

气象科技

气象仪器装备专集

QIXIANG

KEJI

QIXIANG

KEJI

1980

目 录

* 地面观测仪器和感应元件 *

辐射测量仪器现况	(1)
能见度观测	(8)
能见度测量仪器	(10)
集成电路 (IC) 温度传感器	(16)
一种新型无汞气压表——弦振式气压表	(19)
气压涌升检测器	(20)
金属氧化物烧结体感湿元件	(25)
湍流强度及风速的光波遥感	(28)
光学风速仪	(32)
电热式雨强计	(35)
自动日照计	(37)
蒸散量测定装置	(39)
地面测雹方法和仪器	(40)
光电-光导纤维测风系统	(44)
美国监测气候变化的基准站的观测项目及仪器	(46)
国外大气污染研究用的监测仪器	(48)
大气污染综合测量光谱仪	(53)

* 气象雷达 *

测风红外雷达	(55)
“CHILL” 雷达系统	(57)
FM-CW 多普勒雷达	(59)
相干雷达系统的设计原理	(62)
用非相干散射雷达对中层大气的遥感	(65)
雷达资料远距离传输系统	(70)
英国的小型天气雷达网	(71)
数字视频积分处理器	(74)

* 高空观测仪器与装备 *

法国下投式探空仪	(75)
----------	------

L-100-30 气象侦察机 (76)

*** 检定与实验设备 ***

国外湿度表校准设备概况 (79)

霜冻实验装置 (85)

制霜箱 (89)

*** 其他 ***

印度机场天气实时资料显示系统 (91)

美国的自动观测网及功能测试工作 (92)

计算机在风暴追踪和警报中的应用 (94)



辐射测量仪器现况

王炳忠

辐射是以电磁波的形式传递能量的一种方式。一切物体，只要它的温度在绝对温度 0°K （即 -273.16°C ）以上，都具有向外辐射能量的能力，同时也吸收其他物体辐射来的能量。物体辐射能力的大小取决于物体本身温度的高低。辐射波长的范围很广，从 10^{-10} 微米至 10^5 千米之间，构成一个完整的电磁波谱。

由于太阳辐射的主要波长范围是 $0.12-4$ 微米，地面和大气辐射的主要波长范围是 $4-100$ 微米，因此，在气象学中，经常根据波长的不同，将太阳辐射称为短波辐射，将地面和大气辐射称为长波辐射。

地球作为行星所发射的辐射称为地球辐射，它包括地面辐射和大气辐射。

所谓总辐射，指的是一个水平面从 2π 立体角的空间所接收到的向下的直接辐射和散射辐射。而净辐射则是所有向上的和向下的辐射的净通量。

辐射测量仪器，根据所测定的辐射项目可区分为直接辐射表、总辐射表和净辐射表。下面分开来介绍。

一、直接辐射表或直接日射强度表

根据其测得的数值的单位，可分为绝对和相对两类。所谓绝对日射仪器系指通过观测即可直接获得以 $\text{卡}\cdot\text{厘米}^{-2}\cdot\text{分}^{-1}$ 或毫瓦 $\cdot\text{厘米}^{-2}$ 为单位的日射强度值；而相对日射仪器则需要通过换算系数将所测得的数值，例如电流、电压或其他单位换算成日射强度

值的仪器。也就是相对仪器需要通过直接或间接地同绝对仪器的对比、标定，才能给出具体数值。

1. 绝对直接辐射表

根据测量原理的不同绝对直接日射强度表又可分为补偿式和水流（或水注）式两种，

(1) 补偿式 这里介绍的是埃斯川姆（Angstrom）日射强度表。仪器的感受器是两片同等大小的（ $20\times 2\times 0.1$ 毫米）长方形锰铜片。锰铜片向光的一侧涂有吸收率98%或更高的黑色涂料，另一侧粘附着一对热电偶，两片的两个热电偶相对而接（图1），并与外部的检流计相接，以检测有无电流通过。观测时，将两片中的任意一片（例如图1中的2）曝光，另一片则不使受光照射。此时由于两片的温度不同，热电偶回路中有电流流过，然后按下开关3，通电将锰铜片用电加热，用调节加热电流大小的方法，可以控制加热的程度。当将锰铜片1加热至热电偶回路中无电流时，表明两片的温度相等，即两片处于热平衡状态中，记

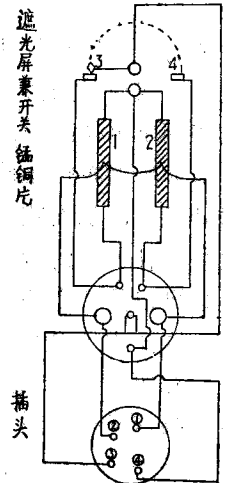


图1 埃斯川姆表的电路略图

下此时的加热电流 i ，代入 $S=Ki^2$ 中即可求得日射值了。这里 $K=60 \times 0.24 \times R/A$ ， A 是黑色涂料的吸收率， R 是功热当量，即 $1 \text{ 瓦}=0.24 \text{ 卡/秒}$ ，乘60是为了将秒化为分。这些数值都是可以事前精密测定的，这就达到了不经比较直接求出辐射值的目的。补偿式直接日射强度表是上世纪末埃斯川姆设计的，所以也称埃斯川姆日射强度标尺，在欧洲获得了广泛的应用。

但是大多数这种仪器，包括作为标准的仪器在内，当对准太阳时，曝光的锰铜片的两端被内部光阑所遮挡，而电加热的另一锰铜片却全部长度都在起作用。这就是所谓的边际效应，它是该仪器测量结果系统偏低大约2%的根源。相应的订正值在气象应用中从未考虑过，因为每台仪器均有各自结构上的差异。在确定1956年国际日射标尺以前，所有的观测值均是以未加修正的标尺为基础的。最近生产的这种仪器已力求借助精细的放置光阑，以便遮光，准确地从锰铜片的终端开始来限制边际效应。

(2) 水流式 仪器的感受器是一个内部涂黑的空心锥腔，外部环以流水。当仪器曝光时，感受器的热量被外部的流水所带走，只要测定单位时间内水的流量和水流过感受器前后的温差热量值就可以精密测定。由于温升极小，从而减少了其他方面的热损失。这是一种典型的测热学的方法，因为1卡的热量可以使1克的纯水温度升高1℃。

水流式绝对日射强度表是阿保特在美国史密森研究所研制出来的，所以又叫史密森日射强度标尺，它主要应用于北美。

后来，这种仪器又经过改进。改进后的仪器也采用补偿原理，即做成两个完全一样的空心锥腔（图2），一个用被测的辐射加热，另一个用电流加热。两者加热的均衡程度用电堆来检测。为了使两接受器周围的贮水器内的水温保持不变，利用了一个容量为190升的恒温器，水就是从恒温器进入贮

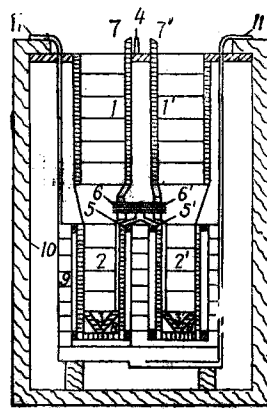


图2 经过改进的水流式日射强度表
1.1'带光阑的进光腔室, 2.2'带光阑的内腔室, 3.3'圆锥状辐射接收器, 4. 蒸馏水进水管, 5.5' 向腔室的送水管, 6.6' 确定绕流两腔室水温的热电堆, 7.7' 绕流辐射接收器的蒸馏水出水管, 8.8' 用来补偿辐射热的加热元件, 9. 两个接收器周围的贮水器, 10. 木质仪器壳体, 11.11' 向贮水器送水的进出管道。

水器的。检测温差用的蒸馏水，在进入仪器之前也先通过这个恒温器中的蛇形管。所以贮水器的水和流经蛇形管的蒸馏水在任何时候都具有同样的温度。

仪器的改进和完善化是使史密森日射强度标尺更加确切的重要步骤。经过对比发现，先前的日射强度标尺约有2.5%的误差。这个修正系数虽被用来订正太阳常数，但从未用来订正站上的观测纪录，因为当时的打算保持已有资料的不间断性。

由于这种水流式绝对日射强度表比较笨重，观测起来也甚为烦琐，后来阿保特又设计了一种较为简便的所谓银盘日射强度表（图3）。它的测量原理是：如果将表面涂黑的物体置于辐射作用之下，那末它的温度将随着所吸收热量的增大而上升。在温度增量不大的范围内，物体的比热（即质量为1克的物体温度升高1℃所需之热量）可以看做常数。因此，在辐射强度不变的条件下，温度的上升大致与时间成正比，而上升的速度

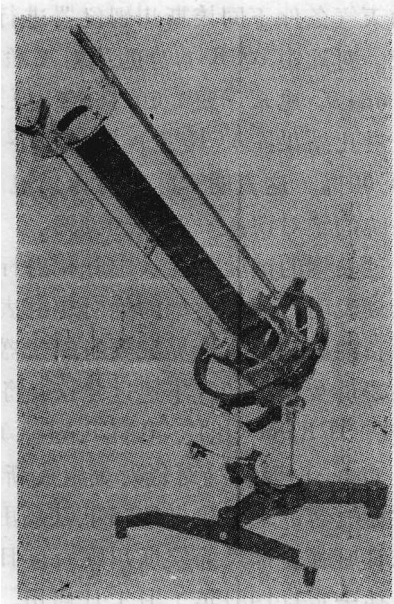


图3 银盘直接日射强度表

则和辐射强度成正比。已知物体的比热 C ，它的初始温度 T_1 和在 τ 时间以后测得的温度 T_2 以及感受器的表面积 q ，就可以根据公式算出辐射强度 $I = C(T_2 - T_1) / q\tau A$ 。感受器的温度用一支有 0.1°C 刻度的水银温度表测定，温度表球部从侧面插入装在银盘（实际是银制扁圆盒）中的水银中。为防止混汞过程，水银与银盘用铁套分隔开来，但要做得不妨碍银盘感受器与温度表球部的热交换。这种仪器用起来也不甚方便，主要是时间间隔必须保持 0.1 秒的精度，并且还要在水银柱变化的条件下，使温度读数达到 0.01°C 的精度。不管如何，这种仪器也不是绝对的，它必须与水流式日射强度表比较求得换算因子。

前述两种绝对日射仪器在五十年过程中，曾在日光下进行过多次比较。协调这些对比结果的主要困难在于这两种仪器的孔径角不一。这样，在不同太阳高度角的情况下，太阳周围天空部分的亮度变化就不一样。很明显，由于这个原因而产生的两种仪器之间的差值，不可能是个常数。不过就平均数而言，二者相差 3.5% ，史密森标尺系统偏高。

在实验室内用灯光比较的结果，二者相差 2.8% 。

国际地球物理年开始以前，太阳辐射资料的公布和出版，有的是按埃斯川姆标尺，有的则按史密森标尺，有的甚至未加说明，显得十分混乱。为了便于资料的引用和比较，以利于国际地球物理年各项科研活动的开展，1956年根据国际气象学和大气物理学协会辐射委员会的建议，世界气象组织决定，自1957年开始采用新的国际日射强度标尺，作为国际通用的唯一的日射强度标准。新的国际日射强度标尺是前两种标尺的折中，较原埃斯川姆标尺高 1.5% ，较原史密森标尺低 2.0% 。

另外，为了使辐射仪器的孔径参数标准化，国际气象学和大气物理学协会的辐射委员会于1956年建议采用下列参数（图4）。

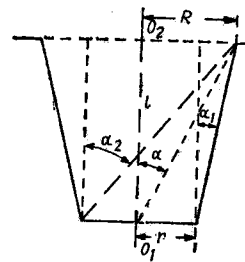


图4 直接日射强度表几何简图（圆形光阑 R 为外光阑半径， r 为接收器半径， l 为外光阑至接收器的距离， α 为开敞角， α_1 为倾斜角， α_2 为极限角。

$$\alpha = \text{tg}^{-1}(a/b),$$

$$\alpha_1 = \text{tg}^{-1}[(a-1)/b],$$

$$\alpha_2 = \text{tg}^{-1}[(a+1)/b],$$

式中 $a = R/r$ ， $b = l/r$ 。并且建议：

$$1) \ 2^\circ > \alpha_1 > 1^\circ,$$

$$2) \ l/r \geq 15.$$

这意味着仪器的开敞角不应超过 4° 。

自从建立了1956年国际日射强度标尺之后，经过一系列的对比发现，用来保持这个标尺的补偿式日射强度表本身，具有 $1-2\%$

的误差。因此，有必要进一步加紧新的绝对辐射仪器的研制。

从另一方面讲，空间科学的迅猛发展，对提高辐射测量精度，不断提出要求。这更促进了绝对日射仪器的发展。

近些年来绝对辐射仪器的发展动向是研制腔体式绝对辐射表。图5所示的是其中的一种，即所谓主动腔体辐射表(Active Cavity Radiometer 简写 ACR)，是加利福尼亚技术研究所喷气推进试验室研制出来

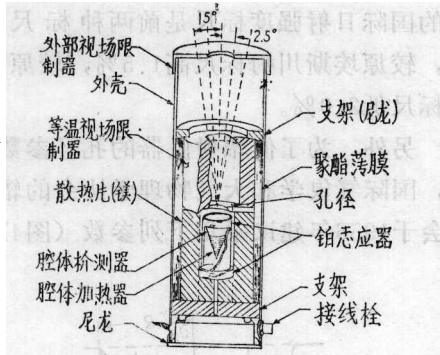


图5 ACR腔体绝对辐射表

的。仪器的形式尽管可能是多种多样的，但其实质都是量热器，在量热器中一个未知数量的辐射通量的热效应同—个通电的加热元件的热量相比较，该加热元件与接收器在热量上有密切的接触。如果接收器的吸收效率已知，并已知接收器相对辐射的面积和电加热的功率，那末，辐照的精密测定就有坚实的基础。接受器之所以采用腔体(即圆锥形)的形式，是因为它可以保持高而稳定的辐射吸收率。一般平面式的接收器受黑色涂料吸收率的变化影响很大，因为它的吸收是一次性的，未被吸收的就反射掉了。腔体式的接收器则不然，一次未被吸收的，可以有二次吸收乃至三次、四次……吸收。因此它的总吸收率是很高的，即使黑色涂料本身的吸收率有所变化，它对总吸收率的影响也是微不足道的。

1968—1970年间，上述 ACR 仪器曾在

晴朗的天气条件下同埃斯川姆仪器进行过九次比较。对比中 ACR 本身的绝对不准确度为 ± 0.5 毫瓦·厘米 $^{-2}$ 或 0.007165 卡·厘米 $^{-2}$ ·分 $^{-1}$ 。对比结果：ACR 比埃斯川姆平均高 $2.2 \pm 0.09\%$ 。这表明国际日射标尺包含着一个系统的绝对误差 $-2.2 \pm 0.5\%$ 。

经过长期的试验和几次国际辐射标准仪器的比较表明，这种类型的绝对辐射表具有较高的长期稳定性。世界气象组织仪器和观测方法委员会已于1977年通过建议，将ACR 310(美)、CROM(比)、PACRAD(美)、PMOZ(瑞士)四种绝对辐射表组成新的世界辐射标准器，来取代自1956年以来用作保持国际日射强度标尺的埃斯川姆直接日射强度表。并决定自1981年1月1日启用。

2. 相对直接辐射表 除了我国读者早已熟悉的苏制雅尼舍夫斯基直接辐射表外，下面再择其优者介绍两种。

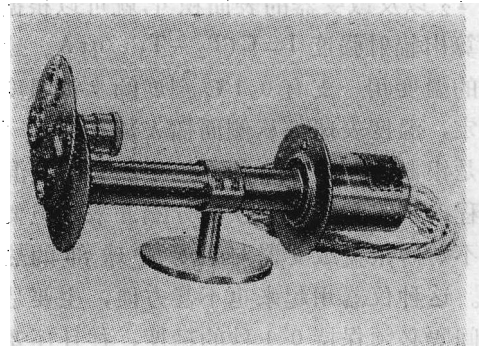


图6 Eppley垂直入射直接日射强度表

①Eppley 垂直入射直接日射强度表(图6)。它的感应元件是一个快速响应的绕线电镀式(铜-康铜)多接点热电堆。所谓绕线电镀式热电堆，是在一个经阳极氧化绝缘处理的铝架上，绕上一定圈数的轧扁了的康铜丝，然后将其一半用凡士林油涂敷保护，另一半镀铜。这样方法制做出来的热电堆，据外国文献报道，不仅线性良好，而且其温度系数比其他种类的热电堆的小一个量级。感应元件安装在双壁铜管的后座上，铜管外面镀铬，内壁涂黑。一系列光阑限制着孔径

角为 5.7° 。最内部的一个光阑在接收器圆面的边上遮成一个1毫米的圆环。这样处理是为了减少由于追踪太阳不准确而带来的灵敏度起伏的影响。圆筒的前端有一1毫米厚的石英窗，筒内充以一个大气压的干燥空气。整个仪器是密封的。管子前后两端的法兰盘上带有瞄准太阳的装置。

这种仪器的一般特性如下

灵敏度	5—6毫伏/卡·厘米 ⁻² ·分 ⁻¹
内阻	大约200欧姆
对温度的依赖关系	在 -30° — $+40^\circ\text{C}$ 范围内 $\pm 1\%$
线性响应	在4卡厘米 ⁻² ·分 ⁻¹ 以内呈线性
响应时间	1秒(1/e)或4秒(最长)

② Linke-Feussner 直接日射强度表 (图 7)

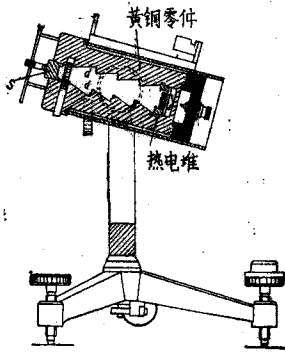


图7 Linke-Feussner 直接日射强度表

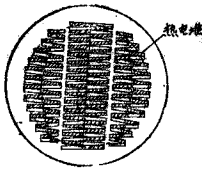


图8 Moll型热电堆

它的感应元件是一个专门设计的 Moll 型热

电堆。所谓 Moll 型热电堆，就是将厚约5微米的两种金属箔片，例如康铜-锰铜，中间焊接在一起，两端置于热容量大的金属柱上，焊接处悬空。当有辐射照射在它的上面时，两端处由于有热容量大的金属柱存在，热量迅速被导走，温度相对较低，形成冷接点；中间焊接处，由于空气绝热程度高，温度相对较高，形成热接点，这就是 Moll 型热电堆的实质。在 Linke-Feussner 辐射表中，热电堆由40对康铜-锰铜组成，排列在一个1厘米直径的圆形架上(图8)。热电堆分成两个相等的阵列，并相向连接起来。一部分用来曝光以进行测量，另一部分避光，专门用来补偿短时间内环境温度起伏所带来的影响和热电堆表面附近由准绝热压力变化所引起的热效应。这就是所谓补偿型热电堆。

仪器的内部结构有如图7所示。由六个厚的铜环组成的一套光阑，被用来减少内部反射，构成仪器的孔径角和限制仪器内部空气的湍流。这种结构再加上补偿型热电堆，使得该仪器即使在刮风的情况下也能照常使用，性能不变。这种仪器的一般特性是：

灵敏度	11毫伏/卡厘米 ⁻² ·分 ⁻¹
内阻	65欧姆
温度系数	0.2%/°C
99%的响应时间	8—10秒

二、总辐射表

所有的总辐射表都是相对仪器，都需要同辐射标准比较而校准。

总辐射表按冷接点的情况，可分为黑白型和全黑型。黑白型的仪器对我国的读者来说比较熟悉。我国过去生产的仿苏产品雅尼舍夫斯基天空辐射表就是这种类型的。它的冷接点位于白色涂料之下。全黑型的仪器，其冷接点藏在仪器体内，直接取环境温度。为了防止热接点单方面通过玻璃罩与环境进行热交换而影响测量数值，而加上了第二个

玻璃罩。为避免太阳辐射对冷接点的影响,通常这类仪器都有一圆盘式的白色防辐射盘。

一般的玻璃在 0.35—2.6 微米的波长范围内的透光率是比较稳定的,均在 90% 以上,在此波长范围内大约集中了 92% 的太阳辐射能。近来不少总辐射表都采用了由石英玻璃经冷加工磨制的半球罩。这样不仅扩大了紫外线的探测范围(红外也有部分增加),而且仰角误差和方位误差也被减至最低限度。

黑色涂料对辐射仪器的灵敏度、稳定度以及余弦响应等性能的影响是很大的。好的涂料不仅吸收率高,而且经久不变(或变化极小)。在氮气环境下蒸镀的金黑和用电镀法制的铂黑,虽然吸收率高,但一方面价格昂贵,一方面附着力极差,因此不适宜用于普通辐射仪器。目前国际上公认的是 Parson 无光黑漆,它有黑天鹅绒一般的外观,吸收率在 98% 以上,附着力强,经半年以上的曝晒,吸收率仅降低 0.5%。

仪器的灵敏度随温度的增长而下降,在 -50°C 至 $+40^{\circ}\text{C}$ 的范围内,每上升 1°C 灵敏度下降约 0.05—0.15%。这在实际应用中是非常不利的。为了改进这方面的性能,需要进行温度补偿。具体的方法是引入一个热敏电阻 (R_T),与热电堆相串联,为了根据具体情况进行调整,在线路中又引进一个辅助的分流电阻 (R_S)。这样温度补偿实际上是借助电阻的降低来达到的。具体的电路如图 9。

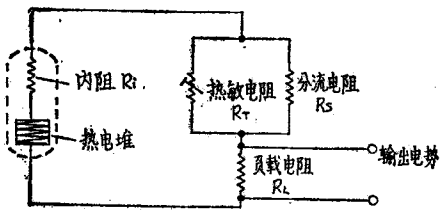


图9 辐射表温度补偿线路

下面具体地介绍几种总辐射表

① Dirmhirn-Sauberer 星形总辐射表

它利用 32 只 50 微米厚的铜片,其中一半数量涂黑,另一半涂白。两种铜片呈辐射状排列成

一直径为 5 厘米的圆盘,如星状,故此得名。黑白片借助安装在一导热条件差的环上,达到相互绝热的目的。环本身同仪器的基座之间也是绝热的。热电堆采用康铜-锰铜或铜-康铜,热接点粘附在黑片之背侧,冷接点-白片的背侧。32 对的热电堆产生 1.8 毫伏/卡厘米⁻²·分⁻¹的电势。98% 的响应时间约 20—30 秒。

这种仪器的特点是温度系数小, 60°C 的温度范围内灵敏度仅变化 1.8%。

② Eppley 精密分光型总辐射表(图 10)

它相对老式的 Eppley 产品的主要改进有:1)增加了环境温度补偿装置;2)对于偏离余弦定律的响应情况进行了光学补偿;3)可以更换多种宽带玻璃滤光罩。其主要性能为:

灵敏度	5 毫伏/卡厘米 ⁻² ·分 ⁻¹
内阻	300 欧姆
温度系数	±0.5% 从 -20 至 $+40^{\circ}\text{C}$
余弦误差	±1% 从 0° 至 80°
响应时间 (1/e)	1 秒
线性响应	在 4 卡厘米 ⁻² ·分 ⁻¹ 内

③ Robitzsch 双金属片总辐射计 这是一种简单的、不需要辅助记录设备的总辐射计。有一个杠杆传动件用来记录双金属片因温差而产生形变。由于双金属片的质量较大,仪

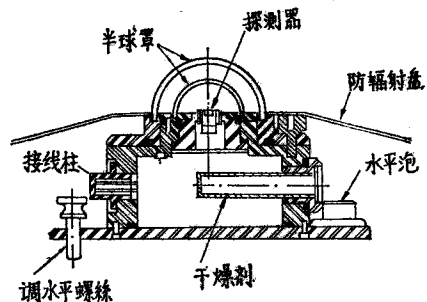


图 10 Eppley 精密分光型总辐射表

器的响应时间很长,98% 的响应需要 10—15 分。因此国际气象学和大气物理学协会辐射

委员会，除了做日总量记录外，不推荐利用它进行任何测量，即使日总量也是有保留的，因为它的检定因子每个月都有变化。

④硅光电池总辐射表 1954年开始将光电池作为感应元件制做总辐射表。这为简单、便宜的辐射测量仪器的发展开创一种可能性。根据近年来的研究，其在短期间内的标准误差为±5%。其他的优点，除了简单、便宜之外，还有响应的即时性(约10微秒)、高电流输出、电流与入射辐射之间成线性反应、对时间和天气条件都很稳定等。不足之处，首先是它的光谱选择性。硅光电池光谱响应范围为0.40—1.1微米，峰值在0.85微米附近。如果辐射的光谱分布不变，那当然就不会出现任何问题。可是实际上太阳辐射的光谱分布恰恰是多变的，太阳的高度、云量、混浊度、大气中的水汽含量以及下垫面反射特性的变化都会给光谱分布带来变化。用这种仪器测量晴天和阴天的天空辐射时，光谱的变化能产生2%的误差。由于光谱的变化，用这种仪器测量反射率时会产生更大的误差。其次，由于硅光电池本身的表面十分光滑，偏离余弦定律的情况会更加显著。

三、净辐射表(旧称辐射平衡表)

所有的辐射仪器所测定的都是感应面与其周围环境之间的能量交换。但是由于存在着对流热交换以及风的动力影响，并且后者还是一个不定的因子，为了消除其影响，在总辐射表的情况，采用的是加玻璃罩的办法，这时由于主要是测短波辐射，并且玻璃罩与感应面间的长波交换与太阳辐射比起来小得可以忽略不计。但是在测长波辐射通量时，就得另加考虑。这里已不能再用玻璃罩了，因为它对大于4微米以上波长的辐射是不透明的。净辐射表的感应元件也是热电堆，不同的是热接点在上，冷接点在下，形成两个感应面。解决上述对流热交换和风力影响的方法有如下几种：

1. 不加任何类型的罩，而是事先通过实验的方法找出风速与订正值的关系曲线，在测定辐射的同时，加测同高度上的自然风速，进而加以订正。如苏制雅尼舍夫斯基辐射平衡表。

2. 不加任何类型的罩，采用人工强迫通风的办法。通常是采用一个喷气咀均衡地吹过两个感应面，并且风量要大得使自然风的影响相形之下可以忽略不计(参看图10A)。如Gier-Dunkle净全辐射表。

以上两种仪器，由于没有罩的保护，感应面极易被污染或受损，促使仪器性能的变化。此外对于凝露、结霜等不利的天气现象也无任何抵御的能力。

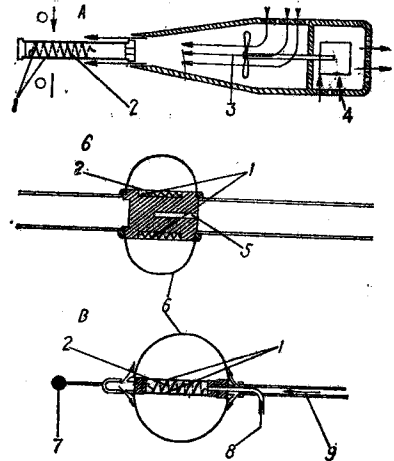


图10 净全辐射表的各种类型

1. 黑色感应面, 2. 热电堆, 3. 感应面干扰气流, 4. 电机冷却气流, 5. 测温仪器, 6. 聚乙烯防护罩, 7. 加热电阻, 8. 压缩的氮气, 9. 外部扰动气流。

3. 用KRS-5制做半球形罩。所谓KRS-5即溴化铊-碘化铊,是一种人工单晶,有毒。它是一种可透过波长至40微米的红外光学材料。但价格十分昂贵,据报道并有不利的冷流性。如美国Eppley试验室生产的

精密红外辐射表（净大气辐射表）。

4. 用聚乙烯或聚苯乙烯薄膜做半球形罩(图 10B)。这两种材料也是较好的透长波辐射（至20多微米）材料。但由于罩是由薄膜构成，只有从内部充气才能成球形。

鉴于净辐射表经常用于夜间记录，薄膜上凝霜、结露的现象应予排除。目前有两种办法：一种是加电热丝，如澳大利亚的CSIRO净辐射表；另一种是沿上下两半球形罩送风，加强扰动，如日本英弘精机生产的CN-II净辐射表（参见图10B）。

四、辐射仪器的分类及其标准

世界气象组织仪器和观测方法委员会于1965年根据各种仪器的性能参数，拟定了分类方法，其具体标准如附表所列。

总辐射表中，过去没有任何一种仪器全部达到一级标准。所谓的一级仪器是从二级仪器中精选出来的。最近据国外报道，Eppley 精密分光型总辐射表可以列入一级。双金属片和硅光电池总辐射表均属于三级的范畴。

附表：辐射仪器的分类

性能(说明)	直接日射强度表			总辐射表			净辐射表		
	标准	一级	二级	一级	二级	三级	一级	二级	三级
灵敏度(毫瓦·厘米 ⁻²)	±0.2	±0.4	±0.5	±0.1	±0.5	±1.0	±0.1	±0.3	±0.5
稳定性(每年变化的%)	±0.2	±1	±2	±1	±2	±5	±1	±2	±5
温度(由于环境温度变化所引起的最大误差%)	±0.2	±1	±2	±1	±2	±5	±1	±2	±5
选择性(由于偏离假定的光谱响应而引起的最大误差%)	±1	±1	±2	±1	±2	±5	±3	±5	±10
线性(由于未被考虑的非线性而引起的最大误差%)	±0.5	±1	±2	±1	±2	±3	±1	±2	±3
时间常数(最大的)	25秒	25秒	1分	25秒	1分	4分	0.5分	1分	2分
余弦响应(晴天, 太阳高度角10°时偏离设定的%)				±3	±5-7	±10	±5	±10	±10
方位响应(晴天时偏离设定的%)				±3	±5-7	±10	±5	±10	±10

能见度观测

一、关于能见度概念

能见度是这样一个最大距离，在这个距离上物体可以被看见。世界气象组织对气象能见度的规定在白天是指这样一个距离，在这样距离上可以看到和辨认出一个以水平天空为背景的相当大的物体。在夜晚是指这样一个最大距离，在这个距离上可以看到中

等强度的灯光。根据这种定义，在夜间观测能见度有很多困难，因为它与发光能见目标的选择有很大关系。为此，有些国家应用白天等效能见度来定义和估计夜间能见度，把夜间能见度也规定成这样一个最大距离，如果保持大气透明状态不变，在白天将能看到标准暗目标的最大距离。

能见度是一个复杂的心理-物理现象，它

与许多因素紧密相关，其中包括人的视觉条件，因此，它的估计受具体人的知觉和反映能力的影响，在能见度的估计上存在一定的主观因素。

除了主观因素外，还有一些客观因素影响能见度，这些因素是：

a) 物体（或光源）的光度学特征和尺度特征，即物体被照射的光亮程度（或发光程度）和其外观的大小。这些特征都是可以测量的，因而是确定的。

b) 目视知觉条件，主要指照度的视觉阈值和对比度的阈值，也包括外来光和观测者的观测位置。在光学中对照度的视觉阈值和对比度阈值已做了详细研究。世界气象组织规定，气象能见度的对比度阈值取0.025，计算跑道视程对比度阈值可取0.05。

c) 目标物和观测者之间大气的光学状态。描写大气光学状态的基本参数是消光系数。

影响能见度的三个因素中唯有大气的光学状态直接与气象条件有关，为了客观地表示大气的光学状态，有人提议用气象光学距离来代替能见度。气象光学距离是假定对比度阈值为0.05时人的眼睛刚好能辨认出物体的距离。在正常情况下它与现在应用的能见度一致，但有较严格的物理依据。这一提议是在世界气象组织仪器和观测方法委员会第七次会议上提出的，还没有形成决议。

二、关于能见度测量

五十年代以前，能见度是由气象台站的观测员目测，因此它有很大的主观随意性。随着航空事业的发展，飞机的着陆和起飞需要精确的能见度资料，为此发展了跑道视程测量系统。为了满足海运、公路铁路运输的需要，发展了雾天能见度测量仪器。能见度测量仪器都是应用光学测量方法，主要是测量能见距离。

跑道视程是这样—个最大距离，在飞机

着陆或起飞方向，在这个距离内，驾驶员能看见跑道，跑道灯或规定的目标物。在计算跑道视程时要考虑跑道光，标志物的特征，考虑背景亮度对驾驶员眼睛的影响。过去规定飞机着陆时跑道视程的极小值是800米，起飞时是300米。现在，由于自动着陆系统的发展，使跑道视程的极小值有减小的倾向。

驾驶员通过两种方法看到跑道：一种是检测跑道与它的环境或目标之间的对比度（简称跑道对比度）。另一种是检测跑道光。

1. 根据跑道对比度计算跑道视程

对于以水平天空作背景的暗目标，视觉对比度随距离按科希米特定律变化

$$c = e^{-\sigma d} \quad (1)$$

c 是视觉对比度，等于目标和背景之间的相对亮度差。

σ 是消光系数，它可决定在任意情况下大气的透明度。

d 是观测员离目标物的距离。

如果目标物是刚刚能看见，这意味着对比度等于眼睛的对比度阈值 ϵ 。这时的 d 便表示能见距离，并改记为 V 。则

$$\epsilon = e^{-\sigma V} \quad (2)$$

或者
$$V = \frac{-\ln \epsilon}{\sigma}$$

对气象能见度，对比度阈值通常取0.02，于是

$$V_2 = \frac{3.91}{\sigma}$$

V_2 是对比度阈值为0.02时的能见距离。

对跑道视程，对比度阈值通常取0.05，于是

$$V_5 = \frac{3}{\sigma}$$

或者
$$V_5 = -\frac{3B}{\ln T} \quad (3)$$

其中 B 为基线长度, T 是透射表测得的透射系数 (或透射率)。根据透射表测得的数据便可以计算跑道视程。

2. 根据跑道光计算跑道视程

根据阿拉德定律, 离开强度为 I 的点光源 d 处的照度 E 为

$$E = \frac{I}{d^2} e^{-\sigma d} \quad (4)$$

如果这点光源刚刚能被看见, 则

$$E_t = \frac{I}{R^2} e^{-\sigma R} \quad (5)$$

E_t 是照度的视觉阈值。

R 是光的能见距离。

如果用基线长度 B 和透射率 T 表示则为

$$T = \left(\frac{E_t R^2}{I} \right)^{\frac{B}{R}} \quad (6)$$

如果透射率输出用上边介绍的 V_5 表示, 可得到如下方程式

$$V_5 = -\frac{3R}{\ln E_t} \quad (7)$$

根据这个方程式就可以计算光的能见距离。

在计算跑道视程时, 跑道视程计算机一般能根据背景亮度, 从四种照度阈值中选择一种:

	背景亮度	照度阈值
夜 晚	小于 50cd/m ²	10 ^{-6.1} 流明
黎明黄昏	50—1000cd/m ²	10 ⁻⁵ 流明
正常白天	1000—12000cd/m ²	10 ⁻⁴ 流明
明亮白天 (如日耀雾)	大于 12000cd/m ²	10 ⁻³ 流明

这些关系符合世界气象组织仪器和观测方法委员会的规定。

国际民航组织规定了报告跑道视程的步长, 在 800 米以内是 30 米到 60 米, 超过 800 米则步长为 100 米, 这样在 0—2000 米范围内有 30 个步长。跑道自动测量和显示系统的显示单元就按这种步长显示跑道视程。

在跑道自动测量和显示系统中主要是选用透射表来测量大气透射率, 进而计算跑道视程。在海港、公路铁路运输及自动气象站则采用散射型能见度仪器测量大气的混浊度, 测量雾天的能见距离。通过电子计算机, 已经实现了能见度测量和显示的自动化。

(周景林 刘志刚)

能 见 度 测 量 仪 器

能见度观测在航海、铁路公路运输上是很重要的, 对航空尤为重要。

五十年代以前, 由观测员目测能见度。五十年代中期出现了透射型能见度测量仪器, 根据光的透射率来确定能见距离。六十年代又出现了散射型能见度测量仪器, 根据光的散射特性来确定能见距离。

一、透射型能见度测量仪器

1956 年西德生产了斯科普透射表。外形见图 1。

透射表用来测定沿跑道的大气透射率, 确定跑道视程。目前国外一些机场沿跑道配备了跑道视程测量系统。该系统通常配有三个透射表、一个背景亮度表、一个跑道视程

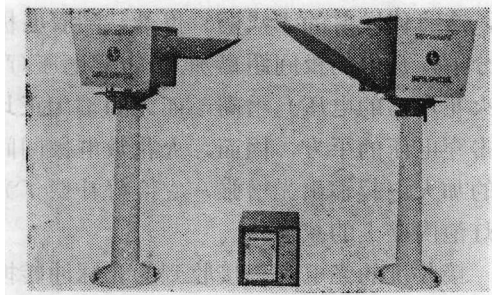


图1 斯科普透射表外形

计算机和数字显示器，能够自动测量和显示跑道视程。

这种系统又可分为两类。

第一类是光发射器和接收器在同一个装置里，在一定的距离设置反射器。这一定距离称为基线。从发射器发出的光被分成二束，一束光经大气射到反射器上反射后被接收器接收；另一束光不进入大气，而是作为参考光，直接进入接收器。用双光束光度比较法确定透射率。早期采用的光源通常是连续的白光而不是脉冲光，对光源发出的光需要调制。采用一个机械式的光斩波器把光源发出的连续光调制成具有一定频率的脉冲光。对斩波后的光束进行比较有很多优点，它不受光源亮度变化、光电管灵敏度、元件老化等因素的影响；外来光、背景光、后向散射光等都不影响测量精度。近年来广泛使用脉冲光，可以不用斩波器。基线的选取应与要求报告的跑道视程相适应，而且与跑道标志灯照明系统和透射表的性能有关。如果视程测量范围较大，基线应该选得长一些。有的机场采用双基线系统，如图2所示。通常一个反射



图2 双基线透射表系统

器位于15米处，能见度低时用；另一个反射器位于150米处，能见度高时用。反射器的

个数还可以增多，瑞典一个机场沿跑道设置九个反射器，来测量跑道视程和气象能见度。

第二类是发射器和接收器分别设置。在基线的两端。发射器发出稳定的脉冲光，接收器在基线的另一端接收经过空气透射过来的光强，确定能见距离。这一类系统的基线可从25米到600米，基线可以取得很长。由于基线取得较长，取样体积大，因此测量精度较好。

仪器的光学单元备有加热器以消除水汽凝结或结冰。还有防护设备，防止昆虫、鸟类、灰尘、雨、雪等进入。金属部件采用铝和不锈钢，以充分适应各种气象条件。

二、散射型能见度测量仪器

透射型能见度测量仪需要基线，占地范围大，不宜应用到海岸台站、灯塔自动气象站和船舶上。1958年，有人从实验发现通过测量散射光可以确定能见距离。以后陆续研制出散射型能见度测量仪器。这类仪器是单端设备，安装使用简单，便于应用。

大气的消光作用是由于二个过程，一个过程是光被大气和悬浮在大气中的微滴和微粒所吸收；另一个过程是光被大气和悬浮微滴和微粒在所有方向所散射。除显著的烟雾大气，散射是最重要的过程。因而总散射的测量可以很好地测定能见度。然而，在实际上，我们还不能制造出测量总散射的装置，虽然现在也有所谓总散射仪，但它们不是严格意义上的总散射仪，只是它们测量的角度范围很宽。根据测量角度范围的不同，散射型能见度测量仪器可分为后向散射仪，前向散射仪和总散射仪。

1. 后向散射仪

1960年西德研制了“视频图象”后向散射仪，外形见图3。

该仪器包括稍稍向上倾斜的发射光脉冲的发射机和在发射机上面的光敏接收机。发

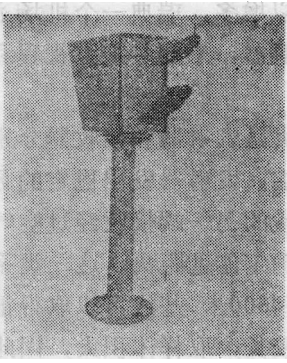


图3 “视频图象”后向散射仪

射机与接收机的光轴在大约15米的距离上相交。这样大的距离足以防止仪器和仪器支架的热量对后向散射取样空气的影响。发射光束射在取样空气上，被这个区域内的气溶胶散射，而后由接收机接收。因为后向散射光的光强与能见度有关，通过测量后向散射光就可确定能见度或其他相关的量。图4为“视频图象”后向散射仪的示意图。

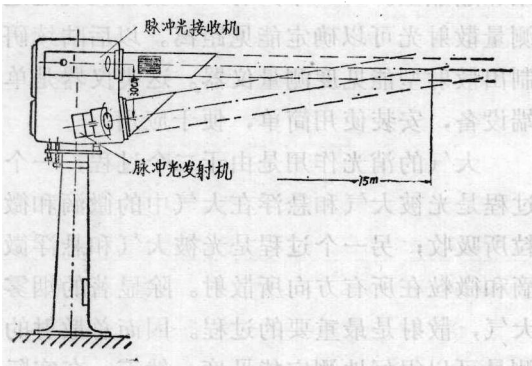


图4 “视频图象”后向散射仪示意图

发射机用闪光灯发射脉冲光。使用脉冲光可以把被测的散射光与杂散光区别开，因而可以不采用光斩波器。闪光灯充以氙气和微量带负电的气体。在闪光灯电路中没有单独的或附加的补偿或调整装置来确保向发射机提供固定的光脉冲输出。高稳定性的获得是依靠灯泡内部的补偿作用。闪光灯工作时，电极端部将逐渐分解，分解出来的电极物质以微粒的形式均匀地分布在灯泡内壁表面

上，这将使发射的光减弱。但是，随着电极的分解，放电的极间距离加大，击穿电压（产生火花所需的电压）增高，而光的输出正比于击穿电压的平方，因而，火花放电极间间隙的加大引起输出光增强，它恰好补偿了光在灯泡内壁上的减弱。

接收机的光电管把接收到的光脉冲转换为电脉冲。光电管的线性度和稳定性是经过特别选择的。记录器和显示器以能见度标定刻度。除了在测站显示能见度数值外，当能见度达到某一规定值时，可以启动报警喇叭、报警灯或高强度灯塔信标。

该仪器备有检定器，当需要重新检定时，把检定器安在它上边便可以很方便地进行检定。该仪器还备有自检装置和自动防止故障装置。当电源失效或闪光灯的闪光频率与正确值的偏差超过允许范围时，便启动报警信号。对无人自动站，报警信号一直持续到故障被排除为止。检验设备每天两次检验放大器的功能是否正常。在有人的测站，通过控制按钮可随时进行检验。

关于后向散射与能见度关系这一复杂问题目前还没有令人满意的理论。有人认为如气溶胶微粒大小都一样，而且采用单色光，便不能用后向散射来确定能见度。但是，实际上大气中的微粒是有粒度分布的，而且采用的是白光，理论和实验结果均表明可以用后向散射来测量能见度。在混浊度高的情况下（能见距离在10公里以内），用后向散射仪能更好地测出能见度的微小变化，混浊度越高可靠性越大。当能见度较好时（能见距离在20公里以上），透射表比后向散射仪好。

从1968年开始对后向散射仪进行了外场试验，试验表明后向散射仪适合于气象部门的日常业务工作。

瑞典使用的FDBV-100型雾检测器也是后向散射型能见度测量仪器。通过滤光镜得到红外光，用红外光的目的是防止与导航灯光混淆。配有机械式光斩波器。图5为其

示意图。

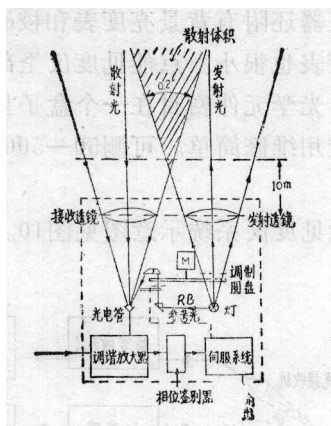


图5 FDBV-100型雾检测器示意图

从光源发出的光经斩波器斩波。斩波器是由马达带动的调制圆盘。调制后变成脉冲光，由发射透镜发射。散射区域在接收机前10—200米。被散射的光经接收透镜进入光电管。另一束调制光作为参考光束不进入大气而直接进入光电管，两束光进行比较。经光电管变成电信号后放大输出。

苏联在六十年代中期研制的M-71型混浊度测定仪也是后向散射型能见度测定仪。该仪器也备有自动校准设备进行自检。

2. 前向散射仪

1975年西德生产了前向散射仪。用氙灯做脉冲光源，通过测量前向散射来确定能见距离。可测20—3000米的能见距离。外形见图6。

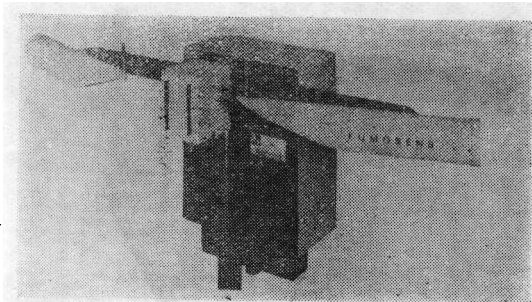


图6 西德前向散射仪

仪器结构的示意图见图7

仪器主要由闪光灯发射机和光电管接收

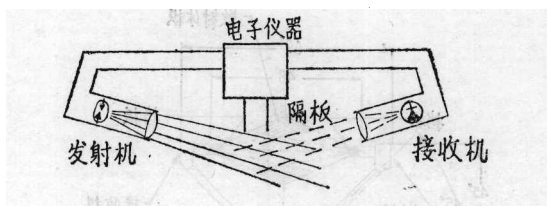


图7 西德前向散射仪示意图

机组成。闪光灯产生的脉冲光使得接收机能把要检测的信号与日光或其他杂散光区别开来。在闪光灯与光电管之间放置隔板，使得闪光灯发出的光不能直接进入光电管。当大气很清洁时，没有散射光进入光电管。当空气混浊，能见度不好时，被雾滴散射的前向散射光进入光电管。在光电管电路产生的电流被放大，电流值的变化范围从0到1毫安，每个电流值对应一个能见度值，可以做出能见度-电流曲线。根据使用目的不同，通常做两种曲线。一种曲线是为高速公路应用，能见距离的变化范围为5—800米；另一种曲线为气象应用，能见距离的变化范围为50米到20公里。当能见度很高时，曲线上的对应点彼此靠得很近，测量精度下降。

该仪器的散射体积小，因而可以使仪器很精巧，但散射体积小也有毛病，仪器架上的细尘被风吹进散射体积，将影响测量精度，因此应当经常清擦干净，或者把整个装置罩起来，使杂质不能进入。

输出电流可启动继电器控制雾警照明或速度限制信号。该仪器还有一个自检电路，检验发射机、接收机和电源的功能是否正常。还配有白天黑夜转换器。对夜间能见度进行自动订正。

美国EG和G公司生产的207型能见度仪也是前向散射型能见度仪器。图8为其结构示意图。

散射体积为环形，光源用石英卤素灯。测量20—50°的前向散射。

英国普莱西公司生产的点能见度仪也属

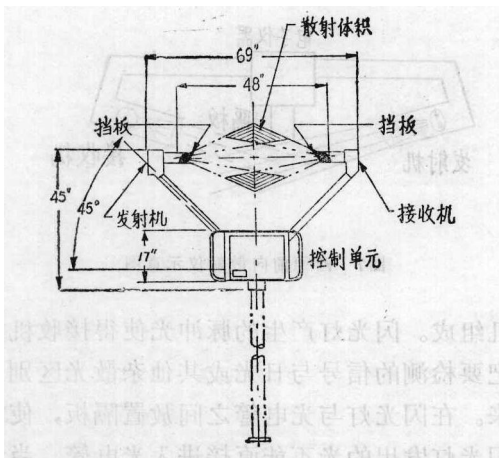


图8 EG和G公司207型能见度仪示意图

于前向散射型能见度仪器。它能自动监测在某点雾的浓度，通过测量消光系数得出气象视程。该仪器结构紧凑，外形见图9。

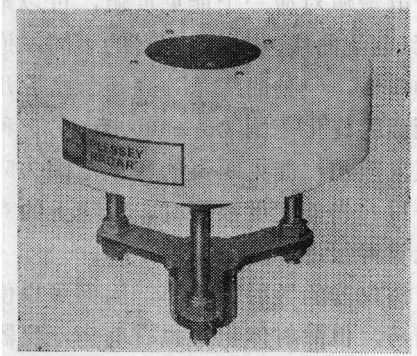


图9 普莱西公司点能见度仪

该仪器重6公斤，外形尺寸为280×280×260毫米。中间为散射取样体积。由发光镓砷二极管发出的光通过中央取样体积投射到基准光电管上。另一个光电管用来接收选定角度的散射光。散射信号被放大和滤波，提供一个与消光系数成正比的直流电压输出。同步检测系统和光源调制系统使散射光的检测能更好地进行，并把校准误差减到最小。光学表面安装在防

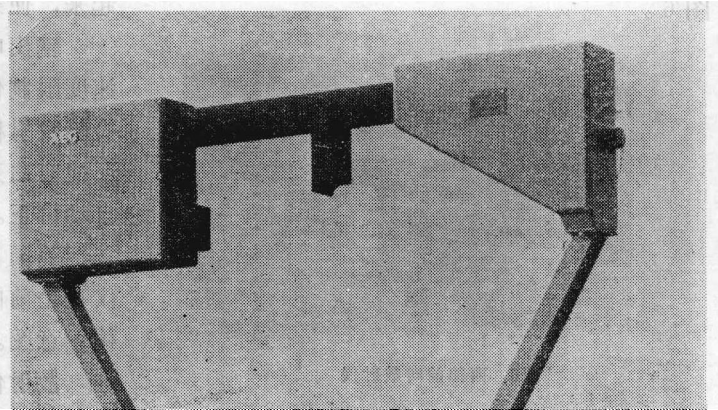


图11 MSO5型散射光记录仪

雨防雾的位置，并有小型加热器防止水汽凝结。本仪器还附有背景亮度表和校准装置。背景亮度表也很小。点能见度仪全部使用固态元件，光学元件密封在一个盒子里。安装容易，使用维修简单。可测50—5000米的气象视程。

点能见度仪系统示意图见图10。

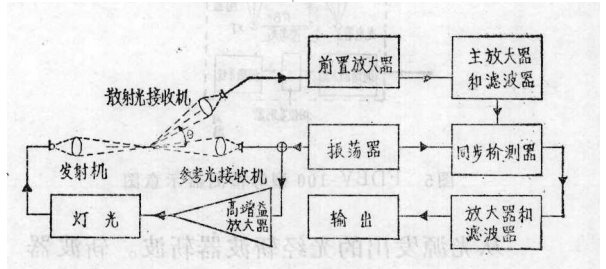


图10 点能见度仪系统示意图

3. 总散射仪

美国气象研究公司生产的1580A型雾能见度仪，西德通用电气公司和航空宇航实验研究所共同研制的MSO5型散射光记录仪属于总散射仪。

MSO5型散射光记录仪以闪光灯做光源，测量10—120°范围的散射光，测量范围为50米到40公里。闪光灯可以使用一年，它是一种自动测量和记录视程的设备，适用于航空、航海、公路、铁路和气象部门。外形见图11，