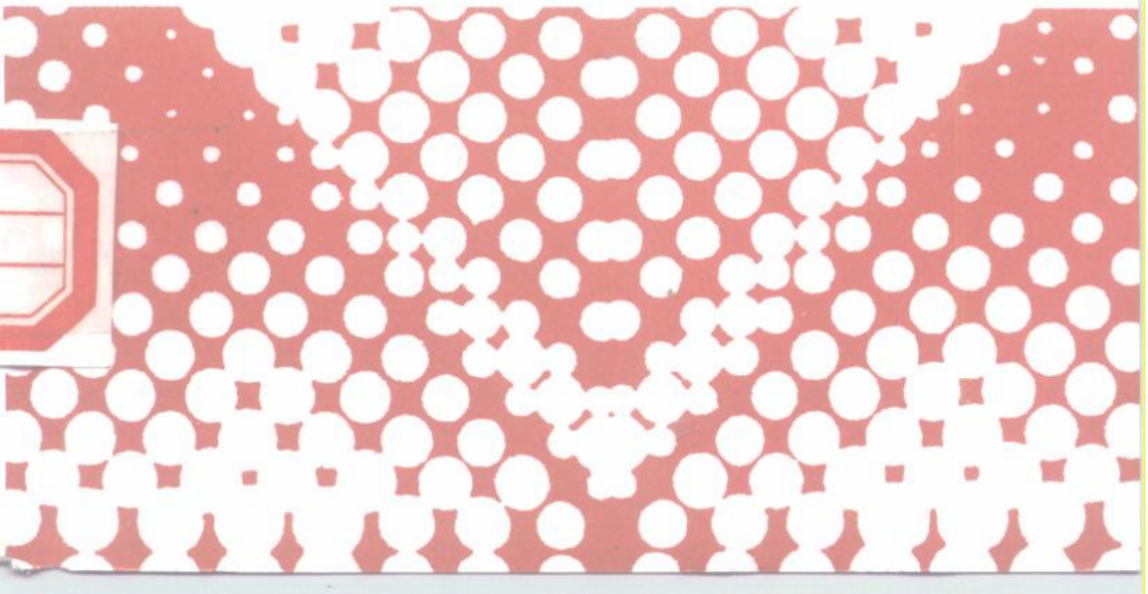




供热系统 运行调节与控制

石兆玉 编著

清华大学出版社



432005

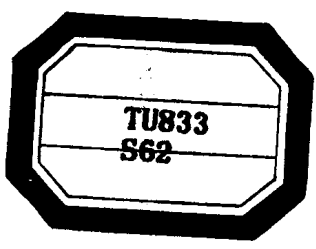
TU833
S62

供热系统运行调节与控制

石兆玉 编著



00432005



清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书内容包括:供热工程基础,供热系统水力工况、热力工况、流量调节、协调运行和计算机自动监控等六章。书中详尽分析了供热系统水力工况、热力工况之间的关系以及工况失调的原因。对大流量运行的利弊、同程系统的稳定性、定压过程恒压点位置确定、多热源的优化运行以及能效分析进行了深入探讨,观点新颖。书中介绍的流量调节方法,既有多种调节方法的比较,又有重点调节方法的详细说明,体现了理论性和实用性的结合。

本书是供热工程管理运行人员的良师益友,也可作为供热空调专业本科生、研究生以及工程设计人员的参考书。

供热系统运行调节与控制

石兆玉 编著

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

通县人民文学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本:850×1168 1/32 印张:12 字数:311千字

1994年1月第1版 1998年11月第2次印刷

印数:5001~10000

ISBN 7-302-01340-3/TB·15

定价:13.00元

前 言

我国改革开放以来,随着人民生活水平的提高,节能技术的进步,近年城镇供热事业得到了迅速发展。目前我国具有供热设施的建筑面积已达 10.7 亿平方米,其中集中供热已超过 2 亿平方米。虽然近 80% 属于分散锅炉房供热,但大型供热系统的兴建也愈来愈多:几个供热面积接近 1 千万平方米的供热系统已经或即将投运;多种热负荷、多个热源共网的系统也不断涌现。在这种形势下,一个突出的问题摆在管理运行人员和科技工作者面前:如何尽快提高供热系统的运行水平,充分发挥集中供热的内在优势。

当前迫切需要解决的课题是:如何消除普遍存在的冷热不均的失调现象,进一步提高供热质量;如何协调多种负荷、多个热源,使供热系统实现优化运行;如何应用节能技术,使目前供热系统只有 30% 左右的热能利用率得到大幅度提高。所有这些问题都应该通过理论与实践的结合求得解决。但目前苦于很少有这方面的书籍可供参考,本书的出版就是渴望在供热系统的运行调节与控制方面,作一些探讨。

编著者近十几年来参加了这方面的科研工作,并对约几百万平方米供热面积的供热系统进行了实际调试工作,有关内容在校内外本科生和从事本专业的科技人员中讲授过 20 多次,这本书就是在此基础上编写成的。书中着重对热水供热系统的水力工况、热力工况、流量调节、多热源共网的协调运动进行了论述,对蒸汽供热系统的调节也作了必要的介绍。对学术界、运行人员关注的初调节方法、大流量运行的利弊、同程系统的稳定性、定压过程的恒压点位置确定以及能效分析等作了较详尽的论述,力求从理论上加以概括。为了使专业技术人员对供热的计算机自动监控有一个基本了解,还编写了供热系统的计算机自动监控一章。书中内容的叙

述,力求通俗易懂,言简意赅,便于一般管理运行人员阅读。该书也可供研究生、本科生以及工程设计人员参考。

清华大学热能系副教授束际万、原清华人工环境工程公司副总工程师汪仕文参加了第六章的编写工作。作者在编写该书的过程中,曾得到清华大学热能系教授王兆霖、蔡启林、江亿,原清华人环公司王良海、梁强威、王亚南、廖再毅、刘刚、陈彦霞等同志多方热情帮助,在此谨表深切谢意!

由于编著者水平有限,难免疏漏之处,敬请读者批评指正,不胜感谢!

编著者

1992.10

目 录

第一章 供热工程基础	1
第一节 供热设计热负荷.....	1
第二节 散热器选择计算	11
第三节 供热系统	15
第四节 水力计算	27
第二章 供热系统水力工况	34
第一节 水压图	34
第二节 水压图在设计、运行中的应用.....	42
第三节 系统水力工况计算	50
第四节 系统变动水力工况分析	64
第五节 供热系统定压	79
一、膨胀水箱定压	80
二、补水泵定压	87
三、气体定压	92
四、蒸汽定压	96
五、补水泵变频调速定压	101
六、两个静压区的建立	103
第三章 供热系统热力工况	106
第一节 换热器的热特性.....	106
第二节 热力工况的分析计算.....	116
第三节 大流量运行的利弊.....	123
第四节 集中运行调节.....	135
第五节 局部运行调节.....	153
第六节 蒸汽系统的调节.....	160
第七节 热力工况的动态调节.....	172

第四章 供热系统流量调节	177
第一节 初调节	177
一、阻力系数法	178
二、预定计划法	179
三、比例法	182
四、补偿法	185
五、计算机法	189
六、模拟分析法	190
七、模拟阻力法(CCR 法)	202
八、温度调节法	207
九、自力式调节法	209
十、简易快速法	211
第二节 流量调节的影响因素	213
一、最大调节流量的确定	213
二、水力稳定性对供热系统的影响	215
三、系统故障的排除	228
第三节 调节阀及其选择计算	232
一、调节阀简介	232
二、调节阀特性	238
三、调节阀选择计算	243
第四节 调速水泵在变流量系统中的应用	247
一、水泵调速的主要方法	248
二、水泵调速的节能效益	253
三、变频调速循环水泵的经济性分析	256
第五章 供热系统协调运行	261
第一节 供热系统运行标准探讨	262
第二节 运行中的技术管理	268
第三节 多种类型热负荷的调节	275

一、供暖负荷调节法	276
二、综合负荷调节法	284
第四节 多热源的联合运行	294
一、多热源共网的必要性	294
二、供热量的平衡	297
三、循环流量的平衡	301
四、理想运行方案确定	303
第六章 供热系统的计算机自动监控	307
第一节 供热微机监控系统概述	307
第二节 计算机原理及结构	316
第三节 热工参数的测量与控制	334
第四节 通信网络	354
第五节 计算机监控系统软件	361
第六节 计算机监控系统的工程应用	366
参考文献	375

第一章 供热工程基础

本章介绍供热工程最基本的内容:热负荷计算,散热器的选择计算,供热系统及其水力计算。

热负荷是供热工程设计中最基本的数据,它的数值直接影响着供热方案的选择,各种设备、仪表的确定。因此,热负荷计算是供热系统设计、运行中最基础的工作。供热系统型式的选择,是确定供热方案的重要内容,必须进行技术、经济的综合分析。散热设备的选择计算和供热系统水力计算,是供热工程设计的最基本内容,也是进行供热系统水力工况和热力工况分析的前提和依据。因此,在学习供热系统运行调节与控制时,必须对上述内容有比较深入的了解。由于篇幅所限,本章只能对这些内容进行概括地叙述,读者如有需要,可参阅有关的参考文献。

第一节 供热设计热负荷

一、室内供热系统热负荷

室内供热系统热负荷一般需进行精确计算。室内供暖热负荷通常包括三部分:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1.1)$$

式中 Q ——室内供暖总热负荷, W ;

Q_1 ——房间围护结构耗热量, W ;

Q_2 ——房间通过门、窗缝的冷风渗透耗热量, W ;

Q_3 ——外门开启冷风侵入耗热量, W 。

其中 Q_1 最主要,称为基本耗热量,由下式计算:

$$Q_1 = \left(\sum_{i=1}^4 K_i F_i (t_n' + t_w') \right) (1 + \beta_1 + \beta_2)(1 + \beta_3) \quad (1.2)$$

式中 t_w' ——设计外温,不同地区其值不同,北京地区为 -9°C ;哈尔滨地区为 -26°C 。各地区的 t_w' 值可由暖通设计手册查得。

t_n' ——设计室温,一般为 $+18^{\circ}\text{C}$ 。

i ——房间围护结构的种类数, $i=1$,表示外墙; $i=2$,表示外门窗; $i=3$,表示外屋顶; $i=4$,为一层地面。 F_i 分别表示房间各围护结构的面积(m^2)。 K_i 分别表示房间各围护结构的传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$,根据需和围护结构实际情况查有关手册获得。

β_1 ——朝向附加,该附加值主要考虑太阳辐射(日照)对房间的影响,由于南向房间获取日照热量最多,所以耗热量应该扣除最多。北向房间基本上无日照影响,因此不予附加。南向附加一般为 $-15\sim-25\%$;东南向与西南向附加 $-10\sim-15\%$;东西向附加 -5% ;北、东北、西北向不附加。

β_2 ——风向附加,一般风力愈大,房间耗热量愈大;但在一般多层建筑中,不考虑风力附加,这是因为在多层建筑的高度范围风力变化不大。

β_3 ——房屋层高附加。房屋层高愈大,自然对流影响愈大,耗热量愈大。房屋层高 4m 以下影响小, $\beta_3 \approx 0$;层高大于 4m ,每增高 1m , β_3 增加 2% 。

Q_2 ——房间门、窗缝冷风渗透耗热量,这部分耗热量是指把每小时由门、窗缝进入室内的冷空气加热到室温需要的热量。按下式计算:

$$Q_2 = 0.278 L l \rho_w c (t_n' - t_w') \quad (1.3)$$

式中 ρ_w ——室外空气密度, kg/m^3 ;

c ——冷空气比热, $c=1\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

L ——门、窗缝的总长度, m ;

l ——门、窗缝单位长度每小时渗入的冷空气量, $\text{m}^3/(\text{h} \cdot$

m)。该值由实际测定获取,由暖通设计手册查得。

Q_3 ——外门冷风侵入耗热量。由于外门冷风侵入量不易确定,通常按外门的基本耗热量的百分比计算:

无门斗的双层外门 $100n\%$

有门斗的双层外门 $80n\%$

无门斗的单层外门 $65n\%$

其中 n 为楼层数。

双层外门附加值比单层外门附加值大,是因为双层外门的基本热耗小。

对于频繁开启的公共建筑外门,外门冷风侵入量取外门基本热耗量的 5 倍。

将 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 相加即得房间的总热耗量。高层建筑热负荷计算参阅有关资料。

二、集中供热系统热负荷

对于区域集中供热系统,由于常常缺少单体建筑有关资料,难以用上述方法详细计算各建筑物热负荷。在这种情况下,一般采用概算方法进行计算。

1. 供暖建筑面积概算热指标

供暖热负荷是随室外温度变化而变化的季节性热负荷,概算热指标按下式计算:

$$Q_n = q_n A \quad (1.4)$$

式中 Q_n ——供暖设计总热负荷, W;

A ——供暖建筑物的建筑面积, m^2 ;

q_n ——建筑面积概算热指标, W/m^2 ; 指每一平方米供暖建筑面积的热负荷。

上式与房间基本耗热量的计算公式

$$Q_n = KF(t'_n - t'_w) \quad (1.5)$$

相比较,可有下列关系:

$$q_n = \frac{KF(t'_n - t'_w)}{A} \quad (1.6)$$

式中 K, F ——房屋围护结构传热系数和传热面积。

式(1.6)表明:(1)室内设计室温 t'_n 要求愈高,概算热指标 q_n 愈大;(2)建筑物围护结构愈好,外墙愈厚,门窗比例愈小,传热系数 K 值愈小, q_n 值愈小;反之, q_n 愈大;(3)平房、层高愈高的建筑,单位建筑面积中的围护结构面积 F/A 愈大, q_n 愈大;(4)地区愈冷,设计外温 t'_w 愈低, q_n 愈大。但应指出:往往地区愈冷,外墙愈厚,传热系数反而减少, q_n 是增大还是减小,要具体分析。对于同厚外墙, t'_w 愈低, q_n 愈大。当地区差别比较大时,因设计外温 t'_w 是主要影响因素,而外墙薄厚的传热系数影响相对减小(24 砖墙, $K_{24} = 2.08 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 37 砖墙, $K_{37} = 1.56 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 49 砖墙, $K_{49} = 1.27 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)。北京地区与齐齐哈尔比较,北京 37 墙,后者外墙 49 墙, $t'_w = -25^\circ\text{C}$;即齐齐哈尔室内外温差比北京增加 1.59 倍,而传热系数只减少了 1.23 倍。综合考虑齐齐哈尔的 q_n 值比北京地区要大,增加约 36% 左右。沈阳与北京地区相比,同为 37 墙,但沈阳设计外温 $t'_w = -19^\circ\text{C}$,则沈阳的 q_n 应比北京的大 37%。按理齐齐哈尔比沈阳冷,但因齐齐哈尔建筑物墙厚,所以两地区 q_n 增加比例差不多。按上述比例,若北京地区 $q_n = 52.3 \text{W}/\text{m}^2$ ($45 \text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$),沈阳 $q_n = 71.7 \text{W}/\text{m}^2$ ($61.7 \text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$),齐齐哈尔 $q_n = 71.2 \text{W}/\text{m}^2$ ($61.2 \text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)。表 1.1 给出了国内建筑供暖面积概算热指标值。该表是在实地测定的基础上由中国建筑科学研究院建筑设计研究所、建筑标准设计研究所编制。以往概算热指标取值偏大,应以此值为准。根据上述影响因素分析,寒冷地区取偏大值,围护结构好的建筑取偏小值。

表 1.1 民用建筑物供暖面积概算热指标值

建筑物类型	供暖建筑面积热指标 q_n	
	W/m^2	$kcal/(m^2 \cdot h)$
住宅	47—70	40—60
办公楼、学校	58—81	50—70
医院、幼儿园	64—81	55—70
旅馆	58—70	50—60
图书馆	47—76	40—65
商店	64—87	55—75
单层住宅(平房)	81—105	70—90
食堂、餐厅	116—140	100—120
影剧院	93—116	80—100
大礼堂、体育馆	116—163	100—140

2. 供暖体积概算热指标

供暖热负荷也可按建筑体积大小进行概算。计算公式如下：

$$Q_n = q_v V_w (t'_n - t'_w) \quad (1.7)$$

式中 Q_n ——建筑物设计供暖热负荷, W ;

V_w ——建筑物的外围体积, m^3 ;

q_v ——建筑物供暖体积概算热指标, $W/(m^3 \cdot ^\circ C)$; 它表示各类建筑物, 在室内外温差 $1^\circ C$ 时, 每 $1m^3$ 建筑物外围体积的供暖热负荷。为比较 q_v 的影响因素, 可根据下式进行

$$q_v = \frac{KF}{V_w} \quad (1.8)$$

在式(1.8)中, K 、 F 意义同前, 表示围护结构的传热系数和传热面积。根据公式: (1) 围护结构愈好, 门窗比例愈小, 墙愈厚, K 值愈小, q_v 愈小; (2) 和建筑物外形有关, 由几何学知, 同面积同体积中, 正方形和正方体的周长和外表面积最小的原理, 建筑物平面为正方形、立面为正方体时其 F/V_w 最小, 即单位体积中的围护结构

面积最小,此时 q_v 最小;(3) 因 q_v 表示室内外单位温差的热负荷,理论上讲 q_v 与地区冷热无关。但寒冷地区,一般墙厚,当给出 q_v 值的上下限时,应取偏小值。

由式(1.4)、(1.7)计算的热负荷,再乘以外网热损失,即得锅炉房的总设计热负荷。

3. 供暖季总供暖耗热量概算——度日法

以上介绍的是设计供暖热负荷,亦即每小时在供暖期间的最大热负荷。为了进行能效分析,常常还需要知道整个供暖期的总热耗量。由于在供暖期间,随着室外气温的不同,严格说,每小时的实际供暖热负荷都是不同的,因此,可以想象,总供暖热耗量的计算工作量是相当复杂的。

南京大学大气科学系为此提出了度日法,以此进行供暖季总热耗量的概算就变得十分方便。

这种方法的基本思路是把整个供暖季计算热耗量的室内外温差总数统计出来,然后乘以室内外单位温差热负荷。计算公式为:

$$Q = \frac{24 \times q_n D_{18}}{t'_n - t'_w} \quad (1.9)$$

式中 Q ——供暖季每 1m^2 供暖建筑面积总热耗量, $\text{kJ}(\text{kcal})$;

D_{18} ——各地区室内温度以 18°C 为基准的度日数 $^\circ\text{C} \cdot \text{d}$; 度日的定义是每日的室外平均温度与规定的室内基准温度(如 18°C) 每日相差 1°C 的数值。可按下式计算

$$D_{18} = Z(t'_n - t_{wp}) \quad ^\circ\text{C} \cdot \text{d} \quad (1.10)$$

式中 t_{wp} ——供暖季室外平均温度, $^\circ\text{C}$;

Z ——供暖季供暖天数, d ;

对于北京地区, $t_{wp} = -1.6^\circ\text{C}$, $Z = 126$ 天(d), 按照公式(1.10)计算出 $D_{18} = 2470^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。

在式(1.9)中, $q_n/(t'_n - t'_w)$ 表示室内外单位温差的热负荷。因度日数以日作为计量单位, 而 $q_n/(t'_n - t'_w)$ 是以小时为计量单位,

因此该公式需乘以 24 小时。对于北京地区,按(1.9)式计算出的每 1m^2 建筑供暖面积的供暖季总热耗量为 $413142\text{kJ}(98800\text{kcal})$ 。

4. 通风设计热负荷

为了保证室内空气具有一定清洁度及湿度等要求,就要对生产厂房、公用建筑及居住房间进行通风或空调,在供暖季节中,加热从室外进入的新鲜空气所耗的热量,称为通风热负荷。通风热负荷也是季节性热负荷,但由于通风系统的使用情况和工作班次不同,一般公用建筑和工业厂房的通风热负荷,在一昼夜间波动也较大。

根据建筑物的性质和外围体积,通风设计热负荷的概算多采用体积热指标法,可按式计算

$$Q_T = q_T V_w (t'_n - t'_{wT}) \quad (1.11)$$

式中 Q_T ——建筑物的通风设计热负荷, W ;

q_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 ——供暖室内计算温度, $^\circ\text{C}$;

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

工业厂房的供暖体积热指标 q_v 和通风体积热指标 q_T 值,可参考有关设计手册选用。对于一般民用建筑、室外空气无组织地从门窗等缝隙进入,预热这些空气到达室温所需的通风耗热量,已在供暖热负荷中计入,不再另行计算。

5. 生活用热的设计热负荷

(1) 热水供应用热。热水供应热负荷为日常生活中用于洗脸、洗澡、洗衣服以及洗刷器皿等的用热。无论是居住建筑、服务性行业或工业企业,热水供应热负荷的大小都和人们生活水平、生活习惯及生产发展情况(设备情况)有关。

热水供应系统的工作特点是用水量具有昼夜的周期性。因此,通常首先根据使用热水的人数(或设备数目等指标)和相应的热水用水量标准,确定全天的热水用量;然后根据用户在昼夜中小时用水量的变化规律。利用所谓小时变化系数 K_r 值的概念,确定热水设计用水量(L/h)。其计算公式如下:

$$q_d = mq_r \quad (1.12)$$

$$q_h = K_r \frac{mq_r}{24} \quad (1.13)$$

式中 m ——使用热水的人数;

q_r ——热水供应的用水量标准,L/天·人,可查有关资料;

q_d ——全天热水用水量,L/天;

q_h ——热水供应设计用水量,L/h。

K_r ——小时变化系数。

小时变化系数表示最大小时用水量与平均小时用水量之比值。对全日使用热水的用户,如住宅、医院、旅馆等, K_r 值可按有关资料选用。如用户设置足够大的储水箱时, K_r 值可等于 1,亦即可按平均小时用水量作为设计小时用水量。对短时间使用热水的用户,如工业企业、体育馆和学校的淋浴设备等, K_r 值取大些可按 $K_r=5-12$ 计算。

确定热水供应设计用水量后,可按下式确定热水供应的设计热负荷

$$Q_r = cq_h(t_r - t_l)\rho \times 10^{-3} \quad (1.14)$$

式中 Q_r ——热水供应系统的设计热负荷,kJ/h;

c ——水的质量比热,kJ/(kg·℃);

q_h ——热水供应设计用水量,L/h;

t_r, t_l ——热水和冷水温度,℃;

ρ ——水的密度,kg/m³。

(2) 其它生活用热。在工厂、医院、学校中,除热水供应以外尚

有开水供应、蒸饭等项用热。这些用热负荷的概算,可参照式(1.13)计算。例如计算开水供应用热时, t_r 可取 105°C , q_r 可取 $2\sim 3\text{L}/\text{天}\cdot\text{人}$;蒸饭锅的蒸汽消耗量,当蒸量为 100kg 时,约需耗汽 $100\sim 250\text{kg}$ 蒸汽(蒸汽量越大,单位耗汽量越小)。一般开水和蒸锅要求的加热蒸汽压力为 $1.5\times 10^5\sim 2.5\times 10^5\text{Pa}$ 。

6. 生产工艺热负荷

生产工艺热负荷是为了满足生产过程中用于加热、烘干、蒸煮、清洗、溶化等项的用热,或作为动力用于拖动机械设备(汽锤、汽泵等)。

生产工艺热负荷和生活用热热负荷一样,属于全年性热负荷。生产工艺设计热负荷的大小以及需要的热媒种类和参数,主要取决于生产工艺过程的性质、用热设备的型式、以及企业生产的工作制度,由于用热设备多种多样、工艺过程对热媒要求的参数不一致、工作制度各有不同,因而生产工艺热负荷很难用固定的公式表述,一般只能根据用热设备制造厂提供的说明、已有的运行经验数据,通过调查试验,或由生产工艺方面提供。

生产工艺热负荷的用热参数,按照工艺要求热媒温度的不同,大致可分为三种:供热温度在 $130\sim 150^{\circ}\text{C}$ 以下称为低温供热,一般靠供给 $4\times 10^5\sim 6\times 10^5\text{Pa}$ (绝对压力)蒸汽供热;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 $8\times 10^5\sim 13\times 10^5\text{Pa}$ (绝对压力)级的抽汽供热;当供热温度高于 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时,称为高温供热。这种供热的热源通常直接从大型锅炉房或热电厂取用新汽经过减压减温后供热。

在有较多生产工艺用热设备或热用户的场合下,它们的最大负荷往往不会同时出现。在考虑集中供热系统生产工艺总的设计热负荷或管线承担的热负荷时,应考虑各设备或各用户的同时使用系数。同时使用系数是用热设备运行的实际最大热负荷与全部