

居住建筑外墙保温层经济厚度的确定方法研究

王金奎¹ 徐浩军² 邵旭¹

(河北建筑工程学院建筑系¹, 张家口 075024; 张家口市城建职工中等专业学校², 张家口 075000)

摘要 以张家口地区常见的几种居住建筑外墙保温构造为例,采用采暖度日数并结合年金现值的方法对张家口市的居住建筑外墙的保温材料生命周期内的总费用进行分析。得出墙体传热系数是决定保温材料经济厚度的主要因素。分析结果表明:墙体无论采用哪种基层和保温材料,其生命周期内费用低时,墙体经济传热系数相同,进而可以计算出保温材料的经济厚度。张家口地区墙体经济传热系数在 0.3—0.4 W/(m²·K)之间。

关键词 年金现值 保温层经济厚度 采暖度日数

中图法分类号 TU832.5:22; **文献标志码** A

目前,建筑耗能已与工业耗能、交通耗能并列,成为我国能源消耗的三大“耗能大户”。尤其是建筑耗能伴随着建筑总量的不断攀升和居住舒适度的提升,呈急剧上升趋势。据2009年统计,建筑能耗已经占到中国社会总能耗的30%。

围护结构的传热性能是影响建筑能耗的主要因素。墙体是建筑围护结构的主要组成部分,在建筑物采暖、空调能耗中,墙体的传热占了很大一部分比重,通过外墙传热所造成的能耗损失约占建筑的外围护结构总能耗损失的30%,因此要降低建筑物的能耗,首先要考虑墙体的节能。目前外墙节能的措施就是增加保温层以提高墙体热阻。但是保温层厚度多大最好、最经济,不同的计算方法得到的结果也不一样。由于保温层经济厚度的影响因素很多,可以建立数学模型,但参数太多且不易操作,往往会造成使用不便。本文以张家口地区为例探讨保温材料经济厚度问题。

1 基层墙体材料和构造

表1是张家口地区3种常见基层墙体简化后的构造做法。表中所列的构造层次均为由外到内。表2是张家口地区常用的2种保温材料的热工参数。

表1 常见基层墙体类型

墙体类型	墙体构造做法(外到内)	墙体厚度/mm	导热系数/[W·(m·K) ⁻¹]	总热阻/(m ² ·K·W ⁻¹)	传热系数/[W·(m ² ·K) ⁻¹]
①	水泥砂浆	20	0.93	0.833	1.200
	页岩多孔砖	370	0.58		
	混合砂浆	20	0.87		
②	水泥砂浆	20	0.93	0.310	3.226
	钢筋混凝土	200	1.74		
	混合砂浆	20	0.87		
③	水泥砂浆	20	0.93	1.195	0.837
	加气混凝土	250	0.25		
	混合砂浆	20	0.87		

数据来源:作者计算。

表2 常用保温材料的热工参数

材料类型	材料名称	导热系数/[W·(m·K) ⁻¹]	干密度/(kg·m ⁻³)
I	挤塑聚苯板	0.033	30
II	FTC自调温相变节能材料	0.029	≤350

数据来源:参考文献[1]。

2012年7月23日收到 河北省科技厅科技支撑计划项目(10213915D)、河北省建设厅项目(2010-102)资助

第一作者简介:王金奎(1972—),河北武邑人,硕士研究生,讲师。研究方向:建筑技术;E-mail:wangjinkui1972@163.com。

2 用年金现值法分析墙体的综合效益

建筑物的冷负荷、热负荷是由通过墙体、屋顶和窗户的传热及空气渗透形成的冷、热负荷所组成,为简化计算,通过采暖度日数及空调度日数来计算能耗。本文以张家口地区为例来说明,但由于张家口地区采暖度日数(简称 HDD18)为 3637;空调度日数(简称 CDD26)只有 24,非常小,因此本文的分析只考虑热负荷与围护结构的关系而忽略冷负荷的影响。

2.1 年度采暖热负荷的计算

年度总负荷的计算公式为:

$$Q_w = \frac{K \times HDD18 \times 24}{1\ 000}。$$

其中 Q_w : 冬季热负荷, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$;

K : 墙体的传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

2.2 年度采暖费用的计算

年度采暖费用的计算公式为:

$$C_w = \frac{Q_w}{H_c \eta_1 \eta_2} C。$$

其中 C_w : 冬季的采暖能耗费用, $\text{元}/\text{m}^2$;

C : 标准煤的价格, $\text{元}/\text{kg}$, C 。取 0.8 $\text{元}/\text{kg}$;

H_c : 标准煤热值, 取 8.14 ($\text{kW} \cdot \text{h})/\text{kg}$;

η_1 : 室外管网输送效率, 取 0.95;

η_2 : 锅炉运行效率, 取 0.68。

2.3 年金现值的计算

年金现值的计算公式为:

$$P = A[(P/A, i, n - 1) + 1]。$$

$(P/A, i, n - 1)$ 是年金现值系数, P 为现值, A 为年金, i 是折现率, n 是期数。例如 $(P/A, 8\%, 9)$ 就是指折现率为 8%, 期数是 10 的年金现值系数。

将保温材料整个生命周期(按 20 年计算)中要花费的采暖费用折算为当前的费用 P_w , 采用年金现值法进行计算。则:

$$P_w = A[(P/A, i, 19) + 1]。$$

式中 A 为年采暖费用, 即 C_w 。当 P_w 和 C_w 之和(即年总费用现值)达到最小时, 墙体综合经济效益经济最佳, 保温材料的厚度即为经济厚度。

3 保温材料经济厚度分析

以表 1 中的 3 种基层墙体与表 2 中 2 种常用保温材料分别组合成 6 中保温外墙。① + I 表示第一种基层墙体与第一种保温材料组合成外保温墙体(以下类同)。取阻燃型挤塑聚苯板的市场价格为 700 $\text{元}/\text{m}^3$, 施工费用为 20 $\text{元}/\text{m}^2$ 。FTC 自调温相变节能材料的市场价格为 10 $\text{元}/(\text{cm} \cdot \text{m}^2)$ 。假设保温材料寿命周期 N 取 20 年。以 2 011 为例, 贷款利率为 8%, 张家口地区 HDD18 为 3 637 ($^\circ\text{C} \cdot \text{d}$)。按上述公式计算得出 6 种类型墙体的保温层厚度、传热系数与年总费用现值的关系, 见表 3 ~ 表 8, 表中传热系数是指组合墙体的传热系数, 能耗费用年金现值是指保温材料寿命周期内的总能耗费用折合成现值, 保温材料费用是指材料及施工费用的总和, 总费用是指能耗费用年金现值与保温材料费用之和。

表 3 墙一(① + I) 传热系数与总费用的关系

保温层厚度/cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
传热系数/ $[\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-2}]$	0.88	0.70	0.57	0.48	0.43	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26
能耗费用年金现值/元	167	132	109	91	81	72	64	58	53	49
保温材料费用/元	27	34	41	48	55	62	69	76	83	90
总费用/元	194	166	150	139	136	134	133	134	136	139

数据来源: 作者计算。

表 4 墙二(② + I) 传热系数与总费用的关系

保温层厚度/cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
传热系数/ $[\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-2}]$	1.63	1.09	0.82	0.66	0.55	0.47	0.41	0.37	0.33	0.30
能耗费用年金现值/元	310	207	156	125	104	89	78	70	62	57
保温材料费用/元	27	34	41	48	55	62	69	76	83	90
总费用/元	337	241	197	173	159	151	147	146	145	147

数据来源: 作者计算。

表5 墙三(③+I)传热系数与总费用的关系

保温层厚度/cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
传热系数/[W·(m ² ·K) ²]	0.67	0.56	0.48	0.42	0.37	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24
能耗费用年金现值/元	127	105	90	79	70	63	57	52	48	45
保温材料费用/元	27	34	41	48	55	62	69	76	83	90
总费用/元	154	139	131	127	125	125	126	128	131	135

数据来源:作者计算。

表6 墙四(①+II)传热系数与总费用的关系

保温层厚度/cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
传热系数/[W·(m ² ·K) ²]	0.85	0.66	0.54	0.45	0.39	0.34	0.31	0.28	0.25	0.23
能耗费用年金现值/元	161	125	102	86	74	65	58	53	48	44
保温材料费用/元	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
总费用/元	171	145	132	126	124	125	128	133	138	144

数据来源:作者计算。

表7 墙五(②+II)传热系数与总费用的关系

保温层厚度/cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
传热系数/[W·(m ² ·K) ²]	1.53	1.00	0.74	0.59	0.49	0.42	0.37	0.33	0.29	0.27
能耗费用年金现值/元	287	188	140	111	92	79	69	61	55	50
保温材料费用/元	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
总费用/元	297	208	170	151	142	139	139	141	145	150

数据来源:作者计算。

表8 墙六(③+II)传热系数与总费用的关系

保温层厚度/cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
传热系数/[W·(m ² ·K) ²]	0.65	0.53	0.45	0.39	0.34	0.31	0.28	0.25	0.23	0.22
能耗费用年金现值/元	122	100	84	73	64	58	52	48	44	41
保温材料费用/元	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
总费用/元	132	120	114	113	114	118	122	128	134	141

数据来源:作者计算。

由表3—表8可以看出,能耗费用随保温层厚度的增加而下降,但增加保温层厚度的同时也增加了保温材料费用。在保温层厚度增加到一定程度时,总费用达到最小值。超过这一保温厚度后,增加保温厚度会使总费用增加,这个厚度称为经济厚度。基层墙体不同,保温材料不同,保温层经济厚度不同,分别在4—9cm之间,差别较大,但它们有一个共同特征就是组合墙的传热系数都在0.3—0.4 W/(m²·K)之间,非常接近,且高于张家口地区0.6 W/(m²·K)的标准要求。

4 结论

良好的保温设计在降低建筑能耗费用的同时也造成了建筑初投资的提高,而初投资是在保温材

料的生命周期中影响建筑物的经济性能的主要因素。本文通过张家口地区采暖度日数并结合年金现值法计算分析,基层墙体不同、保温材料不同,经济保温层厚度的厚度不同,且差别较大,但传热系数接近,都在0.3—0.4 W/(m²·K)之间。因此可以用规定传热系数值的方法确定墙体保温材料的经济厚度,不同的地区有不同的传热系数,这种方法计算简单,与节能标准中规定性指标的方法一致。不同基层墙体、不同保温材料可以采用同一传热系数确定保温材料的经济厚度。

参 考 文 献

- 1 河北省住房和城乡建设厅. 居住建筑节能设计标准. 北京: 中国建材工业出版社, 2011

- 2 柳孝图. 建筑物理. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- 3 高庆龙, 杨 柳, 刘加平, 等. 居住建筑外墙传热系数优化研究. 四川建筑科学研究, 2009; (2): 245—248
- 4 金斯科, 龚延风. 南京地区典型居住建筑能耗模型及 65% 节能措施研究. 暖通空调, 2011; (2): 94—98
- 5 孙诗兵, 李俊领, 田英良, 等. 墙体节能改造保温层厚度的优化研究. 节能技术, 2008; (3): 219—221
- 6 徐云伟, 贾 口, 陈 滨. 墙体材料选择与最佳经济厚度的优化研究. 节能与环保, 2006; (6): 20—23

Studying on the Method of Insulation Thickness of External Walls for Residential Buildings

WANG Jin-kui¹, XU Hao-jun², SHAO Xu¹

(Department of Architecture Hebei Institute of Architecture and Engineering¹, Zhangjiakou 075024, P. R. China;

Zhang Jiakou City Construction Worker School², Zhangjiakou 075024, P. R. China)

[Abstract] Several common residential building external wall thermal insulation structure in Zhangjiakou for example is took, analysed insulation materials life cycle cost of residential building external wall adopted heating degree day and present value of annuity. It is concluded that the wall heat transfer coefficient is the main factors of economic thickness of insulation material. Analysis results showed that: when the life cycle cost of the wall is low, the wall economic heat transfer coefficient is same, no matter what kind of insulation materials and primary wall. Then the economical thickness of insulating material can be calculated. The wall heat transfer coefficient of Zhangjiakou area economy is between 0.3—0.4 W/(m²·K).

[Key words] present value of annuity economic insulation thickness heating degree day based on 18 °C

(上接第 8773 页)

Critical Width-to-thickness Ratio of Concrete-filled Rectangular Thin-walled Steel Tube Columns under Force Loading

HOU Hong-wei, GAO Xuan-neng*, ZHANG Hui-hua

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, P. R. China)

[Abstract] The local buckling behavior of concrete-filled rectangular thin-walled steel tube columns under axial loading is presented, energy approach is used to calculate the local buckling coefficient of rectangular steel plate. Assumed that steel tube is subjected to elastic constraint at unloading edge and radial force provided by concrete inside, an elastically restraining factor is given and critical width-to-thickness ratio is got in the end. It is known that radial force reduces buckling stress of steel tube, buckling coefficient increases with the increase of restraining factor, and also is influenced by height-to-width ratio and thickness ratio.

[Key words] concrete-filled rectangular thin-walled steel tube critical width-to-thickness ratio energy approach local buckling coefficient elastically restraining