

雷达图像的特点

——“成像雷达微波遥感知识”介绍之三

赵立平

(湖南省遥感中心)

成像雷达微波遥感探测的主要信息是目标与微波波段电磁波相互作用后反射的微波信息。人们正是根据不同目标与电磁波间的不同相互作用特征,对雷达图像进行解译,以解决生产、科研中的问题。与其它的遥感图像不同,雷达图像的特点与雷达成像的工作参数和图像质量参数有关。

一、雷达图像参数

雷达图像的参数可分成两类:一类是表示形成图像的条件数据,与雷达成像工作参数及雷达图像的解译有关;另一类是表示图像质量的数据,与雷达图像的可解译性有关。

1. 雷达成像工作参数

(1) 波长 雷达使用的波长对电磁波与目标相互作用特征的影响主要示现在下述两方面:其一为目标的等效表面粗糙度;其二为电磁波穿透目标的能力。

(2) 极化 雷达发射和接收的信号可以是水平极化,也可以是垂直极化的。发射信号与接收信号极化方向相同时,形成的图像称同极化图像;方向相反时,形成的图像则称交叉极化图像。极化方向的不同会导致目标对电磁波的不同响应,因此上述两种图像具有不同的特点和不同的用途。

(3) 视向、俯角和照射带宽度 视向是雷达波束相对于目标的照射方向。同一地区不同视向的雷达图像可能很不相同,因此多视向是丰富雷达遥感资料的重要手段。

俯角是雷达波束与飞行水平面之间的夹角,它与雷达波束投射于水平地面目标上的入射角互为余角。同一目标处于雷达波束的不同俯角区时,其贡献的回波大小可能不同。

雷达波束有一定的宽度,在照射距离方向的这一宽度相应于一定的俯角范围(图1)。在这一范围内,雷达波束照射的地面宽度称为照射带宽度。图像的近距离点对应于波束的大俯角 ϕ_2 ,远距离点则对应于小俯角 ϕ_1 。

(4) 距离显示形式 雷达图像对距离的显示形式有两种:地距显示和斜距显示。前者

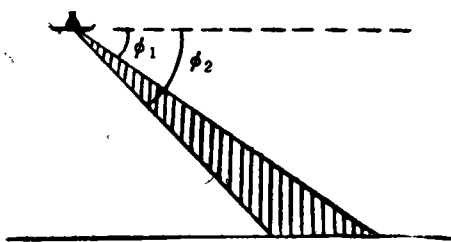


图1 俯角与照射带

表示图像中各目标之间的相对距离,与对应的地面实际距离成正比;后者则与目标到雷达的距离成正比。不同的距离显示形式,会有十分不同的图像几何特点。

(5) 比例尺 雷达图像比例尺是图像上目标的距离与实际地面目标的距离之比。不难发现,在以斜距显示的图像中,距离向的比例尺不是一个常数,而表现为近距离图像的压缩。

(6) 运载雷达的飞行器的飞行参数 包括成像时飞行器所在的经纬度、高度和成像时间等。

2. 雷达图像质量参数

雷达图像是雷达微波遥感的最终产品。雷达图像质量的好坏,显然是由雷达系统本身的工作情况所决定的。然而对于雷达图像应用者来说,所感兴趣的不是雷达系统本身的参数如何影响图像的质量,而是那些影响从图像中提取信息能力的参数。

(1) 图像分辨率 一幅雷达图像的质量主要取决于分辨地物目标的能力。通常,人们用空间分辨率、灰度分辨率和体分辨率来衡量这种能力。

空间分辨率是影响从图像中提取信息的关键参数之一,是指在图像某方向上能区分地面两个不同目标的最小距离,因而有方位向分辨率和距离向分辨率之分。距离向分辨率与方位向分辨率的乘积代表地面分辨单元的大小,称为面分辨率。只要分辨单元的面积相同,不论组成分辨单元的两个方向的分辨率相同与否,对雷达图像的解译效果总起来说是相同的。

灰度分辨率是指可以分辨的两目标间最小对比度。它与雷达图像光斑特征有密切关系。正是由于这种光斑特征,许多情况下两目标的对比度是指它们之间的平均回波功率之比,即图像强度之比。因此灰度分辨率就是最小可以区分的目标图像强度之比。

单是空间分辨率或灰度分辨率还不足以完全确定雷达图像的解译能力。只有空间分辨率与灰度分辨率相结合,称为体分辨率,才能确切地表示雷达图像的可解译能力。体分辨率 V 可用下式表示:

$$V = R_a R_g R_i$$

其中 R_a 、 R_g 、 R_i 分别为方位向分辨率、距离向分辨率和灰度分辨率。

(2) 动态范围 一般将雷达图像中可以检测的最强目标和最弱目标的雷达截面积范围称作动态范围。可检测的最强目标通常由雷达成像系统的饱和电平决定,最弱目标则由图像的背景噪声决定。

(3) 几何精度 雷达图像的几何精度用来表示从图像上测得的距离与实际地面距离相吻合的程度。

二、雷达图像的几何特点

成像雷达的工作方式决定了雷达图像的几何特点。除前已提及的在斜距显示的图像上有近距离压缩现象外,还具有透视收缩、叠掩、阴影等特点。

1. 雷达图像的透视收缩

雷达图像是一幅平面图,除了垂直投射电磁波束的情况之外,所有在雷达图像上量得的地面斜坡长度均比实际长度要短。这种现象称为雷达图像的透视收缩。从图2可见,若令斜坡实际长度为 L ,图像显示坡长为 ΔR ,则

$$\Delta R = L \sin \phi$$

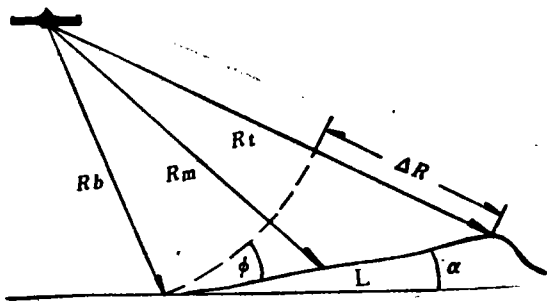


图 2 雷达图像的透视收缩原理示意图

R_t 、 R_m 、 R_b 分别为雷达到斜坡的顶部、中部和底部的斜距， α 为坡度角

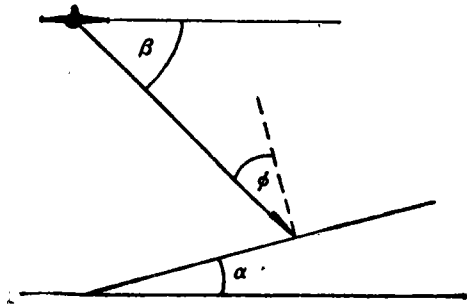


图 3 入射角、俯角和坡度角的关系图

式中 ϕ 角实际上就是雷达波束的入射角，其大小取决于波束俯角 β 和斜坡坡度角 α 的相对大小(图3)。有种特殊情形，即当 β 和 α 互为余角时， $\phi=0^\circ$ ；同时 $R_t=R_m=R_b$ ，坡顶、坡腰和坡底会成像于同一点上，即 $\Delta R=0$ 。因此，雷达图像的透视收缩百分比 F_P 可由下式求得：

$$F_P = (1 - \sin \phi) \times 100\%$$

2. 雷达图像叠掩

雷达是一个测距系统，离雷达近的目标的回波先于离雷达远的目标的回波被接收到。当地物目标高出地平面时，若其顶部比底部更接近雷达，则顶部会先于底部成像。这种现象称为叠掩。例如广场上的旗杆，就是一例。其影像的方向与航空摄影图像上旗杆影像的方向正好相反。并不是任何高出地面的目标都会产生叠掩，只有当雷达波束俯角 β 与高出地面目标的坡度角 α 之和大于 90° 时才有这种现象。因此叠掩是种主要发生在近距离内的现象。

3. 雷达阴影

雷达波为直线传播，当雷达波束受山峰等高大目标阻挡时，无法照射到这些目标背面的一定范围内，因而也就不会有来自这个范围内的雷达回波，结果在图像的相应位置上出现了暗区。这些暗区称为雷达阴影。无疑，雷达阴影出现在距离向上背离雷达的方向，其宽度与目标在雷达波束中所处的位置以及背坡的坡度角大小有关。适当的阴影能增强图像的立体感，丰富地形信息；但在地形起伏大的地区，阴影会使许多地物信息丢失，因而要尽量避免。为了使阴影区的信息不至于丢失，也可以采取多视向雷达成像技术。

以上讨论的雷达图像几何特点都与雷达波束的俯角有关，因此在雷达飞行时应根据具体地物目标的特点，权衡透视收缩、叠掩及阴影的大小选取一个最佳的俯角。

三、雷达图像的信息特点

众所周知，组成电磁波的要素有振幅、频率、初相和极化等。雷达发射的电磁波到达目标，并与目标发生相互作用后一部分反射回雷达，构成雷达回波。不同目标的雷达回波是不一样的，各种要素间存在着这样或那样的差异。通常，不同振幅的回波在图像上以灰度不同体现出来；不同极化的回波将以同极化图像或交叉极化图像的形式体现出来。不同目标能产生不同强度(振幅)，不同极化的回波，包括这些回波的空间分布特征正是雷达微波遥感的依据，是进行目标判别的信息基础。上述目标与电磁波相互作用的过程主要为散射过程，因而

目标散射截面积是回波强度的另一种常用表示法。

1. 不同类型目标的回波特点

具有足够粗糙表面的目标（表面粗糙度与雷达波长相当或更大）称为分布目标。由于这类目标可以看成由无数随机的点目标组成，因而它们贡献的回波幅度也是随机的，图像显示为一系列亮点或暗点。这些与回波电场强度大小相对应的亮点或暗点称为光斑。由于光斑效应的存在，只有相邻两个分布目标的对比度，也即平均回波功率之比或图像上的平均灰阶差值达到一定数值时，才能比较准确地将它们区分开来。

点目标是指比分辨单元小得多的目标。由于雷达图像的一个像素对应于地面一个分辨单元，因而尽管点目标的尺寸比一个分辨单元面积小，它在图像中仍需占一个像素的大小。合成孔径侧视雷达对点目标的响应为二维正弦函数。

还有一类目标既不象分布目标那样占有很大的面积，也不象点目标那样限制在分辨单元之内，它们给出的回波图像往往表现为一系列亮点或一定形状的亮线，被称为硬目标。大多数人工目标都属于这一类。回波具有很强的方向性是硬目标的一个重要特点。也就是说，回波的强度与入射电磁波和目标之间的相对方向有很大关系。另外，在分辨率较高的雷达图像中，硬目标大多有各自独特的图像特征。

2. 雷达图像的色调特征

有别于一般遥感图像，雷达图像只能观察到灰度的变化。灰度的空间变化构成了雷达图像的纹理。可以说灰度及纹理是雷达图像分析目标的两大要素。在雷达参数设计确定以后，决定图像中每一像素灰度值的关键是雷达的后向散射系数。影响后向散射系数的因素很多，其中涉及雷达系统的参数有波长、入射角、极化；涉及目标的参数则有方位角、复介电常数、表面粗糙度、次表面粗糙度及不均匀介质的体散射系数。困难的是人们至今还不能精确地写出散射系数与上述各参数之间的分析表达式，而只有一些在简化条件下的模式可以采用。

3. 雷达图像的纹理特征

一般航空像片的纹理特征是指目标信息在图像上凝聚成的一种色调变化频率。雷达图像的纹理也可采用同样方式对具有单一分辨率的雷达图像上的地物特征进行比较。通常，细微纹理是以一个分辨单元的大小为尺度来表示色调的变化；中等纹理实际上是细微纹理的包络。是由于同一种目标的若干分辨单元在空间呈不均匀性排列，或者不同目标的细微纹理同时占有了多个分辨单元；宏观纹理实际上是以数百个甚至更多的分辨单元为尺度来表示色调变化，地形的结构特征就是最好的实例。

还需要说明的是，由于雷达设备本身工作不正常，或调整得不合适，会在图像上出现一些虚假现象，如图像光点旁瓣或条纹、图像浮散或光环以及距离向条带、航迹向条带、航迹向模糊、目标淹没等。此外，由于降雨的影响、飞机运动的影响及图像比例尺的变化，都会在雷达图像上出现一些异常现象，在利用雷达图像时要注意将这些现象与正常的图像信息特征区分开来。