

遥测辐射仪研制报告

张纬敏 陆振和

(气象科学研究院大气探测所)

提 要

本文介绍了遥测辐射仪的结构特点、工作原理、技术指标及误差分析。该仪器在材料、工艺、性能、自动化程度及精度等方面,比台站现用辐射仪器均有明显的改进。遥测辐射仪在台站推广使用后,将减轻观测人员的劳动强度,提高工作效率,较大地改善我国辐射观测质量,以满足各方面对辐射观测资料的需求。

新研制的新型有线遥测辐射仪,实现了遥测自动记录。经过严格测试、台站考核,已设计定型。1987年又在部分辐射站试用,证明新仪器(以下简称新表)比台站现用仪器(简称老表)有明显改进。业务部门决定从今年开始逐步在台站推广使用。

一、辐射仪的结构原理

遥测辐射仪全套包括:跟踪装置的直射表,总辐射表与遮光环装置,净辐射表以及数据采集装置(记录器)。辐射表的传感器,是采用国际上通用的热电型。其测量辐射的主要原理如图1。

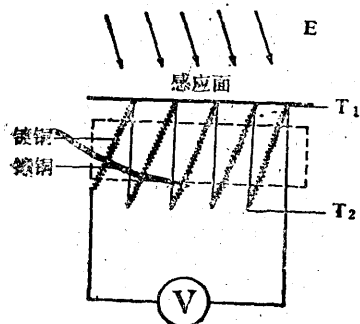


图1 热电型辐射表原理图

涂黑感应面吸收太阳辐射后,将其热量传到紧贴感应面下部的热电堆,使其接点温度升高,形成热接点 T_1 ;而与感应面不接触的热电堆接点,基本上保持原来的温度 T_2 (与气温相接近),称为冷接点。其两端温度 $T_1 - T_2$ 之差 ΔT 与太阳辐照度 E 成正比。

$$T_1 - T_2 = aE \quad (1)$$

其中 a 为常数项,它与感应面的吸收率,所

用材料的导热系数等有关。

由于温差 ΔT 、热电堆产生的温差电动势 V 为:

$$V = n \cdot b \cdot \Delta T \quad (2)$$

式中 n 为热电偶对数, b 为热电偶系数($\mu V/^\circ C$)。

将(1)式代入(2)式得

$$V = KE \quad (3)$$

式中, $K = n \cdot b \cdot a$,称为辐射表的灵敏度。它与仪器的材料有关。在 K 值不变的情况下,(3)式说明:太阳辐照度 E 越强,热电堆产生的电动势越大。由于 K 值已知,用电表测量 V 值的大小,亦可知道辐照度 E 的强度,这就是热电型辐射表的基本原理。

将(3)式改写为 $K = V/E$,灵敏度 K 值实际上就是单位辐照度产生的电压微伏值。 K 是否稳定是衡量一个辐射表等级标准的重要指标之一。为了保证辐射表的准确度,我国规定每两年重新(下同)检定一次仪器的灵敏度。

为了提高仪器质量,新研制的辐射表在传感器的工艺、材料与结构上做了明显的改进:采用我国研制的LTV-III-3光学黑漆,代替原先的普通黑漆,使得感应面的吸收率、牢固度、绒面等有较大的提高与改善。采用镀铜、镀镍方法构成绕线型热电堆,工艺简单,成品率高。从而提高了辐射表的精密密度。新研制的3种辐射表传感器原理基本相同,现将其结构特点分述如下:

1. 直射表

是一种测量太阳直接辐射的仪器（见图2）。

传感器安放在一个进光筒后部，每次观测通常是用手转动仪器赤道架的调整螺旋，使之对准太阳。

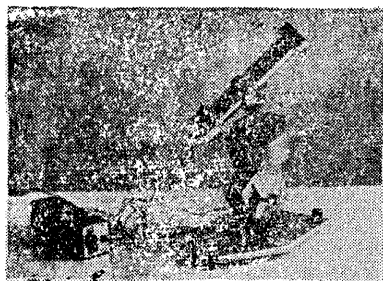


图2 直射表

新研制的直射表实现遥测，关键是跟踪器（赤道架）能自动精确地带动进光筒跟踪太阳位置。这种装置由信号发生器和操纵器两部分组成。信号发生器包括电源和晶体谐振器作为时控源。操纵器由步进电机、减速器、中心轴组成。其工作原理如图3所示：

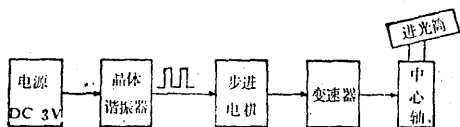


图3 直射表跟踪装置原理框图

信号发生器的脉冲控制电机转动，再通过变速器，使得中心轴24小时均匀转动一周。在仪器安装正确（对好方位水平与纬度），调好赤纬情况下，从而使得进光筒准确跟踪太阳。其准确度为 $0.25^\circ/\text{天}$ ，达到国际同类产品水平（实际允许误差为 $1^\circ/\text{天}$ ）。并具有不需要交流电，功耗低（ 0.05W ，两节1号电池可用半年以上），使用方便等优点，适合我国广大地区使用。

2. 总辐射表

用来测量短波总辐射，加上遮光环装置可以测量天空散射辐射。当感应面朝下，可测量短波反射辐射等（见图4）。

新表最重要的改进，是将原来的单层玻

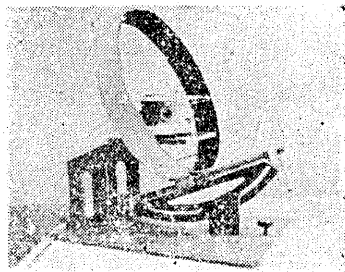


图4 总辐射表及遮光环装置

璃罩改为双层石英玻璃罩。双层罩的优点是减少外界气温波动，对辐射测量的影响。

另外，石英玻璃在短波范围内的透过率，比普通玻璃有明显增大，而且是一条直线。

石英玻璃采取较严格的冷加工工艺，使得总辐射表的余弦响应误差，由老表的最大允许误差 $\leq \pm 35\%$ （高度角 $h = 10^\circ$ 时），减小到新表的 $\leq \pm 15\%$ ，明显地提高了总辐射测量的准确度。

3. 净辐射表

是测量地球表面全辐射（长波与短波辐射之和）差额的一种仪器。全辐射差额是了解地球辐射收支的重要项目。对于气候学研究，光热、水等物理量，以及作物蒸散计算等，也是不可缺少的项目。

过去我国从苏联引进仪器，在全国建立了5个净辐射观测站。长期以来由于仪器破损，得不到补充，目前只剩下北京一个站进行观测，而且因为仪器几十年无法复检，资料已不可靠。因此新研制成的净辐射表，填补了我国这项观测的空白。

新的净辐射表也是热电型。为了测定全辐射差额，由上、下两个全黑感应面组成。其外形如图5所示。

我们采用既能透过太阳辐射又能透过地球辐射的聚乙烯薄膜，作成半球形外罩来测定净辐射。感应面在薄膜罩屏蔽下，自然风的影响接近于零。经测定聚乙烯罩对波长为 $0.3-17\mu\text{m}$ 的辐射能量透过率为85%。

4、7.5、 14μ 附近的辐射波有很狭窄的吸收带，这与国外采用的薄膜测试结果非常一致。

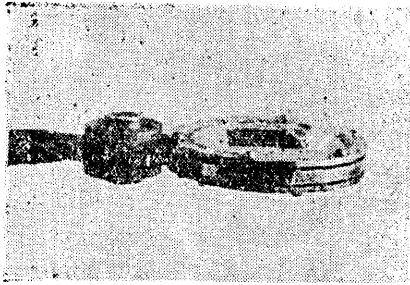


图5 净辐射表

二、辐射仪的主要技术指标

遥测辐射仪中三种辐射表的主要技术指标列于表1。

上述三种辐射表灵敏度是与现用的国家

表1 三种辐射表的主要技术指标

技术指标	仪器类型	直射表	总辐射表	净辐射表
光谱范围(μm)		0.3—4	0.3—4	0.3—30
视角(球面度)		$3^{\circ}21'$ (开敞角)	2π	4π
灵敏度($\mu\text{V}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$)		7—14	7—14	7—14
响应时间95% (s)		25	25	30
内阻(Ω)		≤ 80	≤ 80	≤ 80
余弦响应($h=10^{\circ}$)			$\leq \pm 15\%$	
年稳定性(%)	灵敏度	± 1	± 2	± 5
	WMO一级表	± 1	± 2	± 5

表2 国内外辐射记录器性能的比较

		厂 家 型 号	通 道	精度 (%)	温度系数 (0.01°C ⁻¹)	采样次数/时	功 能
国外同类 产 品		EPLAB411—6140U.S.A		± 0.5			电积分器 (带打印)
		EKO MP-20日本		± 0.5	0.1		模拟积分器
国 内 研 制	现用	电流表	1 波段开关		0.27		读数
	新 研 制	JZR	5	± 0.5(<700W) ± 1.0(≥700W)	0.1	360	电积分器、显示读数
		JY4795	5	± 0.5		360	自动存储、打印瞬时、 累计、最大量
		DRB-C	1	± 0.5		360	自动存储、打印瞬时、 累计、最大量
		PC-1500机接口	5	± 0.5		自由设置	自动存储、打印瞬时、 累计、最大量、自 动计算

传递标准比较。其年稳定性达到世界气象组织(WMO)规定台站用的一级表水平。由于条件的限制,仪器的温度系数、线性等技术指标未能做精确的测定。

三、数据采集记录器

近年来电子与计算机技术的迅速发展,使辐射数据采集记录器也不断更新。现就最近研制的两种记录器简要介绍如下:

1.JY4795与单要素DRB(供乙种站使用)记录器

工作原理类同多点巡回电压检测仪器。辐射表的信号经过放大后,分别利用单板机和单片微处理机进行控制和测量。仪器能自动校零,配有灵敏度拨盘。能自动显示储存与打印(DRB-C暂无打印)各辐射量的瞬时值、累计值与极大值。具有准确、自动化程度高与使用方便等优点。

3.PC-1500机带接口记录器

PC-1500袖珍机具有可靠、功耗低、操作方便等特点。配上专用接口电路,将辐射表输入的电压模拟量转换为数字量,然后通过自动切换,微机处理和计算采集到的观测数据。最后以显示、打印形式将各种数据表示出来,或存储在磁带里。采样与数据处理均用软件控制,非常方便灵活。这种数据采集系统配上辐射表,使我国辐射测量基本达到全部自动化程度。

现将国内外各种辐射记录器的主要技术性能列入表 2。

四、辐射资料误差的初步分析

1986年我们在沈阳、上海、海口三个站，1987年又在乌鲁木齐、西宁、北京、郑州、成都、福州、大连等 7 个站进行新、老辐射仪器平行对比观测，各站均进行 9 个多月的试验。现将其结果初步分析如下：

1. 1987 年我们用 Eppley 精密总辐射表，抽检了几个站新、老总辐射表的准确度，结果如表 3。

表 3 Eppley 标准表与新老总表的比较

站 名	大 连	郑 州	成 都
时 间	7 月 14 —15 日	9 月 8 日	9 月 15 日
$\frac{\text{总表} - E_{py}}{E_{py}} (\%)$	新表 -1.5	-0.1	-1.8
	老表 +5.6	—	+5.2, +7.1

从以上比较可以看出：新总表比 Eppley 表最大差值仅 1.8%，而老表差值大到 5—7%，达不到 WMO 规定的二级表要求。

2. 记录器代替电流表提高了测量准确度。由于电流表内采用铜电阻，温度系数大，用常温下检定的系数，来计算全部使用环境温度范围（-40°—+40℃）的测量值，显然将产生较大的误差。根据试验其最大相对误差可达 15% 左右。1987 年北京总辐射量逐月变化的对比，见图 6。

专用记录器温度影响最大误差 < 1%。

3. 关于采样不同造成的累计总量误差，目前辐射站用电流表连接辐射表进行观测，每小时采样一次，并假定两次采样间辐射量是按线性变化，然后以梯形面积求和法计算日总量。新研制的记录器实现自动采样，采

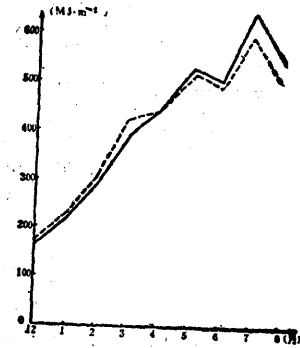


图 6 总辐射量逐月对比曲线
实线为新表 虚线为老表

样次数比电流表增加 60—360 倍。因此记录器累计的辐射总量显然比电流表准确得多。

4. 新仪器总辐射、散射、反射各用一个表，仪器固定后，水平有保证。老表用一个仪器既测散射又测反射，由于不断地翻转，使水平难以保障，造成测值误差。另外，记录器将观测结果显示打印出来，实现测量客观化；而电流表由人工读数，各人视差不同。加上大风天指针晃动，可造成较大的偶然性误差。

观测资料的准确度，则是上述各种误差综合的结果。总之，新表观测的资料无疑要比老表准确得多。实现遥测自动化后将减轻观测人员的劳动强度，提高工作效率，较大地改善我国辐射观测质量，提供可靠的气象辐射资料。

参考文献

- [1] Guide to meteorological instruments and methods of observation, Fifth edition, WMO, Nos.
- [2] 周允华等，热电阻型相对日射表温度效应的测量，气象，1978 年第 2 期。
- [3] 狄勉祖，关于现行日射观测中的误差，气象，1978 年第 7 期。

Technical report on telemetering radiometer

Zhang Weimin Lu Zhenhe

(Institute of Atmospheric Sounding Techniques, AMS)

Abstract

This paper introduces the principles, structures, distinguishing features and specification of the telemetering radiometer. The instruments has been considerably improved in aspects of materials, technology, function, automation and precision by contrasted sharply with the radiometer operating now in the meteorological stations. It is believed that the employing of these apparatus will lead to lighten the observers' labour intensity and strengthen the working efficiency. Fine observational data would meet varieties of requirements all over the country.