

ITU-R RS.1744 建议书

在 272-750 THz 频率范围内运行的地面气象

援助系统的技术和运行特性

(ITU-R 235/7 号研究课题)

(2006 年)

摘要

使用光学频率范围内的频谱的地面气象传感器系统，典型工作在 272-750 THz 频带范围内，被许多气象业务以及其他对气象和气候研究感兴趣的组织所使用。本建议书规定了运行在 272-750 THz 光学频率范围内、典型的 MetAid 系统的运行和技术特性。

ITU-R RS.1744 建议书
在 272-750THz 频率范围内运行的
地面气象援助系统的技术和运行特性
(ITU-R 235/7 号研究课题)

范围

本建议书规定了运行在 272-750 THz 光学频率范围内、典型的 MetAid 系统的运行和技术特性。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 272-750 THz (以下称为光学的) 频率范围内的观测提供了对于运行气象学以及大气和气候的科学研究十分重要的数据;
- b) 光学频率范围内的频谱为有源的和无源的气象传感器系统以及许多其他应用所使用;
- c) 为了提供更高的准确度和分辨率, 气象传感器应用光学频谱的技术正在不断地发展;
- d) 光学频率范围内的频率正在被数据链路、距离测量设备和地面、空间平台上的其他有源系统使用, 由于这些系统迅速扩大并在数量上迅速增加, 光学气象传感器与其他光学系统之间的干扰可能会增加;
- e) 运行在光学频率范围内有源和无源系统的许多应用与电磁频谱内较低频率上的那些应用十分相似;
- f) 为了确保地面光学气象传感器能够继续没有干扰地运行, 应适时考虑保护措施的性质和共享事宜,

建议

- 1 运行在光学频率范围内的气象设备的运营者在他们选择观测站地点和设计传感器时, 应该考虑来自其他光学发射机干扰的可能性;
- 2 研究对光学气象援助系统的干扰和来自光学气象设备系统的干扰, 应该考虑在附件 1 中规定的技术和运行的参数。

附件 1

1 引言

使用光学频率范围内频谱的地面气象传感器系统，典型工作在 272-750 THz 频带范围内，被许多气象业务以及其他对气象和气候研究感兴趣的组织所使用。本附件规定了一组典型气象传感器的运行和技术特性，这些传感器以光学频率发射和接收信号。

2 激光云高计

2.1 云高计的技术特性

云高计包含一个作为发射源的激光器和一个用做接收机的光电探测器。激光云高计使用不可见的激光辐射探测云层，来检测并报告大气中的云层。激光云高计通过向大气中发射一个脉冲的激光，并检测返回的光来工作，返回的光像是被光线路径上的物体反射回云高计一样。记下发射和接收之间的时间间隔，就能计算出在云高计上方颗粒（如云中的水滴或者冰晶）的高度，并报告给数据采集组件。

云高计是光检测和测距（LIDAR）设备，根据对反向散射光的基于 LIDAR 公式的电子解释来确定云层的高度：

$$Pr(h) = E_0 \times \frac{c}{2} \times \frac{A}{h^2} \times \beta(h) e^{-T} \quad (1)$$

其中：

$Pr(h)$: 接收到的来自高度 h 处的瞬时功率（W）

E_0 : 补偿过光学衰减、有效的脉冲能量（J）

c : 光速（m/s）

A : 接收机孔径（m²）

h : 反向散射光的起始高度（m）

$\beta(h)$: 高度 h 处的容积反向散射系数，一部分的光被反射回到云高计（m⁻¹sr⁻¹）（sr=球面度）

T : 大气透射率，说明的是发射功率、反向散射功率在发射机与反向散射的最高点之间各个高度上的衰减；在透明的大气中（即没有衰减） T 等于 1；LIDAR 公式中的这一项考虑到了确定哪个反向散射信号来自云层的相互作用，哪个反向散射信号来自其他的障碍物如雾或者降水。

2.2 典型的云高计系统 A

系统 A 能够测量高约 3 700 m 的云，为了支持航空运行和天气预报活动，该系统采用了其他的天气监测设备，如能见度、降水、温度和露点传感器。

系统 A 通过向大气中发射脉冲激光，如果存在来自大气中颗粒的反向散射光，测量其到达设置在附近的接收机所需要的时间来确定云高。每个测量周期发射一个标称波长为 904 nm (331.8 THz)、持续时间为 150 ns 的激光脉冲。于是，为了在每个测量周期内提供 254 个存储数值，代表 3 850 m 上方 15 m 的高度分辨率，接收机将在 25.4 μs 内每 100 ns 进行读数并处理。对每个测量周期，可以获得云高计上方 0 到 3 850 m 垂直大气柱体的空间密度分布图，解读该分布图就可获得云高和云层数据，对多个测量周期的结果进行平均可使得错误读数的影响最小化。

2.2.1 发射机装置

砷化镓 (GaAs) 激光二极管以 620 Hz 至 1 120 Hz 之间的重复频率发出波长为 904 nm 的脉冲，为了产生 5 mW 的稳定平均功率，准确的重复频率采用处理器控制，其标称的出厂设置为 770 Hz。

每个激光脉冲均以 30° 的张角发射。采用有效直径为 11.8 cm、焦距为 36.7 cm 的透镜来聚焦入射的光束，当用直径为 7 mm 的孔径进行测量时，最大辐照度为 50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

发射机装置包括一个光监测器，用来确定输出激光的功率和输入自然光的功率。指向下方的光电二极管用来监测输出激光的功率。周围干扰光电流的峰值，要比激光脉冲的电流要小得多，因而不会影响激光功率的导出。激光的峰值发射功率为 40 W，激光功率监测器的输出信号是主处理器板的输入，用来限制平均发射功率到 5 mW。最大偏差垂直方向 5.7°、指向上方的光电二极管用来监测输入光，它的信号是任选日光快门电路和用于监测的主处理器的输入，日光快门电路将在下面讨论。天空光线监测器的灵敏度大约为 0.4 A/W。透明大气天空中的直射阳光产生大约 1 200 W/m^2 的辐照度和 1.1 mA 的典型电流。透明蓝天典型地会产生 10 μA 的自然光监控电流；室内条件典型地产生小于 1 μA 的电流。

系统 A 设计的云高计安装在北纬 30° 到南纬 30° 之间热带区域时，会在发射机装置上配备任选的日光快门。快门可保护发射激光不会受到直射阳光的损害，当直射阳光能够进入透镜系统时，快门关闭盖住发射透镜。配备日光快门的云高计也配备了热带接收机装置，该装置的滤波器和安装架与安装在标准接收机装置上的不同。

2.2.2 接收机装置

采用有效直径为 11.8 cm、焦距为 8.4 cm 的透镜来聚焦由大气中的颗粒反向散射回到硅雪崩二极管的光。光电二极管的灵敏度会随着温度而变化，这可以用接收机电路中对偏置电压的依靠温度的控制来补偿。

为了屏蔽背景辐射噪声，在接收机的透镜上安装一个带宽为 50 nm 的干扰滤波器。一个配备了任选日光快门的特殊滤波器安装在装置上。

2.3 典型的云高计系统 B

系统 B 云高计的运行准则与系统 A 相同，它们的区别将在下文概述。系统 B 能用于确定高达 7 300 m 的云高和垂直能见度，能够同时探测 3 个云层。除了探测云层以外，它能够确定降水或者其他视觉障碍的存在。

2.3.1 发射机装置

砷化镓激光二极管以 5.57 kHz 的重复频率发射波长为 905 ± 5 nm (331.5 THz)、持续时间为 100 ns 的脉冲，峰值发射功率为 16 W，产生的平均功率为 8.9 mW。

2.3.2 接收机装置

为了屏蔽背景辐射噪声，在系统 B 接收机透镜上安装一个带宽为 35 nm、中心为 908 nm 的干扰滤波器。905 nm 处的响应度出厂设置为 65 A/W。

表 1
云高计特性

参 数	系统 A	系统 B
<u>发射机激光和光学系统</u>		
峰值功率	40 W	10-20 W
持续时间 (50% 电平)	135 ns (典型)	20-100 ns (典型)
能量 (直径 = 118 mm)	6.6 μ Ws	
重复频率	620-1 120 Hz	5-10 kHz
源	砷化镓 (GaAs) 二极管	砷化镓 (InGaAs) 二极管
波长	904 nm	855/905/910 nm, 在 25°C 时
运行模式	脉冲的	脉冲的
发射的脉冲能量	6 μ J \pm 10%	1-2 μ J \pm 20%
平均功率	5 mW	5-10 mW (全范围测量)
最大辐照度	50 μ W/cm ² , 采用直径为 7 mm 的孔径测量	170 -760 μ W/cm ² , 采用直径为 7 mm 的孔径测量
光学系统焦距	36.7 cm	35-40 cm
有效的透镜直径	11.8 cm	6-15 cm
发射机波束发散	最大 \pm 2.5 mrad	\pm 0.4 - \pm 0.7 mrad
透镜透射率	典型 90%	典型 96%
窗口透射率	典型 97%, 干净的	典型 98%, 干净的
<u>接收机光学系统</u>		
探测器	硅雪崩二极管	硅雪崩二极管
响应度	40 A/W, 在 904 nm 处	65 A/W, 在 905 nm 处
表面直径	0.8 mm	0.5 mm
干扰滤波器	940 nm	典型的中心波长为 908 nm
滤波器 50% 通带	典型 880-940 nm	35 nm 典型在 880-925 nm
滤波器在 904 nm 处的透射比	典型 85%, 最小 60%	典型 80%, 最小 70%
焦距长度	15.0 cm	
接收透镜有效直径	11.8 cm	
视场发散	\pm 2.7 mrad	\pm 0.66 mrad
透镜透射率	典型 90%	典型 96%
窗口透射率	典型 97%, 干净的	典型 98%, 干净的
<u>光学系统</u>		
透镜距离, 发射机-接收机	30.1 cm	
激光波束, 进入 Rx 视场	30 m	
90%的激光波束在接收机的视场内	300 m	
性能		
测量范围	0 到 3 700 m	0 到 7 300-13 000 m
分辨率	15 m	3-15 m
采集时间	最大 (对于距离 3 658 m) 30 s	2-120 s
系统带宽 (3 dB)	低增益时 10 MHz, 高增益时 3 MHz	3 MHz
容许降水量	有限范围, 每小时达 7.5 mm	

3 能见度传感器

3.1 能见度传感器技术特性

能见度传感器提供了一种自动计算当前能见度等级的手段，以及表明当前白天/夜晚的状况。测量能见度的传统气象学方法是确定在有雾/云的背景中能够看到一个黑色目标的最大距离。能见度传感器提供了能见度自动测量手段，通过能见度传感器，运用前向散射技术可以测量环境气象的视觉距离（能见度），这项技术包括发射氙气闪光灯穿过部分大气层（对光产生散射），并且测量散射光的能级来确定损耗。根据接收到的来自散射氙气闪光灯源的光的数量来计算消光系数，然后将这个系数转化为能见度数值。能见度传感器也可以计算和输出白天或夜晚指示，同从环境光传感器获得的一样。

3.2 典型的能见度传感器系统

典型的能见度传感器能够提供高达且包括 16 km、与能见度等效的消光系数。白天/夜晚装置能依据周围光线的能量来指示白天或夜晚的状况，可在周围光线的能级高达 540 lux 时运行。白天/夜晚传感器将光照度大于 32 lux 表示为白天，光照度低于 5 lux 表示为夜晚。在光照度从 32 到 5 lux 的范围内（当光照度减少时），只发生一次白天指示到夜晚指示的转变，而在光照度从 5 到 32 lux 的范围内（当光照度增加时），只发生一次夜晚指示到白天指示的转变。白天/夜晚传感器指向的方向与接收机指向的方向相同。

能见度传感器有一个或两个安装在电子装置外壳上的 EMI 滤波器（基于设备的型号）。

3.2.1 发射机装置

发射机装置中氙气灯泡的闪烁产生用于散射的可见光，发射装置内置的固定透镜将光线聚焦到散射体上。

3.2.2 接收机装置

接收机装置检测到经过大气散射以后发射氙气光，探测器是一个安装在接收机金属罐里的正一本征一负（PIN）光电二极管。接收机装置内置的固定透镜将光聚焦到二极管上，光电二极管将光能转换为用于信号处理的电流。

白天/夜晚装置是一个光度计，它通过安装在透明窗口后的光电二极管来检测光线。光电二极管被放置在合适的位置，以便使它的视场有 6°仰角。

表 2
能见度传感器特性

参 数	系统 A	系统 B
源	氙气闪光灯	红外发光二极管
波长	400-1 100 nm	400-1 100 nm
脉冲重复率	0.1-1 Hz	1 Hz
接收机传感器	PIN 光电二极管	硅光电二极管
主要观测方向	水平的	20°俯角
视场	6°仰角	9 mrad
接收机带宽	400-700 nm	400-700 nm
光学传感器损坏的能级	比直射阳光强烈	比直射阳光强烈
传感器能见度测量范围	可达 16 km	可达 75 km

4 降水传感器

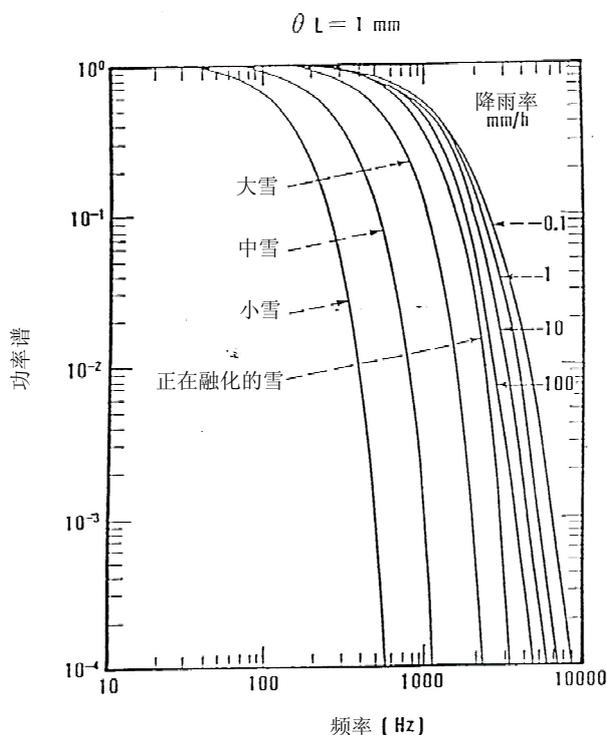
4.1 技术特性

降水传感器，也被称做前向散射传感器，用于评估降水的发生（真的或者假的）和降水的特性（雨、雪等），如果存在降水的话。它们也可用于能见度的测量。测量降水参数的方法已经集中在运用光学和微波技术。基于衰减（或吸收）、散射、多普勒效应或者从发射机到接收机能量来源的变化，能够对测量参数定标。

在这里概要介绍的降水传感器利用了当干扰颗粒（降水）与部分相干光源相互作用时产生的散射效应，这些由颗粒引起的入射光源散射会导致接收机闪烁。为了度量降水参数，可以检测气象颗粒下降通过光束时引起的闪烁并取平均。发生闪烁时瞬时功率谱会随着降水的大小和下落的速度而变化，对于不同的降雨率和不同类型的雪，功率谱如图 1 所示。

图 1

下雪引起闪烁时的瞬时功率谱与不同降雨率时的功率谱对比显示



闪烁技术只能检测由移动颗粒产生的信号，因此不会受到由雾、霾、灰尘和烟产生污染的影响。采用水平的接收孔径进一步加大了水平运动与垂直运动之间的区别，而垂直运动是下降雨水的主要分量。采用束内载波信号的强度对闪烁进行归一化，来消除由光源亮度变化、光学器件上的灰尘等引起的误差。

4.2 典型降水传感器系统

降水传感器利用由气象颗粒引起的光源闪烁，如红外线发射二极管（IRED）系统，来辨别降水的状态和类型（雨、雪、细雨等）以及度量降水的强度。典型传感器包括两个主要的装置：U型机架装置和一个主要的电气盒装置。发射机和接收机传感器的前端安装在机架装置相对的两端。发射机和接收机传感器的前端典型分开 1 m 左右。

检测到的闪烁的瞬时功率谱经过内部处理器的计算，并与归一化的参考值进行比较从而确定当前的降水参数。在本系统由降水引起的功率谱中，产生最小能量的典型频率大于 5 kHz，因此发射信号要经过载波信号的调制，从而在各种背景光污染的情况下确保足够的信噪比，这个载波调制信号会被穿过光束的颗粒进行幅度调制。为了对降水的水平运动敏感，接收机光学装置采用水平线孔径。

为了减少潜在的与 EMI/RFI 有关的问题，主要电子装置的外壳采用埋入定向蒙乃尔合金线的硅橡胶 EMI 垫圈进行精确的滤波。

4.2.1 发射机装置

典型的降水传感器采用红外线发射二极管作为发射源，发射源通过发射机装置中的透镜来聚焦。

4.2.2 接收机装置

典型地用 PIN 发光二极管来检测已调制的光。为了使由装置振动引起的信号波动最小化，接收机设备采取较大的接收角度。接收机使用与发射机相同类型的透镜。

表 3
降水传感器特性

参 数	系 统 A	系 统 B
发射源	红外线发光二极管	二极管
源波长	880 nm	870-920 nm
发射功率	10 mW	2-20 mW
透镜特性	175 mm/f3.5	未规定
调制频率	不详	2.0-4.0 kHz
接收机传感器	PIN 光电二极管	硅光电二极管
接收机带宽	780-1 100 nm	780-1 100 nm
模片尺寸	2.75 mm ²	未规定
透镜特性	175 mm/f3.5	未规定
滤波器装置	1mm 水平方向的插槽，采用第 87C 号 滤波器	中频滤波器
接收机传感器损坏的能级	比直射阳光强烈	比直射阳光强烈
主要观察方向	水平	水平以下 20°
接收机观察视场	100 mrad	100 mrad
光学距离	0.5 m	0.3-1.0 m

5 阳光传感器

阳光传感器是无源的传感器设备，能自动地测量来自太阳总的和扩散的辐射，以及一天当中明亮阳光的时间。阳光传感器被用于各种各样的应用，所有这些应用都依赖于检测明亮阳光的状态和/或阳光辐射的能级。世界气象组织（WMO）对于明亮阳光的定义是在直射阳光波束中亮度级别大于 120 W/m^2 。显然，阳光传感器被用于运行和研究气象，但是也可用于一些应用，如建筑物加热/制冷和阳光阴影管理、农学和农业以及气候学。

虽然有若干个不同类型的传感器正在使用，但它们工作的基本原理都相同。传感器单元包括一个或多个光电二极管，一些传感器单元则有多个光电二极管。系统之间设计上的区别在于如何检测扩散的和直射的阳光。为了检测这两个参数，必须能够让一个传感器在一天中的任何时刻都处于直射阳光下，还必须能够为至少一个传感器遮挡直射的阳光，为光检测器遮挡阳光的方式各不相同，有些设备采用遮光环，将其放置在传感器与太阳在一天当中移动的弧线之间，另外的设备旋转传感器以便传感器能够交替地观测直射的和扩散的阳光，第三种设备包括一排传感器，并在它们上方放置一个遮光型板，这样至少有一个传感器能被遮挡，至少有一个传感器能够在一天中的任何时刻直接看到太阳。

表 4
阳光传感器特性

参 数	系统 A
探测器类型	光电二极管
遮阳板类型	在多个光电二极管上方的型板
PAR 灵敏度范围	0-2 500 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$
PAR 测量分辨率	0.6 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$
能量灵敏度范围	0-1 250 W/m^2
能量测量分辨率	0.3 W/m^2
亮度灵敏度范围	0-200 klux
亮度测量分辨率	0.06 klux
频谱响应带宽	400-700 nm
响应时间	<200 ms

6 亮度传感器

亮度传感器是度量大气背景亮度的计量系统，背景亮度对于评估由能见度传感器（大气透视计）测得的能见度有影响。亮度传感器是无源器件，与阳光传感器十分相似。

表 5

亮度传感器特性

参 数	系统 A	系统 B
探测器类型	硅光电二极管	硅光电二极管
亮度灵敏度范围	不详	2-40 000 cd/m ²
亮度测量分辨率	不详	1 cd/m ²
频谱响应带宽	400-700 nm	400-700 nm
主要观察方向	30°仰角	30°仰角
接收机观察视场	87 mrad	105 mrad
传感器烧坏的能级	比直射阳光强烈	比直射阳光强烈