

旧工业建筑(群)再生利用评价指标体系构建

李慧民¹, 田卫¹, 闫瑞琦^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 中国城乡发展有限公司, 北京 100036)

摘要:随着旧工业建筑(群)再生利用项目的大量开发,项目急需科学有效的评价标准为其开展提供决策参考。由于目前再生利用评价研究中没有成熟的评价指标体系,研究从可持续发展角度出发,参考国内外多种评价体系构建方法,通过对全国 96 个项目进行调研分析,确立评价指标的初步框架。在此基础上,对评价指标进行专家论证、重要性和相关性分析以及应用可拓学方法进行阶段分类,从经济、社会与环境三维角度建立了适用于可持续性和全过程评价的旧工业建筑(群)再生利用评价指标体系。

关键词:旧工业建筑(群);再生利用;评价指标;可持续发展

中图分类号:F 213.2

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2013)06-0772-06

近年来,随着可持续发展理论在各行业的深化研究,起步较晚的旧工业建筑(群)再生利用项目已经部分开始从“和谐社会”、“循环经济”、“绿色生态”的三维角度中探索寻求新的发展思路。然而,由于区域经济发展的不均衡和地方社会认知的参差不齐,旧工业建筑(群)再生利用项目的开发差异很大^[1],在经济、社会、环境三方面表现很不均衡,最终成功的项目并不多。究其原因主要是因为没有科学的衡量标准去对旧工业再生利用项目的可持续发展水平做出有效评价,项目的发展缺乏有效的决策参考依据。所以,从可持续发展角度突破旧工业建筑再生利用的“瓶颈”,需建立切实可行的项目评价体系,寻求项目经济性、社会性和环境性的统一平衡,为项目决策提供可靠的指导性意见。为了实现旧工业建筑(群)再生利用项目的可持续性评价,需建立一套行之有效的指标体系。本文在可持续发展理论的基础上,将建立基于经济、社会与环境三维模式的旧工业建筑(群)再生利用评价指标体系。该指标体系适用于旧工业建筑(群)再生利用项目可持续性、多阶段的全过程评价。

1 旧工业建筑(群)再生利用项目评价指标的初步框架

评价指标是对能够反映评价对象本质随时间变化的各种特征的定性及量化度量,一般主要是从定量角度来说明事物的本质属性及特征;而评价指标体系是指彼此相对独立、亦具有一定关联性的指标集合^[2]。评价指标与指标体系是旧工业建筑(群)再生利用项目进行评价的前提,指标体系是否科学、系统、客观、有效以及是否便于数据采集分析,直接关系到项目评价结果的合理和有效性。所以,指标体系的建立是评价体系研究过程中一个十分关键的环节。近年来,国外有学者提出了从社会、经济、生态和技术四维的角度对项目的可持续性进行分析^[3];国内也有学者针对基础设施建设的可持续性评价建立了社会、经济、环境三维的前评价指标体系^[4]。这些研究对旧工业建筑(群)再生利用评价的研究具有一定的启示意义,然而旧工业建筑(群)再生利用评价指标体系需要能够准确而有效地反映整个项目在决策、设计、施工及运营全过程内的可持续性。那么,在我国的旧工业再生利用项目起步较晚的情况下,相关的制度制定都处在探索之中,而且各城市再生利用项目成功的数量有限,加之各地区经济、文化、地理环境多有差异,影响项目实施的不确定因素繁多,缺乏可参考的有效历史数据。研究通过参考 BREEAM(英国)、LEED(美国)、国家标准《绿色建筑评价标准》和《绿色奥运建筑评估体系》等多个国家的绿色建筑评价体系^[5-7],遵循其基本原则,总结对其它项目评价指标体系的相关研究文献^[8-9],初步确定出部分指

收稿日期:2013-06-09 修改稿日期:2013-11-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51178386);陕西省自然科学基金资助项目(2009JM7003)

作者简介:李慧民(1954-),男,陕西澄城人,教授,博士生导师,主要从事土木工程造价与管理方面的教学与科研。

标. 然后通过对全国 22 个重点城市中 96 个项目进行现场调研观察、问卷调查, 咨询各地政府主管部门、项目投资方、相关设计师、使用者以及后期运营管理者等多方人员, 收集与再生利用项目有关的历史资料、项目规划方案、改造设计图纸和建筑物现场实际效果采集等信息, 分析总结出影响旧工业建筑(群)再生利用项目实施全过程的因素. 通过对信息的分析列成指标清单, 遵循评价指标的一般优选原则^[10], 经过与专家反复交流论证(回访), 结合国内旧工业再生利用项目发展实际, 研究从经济、社会和环境三方面汇总出表 1 关于旧工业建筑(群)再生利用项目的评价指标初步框架.

由于研究的目的在于实现可用于对再生利用项目寿命期内进行全过程评价的评价方法, 那么相应的评价指标体系也需符合这种评价特点. 对于一个完整的工程项目来说, 无论其时间跨度还是空间跨度都相当大, 影响项目发展的不确定因素也会随项目进程不尽相同. 同时, 用于评价的指标在项目的不同阶段所涉及的工程内容和体现的重要程度都会不同, 所以研究对旧工业再生利用项目采取分阶段的全过程评价, 而将各指标运用可拓判别方法^[10-11]归类到项目进展的不同阶段, 如表 1 所示. 在此基础上, 研究通过一定的数学方法分析, 确定出优选后的旧工业建筑(群)再生利用项目评价指标及指标体系. 关于旧工业建筑(群)再生利用项目评价指标优选全过程如图 1 所示.

2 评价指标的重要性分析

研究以课题集中调研为契机, 以表 1 初选指标为基础, 以分析指标之间的重要程度和离散程度为主要目的, 制定指标重要程度调研问卷表(可回访). 受访专家根据问卷提示信息, 对经济、社会、环境三大类指标的重要程度做出判断. 重要程度分 5 个级别: 非常不重要——赋值 1 分, 不重要——赋值 2 分, 一般考虑——赋值 3 分, 重要——赋值 4 分, 非常重要——赋值 5 分. 调研共发放问卷 96 份, 回收的有效卷数为 56 份, 其中包括: 政府人员(各地规划局、土地局和经信委等部门相关负责人)提供 26 份、各地区规划设计研究院从事该方面设计和研究的人员提供 18 份, 以及高校长期从事该方面研究的科研人员提供 12 份, 也即共 56 名专家. 由于问卷来源的客观程度基本一致, 所以对每个指标对应的数据可直接做均权处理. 每个指标对应的一组数据用 x_{ij} 表示, 其中 $i = 1, 2, 3, \dots, m$ (SI_{13} 表示指标的数量), $j = 1, 2, 3, \dots, n$ (SI_{15} 表示专家的数量). 收集数据整理后见表 2.

表 1 旧工业建筑(群)再生利用项目评价指标初步框架

Tab. 1 The preliminary framework of old industrial buildings (group) recycling project evaluation indexes

指标类别	指标名称	指标阶段分类			
		1	2	3	4
经济 指标	项目投资计划 EI_{11}	√	√		
	项目融资模式 EI_{12}	√			
	项目技术方法优势 EI_{13}	√	√	√	√
	阶段成本 EI_{14}	√	√	√	√
	动态回收期 EI_{15}	√			√
	投资回收期 EI_{16}	√			√
	净现值率 EI_{17}	√			
	内部收益率 EI_{18}	√			√
	财务风险评估 EI_{19}	√			√
社会 指标	对区域经济发展的影响 EI_{21}	√			√
	改善公共卫生环境的能力 EI_{22}	√	√		√
	与周围环境的协调性 EI_{23}	√	√		√
	与地区人文、风俗、习惯的融合性 EI_{24}	√	√	√	√
	提供就业机会的能力 EI_{25}	√			√
	对区域其它活动提供配套设施的能力 EI_{26}	√	√		√
	过程中对周边居民的干扰程度 EI_{27}	√	√	√	√
	施工环境的文明程度 EI_{28}				√
	对自然、历史、文化遗产的保护程度 EI_{29}	√	√	√	√
	对区域形象的提升能力 EI_{210}	√	√	√	√
环境 指标	与区域地理环境的结合程度 EI_{31}	√	√		√
	对生态环境的敏感程度 EI_{32}	√	√		√
	对可再生能源的利用程度 EI_{33}	√	√		√
	对可再利用或可循环材料的使用程度 EI_{34}		√	√	√
	节能措施对总能耗的降低程度 EI_{35}		√	√	√
	对土地资源的合理利用程度 EI_{36}	√	√		√
	节水及优化水资源的能力 EI_{37}		√	√	√
	室内环境质量水平 EI_{38}		√		√
	对废弃物的分类处理能力 EI_{39}		√	√	√
	空气污染程度 EI_{310}			√	√
	噪音污染程度 EI_{311}			√	√
	特殊污染源污染处理程度 EI_{312}	√	√	√	√
	绿色建筑运营管理表现 EI_{313}				√

注: 表中数字 1~4 分别表示决策阶段、设计阶段、施工阶段和使用维护阶段.

对指标重要程度分析依据重要程度指数 RII_i 进行比较, RII_i 相对较小的指标, 表明专家一致认为对应指标相对其它指标而言较为次要, 此时可根据实际评价情况进行适当剔除. RII_i 的表达式:

$$RII_i = 100 \times \frac{N_{i1} \times 1 + N_{i2} \times 2 + N_{i3} \times 3 + N_{i4} \times 4 + N_{i5} \times 5}{5N} \quad (1)$$

其中, $i = 1, 2, 3, \dots, m$; $N_{i1} \sim N_{i5}$ 分别表示问卷对第 i 个指标赋值为 1, 2, 3, 4, 5 时所对应的反馈人数数量; N 为问卷总数量.

对于指标的离散程度主要根据统计数据计算所得的变异系数 δ_i 进行分析, δ_i 值越大, 表明专家对该指标的意见分歧较大, 一般来讲, 后期评价对其赋值离散度也比较大, 数据可信度不高, 所以, 在这种情况下, 该指标需要被剔除. 变异系数 δ_i 的计算式为:

$$\delta_i = \frac{\sigma_i}{\mu_i} \quad (2)$$

$$\text{其中, } \mu_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (3)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \mu_i)^2} \quad (4)$$

最终分析结果见表 2. 可以看出, 经济指标中的投资回收率、净现值率和财务风险评估三项, 社会指标中的与地区人文、风俗、习惯的融合性、施工环境的文明程度两项和环境指标中的对生态环境的敏感程度项都属于对应类中重要程度指数 RII_i 较小指标^[4] ($RII_i < 80$), 且与其它指标的重要程度指数 RII_i 数值相差较大. 同时, 这六个指标的

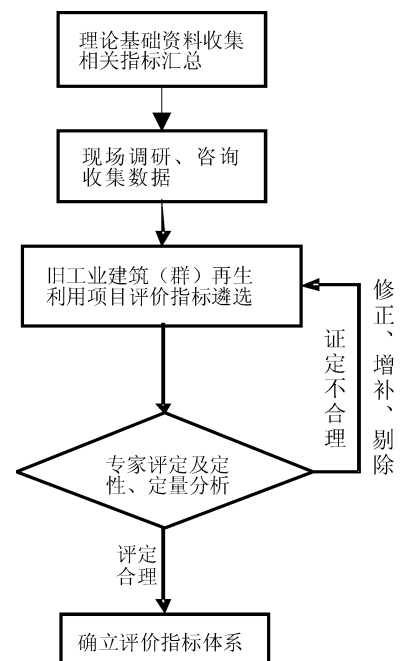


图1 旧工业建筑(群)再生利用项目评价指标优选流程

Fig. 1 The optimization process of old industrial buildings(group) recycling project evaluation indexes

表2 评价指标重要程度及离散程度分析

Tab. 2 Analysis of evaluation indexes importance and dispersion

一级指标	二级指标	反馈问卷所赋分值					μ_i	σ_i	δ_i	RII_i
		1	2	3	4	5				
经济指标	x_1	1	1	8	24	22	4.16	0.87	0.21	83.21
	x_2	2	1	6	25	22	4.14	0.94	0.23	82.86
	x_3	1	2	6	27	20	4.13	0.88	0.21	82.50
	x_4	0	0	2	23	31	4.52	0.57	0.13	90.36
	x_5	0	4	6	22	24	4.18	0.90	0.21	83.57
	x_6	0	7	11	24	14	3.80	0.96	0.25	76.07
	x_7	2	6	15	26	7	3.54	0.97	0.27	70.71
	x_8	0	0	4	31	21	4.30	0.60	0.14	86.07
	x_9	0	7	15	21	13	3.71	0.97	0.26	74.29
社会指标	x_{10}	0	2	5	28	21	4.21	0.76	0.18	84.29
	x_{11}	0	3	4	30	19	4.16	0.78	0.19	83.21
	x_{12}	0	2	9	26	19	4.11	0.80	0.20	82.14
	x_{13}	2	4	16	25	9	3.63	0.96	0.27	72.50
	x_{14}	0	3	8	23	22	4.14	0.86	0.21	82.86
	x_{15}	1	3	9	25	18	4.00	0.93	0.23	80.00
	x_{16}	0	0	6	32	18	4.21	0.62	0.15	84.29
	x_{17}	3	6	11	27	9	3.59	1.06	0.29	71.79
	x_{18}	0	0	8	29	19	4.20	0.67	0.16	83.93
	x_{19}	1	1	8	29	17	4.07	0.83	0.20	81.43

续表

一级指标	二级指标	反馈问卷所赋分值					μ_i	σ_i	δ_i	RII_i
		1	2	3	4	5				
环境指标	x_{20}	1	2	8	23	22	4.13	0.92	0.22	82.50
	x_{21}	1	4	13	24	14	3.82	0.96	0.25	76.43
	x_{22}	0	3	9	26	18	4.05	0.84	0.21	81.07
	x_{23}	0	2	6	31	17	4.13	0.74	0.18	82.50
	x_{24}	0	0	5	28	23	4.32	0.64	0.15	86.43
	x_{25}	0	0	2	32	22	4.36	0.55	0.13	87.14
	x_{26}	0	0	3	34	19	4.29	0.56	0.13	85.71
	x_{27}	0	0	5	34	17	4.21	0.59	0.14	84.29
	x_{28}	2	2	5	27	20	4.09	0.96	0.23	81.79
	x_{29}	0	3	8	30	15	4.02	0.80	0.20	80.36
	x_{30}	0	2	7	33	24	4.20	0.81	0.19	83.94
	x_{31}	0	1	10	29	16	4.07	0.74	0.18	81.43
	x_{32}	0	3	9	27	17	4.04	0.83	0.21	80.71

变异系数 δ 也都比较大($\delta_i > 0.25$),说明受访专家对这些指标指标的理解程度存在较大分歧. 所以,这六项指标应该从旧工业建筑(群)再生利用项目评价指标汇总表中剔除,之后再将重新整理后的指标汇总表反馈给 56 位受访专家,按照反馈意见再次确定旧工业建筑(群)再生利用项目评价指标框架.

3 评价指标的相关性分析

在对评价指标进行重要性比选之后,考虑到相关性比较大的指标会导致信息重复对评价结果有一定影响,所以需进一步对指标进行相关性分析. 根据评价指标间的相关系数 γ ($0 \leq |\gamma| \leq 1$) 与相应临界值 γ_α 的比较,当 $|\gamma| > \gamma_\alpha$ 时认为两个指标间相关性显著,这时应删除两个指标中相对次要的那个. 但现阶段研究中尚无统一的相关系数临界值 γ_α [4, 8]. 由于一般情况下,相关系数的检验是在给定的置信水平 α 下进行的(按自由度和置信水平查出的值为相关性系数等于零的临界值 γ_α),本文计算所得相关系数当 $|\gamma| < \gamma_{0.05}$ 时,认为两个指标间不存在显著相关性.

旧工业建筑(群)再生利用项目的各评价指标量值取自可拓域 [10-11]. 由于评价指标的量值域不统一,所以在对指标进行相关性分析前需进行数据的标准化处理 γ_α . 对于正向指标和负向指标分别按照公式 5,6 进行处理,其中 v_{ij} 表示第 j 个评价对象的第 i 个指标量值, v'_{ij} 为 v_{ij} 标准化后的值, m 为评价对象个数.

$$v'_{ij} = \frac{v_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m}(v_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq m}(v_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m}(v_{ij})}$$

(5)

$$v'_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m}(v_{ij}) - v_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m}(v_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m}(v_{ij})}$$

(6)

研究选取调研项目中 13 个较为典型的项目作为评价对象,由于各评价指标量值存在阶段性,为了便于计算,用每个评价指标阶段加和平均值进行相关性分析. 本文应用 SPSS 软件计算指标间的相关系数,各类别指标相关分析计算结果分别见表 3~5. 结果表明各评价指标间在 0.05 的置信水平(双侧)下不存在显著相关性.

通过以上分析可知,在表 1 的基础上

表 3 经济类评价指标间的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficient between the economic evaluation indexes

经济指标	EI_{11}	EI_{12}	EI_{13}	EI_{14}	EI_{15}	EI_{18}
EI_{11}	1	0.44	0.45	0.23	-0.03	0.45
EI_{12}		1	0.15	-0.02	0.00	0.06
EI_{13}			1	0.34	-0.33	0.30
EI_{14}				1	-0.24	0.53
EI_{15}					1	-0.32
EI_{18}						1

剔除 EI_{16} 、 EI_{17} 、 EI_{19} 、 EI_{24} 、 EI_{28} 和 EI_{32} 等评价指标后的评价指标框架,即为旧工业建筑(群)再生利用评价指标体系。

表 4 社会类评价指标间的相关系数

Tab. 4 Correlation coefficient between the social evaluation indexes

社会指标	EI_{21}	EI_{22}	EI_{23}	EI_{25}	EI_{26}	EI_{27}	EI_{29}	EI_{210}
EI_{21}	1	-0.17	-0.34	0.05	-0.17	0.34	-0.34	-0.06
EI_{22}		1	0.20	0.45	0.04	0.27	-0.31	0.03
EI_{23}			1	-0.21	0.48	-0.04	0.04	0.49
EI_{25}				1	-0.07	0.38	-0.39	0.17
EI_{26}					1	-0.06	0.14	0.45
EI_{27}						1	-0.38	0.40
EI_{29}							1	-0.17
EI_{210}								1

表 5 环境类评价指标间的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient between the environmental evaluation indexes

环境指标	EI_{31}	EI_{33}	EI_{34}	EI_{35}	EI_{36}	EI_{37}	EI_{38}	EI_{39}	EI_{310}	EI_{311}	EI_{312}	EI_{313}
EI_{31}	1	-0.04	-0.35	-0.08	0.06	0.01	0.07	-0.32	0.30	0.54	-0.10	0.00
EI_{33}		1	-0.51	-0.16	0.05	0.32	-0.42	0.15	-0.40	-0.51	-0.46	0.49
EI_{34}			1	0.21	0.06	-0.40	0.28	-0.23	0.38	0.05	-0.03	-0.41
EI_{35}				1	-0.45	0.11	0.02	0.42	0.56	0.33	0.47	0.21
EI_{36}					1	-0.00	0.01	-0.18	-0.01	-0.37	-0.44	-0.21
EI_{37}						1	-0.07	0.19	0.19	-0.26	-0.26	0.47
EI_{38}							1	0.39	0.13	0.44	0.02	0.18
EI_{39}								1	-0.28	0.19	0.23	0.45
EI_{310}									1	0.24	0.09	-0.08
EI_{311}										1	0.39	-0.25
EI_{312}											1	0.01
EI_{313}												1

4 结 论

为建立科学有效的旧工业建筑(群)再生利用评价指标体系,研究基于可持续发展理论,通过理论分析和实践调研,确定出评价指标最初框架。在此基础上,通过专家对指标的信息涵盖量和合理性进行反复论证,依据可拓判别方法对指标按评价阶段分类,并进一步对指标的重要性、离散性和关联性进行分析,保证了评价指标的信息完备、简要、独立有效和切实可行性。通过整套的评价指标优选流程,最终建立了旧工业建筑(群)再生利用项目评价指标体系。该体系为实现旧工业建筑(群)再生利用项目的可持续性评价,和保证项目在经济、社会、环境三方面达到均衡统一,提供了可靠的理论基础和决策依据。

参考文献 References

- [1] 刘金为,周保卫. 旧工业建筑改造再利用新进展[J]. 工业建筑, 2008, 38(8): 31-34.
LIU Jin-wei, ZHOU Bao-wei. New progress in the renovation of old industrial buildings[J]. Industrial Construction, 2008, 38(8): 31-34.
- [2] 田 卫. 高速公路专项养护工程风险评估与安全管理研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
TIAN Wei. Research on Risk Assessment and Safety Management of Highway Special Maintenance Project[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2011.
- [3] HILL R C, BOWEN P A. Sustainable construction: principles and a framework for attainment[J]. Journal of Con-

- struction Management and Economics, 1997, 15(3): 223-239.
- [4] 甘琳,申立银,傅鸿源. 基于可持续发展的基础设施项目评价指标体系的研究[J]. 土木工程学报, 2009, 42(11): 133-138.
GAN Lin, SHEN Li-yin, FU Hong-yuan. Study of the infrastructure project evaluation factors based on sustainable development[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(11): 133-138.
- [5] 日本可持续建筑协会. 建筑物综合环境性能评价体系:绿色设计工具[M]. 石文星,译. 北京:中国建筑工业出版社, 2005:10-28.
Japan Association for sustainable construction. Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE) [M]. SHI Wen-xing, translated. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005:10-28.
- [6] 黄琪英. 国内绿色建筑评价的研究[D]. 成都:四川大学, 2005.
HUANG Qi-ying. Study on Assessment of Green Building in China[D]. Chengdu: Sichuan University, 2005.
- [7] 江亿,林波荣. 北京奥运建设与绿色奥运评估体系[J]. 建筑科学, 2006, 22(5A): 1-6.
JIANG Yi, LIN Bo-rong. Beijing Olympic Construction and Evaluation System of Green Olympics[J]. Building Science, 2006, 22(5A): 1-6.
- [8] 迟国泰,曹婷婷,张昆. 基于相关-主成分分析的人的全面发展指标体系构建[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(1): 111-119.
CHI Fuo-tai, CAO Ting-ing, ZHANG Kun. The establishment of human all-around development evaluation indicators system based on correlation-principle component analysis [J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2012, 32(1): 111-119.
- [9] 赵红,孙键,胡锋,等. 基于行业内部的企业社会责任评价指标体系构建[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2012, 40(4): 650-656.
ZHAO Hong, SUN Jian, HU Feng, et al. Corporate Social Responsibility Evaluation Index System Development Based on Industry Internal Perspective [J]. Journal of Tong Ji University: Natural Science, 2012, 40(4): 650-656.
- [10] 闫瑞琦. 旧工业建筑(群)再生利用项目评价体系研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2012.
YAN Rui-qi. The Research on the Evaluation System of Old Industrial Buildings(group) Regeneration Utilization Project[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2012.
- [11] 杨春燕,蔡文. 可拓工程[M]. 北京:科学出版社, 2007.
YANG Chun-yan, CAI Wen. Extension Engineering[M]. Beijing: Science Press, 2007.

Constituting recycling evaluation index system for old industrial buildings (Group)

LI Hui-min¹, TIAN Wei¹, YAN Rui-qi^{1,2}

(1. School of Civil Eng., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. China Urban And Rural Construction Development CO., Beijing 100036, China)

Abstract: As the recycling projects for old industrial buildings (group) develop, effective scientific evaluation standard to supply the crucial reference for the implementing immediately becomes necessary. Since the recycling evaluation survey is short of mature evaluation index system, the initial framework for the evaluation index is set up from the perspective of sustainable development as well as reference to plenty of domestic and overseas methods to constitute the evaluation systems and analyze 96 domestic projects, which is used as a basis for setting up the recycling evaluation index system for old industrial buildings (group). From the three-dimensional angles of economic, society and environment, such an evaluation system may be applied for the sustainable development of old building recycling and its evaluation index system.

Key words: old industrial buildings (group); recycling; evaluation index; sustainable development