

Technology and Application of  
Energy Efficiency Retrofit for Public Buildings in Chongqing

# 公共建筑节能改造 技术与应用

——以重庆市为例

丁 勇 / 著



科学出版社

# 公共建筑节能改造技术与应用 ——以重庆市为例

丁 勇 著



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书根据公共建筑节能改造国家重点城市示范的实施经验,结合公共建筑节能监测平台的应用,分析公共建筑能耗数据分布、能耗分项占比以及用能特征;结合建筑能耗设备、室内环境要求等多方面因素,对公共建筑运行现状进行实测诊断分析;结合节能改造工作,对公共建筑节能改造技术途径和效果进行分析总结;通过分析国内外节能量测量与验证的计算方法,对公共建筑节能改造效果评估方法进行梳理和分析;结合国内外既有建筑改造的实施管理,对公共建筑节能改造的市场化机制进行归纳分析。本书较为全面地对既有建筑改造的全过程进行梳理,对于指导、研究、探索公共建筑节能改造的分析原理、技术策略、管理方法等方面具有较大的参考意义。

本书可供从事既有建筑节能改造的相关技术人员使用,也可以作为技术应用的科学教育用书,同时还可以为设计、科研技术人员在进行相关技术实施时提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

公共建筑节能改造技术与应用:以重庆市为例/丁勇著. —北京:科学出版社, 2019.6

ISBN 978-7-03-060582-5

I. ①公… II. ①丁… III. ①公共建筑—节能—技术改造—重庆 IV. ①TU242 ②TU111.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第030916号

责任编辑:华宗琪/责任校对:彭 映  
责任印制:罗 科/封面设计:墨创文化

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2019年6月第一次印刷 印张:10

字数:240 000

定价:79.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

目前我国既有建筑超过 500 亿  $\text{m}^2$  (2017 年), 城镇节能建筑占既有建筑面积的比例仅为 23.1%, 既有建筑的存量巨大; 并且在相当一部分的既有建筑中, 都存在能耗水平偏高、能效低、室内环境和使用功能有待提升等问题。因此, 对既有建筑的改造、提高建筑能效是解决我国“非节能”建筑存量的关键途径之一。

为提高公共建筑能源利用效率, 改善室内物理环境, 加快推进公共建筑节能改造重点城市建设, 2011 年, 重庆市被财政部、住房和城乡建设部确定为全国首批公共建筑节能改造重点城市。截至 2017 年 12 月, 重庆市已顺利完成两批国家公共建筑节能改造重点城市建设示范任务, 共改造完成公共建筑节能改造示范项目 180 个, 共计改造面积 758.3 万  $\text{m}^2$ 。以上项目实现了单位建筑面积能耗下降 20% 以上的目标, 每年可节电 1.56 亿 kWh、节约标煤 4.67 万 t、减排二氧化碳 12.65 万 t、节约能源费用 1.29 亿元, 有效改善了室内的光环境、声环境、热环境和空气质量等功能品质, 用能单位对改造效果表示满意的比例达 98% 以上。同时, 重庆市为国家推进公共建筑节能改造走市场化道路进行了有益探索, 并一直坚持在原有工作基础上不断创新, 确保取得新突破。

为了更好地总结工作、凝练成果、强化推广, 作为公共建筑能源监管体系国家示范城市、公共建筑节能改造国家示范城市的技术支撑单位, 重庆大学通过总结梳理能耗数据分析、用能现场测试、改造技术分析、节能效果评价、推广机制探索等方面的经验与成果, 撰写完成《公共建筑节能改造技术与应用——以重庆市为例》。书中分析重庆市公共建筑用能现状、运行现状, 总结公共建筑节能改造技术途径及效果, 梳理公共建筑节能改造效果评估方法及节能改造的市场化机制, 最后并结合典型公共建筑节能改造项目进行案例分析。

本书写作过程中得到了研究生同学的积极参与: 王雨、吴佐和唐浩分别参与了第 1 章、第 2 章和第 6 章相关内容的整理; 胡熠、袁振乾等参与了第 3 章内容的整理; 刘学参与了第 4 章和第 5 章内容的整理。

同时, 本书的写作也得到了各单位和部门的积极支持和热诚帮助: 重庆市住房和城乡建设委员会为节能改造项目相关技术资料的整理提供了支持; 重庆市建设信息中心为本书第 1 章相关数据的分析提供了帮助; 本书第 6 章节能改造工程案例由重庆兴科恒节能服务有限公司、中机中联工程有限公司、万润节能股份有限公司、同方泰德科技有限公司等负责实施, 本书在整理资料时, 上述单位都给与了大力支持。

在此一并对以上单位、部门和个人表示真诚的感谢!

# 目 录

前言

第 1 章 公共建筑实际用能特征分析	1
1.1 用能数据收集	1
1.2 建筑能耗数据分布	3
1.3 能耗分项占比分析	4
1.4 建筑用能特征分析	6
1.5 本章小结	21
第 2 章 公共建筑运行现状实测分析	22
2.1 建筑基本信息	22
2.1.1 建筑基本情况	22
2.1.2 建筑能耗设备信息	24
2.2 建筑室内环境分析	25
2.3 空调系统运行分析	28
2.4 主要问题分析	36
参考文献	37
第 3 章 既有公共建筑节能改造技术途径和效果分析	38
3.1 照明插座系统节能改造	39
3.1.1 照明光源改造	39
3.1.2 照明控制改造	47
3.2 空调系统节能改造	48
3.2.1 集中空调水系统变流量改造	48
3.2.2 集中空调风系统变流量改造	57
3.2.3 集中空调主机改造	59
3.2.4 集中空调冷却塔改造	61
3.2.5 分体式空调改造	62
3.3 动力系统节能改造	63
3.3.1 电梯改造	64
3.3.2 锅炉改造	65
3.4 特殊用能系统节能改造	66
3.4.1 燃气设备改造	67
3.4.2 抽排风机改造	67
3.5 建筑用能分项计量	68

3.5.1	分项计量系统组成	68
3.5.2	分项计量系统设计	70
3.6	围护结构	72
3.6.1	外墙	72
3.6.2	外窗	75
3.6.3	遮阳	77
3.7	可再生能源	79
3.7.1	空气源热泵	79
3.7.2	太阳能热水	84
3.7.3	总结	90
	参考文献	91
<b>第4章</b>	<b>节能改造效果评估</b>	92
4.1	国内外节能量测量与验证的计算方法	92
4.1.1	相关标准指南	92
4.1.2	国际性能测试与评价协议	92
4.1.3	相关文献研究	97
4.2	不同用能系统的节能量计算方法适用性	98
4.2.1	照明系统节能量计算方法	98
4.2.2	空调系统能耗修正影响因素	101
4.3	我国节能量核定方法	106
4.3.1	国家节能量核定导则	106
4.3.2	重庆市节能量核定办法	107
4.3.3	重庆市节能改造技术效果	112
	参考文献	117
<b>第5章</b>	<b>公共建筑节能改造的市场化机制分析</b>	118
5.1	合同能源管理模式	118
5.2	改造技术经济性分析	121
5.2.1	各单项节能改造投资及回收分析	122
5.2.2	三大类型公共建筑节能改造效益分析	124
<b>第6章</b>	<b>工程案例</b>	128
6.1	重庆某酒店节能改造项目	128
6.1.1	工程概况	128
6.1.2	改造内容	129
6.1.3	改造效果	133
6.1.4	经济性分析	134
6.2	重庆某医院节能改造项目	135
6.2.1	工程概况	135
6.2.2	改造内容	136

---

6.2.3 改造效果·····	138
6.2.4 经济性分析·····	139
6.3 重庆某办公大楼节能改造项目·····	139
6.3.1 工程概况·····	139
6.3.2 改造内容·····	140
6.3.3 改造效果·····	143
6.3.4 经济性分析·····	144
6.4 重庆某商场节能改造项目·····	144
6.4.1 工程概况·····	144
6.4.2 改造技术·····	144
6.4.3 改造效果·····	147
6.4.4 经济性分析·····	148
6.5 重庆市某大学节能改造项目·····	148
6.5.1 工程概况·····	148
6.5.2 改造技术·····	148
6.5.3 改造效果·····	150
6.5.4 经济性分析·····	151

# 第 1 章 公共建筑实际用能特征分析

目前,我国建筑能耗约占全国总能耗的 1/3,随着我国城市化程度的不断提高,建筑能耗比例将继续提高。另外,随着室内环境舒适度的不断改善,建筑的服务水平逐渐提高,建筑物内用能设备的能耗持续增加,各类建筑的单位面积能耗不断增长。公共建筑能耗高、节能潜力大,一直是建筑节能的重点,近年来政府对于公共建筑的管理模式也在向更加科学高效的方向发展,建立了以实际运行能耗指标为导向的公共建筑节能监管体系,旨在控制建筑能源消耗总量。

我国当前的公共建筑节能监管体系,第一步是能耗统计,能耗统计制度作为公共建筑节能监管体系的基础,也是建筑节能标准制定和节能效果的评价过程中不可缺少的环节。本章将对重庆市公共建筑用能数据的收集进行简要介绍,对重庆市公共建筑能耗数据分布、能耗分项占比、用能特征进行分析,为之后的节能工作提供原始数据,对建筑运行监管提供数据保证,同时也为既有建筑节能改造的实施提供基础能耗信息。

## 1.1 用能数据收集

2012 年,以重庆大学为技术支撑单位,重庆市建立了公共建筑能耗监管平台,实现了重庆市 400 余栋公共建筑的能耗实时监测。从 2013 年开始,重庆大学持续针对该平台的监测数据开展用能数据收集、整理、分析,并分别形成了年度数据分析报告,为后期重庆市开展建筑节能改造、建筑能耗限额标准的制定提供了坚实的基础数据支撑。基于住房和城乡建设部、财政部联合组织,重庆市住房和城乡建设委员会以重庆大学为技术支撑,安排实施了国家级示范——“重庆市国家机关办公建筑和大型公共建筑节能监管体系建设”项目,完成了《重庆市国家机关办公建筑和大型公共建筑节能监管体系建设》科学技术成果,指导完成重庆市 355 栋公共建筑能源监管平台建设;建立了既有建筑节能改造技术体系,形成建筑节能能量核算机理,编制了《重庆市公共建筑节能改造示范项目和管理办法》《重庆市公共建筑节能改造节能量核定办法》《重庆市公共建筑节能改造技术及产品性能规定》,支撑和指导重庆市公共建筑能源监管、公共建筑节能改造国家级示范城市建设、节约型校园监管体系国家示范项目建设,作为技术支撑单位指导完成重庆市公共建筑节能改造示范项目 123 项、约 500 万  $\text{m}^2$  的既有建筑节能改造,引入财政资金约 1 亿元。

重庆市国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测平台截至 2017 年 12 月 31 日,剔除安装但未启用分项计量上传数据的建筑,每年完成能耗分项计量建筑数量如表 1.1.1、图 1.1.1 所示,建筑面积如表 1.1.2、图 1.1.2 所示。

表 1.1.1 2012~2017 能耗监测平台完成各类型建筑数量统计 (单位: 栋)

年份	建筑类型						总数
	办公建筑	商场建筑	宾馆饭店建筑	文化教育建筑	医疗卫生建筑	综合建筑	
2012	124	16	26	17	12	11	206
2013	123	18	27	27	13	13	221
2014	131	31	33	120	26	13	354
2015	139	38	40	127	31	13	388
2016	129	38	46	114	35	11	373
2017	89	39	65	112	48	10	363

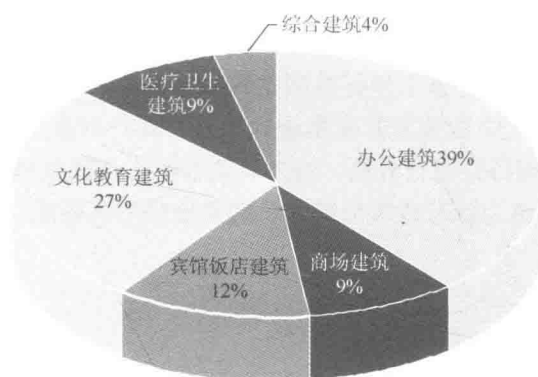


图 1.1.1 能耗监测平台完成各类型建筑数量占比

表 1.1.2 2012~2017 能耗监测平台完成各类型建筑面积统计 (单位: 万 m<sup>2</sup>)

年份	建筑类型						总数
	办公建筑	商场建筑	宾馆饭店建筑	文化教育建筑	医疗卫生建筑	综合建筑	
2012	256	74	63	40	30	39	502
2013	221	85	79	132	21	42	580
2014	236	120	95	1018	83	42	1594
2015	313	157	128	956	96	42	1692
2016	239	209	146	956	114	35	1699
2017	216	202	285	1026	209	30	1968

可以看出,在分项计量能耗监测平台中的建筑,办公建筑数量最多,其次是文化教育建筑、宾馆饭店建筑、医疗卫生建筑和商场建筑,综合建筑数量最少。文化教育建筑面积最大;其次是办公建筑、商场建筑、宾馆饭店建筑、医疗卫生建筑、综合建筑。

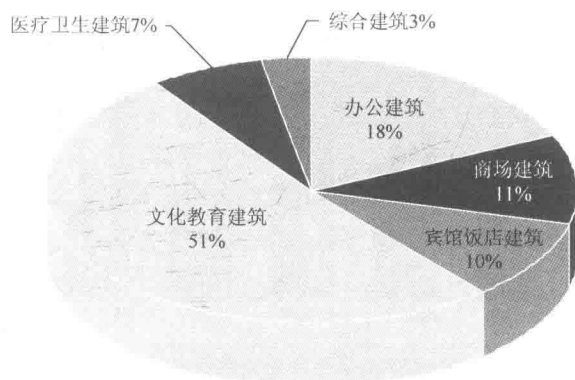


图 1.1.2 能耗监测平台完成各类型建筑面积占比

(本数据来源于 2012~2017 年度《重庆市公共建筑能耗监测平台数据分析报告》)

## 1.2 建筑能耗数据分布

将各类型建筑能耗分布汇总，如图 1.2.1 所示。从能耗值来看，商场建筑中位数最高，其次为医疗卫生建筑、宾馆饭店建筑、办公建筑，文化教育建筑最低。从能耗范围来看，医疗卫生建筑极差最大，文化教育建筑极差最小。

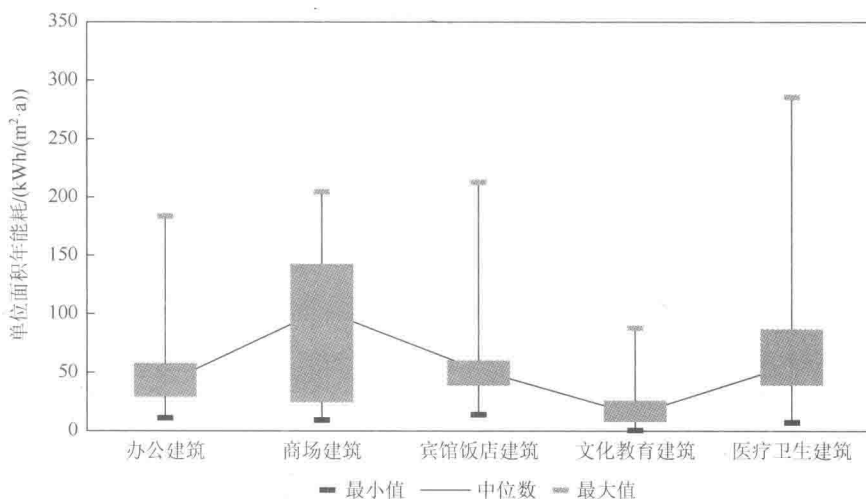


图 1.2.1 各类型建筑能耗分布汇总图

(本数据来源于 2017 年度《重庆市公共建筑能耗监测平台数据分析报告》)

对比 2012~2017 年重庆市既有建筑能耗监测平台各类型的建筑数据分布，结果如图 1.2.2 所示。

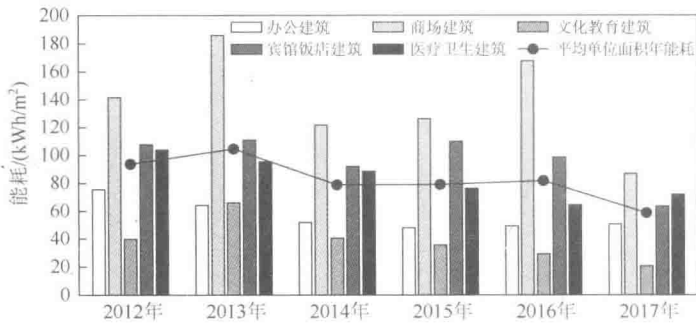


图 1.2.2 2012~2017 年重庆市各类型建筑能耗变化情况

(本数据来源于 2012~2017 年度《重庆市公共建筑能耗监测平台数据分析报告》)

可以看出,商场建筑能耗高于其他类型的建筑,文化教育建筑能耗最低。2013 年重庆市公共建筑能耗达到一个峰值点,2014 年平均单位面积年能耗值有明显下降,该趋势正好反映了重庆市在“十二五”期间开展了公共建筑节能改造示范项目的建设,其中任务要求应完成不少于 400 万  $m^2$ 、节能率不低于 20% 的示范项目建设。节能改造的实施一定程度上减少了公共建筑的运行能耗,例如,商场建筑和文化教育建筑的能耗有明显的下降。2015~2016 年能耗水平基本稳定,2017 年平均单位面积年能耗有明显的下降,该趋势反映了 2016 年重庆市再次被列为第二批公共建筑节能改造示范城市,其中任务要求应完成不少于 350 万  $m^2$  的改造项目。重庆市于 2017 年 12 月提前完成任务,节能改造措施的实施减少了公共建筑的运行能耗。

### 1.3 能耗分项占比分析

根据 2012~2017 年《重庆市公共建筑能耗监测平台数据分析报告》的能耗数据,对各类建筑能耗分项占比进行分析,图 1.3.1~图 1.3.5 分别为办公建筑、商场建筑、宾馆饭店建筑、文化教育建筑、医疗卫生建筑能耗分项占比。

由图 1.3.1 可知,办公建筑的照明插座系统用电所占比例最大,为 40%~60%,其次是空调系统用电,为 20%~40%。照明插座系统用电和空调系统用电比例与一般文献有所差异,

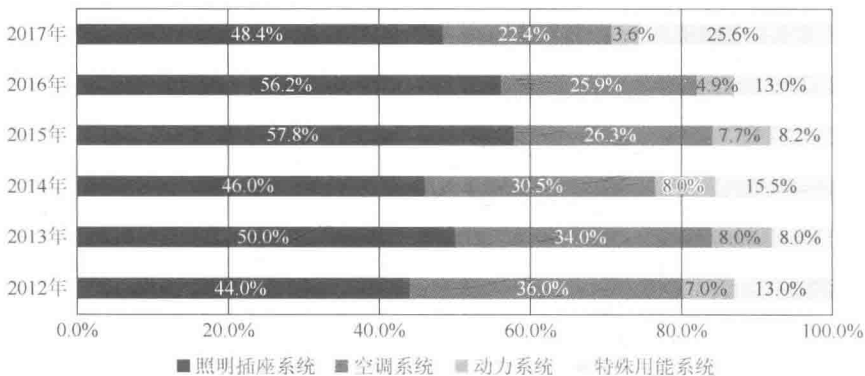


图 1.3.1 2012~2017 年办公建筑能耗分项占比

照明插座系统用电比例偏高,而空调系统用电比例较低,出现这个结果的部分原因是某些办公建筑采用的是风机盘管加新风系统、分体式空调或其他空调形式,且这些空调系统末端用电不可单独计量,空调系统末端用电计算在照明插座系统用电里,从而导致照明插座系统用电比例偏高,空调系统用电偏低的现象。

由图 1.3.2 可知,商场建筑的照明插座系统用电和空调系统用电所占比例最大,照明插座系统用电占比 37%~48%,空调系统用电占比 27%~42%,这两项用电共占建筑总用电的约 80%,是商场建筑节能的重点。

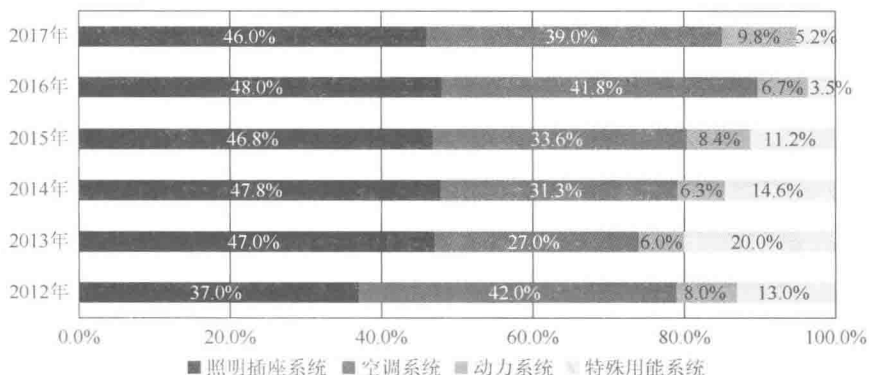


图 1.3.2 2012~2017 年商场建筑能耗分项占比

由图 1.3.3 可知,宾馆饭店建筑的照明插座系统用电所占比例最大,为 45%~63%,空调系统用电次之,占比 21%~26%,这两项用电共占建筑总用电的 70%~85%,是宾馆饭店建筑节能的重点。



图 1.3.3 2012~2017 年宾馆饭店建筑能耗分项占比

由图 1.3.4 可知,文化教育建筑的照明插座系统用电所占比例最大,并逐年递增,由 2012 年的 48%,增至 2017 年的 80%。由此可知,照明插座系统用电是文化教育节能的重点。

由图 1.3.5 可知,医疗卫生建筑的照明插座系统用电所占比例最大,为 35%~52%,空调系统用电占比次之,约 30%,这两项用电共占建筑总用电的 60%~85%,是医疗卫生建筑节能的重点。

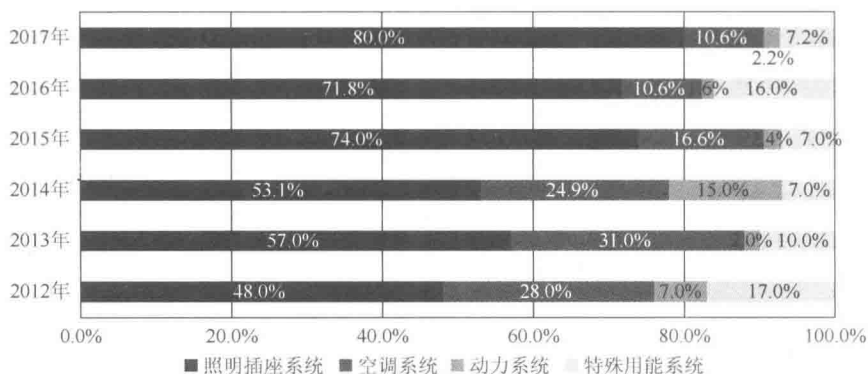


图 1.3.4 2012~2017 年文化教育建筑能耗分项占比



图 1.3.5 2012~2017 年医疗卫生建筑能耗分项占比

（本数据来源于 2012~2017 年度《重庆市公共建筑能耗监测平台数据分析报告》）

## 1.4 建筑用能特征分析

### 1. 办公建筑

对于办公建筑，照明插座系统用电和空调系统用能占比较大，选取 7 栋办公类建筑分析办公建筑照明插座和空调系统的月、周、日用能特征。

#### 1) 照明插座系统

办公建筑照明插座系统月、周、日用能特征如图 1.4.1~图 1.4.3 所示。

月变化规律表明，全年逐月照明插座系统能耗占比基本在 60%左右浮动，波动幅度很小，无明显季节变化规律；周变化规律表明，照明插座系统在工作时段的变化较稳定，工作日和休息日用电差异明显，休息日的用电曲线比工作日的能耗低；日变化规律表明，办公建筑在 12:00~14:00 时段达到一天中照明负荷率最高值，20:00~8:00 时段为非工作时段，办公建筑仍然维持低负荷率运行，一方面可能由于有部分加班情况，另一方面可能由于所选取办公建筑非工作时段照明插座设备未全部关闭，还有较多能耗。

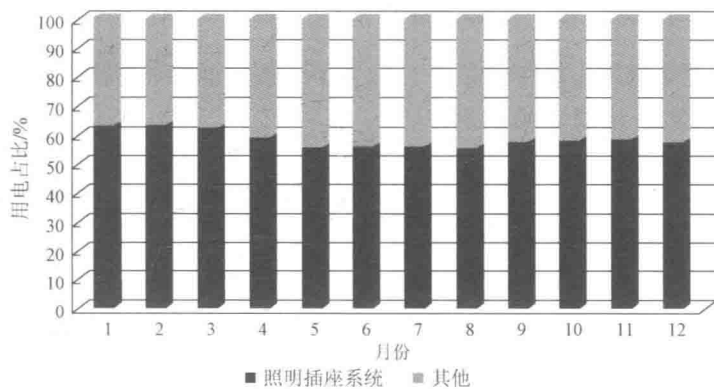


图 1.4.1 办公建筑照明插座系统逐月用电占总用电量比例

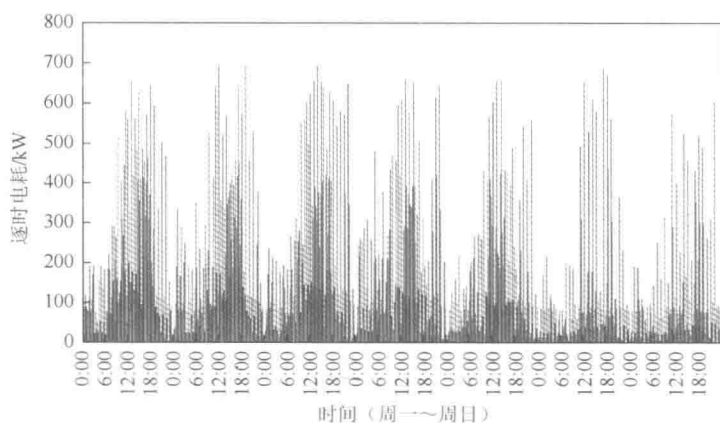


图 1.4.2 办公建筑照明插座系统周用电变化

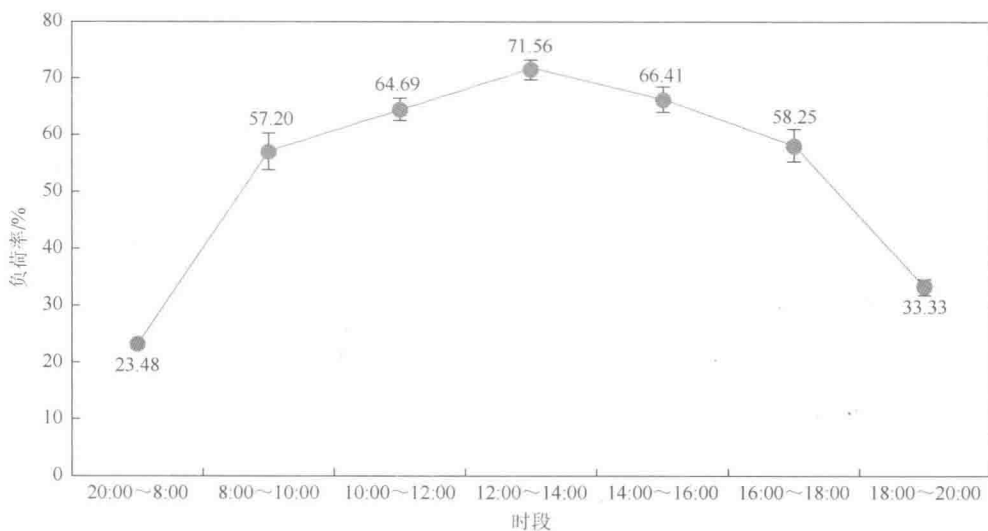


图 1.4.3 办公建筑照明插座系统各时段负荷率均值及标准差

(本数据来源于 2017 年度《重庆市公共建筑能耗监测平台数据分析报告》)

## 2) 空调系统

办公建筑空调系统月用能特征如图 1.4.4 所示；周用能特征如图 1.4.5~图 1.4.7 所示；日用能特征如图 1.4.8~图 1.4.10 所示。

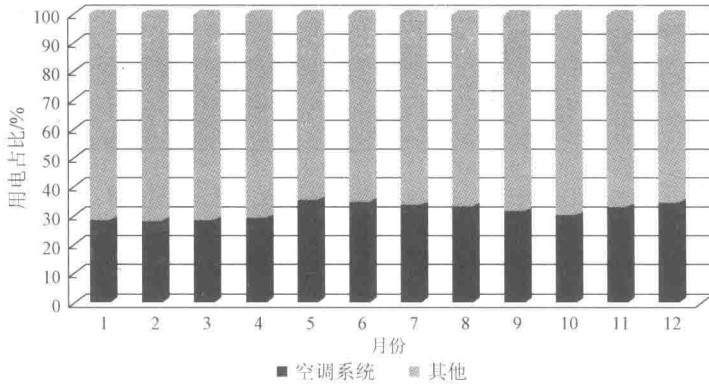


图 1.4.4 办公建筑空调系统逐月用电占总用电量比例

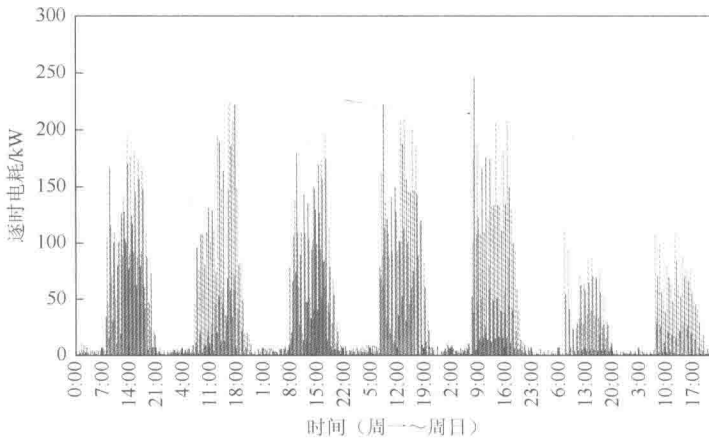


图 1.4.5 办公建筑空调系统供暖季周用电变化

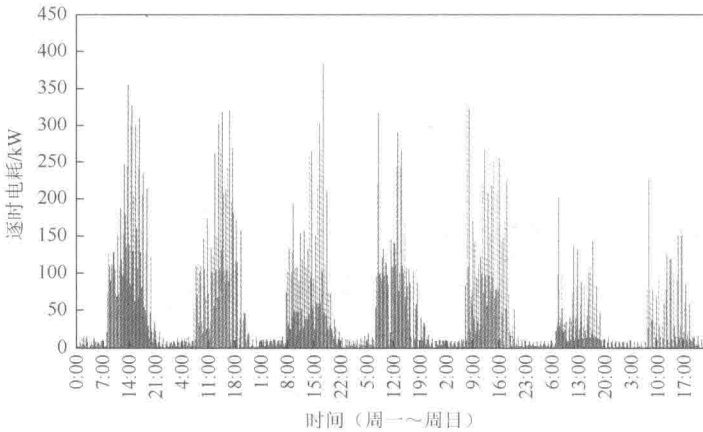


图 1.4.6 办公建筑空调系统制冷季周用电变化

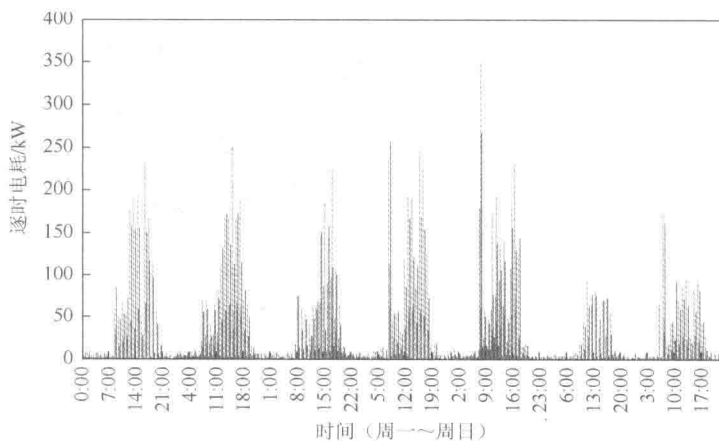


图 1.4.7 办公建筑空调系统过渡季周用电变化

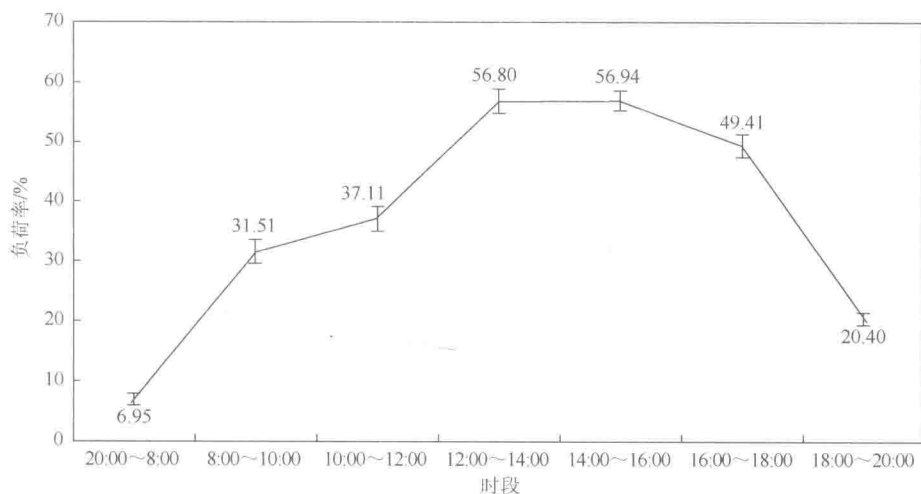


图 1.4.8 办公建筑空调系统1月各时段负荷率及标准差

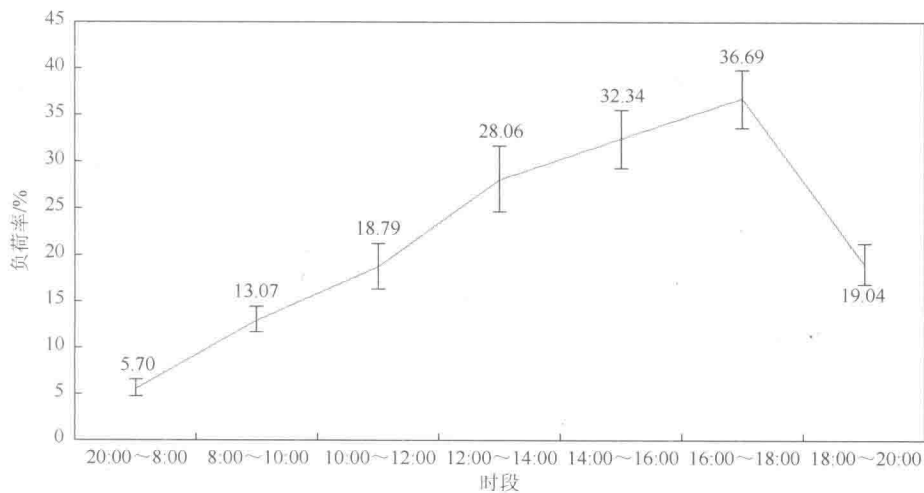


图 1.4.9 办公建筑空调系统4月各时段负荷率及标准差

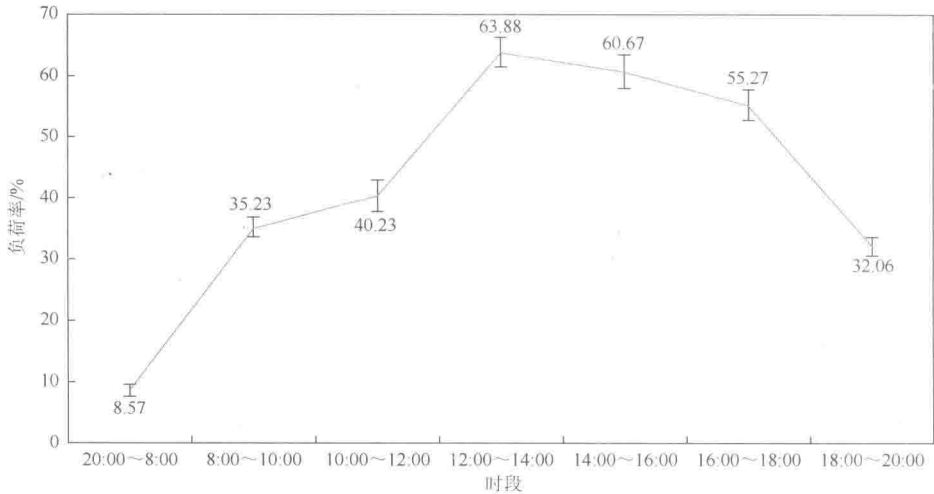


图 1.4.10 办公建筑空调系统 7 月各时段负荷率及标准差

(本数据来源于 2017 年度《重庆市公共建筑能耗监测平台数据分析报告》)

月变化规律表明,在空调季 5 月、6 月、7 月和 8 月空调系统用电量高于其他月,在供暖季 11 月、12 月供暖用电量高于其他月,而受到节假日的影响,1 月、2 月的供暖用电没有突显,全年空调系统逐月用电量占比在 30%上下浮动,波动范围较小;周变化规律表明,选取的大部分办公建筑空调系统用电在制冷季空调季和过渡季的工作日与休息日之间差异明显,且存在明显的昼夜差别;日变化规律表明,供暖季(1 月)供暖期日负荷率峰值出现在 14:00~16:00;过渡季(4 月)日负荷率峰值出现在 16:00~18:00;制冷季(7 月)日负荷率峰值出现在 12:00~14:00,20:00~8:00 时段为非工作时段,空调用电负荷率较低。

## 2. 商场建筑

对于商场建筑,照明插座系统用电和空调系统用电占比较大,选取 7 栋商场建筑分析商场类建筑照明插座和空调系统的月、周、日用能特征。

### 1) 照明插座系统

商场建筑照明插座系统月、周、日用能特征如图 1.4.11~图 1.4.13 所示。

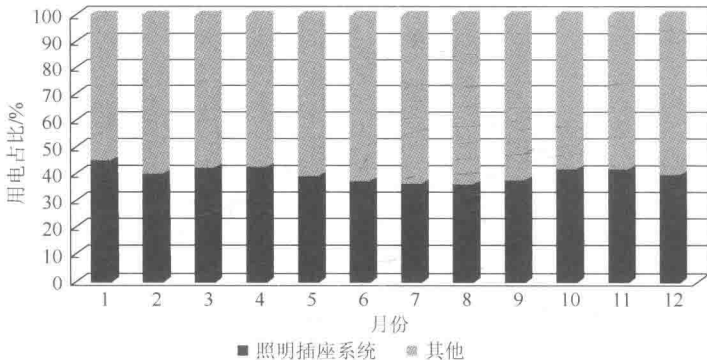


图 1.4.11 商场建筑照明插座系统逐月用电占总用电量比例