

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-088-07

# 上海某办公建筑能耗影响因素探究以及节能分析

冯 闻<sup>1</sup> 王艺蕾<sup>1</sup> 豆晨昊<sup>2</sup>

(1.上海建科造价咨询有限公司 上海 200030;

2.上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院 上海 200240)

**【摘 要】** 首先分析上海某建筑分项计量系统采集到的能耗数据, 总结出照明与插座和 HVAC 系统的用能特点和能耗影响因素, 并结合能耗影响因素以及办公建筑运营的特点, 分别给出降低空调系统和照明与插座系统能耗的方法。空调系统从减轻空调系统负荷和增加对废热的回收两个角度降低能耗, 照明与插座系统引入了自然光和分区域管理的方法降低运营成本。建筑运营期间可采取相应的措施达到节能的目的。

**【关键词】** 空调系统; 照明与插座系统; 办公建筑; 降低能耗  
中图分类号 TU831 文献标识码 B

## Observing Influence Factors of Energy Consumption and Energy-Saving Strategies of Certain Office Building in Shanghai

Feng Wen<sup>1</sup> Wang Yilei<sup>1</sup> Dou Chenhao<sup>2</sup>

(1.Shanghai Jianke Cost Consulting Co., Ltd, Shanghai, 200030;

2.School of Naval Architecture, Ocean & Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, 200240 )

**【Abstract】** Compared with commercial buildings, the energy-consumption structure of office buildings tend to be more regular. At first, this paper analyses the data collected from data gathering system to clarify the characteristics of HVAC and Lighting and socket system energy consumption and then put up with energy-saving strategies respectively. Cutting down load of HVAC system and recycling waste heat will be adopted to reduce the operation cost of HVAC system. As for lighting and socket system, adoption of natural light and regionally arrangement of lighting system will be put in this paper. Managers of operation can choose suitable methodologies to decrease operation cost of building by taking consideration of factual operation factors.

**【Keywords】** HVAC; Lighting and socket system; office building; reduce energy consumption

基金项目: 国家重点研发计划资助——基于 BIM 的绿色建筑运营优化关键技术研发 (项目编号 2018YFC0705900)

作者简介: 冯 闻 (1977-), 男, 高级工程师, E-mail: feng\_wen2001@126.com

通讯作者: 豆晨昊 (1995-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: douchenhao1995@163.com

收稿日期: 2020-07-11

## 0 引言

我国的建筑面积逐年增加, 建筑能耗一直是高能耗的项目, 2008 年建筑能耗高于全国用能总量的四分之一<sup>[1]</sup>。上海市是我国最大的城市, 由于其重要的经济地位, 许多国际公司在上海设立办公地

点, 办公建筑面积正在逐年增加, 办公建筑能耗也水涨船高。

上海市建立建筑分项计量能耗监测平台, 该平台于 2018 年共覆盖 1687 栋建筑。根据统计结果, 上海市住房和城乡建设管理委员会发布《2018 年

上海市国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测及分析报告》<sup>[2]</sup> (以下简称《报告》),《报告》中将一年划分为3个季度进行统计,分别为供热季、过渡季和供冷季。分别对应 1、2、3、12 月份; 4、5、10、11 月份和 6、7、8、9 月份。《报告》显示,参与分项计量能耗监测平台的公共建筑共计耗能 84.4 亿 kWh, 其中供热季用电量为 26.6 亿 kWh (34.0kWh/m<sup>2</sup>), 过渡季 23.8 亿 kWh (30.4kWh/m<sup>2</sup>), 制冷季为 34.0 亿 kWh (43.4kWh/m<sup>2</sup>)。

分项计量能耗监测平台包括有办公建筑、商场建筑、旅游饭店建筑、医疗卫生建筑等建筑类型,不同类型建筑能耗分布占比如图 1 所示。

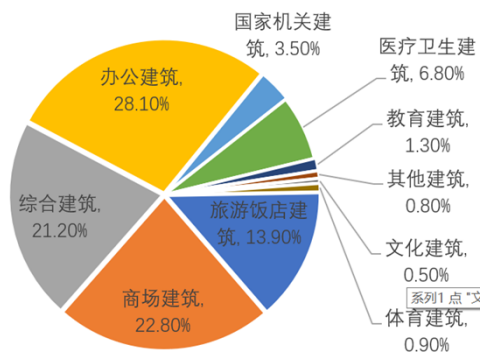


图 1 2018 年上海市不同类型建筑年用电量占比

Fig.1 Proportion of annual electricity consumption of different types of buildings in Shanghai, 2018

根据建筑类型能耗占比饼状图,可得出办公建筑为能耗最高的建筑类别,占比为 28.10%,超过 2018 年上海市总用电量的四分之一。

分析表可得用电量较大的为照明与插座系统和空调系统,两者占比总和为 81.7%,动力系统占

比 9.50%,特殊用电系统占比 8.80%。由于动力系统和特殊用电包含的用电项目较为复杂,故本文主要从空调系统和照明系统这两个能耗大项作为主要的节能讨论目标。本文首先探究建筑的能耗影响因素,然后提出降低能耗的方法,进而削减建筑运营成本。

进一步分析办公建筑用能情况,由《报告》中数据得出能耗结构饼状图。

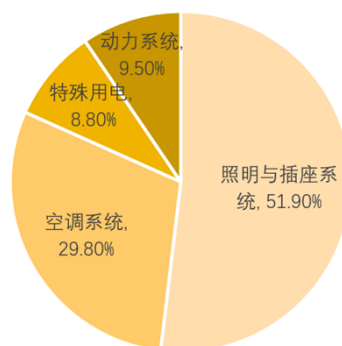


图 2 2018 年上海市办公建筑不同用电系统年用电量占比

Fig.2 Proportion of annual power consumption of different electricity consumption systems of office buildings in Shanghai, 2018

## 1 能耗分析

建筑功能不同,能耗结构就会有差异。比如在双休日,机关办公建筑与办公的能耗要比工作日要低;而医疗卫生建筑由于运营的持续性工作日和双休日用电差异要比办公建筑小一些。根据《报告》中的统计数据,各种类型建筑的工作日和非工作日用能差异分别取一个自然月,如表 1 所示。

表 1 2018 年各主要类型建筑工作日和非工作日用电量差异

Table 1 Electricity of consumption difference between working days and non-working days of main types of buildings in 2018

建筑类型	7 月 (制冷季)			10 月 (过渡季)			12 月 (供暖季)		
	工作日 Wh/m <sup>2</sup>	非工作日 Wh/m <sup>2</sup>	差异 %	工作日 Wh/m <sup>2</sup>	非工作日 Wh/m <sup>2</sup>	差异 %	工作日 Wh/m <sup>2</sup>	非工作日 Wh/m <sup>2</sup>	差异 %
机关办公	339	196	73.0	145	117	23.9	243	135	80.0
办公	425	271	56.8	213	169	26.0	267	166	60.8
旅游饭店	457	445	2.7	294	311	-5.5	325	319	1.9
商场	578	560	3.2	367	384	-4.4	374	358	4.5
医疗卫生	760	650	16.9	428	397	7.8	487	409	19.1

不同建筑类型在工作日和非工作日的差别程度根据建筑类型有所不同,办公建筑和机关办公建筑差别程度要明显大于旅游饭店、商场建筑和医疗卫生等建筑。所以,确定研究的建筑类型是节能探讨的前提,本文以办公建筑作为能耗分析对象。考虑到数据处理的数量以及数据与能耗影响因素的显著性,在运算时除去非工作日的照明与插座和空调能耗数据来探讨节能潜力。

### 1.1 空调能耗系统分析

#### 1.1.1 空调系统能耗影响因素—气象因素

本文以 2018 年上海某办公建筑的分项统计的供冷季的空调系统能耗为例,数据包括制冷季(6、7、8、9 月份)工作日每天的空调能耗额以及天气平均温度、相对湿度,有时工作日能耗过低产生能耗异常值,这是由于建筑装修而造成的停工,为保证结果的显著性和客观性,数据剔除了非工作日的

空调系统能耗以及能耗异常值。

(1) 利用 SPSS 软件分析空调系统用电量和温度之间的相关性,并绘制散点图。

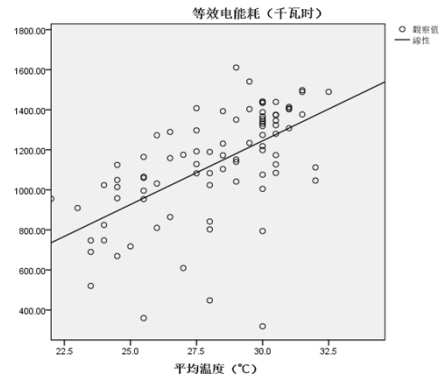


图 3 温度和用电量之间的散点图

Fig.3 Scatter diagram between temperature and power consumption

表 2 温度与空调能耗之间的相关性分析结果

Table 2 Correlation analysis between temperature and air conditioning energy consumption

		平均温度 (°C)	等效电能耗 (kWh)
平均温度	皮尔森 (pearson) 相关显著性	1	0.588**
	(双尾) N	86	86
等效电能耗 (kWh)	皮尔森 (pearson) 相关显著性	0.588**	1
	(双尾) N	86	86

注: \*\*.相关性在 0.01 层上显著 (双尾)。

#### 结果分析:

①分析散点图,可得温度与用电量有明显的关联性。

②维码由相关性分析结果来看,温度与空调能耗之间的相关性很强,温度属于空调能耗的显著影响因素。

(2) 利用 SPSS 软件分析湿度和空调能耗数据,并研究湿度和空调能耗之间相关性,绘制散点图。

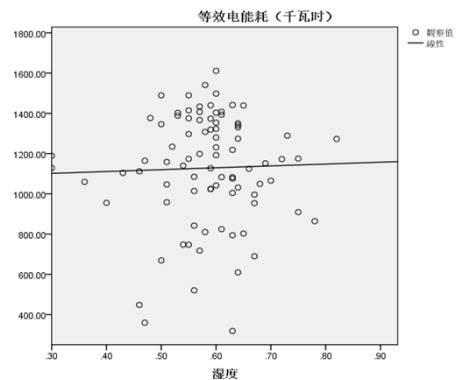


图 4 湿度和用电量之间的散点图

Fig.4 Scatter diagram between temperature and power consumption

表 3 湿度与空调能耗之间的相关性分析结果

Table 3 Correlation analysis between humidity and air conditioning energy consumption

		平均温度 (°C)	等效电能耗 (kWh)
等效电能耗 (kWh)	皮尔森 (pearson) 相关显著性	1	0.030
	(双尾) N	86	86
湿度	皮尔森 (pearson) 相关显著性	0.030	1
	(双尾) N	86	86

结果分析:

①分析散点图, 可得湿度与用电量不具有明显相关性;

②由相关性分析结果, 可得湿度与空调能耗之间的相关性不强, 不是空调能耗的显著影响因素。

#### 1.1.2 空调系统能耗影响因素—行为因素

##### (1) 使用时间

此处截取建筑制冷季一周的用电情况以讨论空调每周用电情况。

表 4 上海某办公建筑一周的空调的能耗情况

Table 4 Energy consumption of air conditioning in an office building within a week in Shanghai

周数	日期	等效电能耗 (kWh)
星期一	8 月 20 日	1439.13
星期二	8 月 21 日	802.59
星期三	8 月 22 日	1075.75
星期四	8 月 23 日	1139.83
星期五	8 月 24 日	1103.97
星期六	8 月 25 日	38.55
星期日	8 月 26 日	227.82

从表中的数据可以得出, 工作日和非工作日用能差别较大, 非工作日空调系统并非处于全负荷工作状态, 相比于工作日空调能耗降低显著。并且周日比周六用能多, 但相比于周内仍然显著降低, 这是由于一些建筑周日加班导致能耗增加。

##### (2) 管理制度

根据《关于上海市深入开展全民节能行动的通知》(以下简称《通知》) 中规定, 公共建筑夏季室内空调温度不得低于 26°C, 冬季室内空调温度不得高于 20°C。刘如意<sup>[4]</sup>等人模拟了室内温度与空调能耗之间关系, 得出: 在夏季时, 室内人员一般将

空调温度设定为 26°C 以下, 这样增加了空调系统的能耗, 同时也未必能达到室内的舒适度。

针对于这种情况, 有些建筑运营管理者组建节能工作组, 结合《通知》中的标准要求以及根据建筑本身的用能特点制定了节能规章。若建筑管理人员切实执行节能规章, 则可以规范室内使用人员的用能行为, 并降低能耗的浪费。

#### 1.2 照明系统能耗分析

##### (1) 照明系统的影响因素——季节因素

考虑到各个季节白天日照时间长短以及白天工作作息时间的不同, 本文以供冷季 (6、7、8、9 月份)、过渡季 (4、5、10、11 月份)、供热季 (1、2、3、12 月份) 为单位, 由分项计量系统能耗监测平台统计的数据计算本办公建筑的照明与插座系统每个季度的月平均能耗, 并将每个月的照明与插座系统能耗绘制为柱形图。

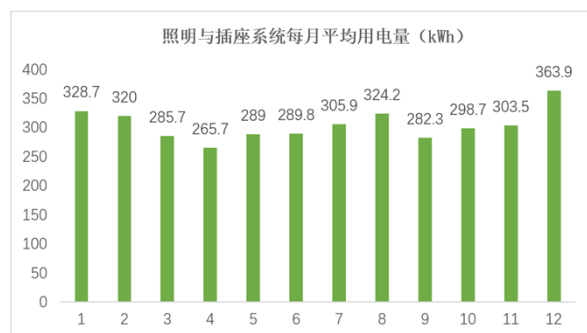


图 5 上海某办公建筑照明与插座系统每月平均用电量

Fig.5 Monthly average power consumption of lighting and socket system in an office building in Shanghai

注: 在计算 2 月、5 月、10 月份时, 剔除春节、五一长假、十一长假等特殊概况。

图中为上海某办公建筑照明与插座系统每月

平均用电量,从图中可以看出,照明与插座系统用电量并未出现明显的季节性规律。另外,进一步计算供冷季、过渡季、供热季平均用电量:供热季每月平均用电量为 324.6kWh,过渡季每月平均用电量为 289.2kWh,制冷季每月平均用电量为 300.5kWh。由计算结果可以得出供冷季照明与插座系统最高,主要系在 1、2、3、12 月份本建筑冬季上班时间为上午 9:30,下班时间为下午 5:30,而白天光照时间短导致照明系统用电增加。

(2) 照明系统的影响因素——行为因素

照明与插座系统是受使用人员行为影响较大的用电系统,工作中,使用人员下班会关闭办公区域的照明灯具,照明系统的用电量从而会呈现出阶段性的规律。此处截取正常工作日一天 24 小时照明与插座系统能耗监测数据来分析此规律。

表 5 上海某办公建筑工作日某天 24 小时用电情况

Table 5 Energy consumption of air conditioning in an office building within a day in Shanghai

时间	照明插座 (kWh)	室内照明插座 (kWh)	公共区域照明和应急照明 (kWh)
0:00:00	6.67	6	0.67
1:00:00	6.37	5.73	0.64
2:00:00	6.17	5.55	0.62
4:00:00	7.38	6.64	0.74
5:00:00	5.1	4.59	0.51
6:00:00	7.97	7.17	0.8
7:00:00	6.43	5.79	0.64
8:00:00	30.39	27.35	3.04
9:00:00	40.58	36.52	4.06
10:00:00	41.2	37.08	4.12
11:00:00	34.99	31.49	3.5
12:00:00	39.69	35.72	3.97
13:00:00	32.39	29.15	3.24
14:00:00	30.48	27.43	3.05
15:00:00	37.01	33.31	3.7
16:00:00	25.82	23.24	2.58
17:00:00	23.88	21.49	2.39
18:00:00	9.84	8.86	0.98
19:00:00	9.45	8.51	0.95
20:00:00	7.44	6.7	0.74
21:00:00	7.02	6.32	0.7
22:00:00	6.98	6.28	0.7

23:00:00	5.13	4.62	0.51
0:00:00	7.85	7.07	0.79

本建筑分为室内照明插座和公共区域照明插座两个子系统分别统计照明与插座用电量。通过观察数据可得:

(1) 室内照明插座系统能耗:在 8:30 上班之前,每个小时的能耗额比较稳定,并且明显低于上班期间的用电量。且上班期间上午照明与插座系统用电量比下午用电量多,这是由于中午太阳辐射强度最大,此期间照明系统用电相对较少。

(2) 公共区域照明和应急照明系统能耗:公共区域照明呈现出上班期间大于下班期间的特点,并且在下班期间的能耗额比较平稳,且相比于上班期间的照明要低约 80%左右。

## 2 节能探讨与建议

### 2.1 空调节能措施

本文根据空调系统的工作机制,从缓解空调系统负荷以及增加对废热的回收这两个角度寻找降低空调系统能耗的方法。

#### 2.1.1 缓解空调系统负荷

为减轻空调系统的工作负荷采用空调系统辅助工具,本文讨论建设期已安装的蓄冷系统和冷却塔等在运营期间的成本控制方法。

##### (1) 蓄冷系统

冰蓄冷空调工作原理:夜间是一天中的用电低谷时段,利用此时段的电量制冰并贮存在蓄冰装置中,在白天时将储存的冷量释放出来,从而减少白天用电高峰时段空调系统的用电负荷<sup>[4]</sup>。刘娜<sup>[5]</sup>等人集中探讨了冰蓄冷空调使用特点:冰蓄冷空调体积较小,安装方便,可以根据需求灵活使用。

由冰蓄冷空调的工作原理可知冰蓄冷可以实现 24 小时工作,在晚上时可以利用电网低峰制冰并储存,在白天空调主机工作时释放储存的冷量,降低空调系统主机的工作负荷。且晚上用电低峰段电费相比白天更低,降低了运营费用。

##### (2) 日常清洗养护

黄大汉<sup>[6]</sup>等人研究了空调机组清洗前后的效果,清洗后的空调机组能有效降低空调能耗。日常对空调进行清洗养护可以减少空调的送风阻力,并可以降低空调能耗。建筑管理人员可以根据运营实际情况,定期清洗空调系统。

在日常清洗养护工作中应定期清理冷却塔, 冷却塔是空调系统的重要组成部分。清洗养护时应保证零件正常工作。冷却塔的集水箱应保持箱内清洁, 塔中管壁的水垢会影响到冷却塔的工作效率, 降低冷却效果进而增加能耗。

日常的保养工作可提高设备的工作效率, 延长设备的寿命, 并节约运营成本。建筑的运营管理者应制定相应的定期清理方案并严格执行。

### 2.1.2 增加对废热的回收

热回收装置指回收建筑物内外的余热(冷)或废热(冷), 并将回收的热(冷)量作为供热(冷)或其它加热设备的热源而加以利用的系统<sup>[7]</sup>。从末端风系统回收废能, 然后对室外新风进行预处理, 进而实现室内废热回收, 降低空调系统运营成本。

#### (1) 轮转式热回收技术

轮转式热回收机组工作原理: 以冬季为例, 室内与室外进行气体交换的时候, 室内的热风通过轮转式热回收机组排出室外, 但是排出的空气中包含有一定的热量, 此时轮转式热回收机组引入室外的新风, 并同时排出空气中的热量通过机组中的吸热材料回收, 预热引入室内的新风, 从而达到了换气并回收热量的功能。此举不仅可以持续为室内提供新鲜的空气,

并同时回收旧风中的热能, 以预热新风, 降低空调机组的能耗, 达到节能的效果。

轮转式热回收机组的特点: 机组可以适用于不同条件下的空气条件, 回收热量效率高, 并且使用较为方便。但是机组设备体积较大, 造价较高并且本身机组运作时也要消耗能量。通过讨论优缺点, 轮转式热回收机组适合于辅助大型建筑空调机组的运营。

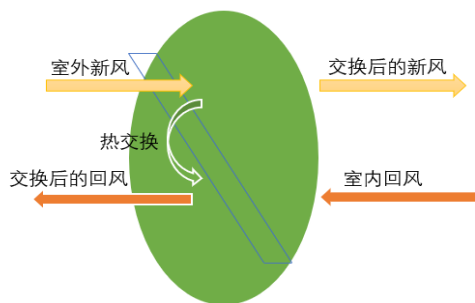


图 6 轮转式热回收机组工作原理

Fig.6 Operating principle of rotary heat recovery unit

#### (2) 热管式换热器

热管式换热器工作原理: 热管式热回收装置是在管内借助介质进行热交换并吸收水蒸气的热回收装置, 在热管内进行热交换并为室内持续交换气体。

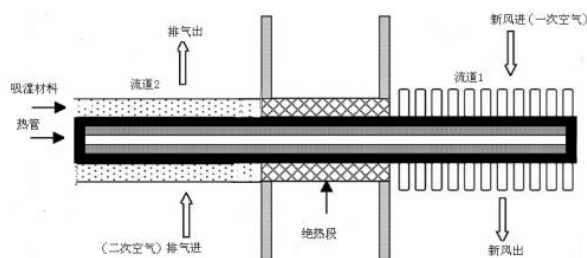


图 7 热管式换热器工作原理

Fig.7 Working principle of heat pipe heat exchanger

热管式换热器的特点: 安装简便灵活, 占据空间很小; 且可以避免交叉污染的现象, 保证置换空气清洁; 缺点是传热效率较低, 由于长时间工作, 管壁容易堆积灰垢, 降低传热效率, 需要额外定期及时清理。

以上是不同空调废热热回收系统, 建筑运营管理者根据建筑的特点, 合理选择废热回收的种类。

## 2.2 照明系统

### 2.2.1 充分利用自然光

研究表明, 在自然光的环境下, 人们工作的视觉功效较人工照明要高出 5%~20%<sup>[8]</sup>。充分利用自然光可以降低电量消耗, 并营造一个良好的工作环境。现在用的比较多的方法式利用导光系统作为室内照明的辅助工具, 减少照明系统的用电量。导光系统由集光器、导光筒和漫射器组成。集光器收集室外的自然光, 然后进入导光筒对光源进行重分配, 然后利用漫射器进入室内。

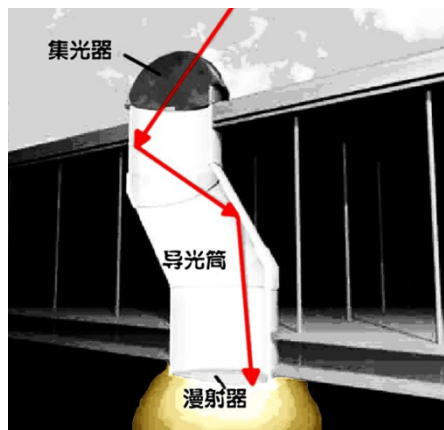


图 8 导光系统组成示意图

**Fig.8 Composition of light guide system**

### 2.2.2 分区域管理

#### (1) 公共区域

公共区域一般照明时间较长,人流量大,可以引入导光系统进行补充照明。在节假日人员数量少的时候,可以适当关闭一些灯具。

#### (2) 办公区域

办公区域是人员集中区域,照度要达到国家标准(300 lx),并且要考虑到节能。根据上面提到的方法,可以使用遮阳棚加光源采集器的方法,利用自然光对灯具进行照度补充。另外可安装光照度传感器来调节灯具的工作状态,使得灯具可以在根据环境的变化而调整输出功率,避免持续的高输出状态,从而延长使用寿命。

#### (3) 会议室

会议室根据不同的需要,调节不同亮度的灯光。例如在闲置时关闭灯源,使用时开启,并根据需要适当调低亮度。

#### (4) 休息室

休息室并非是人员长期聚集场所,应根据人流来控制照明。在休息室安装人体传感器,检测到人员进入时开启灯具,当人员离开时照明灯具自动关闭。

## 3 总结

(1) 利用 SPSS 软件分析上海某办公建筑空调系统能耗额以及上海天气历史数据,温度是显著影响因素,而湿度从数值分析的角度来看弱于温度,属于不显著影响因素。

(2) 办公建筑照明系统能耗受使用人员活动

因素影响较为显著,本文分析了工作日室内照明插座和公共区域照明插座系统的 24 小时每小时的能耗额,上班期间的能耗额明显大于下班的时的能耗额。

(3) 针对于空调能耗控制方法,本文从缓解空调系统负荷以及增加对废热的回收这两个角度降低空调系统运营成本。而针对于照明系统采用的是引进自然光和分区域管理的办法来降低照明系统的能耗额。

### 参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心.2011 中国建筑节能年度发展研究报告[M].北京:中国建筑工业出版社,2011:2-3.
- [2] 2018 年上海市国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测及分析报告[R].上海:上海市住房和城乡建设管理委员会,2018.
- [3] 刘如意,王艳新.行为因素对办公建筑空调能耗的影响分析[J].制冷与空调,2012,26(1):93-96.
- [4] 刘军.暖通空调系统节能技术要点分析[J].建筑工程技术与设计,2018,(32):3724.
- [5] 刘娜.分析冰蓄冷空调在商业写字楼中的节能应用[J].中国房地产业,2016,(1):164.
- [6] 黄大汉,宋小涵.空调通风系统清洗对空调运行能耗影响研究[J].中国科技纵横,2010,(7):139,286.
- [7] 郭书锋.热回收技术在空调工程中的应用研究[J].建筑工程技术与设计,2016,(29):208-209.
- [8] 刘博.关于建筑电气照明节能的探讨[J].中国室内装饰装修天地,2018,(21):30.