

高层建筑 空调与节能

钱以明 编著

同济大学出版社

高层建筑 空调与节能

钱以明 编著

同济大学出版社

责任编辑：冯时庆

封面设计：王肖生

高层建筑空调与节能

钱以明 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

浙江上虞汤浦印刷厂排版

上海群众印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张：21 字数：555 千字

1990年2月第1版 · 1990年2月第1次印刷

印数：1—5,000 定价：11.00元

ISBN 7-5608-0478-0/TU·61

总 序

纵观我国建筑史,高层建筑是密切伴随着社会的进步,经济技术的发展而发展的,是城市建设的时代特征。

在古代,高层建筑主要是寺庙塔楼,其中,有一些不仅历史悠久,而且在建筑艺术造型和建筑构造方面有许多独特之处,因而驰名于世界。例如,建于公元 523 年的河南登封县的嵩岳寺塔(15 层砖砌塔楼,高度 40 米);建于公元 1055 年的河北定县的料敌塔,是我国现存的最古最高的砖塔(11 层,高 84 米),建于公元 1056 年的山西省应县木塔(高 67 米),另外还有西安的大雁塔,南京的报恩寺等等,不胜枚举。

解放前,我国是半封建半殖民地的国家,经济技术落后,高层建筑为数极少,而且都依赖于外国投资。例如,上海的锦江饭店、沙逊大厦、百老汇大厦和国际饭店等。

解放后,由于我国国民经济的不断发展,自 50 年代开始高层建筑就陆续在各地兴建起来。如北京的前三门高层住宅群(高 14 层);上海的漕溪北路及陆家宅高层住宅群(高 16 层和 13 层);广州的白云宾馆(33 层)等等。进入 80 年代以后,随着我国改革、开放政策的实施,工农业、科学技术和人民生活水平的提高,高层建筑得到迅速的发展,到 1984 年为止我国 8 层以上的高层建筑已达千幢以上,而且不断地向高耸现代化发展,各种新结构、新设计层出不穷。目前我国已建成了总高 160 米筒中筒结构的深圳国际贸易中心大楼(53 层),高度超过百米以上的还有上海电讯大楼、深圳亚洲大酒店、广州的白云宾馆和花园酒家、北京国际饭店、中央彩电大楼等十余幢。其内部设备除设有感烟、感温报警及消火栓给水系统以外,还普遍安设了各种自动控制的固定灭火装置,有力地提高了建筑物的安全度,使我国的高层建筑达到和接近了世界第一流的水平。

随着高层建筑事业的发展,同济大学从事高层建筑科研和教学的各学科的老教师们近年来为各届研究生和大学生增设了各类高层建筑专业课,相继编写了各种教材,为各单位的工程设计人员举办了多期培训班,也做了大量的科研、设计工作,为了适应各学科科研和教学发展的需要,将我校和某些设计单位较为成熟的教材、科研成果以及经验总结陆续出版,组成一套内容较为完善的“高层建筑设计丛书”,准备在1990年前出完,这套丛书包括有:高层建筑结构实用设计方法、高层建筑结构设计原理、高层建筑地基基础、高层建筑抗风抗震、高层钢结构、高层建筑空调、高层建筑给水排水、高层建筑电梯、高层建筑消防等。在编写过程中,我们特别注重反映新结构、新规范、新工艺和新材料的内容,以体现时代的特色。我们希望这套丛书能为教师、科研设计人员和工程技术人员所利用,使之成为我国高层建筑科研事业发展洪流中的一滴水珠。

由于我们参加编辑的人员经验不足和水平有限,在出版过程中错误难免,希望广大读者给予批评、指正。

前 言

国外高层建筑是在18世纪产业革命提供的物质技术条件下发展起来的。在欧、美、日等工业发达国家,由于城市人口密集,建筑用地十分紧张,地价昂贵,迫使建筑物向高层发展。另外,从使用功能来看,将有关互相联系较多的机构集中在一座楼内对工作带来方便和舒适;从城市建设来看,建筑物高低相间亦会增加城市的美观。故高层建筑得以大量的兴建。

我国早在30年代前后,上海、广州等大城市就出现了一些比较现代化的高层建筑。解放后,由于社会主义建筑事业的发展,各地相继建成了层数不等的高层建筑。特别是近年来,随着我国对外开放政策的不断深入,以适应国内外的频繁交往,国际贸易和旅游事业的迅速发展,全国各地像雨后春笋一样建起了各种高层建筑。

国内外高层建筑的发展大大促进了建筑技术,其中也包括暖通空调技术以及节能技术的发展。

本书介绍了高层建筑空调的一些特殊问题(见附表0-1),如空调负荷、空调方式、系统划分、设备布置、空调水系统、空调冷源和建筑物的防排烟等方面的内容,及国外现代高层建筑中采取的空调节能方法和措施。

随着高层建筑的发展,暖通空调能耗占全国总能耗的比例越来越大,因而各国都十分重视空调的节能。因此,空调节能技术逐渐成为建筑物空调设计中必须同时考虑的一个技术性问题。

本书第七章由岳孝方副教授编写。

本书由范存养教授主审。

本书在编写过程中得到同济大学暖通和空调教研室有关同志的热忱帮助和指导。特别是曹叔维老师就空调负荷计算方面

目 录

第1章 建筑物的环境设计条件	1
1.1 室内热环境和舒适条件	1
1.1.1 人体热平衡方程式和舒适方程	7
1.1.2 温湿度设计标准	18
1.2 新风量	21
1.2.1 新风量的确定	21
1.2.2 空气质量的评价标准	30
1.3 室内允许噪声值	35
1.4 太阳辐射	39
1.4.1 地球对太阳的相对位置	40
1.4.2 太阳辐射强度	44
1.5 室外空气设计参数	53
1.5.1 空气调节设计干、湿球温度	53
1.5.2 设计日(标准天)的逐时气温	54
1.5.3 室外空气综合温度	54
1.5.4 标准年气象条件	57
第2章 高层建筑空调负荷计算等方面的特点	59
2.1 围护结构外表面放热系数的变化	59
2.1.1 风速随高度的变化	59
2.1.2 表面放热系数	60
2.2 热压和风压引起的空气渗透	70
2.2.1 作用压差法	70
2.2.2 面积法	76
2.2.3 换气次数法	77
2.2.4 门厅大门开启时的渗透风量	77

2.3 夜间辐射	77
2.3.1 晴天和曇天的大气辐射	79
2.3.2 围护结构外表面的热平衡	82
2.4 围护结构的蒸气渗透和凝结	88
2.4.1 围护结构的最小热阻	89
2.4.2 围护结构的蒸气渗透和凝露	90
第3章 空调冷负荷计算方法	97
3.1 谐波法和谐波反应法	99
3.1.1 通过墙体、屋顶的得热量和冷负荷	99
3.1.2 通过窗户的得热量和冷负荷	135
3.1.3 照明、人体、设备得热量和冷负荷	142
3.1.4 谐波反应法的简化计算方法	148
3.2 传递函数法计算空调冷负荷	155
3.2.1 基本概念	155
3.2.2 Z传递函数法在空调负荷计算中的应用	164
3.2.3 传递函数法的简化计算方法	180
第4章 高层建筑的空调方式	191
4.1 空调分区	191
4.2 冷热源的型式和设置位置	193
4.2.1 往复式	194
4.2.2 离心式	194
4.2.3 螺杆式	195
4.2.4 吸收式	195
4.3 设备层	198
4.4 各种空调方式	211
4.4.1 概述	211
4.4.2 单风道方式	213
4.4.3 双风道方式	214
4.4.4 多区机组方式	215
4.4.5 各层机组方式	216

4.4.6	变风量方式	217
4.4.7	诱导机组方式	235
4.4.8	风机盘管机组方式	236
4.4.9	自带冷冻机的独立式空调机组方式	249
4.4.10	辐射板采暖、供冷加新风系统方式	251
4.4.11	各种高层建筑空调方式的应用	252
4.5	各种空调方式建筑物的各项指标	260
4.5.1	各种建筑物冷、热源装机容量	260
4.5.2	各种空调方式的设备费用	262
4.5.3	各类建筑物空调用动力	263
4.5.4	制冷机房、锅炉房和空调机房面积	264
第5章	高层建筑空调水系统	266
5.1	概述	266
5.1.1	双水管、三水管和四水管	266
5.1.2	开放式和密闭式	269
5.1.3	异程式和同程式	270
5.2	水系统的承压能力	271
5.2.1	冷热源设备的灵活布置	274
5.2.2	合理布置水系统	279
5.3	定流量和变流量水系统	280
5.4	空调闭式水系统的各种方式	284
5.4.1	定流量水系统	284
5.4.2	变流量水系统	285
5.5	水系统的管路计算	301
5.5.1	沿程阻力和局部阻力	301
5.5.2	水泵所需扬程	311
5.5.3	膨胀箱	314
5.6	冷却水水系统	315
5.6.1	冷却塔的种类和选择	315
5.6.2	冷却塔设置和水系统	321

5.7 区域供冷、供热	325
5.7.1 区域供冷	326
5.7.2 区域供热	328
第6章 高层建筑的防排烟	330
6.1 概述	330
6.2 烟气的危害	331
6.2.1 室内燃烧过程	331
6.2.2 烟气的产生	333
6.2.3 烟气的危害	335
6.3 烟气在室内的流动	339
6.3.1 烟气在建筑物内的流动	339
6.3.2 烟气在走廊中的流动	341
6.4 根据建筑物内换气计算控制室内的烟气	343
6.4.1 由压力差引起的通风量	343
6.4.2 隔烟原理和隔烟位置	346
6.4.3 烟气控制的计算程序	347
6.5 防排烟设计	348
6.5.1 防火分区	348
6.5.2 防烟分区	351
6.5.3 房间和走廊的排烟	352
6.5.4 防烟楼梯间及其前室,消防电梯前室或合用前室的 防排烟	375
6.5.5 排烟设备的控制和监视	396
第7章 高层建筑空调的冷源	399
7.1 压缩式制冷	399
7.1.1 压缩式制冷循环分析	399
7.1.2 压缩式冷水机组	407
7.2 吸收式制冷	421
7.2.1 单效溴化锂吸收式制冷循环	422
7.2.2 双效溴化锂吸收式制冷循环	426

7.3 制冷装置能耗比较	429
第8章 空调节能和年耗能量计算	431
8.1 概述	431
8.2 建筑物节能的评价方法	432
8.2.1 住宅	433
8.2.2 住宅以外的建筑物(如办公楼)	433
8.3 空调全年总耗能量计算	436
8.3.1 度日(Degree Days)法	436
8.3.2 当量满负荷运行时间(τ_E)法	437
8.3.3 负荷频率表法	446
8.3.4 电子计算机模拟算法	453
8.4 空调系统设计的技术经济比较(优化设计)	454
8.4.1 计算年经常费用,选用经济的最佳方案	454
8.4.2 使用寿命的周转费用(LCC)	455
第9章 建筑节能和空调系统的节能	456
9.1 建筑节能	459
9.1.1 合理的建筑朝向和平面形状	459
9.1.2 建筑围护结构的保温性能	459
9.1.3 窗户隔热和建筑遮阳	462
9.2 空调系统的运行节能	587
9.2.1 降低室内给定值标准	487
9.2.2 减少新风量	487
9.2.3 防止过冷和过热	491
9.2.4 改变空调设备启动、停止时间;在预冷预热时停止 取用新风	492
9.2.5 过渡季取用室外空气作为自然冷量	492
9.2.6 建筑设备的自动化系统	492
9.3 热泵空调和热回收系统	493
9.3.1 热泵空调	494
9.3.2 热回收热泵系统	517

9.4 从排风中直接回收热量	527
9.4.1 转轮式热交换器	528
9.4.2 板翅式全热交换器	537
9.4.3 热管式热交换器	538
9.4.4 热回收回路	539
9.4.5 全年能量回收量	544
9.4.6 全热交换器在空调系统中的布置	548
9.5 蓄冷系统	550
9.5.1 水蓄冷空调系统	550
9.5.2 冰蓄冷空调系统	564
附表	569
附表 0-1 高层建筑空调的特殊性	569
附表 2-1 建筑材料的热工指标	574
附表 2-2 标准大气压时不同温度下的饱和水蒸气分压力 P_s 值 (P_s)	576
附表 3-1 外墙、屋顶、内墙、楼板夏季热工指标 ($\alpha_w = 18.6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_N = 8.72 \text{ W/m}^2\text{K}$)	580
附表 3-2 墙体的负荷温差	587
附表 3-3 屋顶的负荷温差	607
附表 3-4 玻璃窗温差传热的负荷温差	615
附表 3-5 透过单层钢框玻璃窗的太阳总辐射负荷强度 (无遮阳)	617
附表 3-6 照明散热的负荷系数 $x_{fh,r-T}$	623
附表 3-7 人体显热散热的负荷系数 $x_{fh,r-T}$	625
附表 3-8 设备、器具散热的负荷系数 $x_{fh,r-T}$	627
附表 3-9 外墙冷负荷计算温度 $t_{l,r}(\text{℃})$	629
附表 3-10 I ~ VI 型结构地点修正值 $t_d(\text{℃})$	636
附表 3-11 窗玻璃冷负荷系数 C_{OL}	640
附表 3-12 照明散热冷负荷系数 C_{OL}	642
附表 3-13 人体显热散热冷负荷系数 C_{OL}	643

附表 3-14	有罩设备和用具显热散热冷负荷系数 C_{CL} ...	644
附表 3-15	无罩设备和用具显热散热冷负荷系数 C_{CL} ...	645
附录 9-1	不连续遮阳板阴影面积电算程序.....	646
参考文献		654

第1章 建筑物的环境设计条件

1.1 室内热环境和舒适条件

对于高层民用建筑或公共建筑空调,主要从人体舒适感要求、确定室内空气的一些基本参数,这种空调称舒适性空调。

很早以前,一些生理学家曾采用单一的指标(如气温)来研究对人体健康的关系,忽视了作为外界环境的气象因素是综合的,而不是某种孤立的因素对人体发生作用。但很快(40年代以后),多数学者都从综合的观点来研究气象因素对人体的作用了。这完全符合巴甫洛夫关于机体与外界环境的统一,以及外界环境综合对人体发生作用的学说。因此,有关气象因素和人体健康和舒适感的关系,国外研究得很多,并且提出了有关的各种健康和舒适指标。

健康人的体温变动极小,人体表面组织的温度大约在 36.9°C 左右,体组织深处的温度约在 37.2°C 左右。在较恒定的体温情况下,人体的散热必须和人体内新陈代谢过程中产生的热量相平衡,新陈代谢产生的热量主要由人体的健康情况及劳动强度等因素决定。

人体的散热有四种方式:传导,对流,辐射和蒸发水份的潜热。其中传导热可以忽略。通常人体散热量的比例:蒸发散热量占 $20\sim 25\%$,辐射散热量占 $40\sim 50\%$,对流散热量占 $20\sim 30\%$ 。但这三种散热方式的比例随气象因素的变化而变化。从体内至皮肤表面,单位面积上的热流量为

$$q = \frac{t_b - t_{sk}}{R} \quad (1-1)$$

式中: q ——从体内至皮肤表面的热流量 (W/m^2);

t_b ——体温($^{\circ}\text{C}$);

t_{sk} ——皮肤温度($^{\circ}\text{C}$);

R ——体表热阻($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)。

通常, 人体有一定的生理自动调节能力来保持正常的体温。如气温较冷, 皮肤温度降低, 则体内与体表温度梯度增加, 这时, 血管收缩, 体表热阻增加, 传导热量减少。反之, 如气温较高, 皮肤温度增加, 体内与体表温度梯度减小, 这时, 血管扩张, 体表热阻减少, 传导热量增加。但这时人体表面的对流和辐射散热量将随周围环境温度的提高而减小, 为了保持热平衡, 人体通过自身调节机能加强汗液的蒸发, 以增加人体向外界的热损失。图 1-1 所示为相对湿度 45%, 穿一般春秋衣服, 安静时美国男子, 每个人或每平方米体表面积各种散热量和周围环境温度之间的关系。当 $S > 0$ 时体温上升, $S < 0$ 时, 体温下降。

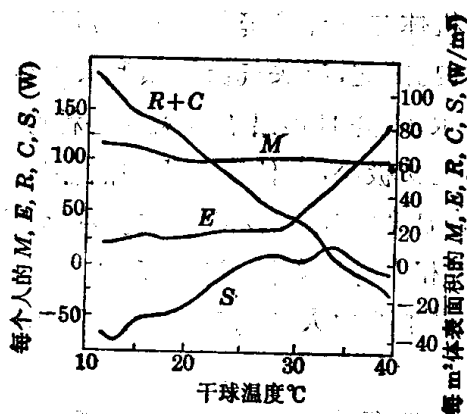


图 1-1 人体热平衡

M —人体发热量; S —体内蓄热量; E, R, C —蒸发、

辐射、对流(和传导)与周围环境的热交换量。

人体蒸发损失有三种型式: 因呼吸从肺部排出的饱和水蒸汽; 无感觉的体液渗透和汗液的分泌。无感觉的体液渗透是在渗透压力的影响下, 表面形成微滴, 这些微滴的尺寸小、蒸发快(在合适的环境条件下), 因而不被人注意, 亦很难感觉出来。增加汗液的

分泌,使蒸发损失增加。从湿表面蒸发的热损失大小,与汗液复盖面积以及表面水蒸气压力(在一定温度下)和周围空气中水蒸气分压力差有关,也取决于表面气流速度和流动性质。

在一定温度下,空气相对湿度的大小,表示空气中水蒸气含量接近饱和的程度。相对湿度越高,空气中水蒸气分压力越大,人体汗液蒸发量越少。所以,增加室内空气湿度,在高温时,会增加空气对人体的热作用,在低温时,则会因导热增加而加剧空气对人体的冷作用。

通过汗液的蒸发增加人体散热量,在一定程度上补偿了人体对流和辐射散热量的减少,维持人体热平衡,但人体并不感到很舒适。

人体周围空气的流动速度是影响人体对流和蒸发散热的主要因素之一。在气流速度大时,由于提高了对流换热系数及传湿系数,致使对流和蒸发散热增强,亦即加剧了空气的冷作用。

当周围环境温度高于人体表面温度时,周围环境将向人体传递对流热和辐射热。对于正常人来说,额头和脸颊的表面温度约在 31.5°C 与 33.5°C 之间、手背温度在 25.5°C 与 32.5°C 之间、衣服表面温度在 24°C 与 29.5°C 之间变化。当人体接受外界热量多,体内多余热量难以全部散出时,多余的热量将在体内蓄存起来,导致体温上升,人体因热平衡破坏而感到不舒适,以致生病。体温达到 40.5°C 时,出汗停止,并使体温加快升高,体温升到 43.5°C 时将是致命的。

另一方面,如果人体在冷的气候条件下,人体散热将增多。如果体温降到 27°C 或更低,在该温度下长期停留将会致命。

周围表面温度决定着人体辐射散热强度。在同样的室内空气条件下,围护结构内表面温度高,对人体增加热感觉;表面温度低,则会增加冷感觉。

人的舒适感,除与上述四个因素(空气温度,相对湿度,空气流动速度,表面辐射温度)有关外,还与人体活动量和衣服热阻(衣着情况)有关。上述各种因素的各种不同组合可以给人某一个共同

的冷热感觉。1972年美国 ASHRAE Handbook 基础篇就考虑以上因素后提出新的有效温度 ET^* (以区别于老的有效温度 ET , Effective Temperature) 概念以及新的有效温度图 (图 1-2)。

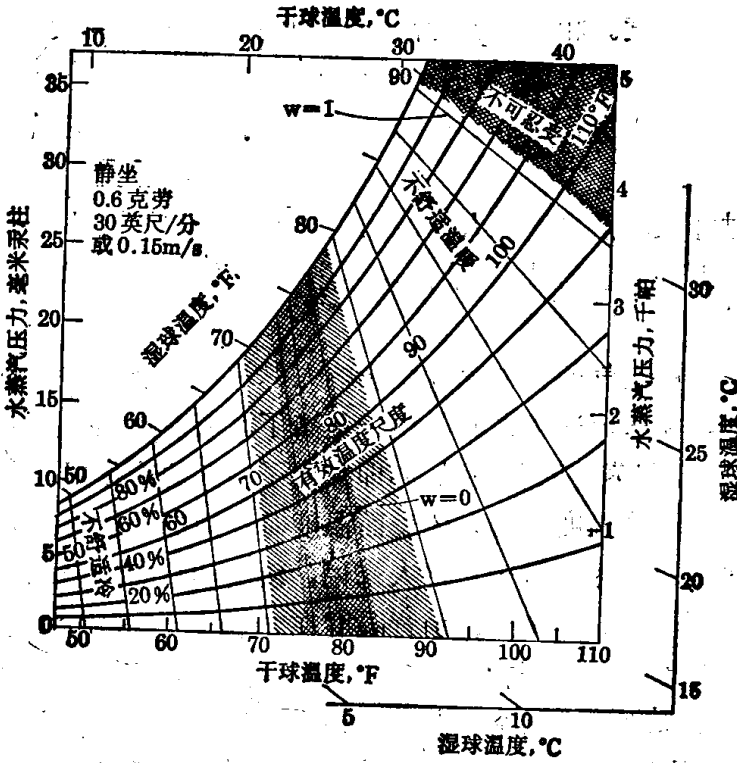


图 1-2 建立在等湿润线上的有效温度
(ASHRAE 手册 1972)

图 1-2 适用于人静坐、衣服热阻为 0.6 clo (衣服的热阻单位, 1 clo = 0.155 $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$), 周围空气流速为 0.15 m/s 的情况。

有效温度的定义是: 对应于相对湿度为 $\phi = 50\%$, 流速为 $v = 0.15 \text{ m/s}$ 的温度为空气的有效温度, 如通过 $t = 25^{\circ}\text{C}$, $\phi = 50\%$ 的线即为 25°C 等有效温度线 (图中的斜直线), 在该线上各点有效温度均为 25°C 。每一条等有效温度线上各点所代表的空气状态给人以同样的冷热感。等有效温度线亦称等湿润线, 25°C 的等有效温度定为湿润度 $w = 0$, 41°C 等有效温度定为 $w = 1$ 。湿润度意指被