

---

# 几种能耗计算方法简介

赵志安

建筑的节能减碳是实现 2030 年前碳达峰和 2060 年前碳中和两大战略的基础, 建筑设计阶段是决定建筑全寿命期能耗和碳排放表现的重要阶段, 其合理性主导了后续建筑活动对环境的影响和资源的消耗。建筑能耗、可再生能源利用及碳排放量是表征建筑对环境影响和资源消耗的关键指标, 设计阶段对建筑能耗可再生能源利用及碳排放分析有助于更加科学合理地确定建筑设计方案、能源系统设计方案和相关参数。

建筑能耗和碳排放量计算过程较为复杂、涉及的计算因素也很多, 国际上普遍采用提供工具并配合详细计算方法的方式提高计算结果的有效性和一致性。接下来将对能耗计算的基本概念以及国内目前主流的能耗计算方法和软件核心进行简要介绍, 帮助大家了解目前行业能耗计算的现状, 抛砖引玉, 促进交流, 共同推动行业的发展进步。

## 一、能耗计算基本概念

**全年动态负荷:** 根据室外气象资料, 考虑围护结构(门窗、墙、屋顶等)做法, 室内情况(人员、照明、设备、渗透风量、新风量), 室内设定温湿度, 考虑各层材料的蓄热性能, 计算出的全年 8760 小时的负荷。

**全年静态负荷:** 根据室外气象资料, 考虑围护结构(门窗、墙、屋顶等)做法, 室内情况(人员、照明、设备、渗透风量、新风量), 室内设定温湿度, 但不考虑各层材料的蓄热性能, 计算出的全年 8760 小时的负荷。

**传递函数系数:** 反映房间蓄热特点的一组系数(最简单的就是把建筑分为轻、中、重型), 一般国内建筑为重型。软件内部存储的一组传递函数系数是行业内公认的系数, 另外, DOE2 也可以根据工程计算它的传递函数系数。

传递函数法的负荷计算过程:

1) 房间得热: 各种室内室外扰量(如室外空气温度、太阳辐射、室内照明等)引起的房间得热量(或者冷量)(正负号确定冷量还是热量)。

2) 房间负荷: 由房间得热引起的负荷。房间得热和传递函数系数的卷积为负荷。

计算负荷的传递函数法: 用传递函数系数计算负荷的方法。该方法可以一个房间一个房

---

间的计算房间负荷。变量只有每个房间的房间温度，数量为房间数量。由于变量数量少，每个时刻都按房间个数计算，计算速度较快，计算结果可靠，DOE2用的就是这种方法。

计算负荷的状态空间法计算过程：

根据室内一组热平衡方程，计算组成房间的全部内外壁面温度（包括家具、窗帘），根据每个房间的壁面组成计算房间的负荷。该方法需要建筑物全部房间各壁面列出联立方程组求解。变量为一组壁面温度，数量为每个房间的壁面数量之和。这种方法计算耗时很长，清华大学的 Dest 用的就是这种方法。

能耗：上述负荷是每个房间的供热量（供冷量）基本要求，最终要通过设备（房间末端设备如室内机、风机盘管、风口，输送设备如风机、水泵，制冷设备如室外机、制冷机、锅炉等）输送到房间，这些设备消耗的全部能量叫能耗。如消耗多少电，消耗多少天然气等。

负荷：可以理解为建筑围护结构为达到使用要求而需要供热量（或冷量），能耗是根据实际设备消耗的煤、电、气、油量。设备是根据负荷要求配备的，但是设备的能耗可能大于负荷、也可能小于负荷，因此，能耗才是建筑物实际消耗的能量。

再具体来说，房间负荷可认为是维持房间温湿度条件，由围护结构引起的负荷（新风量根据室内人员定），能耗可认为是维持房间温湿度条件，由空调设备提供的能量消耗。所以空调设备能量消耗与空调系统形式（如风机盘管系统、分体空调，各种系统空气处理方式不同）和空调设备的性能（如制冷效率  $\text{cop}=\text{制冷量}/\text{用电量}$ ）有关。一般建筑空调是由房间+系统（空调末端设备，即房间空调设备如风机盘管，房间空调设备温湿度的控制方法，连接空调末端设备和机房的管道和阀门等）+空调制冷机房（也供热）组成。

节能计算主要是让建筑物的围护结构等的设计满足使用要求，一般可以仅仅考虑负荷的要求就可以，但是碳排放计算应该按照能耗量来计算，而不应直接把负荷当成实际的耗能结果来处理。

## 二、DOE2 能耗计算方法

DOE2 是美国能源局组织 80 年代组织开发的软件，功能由四部分组成，负荷计算(load)、空调系统(system)、机房(plant)、经济分析(economic)。目前我们用到的是前三部分计算能耗，第四部分的经济分析涉及到系统机房的工程造价，与节能计算无关。

1 负荷计算(load):利用传递函数法，计算房间负荷。

2 空调系统(system):根据系统形式，室内温湿度设定（可逐小时变化，利用室内温控器控制方式），修改前面计算的负荷，得出此刻的负荷，根据设备性能，计算空调室内设

---

备供给的热量（供冷量），空调室内设备不供给热量（供冷量）时，计算室内空气温度。

3 机房（plant）：根据冷热源情况（空调制冷机、制热机组、冷却塔、供热水泵、供热水泵台数容量等），机组性能，逐时计算能源消耗，计算总的各种能耗量。

YJK 软件计算能耗调用了计算核心 DOE2 的上述 3 步即负荷计算（load）、空调系统（system）、机房（plant）计算得出总能耗（1—3 步自动完成）。用的方法是国际上比较流行的传递函数法。该方法研究者也在许多国际出版物上发表实测和软件计算结果的对比，是国际上比较认可的计算方法。负荷计算有理论支持，计算结果被国际认可。

目前我国国家节能规范也是按照这种方法完成的计算推导。

利用传递函数系数，较好处理了负荷计算（load）和空调系统（system）的关联计算问题。

传递函数系数法计算负荷就是把围护结构蓄热特性和家具特性，用一组房间传递函数系数表示，变量数量少，每个时刻都等于计算房间个数，计算速度较快，计算结果可靠。

DOE2 能耗计算就是模拟实际采用的空调系统、空调控制方法、设备布置、空调运行情况等的计算。

YJK 节能和碳排放软件目前采用该方法进行能耗模拟计算。

### 三、Dest 计算核心

Dest 是清华大学利用状态空间法开发的计算空调负荷程序。即每个壁面列方程，假设一个壁面一个温度，家具作为一个壁面处理，一个建筑建一组方程组，解方程组计算壁面温度，根据壁面温度再计算逐时负荷，当没有供热供冷时，方程组的变量除了壁面温度外，还要增加室内温度。

状态空间法计算负荷就是把围护结构面和家具面（家具用面表示）用一组传热方程表达，变量数量较多，每个时刻都等于建筑物计算房间壁面个数之和。

家具处理和窗帘也是近似处理。

该软件最初是老师负责指导，主要由学生开发。

这种负荷计算方法也有理论支持，计算结果被国内北方地区采用较多。

该软件只计算了负荷，但是与空调系统的能耗耦合比较难处理，因空调设备出力与房间温度相关，房间温度又与房间的壁面温度相关，所以与空调系统挂钩后，如何修正前面计算的负荷就成为了问题。

---

目前处理的方法就是不考虑能耗进行修正, 直接利用负荷计算结果, 否则会有迭代问题。

## 四、爱必宜 IBE 负荷计算法

爱必宜 IBE 负荷计算核心采用 ISO 13790 方法, 该标准最早用于欧洲热负荷计算, 后来发展为用于热负荷和冷负荷的计算。

该标准介绍三种方法:

1 稳态方法 (quasi-stead), 是以计算季或计算月的平均值为单位计算的稳态计算方法, 它采用经验系数修正间歇供暖供冷供热量的变化 (如办公建筑, 晚上温度设定的低, 白天设定的温度高, 假期长期几天不供冷或热等), 认为一段时间的平均值就代表这段时间的值。标准明确表示该方法对采暖季开始月、采暖季停止供暖月, 以及制冷季开始月和制冷季结束月的计算误差较大, 因为开始、结束时段不一定在月初或者月末, 而常在月中。

2 简单逐时计算法。

3 逐时计算法。

爱必宜 IBE 采用的是采用经验系数修正的稳态方法, 他的负荷计算也没有跟空调系统实际能耗关联, 更无法描述空调房间的控制关系 (如几点开空调, 几点关空调)。

空调负荷计算是空调能耗计算的基础, 由于计算出的负荷只能认为是一段时间的平均值, 误差较大。

对于能耗, IBE 将负荷值打折给出, 误差较大。

## 五、小结

综上所述, YJK 采用的 DOE2 计算碳排放的优势非常明显, 首先它采用的负荷计算的传递函数法是当今国际公认的方法; 其二它可以计算出考虑实际空调系统、空调控制方式的能耗, 并以此作为碳排放计算依据。