

# 高大建筑空调气流组织方案研究

罗 勇, 张 幸, 刘 恒

(石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043)

**摘要:**以北京市某精密加工车间的分层空调方案为研究对象,按照建筑的实际尺寸及空调设计参数,建立了空调气流组织的计算模型。针对夏季空调气流组织的关键技术参数诸如风口面积、送风速度、送风角度等,采用 CFD 软件进行了数值模拟,并对模拟结果进行了分析。为高大建筑空调工程设计提供了有益的参考。

**关键词:**高大建筑空调;气流组织;数值模型

**中图分类号:**TU831 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2018)02-0056-04

## 0 引言

空调能耗日益受到业内人士的关注,预计到 2020 年建筑能耗将占据全国能源消耗总量的 35% 左右,其中空调能耗在建筑能耗中所占比例为 30%~50%<sup>[1]</sup>。对于诸如体育馆、影剧院以及现代化工业厂房而言,由于需要空调的区域往往仅限于人员的活动区而非整个空间,因此,如能通过合理的气流组织方式使得人员活动区达到所需的温度,而其余空间与人员活动区存在明显的温度差异,无疑会获得极大的节能效果。以位于北京市的某精密加工车间为例,借助 CFD 软件研究了高大建筑的分层空调方案,获得了关键的空调气流组织参数,为高大建筑空调的工程设计提供了有益的参考。

## 1 建筑概况及数值模拟方法简介

选取的研究对象是位于北京地区的某精密加工厂房,如图 1 所示。建筑的长、宽、高(图 1 中的  $X$ 、 $Z$ 、 $Y$ )为  $30\text{ m}\times 20\text{ m}\times 18\text{ m}$ ,建筑无外窗。采用中部送风的方式沿高度方向分为空调区(下部人员活动区)和非空调区(上部设备区)。在非空调区计算通风负荷,在空调区计算空调冷负荷。空调区域的冷负荷由 3 部分组成,分别为空调区本身得热形成的冷负荷;射流卷吸作用引起的对流冷负荷;以及由于外墙内表面温度沿高度方向的不同引起的非空调区对空调区的热辐射引起的辐射冷负荷<sup>[2]</sup>。由于车间为精密流水线装配车间,设备发热量较少,同时人员也较少,因此本次计算的冷负荷主要是围护结构的冷负荷,计算中也仅考虑了围护结构的冷负荷。参考相关资料<sup>[3]</sup>,计算得出空调区的冷负荷为  $57\,985\text{ W}$ 。下部空调送、回风口以及上部通风送、回风口的布置方案如图 1 所示。通过相关计算最终确定的风口位置、数量及相关风速参数见表 1。

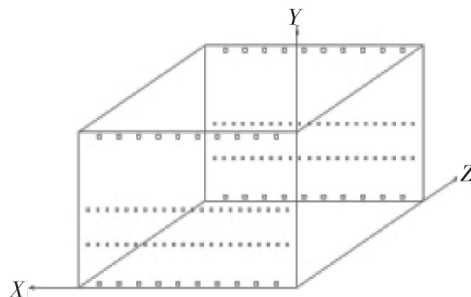


图 1 建筑特征及风口布置方案

数学模型采用标准的两方程紊流模型及 SIMPLE 算法。边界条件:送风口采用速度进口边界条件,回风口采用出流边界条件,围护结构内壁采用温度边界条件。壁面温度通过建筑的空调室内外计算温度结合保温结构并参照分层空调的热负荷计算方法获得。计算网格采用疏密网格的方式以便在保证计算精度的前提下减少计算节点数,数值模拟过程均已通过网格无关性验证。本文主要研究了夏季送风速度

收稿日期:2016-10-26 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2018.02.11

作者简介:罗勇(1964—),男,教授,主要从事燃烧及换热,生物质能洁净利用的研究。E-mail:luoyong\_110@sina.com

罗勇,张幸,刘恒.高大建筑空调气流组织方案研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2018,31(2):56-59.

和送风角度对室内温度场和速度场的影响。

表 1 气流组织相关参数汇总表

| 名称 | 工作区高度/m | 射流落差/m | 喷口数量/个 | 喷口尺寸/(m×m) | 送风速度/(m·s <sup>-1</sup> ) | 回风口个数/个 | 空调送风口高度/m | 射流射程/m | 喷口间距/m | 喷口风量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 空调送风温度/℃ | 回风口尺寸/(m×m) |
|----|---------|--------|--------|------------|---------------------------|---------|-----------|--------|--------|-----------------------------------------|----------|-------------|
| 数值 | 3       | 2      | 44     | 0.3×0.2    | 4                         | 20      | 5         | 8.14   | 1.25   | 864                                     | 19       | 0.5×0.4     |

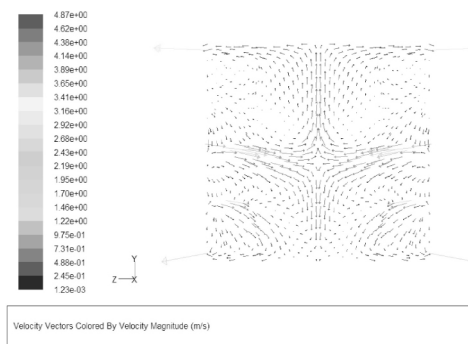
## 2 送风速度对室内温度场和速度场的影响

在冷负荷不变的前提下,送风口速度和面积直接影响室内的速度场。数值模拟过程选取了 L1、L2、L3、L4、L5 等 5 种工况,见表 2。

图 2、图 3 为工况 L1 在  $x=7.5\text{ m}$  处的风口断面速度矢量图和温度分布图。从图中可以看出,当空调区送风口的送风速度为  $3.0\text{ m/s}$  时,由于送风速度小,射流的射程短,所以空调送风射流尚未搭接上便流向回风口,未能实现将上部非空调区与下部空调区明显隔断的效果,空调区与非空调区温度分层效果较差。

表 2 数值模拟边界条件汇总表

| 工况 | 送风口面积/m <sup>2</sup> | 送风速度/(m·s <sup>-1</sup> ) |
|----|----------------------|---------------------------|
| L1 | 0.08                 | 3                         |
| L2 | 0.069                | 3.5                       |
| L3 | 0.06                 | 4                         |
| L4 | 0.053                | 4.5                       |
| L5 | 0.048                | 5                         |



2 工况 L1 风口断面速度矢量图 ( $x=7.5\text{ m}$ )

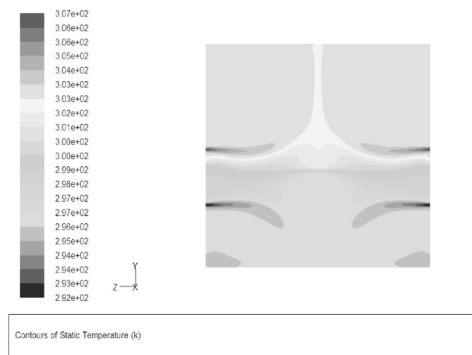
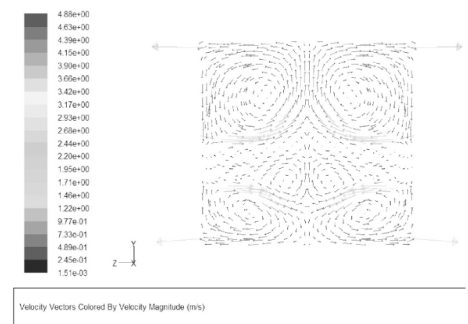


图 3 工况 L1 风口断面温度分布图 ( $x=7.5\text{ m}$ )

图 4、图 5 为工况 L5 在  $x=7.5\text{ m}$  处的风口断面速度矢量图和温度分布图。由图 4 可以看出,当送风速度为  $5.0\text{ m/s}$  时,因为送风速度过大,所以气流在射流末端仍有很大速度,对冲射流在射流末端碰撞后,一部分转移到非空调区域,另一部分流向下部空调区域。由图 5 可以看出,空调区与非空调区的温度过渡区明显增厚。由于射流末端碰撞激烈,所以进入非空调区域的冷量较多,不仅导致输送能耗较大,同时温度分布也开始变差。因此,应该避免过高的射流速度。



4 工况 L5 风口断面速度矢量图 ( $x=7.5\text{ m}$ )

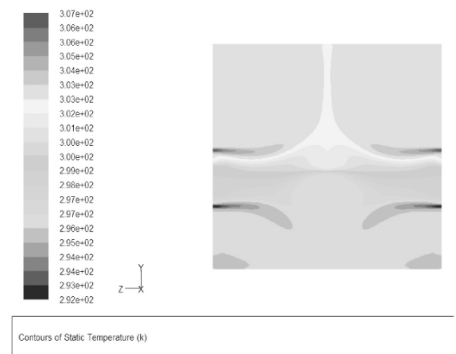
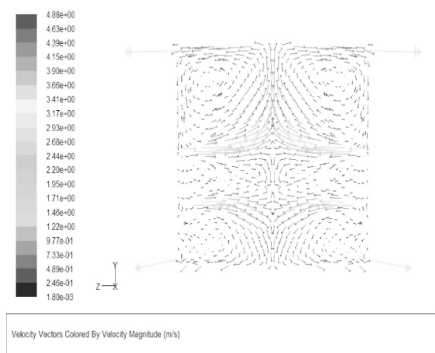
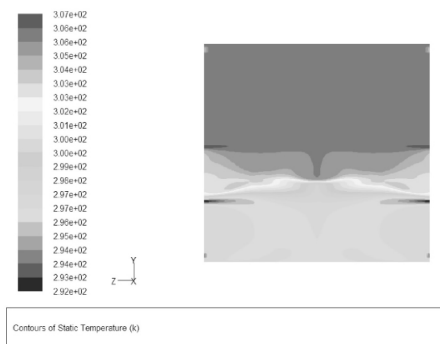


图 5 工况 L5 风口断面温度分布图 ( $x=7.5\text{ m}$ )

图 6、图 7 为工况 L3(L2、L4 与 L3 相似,由于篇幅所限不再赘述)在  $x=7.5\text{ m}$  处风口断面的速度矢量图和温度分布图。从图 6 可以看出,在这个工况下空调送风和通风送风均能按照希望的流动方式进行,机械通风在中上部形成两个明显的漩涡,空调送回风在中下部也形成两个明显的漩涡。空调送风和通风送风两股气流不存在明显交叉的情况,表明上部的热空气未被空调射流卷入空调区。从图 7 可以看出,沿高度方向存在明显的温度分层,即通风送风口以上温度明显高于空调送风口下部的温度,实现了建筑物内沿高度方向的温度分层。一方面工作区达到了所需的温度,而非工作区几乎没有消耗空调的冷量。在空调区和非空调区存在一个稳定的过渡区。



6 工况 L3 风口断面速度矢量图( $x=7.5\text{ m}$ )



7 工况 L3 风口断面温度分布图( $x=7.5\text{ m}$ )

图 8 是根据上述 5 种工况的模拟计算结果整理的,建筑空间内自下而上的平均温度分布图。从图中可以看出,当空调区送风口的送风速度为  $3.0\text{ m/s}$  时(工况 L1),建筑空间自下而上的平均温度差最小,顶部区域约  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,工作区约  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,工作区与非工作区温差约  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。显然不能很好地实现温度分层,节能效果差。当空调区送风口的送风速度为  $5.0\text{ m/s}$  时(工况 L5),上下温度分层效果尚可,温差约  $7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但温度过渡区明显变厚,大约在高度方向  $5\sim 11\text{ m}$  的范围内,过渡层约  $7\text{ m}$ 。较厚的过渡层同样导致节能效果差。当空调送风速度在  $3.5\sim 4.5\text{ m/s}$  的范围内,温度过渡层厚度约为  $3\text{ m}$ ,上下层温差约  $8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,建筑室内温度分层效果好,从而节能效果明显。

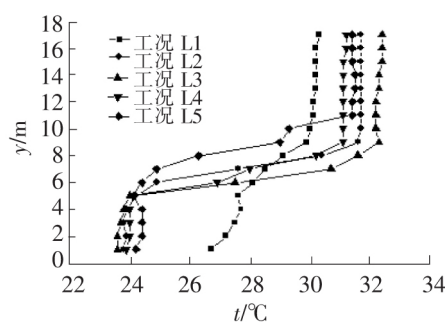


图 8 L1~L5 工况建筑空间内自下而上的平均温度分布

综上所述,针对所给建筑,空调送风在  $3.5\sim 4.5\text{ m/s}$  的范围内,气流组织的效果较好,能够实现高大空间的温度分层效果;当送风速度小于  $3\text{ m/s}$  时,分层效果差;而当送风速度大于  $5\text{ m/s}$  时,对射气流末端速度过高,不仅输送能耗高,而且还形成了较厚的过渡层,不利于上下区的温度分层。

### 3 送风角度对室内温度场和速度场的影响

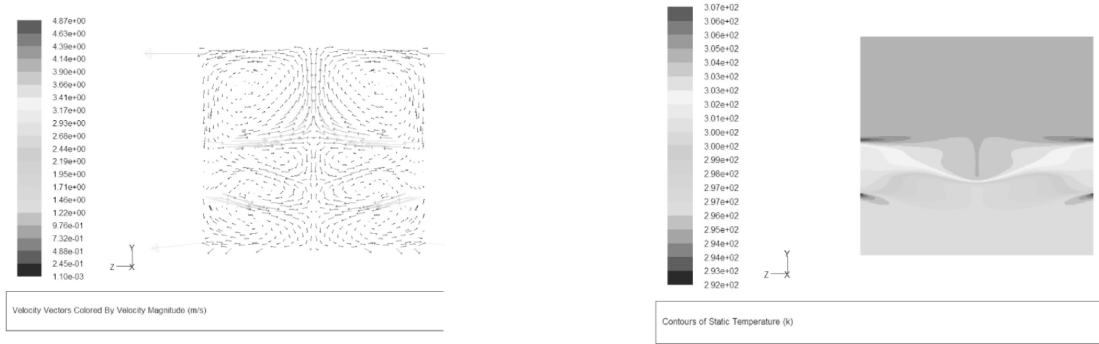
从图 6、图 7 可看出,在空调送风口之上仍存在一定范围的低温区,不利于空调节能。为此,在工况 L3 的基础上进一步模拟了夏季空调送风角度对温度场的影响。

在夏季分层空调设计方案(L3)的基础之上,通过调整送风角度来获得新工况下的温度场和速度场。工况条件见表 3。

表 3 空调送风角度对室内温度场速度场的影响

| 工况               | L3 | L6 | L7 |
|------------------|----|----|----|
| 向下倾角/ $^{\circ}$ | 0  | 15 | 30 |

工况 L6 在  $x=7.5\text{ m}$  风口断面处的速度矢量和温度分布见图 9、图 10。建筑空间内自下而上的平均温度分布见图 11。

图 9 工况 L6 风口断面  $x=7.5$  m 处的速度矢量图10 工况 L6 风口断面  $x=7.5$  m 处的温度分布

比较图 7 和图 10 可以看出,当送风角度为  $15^\circ$  时,建筑室内温度分布有所改善,主要表现为上部非空调区的高温范围略有增大。从图 11 可以看出,当送风角度自  $0^\circ \sim 30^\circ$  范围内变化时,建筑空间内自下而上的平均温度分布略有变化。但通过分析这一变化范围内工作区的平均风速发现,工作区的平均风速则由  $0.20$  m/s 增大到  $0.45$  m/s,这将导致工作区有明显的吹风感,不满足舒适感的要求。可见,对于夏季空调而言,可不考虑空调送风口向下倾斜。

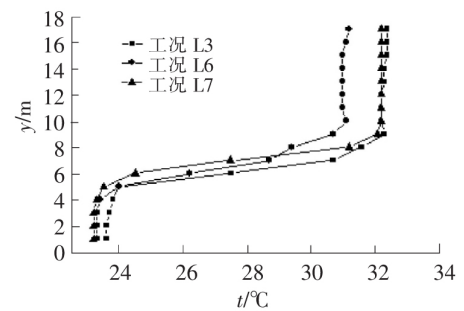


图 11 L3、L6、L7 工况建筑空间自下而上的平均温度分布图

#### 4 结论

(1) 对于高大建筑空调实施分层空调的气流组织方式,可以实现明显的上下温度分层,从而达到空调整能的目的。

(2) 采用 CFD 软件可以优化室内气流组织的关键技术参数,可通过数值模拟结果中室内温度场和速度场的可视化工具,为高大建筑空调的气流组织方案提供有益参考。但由于建筑形式和空间大小各不相同,因此除了按相关规范设计外,条件允许时可借助 CFD 软件进行方案的优化,从而避免工程设计的盲目性和不确定性,达到设计节能的效果。

(3) 对于高大建筑空调而言,夏季工况下空调送风口的向下倾斜角对室内温度场影响不大。相反,如果倾斜角过大还会造成工作区过大的风速,因此可采用简单的水平送风方式。

#### 参 考 文 献

- [1] 朱能, 朱天利, 全丁丁, 等. 我国建筑能耗基准线确定方法探讨[J]. 暖通空调, 2012, 40(9): 59-64.
- [2] 黄晨, 胡宇. 大空间建筑及其相似放大建筑的室内热环境模拟分析[J]. 流体机械, 2012, 39(1): 76-82.
- [3] Beier R A, Gorton R L. Thermal stratification in factories-cooling loads and temperature profiles[J]. ASHRAE Transactions, 1978, 84: 325-339.

### Study on Air Distribution Scheme of Air Conditioning in Tall Buildings

Luo Yong, Zhang Xing, Liu Heng

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** Taking the stratified air conditioning scheme of a precision manufacturing workshop in Beijing as a research object, the air distribution model is established according to the actual size of the building and the air conditioning design parameters. In line with the key technical parameters of air flow organization of air conditioning system in summer such as vent area, air supply velocity, and air supply angle, the air flow organization is numerical simulated by using the software of CFD, and the result of the simulation is analyzed to provide a useful reference for the air conditioning design of tall buildings.

**Key words:** air conditioning in tall buildings; air distribution; numerical model