

Optimization of Energy Saving Measures for Glass Curtain Wall of Super High Rise Buildings in Guangdong

Zhang Guoshen, Cai Zhili, Chen Zhaorong^{*}, Bai Zhongkui, Kang Jiushi

China Construction Fifth Engineering Bureau the Third Construction Co., Ltd. Changsha, China

Email address:

245140142@qq.com (Chen Zhaorong)

^{*}Corresponding author

To cite this article:

Zhang Guoshen, Cai Zhili, Chen Zhaorong, Bai Zhongkui, Kang Jiushi. Optimization of Energy Saving Measures for Glass Curtain Wall of Super High Rise Buildings in Guangdong. *Science Discovery*. Vol. 10, No. 4, 2022, pp. 232-241. doi: 10.11648/j.sd.20221004.15

Received: July 15, 2022; **Accepted:** August 7, 2022; **Published:** August 12, 2022

Abstract: In super high-rise curtain wall buildings, the energy consumption of air conditioning and lighting accounts for 60%-80% of the total energy consumption. Under the hot and humid climate conditions in Guangzhou, due to the strong influence of solar radiation, the configuration of glass curtain wall and shading system has contradictions in cooling, heating energy consumption and indoor lighting and lighting energy consumption, and the optimal configuration of glass curtain wall and shading system has not been well resolved. The purpose of this paper is to use Design Builder simulation software to conduct a case study of a typical super high-rise office building in Guangzhou, and to discuss the parameters of different boundaries and envelope structures. The different configurations of the building are discussed, and the energy consumption impact of building shading facilities is analyzed, and three optimization types of curtain wall glass, three types of shading methods, and six types of energy-saving measures for the combination of glass curtain wall and shading are proposed. Provide guidance and advice for designers in the early design of glass curtain wall buildings in Guangzhou area. The research results show that the comprehensive energy consumption can be reduced by 2.99% when the curtain wall glass and sunshade are optimally combined, and the economy can be saved by 20.48 million yuan.

Keywords: Office Building, Curtain Wall Glass, Shading Measures, Building Energy Efficiency Optimization

广东某超高层建筑玻璃幕墙节能措施优化研究

张国申, 蔡志立, 陈兆荣^{*}, 白忠奎, 康九斯

中建五局第三建设有限公司, 长沙, 中国

邮箱

245140142@qq.com (陈兆荣)

摘要: 在超高层幕墙建筑中, 空调与照明能耗占总能耗的60%-80%, 玻璃幕墙和遮阳系统作为围护结构中耗能较大的部分, 对建筑节能起着重要的作用。在广州炎热潮湿的气候条件下, 由于受太阳辐射的强烈影响, 玻璃幕墙和遮阳系统的配置在制冷、采暖能耗和室内采光照明能耗存在着矛盾, 玻璃幕墙和遮阳系统的优化配置还没有得到很好的解决。本文目的是通过使用Design Builder模拟软件对广州市某典型超高层办公楼进行的案例研究, 探讨不同边界和围护结构构造等参数进行了数值模拟讨论, 对建筑立面朝向上幕墙玻璃和遮阳措施的不同配置情况进行了探讨, 对建筑遮阳设施的能耗影响进行了分析, 提出三种幕墙玻璃优化类型, 三种遮阳方式和六种玻璃幕墙与遮阳组合的节能措施优化方案。为设计者在广州地区的玻璃幕墙建筑早期设计提供指导和建议。研究结果表明, 对幕墙玻璃与遮阳进行优化组合时综合能耗可降低2.99%, 可节约经济2048万元。

关键词：办公建筑，幕墙玻璃，遮阳措施，建筑节能优化

1. 引言

目前，建筑业占发达国家一次能源消耗和等效碳排放量的三分之一以上。民用建筑能耗约占中国社会总能耗的20%[1]。日常运营建筑能耗，如供暖（空间供暖和热水供应）、制冷和照明，约占建筑总能耗的80%[1]。降低建筑能耗可以缓解能源危机带来的压力。目前，建筑能耗占世界一次能源总需求的30%—40%[2]，随着人们生活需求的改善和人口的增加，建筑能耗将持续上升。

玻璃幕墙是一种特殊的维护构件，其总传热系数是其它建筑围护结构的5倍，占建筑总能耗的60%[3]。幕墙办公楼的能耗很大一部分与玻璃幕墙热损失和太阳辐射照度引起的制冷需求有关[4]。玻璃幕墙作为一种的围护构件，利用玻璃的透光性，从而降低建筑室内照明能耗，在冬季，利用太阳辐射，建筑物室内可获取热能，从而降低采暖能耗[5]。然而，过量太阳辐射热又会导致室内过热夏季制冷能耗增加。玻璃幕墙直接受太阳辐射，其形式的变化对建筑至冷、热及照明能耗的影响非常显著，因此玻璃幕墙的设计是一个十分复杂的问题[6]。

目前我国玻璃幕墙以采用节能玻璃材料和技术手段为主，在节能方面相比过去有所改善，但能耗消耗大的问题依然存在，有更加深入的研究的必要，通过对建筑透明围护结构的节能技术研究，进一步降低建筑能耗，为实现我们国家既定的碳排放高峰和碳中和时间目标有着十分显著的重大意义。

2. 分析模型的建立

2.1. 项目概况

项目位于广州市，如图1，总建筑面积约144256m²，地下4层，地上43层，建筑标准层长×宽为44.1m×47.1m，层高为4.4m，功能分区包括商铺、办公大堂、办公室及会议室。由于建筑的功能复杂、室内分区大、空调能耗高、节能潜力大等特点，是广州地区典型的超高层玻璃幕墙办公建筑，具有代表性。对建筑玻璃幕墙围护结构的优化设计主要研究幕墙玻璃、遮阳方式对建筑能耗的影响。



图1 建筑效果图。

2.2. 软件介绍

使用Design Builder作为本文研究超高层玻璃幕墙建筑节能模拟软件。Design Builder以Energy Plus为引擎进行能耗计算[7]。Energy Plus是基于动态负荷理论，采用热传导传递函数法计算墙体传热，热传导传递函数法根据墙体内部表面温度计算的反应系数法，计算结果更加准确。负荷模拟计算采用热平衡法[8]，该计算方法解决传递函数法结构传热系数、太阳辐射得热不能随时间变化问题，可自定义时间步长，计算围护结构对流、辐射的传热量，并对建筑内部的电气设备、人员数量、活动、空调系统等整体进行热特性计算，从而更加准确的得出建筑的负荷、空调系统能耗及温湿度状态。空气热平衡方程式如下[9]：

$$\sum_{i=1}^N q_{i,c} A_i + Q_{other} + G_a c_p (T_{a,out} - T_m) + Q_{heat-extra} = \rho V C_p \frac{dT_{in}}{dt}$$

式中： $\sum_{i=1}^N q_{i,c} A_i$ -----各表面与室内空气的对流床热量（W）；

$q_{i,c}$ -----通过表面i的对流传热量（W/m²）；
 N -----围护结构表面的个数；
 A_i -----表面i的面积（m²）；
 Q_{other} -----它对应着表面热平衡方程中的日射、灯光、人员和设备得热中的对流部分以及水分蒸发所导致的潜热量（W）；

$Q_{heat-extra}$ -----房间需要散出热量（W）；
 G_a -----新风和渗透风的风量之和（Kg）；
 c_p -----空气比热（W/kg·K）；
 $T_{a,out}$ -----室外空气温度，不同于 T_{out} （K）；
 $\rho V C_p \frac{dT_{in}}{dt}$ -----室内空气的热容量（W）；

2.3. 模型的建立

如图2所示，基本模型建筑平面布置图，显示广州超高层办公建筑的典型楼层布局和条件区域。在本次研究中，楼层间的性能差异主要是由不同的边界条件引起的。顶层和首层之间的楼层具有相同的几何和边界条件，因此通常可以用建筑物中间的标准楼层来表示。使用该建模方法可能会降低模拟结果的精度，但可大幅降低模拟计算复杂度，同时可减少43层建筑的模拟时间。对三种类型的楼层进行建模并添加乘数，可以得到与实际建筑消耗量相似的结果。因此，采用替代建模方法，模拟模型如图3所示，在这些楼层之间增加了3个标准楼层，以抵消直接相邻放置时楼层模型类型的相互影响。在标准层上加上一个20的乘数来计算整个建筑的能耗。

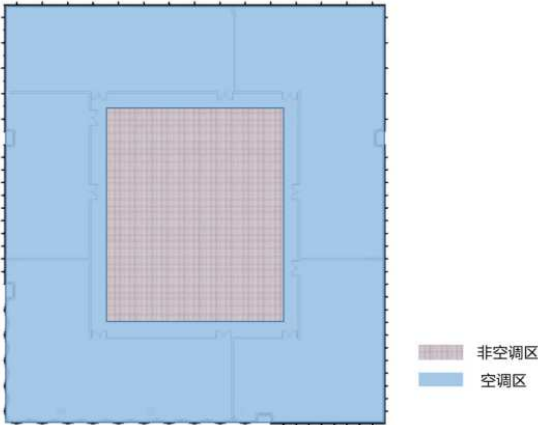


图2 建筑标准层平面图。

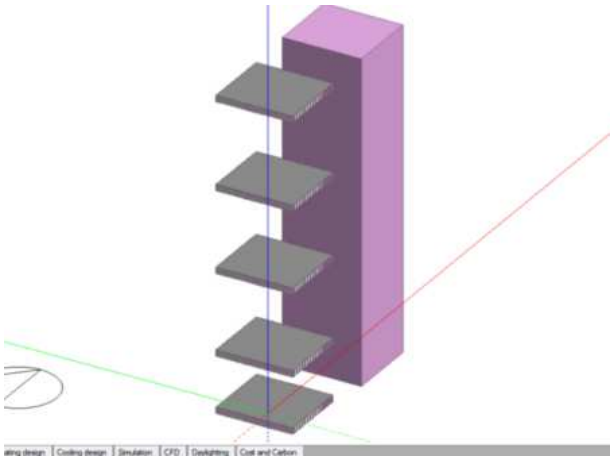


图3 建筑三维效果图。

2.4. 参数设置

2.4.1. 围护结构参数设置

围护结构参数设置的参数基于真实的建筑数据。表1为广州超高层办公建筑案例结构构造参数，并对建筑材料数据的U值进行总结，材料的U值参考《民用建筑热工设计规范》（GB50176）。

表1 建筑围护结构构造参数。

结构	材料（由外到内）	属性	
		厚度（mm）	K值（W/m2k）
墙体	水泥砂浆	20	1.06
	加气混凝土砌体	200	
	石灰水泥砂浆	10	
	水泥砂浆	20	
	水泥砂浆	20	
屋顶	C20细石混凝土，内配双向钢筋网	50	0.7
	挤塑聚苯板	40	
	柔性防水卷材	3	
	水泥砂浆	20	
	钢筋混凝土	120	
楼板	水泥砂浆	20	3.15
	钢筋混凝土	150	
	无纺布	2	
	水泥砂浆	20	

2.4.2. 区域属性参数设置

建筑的空气调节和供暖系统运行时间，室内温度、照明功率密度值及开关时间、房间人员在室率、人员新风量及新风机组运行时间表、电气设备功率密度及使用率应按表设置根据JGJT 449-2018《民用建筑绿色性能计算标准》并结合办公建筑特点设置如表2、图4-5所示[10]。

表2 房间功能参数设置。

参数	照明功率	电器设备功率	新风量	人体散热量	舒适温度上限	舒适温度下限
设定值	11W/m²	20W/m²	40	70W	26℃	18℃

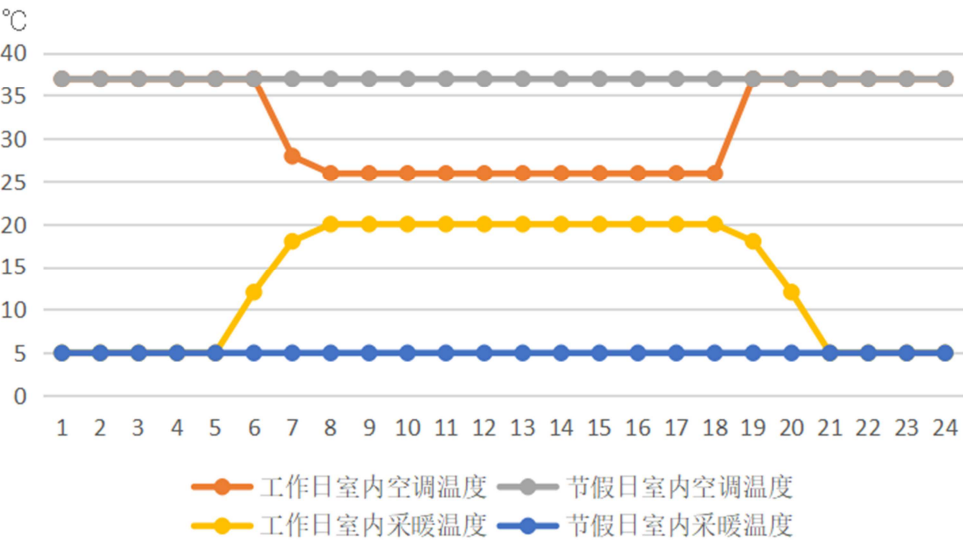


图4 工作日/节假日室内空调及采暖温度时间表。

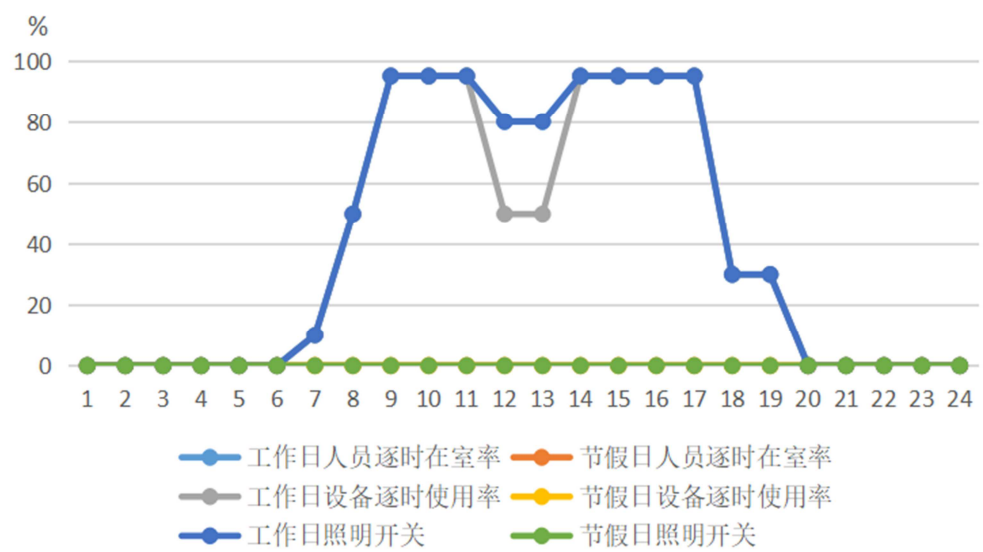


图5 人员及设备参数。

2.4.3. 区域属性参数设置

为了确保环境条件的一致性，从Energy Plus网站下载广州592870CSWD的天气文件。CSWD文件包含12个月室外气象参数和典型年逐时气象数据，这些数据由中国气象

局国家气象信息中心气象资料室和清华大学合作编制，目的是预测建筑物的平均供热和制冷负荷[11]。如图6-7显示了CSWD每月的最高，最低和平均室外空气干球温度以及相对湿度和太阳辐射[12]。

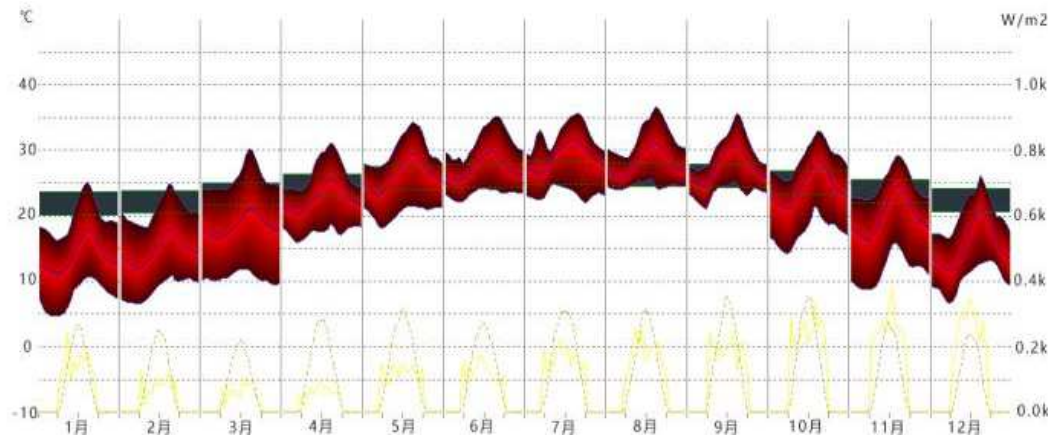


图6 广州全年温度图。

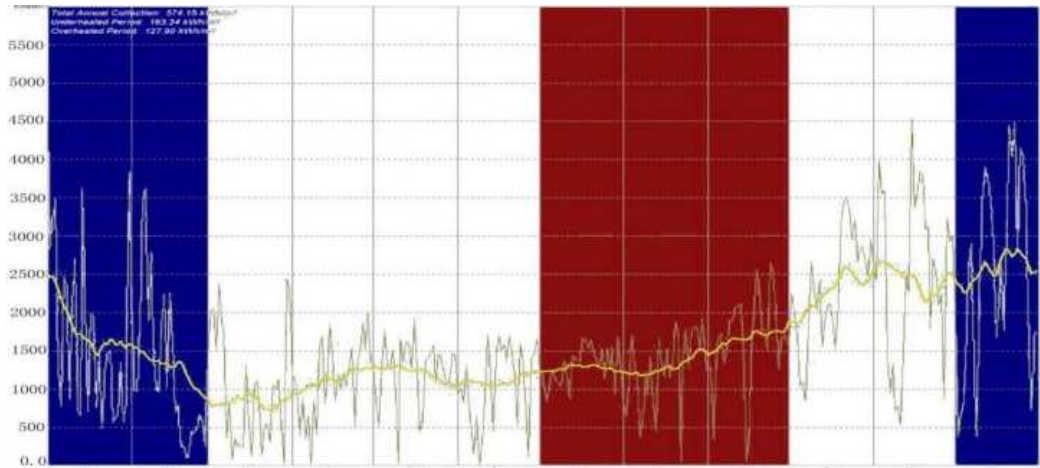


图7 广州全年辐射强度。

3. 维护结构优化设计

3.1. 玻璃幕墙优化设计

超高层建筑使用的玻璃幕墙的玻璃由于考虑其安全性能，故其幕墙使用的节能玻璃通过被热弯、钢化后应用

建筑上，加工过后的玻璃光学热工特性相对原玻璃有少许变化，但对中空玻璃幕墙影响很小，所以，本节对玻璃类型分析选取未进行深加工的玻璃原片[13]。为了分析不同玻璃类型对建筑能耗的影响，根据表3模拟不同幕墙情况下建筑物的能耗情况，模拟结果如图8所示。

表3 玻璃节能特性。

序号	玻璃类型	类型说明	K值	SHGC值	可见光透税率
1	低辐射玻璃	高透6+12+6	1.62	0.46	0.68
2		中透6+12+6	1.72	0.46	0.62
3		低透6+12+6	1.84	0.3	0.35
4	真空玻璃	T6+A12+L6+V+N4+12A+T6	0.65	0.413	0.444
5	热反射玻璃	中透6+12+6	2.48	0.42	0.43
6		低透6+12+6	2.44	0.35	0.29

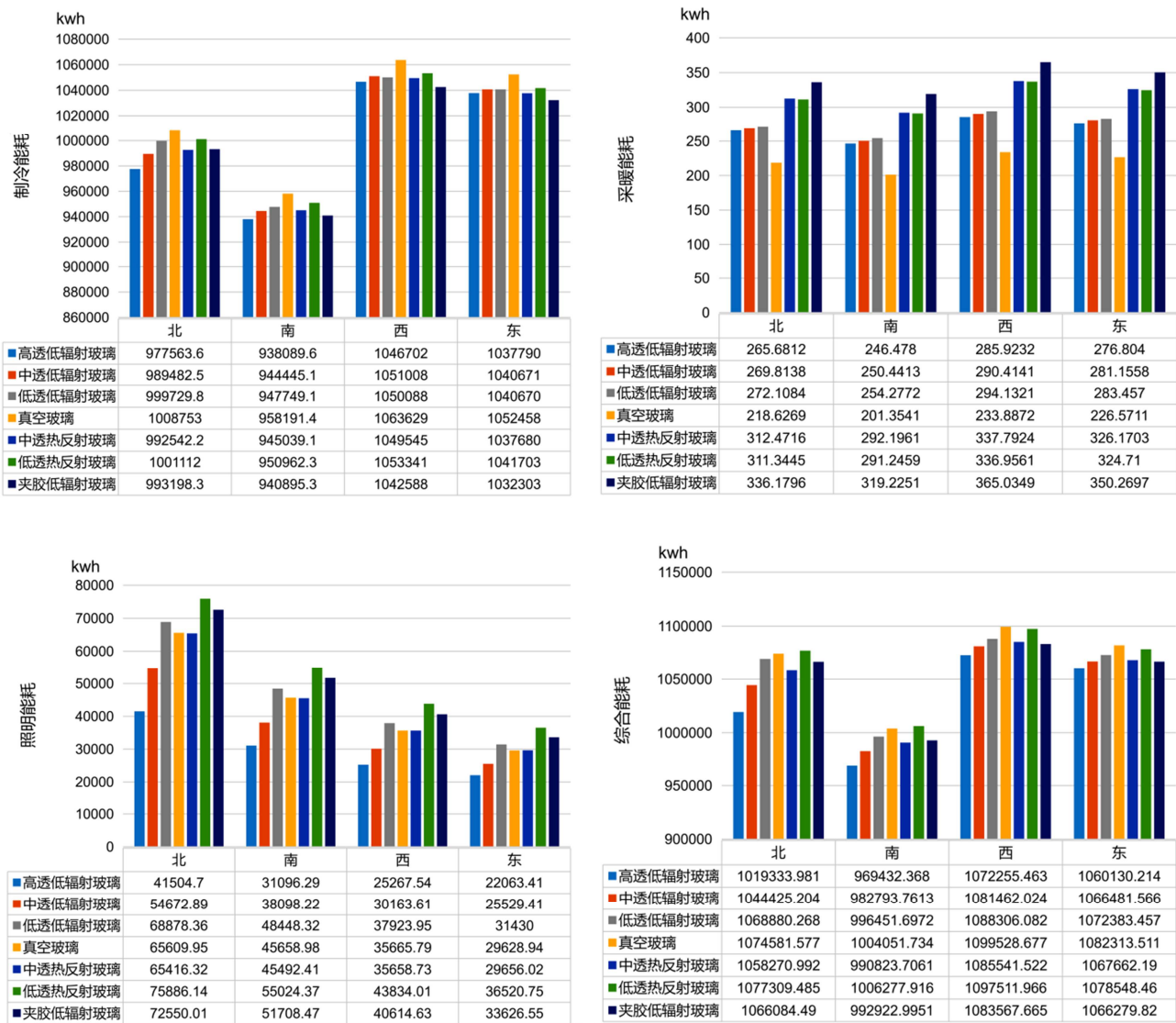


图8 不同类型玻璃能耗。

通过对模拟结果的分析，在不设置遮阳的情况下，6种不同类型玻璃在不同立面朝向下的年制冷能耗，高透型低辐射玻璃为最佳的玻璃类型，以达到最低的制冷能耗，其次依次为中透型低辐射玻璃、中透型热反射玻璃、低透

型低辐射玻璃、低透型热反射玻璃、真空玻璃。通过在北立面使用高透型低辐射玻璃，最高可节省3.1%，南立面节省2.1%，西立面节省1.6%，东立面节省1.4%。在采暖能耗方面，真空玻璃为最佳的玻璃类型，由于低辐射与热反

射玻璃能够遮挡进入室内的太阳辐射，导致采暖能耗上升，低辐射类型玻璃优于热反射类型玻璃，通过在北立面使用真空玻璃，最高可节省30%，南立面节省31.1%，西立面节省30.8%，东立面节省30.5%。在照明能耗方面，高透型低辐射玻璃为最佳的玻璃类型，以达到最低的照明能耗，中透型低辐射玻璃次之，中透型热反射玻璃与真空玻璃能耗持平，低透型热反射玻璃能耗最高，通过在北立面使用高透型低辐射玻璃，最高可节省45.3%，南立面节省43.49%，西立面节省54.59%，东立面节省39.59%。

3.2. 建筑遮阳设施的能耗影响分析

由于地理位置的缘故，广州地区大多数办公楼都面临着如何防止阳光直射的问题，尤其是东西方向的阳光[14]。这里进行涉及对五种类型遮阳措施的能耗模拟，即水平遮阳，垂直遮阳，综合遮阳、自动遮阳、内置百叶遮阳[15]。为了研究这些遮阳装置对各立面朝向的能耗节能效果，分别在北，东，南和西立面上应用了五种类型的遮阳设备，以模拟全年的制冷采暖照明能耗，图9中示出了不同类型的遮光装置。

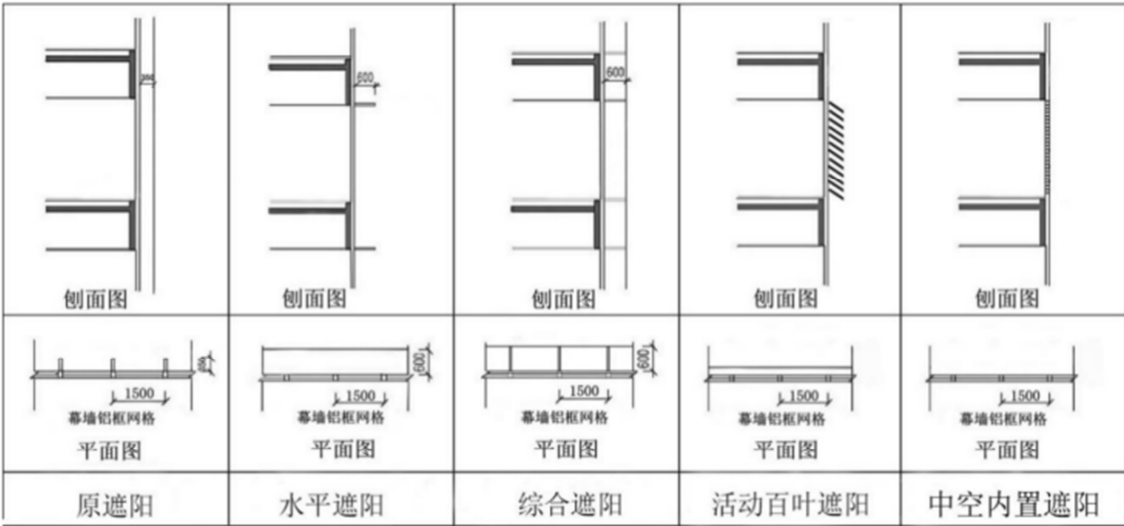


图9 用于能量模拟的遮光的类型。

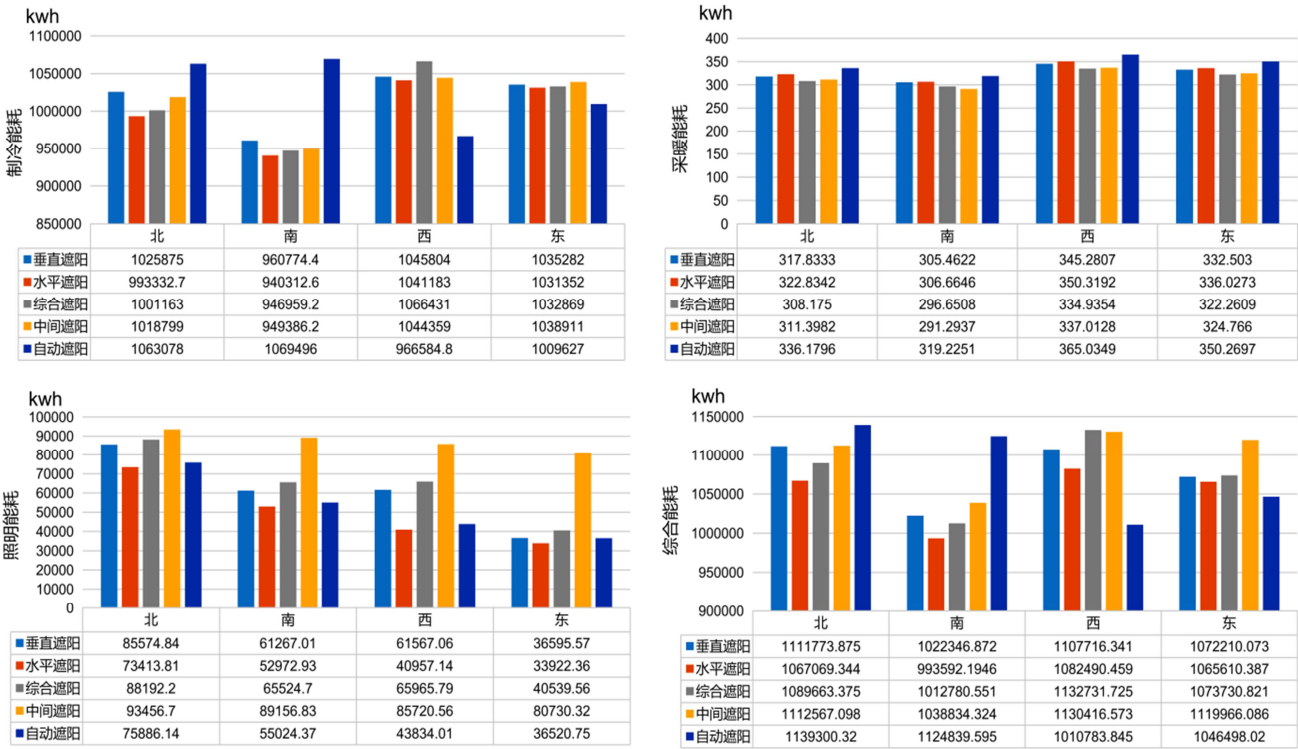


图10 不同立面不同遮阳的年制冷能耗。

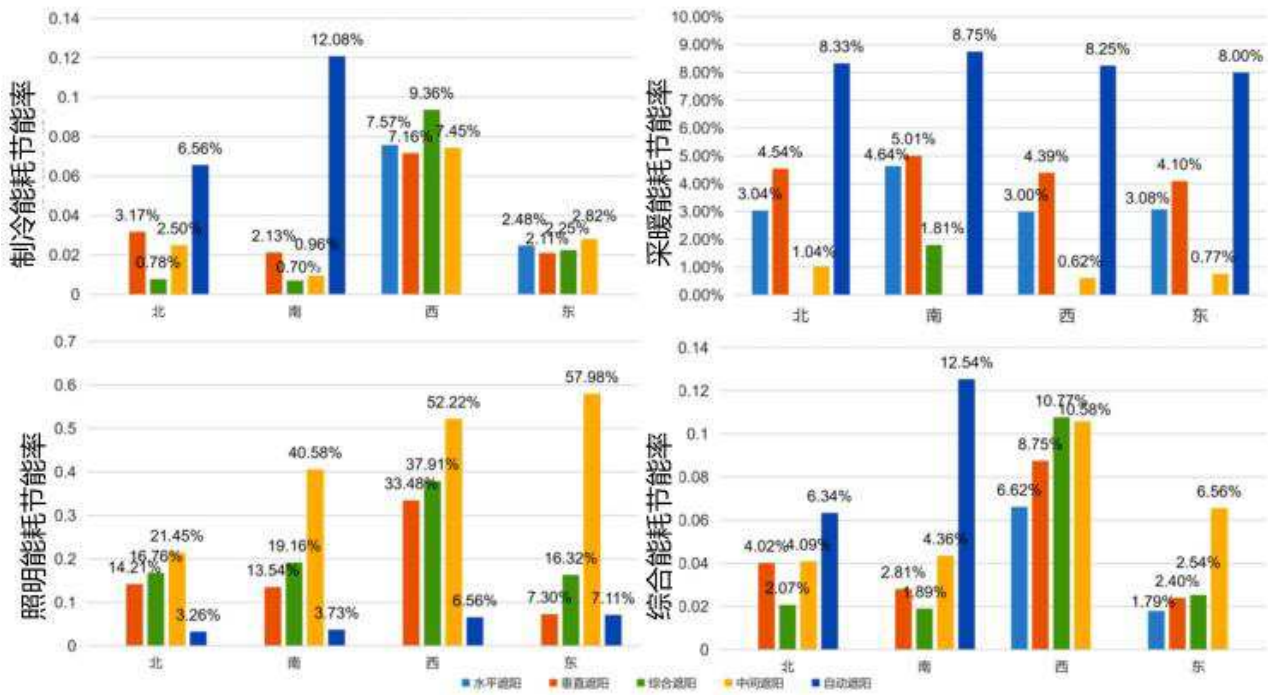


图11 不同立面不同遮阳节能率。

图10-11为建筑不同遮阳措施在不同立面上的全年制冷量、全年制热量、全年照明能耗，及建筑总能耗。北向房间，空调制冷能耗上，水平遮阳能耗最低为993332.7kwh，自动百叶遮阳能耗最高为1063078kwh，水平遮阳相比于综合遮阳、中间遮阳、垂直遮阳、自动遮阳制冷能耗分别下降0.78%、2.5%、3.17%、6.56%。制热能耗上，各遮阳措施年耗能基本持平。照明能耗上，水平遮阳能耗最低为73413.81kwh，中间百叶遮阳能耗最高为93456.7kwh，水平遮阳相比于自动百叶遮阳、垂直遮阳、综合遮阳、中间遮阳、照明能耗分别下降3.26%、14.21%、16.76%、21.45%，不同形式遮阳对照明能耗影响较大，百叶遮阳对阳光遮挡效果明显，室内自然采光效果较差，导致照明能耗上升。对比不同遮阳措施北向全年建筑综合能耗，水平遮阳能耗最低为1067069.35kwh，自动遮阳能耗最高为1139300.32kwh，水平遮阳相比于垂直遮阳、综合遮阳、中间遮阳、自动遮阳能耗节约4.02%、2.07%、4.09%、6.34%，在北向，垂直遮阳与综合遮阳在年总能耗节能效果相同，水平遮阳节能效果最明显，综合5中不同形式的遮阳总节能效果由低到高排序为自动可调遮阳<垂直遮阳<中间遮阳<综合遮阳<水平遮阳。

南向房间，空调制冷能耗上，水平遮阳能耗最低为960774.4kwh，自动遮阳能耗最高为1069496kwh，水平遮阳相比于综合遮阳、垂直遮阳、中间遮阳、自动遮阳制冷能耗分别下降0.7%、2.13%、0.96%、12.08%。综合遮阳、垂直遮阳、中间遮阳在制冷能耗上节能相当。制热能耗上，各遮阳措施年耗能基本持平。照明能耗上，水平遮阳能耗最低为52972.93kwh，中间遮阳能耗最高为89156.83kwh，水平遮阳相比于中间遮阳、垂直遮阳、综合遮阳、自动遮阳照明能耗分别下降40.85%、13.54%、19.16%、3.73%，自动遮阳对南向房间冷热照明能耗消耗量最高。图10-11

不同遮阳措施南向全年建筑综合能耗，水平遮阳能耗最低为993592.41kwh，自动遮阳能耗最高为1142839.59kwh，水平遮阳相比于中间遮阳、垂直遮阳、综合遮阳、自动遮阳能耗节约分别约4.36%、2.81%、1.89%、12.54%，因此在南向立面使用中间遮阳、垂直遮阳、综合遮阳节能效果相差不多，能耗略高于水平遮阳。综合5中不同形式的遮阳总节能效果由低到高排序为自动可调遮阳<垂直遮阳<综合遮阳<水平遮阳。

西向房间，空调制冷能耗上，自动遮阳能耗最低为966584.8kwh，综合遮阳能耗最高为1066431kwh，自动遮阳相比于水平遮阳、中间遮阳、综合遮阳、垂直遮阳制冷能耗分别下降7.57%、7.45%、9.36%、7.16%。水平遮阳、中间遮阳在制冷能耗量相当。制热能耗上，水平遮阳、垂直遮阳略高于其他3种遮阳。照明能耗上，水平遮阳能耗最低为40957.14kwh，中间遮阳能耗最高为85720.56kwh，水平遮阳相比于中间遮阳、垂直遮阳、综合遮阳、自动遮阳照明能耗分别下降52.22%、13.54%、37.91%、6.56%，自动遮阳由于百叶遮光性能造成南向房间照明能耗消耗量最高，制冷能耗最低。图10-11不同遮阳措施南向全年建筑综合能耗，自动遮阳能耗最低为1010783.845kwh，综合遮阳能耗最高为1132731.725kwh，自动遮阳相比于水平遮阳、中间遮阳、综合遮阳、垂直遮阳能耗节约分别约6.62%、10.58%、10.77%、8.75%，因此在西向立面使用水平遮阳与中间遮阳能耗相同，综合遮阳、垂直遮阳能耗相同。综合5中不同形式的遮阳总节能效果由低到高排序为综合遮阳<中间遮阳<垂直遮阳<水平遮阳<自动遮阳。

东向房间，空调制冷能耗上，自动遮阳能耗最低为1009627kwh，中间遮阳能耗最高为1038911kwh，自动遮阳相比于水平遮阳、综合遮阳、垂直遮阳、中间遮阳制冷能耗分别下降2.48%、2.25%、2.11%、2.82%。除自动遮阳外的4

遮阳方式在东立面制冷能耗量上相差不大。制热能耗上，5种遮阳能耗基本持平。照明能耗上，中间遮阳能耗最高为80730.32kwh，远高于其它4中遮阳方式。图10-11不同遮阳措施南向全年综合能耗，自动百叶遮阳能耗最低为1046498.02kwh，中间遮阳能耗最高为1119966.086kwh，自动遮阳相比于综合遮阳、垂直遮阳、中间遮阳、水平遮阳能耗节分别约2.54%、2.4%、6.56%、1.79%，因此在西向立面使用水平遮阳、综合遮阳、垂直遮阳、中间遮阳总能耗相差

不大。综合5中不同形式的遮阳总节能效果由低到高排序为中间遮阳<综合遮阳<垂直遮阳<水平遮阳<自动遮阳。

3.3. 综合优化设计

根据4.1与4.2节的研究，分别提出三种幕墙玻璃玻璃类型和三种遮阳类型，如表4表5针对典型能耗模型提出5种优化设计方案见表6。

表4 幕墙玻璃优化方案。

分类	幕墙玻璃类型	玻璃构造	K	SHGC	可见光透过率
玻璃1	高透低辐射玻璃	6+12+6	1.62	0.46	0.68
玻璃2	中透低辐射玻璃		1.72	0.46	0.62
玻璃3	高透热反射玻璃		2.48	0.42	0.43

表5 外遮阳优化方案。

类型	遮阳类型	朝向	材料	尺寸mm	间距mm
遮阳1	水平遮阳	南、北	金属	600	-
遮阳2	综合遮阳	东、西	金属	600	-
遮阳3	自动百叶遮阳	东、西	金属	200	500

表6 优化方案设计。

类型	朝向	幕墙类型	遮阳类型
方案1	北	—	—
	南	—	水平遮阳
	西	—	自动百叶遮阳
	东	—	自动百叶遮阳
方案2	北	高透低辐射玻璃	水平遮阳
	南	高透低辐射玻璃	水平遮阳
	西	高透低辐射玻璃	水平遮阳
	东	高透热反射玻璃	综合遮阳
方案3	北	中透低辐射玻璃	水平遮阳
	南	高透低辐射玻璃	综合遮阳
	西	中透低辐射玻璃	水平遮阳
	东	高透低辐射玻璃	水平遮阳
方案4	北	中透低辐射玻璃	水平遮阳
	南	高透低辐射玻璃	综合遮阳
	西	高透低辐射玻璃	自动百叶遮阳
	东	高透低辐射玻璃	水平遮阳
方案5	北	高透低辐射玻璃	水平遮阳
	南	高透低辐射玻璃	水平遮阳
	西	高透低辐射玻璃	自动百叶遮阳
	东	高透热反射玻璃	综合遮阳
方案6	北	中透低辐射玻璃	水平遮阳
	南	高透低辐射玻璃	水平遮阳
	西	高透低辐射玻璃	水平遮阳
	东	中透热反射玻璃	垂直遮阳

为了验证上述6种优化方案的节能效果，现在典型模型上模拟6中方案优化前后的空调能耗、照明能耗。在此基础上对比得出各能耗的节能率及全年综合节能率的变化情况，所得结果如表7表8所示：

表7 优化方案能耗模拟数据。

类型	制冷能耗（kwh）	采暖能耗（kwh）	照明能耗（kwh）	综合能耗（kwh）
原方案	19810010	9206.936	97300.2	20816517.136
方案1	19786710	9322.283	956731.1	20752763.383
方案2	19730870	7352.399	481539	20219761.399
方案3	19749540	7101.075	516153.3	20272794.375
方案4	19716470	7072.581	508283.4	20231825.981
方案5	19684430	7300.842	502898.3	20194629.142
方案6	19800540	7090.836	550092.3	20357723.136

表8 优化方案节能贡献率。

类型	制冷能耗节能率	采暖能耗节能率	照明能耗节能率	综合能耗节能率
对应模型	典型模型	典型模型	典型模型	典型模型
方案1	0.12%	0.92%	4.07%	0.31%
方案2	0.40%	0.92%	51.72%	2.87%
方案3	0.31%	20.14%	48.24%	2.61%
方案4	0.47%	20.14%	49.03%	2.81%
方案5	0.63%	49.03%	49.57%	2.99%
方案6	0.05%	22.96%	44.84%	2.20%

在六组优化方案中，制冷能耗、采暖能耗、照明能耗均有一定程度的下降，其中优化方案5节约制冷能耗效果最佳，可节约其0.63%的能耗。其次是方案4节约0.47%，方案6和方案1节能率相对较低，为0.05和0.12%；方案5采暖能耗节能率位49.03，效果最佳。方案3、4、采暖节能率相当，为20.14%和22.96%。方案2-6照明能耗节能率为44.84%-51.72%，方案一效果最低，节能率为4.07%。

由全年综合贡献率可知，幕墙与遮阳进行优化，方案5节能效果最佳，可节约2.99%的建筑能耗，仅对外遮阳措施进行优化，方案1节能效果最低，可节约0.31%建筑能耗。

对比方案方案2与方案5、方案3与方案4，在各立面相同幕墙玻璃与遮阳措施条件下，西立面使用自动百叶遮阳相比水平遮阳节能率可提高0.12%-0.2%。

对于玻璃幕墙的节能措施除考虑其能耗性能外，还应对其经济性能进行分析。在分析对上述的6种幕墙节能方案的经济性时，只考虑生命周期内幕墙玻璃及遮阳措施的材料成本及空调设备累计能耗所需要的电能费用。根据《玻璃幕墙工程技术规范》要求，玻璃幕墙构件的设计使用年限不得低于25年，故其生命周期年限设定为25年。电价选取广州市商业用电价格1.0178元/千瓦时。具体用电费用及成本计算结果如表9所示。

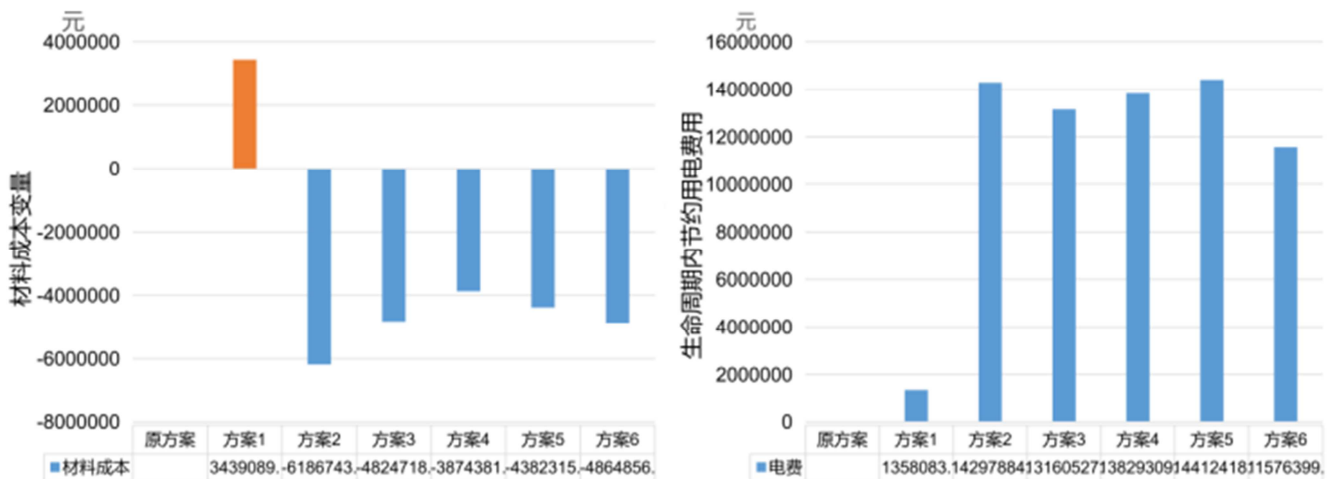


图12 各方案材料成本及节约电费对比。

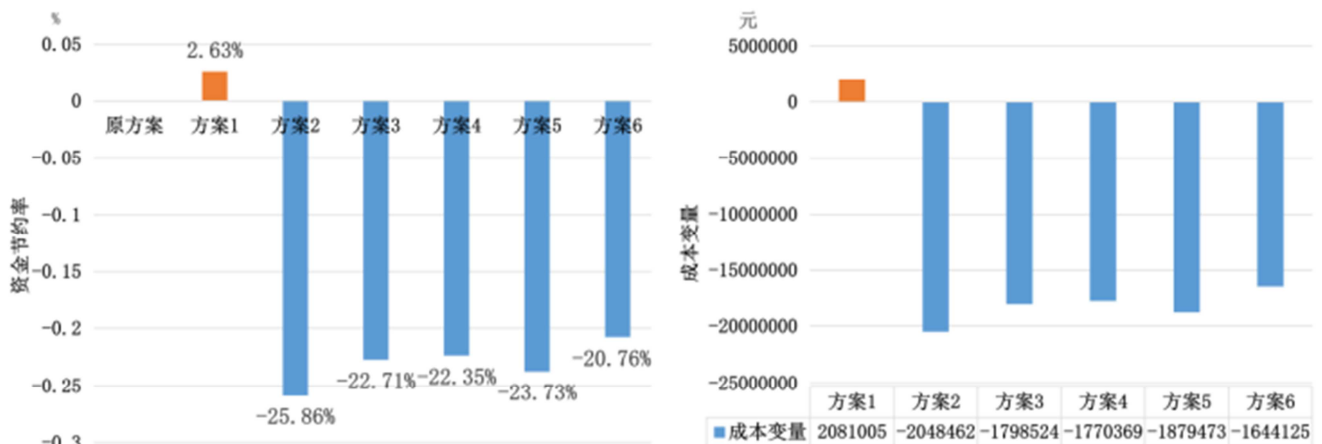


图13 各方案综合成本对比。

表9 不同幕墙方案经济成本分析。

方案	材料成本（元）	年用电能耗（kWh）	电力成本（元）（寿命25年）	综合成本（元）
原方案	22320722.97	2235815.69	56890330.23	79211053.2
方案1	25759812.25	2182442.39	55532246.61	81292058.86
方案2	16133979.06	1673902.38	42592446.06	58726425.12
方案3	17496004.12	1718601.01	43729802.7	61225806.82
方案4	18446341.7	1692317.58	43061020.82	61507362.52
方案5	17938407.95	1669401.13	42477911.75	60416319.7
方案6	17455866.76	1780857.96	45313930.79	62769797.55

从图12-13可以看出，在25年的周期内，6种方案在用电费用上相比原设计方案可节约135-1441万元，方案1由于在材料造价比原设计方案343万元，在幕墙的使用寿命周期内资金费用最大，比原设计方案高出2.63%，增加资金成本208万元，该方案最不经济。方案2资金成本最低，相比原设计方案资金可节省25.86%，减少2048万元。综合考虑节能率和经济性能，方案2、方案5节能性和经济性最佳。在我国以建的建筑中，高能耗建筑存量巨大，还需改造的情况下，本文提出的玻璃幕墙节能优化方案的市场前景十分广阔。

4. 总结

论文主要研究目的是在设计阶段对广州地区超高层办公建筑的玻璃幕墙维护结构提出相应的优化方案，选取广州市典型目标建筑建立分析预测模型，利用Design Builder能耗模拟软件对幕墙玻璃与遮阳组合进行节能优化分析，该分析研究的主要结论如下：

- (1) 综合考虑空调制冷能耗、采暖能耗、照明能耗，结合典型模型的模拟数据，提出适用于广州地区玻璃幕墙与遮阳的节能优化策略：
 - 1) 在低透型热反射玻璃幕墙进行遮阳设施优化，最佳选择为：北向水平遮阳，南向水平遮阳，西向自动百叶遮阳，东向自动百叶遮阳。
 - 2) 与低透型节能玻璃相比，本研究建议在中透型低辐射玻璃、高透型低辐射玻璃、高透型热反射玻璃组成的中空玻璃幕墙上使用遮阳装置，南向、北向选择水平遮阳，东向、西向综合遮阳、制动百叶遮阳，可最大限度的节约能源。
- (2) 提出三种幕墙玻璃优化类型，三种遮阳方式和六种玻璃幕墙与遮阳组合的节能措施优化方案，通过对玻璃幕墙围护结构的优化设计，可使典型模型建筑的空调制冷能耗降低，采暖能耗降低49.03%，照明能耗降低49.57%，综合能耗降低2.99%，可节约经济2048万元。

参考文献

[1] 清华大学建筑节能研究中心，中国建筑节能年度发展研究报告[M]. 中国建筑工业出版社, 2017。

[2] Sun, Y. Y., Wilson, A review of transparent insulation material (TIM) for building energy saving and daylight comfort. Appl. Energy 226, (2018) 713-729.

[3] Lee, J. W., Jung, H. J. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and day lighting elements. Renew. Energy 50, (2013) 522-531.

[4] 丁勇, 刘旭, 丁正辽, 等. 不同玻璃对夏季炎热地区室内太阳辐射得热的影响分析[J]. 太阳能学报. 2014, 35 (1): 177-182.

[5] 金星, 张小松, 邱童, 等. 不同朝向玻璃窗太阳辐射得热系数模拟与实验研究[J]. 太阳能学报. 2009,30 (12): 1666-1671.

[6] 朱继宏, 李德英. 建筑遮阳对建筑空调采暖能耗的影响分析[J]. 建筑热能通风空调. 2016, 39 (09): 14-17.

[7] 刘鑫,张鸿雁.Energy Plus用户图形界面软件Design Builder及其应用[J].西安航空技术高等专科学校学报, 2007 (05): 34-37.

[8] 潘毅群,吴刚.建筑全能耗分析软件Energy Plus及其应用[J].暖通空调, 2004 (09): 2-7.

[9] A. Mahmoud, M. Asif, Energy and economic evaluation of green roofs for residential buildings in hot-humid climates Buildings, 7 (2) (2017).

[10] 谢海容, 陈友明, 侯国庆. 中南地区建筑窗玻璃的热工性能模拟与选择[J]. 建筑热能通风空调. 2007, 26 (6): 66-69.

[11] 徐斌.Design Builder软件开发及建筑围护结构辐射特性的优化研究[D].中国科学技术大学. 2012。

[12] 陈文强,田志超,石邢,冯捷.国内外典型建筑节能软件中知识库的对比及研究[J].建筑技术开发, 2016, 43 (04): 72-75.

[13] 黄斌. 广东地区大型商场建筑能耗模拟与节能研究[D].广州大学, 2019。

[14] 李骏. 夏热冬暖地区建筑遮阳构件遮光率实验研究及节能评价[D]. 广州大学, 2015。

[15] 杨云桦,狄洪发. 低辐射能玻璃窗的节能研究. 太阳能学报, 2001, 22 (3): 296-301。