

# 寒冷地区三甲医院建筑能耗评价指标研究

石 媛, 闫增峰, 刘加平

(西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 医院能耗评价指标对医院的能耗分析、节能评价具有重要意义, 但因医院功能的复杂性、统计标准的不一致等导致目前评价指标存在一定的局限性. 以北京、天津、山东等寒冷地区 32 家三甲医院为样本, 对能耗指标及相关参数使用 SPSS 软件进行相关性分析, 检验分析现有指标与参数之间的关系, 并发现新的能耗敏感因素. 最后将评价指标体系根据不同的适用性分为三种: 分区域能耗分析法、医疗量能耗分析法、经济指标分析法. 运用不同的分析法能更精确的分析医院各区域的能耗, 更明确能耗影响因素, 对医院节能改造、节能设计及能耗预测有重要意义. 研究结果表明: (1) 医院参数与能耗指标的相关性结果显示: 医院的能耗与建筑面积、开放床位数、门急诊人次相关性较大. 其中, 以面积为单位的能耗指标与面积的相关性是较为单一的指标; 床位数的相关性并没有预期大, 说明此指标具有一定的不确定性. 以门急诊量、住院人次等以人流量的参数对单位门急诊量能耗具有较大影响. (2) 医院建筑能耗评价指标体系验证结果显示经济指标分析法能较好的预测和评价医院能耗, 该方法比较合理. 本文能够为医院新建及改建设计时的能耗预测参数提供参考.

**关键词:** 三甲医院能耗; 能耗评价指标; 相关性分析

中图分类号: TU111.195; R197.32

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2019)01-0140-07

## Study on energy consumption evaluation indicators for Grade-A tertiary hospitals

SHI Yuan, YAN Zenfeng, LIU Jia ping

(School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** The evaluation indicators of hospital energy consumption are of great significance to the analysis of hospital energy consumption and evaluation of energy conservation. But because of the complexity of hospital function and the inconsistency of statistical standard, the evaluation indicators have some limitation. In this paper, 32 Grade-A tertiary hospitals in typical cold areas were studied. The correlation analysis of energy consumption indicators and related parameters was carried out by SPSS software to examine and analyze the relationship between existing indicators and parameters to find new energy consumption sensitivity factors. Finally, the evaluation indicators system is divided into three categories according to different applicability: sub-regional energy consumption analysis, medical energy consumption analysis and economic indicator analysis. Different analysis methods are used to analyze the energy consumption in different areas of hospital, to compare the energy consumption in different hospitals, and to evaluate the energy saving and project the energy consumption. The results showed that: (1) The correlation between hospital parameters and energy consumption indicators shows that the hospital's energy consumption is highly correlated with the building area, the number of open beds, and the number of emergency departments. Among them, the correlation between energy consumption index and area is a relatively single indicator; and the correlation of bed number is not expected to be large, indicating that this indicator has certain uncertainty. The parameters of human emergency flow, hospitalization, etc. have an impact on the energy consumption per unit of emergency, but the correlation is not expected to be large. (2) The verification result of hospital building energy consumption evaluation index system shows that the error of economic indicator analysis method is small, and the method is reasonable. The conclusions of this paper can provide reference for the energy consumption prediction parameters of hospital construction and expansion planning and design.

**Key words:** Energy consumption; Grade-A Tertiary Hospital; Energy Consumption Evaluation Indicators; Correlation analysis

收稿日期: 2018-11-11 修改稿日期: 2019-01-15

基金项目: 中国工程院咨询研究项目(2018-XY-041); “十三五”国家重点研发计划课题(2017YFC0702303); 陕西省教育厅基金项目(17JK0433)

第一作者: 石 媛(1980—), 女, 博士生, 主要研究方向为医疗建筑设计. E-mail: 472123887@qq.com

通信作者: 闫增峰(1969—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为建筑能耗. E-mail: xazfyan@126.com

随着社会经济的发展、医疗技术水平的提高,人们对医疗效率、质量、环境需求的增长,医院的规模不断壮大,功能日趋复杂。医院服务由过去单纯的治疗向医疗环境的舒适度、医院的人文管理和服务等更高的要求转变,这使医院逐步更新诊断设备、不断完善医院功能、逐渐提高建设标准,医院的能耗因此也不断攀升,其建筑能耗是其他公建能耗的 1.6~2 倍<sup>[1]</sup>。

国外学者通常采用单位体积能耗、单位面积能耗、单位床位能耗以及单位诊疗人数能耗作为衡量指标<sup>[2-4]</sup>,国内目前衡量医院能耗指标主要有单位面积能耗、单位床位能耗、单位床位日能耗、单位门诊人次能耗等。这种衡量指标,依据医院的参数中的级别、床位数、门诊量等信息,具有一定的参考意义和价值。

单位建筑面积能耗是最常用的能效指标,国内大量学者对不同地区不同类型医院的能耗进行了统计并对此指标进行计算。夏热冬冷地区部分医院单位建筑面积能耗范围为 12.53~150.14 kgce/(m<sup>2</sup>·a)以及 26.1~266.5 kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[5-8]</sup>。寒冷地区部分医院能耗范围为 22.65~102.43 kgce/(m<sup>2</sup>·a)以及 92.4~627.41 kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[9-11]</sup>。不同地区、不同医院类型,能耗差距较大。

杜然等<sup>[12]</sup>通过对能耗与各指标的相关性分析,认为指标的可信度方面,单位床位数指标>单位住院量指标>单位建筑面积指标>单位门诊量指标,考虑到床位数统计较为方便可靠,因此,利用单位床位数能耗指标评价医院能耗更为合理。刘朝阳等<sup>[13]</sup>通过对武汉市部分三甲医院分析指标中可信度:床位数>门诊量>建筑面积,并指出单独使用一个评价指标具有局限性。李阳<sup>[14]</sup>在对综合医院空调系统节能设计时,采用每门诊人次能耗作为指标。俞卫刚和沈晋明<sup>[15]</sup>(2013)认为单位建筑面积指标无法反应医院真正能耗水平,通过聚类分析认为采用人均门急诊能耗费用能客观的评价医院的能耗水平。田伟等<sup>[16]</sup>在对上海市几家医院进行节能改造时采用上海市卫生局提出的“床日能耗量”为能耗指标。刘敏燕和刘飘<sup>[17]</sup>利用数理统计方法分析上海市 33 家三甲医院近 5 年与能耗相关的数据,提出用单位医疗量的能耗密度指标。魏峥等<sup>[18]</sup>借鉴英国能耗基准采用“单位体积”能耗指标,以考虑层高的影响。

通过文献分析发现,能耗差距较大的原因,除了医院本身的地域、类型、节能做法外,统计时采取的统计方法(标准煤 or 等效电),统计的能

源类型(电能+燃料 or 所有能源),甚至不同能源在折算等效电时的系数不同地区都是不同的,这导致了在进行不同医院的能效比较时存在一定的难度,评价缺乏严谨性,并且不同角度的评价指标较多,不同的学者认为各指标的可信度不同。产生此种现象的因素,除了本身指标的局限性外,不同气候区、不同种类(综合/专科)、不同级别的医院的不同部门,使用统一的评价指标体系也是不合理的。需要对大量的医院数据进行研究,从中找到更为合理的评价指标体系。目前通常采用一定的评价指标对医院的能效进行横向比较或对节能改造前后的能耗进行对比。但在新建医院及医院扩建的规划设计时,缺乏详细及全面的指标体系对能耗进行预测,只使用本地区的定额作为部分成本的预测。本文通过对样本医院的能耗及能耗相关因素进行研究,发现目前能耗评价指标存在的局限性,以期望建立更多元的评价指标体系,能更真实深入的反应医院的建筑能耗用于能耗评价,并可作为医院新建及扩建规划设计时的能耗预测参数。

## 1 医院样本描述

我国《民用建筑热工设计规范》(GB50176-2016)(以下简称热工规范)从建筑热工设计的角度,对气候进行划分,划分为五个气候分区,即严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区、温和地区<sup>[19]</sup>。其中,寒冷地区包括天津、山东、宁夏全境;北京、河北、山西、陕西大部;辽宁南部;甘肃中、东部;河南、安徽、江苏北部的部分地区以及新疆、西藏南部。本文的研究样本选取寒冷地区包括北京、天津、山东三个地区共 32 家三级甲等医院。收集了其基础数据和 2014、2015、2016 三年的能耗数据,医院就诊人数、建筑空间、外围护结构等影响能耗的信息,足够支撑论文分析需要。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 相关性分析方法

对于变量间的相关关系可以通过相关性分析来研究。相关性分析是指对两个或多个存在一定联系的变量借助统计分析指标进行分析,从而衡量变量之间的密切程度。相关系数是用来测量变量间线性相关程度大小最常见的统计分析指标,两个变量  $x$  和  $y$  的总体相关系数可以表示为

$$\rho_{XY} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X)} \sqrt{\text{var}(Y)}} \quad (1)$$

式中,  $\text{cov}(X, Y)$  是变量  $X$  和  $Y$  的协方差,  $\text{var}(X)$  和  $\text{var}(Y)$  分别是变量  $X$  和  $Y$  的方差。

Pearson 相关系数是一种线性相关系数, 是反映两个变量之间线性相关程度的统计量, 在指标相关性分析中得到广泛的应用。对于变量  $X$  和  $Y$ , 的一组样本  $(X_i, Y_i)$ ,  $i=1, 2, \dots$ 。

求取 Pearson 相关系数的公式如下:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

其中:  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$

式中:  $X_i, Y_i$  为计算区间段的两变量时间序列第  $i$  个数值;  $\bar{x}, \bar{y}$  为两变量数据在区间段内的均值。

Pearson 相关系数  $\rho$  的取值范围在  $-1 \sim 1$  之间, 当  $\rho > 0$  时, 表明两变量之间存在正相关, 即两变量的变化方向一致。当  $\rho < 0$  时, 表明两变量之间存在负相关, 即两变量的变化方向相反。 $|\rho|$  越接近 1 表明两变量之间相关程度越高, 越接近 0 表明两变量相关程度越低。

## 2.1.2 医院建筑能耗评价指标体系

(1) 分区域能耗分析法——适用于医院内部分析及同类区域横向对比

在对样本的 32 家医院进行分析时, 通过对各功能区域的空间特点、设备特点、人流量等进行全面的分析后, 建议在医院内部的能耗分析或同区域能耗比较时采用分区域、多角度的分析方法。

单位建筑面积能耗是最常见的分析方法, 在评价体系占有重要的位置。对于结构形式单一、设备简单、房间面积较小, 能耗影响因素较少的空间, 面积能耗分析是适用的。如住院部的标准病区, 以及门急诊区域的普通诊室。单位门急诊人次能耗指标属于人流量能耗分析法, 对于如门诊大厅、候诊大厅等面积较大、层高较高而无特殊大型设备的空间, 由于人流量的多少, 直接影响了能耗的大小, 此时可以采用人流量能耗分析法。随着医疗技术的发展, 医疗设备越来越复杂, 医技部门的规模不断扩大, 能耗比例不断提高, 大型的医疗设施、设备成为耗能的主要因素, 采用面积能耗与人流量能耗并不能准确反映此区域的能耗情况, 因此, 应将大型设备的能耗单独统计(表 1)。

表 1 分区域能耗分析

Tab. 1 Analysis of regional energy consumption

指标类型	面积能耗分析法	人流量能耗分析法	设备能耗分析法
主要指标	单位建筑面积能耗	单位门急诊人次能耗 单位手术人次能耗 单位床位数能耗	大型设备能耗
适用区域	标准病区、普通诊室	门急诊大型空间、手术区、住院部	医技部

(2) 医疗量能耗分析法——适用于地区能耗定额的确立

目前国内外的能源统计与折算方法主要有两种: 当量热值法(“热量法”)和等价值法(折合成标煤)。等效电法把各种形式的能源统一转换为等效电力, 然后按照电力来统计、核算能源数量。电力是高品位能源, 把各种形式的能源统一转换为电力, 进行统计、分析和评价更为合理。因医院的能耗主要为电能消耗和燃料消耗, 本文统计分析的能耗为电能和燃气的等效电(折算系数采用江亿和杨秀(2010)<sup>[20]</sup>提出的标准(7.133 kWh/m<sup>3</sup>))之和。

如前文所述, 采用床位日能耗量与医疗量能耗, 这种用医疗量来分析能耗的方法在进行能耗

定额的确定时, 因其综合考虑了医院的门急诊以及住院人次, 具有一定的适用性。在新建医院进行能耗成本预算时, 可以根据地区规定的能耗定额进行能耗预算, 而含有门急诊人次和住院人次的医疗量来制定的定额, 更能综合考虑以两种人流量为主要因素的能耗成本的数量标准。

(3) 经济指标分析法——适用于能耗预测及节能评价

在对样本的相关性分析时, 随着样本的增加, 收入和支出的与指标的相关性较小, 但在分类统计时, 收入与支出的相关性凸显出来, 这个敏感因素值得关注。从整体角度来看, 医院的经济指标与医院的能耗具有一定的关系, 需要进一步研究。根据医院数年的支出数据与能耗, 在确定两

者之间的关系后, 并预测医院的收入、支出走势, 可对能耗进行预测. 在同一地区、同一类型、同一级别的医院进行对比时, 通过医院之间支出与能耗的关系, 分析不同医院之间的能耗, 进行节能评价.

2.2 数据来源

综合医院 17 家, 建筑面积 7~27 万 m<sup>2</sup>, 开放床位数 700~2 500 余张, 门诊量 50~300 万余人次/年. 专科医院 15 家, 建筑面积 3~18 万 m<sup>2</sup>, 开放床位数 60~2 000 余张, 门诊量 10~300 万余人次/年. 能耗统计采取 2014—2016 年三年的能耗

数据.

3 研究结果

3.1 指标相关性检验

为了讨论评价医院基础参数与能耗评价指标的相关性, 对包括建筑面积、门急诊人次、住院人次、手术人次、平均住院天数、开放床位数、收入、支出这八个变量与能耗指标的关系使用 SPSS 软件进行 Pearson 相关性分析.

3.1.1 变量与总能耗的相关性

表 2 变量与总能耗的相关性 P 值  
Tab. 2 Correlation between variables and total energy consumption P value

医院类型	建筑面积	门急诊人次	住院人次	手术人次	平均住院天数	开放床位数	收入	支出
所有样本	0.696**	0.467**	0.421**	0.303**	-0.233*	0.519**	-0.366**	-0.398**
综合医院	0.598**	0.424**	0.319*	0.499**	-0.264	0.460**	0.720**	0.861**
专科医院	0.673**	0.338*	0.773**	0.409*	-0.049	0.540**	-0.579*	-0.687*

注: \*. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关.  
\*. 在 0.01 水平(双侧)上显著相关.

从表 2 中可以看出, 所有样本医院建筑面积、开放床位数  $P$  值 $>0.5$ , 门急诊人次接近 0.5, 说明医院的能耗与建筑面积、开放床位数、门急诊人次相关性较大, 这也印证了运用单位建筑面积能耗、单位开放床位数能耗、单位门急诊量能耗作为评价指标具有指导意义. 并在此样本中  $P$  值建筑面积 $>$ 开放床位数 $>$ 门急诊人次, 说明建筑面积与能耗的相关性最大.

在分类统计中, 综合医院能耗与支出的相关性最高, 其次是收入 $>$ 建筑面积 $>$ 手术人次 $>$ 开放床位数 $>$ 门急诊人次, 说明经济指标中的收入、支出具有一定的敏感性. 并且除了建筑面积外,

手术人次的相关性较高, 可能由于三甲综合医院的手术类型多、数量大, 因而影响能耗的权重较高.

专科医院的能耗与住院人次的相关性最高, 其次是支出 $>$ 建筑面积 $>$ 收入 $>$ 开放床位数. 说明在样本中, 住院人次因医院的专业科室的不同, 如样本医院中有安定医院、中医医院、肿瘤医院等, 住院人次相对于门急诊更大, 主要影响了能耗. 收入、支出这种经济指标排在前列, 说明有一定的敏感性.

3.1.2 变量与单位建筑面积能耗的相关性

表 3 变量与单位建筑面积能耗的相关性( $P$  值)  
Tab. 3 Correlation between variables and energy consumption per unit area ( $P$  value)

医院类型	建筑面积	门急诊人次	住院人次	手术人次	平均住院天数	开放床位数	收入	支出
所有样本	-0.137	0.040	-0.013	0.090	0.091	-0.138	-0.382**	-0.459**
综合医院	-0.260	-0.060	-0.090	-0.027	-0.067	-0.286*	0.236	0.612**
专科医院	-0.321*	-0.050	-0.041	0.226	0.322*	-0.159	-0.534*	-0.996**

注: \*. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关.  
\*. 在 0.01 水平(双侧)上显著相关.

从表 3 中可以看出, 所有样本医院单位建筑面积能耗与收入和支出的相关性相对较高, 与其他的参数相关性都较小. 分类统计时, 综合医院中单位建筑面积能耗与支出的相关性最高, 其次是

开放床位数, 但相差较大, 敏感性并不明显; 专科医院中单位建筑面积能耗与支出相关性最高, 其次是收入, 与其他参数的相关性都较小. 收入、支出这类经济指标与此指标相关性较高, 说明经

济因素的敏感性。医院的收入与医疗量有关,支出与成本有关,进而与能耗有关,而其他参数,对其影响甚微,可以忽略,符合实际。

在单位建筑面积能耗中,只有分综合与专科医院进行统计时支出的  $P$  值大于 0.5,但在所有医院统计中,没有  $P$  值大于 0.5,这可能与在分类统

计时样本的数量较少有关,并且从表中可以看出,除了前述的相关性较大的因素外,显著相关的因素较少,并且  $P$  值都较小,说明以面积为单位的能耗指标与面积的相关性并没有很高,并且不能与医院的其他参数发生关系,是较为单一的指标。

### 3.1.3 变量与单位开放床位数能耗的相关性

表4 变量与单位开放床位数能耗的相关性( $P$ 值)

Tab. 4 Correlation between variables and unit open bed energy consumption( $P$  value)

医院类型	建筑面积	门急诊人次	住院人次	手术人次	平均住院天数	开放床位数	收入	支出
所有样本	-0.134	0.031	-0.159	0.029	-0.204*	-0.437**	-0.387**	-0.410**
综合医院	-0.023	-0.046	-0.004	0.134	-0.173	-0.256	0.518**	0.767**
专科医院	-0.305*	0.038	-0.202	0.002	-0.210	-0.600**	-0.733**	-0.981**

注:\*,在0.05水平(双侧)上显著相关。

\*\* ,在0.01水平(双侧)上显著相关。

从表4中可以看出,所有样本医院单位开放床位数能耗与开放床位数相关性最高,其次是支出>收入>平均住院天数,开放床位数与此指标显著相关,符合实际。分类统计时,综合医院中单位开放床位数能耗与支出的相关性最高,其次是收入,与其他指标相关性都较小;专科医院中单位开放床位数能耗与支出的相关性最高,其次是收入、开放床位数。

在所有医院统计中,开放床位数的  $P$  值最高,但并没有大于 0.5。综合医院中,收入和支出的  $P$

值大于 0.5;专科医院中,收入、支出和开放床位数的  $P$  值大于 0.5。说明收入与支出越高,单位开放床位数能耗越高,但随着样本数的增多,收入与支出的影响越来越小,床位数的影响越来越大。说明床位数对以单位开放床位数能耗为角度的统计有意义,但相关性并没有预期大。并且在分类统计时,开放床位数影响并不明显,说明此指标具有一定的不确定性。

### 3.1.4 变量与单位门急诊人次能耗的相关性

表5 变量与单位门急诊人次能耗的相关性( $P$ 值)

Tab. 5 Correlation between variables and energy consumption per unit emergency number ( $P$  value)

医院类型	建筑面积	门急诊人次	住院人次	手术人次	平均住院天数	开放床位数	收入	支出
所有样本	-0.097	-0.497**	-0.399**	-0.212*	0.389**	0.098	-0.108	-0.119
综合医院	-0.024	-0.556**	-0.626**	-0.292*	-0.517**	-0.084	0.297	0.129
专科医院	-0.115	-0.353*	-0.170	-0.045	0.576**	0.197	-0.523*	-0.987**

注:\*,在0.05水平(双侧)上显著相关。

\*\* ,在0.01水平(双侧)上显著相关。

从表5中可以看出,所有样本医院单位门急诊量数能耗与门急诊人次相关性最高,其次是平均住院天数、住院人次,说明除门急诊人次外,住院人次这类人流量对以人流量为指标的统计指标具有影响,其他参数影响较小,符合实际。在分类统计时,综合医院中单位门急诊量数能耗与住院人次相关性最高,其次是门急诊人次、平均住院天数、手术人次;专科医院中单位门急诊量数能耗与支出的相关性最高,其次是平均住院天数、收入及门急诊人次。

在单位门急诊量数能耗中,所有医院统计中,

门急诊量的  $P$  值最高,但并没有大于 0.5,住院人次与平均住院天数对指标有影响,说明门急诊与住院人次间可能存在一定的关系相互影响,进而影响门急诊的相关性。综合医院中,门急诊人次、住院人次、平均住院天数的  $P$  值大于 0.5;专科医院中,支出、平均住院天数、收入的  $P$  值大于 0.5。说明以门急诊量、住院人次等参数对单位门急诊量数能耗具有影响,但相关性并没有预期大。并且收入、支出这类经济指标具有一定的敏感性,对指标有影响。

从上述对能耗指标的相关性分析可以看出,

随着样本数的增多, 现有能耗评价与医院单个或部分参数的相关性越来越小, 并且出现其他相关性较高的参数, 说明医院能耗是多种因素决定的, 用单一的指标来评价具有片面性, 并且指标具有不确定性。

究其原因, 医院各区域能耗差距较大, 只对医院的总体耗能情况进行分析, 用单一的指标去评价全院的能耗情况, 无法体现出医院内部的耗能特性, 无法详细了解医院内部不同功能部门的

能耗差异, 不利于针对部分区域、重点区域或耗能大户进行节能设计及改造。

3.2 医院建筑能耗评价指标体系验证

对样本中某一综合医院, 首先根据分区域能耗法, 对各区域的能耗进行分别统计, 按照本文的分析方法分别进行计算, 计算结果较原值普遍偏高, 与其他医院同区域均值对比时, 较接近。计算结果如表 6 所示。

表 6 分区域能耗统计

Tab. 6 Sub regional energy consumption statistics

主要指标		分区计算	原计算结果	同区域均值
面积能耗分析法	单位建筑面积能耗/ $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}$	248.25	250.08	244
	单位门急诊人次能耗/ $\text{kWh} \cdot \text{个}^{-1}$	30.95	19.78	26
人流量能耗分析法	单位手术人次能耗/ $\text{kWh} \cdot \text{个}^{-1}$	2 584.51	2 378.84	26 538
	单位床位数能耗/ $\text{kWh} \cdot \text{床}^{-1} \cdot \text{a}$	26 483.75	26 303.85	26 293
设备能耗分析法	大型设备能耗/ $\text{kWh} \cdot \text{a}^{-1}$	2 701 482	2 701 482	—

运用医疗量能耗分析法, 经过统计与计算, 综合医院总能耗 766.59~5 898.92 万  $\text{kWh/a}$ , 平均值为 3 156.84 万  $\text{kWh/a}$ 。单位建筑面积能耗 102.66~443.11  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ 。

运用经济指标分析法, 对 2013~2015 年收入

与支出进行统计并通过 excel 趋势预测 2016 年收入与支出, 通过 SPSS 分析收入、支出与总能耗的线性关系, 并预测 2016 年的能耗值。通过与实测值比较, 误差率 0.29%, 较为合理。计算结果如表 7 所示。

表 7 经济指标分析法

Tab. 7 Economic index analysis method

年份	收入/万元	支出/万元	总能耗/ $\text{kWh} \cdot \text{a}^{-1}$
2013	117 719	115 784	26 671 258
2014	123 619	121 473	26 846 837
2015	129 238	126 892	27 014 056
2016(预测值)	134 656	132 117	27 175 303
2016(实测值)	138 342	135 248	27 254 952

4 结论与讨论

本文通过对北京、天津、山东等寒冷地区 32 家三级甲等医院能耗数据进行统计, 计算现有能耗指标, 并对医院各参数与指标之间的相关性进行分析, 探讨现有指标的合理性以及建设新指标的思路, 研究结论如下:

(1) 医院参数与能耗指标的相关性结果显示: 医院的能耗与建筑面积、开放床位数、门急诊人次相关性较大。其中, 单位面积能耗指标与医院的其他参数相关性较小, 是较为单一的指标; 床位数对以单位开放床位数能耗为角度的统计有意

义, 与其他参数相关性并没有预期大, 该指标具有一定的不确定性; 以门急诊量、住院人次等参数对单位门急诊量能耗具有较大影响。

(2) 分别利用分区域能耗分析法、医疗量能耗分析法、经济指标分析法对研究区医院建筑能耗评价指标体系进行验证, 结果显示经济指标分析法与运行能耗关系较大, 且与门诊量、住院人次等相关性大, 该能耗评价指标比较合理。

(3) 医院运行能耗与建筑设计能耗不是同一概念, 但存在一定关联。本研究说明对医院建筑空间节能优化设计, 有利于降低医院综合能耗。

(4) 本研究以样本医院调研和统计数据为基

础,运用相关性分析方法对医院建筑能耗评价指标进行了分析和验证,是具体指向性研究,直接指向样本医院所在的寒冷地区,不是分类综合研究。

医院能耗是多种因素决定的,用单一的指标来评价具有片面性,要深入了解一个医院的耗能情况,需要更加全面、详细的评价指标。采用不同的评价指标体系以适用于不同的统计分析目的,除了可对医院内部的能耗进行评价,能耗成本的预算,不同医院之间能耗对比外,还可在新建医院或医院扩建时,对能耗进行预测,对建筑空间节能设计具有指导意义。

## 参考文献 References

- [1] 刘丹. 管理会计工具在医院能耗成本管控中的应用研究[C]//2016年度中国总会计师优秀论文选. 北京:中国总会计师协会,2017:15.  
LIU Dan. Application of Management Accounting Tools in Hospital Energy Consumption Cost Control [C]. Selection of Excellent Papers by Chief Accountants in 2016. Beijing:China Association of Chief Accountants, 2017:15.
- [2] DANIELE C, ZOU S, ANDREA G. C., et al. Evaluation of energy consumption of treating nitrate-contaminated groundwater by bio-electrochemical systems [J]. Science of The Total Environment, 2018, 636: 881-890.
- [3] JOON H. C., SO Y. S. A novel decomposition analysis of green patent applications for the evaluation of R&D efforts to reduce CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel energy consumption [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 193: 290-299.
- [4] AMRITA G., SUBHASIS N. Effect of fenestration geometrical factors on building energy consumption and performance evaluation of a new external solar shading device in warm and humid climatic condition [J]. Solar Energy, 2018, 169: Pages 94-104.
- [5] 窦逸峰, 杨洪海, 朱学锦, 等. 上海大型医院能耗评估及节能分析[J]. 节能技术, 2015, 33(4):362-365.  
DOU Yifeng, YANG Honghai, ZHU Xuejin, et al. Energy consumption assessment and energy saving analysis of large hospitals in Shanghai [J]. Energy saving technology, 2015, 33 (4): 362-365.
- [6] 朱惠. 上海三甲综合医院能耗和用能规律分析[J]. 上海节能, 2017(4):218-222.  
ZHU Hui. Analysis of energy consumption and energy consumption law of Shanghai Third-Class A General Hospital [J]. Shanghai Energy Conservation, 2017 (4): 218-222.
- [7] 陆净岚, 常艳新. 浙江省医院建筑能耗调查及其影响因素研究[J]. 建筑科学, 2010, 26(4):48-51.  
LU Zhenglan, CHANG Yanxin. Investigation of Building Energy Consumption and Its Influencing Factors in Zhejiang Hospital [J]. Architectural Science, 2010, 26 (4): 48-51.
- [8] 席细平, 宋涓, 王贺礼, 等. 江西省三甲综合医院能源资源消耗定额分析研究[J]. 能源研究与管理, 2015 (4):29-32.  
XI Xiping, SONG Juan, WANG Heli, et al. [J]. Energy Research and Management, 2015 (4): 29-32.
- [9] 崔俊奎, 秦颖颖, 张微, 等. 北京某医院重点用能诊断与节能潜力分析[J]. 区域供热, 2017(2):15-19.  
CUI Junkui, QIN Yingying, ZHANG Wei, et al. Diagnosis of key energy consumption and potential analysis of energy conservation in a hospital in Beijing [J]. Regional Heating, 2017 (2): 15-19.
- [10] 卢志强, 凌继红, 秦晓娜, 等. 天津市医院建筑能耗影响因素的偏相关分析[J]. 建筑科学, 2012, 28(8):8-11,62.  
LU Zhiqiang, LING Jihong, QIN Xiaona, et al. Partial correlation analysis of influencing factors of building energy consumption in Tianjin Hospital [J]. Architectural Science, 2012, 28 (8): 8-11,62.
- [11] 江崇旭, 邢金城, 秦晓娜, 等. 天津市医院建筑能效交易基准线研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(8):1-4.  
JIANG Chongxu, XING Jincheng, QIN Xiaona, et al. Study on the baseline of building energy efficiency trading in Tianjin Hospital [J]. Architectural Science, 2012, 28 (8): 1-4.
- [12] 杜然, 李玉云, 马友才. 武汉地区三级综合医院能耗定额的研究[J]. 建筑热能通风空调, 2012, 31(1): 53-56,36.  
DU Ran, LI Yuyun, MA Youcai. Study on the energy consumption quota of the third-level general hospitals in Wuhan [J]. Building Thermal Energy, Ventilation and Air Conditioning, 2012, 31 (1): 53-56,36.
- [13] 刘朝阳, 卢洲, 胡平放, 等. 武汉市部分三甲医院建筑能耗分析[J]. 建筑节能, 2017, 45(9):110-113+117.  
LIU Chaoyang, LU Zhou, HU Pingfang, et al. Analysis of building energy consumption of some third-class hospitals in Wuhan [J]. Building Energy Saving, 2017, 45 (9): 110-113,117.
- [14] 李阳. 综合医院空调系统的节能设计[J]. 中国医院建筑与装备, 2009, 10(11):52-53.  
LI Yang. Energy-saving design of air conditioning system in general hospitals [J]. China Hospital Building and Equipment, 2009, 10 (11): 52-53.

(下转第154页)

- 与管理, 2017, 39(02): 17-35.
- WU Songqiang, CAO Liu, WANG Lu. Alliance partner selection, partnership and alliance performance: an empirical study based on technology-based small micro enterprises[J]. Foreign Economics & Management, 2017, 39(02): 17-35.
- [13] 柯洪, 甘少飞, 杜亚灵, 等. 信任对 EPC 工程供应链管理绩效影响的实证研究: 基于关系治理视角[J]. 科技管理研究, 2015, 35(12): 194-202.
- KE Hong, GAN Shaofei, DU Yaling, et al. Research of the impact of trust on EPC construction supply chain management performance[J]. Science and Technology Management Research, 2015, 35 ( 12 ): 194-202.
- [14] 戴彬, 屈锡华, 李宏伟. 基于模糊综合评价的技术创新合作伙伴选择模型研究[J]. 科技进步与对策, 2011 (1): 120-123.
- DAI Bin, QU Xihua, LI Hongwei. Research on a model for choosing cooperation innovation partners based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2011 ( 1 ): 120-123.
- [15] 宋波, 徐飞. 基于多目标群决策迭代算法的 PPP 项目合作伙伴选择[J]. 系统管理学报, 2011(6): 690-695.
- SONG Bo, XU Fei. Partner-selection in public-private partnership project based on an iterative algorithm for the multi-objective group decision problem[J]. Journal of Systems & Management, 2011(6): 690-695.
- [16] SUN W, LIN A, YU H, et al. All-dimension neighborhood based particle swarm optimization with randomly selected neighbors[J]. Information Sciences, 2017, 405: 141-156.
- [17] BORMAN W C. Expanding the criterion domain to include elements of contextual performance [J]. N. schmitt & W. c. borman Personnel Selection in Organizations, 1993: 71-98
- [18] 韩翼, 廖建桥. 任务绩效和非任务绩效结构理论综述评[J]. 管理评论, 2006, 18(10): 41-47.
- HAN Yi, LIAO Jianqiao. A review of theoretical research on task performance and non-task performance structure[J]. Management Review, 2006, 18 ( 10 ): 41-47.
- [19] 刘亚楠, 王刚, 陈建成. 任务绩效和关系绩效的研究综述[J]. 经济视角, 2011(21): 3-5.
- LIU Yanan, WANG Gang, CHEN Jiancheng. A review of research on task performance and relationship performance[J]. Economic Vision, 2011(21): 3-5.
- [20] 李卓元. 我国国际 EPC 总承包商联合体伙伴优选研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2018.
- LI Zhuoyuan. Optimization consortium-partner selection research of Chinese international EPC general contractor [ D ]. Xi' an: Xi' an Univ. of Arch. & Tech., 2018.
- [21] KANG B, WEI D, LI Y, et al. A method of converting Z-number to classical fuzzy number[J]. Journal of Information & Computational Science, 2012, 9 ( 3 ): 703-709.

(编辑 桂智刚)

(上接第 146 页)

- [15] 俞卫刚, 沈晋明. 医院节能改造误解及释疑[J]. 中国建筑与装备, 2013, 14(4): 30-32.
- YU Weigang, SHEN Jinming. Misunderstandings and doubts about energy-saving renovation of hospitals [J]. China Hospital Construction and Equipment, 2013, 14 (4): 30-32.
- [16] 田伟, 李瑞杰, 周志仁. 上海医院建筑节能改造案例分析[J]. 建筑科学, 2011, 27(4): 109-114.
- TIAN Wei, LI Ruijie, ZHOU Zhiren. Case study on energy-saving renovation of Shanghai Hospital [J]. Architectural Science, 2011, 27 (4): 109-114.
- [17] 刘燕敏, 刘飘. 用单位医疗量的能耗密度评价医院能耗水平的研究[J]. 暖通空调, 2016, 46(1): 17-20.
- LIU Yanmin, LIU Piao. Evaluation of Hospital Energy Consumption Level by Energy Consumption Density of Unit Medical Volume [J]. HVAC, 2016, 46 ( 1 ): 17-20.
- [18] 魏峥, 徐伟, 李林涛, 等. 医院建筑运行能耗能效评价工具[J]. 中国物业管理, 2018(5): 62-63.
- WEI Zheng, XU Wei, LI Lintao, et al. Energy efficiency evaluation tool for hospital building operation [J]. China Property Management, 2018 ( 5 ): 62-63.
- [19] 中华人民共和国建设部. 民用建筑热工设计规范[M]. 北京: 中国计划出版社, 2016
- Ministry of construction of the people's republic of china. Code for thermal design of civil buildings [M]. Beijing: China Planning Publishing House, 2016
- [20] 江亿, 杨秀. 在能源分析中采用等效电方法[J]. 中国能源, 2010, 32(5): 5-11.
- JIANG Yi, YANG Xiu. The equivalent electric method is used in energy analysis [J]. China Energy, 2010, 32 ( 5 ): 5-11.

(编辑 桂智刚)