

航天光学遥感
辐射度学

韩心志 焦世举 编著

Optical Remote
Sensing
Radiometry
from Earth
Orbiting
Spacecraft

哈尔滨工业大学出版社

33512303

航天光学遥感辐射度学

韩心志 焦世举 编著

哈尔滨工业大学出版社

(黑) 新登字第4号

内 容 简 介

本书是航天光学遥感传感器辐射度学专著，目的是服务于遥感传感器辐射度学设计。内容涉及辐射度学基本原理、遥感中的自然辐射源和地球大气、遥感辐射度学系统和辐射度学计算，以及遥感传感器的评价系统等基础理论和辐射度学设计计算方法。

本书适用于从事光学遥感传感器的专业教学人员和广大科技工作者，并对各学科的遥感用户也有裨益。

航天光学遥感辐射度学

Hangtian Guangxue Yaogan Fusheduxue

韩心志 焦世举 编著

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张14.875 字数335千字

1994年12月第1版 1994年12月第1次印刷

印数 1-1 000

ISBN 7-5603-1081-8/V·3 定价：18.00元

前 言

对于任何光学遥感传感器来说,辐射度学的设计都是主要的设计。然而目前辐射度学专著的出版极为稀少,尤其以航天遥感为目的的辐射度学专著国内尚未见出版。作者编著本书的目的是为有关专业教学工作者和广大从事光学遥感事业的科技工作者提供一本专业性较强的参考书。现在作为引玉之砖与读者见面。

在选材和编写方法上,作者期望使本书具有如下特点:

1. 理工结合,以工为主。以工程设计为目的,重点讨论辐射度学设计计算方法,围绕着这一目的提供一些必要的理论知识。“理”是服务于“工”的。

2. 适应当前国内外这一领域的发展状况。光学遥感传感器发展极为迅速,除了仪器本身以外,还表现在设计内容和设计方法上。例如,遥感传感器的杂散辐射和偏振灵敏度问题。应该说,没有优质的设计就不可能产生高性能的仪器。杂散辐射和偏振的影响,已制约着高性能遥感传感器的发展。关于这部分内容,本书也作了适量的介绍。

3. 书中给出的图表,力图提供一些成熟的有实际参考价值的数据或资料,供工程人员在方案设计中引用。

作者在编写本书的过程中,颇有“力不从心”之感。航天光学遥感传感器是现代高科技产品的典范,涉及的领域既深又广,而且发展得极为迅速,已有几代产品出现。作者尽管十分努力也难于反映这个领域内的总貌,只是觉得这本书可能有益于我国的遥感事业,才让它和读者见面。

最后,我要感谢哈尔滨工业大学的秦汝虎教授、皮名嘉教授,航天工业总公司第五设计院五〇八所的遥感总体室副主任邓明业高级工程师、顾名澧高级工程师,他们都审阅了本书的初稿,并提出了宝贵的意见。

作 者

1994年6月

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 辐射度学的基本概念

第一章 辐射度学的基本原理、基本量和辐射能传输	4
第一节 遥感辐射测量系统的典型结构	4
第二节 辐射度学的基本概念	5
第三节 辐射度学的基本量	6
第四节 辐射能的传输	10
第五节 辐射度学的误差特性和噪声	15
第二章 黑体辐射	18
第一节 黑体辐射的特性	18
第二节 基尔霍夫定律	23
第三节 黑体模拟器	24
第四节 选择辐射体	25

第二篇 遥感中的自然辐射源和地球大气

第三章 遥感中的自然辐射源	27
第一节 太阳	27
第二节 地球的反射和发射辐射	33
第三节 物体的频谱特性	34
第四节 地球表面和电磁辐射的相互作用	37
第四章 大气光学性质与光学遥感	46
第一节 大气模式	46
第二节 大气衰减	47
第三节 大气折射与湍流效应	48
第四节 背景辐射	50
第五节 大气窗内的遥感	51
第五章 大气的光谱特征及其校正	57
第一节 光谱反射比特征要素的方程式	57

第二节	向上大气辐亮度 L_u 的确定	60
第三节	遥感数据中的噪声和不确定性	68

第三篇 辐射度学系统和辐射度学计算

第六章	望远镜系统的分光辐射度学	72
第一节	遥感系统像面光谱辐照度分布	72
第二节	f 数的选择及其限制	74
第七章	光谱分析器	76
第一节	色散系统	76
第二节	利特洛装置	81
第三节	直射棱镜和闪耀光栅	82
第四节	成像光谱仪	85
第五节	滤光镜	86
第八章	辐射探测器	90
第一节	探测器的基本类型和特点	90
第二节	热探测器	91
第三节	探测器的基本参数	93
第四节	光电探测器	99
第五节	辐射探测器在遥感传感器中的应用示例	105
第九章	遥感传感器的辐射度学设计	109
第一节	目标反射能量的计算	109
第二节	多光谱扫描仪噪声等效反射率差的确定	113
第三节	多光谱扫描仪噪声等效温差的确定	126
第四节	辐射灵敏度参数的其他表示方法	128
第五节	海洋遥感和 Deschamps 大气模式	130
第六节	海洋遥感的辐射度学计算	136
第十章	辐射度学定标	139
第一节	辐射定标的分类和应用	139
第二节	分光辐射度定标的要求	140
第三节	0.4~2.5 μm 波段的辐射定标	142
第四节	热红外波段的辐射定标	144
第五节	几种人工基准源	145
第六节	典型的星上辐射定标系统	149
第十一章	遥感传感器辐射度学参数与辐射度学测量	162
第一节	光谱辐亮度与总辐亮度的测量	164
第二节	非相干辐射源的辐亮度、几何总辐射功率和辐射温度的测量	168

第十二章 遥感辐射测量精度与灵敏度	170
第一节 遥感器的辐射分辨率	170
第二节 用户对辐射测量精度的要求	171
第三节 监测植被所需要的辐射分辨率	174
第十三章 遥感系统中的杂散辐射	177
第一节 遥感传感器中杂散辐射的度量	177
第二节 杂散辐射的危害性	178
第三节 杂散辐射源及杂散辐射抑制	179
第四节 遥感传感器典型子系统的杂散辐射	183
第五节 杂散辐射设计与分析	186
第十四章 光学遥感中的偏振	190
第一节 观测目标和地球大气的偏振	190
第二节 遥感传感器的偏振	191
第三节 仪器偏振函数计算	195

第四篇 遥感传感器的评价系统

第十五章 遥感传感器系统的 MTF 和配准精度	202
第一节 遥感传感器系统的 MTF	202
第二节 波段-波段配准	205
第十六章 数据细度和总信息量	209
第一节 遥感信息的获得和数据细度	209
第二节 分辨率间的依存和制约关系	212
第三节 用户对遥感数据的要求	214
第四节 遥感信息的恢复与信息容量	219
第五节 遥感识别和存在的问题	223

绪 论

由空间对地球进行光学遥感,实质上是通过地球表面的辐射度学测量,确切地说是通过光谱辐射度学测量,来获得必要的观测数据。因此,用于这一目的的光学遥感传感器的设计主要是在确定的条件下,例如,在一定的时间、空间和光谱分辨率下对辐射度学的设计。也就是确定遥感传感器总系统的辐射度学性能,在其各子系统的参数间进行折衷或平衡,以最终保证遥感传感器的观测能力和要求。

基于这一情况,本书第一篇安排的内容是辐射度学的基本概念,包括辐射度学的基本原理、基本量、辐射能的传输和黑体辐射等。对于比较熟悉辐射度学内容的读者,这是一种必要的复习;对于不大熟悉这部分内容的读者,则是必备的预备性知识。

第二篇安排的内容是光学遥感中的自然辐射源和地球大气。现代地球光学遥感,基本上是被动式遥感,最基本的、最主要的自然辐射源是太阳和地球。它们与光学遥感的关系极为密切,对光学遥感有决定性的影响。这里给出这两种自然辐射源的性质和一些必要的辐射度学数据,从光谱和能量两个角度讨论电磁波和地球表面的相互作用。

因为对地球的空间遥感是通过地球大气进行的,大气的光学性质无疑会对遥感数据的收集产生重要的影响。广义地说,地球大气既是光学遥感中辐射传输的介质,也是遥感中的一种辐射源。所以,对地球大气的了解也是很必要的。这里阐述了大气的光学性质及其对光学遥感的影响,大气的光谱特征及其校正方法。

要说明的是,这部分内容相当广泛而又复杂,这里的讨论只能是扼要的,带有结论性的,目的在于为遥感传感器的辐射度学设计提供有用的参考。

在上两篇基础上,第三篇进入本书主题,即光学遥感传感器辐射度学的设计和计算。首先,本篇讨论遥感传感器两个最主要、最基本的光学子系统,即望远镜和光谱分析器的辐射度学问题,接着讨论辐射探测器。辐射探测器往往是遥感传感器决定性的硬件制约条件,在许多情况下,遥感传感器的辐射度学计算是围绕着探测器的性能进行的。

在辐射度学计算中,把遥感传感器的辐射度学性能要求,即辐射分辨率、灵敏度和动态范围等与遥感辐射源(太阳和地球)、辐射传输介质(地球大气)、遥感传感器及其卫星平台的性能和参数用一个统一的公式联系起来(包括卫星平台的稳定方式、高度、速高比及其变化,平台的指向特性和稳定特性等)。该公式是遥感传感器辐射度学设计的依据,依此在遥感传感器辐射度学的要求和遥感大系统中各子系统的参数间进行平衡。

本篇讨论的另一主要内容,是遥感传感器的星上辐射度学定标。星上定标器是遥感传感器的不可分割部分,这里介绍了星上定标的基本原理和要求。作为参考,给出一些典型的定标光学系统,这些系统已成功地在某些空间遥感传感器中得到应用。

在遥感传感器辐射度学设计计算完成后,可以从辐射测量的观点定义其辐射度学性

能,如功率、辐照度和辐亮度响应率等。

本篇的上述内容可归结为以下四部分:

1. 光学遥感传感器基本光学子系统的辐射度学性能。
2. 辐射度学设计计算。
3. 星上辐射度学定标和遥感传感器的辐射度学响应。

这三部分是遥感辐射度学的基本内容,必需进一步讨论的内容是第四部分,即

4. 遥感辐射度学测量精度。

这一部分包括三个内容。第一个内容是用户对辐射测量精度的要求,特别是植被监测所需要的辐射测量精度。第二个内容是遥感系统中的杂散辐射问题,给出杂散辐射的概念,杂散辐射源,杂散辐射的计算分析和抑制措施。杂散辐射问题已成为一专门的工程学科,成为制约高性能航天光学遥感传感器发展的一个重要因素。对杂散辐射的了解,是光学遥感传感器设计者所不可缺少的。本书给予一定篇幅,也是很必要的。第三个内容是光学遥感中的偏振。偏振遍及光学遥感的所有环节,对高辐射分辨率的光学遥感传感器,例如,用于海洋水色观测的成像光谱仪,偏振灵敏度要求小于或等于1%。因此,对遥感系统的偏振计算分析是重要的。本部分介绍大气偏振的度量,典型光学系统和元件的偏振性质,以及仪器偏振函数的计算。读者可从中了解遥感中偏振的基本概念和分析方法。

第四篇介绍遥感传感器的评价系统,包括系统MTF,以及除辐射分辨率外的其他获取遥感信息的手段,例如,时间、空间和光谱分辨率,并推导出航天光学遥感传感器的评价函数。遥感传感器从空间获取地面景物的数据,这些数据信息的量和质显然是重要的。只有在这个前提下,才能考虑其他性能,如智能化程度、体积、重量和价格等。

第 一 篇

辐射度学的基本概念

辐射度学或称辐射测量,是一门测量电磁辐射能的科学和技术。这一概念可理解为测量电磁波所传递的能量,或测量与这一能量特征有关的其他物理量。在整个电磁频谱范围内,对于不同的频段,采用不同的辐射能测量方法。这里仅阐述一些适合于测量电磁波光学频谱区内辐射能的一些概念、元件和技术。光学频谱区,限定在从 $0.4\mu\text{m}$ 到 $14.0\mu\text{m}$ 波长的范围内,即航天光学遥感可能利用的光谱区。这一光谱区通常划分为几个子区,即

- (1) 可见和近红外光谱区, VIS/NIR 或 VNIR, $0.4\sim 1.1\mu\text{m}$;
- (2) 短波红外光谱区, SWIR, $1.5\sim 2.5\mu\text{m}$;
- (3) 中波红外光谱区, MWIR, $3.5\sim 7.5\mu\text{m}$;
- (4) 长波红外,或热红外光谱区, LWIR 或 TIR, $8.5\sim 12.5\mu\text{m}$, 或者扩展到 $14\mu\text{m}$ 左右。其他光谱子区,在遥感中很少利用。

人类生活在电磁辐射能的环境中,被天然的或人工的电磁能源所包围,因此,会在测量和控制这种辐射能方面提出很多的要求。空间光学遥感是努力满足这种要求的体现之一,并从这种技术中获得了许多重大的成果。

第一章 辐射度学的基本原理

基本量和辐射能传输

辐射度学涉及的论题非常广泛,包括辐射能的基本概念,它的传输和变换,以及仪器的辐射度学校准或定标。主要是讨论从红外、可见到紫外光谱区光辐射的产生、传递、探测和应用。在阐述这些论题时,都围绕我们的中心课题——航天光学遥感辐射度学。

第一节 遥感辐射测量系统的典型结构

遥感辐射测量系统的典型结构如图 1.1 所示。

一个完整的遥感辐射测量系统,通常包括以下若干单元,即

1. 辐射源

辐射源即提供辐射测量的辐射能源。在光学遥感中典型的辐射源是太阳和地球。

2. 传输介质

对空间遥感来说,辐射能的传输介质包括地球表面的大气层。大气的主要特征之一是它的易变性,即温度、压力和含水量的变化,以及分子和粒子的类别不同,导致大气的光学参数随时间和空间发生较大的变化。此外,大气的垂直结构是海拔高度的函数,也产生一种较大程度的梯度变化。

3. 目标

地面目标可以反射辐照的阳光,也可以自身辐射长波电磁能。由于物体的透射、反射、吸收和发射频谱特性不同,光学遥感可以对它们进行识别和分类。

4. 光学系统

光学系统通常包括透镜、反射镜、光阑、棱镜、光栅、滤光镜、偏振器、衰减器、漫射体、积分球、光学纤维和一些其他光学器件。光学系统是遥感传感器的主要或核心部分,它具有收集光能、成像和光谱分析等作用。

5. 光电辐射探测器

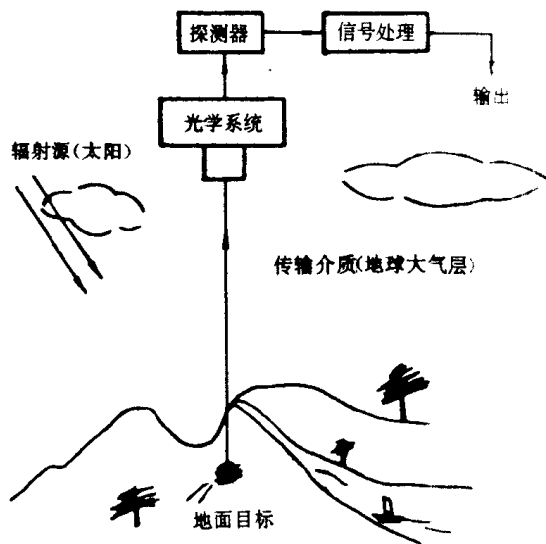


图 1.1 遥感辐射测量系统的典型结构

这种探测器用于将辐射信号转换成电信号,将空间信号转换为时间信号。在遥感传感器中使用的探测器除光电探测器外,还包括照相胶卷。电荷耦合器件(CCD)以其优越的特性,特别受到重视。

6. 信号处理系统

信号处理单元的能力,常常会影响辐射测量系统其他单元的设计。遥感传感器的信号处理,包括放大、滤波、采样、保持、模拟多路调制、模数转换、数字多路调制,以及数据组合或压缩等过程。信号处理系统的功能,与其测量的目的和内容有关。

7. 输出

遥感传感器的输出是已感光的胶片,或者是数据磁带和通过遥测装置向卫星地面站发送的格式数据。

可以看出,光学遥感是一种典型的辐射测量过程。

第二节 辐射度学的基本概念

电磁辐射具有三个互补的特性,即其传播的直线性、波动性和量子性。辐射度学的基本概念集中于这三个特性上,在朝向波长较长的方向上,例如,长波红外以至微波,辐射能的波动性逐渐加强;相反,在朝向波长较短的方向上,例如,紫外至 x 射线和波长更短的波段,辐射能传播的直线性逐渐明显。光学遥感使用光学频谱区的电磁辐射,辐射的三个互补特性都要考虑。

1. 辐射能传播的直线性

辐射能传播的直线性,即辐射能在传播过程中,其空间分布不会偏离一条由几何光线所确定的光路。描述这种传播特性的科学,即几何光学或光线光学。大部分辐射度学的概念建立在这种几何光学的基础上。

实际上,几何光学没有考虑作为波动现象的衍射效应。当辐射束通过光阑时,就会产生衍射现象,这时,辐射传播不再遵循原来由光阑和入射光束几何形状所确定的轨迹,而会扩散。由衍射所确定的扩散角,即衍射角近似为

$$\theta = \frac{\lambda}{D} \quad (1.1)$$

式中, λ 是所用辐射能的波长, D 是光学系统的入瞳直径。

在遥感系统中,一般光学系统的孔径尺寸较大,因而衍射角很小,可以忽略衍射效应的影响,用几何光学的方法来确定辐射能传播的轨迹。

2. 辐射能的非相干性

辐射度学中的第二个基本假定,就是辐射能是不相干的,因而不必考虑干涉效应。在被动式光学遥感中,利用的辐射能来自地面反射的太阳光谱或自身的温度辐射,这一假定与实际相符。

干涉也是一种波动现象,辐射能束的时间相干长度,即沿辐射能束传播方向的相干距离,近似为

$$l_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \quad (1.2)$$

式中, λ 是辐射能的波长, $\Delta\lambda$ 是辐射能束的波长间隔。实际上, 辐射能的空间和时间相干性是不可分割的。

在多数遥感情况下, 特别是在热辐射源的情况下, 波长间隔 $\Delta\lambda$ 相当大, 使得干涉效应可以忽略不计。

虽然在光学遥感中这两个基本假定一般都能够成立, 但不排除在某些特殊场合考虑辐射能传输中的衍射和干涉效应, 尤其是衍射效应。

3. 辐射能的量子性

辐射能的量子性, 即辐射能的每个量子或光子, 具有能量

$$Q = h\nu \quad (1.3)$$

式中, h 是普朗克常数, ν 是辐射能的光学频率。

在光学频谱区, 光子能量 Q 很小, 但在遥感情况下, 特别对于低反射率或低温目标, 被测辐射能也很小。由于到达探测器的光子随机性(产生光子散粒噪声)和数量很小, 将给出一个测量误差极限。

第三节 辐射度学的基本量

在辐射度学中有两类基本量, 一类是辐射度学量, 是物理量, 它的基本量是辐(射)功率或辐(射能)通量, 单位是瓦[W]; 另一类是光度学量, 是生理量, 它的基本量是光通量, 单位是流明[Im]。

辐射度学量表示辐射能的大小, 光度学量表示人眼对辐射能的视觉强度。光度学是辐射度学的一部分或特例, 指辐射度学中可见光谱测量研究的那一部分。

在对地球的空间光学遥感中, 使用的频谱区从紫外一直延伸到热红外区。为了使用和计算上的方便, 虽然这一频谱区中包含了可见光谱子区, 但一般都统一地使用辐射度学量及其相应的单位。在使用胶卷摄影机时, 也能使用光度学量。

此外, 从空间对地面特征的遥感, 目标总是充满遥感传感器视场的。遥感的对象是“面辐射源”, 而非“点辐射源”。因此, 这里也只是对描述面源特征的辐射度学量特别介绍, 例如, 辐亮度。

各种辐射度学量分别从辐射的空间、时间、频谱及其与物质的相互作用等诸方面来描述辐射的属性。

一、空间辐射度学量

最常用的辐射度学基本量有:

1. 辐(射)能 Q

辐(射)能 Q 定义为以辐射的形式发射、传播或接收的能量。辐(射)能的单位是焦耳[J]。

2. 辐(射)功率, 或辐(射能)通量 ϕ

辐(射能)通量是以辐射的形式发射、传播或接收的功率

$$\phi = \frac{dQ}{dt} \quad (1.4)$$

式中, t 是辐射能发射或接收的时间, ϕ 的单位是瓦[W]。

3. 辐(射)亮度, 或辐射度 L

表面一点处的面元, 在给定方向上的辐射强度, 除以该面元在垂直于给定方向的平面上的正投影面积, 定义为辐(射)亮度

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos\theta} = \frac{d^2\phi}{dA \cdot d\Omega \cdot \cos\theta} \quad (1.5)$$

式中, dI 是辐(射)强度, 为在给定方向上的立体角元内, 离开点辐射源(或辐射源面元)的辐射功率, 单位是瓦/球面度[W/sr]。

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (1.6)$$

在式(1.5)和(1.6)中, Ω 是立体角, A 是源表面的面积, θ 是辐射表面法线和给定辐射方向间的夹角。 L 的单位是瓦/(米²·球面度)[W/(m²·sr)]。

4. 辐(射)出(射)度 M

离开表面一点处的面元的辐射能通量, 除以该面元的面积, 即辐(射)出(射)度

$$M = \frac{d\phi}{dA} \quad (1.7)$$

式中, A 是源表面的面积, M 的单位是瓦/米²[W/m²]。

5. 辐(射)照度 E

照射到表面一点处的面源上的辐射能通量, 除以该面元的面积, 定义为辐(射)照度

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (1.8)$$

式中, A 是被照射表面的面积, E 的单位是瓦/米²[W/m²]。

凡上述基本辐射度量, 圆括弧内的字均可以略去。这些量从空间角度来描述辐射特征, 相应地称为辐射的空间特性量。

二、时间辐射度量

辐射度学的时间特性量从时间的角度来描述辐射特征。对于光积分型探测器, 例如, 电荷耦合器件, 时间特性量具有重要意义。

1. 辐能 Q

按(1.4)式

$$Q = \int_{\Delta} \phi dt \quad (1.9)$$

式中, dt 是辐能发射或接收的时间间隔, 也就是说, 辐能是辐通量对时间的积分, 单位是瓦·秒或焦耳[W·s 或 J]。

2. 辐射曝光量 H

辐射曝光是空间辐照度对其延迟时间的积分

$$H = \int_{\Delta} E dt \quad (1.10)$$

考虑到(1.8)式和(1.9)式, (1.10)式化为

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad (1.11)$$

也就是说,辐射曝光量是所能接收到的表面能量密度,单位为焦耳/米²[J/m²]。

(1.10)式中的 E 是按(1.8)式定义的,辐照度直接以被照射元表面积上所接收的元辐通量来度量。如果涉及到入射辐亮度 L 和系统的视场立体角 Ω ,则

$$E = \int_{\Omega} L d\Omega \quad (1.12)$$

三、光谱辐射度量学

辐射的空间特性量和时间特性量,均可以应用到单色辐能上。这时,相应的辐射特性量前应冠以“光谱”二字。例如,光谱辐亮度、光谱辐照度等,并记为 $L(\lambda)$ 或 L_λ , $E(\lambda)$ 或 E_λ 。相应地,其单位应改为瓦/(米²·球面度·微米)[W/(m²·sr·μm)]和瓦/(米²·微米)[W/(m²·μm)]。

辐射的光谱特性量都是辐射波长的函数。现代光学遥感都是多光谱遥感,使用很窄的光谱波段,因此,辐射的光谱特性量特别值得重视。

四、辐射与物质相互作用的特性量

这一组辐射特性量,描述辐射与物质相互作用的属性。

1. 发射率

(1) 发射率 ϵ

热辐射体的辐出度与处于相同温度的全辐射体(黑体)的辐出度之比,称为发射率

$$\epsilon = \frac{M}{M_{bb}} \quad (1.13)$$

式中, M_{bb} 是和辐射表面温度相同的黑体的辐出度。

(2) 光谱发射率 $\epsilon(\lambda)$

光谱发射率是热辐射体辐出度的光谱密集度与处于相同温度的全辐射体(黑体)的光谱密集度之比。

光谱辐出度,或者辐出度的光谱密集度,为在无穷小波长范围内的辐出度除以该波长范围。

(3) 光谱定向发射率 $\epsilon(\lambda, \theta, \varphi)$

光谱定向发射率是热辐射体在给定方向 θ, φ 的辐亮度的光谱密集度与处于相同温度的全辐射体(黑体)辐亮度的光谱密集度之比。

辐亮度的光谱密集度,或光谱辐亮度等于在无穷小波长范围内的辐亮度除以该波长范围。

2. 光谱吸收比,或光谱吸收系数 $\alpha(\lambda)$

光谱吸收比是吸收的与入射的辐通量的光谱密集度之比。

辐通量的光谱密集度,是在无穷小波长范围内的辐通量,除以该波长范围。

3. 光谱反射比,或光谱反射系数 $\rho(\lambda)$

光谱反射比是反射的与入射的辐通量的光谱密集度之比。

4. 光谱透射比, 或光谱透射系数 $\tau(\lambda)$

光谱透射比是透过的与入射的辐通量的光谱密集度之比。

5. 光谱辐亮度系数 $\beta(\lambda)$

光谱辐亮度系数是在表面一点上, 非自身辐射体在给定方向上的辐亮度的光谱密集度与同样辐照条件下理想漫射体的辐亮度的光谱密集度之比。

6. 线性衰减系数, 或线性消光系数 μ

线性衰减系数是垂直通过无限薄介质层的准直电磁辐射束辐能的光谱密集度的相对减弱, 除以介质层的厚度。

7. 线性吸收系数 α

线性吸收系数是由吸收引起的线性衰减系数。

8. 摩尔吸收系数 k

$$k = \frac{\alpha}{c} \quad (1.14)$$

式中, c 是“物质的量”浓度。

在这一组辐射特性量中, 发射率是描述热辐射体的辐射特性的, 包括辐射的空间特性和光谱特性。其余诸量, 均为描述非自辐射体在接受辐照时的特性。

五、光度学量

在空间光学遥感中, 有时候特别是在使用照相胶片的回收型遥感传感器时, 可能会遇到使用光度学量的情况。

大体上光度学量与辐射度学量一一对应, 表 1.1 给出基本光度学量。

表 1.1 基本光度学量

量	符 号	定 义	单 位
光量	$Q_V = \int_{\Delta t} \phi_V dt$		$\text{lm} \cdot \text{s}$
光通量	$\phi_V = I_V d\Omega$		lm
光出射度	$M_V = d\phi_V/dA$		$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$
(光)照度	$E_V = d\phi_V/dA$		$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$
发光强度	I_V		$\text{cd} = \text{lm} \cdot \text{sr}^{-1}$
(光)亮度	$L_V = d^2\phi_V/d\Omega(dA\cos\theta)$		$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 或 $\text{lm} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
光视效能	$K = \phi_V/\phi$		$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$
光谱光视效能	$K(\lambda) = \phi_{Vi}/\phi_\lambda$		$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$
最大光谱光视效能	$K_m = 683 \text{lm} \cdot \text{W}^{-1} (\lambda = 555\text{nm})$		$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$
光视效率	$V = K/K_m$		—
光谱光视效率 (视见函数)	$V(\lambda) = K(\lambda)/K_m$		—

对表 1.1 有以下几点说明:

1. 光度学的基本量是光通量,其单位是流明。1 流明是 1 新烛光(cd)的光源在 1 球面度的立体角内发出的光通量。

2. 一新烛光是在 101325 帕斯卡压力下处于铂凝固温度的黑体在(1/600000)平方米表面上垂直方向上的发光强度,即标准具辐射器的 1 平方厘米表面沿着法线方向辐射出的发光强度的 1/60。

3. 光量

$$Q_v = Km \int_0^{\infty} V(\lambda) Q_\lambda d\lambda \quad (1.15)$$

光通量

$$\phi_v = \frac{dQ_v}{dt} \quad (1.16)$$

因而,光通量与光谱光视效率 $V(\lambda)$ 有关。借此,从能量的辐射度学量过渡到了光度学量。

第四节 辐射能的传输

如图 1.1 所示,辐射能的传输包括从辐射源到探测器的全部传输过程。描述这一过程,需要大量的光学概念,这些光学概念构成辐射度学的基础。

一、辐射能传输的几何光学基础

几何光学的光线概念,为辐射度学全面描述辐射能的传播和传输过程提供了许多最简单而又最有效的方法。光线被定义为几何波前的法线,几何光学光线是能流的方向。

1. 辐亮度传输

辐亮度可用来定义辐射能流的大小。辐亮度在辐射度学中占有重要的地位,因为在几何光学范围内,沿各向同性介质中传播的光线辐亮度是守恒的。更普遍的,基本辐亮度甚至在通过介质间的界面时也是守恒的。从而,可以借追踪几何光线去追踪辐射的传输过程。在遥感传感器的辐射度学计算中,辐亮度是一个极重要的参数。

图 1.2 表示在均匀的各向同性介质中非相干辐射能的单元光束。单元光束由确定的一条中心光线和一小束光线组成。这一小束光线,包括着通过绕中心光线构成面元 dA_1 和 dA_2 的所有光线。不变量

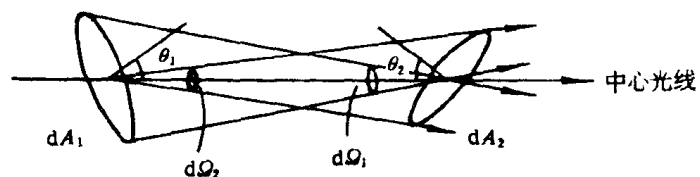


图 1.2 辐射能的单元光束

$$dG = d\Omega_1 \cos\theta_2 dA_2 = d\Omega_2 \cos\theta_1 dA_1 \quad (1.17)$$

是光线的单元光束的几何量。式中, $d\Omega_1$ 和 $d\Omega_2$ 是由每个面元向对面终端所张的立体角。