

深圳机场 T3 航站楼空调通风系统设计

北京市建筑设计研究院 方 勇[☆]

摘要 详细介绍了该工程外围护结构热工分析、设计参数确定、负荷计算、自然通风设计、空调风系统等。阐述了航站楼气流组织模拟结果,重点分析了空调树单元末端的设计,并给出了全年能耗模拟结果。

关键词 航站楼 高大空间 空调 节能 CFD

Design of air conditioning and ventilation system in Shenzhen Airport Terminal 3

By Fang Yong[★]

Abstract Describes in detail the thermodynamic analysis of outer envelopes, determination of the design parameter, load calculation, natural ventilation designing, duct system, etc. Expounds the simulation result of air distribution of the building, and emphasizes the unit terminal design of the air conditioning tree, and provides the simulation result of annual energy consumption.

Keywords terminal, large space, air conditioning, energy saving, computational fluid dynamics

★ Beijing Institute of Architectural Design, Beijing, China

①

0 概论

深圳宝安国际机场 T3 航站楼(效果图见图 1)设计目标年为 2035 年,总建筑面积 45.1 万 m²。分为航站主楼和指廊候机厅两部分,共 62 个近机位和 15 个远机位。预计年旅客吞吐量 4 500 万人次,其中国内旅客 3 600 万人次,国际旅客 900 万人次,预计高峰小时旅客人数为 13 716 人,年飞机起降架次为 37.5 万架。

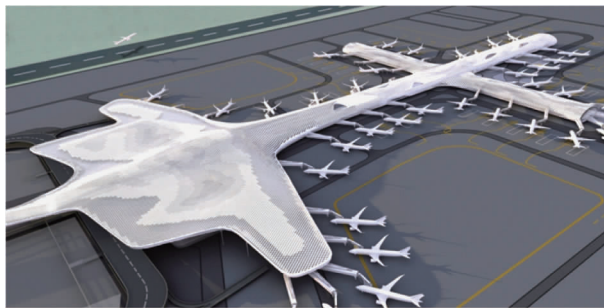


图 1 深圳机场 T3 航站楼外观

航站楼及其配套能源中心照明配电、空调系统、机电设备等运行能耗占整个机场能源消耗量的 60% 以上。因此,在工程建设初期就引入绿色建筑的概念,并以相关的科研成果、设计规范为依据,指导工程设计。

1 航站楼幕墙体系的确定

深圳市地处东南沿海,属夏热冬暖地区。当地长夏无冬(全年空调季长达 270 d 以上),温高湿重。年平均气温为 22.6 °C,年平均相对湿度为 79%。最热月(7 月份)平均温度为 28.4 °C,极端最高气温为 38.7 °C,年日平均气温 ≥ 25 °C 的时间为 100~200 d。太阳辐射强烈,年太阳辐照量为 5 225 MJ/m²。

1.1 玻璃材质的确定

除首层围护结构采用实体外墙外,玻璃幕墙构成了深圳机场 T3 航站楼工程的主要外围护体系。因而,玻璃材质的选择决定了航站楼围护结构能耗的高低。

在我国南方地区,夏季室内外温差较小,传热对空调负荷贡献较小,夏季冷负荷以太阳辐射通过玻璃进入室内的热量为主,玻璃遮阳系数(S_c)对围护结构冷负荷的影响远大于传热系数(K)。因此,遮阳系数(S_c)成为玻璃材质选择的首要参数。

①☆ 方勇,男,1970 年 2 月生,大学,高级工程师,副主任工程师
100045 北京市南礼士路 62 号北京市建筑设计研究院
(010) 88043168
E-mail: biadsz@163.com
收稿日期:2011-09-05
修回日期:2011-09-15

SZJG 29—2009《公共建筑节能设计标准》的要求和设计采用的传热系数和综合遮阳系数见表 1。

表 1 传热系数和综合遮阳系数

		$K/(W/(m^2 \cdot K))$	综合遮阳系数 S_c (东南西北)
屋顶透明部分		≤ 3.5	≤ 0.31
单一朝向	$0.2 < \text{窗墙面积比} \leq 0.3$	≤ 4.7	$\leq 0.45/0.54$
外窗(包	$0.3 < \text{窗墙面积比} \leq 0.4$	≤ 4.5	$\leq 0.40/0.49$
括透明	$0.4 < \text{窗墙面积比} \leq 0.5$	≤ 3.0	$\leq 0.36/0.45$
幕墙)	$0.5 < \text{窗墙面积比} \leq 0.6$	≤ 3.0	$\leq 0.33/0.42$
	$0.6 < \text{窗墙面积比} \leq 0.7$	≤ 3.0	$\leq 0.31/0.40$
	$0.7 < \text{窗墙面积比} \leq 1.0$	≤ 3.0	$\leq 0.21/0.28$

1.2 航站楼幕墙体系的确定

1) 实体幕墙为外挂铝板幕墙体系,采用外挂铝板,内侧填挂 100 mm 厚防水玻璃丝保温层,传热系数 $\leq 0.4 W/(m^2 \cdot K)$;

2) 公共区玻璃幕墙为断桥隔热幕墙体系,采用双银 Low-e 镀膜中空玻璃,幕墙系统整体传热系数为 $3.5 W/(m^2 \cdot K)$,遮阳系数 $S_c < 0.31$,阳光透射比 $\leq 50\%$,阳光外反射比为 12% ;

3) 屋面幕墙为断桥隔热幕墙体系,采用夹层钢化中空双银 Low-e 镀膜玻璃,可见光透射比 0.71 ,幕墙系统整体传热系数为 $3.0 W/(m^2 \cdot K)$,遮阳系数 $S_c < 0.31$ 。

1.3 幕墙体系的节能效果

幕墙体系节能计算结果表明:与基于 SZJG 29—2009 建立的标准围护结构相比,现行建筑航站楼主楼年平均得热量减少约 3% ,指廊部分年平

均得热量减少约 9% 。

2 室内设计参数的确定

室内设计参数的确定是获得适宜的室内热环境的前提,也是空调系统节能的基础。

衡量室内热环境的主要参数是温度、相对湿度及室内风速。GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》中对舒适性的定义为:温度 $24 \sim 28 ^\circ C$,相对湿度 $40\% \sim 65\%$,风速不大于 $0.3 m/s$ 。

许多人存在概念上的误区,认为深圳地区温高湿重,夏季室内温度越低越好,应选定为 $24 ^\circ C$ 。其实,这并不完全符合华南地区的气候特点、人们对地方气候的适应能力及生活习惯。资料表明,当辐射温度为 $27.8 \sim 29.7 ^\circ C$ 、相对湿度为 $84\% \sim 90\%$ 、气流速度为 $0.05 \sim 0.2 m/s$ 、人体皮肤温度为 $29.7 \sim 32.0 ^\circ C$ 时,室内温度达到 $27 \sim 29 ^\circ C$ 即可使人体感到舒适。 $30 \sim 32 ^\circ C$ 是人体可忍受的温度, $33 ^\circ C$ 以上是人体感到过热的温度。因此,室内温度设定为 $26 ^\circ C$ 符合人体热舒适度的要求。同时,相对较高的室内设计温度,还可防止目前华南地区由于相对温差过大引起冷伤风等“空调病”。

T3 航站楼较低的冷水供水温度($5.5 ^\circ C$)、较大的送风温差(全空气送风系统温差为 $12 ^\circ C$),可以使航站楼室内获得更低的相对湿度(可低于 50%),为在不影响室内舒适度的前提下适当提高室内设计温度提供了基础条件。确定的室内设计参数见表 2。

表 2 室内温湿度设计参数

房间功能	夏季		人员密度/ ($m^2/人$)	人均新风量/ ($m^3/(人 \cdot h)$)	照明强度/ (W/m^2)	设备散热/ (W/m^2)	A 声级噪声标准/ dB
	设计温度/ $^\circ C$	相对湿度/ $\%$					
值机大厅	26	≤ 55	5.5	30	10	15	≤ 50
行李提取厅	26	≤ 55	4	25	10	15	≤ 50
安检大厅	26	≤ 55	6	30	10	15	≤ 50
候机大厅	26	≤ 55	5	30	10	15	≤ 45
航站楼餐饮区	26	≤ 55	4	20	15	15	≤ 50
航站楼商业区	26	≤ 55	6	25	20	110	≤ 50
驻场办公区	26	≤ 55	6	30	15	25	≤ 45

3 空调负荷计算

航站楼建筑具备的共同特点为:流线型的整体屋面,巨大的挑檐;高低起伏变化的幕墙;垂直连通的高大空间;大面积的内区房间;有规律排布的巨大天窗等。使用传统的空调负荷计算方法难以获得较准确的空调负荷计算结果。笔者通过 DeST 动态模拟计算软件,采用典型年的室外气象条件来模拟分析建筑热环境。

为了使空调负荷计算更加接近真实,同时相对降低计算强度。在计算时,将航站楼建筑进行有效分区,对于复杂、高大空间(如围护结构为玻璃幕墙的值机出港大厅、到港大厅、行李提取大厅等公共区域),运用动态模拟软件 DeST 进行全年逐时空调负荷模拟计算分析,对于建筑内区运用传统的冷负荷系数法完成围护结构负荷计算。室内发热部分按传统计算方法

计算。航站楼指廊剖面图见图 2,空调冷负荷分类统计图见图 3。空调系统冷量分类统计及冷负荷指标见表 3,4。

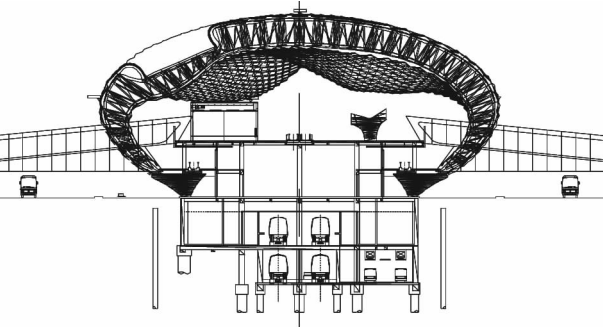


图 2 航站楼指廊剖面图

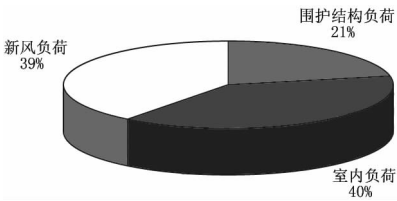


图 3 空调冷负荷分类统计图

在冷负荷的构成(见图 3)中,新风负荷占航站楼总负荷的比例达 39%,已远远超过围护结构的负荷,与室内发热负荷基本持平。在室内负荷相对稳定、外围护结构材料、做法确定的情况下,采取减小新风负荷的节能措施是降低航站楼全年空调能耗的重要手段。

表 3 空调系统冷量分类统计(按末端冷量)

	全空气系统	内区新风系统	厨房通风系统	电气通风系统	登机桥系统	风机盘管系统	合计
冷量/kW	53 471	2 486	4 894	2 181	1 674	4 003	68 709
比例/%	78	4	7	3	2	6	100

表 4 空调系统冷负荷指标

	面积/(10 ⁴ m ²)	冷负荷指标/(W/m ²)
建筑面积	45.1	152.3
空调面积	30.5	225.2

减小新风负荷的主要途径有:提高幕墙围护结构的气密性,减少空气渗透量;确定合理的新风指标,在满足室内舒适度的前提下,减少新风总量;设置带排风热回收装置的新风机组(PAUE),降低新风系统能耗;在航站楼人员密集场所,设置全空气变风量、变新风比系统(风机变频调节,无变风量末端),风量变化范围为 50%~100%。

可变新风比有两种调节方式:双位调节和从最小新风比到全新风的连续调节。结合系统送风量调节,以最小新风比 30%为例,采用双位调节时,系统新风量可调节范围是 15%~30%及 50%~100%。采用连续调节时,系统新风量可调节范围是 15%~100%。两者相比,前者系统新风量仅缺失 30%~50%这一区间。而且,系统最小新风比与系统最小风量比越接近,双位调节的可调区间范围越接近连续调节。由于航站楼采用了大温差送风系统,系统送风量相对较小。在最小新风量相同时,系统的最小新风比相对较高,大多在 30%~50%之间,最高达 64%。即使采用双位调节可变新风比形式,系统的新风量调节范围也是相对较大的,具有相当好的负荷调节性能。而采用双位调节阀位切换简单易行,具有较强的实用性及可实施

性。因此,该系统采用双位调节方式。

4 自然通风

根据 ASHRAE Standard 55-2004 标准,自然通风状态下,为使人员热舒适满意率达到 90%,最高室内温度≤26℃的要求,室外月平均温度应≤19.0℃。

深圳市属于亚热带地区,虽然在一年大部分时间内温湿度较高,但在晚秋至早春时节(12 月到次年 2 月),月平均气温在 15~20℃,月平均风速为 3.0~3.1 m/s,具备自然通风的条件。

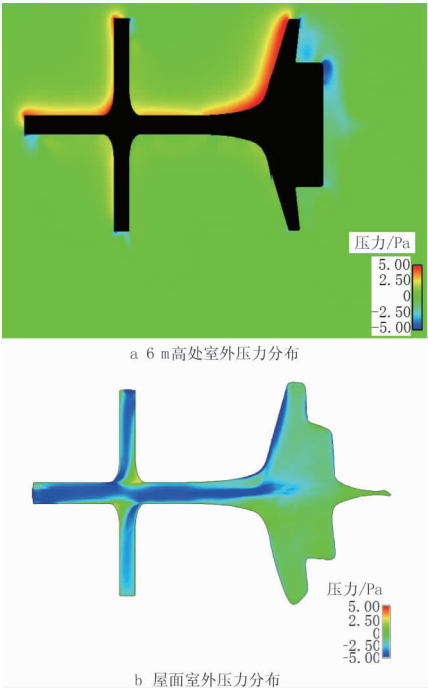
深圳市主导风向以东北风、东北偏北风为主,但航站楼对空侧面受航班的频繁起落影响较大,发动机噪声及含有航空燃料燃烧产生的尾气,使得室外空气的品质较差。从而限制了自然通风进、排风口位置的选择。自然通风进排风口设计见表 5。

表 5 自然通风进排风口

进风口	位置	面积/m ²	排风口	位置	面积/m ²
IN 09	4.4 m 东侧	60.0	OUT 09	屋面	210.6
IN 10	4.4 m 西侧	60.0			
IN 11	4.4 m 南侧外门	115.0			
总计		235.0	总计		210.6

模拟结果表明,自然通风的进、排风口处压力相当,不会造成“通风下贯”的情况。可利用稳定的热压作用进行自然通风,营造稳定的室内热环境(见图 4)。

由于设计通风出口位置在值机大厅中部上空



注:十字候机指廊方向(左侧)为北向,航站楼主楼方向(右侧)为南向。

图 4 6.0 m 高处及屋面室外压力分布

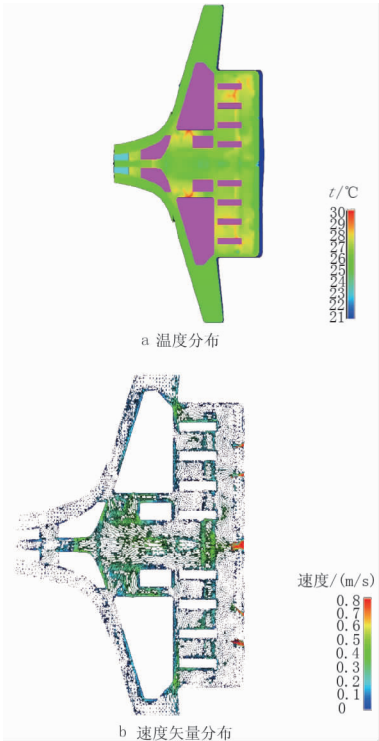


图 5 +14.4 m 层(距地面 1.6 m 高位置)自然通风温度分布、速度矢量分布

区域,与大厅入口相对,有利于通风向安检区域流通。自然通风状况下,+14.4 m 值机大厅、安检大厅室内温度介于 25~26.5℃之间,风速在 0.2~0.4 m/s 之间。基本能够满足室内人员热舒适度的要求(见图 5)。

5 空调风系统

1) 航站楼内诸如值机大厅、候机大厅、行李提取大厅、安检大厅等人员密集,有较严格室内环境温湿度控制要求的空间,设置一次回风、可变新风比、双风机变风量全空气系统。全空气机组采用风机变频运行,并配置相应的排风机组。

考虑到电气专业“谐波治理”的难度及投资规模、后期维护等因素,全空气空调机组风机功率<15.0 kW 的系统采用定风量运行方式。定风量系统约占 30%。

2) 冷水系统及空调送风系统的“大温差运行”(冷水供/回水温度为 5.5℃/14℃,空调送风温差为 12℃),在保证室内环境热舒适度的基础上,降低空调介质输送系统管道(风管、水管)的占用空间。

3) 对于建筑层高超过 10 m 的高大空间,采用分层空调的气流方式,形成多股平行非等温射流,

将空间隔断为上、下两部分,仅下部空间为空调区,减少了能量的消耗。

4) 高大空间空调末端采用喷口送风,利用射流带动室内空气进行强烈混合,在室内形成强大的回旋气流,从而使空调区获得较均匀的温度场和速度场。

5) 照明及室内设备发热量较大的内区(商业区域),设置全年供冷风机盘管系统负担部分室内负荷,另设置全空气系统负担部分室内负荷及全部人员、新风负荷。

6) 各房间要求温湿度独立调节的内区办公区域设置新风加风机盘管系统。新风机组设置排风热回收装置。

7) 厨房送风(含全面送风、灶具排风补风)及变配电间、开闭站送风均采用直流送风系统,送风机组为普通新风机组。

8) 除有特殊要求的弱电机房设置机房专用精密空调机组外,其余弱电机房均设置明装落地风机盘管。

9) 综合考虑建筑标准、机场站坪室外空气质量及投资规模等因素,所有空气处理机组均设置了粗效(G4)和中效(F7)两级过滤段。同时,为从航

站楼对空侧面采集新风的机组预留了加装活性炭过滤段的条件。

6 气流组织

在 T3 航站楼项目的设计过程中,建设方委托某咨询公司对 T3 航站楼进行了全楼的气流组织模拟分析,为航站楼通风空调系统设计、优化修正提供了理论依据。

由于本工程尚在施工建设的过程中。因此,目前还无法对 CFD 模拟的结果进行实际检验。

十 4.4 m 层迎客大厅与行李提取大厅的温度场、速度场的流场分布特点:流场分布均匀,无明显射场空洞;热舒适度好,温度在 $24.0 \sim 27.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;在某些特殊的位置(图 6 中圈出的部位)温度较高,需采取强化措施。温度和速度的模拟结果见图 6。

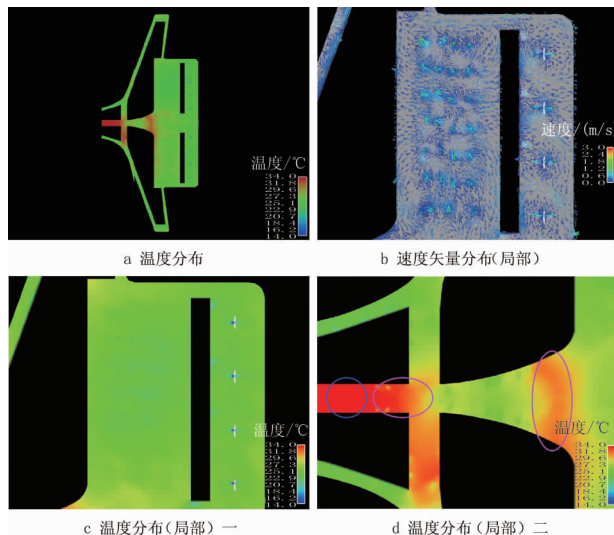


图 6 +4.4 m 层(距地面 1.6 m 高位置)
温度分布、速度矢量分布

十 8.8 m 层国际安检大厅的温度场、速度场的分布特点:温度分布均匀,在 $24.0 \sim 27.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,风速在 0.8 m/s 以下,满足人员热舒适要求;候机大厅部分空间(圆圈圈出的部位)温度稍高,约为 $28.0\text{ }^{\circ}\text{C}$;国际安检区温度较低,约在 $23.0 \sim 25.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;8.8~14.4 m 的扶梯部位(图 7 中圆圈圈出的部位)温度较高,可能造成人员的不舒适感。模拟结果见图 7。

十 14.4 m 层值机大厅的温度场、速度场的分布特点:由于本层以“空调树送风喷口”送风为主,因而室内温度场并不非常均匀,但温度和速度差不大,对室内人员热舒适度和吹风感并无不

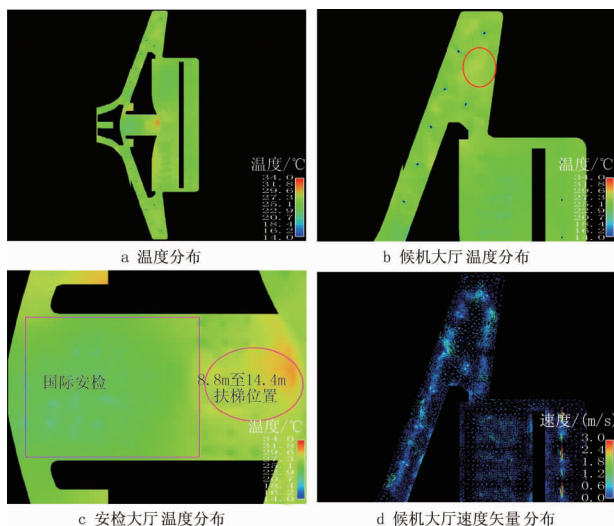


图 7 +8.8 m 层(距地面 1.6 m 高位置)
温度分布、速度矢量分布

良影响;值机大厅的温度约在 $25.0 \sim 27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,国内安检区温度约在 $25.0 \sim 27.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;考虑到国内安检区人员密集,再加上安检柜台等设施对气流组织的遮挡、滞留,在设计阶段后期通过调整“空调树送风喷口”方向、增加局部循环风系统等强化措施,进一步提高热舒适度。模拟结果见图 8。

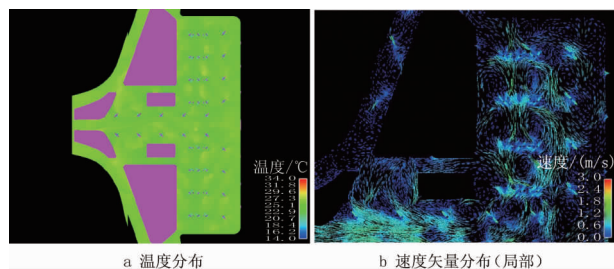


图 8 +14.4 m 层(距地面 1.6 m 高位置)
温度分布、速度矢量分布

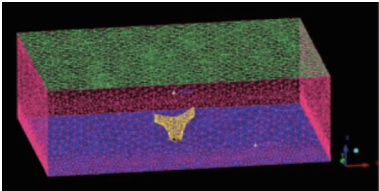
7 新颖的空调末端——“空调树”单元

深圳机场 T3 航站楼高大空间内的空调末端——“空调树”单元,被誉为“深圳机场的亮点”。从早期的“送风亭”到机电单元“罗盘箱”,再到“空调树”单元,既是空调末端功能不断强化的过程,也是空调末端融入建筑景观的过程。

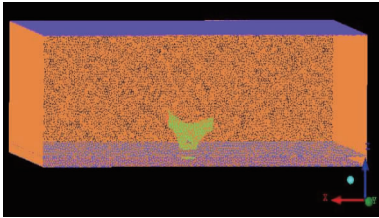
7.1 计算模型及边界条件

计算模型见图 9。改造前的边界条件:计算区域 $60\text{ m} \times 40\text{ m} \times 20\text{ m}$ ($x \times y \times z$),网格数约 48 万;空调树的送风量 $25\,000\text{ m}^3/\text{h}$,送风喷口风速 10.46 m/s ,送风温度 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$;改造时增加周边渗透

送风,改造后的边界条件:计算区域尺寸同改造前,网格数约 40 万,空调树的送风总量仍为 25 000 m³/h,其中喷口送风量 17 500 m³/h,风速 10.46 m/s,周边渗透送风量 7 500 m³/s,风速 3.5 m/s,送风温度仍保持 14 ℃。



a 改造前

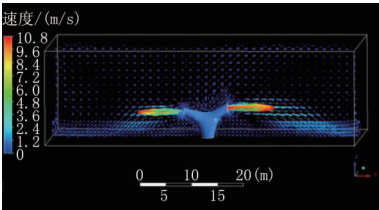


b 改造后

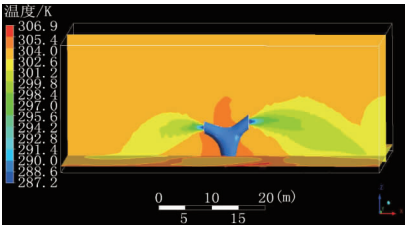
图 9 计算模型

7.2 对“空调树”送风单元的改造(见图 10,11)

图 10a 中,空调树单元的气流组织的导向性较强。空调树的送风方向上气流的扰动明显,覆盖范围较大(约为距离送风口 20 m 的范围)。图 10b 中,空调树单元根部周围,空气扰动较小,气流无法到达,存在旋涡,环境品质较差。温度也较高于设计温度(26 ℃)。

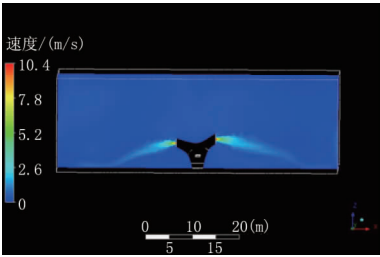


a 速度场分布

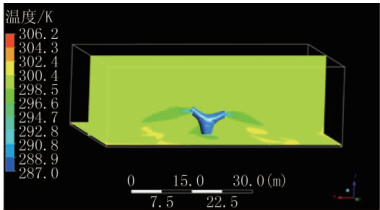


b 温度场分布

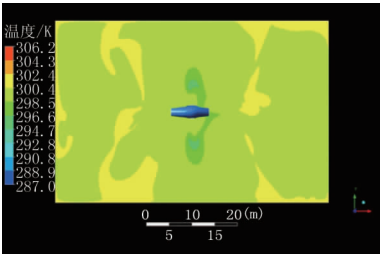
图 10 沿空调树送风方向(y=20 m)的速度和温度分布(改造后)



a 沿空调树送风方向(y=20 m)的速度场分布



b 沿空调树送风方向(y=20 m)的温度场分布



c 空调树高度方向(z=0.5 m)人员活动区的温度分布

图 11 沿空调树送风方向的速度和温度分布(改造后)

图 11a 中,空调树的树杈送风口送风速度基本满足空间需求,其覆盖范围基本到达模拟计算边界,轴线中心送风口送风速度偏小,其覆盖范围半径约 6 m;散热负荷略偏大并且存在涡旋,在 z=0.5 m 处小部分区域温度高于设计温度(26 ℃)。

通过分析,造成最初的空调树送风单元作用效果不理想的主要原因在于,送风单元自身无回风口,无法通过回风形成送风单元周边(4~5 m 范围内)的气流扰动。另外,由于送风单元实际有效送风面积较小,空调树对温度的控制范围有限。因此,应减少送风单元的喷口送风量,改为渗透送风,增加送风单元周边的气流扰动,使单体空调树的气流组织更加趋于合理。同时,应将送风单元的间距控制在 20 m 之内,形成均匀稳定的室内环境。

8 全年能耗模拟

在施工图设计阶段结束之后,建设方委托某咨

询公司对航站楼工程进行了能耗模拟,从第三方的角度对航站楼工程进行了能耗模拟评价(见图 12 及表 6)。

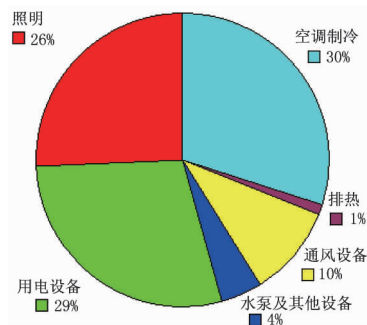


图 12 能耗模拟结果

表 6 基准模型与设计模型的能耗对比

	全年能耗/ ($10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$)	全年电费/ 万元	单位面积能耗/ (kW/m^2)	单位面积电费/ (元/ m^2)
深圳基准模型	159	12 633.5	352.5	280.0
现行设计模型	143	9 417.2	317.0	208.8

由表 6 可知,现行设计模型年平均节能 10%,年平均节能费用为 25%。

9 结语

建筑服务于社会,通风空调的设计不仅应注重节能降耗,更应注重人员对于室内环境的感受。随着深圳机场 T3 航站楼的投入使用,在设计过程中采用的理论分析、模拟计算、系统设计及控制原理都将得到全面的检验,所提供的室内环境也将得到公众的评价,而回馈的信息也必将有助于完善设计体系。

参考文献:

- [1] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2008
- [2] 薛志峰. 公共建筑节能[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007
- [3] 吴念祖. 浦东国际机场二期工程节能研究[M]. 上海:上海科学技术出版社,2008
- [4] 王红朝,李百公. 深圳宝安国际机场 T3 航站楼中央空调系统节能研究咨询报告书[R]. 深圳:华森建筑工程咨询有限公司,2007
- [5] 奥雅娜工程咨询(上海)有限公司深圳分公司. 深圳宝安国际机场 T3 航站楼可持续设计咨询最终报告[R],2010