

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2018.01.016



夏热冬冷地区绿色建筑的节能效益

何玥儿, 丁勇, 刘猛

(重庆大学 城市建设与环境工程学院; 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要:针对目前常用绿色建筑节能技术及夏热冬冷气候特点,以案例形式分别对围护结构性能改善、能源综合利用等技术应用的效果进行分析,量化了绿色建筑节能技术的应用效益。研究结果表明:在目前常用的绿色建筑节能技术中,集中空调系统排风全热回收技术节能效益最大,达到35%节能率,过渡季节充分利用新风,会带来10%的节能率;合理设置可调节外遮阳和改变围护结构热工性能,可产生7%左右的节能率;采用光控措施控制照明系统,可形成12.3%的节能率;绿色建筑节能技术的选择及其应用效果受技术相互关联性影响较大,节能方案需要整体综合考量;节能技术的应用可使建筑在现行节能标准基础上再实现46.9%的节能率,达到建筑节能75%的要求。

关键词:绿色建筑;节能技术;夏热冬冷;方案对比;效益分析

中图分类号:TU111.19 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2018)01-0113-09

Analysis of energy efficiency of green buildings in hot-summer and cold-winter zones in China

He Yueer, Ding Yong, Liu Meng

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering; Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment Under MOE, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: In terms of the common green buildings techniques obtained from statistics and climate features of hot-summer and cold-winter zone in China, a case study has been done. The effects of techniques, such as the enhancement of the performance of building envelope, energy comprehensive utilization, have been analyzed. The results show that the energy-saving benefit from total heat recovery of exhaust air which reaches 35% is the biggest in those common green buildings techniques; the utilization of fresh air in interim can save 10% energy; it could save as much as 7% energy by the means of setting adjustable exterior shading or improving the thermal performance of building envelop; the energy-saving rate of light control is 12.3%, etc. The study indicates that the energy efficiency of green buildings techniques interact with each other. Therefore, a comprehensive consideration of an energy conservation scheme of green buildings must be taken. The results show comparing with the requirements of current energy-saving standards, the whole energy efficiency of green buildings can achieve 46.9%, which can save energy by 75% compared with the reference building in the current energy-saving standards.

收稿日期:2017-06-27

基金项目:国家科技支撑计划(2013BAL01B03-6).

作者简介:何玥儿(1989-),女,博士生,主要从事建筑节能与绿色建筑技术研究,E-mail:heyueersurprise@163.com.

Received:2017-06-27

Foundation item:National Science and Technology Support Project (No. 2013BAL01B03-6)

Author brief:He Yueer(1989-), PhD candidate, main research interests: energy savings in buildings and green building technologies, E-mail:heyueersurprise@163.com.

Keywords: green buildings; energy-saving techniques; hot-summer and cold-winter zone; schemes comparison; benefits analysis

绿色建筑综合了节能、资源节约和环境保护,是缓解中国能源紧缺矛盾、改善人民生活条件、减轻环境污染、促进可持续发展的有效途径^[1]。在《国务院关于加快发展节能环保产业的意见》中,明确提出要积极开展绿色建筑行动:要求到 2015 年,新增绿色建筑面积 10 亿 m^2 以上,城镇新建建筑中二星级及以上绿色建筑比例超过 20%;建设绿色生态城(区)^[2]。在国家《绿色建筑行动方案》中也要求实现节能减排约束性目标,提出在“十二五”期间,完成新建绿色建筑 10 亿 m^2 ,完成夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造 5 000 万 m^2 ,公共建筑和公共机构办公建筑节能改造 1.2 亿 m^2 的目标;到 2015 年末,20% 城镇新建建筑达到绿色建筑标准要求^[3]。由此可见,国家层面,绿色建筑已成为建筑建筑节能减排的一项重要举措。

在绿色建筑的建设过程中,突出了节地、节水、节材、节能的资源节约型宗旨,这与中国现阶段大范围强制执行的节能设计相比较,不仅注重了综合节约,更进一步突出了节能效益。当前,对于建筑性能的分析,大多集中在各项节能标准执行后的节能效益上^[4-12],对绿色建筑的研究,主要集中在对评价指标体系的比较和成本效益的研究上^[13-21],而对于绿色建筑的实施所形成的建筑节能效益分析很少。

绿色建筑的节能设计要求建筑热工设计和暖通空调设计符合国家和地方建筑节能规定,在此基础上,本着减少能耗、提高能效的原则,要求进一步对围护结构和设备系统等进行合理设计及优化,在围护结构性能、设备用能性能、调节控制模式等方面提出了更高要求。由此可见,绿色建筑针对的建筑节能强调了技术的综合应用,不仅对现行节能设计标准的规定性指标和性能要求做出了提升,而且更强调适宜的综合效果。因此,对于绿色建筑的节能效益需要综合应用效果予以评判,本文以新建的公共建筑为研究对象,与现行《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)进行对比,分析绿色建筑的节能效益,筛选适宜的绿色建筑节能技术。

1 绿色建筑节能技术应用频谱分析

绿色建筑的节能设计,涉及到建筑优化、设备系统、能源利用、管理控制等多方面,根据 55 个已获得国家绿色建筑评价标识的建设项目申报资料,图 1

整理了各项节能技术在目前绿建项目中的应用分别情况^[22]。

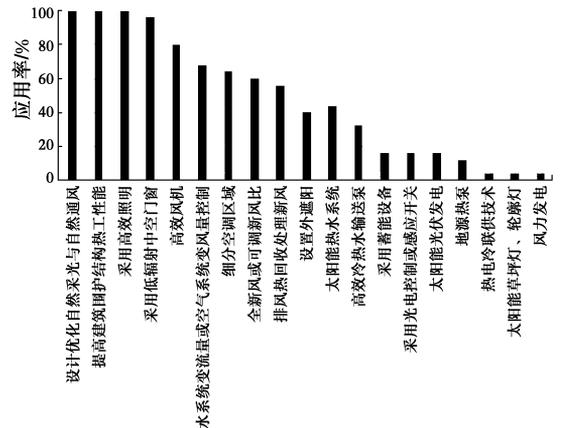


图 1 绿色建筑“节能与能源利用”技术措施应用列表

Fig. 1 The application of energy-related technologies in green buildings

由图 1 可以看出,在绿色建筑的节能设计方面,建筑本体优化、围护结构热工性能提升、高效照明、暖通空调系统节能、建筑遮阳等几类技术应用频率极高;能量的综合利用(如可再生能源、蓄冷蓄热、热电冷联供技术等),照明系统光控措施、感应开关的设置则属于应用频率较低的技术。从技术应用的频谱分析可以看出,应用较为广泛的技术往往受客观因素影响较少,这恰恰也反映了技术应用的难易程度,也反映了绿色建筑的设计正在向适宜性迈进。

本文结合技术频谱分析,重点针对受客观因素影响小的典型技术途径,如围护结构热工性能提升、空气系统变风量控制、新风比可调、排风热回收技术、建筑外遮阳、光控措施、高效照明等技术,采用案例分析法量化技术应用的节能效益。

2 绿色建筑技术途径节能性能分析

2.1 研究方案

绿色建筑的设计首先要明确其定位,针对建筑的具体情况,因地制宜的使用绿色建筑技术,以满足相应等级的要求。对比《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)要求,为分析各类节能技术在绿色建筑“节能与能源利用”方面的节能效益,选取夏热冬冷气候区典型城市重庆的一栋典型办公建筑作为分析对象,该建筑共 6 层,层高 3.5 m,面积为

8 405 m²,正南朝向,建筑平面布局如图 2 所示。运行时间为工作日 7:00—20:00,无夜间供热空调能耗。

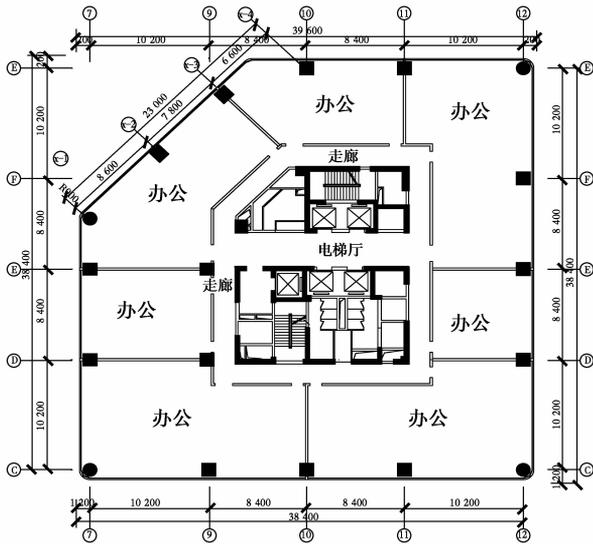


图 2 示例建筑平面布局图

Fig. 2 The plan of the case building

示例建筑节能方案按照《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)进行设定,并作为后续分析比较的基准。暖通空调部分采用集中式全空气空调系统,冷热源部分为压缩式制冷机组与燃气锅炉,并根据《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)^[23]和《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50736—2012)^[24]进行设定。为分析所选取的典型绿色建筑技术的节能效果,利用 Design Builder 能耗模拟软件,以基准方案下示例建筑的全年能耗结果作为比较基础,模拟计算使用单项技术后的建筑全年能耗值,并重点对相关技术的节能效益进行分析。

2.2 围护结构节能

相比国家和行业节能设计标准规定的热工性能指标,绿色建筑对围护结构的热工性能具有更高的要求,主要体现在外墙、屋顶、外窗、幕墙等围护结构主要部位的传热系数 K 值和遮阳系数 SC 值的提升,以及减小窗墙面积比。

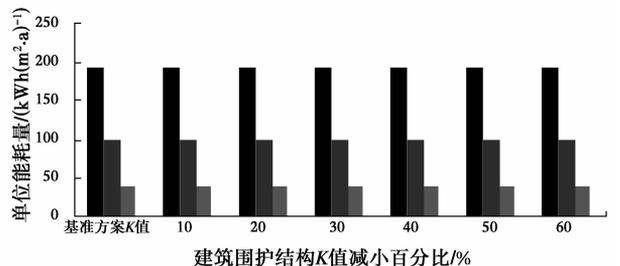
3.2.1 围护结构性能改善的节能效益分析

1)减小传热系数 示例建筑围护结构的热工参数根据《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)限值进行设置,具体取值为:屋面 K 值为 $0.677 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,外墙 K 值为 $0.951 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;外窗 K 值为 $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,遮阳系数 SC 为 0.4 。根据绿色建筑要求,维持其他条件不变,进一

步降低围护结构传热系数 K 值。分析围护结构传热系数的变化对建筑全年能耗的影响,能耗变化如图 3 所示。

由图 3 可见,随着外墙 K 值从 $0.951 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 减小到 $0.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,屋面 K 值从 $0.677 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 减小到 $0.27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,外窗 K 值从 $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 减小到 $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,冬季热负荷随之减少,制热能耗降低 3.83% ,但夏季空调能耗却有 1.03% 的小幅增长。这是由于传热系数的减小,对于夏热冬冷地区建筑而言,不利于围护结构夜间的散热,室内的蓄热负荷会导致第 2 天空调系统开启时需提供的预冷负荷增大,制冷能耗增加。然而,从全年来看,在夏热冬冷地区,冬季供热能耗仅占夏季供冷能耗的 40% 左右,因此,减小传热系数带来的能耗指标的降低并不明显,本案例中,全年能耗仅减小 0.26% 。根据分析,对于围护结构传热系数,在满足现行节能标准的基础上再进一步降低,在夏热冬冷地区所产生的节能效益不足 1% ,收效甚微。

由此也可得知,该地区围护结构的热工设计,不同于北方采暖建筑主要考虑单向的传热过程,不能一味的强调围护结构 K 值的降低,需要同时考虑冬季保温和夏季隔热的需求。

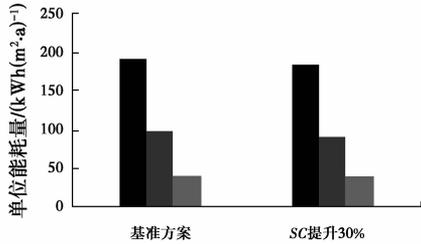


注: ■ 建筑全年运行能耗 ■ 建筑全年制冷能耗 ■ 建筑全年制热能耗

图 3 降低围护结构传热系数对建筑能耗的影响

Fig. 3 Effects of lowering K -value of building envelop on building energy use

2)减小遮阳系数 在夏季围护结构得热中,透过透明围护结构的太阳辐射得热占据主导地位,遮阳系数的改变,将改变建筑通过窗户的日射得热,有效减少太阳辐射形成的负荷值。本案例中,将窗户遮阳系数 SC 由标准限值 0.4 提升到 0.278 。分析结果如图 4 所示,结果表明,遮阳系数性能提升 30% ,建筑全年太阳辐射得热量降低约 34% ,这使得夏季空调能耗降低 8.3% ;但同时,也导致冬季制热能耗增加 2.16% ,建筑全年运行能耗减少 3.8% 。

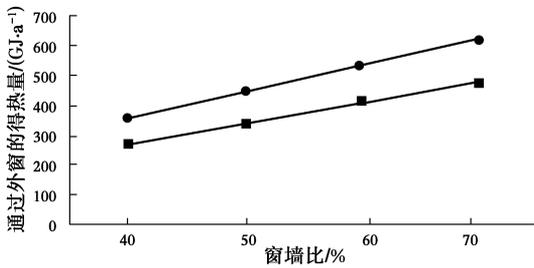


注：■ 建筑全年运行能耗 ■ 建筑全年制冷能耗 ■ 建筑全年制热能耗

图 4 提升外窗遮阳系数对建筑能耗的影响

Fig. 4 Effects of improving SC-value of windows on building energy use

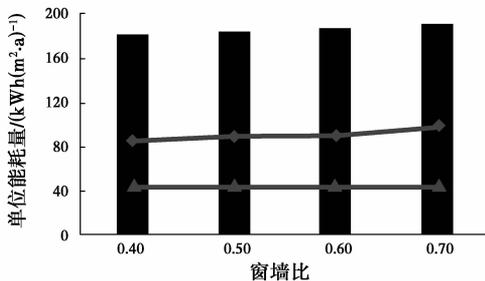
3)控制窗墙比 减小窗墙比可以有效减少夏季投过窗户的得热量,同时,也可以减少冬季窗户的热损失。通过分析,如图 5 所示,随着建筑各朝向窗墙比从 0.7 减小到 0.4,建筑全年由于温差传热引起的热损失降低约 76%、全年透过窗户日射得热降低 73%。对比建筑全年运行能耗结果,如图 6 所示,其他条件不变,当建筑综合窗墙比由 0.7 优化至 0.4 时,建筑全年运行能耗可降低 4.8%。其中,建筑制冷能耗增幅约为 12%,制热能耗降低幅度较小,约为 1.4%。由此可见,夏热冬冷地区,透明围护结构性能改善可以产生明显的节能效果,对于夏季更为明显。



注：● 全年外窗日射得热量 ■ 全年外窗热损失量

图 5 不同窗墙面积比对外窗日射得热/失热的影响

Fig. 5 Effects of the window-wall ratio on solar heat gain through windows



注：■ 建筑全年运行能耗 ▲ 建筑全年制热能耗 ◆ 建筑全年制冷能耗

图 6 窗墙面积比对建筑能耗的影响

Fig. 6 Effects of the window-wall ratio on building energy use

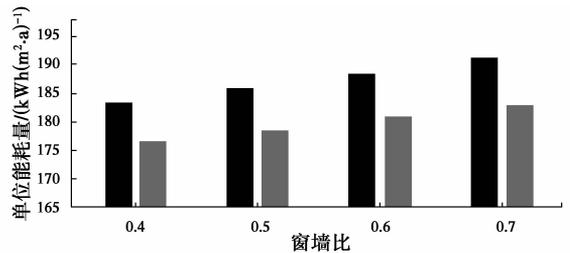
3.2.2 围护结构性能改善的整体方案及影响因素

对于围护结构性能的改善,需要综合多方面因素。例如窗墙比的改变,虽然可提升外围护结构的热工性能,但同时,也降低了建筑的通透性,因此,对于窗墙比的确定,需要综合考虑传热系数和遮阳系数,以及围护结构整体热工性能等。基于上述分析,在示例建筑基准方案的基础上,以窗墙比为变化源,分析了围护结构热工性能综合提升方案带来的效益,方案设置情况如表 1 所示。

表 1 示例建筑围护结构热工特性

Table 1 The thermal performance of the case building

围护结构	传热系数 $K / (W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1})$			外窗遮	窗墙比
	外墙	外窗	屋顶	阳系数 SC	
基准方案	0.951	2.5	0.677	0.4	0.7
热工性能提升后	0.4	1.25	0.677	0.278	0.4、0.5、0.6、0.7



注：■ 性能提升前 ■ 性能提升后

图 7 单位建筑能耗量随窗墙面积比的变化

Fig. 7 Energy intensity change due to the change of window-wall ratio

按照上述设置进行分析,可分别得到图 7 和图 8 所示结果。由图 7 可知,本案例中,仅改变窗墙比的大小,可节能 4.8%。针对基准方案,采取改善围护结构性能的措施后,全年可实现 4.31% 的节能量。若同时减小窗墙比,平均可再节能约 4%。当提升围护结构热工性能,并优化窗墙比至 0.4 时,建筑全年运行能耗减小 7.6%。

根据图 7 的计算结果,分析围护结构热工性能提升前后全年能耗、全年制热/制冷能耗节能率随窗墙比变化的规律,如图 8 所示。建筑均采用改善围护结构性能的不同节能措施,对于窗墙比越大的建筑,实施节能措施的节能效益越明显。分析表明,针对不同窗墙比建筑,与基准方案相比,节能率由窗墙比 0.4 时的 3.6% 增加至窗墙比 0.7 时的 4.3%,因此,窗墙比是改进围护结构热工性能的重要措施,尤其对大窗墙比建筑,具有很大的节能潜力。同时,对于建筑围护结构的性能改善,不同的建筑形体结构

会产生不同的节能效果,在进行优化分析时,应综合考虑节能效益。

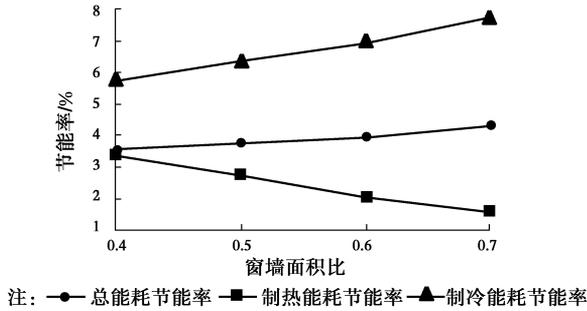


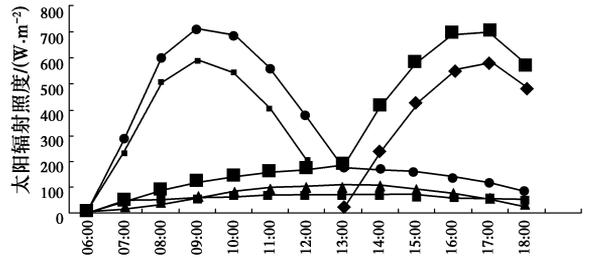
图 8 采取改善围护结构性能的措施后的节能率随窗墙面积比的变化

Fig. 8 Energy savings due to the change of the window-wall ratio

3.3 建筑外遮阳

示例建筑位于重庆地区,该地区太阳能资源在 3~10 月份较充足,夏季太阳辐射量最大,春季和秋季次之,冬季最小。图 9 为计算得到的重庆地区夏至日一天的东、西向垂直面外窗接收到的直射辐射、天空散射、地面反射、总太阳辐射分布情况,由图可

见,该地区建筑夏季太阳辐射照度大,东向最大达到 710 W/m^2 ,西向最大达到 704 W/m^2 ,这将带来巨大的外窗太阳辐射得热量,由此可见阻挡太阳辐射得热,是减少空调能耗的关键因素。



注: ◆直射辐射击-west,dir ■天空散射 ▲地面板射
■总太阳辐射-west ◆直射辐射击-west,dir ●总太阳辐射-west

图 9 东西向外窗接受的太阳辐射照度

Fig. 9 Solar irradiance on the eastern and western windows

采取适当的遮阳措施,减少窗和透明幕墙的辐射传热是建筑节能中降低窗口得热的主要途径。在本案例中,各朝向窗墙比均为 70%时,针对每个朝向对比分析了几种典型外遮阳形式的节能效益,各遮阳性能如表 2。

表 2 不同遮阳方式设置情况

Table 2 The settings of various shading devices

遮阳方式	编号	外挑长度/m	叶片宽度/m	遮阳设施的综合遮阳系数			
				东向	西向	南向	北向
可调节百叶外遮阳	A		0.3	0.26	0.27	0.39	0.30
水平固定遮阳板	B	0.6		0.74	0.74	0.76	0.83
局部固定横百叶挡板式遮阳(15°)	C		0.7	0.30	0.22	0.30	0.45
垂直遮阳板	D	0.6		0.90	0.90	0.87	0.84
水平固定遮阳板+垂直遮阳板	E	0.6/0.6		0.66	0.66	0.66	0.70
局部固定横百叶挡板式(15°)+垂直遮阳板	F	/0.6	0.7	0.27	0.20	0.26	0.38

分析结果如图 10 所示,图中各遮阳方案的对比清晰地表明,不同的遮阳方式直接影响了建筑能耗的大小,同一种遮阳方式在不同的建筑朝向所实现的节能效益也有所差异。

由于夏季不同朝向太阳辐射日变化的存在,使得不同朝向日辐射和峰值出现的时间不同。就本案例所在的重庆地区而言,对不同朝向窗的夏季典型日的逐时热流量分析表明,窗户的热流量峰值出现在东向 7:00—10:00 和西向 14:00—18:00,且此峰值远高出南、北向的平均值及峰值,也就是说,对于窗户的遮阳,东、西向设置遮阳的节能效果将明显。

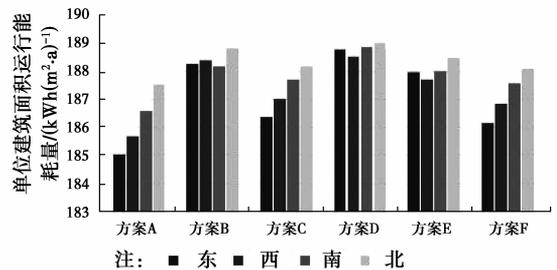


图 10 建筑不同朝向设置外遮阳设施的年运行能耗

Fig. 10 The predicted annual energy consumption with different shading strategies

而各种遮阳措施中,可调节百叶外遮阳,可随着太阳

高度角的变化,根据接受到的太阳辐射照度的变化自行调节,有效的遮挡太阳辐射,可获取更优的节能效益。通过本例的分析也表明,可调节百叶外遮阳的节能性能最优,而遮阳系数最大的垂直遮阳效果并未优于其他几种遮阳方式。

图 11 对比了建筑各朝向均设置同种外遮阳设施后,建筑的年运行能耗,以及各种遮阳方式对太阳辐射的阻挡效果。设置遮阳设施后,建筑运行能耗均有下降。其中,可调节外遮阳节能效益最明显,外窗全年日射得热量减小约 55%,可实现 7.2%的节能效益。由此可见,可调节外遮阳应为该地区建筑首选的遮阳方式。

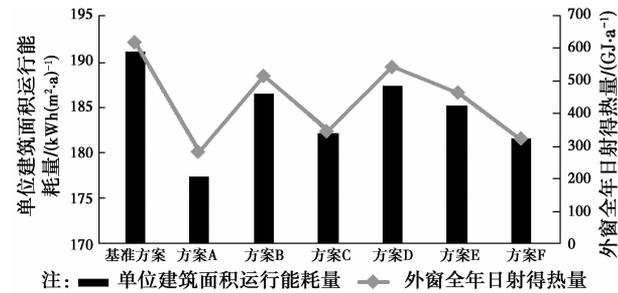


图 11 建筑设置不同遮阳设施的节能效益
Fig. 11 Energy savings of building sunshade

3.4 能量综合利用

3.4.1 排风热回收技术 排风热回收技术是实现能量综合利用的主要技术手段,冬夏季的排风热回收,对于集中空调系统的新风耗能量的降低将有着明显效果。在本案例中,对比了目前常用的显热回收、全热回收方式,和不同热回收效率 60%与 70%下该技术的节能性能差异,对比结果如图 12 所示。

由分析结果可知,当热回收效率为 60%时,显热回收技术将实现 20%的节能效益,全热回收技术的节能率可进一步提高 10%左右;而将热回收效率由 60%提升至 70%后,显热回收技术的节能量由 20%提高到 23%,全热回收技术节能率也由 30%增至 35%。由此可见,对于仅依靠温差传热的显热回收,由于夏季排风中提供的最大能量仅占到全热交换时所能提供的 16.7%,冬季可达到 67%,因此,全热回收,尤其是夏季的节能效果更为显著,通过本例分析也表明全热回收可比显热回收节能率提高 10%左右。而对于回收效率,提高 10%,节能效果增加约为 3%~5%,但由此可能带来更大的投入。同时,对于热回收技术的应用,对于不同的季节,应用效果明显不同,在夏热冬冷地区的夏季,室外空气温度高、湿度较大,室内外空气的温差、焓差明显,

此时新风焓值为排风的 2.53 倍,热回收效果明显,而在冬季则仅占排风能量的 24%。因此,对于热回收技术的选择,需要结合到技术经济对比,合理选用。

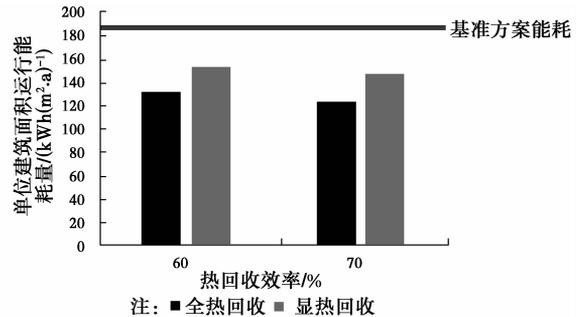


图 12 热回收技术的节能效益

Fig. 12 Energy savings of heat recovery technology

3.4.2 新风比可调 新风比可调是集中空调系统全年多工况运行的一种节能控制措施。全空气空调系统采用可调新风比,是为了在过渡季充分利用室外空气的自然调节能力,尽可能做到不用或少用人工冷、热量。

图 13 为本案例采用的一次回风定风量空气系统的运行调节图, N 区域为室内状态允许波动区,全年以 $i_{w'}$ 、 i_{w1} 、 i_{L1} 、 i_{L2} 、 i_{N2} 和 i_w 等焓线将 $i-d$ 图划分为 5 个空调工况区进行调节, C_1 、 C_2 分别是冬夏季设计工况下满足最小新风比时新回风空气混合状态点,II、III 区域为空调专业中的“过渡季”。

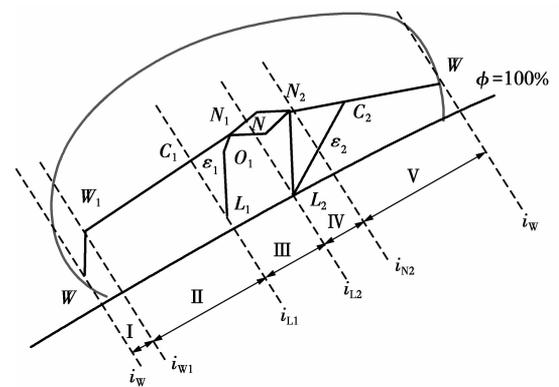


图 13 一次回风空调系统的运行调节

Fig. 13 The control strategies for the primary return air-conditioning system

以室外空气焓值处于第 II 区域时为例,如仍按最小新风比混合,则混合后的空气状态点将在 III 区域,如果维持 L_1 不变,就需启动制冷设备;如果改变新回风混合比(增加新风量,减少回风量),即可调节一次混合状态点维持在 i_{L1} 线上,避免开启制冷设备。因此,新风量的增加不仅改善了室内空气品质,

而且,由于充分利用新风冷量,可推迟启动制冷设备的时间,实现节能。根据这一调节思路,本案例中,当最大可调新风比为75%时,冬季制热能耗减少约30%,夏季制冷能耗降低7.5%,全年可实现近10%的节能量。

3.5 其他节能技术效益

在本案例的基准方案中,照明能耗占建筑全年运行能耗的10%。现有节能设计标准规定照明功率密度值不超过《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)中“现行值”的要求,若通过高效照明将照明功率密度值提升到“目标值”,建筑全年运行能耗将减小2.95%。若采用光控照明措施,即根据光线的亮度自动控制照明开关,经计算分析,建筑全年运行能耗将降低12.3%。

对于空气调节系统,若采用空气系统变风量控制技术,通过分析表明,全年可实现2.93%的节能率。

3.6 绿色建筑整体节能效益

通过上述各项技术的分析,汇总各项绿色建筑技术节能效果的横向对比结果,如图14所示。

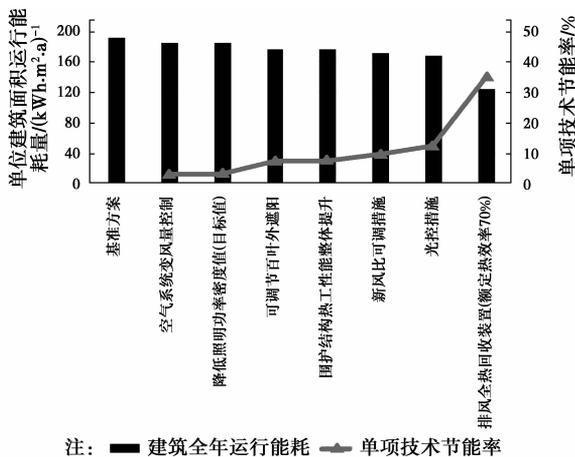


图14 各类绿色建筑节能技术的节能效益

Fig. 14 Energy efficiency of various green building technologies

由图14可见,对于案例建筑所采用的绿色建筑节能技术,排风热回收节能效益最大,达到35%,依次分别是照明光控措施12.3%、新风可调比10%、围护结构整体性能改善7.6%、可调节百叶外遮阳7.2%,降低照明功率密度值2.95%,空气系统变风量控制2.93%。综合运用上述绿色建筑节能技术,将使暖通空调系统年能耗节约60%、照明系统年节约近30%的能耗,相对于节能标准建筑整体节能率达到46.9%,接近75%节能率。

4 结论

为分析实现绿色建筑节能的典型技术途径,以位于夏热冬冷气候区的办公建筑为例,量化了各节能技术所能实现的节能效益,分析了绿色建筑节能方案的影响因素,得到结论如下:

1)单纯进一步降低围护结构传热系数节能效益不明显,节能率不足1%。围护结构节能需要进行整体综合考虑,提升围护结构整体热工性能,可使建筑全年运行能耗减小7.6%。

2)对于夏季太阳辐射照度大的地区,设置建筑外遮阳阻挡太阳辐射得热,是减少空调能耗的关键因素,可调节百叶外遮阳时节能效益最大,可实现节能率约7.2%。

3)排风热回收技术是实现能量综合利用的主要技术手段,节能贡献率显著。分析表明,热回收效率为70%的全热回收技术可实现35%的节能量。

4)对于全空气空调系统,在过渡季采用全新风或增大新风比运行可有效降低空调系统能耗。在本案例中,最大可调新风比为75%时,可实现近10%的节能量。

5)采用照明光控措施,根据光线自动控制照明系统开启,节能效益约为12.3%;采用高效照明,实现照明功率密度值由“现行值”到“目标值”的提升,全年可实现2.95%的节能量。

绿色建筑节能技术的选择及其应用效果受多因素的影响,各技术之间也相互关联。绿色建筑节能方案需要整体综合考量,在本案例中,相比按照现行《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)制定的节能方案,绿色建筑整体节能率达到46.9%,接近75%建筑节能率。

参考文献:

- [1] 北京市住房和城乡建设科技促进中心. 绿色建筑评价标准:GB/T 50378—2006 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
Beijing Municipal Promotion Center of Housing And Urban-Rural Development. Evaluation standard for green buildings:GB/T 50378-2006 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006. (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于加快发展节能环保产业的意见 [EB/OL]. (2013-08-11)[2014-01-15]. http://www.gov.cn/zwggk/2013-08/11/content_2464241.htm.

- The Central People's Government of The People's Republic of China. Proposal on accelerated development of the energy conservation and environmental protection industries by the state council of China [EB/OL]. (2013-08-11) [2014-01-15]. http://www.gov.cn/zwggk/2013-08/11/content_2464241.htm. (in Chinese)
- [3] 中华人民共和国中央人民政府国务院办公厅. 关于转发发展改革委住房城乡建设部绿色建筑行动方案的通知[EB/OL]. (2013-08-11)[2014-01-15]. http://www.gov.cn/zwggk/2013-01/06/content_2305793.htm. The Central People's Government of The People's Republic of China. Green buildings action plan [EB/OL]. (2013-08-11) [2014-01-15]. http://www.gov.cn/zwggk/2013-01/06/content_2305793.htm. (in Chinese)
- [4] 江亿. 我国建筑能耗现状及有效的节能途径[J]. 暖通空调, 2005, 35(5): 30-40.
JIANG Y. Energy consumption in China and effective energy saving approaches [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2005, 35(5): 30-40. (in Chinese)
- [5] 任俊, 刘加平. 基准能耗指标与节能设计[C]//全国建筑节能技术与设计学术会议论文集, 2005: 88-93.
REN J, LIU J P. Basis energy consumption index and energy saving [C]//Proceedings of the Conference on the Building Energy Saving Techniques and Design, 2005: 88-93. (in Chinese)
- [6] JIM C Y. Air-conditioning energy consumption due to green roofs with different building thermal insulation [J]. Applied Energy, 2014, 128(1): 49-59.
- [7] 马素贞, 龙惟定. 节能效果的测量与评价[J]. 暖通空调, 2009, 39(8): 85-91.
MA S Z, LONG W D. Measure and evaluation on energy efficiency [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2009, 39(8): 85-91. (in Chinese)
- [8] 张旭, 李魁山. 几个节能措施对夏热冬冷地区居住建筑能耗的敏感性分析[J]. 暖通空调, 2008, 38(7): 10-14.
ZHANG X, LI K S. Sensitivity analysis on energy consumption for residential buildings affected by several energy-saving measures [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2008, 38(7): 10-14. (in Chinese)
- [9] 余晓平, 付祥钊, 廖小烽. 浅析夏热冬冷地区低能耗住宅技术路线[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(6): 116-119.
YU X P, FU X Z, LIAO X F. Analysis on technology routes to residential buildings with low energy consumption in hot-summer and cold-winter zone [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2008, 30(6): 116-119. (in Chinese)
- [10] 林波荣, 肖娟. 我国绿色建筑常用节能技术后评估比较研究[J]. 暖通空调, 2012, 42(10): 20-25.
LIN B R, XIAO J. Post-evaluation on energy-saving techniques in green buildings in China [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2012, 42(10): 20-25. (in Chinese)
- [11] VAKILOROAYA V, SAMALI B, PISHGHADAM K. A comparative study on the effect of different strategies for energy saving of air-cooled vapor compression air conditioning systems [J]. Energy and Buildings, 2014, 74(7): 163-172.
- [12] BALLARINI I, CORGNATI P S, CORRADO V. Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock; The experience of TABULA project [J]. Energy Policy, 2014, 68: 273-284.
- [13] 支家强, 赵靖, 辛亚娟. 国内外绿色建筑评价体系及其理论分析[J]. 城市环境与城市生态, 2010, 23(2): 43-47.
ZHI J Q, ZHAN J, XIN Y J. Theoretical analysis on evaluation systems on green buildings both in China and abroad [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2010, 23(2): 43-47. (in Chinese)
- [14] 秦佑国, 林波荣, 朱颖心. 中国绿色建筑评估体系研究[J]. 建筑学报, 2007(3): 69.
QIN Y G, LIN B R, ZHU Y X. Analysis on the evaluation system for green buildings in China [J]. Architectural Journal, 2007(3): 69. (in Chinese)
- [15] 武涌, 刘长滨. 中国建筑节能经济激励政策研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
WU Y, LIU C B. Analysis on economy prompting policy for building energy saving in China [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007. (in Chinese)
- [16] GABAY H, MEIRI A, SCHWARTZ M, et al. Cost-benefit analysis of green buildings: An Israeli office buildings case study [J]. Energy and Buildings, 2014, 76(2): 558-564.
- [17] MI J K, OH M W, KIM J T. A method for evaluating the performance of green buildings with a focus on user experience [J]. Energy and Buildings, 2013, 66: 203-210.
- [18] 孙大明, 邵文晞, 李菊. 我国绿色建筑成本增量调查分析[J]. 建设科技, 2009(6): 34-37.
SUN D M, ZHAO W X, LI J. Investigation on cost increment of green buildings in China [J]. Construction

- Science and Technology, 2009(6): 34-37. (in Chinese)
- [19] 叶祖达. 低碳绿色建筑: 从政策到经济成本效益分析 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- YE Z D. Low-carbon and green buildings: from policies to economic cost analysis [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013. (in Chinese)
- [20] ESPINOZA O, BUEHLMANN U, SMITH B. Forest certification and green building standards: overview and use in the U. S. hardwood industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2012, 33(6): 30-41.
- [21] DING G. Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview [J]. Eco-Efficient Construction and Building Materials, 2014, 38-62.
- [22] 叶祖达, 李宏军, 宋凌. 中国绿色建筑技术经济成本效益分析 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- YE Z D, LI H J, SONG L. Cost-benefit analysis on green buildings techniques in China [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013. (in Chinese)
- [23] 中国建筑科学研究院. 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2005 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- China Academic of Building Research. Design standard for energy efficiency of public buildings: GB 50189-2005 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005. (in Chinese)
- [24] 中国建筑科学研究院. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB 50736—2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- China Academic of Building Research. Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings: GB 50736-2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005. (in Chinese)

(编辑 王秀玲)