

抛秧机导苗管内气流场的有限元分析

向卫兵^{1,2}, 罗锡文¹, 王玉兴¹

(1 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 2 广东纺织职业技术学院, 广东 佛山 528041)

摘要:利用 ANSYS 软件建立了气力有序抛秧机导苗管内气流场模型,进行了流速有限元分析,获得了流场的分布规律,并通过试验验证了分析的可行性,为揭示抛秧机气力有序作业机理及导苗管的结构优化提供了重要依据。

关键词:抛秧机; 导苗管; 流场; 有限元分析

中图分类号:S126;S223.96

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2008)03-0088-03

Finite Element Analysis of Pneumatic Field in Seedling Guide Tube of Throwing Transplantation Machine

XIANG Wei-bing^{1,2}, LUO Xi-wen¹, WANG Yu-xing¹

(1 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Guangdong Institute of Textile Technology, Foshan 528041, China)

Abstract: Pneumatic field model in seedling guide tube of ordered pneumatic throwing transplantation machine was founded. Finite element analysis (FEA) of velocity of flow was carried out and distributing rule was gained. Test validated the feasibility of FEA. This study offered important basis for opening out the working mechanism of the machine and for structural optimizing of the tube.

Key words: throwing transplantation machine; seedling guide tube; air field; finite element analysis

抛秧机是实施水稻抛秧栽培的机器。笔者参与研制了气力有序抛秧机^[1],其工作原理如图1,利用空压机产生的压缩气流作用于育秧塑盘底部,将水稻钵苗吹入导苗管并经其导向后实现有序栽培。导苗管是抛秧机的关键部件,其内部气流场与“有序”栽培密切相关。本文采用 ANSYS/ FLTRAN 软件^[2]对导苗管内气流场进行了有限元分析,并与试验结果进行了对比研究。

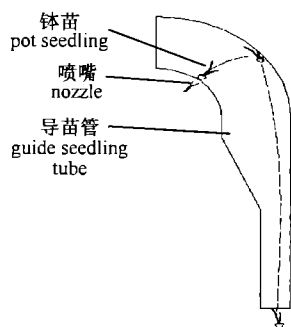


图1 气力有序抛秧

Fig. 1 Ordered pneumatic throwing transplantation

1 研究方法

1.1 导苗管内气流运动的基本方程

在抛秧机作业过程中,导苗管内气流运动服从质量、动量和能量守恒定律,且当雷诺数(Re) > 30时,气流运动为湍流,在计算中采用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型,湍动能方程如式1、耗散率方程如式2。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_x k)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v_y k)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho v_z k)}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \\ \mu_t \Phi - \rho \varepsilon + \frac{C_4 \beta \mu_t}{\sigma_\varepsilon} \left(g_x \frac{\partial T}{\partial x} + g_y \frac{\partial T}{\partial y} + g_z \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1) \\ \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_x \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v_y \varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho v_z \varepsilon)}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_{1\mu} \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \Phi - \end{aligned}$$

收稿日期:2007-12-06

作者简介:向卫兵(1971—),男,副教授,博士; 通讯作者:罗锡文(1945—),男,教授,E-mail: xwluo@scau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金项目“水稻塑盘钵苗气力有序抛栽机理及技术研究”(30170542)

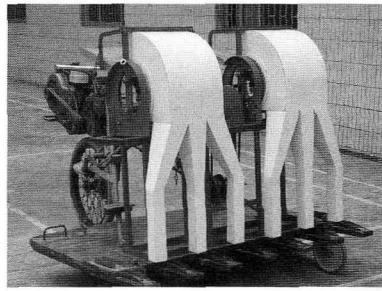
$$C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{C_\mu (1 - C_3) \beta \rho k}{\sigma_t} \left(g_x \frac{\partial T}{\partial x} + g_y \frac{\partial T}{\partial y} + g_z \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (2)$$

上式中, v_x, v_y, v_z 分别为流体速度 v 在 x, y, z 坐标上的分量, ρ 为流体密度, k 为湍流动能, μ_t 为湍流粘性, σ_k 为湍动能 Schmidt 数, ε 为湍能耗散率, C_4 为 $k - \varepsilon$ 浮力乘子, $C_{1\varepsilon}$ 为湍动能剪切速率乘子, C_2 为湍动能耗散乘子, C_μ 为湍流粘性修正系数, C_3 为 $k - \varepsilon$

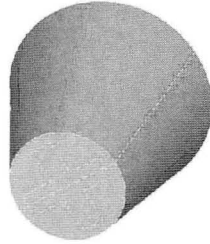
浮力模型系数, β 为热膨胀系数, σ_t 为经验常数, T 为温度, ϕ 为粘性热生成项。

1.2 导苗管内气流场的有限元模型

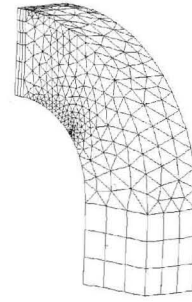
气力有序抛秧机实物如图 2a, 一台机器有 2 只导苗管, 每只管有 15 个喷嘴对准其上部(有圆弧板部分)。构建有限元模型时, 在保证与管内气流场基本吻合的前提下, 作如下考虑:



a: 导苗管 guide seedling tube



b: 喷嘴对准的塑盘穴孔 hole of mold aiming at nozzle



c: 气流场有限元模型 finite element model of air field

图2 抛秧机的结构及有限元模型

Fig. 2 The structure and finite element analysis model of throwing transplantation machine

(1) 经初步理论分析和试验得出, 导苗管下部气流强相对于其上部可以忽略不计(机器运转使喷嘴吹出气流至导苗管内, 采用探针和最小量程为 4 mmH₂O 微压计不能测出管下部气流压强), 因此, 只分析管内上部流场;

(2) 每只导苗管上部均匀地分为 3 部分, 每部分的气流场在理论上是一致的, 为简化计算, 只对导苗管上部的 1/3 结构进行分析;

(3) 对于导苗管上部的 1/3 结构, 有均匀布置的 5 个气流喷嘴对准, 只需分析一侧的 3 个喷嘴对导苗管内部流场的影响, 根据对称原理, 即可获得其余 2 个喷嘴对导苗管内部流场的影响的情况(经分析和试验表明, 所有不同喷嘴喷射时导苗管内流场基本一致, 限于篇幅, 本文只列出其中 1 个喷嘴工作时管内流场的结果);

(4) 在抛秧机工作过程中, 育秧塑盘与导苗管紧密接触, 在建立有限元模型时, 考虑塑盘和导苗管共同组成的流场区域。但由于塑盘穴孔数目多, 并且相对于整个流场区域体积很小, 为适当减少模型的复杂性, 只考虑喷嘴所对准穴孔的实际结构(图 2b)。

(5) 单元类型采用 FLUID142, 该单元为六面体八节点流体单元, 可退化为四面体四节点单元;

(6) 为了便于有限元分析与试验结果进行比较, 将导苗管上部的中间弯曲段在与水平面成 45° 处用工作平面截为两半, 并在分割面喷嘴所对塑盘穴孔中心线上构造一些硬点, 这些硬点位置就是试验

时的测点;

(7) 导苗管上部两端为长方体结构, 采用对应网格方法划分, 中间弯曲段和育秧塑盘构成的流场区结构比较复杂, 使用对应网格方法划分难以完成, 所以在适当控制网格等级的前提下, 采用自由网格方法划分。最后建立的有限元模型如图 2c, 共有 18 205 个节点, 91 836 个单元。

1.3 气流场的有限元计算

使用 ANSYS/FLOTTRAN 软件进行分析时, 设置气流密度、粘性、比热、传热系数等为空气国标特性, 允许气流密度的变化。分析类型选用稳态不可压分析, 气流场为湍流。喷嘴射流场初始压强为 0.8 MPa, 射流出口速度 479.84 m/s^[3], 由于射流出口就是喷嘴所对塑盘“十字型”底孔位置, 在进行导苗管内部流场分析时将 479.84 m/s 作为速度载荷施加在该位置。对导苗管直接与大气接触的区域施加 0 压强约束, 对与导苗管壁或育秧塑盘接触的气流施加无滑移边界条件($v_x = v_y = v_z = 0$)。在求解时, 根据劣质网格及流动现象本身不稳定等因素的实际需要对动量方程和紊流方程设置惯性松弛量, 以提高收敛性使求解达到稳定。

2 结果与分析

导苗管内气流场速度决定了作用在钵体苗上力的大小, 是影响钵体苗在导苗管内运动的首要因素, 因此, 本文主要对流场速度进行分析。

2.1 管内气流速度云图

利用 ANSYS/软件计算获得导苗管气流场速度分布(图3 I),由图3 I可以看出,在喷嘴对准塑盘底孔喷射时,管内气流主要分布在底孔中心线上(参考图3 II,中心线通过喷射孔圆心 b,垂直于所绘平

面指向导苗管内),在中心线以外区域,气流速度迅速减少并随距离增加接近于0,这个结果与之前的初步理论分析和试验一致,并且进一步说明:喷射气流射入导苗管后,其流场区域主要在导苗管的上半部,导苗管下部气流强相对于其上部可以忽略不计。

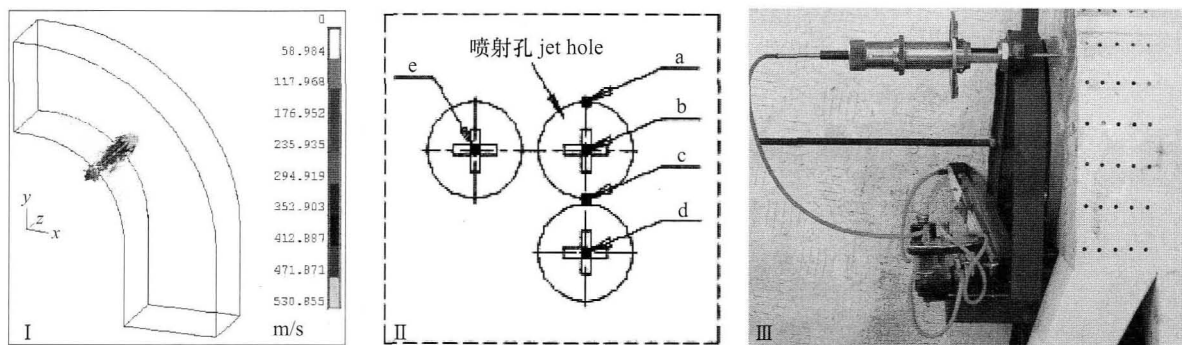


图3 导苗管气流速度云图(I)、测点位置(II)及测试装置(III)

Fig. 3 Velocity nephogram (I), point position (II) and test-bed (III) of air field in seedling guide tube

2.2 有限元分析与试验结果的比较

为了验证有限元分析结果,对导苗管内部流场进行了测试. 先用探针和压力计测试管内相应点的静压和总压,然后根据伯努利方程计算得出气流速度,试验装置如图3 III,喷嘴所对塑盘底孔中心线上导苗管内流场速度与有限元分析结果的比较如图4. 从图4可以看出,随着距离塑盘底孔距离的增加,气流速度逐渐减小,中心线上距离从10 mm增加到100 mm时,试验结果气流速度从113.01 m/s减至21.95 m/s,有限元分析结果的气流速度从128.310 m/s减至37.953 m/s,取均值得100 mm处的气流速度为10 mm处的1/4. 由于试验与有限元分析均难免存在一些误差,且考虑到抛秧机作业过程中气流场的复杂性,可以认为试验与有限元分析结果基本一致。

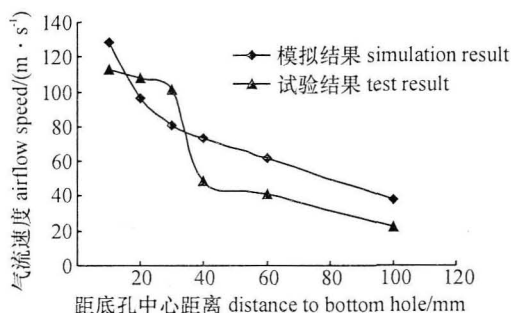


图4 导苗管流场速度有限元分析与试验结果比较

Fig. 4 Velocity contrast between finite element analysis and test of air field

另外,还测试了喷嘴所对塑盘底孔中心线以外区域流场(图3 II,测点位置分别通过喷嘴孔圆心周边点 a、c、d、e,并沿穴孔圆周指向导苗管内距底孔10 mm处). 试验得出:各测点气流速度绝对值的均值为4.71 m/s,仅为中心线上10 mm处的1/24,说明

喷嘴底孔中心线以外区域随距离增加接近于0,这与有限元分析结果一致。

3 结论

建立了抛秧机导苗管内部气流场的有限元模型,并对管内流场进行了有限元分析及试验验证. 结果表明,在喷嘴对准育秧盘底孔喷射时,导苗管内部气流主要分布在底孔中心线附近,在底孔中心线以外的区域,气流速度迅速减小并接近于0;在底孔中心线上,气流速度随着距塑盘底孔距离的增加逐渐减小,当距离增加到100 mm时,气流速度为10 mm处的1/4,在底孔中心线以外区域,喷嘴孔周边附近点的气流速度仅为圆心处的1/24. 研究结果是揭示抛秧机气力有序作业机理及优化导苗管结构的重要依据。

参考文献:

- [1] WANG Yu-xing, LUO Xi-wen, XIANG Wei-bing. Research on paddy seedling ordered pneumatic throwing transplantation[C] // ILJNO I. Written for presentation at the 2002 ASAE annual international meeting. Chicago: Hyatt Regency, 2002.
- [2] ANSYS 公司. 计算流体动力学分析指南[M]. 广州: ANSYS 公司, 2006.
- [3] 向卫兵. 水稻气力有序抛秧机理[D]. 广州: 华南农业大学工程学院, 2003.
- [4] 向卫兵, 罗锡文, 王玉兴, 等. 气力有序抛秧气流场的有限元仿真分析与试验[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 44-47.
- [5] 赵文龙, 张增学, 李立斌. 有限元技术在空调器管路振动分析及设计优化中的应用[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(3): 112-115.

【责任编辑 周志红】