

基于使用强度的办公建筑能耗修正和评价

翁建涛^{1†}, 赵康^{2,3}, 葛坚^{2,3}, 应小宇¹

(1. 浙大城市学院 国土空间规划学院, 浙江 杭州 310015;

2. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058;

3. 浙江大学 平衡建筑研究中心, 浙江 杭州 310007)

摘要:为了准确评估不同使用强度下办公建筑用能的合理性,以办公建筑为例,采用 Designbuilder 建筑能耗模拟软件,分析了使用时长和人员密度对办公建筑各分项能耗和总能耗的影响.考虑使用时长和人员密度对分项能耗的影响,优化了基于使用强度的办公建筑运行能耗修正方法,该修正方法使使用强度偏离大的样本建筑的能耗修正值降低 35%~45%.以同气候区同类型建筑运行能耗的合理值为基准,提出了办公建筑能耗评价方法.新的方法有助于更准确地反映办公建筑的实际用能水平.成果可以为办公建筑能耗的精细化评价工作提供参考.

关键词:使用时长;人员密度;办公建筑;能源管理;修正方法

中图分类号:TU 111

文献标志码:A

Correction and Evaluation of Energy Consumption for Office Buildings Based on Use Intensity

WENG Jiantao^{1†}, ZHAO Kang^{2,3}, GE Jian^{2,3}, YING Xiaoyu¹

(1. School of Spatial Planning and Design, Zhejiang University City College, Hangzhou 310015, China;

2. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

3. Center for Balance Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310007, China)

Abstract: To accurately evaluate the rationality of office buildings energy consumption with different use intensities, the building energy consumption software Designbuilder was used to analyze the impact of service time and personnel density on the subentry and total energy consumption of office buildings. Considering the influence of use density on subentry energy consumption, the energy consumption correction method for office buildings was optimized, which reduced the energy consumption correction value of the sample buildings with a large deviation of use intensity by 35%~45%. Using the reasonable operating energy consumption of the same type of buildings in the same climate zone as the baseline, an energy consumption evaluation method for office buildings was proposed. The new method helps to more accurately reflect the actual energy level of office buildings. The results can provide a reference for the refined evaluation of office building energy consumption.

Key words: service time; personnel density; office buildings; energy management; correction method

* 收稿日期:2021-09-14

基金项目:浙江重点研发计划资助项目(2021C03147), Zhejiang Key Research and Development Program(2021C03147);国家自然科学基金资助项目(51878608), National Natural Science Foundation of China(51878608);浙江省自然科学基金资助项目(LY22E080004), Zhejiang Provincial Natural Science Foundation Project(LY22E080004);浙大城市学院科研培育课题(J-202221), Scientific Research and Cultivation Fund of Zhejiang University City College (J-202221)

作者简介:翁建涛(1993—),男,浙江龙游人,浙大城市学院讲师,博士

† 通信联系人, E-mail: wengjt@zucc.edu.cn

随着我国城市化进程的快速推进,我国建筑行业规模已达到世界第一.与此同时,建筑全过程能耗也快速增长,这对遏制气候变化形成了巨大的挑战.2010年全国建筑全生命周期能耗为12亿t标准煤,2018年快速攀升至21亿t标准煤,占到2018年全国能源消费总量的47%^[1].我国要在2060年实现碳中和目标,建筑业的节能减排具有至关重要的作用.建筑运行阶段的能源消耗占建筑全过程能耗的一半^[1],合理评价建筑运行能耗,能促进运行性能提升,对于建筑节能减排具有指导作用.

现阶段建筑能耗评价研究多采用数据库法进行评价,即收集同地区同类建筑的能耗数据,根据外部气象、使用情况等因素对实测数据进行标准化处理,据此构建能耗数据库,并采用概率分布^[2]、均值、正态分布及四分位等方法确定能耗定额,以评价建筑能耗的合理性.国外方面,美国能源部在20世纪90年代推出了“Energy Star”计划^[3],该计划基于近30年气象条件、使用时长等多个因素对运行能耗进行标准化处理,最后对建筑能耗进行排序^[3].英国于2007年推出了BS EN 15217标准^[4]用于评估建筑的整体能耗性能.该标准考虑了气象因素、建筑功能等对能耗的影响.Yang等^[5]考虑人员密度、参观者以及室外温度开发了一个识别模型来预测建筑每日能耗,结果表明人员密度变化对建筑能耗影响最大.Kang等^[6]分析了韩国办公建筑的用能特点,指出人员密度高于31 m²/人的办公建筑的能耗比低于31 m²/人的办公建筑低50%以上.Wang和Shao^[7]对英国某大学图书馆开展了24 h人行行为监测,结果表明人员密度随时间波动较大,受人员活动的影响,建筑存在26.1%节能潜力.Mokhtari和Jahangir^[8]以德黑兰某教学楼为例,采用EnergyPlus和MATLAB结合的模拟方法,发现通过优化人员分布可以使教学楼能耗减少32%.

北京、上海、深圳等城市率先建立起了本地区的大型公共建筑能耗数据库,为掌握公共建筑的用能特点和发现用能问题奠定了数据基础^[9].上海和北京已出台了针对办公、学校、医院及公共文化设施等建筑的合理用能指南.上海市相关规定基于上海市公共建筑能耗数据,采用四分位法确定了建筑能耗的先进值和合理值^[10].《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)^[11]根据全国2万余栋公共建筑能耗数据,给出了办公楼、宾馆和商场的能耗约束值和引导值,提出了基于使用时长和人员密度的建筑能耗修正方法.唐文龙等^[12]利用定额法建立了南京中小学建筑能耗定额,并根据生均面积和每班学生数提出了学校建筑用能修正系数.夏婵等^[13]发现星级饭店

的建筑能耗与入住率和客房规模呈正相关,指出入住率调整为65%更实际.陈淑琴等^[14]基于实测总结出空调的运行模式,利用蒙特卡洛等方法描述了人为行为对空调能耗的影响.俞准等^[15]提出了一种基于状态转移的时变隐马尔科夫模型,提高了在室行为的预测精度.

综上,建筑能耗评价过程受外部气象条件、建筑本体和使用强度^[16]等因素影响,采用实测值对比,建筑间对比基准不一,评价结果不准确.能耗影响因素的标准化是建筑能耗评价研究的关键.外部气象的影响相对稳定,在20%左右^[17].现有研究多以建筑总能耗为目标,分析各因素的影响规律,并提出能耗标准化方法.但实际情况下,建筑能耗种类繁多,使用强度对各分项能耗的影响存在差异,因此有必要单独建立各分项能耗与影响因素之间的关系,从而提出更加准确的能耗修正方法.

本文以典型办公建筑为例,采用Designbuilder建筑能耗模拟软件,分析使用时长和人员密度对办公建筑各分项能耗和总能耗的影响规律.最后提出基于使用时长和人员密度的办公建筑能耗修正方法,并对比其与《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)之间的区别.

1 研究方法

1.1 典型模型的建立

选取某点式高层办公建筑作为分析对象,建筑位于浙江省绍兴市,已获得绿色建筑三星级运行标识.选择其中的行政办公标准层,在Designbuilder软件中建立能耗分析模型,如图1所示.

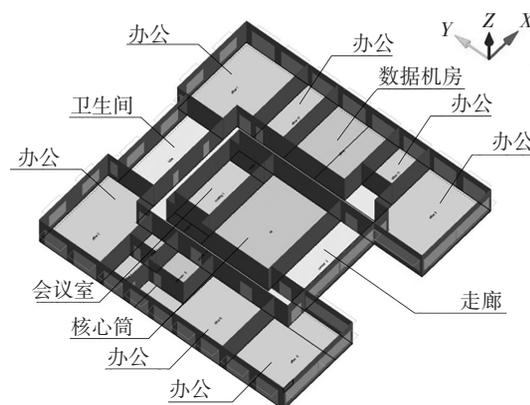


图1 典型办公建筑标准层模型

Fig.1 Standard floor model of the office typical building

该标准层东南西北立面的窗墙比分别为0.53、0.52、0.27和0.52.外墙传热系数为0.69 W/(m²·K),

门窗传热系数为 $2.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,吊顶和楼板设置为绝热面.室内热扰参数由实地调研并查阅设计文档得到.标准层办公区域人员在室率见表1.办公区域照明功率密度为 $4 \text{ W}/\text{m}^2$,照度目标值为 500 lx .照明时间开关率见表2.设备功率密度为 $11.6 \text{ W}/\text{m}^2$,逐时使用率见表3.标准层内设有一个数据机房,机房设备功率为 $171 \text{ W}/\text{m}^2$,仅在夏季供冷,其他季节不开启空调设备.调研得到空调运行情况如下:供冷季为6月1日到10月25日,供暖季为11月15日到次年3月15日.供冷温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,供暖温度为 $23 \text{ }^\circ\text{C}$.工作日运行时间为8:00—18:00,周六运行时间为8:00—11:30,周日和节假日空调不运行.室内温度根据实测得到,设备为WSZY-1温湿度自记录仪(准确度: $\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$).

表1 办公区域人员在室率

Tab.1 Occupancy schedule of office area

时间	在室率/%		
	工作日	周六	周日及节假日
0:00—8:30	0	0	0
8:30—11:30	100	100	0
11:30—12:30	50	0	0
12:30—17:30	100	0	0
17:30—24:00	0	0	0

表2 办公区域照明时间开关率

Tab.2 Lighting schedule of office area

时间	开关率/%		
	工作日	周六	周日及节假日
0:00—8:30	0	0	0
8:30—11:30	100	100	0
11:30—14:00	50	0	0
14:00—17:30	100	0	0
17:30—24:00	0	0	0

建筑采用水源热泵系统.实测得到系统制冷EER为3.7,系统制热COP为 $3.8^{[18]}$.设备包括WSZY-1温湿度自记录仪、ZP-1158超声波流量计(准确度: $1.0\% \text{ F.S}$)以及485通信多功能电表.由于缺少绍兴气象数据,气象参数采用杭州典型气象年数据.模拟得到标准层全年各分项能耗结果(见表4),各分项能

表6 不同人员密度工况设置

Tab.6 Condition settings of different personnel densities

工况	II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6	II-7	II-8	II-9	II-10	II-11	II-12	II-13
使用人数	15	18	19	23	31	37	46	62	75	93	124	185	375
人均建筑面积/ $(\text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	62.0	51.7	48.9	40.4	30.0	25.1	20.2	15.0	12.5	10.0	7.5	5.0	2.5
设备功率密度/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	2.7	3.2	3.4	4.2	5.6	6.7	8.3	11.2	13.2	16.8	22.4	33.4	67.7

耗模拟结果与实测能耗数据误差均控制在20%范围内,模拟结果具有较高的可信度.

表3 办公区域电器设备逐时使用率

Tab.3 Electrical equipment schedule of office area

时间	使用率/%		
	工作日	周六	周日及节假日
0:00—8:30	0	0	0
8:30—11:30	100	100	0
11:30—14:00	75	0	0
14:00—17:30	100	0	0
17:30—24:00	0	0	0

表4 标准层能耗校核结果

Tab.4 Check results of energy consumption of standard floor

能耗	模拟值/(kWh)	实测值/(kWh)	误差/%
空调能耗	16 601	20 215	-17.88
照明能耗	5 431	5 355	1.42
插座设备能耗	12 141	12 278	-1.11
总能耗	34 173	41 279	-9.71

1.2 工况设置

通过调整工作日下班时间,来设置不同年使用时长(见表5).不同工况下,人员、设备作息将根据对应的下班时间进行调整.为避免数据机房的影响,后续模拟中机房设备和空调均关闭.空调季设定时间不变,设定温度不变.空调工作日运行时间为8:00至下班时间.

表5 使用时长工况设置

Tab.5 Condition settings of different service times

工况	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7
下班时间	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	22:30
使用时长/h	2 110	2 355	2 600	2 845	3 090	3 335	3 580

基于现场调研并参考王朝霞^[19]的研究,取100 W作为典型办公建筑的人均设备功率值.通过调整人数设计了13种人员密度工况.根据使用人数和设备功率计算得到办公区域设备功率密度结果.不同工况下使用人数、人均建筑面积以及设备功率密度汇总于表6.

2 使用强度对办公建筑能耗的影响

2.1 不同使用时长下的办公建筑能耗

模拟得到不同全年使用时长下案例建筑全年单位面积各分项能耗和总能耗结果(见图2). 结果表明,各分项能耗均随着全年使用时长的增加呈线性增加,其中制热能耗增加速度明显低于制冷、照明和设备能耗. 案例建筑全年总能耗随着年使用时长的增加呈线性增长.

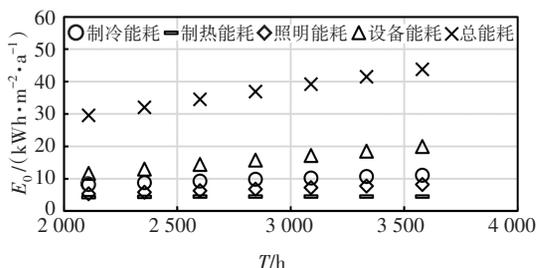


图2 使用时长对全年能耗的影响

Fig.2 Impact of service time on annual energy consumption

《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)^[10](下文简称标准)针对办公建筑给出了基于工作时长和人员密度的修正方法:

$$E_{oc} = E_o \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad (1)$$

$$\gamma_1 = 0.3 + 0.7 \frac{T_0}{T} \quad (2)$$

$$\gamma_2 = 0.7 + 0.3 \frac{S}{S_0} \quad (3)$$

式中: E_{oc} 为办公建筑年单位面积能耗实测值的修正值, $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; E_o 为办公建筑年单位面积能耗实测值, $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; γ_1 为办公建筑使用时长修正系数; γ_2 为办公建筑人员密度修正系数; S 为实际人均建筑面积, $\text{m}^2/\text{人}$; T 为年使用时长, h ; $T_0=2\,500\text{ h}$, $S_0=10\text{ m}^2/\text{人}$.

以年使用时长为2 500 h时的年单位面积总能耗为基准,计算得到基于使用时长的全年单位面积总能耗修正系数结果(见图3). 基于最小二乘法拟合得到使用时长与其对应的修正系数 γ_1' 的关系:

$$\gamma_1' = 0.7536 \frac{T_0}{T} + 0.2408, R^2 = 0.9992 \quad (4)$$

图3表明本研究的结果与《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)^[10]提出的办公建筑使用时长修正系数基本吻合. 当使用时长大于2 600 h时,两者之间的差异有所扩大. 当使用时长为3 580 h时,两

者之间的差异最大为4%.

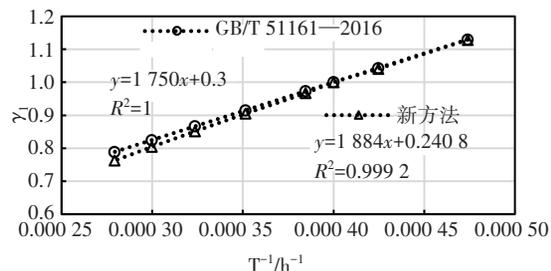
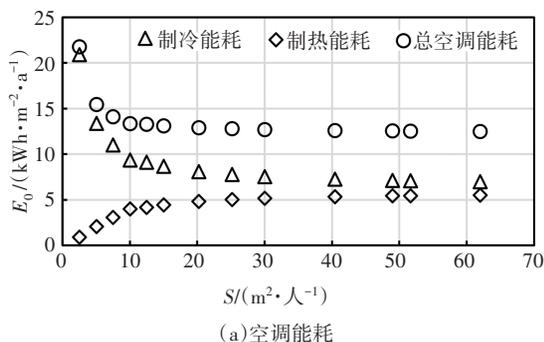


图3 使用时长修正系数对比

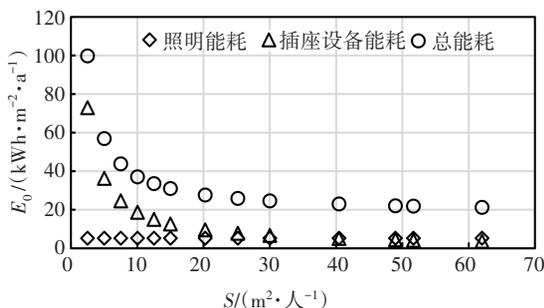
Fig.3 Correction coefficients for service time

2.2 不同人员密度下的办公建筑能耗

模拟得到不同人员密度下的空调能耗、照明能耗、插座设备能耗以及总能耗结果(见图4).



(a)空调能耗



(b)照明、插座设备及总能耗

图4 人均建筑面积对建筑能耗的影响

Fig.4 Impact of per capita floor area on energy consumption

当人均建筑面积由2.5 $\text{m}^2/\text{人}$ 增加到20 $\text{m}^2/\text{人}$ 时,年单位面积空制冷能耗快速下降[见图4(a)]. 人均建筑面积超过20 $\text{m}^2/\text{人}$ 后,空制冷能耗缓慢下降,并逐渐趋近7.5 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. 制热能耗先快速升高而后趋于平缓. 因为使用人数减少后,使用者的发热量减少. 在同样的室内温度要求下,夏天的冷负荷降低,冬天热负荷增加. 与此同时,空调总能耗先快速下降,而后趋于平缓.

本研究假设建筑100%投入使用,使用人数降低,照明设备仍正常运行. 随着人均建筑面积的增

加,年单位面积照明能耗不变.

随着人均建筑面积的增加,年单位面积插座设备能耗先快速下降,超过 30 m²/人后则趋于平缓.插座设备能耗与使用人数呈线性关系,人均建筑面积与使用人数呈倒数关系.人均建筑面积越大,使用人数变化越小,插座能耗变化越小[见图 4(b)].

当人均建筑面积由 2.5 m²/人增长至 30 m²/人时,总能耗快速下降.继续提高后总能耗趋于平缓.

根据公式(1)~(3)可计算得到人均建筑面积为 10 m²/人时的年单位面积总能耗.以此为基准,计算得到基于人员密度的全年单位面积能耗修正系数结果(见图 5).建筑 100% 投入使用,人员密度的调整未对照明能耗产生直接影响.照明能耗占办公建筑全年总能耗的 17%^[20],因此在进行建筑总能耗修正时,若修正照明能耗,则高估了人员密度对建筑总能耗的影响.剔除照明能耗后,基于最小二乘法拟合得到人均建筑面积与其对应的修正系数 γ_2' 之间的关系如式(5):

$$\gamma_2' = 0.541 \ln S - 0.218, R^2 = 0.9966 \quad (5)$$

图 5 表明当人均建筑面积大于 33 m²/人或小于 10 m²/人时,新的人员密度修正系数显著低于《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)中的要求.当人均建筑面积介于 10~33 m²/人之间时,新的人员密度修正系数略高于该标准.

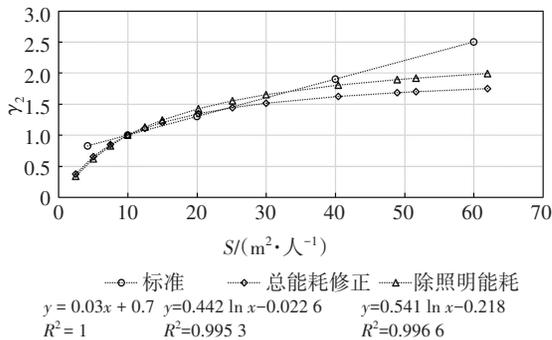


图 5 人员密度修正系数

2.3 敏感性分析

办公建筑实际运行中人均办公设备功率、空调能效等参数差异较大,可能会对建筑能耗产生影响,因而导致人员密度修正系数发生变化.

2.3.1 人均办公设备功率的影响

人均办公设备功率分别设置 50 W、100 W、150 W 及 300 W 4 种工况,以人均建筑面积为 10 m²/人的工况为基准,计算得到人员密度修正系数变化情况如图 6 所示.结果表明人均办公设备功率越高,人员

密度修正系数越大.

当人均建筑面积低于 10 m²/人时,人员密度修正系数均低于《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)的要求.当人均办公设备功率为 50 W 时,相应的人员密度修正系数整体低于该标准.当人均办公设备功率为 150 W 时,在低人均建筑面积条件下(10~50 m²/人),其人员密度修正系数要高于该标准.在高人均建筑面积条件下(大于 50 m²/人),相应的人员密度修正系数低于该标准.人均办公设备功率为 300 W 的工况下,当人均建筑面积大于 10 m²/人,相应的人员密度修正系数整体高于《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016).

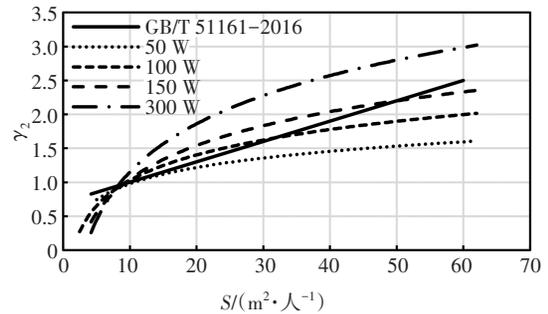


图 6 人均办公设备功率对人员密度修正系数的影响
Fig.6 The impact of per capita office equipment power on correction coefficient for personnel density

2.3.2 空调能效的影响

该建筑空调系统为水源热泵系统,参考工况设置的制冷 EER 为 3.7,制热 COP 为 3.8.参考《可再生能源建筑应用工程评价标准》(GB/T 50801—2013)^[21],建立新的空调性能工况,见表 7.其中能效工况一以 1 级为基准,能效工况二以 2 级为基准.

表 7 空调能效工况设置

Tab.7 Condition settings of air conditioning energy efficiency

工况	制冷 EER	制热 COP
能效-参考工况	3.7	3.8
能效-工况一	3.5	3.9
能效-工况二	3.0	3.4

不同工况下的人员密度修正系数结果如图 7 所示.结果表明参考工况与 1 级基准接近,修正系数基本一致.2 级基准降低了制冷 EER 和制热 COP,修正系数变化幅度在 6% 以内.

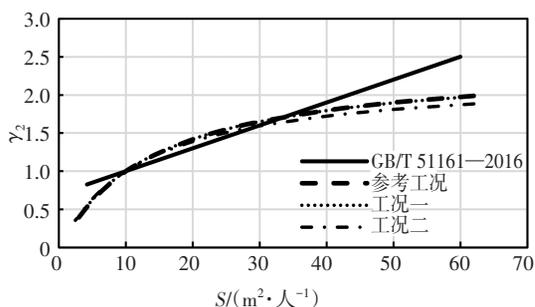


图 7 空调能效对人员密度修正系数的影响

Fig.7 The impact of air conditioning energy efficiency on correction coefficient for personnel density

3 办公建筑能耗修正和评价方法

根据敏感性分析可知,人均办公设备功率对人员密度修正系数的影响较大,空调能效的影响较小。因此将办公建筑人均办公设备功率设定为 100 W。地下车库用能强度明显低于办公区域,不同建筑中地下车库面积占比存在差异,其会对人均建筑面积产生较大影响。为消除这一影响,在计算人均建筑面积时剔除地下车库面积。新的使用时长修正系数与《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)中提出的结果基本吻合,该修正公式不变。

以人均建筑面积 10 m²/人为基准使用强度,转化得到人员密度修正系数如公式(5)所示。

γ_2 只参与除照明能耗外其他建筑能耗的修正,办公建筑能耗实测值修正公式如式(6):

$$E'_{oc} = ((1 - \alpha)E_o \gamma'_2 + \alpha E_o) \gamma_1 \quad (6)$$

式中: α 为照明能耗占总能耗的比重。

重新定义人均建筑面积的计算方法如式(7):

$$S = \frac{A'}{P} \quad (7)$$

式中: A' 为剔除地下车库后的建筑面积,m²; P 为建筑内实际用能总人数。

办公建筑运行能耗评价方法如式(8):

$$N = \frac{E'_{co}}{E_{limit}} \quad (8)$$

式中: E_{limit} 为同气候区同类型建筑能耗的合理值, kWh/(m²·a); E'_{co} 为修正后的年单位面积能耗值, kWh/(m²·a); N 为能耗评价值。

基于公式(5)~(8),选取了长三角地区 7 个办公建筑能耗的实测值进行修正,将修正值与实测值以及依据《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)得到的修正值进行对比(见图 8)。结果表明采用优化后的修正方法,可以使使用强度偏离大的样本建筑

(B1、B2、B6)的能耗修正值降低 35%~45%。B6 建筑的修正比例由最高的 3.3 降至 1.8。而对于与标准使用强度接近的样本建筑,其修正比例变化在 10% 左右。修正后的年单位面积能耗最高为 139 kWh/(m²·a), 低于能耗合理值的要求,属于正常的能耗水平。

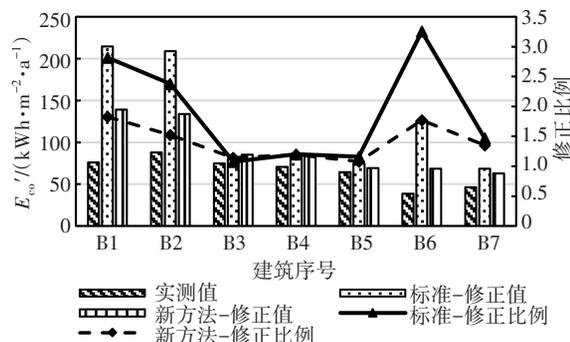


图 8 7 个办公建筑能耗修正结果对比

Fig.8 Comparison of corrected results of energy consumption of 7 office buildings

4 结论

针对建筑使用强度差异大引起的能耗对比基准不一、直接对比评价不合理的难点,以及使用强度对分项能耗影响不明晰的问题,以典型办公建筑为例,采用能耗模拟方法分析了使用时长和人员密度对建筑分项能耗的影响,并优化了《民用建筑能耗标准》(GB/T 51161—2016)提出的办公建筑能耗修正方法。结果表明标准中对使用时长的修正方法与模拟得到的结果基本吻合。由于标准采用总能耗进行回归分析,其针对人员密度的修正方法高估了人员密度对建筑能耗的影响。研究从使用时长和人员密度两个方面提出了办公建筑运行能耗修正和对标方法。新的修正公式适用对象为长三角地区人均设备功率在 100 W 左右的点式办公建筑。改进后的修正方法使使用强度偏离大的样本建筑的能耗修正值降低 35%~45%,可更好地体现建筑实际用能水平。

不同平面形式的办公建筑在办公区域和交通空间存在比例差异,可能会对能耗修正产生影响。未来有必要分析点式、板式及围合等不同平面布局对修正系数的影响,来进一步优化能耗修正方法。

参考文献

[1] 中国建筑节能协会. 中国建筑能耗研究报告 2020[J]. 建筑节能(中英文), 2021, 49(2):1-6.
China Association of Building Energy Efficiency. China building

- energy consumption annual report 2020[J]. Building Energy Efficiency, 2021, 49(2): 1-6. (In Chinese)
- [2] 肖娟. 绿色公共建筑运行性能后评估研究[D]. 北京: 清华大学, 2013: 13-16.
XIAO J. Study on post occupancy evaluation of green public buildings[D]. Beijing: Tsinghua University, 2013: 13-16. (In Chinese)
- [3] 张时聪, 徐伟, 魏峥. 美国“能源之星-建筑集群管家”[J]. 建设科技, 2011(12): 29-31.
ZHANG S C, XU W, WEI Z. USA energy star-portfolio manager [J]. Construction Science and Technology, 2011(12): 29-31. (In Chinese)
- [4] Energy performance of buildings—Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings: BS EN 15217:2007[S]. London: BSI, 2007: 3-5.
- [5] YANG J J, SANTAMOURIS M, LEE S E, *et al.* Energy performance model development and occupancy number identification of institutional buildings [J]. Energy and Buildings, 2016, 123: 192-204.
- [6] KANG H, LEE M, HONG T, *et al.* Determining the optimal occupancy density for reducing the energy consumption of public office buildings: a statistical approach [J]. Building and Environment, 2018, 127: 173-186.
- [7] WANG Y, SHAO L. Understanding occupancy pattern and improving building energy efficiency through Wi-Fi based indoor positioning[J]. Building and Environment, 2017, 114: 106-117.
- [8] MOKHTARI R, JAHANGIR M H. The effect of occupant distribution on energy consumption and COVID-19 infection in buildings: a case study of university building[J]. Building and Environment, 2021, 190: 107561.
- [9] 那威, 刘俊跃, 武涌, 等. 国家大型公共建筑能耗监测系统城市级平台建设目标识别与框架研究[J]. 暖通空调, 2009, 39(10): 4-8.
NA W, LIU J Y, WU Y, *et al.* Target recognition and requirement analysis of city real-time energy monitoring system for national large-scale public buildings[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2009, 39(10): 4-8. (In Chinese)
- [10] 上海市机关办公建筑合理用能指南: DB 31/ T550—2015 [S]. 上海: 上海市质量技术监督局, 2015: 2-5.
Rational use of building energy guide for organ office buildings: DB 31/ T550—2015 [S]. Shanghai: Shanghai Municipal Bureau of Quality and Technical Supervision, 2015: 2-5. (In Chinese)
- [11] 民用建筑能耗标准: GB/T 51161—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016: 11-12.
Standard for energy consumption of buildings: GB/T 51161—2016 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016: 11-12. (In Chinese)
- [12] 唐文龙, 沈俊杰, 龚延风. 南京市中小校园建筑能耗定额的研究[J]. 建筑热能通风空调, 2018, 37(12): 22-27.
TANG W L, SHEN J J, GONG Y F. Energy consumption quota of campus buildings in primary and secondary schools of Nanjing[J]. Building Energy & Environment, 2018, 37(12): 22-27. (In Chinese)
- [13] 夏婵, 卜震, 张蓓红, 等. 上海市星级饭店建筑能耗对标与修正研究[J]. 暖通空调, 2020, 50(3): 63-66.
XIA C, BU Z, ZHANG B H, *et al.* Energy consumption benchmarking and correction of star hotels in Shanghai [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2020, 50(3): 63-66. (In Chinese)
- [14] 陈淑琴, 邹佳婧, 葛坚, 等. 办公建筑空调随机使用行为模拟方法及案例应用[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2021, 48(5): 157-164.
CHEN S Q, WU J J, GE J, *et al.* Simulation method and case study of stochastic usage behavior of air conditioners in office buildings [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2021, 48(5): 157-164. (In Chinese)
- [15] 俞准, 周亚苹, 李郡, 等. 建筑用户在室行为预测新方法[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2019, 46(7): 129-134.
YU Z, ZHOU Y P, LI J, *et al.* A new approach for building occupancy prediction [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2019, 46(7): 129-134. (In Chinese)
- [16] 刘菁, 王芳. 办公建筑能耗影响因素与数据标准化分析[J]. 暖通空调, 2017, 47(5): 83-88.
LIU J, WANG F. Analysis on influencing factors and data standardization of office building energy consumption [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2017, 47(5): 83-88. (In Chinese)
- [17] 支建杰, 吴蔚沁, 徐强, 等. 2019年上海市公共建筑能耗监测平台能耗数据分析[J]. 上海节能, 2020(7): 660-665.
ZHI J J, WU W Q, XU Q, *et al.* Analysis of 2019 annual energy consumption data in Shanghai public buildings energy monitoring system [J]. Shanghai Energy Conservation, 2020(7): 660-665. (In Chinese)
- [18] 钱一栋. 蓄能型地表水源热泵系统性能分析及运行策略优化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020: 32-39.
QIAN Y D. Performance analysis and optimization of energy storage surface water heat pump system [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020: 32-39. (In Chinese)
- [19] 王朝霞. 办公建筑内部负荷扰量的特性分析与能耗预测[D]. 天津: 天津大学, 2014: 71-72.
WANG Z X. Research on interior load characteristics and energy consumption prediction of office buildings [D]. Tianjin: Tianjin University, 2014: 71-72. (In Chinese)
- [20] US Energy Information Administration. Commercial buildings energy consumption survey (CBECS) trends in lighting in commercial buildings [EB/OL]. (2007-5-17) [2021-11-16]. [https://www.eia.gov/consumption/commercial/reports/2012/lighting/?src=<Consumption Commercial Buildings Energy Consumption Survey \(CBECS\)-b1](https://www.eia.gov/consumption/commercial/reports/2012/lighting/?src=<Consumption Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS)-b1).
- [21] 可再生能源建筑应用工程评价标准: GB/T 50801—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013: 34-36.
Evaluation standard for application of renewable energy in buildings: GB/T 50801—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013: 34-36. (In Chinese)