

高层建筑实用技术指南丛书

高层建筑采暖设计技术

刘梦真 王宇清 著



机械工业出版社

本书针对高层建筑采暖设计特点,从设计人员具体工作的角度出发,对高层建筑采暖设计热负荷、采暖方式、采暖系统、分户热计量及其热源形式等进行了较为详细的分析和介绍。总结了近些年来高层建筑采暖设计及运行中的一些经验教训。论述了高层建筑直连供暖专利技术及其他高层建筑与热网连接的设计和调试方法,并列举了部分有代表性的典型工程设计实例。

本书观点明确,实用性强。文字通俗易懂,内容简明扼要。可供工程设计、施工技术人员及大中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑采暖设计技术 魏梦真,王宇清著 北京:

机械工业出版社, 2002.12

(高层建筑实用技术指南丛书)

ISBN 7-111-08000-0

I ①高 ②魏 ③王 ④高 ⑤高 ⑥高 ⑦高 ⑧高
—建筑设计 IV ①魏 ②魏

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 123456 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:杨少彤 版式设计:霍永明

责任校对:李汝庚 封面设计:张静

责任印制:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

32 开本 787mm×1092mm 1/32 印张 4.5 插页 1 字数 100 千字

图 0001—源 0001 册

定价: 18.00 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)68995199 订购部电话

封面无防伪标均为盗版

前 言

1997年以来，笔者在推广自己的“高层建筑直连供暖专利技术”时，有幸广泛接触了我国三北(东北、西北、华北)地区众多建筑设计院的同行们，增长了见识、开阔了眼界。不但接触了各式各样的高层建筑，还结识了许多暖通界的知名人士。特别是通过与他们面对面的交流、参与方案制定、图纸会审、技术交底以及共同处理工程中的一些技术问题等，着实学到了许多东西，同时，也发现了一些问题。正想编撰《高层建筑直连采暖设计技术》一书时，恰巧接到了机械工业出版社杨少彤编辑的约稿电话。虽然，书的名字仅“二”字之差，但是，份量之重，却自觉胜似泰山。好在王宇清副教授慨然应允协助完成，才斗胆提笔。

随着改革开放的深入、经济的可持续发展、国际贸易的日益增多、城市人口的快速膨胀，高层建筑在我国将跨入更大的发展时期。无疑，这将为高层建筑采暖业提供更为广阔的发展空间。在这一伟大的历史时期，本书应运出版并对读者能有所帮助的话，笔者将十分欣慰。

本着简洁实用，通俗易懂，又尽可能压缩篇幅的原则，考虑现有《建筑采暖设计》等书籍的普及，凡属低层建筑共性的东西一般不再赘述，以最大限度地收集高层建筑采暖设计的实用技术。同时，考虑计算机技术的普及，凡计算机能完成的热负荷计算类也仅作一般叙述，以侧重方案介绍。当然，对于近年来出现的一些诸如分户热计量、变流量控制系统等常规多层建筑采暖新技术、新方法、新设备、新材料也不排斥。为了尽可能多地将最新技术与方法收入进来，本书还针对一些有争议的学术观点、不甚成熟的技术方法等作了提示性讨论，以给读者一个更为宽阔的思考空间，激发本专业技术人员的创新热情。书中侧重介绍了“高层建筑直连供暖专利技术”，对高层建筑直连供暖技术的基本原理、技术关键、方案制定、设计原则以及旧区并网改造、设备安装、操作管理、常见问题处理等都作了详尽的论述。同时，对于近年来出现的其他形式的直连供暖技术方法也作了充分的介绍与分析，并进行了客观公正、实事求是的评价及探讨，指出了不同形式方法的适用范围及优缺点。总之，笔者竭尽全力将多年搜集积累的有关高层建筑采暖技术资料、调研笔记、运行经验以及失败教训等融为一体，并通过列举大量有代表性的典型工程设计实例，力争汇集成一本

专门论述高层建筑采暖设计的实用书籍。诚然，限于时间、精力和水平，不当之处，还是在所难免，恳请读者提出宝贵意见，以便再版时进一步修改、提高。

由于目前专业规范和专业词汇中，“采暖”、“供暖”及“供热”词汇均在使用，并根据《采暖通风与空气调节术语标准》，“采暖”的别名也称为“供暖”之精神，本书在论述建筑室内采暖时，一般采用“采暖”、“供暖”，论述有关热源、热网时，采用“供热”。

本书从策划、组稿直至最后出版的全过程中，得到了机械工业出版社杨少彤编辑的悉心指导和帮助。同时，在编写过程中，还参考和应用了许多著作及文献资料，在此，谨向这些同行和作者致以诚挚的谢意。中国人民解放军总参谋部通信工程设计研究院的领导及有关部门自始至终给予了热情鼓励和鼎力支持，在此表示衷心感谢。

刘梦真

二〇〇九年 远月于沈阳

目 录

前言	供暖系统	怨源
第一章 高层建筑采暖热负荷	第一节 概述	员
第一节 概述	第二节 高层建筑围护结构传热耗热量	圆
第二节 高层建筑围护结构传热耗热量	第三节 高层建筑冷风渗透耗热量	怨
第三节 高层建筑冷风渗透耗热量	第四节 冷风侵入耗热量	猿
第四节 冷风侵入耗热量	第五节 围护结构的最小与经济热阻	源
第五节 围护结构的最小与经济热阻	第二章 高层建筑室内采暖系统	苑
第二章 高层建筑室内采暖系统	第一节 散热器	苑
第一节 散热器	第二节 高层建筑室内采暖系统基本形式	苑
第二节 高层建筑室内采暖系统基本形式	第三节 低温热水地板辐射采暖	猿
第三节 低温热水地板辐射采暖	第四节 室内热水采暖系统的水力计算	猿
第四节 室内热水采暖系统的水力计算	第三章 室外热水供热系统	远
第三章 室外热水供热系统	第一节 用户与室外热水供热管网连接方式	远
第一节 用户与室外热水供热管网连接方式	第二节 室外热水网路的水力计算	远
第二节 室外热水网路的水力计算	第三节 热水网路的水压图	猿
第三节 热水网路的水压图	第四章 高层住宅分户热计量系统	愿
第四章 高层住宅分户热计量系统	第一节 分户热计量系统热负荷	愿
第一节 分户热计量系统热负荷	第二节 分户热计量系统常见形式	愿
第二节 分户热计量系统常见形式	第三节 分户热计量系统水力计算特性	愿
第三节 分户热计量系统水力计算特性	第五章 高层建筑无水箱直连供暖技术	怨
第五章 高层建筑无水箱直连供暖技术	第一节 高层建筑常规连接方式	怨
第一节 高层建筑常规连接方式	第二节 高层建筑无水箱直连供暖系统	怨
第二节 高层建筑无水箱直连供暖系统	第三节 典型系统分析	怨
第三节 典型系统分析	第四节 设备选择及设计中的若干问题	怨
第四节 设备选择及设计中的若干问题	第五节 水泵调速	源
第五节 水泵调速	第六节 加压泵变频调速及其控制	源
第六节 加压泵变频调速及其控制	第六章 高层建筑的其他直连系统方式	园
第六章 高层建筑的其他直连系统方式	第一节 双水箱变异及派生直连方法	园
第一节 双水箱变异及派生直连方法	第二节 减压阀类直连方法	猿
第二节 减压阀类直连方法	第三节 高低区分别定压直连方法	苑
第三节 高低区分别定压直连方法	第四节 双定压值定压直连方法	猿
第四节 双定压值定压直连方法	第七章 高层建筑的其他供暖方式	怨
第七章 高层建筑的其他供暖方式	第一节 单栋高层燃油、燃气锅炉房供暖系统	怨
第一节 单栋高层燃油、燃气锅炉房供暖系统	第二节 分户式燃气供暖	怨
第二节 分户式燃气供暖	第三节 电锅炉蓄热式供暖系统	园
第三节 电锅炉蓄热式供暖系统	第四节 分户直接电供暖	怨
第四节 分户直接电供暖	第八章 高层建筑供暖系统与热网连接设计举例	怨
第八章 高层建筑供暖系统与热网连接设计举例	第一节 室外热管网设计及其水压图	怨
第一节 室外热管网设计及其水压图	第二节 采用双水箱直连系统设计	苑
第二节 采用双水箱直连系统设计	第三节 采用无水箱直连系统设计	怨
第三节 采用无水箱直连系统设计	第四节 采用换热器间接连接系统设计	员
第四节 采用换热器间接连接系统设计	第九章 高层住宅分户热计量供热系统的控制	远
第九章 高层住宅分户热计量供热系统的控制	第一节 温控计量装置	远
第一节 温控计量装置		

第二节 热计量供热系统的热力站.....	附录 月	附录 月	热水采暖系统管道水力 计算表	附录 月
第十章 高层住宅热计量供热系统的运 行调节	附录 月	附录 月	热水及蒸汽采暖系统局部阻力 系数 ζ 值	附录 月
第一节 高层住宅热计量供热系统的调节 特性	附录 月	附录 月	热水采暖系统局部阻力系数 ζ 越的局部损失(动压头)值 ...	附录 月
第二节 散热器的调节特性	附录 月	附录 月	一些管径的 λ 越值 和 粤值	附录 月
第三节 热水供热系统的供热调节 ...	附录 月	附录 月	按 ζ 越确定热水采暖系统管 段压力损失的管径计算表.....	附录 月
附录	附录 月	附录 月	单管顺流式热水采暖系统立管 组合部件的 ζ 越值	附录 月
附录 粤	附录 月	附录 月	单管顺流式热水采暖系统立管 的 ζ 越值.....	附录 月
附录 粤 单位换算法	附录 月	附录 月	采暖系统中沿程损失与局部 损失的概略分配比例 葬 ...	附录 月
附录 粤 居住及公共建筑物采暖室内 计算温度	附录 月	附录 月	在自然循环上供下回双管热水 采暖系统中,由于水在管路内 冷却而产生的附加压力	附录 月
附录 粤 辅助用室的冬季室内空气 温度	附录 月	附录 月	水在各种温度下的密度 ...	附录 月
附录 粤 室外气象参数	附录 月	附录 月	附录 悦	附录 月
附录 粤 温差修正系数 葬	附录 月	附录 月	热水网路水力计算表	附录 月
附录 粤 一些建筑材料的热物理 特性表	附录 月	附录 月	热水网路局部阻力当量长度表 (运越)	附录 月
附录 粤 常用围护结构的传热系数 运值	附录 月	附录 月	热网管道局部损失与沿程损失 的估算比值	附录 月
附录 粤 渗透空气量的朝向修正 系数 灶值	附录 月	附录 月	供暖系统各种设备供给每 热量的水容量 灾	附录 月
附录 月	附录 月	附录 月	参考文献	附录 月
附录 月 一些铸铁散热器规格及其 传热系数 运值	附录 月	附录 月		
附录 月 一些钢制散热器规格及其 传热系数 运值	附录 月	附录 月		

第一章 高层建筑采暖热负荷

第一节 概 述

伴随着世界经济的进步和发展,高层建筑向着高度更高,设备更加完善、更加现代化的方向不断发展。世界各国对高层建筑的层数和高度都根据本国经济条件和设备等具体情况作了不同的规定。

高层民用建筑起始高度标准

国 名	建 筑 高 度
中 国	层数 6层住宅建筑,建筑高度超过 24m的其他民用建筑
日 本	层数 6层或建筑高度 24m
英 国	建筑高度 24m
比利时	地面以上建筑高度 24m
美 国	建筑高度 24m-28m,层数 6层
法 国	建筑高度 24m的公共建筑,建筑高度 24m的居住建筑

我国对建筑高度的丈量是从室外地面到其檐口或屋面面层的高度,屋顶上的水箱间、电梯机房、排烟机房和楼梯出口小间等不计入建筑高度和层数内;住宅建筑的地下室、半地下室的顶板面高出室外地面不超过 1.5m者,不计入层数内。

我国采用把建筑高度与层数结合起来的方法进行高层建筑的划分,这是因为仅以建筑层数或仅以建筑高度来划分不同类型和用途的民用建筑都是不够全面的。例如,若以建筑层数作为划分标准,医院、办公楼、图书馆、展览馆等建筑,层高相差悬殊,一般在 3m-4m之间,个别高达 5m,层高相差 2m~3m,显然这种划分方法是不合理的,这类建筑应以建筑物高度作为标准;对住宅建筑而言,层高多在 2.8m-3.0m之间,层高仅相差 0.2m-0.3m,相差不大,这类建筑以建筑层数作为标准是适宜的。

高层建筑与多层建筑相比有如下特点:

(1) 建筑面积大,使用标准高,建筑物需热量多,采暖设计热负荷较高,因此应进行准确的采暖设计热负荷的计算,供给建筑物合适的热量。

(2) 层数多、高度大,管道系统的静水压力较大,为使管道承受的压力小于其工作强度并节约能量,应选择经济合理的系统形式,系统应便于维护和管理。

(3) 建筑功能复杂,楼层多,管道繁多,管线长,这就要求管道材质强度高,质量好,使用周期长,管道的连接应确保质量。还应考虑防震、防沉降、防噪声、防水锤、防变形的要求而采取相应的技术措施。

因此进行高层建筑采暖系统设计时应充分考虑高层建筑的特点,进行合理的设计计算。

人们进行生产和生活活动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采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。

采暖系统的设计热负荷是指在采暖室外设计计算温度 t_{w} 下,为保证所要求的室内计算温度 t_{i} ,采暖系统在单位时间内向房间供应的热量 Q 。采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。它直接影响着采暖系统方案的选择,进而影响系统工程造价、运行管理费用以及使用效果。

采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

$$\text{房间设计热负荷} = \text{房间总失热量} - \text{房间总得热量}$$

$Q_{\text{失}}$ 房间的失热量

(员) 围护结构传热耗热量 $Q_{\text{员}}$

(圆) 加热由门、窗缝隙渗入室内的冷空气的耗热量 $Q_{\text{圆}}$,简称冷风渗透耗热量。

(猿) 加热由门、孔洞及相邻房间侵入室内的冷空气的耗热量 $Q_{\text{猿}}$,简称冷风侵入耗热量。

(源) 水分蒸发耗热量 $Q_{\text{源}}$

(缘) 加热由外部运入的冷物料和运输工具的耗热量 $Q_{\text{缘}}$

(远) 通风耗热量 $Q_{\text{远}}$,即通风系统将空气从室内排到室外所带走的热量。

(苑) 其他散热量 $Q_{\text{苑}}$

$Q_{\text{得}}$ 房间的得热量

(员) 生产车间最小负荷班工艺设备散热量 $Q_{\text{员}}$

(圆) 非采暖系统的热管道和其他热表面的散热量 $Q_{\text{圆}}$

(猿) 热物料的散热量 $Q_{\text{猿}}$

(源) 太阳辐射进入室内的热量 $Q_{\text{源}}$

(缘) 其他得热量 $Q_{\text{缘}}$

对于民用建筑或产生热量很少的工业建筑,计算采暖系统的设计热负荷时,失热量只考虑围护结构的传热耗热量、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。

第二节 高层建筑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和附加耗热量。

基本耗热量是指在设计的室内、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)耗热量是指考虑气象条件和建筑结构特点的影响而对基本散热量的修正,包括朝向修正、风力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，如图猿猿所示。这样可以简化计算，而且计算结果基本正确。

围护结构稳定传热时，基本传热量可按下式计算

$$Q = K F (t_n - t_w) \epsilon$$

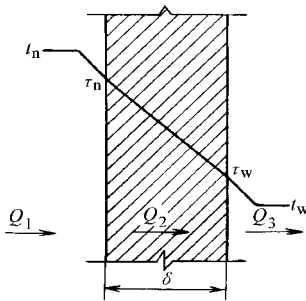
式中 K ——围护结构的传热系数，单位为 $W/(m^2 \cdot K)$ ；

F ——围护结构的面积，单位为 m^2 ；

t_n ——冬季室内计算温度，单位为 $^{\circ}C$ ；

t_w ——采暖室外计算温度，单位为 $^{\circ}C$ ；

ϵ ——围护结构的温差修正系数。



图猿猿 通过围护结构的传热过程

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 $1^{\circ}C$ 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 $1^{\circ}C$ ，且通过隔墙和楼板等的传热量大于该房间热负荷的 10% 时，尚应计算其传热量。

(一) 室内温度

室内计算温度 t_n ：通常指距地面 $1.5m$ 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》(GB 50177-2013)，设计集中采暖系统时，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。

民用建筑房间温度 民用建筑的主要房间，宜采用 $18^{\circ}C \sim 20^{\circ}C$ 。根据国内有关卫生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 $18^{\circ}C$ 比较舒适， $16^{\circ}C$ 无冷感， $14^{\circ}C$ 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 A.0.1

工业生产厂房的工作地点温度

(1) 轻作业不应低于 $16^{\circ}C$ ，指的是能量消耗在 $1000 \sim 2000$ 以下的工种，如仪表、机械加工、印刷、针织等工种。

(2) 中作业不应低于 $18^{\circ}C$ ，指的是能量消耗在 $2000 \sim 4000$ 的工种，如木工、钣金工、焊接等工种。

(3) 重作业不应低于 $20^{\circ}C$ ，指的是能量消耗在 $4000 \sim 8000$ 的工种，如人力运输、大型包装等工种。

应注意，对于层高大于 $5m$ 的工业建筑，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，室内计算温度 t_n 有如下规定：

计算地面传热量时，采用工作地点温度 t_n ，即 t_n ；计算屋顶、天窗传热量时采用屋顶下的温度 t_n ，即 t_n 。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

$$t_n = t_w + \frac{h}{H} (t_w - t_n)$$

(猿猿)

源

式中 h ——屋顶距地面的高度，单位为米；

$\Delta t_{\text{壁}}$ ——温度梯度，单位为℃/m，应根据车间散热设备的散热情况而定，通常取 $\Delta t_{\text{壁}} = 0.1 \sim 0.2$ 。计算墙、门和窗传热量时采用室内的平均温度 $t_{\text{室}}$ ，即 $t_{\text{壁}} = t_{\text{室}} + \Delta t_{\text{壁}}$ 。

对于散热量小于 1000 W 的工业建筑，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。

辅助建筑物及辅助用室的冬季室内计算温度值，见附录 A.0.2。

(二) 室外温度

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

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采暖室外计算温度 t_{w} ，即人为允许每年有几天的实际室外温度低于规定的采暖室外计算温度值，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：“采暖室外计算温度值，应采用历年平均不保证 5 天的日平均温度”。对于大多数城市是指 1961~1990 年这 30 年，不得有多于 5 天的实际日平均温度低于所选定的室外计算温度值。统计年份不足 30 年者，按实有年份采用，但不得少于 10 年。少于 10 年时，应对气象资料进行订正。采用这种方法确定的 t_{w} 值，降低了采暖系统的设计热负荷，节约了费用，只要采暖系统在室外温度低于或等于 t_{w} 时能按设计工况正常、合理地连续供热或间歇时间较短，就会取得良好的采暖效果，这对人们的舒适感也不会有太大的影响。

我国主要城市的采暖室外计算温度 t_{w} 值见附录 A.0.3。

(三) 温差修正系数

温差修正系数 α ：如果采暖房间的外围护结构不直接与室外空气接触，中间隔着不采暖的房间（如图 1 所示）或空间（如地下室），该围护结构传热量的计算公式为

$$Q = K F (t_{\text{室}} - t_{\text{w}}) \alpha \quad (1)$$

式中 t_{w} ——传热达到平衡时，非采暖房间或空间的温度。因 t_{w} 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

$$t_{\text{w}} = \frac{t_{\text{室}} + t_{\text{室}}}{2} \quad (2)$$

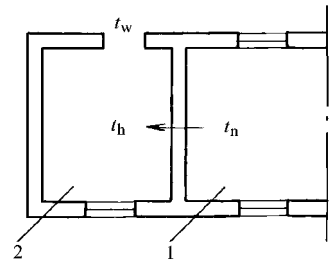


图 1 计算温差修正系数的示意图
1—采暖房间 2—非采暖房间

围护结构温差修正系数 α 值的大小取决于非采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 α 值就越接近于 1，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 A.0.4。

(四) 围护结构的传热系数 K

多层匀质材料平壁结构的传热系数 K 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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{灶}} + R_{灶} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{槽} + \frac{1}{\alpha_{槽}}} \quad (\text{式 10-1})$$

- 式中 $R_{灶}$ ——围护结构的传热热阻，单位为 $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$ ；
 $R_{槽}$ ——围护结构的内、外表面热阻，单位为 $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$ ；
 $R_{壁}$ ——由单层或多层材料组成的围护结构各材料层热阻，单位为 $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$ ；
 $\alpha_{灶}$ 、 $\alpha_{槽}$ ——围护结构的内、外表面换热系数，单位为 $\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；
 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热导率，单位为 $\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 。

内表面换热系数 $\alpha_{灶}$ 与换热热阻 $R_{灶}$ 值见表 10-1

表 10-1 内表面换热系数 $\alpha_{灶}$ 与换热阻 $R_{灶}$

围护结构内表面特征	$\alpha_{灶}$	$R_{灶}$
	$[\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}]$
墙、地面、表面平整或有肋状突出物的顶棚，当 $b \leq 0.2$ 时	10	0.10
有肋状突出物的顶棚，当 $b > 0.2$ 时	8	0.125

注：表中 b —肋高，单位为 m ； l —肋间净距，单位为 m

外表面换热系数 $\alpha_{槽}$ 与换热热阻 $R_{槽}$ 值见表 10-2

表 10-2 外表面换热系数 $\alpha_{槽}$ 与换热阻 $R_{槽}$

围护结构外表面特征	$\alpha_{槽}$	$R_{槽}$
	$[\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}]$
外墙与屋顶	25	0.04
与室外空气相通的非采暖地下室上面的楼板	10	0.10
闷顶和外墙上有窗的非采暖地下室上面的楼板	8	0.125
外墙上无窗的非采暖地下室上面的楼板	7	0.143

一些建筑材料的热导率 λ 值，见附录 A.1

常用围护结构的传热系数 K 值可从附录 A.2 中直接查用。

空气间层传热系数 围护结构中如果设置封闭的空气间层，间层中空气的热导率比围护结构其他材料的热导率小，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 10-3 选用。

表 10-3 空气间层热阻 $R_{空}$ [单位： $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$]

位置、热流状况	间层厚度 δ (mm)						
	20	30	40	50	60	70	≥ 80
热流向下(水平、倾斜)	0.175	0.225	0.275	0.325	0.375	0.425	0.475
热流向上(水平、倾斜)	0.175	0.225	0.275	0.325	0.375	0.425	0.475
垂直空气间层	0.175	0.225	0.275	0.325	0.375	0.425	0.475

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 1-10 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 200mm 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厚越好，应适当选择。

带空气间层围护结构的传热系数，仍可按式(1-10)计算，只是计算时，在分母项中应增加一项空气间层热阻。

非匀质材料围护结构的传热系数 工程中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。这种结构的传热系数 值会比实心墙体高，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。

非匀质围护结构的平均传热阻可按下式计算

$$R_{\text{总}} = \left[\frac{A_{\text{垂}}}{\sum_{i=1}^n \frac{A_{\text{平}i}}{R_{\text{平}i}}} + R_{\text{内}} + R_{\text{外}} \right] \varphi \quad (1-11)$$

式中 $R_{\text{总}}$ ——平均传热阻，单位为(m²·K/W)；

$A_{\text{垂}}$ ——垂直热流方向的总传热面积，单位为 m²，见图 1-11

$A_{\text{平}i}$ ——平行热流方向划分的各个传热面积，单位为 m²，见图 1-11

$R_{\text{平}i}$ ——传热面积 $A_{\text{平}i}$ 上的总热阻，单位为(m²·K/W)；

$R_{\text{内}}$ 、 $R_{\text{外}}$ ——围护结构内、外表面换热阻，单位为(m²·K/W)；

φ ——平均传热阻修正系数，见表 1-11

表 1-11 修正系数 φ 值

序 号	$\lambda_{\text{圆}} < \lambda_{\text{猴}} \text{ 或 } (\lambda_{\text{圆}} \lambda_{\text{猴}})^{0.5}$	φ	序 号	$\lambda_{\text{圆}} < \lambda_{\text{猿}} \text{ 或 } (\lambda_{\text{圆}} \lambda_{\text{猿}})^{0.5}$	φ
员	$\lambda_{\text{圆}} < \lambda_{\text{猴}}$	0.95	猿	$\lambda_{\text{圆}} < \lambda_{\text{猿}}$	0.95
圆	$\lambda_{\text{圆}} > \lambda_{\text{猴}}$	0.98	源	$\lambda_{\text{圆}} > \lambda_{\text{猿}}$	0.98

注：当围护结构由两种材料组成， $\lambda_{\text{圆}}$ 应取较小值， $\lambda_{\text{猴}}$ 为较大值， φ 由比值 $\lambda_{\text{圆}}/\lambda_{\text{猴}}$ 确定。

当围护结构由三种材料组成时， φ 值应由比值 $(\lambda_{\text{圆}} \lambda_{\text{猴}})^{0.5}$ 确定。

当围护结构中存在圆孔时，应先将圆孔折算成同面积的方孔，然后再进行计算。

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 2m 后，传热量基本不变，工程上采用近似计算的方法，把距外墙 2m 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：

(1) 直接铺在土壤上的非保温地面[组成地面各层材料的热导率 λ 均大于 0.1 W/(m·K)]。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 1-12 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换热阻见表 1-12

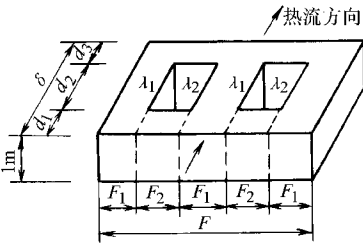


图 房屋非匀质围护结构传热系数计算图示

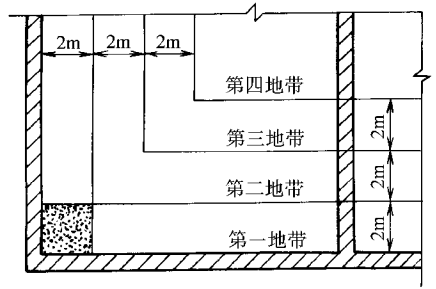


图 房屋地面传热地带的划分

表 房屋非保温地面的传热系数和换热阻

地 带	砌	运	地 带	砌	运
	乘(皂益)乘]	乘宰乘皂(益)]		乘(皂益)乘]	乘宰乘皂(益)]
第一地带	圆缘	圆缘	第三地带	圆缘	圆缘
第二地带	圆缘	圆缘	第四地带	圆缘	圆缘

对于贴土的非保温地面，其传热耗热量还可用下式计算

$$Q_{\text{地}} = \frac{F_{\text{地}}}{K_{\text{地}}} (t_{\text{内}} - t_{\text{地}}) \quad (\text{瓦})$$

式中 $K_{\text{地}}$ ——房间非保温贴土地面的平均传热系数，单位为宰乘皂(益)，见表 房屋表 房屋
 $F_{\text{地}}$ ——房间的地面面积，单位为皂。

表 房屋当房间仅有一面外墙时的 运 [单位:宰乘皂(益)]

房间宽度(进深) 乘	圆缘- 圆缘	圆缘- 圆缘	圆缘- 圆缘	圆缘- 圆缘	怨
运	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘

注：具有两面不相邻外墙的房间，应将房间分割为两个彼此相等，各具一面外墙的部分，使用此 运。

表 房屋当房间具有两面相邻外墙时的 运 [单位:宰乘皂(益)]

房间长度(开间) 乘	房间宽度(进深) 乘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘
		圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘
圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘
圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘
圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘
圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘
圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘
圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘	圆缘

注：房屋当房间长或宽度超出 远时，超出部分可按表 房屋查 运。

房屋当房间有三面外墙时，需将房间先划分为两个相等的部分，每部分包含一个冷拐角。然后，根据分割后的长与宽，使用本表；

房屋当房间有四面外墙时，需将房间先划分为四个相等的部分，作法同 圆。

愿

(圆) 直接铺在土壤上的保温地面(组成地面各层材料中,有一层或数层热导率 λ 小于 $\frac{1}{20}$ 的保温层),各地带热阻为

$$R_{\text{地}} = R_{\text{非}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (\text{式 } 10)$$

式中 $R_{\text{地}}$ ——保温地面的传热阻,单位为 $(\text{m}^2 \cdot \text{h}) / \text{K}$;
 $R_{\text{非}}$ ——非保温地面的传热阻,单位为 $(\text{m}^2 \cdot \text{h}) / \text{K}$;
 δ_i ——保温层的厚度,单位为 m ;
 λ_i ——保温层的热导率,单位为 $\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 。

(猿) 铺设在地垄墙上的保温地面,各地带传热系数按下式计算

$$K = \frac{1}{R_{\text{非}} + R_{\text{地}}} \quad (\text{式 } 11)$$

员 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 10-1 所示。

圆 门窗面积按外墙外表面上的净空尺寸计算。

猿 外墙面积:高度从本层地面算到上层地面(底层除外,如图 10-1 所示)。平屋顶的建筑物,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。

源 闷顶和地面的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廓尺寸计算。

缘 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 10-2 所示。

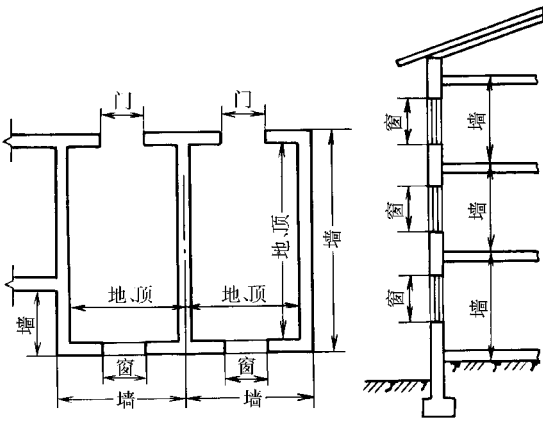


图 10-1 围护结构传热面积的尺寸丈量规则
(对平屋顶,顶棚面积按建筑物外廓尺寸计算)

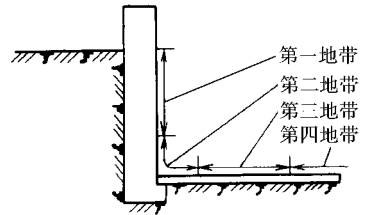


图 10-2 地下室面积的丈量

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。围护结构的附加(修正)耗热量包括朝向修正、风力附加和高度附加等。附加耗热量一般按基本耗电量的百分率进行计算。

朝向修正 考虑太阳辐射的影响，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，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，可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 10-1 选用。

表 10-1 朝向修正率

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

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，对于冬季日照率小于 30% 的地区，东南、西南、南向的朝向修正率应采用 5%~ 10%，东、西向可不修正。

风力附加 考虑风速增大时，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，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。前面计算围护结构基本耗热量时，外表面换热系数为 $\alpha_{\text{外}}$ (按规范取值)，这是在室外风速为 $v_{\text{外}}$ 时得到的。我国冬季各地平均风速一般多为 2~3 m/s，仅个别地区大于 3 m/s，影响不大，在一般情况下不必考虑风力附加。因此《暖通规范》规定：建筑在不避风的高地、河边、海岸、旷野上的建筑物，以及城镇、厂区内特别高出的建筑物，垂直外围护结构的基本耗热量附加 5%~ 10%。

高度附加 考虑室内竖向温度梯度的影响，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：民用建筑和工业辅助建筑物(楼梯间除外)的高度附加率，房间高度大于 2.5 m 时，每高出 1 m 附加围护结构基本耗热量和其他修正耗热量总和的 5%，但总的附加率不应大于 15%；房间高度小于 2.5 m 时，不考虑高度附加。

楼梯间不考虑高度附加，是因为散热器布置时已考虑了高度的影响，散热器已尽量布置在底层或按一定比例分布在下部各层。

另外，如果生产厂房选取室内计算温度时已考虑了高度的影响，则不必进行高度附加。

综上所述，房间围护结构的总耗热量 $Q_{\text{总}}$ 等于围护结构基本耗热量与朝向修正、风力附加、高度附加耗电量的总和。

第三节 高层建筑冷风渗透耗热量

在风压和热压共同作用下室内、外产生了压力差，室外冷空气从门窗缝隙渗入室内，被加热后逸出，使这部分冷空气被加热到室温所消耗的热量称为冷风渗透耗热量。计算冷风渗透耗热量时，应考虑建筑物的高低、内部通道状况、室内外温差、室外风向、风速和门窗种类、构造、朝向等影响，凡暴露于室外的可开启的门窗均应计算这部分耗热量。

高层建筑由于建筑物高度增加，热压的作用不能忽略，进行冷风渗透耗电量的计算时，应综合考虑风压和热压的共同作用。

高层建筑的冷风渗透耗热量可按下式计算

$$Q_{\text{冷}} = \sum (L_{\text{窗}} + L_{\text{门}}) \rho_{\text{外}} C_{\text{p}} \Delta T_{\text{冷}} \alpha_{\text{冷}} \quad (5.1.1)$$

式中 $L_{\text{窗}}$ ——不同类型门窗，每米缝隙渗入的空气量，单位为 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ ；
 $L_{\text{门}}$ ——门窗缝隙长度，单位为 m ，建筑物门窗缝隙长度按各朝向所有可开启的外门窗缝隙丈量；
 $\rho_{\text{外}}$ ——采暖室外计算温度下的空气密度，单位为 kg/m^3 ；
 C_{p} ——冷空气的定压热容，单位为 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ；
 $\alpha_{\text{冷}}$ ——单位换算系数， $\alpha_{\text{冷}} = 0.335$ ；
 $\alpha_{\text{冷}}$ ——风压与热压共同作用下，考虑建筑体形、内部隔断和空气流通等因素后，不同朝向、不同高度的门窗冷风渗透压差综合修正系数。

其中，每米缝隙每小时渗入的空气量 $L_{\text{窗}}$ 需要综合考虑风压和热压的共同作用，其计算公式为

$$L_{\text{窗}} = C_{\text{窗}} \sqrt{\Delta P} \quad (5.1.2)$$

式中 ΔP ——作用在门、窗两侧的压差，单位为 Pa ；
 $C_{\text{窗}}$ ——与门、窗类型，严密性有关的常数。

一、热压单独作用

冬季建筑物的室内、外空气温度不同，室内、外空气间存在密度差，室外的冷空气从下部一些楼层的门窗缝隙渗入室内，通过建筑物内部的竖直贯通通道(如楼梯间、电梯井等)上升，从上部一些楼层的门窗缝隙排出，这种引起空气流动的压力称为热压。

热压主要是由于室外空气与竖直贯通通道内空气之间的密度差造成的。假设建筑物各层之间完全畅通，忽略流动时阻力的存在，建筑物内、外空气密度差和高度差作用下形成的理论热压可按下式计算

$$P_{\text{热}} = (\rho_{\text{外}} - \rho_{\text{内}}) g z \quad (5.1.3)$$

式中 $P_{\text{热}}$ ——理论热压，单位为 Pa ；
 $\rho_{\text{外}}$ ——采暖室外计算温度下的空气密度，单位为 kg/m^3 ；
 $\rho_{\text{内}}$ ——形成热压的室内竖直贯通通道内空气的密度，单位为 kg/m^3 ；
 z ——计算层门窗中心距室外地坪的高度，单位为 m ；
 z_0 ——房屋中和面距室外地坪的高度，单位为 m 。中和面是指室内、外压差为零的界面，通常在纯热压作用下，可以近似取为建筑物高度的一半，即 $z_0 = H/2$ (H 为建筑物高度)；
 g ——重力加速度， $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

从公式中可以看出，当门窗中心处于中和面以下时，热压差为正值，室外空气压力高于室内空气压力，冷空气由室外渗入室内；当门窗处于中和面以上时，室内空气压力高于室外空气压力，热空气由室内渗出室外。图 5.1.4 为热压作用原理图。

上式计算的只是理论热压 $P_{\text{热}}$ ，建筑物门窗缝隙两侧的实际有

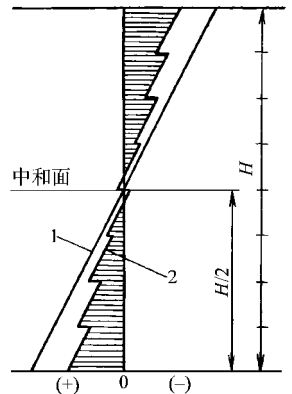


图 5.1.4 热压作用原理图
 图 a—楼梯间及竖井热压分布线
 图 b—各层外窗热压分布线

效热压差 Δp_{eff} 与建筑物门、窗、楼梯间、电梯井等的设置以及建筑物内部隔断和上下部通风等状况有关，也就是与空气从建筑物下部渗入，从上部渗出流通路径的阻力状况有关。

有效热压差 Δp_{eff} 可按下式计算

$$\Delta p_{\text{eff}} = \frac{\Delta p_{\text{th}} \cdot C_{\text{eff}}}{C_{\text{th}}} \quad (A.1.1)$$

式中 Δp_{eff} ——热压差作用下，门窗缝隙两侧产生的实际有效作用压差，简称有效热压差，单位为 Pa；

C_{eff} ——热压系数，表示在纯热压作用下，缝隙内、外空气的理论热压差与有效热压差的比值。热压系数 C_{eff} 的取值，当无法精确计算时，可按表 A.1.1 采用，为了便于计算且偏安全，可取下限为 0.5。

表 A.1.1 热压系数 C_{eff}

内部隔断情况	开敞空间	有内门或房门		有前室门、楼梯间门或走廊两端设门	
		密闭性差	密闭性好	密闭性差	密闭性好
C_{eff}	0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9

二、风压单独作用

当风吹过建筑物时，空气从迎风面门窗缝隙渗入，被室内空气加热后，从背风面门窗缝隙渗出，冷空气的渗入量取决于门窗两侧的风压差。高层建筑，室外风速会随着高度的增加而增大，冷风渗透耗热量也会随之增加。

我国气象部门规定，风速观测的基准高度是 10m，规范给出各城市气象参数中的冬季最多风向平均风速 v_{w} 是对应基准高度 z_{w} 处的数据。

考虑风速随高度的变化，任意高度 z 处的室外风速 v_z ，可用下式表示

$$v_z = v_{\text{w}} \left(\frac{z}{z_{\text{w}}} \right)^{\alpha} \quad (A.1.2)$$

式中 v_z ——高度 z 处风速，单位为 m/s；

v_{w} ——基准高度冬季室外最多风向的平均风速，单位为 m/s，按暖通规范的有关规定确定；

α ——幂指数，与地面的粗糙度有关，可取 0.2~0.3。

式(A.1.2)又可写成

$$v_z = v_{\text{w}} \left(\frac{z}{z_{\text{w}}} \right)^{\alpha} = v_{\text{w}} \left(\frac{z}{z_{\text{w}}} \right)^{\alpha} \cdot v_{\text{w}} \quad (A.1.3)$$

门窗两侧产生的理论风压就是空气具有恒定风速 v_z 时的动压，即

$$p_{\text{th}} = \frac{\rho_{\text{w}} v_z^2}{2} \quad (A.1.4)$$

式中 p_{th} ——理论风压，单位为 Pa；

ρ_{w} ——采暖室外计算温度下空气的密度，单位为 kg/m³。

上式计算的只是理论风压 p_{th} ，门、窗两侧的有效风压差 Δp_{eff} 还与空气从迎风面渗入、从背风面渗出、穿过该楼层流通途径的阻力分布状况有关，也就是与该层建筑物内部的隔断情况有关。

有效风压差可用下式计算