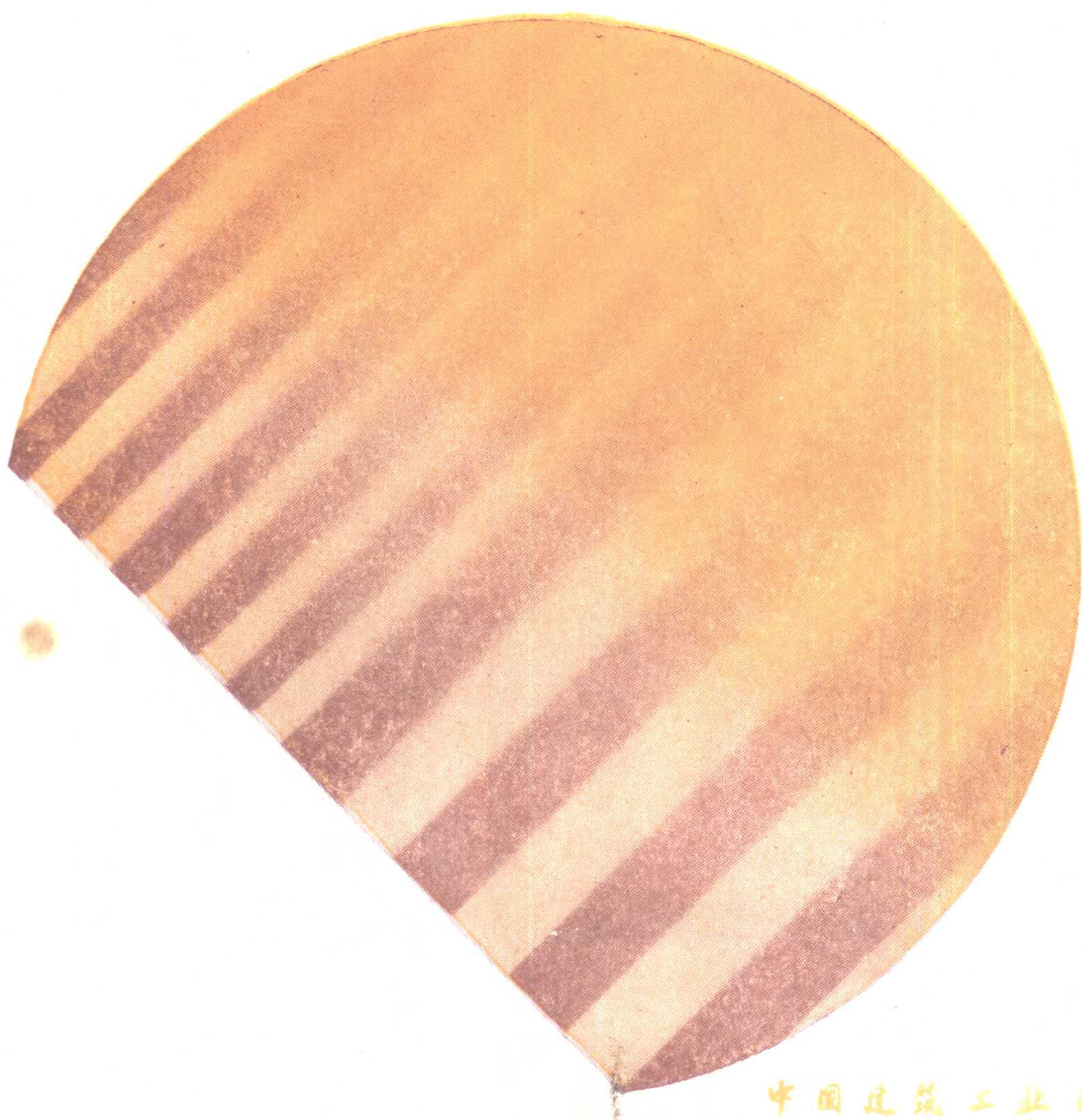


实用 供暖工程设计

荣秀惠 肖兰生 隋锋贞 编

SHIYONG
GONGNUAN
GONGCHENG SHEJI



中国建筑工业出版社

实用供暖工程设计

荣秀惠 肖兰生 隋锋贞 编

房家声 审校

中国建筑工业出版社

本书将供暖工程的专业内容与基础理论揉合在一起编写,结合各章内容需要穿插了有关流体力学、工程热力学及传热学的一些基础知识。

全书共分十章,分别介绍了供暖设计热负荷的计算,热水供暖系统及管网的水力计算,蒸汽供暖系统及管网的水力计算,高温水系统设计和辐射供暖设计。并提供了大量的计算图表和计算实例。

本书可供供暖技术工人和干部自学用,也可作为培训班教材,及供大专院校学生和专业技术人员参考。

实用供暖工程设计

荣秀惠 肖兰生 隋锋贞 编
房家声 审校

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
煤炭工业出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 28 字数: 681千字
1987年9月第一版 1987年9月第一次印刷
印数: 1—23,190册 定价: 4.80元
统一书号: 15040·5231

前 言

近年来,随着建筑业的迅猛发展,以及集中供暖系统在北方城市的广泛普及,众多步入供暖工程设计和施工行业而又未经专门训练的青年,迫切需要通过自学或短期的培训掌握专业技能。鉴于目前尚缺少这样适合于青年读者自学的书籍,笔者不揣冒昧,以过去在培训班教授的讲义为蓝本,参考国内外近期出版的供暖工程书刊及专题文献,结合多年的设计经验,编写了这本《实用供暖工程设计》。

供暖工程作为一门专业课,是以流体力学、工程热力学以及传热学等专业基础课为理论基础的。在学校里,专业课与专业基础课是分设的,自学者按照这种程序学习有一定困难。就是在一般的专门培训班里,因学时有限,也难以安排。为此,本书采用了供暖工程的专业内容与基础理论揉合在一起的写法。在编写过程中,结合各章节的叙述,穿插了有关的流体力学、工程热力学及传热学的一些内容。诸如:稳定传热、水蒸汽的性质、流体静力学及流体动力学等等。这样,把专业课的内容和专业基础课的内容紧密地结合起来,读者不离开本书便可得到必要的、基本的基础课知识。这是本书的主要特点之一。

本书的另一重要特点是注重实用。这也是从青年读者的自学需要出发的。一般的大专院校所用教材,比较侧重于理论的讲述。而青年读者在自学过程中,对于理论的实际应用却往往求教无门。并且,在实际设计和计算中又必须借助于专门的设计手册。因此,本书在阐明供暖基本理论的同时,对于理论的实际运用给以尽可能明了的讲述。书中还提供了大量实用的计算图表和计算实例,供青年读者学习使用和参考。

应该说明的是,注重实用并不等于忽视理论。本书在供暖专业基本理论的编排上,无论深度还是广度,都保持相当于大专院校教材的水平。因此,本书除可供青年读者作为自学课本之用,尚可供大专院校学生和专业技术人员参考。

根据国家规定,本书使用中华人民共和国法定计量单位。该单位以国际单位制(SI)为基础,结合国情增用了一些非(SI)单位。考虑到现在系执行法定计量单位的初期,为便于读者尽快熟悉这一单位制和换算上的方便,书后附表中提供了与供暖工程有关的法定单位制的基本内容和换算关系表。

供暖工程内容广泛,本书限于篇幅难以尽述。如热网管道支座受力计算及锅炉房设计等方面内容,可参阅其他书籍。

本书在编写过程中,得到刘敞受高级工程师等同志的指导与协助,这里谨表示诚挚的谢意。由于笔者水平所限,错漏难免,请读者批评指正。

编著者

一九八六年五月

目 录

第一章 供暖设计热负荷的确定	1
第一节 房间围护结构的传热	2
第二节 室外设计条件的确定	15
第三节 室内设计条件的确定	21
第四节 围护结构的基本耗热量	22
第五节 围护结构的附加耗热量	24
第六节 冷风渗透耗热量	25
第七节 供暖设计热负荷计算实例	27
第二章 散热器的计算与选择	31
第一节 散热器的散热量与热工性能测试	31
第二节 散热器热工性能与其他因素的关系	35
第三节 散热器的计算	36
第四节 目前国内常用散热器	38
第五节 散热器计算示例	45
第三章 自然循环热水供暖系统设计	48
第一节 水的主要物理性质及其输送热量原理	48
第二节 热水供暖系统的供、回水温度	50
第三节 重力作用下液体静压强分布规律及自然循环热水供暖系统工作原理	51
第四节 自然循环热水供暖系统的组成及主要形式	60
第五节 自然循环热水供暖系统作用压头计算	63
第四章 机械循环热水供暖系统设计	71
第一节 机械循环热水供暖系统的工作原理	71
第二节 水泵的构造及性能	72
第三节 机械循环热水供暖系统的基本形式	75
第四节 机械循环热水供暖系统形式的选择	79
第五节 高层建筑供暖系统的设计	79
第六节 热水供暖系统的附属设备	81
第五章 热水供暖系统的水力计算	92
第一节 水力计算的任务	92
第二节 流体动力学基础	93
第三节 流体流动的连续性方程式	96
第四节 伯努利方程式	97
第五节 压力损失的计算	99
第六节 串联管路及并联管路的计算	105
第七节 管道特性方程式及其应用	106
第八节 机械循环热水供暖系统的压力分布	107
第九节 计算实例	109

第六章	蒸汽供暖系统设计	139
第一节	水蒸汽的制备及其物理性质	139
第二节	低压蒸汽供暖系统	143
第三节	高压蒸汽供暖系统	149
第四节	减压阀、安全阀及疏水器	154
第七章	热水供暖管网设计	163
第一节	热水供暖系统热负荷的确定	163
第二节	热水供暖室外管网布置的基本形式及设计要点	173
第三节	供暖管网与用户系统的连接方式	175
第四节	用户引入口主要设备	179
第五节	水压图及其在热水供暖管网设计和运行中的作用	197
第六节	热水供暖管网水力计算	203
第七节	热水供暖管网水力工况	214
第八章	高温水供暖系统设计	232
第一节	高温水热媒特点及节能意义	232
第二节	高温水供暖系统设计	234
第三节	高温水供暖系统的压力分布及水压图	256
第四节	高温水锅炉附属设备	256
第五节	国外高温水供暖工程实例简介	272
第九章	蒸汽供热管网设计	277
第一节	蒸汽供热管网的特点及基本形式	277
第二节	热用户蒸汽引入口装置	278
第三节	蒸汽供热管网的水力计算	279
第四节	凝结水的回收	285
第五节	密闭式高压凝结水回收系统	289
第六节	凝结水管路设计及管径确定	294
第七节	凝结水管路计算实例	298
第十章	辐射供暖设计	303
第一节	辐射换热的机理与辐射供暖的特点	303
第二节	钢制辐射板的计算与选型	313
第三节	辐射供暖系统的设计方法	318
附表		338
附表0-1	SI的基本单位	338
附表0-2	SI的辅助单位	338
附表0-3	用SI基本单位表示的SI导出单位	338
附表0-4	具有专门名称的SI导出单位	338
附表0-5	法定单位中增用的非SI单位	339
附表0-6	用于构成十进位倍数和分数单位的词头	339
附表0-7	习用非法定单位与法定单位的换算关系	340
附表5-1	热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数	341
附表5-2	室内热水供暖系统管径计算表 (95~70℃, $K=0.2\text{mm}$)	342
附表6-1	未饱和水与过热蒸汽表	349

附表6-2	饱和水与干饱和蒸汽表	351
附表6-3	饱和水与干饱和蒸汽表	352
附表6-4	低压蒸汽管径计算表 ($P=5\sim 20\text{kPa}$, $K=0.2\text{mm}$)	354
附表6-5	低压蒸汽系统动压头值及局部阻力损失 (Pa)	355
附表6-6	低压蒸汽系统凝结水管径及空气管径表	356
附表6-7	高压蒸汽管径计算表 ($P=200\text{kPa}$, $K=0.2\text{mm}$)	356
附表6-8	高压蒸汽管径计算表 ($P=300\text{kPa}$, $K=0.2\text{mm}$)	357
附表6-9	高压蒸汽管径计算表 ($P=400\text{kPa}$, $K=0.2\text{mm}$)	357
附表6-10	开式高压凝结水管径计算表 ($P=200\text{kPa}$)	358
附表6-11	开式高压凝结水管径计算表 ($P=300\text{kPa}$)	359
附表6-12	开式高压凝结水管径计算表 ($P=400\text{kPa}$)	360
附表6-13	闭式高压凝结水管径计算表 ($P=200\text{kPa}$)	360
附表6-14	闭式高压凝结水管径计算表 ($P=300\text{kPa}$)	361
附表6-15	闭式高压凝结水管径计算表 ($P=400\text{kPa}$)	361
附表6-16	Y43H-16型活塞式减压阀	362
附表6-17	Y44T-10型波纹管式减压阀	363
附表6-18	低压疏水器	363
附表6-19	S19H-16热动力式疏水器	364
附表6-20	S15H-16钟形浮子式疏水器	365
附表6-21	S43H-10浮桶式疏水器	366
附表7-1	热水供暖管网管径计算表 ($95/70^{\circ}\text{C}$, $K=0.5\text{mm}$)	367
附表8-1	高温水供暖系统管径计算表 ($130/70^{\circ}\text{C}$, $K=0.2\text{mm}$ $\rho=958.38\text{kg/m}^3$)	402
附表8-2	高温水供暖管网管径计算表 ($130/70^{\circ}\text{C}$, $K=0.5\text{mm}$ $\rho=958.38\text{kg/m}^3$)	411
附表9-1	高压蒸汽供热管网管径计算表 ($K=0.2\text{mm}$, $\rho=1\text{kg/m}^3$)	439
参考文献		442

第一章 供暖设计热负荷的确定

冬季,人们为了满足生活和生产的需要往往要求室内或工作地区保持一定的温度。为使房间内的空气温度,在某一段时间内达到要求的数值,必须由散热设备补给热量,此热量称谓该房间的供暖热负荷。一个供暖系统往往要担负若干个房间的供暖,因而一个供暖系统的热负荷与各个房间的供暖热负荷有着直接的关系。一个供暖管网又往往包括了若干供暖系统。显然,供暖管网的热负荷与其所包括的各供暖系统的热负荷又有着重要的关系。所以房间采暖热负荷是供暖设计中最基本的数据,这个数值计算的正确与否,将直接影响着供暖设备的大小、供暖方案的选择及供暖系统的使用效果。

一般情况下,房间供暖热负荷应根据房间的热平衡来计算。即该房间在保持所要求的室内温度条件下,某段时间内,房间得到的热量与损失的热量应取得平衡。

房间的失热量包括:

1. 经地面、屋顶、墙、门、窗等围护结构传出的耗热量;
2. 加热进入室内冷空气所需要的热量;
3. 加热进入室内冷物料所需要的热量;
4. 由于室内水分蒸发所损耗的热量;
5. 通风耗热量;
6. 经其他途径散失的热量。

房间的得热量包括:

1. 太阳辐射热;
2. 人体、照明、设备的散热量;
3. 进入室内热物体的散热量;
4. 通过其他途径获得的热量。

房间供暖热负荷,即是在得热及失热平衡的条件下,为保持房间内设计温度而必须由供热设备供给的热量,一般就是散热设备的散热量。从得失热平衡式可以算出:

房间供暖热负荷 = 房间失热量总和 - 房间得热量总和 = 房间内散热设备的散热量

然而,在供暖工程设计时,并不逐项详细计算得热量和失热量,尤其对于一般民用建筑和产生热量很少的工业建筑来说,通常只计算两类热损失:

1. 经过墙、屋顶、地面、门、窗和其他表面传出的热量;
2. 加热进入室内的冷空气耗热量。

实际上,因为室外温度、风速、风向、阳光都在不断地变化,所以热损失也是随时间而变化的。对于供暖工程设计来说,并不是选择当地气温极端最低值作为设计计算的依据,这是因为一个建筑物的六面体对热量均有一定的“热储存”能力,不会因为室外气温的瞬时变化而马上影响到室内空气温度。同时就供暖工程而言,对室内空气温度的要求也

不象恒温工程那样严格。因而，在实际计算房间供暖热负荷时，先要确定一些设计条件（例如：采暖室外设计温度，室内设计温度，连续供暖或间隙供暖等），根据选定条件计算的热负荷，称为房间供暖设计热负荷。此值是设计时选择散热设备的依据。显然，这个数值如果过大，会使初投资增加，造成浪费。如果过小，则不能满足使用要求。

计算房间供暖设计热负荷的一般步骤为：

1. 选择室外设计温度；
2. 选择室内设计温度；
3. 选择和计算围护结构（墙、地面、屋顶、门、窗等）的传热系数；
4. 计算围护结构的基本耗热量和附加耗热量；
5. 计算渗透冷空气的热负荷；
6. 求出房间供暖设计热负荷。

第一节 房间围护结构的传热

一个装有供暖设施的房间，由于室内空气温度高于室外空气温度，因而产生了由室内通过房间围护结构（一般可视为六面体）向室外传热的过程。

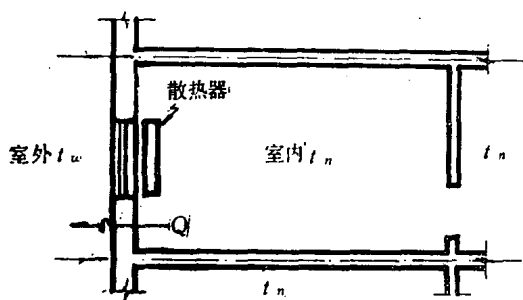


图 1-1 某房间平面图

为了分析房间内的传热过程，先假设某房间（如图1-1）仅有一面外墙向外传热，其他几面与隔墙（包括楼板和地板）相邻房间都有供暖设施并保持相同的室内空气温度。此种情况下，热量的传递有如下几个过程：

1. 散热器的热量以自然对流的方式加热室内空气，同时又以辐射换热的方式传热给该房间的六个内表面；
2. 由于该房间邻室都是同温房间，所以可认为五面内墙的表面温度都相等并等于室内空气温度。但由于其表面温度都高于外墙内表面温度，因而内墙对外墙内表面具有辐射传热；
3. 室内空气以对流换热的方式把热量传给外墙内表面；
4. 外墙又以导热的方式将热量从外墙内表面传向外墙外表面；
5. 外墙外表面以辐射换热方式把热量传给外界，同时室外空气又以对流的方式吸收外墙外表面的热量。

由此可知，整个传热过程实际上是以导热、对流、辐射三种基本传热方式进行的。在多数情况下，每一实际传热过程都同时存在着两种或三种传热方式。为了便于理解，本节首先介绍有关传热的基本知识。

一、传热的基本原理

传热是自然界和生产领域中非常普遍的现象。因为凡是有温差的地方，热量就会自发地由高温物体传到低温物体。研究热量传递规律的科学，称为传热学。它是学习供热、通风、空调等专业技术必不可少的一门重要专业基础课程。这里仅简要叙述有关传热的最基

本知识。

从热传递机理来分, 传热共有三种方式, 即导热、对流和辐射。

1. 导热

导热是指物体各部分无相对位移或不同物体直接接触时依靠物质的分子、原子及自由电子等微粒子热运动而进行的热量传递现象。能量是在连续体内各部分之间传递, 所以导热可以在固体、液体、气体中发生。但实际上单纯的导热只能发生在密实的固体中, 因为流体中如存在温差, 就会出现对流现象, 难以维持单纯的导热。

实践证明, 由单一材料构成的平壁 (如图1-2所示), 若内外表面温度分别为 τ_n 和 τ_w , 而且 $\tau_n > \tau_w$ 。当 τ_n 和 τ_w 总保持恒定时 (称为稳定传热过程), 单位时间内通过该平壁的热量 Q 与壁体材料的导热能力、壁面两侧表面温差、传热面积成正比, 与壁体的厚度成反比, 即:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_n - \tau_w) F \quad W \quad (1-1)$$

式中 Q ——传热量, W ;

F ——平壁的面积, m^2 ;

τ_n 、 τ_w ——平壁两侧的表面温度, $^{\circ}C$;

δ ——平壁的厚度, m ;

λ ——材料的导热系数, $W/m \cdot ^{\circ}C$ 。

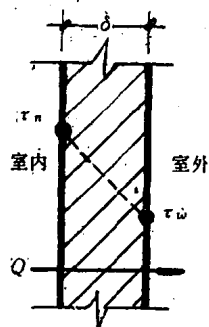


图 1-2 某墙体

材料的导热系数 λ , 是表明材料本身导热能力的数据。此值一般由试验确定。它在数值上表明了: 当材料层厚度为 $1m$ 时, 在单位时间内通过 $1m^2$ 表面积的热量。但是, 即使是同一种材料, 其导热系数并不是常数, 它与材料的温度、湿度等因素有关。一般情况下, 材料密度越大, 导热系数越大, 材料的湿度越大, 导热系数值将显著增大。常用建筑材料的导热系数值见表1-1。

有时, 在讨论传热问题中, 还常用单位面积、单位时间通过的热流量“ q ”表示导热量。则前式可改写为:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_n - \tau_w) \quad W/m^2 \quad (1-2)$$

上式还可写成

$$q = \frac{\tau_n - \tau_w}{R} \quad W/m^2 \quad (1-3)$$

式中, $R = \frac{\delta}{\lambda}$, 称为热阻, $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$;

用“热阻”表达的导热方程从形式上可以看出, 它与电学中的欧姆定律是相似的。这里导热量与热阻和温度差的关系, 就如同电流与电阻和电位差的关系一样。因此电学中有电阻串、并联的计算公式, 同样可用于“热阻”的串、并联。这就给分析和研究多层不同材料组成的复合墙体提供了方便。

上面仅介绍了平壁稳定导热的计算方法。此外, 在工程中还会遇到一些特殊形状的壁体导热问题, 对此不作详细讨论, 只将热流量和热阻的计算公式列于表1-2中。

2. 对流换热

常用建筑材料的导热系数 λ

表 1-1

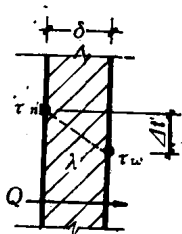
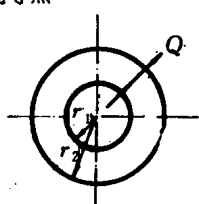
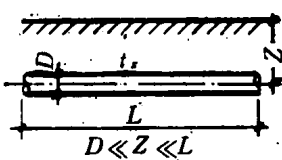
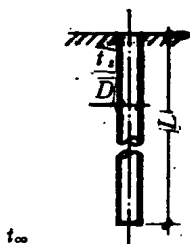
材 料 名 称	密 度 (kg/m^3)	导 热 系 数 λ	
		($\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$)	($\text{kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$)
石棉水泥块和板	1900	0.350	0.30
石棉水泥隔热板	500	0.128	0.11
石棉水泥隔热板	300	0.093	0.08
石棉毡	420	0.116	0.10
沥青焦渣	1460	0.280	0.24
钢筋混凝土	2500	1.630	1.40
钢筋混凝土	2400	1.550	1.33
碎石或卵石混凝土	2200	1.280	1.10
碎砖混凝土	1800	0.873	0.75
轻混凝土 (矿渣混凝土等)	1500	0.698	0.60
轻混凝土 (矿渣混凝土等)	1200	0.523	0.45
轻混凝土 (矿渣混凝土等)	1000	0.407	0.35
加气混凝土、泡沫混凝土	1000	0.396	0.34
加气混凝土、泡沫混凝土	800	0.291	0.25
加气混凝土、泡沫混凝土	600	0.210	0.18
加气混凝土、泡沫混凝土	400	0.151	0.13
加气混凝土、泡沫混凝土	300	0.128	0.11
纯石膏及块	1250	0.465	0.40
松与枞木垂直木纹	550	0.175	0.15
松与枞木顺木纹	550	0.350	0.30
密实的刨花	300	0.116	0.10
木锯末	250	0.093	0.08
防腐锯末	300	0.123	0.11
胶合板	600	0.175	0.15
用重砂浆的实心砖砌体	1800	0.814	0.70
用轻砂浆的实心砖砌体	1700	0.755	0.65
水泥砂浆或水泥砂浆抹灰	1800	0.930	0.80
混合砂浆或混合砂浆抹灰	1700	0.872	0.75
石灰砂浆	1600	0.814	0.70
外表面抹面灰浆	1600	0.872	0.75
内表面抹面灰浆	1600	0.697	0.60
木板条外表面抹石灰浆	1400	0.697	0.60
木板条内表面抹石灰浆	1400	0.524	0.45
沥青纸毡	600	0.175	0.15
窗玻璃	2500	0.756	0.65
玻璃棉	200	0.058	0.05
高炉熔渣、燃料渣	1000	0.290	0.25
高炉熔渣、燃料渣	700	0.221	0.19
矿渣砖	1400	0.580	0.50
矿渣棉	350	0.070	0.06
建筑用毛毡	150	0.058	0.05
石 棉	200	0.070	0.06
泡沫水泥	297	0.190	0.163
泡沫水泥	468	0.298	0.256
硬泡沫塑料板	42	0.047	0.04

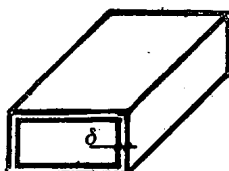
续表

材 料 名 称	密 度 (kg/m ³)	导 热 系 数 λ	
		(W/m·℃)	(kcal/m·h·℃)
软泡沫塑料板	62	0.047	0.04
木丝板 (刨花板)	730	0.081	0.07
木纤维板	600	0.163	0.14

几种稳定导热的热阻计算公式

表 1-2

类 型	$Q = \frac{\Delta t}{R'}$ R' 的表达式
1. 平壁  曲率小的曲壁也可近似用 (墙厚小于内径 $\frac{1}{10}$ 倍)	$R' = \frac{\delta}{\lambda F}$
2. 正圆筒壁的径向导热  正圆筒壁长度为 L	$R' = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi\lambda L}$
3. 埋入半无限大介质中的圆柱, 介质无限远处的温度为 t_∞, 地表认为是绝热的  $D \ll Z \ll L$	$R' = \frac{\left(\ln \frac{2L}{D}\right) \left(1 + \frac{\ln(L/2Z)}{\ln(2L/D)}\right)}{2\pi\lambda L}$
4. 垂直插入半无限大介质中的圆柱, 地表为绝热的, 在无限远处的温度为 t_∞  t_∞	$R' = \frac{\ln(4L/D)}{2\pi\lambda L}$

类	型	$Q = \frac{\Delta t}{R'}$ R' 的表达式
5. 通过矩形匣体内外表面的导热, 内外表面的温度是均一的。壁厚 δ 与任何一个内部尺寸比较起来都很小		$R' = \frac{1}{\lambda \left[\frac{F}{\delta} + 0.54 \Sigma L + 1.2\delta \right]}$ $\Sigma L = \text{所有内部12个长度之和, } F \text{ 为内表面面积}$

对流只存在于流体之中。液体或气体每一局部由于受热体积膨胀, 密度减小而上升, 冷的部分就补充过去, 形成分子的相对运动, 热量就从高温处因分子运动而传向低温处。实质上是以“混合”的方法进行热交换, 因在产生对流的同时, 也伴随着导热过程, 一般把这种综合过程称为对流换热。

在围护结构耗热量计算中遇到的问题, 多数为流体与固体壁直接接触时的换热问题, 如墙的表面与空气之间存在温度差时, 相互间就产生对流换热。其中包括了空气分子间的导热和由空气分子相对位移而引起热量转移这两种传热方式。牛顿曾给出下列计算公式:

$$Q = \alpha_d F \Delta t \quad \text{W} \quad (1-4)$$

同样也可用热阻的方式表示:

$$Q = \frac{\Delta t}{R'} \quad \text{W} \quad (1-4a)$$

$$R' = \frac{1}{\alpha_d F} \quad ^\circ\text{C}/\text{W} \quad (1-4b)$$

单位面积的热阻则为:

$$R = \frac{1}{\alpha_d} \quad \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \quad (1-4c)$$

当用于围护结构表面与空气换热时,

式中 Δt ——围护结构表面温度与空气温度之差, $^\circ\text{C}$;

F ——围护结构表面积, m^2 ;

α_d ——对流换热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ 。

对围护结构内表面而言, 空气是在自然对流条件下运动, 此时对流换热系数取决于温差, 可用下面经验公式进行计算:

$$\alpha_{dn} = b \sqrt[4]{\Delta t} \quad (1-5)$$

式中 b ——系数, 对于垂直表面 $b = 1.977$; 对于水平表面当热流由下向上时 $b = 2.5$; 当热流由上向下时 $b = 1.314$;

Δt ——围护结构表面与周围空气的温差, $^\circ\text{C}$ 。

对围护结构外表面而言, 由于空气经常具有一定的速度(即风速), 因而此时对流换热系数主要取决于风速, 可用下面经验公式计算:

$$\alpha_{dw} = 7.34v^{0.858} + 3.78e^{-1.1v} \quad (1-6)$$

式中 v ——室外风速, m/s;

e ——自然对数的底 ($e = 2.718\cdots$)。

3. 辐射换热

辐射换热的机理与前两种换热方式截然不同, 它不需要冷热物体直接接触, 也不依靠某种物质为媒介来传递热量, 它是依靠物体表面对外发射电磁波进行能量传递。有关详细内容将在第十章中介绍, 这里仅叙述与计算围护结构传热有关的内容。

根据辐射换热机理可知, 任意两个物体间的辐射换热量可按下列近似式计算:

$$q = \frac{C_1 C_2}{C_0} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (1-7)$$

式中 C_1 、 C_2 ——分别为物体 1 和物体 2 表面的辐射系数, $W/m^2 \cdot (\frac{^\circ C}{100})^4$;

常用建筑材料的辐射系数见表 1-3。

T_1 、 T_2 ——分别为物体 1 和物体 2 的绝对温度, $T_1 = (t_1 + 273^\circ C)$, $T_2 = (t_2 + 273^\circ C)$;

C_0 ——绝对黑体的辐射系数, 取 $C_0 = 5.768 W/m^2 \cdot (\frac{^\circ C}{100})^4$ 。

上式也可用与对流换热相似的公式来表达, 即:

$$q = \alpha_f \Delta t \quad (1-8a)$$

通常称 α_f 为辐射换热系数 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)。

公式 (1-7) 与公式 (1-8a) 比较可得:

$$\alpha_f = \frac{C_1 C_2}{C_0} \frac{\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4}{\Delta t} \quad (1-8b)$$

常用建筑材料表面辐射系数

表 1-3

材 料 名 称	表 面 状 况	辐 射 系 数 ϵ ($W/m^2 \cdot (\frac{^\circ C}{100})^4$)
石 棉 板	粗 糙	5.524
混 凝 土	粗 糙	3.605
建 筑 纸	无 光 泽	5.373
水	平 静	5.524
木 材	刨 平	4.442
红 砖	粗 糙	5.361
大 理 石	磨 光	5.373
砂 石	磨 光	3.326
窗 玻 璃	光 平	5.408
花 岗 石	磨 平	2.442
油 漆 砖		4.652
瓷 砖	光 平	3.837
铝 铝	未 磨 光	0.256
铝 箔	氧 化	0.64
铝 箔	光 平	0.29~1.12
锯 屑		4.105
水 泥 砂 浆	光 平	3.9
石 灰 粉 刷	粗 糙	5.23

辐射换热也可用热阻形式表达, 如令 $R_f = \frac{1}{\alpha_f}$ 则:

$$q = \frac{\Delta t}{R_f} \quad (1-8c)$$

二、外墙传热的特征

前面曾假设某一供暖房间的邻室都与供暖房间保持相同的室内温度, 这种情况下可认为只有一面外墙向室外传热, 现仅讨论外墙传热的特征。图1-3表示外墙的一部分。它的热量传递可分为三个过程:

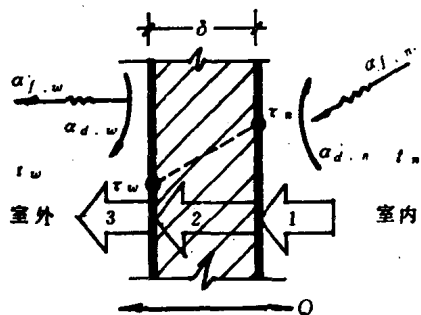


图 1-3 外墙传热特征

1. 外墙内表面吸收室内热量, 是因墙面附近空气的对流换热以及其他五个表面对它辐射换热引起的。

2. 外墙内表面吸收的热量传至外墙外表面是墙体本身导热的结果, 因受到墙体材料热阻的影响而产生温度降落, 即 $\tau_w < \tau_n$;

3. 外墙外表面与室外空气的对流换热和该表面本身对周围的辐射换热而使热量散发于室外。

在实际工程计算时, 常把外墙内表面吸收热量以及外墙外表面放出热量的过程, 用吸热系数 α_n 和放热系数 α_w 表示, 它们分别等于:

$$\alpha_n = \alpha_{d,n} + \alpha_{f,n}$$

$$\alpha_w = \alpha_{d,w} + \alpha_{f,w}$$

也可用吸热阻 R_n 和放热阻 R_w 表示, 即:

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n}; \quad R_w = \frac{1}{\alpha_w}.$$

【例题 1-1】 如图1-1所示房间, 已知室内空气温度为 18°C , 室外空气温度为 -25°C , 外墙内表面温度 $\tau_n = 12^\circ\text{C}$, 外表面温度 $\tau_w = -23^\circ\text{C}$, 室外风速为 5m/s , 内表面为石灰粉刷, 墙外表面为清水墙 (无粉刷)。试求内表面的吸热系数 α_n , 吸热阻 R_n 和外表面的放热系数 α_w 、放热阻 R_w 。

【解】 内表面的对流换热系数可按 (1-5) 式计算, 因外墙是垂直表面, 所以取 $b = 1.977$, 则外墙内表面的对流换热系数为:

$$\alpha_{d,n} = b\sqrt{\Delta t} = 1.977\sqrt{18 - (-25)} = 1.977 \times 1.565 = 3.09\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

再据 (1-8b) 式求外墙内表面的辐射换热系数 $\alpha_{f,n}$, 此辐射换热过程可看做为外墙内表面与其他五个方向的内表面之间的辐射换热。由于邻室与该房间温度相同, 所以可认为其他五个内表面的温度就等于室温。因此式中的 $T_1 = 273^\circ\text{C} + 18^\circ\text{C}$, 而式中 $T_2 = 273^\circ\text{C} + 12^\circ\text{C}$ 。该墙内表面为石灰粉刷, 查表 (1-3) 可知 $C_1 = C_2 = 5.23\text{W/m}^2 \cdot (^{\circ}\text{C}/100)^4$ 。代入公式 (1-8b) 得:

$$\alpha_{f,n} = \frac{C_1 C_2}{C_0} \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{\Delta t}$$

$$= \frac{5.23 \times 5.23}{5.768} \times \frac{\left(\frac{291}{100}\right)^4 - \left(\frac{285}{100}\right)^4}{18 - 12}$$

$$= 4.51 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

由此得内表面的吸热系数为:

$$\alpha_n = \alpha_{dn} + \alpha_{fn} = 3.09 + 4.51 = 7.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

内表面的吸热阻为:

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{7.6} = 0.132 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

外墙外表面的对流换热系数按 (1-6) 式计算, 室外风速取 $v = 5 \text{ m/s}$, 代入该式得:

$$\alpha_{dw} = 7.34v^{0.856} + 3.78e^{-1.41v}$$

$$= 7.34 \times 5^{0.856} + 3.78 \times e^{-1.41 \times 5}$$

$$= 21.06 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

同理用 (1-8b) 式可求得外表面的辐射换热系数。查表(1-3)可得 $C_1 = 5.361 \text{ W/m}^2 \cdot \left(\frac{^\circ\text{C}}{100}\right)^4$, 而 C_2 对应的是室外周围环境, 因为由外墙外表面辐射出去的热几乎全部被外界空间吸收, 故 C_2 可近似取绝对黑体的辐射系数值即 $C_2 = C_0 = 5.768 \text{ W/m}^2 \cdot \left(\frac{^\circ\text{C}}{100}\right)^4$ 。同时可认为外界环境的辐射温度就等于室外空气温度, 则 $T_1 = 273^\circ\text{C} + (-23^\circ\text{C})$, $T_2 = 273^\circ\text{C} + (-25^\circ\text{C})$ 。上述值代入 (1-8b) 式, 得:

$$\alpha_{fw} = \frac{5.361 \times 5.768}{5.768} \times \frac{\left(\frac{250}{100}\right)^4 - \left(\frac{248}{100}\right)^4}{[-23 - (-25)]} = 3.303 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

由此得外墙外表面的放热系数为:

$$\alpha_w = \alpha_{dw} + \alpha_{fw} = 21.06 + 3.303 = 24.36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

外表面的放热阻为:

$$R_w = \frac{1}{\alpha_w} = \frac{1}{24.36} = 0.041 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

分析上述例题可以看出, 外墙外表面的换热系数中, 对流成份是主要的约占85~90%, 而辐射成份仅占15~10%, 其数值主要取决于室外风速, 采暖地区冬季室外风速多数在4~5m/s范围内, 所以通常情况下外墙外表面的放热系数值变化也不大。但是外墙内表面的换热系数值中, 对流成份约占40%, 辐射成份约占60%。这是仅有一面外墙时的情况。然而当采暖房间六面墙(包括地面和屋顶)都直接对室外大气时, 此刻可近似认为六个内表面都保持相等的表面温度(假设室内没有其他物件时), 则可认为此时墙面之间的辐射换热很少。当然这是一个“极端状态”的假设, 但实际工程中, 同时有两面或三面外墙的房间是常见的, 应当知道, 此时与仅有一面外墙的内表面的换热系数值是不同的。该情况下, 此值的变化幅度约在50~90%之间, 这是对采用一般对流散热器采暖而言, 当采用辐射采暖时, 此值将有更大的变化。关于这一问题将在辐射采暖有关章节中介绍。

一般工程计算中, 外围护结构的内表面吸热系数 α_n 和外表面的放热系数 α_w , 可按表1-4选取而不必进行上述计算。

综上所述, 外墙内表面所吸收的热量可以用类似对流换热的公式表示, 即:

外围护结构的 α_n 和 α_w 值($\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$)

表 1-4

	围护结构的特征	$\alpha_n(\alpha_w)$	$R_n(R_w)$
内 表 面	墙、地面和表面平整的顶棚(热流自下向上)	8.72	0.115
	有肋状突出物的屋顶、楼板		
	$h/s < 0.2$	8.72	0.115
	$h/s = 0.2 \sim 0.3$	8.14	0.123
	$h/s > 0.3$	7.56	0.132
	有井字形突出物的顶棚等		
外 表 面	$h/s > 0.3$	7.0	0.143
	热流自上而下传的楼板	5.8	0.172
	外墙及平屋顶外表面	23.26	0.043
	楼板或顶棚:		
	自下向上的传热(有屋顶间)	11.63	0.086
	自上向下的传热(有地下室)	5.8	0.172

注: h ——肋高; s ——肋间净距。

$$Q_1 = \alpha_n(t_n - \tau_n)F \quad (1-9a)$$

热流通过墙体本身, 纯系导热过程, 其导热量为:

$$Q_2 = \frac{\lambda}{\delta}(\tau_n - \tau_w)F \quad (1-9b)$$

而外墙外表面的放热, 仍然可用类似对流换热的公式表示, 即:

$$Q_3 = \alpha_w(\tau_w - t_w)F \quad (1-9c)$$

在传热学中常引用稳定传热的概念, 所谓稳定传热是指整个传热过程中单位时间内所传过的热量不随时间而改变, 就上述例题而言, t_n 、 t_w 是恒定的, 不随时间改变(在供暖工程中, 一般都根据稳定传热来计算)。换言之, 就是认为在同一时间内, 外墙内表面吸收的热量和墙体传过的热量以及外表面放出的热量是相等的, 即:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (1-10)$$

总的来看, 某一时刻从室内经外墙传到室外的热量 Q 也就等于同时刻的 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 , 即

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

式(1-9a)、(1-9b)、(1-9c)合并经整理即得:

$$Q = \frac{t_n - t_w}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_w}}F \quad (1-10a)$$

令

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_w}}$$

则上式可改写为

$$Q = K_0(t_n - t_w)F \quad (1-10b)$$

这就是计算外墙传热的基本方程式。

在供暖工程中, 通常称 K_0 为外墙的总传热系数, 单位是 $\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ 。 K_0 值愈大, 说明