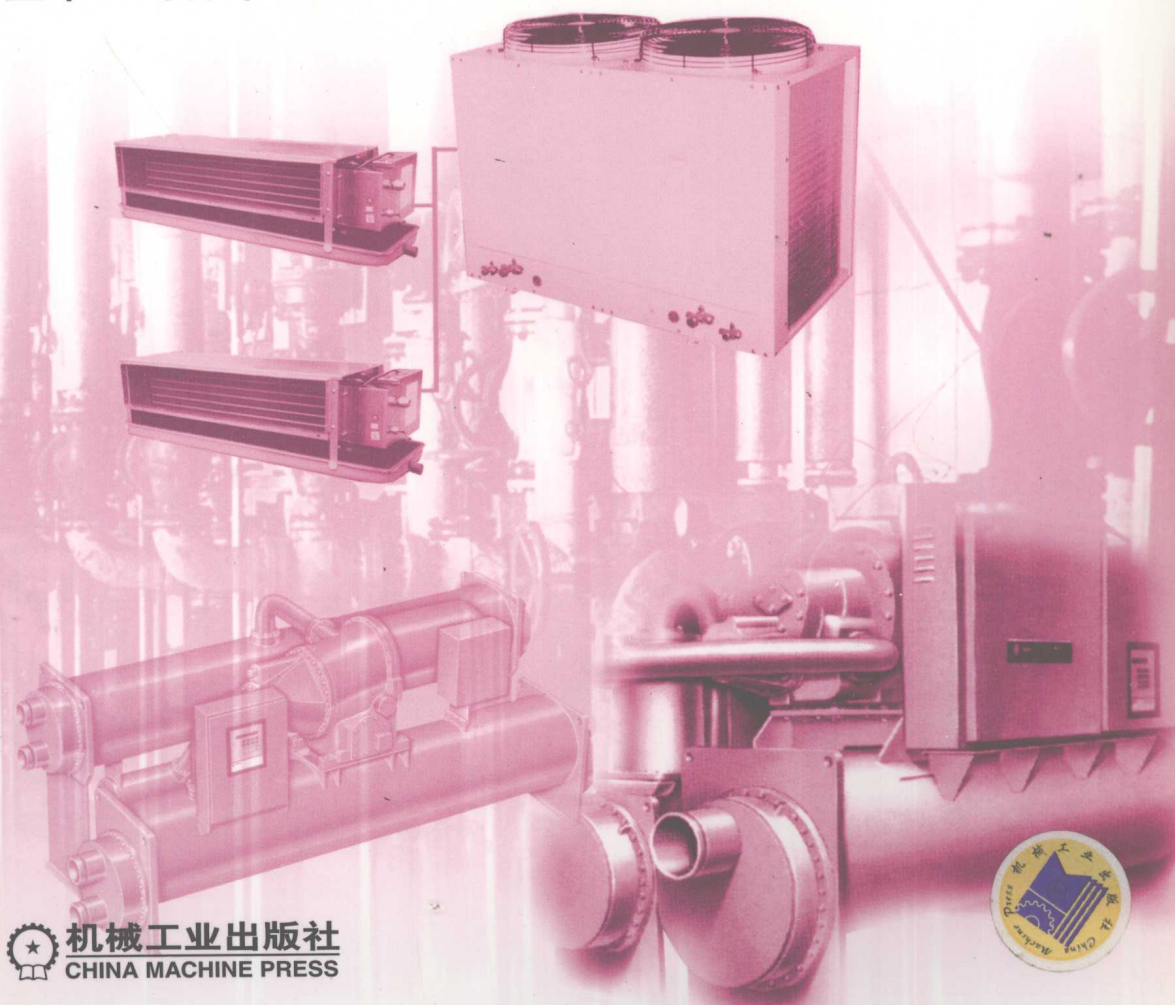


21世纪供热通风与空调工程系列规划教材

供热工程

主编 王宇清
主审 刘春泽



21 世纪供热通风与空调工程系列规划教材

供 热 工 程

主 编 王宇清
副主编 汤延庆
参 编 李 越 汤延庆 芦瑞丽
主 审 刘春泽



机械工业出版社

全书分为两篇；共十四章。第一篇室内供暖系统；主要内容包括：供暖系统设计热负荷，室内热水供暖系统，供暖系统的散热设备及附属设备，室内热水供暖系统的水力计算，供暖系统的分户热量量，室内蒸汽供暖系统。第二篇集中供热系统，主要内容包括：集中供热系统概述，室外热水供热管网的水力计算，蒸汽供热管网的水力计算，热水网路的水压图和定压方式，热水供热系统的供热调节和水力工况，集中供热系统主要设备，集中供热系统的热力站及管道的布置与敷设，供热系统的验收、启动、运行和故障处理。

本书可作为高等职业院校、中等职业院校供热通风与空调专业和建筑水电设备专业的教材，也可作为从事通风空调、热能供应及锅炉设备工作专业技术人员的岗位培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

供热工程/王宇清主编. —北京：机械工业出版社，2005.1

(21 世纪供热通风与空调工程系列规划教材)

ISBN 7-111-15450-9

I. 供… II. 王… 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 (2004) 第 138980 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：李俊玲 责任编辑：李俊玲 覃密道 版式设计：霍永明

责任校对：樊钟英 封面设计：姚毅 责任印制：石冉

北京中兴印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 10.125 印张 · 2 插页 · 401 千字

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

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是建筑类高等职业院校供热通风与空调工程专业和建筑设备专业“供热工程”课程使用教材。

本书较为系统地阐述了以热水和蒸汽作为热媒的室内供暖系统和集中供热系统，主要介绍了各种系统的形式和组成、设备的构造和工作原理、设计计算的基本知识以及运行调节、维护管理等方面的内容。

本书根据高等职业教育专业课程教学大纲的要求编写，采用了国家最新的技术规范和标准，力求做到结构严谨、层次分明；内容上注重以实用为目的，以必需、够用为度，涉及到了近年来建筑供热工程的新技术、新材料和新设备，增加了供暖系统的分户热计量和低温地板辐射供暖等内容。本书内容简明扼要、通俗易懂，文字准确、流畅，注重了理论联系实际，加强了实践与应用环节，编入了大量的插图和必要的例题，还编入了供暖施工图，以便更好地适应教学和工程实际应用的需要。

本书也可作为从事通风空调、热能供应及锅炉设备工作的专业技术人员的岗位培训用书。

本书由黑龙江建筑职业技术学院王宇清编写第一~第六章；新疆建筑职业技术学院李越编写第七、八章；黑龙江建筑职业技术学院汤延庆编写第九~十二章；黑龙江建筑职业技术学院芦瑞丽编写第十三、十四章。

本书由王宇清任主编，汤延庆任副主编，沈阳建筑职业技术学院刘春泽任主审。

由于编者水平有限，书中如有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 室内供暖系统

第一章 供暖系统设计热负荷	1
第一节 围护结构传热耗热量	2
第二节 冷风渗透耗热量	10
第三节 围护结构的最小与经济传热阻	16
第四节 供暖设计热负荷计算实例	20
第二章 室内热水供暖系统	29
第一节 自然(重力)循环热水供暖系统	29
第二节 机械循环热水供暖系统	33
第三节 高层建筑热水供暖系统	39
第四节 室内热水供暖系统管路布置和敷设要求	43
第五节 室内热水供暖系统施工图	45
第三章 供暖系统的散热设备及附属设备	48
第一节 散热器	48
第二节 辐射供暖	59
第三节 暖风机	67
第四节 热水供暖系统的附属设备	70
第四章 室内热水供暖系统的水力计算	76
第一节 热水供暖系统管路水力计算的基本原理	76
第二节 室内热水供暖系统水力计算的任务和方法	80
第三节 室内热水供暖系统等温降法水力计算	84
第四节 室内热水供暖系统不等温降法水力计算	102
第五章 供暖系统的分户热计量	108
第一节 分户热计量系统热负荷	108
第二节 分户热计量系统常见形式	110
第三节 分户热计量系统水力计算特性	115
第四节 分户热计量系统散热器的调节特性	116
第五节 温控计量装置	117
第六章 室内蒸汽供暖系统	124
第一节 蒸汽供暖系统的特点及分类	124
第二节 室内低压蒸汽供暖系统	126

第三节	室内高压蒸汽供暖系统	130
第四节	蒸汽供暖系统的管路布置及附属设备	134
第五节	室内低压蒸汽供暖系统的水力计算	143
第六节	室内高压蒸汽供暖系统的水力计算	148

第二篇 集中供热系统

第七章	集中供热系统概述	151
第一节	集中供热系统的方案	151
第二节	集中供热系统的形式	154
第三节	集中供热系统热负荷的概算	161
第四节	集中供热系统的年耗热量	164
第八章	室外热水供热管网的水力计算	167
第一节	管网水力计算的基本原理	167
第二节	管网水力计算的方法及例题	170
第九章	蒸汽供热系统管网的水力计算	174
第一节	蒸汽管网水力计算方法和步骤	174
第二节	凝结水网路的水力计算	180
第十章	热水网路的水压图和定压方式	188
第一节	绘制水压图的基本原理	188
第二节	绘制水压图的方法	189
第三节	热水网路的定压方式	196
第十一章	热水供热系统的供热调节和水力工况	202
第一节	热水供热系统的供热调节	202
第二节	热水供热系统的水力工况	210
第十二章	集中供热系统的主要设备	217
第一节	换热器	217
第二节	喷射器	227
第十三章	集中供热系统的热力站及管道的布置与敷设	234
第一节	集中供热系统的热力站	234
第二节	供热管道的布置	236
第三节	供热管道的敷设	239
第四节	供热管道的调节和控制设备	243
第五节	供热管道的除锈防腐	246
第六节	供热管道的保温	249
第七节	供热管道的排水、放气与疏水装置	251
第八节	管道的热膨胀及补偿器	252
第九节	管道支座	257
第十节	供热管道的检查室及检查平台	262

第十一节 室外供热管网的平面图与纵剖面图	264
第十四章 供热系统的验收、启动、运行和故障处理	268
第一节 供热系统的验收	268
第二节 室外热力管网的启动	271
第三节 供热系统的运行	272
第四节 供暖系统的故障处理	273
附录	276
附录 1 居住及公共建筑物供暖室内计算温度	276
附录 2 辅助用室的冬季室内空气温度	278
附录 3 室外气象参数	278
附录 4 温差修正系数 α 值	280
附录 5 一些建筑材料的热物理特性表	281
附录 6 常用围护结构的传热系数 K 值	282
附录 7 渗透空气量的朝向修正系数 n 值	282
附录 8 在自然循环上供下回双管热水供暖系统中, 由于水在管路内冷却而产生的附加压力	283
附录 9 图例	285
附录 10 一些铸铁散热器规格及其传热系数 K 值	286
附录 11 一些钢制散热器规格及其传热系数 K 值	286
附录 12 块状辐射板规格及散热量表	287
附录 13 室内热水供暖系统管道水力计算表	288
附录 14 热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数 ξ 值	297
附录 15 热水供暖系统局部阻力系数 $\xi = 1$ 的局部损失 (动压头) 值	297
附录 16 不同管径的 λ/d 值和 A 值	298
附录 17 按 $\xi_{sh} = 1$ 确定热水供暖系统管段压力损失的管径计算表	298
附录 18 单管顺流式热水供暖系统立管组合部件的 ξ_{sh} 值	299
附录 19 单管顺流式热水供暖系统立管的 ξ_{sh} 值	300
附录 20 供暖系统中沿程损失与局部损失的概略分配比例 α	301
附录 21 水在各种温度下的密度	301
附录 22 疏水器的排水系数 A_p 值	302
附录 23 室内低压蒸汽供暖系统管路水力计算表	302
附录 24 室内低压蒸汽供暖管路水力计算用动压头	303
附录 25 蒸汽供暖系统干式和湿式自流凝结水管管径选择表	304
附录 26 室内高压蒸汽供暖系统管径计算表	304
附录 27 室内高压蒸汽供暖管路局部阻力当量长度 ($K = 0.2\text{mm}$)	306
附录 28 室外热水网路水力计算表	307
附录 29 室外热水网路局部阻力当量长度表	309
附录 30 热网管道局部损失与沿程损失的估算比值	311

附录 31	室外高压蒸汽管径计算表	311
附录 32	饱和水与饱和蒸汽的热力特性	313
附录 33	二次蒸发汽数量 x_2	313
附录 34	凝结水管管径计算表	314
附录 35	地沟与架空敷设的直线管段固定支座（架）最大间距表	315
参考文献		316

第一篇 室内供暖系统

第一章 供暖系统设计热负荷

人们进行生产和生活时要求保持一定的室内温度。一个房间或建筑物会得到各种热量，也会产生各种热量损失，在冬季，当失热量大于得热量时，就需要通过室内设置的供暖系统以一定方式向室内补充热量，以维持所要求的室温。在该室温下达到得热量和失热量的平衡。

供暖系统的设计热负荷是指在供暖室外计算温度 t_{wn} 下，为保证所要求的室内计算温度 t_n ，供暖系统在单位时间内向房间供应的热量 Q 。供暖系统设计热负荷是系统散热设备计算、管道水力计算和系统主要设备选择计算的最基本依据，它直接影响着供暖系统方案的选择，进而影响系统工程造价、运行管理费用以及使用效果。

供暖系统设计热负荷应根据房间得、失热量的平衡进行计算，即

房间设计热负荷 = 房间总失热量 - 房间总得热量

房间的失热量包括：① 围护结构传热耗热量 Q_1 ；② 加热由门、窗缝隙渗入室内的冷空气的耗热量 Q_2 ，简称冷风渗透耗热量；③ 加热由门、孔洞及相邻房间侵入室内的冷空气的耗热量 Q_3 ，简称冷风侵入耗热量；④ 水分蒸发耗热量 Q_4 ；⑤ 加热由外部运入的冷物料和运输工具的耗热量 Q_5 ；⑥ 通风耗热量 Q_6 ，即通风系统将空气从室内排到室外所带走的热量；⑦ 其他失热量 Q_7 。

房间的得热量包括：① 生产车间最小负荷班工艺设备散热量 Q_8 ；② 非供暖系统的热管道和其他热表面的散热量 Q_9 ；③ 热物料的散热量 Q_{10} ；④ 太阳辐射进入室内的热量 Q_{11} ；⑤ 其他得热量 Q_{12} 。

对于民用建筑或产生热量很少的工业建筑，计算供暖系统的设计热负荷时，失热量只考虑围护结构传热耗热量、冷风渗透耗热量和冷风侵入耗热量；得热量只考虑太阳辐射进入室内的热量。其他得失热量不普遍存在，只有当其经常而稳定存在时，才能将其计入设计热负荷中；否则不予计入。

第一节 围护结构传热耗热量

围护结构传热耗热量是指当室内温度高于室外温度时，通过房间的墙、门、窗、屋顶、地面等围护结构由室内向室外传递的热量。常分成两部分计算，即围护结构的基本耗热量计算和附加耗热量计算。

基本耗热量是指在设计的室内、室外温度条件下通过房间各围护结构稳定传热量的总和。附加（修正）耗热量是指由于气象条件和建筑结构特点的影响，使传热状况发生变化而对基本耗热量进行的修正，包括朝向修正、风力附加、外门附加和高度附加等耗热量。

一、围护结构的基本耗热量

由于室内散热设备的散热量不稳定，而且室外空气温度随季节和昼夜也不断变化，实际上围护结构的传热是一个不稳定的过程。但不稳定传热的计算非常复杂，所以在工程设计中，对于室温允许有一定波动幅度的建筑物，围护结构的基本耗热量可以按一维稳定传热进行计算，即假设在计算时间内，室内外空气温度和其他传热过程参数都不随时间发生变化，如图 1-1 所示。这样可以简化计算，而且计算结果基本能满足工程需要。

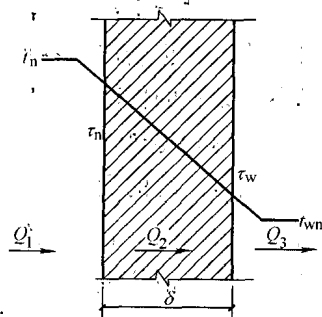


图 1-1 围护结构的传热过程

围护结构稳定传热时，基本耗热量可按下式计算

$$Q = \alpha KF(t_n - t_{wn}) \quad (1-1)$$

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

F ——围护结构的面积 (m^2);

t_n ——冬季室内计算温度 ($^\circ\text{C}$);

t_{wn} ——供暖室外计算温度 ($^\circ\text{C}$);

α ——围护结构的温差修正系数。

将房间围护结构按材料、结构类型、朝向及室内外温差的不同，划分成不同的部分，整个房间的基本耗热量等于各部分围护结构耗热量的总和。

此外，如果两个相邻房间的温差大于或等于 5°C 时，应计算通过隔墙和楼板的传热量；与相邻房间的温差小于 5°C ，且通过隔墙和楼板等的传热量大于该房间热负荷的 10% 时，也应计算其传热量。

1. 室内计算温度 t_n

室内计算温度 t_n 通常指距地面 2m 以内人们活动地区的平均空气温度。这个

区域的温度对人的冷热感觉有直接影响,应根据建筑物的用途考虑满足人们生活和生产工艺要求而确定。

依据我国国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》(GB50019—2003), (以下简称“暖通规范”),设计集中供暖系统时,冬季室内计算温度 t_n 应根据建筑物的用途而定,按下列规定采用。

(1) 民用建筑的主要房间 民用建筑的主要房间宜采用 $16 \sim 24^\circ\text{C}$ 。

根据国内有关部门的研究结果认为,当人体衣着适宜,保暖量充分且处于安静状态时,室内温度 20°C 比较舒适, 18°C 无冷感, 15°C 是产生明显冷感的温度界限。

居住及公共建筑的室内计算温度见附录 1。

(2) 生产厂房的工作地点温度

1) 轻作业生产厂房不应低于 15°C , 宜采用 $18 \sim 21^\circ\text{C}$ 。轻作业指的是能量消耗在 140W 以下的工种,如仪表、机械加工、印刷、针织等工种。

2) 中作业生产厂房不应低于 12°C , 宜采用 $16 \sim 18^\circ\text{C}$ 。中作业指的是能量消耗在 $140 \sim 220\text{W}$ 的工种,如木工、钣金工、焊接等工种。

3) 重作业不应低于 10°C , 宜采用 $14 \sim 16^\circ\text{C}$ 。重作业指的是能量消耗在 $220 \sim 290\text{W}$ 的工种,如人力运输、大型包装等工种。

4) 过重作业宜采用 $12 \sim 14^\circ\text{C}$ 。

应注意,对于空间高度超过 4m 、室内设备散热量大于 $23\text{W}/\text{m}^3$ 的生产厂房,由于对流作用,热空气上升的影响,房间上部空气温度高于下部温度,使上部围护结构的散热量增加。因此,对室内计算温度 t_n 有如下规定:

1) 计算地面传热量时,采用工作地点温度 t_g , 即 $t_n = t_g$ 。

2) 计算屋顶、天窗传热量时采用屋顶下的温度 t_d , 即 $t_n = t_d$ 。屋顶下的温度,可按已有的类似厂房进行实测,也可按温度梯度法确定,即

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

式中 H ——屋顶距地面的高度 (m);

Δt ——温度梯度 ($^\circ\text{C}/\text{m}$); 应根据车间散热设备的散热情况而定,通常取 $\Delta t = 0.3 \sim 1.5^\circ\text{C}/\text{m}$ 。

3) 计算墙、门和窗传热量时采用室内的平均温度 t_p , 即

$$t_p = (t_g + t_d)/2$$

对于散热量小于 $23\text{W}/\text{m}^3$ 的生产厂房,当温度梯度不能确定时,可先用工作地点温度计算围护结构耗热量,再用高度附加的方法进行修正,增加其计算耗热量。

(3) 辅助建筑物及辅助用室的冬季室内计算温度值 见附录 2。

2. 供暖室外计算温度 t_{wn}

按稳定传热计算围护结构基本耗热量时，室外温度应取一个定值，即供暖室外计算温度 t_{wn} 。合理地确定供暖室外计算温度对供暖系统的设计有重要的影响，如果采用的 t_{wn} 值过低，将增加供暖系统造价和运行管理费用；如果采用的 t_{wn} 值过高，则不能保证供暖系统的使用效果。

我国的“暖通规范”采用了不保证天数的方法确定北方城市的供暖室外计算温度 t_{wn} ，即人为允许每年有几天的实际室外温度低于规定的供暖室外计算温度值，也就是这几天的实际室内温度可以稍低于室内计算温度值。“暖通规范”规定：“供暖室外计算温度，应采用历年平均不保证 5 天的日平均温度”。采用这种方法确定的 t_{wn} 值，降低了供暖系统的设计热负荷，节约了费用，只要供暖系统在室外温度低于或等于 t_{wn} 时能按设计工况正常、合理地连续运行或间歇时间较短，就会取得良好的供暖效果，这对人们的舒适感也不会有太大的影响。

我国主要城市的供暖室外计算温度 t_{wn} 值见附录 3。

3. 温差修正系数 α

如果供暖房间的外围护结构不直接与室外空气接触，中间隔着不供暖的房间（图 1-2）或空间（如地下室），该围护结构传热量的计算公式为

$$Q = KF(t_n - t_h)$$

式中 t_h ——传热达到平衡时，非供暖房间或空间的温度。

因 t_h 值不易确定，计算与大气不直接接触的外围护结构基本耗热量时，可采用下式

$$Q = KF(t_n - t_h) = \alpha KF(t_n - t_{wn})$$

$$\alpha = \frac{(t_n - t_h)}{(t_n - t_{wn})} \quad (1-3)$$

围护结构温差修正系数 α 值的大小取决于非供暖房间或空间的保温性能和透气状况，若其保温性能差，且容易与室外空气流通，则 t_h 值就越接近于 t_{wn} ，温差修正系数就越接近于 1。

各种条件下的温差修正系数见附录 4。

4. 围护结构的传热系数 K

(1) 多层匀质材料平壁结构的传热系数 一般建筑物的外墙和屋顶属于多层匀质材料组成的平壁结构，其传热系数 K 可用下式计算

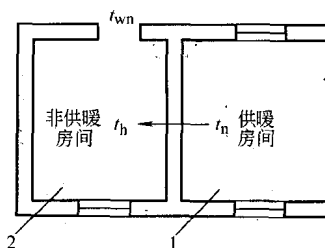


图 1-2 计算温差修正系数示意图
1—供暖房间 2—非供暖房间

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{(R_n + \sum R_i + R_w)} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\sum \delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (1-4)$$

式中 R ——围护结构的传热热阻 $[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$;

R_n 、 R_w ——围护结构的内、外表面热阻 $[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$;

$\sum R_i$ ——由单层或多层材料组成的围护结构各材料层热阻 $[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$;

α_n 、 α_w ——围护结构的内、外表面换热系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$;

δ_i ——围护结构各层材料的厚度 (m);

λ_i ——围护结构各层材料的导热系数, $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$ 。

内表面换热系数 α_n 与换热热阻 R_n 值见表 1-1。

表 1-1 内表面换热系数 α_n 与换热热阻 R_n

围护结构内表面特征	α_n $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$	R_n $[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$
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	0.115
有肋状突出物的顶棚, 当 $h/s > 0.3$ 时	7.6	0.132

注: 表中 h ——肋高 (m); s ——肋间净距 (m)。

外表面换热系数 α_w 与换热热阻 R_w 值见表 1-2。

表 1-2 外表面换热系数 α_w 与换热热阻 R_w

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

一些建筑材料的导热系数 λ 值见附录 5。

常用围护结构的传热系数 K 值可从附录 6 中直接查用。

(2) 空气间层传热系数 围护结构中如果设置封闭的空气间层, 间层中空气的导热系数比围护结构其他材料的导热系数小, 这可以增大围护结构的热阻, 减少传热量, 提高保温效果, 如双层玻璃、复合墙体的空气间层等。

空气间层热阻值难以用理论公式确定, 在工程设计中, 可按表 1-3 选用。

空气间层热阻值与间层厚度、间层设置的方向、形状和密封性等因素有关。由表 1-3 可以看出, 同样厚度时, 热流由上向下空气间层的热阻值最大, 竖向空气间层次之, 热流由下向上空气间层的热阻值最小。另外, 空气间层厚度超过

表 1-3 空气间层热阻 R' [单位: $(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{W}$]

位置、热流状况	间层厚度 δ/cm						
	0.5	1	2	3	4	5	6 以上
热流向下 (水平、倾斜)	0.103	0.138	0.172	0.181	0.189	0.198	0.198
热流向上 (水平、倾斜)	0.103	0.138	0.155	0.163	0.172	0.172	0.172
垂直空气间层	0.103	0.138	0.163	0.172	0.181	0.181	0.181

5cm 左右以后, 由于传热空间增大, 反而易于空气的对流换热, 热阻的大小几乎不再随厚度的增加而增大, 因此空气间层厚度不是越大越好, 应适当选择。

带空气间层围护结构的传热系数, 仍可按式 (1-4) 计算, 只是计算时, 在分母项中增加一项空气间层热阻。

(3) 非匀质材料围护结构的传热系数 工程中有有的围护结构在宽度和厚度方向上是由两种以上不同材料组成的非匀质围护结构, 如各种空心砌块、保温材料的填充墙等。在这种结构中, 热量传递时, 不仅在平行热流方向上有传热, 而且在垂直热流方向不同材料的接触面上也存在传热, 如图 1-3 所示。

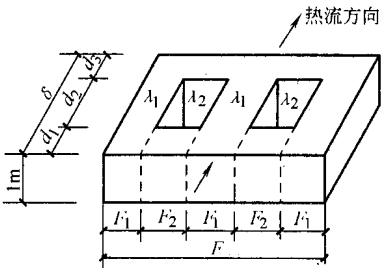


图 1-3 非匀质材料围护结构传热系数计算图示

非匀质围护结构的平均传热阻可按下式计算:

$$R_{pj} = \left[\frac{F}{\sum \frac{F_i}{R_i}} - (R_n + R_w) \right] \varphi \tag{1-5}$$

式中 R_{pj} ——平均传热阻 [$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{W}$];

F ——垂直热流方向的总传热面积 (m^2), 见图 1-3;

F_i ——平行热流方向划分的各个传热面积 (m^2), 见图 1-3;

R_i ——传热面积 F_i 上的总热阻 [$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{W}$];

R_n, R_w ——围护结构内、外表面换热阻 [$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{W}$];

φ ——平均传热阻修正系数, 见表 1-4。

表 1-4 修正系数 φ 值

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

注: 1. 当围护结构由两种材料组成, λ_2 应取较小的导热系数, λ_1 为较大的导热系数, φ 由比值 λ_2/λ_1 确定。
2. 当围护结构由三种材料组成, φ 应由比值 $(\lambda_2 + \lambda_3)/2\lambda_1$ 确定。
3. 当围护结构中存在圆孔时, 应先将圆孔折算同面积的方孔, 然后再进行计算。

非匀质材料围护结构的传热系数可按下式计算

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_n + R_{pj} + R_w} \quad (1-6)$$

(4) 地面传热系数 室内的热量通过地面传至室外，传热量的多少与地面距外墙的距离有关，距外墙近的地面向室外传递的热量多，热阻小而传热系数大；距外墙远的地面传热量少，热阻大而传热系数小，地面距外墙距离超过 8m 后，传热量基本不变。工程上采用近似计算的方法，把距外墙 8m 以内的地面沿与外墙平行的方向分成四个地带。具体计算方法如下：

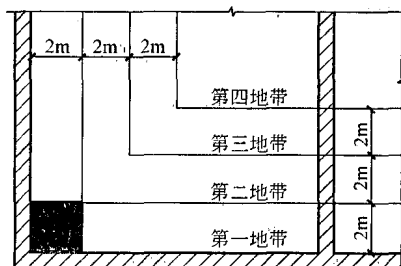


图 1-4 地面传热地带的划分

1) 直接铺在土壤上的非保温地面 [组成地面各层材料的导热系数 λ 均大于 $1.16\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$]。从外墙内表面起 2m 为一个地带，第一地带靠近墙角处的面积 (如图 1-4 中的阴影部分) 需计算两次，以补偿外墙角处较多的热量损失。

各地带的传热系数和传热热阻见表 1-5。

表 1-5 非保温地面的传热热阻及传热系数

地带	$R_o/[(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}]$	$K_o/[W/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})]$	地带	$R_o/[(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}]$	$K_o/[W/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})]$
第一地带	2.15	0.47	第三地带	8.60	0.12
第二地带	4.30	0.23	第四地带	14.20	0.07

工程计算中，也可直接查相关手册，确定各房间非保温地面的平均传热系数值，再计算其传热量。

2) 直接铺在土壤上的保温地面 (组成地面各层材料中，有一层或数层导热系数 λ 小于 $1.16\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 的保温层)，各地带热阻为

$$R'_o = R_o + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (1-7)$$

式中 R'_o ——保温地面的传热阻 $[(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}]$ ；

R_o ——非保温地面的传热阻 $[(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}]$ ；

δ_i ——保温层的厚度 (m)；

λ_i ——保温层的导热系数 $[W/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})]$ 。

3) 铺设在地垄墙上的保温地面，各地带传热系数按下式计算。

$$K''_o = \frac{1}{R''_o} = \frac{1}{1.18 R'_o} \quad (1-8)$$

5. 围护结构传热面积的丈量

不同围护结构传热面积的丈量方法如图 1-5 所示。

(1) 门窗面积 按外墙外

表面上的净空尺寸计算。

(2) 外墙面积 高度从本

层地面算到上层地面（底层除外，见图 1-5）。平屋顶建筑物，顶层的高度是从顶层地面算到平屋顶的上表面。有闷顶的斜屋面，应从顶层地面算到闷顶保温层的上表面。外墙的平面长度，拐角房间应从外墙外表面算到内墙中心线；非拐角房间应计算两内墙中心线间的距离。

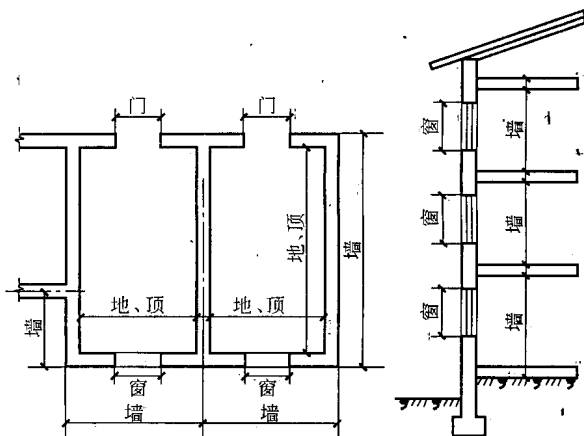


图 1-5 围护结构传热面积的丈量

(3) 闷顶和地面面积 可从外墙内表面算至内墙中心线或按两内墙中心线丈量。平屋顶的顶棚面积按建筑物外轮廓尺寸计算。

(4) 地下室面积 把地下室外墙在室外地

面以下的部分看作地下室地面的延伸，采用与地面相同的地带法进行计算。也就是从与室外地面齐平的墙面开始划分第一地带，顺延到地下室地面，共划分四个地带，如图 1-6 所示。

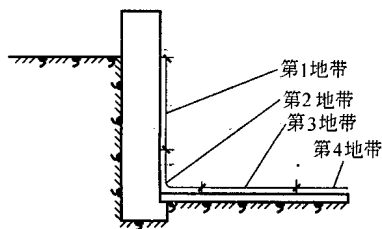


图 1-6 地下室面积的丈量

二、围护结构的附加（修正）耗热量

围护结构的基本耗热量是指在稳定传热条

件下，由于室内外温差的作用，通过围护结构产生的热量损失。实际传热时气象条件和建筑物的结构特点都会影响基本耗热量，使之增大或减小，这就需要对基本耗热量进行修正，包括朝向修正、风力附加、外门附加和高度附加等。

1. 朝向修正

考虑建筑物受到太阳辐射的影响，朝南房间能够得到较多的太阳辐射热，而且围护结构比较干燥，围护结构的热量损失会减少，而朝北房间反之，这就需要对围护结构的基本耗热量进行修正。修正的方法是按围护结构的不同朝向采用不同的修正率，将垂直外围护结构（门、窗、外墙及屋顶的垂直部分）的基本耗热量乘以朝向修正率，得到该围护结构的朝向修正耗热量。太阳辐射热实际上是一种得热量，因此朝向修正率一般取为负值。朝向修正率可按表 1-6 选用。

表 1-6 朝向修正率

朝 向	修 正 率	朝 向	修 正 率
北、东北、西北	0 ~ 10%	东南、西南	- 10% ~ - 15%
东、西	- 5%	南	- 15% ~ - 30%

选用朝向修正率时应考虑当地冬季日照率、建筑物的使用和被遮挡情况。对于日照率小于 35% 的地区，东南、西南、南向的朝向修正率应采用 - 10% ~ 0%，东、西朝向可不修正。

2. 风力附加

风速增大时，围护结构外表面的对流换热会增强，围护结构的基本耗热量也随之加大，所以，需要对垂直的外围护结构的基本耗热量进行风力修正，修正系数应为正值。计算围护结构基本耗热量时，外表面换热系数 α_w 是在室外风速为 4m/s 时得到的，我国冬季各地平均风速一般为 2 ~ 3m/s，因此“暖通规范”规定：在一般情况下，不必考虑风力附加，只对建筑在不避风的高地、河边、海岸、旷野上的建筑物，以及城镇、厂区内特别突出的建筑物，才对其垂直外围护结构的基本耗热量附加 5% ~ 10%。

3. 外门附加

冬季，在风压和热压的作用下，大量从室外或相邻房间通过外门、孔洞侵入室内的冷空气被加热成室温所消耗的热量称为冷风侵入耗热量。

冷风侵入耗热量可采用外门附加的方法计算，即

$$\text{冷风侵入耗热量} = \text{外门基本耗热量} \times \text{外门附加率}$$

外门附加率确定方法为：

对于民用建筑和工厂辅助建筑物短时间开启的外门（不包括阳台门、太平门和设有热空气幕的外门）：

一道门为 65n%；二道门（有门斗）为 80n%；三道门（有二个门斗）为 60n%。其中 n 为楼层数。

公共建筑和生产厂房主要出入口的外门附加率为 500%。

对于开启时间较长的外门，应根据工业通风原理首先计算冷风的侵入量，再计算其耗热量。

4. 高度附加

由于室内空气对流作用的影响，房间上部空气温度高于室内计算温度，使围护结构上部实际传热量大于按室内计算温度计算的传热量，为此需要进行高度附加，附加率应为正值。“暖通规范”规定：民用建筑和工业企业辅助建筑物（楼梯间除外）的高度附加率，房间高度大于 4m 时，每高出 1m 附加围护结构基本