doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.04.017

多针电极喷雾刀梁静电场特性与雾化效果研究*

高全杰 夏志勇 汪朝晖 王 维 秦 拓 黄 浩 (武汉科技大学机械自动化学院,武汉 430081)

摘要:建立了多针电极喷雾刀梁静电场求解模型,采用 Ansoft Maxwell 软件分析了多针电极喷雾刀梁空间中电压及 电场强度的分布规律,并研究了针电极间距对静电场的影响,通过激光粒度分析仪测量分析了不同针电极间距的 刀梁雾化粒径分布规律。结果表明:针电极可将该刀梁附近的最高电场强度提高到 2.7×10⁶ V/m,针电极附近的 电场变化幅度最大,针电极最佳间距为 2 mm 时多针电极下端可形成分布均匀的高场强区域,此时该刀梁静电喷雾 的雾化粒径减小到 42 μm,且粒径分布均匀,该实验结果与计算结果吻合。

关键词:静电雾化 刀梁 针电极 有限元法 粒径分布

中图分类号: S491 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2014)04-0110-07

引言

静电雾化技术在许多领域得到广泛应用,提高 静电雾化效果和节能降耗是急需解决的问题。国内 外学者在各种电极的放电机理及特性、电压与雾化 效果关系等方面作了许多研究,茹煜等对环状电极 所诱导的电场分布特性进行了分析^[1-4]. Intra 等对 雾化电晕放电下的干式电极放电和空腔式雾化电极 放电特性的差别进行了探究,获得了不同静电电压 下雾滴的粒径分布与荷质比的关系^[5-7], Rafiroiu 等 针对电晕荷电喷雾中常用的多针组合式电极,采用 电荷模拟法,对电极诱导电场进行数值计算^[8-9], Selma 等提出了针阵列电极结构的双极电晕放电方 式,研究了多针电极结构双极电晕放电的伏安特性, 并通过实验研究优化了电极参数^[10-11]。在针电极 静电场计算中 Neimarlija 等利用有限体积法对空间 静电场电荷密度进行了分析,利用边界元积分方程 建立了以针状电极线电荷密度为未知量的离散方 程,计算了针状电极系上线电荷和电势分布,并使用 欧拉/拉格朗日方程计算了相关参数[12-14],杨志维 通过数值模拟的方法研究了静电涂油机的空间电场 分布[15],赵陆明等实验研究了静电雾化的粒径及其 分布特性[16-19]。但目前均未对并排排列的多根针 电极所产生的静电场分布规律进行过研究。

本文在对静电喷涂理论研究的基础上,建立计 算多针电极喷雾刀梁静电场计算模型,借助 Ansoft Maxwell 电磁场专用分析软件计算和分析多针电极 所产生的静电特性,并通过实验验证该种静电雾化 喷头的雾化效果,为静电喷雾技术的节能降耗和开 发新型静电喷雾喷头提供理论依据和实验基础。

1 模型及有限元计算

1.1 物理模型

图1为多针电极喷雾刀梁简化结构与工作示意 图,其结构由形状类似刀具刃口的喷雾刀梁与下端 刃口处附加平行排列在一条直线上的针电极组成。 其中,针电极刀梁刃口外端的长度为8 mm,针电极 直径为喷雾刀梁刃口处喷雾介质出口缝隙的宽度, 为0.2~0.3 mm,相邻针电极的间距为2 mm。多针 电极喷雾刀梁的刃口与其下的喷雾目标距离为 250 mm,通常刀梁及针电极工作时接高压电源负 极,喷雾目标接地,故其电压为零,多针电极喷雾刀 梁(以下简称刀梁)与喷雾目标间的电势差使空间



图 1 多针电极喷雾刀梁简化结构与工作示意图 Fig. 1 Structure and working schematic of electrostatic spraying blade added with multiple needle electrodes 1.喷雾刀梁 2.针电极 3.喷雾目标

收稿日期: 2013-03-18 修回日期: 2013-05-29

^{*}中国博士后科学基金资助项目(2011M501250)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20124219120001)和湖北省教育厅科学技 术研究计划优秀中青年人才资助项目(Q20111108)

作者简介:高全杰,教授,博士生导师,主要从事静电喷雾理论与应用研究,E-mail: gaoqj@126.com

中形成高强静电场。

1.2 静电场求解数学模型

1.2.1 静电场求解基本模型

求解静电场分布即是求解在特定条件下的 Maxwell方程等电位函数,此电位函数在场域内满足 拉普拉斯方程或泊松方程,真空中的 Maxwell 方程 为

$$\nabla E(r,t) = \lim_{\Delta\Omega \to 0} \frac{\oint_{S} EdS}{\Delta\Omega} = \lim_{\Delta\Omega \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta\Omega} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (1)$$

$$\vec{x} + \underbrace{E - - e J J J g}_{AB} = \underbrace{S - - e J f f f g}_{AB} = \underbrace{A f f g}_$$

$$_12$$
——切域 ρ ——电何密度

因刀梁周围的场域为均匀的空气介质,对均匀 各向同性线性介质的电介质性能方程为

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{\varepsilon} \boldsymbol{E} \tag{2}$$

式中 D——电位移矢量

则刀梁周围空气介质的 Maxwell 方程为

$$\nabla D(r,t) = \rho(r,t) \tag{3}$$

若已知静电场中的空间电位,则空间中的电场 强度为

$$E = -\nabla\varphi \tag{4}$$

式中 φ---空间电位

求解该种刀梁周围的静电场分布,需先利用泊 松方程和拉普拉斯方程求解标量得出空间电位分 布,然后利用式(4)得出空间中的电场强度。

刀梁附近静电场中的空间电位可由泊松方程描述,将 $E = -\nabla \varphi$ 代入式(1)可得 $\nabla (-\nabla \varphi) = \frac{\rho}{\varepsilon}$,即得

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon} \tag{5}$$

忽略刀梁附近空间电荷对电场分布的影响,静 电场空间电位可以由拉普拉斯方程描述。对于场中 无电荷分布,即ρ=0时,式(5)变为

$$\nabla^2 \varphi = 0 \tag{6}$$

∇²称为拉普拉斯算子,在直角坐标系中它的展开式 为

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

静电场分布问题,可从求场强(矢量)变成求电 位(标量),从而使问题简化。即只需根据给定的电 荷分布和边界条件求出空间电位 φ。

1.2.2 有限元法求解模型

有限元法是以变分原理和近似插值离散为基础 的一种数值计算方法。对于计算静电场问题的泊松 方程(5)。在场域为 Ω 时,它的等价泛函为

$$I(\varphi) = \iint_{\Omega} \frac{\varepsilon}{2} |\nabla \varphi|^{2} d\Omega - \iint_{\Omega} \varphi \rho d\Omega \qquad (7)$$

该泛函取得极值的函数必满足方程(5),因此 求解方程(5)的问题转变成了求解式(7)的泛函的 极值问题。

将场域 Ω 离散化,即划分为许多个小单元,且 每个单元内将电位的分布近似看作是线性变化的, 式(7)中对场域 Ω 的积分可变为各个单元上的积分 之和,而各单元上的积分可由给出电位函数的近似 表达式求得,从而式(7)可变为非积分的一个多元 函数

$$I(\varphi) = \sum_{e=1}^{m} \iint_{\Omega} \frac{\varepsilon}{2} |\nabla \overline{\varphi}|^{2} d\Omega - \sum_{e=1}^{m} \iint_{\Omega} \varphi \rho d\Omega = \varphi^{\mathrm{T}} S \varphi - \varphi^{\mathrm{T}} G$$
(8)

式中 S、G——已知系数矩阵

使函数 $I(\varphi)$ 取得极值,需使式(8)所示的多元 函数对每个自变量的导数为零,即 $\partial I/\partial \varphi_i = 0$ (i = 1, 2,…,n),从而可得到一个以单元节点上电位为未 知量的方程组,其矩阵形式为 $K\varphi = G$ 。求解该代数 方程组,即可得到各节点的电位,进而可以通过节点 电位求得单元的电场强度。

1.3 有限元计算

静电场特性分析首先通过 Ansoft Maxwell 有限 元分析软件计算得到刀梁周围的空间静电场分布, 然后进行后处理得到相应静电场分布云图和曲线分 析其特性。计算过程为:

(1) 三维模型

在 Ansoft Maxwell 中建立该刀梁三维模型及其 下端喷雾目标简化模型,因实际工作中刀梁及喷雾 目标外设有金属罩并接地,金属罩以外无电场,且为 分析多针电极间的影响不宜采用周期边界,故以超 出模型空间 10% 的范围即金属罩内的空间范围作 为分析边界。为简化计算,刀梁仅中间段设有 7 根 平行排列在一条直线上的针电极,这样也可与未设 针电极区域形成对比,喷雾目标设为 3 mm 厚的钢 板。

(2)边界条件

依据实际定义刀梁和多针电极的材料为 steel_ 1008,分析边界材料设为空气,其相对介电常数为 1,电导率为零;刀梁和针电极的激励源分别设为 -60 kV,分析边界和喷雾目标激励源为 0 kV。

(3) 网格划分

采用自适应网格剖分,设置每步增加的单元为 15%、自适应的总步数为30和误差为0.01%。

(4)求解及后处理

选取空间内3个方向最能反映刀梁周围空间电

2014年

场分布的重要平面得到相应的电场幅值分布云图, 并得出刀梁下端周围不同高度位置处沿水平方向和 垂直方向的电压及电场强度的数值变化曲线。

2 多针电极喷雾刀梁静电场分布规律

2.1 电压

图 2a 为针电极附近沿刀梁端面方向上不同高 度处电势的变化曲线。曲线显示了距喷雾刀梁刃口 前、后各 280 mm 范围内的电势变化,每条曲线的中 间位置即针电极处的电压最高,电势沿刀梁两侧对 称分布。刀梁刃口处和针电极尖端处电压均为 -60 kV、针电极下端 2、20 和 100 mm 处的电压分别 是 -55、-41 和 -23 kV,而在刀梁两侧距离相同区 域的电压从大到小依次为刀梁刃口处、针电极尖端 处、针电极下 2 mm 处、针电极下 20 mm 处和针电极 下 100 mm 处。由于针尖电极曲率半径很小,针电 极尖端在刀梁中间位置的电压快速上升,因电压在 电极附近聚集,使刀梁刃口周围电压迅速升高。

图 2b 为沿针电极中心轴线方向的电压的变化 曲线。曲线开始阶段为水平直线,其值为 - 60 kV, 因该位置处于针电极内部,针电极为一等势体,内部 电压即等于外部电源电压。随着距针电极下端距离 的增加电压不断减小,且减小的幅度在减弱,最终电 压为零;而曲线的末端是一段电压为零的水平线,因 此段处于接地的喷雾目标内部,也为一等势体,电压 为零。





2.2 电场强度

图 3a 为针电极附近沿刀梁端面方向不同高度 上电场强度的变化曲线。针电极尖端处电场强度迅速升至 2.7×10⁶ V/m,远高于文献[15]中的最高 场强 1.3×10⁶ V/m 以及大多液体介质分裂临界电 场极限。针电极位置附近的电场强度由大到小依次 为刀梁刀口处、针电极尖端处、针电极下 2 mm 处、 针电极下 20 mm 处和针电极下 100 mm 处,可见高 电场强度集中于针电极尖端附近,这将更有利于液 体介质的充分荷电。

图 3b 为沿针电极中心轴线方向的电场强度变 化曲线。由图可见,开始一段为零,而后迅速增加到 最高值 2.2×10⁶ V/m,之后开始下降,到 250 mm 处 电场强度从 1.4×10⁵ V/m 迅速降低趋近于零。曲 线呈现该种趋势的原因是开始阶段分析点处于针电 极内部,处于等势体内部的场强处处为零,曲线中的 峰值处于针电极尖端,也是因电荷易聚集在曲率半 径小的电极尖端产生的,随着离针电极尖端距离的 增大场强减弱。第 2 个场强突变点是因分析点到达 喷雾目标内部而产生的。

针电极尖端附近的最高电场强度远高于刀梁刃 口附近场强最高值可充分说明多针电极有利于提高 刀梁的局部电场强度从而增强静电雾化效果。



Fig. 3 Electric intensity changes near needle electrode(a) 刀梁端面方向 (b) 针电极中心轴方向

2.3 各电极间电场强度影响规律

2.3.1 电极间的电场分布

决定液体静电雾化效果的直接因素为电场强度

及其分布特性,故仅分析多针电极间距对电场强度 分布的影响。

图 4a 中多针电极轴线所形成的平面电场强度 分布不均匀,中间段设有针电极的区域云图颜色为 黄色,表示该部分的电场强度较大,且针电极区域高 电场强度集中在电极尖端附近。图 4b 为垂直于针 电极且处于针电极尖端处平面的电场强度分布云 图。由图可见,高场强处于针电极附近,且多针电极 处形成一片高电场强度群,其有利于提高静电雾化 液体的液滴的荷电能力和均匀性而提高雾化效果。





图 5 为多针电极轴线平面内刀梁下方不同高度 位置电场强度的变化曲线。选取刀梁中间段 40 mm 长度进行分析,其中 14~26 mm 处是多针电极区 域,0~8 mm 及 32~40 mm 均视为无多针电极区域。 对针电极尖端处,针电极下 2 mm,针电极下20 mm和 针电极下 100 mm 4 条曲线进行分析,表明离多针电 极下端的距离越大电场强度越小。



在刀梁附针电极的区域针电极尖端处及针电极 下 2 mm 的电场强度的平均值 1.7×10⁶ V/m 明显高 于两端未附针电极区域的 6.0×10⁵ V/m,表明针电 极对增强刀梁附近局部电场强度有明显促进作用。 刀梁刀口处电场变化曲线在附针尖电极区域曲线呈 波浪形状,且有 7 处电场强度为零,因此处位于针电 极内部,场强为零。电场强度在处于最外端的针电 极处呈现峰值突变,因两端的电极有一边无相邻针 尖电极,则相当于该电极空间内曲率半径小,故场强 在此处急剧增加。再考虑有限元计算方法网格划分 存在一定的不均匀性且算法采用迭代,计算存在一 定的误差,因此场强基本符合理论上沿长度方向左、 右对称分布。

2.3.2 不同针电极间距对电场分布的影响

为得到最佳雾化效果的多针电极喷雾刀梁相关 参数,分析了1、2、3和4mm4种不同针电极间距的 刀梁电场分布特性。

图 6a、6b 为针电极间距为1 mm 的刀梁在多根 针电极轴线构成的平面和针电极尖端所构成的平面 上的电场强度分布云图。排列在两外端的针电极下 端周围电场强度明显高于中间针电极相应位置的电 场强度,而图 6a 中两相邻针电极间的区域电场强度 几乎与刀梁的内部相同,电场强度接近于零;图 6b 也反映中间针电极下端周围形成一片低电场强度区 域。这是因针电极排列过于密集,使多针电极整体 曲率半径变大而导致中间电极附近场强变弱。

图 6c、6d 为针电极间距为 2 mm 时刀梁在轴线 平面和尖端平面上的电场强度分布云图。图 6c中 7 根针电极周围的电场强度分布较均匀,高场强基 本充满各针电极间的区域;由图 6d 可见,整个多针 电极区域形成一片分布均匀的高场强区域。

图 6e、6f 为针电极间距为 3 mm 时刀梁的电场 强度分布云图。由图可见,多针电极尖端附近电场 强度明显高于两相邻针电极中间区域以及其他无针 电极区域;但由图 6f 可得高场强区域离散集中于针 电极极端附近,而两针电极间有较大区域场强较小。

图 6g、6h 为针电极间距为 4 mm 时刀梁的电场 强度分布云图。可见各针电极尖端附近均形成了较 高的场强区域,但各高场强区域孤立存在。该种电 场强度分布不均匀会导致液体的荷电量不一致而产 生雾化不均匀现象产生。

由分析可知,针电极间距对刀梁下端附近的电 场强度分布产生较大影响,针电极间距过小会产生 增大电极整体曲率半径的效应而导致降低整体电场 强度,针电极间距过大会因产生高场强区域离散分 布而降低刀梁的雾化效果。因此计算结果表明当该 刀梁的针电极间距为2mm最合理。

3 多针电极刀梁雾化实验

3.1 实验原理

静电雾化效果主要由雾化液滴粒径以及粒径分布的均匀性这两个指标来判定^[17]。实验采用 ATEST-212型喷雾激光粒度分析仪通过测量经刀 梁雾化出的液体介质颗粒群的散射谱,经计算机进 行数据处理来分析其颗粒粒度分布,实验装置如 图7所示。

实验装置由静电喷雾装置和粒度测量与分析装置组成,液体介质通过静电喷雾装置的多针电极喷雾刀梁喷射出后在形成的高压静电场中发生雾化; 当激光发射器发出的激光经过静电喷雾的测试区照 射到雾化液滴时,光束被散射,经过散射后的光在空 间成多级的散射,信号被激光接收器获取后经过 A/D 数模转换后,将数据传到计算机,静电雾化的粒径分 布数据经计算处理后得处实验数据。



图 6 不同针电极间距刀梁电场强度分布云图 Fig. 6 Distribution of electric intensity of blade with different gap needle electrodes







1.供油系统 2.多针电极喷雾刀梁 3.高压电源 4.激光接收器 5.计算机 6.激光粒度仪 7.喷雾目标 8.激光发射器

实验分别对 1、2、3 和 4 mm 不同针电极间距的

刀梁雾化的粒径进行测量。实验中距喷雾目标上方 同一高度分别选取刀梁长度方向上,从刀梁中间段 到刀梁端面上均匀选取5个位置,并选取该位置的 附近针电极正下方和两电极中点位置正下方作为测 量点,雾化的粒径为上述10个测量点所得实验数据 的平均值。实验中其他参数不变,喷雾液体介质为 防锈油液,粘度11.8 mm²/s,表面张力2.5×10⁻² N/m, 电导率3 S/m,且防锈油油温45℃,供油系统伺服马 达转速为90 r/min,高压电源提供直流电压为60 kV。

3.2 实验结果与分析

图 8 为不同针电极间距的刀梁在上述相同实验 条件下的喷雾粒径经过计算机二次曲线拟合得出的 曲线。





由图 8 可知,当针电极间距为 2 mm 时,液体介 质雾化粒径分布呈较好的正态分布特性,粒径分布 较均匀,雾化平均粒径为 42 μm,液体介质雾化粒径 比使用一般静电喷雾刀梁喷雾的粒径 90 μm 的值 小^[19]。而当针电极间距为 1、3 和 4 mm 时雾化液滴 平均粒径较大,粒径分布曲线均呈双峰状,表明雾化 液滴的粒径分布分散,当针尖间距不合理时会导致 雾化粒径大且大小不匀。

同时,液体介质雾化粒径有较大程度减小,证明 有限元计算结果的正确性,多针电极喷雾刀梁可在 不提高负载电压条件下较大提升刀梁下端的局部电 场强度,从而减小雾化介质的粒径,提高静电喷雾效 果。不同针电极间距刀梁的雾化粒径及分布特性的 明显差异也说明针电极间距对静电场的分布和静电 雾化效果有重要影响。针电极间距为2 mm 时分布 特性呈现正态分布且粒径均值较小,也与图 8 刀梁 下端分布均匀高场强的计算结果吻合,而电极间距 过大和过小均不利于均匀高场强的形成。

4 结论

(1)多针电极喷雾刀梁针尖电极附近电场强度 平均值为1.7×10⁶ V/m,最高可达2.7×10⁶ V/m, 可极大地增强液体介质的荷电能力;刀梁针电极附 近的电场变化比喷雾目标附近大得多,越远离喷雾 刀梁,电场变化越趋于平缓。

(2)针电极间距对多针电极喷雾刀梁下端的电 场的分布有明显影响。当针电极间距为 2 mm 时, 在针电极附近可形成分布均匀的高场强区域;而针 电极间距过小会产生增大电极整体曲率半径效应而 导致降低整体电场强度。针电极间距过大会因产生 高场强区域离散分布而降低电场分布均匀性。 (3)实验表明,多针电极喷雾刀梁可有效提高 液体介质的静电雾化效果。当针电极间距为最佳间 距 2 mm 时雾化液体介质的雾化粒径可由 90 μm 减 小到 42 μm,且粒径分布较均匀,雾化效果较好。在 不增加负载电压时较大提高静电喷雾刀梁空间的局 部电场强度,极有利于荷电液体介质的超细雾化,喷 雾过程中的节能降耗并提高喷雾质量。

参考文献

- 1 茹煜,郑加强,周宏平,等.感应充电喷头环状电极诱导电场的分布研究[J].农业工程学报,2008,24(5):119-122.
- Ru Yu, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, et al. Electric field distribution produced by circular electrode of induce charging nozzle [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 119-122. (in Chinese)
- 2 Okamoto T, Takahashi T, Miyazaki S. Analysis of partial discharge characteristics with an integral equation under asymmetric electrode condition[J]. IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 2012, 132(2): 108-113.
- 3 Yuan J, Yang L, Zhang Q. Ionic wind characteristic of tine-plat affected by electrode parameter from atmosphere discharge [J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2010, 25(1): 24 - 29.
- 4 Cheol S I, Jung-Woo O, Hwang S W, et al. Discharge characteristics of a plasma display panel with hump-shape electrodes [J]. Thin Solid Films, 2010, 518(11): 3122-3125.
- 5 Intra P, Tippayawong N. Effect of needle cone angle and air flow rate on electrostatic discharge characteristics of a corona-needle ionizer[J]. Journal of Electrostatics, 2010, 68(3): 254 - 260.
- 6 王军锋,黄继伟,王贞涛,等.基于高速摄像技术的生物柴油静电雾化研究[J].农业机械学报,2011,42(3):26-30. Wang Junfeng, Huang Jiwei, Wang Zhentao, et al. Electrostatic atomization of biodiesel based on high-speed camera technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 26-30. (in Chinese)
- 7 陈汇龙,赵英春. 感应荷电喷雾静电场与荷电特性分析[J]. 高电压技术, 2010, 33(10): 2519 2524. Chen Huilong, Zhao Yingchun. Electrostatic induction field and charging property of droplet in electrostatic spraying process[J]. High Voltage Engineering, 2010, 33(10): 2519 - 2524. (in Chinese)
- 8 Rafiroiu D, Munteanu C, Morar R. Computation of the electric field in wire electrode arrangements for electrostatic processes applications [J]. Journal of Electrostatics, 2001: 51 - 52(35): 571 - 577.
- 9 秦楷, 潘成, 吴锴, 等. 针-板电极下针尖曲率和铝箔尺寸对放电机理的影响[J]. 高电压技术, 2012, 38(7): 1777 1784.

Qin Kai, Pan Cheng, Wu Kai, et al. Effect of needle curvature and aluminum foil size on discharge mechanism under needle – plate configuration [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(7): 1777 – 1784. (in Chinese)

- 10 Selma C, Mojca P, Damijan M. Analytical and numerical quantification and comparison of the local electric field in the tissue for different electrode configurations [J]. Biomedical Engineering, 2007, 15(6): 37-48.
- 11 王军锋,黄俏梅,王贞涛,等. 阵列式多管集成静电雾化试验分析[J]. 高电压技术, 2011, 37(10): 2523 2528.
 Wang Junfeng, Huang Qiaomei, Wang Zhentao, et al. Experimental analysis on arraying multiplexed electrostatic atomization[J].
 High Voltage Engineering, 2011, 37(10): 2523 2528. (in Chinese)
- 12 Neimarlija N, Demirdzic I, Muzaferija S. Finite volume method for calculation of electrostatic fields in electrostatic precipitators [J]. Journal of Electrostatics, 2009, 67(1): 37 - 47.
- 13 Liu Wenzheng. The impact of electrode configuration on characteristics of vacuum discharge plasma [J]. Plasma Science and Technology, 2012, 14(2): 122-128.
- 14 刘福平,王安玲,张跃飞,等.应用边界元法计算真空中7针状电极系的场分布[J].应用基础与工程科学学报,2009, 17(6):973-985.

- 15 杨志维.静电涂油机雾化电极分析及实验研究[D].武汉:武汉科技大学,2011. Yang Zhiwei. The analysis about atomization electrode of electrostatic oiler and experimental research [D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2011. (in Chinese)
- 16 赵陆明,何旭,郑亮,等. 高喷射压力下生物柴油喷雾特性试验与仿真[J]. 农业机械学报, 2012, 43(9): 6-10. Zhao Luming, He Xu, Zheng Liang, et al. Spray characteristics of biodiesel under high injection pressure [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(9): 6-10. (in Chinese)
- 17 郑捷庆,张军,钟晓龙. 乳化柴油静电雾化的试验研究[J]. 实验流体力学, 2012, 26(6): 44-47. Zheng Jieqing, Zhang Jun, Zhong Xiaolong. Experimental investigation on electrostatic atomization characteristics of emulsified diesel[J]. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2012, 26(6): 44-47. (in Chinese)

Liu Fuping, Wang Anling, Zhang Yuefei, et al. Application boundary element approach to compute the static field distribution of the seven-needle electrodes in vacuum [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2009, 17(6): 973 - 985. (in Chinese)

18 成传松,李云清,王艳华,等.组喷孔喷雾雾化特性研究[J].农业机械学报,2011,42(7):21-25. Cheng Chuansong, Li Yunqing, Wang Yanhua, et al. Spray atomization characteristics of group-hole nozzle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7):21-25. (in Chinese)

19 王贞涛,毛惠敏,罗惕乾. 锥-射流模式下毛细管静电雾化流场的 PIV 测量[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8): 63-66. Wang Zhentao, Mao Huimin, Luo Tiqian. Investigation on electrostatic spray of capillary in cone - jet mode using PIV[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 63-66. (in Chinese)

Electrostatic Field and Atomization Effect of Multiple Needle Electrodes Spraying Blade

Gao Quanjie Xia Zhiyong Wang Zhaohui Wang Wei Qin Tuo Huang Hao

(College of Mechanical Automation, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: A model to solve the electrostatic field of multiple needle electrodes spraying blade was established. The distribution regularities of electric potential and electric intensity in the space out of multiple needle electrodes spraying blade were analyzed by Ansoft Maxwell software, and the influence of different gap of needle electrodes on electrostatic field was researched. Meanwhile, the particle sizes of the droplets atomized by the spraying blade with different gap needle electrodes were measured by laser particle size analyzer and the distribution law of the droplets was analyzed by computer. The results indicated that the highest electric intensity near the needles could be promoted to 2. 7×10^6 V/m by the multiple needle electrodes, and the amplitude variation of electric field near the needle electrodes was the maximum. A region with high electric intensity uniform distributed could be formed when the gaps of needle electrodes were 2 mm which was the optimal gap, and the particle size of droplets atomized by the spraying blade decreased to 42 μ m. Furthermore, the distribution of particle size was more uniform, and the results of experimental were consistent with the characteristics of electrostatic field obtained by evaluation.

Key words: Electrostatic spray Blade Needle electrode Finite element method Particle size distribution

(上接第156页)

Dynamic and Hydraulic Characteristics of Centrifugal Water Motor for Single-span Center Pivot Irrigation System

Yu Pengfei¹ Jin Hongzhi¹ Yan Haijun² Hou Yongsheng¹ Gao Jiangyong¹ Yang Xiaogang¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

2. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to meet the reqirements of sprinkler irrigation uniformity and tower travelling capacity of a single-span center pivot irrigation system, the dynamics and hydraulic characteristics of the centrifugal water motor with a lower injector port were investigated. Relevant formulas were established for computing driving torque, speed and operating flow rate. The key factors affecting the driving torque and rotation speed of centrifugal water motor were analyzed. The results showed that the irrigated water depth could be adjusted more effectively by changing the working pressure of the water motor to control the rotation speed than by increasing the diameter of sprinkler nozzle to increase the work flow of water motor or by extending the length of the rotating arm. It is necessary to consider the structural and hydraulic designs of centrifugal water motor, travelling capacity and sprinkler irrigation uniformity of center pivot irrigation system simultaneously and optimize their combinations. In this way the demands of system traveling capacity and agricultural irrigation uniformity could be met at the same time.

Key words: Single-span center pivot irrigation system Centrifugal water motor Hydraulic performance Sprinkler irrigation uniformity