

文章编号: 1671-6612 (2019) 01-033-7

# 人民广场换乘大厅环控设计及运行能耗咨询

姜秀鹏

(上海冠丰房地产发展有限公司 上海 201100)

**【摘要】** 暖通空调设计的最终目的是满足人们日常生活舒适需要, 暖通空调整体设计的目标就是舒适, 通风与节能成为矛盾的两大因素。总体建筑施工过程中, 技术工作人员依靠其他设备的性能, 比如气流模拟, 科学的对室内通风管路体系进行设计, 从而抵御外界气候变化, 这样不但可以提高施工效率, 而且更好的达到节能效果。

**【关键词】** 暖通空调; 气流模拟; CFD 技术; 设计; 节能  
中图分类号 TU8 文献标识码 A

## Design and Operation of Energy Consumption Consultation on the Design and Operation of the Ring Control in the People's Square Transfer Hall

Jiang Xiupeng

(Shanghai Guan Feng Real Estate Development Co., Ltd, Shanghai, 201100)

**【Abstract】** The ultimate goal of HVAC design is to meet people's daily life comfort needs. The goal of HVAC's overall design is comfort, and ventilation and energy saving become the two major factors of contradiction. The whole process of construction, technical staff rely on other devices, such as airflow simulation, scientific design of the indoor ventilation pipeline system, so as to resist external climate change, it can not only improve the efficiency of construction, and achieve better energy-saving effect.

**【Keywords】** HVAC; air flow simulation; CFD technology; design; energy saving

## 0 引言

在本次换乘大厅的气流组织评估中, 就运用了 CFD 模拟技术, 在气流组织模拟的基础上对室内温度分布和舒适性进行分析。希望通过计算机模拟预测, 在工程的初步设计阶段就发现今后运行中可能出现的问题, 并及时提供改进建议, 实现创造优质工程的目的。

## 1 人民广场换乘大厅项目概况

人民广场换乘大厅工程位于人民公园内北部、西藏中路和九江路路口的西南方。换乘大厅建成后, 将能够实现地铁 1 号线、2 号线以及 8 号线方便换乘的目的。

对于人民广场附近这样一个直接体现城市形

象的重要交通枢纽, 建设方精心谋划, 努力将人民广场换乘大厅建成体现“城市让生活更美好”理念的一个亮点, 确保人民广场换乘大厅建成一个“舒适”、“节能”、“环保”的优质工程。

为此, 考虑到人民广场换乘大厅属于高大空间, 建筑面积近 8000m<sup>2</sup>, 层高约 5~7m, 天窗处层高达 10m 左右。而且换乘大厅还存在布置送风管、送风口的位置受限等客观条件的制约, 增加了空调系统气流设计的难度。同时高大空间非常容易造成因室内冷热不匀而影响今后日常使用的舒适性问题。

## 2 换乘大厅及原空调系统设计介绍

设计院根据现有的相关设计规范, 在前期已经

进行了大量的设计和优化工作,如提出在换乘大厅内侧(位于换乘大厅东北角)布置2台空调机组,能明显改善换乘大厅的空调效果,是非常值得肯定的。换乘大厅及原空调系统的设计情况简单介绍如下。

换乘大厅建筑及原空调系统的初步设计如图1所示。整个换乘大厅类似一个三角形,东侧与1号线和8号线相邻,北侧与2号线相邻,西南侧面向人民公园。根据设计单位提供的图纸和信息,整个换乘大厅建筑面积近8000m<sup>2</sup>。从自然采光和室内美观的考虑,在换乘大厅中央的顶部设计有一个直径16米,面积约200m<sup>2</sup>的天窗。换乘大厅西南侧的外围护结构包括一段总长约130m,高2.5m的可开启落地玻璃窗。顶部玻璃天窗和西南面落地玻璃窗按双层中空玻璃窗考虑,设计空调冷负荷为:换乘大厅人员、灯光、设备等造成的室内负荷500kW,围护结构负荷310kW,考虑空调机组新风和大门进入大厅的新风负荷后,整个换乘大厅空调设计冷负荷取1431kW。空调送风温度19.5℃,送风相对

湿度87%,换乘大厅设计室内温度28℃,相对湿度55%。

换乘大厅空调通风系统为低速全空气系统,在换乘大厅及联络通道内共有7处设置新风井的空调机房,每间机房内设有一台变风量空调箱。这7台空调机组向整个大厅的总送风量为226142m<sup>3</sup>/h。在大厅的周边总共布置有157只喷口(大厅的送风管及157个喷口如图1上的红线标注),7台空调机组的送风均匀地通过这157个喷口送入大厅,实现大厅的空调效果,每个喷口送风量接近1500m<sup>3</sup>/h。

根据设计单位提供的室内设备(广告牌、扶梯、灯光等)发热量和室内人员情况等相关信息,经分析初步确定空调系统向整个换乘大厅送入1431kW的设计冷量是足够的。下面在上述初步设计的基础上,通过室内气流组织的模拟,对换乘大厅人员主要活动区域(以1.5米高度为代表)的温度分布进行分析,希望对原空调设计方案进行进一步的优化。

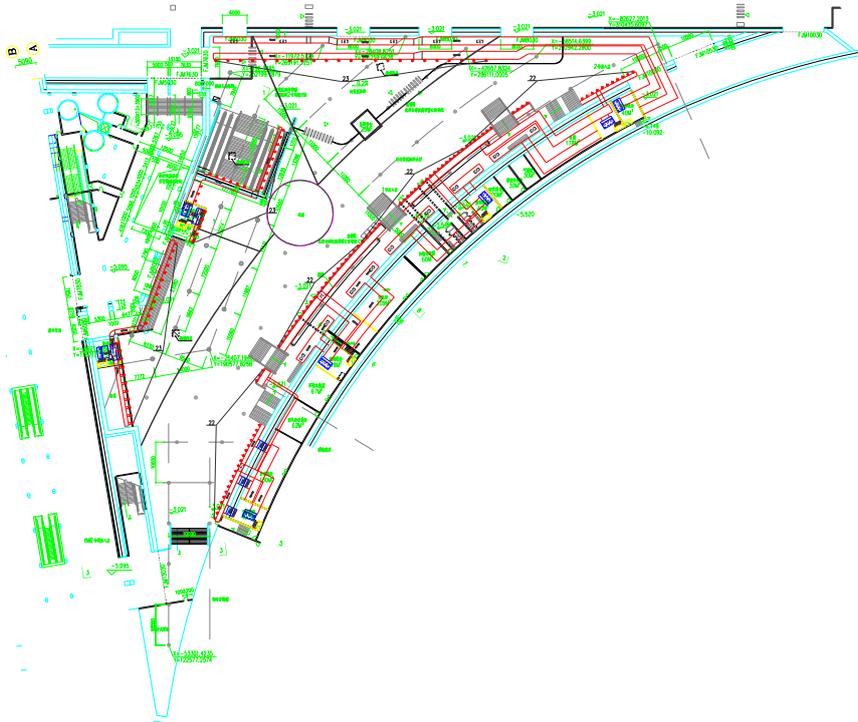


图1 人民广场换乘大厅空调风口布置图

Fig.1 Air conditioning tuyere layout of the transfer hall of the People's Square

### 3 原设计条件下换乘大厅的气流组织分析

#### 3.1 气流组织模拟技术简单介绍

对气流组织进行预测是一个较复杂的过程。通常由两种方法可以实现预测的目的。

第一种方法是进行模型实验。这种方法的好处是结果可靠、直观，但其较适合预测室外等大区域内高风速的情况，而不太适合预测室内空调工况，此外还有一个缺点是工作周期长，价格昂贵。

第二种方法是利用计算流体力学（CFD）的知识和软件，通过在计算机上建模，在计算机上进行数值模拟和预测。其具有工作周期短，成本低，资料完备，适合对包括空调工况在内的各种工况进行预测等优点，但要求的技术性较强。

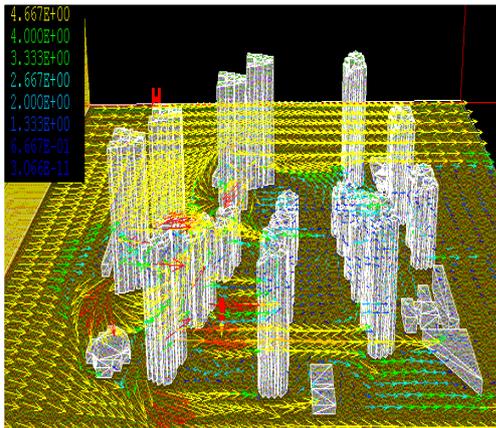


图 2 利用 CFD 技术对某小区的室外风环境的预测

Fig.2 Predicted by using the technology of CFD outdoor wind environment in a residential area

近十年来，随着计算流体力学（CFD）技术的发展和计算机技术的发展，利用 CFD 模拟进行气流组织分析在工程中得到了非常广泛的应用。在本次换乘大厅的气流组织评估中，就运用了 CFD 模拟技术，在气流组织模拟的基础上对室内温度分布和舒适性进行分析。希望通过计算机模拟预测，在工程的初步设计阶段就发现今后运行中可能出现的问题，并及时提供改进建议，实现创造优质工程的目的。

### 3.2 原设计条件下换乘大厅室内温度的模拟结果

首先在计算机上对换乘大厅的建筑物，空调系统各风口等建立模型。模拟的换乘大厅简单示意图如图 3。

根据大厅相关设计参数，经模拟得到夏季下午 17:30 客流晚高峰时换乘大厅内 1.5m 高度的温度分布如图 4 所示。

从图 4 可以看出，在下午 17:30 客流晚高峰时，在设计的送风条件下（送风温度 19.5℃），整个大厅的温度比较均匀，而且冷量是足够的。这是因为

此时虽然客流达到高峰，但太阳透过顶部玻璃窗等造成的围护结构空调负荷已非常小，而空调系统最大供冷量是按照最高的客流和中午较大的太阳辐射设计。图上左下角区域温度稍稍偏高是受相邻的 2 号线地下 1 层商场室内温度影响的结果，因为此区域和 2 号线地下 1 层商场有门相连，而 2 号线地下 1 层商场设计空调温度为 28℃。所以在夏季下午 17~18 点客流高峰时，室内负荷和空调系统的矛盾并不突出，不会出现室内舒适性问题。

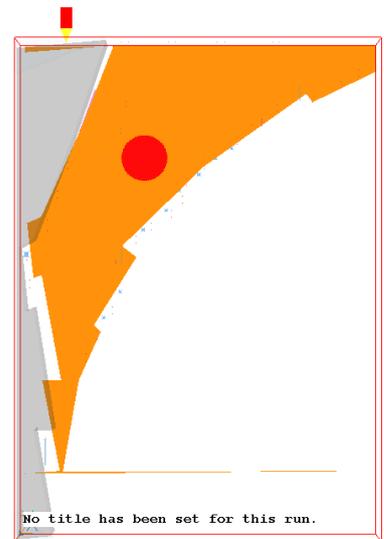


图 3 换乘大厅计算机建模示意图

Fig.3 Schematic diagram of computer modeling in the transfer hall

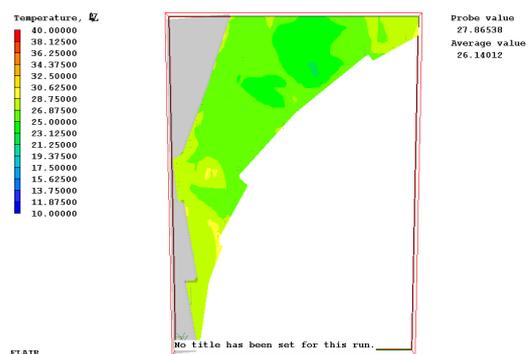
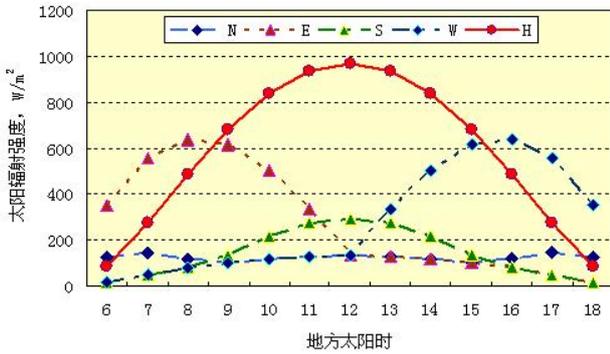


图 4 晚高峰时（17：30）换乘大厅 1.5 米高度温度分布

Fig.4 Night peak (17:30), transfer hall temperature distribution at 1.5 meters

经分析，发现换乘大厅室内负荷和原空调系统设计矛盾比较突出的时间是在中午。图 5 是上海地区夏季白天不同时刻的太阳辐射强度。



(注: N: 北向, E: 东向, S: 南向, W: 西向, H: 水平面)

图 5 上海地区不同朝向太阳辐射强度

Fig.5 Different orientations of solar radiation in Shanghai

换乘大厅顶部的玻璃天窗(水平面)和西南面的落地玻璃窗受太阳辐射影响最大,图6给出了上海夏季白天典型时刻水平面和西南面太阳辐射强度。

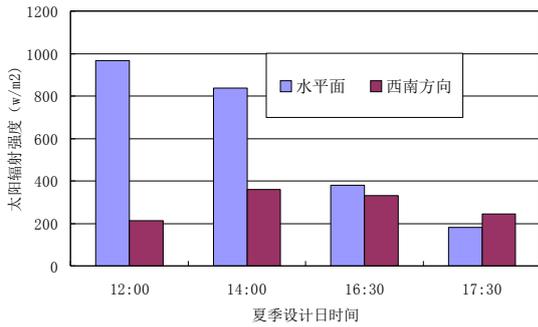


图 6 上海地区水平面和西南向太阳辐射强度

Fig.6 The intensity of solar radiation at the horizontal and southwest directions in Shanghai

从图5和图6可以看出,在中午,通过换乘大厅中央的天窗的太阳辐射会非常集中。太阳辐射透过天窗进入换乘大厅造成的空调负荷将达到150kW左右。据此,模拟得到中午12点换乘大厅的温度分布如图7所示。

从图7可以看出,换乘大厅采光天窗周围的大片区域的温度明显偏高,天窗附近1.5m高度上室温达到30℃左右,在天窗影子的中心位置,由于太阳光的直接照射,室温更高达35~36℃,其余区域温度在27℃左右,室内温度的均匀性不理想,室内的舒适性不佳,可能会对今后的实际应用造成影响。

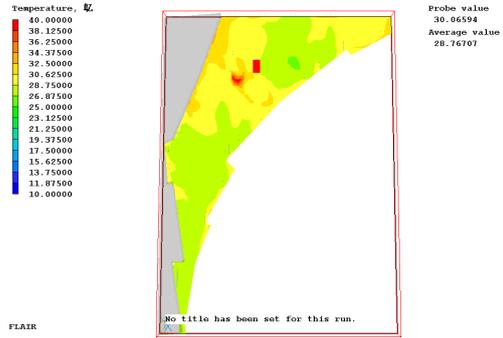


图 7 夏季中午12点换乘大厅1.5米高度温度分布

Fig.7 The temperature distribution at 1.5 o'clock in the summer hall at 12 o'clock in summer

### 3.3 原设计条件下室内舒适性不理想的原因分析

原换乘大厅四周布置的157个喷口送风风量相等,接近周边均匀送风的方式,如果换乘大厅室内每个区域单位面积的空调负荷基本接近,那么这样是能够达到较均匀的室内温度分布的。但是,由于换乘大厅中央存在大面积的采光天窗,实际上各区域空调负荷相差很大。在夏季高温季节的中午,太阳透过采光天窗直射到地面上的影子的大小接近天窗的面积,即200平方米,其占整个大厅面积的比例只有3%左右,但其造成的空调负荷却达到150kW,达到整个大厅空调负荷的15%左右。这样采光天窗的周围成了空调负荷的聚集点,有非常明显的暖房效应。针对这样空调负荷不均匀的换乘大厅,如果仍然采取周边均匀送风的方式相同对待,就导致了天窗附近区域温度的明显偏高。

## 4 改进建议及运行能耗估算

### 4.1 改进建议

根据前面对于原设计条件下换乘大厅室内舒适性差原因的分析结果,提出换乘大厅157个喷口非均匀送风的改进建议。主要思路如图8所示,将换乘大厅采光天窗附近喷口的送风量适当增大(也可以考虑喷口送风量不变,而适当增加送风口),以对应采光天窗附近大量的空调负荷,其次考虑到原设计时靠近8号线一侧的送风口布置较稀,也适当增加其送风量,其余送风口适当减少送风量。这样,在整个大厅总的送风量和送冷量维持不变的情况下,通过各送风口风量的调整达到换乘大厅各区域送风量(送冷量)和各自空调负荷相匹配,提高

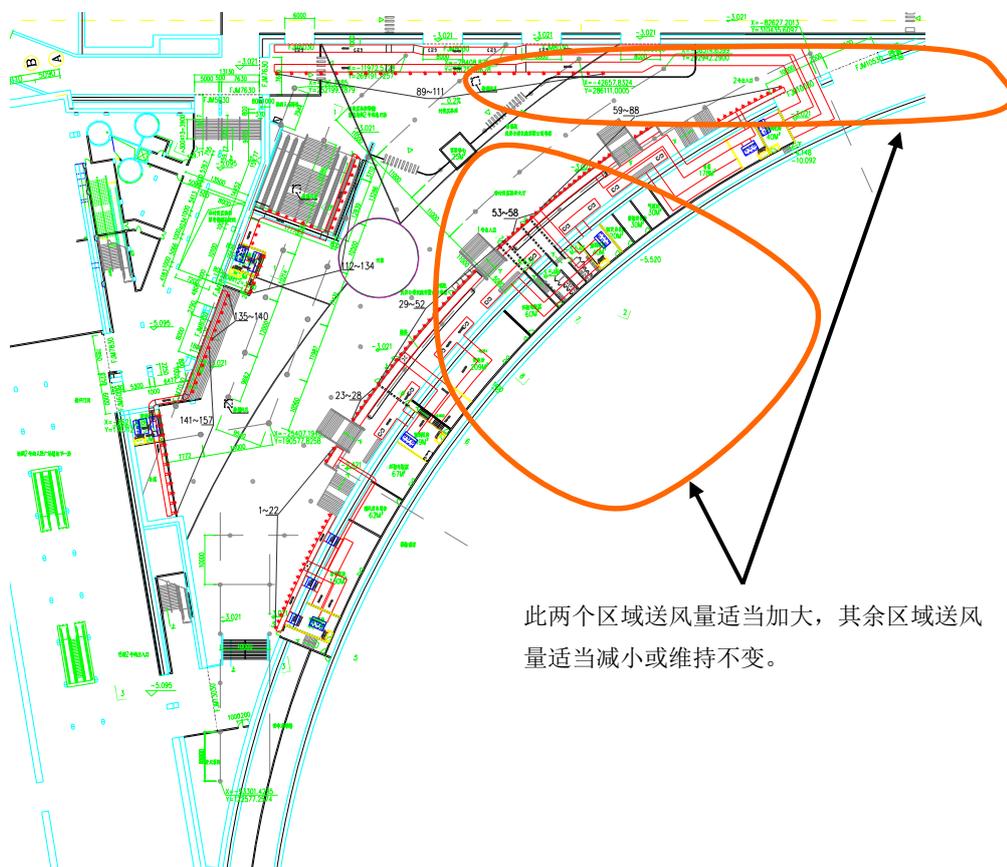
室内舒适性的目的。换乘大厅一圈共 157 个风口，从右下角开始，按照逆时针方向，依次将送风口编号为 1、2、3、……、155、156、157，每个送风口风量调整的具体建议如下。

表 1 送风口风量调整表格

Table 1 Adjustment form for air inlet air volume		
对应的送风口	风量建议值	风量调整的原因
1~22	原风量的 65%	对应区域空调负荷较小
23~28	维持原风量不变	/
29~52	原风量的 130%	对应区域空调负荷较大

续表 1 送风口风量调整表格

Table 1 Adjustment form for air inlet air volume		
对应的送风口	风量建议值	风量调整的原因
53~58	维持原风量不变	/
59~88	原风量的 65%	对应区域空调负荷较小
89~111	原风量的 125%	对应区域原来风口布置较稀
112~134	原风量的 130%	对应区域空调负荷较大
135~140	维持原风量不变	/
141~157	原风量的 65%	对应区域空调负荷较小



此两个区域送风量适当加大，其余区域送风量适当减小或维持不变。

图 8 换乘大厅风口风量调整主要思路示意图

Fig.8 The main idea of air volume adjustment in Transfer Hall

4.2 采用改进建议后换乘大厅室内温度的模拟结果

采用改进建议后，通过计算得到换乘大厅夏季中午 1.5m 高度的温度分布如图 9。

从图 9 可以看出，采用改进建议后，换乘大厅主要区域的温度比较均匀，接近 28℃，相比于改进前的图 7，采光天窗周围室内的温度分布有了明

显的改善。图 13 上换乘大厅东侧与 8 号线相邻的区域温度稍稍偏高，接近 30℃，由于此区域和 8 号线站厅连通，而 8 号线站厅的设计温度为 30℃，所以是可以接受的。

这样，采用改进建议后，换乘大厅的温度均匀性比原来有了明显得改善，达到了较好的室内舒适性。

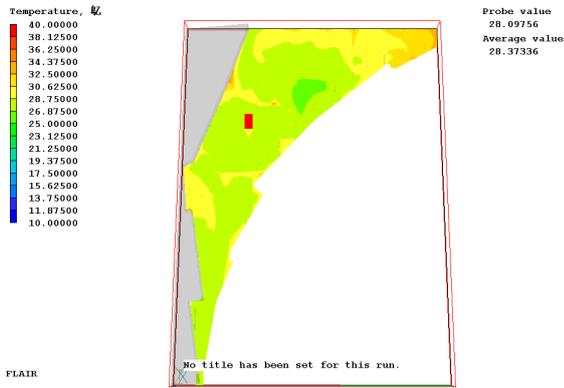


图9 采用改进建议后夏季中午 12 点换乘大厅 1.5 米高度温度分布

Fig.9 After adopting the improvement suggestion, the temperature distribution at the transfer hall 1.5 meters at 12 noon in summer

### 4.3 空调系统运行能耗估算

人民广场换乘大厅属于高大空间，非常容易由于气流组织不合理而导致室内舒适性不理想，同时也容易导致空调运行费用增加。

对于人民广场换乘大厅这样的高大空间，全年的空调运行费用也较大。根据设计院设计值、设备配置以及我们对类似高大空间的调研和测试结果，对人民广场换乘大厅全年空调用电量进行估算。制冷机电功率 364kW，风机功率 84kW，按照夏季空调天数 150 天，每天空调时间 14 小时，平均冷负荷率 60%，平均电价 0.75 元/kW，则采用改进建议后，人民广场换乘大厅每年合理的空调用电约 82 万度，每年空调电费约在 61 万元。不合理的气流组织将使能耗偏大，运行费用增加。如果要使中庭周围的温度相同，原设计将比改进建议估计每年空调运行电费增加 25%，约 15 万元。

此外，要保证良好的室内气流组织，达到舒适、节能的最终目的，除了设计阶段严格把关，建造阶段精心施工以外，最后在工程完工以后还需要进行系统的调试、检测和确定合理的运行管理模式。只有认真完成好设计、施工、调试、检测、运行的各个环节，才能最终实现一个舒适、节能的优质工程。

### 5 结论

(1) 人民广场换乘大厅属于高大空间，非常容易由于气流组织不合理而导致的室内舒适性问

题。同时，高大空间的空调运行费用较大，不合理的气流组织将使能耗偏大，运行费用增加。业主能够在设计阶段就对气流组织进行预评估，对提升项目的科技含量，确保换乘大厅建成一个“舒适”、“节能”、“环保”的优质工程是非常有前瞻性的。

(2) 上海市隧道工程轨道交通设计研究院对整个换乘大厅空调总送冷量的计算和冷机容量的确定是可以满足要求的，而且在前期设计过程中已进行了大量的优化工作，如提出在换乘大厅内侧（位于换乘大厅东北角）布置 2 台空调机组，明显改善了换乘大厅的空调效果，是非常值得肯定的。本报告旨在对原空调设计方案进行进一步的优化。

(3) 为创造优质工程，保证人民广场换乘大厅室内的温度均匀性和环境舒适性，对于原设计，建议将采光天窗附近 47 个送风口和靠近 8 号线一侧 23 个送风口的送风量适当增大（也可以考虑喷口送风量不变，而适当增加送风口），其余送风口风量适当减少或维持不变。具体调整建议见前面 4.1 节表 1。

(4) 分析表明，采用改进建议后，整个大厅能在总的送风量和送冷量维持原设计值的情况下，达到换乘大厅各区域送风量（送冷量）和各自区域的空调负荷相匹配，提高室内温度均匀性和舒适性的目的。

(5) 初步估算，采用改进建议后人民广场换乘大厅每年合理的空调电费估计在 61 万元左右，可比原设计每年节约空调用电约 25%，即每年节省空调电费约 15 万元。

### 6 结语

建筑暖通节能设计是一项内容复杂的工作，针对我国当前所面临的生态环境破坏严重以及能源浪费严重等问题的解决有着至关重要的作用与意义。因此需要对暖通空调节能设计引以足够重视，对现代暖通空调设计进行改善和优化，促使其在发挥正常功能的基础上，提高经济性和节能效果。

### 参考文献：

[1] 吴立龙,孟隆.建筑暖通空调节能优化设计探讨[J].新材料新装饰,2014,(6):345.

[2] 汤达.浅析建筑暖通空调系统设计优化与节能措施[J].建筑与文化,2013,(10):341.

- [3] 罗松燕. 浅谈建筑暖通空调系统的节能设计[J]. 中国房地产业, 2015, (9): 53.
- [4] 由世俊, 董玉平. 高大空间建筑气流组织的 CFD 模型实验与现场测试实验研究[J]. 流体机械, 2004, 32(5): 60-65
- [5] 巨永平, 马九贤. 气流运动及其与热舒适关系研究的进展与评述[J]. 暖通空调, 1999, (4): 27-30.
- [6] 徐丽, 翁培奋. 分层空调房间内气流组织的数值分析[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2002, 8(5): 447~451.
- [7] 王汉青, 汤广发, 寇广孝, 等. 空调建筑上送风气流组织型式下热分层现象的规律研究[J]. 南华大学学报(理工版), 2002, 16(1): 1-6.
- [8] 赖学江, 王晓墨. 空调房间气流组织的模拟研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(2): 51-53.
- [9] 朱颖心. 建筑环境学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006: 194-205.

---

(上接第 24 页)

- 东交通大学, 2014.
- [2] 赵杰. 地铁通风空调系统能耗分析与研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [3] 张鲲. 重庆轨道交通 6 号线一期工程深埋隧道活塞通风设计分析[J]. 铁道标准设计, 2016, (2): 149-152.
- [4] 董书芸. 北方城市地铁活塞风对地铁环境的影响规律及其有效利用[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [5] 董书芸. 寒冷地区地铁通风空调系统节能研究[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2010, 9(2): 57-61.
- [6] 高焯. 浅谈地铁车站公共区通风空调系统设计[J]. 山西建筑, 2011, 37(9): 135-136.
- [7] 齐江浩, 赵蕾, 王君, 等. 西安地铁车站环境实测及公共区空调负荷计算分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(6): 1206-1211.
- [8] 郭永楨. 屏蔽门系统车站环控大系统冷负荷分析计算[J]. 科技交流, 2001, (4): 65-72.
- [9] 蔡珊瑚. 地铁车站公共区空调负荷的确定[J]. 城市轨道交通研究, 2004, 7(2): 55-56.
- [10] 徐波. 地铁安全门系统和屏蔽门系统舒适性与能耗性研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.