建筑环境设计模拟分析软件 DeST

第 15 讲　应用 DeST 辅助商业建筑设计实例

清华大学　张　野☆　燕　达　刘　烨　江　亿

摘要　商业建筑设计中，一方面要保证室内的高舒适性，另一方面又要重视空调系统节能问题。DeST 针对商业建筑的特点，专门开发出辅助商业建筑设计的版本，可以在建筑及空调系统设计的各个阶段对设计方案进行模拟，为设计者提供设计的参考及依据。本文以一栋商业建筑为例，通过应用 DeST 的模拟分析，解决该建筑在设计的不同阶段遇到的一些问题，并介绍了应用 DeST 辅助建筑及空调系统设计的方法。

关键词　商业建筑设计　DeST　模拟

Building environment design simulation software DeST(15):
Practical application of the commercial buildings models of DeST

By Zhang Ye★, Yan Da , Liu Ye and Jiang Yi

Abstract　The HVAC systems for commercial buildings require to maintain a comfortable internal working space with economical energy consumptions. To cope with the demanding needs in the commercial sector, DeST has developed a commercial version to simulate both building and system performance of different HVAC system configurations at different design stages. This paper uses a commercial building as an example to point out the design problems encountered in different stages of the design process. Through the use of DeST, these problems at each stage can be analyzed and resolved.

Keyword　Commercial building design　DeST　Simulation

☆张野，男，1979 年 10 月生，大学，在读硕士研究生
100084 北京清华大学建筑学院建筑技术科学系
（010）62789761
E-mail: zhangye02@mails.tsinghua.edu.cn
收稿日期：2005.8.01

1 概述

商业建筑主要包括大型商场、写字楼、宾馆等，此类建筑的人员密度相对较高，建筑内各种产热设备多，而且室内舒适性要求一般也较高，一般多设置有大型中央空调系统，空调系统的连续使用时间长，从而导致商业建筑的空调能耗很大，因此在商业建筑设计中，一方面要保证室内的高舒适性，另一方面又要重视空调系统节能问题。这些都对商业建筑本体及空调系统设计提出了较高要求，同时目前设计实践中面临着许多新技术、新方案的使用，这些新技术、新方案能否适合于所设计建筑，很多问题并不可以通过简单定性分析确定，因此，DeST 针对商业建筑的特点，专门开发出辅助商业建筑设计的版本，可以在建筑及空调系统设计的各个阶段对设计方案进行模拟，给出设计者关心的结果，作为设计的参考和依据。

本文以一栋商业建筑为例，指出此建筑在不同设计阶段遇到的一些问题，并应用 DeST 对这些问题逐一进行模拟分析，并由此介绍应用 DeST 辅助此类建筑设计的方法。

2 辅助设计实例

2.1 工程概况

本文介绍的建筑为一栋位于北京市的高档写字楼，建筑面积约 33000m^2，共 30 层，建筑标准层平面及立体的 DeST 模型如图 1 所示，标准层除了中心的电梯间卫生间用房外，其他房间基本上都是办公室用房。建筑进深达 13 米，根据内区、外区的划分，建筑内部隔断如平面图所示。建筑主要功能房间的使用情况及空调设计参数见图 2、表 1、表 2，建筑主要围护结构参数见表 3。

建筑设计过程涉及到以下几个阶段内容：建筑本体设计、空调系统方案设计、空气处理设备方案设计、冷热源方案设计和输配系统方案设计，以下针对此建筑在各个阶段的部分设计问题逐一进行模拟和分析。

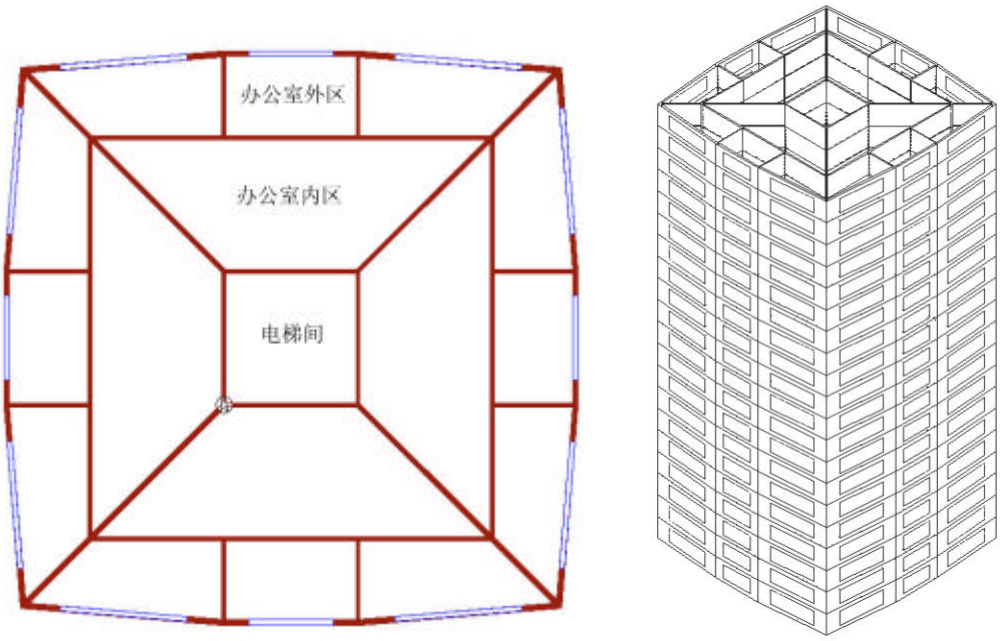

图 1 建筑平面、立体示意图

表 1 建筑主要功能房间设计用参数

房间功能	最多人数（人/m^2）	灯光产热（W/m^2）	设备产热（W/m^2）	最低新风量（m^3/人）
办公室	0.1	10	20	30
会议室	0.3	15	—	30
门厅、走廊	0.05	5	—	20

表 2 建筑主要功能房间环境控制参数

	夏季		冬季	
	温度（℃）	相对湿度	温度（℃）	相对湿度
办公室	24～26	50%～60%	20～22	—
会议室	24～26	50%～60%	20～22	—
走廊	25～28	55%～60%	20～22	—

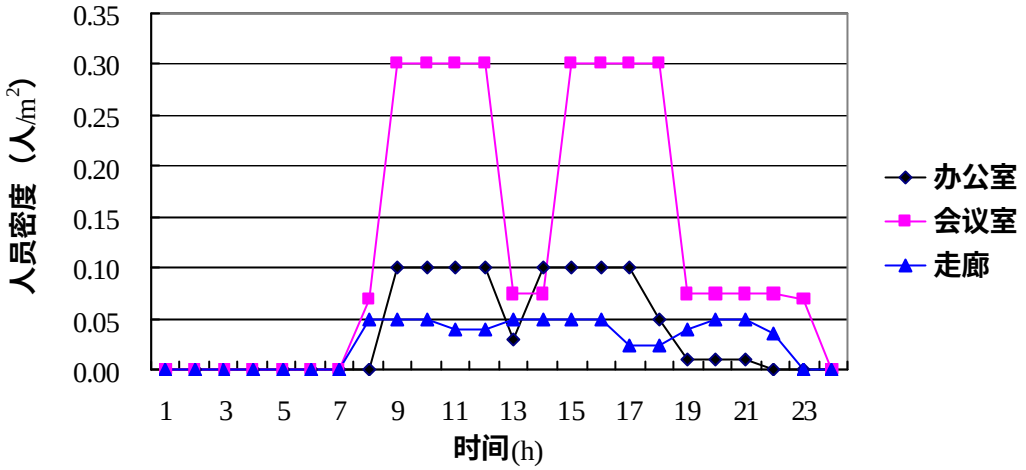

图 2 建筑主要功能房间人员作息（工作日）

表 3 围护结构热工参数

类别	方案	传热系数
外墙	240mm重砂浆粘土＋60mm聚苯板	0.60
屋顶	130mm钢筋混凝土+200mm多孔混凝土	0.8
外窗	中空双玻窗	3.1（遮阳系数SC＝0.67）

2.2 建筑方案设计

建筑初步设计的各朝向窗墙比均为 0.7，接近全玻璃幕墙，这样可能会存在一个节能的问题，即如此大面积的幕墙，有可能导致大量的太阳辐射进入室内，成为房间的冷负荷，从而会大量增加建筑物的空调能耗。因此对于这栋建筑而言，虽然调整建筑的窗墙比必然会在一定程度上影响原建筑的设计，包括室内的采光效果与建筑的通透性等，但可能可以有效的降低建筑物的空调能耗，这样在建筑美观与节能之间存在着一个矛盾，那么设计者需要对此方案进行权衡，而权衡的依据应该是窗墙比对此建筑能耗的总体影响，这可以通过对建筑物的全年逐时负荷模拟分析[1]来实现。

下面分别模拟计算两种窗墙比方案的建筑负荷情况：

- 原方案，窗墙比 0.7；
- 对比方案，窗墙比取 0.4。

图 3 给出了上述两种窗墙比方案下外区房间的耗冷量、耗热量对比：

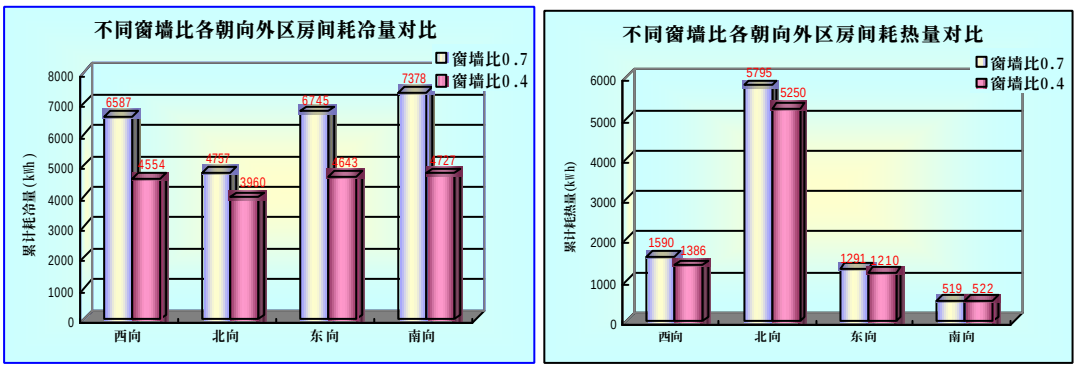

图 3 不同窗墙比外区房间的冷热负荷对比

由图 3 可见，窗墙比为 0.4 时，相比于原方案，各个朝向的外区房间的全年耗冷量均有大幅

度的降低，南向降低幅度最大，达到了 36%，东向和西向房间降低幅度也超过了 30%，北向最小，但也达到了 16%；同时东、西、北朝向的耗热量也有所降低。这样通过模拟分析可以看出，窗墙比为 0.4 的设计方案的空调供暖负荷要大大低于窗墙比为 0.7 的设计方案。

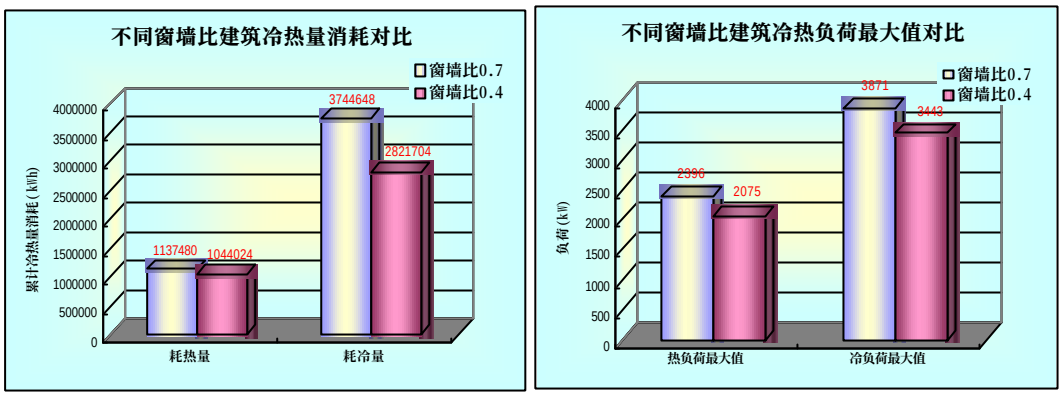

图 4 不同窗墙比建筑的冷热负荷对比

图 4 给出了调整窗墙比后，建筑总体的耗热量耗冷量及最大负荷变化情况。结果显示，窗墙比为 0.4 时，建筑总的耗冷量减少了 25%，而耗热量减少了 8%，同时建筑的最大冷热负荷分别降低了 11%和 13%。这一比例在空调能耗很大的办公建筑中，是很可观的，意味着当窗墙比减小为 0.4 时，不仅运行能耗会大幅度减少，同时因为峰值负荷的减小，包括冷热源和各个末端在内的各个设备可以选择更小的型号，相应减少初投资。

通过模拟计算，可以直观的给出了设计者在确定方案时所需要的建筑能耗参考数据，根据模拟结果，设计者可以确定合理可行的设计方案。本文从节能的角度考虑采用了窗墙比为 0.4 的方案。

2.3 空调系统方案设计

此建筑的空调系统型式全部采用全空气变风量空调系统，各房间的送风量范围初步确定为 4~8 次/小时。现就设计中空调系统分区问题进行研究，首先考虑图 5 所示的分区形式。

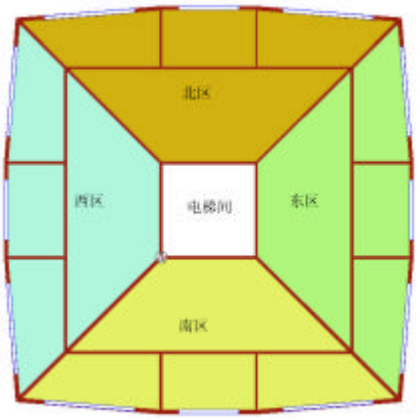

图 5 分区方式 1

通过空调系统方案模拟计算[2]，可以计算得到各系统全年不满意的小时数（即全年系统无法达到设计要求的小时数）如表 4 所示：

表 4 分区方式 1 的各区不满意小时数

系统	西向分区	北向分区	东向分区	南向分区
不满意小时数	794	225	640	546

查看夏季某一系统不满意时刻的各个房间室温和送风量情况，见图 6、图 7，此时系统供冷，有些房间虽然风量已调整为最小风量，但室内温度已经达到室温设定的下限，而有些房间风量即使调整到最大，但温度仍然高出室温要求上限，所以此时系统无法同时满足各个房间要求。造成这种现象的原因是受外界影响较大的外区和受室内发热量影响较大的内区划分在一个分区之中，由于二者对冷热的需求差异较大，可以看到有很多时刻都出现了这种室内温度无法满足的情况。

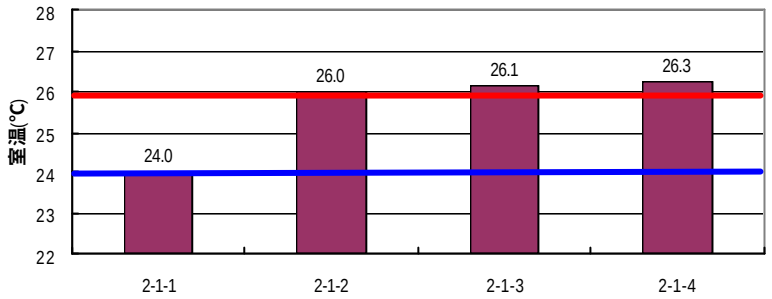

图 6 西区某不满意时刻各个房间温度状况

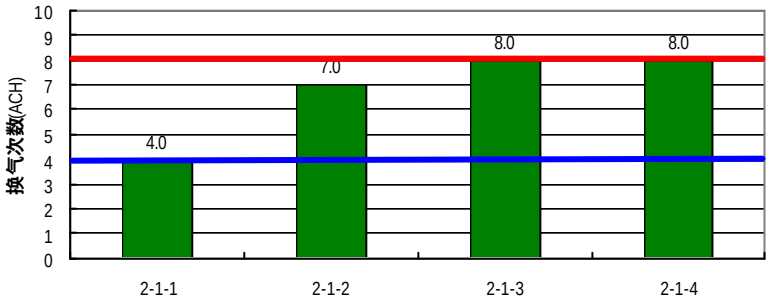

图 7 西区某不满意时刻各个房间换气次数

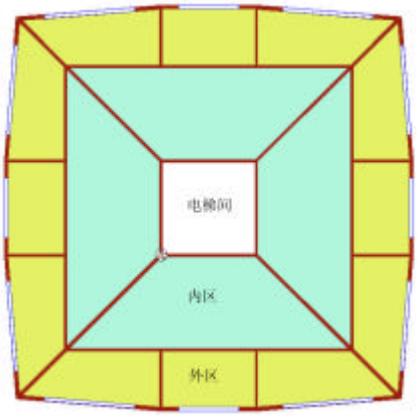

图 8 分区形式 2

基于上述分析，为了减少由于将内外区划分在一个分区之中而造成的室内温度无法满足的情况，考虑按照内外分区的方式进行系统划分，如图 8 所示，对此分区形式进行空调系统方案模拟，计算结果见表 5：

表 5 分区方式 2 的各区不满意小时数

系统编号	内区	外区
不满意小时数	0	771

通过计算结果可以看到，改变分区方式之后，内区空调系统能够很好的满足设计要求，然而外区系统的不满意率仍较高，取外区不满意的某一时刻查看各个房间的温度，见图 9，可知由于各朝向外区房间的热状况的不同，虽然采用了变风量系统，但仍然无法保证各房间控制在设定温度范围内，说明外区的分区方案仍然存在一定问题。

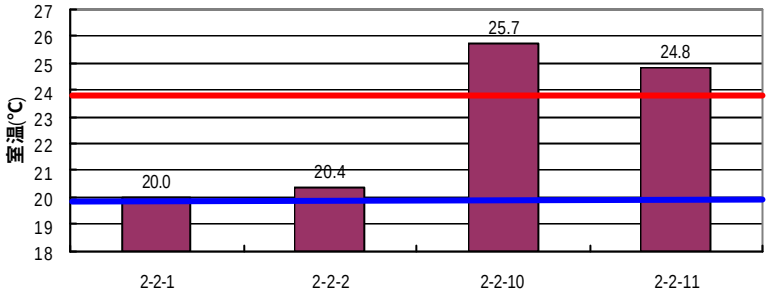

图 9 外区某不满意时刻各个房间温度

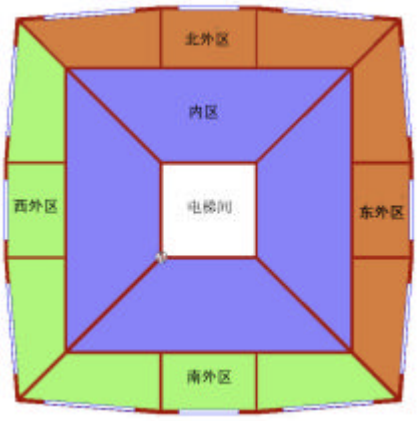

图 10 分区方式 3

如图所示，由于在四个朝向的外区房间中，东、北朝向的热状况接近，而西、南朝向的热状况接近，因而考虑在原分区方案基础上，将外区房间按照东北和西南朝向划分为两个分区，如图 10 所示：

表 6 分区方式 3 的各区不满意小时数

系统编号	内区	东、北外区	西、南外区
不满意小时数	0	3	505

修改分区方案后的计算结果如表 6 所示，改变外区的分区方式之后，内区和外区东北朝向的空调系统能够很好的满足需要，然而外区西南朝向的不满意率仍然较高，如图 11 所示，由于西南朝向外区的房间冷热状况差异过大，仍然无法通过改变分区的方法满足需要。

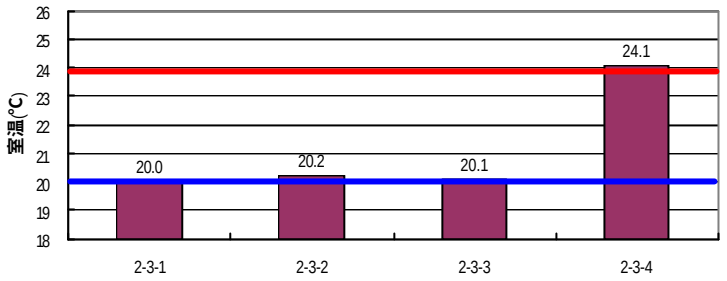

图 11 外区某不满意时刻各个房间温度

此时，为了进一步降低外区西南朝向分区的不满意率，在原分区方案的基础上，将外区西南朝向分区房间的送风量范围加大为 4～10 次/小时。

表 7 分区方式 3 调整西南区送风量范围后不满意小时数

系统编号	内区	东、北外区	西、南外区
不满意小时数	0	3	294

通过计算结果（表 7）可以看到，通过加大外区西南朝向分区的送风量范围，西南外区的系统不满意时刻明显减少。经过上述模拟分析，确定采用分区方式 3，并将西南外区的房间风量范围调整为 4～10 次/小时。

2.4 空气处理设备方案设计

根据上述空调系统方案的设计分析，确定采用每层三个分区的方式，并确定了各个空调系统的逐时送风量和送风温度，见图 12、图 13。现以南、西外区的空调系统为例，介绍空气处理室设计情况。

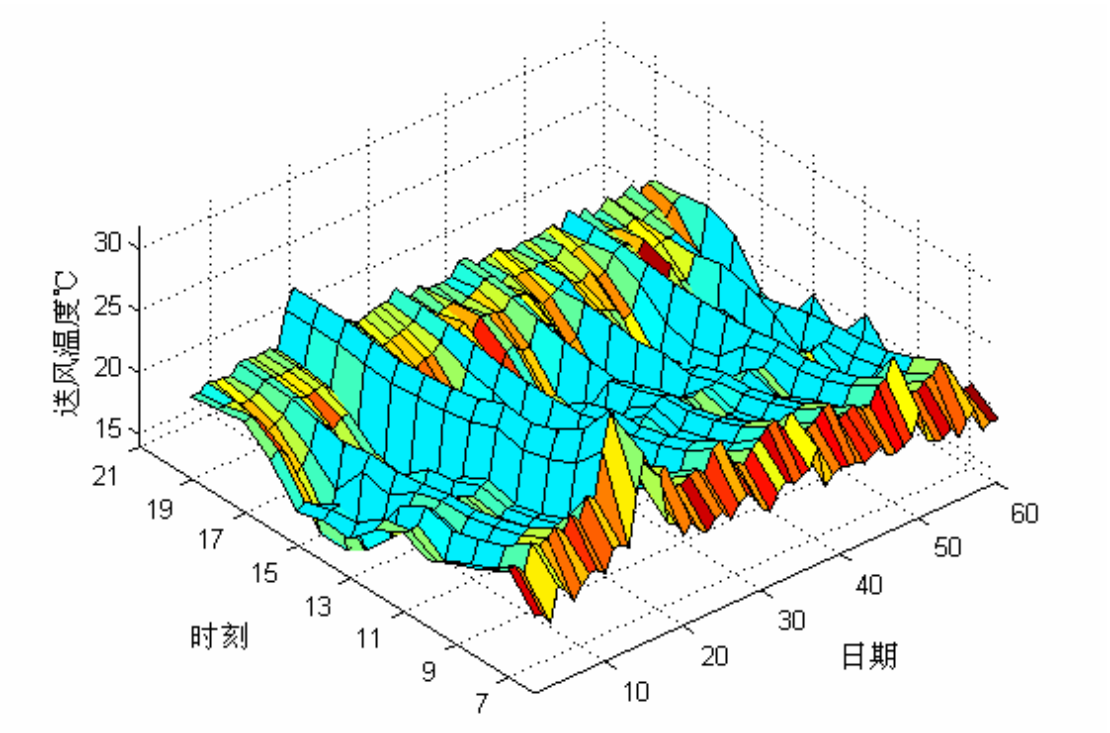

图 12 系统 1～2 月的逐时送风温度

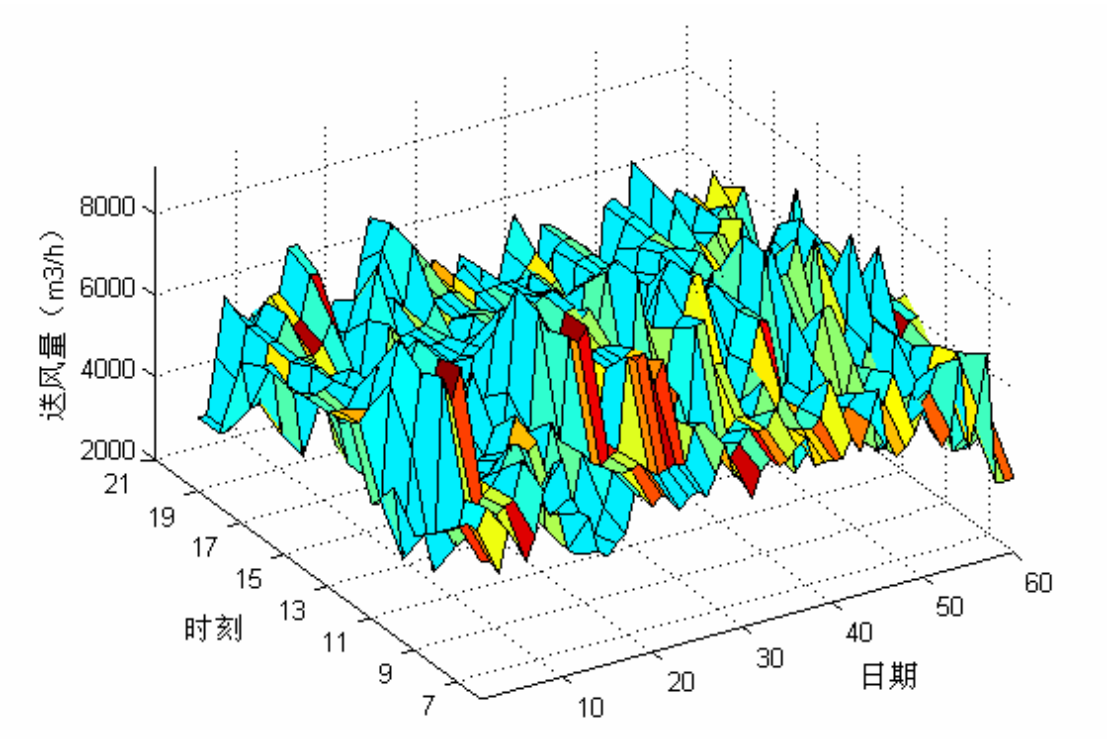

图 13 系统 1～2 月的逐时送风量曲线

2.4.1 表冷器选型

对此分区的空气处理设备初步方案如下：空气处理段由混风室、表冷器（冷热两用）、加湿器组成，定新风量、无热回收设备。根据此系统的逐时送风量要求，初步选用 JW10-4 型 8 排表冷器。为了对此方案的实际空气处理过程及能耗进行全面的了解，采用 DeST 对此方案全年运行状况进行逐时模拟计算。

通过空气处理设备的全工况模拟[3]计算得到，初选设备方案不能满足设计送风状态要求的小时数达到 304 个小时。针对某一不满足要求的时刻，查看空气处理设备的空气处理过程，如图 14 所示，空气处理设备无法将空气处理到此时刻系统所需要的送风状态点 S，而只能处理到 O 点，即送风温度基本满足要求而除湿量不够。从图中可见，由于 8 排的表冷器通用换热效率高，在湿工况下运行时，其空气出口状态点接近饱和线，那么如果此时刻空气由混风点 M 点除湿到与与 S 点等湿值的状态，则空气温度将会比 S 点低很多，从而导致送风温度无法满足要求，因此此时刻空气处理设备无法同时满足送风温度和湿度的要求。

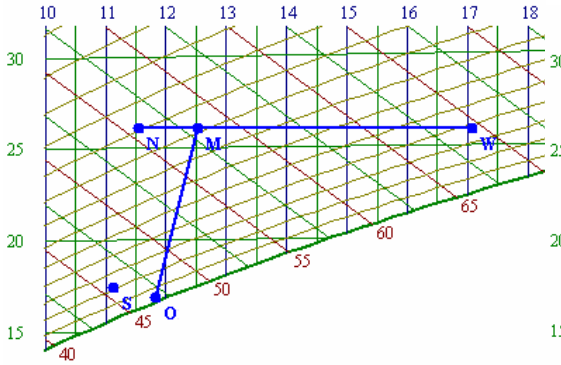

图 14 8 排表冷器空气处理过程

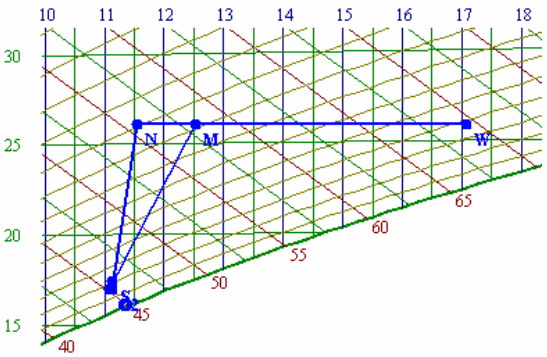

图 15 4 排表冷器空气处理过程

W： 新风状态点；M：混合状态点；N：室内状态点；S：要求送风状态点；

O_2 ：经空调箱表冷段处理后的状态点；

由上述分析可见，如果选用通用热交换效率低一些的盘管，可能在很多工况下可以减少

上面不能满足要求的时刻。对初始方案进行修改，采用通用热交换效率较低的 JW10-4 型 4 排表冷器，通过空气处理设备模拟其全年运行效果，对于上述出现不满足要求的时刻，4 排表冷器处理过程如图 15 所示，可见此时表冷器可以将空气处理到所需送风状态点 S。统计全年运行状况可得，系统的全年不满足设计要求小时数减少为 200 个小时，比 8 排表冷器有所降低，不过仍然有比较多时刻无法满足要求。

查看改进方案后仍然不满足要求的时刻空气处理过程如图 16 所示，通过结果可以发现即使采用了通用热交换效率低的表冷器也不能完全解决上述出现的问题。因此需要继续调整方案，考虑采用带有旁通的表冷器，通过处理部分空气到低温低湿状态再与未处理空气混合到送风状态点来避免上述问题。因此选用带旁通的表冷器，再次模拟其运行效果，查看上述四排表冷器无法满足要求的同一时刻，选用有旁通表冷器时的空气处理过程如图 17 所示，此时刻盘管的旁通比为 0.16，表冷器把未旁通的空气处理到 O_2 点，然后与旁通的未经处理的 M 点空气混合到 O 点，基本可以满足送风要求状态。根据计算结果，全年的不满足要求小时数为 15 个小时，由此可见，带有旁通的表冷器可以有效的解决上述问题，基本上满足了设计的要求。

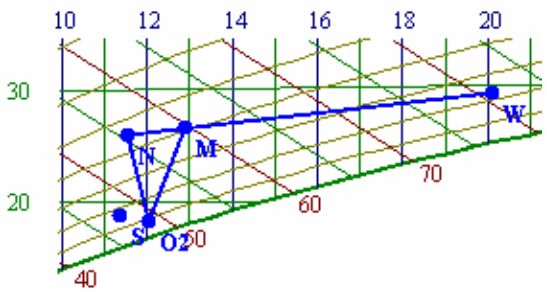

图 16 4 排表冷器无旁通时空气处理过程

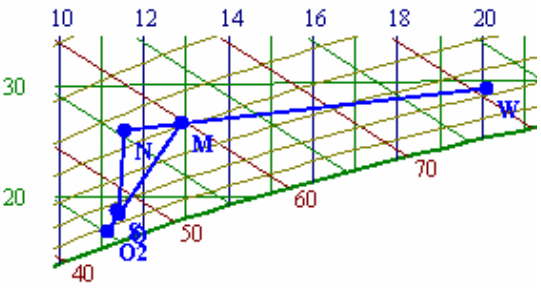

图 17 4 排表冷器有旁通时空气处理过程

W： 新风状态点；M：混合状态点；N：室内状态点；S：要求送风状态点；

O_2 ：经空调箱表冷段处理后的状态点；

经过对表冷器型式的模拟分析，此系统确定采用 JW10-4 型 4 排带旁通的表冷器。

2.4.2 新风处理方案

采用变新风运行和设置热回收设备是减小空调系统运行能耗的有效手段，通过 DeST 对这些方案的实际运行状况进行模拟分析，可以帮助设计人员定量地了解其节能效果的大小。采用变新风系统时，新风量变化范围为卫生要求的最小新风量到全新风范围内变化。计算结果中过渡季某日不同新风方案的新风比变化情况如图 18 所示，对于变新风系统，当新风温度低于室内温度而高于送风温度时，系统运行于全新风工况，而当新风温度低于送风温度时，系统可以调整新回风比使得空气处理能耗最低，此时新风量处于最小新风量和全新风之间。

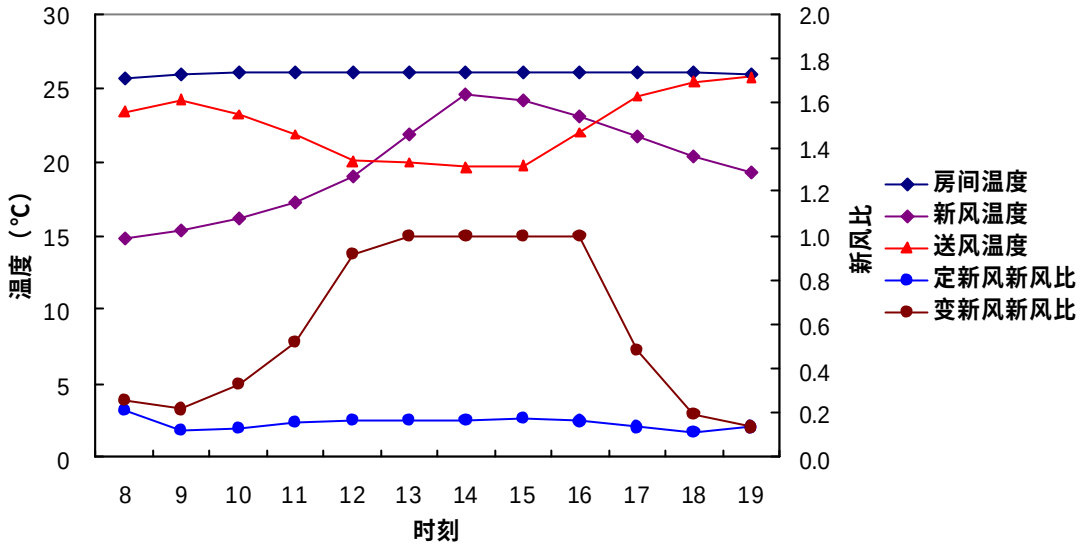

图 18 系统新风比

模拟全年运行情况，对比变新风与定新风量运行的系统能耗，结果如图 19 所示。

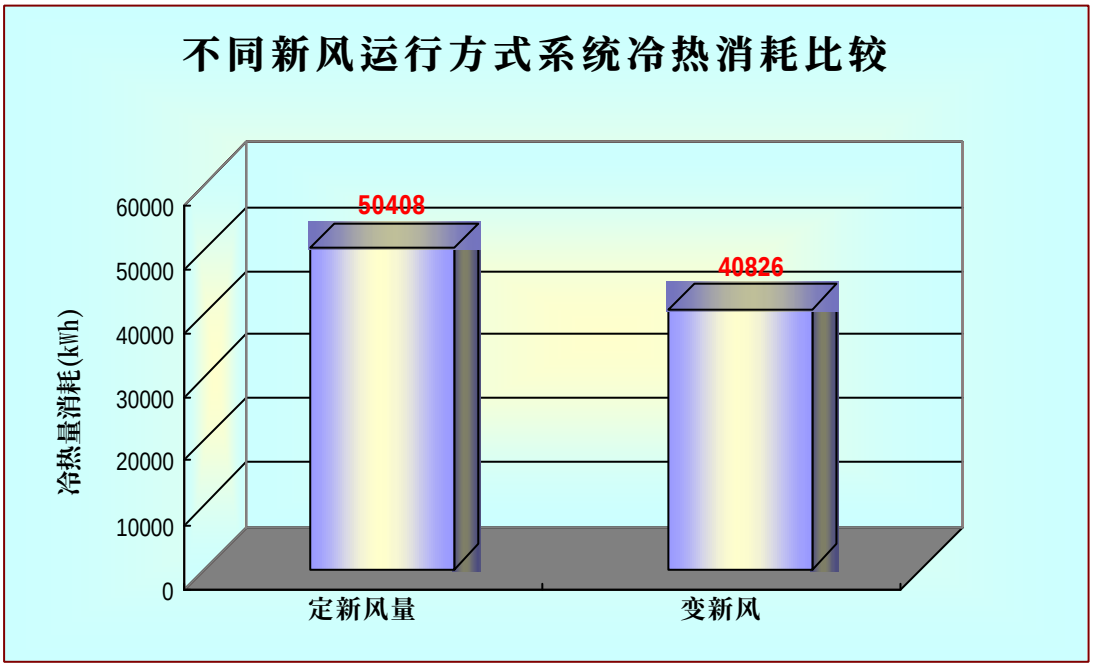

图 19 不同新风运行方式系统冷热量消耗比较

通过计算结果可以看到，系统变新风运行时冷热量消耗比固定新风量运行降低了近 20%，可以有效的降低系统运行能耗，因此应该采用上述变新风运行方案。

2.4.3 热回收处理方案

在选用热回收设备中普遍涉及到的问题是采用热回收方式能够有多大的节能效果，以及应采用哪种热回收方式。下面分别对不设新排风换热器、设置显热回收器和设置全热回收器三种方案进行模拟，比较三种方案的能耗情况。其中，显热回收器额定的热回收效率为 0.7；全热回收器额定的热回收效率为 0.7，额定的湿回收效率为 0.7。

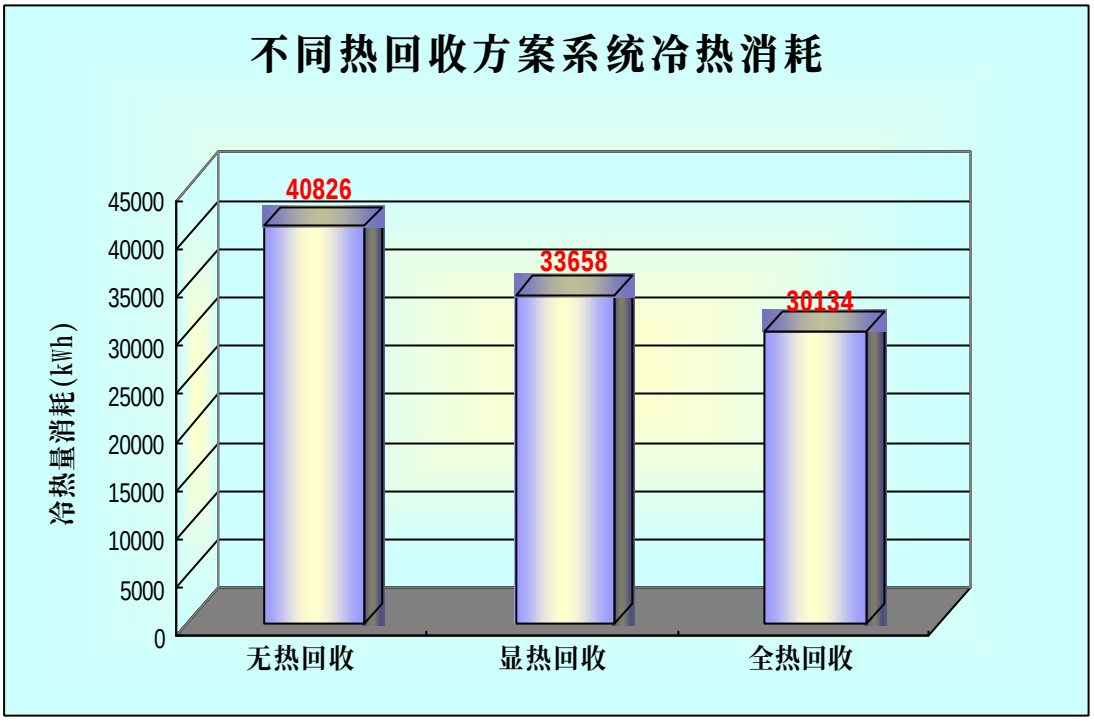

图 20 不同热回收方案系统冷热量消耗

通过模拟计算可以看到，如图 20 所示，采用全热回收的方式能够节省更多运行能耗，与无热回收的工况相比，可以节约近 26%的运行能耗。

因此通过上述对该系统的模拟分析，最终确定空气处理设备方案如下：空气处理室由混风室、表冷器（冷热两用）、加湿器、全热回收器组成；选用 JW10-4 型 4 排带旁通的表冷器，变新风量运行。

2.5 冷热源方案设计

根据空气处理设备的模拟分析，得到了空气处理设备表冷器盘管的水量要求与供回水温度，也就得到了用户侧对冷热源的冷热要求。根据系统对冷热源提出的冷量、热量需求可以确定选用的冷热源容量。在这个设计阶段，设计者经常遇到的一个问题是，对于需要多台冷机的情况，如何确定所选用冷机的容量、台数和搭配的方案。

对建筑逐时需要冷量分布情况进行分析，如图 21 所示，可以看到冷量需求在低于 2000kW 的范围内比较集中，尤其是冷量需求低于 800kW 的小时数占到需要开启冷机的总小时数的 62%，这种冷量需求的分配特点在确定冷机搭配时应予以考虑。通过较好的考虑部分负荷的情况，合理的选择冷机搭配的方案，可以使得冷机在实际运行中大部分时刻处于较高 COP 的工况下工作，能够大大的降低系统运行能耗。

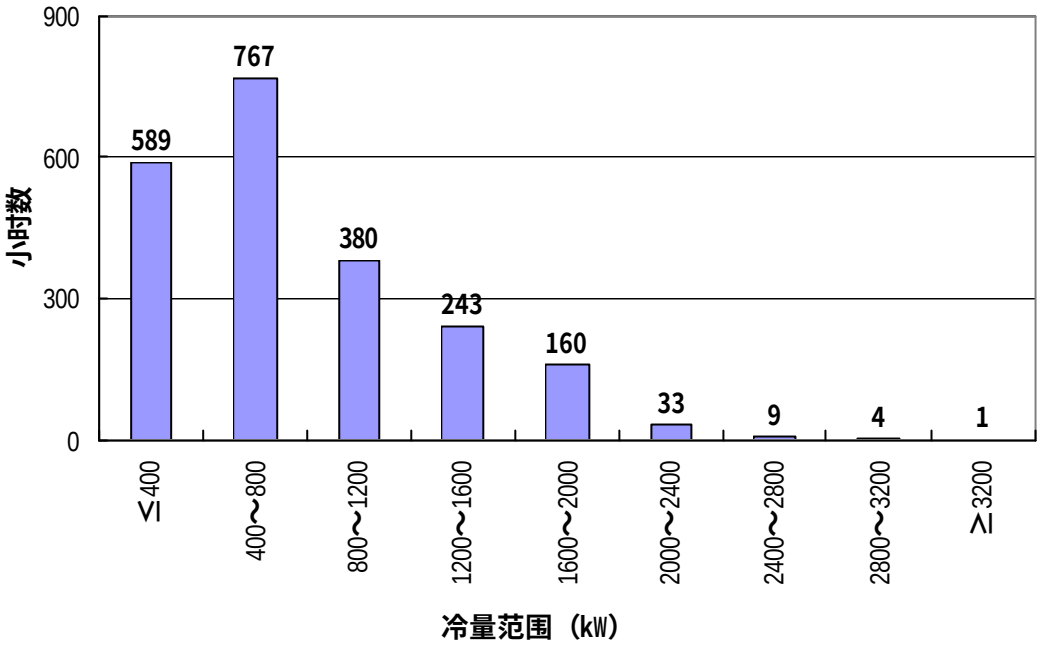

图 21 建筑空调系统耗冷量分布

此建筑最大的冷量需求为 3510kW，对此可以初选出三种冷机搭配方案：

方案一、额定冷量 1800kW 离心机 2 台；

方案二、额定冷量 1200kW 离心机 3 台；

方案三、额定冷量 1440kW 离心机 2 台 + 额定冷量 720kW 离心机 1 台。

由于冷机的工作状况与水系统是直接相关的，因此对上述冷机搭配方案的模拟分析需要与水系统模拟分析一起进行。此建筑拟采用二次泵水系统形式，如图 22 所示。不同的冷机搭配方案其对应的冷冻水一次泵、冷却塔、冷却水泵选型与搭配也有所影响，因此也会影响到方案的经济性。上述三种方案选择的设备参数及对应台数见表 8。

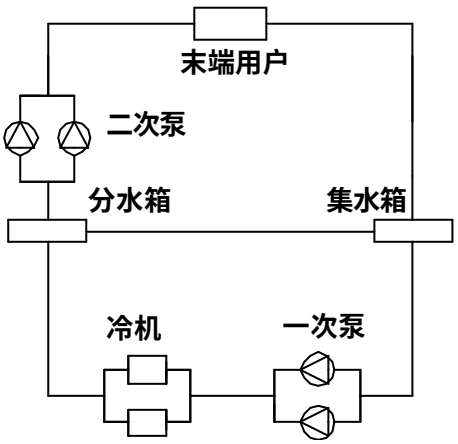

图 22 建筑水系统形式示意

表 8 设备列表

	冷冻机	冷冻一次泵	冷却塔	冷却泵
方案一	额定冷量1800kW 离心机2台	额定流量309m^3/h、额定扬程120kPa 离心泵2台	额定水量404m^3/h 冷却塔2台	额定流量404m^3/h、 额定扬程250kPa 离心泵2台

方案二	额定冷量1200kW 离心机3台	额定流量206m^3/h、额定扬程120kPa 离心泵3台	额定水量269m^3/h 冷却塔3台	额定流量269m^3/h、 额定扬程250kPa 离心泵3台
方案三	额定冷量1440kW 离心机2台， 额定冷量720kW 离心机1台	额定流量247m^3/h、额定扬程120kPa 离心泵2台， 额定流量123m^3/h、额定扬程120kPa 离心泵1台	额定水量323m^3/h 冷却塔2台， 额定水量162m^3/h 冷却塔1台	额定流量323m^3/h、 额定扬程250kPa 离心泵2台， 额定流量162m^3/h、 额定扬程250kPa 离心泵1台

三种方案的冷机总额定制冷量相同，均可以满足系统的逐时冷量需求，且系统运行时会根据末端的冷量需求确定开启冷机台数。但由于随着末端冷量需求的变化，冷机大部分时间是在部分负荷状况下工作，因而不同的方案中冷机在部分工况下的 COP 是不同的，那么不同的冷机搭配其运行能耗会有所差别，其差别大小与用户末端的冷热量需求的全年分布情况密切相关，如图 23 所示为某一时刻不同冷机搭配方案下，对应的冷机电耗及 COP 状况的比较。不同方案的能耗情况可按照文献[4]中所述的冷热源模拟方法，对冷机全年运行电耗进行模拟分析，其结果如图 24 所示：

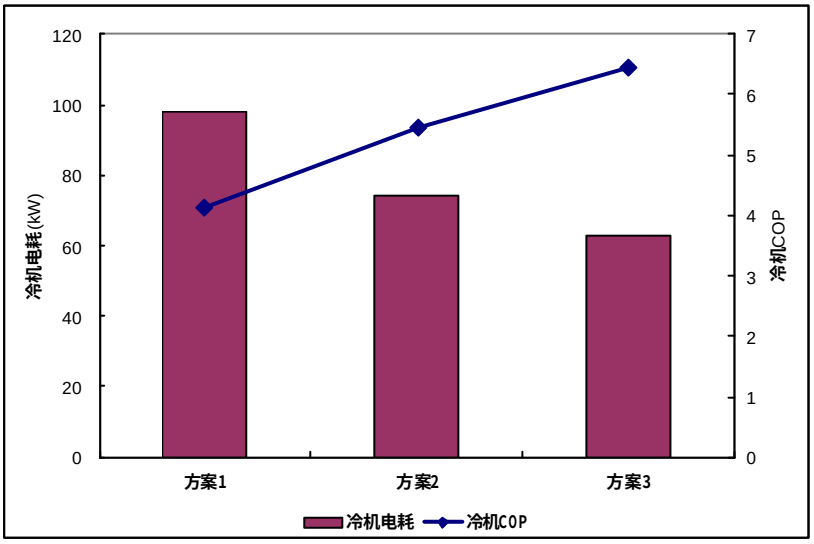

图 23 某部分负荷时刻不同冷机方案工作状况比较

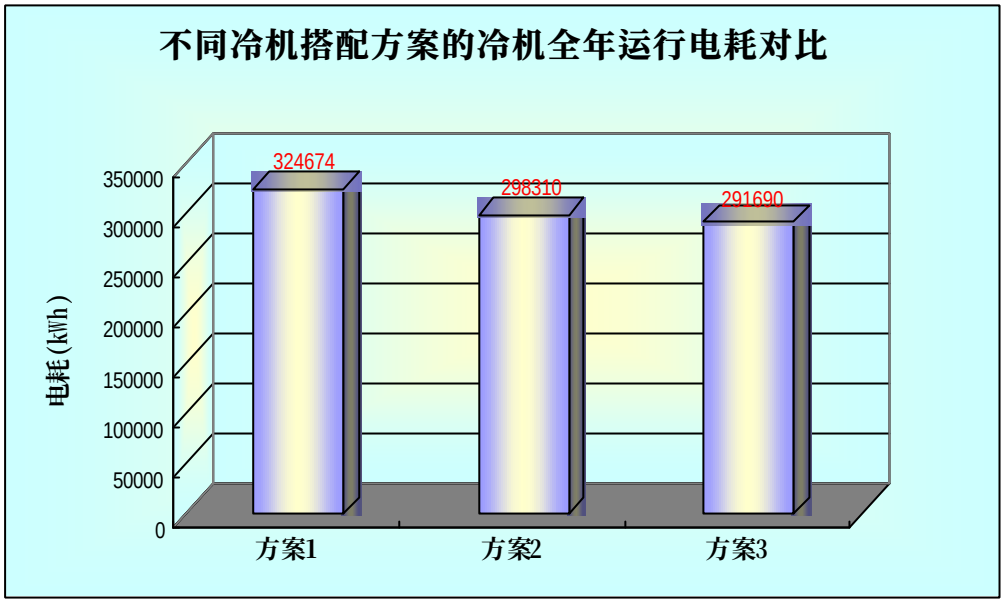

图 24 不同冷机搭配方案冷机全年运行电耗比较

通过计算结果可见，方案 3 的冷机搭配方案下的冷机全年运行电耗较前两种方案有较明显的降低，方案 3 较方案 1 降低了约 10%的运行电耗。同时分别计算三种不同方案的冷冻泵、冷却泵、冷却塔全年运行电耗，得到的结果如表 9 所示：

表 9 三种方案设备的年耗电量结果

	年耗电量(kWh/年)				
	冷机	冷冻一次泵	冷却泵	冷却塔	合计
方案一	324674	32136	87642	24057	468509
方案二	298310	24950	68046	19103	410409
方案三	291690	20157	54951	18854	385652

按照文献[5]介绍的经济性分析方法，对三种方案的冷机、水泵的初投资、运行费及生命周期费用进行计算，见表 10，可得方案 2 的寿命周期费用比方案 1 减少了约 34 万元，方案 3 的寿命周期费用比方案 1 减少了约 48.5 万元。

表 10 三种冷机搭配方案的经济性分析

方案	初投资(万元)	运行费(万元/年)	寿命周期费用(万元)	寿命周期费用差异(万元)
方案一	293.32	40.29	594.28	—
方案二	296.49	35.30	560.13	-34.15
方案三	298.05	33.17	545.78	-48.50

备注：电价按 0.86 元/(kWh)计算。

通过对不同冷机组合的方案运行能耗模拟分析及经济性分析的结果，最终可确定此建筑的冷机方案宜采用方案三。

2.6 输配系统方案设计

由于空调水系统采用了二次泵系统，二次泵的运行方式有两种备选方案：根据用户流量需要台数控制，根据供回水压差变频控制。现按照文献[6]中所述的冷热源模拟方法，对两种控制方式的水泵运行电耗进行模拟，得到的二次水泵全年工作状况及运行电耗见图 25、图 26 和图 27 所示，并结合二次泵系统的初投资进行经济性分析，可以用于确定最终的设计方案。

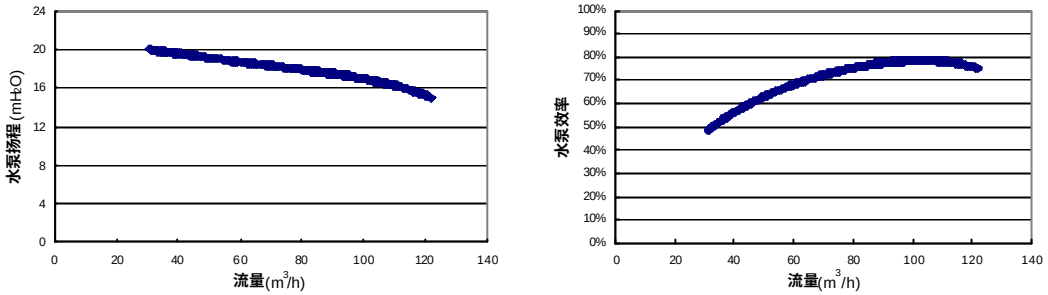

图 25 台数控制水泵工作点

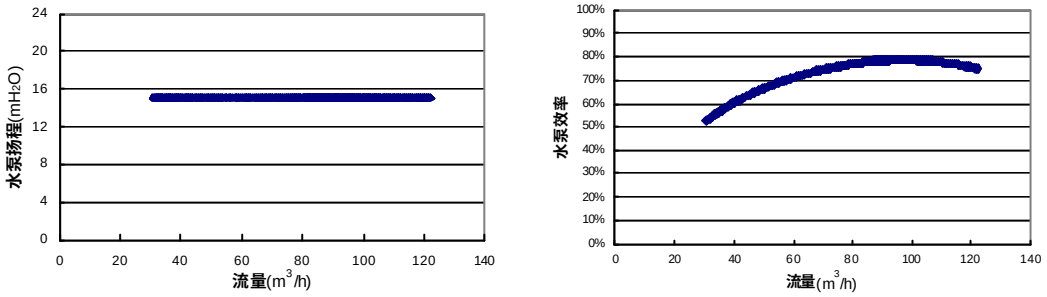

图 26 定压差变频控制水泵工作点

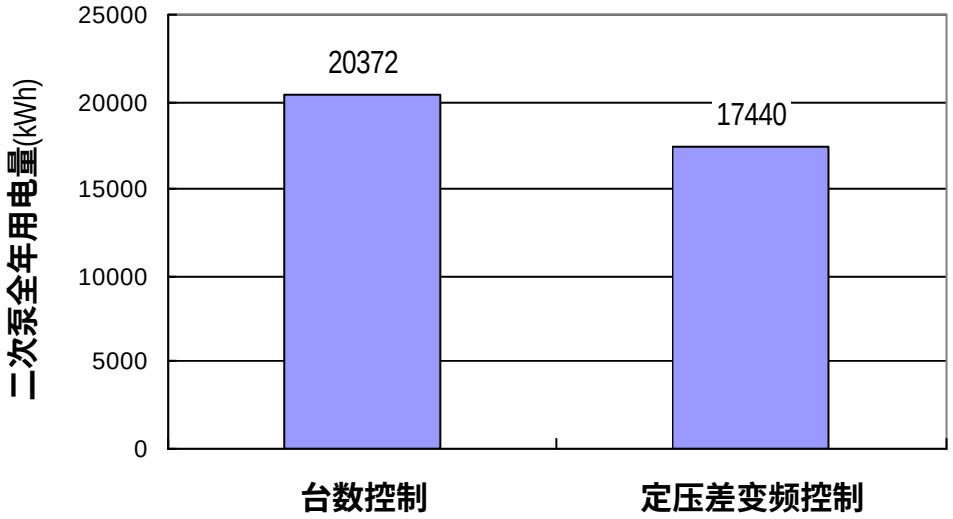

图 27 二次泵不同控制方式全年耗电量比较

由上图可见，由于二次泵采用的是定压差变频控制，二次泵的工作点的扬程全年维持在 15 米水柱；而在台数控制的方式下运行，水泵的工作点扬程大部分时刻高于 15 米水柱，因此变频控制下的水泵电耗较低。两种控制方式下二次泵的全年电耗差异如图 27 所示。按照经济性分析方法，可对两种方案的二次泵初投资、运行费及生命周期费用进行计算，如表 11 所示，由于变频方案初投资的增加，虽然运行能耗较低，但在此项目中变频方案的寿命

周期费用仅比台数控制方案的费用略小，由此可见，对于此建筑而言，从经济角度而言定压差变频控制并没有多大优势。如仍然考虑采用变频水泵，可以通过改变水泵变频的控制策略，例如采用温差控制等方法进一步减少变频方案的运行能耗。

表 11 不同水泵控制方式的经济性分析

方案	初投资（万元）	运行费（万元/年）	寿命周期费用（万元）	寿命周期费用差异（万元）	增加投资回收期（年）
台数控制	1.56	1.75	14.65	—	—
定压差变频控制	3.31	1.50	14.51	-0.14	6.94

3 总结

如何在保持一定室内舒适度的前提下，尽量少的消耗能源，是商业建筑设计者所面临的一个重要问题。本文通过对一栋典型商业建筑及空调系统设计过程中遇到的一些问题的模拟分析，详细说明了模拟工具能够提供给设计者的设计依据，以及利用模拟分析工具辅助设计的一些思路。随着对建筑设计水平要求的不断提高，全面的、动态的模拟计算将会成为设计过程中必不可少的环节，DeST 也会渐渐成为设计者手中的一个重要的辅助设计工具。

参考文献

1 谢晓娜,宋芳婷,燕达,等. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 2 讲 建筑动态热过程模型. 暖通空调, 2004,34(8):35-47

2 燕达,宋芳婷,江亿. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 6 讲 建筑环境控制方案模拟分析.暖通空调, 2004,34(12):46-54

3 燕达,张野,江亿. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 7 讲 空气处理设备方案模拟分析. 暖通空调, 2005,35(1):49-58

4 夏建军，燕达，江亿. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 9 讲 冷热源与水系统模拟分析（上）.暖通空调, 2005,35(3):56-64

5 刘烨，燕达，江亿. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 10 讲. 暖通空调方案的经济性分析.暖通空调，2005,37(5):60-70

6 燕达，夏建军，刘烨,等. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 9 讲 冷热源与水系统模拟分析（下）.暖通空调, 2005,35(4):42-53