

遥感技术与电磁波

所谓遥感，就是利用人造地球卫星或飞机等飞行体，从高空对地球上的资源和环境所进行的调查。因此，接收地球表面上所反射或辐射的电磁波，就成为探测的一个基本原理。所谓电磁波，就是从可见光、红外以及微波等波长范围都被采用了。在这里，仅就对遥感中所采用的电磁波的基本性质作以下概要介绍。

1. 绪 言

遥感，就是从高空中的人造卫星、飞机等飞行体上，接收地球表面所反射或辐射的电磁波，而对地球进行广泛地探测；这样，即可获得有关地球上各类被测物体的状态和变化的信息。电磁波是标志整个地球表面状态的光谱特性的基础，实际上，从可见光区至红外、微波等广泛的波长范围内，都被应用着。借助于各种各样的光谱对地球进行探测，这就是遥感的一个最重要的特点。

因此，对于光和电磁波都有什么样的特性，下面仅在遥感方面的应用，作一个概要地介绍。首先就电磁波的基本性质和辐射测定的原理作一叙述。下面阐述一下光学遥感中的光波的反射和辐射概念、辐射源的性质等问题，其次就采用电磁波的概念来阐述遥感技术的原理和性质，进行介绍。

2. 利用电磁波遥感

2.1. 电磁波的信息

遥感的意义，如果从广意上来讲，就某一特定的对象或现象，就是对它以不接触的

方式进行记录而获得的信息。依此定义，例如天文学上各种各样的知识，借助于遥感技术就能获得。作为传递信息的媒介来说，不仅仅限于光和电学方面的波段，而各种各样的音波、机械振动波、电荷粒子和分子或高能量的离子以及重力场等，也都包括在内。

在现代的技术术语上，由于限定使用的地方很多，所以大致形成如下的概念，也就是说：“遥感技术就是从高空来探测地球表面上海洋的资源和陆地上的资源、环境、农林植被生长状态等信息”。因此，就要采用以接收光和电子学波段的传感器为主，从地球表面所反射的电磁波来获得信息，这就是电磁波的意义。

作为空间传递信息的电磁波必须确定传递方向、频率（或波长）、振幅以及偏振面，只有具备这四个参量才能传递信息。这个量的表达方式如图 1 所示。从地球上各种各样的物体中发射出的电磁波，对其物体有关的信息，可以变成如图 1 所示的四个属性形式。

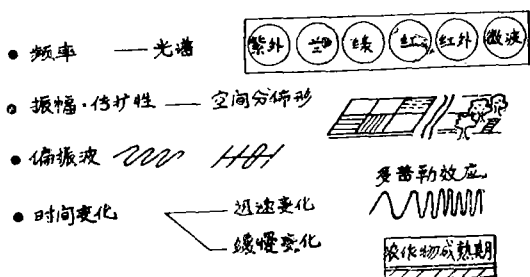


图 1 电磁波的信息

一方面，作为物质与电磁波相互作用的过程，有反射、吸收、透射、辐射以及散射等，它们包含这些复杂的过程，综合地来看，

是由地球表面所辐射出来的电磁波和位于空间的传感器来决定的。

2.2. 电磁波的光谱和传感器

在遥感技术中，从光波到电波广泛的波长范围内，均成为传感器所接收的对象。图2为可利用的波长区域分布。图中同时也给出了各个波长范围内所采用的具有代表性的传感器。如果考虑到电磁波的发生源，在光学波段领域中就要以太阳光和地球表面的热辐射为主，而在电学波段中，地球的热辐射就除外了；雷达是采用人造的电磁波。作为传感器的方式来讲，有被动式传感器和主动式传感器，前者是用来接收地球表面辐射的电磁波或从地表面上反射回来的太阳光，后者是接收由传感器上所发射出的电磁波，由

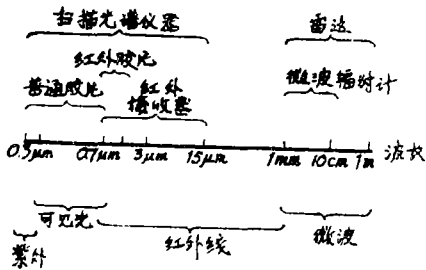


图2 波长范围与传感器

于反射而引起的散射光。雷达是一个具有代表性的主动式传感器，而激光的应用，正是考虑了这个原理。

2.3. 辐射测定的原理

光谱辐射计是遥感测定中的一个关键问题。其工作原理如图3所示。从辐射源发出来的射线，经透镜和快门入射，再由接收器转换成电信号。在接收器的前端，根据需要安置相应的滤光片。

表1为光谱辐射测定中所采用的术语和意义。采用光谱辐射计时，对于所测定的辐射源的各种辐射量是可以计算出来的。例如：接收面为 S ，视场立体角为 W 的传感器，从高度为 h 的上空探测地面时，各种辐射之间的关系如图4所示。还有，要假定地面是一个完全的扩散面

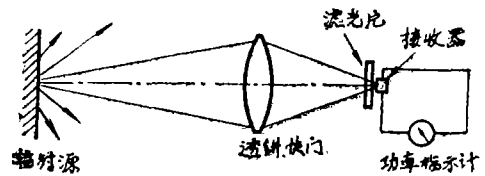


图3 光谱辐射计的基本构成

表1 光谱辐射测定用的术语

名 称	定 义	单 位
辐射能量 Radiant energy	电磁波在空间所传递的能量	J
辐射波束 Radiant flux	在单位时间内所传输的辐射能量	W
辐射强度 Radiant intensity	从一个微小的辐射源中，将其某一方面微小的立体角内所辐射的波束用立体角的值来表示	$W \cdot sr^{-1}$
辐射发射度 Radiant emittance	在微小的辐射面上，单位面积上所辐射的波束	$W \cdot m^{-2}$
辐射照度 Irradiance	在微小的面上，单位面积所接收的辐射波束	$W \cdot m^{-2}$
辐射亮度(辐射率) Radiance	从一个微小面上向某一方面所辐射的强度，以其正投影的面积来表示	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

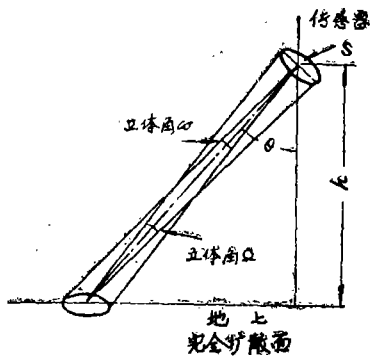


图4 传感器所测定的辐射能与地面辐射能之间的关系。

$$N = \frac{H}{\pi}$$

$$J = NS \cos \theta = \frac{HS}{\pi} \frac{S}{\cos \theta}$$

$$P = J \omega = \frac{W}{\pi} \omega S$$

$$H = \frac{W}{\pi} \omega$$

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{\pi}{WS} P \\ N &= \frac{1}{WS} P \\ J &= \frac{Su}{WScos\theta} P \end{aligned} \right\}$$

式中:

W: 辐射发散度, N: 辐射率, J: 辐射强度。

P: 传感器的入射辐射波束, H: 受光面的辐照度, S: 受光面的面积 ω , : 传感器的视场立体角, S_0 : 当 $\theta=0$ 时地面上的分辨率 ($S_0 = Wh$)

3. 光学波段领域中的遥感技术

3.1. 利用太阳光反射进行的遥感

从高空侦察的传感器上所捕获的光的能量, 主要是太阳光从地面上所反射的光, 此外, 还有地球本身的热辐射能量。两者的意义显然是有区别的, 下面首先就太阳反射光的性质作一叙述:

(1) 以太阳作为光源

以太阳光当作光源, 当然其反射光谱仅限于太阳光的光谱范围。太阳的黑体近似于 5900°K , 而实际上入射到地面上光的光谱分布, 由于经过大气的吸收和散射, 使 5900°K 的黑体辐射分布有着显著的不同。图5所示为两者的对比情况。从可见光到4微米的红外区域可看出大气吸收主要是由于水分子所引起的。

除了地上入射的光而外, 由于太阳光在大气中的散射, 还有一个全天候入射的漫散射问题。根据天气状态、波长的分布与照度也有显著变化。完全晴天时的照度, 当太阳高度为 50° 以上时, 直接光的比值为 1, 另外, 根据波长的分布, 在短波一侧 (0.45 微米附近) 具有最大值。

(2) 地表面的反射

地球上各种各样的物质颜色上的差异, 是由于其光谱辐射特性的不同而引起的。因

此, 接收从可见光区域到红外区域, 涉及很广的反射光谱, 就可以求出其信息, 这就是光学遥感的原理。实际上, 决定反射光谱的因素是相当复杂的, 涉及到形状、位置、传感器视场的方向与太阳的相对位置等等, 但是, 其中最主要的作为基础的则是反射光谱的特性了。

其次, 作为地球上具有代表性的物质, 把绿色的植物与水当作例子, 将其基本的光学性质予以介绍:

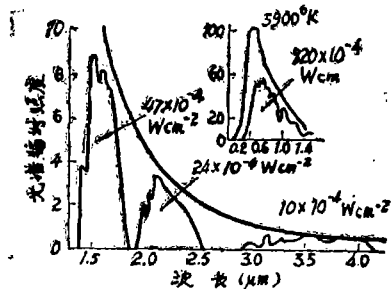


图5 太阳光的光谱特性

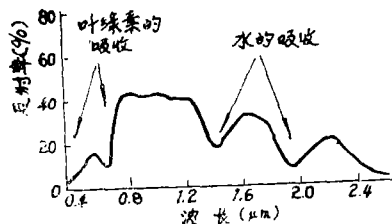


图6 绿叶的反射光谱特性

(a) 植物的反射: 绿色植物的叶子, 由于光合作用, 而吸收了光能量。光能量主要是由于叶绿素而被吸收的。由于叶绿素在

0.45微米和0.67微米附近具有强烈的吸收带，所以在这附近反射率就很低。叶子入射光中没有被吸收的部分被反射或很好地透过了，由于叶子是由微小的细胞组成的，入射的光在细胞液中聚集细胞空间边界上（折射率为1.33）作几次反复地反射与折射，使吸收的光最后向外面散射了。

这样，决定绿色叶子的具有代表性的光谱反射特性，如图6所示，在叶绿素吸收带上，反射率就显著地下降。自0.74微米至1.3微米附近，其反射率几乎是一样高的，但在这个区域几乎是没有吸收的，反射与透射之和近似于1。在近红外区的反射率与组织的形状及大小，细胞空间存在的程度等因素有关。在1.4微米及1.9微米附近是由水而引起的吸收。

以上基本特性，对绿色的植物来说是有共同性的，但是，精确的一点，由于植物的种类和生长状态的不同，它也是有变化的。图7为水稻叶子反射率随着季节变化的测定例子，作为参考。水稻单叶的反射率是按着季节的时间变化测定的，可看出某一系统的变化情况，在0.55微米附近的反射率就高，在0.67微米附近的吸收就大。

整个植物的叶子都具有上述那样的光谱反射特性，而对遥感来说，就是由叶子的集合体的群丛而看到的。这种集合由于叶子的重合而产生多次反射效果，例如，利用植物的水平群丛和垂直群丛，其效果也是不同。像这样的几何要素，实际上是很重要的，例如把农作物取做为对象的时候，涉及到叶子

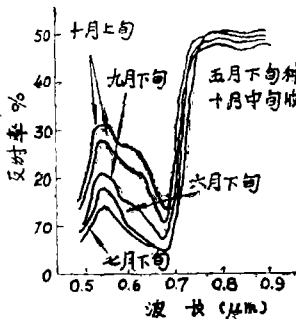


图7 水稻叶子反射率的测定

的形状、形态、叶子的面积、地上高度、田野的方向、太阳的高度等很多参数，都对反射特性有影响。

(b)水的反射：海岸、河川等都是遥感的重要对象。来自于水上的光，可分为表面的镜面反射光、水中微小浮生物的散乱光以及水中植物的反射光等组成的，其中在浅底的情况下还要增加一个海底反射光。表面的镜面反射光不是太阳光直接进入视场就不成为一个限制问题。

因为水对光有一个很强烈的吸收，所以从水上反射的光所获得的50%信息与表面附近相比是要受到限制的。图8为衰减距离的实例，光以 $1/e$ 的衰减距离，对澄清的海，在0.5微米附近，其距离为10米多，在0.7微米附近以及近红外区，其距离为1米以下。

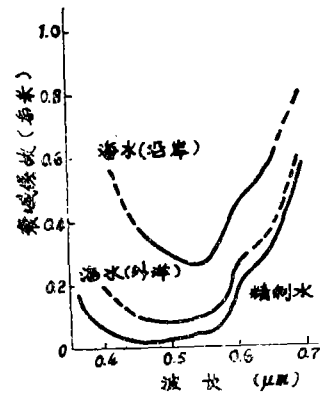


图8 衰减距离的波长特性曲线

从水上所取得的主要信息，就是散射光的成份了。散射光包含着水中微小粒子量、散射和吸收波长的选择性等等。例如，就海洋而言，清洁的海水里，吸收比较小的可见区的短波部分入射到海水中的光，由于瑞利散射，结果蓝色的光就折射回来。对波长进行比较，在多数浮有大粒子表面附近的混浊的海水，由于巨大的粒子米氏散射的作用，经过从可见光区到红外区域显示出一样大的反射。由于存在着植物浮生物那样的波长选择性，而出现的吸收，那么，对水的反射特性之影响就显著了。

3.2. 地表面的热辐射

(1) 地球的热辐射

地球上平均的温度为 280°K ，辐射率为 $0.9 \sim 1$ 个灰度级（辐射率是一个与波长无关的常数，把小于 1 的辐射体称之为灰度级）。表 2 为典型的物质辐射率。

如果温度不同，那么它的热辐射光谱也不同。图 9 所示为地球两极 300°K 的黑体辐射、 320°K （赤道上的沙漠）和 230°K （极地）各个黑体辐射的光谱特性曲线。

表 2 辐射率的值

土（干土）	20°C	0.92
（湿土）	20°C	0.95
砂	20°C	0.9
水	20°C	0.96
雪	-10°C	0.85

地球的热辐射，在波长为 10 微米附近为最大，它同太阳光的反射光谱分布几乎是不重合的。两者的分界是在波长为 $3 \sim 4$ 微米之间。

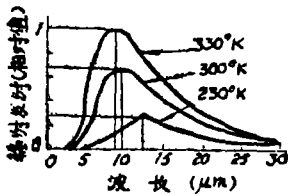


图 9 地球的热辐射

(2) 温度测定

一个温度为 T ，辐射率为 ζ 的物体表面的辐射量 W ，其单位面积的辐射量为：

$$W = \epsilon \sigma T^4$$

式中 σ 为珀尔兹曼常数 ($5.670 \times 10^{-12} \text{ Wcm}^{-2}\text{K}^{-1}$)， W 与温度 T 的 4 次方成正比，由此可见，比较小的温度变化，可以引起大的辐射量，这样就可以进行远距离温度分布的测定。

(3) 辐射率的探测特性

地球表面上大部分的物质的辐射率为 0.9 至 1 的灰度级，近似于黑体，但是，各

种物质的光谱辐射率是随波长而变化的，其实例如图 10 所示。图中砂子的光谱辐射强度在 9 微米附近，出现局部减少，这里，在这种波长范围内，有些物质产生特殊的共振性的反射，因此它的辐射率就下降了。根据这种现象能够区分泥土与砂子之类的特征，因此成为遥感中主要注意的一环。

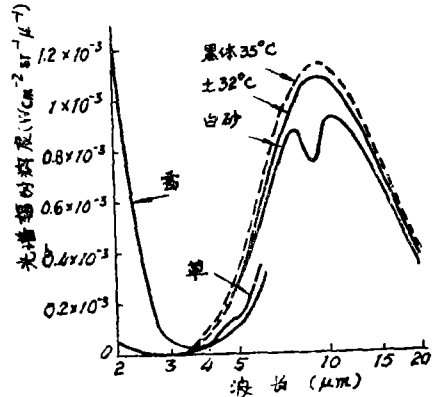


图 10 地表面的光谱辐射强度

就一般的植物而言，波长从 8 微米至 14 微米的范围内，几乎近似于黑体，其光谱辐射率也近似于一个常量。

3.3. 大气效应

(1) 大气吸收

在遥感技术中可利用的波长，由于大气中所产生的吸收而受到限制。所谓大气吸收，就是从太阳照射到地上的光受到衰减的同时，从地表面上辐射到传感器之间也衰减了。决定大气透过特性的主要因素是由于水、二氧化碳以及臭氧等分子的吸收。图 11 为大气垂直方向透过特性的概要。

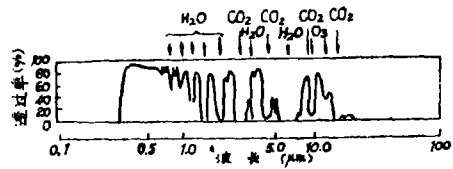


图 11 大气透过特性（垂直方向）及其主要吸收

(2) 大气的热辐射和散射

在 5 微米附近以上红外区域吸收较大的

波段，除了地表面的辐射吸收而外，而大气本身也有一个热辐射。根据波长的不同，大气的这种热辐射是不能忽视的一个量。利用大气的热辐射，在人造卫星上就可以获得各种高度大气层的温度分布。

此外，面向地球的传感器，入射的是经过大气而散射的太阳光、这个就叫做程辐射(Path radiance)。这种散射光是由瑞利散射和烟雾造成的，特别是由于瑞利散射的效应，在可见光区域的短波范围中出现显著的辐射量。对海洋等方面的遥感，其处理上就成了问题。

3.4 具有代表性的传感器

作为实际应用的遥感传感器，具有代表性的有多光谱摄影机和多光谱扫描仪。多光谱摄影机就是选用不同波段的滤光片，同时对准同一个视场的物体而进行的摄影。多光谱扫描仪如图12所示。多光谱扫描是一个旋转扫描镜与飞行方向成直角对视场进行扫描并把接收的光分离成几个波段的光谱辐射计。如果把把这个光谱辐射计以一定的高度进行直线飞行工作，那么可同时获得地面上各种各样二维的光谱图象：这个装置的特点，就是从可以直接摄影的可见光区域到不能直

接摄影记录的红外区域，都能同时获得光谱信息。地球资源技术卫星(ERTS-1)就是一个装有波长为0.5微米~1.1微米的四个波段的多光谱扫描装置(也可称之为多光谱扫描式辐射计)

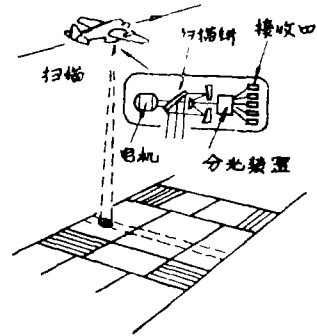


图12 多光谱扫描仪

4. 无线电波领域的应用

4.1. 无线电波的特征

(1) 与光的比较

当地表面被云所复盖的时候，以可见和红外波段进行探测是不可能的，但是，若采用无线电波的时候，云几乎是像透明的东西了。因此，采用无线电波进行遥感就不受天气的影响。

表3 无线电波与光的比较

波长区域	天气条件	时 间	空间分辨率	数据解译
可见光	仅限于晴天	只在白天	高	比较容易
近红外	仅限于晴天	只在白天	高	比较容易
热红外	仅限于晴天	昼夜	高	复杂
微波	几乎全天候	昼夜	低	复杂

表3，通过无线电波与光波的比较，归纳总结了遥感的特征。因为采用无线电波，其波长较长对地面分辨率是不可能很高。视场角的分辨率 θ 是由波长 λ 和天线孔径D来决定的，即 $\theta = \lambda/D$ 。因此，如波长为1厘米，天线孔径采用5米的情况下，则 $\theta = 2 \times 10^{-3}$ ，这时其高度在5公里时，地面的分辨率为10

米。而高度为500公里时，地面的分辨率就相当于1公里了。

采用无线电波的时候，数据的处理是比较复杂的。

(2) 大气效应

根据大气的影晌，无线电波与光波相比较是特别小的，但是根据波长的不同而出现

吸收。主要是对毫米波有水、氧的吸收，而对1.35厘米的微波，除了水有微小的吸收外，其他影响是不存在的。图13为大气在垂直方向的透过特性。

此外，短波一侧云也产生吸收，图14为云在垂直方向透过率的简要曲线。由于水滴的云几乎是透明的，而产生吸收是水滴状态的云。

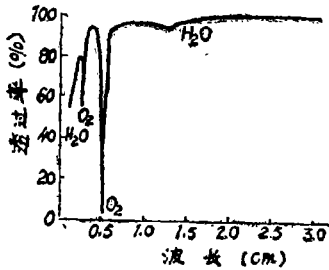


图13 大气的透过特性（垂直方向）

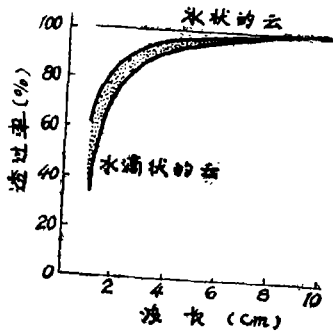


图14 云的透过率

4.2. 辐射计与雷达

(1) 辐射计

对 $Ch/\lambda KT \ll 1$ 的长波波段，根据布朗哥热辐射的法则，其近似值为：

$W_\lambda = 2\pi CKT/\lambda^4$ (瑞利式)，式中K为波尔兹曼常数。h为布朗哥常数，C为光的速度。因此，对某一波长的入射辐射能W为：

$$W = \int \epsilon W_\lambda d_\lambda \propto \epsilon T$$

它与辐射率及绝对温度的乘积成正比，采用辐射计所测定的温度为 ϵT ，则

$$T_A = \epsilon T$$

T_A 为等价温度 (effective temperature) 或者称之为亮度温度 (Brightness

temperature)。

无线电波波段的辐射率是与地表面的粗糙度、偏振波面、传感器对地面视场的角度、地表面上的电介质的性质、电磁波的频率以及地表面的温度等许多参数有关。

对具有大气吸收的波段，考虑大气的辐射与地表面引起的反射是很有必要的。

(2) 雷达

地球表面上对无线电波散射的方式是随着各种物体的种类和状态而变化的，雷达就是利用这个原理来进行遥感测试的。一个从朝向地球表面的传感器上所发射出并又捕获到的散射波的装置，就称它为无线电波扫描计 (Scatterometer)。

把在地球表面上散射形式的量当作要求的一个量，雷达是采用断面积来表示的。雷达的断面积与前面辐射率是一样的，是地表面的粗糙度和电磁感应特性的函数，同时又是和偏振波面、入射角以及频率等的函数。

美国航宇局所发射的空间实验室 (Sky-lab) 上所说的S193微波传感器，就是一个以13.9GHz工作的，它即可作辐射计又可作扫描用的传感器。

此外，作为雷达的一种，还有旁视雷达，特别是综合孔径方式的旁视雷达，其天线和飞机是一起移动使用的，借助于适宜的信号处理，把大的等价的孔径进行合成，即可获得地面分辨率较高的二维图象。

4.3 地表面的性质

地表面的性质，显然也包含着辐射率和雷达的断面积，但是，对其有最大影响的就是表面的粗糙度，其次就是电介质的性质。例如采用微波的情况下，水面和铺设的路面、露出的土就是很光滑的面，森林和密植物与农作物等就是显示粗糙度的面。

举一个用微波探测很有效果的例子，就海洋作为一个实例来简单介绍、在海洋表面上，它的状态——波浪的高度、波长的分布、白浪的存在等对辐射率和断面积均有很

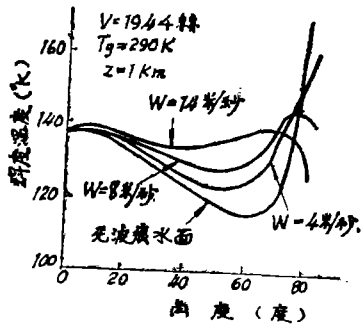


图15 海面的辉度温度

大的变化。图15为在19.4GHz的海面上测定其辉度温度的实例。把海洋表面所视察到的角度变化情况，以海洋上的风速作为参数来表示，这时候所得到的辐射率是由风速决定

的，除0.5外，取视场方向 50° ，这时的辐射率由于风速变化而变化的情况就更明瞭了。利用这样的无线电波，对海洋表面状态进行调查，是很广泛的，其实用效果也是很好的。

5. 结 束 语

以上介绍的主要是电磁波在遥感中的应用及应用原理。本文若对遥感爱好者多少有点参考价值的话，那作者就感到荣幸了。

译自日本《电视技术》Vol. 29, No. 3.

P164~170.1975

(王历 译 朱云青 校)

上接7页

geometrg of He three dimenrions, Cambridge unirerity kres, 1955, p.159.

- [VI] 例如：顾德门，J.W.；傅里叶光学导论，科学出版社，1976，p.226。
- [V] Hotekinge, H.H.；Waue Heorg of aberiatron, Clarendon press.1950.
- [IV] Steel, W. H.；Progrese in optics, vol V., p.157.
- [VII] 例如：查哈里也夫斯基，干涉仪，

上接14页

- [2] E, J, Watson, Math Comp 16, 368 (1962)

(顾去吾等译)，科学出版社，1966，P.190。

- [XII] 例如：Kocher, D.G., App. Optico 1972(11)1872.
- FOuèrè, J. C. and Malacara, D., App. Optico, 1974(13)2035.
- [IX] 例如：王之江，光学设计理论基础，科学出版社，1965，P.205.
- Maréchal, A.; Handrbuch der Physik, S—V.B.G—H, 1956, uot. 24, P.136.
- [3] E, D, Nelson and M, L, Fredman, Hadamard S; ecfroscopy J, (), S, A (p.1664)1970