

供 热 学

[苏] A.A.约宁 主编

单文昌 尚 雷 译

中国建筑工业出版社

供 热 学

[苏] A.A.约宁 主编

单文昌 尚 雷 译

中国建筑工业出版社

本书是苏联新近编写出版的高等学校教材，它总结了苏联长期大规模发展集中供热的经验，全面而系统地叙述了有关集中供热各方面的问题。内容丰富并反映了最新技术与发展方向，如：热网的可靠性；供热系统的技术经济计算；新能源的应用；管网腐蚀和水处理；调节理论和调节部件；运行管理等内容都有精辟论述，体现了最新技术成果。书中大量资料与数据值得我国集中供热技术人员借鉴与采用。

本书可供从事供热设计、研究、能源等专业技术人员、研究人员及高校师生参考。

А.А.ИОНИН Б.М.ХЛЫБОВ
В.Н.БРАТЕНКОВ Е.Н.ТЕРЛЕЦКАЯ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ
М.СТРОЙИЗДАТ, 1982

* * *
供 热 学
单文昌 尚 雷 译

*
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
北京市平谷县犬华山印刷厂印刷

*
开本：787×1092毫米 1/16 印张：18½ 字数：447 千字

1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷

印数：1—5,600册 定价：3.45元

统一书号：15040·4988

序 言

所谓供热，通常理解为保证向住房和建筑物提供热量的系统。本书重点研究能够最经济地利用燃料，亦即具有最高经济指标的集中供热系统。

按照苏联的近期规划，要求1985年的燃料耗用量要比1980年节约1.6~1.7亿吨标准煤。其中0.7~0.8亿吨要依靠降低消耗定额来实现。集中供热的特点就在于生产热能的燃料消耗率比较低，因此，继续发展集中供热业，将有助于实现这一目标。

本书的全部内容是以“热力学”、“传热量”、“水力学”和“空气动力学”等基本理论学科为基础的。本书编写过程中引用了苏联各主要研究机关在供热系统设计与结构方案方面的科研论文。

本书在科学技术博士A.A.约宁（Ионин）教授的领导下，由以B.B.古比雪夫（Куйбышев）命名的莫斯科建筑工程学院热化与煤气供应教研室集体编写。

全书和书内各章节的结构体系大体沿用了1953年科学技术博士C.Ф.考比耶夫（Копьев）教授编写的“供热量”一书的格局。该书多年来由莫斯科建筑工程学院热化与煤气供应教研室负责增订管理。

序言、绪论和第三章（第一节），第六章（第一节），第七章至第十章由A.A.约宁编写；第一章、第二章、第三章（第四节）、第四章与第五章由科学技术硕士B.M.赫莱波夫（Хлыбов）讲师编写；第六章（第二节至第五节）和第十二章至第十五章由科学技术硕士B.H.勃拉坚柯夫（Братенков）讲师编写；第三章（第二、三、五节）和第十一章由E.H.捷尔列茨卡娅（Терлецкая）助教编写。

列宁格勒建筑工程学院供热通风教研室主任、科学技术博士B.M.古谢夫（Гусев）教授、科学技术硕士H.И.库诺诺夫（Кононов）讲师和科学技术硕士H.K.格罗莫夫（Громов）在审阅本书手稿的过程中提出了许多宝贵意见和建议，作者谨对他们表示深切的谢忱。

角 码 符 号 意 义 表

a	年	gd	管段	k	扩、开式
az	安装	gf·gl	高峰锅炉	ka	开
b	水泵、闭式、变、波瓣	gg	公共	kh	空荷
bao	饱和	gj	公建、管间	kk	扣款
bb	补给泵	gl	管路、锅炉	kong	控
bd	波动	glf	锅炉房	kq	空气
bh	闭合	gn	管内、管束	ky	可用
bi	壁、沟壁、闭	gou	沟	l	冷、离、率
bjr	被加热水	g·q	供·前	lian	联产
bms	表面式	gr	供热	lim	极限
bw	保温	grs	供热水	lin	临界
bz	泵组	gs	供水、给水	lj	冷介
c	初、长	gx	更新	ly	利用
ce	侧向	gz	工作	m	摩擦、末
cf	厨房	h	时、回、混	mao	毛
ch	窗、掺混、出	hh	混合	max	最大
cq	长期、抽汽	hj	环境、化学净化	min	最小、最低
cr	产热	h·q	回·前	n	室内、内
d	地、冬	hrq	换热器	ning	凝
da	大	hr	回热	nq	凝汽
dan	当量	hs	换算	nqq	凝汽器
dd	垫底	j	计、局阻	nr	室内放热
di	低	jb	局部	ns	凝结水
dian	电	jbz	局部站	nu	供暖
dl	动量	jd	假定、节点、机电	nw	内网
dp	顶棚	jg	接管	nyu	能源
dw	单位、电网、低位	jh	几何	p	水平
dx	典型、大修	ji	静	ph	平衡
ed	额定	jing	净	pj	平均
f	通风	jj	经济	q	要求、汽
fa	阀、取水阀	jl	节流	qu	全
fd	分段	jq	进气	r	热、人
fen	分产	jr	加热水、绝热	ran	燃料
fj	附加	jrq	加热器	rj	热介
g	公称、管	jx	极限	rl	热流
gao	高	jy	节约	rly	热利用
gb	管壁	jz	建筑、基准	rs	热水、热损

目 录

绪 论	1
第一章 用热量的确定	4
第一节 热用户的分类以及用户用热量的计算方法	4
第二节 居住建筑的用热量	5
第三节 公共建筑的用热量	13
第四节 居住建筑与公共建筑的单位用热量（按每一居民）与全年用热曲线	16
第五节 工业与农业用户的用热量	19
第六节 总计用热量	21
第二章 供热系统	22
第一节 供热系统的基本结构、热媒	22
第二节 水的供热系统	23
第三节 双管式水供热系统	25
第四节 单管式水供热系统	38
第五节 蒸汽供热系统	38
第三章 热力站的设备	44
第一节 射水器与混合水泵	44
第二节 水加热器	50
第三节 换热器的热力计算与水力计算	55
第四节 换热器的变工况计算	60
第五节 自动调节阀	66
第四章 热水供应系统	74
第一节 概况	74
第二节 热水质量的基本要求	74
第三节 热水供应系统的变型	75
第四节 热水供应系统的设备与部件	80
第五节 管路的计算与循环水泵的选择	83
第五章 供热量的调节和用户引入口的计算	93
第一节 调节装置的用途及其型式	93
第二节 水供热系统的供暖热量调节	94
第三节 闭式供热系统热网水的供暖-热水供应温度曲线。并联式与串并联混合式用户入口网路的计算	102
第四节 闭式供热系统按总用热量进行调节。串联式用户引入口的计算	107
第五节 开式供热系统供热量的调节和用户引入口的计算	115
第六节 蒸汽供暖系统供热量的调节	122

第七节	通风供热量的调节	123
第六章	热网的网路形式、结构与设备	127
第一节	热网网路形式	127
第二节	热网的路线与断面形状	130
第三节	热网的不同敷设方式	132
第四节	热力管路的部件及其计算	139
第五节	热网外部腐蚀的防护	152
第七章	热网的水力计算	154
第一节	管路直径与压力损失的计算	154
第二节	多支管热水管网的水力计算	161
第三节	蒸汽管路的水力计算	163
第四节	凝结水管路的水力计算	166
第五节	根据最有利的压力损失计算热力管路的经济直径	171
第八章	热网的水力工况	175
第一节	压头曲线、对于压力工况的要求	175
第二节	在复杂地形条件下选择建筑物供暖系统的连接网路形式	182
第三节	地形复杂、范围较大的热网压头曲线的绘制	186
第四节	闭式供热系统的非计算水力工况、水力稳定性	190
第五节	开式供热系统的非计算水力工况	191
第九章	热网的热力计算	200
第一节	地上热力管路的热损失计算	200
第二节	直埋热力管路的热损失计算	201
第三节	地沟热力管路的热损失计算	204
第四节	热媒温降的计算	206
第十章	热网的可靠性	207
第一节	供热可靠性的基本概念	207
第二节	热网元部件的可靠性、故障流	208
第三节	供热热网功能质量的评价	210
第四节	热网可靠性指标	212
第五节	热网可靠性的计算、备用与分段管网	215
第六节	考虑到供热可靠性的热网网路构成	222
第十一章	热网的运行	225
第一节	运行部门的任务与结构	225
第二节	热网的维护与检修	226
第三节	热网的调度管理与遥控	229
第十二章	热源	231
第一节	能源的主要形态与用于供热的热源	231
第二节	汽轮机热电厂	232
第三节	锅炉房型式及其原则性系统图	240
第四节	用于供热的地热水与二次能源	243
第五节	原子能热电厂与原子能锅炉房	245

第六节	太阳能供热与热泵	247
第十三章	热源的能源效率	250
第一节	热化的能源理论	250
第二节	热电分产时的燃料消耗量	251
第三节	热电厂的燃料消耗量	254
第四节	热电联产时的燃料节约量	258
第五节	热化系数、热电厂主要设备的选择	259
第六节	利用地热水、剩余二次能源和太阳能时的燃料节约量	260
第十四章	热网和热水供应系统的水处理	263
第一节	对热网补给水水质的基本要求	263
第二节	供热系统防止内腐蚀、生成泥渣与水垢的方法	265
第三节	热网与局部热水供应系统的水处理	266
第十五章	供热系统的技术经济计算	272
第一节	技术经济计算方法的基本原理	272
第二节	供热系统各组成部份与热力站的基建投资及其每年扣款额	274
第三节	每年运行费用	278
第四节	优化与对比方案的方程式及其求解法	281
参考文献		286

绪 论

苏联集中供热事业的发展简史及其在国民经济中的意义 供热业是国民经济的重要部门。每年供热所消耗的燃料约占苏联开采燃料总量的25%。而燃料资源是有限的,因此合理而节约地利用燃料是一个全国性的重大课题。集中供热和热化工程对于解决这一课题起着举足轻重的作用。集中供热与热化工程是与电气化和动力工业密切相关的,В.И.列宁曾经把动力工业看作发展苏联生产力的基础。在列宁的“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化”的光辉论断中就强调了动力工业在建造共产主义物质技术基础方面的重要地位。列宁的全苏电气化远景规划曾经是苏联动力工业的发展纲要。

集中供热是建立在区域性大型锅炉房的基础上的。大型锅炉的效率要比小型供暖锅炉高得多。热化(即在热电联合生产基础上的集中供热)是集中供热的最高形式。可以节约燃料20~25%。除了节约燃料以外,集中供热还在提高劳动生产率、取消非熟练工种、改善劳动条件和提高文明生产水平方面有着社会性的意义。

集中供热可以取消大量分散的小型供暖锅炉的空气污染源,而代之以有害物质排出浓度极低的大型热源。因此集中供热有利于当前的环境保护国策。

苏联的近期规划规定要建造一系列热电厂和大型区域锅炉房,以继续发展集中供热并降低燃料消耗率和发电与供热的成本。

近年来由于利用核燃料方面取得新的进展,这就开拓了一个在原子能发电站和原子能锅炉房基础上实现集中供热的新方向。利用核燃料供热可以减少有限的有机燃料的消耗量,并有助于解决国家的燃料能源的平衡问题。

苏联的第一个热化系统是列宁格勒第三发电厂,于1924年建成并投入运行。此后苏联的热化事业就蓬勃发展起来。1928年在莫斯科建成了全苏热工研究所的实验性热电厂,后来在罗斯托夫、哈尔科夫、基辅和其他一些城市也先后完成了热化系统的建设。

1931年六月联共(布)的中央全会可说是苏联热化事业发展的里程碑。在这次会议上通过了全国广泛建设大型热电厂的决议。1931年以后的热化事业是以改造与新建各城市的燃料-能源设施为基础的。到了1940年全国已有总容量达 $2 \times 10^6 \text{ kW}$ 的约一百个热电厂投入运行。总供热量达 $105 \times 10^{12} \text{ kJ}$ ($25 \times 10^{12} \text{ kcal}$),热网的总长度达到650km。

在卫国战争期间遭到破坏的热电厂,通过举国一致的努力,于1945年恢复运行。由于采用高参数和超临界参数技术、机炉单机容量的增大以及建设了一批机组容量大于 10^5 kW 的热电厂,使得热动力工程和热化事业有了进一步的发展。苏联首先建成世界上最大的容量为 $(250 \sim 300) \times 10^3 \text{ kW}$ 的亚临界参数热化专用汽轮机。

1975年苏联热电厂总容量约达 $60 \times 10^6 \text{ kW}$,总供热量约达 $3800 \times 10^{12} \text{ kJ}$ ($900 \times 10^{12} \text{ kcal}$),热网总长度约达15000km。在以现代化建筑为主体的城市中,公共住宅区的热化水平达到50~60%。

现代化集中供热系统及其发展远景 集中供热系统是由热源、热网和局部用热系统

(局部用热系统指供暖系统、通风系统和热水供应系统)等部分构成的。

集中供热主要采用以下两种热网:热电厂(ТЭЦ)和区域锅炉房(РК)。热电厂可以实现热电联合生产,从而可在取得电能条件下显著降低燃料消耗率。在这种热电厂里,工质(水蒸汽)的热能首先在汽轮机内膨胀并发电,尔后其乏汽所含的热能在换热器内用来加热水,这些换热器就构成热电厂的热化设备。热水就用来供热。就是说在热电厂内,高位热能用于发电,而低位热能则用于供热。因此,从能源学的角度来看,热电联合生产是十分合理的。在分别生产电能与热能时,就得由凝汽式电站(КЭС)生产电能,而由区域锅炉房(РК)生产热能。在凝汽式电厂的汽轮机凝汽器内要保持高度的真空,与这一真空值对应的温度是很低的($15\sim 20^{\circ}\text{C}$),因而其冷却水无法加以利用。于是供热就要消耗额外的热量。因此分别生产方式不如热电联合生产方式来得经济。

对于发达的现代化城市的典型集中热负荷来说,热化和集中供热的优点表现得特别明显。

应当指出,热化工程的热电厂与热网的投资比凝汽式电站与区域锅炉房的集中供热系统的投资要高。因此只有当热负荷很高时,建造热电厂在经济上才是合理的。对于苏联的欧洲地区来说,热负荷高于 $400\times 10^6\text{kcal/h}$,热化表现出经济上的合理性。

另一种供热热源是区域锅炉房。现代区域锅炉房的供热能力为 $(150\sim 200)\times 10^6\text{kcal/h}$ 。这样高的热负荷密度允许采用大型机组和能保证较高的燃料利用率的现代区域锅炉房技术装备。

对于城市供热,可以用热水作为热媒;而对于工业企业供热,则可用水蒸汽作为热媒。热源的热媒用热力管道来输送。热水沿供热管路进入用户,在换热器内放出它所具有的热量,在冷却之后沿回水管道回到热源。热媒不间断地在热源和用户之间循环。由热源端的水泵站使热媒保持循环。水蒸汽则在压力的作用下沿蒸汽管路送入工业用户,在换热器内冷凝并放出其热量,依靠剩余压力的作用或借助于凝结水泵,使产生的凝结水返回到热源。

城市供热系统的现代化热网是一种复杂的工程设施。从热源到边远用户的热网总长度可达几十公里,而干管的直径可达 1400mm 。热网的组成部分为:热力管道、承受热膨胀的补偿器、安装在专用附件室或附件亭内的截止阀、调节与安全装置、水泵站、区域热力站(РТП)和热力站(ТП)。

热力管道可敷设在地面下不通行地沟或半通行地沟内、敷设在集装总管内或采取无沟敷设。为了减少热媒沿热力管道流动时发生的热损失,需要采取保温措施。

为了控制供热系统的水力工况与热力工况,可以采取自动控制,根据用户的要求来调节供热量。建筑物的供暖消耗了绝大部分的热量。供暖负荷是随室外温度而改变的。为保持供热量与用热量的一致,在热源端应采用集中控制。尽量利用集中控制来达到高质量的供热,实在达不到时才在热力站和用户端采用附加的自动调节。热水供应系统的水流量是不断变化着的,为了保持稳定的供热,热网的水力工况是自动调节的,而热水温度则保持恒定并等于 65°C 。

前已指出,现代化的集中供热系统是由热源、带有泵站和热力站的热网以及装备自动控制系统的用户引入口等部分构成的复杂的综合体。为了保证这一系统的可靠运行,必须形成分级管理的体系,使整个系统分为若干等级,每一个等级均有其自身的任务。根据其

重要性，其任务自上级向下级逐级减轻。最上级是热源下一级是带有区域热力站的热网干管，最下级是包括用户引入口的分配网路。热源向热网供给一定温度与压力的热水，保证水在系统内循环并使系统保持应有的动压与静压。热源端还备有专用的水处理装置，以实现水的化学净化和除氧。热媒的主流沿着热网干管输送到热用户。在区域热力站内热媒按区域分配，而在区域网路内则保持独立的水力工况和热力工况。个别的用户不应与热网干管相连，以免破坏分级管理体系。

为了可靠供热，上级系统的主要部件应考虑备用份额。热源应当有备用机组，而热网干管则应构成环路，以保证在事故情况下具有必要的输送能力。

配热网路、热力站和用户引入口将热媒分配到各个用户，这是最基层的一级系统，这一级系统大多数不考虑备用。

供热系统的分级管理体系确保了系统在运行过程中的受控性能。

热力站有中枢热力站（ЦТП）与局部热力站（МТП）两类。中枢热力站保证若干座建筑物的供热，而局部热力站则仅保持一座建筑物的供热。中枢热力站布置在独立的单层建筑内，而局部热力站则布置在建筑物的某个专用房间内。热力站保证供给建筑物供暖和通风所需的热量，自动保持供暖系统应有的水力工况和热力工况。在热力站的换热器内还将自来水加热到65°C，尔后将其送到居住建筑和公共建筑的热水供应系统。热水温度是自动调节的。

上面分析了燃用有机燃料的以水为热媒的供热系统的主要构成。今后供热的基本热源将是原子能锅炉房和原子能热电厂。采用这类热源将会使热负荷更加集中，并增大系统的有效半径，但必须解决一系列新的科学与工程问题。除了核燃料，也将采用地热和太阳能等新能源。目前已在探索地热热水用于供热，未来地热的利用比重将日趋增大。利用二次能源进行供热对于节约能源具有重大的意义，亦将得到日益广泛的应用。

原
书
缺
页

准确度也最高。按这些每座建筑物的综合指标,就可以进而确定所有其他综合范围更广的指标。

在供热系统设计的不同阶段,根据对原始数据的精度要求,可采用不同综合范围的指标。只有在最后的设计阶段,转入计算街区和小片居住区的热网时,用热量就可以计算得更准确些;对于新的设计对象可参考相应的典型设计或具体设计,对于原有的设计对象可以根据统计数据。

第二节 居住建筑的用热量

每座建筑物的供暖小时用热量 Q_{nu} 可根据建筑物的热平衡来求出:

$$Q_{nu} = 1.1 (Q_w + Q_f - Q_{nr}) \quad (1-1)$$

式中, 1.1——考虑局部供暖系统附加热损失的系数(СНП II-33-75); Q_w ——经建筑物外围护结构散失的热量; Q_f ——通风用热量(用于通风空气的加热); Q_{nr} ——建筑物内部的放热量。

多年来,一直把通风的计算用热量与建筑物内部放热量看成大体相等,即 $Q_f \approx Q_{nr}$,于是认为建筑物的计算用热量可以根据外围护结构散失的热量来确定,即 $Q_{nu} = Q_w$ 。这里不考虑当室外温度高于计算值时建筑物的热平衡会发生差额,这时通风用热量就会小于室内放热量。СНП II-33-75公布后,计算 Q_{nu} 的基本公式就改为式(1-1)了。

任意一个建筑特征数(居住面积 F_{zh} 、有效面积 F_{ys} 、按外部尺寸计算的建筑物体积 V_w)或者居民数 N 均可作为计算建筑物热平衡项目的原始数据。

建筑物的建筑特征数是由下列关系式联系起来的。

$$V_w = F_{zh} K_2 \quad (1-2)$$

$$F_{zh} = F_{ys} K_1 \quad (1-3)$$

式中, $K_2 = V_w / F_{zh}$ ——建筑物的体积系数, m^3/m^2 ; $K_1 = F_{zh} / F_{ys}$ ——住户的无因次规划系数。

对于旧式的层高为4m的砖结构建筑, $K_2 = 7 \sim 8 m^3/m^2$; 对于1955~1970年建造的大型砌块、大型预制板砖结构建筑物,由于层高降低为2.7~2.8m,系数 K_2 减小到5.2~6.2 m^3/m^2 ; 对于近期建造的辅助房间面积较大的建筑物, K_2 增大到6.2~7.3。由于住宅的居住条件今后会有进一步改善,这一系数还有继续增大的趋势。对于上述各种类型的建筑物,系数 K_1 的值都接近于0.6~0.72。

建筑物内的居民数 N 与建筑特征数之间的关系可用下式表示:

$$F_{zh} = f_{zh} N \quad (1-4)$$

式中, f_{zh} ——每个居民居住面积的平均保证值(定额), m^2 , 根据计算时的地方人民代表苏维埃会议决议案而定。

根据1975年年末苏联所有城市的平均统计数据,每个居民使用的总面积(有效面积)为11.9 m^2 ,这就相当于 $f_{zh} = 8 m^2$ ●。在编制城市总体规划时,对于建设第一阶段(1985年以前)可以取 $f_{zh} = 9 m^2$,对于2000年前的计算期可取 $f_{zh} = 12 m^2$ (СНП II-60-

● ЦСУ СССР. Народное хозяйство СССР в 1975г. Статистический ежегодник. М., Статистика, 1976.

75)。1913年俄罗斯每个城市居民平均占有的总面积为 6.3m^2 ●，相当于 $f_{\text{с.к}}=4.5\text{m}^2$ 。这一平均指标还包括当时工人与富裕阶层的悬殊差别在内。

通常用下式来确定经建筑物外围护结构散失的热量：

$$Q_w = V_w q_w (t_n' - t_w) \quad (1-5)$$

式中， V_w ——按外部尺寸计算的建筑物体积， m^3 ； q_w ——每 1m^3 体积、室内外空气每相差 1°C 时产生的外围护结构的单位热损失； t_n' ——室内温度平均值，根据供暖的室外计算温度可取为 18 或 20°C （СНП II-33-75）； t_w ——室外空气温度， $^\circ\text{C}$ 。

根据СНП II-33-75，通风用热量和室内放热量可按居住面积算出，于是可采用几个另外的算式来代替式（1-5）：

$$Q_w = F_{\text{с.к}} K_2 q_w (t_n' - t_w) \quad (1-6)$$

式中，用乘积 $F_{\text{с.к}} K_2$ 代替了 V_w 〔见式（1-2）〕。

外围护结构的最大计算热损失亦可用式（1-6）求出。但这时公式中的实际室外温度 t_w 要用供暖的计算室外温度 $t_{\text{с.к}}$ 来代替，其值可取五十年间八个冬季的最冷五天的室外空气平均温度。

在实践中最常见的长方体建筑物的外围护结构单位热损失可以用下面的近似公式来计算：

$$q_w = \frac{2j}{R_{\text{вк}}} \left(\frac{A}{b} + \frac{2\beta_w}{jH} + \frac{AbH}{V_w} \right) \quad (1-7)$$

式中， j ——考虑不同朝向的垂直墙面的平均附加热损失系数，典型设计可取 1.08 （СНП II-33-75）； $R_{\text{вк}}$ ——外墙的比热阻； $A = 1 + \frac{F_{\text{с.к}}}{F_{\text{вк}}} \left(\frac{R_{\text{вк}}}{R_{\text{с.к}}} - 1 \right) = 1 + d \left(\frac{R_{\text{вк}}}{R_{\text{с.к}}} - 1 \right)$ ，其中 d 为玻璃窗安装系数，即窗表面积与外墙面积之比； $R_{\text{с.к}}$ 为窗的比热阻； b 与 H ——分别为建筑物的短边长度与建筑物高度， m ； β_w ——考虑地板比热阻 $R_{\text{д}}$ 和顶棚比热阻 $R_{\text{дп}}$ 的偏差，并考虑地板与顶棚的计算温差与外墙计算温差的偏差的修正系数； $\beta_w = 0.5 R_{\text{вк}} \left(\frac{n_{\text{дп}}}{R_{\text{дп}}} + \frac{n_{\text{д}}}{R_{\text{д}}} \right)$ ，其中 $n_{\text{дп}}$ 与 $n_{\text{д}}$ 为顶棚与地板的计算温差修正系数，用以考虑它们与外墙计算温差的偏差； V_w ——按外部尺寸计算的建筑物体积， m^3 。

根据СНП II-3-79，卫生条件允许的（或要求的）外墙最低比热阻 $R_{\text{вк}}^q$ 可按下列式计算：

$$R_{\text{вк}}^q = \frac{t_n' - t_{\text{с.к}}'}{\Delta\tau_{\text{с.к}} \alpha_n} \quad (1-8)$$

式中， t_n' ——计算室内温度， $^\circ\text{C}$ ； $t_{\text{с.к}}'$ ——供暖的计算室外温度， $^\circ\text{C}$ ； $\Delta\tau_{\text{с.к}}$ ——外墙内表面温度与室内空气温度的额定偏差， $^\circ\text{C}$ ； α_n ——外墙内表面的放热系数。

在计算 q_w 的基准值时可取室外温度 $t_{\text{с.к}}' = -30^\circ\text{C}$ 。对于居住建筑物，当额定值为 $t_n' = 18^\circ\text{C}$ ， $\Delta\tau_{\text{с.к}} = 6^\circ\text{C}$ ， $\alpha_n = 31.4\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ● [7.5kcal/ $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$]时，要求的最小外墙

● Скоров Б.М. Технико-экономические основы проектирования жилых, общественных, промышленных зданий и населенных мест. М., Выш. школа, 1972, 328с.

● 在国际单位制中，换热系数的单位是 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ，在本书中， kJ/h 不换算为“W”，因为需要考虑的不是热功率而是用热量。

热阻的基准值等于:

$$R_{wq,jz}^0 = \frac{18 - (-30)}{6 \cdot 31.4} = 0.255 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kJ}$$

将 $R_{wq,jz}^0 = 0.255$ 与 $j = 1.08$ 以及实践中常见的值: $b = 12 \text{ m}$, $d = 0.3$; $R_{ca} = 0.105 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kJ}$ ($0.44 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$), $\beta_w = 0.5$ 代入式 (1-7), 即可得建筑物外围护结构的单位热损失的基准值 (最高允许值) 的简化公式 ($\text{kJ} / \text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$):

$$q_w^{js} \approx 1.1 + \frac{4}{H} + 160 \frac{H}{V_w} \quad (1-9)$$

式中, 1.1——常数, $\text{kJ} / \text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$; 4——常数, $\text{kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$; H ——建筑物高度, m ; 160——常数, $\text{kJ} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$; V_w ——按外部尺寸计算的建筑物体积, m^3 。

居住建筑物外墙的理论热阻可能与要求值不同。因为根据标准, 要求的 R_{wq} 值应当对每一个具体情况通过技术经济计算, 根据以下当地条件来求出: 墙面材料的价格、燃料价格、供暖季的持续时间等。实际上后期 (1958 年以后) 建造的建筑物, R_{wq} 与 R_{wq}^0 相差不多, 因而对这些建筑物, 公式 (1-9) 大多数是适用的。对于 1958 年以前建造的建筑物, $R_{wq} > R_{wq}^0$, 而且玻璃窗敷设系数较小, 这时按式 (1-9) 求得的 q_w^{js} 值应当乘以系数 0.8。应当注意, 根据公式 (1-7), 当其余数据不变时, 如果 R_{wq} 值增加到 (1.5~2) R_{wq}^0 , 则将会使 q_w 值减小 15~30%。

当供暖的计算室外温度 $t_{n,u}^j$ 不同于基准室外温度, 即当 $t_{n,u}^j \neq -30^\circ\text{C}$ 时, 对于位于这种气候区的建筑物, q_w 值可按下式求出:

$$q_w = q_w^{js} \beta_t \quad (1-10)$$

式中, β_t ——考虑要求的外墙热阻随 $t_{n,u}^j$ 而变化的温度系数。

联立求解方程 (1-7) ~ (1-10), 令 $R_{wq,jz}^0 = 0.255 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kJ}$, $b = 12 \text{ m}$, $d = 0.3$, $\beta_w = 0.5$, $R_{ca} = 0.105 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kJ}$, $H = 20 \text{ m}$ 代入式 (1-7), 则得:

$$\beta_t = 1 + \frac{0.695 + 1430/V_w}{1.22 + 2900/V_w} \frac{30 + t_{n,u}^j}{t_n^j - t_{n,u}^j}$$

当 V_w 值较大 ($V_w > 10000 \text{ m}^3$) 时, 建筑物体积对系数 β_t 的影响可以忽略不计, 并可把上式改写成简略的形式:

$$\beta_t \approx 1 + 0.6 \frac{30 + t_{n,u}^j}{t_n^j - t_{n,u}^j} \quad (1-11)$$

居住建筑物的通风用热量 Q_f (kJ / h), 可按式计算:

$$Q_f = F_{zh} l_{jq} c (t_n^j - t_w) = F_{zh} q_f^{zh} (t_n^j - t_w) \quad (1-12)$$

式中, F_{zh} ——居住面积, m^2 ; l_{jq} ——通风进气的体积率, 即每 1 m^2 居住面积每小时进入室内的室外空气量, $\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$; c ——空气的容积比热, 等于 $1.26 \text{ kJ} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; t_n^j ——室内温度, $^\circ\text{C}$; t_w ——室外温度, $^\circ\text{C}$; $q_f^{zh} = l_{jq} c$ ——居住建筑的通风特征数, $\text{kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

设每 1 m^2 居住面积的通风进气量的卫生定额为 $3 \text{ m}^3 / \text{h}$, 则 q_f^{zh} 的定额可取为 $3.6 \text{ kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ [$0.86 \text{ kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$] 左右 (CHHΠΠ-33-75)。

根据苏联建筑工业部对 CHHΠΠ-33-75 所作的增补, 为了节约用热量, 应取一年最冷期间的平均温度 (室外空气的参数 A) 作为居住建筑的计算室外温度 t_w^j 。因此在计算居住建筑物通风用热量时应当区分两个室外温度区段。I——从相当于采暖初期的室外最高温

度 $t_w^{m,a}$ ，到 $t_w=t_f'$ （这时，通风用热量随室外温度而变）；II——从 $t_w=t_f'$ 到 $t_w=t_{n,u}'$ （这时，通风用热量保持恒定，并等于其计算值）。

室内放热量 居住者人体、各种日用器具（炉灶、照明和家用电器等）所散发的热量属于室内（日常）放热量。日常散发的放热量是与室外温度无关的。对于装有供暖散热器的房间，每 m^2 约为 75.4kJ/h （ 18kcal/h ）。在单独的住户中，供暖散热器通常装在居室和厨房内。厨房面积 F_{of} 与居住面积 F_{zh} 之比值 F_{of}/F_{zh} ，对于现代建筑约为 $0.15\sim 0.5$ ，平均计算，对于最普及的双室与三室住户，可取 0.25 。因此每平方米居住面积的居室与厨房合计单位放热量为 $q_{nr}=75.4\cdot 1.25\approx 94\text{kJ/m}^2\cdot\text{h}$ 。不论单独的住户或整座建筑物，室内总放热量（ kJ/h ）均可表示为：

$$Q_{nr}=F_{zh}q_{nr} \quad (1-13)$$

居住建筑物的供暖总用热量 对室外温度的第I区段（从 $t_w^{m,a}$ 到 $t_w=t_f'$ ），根据表达式（1-1）、（1-6）、（1-12）、（1-13），可按下式计算：

$$Q_{n,u}^I=1.1F_{zh}[(K_2q_w+q_f^{z,h})(t_{n,jd}'-t_w)-q_{nr}] \quad (1-14)$$

公式（1-14）可改写为另一形式：

$$Q_{n,u}^I=1.1F_{zh}(K_2q_w+q_f^{z,h})(t_{n,jd}'-t_w) \quad (1-15)$$

式中， $t_{n,jd}'$ ——在室外温度第I区段内的假定室内温度，可表示为：

$$t_{n,jd}'=t_n^I-\frac{q_{nr}}{K_2q_w+q_f^{z,h}} \quad (1-16)$$

同样，对室外温度的第二区段（从 $t_w=t_f'$ 到 $t_w=t_{n,u}'$ ）可表示为：

$$Q_{n,u}^II=1.1F_{zh}K_2q_w(t_{n,jd}^II-t_w) \quad (1-17)$$

式中， $t_{n,jd}^II$ ——在室外温度第II区段内的假定室内温度：

$$t_{n,jd}^II=t_n^II-\frac{q_{nr}-q_f^{z,h}(t_n^I-t_f')}{K_2q_w} \quad (1-18)$$

在式（1-17）中，如果用计算供暖温度 $t_{n,u}'$ 来代替实际室外温度 t_w 时，就可以用式（1-17）求出居住建筑物的计算供暖用热量。

引用假定室内温度 $t_{n,jd}'$ 和 $t_{n,jd}^II$ 的概念后，就可以在室外温度 t_w 与居住建筑供暖相对用热量（与计算值之比）之间建立极其简明的关系式：

$$\bar{Q}_{n,u}=Q_{n,u}/Q_{n,u}'=f(t_w)$$

对于室外温度第II区段（ $t_f'\geq t_w\geq t_{n,u}'$ ），利用实际用热量 $Q_{n,u}$ 和计算用热量 $Q_{n,u}'$ 的计算公式（1-17）后，即可得：

$$\bar{Q}_{n,u}=\frac{Q_{n,u}}{Q_{n,u}'}=\frac{t_{n,jd}^II-t_w}{t_{n,jd}^II-t_{n,u}'} \quad (1-19)$$

室外温度第I区段（ $t_w^{m,a}\geq t_w\geq t_f'$ ）的相对用热量，计算起来要复杂得多。这是因为在室外温度第I区段，实际用热量和室外温度的关系式[式（1-15）]，与计算用热量和室外温度的关系式[式（1-17）]是不相同的。而在室外温度第II区段，这两个关系式是一致的[式（1-17）]。因此为了在室外温度第I区段确定 $\bar{Q}_{n,u}$ ，先要利用式（1-15），求出相对于 $t_w=t_f'$ 时的用热量的一个相对用热量，然后利用公式（1-17），引用 $t_w=t_{n,u}'$ 时的计算用热量，对所得的相对用热量进行修正。最后，计算公式的形式即如：

$$\bar{Q}_{n,u}^I=\frac{Q_{n,u}^I}{Q_{n,u}^I'}=\frac{t_{n,jd}'-t_w}{t_{n,jd}'-t_f'}\frac{t_{n,jd}^II-t_{n,u}'}{t_{n,jd}^II-t_{n,u}'} \quad (1-20)$$

由式(1-20)推知,当室外温度达到等于 $t_{w,jd}^*$ 的最大值时, $\bar{Q}_{h,jd}^*$ 变为零。这意味着,当 $t_{w,jd}^* = t_{h,jd}^*$ 时,被供暖的建筑物就不需要外来的热量,额定的室内温度 $t_{h,jd}^*$ 只要建筑物内部放热量即可维持。

根据现行的供热标准(СНПП-36-73), $t_{w,jd}^*$ 可取为 $+8^{\circ}\text{C}$ 。根据СНПП-33-75和运行经验,更适宜的值是取 $t_{w,jd}^* = +10^{\circ}\text{C}$ 。

热水供应的小时用热量 居住建筑的热水用量,一昼夜间和一周间都是不均匀的。图1-1至图1-3为热水用量的一般规律。

图1-1表示单幢建筑物昼夜间的热水用量的变化曲线,曲线是根据自动记录仪表的数据绘制的。图1-2表示一个中枢热力站在一周间的热水用量变化规律,这个站约供应3000个居民。图1-3表示的是另一个中枢热力站一周间更详细的热水用量曲线,曲线还表明了昼夜间每一小时热水用量情况^①。这一类曲线的具体形状可能因居民的作息制度和习惯而有某些差异。但在居住建筑的热水用量方面也可看出一些共同的规律性,在深夜,几乎完全中止使用热水,而在上午(8时~12时)与晚间(18时~22时)用量较大,在非工作日(周六、周日)和节日前的昼夜用水量大约要比一周中的其余日子(工作日)增大20~30%。

在СНПП-34-76中列举了一昼夜每个居民的热水用量的两个值:采暖季节每昼夜的平均用水量 $g_{zy,pj}$ 和用水量最大的一昼夜里的最高用水量 $g_{zy,max}$ 。比值 $g_{zy,max}/g_{zy,pj} = K_{zy}$ 称为用水量的昼夜不平衡系数。在用水量最大的一昼夜里,昼夜间每一小时的用水量也是不平衡的。而且在这一昼夜用水量最大的几个小时里,其用水量要比平均用水量高出好几倍。最大小时用水量 $g_{h,max}$ 与平均小时用水量 $g_{h,pj}$ 之比 $K_h = g_{h,max}/g_{h,pj}$ 就表征着在用水量最大的一昼夜里每小时用水量的不平衡性。最大小时用水量 $g_{h,max}$ 不能与规范中引用的在用水量最大的一个小时内的水流量 $g_{y,h}$ 混同。后者作为某个范围用以确定用水装置的动用概率,只有在装有无数个用水装置时才等于 $g_{h,max}$ 。

采暖季每昼夜供应热水的小时平均用热量 $Q_{h,pj}$ (kJ/h),根据规范,可由下式计算:

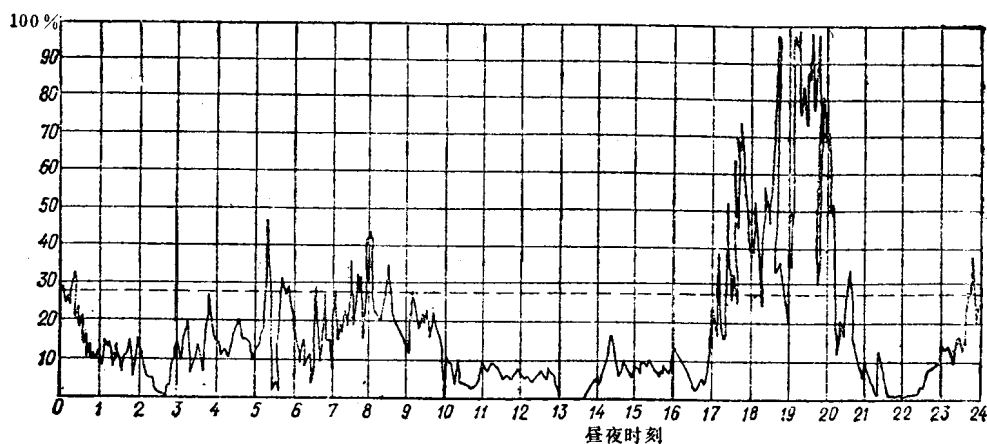


图 1-1 居住建筑物热水用量的昼夜曲线(虚线表示平均用水量)

① Дворецков Н.Г. Системы горячего водоснабжения. В кн.: Теплофикация СССР/Под ред С. Я.Белинского, Н.К.Громова. — М.Энергия, 1977, С.206-213.