

供暖工程

官燕玲 编著



化学工业出版社
环境·能源出版中心

供 暖 工 程

官燕玲 编著



化学工业出版社
环境·能源出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

供暖工程/官燕玲编著. —北京: 化学工业出版社,
2005. 10
ISBN 7-5025-7721-1

I. 供… II. 官… III. ①城市-热水-供暖系统
②城市-蒸汽-供暖系统 IV. TU995

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 115557 号

供 暖 工 程

官燕玲 编著

责任编辑: 董琳 邹宇

责任校对: 王素芹

封面设计: 关飞

*

化学工业出版社 出版发行
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14¼ 字数 346 千字

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7721-1

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

“供暖工程”是建筑环境与设备工程专业的一门主要课程，也是其他与建筑相关专业的
一门选修课程。

本书详细阐述以热水和蒸汽作为热媒的集中供暖系统的工作原理和设计方法，并介绍了
有关运行管理的基本知识，对近年来在供暖方面的新技术给予较充分的介绍，涉及到供暖分
户热计量技术、辐射供暖新技术、新型设备及材料等。本书依据国家最新的技术规范和标
准。各章附有复习题，便于课后练习和自学。

本书为高校建筑环境与设备工程专业“供暖工程”课程、其他专业相关课程的使用教
材，并可作为暖通专业工程技术人员的学习参考书。

书中第一章至第八章、第十一章由长安大学官燕玲编写，第九章、第十章由长安大学罗
璇编写。

由于作者水平有限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

目 录

绪论	1
第一章 供暖系统的设计热负荷	3
第一节 供暖系统的设计热负荷	3
第二节 围护结构传热耗热量	3
第三节 围护结构传热阻的规定	11
第四节 冷风渗透耗热量	14
第五节 冷风侵入耗热量	18
第六节 供暖设计热负荷的概算	19
第七节 供暖设计热负荷计算实例	20
复习题	23
第二章 供暖系统的散热设备	26
第一节 散热器	26
第二节 散热器的计算	33
第三节 暖风机	37
复习题	39
第三章 热水供暖系统	40
第一节 重力（自然）循环热水供暖系统	40
第二节 机械循环热水供暖系统	46
第三节 高层建筑热水供暖系统	50
第四节 室内热水供暖系统的管路布置和主要设备及附件	52
复习题	57
第四章 室内热水供暖系统的水力计算	59
第一节 热水供暖系统管路水力计算的基本原理	59
第二节 重力循环双管系统管路水力计算方法和例题	64
第三节 机械循环单管热水供暖系统管路的水力计算方法和例题	70
第四节 散热器的进流系数 α 及跨越式单管系统水力计算	73
第五节 机械循环同程式热水供暖系统管路的水力计算方法和例题	75
第六节 “不等温降”的水力计算原理和方法	79
复习题	83
第五章 分户热计量集中热水供暖系统	86
第一节 供暖系统设计热负荷	86
第二节 供暖系统型式	87
第三节 供暖系统水力计算	89
第四节 供暖系统温控计量装置	90
复习题	92
第六章 辐射供暖	94

第一节	低温热水地板辐射供暖	94
第二节	钢制辐射板	100
第三节	低温辐射电热膜供暖	103
第四节	低温热电缆地板辐射供暖	104
第五节	燃气红外线辐射供暖	105
复习题		106
第七章	蒸汽供暖系统	107
第一节	蒸汽作为供暖系统热媒的特点及分类	107
第二节	室内低压蒸汽供暖系统	108
第三节	室内高压蒸汽供暖系统	111
第四节	供暖系统与蒸汽网路的连接	114
第五节	蒸汽供暖系统专用设备	115
第六节	室内低压蒸汽供暖系统管路的水力计算方法和例题	123
第七节	室内高压蒸汽供暖系统管路的水力计算方法和例题	127
第八节	凝结水回收系统	129
复习题		134
第八章	热水网路的水力计算和水压图	135
第一节	热水供暖系统与热水网路的连接	135
第二节	室外热水管网的水力计算	137
第三节	热水网路的水压图	141
第四节	供暖系统的定压方式	151
复习题		154
第九章	热水供暖系统的水力工况	156
第一节	热水网路水力工况计算的基本原理	156
第二节	热水网路水力工况的分析和计算	158
第三节	热水网路的水力稳定性	163
复习题		165
第十章	热水供暖系统的供热调节	167
第一节	概述	167
第二节	供暖热负荷供热调节的基本公式	167
第三节	几种主要的调节方法	169
第四节	间接连接热水供暖系统的集中供热调节	174
第五节	供暖系统的最佳调节工况	176
复习题		182
第十一章	供热管道设计及附件	184
第一节	供热管道及附件	184
第二节	管道的热伸长及其补偿	190
第三节	供热管道的保温	193
复习题		195
附录		196
附录 0-1	单位换算表	196

附录 1-1	温差修正系数 α	196
附录 1-2	一些建筑材料的热物理特性表	196
附录 1-3	允许温差 Δt_s 值	197
附录 1-4	渗透冷空气量的朝向修正系数 n 值	197
附录 2-1	一些铸铁散热器规格及其传热系数	198
附录 2-2	一些钢制散热器规格及其传热系数	198
附录 2-3	散热器组装片数修正系数 β_1	199
附录 2-4	散热器连接型式修正系数 β_2	199
附录 2-5	散热器安装型式修正系数 β_3	199
附录 3-1	水在各种温度下的密度 ρ (压力 100kPa 时)	200
附录 3-2	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	200
附录 3-3	供暖系统各种设备供给每 1kW 热量所需的水容量 V_e 值	201
附录 4-1	热水供暖系统管道水力计算表	202
附录 4-2	热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数 ζ 值	203
附录 4-3	热水供暖系统局部阻力系数 $\zeta=1$ 的局部损失 (动压头) 值	203
附录 4-4	一些管径的 λ/d 值和 A 值	204
附录 4-5	按 $\zeta_{sh}=1$ 确定热水供暖系统管段压力损失的管径计算表	204
附录 4-6	单管顺流式热水供暖系统立管组合部件的 ζ_{sh} 值	205
附录 4-7	单管顺流式热水供暖系统立管的 ζ_{sh} 值	206
附录 4-8	供暖系统中摩擦损失与局部损失的概略分配比例 α	206
附录 5-1	PE-X 管单位地面面积的散热量和向下传热损失	206
附录 5-2	PB 管单位地面面积的散热量和向下传热损失	207
附录 5-3	塑料管及铝塑复合管水力计算表	208
附录 5-4	塑料管及铝塑复合管局部阻力系数 (ζ) 值	209
附录 5-5	块状辐射板规格及散热量表	209
附录 5-6	金属辐射板的最低安装高度	210
附录 6-1	疏水器的排水系数 A_p 值	210
附录 6-2	低压蒸汽供暖系统管路水力计算表	210
附录 6-3	低压蒸汽供暖系统管路水力计算用动压头	211
附录 6-4	蒸汽供暖系统干式和湿式自流凝结水管管径选择表	211
附录 6-5	室内高压蒸汽供暖系统管径计算表	212
附录 6-6	室内高压蒸汽供暖管路局部阻力当量长度	213
附录 7-1	热水网路水力计算表	214
附录 7-2	热水网路局部阻力当量长度表	216
附录 7-3	热网管道局部损失与沿程损失的估算比值 α_1	217
参考文献		218

绪 论

一、“供暖工程”课程的研究对象和主要内容

人们的生活和生产需要舒适的室内热环境。在冬季，由于室外温度的下降，室内温度也会随之降低。这时，只有通过人工的方法向室内供给热量，才能保证室内一定的温度，从而满足人们的热舒适要求。

供暖就是用人工方法向室内供给热量，保持一定的室内温度，以创造适宜的生活条件或工作条件的技术。所有供暖系统都由热媒制备（热源）、热媒输送（输配管网）和热媒利用（散热设备）三个主要部分组成。根据三个主要组成部分的相互位置关系，供暖系统可分为局部供暖系统和集中供暖系统。

热媒制备、热媒输送和热媒利用三个主要组成部分在构造上都在一起的供暖系统，称为局部供暖系统，即分散供暖。如火炉采暖、户用燃气供暖、电加热器采暖等。虽然燃气和电能通常由远处输送到室内来，但热量的转化和利用都是在这个供暖房间实现的。

热源和散热设备分别设置，用热媒管网相连接，由热源向各个房间或各个建筑物供给热量的供暖系统，称为集中式供暖系统。

图 0-1 是集中式热水供暖系统示意图。热水锅炉 1 与散热器 2 分别设置，通过热水管道（供水管和回水管）3 相连接。循环水泵 4 使热水在锅炉内加热，在散热器冷却后返回锅炉重新加热。图 0-1 中的膨胀水箱 5 用于容纳供暖系统升温时的膨胀水量，并使系统保持一定的压力。图中的热水锅炉，可以向单幢建筑物供暖，也可以向多幢建筑物供暖。对一个或几个小区多幢建筑物的集中式供暖方式，称为联片供热（暖）。由热源集中向一个城镇或较大区域供应热能的方式称为集中供热。在城市集中供热系统中供暖系统热用户为主要热用户。

根据供暖系统散热设备向室内散热方式的不同，主要可分为对流供暖和辐射供暖。

以对流换热为主要方式的供暖，称为对流供暖。系统中的散热设备是散热器，因而这种系统也称为散热器供暖系统。利用热空气作为热媒，向室内供给热量的供暖系统，称为热风供暖系统。它也是以对流方式向室内供暖。辐射供暖是以辐射传热为主的一种供暖方式。辐射供暖系统的散热设备，主要采用金属辐射板或以建筑物部分顶棚、地板或墙壁作为辐射散热面。

“供暖工程”主要讲授以热水和蒸汽作为热媒的集中式散热器供暖系统的工作原理和设计、运行的基本知识；讲授分户热计量热水集中供暖及热水地板辐射供暖的工作原理和设计方法；介绍热风供暖和其他辐射供暖的散热设备。

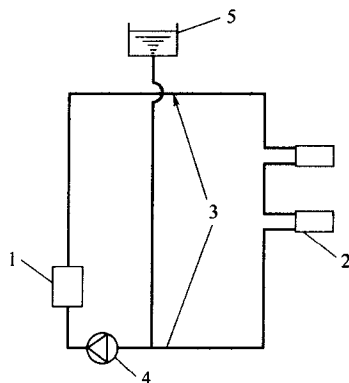


图 0-1 集中式热水供暖系统示意图

- 1—热水锅炉；2—散热器；
3—热水管道；4—循环水泵；
5—膨胀水箱

二、我国供热采暖现状与发展

我国严寒和寒冷地区，主要包括东北、华北和西北地区（简称三北地区），累计年日平均温度低于或等于 5°C 的天数，一般都超过90天以上，这一地区习惯上称为采暖地区，其面积约占我国国土面积的70%。1995年底这一地区城镇共有房屋建筑面积37.4亿平方米，其中住宅20.2亿平方米，占54%。城镇供热方式大体分为火炉采暖、分散锅炉房供暖、区域锅炉供暖、城市集中供热等几种，也有部分工业余热及废热用于建筑采暖。除此之外，随着城市能源结构的变化，出现了户用燃气采暖及电加热器采暖等新型采暖方式。我国三北地区城镇，仍以火炉采暖为主，在采暖住宅建筑中约占比例3/4；在大中城市，分散锅炉房供热所占比例最大。集中供热面积8.6亿平方米（1998年末）。近些年来，随着我国国民经济的迅速发展，国家对环境保护、节约能源、改善居住条件等问题的高度重视，城市集中供热有了较大的发展，城市供热的数量和质量有了增加和提高。

建筑是用能大户，1996年全国能源消费总量为13.88亿吨标准煤，而建筑能耗为3.54亿吨标准煤，占全国商品能源消费总量的25.5%。其中城镇采暖人口占全国人口的13.6%，而1996年采暖用热要占全国商品能源总消耗的9.9%。因此建筑节能对我国的经济建设与发展有着重要意义。建设部于1986年颁布了我国第一部建筑节能标准，即《民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）》（JGJ 26—86），目标是在1980年、1981年当地通用设计的基础上节能30%。这个标准实施后，建筑节能的重点在很长一段时间内是围绕着围护结构的改善进行的，随着墙体材料的革新，产生了很多新的保温材料和保温结构，包括墙体、屋面、门窗等。1996年建设部又制定了节能50%的目标，即第二阶段采暖居住建筑节能设计标准。该目标应通过两个方面来实现，即提高围护结构保温性能、改善门窗密闭性以及提高供热运行效率。这些年来，为了实现民用建筑节能第二阶段节能50%的目标，国内许多部门、专家学者做了大量有效的工作，取得了很大的成绩。

可以说，实现建筑节能50%目标的主要途径应是供暖系统的节能。供暖系统节能的主要途径概括起来有四个方面。

（1）热源部分 提高燃烧效率、增加热量回收；热源装机容量应与采暖计算热负荷相符；提高锅炉（或热力站）运行管理水平。

（2）管网部分 管网系统要水力平衡；循环水泵选型应符合设计参数要求；管道保温符合规定。

（3）用户末端 提高围护结构保温性、门窗热密闭性；充分利用自然热；室内温度控制，既可以根据负荷需要调节供暖量，又可以调节温度以改变需求量经济运行。

（4）采暖供热按用热量计费 只有采暖供热按热量计费，依靠市场经济杠杆，才能使更多的人关注节能，真正落实节能措施，实现节能目标。

建国以来，特别是近十几年来，我国供暖工程建设与技术取得了显著的成就，但在很多方面还需继续努力，不断提高。

第一章 供暖系统的设计热负荷

供暖系统设计热负荷是供暖设计中最基本的数据,它直接影响供暖系统方案的选择、供暖管径的大小、供暖设备的多少及供暖系统的使用效果。

第一节 供暖系统的设计热负荷

冬季,在比较寒冷的地区,由于人们正常活动和生产工艺的需要,室内要保持一定的温度,这就需要由供暖系统补进热量。供暖系统通常利用散热设备向房间散热供给热量。

供暖系统的热负荷是指在某一室外温度 t_w 下,为了达到要求的室内温度 t_n ,供暖系统在单位时间内向供暖房间供给的热量 Q 。它随着建筑物得失热量的变化而变化。

供暖系统的设计热负荷,是指在设计室外温度 t_w' 下,为达到要求的室内温度 t_n ,供暖系统在单位时间内向供暖房间供给的热量 Q' ,它是设计供暖系统的最基本的依据。

供暖热负荷是根据冬季供暖房间的热平衡算出的。在冬季,供暖房间内可以具有各种得热来源和发生各种热量损失。为达到要求的室内温度,这就必须使房间在该温度下得到的热量与损失的热量取得平衡。

房间的失热量包括:围护结构的传热耗热量 Q_1 ;加热由门窗缝隙渗入室内的冷空气的耗热量 Q_2 ;加热由门、孔洞及相邻房间侵入的冷空气的耗热量 Q_3 ;水分蒸发的耗热量 Q_4 ;加热由外部进入的冷物料和运输工具的耗热量 Q_5 ;通风耗热量,通风系统将空气从室内排到室外所带走的热量 Q_6 ;通过其他途径散失的热量 Q_7 。房间的得热量包括:太阳辐射进入室内的热量 Q_8 ;非供暖系统的其他热管道和热表面的散热量 Q_9 ;生产车间最小负荷班的工艺设备散热量 Q_{10} ;热物料在车间的散热量 Q_{11} ;通过其他途径获得的热量 Q_{12} 。

如果房间获得的热量小于散失的热量,其差值即为供暖系统的热负荷。

对于一般民用建筑和产生热量很少的工业建筑,失热量只考虑围护结构传热耗热量 Q_1 ,加热由门窗缝隙渗入室内的冷空气的耗热量 Q_2 ,加热由门、孔洞及相邻房间侵入的冷空气的耗热量 Q_3 。得热量只考虑太阳辐射进入室内的热量 Q_8 。在设计中,太阳辐射进入室内的热量 Q_8 又可在 Q_1 中按一定比例修正的方式考虑。故供暖系统热负荷 Q 的计算可表示为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1-1)$$

供暖系统设计热负荷的计算式为

$$Q' = Q_1' + Q_2' + Q_3' \quad (1-2)$$

以上带“'”的上标符号均表示在设计工况下的各种参数(全书均以此表示)。

第二节 围护结构传热耗热量

围护结构的传热耗热量是指当室内温度高于室外温度时,通过围护结构向外传递的热量。在工程设计中,计算供暖系统的设计热负荷时,常把它分成围护结构传热的基本耗热量

Q_{ij} 和附加（修正）耗热量 Q_{ix} 两部分进行。基本耗热量是指在设计条件下，通过房间各部分围护结构（门、窗、墙、地板、屋顶等）从室内传到室外的稳定传热量的总和。附加（修正）耗热量是指围护结构的传热状况发生变化而对基本耗热量进行修正的耗热量。附加（修正）耗热量包括风力附加、高度附加和朝向修正耗热量。

一、围护结构的基本耗热量

在工程设计中，围护结构的基本耗热量是按稳定传热过程进行计算的，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变化。实际上，由于室内散热设备散热不稳定，室外空气温度随季节和昼夜变化不断波动，这是一个不稳定传热过程。但不稳定传热计算复杂。所以，对室内温度允许有些波动的一般建筑物来说，采用稳定传热计算可以简化计算方法，并能基本满足热舒适要求。

在稳定传热条件下，通过供暖房间各部分围护结构的基本耗热量（W）应按式（1-3）计算

$$q' = KF(t_n - t_w')a \quad (1-3)$$

式中， K 为围护结构的传热系数， $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ； F 为围护结构的面积， m^2 ； t_n 为冬季室内计算温度， $^\circ C$ ； t_w' 为供暖室外计算温度， $^\circ C$ ； a 为围护结构的温差修正系数。

供暖房间的基本耗热量 Q_{ij} （W）等于它的围护结构各部分基本耗热量 q' 的总和

$$Q_{ij} = \sum q' = \sum KF(t_n - t_w')a \quad (1-4)$$

下面对式（1-3）和式（1-4）中各项分别讨论。

（一）室内计算温度 t_n

室内计算温度一般是指距地面 2m 以内人们活动地区的平均空气温度。室内计算温度的高低，应满足人的生活要求和生产的工艺要求。生产要求的温度一般由工艺设计人员提出；人们生活要求的温度，主要决定于人体的生理热平衡。它和许多因素有关，如房间的用途、室内的潮湿情况和散热强度、劳动强度以及生活习惯等。

中华人民共和国国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》（GB 50019—2003，简称《暖通规范》）规定：设计集中供暖时，冬季室内计算温度，应根据建筑物的用途，按下列规定采用。

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

（2）工业建筑的工作地点，宜采用：轻作业 $18 \sim 21^\circ C$ 、中作业 $16 \sim 18^\circ C$ 、重作业 $14 \sim 16^\circ C$ 、过重作业 $12 \sim 14^\circ C$ 。其中，作业种类的划分，应按国家现行的《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1）执行。当每名工人占用较大面积（ $50 \sim 100m^2$ ）时，轻作业时可低至 $10^\circ C$ ；中作业时可低至 $7^\circ C$ ；重作业时可低至 $5^\circ C$ 。

（3）辅助建筑物及辅助用房的冬季室内计算温度见表 1-1。

表 1-1 辅助建筑物及辅助用房的冬季室内计算温度 t_n （最低值）

建筑物	温度/ $^\circ C$	建筑物	温度/ $^\circ C$
浴室	25	食堂	18
更衣室	25	盥洗房、厕所	12
办公室、休息室	18		

（4）对于高度较高的生产厂房，由于空气的热对流作用，上部空气温度必然高于工作地区的温度，通过上部围护结构的传热量增加。因此，层高大于 4m 的工业建筑，冬季室内计

算温度 t_n ，应按下列规定采用：

- ① 计算地面的耗热量时，应采用工作地点的温度 t_g ，℃；
- ② 计算屋顶和天窗耗热量时，应采用屋顶下的温度 t_d ，℃；
- ③ 计算墙、窗和门的耗热量时，应采用室内平均温度， $t_{np} = \frac{t_d + t_g}{2}$ ，℃。

屋顶下的空气温度 t_d (℃) 受诸多因素影响，难以用理论方法确定。最好是按已有的类似厂房进行实测确定；或按经验数值，用温度梯度法确定。即

$$t_d = t_g + \Delta t(H-2) \quad (1-5)$$

式中， H 为屋顶距地面的高度，m； Δt 为温度梯度，℃/m。

对于散热量小于 23W/m^2 的生产厂房，当其温度梯度值不能确定时，可用工作地点温度计算围护结构耗热量，但应按后面讲述的高度附加方法进行修正，增大计算耗热量。

(二) 供暖室外计算温度 t'_w

在计算围护结构的基本耗热量时，我们假设了传热过程是在稳定状态下进行的，即围护结构的各种传热参数都不随时间而改变，其中室外计算温度也是采用某一固定数值。但是，在整个供暖期中，室外空气温度是经常变化的。这样就出现了围护结构基本耗热量计算时，室外计算温度究竟采用多大的问题。室外计算温度采用过低，会造成设备投资的浪费；如采用值过高，则不能保证供暖的效果。

目前国内外确定供暖室外计算温度的方法有两种。一是根据围护结构的热惰性原理，另一种是根据不保证天数的原则来确定。

如现行的俄罗斯等国的建筑法规规定，各个城市的供暖室外计算温度是按考虑围护结构热惰性原理来确定的。它规定供暖室外计算温度要按 50 年中最冷的 8 个冬季里最冷的连续 5 天的日平均温度的平均值确定。这个规定就是根据俄罗斯等国通用的 $2\frac{1}{2}$ 砖外墙可使周期 5 天的外温波动幅度在其中衰减 18 倍（当地冬季外温的 5 天波动幅度为 $\pm 18^\circ\text{C}$ ），又允许室内墙面温度波动 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，这样一些条件而制订的。不同种类的围护结构具有不同的热惰性，有些国家对于轻型结构、中型结构和重型结构的房屋分别采用了不同的供暖室外计算温度。

采用不保证天数方法的原则是：允许有几天时间可以低于规定的供暖室外计算温度值，亦即允许这几天室内温度可能稍低于室内计算温度 t_n 值。不保证天数的长短根据各国的规定而有所不同。

我国现行的《暖通规范》采用了不保证天数的方法，规范规定：“采暖室外计算温度，应采用历年平均不保证 5 天的日平均温度”。文中所谓“历年平均不保证 5 天”也就是在统计的 N 年中，总共有 $5N$ 天的实际日平均气温值低于所取的室外计算温度值。统计年份越长，越能充分反映各地冬季气候的变化情况。另外，以日平均温度为统计基础，这是考虑到一般围护结构都具有一定的热惰性。

研究表明，即使在 20~30 年一遇的最冷年内，不保证天数多一些（10 天左右），与之相对应的室内温度，大部分时间仍可维持在 12°C 以上，高于人体卫生所限定的最低环境温度。

应该指出的是，《暖通规范》所规定的供暖室外计算温度是以连续供暖或间歇时间较短的供暖作为假定的，如果间歇时间太长，室内温度就会更加偏低，室内温度达不到要求的时间就会加长，所以应结合具体情况给予修正。

(三) 温差修正系数 a

计算与大气直接接触的外围护结构的基本耗热量时, 所用公式是 $q' = KF(t_n - t_w')$ 。但是, 供暖房间的围护结构的外侧有时并不是室外, 而是中间隔着不供暖的房间或空间。此时通过该围护结构的传热量应为 $q' = KF(t_n - t_h)$, 式中 t_h 是传热达到平衡时, 相邻非供暖房间的温度。由于非供暖房间的温度 t_h 很难确定, 因此, 用 $(t_n - t_w')a$ 来代替 $(t_n - t_h)$, 简化了计算。 a 称为围护结构的温差修正系数。由于通常 t_h 大于 t_w' , 所以 a 值小于 1, 即 $0 < a < 1$ 。

围护结构温差修正系数 a 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。对于保温性能差和易于室外空气流通的情况, 不供暖房间或空间的空气温度 t_h 更接近于室外空气温度, 则 a 值更接近于 1。

根据经验得出的各种不同情况的 a 值可见附录 1-1。当要精确计算时, 按照热平衡的方法计算出供暖房间或空间中的温度 t_h , 当然也是可以的。

此外, 与相邻房间的温差大于或等于 5°C 时, 应计算通过隔墙或楼板等的传热量。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, 尚应计算其传热量。

(四) 围护结构的传热系数 K

围护结构的传热系数 K 值, 是指在单位时间内, 单位面积的围护结构, 两侧环境综合温度差为 1°C 时, 由一侧空气环境传至另一侧空气环境的热量。建筑物的围护结构, 如墙、楼板、屋面、门窗等, 一般为平壁, 其计算方法如下。

(1) 匀质多层材料(平壁)的传热系数 K 值。一般建筑物的外墙和屋顶多属于匀质多层材料的平壁结构, 其传热系数值 $[W/(m^2 \cdot ^\circ\text{C})]$ 可用式 (1-6) 计算

$$K = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (1-6)$$

式中, R_0 为围护结构的总传热阻, $m^2 \cdot ^\circ\text{C}/W$; α_n 为围护结构内表面换热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ\text{C})$; α_w 为围护结构外表面换热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ\text{C})$; δ_i 为围护结构各层材料的厚度, m ; λ_i 为围护结构各层材料的导热系数, $W/(m \cdot ^\circ\text{C})$ 。

一些常用建筑材料的导热系数 λ 值, 可见附录 1-2。围护结构的总传热阻包括了围护结构内、外表面换热阻和围护结构的传热阻。围护结构表面换热过程是对流和辐射的综合过程。围护结构内表面换热是壁面与邻近空气或其他壁面由于温差引起的自然对流换热和辐射换热, 而在围护结构外表面主要是由于风力作用产生的强迫对流换热。

工程计算中采用的换热系数和换热阻分别列于表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 内表面换热系数 α_n 与换热阻 R_n

围护结构内表面特征	α_n	R_n
	$W/(m^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [kcal/(m ² · h · °C)]	$m^2 \cdot ^\circ\text{C}/W$ (m ² · h · °C/kcal)
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(7.5)	0.115(0.133)
有肋状突出物的顶棚, 当 $h/s > 0.3$ 时	7.6(6.5)	0.132(0.154)

注: 表中 h 为肋高, m ; s 为肋间净距, m 。

表 1-3 外表面换热系数 α_w 与换热阻 R_w

围护结构外表面特征	α_w	R_w
	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [$\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]	$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$)
外墙与屋顶	23(20)	0.043(0.05)
与室外空气相通的非采暖地下室上面的楼板	17(15)	0.06(0.07)
闷顶和外墙上有窗的非采暖地下室上面的楼板	12(10)	0.08(0.10)
外墙上无窗的非采暖地下室上面的楼板	6(5)	0.17(0.20)

常用围护结构的传热系数 K 值可直接从有关手册中查得。

【例题 1-1】 图 1-1 所示为某建筑物的外墙，墙厚为一砖，内表面抹灰 2cm。试计算此外墙的传热系数 K 值。

解：砖砌体的导热系数 $\lambda_1 = 0.81 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

厚度 $\delta_1 = 0.24 \text{ m}$

内表面抹面灰浆导热系数 $\lambda_2 = 0.70 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

厚度 $\delta_2 = 0.02 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{外墙的传热阻为} \quad R &= \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.24}{0.81} + \frac{0.02}{0.70} \\ &= 0.296 + 0.029 = 0.325 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{外墙的总传热阻为} \quad R_0 &= \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_w} \\ &= \frac{1}{\alpha_n} + R + \frac{1}{\alpha_w} = \frac{1}{8.7} + 0.325 + \frac{1}{23} \\ &= 0.115 + 0.325 + 0.043 = 0.483 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \end{aligned}$$

外墙的传热系数为 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$

$$K = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{0.483} = 2.07$$

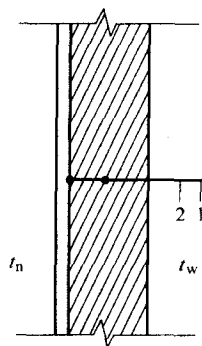


图 1-1 例题 1-1 图

(2) 由两种以上材料组成的两向非匀质围护结构的传热系数 K 值。传统的实心砖墙的传热系数 K 值较高，从节能角度出发，采用空心砌块或填充保温材料的墙体，增加围护结构的保温性能。这种墙体属于由两种以上材料组成的非匀质围护结构。它的结构特点为：无论是在垂直于热流方向，还是在平行于热流方向，其材料都是不同的，如图 1-2 所示。这种非匀质材料围护结构，除了在热流方向存在有传热外，同时在垂直于热流方向的不同材料的接触面之间也会进行传热，属于二维传热过程。因此，它的传热过程比较复杂，计算传热 K 时，一般都采用近似计算方法。

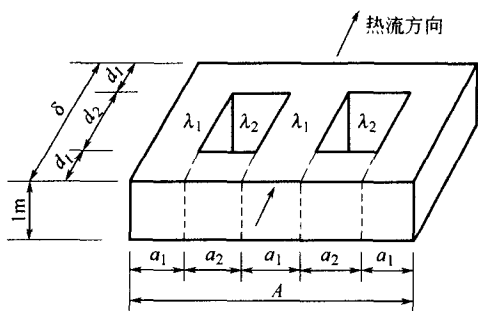


图 1-2 非匀质围护结构传热系数计算图式

下面介绍中国建筑科学研究院建筑物理所推荐的一种方法。

首先求出围护结构的平均传热阻 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)

$$R_{pj} = \left[\frac{A}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_{0i}}} \right] - (R_n + R_w) \quad \varphi \quad (1-7)$$

式中, R_{pi} 为平均传热阻, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; A 为与热流方向垂直的总传热面积, 见图 1-2, m^2 ; A_i 为按平行热流方向划分的各个传热面积, 见图 1-2, m^2 ; R_{0i} 为对应于传热面积 A_i 上的总热阻, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; R_n 、 R_w 为内表面、外表面换热阻, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; φ 为平均传热阻修正系数, 按表 1-4 取值。

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. 当围护结构由两种材料组成, λ_2 应取较小值, λ_1 为较大值, φ 由比值 λ_2/λ_1 确定。

2. 当围护结构由三种材料组成, φ 值应由比值 $(\lambda_2 + \lambda_3)/2\lambda_1$ 确定。

3. 当围护结构中存在圆孔时, 应先将圆孔折算成同面积的方孔, 然后再进行计算。

两向非匀质围护结构传热系数 K 值 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 再用式 (1-8) 确定

$$K = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_n + R_{pi} + R_w} \quad (1-8)$$

(3) 空气间层传热系数 K 值。在严寒地区和一些高级民用建筑, 围护结构内常用空气间层以减少传热量, 如双层玻璃、复合墙体的空气间层等。间层中的空气导热系数比组成围护结构的其他材料的导热系数小, 增加了围护结构传热阻。空气间层传热同样是辐射与对流换热为主的综合过程。在间层壁面涂覆辐射系数小的反射材料, 如铝箔等, 可以有效地增大空气间层的换热阻。对流换热强度, 与间层的厚度、间层设置的方向和形状以及密封性等因素有关。当厚度相同时, 热流朝下的空气间层热阻最大, 竖壁次之, 而热流朝上的空气间层热阻最小。同时, 在达到一定厚度后, 反而易于对流换热, 热阻的大小几乎不随厚度增加而变化了。

空气间层的热阻难以用理论公式确定。在工程设计中, 可按表 1-5 的数值计算。

表 1-5 空气间层热阻 $R'/(m^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$

位置、热流状况	间层厚度 δ/cm						
	0.5	1	2	3	4	5	>6
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

【例题 1-2】求空心砖的平均热阻 R_{pi} , 各部分尺寸如图 1-3 所示, $\delta = 0.12\text{m}$, $d_1 = 0.04\text{m}$, $d_2 = 0.04\text{m}$, $a_1 = 0.04\text{m}$, $a_2 = 0.06\text{m}$ 。

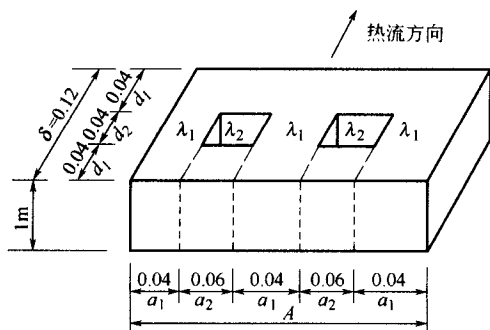


图 1-3 例题 1-2 图

解: 1. 计算按平行于热流方向划分的各部分面积 (取单元体进行计算)

$$A_1 = \sum a_1 \times 1 = 0.04 \times 1 \times 3 = 0.12\text{m}^2$$

$$A_2 = \sum a_2 \times 1 = 0.06 \times 1 \times 2 = 0.12\text{m}^2$$

$$A = A_1 + A_2 = 0.24\text{m}^2$$

2. 确定各种材料的导热系数

砖砌体的导热系数, $\lambda_1 = 0.81\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;

空气间层厚度 $d_2 = 0.04\text{m}$, 由于表 1-5 查得其热阻 $R_2' = 0.181\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, 空气间层的当量导热系数为 $\lambda_2' = \frac{\delta_2}{R_2'} = \frac{0.04}{0.181} = 0.221\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

3. 计算各个传热面积热流方向上的总热阻

$$R_{01} = R_n + \frac{\delta}{\lambda_1} + R_w = 0.115 + \frac{0.12}{0.81} + 0.043 = 0.306\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{02} = R_n + \frac{2d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + R_w = 0.115 + \frac{0.08}{0.81} + 0.181 + 0.043 = 0.438\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

4. 求修正系数 φ

先求 $\lambda_2/\lambda_1 = 0.221/0.81 = 0.273$, 查表 1-4 得 $\varphi = 0.93$ 。

5. 按式 (1-7) 求平均热阻 R_{pj}

$$R_{pj} = \left[\frac{A}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_{0i}}} - (R_n + R_w) \right] \varphi = \left[\frac{0.24}{\frac{0.12}{0.306} + \frac{0.12}{0.438}} - 0.158 \right] \times 0.93$$

$$= 0.188\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

(4) 地面的传热系数。在冬季, 室内热量通过靠近外墙地面传到室外的路程较短, 热阻较小; 而通过远离外墙地面传到室外的路程较长, 热阻增大。因此, 室内地面的传热系数(热阻)随着离外墙的远近而有变化, 但在离外墙约 8m 以远的地面, 传热量基本不变。基于上述情况, 在工程上一般采用近似方法计算, 把地面沿外墙平行的方向分成四个计算地带, 如图 1-4 所示。

① 贴土非保温地面 [组成地面的各层材料导热系数 λ 都大于 $1.16\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$] 的传热系数及热阻值见表 1-6。第一地带靠近墙角的地面面积 (图 1-4 中的黑色部分) 需要计算两次。

表 1-6 非保温地面的传热系数和热阻值

地带	$R_0/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$	$K_0/[W/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$
第一地带	2.15	0.47
第二地带	4.30	0.23
第三地带	8.60	0.12
第四地带	14.2	0.07

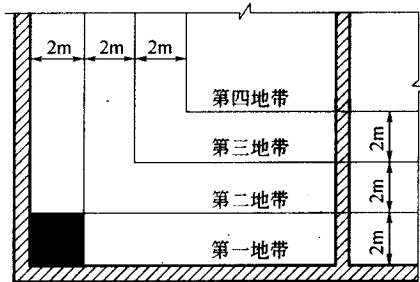


图 1-4 地面传热地带的划分

工程计算中, 也有采用对整个建筑物或房间地面取平均传热系数进行计算的简易方法, 可详见《供暖通风设计手册》。

② 贴土保温地面 [组成地面的各层材料中, 有导热系数 λ 小于 $1.16\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 的保温层] 各地带的热阻值 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$), 可按式 (1-9) 计算

$$R_0' = R_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (1-9)$$

式中, R_0' 为贴土保温地面的换热阻, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; R_0 为非保温地面的换热阻, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (见表 1-6); δ_i 为保温层的厚度, m; λ_i 为保温材料的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

③ 铺设在地垄墙上的保温地面各地带的换热阻 R_0'' 值 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$), 可按式 (1-10) 计算

$$R_0'' = 1.18R_0' \quad (1-10)$$

(五) 围护结构传热面积的丈量

不同围护结构传热面积的丈量规则按图 1-5 的方法计算。

外墙面积的丈量, 高度从本层地面算到上层的地面 (底层除外, 见图 1-5 所示)。对平屋顶的建筑物, 最顶层的丈量是从最顶层的地面到平屋顶的外表面的高度; 而对有闷顶的斜屋面, 算到闷顶内的保温层上表面。外墙的平面尺寸, 应按建筑物外廓尺寸计算。两相邻房间以内墙中线为分界线。

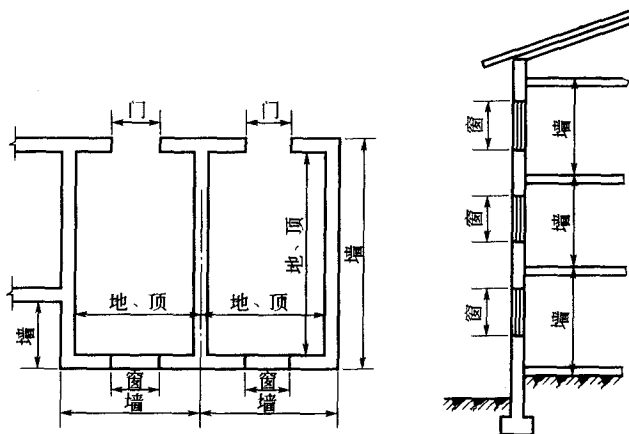


图 1-5 围护结构传热面积的丈量规则
(对平屋顶, 顶棚面积按建筑物外廓尺寸计算)

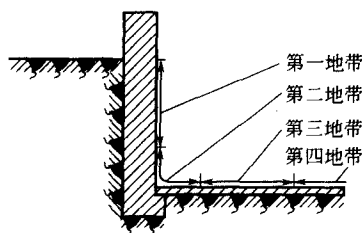


图 1-6 地下室面积的丈量

门、窗的面积按外墙外面的净空尺寸计算。

闷顶和地面的面积, 应按建筑物外墙以内的内廓尺寸计算。对平屋顶, 顶棚面积按建筑物外廓尺寸计算。

地下室面积的丈量, 位于室外地面以下的外墙, 其耗热量计算方法与地面的计算相同, 但传热地带的划分, 应从与室外地面相平的墙面算起, 亦即把地下室外墙在室外地面以下的部分, 看作是地下室地面的延伸, 如图 1-6 所示。

二、围护结构的附加 (修正) 耗热量

围护结构的基本耗热量, 是在稳定条件下, 按公式 (1-4) 计算得出的。实际耗热量会受到气象条件以及建筑物情况等各种因素影响而有所增减。由于这些因素影响, 需要对房间围护结构基本耗热量进行修正。这些修正耗热量称为围护结构附加 (修正) 耗热量。通常按基本耗热量的百分率进行修正。附加 (修正) 耗热量有朝向修正、风力附加和高度附加耗热量等。