

CH

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXX—XXXX

地物目标微波后向散射系数暗室测量技术
规程

Code of practice for microwave backscattering coefficient measurement of ground
objects in anechoic chamber

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前 言 I

引 言 II

1 范围 2

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 2

4 测量条件 4

 4.1 测量设备要求 4

 4.2 测量环境要求 4

5 技术流程 5

6 测量准备 5

 6.1 实验设计 5

 6.2 地物目标调查与准备 5

 6.2.1 野外调查 5

 6.2.2 样本采集 5

 6.2.3 目标与空室制备 6

 6.2.4 目标属性参数测量 7

7 数据获取 9

 7.1 获取流程 9

 7.2 RCS 定标 9

 7.3 数据采集 10

 7.4 数据处理 11

 7.4.1 后向散射系数计算 11

 7.4.2 统计平均处理 11

 7.4.3 数据存储形式 11

8 数据检查与资料整理 11

9 成果汇交 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会（SAC/TC230/SC3）归口。

本文件起草单位：中科卫星应用德清研究院，中国科学院空天信息创新研究院，武汉大学。

本文件主要起草人：邵芸，刘致曲，肖修来，卞小林，张婷婷，孙维东。

地物目标后向散射系数暗室测量技术规程

1 范围

本标准规定了地物目标后向散射系数暗室测量的测量条件、测量准备、数据获取方法等内容。

本标准适用于在微波暗室环境下进行农作物、草地、土壤等陆表地物目标的点频或扫频后向散射系数测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GJB 5022-2001 室内场缩比目标雷达散射截面测试方法
- SJ/T 10142~10143-91 电介质微波复介电常数的测试方法
- GB/T 33523.2-2017 产品几何技术规范 (GPS) 表面结构 区域法 第2部分：术语、定义及表面结构参数
- LY/T1210-1999 森林土壤样品的采集与制备
- GB/T40034-2021 叶面积指数遥感产品真实性检验
- GB 7833-1987 森林土壤含水量的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 雷达散射截面积 (RCS, Radar cross section)

在给定频率、极化及天线方位的条件下，目标对雷达波散射强弱的用符号 σ 表示：

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E_s|^2}{|E_i|^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- E_s ——天线处的目标散射场强；
- E_i ——目标处的目标散射场强；
- R ——目标与天线的距离；
- $\lim$ ——取极限， R 趋于无限大表示雷达同目标之间的距离满足远场条件。

3.2 后向散射系数 (Backscattering Coefficient)

即单位面积的雷达散射截面：

$$\sigma^0 = \frac{\sigma}{A} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

σ^0 ——目标散射系数；

σ ——被照射面积的雷达散射截面（ m^2 ）；

A ——雷达波束的照射面积（ m^2 ）

3.3 目标散射函数(Scattering Function of Target)

在给定宽带条件下的目标散射函数如下：

$$\sqrt{\sigma(f)} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R \cdot \exp(j \frac{2\pi f}{c} R) \frac{|E_s(f)|^2}{|E_i(f)|^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$E_s(f)$ ——天线处的目标散射场强；

$E_i(f)$ ——目标处的目标散射场强；

f ——雷达频率；

R ——目标与天线的距离；

c ——电磁波传播速度。

3.4 远场准则(Far Field Criterion)

为了使天线辐射的球面波在目标测试区内近似于平面波，对于最大尺度为D的目标，室内测试场天线到被测目标中心之间的距离应满足：

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R——天线至目标中心距离；

D——目标的最大直径

3.5 极化散射矩阵(PSM, Polarization Scattering Matrix)

极化散射矩阵是描述目标散射特性最完整的形式，它全面表示了入射波与目标之间的相互作用关系：

$$\sqrt{\sigma} = \begin{bmatrix} \sqrt{\sigma_{11}} & \sqrt{\sigma_{12}} \\ \sqrt{\sigma_{21}} & \sqrt{\sigma_{22}} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

σ_{11} 、 σ_{22} ——发射与接收同极化时复量雷达散射截面分量；

σ_{21} 、 σ_{12} ——发射与接收互为正交极化时复量雷达散射截面分量；

3.6 定标(Calibration)

目标散射特性测量定标是一个将测量系统采集的目标回波信号与标准目标的雷达散射截面、极化散射矩阵等物理量相互关联的过程。

3.7 吸波材料(Absorbing Material)

具有高性能吸收电磁波减小回波信号的一种特殊阻燃材料。

3.8 微波暗室(Microwave Anechoic Chamber)

一种借助室内高性能吸波材料吸收电磁波，并对结构合理设计以最大程度减小微波反射为目的的专门实验室。

3.9 矢量网络分析仪(Vector Network Analyzer)

矢量网络分析仪器是一种电磁波能量的测试设备。它既能测量单端口网络或多端口网络的各种参数幅值，又能测相位，矢量网络分析仪能用史密斯圆图显示测试数据。

4 测量条件

4.1 测量设备要求

用于地物目标后向散射系数测量的测试场应为具备消波功能的微波暗室，且目标与天线距离满足远场准则。微波暗室性能指标要求如下：

- a) 频率范围：1GHz~20GHz；
- b) 极化组合：水平极化、垂直极化；
- c) 收发系统体制：不限，如线性调频、步进调频等；
- d) 动态范围：优于-60dB；
- e) 隔离度：大于 30dB；
- f) 基底噪声：小于-60dBsm；
- g) 系统测量能力：幅相测量；
- h) 系统选通能力：可进行时域选通。

其他测量相关设备要求如下：

- a) 以矢量网络分析仪作为馈源的测试场，应每年对矢量网络分析仪进行计量或校准；
- b) 用于目标参数测量的器具如钢尺、卷尺、量角器、温度计、天平秤等应每年进行计量或校准；
- c) RCS 定标体参照 GJB 5022 定标体要求；
- d) 盛放地物目标的容器应采用低散射材料进行制作。

4.2 测量环境要求

测试期间，微波暗室内温度保持在 $23^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，室内湿度小于80%，保持测试场地封闭且无其它信号源干扰。

5 技术流程

地物目标后向散射系数的暗室测量程序包括：测量准备、数据获取、数据检查、资料整理与成果汇交。

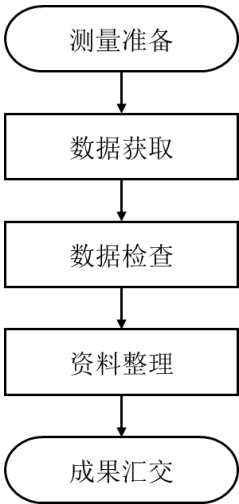


图 1 地物目标后向散射系数的暗室测量程序

6 测量准备

6.1 实验设计

根据用户的测试需求设计实验，包含测试目的、指标要求、预期成果、实验方案、材料准备、人员分工、进度安排等事项。

实验方案应根据室内测试场硬件条件及待测地物目标结构特征，设计入射角度、方位角度、入射频率范围、频率采样间隔、发射功率、中频带宽、积分次数等测量参数，作为定标体测量与地物目标测量的参数设置依据。

6.2 地物目标调查与准备

6.2.1 野外调查

野外调查的主要目的确定目标生长状态并选择适合采集地点，同时获取目标密度、排列方式等信息，作为室内制备目标时还原真实场景的依据。野外调研携带工具及其用途如表 1所示。

表 1 野外调研工具

工具	用途
路线电子导航和定位仪	调查路线导航及测量目标地理坐标（经、纬度，海拔）
相机	记录地物目标生长状态
卷尺、钢尺	测量植株高度、间距
记录本	记录上述仪器测量结果

6.2.2 样本采集

地物目标的样本选取一般原则如下：

- a) 在所选样区内均匀分布；
- b) 植物长势具有样区代表性。

样本采集可采用两种方式：

- a) 样方整体挖取：根据测试需求，对于土壤、草地等地物目标，可采取样方整体挖取的方式进行采集，最大程度保留真实地表及剖面情况；
- b) 局部采样：不便进行整体挖取的地物目标，可采用局部采样的方式将各组成部分分别进行采集、包装，参考DB14/T135-2005中的起苗、包装、运回方法。

6.2.3 目标与空室制备

目标制备方法如下：

- a) 向容器内填充土壤，按照设计的土壤湿度计算注水体积，向土壤中加水并搅拌均匀，直到容器各层土壤体积含水量差异小于 2%，保持土壤表面与容器上边缘齐平；
- b) 将植株按照设计的密度或行列距排列于容器内，用土壤固定根系使植株直立；
- c) 通过钉耙翻动土壤表层改变粗糙程度，直到粗糙度测量值达到设计要求；
- d) 容器侧壁及周围需铺设适用于测试频率角锥型或平板型吸波材料以降低容器结构带来的散射回波（例：图 2），相邻吸波材料之间不留细缝、孔洞。

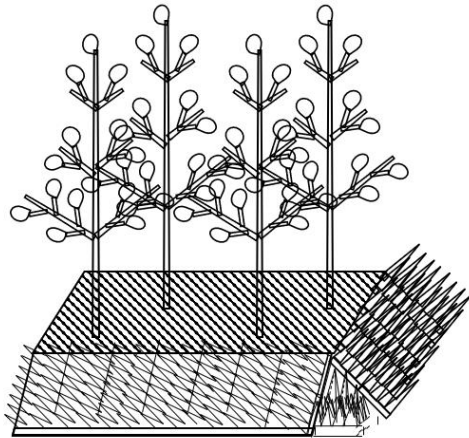


图 2 森林目标制备示意图

空室指不包含被测目标的微波暗室背景环境，测量其回波能够用于抵消目标以外的背景信号。空室的制备要求如下：

- a) 容器侧壁及周围吸波材料的铺设与目标场景保持一致；
- b) 移除容器内的植株，保留土壤，平整土壤表面；
- c) 在与容器上边缘齐平的位置制作平面，放置角锥型或平板型吸波材料（例：图 3），吸波材料之间不留细缝、孔洞。

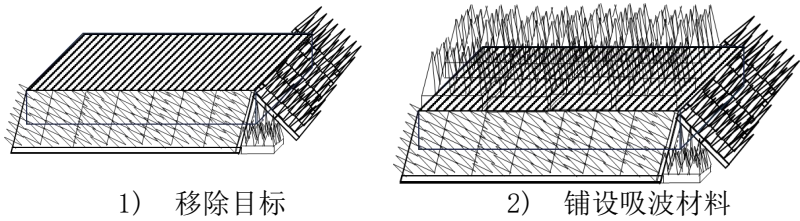


图 3 空室铺设过程图示

6.2.4 目标属性参数测量

测量并记录目标与雷达响应有关的属性参数，作为机理研究与模型验证的参考。根据中国植被分类系统修订方案(2020), 按照植被型组分为：森林、灌丛、草本植被、农业植被、城市植被、沼泽与水生植被。各类植被目标应当测量的属性参数如表 2所示，以纸质或电子表格方式记录。

表 2 植被属性参数测量表

植被型组	植被型	参数	参数定义
森林； 灌丛；城 市植被	落叶针叶林； 落叶与常绿针 叶混交型；常 绿针叶林；针 叶与阔叶混交 林；落叶阔叶 林；常绿与落 叶阔叶混交 林；常绿阔叶 林；雨林；红 树林；竹林； 常绿针叶灌 丛；落叶阔叶 灌丛；常绿阔 叶灌丛；竹 丛；城市森 林；城市行道 树；城市公园 植被	树高	自然状态下，地面至树木最高点的垂直高度
		胸径	距地面 1.3 米处树干的直径
		地径	距地面 10cm~30cm 处树干的直径
		枝下高	地面至冠层最下分枝点的垂直高度
		主杆高	地表至树木主杆顶端的垂直高度
		枝直径	分枝点往外 1cm 处的枝干直径
		枝长度	分枝点至该分枝末梢的长度
		枝倾角	自然状态下，枝干与地面的夹角
		树间距	相邻树根部之间的直线距离
		株数	单位面积（1 平方米）范围内树的棵数
		叶长	叶尖至叶基部的直线距离
		叶宽	叶片最宽处边缘的两条平行线距离
		叶倾角	自然状态下，叶面与地面的夹角
		叶厚	叶片中段上下两面之间的距离
		介电常数	参照 SJ/T 10142~1991 电介质微波复介电常数的测试方法
		叶面积指数	参照 GB/T40034-2021 叶面积指数遥感产品真实性检验
		植被含水量	自然状态下，植被组织中水分质量占总质量比率
		土壤湿度	参照 GB 7833-1987 森林土壤含水量的测定
		地表粗糙度	以均方根高度、表面相关长度表征，参照 GB/T 33523.2-2017
草本植被	丛生草类草 地；根茎草类 草地；杂类草 草地；半灌木 草地；灌草 丛；稀树草 丛；	株高	自然状态下，地面至草最高点的垂直高度
		株数	单位面积内草株数
		单株叶片数	单株草叶片数
		叶长	叶尖至叶基部的直线距离
		叶宽	叶片最宽处边缘的两条平行线距离
		叶厚	叶片中段上下两面之间的距离
		叶倾角	自然状态下，叶面与地面的夹角
		茎直径	自然状态下，第一片叶结点与根之间最粗的直径

		茎倾角	自然状态下，茎秆与地面的夹角
		介电常数	参照 SJ/T 10142~1991 电介质微波复介电常数的测试方法
		叶面积指数	参照 GB/T40034-2021 叶面积指数遥感产品真实性检验
		植被含水量	自然状态下，植被组织中水分质量占总质量比率
		土壤湿度	参照 GB 7833-1987 森林土壤含水量的测定
		地表粗糙度	以均方根高度、表面相关长度表征，参照 GB/T 33523.2-2017
农业植被	粮食作物；油料作物；纤维作物；糖料作物；药用作物；菜园；果园；花卉园；其它经济作物	株高	自然状态下，地面至植株最高点的垂直高度
		株间距	相邻植株根部之间的直线距离
		株数	单位面积内植株数
		叶片数	单株植被叶片数量
		叶长	叶尖至叶基部的直线距离
		叶宽	叶片最宽处边缘的两条平行线距离
		叶厚	叶片中段上下两面之间的距离
		叶倾角	自然状态下，叶面与地面的夹角
		茎直径	植株主杆最大直径
		茎倾角	自然状态下茎秆与地面的夹角
		穗长	结穗点至穗末梢的长度
		穗直径	穗中段最大直径
		结尾距	自然状态下，结穗点至穗末梢的直线距离
		穗个数	单株植被穗个数
		(角)果长	结果点至角果末梢的长度
		(角)果宽	角果中段最宽处长度
		(角)果数	单株植被角果数量
		花直径	花朵最大直径
		朵数	单株植被花朵数
		介电常数	参照 SJ/T 10142~1991 电介质微波复介电常数的测试方法
		叶面积指数	参照 GB/T40034-2021 叶面积指数遥感产品真实性检验
		植被含水量	自然状态下，植被组织中水分质量占总质量比率
		土壤湿度	参照 GB 7833-1987 森林土壤含水量的测定
		地表粗糙度	以均方根高度、表面相关长度表征，参照 GB/T 33523.2-2017
沼泽与水生植被	木本沼泽；草本与苔藓沼泽；水生植被	株高	自然状态下，地面至植株最高点的垂直高度
		株间距	相邻植株根部之间的直线距离
		株数	单位面积内植株数
		叶片数	单株植被叶片数量
		叶长	叶尖至叶基部的直线距离
		叶宽	叶片最宽处边缘的两条平行线距离
		叶厚	叶片中段上下两面之间的距离
		叶倾角	自然状态下，叶面与地面的夹角
		茎直径	植株主杆最大直径
		茎倾角	自然状态下茎秆与地面的夹角
		介电常数	参照 SJ/T 10142~1991 电介质微波复介电常数的测试方法

		叶面积指数	参照 GB/T40034-2021 叶面积指数遥感产品真实性检验
		植被含水量	自然状态下，植被组织中水分质量占总质量比率
		土壤湿度	参照 GB 7833-1987 森林土壤含水量的测定
		地表粗糙度	以均方根高度、表面相关长度表征，参照 GB/T 33523.2-2017

7 数据获取

7.1 获取流程

室内后向散射系数数据获取具体流程如图所示。

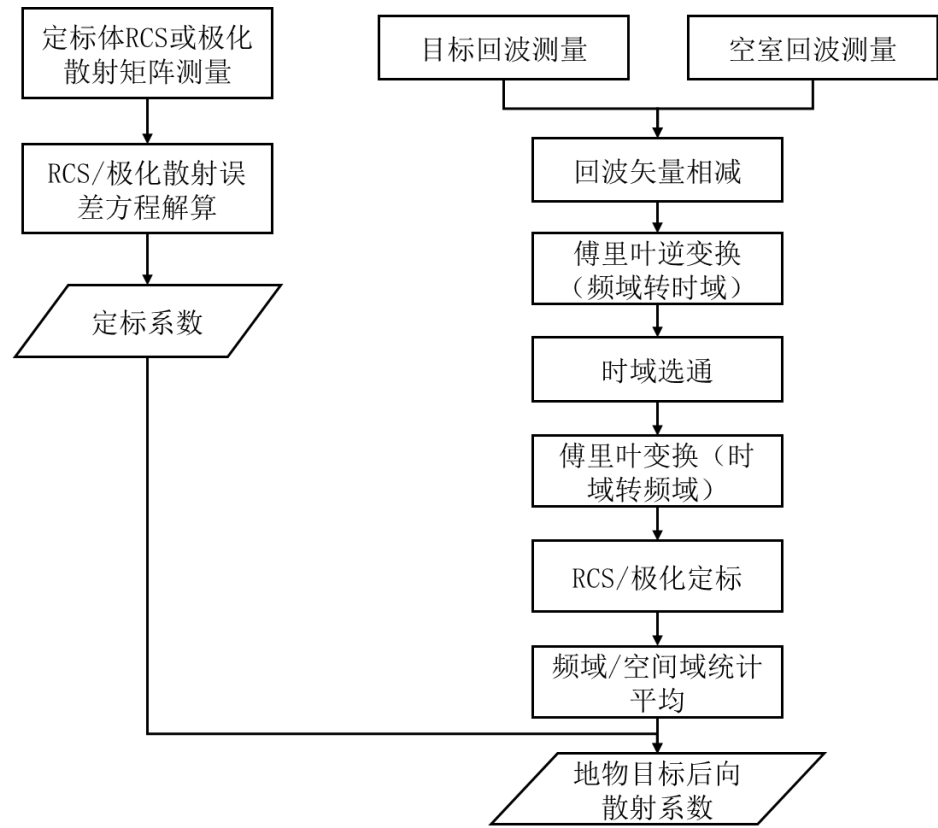


图 2 地物目标后向散射系数获取流程

7.2 RCS 定标

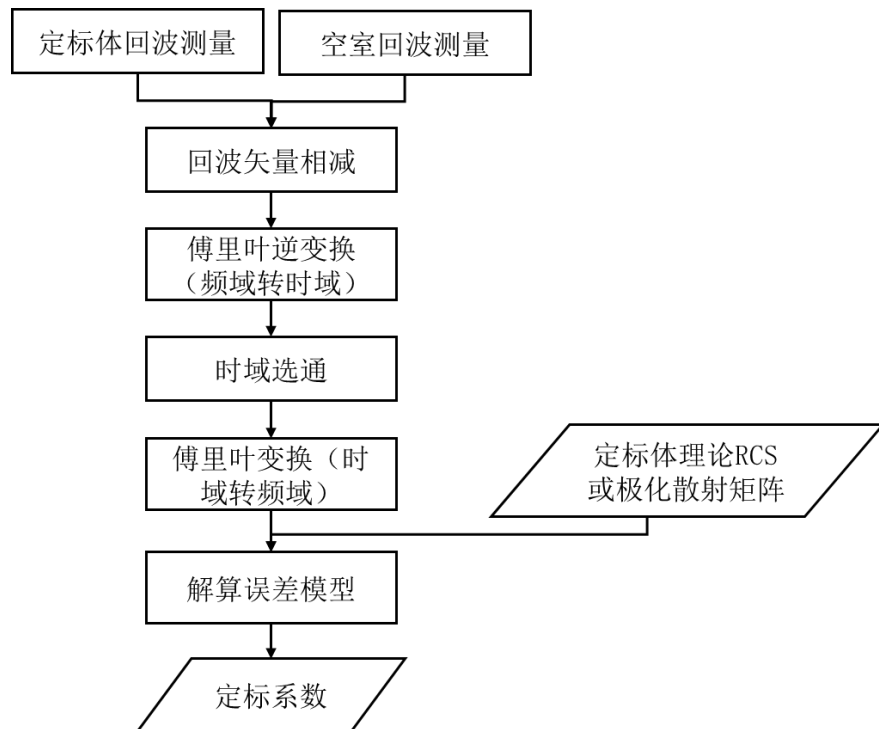


图3 定标系数计算流程

室内测试场测量不同目标的收发系统频率、极化、天线增益、发射功率与测试距离等参数相同，可参照GJB 5022采用替代法，即用已知RCS的定标体计算定标系数后，对地物目标进行RCS定标。单极化通道RCS定标可选用金属球、金属平板与角反射器之一作为定标体，极化散射矩阵定标则需要金属平板、两面角反射器与倾斜45° 两面角反射器作为定标体。

以极化定标为例，真实/理论极化散射矩阵的计算如下式所示：

$$[S] = [R]^{-1}([S^m] - [I])[T]^{-1} \cdots \cdots (1)$$

式中： $[S^m]$ 为测量得到的极化散射矩阵， $[I]$ 为测量的空室极化散射矩阵， $[R]$ 与 $[T]$ 分别为接收与发射天线转移误差矩阵项。

定标体RCS测量步骤如下：

- 安装低散射支架，测量空室回波信号；
- 在支架上安装定标体，使用激光器对准天线方向，测量定标体回波信号；
- 对定标体进行背景矢量相减；
- 将定标体理论极化散射矩阵代入式(6)左侧，计算得误差项，即定标系数。

7.3 数据采集

按下述步骤获得地物目标经过定标的RCS：

- 按照设计的发射源参数、入射角度、方位角度测量地物目标及其空室回波信号；
- 对地物目标回波进行背景矢量相减及软件距离门选通处理；

- c) 将地物目标回波与定标系数代入式(6)得到地物目标的 RCS 幅度。

7.4 数据处理

7.4.1 后向散射系数计算

对于自然地物类的尺寸无限目标，一般采用后向散射系数描述地物目标对入射雷达波的散射情况，根据式(7)即可由RCS得到后向散射系数。当被测目标尺寸小于波束宽度时，照射面积为待测目标的几何面积；反之，照射面积等于天线波束照射的二维面积，计算公式如下：

$$A = \frac{\pi}{4} R^2 \frac{\theta \varphi}{\sin \phi} \dots\dots\dots (1)$$

式中： ϕ 为擦地角， θ 和 φ 分别为天线方位向和俯仰向的波束宽度， R 为雷达天线到待测目标散射中心的距离。

7.4.2 统计平均处理

计算得到的后向散射系数数据可采用方位向、频率域滑窗或多次积分统计平均抑制散射测量中的随机噪声：

- a) 方位向滑窗是将全方位或部分方位范围内的后向散射系数数据，按照一定的角度范围和步长逐段求取平均值、中值或不同分位数值等，最终得到全方位或部分方位范围内的后向散射系数统计特性，滑窗角度范围与步长应根据被测目标的尺寸、姿态及其散射起伏特性定制；
- b) 频率域滑窗是将一定频率范围内的后向散射系数数据，求取平均值、中值或不同分位数值等，得到频率带宽的后向散射系数统计特性，滑窗范围与步长应根据被测目标的频域响应特性定制。
- c) 积分统计平均是在同一观测角度使用相同天线设置多次收发回波信号，进行统计平均，得到后向散射系数的统计特性。

7.4.3 数据存储形式

经过处理的后向散射系数数据可采用以下形式存储：

- a) 二进制数据文件与元数据：后向散射系数可按频率、极化、入射角、方位角的顺序存储于二进制文件中，元数据中存储数据参数与处理信息。
- b) 网络通用数据格式：利用该格式的多维度信息存储特点将后向散射系数数据与数据描述共同存储。

8 数据检查与资料整理

数据检查内容包括：

- a) 地物目标属性数据：原始记录应包含测量仪器、照片、测量日期、测量时间、记录人员等溯源信息，属性数据包含的参数名称与数量应符合设计要求，且数据文件完整，数据格式正确；

- b) 后向散射系数数据：后向散射系数数据的天线收发设置、入射角、方位角等参数应符合设计要求，且数据文件完整，数据格式正确。

资料整理要求如下：

- a) 将地物目标属性数据、后向散射系数数据及实验过程照片按设计要求打包；
- b) 测量过程资料包括实验设计文档、数据检查报告、总结报告等，相关资料应齐全、准确权威具有现势性，资料分析和整合应全面、准确，符合技术要求。

9 成果汇交

成果应经检查合格后方可提交，成果应准确、齐全、规范。提交成果应包括：

- a) 成果清单；
 - b) 后向散射数据和地物目标属性数据；
 - c) 实验设计文档；
 - d) 技术总结报告；
 - e) 数据检查报告。
-

《地物目标微波后向散射系数暗室测量技术规程》

编制说明

行业标准项目名称：地物目标微波后向散射系数暗室测量技术规程

行业标准项目编号：202233011

送审行业标准名称：

（此栏送审时填写）

报批行业标准名称：

（此栏报批时填写）

承担单位：中科卫星应用德清研究院

当前阶段：☒征求意见 ☐送审稿审查 ☐报批稿报批

编制时间：二〇二三年六月

地物目标微波后向散射系数暗室测量技术规程 编制说明

一、概况

1.1 任务来源

2022 年 9 月 6 日自然资源部下达《自然资源部办公厅关于印发 2022 年度自然资源标准制修订工作计划的通知》（自然资办发[2022]39 号）。本标准是自然资源部发布的 2022 年自然资源卫星应用行业标准计划项目之一，项目编号为 202233011，标准计划名称为《地物目标微波后向散射系数暗室测量技术规程》。本标准由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会归口，由中科卫星应用德清研究院牵头起草，计划周期 24 个月。

1.2 目的意义

地物目标的电磁波波谱是遥感的一种基本信息，受限于基础实验测量装置，相对于光学遥感而言，地物目标的微波特性测量更为困难。由于对地物目标微波特性的了解不够全面深入，制约了雷达遥感数据应用的深度和广度。

目前国内外已经建立了一些具备微波散射特性测量能力的实验室与室内外实验装置，积累了一定数量的典型地物散射特性数据，但与其相关的测试技术缺乏标准规范，限制了测试结果的通用性、重复性与可验证性。制定本技术规程能够规范地物目标室内微波后向散射系数测量的流程、方法与技术资料，明确相关技术要求与试验方法，提高不同实验室、实验装置测试结果的可用性与规范性，增强暗室测量数据对卫星遥感的技术支撑能力，便于各类用户使用或科学分析。

1.3 主要起草人及工作分工

编制任务下达后，中科卫星应用德清研究院为牵头单位，中国科学院空天信息创新研究院、武汉大学共同成立了编制组。编制组成员包括主编、长期从事地物目标微波散射特性测量及雷达卫星图像应用专业领域的专家和技术人员，分工合作开展标准各章节的编写，编制组主要人员组成及分工见表 1。

表 1 编制组人员分工

序号	姓名	单位	任务分工	备注
1	邵芸	中国科学院空天信息创新研究院	主编，负责适用范围、术语定义、测量条件和测量程序部分的编制工作和实验验证的总体设计。	
2	刘致曲	中科卫星应用德清研究院	项目负责人，负责项目评审的组织，后向散射系数测量和数据处理方法部分编制工作。	
3	肖修来	中科卫星应用德清研究院	负责地物目标制备部分的编制工作和实验验证。	
4	卞小林	中国科学院空天信息创新研究院	负责实验设计部分的编制工作，参与实验验证。	
5	张婷婷	中国科学院空天信息创新研究院	负责地物目标属性参数测量部分的编制工作，参与实验验证。	
6	孙维东	武汉大学	负责过程记录和文档部分的编制工作。	

1.4 主要工作过程

1.4.1 起草阶段

2022 年 11 月-2022 年 3 月，编制组开展了大量的调研工作，包括国内外有关现有标准，结合微波目标后向散射测量技术的实际情况，初步编制了《地物目标微波后向散射系数暗室测量技术规程（草案）》，开展立项申请。

2022 年 6 月-2022 年 10 月标准正式立项，中科卫星应用德清研究院牵头组建了标准编写组，在原有的《地物目标微波后向散射系数暗室测量技术规程（草案）》的基础上进行讨论，明确标准的定位，确立编制原则和实施方案。

2022 年 11 月-2023 年 4 月按照 GB/T1.1 的标准编写规则编制《地物目标微波后向散射系数暗室测量技术规程（征求意见稿）》和《编制说明》初稿，并

通过试验验证结果不断改进，明确了各部分编写内容的具体要求。

1.4.2 征求意见阶段

2023 年 5 月-2023 年 9 月，编制工作组对《地物目标微波后向散射系数暗室测量技术规程（征求意见稿）》和《编制说明》进行审核和研讨，形成征求意见稿。

二、 标准编制原则和确定标准主要内容的依据

2.1 标准编制原则

遵循 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定和要求，开展本标准的编制。标准编制原则包括以下几个方面：

（1）全面性

标准的技术内容对后向散射系数暗室测量的适用范围、测量条件、测量程序、测量方法及测试文档进行了规定，涵盖了该项技术实施的全流程，遵循标准编制的全面性原则。

（2）适用性

标准所规定的测试条件考虑了目前行业大部分暗室的结构特性，对于满足测试条件的微波暗室，标准所规定的技术内容具备普遍适用性，能够实现地物目标的后向散射系数测量。

（3）可操作性

标准对地物目标的后向散射系数暗室测量技术的具体实施方法进行了规定，且通过《国家民用空间基础设施“十三五”陆地观测卫星共性应用支撑平台建设项目微波卫星基准参考数据库》项目进行了初步试验验证，能够为该技术的应用推广发挥操作层面的指导作用。

（4）先进性

本标准对地物目标尤其是自然地物的后向散射系数暗室测量技术说明能够促进技术应用的统一和规范化，进而帮助行业提升对于微波散射机理的理解，有效服务微波卫星的研制与应用。

2.2 国内外调研情况

对地物目标电磁波波谱特征的理解与分析是遥感卫星数据应用的重要基础和前提。相对于光学而言，微波观测涉及的参数众多且与地物特性耦合复杂，因此地物目标的微波全波谱特性数据缺乏，不利于微波遥感理论的验证与发展，也会制约雷达卫星遥感数据应用的深度和广度。在现有技术条件下，一般通过室外或室内的散射计或雷达系统，对特定地物目标散射特性测量。相对于室外的测试场，室内测试场由于测试空间可控，更易于屏蔽多径干扰和背景杂波^[1]，且不受天气条件限制，对于大多数自然地物目标的散射特性测量更具优势。

国内外已建有一些微波暗室形式的室内测试场，其中大部分服务于硬件系统研究和国防科技应用，例如美国德克萨斯 A&M 大学的电磁学和微波实验室（EML），新加坡国立大学的天线和散射实验室（ASL），印度国家航空航天实验室航空电子系统部的计算电磁学实验室（CEL）、中国科学院电子学研究所微波成像技术国家级重点实验室、西安空间无线电技术研究所（504 所）、北京无线电测量研究所（207 所）等。最早开展地物目标的测量与微波遥感基础理论研究的暗室是建立在意大利的欧洲微波特性实验室（EMSL, European Microwave Signature Laboratory），该微波暗室在 1992 年开放运行^[2-3]，围绕土壤、树木、建筑模型等地物目标的散射特性测量^[4-8]和表面散射模型验证^[9-10]进行了一系列测试工作，为地物目标的散射特性研究和测量技术发展提供了宝贵的经验。国内的相关系统建设起步相对较晚，中国电波传播研究所在 1996 年建立了室内多波

段散射测量系统，在不同极化和不同入射角下对各类地物的后向散射系数进行了测量，用以研究散射模型及地表参数如含水量、粗糙度和地物类型等对散射模型的影响关系^[11]；电子科技大学在 2007 年建立起了室内微波散射测量系统，并进行了大量典型地物的测量与研究工作，包括土壤、浮冰、溢油、小麦、水稻等^[12]；中科院遥感所于 2017 年在浙江德清建立了微波暗室，面向土壤、农作物、人工目标等典型地物进行了散射特性的测量与验证工作^[13-16]。

电气与电子工程师协会 IEEE 标准组织在 1997 年发布，2007 年、2020 年两次修订了关于室内外雷达散射截面测试流程的推荐性标准《IEEE Standard 1502-2020: IEEE Recommended Practice for Radar Cross Section Test Procedures》，该标准对雷达散射截面测试的设施、测量方法、数据处理方式和不确定性评估都进行了描述，是国际上相对全面的雷达散射截面测试指南，但该标准所针对的目标还是以人工或军事目标为主，目标安装方法难以适用于自然地物目标。国内的相关技术标准基本来自于军工领域，针对军事目标的测试，例如《GJB5022-2001 室内场缩比目标雷达散射截面测试方法》、《GJB 2038A-2011_雷达吸波材料反射率测试方法》等，对本标准的测试环境要求有借鉴意义。与军事目标相比，自然地物目标的散射强度相对较弱，对测试环境的抗噪性能要求更高，目标安装的要求与方法不同，数据处理的需求也不尽相同，而相关的测量技术缺乏标准规范的引导。

2.3 主要技术内容的说明

本标准的技术规程类标准，主要规定了微波暗室环境下，测量地物目标后向散射系数的流程与方法。技术内容包括以下几个方面：

(1) 测量条件

测量条件指的是在微波暗室测量地物目标后向散射系数前所需要达到的设

备、仪器、环境与材料的条件。相关的技术指标和要求如下：

- a) 测量环境要求。测量过程中，为保持目标不因环境温湿度发生较大的性状改变，参照 GJB 5022 规定环境温度保持在 $23^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，室内湿度小于 80%。
- b) 测量设备要求。微波暗室作为后向散射系数测量所需的基本设备，需要具备消波功能的暗室测量环境，且符合远场准则。本标准参照 GJB 5022 中的要求，包括频率范围、极化方式、射频系统等指标进行了规定。在测量过程中使用到的计量型仪器设备，应当以量值溯源为原则定期在具备资质的单位或按照相关国家标准进行校准或计量，例如用于射频信号收发的矢量网络分析仪，地物目标属性测量所使用的卷尺、天平等器具，系统定标所使用的标准件等。

(2) 技术流程

技术流程主要描述地物目标后向散射系数暗室测量技术应经过的测试准备、数据获取、数据检查、资料整理到成果汇交的标准过程。

(3) 测量准备

测量准备部分给出实验设计、地物目标制备的具体实现方法，为后向散射系数的测量实施创造基本条件。

- a) 实验设计的要求。实验设计既包括实验目的、指标要求、人员分工等文档内容，也包括具体的地物目标后向散射系数测量参数的设计，应当根据数据使用者的需求、被测地物目标的结构和雷达响应特性来实施详细具体的定制。
- b) 地物目标制备的要求。通常为了使地物目标在卫星观测和暗室测量条件下保持可对比性，需要在制备样本时尽量还原地物目标的原始形

态。因此采取野外调研的方式实地调查地物目标，并选择适合采集地点，获取目标密度、排列方式等信息，作为室内制备目标时还原真实场景的依据。该部分给出了野外调查应记录的信息和所使用的工具，以及样本采集的具体方法，保留样本的完整性和性状特征。地物目标制备说明了目标以及对应空室场景制作的操作方法，要求在暗室内的有限空间还原地物目标的原始形态，并保证背景杂波能够被有效抵消。

- c) 地物目标属性参数测量的要求。在后向散射系数测量的过程中，应当进行地物目标属性参数的测量，为后续数据的使用例如建模、验证等提供基础数据。该部分给出了与雷达响应相关的主要属性参数的测量方法。

(4) 数据获取

该部分给出数据获取整体技术流程、RCS 定标、数据采集和数据处理的实现方法，得到后向散射系数的最终成果。

- a) 定标体 RCS 测量的要求。该部分给出了以替代法进行定标体测量和 RCS 定标的方法和步骤，对可采用的定标体给出了具体建议。定标体的技术要求在测量条件中进行了规定，本部分不涉及。
- b) 数据采集的要求。该部分给出了后向散射系数测量的步骤和具体公式，其中空室回波信号的测量和软件距离门的选通处理是降低背景信号干扰的必要步骤。
- c) 数据处理的要求。该部分给出了散射测量中的随机噪声抑制的方法，一般采用方位向、频率域滑窗以及多次积分统计平均的方法得到后向散射系数的统计特性。给出了后向散射系数数据的存储内容和形式的

方法，便于后续的处理分析。

(5) 数据检查与资料整理

该部分规定了完成数据获取后，数据和资料检查的具体内容，保障测量全过程的可追溯性。

(6) 成果汇交

该部分规定了数据和资料检查合格后，应当交付用户的资料清单。

三、 验证试验的情况和结果

本标准是以《国家民用空间基础设施 “十三五” 陆地观测卫星共性应用支撑平台建设项目微波卫星基准参考库》项目为基础进行试验验证工作。该项目在 2019 年完成立项，旨在通过微波目标特性测量与仿真科学实验平台，开展可控环境下的 13 类典型地物目标与场景的微波散射特性测量试验，构建典型地物微波遥感特征数据集，为各类微波卫星产品的定量化数据处理、模型仿真、信息提取等技术和各类微波卫星数据产品算法模型的检验提供基准和参考，弥补地面场网数据获取的局限性，为卫星遥感应用业务部门与区域应用提供服务，发挥国家投资最大经济效益，支撑、支持、推进、推广与服务我国民用航天技术发展。

目前，中科卫星应用德清研究院根据项目总体要求，已经完成了包含森林、农作物、草地、人工目标、土壤目标、道路目标、水体目标、植被场景和陆表场景在内的 11 类典型地物目标微波散射特性数据集的构建。过程中吸纳了国内外相关技术的最新进展，不断优化调整地物目标的样本制备、数据采集和数据处理方法，积累了丰富的地物目标微波暗室测试经验。

以幼苗期水稻目标测试为例，根据项目实施要求，首先制定详细的测试方

案与计划，内容包括测试目的、测试内容、预期成果、参数设计、地物目标制备方法、任务分解、计划安排等。由于需要从农田中采集水稻样品，该测试组织了野外踏勘，调研并记录了地表真实幼苗期水稻的基本情况，包括植株高度、下垫面水深与播种行列距等参数，如图 1(a)所示。



(a) 水稻参数田间测量



(b) 水稻样本田间采集

图 1 幼苗期水稻目标野外踏勘



(a) 植株组件分解



(b) 水稻几何参数测量

图 2 幼苗期水稻目标几何物理参数测量

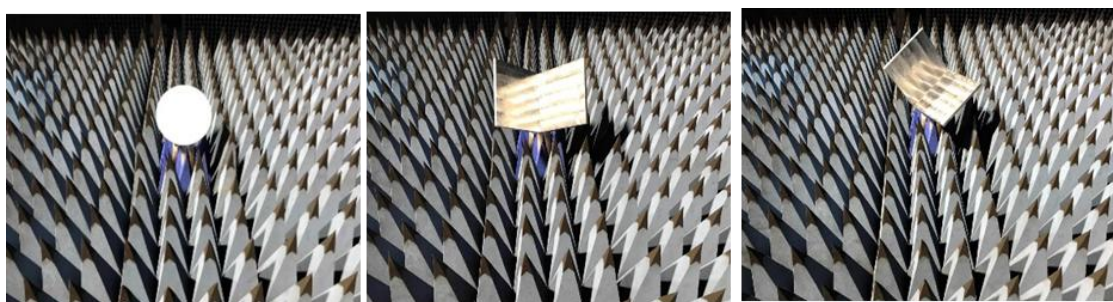
同时，在田间挑选长势基本一致的水稻植株，连带根系完整运送至微波暗室，进行幼苗期水稻目标的室内制备和几何物理参数测量，如图 2 所示；经过测量，幼苗期水稻目标的主要几何物理参数如表所示。

表 1 幼苗期水稻目标主要几何物理参数

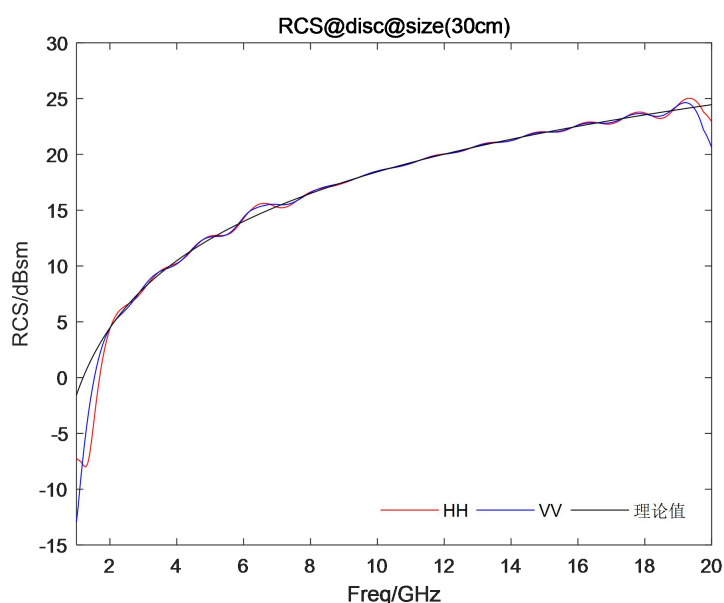
参数名称	平均值	参数名称	平均值
株高	20.2cm	茎长	13.1cm

叶长	15.9cm	茎径	4.9mm
叶宽	6.5cm	水深	7.3cm
叶厚	0.3mm	叶含水量	27.3%
叶倾角	6.7°	茎含水量	39.5%

目标测试前，微波暗室采用三个标准件作为基准，完成了极化定标，定标结果如图 3 所示，平均误差小于 1dBsm。准备好的目标如图 4 所示，根据方案所设计的测试参数，对幼苗期水稻目标的多波段、多入射角度进行了射频数据采集与数据处理，得到了经过标定的后向散射系数。最终形成了幼苗期水稻目标的数据集，包括目标属性数据与后向散射系数数据。包含幼苗期水稻目标在内的部分项目成果在 2022 年 12 月通过了由中国科学院空天信息创新研究院组织的项目中期专家评审，为下一步继续完善地物目标后向散射系数暗室测量技术的标准化建设打下了基础。



(a) 标准件（从左到右依次为金属圆盘、二面角以及旋转 45° 的二面角反射器）



(b) 圆盘定标结果

图 3 定标体测量与极化定标

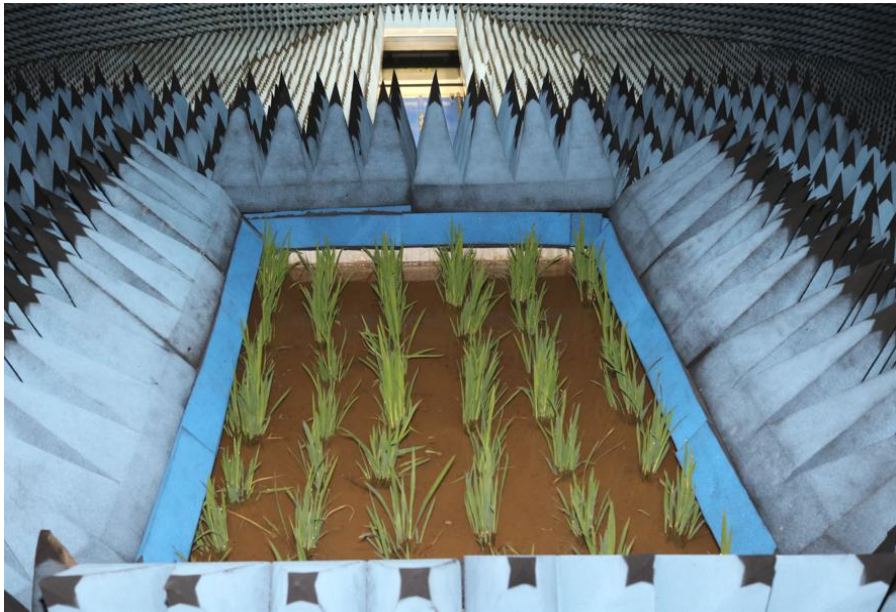


图 4 幼苗期水稻目标制备和安装效果

四、 采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况

电气与电子工程师协会 IEEE 标准组织在 1997 年发布，2007 年、2020 年两次修订了关于室内外雷达散射截面测试流程的推荐性标准《IEEE Standard 1502-2020: IEEE Recommended Practice for Radar Cross Section Test Procedures》。但该标准的目标安装方法难以适用于自然地物目标，目前国内外尚无针对自然地物目标后向散射系数的暗室测量技术标准。

五、 与现行法规、标准的关系

本标准的编制以现有相关法律、法规、国家或标准和文件为依据，符合国家有关政策、法令和法规。编制格式符合 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》中的要求，与相关的国家标准和行业标准协调一致。标准的内容均与已有法律、法规和标准相衔接。

六、 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、 废止现行有关标准的建议

无。

八、 实施标准的要求和措施建议

本标准能够指导地物目标室内微波后向散射系数测量的流程、方法与技术资料，明确相关技术要求与试验方法，能够提高不同实验室、实验装置测试结果的通用性与规范性，建议作为行业推荐性标准发布实施。

九、 其他应予说明的事项

无。

十、 参考文献

- [1] 许小剑.雷达目标散射特性测量与处理技[M].北京,国防工业出版社,2017,12:211-220.
- [2] A. J. Sieber, The European Microwave Signature Laboratory[C] International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Houston, TX, USA, 1992:1195-1200.
- [3] G. Nesti, A. J. Sieber, G. D. de Grandi, J. F. Guasch, E. Ohlmer. Recent advances at the European Microwave Signature Laboratory[C]. Microwave Instrumentation and Satellite Photogrammetry for Remote Sensing of the Earth,1994.
- [4] G. Nesti et al. Experimental research at the EMSL on scattering properties of non vegetated terrains[C]. 1995 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Firenze, Italy, 1995: 2020-2022.
- [5] M. Mancini et al. Experimental setup at the EMSL for the retrieval of soil moisture profiles using multifrequency polarimetric data[C]. 1995 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Firenze, Italy, 1995: 2023-2025.
- [6] J. Fortuny and A. J. Sieber. Three-dimensional synthetic aperture radar imaging of a fir tree: first results[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(2): 1006-1014.
- [7] G. Nesti, J. Fortuny and A. J. Sieber. Comparison of backscattered signal statistics as derived from indoor scatterometric and SAR experiments[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34(5): 1074-1083.
- [8] D. L. Schuler, Jong-Sen Lee, D. Kasilingam and G. Nesti. Surface roughness and slope measurements

- using polarimetric SAR data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(3): 687-698.
- [9] P. Coppo, D. Tarchi and M. Weinberger. An experimental model for surface scattering models validation at the European Microwave Signature Laboratory[C]. 1995 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Firenze, Italy, 1995: 930-932.
- [10] S. E. Park, L. Ferro-Famil, S. Allain and E. Pottier. Surface Roughness and Microwave Surface Scattering of High-Resolution Imaging Radar[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2015, 12(4): 756-760.
- [11] 温芳茹, 罗贤云. 用多波段极化散射计测量地物后向散射系数矩阵[J]. 现代雷达, 1996, 18(2): 15-26.
- [12] 庞少峰.室内微波散射特性测量方法研究[D].电子科技大学.
- [13] 邵芸, 宫华泽, 田维, 张庆君, 王国军, 卞小林, 张婷婷, 张凤丽, 李坤, 刘致曲, 倪崇.微波目标散射特性全要素测量试验[J]. 遥感学报, 2021, 25(1):323-331.
- [14] W. Tian, Y. Shao, Z. Liu, Q. Wei, Z. Tang and C. Ni. A Full-Parameters Microwave Properties Measurement System of 20m Diameter Anechoic Chamber[C]. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Brussels, Belgium, 2021: 335-338.
- [15] K. Li et al. Anechoic Chamber Polinsar Measurements of Rice Canopy[C]. 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022.
- [16] T. Zhang, Y. Shao, Z. Ju and Z. Liu. Experiment of Measuring Full-Parameters Microwave Properties for Soil Salinized Process[C]. 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022: 3374-3377.