

棉田微波散射研究^{*}

潘广东 田国良

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 在分析已有散射模型的基础上,依据广义 Rayleigh-Gans 近似,计算了微波在土壤、棉层中散射的一级和二级效应,对影响散射的主要因子(入射波频率、入射角,棉叶冠层厚度、棉叶大小、叶厚、空间分布等)进行了分析。其中最主要的影响因子是入射波频率与棉叶大小的相对比值。研究结果表明:对于已封垄的棉田散射,在小入射角时以土壤的面散射为主;而在较大入射角时,棉叶的体散射则是主要散射。

关键词 棉田, GRC 近似, 后向散射系数

1 引 言

微波在介质中的散射可分为面散射和体散射两种机制。面散射的研究有多年历史,至今已有几种广泛应用的模型^[1-3]。体散射主要是由于介质内部的不均匀性引起的。对于植被、作物类地物,由于它们所占的体积空间很小(一般小于 0.005),目前一般有两类描述方法。一类是现象模型^[4,5];另一类是物理模型。对于物理模型,由于考虑的对象不同,人们提出了两类方法^[6];第 1 类是波的解析理论;第 2 类是辐射传输理论^[6-8]。在微波遥感中,对于植被等这类介电常数比背景介质介电常数大得多的离散散射体,辐射传输理论十分有效^[9],该理论包括 3 个构成函数:消光矩阵、相矩阵、发射函数。对于植被、农作物微波遥感,基于辐射传输理论提出的模型发展较快,根据消光矩阵的不同,当前的模型主要有 Tsang *et al.* 提出的模型^[10,11], Ulaby *et al.* 提出的模型^[9,12], Karam *et al.* 提出的模型^[13,14];其中 Karam 等依据广义 Rayleigh-Gans 近似,能给出直到 Ku 波段与实验相一致的结果。

金亚秋、罗贤云等对散射问题有过深入研究^[1,15],但他们未考虑地面的作用;田国良等对土壤面散射做过深入的研究^[16,17];郭华东、徐冠华等近十年来结合国际合作,对微波在地物中的传输做了很多实验研究^[18]。

本文拟把面散射和体散射结合在一起研究农作

物的散射机制,作为把森林散射模型应用于农作物的一种尝试。

2 散射模型

我们根据河南新乡农门实验站的棉田建立散射模型,包括含棉的空气层和土壤层介质。模型中我们仅考虑了棉叶的散射作用,棉杆的散射并未考虑(一方面缺少实测数据,另一方面其含量相对较少,作用较小)。

棉田的散射包括微波与棉层及土壤层的两种作用机制。

微波与棉叶层的相互作用:(1) 棉叶层与上层空气界面间反射,这种作用很小,未考虑;(2) 棉叶层本身的微波发射(Kirchhoff 定律),对于主动微波遥感它很小,不考虑;(3) 微波在棉叶层中传输由于棉叶层介质的分布不均匀所产生的散射透射等,其中散射是用于主动微波遥感的主要回波源。

微波与土壤的相互作用:(1) 由于土壤层中的物质分布相对不均匀所产生的体散射,对于湿土壤这种作用很小,一般不考虑;(2) 土壤本身的微波发射(Kirchhoff 定律),对于主动遥感一般很小,不考虑;(3) 由于土壤表面的粗糙度所产生的面散射。

对于棉田两层介质,土壤是散射面,棉层是体散射层和衰减层。体散射和面散射究竟哪种比较重要,主要取决于下列因素:穿透深度,遮盖层厚度及

^{*} 本文得到国家重大自然科学基金“地表遥感信息传输及其成像机理研究”的资助。
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
收稿日期: 1998-02-25; 收到修改稿日期: 1998-04-06

空间形态,微波工作频率及入射角等。对面散射而言,在近天顶角处, σ° 通常随入射角增大而急剧下降(除表面非常粗糙外),而对体散射而言, σ° 随入射角增大而平缓地下降。

2.1 冠层叶片的散射

叶子形态(包括叶子外形及曲度等)对微波散射有重要影响^[19,20]。可简单认为叶子是圆盘,圆盘厚度为 $2h$,半径为 a 。对于单个平面圆盘散射较简单。对于一群随机分布的棉叶必须考虑棉叶的空间 Euler 角(α, β, γ),并对其求空间平均^[1,2,21]。

电磁波在介质中的传输过程实际上可用消光系数等来描述其衰减程度,但对一群随机分布的非球形粒子由于其各向异性,使得消光系数是 4×4 矩阵,只能用矢量光学定理描述。所谓的消光实际上等同于相干波的衰减,具体传输计算可参考文献^[1,2],下面给出圆盘的散射振幅:

$$f_{VV}(s, i) = \frac{k^2 \nu_0}{4\pi} (\epsilon_s - 1) [a_T (\cos \theta_s \cos \theta_i \cos(\phi_s - \phi_i) + \sin \theta_s \sin \theta_i) + (a_N - a_T) \cdot (-\cos \theta_s \cos \phi_s \cos \gamma \sin \beta + \cos \theta_s \sin \phi_s \sin \gamma \sin \beta - \sin \theta_s \cos \beta) \cdot (-\cos \theta_i \cos \phi_i \cos \gamma \sin \beta + \cos \theta_i \sin \phi_i \sin \gamma \sin \beta - \sin \theta_i \cos \beta)] \quad (1)$$

$$f_{VH}(s, i) = \frac{k^2 \nu_0}{4\pi} (\epsilon_s - 1) [a_T (-\cos \theta_s \cos \phi_s \sin \phi_i + \cos \theta_s \sin \phi_i \cos \phi_s) + (a_N - a_T) \cdot (-\cos \theta_s \cos \phi_s \cos \gamma \sin \beta + \cos \theta_s \sin \phi_s \sin \gamma \sin \beta - \sin \theta_s \cos \beta) \cdot (\sin \phi_i \cos \gamma \sin \beta + \cos \phi_i \sin \gamma \sin \beta)] \quad (2)$$

$$f_{HV}(s, i) = \frac{k^2 \nu_0}{4\pi} (\epsilon_s - 1) [a_T (-\cos \theta_i \cos \phi_i \sin \phi_s + \cos \theta_i \sin \phi_s \cos \phi_i) + (a_N - a_T) \cdot (-\cos \theta_i \cos \phi_i \cos \gamma \sin \beta + \cos \theta_i \sin \phi_i \sin \gamma \sin \beta - \sin \theta_i \cos \beta) \cdot (\sin \phi_s \cos \gamma \sin \beta + \cos \phi_s \sin \gamma \sin \beta)] \quad (3)$$

$$f_{HH}(s, i) = \frac{k^2 \nu_0}{4\pi} (\epsilon_s - 1) [a_T \cos(\phi_s - \phi_i) + (a_N - a_T) (\sin \phi_s \cos \gamma \sin \beta + \cos \theta_s \sin \gamma \sin \beta) (\sin \phi_i \cos \gamma \sin \beta + \cos \theta_i \sin \gamma \sin \beta)] \quad (4)$$

对于后向散射:

$$\phi_s = \phi_i = 0, \theta_s = \theta_i$$

对于前向散射:

$$\phi_i = 0, \phi_s = \pi, \theta_s = \pi - \theta_i$$

其中,下标 s, i 分别代表散射和入射; a_T 和 a_N 均为极化张量分量。对于任意的散射方向或入射方向,我们都可以利用式(1)式(4)给出的散射振幅计算相函数,利用辐射传输理论^[1,10]算出后向散射系数。

2.2 土壤的面散射

文中各波段采用的参数一致:表面均方差高度 $\sigma = 0.005\text{m}$,相关长度 $l = 0.05\text{m}$ 。L、C 波段采用积分方程模型^[2]计算,X 波段采用物理光学模型^[1,3]计算。

2.3 棉田的散射模型

图 1 为棉田散射图。

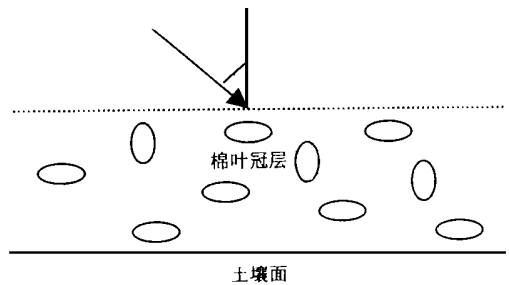


图 1 棉田散射图

Fig. 1 Sketch of the cotton field scattering

VRT 方程为

$$\cos \theta \frac{d}{dz} I(\theta, \phi, z) = -\kappa_e(\theta, \phi) I(\theta, \phi, z) + S(\theta, \phi, z) \quad (5)$$

$$-\cos \theta \frac{d}{dz} I(\pi - \theta, \phi, z) = -\kappa_e(\theta, \phi) \cdot I(\pi - \theta, \phi, z) + W(\theta, \phi, z) \quad (6)$$

其中:

$$S(\theta, \phi, z) = \int_0^{2\pi} d\phi' \int_0^{\pi/2} d\theta' \sin \theta' [P(\theta, \phi, \theta', \phi') \cdot I(\theta', \phi', z') + P(\theta, \phi, \pi - \theta', \phi') \cdot I(\pi - \theta', \phi', z)] \quad (7)$$

$$W(\theta, \phi, z) = \int_0^{2\pi} d\phi' \int_0^{\pi/2} d\theta' \sin \theta' [P(\pi - \theta, \phi, \theta', \phi') I(\theta', \phi', z) + P(\pi - \theta, \phi, \pi - \theta', \phi') \cdot I(\pi - \theta', \phi', z)] \quad (8)$$

κ_e 为消光系数, θ 为入射角。 P 为散射相函数。 I

为辐射强度。边界条件：

$$I(\pi - \theta_s, \phi_s, z = 0) = I\delta(\cos \theta_s - \cos \theta_i) \delta(\phi_s - \phi_i) \quad (9)$$

$$I(\theta_s, \phi_s, z = -d) = R(\theta_i) \cdot I(\pi - \theta_s, \phi_s, z = -d) \quad (10)$$

利用迭代法解出：

$$I_s = I_s^{(0)} + I_s^{(1)} + I_s^{(2)} + \dots \quad (11)$$

$$I_s^{(n)}(\theta_s, \phi_s) = M^{(n)}(\theta_s, \phi_s; \pi - \theta_0, \phi_0) \cdot I_0 \quad (12)$$

基于微波在介质中的传输理论，文中采用一级多次散射理论计算了散射解^[1,2,10]。该理论认为当粒子的体积占空比小于0.01时，结果较理想。微波在植

被、土壤中的散射如图2，其中(a)代表土壤的面散射；(b)和(c)代表经过介质的衰减、散射和土壤的一次反射；(e)代表经过介质的衰减、散射和土壤的二次反射；(d)代表仅经过介质的衰减和散射(体散射)。式(11)中 $I_s^{(0)}$ 代表图2中的(a)，(b)~(e)对应 $I_s^{(1)}$ 。式(11)中 $I_s^{(2)}$ 代表二级散射。图3为未考虑粗糙面多级散射的二级散射情形。如图3(a)，(a')是仅考虑相函数的差异，具体计算仅考虑了图3(c)，(c')的情形，因为对于其它均有面反射作用，而一级散射计算表明面反射作用较小，且对于这些情形数值计算相当繁琐。

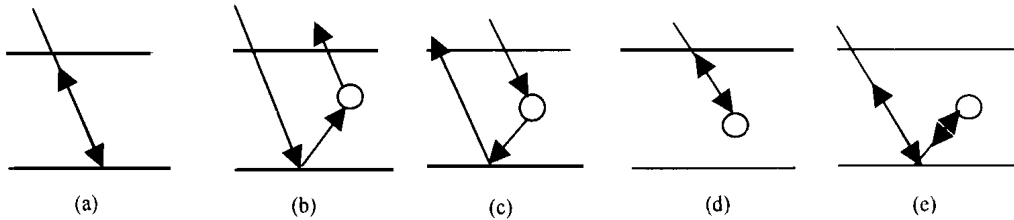


图2 零级和一级4种散射机制图
Fig. 2 Sketch of the zero order and the first order (four kinds) scattering mechanism

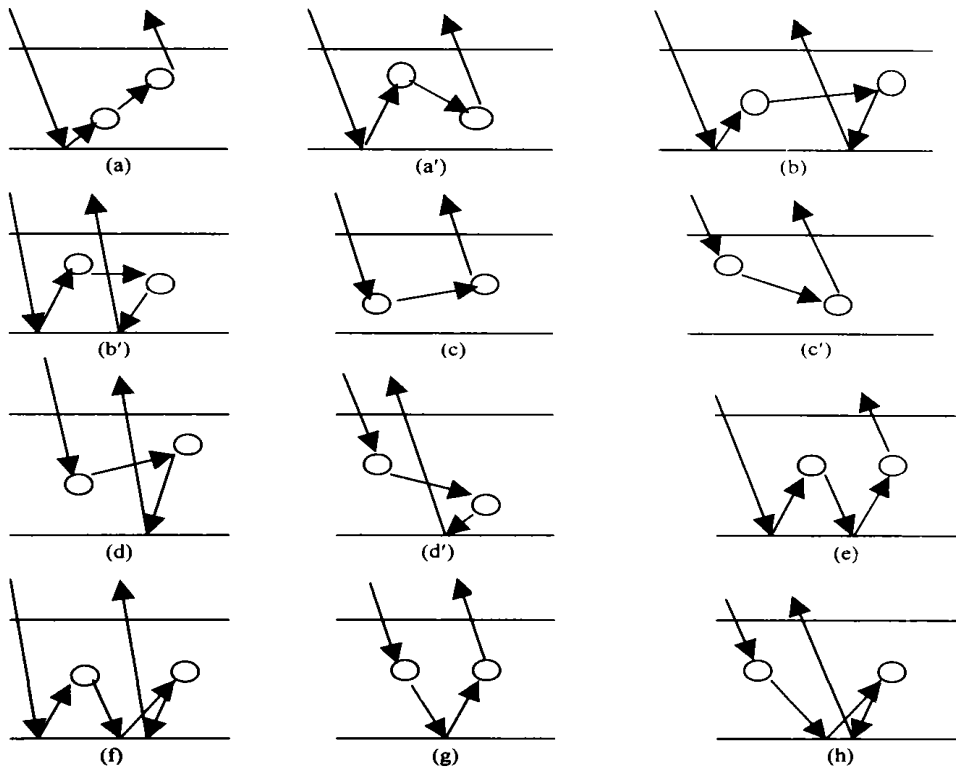


图3 二级散射8种机制(12种情形)
Fig. 3 Sketch of the second order scattering mechanism

3 理论计算结果及分析

利用迭代法解 VRT 方程，具体计算图2的5种

散射机制和图3的(c)和(c')两种情形，即包括土壤的面散射(经过棉层的衰减)和棉层的体散射。文中选择河南新乡农门实验站的棉田，对8月中旬棉花已完全封垄、棉株高度基本稳定、棉田平整这一时期

进行了研究。棉花叶的空间分布采用 A. R. G. Lang 的测量结果(球形分布)^[22], 介电常数的计算根据资料¹⁾棉叶采用体积含水量 0.8, 土壤采用重量含水量 0.2; 根据文献[23, 24]计算出介电常数(实部, 虚部): 棉叶 L 波段 (1.25GHz) (36.74, 11.40)、C 波段 (5.05GHz) (31.95, 9.93)、X 波段 (10.05GHz) (27.30, 12.20); 土壤 L 波段 (1.25GHz) (9.85, 2.99)、C 波段 (5.05GHz) (9.54, 2.24)、X 波段 (10.05GHz) (8.44, 2.95)。棉叶厚度 $2h=0.22\text{mm}$, 半径 $a=5\text{cm}$, 体积占空比 $f_v=0.0005$, 叶层厚度 $d=0.8\text{m}$ 。

3.1 计算结果及分析

图 4(a)–(c)是 L、C、X 各波段一级体散射和二级体散射的比较(VV 极化)。可以看出随入射频率的增加, 二级散射效应变得较明显(各波段相差减小); 尤其在 X 波段二级散射变得相对重要; 随入射角增大, σ° 总体呈减小趋势。

从图 5(a)具体比较了 L 波段各种一级散射机制的相对大小, 可以看出图 2 中(d)体散射贡献最大; 其中(b)等于图 2(c)。图 5 中(b)比较了 X 波段一级和二级散射的大小, 二级体散射小于一级体散射, 但大于经过面反射的一级体散射, 总体趋势是随入射角增大减小。

图 6 用物理光学模型计算了粗糙面的后向散射。结果显示当入射角小于 30° 时, 主要散射是粗糙面的贡献; 当入射角大于 30° 时, 主要贡献是体散

射。结果显示当入射角小于 30° 时, 主要散射是粗糙面的贡献; 当入射角大于 30° 时, 主要贡献是体散

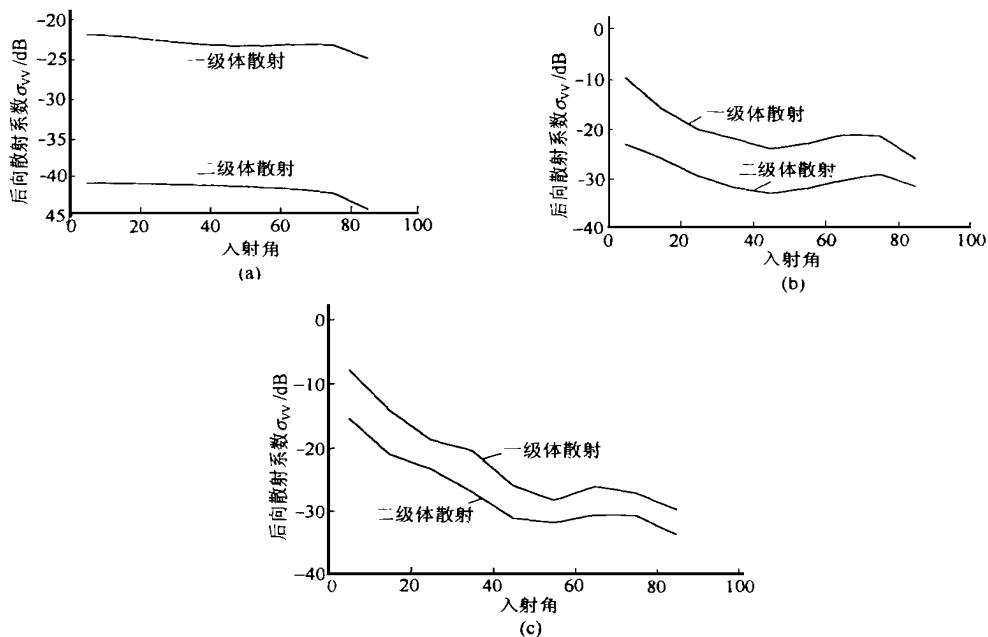


图 4 一级与二级体散射随频率、入射角变化 ((a) $f=1.25\text{GHz}$, (b) $f=5.05\text{GHz}$, (c) $f=10.05\text{GHz}$)

Fig. 4 Relationship between the first and second order volume scattering and frequency, incident angle

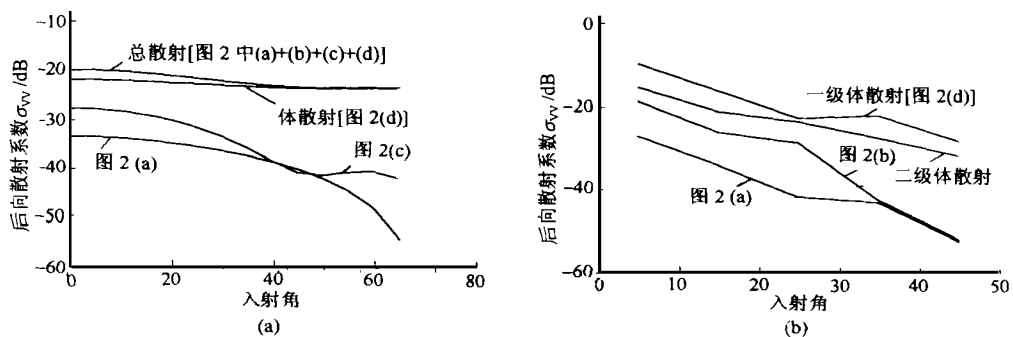


图 5 各种散射机制与频率、入射角关系 ((a) $f=1.25\text{GHz}$, (b) $f=10.05\text{GHz}$)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1) 中国电波传播研究所. 棉花叶子介电常数测量报告. 1995.

射(图 2(d))。

图 7 比较了一级 σ_{VV}^0 和 σ_{HH}^0 极化的大小, 可以看出当入射角小于 70° 时 $\sigma_{VV}^0 < \sigma_{HH}^0$, 而当入射角大于

70° 时 $\sigma_{VV}^0 > \sigma_{HH}^0$, 这与散射比 ω (single scattering albedo) 随入射角变化一致。

图 8 具体讨论了 β 角不同分布, 圆盘的半径、厚

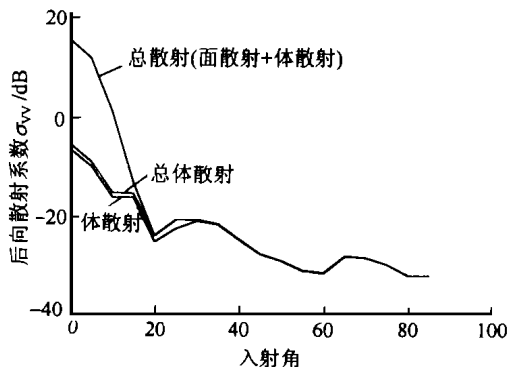


图 6 X 波段一级散射比较

Fig. 6 Comparison X band the first order kinds scattering

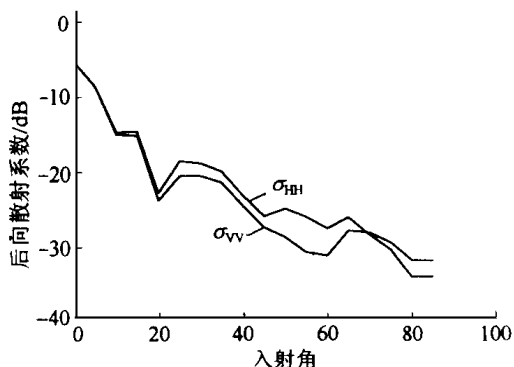
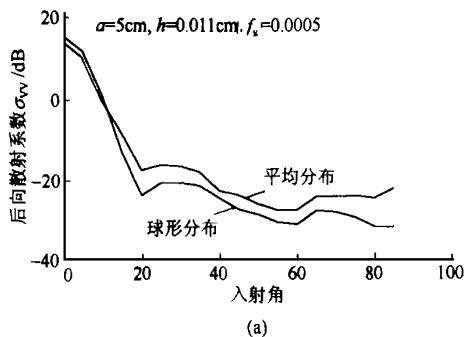
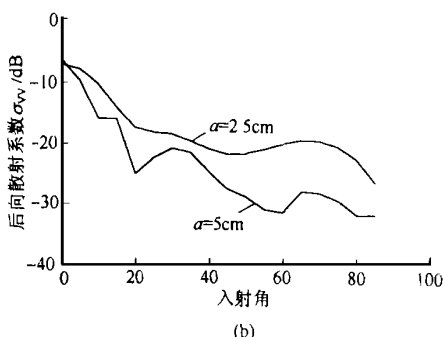


图 7 VV 和 HH 极化差别比较

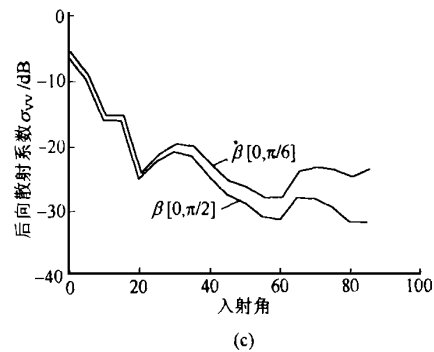
Fig. 7 Comparison between σ_{VV} and σ_{HH} polarization



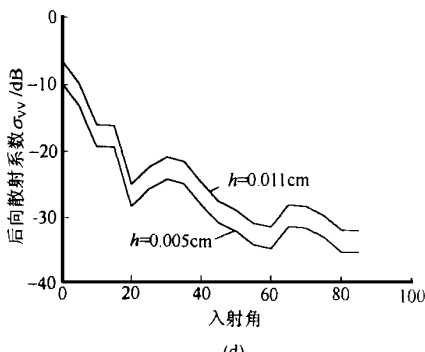
(a)



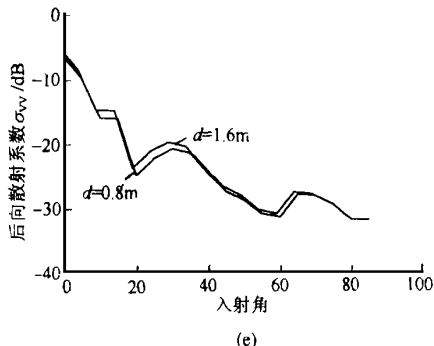
(b)



(c)



(d)



(e)

图 8 X 波段各种因子对一级散射的影响

(a) Euler 角对体散射的影响; (b) 圆盘半径对散射影响; (c) β 分布区间对散射影响;

(d) 圆盘厚度对散射影响; (e) 叶层厚度对散射影响

Fig. 8 X band kinds of factors effect

度,棉叶层的厚度及棉叶的体积占空比对 σ^0 的影响。

图 8(a)说明 Euler 角 β 的不同分布对 σ^0 的影响趋势一致,平均分布 σ^0 一般大于球形分布 4dB,而在小入射角时则相反;(b)说明若体积占空比一定时,当入射波波长与圆盘的半径相差较小时,散射作用较强。(X 波段波长为 3cm,而 $a=2.5\text{cm}$ 比 $a=5\text{cm}$ 显然更接近于波长);(c)显示若 β 角球形分布,分布空间近于水平,在入射角较大时,差异明显;(d)显示当体积占空比一定,圆盘厚度较大时散射作用较强,这说明厚材料散射强于薄的;(e)说明植被层的厚度对 σ^0 的影响在 X 波段较小,这是由于微波在 X 波段体散射较强,且主要由棉叶上层较薄的那层贡献;另一方面,当入射角较大时,厚度几乎对 σ^0 不影响,这是由于大入射角时厚度变得更大,而作用不明显。对于体积占空比的作用与厚度作用基本一致,只是不同体积占空比间的差异与体积占空比成正比。

4 结果及讨论

本文定量分析了微波在植被、土壤介质中散射的基础上,结合面散射和体散射,对于已封拢的棉田的散射得出以下几点结论:

(1) 体散射。棉叶层的体散射是由于入射电磁波与介质中棉叶的相互作用所致,研究表明:

① 体散射随入射波的入射角变化关系在低频不明显,随入射波频率增加变得明显,对于一级、二级体散射随入射角变化呈一致趋势(图 4)。

② 体散射与棉叶冠层体积占空比关系明显,当体积占空比增加一倍时,后向散射系数增大 3dB(从理论直接分析出);冠层厚度对后向散射系数在 X 波段影响不大(图 8(e)),这主要是由于在 X 波段散射主要来自上部冠层。

③ 体散射与散射粒子的空间分布密切相关,通过对 β 角球形与均匀分布的计算显示后向散射系数有变化;当仅 β 角变化(对于球形分布)时(从 $[0, \pi/2]$ 到 $[0, \pi/6]$),对散射系数影响不大(图 8(c))。

④ 体散射对散射粒子的大小十分敏感,当其体积占空比一定时,粒子的半径、厚度变化对后向散射系数影响较大(图 8(b)和(d))。其中,粒子的厚度影响与入射角变化基本无关,厚度增大一倍,散射系数增加约 3dB;而对于散射粒子的半径变化,散射系数变化明显,表明当粒子半径长度与入射波长接近

时,这时散射作用明显变强,实际发生衍射作用。

⑤ 通过比较一级、二级体散射大小,表明随入射波频率增加,二级散射效应相对增加,但二级效应可以不考虑。

⑥ 体散射的 σ_{HH}^0 一般大于 σ_{VV}^0 (图 7)。

(2) 面散射。面散射随入射角的增大而急剧下降。研究表明即便在小入射角情况下,面散射也会受到上层植被冠层的衰减作用(图 6)。

(3) 对于棉田的散射。当入射角小于 30° 时,主要散射是土壤的面散射;当入射角大于 30° 时,主要散射源是棉叶冠层。除介质的介电常数是主要影响因素外,影响棉叶散射的主要因子有棉叶的空间分布、棉叶的形态大小及入射波的特性(频率、极化等);其中最主要的影响因子是棉叶的半径和入射波的频率,计算棉田的散射仅需考虑棉田土壤的面散射和棉叶的一级体散射。对于棉田, X 波段适合于研究棉叶冠层的散射,尤其在入射角小于 50° 最合适; L 波段对棉叶冠层散射随入射角变化不敏感,适合于研究粗糙面的散射,尤其在入射角小于 30° (此时面散射是主要散射机制)时。

利用散射模型计算的后向散射系数,可以与雷达图像结合,对植被进行分类,已经有文献报道这方面的工作,这也是模型的价值所在。

参 考 文 献

- 1 Jin Yaqiu. Remote Sensing Theory of Electromagnetic Scattering and Thermal Emission. Beijing: Science Press, 1993. (In Chinese) [金亚秋. 电磁散射与热辐射的遥感理论. 北京: 科学出版社, 1993].
- 2 A. K. Fung. Microwave Scattering, Emission Model and its Application. Artech House, 1994.
- 3 Wang Baofa. Microwave Remote Sensing Theory. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 1989. (In Chinese) [王宝发编译. 微波遥感理论. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1989].
- 4 J. A. Richards, G. Q. Sun, D S. Simonett. L-band radar backscattering modeling of forest stands. *IEEE Trans on G&RS*, 1987, **23**: 487-498.
- 5 S. L. Durden, J. J. Van Zyl, H. A. Zebker. Modeling and observation of radar polarization signature of forested areas. *IEEE Trans on G&RS*, 1989, **27**: 290-301.
- 6 Huang Yunheng, Zhou Shijian translated. Wave Propagation and Scattering in Random Media. Beijing: Science Press, 1985. (In Chinese) [A. K. Ishimaru. 随机介质中波传播与散射. 黄润恒, 周诗建译. 北京: 科学出版社, 1985].
- 7 L. Tsang, J. A. Kong, R. T. Shin. Microwave Remote Sensing Theory. John Wiley and Sons, N. Y., 1985.

- 8 F. T. Ulaby, R. K. Moore, A. K. Fung. Microwave Remote Sensing. Vol. 3, Artech House, 1986.
- 9 F. T. Ulaby, *et al.* Michigan microwave canopy scattering model. *Int. J. of RS*, 1990, **11**: 1223—1253.
- 10 L. Tsang, J. A. Kong, R. T. Shin. Radiative transfer theory for active remote sensing of a layer of nonspherical particles. *Radio Science*, 1984, **19**: 629—642.
- 11 L. Tsang, K. H. Ding. Polarimetric Signatures of a Layer of Random Nonspherical Discrete Scatters Overlying a Homogeneous Half-Space Based on First- and Second-Order Vector Radiative Transfer Theory. *IEEE Trans on G&RS*, 1991, **29**: 242—253.
- 12 K. C. McDonald, F. T. Ulaby. Radiative transfer modelling of discontinuous tree canopies at microwave frequencies. *Int. J. of RS*, 1993, **14**: 2097—2128.
- 13 M. A. Karam, *et al.* A Microwave Scattering Model for Layered Vegetation. *IEEE Trans on G&RS*. 1992, **30**: 767—784.
- 14 M. A. Karam, *et al.* A Microwave Polarimetric Scattering Model for Forest Canopies Based on Vector Radiative Transfer Theory. *RS. Environ*, 1995, **53**: 16—30.
- 15 Luo Xianyun, Zhang Zhongzhi. Monte Carlo Method Simulate Wheat Backscattering. *Journal of Electrowave*. 1994, **9**: 13—25. (In Chinese) [罗贤云, 张中治. 蒙特卡罗方法在小麦后向散射中的应用. *电波科学学报*, 1994, **9**: 13—25].
- 16 Tian Guoliang, Q. H. J. Gwyn. Sensitivity of Radar Backscatter to soil Texture; An Empirical and Physical Evaluation. in Guo Huadong and Zheng Lizhong ed. *Microwave Remote Sensing for Earth Observation*. 1995, 242—250.
- 17 Sun Liguang, Tian Guoliang. Surface Scattering Theory and Monitoring Soil Moisture. Guo Huadong chief edit. *Aeroborne Radar Remote Sensing and Applications*. Beijing: China Science & Technology Press, 1992. (In Chinese) [孙利国, 田国良. 面散射理论及其在土壤湿度微波遥感中应用. 见郭华东主编: *机载雷达遥感应用试验研究*. 北京: 中国科学技术出版社, 1992].
- 18 Guo Huadong, Xu Guanghua. *Satellite Radar Applications*. Beijing: China Science & Technology Press, 1996. (In Chinese) [郭华东, 徐冠华. *星载雷达应用研究*. 北京: 中国科学技术出版社, 1996].
- 19 M. A. Karam, A. K. Fung. Leaf-Shaped Effects in Electromagnetic Wave Scattering From Vegetation. *IEEE Trans. on G&RS*, 1989, **27**: 687—697.
- 20 K. C. Sarabandi, T. B. A. Senior, F. T. Ulaby. Effect of Curvature on the Backscattering from a Leaf. *J. of EM&A*, 1988, **2**: 653—672.
- 21 M. A. Karam, A. K. Fung, Y. M. M. Antar. Electromagnetic Wave Scattering from Some Vegetation Samples. *IEEE Trans on G&RS*, 1988, **26**: 799—808.
- 22 A. R. G. Lang. Leaf orientation of a cotton plant. *Agricultural Meteorology*, 1973, **11**: 37—51.
- 23 F. T. Ulaby, More, M. A. El Rayes. Microwave dielectric spectrum of vegetation, part II: Dual dispersion model. *IEEE Trans. on G&RS*, 1987, 550—557.
- 24 M. C. Dobson, *et al.* Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil—Part II: Dielectric Mixing Models, *IEEE Trans. on G&RS*, 1985, 35—46.

作者简介

潘广东,男,1969年4月生于安徽省安庆市,1992年毕业于成都地质学院地质矿产勘察系,获学士学位,1995年就读于中国科学院遥感应用研究所,攻读硕士学位。主要研究方向是微波遥感。

Cotton Field Microwave Scattering Research

PAN Guang-Dong TIAN Guo-Liang

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing, 100101)

Abstract The research on crops microwave scattering model is developing fast. But, the integrated study of both volume and surface model is still in the beginning stage in China. This paper applies the combined model to the cotton-soil media and conducts some exploring works.

Microwave scattering in cotton-soil media has been calculated from zero, first to second order scattering. The paper analyses major factors which affect the backscattering coefficient. Some valuable conclusions have been drawn. Among these, the incident wave frequency and cotton leaf radius are the major factors.

For cotton field scattering in small incident angles ($<30^\circ$), the major scattering is from soil surface, when the incident angle is more than 30° , the major scattering is from cotton canopy. It may be helpful for cotton microwave remote sensing monitoring and discrimination.

Key words Cotton field, GRG approximation, Backscattering scattering coefficient