

ITU-R RS.1804建议书*
在 3 000 GHz 以上频段工作的卫星地球探测业务系统
(EESS) 的技术和操作特性

(ITU-R第235/7号课题)

(2007年)

范围

在3 000 GHz以上频段工作的卫星地球探测业务系统 (EESS) 中的仪器已经工作了多年。这些包括有源和无源装置的仪器被部署在对地静止轨道 (GSO) 和非GSO系统中, 并同时使用窄频谱线和宽带。本建议书对这些仪器、航天器、相关频谱及使用3 000 GHz以上频谱采集的数据类型进行了总结。

国际电联无线电通信全会,

考虑到

- a) 在3 000 GHz以上频率进行观测为研究地球特性及其自然现象提供了关键数据, 其中包括与环境状态相关的数据;
- b) 在3 000 GHz以上工作的地球探测卫星业务 (EESS) 传感器技术在不断进步, 为测量数据提供了更好的精度和分辨率;
- c) 3 000 GHz以上的频率被用于有源和无源传感器系统及众多电信应用;
- d) 这些系统在迅速扩展且数量不断增加, EESS传感器与在3 000 GHz以上工作的其它业务之间产生有害干扰的可能性会上升;
- e) 为实施精确的卫星和月球测距并测量大气参数, 一些光学地面站使用的地对空激光辐射, 可能会成为敏感无源卫星传感器的干扰源, 并可能会对其造成损害;
- f) 与较低频率相比, 在这部分频谱中使用的技术之间存在巨大差异 (例如, 计数光子与一段时间内的集总功率), 但它们之间亦有许多相似之处;
- g) 必须顾及到保护性措施和共用的考虑, 以确保EESS传感器能够继续在3 000 GHz以上频率运行, 而不产生有害干扰,

* 本建议书应提请无线电通信第1、3、4、8和9研究组注意。

建议

- 1 在3 000 GHz以上频率工作的EESS系统在选择任务要求和传感器设计时，应考虑到科学业务发射机（包括EESS的发射机）产生干扰的可能性；
- 2 研究在3 000 GHz以上工作的EESS系统产生和遭受的干扰，应考虑到附件1中提供的技术和操作参数。

附件 1

1 引言

在3 000 GHz以上频段工作的卫星地球探测业务系统（EESS）中的仪器已经工作了多年。这些包括有源和无源装置的仪器被部署在对地静止轨道（GSO）和非GSO系统中，并同时使用窄频谱线和宽带。下述各节对这些仪器、航天器、相关频谱及使用3 000 GHz以上频谱采集的数据类型进行了总结。

2 仪器

需要描述的仪器分为如下几类：成像仪、辐射仪/分光仪，或光检测和测距（LIDAR）高度计。成像仪的主要作用是以两维方式显示云层或地面的物理现象。辐射仪/分光仪是用于测量电磁辐射通量的仪器。LIDAR高度计是通过光发射脉冲，测量航天器到其正下方表面高度的仪器。

2.1 成像的技术特性

最早将3 000 GHz以上频谱用于EESS应用的方法之一便是地表与覆盖云层的成像。近来，成像系统已被用于采集雷电的分布和频率数据。下文描述的三类成像系统描述了在3 000 GHz以上频率进行成像操作的EESS系统的一般功能。下文描述的第四类系统利用光学手段来感测天气现象。

2.1.1 多波段云成像

系统A1至A3作为一种仪器工作，针对0.5至12 μm 范围内的14种不同波长采集图像。根据测量的波长，在空间分辨率为15至90 m的情况下，用于长期云层监测。此仪器被分为三种独立的系统，每种系统使用自身的望远镜监测一套波长。该系统的频率如下：

- 可视/近红外（VNIR）0.50至0.90 μm （600至333 THz¹）。
- 短波红外（SWIR）1.6至2.43 μm （187.5至123 THz）。
- 热红外（TIR）8至12 μm （37.5至25 THz）。

此仪器具备高空间分辨率，宽频谱覆盖和立体成像能力，可提供云量、云的类型、空间分布，形态和辐射特性等基本测量。尽管许多云成像仪在测量类似的参数集，但具备高空间分辨率的观测能力，可提供与详细物理属性直接关联的数据。此外，在无云层覆盖的地区，此仪器可对局部和区域性的地表变化进行长期监测，这些变化是导致全球气候变化的成因或是全球气候变化的带来的后果（例如，土地的使用、森林的退化、沙漠化、湖泊和干盐湖水文变化，以及其它植被种群、冰川运动和火山喷发过程）。表1总结了该仪器的技术参数。

表1
多光谱云成像系统

系统	A1	A2	A3
视界（度）	6.09	4.9	4.9
瞬时视界（ μrad ）	21.5	42.6	128
测量出的波长（ μm ）	0.52-0.60 0.63-0.69 0.76-0.86	1.60-1.70 2.145-2.185 2.185-2.225 2.235-2.285 2.295-2.365 2.360-2.430	8.125-8.475 8.475-8.825 8.925-9.275 10.25-10.95 10.95-11.65
空间分辨率（m）	15	30	90
数据速率（Mbit/s）	62	23	4.2
交叉轨道指向（度）	± 24	± 8.55	± 8.55
交叉轨道指向（km）	± 318	± 116	± 116
地带宽度（km）	60	60	60
检测器类型	硅 (Si)	硅化铂 (PtSi-Si)	碲化镉汞 (HgCdTe)
量子化（比特）	8	8	12

¹ 1 THz = 1 000 GHz.

2.1.2 地表多光谱成像

系统B1至B5作为同一仪器工作，在0.45至12.5 μm 范围内的七个窄波长和0.5至0.9 μm 全色范围内采集图像。它被用于描述地面覆盖和地表程序的特性并监测其变化。此仪器的高空间分辨率（根据波长范围，范围在15至60 m）和季节性全球覆盖，可实现对地面覆盖变化率及造成此变化的局部进程进行评估。森林退化、生态系统的破坏、农业生产力、冰川动态、海岸灾害及火山监测，是此仪器的代表性科学监测对象。

该仪器通过四频段中单一的孔径进行测量：

- 可视（VIS）0.45至0.69 μm （667至435 THz）。
- 近红外（NIR）0.76至0.90 μm （395至333 THz）。
- SWIR 1.55至2.35 μm （194至128 THz）。
- TIR 10.42至12.5 μm （28.8至24 THz）。

系统B6是一种可视、近红外辐射仪，用于观测陆地和海岸地区。该系统被用于为监测地区环境提供陆地覆盖地图和陆地使用分类地图。该仪器具有灾害监测所需的交叉轨道指向能力。

系统B7是一种空间分辨率为2.5 m的全色辐射仪。为获得包括仰角在内的地形数据，此仪器配有三种光学系统，分别用于前向、天底和反向观测。该仪器提供的精确地理信息，适于绘制比例尺为1/25 000的世界地图。

表2总结了这些系统的技术参数。

表 2
地表多光谱成像的技术参数

系统	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
瞬时视界 (μrad)	42.5	42.5	42.5×39.4	42.5×85.0	21.25×18.5	14.28	3.57
测量出的波长 (μm)	0.45-0.52 0.52-0.60 0.63-0.69	0.76-0.90	1.55-1.75 2.08-2.35	10.42-12.50	0.50-0.90	0.45-0.50 0.52-0.60 0.61-0.69 0.76-0.89	0.52-0.77
空间分辨率 (m)	30	30	30	60	15	10	2.5
数据速率	数据合并至150 Mbit/s的数据流					160 Mbit/s (数据压缩之后: 120 Mbit/s)	320 Mbit/s \times 3 望远镜 = 960 Mbit/s (数据压缩之后: 240 Mbit/s, 120 Mbit/s)
地带宽度	185 km ($\pm 7.5^\circ$)。每个图像帧代表在卫星轨道上增加170 km					70 km	最多70 km
每频段内检测器的数量	16	16	16	8	32	7 000	40 000

2.1.3 高光谱成像

此仪器与多光谱成像仪的工作方法类似；但高光频谱分析使用连续光谱频道，从而允许使用派生方法和先进的分析技术。数量大增的频段能够处理更为复杂的系统，并且不受多光谱系统固有的、抽样不足的影响。高光谱成像应用的范围很广，其内容包括采矿、生物、林业、农业和环境管理。

系统C高光谱成像仪使用0.4至2.5 μm （从750至120 THz）光谱范围内的220个频段。通过系统C进行土地资源详细分类，将实现更精确的远程探矿，更好地预测农作物产量、更好地进行评估，更好地实现包含映射（containment mapping）。

表3总结了此系统的技术参数。

表 3
高光谱成像系统的技术参数

系统	C
瞬时视界 (μrad)	43
测量出的波长 (μm)	0.4至2.5 (连续跨越220个频段)
空间分辨率 (m)	30
数据速率	在8-12秒的采集期内为 250-500 MB
图像尺寸 (km^2)	7.6×100
每频段内检测器的数量	1 (220个独立检测器)

2.1.4 雷电感测

系统D研究雷电在全球的影响范围，与对流性降雨的相关性，以及与全球电路的关系。此仪器包含一台凝视成像仪，经优化后在地表广大的区域（ $600 \times 600 \text{ km}$ ）内定位并检测暴风雨级分辨率（4至7 km）的雷电。该系统在其视界内可监测独立的风暴的时间为80秒，足以对雷电的闪烁速率进行评估。四种方法的组合被用于从四周的图像中提取雷电数据。这些方法须具备将空间、时间和光谱的细节从连续图像帧中分离出来的能力，以便将雷电信号从其它发射中区分出来。必须使用时域滤波来确定发射的时长与电闪的时长近似（通常为 $\sim 400 \mu\text{s}$ ）。必须使用时域滤波确认在0.7774 μm （385.9 THz）雷电频谱范围内，强光学成像（OI）（1）发射多重频谱线的情况下，是否存在能量。之后，须使用空间滤波来确定电闪的位置。

表4总结了此系统的技术参数。

表 4
雷电感应系统的技术参数

系统	D
视界（度）	80 × 80
瞬时视界（度）	0.7
测量出的波长（ μm ）	0.7774
空间分辨力（km）	~5
数据速率（kbit/s）	6
图像尺寸（km）	600 × 600
检测器	128 × 128 CCD

2.2 辐射线测定法和光谱测定法

辐射线测定法和光谱测定法均是独特的测量方法，既可独立使用亦可组合在一起，用于监测大气的化学组成（包括污染物），气象特征、云的结构和地表特征。这些系统可在从紫外线（即波长 $< 0.4 \mu\text{m}$ ）到热红外（即波长 $> 10.0 \mu\text{m}$ ）范围内的多个频率工作。这些仪器可使用推扫、扫描或固定指向模式，其目标位于地表及天体边缘。

辐射线测定法的测量通常在50个频段之内，且无严格滤波。相反，光谱测定法的测量可能会同时采集几千个狭窄频段上的数据。通过两种测量技术均可得到宝贵的信息，其方法不仅仅是研究独立频段的数据，还包括对从多个频段数据推导出的微分数据进行评估。

系统E1是一种空载仪器，专门用于测量全球气候变化指标。系统E1的光谱覆盖范围是 3.7 至 $15.4 \mu\text{m}$ （从 81 至 19.5 THz ），能够准确地测量出大气中水蒸气及温室气体的数量，并能绘制出精确的水蒸气三维地图，跟踪大气中温室气体的分布。

系统E2在建立经验证的、全球互动地球体系模型方面发挥着重要的作用，这种模型可以通过测量陆地、云层和浮质边界与温度、海洋生物化学和云顶高度等参数，预测全球的变化情况。在 $0.4 \mu\text{m}$ 至 $14.4 \mu\text{m}$ （从 750 至 20.8 THz ）波长范围内的36个光谱段中，此仪器可提供高辐射测量灵敏度（12比特）。

系统E3对地球大气的关键成份进行全球范围内的长期测量，其中最为重要的是浮质、臭氧和对流层上部至平流层间水蒸气的垂直分布。此仪器是一种光栅光度仪，用于测量紫外线/可见能量，利用800基本电荷耦合器件（CCD）线性阵列，在 0.29 至 $1.03 \mu\text{m}$ （从 $1\ 034$ 至 291 THz ）间提供连续频谱覆盖。补充浮质信息由 $1.55 \mu\text{m}$ （ 193.5 THz ）的光电二极管提供。

此配置可使该仪器能够多次测量目标气体种类的吸收特性，并实施浮质宽带消光法的多波长测量。

系统E4是一种光传感器，用于观测地表反射的太阳辐射，其中包括陆地、海洋、云层和/或红外辐射，它配备的多频道系统可测量叶绿素等生物成份、有机物、植被的目录和温度、雪、冰和云的分布。这些数据被用于了解气候变化和全球碳循环。

系统E5是一种分光仪，使用阳光作为光源（太阳掩星技术），观测对流层上层至平流层之间的大气天体边缘吸收频谱。该分光仪覆盖3-13 μm （100至23.1 THz）和0.753至0.784 μm （398至383 THz）的光谱区。开发这一设备的目的是为了监测高纬度平流层的臭氧。该系统的目标是监测并研究因氯氟甲烷（CFC）的存在而触发的平流层变化，并对世界范围的CFC排放控制有效性作出评估。鉴于太阳掩星活动与太阳同步轨道的几何关系，系统E5仅用于观测高纬度区域（57-73° N，64-90° S）。从这些光谱观测来看，系统E5可测量与臭氧消失现象相关物质的垂直特征，其中包括臭氧（O₃）、二氧化氮（NO₂）、硝酸（HNO₃）、浮质、水蒸气（H₂O）、CFC-11、CFC-12、甲烷（CH₄）、一氧化二氮（N₂O）、氯硝酸（ClONO₂）以及气温和气压。

系统E6是一种高光效、高光谱分辨力的傅利叶转换分光仪。该仪器旨在检测地表反射的日光SWIR光谱，以及地面与大气辐射产生的TIR光谱。通过此仪器可获取来向辐射的干涉图。然后，此干涉图用快速傅利叶转换（FFT）算法进行处理，转换为包括温室气体吸收光谱在内的光谱。应用处理算法消除云及浮质对转换光谱造成的污染，则可计算出气体的柱密度。

系统E7是一种组合光/微波气象成像/探测系统，用于感测海洋和地表，并测量全球大气温度和水蒸气的特性。

与系统E7相关的微波辐射仪是基于空间和时间多频与极化测量组合的技术。该系统在6.9、10.6、18.7、23.8、31、36.5、91 GHz大气层的透明窗口及52-57 GHz氧气吸收线和183.31 GHz水蒸气附近频率工作。此外，该仪器包括一些42和48 GHz频段海洋学研究的补充性非典型工作频率。此仪器将提供约42 km的大气气温特性和6 km的水蒸气特性测量值。

通过同一仪器内光学及微波观测的组合，在确定地球物理学参数方面可实现优势互补。将来，同时观测大气温湿度特性、海洋表面温度、近海表风速、海洋的颜色、海洋上层的生物学过程，将使洋流成为可视内容并能够更好地观测洋流上升区域。此外，亦可开展对海洋大气互动的研究。通过系统E7的功能，可消除一系列不确定性，这些不确定性通常是在使用不同仪器，在大气层不同部分以不同角度在不同时间进行多光谱多频率观测时产生的。

表5总结了这些代表性光谱辐射仪的技术参数。

表 5

辐射线测定和光谱测定系统的技术参数

系统	E1	E2	E3
测量	高光谱分辨率红外探测设备	成像光谱辐射仪	日月掩星现象
数据	垂直温度和水蒸气特性，云的特性及分布	表面温度，植被/地表覆盖、云区遮罩、火情	散逸层、平流层、对流层内OCIO、NO ₂ 、NO ₃ 、O ₃ 和H ₂ O的垂直特性
光谱区 (μm)	0.4-15.4 (2 378个频道) 对具体特性而言，分别为6.3、9.6、11	0.4-3.0 (21个频道) 3.0-14.5 (15个频道)	0.29-1.55 (9个频道)
视界 (FOV) (度)	±49.5° (与轨道交叉)	±55°	±185° 的方向角 13-31° 的仰角
瞬时视界	在天底为13.5 km	250 m (2个频道)， 500 m (5个频道)， 1 000 m (29 c个频道)	每20 km的切线高度< 0.5 km
扫描速率	22.5 rpm (1 转/2.667 s) 2.0 s/地球扫描； 0.667 s/刻度	20.3 rpm	天体边缘处的点
数据速率 (Mbit/s)	1.44	6.2 (平均)，10.5 (日)，3.2 (夜)	8分钟为0.115次； 3次/天
精度	光强：3%	绝对光强： 5% < 3 μm; 1% > 3 μm	根据测出的化学物质，分别为5-15%

表 5 (续)

辐射线测定和光谱测定系统的技术参数

系统	E4	E5	E6
测量	成像光谱辐射仪	太阳掩星	傅利叶分光仪
数据	叶绿素、分解的有机物、表面温度、植被的分布、雪、冰	O ₃ 、HNO ₃ 、NO ₂ 、N ₂ O CH ₄ 、H ₂ O、ClONO ₂ 、 温度和压力的垂直特性	温室气体浓缩, O ₂ 、CO ₂ 、CH ₄ 、 H ₂ O的测量
光谱区 (μm)	0.375-0.88 (23个频道) 1.040-2.32 (6个频道) 3.55-12.5 (7个频道)	3.0-5.7 (Ch. 1) 6.21-11.76 (Ch. 2) 12.78-12.85 (Ch. 3) 0.753-0.784 (Ch. 4)	0.75-0.78 (频段 1) 1.56-1.72 (频段 2) 1.92-2.08 (频段 3) 5.5-14.3 (频段 4)
视界 (度)	±45	0.017	±35 (与轨道交叉) ±20 (与轨道平行)
瞬时视界	250 m (6个频道) 1000 m (30个频道)	1.0 km × 13.0 km (Ch. 1, 2) 1.0 km × 21.7 km (Ch. 3) 1.0 km × 2.0 km (Ch. 4)	10 km
扫描速率	16.7 rpm	N/A	0.25, 0.5, 1 (干涉图) /s
数据速率 (Mbit/s)	1 km ch: 最大值为4 Mbit/s 250 m ch: 最大值为60 Mbit/s	54 kbit/s	8 Mbit/s
精度	低于3 μm 相对光强为5% 绝对光强为10% 大于3 μm 上升的暖气流为0.6 K	3% (O ₃) , 5% (其它)	1% (CO ₂) , 2% (CH ₄) (柱密度)

表 5 (完)

辐射线测定和光谱测定系统的技术参数

系统	E7
测量	光/微波气象成像/探测系统
数据	大气温度特性（至42 km）和大气湿度特性（至 6 km）的遥感，海表温度和近海表风速、降雨、海洋颜色、活跃海洋层的各种过程、冰、雪的监测
光谱区（ μm ）	0.37-0.45 0.45-0.51 0.58-0.68 0.68-0.78 3.55-3.93
视界（度）	每次扫描120°（2 000 km的地带宽度），长度为19 km
瞬时视界（km）	1.1 × 1.1
扫描速率	20.8 rpm（1/2.88 s）
抽样（数据）速率	665.4 kbit/s、30.7 Mbit/s
精度	空间分辨力为1.1 km，时域稳定性为 10^{-4}

2.3 测高法 – 主动式

高度的测量是利用在 $1.064 \mu\text{m}$ （283 THz）和 $0.532 \mu\text{m}$ （566 THz）附近工作的天底观测光检测和测距（LIDAR）系统，在太空实施。系统F1是一种283 THz的系统，用于测量冰盾地貌及相关的时域变化、云和大气属性、陆地和水面的沿轨道地貌。对针对冰盾的应用，激光高度计测量的从航天器至冰盾的高度可精确到高于10 cm，其表面点的尺寸为66 m。高度测量辅以对轨道位置的了解便可确定表面地貌的情况。返回脉冲的特性被用于确定表面的粗糙程度。冰盾在十年之内产生几十分之一厘米的厚度变化，可提供有关冰盾质量平衡方面的信息，并能为针对低温层对未来气候变化所作响应进行的预测分析提供支持。此外，亦可监测冰盾的质量平衡及其对海平面产生的影响。可以使用地面斜率及糙度来评估陆地高度测定的精度。在海洋上30 m及其它地方80 m的总动态范围内，表面回波可实现数字化。

系统F2在566 THz且垂直分辨力为75至200 m处，测量沿轨道云层和浮质的高度分布。对高密度云层，浮质结构和行星边界层的高度，水平分辨率从150 m至50 km不等。准确的云层高度及薄云垂直结构测量，可支持研究云层对辐射平衡及气候反馈的影响。极地云和薄雾的探测和抽样可使用灵敏度、垂直分辨力和精度远高于无源传感器的设备进行。对表面通量、空对海和空对地互动模式而言，可直接而精确地测量行星边界层的高度。浮质垂直特性的直接测量有助于理解浮质气候效应和浮质的传播。

表6总结了空基LIDAR高度计系统的技术参数。

表 6
测高系统的技术参数

系统	F1	F2
波长 (μm)	0.532	1.064
发射的能量 (mJ)	36	74
脉冲重复率 (Hz)	40	
波束发散度 (μrad)	110	
LIDAR发射机的孔径 (cm)	15	
天底处的脚印 (m)	66	
接收望远镜的孔径 (m)	1	
接收机的视界 (μrad)	150	475
检测器的量子效率	0.6	0.3
数据速率 (kbit/s)	~450	
指向精度 (arcsec)	1.5	
测距精度 (m)	75	0.15

目前拟执行的许多地球科学任务都将使用轨道激光。这些任务中的大部分都计划使用0.532 μm 和1.064 μm 波长之外的激光。例如，主动式CO₂测量任务，其激光频道在1.570 μm 、0.770 μm 工作，也有可能在于0.532 μm 工作。其它任务的目标是波长小于0.400 μm 的臭氧和可能存在于0.930 μm 频段的水蒸气等。

3 航天器

尽管不存在记录使用3 000 GHz以上频谱的EESS系统的正式程序，但这些仪器可能会出现在一半左右的EESS航天器中。在可预见的将来，预计每年新发射的EESS系统约有三分之一使用3 000 GHz以上的频谱，另外还有一些仪器被临时置于航天飞机和国际空间站内。大部分EESS系统使用非对地静止轨道，其中有大量此类系统使用太阳同步轨道。

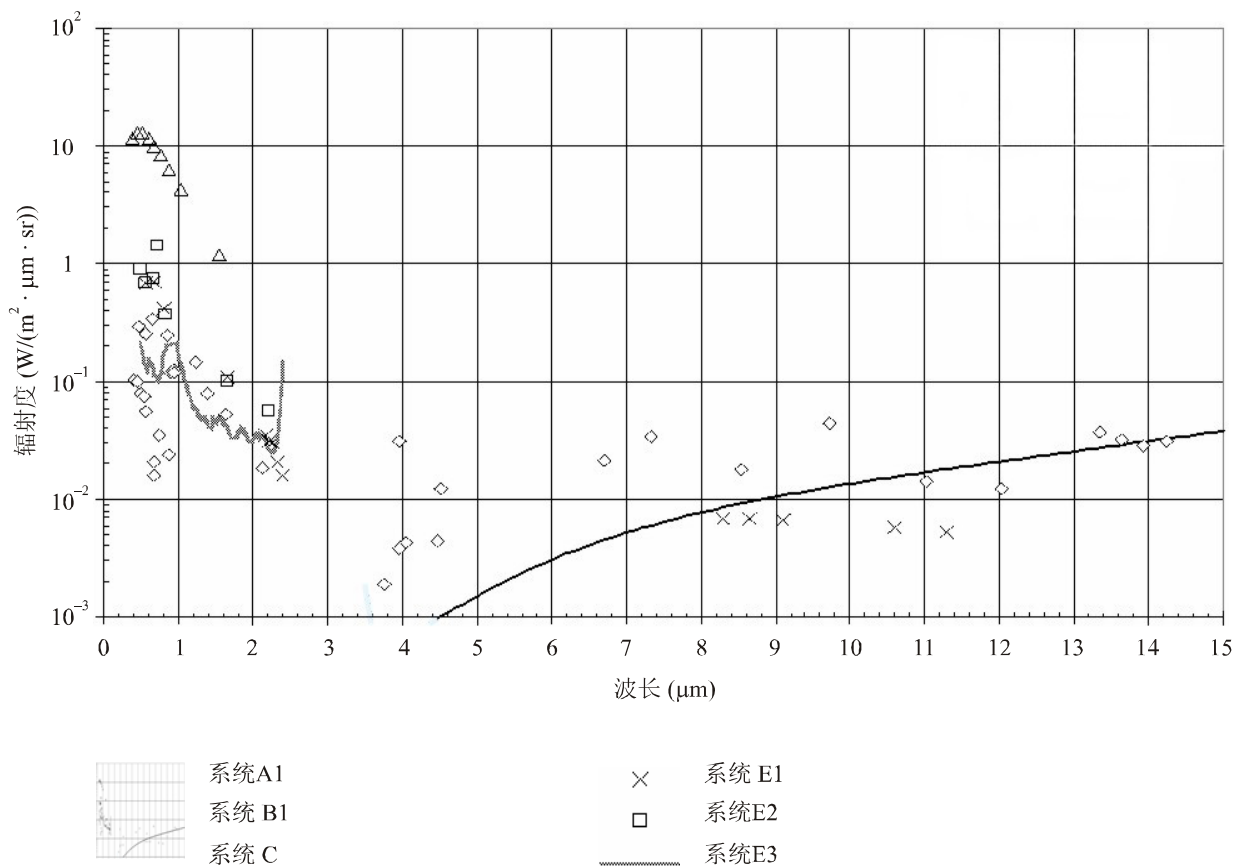
4 系统灵敏度和自然发射

EESS系统采集与地球及其自然现象相关的信息，其中包括涉及环境状态的数据。每种EESS系统都具备独特的技术特性和任务要求，这些都会直接影响设备的灵敏度。对灵敏度的要求还将随太阳的照度，测量对象甚至是仪器的年龄而变。

4.1 检测器的灵敏度

在3 000 GHz以上频率工作的EESS检测器灵敏度随检测器的类型而变。图1所示为六个在3 000 GHz以上工作的EESS系统的最小灵敏度实例。

图 1
在3 000 GHz以上工作的若干EESS系统的最小可检测辐射



注 - 各点位于观测用光谱线上。由于系统C在200个以上的频段进行观测,系统 E1 在2300个以上的上频段进行观测,检测仪灵敏度用一条线表示。

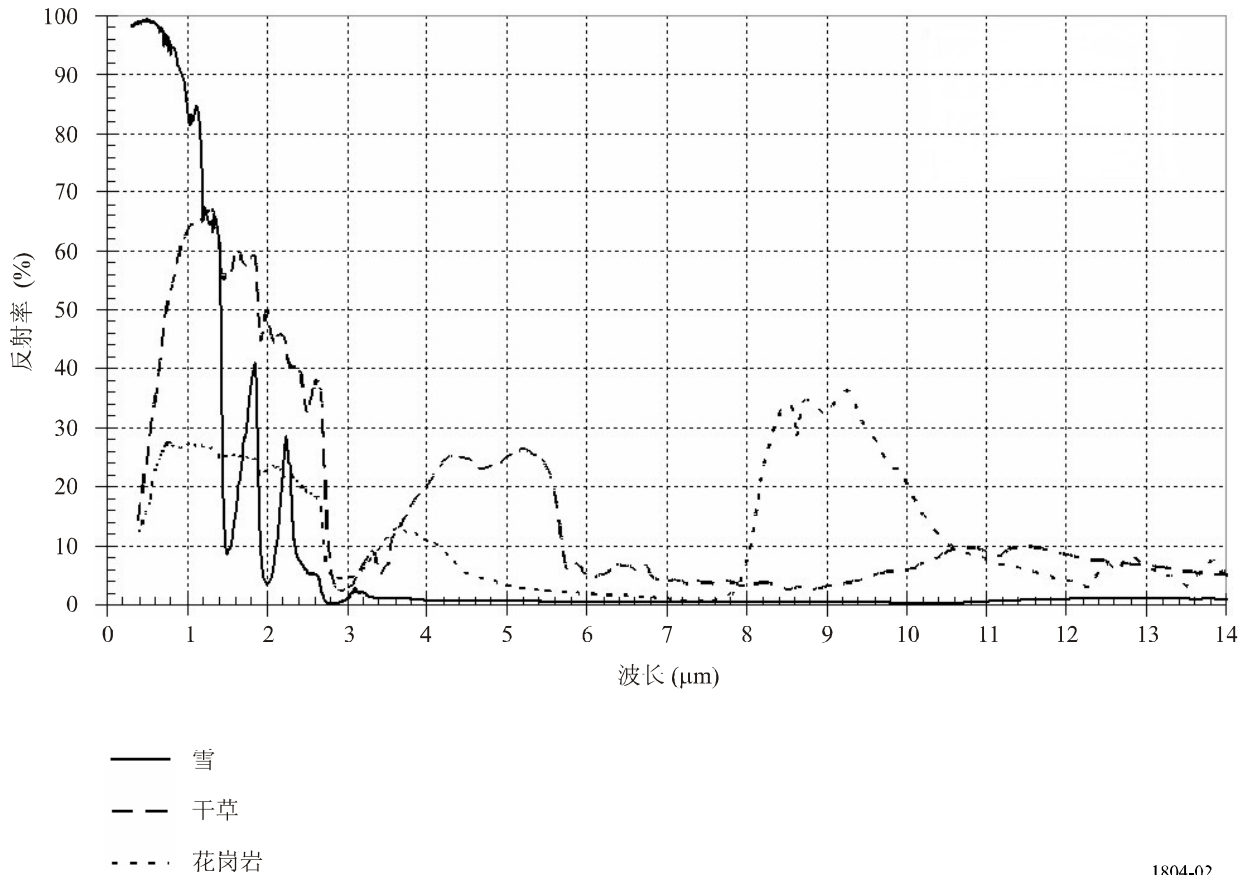
1804-01

4.2 地球有效温度

地球的有效温度随传感器视界内观测对象的发射率以及该对象照射波长的反射系数而变。在~420 THz (< 0.7 μm) 以上频率工作的EESS传感器通常是在反射率的基础上测量。在~420 THz以下工作的EESS传感器,特别是在100 THz以下的传感器,其测量通常是基于发射率。

使用在几百THz (几个μm) 光谱范围内观测到的反射特征,在3 000 GHz以上工作的EESS系统能够区分地面观测到的材料之间的区别。图2列出了这些反射特征的实例。

图2
不同材料的反射特征



1804-02

在3 000 GHz 以上工作的EESS传感器，通常在测量发射率时假设对象的辐射类似黑体，尽管其平均发射率小于1.0。黑体在理论上假设一个平面会吸收所有接触到它的辐射，在给定温度下会产生能够产生的最大辐射。某一对象的发射率由三个函数确定：依韦恩位移法则、史蒂芬-波兹曼法则和普朗克函数。

依韦恩位移法则认为最大光谱辐射度的波长， λ_M ，与该对象的温度成反比。

$$\lambda_M = \frac{A}{T} \quad \mu\text{m} \quad (1)$$

式中：

A : 依韦恩常数 (2 897 K·μm)

T : 温度 (K)。

史蒂芬-波兹曼法则认为黑体表面每个单元发射的功率之和， S ，与其温度的四次方成正比。

$$S = \sigma_B T^4 \quad \text{W/m}^2 \quad (2a)$$

式中：

σ_B : 史蒂芬-波兹曼常数 ($5.671 \times 10^{-8} \text{ W/ (m}^2\text{K}^4)$)

但是，由于天然材料不是完美的黑体辐射体，有效亮度温度与物质的平均发射率， ϵ ，成正比，因此发射的功率为：

$$S = \sigma_B \epsilon T^4 \quad \text{W/m}^2 \quad (2b)$$

式中：

ϵ : 平均发射率 ($0 \leq \epsilon \leq 1$)

普朗克函数用于计算与完美黑体辐射类似的对象产生的辐射。

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{k_B T \lambda}} - 1 \right)} \quad \text{W/ (m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr)} \quad (3)$$

式中：

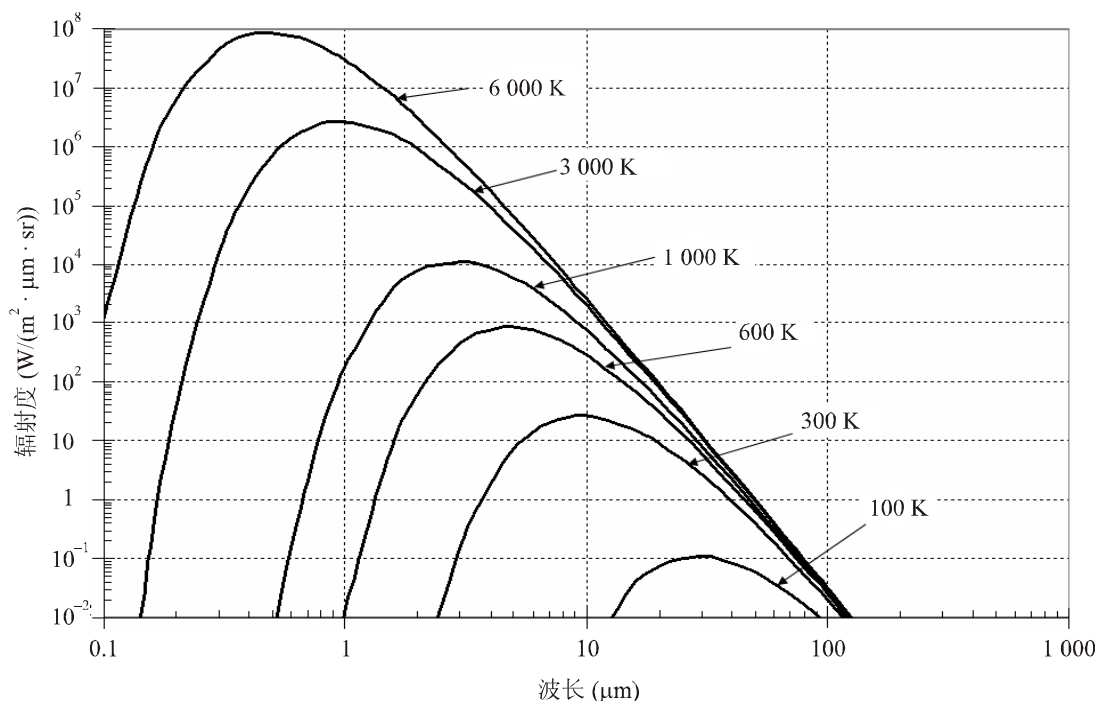
h : 普朗克常数 (6.63×10^{-34} J·s)

c : 光速 (3×10^8 m/s)

k_B : 波兹曼常数 (1.38×10^{-23} J/K)。

图3所示按这些原则生成的关系显示了几种不同亮度温度 (K) 情况下的理论辐射度 $\text{W/ (m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr)}$ 。

图 3
几种温度下完美黑体的辐射度



5 总结

3 000 GHz以上的频谱已应用于各类有源和无源EESS应用多年。将来，此种使用即使不增加，预计也会继续存在。第2至第4段描述的这些系统的技术和操作特性应在将来的研究中予以考虑。关于补充参考，本附件附录1中提供了以第2段中定义的系统为基础的，若干任务官方网页的URL。

附件1的附录1

在3 000 GHz以上工作的各类EESS传感器的官方网站

高级沿轨迹扫描辐射计（Advanced Along Track Scanning Radiometer）（AATSR）：

<http://envisat.esa.int>

大气红外探测仪器（Atmospheric Infrared Sounder）（AIRS）：

<http://airs.jpl.nasa.gov/>

先进星载热发射和反射辐射仪（Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer）（ASTER）：

<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>

改进型甚高分辨率辐射仪（Advanced Very High Resolution Radiometer）（AVHRR）：

<http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html>

2类高性能可见光和近红外辐射计（Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type-2）（AVNIR-2）：

<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/about/avnir2.htm>

增强型专题绘图仪（Enhanced Thematic Mapper Plus）（ETM+）：

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/etm+.html>

地球科学激光测高系统（Geoscience Laser Altimeter System）（GLAS）：

<http://glas.gsfc.nasa.gov/>

对地静止卫星地球辐射收支器（Geostationary Earth Radiation Budget）（GERB）：

<http://www.esa.int/specials/msg>

全球成像仪（Global Imager）（GLI）：

<http://suzaku.eorc.jaxa.jp/GLI/ov/sensor.html>

全球臭氧监测实验（Global Ozone Monitoring Experiment）（GOME-2）：

<http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html>

温室气体观测传感器（Greenhouse gases Observing Sensor）（GOS）：

http://www.jaxa.jp/missions/projects/sat/eos/gosat/index_e.html

高光谱分辨率红外探测仪（High Resolution Infrared Sounder）（HIRS）：

<http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html>

Hyperion：

<http://eo1.usgs.gov/hyperion.php>

改进型天体边缘大气分光仪-II（Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II）（ILAS-II）：

<http://www-ilas2.nies.go.jp/en/project/ilas2outline.html>

红外大气探测干涉仪（Infrared Atmospheric Sounding Interferometer）（IASI）：

<http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html>

闪电成像传感器（Lightning Imaging Sensor）（LIS）：

http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/lis.html

中等分辨率成像分光仪（Medium Resolution Imaging Spectrometer）（MERIS）：

<http://envisat.esa.int>

迈克逊无源大气探测干涉仪（Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding）（MIPAS）：

<http://envisat.esa.int>

中分辨率成像光谱仪（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer）（MODIS）：

<http://modis.gsfc.nasa.gov/>

微波辐射仪（Microwave Radiometer）（MTVZA-OK）：

<http://kargonet.narod.ru/rab2/mtvza.htm>（Russian only）

全色遥感立体测绘仪（Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping）（PRISM）：

<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/about/prism.htm>

SCIAMACHI：

<http://envisat.esa.int>

空间环境监测仪（Space Environment Monitor）（SEM）：

<http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html>

旋转改进的可视和红外成像仪（Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager）（SEVIRI）：

<http://www.esa.int/specials/msg>

平流层气溶胶和气体实验（Stratospheric Aerosol and Gas Experiment）（SAGE III）：

<http://www-sage3.larc.nasa.gov/instrument/>

平流层气溶胶和气体实验（Stratospheric Aerosol and Gas Experiment）（SAGE III）：

<http://www-sage3.larc.nasa.gov/instrument/>
