

温室周围气流运动的有限元法模拟分析

王健,丁为民,杨红兵

(南京农业大学工学院,江苏南京210032)

[摘要] 以有限元法分析流体力学问题为基础,运用 ANSYS 9.0 软件模拟了温室周围空气流的运动情况,并分析了利用风压进行通风换气时比较实用的开窗方式。模拟结果显示:采用天窗与侧窗组合通风的效果优于仅利用侧窗通风。最后将二维模拟温室周围气流运动的方法进一步推广到三维模拟中,模拟了温室周围气流的运动情况。结果表明,下风向风速在距离温室 0~3 m 处为 3.260 4~2.905 5 m/s,在 3~12 m 处为 2.888 8~2.845 7 m/s;上风向风速在距离温室 0~4.2 m 处为 3.120 5~2.698 9 m/s,在 4.2~12 m 处为 2.698 9~2.946 m/s。

[关键词] 温室气流;气流运动;开窗方式;下风向风速;上风向风速;有限元分析

[中图分类号] O241.82

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)03-0161-04

空气在流动过程中受到地表因素的影响,其速度呈现出随机脉动特性^[1,2]。然而在进行温室的设计与通风中,经常以空气流的最大速度这一瞬时极值风速或者平均风度作为工程设计的标准,这显然是不合理的。因为低层建筑通常位于地球表面的空气动力“粗糙”层(又称大气边界层)内,其表面空气流动变化很大,湍流度可达 20%左右^[1]。因此,在研究和设计温室前必须了解温室周围气流的运动。目前,大多数温室采用自然通风来调节温室的温度和湿度。自然通风能够在温室内部形成一定的空气流动,使植物与空气之间进行足够的热量交换,达到调节温室内部环境的目的。根据温室周围气流运动合理地选择通风方式是通风窗设计的依据。李永欣等^[3]运用计算流体力学(CFD)原理对 Venlo 型温室的自然通风进行了模拟。但目前鲜见有学者进行温室周围气流运动的模拟研究。基于此,本研究以有限元法分析流体力学问题为基础,利用 ANSYS 9.0 软件模拟温室周围空气流的运动,以期直观地了解温室周围气流的运动情况,从而为温室通风方式的合理选择提供理论依据。

1 二维有限元理论

二维不可压缩流绕柱流动的流函数 ψ 满足拉普拉斯方程^[4],即

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

用伽辽金加权余数法解(1)式,得

$$\begin{aligned} (\epsilon, \varphi_i) &= \int_{\Omega} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) \varphi_i dx dy = \\ &= \int_S \frac{\partial \psi}{\partial n} \varphi_N dS - \int_{\Omega} \left(\frac{\partial \psi_N}{\partial x} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\partial \psi_N}{\partial y} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) dx dy = \\ &= \int_S \frac{\partial \psi}{\partial n} \varphi_N dS - \int_{\Omega} \left(\frac{\partial \psi_N}{\partial x} \frac{\partial \psi_M}{\partial x} + \frac{\partial \psi_N}{\partial y} \frac{\partial \psi_M}{\partial y} \right) \psi_M dx dy = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

式中, S 为区域 Ω 的边界。

由(2)式得元素方程为

$$A_{NM} \psi_M = F_N, \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} A_{NM} &= \int_{\Omega} \left(\frac{\partial \varphi_N}{\partial x} \frac{\partial \varphi_M}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_N}{\partial y} \frac{\partial \varphi_M}{\partial y} \right) dx dy, \\ F_N &= \int_S \frac{\partial \psi}{\partial n} \varphi_N dS. \end{aligned} \quad (4)$$

综上所述,求出单元方程组得系数 $A_{NM}^{(e)}$ 和 $F_N^{(e)}$,再汇合成总体方程组,即

$$a_{ij} \psi_j = f_i, \quad i, j = 1, 2, \dots, 10 \quad (5)$$

式中, a_{ij}, f_i 为总体系数。

2 模拟与讨论

运用 ANSYS 9.0 软件模拟温室周围的空气流运动情况时,假设温室周围流动的是理想空气流;温室的结构尺寸见表 1;在 4~6 月亚洲地区地面平均风速为 1~3 级,故模拟时风速取值为 3 m/s;当外界风速距离温室很远时,风对温室的作用可以忽略。

[收稿日期] 2005-07-13

[作者简介] 王健(1978-),女,江苏盐城人,在读博士,主要从事温室结构研究。

[通讯作者] 丁为民(1957-),男,安徽合肥人,教授,博士生导师,主要从事农业工程研究。

鉴于此,本模拟中温室周围区域以温室结构总体参数的 4 倍范围为界(图 1)。

表 1 温室模型的结构参数

Table 1 Parameters of modeling greenhouse

参数 Parameter	数值/m Value
长度 Length	20
跨度 Span	8
脊高 Ridge	4
肩高 Shoulder	2.5

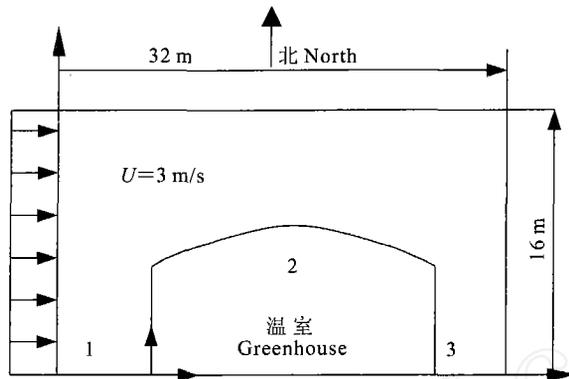


图 1 温室模型结构示意图

1,3. 侧窗;2. 天窗

Fig.1 Sketch map of greenhouse model

1,3. Side ventilators;2. Roof ventilator

2.1 温室周围气流运动的二维模拟

自然通风有热压通风和风压通风两种形式。试验证明^[5-7],当风速大于 2 m/s 时温室内的热压作用可以忽略。对于利用侧窗或侧窗加天窗通风的温室来说,风压是最重要的影响因素。

温室外围结构上某一点的风压为^[8]:

$$p_w = K\rho V_w^2/2, \quad (6)$$

式中, p_w 为建筑物表面的风压(Pa); K 为风压系数,由建筑物的形状决定; ρ 为空气密度; V_w 为风速(考虑近地面风速的变化,一般 $V_w=0.5V_{10}$, V_{10} 是标准高度(常取 10 m)处的平均风速,本文中 V_w 根据模拟数值取瞬时风速)。

研究温室周围空气流动的目的是为了研究温室利用风压进行自然通风的效果。一般情况下,风压差越大,利用风压通风的效果越好。由式(6)可知,天窗 2 的风压 P_2 大于侧窗 1 和侧窗 3 的风压 P_1, P_3 。从图 2 可以看出,模拟靠近温室的空气流速为 $U=3$ m/s 时,利用天窗 2 和侧窗 1 通风,或者同时开启天窗 2 和东西侧窗 1、3 通风时,其通风效果优于利用侧窗 1 和侧窗 3 时的通风效果。

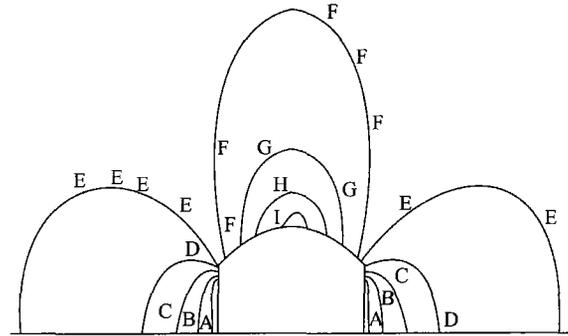


图 2 温室周围空气流分布的二维模拟

A=0.206 m/s;B=0.888 m/s;C=1.571 m/s;
D=2.253 m/s;E=2.936 m/s;F=3.619 m/s;
G=4.301 m/s;H=4.984 m/s;I=5.667 m/s

Fig.2 2D simulation of airflow around the greenhouse

A=0.206 m/s;B=0.888 m/s;C=1.571 m/s;
D=2.253 m/s;E=2.936 m/s;F=3.619 m/s;
G=4.301 m/s;H=4.984 m/s;I=5.667 m/s

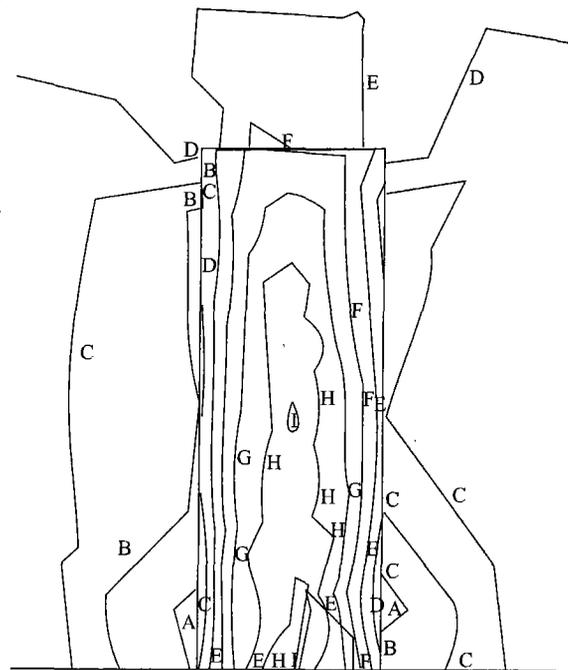


图 3 温室周围空气流分布的三维模拟

A=1.564 m/s;B=2.015 m/s;C=2.466 m/s.
D=2.918 m/s;E=3.369 m/s;F=3.820 m/s.
G=4.271 m/s;H=4.722 m/s;I=5.173 m/s

Fig.3 3D simulation of the wind speed around the greenhouse

A=1.564 m/s;B=2.015 m/s;C=2.466 m/s,
D=2.918 m/s;E=3.369 m/s;F=3.820 m/s.
G=4.271 m/s;H=4.722 m/s;I=5.173 m/s

2.2 三维模拟的推广

由于空气的流动具有三维特征,所以三维模拟更有实用意义。图3是利用ANSYS软件模拟的温室周围空气流的速度分布俯视图。三维模拟更直观地模拟了温室周围空气流的运动情况。由图3可以清楚地看到空气流经过温室时温室顶部气流的分布情况,也可以清楚地看出天窗处的风速、风压较大。

在三维模拟图(图3)中,沿温室长度 $z=10$ m,肩高 $y=2.5$ m的截面,作上风向与下风向的风速变化曲线图,结果如图4所示。从图4可以看出,下风向风速在距离温室0~3 m处为3.260 4~2.905 5 m/s,3~12 m处为2.888 8~2.845 7 m/s,风速趋于平稳;上风向风速在距离温室0~4.2 m处为3.120 5~2.698 9 m/s,4.2~12 m处为2.698 9~2.946 6 m/s,风速变化有上升趋势。在顶高 $y=4$ m处作风速的变化曲线图,结果如图5所示。由图5可以清楚地看出周围空气流在温室附近风速上升,到温室顶部风速达到最大值。

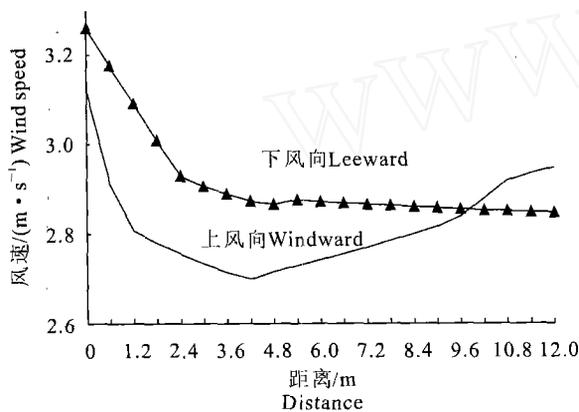


图4 $z=10$ m截面上风向与下风向风速变化的比较

Fig. 4 Comparison of wind speed variety in the $z=10$ m section

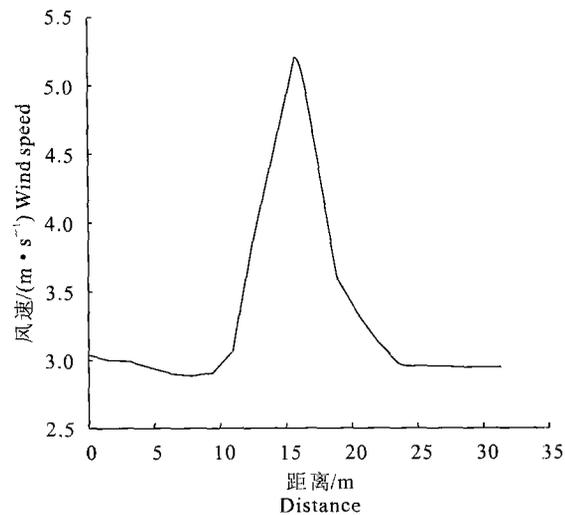


图5 $y=4$ m截面上风速的变化

Fig. 5 Change of wind speed in the $y=4$ m section

3 结 论

以有限元分析理论为基础,运用ANSYS 9.0软件模拟温室周围的空气流动,可以了解各种通风方式的通风情况。通过以上分析得知,风速越大风压越高,模拟结果显示采用天窗与侧窗组合通风的效果优于只利用侧窗通风。事实上采用天窗与侧窗组合通风也是大多数温室普遍采用的通风方式。

随着计算流体力学理论和技术的迅速发展,应用ANSYS模拟分析温室周围流场的运动情况已成为可能。ANSYS既可以优化温室结构,又可以模拟温室内部温度环境,为合理建造温室提供了理论依据。ANSYS在温室的研究和应用中,会更进一步将模型数据插入温室的控制系统中,从而更有效地调节温室内的风速、遮光和温度^[9]。可以预见,在不久的将来ANSYS将会在温室设计、操作和控制方面带来革命性的变革。

【参考文献】

- [1] 王之宏. 风荷载的模拟研究[J]. 建筑结构学报, 1994, 15(1): 46-52.
- [2] 刘瑞霞. 风与张拉薄膜结构的耦合作用[J]. 钢结构, 2003, 18(3): 5-8.
- [3] 李永欣, 李保明, 李 真, 等. Venlo型温室夏季自然通风降温的CFD数值模拟[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(6): 44-48.
- [4] 刘希云, 赵润祥. 流体力学中的有限元与边界元方法[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1993.
- [5] Bot G P A. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model[D]. PhD Dissertation; Wageningen University, 1983.
- [6] Bot G P A, Campen J B. Determination of greenhouse-specific aspects of ventilation using three-dimensional computational fluid dynamics[J]. Biosystems Engineering, 2003, 84(1): 69-77.
- [7] Bartzanas T, Boulard T, Kittas C. Numerical simulation of airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped insect-proof screen in the openings[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2002, 34: 207-221.
- [8] 徐昶昕. 农业生物学环境控制[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

[9] 陈忠购,张天柱. 计算流体力学在温室研究领域的应用[J]. 农村实用工程技术, 2004, (6): 56-57.

Simulating and analysis of the movement of airflow around a greenhouse with FEA

WANG Jian, DING Wei-min, YANG Hong-bing

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210032, China)

Abstract: This paper, based on the theory of FEA in analyzing hydromechanics, simulated the movement of airflow around the greenhouse and analyzed the way of ventilation using ANSYS 9.0 software. The result of simulation shows aeration effect of using roof ventilators and side ventilators was better than using only side ventilators. The movement of airflow around a greenhouse was simulated by using ANSYS 9.0 software with 3D. The result indicates that leeward wind reached 3.260 4—2.905 5 and 2.888 8—2.845 7 meters per second at the distance of 0—3 and 3—12 meters respectively; Windward wind reached 3.120 5—2.698 9 and 2.698 9—2.946 meters per second at the distance of 0—4.2 and 4.2—12 meters.

Key words: greenhouse airflow; movement of airflow; ventilator mode; windward wind speed; leeward wind speed; FEA

(上接第 160 页)

Abstract ID:1671-9387(2006)03-0157-EA

Experimental study on critical instability and failure conditions of wire-caged protective facing of overflow rock fill cofferdam

WU Wen-ping, ZHANG Xiao-hong, LIU Fa-quan, LI Jian-zhong

(College of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xian University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: From the engineering practice in instability and failure of protective facing of overflow rock fill cofferdam, this article discussed the causes of formation of instability and failure of wire-caged protective facing and analyzed the primary factors and critical conditions of instability and failure based on model experiments. Applying the energy equation and boundary layer theory, this article also analyzed the relationship of energy transformation of overflow, and obtained the experience index and formula of instability critical conditions. The result has proved the validity of experience formula.

Key words: overflow rock fill cofferdam; critical instability conditions; wire-caged protective facing; model test