

文章编号: 1671-6612 (2019) 06-635-06

# 食用菌培养室通风气流组织改造设计研究

段文利 杨洪海 刘宇宏

(东华大学 上海 201620)

**【摘要】** 为食用菌培养室提供适宜的生长环境,运用暖通空调专用数值模拟软件 Airpak,对食用菌培养室内温度场、速度场和速度矢量场进行数值模拟计算,对比分析改造前后两种方案的效果。模拟结果论证了改造后温度场分布更加均匀,高度方向上温差只有1℃左右,整个空间温度保持在15℃,解决了改造前热量积聚的问题。速度场和速度矢量场表明改造后的气流组织形式更加合理,一定程度上说明节能性更好。模拟结果为农业中食用菌培养室环境的设计优化提供了研究依据。

**【关键词】** 食用菌培养室; Airpak; 温度场; 速度场; 优化

中图分类号 TU831.6 文献标识码 A

## Study on the Design of Ventilation Airflow Organization in Edible Fungus Culture Room

Duan Wenli Yang Honghai Liu Yuhong

(Donghua University, Shanghai, 201620)

**【Abstract】** To provide a suitable growth environment for the edible fungus culture room, used the special numerical simulation software Airpak in HVAC to carry out numerical simulation calculation of the indoor temperature field, velocity field and velocity vector field of the edible fungus culture room, and compare and analyze the effects of the two schemes before and after the transformation. The simulation results demonstrated that the temperature field distribution was more uniform after the transformation, the temperature difference in the height direction is only about 1 °C now, and the whole space temperature is maintained at 15 °C, which solved the problem of heat accumulation before the transformation. The velocity field and the velocity vector field indicated that the airflow organization after the transformation is more reasonable, which indicates that the energy conservation is better to some extent. The simulation results provide a research basis for the design optimization of the environment of the edible fungus culture room in agriculture.

**【Keywords】** edible fungus culture room; Airpark; temperature field; velocity field; optimization

## 0 引言

近些年,随着我国经济和社会的发展,人们的生活水平不断地提高,同时这也给我国带来一定的不利影响,如能源短缺,环境污染等问题。而环境与能源是现代技术与经济得以发展的基础。在这样的背景下,为了更好地缓解我国的能源短缺与环境问题,黄凯霖<sup>[1]</sup>提出了针对工业建筑提出多能互补制冷的建议,陈攀<sup>[2]</sup>针对公共建筑对浅层地温能进

行了相关研究,但无论人员所在场所还是工业、农业中所用到的制冷技术应该以节能为前提去设计,要在节能的前提下达到所要求的制冷效果。

食用菌生成需要适宜的环境,食用菌是好氧型真菌,与绿色植物不同,需要在有氧环境中生长。食用菌在呼吸作用产生的二氧化碳容易积累,使培养室二氧化碳相对浓度过高,造成氧气相对浓度降低,缺氧不利于蘑菇的生长,而且影响菌丝和子实

作者简介:段文利(1995-),男,硕士研究生,E-mail: 18334793367@163.com

通讯作者:杨洪海(1968-),女,副教授,E-mail: yhh@dhu.edu.cn

收稿日期:2019-03-19

体的发育，若通风不良，会造成菌丝缺氧，逐渐萎缩退化；引起子实体色泽变黄、生长缓慢，严重会导致子实体死亡；二氧化碳浓度过高会导致蘑菇孢子不能萌发。蘑菇栽培的过程中，应注意在蘑菇各个生长阶段保持良好通风<sup>[3]</sup>。食用菌除了需要氧气外，还需要在适宜的温度下生成，所以要为食用菌的生长创造适宜的环境。

由于模拟计算优势，很多暖通研究设计都采用 Airpak 进行计算<sup>[4-8]</sup>，所以本文采用本文采用 CFD 软件 Airpak<sup>[9]</sup>对食用菌培养室的空气流动、传热等物理现象进行模拟研究，准确地模拟了改造前和改造后培养室的温度场、速度场及速度向量场的情况，从理论上论证了改造后节能效果更好。通过模拟这种方法减少了设计成本，降低了设计风险，缩短了设计周期<sup>[10]</sup>。

### 1 食用菌培养室概况

此食用菌培养室为一个相对密闭空间，培养室内无窗户，只设置有 4 排 8 列 8 层放置食用菌培养皿的支架，培养室和培养皿的基本尺寸如表 1。由于食用菌生成过程中会产生大量热和二氧化碳，需要制冷系统降低温度并保证良好循环通风，该食用菌生长最佳温度 15℃左右，所以培养室内需要保持 15℃气温。培养室实物图如图 1。

表 1 培养室和培养皿基本信息

Table 1 Culture room and culture dish basic information

名称	尺寸	发热量
房间	13.9m×5.6m×6.6m	/
食用菌培养皿	1m×1m×0.1m	100W/个

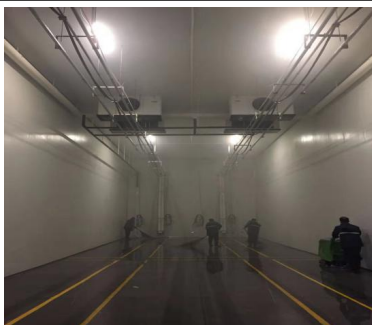


图 1 食用菌培养室实物图

Fig.1 Physical map of edible fungus culture room

### 2 物理和数学模型建立

#### 2.1 方案一和方案二物理模型建立

由于空间较大，需要保证温度分布的均匀性，速度分布合理性，使得每层食用菌生长温度达到生成要求温度，流经培养皿处风速适宜。为了创造食用菌生长的适宜环境，原先方案（后称为方案一）采用两台制冷机，每台风量为 8000m<sup>3</sup>/h，送风口在房间顶部，送风温度取 10℃，冷空气贴附房顶以射流的形式吹出，采用单侧上送风、单侧上回风气流组织方式，冷空气绕着整个房间完成一个循环。改造后的方案（后称为方案二）仍然使用原先的两台制冷机，但是改变气流组织方式，采用类似于工位送风的方式，将 10℃冷空气通过管道送到每个培养皿附近，在末端管道上开一定数量的小孔作为出风口，达到降温效果，完成循环，由于方案二增加管路较多，导致在培养皿的间隔有微小的区别，不影响模拟对比。方案一和方案二送风口基本信息如表 2 所示。

表 2 方案一和方案二送风口基本信息

Table 2 Basic information of the air supply ports of program 1 and program 2

名称	尺寸	风速
方案一送风口尺寸	1m×1m	10m/s
方案二送风口尺寸	/	1.5m/s

根据方案一和方案二概述情况以及食用菌培养室情况说明，将整个培养室简化为一封闭立方体，房间内的发热体主要为食用菌培养皿，忽略培养室内的支架，所有尺寸按照实际物体尺寸所画。方案二中由于末端开口小孔数量较多，在建立物理模型时进行简化，每个末端管道上开 4 个 0.05m×0.05m 的小孔作为出风口，两种方案的总风量相等。简化模型如图 2 和图 3，图 4 和图 5 分别取两种方案的俯视图和侧视图说明送风口和回风口位置。

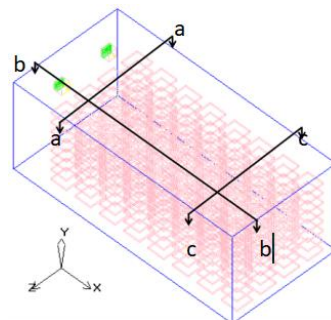


图 2 方案一简化物理模型图

Fig.2 The simplified physical model about program 1

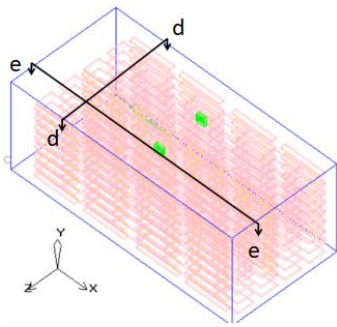


图 3 方案二简化物理模型图

Fig.3 The simplified physical model about program 2

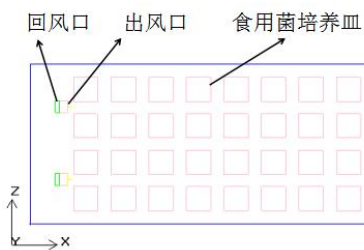


图 4 方案一简化物理模型俯视图

Fig.4 Top view of the simplified physical model about program 1

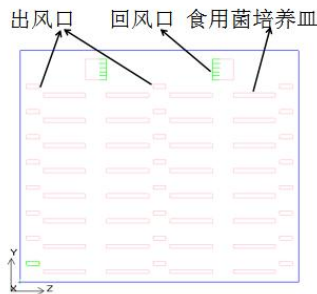


图 5 方案二简化物理模型侧视图

Fig.5 Top view of the simplified physical model about program 2

### 2.2 数学模型建立及数值计算方法

(1) 食用菌培养室的室内流场是一个三维、非稳态、不可压缩的湍流流动传热传质过程。方案一和方案二都属于强制对流, 由于方案一风口位置及风速较大, 送风方式类似于射流,  $k-\epsilon$ 湍流模型能比较好地用于某些复杂的流动, 例如环流、渠道流、边壁射流和自由湍射流, 甚至某些复杂的三维流等<sup>[11]</sup>。所以本文选择标准  $k-\epsilon$ 湍流模型进行模拟<sup>[12]</sup>, 对室内空气场建立标准  $K-\epsilon$ 控制方程组<sup>[10]</sup>。

(2) 为简化模拟, 作出以下假设: ①食用菌培养室内的空气为连续性介质且不可压缩, 即认为流

体密度仅对浮力产生影响; ②食用菌培养室内空气流为定常流动; ③忽略四周墙壁的辐射热, 并不考虑漏风的影响。

(3) 网格划分: 采用六面体网格进行划分, 网格单元最大尺寸为  $0.2\text{m} \times 0.1\text{m} \times 0.2\text{m}$ , 对于风口处等梯度较大的地方进行加密, 网格质量接近 1, 网格数量为 125 万。

(4) 对偏微分方程可采用不同的离散方法, 如有限差分法、有限元法、涡方法等, 本文采用有限体积法。

(5) 收敛标准为能量方程残差小于  $10^{-6}$ , 其余方程的残差小于  $10^{-4}$ , 认为计算结果达到要求。

## 3 结果分析比较

### 3.1 温度场分析

图 6~图 10 显示了改造前后两种气流组织方式下培养室的温度分布云图。由于培养室的空间较大, 长和高都较大, 所以长度和高度方向上的温度分布更能反应降温效果的好坏。对于原方案, 由于在培养室的一端有两个送风口。所以要截取特征截面, 对于方案一要截取在长度方向的  $1/4\text{a-a}$  截面,  $3/4\text{c-c}$  截面和宽度方向的  $1/4\text{b-b}$  截面来分析温度分布即可。对于方案二, 送风口在培养皿上方, 选取在长度和宽度的  $1/4\text{d-d}$  截面、 $\text{e-e}$  截面说明效果, 所取截面如图 2 和图 3。

方案一和方案二在高度上的温差只有  $2^\circ\text{C}$  左右, 整体上温度为  $15^\circ\text{C}$ , 满足食用菌的生长需求。但是方案一的热量积聚在不同层支架的间隔, 温度很难降低。而方案二是将冷空气直接送到培养皿上, 所有不会存在热量积聚难以降温的问题。

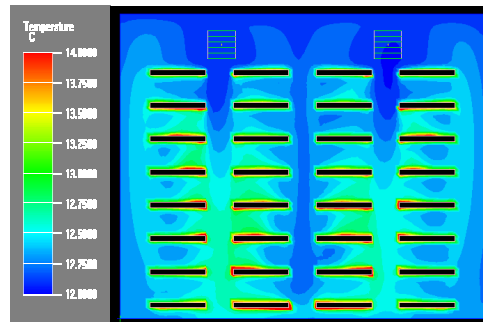


图 6 方案一 a-a 截面处温度场云图

Fig.6 Temperature field cloud map at a-a section about program 1

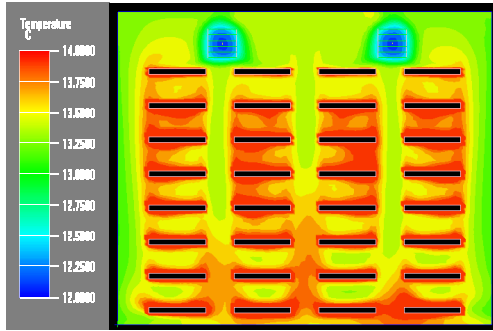


图 7 方案一 c-c 截面处温度场云图

Fig.7 Temperature field cloud map at c-c section about program 1

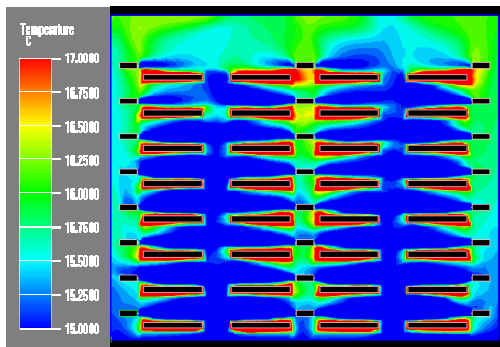


图 8 方案二 d-d 截面处温度场云图

Fig.8 Temperature field cloud map at d-d section about program 2

在培养室长度方向，对比图 9 和图 10。方案一相比方案二，在长度上的温差相差较大，最大温差达到 10℃左右，如果要满足温度较高地方的降温，就要降低送风温度，或者在培养室的另一端增加送风口，如此就增加了电力消耗；而方案二所有的培养皿所在的位置温度保持在 15℃左右，分布非常均匀，温差只有 1℃左右，对于食用菌的生长提高良好的温度环境。从温度上分析来看，改造后的方案二使得空间温度分布更加均匀，相比方案一无需增加制冷量，相当于达到了节能的效果。

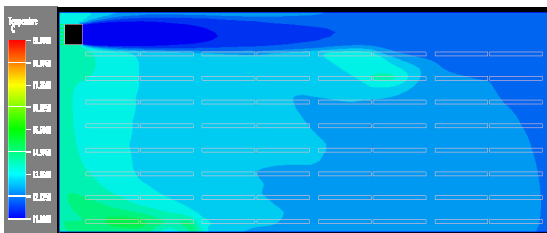


图 9 方案一 b-b 截面处温度场云图

Fig.9 Temperature field cloud map at b-b section about program 1

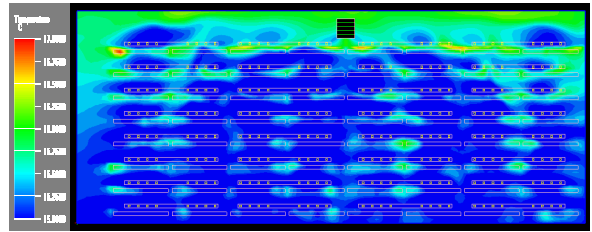


图 10 方案二 e-e 截面处温度场云图

Fig.10 Temperature field cloud map at e-e section about program 2

### 3.2 速度场分析

图 11~图 15 显示了方案一和方案二两种气流组织方式下培养室的速度分布云图，方案一截取 a-a, c-c 和 b-b 截面，对于方案二，选取 d-d 和 e-e 截面来分析对比两种方案的培养室速度场。

方案一在高度方向上速度整体相差 3m/s 左右，空气的流动方向取决于阻力的大小，所有冷空气更多地在过道间流动，在支架间的间隙没有基本没有流动，与该处的温度场相对应，此处容易有热量积聚而无法降温；方案二中速度场更加均匀，大部分风速在 0.4m/s 左右，在支架间的间隙流动情况好，解决了此处温度积聚的问题。

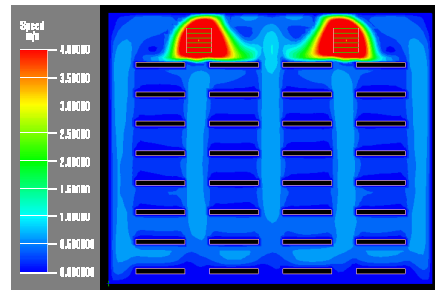


图 11 方案一 a-a 截面处速度场云图

Fig.11 Velocity field cloud map at a-a section about program 1

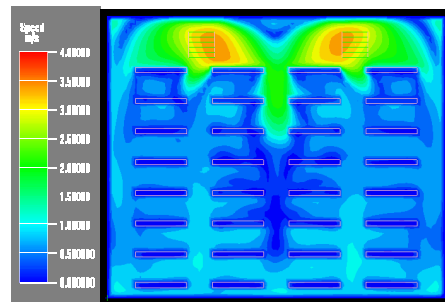


图 12 方案一 c-c 截面处速度场云图

Fig.12 Velocity field cloud map at c-c section about program 1

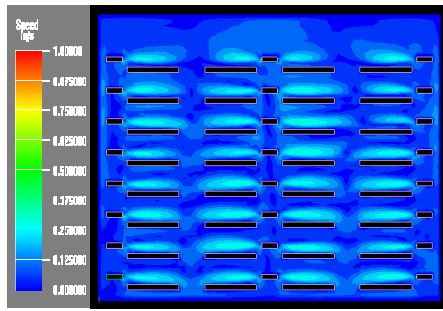


图 13 方案二 d-d 截面处速度场云图

Fig.13 Velocity field cloud map at a-a section about program 2

对比图 14 和图 15, 在 13.9m 长度方向上, 方案一的前后速度差有 3m/s, 在培养室一端有一部分培养皿处风速达到 3m/s 多, 对于食用菌的生长不利。从速度场的分布来看, 方案二相比方案一风速较低, 气流组织更加合理, 满足食用菌的生长需要。

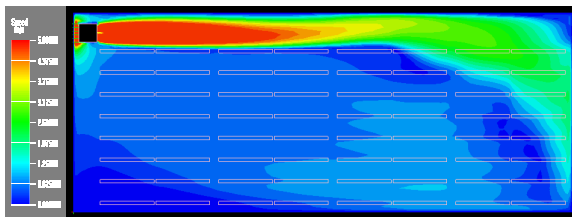


图 14 方案一 b-b 截面处速度场云图

Fig.14 Velocity field cloud map at b-b section about program 1

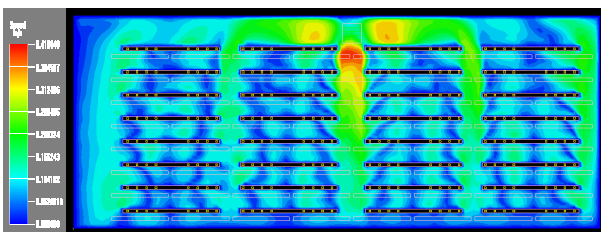


图 15 方案二 e-e 截面处速度场云图

Fig.15 Velocity field cloud map at e-e section about program 2

### 3.3 速度矢量场分析

图 16~图 20 显示了方案一和方案二空气流动方向, 与温度场和速度场相同, 选取相同截面来分析对比两种方案的培养室速度矢量场。速度矢量场分布图可以和速度场分布云图对应, 证明方案二相对于方案一气流组织方式更好, 既能满足食用菌的生长需要, 也在一定程度上达到节能的效果。

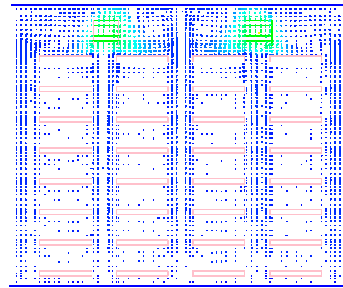


图 16 方案一 a-a 截面处速度向量云图

Fig.16 Speed vector cloud diagram at a-a section about program 1

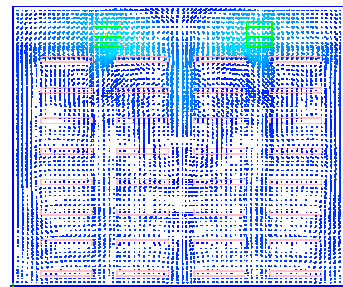


图 17 方案一 c-c 截面处速度向量云图

Fig.17 Speed vector cloud diagram at c-c section about program 1

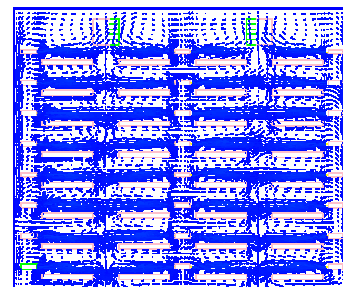


图 18 方案二 d-d 截面处速度向量云图

Fig.18 Speed vector cloud diagram at d-d section about program 2

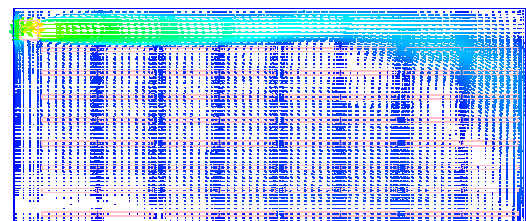


图 19 方案一 b-b 截面处速度向量云图

Fig.19 Speed vector cloud diagram at b-b section about program 1



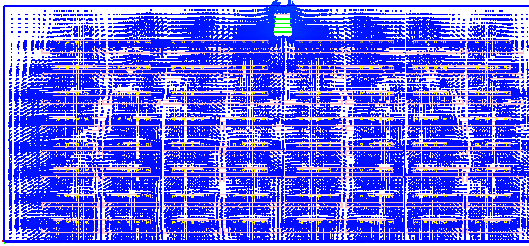


图 20 方案二 e-e 截面处速度向量云图

Fig.20 Speed vector cloud diagram at b-b section about program 2

#### 4 结论与展望

(1) 采用工位送风方式的方案二相比大空间上送上回方式的方案一, 温度场更加均匀, 解决了方案一热量积聚在不同层支架间隔的问题。食用菌培养室整体温度保持在  $15^{\circ}\text{C}$ , 高度方向最大温差为  $2^{\circ}\text{C}$ , 长度方向最大温差为  $1^{\circ}\text{C}$ , 很好地满足了食用菌的生长需要。

(2) 方案二送风方式相比于方案一送风方式, 气流组织方式更加合理, 培养皿上方的风口首先流经支架间隔, 将间隙处热量带走, 解决热量积聚而无法降温的问题。

(3) 为了优化食用菌生长环境, 可以在培养室一些特征位置放置温度感应装置, 联控制冷送风系统, 减少不必要能源的浪费及提高培养室的智能性。

#### 参考文献:

- [1] 黄凯霖. 多能互补技术在工业化办公建筑中应用的经济性分析[J]. 制冷与空调, 2018, 32(3): 304-311.
- [2] 陈攀. 基于重庆办公建筑的浅层地热能开发效益研究[J]. 制冷与空调, 2018, 32(3): 300-303.
- [3] 范宇飞. 蘑菇栽培温室无线监控系统设计[D]. 保定: 河北大学, 2016.
- [4] 顿喆. 基于 Fluentairpak 的数据中心机房的气流组织模拟优化[J]. 建筑节能, 2015, 3(43): 27-33.
- [5] 田太阳. 基于 Airpak 的大型车间污染物消散的数值模拟研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(6): 31-35.
- [6] 狄育慧. 利用 Airpak 模拟室内气流组织的误差分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 2013, 45(1): 73-78.
- [7] 李杨. 基于 Airpak 的夏季柜式空调机办公室内热环境数值模拟分析[J]. 北方工业大学学报, 2017, 29(2): 122-130.
- [8] 陈盼. 某钢厂冷床热环境的 Airpak 模拟分析及热害控制技术[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
- [9] 叶欣. Airpak 软件在气流组织领域的应用[J]. 应用能源技术, 2006(10): 45-47.
- [10] 翟大海. 空调房间空气流场分布的数值模拟[J]. 节能技术, 2013, 31(5): 420-425.
- [11] 任新. 空调房间流场和温度场的数值模拟[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.
- [12] 袁东升. 气流组织对空调房间空气环境影响的数值模拟[J]. 建筑节能, 2008, 36(9): 9-13.