感元件因气象要素的变化而产生的变化转换成电量变化、对该电量进行线性化和定标处理,按物理原理公式进行计算并对计算用的有关参数进行必要的修订,将计算结果转换成气象要素值并进行质量控制等。

自动气象站主要传感器及测量性能见表 1-2 所示。

表 1-2 自动气象站主要传感器及测量性能

气象要素	传感器	测量范围	分辨率	准确率	平均时间	采样速率
气温	HMP155A 温湿度传感器(如图 1-2)	-80℃~+60℃	0.1℃	±0.2℃	1 min	6 次/min
相对湿度	HMP155A 温湿度传感器(如图 1-2)	0~100%	1%	≤90%: ±1% >90%: ±2%	1 min	6 次/min
气压	PTB220 硅电容压力传感器(如图 1-3)	500~1 100 hPa	0.1 hPa	±0.3 hPa	1 min	6 次/min
风向	EL15-2 风向传感器(如图 1-4)	0°~360°	2.8°	±3°	3 s, 1 min	1 次/s
风速	EL15-1 三式风速传感器(如图 1-4)	0.3~60 m/s	0.05 m/s	±(0.3+0.03 v)m/s	2 min, 10 min	
降水量	SL3-1 翻斗式雨量器(如图 1-5)	雨强 ≤4 mm/min	0.1 mm	≤10 mm: ±0.4 mm >10 mm: ±4%	累计	1 次/min
蒸发量	AG2.0 超声波蒸发器(如图 1-6)	0~100 mm	0.1 mm	±1.5%	累计	
日照	CSD3 日照时数传感器(如图 1-7)	0~24 h	60 s	±0.1 h	累计	
能见度	PWN22 能见度传感器(如图 1-8)	10~20 000 m	1m	±10%	1 min	4 次/min
地面温度(含草温)	铂电阻 Pt100 温度传感器(如图 1-9)	-50℃~+80℃	0.1℃	±0.5℃	1min	6 次/min
浅层和深层地温	铂电阻 Pt100 温度传感器(如图 1-9)	-40℃~+60℃	0.1℃	±0.5℃	1 min	6 次/min
总辐射	TBQ-2L 总辐射传感器(如图 1-10)	0~2 000 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	±2%	1 min	6 次/min
散射辐射	TBQ-2L 总辐射传感器(如图 1-10)	0~2 000 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	±2%	1 min	6 次/min
反射辐射	TBQ-2L 总辐射传感器(如图 1-10)	0~2 000 W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	±2%	1 min	6 次/min



### (1) 温湿度传感器

HMP155A 是 Vaisala 公司推出的一款性能优异的温度相对湿度传感器(如图 1-2)。湿度测量基于电容性高分子薄膜传感器 HUMICAP<sup>®</sup> 180R。温度测量基于铂电阻传感器(Pt100)。湿度传感器和温度传感器都位于探头的顶端,由一个烧结的聚四氟乙烯过滤器保护。它具有多种连接方式,既可以通过电压接口或 RS-485 接口连接到数据采集器上,也可以通过 USB 线直接与计算机或 M170 显示器连接。

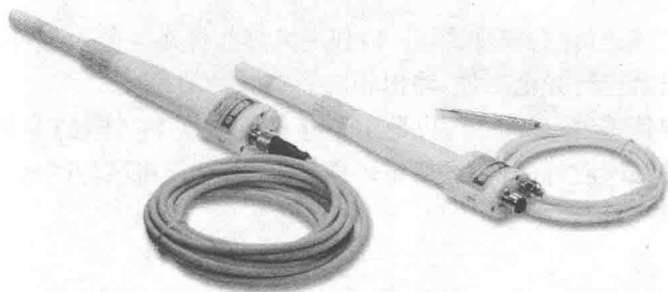


图 1-2 HMP155A 温湿度传感器

### (2) 气压传感器

PTB220 硅电容压力传感器(如图 1-3)是完全补偿的数字气压表,具有较宽的工作温度和气压测量范围。感应元件采用 Vaisala 研制的硅电容压力传感器 BAROCAP<sup>®</sup>。BAROCAP<sup>®</sup> 具有很好的滞后性、重复性、温度特性、长期稳定性。



图 1-3 PTP220 硅电容压力传感器

PTB220 的工作原理是基于一个先进的 RC 振荡电路和三个参考电容,并且电容压力传感器及电容温度传感器连续测量。微处理器自动进行压力线性补偿及温度补偿。

PTB220 在全量程范围内有 7 个温度调整点,每个温度点有 6 个全量程压力调整点。所有的调整参数都存储在 EEPROM 中,用户不可改变出厂设置。

PTB220 有三种输出方式:软件可设的 RS232 串行输出;TTL 电平输出;模拟(电压、电流)输出、脉冲输出。

### (3) 风向风速传感器

EL15-1 杯式风速传感器(如图 1-4)利用风杯部件作为感应部件,其感应部件随风旋转并带动风速码盘进行光电扫描,输出相应的电脉冲信号。

EL15-2 风向传感器(如图 1-4)是用于测量风的水平风向的专业气象仪器。风向传感器的感应元件为风向标部件,经格雷码盘、光电器件等将风标的角位移转换成相应的格雷码,以电信号输出。

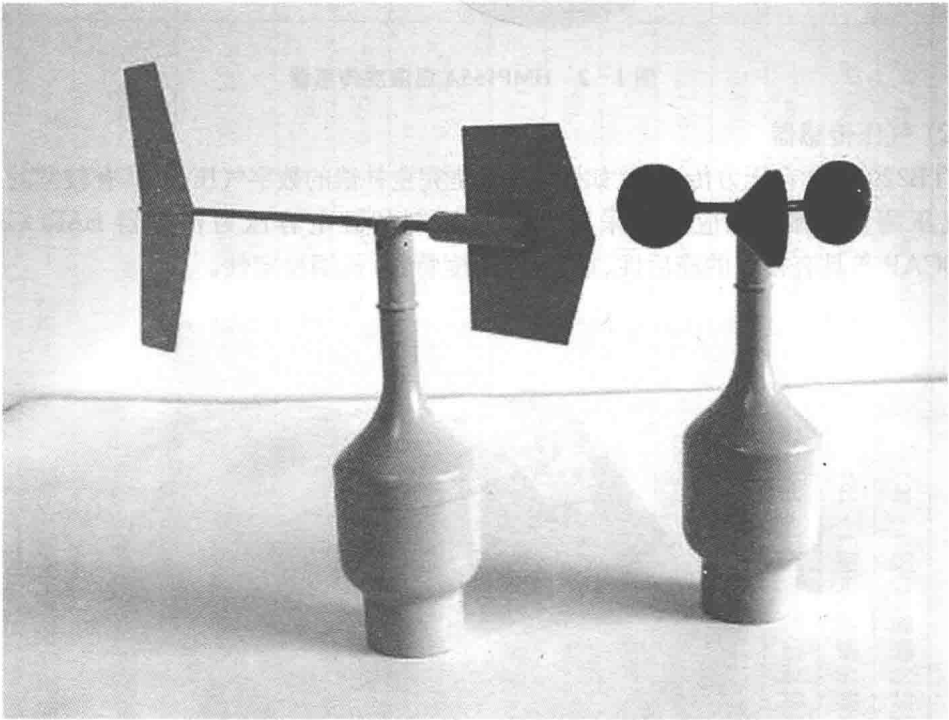


图 1-4 EL15 型风向风速传感器

### (4) 雨量传感器

SL3-1 雨量传感器(如图 1-5)用来测量地面降雨量。翻斗式雨量计由集水器、翻斗、调节螺钉、干簧管等构成。在测量过程中,随着翻斗间歇翻倒动作,带动开关,发出一个个脉冲信号,将非电量转换成电量输出。

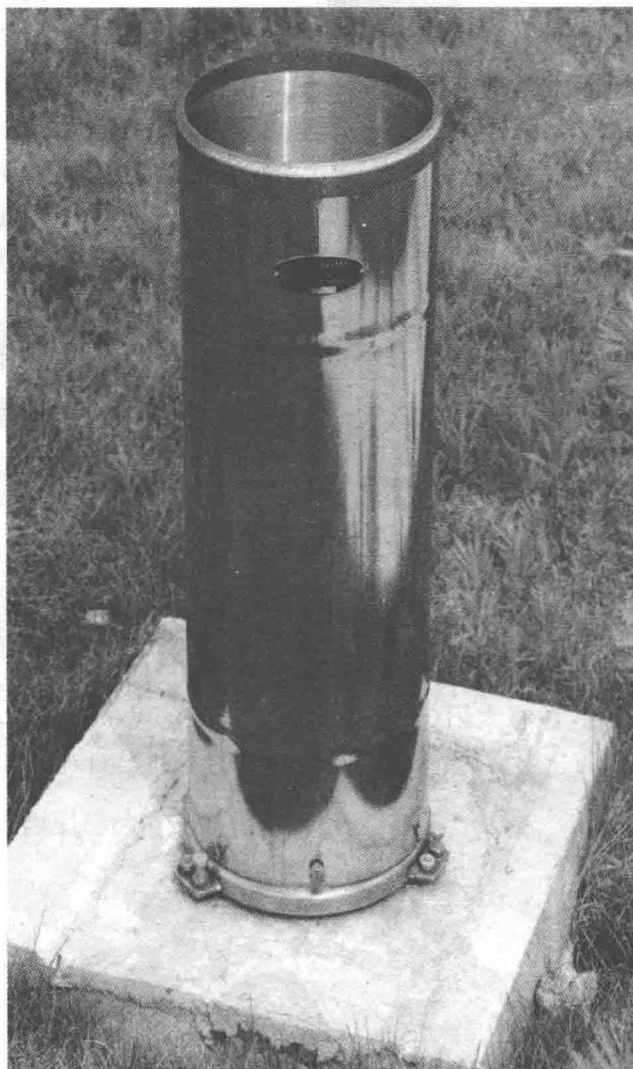


图 1-5 SL3-1 翻斗式雨量传感器

#### (5) 蒸发传感器

AG2.0 超声波蒸发器(如图 1-6)根据超声波测距原理,选用高精度超声波传感器,精确测量超声波传感器至水面的距离并转换成电信号输出,可即时测出蒸发量。超声波蒸发器和 E-601B 型蒸发桶、水圈等配套使用。



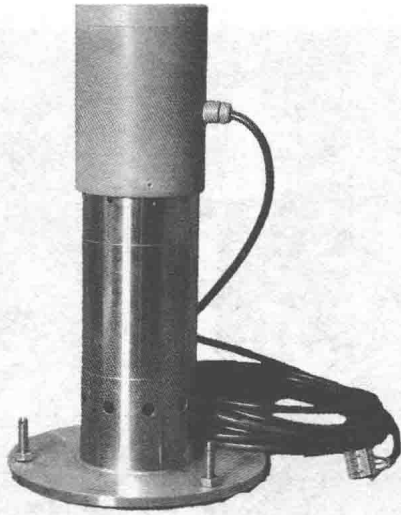


图 1-6 AG2.0 超声波蒸发器

#### (6) 日照时数传感器

Kipp & Zonen 公司出品的 CSD3 日照时数传感器(如图 1-7)用于连续测量日照时数。仪器本身没有移动部件,耗电量低,能够胜任野外的长期观测使用。该器件使用三个特殊设计的光电二极管,在有太阳(直接辐射强度 $>120 \text{ W/m}^2$ )的时候进行观测计算。CSD3 内置加热器可以防止雨雪、霜降等对观测产生的不利影响,也可以根据实际需要选择内部温度调节装置。



图 1-7 CSD3 日照时数传感器



### (7) 能见度传感器

PWD22 能见度传感器(如图 1-8)通过测量大气中悬浮粒子对红外的散射强度来计算能见度,采用世界气象组织认可的前散射测量原理进行工作,是一种技术要求很高的精密仪器。由于不同大气颗粒(雾、雨、雪、沙尘)的散射特性差异很大,所以在复杂的条件下都能给出准确的能见度值是至关重要的。PWD22 内置有电容式感雨量器(RAINCAP 传感器元件),精确估计降水量,将此测量量与前散射信息、温度测量信息结合在一起,通过复杂的计算即可识别降水类型、测量降水累计量、测量降水强度,按照 WMO 和 NWS 代码表报告。

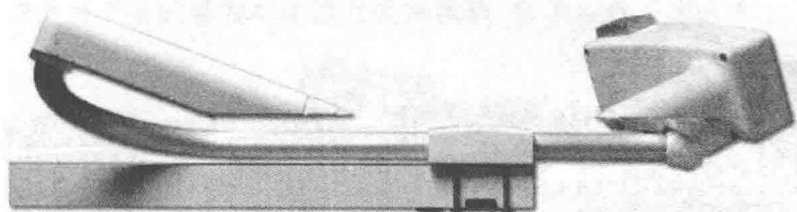


图 1-8 PWN22 能见度传感器

### (8) 地温传感器

铂电阻温度传感器(如图 1-9)用来精确测量空气、土壤或不同下垫面(如水泥、柏油路面等)的温度。该传感器选用精密级铂电阻元件,经热熔焊、旋压冷挤等特殊工艺处理,由屏蔽信号电缆线从敏感元件引出用于测量,具有精度高、互换性好、耐腐蚀、抗渗漏的特点,保证传感器在 $-50^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的情况下其误差小于 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。采用四线制连接方法,可最大限度减少导线电阻引起的测量误差。



图 1-9 铂电阻 Pt100 温度传感器

### (9) 辐射传感器

TBQ-2L 辐射表(如图 1-10)是一款测量接收地球平面上辐照度的一级辐射表,主要用来测量波长范围为 $0.3\sim 3$  微米的太阳总辐射。如水平向下放置可测量反射辐射,加散射遮光环可测量散射辐射。

总辐射表由双层石英玻璃罩、感应元件、遮光板、表体、干燥剂等部分组成。感应元件是该表的核心部分,由快速响应的绕线电镀式热电堆组成。感应面涂 3 M 无光黑漆,感应面为热结点,当有阳光照射时温度升高,它与另一面的冷结点形成温差电动势,该电动势与太阳辐射强度成正比。

总辐射表双层玻璃罩是为了减少空气对流对辐射表的影响。内罩是为了截断外罩本

身的红外辐射而设的。

总辐射表输出辐射量( $\text{W}/\text{m}^2$ )=测量输出电压信号值( $\mu\text{V}$ ) $\div$ 灵敏度系数( $\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), 每个传感器分别给出标定过的灵敏度系数。

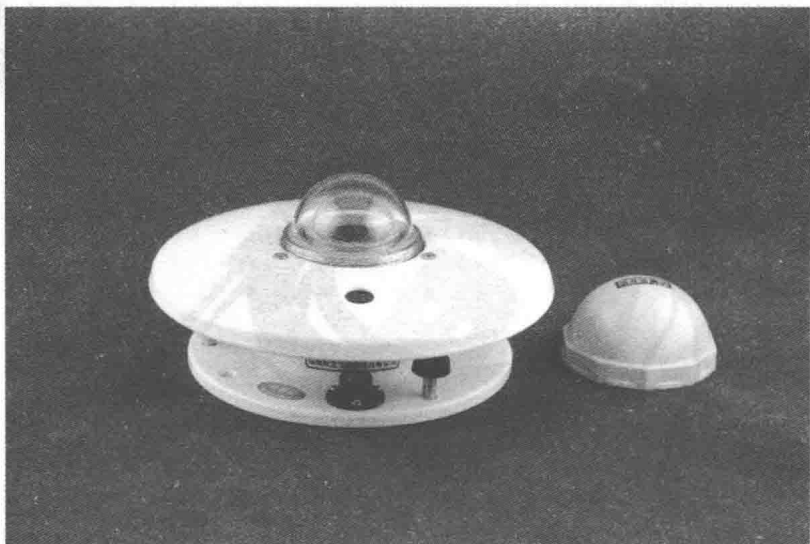


图 1-10 TBQ-2L 总辐射传感器

## 7. 自动气象站显示及存储内容

### (1) 显示内容

在数据采集器前面板上有 LED 显示, 可通过轻触键盘查看实时气象数据, 其中风向、风速每 3 秒钟更新一次, 其余气象要素每 1 分钟更新一次。

在计算机屏幕上, 通过菜单命令可显示全部实时气象数据, 每分钟更新一次。

### (2) 正点地面气象要素数据文件

正点地面气象要素数据文件为 ZIIiiiMM.YYY, 简称 Z 文件, 文件名中, Z 为指示符;



IIiii 为区站号;MM 为月份,不足两位时,前面补“0”;YYY 为年份的后 3 位。

① Z 文件为随机文件,每月一个,记录采用定长类型,每一条记录 218 个字节,记录尾用回车换行结束,ASCII 字符存盘,每个要素值高位不足补空格。

② Z 文件第一次生成时应进行初始化,初始化的过程是:首先检测 Z 文件是否存在,如无当月 Z 文件,则生成该文件,将全月逐日逐时各要素的位置一律存入相应字长的“-”字符(即减号)。

③ Z 文件按北京时计时,以北京时的 00 分数据作为正点定时数据。

④ Z 文件的第 1 条记录为本站当月基本参数,每项参数长为 5 个字节,内容见表 1-3 所示。

表 1-3 Z 文件中第 1 条记录基本参数

序号	参数	字长	序号	参数	字长
1	区站号	5 字节	19	雨量传感器标识	5 字节
2	年	5 字节	20	感雨器标识	5 字节
3	月	5 字节	21	草面温度传感器标识	5 字节
4	经度	5 字节	22	地面温度传感器标识	5 字节
5	纬度	5 字节	23	5 cm 地温传感器标识	5 字节
6	观测场海拔高度	5 字节	24	10 cm 地温传感器标识	5 字节
7	气压传感器海拔高度	5 字节	25	15 cm 地温传感器标识	5 字节
8	风速传感器距地(平台)高度	5 字节	26	20 cm 地温传感器标识	5 字节
9	平台距地高度	5 字节	27	40 cm 地温传感器标识	5 字节
10	人工定时观测次数	5 字节	28	80 cm 地温传感器标识	5 字节
11	干湿表通风系数 Ai 值	5 字节	29	160 cm 地温传感器标识	5 字节
12	自动站型号标识	5 字节	30	320 cm 地温传感器标识	5 字节
13	气温传感器标识	5 字节	31	日照传感器标识	5 字节
14	湿球温度传感器标识	5 字节	32	蒸发传感器标识	5 字节
15	湿敏电容传感器标识	5 字节	33	能见度传感器标识	5 字节
16	气压传感器标识	5 字节	34	保留	48 字节,用“-”填充
17	风向传感器标识	5 字节	35	版本号	5 字节
18	风速传感器标识	5 字节	36	回车换行	2 字节

存储规定:

▶ 经度和纬度的分保留两位,高位不足补“0”,如北纬 32 度 02 分存“3202”。

▶ 气压传感器海拔高度和观测场海拔高度:保留一位小数,扩大 10 倍存入。

▶ 自动站型号标识:I 型自动站存入“1”,II 型自动站存入“2”,milos 系列自动站存入“3”。