

文章编号: 1671-6612 (2021) 02-207-05

# 西安市某高校大学生 活动中心室内环境测试及模拟研究

董宇光 强天伟 田闰乐 刘德明

(西安工程大学城市规划与市政工程学院 西安 710048)

**【摘要】** 针对西安工程大学临潼校区大学生活动中心综艺大厅(高大空间)夏季供冷人员活动区域温度较高现象,利用 CFD 模拟软件对综艺大厅空调气流组织及热舒适性进行仿真,对现有送风形式提出优化方案,优化后的气流组织极大改善了综艺大厅人员活动区的热环境。

**【关键词】** 综艺大厅(高大空间);空调系统;气流组织;热环境;CFD 模拟

中图分类号 TU83 文献标识码 A

## Indoor Environment Simulation and Test Research of a College Student Activity Center in Xi'an

Dong Yuguang Qiang Tianwei Tian Runle Liu Deming

(Xi'an Polytechnic University, School of Urban Planning and Municipal Engineering, Xi'an, 710048)

**【Abstract】** Aiming at the phenomenon of high temperature in the summer cooling activity area of the college student activity center (high space) of Lintong Campus of Xi'an University of Technology, CFD simulation software was used to simulate the air conditioning and thermal comfort of the air conditioning in the variety hall. The optimization plan and the optimized air flow organization have greatly improved the thermal environment of the personnel activity area in the variety hall.

**【Keywords】** variety show hall (high space); air conditioning system; air distribution; thermal environment; CFD simulation

作者简介:董宇光(1994-),女,在读硕士研究生,E-mail:2636126294@qq.com

通讯作者:强天伟(1970.11-),男,博士研究生,教授,E-mail:254599797@xpu.edu.cn

收稿日期:2020-07-09

## 0 引言

目前高大空间建筑造型奇特,体型巨大,空间结构复杂,其室内气流组织控制和设计比常规建筑更为复杂,往往会出现低效和难以满足人员对舒适的要求问题<sup>[1-3]</sup>。大空间建筑功能的多样性、内部结构的复杂性单纯依靠传统的设计方法很难对上述问题提出详细、精确的解决方案。然而 CFD 模拟技术比模型实验、现场实测等方法耗时短、成本低、直观,因此受到广泛的认可且大量应用到工程实例中<sup>[4-6]</sup>。

本文以西安工程大学临潼校区大学生活动中心综艺大厅为例,针对其夏季室内人员活动区域温

度较高现象,采用 Airpak 模拟软件对室内热环境进行研究,对现有送风形式提出优化方案,进一步解决目前空调系统效果差的问题。

## 1 项目简介

西安工程大学大学生活动中心(见图1)位于临潼校区的东南侧。该大学生活动中心由单层综艺大厅和三层办公楼组成,总的建筑面积约为6600m<sup>2</sup>。综艺大厅是大学生活动中心的核心,半径为18.12m,净高14.2m。大厅内设有观众区和舞台区,观众席布置在综艺大厅舞台的正前方。为满足不同规模会议要求,全都设置为活动席位。



图1 大学生活动中心综艺大厅侧面图

Fig.1 Side view of the variety hall of the University Student Activity Center

该工程的核心区域为单层综艺大厅，也是本文的主要研究对象。综艺大厅的面积约为 1030m<sup>2</sup>，在其西南、西北、西方向上部区域均设有天窗。综艺大厅的平面图、现场实景图如图 2、3 所示。

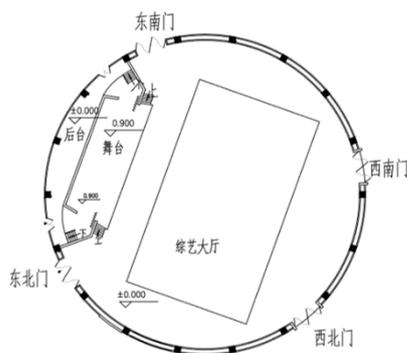


图2 大学生活动中心综艺大厅平面图

Fig.2 The floor plan of the Variety Hall of the University Student Activity Center



图3 大学生活动中心综艺大厅现场实景图

Fig.3 The actual scene of the Variety Hall of the University Student Activity Center

## 2 空调系统

### 2.1 空调负荷

由计算可知，综艺大厅空调夏季冷负荷为

260kW。由于建筑的实际外观是特殊的圆柱体，外墙属于弧线的范畴，负荷计算时各个方向的面积不好划分。又因为各个时刻不同方向透过玻璃日射得热形成冷负荷不同，因此计算时将整个建筑分为八个部分计算，近似认为各个方向的面积均为圆柱体侧面积的八分之一<sup>[7]</sup>。计算结果表明，综艺大厅围护结构形成的逐时负荷相对较小，人员和设备散热形成的逐时冷负荷较大。经夏季逐时冷负荷计算后的综艺大厅空调冷负荷如表 1 所示。

表 1 综艺大厅空调冷负荷

Table 1 Air conditioning cooling load of variety hall

	室内冷负荷 (不含新风)/kW	新风负荷 /kW	湿负荷 (kg/h)
夏季	110.84	117.07	23.70

### 2.2 空调系统

综艺大厅由一台制冷量为 267KW 的组合式空气处理机组给此区域送风，考虑到建筑布局，组合式空气处理机组位于办公楼附房屋面。夏季空调源由设置于办公楼屋面的风冷模块热泵机组提供。综艺大厅采用一次回风全空气系统，经计算可得：总的送风量为 40000m<sup>3</sup>/h，夏季送风温度为 16℃，送风风速为 7.2m/s。

综艺大厅采用上送上回的气流组织形式。该厅四周较均匀布置 16 个直径为 350mm 的球形喷口，每个风口风量为 2500m<sup>3</sup>/h，风口的安装高度为 12.4m；东南侧布置 2 个 2000×800 的单层百叶回风口，每个回风口风量为 15000m<sup>3</sup>/h，回风口的安装高度略高于送风口的安装高度。大学生活动中心综艺大厅空调系统平面图、实景图如图 4、5 所示。

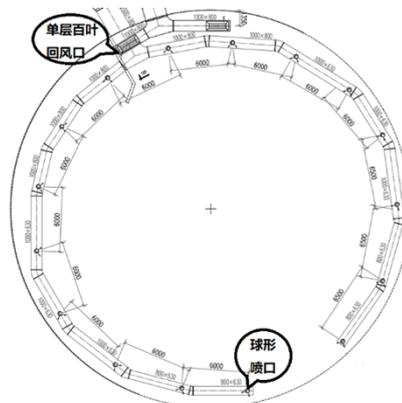


图4 综艺大厅空调系统平面图

Fig.4 Layout of the air conditioning system in the Variety Hall



图 5 综艺大厅空调系统实景图

Fig.5 The actual scene of the air conditioning system in the Variety Hall

### 3 评价标准

#### 3.1 室内设计参数要求

室内设计参数包括房间空调设定温度、湿度范围及人员新风量。夏季空调室内设计参数控制要求如表 2 所示。

表 2 室内设计参数控制要求

Table 2 Requirements for interior design parameters

房间名称	温度 (°C)	相对湿度 (%)	平均风速 (m/s)	新风量/ (m <sup>3</sup> /(人·h))	允许噪声 (db)
综艺大厅	24~28	50~70	0.25	30	50

#### 3.2 标准要求

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 中对舒适性空调人员长期逗留区域室内设计参数做出了相关规定<sup>[8]</sup>, 如表 3 所示。

表 3 人员长期逗留区域空调室内设计参数

Table 3 Indoor design parameters of air conditioning in long-term stay area

类别	热舒适度等级	温度 (°C)	相对湿度 (%)	风速 (m/s)
供热工况	I级	22~24	≥30	≤0.2
	II级	18~22	—	≤0.2
供冷工况	I级	24~26	40-60	≤0.25
	II级	26~28	≤70	≤0.3

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 中对采用预计平均热感觉指数 (PMV) 和预计不满意者的百分数 (PPD) 评价空调的室内热舒适性做出了相关规定, 如表 4 所示。

表 4 不同热舒适等级对应的 PMV、PPD 值

Table 4 PMV and PPD values corresponding to different thermal comfort levels

热舒适度等级	PMV	PPD
I级	-0.5≤PMV≤0.5	≤10%
II级	-1≤PMV≤-0.5 0.5≤PMV≤1	≤27%

由表 2 可知, 温度要求控制在 24°C~28°C, 平均风速 0.25m/s, 属于表 3 人员长期逗留区域空调室内设计参数中的 II 级热舒适等级, 因此综艺大厅属于 II 级热舒适度。

### 4 实验测试结果的验证

#### 4.1 测试方案

测试时间于 7 月 2 日上午 10:30 进行, 测试当天, 为研究生举行毕业典礼, 人数约 650 人左右。在综艺大厅观众区布置测点进行测试, 各测点距离地面 1.5m, 详细测点位置分布图如图 6 所示。

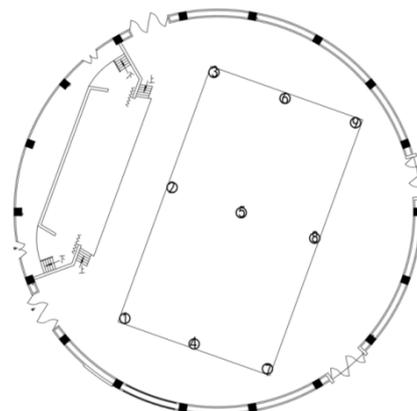


图 6 测点位置分布图

Fig.6 Distribution of measuring points

#### 4.2 物理模型及边界条件

依照图纸和实际建筑, 在 CAD 中创建相应的物理模型 (见图 7)。由于大学生活动中心综艺大厅的体积比较大, 模拟时网格数目大, 因此对物理模型进行了简化。其中忽略球形喷口的具体形状, 将其简化为普通的圆形风口, 仅保证送风量、送风温度、风口面积与设计参数相同。单层百叶回风口简化为二维矩形风口。由于回风口形成的汇流不会对整体环境产生过多的影响, 所以只规定回风口的尺寸和位置。空调的控制区即人员活动区域的气流组织是我们关注的重点, 风管所处区域的气流组织无需特别留意, 因此模型中忽略风管所占空间区域。

夏季工况,根据 GB 50176-2016《民用建筑热工设计规范》<sup>[9]</sup>设定屋面的温度 28℃,地面温度 26℃,侧面温度 28℃。人体负荷按轻劳动强度,取 26℃条件下成年男子的显热量;群集系数按体育场计算,取 0.92;人员显热负荷为 34480W;人体模型简化为 22 组 12m×0.7m×1.2m 的长方体,每组热量 1567W。照明总的冷负荷为 13956W,照明模型简化为 2 组 7m×1m×1m 的长方体,每组热量 6978W。设备总的冷负荷 13135W,将其简化为 7m×1m×4m 的长方体,热量为 13135W。

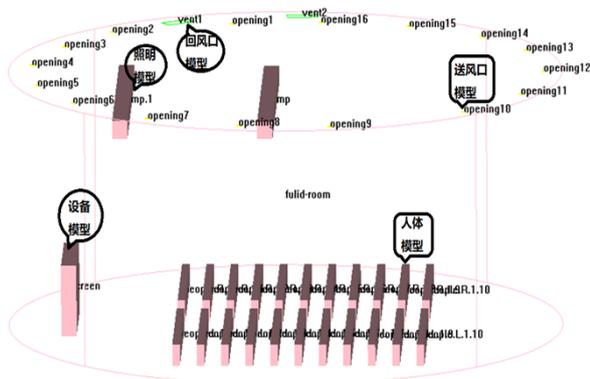


图 7 综艺大厅风口送风模拟时采用的物理模型

Fig.7 The physical model used in the air supply simulation of the variety hall

### 4.3 测试与模拟结果比较分析

各测点温度模拟结果与测试结果对比如图 8 所示。由图可知,测试与模拟结果的温度值变化趋势一致且比较接近,由此说明了所采用物理模型是准确、可靠的,也证明了利用 Airpak 这一专业软件模拟计算高大空间建筑室内空气组织是可信、准确的。



图 8 各测点温度模拟结果与测试结果对比图

Fig.8 Comparison of temperature simulation results and test results of each measuring point

## 5 空调系统的优化

### 5.1 优化方案

为解决综艺大厅夏季供冷时人员活动区域温度较高的问题,在保持总送风量不变的前提下,改变送风口的个数、位置和送风量。运用 Airpak 软件对优化后的空调系统进行评价。其中人员活动区域及舞台北侧上空均为直径为 158mm、风量为 2000m<sup>3</sup>/h 的球形喷口,共有 11 个,其他位置均为直径为 138mm、风量为 1500m<sup>3</sup>/h 的球形喷口,共 12 个。优化后风口位置示意图,如图 9 所示。

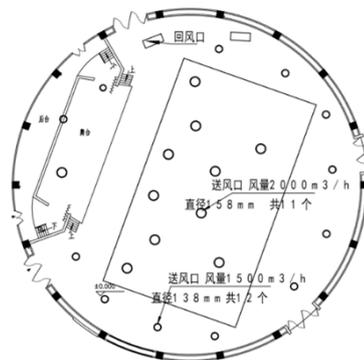


图 9 优化后风口位置示意图

Fig.9 Schematic diagram of the location of the air outlet after optimization

### 5.2 优化后的气流组织情况

由实测数据可知中心区域温度高,因此,选取中心区域两个送风口中心纵断面为典型界面。图 10 为两个送风口中间纵断面温度云图。由图可知,人体周围温度变化较大,人员活动区域温度在 25.2℃~26.8℃之间,满足控制设计要求。

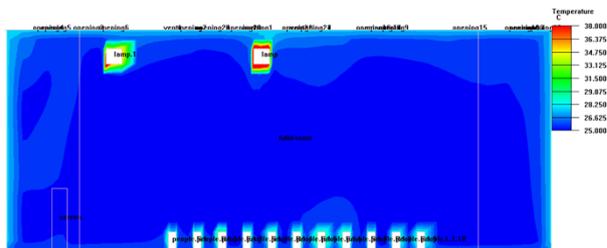


图 10 两个送风口中间纵断面温度云图

Fig.10 Temperature cloud of the middle longitudinal section of the two air outlets

图 11 为两个送风口中间纵断面速度云图。由该图可知,人员活动区域速度 0.14m/s~0.332m/s 之间。考虑实际应用中综艺大厅内人、灯光、设备等热源会使环境综合温度高于室内空气的温度从而对热环境进行补偿,因此局部区域速度超过 0.3m/s 也能够满足控制要求。

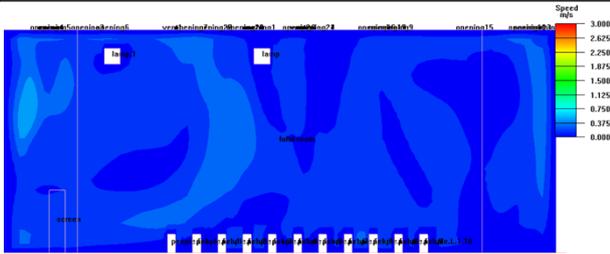


图 11 两个送风口中间纵断面速度云图

Fig.11 The velocity profile of the longitudinal section in the middle of the two air outlets

### 5.3 改进后空调气流组织评价

采用 PMV-PPD 指标对综艺大厅进行热舒适评价。图 12 为两个送风口中间纵断面 PMV 云图。人员活动区域 PMV 大多在 0.238~0.619 之间, 靠近人体在 0.95 左右。满足 II 级热舒适度要求。

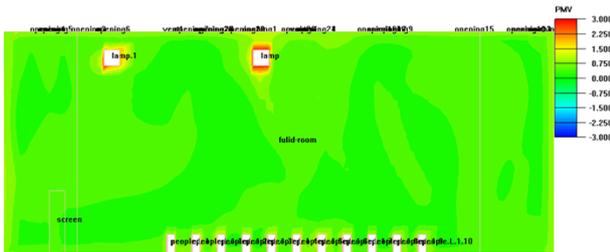


图 12 两个送风口中间纵断面 PMV 云图

Fig.12 PMV cloud image of the middle longitudinal section of the two air outlets

图 13 为两个送风口中间纵断面 PPD 云图。人员活动区域 PPD 大多在 6.19%~13.1%, 靠近人体在 25%左右。满足 II 级热舒适度要求。

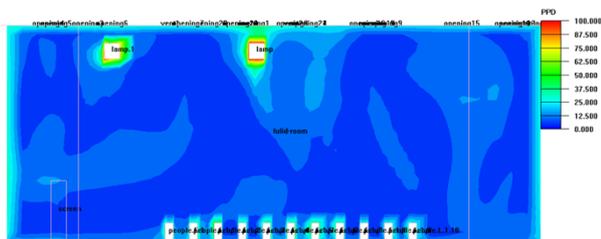


图 13 两个送风口中间纵断面 PPD 云图

Fig.13 PPD cloud image of the middle longitudinal section of the two air outlets

## 6 结论

(1) 对于综艺大厅的现场实测数据分析表明, 室内人员活动区域温度未达到设计要求, 出现了人员活动区域局部温度过高现象。

(2) 测试结果与 CFD 模拟计算结果的温度值变化趋势一致且较为接近, 由此说明了所采用物理模型是准确、可靠的, 也证明了利用 Airpak 这一专业软件模拟计算高大空间建筑室内气流组织是可信、准确的。

(3) 模拟计算了优化方案的气流组织情况, 对典型断面的温度、速度、人体舒适评价 PMV-PPD 指标进行了分析, 得出改进后方案能够满足人员活动区域的热舒适要求。

### 参考文献:

- [1] 蒋友娣. 基于个性化需求的高大中庭热舒适性优化工程实践[J].暖通空调,2013,43(11):32-35.
- [2] 张京奉. 公共建筑高大中庭供暖顶部过热底部过冷对策[J].煤气与热力,2008,28(8):27-28.
- [3] 包民业, 朱启振, 韩磊, 等. 夏季通风屋顶风机用于改善冬季供暖效果的设计及运行[C]. 山东电机工程学会第十一届优秀学术论文集,2008:6.
- [4] 胡宁, 曾源, 王毅, 等. 北京雁栖湖国际会展中心室内环境模拟及测试研究[J].暖通空调,2019,49(5):63-69.
- [5] 谭良才, 陈沛霖. 高大空间恒温空调气流组织设计方法研究[J].暖通空调,2002,(2):1-4.
- [6] 董玉平. 高大空间建筑空调系统 CFD 模拟研究[D]. 天津: 天津大学,2003.
- [7] 李浙, 邵昌成. 圆柱体玻璃外墙建筑围护结构冷负荷计算及相关问题[J].制冷,2006,(4):72-75.
- [8] GB 50736-2012, 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京: 中国建筑工业出版社,2012.
- [9] GB 50176-2016, 民用建筑热工设计规范[S].北京: 中国建筑工业出版社,2016.