

温室顶窗开窗形式对流量系数取值的影响

宫彬彬, 周 智, 李敬蕊

(河北农业大学, 河北 保定 071000)

摘 要: 温室顶窗的开窗形式是温室自然通风设计的重要参数。其中通风量计算所涉及到的流量系数一直都是采用工民建设计规范中的流量系数作为参考。随着设施农业的快速发展, 与温室窗洞口特性相符的流量系数成为温室通风量设计时的迫切需要。运用 CFD 技术模拟温室顶窗的气流流动情况分析常见开窗形式对流量系数影响。结果表明: 圆拱形温室屋顶由于窗口边界平滑, 更加适合气流流动, 其流量系数总体要比尖屋顶温室顶窗的大, 在生产中同等高度的温室更适宜自然通风, 其中最大的是谷间卷帘开窗。

关键词: CFD; 流量系数; 数值模拟; 温室自然通风

中图分类号: S 625.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)14-0071-04

在温室通风系统设计过程中流量系数是一个非常重要的参数, 无论是通风方面理论的研究, 工程设计或是温室环境模型的建立都会涉及到^[1]。要确定流量系数需要做大量的试验, 因此目前没有专门针对温室结构的流量系数可供选择^[2]。

CFD 模拟是一种通过计算机数值计算和图像显示的方法, 在时间和空间上定量的描述流场的数值解, 从而达到对物理问题研究的目的。国外应用 CFD 研究温室通风从 1989 年开始^[4], 由于计算机硬件发展的限制, 从 1996 年开始才有较多应用, 温室 CFD 模拟的发展趋势是: 从对温室的二维 CFD 模拟向三维的 CFD 模拟^[3]发展; 从对小型或按比例缩小的温室进行 CFD 模拟到对实际尺寸的大型商业连栋温室的 CFD 模拟^[4]; 从对无植物条件下温室的 CFD 模拟到对有植物条件下温室的 CFD 模拟^[5]; 在更进一步的模拟模型中, 将进一步增加作物的模型, 反映通风口开放的效果、温室附近矮建筑物的影响、热压和浮力作用^[6]。

选择 CFD 模拟技术作为研究温室顶窗通风窗口流量系数的方法, 可以解决试验测定多种形式顶窗通风流量系数时耗用人力物力大、耗时多、费用高的问题, 可以对通风流量系数进行系统的整理, 对于温室通风系统设计具有很大实用意义。

1 流量系数研究理论及模型建立

1.1 流量系数理论

第一作者简介: 宫彬彬 (1981-), 男, 河南洛阳人, 硕士, 助教, 现从事温室工程研究工作。E-mail: bin971@163.com。

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划资助项目 (2008BAD A6B05); 农业部农业产业技术体系建设 (大宗蔬菜) 资助项目。

收稿日期: 2010-04-15

根据流体力学理论^[7], 温室窗口通风问题可视为流体力学中的薄壁孔口出流问题。

$$C_q = C_c C_v = \frac{C_c}{\sqrt{1+\xi}} \quad (1)$$

其中: C_q —流量系数; C_c —收缩系数; C_v —流速系数。

可见流量系数 C_q 与收缩系数 C_c , 流速系数 C_v 有密切的关系, 也就是说流量系数 C_q 只与气流速度和窗口处的气流阻力有密切的关系, 与气流的温度没有关系。气流的受阻程度其值大小取决于门窗的开度、几何形状、流体速度及门窗附近障碍物如人体、堆积物等的情况。

1.2 CFD 模型模拟控制参数

1.2.1 计算流体力学控制方程^[8] 控制方程上选取连续方程、动量方程。以下是计算流体力学对于这类问题所采用的控制方程:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2);$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} \\ & = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (3).$$

其中: (3) 为 X 轴方向的动量方程, 根据模拟对象采取二维或三维的形式, 动量方程相应的还有 Y 轴和 Z 轴的。

1.2.2 流动模型及网格的划分 假设流经窗洞口的空气为连续、稳定、不可压缩牛顿流体。采用湍流模型, 利用墙体或屋顶作一个分断面, 将计算域设在窗洞口处一个窗洞口水利半径的距离以外, 保证流体可以达到了稳定的流动。模拟中, 将流体域和固体域分成二部分分别进行网格划分, 对不同区域的网格划分采用不同的网格密度, 特别是在窗洞口附近对网格进行了加密。

1.2.3 边界条件的设定 该模拟将进口条件设定为压力入口(Pressure-in), 出口条件设定为压力出口(Pressure-out), 即在窗洞口两侧设定一个压力差, 然后就可以在这个压力差的作用下查看流体流过窗洞口时的情况, 从而得到不同窗洞口形式的流量系数。墙体的边界条件设置为墙体(Wall)。在这里要指出的是, 边界条件所设定的压力, 并不是计算结果所得到的压力结果, 这个压力仅仅是在设定边界初始条件时所假定的一个压力, 是用于软件进行初始化计算时的参数, 这个压力与实际的计算压力比较接近, 但还是有本质上的不同的, 这样做只是有利于计算结果的收敛。

1.2.4 流量系数计算方法 流量系数为^[9]

$$\mu = \frac{\sqrt{\frac{p_{dA}}{p_{JA}}}}{\sqrt{\frac{2}{p_{JA}}}} = \frac{\sqrt{\frac{p_{dA}}{2}}}{\sqrt{p_{JA}}} \quad (4)。$$

式中: μ —流量系数; V_A —A-A 断面的气流速度, m/s; P_{JA} —A 截面出的静压, Pa。利用模拟结果, 可以得到窗口处速度积分, A-A 断面即为窗口开口处面积大小, 因此这种计算方法考虑了温室窗口过流断面变化对气流的影响。

2 各类顶窗通风的 CFD 模拟及流量系数

依据日光温室及连栋温室顶窗常见类型, 该研究将顶窗分为单侧脊窗、双侧脊窗、venlo 温室开窗、圆拱型温室谷间挡板开窗、谷间卷帘开窗、谷顶开窗 6 种模型。模拟时根据流量系数的各种影响因素^[10], 边界设定矩形框为计算区域, 上部为入口边界, 下部为出口边界, 考虑到窗洞口的复杂性, 网格生成采用非结构网格。环境条

件的大气压力设定为 0 只考虑窗洞口的压力差。考虑到温室窗洞口的实际进风状态为负压吸风, 设定边界条件时进口的压力大小设定为 0, 出口的压力大小设定为 -32 Pa, 数值大小是根据温室常见的风机所使用的压力差设定的。

2.1 各类顶窗模型的建立

2.1.1 单侧脊窗 根据试验窗洞口的模拟经验, 单面顶窗的计算域仍然选取顶窗部分的局部区域作为计算域, 窗洞口地长宽比为 10 : 1, 开窗角度选用最为常见的平开角度, 即挡板开启为水平。虽然说温室脊高的变化会导致开窗角度的变化, 该模拟只采用了一种最为常见的脊高进行模拟。考虑到临跨结构对窗洞口的气流影响, 选取两跨为计算单元, 如图 1(a)所示。

2.1.2 双侧脊窗 与单脊开窗模拟一致, 也是选取顶窗部分的局部区域作为计算域, 窗洞口的长宽比为 10 : 1, 开窗角度选用最为常见的平开角度, 即挡板开启为水平。本类窗洞口也只采用了最为常见的 1.5 m 的脊高进行模拟。考虑到临跨结构对窗洞口的气流影响, 选取三跨为计算单元, 如图 1(b)所示。

2.2 各类顶窗模型 CFD 模拟及流量系数结果分析

2.2.1 单侧脊窗 如图 2(a)、表 1 所示, 气流在经过这一截面时流动情况, 包括大小分布, 方向分布。气流流经窗洞口时, 气流大小较为均匀, 在中间的部分较大, 四边由于挡板和边框的阻挡, 气流较小。

2.2.2 双侧脊窗 如图 2(b)、表 1 所示, 双面开窗的流量系数要比单面开窗的流量系数小, 主要是因为临跨窗洞口气流的影响以及同跨对面窗洞口气流流动的影响,

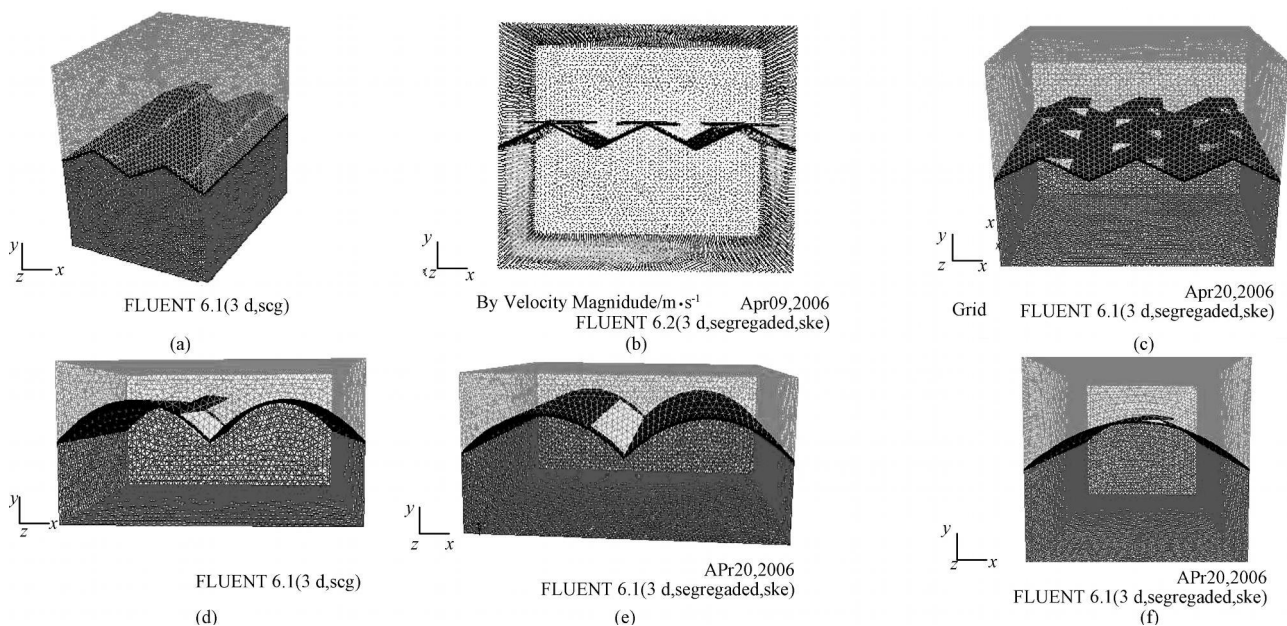


图 1 各类顶窗模型的网格示意图

但这种开窗形式要比单面开窗的开窗面积大 1 倍, 所以通风效果也是很好的。

2.2.3 Venlo 温室开窗 如图 2(c)、表 1 所示, Venlo 温室的窗洞口由于位置的不同, 流量系数数值的大小也有略微的变化, 靠边位置上的要小一些, 为了方便设计上的需要, 在计算时可以将流量系数取平均。

2.2.4 圆拱型温室谷间挡板开窗 从窗口处的气流速度矢量图, 如图 2(d)、表 1 所示, 气流速度沿着圆拱形的表面流动时增加比较快, 使得窗口截面的处的速度分布与尖顶温室的分布不太一样, 呈现出底部速度大, 上部速度小的状态。

2.2.5 谷间卷帘开窗 从窗口处的气流速度矢量图, 如

图 2(e)、表 1 所示, 卷帘开窗虽然说与挡板开窗一样, 气流速度沿着圆拱形的表面流动时增加比较快, 呈现出底部速度大, 上部速度小的状态, 但卷帘开窗由于上部少了挡板的阻挡, 使得气流流经窗洞口时更加均匀, 没有出现挡板开窗那样明显的气流缓慢的区域, 这个原因也导致了卷帘开窗的流量系数有所增加。

2.2.6 谷顶开窗 从谷顶开窗的窗洞口处气流速度矢量图, 如图 2(f)、表 1 所示, 流体流经顶窗的时候, 流体分布是比较均匀的。但是由于顶窗结构的限制, 开窗角度不能太大, 防止窗盖被较大的气流吹翻, 所以说角度方面的问题对这种结构的开窗形式流量系数的大小影响是较大的。

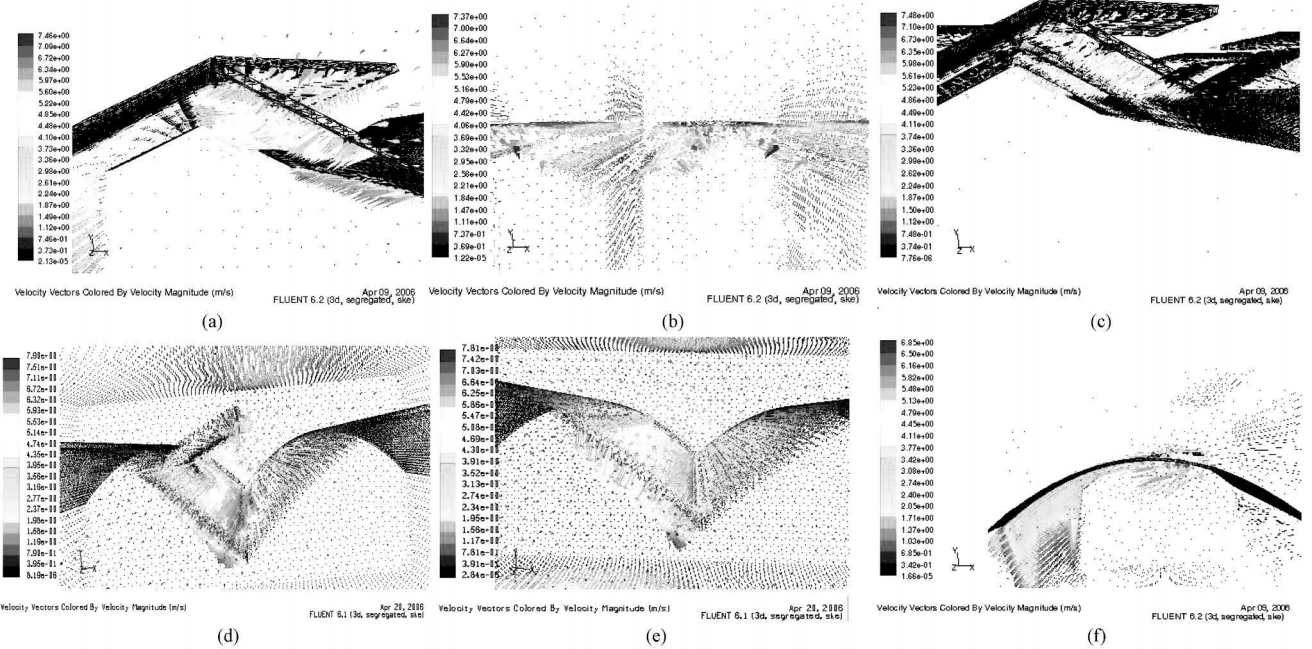


图 2 各种顶窗开窗截面风矢量局部图

表 1 各种顶窗开窗模拟数据及流量系数取值					
温室窗口类型	压力差 /Pa	截面面积 m ²	X 轴气流速度 /m·s ⁻¹	Y 轴气流速度 /m·s ⁻¹	流量系数
单侧脊窗	-32	7.835	29.48	4.1	0.53
双侧脊窗	-32	7.866	18.14	6.99	0.342
Venlo 温室开窗 1	-32	1.6	4.88	2.16	0.462
Venlo 温室开窗 2	-32	1.6	4.88	2.15	0.461
Venlo 温室开窗 3	-32	1.6	4.63	2.22	0.44
Venlo 温室开窗 4	-32	1.6	4.81	2.2	0.441
Venlo 温室开窗 5	-32	1.6	4.58	2.23	0.44
谷间挡板开窗 6	-32	9.108	-27.47	-22.82	0.542
谷间卷帘开窗	-32	9.44	-13.63	-42.68	0.656
谷顶开窗	-32	26.13	95.14	12.73	0.508

3 结论与讨论

通过 CFD 软件对温室各种类型的顶窗气流流动状况进行了模拟, 进而得到了不同情况下流量系数的取值, 并分析了流量系数产生差异的原因。结果表明, 圆

拱形温室屋顶由于窗口边界平滑, 更加适合气流流动, 其流量系数总体要比尖屋顶温室顶窗的大, 在生产中同等高度的温室更适宜自然通风, 其中最大的是谷间卷帘开窗。这在塑料大棚和日光温室通风设计中更加有指导意义。谷顶开窗虽然流量系数数值较小, 但由于所处位置更高, 在自然通风时会更加有利于温室热量的散失, 温室设计中建议优先考虑。随着对设施农业的深入理解, 温室的开窗形式一定还会发生变化, 有新的形式的出现, 也会有旧的形式被淘汰, 该研究只能说是阶段性的, 建议今后在新的形式出现之后, 这方面的研究还应该进一步的深入下去。对温室通风设计有实际的参考价值。

参考文献

[1] 王耀林. 国内外设施农业现状及发展趋势[J]. 中国农业科学, 2001, 34(1): 96-100.

- [2] 崔引安. 农业生物环境工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 10.
- [3] Richard P J, Hoxey R P. Appropriate boundary conditions for computational wind engineering model using the k-ε turbulence model[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 1993 46 47: 145-153.
- [4] Short T H. Dynamic model of naturally ventilated poly house. In Grower Talks Magazine (Summer), 1996.
- [5] Fatnassi H, Boukard T, Bouriden L. Simulation of climatic conditions in full-scale greenhouse fitted with insect-proof screens[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 118: 97-111.
- [6] Dayana J, Dayanb E, Strassberg Y, et al. Simulation and control of ven-

- tilation rates in greenhouses[J]. Mathematics and Computers in Simulation 2004, 65: 3-17.
- [7] 潘文全. 工程流体力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988: 26-43.
- [8] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 7-12.
- [9] 魏润柏. 通风工程空气流动理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981: 34-65.
- [10] 宫彬彬. 温室侧窗开窗形式对流量系数取值的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 20: 9808-9811.

Effect of Greenhouse Transom Windows Opening forms on the Value of the Flow Coefficient

GONG Bin-bin ZHOU Zhi LI Jing-rui

(Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000)

Abstract: The ventilation is one of the most important components in greenhouse design. The flow coefficient in the equations of ventilation refers to the architectural criterion at all times. With the quick development of greenhouse industry, the flow coefficient according with the greenhouse window becomes an exigent need when designing the quantity of ventilation. In this article, the flow coefficient according with the greenhouse transom windows was gained using the CFD technique. The results showed that arched roof of green house was more suitable for air flow, the its flow coefficient more than the tip roof window, in the same hight leavel of greenhouse production was more suitable for natural ventilation, the rolling blinds window between valley was maximax.

Key words: CFD; flow coefficient; numerical simulation; greenhouse ventilation

大蒜关键的“三水三肥”

大蒜返青后的水、肥管理,是大蒜丰产的关键。天气转暖,返青以后水肥吸收量逐渐增大,特别是在孕薹期和蒜头膨大期,是大蒜的需水肥高峰期,所以在大蒜的整个生育期要根据土壤墒情及地力苗情,及时浇水追肥,特别要重点浇好“三水”、施好“三肥”。

1 浇好返青水,施好返青肥 到春分时节,蒜苗开始返青发棵,由于早春地温低,最好在中午浇好返青水,达到促苗早发的目的,结合浇水每 667 m² 冲施氮磷钾复合肥 15~25 kg,或追施硫酸钾 15 kg,之后适当控水,促进根系发育和蒜薹、蒜头分化。

2 浇足催薹水,重施催薹肥 在3月底至4月初是花芽、鳞芽迅速分化时期,并逐步进入蒜薹、蒜头生长并进期,叶面积达到最大值,蒜薹迅速生长,此期的肥水管理直接影响到蒜薹、蒜头的产量。进而需水较

多,必须及时浇水以满足其生长的需要,因此,结合浇水每 667 m² 冲施复合肥 25 kg,15 d 后再冲施氮磷钾复合肥 25 kg 或尿素、硝酸磷钾复合肥各 15 kg。一般 7~10 d 浇 1 水,大蒜抽薹期,每 5~7 d 浇 1 次,每 2 水冲施 1 次速效氮肥,并结合喷施叶面肥补喷些硫,大蒜对硫的需求量也比较多。

3 浇足膨大水,巧施膨大肥 采薹后是蒜头膨大盛期,采薹时保护好叶片和根系。这时以蒜头膨大增重为主,采薹后要及时浇水,要防止大蒜叶片早衰,延长叶片绿色时间,并促进养分向鳞茎转移,以增加物质积累为主。因此,此次追肥以速效氮肥为主,配合磷、钾为辅,冲施尿素或硫酸钾复合肥 15~20 kg/667m²。保持土壤湿润,以满足大蒜后期对水的需要,收前 1 周左右停止浇水。