

徐爱英,马少辉,牛旭,等. 频率与含水率对残膜-土壤介电常数的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):269-271.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.07.070

频率与含水率对残膜-土壤介电常数的影响

徐爱英^{1,2}, 马少辉^{1,2}, 牛旭³, 唐玉荣^{1,2}

(1. 塔里木大学机械电气化工程学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 新疆维吾尔自治区普通高等学校现代农业工程重点实验室, 新疆阿拉尔 843300; 3. 塔里木大学信息工程学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:地膜覆盖技术已经被广泛应用于新疆地区棉花种植中,为解决残膜回收这一难题,提出利用静电吸附原理对残膜进行回收。残膜和土壤相对介电常数不同是分离残膜的依据,介电常数受土壤含水量和测试频率的很大影响。结果表明,在测试频率(1~1 000 kHz)区间内,风干的残留地膜相对介电常数为 1.0~1.3,风干的土壤相对介电常数为 3~4,干土-干膜的相对介电常数可以区分;含水土壤相对介电系数为 20~40,含水的残留地膜相对介电常数基本为 2~4,从理论上采用静电吸附方法分离湿土-湿膜比干土-干膜区分度更大。在测试频率(100~600 kHz)范围内,含水土壤的相对介电常数为 3.5~35.5,含水残留地膜的相对介电常数为 1.05~4.09,含水土壤的相对介电常数增加速度比含水残留地膜快,说明可以用静电吸附方法对残膜进行分离。

关键词:静电吸附;介电常数;品质因数;曲线拟合

中图分类号: S151.9⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)07-0269-03

阿克苏位于塔克拉玛干沙漠西北边缘,塔里木河上游,属于暖温带干旱地区,土壤为棕漠土,该地区出产的棉花在全国享有盛名。地膜覆盖技术被广泛应用于新疆棉花种植中,但残膜回收不完整和自然条件对地膜的破坏,造成大量残膜碎片混入土壤中。每年新疆覆膜量的 20% 以上残留在土壤中,残留量是全国平均地膜残留量的 4~5 倍^[1-2]。阿克苏地区棉田平均地膜残留量达 134.09 kg/hm²,属于重度污染区^[3]。残膜回收机具普遍存在残膜回收工作效率低的问题,特别是春播前残膜回收机只能对地表残膜进行部分清除,清除效率不高。

土壤是由固相、液相、气相组成的复杂混合物。土壤的基础物理参数包括土壤密度、温度、含水率等参数^[4-5]。其中,土壤含水率是气象学、水文学、生态学、农业科学等领域所关注和研究的重要内容^[6],它不仅影响作物的生长发育,而且也会影响土壤的介电特性。土壤作为一种代表性的电介质材料,在外加电场的作用下,电介质会发生极化现象,宏观表现为电介质贴近极板的 2 个表面会出现与相邻极板所带电荷异号的束缚电荷。

多年来很多研究人员一直致力于土壤介电特性检测技术的研究。Logsdon 等描述了含水量和频率与土壤介电特性关系^[7-8]。Skierucha 等测试了不同频段的土壤介电特性^[9-11]。Velazquez-Marti 等测定了农业土壤介电性质^[12]。雷磊等对于干旱区盐渍土介电常数特性进行测量与模型改进^[13]。郭文川等研究了主要因素对土壤介电特性的影响和土壤介电特性与水分检测频率及温度变化规律^[14-15]。刘军等对微波波段

土壤的介电常数模型进行了研究^[16]。杨攀构建了土壤湿度和电容值的回归方程^[17]。周海洋等基于水平尺度扩展的土壤水分介电传感技术,设计了一种水平放置管式结构的介电水分传感器测量系统^[18]。本研究从静电吸附理论入手,研究新疆阿拉尔市棉花农田中土壤介电特性随频率和含水率变化的规律,并进行曲线拟合,旨在为采用静电吸附技术对棉花收获后的残膜和土壤进行分离提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及预处理

供试土壤样品采自新疆阿拉尔市十团未耕作棉花地,采集深度 0~20 cm。试验前将采集的土壤进行预处理,将土壤中的残膜和杂质去除,土壤自然风干后,将干燥后的土壤研磨后用 18 目筛(孔径 1 mm)过筛。

预处理:恒温箱烘干法是国际公认的测定土壤水分的标准方法^[19]。因此采用烘干法将土壤在 105 ℃ 烤箱中烘干 14 h,按照质量比 1:1 加适量水,配制成不同湿度的样本土,将土壤样品装入相同大小的容器内静置 1 d,保证土壤样品的均匀性。

1.2 仪器与设备

TH2828S 型高频 LCR 数字电桥(江苏省常州市优高电子科技有限公司);GZX-9140MBE 型电热鼓风干燥箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂);0.02 mm 游标卡尺(广西桂林量具刀具厂)等。

1.3 试验方法

测定土壤样品时,将直径为 3.605 cm 铜制探头与样品表面紧密接触,设定相同电压、相同受力大小,试验过程中控制温度为 18 ℃,为避免外界干扰,样品在屏蔽箱内进行测量。以测试频率、含水率为试验因素,以电容为考核指标。在同一含水率条件下,测量土壤样品频率增大时土壤电容的变化情况(测量 4 组)。在同一测量频率下,测量含水率增大时土壤

收稿日期:2016-06-06

基金项目:塔里木大学校长基金青年创新项目(编号:TDZKQN201608)。

作者简介:徐爱英(1983—),女,陕西延安人,硕士,讲师,研究方向为农业机械化。E-mail:474042917@qq.com。

通信作者:马少辉,教授,研究方向为现代农业机械化工程。E-mail:ngynj@sina.com。

电容的变化情况(测量 6 组,取平均值)。最后通过相关参数,计算相对介电常数。

介质材料的介电常数一般采用相对介电常数 ε_r 表示,表征介质材料的介电性质或极化性质的物理参数,通常采用测量样品的电容量,经过计算求出 ε_r ,它是一个无量纲数,因此单位是 1,它们满足如下关系:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{Ch}{\varepsilon_0 S^{\circ}} \tag{1}$$

式中: ε 为绝对介电常数, ε_0 为真空介电常数, $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{12}$ F/m, S 为样品有效面积, h 为样品厚度, C 为被测样品电容量。

表面积与直径关系:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \tag{2}$$

式中: d 为样品直径。

将(2)式带入(1)式,得

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{Ch}{\varepsilon_0 S} = \frac{4Ch}{\varepsilon_0 \pi d^2} \tag{3}$$

本试验中,样品直径、厚度均用游标卡尺测量,直径平均值为 30.08 mm,厚度平均值为 63.02 mm。

1.4 数据处理

采用 Excel 软件和 MATLAB 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 不同含水率条件下相对介电常数随频率的变化趋势

相对介电常数表征材料极化并储存电荷能力的物理量。土壤介电常数是土壤各组分的介电贡献之和。图 1 为测试电压为 1 V、土壤密度为 1.1 g/cm³ 时,风干后土壤和残留地膜相对介电常数随频率变化规律。

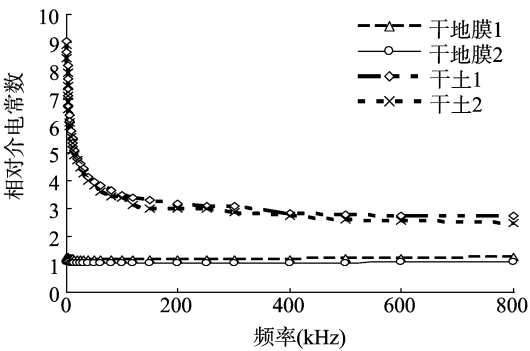


图1 频率对干土-干膜相对介电常数的影响

采用 MATLAB 软件对数据进行分析,结果表明,随着频率升高,风干条件下的土壤样品相对介电系数下降,1 ~ 100 kHz 频率区间内土壤样品相对介电系数下降速度很快,说明在这一频率区间,相对介电常数对频率变化敏感。100 ~ 1 000 kHz 频率区间内土壤样品相对介电系数变化不明显,基本上为 3 ~ 4。1 ~ 1 000 kHz 频率变化范围内,风干的残留地膜 1 的相对介电常数为 1.184 ~ 1.262,晒干的残留地膜 2 的相对介电常数为 1.055 ~ 1.101,风干残留地膜介电常数为 1.0 ~ 1.3,与风干的土壤样品介电常数差值明显,理论上来看可以采用静电吸附的方法进行分离。

图 2 为当测试电压为 1 V、土壤密度为 1.1 g/cm³ 时,不同含水率的土壤和残留地膜相对介电常数随频率变化规律,

表 1 所示为图 2 模拟曲线的方程和相关系数。

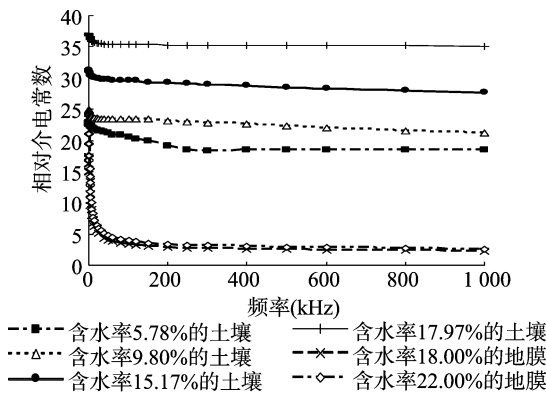


图2 频率对湿土-湿膜相对介电常数的影响

表 1 湿土-湿膜相对介电常数随频率变化拟合曲线

成分	含水率 (%)	模拟曲线方程	相关系数 (r)
地膜	18.00	$y = -2.0034 \ln(x) + 13.459$	0.927 4
地膜	22.00	$y = -2.3392 \ln(x) + 15.679$	0.919 9
土壤	5.78	$y = -0.7319 \ln(x) + 23.427$	0.957 4
土壤	9.80	$y = -0.3467 \ln(x) + 24.561$	0.904 8
土壤	15.17	$y = -0.4158 \ln(x) + 31.238$	0.975 6
土壤	17.97	$y = -0.258 \ln(x) + 36.612$	0.926 9

采用 MATLAB 软件对数据进行分析,结果表明,随着频率升高,含水的残留地膜相对介电常数下降,在 1 ~ 100 kHz 范围内下降速度很快,说明在这一频率区间,含水的残留地膜相对介电常数对频率变化敏感。在 100 ~ 1 000 kHz 范围内含水的残留地膜相对介电常数变化不明显,基本上为 2 ~ 4,说明在这一频率区间,相对介电常数随频率变化下降趋势趋于缓慢。含水的残留地膜介电常数随频率变化模拟曲线方程为对数方程,相关系数在 0.92 以上。对含水土壤而言,相对介电常数随频率 f 的增大逐渐下降,这和干土规律相同,说明含水率相同的曲线,相对介电常数在低频的变化比高频下更明显。由表 1 可以看出,残留的地膜和棉田中的土壤相对介电常数随频率变化的模拟曲线方程为对数方程,相关系数在 0.90 以上,拟合度良好。含水的残留地膜和含水的土壤之间介电常数相差较大,从理论上来看可以用静电吸附的方法进行分离。

2.2 不同频率条件下介电常数随含水率的变化趋势

图 3 为当测试电压为 1 V、土壤密度为 1.1 g/cm³ 时,土壤样品在不同频率下相对介电常数随含水率变化曲线。图 4 为当测试电压为 1 V 时,残留地膜在不同频率下相对介电常数随含水率变化曲线。

由图 3 可以看出,棉田土壤在频率为 100 ~ 600 kHz 条件下,在含水率小于 20% 时,随着含水率增大,介电常数呈增大趋势,变化范围为 3.5 ~ 35.5。由图 4 可以看出,随着含水率增大,棉田土壤中的残留地膜介电常数呈增大趋势,变化范围为 1.05 ~ 4.09,同一频率下与土壤的相对介电常数相差较大。由图 3、图 4 可知,棉田中土壤和残膜在有水情况下变化趋势完全相同,但频率对介电常数的影响小于含水率的影响。由表 2、表 3 可以看出,残留地膜和棉田中土壤相对介电常数随含水率变化的模拟曲线方程为线性方程,相关系数在 0.96 以上,拟合度很好。

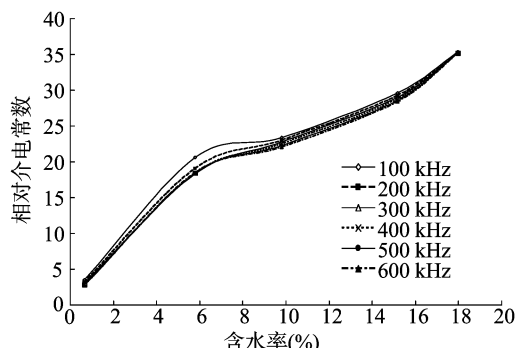


图3 不同频率下含水率对土壤相对介电常数的影响

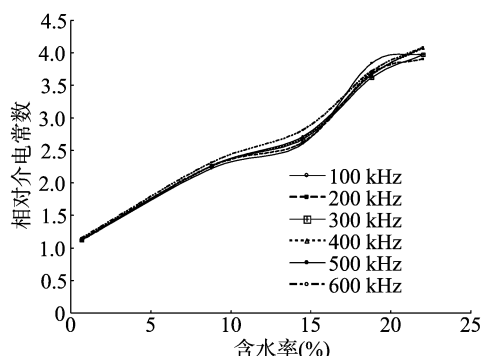


图4 不同频率下含水率对地膜相对介电常数的影响

表2 土壤相对介电常数随含水率变化拟合曲线

测试频率 (kHz)	模拟曲线方程	相关系数 (r)
100	$y = 166.08x + 6.1096$	0.9633
200	$y = 169.46x + 6.2362$	0.9736
300	$y = 170.45x + 4.8452$	0.9779
400	$y = 170.91x + 4.6864$	0.9761
500	$y = 170.75x + 4.6009$	0.9756
600	$y = 170.24x + 4.5547$	0.9749

表3 地膜相对介电常数随含水率变化拟合曲线

测试频率 (kHz)	模拟曲线方程	相关系数 (r)
100	$y = 13.765x + 0.9704$	0.9807
200	$y = 13.177x + 1.0098$	0.9869
300	$y = 13.272x + 1.0099$	0.9908
400	$y = 13.668x + 0.9918$	0.9908
500	$y = 13.695x + 0.9984$	0.9916
600	$y = 13.692x + 1.0413$	0.9943

3 结论

相对介电常数不同是残留地膜和土壤分离的依据,介电常数受含水量和频率的影响很大。本研究对阿克苏地区棉田中的土壤和残留地膜介电常数进行分析。结果表明:在试验参数范围内,介电常数随测试频率变化模拟曲线为对数方程;低频(1~100 kHz)条件下相对介电常数变化明显;当频率较大(100~1 000 kHz)时相对介电常数变化不明显。在测试频率区间内(1~1 000 kHz),风干土壤(相对介电常数为3~4)与风干的残留地膜(相对介电常数为1.0~1.3)可以区分;含水土壤(相对介电常数为20~40)与含水残留地膜(相对介电常数为2~4)区分度更大。在测试频率区间(100~600 kHz)

内,含水土壤的相对介电常数为3.5~35.5,含水残留地膜的相对介电常数为1.05~4.09,含水土壤的相对介电常数增加速度较含水残留地膜的相对介电常数迅速。因此,从理论上分析,风干残膜-风干土壤和含水残膜-含水土壤均可以用静电吸附方法进行分离,这一研究结果可为静电式农田残膜回收机的研制提供依据。

参考文献:

- [1] 严昌荣,王序俭,何文清,等. 新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J]. 生态学报,2008,28(7):3470-3474.
- [2] 刘晨. 新疆残膜污染危害成因分析及治理建议[J]. 基层农技推广,2013,11(1):28-29.
- [3] 牛瑞坤,王旭峰,胡灿,等. 新疆阿克苏地区棉田残膜污染现状分析[J]. 新疆农业科学,2016,53(2):283-288.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [5] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [6] Eric H, Hamed P. Evaluation of several dielectric mining models forestimating soil moisture content in sand, loam and clay soils[J]. ASAE,2003,7(4):26-30.
- [7] Logsdon S, Laird D. Cation and water content effects on dipole rotation activation energy of smectites[J]. Soil Science Society of America Journal,2004,68(5):1586-1591.
- [8] Kelleners T J, Robinson D A, Shouse P J, et al. Frequency dependence of the complex permittivity and its impact on dielectric sensor calibration in soils[J]. Soil Science Society of America,2005,69(1):67-76.
- [9] Skierucha W, Wilczek A. A FDR sensor for measuring complex soil dielectric permittivity in the 10-500 MHz frequency range[J]. Sensors,2010,10(4):3314-3329.
- [10] Chaudhari H C, Shinde V J. Dielectric properties of soils at X-band microwave frequency[J]. Indian Journal of Pure & Applied Physics,2012,50(1):64-66.
- [11] Kelleners T J, Verma A K. Measured and modeled dielectric properties of soils at 50 megahertz[J]. Soil Science Society of America Journal,2010,74(3):744-752.
- [12] Velazquez-Marti B, Gracia-Lopez C, Plaza-Gonzalez P J. Determination of dielectric properties of agricultural soil[J]. Biosystems Engineering,2005,91(1):119-125.
- [13] 雷磊,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等. 干旱区盐渍土介电常数特性研究与模型验证[J]. 农业工程学报,2013,29(16):125-133.
- [14] 郭文川,张鹏,宋克鑫,等. 壤土介电特性与水分检测频率及温度影响[J]. 排灌机械工程学报,2013,31(8):713-718.
- [15] 张鹏. 主要因素对土壤介电特性的影响和分析研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [16] 刘军,赵少杰,蒋玲梅,等. 微波波段土壤的介电常数模型研究进展[J]. 遥感信息,2015,30(1):5-13,70.
- [17] 杨攀. 农田相对土壤湿度检测技术研究[D]. 成都:成都理工大学,2015.
- [18] 周海洋,孙宇瑞, Lammers P S,等. 基于水平尺度扩展的土壤水分介电传感技术[J]. 农业机械学报,2015,46(4):261-265.
- [19] Schmugge T J, Jackson T J, Mckim H L. Survey of methods for soil moisture determination[J]. Water Resources Research,1980,16(6):961-979.