

满足北京市四步节能要求的既有建筑围护结构改造技术方案研究

关键词：既有居住建筑节能改造，四步节能目标，设计方案

摘要：本文基于北京市新的节能设计标准，以具体工程项目为对象，通过对改造前的建筑物进行节能诊断，采用权衡判断的方法，对既有居住建筑节能改造能否满足四步节能要求进行技术方案研究。

1、序言

随着国家对建筑节能越来越重视，节能标准也在相应得不断提高。北京市于 2012 年 6 月 14 日率先发布的关于居住建筑的新的节能设计标准^[1]，提出了四步节能的要求。但是对于国家正在大力推进的既有居住建筑节能改造，由于既有建筑本身的工况就比较复杂，存在诸多技术难点，而且节能措施能否进行彻底还会涉及到住户的意愿，因此其改造能否实现新节能设计标准的要求，如何满足，就需要进行深入的研究。

本文以北京市新的节能设计标准(以下简称标准)为依据，以耗热量指标为最终控制目标，以具体项目为对象，结合项目的实际情况，兼顾技术实现的难易程度、效率等诸多因素，采用权衡判断的方法，对既有居住建筑节能改造能否满足四步节能要求进行技术方案研究。

2、改造前项目概况

改造项目名称为 317[#]，位于北京市朝阳区西北部慧忠里 C 区，1992 年建成。全现浇混凝土结构住宅，地上 16 层，层高 2.7m，建筑面积 A₀9662.24m²，建筑体积 V₀26088m³，体形系数 0.337，外墙主体为 200mm 厚混凝土，内保温为 60mm 厚玻璃纤维增强水泥 GRC，采暖地下室，封闭式阳台。

对改造前的 317 进行节能诊断^[2]，结果显示（表 1，图 1），建筑窗墙比满足标准的要求，但体形系数高于规定的最大值；外窗为单玻窗或双玻窗，传热系数远高于新节能标准规定的最大值；由于原有内保温，在供暖期间，层间位置和部分外窗的散热量较大；屋面和外墙的传热系数^[3]远高于新节能标准的要求；建筑物耗热量指标^[3]为 28.88 W/m²（表 1），远高于标准规定的最大值。

表 1 317[#]各项指标实际值与标准要求限值的比较

项目	体形系数	窗墙面积比				传热系数, W/m ² K			耗热量指标, W/m ²
		东	西	南	北	外墙	屋面	外窗	
实际值	0.337	0.29	0.28	0.37	0.24	1	1.28	6.4/2.8	28.88
标准限值 ^[1]	0.26	0.35	0.35	0.5	0.3	0.45	0.4	2.0/1.8	8.5

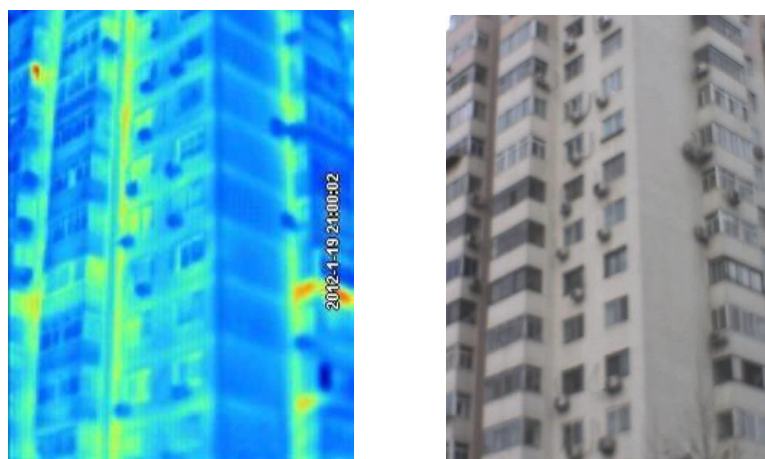


图 1 热成像照片 Fig.1 IRT photography

3、节能指标的确定

因为 317# 的体形系数超过了标准要求，所以进行节能设计时，需要进行权衡判断。北京地处寒冷地区，夏季制冷能耗相对冬季供暖能耗小得多，进行权衡判断时仅以冬季耗热量指标 q_H 为判据，计算方法见公式 1^[1]。

$$Q_H = \frac{Q_{HT} - Q_{TY} + \gamma V_0}{A_0} - 3.8 \quad (1)$$

Q_{HT} 为单位时间通过建筑外围护结构的温差传热量，单位 W，是围护结构各部分的传热系数 K_i 及其修正系数 ϵ_i ，面积 F_i ，室内外温差 Δt 及其修正系数 ζ_i ，的乘积之和（表 2）。

Q_{TY} 为单位时间通过建筑外围护结构透明部分的太阳辐射得热量，单位 W，是各朝向的窗面积 F_c 、辐射强度 I_{ty} 、外窗本身遮阳系数 SC_c 、外遮阳系数 SD 和辐射修正系数 C_{mci} 的乘积之和。

γ 取决于楼梯间是否采暖，采暖时取 2.10，不采暖时取 1.94。 V_0 为建筑体积，单位 m^3 ； A_0 为建筑物的建筑面积，单位 m^2 。

各相关系数均取标准限值，计算 317# 改造后的耗热量指标 Q_{HT} 。计算前考虑以下几个因素：1、既有建筑与新建建筑存在很大差异，其自身存在的缺陷及因住户而可能导致的某些节能措施无法实现，将会降低建筑整体的节能效果；2、外窗更换率难以达到 100%，按照 80% 的更换率进行计算；3、虽然标准规定“东、西向主要房间的外窗（不包括封闭式阳台的透明部分）应设置展开或关闭后，可以全部遮蔽窗户的活动外遮阳”^[1]，但北京地区冬季不可能用到外遮阳，因此外遮阳系数 $SD=1$ 。由此计算得到 Q_{HT} 为 120401.28W， Q_{TY} 为 44654.97W， Q_H 为 9.28W/ m^2 ，不能满足标准要求，需要对外围护结构的传热系数进行调整。

根据表 2 可以对通过外围护结构不同部位的热损失率进行分析。根据分析结果，再结合技术实现的难易程度、效率等诸多因素，可以确定设计时应该重点调整传热系数的部位。 Q_{HT} 的计算结果显示，通过外窗的热损失率最高，其次是外墙（图 2）。即，降低外窗的传热系数将能够最有效的降低热损失，其次是外墙。但是，目前国内的外窗技术尚不成熟，且成本很高。而调整外墙和屋面的传热系数来降低耗热量指标更为可行。

表 2 改造后 317# 围护结构的温差传热量 Q_{HT}

项 目			ε_i	ζ_i	$K_i, W/(m^2.K)$	F_i, m^2	$\Delta t, ^\circ C$	$\varepsilon_i \zeta_i K_i F_i \Delta t, W$
屋顶			0.98	1	0.4	603.89	17.9	4237.4
外墙		南	0.83		0.45	786.88		5260.8
		东、西	0.91			2071.68		15185.5
		北	0.95			2419.9		18517.7
外窗	更换	南	1		2	360.22		12895.9
		东西北			1.8	1337.68		43100
	不更换				3	389.16		20897.9
单元外门		北	0.95		3	6		306.1
$Q_{HT} = \sum \varepsilon_i \zeta_i K_i F_i \Delta t \text{ (W)}$								120401.28

表3 改造后317#围护结构的太阳辐射得热量 Q_{TY}

项 目		F_c, m^2	$I_{ty}, W/m^2$	SCc	SD	$SC=SCcSD$	C_{mci}	$I_{ty}C_{mci}F_{mc}, W$
更换的外窗	南	360.22	120	0.59	1	0.59	0.36	15531.68
	东西北	1337.68	59	0.50		0.50	0.30	18449.18
不更换的外窗	南	105.70	120	0.64		0.64	0.39	4943.72
	东西	205.70	59					4730.24
	北	77.76	33					1000.16
$Q_{TY}=\Sigma I_{ty}C_{mci} F_{mc} (W)$								44654.97

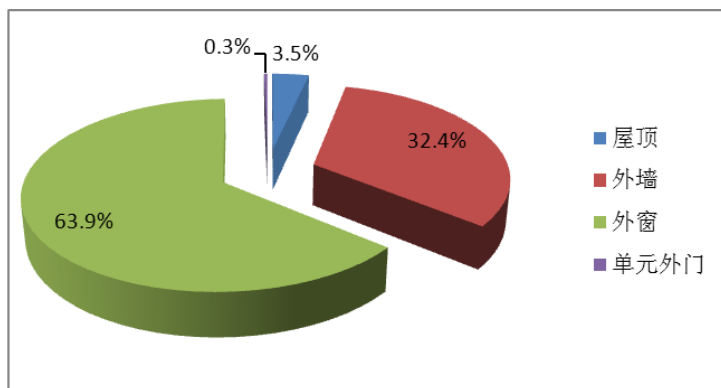


图 2 围护结构热损率图

经多次权衡判断试算^[1], 最终确定围护结构各部位的传热系数 (表 4), 计算得到此时的耗热量指标为 7.86 W/m^2 , 满足标准要求。

表 4 317#满足标准要求的围护结构传热系数及其对应的耗热量指标

项 目	屋顶	外墙	外窗					单元外门
			已更换外窗				未更换外窗	北
			南	东	西	北		
传热系数 K_i , W/(m ² .K)	0.24	0.30	2.0	2.0	2.0	1.7	3.0	3.00
主断面传热系数 K_{zd}		0.23						
耗热量指标 Q_H , W/m ²	7.86							

4、改造方案设计

节能改造主要包括围护结构和供热系统的改造。供热系统改造可根据设计标准及相关标准和规定进行，比如对室外供热系统，可以加装静态平衡阀、超声波热量表、过滤器、温度计等，更换锈蚀严重的管线等等，对室内供热系统，可以加装温控阀、单向阀、热分配表、数据采集器，更换散热性能差的散热器，并对室内管道做一定的调整。

关于围护结构的改造，本文以上述 371#为例进行阐述。

1、外墙和屋面保温

根据北京市的相关规定^[4]，既有居住建筑节能改造外墙保温材料应采用 A 级或复合 A 级材料，保温性能和防火性能均良好的岩棉是一个很好的选择。根据表 4 中外墙主断面传热系数反算得到满足要求的岩棉厚度约为 147mm。屋面则可以采用吸水率低的硬泡聚氨酯板或挤塑板，其厚度相应的为 100mm 和 140mm。

需要注意的是既有建筑与新建建筑的不同，建筑本身存在一定缺陷，且受到人为因素的影响，个别部位设计方案可能无法实现，造成热桥较多、局部保温效果差等问题，从而影响到整体的保温效果。而且随着节能要求的提高，热桥对整体保温效果的影响会更大，因此一定要尽量减少热桥影响，比如在女儿墙及檐口、空调板、封闭阳台、窗口、勒脚及窗井等部位采取断桥保温措施。

2、门窗

更换外窗及阳台窗，窗型可按照节能设计标准附录 E 进行选择。如采用平开三玻中空塑钢窗，可提高门窗气密性能，防止室外灰尘进入室内，并可有效地阻止声音的传播，达到隔音降噪的效果。窗洞口尺寸均以现场实际测量为准，窗侧口处可采用无机保温浆料进行保温处理并用建筑密封膏封堵。

3、增加新风系统和外遮阳

在居住建筑节能改造中可增加同步新风换气系统。新风系统采用负压通风方式。由安装在浴室卫生间的排风机，向室外排风，产生室内负压；根据大气平衡原理，室外新风通过外墙进风口，经隔尘降噪处理后进入室内。新风系统能够有效改善空气品质，提高室内舒适度，同时减少能量损失，达到环保、健康、节能的目的。

建议采用活动式外遮阳，夏季可以使用以便降低夏季房间内的太阳辐射得热，冬季则可以放弃使用以增加房间内的太阳辐射得热。

5、总结

综上所述，既有建筑与新建建筑存在很大不同，要达到四步节能的要求，需要根据实际工程的情况，对改造前的建筑进行节能诊断，根据诊断结果，采用权衡判断的方法，结合技术实现的难易程度、效率等因素，确定围护结构各部分的传热系数，反算保温材料厚度、选择窗型，并根据既有建筑节能改造的特点，进行适当的调整，以保证其整体节能效果的实现。

根据本文对实际工程的检测，既有居住建筑围护结构中，外窗的热损失率最高，其次是外墙。受技术条件所限，目前采用降低外墙和屋面传热系数以降低整个建筑的热损失，达到标准耗热量指标要求的方式，最为合理、可行。

引用文献:

- [1] 《居住建筑节能设计标准》 DB11/891-2012
- [2] 既有居住建筑节能改造技术规程, JGJ/T 129-2012
- [3] 居住建筑节能检测标准 JGJ/T 132-2009, P7, P9, P15, P34, P40
- [4] 关于加强老旧小区综合改造工程外保温材料使用与消防安全管理工作的通知, 京公消字[2012] 391。
- [5] 建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法, GB/T7106-2008