

基于西安市既有住宅性能的 节能改造项目优选研究

刘晓君, 王 瑾

(西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:通过综合考虑西安市既有住宅现状以及节能改造的使用寿命,确定了西安市合理的节能改造范围,并且对节能改造项目优选的必要性进行了论述。基于既有住宅的性能运用层次分析法建立了既有住宅节能改造评价指标体系,并运用模糊综合评判法建立了既有住宅节能改造项目的判定模型,为西安市既有住宅节能改造的项目优选提供决策依据,促使节能改造有计划地进行。

关键词:既有住宅;使用寿命;项目优选;模糊综合评判

中图分类号:TU 201.5

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2013)05-0732-06

1 西安市既有住宅节能改造项目优选的必要性

据西安市城乡建设委员会节能办测算,西安地区从 1978 年至 2011 年底竣工建筑总面积约为 18 621.66 万 m^2 ,其中在颁布《民用建筑节能设计标准 30 % (采暖居住建筑部分)陕西省实施细则》(陕城设发[1989]91 号)以前建造的居住建筑约 8 617 万 m^2 ,直到 1996 年节能设计标准 50 % 正式实施之后,新建建筑才按照 50 % 的节能标准修建,但与现在西安市住宅建筑节能 65 % 的设计标准还是相差较远。由此可见,西安市非节能建筑存量较大,既有建筑节能改造任务艰巨^[1]。

“十一五”期间,西安市投入财政资金约 8 000 万元,实施了 78 栋既有建筑外围护结构的节能改造工作,面积达 33 万 m^2 ,进行改造的项目基本全部由政府出资。《西安市“十二五”建筑节能规划》计划实施既有建筑外围护节能改造面积 300 万 m^2 ,政府全额出资改造约 15 % 左右,剩余的面积全部进行自主改造,政府只提供补贴。无论是政府全资改造还是改造各方共同出资改造,都需要大量资金。面对建筑节能形势紧迫,既有建筑节能改造任务重,资金需求量大,人力物力有限的现实条件,有必要进行改造项目的优选,做大做强示范项目,促使节能改造的稳步进行和宣传推广,推动既有住宅建筑节能改造工作的全面展开。

2 西安市既有住宅概况及节能改造范围

西安市目前存在的大量半旧住宅建筑,房龄在 10~30 年不等,结构尚好,远未达到住宅的使用年限(《民用建筑设计通则》规定:一般性建筑主体结构耐久年限为 50 年~100 年)。总体来说有两种情况:一类是虽然能耗与新建的住宅相比有一定差距,但面积标准、平面设计布局、设备配置等基本符合现阶段住宅的要求,这类住宅多建于 80 年代中期至 90 年代,具有进行节能改造的必要;另一类则是能耗、面积标准、平面设计布局、设备配置等远不能满足现阶段居民的生活需求,这类住宅多建于 70 年代至 80 年代初期,不必要进行全面的节能改造,性能极差、结构质量劣的危旧建筑应该逐步拆除,不必改造。因此,对于西安市既有住宅节能改造,我们可以将改造范围界定在 80 年代~21 世纪初,按照结构的耐久性年限以及建筑使用寿命延长的现实依据,这个范围内的既有住宅还有至少 30~40 年的剩余使用寿命,改造效果十分可观。对于具体的改造项目还要具体问题具体分析,本文通过建立的评判模型计算项目的最

收稿日期:2013-01-08 修改稿日期:2013-09-11

基金项目:国家软科学研究计划基金资助项目(2011GXQ4D080);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20116120110010)

作者简介:刘晓君(1961-),女,山西新绛人,教授,博导,主要研究方向为房地产投资决策理论等相关领域工作。

终得分,以定量结果为节能改造优选提供依据。

3 既有住宅节能改造评价指标体系

3.1 基于既有住宅性能选取评价指标

评价指标体系的设立既是正确开展评价的前提条件,又是影响评价质量的重要因素,由于建筑节能改造评价指标^[2]的复杂性和许多方面的不可量化性,评价指标的选取要遵循可操作性原则、层次性原则、可比性原则、全面性原则。

本文征询了相关专家(设计、基建、暖通、通风空调等)意见,由专家判断各个评价指标的影响程度(表1),进而筛选出项目指标^[3]。通过对既有建筑节能改造示范项目人员的调查和信息处理,结合西安市环境特征和住宅节能现状,最终形成西安市既有住宅建筑节能评价指标体系。

表1 影响程度分级及评分表

Tab. 1 Affection degree and score table

Affection degree	Unimportant	A little important	Very important	Obvious important	Absolute important
score	1	3	5	7	9

3.2 确定既有住宅节能改造评价指标权重

采用层次分析法确定各指标权重,基本过程为:

(1)分析评价系统中各基本要素之间的关系,建立系统的递阶层次结构^[4],递阶层次结构一般由目标层、若干准则层等组成,见表2。

(2)将各层次中各个因素关于上一层中相对应指标的重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵,并进行一致性检验,由判断矩阵计算被比较因素对于该指标的相对权重。最终建立出既有住宅建筑节能改造评价指标体系,见表3。

表2 目标层与准则层判断矩阵

Tab. 2 Judgment matrix of the target layer and the rule layer

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	W_i
Q_1	1	2	3	3	1	2	0.267
Q_2	1/2	1	2	2	1/2	1	0.147
Q_3	1/3	1/2	1	2	1/3	1/2	0.091
Q_4	1/3	1/2	1/2	1	1/3	1/2	0.072
Q_5	1	2	3	3	1	3	0.286
Q_6	1/2	1	2	2	1/3	1	0.137
Consistency test $\lambda_{\max}=6.104, CI=0.021, CR=0.017<0.1$							

表3 既有住宅节能改造评价指标体系

Tab. 3 Evaluation index system

Level indicators	Second indicators	Weights	Third indicators	Weights
Energy-saving renovation of existing residential buildings N	Wall structure Q_1	$W_1(0.267)$	Wall materials Q_1^1	$W_1^1(0.249)$
			Thermal defect Q_1^2	$W_1^2(0.157)$
			Thermal performance Q_1^3	$W_1^3(0.594)$
	Doors and windows Q_2	$W_2(0.147)$	Doors and windows Materials Q_2^1	$W_2^1(0.210)$
			Doors and windows air tightness Q_2^2	$W_2^2(0.240)$
			Thermal performance Q_2^3	$W_2^3(0.550)$
	Roof structure Q_3	$W_3(0.093)$	Roof materials Q_3^1	$W_3^1(0.218)$
			Roof waterproofing Q_3^2	$W_3^2(0.152)$
			Thermal performance Q_3^3	$W_3^3(0.630)$
	Architectural design Q_4	$W_4(0.075)$	Shape coefficient Q_4^1	$W_4^1(0.250)$
			Area ratio of window to wall Q_4^2	$W_4^2(0.750)$
			Heating heat source Q_4^3	$W_4^3(0.163)$
	Heating facilities Q_5	$W_5(0.281)$	Pipeline laying Q_5^1	$W_5^1(0.297)$
			Pipeline transportation efficiency Q_5^2	$W_5^2(0.540)$
			Indoor ventilation effect Q_5^3	$W_5^3(0.333)$
	Ventilation and Air Conditioning Q_6	$W_6(0.137)$	Air conditioning energy efficiency Q_6^1	$W_6^1(0.667)$

3.3 既有住宅节能改造模糊综合评判

(1)由表3可写出项目改造综合评价各级评价因素集为:

一级指标 $N = (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6)$

二级指标 $Q_1 = (Q_1^1, Q_1^2, Q_1^3); Q_2 = (Q_2^1, Q_2^2, Q_2^3); Q_3 = (Q_3^1, Q_3^2, Q_3^3);$

$Q_4 = (Q_4^1, Q_4^2); Q_5 = (Q_5^1, Q_5^2, Q_5^3); Q_6 = (Q_6^1, Q_6^2)$

(2) 各级各指标权重由 W 表示, 由上述层次分析法确定, 如表 3 所示.

(3) 设立评判尺度集, $V = (V_1, V_2, V_3, V_4, V_5) = (\text{优}, \text{较优}, \text{一般}, \text{较劣}, \text{劣})$, 对应分值为 $(0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1)$.

(4) 单因素评判矩阵 对各评价指标进行单因素评判, 对于定性因素的模糊综合评价集可以通过模糊统计方法求得. 若对某一项评分, 通过 M 位专家技术人员对现场既有住宅的实际节能性能考察进行评价打分, 用 5 级标度, 即(优, 较优, 一般, 较劣, 劣)表示, 假如对于一项指标有 10 % 的专家认为其性能优, 有 60 % 的专家认为较优, 有 30 % 的专家认为一般, 0 个专家认为较劣, 0 个专家认为劣, 那么这项指标的模糊综合评价的评价集为 $(0.1, 0.6, 0.3, 0, 0)$.

对于定量因素的评价, 需要建立因素集的隶属度函数^[5]. 隶属度函数是依据评价标准建立起来的, 通过一定的函数运算来刻画评价因素对评价等级的隶属程度. 本文采用升半梯形隶属函数, 此函数适用于数值越大, 对建筑节能改造效果越差的负效应指标, 我们的指标体系中, 体形系数和窗墙比这两个定量指标皆适用于这种隶属度函数.

① 既有住宅体形系数的隶属函数:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < 0.30 \\ \frac{0.33-x}{0.33-0.30} & 0.30 \leq x \leq 0.33 \\ 0 & x > 0.33 \end{cases} \quad \text{优}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.30 \\ \frac{x-0.30}{0.33-0.30} & 0.30 < x < 0.33 \\ \frac{0.37-x}{0.37-0.33} & 0.33 \leq x < 0.37 \\ 0 & x \geq 0.37 \end{cases} \quad \text{较优}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.33 \\ \frac{x-0.33}{0.37-0.33} & 0.33 < x < 0.37 \\ \frac{0.41-x}{0.41-0.37} & 0.37 \leq x < 0.41 \\ 0 & x \geq 0.41 \end{cases} \quad \text{一般}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.37 \\ \frac{x-0.37}{0.41-0.37} & 0.37 < x < 0.41 \\ \frac{0.45-x}{0.45-0.41} & 0.41 \leq x < 0.45 \\ 0 & x \geq 0.45 \end{cases} \quad \text{较劣}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0.41 \\ \frac{x-0.41}{0.45-0.41} & 0.41 \leq x \leq 0.45 \\ 1 & x > 0.45 \end{cases} \quad \text{劣}$$

② 既有住宅窗墙比的隶属函数:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < 0.35 \\ \frac{0.38-x}{0.38-0.35} & 0.35 \leq x \leq 0.38 \\ 0 & x > 0.38 \end{cases} \quad \text{优}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.35 \\ \frac{x-0.35}{0.38-0.35} & 0.35 < x < 0.38 \\ \frac{0.42-x}{0.42-0.38} & 0.38 \leq x < 0.42 \\ 0 & x \geq 0.42 \end{cases} \quad \text{较优}$$
$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.38 \\ \frac{x-0.38}{0.42-0.38} & 0.38 < x < 0.42 \\ \frac{0.46-x}{0.46-0.42} & 0.42 \leq x < 0.46 \\ 0 & x \geq 0.46 \end{cases} \quad \text{一般}$$
$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.42 \\ \frac{x-0.42}{0.46-0.42} & 0.42 < x < 0.46 \\ \frac{0.50-x}{0.50-0.46} & 0.46 \leq x < 0.50 \\ 0 & x \geq 0.50 \end{cases} \quad \text{较差}$$
$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0.46 \\ \frac{x-0.46}{0.50-0.46} & 0.46 \leq x \leq 0.50 \\ 1 & x > 0.50 \end{cases} \quad \text{劣}$$

说明:本文根据《民用建筑节能设计标准》,西安市的实际情况以及相关规范资料,做了以下的定量指标与评价等级的对应关系^[6].依据表 4 对“体形系数”、“窗墙比”这两个指标建立隶属函数,墙体、屋面、门窗的热工性能也可以依据给出的传热系数作参考.

表 4 对应关系表
Tab. 4 Correspondence table

Indexes	Excellent	Good	General	Bad	Inferior
Shape coefficient	< 0.30	0.30 ~ 0.35	0.35 ~ 0.40	0.40 ~ 0.45	≥ 0.45
Area ratio of window to wall	< 0.35	0.35 ~ 0.40	0.40 ~ 0.45	0.45 ~ 0.50	≥ 0.5
Exterior wall heat transfer coefficient	< 0.50	0.50 ~ 0.55	0.55 ~ 0.60	0.60 ~ 0.65	≥ 0.5
Doors and windows heat transfer coefficient	< 2.50	2.50 ~ 3.00	3.00 ~ 3.50	3.50 ~ 4.00	≥ 0.4
Roof heat transfer coefficient	< 0.45	0.45 ~ 0.50	0.50 ~ 0.55	0.55 ~ 0.60	≥ 0.6

- 经归一化处理后,得到单项因素评判决策矩阵如下: $R_1 = [r_{ij}]_{3 \times 5}$
 $R_1 = [r_{ij}]_{3 \times 5}; R_2 = [r_{ij}]_{3 \times 5}; R_3 = [r_{ij}]_{3 \times 5}; R_4 = [r_{ij}]_{2 \times 5}; R_5 = [r_{ij}]_{3 \times 5}; R_6 = [r_{ij}]_{2 \times 5}$
(5) 求出二级指标评判因素 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$, 对应的综合评判结果:
 $B_i = [W_i^1, W_i^2, W_i^3] \times R_i (i = 1, \dots, 6)$
(6) 由(5) 得出二级指标评价因素集 Q 对应的评判矩阵:
 $R = [B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6]_{6 \times 6}$
(7) 由此可以得到一级指标的评判结果:
 $B = W_i \times R = [W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6] \times R = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6]$
(8) 求出一级指标的评判得分: $S = B \times V^T$

既有住宅的节能改造首先要求建筑的结构良好,各种设计、标准、配备基本满足生活要求,才有改造的可能和意义,因此我们选择的改造范围是 80 年代至 21 世纪初,优先选择那些节能性能差、能耗量大、设备低效、改造效益明显的项目.本模型以既有住宅现有的节能性能为考察目标^[7],对于上述公式的计算结果: $S \geq 0.9$,说明既有住宅的节能效果很好,暂时可以先不改造;取 $S \leq 0.1$,说明既有住宅建筑节能

能效果很差,不必改造,逐渐拆迁;若 $0.1 < S < 0.9$,说明既有住宅均可以进行改造,分数越低,建筑的节能效果越差,可以优先改造,分数越高,可以考虑部分改造即可。

4 实例应用

选取西安市市区相邻的3个小区为改造对象,邀请10位相关专家对住宅的各个性能指标进行观察、询问、实测,根据现场实际情况进行打分评判。以其中A小区的住宅楼为例,该楼始建于20世纪80年代后期,坐北朝南,层高2.7 m,共6层,砖混结构,体形系数0.31,窗墙比0.39,单元面积为86 m²的普通住宅楼。外墙面为清水墙,屋顶为普通平屋顶,窗为单玻璃钢窗。通过专家打分研究,评判结果如下:

(1) 各级各指标权重引用表3。

(2) 根据专家打分和隶属函数计算出二级指标的评判集,再将评判集进行组合形成单素评判矩阵,具体如下:

$$\begin{aligned} \text{墙体结构评判矩阵 } R_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0 & 0.30 & 0.70 & 0 \end{bmatrix} & \text{门窗结构评判矩阵 } R_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.40 & 0.60 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.50 & 0.50 & 0 \end{bmatrix} \\ \text{屋面结构评判矩阵 } R_3 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0 & 0.40 & 0.60 & 0 \\ 0 & 0 & 0.30 & 0.70 & 0 \end{bmatrix} & \text{建筑形体评判矩阵 } R_4 &= \begin{bmatrix} 0.67 & 0.23 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \text{采暖设施评判矩阵 } R_5 &= \begin{bmatrix} 0 & 0.60 & 0.40 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.40 & 0.60 & 0 \end{bmatrix} & \text{空调设备评判矩阵 } R_6 &= \begin{bmatrix} 0 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \\ 0 & 0.70 & 0.30 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(3) 二级评判指标的综合评判结果

$$\text{墙体结构评判结果: } B_1 = [0.249 \quad 0.157 \quad 0.549] \times R_1 = [0 \quad 0 \quad 0.506 \quad 0.712 \quad 0]$$

$$\text{门窗结构评判结果: } B_2 = [0.210 \quad 0.240 \quad 0.550] \times R_2 = [0 \quad 0 \quad 0.359 \quad 0.641 \quad 0]$$

$$\text{屋面结构评判结果: } B_3 = [0.218 \quad 0.152 \quad 0.630] \times R_3 = [0 \quad 0 \quad 0.358 \quad 0.642 \quad 0]$$

$$\text{建筑形体评判结果: } B_4 = [0.250 \quad 0.750] \times R_4 = [0.168 \quad 0.644 \quad 0.188 \quad 0 \quad 0]$$

$$\text{采暖设施评判结果: } B_5 = [0.163 \quad 0.297 \quad 0.540] \times R_5 = [0 \quad 0.246 \quad 0.430 \quad 0.324 \quad 0]$$

$$\text{空调设备评判结果: } B_6 = [0.333 \quad 0.667] \times R_6 = [0 \quad 0.633 \quad 0.367 \quad 0 \quad 0]$$

(4) 一级评判指标的评判结果

$$B = [0.267 \quad 0.147 \quad 0.093 \quad 0.075 \quad 0.281 \quad 0.137] \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.506 & 0.712 & 0 \\ 0 & 0 & 0.359 & 0.641 & 0 \\ 0 & 0 & 0.358 & 0.642 & 0 \\ 0.168 & 0.644 & 0.188 & 0 & 0 \\ 0 & 0.246 & 0.430 & 0.324 & 0 \\ 0 & 0.633 & 0.367 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(5) 一级评判指标综合得分

$$S = [0.013 \quad 0.204 \quad 0.406 \quad 0.434 \quad 0] \times [0.9 \quad 0.7 \quad 0.5 \quad 0.3 \quad 0.1]^T = 0.48 < 0.5$$

评价结果为一般偏劣,表明该既有住宅的节能效果不好,尤其是门窗和屋面的性能较劣,需要进行全面改造。

(6) 结论 通过相同的方法对另外两个小区住宅楼进行评判,对比综合得分,按照由低到高的顺序进行节能改造。

5 结语展望

我们在分析中深刻感到,要做好既有建筑的节能改造工作,政府应加快推进既有建筑能源监管体系建设^[8],建立能源分析、诊断、评价体系;对城市既有建筑基本情况进行全面调查和统计,建立各类既有

建筑的建筑面积、结构类型、竣工时间、建筑用途、供热情况、能耗情况管理信息系统。以此为基础,才能按照调查和统计情况进行分析,制定全市既有建筑节能改造的专项实施方案,明确改造对象、进度计划、资金筹措方案和保证措施。

参考文献 References

- [1] 吴思睿,曾红,胡陵. 西安市既有公共建筑节能潜力调研及分析[J]. 山西建筑, 2012, 38(13): 233-234.
WU Si-rui, ZENG Hong, HU Ling. Research and analysis on Xi'an public building energy saving potential[J]. Shanxi Architecture, 2012, 38(13): 233-234.
- [2] 王清勤,何维达. 既有公共建筑节能改造评价指标体系构建的探讨[J]. 建筑节能, 2011, 39(4): 73-76.
WANG Qing-qin, HE Wei-da. Establishment of the evaluation index system for energy saving retrofitting of existing public [J]. Energy-Saving Technology, 2011, 39(4): 73-76.
- [3] Edmundas Kazimieras Zavadskas, Jurgita Antucheviciene. Multiple criteria evaluation of rural buliding's regeneration alternatives[J]. Building and Environmrnt, 2007, 42(1): 436-451.
- [4] 王恩茂,刘晓君. 层次分析与模糊综合评判法在节能住宅设计方案优选中的应用[J]. 四川建筑科学研究, 2007, 33(2): 146-149.
WANG En-mao, LIU Xiao-jun. AHP and fuzzy comprehensive evaluation method in choosing optimal design [J]. Sichuan Building Science, 2007, 33(2): 146-149.
- [5] 王卫卫. 模糊综合评价法在既有公共建筑节能改造中的应用研究[J]. 科技向导, 2011(18): 75-76.
WANG Wei-wei. Fuzzy comprehensive evaluation method in the energy saving reconstruction for the existing public buildings [J]. Technology Guide, 2011(18): 75-76.
- [6] Arturas Kaklauskas, Edmundas Kazimieras Zavadskas, Saulius Raslanas. Selection of low-e windows in retroft of public buildings by applying multiple crittrria method COPRAS; A Lithuanian case[J]. Energy and Building, 2006, 38(5): 454-462.
- [7] 张晓波. 西安地区住宅建筑节能综合评价体系及相关政策研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
ZHANG Xiao-bo. Xi'an residential building energy efficiency evaluation system and relevant policy research [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2007.
- [8] 康立秋. 我国北方地区居住建筑节能评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
KANG Li-qiu. The evaluation on North China residential building energy efficiency [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009.

Study on priority selection for energy-saving renovation projects based on the existing residential properties of Xi'an

LIU Xiao-jun, WANG Jin

(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055 China)

Abstract: In comprehensive consideration of the existing residential building in the City of Xi'an and the service life after energy saving renovation, the reasonable energy saving range is determined. Analytic Hierarchy Process is used based on the properties of existing residential buildings to establish theirs energy saving evaluation index system, and fuzzy comprehensive evaluation method is applied to build the existing residential building energy saving project model. This may provide a basis for making prior selection for existing residential buildings in Xi'an.

Key words: existing residential buildings; service life; project priority selection; fuzzy comprehensive evaluation method