
上海大型公共建筑碳审计试点案例研究

A PILOT CASE STUDY OF CARBON AUDIT FOR A LARGE OFFICE BUILDING IN SHANGHAI

李立峰 胡静

(上海市环境科学研究院, 上海 200233)

Li Lifeng, Hu Jing

(Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233)

摘要: 本研究以国际通用的温室气体盘查议定书和香港建筑物碳审计指引等为基础, 针对上海一幢典型现代化高层办公建筑, 结合当地实际情况, 通过信息收集、现场访谈、问卷调查、典型企业调研及数据分析等方式深入开展碳审计。结果表明, 该建筑 2010 年碳排放总量在一些节能措施的推动下比 2009 年有所降低, 但单位面积碳排放仍在全市处于较高水平; 建筑最主要的碳排放来自入驻企业用电; 入驻企业办公区域单位面积碳排放明显高于公共区域; 企业碳排放量主要与建筑面积呈线性相关关系, 但部分企业也受到连续运行的服务器等特殊办公设备的显著影响; 此外各类电器的待机功耗也不容忽视。本文建议今后将建筑碳审计深入化、长效化、制度化, 并辅以有利于碳减排的奖惩机制。

关键词: 公共建筑 碳审计 碳减排

Abstract: This study was a pilot case study for a typical high-rise office building in Shanghai, aimed to understand the total Greenhouse Gas (GHG) emissions, the structure of emission sources and emission reduction potential, so as to bring forward suggestions for similar buildings. The methodology was based on GHG Protocol and Hong Kong Building Carbon Audit Guide, with data collection, interviewing, questionnaire, company investigation and data analysis conducted. The result shows that even though the GHG emissions in 2010 were reduced comparing to those in 2009 due to good practices on energy conservation, the GHG intensity per unit were still on a high level in the city. The major emission source is the electricity use of settled companies, with a higher GHG intensity per unit area from settled companies than from public areas. The GHG emission level for settled companies mainly has a linear correlation with the total office area, although in some companies the constantly running servers also have significant impacts. The standby energy consumption is also non-negligible. It is suggested that the building carbon audit needs to be carried out more thoroughly and, on a wider range, supplemented by reward and punishment mechanisms which will for sure contribute significantly to the city's GHG emission reduction.

Keywords: office building; carbon audit; carbon reduction

1 引言

中国建筑使用能耗约占全社会总能耗的 28%^[1], 而随着我国城镇化水平的进一步提升, “楼宇经济”对经济产值的贡献将继续增加, 居民的生活用能水平也将不断提高, 因此上述比例还有望继续增长至 30-40%, 相当于西方发达国家的水平。目前在我国各类建筑中, 公共建筑的单位面积能耗与碳排放水平又数倍于居住建筑, 以上海为例, 全市公共建筑面积占比约 1/4, 但用能量却占到建筑用能的 60%^[2]。因此, 公共建筑尤其是大型公共建筑的节能降碳对于实现国家降低能耗和碳排放强度的目标尤为重要, 这就需要完善的碳审计作

为支撑。

目前国内外专门针对建筑的碳审计刚刚起步，而建筑能源审计已有一定基础。一般情况下碳审计与能源审计的结果具有相关性，但又有一些重要区别：同样的能耗、不同能源品种会造成碳排放的显著变化；且建筑碳审计除涉及能源消耗排放外，还涉及空调制冷剂损耗、少量工业生产过程以及垃圾填埋排放以及绿地碳汇等。本研究选取上海一处典型现代化高层办公建筑，开展了建筑碳审计试点工作，旨在掌握建筑碳排放的总量、结构与特点，提出针对类似建筑的碳减排建议。

2 研究方法

中国大陆地区尚未颁发直接指导建筑碳审计的标准文件，本研究以国际通用的方法学和标准为依据，具体包括《温室气体议定书：企业核算与报告准则》（GHG Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard）、《ISO14064-1 碳排放量化标准》、“碳披露项目”（Carbon Disclosure Project）相关方法；同时参考了《香港建筑物（商业、住宅或公共用途）的碳排放及减除的审计和报告指引》、德国《建筑能耗计算标准》、美国“公共建筑能耗统计”（CBECS）方法（美国能源信息署/EIA，2003）、中国《国家机关办公建筑和大型公共建筑能源审计导则》（建设部，2007）、中国《公共建筑节能设计标准》GB50189-2005、《上海市工程建设规范-公共建筑节能设计标准》等。

本研究将建筑碳审计范围划分为三类：范围1，直接排放与碳汇——餐厅燃烧天然气产生的CO₂排放、中央空调制冷剂损耗产生的氯氟烃（CFCs）排放、以及植物碳汇；范围2，能源使用排放——大楼用电在生产过程产生的排放；范围3，其它间接排放——楼内垃圾（餐厅餐厨垃圾、办公与生活垃圾）处理产生的甲烷排放、供水与污水在处理过程中耗用电力的碳排放、以及雇员公务旅行与上下班交通碳排放。通过信息收集、现场访谈、问卷调查及典型企业调研等方式收集了调查对象2010年相关活动水平数据。温室气体排放测算所涉及的电力供应、交通运输、供水及污水处理、垃圾处理以及绿化碳汇等排放因子均为上海市环境科学研究院低碳经济研究中心研究得出的上海本地特征因子。

3 研究结论

3.1 碳排放总量与结构

本研究以上海市一处典型现代化高层办公建筑为对象，总建筑面积98269m²，入驻企业116家，入驻率近100%，办公总人数约5000人，大楼周边绿化面积约2500m²。该建筑2010年能耗总量（包括建筑用电与餐厅用天然气）为5901.7tce，碳排放总量为15785.0t CO_{2e}。这一水平比2009年略有下降，一定程度上是得益于物业管理公司实施的节能改造（电梯改造、照明改造、玻璃贴膜等）、运营管理能力提升、及针对企业开展的节能宣传等。大楼周边绿地产生的碳汇量约为3.7t CO_{2e}/a，仅占总排放量的0.02%。

在2010年该建筑碳排放总量中，范围1直接排放（即餐厅天然气消耗、空调制冷剂损耗等）占0.3%，范围2间接排放（建筑所使用电力在生产过程产生的排放）占85.2%，范围3其它间接排放（餐厨垃圾堆肥和其它垃圾填埋过程产生的甲烷排放、供水处理和污水处理过程中耗用电量产生的碳排放、雇员公务出行及上下班交通出行引起的排放等）占14.5%。

温室气体排放的各具体来源详见图1。入驻企业用电产生的碳排放占全楼碳排放总量77.2%；其次为员工

上下班交通和公务出行，占 11.8%；公共区域的中央空调、电梯、照明、水泵用电等占 7.9%；垃圾处理产生的间接碳排放约占 2.2%。大楼内除中央空调和企业自装空调外无其它采暖设施。

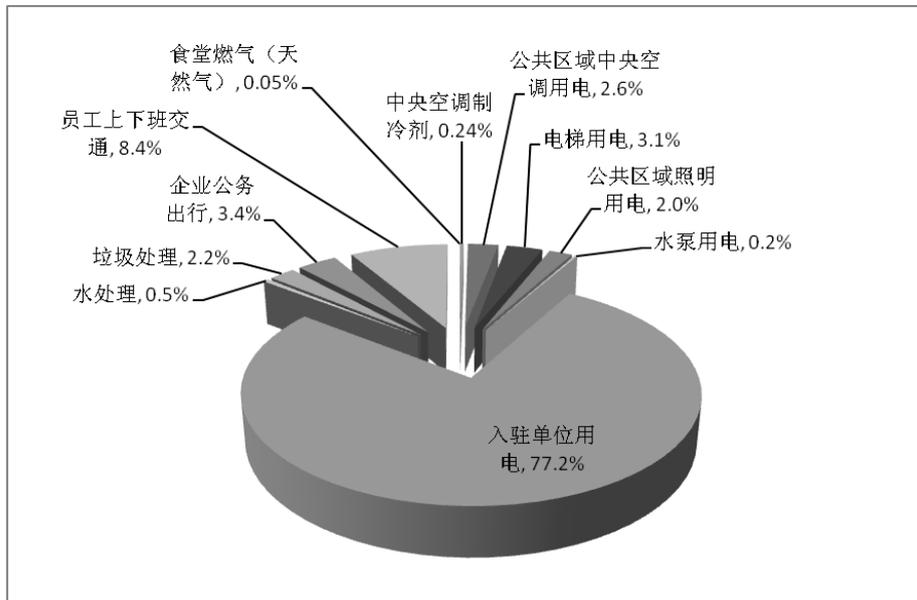


图 1 2010 年建筑碳排放结构

本建筑 2010 年单位建筑面积能耗为 $60.1 \text{ kgce}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，碳排放水平为 $160.6 \text{ kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，均高于上海市公共建筑平均水平（分别约为 $50.0 \text{ kgce}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 和 $115.6 \text{ kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ）^[10]。一个首要原因是本建筑设计时间与竣工时间较早（一期工程 2001 年竣工），当时虽已基本实现了使用功能的现代化，但由于节能标准较低，因此在围护结构的保温隔热等方面未充分考虑、存在“先天不足”。另外值得一提的是，除了少数有特殊办公设备的企业（后文有详述），其它企业的单位面积能耗及碳排放水平仅为 $21.0 \text{ kgce}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 和 $48.4 \text{ kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，远低于全市平均水平。

3.2 碳排放特征分析

3.2.1 公共区域与企业自有办公区域对比

经对比，大楼内企业自有办公区域单位面积能耗与碳排放明显高于公共区域（见表 1），主要是企业的工作时间及各类办公电器使用所致。

表 1 公共区域与企业办公区域单位面积直接能耗及相应碳排放

	公共区域	企业自有办公区域
单位面积能耗 ($\text{kgce}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)	39.9	63.3
单位面积能耗产生的碳排放 ($\text{kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)	98.1	155.6

注：此处为建筑直接能耗，仅包括用电和食堂燃气，不包括水处理、垃圾处理、员工出行等能耗。

通过对使用大楼中央空调的企业与自装分体式空调的企业进行进一步对比，发现自装空调企业的单位面

积空调用电量和碳排放均略高于使用大楼中央空调的企业，但单位面积空调用电成本低于后者（使用大楼中央空调的企业所缴空调费为7元/m²·月），见表2。表明大楼通过中央空调向企业提供制冷的效率更高，但收费也更高。

表2 使用大楼中央空调的企业与自装空调企业对比

能耗及碳排放对比	单位面积空调用电量 (kwh/m ² ·a)	单位面积空调电费成本 (元/m ² ·a)	单位面积空调用电相关碳排放 (kg CO _{2-e} /m ² ·a)
使用大楼中央空调的企业 (抽样33家)	31.4	56.0	22.0
自装空调的企业(抽样14家)	36.6	39.1	25.6

3.2.2 不同类型企业对比

入驻企业抽样调查（共抽样29家企业，较均匀地覆盖楼内8类典型行业）结果显示，尽管楼内企业均为服务型功能，但不同类型企业能耗与碳排放水平仍然差距明显（图2）。按单位面积能耗或碳排放由高到低依次为电子产品、信息通信技术、金融证券、咨询服务、医药科技、航天技术、房地产、投资贸易。其中电子产品、医药科技等企业在本建筑内均为企业总部或从事销售等服务，并非从事生产加工。排在前两位的电子产品类企业和信息通信技术类企业单位面积碳排放量分别达到111.2 kg CO_{2-e}/m²·a和71.2 kg CO_{2-e}/m²·a，大约是投资贸易类企业的6.7和4.3倍。

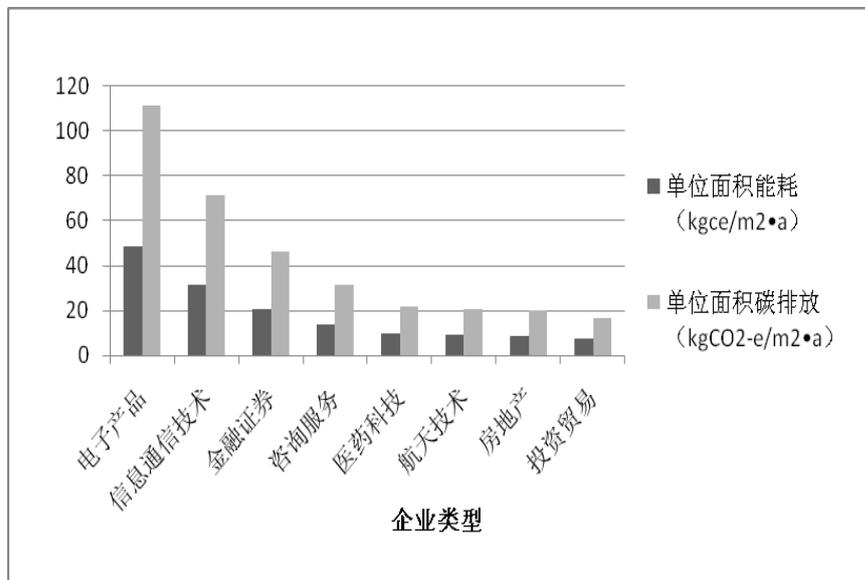


图2 不同类型企业能耗与碳排放水平

3.2.3 典型办公设备使用的影响

(1) 主要办公电器碳排放分析

针对碳排放比重最大的入驻企业用电部分，我们对29家抽样企业电器拥有和使用情况进行了调查分析。除部分企业有个别24小时常开的服务器、空调等外，其它企业办公电器的工作日使用时间根据《公共建筑节能

能设计标准》的典型逐时使用率表折算^[11]。分析得到入驻企业主要办公电器碳排放比例（即用电量比例），见图3。碳排放比重从高到低依次为自装空调、电脑、照明、饮水机、打印复印传真一体机、复印机、外接插座、打印机、办公电话和传真机。个别企业有冰箱、电话交换机等电器，在全楼总用电量中所占比重很小。

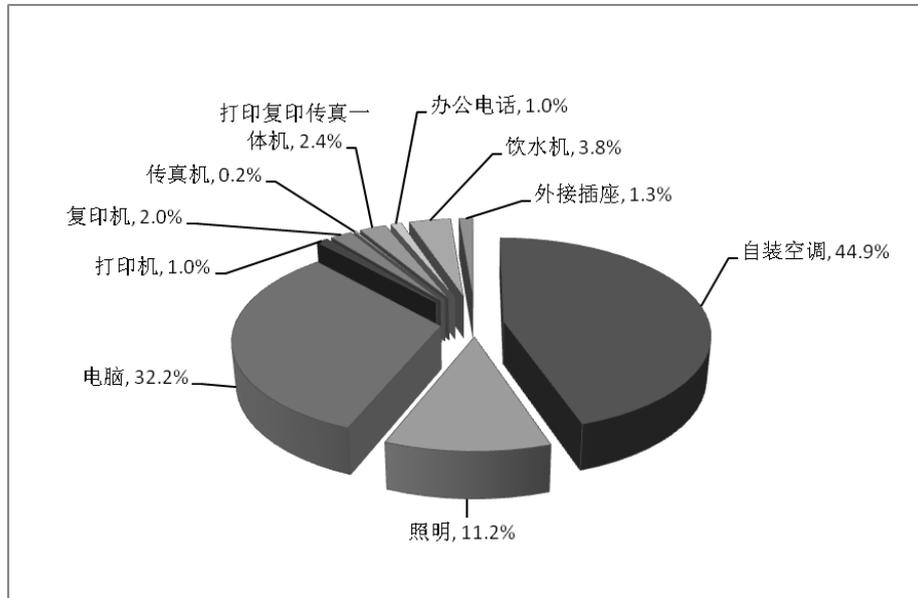


图3 主要办公电器碳排放比例（即用电量比例）

空调碳排放的较高比重在现代建筑属典型现象，但本建筑空调使用习惯不够节能，尚有较大的碳减排潜力。国家《公共建筑节能设计标准》^[11]规定办公建筑的一般房间空调设定温度标准为夏季不低于25℃，冬季不高于20℃；《上海市工程建设规范-公共建筑节能设计标准》^[12]也规定办公建筑空调设定温度夏季不低于24-26℃，冬季不高于20-22℃。而本研究抽样调查结果显示，夏季空调设定温度基本略低于25℃，平均为24.7±2.5℃；冬季设定温度则普遍远高于20℃，平均为25.8±1.6℃；绝大多数企业冬季使用空调，且19%的受访企业表示全年使用空调。此外，造成空调能耗较高的另一大原因是门窗隔热功能未充分发挥。在走访企业过程中（盛夏季节），较多企业窗户的卷帘并未放下进行遮阳，可直接导致企业夏季室内温度较快提升；大楼在中央空调运行的情况下，大门及侧门保持敞开，自动门功能也被闭锁，未充分发挥作用。

（2）特殊办公设备使用的影响

在抽样企业中，有两家信息技术企业由于有连续运行的服务器，单位面积用电水平平均位居前列。通过多元线性回归分析模型可以进一步证明服务器运行对企业用电量的显著影响。首先，抽样企业用电量主要与建筑面积呈线性相关关系，其相关性系数（ R^2 ）值为0.89；但若在建筑面积的基础上引入企业服务器功率为另一项自变量，进行多元线性回归分析， R^2 值可达0.995，建筑面积的P值=5.4*10⁻¹⁰（<0.05，表明相关性显著），服务器功率的P值=2.4*10⁻¹⁴（<0.05，表明相关性显著）。回归方程为：

$$\text{企业用电量 (kwh/a)} = 73.9 (\text{kwh/m}^2 \cdot \text{a}) * \text{建筑面积 (m}^2) + 5685.1 (\text{h/a}) * \text{服务器功率 (KW)}$$

该模型的模拟结果意味着，除服务器以外，抽样企业的电器平均能耗水平仅为73.9kwh/m²·a，而几家有服务器的企业则相当于服务器每天满负荷运行15.6小时或以65%负荷不间断运行。该模型的模拟值与实际值吻合程度很高，见图4。

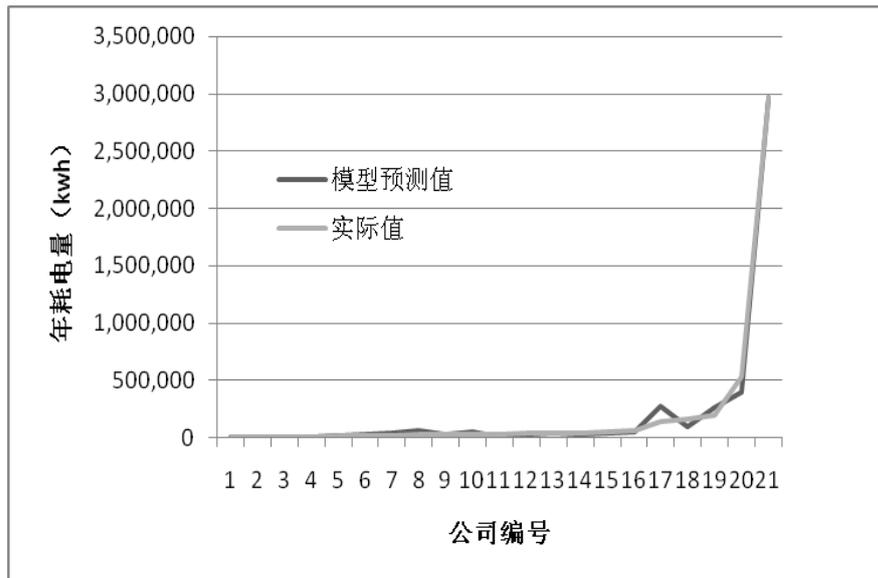


图 4 基于建筑面积和服务器功率的企业用电量模型计算结果

此外，服务器长期运行还造成相配套的空调能耗提升问题。上述两家企业中，其中一家服务器总功率达 350KW，大部分为连续运行，为保证服务器温度，部分自装空调也需连续运行，服务器及空调的耗电量占公司耗电量的绝大部分。另一家企业本身有中央空调，但在放置服务器的房间另配备了 3 台连续运行的壁挂式空调，且该房间面积约 40-50m²，而服务器占地仅约 2-3m²，形成了较大的浪费。针对这一情况，建议对建筑使用空间进行合理设计，采取必要的隔断或加强保温隔热措施。

(3) 电器待机功耗不容忽视

经初步测算，本建筑内企业各类电器待机功耗占全楼总用电量比例达到约 9.2% (表 3)。尤其是目前办公建筑内普遍使用的饮水机，如果下班后没有关掉电源，则在非工作时间造成的待机耗电与碳排放十分严重。降低待机功耗的方案包括：鼓励员工每日下班拔掉插头、关闭插座开关、或关闭电源总开关；安装智能节电插座或定时开关机控制器等。

表 3 企业电器待机功耗情况

电器	待机功耗占该电器全年总功耗比例 (%)	待机耗电量占全楼总用电量比例 (%)
自装空调	2.9%	1.0%
电脑	4.6%	1.6%
打印机	30.4%	0.3%
复印机	84.8%	1.7%
传真机	94.2%	0.2%
打印复印传真一体机	40.0%	0.9%
饮水机	92.8%	3.5%
合计	-	9.2%

4 总结与建议

为进一步降低办公建筑的能耗与碳排放水平，该建筑业主已通过推进节能电梯改造、节能照明改造等项目实施取得了一定成效，但全面开展建筑围护结构的节能改造难度较大，建议可从实施较容易、投资回收周期较短的项目（如门窗改造）入手。与此同时，更为重要、也更具碳减排潜力的环节在于建筑运营管理的优化。本研究显示，入驻企业、尤其是能耗支出占营业收入比例较低的企业对办公场所的节能减排重视不足，造成部分用能系统存在一定的无效运行时间和空间。针对建筑运营过程中的碳排放问题，一方面可通过引进太阳能光伏、地源热泵、分布式供能等手段使能源供应更加高效、低碳，另一方面还应注重优化物业公司及入驻企业的能源运行管理，逐步实现建筑能耗的分项计量、在线监测、动态分析和节能运行调节。同时，应加强低碳宣传与培训，积极引导企业、员工行为方式转变，尽可能降低建筑系统的能耗与碳排放水平。

在本研究基础上，建议进一步完善公共建筑能耗与碳排放相关数据信息的监测、收集、审计机制，扩大建筑碳审计范围，将碳审计深入化、长效化、制度化，适当披露不同企业的碳排放信息，并辅以有利于碳减排的奖惩机制，如此才能真正发挥建筑碳审计的积极作用。

参考文献：

- [1] 韩启德，在低碳经济与绿色建筑产业发展高峰论坛上的发言，摘自牛文元《中国新型城市化报告 2010》，科学出版社，2010 年，193 页
- [2] 周振华，创新驱动、转型发展——2010/2011 年上海发展报告，格致出版社，2011 年，173 页
- [3] 世界资源研究所、世界可持续发展工商理事会，温室气体议定书：企业核算与报告准则（GHG Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard），2004 年
- [4] 刘少瑜、苟中华、巴哈鲁丁，建筑物温室气体排放审计——香港建筑物碳审计指引介绍，中国能源，2009，31（6）：30-33
- [5] 国家发展与改革委员会，1994 年中国温室气体清单，2007 年
- [6] 上海环境科学研究院低碳经济研究中心相关研究成果，2010-2011 年
- [7] 英国环境、食品和农业事务部数据，<http://www.defra.gov.uk/environment/economy/>
- [8] 张力、张善发，城市污水处理厂节能的技术对策，上海水务，2003，19（2）：18-23
- [9] Refrigerants - Environment Properties.
http://www.engineeringtoolbox.com/Refrigerants-Environment-Properties-d_1220.html. Accessed Nov 28, 2011
- [10] 马昱文、陈众励，上海地区既有公共建筑节能改造可行性分析，智能建筑与城市信息，2008，4：33-34
- [11] 建设部、质量监督检验检疫总局，公共建筑节能设计标准（GB50189-2005），2005 年
- [12] 上海市建委，上海市工程建设规范-公共建筑节能设计标准，2003 年