

《方向性预测性情报的综合分析研究》

1983年度研究成果

第 14 号

提高住宅窗户节能效果的研究

中国建筑技术发展中心建筑情报研究所

一九八四年九月



本子项负责单位及人员

北京建筑工程学院

王永涵

卢桂菊

建筑科学研究院 建筑物理研究所

高锡九

谈恒玉

目 录

综合报告

一、住宅窗户耗能的现状.....	(1)
二、窗地比和窗墙比的合理选择.....	(2)
三、提高窗户保温性能.....	(4)
四、开发新型窗用材料.....	(5)
五、采取综合措施提高窗户节能效果.....	(7)
附表一 北京地区外围护结构(砖砌外墙)耗能综合计算表.....	(8)
附表二 北京地区外围护结构(大板外墙)耗能综合计算表.....	(9)
(附表一、二说明).....	(9)

分项报告

一、窗用新材料开发论证.....	(10)
二、供暖系统改革的分析报告.....	(13)
参考资料.....	(15)

提高住宅窗户节能效果的研究

综 合 报 告

一、住宅窗户耗能的现状

(一) 现 状

1、全国及北京市采暖住宅的建造量

对全国采暖住宅的总建造量没有精确的统计,据有关资料〔1〕,建国以来到1980年新建住宅67600万平方米,解放前的旧有住宅粗略推算为67900万平方米,1980年住宅竣工面积为8200万平方米,以此推算到1983年全国建国以来新建住宅约为92000万平方米,新旧住宅面积总和计约16亿平方米,其中采暖住宅面积按占总面积1/3估计约为5.5亿平方米,而近年来每年全国采暖住宅的建造量约为2700万平方米。北京市〔2〕据不完全统计,建国以来到1982年城镇建造住宅面积约4000万平方米,到1983年约建住宅4500万平方米,近几年来北京市每年住宅的建造量在400万平方米以上。

2、采暖住宅能耗 根据对各部门的调查分析材料,(见〔8〕〔4〕〔5〕)1978年我国民用耗能量占各部门能源消费总量的17.66%达10043万吨标准煤,采暖空调耗能量约占民用耗能的65%,其中空调是少数,估计各类建筑的采暖耗能量每年为5000万吨标准煤,而采暖住宅耗能量每年约为2000万吨标准煤,这与前面估计的全国采暖住宅建造量结合平均每平米耗煤量基本上也是相当的。

3、住宅窗户能耗 根据前述资料,门窗在采暖住宅中的热损失要占总热损失的40~50%,粗略估计窗户的能耗在全国采暖住宅中约为每年1000万吨标准煤,这个数字与国外资料对比并不大,苏联资料〔6〕分析。

窗户热损失为供暖空调总能耗的35~45%,美国资料〔7〕分析建筑物经窗户的热损失占全国能耗的5%,而我们的估计仅约占全国总能耗的1~2%。

4、住宅采暖单位面积能耗过大 除掉由于建造量的增加采暖能耗在逐年增加外,单位面积能耗比之国外也过大,根据资料分析〔8〕北京市采暖住宅,每年每平米平均耗煤量为23.3~24.1公斤,火炉采暖高达约每平米47公斤,沈阳哈尔滨采暖住宅分别为每平米25及45公斤。与国外相比,欧美十国住宅采暖空调全年能耗,每平米折合标准煤仅23.8公斤。由此数字分析,考虑我国空调用量少、采暖温度标准低等因素,我国房屋的每平米能耗要比国外类似温度的能耗大2.5~4倍,能源的浪费严重,而其中约有一半是由窗户损失掉的,窗户的节能必须引起我们足够的重视。

(二) 采暖住宅窗户能耗量大的原因何在?

1、窗墙比逐年增加 据对北京市部分住宅通用设计的调查统计〔9〕南居室窗墙比;1956年为1/5.4到1980年增加到1/2.37及1/3.47增加近一倍;北居室窗墙比;1956年为1/5.4到1980年为1/3.3~1/4.3增加~25~60%。东北辽宁地区调查〔10〕南居室窗墙比由1950年的19%增加到1980年的29~34%增加52~79%;北居室窗墙比由1950年的19%增加到1980年的21~39%,增加10~53%、加大了能耗量。

2、窗户保温性能差 建国初期华北、京津等地部分采用单层木窗部分采用双层

木窗,东北及严寒地区均为双层木窗,近年来由于木材缺乏,华北、京津均采用单层钢窗,东北及严寒地区也大部分采用双层钢窗,这些都加大了传热系数,增加了能耗。

3、窗缝不严,严重影响保温 由于窗的制作、检测、安装、施工、验收等等原因,再加上没有封缝措施,窗户的热损失很大,而这点往往为人们所忽视。

4、我国窗户的选型、用料、形式几乎是三十年一贯制,而且保温性能每况愈下。新窗型、新技术、新材料没有得到应用和研究,更谈不上发展,因此能耗日益增加,与国外差距愈来愈大。

根据以上分析,结合国内外经验,要提高采暖住宅窗户节能效果,必须集中精力研究以下三个方面问题:

- 1) 合理选择窗地比和窗墙比。
- 2) 提高窗户保温性能。
- 3) 开发新技术、新材料,探索窗户节能的新途径。

下面就以上三个问题加以论述。

二、窗地比和窗墙比的合理选择

前面提出的窗墙比逐年增加不是一两个城市和地区的问题,而是带有普遍性全国性的情况,而窗墙比的决定又和采光要求的窗地比密切相关,因此我们在这两方面作了一些粗浅的分析和计算,提出我们的建议。

(一) 窗地比选择

窗地比主要是介决居室的采光和日照问题,同时也要兼顾到居室视野和立面处理。但主要的还是采光,要使居住者获得必要的天然照度,对于南居室还有日照问题。我国“建筑设计资料集”^[11]提出,住宅居室的天然采光窗地比(指窗口总透光面积与地板面积之比)为 $1/8 \sim 1/10$,按我国现行“工业企业采光设计标准”^[12](该标准虽然是工业企业的,但民用建筑可作参考),参照

采光系数最低值,窗洞面积与地板面积之比可为 $1/6 \sim 1/10$ 。根据以上资料综合分析,居室的窗地比宜为 $1/6 \sim 1/8$,个别的也可达 $1/10$ 。而目前北京市通用设计一般居室均大于 $1/6$,带阳台的居室更大,达 $1/3.5 \sim 1/4$,建议根据不同窗墙比的要求,适当降低。

(二) 窗墙比选择

窗墙比直接影响着采暖能耗,因此应根据窗地比的合理要求,按不同地区正确选择窗墙比。由于大多数住宅都是南北方向的,同时受资料及时间所限,本文着重研究分析北京地区南北向居室的窗墙比,然后参照决定东西向居室。

1、南居室窗墙比:

(1) 从实际散热量分析 根据^[9]北京市在1981年1月对复外大街6号楼(实腹钢窗、浮石混凝土外墙)五天连续实测结果,五天的实际散热量(五天围护结构散热量之和减去五天太阳辐射而得热之和)及对比百分比数字如表1。

表1

窗墙比(%)	五天实际散热量 (千卡)	百分比(%)
26.3	31934	100
31.6	31612	99
37.9	30162	94.5

从表1数字看,窗墙比增加后虽然太阳辐射热得热增加但夜间散热也增加了,所以相对来说实际散热量减少不多。

我们按照南京气象学院提供的太阳辐射热资料结合北京地区气候及有关条件,按照外墙为370厚砖墙及单层钢窗的外围护结构计算,不同窗墙比的详细数字见附表一,其中实际散热量对比如表2。

表2

窗墙比(%)	实际散热量 (千卡/M ² 时)	百分比(%)
20	23.81	100
25	23.29	97.8
30	22.78	95.7
35	22.27	93.5
40	21.75	91.3

表 2 实际散热量的百分比相对数字, 基本与表 1 所列的实测结果是相符的。

如按外墙采用目前北京通用的浮石钢筋混凝土大板外墙及单层钢窗的外围护结构计算。不同窗墙比的详细对比数字如附表二, 其中实际散热量对比如表 3。

表 3

窗墙比 (%)	实际散热量 (千卡/M ² 时)	百分比 (%)
20	36.78	100
25	35.45	96.4
30	34.13	92.8
35	32.81	89.2
40	31.48	85.6

时, 回收期均在三十年以上, 这里由于窗墙比增加而增加的钢材及玻璃的材料能耗增加尚未计算在内。因此我们认为在北京地区从全面技术经济分析研究, 窗墙比一般不宜大于 30%, 宜控制在 25% 左右, 现行通用设计部分为 25~28% 是可行的, 而有阳台的居室, 阳台门连窗增加面积较多, 应采取有效节能措施并压缩窗墙比。至于大板外墙, 从附表二可以看出, 由于当前大板造价比砖墙高出 3.7 倍, 比单层钢窗还要高出 10%, 而传热系数却比砖墙大 60%, 这样就造成窗墙比越大越经济和越节能的不正常现象。大板保温效能应提高到与 370 砖墙相当的水平, 这是北京地区的最低要求, 而大板造价高也是当前机械化施工的不正常现象。如把这些加以改进的, 也就接近前面分析的窗墙比的情况, 其结论也仍然是合适的。

2、北居室窗墙比:

从表 3 数字来看, 同样也是随着窗墙比的增大而实际散热量稍有减少, 相对数字与表 1 所列实测结果也是基本相符的。

(2) 从能耗、费用、造价分析 从附表一分析, 以目前常用的窗墙比 25% 为基准, 则对于北京地区 370 砖外墙及单层钢窗的外围护结构对比如表 4。

从表 4 几项数字的分析, 对于南居室窗墙比的选择, 对于北京地区, 当窗墙比增加时虽然外围护结构实际散热量有所减少, 但减少的幅度很小, 也就是供暖各项费用的减少也很小, 而窗的造价却增加较多, 因而回收期大大加长, 以上表为例当窗墙比大于 25%

表 4

窗墙比 %	每 M ² 建筑面积能耗		供暖各项费用		外围护结构造价		回收期 (年)
	(标准煤 公斤/M ² 年)	对比 25% 节煤 (公斤)	元/M ² 年	对比 25% 节约 (元)	元/M ²	对比 25% 增加 (元/M ²)	
20	4.87	-0.11	4.11	-0.09	37.10	-3.06	—
25	4.76	—	4.02	—	40.16	—	—
30	4.67	0.09	3.93	0.09	43.20	3.04	33.8
35	4.56	0.2	3.85	0.17	46.26	6.10	35.9
40	4.44	0.32	3.76	0.26	49.30	9.14	36.1

(1) 从实际散热量分析; 同南居室一样 根据〔9〕五天的外围护结构实际散热量及对比百分比数字如表 5。

表 5

窗墙比 (%)	五天散热量 (千卡)	百分比 (%)
26.3	9785	100
31.6	10305	105.3
37.9	10962	112

从表 5 数字看随着窗墙比的增加, 实际散热量也有较大的增加。

我们按照不同窗墙比的增加, 进行了如南居室相同的对比计算, 见附表一, 实际散热量对比如表 6。

表 6

窗墙比 (%)	实际散热量 (千卡/M ² 时)	百分比 (%)
15	37.90	90.4
20	41.92	100
25	45.94	109.6
30	49.95	119.2

从表6数字来看,随着窗墙比的增大实际散热量也增大,与实测情况是相符的。

(2)从能耗、费用、造价来分析 从附表一、二看,对于北京地区每平米年建筑面积的能耗及供暖费用都随着窗墙比的增加而增加,对于外围护结构每平米造价砖墙也是增加的,大板外墙由于前述的不合理情况而有稍许下降。因此对于北向居室窗墙比越小越经济,在北京地区一般不宜大于20%,宜控制在15~20%之间。现行部分通用设计宜适当减小。

3、东西向居室窗墙比 东向居室可参照南居室适当减小,比北向稍大。西向居室可参照北向居室适当增加。还要考虑夏季日晒及冬季西北风的影响,因地制宜。

4、以上都是分析北京地区的情况,由于时间所限不能对全国所有采暖地区进行分析,但计算方法及分析对比方法是相同的。有待今后作进一步的验算。同时当采用综合节能措施后以上推荐数值还可适当调整。

三、提高窗户保温性能

提高窗户保温性能,牵涉到多方面的问题,我们认为主要应集中研究两个问题,一是窗的选型,二是提高窗户的气密性,此外还应提出目前存在的制作与施工质量问题。

(一)窗的选型

窗型选择是窗户耗能的关键,关系到多方面的问题,但主要是要推荐传热系数小,能逐步推广,有发展前途的新窗型。与此同时要对现用钢窗木窗提高其保温性能。

1、积极采用并推广塑料窗;塑料窗在我国应用范围很小而且没有定型成批生产,但在国外早已经生产定型是比较成熟的窗型。从各方面条件分析,建议在我国应该逐步大量推广塑料窗并开展多种窗型的研究,以便在严寒地区使用,理由是:

(1)传热系数小 窗框材料直接影

响传热系数,据有关资料^[13]单层单玻璃窗 $K=5.8$ (有的资料为5.5)而单层单玻璃塑料窗为 $K=4.2$ 可减少传热量27.5%,外国已在大量采用双玻三玻塑料窗,如加以引进研究采用则传热系数可降至 $K=2.0\sim 2.2$ 甚至更小,则可减少传热量62~65%以上。

(2)耗能少 生产塑料比钢、铝耗能都少,据介绍^[14]生产1立方米聚氯乙烯只需生产1立方米铝能量的1/8.8和生产1立方米钢能量的1/4.5,所以采用塑料窗从耗能上是经济的。制作钢窗平均每 M^2 需100度电而塑料窗则平均只有50度电,耗能减少50%。

(3)耐用、维修方便、性能好 耐用年限一般比木窗高,比钢窗易于维护,建成后一般10~20年不需维修,防水、防雨、防风、隔声性能都比钢窗木窗好。

(4)有一定生产使用经验 目前我国已有30多家工厂少量生产单层塑料窗,并在一些单位使用,掌握了一定生产制作和使用经验。

(5)资源开发条件 我国塑料资源丰富,发展迅速,但制造使用发展并没有跟上,有相当积压量,如1979年聚氯乙烯生产量33万吨,积压6万吨,1980年积压10万吨,要解决我国聚氯乙烯积压,必须大力开发建筑塑料制品,国家科委已对建筑塑料列有七项重点科研项目,塑料门窗就是其中一项,目前已在积极开展试验、试制、研究,这是一个十分有利的条件。

(6)价格 从国外对比数字来看,塑料窗价格比钢窗、铝合金窗都要低,而我国据初步了解比钢窗相近甚至还要高,主要是塑料原料订价不够合理,如日本聚氯乙烯市场价格与生产成本之比为1.05~1.10:1而我国则高达1.5~1.8:1,因而从长远来看价格是会降下来的。

(7)易于大规模成批生产 塑料窗框可以采用挤压成型流水线生产,当试制定型后可以大批量生产,更可降低价格。

(8) 塑料窗存在的温度变形较大、强度较差等可以通过不同窗型断面及加入强度较大的窗芯材料来解决, 外国已有许多成功经验可以借鉴。

从以上理由看, 建议首先在华北、西北地区中的不太寒冷地区如北京、天津、西安、等地积极采用并推广单层玻璃塑料窗, 然后在东北等寒冷地区采用双层及三层玻璃塑料窗。

2、增加玻璃层数 国外节能规范中除了规定窗的传热系数要求外, 普遍要求采用2~3层玻璃的窗扇, 因为窗框材料固定以后, 玻璃层数就成为关键。从传热系数来看一般增加一层玻璃加上一个空气层约可减少50%的传热量。这点在国外是很重视的, 几乎各种单层窗框材料都有相应的2~3层玻璃的成品窗。而我国还是一个空白, 现在要用双层窗就是两个单层窗扇组合, 材料耗费大而价格也高, 是极不合理的。应该重点研究钢、塑料的单扇双玻窗并逐步推广采用, 这是一项很有价值的课题。

3、玻璃钢保温窗 就是采用多层玻璃纤维布用树脂粘合而形成强度很大的空心窗框。它的特点是强度高, 重量轻, 保温性能好。目前少量在火车车厢上采用。据向北京玻璃钢研究所北京251厂了解, 他们承包的火车厢玻璃钢保温窗每套50元(出厂价)合每平米约80元左右, 基本与单层钢窗相同, 但传热系数约要降低20~30%, 而且可以任意成型。在我国南方有些城市已在开展研究应用, 但尚未得到推广。应进一步研究机械成型工艺, 以及树脂老化问题, 但这项工作尚未得到开展。

(二) 提高窗户气密性

提高窗户的气密性也就是减少窗户的缝隙热损失, 对这个问题在我国还没有引起足够的估计和认识, 因此实际上大量热量是通过缝隙跑掉的。据有的资料^[5]估计约占建筑物热损失的13~15%, 如减少渗漏可节约

10%能耗。

美国N·E·Hager等人^[7]对此作了较细致的测定和计算, 当采用单层钢窗无密封措施时钢窗部分传热系数为 $K=5.61$ 而缝隙渗漏换算成传热系数 $K=9.27$, 占钢窗总传热量的62.3%, 比钢窗部分传热系数大1.65倍。资料^[13]提出当窗前二级风时, 空腹钢窗无密闭条时渗透量为 $40.5\text{m}^3/\text{时}$ 而加密封条后渗透量为 $15.5\text{m}^3/\text{时}$, 减少62%。因此, 必须引起我们足够的重视, 采取有效措施提高窗户的保温气密性。目前我国各地都采用了不少简便可行的封缝材料也进行了一些新型材料的研制试验, 需要加以鉴定总结, 成为较可靠的商品出售, 或随窗制作安装, 才能得到保证。封缝材料介绍详见分项报告。

提高窗户气密性还要在检测指标上予以规定, 国外节能法规中对窗缝允许漏风量作了许多极为严格的规定指标, 我国在“热工规程”初稿中也规定了窗缝允许渗透量的数值, 这些都将为提高窗户气密性提供保证, 是一项非常重要的工作。

(三) 重视制作施工质量

我国近年来钢窗生产发展迅猛, 据了解全国不完全统计有一千二百多个钢窗厂, 属于各个部门甚至有些是属于乡一级或专业户个体经营的, 加之国家没有统一的检验测试手段, 检验制度又不健全, 因此钢窗(因数量特别大而问题严重突出)的制作质量很差, 再加上出厂后的运输、堆放、吊装、安装等一系列的不文明生产过程, 钢窗普遍变形严重, 缝隙更大, 这就严重影响保温性能。因此必须加强制作检验制度及测试手段, 强调文明施工, 才能达到提高窗户保温性能的目的。

四、开发新型窗用材料

从采暖住宅窗户的传热、耗能等情况全面分析, 当前很重要的是要解决夜间散热量过大及窗户缝隙耗热量问题, 要研究切合国

情轻便简易可行的新型窗用材料,经过试制、试验、鉴定,逐步推广采用。现在推荐开发研究以下几项新型窗用材料。

(一)玻璃上采用二氧化锡涂层 据有关资料介绍,^[15]在玻璃上采用二氧化锡涂层是一种比较理想的透过性涂层,可用物理和化学方法制备。物理方法有真空蒸发、阴极溅射,射频溅射等,化学方法有气相沉积,水解法等。其中水解法工艺简单,成本低并容易作到大面积成膜,可以广泛应用。从光学性能来说,涂层在可见与近红外区域的透过率可达80%以上,而反射率则随波长增加而增加,一般在4~15微米以上基本可达70%不变,如将这种涂层涂于窗玻璃内侧,在白天可充分进阳光而夜间可减少室内向室外的热辐射,正是我们采暖住宅较为理想的涂层,但现在尚无人进行专门针对性的研究。目前仅少量用于太阳能灶及某些光学仪器上。建议加以开发研究后作为成品玻璃经售,这样更易于推广应用。

(二)涂层塑料薄膜 1982年在英国召开的建筑节能国际会议上提出了不少研究论文,其中英国卢堡(Loughborough)工业大学R·P·Howson等人^{[16][17][18]}发表了一系列关于在塑料薄膜上采用比较理想的选择性透过涂层的试验研究报告,他们研究的主要目的就是使透明塑料薄膜经过物理或化学方法镀膜后达到对可见光有很大的透过率而又对辐射光有很大的反射率以减少夜间散热而白天又有充足阳光。他们具体研究了铟、铟-锡、锡-锡氧化及金属镀膜,经多次光学性能试验,可见光波长区最高透光率可达80%以上,而反射率则随光波长增加而增加,试验到1~12微米范围内可达75~90%,可将此薄膜用特别的框子附于窗户内侧或贴附于玻璃内侧,则可达到如普通玻璃一样,白天充分进入阳光而夜间可以减少室内散热量。他们还做了传热系数值试验,当采用单层玻璃内侧放置涂层薄膜时K值可

由5.2降至1.72,当将涂层薄膜置于双层玻璃之间时,K值可由2.8降至1.08,散热量可减少62~67%,这是一个极为可观的数字,是一个极为有效的节约途径。这种涂层薄膜在国内为了作仪器包装导电型用曾作过类似试验,据向研究单位清华大学及北京市塑料研究所了解,采用铟真空镀膜透光率可达85%,反射率在80%以上,但初步估算成本较高,其成本高的主要原因是无专用设备,未采用大规模流水作业,且塑料的价格定价较高的原故。详见分项报告。

在美国近年来也生产了类似商品名为“Scotch tint”P-19型^[19]涂有极薄铝膜的聚酯塑料薄膜,将它贴在窗玻璃上,由于铝层极薄,并不影响窗的采光效果,冬天,薄膜能减少窗户向室外的热辐射,因而增强了窗户的保温性能,几乎等于装上了双层玻璃,对节约能源有良好效果,但未获得详细资料。国内上海能源研究所也试产过真空镀膜铝薄膜,造价约10元/M²左右,且透光率较低,其他光学性能不详。

我们认为这项新材料在使用上是简便可行对新旧窗户均适用,是极有发展前途的新型窗用节能材料,在国内已有若干单位有试制试验的条件,但尚缺少专人进行针对性的试制试验鉴定而在窗户上加以应用,我们对这项新技术寄以期望,希望得到有关单位的支持能够行动起来。

(三)铝箔隔热窗帘 铝箔是一项很有效的绝热材料对太阳及其他辐射热有极大的反射作用,采用铝箔隔热窗帘是将铝箔贴于玻璃纤维布或布质材料内侧或内外侧,可置于窗户内外侧或双层窗的中间,可增加窗热阻,夏季隔热、冬季保温,还可采用卷状或折叠状设计,据有关资料^[20]试验单层玻璃K=5,加一层铝箔布帘后其K值为1.35,提高2.7倍,双层玻璃K=2.38中间加一层铝箔布帘后其K值为0.93提高1.5倍,减少能耗的效果是很明显的。存在的问题是铝箔

贴附的耐久性, 沾上灰尘后的有效性以及设计构造上的问题, 在实践中很少使用, 更无人进行针对性研究, 因此多年来仅停留在少数人的理论探讨上和少量保温试验上, 有待于作为专题进行研究。

(四) 新型密封材料 目前我国不少单位都在研制生产各种形式材料的密闭条, 过去较多采用普通橡胶和氯丁橡胶泡沫密闭条, 但由于价格较贵, 近年来有被泡沫塑料制品取代的倾向, 如聚氨酯泡沫塑料条、聚乙烯泡沫塑料条、软质聚氯乙烯塑料条等, 而且大多为自粘型(即带有粘胶可以方便粘贴于窗缝上), 使用简便, 价格便宜。但这些塑料制品密闭条大多存在材质较疏松、机械强度较差等问题, 经过试验有些问题不难改进。除了继续研制氯丁橡胶泡沫密闭条作为较永久固定的窗用封缝材料外, 特别对于已建窗户更适于采用塑料泡沫密闭条制品。且价格便宜按每平方米窗户面积来估计仅及氯丁橡胶泡沫密闭条的 $1/5 \sim 1/10$ 。因此采用泡沫塑料制品密闭条有极广阔的发展前途。详见分项报告。

五、采取综合措施提高窗户节能效果

根据以上对几个问题的综合分析, 我们认为要提高住宅窗户的节能效果仅靠一两种办法是难以见效的, 必须采取综合措施, 并根据各地区的不同情况, 分期分批的加以实现。有些措施还要先进行专题研究, 经过技术鉴定、重点试用, 然后才能推广应用。

(一) 近期采取的措施

1、对已建成住宅 对西、北向窗采用简便易行且较为耐用的贴附型封缝材料, 减少热损失。对南窗可逐步试用涂层热反射塑料薄膜, 可先采用附贴于窗玻璃内侧的办法, 取得经验后推广。

2、对新建住宅 对西、北窗要尽量合

理选择降低窗墙比, 在京津地区试用单层塑料窗, 采取积极有效简便耐用的封缝措施。对南窗要选择合理窗墙比, 采取措施防止夜间散热, 逐步采用涂层薄膜及隔热窗帘。

采取以上综合措施后, 估计可节约能耗20%以上。

(二) 中期采取的措施

1 对已建成住宅 对西、北窗结合维修逐步调换单层塑料窗试用双玻塑料窗, 装设涂层薄膜或隔热窗帘。南窗装设涂层薄膜或隔热窗帘, 逐步调换塑料窗。

2 对新建住宅 西、北窗采取合理窗墙比, 在华北、西北地区逐步推广单层玻璃塑料窗, 试用双玻塑料窗。南窗推广采用涂层薄膜或隔热窗帘。所有窗户要严格出厂质量, 进行各项检验测试, 并采取有效封缝措施。

采取以上综合措施后, 估计可节约能耗30~40%以上。

(三) 远期采取的措施

在已制定全国节能法规基础上, 严格按照节能法规办事。普遍采用单层双玻三玻塑料、钢及铝合金窗。普遍采用以上所介绍的各项节能新技术新材料, 相信窗户节约能耗至少可在50%以上。全国仅就窗户一项可在采暖住宅中节约500万吨标准煤加之其他建筑窗户节能可达1000万吨标准煤以上。因此窗户节能意义十分重大。

(四) 进行供暖系统的改革

目前采暖住宅普遍采用低温连续供暖, 南北居室采用一个管道系统, 同时停止或供暖。这样就形成南居室温度很高甚至要开窗降温, 而北居室温度较南居室低 $1 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 甚至更低。这里有设计计算上的问题, 但我们认为重要的是要进行供暖系统的改革, 建议采用南北居室分管道系统供暖, 由供热点集中控制甚至将来还可以采取电子自动控制温度调节。这样在外线上要增加一些管道, 在内线上并不一定增加管道, 但可以达到南北居

室温度均匀相近，更重要的可以达到节能的目的，初步估算仅此一项在采暖住宅上就可节约约15~30%煤耗。因此是一项十分有意义的建议，具体意见详见分项报告。

(五) 重视经济效益，实行节能政策

长期以来，采暖能耗和费用，并不为每个住户所关心，因此在管理上能耗也比较大如南居室开窗降温、不愿采取管理维护费事的装置等等。当前对于市售门窗保温密闭条很受欢迎也主要从防止冷风提高室温出发，并未与节能挂钩。建议采用耗热量计量装置，先对每个供暖区或每个单位进行能耗计量，将来发展到热力表到户，使人人感到节能与个人利益切身相关，而来关心节能，再加以有力措施。这样才能使节能措施和效果深入人心。

以上是我们对于提高住宅窗户节能效果的一些粗浅研究，作为这一项专题研究的一个开端。由于课题要求及时间所限，文中主要是针对采暖住宅。对于非采暖住宅、采暖的其他建筑、空调建筑、农村住宅、太阳能利用等有关窗户节能均未涉及，但文中某些建议措施或许是可以应用的，留待以后作进一步的研究和探讨。

[附表一]

北京地区外围护结构(砖砌外墙)耗能综合计算表

居室朝向	序号	窗墙比 (%)	面 积		散 热 量			实 际 散 热 量		1 m ² 外 围 护 结 构 耗 热 量		1 m ² 建 筑 面 积 耗 热 量		供 暖 各 项 费 用 (元/m ² 年)				外 围 结 构 造 价			备 注
			窗 (m ²)	墙 (m ²)	窗 (千卡/时)	墙 (千卡/时)	共 计 (千卡/时)	窗 (千卡/时)	共 计 (千卡/时)	窗 (千卡/时)	共 计 (千卡/时)	窗 (千卡/年)	标 煤 (公斤/年)	设 备 费	运 行 费	燃 料 费	共 计	窗 (元)	墙 (元)	共 计 (元/m ²)	
南 向	1	20	0.20	0.80	21.23	20.69	41.92	3.12	23.81	70858.56	18423.33	4.87	0.397	0.476	3.238	4.11	17.18	19.92	37.10		
	2	25	0.25	0.75	26.53	19.40	45.93	3.89	23.29	69311.04	18020.87	4.76	0.388	0.466	3.168	4.02	21.48	18.68	40.16		
	3	30	0.30	0.70	31.85	18.10	49.95	4.68	22.78	67793.28	17626.25	4.67	0.379	0.456	3.098	3.93	25.77	17.43	43.20		
	4	35	0.35	0.65	37.15	16.81	53.96	5.46	22.27	66275.52	17231.64	4.56	0.371	0.445	3.029	3.85	30.07	16.19	46.26		
	5	40	0.40	0.60	42.45	15.52	57.97	6.24	21.75	64728.0	16829.28	4.44	0.363	0.435	2.958	3.76	34.36	14.94	49.30		
北 向	1	15	0.15	0.85	15.92	21.98	37.90	/	37.90	112790.4	29325.5	7.76	0.631	0.758	5.155	6.54	12.89	21.17	34.06		
	2	20	0.20	0.80	21.23	20.69	41.92	/	41.92	124753.9	32436.01	8.57	0.699	0.838	5.701	7.24	17.18	19.92	37.10		
	3	25	0.25	0.75	26.54	19.40	45.93	/	45.93	136717.44	35546.53	9.41	0.766	0.919	6.248	7.93	21.48	18.68	40.16		
	4	30	0.30	0.70	31.85	18.10	49.95	/	49.95	148651.2	38649.31	10.22	0.833	0.999	6.793	8.63	25.77	17.43	43.20		

北京地区外围护结构(大板外墙)耗能综合计算表

序 号	窗 墙 比 (%)	面 积		散 热 量				窗得热 (千卡/ 时)	实际散热量		1 m ² 外围结 构能耗 (千卡/m ² ·年)	1 m ² 建筑面 积能耗 (千卡/m ² ·年)	供暖各项费用(元/m ² ·年)				外围结构造价			备 注		
		窗 (m ²)	墙 (m ²)	窗 (千卡/ 时)	墙 (千卡/ 时)	共计 (千卡/ 时)	窗 (千卡/ 时)		墙 (千卡/ 时)	窗 (元)			墙 (元)	共计 (元/m ²)	设备费	运行费	燃料费	共计				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
南 向	1	20	0.20	0.80	21.23	33.66	54.89	18.11	3.12	36.78	109457.28	28458.89	7.39	0.613	0.736	5.002	6.35	17.18	74.20	91.38	大板造价 92.75元/m ² K = 2.18	
	2	25	0.25	0.75	26.53	31.56	58.09	22.64	3.89	35.45	105499.20	27429.79	7.12	0.591	0.709	4.821	6.12	21.48	69.56	91.04		
	3	30	0.30	0.70	31.85	29.45	61.20	27.17	4.68	34.13	101570.88	26408.43	6.86	0.569	0.683	4.642	5.89	25.77	64.93	90.70		
	4	35	0.35	0.65	37.15	27.35	64.50	31.69	5.46	32.81	97642.56	25387.07	6.59	0.547	0.656	4.462	5.67	30.07	60.29	90.36		
	5	40	0.40	0.60	42.45	25.24	67.70	36.22	6.24	31.48	93684.48	24357.97	6.33	0.525	0.630	4.281	5.44	34.36	55.65	90.01		
北 向	1	15	0.15	0.85	15.92	35.76	51.68	/	51.68	153799.68	39987.92	10.39	0.861	1.034	7.029	8.92	12.86	78.84	91.70			
	2	20	0.20	0.80	21.23	33.66	54.89	/	54.89	163352.64	42471.69	11.03	0.915	1.078	7.466	9.46	17.18	74.20	91.38			
	3	25	0.25	0.75	26.54	31.56	58.09	/	58.09	172875.84	44947.72	11.67	0.968	1.162	7.900	10.03	21.48	69.56	91.04			
	4	30	0.30	0.70	31.85	29.45	61.20	/	61.20	182131.2	47354.11	12.30	1.02	1.224	8.322	10.57	25.77	64.93	90.70			

〔附表一、二〕说明

计算条件

1、砖墙厚370毫米, $K=1.34$ 千卡/平米·时℃大板墙厚300毫米, $K=2.18$ 千卡/平米·时℃。

2、室内计算温度18℃, 室外冬季平均计算温度-1.3℃。

3、太阳直射透过单层玻璃的热量, 由南京气象学院提供, 按北京地区采暖期(11月15日至3月15日)日平均值为113.19千卡/平米·时, 单层钢窗遮挡系数为0.8, 未考虑墙厚遮挡, 实际透过单层钢窗玻璃的热量为 $113.19 \times 0.8 = 90.55$ 千卡/平米·时。

4、供暖设备费: 0.25元/千卡·时, 折旧年限15年, 表中系按实际总散热量 $\times 0.25 \div 15$ 取得。

5、供暖运行费: 单位热负荷年经营费用为0.02元/千卡·时, 按实际总散热量 $\times 0.02$ 取得。

6、供暖燃料费: 按我国出口煤价计每吨标准煤160元, 供暖系统效率取0.55, 则有效热价格为每平方米外围护结构能耗 $\times 4.57 \times 10^{-5}$ 取得。

注: 以上计算条件中4、5、6系根据参考资料〔21〕。

分 项 报 告

一、窗用新材料开发论证

(一) 密闭条

提高窗户的密闭性能是一项十分有效的节能措施。我们知道,从窗户散失热量主要有两个途径:一是通过整个窗户平面的热传递;二是通过窗缝的空气渗透。我们根据空腹钢窗空气渗透量的实测结果,对通过窗缝的耗热量进行了估算。见表1

通过单层空腹钢窗缝隙的空气
渗透耗热量(大卡/时) 表1

窗 户 类 型	窗 前 风 速		
	1米/秒	2米/秒	3米/秒
空腹钢窗(不加密闭条)	63	134	221
空腹钢窗(加密闭条)	26	53	80

从表1可以看出,随着窗外风速的增加,由窗缝空气渗透所带走的热量增加得很快。同时可以明显地看到空腹钢窗加设密闭条后,耗热量减少到不加密闭条时的百之四十左右。

表2列出了空腹钢窗有无密闭条时的不同渗透量和换气次数,同样说明了加设密闭条的效果。

当窗前来六级风(相当于风速从10.8~13.8米/秒的范围)如果不加设密闭条,换气次数可达每小时五次以上,这时,室内大量热量被渗透风带走,室温下降,耗能量大且对人体健康十分不利。因此无论从建筑节能还是从居室卫生的角度出发,窗户密闭措施亟待解决。

表2中的换气次数是在居室体积为36立米的条件下计算的。并未考虑居室的内部阻力。

表 2

密闭状况	窗前二级风时		窗前六级风时	
	渗透风量 (米 ³ /时)	换气次数 (次/时)	渗透风量 (米 ³ /时)	换气次数 (次/时)
空腹钢窗 (不加密闭条)	40.5	1.1	186	5.2
空腹钢窗 (加密闭条)	15.5	0.43	63.6	1.8

需要说明的是:目前在室内没有其他通风措施的情况下,从卫生换气的角度出发,窗户并不要求绝对地密封。我们采取气密措施的目的是要减少超过卫生换气要求的通过窗缝渗透量,使之不致消耗过多的能量,以及消除在大风天气造成房间过冷现象。

提高窗户密闭性的主要手段是在窗缝的适当部位设置密闭条,这方面的研究工作在许多地处寒冷地区的国家,开展得比较早,但历史也并不长。早期用的是毛毡和棉绳之类的有机纤维密闭条。近期采用合成橡胶、泡沫塑料制的自粘型密闭条以及软质聚氯乙烯挤压成型的密闭条。挤压成型的断面有管状、角状多种形式,安装方式分为嵌入、加钉以及自粘等。从抗老化性能来看,多孔性合成橡胶比聚氯乙烯优越,但聚氯乙烯价格低,因此两者使用得都很广泛。

我国近年来亦有不少单位开展密闭条的试制工作。采用的材料有:普通橡胶、氯丁橡胶(合成橡胶的一种)、聚氨酯泡沫塑料、聚乙烯泡沫塑料、软质聚氯乙烯等。有用片材切割成矩形断面的,也有挤压成各种断面的型材。

目前生产橡胶密闭条的工厂很多。如:

北京香山盲人化工厂、北京橡胶六厂、天津新华橡胶厂、青岛橡胶厂、上海橡胶六厂等。定型产品以普通橡胶为主。一般断面较大,用镶入法安装。参考价格为:园形0.9~2.16元/米,其他形状1.0~2.94元/米。在一般居住建筑中尚不能普遍采用。

最近各地均在研究新产品,一般断面都比较小,不少已采用自粘方式安装。即在密闭条的一面预先涂上胶,使用时,往窗框上粘贴,十分方便。

如:沈阳钢窗厂和橡胶四厂试制的氯丁橡胶泡沫密闭条,由挤压成形、质地柔软、弹性较好。价格尚未确定、由于断面小、用料省,有可能控制在0.5元/米以下。

又如:北京市南郊红星修配厂生产的高压聚乙烯泡沫塑料密闭条属闭孔型,由片材切割成矩形断面。质轻,每立方米重量为40~45公斤。体积吸水率为0.6%。断面为4毫米×8.5毫米规格的密闭条价格为0.15元/米。

北京化工研究院正在研制聚氯乙烯密闭条。可以挤压成各种断面形式。聚氯乙烯在我国目前有积压,因此货源十分充足价格低于一般橡胶密闭条。

此外还有哈尔滨、沈阳、北京等地生产的聚氨酯泡沫塑料密闭条。天津的泡沫橡胶密闭条等新产品。价格都较便宜。

总之,各种类型的密闭条发展很快。随着我国石油化工工业的发展,成本可以进一步降低,如能组织力量进一步研究、鉴定各类密闭条的性能,改进其断面,提高其质量,使之标准化,加以推广应用必能取得可观的节能效果。我们预测,除泡沫橡胶和泡沫塑料密闭条外,软质聚氯乙烯密闭条因原料充足、价格便宜、又能挤压成符合各种要求的断面,是一种比较有开发前途的窗用密闭材料。

(二) 高反射率的涂层塑料薄膜

如欲大幅度提高窗户的保温性能,除了

加设密闭条和改进窗的选型等几种措施以外,则需要开发新型镶嵌材料。这种新材料应具有高透明度,高红外反射率和低放射率。目前国外已在研制推广涂层塑料薄膜作为窗户镶嵌材料:国内在别的技术领域亦已开始研制,现分述如下:

国外以塑料薄膜为基底的镀金属或氧化膜材料种类繁多,现举较为成熟的一种介绍如下:

1、工艺

利用真空喷镀方法,即在真空条件下,利用喷涂鼓形装置将金属或其氧化物镀于由滚筒传送的塑料薄膜上,工艺简单易行。这种工艺正式名称为“平面磁控管活性阴极真空喷镀”(Plannar magnetron reactive sputting),为将铜、铜/锡或锡/锡氧化材料喷镀于塑料薄膜上,使其具有实用性的热反射性能。这是一种快速喷镀工艺。两米宽的塑料薄膜可以每分钟100米的速度进行喷镀。其成品每平米价格不到一英镑。经实用证明平面磁控管喷镀法有很大发展前途。利用这种工艺可将多种材料制成均匀涂层。这种工艺要求在具有精心控制的氩和氧的气体环境中进行生产。材料宽度亦易于扩大。其薄膜可为导体亦可为绝缘者。

2、材料性能

(1) 热工性能:镀膜具有高红外线反射率和低放射率,同时还保持了作为窗户镶嵌材料的重要性能——透明性。可大幅度降低辐射热的传递。如将其悬于单层玻璃窗的里侧,其传热系数值可由5.2[千卡/平米·度·时]降到1.72[千卡/平米·度·时],仅为原有值的1/3左右。如将其悬于双层玻璃之间,其传热系数可降到1.08[千卡/平米·度·时]。

其保温机理为:单层玻璃的保温性能主要依靠里外两侧外表面上空气层热阻,其热流的传递方式主要为自然对流和辐射传热,其中辐射部分约占两层玻璃传热量的2/3。而涂层塑料薄膜有高红外线反射性能,故可

大幅度降低窗户的传热系数值。

(2) 耐化学和机械性能: 当金属镀膜暴露在外界受到化学污染时, 特别是指印的污染, 其质量易于受损。不过氧化物镀膜则可经受多种气候因素的长时间的作用, 而其性质却无明显变化。

氧化膜具有颇为耐磨的特性。由于高导电性, 可通过接地消除其静电作用。因此, 易于保持清洁, 减少擦洗的次数。

3、材料安装方式及其效果

镀膜塑料薄膜一般有三种安装方式:

(1) 装于单层玻璃窗内侧形成双层窗;

(2) 悬于双层玻璃窗空气层中间;

(3) 粘于内层玻璃的内表面。

前两种安装方法的保温效果已如前述。

其中第1种安装方式还可提高房间内的有效辐射温度。这样即可在不降低舒适感的条件下, 稍许降低室内温度, 从而收到节能的效果。在南向双层玻璃上增添一层低放射表面, 可使窗户的得热期得到明显延长。

此外, 夜间窗的外侧玻璃会向夜空辐射, 其天空温度远较实际的室外空气温度低。如加以热反射膜则可大量减少夜间辐射热交换量。

4、节能与经济效益

如以英国Midlands地区为例, 当选用铝框镀膜扇作为单层窗的第二层时, 该框扇

造价为10英磅/米²。而该地的采暖度日值为2245。由于单层玻璃的传热数值在加此种镀膜框扇后可减少到1.7[千卡/平米·度·时]。这样, 上述体系每个采暖季节就可节省能量216[千瓦时/平米]。如家用电费每千瓦时为4.6便士, 在一个采暖季节中即可节省10.15磅。故其一次投资回收期少于一年。

5、我国的研究情况

据我们了解国内研制这种选择性镀膜的单位有清华大学和北京塑料研究所。他们所研制成功的透明导电型塑料薄膜是在聚酯薄膜表面真空镀膜一层透明的氧化铟(In_2O_3)和氧化锡(SnO_2)氧化物导电层。主要用作各种显示器件、电子照像, 太阳能电池的基材, 其相对透光率达85%。面积为 100×130 毫米, 厚度有30、50、100微米三种。目前尚不能连续镀膜。成本还比较高。如用作建筑物窗户材料, 则必须扩大镀膜面积, 并采用连续镀膜方法。据了解我国自行生产的连续镀膜机的镀膜宽度已达700~1000毫米, 并且不少工厂已掌握真空镀膜技术。如能投入一定力量进行研究试制, 则窗用选择性镀膜的大量生产是完全有可能实现的。

因我国自产的镀膜薄膜尚处于局部研究阶段, 故不能作经济比较。但我们认为这是一种很有发展前途的窗用材料, 建议有关部门采取积极措施, 组织力量进行开发。

二、供暖系统改革的分析报告

(一) 目前供暖系统存在的问题

我国现有采暖系统,普遍采用南、北向房间一个管路系统供暖,南、北向房间同时供暖、同时停止。不论是在什么样的供暖制度(连续供暖或间歇供暖)以及不同的调节方式(质调节或量调节)下,普遍出现南向房间室内温度高于北向房间室内温度。北京建筑设计院于一九八一年一月份在北京某住宅大楼选择第三层,南、北外墙、窗户面积相同居室面积大小相近的两个房间进行测定。实测结果,南向房间供暖设备能耗仅为北向房间的85%,且南向房间室内温度较北向房间室内温度高出 1.6°C 。齐市××饭店在复查设计质量时,曾进行一次室内温度测定,在正午12点至下午1时,室外温度为零下 6°C ,测定结果,南向房间室内温度为 21°C ,北向房间室内温度为 15°C 、南北同样房间,室内温度相差 6°C ,这都是在白天有日照的情况下测定的。

以上实测结果,可以看出,太阳辐射强度透过窗户进入室内的太阳辐射热量对室内温度的影响是比较大的。目前,我国计算房间热量时,都是采用附加值,在采用附加值方法上,大部分都是以采暖室外计算温度下,南向数据为基础,对其它朝向按平均条件下的热负荷的比例进行折算。这些计算都是按一个供暖季的各方面的平均值计算,只满足了设计条件下的热平衡。但是,实际在一个供暖季里每月、每日、每时的室外气象条件都有所不同,而这种利用附加值的方法计算房间耗热量是满足不了非设计条件下的热平衡。非设计条件下的热平衡必须对供暖系统进行调节方能达到。而我国目前的供暖系统,究竟如何调节方能既保证供暖质量又节能?是存在一定的困难,无法进行朝向

调节。所以对目前的供暖系统必须进行改革,采暖系统的设计必须考虑朝向调节,实际运行,根据日照情况进行南、北采暖系统调节,既保证供暖质量又达到节能目的。

(二) 充分利用太阳辐射热量,节约采暖能耗的分析

太阳是一种巨大的能源,但太阳辐射热量的利用,与地区气候、季节、房间朝向、太阳光的投射角等有很大关系,在一年中又与该地区全年日照时间、晴天数、地理纬度、海拔高度因素有关。以北京地区为例,由每年11月16日至次年3月16日四个月中(冬季采暖月),从9时至15时,南向太阳辐射能透过单层玻璃的强度都大于235千卡/平米·小时,平均值为352.89千卡/平米·小时。太阳辐射热的利用条件是比较理想的。

北京地区南向房间冬季自9时至15时每平方米外围护结构的得热散热综合计算如下(窗墙比按通用设计假定为28.4%)。

得热量	80.18千卡/平方米·时;
散热量	窗30.15千卡/平米·时;
	墙18.52千卡/平米·时;
	渗透15.42千卡/平米·时;
	共计64.09千卡/平米·时。

从以上计算结果看,从9时至15时的时间内南向房间得到的太阳辐射热量大于同时时间内的外围护结构的散热量,经过同样计算,从8时至16时的时间内,1平方米外围护结构得到的太阳辐射热量为68.16千卡/平米·时,也大于外围护结构的散热量。所以在此时间内,南向房间可不必修供暖。若间歇供暖中午11时~14时停3小时,连续供暖9~16时停8小时情况下。每平方米建筑面积节约能耗的分析计算如下:

停止供暖 3 小时 节约热量 6696 千卡/
平米·年

节约能耗 1.77 标准煤
公斤/平米·年

停止供暖 8 小时 节约热量 17850 千卡/
平米·年

节约能耗 4.72 标准煤
公斤/平米·年

北京地区采暖住宅每平方米平均耗煤量约为 23.5 公斤,折合标准煤 15 公斤,因此如每天南向房间停止供暖 3 小时(这是目前不正常的供暖状况)则可节煤 $\frac{1}{8.5}$ 。如每天南向房间停止供暖 8 小时(这是正常供暖状况)则可节煤 $\frac{1}{3.2}$ 。如全国采用这种采暖系统的改革,(当然这在旧有住宅中是难以办到的)那末,即按前者估计仍将为国家每年节约 230 万吨标准煤,这是一个十分可观的数字。这仅仅是举一个北京通用设计的例子,如果把采暖系统的改革再与前面论述的综合措施结合起来,如果把太阳能的利用更充分一些,那末节能的数字还将再提高,节能的潜力将更大,这有待我们作进一步的研究和探索。

(三) 供暖系统改革举例分析

北京建工学院新建的宿舍楼,四单元六层的建筑面积为 3788 平方米,总热负荷为 217,652 千卡/小时,原供暖系统为不分朝向的两个单元为一个系统,整幢楼共有两个系统,两个入口。共四根 $\phi 50$ 的干管(两根供水,两根回水)。现改为南、北向分开系统,南向为一个独立供、回水系统,北向为一个独立的供、回水系统。从中间一个入口进户,四根 $\phi 50$ 干管(南向供、回水干管各一根,北向供、回水干管各一根)。室内管网不变。

室外管网及地沟也无变化,只是将原 $\phi 80$ 的两根供回水总管改为四根 $\phi 50$ 管子(两根供水,两根回水),其造价不变。南、北向的调节控制系统设在热力点或锅炉房内,统一管理控制。经过改革以后,节能获得明显效果(见前计算)但投资并没有增加。由此可见,供暖系统的改革在内线方面一般并不增加投资。对于外线则改为南北双线供暖但管径减小,一般情况下也不一定增加地沟断面和投资,即使有所增加对比节能效果也是微小的。