

中央空调系统节能设计问题

一、问题的来源及意义

大型建筑物中使用的中央空调系统（以下简称中央空调）工作方式与普通的家用空调有所不同，普通的家用空调是在一个封闭的环境中，利用冷媒完成室内外的能量交换。而中央空调是利用冷冻水、冷却水和制冷机完成整个建筑物的能量交换。普通家用空调可以简单地根据温度控制空调的启停，而理论上中央空调只要有一个用户需要，就应该继续工作。中央空调都是按照最大负荷进行设计和选择设备的，但实际上中央空调大多数时间都在低负荷下运行，有时甚至在设计负荷的 10% 下运行。若中央空调的控制方案设计得不好，在低负荷下却按高负荷需求运行时就会造成中央空调系统运行效率下降，产生浪费。现在的中央空调系统一般是根据温度控制冷冻水系统的流量（温差或压力随之变化），虽然考虑了节能因素，但并未把节能作为首要的目标，而且都是瞬时控制（温度稍有变化，调节系统就起作用），但真正决定建筑物内温度的是中央空调系统所传递冷量（和热量是一个概念，只是因温差方向不同，冷量和热量都可以视为能量）的累加。中央空调系统从制冷机产生冷量到传送至末端发挥作用，有较大的延迟，通常为 20-30 分钟。另外由于大型商场的人流变化很大，瞬时就会引起冷负荷的较大变化，所以传统的基于参数瞬时变化的控制模型对于中央空调所产生的节能效果有限。

为提高中央空调系统的运行效率，应该将中央空调系统的控制由单参数控制改变为建立建筑物冷量需求模型，根据末端在一定时间内冷量需求总量或冷量需求变化率，控制中央空调系统的冷量输出，以实现节能。

二、问题描述

大型商场只要营业新风机组就不停地向商场提供新风以改善商场内的空气质量，当然夏季在提供新风的同时也将商场外部的热量带进商场中。除了新风带入的热量外，商场中的冷负荷还包括通过建筑物围护结构传入的热量，顾客散发的热量，商场内照明、水泵等电气设备产生的热量等。其中通过建筑物围护结构和新风传入的热量与商场内外的温差有关，可通过附式 1 进行估算，也可以将其视作一系列对应不同外部温度的常量。因此商场的温度的变化取决于以下几个因素：

A) 商场中的人流；B) 商场外的环境温度；C) 新风带来的热量；D) 商场建筑围护结构的保温性能和商场外表面的面积；E) 商场的灯光、水泵等电气设备产生的热量；F) 中央空调的制冷量。在上述因素中，影响商场温度最主要因素是外部的环境和内部热源，比如要求将商场的温度控制在 26 度，中央空调输出的冷量首先是抵消中央空调开机前商场中已经积累的热量 (Q_0)。然后再输出的冷量要抵消通过建筑围护结构和新风输入的热量 (Q_i) 商场人流 (Q_m) 以及照明等电气设备散失的热量 (Q_e)。当外部环境温度变化时 Q_i 可以认为是与之相对应的一系列常数，即当环境温度确定后，其值也就确定了。 Q_e 也可近似看作常量，所以以冷量为控制对象时，冷量变化的控制，主要与商场的人流量有关。

按照设计要求，中央空调设备既可以通过调节冷冻水的流量保证冷冻水的供回水温差维持在 5 度，即 7-12 度，如果达不到这个设计要求，温差小于 5 度，带走相同的热量需要更多的水，加大流量就会造成浪费。一般要求冷却水的供回水温差也是 5 度，即 32-37 度，如果达不到这个设计要求，温差小于 5 度，同样会产生能量浪费。（注：刚开机时温差大于 5 度是正常的，在工作一段时间后才能达到设计条件）。因此当室外温度较低，冷却水的回水温度低于 32 度时，就可以适当减少冷却水的流量，使冷却泵的功耗降低。因中央空调系统传递的热量是冷冻水系统从建筑物中带来的，冷却水系统散失到空气中的热量是冷冻水系统

传递过来的热量再加上制冷机自身消耗的能量而产生的热量，这些热量都是通过水来传递的，而水量和温差的变化就反应了能耗的变化，因此消耗最少的能量将建筑物内的热量散失到空气中是最为节能的运行方式。

注：若采用控制冷却水和冷冻水的流量方式时，流量不能无限减少，为保证系统安全，每台制冷机冷却水、冷冻水的水泵最低的允许流量可按照设计流量的 75% 计算。

后面的数据是一个大型商场中央空调系统的实际运行数据，和类似商场所在城市的南京市 2006 年相同时间白天每小时的外界温度数据，由于不是商场周围的测量值，商场外温度可能比这批数据高出两度左右。该中央空调共有 3 台功率相等的制冷机、冷冻水和冷却水水泵各 3 台，每台制冷机功率约为每台水泵功率的 3 倍，商场水泵运转时按设计流量运行，即流量不变化。由于是历史数据，现在有些数据无法补充完整，但研究生可以再借鉴其他数据，考虑以下问题：

1、夏季在商店中顾客设计冷负荷约为 30w。请同学们根据数据推导出 (A) 和 (E) 的冷负荷。其中最简单做法是假设全天 12 小时人流量基本保持不变（工作日与节假日可以不同）。条件 (E) 的冷负荷在一年四季基本保持不变。6、7、8 月份商场外部温度可假设为 35 度，人流量在节假日为平时的 1.5-2 倍。

2、根据附式 1，可以计算出从外部辐射进商场的冷负荷，请同学们推导出以比较短的时段内进出商场的人流量、外部环境温度为变量的商场冷负荷的函数表达式，并讨论冷负荷的误差范围。

请研究生自行对外界温度和人流量进行假设。比如 7、8 月份商场外部温度可假设为 35 度，人流量在节假日为平时的 1.5-2 倍，根据题目给出的数据进行验证。

3、根据推导出的冷负荷表达式，请根据实际情况建立保持夏季商场内部温度稳定的数学模型，达到既使商场内温度尽可能稳定在设计值又尽可能节能的要求。

在中央空调中，可以控制的独立对象除冷却水和冷冻水的流量外，每台制冷机可以关闭。请同学们提出自己的控制策略，并给出和题目给出情况对比所产生的节能效果（风机耗能与空调无关）。

4、假设没有任何能量浪费（制冷机的效率为 100%），在夏季达到设定温度（26 度）所需要的冷量为合理基准冷负荷。请同学们根据数据分析夏季合理基准冷负荷，基准冷负荷的时间可以是天、周或月，时间越短越好。再请同学们考虑，如果将商场温度提高 1 度，其合理基准冷负荷将会减少多少？

注：商场的面积为 5.6 万平方米。共 6 层，地下 1 层，地上 5 层，层高 4.5 米，建筑成长方体。

附注：中央空调系统的工作原理。

中央空调系统主要由制冷机，冷却水系统、冷冻水系统和末端能量交换设备（比如风机盘管、新风机组）组成。在夏季，末端能量交换设备吸入建筑中的热空气，与热交换设备进行能量交换。热交换设备把热空气变冷，同时把冷冻水（一般热交换前的温度是 7 度）变热，由于建筑中温度的不同，水的流速不同，热交换后的水温也会有所不同。比如建筑中的温度较低时，回水温度可能为 9 度，较高时可能会到 12 度甚至更高。同样的建筑温度下若水的流速变慢，进行热交换的时间就变长了，相应的回水温度就会高于流速快时。变热后的冷冻水经过冷冻水系统的管道，利用水泵提供的动力流回到制冷机，制冷机内部经过两次热交换把冷冻水带来的热量传递给冷却水，冷却水将从制冷机带来的热量利用冷却塔散发到空气中。制冷机内部的热交换过程与末端能量交换设备的热交换原理完全相同。

从上述的工作过程可以看出，中央空调系统传输的冷量是与水的流量和温差有关的，流量一定时，温差越大，传输的冷量就越多，而冷冻水和冷却水系统消耗的能量主要表现在水泵上，对于水泵来讲，流量越小消耗的能量就越少，因此对于冷冻水和冷却水系统来讲，减少流量是一个重要的节能措施。

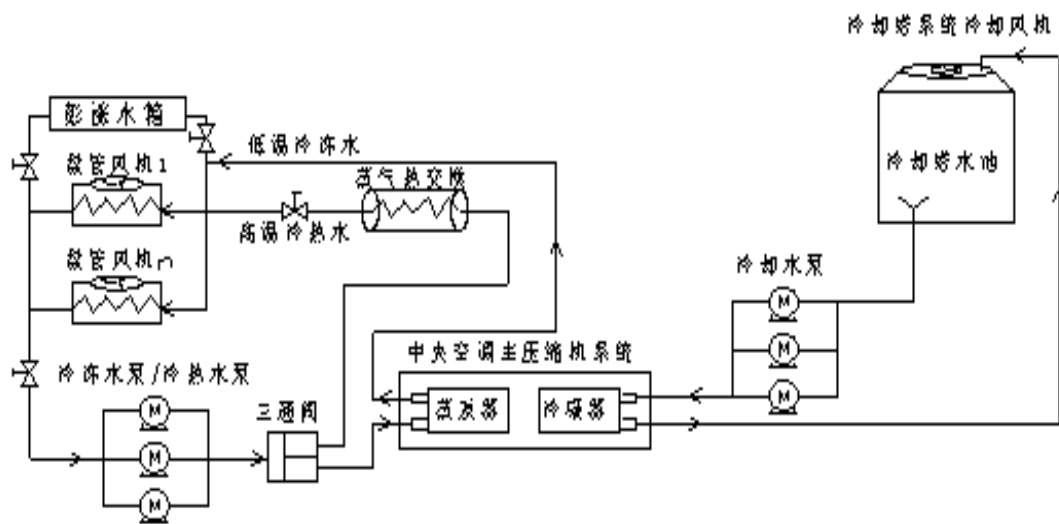


图 1 中央空调系统工艺结构流程

附式 1

建筑围护结构输入的热量（ Q_t ）的简单计算公式：

$$Q_t = KF(t_{L,t} - t_n)$$

其中： k 为屋顶和外墙的热传导系数，屋顶的传导系数的范围一般为 0.7-2.7；外墙的系数的范围为 0.3-0.9，同学们计算时，可分别选 1.2 和 0.6。

F ：外墙和屋顶的面积。

$t_{L,t}$ ：为冷负荷的计算温度值，为了便于计算同学们可在 26-50 之间选择一个值，比如 30 用于计算。

t_n ：室内设定温度值。

因新风的冷负荷计算比较复杂，同学们可在计算出的 Q_t 基础上，将 βQ_t 作为新风的负荷。其中 β 为估算系数，计算时 β 可取 0.8。

附注：

不考虑水泵效率变化，理论上水泵所耗功率与流量的三次方成正比，同学们可暂按理论值计算。