

第 1 章 概 论

1.1 我国住宅建筑的发展及对暖通空调的要求

住宅是供人们居住和生活的建筑，和人民生活息息相关，集中体现了一个国家的经济发展水平，历来是各国政府十分重视并着重解决的问题。

我国住宅建筑的发展，可以概括为两个阶段：

第一阶段，20 世纪 70 年代以前，我国的国民经济处于比较低的发展阶段，人们的温饱问题尚未完全解决，很长时间，城市人均居住面积维持在 3.6m^2 的状态下。设计户型面积分为 35、38、42 (m^2) 几个等级，以简易房、筒子楼为主，其后才出现了小居室、小厨房、小卫生间的“三小”户型，户均面积不超过 50m^2 。住宅采暖限制在三北严寒地区，以分散锅炉房供热为主，集中供热发展缓慢。截止到 1980 年“三北”地区只有 10 个城市有集中供热设施，绝大多数的寒冷地区、采暖边沿地区冬季以煤炉取暖，夏季的空调降温设施几乎没有。

第二阶段，改革开放以来，随着国民经济的发展，住宅建筑得到了迅速发展，据有关部门统计，从 1979 到 1995 年底，我国城乡共建住宅建筑 129 亿 m^2 ，其中城镇 25.5 亿 m^2 。近几年来，城镇平均每年新建住宅建筑 5 亿 m^2 ，人们的居住水平有了很大提高。城镇人均居住面积已从改革开放前的 3.6m^2 提高到 1995 年的 8m^2 ，预计到 2010 年，将达到 $15 \sim 18\text{m}^2$ 。人们对住宅的要求已经不仅是住得下的基本要求，而是逐步转向对居住质量的要求。这期间，也是我国暖通空调行业飞速发展的阶段。国务院国发 [1986] 22 号文件《关于加强城市集中供热管理工作的报告》，对我国的城市集中供热事业的发展起到了极大的推动作用。到 1996 年底，我国已有 286 个城市建设了城市集中供热设施，供热面积达 73.4 亿 m^2 ，“三北”地区集中供热率达到 26%。近几年，又出现采暖区域南扩及采暖时间延长的趋势，甚至南方一些地区也在采取各种采暖方式改善冬季居住条件。城市集中采暖的运行天数，过去多按室外日平均温度 5°C 开始采暖，现在多按 8°C 。夏季空调及降温设施得到前所未有的重视。“八五”期间家用空调器的需求已达到 750 万台。到 1994 年，每百户居民的空调拥有率，广东省已达 30.1% 上海市已达 19.6%。新建住宅及部分改造住宅加设空调增多，不少地区的小康住宅标准中已把空调列为必装或预留条件待装的范围。现在，住宅用空调设备又有新的发展，变频空调、家用中央空调以及中央空调系统等都得到了大量应用。随着住宅建设的发展，以及人们对居住质量要求的提高，结合国家能源政策，笔者认为暖通空调专业应满足以下几个方面的要求：

1. 住宅暖通空调设计的前提是满足人们的舒适性要求

住宅的特点是供人们居住使用，而且是昼夜连续使用，因此，住宅设计应以人为本，将满足人的舒适性要求放在首位。对于室内热湿环境、噪声控制、空气质量等方面要有比

公共建筑更高的要求。

2. 住宅暖通空调的重要任务是节能

住宅建筑量大面广，占国土面积 70% 的严寒和寒冷地区需要采暖，其余大部分又是夏季炎热地区，需设夏季降温设施。据统计，1995 年全国建筑能耗总计 1.443 亿 t 标煤，约占全国商品能源总消费量的 11.7%，到 2000 年，我国建筑能耗增至 1.79 亿 t 标煤，约占全国商品能源总消费量的 13.1%。而与此高能耗相比较，我国的能源浪费更惊人，由于我国采暖地区居住建筑存在着围护结构保温水平低、门窗气密性差、设备热效率低的状况，导致平均每年每平方米采暖能耗高达 30.5kg 标煤，是发达国家的 3~4 倍。造成的能源浪费以及空气污染都要求我们必须将建筑节能问题重视起来。1996 年颁布实施的建设部标准《民用建筑节能设计标准 采暖居住建筑部分》(JGJ 26-95)(以下简称“节能标准”)提出了新建住宅的采暖能耗在原有基础上降低 50% 的设计要求，为达此目标，住宅围护结构节能率应达到 35%，供热系统的节能率应达到 23.6%。由于空调系统耗能更大，毫无疑问，更应注重节能设计。

3. 住宅暖通空调的必然趋势是实施分户计量和控制

虽然早在 1986 年就颁布了节能标准(原标准)，1996 年颁布了新标准，但从各地实施情况看，效果并不理想，特别是供热系统节能率 23.6% 的目标根本没有达到，出现了节能建筑不节能的怪现象。究其原因，一是室内采暖系统仍按常规系统设计，缺乏水力平衡及温度调控措施，水力、热力失调严重；二是供热收费制度不合理，按面积收取采暖费，不能真正体现用户用热量，用户缺乏节能意识。三是热计量设备跟不上，以及过去建成的室内采暖系统不易计量；四是现有集中供热管理水平不高，导致热价过高，造成供热企业普遍面临供热能耗大和供热收费难两大问题。据统计，1995 年供热行业的收费率仅达到 76.3%，收费率最低的只达到 50% 左右，欠缴热费 10.6 亿元，累计拖欠供热费余额达 20 亿元，1996 年集中供热统计资料表明，绝大多数热力公司都是依靠财政补贴维持运转。从节能和保证我国供热事业顺利发展的角度，决定了采取分户计费制度将是我国暖通空调行业的必然趋势。集中供热发达的西欧和北欧国家以及俄罗斯、东欧、蒙古等国家早已实现了分室控制、分户计量。我国部分城市如北京、天津、哈尔滨、烟台等地也进行了这方面的试点。实践证明，采用分室控制及分户计量后，均可达到节能 20%~25%。

1.2 现代住宅的类型

根据不同的分类标准，现代住宅可进行如下分类：

1.2.1 按建设标准我国住宅分类(四类)

第一类为安置型或解困房。它是针对城市居民中住房困难家庭而建设的；

第二类为温饱型或经济适用房。主要为中低收入家庭提供面积适宜、使用功能基本齐全的成套型住宅；

第三类为舒适型，即小康住宅。主要针对中等和中等偏上收入的家庭，采用新住宅科技成果，提供使用功能齐全、设备水平较高的住房，满足人们提高居住质量的要求；

第四类为豪华型住宅，数量极少，主要适应很少一部分高收入家庭的需要。

本书讨论的将是设有采暖或空调的各类住宅，重点为三、四类住宅。

1.2.2 按住宅形体分类（三类）

第一类为多层单元式，是目前建造量最大的形式，一般又将四～六层称为多层住宅，住户共用楼梯，七～九层称为中高层住宅（有时也称作小高层住宅）；

第二类为别墅式，即层数在一至三层的低层住宅，一般独门独院，自用楼梯；

第三类为高层公寓式，层数十层以上，有塔式、单元式、通廊式等类型，十二层及十二层以上的单元式和通廊式住宅须设电梯，其他形式十层及十层以上应设消防电梯。

1.2.3 按设备水平分类（三类）

第一类设冬季集中供热设施加房间局部排风；

第二类设冬季采暖、夏季降温（或空调）设施及局部排风；

第三类设全年空调设施加通风系统。

1.3 现代住宅暖通空调设计概述

1.3.1 常用采暖空调方式

常用的采暖方式有集中热水散热器采暖及辐射采暖、单户热源的水散热器采暖及辐射采暖、热风及电热采暖等。

常用的空调方式有集中供冷空调系统、闭式环路水源热泵空调系统、VRV系统、户式中央空调系统等。

1.3.2 住宅暖通空调设计范围

在经过充分经济技术比较的基础上与业主协同确定冷热源及采暖空调方案，进行负荷计算，选择并布置室内采暖空调设备，进行系统管道计算及其他相关计算，提出安装、施工运行的技术要求和保障措施，确定合理可行的自控方式，编制设计预算书等等。高层建筑还要考虑防排烟系统设计。

1.3.3 设计中应当重点处理的一些问题

首先要处理好节能与建筑热工、暖通空调舒适性、空气质量的关系；其次要处理好暖通空调系统初投资与运行费的关系；第三，暖通空调系统和设备要做到噪声低、寿命长、便于维修以及维修时对其他住户的影响要尽可能小、对环境污染要小。

1.3.4 住宅空调采暖的冷热源

集中供热是实现节能、减少污染的根本途径，是建设部 2000 年第 76 号部长令中八大节能措施之一，在有条件的地方应成为住宅冬季采暖的首选热源，当此条件不具备时，燃油、燃气、电热锅炉、电动热泵等也可以作为住宅热源。

利用热电联产，进行“热、电、冷”三联供，实现区域供冷、供热是住宅小区最佳的空调冷热源方案。在现阶段，各种形式的电压缩式制冷、变频空调、热泵空调系统是住宅空调常用的冷热源方式。燃气具有输送方便、不需贮存、污染较轻的优点，也成为今后空调冷热源的一个发展方向。在我国目前情况下，燃油尚难做到集中供给，受制约太大，且污染情况高于燃气，只能作为辅助能源，宜慎重使用。

1.3.5 暖通空调系统节能途径

节能标准提出节能 50% 的目标，供热系统要占到其中的 20%，为此，燃煤锅炉运行效率要应从 0.55 提高到 0.68；管道输送效率应从 0.85 提高到 0.90。在设计采暖供热系统

时，应进行详细准确的热负荷调查和计算，室内采暖系统应采取分户计量和分室控制温度的措施，采暖供热系统必须进行水力平衡计算，设置流量调节的装置，室内外管道选择合适的保温材料、保温厚度等。

设置全年空调的建筑，除了采取与采暖建筑相同的节能措施外，还应注意，空调建筑围护结构的传热系数不应超过《采暖通风与空气调节设计规范》（GBJ 19—87）规定的要求，在建筑的体形系数、窗墙面积比、房间的热容量、空调房间的布置、外窗气密性以及外窗遮阳等方面都要考虑空调建筑的特殊要求。对于空调系统，应合理确定空调设计参数；采用能效比高、部分负荷性能好的冷热源设备；空调水系统采用二次泵系统、变频调速技术、多泵并联等措施；空调风系统合理控制新风量供给、采用变速风机及热回收装置、过渡季节充分利用室外新风“免费”供冷等以及采用有效的自控装置。

第 2 章 建筑热工及负荷计算

2.1 住宅建筑热工设计

2.1.1 住宅建筑热工设计要求

国家标准《住宅设计规范》(GB 50096—99)规定“住宅应保持室内基本的热环境质量,采取冬季保温和夏季隔热、防热以及节约采暖和空调能耗的措施。”我国地域辽阔,气候差异非常大,《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—93)(以下简称“热工规范”),根据各地气候特征将全国分为严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖和温和五类地区,各地区对住宅室内热环境要求不同,对住宅热工的要求也不同。具体来说,严寒和寒冷地区,住宅建筑要求设置集中采暖设施,其建筑围护结构应注重节能要求,采取一定的技术措施,将采暖能耗控制在规定的水平上,热工设计应符合现行行业标准《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—95)(以下简称“节能标准”)的规定。在夏热冬冷和温和地区冬季可有条件地设置采暖设施,围护结构设计要求保证室内基本的热环境质量,热工设计应满足热工规范要求。对于夏热和温和地区,夏季有降温要求,越来越多的住宅建筑开始设置空调设施或空调系统,住宅建筑必须进行夏季的防热隔热设计。对照节能标准和热工规范,住宅建筑热工设计的主要内容和目的列于表 2-1。本节内容重点是建筑节能热工设计。

住宅节能设计和热工设计的主要内容和目的

表 2-1

		主要内容	目的
住宅节能设计	采暖住宅节能设计	建筑物设置及体形设计	使有利于节约采暖能耗
		围护结构设计	保证各部分围护结构的传热系数、窗墙面积比和窗户气密性等符合规定要求
		采暖系统设计	保证采暖系统和管道保温设计等符合规定要求
	空调住宅节能设计	建筑物及房间布置	使有利于节约空调能耗
		围护结构设计	同上
		空调系统设计	保证空调系统满足使用要求,并符合节能和经济的原则
住宅热工设计	冬季保温设计	围护结构保温设计	保证空调系统满足使用要求
		围护结构防潮设计	保证在正常使用条件下结构内部不产生凝结水
		围护结构防空气渗透设计	保证围护结构和门窗的气密性符合规定要求
	夏季防热设计	室外热环境设计	利用地形平面等自然环境,并采用绿化建筑,以改善室外热环境
		围护结构隔热设计	保证围护结构隔热性能符合规定要求
		窗户遮阳设计	使遮阳形式和构造与地区气候条件、房间使用要求和窗户朝向等相适应
		自然通风设计	使建筑物群体和单体布置、门窗开口位置、面积和开启方式有利于通风

2.1.2 热工设计的一般计算方法

住宅建筑的热工设计，一是验算围护结构的总热阻，使其不小于“热工规范”规定的最小总热阻 $R_{0,\min}$ 。对于设置集中采暖的住宅，验算围护结构的传热系数不大于“节能标准”规定的传热系数限值，该限值对应的总热阻要大于“热工规范”规定的最小总热阻。二是对围护结构内表面包括围护结构热桥部位内表面温度进行验算，使其不低于室内空气的露点温度；对于非采暖区设置空调系统的住宅，验算围护结构的传热系数不大于《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ 19—87)规定的最大传热系数。热阻和传热系数的计算可参考有关资料。

2.1.2.1 住宅冬季室内热工计算参数

按住宅建筑房间类型，根据室内不同温度和相关湿度确定的水蒸气分压力、露点温度及围护结构内表面与室温的允许温差见表 2-2。

住宅冬季室内热工计算参数

表 2-2

房间类型	室内参数				空气与房间内表面允许温差 Δt (°C)	
	温度 t_n (°C)	相对湿度 ϕ_n (%)	水蒸气分压力 P_n (Pa)	露点温度 t_d (°C)	外墙	平屋顶和闷顶楼板
起居室、卧室	16	60	1090.32	8.25	6.0	4.0
	18	"	1237.50	10.13		
	20	"	1402.26	12.01		
	22	"	1582.44	13.98		
	24	"	1790.22	15.76		
厨房、厕所 (当不允许外墙和顶棚结露时)	16	70	1272.04	10.54	$t_n - t_d = 5.46$	$0.8(t_n - t_d) = 4.37$
	18	"	1443.75	12.45	5.55	4.44
	20	"	1635.97	14.36	5.64	4.51
	22	"	1849.68	16.28	5.72	4.58
	24	"	288.59	18.20	5.80	4.64
浴室、厕所 (仅当不允许顶棚内表面结露时)	18	75	1546.88	13.50	7.0	$0.9(t_n - t_d) = 4.05$
	20	"	1752.83	15.43		
	22	"	1981.80	17.36		
	24	"	2237.78	19.30		
	25	"	2375.78	20.26		

注：此表摘自《实用供热空调设计手册》。

2.1.2.2 围护结构内表面温度的计算

(1) 围护结构内表面温度

$$\theta_n = \frac{t_n - t_w}{R_0} \times R_n \quad (2-1)$$

式中 θ_n ——围护结构内表面温度 ()；

t_n 、 t_w ——室内和室外计算温度 ()；

R 、 R_n ——围护结构传热阻和内表面换热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)。

(2) 热桥部位内表面温度的计算

所谓热桥，是指围护结构中包含金属、钢筋混凝土或混凝土梁、柱、肋等部位，在室内外温差作用下，形成热流密集、内表面温度较低的部位，这些部位形成传热的桥梁，故称热桥。围护结构内表面结露首先出现在热桥部位，因此，必须验算热桥内表面温度，必要时，采取保温措施。

图 2-1 所示几种热桥的内表面温度：

$$\theta_{n'} = \frac{R'_o + \eta (R_o - R'_o)}{R_o \times R'_o} \times R_n (t_n - t_w) \quad (2-2)$$

式中 t_n t_w R_n ——同式 2-1；

R_o R'_o ——非热桥部位和热桥部位传热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)；

η ——修正系数，见表 2-3。

修正系数 η 值

表 2-3

热桥形式	a/δ								
	0.02	0.06	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.50
(1)	0.12	0.24	0.38	0.55	0.74	0.83	0.87	0.90	0.95
(2)	0.07	0.15	0.26	0.42	0.62	0.73	0.81	0.85	0.94
(3)	0.25	0.50	0.96	1.26	1.27	1.21	1.16	1.10	1.00
(4)	0.04	0.10	0.12	0.32	0.50	0.62	0.71	0.77	0.89

注：此表摘自《民用建筑节能设计手册》。

$a/\delta > 1.5$ 时，热桥部位内表面温度按下式计算：

$$\theta_{n'} = t_n - \frac{t_n - t_w}{R'} \times R_i \quad (2-3)$$

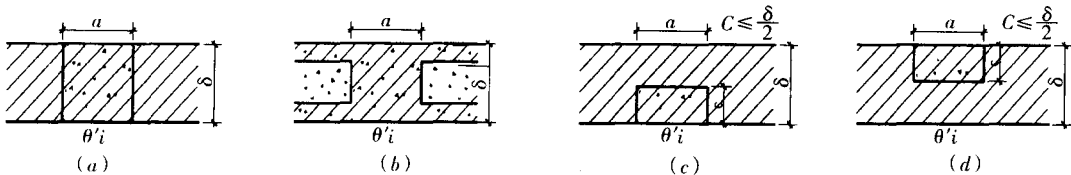


图 2-1 热桥形式

2.1.3 住宅建筑节能设计

新的节能标准提出新建住宅应在各地 1980~1981 年住宅通用设计能耗水平基础上节能 50%，其中建筑物节能率应达到 35%（即建筑物耗热量指标应降低 35%）。采暖居住建筑的耗热量主要由通过建筑物围护结构的传热耗热量和通过门窗缝隙的空气渗透耗热量两部分构成。传热耗热量中，外墙所占比例最大，其次是窗户，以下是楼梯间隔墙（在楼梯间不采暖情况下）和屋顶，阳台门下部、户门和地面所占比例较小，但也是不容忽视的。因此，对于建筑物来说，节能的主要途径是：减小建筑物外表面积和加强外围护结构保温，以减少传热耗热量；提高门窗的气密性及热阻，以减少其传热量及空气渗透耗热量。同时建筑物的耗热量受建筑物的朝向、形体系数的影响很大，在可能条件下应采用合理的朝向

及形体系数。

2.1.3.1 节能指标

(1) 采暖能耗与建筑物耗热量

采暖能耗系指在采暖期内用于建筑物采暖所消耗的能量，其中包括锅炉及其附属设备运行过程中消耗的热量和电能，以及建筑物耗热量。建筑物耗热量指在采暖期内为保持室内计算温度需由室内采暖设备供给的热量。采暖能耗与建筑物耗热量单位均为 $\text{kW}\cdot\text{h/a}$ ， a 为每年，实际为每个采暖期。

(2) 建筑物耗热量指标与采暖设计热负荷指标

建筑物耗热量指标系指在采暖期室外平均温度条件下，为保持室内计算温度，单位建筑面积在单位时间内消耗的、需由室内采暖设备供给的热量，其单位是 W/m^2 。它是用来评价建筑物能耗水平的一个重要指标，节能标准给出了不同地区采暖住宅建筑耗热量指标。

采暖设计热负荷指标（工程中常常简称为采暖设计热指标）系指在采暖室外计算温度条件下，为保持室内计算温度，单位建筑面积在单位时间内需由锅炉或其他供热设施供给的热量，其单位是 W/m^2 。它是用来确定供热设备容量及供热管网的一个重要指标，采暖设计热负荷在数值上大于建筑物耗热量指标，对于节能建筑，二者可以相互推算。

(3) 采暖耗煤量指标

采暖耗煤量指标系指在采暖期室外平均温度条件下，为保持室内计算温度，单位建筑面积在一个采暖期消耗的标准煤量，其单位是 kg/m^2 。它是用来评价建筑物和采暖系统组成的综合能耗水平的一个重要指标，不同地区住宅建筑的采暖耗煤量指标也已在节能标准中同时给出。

2.1.3.2 节能指标计算

(1) 建筑物耗热量指标应按下列式计算：

$$q_H = q_{H-T} + q_{INF} - q_{I-H} \quad (2-4)$$

式中 q_H ——建筑物耗热量指标 (W/m^2)；

q_{H-T} ——单位建筑面积通过围护结构的传热耗热量 (W/m^2)；

q_{INF} ——单位建筑面积的空气渗透耗热量 (W/m^2)；

q_{I-H} ——单位建筑面积的建筑物内部得热（包括炊事、照明、家电和人体散热），住宅建筑取 3.8W/m^2 。

(2) 单位建筑面积通过围护结构的传热耗热量应按下列式计算：

$$q_{H-T} = (t_i - t_e) \frac{\sum \epsilon_i \times K_i \times F_i}{A_o} \quad (2-5)$$

式中 t_i ——全部房间平均室内计算温度，一般住宅建筑取 16°C ；

t_e ——采暖期室外平均温度 ()；

ϵ_i ——围护结构传热系数的修正系数，可查节能标准；

K_i ——围护结构的传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]，对于外墙应取其平均传热系数；

F_i ——围护结构的面积 (m^2)

A_o ——建筑面积 (m^2)。

(3) 单位建筑面积的空气渗透耗热量应按下列式计算：

$$q_{\text{INF}} = (t_i - t_e) \frac{c_p \times \rho \times N \times V}{A_o} \quad (2-6)$$

式中 c_p ——空气比热容，取 $0.28 \text{ W} \cdot \text{h} / (\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ；
 ρ ——空气密度 (kg/m^3)，取 t_w 条件下的值；
 N ——换气次数，住宅建筑取 $0.51/\text{h}$ ；
 V ——换气体积 (m^3)。

(4) 采暖耗煤量指标应按下列式计算：

$$\sigma = \frac{24 \cdot Z \cdot q_{\text{H}}}{H_c \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} \quad (2-7)$$

式中 q_c ——采暖耗煤量指标 (kg/m^2 标准煤)；
 q_{H} ——建筑物耗热量指标 (W/m^2)；
 Z ——采暖期天数 (d)，按室外日平均温度 ≤ 5 的天数；
 H_c ——标准煤热值，取 $8.14 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ；
 η_1 ——室外管网输送效率，采取节能措施前，取 0.85 ；采取节能措施后，取 0.90 ；
 η_2 ——锅炉运行效率，采取节能措施前，取 0.55 ；采取节能措施后，取 0.68 。

(5) 不同地区采暖住宅建筑物耗热量指标和采暖耗煤量指标不应超过节能标准规定的数值。

2.1.3.3 节能建筑围护结构的传热系数

节能标准中通过围护结构的传热耗热量是采用“有效传热系数”进行计算的，围护结构的有效传热系数 $K_{i,\text{eff}}$ 等于围护结构传热系数的修正系数 ϵ_i 与围护结构传热系数 K_i 的乘积，即

$$K_{i,\text{eff}} = \epsilon_i \cdot K_i \quad (2-8)$$

住宅建筑各部分围护结构的传热系数不应超过节能标准规定的传热系数限值，其中外墙的传热系数是考虑周边热桥影响后的外墙平均传热系数。传热系数、有效传热系数、平均传热系数既有联系，又有区别，各有不同的适用范围。

(1) 传热系数与有效传热系数的区别

围护结构的传热系数系指在围护结构两侧空气温度差为 1K 时，单位面积在单位时间内的传热量。在此认为传热仅仅是由两侧空气温差引起的。但在实际的围护结构中，不仅存在由两侧空气温差引起的热损失 (q_{aa})，而且还存在由太阳辐射引起的得热 (q_{sol})，以及由天空辐射引起的热损失 (q_s)。这三部分传热的代数和即为围护结构的净热损失 (q_{net})：

$$q = q_{\text{aa}} + q_s - q_{\text{sol}} \quad (2-9)$$

净热损失除以两侧空气温差即为有效传热系数。

$$K_{i,\text{eff}} = \frac{q_{\text{net}}}{T_i - T_e} \quad (2-10)$$

因此，有效传热系数的定义是：在两侧空气温差为 1K 时，单位面积在单位时间内的净热损失。

实际计算时，有效传热系数是通过修正系数进行的，由式（2-7）得围护结构传热系数的修正系数：

$$\epsilon_i = \frac{K_{i, \text{eff}}}{K_i} \quad (2-11)$$

即围护结构有效传热系数与围护结构传热系数的比值，它实质上是考虑太阳辐射和天空辐射对围护结构传热产生的影响而采取的修正系数。

节能标准中给出八个地区的 ϵ_i 值，可以直接采用，其他地区可根据采暖期室外平均温度就近采用。其他注意事项有：

1) 标准中未给出的东南和西南向按南向采用，东北和西北向按北向采用，其他朝向按就近朝向采用。

2) 不采暖楼梯间隔墙和户门，以及不采暖地下室上面的楼板等的 ϵ_i 应以温差修正系数 n 代替，见表 2-4。

3) 封闭阳台内的窗户和阳台门上部按双层窗考虑。封闭阳台内的外墙和阳台门下部：南向阳台取 $\epsilon_i = 0.5$ ；北向阳台取 $\epsilon_i = 0.9$ ；东西向阳台取 $\epsilon_i = 0.7$ ；其他朝向就近采用。

4) 接触土壤的地面取 $\epsilon_i = 1$ 。

温差修正系数 n 值

表 2-4

围护结构及其所处情况	n 值
带通风间的平屋顶、坡屋顶顶棚、与室外空气相通的不采暖地下室上面的楼板	0.90
与有外门窗的不采暖楼梯间相邻的隔墙：	
1~6 层建筑	0.60
7~30 层建筑	0.50
不采暖地下室上的楼板：	
外墙上无窗户时	0.75
外墙上无窗户且位于室外地坪以上时	0.60
外墙上无窗户且位于室外地坪以下时	0.40

(2) 外墙平均传热系数

外墙因受周边热桥影响，其传热系数应采用按面积加权平均法求得平均传热系数：

$$K_m = \frac{(K_p \cdot F_p + K_{B1} \cdot F_{B1} + K_{B2} \cdot F_{B2} + K_{B3} \cdot F_{B3})}{F_p + F_{B1} + F_{B2} + F_{B3}} \quad (2-12)$$

式中 K_m ——外墙的平均传热系数 $[W/(m^2 \cdot K)]$ ；

K_p ——外墙主体部位的传热系数 $[W/(m^2 \cdot K)]$ ；

K_{B1} ， K_{B2} ， K_{B3} ——外墙周边热桥部位的传热系数 $[W/(m^2 \cdot K)]$ ；

F_p ——外墙主体部位的面积 (m^2) ；

F_{B1} ， F_{B2} ， F_{B3} ——外墙周边热桥部位的面积 (m^2) 。外墙主体部位和周边热桥部位如图

2-2 所示。

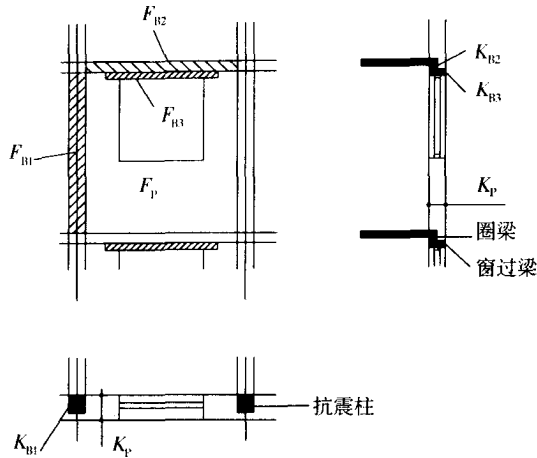


图 2-2 外墙主体部位和周边热桥部位示意图

2.1.4 节能设计步骤

2.1.4.1 建筑方案阶段，校核建筑物体形系数、窗墙面积比是否符合节能标准要求

(1) 建筑物朝向对太阳辐射得热量和空气渗透耗热量都有影响。在其他条件相同的情况下，东西向板式多层住宅建筑的传热耗热量要比南北向的高 5% 左右。建筑物的主立面朝向冬季主导风向，会使空气渗透耗热量增加。因此，建筑物朝向宜采用南北向或接近南北向，主要房间避开冬季主导风向。

(2) 体形系数是建筑物与室外大气接触的外表面积 F_0 。（不包括地面和不采暖楼梯间隔墙与户门的面积），与其所包围的体积 V_0 的比值。住宅建筑体形系数宜控制在 0.30 及 0.30 以下；若体形系数大于 0.30，则屋顶和外墙应加强保温，其传热系数应符合节能标准不同朝向的窗墙面积比表 2-5 要求。

(3) 窗墙面积比是窗户洞口面积与房间立面单元面积（即房间层高与开间定位线围成的面积）的比值。不同朝向的窗墙面积比不应超过表 2-5 中的数值。

朝向	窗墙面积比
北	0.25
东、西	0.30
南	0.35

2.1.4.2 围护结构设计

根据已选定的围护结构形式，计算各部分围护结构的传热系数，对于外墙，计算其平均传热系数，将计算结果与节能标准中规定的围护结构传热系数限值进行比较，若超过限值，应调整围护结构的构造，重新计算。

2.1.4.3 校核建筑物耗热量指标

将传热系数乘以该地区相应的传热系数修正系数，利用有效传热系数法计算建筑物耗热量指标，将计算结果与节能标准中规定的耗热量指标进行比较，当大于标准值时，应调整围护结构形式，从步骤二开始重新计算。虽然耗热量指标满足要求，但所采用窗户的传热系数比其限值低 0.5 及 0.5 以上时，也应重新确定外墙和屋顶所需的传热系数，以降低造价。

2.1.4.4 当部分围护结构形式已定，可以根据耗热量指标，通过计算选择其余围护结构的形式

附录一为一份建筑节能热工计算表格式样。

2.2 住宅室内热舒适度指标

2.2.1 影响人体舒适感的因素

人体本身是一个恒温调节系统，正常人的体表温度大约维持在 36.9 左右，人体散热必须和人体内新陈代谢过程中产生的热量平衡，人才感到舒适。人体散热有四种方式：传导、对流、辐射和蒸发水分的潜热。影响人体散热的因素有空气温度、相对湿度、空气流动速度、表面辐射温度四个因素。其中空气温度以对流热和辐射热形式影响人体散热，对人体影响最为明显；相对湿度影响人体汗液蒸发，当空气湿度增加，在高温时，由于排汗减少会增加人体热感觉，在低温时，则会因导热增加而加剧人体冷感觉；气流速度大时，由于提高了对流换热作用及传湿系数，致使对流和蒸发散热增强，加剧了空气的冷作用；周围表面温度决定着人体辐射热强度，同样条件下，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。人体舒适感除与这四个因素有关外，还与人体活动量和衣服热阻（衣着情况）有关。

2.2.2 室内温湿度标准

表 2-6 是国内外住宅室内采暖设计参数取值情况，表 2-7 是国内外住宅室内空调设计参数取值情况。

长期以来国内住宅冬季室内采暖计算温度偏低，这是考虑中国国情，从减少投资、降低能耗出发而选取的较低的舒适度标准。随着人民生活条件的改善，以及城乡人口结构逐渐步入老龄化，应适当提高室温标准。

国内外住宅室内采暖计算温度

表 2-6

规定出处	1			2				3			4			
	主要房间	浴室	厕所	卧室、起居室(厅)	卫生间(无洗浴)	卫生间(有洗浴)	走廊 楼梯间	卧室、起居室	厨房	卧室、起居室	浴室	厨房	厕所	
室内采暖温度(℃)	16~20	25	12	18	18	25	14	16~18	10~15	18	25	18	15	

注：1. 《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ 19—87)；

2. 《住宅设计规范》(GB 50096—99)；

3. 《民用建筑暖通空调设计技术措施》，顾兴莹，中国建筑工业出版社，1996；

4. 《实用供热空调设计手册》，陆耀庆，中国建筑工业出版社，1993。

国内外住宅室内空调计算参数

表 2-7

规定出处	房 间		冬季空调室内计算参数			夏季空调室内计算参数			新风量 [m ³ / (h·人)]
			温度 (℃)	相对湿度 (%)	风速 (m/s)	温度 (℃)	相对湿度 (%)	风速 (m/s)	
1	主要房间		18~22	40~60	≤0.2	24~28	40~65	≤0.3	
2	卧室、起居室		18~22	—	≤0.2	26~28	45~64	≤0.3	
3	公寓 卧室	高级	23	40	0.15	25	60	0.25	30
		一般	22	—	0.15	26	70	0.25	20
	公寓 起居室	高级	23	—	0.15	25	60	0.25	90
		一般	22	40	0.15	26	70	0.25	70
4	主要房间		18~20	30~50	—	27~28	50~70		

注：1. 《采暖通风与空气调节设计规范》（GBJ 19—87）；

2. 《民用建筑暖通空调设计技术措施》，顾兴奎主编，中国建筑工业出版社，1996；

3. 《实用供热空调设计手册》，陆耀庆主编，中国建筑工业出版社，1993；

4 日本常用设计参数（有关资料）。

厨房通常选取较低的计算温度，主要是考虑了炊事热量的影响，以及储藏蔬菜的需要。随着炊事用具改革，高效燃气灶、电热炊具、微波炉、电冰箱得到普及，炊事产热量大大减少，厨房作为储藏的功能减弱，室温也应相应提高。

住宅卫生间与公用厕所不同，居住者夜间衣着较少，卫生间应采用不低于卧室的室温标准，有洗浴设备且有集中热水供应的卫生间应按浴室标准 25 设计。随着家用洗浴设备的发展，居民大都自己在家解决洗浴问题，因此，即使没有集中热水供应系统，凡是有洗浴设备或者有条件设置洗浴设备的卫生间都应按 25 设计。

根据节能标准规定，在采暖期室外平均温度 -6 以下地区，楼梯间应采暖。

住宅夏季设置空调装置时，室温不宜取得太低，因为居住者既有成年人，又有老人和小孩，行动以坐和轻度活动为主。

综合以上因素，笔者认为住宅的室内计算参数宜按表 2-8 选取。

住宅室内计算参数

表 2-8

房 间	冬季 采暖 (℃)	冬 季 空 调			夏 季 空 调			新 风 量 [m ³ / (h·人)]
		温度 (℃)	相对湿度 (%)	风速 (m/s)	温度 (℃)	相对湿度 (%)	风速 (m/s)	
起居室	20 (18)	22	40	0.15	26	60	0.25	30
卧室	20 (18)	22	40	0.15	26	60	0.25	25
卫生间(无洗浴)	18	20						
卫生间(有洗浴)	25	25						
厨房	18	18						
楼梯间	14	14						

注：括号内数值为采用低温地板辐射采暖时的室温标准。

2.2.3 住宅室内噪声标准

表 2-9 是住宅室内噪声标准的有关规定。

住宅室内允许噪声级有关规定

表 2-9

出 处	房 间 名 称	允许声级 L_A (dB) 或噪声标准		
		一 级	二 级	三 级
(1)	卧室、书房 (或卧室兼起居室)	≤ 40	≤ 45	≤ 50
	起居室	≤ 45	≤ 50	
(2)	卧室、起居室	昼间 ≤ 50 夜间 ≤ 40		
(3)	住宅(公寓)卧室	NC(NR) 30		
(4)	公寓卧室	高级	NC30	
		一般	NC35	
	公寓起居室	高级	NC35	
		一般	NC40	

注：1. 表中噪声设计标准等级：

一级：较高标准；

二级：一般标准；

三级：最低标准；

2. 出处：(1) 《民用建筑隔声设计规范》(GBJ 118—88)；

(2) 《住宅设计规范》(GB 50096—1999)；

(3) 《民用建筑暖通空调设计技术措施》，顾兴莹主编，中国建筑工业出版社，1996；

(4) 《实用供热空调设计手册》，陆耀庆主编，中国建筑工业出版社，1993；

3. $L_A - NC(NR) - 5dB$ 。

住宅应有较高的安静要求，但是过于严格的噪声标准，不仅造价提高，实际工程也难以做到。《住宅设计规范》将噪声标准按昼夜分开，可以利用夜间低负荷时段采取降低空调设备风速等措施，容易满足要求，较为合理。

2.2.4 其他要求

1) 设有全空调的住宅室内宜设有组织的新风供给，新风量按起居室有少量吸烟，卧室无吸烟考虑，建议值列于表 2-7 中。

2) 住宅应考虑通风换气要求，详见本书第 5 章。

3) 住宅室内空气含尘量不宜超过 $0.30mg/m^3$ 。

2.3 住宅采暖热负荷计算

采暖热负荷计算方法和步骤在现行暖通规范和有关手册中均有详细论述，本书不再重复，仅就住宅采暖热负荷计算中应注意的一些问题进行说明，并给出采暖热负荷估算方法及估算指标。

2.3.1 多层住宅采暖热负荷计算

2.3.1.1 采暖热负荷与建筑物耗热量计算的区别

(1) 计算对象不同：建筑物耗热量针对整个采暖建筑，采暖热负荷针对采暖房间。

(2) 计算目的不同：建筑物耗热量显示建筑节能情况，采暖热负荷用来选择采暖设备（散热器、采暖管道、锅炉等）。

(3) 热量修正方法不同：围护结构的太阳辐射得热，建筑物耗热量是通过有效传热系数进行修正的，采暖热负荷是通过朝向系数修正的。

2.3.1.2 围护结构传热耗热量

计算住宅围护结构传热耗热量时应注意以下几个问题：

(1) 外墙传热系数应采用考虑热桥作用后的平均传热系数。

(2) 轻质墙体应结合供热制度进行修正。

(3) 贴土非保温地面根据计算精度不同可有三种计算方法：

1) 从外墙开始划分地带法；

2) 根据房间具有一面还是两面外墙，不同面积房间确定不同平均传热系数，详见《实用供热空调设计手册》；

3) 所有房间面积均按平均传热系数计算。

(4) 当房间地面沿外墙有供热管道地沟时，该房间可不计算地面耗热量。

(5) 不采暖地下室顶板必须采取保温措施，并计算其温差传热量。

(6) 封闭阳台内窗户及阳台门上部可按双层窗考虑。

2.3.1.3 附加耗热量

计算住宅围护结构传热耗电量的朝向修正、风力附加、外门附加时应注意以下几个问题：

(1) 冬季日照率小于 35% 的地区，主要是夏热冬冷区如湖北、湖南、江西、四川、贵州、浙江等地的部分地区。当这些地区冬季需要采暖时，其朝向修正率，东南、西南、南向宜采用 $-10\% \sim 0$ ，东、西向可不修正。

(2) 城市住宅小区一般不存在风力附加，独立式别墅需引起注意。

(3) 对于住宅，分户门一般开于楼梯间，阳台门也不认为是外门，且开启的频率均非常低，因此，一般情况下住宅不考虑外门附加亦不计算外门开启冲入冷风耗热量。但当住宅有直接对外的开门时，应计算外门附加。

2.3.1.4 冷风渗透耗热量

计算住宅冷风渗透耗热量时应注意以下几个问题：

(1) 冷风渗透量可采用换气次数法或缝隙法计算。

(2) 换气次数法仅限于多层住宅估算负荷时采用，换气次数可按房间有外窗或外门的围护结构面数确定，厨房开启抽油烟机、厕所开启排气扇的排风量不应作为计算耗电量的换气次数。

(3) 缝隙法计算冷空气耗热量需乘以不同朝向风压单独作用下的空气渗入量修正系数，当室外风速非常小时，热压作用的影响可能要大于风压作用，应根据实际情况决定是否考虑热压作用。

2.3.1.5 房间得热

(1) 房间内部得热（包括炊事、照明、家电和人体散热）可参照节能标准取 $3.8\text{W}/\text{m}^2$

建筑面积,但大部分时候,计算房间热负荷时不考虑内部得热。

(2) 对于上供下回的散热器采暖系统,应计算顶层干管散热量,以减轻上热下冷及水平失调现象。

2.3.1.6 间歇附加

一般情况下采用集中供热的住宅应按连续采暖设计,不考虑间歇附加系数,但当每天供热时间不足 16h 时应按间歇采暖设计。

2.3.1.7 户间传热

采用单户热源采暖系统的住宅,由于住户白天家中无人时,可能关小或关闭采暖系统,成为实际上的间歇采暖;当住户回家,又有使房间迅速升温的需求;当邻户因家中无人等原因而停止采暖,室温降低,户间隔墙存在温差传热,出现为其邻居“义务供热”的情况。

采用按户分环的分户计量的集中供热住宅,住户会按自己的需要进行调节或关断,并在需要时加强供热,迅速升温;当发生因邻户欠缴热费等原因而停止采暖,也会对本户产生影响。

因此,采用单户热源及按户分环的住宅的采暖热负荷应计算户间传热。户间传热量计算可参考 3.2.2 节。

2.3.2 高层住宅采暖热负荷计算

2.3.2.1 围护结构传热耗热量

围护结构外表面的传热主要由对流和辐射两部分组成,其中对流换热与室外风速有关,即风速愈大,传热愈快。风速的影响,对于多层建筑是通过垂直外围护结构附加 5%~10% 的风力附加系数进行修正的。但对于高层、超高层建筑来说,因室外风速随建筑高度的增加而加大,对耗热量的影响必须通过计算确定。

(1) 室外风速与高度的关系

$$V = V_0 (h/h_0)^n \quad (2-13)$$

式中 V ——高度为 h 处的风速 (m/s);

V_0 ——基准高度 h_0 处的风速 (m/s),通常指距地 10m,可按规范选用;

n ——指数,主要与温度梯度和地面粗糙度有关,对空旷地为 1/6 城郊区为 1/4~1/5 建筑群多的市区为 2/3,一般可取 0.2;

取 $h = 10\text{m}$, $n = 0.2$ 则高度 h 处的室外风速可表示为

$$V_h = (h/10)^{0.2} V_0 = 0.631 h^{0.2} V_0 \quad (\text{m/s}) \quad (2-14)$$

(2) 围护结构外表面放热系数和风速的关系

$$\text{当 } V \leq 5\text{m/s} \text{ 时, } \alpha_c = (5.0 + 3.4V) \times 1.163 \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \quad (2-15)$$

$$\text{当 } V > 5\text{m/s} \text{ 时, } \alpha_c = K \cdot V^{0.78} \times 1.163 \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \quad (2-16)$$

式中 V ——风速 (m/s);

K ——外表面粗糙状况系数,平滑表面 $K = 6.12$;普通表面 $K = 6.14$;粗糙表面 $K = 6.47$;

α_c ——对流放热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$]。

外表面总放热系数 α_w 为对流放热系数 α_c 与辐射放热系数 α_r 之和,一般可取

$$\alpha_r = 4.652 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}), \text{即 } \alpha_w = \alpha_c + 4.652 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \quad (2-17)$$

(3) 外围护结构传热系数随建筑高度的变化

外表面换热系数 α_w 的变化反映在围护结构传热系数 K 的变化。

对于热阻较大的外墙, α_w 的变化对 K 值影响不大, 但对于本身热阻很小的玻璃窗, α_w 增大, 会使传热系数显著增加。当风速为 3m/s 时, 外表面总放热系数为 22.33W/($\text{m}^2 \cdot \text{°C}$), 接近标准值 23W/($\text{m}^2 \cdot \text{°C}$)。当高度为 100m, 取 $n = 0.33$, 风速就增到 6.45m/s, 对流传热系数增大到 30.56W/($\text{m}^2 \cdot \text{°C}$)。总放热系数为 35.24W/($\text{m}^2 \cdot \text{°C}$)。对于双面抹灰 240 砖墙 (导热热阻 $0.34 \text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$) 传热系数从 2.0 W/($\text{m}^2 \cdot \text{°C}$), 变化为 2.07W/($\text{m}^2 \cdot \text{°C}$)。对于工程计算可忽略不计。而对于单层玻璃窗, k 值从 6.4W/($\text{m}^2 \cdot \text{°C}$) 增大到 7.0W/($\text{m}^2 \cdot \text{°C}$), 外窗传热耗热量相差 10%左右, 必须予以考虑。

2.3.2.2 冷风渗透耗热量

考虑风压和热压综合作用, 六层以上住宅冷风渗透量应采用缝隙法, 按下式进行计算。

$$Q_z = 0.278 C_p L_h l (t_n - t_w) \rho_w \quad (2-18)$$

$$L_h = m \cdot L_o \quad (2-19)$$

$$m = C_h [n + (1 + C)^b - 1] \quad (2-20)$$

$$C_h = (0.4h^{0.4})^b \quad (2-21)$$

$$C = 50 \frac{C_r (h_z - h)}{C_f h^{0.4} V_o^2} \cdot \frac{t_n - t_w}{273 + t_n'} \quad (2-22)$$

式 (2-18) ~ (2-22) 中:

Q_z ——综合考虑风压和热压综合作用时的冷风渗透耗热量 (W);

C_p ——空气定压比热, $C_p = 1.0 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{°C})$;

L_h ——位于高度 h 和任一朝向的门窗, 在风压和热压共同作用下产生的单位缝隙长度的渗透风量 (m^3/h);

l ——门窗缝隙长度 (m);

t_n 、 t_w ——室内外采暖计算温度 (°C);

ρ_w ——室外采暖计算温度下的空气密度 (kg/m^3);

m ——考虑计算门窗所处的高度、朝向和热压差的存在而引入的渗透风量综合修正系数;

L_o ——在基准风速 V_o 作用下单位缝长的空气渗透量 ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$);

C_h ——计算门窗中心线标高为 h 时的渗透空气量对于基准渗透量的高度修正系数 (当 $h < 10\text{m}$ 时, 按基准高度 $h = 10\text{m}$ 计算);

n ——渗透空气量的朝向修正系数;

h ——计算门窗中心线标高 (m);

b ——与门窗构造有关的特性系数, 对木窗 $b = 0.58$; 对钢窗 $b = 0.67$; 对铝窗 $b = 0.78$;

C ——作用在计算门窗上的有效热压差与有效风压差之比, 简称压差比;