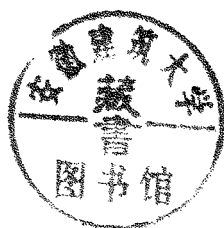


空调工程负荷计算与程序汇编

金显明·编著



天津大学出版社

空调工程负荷计算与程序汇编

金显明·编著

天津大学出版社

内 容 简 介

这是一本建筑类型空气调节专业的参考书和工具书。内容包括：建筑物空调工程负荷计算的发展概况、数理基础应用、空调工程负荷计算原理以及实用的计算程序。实用计算程序使用BASIC语言，可供全国各地暖通技术人员参考应用。同时，本书编入的有关参数和设计计算程序，可作为空调工程负荷计算的手册查阅。本书也可作为高等院校空调专业的选修课教材。

空调工程负荷计算与程序汇编

金显明 编著

*

天津大学出版社出版

(天津大学校内)

天津晒图厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/32 印张11 1/16 字数248千字

1986年3月第一版 1986年3月第一次印刷

印数：1—6050

统一书号：15401·2 定价：2.60元

前 言

建筑物冷负荷计算是空调工程的基础科学。本书主要编写了当前颇具影响的两种计算空气调节负荷的新方法：反应系数法和传递函数法。在编写过程中编者注意做到以下几点：

1. 在绪论中介绍了空调工程负荷计算的发展过程，区别新、旧计算方法的实质，以及新、旧方法交替的各个阶段中出现的問題，读者可以一开始就抓住本书研讨的主题。

2. 由于新的计算方法引进了控制论的概念，需要一定程度的数理基础。控制理论具有时代感，专业技术人员往往有一种可求而不可及的想法，为此，本书在编排上集中写了一章《数理基础应用》。这样，读者可以花较少的时间掌握控制论的一些基本内容，提高阅读本书的兴趣。

3. 本书在编写过程中注意到内容简短、易懂、准确。对计算方法的来龙去脉和结论力求层次鲜明，交待清楚，同时给出应用示范例题。

4. 本书的第五章集中写了计算机程序汇编，每个程序均在PC-1500微型机上实算通过。读者根据子程序的使用说明，或者按照示范例题，可以很容易地运用这些程序制作适合本地区用的反应系数法和传递函数法计算空调工程负荷的表格，这有利于在全国推广。

本书的初稿于83年10月完成，同年11月在天津市制冷学会主持的技术讲座学习班上系统地讲授过，并于84年作为高等学校选修课讲义讲过两遍。广大技术人员对本书的修正和

目 录

第一章 绪论	(1)
1-1 现代建筑的特点	(1)
1-2 空气调节工程负荷计算的发展概况	(2)
第二章 数理基础应用	(7)
2-1 连续函数和离散函数	(7)
2-2 广义函数的应用	(17)
2-3 扰量函数的分解	(23)
2-4 拉氏变换和Z变换	(37)
2-5 线性方程组的矩阵表达式	(61)
2-6 不定常导热微分方程的定解问题	(66)
第三章 反应系数法	(74)
3-1 用反应系数法计算墙体传热的表达式	(74)
3-2 卷积	(81)
3-3 单层壁反应系数的数学式	(85)
3-4 多层壁的反应系数	(108)
3-5 周期性单位波扰量的反应系数	(128)
3-6 反应系数的性质	(133)
3-7 墙体冷负荷计算的表格化	(142)
3-8 外窗的冷负荷计算	(173)
3-9 用卷积形式计算外窗冷负荷的手算方法	(178)

3-10	室内热源的冷负荷计算	(187)
------	------------	-------

第四章 传递函数法 (193)

4-1	物理系统的数学模型	(193)
4-2	线性方程的传递函数	(196)
4-3	墙体的传递函数	(200)
4-4	z 传递函数	(205)
4-5	用 z 传递函数计算空调负荷	(208)
4-6	z 传递系数与加权系数	(219)
4-7	外窗的冷负荷计算	(225)
4-8	墙体的冷负荷计算	(240)
4-9	室内热源形成的冷负荷计算	(259)

第五章 计算程序汇编 (261)

5-1	室外计算温度	(261)
5-2	室外综合温度	(264)
5-3	墙体冷负荷计算的反应温度	(270)
5-4	$T_{w,t}$ 的计算	(279)
5-5	用反应系数法计算辐射热 形成的冷负荷	(283)
5-6	用传递系数制作外窗传导 得热的冷负荷计算温度表	(287)
5-7	用传递系数制作玻璃窗的 冷负荷计算辐射强度表	(290)
5-8	墙体冷负荷计算的传递温度	(297)
5-9	$T_{w,t}$ 的计算	(305)

第六章 计算实例..... (312)

6-1 设计计算资料..... (312)

6-2 用反应系数法计算..... (313)

6-3 用传递函数法计算..... (315)

6-4 计算空调负荷的全程序..... (316)

附 录..... (337)

附录2-1 室外气象参数..... (339)

附录2-2 北京市太阳辐射强度 (W/m^2)..... (340)

附录2-3 围护结构外表面的换热系数 a_w (340)

附录2-4 拉普拉斯变换和 z 变换简表 (341)

附录3-1 北京市透过普通玻璃窗的
太阳总辐射强度 (W/m^2) (344)

附录3-2 人体散热量(W)及散湿量(g/h) (345)

附录4-1 窗的传热系数..... (346)

附录4-2 窗的遮阳系数..... (346)

第一章 绪 论

1-1 现代建筑的特点

随着社会生产力的发展和人民物质生活的提高，现代建筑不仅在外观上和整体结构上向着高层、明亮、轻巧等方面发展，同时建筑物的内部装饰和控制环境的设备——创造舒适而又有益于健康的环境，已是现代建筑中的一项不可缺少的内容。

现代工业建筑的空气调节工程发展迅速。它不仅有益于劳动力的利用和生产率的提高，同时也为工艺生产过程本身所必需。例如纺织、轻工、电子等工业，如果没有全年控制室内参数的设施，产品质量就要受到很大影响；食品工业是否装设空调设备，已成为外商核实食品能否达到出口卫生标准的关键措施。

至于现代化大型公共建筑、旅游宾馆、以及近年来经济技术开发区的金融贸易中心、饭店、旅馆等建筑，均需装备完善的空气调节系统。现代建筑不论其外表修饰得多么华丽宏伟，没有控制室温的空气调节系统，就称不上是现代化建筑。

1 - 2 空气调节工程负荷 计算的发展概况

空气调节的广泛应用,伴随着节约能源消耗的重大课题。据有关资料统计,一个现代化卷烟厂,在夏季空气调节的耗电量几乎占全厂用电量的 $1/2$; 一座 1万m^2 的高级宾馆,空调设施正常运转起来,耗电量约为 350kW 。因之,为了正确地确定空调容量,建筑物空调负荷的计算方法和原理,已被各国空调技术人员作为专门研究的课题,并称之为空调工程的科学基础。因为这不仅涉及到能源的合理利用,同时也是确定空调系统的风道尺寸,冷冻机和冷却器等贵重设备的数量和机房的用地面积等诸因素的重要经济问题。

建筑物负荷的计算,经历了从静态向动态转化的重大变革,这种变革是随着计算技术的高超发展而付诸实现的。新计算方法的实质在于区别得热和负荷两个完全不同的概念。得热是指某一时刻通过外界和内部进入空调房间的总热量;而负荷是指某一时刻为保持空调房间的参数不变所消耗的冷量。这就是说进入房间的总热量,特别是其中的辐射热部分不会完全对室内的空气起作用,影响室内参数的只是部分热量,只要满足供给抵御这部分余热的冷量,就能保持空调房间的恒温不变。旧的计算方法认为建筑物的得热就是负荷,这显然增大了空调设备的设计容量。一般说来总是得热大于负荷,即

$$Q_{\text{得热}} > Q_{\text{负荷}}$$

这个关系式不仅在理论上得到了圆满的解释,在对空调

房间的实测中也得到了证明。理论的根据可作如下说明：空气中的三原子气体含量微少，不能直接接受辐射热，透过玻璃窗进入空调房间的太阳辐射热或室内其他热源的辐射热，首先照射在室内的建筑结构（内壁、地面等）和家具等的表面上，使其表面温度升高，一部分热量蓄存在各物体内，一部分以对流的方式传给室内空气，引起室内空气参数的变化，从而形成空调房间的冷负荷。图1-1表示得热量和冷负荷的关系以及结构质量的影响，高峰得热量的衰减和延迟，对于重型结构尤为明显。图1-2给出了荧光灯一段时间应用时的冷负荷。图1-1和图1-2曲线下的面积全部近似地相等。这意味着，在一天之内由结构排除大约与蓄热相同的总能量。

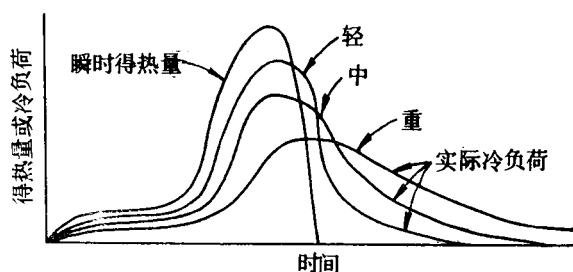


图 1-1 实际冷负荷、日照得热量与轻、中、重型结构的影响
空调工程的负荷计算，从计算得热转化为计算负荷，大体经历了三个阶段。

一、五十年代的计算方法

墙体：

$$Q_1 = k_1 F_1 (\theta_g - \theta_n) + 0.017 k_1 F_1 \varepsilon J \quad (1-1)$$

外窗：

$$Q_2 = k_2 F_2 (\theta_g - \theta_n) + x J_t \cdot 600 (1 - \rho) \quad (1-2)$$

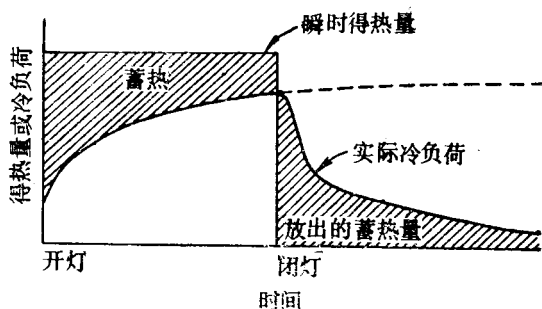


图 1-2 荧光灯的实际冷负荷

式中 k_1, k_2 ——墙体和玻璃窗的传热系数

F_1, F_2 ——墙体和窗洞的计算面积

θ_g ——室外设计计算温度

θ_n ——室内设计计算温度

ϵ ——墙体的吸收系数

J ——太阳辐射强度

x ——经过某表面的设计太阳辐射热量与最大辐射热量之比

J_t ——夏季透过玻璃窗的最大太阳辐射热

ρ ——窗洞的非透明体与窗洞的总面积之比

式 (1-1) 和式 (1-2) 是属于静态的稳定传热计算, 它不仅没考虑室外温度和太阳辐射热随时间变化的因素, 而且计算出的是设计参数下得热量的最大值。

二、六十年代的计算方法

墙体:

$$Q_1(t) = k_1 F_1 [\theta_d(t) - \theta_n] \quad (1-3)$$

其中

$$\theta_d(t) = \theta_{z.p} + \frac{\alpha_n}{k_1 \nu} \Delta \theta_z(t)$$

式中 $\theta_d(t)$ ——当量温度, 随时间而变的逐时值

$\theta_{z.p}$ ——综合温度的日平均值, 常数

$\Delta \theta_z(t)$ ——综合温度的逐时值与 $\theta_{z.p}$ 的差

α_n ——墙内侧换热系数

ν ——衰减系数

外窗:

$$\begin{aligned} Q_z(t) &= k_2 F_z (\theta_w(t) - \theta_n) + F_z x_m x_z J_t(t) \\ &= k_2 F_z \left[\theta_w(t) + \frac{x_m x_z J_t(t)}{k_2} - \theta_n \right] \quad (1-4) \end{aligned}$$

式中 $\theta_w(t)$ ——室外设计温度的逐时值, 随时间而变

x_m ——窗的有效面积系数

x_z ——窗的遮阳系数

$J_t(t)$ ——透过玻璃窗太阳辐射热的逐时值, 随时间而变

计算墙体传热的式(1-3), 考虑了热流传递过程中的衰减和时间上的延迟, 实际上是属于动态的传热计算, 较之式(1-1)有了明显的进展, 但是计算外窗传热的式(1-4), 虽然考虑了随时间变化的因素, 但其计算结果仍然是计算时刻的得热, 并认为得热就是负荷, 仍然没有顾及建筑结构和家具等对太阳辐射热的贮蓄因素。

三、空调工程负荷的动态计算

自七十年代, 借鉴于国外的资料, 我国开始了探讨空调工程负荷的动态计算方法。这种方法明确了得热和负荷这两个完全不同的概念, 把得热看成是扰量函数, 而把负荷看成

是在外扰函数作用下的输出，实际上是应用了控制论的方法计算空调工程负荷。这种计算方法揭示了外扰、蓄热、热流反应之间的客观规律，最大限度地体现了与实测的一致性。动态负荷计算是赖以解一维的导热偏微分方程，它的形式如下：

$$\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta(x,t)}{\partial x^2} \quad (1-5)$$

式中 $\theta(x,t)$ ——温度函数

a ——导温系数，仅取决于材料的导热系数 λ ，热容量 c 以及容重 γ

x ——沿墙体导热方向建立坐标系统的横坐标

t ——时间

其实，式（1-5）是由经典的传热学微分理论建立起来的方程，方程的本身早为空调工程技术人员所熟知，只是由于气象外扰的多变性和建筑材料的多样性，使得求方程(1-5)的定解并非易事。如同控制论中众多理论问题相象，只是在计算机的诞生和广泛应用之后，诸如此类问题方得到了圆满地解决。本书将系统地介绍计算空调工程负荷的反应系数法与传递函数法，即是从解式（1-5）着手。由此所得出的反应系数和传递函数系数正确地反映了热传递→蓄热→衰减→负荷的动态过程。

第二章 数理基础应用

2-1 连续函数和离散函数

一、连续函数

在数学上连续函数有明确的概念。若 $f(t)$ 是自变量 t 的一个函数，所谓连续函数即函数的连续变化，不仅对自变量 t 取的每一个值，函数 $f(t)$ 能够按照一定规律有确定的值与之对应，而且还必须满足下述条件：

设 $y = f(t)$ 是区间 (a, b) 内的一个函数，若 $y = f(t)$ 反映了事物的连续变化过程，如图2-1所示，它应该是一条平滑的连续曲线，并且满足如下的规律，当 t_0 是在区间 (a, b) 内，自变量增量 $\Delta t = t - t_0$ 的绝对值变化很微小时，则对应的函数增量 $\Delta y = f(t) - f(t_0)$ 的绝对值也应该很微小。在数学上给出如下表示：

$$\begin{aligned} \Delta t \rightarrow 0 \text{ 时 } \Delta y &\rightarrow 0 \\ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta y &= \lim_{t \rightarrow t_0} [f(t) - f(t_0)] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2-1)$$

或

$$\lim_{t \rightarrow t_0} f(t) = f(t_0) \quad (2-2)$$

倘若函数 $f(t)$ ，在它的区间 (a, b) 内的每一点都满足式(2-1)或式(2-2)，则称 $f(t)$ 为在区间 (a, b) 内的

连续函数。

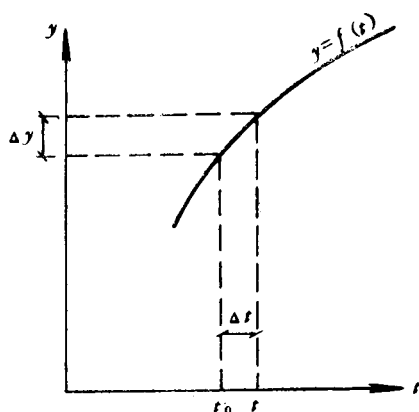


图 2-1

自然界中许多事物的变化规律都可用连续函数来描述。在空调工程中室外计算温度和室外综合温度即是以时间 t 为自变量的连续函数。例如，室外计算温度用下式表示：

$$\theta(t) = \theta_{cp} + A_w \cos 15 (t - t_{max}) \quad (2-3)$$

式中 $\theta(t)$ ——室外计算温度 $^{\circ}\text{C}$

θ_{cp} ——某一地区夏季空调室外计算平均温度 $^{\circ}\text{C}$
(常数)

A_w ——室外气温昼夜波动振幅 $^{\circ}\text{C}$ (常数)

t ——计算 $\theta(t)$ 的某一时间

t_{max} ——某一地区室外气温最高值发生时间 (常数)

显然，函数 $\theta(t)$ 是时间 t 的连续函数。至于室外综合温度是相当于室外空气计算温度增加了一个太阳辐射的等效温度 $\rho J / \alpha_w$ 的值， ρ 、 α_w 皆为常数，只要把太阳辐射强度 J 根

据不同地区的地理纬度按太阳时角表示为时间的函数，那么室外综合温度也可以化为时间的连续函数，并表示为：

$$\theta_z(t) = \theta(t) + \frac{\rho J(t)}{\alpha_w} \quad (2-4)$$

式中 $\theta_z(t)$ ——综合温度℃

ρ ——外墙的吸收系数

α_w ——墙外侧的热交换系数

$J(t)$ ——太阳辐射强度，随时间而变

综合温度的函数图形如图2-2所示。

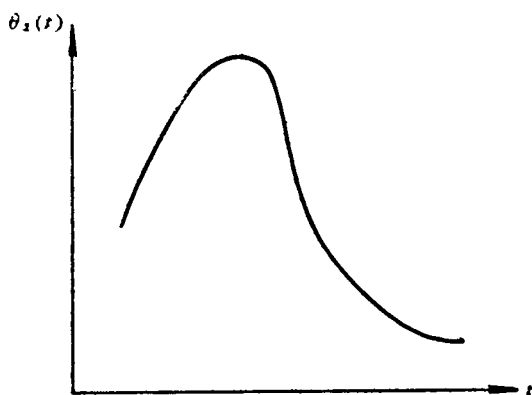


图 2-2

【例2-1】 a) 计算北京地区夏季各时刻室外计算温度； b) 计算北京地区建筑物各朝向的计算综合温度。

解：a) 由附录2-1查出，北京地区的日平均温度 $\theta_{cp} = 29^\circ\text{C}$ ，发生在 $t_{max} = 15.5$ 时的最高设计计算温度 $\theta_{max} = 33.8^\circ\text{C}$ ，则

$$A_w = \theta_{max} - \theta_{cp} = 33.8 - 29 = 4.8^\circ\text{C}$$

根据式(2-3)

$$\theta(t) = \theta_{cp} + A_w \cos 15 (t - t_{max})$$

将式中 t 以0:30, 1:30, 2:30……各时刻代入, 计算结果列入表2-1内,

北京地区夏季室外计算温度

表2-1

时 刻	0:30	1:30	2:30	3:30	4:30	5:30	6:30	7:30
$\theta_w(^{\circ}\text{C})$	25.6	24.8	24.4	24.4	24.4	24.8	25.6	26.6
时 刻	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30
$\theta_w(^{\circ}\text{C})$	27.8	29.0	30.2	31.4	32.4	33.2	33.6	33.8
时 刻	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30
$\theta_w(^{\circ}\text{C})$	33.6	33.2	32.4	31.4	30.2	29.0	27.8	26.6

b) 根据式(2-4)

$$\theta_z = \theta(t) + \frac{\rho J(t)}{\alpha_w}$$

由附录2-3 查得 $\alpha_w = 19.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$; 并根据附录2-2 将各朝向各时刻的 $J(t)$ 查出, 式中 $\theta(t)$ 采用表2-1的数据, 即可算出 $\rho = 1$ 时各朝向外墙的计算综合温度。为了计算的方便, 可以在PC-1500计算机上排出打印程序(见第五章程序汇编), 现将计算结果列入表2-2内。