

茶园风力除虫机通风管道三维数值模拟

曾海洋¹, 陶栋材^{1*}, 李明^{1,2}, 刘仲华², 黄南¹, 李麟¹

(1.湖南农业大学 工学院, 湖南 长沙 410128; 2.国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘 要:为改进和优化茶园风力除虫机通风管道的结构,结合流体力学雷诺时均 N-S 方程、Simple 流场求解算法、 $\kappa-\varepsilon$ 湍流模型,利用 Fluent 软件对茶园风力除虫机通风管道进行了数值模拟计算,得到了风量为 $16\text{ m}^3/\text{min}$ 的中亚风机在空载状态下通风管道内部流场的特征。通过数值模拟计算分析,两进风口由相距 400 mm 缩短至 280 mm 时,出风口风速分布较均匀。

关 键 词: 风力除虫机; 通风管道; 数值模拟; Fluent 软件

中图分类号: S49; TH122 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)02-0214-03

Three-dimension numerical simulation of ventilation pipe of a wind-driven insect-killing machine for tea garden

ZENG Hai-yang¹, TAO Dong-cai^{1*}, LI Ming^{1,2}, LIU Zhong-hua², HUANG Nan¹, LI Lin¹

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.National Research Center of Engineering Technology for Utilization of Functional Ingredients From Botanicals, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to get uniform velocity distribution of airflow across the outlet, ventilation pipe structure of tea wind-driven insect-killing machine for tea garden was improved and optimized and the Reynolds-Averaged N-S equation in fluid mechanics, the Simple Algorithm for Flow and $\kappa-\varepsilon$ turbulence model were applied to calculate the numerical simulation model of ventilation pipeline using the Fluent software. With flow rate of the medium-pressure blower being $16\text{ m}^3/\text{min}$, the internal flow characteristics of ventilation pipe under no-load condition were obtained. Numerical analysis indicates when the distance between the two air inlets is 280 mm , the velocity distribution of airflow across the outlet is uniform.

Key words: wind-driven insect-killing machine; ventilation pipe; numerical simulation; Fluent software

采用农药防治茶树病虫害,虽然效果明显,但易造成茶叶的农药残留,并对施药操作者造成伤害。采用物理方式除虫成为茶园除虫的新的研究热点^[1-5]。本课题组设计出一种利用风力辅以少量的水雾捕获害虫的茶园风力除虫机(封三图 1),该茶园风力除虫机主要由产生强制风的出风部、产生水雾的自动辅助装置和除虫机行走机构以及捕捉机组成。

为了保证茶叶叶面风速、水雾分布均匀,提高除虫效果,产生强制风的出风端形状至关重要。本茶园风力除虫装置的通风管道有 2 个进风口,通风

管道内部流场之间相互干扰,且黏性的工作介质会导致通道内壁面上产生边界层,可能发生旋涡、二次流、脱流等异常情况。对于定常、不可压缩的通风管道内部气体流动进行三维计算非常困难;为此,笔者利用 Fluent 软件分析茶园风力除虫装置通风管道内部流场,以期改进和优化通风管道结构。

1 网格模型

茶园风力除虫机通风管道(封三图 2)是根据茶行宽度和特点设计而成,进风口径 60 mm ,高

收稿日期: 2011-11-29

基金项目: 湖南省重点科技专项(BK0981); 中国博士后基金项目(20110491246)

作者简介: 曾海洋(1986—),男,湖南永州人,硕士研究生,主要从事机电一体化技术研究; *通信作者, hnnd_tdc@163.com

80 mm，出风口由 19 个管径 20 mm、高 40 mm 的端口组成，总宽度 1.2 m，材料均采用厚 2 mm 的不锈钢。进风口由 2 台风量为 16 m³/min、转速为 2 900 r/min、压力为 1 200 Pa 的中压风机提供。

采用 Pro/e 野火版 5.0 建立通风管道三维物理流动模型，利用 Fluent 前处理软件 Gambit 2.3.16 对通风管道进行体网格划分，进风口和出风口采用结构化网格划分，主通风管道采用非结构化网格划分，并对通风管和出口处创建边界层进行网格局部加密处理(封三图 3)。

2 计算方法

2.1 计算控制方程

本研究中流体为空气，属于牛顿型流体，并假设空气的黏性不随出风通道里旋转时温度的改变而改变，黏性为定值的不可压缩流体。在三维稳态湍流流动的计算过程中，控制方程是流体动力学计算基本守恒定律的数学表现形式，研究中应用的控制方程有质量守恒方程和动量守恒方程，由于不涉及热量的传递和扩散，忽略能量方程，湍流运动控制方程采用标准的 $\kappa-\epsilon$ 模型^[6-8]。

2.2 边界条件

将通风管道 2 个进风口入口条件设为速度入口，用风速仪测得中压风机出风的平均风速为 40 m/s。将出口条件设定为压力出口，其压力为 1 标准大气压。进风口和主通风管道、主通风管道与出风口设定为内部界面，其他边界条件均为壁面。

2.3 材料设置

假设通风管道内的气流为理想气体。物理参数为等效温度下的常量，则流道内流体的流动满足连续性方程和动量方程，空气密度=1.125 kg/m³，动力黏度=1.789 4×10⁻⁵ Pa/s。

3 模拟结果与分析

采用标准的 $\kappa-\epsilon$ 模型，求解器定义为基于压力求解器(分离求解器)隐式求解。压力-速度耦合采用目前工程上应用最为广泛的 Simple 流场求解算法^[9]，经过 132 次迭代后计算收敛。

3.1 气流速度和涡流

速度入口 40 m/s 时，对通风管道内部流场进行数值计算模拟，得到在 XY 和 YZ 截面上的速度矢量图(封三图 4)。

图 4-a 和图 4-b 表明，气流通过进风管道引导气流进入主通风管道后，流速在 XZ 平面(水平方向)和 YZ 平面(高度方向)均逐渐降低，且在水平方向降低更明显，主要是由于主通风管道为渐扩结构，截面类似梯形。截面在高度方向上逐渐增大，主通风管道宽度不变，气体逐步扩散，流速逐渐降低，而当气流靠近主通风管道底部时，一部分气流反弹回主通风管道内部，另一部分通过出风口流出，由于其出风口截面小，气体流速逐渐增大。

图 4-a 和图 4-b 及图 4-c 均表明，主通风管道内部存在 4 个明显的涡流区，这些涡流区不利于气体从出口流出，会导致与之接近的出口的流速降低。通风管道内部 2 个进口的气体触碰到底部后上升，与之相对的出口气体流速略有降低，此时的气体湍流也较强烈。

表 1 为出风口速度试验数据与模拟计算结果对比。在 7 号和 13 号出风口的速度比其他出风口略大。9 号和 11 号出风口由于处于通风管道中间位置，存在涡流现象，速度略有降低。

表 1 各出风端口速度对比

Table 1 Comparison of each outlet port speed m/s					
出风口 序号	实测值	模拟值	出风口 序号	实测值	模拟值
1	18.42	19.86	11	17.21	17.25
2	18.28	19.36	12	18.15	18.05
3	18.25	19.54	13	19.48	20.88
4	18.76	18.35	14	17.35	19.35
5	17.38	18.65	15	17.18	19.52
6	17.79	18.43	16	17.88	19.22
7	20.27	22.02	17	19.09	19.67
8	17.47	18.35	18	17.27	19.77
9	17.25	17.88	19	17.28	18.67
10	17.34	19.34			

3.2 气体压力湍流分布

封三图 5 为通风管道内部气体压力分布。由图 5-a 可知，从进风口到主通风管道底部压力基本保

持稳定,这是因为主通风管道的截面设计有利于减少静压损失。但在主通风管道和出口交界处,出风口截面积减小,压力增大。气流从出风口直接喷射到空气里,形成自由喷射,所以其压力等于大气压。

图5-b 湍流强度分布表明,在有涡流处,湍流强度比较大,特别是在截面与截面面积发生突变时,湍流强度变化非常明显。由于主通风管道到出口截面变小,造成了气体湍流强度急剧增大,增大了出口流速,但这样可能会导致出口气流不稳定,使得出风口风速分布不匀。

3.3 气体轨迹

图6 为对称位置的气体轨迹分布。气流在主通风管道中间位置明显存在旋转涡流,并且交织在一起。气流从进风口流入,触碰到主通风管道底部弹回,遇到侧部斜面形成螺旋状涡流,这样有利于减少气体压力损失,均衡主通风管道底部与出风口交界处的静压,从而使得各出风口风速趋于一致。

数值模拟结果分析表明,在考虑不改变出风口尺寸以及主通风管道形状的情况下,将2个进风口向中间移动,并配以同样的进口边界条件,出口风速将较为均衡。经计算,当2个进风口位置相距280 mm时,出口风速较均匀(封三图7)。

参考文献:

- [1] 李明,刘仲华,向阳,等.灌木经济作物环保物理除虫法:中国,200810031846.6[P].2008-12-24.
- [2] 米山誠一,神谷直人.可搬型送風式捕虫機によるチャ吸汁性害虫の防除効果[R].岐阜県農技術センター研究報告第8号,2008:22-25.
- [3] 文兆明,韦静峰,彭有兵.佳多频振式杀虫灯在有机茶园害虫防治中的应用效果[J].中国农学通报,2009,25(3):189-192.
- [4] 黄树长,廖冬晴,熊伟健,等.吹吸式风力除虫机:中国,200820002442.X[P].2008-01-07.
- [5] 丁珏,翁培奋.90°弯管内流动的理论模型及流动特性的数值研究[J].计算力学学报,2004,21(3):314-321.
- [6] 安大伟,刘小妹,何琼,等.导流管束对风速传感器管道风速场的影响[J].青岛科技大学学报:自然科学版,2008,29(6):514-518.
- [7] 谢俊,郭洪钰,陈炜.基于ANSYS和Fluent软件的导流管流场分析[J].机械设计与制造,2008(9):70-72.
- [8] 胡志伟,李勤凌,苗永淼.三维强弯管内湍流场的数值分析[J].西安交通大学学报,1998,32(1):49-52.
- [9] 王福军.计算流体力学分析——CFD软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

责任编辑:罗慧敏