



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



面向 21 世纪 课程教材
Textbook Series for 21st Century

气象学实习指导

第二版

包云轩 樊多琦 主编

非气象专业用



 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

气象学实习指导

第 二 版

包云轩 樊多琦 主编

非气象专业用

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

气象学实习指导/包云轩, 樊多琦主编. —2 版. —北京:
中国农业出版社, 2007. 8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 面向 21 世纪
课程教材

ISBN 978-7-109-11896-6

I. 气… II. ①包…②樊… III. 农业气象—高等学校—
教学参考资料 IV. S16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113007 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 刘 存 毛志强

北京通州皇家印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 1 版 2007 年 8 月第 2 版

2007 年 8 月第 2 版北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 10.75

字数: 185 千字

定价: 15.60 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

第二版编写人员

主 编 包云轩 樊多琦

编 委 (按姓氏笔画排序)

王翠花 (南京农业大学)

包云轩 (南京农业大学)

杨建松 (贵州大学)

周 平 (云南农业大学)

樊多琦 (南京农业大学)

审 稿 申双和 (南京信息工程大学)

程极益 (南京农业大学)

第二版前言

《气象学实习指导》(第二版)是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《气象学》(第二版)的配套实习指导教材。全书分12个实习,包括实习一:辐射、照度、日照时数的观测;实习二:温度观测;实习三:大气中水分的观测;实习四:气压和风的观测;实习五:云、能见度和天气现象的观测;实习六:农业小气候观测;实习七:天气分析;实习八:等值线区域气候图的绘制与分析;实习九:农业气候资料的分析和应用;实习十:气象资料的获取、分析和应用;实习十一:自动气象站观测系统;实习十二:常用气象分析软件。其中实习一至实习六详细介绍了各种常规气象仪器的感应原理、构造、性能、安装和使用方法,系统阐述了基本气象要素观测和农业小气候观测的程序、方法和步骤;实习七至实习十着重讨论各种天气、气候资料的获取、整理、统计、制图、分析和应用;实习十一和实习十二针对目前我国气象部门的业务现状和发展趋势,简介我国自动气象站观测系统和常用气象分析软件的基本组成、功能和应用。这三大部分的实习内容不仅与理论教材相衔接,而且切合我国气象部门的常规业务实际,具有一定的科学性、先进性和实用性。对每个实习都配置了相应的实习作业题,要求学生在实习时能够认真操作并独立完成实习报告。

该实习指导教材内容多,可操作性强,兼顾了各相关专业大学生适应未来工作的需求,希望通过一系列的实习能强化学生对气象学基础理论和基本实践技能的掌握与应用,增强他们的实际操作能力,拓宽知识面,提高专业素质。

该书由包云轩、樊多琦主编，王翠花、周平、杨建松参编。由于目前世界气象观测网正由手工观测向全自动观测过渡，要完全兼顾新老观测体系有较大的难度，因此在内容取舍和安排方面难免存在一些不当之处，希望能得到使用本教材的师生及有关专家的批评指正。

编 者

2007年5月

第一版编写人员

主 编 包云轩（南京农业大学）

樊多琦（南京农业大学）

编 者 周 平（云南农业大学）

李 有（河南农业大学）

杨建松（贵州大学）

第一版前言

《气象学实习指导》是高等教育“面向 21 世纪课程教材”《气象学》(南方本)的配套实习教材。全书共分四个部分:第一部分是气象要素的观测,包括实习一、日射观测,实习二、温度观测,实习三、大气中的水分观测,实习四、气压和风的观测,实习五、云、能见度和天气现象的观测;第二部分是实习六、农业小气候观测;第三部分是实习七、天气分析;第四部分是气象资料的获取、统计、分析与应用,包括实习八、等值线区域气候图的绘制与分析,实习九、农业气候资料的分析与应用,实习十、气象资料的获取、分析与应用。其中第一、二部分详细介绍了各种常规气象仪器的感应原理、构造、性能、安装和使用方法,系统阐述了大、小气候观测的程序、方法和步骤;第三、四部分着重讨论各种天气、气候资料的获取、整理、统计、制图、分析和应用。这四个部分的实习内容不仅与理论教材相衔接,而且前后呼应,具有一定的科学性和先进性,能较好地适应生产实际,适应各行各业的需要。我们对每个实习都配置了实习作业并编制了相应的实习报告,要求学生在实习时能够认真操作并独立完成实习报告,以期达到对气象学基本理论和基本实践技能的掌握。

该实习指导内容丰富,实用性强,实际教学中可根据课程学时数和各院校具体条件作相应取舍。实习安排一般分为室外观测和室内绘图分析两大块,某些实习内容也可集中在数天集中完成。教学时应遵循理论与实践相结合的原则,在教师辅导与示范的前提下,使每个学生都动手操作,独立完成规定的实习内容。

《气象学实习指导》是我国南方 12 所高等农林院校全体气象教师共同努力的结晶。全书由包云轩、樊多琦主编，周平、李有、杨建松等参编。由于我们水平有限，加之时间仓促，因此在内容取舍和安排方面难免存在谬误之处，希望能得到使用本教材的师生及有关专家的批评指正。

编 者

2001 年 12 月

目 录

第二版前言

第一版前言

实习一	辐射、照度、日照时数的观测	1
实习二	温度观测	14
实习三	大气中水分的观测	28
实习四	气压和风的观测	44
实习五	云、能见度和天气现象的观测	59
实习六	农业小气候观测	72
实习七	天气分析	83
实习八	等值线区域气候图的绘制与分析	90
实习九	农业气候资料的分析与应用	96
实习十	气象资料的获取、分析和应用	112
实习十一	自动气象站观测系统	118
实习十二	常用气象分析软件	128
附表一	各观测项目的记录单位和记录要求	143
附表二	可照时数表 (h)	144
附表三	水面上饱和水汽压 (hPa)	147
附表四	空气相对湿度 (%) 查算表 (百叶箱)	149
附表五	空气相对湿度 (%) 查算表 (通风干湿表)	154
附表六	日期序列表	159

实习一 辐射、照度、日照时数的观测

【实习目的】

通过实习了解测定辐射强度、光照度和日照时数的仪器及其测量原理，掌握测定辐射强度、光照度和日照时数的方法。

【实习仪器】

总辐射表、直接辐射表、散射辐射表、净辐射表、照度计、日照计等。

【实习内容】

一、气象观测场概述

气象观测是气象工作的基础。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地、连续地观察和测定，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依据。

地面气象观测站按所承担的观测任务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，并根据需要设置无人值守气象站。承担气象辐射观测任务的站，按观测项目的多少分为一级站、二级站和三级站。

地面气象观测的观测方式分为人工观测和自动观测两种方式，其中人工观测又包括人工目测和人工器测。为获取实时气象资料并积累气候资料，地面气象观测站按规定的时次进行定时气象观测，对于人工观测项目，昼夜守班站在每天的 02、08、14、20 时（北京时）进行四次定时观测，白天守班站在每天的 08、14、20 时进行三次定时观测，对于自动观测项目在每天的各个整点进行 24 次定时数据采样。

地面气象观测站的观测项目主要包括：云、能见度、天气现象、气压、空气的温度和湿度、风向和风速、降水、日照、蒸发、地面温度（含草温）、雪深、浅层和深层地温、冻土、电线积冰、辐射、地面状态、雪压及其他因气象服务需要而增加的观测项目。

地面气象观测场是取得地面气象资料的主要场所，地点应设在能较好地反映本地较大范围的气象要素特点的地方，避免局部地形的影响。观测场四周必须空旷平坦，避免建在陡坡、洼地或邻近有铁路、公路、工矿、烟囱、高大

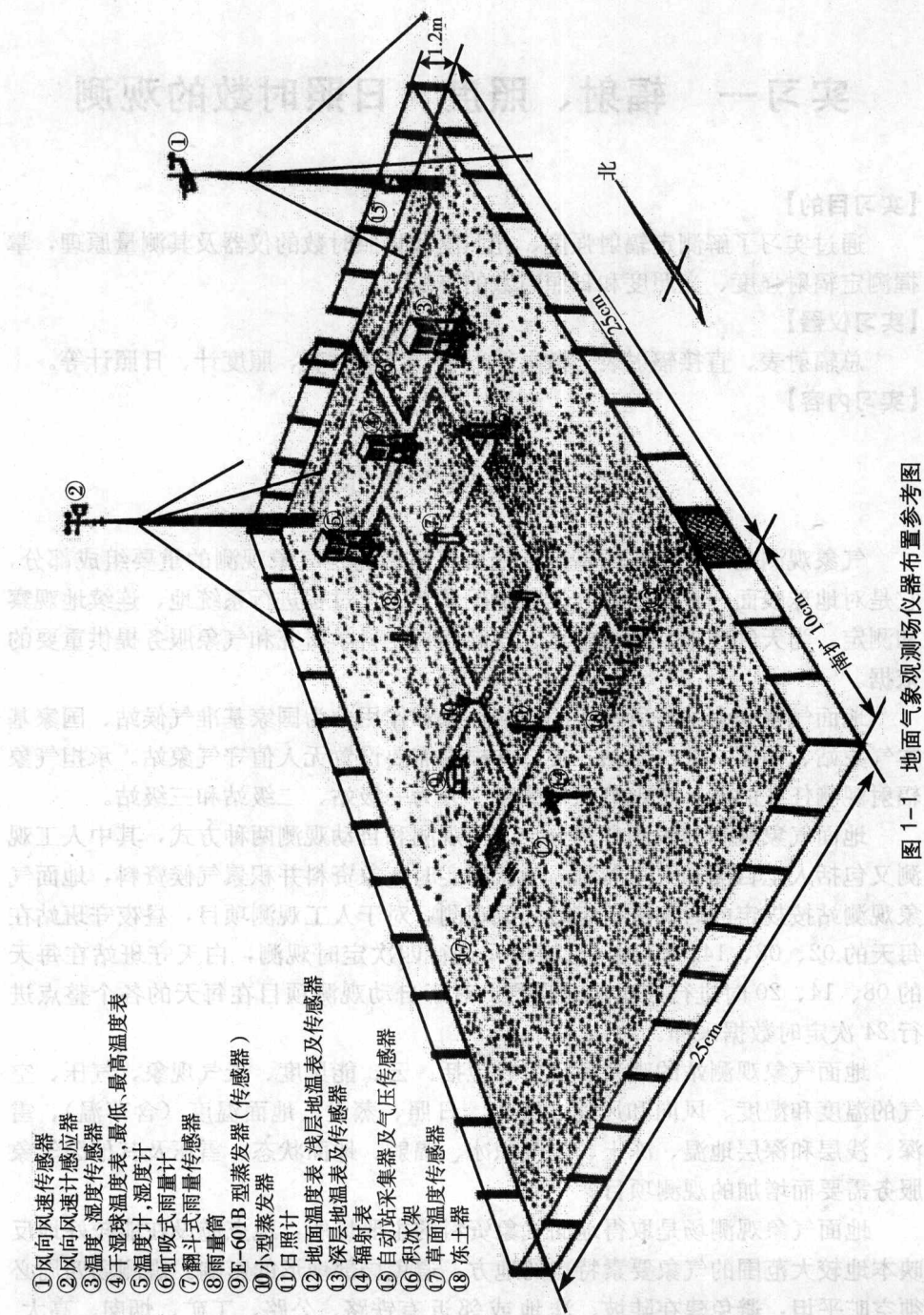


图 1-1 地面气象观测场仪器布置参考图

建筑物的地方，四周障碍物的影子应不会投射到日照和辐射观测仪器的受光面上，且附近没有反射阳光强的物体。避开地方性雾、烟等大气污染严重的地方，在城市或工矿区，观测场应选择在城市或工矿区最多风向的上风方。

观测场一般为 $25\text{m} \times 25\text{m}$ 的平整场地（图 1-1），确因条件所限也可取 16m （东西向） $\times 20\text{m}$ （南北向），高山站、海岛站、无人站不受此限，对于需要安装辐射仪器的台站，可将观测场南边缘向南扩展 10m 。观测场内一般应保持有均匀草层，不准种植作物，草高不能超过 20cm ，场内铺设 $0.3 \sim 0.5\text{m}$ 宽的小路。为保持观测场地自然状态，人员只准在小路上行走，在有积雪时，除小路上的积雪可以清除外，应保护场地积雪的自然状态。观测场四周一般设置约 1.2m 高的稀疏围栏。

观测场内仪器设施的布置要注意互不影响，并便于观测操作，图 1-1 为地面气象观测场仪器布置参考图。仪器布置的具体要求是：高的仪器设施安置在北边，低的仪器设施安置在南边；各仪器设施东西排列成行，南北布设成列，相互间东西间隔不小于 4m ，南北间隔不小于 3m ，仪器距观测场边缘护栏不小于 3m ；仪器安置在紧靠东西向小路南面，观测员应从北面接近仪器；辐射观测仪器一般安装在观测场南面，仪器感应面不能受任何障碍物影响。

地面气象观测场内的仪器及安装要求见表 1-1。

表 1-1 地面气象观测的仪器及安装要求

仪 器	安装要求与允许误差范围		基准部位
干湿球温度表	高度 1.50m	$\pm 5\text{cm}$	感应部分中心
最高温度表	高度 1.53m	$\pm 5\text{cm}$	感应部分中心
最低温度表	高度 1.52m	$\pm 5\text{cm}$	感应部分中心
温度计	高度 1.50m	$\pm 5\text{cm}$	感应部分中部
湿度计	在温度计上层横隔板上		
毛发湿度表	上部固定在温度表支架上横梁上		
温度、湿度传感器	高度 1.50m	$\pm 5\text{cm}$	感应部分中部
雨量器	高度 70cm	$\pm 3\text{cm}$	口缘
虹吸式雨量计	仪器自身高度		
翻斗式遥测雨量计	仪器自身高度		
雨量传感器	高度不得低于 70cm		口缘
小型蒸发器	高度 70cm	$\pm 3\text{cm}$	口缘
E-601B 型蒸发器（传感器）	高度 30cm	$\pm 1\text{cm}$	口缘
地面温度表（传感器）	感应部分和表身埋入土中一半		感应部分中心
草面温度传感器	离地面 6cm	$\pm 1\text{cm}$	感应部分中心
地面最高、最低温度表	感应部分和表身埋入土中一半		感应部分中心

(续)

仪 器	安装要求与允许误差范围		基准部位
曲管地温表 (浅层地温传感器)	深度 5、10、15、20cm	±1cm	感应部分中心 表身与地面
	倾斜角 45°	±5°	
	深度 40、80cm	±3cm	
直管地温表 (深层地温传感器)	深度 160cm	±5cm	感应部分中心
	深度 320cm	±10cm	
冻土器	深度 50~350cm	±3cm	内管零线
	高度以便于操作为准		
日照计 (传感器)	纬度以本站纬度为准	±0.5°	底座南北线
	方位正北	±5°	
	支架高度 1.50m	±10cm	
辐射表 (传感器)	直射、散射辐射表:		底座南北线
	方位正北	±0.25°	
	纬度以本站纬度为准	±0.1°	
风速器 (传感器)	安装在观测场高 10~12m		风杯中心
风向器 (传感器)	安装在观测场高 10~12m		风标中心
	方位正南 (北)	±5°	方位指南 (北) 杆
电线积冰架	上导线高度 220cm	±5cm	导线水平面
定槽水银气压表	高度以便于操作为准		水银槽盒中线
动槽水银气压表	高度以便于操作为准		象牙针尖
气压计 (传感器)	高度以便于操作为准		感应部分中心
采集器箱	高度以便于操作为准		

二、辐射强度的观测

辐射强度 (辐照度) 是指在单位时间内投射到单位面积上的辐射能, 单位为 W/m^2 , 测量辐射强度的仪器统称为辐射表或辐射传感器。辐射表广泛用于气象、农业、林业、环境、生态、太阳能利用、建筑等专业, 常用的辐射表主要有总辐射表、直射辐射表、散射辐射表、反射辐射表、净辐射表、管状辐射表、分光辐射表等。

辐射表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, 热接点在感应面上, 冷接点通常隐蔽于仪器内部。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, 形成电动势, 电动势的存在产生了电流, 电压及电流的大小与接收到的辐射强度成正比, 通过对电压或电流进行测量来得到辐射强度。

(一) 辐射仪器的安装

总辐射表、直射辐射表、散射辐射表、反射辐射表和净辐射表, 应安装在

符合条件的场地，并避开有地方性雾、烟尘等大气污染严重的地方。测量来自天空的各种辐射时，要求仪器上方不能有任何障碍物影响；测量来自地面的各种辐射时，要求有一个空旷、无障碍物、有代表性下垫面的地方。

地面气象观测场符合辐射观测条件的，可在场地南边扩出 10m（南北向）×25m（东西向）场地或另辟符合要求的 8m×8m 场地作为辐射观测场，四周架设围栏，仪器安装在观测场地的中部。场内浅草平铺，草高不超过 20cm，并铺以小路，冬季积雪时不要破坏雪面自然状态。若无法开辟专用观测场地，也可在地面观测场内南边的空旷处，安装辐射仪器。如果地面气象观测场不符合辐射观测条件的，可将总辐射表、直接辐射表、散射辐射表安置在天空条件符合要求的楼顶平台上，而将反射辐射表和净辐射表安置在符合条件、有代表性下垫面的地方。

辐射仪器应安装在特制的台架上，台架采用木材或金属等牢固且不易变形的材料。各种辐射仪器可安装在一个辐射联合支架或几个台架上，离地面高度为 1.5m，辐射表排列的原则是：各仪器间应间隔一定距离，一般高的仪器安装在北面，低的安装在南边，各辐射表间互不影响，辐射联合支架上辐射表的安装位置参照图 1-2。辐射表的输出端用专用防水屏蔽电缆线与仪器显示记录部分连接。

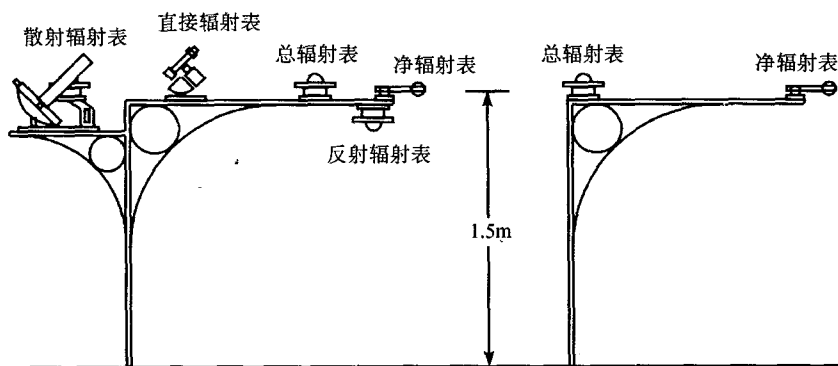


图 1-2 辐射联合支架上辐射表的安装位置图

（二）总辐射表

总辐射表又称天空辐射表、反射辐射表，用于测量总辐射和反射辐射。

总辐射是指水平面上，天空 2π 立体角内所接收到的太阳直接辐射和散射辐射之和，测量总辐射时将总辐射表感应面向上水平安装。反射辐射是指总辐射到达地面后被下垫面向上反射的那部分短波辐射，实际测量的投射的反射辐射包括地表所反射及仪器与地面之间的大气所散射的太阳辐射，测量反射辐射

时将总辐射表感应面向下水平安装。

总辐射表由感应元件、玻璃罩和附件构成,见图 1-3。

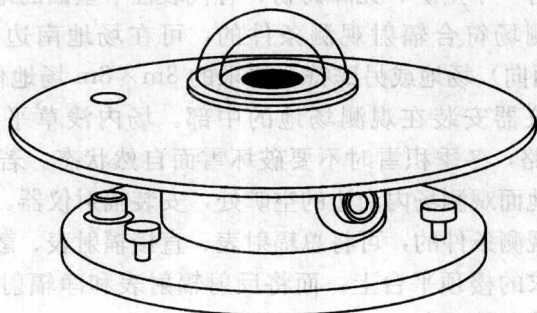


图 1-3 总辐射表

总辐射的感应元件由感应面和热电堆组成,感应面通常为圆形,也有为方形的,热电堆为由康铜、康铜镀铜的绕线型电镀式多接点热电堆,并配有温度补偿电路。玻璃罩为半球形双层石英玻璃罩,经精密的光学冷加工磨制而成,用于防止外界环境对感应元件性能的影响,以减少测量误差。附件包括机体、干燥器、白色挡板、底座、水准器、接线柱和保护罩等,干燥器内装硅胶干燥剂,与玻璃罩相通以保持罩内空气干燥。

总辐射表测量光谱范围为 $0.3 \sim 3.0 \mu\text{m}$ 的太阳短波辐射,灵敏度为 $7 \sim 14 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$,响应时间 $\leq 30\text{s}$ 。

总辐射表安装时要使感应面处于水平状态,并将接线柱导线与辐射记录仪连接起来。调整总辐射表水平的方法是调整底座上三个水平调整螺旋,使水准器气泡位于中央。测量总辐射的总辐射表安装时感应面向上。测量反射辐射的总辐射表安装时感应面向下,并将白色挡板翻过来装,以避免雨水积聚。

目前常用的总辐射表主要有 TBQ 系列总辐射表和 DFY 系列总辐射表,其中以 TBQ-2 型总辐射表和 DFY-4 型总辐射表使用最为广泛,其构造原理、技术指标、安装使用方法基本相同。TBQ-2 型总辐射表感应面为圆形,DFY-4 型总辐射表外形轮廓稍大并且感应面为方形。此外,也有少数总辐射表采用黑白相间的感应面,如 DFY-2 型总辐射表,利用黑色和白色感应面对太阳短波辐射吸收率的不同来在热电堆中形成温差电动势,进而测量出辐射强度。

(三) 直接辐射表

直接辐射表又称直射表或日射表,用于测量太阳直接辐射。

太阳直接辐射是指直接来自日盘、以平行光的形式投射到地面的太阳辐

射,实际测量的太阳直接辐射包含从太阳中心外延大约 2.5° 半角内的太阳直接辐射和狭窄的环形天空的散射辐射(环日辐射)。

直接辐射表由进光筒、感应元件、跟踪架(赤道架)和附件构成,见图1-4。

直接辐射表的进光筒是一个金属圆筒,筒内有多层黑色的环形光栏,筒口半开敞角约为 3° 左右,筒口装有石英玻璃片,以避免外界环境对感应元件性能的影响,减少测量误差。进光筒前有一金属箍用来安放各种滤光片。进光筒两端分别固定有两个小圆环,筒口圆环上有一小孔,筒末端圆环白色圆盘有一黑点,小孔和黑点的连线与筒中轴线相平行,如果光线透过小孔后光

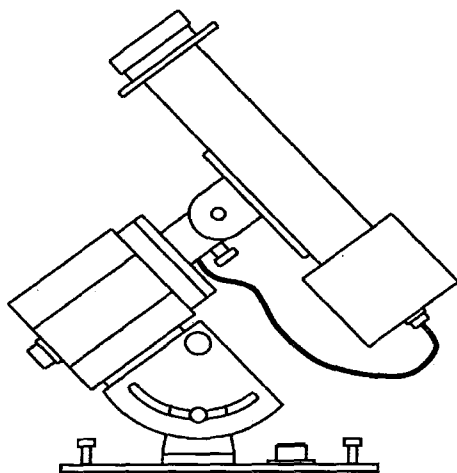


图 1-4 直接辐射表

点落在黑点上,说明进光筒已对准太阳。感应元件由感应面和热电堆组成,感应面位于进光筒的后部,涂有高吸收率的黑色涂层,热电堆为绕线型电镀式多接点热电堆。跟踪架是支撑进光筒并使之自动跟踪太阳的一种装置,由钟机、讯号发生器和电源等构成。

DFY-3 直接辐射表的测量光谱范围为 $0.3 \sim 3.0 \mu\text{m}$ 的太阳短波辐射,灵敏度为 $7 \sim 14 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$,响应时间 $\leq 35\text{s}$,跟踪精度为 $24\text{h} < \pm 1^\circ$ 。

直接辐射表安装时要使底座上的方位线对准南北线,底板处于水平状态,纬度刻度盘对准当地纬度,并将接线柱导线与辐射记录仪连接起来。测定南北线的方法主要有经纬仪法和铅垂线法等。经纬仪法是在真太阳时的正午,用经纬仪观测太阳,然后降低物镜到水平面一点,此点与观测点的连线,即为南北线,在晴朗的夜晚用经纬仪观测北极星也可确定出南北线。铅垂线法是在真太阳时的正午,使用铅垂线,铅垂线的投影即为南北线。使底板水平的方法是转动底板上的水平调整螺旋,使水准器气泡位于中央。使纬度刻度盘对准当地纬度的方法是松开纬度刻度盘上的螺旋,转动刻度盘使之对准当地纬度,然后转紧螺旋。

目前常用的直接辐射表主要有 TBS 系列直接辐射表和 DFY 系列直接辐射表,其中以 TBS-2 型直接辐射表和 DFY-3 型直接辐射表使用最为广泛,其构造原理、技术指标、安装使用方法基本相同。TBS-2 型直接辐射表有微调