

细长导体目标的雷达图像特征¹

张守融 王卫廷 梁瑞宏

(中国科学院电子学研究所 100080)

摘 要 本文讨论如高速公路护栏、铁路轨道等细长导体目标的雷达图像特征。从电磁波与地物目标相互作用的角度,说明了它们在雷达图像上显示为强信号或弱信号的原因。

关键词 微波遥感, 导体目标, 雷达图像

中图分类号 TP753, TN957.7

1 引 言

迅速发展的微波遥感技术已经提供了大量地物目标的雷达图像。但是,由于这些雷达图像是以微波为探测手段获得的,和人们早已习惯了的光学图像有很大差别,常常会出现地物目标在雷达图像中的显示情况使人感到惊奇,甚至雷达专家也感到大出意外的情况。因此,为了正确地识别雷达图像中的地物目标,实现对雷达图像的有效判读,研究人员一直在试图寻找各种地物目标在雷达图像中的显示特征,以便利用这些显示特征从雷达图像中提取目标信息^[1,2]。本文讨论细长导体目标的雷达图像显示特征。这里“细长”的含意是,目标的径向尺度不超过入射电磁波的波长量级,而其轴向尺度则远大于入射电磁波的波长。在实际应用中,高速公路的护栏,铁路的轨道,一些地面设施的金属结构等均可被归纳为这类目标。

2 雷达图像观察

图 1 是一段高速公路的雷达图像。电磁波的入射方向在地面的投影是从上方到下方,极化方式是 HH。从图 1 可以看到,高速公路在它的转弯处,即在它的走向与入射电磁波的电场矢量方向相互平行的地方,显示为一个极强的信号,而在其余地段则显示为弱信号。图 2 是在图 1 所示地段现场进行考察时拍摄的照片。可以看到,在高速公路的这一路段,与公路的其它路段一样,基本结构是数米高的路基和细长的公路护栏,没有任何其它特殊的地物存在。我们判断雷达图像上的强信号主要来自公路护栏而不是路基。一个重要的理由是,如果强信号来自路基,则它只应该存在于公路的单侧。但雷达图像清楚地显示强信号来自公路两侧。

¹ 1998-10-07 收到, 1999-05-05 定稿



图 1 一段高速公路的雷达图像



图 2 图 1 中高速公路的照片

这一雷达图像说明,细长导体目标在雷达图像中可能显示为强信号,也可能显示为弱信号。类似现象也存在于其它雷达图像中。如图 3 所示一段铁路的雷达图像。图中电磁波的入射方向在地面的投影仍是从上方到下方,极化方式仍是 HH。这段铁路的细长铁轨在雷达图像中显示为弱信号。图 4 是这段铁路的实地照片。这是一段普通单轨铁路,有数米高的路基,钢筋水泥枕木。



图 3 一段铁路的雷达图像



图 4 图 3 中铁路的照片

3 窄长导体薄片的后向散射

为研究细长导体目标在雷达图像中的显示特征,我们考察窄长导体薄片的后向散射。如图 5 所示,导体薄片 σ 宽 $2a$, 长 $2b$, 其长轴沿坐标系的 y 方向,法向沿 x 方向。入射电磁波是电场矢量 \vec{E}^i 和波矢量 \vec{k} 均与 $x-y$ 平面平行的平面波。记 \vec{k} 与 $-x$ 方向的夹角为 ϕ :

$$\vec{k} = -k \cos \phi \cdot \hat{x} + k \sin \phi \cdot \hat{y}.$$

入射波的时间依赖为 $e^{-i\omega t}$ 。为简单,假定入射电磁波的电场振幅为 1,于是入射电磁场 \vec{E}^i , \vec{H}^i 可分别表示为

$$\vec{E}^i = E_x^i \hat{x} + E_y^i \hat{y};$$

$$\vec{H}^i = H_z^i \hat{z};$$

其中

$$\begin{aligned} E_x^i &= \sin \phi \cdot e^{ik(-x \cos \phi + y \sin \phi)}, \\ E_y^i &= \cos \phi \cdot e^{ik(-x \cos \phi + y \sin \phi)}, \\ H_z^i &= -\sqrt{\varepsilon_0/\mu_0} \cdot e^{ik(-x \cos \phi + y \sin \phi)} \end{aligned}$$

在入射波作用下, 导体薄片 σ 上将出现沿 \hat{y} 方向的表面电流。由于在这一方向薄板的尺度很大, 故可使用物理光学近似^[3]。于是, σ 上的表面电流 \vec{J} 可写为

$$\vec{J} = 2\sqrt{\varepsilon_0/\mu_0} \cdot e^{iky \sin \phi} \hat{y}.$$

由电荷守恒定律, 薄板上的电荷分布为 ρ :

$$\rho = 2\varepsilon_0 \cdot \sin \phi \cdot e^{iky \sin \phi}.$$

在薄板两端 $y = b$ 和 $y = -b$ 处, 由于电流的不连续, 有线电荷分布 ρ_b 和 ρ_{-b}

$$\begin{aligned} \rho_b &= (2i/\omega)\sqrt{\varepsilon_0/\mu_0} e^{ikb \sin \phi}, \\ \rho_{-b} &= (-2i/\omega)\sqrt{\varepsilon_0/\mu_0} e^{-ikb \sin \phi}. \end{aligned}$$

薄板的散射场 \vec{E}^s 由下式给出:

$$\vec{E}^s(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_{\sigma} \frac{\rho(\vec{r}')}{R^2} \left(\frac{1}{R} - ik \right) e^{ikR} \vec{R} d\vec{r}' + \frac{i\omega\mu_0}{4\pi} \int_{\sigma} \frac{1}{R} e^{ikR} \vec{J}(\vec{r}') d\vec{r}'.$$

其中 $\vec{R} = \vec{r} - \vec{r}'$, \vec{r} 是场点坐标, \vec{r}' 是源点坐标。

利用上式, 可算出薄板的后向散射场各分量 E_x^s , E_y^s 和它在入射波电场方向的投影 E^s ,

$$E^s = E_x^s \sin \phi + E_y^s \cos \phi,$$

于是得到同极化时薄板的单站雷达截面 σ_b

$$\sigma_b = 4\pi \cdot R_r^2 (E^s)^2,$$

其中 R_r 是薄板中心到雷达的距离。

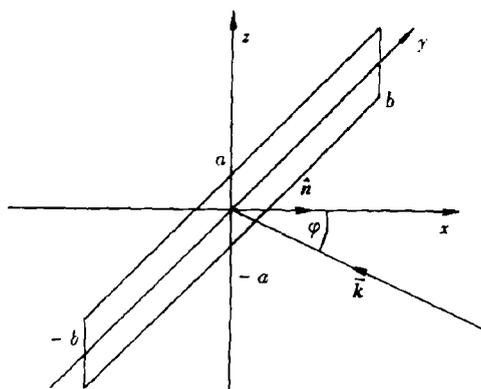


图5 窄长导体薄板和入射电磁波

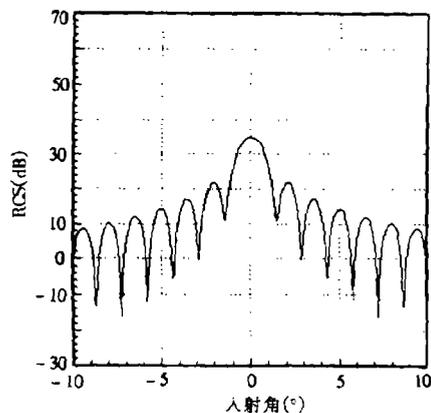
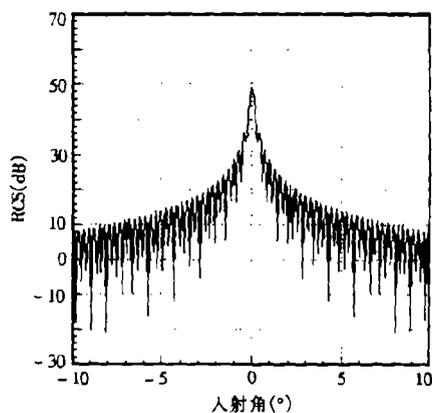
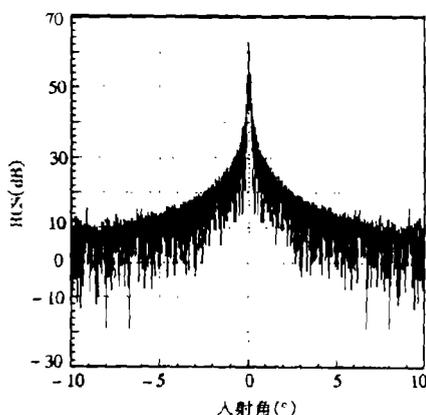
图6 窄长导体薄板的雷达截面与电磁波入射角的关系。导体薄板宽 1λ ，长 20λ 。横轴表示电磁波的入射角，纵轴表示薄板的雷达截面

图6-图8是计算结果。在这些图中，导体薄板的宽度均为 1λ ，长度分别为 20λ ， 100λ 和 500λ 。横轴表示窄导体薄板的长轴线方向和入射波电场方向之间的夹角，纵轴表示其雷达截面。这些结果显示，窄长导体薄板的雷达截面与它的长度以及它的长轴线和入射波电场方向之间的夹角密切相关。一般地说，导体薄板越长，它的最大雷达截面即其长轴线方向和入射波的电场方向平行时的雷达截面也越大，但对于其长轴线方向和入射波的电场方向之间的夹角变化也越敏感。就是说，当这一角度开始增大时，它的雷达截面减小得也越快。

对于窄长导体薄板而言，不论其长度如何，当它的长轴线方向和入射波的电场方向平行时，雷达截面总是最大。这是因为此时薄板上的感应电流相位一致的缘故。

图7 窄长导体薄板的雷达截面与电磁波入射角的关系。导体薄板宽 1λ ，长 100λ 。横轴表示电磁波的入射角，纵轴表示薄板的雷达截面图8 窄长导体薄板的雷达截面与电磁波入射角的关系。导体薄板宽 1λ ，长 500λ 。横轴表示电磁波的入射角，纵轴表示薄板的雷达截面

4 简短的讨论

上面的计算结果可以解释高速公路的转弯处在雷达图像上显示为强信号而在其它地段

没有明显显示的原因。注意到图 1 中雷达的照射方向和它的极化方式, 并注意到高速公路转弯处有很大的曲率半径, 因此, 当公路的金属护栏随公路转弯时, 通常会有很长的一段护栏与入射波的电场方向保持很好的平行状态。根据上面的计算结果, 这段公路护栏有很大的雷达截面, 所以在雷达图像上显示为强信号。其它路段的公路护栏, 由于很难有较长的部分保持与入射波电场矢量几乎平行的状态, 故只有较小的雷达截面, 在雷达图像上没有明显的显示。

图 3 中铁路的轨道与雷达入射波的电场矢量之间有很大的角度, 因之雷达截面不大, 可以预见它不会在雷达图像上有明显的显示。

在微波遥感中, 细长导体在雷达图像上的显示情况, 除有上述规律以外, 还与许多实际因素有关。例如, 通常这些导体目标有比较复杂的截面形状, 它们还有可能被树木或其它植物遮蔽等。这些因素通常都会减弱导体目标上的感应电流, 或破坏导体上感应电流相位的一致性, 从而减小目标的雷达截面, 减弱目标在雷达图像上的显示强度。

参 考 文 献

- [1] 舒士畏, 赵立平. 雷达图像及其应用. 北京: 中国铁道出版社, 第五章, 1988 年.
- [2] Oliver C, Quegan S. Understanding Synthetic Aperture Radar Images. Boston: Artech House, 1998: Ch1, Ch10.
- [3] Harrington R F, Time-Harmonic Electromagnetic Fields. New York: McGraw-Hill, 1961, Ch.3.

THE FEATURES OF LONG-AND-THIN CONDUCTIVE OBJECTS IN SAR IMAGES

Zhang Shourong Wang Weiyan Liang Ruihong

(*Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract This paper discusses the characteristics displayed by long-and-thin conductive objects in radar images. The results show that the objects may be displayed as strong signals if their axes are parallel with the incident electric field, otherwise they will be displayed as weak signals.

Key words Microwave remote sensing, Conductive objects, Radar image

张守融: 男, 1942 年生, 研究员, 主要从事电磁散射和微波成像技术研究。
王卫延: 男, 1947 年生, 研究员, 主要从事电磁散射和微波成像技术研究。
梁瑞宏: 男, 1951 年生, 工程师, 主要从事微波技术研究。