

CFD 在体育馆比赛大厅空调方案中的应用

采用CFD（计算流体力学）软件对比赛大厅内的空气流场分4个不同的方案进行模拟研究分析，结果表明比赛区域采用双排风管旋流风口上送，下部回风结合侧高墙排风的方式能较好的满足设计要求。

1. 引言

比赛大厅的比赛区域和观众区域是体育馆的核心，而其气流组织是体育馆空调设计中的重点，特别是当比赛区域的气流流速要求比较严格时，其气流组织更是空调设计中的难点。

好的气流组织不仅是温、湿度场达到要求的基础，而且大大减少空调能耗。随着计算机技术和计算流体力学的发展，在大空间内采用CFD来模拟预测室内温湿度和气流组织等问题的方法越来越得到应用。

2. 工程简述

本体育馆总建筑面积为17600平方米，建筑高度28.3m，可容纳观众4671人，其中固定坐席3019座，临时1643坐席座，可举办地区性和全国单项比赛及全民健身运动赛事（图1为体育馆鸟瞰效果图）。体育馆主要包括比赛大厅（包含比赛场地、观众厅）、训练大厅、观众集散大厅以及体育馆附属的办公室、接待休息室等。

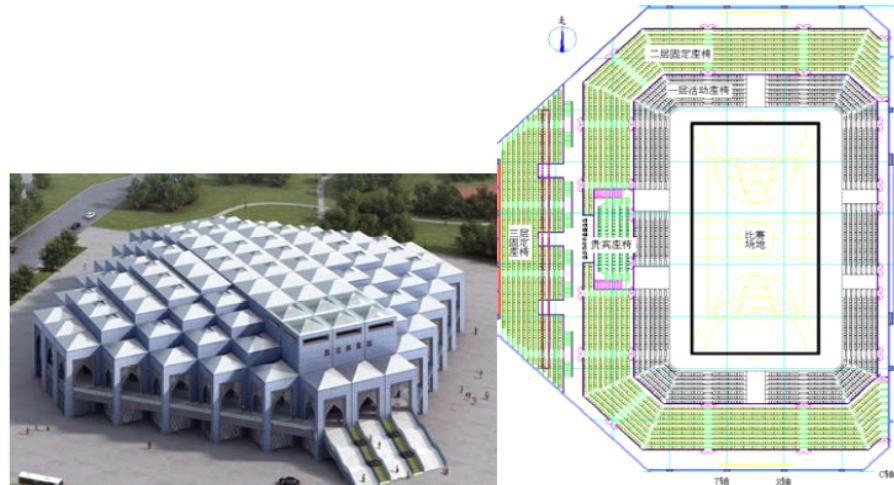


图1 体育馆鸟瞰效果图

图2 标高16m的俯视图

体育馆比赛区域的气流流速必须达到小球比赛的要求（比赛区域上空9m内风速小于0.2m/s）。结合甲方的要求及土建条件，观众区域采用座椅送风，底排侧面回风，比赛区域初步设计4个空调系统方案：Case1，采用单排喷口侧送下部回风（兼排风）；Case2，采用单排喷口侧送顶部排风、下部回风；Case3，采用双排旋流风口上送下部回风（兼排风）；Case4，采用双排旋流风口上送侧高墙排风、下部回风。

3. 比赛大厅模型建立

3.1 几何模型

比赛大厅一层设置7排活动座椅和一个40m×20m比赛场地；二层布置9排固定座椅和5排贵宾座椅；三层布置12排固定座椅，比赛上空最高高度为28.3m（图2是相对地平标高16m的俯视图）。

为了简化分析, 对比赛大厅作如下假设:

- 1) 平面中一排座椅送风口简化为一个长条送风口;
- 2) 贵宾座椅等同于一般固定座椅;
- 3) 三层固定座椅对空间气流组织的影响忽略;
- 4) 屋顶简化为平屋面, 最高标高为 27.9m;
- 5) 比赛大厅南北方向完全对称分布;
- 6) 室内空气气流按不可压缩粘性流体考虑。

以地平面8轴和C轴的交点为原点, 设定比赛大厅的北向为X轴正方向, 东向为Y轴正方向, 高度方向为Z轴正方向, 简化后的物理模型如图3 所示。

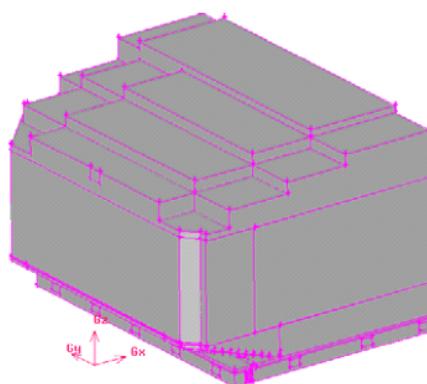


图 3 物理模型侧视图

3.2 控制方程[1]

质量守恒方程(连续方程):

微元体中流体质量的增加=流入该微元体的净质量

动量守恒方程:

微元体中流体动量的增加=作用在微元体上各种力之和

能量守恒方程:

微元体中热力学能的增加=进入微元体的净热流量+体积力与表面力对微元体做的功针对体育馆分区送风气流组织的模拟分析, 采用标准 K-E 方程得到了较好的效果[2]。

3.3 计算条件

比赛区域初步设计4 个空调系统方案的计算条件见表1 所示。

表 1 不同模拟工况下的设置计算条件

计算条件	Case1	Case2	Case3	Case4
比赛区域送风方式	单排侧送, 5个0.5X0.5m的喷口, 间距4.6m	单排侧送, 5个0.5X0.5 的喷口间距4.6m	双排下送, 10个0.7X0.7 的旋流风口,间距5.6m	双排下送, 10个0.7X0.7 的旋流风口,间距5.6m
观众区送风风速 (m/s)	0.2139103	0.2139103	0.1715984	0.1715984

比赛区送风风速 (m/s)	2.666667	2.666667	1.70068	1.70068
观众厅回风口	贵宾席 1 个 1.6X1m、西侧 观众厅2 个 1.6X1m、 南侧5 个 1.6X1m 风口	贵宾席 1 个 1.6X1m、西侧 观众厅2 个 1.6X1m、 南侧5 个 1.6X1m 风口	贵宾席 1 个 1.6X1m、西侧 观众厅2 个 1.6X1m、 南侧4 个 1.6X1m 风口	贵宾席 1 个 1.6X1m、西侧 观众厅2 个 1.6X1m、 南侧5 个 1.6X1m 风口
观众厅回风口 风速 (m/s)	贵宾席 0.954861 其他 0.992063	贵宾席 0.954861 其他 0.992063	贵宾席 0.954861 其他 0.896991	贵宾席 0.954861 其他 0.896991
比赛区域回风口	东侧 2 个 1.6X1m 风口	东侧 2 个 1.6X1m 风口	东侧 2 个 1.6X1m、西侧 2个1.6X1m、 南侧1 个 1.6X1m 风口	东侧 2 个 1.6X1m、西侧 2个1.6X1m
比赛区域回风口风速 (m/s)	0.833333	0.138889	0.9375	0.104167
排风口设置	/	2 个1X1m 屋顶排风口	/	1 个2X1.5m 高侧墙排风口
排风量占比赛区域送风量百分比		90%		80%

为了更好地进行各种工况的对比分析, 首先沿Z 轴方向对比赛区域上空切割4 个典型断面 (即z=0.5m, z=3m, z=6m, z=9m), 进行气流流场判断, 若基本符合比赛大厅室内的气流流场要求, 再对模拟工况进一步分析。

4. 计算分析

4.1 Case1 模拟分析

Case1 工况的物理模型如图4 所示, 靛蓝色区域表示比赛送风区域, 红色为回风和活动座椅区域, 蓝色为座椅送风区域。

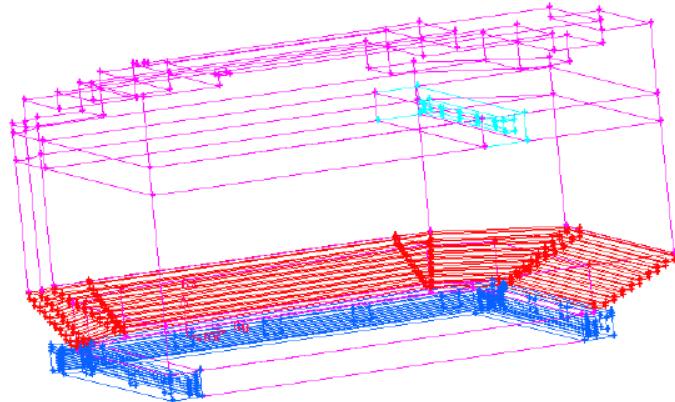


图 4 Case1 物理模型透视图

图 5~8 为典型断面上的速度云图分布，在比赛大厅内气流速度大于0.5m/s（大球比赛）时，云图中不显示。

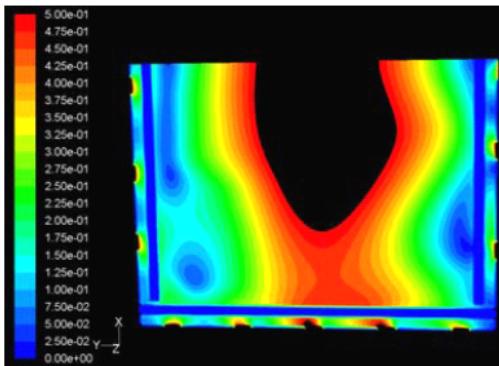


图 5 $Z=0.5\text{m}$ 流场云图

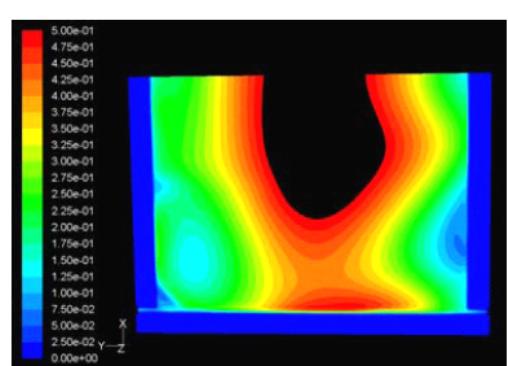


图 6 $Z=3\text{m}$ 流场云图

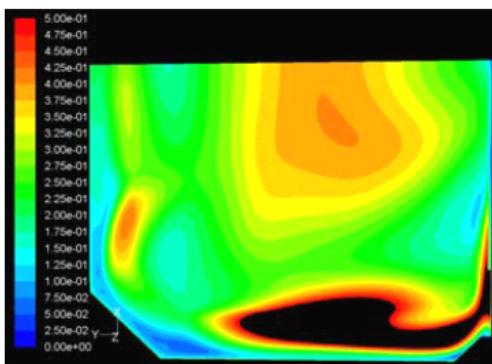


图 7 $Z=6\text{m}$ 流场云图

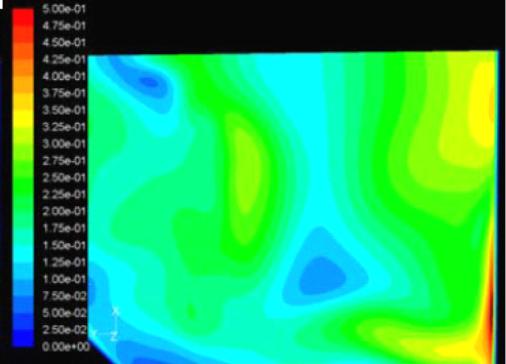


图 8 $Z=9\text{m}$ 流场云图

从图 5~8 可以很容易地看出，比赛区域气流速度大部分大于0.2m/s 风速的要求，这种空调送风方式不能满足比赛要求。

4.2 Case2 模拟分析

Case2 的物理模型同Case1（加单独屋顶排风）。以下图9~12 为典型断面上的速度云图分布。

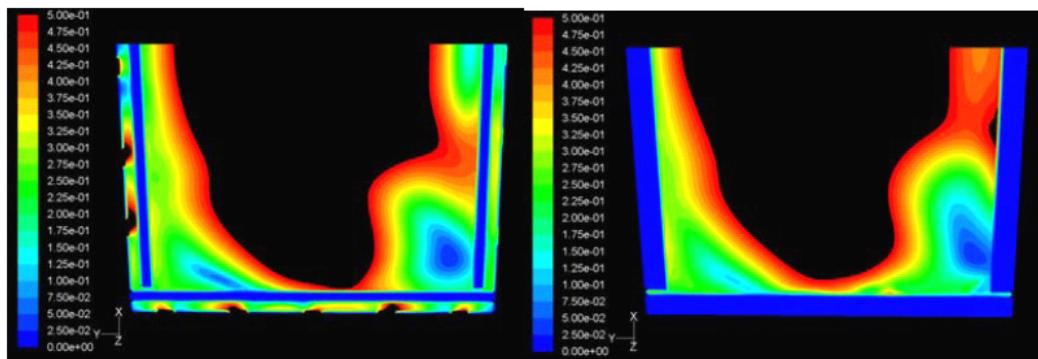


图 9 $Z=0.5\text{m}$ 流场云图

图 10 $Z=2\text{m}$ 流场云图

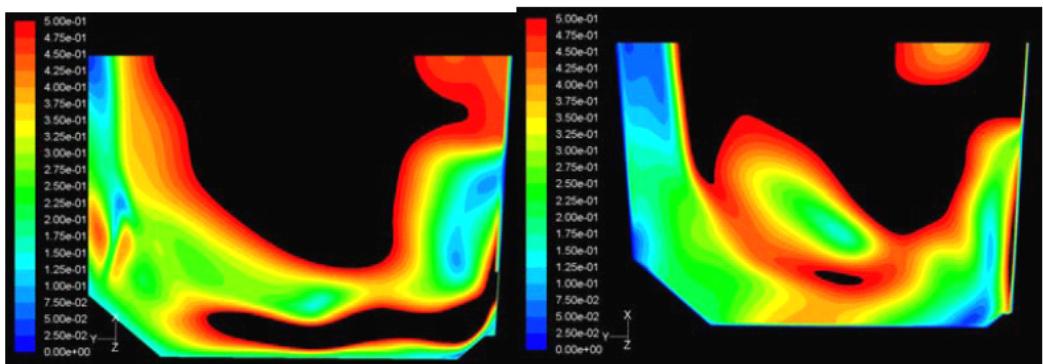


图 11 $Z=5\text{m}$ 流场云图

图 12 $Z=9\text{m}$ 流场云图

从图9~12 速度流场云图得出, 由于增加了屋顶风机, 使得比赛区域内的气流更加紊乱, 这种空调送风方式不能满足比赛要求。

4.3 Case3 模拟分析

Case3 工况的物理模型如图13 所示, 靛蓝色区域表示比赛送风区域, 红色为回风和活动座椅区域, 蓝色为座椅送风区域。

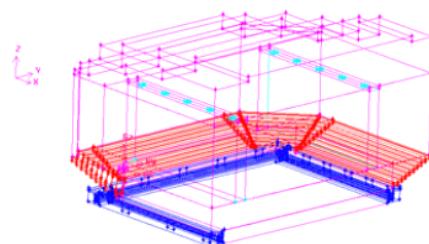


图 13 Case3 物理模型透视图

以下图 14~17 为典型断面上的速度云图分布。

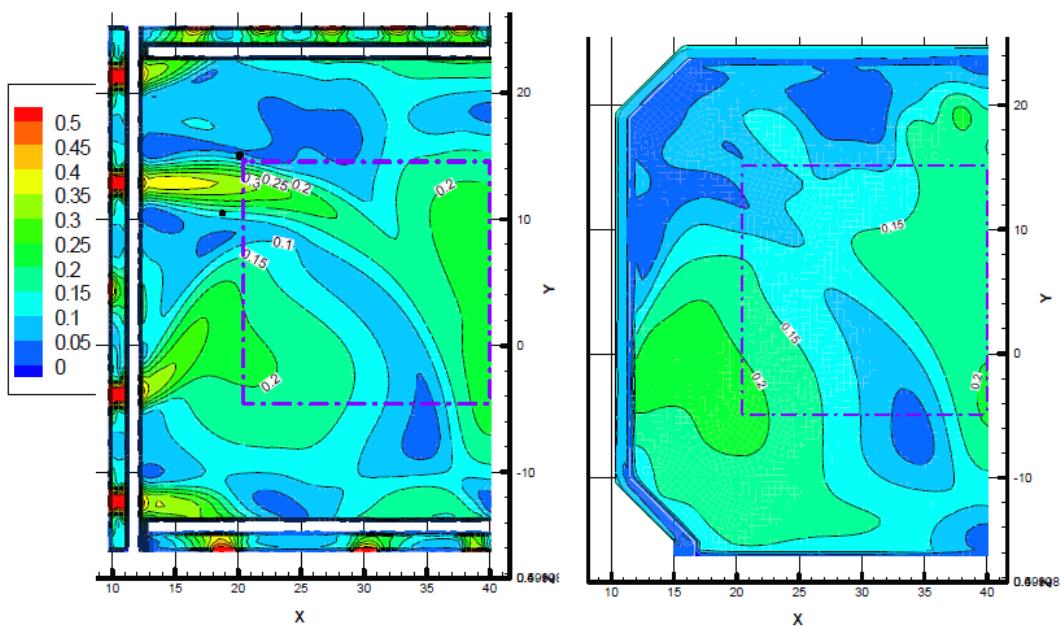


图 14 $Z=0.5\text{m}$ 流场云图

图 15 $Z=3\text{m}$ 流场云图

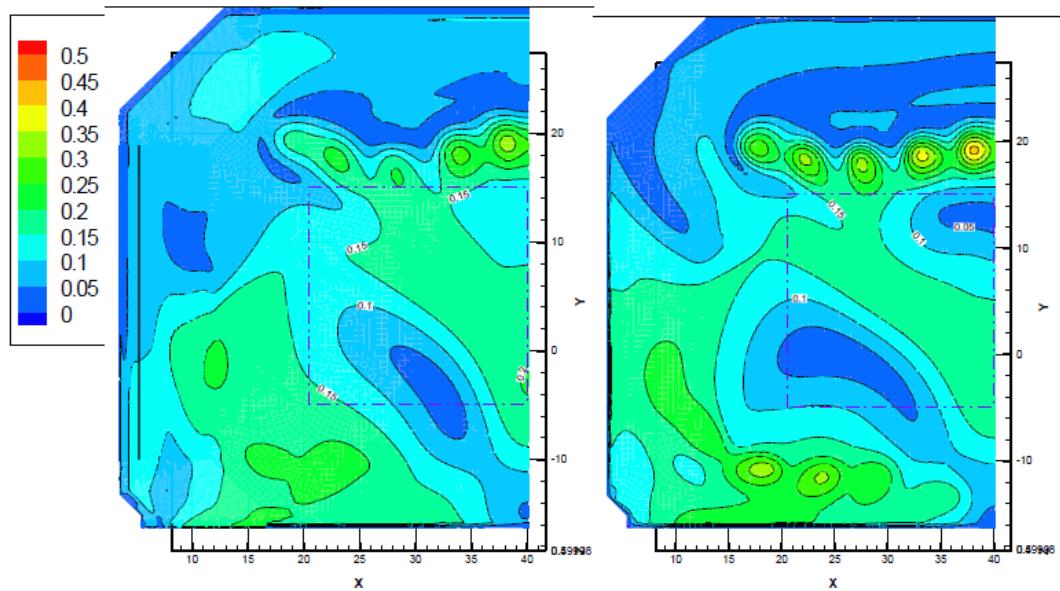


图 16 $Z=6\text{m}$ 流场云图

图 17 $Z=9\text{m}$ 流场云图

从图14~17 不同高度的速度流场云图得出，比赛区域基本满足风速小于0.2m/s的要求（紫色矩形框内为比赛边界），可作为小球比赛时的送风方式。

4.4 Case4 模拟分析

Case4 工况的物理模型如图14 所示（侧墙增加排风口）。以下图18~21 为典型断面上的速度云图分布。

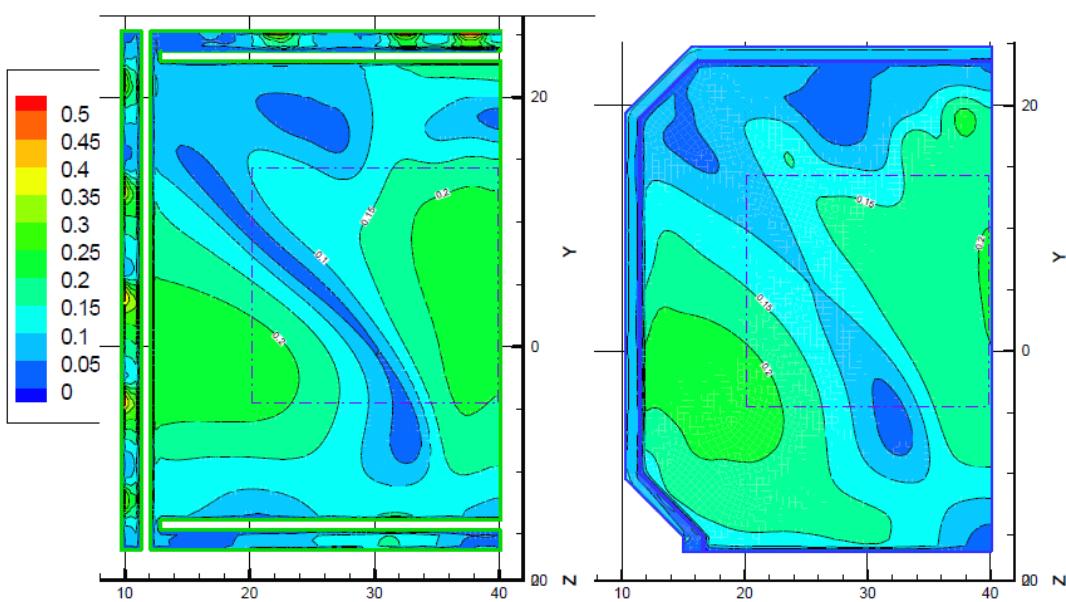


图 18 $Z=17\text{m}$ 流场云图

图 19 $Z=3\text{m}$ 流场云图

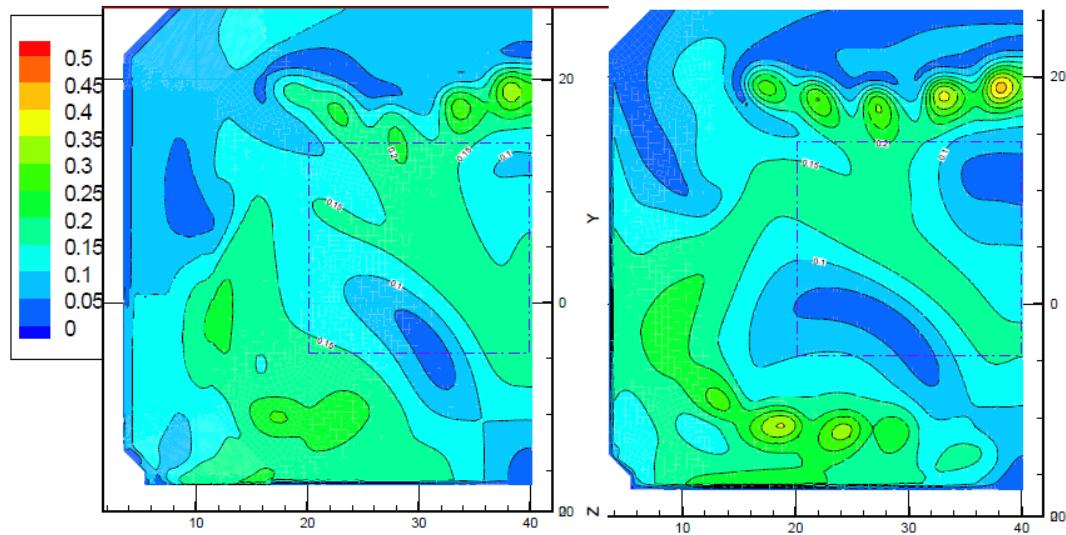


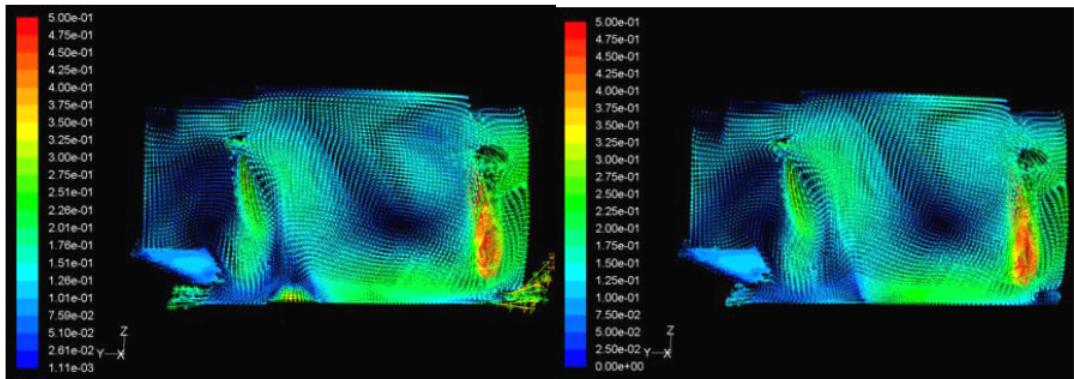
图 20 $Z=6\text{m}$ 流场云图

图 21 $Z=9\text{m}$ 流场云图

从图 18~21 不同高度的速度流场云图得出, 比赛区域基本满足风速小于 0.2m/s 的要求 (紫色矩形框内为比赛边界), 可作为小球比赛时的送风方式。

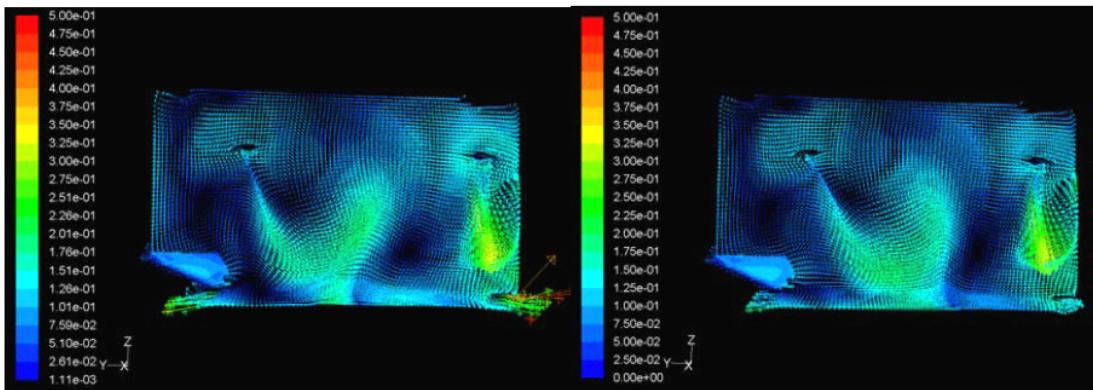
4.5 Case3 与 Case4 的对比分析

在上述分析中可知, 这两种送风方式都能满足比赛送风的要求, 在观众区域的风速分布差不多。为了进一步分析比较 Case3 与 Case4 工况, 沿 X 轴方向对比赛区域上空切割 3 个典型断面 (即, $X=20.1\text{m}$, $X=30.1\text{m}$, $X=40.1\text{m}$), 对比分析两种空调系统方案的气流流场分布。以下图 22~24 为三个典型断面上的速度矢量图。



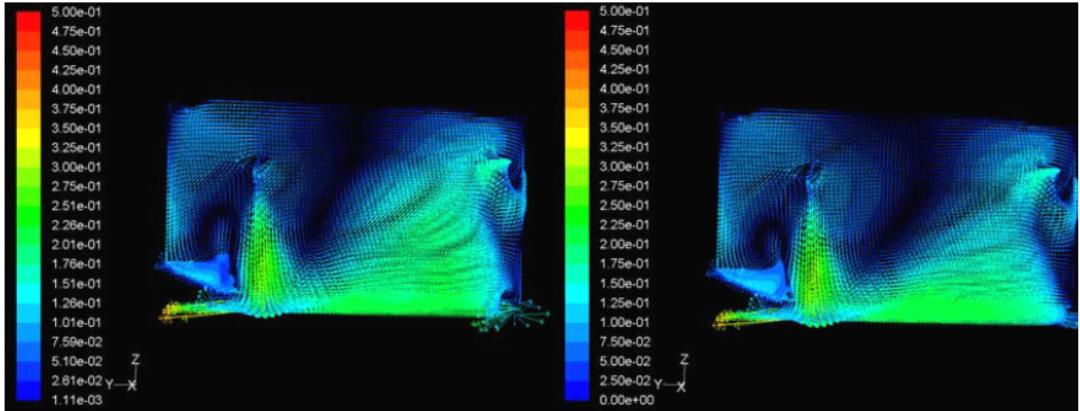
(a) case3 X=20.1m 流场矢量图 (b) case4 X=20.1m 流场矢量图

图 22 X=20.1m 流场矢量图



(a) case3 X=30.1m 流场矢量图 (b) case4 X=30.1m 流场矢量图

图 23 X=30.1m 流场矢量图



(a) case3 X=40.1m 流场矢量图 (b) case4 X=40.1m 流场矢量图

图 24 X=40.1m 流场矢量图

从矢量图 22~24 可以看到, Case4 的气流场比 Case3 分布的均匀, 特别是在比赛区域, 气流涡流区域面积小于 Case3 工况。所以本次模拟得出最优空调系统方案为 Case4.

5. 结论

通过 CFD 计算软件对室内气流进行模拟分析, 可以快速地预测室内气流分布, 为空调系统方案的设计提供理论支持。