

介电式种子分选机电极线径对分选效果的影响

米双山¹, 高清海², 李百傲²

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2 河北省农业机械化研究所, 石家庄 050011)

摘要: 该文针对国内的介电分选机因无专用分选电极而无法应用于生产的问题, 通过对分选电极材料和型式的研究, 研制了以铝作为芯材并具有双绝缘层的电极。该电极的内绝缘层为聚乙烯, 主要起绝缘作用; 外绝缘层为聚氯乙烯, 主要起保护作用, 兼顾绝缘作用。设计了3种不同尺寸的电极, 并利用由它们绕制的滚筒对谷子和小麦种子进行了分选试验, 得出了“无论是分选大粒种子还是分选小粒种子, 都以小直径的电极绝缘线缠绕的滚筒为佳”的结论, 为分选电极的设计与选用提供了理论依据。

关键词: 介电特性; 分选机; 电极; 种子

中图分类号: S226.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)05-0142-05

0 引言

介电分选机大多采用由双绕线圈(电极)绕制的分选滚筒对种子进行分选, 种子在分选滚筒上被极化后, 受多种力的综合作用产生不同的运动轨迹而实现分离。电极的型式、尺寸以及排列型式决定了极化力的大小, 是影响分选效果的主要因素之一^[1,2]。国外对此进行了大量的分析与研究, 不仅研制了单芯单绝缘层铝导线电极, 而且还探索了其它型式的电极(如三角形电极、带式电极)^[3]以及单芯电极不同的排列型式(双层电极排列、大小电极间隔排列等)^[4]。但国内对此研究较少, 还没有一种合适的电极可供选用。因而, 前人曾采用普通的聚氯乙烯包皮铝导线^[5,6]和漆包线^[7]作为电极, 其安全性很差, 不能应用于生产中。另外, 在电极尺寸的选用上, 有人^[5,6]认为“分选大尺寸的种子宜选用大直径的电极”, 也有人认为^[2]“应尽量采用外径与种子尺寸接近的电极或较小点的电极”, 但对此都没有进行验证。本文将针对电极的型式及尺寸、不同尺寸的电极对分选不同种子的适应情况等问题进行研究, 以达到优化分选电极的目的。

1 电极材料的确定

1.1 电极线芯材料的选择

对电极线芯材料的要求: 首先要具有较高的导电率, 其次要求导体具有足够的机械性能, 化学稳定性, 不易氧化, 并便于加工。在满足这些性能的前提下, 还要价格较低。

最常用的导电金属是铝和铜。虽然铝的导电性次于铜(铝的导电率为60%~62% IACS, 按体积计算约为铜的60%~65%, 而按重量计算约为铜的200%)^[9], 但它具有导热性和耐腐蚀性良好、塑性好易加工的特点, 并且比重小, 价格便宜, 来源可靠。因此, 选择铝作为电极线芯材料。

1.2 电极绝缘材料的选择

对电极绝缘材料的基本要求是具有优异的电绝缘性能, 耐压强度高, 介质损耗小, 价格低廉。

低密度聚乙烯不仅具有良好的绝缘性能, 较高的耐电强度, 而且具有较好的物理机械性能, 良好的化学稳定性, 较小的介电常数和低廉的价格, 因此, 选择它作为电极的绝缘材料。

聚乙烯在使用中易于发生“环境应力开裂”, 导致它开裂的化学物质有脂肪族和芳香族的液态烃类、醇类、有机酸、动植物油等。而种子中常常会含有这些物质, 种子与聚乙烯的长时间直接接触, 难免将这些物质残留在它的表面, 造成绝缘性能的破坏。因此, 为避免此现象的发生, 将电极的绝缘层设计为两层, 内层为聚乙烯, 主要起绝缘作用; 用聚氯乙烯作外层护套, 主要起保护聚乙烯的作用, 兼顾绝缘作用。

2 电极尺寸的确定

通过对介电分选机电磁场的研究表明^[2]: 电极尺寸对电场强度具有显著性影响, 尤其是电极的绝缘层厚度对电场强度影响非常显著, 并且当电极铝芯半径 $R < 1.5 \text{ mm}$ 时, 电场强度随 R 的增大升高的幅度较大; 但当铝芯半径 $R > 2 \text{ mm}$ 时, 电场强度随 R 的增大变化较为缓慢。因此, 应该在保证电极耐压安全性的前提下尽量减小绝缘层的厚度, 且根据需要尽量减小电极铝芯的尺寸($R < 2 \text{ mm}$)。

2.1 电极绝缘层厚度的确定

确定电极绝缘层厚度时应该考虑两方面的因素, 其一是电极的耐压强度; 其二是电极加工的工艺性。在满足这两条的前提下, 选取最小的绝缘层厚度。

绝缘层厚度应按电极绝缘的工频电压强度和冲击电压强度分别计算, 取其大者。由于介电分选机工作时, 几乎没有电压冲击, 因此, 只按工频电压强度进行计算, 其绝缘层厚度公式^[10]为

$$t = \frac{V \times K_1}{E_{av}} \quad (1)$$

其中 t ——绝缘层厚度, mm; V ——加在电极上的电压, kV; E_{av} ——绝缘层的平均工频击穿场强, kV/mm;

收稿日期: 2004-02-09 修订日期: 2004-06-14

作者简介: 米双山(1965-), 男, 河北省故城县人, 副教授, 石家庄市和平西路97号 军械工程学院四系, 050003。E-mail: mishuangshan@163.net

K_1 ——老化系数, $K_1 = 4$ 。

介电分选电压一般在几千伏左右, 取较大电压值 $V = 6 \text{ kV}$ 。由于内层聚乙烯主要起绝缘作用, 外层聚氯乙烯主要起保护作用, 因而在耐压强度上给聚乙烯分配 $V_1 = 5 \text{ kV}$ 的电压, 聚氯乙烯承担 $V_2 = 1 \text{ kV}$ 的电压。聚乙烯和聚氯乙烯的平均工频击穿场强分别为 $E_{av1} = 80 \text{ kV/mm}$ 和 $E_{av2} = 10 \text{ kV/mm}^{[10]}$, 由此可计算出聚乙烯的绝缘层厚度为 $t_1 = 0.3 \text{ mm}$, 聚氯乙烯的绝缘层厚度为 $t_2 = 0.4 \text{ mm}$ 。

为安全起见, 在制造时, 应使聚乙烯的厚度在 0.3 mm 以上, 聚氯乙烯的厚度在 0.4 mm 以上。

2.2 电极铝芯的尺寸

米双山等人的理论分析表明^[2]: 以小直径的电极分选大粒种子要比用大直径的电极分选小粒种子的效果好。究竟这一分析是否恰当, 电极的尺寸以多大较为合适, 有待于通过试验来确定。

3 试验验证

3.1 试验设备及试验材料

图 1 为介电分选试验台。分选滚筒的直径为 250 mm , 长度为 500 mm 。滚筒转速为 55 r/min 。交流电经一个变比为 $220/6000$ 的变压器升压后传送给分选电极, 其电压的大小通过调压器来控制。接料斗设置了 5

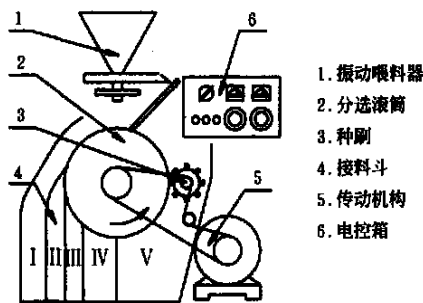


图 1 介电分选试验台示意图

Fig 1 Schematic diagram of dielectric separation experimental apparatus

个接料位置, 但为了简化分析, 本试验采用两级接料方式, 即 I ~ IV 级 (与滚筒垂直中心线的夹角为 $0^\circ \sim 180^\circ$; 以下同) 作为好种子, 第 V 级 (180° 最后) 作为次种子。

设计了 3 种双层绝缘铝芯电极, 内绝缘层为聚乙烯, 外绝缘层为聚氯乙烯, 由这 3 种电极绕制成了 3 个分选滚筒 (其序号对应于电极序号)。由于 3 种电极的外绝缘层材料和电极的制造工艺都相同, 因而由它们绕制的滚筒具有相同的表面状态。试验物料为谷子和小麦种子。如表 1 和表 2 所示。

表 1 电极尺寸

电极序号	铝芯直径/mm	聚乙烯外径/mm	电极外径/mm
1	1.78	2.3	3.2
2	2.52	3.2	4.6
3	2.98	3.6	5.0

表 2 选前种子的基本参数

品种		水分/%	净度/%	千粒质量/g
谷子	金谷粘米	7.88	99.8	2.157
小麦	东风 96-6066	8.87	100	33.87

3.2 试验安排

在滚筒转速为 55 r/min 、分选谷子和小麦种子的生产率分别为 135 kg/h 和 285 kg/h 的条件下, 利用 3 种滚筒对两种种子进行分选电压的单因素试验。测定分选后好种子和次种子的千粒质量、各自所占的质量比例以及它们的净度, 通过回归分析建立各指标与分选电压之间的模型, 在此基础上对试验结果进行分析, 以探索由不同尺寸电极绕制的滚筒分选效果的优劣。

3.3 试验结果与分析

利用线性回归和多项式回归方法, 通过编程运算, 得到了好种子出口的种子千粒质量 W_1 及质量比例 S_1 、次种子出口的千粒质量 W_2 及净度 C_2 与分选电压 V 之间的回归方程及显著性检验结果 (如表 3 所示)。

表 3 回归方程汇总表

Table 3 Regression equations

滚筒编号	项 目	回 归 方 程	
		分选谷子种子	分选小麦种子
1	好种子千粒质量	$W_1 = 2.052895 + 9.301 \times 10^{-5}V$	$W_1 = 32.24001 + 6.565063 \times 10^{-4}V$
	好种子比例	$S_1 = 64.35271 + 0.05134892V - 1.8648 \times 10^{-5}V^2$	$S_1 = 120.625 - 5.491276 \times 10^{-3}V$
	次种子千粒质量	$W_2 = -1.13986 + 0.00128395V$	$W_2 = 2.717494 + 4.856589 \times 10^{-3}V$
	次种子净度	$C_2 = 45.74667 + 0.0244933V$	
2	好种子千粒质量	$W_1 = 2.070456 + 8.58 \times 10^{-5}V$	$W_1 = 32.14251 + 6.966654 \times 10^{-4}V$
	好种子比例	$S_1 = 51.15427 + 0.06761884V - 2.3444 \times 10^{-5}V^2$	$S_1 = 118.55 - 5.002378 \times 10^{-3}V$
	次种子千粒质量	$W_2 = -1.41823 + 0.00142499V$	$W_2 = 2.847491 + 4.991034 \times 10^{-3}V$
	次种子净度	$C_2 = 67.675 + 0.01411667V$	
3	好种子千粒质量	$W_1 = 2.083294 + 7.248 \times 10^{-5}V$	$W_1 = 32.9225 + 4.775396 \times 10^{-4}V$
	好种子比例	$S_1 = 58.35125 + 0.05737074V - 1.9905 \times 10^{-5}V^2$	$S_1 = 116.325 - 4.373809 \times 10^{-3}V$
	次种子千粒质量	$W_2 = -1.19947 + 0.0013195V$	$W_2 = 12.935 + 2.884444 \times 10^{-3}V$
	次种子净度	$C_2 = 67.09612 + 0.01433667V$	

注: 1. 好种子出口的种子净度均超过 0.999 , 无显著性差异, 故未进行回归。

2. 除小麦种子的好种子千粒质量与分选电压的回归方程是在 0.005 水平下高度显著外, 其余的回归方程均在 0.001 水平下高度显著。

3.3.1 利用回归的相关系数比较分选效果的优劣

回归的显著性检验结果表明: 以上回归方程均高度显著。也就是说, 回归模型是适当的。因此可以用相关系数来比较分选效果的优劣, 试验点越集中于回归直线附近, 表明分选效果越好, 反之越差。表 4 列出了各回归方程的相关系数。

表 4 回归方程的相关系数汇总表

项 目	滚筒编号	回归方程相关系数	
		分选谷种	分选麦种
好种子千粒质量	1	0.9772	0.9705
	2	0.9458	0.9610
	3	0.9109	0.8881
好种子比例	1	-0.9906	
	2	-0.9920	
	3	-0.9799	
次种子千粒质量	1	0.9896	0.9724
	2	0.9789	0.9521
	3	0.9931	0.9374
次种子净度	1	0.9623	
	2	0.9872	
	3	0.9585	

由表 4 可以看出, 各回归方程的相关系数, 基本上

以 1 号滚筒的为最大, 3 号滚筒的最小。这一方面说明: 1 号滚筒分选两种种子时, 各项指标与分选电压 V 之间的线性关系符合得最好; 另一方面说明: 无论是分选大粒种子, 还是小粒种子, 都以 1 号滚筒为佳, 3 号滚筒为差, 2 号滚筒居中。这是因为随着电极外径的增大, 电极表面不同位置电场强度的差异较大, 同一种子落在滚筒上的不同位置将会受到较大变化的电极化力, 从而改变了其运动轨迹, 落入了不该落入的出口中。比如, 对于某一粒重较小的种子, 在 3 号电极上分选时, 由于喂入的随机性, 当落在两电极之间时, 会受到较大的电极化力而吸附在滚筒上, 被种刷刷落到次种子出口中; 当落在电极的上端时, 会受到较小的电极化力致使其不能吸附在滚筒上, 而落入好种子出口中。电极的外径越大, 这种现象发生的概率也越大。从而造成试验点的分布较为分散。外径小的电极分选种子时, 由于电极表面不同点的电场强度差异较小, 这种事件发生的概率相对较小, 因而试验点较集中。总之, 从回归方程相关系数的角度出发, 以外径小的电极分选种子的效果为好。

3.3.2 利用试验曲线分析分选效果的优劣

图 2~ 图 4 为不同的分选滚筒分选两种种子时所得到的分选指标与分选电压之间的关系图。

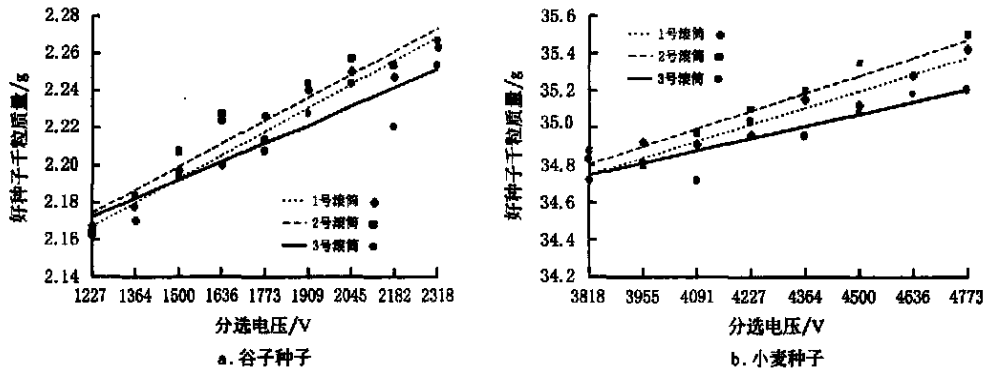


图 2 好种子出口的千粒质量与分选电压 V 的关系

Fig 2 Relationship between kilo-grain weight at good seed outlet and separating voltage

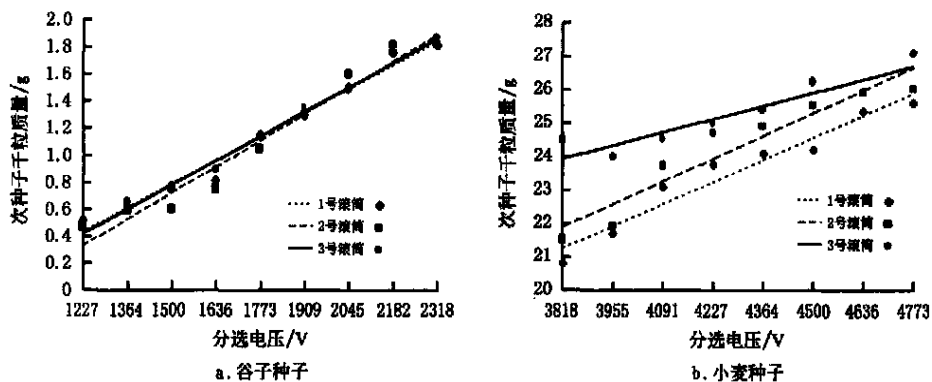


图 3 次种子出口的千粒质量与分选电压 V 的关系

Fig 3 Relationship between kilo-grain weight at bad seed outlet and separating voltage

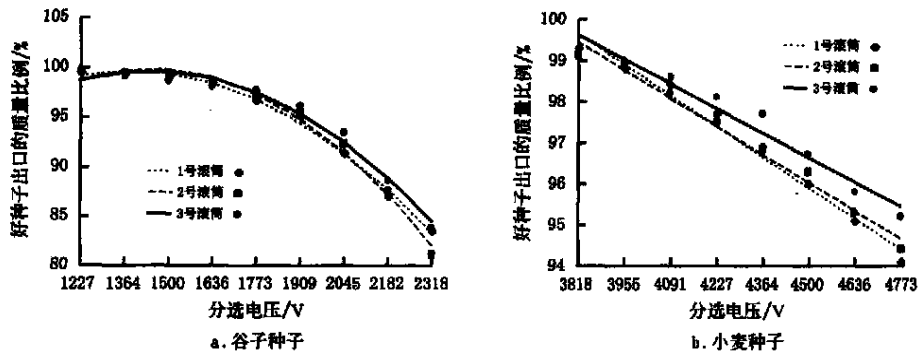


图 4 好种子出口的质量比例与分选电压 V 的关系

Fig 4 Relationship between weight ratio of good seed and separating voltage

由于 2 号滚筒与 3 号滚筒电极的绝缘层厚度相同, 而芯径不同, 因此对这两个滚筒的分选效果进行比较就可说明电极尺寸对分选效果的影响程度。由介电式种子分选机电磁场的理论分析知^[2], 在绝缘层厚度相同的条件下, 电极芯径越大, 所产生的电场强度越大, 种子受到的电极化力也越大, 因而种子脱落得较晚, 即好种子出口的种子粒重将增大, 质量比例将减小, 次种子出口的种子粒重也将增大。由图中可以看出, 两者相比, 在同一电压条件下, 2 号滚筒得到的好种子干粒质量较大, 次种子干粒质量较小。众所周知, 落入好种子出口的种子干粒质量越大, 同时次种子出口的种子干粒质量越小,

表明其分选效果越好, 由此可知, 2 号滚筒的分选效果要好于 3 号滚筒。

1 号滚筒和 2 号滚筒相比, 在同一分选电压下, 前者得到的好种子干粒质量较小, 次种子干粒质量或较小(分选小麦种子时)或交叉(分选谷子种子时), 并且两者的好种子质量比例也有所交叉, 由此难以确定两者分选效果的优劣, 需借助于建立的回归模型进行比较。设定不同的好种子质量比例, 利用建立的回归模型计算出达到此条件时所对应的好种子干粒质量和次种子干粒质量, 结果如图 5 和图 6 所示。

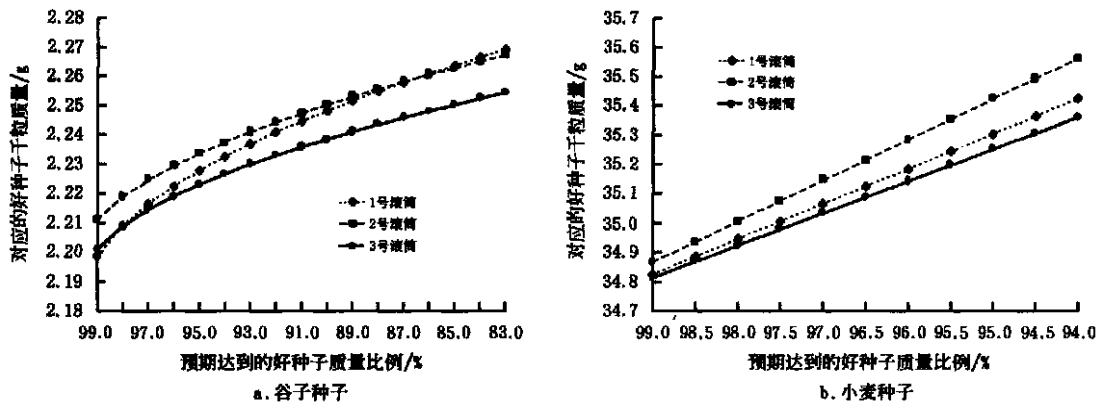


图 5 预期达到的好种子质量比例与对应的好种子干粒质量的关系

Fig 5 Relationship between expected weight ratio of good seed and kilo-grain weight at good seed outlet

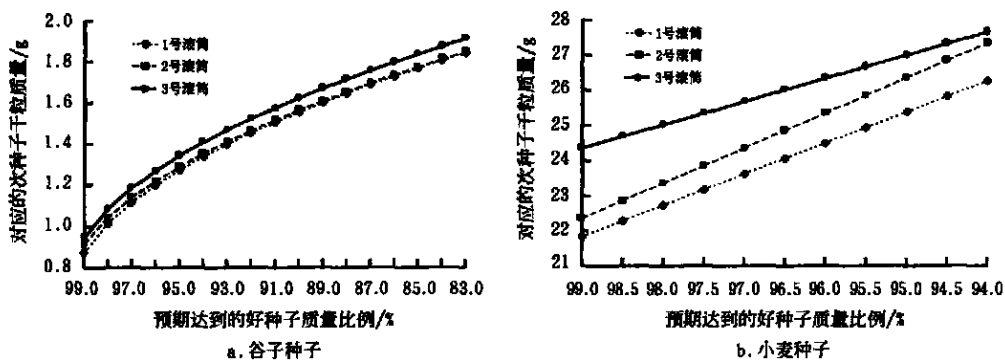


图 6 预期达到的好种子质量比例与对应的次种子干粒质量的关系

Fig 6 Relationship between expected weight ratio of good seed and kilo-grain weight at bad seed outlet

图 5 和图 6 表明: 在分选谷子种子时, 在达到同样的好种子质量比例的前提下, 与 2 号滚筒相比, 1 号滚筒得到的好种子千粒质量先小后大, 但无论好种子的质量比例如何变化, 两者的次种子千粒质量总是以 1 号滚筒为小。这说明在同样的条件下, 1 号滚筒的次种子出口中混杂了较少的好种子。因而, 可以推断, 在分选谷子种子时, 1 号滚筒的分选效果好于 2 号滚筒。

在分选小麦种子时, 在达到同样的好种子质量比例的前提下, 虽然 1 号滚筒得到的好种子千粒质量和次种子千粒质量都小于后者。但它们的相差幅度不同, 比如, 在好种子质量比例为 97% 时, 2 号滚筒的好种子千粒质量仅高出 1 号滚筒 0.226%, 而次种子千粒质量却高出 3.12%。同样, 在好种子质量比例为 95% 时, 2 号滚筒的好种子千粒质量高出 0.336%, 而次种子千粒质量却高出 3.796%。这说明在得到同样的好种子质量比例下, 虽然 2 号滚筒的好种子千粒质量略有提高, 但却以在次种子中混杂了更多的好种子作为代价。因此, 综合两项指标可以判断出, 在分选小麦种子时, 1 号滚筒的分选效果也好于 2 号滚筒。

综上所述, 对两种种子的分选效果, 都以 1 号滚筒为佳, 3 号滚筒为差, 2 号滚筒居中。因此, 可以得出结论: 无论是分选大粒种子还是分选小粒种子, 都以小直径的电极为佳。

4 结 论

1) 通过分析论述和理论计算, 确定了介电式种子分选机分选电极的型式, 即以铝作为电极线芯且具有双绝缘层。绝缘层的内层为聚乙烯, 主要起绝缘作用; 外层为聚氯乙烯, 主要起保护聚乙烯的作用, 兼顾绝缘作用。

2) 通过利用由不同尺寸的电极绕制的滚筒对谷子和小麦种子进行的分选试验表明: 无论是分选大粒种子还是分选小粒种子, 都以小直径的电极为佳。

3) 建议在设计介电式种子分选机时应采用具有双绝缘层的铝芯电极, 且尽量缩小电极的尺寸。

[参 考 文 献]

- [1] 米双山 介电式种子分选机理及其设备的研究[D] 北京: 中国农业大学, 2000
- [2] 米双山, 吴鹏英, 刘迅芳 介电式种子分选机电磁场的研究[J] 农业工程学报, 2003, 19(2): 97- 101.
- [3] . [J] / , 1979, 12: 31 - 32
- [4] . [J] / , 1978, 8: 34- 36
- [5] 别传爽 介电式种子分选机理的研究[D] 北京: 北京农业大学, 1986
- [6] 张敏华, 许乃章, 项士英 种子介电分选的主要参数与工作机理的研究[J] 农业机械学报, 1989, 20(3): 44- 50
- [7] 米双山 5JDF- 05 型介电式种子分选机组及性能试验[J] 农业工程学报, 2000, 16(4): 82- 84
- [8] 米双山, 齐 新, 潘存治 介电式种子分选机理的研究[J] 河北省科学院学报, 1994, 11(3): 400- 406
- [9] 汪景璞, 邹元传 电缆材料[M] 北京: 机械工业出版社, 1983
- [10] 《电线电缆手册》编写组 电线电缆手册(第 1 册)[M] 北京: 机械工业出版社, 1978
- [11] 张小蒂 应用回归分析[M] 杭州: 浙江大学出版社, 1991
- [12] 中国科学院数学研究所数理统计组编 回归分析方法[M] 北京: 科学出版社, 1975

Influences of the electrode dimension of the dielectric seed separator on the separation effect

Mi Shuangshan¹, Gao Qinghai², Li Baijing²

(1. The Fourth Department, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Hebei Agricultural Mechanization Institute, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract In view of the fact that the dielectric separator could not be used in seed processing in China because of lack of specialized electrode, based on studies on electrode material and electrode construction, a new electrode was designed, with aluminum as conductor and two layers of insulation. Polyethylene was used as inner insulation material to provide insulation and polyvinyl chloride was used as the outer insulation material to protect polyethylene and provide insulation as well. Cylinders made from three electrodes with different sizes were used to test the separation effect on wheat and millet seeds. Experiments show that "whether small seeds or large seeds, the cylinder with the smallest size electrode shows the best separation effect", which provides the scientific basis for design and application of the electrode.

Key words: dielectric property; separator; electrode; seed