



世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

101011011001010101010101010101

101011011001010101010101010101

供热工程

王亦昭 刘雄 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TU833/14

2007

21 世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

供 热 工 程

主 编 王亦昭 刘 雄
参 编 曲云霞 樊越胜 刘艳峰 苏保青 张乃圆
主 审 赵鸿佐

机 械 工 业 出 版 社

“供热工程”是普通高等学校建筑环境与设备工程专业的主要专业课程之一。本书系统地阐述了以热水和蒸汽作为热媒的集中供暖系统和城市集中供热系统的工作原理和设计方法,并介绍了有关运行调节的基本知识。考虑到建环专业课程的调整、我国近年来及今后集中供热事业迅速发展的状况,本书的编写与以往同类教材相比,作了较大的变动。系统水力计算的相关内容并入专业基础课“流体输配管网”中;同时,对近年来供暖和供热方面的新技术、新设备和新的研究成果,给予了较充分的介绍。在当前专业课时少,而又要求专业知识面广的教学计划安排下,在迅速发展的暖通空调新技术面前,希望通过本书的学习,使学生掌握供热工程的基本理论和知识,为进行供热工程的设计和研究打下初步的基础。本书也可供相关专业和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

供热工程/王亦昭,刘雄主编. —北京:机械工业出版社,2007.7
(21世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材)
ISBN 978-7-111-21647-6

I. 供… II. ①王…②刘… III. 供热系统-高等学校-教材
IV. TU833

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第086183号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:刘涛 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文
封面设计:王伟光 责任印制:李妍
北京蓝海印刷有限公司印刷
2007年8月第1版第1次印刷
169mm×239mm·10.625印张·412千字
标准书号:ISBN 978-7-111-21647-6
定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379720
封面防伪标均为盗版

前 言

“供热工程”是普通高等学校建筑环境与设备工程专业的主要专业课程之一。本书系统地阐述了以热水和蒸汽作为热媒的集中供暖系统和城市集中供热系统的工作原理和设计方法,并介绍了有关运行调节的基本知识。考虑到建环专业课程的调整、我国近年来及今后集中供热事业迅速发展的状况,本书的编写与以往同类教材相比,作了较大的变动。系统水力计算的相关内容并入专业基础课“流体输配管网”中;同时,对近年来供暖和供热方面的新技术、新设备和新的研究成果,给予了较充分的介绍。在当前专业课时少,而又要求专业知识面广的教学计划安排下,在迅速发展的暖通空调新技术面前,期望通过本书的学习,使学生掌握供热工程的基本理论和知识,为进行供热工程的设计和研究打下初步的基础。本书也可供相关专业和工程技术人员参考。

全书共 13 章。参加编写的人员有:西安建筑科技大学王亦昭、刘雄、樊越胜、刘艳峰,山东建筑大学曲云霞,太原理工大学苏保青,西安有色冶金设计研究院张乃圆。第 1 章、第 5 章、第 11 章由王亦昭编写,第 2 章由樊越胜编写,第 3 章、第 4 章、第 6 章、第 8 章、第 10 章、第 12 章由刘雄编写,第 7 章由刘雄、王亦昭、张乃圆编写,第 9 章由刘艳峰、苏保青、刘雄编写,第 13 章由曲云霞编写。

本书由王亦昭、刘雄主编,由西安建筑科技大学赵鸿佐教授主审。承蒙赵老师详细审阅书稿,提出了许多宝贵意见,谨致诚挚的谢意。

本书引用了许多资料,谨向有关文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中错误和不足之处,敬请专家和读者批评指正,编者不胜感激。

主编联系方式:

地址:西安市雁塔路中段 13 号,西安建筑科技大学 6# 信箱

邮编:710055

邮箱:liuxiong630910@163.com

目 录

前言

第 1 章 供暖系统的设计热负荷	1
1.1 概述——供暖系统设计热负荷	1
1.2 围护物的基本耗热量	2
1.3 围护物的附加(修正)耗热量	13
1.4 对围护物传热阻的技术与经济要求	15
1.5 冷风渗透耗热量	20
1.6 冷风侵入耗热量	25
1.7 户间传热负荷	25
1.8 供暖设计热负荷计算例题	27
1.9 民用建筑物耗热量指标及耗煤量指标简介	32
第 2 章 供暖系统的散热设备	37
2.1 散热器	37
2.2 散热器的计算	45
2.3 暖风机	51
2.4 辐射供暖设备	54
第 3 章 热水供暖系统	66
3.1 供暖系统概述	66
3.2 重力循环热水供暖系统	69
3.3 机械循环热水供暖系统	71
3.4 分户计量热水供暖系统	82
3.5 系统设计中的几个问题	86
第 4 章 热水供暖系统分户计量及控制设备	90
4.1 热量表	90
4.2 热量分配表	101
4.3 散热器温控阀	104
4.4 自力式控制阀	111
4.5 平衡阀	117
4.6 气候补偿器	120
第 5 章 蒸汽供暖系统	123
5.1 蒸汽供暖系统的工作原理	123
5.2 蒸汽供暖系统	126

5.3 疏水器	134
第6章 集中供热系统的热负荷	145
6.1 热负荷的分类	145
6.2 集中供热系统热负荷的概算	145
6.3 热负荷图	151
6.4 年耗热量计算	157
第7章 集中供热系统	160
7.1 集中供热系统的热源	160
7.2 热水供热系统	172
7.3 蒸汽供热系统	177
7.4 集中供热系统的热力站	185
7.5 集中供热系统的热媒及其参数选择	192
7.6 热网系统形式	194
第8章 热水供热系统的水压图	196
8.1 水压图	196
8.2 热水供热系统的定压	206
8.3 中继加压泵站	220
8.4 循环水泵和补水泵的选择计算	223
第9章 热水供热系统的供热调节	226
9.1 热水供热系统调节方法	226
9.2 热水供热系统集中运行调节的基本公式	227
9.3 热水供热系统的自动控制	239
第10章 供热管网的敷设	243
10.1 供热管网布置原则	243
10.2 供热管道敷设	244
10.3 供热管道及附件	250
10.4 补偿器	252
10.5 管道支座	256
10.6 检查室和检查平台	260
第11章 供热管道的保温及其热损失计算	261
11.1 保温材料及其制品	261
11.2 供热管道热损失计算	266
第12章 供热管道的应力计算	277
12.1 管壁厚度及活动支座间距的确定	277
12.2 管道的热伸长及其补偿	281
12.3 固定支座(架)的跨距及其受力计算	288
第13章 直埋敷设供热管道的设计	291
13.1 直埋热水管道的敷设及安装	291

13.2 直埋敷设管道的应力验算	300
13.3 直埋蒸汽管道的设计及安装	305
附 录.....	313
参考文献	332

第 1 章

供暖系统的设计热负荷

1.1 概述——供暖系统设计热负荷

在讨论设计热负荷之前，首先应了解两种供暖方式：一种是连续供暖；另一种是间歇供暖。连续供暖时，室内空气温度在一天 24h 内均保持为设计值，而间歇供暖设计时，允许一天中的非使用期内，室温有所下降。不同的供暖方式所需要的供暖设备的额定容量不相同，也就是它们的设计热负荷值不同，确定方法也不相同。本章只阐明连续供暖设计热负荷的确定方法。另外，还应了解，本章所述设计热负荷的确定方法是针对房间全面供暖用的，即以整个房间为对象，保持整个房间的空气处在一定的舒适温度上，而不是只保持房间内某部分区域的供暖温度需要，即所谓局部供暖时使用的方法。

在冬季，为了维持室内空气一定的温度，需要由供暖设备向供暖房间供出一定的热量，称该供热量为供暖系统的热负荷。对一个已知的房间，供暖热负荷是个变动着的量。例如：外温下降或上升，热负荷会增大或减少。为了设计供暖系统，即为了确定热源的最大出力（额定容量），确定系统中管路的粗细和输送热媒所需安装的水泵（水暖时）的功率，以及为了确定室内散热设备的散热面积等，均须以本供暖系统所需具有的最大供出热量值为基本数据，这个所需最大供出热量值叫做供暖系统的设计热负荷。因为影响供暖热负荷值的主要因素是室内外空气的温差，故我们把在室外设计温度下，也就是供暖系统所能保证的最低外温下，为维持室内空气在卫生标准规定的温度，也就是说，维持室内空气为设计温度，所必须由供暖设备供出的热量叫做供暖系统的设计热负荷。

决定着供暖热负荷值的因素，对一已知房间而言，是房间的得热量与失热量。也就是当室温保持恒定时，除去供暖设备向室内供出的热量之外，在某一瞬间，所有流入或流出房间的热量。这些得、失热量有：

1) 通过围护物的传热耗热量 Q_1 。这里指的是通过房间围护物所进行的热量

传递引起的耗热量；包括通过外围护物的温差传热、太阳辐射的透过和围护物外表面吸收太阳辐射后的传入热量，也包括通过内围护物的温差传热等。

2) 加热由门、窗缝隙渗入室内的冷空气的耗热量 Q_2 ，称为冷风渗透耗热。应注意，当建筑围护物本体具有不规则的孔隙或缝隙时，通过这些不便于丈量又形状复杂的不严密处渗入室内的冷空气的吸热量不包含在此项 Q_2 中。

3) 加热经开启的门、孔洞由室外或邻室侵入室内的冷空气的耗热量 Q_3 ，称为冷风侵入耗热量。

4) 水分蒸发吸热量 Q_4 。

5) 加热由外部运入的冷物料和运输工具等的耗热量 Q_5 。

6) 通风耗热量，即未设人工进风补热的房间，人工排风系统的排风所带走的热 Q_6 。

7) 工艺设备散热量 Q_7 。

8) 除供暖管道之外的热管道及其他热表面的散热量 Q_8 。

9) 热物料散热量 Q_9 。

10) 其他途径散失或获得的热量 Q_{10} 。

在上述得、失热量项目中，第 4) ~ 10) 项主要发生在工业建筑内或少数的公共建筑内。对住宅、办公楼等类型的民用建筑，经常是只发生第 1) ~ 3) 项得失热量，第 10) 项其他途径的得失热量在民用建筑中应该是“自由热”，即人体、炊事、照明、家用电器等发热；但在确定供暖设计热负荷时，考虑到自由热的数值不大，且不稳定，规范规定将之忽略。于是，对没有设置机械进、排风通风系统的一般民用建筑物，供暖设计热负荷 Q' (W) 为

$$Q' = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 \quad (1-1)$$

式中，上标“'”表示设计工况下的各种参数，以区别于任意（非设计）工况下的各参数值。

$Q' = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3$ 也常被称为“房间热损失”。对工业建筑及某些公共建筑，当已知一个车间或公共场所的建筑平、剖面尺寸及围护物构造，以及生产工艺及生活活动对室温的要求后，便可首先计算房间热损失。然后，再依据车间性质和生产过程的特点，逐项计算 $Q'_4 \sim Q'_{10}$ 值；最后，尚须经过各车间或工部的热平衡计算与风平衡计算，最终确定供暖系统的设计热负荷。

本章主要学习 Q'_1 、 Q'_2 、 Q'_3 的计算原则和方法。后续课程如“通风”、“空调”等将讲解其他项得失、热量与相关建筑供暖系统设计热负荷的确定方法。

1.2 围护物的基本耗热量

通过围护物的传热是一个复杂的过程。因为室外空气温度和太阳辐射强度随

昼夜和季节在变化,使这一过程成为不稳定的传热过程。对于不稳定传热,墙体、楼板等具有蓄热能力的围护物,对外温的波动,起到衰减和滞后的作用;对太阳辐射等辐射成分的得热有蓄热效应。就整个房间而言,通过外围护物传热所形成的房间供热(冷)量,需要将所有围护物内表面和室内空气视为一个热力系统,建立房间围护物各内表面的热平衡和房间空气热平衡来求解,这种计算是很费时和困难的。

供暖设计时,通过围护物的传热失热量是按稳态传热计算方法处理的。它被分成了两个部分:其一,称为“基本耗热量”;其二,称为附加(或修正)耗热量;并且把房间的各面围护物独立起来分别计算,然后相加。某面围护物的基本耗热量是指按稳态传热理论计算的一维温差传热量;而附加(或修正)耗热量则主要考虑外围护物的太阳辐射的得热量及温差传热计算中某些条件改变时,所必须的对基本耗电量的修正。这样做简化,目的就是方便设计。实际上,这是延用了过去长期以来使用的基本计算方法。当初,对非稳态传热理论尚未如现今这般认识和可以实用。20世纪60年代以来,在空调负荷计算和全年空调系统能耗分析计算方面,逐渐完善并采用了按非稳态传热理论的负荷计算方法,而供暖热负荷的上述基本算法没有改变。这是因为,一方面,在冬季,当连续供暖时,通过围护物的温差传热比较接近于稳定状态,由于在我国北方地区室内外温差值较大,太阳辐射得热虽然日波动明显,但在总的热负荷中所占比例不像夏季那么多,因而对这部分热量的计算就不像夏季那么重要和要求仔细进行;另一方面,供暖工程不是空调,对一般供暖建筑而言,室内空气温度容许有一定的波动幅度,负荷计算不要求如空调负荷那样准确;再者,由于计算目的是确定最大热负荷,即确定供暖系统需要供出的最大热量,如果实践证明,所采用的这一整套计算方法及依此所设计的供暖系统,能够适于运行、调节,能够满足严寒时刻的需热,不造成投资和运行维护中的浪费,便是可行的。而现行这套基本方法正是如此。

1.2.1 基本耗电量的计算

某面围护物的基本耗热量 q' (W) 用式 (1-2) 计算

$$q' = KF(t_n - t'_w) \alpha \quad (1-2)$$

式中 K ——围护物的传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

F ——围护物的散热面积,单位为 m^2 ;

t_n ——冬季室内计算温度,单位为 $^\circ C$;

t'_w ——供暖室外计算温度,单位为 $^\circ C$;

α ——温差修正系数。

下面我们逐项讨论上式中各参数的确定。

1.2.2 室内计算温度 t_n

所谓室内计算温度是指距地面 2m 以内人们活动地区 (又称工作地带) 的平均空气温度。室内空气计算温度值应根据人们生活和生产的要求而定。设计车间供暖时, 一般应由工艺设计人员提出要求。暖通规范给出了随劳动强度而定的一般值。如轻作业 (指能耗在 140W 的工种, 如仪表、机械加工、印刷等) 时, 工作地点温度不应低于 15℃, 中作业 (能耗 140~220W, 如木工、钣金工、焊接工等) 不低于 12℃, 重作业 (能耗在 220~290W, 如人力运输、大型包装等) 不应低于 10℃。设计民用房间供暖时, 具体的室内空气计算温度仍应遵循暖通规范及设计技术措施等文件的规定, 依据房间的用途、生活习惯和水平来选定。必须注意, 在冬季, 较高的室温不仅人感到舒适而且能明显提高人的生产效率, 但随着 t_n 的提高会造成设备初投资和运行中能源的较大耗费。根据目前多数国家所规定的生活房间的室内空气温度看, 大致都在 16~22℃ 范围内。根据国内有关部门的研究结果认为, 当人体着衣适宜, 保暖充分且处于安静状态时, 舒适的室温是 20℃, 18℃ 时无冷感, 15℃ 时将有明显的冷感产生。还应注意, 对那些天棚或地面较冷的房间, 室内空气温度宜在 21~22℃ 之间, 即应比较高一些, 而当采用地板辐射供暖时, 宜在 18~19℃, 即室内空气温度可以低一些。这是因为影响人热感觉的周围环境, 除空气温度外, 在一般正常的空气相对湿度和风速条件下, 房间围护物内表面的平均温度也是重要的因素。

由于房间上部空气温度通常都是高于工作地带的温度, 故房间的净高度高或空气沿房间高度的温度梯度较大的房间, 外围护物的内侧空气仅代以工作地带平均温度, 来计算该面围护物的温差传热的话, 误差会较大。为此规定, 对民用房间, 或冷车间 (室内余热的散热强度小于 23W/m², 且垂直温度梯度又难以确定者), 采用修正率的方法; 允许仍用 t_n 代入计算, 修正后便减少了引起的误差。而对热车间, 厂房高度超过 4m 以后, 应按规范规定, 对地面 (仍用 t_n 代入)、天棚 (用屋顶下的空气温度 t_d)、外墙和门、窗 (用地面与天棚两者的算术平均温度) 分别采用不同的室内空气计算温度代入, 才更为准确一些。这就需要已知房间沿高度的温度梯度 Δt (℃/m) 值, 而此值因车间内发热源分布和类型等复杂的情况以及房间的围护物保温情况及通风情况之差异, 往往找不到资料。此时最好按同类厂房已有资料或进行实测来确定垂直温度梯度值。用温度梯度法时, 有

$$t_d = t_g + (H - 2)\Delta t \quad (1-3)$$

式中 H ——屋顶距室内地坪的高度, 单位为 m;

t_g ——工作地点 (通常便是 t_n) 的温度, 单位为℃。

1.2.3 供暖室外计算温度 t'_w

因为是求系统应有的最大供出热量值,故室外计算温度应从当地气象资料中找出一个室外空气干球温度,并取为常数,作为系统能够保证供应热量的室外温度值。

我国现行《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)规定,供暖用室外计算温度,应采用历年平均不保证5天的日平均温度。这就是说:①它是采用日平均温度为统计基础,而不是用其他的温度来统计,例如:小时温度,或两日平均温度,或五日平均温度等。②采用的是“不保证天数”的方法,其含义是:不选用本地曾出现过的极端最低日均温度,而是人为地允许每年的冬季里,有几天时间,室外空气的日平均温度低于所采用的计算温度。这样一来,这几天里,室内空气温度有可能在供暖设备开足马力的条件下也会稍低于设计值 t_n 。③所谓“历年平均”,是指取用某地近期若干年(我国大城市已可以有30年以上的气象资料供查阅)逐年资料进行统计,例如:把30年中出现过接近于 $30 \times 5 = 150$ 次的日平均温度选做计算温度,出现次数少于或多于这个次数的日平均外温都不应做为计算外温。

这个选定方法是我国1975年制订的《工业企业采暖通风和空气调节设计规范(试行)》(TJ19—1975)中所规定的方法。在《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)仍被继续采用。这说明,1975年修订后的 t'_w ,虽然在大多数城市,比修订前的 t'_w 有所提高(提高 $1 \sim 4^\circ\text{C}$ 不等),但更适合我国目前的气候变化特性及围护物的热惰性性能以及供暖工程的特性。修订前, t'_w 值的确定方法是:“25年中的4个最冷冬季里,连续5天的平均温度的最低值的平均值”。这个方法以莫斯科为例,通用 $2\frac{1}{2}$ 砖墙,当波动周期 $Z = 24 \times 5\text{h}$ 时,外温波动幅度将在墙内衰减18倍,莫斯科室外气温在五天的波幅若为 $\pm 18^\circ\text{C}$ 的话,则内表面温度波动结果将为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。莫斯科室内外计算温差若为 $(20 + 21)^\circ\text{C} = 41^\circ\text{C}$,设计供热量的 $1/41$ 的欠缺将发生在外温波动的波谷处,认为这是可被允许的;何况所取值是四个最冷冬季里的最低值的平均值,故而对莫斯科的条件,此方法制定的 t'_w 应是安全的。然而,在我国使用后,证明 t'_w 选用偏低,需要更改方法以适应我国的条件。我国墙厚如按1.5实砖墙,单面抹灰20mm考虑,对 $Z = 24\text{h}$ 的室外温度波动的衰减倍数是33.4(延迟时间为12h)。以北京为例,冬季外温日波幅约为 $5 \sim 6^\circ\text{C}$,则内表面温度波动将不足 $\pm 0.2^\circ\text{C}$;北京的稳态传热温差若取 $(18 + 9)^\circ\text{C} = 27^\circ\text{C}$ (-9°C 为规范值 t'_w),则 $0.2/27$ 的供热量欠缺是更能被允许的;这说明用日平均温度进行统计,对我国情况是安全的。

由于采用了每年有平均5天允许室外温度低于设计值的新方法,统计结果比取连续5天平均温度最低值便有了提高。实践也证明,此提高是适宜的。今后,

随着建筑围护物材料与结构的保温性能不断发展与改进,也随着室外气候条件的不断变化,室外供暖计算温度的现用统计方法还会在实践中被检验。但上述选用 t'_w 时所曾考虑的原则,如按照围护物热工特性来选用室外气温波动周期及其均值做为统计基础;选定合适的不保证时间;统计工作和统计结果的使用都方便;着眼长时间室外气温变化规律,取用相当长一段时期内的最近年份的逐年气温记录等都应继续得到遵循。

具体我国各地 t'_w 值应由采暖通风与空气调节设计的国家标准给出。若使用手册等有关资料时,应注意其统计方法是否符合规范规定及所用气象资料的可靠性。

1.2.4 温差修正系数 a 值

温差修正系数 a 值是用于计算那些不直接与室外空气接触的围护物的基本耗热量的;而且与之相接触的空气温度是一些不供暖空间的不可保证的温度。如图1-1所示的 t_{x1} 、 t_{x2} 。

温差修正系数 a 值的含义是

$$a(t_n - t'_w) = (t_n - t_x) \quad (1-4)$$

$$a = \frac{t_n - t_x}{t_n - t'_w}$$

温差修正系数 a 值是实测统计得来的,它的大小取决于不供暖空间(或房间)的保温状况、通风情况以及周围环境的条件。表1-1列有 a 值可查用。有时, a 值也可自行计算。按照稳定状态;列不供暖空间的传热平衡方程,求出 t_x 值。不过这种计算仅对不通风的、较密闭的空间才较准确。还需已知不供暖空间的围护物传热系数等资料。

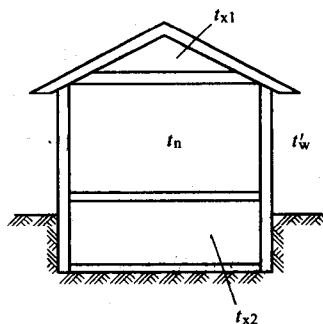


图 1-1 a 值示意图

表 1-1 温差修正系数表

围护结构特性	a
外墙、屋顶、地面、与室外相通的楼板	1.0
闷顶、与室外空气相通的非供暖地下室上面的楼板	0.9
与有外门窗的不供暖楼梯间相邻的隔墙(1~6层建筑)	0.6
与有外门窗的不供暖楼梯间相邻的隔墙(7~30层建筑)	0.5
非供暖地下室上面的楼板,外墙上有窗时	0.75
非供暖地下室上面的楼板,外墙上无窗且位于室外地坪以上时	0.6

(续)

围护结构特性	a
非供暖地下室上面的楼板, 外墙上无窗且位于室外地坪以下时	0.4
与有外门窗的非供暖房间相邻的隔墙	0.7
与无外门窗的非供暖房间相邻的隔墙	0.4
伸缩缝墙、沉降缝墙	0.3
防震缝墙	0.7

1.2.5 围护物的传热系数 K 的确定

当已知围护物的结构时, 可按下列各式计算 K 值, 或直接查资料得 K 值。

1. 匀质多层材料壁板 K 值的计算

对匀质多层材料壁板 (如外墙、楼板等) 的 K 值可用下式计算

$$K = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}} = \frac{1}{R_n + R_j + R_w} \quad (1-5)$$

式中 K ——围护结构的传热系数, 单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

R_0 ——围护结构的总传热阻, 单位为 $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;

α_n, α_w ——围护结构内表面及外表面换热系数, 单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

δ_i ——围护结构各层材料的厚度, 单位为 m ;

λ_i ——围护结构各层材料的导热系数 (热导率), 单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;

R_n, R_w ——围护物内表面及外表面传热阻, 单位为 $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;

R_j ——各层材料层的热阻, 单位为 $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ 。

关于 α_n 与 α_w 的计算:

从传热学已知, 围护物的表面换热过程是对流和辐射的综合过程。内表面的对流换热属于因室内空气温度与围护物内表面温度差而形成的自然对流换热。换热系数值与室内邻近壁面的空气温度与壁面温度之差和壁板的位置与热流的方向有关。而外围护物的内表面温度与室内空气温度之差对人体的舒适感有影响, 不可随意, 它由围护物允许传热阻的设计所确定; 这样, 内表面的对流换热系数, 在热负荷计算时, 可有一个已定的取值范围。内表面的辐射换热系数可按空腔和內包壁辐射换热来考虑, 且按房间只有一面外围护物来计算, 通常的壁面材料的黑度取一定值, 而散热器对各方面围护物的内表面的辐射换热的影响被忽略, 这样, 外围护物内表面的辐射换热系数也可有一个已定的取值范围。从而, 各面外围护物的内表面换热系数, 在作供暖设计热负荷计算时, 可以粗略地取为定值。

外围护物外表面的对流换热由于风的作用属于强制对流换热。其换热系数主要与风速、壁面粗糙度有关。取定室外风速和壁面粗糙度,例如,取 4m/s 的风速和普通粗糙程度,利用经验公式计算得到的值,可作为热负荷计算时所限定的外表面对流换热系数值。此值占外表面总传热系数的份额大。外表面的辐射换热系数 $\alpha_{f,w}$,对于多层建筑,视地面与周围建筑的外表面以及大气层的温度均为室外空气温度,认为壁外表面被周围大气包围在一个封闭系统内,辐射角系数取为 1,且两表面面积之比 A_1/A_2 接近于 0,在通常外围护物外表面的黑度下, $\alpha_{w,f}$ 的数值约为 $4.6 \sim 5.6\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 左右。于是,对多层建筑,外围护物外表面的换热系数,在作供暖热负荷计算时,也粗略地取为定值。

对于高层建筑,由于周围空旷,围护物外表面的对流换热及与外界的辐射换热均应与多层建筑时有所不同。特别是辐射换热部分,不应忽视外围护物外表面对天空大气层辐射这一问题。如图 1-2 所示,墙外表面温度 t_0 ,除吸收地面热辐射外,也吸收来自大气的辐射,若有太阳,还吸收来自太阳的辐射。所谓大气辐射是指来自大气层中水气粒子, CO_2 等微粒的长波辐射。大气层的辐射力很低,它是非黑体,它的温度也不等于地面附近的空气温度,而是取决于其中的水气、 CO_2 含量,取决于它们对太阳辐射的吸收和地面对太阳辐射反射的吸收。由于夜晚没有太阳辐射,当晴朗夜空,夜辐射对围护物外表面的传热影响是显著的,尤其是高层建筑。但这个影响应如何计入高层建筑的设计热负荷中,对这个问题目前尚无答案,因而也就没有办法加以具体计算。

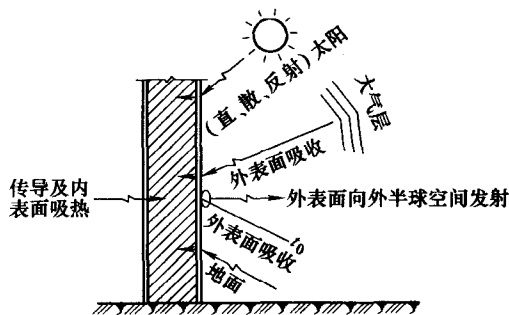


图 1-2 墙外表面热交换分析示意图

综上所述,在供暖设计热负荷计算时, α_n 及 α_w 均为给定数值,可直接查用(见表 1-2 和表 1-3)。所给定的 α_n 值适用于当前的围护物内表面温度与室内空气温度之差值,以及房间有一面外围护物的情况下,且供暖设备是散热器时。而室外表面(外墙等垂直面)的 α_w 值则适用于外表面附近的室外风速在 $3 \sim 5\text{m/s}$ 范围内的多层建筑的情况。

当实际情况与给定 α_n 、 α_w 值偏差较大时,在附加(修正)耗热量中解决。

表 1-2 围护物内表面换热系数 α_n 值 [单位: $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]

围护物内表面特征	α_n
墙、地面、表面平整或有肋状突出物的顶棚, 当 $h/s \leq 0.3$ 时	8.7
肋状突出物的顶棚, 当 $h/s > 0.3$ 时	7.6

注: h ——肋高; s ——肋间距。

表 1-3 围护物外表面换热系数 α_w 值 [单位: $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]

围护物外表面特征	α_w
外墙和屋顶	23
与室外空气相通的非供暖地下室上面的楼板	17
闷顶和外墙上无窗的非供暖地下室上面的楼板	12
外墙上无窗的非供暖地下室上面的楼板	6

围护物组成材料的导热系数 λ 值可查有关建筑材料热物理特性资料。资料中所列数值是材料自然含湿量和常温（建筑围护物常用温度）下的值。多孔的保温材料要注意被压缩或受潮后 λ 值的修正, 有修正系数 $\alpha_\lambda > 1$ 应注意代入。

2. 非匀质层壁板 K 值的计算

如图 1-3 所示, 垂直于热流方向上有非匀质层的壁板（如空心砖、空心楼板等）的传热系数 K 值, 因为有冷桥产生, 故属于二维传热过程。在工程实用上, 藉助实验数据作近似计算: 假想平行于热流方向做绝对隔热层 I—I、II—II。则冷桥被隔断。材料层的平均热阻便可按面积加权平均。取竖向一个单元的长度各为 a_1 、 a_2 , 垂直于纸面方向取宽度为 1m 即可代表一组面积。于是材料层的平均热阻 R_{pj} ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)

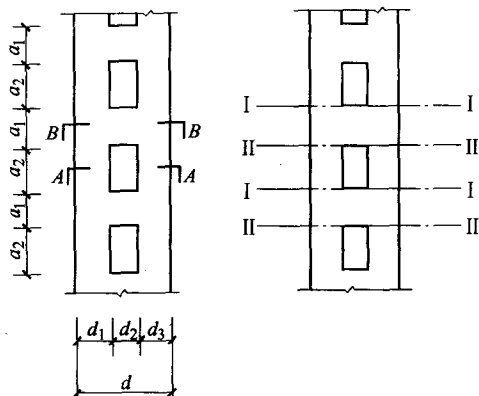


图 1-3 非匀质围护结构传热系数计算图式

$$R_{pj} = \left[\left(\frac{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{R_{oi}}} \right) - (R_n + R_w) \right] \varphi \quad (1-6)$$

式中 R_{oi} ——对应于 a_1 、 a_2 、 $\cdots$ 、 a_n 截面上的（如图 1-3 所示 B—B、A—A 剖面）总传热阻（含 $\frac{1}{\alpha_n}$ 及 $\frac{1}{\alpha_w}$ ），单位为 $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

R_n 、 R_w ——内、外表面换热阻，即 $\frac{1}{\alpha_n}$ 及 $\frac{1}{\alpha_w}$ ，单位为 $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

φ ——平均热阻的修正系数。经实验得来,按表 1-4 取值。由于冷桥被隔断后计算所得热阻比实际值增大,故值 $\varphi < 1$ 。

表 1-4 修正系数 φ 值

序 号	λ_2/λ_1 或 $(\lambda_2 + \lambda_3)/2\lambda_1$	φ
1	0.09 ~ 0.19	0.86
2	0.20 ~ 0.39	0.93
3	0.40 ~ 0.69	0.96
4	0.70 ~ 0.99	0.98

注: 1. 当围护物由两种材料构成, λ_2 应取较小值, λ_1 为较大值, φ 由比值 λ_2/λ_1 决定。

2. 当围护物由三种材料构成, φ 值由比值 $(\lambda_2 + \lambda_3)/2\lambda_1$ 决定。

3. 当围护物中存在圆孔时, 应先将圆孔折算成方孔 (按面积相等折算), 然后再进行计算。

4. 如果有空气间层在非均质材料层中, 先求空气间层的当量导热系数 $\lambda' = \delta/R'$, 式中 R' 为空气层的热阻。

用上述材料层平均热阻 R_{pj} , 再按下式求两向非匀质围护物的传热系数 K [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

$$K = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_n + R_{pj} + R_w} \quad (1-7)$$

3. 空气间层的热阻

空气层的热阻因难以计算, 目前由常用的资料直接查用。使用时应注意:

1) 空气间层的热阻随间层的设置方向 (水平或竖直)、热流的方向 (水平间层时, 热流自上而下或反之)、空气层的形状和厚度、空气层所面向的两表面材料的辐射率 (黑度) 等的不同而不同; 密闭空气层与半密闭 (有流动通风) 空气层的热阻相差值也随流动风量的增加而明显增大。

2) 空气间层的厚度在达到一定尺寸时 (水平放置的间层为 5cm 厚以上, 垂直放置的间层厚度在 4cm 以上时, 当现场施工时, 甚至可认为间层厚 2cm 以上时), 再增加厚度得到的空气间层的热阻增长已很微小。

3) 空气间层壁面粘贴铝箔等黑度较小的材料时, 能显著增加空气间层的热阻; 双侧都贴只对水平放置且热流向下时效果较明显, 而对垂直或热流向上的间层增长不多。

4. 地面的传热系数 K

这里是指贴土地面传热系数的确定问题。

房间里与室外空气相邻的四周围周边地带的地下土壤温度的变化是相当大的。冬季, 这部分土壤受到室外空气与房屋外侧周边土壤低温的影响, 使较多的室内热量由此部分取捷径传到室外。如图 1-4 所示, 随着室内地面距外墙距离的缩短, 传热路程变短, 传热阻便变小。大约在距外墙内表面 6m 以后, 土壤传热