

文章编号: 1671-6612 (2020) 03-326-05

# 敦煌国际酒店新建游廊空调热舒适性模拟

何青青<sup>1</sup> 张峰<sup>2</sup>

(1.中国建筑上海设计研究院有限公司 上海 200063;

2.成都基准方中建筑设计有限公司 成都 610021)

**【摘要】** 利用 EnergyPlus 软件对某酒店游廊空调进行典型气象日模拟, 得出采用原空调设计方案无法满足热舒适性, 通过增加空调负荷、设置内遮阳、改善气流组织, 确保游廊空调热舒适性。

**【关键词】** 热舒适模型; PMV; 气流组织; 速度场; 温度场

中图分类号 TK519 文献标识码 A

## Optimization Design for the HVAC System of a Hotel Veranda

He Qingqing<sup>1</sup> Zhang Feng<sup>2</sup>

(1.China Shanghai Architectural Design & Research Institute Co., Ltd, Shanghai, 200063;

2.Chengdu JZFY Architectural Design Co., Ltd, Chengdu, 610021 )

**【Abstract】** This paper investigated the HVAC system of a hotel veranda using EnergyPlus during a typical summer day. Results show that the original design scheme cannot meet the thermal comfort. For the optimization design, through increasing the cooling capacity, adding interior shading and improve the air distribution, thermal comfort in the veranda is improved.

**【Keywords】** Thermal comfort model; PMV; Air distribution; Velocity field; Temperature field

作者(通讯作者)简介: 何青青(1986.11-), 男, 研究生, 中级工程师, E-mail: 624893635@qq.com  
收稿日期: 2019-05-24

## 0 引言

本文主要对敦煌国际酒店 1#新建连廊空调进行优化设计。利用 EnergyPlus 软件<sup>[1]</sup>对典型气象日空调热舒适性进行模拟, 发现现有风机盘管容量及气流组织不能满足空调热舒适性要求, 通过设置内遮阳, 减小夏季太阳辐射, 增加空调容量, 采用 EnergyPlus 软件模拟<sup>[2]</sup>得到的表面对流换热系数和围护结构传热量作为 FLUENT 初设条件, 对夏季设计日空调气流组织进行模拟优化, 确定合适的设备容量及气流组织方式。供今后类似的全玻璃幕墙、高辐射、高净高空调系统设计参考。

## 1 游廊空调负荷确定及优化

### 1.1 游廊空调系统



图 1 建筑模型图示

Fig.1 Schematic diagram of building model

如图 1 所示, 游廊是连接原有单体与周边新建温室、药材园、大堂、过厅的公共玻璃连廊, 是酒

店主要赏景、休憩空间,对空调热舒适性要求非常高。游廊净高 5m, 顶面、侧面均为玻璃幕墙, 敦煌夏季太阳辐射强度大, 夏季温室效应对空调效果影响特别大, 为了合理确定空调容量及提高室内热舒适性, 对游廊空调系统进行模拟; 游廊空调为风机盘管系统, 风机盘管设置在玻璃幕墙两侧吊顶内, 设计空调总冷负荷 513.9kW。

## 1.2 游廊原设计空调系统模拟

### 1.2.1 模拟目的

对现有的空调系统选型与布置是否满足舒适性要求进行模拟验证。按照现有空调系统设计给游廊及温室、药材园、过厅、大堂布置空调, 模拟得出游廊及温室、药材园、过厅、大堂的室内热环境<sup>[3]</sup>, 分析现有条件下室内热环境是否满足设计目标, 并提出优化措施。

### 1.2.2 模拟设置

以鸿业负荷计算软件计算得出的空调负荷<sup>[4]</sup>为输入边界条件, 在相应热分区内加入风机盘管空调系统, 如图 1 所示, 温室及其两边游廊为一个热分区, 按照现有空调系统设计情况, 风机盘管的总冷

负荷为 193.1kW; 大堂为一个热分区, 现有空调设计总冷负荷为 65.6kW; 过厅及其两边的游廊是一个热分区, 现有空调设计总冷负荷为 134.6kW; 药材园及游廊是一个热分区, 现有空调设计总冷负荷为 120.6kW。模拟空调系统时, 不考虑建筑与室外的空气交换, 也即所有建筑外门都是关闭的, 这也符合一般的建筑使用习惯。再者, 根据已有模拟结果, 甘肃敦煌的室外温度一般会比玻璃围护结构室内更低, 也就是室内外通风一般是有利于空调系统冷负荷降低的。因此, 本次模拟不考虑通过外门、外窗的室内外气流交换得出的空调系统冷负荷更能保证实际使用情况的舒适性效果。

### 1.2.3 模拟结果分析

(1) 四个热分区室内温度、PMV 值模拟结果分析

模拟现有空调设计条件下的室内空气温度及 PMV 值 (选取各热分区室内空气温度最高一天进行分析) 如图 2~图 5 所示, PMV 值在 -0.5~+0.5 为满足舒适性要求。

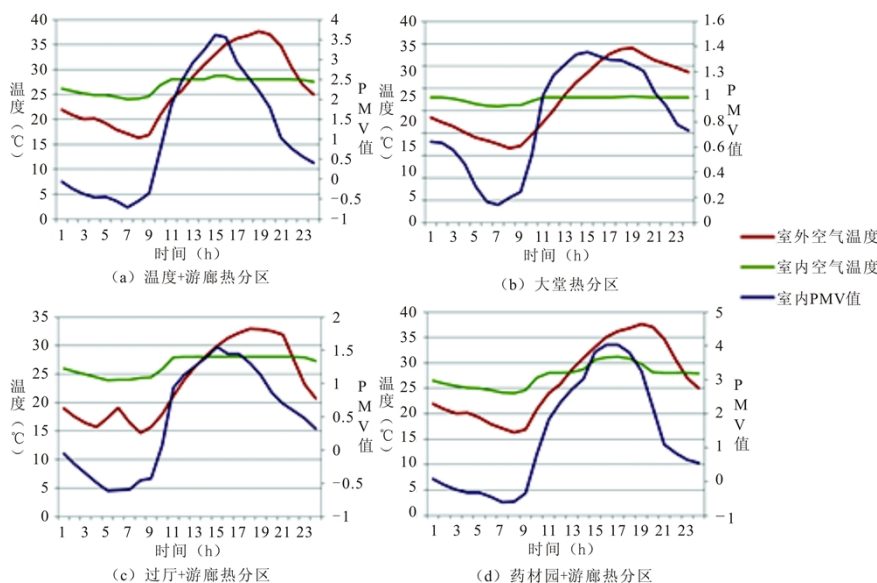


图 2 四个热分区的室内空气温度及 PMV 值

Fig.2 Indoor air temperatures and PMV of four thermal zones

图 2 为四个热分区夏季空调设计日计算得到的室内温度及 PMV 曲线图, 综合以上四个热分区模拟结果可见, 现有空调负荷设计只有过厅+游廊热分区能达到温度控制要求, 其他的热分区都有部分时刻室内温度达不到控制要求, 大堂热分区的不满足时刻的温度差值 (只有 0.2°C 左右) 会小一些,

而药材园+游廊热分区的不满足时刻更多、温度差值也更大 (最大有 6.2°C)。不满足温度控制要求的小时数及比例 (总小时数为 2208) 如表 1 所示, 表中的比例也可认为是现有空调负荷设计的一个“不保证率”, 如 1.8% 表示温室+游廊的热分区在现有空调设计下的“不保证率”是 1.8%。可知药

材园+游廊热分区的保证率高达 6.16%，而这些小时一般是下午，这是因为药材园+游廊热分区的长边为西向，且没有其他建筑物遮挡，下午接收的太阳辐射较大，室内温度就较高。太阳辐射对室内 PMV 值影响很大，夏季即使室内温度满足设计要求，太阳辐射也会导致人体感觉偏热，因此应该增加遮阳设施。

表 1 不满足空调控制温度的小时数

Table 1 Hours above the control temperature of air-conditioning system

	温室+ 游廊	大 堂	过厅+ 游廊	药材园+ 游廊
不满足温控小时数	4	6	0	136
不满足温控小时百分比 (%)	1.8	2.7	0	6.16

(2) 负荷模拟结果分析

表 2 计算空调冷负荷

Table 2 Calculated cooling load of air-conditioning system

冷负荷 (kW)	温室+ 游廊	大堂	过厅+ 游廊	药材园+游 廊
-1≤PMV≤1.0	210.3	69.4	109.1	144.1
-0.5≤PMV≤0.5	355.3	76.6	127.4	222.4
空调设计负荷 (kW)	193.1	65.6	134.6	120.6

表 2 是不同 PMV 计算条件下，不同区域空调系统计算冷负荷最大值，表中还列出了空调系统设计冷负荷，通过对比可见，只有过厅+游廊热分区

的现有空调负荷设计可以满足温度控制要求，其他热分区的 E+ 计算最大冷负荷都大于现有空调负荷设计，为了满足各区域热舒适性，需要加大空调负荷才能满足温度控制要求。热舒适性要求越高，计算冷负荷值越大，特别是温室、药材园，I 级热舒适比 II 级热舒适空调负荷增加 56%，比空调设计负荷增加近 85%，要满足 I 热舒适性，设计空调系统需要增加 85% 左右的风机盘管，对于节能很不利。因此将 II 级热舒适定为空调设计目标，这样空调冷负荷增加较少，同时对玻璃幕墙采取内遮阳措施，降低太阳辐射，提高室内热舒适性。

1.3 空调系统模拟优化

1.3.1 加大室内空调负荷模拟优化

根据 1.2 模拟结果增大设计空调负荷，可将原设计的 FCU-6 风机盘管型号改为 FCU-8，也即增加风机盘管的供冷能力，以便更好地满足游廊室内舒适性要求。因此，本次优化模拟时增加相应热分区的风机盘管最大冷负荷（如表 1 所示，大堂原来设计的风机盘管就是 FCU-8，所以最大冷负荷不变），得出室内的空气温度及 PMV 值。

表 3 风机盘管型号增大前后各热分区最大冷负荷对比

Table 3 Comparison of maximum cooling load of thermal zones under different fan coil systems

热分区	温室+ 游廊	大 堂	过厅+ 游廊	药材园+ 游廊
原来设计最大冷负荷 (kW)	193.1	65.6	134.6	120.6
风机盘管型号增大后最大冷负荷 (kW)	222.5	75.6	134.6	137.4

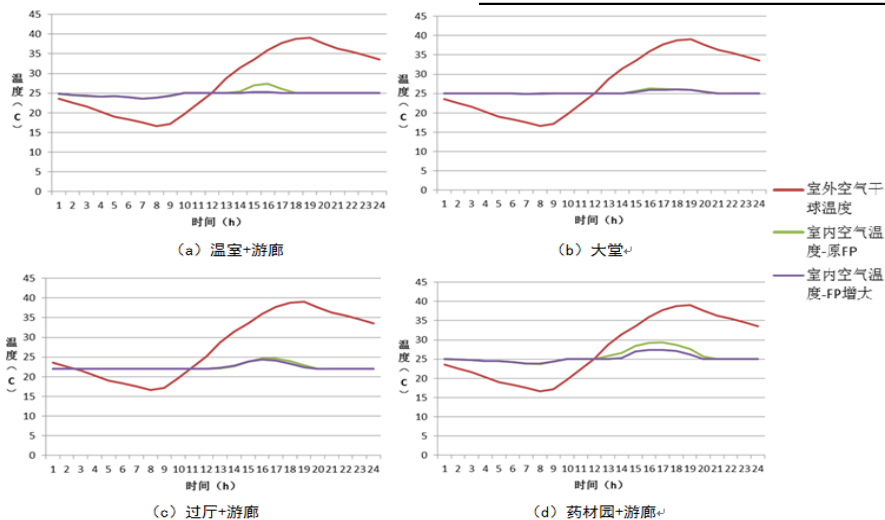


图 3 风机盘管型号增大前后各热分区室内空气温度变化对比

Fig.3 Indoor air temperatures of thermal zones under different fan coil systems

比较风机盘管型号增大前后的室内空气温度变化,如图 3 所示。由图可见,风机盘管型号增大后,温室+游廊、药材园+游廊热分区的下午时段室内空气温度会有一定降低;大堂的风机盘管型号不变,所以温度基本不变,图 3(b)中的些许降低是因为与大堂连接的游廊内风机盘管型号增大,使得游廊内温度降低,游廊与大堂产生气流交换会使大堂的空气温度稍微降低一些;过厅+游廊室内空气温度是最低的,增大风机盘管型号后也会使室内温度有些降低。

同时,将风机盘管型号增大前后各热分区室内的空气温度及 PMV 值对比情况列于表 4 中。风机盘管型号增大后,除药材园+游廊(只有 5 个小时达不到 26℃温控要求)外,所有热分区的所有时刻室内空气温度都能达到温控要求。大堂风机盘管型号不变,然而当于其连接的游廊风机盘管型号增大后所有时刻也能达到温控要求,这也是因为游廊与大堂连通换气的原因。因此,风机盘管型号增大后,基本所有热分区都是满足温控要求的。

表 4 各热分区不同室内参数小时数对比

Table 4 Indoor parameter hours of thermal zones

热分区 小时数 (h)	温室+ 游廊	大堂	过厅+ 游廊	药材园+ 游廊
室温>26℃ (原设计)	4	6	0	136
室温>26℃ (优化后)	0	0	0	5
PMV>+0.5 (原设计)	630	37	0	690
PMV>+0.5 (优化后)	594	9	0	644
PMV>+1.0 (原设计)	430	0	0	494
PMV>+1.0 (优化后)	366	0	0	418
PMV>+2.0 (原设计)	51	0	0	87
PMV>+2.0 (优化后)	20	0	0	34
PMV>+3.0 (原设计)	0	0	0	0
PMV>+3.0 (优化后)	0	0	0	0

除过厅+游廊热分区外,其他热分区都存在 PMV 值>+0.5 的时刻,也即不满足舒适性要求且偏暖或热的时刻。风机盘管型号增大后会使得 PMV 值>+0.5 的时刻减少,PMV 值>+1 的时刻也会更少。根据 Fanger 热舒适性评价体系,PMV 值大于 2 会使人感觉暖,达到 3 就会使人感觉热,可知所有热

分区都不会存在使人感觉热的时刻。根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50736—2012)规定<sup>[5]</sup>,I 级舒适性 PMV 范围为 -0.5~+0.5,II 级舒适性 1PMV 范围为 -1~+1。则风机盘管型号增大后,只有温室+游廊和药材园+游廊两个热分区存在不满足 II 级舒适性要求的时刻。这是因为温室和药材园是玻璃幕墙建筑,透射太阳会比较大,即使空调运行后室内空气温度还会较高。

### 1.3.2 增加遮阳模拟优化

风机盘管型号增大后,如果再将遮阳加到温室与药材园的玻璃幕墙上,温室+游廊和药材园+游廊两个热分区的 PMV 值如表 6 所示。可知,采取遮阳后室内的 PMV 值不满足舒适性要求的小时数明显减少,不满足 II 级舒适性要求的小时数就更少了,且基本都在 8 月份的下午时段。

表 5 遮阳前后玻璃幕墙太阳得热系数 (SHGC) 对比

Table 5 SHGC under different shadings

不采取遮阳的 SHGC	0.33
采取遮阳的 SHGC	0.217

表 6 遮阳前后室内 PMV 值对比

Table 6 Indoor PMV under different shadings

	温室+游廊	药材园+游廊
遮阳前 PMV>+0.5 小时数	594	644
遮阳后 PMV>+0.5 小时数	419	442
遮阳前 PMV>+1 小时数	366	418
遮阳后 PMV>+1 小时数	93	63

模拟得出的结论是:与过厅连接的游廊的风机盘管型号没有必要加大,因为原有型号就可以满足舒适性要求;只需将其他游廊内的风机盘管型号增大并在温室及药材园的玻璃幕墙上增加遮阳系统,就可使不满足舒适性要求的小时数大大减少。

## 2 游廊气流组织模拟优化

### 2.1 模拟目的

为了比较分析游廊室内空气在两种不同气流组织形式,对游廊进行 CFD 模拟<sup>[7]</sup>。模拟工况:甘肃敦煌空调夏季设计工况,室外干球温度为 34.6℃;两种工况又分别对侧送风与下送风的气流组织进行模拟。

### 2.2 模型及模拟设置

CFD 模型尺寸与施工图一致，外墙从低到高分别设置为石材、外窗玻璃、铝材，采光天窗也为玻璃，地面及其他面考虑到热阻较大或两边环境温度差较小、换热量较小，可设为绝热面。送风口设为速度入口，给定速度大小和温度<sup>[9]</sup>，风机盘管的进风口温度设为 26℃，送风温度 17℃，进风口风速设为 2.5m/s，回风口设为自由出口<sup>[10]</sup>。

室外空气温度、外表面（含屋顶）对流换热系数与外墙（含外窗）、天窗吸收的太阳辐射值采用 energyplus 计算的结果，外表面对流换热系数根据室外空气流速以及外表面与室外空气温度差采用经验公式计算得出。

### 2.3 模拟结果

对侧送下回、下送侧回两种气流组织方式下游廊夏季空调温度场表明：夏季工况下，侧送风在游廊玻璃顶下行程涡流区域，而下部人员活动区域（1.5m 左右）温度为 26~28℃，特别是在靠近外玻璃幕墙附近行程送回风气流无法到达的低速涡流区，温度达到 30℃左右；而下送风整体温度场较好，基本没有气流死区，靠近外幕墙区域为送风扩散区，温度 23℃左右，而游廊中间人员活动区域（1.5m 左右）温度为 24~26℃，保证了人员主要活动区域舒适性。综合以上分析，空调采用下送侧回气流组织方式更加合理。

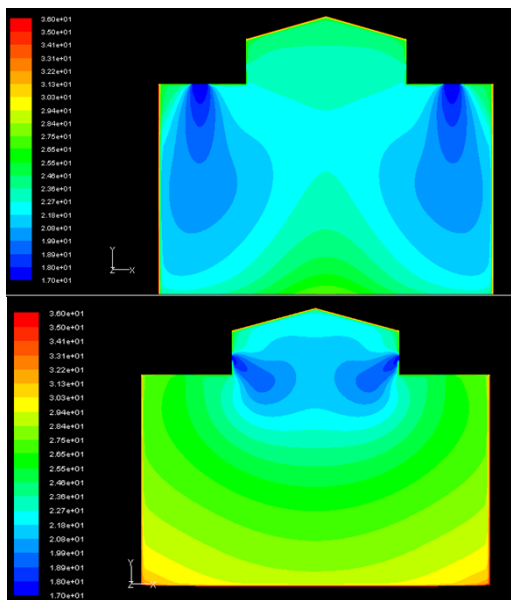


图 4 夏季不同送风方式温度场对比

Fig.4 Temperature fields under different air supply modes in summer

### 3 结论

采用 EnergyPlus 软件对游廊四个热分区室内温度、舒适度模拟，仅过厅能够满足设计要求，其他三个热分区设计空调冷负荷均偏小。采用适当加大设备容量、增加内遮阳的策略来解决房间过热问题。风机盘管型号由 FCU6 加大至 FCU8，设置内遮阳后的模拟结果表明，室内温度均能够满足设计值，室内 PMV 值大于 1 的小时数大大减小，各热分区基本满足 II 级舒适性要求。采取内遮阳后，太阳得热系数（SHGC）同比遮阳前减小 34%，室内 PMV 值也得到优化。

采用 EnergyPlus 软件模拟得到的太阳得热、热流量作为热边界条件对侧送下回、下送侧回两种气流组织方式下游廊空调气流组织模拟表明，采用下送侧回气流组织方式更加合理。

在实际工程中利用 EnergyPlus、Fluent 模拟软件对全玻璃幕墙、强太阳辐射、高净高建筑空调进行了优化设计，并模拟验证空调设计结果，本项目已经竣工完成，并经过三年运行，运行效果良好。

### 参考文献：

- [1] 潘毅群.实用建筑能耗模拟手册[M]北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [2] 潘毅群, 吴刚, Volker Hartkopf. 建筑能耗分析软件 EnergyPlus 及其应用[J]暖通空调,2004,34(9):2-7.
- [3] 刘斌, 吕建. 能耗模拟在建筑节能改造中的应用[J]. 建筑节能, 2008, (9):46-48, 58.
- [4] GB 50189—2015, 公共建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [5] 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.
- [6] 曾源, 贾衡, 李炎锋. 风机盘管空调系统夏季节能模拟与控制研究[J]. 暖通空调, 2006, (11):117-120, 112.
- [7] 丁杰, 黄虎, 汪仲亮. 干式风机盘管加独立新风系统气流组织研究[J]. 建筑热能通风空调, 2016, 35(5): 12-15, 60.
- [8] 赵彬, 李先庭, 彦启森. 暖通空调气流组织数值模拟的特殊性[J]. 暖通空调, 2004, (11):122-127.
- [9] 赵彬, 李先庭, 彦启森. 室内空气流动数值模拟的风口模型综述[J]. 暖通空调, 2000, (5):33-37.
- [10] 赵彬, 李先庭, 彦启森. 百叶风口送风射流的数值模拟[J]. 暖通空调, 2001, (6):86-89.

