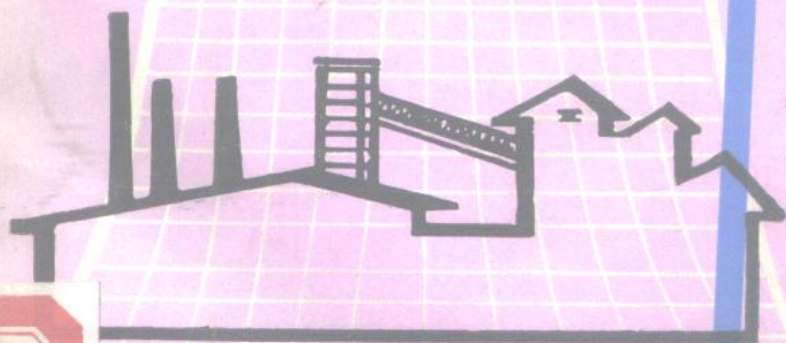


142

热能利用与节能工程

热能利用 与节能工程

孙泽权 石文卿 主编



重庆大学出版社



内 容 简 介

本书系高等工科院校热能工程专业试用教材，也可供工业热能、电厂热能、供热等专业选用。

书中详尽论述了工业供热和用热的理论与技术，兼顾公用及民用供热，以设计和运行为主导，贯彻以节能为中心的技术改造方针，并介绍了有关技术经济和管理的基本知识。

内容包括：热负荷和供热系统；用热设备；热网的水力工况和供热工况；蒸汽供热系统；热网的水力计算；热源；余热利用及蒸汽回收；喷射装置及其工程应用；蒸汽蓄热技术；工厂蒸汽供热系统的优化；供热系统的技术经济分析；蒸汽在工业中的使用实例和企业能量平衡等。书中有大量资料与数据并有实例分析和计算例题。

本书也可供有关热工节能技术人员参考。

ZF70/01

热能利用与节能工程

孙泽权 石文卿 主编

贲佳编辑 唐斌

*

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆大学出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：16 字数：399
1990年7月第1版 1990年7月第1次印刷

印数：1-3500

标准书号：ISBN 7-5624-0313-9 定价：3.21元
TK·4

编写说明

本书根据全国高等学校热能工程专业协作会议精神，为加快热能工程新专业的教材建设，由重庆大学、江苏化工学院、苏州大学和南京化工动力专科学校合作编写。

绪论、第三章、第四章、第六章、第十章由重庆大学孙泽权编写；第一章、第二章、第九章由南京化工动力专科学校张子馨、陆全福编写；第五章、第十一章、第十二章、第十三章由江苏化工学院石文卿、俞伟编写；第七章、第八章、第十四章由苏州大学卫兴国、朱寅生编写。王播生、林松参加了部份编写工作。

本书由孙泽权、石文卿担任主编，由钟之英（上海交通大学）担任主审。参加本书编务工作的有林松、李友荣、秦敏等。

本书的出版得到全国高等院校热能工程专业协作委员会、上海交通大学、华东工学院、江苏工学院和石油大学等兄弟院校的大力支持。编者在此表示深切谢意。

绪 论

一、能源与热能工程

如果说劳动创造了世界，那么这种创造首先是从能源的使用开始的。因为“刀耕火种”是人类进化的里程碑。人们的一切活动都与能源紧密相关，能源的开发与利用制约着国民经济的增长速度和发展规模。可以毫不夸张地说，能源是人类赖以生存和发展的重要物质基础。尤其是70年代以来的世界能源危机，面对大多数能源（化石燃料）是不可再生的这一严酷现实，能源问题已成为世界性的战略重点。

不仅如此，能源还是一切生产技术变革的前提，在社会发展史上每一次能源利用的演变，都导致了生产技术的重大飞跃，甚至引起了整个社会生产的革命。例如18世纪资本主义发展初期，欧洲的使者马可·波罗从中国带回黑色的金子——煤炭，出现了蒸汽机代替人力和畜力，燃料由木柴进步到煤，开始了工业革命的进程。19世纪中叶，电力的使用引起了社会经济的巨大变革，实现了资本主义的工业化。二次世界大战后，工业发达国家利用当时的大量廉价石油，有力地促进了社会现代化，使世界能源结构从以煤为主转向以油、天然气为主，形成了60年代西方经济的“黄金时代”。整个60年代，西方主要工业国家国民生产总值年增长率4~5%，日本达9~11%。然而，1973年和1978年两次能源危机，油价猛增十几倍，使西方经济受到沉重打击，普遍进入“低增长”时期，年增长率只有2%左右，日本也降到5%。从以上正反两个方面可以得出结论：能源与经济休戚相关。难怪人们常把社会的发展阶段形容为“蒸汽时代”、“电气时代”、“石油时代”和“原子能时代”等等。

当然，上面提到的资本主义世界能源危机，实质上是石油危机，是工业大国对石油资源掠夺和垄断的结果，它不是哪一个国家主观努力所能避免的。我国的能源问题，主要是供应满足不了生产发展的需求。按人口平均的能源资源占有量，我国只相当于世界平均数的 $\frac{1}{2}$ 、苏联的 $\frac{1}{7}$ 、美国的 $\frac{1}{10}$ 。无论从目前和长远看，能源紧缺问题也是相当严重的。

热能是能源中一个量大面广的主要组成部分，燧人氏“钻木取火”已是远古时代的传说，但“火”所代表的热能仍然在现代能源中占主导地位，热能利用约占能源消耗总量的 $\frac{3}{4}$ 以上。因此，解决能源问题的主要出路之一是热能的合理利用，这就是热能工程的主要任务。例如美国奇异公司节能条例100条中，有92条都与热能节约有关。目前，热能利用技术的高低标志着人类控制自然的能力之大小。提高每一种热力装置的技术水平，即提高它的热效率，就具有特别重要的现实意义。

二、热能的主要用途

热能利用的主要方法是通过燃烧（火）以及燃烧后加热水或蒸汽，来供应各种生产工艺和生活的需要。热力过程是许多重要生产事业的基础。可惜众多的热力装置至今仍十分笨拙，热能利用中的问题层出不穷，急待我们去解决。

热能利用的主要工质(热媒)是水及其蒸汽,它具有来源充足、价格低廉、性能稳定、热容量大、不污染环境、传热效率高、易于调节控制等一系列显著优点。

热能的主要用途,大致有以下方面:

1. 燃烧过程——在炉子中加热水(或产生蒸汽)及利用烟气热量;
2. 蒸发过程——使溶液中水份蒸发,
3. 干燥过程——使水份蒸发得到干燥产品;
4. 升温过程——直接或间接加热产品;
5. 消毒工艺——高温消毒、杀菌;
6. 保温工艺——保证工艺过程恒温;
7. 蒸馏工艺——精馏或分馏产品;
8. 重整工艺——蒸汽为原料之一,扩大产品汽用途;
9. 引射工艺——提升输送流体,保持真空;
10. 蒸汽动力——作功或发电。

热能利用合理化包括减少热能消耗和提高热能利用率两个方面,可以归纳为四点:

1. 有效地生产热能——要求以最少的燃料获取所需品位的热能;
2. 有效地输送热能——要求在给定的热媒(蒸汽、热水)压力和温度下,以最经济的损失率(包括压力、热量及热媒的损失)输送到用热设备;
3. 有效地利用热能——要求在满足动力或工艺用热的前提下,以最高的效率使用热媒所具有的位能和热量,
4. 有效地回收余汽、余热——要求在技术可行、经济合理的前提下,充分回收利用余热、余汽。

节能工程则是指从系统工程原理出发,考虑设备和整个热力系统的优化运行的总体规划技术,或者称为系统化的综合节能技术。

三、热能节约的主要途径

热能这种能源形式除了一般能源的共性外,它还具有与众不同的特性,正确认识和掌握它是十分必要的。例如,热能利用中的代表性工质是蒸汽,它的工作特性受到热力学定律的约束;汽温、汽压的高低表征了蒸汽品位的高低,且有不可逆性(而电压的高低并不代表电能品位的高低,它可轻易地升降变压并有可逆性);热能除了考虑热效率外,有时还要考虑用效率;蒸汽主要靠凝结放热而要考虑相变及凝结水问题;蒸汽可以分级使用及回收余汽问题;蒸汽可以蓄存数小时至数日(而电力是不能蓄存的)等等。

为此,热能利用中的主要节能途径是:

1. 提高热能转换和利用设备的效率,减少转换次数和传送距离;
2. 按质用能,一定要考虑热能品位的高低,高品位热能要分级使用(如热电联产),切忌高位低用;
3. 在热力学定律指导下,从热能的数量和质量两方面分析、计算需求平衡和评价热能利用方案;
4. 减少用热过程中的不可逆损失。如燃烧要尽量在高温下进行,加热、换热应设计小的温差,力求减少工质节流和摩擦损失等;

5. 合理运行用热设备, 避免“大马拉小车”增加损耗, 充分利用热能的蓄热能力, 平衡供求矛盾;

6. 大力研究开发节能新技术。如高效燃烧技术, 高效小温差传热设备, 热泵技术, 热管技术以及低品位热能动力装置等;

7. 降低热能生产中的自用能耗, 从而向外输出更多热量;

8. 充分利用余热, 认真回收凝结水, 作到热尽其用;

9. 按系统工程原理, 实现整个企业或地区热能、电能、余热余能的全面综合利用, 使能源利用结构最优化;

10. 作为节约不可再生能源的重要补充手段, 把太阳能、地热等低密度替代能源纳入节能技术体系。

当然, 加强能源科学管理也是切实有效的节能措施。此外, 热能转换过程(如锅炉)伴随有大量粉尘和二氧化碳产生, 当燃烧温度在 1600°C 以上时, NO_x 会大量形成, 故考虑节能效益时要特别注意相应的环境效益。

三、我国热能工程的发展

解放以来, 随着社会主义建设和人民物质文化生活水平的提高, 我国热能工程得到了迅速发展。从第一个五年计划开始, 许多新建的大型工业企业和工业区都有众多的供热、用热设施或热电站。1959年我国第一座工业和民用热电厂——北京热电厂建成投产。从60年代开始, 我国已经能够自己设计、制造大、中型成套的热电厂设备和工业锅炉, 有了一套设计、制造、安装、使用各种热力设备的成熟经验。

近几年来, 随着改革、开放的大好形势, 在贯彻以节能为中心的技术改造方针指引下, 热能工程发展迅速。工业锅炉和窑炉得到更新改造。各种换热、用热设备和工艺逐步现代化。大量的北方城市实现了集中供热和热电联产, 如北京已有两座大型热电厂和一个蒸汽工厂, 供热能力达 $344 \times 10^7 \text{ kJ/h}$, 热网干线长达20km。此外, 各种新的节能性用热设备不断涌现, 并实现了定型化、配套化、标准化和多样化。

当前, 能源供求矛盾日益突出, 预计在短期内得不到缓解, 形势逼人。面对改革和国家四化建设的大局, 热能工作者不乏有识之士, 在各级领导支持下, 在节能工作中做出了可喜的成就。一大批中、小型企业热电站应运而生, 在节能的同时又缓解了电力的紧张; 在燃用低质煤(如沸腾燃烧技术)方面有了突破; 在高炉煤气余压发电、炉子汽化冷却、废热锅炉和余热回收利用等热能综合利用方面也取得了成功经验和成绩; 全国普遍开展的企业能量平衡测试工作和能源监测工作, 促进了热能利用和科学管理的全面发展。

新技术和新能源的开发研究形势喜人, 我国三座核电站正在建设, 核供热站也列入规划。西藏羊八井和云南腾冲地热电站成功发电, 地热资源开发正在进行国际合作研究。热管技术已全面推广使用并将在大型高炉热能利用系统中发挥效益, 热泵技术的开发初见成效。此外, 几年来, 大专院校的热能工程专业纷纷建立, 科学研究队伍也逐步形成, 各地的节能技术服务中心不断发展和巩固。总之, 我国热能工程事业正面临着—一个蓬勃发展的新形势。

四、本课程的内容与特点

热能工程包括热能的产生、输送和使用三大环节。其中热能的生产(燃料的化学能转换为热能)已由专门的课程——工业锅炉和窑炉讲授, 本课程将侧重于热能的输送(供热及热

力管网)和热能的使用(用热工艺及设备)两个方面。

这本教材定名为《热能利用与节能工程》。它集中讨论热能利用中的有关热力设备和系统的研究、设计、技术改造、优化运行和生产管理等方面的技术经济问题,包括热、电、机各方面而围绕以热为核心的一体化。内容包括热媒特性、热力过程、流动和传热规律,以及热设备的测试控制和安全技术等一系列原理和实践知识。以工业供热、用热为主、兼顾公用事业及民用供热。

在教材编写中,我们想尽力作到:理论与实践相结合,而以工程实践为主;先进性与实用性相结合,而以在工作中收到实效为主。此外也注意到逻辑清晰、深入浅出、文字通俗、图文并茂,使它能面向广大的大专院校学生和企业工程技术人员。当然,在学习本课程之前,应当基本掌握《工程热力学》、《传热学》、和《工程流体力学》等方面的基础理论知识。

目 录

绪论	(1)
第一章 热负荷和供热系统	(1)
第一节 热负荷的种类与概算	(1)
第二节 供热系统	(11)
第二章 用热设备	(21)
第一节 集中采暖的散热设备	(21)
第二节 工业中的用热设备及节能措施	(30)
第三章 水热网的水力工况	(40)
第一节 闭式水网的流体动力学基础	(40)
第二节 水压图	(42)
第三节 定压点和热网漏水的补充	(45)
第四节 中继泵站	(47)
第五节 水力工况的调节	(49)
第六节 水力工况的计算	(52)
第七节 热网的水力稳定性	(57)
第四章 水热网的供热工况	(60)
第一节 供热调节方式	(60)
第二节 采暖负荷调节	(61)
第三节 综合供热调节	(69)
第四节 供热调节方式对热化汽轮机抽汽工况的影响	(74)
第五章 蒸汽供热系统	(76)
第一节 厂区蒸汽供热系统	(76)
第二节 疏水器及其附属设备	(77)
第三节 凝结水聚集与回收	(84)
第六章 热网的水力计算	(87)
第一节 水力计算的基本公式和方法	(87)
第二节 热水管网的水力计算	(93)
第三节 蒸汽管网的水力计算	(97)
第四节 凝结水管路的水力计算	(100)
第七章 热源	(105)
第一节 锅炉房供热	(105)
第二节 热电厂供热	(107)
第三节 核能供热	(109)
第四节 其它热源	(110)
第八章 余热利用及蒸汽回收	(115)
第一节 余热资源概述	(115)
第二节 余热利用	(121)

第三节	回收蒸汽的汽源及系统分析	(129)
第九章	喷射装置及其工程应用	(133)
第一节	蒸汽喷射泵的设计	(133)
第二节	蒸汽喷射泵的运行调节	(137)
第三节	真空喷射器	(139)
第四节	喷射加热器和喷射液流泵	(140)
第五节	蒸汽喷射制冷机	(141)
第十章	蒸汽蓄热技术	(146)
第一节	蓄热的必要性	(146)
第二节	蓄热器的原理、种类及系统	(147)
第三节	蓄热器的蓄热量和容积计算	(149)
第四节	蓄热器的构造及附件	(156)
第五节	蓄热器的热工控制	(157)
第六节	蓄热器的设计计算示例	(159)
第十一章	工厂蒸汽供热系统的优化	(163)
第一节	热力系统最优化设计数学模型的构成	(163)
第二节	炼油厂蒸汽系统数学模型	(174)
第三节	线性化与求解策略	(181)
第十二章	集中供热系统的技术经济分析	(192)
第一节	集中供热系统方案选择原则	(192)
第二节	集中供热工程的可行性研究	(194)
第三节	集中供热与热电联产的经济分析	(196)
第四节	供热系统设计的经济性比较方法	(198)
第五节	优化与对比方案方程式及其求解法	(201)
第十三章	蒸汽在工业中的应用与节能	(206)
第一节	蒸汽在石油化工厂的应用	(206)
第二节	蒸汽在锻造工业中的应用	(215)
第三节	多效蒸发与蒸汽利用	(219)
第十四章	企业能量平衡	(222)
第一节	企业能量平衡的基本概念	(222)
第二节	能量利用分析及能平衡技术经济指标	(230)
第三节	焓平衡方法简介	(239)
主要参考文献		(244)

第一章 热负荷和供热系统

供热的任务是把热源产生的热能输送到各个热用户。它通常是以热水或蒸汽作为热媒，将一个或数个热源通过管网把一个较大区域内的各种热用户（如采暖、通风、热水供应和生产工艺等）连接起来，组成一个集中供热系统。在规划设计这类供热系统时，为了经济合理地选择供热方案和确定系统的运行、调节方式，必须对各种用户热负荷的大小、参数及变化规律进行分析。

第一节 热负荷的种类与概算

一、热负荷的种类

在集中供热系统中，按照用途不同，热负荷可以分为采暖、通风、热水供应及生产工艺用热等几类。采暖用热在北方寒冷地区是供热的主要对象；通风用热仅用于有进气通风的生产工艺车间或公共建筑，它在供热系统的总热负荷中所占比重不大；热水供应主要是满足人民生活上的需要，它的热负荷随着人民生活水平的提高将不断扩大；生产工艺用热是生产工艺过程所要求的，其用热量取决于工艺生产的特点和用热设备的运行工况。目前我国现有的热电厂和区域性集中锅炉房，差不多都服务于工业企业，因此生产性热负荷在这些供热系统中，往往占据相当重要的地位。

上述各类用户的热负荷，根据它们在一年内供热工况的不同，又可划分为两大类：

1. 季节性热负荷。采暖、通风和空气调节系统的用热是季节性热负荷。季节性热负荷与室外温度、湿度、风向、风速和太阳辐射等气候条件密切相关。这类热负荷的耗热量，在一天中比较稳定，而在一年中随着季节的变化有很大的波动。

2. 常年热负荷。热水供应和生产工艺用热都属于这类热负荷。常年热负荷的特点是：其用热量在一天中的变化较大，但在全年中的变化比较小。它主要取决于生产工艺对用热的要求、工作班制和人们的生活习惯。

二、热负荷的概算

在供热系统的规划或初步设计阶段，各类热负荷的大小往往还难以精确计算。例如，采暖通风热用户，因其建筑设计尚未完成，建筑物的围护结构和尺寸的详细数据还难以获得，甚至有些居民小区尚属规划，若干年后才能开发建设；工艺生产热用户也常常仅能提供一个大致生产规模，对它们的实际耗热量却难以确定。因此，供热系统用户的用热量，常采用各类用户的概算热指标来近似计算确定。

这些概算热指标是通过对一些工业生产的典型工艺过程或对一些建筑物的典型结构等的耗热情况，进行理论计算和实际测量，并经过综合分析得到的。它基本上能满足工程概算的要求。

（一）采暖设计热负荷

采暖热负荷是指寒冷季节，在某一室外气温条件下，为了保持一定的室内空气温度，以

给人们创造一个舒适的环境，而要求供热系统每小时向建筑物供应的热量。它的大小与建筑物的类型、功用和围护结构的热工性能以及室外气温、风速、风向、日照等因素有关。其中室外气温对它的影响最大。因为室外气温不但随着季节的改变有很大的变化，而且即使是在同一天的不同时刻也会有不少的差异。因此对于一幢已知建筑物来说，尽管其建筑热工性能和室内计算温度已经确定，但其采暖热仍然不是一个定值。由此可以看出，采暖热负荷是属于季节性热负荷。采暖用热是北方寒冷地区城市集中供热的主要热负荷，约占全部设计热负荷的80~90%。正确计算采暖热负荷，对减少供热系统的热网投资和提高系统运行的经济性具有十分重要的意义。

在供热系统的规划、设计中，为了合理确定采暖热负荷的大小，选择采暖设备的容量，通常以“采暖设计热负荷”为设计依据。所谓采暖设计热负荷，是指当室外气温降到采暖设计温度（又称室外计算温度）时，为保持室内空气温度符合设计要求（即达到室内计算温度），需由供热系统每小时向建筑物供应热量。采暖设计热负荷的确定，需要对供热范围内所有要求采暖的用户进行调查。对单个建筑物的采暖耗热，如条件具备，则可根据传热和热平衡原理，按照采暖设计规范和手册进行热工计算。但在计算条件不充分时，也可采用概算热指标法进行估算。

1. 体积热指标法：

建筑物的采暖设计热负荷，在已知建筑物的性质和外围体积时可按下式概算：

$$Q'_N = q'_v V_w (t_n - t'_w) \quad W \quad (1-1)$$

式中 Q'_N ——建筑物的采暖设计热负荷，W；

V_w ——建筑物的外围体积， m^3 ；

t_n ——采暖室内计算温度， $^{\circ}C$ ；

t'_w ——采暖室外计算温度， $^{\circ}C$ ；

q'_v ——建筑物的采暖体积热指标， $W/m^3 \cdot ^{\circ}C$ 。

建筑物的采暖体积热指标是表示各类建筑物在室内外温差 $1^{\circ}C$ 时，每 $1m^3$ 建筑物外围体积的采暖热负荷，它综合考虑了建筑物的外部形状和体积围护层的传热特性、采光率等因素。我国目前采用和推荐的各类建筑物的采暖体积热指标，可从有关手册中查取。

建筑物的外围体积 V_w ，一般是根据建筑物的面积乘以平均高度求得。

采暖室内计算温度 t_n ，一般是指距地面2米以内人们活动地区的平均空气温度。 t_n 的高低主要决定于人体的生理热平衡要求或生产工艺要求。它和许多因素有关，如房间的用途，室内的干湿度要求和散热强度，人们的劳动强度及生活习惯等等。对 t_n 各国有不同的规定值，苏联取 $18 \sim 20^{\circ}C$ ，我国取 $16 \sim 18^{\circ}C$ 。附录1-1，1-2列出了我国一些民用、公共建筑及工业车间采暖室内计算温度的取值范围。

采暖室外计算温度 t'_w ，是一个能够反映建筑围护结构在采暖期内实际向外传出热量的假想室外计算温度。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采用了某一固定数值。但是，在整个采暖期中，室外空气温度是经常变化的。因此，在计算耗热量的过程中，怎样确定合理的室外计算温度是一个重要的问题。因为室外计算温度取值过低，会造成

设备投资增加，取值过高则不能保证必要的采暖效果。

各国都根据本国的实际情况，采用不同的方法来确定采暖室外计算温度。基本上有两种方法：第一种是根据围护结构的热惰性去选择一个能对室内温度造成足够大的影响的统计周期，取这个统计周期的平均温度的最低值作为采暖室外计算温度。例如苏联现行的建筑法规规定：采暖室外计算温度要按50年中最冷的八个冬季里最冷的连续五天的日平均气温的平均值来选定。第二种是在实际出现室外温度的基础上进行统计，并允许在一定的时间内（“不保证时间”）内室内气温可以低于设计值。根据不保证时间和当地气象资料可以得出采暖室外计算温度。我国采用了第二种方法来原因。《工业企业采暖通风和空气调节设计规范》（TJ19-75）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”。具体采用了从1951~1970年共20年间的气象资料，并以日平均温度为统计基础。在最近出版的一些设计手册中已有将统计期延长到1980年的气象资料。统计年代长一些可以比较充分地反映各地冬季气候变化的情况。我国部分地区的室外计算温度见附录1-3。

用式(1-1)计算得到的 Q'_N 值为室外计算温度 t_w 下的建筑物设计最大热负荷。当室外气温为某一任意气温 t_w 时，所对应的建筑物的采暖热负荷应按下式计算：

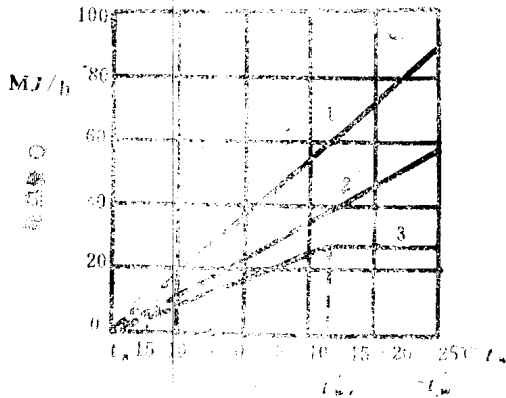


图1-1 采暖和通风耗热量与室外温度关系图

- 1-采暖耗热量曲线
- 2-通风耗热量曲线(当 $t_w = t_w'$ 时)
- 3-通风耗热量曲线(当 $t_w > t_w'$ 时)

$$Q_N = q' V_w (t_n - t_w) \quad W \quad (1-2)$$

式中：

Q_N ——建筑物在非设计工况下的采暖热负荷，W；

t_w ——某一任意室外气温，℃；

对于一定的建筑物，其采暖体积热指标和室内计算温度均可当作定值。因此，可以把采暖热负荷看作是室外气温的单值函数，利用式(1-2)绘制出图1-1所示的关系曲线。

2. 面积热指标法：

如果已经知道供热范围的建筑面积及该地区各类建筑物的热指标，就可采用面积热指标法按下式进行建筑物采暖热负荷的概算：

$$Q'_N = q' \cdot F \quad W \quad (1-3)$$

式中： Q'_N ——建筑物的采暖设计热负荷，W；

F ——建筑物的建筑面积， m^2 ；

q' ——建筑物的采暖面积热指标， W/m^2 。

建筑物的采暖面积热指标是表示每 $1m^2$ 建筑面积的采暖设计热负荷，有关手册上提供的数据，是由实测和设计资料经归纳整理得出来的。表1-1为部分民用建筑采暖面积热指标的概算值。

q' 值也可用下列经验公式求得：

民用建筑和采暖设计面积热指标 q_f' (W/m)值

表1-1

建筑性质	热指标 q_f'	建筑性质	热指标 q_f'
住宅	46~70	商店	64~87
办公楼、教室	58~81	单层住宅	80~105
医院、幼儿园	64~80	食堂、餐厅	116~140
旅馆	58~70	影剧院	93~116
图书馆	46~75	大礼堂、体育馆	116~163

对于民用及工业企业的辅助用建筑物，其采暖面积热指标算式：

$$q_f' = \frac{t_n - t_w'}{N} \left\{ 0.37nh + (1 + \beta) \frac{2h(a+b)}{ab} [k_a + \delta(k_{ch} - k_a)] + (a_1k_{ib} + a_2k_{da}) \right\} \quad (1-4)$$

式中： N ——建筑物楼层总数；

a 、 b 、 h ——建筑物的平面轴线尺寸长、宽和总高度，m；

k_a 、 k_{ch} 、 k_{ib} 、 k_{da} ——墙、窗、顶棚、综合地面的传热系数，W/(m²·°C)；

δ ——窗墙面积比；

a_1 、 a_2 ——顶棚地面温差修正系数；

n ——换气次数，h⁻¹；

β ——综合修正系数， $\beta = 0.92 \sim 0.88$ 。

式(1-4)中的 $0.37nh$ 是考虑了建筑物总渗风的耗热，有关传热系数 k 和温差修正系数 α 可根据建筑物的结构特性从《供暖通风设计手册》中选取。

对于工业厂房的采暖面积热指标算式：

$$q_f' = (t_n - t_w') (1 - \beta) \left\{ \frac{2h(a+b)}{ab} [k_a + \delta(k_{ch} - k_a)] + k_{ib} + k_{da} \right\} \quad (1-5)$$

式中： β 值见表(1-2)，其它符号与式(1-4)相同。

工业厂房采暖热指标概算用 β 值%

表1-2

窗类型	无天窗的厂房		有天窗的厂房	
	$h \leq 10$	$h > 10$	$h \leq 10$	$h > 10$
单层玻璃窗	30	35	40	45
单、双层玻璃窗	25	30	35	40
双层玻璃窗	20	25	30	35

注： h —厂房高度，米；当由高度不同的两跨组成车间时， h 取其平均值。

由于面积热指标法比体积热指标法简便易行，因此被国内外广泛采用。目前我国的集中供热工程中，主要采用这种方法来概算采暖热负荷。由表1-1可知，不同用途的建筑物，其单位面积采暖指标的 q_f' 值不同。因此，对于供热范围较大，建筑物情况复杂的供热系统，要

作认真的分类统计。

对任意室外气温下的采暖面积热指标 q_f 可用下式求得:

$$q_f = \alpha \cdot q'_f \quad \text{W} \quad (1-6)$$

式中: α ——修正系数, $\alpha = \frac{t_n - t_w}{t_n - t'_w}$

(二) 通风设计热负荷

为了满足生产工艺和大型公共建筑对空气的清洁度和干湿度的要求,需要对生产厂房、公共建筑进行通风。在工业厂房中,一般都装有专用的通风设备,把生产过程中产生的有害气体、水蒸汽、粉尘及多余的热量排放出去,在机关、商店和剧院等公共场所,也有通风系统排放二氧化碳、水蒸汽等废气。

在采暖季节中,加热从室外进入的新鲜空气所消耗的热量,称为通风热负荷。通风热负荷的大小主要取决于室外气温的变化。因此它也是属于季节性热负荷。由于通风系统的使用情况和工作班次不同,一般公共建筑和工业厂房的通风热负荷,在一昼夜中波动较大。

通风设计热负荷的概算,可根据建筑物的性质和外围体积,采用体积热指标法计算:

$$Q'_T = q'_{v,t} V_w (t_n - t'_{w,t}) \quad \text{W} \quad (1-7)$$

式中:

Q'_T ——建筑物的通风设计热负荷, W;

$q'_{v,t}$ ——建筑物的通风热指标, $\text{W}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, 它是指各类建筑物在室内外温差 1°C 时, 每 1m^3 建筑物外围体积的通风热负荷;

V_w ——建筑物的外围体积, m^3 ;

t_n ——采暖室内计算温度, $^\circ\text{C}$;

$t'_{w,t}$ ——通风室外计算温度, $^\circ\text{C}$ 。

通风室外计算温度根据不同建筑物的要求,采用不同的数值。如对于要排除有毒或易燃易爆气体、大量尘埃和生产工艺需要排气的厂房,则采用 $t'_{w,t} = t'_w$;对于其它厂房,公共和民用建筑则采用 $t'_{w,t} < t'_w$ 。

工业厂房的通风体积热指标 $q'_{v,t}$ 值,可参考有关设计手册选用,也可用下式计算:

$$q'_{v,t} = m \cdot n \cdot c \quad \text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (1-8)$$

式中: n ——被通风房间内的平均换气次数, h^{-1} ;

c ——空气的容积比热, $1.26\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$;

m ——比例系数, $m = V_f/V_w$;

V_f ——被通风的建筑物体积;

V_w ——按外形尺寸计算的建筑物体积。

通风耗热量也是室外气温的函数,其关系见图 1-1 的曲线 2 和曲线 3。

(三) 生活用热的设计热负荷

1. 热水供应用热。

热水供应主要是满足人们的日常生活中的洗涤需要，也为某些工业的生产工艺（如漂染等）服务。它的热负荷大小和人们的生活水平、生活习惯及生产工艺等有关。目前我国这方面的用热在供热系统中占的比例较小，但随着生产的发展，人民生活水平的提高，房屋卫生设施的完善，热水供应的用量将会日益增加。

热水供应系统的工作特点是，其热水用量在一昼夜内和一周内都是不均匀的，图 1-2 为热水用量的一般规律。它表示一个中心热力站的居民在一周中每天的用水量，其中周末和周日用水量明显高于平时。

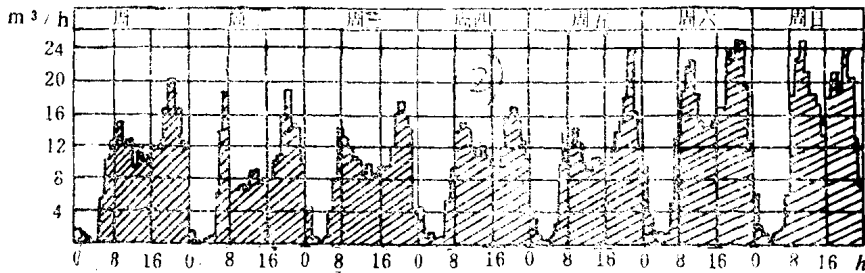


图 1-2 一周中每天和一昼夜每小时的热水用量曲线（中心热力站，2580个居民）

热水用量的计算可先根据使用热水的人数（或设备数目等指标）和相应的热水用量标准来初步确定全天的热水用量，然后再根据用户在一昼夜中每小时用水量的变化规律，利用“小时变化系数” K_h 加以修正，热水供应设计用水量的计算可按下列公式进行：

$$q_d = m q_r \quad \text{1/天} \quad (1-9)$$

$$q_h = K_h \frac{q_d}{24} \quad \text{1/h} \quad (1-10)$$

式中： q_d ——全天热水用量，1/天；

m ——使用热水的人数；

q_r ——热水供应的用水量标准，1/天·人，可按附录 1-4 选用；

q_h ——热水供应设计用水量，1/h；

K_h ——小时变化系数。

小时变化系数 K_h 可根据用户的特点按附录 1-5 选取，对设置有足够大的储水箱的用户， K_h 值可取 1。对短时间使用热水的用户（如机关、学校、工厂企业和体育馆等的淋浴设施）， K_h 值可取大一些（ $K_h = 5 \sim 12$ ）。

计算出热水供应的设计用水量后，可按下列公式确定热水供应热负荷：

$$Q_r = C q_h (t_r - t_l) \cdot \rho \times 10^{-3} + \Delta Q_{gs} + \Delta Q_{sh} \quad \text{kJ/h} \quad (1-11)$$

式中： Q_r ——热水供应系统的设计热负荷，kJ/h；

c ——水的比热，等于 $4.19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{°C})$ ；

q_h ——热水供应设计小时用水量，1/h；

t_r, t_l ——热水和汽水温度， °C ；

ρ ——水的密度， kg/m^3

ΔQ_{gs} 、 ΔQ_{sh} ——在热水供应系统的供水管路和循环管路内的热损失，kJ/h。

在设计集中供热系统时，其中的热水供应系统的管径和长度通常是未知的，因此必须大致估定 ΔQ_{gs} 与 ΔQ_{sh} ，并以耗热量的百分数 β 表示，则(1-11)式可变为如下形式：

$$Q_s = c q_h \rho (t_r - t_l) (1 + \beta) \times 10^{-3} \text{ kJ/h} \quad (1-12)$$

式中 β 值取决于热水供应系统的总长度和容量，当配水立管有保温时， $\beta = 0.05 \sim 0.2$ ，当配水立管无保温时 $\beta = 0.1 \sim 0.3$ 。

2. 其它生活用热。

在工厂、医院、学校和机关等人员集中的部门，除热水供应外尚有开水和蒸饭等项用热。这些热负荷的概算也可参照上述公式计算。例如在计算开水供应用热时， t_r 可取 105°C ， q_r 可取 $2 \sim 3 \text{ l/天}\cdot\text{人}$ ；蒸饭锅的蒸汽消耗量，可按每 100kg 蒸煮量，约需消耗 $100 \sim 250\text{kg}$ 蒸汽计算。开水和蒸锅要求的加热蒸汽压力一般为 $1.5 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(四) 生产工艺热负荷

生产工艺热负荷是指为了满足生产工艺的需要，用户要求供热系统每小时提供的热能。它基本上由用于加热、烘干、蒸煮、溶化等工艺用热负荷和拖动汽泵、汽锤、工业汽轮机等机械设备所需的动力用热负荷两部分组成。

生产工艺热负荷的大小和变化规律，以及对热媒形式与参数的要求，均取决于生产工艺过程的性质，用热设备的型式及企业生产的工作制度。例如，纺织、化工、炼油等工业的用热负荷比较连续稳定，而机械加工、造纸、橡胶制品等工业的用热负荷就有较大的波动，因此由不同生产类型的热用户组合起来的供热系统，其热负荷的特性也不相同。但就其变化规律来说，生产工艺热负荷属于全年性热负荷。

这类用于各种生产目的的热负荷，很难用一个通用公式来确定，一般只能根据生产工艺提供的计算数据、用热设备制造厂家提供的设计资料或已有设备的运行记录等来概算确定。规划设计人员在处理和运用这些资料时，应该注意把它们和同类型企业的耗热量指标相比较，检查所采用的耗热量指标，选用的热媒参数等是否合理。如用户提不出确切的热负荷资料，则可采用实测或对历年用热量（或耗煤量）的统计来确定，也可根据企业生产的产品品种、产量，按照核定的单位热耗率进行估算。

在进行生产工艺热负荷概算时，应该注意到供热系统中各个用户（或用热设备）的最大热负荷往往不会同时出现，因此必须考虑用热设备或用户的同期使用系数 K ，同期使用系数是用热设备运行的实际最大热负荷与全部用热设备的设计最大热负荷之和的比值。同期使用系数一般小于1。利用同期使用系数对总负荷进行修正，对提高供热的经济性会有很大的帮助。

对于热电厂供热系统，还应对生产工艺热负荷在全年中的变化情况作进一步分析。例如，除要有最大热负荷外，还要有最小热负荷，冬、夏季平均热负荷，用汽参数，典型的热负荷图及热负荷持续曲线等资料。这些数据对供热汽轮机的选型，确定机组的运行方式和分析供热系统的经济性具有十分重要的作用。

对用户需要的用热参数，也要分类统计，以便确定一个合理的供热参数。按照工艺要求热媒温度的不同，生产工艺热负荷的用热参数，大致可分为三种；供热温度在 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ 以下时称为低温供热，一般要采用 $4 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的蒸汽或相应的热水；供热温度在 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ 以上到 250°C 以下时称为中温供热，这种供热的热源往往是中小型锅炉或热电厂热化汽轮机的 $8 \times 10^5 \sim 13 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的调整抽汽或背压汽；当供热温度高于 $250 \sim 300^\circ\text{C}$ 时，称为高温

供热, 此时, 就需要直接从锅炉把蒸汽供给热用户。

表 1-3, 1-4 为我国和苏联一些工业部门生产过程的耗热量、用热参数及年利用小时数的大致情况。从表中可以看出, 随着生产的发展, 有关数据是在不断变化的, 在实际工程中应用时要注意合理选取。

表1-3

序号	工厂性质	生产能力	热 负 荷			年利用小时数
			汽耗量 (t/h)	用汽压力 (绝压Mpa)	用汽温度 (℃)	
1	纺织厂	5—10万锭全能厂	2.5—9	0.4—0.5	饱和温度	6000
		5万锭半全能厂	2—3	0.4—0.5	饱和温度	6000
2	印染厂	120—150万匹/年	23—66	0.4—0.5	饱和温度	6000
		50—100万匹/年	8—20	0.4—0.5	饱和温度	6000
3	化工厂	4000—10000吨/年	6.5—9.5	0.5—0.7	饱和温度	6000—8500
4	橡胶杂品厂	3000—6000吨/年	3.5—5	0.1—0.5	饱和温度	
5	制糖厂	300—500吨/日	8.5—12.5	0.25—0.3	饱和温度	3600
		1000—2000吨/日	25—42	0.25—0.3	饱和温度	3600

单位产量的热耗率

表1-4

工业部门	产量单位	热 耗 率 (GJ/年)			
		1965	1970	1975	1980
黑色冶金	t	2.95	2.74	2.6	2.41
有色冶金	t	51.5	44	36	30.2
石油加工	t	1.86	1.74	1.6	1.53
机械制造业	1000卢布	11.3	8.2	6.16	4.73
建材工业	1000卢布	22.2	17.4	14.75	12.6
化工业	1000卢布	40.2	33.9	21.3	25.14
纸浆造纸业	t	70.8	60.3	50.7	43.6

总之, 正确计算热负荷和合理选择热媒参数, 对保证用户的生产正常进行和经济效益起着重要的作用。因此, 在规划设计时, 既要注意由于以节能为中心的生产技术的不断进步及工艺过程的改进, 使同样的企业对供热的要求会有新的变化; 又要注意考虑供热系统中今后工业负荷增长的可能性。上述原则, 对采暖通风等其他热负荷的概算同样适用。例如, 由于建筑节能逐渐引起人们的注意, 采暖耗热量指标将会有所降低, 而随着人民生活水平的提高, 热水供应量将会有较大的增长。

三、热负荷图

由上述分析可知, 不论那一种热负荷, 都不是完全稳定的。季节性热负荷主要随室外气