

Study on the Public Building Energy Saving Level Evaluation Index System of China's Cold Region*

Hanning Wang, Zhijuan Liao, Haiyan Duan, Xianen Wang[#]

College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun
Email: 125765645@qq.com, 943952706@qq.com, duanhy1980@jlu.edu.cn, [#]wxen@jlu.edu.cn

Received: May 27th, 2013; revised: Jun. 17th, 2013; accepted: Jun. 28th, 2013

Copyright © 2013 Hanning Wang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Because the heating period is long in the severe cold area of China, and the public buildings' energy consumption is in a high level, evaluating of energy saving becomes the key factor in promoting public building's energy saving. In this paper, analytic hierarchy process and fuzzy membership function method are used to construct a public building energy saving evaluation index system for cold region by combining the experience of building energy saving at home and abroad and constructing principles for evaluation index system. Jilin Province is chosen as an example to be evaluated and analyzed, according to the evaluation index system. The study results show that the energy saving level of public building in Jilin Province is good. Meanwhile, there are some problems, such as high heating energy consumption, low utilization of renewable energy and low level of energy saving. Therefore, the evaluation index system is practicable. In a word, the study results are of practical significance to promote the urban public building energy saving in cold regions.

Keywords: Public Buildings; Energy Saving; Evaluation; Cold Region

我国严寒地区公共建筑节能降耗水平评价指标体系研究*

王寒凝, 廖志娟, 段海燕, 王宪恩[#]

吉林大学环境与资源学院, 长春
Email: 125765645@qq.com, 943952706@qq.com, duanhy1980@jlu.edu.cn, [#]wxen@jlu.edu.cn

收稿日期: 2013年5月27日; 修回日期: 2013年6月17日; 录用日期: 2013年6月28日

摘要: 我国严寒地区冬季采暖期长、公共建筑能耗水平较高, 节能降耗水平评价成为促进区域建筑节能减排的关键因素。本文通过结合国内外先进经验, 遵循评价指标体系构建原则, 运用层次分析法、模糊隶属度函数等方法, 构建了严寒地区公共建筑节能降耗水平评价指标体系, 并以吉林省为实例进行了评价和分析。研究结果显示, 吉林省公共建筑节能降耗水平为良, 同时存在诸如采暖能耗高、可再生能源利用程度低、节能改造有待进一步提高等问题, 指标体系切实可用。研究结果对促进严寒地区公共建筑节能减排具有一定的现实意义。

关键词: 公共建筑; 节能降耗; 评价指标; 严寒地区

*基金项目: 吉林省科技厅项目“吉林省民用建筑节能降耗对策研究”(20120606); 吉林省科技厅项目“吉林省碳排放峰值预测与低碳发展政策研究”(20110638); 国家自然科学基金项目“应对气候变化的低碳经济区建设政策研究”(70941036); 吉林省发改委项目“低碳经济发展战略研究”。

[#]通讯作者。

1. 引言

随着经济社会的不断发展,能源匮乏、全球变暖等环境问题的日益突出,节能减排成为促进可持续发展的重要举措^[1,2]。伴随着我国城市化的快速推进,建筑总量迅速攀升,人们对公共建筑“高、深、新、奇、特”等特色的要求,促使公共建筑能耗不断增加,而能源效率不高导致我国公共建筑存在巨大能源浪费,节能降耗工作日益紧迫。尤其我国北方寒冷地区,冬季采暖期长,采暖能耗占公共建筑总能耗的比重大^[3,4]。近年来,相关地区陆续出台了一系列建筑节能实施细则,使建筑节能工作在法制方面有了基本的保证^[5]。而我国严寒地区节能建筑面积占总公共建筑面积的比例仍较小,建立科学的建筑节能评价体系有利于决策者明确项目在建设过程中的能源消耗及影响因素,通过不断改进、完善设计方案,达到节能环保的目的,对于国家实现节能减排具有实践意义^[6]。基于此,本文结合我国寒冷地区建筑能耗现状,从城市发展水平、能源消耗水平和节能改造水平等方面构建我国北方寒冷地区公共建筑节能降耗水平评价指标体系,并以吉林省为例进行实例研究。

2. 严寒地区公共建筑节能降耗评价指标体系构建

公共建筑包含办公建筑(包括写字楼、政府部门办公室等)、商业建筑(如商场、金融建筑等)、旅游建筑(如酒店、娱乐场所等)、科教文卫建筑(包括文化、教育、科研、医疗、卫生、体育建筑等)、通信建筑(如邮电、通讯、广播用房)以及交通运输类建筑(如机场、高速公路、铁路、桥梁等)。考虑到公共建筑节能降耗水平评价受诸多因素的影响,本着科学性、系统性、代表性、独立性和可操作性等原则,借鉴国内外先进经验,根据《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2005)、《采暖建筑节能检验标准》和吉林省地方标准《公共建筑节能设计标准》(DB22/T436-2006)以及与吉林省建筑节能相关的政府工作报告,结合北方严寒地区公共建筑能耗特点,建立我国严寒地区公共建筑节能降耗水平评价指标体系。

2.1. 公共建筑节能降耗水平评价指标体系的确立

建筑节能降耗水平评价指标体系是由一系列衡

量建筑节能水平的指标组成的^[3,7-9]。考虑严寒地区公共建筑能耗状况、新能源利用供应等因素,以公共建筑节能降耗水平评价作为目标层,以公共建筑节能降耗的影响和评判因素“城市发展水平、能源消耗水平和节能改造水平”作为准则层,以各具体评价指标作为指标层,构建严寒地区公共建筑节能降耗水平评价指标体系。如表1所示。

2.2. 评价指标解释

2.2.1. 城市发展水平指标(B₁)

人口(C₁₁),是反映城市化的重要指标,为严寒地区人口总数,包括城镇人口和农村人口。人均GDP指标(C₁₂),反映区域经济发展水平,能够间接体现居民生活水平,数据来源于统计年鉴。城市化率(C₁₃):是城市化的度量指标,为城镇人口占总人口的比重。当年竣工建筑增长率(C₁₄),反映公共建筑总量的增长速度,间接反映城市化的进程。集中供热普及率(C₁₅),反映城市供热设施普及情况,间接反映城市发展水平。

Table 1. The public building energy saving level evaluation index system of cold region
表 1. 严寒地区公共建筑节能降耗评价指标体系

目标层	准则层	指标层
城市发展水平指标(B ₁)		人口(C ₁₁)
		人均GDP指标(C ₁₂)
		城市化率(C ₁₃)
		当年竣工建筑增长率(C ₁₄)
		集中供热面积所占比例(C ₁₅)
住宅建筑节能降耗水平评价指标体系(A)	能源消耗水平指标(B ₂)	建筑能耗占能耗总量的比重(C ₂₁)
		单位建筑面积能耗(C ₂₂)
		单位面积空调终端负荷(C ₂₃)
		单位面积采暖终端负荷(C ₂₄)
		单位面积照明终端负荷(C ₂₅)
		太阳能利用比例(C ₂₆)
		节能建筑占建筑总量的比重(C ₃₁)
		建筑节能标准执行率(C ₃₂)
		节能改造面积(C ₃₃)
		节能意识普及率(C ₃₄)
节能措施实施率(C ₃₅)		
节能改造水平指标(B ₃)		

2.2.2. 能源消耗指标(B₂)

建筑能耗占能耗总量的比重(C₂₁), 考察总体能耗情况, 为严寒地区公共建筑能源消耗总量与当年全社会能源消费总量之比。单位建筑面积能耗(C₂₂), 考察能耗随建筑面积变化态势, 为严寒地区公共建筑能源消耗总量与公共建筑总面积之比。单位面积空调终端负荷(C₂₃), 考察公共建筑空调能耗强度。单位面积采暖终端负荷(C₂₄), 考察公共建筑采暖能耗强度。单位面积照明终端负荷(C₂₅), 考察公共建筑照明能耗强度。太阳能利用比例(C₂₆), 考察公共建筑太阳能热水器的利用情况。

2.2.3. 节能改造指标(B₃)

节能建筑占建筑总量的比重(C₃₁), 考察公共节能建筑普及情况, 间接体现需要进行节能改造建筑的比例, 为节能建筑总面积与民用建筑总面积之比。建筑节能标准执行率(C₃₂), 考察新建公共建筑节能工作的实施力度。节能改造面积(C₃₃), 考察严寒地区公共建筑节能改造工作进展情况。节能意识普及率(C₃₄), 考察居民节能意识普及情况。节能措施实施率(C₃₅), 考察严寒地区节能措施的实施情况。

3. 研究方法

3.1. 指标权重分析方法

评价指标的权重代表着各评价指标在整个评价指标体系中的重要程度, 确定各评价指标的权重是建立整个评价指标体系的核心环节。本文采用层次分析法(AHP)进行指标权重的确定。层次分析法是一种充分整合人为主观判断的客观方法, 通过分析复杂系统所包含的因素及其相互关系, 将问题分解为不同的要素并归并为不同的层次, 把这些因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构, 利用 1~9 作为标度构造判断矩阵, 通过两两比较确定层次中各因素的相对重要性, 计算判断矩阵特征向量并进行一致性检验, 最后综合人的判断, 以决定决策各因素相对重要性的总顺序^[10,11]。

3.2. 指标无量纲化处理方法及评价准则

3.2.1. 指标无量纲化处理

本文采用模糊隶属度函数来对各指标进行无量纲化处理^[12]。根据不同指标的性质, 确定各指标的隶

属度函数并进行计算, 得出各指标量化后的结果。

1) 正向指标, 采用半升梯形模糊隶属度进行量化:

$$X(A_i) = \begin{cases} 1 & A_i \geq A_{\max} \\ \frac{A_i - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} & A_{\min} \leq A_i \leq A_{\max} \\ 0 & A_i \leq A_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $X(A_i)$ ——指标隶属度值;

A_i ——指标的实际数值;

A_{\max} ——指标的上限值;

A_{\min} ——指标的下限值。

2) 逆向指标, 采用半降梯形模糊隶属度函数进行量化:

$$X(A_i) = \begin{cases} 1 & A_i \leq A_{\min} \\ \frac{A_{\max} - A_i}{A_{\max} - A_{\min}} & A_{\min} \leq A_i \leq A_{\max} \\ 0 & A_i \geq A_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

3) 适度指标, 采用半升半降梯形模糊隶属度函数量化:

$$X(A_i) = \begin{cases} \frac{2(A_i - A_{\min})}{A_{\max} - A_{\min}} & A_{\min} \leq A_i \leq A_{i0} \\ \frac{2(A_{\max} - A_i)}{A_{\max} - A_{\min}} & A_{i0} \leq A_i \leq A_{\max} \\ 0 & A_i \geq A_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

式中: A_{i0} ——指标的最适度值。

4) 将各指标实际值代入相应函数求出 $X(A_i)$ 。 $X(A_i)$ 介于 0~1 之间, 已消除量纲影响, 将其换算为百分制, 最终得到各指标量化后的值:

$$F(A_i) = X(A_i) \times 100 \quad (4)$$

3.2.2. 指标评价准则

本文所构建的评价指标体系由定量指标和定性指标共同组成, 其中定量指标主要是将严寒地区城市指标数据与全国其他省市的相关数据进行对比分析来确定其优劣上下限。在定量指标中, 正向指标是将全国各省中最优水平作为指标的上限, 最差水平为指标的下限, 逆向指标相反, 而适度指标中的适度值主要通过专家咨询确定。定性指标分值的评判主要是采

Table 2. The range of evaluation indexes and evaluation criteria
表 2. 评价指标优劣上下限及评价准则

评价指标	指标方向	优劣上下限及评价准则
人口(C ₁₁)	逆向	最优值 301 万人, 最劣值 10,441 万人
人均GDP指标(C ₁₂)	正向	最优值 7.5 万元/人, 最劣值 1.3 万元/人
城市化率(C ₁₃)	适度	最适度 65%, 最优值 88.6%, 最劣值 23.8%
当年竣工建筑增长率(C ₁₄)	逆向	最优值为 5%, 最劣值为 40%
集中供热面积所占比例(C ₁₅)	正向	最优值为 85%, 最劣值为 55%
建筑能耗占能耗总量的比重(C ₂₁)	逆向	最优值为 10%, 最劣值为 80%
单位建筑面积能耗(C ₂₂)	逆向	最优值为 20 kg/m ² , 最劣值为 100 kg/m ²
单位面积空调终端负荷(C ₂₃)	逆向	最优值为 15 W/m ² , 最劣值为 35 W/m ²
单位面积采暖终端负荷(C ₂₄)	逆向	最优值为 15 W/m ² , 最劣值为 50 W/m ²
单位面积照明终端负荷(C ₂₅)	逆向	最优值为 5 W/m ² , 最劣值为 12 W/m ²
太阳能利用比例(C ₂₆)	正向	由专家评议设优、良、中、差、劣 5 个等级
节能建筑占建筑总量的比重(C ₃₁)	正向	由专家评议设优、良、中、差、劣 5 个等级
建筑节能标准执行率(C ₃₂)	正向	由专家评议设优、良、中、差、劣 5 个等级
节能改造面积(C ₃₃)	正向	由专家评议设优、良、中、差、劣 5 个等级
节能意识普及率(C ₃₄)	正向	由专家评议设优、良、中、差、劣 5 个等级
节能措施实施率(C ₃₅)	正向	由专家评议设优、良、中、差、劣 5 个等级

取专家咨询的方法, 设立优、良、中、差、劣五个等级进行评分。各评价指标优劣上下限及评价准则如表 2 所示。

3.3. 综合评价方法

3.3.1. 综合评分

综合评分常用的合成方法有线性加权和法、乘法合成法、加乘混合合成法等, 本文采用线性加权和法。将公共建筑节能降耗总性能评价满分定为 100 分, 则各指标标准化评分值与相应权重相乘相加即为综合评分。公式如下:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} \lambda_{ij}$$

式中: F ——公共建筑节能总得分;

f_{ij} ——第 i 项二级指标的第 j 项三级指标标准化评分值;

λ_{ij} ——第 i 项二级指标的第 j 项三级指标的权重值;

i ——二级指标序号;

j ——三级指标序号;

m ——二级指标数目;

n ——三级指标数目。

3.3.2. 评价等级划分

通过节能降耗水平评价综合得分建立评价等级标识: 80~100 为优, 60~80 为良, 40~60 为中, 20~40 为一般, 0~20 为差。

4. 实证验证

4.1. 研究区概况

本文以典型严寒地区——吉林省为研究对象, 对严寒地区建筑节能降耗水平评价指标体系进行实证研究。吉林省是我国开展建筑节能措施较早的省份之一, 并于 1988 年颁布了《民用建筑节能设计标准(吉林省实施细则)》, 开始执行节能 30% 的设计标准, 截止 2011 年底, 全省县级以上城市新建建筑执行建筑节能 65% 的设计标准比例达 100%。

4.2. 结果分析与讨论

通过查阅吉林省统计年鉴资料以及相关专家咨询评议^[13], 本文将 2010 年吉林省公共建筑节能降耗

评价指标面板数据进行了统计,并运用模糊隶属度函数和层次分析法分别对评价指标进行无量纲化处理和权重的确定,如表3和图1所示。

综合各种因素,吉林省公共建筑节能降耗水平综合得分为:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} \lambda_{ij} = 65.26$$

Table 3. Jilin's panel data of the public building energy saving level evaluation index system in 2010

表 3. 2010 年吉林省公共建筑节能降耗评价指标面板数据

评价指标	权重	统计数据
人口(万人)	0.0784	2747
人均GDP指标(万元)	0.0784	3.16
城市化率(%)	0.1666	53.21
当年竣工建筑增长率(%)	0.0490	8.28
集中供热面积所占比例(%)	0.1176	70.44
建筑能耗占能耗总量的比重(%)	0.0309	37.74
单位建筑面积能耗(kg/m ² ·a)	0.0347	63.13
单位面积空调终端负荷(W/m ²)	0.0589	29.42
单位面积采暖终端负荷(W/m ²)	0.1021	31.17
单位面积照明终端负荷(W/m ²)	0.0525	7.28
太阳能利用比例(%)	0.0309	中
节能建筑占建筑总量的比重(%)	0.0420	良
建筑节能标准执行率(%)	0.0720	优
节能改造面积(m ²)	0.0420	中
节能意识普及率(%)	0.0220	良
节能措施实施率(%)	0.0220	良

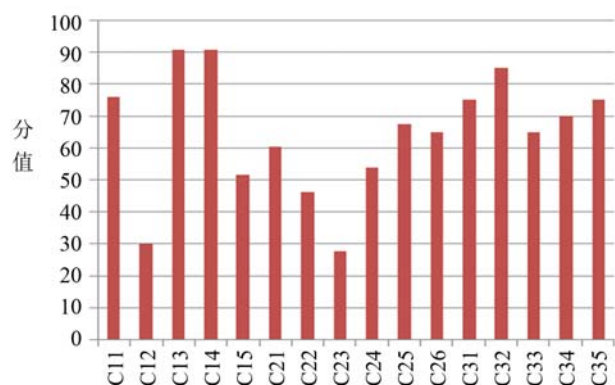


Figure 1. The indexes scores of public building energy saving level in Jilin

图 1. 吉林省公共建筑节能降耗水平各指标分值

根据公共建筑节能降耗水平综合评价等级可确定吉林省公共建筑节能降耗水平评价等级为良,建筑节能水平有待于进一步提高。

通过分析评价过程和评价结果,吉林省公共建筑节能降耗仍存在一些问題,节能降耗工作有待改善和提高。

第一,公共建筑能耗水平较高。拟合数据显示,吉林省能源消耗水平较高、节能降耗水平低,单位建筑面积能耗、单位面积空调终端负荷、单位面积采暖终端负荷单项指标得分分别为 46.1 分、27.9 分和 52.8 分,不足 60 分,尤其是单位面积空调终端负荷指标,不足 30 分,这说明,严寒地区采暖和空调能耗水平较高,尤其是空调能耗较高。分析显示,这与严寒地区冬季采暖期较长以及公共建筑的运营方式紧密相关,严寒地区公共建筑多采用热力采暖与空调采暖相结合的方式维持室内温度,尤其是大型的商场、酒店等公共建筑,由于公共建筑空间范围大,除了采用热力供暖外,空调采暖是其主要的采暖形式。

第二,可再生能源利用程度低。太阳能利用作为吉林省公共建筑可再生能源的主要利用方式,近年来在吉林省内的普遍程度并不高,吉林省内对风能、地热能等其他形式的可再生能源的利用程度更低。应加大力度开展建筑节能示范工程,开发新型可再生能源的利用形式,最大程度上提高对可再生能源的利用。

第三,节能改造有待于进一步提高。拟合数据显示,虽然,吉林省新建建筑节能标准执行率较高,但节能建筑占建筑总量的比重不足 70%,既有公共建筑的节能改造有待于进一步提高。通过对公共建筑的围护结构、供热系统、采暖制冷系统、照明设备和热水供应设施等实施节能改造的活动,可以有效降低公共建筑的能耗水平,提高能源利用效率,从而提高节能降耗水平。

5. 结论

本文以我国严寒地区作为研究对象,综合了国内外建筑节能研究进展、国家和地区现行节能标准,从城市发展水平、能源消耗水平、节能改造水平等方面构建了严寒地区公共建筑节能降耗水平评价指标体系。并以吉林省为例进行实例验证。结果显示,吉林省公共建筑节能降耗水平综合得分为 65.26,节能降

耗水平评价等级为良。针对结果提出了吉林省公共建筑存在的问题：公共建筑采暖能耗高、可再生能源利用程度低以及能改造有待于进一步提高。这些问题的提出对于严寒地区建筑节能的发展方向具有实践指导意义。

参考文献 (References)

- [1] D. A. M. Lea, E. Loffler and I. Douglas. Review symposium: Our common future: The world commission on environment and development. *Australian Geographer*, 1989, 20 (2): 195-201.
- [2] S. Abbaszadeh, L. Zagreus, D. Lehrer and C. Huizenga. Occupant Satisfaction with indoor Environmental Quality in Green Buildings. *Proceedings of Healthy Buildings*, 2006, 3: 365-370.
- [3] 赵树兴, 王昌凤, 臧效罡等. 我国北方地区住宅建筑节能评价体系[J]. *建筑热能通风空调*, 2011, 30(1): 44-46.
- [4] 杜冰, 卢迎华. 大型公共建筑节能存在的问题与对策分析探析[J]. *价值工程*, 2010, 21: 94-95.
- [5] 高雪慧. 东北地区建筑节能措施研究[D]. 吉林大学, 2006.
- [6] 刘永健, 李新辉, 张雪姣. 建筑节能评价指标体系的探讨[J]. *建筑节能*, 2010, 10: 71-73.
- [7] 韦旭. 长春市公共建筑能耗和水量现状及节能潜力分析(调查原始数据)[D]. 东北师范大学附属中学, 2008.
- [8] 郭瑞. 公共建筑能耗评价指标体系研究[D]. 湖南大学土木工程学院, 2007.
- [9] 张强. 北方采暖地区既有建筑节能改造及考核评价体系研究[D]. 北京建筑工程学院, 2010.
- [10] 郭艳红, 秦旋, 林格. 基于全生命周期的建筑节能多级模糊综合评价[J]. *建筑科学*, 2009, 25(8): 9-15.
- [11] 陈华敏, 钟愈平, 黄和平. 基于 AHP 和“3R”原则的节能建筑评价指标体系的构建[J]. *生态经济*, 2009, 5: 92-95.
- [12] 施嘉霖, 杨霞. 住宅建筑节能技术评价方法研究与应用[J]. *建设科技*, 2010, 16: 78-81.
- [13] 周大地. 2020 中国可持续能源情景[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.