

· 高等专科学学校教学用书 ·

# 供热工程

GAODENG  
ZHUANKE  
XUEXIAO  
JIAOXUE  
YONGSHU

冶金工业出版社

985320

高等专科学校教学用书

# 供热工程

长春建筑高等专科学校 范惠民 主编

冶金工业出版社

11年  
筑工  
工业  
AЛ,  
XHH  
енни  
年。

(京)新登字 036 号

**图书在版编目 (CIP) 数据:**

供热工程/范惠民主编. —北京:冶金工业出版社, 1994. 10  
高等专科学校教学用书

ISBN 7-5024-1486-X

I. 供... 范... II. 集中供热-供热系统 N. TU833

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第03862号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷39号, 邮编100009)

香河县第二印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版; 各地新华书店发行

1994年11月第1版, 1994年11月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 20.75印张; 493千字; 323页; 1-4600册

12.30元

## 前 言

本书是根据冶金院校高等专科学校“八五”教材编写出版规划，并按照高等专科学校“供热通风与空调工程”专业“供热工程”课程教学大纲的基本要求编写的。全书包括采暖工程和供热管网两大部分内容，共计十章。书中系统地叙述了采暖系统和供热管网的构造、组成、工作原理、设计计算方法，并对运行调节、维护管理做了较详细地阐述。

本书在内容及深广度等方面力图体现专科特色，满足专科教学要求，尽量做到理论联系实际，反映本学科现代应用技术水平。

本书编写提纲制订后，曾向全国各有关高等专科学校征集意见，初稿完成后，经专家评审会议评审通过。

本书被建设部教学指导委员会确定为全国土建类高等专科学校“供热通风与空调工程”专业教材。

参加本书编写工作的有武汉建筑高等专科学校梁凤珍（第一、二、九、十章和第五章第六节、第七章第四节），长春建筑高等专科学校范惠民（绪论、第三、四、八章），周青村（第五、六、七章）。由范惠民担任主编。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1992年8月

# 目 录

<b>绪论</b>	
0.1 供热工程的内容及任务 .....	(1)
0.2 供热工程发展概况 .....	(1)
0.3 集中供热系统分类 .....	(2)
0.4 采暖系统分类 .....	(3)
<b>1 采暖系统的设计热负荷</b> .....	(4)
1.1 采暖系统设计热负荷 .....	(4)
1.2 围护结构传热耗热量 .....	(4)
1.3 冷风渗透耗热量 .....	(17)
1.4 冷风侵入耗热量 .....	(20)
1.5 高层建筑采暖设计热负荷 .....	(21)
1.6 采暖设计热负荷计算例题 .....	(25)
习题 .....	(28)
<b>2 采暖系统的散热设备</b> .....	(30)
2.1 散热器散热过程及对散热器的要求 .....	(30)
2.2 散热器的种类及选择 .....	(31)
2.3 散热器的布置 .....	(37)
2.4 散热器的计算 .....	(38)
2.5 暖风机 .....	(48)
2.6 钢制辐射板 .....	(50)
习题 .....	(53)
<b>3 热水采暖系统</b> .....	(55)
3.1 自然循环热水采暖系统 .....	(55)
3.2 机械循环热水采暖系统 .....	(62)
3.3 热水采暖系统的设备及附件 .....	(70)
3.4 热水采暖系统管路布置 .....	(77)
3.5 热水采暖系统水力计算 .....	(79)
习题 .....	(111)
<b>4 蒸汽采暖系统</b> .....	(112)
4.1 蒸汽采暖系统工作原理 .....	(112)
4.2 低压蒸汽采暖系统 .....	(114)
4.3 高压蒸汽采暖系统 .....	(121)
4.4 蒸汽采暖系统辅助设备 .....	(126)
习题 .....	(141)
<b>5 供热系统</b> .....	(143)
5.1 供热系统热负荷 .....	(143)

5.2	集中供热系统 .....	(147)
5.3	换热器 .....	(156)
5.4	混水器 .....	(163)
5.5	蒸汽喷射器 .....	(166)
5.6	高温水供热简介 .....	(169)
5.7	热电厂供热系统简介 .....	(172)
	习题 .....	(173)
<b>6</b>	<b>供热管网水力计算 .....</b>	<b>(174)</b>
6.1	热水供热管网水力计算 .....	(174)
6.2	蒸汽供热管网水力计算 .....	(180)
6.3	高压凝结水管网设计及管径确定 .....	(187)
	习题 .....	(197)
<b>7</b>	<b>供热系统水力工况 .....</b>	<b>(198)</b>
7.1	热水供热管网水压图 .....	(198)
7.2	热水供热系统定压 .....	(206)
7.3	热水供热管网水力工况分析 .....	(211)
7.4	热水供热系统水力稳定性 .....	(218)
	习题 .....	(220)
<b>8</b>	<b>供热管网热力计算 .....</b>	<b>(221)</b>
8.1	供热管路热损失 .....	(221)
8.2	热媒温降 .....	(228)
8.3	供热管道保温 .....	(228)
	习题 .....	(229)
<b>9</b>	<b>供热管道的敷设及管道附件 .....</b>	<b>(231)</b>
9.1	供热管道平面布置 .....	(231)
9.2	供热管道敷设 .....	(233)
9.3	管道的排水与排气 .....	(240)
9.4	管道补偿器 .....	(240)
9.5	管道、管道支座及阀门选用 .....	(251)
	习题 .....	(258)
<b>10</b>	<b>供热调节 .....</b>	<b>(259)</b>
10.1	供热系统初调节 .....	(259)
10.2	供热调节 .....	(262)
	习题 .....	(270)
附录 1	某些民用建筑及工厂辅助建筑用室的冬季室内计算温度 $t_n$ (°C) .....	(272)
附录 2	工业企业工作地区温度 (°C) .....	(273)
附录 3	具有一面外墙的房间直接铺设在土壤上非保温地面的平均传热系数 $K$ 值 [W/(m <sup>2</sup> ·°C)] .....	(273)
附录 4	具有两相邻外墙的房间直接铺在土壤上的非保温地面的平均传热系数	

	$K$ 值 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})]$ .....	(273)
附录 5	冬季围护结构室外计算温度 $t_w$ (C) .....	(273)
附录 6	未保温暗装管道水冷却系数 $\beta_3$ .....	(274)
附录 7	散热器技术参数 .....	(275)
附录 8	自然循环双管上供下回热水采暖系统管道冷却产生的附加压力值 (Pa) .....	(276)
附录 9	热水采暖系统管道水力计算表 ( $t_g=95\text{C}$ , $t_h=70\text{C}$ , $K=0.2\text{mm}$ ) .....	(277)
附录 10	热水及蒸汽采暖系统局部阻力系数 $\zeta$ 值 .....	(286)
附录 11	热水采暖系统局部阻力系数 $\zeta=1$ 的局部阻力动压值 $P_d=\frac{\rho v^2}{2}$ (Pa) .....	(286)
附录 12	采暖管路局部阻力当量长度 (m) ( $K=0.2\text{mm}$ ) .....	(287)
附录 13	按 $\zeta_{sa}=1$ 确定热水采暖系统管段阻力损失的管径计算表 .....	(287)
附录 14	单管顺流式热水采暖系统立管组合部件的 $\zeta_{sa}$ 值 .....	(289)
附录 15	单管顺流式热水采暖系统立管的 $\zeta_{sa}$ 值 .....	(291)
附录 16	管内热媒流动最大允许流速 (m/s) .....	(291)
附录 17	采暖系统沿程阻力及局部阻力概略分配比例表 .....	(292)
附录 18	水在各种温度下的密度 $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) .....	(292)
附录 19	低压蒸汽采暖系统管路水力计算表 ( $K=0.2\text{mm}$ , $P=5\sim 20\text{kPa}$ ) .....	(292)
附录 20	低压蒸汽采暖管路水力计算用动压头 (Pa) .....	(293)
附录 21	蒸汽采暖系统干式和湿式自流凝结水管管径计算表 .....	(294)
附录 22	室内高压蒸汽采暖管路管径计算表 (蒸汽压力 $P=300\text{kPa}$ , $K=0.2\text{mm}$ ) .....	(294)
附录 23	室内高压蒸汽采暖管路局部阻力当量长度 (m) ( $K=0.2\text{mm}$ ) .....	(296)
附录 24	S19H-16 热动力式疏水器 .....	(297)
附录 25	Y43H-16 型活塞式减压阀 .....	(298)
附录 26	A27W-10T 型弹簧微启式安全阀尺寸 .....	(299)
附录 27	二次蒸发箱尺寸与容积 .....	(299)
附录 28	一些民用建筑物采暖面积热指标概算值 .....	(300)
附录 29	我国一些北方城市各室外温度间隔的出现小时数 .....	(301)
附录 30	管壳式汽水换热器部分性能表 .....	(302)
附录 31	水-水换热器性能表 .....	(304)
附录 32	水-水换热器尺寸表 .....	(306)
附录 33	水-水换热器阻力计算表 .....	(307)
附录 34	蒸汽喷射器特性曲线 .....	(308)
附录 35	蒸汽喷射器性能尺寸表 .....	(309)
附录 36	热水供热管网水力计算表 .....	(311)
附录 37	热水供热管网的局部阻力当量长度 ( $K=0.5\text{mm}$ ) .....	(313)

附录 38	局部阻力与沿程阻力的估算比值 $\alpha$ .....	(314)
附录 39	蒸汽供热管网的管径计算表 ( $K=0.2\text{mm}$ , $\rho=1\text{ kg/m}^3$ ) .....	(315)
附录 40	疏水器前的管段管径选择表 .....	(314)
附录 41	二次蒸发汽数量 $x_2$ ( $\text{kg/kg}$ ) .....	(314)
附录 42	汽水混合物的密度 $\rho_r$ ( $\text{kg/m}^3$ ) .....	(318)
附录 43	凝结水管管径计算表 ( $\rho_r=10.0\text{kg/m}^3$ , $K=0.5\text{mm}$ ) .....	(318)
附录 44	方形补偿器选择表 .....	(319)
附录 45	光滑弯管特性系数 .....	(320)
附录 46	配置弯管补偿器的供热管道固定支座受力计算公式 .....	(320)
附录 47	配置套筒补偿器的供热管道固定支架受力计算公式 .....	(321)
主要参考书目	.....	(323)



# 绪 论

## 0.1 供热工程的内容及任务

随着人类社会的发展,无论在生产和生活中,热能的应用愈来愈广泛。因此,如何搞好热能的生产、输送和使用,对节约能源、改善环境、促进工业生产、方便群众生活具有十分重要的意义。

供热工程是研究热能输送和利用热能采暖的一门科学,内容包括将热能从热源输送到用户的城市和区域供热系统以及建筑物内的集中采暖系统。集中供热系统主要由输送热媒(热水或蒸汽)的管道及其附属设备和附件构成。它的任务是研究如何经济可靠地将热能由热源输送到生产、生活和采暖等各种不同的热用户。而采暖系统则是由管路系统、散热设备及其他辅助设备和附件组成。其任务在于将热能按要求经济合理地分配给各采暖房间,以满足生活或生产对空气温度的要求。

## 0.2 供热工程发展概况

人类在很早以前就懂得利用火来取暖、照明、做饭。据考古学家们发掘考证,在北京原始人化石发源地龙骨山及欧洲尼安得塔人化石发源地都有使用火的遗迹。

最原始的采暖方式是将燃料直接放在室内燃烧,燃烧产物经屋顶或门直接排出。如就地点燃的火堆、火盆等等。

随着社会的发展,出现了十分简陋的、能兼供取暖和做饭的炉灶以及专供采暖用的取暖炉。这些炉灶都还没有烟囱,烟气直接排到室内。这类炉子在石器时代已被习用。到纪元初年,开始出现带有烟囱的炉灶,直至15世纪中叶,带有烟囱的壁炉和采暖火炉已经得到了广泛应用。此后,火炉采暖开始沿着两个完全不同的方向发展,一个方向是追求火炉外表的华丽,另一个方向是要求获得高效采暖设备。

蒸汽机的发明,促进了锅炉工业的发展。蒸汽和热水集中采暖首先在欧洲出现,19世纪初,在亚洲一些国家才开始使用。但是,由于受到科学技术发展水平的限制,这种集中采暖装置存在着造价高、易渗漏等严重缺欠,所以在很长时间未被广泛采用。直到19世纪末,当人们掌握了利用机械造成水循环流动以后,热水采暖系统才有了较大发展。

随着科学技术的发展,人类利用能源的水平也随之提高,采暖系统也由一个加热中心供给一幢房屋的采暖发展为区域供热,乃至城市集中供热。

发展集中供热不但可以充分、有效地利用能源,而且还能减少大气污染,有利于环境保护,美化城市,因此近30年集中供热事业发展迅速。

国外城市,特别是技术发达国家的城市集中供热发展较早,而且普及率高。

英国于1877年建造了世界上第一个集中供应蒸汽的集中锅炉房,二次世界大战后,又最早开发和利用石油和天然气作为集中供热的主要能源。

1983年美国住宅约7400万套,其中使用天然气作为取暖热源的住宅4035万户,占全部住宅的54.5%。美国和西欧大都以区域锅炉房供热为主,着力发展以高温水为热媒的区

域供热系统。

原苏联发展集中供热主要是在十月革命之后。50年代原苏联着重发展燃煤的热电站，作为城市供热能源。80年代初期，开始发展天然气作为部分建筑物采暖系统的热源。目前，莫斯科住宅集中供热率已达90%以上。

我国是利用火最早的国家，火盆、火炉等简陋的采暖用具在我国的应用已经有了非常悠久的历史。具有我国独创风格的火炕、火地在新石器时代的仰韶时期的房屋中就有发现。

新中国成立以前，我国供热事业非常落后，集中采暖设备仅在极少数的建筑中应用，而设备的生产全靠外国。解放以后，随着经济的发展，人民生活水平的提高，供热事业也得到了迅猛发展。

我国城市从1952年第一个五年计划期间建设了一批热电厂，初步奠定了城市集中供热的基础。自1953年以后的十多年里，热电站发展较快，新投产的6000kW以上的热电机容量约占火电机容量的20%。60年代我国已能自行设计制造大型成套热电设备及各种形式的锅炉设备。80年代起，我国城市集中供热开始了全面发展阶段。国家“七·五”计划中“三北”地区的城市集中供热普及率达到15%。1989年首都北京的集中供热普及率达到17.69%。2000年规划城市集中供热普及率达到25~30%，重点城市供热普及率将达到40~50%。全国热电机装机容量，到1990年底，已发展到 $999 \times 10^4 \text{kW}$ ，供热量 $56481 \times 10^7 \text{kJ}$ 。

在新能源开发利用方面，我国也作了大量的研究工作。其中包括太阳能、地热、风能、沼气、核能等能源的开发利用。羊八井的地热汽田，天津万家码头和广东茂名的地热水井都已开采使用。太阳能、风能、沼气已被广大农、牧区用来发电、做饭、取暖。秦山、大亚湾核电站即将投产，标志着我国新能源的开发进入了一个新的阶段。

### 0.3 集中供热系统分类

#### (1) 按热源分类

1) 热电站供热系统。这种供热系统的热源为热电站。利用汽轮机抽汽，通过加热器加热的热水作为供热系统中循环的热媒，而蒸汽则在加热器中放出潜热，变为凝结水后再一次作为锅炉用水。从汽轮机抽出的蒸汽也可通过供热管网直接送往用户，在用户中蒸汽放出汽化潜热转为凝结水，再经管网返回热电站。

2) 区域锅炉房供热系统。区域锅炉房按其型式和用途可分为热水锅炉房和蒸汽锅炉房。

热水锅炉房以水作为热媒。水在锅炉内加热到需要的温度之后进入热网供水管，借助于热网水泵对供热区域循环供热。

为了满足用户对两种热媒（蒸汽和热水）的需求，区域锅炉房可以采用蒸汽锅炉。由锅炉中产生的蒸汽，一部分直接经蒸汽管网送至用户，另一部分蒸汽则通过设在锅炉房内的表面式加热器加热热网循环水，作为区域供热系统的热媒。

#### (2) 按热媒分类

1) 蒸汽供热系统。这种供热系统中的热媒为蒸汽。蒸汽供热系统多半用于厂区。

2) 热水供热系统。这种供热系统中的热媒为热水。根据热水温度的不同，还可分为高温水系统和低温水系统等等。

## 0.4 采暖系统分类

采暖系统可按不同方式进行分类

### (1) 按热媒种类分类

1) 热水采暖系统。热媒为水的采暖系统称为热水采暖系统。这种系统又可根据输送热媒的动力不同分为自然循环热水采暖系统和机械循环热水采暖系统。

自然循环热水采暖系统中热媒循环的动力是冷(回)、热(供)水比重差所造成的压力差。由于这一压差很小,使得这种系统循环动力小。因此只适用于作用半径较小的系统。

机械循环热水采暖系统以水泵作为热媒循环的动力。其作用半径不受限制。

2) 蒸汽采暖系统。以蒸汽作为热媒的采暖系统称为蒸汽采暖系统。按使用的蒸汽压力不同,蒸汽采暖系统又可分为低压蒸汽采暖系统和高压蒸汽采暖系统。热媒蒸汽压力 $\leq 0.7 \times 10^2 \text{kPa}$ 的蒸汽采暖系统称为低压蒸汽采暖系统;而热媒蒸汽压力 $> 0.7 \times 10^2 \text{kPa}$ 的蒸汽采暖系统称为高压蒸汽采暖系统。

3) 空气采暖系统。空气采暖系统也称做热风采暖系统,这种系统的热媒为空气,常用来兼作采暖与通风。

### (2) 按系统作用范围分类

1) 集中采暖系统。这种系统有集中的热源,通过管道向许多房间或建筑物供暖。

2) 局部采暖系统。热源、输送热媒的管路以及散热设备组成一个整体,直接装在取暖房间,构成了局部采暖系统,如火墙、火炕、火地、火炉等。电热和煤气采暖也属此类。

### (3) 按散热设备的散热方式分类

1) 对流采暖系统。这种系统散热设备主要以对流方式向空气中散热。目前采用的散热器采暖系统均属此类。

2) 辐射采暖系统。这种采暖系统散热设备散热以辐射方式为主,将热量直接传给人体或家俱、物品表面及墙内表面等。

# 1 采暖系统的设计热负荷

## 1.1 采暖系统设计热负荷

在冬季,人们为了满足正常活动和生产工艺的需要,要求室内具有一定的温度。为此就得向房间供给一定的热量,以维持采暖房间在该温度下的热平衡。所谓采暖系统的设计热负荷,是指在某一室外温度下,为了维持所要求的室内温度,采暖系统在单位时间内向建筑物供给的热量。该热量随着房间失热量与得热量的变化而变化。当室内能维持在一定温度时,必须保持采暖房间在该温度下的热平衡。通过对采暖房间热平衡时得热量和失热量情况的分析和计算,就可以确定采暖系统的设计热负荷。

房间的失热量包括:

- (1)经地面、屋顶、墙、门、窗等外围护结构传出的传热耗热量;
- (2)加热由门窗缝隙渗入室内的冷空气所需的热量;
- (3)加热进入室内的冷物料所需的热量;
- (4)室内水分蒸发所需热量;
- (5)通风耗热量;
- (6)加热由门、孔洞及相邻房间侵入室内的冷空气所消耗的热量;
- (7)经其它途径散失的热量。

房间的得热量包括:

- (1)太阳辐射热量;
- (2)人体、照明及工艺设备的散热量;
- (3)进入室内的热物料的散热量;
- (4)热管道及其它热表面散热量;
- (5)通过其他途径获得的热量。

房间的采暖热负荷,就是在房间得热量及失热量稳定的条件下,为维持房间内的设计温度而由供热设备供给的热量,也即室内散热设备所应散出的热量。由对房间得热量与失热量的分析中可以得出:房间的采暖设计热负荷等于房间失热量总和减去房间得热量总和。

对于一般的民用建筑和产生热量很少的工业建筑,采暖系统设计热负荷的计算通常只考虑房屋的围护结构传热耗热量和加热进入室内的冷空气所消耗的热量以及太阳辐射热量。而对其他各项得热量和失热量,通常可以忽略不计。

## 1.2 围护结构传热耗热量

围护结构的传热是很复杂的传热过程。它包括表面吸热、结构导热和表面放热三个基本过程。而这些过程又由导热、对流和辐射三种基本传热方式组合而成。

房屋围护结构传热基本耗热量的计算是根据稳定传热理论进行的。即假设在计算时间内,室内外气温和它的传热过程各参数都不随时间而变化。显然,这种假设与实际是有出入的。实际情况是室内空气温度及围护结构内部温度,将随采暖系统的散热设备的放热而波

动,室外空气温度和其他诸多因素变化而不断变化。室外空气温度也随季节和昼夜的变化而不断波动。因而,通过围护结构传递的热量也随时间而变化。这就是说,实际上进行的是复杂的不稳定传热过程。但是,由于不稳定传热的计算比较复杂,故在工程实际中,常以稳定传热的简单计算来代替不稳定传热的复杂计算,这样做虽然有一定误差,但却使计算方法得到简化。并且,这种误差在工程上是允许的。

### 1.2.1 围护结构基本耗热量

对于采暖房间,由于室内外存在温度差,热量将通过房屋各部分围护结构如门、窗、墙、屋顶、地面等,从室内向室外传递。在稳定传热条件下,通过各部分围护结构的传热量,即围护结构的基本耗热量,可按下式计算:

$$q = KF(t_n - t_{w_n})a \quad (W) \quad (1-1)$$

式中  $K$ ——围护结构传热系数,  $W/(m^2 \cdot C)$ ;

$F$ ——围护结构传热面积,  $m^2$ ;

$t_n$ ——冬季室内计算温度,  $C$ ;

$t_{w_n}$ ——采暖室外计算温度,  $C$ ;

$a$ ——温差修正系数。

整个房间的基本耗热量,等于房间各部分围护结构的基本耗热量总和。

$$Q = \Sigma q = \Sigma KF(t_n - t_{w_n})a \quad (W) \quad (1-2)$$

为了计算和进行附加耗热量的方便,可把围护结构按照朝向、材料结构和室内外温差不同等情况划分为各个部分而分别进行计算。

当相邻房间温差大于  $5C$  时,应计算通过隔墙或楼板等围护结构的传热耗热量。当相邻房间温差小于  $5C$  时,可忽略不计。

#### 1.2.1.1 冬季室内计算温度

冬季室内计算温度一般是指房间地面上  $2m$  以下人们活动范围内的环境温度。这正是人们的呼吸区温度,它对人的冷热感有直接影响。这一地带的室内空气温度,称为工作地点温度。冬季室内计算温度的高低,应满足人们的生活活动和生产工艺的要求。它的确定与国民经济状况、室内人员的劳动强度、建筑物的性质和用途、人们的生活水平、生活习惯、以及室内散热强度、室内潮湿状况等许多因素有关。冬季室内计算温度的高低,还对采暖系统工程投资和采暖运行效果都有直接的影响。

对于不同等级的民用建筑的主要房间,其冬季室内计算温度应根据建筑物的不同等级选取:甲等高级民用建筑,  $t_n$  取  $20 \sim 22C$ ;乙等中级民用建筑,  $t_n$  取  $18 \sim 20C$ ;丙等普通民用建筑,  $t_n$  取  $16 \sim 18C$ 。

对于工业企业的生产厂房,  $t_n$  是指工作地点的空气温度。按我国现行的《采暖通风与空气调节设计规范》(以下简称《规范》)中规定:

轻作业: 不应低于  $15C$

中作业: 不应低于  $12C$

重作业: 不应低于  $10C$

当每名作业人员占用较大面积( $50 \sim 100m^2$ )时,轻作业可低至  $10C$ ;中作业可低至  $7C$ ;重作业可低至  $5C$ 。当作业人员占用面积超过  $100m^2$ ,生产工艺又无特殊要求时,一般可不设置全面采暖。当采用局部采暖或设取暖室时,位于寒冷地区设置集中采暖的公共建筑

和工厂辅助建筑。生产车间,在非工作时间或中断使用的时间内,为了保证车间内设备和各种管道,如水管不冻裂,室内温度必须保持在0℃以上,当利用房间蓄热量不能满足时,则应设置值班采暖。值班采暖的冬季室内计算温度为5℃,当工艺或车间有特殊要求时,则按要求确定值班采暖的室内计算温度。

在计算一般民用建筑和工厂辅助建筑,以及高度小于4m的工厂车间,采用冬季室内计算温度,也即工作地区温度。对于计算层高大于4m且发热量较大(大于23W/m<sup>3</sup>)的生产厂房,由于热气流的上升,造成上部空气温度高于下部空气温度,致使上部围护结构传热耗热量增大。因此,其冬季室内计算温度应按下列规定采用:

- (1)计算地面的传热耗热量时,采用工作地区的空气温度 $t_q$ ;
- (2)计算屋顶和天窗的传热耗热量时,采用屋顶下的空气温度 $t_d$ ;
- (3)计算墙、门、窗的传热耗热量时,采用室内平均气温 $t_{np}$ 。

对于散热比较均匀的工厂,屋顶下的空气温度 $t_d$ 可由下式计算:

$$t_d = t_q + \Delta t_H(H - 2) \quad (C) \quad (1-3)$$

式中  $\Delta t_H$ ——竖向温度梯度, C/m;

$H$ ——厂房高度, m。

对不同性质和高度的厂房,其竖向温度梯度受工厂性质、采暖方式、散热设备布置、工艺布置等许多因素的影响。因此,确定屋顶下的空气温度,最好是对已有的类似厂房进行实测。

室内平均气温 $t_{np}$ ,可取工作地区湿度 $t_q$ 和屋顶下的空气温度 $t_d$ 的算术平均值,即 $t_{np} = \frac{1}{2}(t_d + t_q) C$ 。

对散热量小于23W/m<sup>3</sup>而层高大于4m的建筑物,可用工作地区的空气温度计算围护结构传热耗热量,但应按《规范》规定进行高度附加。

冬季室内计算温度应按我国现行《规范》和《工业企业设计卫生标准》中有关规定选取。建筑物的等级和分类,应按《民用建筑等级标准》执行。

某些民用建筑及工厂辅助建筑的冬季室内计算温度 $t_n$ 见附录1。某些工业企业工作地区的空气温度见附录2。

### 1.2.1.2 采暖室外计算温度

为了简化计算,在计算围护结构的基本耗热量时,假定传热过程是在稳定状态下进行的,即围护结构的各传热参数都不随时间而改变,其中采暖室外温度也不随时间而改变,但实际上,在整个采暖期中,室外温度是随时间而变化的。这就存在着在计算围护结构基本耗热量时,采暖室外计算温度究竟选用多大适宜的问题。采暖室外计算温度的确定与各国的具体条件和情况,室外气温的变化,对室内温度的要求,围护结构热惰性,采暖系统设备效能的发挥、采暖工程造价、以及采暖制度等许多因素密切相关。国内外确定采暖室外计算温度的方法有两种:一种是根据围护结构的热惰性去选择一个是以影响室内温度的统计周期内的平均温度作为采暖室外计算温度。另一种方法是对实际出现的室外气温进行统计,从中选择一个允许有一定时间低于设计值的温度作为采暖室外计算温度。我国现行《规范》规定:“采暖室外计算温度,应采用历年平均每年不保证5天的日平均温度”。规定中的“不保证”是指室外气温状况而言。“历年平均每年不保证”是指累年不保证总天数或小时数的历年平均值。如在连续30年的统计年份里,总共可有150天的实际日平均气温低于所取的采暖室外

计算温度。

我国现行《规范》规定的采暖室外计算温度,是通过连续累计 30 年所记录的室外温度的统计计算而得到的,采用的计算公式为:

$$t_{\text{室外}} = 0.57t_{1p} + 0.43t_{p,\text{min}} \quad (1-4)$$

式中  $t_{\text{室外}}$ ——采暖室外计算温度, C;

$t_{1p}$ ——累年最冷月平均温度, C;

$t_{p,\text{min}}$ ——累年最低的平均气温, C。

我国某些城市的采暖室外计算温度等气象参数参见暖通设计手册。

### 1.2.1.3 温差修正系数

在计算与大气直接接触的外围护结构的基本耗热量时,可采用公式  $q=KF(t_n-t_{\text{室外}})$ 。但是采暖房间的围护结构的外侧有时并不是室外,而中间隔着不采暖的房间或空间。这样,通过该围护结构的传热耗热量就应该是:  $q=KF(t_n-t_h)$ , 式中的  $t_h$  是传热达到平衡时不采暖房间或空间的空气温度。由于计算或测量  $t_h$  值比较困难和麻烦,因此在工程中,采用  $(t_n-t_{\text{室外}})a$  代替  $(t_n-t_h)$  进行计算。此处的  $a$  称为围护结构的温差修正系数。它是根据经验得出的,各种不同情况下的  $a$  值列于表 1-1 中。

对于斜屋面,屋顶坡度为 1:2 时,温差修正系数  $a$  随  $K_2/K_1$  变化而变化。此处  $K_1$  为顶棚的传热系数,  $K_2$  为屋顶的传热系数。计算斜屋面顶棚传热耗热量时,温差修正系数  $a$  值见表 1-2。

表 1-1 温差修正系数  $a$  值

围护结构特征	$a$ 值
与大气直接相通的外围护结构(外墙、地面、屋顶、楼板等)	1.0
闷顶:	
无望板的瓦屋面、铁皮屋面、石棉瓦屋面	0.9
有望板的瓦屋面、铁皮屋面、石棉瓦屋面	0.8
有望板和防水卷材的屋面	0.75
不采暖地下室上面的楼板:	
当外墙上有窗时	0.75
当外墙上无窗且位于室外地坪以上时	0.6
无窗且位于室外地坪以下时	0.4
与有外门、外窗的不采暖房间相邻的隔墙	0.7
与无外门、外窗的不采暖房间相邻的隔墙	0.4

表 1-2 斜屋面温差修正系数  $a$

$K_2/K_1$	$\leq 0.3$	0.4~0.6	0.7~0.9	1.0~1.3	1.4~2.0	2.1~2.7	2.8~3.5	3.6~4.6	4.7~7.7	7.8~15
$a$	0.25	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95

### 1.2.1.4 围护结构的传热系数

#### A 多层匀质材料(平壁)的传热系数 $K$

一般建筑物的外墙和屋顶多属多层匀质材料的平壁结构,其传热系数可由下式计算:

$$K = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}} \quad [W/(m^2 \cdot C)] \quad (1-5)$$

式中  $R_0$ ——围护结构的总传热热阻,  $(m^2 \cdot C)/W$ ;

$\alpha_n$ ——围护结构内表面换热系数,  $W/(m^2 \cdot C)$ ;

$\alpha_w$ ——围护结构外表面换热系数,  $W/(m^2 \cdot C)$ ;

$\delta_i$ ——组成围护结构的各层材料的厚度,  $m$ ;

$\lambda_i$ ——组成围护结构的各层材料的导热系数,  $W/(m \cdot C)$ 。

围护结构的内表面换热系数  $\alpha_n$  和外表面换热系数  $\alpha_w$  值,在一般情况下变化不大,其值分别列于表 1-3 和表 1-4 中。

表 1-3 围护结构内表面换热系数及换热阻值

围护结构内表面特征	$\alpha_n$ [ $W/(m^2 \cdot C)$ ]	$R_n$ [ $(m^2 \cdot C)/W$ ]
墙、地面和表面平整的顶棚、屋盖和楼板以及带肋的顶棚,当 $h/s \leq 0.3$ 时	8.7	0.115
有肋状突出物的顶棚、屋盖或楼板,当 $h/s > 0.3$ 时	7.6	0.132
自上向下传热的楼板	5.8	0.172

注:表中  $h$ ——肋高,  $m$ ;  $s$ ——肋间距,  $m$ 。

表 1-4 围护结构外表面换热系数及换热阻值

围护结构外表面特征	$\alpha_w$ [ $W/(m^2 \cdot C)$ ]	$R_w$ [ $(m^2 \cdot C)/W$ ]
外墙和屋顶	23	0.04
与室外空气相通的非采暖地下室上面的楼板	17	0.06
闷顶和外墙上有窗的非采暖地下室上面的楼板	12	0.08
外墙上无窗的非采暖地下室上面的楼板	6	0.17

常用围护结构的传热系数  $K$  值列入表 1-5 中。

表 1-5 常用围护结构的传热系数  $K$  值 [ $W/(m^2 \cdot C)$ ]

围护结构类型		$K$ 值
单层内门		2.9
实体木制外门	单层	4.65
	双层	2.38
带玻璃的阳台门	单层(木框)	5.82
	双层(木框)	2.68
	单层(金属框)	6.40
	双层(金属框)	3.26
内窗及天窗	单层	3.49
	双层	2.33
外窗及天窗:		



围护结构类型		K 值
木框	单层	5.82
	双层	2.68
	三层	1.74
金属框	单层	6.4
	双层	3.26
	三层	2.33
单框二层玻璃窗		3.49
商店橱窗		4.65
外墙:		
内表面抹灰砖墙	24 砖墙	2.08
	37 砖墙	1.56
	49 砖墙	1.27
42 填充墙(填炉渣)		1.23
毛石墙( $\delta=450\text{mm}$ )		3.02
毛石墙( $\delta=500\text{mm}$ )		2.9
内墙(双面抹灰)	12 砖墙	2.31
	24 砖墙	1.72

### B 有空气间层的围护结构传热系数

为了增大围护结构的传热阻值,在寒冷地区或其他地区的某些高级民用建筑,常采用带空气间层的围护结构,如双层玻璃窗、空心屋面板和空心墙、空心砖墙等。热量通过这种带有空气间层的围护结构从室内传到室外时,其传热过程是与实体材料层的传热不同的。在空气间层中,热量从一个表面传到另一个表面时,它包括了兩表面间的对流换热(包括导热)和辐射换热的综合过程,一般辐射换热占 70% 以上。

有空气间层的围护结构传热系数可用下式计算:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda} + R_r + \frac{1}{a_w}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})] \quad (1-6)$$

式中  $R_r$ ——空气间层热阻,  $(\text{m}^2 \cdot \text{C})/\text{W}$ 。

空气间层热阻的大小,取决于间层两个界面上的边界层厚度和其间的辐射换热强度。空气间层热阻很难用计算公式求得,在工程计算中,可按表 1-6 直接采用。

表 1-6 给出的空气间层热阻表明,当间层厚度相同时,热流向下的空气间层热阻最大,竖壁的空气间层热阻次之,而热流向上的空气间层热阻最小。表中数据还同时表明,当空气间层厚度达一定值时,热阻的大小几乎不随厚度增加而增加。因此,空气间层的厚度应选择适当。

表 1-6 空气间层热阻  $R_r$  值  $[(\text{m}^2 \cdot \text{C})/\text{W}]$

空气间层厚度 cm	竖向的空气间 层 $R_r$ 值	热流自下向上的 水平空气间层 $R_r$ 值	热流自上向下的水平空 气间层 $R_r$ 值
1	0.15	0.13	0.155
2	0.16	0.15	0.18
3	0.17	0.155	0.20