



利用合同能源管理模式 推动既有建筑节能改造 政策研究

Existing building energy saving retrofit policy
research driven by contract energy
management (CEM)

2013.8.15

项目信息

项目资助号: G1206-16260
Grant Number: G1206-16260

项目期: (6/1/12 - 5/31/13)
Grant period: (6/1/12 - 5/31/13)

所属领域: 建筑
Sector: Buildings

项目概述:

本项目在旅游宾馆、医院、办公、商场、学校、工业建筑设施中开展合同能源管理的示范项目研究, 分析包含各类不同业态楼宇的节能改造案例的成功因素, 及其在合同能源管理模式中进行节能量测量与验证时仍然存在的困难、问题和障碍, 进而研究解决问题的方法, 为政府部门制定相关政策提供建议。本项目还重点研究了基于案例法制定建筑节能项目节能量检测与验证的方法, 并对新建大型楼宇采用合同能源管理以及公共机构楼宇节能服务外包模式的可行性进行研究。

Project Description

This project aims to study on M&V method of energy savings in CEM projects so as to enhance the improvement of relative standards, regulations and policies in Shanghai. It also aims to investigate the benefits sharing mode in large public building CEM projects and to share experience in Shanghai and other cities via training and workshops.

项目成员: 潘毅群、黄治钟、田柏秋、王永龙、吴刚、左明明、魏玉剑、屠利德、曹丽萍、陈晓清、周鑫丽、赵红云

Project team: PAN Yiqun (PI), HUANG Zhizhong, WU Gang, TIAN Baiqiu, ZUO Mingming, WEI Yujian, TU Lide, CAO Liping, CHEN Xiaoqing, ZHOU Xinli, ZHAO Hongyun

关键词: 合同能源管理, 建筑节能改造, 节能量测量与验证, 示范项目, 节能服务外包

Key Word: contract energy management (CEM), building energy saving retrofitting, measurement and verification (M&V) for energy savings, best practice, energy services outsourcing

本报告由能源基金会资助。
报告内容不代表能源基金会观点。

This report is funded by Energy Foundation.
It does not represent the views of Energy Foundation.

摘 要

市场化环境下产生的节能机制——合同能源管理是目前提高既有建筑能源利用效率，达到节能目的的主要方式之一，亦称“合同能源管理服务”。这类服务的商业模式是通过用能单位与专营合同能源管理服务的节能服务公司 ESCO（或称“能源服务公司”）之间签订能源绩效合同，以改造后用能单位减少的能源费用来支付节能改造的服务费用，在达到建筑节能目的的同时获得多赢的效果。

近年来，我国逐步加大对节能服务业发展的支持，国家和各地都出台了一系列扶持和规范节能服务产业的政策，我国节能服务产业得到迅猛发展。至 2011 年，我国节能服务产业产值达到 1250 亿元，全国从事节能服务业务的公司数量近 3900 家，其中实施过合同能源管理项目的 ESCO 公司 1472 家。

然而我国合同能源管理刚刚起步不久，在实际推广过程中仍然存在着各种技术性和非技术性的障碍。在一系列障碍中，如何科学合理、公平客观地验证改造所产生的节能量是我国合同能源管理推广困难的核心问题之一；从技术角度看，如何在外界条件改变时确定合理的基准能耗又是节能量验证的核心问题。这些都是当前 ESCO 公司和用能单位就合同能源管理项目沟通、谈判、和实施过程中最耗费时间、精力且最容易引起纷争的环节之一。

而在合同能源管理起源的美国，通用的测量与验证(M&V)标准和协议为节能效果的测量与验证提供了坚实的基础。除了大家耳熟能详的 IPMVP-2002，美国能源部早在 2000 年就编制了《联邦政府节能项目验证和测试指南》(Measurement & Verification for Federal Energy Projects)，ASHRAE 则编制了更为详尽的《节能效果测试方法指导》(ASHRAE Guideline 14-2002)，这些详细的技术指导手册对如何确定基准能耗做了科学和详尽的阐述，为美国 ESCO 公司和用能单位提供了标准的技术平台。

虽然美国这些标准都具备了扎实的技术基础，非常值得参考和借鉴，但它们仍然无法在我国实际的合同能源管理项目中广泛应用。原因很简单，首先中美两国既有建筑的客观条件有着非常大的差异。能耗基准是节能量验证中的根本和核心，上述 3 本美国标准或指南对于能耗基准的建立均依赖于大量的能耗和影响能耗的历史运行数据，尤其是分表计量的能耗数据。而我国的既有建筑，由于过去建造和管理的原因，往往缺失甚至完全没有有效的能耗数据和运行数据。分表计量也只是近一、两年开始安装实施，绝大多数既有建筑，无论是商业楼宇还是工业设施，根本不具备分表计量条件和历史记录。其次，节能量测量与验证方法的理论基础具有较高的技术含量（譬如由于改造前直接影响能耗的环境和外界条件的不可复制性而使基准能耗需为独立变量的函数），本身就不易理解。而上述美国标准，尤其是 ASHRAE Guideline 14，过于理论和技术化，且缺少案例来说明，这使我国合同能源管理的从业者们在实际项目中很难理解和操作测量与验证的必要步骤和详细过程。

近年来，我国也开始尝试制定和编写节能量的测量与验证的标准或指南，例如《节能量测量与验证技术通则》(GB/T 28750-2012)（简称《通则》）、《公共建筑节能改造技术规范》(JGJ 176—2009)等。《通则》对节能量测量与验证等相关概念做出了科学定义，并给出了计算方法、原则、内容和技术要

求等，对于我国节能改造项目节能量的核算具有很大的指导作用。但是这本《通则》并没有提供合同能管理项目的实际案例和操作细节，具体的合同能源管理项目的节能量核算仍然会有一定的困难。

本项目围绕合同能源管理模式下既有建筑节能改造中的节能量测量与验证问题，基于《通则》，借鉴国外相关标准和导则（IPMVP，ASHRAE Guideline14 等），研究和提出适合我国国情的节能量测量与验证方法，并针对每种方法给出详细案例。本项目在旅游宾馆、医院、办公、商场、学校、工业建筑设施中开展合同能源管理的示范项目研究，分析包含各类不同业态楼宇的节能改造案例的成功因素，及其在合同能源管理模式中进行节能量测量与验证时仍然存在的困难、问题和障碍，进而研究解决问题的方法，为政府部门制定相关政策提供建议。本项目还对新建大型楼宇采用合同能源管理以及公共机构楼宇节能服务外包模式的可行性进行了研究。

项目报告分为三个部分，第一部分“既有建筑节能改造中的节能量测量与验证方法”以导则形式编写，规定了符合我国实际情况的节能量测量与验证方法，并给出大量实际案例与相关数据；第二部分“公共建筑合同能源管理服务示范项目汇编”汇编了 11 个已完成的公共建筑合同能源管理服务的示范项目，这些项目均位于上海，有办公楼、商场、医院、火车站、酒店等，有单项技术改造，也有综合改造；第三部分“公共机构能源管理外包模式研究”总结了公共机构能源管理的特点和模式，以实际案例对公共机构能源管理外包进行了实证分析。

Summary

Contract energy management (CEM), also known as energy performance contracting (EPC), is a market-oriented energy saving mechanism to promote energy efficient retrofit for existing buildings. This full-service business mode use energy performance contracts to finance CEM projects, which offers energy service companies (ESCOs) and client a win-win situation.

In recent years, China state and local governments have staged a series of standards, regulations and policies for the promotion of CEM, which gives ESCO industry a chance to develop rapidly. The CEM output value reached 1250 billion by 2011 in china. And there were nearly 3900 energy service companies established till 2011, among which 1472 companies having experiences in implementing a CEM project.

However, CEM industry is still in the preliminary stage in china, and all sorts of technical issues have been increasingly prominent. Establishing baseline energy consumption is the most critical step in M&V method, and M&V method of energy saving is one core issue in CEM projects. These are the main barriers to develop CEM mechanism and the most time-consuming and difficult aspect of a successful CEM project.

CEM originated in U.S. and became one of the core business activities in U.S. ESCO industry. General standards that build technology platform for ESCOs and clients are IPMVP-2002, FEMP (Measurement & Verification for Federal Energy Projects, USDOE in 2000) and Guideline 14-2002 which discusses M&V method in more detail.

Although these standards have been widely used in U.S., they are not perfect when expanded to china because of the characteristic of Chinese existing buildings and other factors. The above three standards depend on large amounts of historical energy consumption data, especially the sub-energy consumption data. While most Chinese existing buildings didn't install sub-metering device and lack sub-energy consumption data. Moreover, the complexity and indigestibility of these standards, particularly ASHRAE Guideline 14, bring Chinese CEM engineers back to the challenge of implementing CEM projects when the specific steps and process introduced in the standards are difficult to comprehend.

China has tried to compile several guides and codes of M&V method recently, such as <General technical rules for measurement and verification of energy savings> (GB/T 28750-2012) and <Technical code for the retrofitting of public building on energy efficiency>(JGJ 176 — 2009). GB/T 28750-2012 raises definitions of related concepts and its features from the aspect of energy saving calculation, which gives guidance to Chinese CEM projects. But Chinese CEM engineers encounter the same problem when using this rule because it lacks real CEM project cases and details on "how-to".

This project aims to study on M&V method of energy savings in CEM projects so as to enhance the improvement of relative standards, regulations and policies in Shanghai based on case studies, referring to IPMVP and ASHRAE Guideline 14. It also aims to investigate the benefits sharing mode in large public building CEM projects and to share experience in Shanghai and other cities via training and workshops.

This project includes three parts. First, measurement and verification method for energy savings will be studied and ***Measurement and Verification Guideline for Energy Savings of Whole-Building Retrofit Projects (Trial)*** will be compiled based on case studies, in the framework of ***General Rules of Energy Savings Measurement and Verification***. Second, the experience of CEM in public buildings in Shanghai will be summarized and ***Best Practices – CEM of 11 Public Buildings*** will be compiled. Third, recommendations of energy management outsourcing for public buildings will be given in accordance with the various energy use characteristics and facility management modes of government offices, education, health care, sports, research and culture facilities.

目 录

第一部分：既有建筑节能改造中节能量的测量与验证方法	10
1 术语	11
2 节能量测量与验证方法	13
2.1 基本概念和方法	13
2.2 方法 A：部分变量测量，改造部分隔离	19
2.3 方法 B：全部变量测量，改造部分隔离	21
2.4 方法 C：全楼宇验证	25
2.5 方法 D：校验模拟验证	27
附录 A：案例	31
方法 A 案例 1——风机变频改造	31
1. 工程概况	31
2. 改造内容及特点分析	31
3. 测量验证方案和计划	31
4. 测量与验证结果分析	32
5. 案例小结	33
方法 A 案例 2——照明灯具替换	34
1. 工程概况	34
2. 改造内容及特点分析	34
3. 测量验证方案和计划	34
4. 测量与验证结果分析	35
5. 案例小结	36
方法 A 案例 3——空气源热泵替换燃油锅炉	37
1. 工程概况	37
2. 改造内容及特点分析	37
3. 测量验证方案和计划	37
4. 测量与验证结果分析	38
5. 案例小结	38
方法 A 案例 4——热回收	39
1. 工程概况	39
2. 改造内容及特点分析	39
3. 测量验证方案和计划	39
4. 测量与验证结果分析	40

5. 案例小结	40
方法 B 案例 1——水泵变频	40
1. 工程概况	41
2. 改造内容及特点分析	41
3. 测量验证方案和计划	41
4. 测量与验证结果分析	43
5. 案例小结	43
方法 B 案例 2——离心式冷水机组替换螺杆式冷水机组	44
1. 工程概况	44
2. 改造内容及特点分析	44
3. 测量验证方案和计划	44
4. 测量与验证结果分析	46
5. 案例小结	47
方法 B 案例 3——冷冻机房整体改造	48
1. 工程概况	48
2. 改造内容及特点分析	48
3. 测量验证方案和计划	48
4. 测量与验证结果分析	51
5. 案例小结	51
方法 C 案例——全建筑照明+空调系统改造	53
1. 工程概况	53
2. 测量与验证方案	53
3. 测量与验证结果分析	53
4. 案例小结	58
方法 D 案例——某五星级酒店全建筑模拟	59
1. 工程概况	59
2. 测量与验证方案	59
3. 测量与验证结果分析	62
4. 案例小结	63
附录 B：不确定性的统计方法	64
附录 C：回归模型	66
附录 D：独立变量	68
第二部分：上海市公共建筑合同能源管理服务示范项目汇编	70
示范项目 1：宝山钢铁股份有限公司厂区道路照明改造	71

1. 项目背景	71
2. 前期评估及成本分析	71
3. 项目合同签署	72
4. 改造方案及实施	72
5. 项目实施效果	73
示范项目 2: 东方航空宾馆采用余热回收节能冷热源系统改造	74
1. 项目背景	74
2. 前期评估及成本分析	74
3. 项目合同签署	74
4. 改造方案及实施	74
5. 项目实施效果	75
示范项目 3: 黄浦区人民政府机关办公大楼公共区域照明系统、净水电加热饮水机节能改造	77
1. 项目背景	77
2. 前期评估及成本分析	77
3. 项目合同签署	78
4. 改造方案及实施	78
5. 项目实施效果	79
示范项目 4: 静安区中心医院中央空调及生活热水系统节能改造	81
1. 项目背景	81
2. 前期评估及成本分析	82
3. 项目合同签署	83
4. 改造方案及实施	83
5. 项目实施效果	84
示范项目 5: 仁济医院东院合同能源管理项目	85
1. 项目背景	85
2. 前期评估及成本分析	85
3. 项目合同签署	85
4. 改造方案及实施	86
5. 项目实施效果	86
示范项目 6: 上海百联中环购物广场 B 区空调箱风机节能改造	90
1. 项目背景	90
2. 前期评估及成本分析	90
3. 项目合同签署	92
4. 改造方案及实施	92

5. 项目实施效果	93
示范项目 7: 上海华联吉买盛购物中心有限公司彭浦店照明系统节能改造	94
1. 项目背景	94
2. 前期评估及成本分析	94
3. 项目合同签署	95
4. 改造方案及实施	95
5. 项目实施效果	96
示范项目 8: 上海火车站扶梯管理控制系统节能改造	97
1. 项目背景	97
2. 前期评估及成本分析	97
3. 项目合同签署	97
4. 改造方案及实施	97
5. 项目实施效果	97
示范项目 9: 上海市伊泰利大厦 1 号楼空调系统节能改造	99
1. 项目背景	99
2. 前期评估及成本分析	99
3. 项目合同签署	99
4. 改造方案及实施	100
5. 项目实施效果	101
示范项目 10: 上海王宝和大酒店有限公司综合节能改造合同能源管理项目	102
1. 项目背景	102
2. 前期评估及成本分析	102
3. 项目合同签署	103
4. 改造方案及实施	103
5. 项目实施效果	105
示范项目 11: 豫园商城中央空调系统节能优化改造（一、二期）	107
1. 项目背景	107
3. 项目合同签署	109
5. 项目实施效果	110
第三部分：公共机构能源管理外包模式研究	112
一、公共机构能源管理概述	113
（一）背景及意义	113
（二）公共机构分类及用能特点	114
（三）公共机构能源管理现状及存在的问题	115
（四）小结：服务外包是公共机构能源管理的发展方向	116

二、能源管理服务外包模式研究综述	118
（一）国外相关研究	118
（二）国内相关研究	118
（三）研究述评	119
三、公共机构能源管理服务外包模式分析	120
（一）能源管理服务外包模式的分类	120
（二）能源管理服务外包模式比较分析	123
（三）合同能源管理型服务外包模式实证分析	123
四、公共机构能源管理服务外包操作规范	128
（一）能源管理服务外包模式选择的一般原则	128
（二）能源审计	128
（三）合同能源管理型服务外包实施流程及要求	129
五、几点政策建议	137
（一）改革财政预算体制	137
（二）加强基础能力建设，建立公共机构能源计量、统计和监测体系	137
（三）颁布公共机构能源管理服务外包操作规范	137
（四）进一步强化公共机构能源管理服务市场的准入机制	137
（五）公共机构节能绩效纳入领导考核	138
（六）完善多层次融资担保体系	138
参考文献	139

第一部分：既有建筑节能改造中 节能量的测量与验证方法

1 术语

1.0.1 改造前能耗 Energy use

在节能改造前独立变量条件下，节能改造前改造范围内的能耗。改造范围可以是可被隔离的设备、系统，也可以是实施全面改造的整个建筑。

1.0.2 当前能耗 Post-retrofit energy use

在节能改造后独立变量条件下，节能改造后改造范围内的能耗。改造范围可以是可被隔离的设备、系统，也可以是实施全面改造的整个建筑。

1.0.3 基准能耗 Baseline energy use

基准能耗是在节能改造后独立变量条件下，节能改造前改造范围内的能耗。改造范围可以是可被隔离的设备、系统，也可以是实施全面改造的整个建筑。

条文说明 1.0.3

由于改造前和改造后系统或设备分别在不同的独立变量下运行，为了与改造后得到的能耗数据进行比较，就需要对改造前能耗进行调整，得到与改造后的独立变量条件相对应的能耗数据，也就是基准能耗。

1.0.4 节能量 Energy saving

基准能耗和当前能耗的差值，即节能量=基准能耗量-当前能耗量。

1.0.5 独立变量 Independent variables

建筑用能系统中影响能耗但与改造范围内系统或设备无关的变量，称为独立变量。典型的独立变量包括天气参数、入住率、工业品生产率和产值，运行时间等。

1.0.6 运行条件变化

建筑用能系统影响能耗的相关变量，除了独立变量之外，还包括建筑物及设备系统在节能改造前后进行的房屋改建、使用功能变化、设备增减等情况。运行条件变化与节能改造无关，但同样会造成建筑物能耗的变化。

1.0.7 相似日 Similar day

用于分别测量改造前后用能量的两个或多个测试日，其中一天或几天的能耗代表基准能耗，另一天或几天代表改造后能耗，相似日的独立变量值相近。

说明

相似日除用于能耗的测量外，也可用于效率的测量。当改造所涉及的设备或系统的节能量，可以直接通过设备或系统能耗变化体现时，则可仅通过对比相似日的能耗来计算节能量；当改造所涉及设备或系统的节能量受到除能耗外其他与改造措施无关的因素，如产量或负荷等影响时，则可以通过测量设备的效率，如单位产能的用能变化或单位负荷的用能变化，来反映改造前后效率的提升，以此作为节能量的确定依据。

对特定的项目进行相似日比较时，必须遵循以下几个要求：

根据项目所涉及的工艺流程或运行特点，列出所有可能影响该项目用能变化的独立变量，如产量、室外天气等，并根据所选取的独立变量对运行能耗的影响大小和方式，确定作为相似日选取依据的独立变量。

在进行相似日的挑选时，必须选择相关独立变量最接近的运行日。当无法找到满足条件的相似日时，独立变量允许的偏差可由双方自行约定。附录 D 中表 2 给出了相似日测试法可能会涉及的相关独立变量建议值。

1.0.8 改造隔离 Retrofit isolation

为了单独区分将被节能改造的设备或系统的能耗，而将其与建筑中其他未被改造的设备或系统的能耗进行隔离。

1.0.9 回归模型 Regression model

根据测量结果或已知数据，用回归分析的方法，建立一个变量关于另一个（些）变量的具体依赖关系，用以预测未知但符合函数关系的变量。

说明

典型的回归模型为根据已知独立变量和能耗建立的函数关系，以预测未知的能耗情况。回归模型具有不确定性，这是由于模型误差、采样误差和偶然误差的存在，对测量或计算值不能肯定的程度。

表 1-1 回归模型不确定性判断标准

独立变量个数	检验指标
单一独立变量	$R^2 \geq 0.8$
多个独立变量	$R^2 \geq 0.8$ （用于计算 R^2 的各个独立变量，必须通过显著性检验，标准为 $F \geq 30$ ， $Sig < 0.05$ ）

关于回归模型的详细说明见附录 C。

1.0.10 能耗模型 Energy model

用能耗模拟软件建立的包含建筑几何形状、围护结构和内部负荷（照明、设备、人员），以及空调系统、运行时间和天气参数的建筑逐时能耗模型。

说明

能耗模型建立在相关的数学、物理模型基础之上，用以预测各种节能措施和运行条件下的建筑能耗。每一个完整的能耗模型都对应于一个特定的建筑。能耗模型的误差称为模型误差，它是指由于建模人员的失误、不规范的数据获取途径、对输入参数进行不恰当的简化和假设、模拟软件本身的缺陷等原因所造成的能耗模拟计算数据与实际能耗数据之间的偏差。

1.0.11 合同能源管理 Energy management contract

合同能源管理是一种市场化节能机制，它以通过节能改造所节省的能源费用来支付节能改造项目的全部成本。

1.0.12 月累积室外温度 Monthly cumulated outdoor temperature

月累计室外温度是指一个自然月中，逐时室外空气温度的累加值，该温度可以用来表征当月天气对空调负荷等的影响。

2 节能量测量与验证方法

2.1 基本概念和方法

2.1.1 节能量的验证计算须通过下式来确定：

$$E_{\text{节约}} = E_{\text{基准}} - E_{\text{当前}} \quad (2-1)$$

式中：

$E_{\text{节约}}$ ——节能量；

$E_{\text{基准}}$ ——基准能耗，即改造后独立变量条件下，反映节能改造前改造范围内的能耗，或经过调整后的改造前能耗；

$E_{\text{当前}}$ ——当前能耗，即改造后能耗；

以下条文 2.1.1.1 至 2.1.1.3 分别阐述了不同能耗和独立变量历史数据条件下确定基准能耗的方法。

说明

节能量的评价和计算必须严格按照公式（2-1）进行，计算过程中，应把基准能耗 $E_{\text{基准}}$ 与改造前能耗区分开来。由于改造前后的运行条件和独立变量是不同的，基准能耗一般不能简单地用改造前的能源账单数据表示。基准能耗 $E_{\text{基准}}$ 应是关于天气参数、运行时间、运行负荷等变量的函数，而非一个绝对数值。

表 2-1 确定不同能耗和独立变量历史数据条件下基准能耗的方法

项目条件	基准能耗确定	条文
当改造前后分表计量能耗数据和独立变量历史记录完整	通过建立回归模型的方法	2.1.1.1
当改造前后分表计量能耗数据完整，但独立变量数据部分或完全缺失的	通过约定独立变量、建立回归模型的方法	2.1.1.2
当改造前分表计量能耗数据完全或部分缺失时	相似日测量法	2.1.1.3

2.1.1.1 当改造前分表计量能耗和独立变量历史记录完整，可通过建立回归模型来确定基准能耗。

说明

最理想的情况下，当改造部分的改造前分表计量（或全楼宇）历史数据和运行记录完备，可利用改造前分表计量（或全楼宇）能耗数据和改造前相关独立变量建立能耗关于独立变量的基准能耗函数，代入改造后的独立变量，得到基准能耗值。例如，某酒店建筑在进行冷冻机房节能改造前，具有完整的冷冻机房分表计量数据、客房率及逐月的平均温度，利用这些数据可以回归出该酒店改造前分表计量能耗与客房率及月平均温度的关系，即 $E=f(\text{月出租率}, \text{月平均温度})$ ，在该函数关系基础上代入改造后实际的出租率及月平均温度就可以得到改造后当月各独立变量所对应的基准能耗。

例如：某五星级大酒店具有 2008~2011 年的气象、客房率及冷冻机房的用电量记录，数据如表 2-2 所示。

表 2-2 某酒店近四年的能耗记录

年份	月份	月平均气温	客房率%	冷冻机房用电量 (kWh)
2008 年	4 月	16.1	61.57	182,478
	5 月	21.8	53.92	503,586
	6 月	24.2	54.11	709,354
	7 月	30.4	42.59	1,147,882
	8 月	28.6	36.05	1,059,375
	9 月	26.0	50.35	787,030
	10 月	21.0	67.09	608,675
	11 月	13.3	59.36	213,279
2009 年	4 月	16.7	52.94	221,994
	5 月	22.5	40.99	519,968
	6 月	26.4	60.28	816,414
	7 月	29.0	68.06	1,097,920
	8 月	28.1	50.02	936,672
	9 月	25.4	60.53	742,093
	10 月	21.4	64.47	542,641
	11 月	12.4	66.77	203,677
2010 年	5 月	20.9	78.3	544,617
	6 月	24.1	81.6	761,678
	7 月	28.8	80.3	1,243,736
	8 月	30.9	73.8	1,395,075
	9 月	26.2	80.9	1,309,700
	10 月	19.3	76.9	397,494
	11 月	14.2	69.6	318,163
2011 年	4 月	16.0	67.07	237,881
	5 月	21.9	62.98	497,649
	6 月	24.4	64.82	704,627
	7 月	30.2	73.32	1,155,811
	8 月	28.3	54.71	1,074,775
	9 月	24.7	70.54	742,349
	10 月	19.3	67.34	441,335
	11 月	16.7	67.48	278,201

根据以上记录，回归得到以月平均温度和入住率为自变量的基准能耗函数： $Y = -1098460 + 64443.8A + 4974.9B$ ，其中 Y 为冷冻机房用电量（kWh），A 为月平均温度（℃），B 为入住率（%）， $R^2 = 0.91$ 。

表 2-3 为根据 2012 年 4 月至 2012 年 7 月实测月均温度和月出租率，根据上述回归模型预测各月用电量的结果。结果显示，预测月用电量与实际月用电量相比，除 6 月份偏差为 7.4% 之外，其他各月基本都维持在 $\pm 5\%$ 以下，而且 4 个月累计用电量偏差只有 5,588 kWh，误差仅为 0.14%。这说明了回归模型可以相对准确地预测该酒店的用电总量。

表 2-3 某酒店回归模型预测结果

时间	2012 年 4 月	2012 年 5 月	2012 年 6 月	2012 年 7 月
月均温度 (°C)	22.1	27.3	31.0	33.2
月均出租率 (%)	54.3	65.3	54.9	63.54
预测月用电量 (kWh)	589,540	966,583	1,172,271	1,344,291
实际用电量 (kWh)	607,226	927,919	1,266,052	1,277,076
相对偏差 (%)	2.9	-4.2	7.4	-5.3

2.1.1.2 当改造前后分表计量能耗数据完整，但独立变量数据部分或完全缺失时，可通过约定独立变量调整的方法得到基准能耗。

说明

当改造前后分表计量能耗数据都完整，但独立变量数据部分或完全缺失时，可通过约定的方式来确定独立变量变化的影响，据此对改造前能耗值进行调整。因此，在这种情况下，基准能耗的定义是指：根据改造前后的独立变量的变化，对改造前分表计量能耗数据进行调整后的能耗数据，当前能耗是指改造后的分表计量能耗数据。举例：某办公楼冷冻机房具有独立的用电计量，但缺少每月气温及入住率的记录，其用电量记录如表 2-4 所示。由于大楼入住率变化不大，双方约定入住率保持不变而忽略其对能耗的影响，而气象参数可通过向气象局购买得到。

表 2-4 某办公楼冷冻机房用电量记录

月份	月平均气温 (°C)	冷冻机房用电量 (kWh)
1 月	5.7	28,020
2 月	7.7	19,420
3 月	9.4	32,320
4 月	13.3	39,120
5 月	20.9	149,760
6 月	24.1	222,960
7 月	28.8	377,720
8 月	31	420,880
9 月	25.9	305,380
10 月	19.4	129,000
11 月	14.2	55,240
12 月	8.1	33,820

根据月平均气温和机房用电量的关系，回归得到基准能耗函数 $Y = 761.1X^2 - 11636X + 69274$ ，其中 Y 为冷冻机房月用电量 (kWh)，X 为月平均气温 (°C)， $R^2 = 0.993$ 。结果如图 2-1 所示。

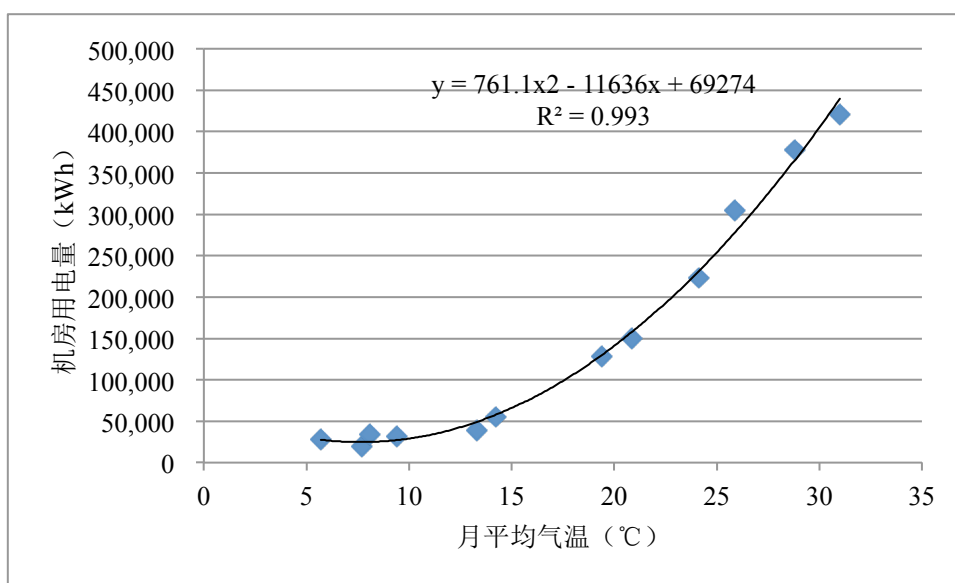


图 2-1 机房用电量与月平均气温的回归结果

改造后 8 月份平均气温为 28.3°C，冷冻机房用电量为 313,784kWh。代入基准能耗函数得到在相同气温条件下改造前能耗应为 349,532 kWh，从而得到该月节省电量为：349,532-313,784=35,748 kWh。

2.1.1.3 当改造前分表计量能耗数据完全或部分缺失时，可采用相似日测量法得到基准能耗和当前能耗。

说明

目前国内绝大多数既有建筑并没有进行能源分项计量，在没有分表计量历史数据、且为局部改造时，可采用对所改造部分进行相似日测量来分别得到基准能耗和当前能耗。即在节能改造项目验收运行后，根据系统运行和相关独立变量的变化特点，每月确定一天或几天采用改造前系统运行方式运行，利用相关计量仪表记录该一天或几天的相关独立变量及能耗，即为基准能耗；同时，每月其他时间均采用改造后的节能方式运行，用计量仪表记录每天的相关独立变量及能耗，并从中挑选相关独立变量与基准能耗测试相近的时段，将其视为当前能耗。这样采用相似日测量的方法，就可以通过当前系统记录的能耗数据，来检测节能措施所产生的节能量。当系统运行还受到产量或其他类似因素影响时，还可以通过比较基准能效和当前能效的方式来确定节能量。但是，此方法仅适用于不对系统中设备本身进行改造或更换的场合。

举例：某工厂冷冻机房改造，由于没有任何能耗记录，采用相似日测量方法确定节能量。选定一天采用改造前的运行方式运行，其余时间采用改造后的运行方式运行，从中选取气象条件与改造前运行方式相近的一天进行对比计算。

表 2-5 相似日测量方法

时间	改造前工况		改造后工况	
	制冷量 (RT)	功率 (kW)	制冷量 (RT)	功率 (kW)
7:00~8:00	5,627	5,283	5,750	4,813
8:00~9:00	5,335	5,030	5,463	4,551
9:00~10:00	5,393	5,155	5,617	4,748
10:00~11:00	5,233	4,967	5,638	4,750
11:00~12:00	5,293	5,026	5,608	4,759
12:00~13:00	5,347	5,054	5,607	4,735
13:00~14:00	5,327	5,036	5,627	4,738
14:00~15:00	5,332	5,020	5,604	4,738
15:00~16:00	5,385	5,048	5,671	4,805
16:00~17:00	5,440	5,089	5,639	4,758
17:00~18:00	5,453	5,079	5,494	4,647
总计	59,164	55,787	61,719	52,043

冷冻机房平均制冷量

阶段	改造前工况	改造后工况
制冷量 (冷吨)	5,449	5,501

天气参数

阶段	改造前工况	改造后工况
干球温度 (°C)	27.8	28.6
湿球温度 (°C)	24.0	23.8

通过对比冷冻机房平均制冷量和天气情况的比较,改造前后测试工况的冷量需求及天气情况都基本相近,满足条文说明 1.0.7 中的要求,达到相似的条件。计算得到改造前工况运行效率为 0.943kW/RT,改造后工况运行效率为 0.843kW/RT,节能率为 $(0.943-0.843)/0.943=11\%$ 。本月冷冻机房总用电量为 4,339,673 kWh (改造后),所以节电量为 $4,339,673 \times 0.11/(1-0.11)=536,364$ kWh。

2.1.2 不同节能改造项目中节能量的评价和计算可采用以下四种测量与验证方法。这四种方法是:

- 方法 A: 部分变量测量、改造部分隔离;
- 方法 B: 全部变量测量、改造部分隔离;
- 方法 C: 全楼宇验证;
- 方法 D: 校验模拟验证。

说明

表 2-6 四种测量与验证方法

测量与验证方法	节能量计算	典型应用	说明
方法 A：部分变量测量，改造部分隔离 它规定单项节能措施的节能量必须单独计算和评估，并将该单项节能改造的系统或设备与其他部分的能源使用隔离开来。	可通过改造前后设备性能变化和运行时间计算得到。基准能耗量和当前能耗量可通过改造前后短期测量与计算得到，基准能耗量也可通过约定对改造前能耗进行调整后得到。	①提高能源利用效率而更换设备的节能改造措施，改造前后的运行时间和模式基本相同，且节能量相对较小的场合。 ②节能措施之间或与其他设备之间的相互影响可以进行测量，或预计不太明显。 ③某些参数采用约定值比方法 B 的测量费用，或方法 D 的模拟费用更低。如，照明设备改造、更换、定荷载电动机的更换等。	如要评价两项以上节能措施的综合节能效果，或者改造项目中改造隔离外的设备或系统在改造后的能耗有较大变化，合同能源管理双方要求同时评价和计算改造隔离外的设备或系统能耗变化时，须采用其他方法。
方法 B：全部变量测量，改造部分隔离 它规定单项节能措施的节能量必须单独计算和评估，并将该单项节能措施改造的系统或设备与其他部分的能源使用隔离开来。计算节能量的变量必须全部通过测量来确定，而不得通过约定的方式来确定。	如果改造前分表计量能耗数据和改造前运行条件记录数据完整，可通过建立能耗与独立变量之间的函数关系计算得到基准能耗，当前能耗为改造后分表计量数据。如果改造前分表计量能耗数据完全或部分缺失时，可采用相似日测量法得到基准能耗和当前能耗。	①影响能耗的参数测量对监测者来说不复杂，不困难，且成本较低。 ②已有的分表可以用于对系统的能耗进行隔离测量。如，空调水泵变频、生活给水泵、电梯变频、厨房或车库排风、风机变频等。	节能改造前后的运行时间和负荷发生变化，或运行负荷随独立变量而变化的，则须通过长期连续测量来确定改造后当前能耗量的计算变量；如要评价两项以上节能措施的综合节能效果，或者改造项目中改造隔离外的设备或系统在改造后的能耗有较大变化，合同能源管理双方要求同时评价和计算改造隔离外的设备或系统能耗变化时，须采用其他方法。
方法 C：全楼宇验证 该方法采用对比整幢大楼的能源表计（如电能表、燃气表等）或分表在改造前后的读数并结合简单的计算来确定全年节能效果。	节能量通过回归模型或改造前后的账单、能源表计读数来计算。	①包含多项节能措施的建筑物的全面节能改造，且节能量预计超过建筑全年能耗的 10%。 ②已采用的节能措施之间的相互影响、或节能措施与建筑物其他部分之间的相互影响较大。 ③采用方法 A 或方法 B 中的分离方法过于复杂或比较困难及费用太高的情况。	预期的节能量越大，就越能使得这些节能量从随机的和无法解释的能耗偏差中识别出来，而且节能措施实施后，节能量分析的时间越长，短期无法解释的偏差所造成的影响就越小。通常，节能量应该高于基准年的能源使用量的百分之十，这样才能够排除基准年随机干扰的影响。
方法 D：校验模拟验证 它是指建立能耗模型模拟建筑能耗状况、并采用电力公司逐时或逐月收费单据或终端用户的计量数据对模型进行校验的方法。	计算节能量的基准能耗和当前能耗分别为改造前后能耗模拟输出的能耗值。	包含多项节能措施的建筑物的全面节能改造，但因基准年能耗数据缺失等原因无法用方法 C 中的回归方式建立基准能耗模型的场合。也可应用于新建建筑。	应用方法 D 最准确的情况，是分别收集改造前和改造后建筑一年的实际能耗数据，对基准模型和改造后模型分别进行校验。但当其中一种能耗数据无法获得时，可通过建立其中一种模型，进行校验后，修改成为另一种模型，以获得改造前和改造后的能耗数据，从而计算节能量。

2.1.3 在采用 2.1.2 节中规定的方法 B、C 和 D 进行节能量验证时，必须考虑节能量计算中存在的 uncertainty 并建立正确、合理的 uncertainty 的控制目标。关于 uncertainty 的详细说明见各方法条文说明及附录 B。对方法 B 中的相似日测量法，则无需进行 uncertainty 计算，但应说明所选择的独立变量满足相似日的偏差要求。

2.1.4 每个合同能源管理项目合同中必须包括节能量测量与验证方法作为合同附件。一个完整的节能量测量与验证方法至少须包括以下内容：

- 1.节能目标;
- 2.项目情况和节能措施描述;
- 3.约定一种适用的测量与验证方法;
- 4.约定基准运行工况和基准能耗计算方法,必要时建立基准能耗模型;
- 5.计量改造后能耗,并记录相应的运行工况的方法;
- 6.确定能耗及其各影响因素的数据来源、能耗的计算方法和步骤、假设条件等,明确不确定性控制目标;
- 7.明确在合同能源管理期内的节能量测量与验证的报告内容。

2.2 方法 A: 部分变量测量, 改造部分隔离

2.2.1 方法 A 规定单项节能措施的节能量必须单独计算和评估,并将该单项节能改造的系统或设备与其他部分的能源使用隔离开来。在方法 A 中,计算节能量的变量一般须进行测量,但有时也可以通过约定而非测量的方式来确定。

说明

方法 A 中的第一个核心概念是隔离。它主要用于评价和计算一个单项节能改造的节能量,并且将被节能改造的设备或系统(改造隔离)的能耗和系统或楼宇中其他未被改造的设备或系统(改造隔离外)的能耗进行分离。必须使用正确的测量或计量设备反映并区分受节能措施影响和不受影响的部分,从而准确评价该单项节能措施的节能量。有时一个单项节能措施除了会影响被改造的设备或系统的能耗外,也会同时影响其他设备或系统的能耗,即改造隔离外的设备或系统能耗。当这种情况发生时,1.可以忽略不在改造隔离范围内的设备或系统能耗变化,而只计算该节能措施直接产生的节能量;2.也可以通过合理的工程计算对改造隔离外的设备或系统能耗变化进行评价和计算。采用上述两种方式中的哪一种,须由合同能源管理的合同双方在合同中进行约定。例如,照明系统的节能改造直接降低了照明能耗,但同时减少了空调系统的制冷能耗增加了采暖能耗。在这种情况下,一般将照明系统的节能改造隔离,只测量照明系统的变量并计算其改造前后的能耗变化,同时忽略空调系统在照明系统改造前后的能耗变化。

方法 A 中另一个核心的概念是约定。考虑到制定方法 A 的目的是使其成为测量和与验证四种方法中最简便的一种,从而鼓励以合同能源管理方式进行小规模节能改造。因此,方法 A 允许对一些能耗计算变量通过合同双方约定的方式来确定。在国外的测量与验证方法中,一些设备的能耗性能可通过约定的方式来确定以减少测量的时间和成本,比如照明设备的功率、冷水机组的能效比 COP,都可以通过约定来确定。在本规程中,考虑到目前国内用能设备的多样性,且良莠不齐、缺乏统一的市场标准,因此本导则规定只有一个变量-即运行时间可以通过约定来确定。

方法 A 只能用来评价单项节能措施的节能量。同一系统的两种节能措施必须单独计算节能效果,比如照明系统改造中同时更换灯管和加装运动传感器的节能量必须分别计算。如要评价两项以上节能措施的综合节能效果,或者改造项目中改造隔离外的设备或系统在改造后的能耗有较大变化,合同能源管理双方要求同时评价和计算改造隔离外的设备或系统能耗变化的,不能采用方法 A。

2.2.2 方法 A 宜用于为提高能源利用效率而更换设备的节能改造措施，被更换设备的运行负荷具有较为平稳的特征（比如照明设备的更换和定荷载电机的更换等），改造前后的运行时间和模式基本相同，且节能量相对较小的场合。

说明

方法 A 原则上适用于以更换设备为主的节能改造，包括更换照明设备（灯管、灯具和镇流器）、冷水机组、热泵、风机、水泵和电动机等。但方法 A 对测量的要求较低 – 仅为短期测量，且允许对运行时间进行约定。为了确保节能量评价和计算的准确性，方法 A 只适用那些运行负荷的年变化率在 5% 以内，改造前后运行时间和负荷的变化率在 5% 以内，或节能量为改造隔离设备或系统全年能耗的 10% 以内的情况。因此，方法 A 的最佳应用场合为照明设备或定荷载电动机的更换。如果方法 A 应用于空调系统时，则须确认被更换的空调设备（冷水机组、热泵、风机、水泵等）所承担的冷热负荷基本上不随外界环境参数变化，比如工艺性空调系统等。

2.2.3 节能量的计算须采用以下公式：

节能量 = 基准能耗量（改造前） - 当前能耗量（改造后）

(2-2)

基准能耗量和当前能耗量通过直接的数学计算或合理的工程计算得到。

说明

方法 A 中基准能耗的计算可以不考虑外界独立变量的影响，也可以不考虑基准能耗的调整。因此节能量的计算公式可演变为 (2-3)：

$$E_{\text{节约}} = E_{\text{基准}} - E_{\text{当前}} = (\text{设备性能}_{\text{基准, 短期测量}} - \text{设备性能}_{\text{当前, 短期测量}}) \times \text{数量} \times \text{运行时间}$$

约定 (2-3)

2.2.4 方法 A 允许节能量的计算变量可通过约定的方式来确定。约定变量的前提条件是，由此产生的累计误差不会对总的节能量产生严重影响。允许约定的变量仅为被改造设备的运行时间。

说明

合同能源管理的合同双方在对运行时间进行约定时，须充分认识到运行时间对节能量计算的影响，从而进行合理的约定。必须按照改造隔离设备的不同使用功能或运行模式分组进行约定。比如更换某建筑照明设备时，须对办公、会议、商场等不同使用功能的照明设备运行时间分组进行约定和节能量计算，约定运行时间时须有两年或以上的实际运行数据作为依据。如果楼宇管理方缺乏两年或以上的运行数据，则须按照不同使用功能分组对运行时间进行短期测量，测量时间至少为一周，并应区分工作日和休息日。

2.2.5 方法 A 规定，直接牵涉到设备能耗的计算变量必须通过测量的方式确定，它们包括：

1. 照明设备功率；
2. 水泵和风机功率；
3. 电机功率和功率因数；
4. 冷水机组或热泵性能（包括满负荷和部分负荷性能）；
5. 锅炉性能（包括满负荷和部分负荷效率）。

说明

冷水机组等的性能指在满负荷和各运行负荷和工况下的能效比 COP。因为 COP 无法直接测量，必须通过测量耗电量、冷冻水温差、流量和冷却水温度等参数然后通过计算得到。同时，在节能改造项目中，改造前的设备能耗基准一般是通过短期的运行测试然后通过计算得到。短期测试的时间一般为一至三周，显然，在如此短的时间内，要对机组所有的运行工况都进行测试是不现实的，所以，测试时的工况应尽可能复盖机组的主要运行工况。空调系统中的冷冻水泵、冷却水泵和送回风机的性能测量与冷水机组有类似的要求。

2.2.6 条文 2.2.5 中所列的测量变量须在改造前后都进行测量，从而分别得到改造前后与设备能耗直接相关的数据。测量频率可以是一次性短期测量，但每个变量的测量时间须不少于一周。当节能措施的实施范围较广和工程较复杂时，须在不同条件下进行多次测量。

说明

考虑到设备性能的不确定性，须在改造前后对相应的设备性能参数进行测量。类似于运行时间的约定，性能参数的测量也必须按照使用功能或运行模式和时间分组进行。比如测量照明设备性能参数时，须对办公、会议、商场等不同使用功能的照明设备分组测量，而空调设备须按照制冷和采暖季节分组测量。短期测量的时间一般要求一至三周，须根据工程的不同复杂程度确定测量时间，但须确保至少一周的测量时间。

2.2.7 当实施节能措施的设备具有较大数量（比如大量的照明设备的改造）时，可对所有涉及到的设备进行分类抽样测量。进行抽样测量时，样本数量应确保抽样测量的结果具有统计上的精确性而能代表整个样本。

说明

对设备性能参数进行分组抽样测量时，每组样本的数量须为被测量设备总数的 5-20%。对于冷水机组等主要耗能设备，应当提高样本比例，在条件许可时应全部测量。

2.2.8 当采用本方法时，如果条文 2.2.4 中被改造设备的运行时间无法约定时，须根据项目具体情况采用方法 B、C 或 D。

2.3 方法 B：全部变量测量，改造部分隔离

2.3.1 方法 B 规定单项节能措施的节能量必须单独计算和评估，并将该单项节能措施改造的系统或设备与其他部分的能源使用隔离开来。在方法 B 中，计算节能量的变量必须全部通过测量来确定，不得通过方法 A 中约定的方式来确定。

说明

方法 B 中的核心概念之一即“隔离”和方法 A 中隔离的概念是相同的。它同样用于评价和计算一个单项节能改造措施的节能量，并且将被节能改造的设备或系统（改造隔离）的能耗与系统或楼宇中其他未被改造的设备或系统（改

造隔离外)的能耗进行隔离。必须使用正确的测量或计量设备反映并区分受节能措施影响和不受节能措施影响的部分,从而准确评价该单项节能措施的节能量。有时一个单项节能措施除了会影响被改造的设备或系统的能耗外,也会同时影响其他设备或系统的能耗,即改造隔离外的设备或系统能耗。当这种情况发生时,1.可以忽略不在改造隔离范围内的设备或系统能耗变化,而只计算该节能措施直接产生的节能量;2.也可以通过合理的工程计算对改造隔离外的设备或系统能耗的变化进行评价和计算。采用上述两种方式中的哪一种,须由合同能源管理的合同双方在合同中进行约定。例如,照明系统的节能改造直接降低了照明能耗,同时减少了空调系统的制冷能耗,但增加了采暖能耗。这种情况下,一般将照明系统的节能改造隔离,只测量照明系统的参数并计算其改造前后的能耗变化,同时忽略空调系统在照明系统改造前后的能耗变化。

与方法A中的另一个核心概念——“约定”截然不同的是,方法B要求所有影响节能量的计算变量必须进行测量,包括设备或系统的性能参数和运行时间。这是因为方法B的目的是应用于节能量相对较大并且变负荷运行的节能改造场合。当被改造隔离的设备或系统在改造前后的运行时间有较大变化、或者被改造设备或系统随着某一个独立变量全年变化时,则所有影响节能量的计算变量都必须通过测量来确定。

方法B也只能用来评价单项节能措施的节能量。同一系统的两种节能措施必须单独计算节能效果,比如空调系统改造中同时更换冷水机组和加装水泵变频装置的节能量就必须分别计算。如果要评价多项节能措施对整个建筑能耗的影响,则须采用方法C,而不能采用方法B。部分典型改造项目及相应独立变量举例见附录D中表1改造系统和独立变量举例。

2.3.2 方法B宜用于包括变负荷系统在内的所有单项节能改造措施。

2.3.3 节能量的计算须采用以下公式进行:

$$\text{节能量} = \text{基准能耗量(改造前)} - \text{当前能耗量(改造后)} \quad (2-4)$$

基准能耗量和当前能耗量通过直接的数学计算或合理的工程计算得到,同时应符合本导则2.1.1的相关规定。

说明

1.如隔离改造的设备或系统的能耗随独立变量变化而变化,则在计算基准能耗时,须结合相关独立变量建立函数关系,并按照改造后测量得到的独立变量值进行基准能耗计算。在建立函数关系时,一般要求先建立基于改造前短期测量相关变量的回归模型,比如风机和水泵的流量和功率的回归模型,最终成为功率和独立变量的函数关系。式中当前能耗可通过能源表计来确定。

例如:如已知某冷却水系统,冷却水泵运行功率和实测冷却水流量如图2-2所示:

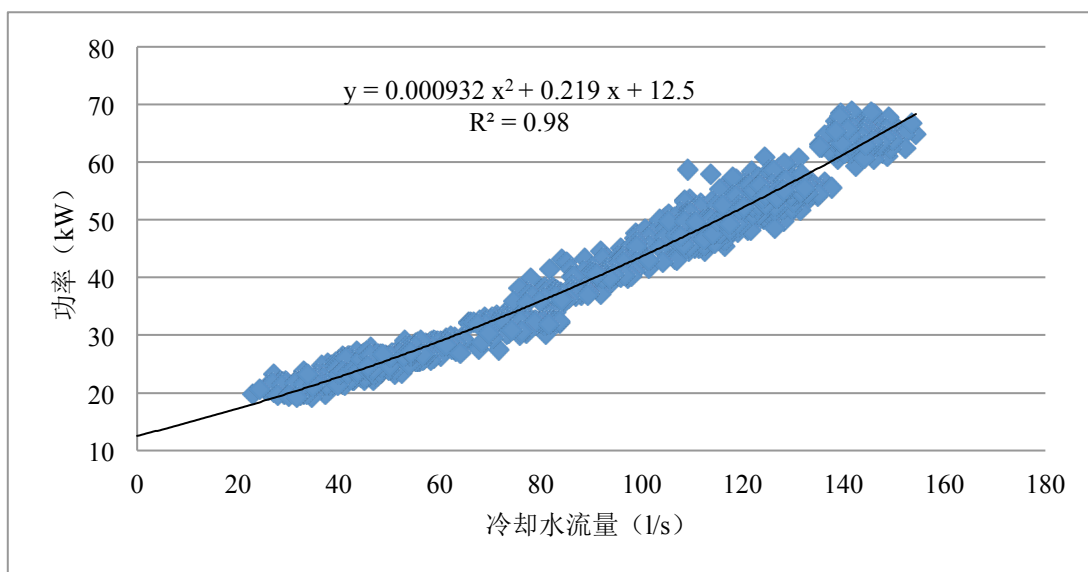


图 2-2 某冷却水系统水泵功率和流量的变化关系

由于实际冷却水流量和水泵功率的对应关系不是一个确定的关系，因此必须根据实际记录的数据，对其进行统计回归分析。经过分析发现，该系统冷却水泵的功率与冷却水流量为二次函数关系，其回归模型为 $y = 0.000932 x^2 + 0.219 x + 12.5$ ，其中 y 为功率（kW）， x 为流量（l/s）， R^2 为 0.98，满足条文 1.0.9 中对回归模型的要求。

2. 没有改造部分历史数据或无法保证历史数据的完整及准确性时，应采用相似日测试法，改造后每个月选择 1 天或多天以改造前系统设备模式运行，其余时间以改造后的系统设备模式运行，从改造后运行记录中找出与改造前运行测试工况独立变量相似的日子，分别作为改造前表计能耗量和当前能耗量，并计算节能率，然后根据当月的实际用电量计算出当月节电量，参见条文 2.1.1.3 及相关说明。

3. 有准确且变化规律显著的改造部分历史数据时，可采用同期用电量对照法。改造部分具有改造前至少连续二十四个月分表计量数据时，可将对应月的平均用电量作为改造前表计能耗量，改造后对应月的用电量作为当前能耗。采用同期用电量对照法时，如改造前同期用电量有明显变化，则应采用回归模型的方法进行计算，参见条文 2.1.1.1 及相关说明。此外所采用的回归模型应满足条文 1.0.9 的规定。

4. 当采用了多种改造措施，而这些改造措施之间，以及改造措施与大楼其它设备的能耗之间有显著相互影响时，如外窗玻璃贴膜（或增设外遮阳）加上空调系统改造，不适合采用方法 B，应采用方法 C 或 D。

2.3.4 方法 B 中用来计算节能量的变量须全部通过测量的方式来确定。测量可采用短期或长期连续测量及相似日测量的方式。具体规定如条文 2.3.4.1~2.3.4.6。

2.3.4.1 确定基准能耗量的计算变量可采用一次性短期测量或长期连续测量。测量的变量见本标准 2.3.4.4 项，但不包括运行时间。

说明

方法 B 对运行时间的规定和方法 A 有显著区别。方法 A 可以根据运行记录对运行时间进行约定，而方法 B 则要求通过测量得到运行时间。运行时间的准确测算是许多合同能源管理准确计算节能量和回收年限的关键因素之一。考虑到运行时间的变化和多样性，它作为重要能耗计算变量宜通过长期连续测量而得到。但在实际的节能改造工程中，改造前往往没有条件对运行时间作连续测量。因此，计算基准能耗的运行时间可采用改造后长期连续测量得到的运行时间。这种运行时间统一的方法也可以合理和公正地反映节能措施的节能效果。

2.3.4.2 确定改造后当前能耗量的计算变量可采用一次性短期测量或长期连续测量。如节能措施改造前后的运行时间和负荷不发生变化，可通过短期测量来确定改造后当前能耗量的计算变量。如节能措施改造前后的运行时间和负荷发生变化，或运行负荷随独立变量而变化的，则须通过长期连续测量来确定改造后当前能耗量的计算变量。

说明

改造前后运行时间和负荷不发生变化，是指改造前后运行时间和负荷的变化率在 5% 以内。其他独立变量认为不发生变化的偏差范围可参考附录 D 中表 2 建议的独立变量允许偏差范围。

2.3.4.3 确定改造前后能耗量时，如果改造所涉及的系统及设备比较复杂，无法通过一次性短期测量或长期连续测量准确测定时，应采用相似日法来确定逐月或各特定运行阶段典型工况下的节能率或节能量。

2.3.4.4 须通过连续测量来确定的计算变量包括：

1. 照明设备功率；
2. 水泵和风机功率；
3. 电机功率和功率因数；
4. 冷水机组和热泵性能（包括满负荷和部分负荷性能）；
5. 锅炉性能（包括满负荷和部分负荷性能）；
6. 围护结构热工性能；
7. 运行时间。

说明

对上述变量进行测量时，无论是短期测量还是长期连续测量，都须按照使用功能或运行模式和时间分组进行。比如在测量照明设备性能参数时，须对办公、会议、商场等不同使用功能的照明设备分组测量，而空调设备须按照制冷和采暖季节分组测量。每组短期测量的时间应不少于一周，长期连续测量的时间应不少于三周。如果隔离改造的设备或系统能耗随着独立变量变化，则测量时间须延长，以充分反映独立变量变化的影响。典型例子为空调冷冻水泵的变频改造。水泵能耗随着室外天气参数的全年变化而变化，因此空调冷冻水泵变频改造后的当前能耗须通过表计进行改造后一年的能耗测量。如果一些独立变量如工业品产量等的变化周期小于一年，则测量时间可以相应缩短。

2.3.4.5 短期测量变量的测量时间须不少于一周。长期连续测量的变量须按照使用功能、运行工况或独立变量进行分组测量，每组的连续测量时间不应少

于三周。如果测量变量随独立变量或工况全年变化的，则连续测量时间不应少于一年。

2.3.4.6 采用相似日法测量时，应对所改造部分所有相关的独立变量进行准确测量。每月或特定运行阶段所测量的时间应包含该时段内设备或系统典型运行工况，测试时间应不少于一年。

2.3.5 如果短期和长期连续测量的变量是一个或多个独立变量的函数，则这些独立变量须在节能措施改造后和其他长期连续测量的变量在同一测量期内进行长期连续测量。独立变量的测量周期要求见条文说明 2.3.4.4。

说明

作为独立变量的天气参数等，也须和其他长期连续测量的变量在同一测量期内进行长期连续测量。在空调冷冻水泵的变频改造案例中，作为独立变量的冷冻水流量须和当前能耗一起做一年的长期连续测量。独立变量的测量值将参与基准能耗统计模型的计算。

2.3.6 如基准能耗是一个或多个独立变量的函数，则基准能耗量的计算应采用独立变量的测量值进行计算。

2.3.7 基准能耗量的调整或测量。在改造后阶段中，常会发生如房屋结构、运行模式、或者建筑物用途等的变化。无论何时，上述计算方法应能够有效地反映这些变化。

2.3.8 当实施节能措施的设备具有较大数量（比如大量的照明设备的改造），可对所有涉及到的设备进行分类抽样测量，详见条文 2.2.7。

2.3.9 当采用本方法进行节能量计算时须说明和表示计算中的不确定性 CV(RMSE)值。此外，所采用的验证方式的不确定性应当和节能量一起进行计算。关于不确定性和各种回归模型的进一步说明详见附录 B 和 C。

2.4 方法 C：全楼宇验证

2.4.1 全楼宇验证方法通过利用整幢建筑的能量表计（如电能表、燃气表等）或分表在改造前后的读数，并结合计算来确定全年节能效果。

说明

采用此方法时，改造前的能量表计和独立变量的记录应同时存在，改造后的能量表计和独立变量应同时记录和测量。

2.4.2 全楼宇验证方法宜用于验证整幢建筑节能的效果。

说明

这里所说的验证整幢建筑节能的效果，是指在同一建筑中，同时采用了多种节能措施，而且这些节能措施的节能效果会互相影响，同时这些节能措施还会对节能改造范围之外的其它建筑设备系统的运行产生影响。这样，在验证整幢建筑的节能效果时，就不能通过单独测量各节能改造措施的效果，然后叠加来计算总的节能效果，而必须采用建立回归模型的方法来验证。

2.4.3 全楼宇验证方法需基于所建立的回归模型来确定改造前的基准能耗，然后将基准能耗计算值和改造后实际能耗值对比来验证节能量。

说明

建立回归模型计算基准能耗具体来说就是首先根据改造前全楼宇的能耗数据建立改造前能耗与独立变量相关联的回归模型，然后将改造后的独立变量值代入回归模型计算出改造后独立变量下的基准能耗值，最后计算该基准能耗和改造后实际能耗的差值来验证节能效果。简单地说，全楼宇验证方法中的基准能耗值是回归模型的计算值，改造后能耗是实际记录值。

2.4.4 全楼宇验证方法的步骤与规定

2.4.4.1 基于回归模型的全楼宇验证方法的步骤：

1. 收集数据；
2. 建立回归模型；
3. 计算节能量。

2.4.4.2 收集数据

1. 至少应收集改造前连续 24 个月的全楼宇逐月能耗数据，包括逐月的用电量、用气量等，以作为建立回归模型时的自变量。
2. 为了计算节能改造后第一年的节能效果，至少需要收集节能改造后连续 9 个月的能耗数据。
3. 选择和全楼宇能耗相关的独立变量，并至少收集改造前连续 24 个月与全楼宇逐月能耗数据对应的独立变量数据，以作为建立回归模型的自变量。

2.4.4.3 建立数学模型最常用的建立数学模型的方法是采用多元线性回归，在能耗量与气象参数及其它独立变量之间建立相关关系。

说明

这些回归模型中将包含以下内容：

1. 描述能耗量的线性函数，它以气象参数和其它独立变量及其组合作为参数；
2. 函数中每一项的系数；
3. 描述模型内在不确定性的 CV(RMSE)值。
4. 模型通常具有多变量线性方程的形式：

$$E=C+B_1V_1+B_2V_2+B_3V_3+\cdots+B_nV_n$$

(2-5)

式中：

E ——模型估算的能耗量；

C ——常数；

B_n ——独立变量 V_n 的系数;

V_n ——独立变量。

一般而言, 所选择的模型希望比较简单, 而且能够得到可靠、可重复的结果。建立模型时, 应选择几种不同的形式及不同的变量组合分别进行计算, 然后根据其 $CV(RMSE)$ 值确定最佳模型。在根据实际能耗数据对模型进行校验时, 应采用对应年份的实际气象参数和其它独立变量数据。

选择和全楼宇能耗相关的独立变量作为回归模型自变量时, 应采用至少连续 24 个月的逐月能耗数据作为样本, 所构造回归模型的均方差变异系数 $CV(RMSE)$ 值必须满足不确定性的要求。

当改造前能耗样本数据多于 24 个月、但少于 60 个月时, $CV(RMSE)$ 值应小于 0.25; 当多于 60 个月时, $CV(RMSE)$ 值应小于 0.3。关于不确定性和各种回归模型的进一步说明详见附录 B 与 C。

在选定合适的模型以后, 应按以下方法计算节能量:

1. 计算基准能耗量。这一能耗量是在当前的账单周期、气象参数、以及其它独立变量值的条件下, 假定没有进行改造时的能耗量。由当前的账单周期、气象参数、以及其它独立变量值代入回归模型计算得到。

2. 按照公式 (2-1) 计算节能量

2.4.5 全楼宇验证方法也可采用账单对比方式, 账单对比方式通过对改造前能耗账单数据进行调整, 得到基准能耗, 再与改造后能耗账单数据进行对比得到节能量。

说明

回归模型方式实际也是账单方法, 但比账单对比方法更精确。账单对比方式也是需要改造前账单数据进行调整, 而且调整过程比回归模型方式复杂, 所以不推荐采用。

2.5 方法 D: 校验模拟验证

2.5.1 方法 D 是指建立能耗模型模拟建筑能耗状况, 并采用逐月能耗或分项计量数据对模型进行校验的方法, 对于不同来源能耗数据的具体要求, 见条文说明 2.5.1。

说明

对不同来源的能耗数据的要求:

1. 能耗数据来自逐月能耗记录或账单的, 要求不少于 36 个月;
2. 能耗数据来自有分项计量、但不具备自动记录条件, 且记录周期为每 4~6 小时的, 不少于 24 个月;
3. 能耗数据来自供配电 SCADA 系统, 且能够自动记录逐时分项能耗的, 不少于 12 个月。

校验模拟流程包括:

1. 制定计划;
2. 数据收集;
3. 建模及能耗模拟;

4. 模型校验;
5. 计算节能量。

2.5.2 方法 D 必须采用建筑能耗逐时模拟软件作为校验模拟软件。这种逐时模拟软件应采用 8760 小时的逐时气象参数进行负荷和能耗计算。

说明

选用的建筑能耗逐时模拟软件应满足以下条件:

1. 能够模拟每年 8760 小时的逐时能耗;
2. 能够模拟建筑围护结构的传热特性;
3. 人员、照明、设备等的时间表能够逐日设置;
4. 能够模拟室内温度及空调部件的节点温度, 如冷冻机组的进出水温;
5. 能够使用实际气象年天气参数进行模拟;
6. 能够自定义设备的部分负荷曲线或能够体现设备部分负荷运行特性。常用的此类逐时模拟软件有 DOE-2、EnergyPlus、TRNSYS、DeST、ESP-r、BLAST 等。

用的此类逐时模拟软件有 DOE-2、EnergyPlus、TRNSYS、DeST、ESP-r、BLAST 等。

2.5.3 当出现以下情况中的一种或几种时, 宜采用校验模拟的方法。

1. 缺少改造前或改造后全楼宇能耗数据;
2. 无法通过对比测量改造前后的能耗来确定节能量;
3. 所改造部分与建筑物内其他用能系统相互影响, 无法隔离;
4. 仅可获得全楼宇能耗数据, 而缺少各系统的分项能耗数据;
5. 缺少足够的数据而无法采用方法 C 时。

当出现以下情况中的任何一种时, 不宜采用校验模拟。

1. 无需能耗模拟就可以分析节能措施的节能量;
2. 无法进行准确模拟的建筑;
3. 无法进行准确模拟模拟的空调系统;
4. 无法进行准确模拟模拟的改造措施;
5. 无法获得模拟所需的足够的数据与资料。

说明

当出现以下的情况中任何一种时, 不建议采用校验模拟。

1. 无需能耗模拟就可以分析节能措施的节能量;
2. 如果通过现场测量或简单计算确定节能量的, 则不建议采用校验模拟方法。例如, 某些空调系统设备的改造可以采用简单的现场测量确定节能量, 比如更换风机或水泵的电机;
3. 无法进行准确模拟的建筑, 如, 带有大型中庭的建筑、建筑几何形状复杂、建筑具有复杂的遮阳系统等;
4. 在所用软件中, 难以准确模拟的空调系统, 如, 溶液除湿系统、置换通风系统、辐射吊顶系统等;
5. 在所用软件中, 难以准确模拟的改造措施, 如, 电梯变频、某些特殊的楼宇自动化控制策略等;
6. 无法获得建立和校验模型所需足够的数据资料。

2.5.4 方法 D 实施前须制定校验模拟计划。在计划中应包括: 采用的模拟软件、校验模拟方法、模拟结果比方法。

2.5.5 能耗模拟的输入和结果比对都必须收集充分的数据。必须收集的数据包括：建筑围护结构特性、几何尺寸、逐月的能耗数据、空调系统描述和运行控制方式、用能系统现场测试数据、天气参数。下列数据宜通过短期测量得到：

1. 照明设备功率；
2. 办公设备功率；
3. 电机功率和功率因数；
4. 冷水机组和热泵性能（包括满负荷和部分负荷能效比）；
5. 锅炉性能（包括满负荷和部分负荷能效比）；
6. 运行时间；
7. 人员密度。

说明

现场调查、收集建筑系统和设备的数据时，应当收集的数据包括：

1. 照明系统：灯具的数量和类型、光源和镇流器的铭牌、室内外照明运行时间、同时使用系数；
2. 插座负荷：使用插座的设备的数量和铭牌数据、运行时间、同时使用系数；
3. 空调系统：冷机和锅炉的数量、容量、部分负荷特性；末端设备的数量和特性；水泵、风机的型号；电机的型号和效率；空气侧系统形式；系统分区、设定温度等。其中冷机和锅炉的部分负荷特性难以在现场准确测量，所得数据仅作为模型校验时参考；
4. 建筑围护结构：墙体、窗、幕墙等围护结构的几何尺寸和热工性能参数；
5. 各功能区域人员密度和使用时间；
6. 其他主要的耗能设备的铭牌参数和运行时间表；
7. 天气参数。校验模拟方法需要两种类型的天气参数：与校验模型的能耗数据同时发生的实际天气参数，用于模型校验；实施节能改造后当年实际天气参数或典型年天气参数，用于计算节能量。

2.5.6 在进行模型校验时，能耗模拟输出的逐月能耗量需和实际逐月能耗量账单进行比对。模拟逐月能耗量与实际逐月能耗量的误差应同时满足表 2.5.6 中的要求。如果模拟能耗与实际能耗的误差不符合要求，必须对模型进行修正，直至误差减小到规定范围内。

表 2-7 模拟能耗量与实际能耗量的误差允许范围

名称	误差允许范围%
月误差 (ERR _月)	±15
年误差 (ERR _年)	±10
CV(RMSE _月)	±10

说明

计算模型输出结果和实测数据的误差方法如下：

1. 对模型进行校验，误差用以下公式计算：
- 月误差：

$$ERR_{month}(\%) = \left[\frac{M_{month} - S_{month}}{M_{month}} \right] \times 100\% \quad (2-6)$$

式中：

M——实际测量能耗值（kWh）；

S——模拟能耗值（kWh）。

2. 年误差：

$$ERR_{year}(\%) = \sum_{year} \left[\frac{ERR_{month}}{N_{month}} \right] \times 100\% \quad (2-7)$$

式中：N——一年中能源帐单数（月数）

3. 均方差：

$$RSME_{month}(\%) = \sqrt{\frac{\sum (M_{month} - S_{month})^2}{N_{month}}} \times 100\% \quad (2-8)$$

$$A_{month} = \frac{\sum (M_{month})}{N_{month}} \quad (2-9)$$

4. 均方差变异系数：

$$CV(RSME_{month})(\%) = \left[\frac{RSME_{month}}{A_{month}} \right] \times 100\% \quad (2-10)$$

2.5.7 节能量的计算须采用下式确定：

$$E_{节约} = E_{基准} - E_{当前} \quad (2-11)$$

式中：

$E_{基准}$ ——基准能耗量，为基准模型模拟输出的全年能耗；

$E_{当前}$ ——当前能耗量，为改造后模型模拟输出的全年能耗。

说明

基准模型反映了改造前建筑系统的用能特性。它采用逐时能耗模拟软件建立，并用实际运行数据和气象参数进行校验且满足上述不确定性要求的能耗模型。改造后模型反映了改造后建筑系统的用能特性。它是在基准模型的基础上，用所改造部分的建筑系统特性替换原有建筑系统特性得到。改造后模型可用改造后的实际运行数据和气象参数进行校验。用 2.5.7 中的公式计算节能量时，基准模型和改造后模型的模拟计算所采用的天气参数、运行时间、建筑模型、人员密度等变量必须相同。

附录 A：案例

方法 A 案例 1——风机变频改造

1. 工程概况

位于上海的某商场一台空调箱，风量为 27,000m³/h，额定功率 11kW。由于该风机在运行时段均保持在工频，在部分负荷时段风机运行效率较低，用电量偏大，该商场与 ESCO 公司达成协议，对该空调箱进行节能改造。

2. 改造内容及特点分析

通过 ESCO 公司对该空调箱进行的现场调查，该项目空调箱的基准运行工况如下：

- 1) 无任何传感器，工频运行，手动启停设备满足商场的空调需求；
- 2) 改造前无独立的计量电表和运行记录；

通过前期 ESCO 公司现场测试和业主历史记录分析，发现该项目房间负荷变化较大，在过渡季节只有峰值负荷的 20%，通过风机合理变频改造，可以获得较大的节能空间。此外从历史记录来看，过渡季节风机用电占空调用电总量偏大，且部分房间有过冷问题，也进一步说明风机具有较大节能空间。

为了满足商场舒适性及节电要求，本项目进行改造后，必须保证房间的温度仍然维持在设定的温度，因此，增加了如下设备和传感器：

- 1) 回风温湿度传感器；
- 2) 变频器；
- 3) 控制箱。

3. 测量验证方案和计划

1) 独立变量和测量方案确定

该项目改造前空调系统采用定风量定水量的运行方式，末端电动风阀只起到通断作用，无调节功能，因此，在风管阻力和风机特性不变的情况下，可以认为风机功率基本恒定。影响风机功率的主要为风机功率和运行时间，而改造前风机功率基本恒定，因此影响月风机用电量的独立变量就只有风机运行时间，风机工频功率乘以运行时间就可以得到改造前的用电量；而改造后的风机月用电量则可以通过改造中安装的三相功率表来独立记录。

经 ESCO 公司与业主综合商讨后，确定改造前风机工频用电量采用短期测量的方式进行测量，改造后用电量则结合运行时间和实时记录的用电量来确定。具体的计算方式如下说明：

改造前当月风机耗电量由改造后加装的变频器获取工频运行时的功率 P_{AHU} ，由变频器累计运行时间读数计算得到本月运行时间 T_{AHU} ，则改造前风机的耗电量 $Q_{工频} = P_{AHU} \times T_{AHU} = P_{AHU} \times (T_i - T_{i-1})$ ；

改造后当月风机的耗电量为变频器记录的本月累计用电量：

$$Q_{\text{实际}} = Q_i - Q_{i-1} \quad (3-1)$$

当月风机节电量:

$$\Delta Q = Q_{\text{工频}} - Q_{\text{实际}} \quad (3-2)$$

式中:

T_{i-1} ——本月累计运行时间起始读数, h;

T_i ——本月累计运行时间终止读数, h;

Q_{i-1} ——本月累计用电量起始读数, kWh;

Q_i ——本月累计用电量终止读数, kWh。

2) 测量计划制定

在合同签订前, ESCO 进行现场调查, 对设备和系统的运行特点及时间进行充分的调查, 并根据现场调查的情况编制测量方案, 同时送交业主审查。最终通过业主审查的测量与验证方案需作为本项目具有约束力的合同附件。

本项目的测量与验证计划和工作内容表 3-1 所示:

表 3-1 某商场空调箱改造测量与验证方案工作内容

工作内容	负责人	实施时间
根据约定, 对风机工频运行的功率进行测试	ESCO 及业主	项目改造前
收集当月系统记录的运行数据	ESCO 及业主	每月进行一次
编制当月测量验证计算报告	ESCO	
业主审查并确认当月测量验证计算报告	业主	

3) 测量仪器选取

该项目节能量测量与验证过程中需要使用的测量仪表, 具体如表 3-2 所示。此外, 现场安装的传感器均自动记录和监控, ESCO 公司只需要定期地对运行数据和现场进行巡视和检查。

表 3-2 某商场冷冻机房改造节能量测量与验证测量仪器

设备名称	测量范围	精度要求 ^①	传感器类型	输出信号	监控点
回风温湿度传感器	-50℃ ~50℃	温度±0.1% FSO, 湿度 ±5%	PT1000 (自 带变送器)	4~20mA/4~20 mA	各空调分区回风 温湿度
三相功率 变送器	/	0.5 级	可编程数显 变送器	RS485	水泵、冷却塔及 冷机等用电量

注: ①本表所列精度为传感器厂家产品手册标注精度, ESCO 公司应采购后重新进行校验, 校验应保证现场所用传感器精度满足如下要求:

- 1) 回风温湿度传感器应保证安装位置不处于涡流死区, 干球温度的测量精度应小于 0.3℃, 湿度测量精度应小于 5%。
- 2) 三相功率变送器应在有条件的情况下, 采用其他校验合格的电表进行比对, 应保证其符合标称精度。

4. 测量与验证结果分析

在进入正式改造前，ESCO 公司与业主在 2011 年 8 月 5 日对空调箱风机功率进行了现场测量，测量结果显示风机实时功率基本在 8.8~9.5kW，平均约为 9kW，因此双方约定后续每月结算过程中，均认为风机工频功率 9kW。

根据 ESCO 公司与业主达成的测量验证方案，以 2011 年 9 月为例对月节能量地计算进行说明，如表 3-3 所示。

表 3-3 某商场空调箱改造 2011 年 9 月节能量计算

项目	本月抄见数	上月抄见数	表记数据	单位	备注
空调箱风机的测量功率 (P_{AHU})	/	/	9	kW	短期测量确定
空调箱风机当月使用时间 (T_{AHU})	360	0	360	h	来自变频器读数
当月空调箱工频工况用电量($Q_{工频}$)	3240	0	3240	kWh	$Q_{工频} = P_{AHU} \times t_{AHU}$
当月空调箱实际用电量 ($Q_{实际}$)	2470	0	2470	kWh	来自变频器读数
当月空调箱节电量 (E)			770	kWh	$E = Q_{工频} - Q_{实际}$

其他月份节能量计算可以按照类似方法进行。

5. 案例小结

本案例对某空调箱风机变频改造进行了说明，对影响风机功率的因素进行了分析，给出了节能量的测量与验证方案，对该方案中所涉及的独立变量确定、节能量测量计算及测量仪器精度要求进行了详细的讨论，并且根据实际测试数据，给出了 2011 年 9 月该项目的节能量计算过程。本案例所讨论的测量验证方法适合于管道阻力基本稳定的系统，否则应通过测量足够多的数据来建立风机风量和功率的回归模型或合理的相邻日比较方法。

方法 A 案例 2——照明灯具替换

1. 工程概况

北京市某国际公寓，占地面积 10.5 公顷，总建筑面积约 32 万平米。该项目存在大面积公共区域照明，改造前所使用的常规光源存在发光效率低、使用寿命短等缺陷，日常使用的电费和灯具更换的费用都很高，有比较大的节能空间。

2. 改造内容及特点分析

通过 ESCO 公司对该国际公寓公共区域照明进行的现场调查，该项目目前普遍使用 T5 型日光灯管照明。公共区域照明时间，一般为 8 小时/天，地下车库的照明灯具 24 小时开启。

3. 测量验证方案和计划

1) 独立变量和测量方案确定

由于 ESCO 所进行的改造方案是采用更加高效的 LED 灯具替换原有的日光灯，改造前后灯具的功率近似为定值，因此影响该项目照明用电量的独立变量就只有各个照明分区运行的灯具数量和运行时间。改造前后的单个灯具的功率可以通过短期测量功率的平均值作为其实际功率，再辅以各个照明分区的替换灯具数目及开启时间就可以比较简单可靠的确定节能量。

改造前为了得到基准能耗，分别对该建筑内多个灯具进行了为期一周的用电量测量，灯具的规格型号和测试时间如表 3-4 和表 3-5 所示，表中给出了其中一组灯具的实际比较结果。

表 3-4 某国际公寓 T5-28 与 LED T12 照明灯具对比测试四

规格型号	试验编号	额定功率 (W)	数量 (只)	已使用时间 (h)	每日时间 (h)	照明天数 (/天)
T5-28	T5-28	28	1	0	24	7
T12	LEDT12 (A)	13.5	1	0	24	7

表 3-5 T5-28 与 LED T12 照明灯具平均功率对比测试四

规格 型号	试验 时间 (h)	表读数 (kW/h)	表读数 (kW/h)	实际耗电 量 (kW/h)	测试平 均功率 (W)	额定 功率 (W)	测试 节能率 (%)	理论 节能率 (%)
T5-28	168	0.19	4.53	4.34	25.8	28	42.3%	51.8%
T12	168	0.22	2.73	2.51	14.9	13.5		

表 3-6 则给出了全部四组测试的结果。从该表可以看出四组测试中改造前后灯具的实际功率均是相对稳定的数值，其平均功率基本为 25.4kW，LED 灯具的平均功率则为 14kW。

表 3-6 照明灯具替换前后平均功率对比

测试	测试一	测试二	测试三	测试四	平均功率	节能量	平均节能
----	-----	-----	-----	-----	------	-----	------

序号					(kWh)	(kWh)	率 (%)
T5-28	24.9	25.7	25.3	25.8	25.4	11.4	44.8
T12	13.4	14.3	13.5	14.9	14.0		

因此，结合上述测试所得到的灯具平均功率及照明时间和灯具数量即可以确定该照明改造项目的节能量。

2) 测量计划制定

在合同签订前，ESCO 对设备和系统的运行特点和时间进行了充分的调查，并根据现场调查的情况编制测量方案，同时送交业主审查。最终通过业主审查的测量与验证方案需作为本项目具有约束力的合同附件。

本项目的测量与验证计划和工作内容如表 3-7。

表 3-7 某国际公寓照明改造节能量测量与验证工作内容

工作内容	负责人	实施时间
1. 校验传感器是否满足要求精度	ESCO	每年一次
2. 测量改造前后照明灯具平均功率，确定能耗基准	ESCO 及业主	合同约定需要进行节能量测量的各月
3. 当月现场巡视及运行情况检查		
4. 收集当月系统记录的运行数据	ESCO	
5. 编制当月测量验证计算报告	ESCO	
6. 业主审查并确认当月测量验证计算报告	业主	

3) 测量仪器选取

该项目节能量测量与验证过程中需要的测量仪表，具体如表 3-8 所示。此外，现场安装的传感器均连接到自动控制系统，系统自动记录和监控，ESCO 公司只需要定期地对运行数据和现场进行巡视和检查。

表 3-8 某国际公寓节能量测量与验证测量仪器

设备名称	测量范围	精度要求 ^①	传感器类型	输出信号	监控点
三相功率变送器	/	0.5 级	可编程数显变送器	RS485	各照明配电箱电源接入点

注：①本表所列精度为传感器厂家产品手册标注精度，ESCO 公司应采购后重新进行校验，校验应保证现场所用传感器精度，三相功率变送器应在有条件的情况下，采用其他校验合格的电表进行比对，应保证其符合标称精度。

4. 测量与验证结果分析

本实例以该项目 2012 年 5 月测量验证的数据为例，对其测量与验证过程进行说明，如表 3-9 所示（表中照明时间为 BA 系统中设定的时间，经过 ESCO 公司和业主共同确认）。

表 3-9 某国际公寓照明改造节能量测量与验证

公共区域 名称	灯具数量 (个)	照明时间 (h)	改造前灯具 平均功率 (kWh)	改造后灯具 平均功率 (kWh)	节能量 (kWh)
地下车库	220	24	25.4	14.0	60,192
公共走道	115	10			13,110
大堂	36	10			4,104

因此，该月三个公共区域照明灯具改造总的节能量为：

$$P_{\text{节能}} = 60,192 \text{ kWh} + 13,110 \text{ kWh} + 4,104 \text{ kWh} = 77,406 \text{ kWh}$$

其他月份节能量计算可以按照类似方法进行。

5. 案例小结

本案例对某国际公寓照明改造进行了说明，对影响照明用电量的因素进行了分析，给出了节能量的测量与验证方案，确定了该方案中所涉及的独立变量和节能量测量计算方法，给出了测量仪器精度要求并进行了详细讨论，并且根据实际测试数据，给出了 2012 年 5 月该项目的节能量计算过程。

方法 A 案例 3——空气源热泵替换燃油锅炉

1. 工程概况

上海某公司研发中心目前采用燃油锅炉系统，满足整个研发中心所需的生活热水、淋浴用水及部分餐饮用热水。该研发中心燃油锅炉系统冬夏均提供温度为 45~55℃ 的热水。

2. 改造内容及特点分析

通过 ESCO 公司对该工艺冷却系统改造前进行的现场调查，该项目需要进行的改造为：

1. 原有燃油锅炉效率相对较低，加热效率在 75%~80%之间，此外，排放的烟气对厂区及周边环境有一定的影响；

2. 该研发中心地处上海，较为适合采用空气源热泵作为热水的热源，热泵的加热效率可以达到 200%~400%，明显优于燃油锅炉的热效率。

3. 测量验证方案和计划

1) 独立变量和测量方案确定

该项目锅炉房满足研发中心内淋浴、生活热水及部分厨房用热，锅炉采用 0#柴油作为燃料，热水用量由该锅炉房内安装的计量水表记录。该锅炉房 2008 年至 2010 年累计热水用量和柴油用量如表 3-10。

表 3-10 2008 年~2010 年锅炉房运行统计

年份	2008 年	2009 年	2010 年	平均值
年用油量 (吨)	33.6	36.2	34.4	34.73
年热水量 (吨)	23040	26327	24462	24610
平均每吨热水用油量 (千克/吨)				1.41

因此，虽然影响锅炉房的独立变量有很多，如室外天气和末端负荷等，但是考虑到该锅炉房所服务的对象用量相对稳定及每年平均气温变化较小，故采用 2008 年~2010 年三年的平均每吨热水用油量作为原燃油锅炉房的改造前能耗基准。

2) 测量计划制定

本项目的测量与验证计划和工作内容如表 3-11。

表 3-11 某锅炉房热泵锅炉替换燃油锅炉节能量测量与验证工作内容

工作内容	负责人	实施时间
1. 当月现场巡视及运行情况检查	ESCO 及业主	一年一次
2. 收集当年系统记录的运行数据	ESCO	
3. 编制当年测量验证计算报告	ESCO	
4. 业主审查并确认当年测量验证计算报告	业主	

3) 测量仪器选取

该项目空气源热泵安装完成后单独安装一路电表，精度等级为 0.5 级，并配有业主与 ESCO 公司均认可的第三方标定证书。

热水用量仍然采用业主原有水表测量和记录。

4. 测量与验证结果分析

本实例以该项目 2011 年测量验证的数据为例，对其测量与验证过程进行说明。

1. 当年空气源热泵锅炉用电量为 113,570kWh，平均电价为 0.93 元/kWh，则改造后当年空气源热泵锅炉运行费用为：

$$\text{热泵锅炉运行费用} = 0.93 \text{ 元/kWh} \times 113,570 \text{ kWh} = 105,620 \text{ 元}$$

2. 当年热水累计用量为 25,237 吨，根据表 3-10 中给出的平均每吨热水用油量，即 1.41 千克/吨热水，可以计算出如果仍然采用燃油锅炉，当年用油量为：

$$\text{当年燃油用量} = 25,237 \text{ 吨} \times 1.41 \text{ 千克/吨} = 35.6 \text{ 吨}$$

当年燃油单价为 8,000 元/吨，按照年用油 35.6 吨计算，则燃油锅炉年运行费用为：

$$\text{燃油运行费用} = 8,000 \text{ 元/吨} \times 35.6 \text{ 吨} = 284,800 \text{ 元}$$

3. 年运行费用节省：

$$284,800 \text{ 元} - 105,620 \text{ 元} = 179,180 \text{ 元}$$

5. 案例小结

本案例对某锅炉房采用空气源热泵替换燃油锅炉改造进行了说明，通过对该项目往年历史记录和使用特点的分析，给出了节能量测量与验证方案，确定了该方案中所涉及的独立变量和节能量测量计算方法，并且根据实际测试数据，给出了 2011 年该项目的节能量计算过程。本案例所使用的方法适合于锅炉房服务对象每年用热需求较为稳定的项目，当无法满足这个条件时，应在改造前对燃油锅炉在不同负荷下的效率进行测量，建立负荷和效率的回归模型，或者采用相似日比较法。

方法 A 案例 4——热回收

1. 工程概况

上海某工厂生产工艺中需要一定温度的纯水，改造前，冬季低温的自来水原水需要先由蒸汽加热到 25℃ 才能进入纯水的制造流程中；同时，工艺用压缩空气系统（CDAS）会产生大量的废热，需要制取冷冻水通过板交对其冷却水系统进行冷却。ESCO 公司与该厂商定对 CDAS 的废热进行回收，预热冬季低温自来水原水。

2. 改造内容及特点分析

通过 ESCO 公司对该热回收系统改造前进行的现场调查，该项目需要进行的改造为：

1. 增加一台板交和旁通管路，使自来水原水冷却一部分经过板交的 CDAS 系统冷却水，当自来水原水温度无法对冷却水进行预冷时，则通过旁通管路，切换至无热回收模式；

2. 通过校核计算，原系统冷却水泵的扬程有一定的余量，可以克服板交所增加的额外阻力损失。

3. 需要增加热量计来测量热回收的热量，该热量计计量 CDAS 系统冷却水侧进、出板交时温度和流量的变化，以估算冷冻水系统冷量和蒸汽系统蒸汽量的减少

由此可见，整个改造系统的投入除一台板式换热器、部分管路阀门和热量计外，没有增加其他耗能设备，同时还可以减少用能。

3. 测量验证方案和计划

1)独立变量和测量方案确定

该项目主要是减少了冷冻水系统的冷量和蒸汽系统的蒸汽量，因此在热回收环路上安装热量计，记录实际回收的热量，按照热平衡就可以计算节省的蒸汽量和冷冻水用量。这个案例中，ESCO 公司与业主商定，只计算冷冻水用量减少所带来的冷机用电量减少，不计算冷冻水泵可能的节能量。

独立变量选择。虽然影响冷机能耗的因素有很多，但是本改造方案主要是减少了冷机负荷从而节能，且运行时间也主要为冬季，对应的冷机运行工况点差异较小，因此，不考虑天气对冷机节电量的影响，而是通过业主监控系统记录的冬季负荷和用电量，来确定一个平均的冬季冷机能效比。经过 ESCO 和业主通过对原有监控系统数据的分析，冬季按照冷机的平均能效比为 5.0 计算冷机节电量（冷机额定能效比为 5.4，实际该工厂冷机一般负载率在 70~90%左右，根据冷机厂家的说明，该能效比相对保守）。

2)测量计划制定

在合同签订前，ESCO 进行现场调查，对设备和系统的运行特点和时间进行充分调查，并根据现场调查的情况编制测量方案，同时送交业主审查。最终通过业主审查的测量与验证方案需作为本项目具有约束力的合同附件。

本项目的测量与验证计划和工作内容如下表 3-12。

表 3-12 某热回收系统节能量测量与验证工作内容

工作内容	负责人	实施时间
1. 校验传感器是否满足要求精度	ESCO	每年一次
2. 当月现场巡视及运行情况检查	ESCO 及业主	
3. 收集当月系统记录的运行数据	ESCO	
4. 编制当月测量验证计算报告	ESCO	
5. 业主审查并确认当月测量验证计算报告	业主	

4) 测量仪器选取

该项目节能量测量与验证过程中需要的测量仪表为一台热量自动记录仪。此外，该热量仪也连接到厂控系统，自动记录和监控，ESCO 公司只需要定期地对运行数据和现场进行巡视和检查。

4. 测量与验证结果分析

本实例以该项目 2012 年 1 月测量验证的数据为例，对其测量与验证过程进行说明。

1. 当月热量表记录的回收热量为 1,028,160 MJ。

2. 蒸汽焓值为 2,683kJ/kg（蒸汽参数为 0.02MPa，蒸汽温度为 105℃），因此，可以计算节省蒸汽量：

$$\text{蒸汽节省量} = \frac{1,028,160\text{MJ}}{2683 \text{ kJ/kg}} = 383.2 \text{ 吨}$$

3. 冷机的平均能效比为 5，则冷机节电量为：

$$\text{冷机节电量} = \frac{1,028,160\text{MJ}}{5} = 57,120 \text{ kWh}$$

4. 该工厂平均电价为 0.6 元/kWh，蒸汽价格为 220 元/吨，因此，当月节省运行费用：

$$\begin{aligned} \text{当月运行费用节省} &= 0.6 \text{ 元/kWh} \times 57,120 \text{ kWh} + 220 \text{ 元/吨} \times 383.2 \text{ 吨} \\ &= 11.86 \text{ 万元} \end{aligned}$$

5. 案例小结

本案例对某工厂冷机冷却水热回收改造进行了说明，通过对该项目往年历史记录和使用特点地分析，给出了节能量的测量与验证方案，确定了该方案中所涉及的独立变量和节能量测量计算方法，并且根据实际测试数据，给出了 2012 年 1 月该项目的节能量计算过程。本案例所使用的方法考虑了节能量主要来自于冷负荷的减少，忽略了冷机水泵用能的减少以及天气对冷机功率的影响，这种做法避免了对节能量贡献较少部分地计算，简化了节能量的计算过程，也保证了 ESCO 公司的节能收益。

方法 B 案例 1——水泵变频

1. 工程概况

上海某半导体工厂设有工艺设备冷却水系统（P.C.W.），主要用于生产设备的冷却。该项目 ESCO 公司与业主商定对该冷却水系统中的冷却水泵进行变频改造。

2. 改造内容及特点分析

通过 ESCO 公司对该工艺冷却系统改造前进行的现场调查，该项目工艺冷却水系统基准运行工况为：

1. 2 台额定 75kW 工艺冷却水泵，一用一备，24 小时运行，无变频装置；

2. 末端冷却管路的二通调节阀对工艺设备冷却过程进行调节，通过位于水泵进出口旁通管上的电动阀来调节供回水总管的压差；

改造前，所有的电机拖动设备均为定频运行；改造后，旁通管上的电动旁通阀将关闭，为了满足该冷却系统的工艺需求，工艺冷却水泵通过变频来保证工艺冷却水供回水主管的压差。

3. 测量验证方案和计划

1) 独立变量和测量方案确定

该工艺冷却泵系统末端二通阀随着工艺设备热负荷的变化进行调节，工艺冷却水的流量和管网阻力特性都会有所变化，因此工艺冷却水泵的功率无法视作定值，只能通过短期或长期测量的方法建立模型。

由于改造前后水泵的运行特性均受到末端调节及压差设定的影响，因此对于不同的流量情况下，工艺冷却泵的功率都会有差异。因此，ESCO 通过与业主协商，分别对水泵变频改造前后的冷却水流量和工艺冷却泵的功率进行记录，采用模型回归方法建立改造前的能耗基准。

如图 3-1 所示，为 ESCO 与业主在 2011 年 8 月 15 日~2011 年 9 月 30 日之间对水泵工频运行时记录的冷却水流量及水泵功率基础上，回归得到的工频运行流量功率变化特性，所记录的数据为每小时的平均冷冻水流量和平均功率。

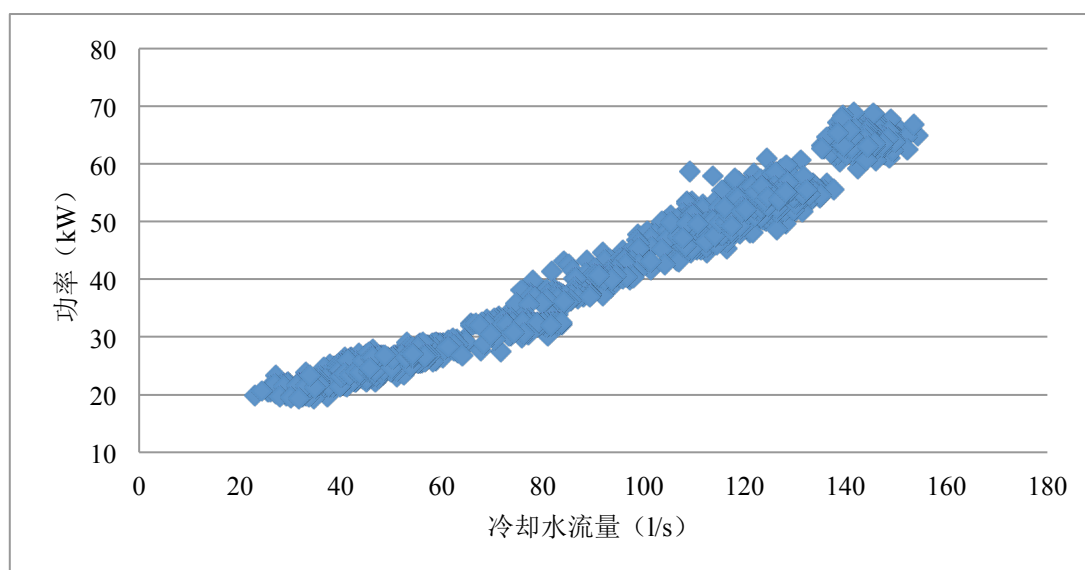


图 3-1 变频改造前工艺冷却泵流量与功率变化关系

经过对变频改造前冷却水泵的功率与冷却水流量的变化进行多次不同模型的回归分析后，二次函数具有最好的 R^2 ，对模型的预测准确性也最好，即

$$P_{\text{pump}} = 0.000932 \cdot F^2 + 0.219 \cdot F + 12.5$$

(3-3)

其中， P_{pump} 为冷却水泵功率（kW）， F 为冷却水流量（l/s）。

变频改造后的水泵用电量则以电表记录的累计用电量为准，变频改造前的基准能耗则依据图 3-1 所示的规律根据控制系统记录的每小时平均流量进行计算。

2) 测量计划制定

在合同签订前，ESCO 对设备和系统的运行特点和时间进行充分的调查，并根据现场调查的情况编制测量方案，同时送交业主审查。最终通过业主审查的测量与验证方案需作为本项目具有约束力的合同附件。

本项目的测量与验证计划和工作内容如表 3-13。

表 3-13 某工艺冷却泵系统节能量测量与验证工作内容

工作内容	负责人	实施时间
1. 校验传感器是否满足要求精度	ESCO	每年一次
2. 测量改造前水泵工频运行的功率，确定能耗基准	ESCO 及业主	合同约定需要进行节能量测量的各月
3. 当月现场巡视及运行情况检查	ESCO 及业主	
4. 收集当月系统记录的运行数据	ESCO	
5. 编制当月测量验证计算报告	ESCO	
6. 业主审查并确认当月测量验证计算报告	业主	

3) 测量仪器选取

该项目节能量测量与验证过程中需要的测量仪表，具体如表 3-14 所示。此外，现场安装的传感器均连接到自动控制系统，系统自动记录和监控，ESCO 公司只需要定期地对运行数据和现场进行巡视和检查。

表 3-14 某工艺冷却泵系统节能量测量与验证测量仪器

设备名称	测量范围	精度要求 ^{①,②}	传感器类型	输出信号	监控点
流量计	0.1~8m/s	±1%FSO	超声波流量计	4-20 mA	冷却水流量
三相功率变送器	/	0.5 级	可编程数显变送器	RS485	冷却水泵用电量

注：①本表所列精度为传感器厂家产品手册标注精度，ESCO 公司应采购后重新进行校验，校验应保证现场所用传感器精度为：流量传感器应保证实际偏差小于 5% x 测量流量，如 ESCO 无条件自行校验时，应要求流量计厂家按照每批订货数量的 10%（至少为 1 个），送至具有检测资质的部门进行校验，校验合格方能使用；

②三相功率变送器应在有条件的情况下，采用其他校验合格的电表进行比对，应保证其符合标称精度。

4. 测量与验证结果分析

本实例以该项目 2011 年 11 月测量验证的数据为例，对其测量与验证过程进行说明，如表 3-15 所示。

表 3-15 某工艺冷却泵系统节能量测量与验证

水泵序号	工频小时用电量基 准 ^① (kWh)	改造后实际总用电 量 ^② (kWh)	节能量 (kWh)	节能率 (%)
1#冷却水泵	38,431	24,724	13,708	35.7
2#冷却水泵	0	0	0	0

注：①根据 2011 年 11 月记录的逐时冷却水流量，利用公式（3-3）计算逐时用电量后累计所得；

②改造后实际总用电量为三相功率变送计所记录的累计用电量。

其他月份节能量计算可以按照类似方法进行。

5. 案例小结

本案例对某工厂工艺冷却泵变频改造进行了说明，针对该项目改造前工艺冷却水管路流量和管路阀门调节对水泵工作特性的影响，建立了水泵功率和流量回归模型，给出了节能量的测量与验证方案，确定了该方案中所涉及的独立变量和节能量测量计算方法，通过 2011 年 11 月实际节能量为例，说明了节能量的计算过程。

方法 B 案例 2——离心式冷水机组替换螺杆式冷水机组

1. 工程概况

位于上海的某办公建筑面积为 2 万平方米，冷冻机房内配备 3 台 500 冷吨螺杆式冷水机组。该冷冻机房原为一次泵系统，冷却塔及水泵均为定频运行，每天从早上 7 点开始运行，至晚上 9 点钟关闭全部设备。ESCO 公司与业主商定采用高效的离心式冷水机组替换一台螺杆式冷水机组，同时通过一定的计算和测量方法来确定替换前后主机的能效比及用电量节省。

2. 改造内容及特点分析

通过 ESCO 公司对冷冻机房改造前进行的现场调查，该项目冷冻机房于改造前的基准运行工况为：

1. 配备三台 500 冷吨的螺杆式冷水机组，夏季峰值负荷时一般运行两台螺杆机，过渡季节只运行一台螺杆机，一般每年 11 月中旬至次年 4 月中旬不开启冷机

2. 改造前，该系统无相应的电量监测及温度流量信号，因此无法获得该系统改造前的设备特性

3. 水泵与主机运行数量为一一对应

本项目 ESCO 公司通过现场考察，发现该项目原有螺杆机组能效比较低，约为 0.75~0.85kW/Rt，因此如换用能效比更高的机组，将具有较大的节能空间。考虑到本项目大部分时间运行一台螺杆式机组就基本可以满足运行需要，本项目确定采用一台容量与螺杆式机组相同、但额定能效比为 0.548kW/Rt 的单级定频离心冷水机组替换其中一台螺杆式机组。

3. 测量验证方案和计划

1) 独立变量和测量方案确定

针对本项目的特点及业主自身运行经验和冷冻机房运行规律，一般冷冻水设定温度会随着室外干球温度地变化进行修改，而室外湿球温度的变化则会对冷水机组冷凝侧参数有直接影响，此外，主机负载率在一周内的不同时间如工作日和非工作日等，会有较大的差别，因此 ESCO 与业主多次协商后确定本项目的独立变量为室外干湿球温度和日累计冷负荷，相关的独立变量偏差要求如表 3-16。

表 3-16 改造测量与验证方案相似日独立变量最大允许偏差

参数名称	日平均室外干球温度	日平均室外湿球温度	日累计冷负荷 (Tonh)
相似日允许偏差	±5%	±3%	±5%

结合上述独立变量，ESCO 公司在冷冻水供回水总管上安装了流量计及温度传感器。由于该项目改造前没有可靠的冷机用电量及负荷数据，因此采用相邻日的方式进行节能量比较。为了保证节能量测量方案能够反映机组在全年不同工况下离心机组相对于螺杆机组的效率提高，确定测量方案如下：

1. 逐月挑选天气接近的两天，测量机组日累计用电量；

2. 当测试工况只开启一台机组时，则比较的是单台离心机和单台螺杆机的日累计用电量；
3. 当测试工况为开启两台机组时，通过比较一台离心机和一台螺杆机及两台螺杆机两种组合情况下的日累计用电量，其差值即为替换离心机后效率的提高量；
4. 节能量的计算公式如下：

$$E_{\text{节能}} = (E_{\text{月总用电量}} - E_{\text{测试用电量}}) \times \frac{R_{\text{节能率}}}{100\% - R_{\text{节能率}}} \quad (3-4)$$

$$R_{\text{节能率}} = \frac{E_{\text{测试日累计用电量}} - E_{\text{节能日累计用电量}}}{E_{\text{测试日累计用电量}}} \quad (3-5)$$

式中：

$E_{\text{节能}}$ ：当月节电量，kWh；

$E_{\text{月总用电量}}$ ：当月冷机总用电量，kWh；

$E_{\text{测试用电量}}$ ：当月测试改造前全螺杆机运行时段用电量，kWh；

$R_{\text{节能率}}$ ：当月冷机替换前后的测试节能率；

$E_{\text{测试日累计用电量}}$ ：当月测试改造前全螺杆机运行时段累计用电量，kWh；

$E_{\text{节能日累计用电量}}$ ：当月运行离心机时挑选的节能日累计用电量，kWh；

相似日比较所需的独立变量将在后续章节进行讨论和选择。

2) 测量计划制定

在合同签订前，ESCO 对设备和系统的运行特点和时间进行充分的调查，并根据现场调查的情况编制测量方案，同时送交业主审查。最终通过业主审查的测量与验证方案需作为本项目具有约束力的合同附件。

本项目的测量与验证计划和工作内容如表 3-17 所示。

表 3-17 某办公楼冷冻机房改造测量与验证方案工作内容

工作内容	负责人	实施时间
1. 校验传感器是否满足要求精度	ESCO	每年一次
2. 每月根据天气预报及往年历史数据选择一天作为基准运行工况	ESCO 及业主	合同约定需要进行节能量测量的各月
3. 当月现场巡视及运行情况检查	ESCO 及业主	
4. 收集当月系统记录的运行数据	ESCO	
5. 编制当月测量验证计算报告	ESCO	
6. 业主审查并确认当月测量验证计算报告	业主	

3) 测量仪器选取

该项目节能量测量与验证过程中需要使用大量的测量仪表，具体如表 3-18 所示。此外，现场安装的传感器均连接到自动控制系统，系统自动记录和监控，ESCO 公司只需要定期的对运行数据和现场进行巡视和检查。

表 3-18 某办公楼冷冻机房改造节能量测量与验证测量仪器

设备名称	测量范围	精度要求 ^①	传感器类型	输出信号	监控点
流量计	0.1~8m/s	±1%FSO	超声波流量计	4-20 mA	冷冻水和冷却水流量
温度传感器	0℃~50℃	±0.1% FSO	PT1000（自带变送器）		冷冻水供回水温度、冷却水供回水温度 ^②
室外温湿度传感器	-50℃~50℃	温度±0.1% FSO，湿度±5%	PT1000（自带变送器）		室外空气温湿度
三相功率变送器	/	0.5 级	可编程数显变送器	RS485	水泵、冷却塔及冷机等用电量

注：①本表所列精度为传感器厂家产品手册标注精度，ESCO 公司应采购后重新进行校验，校验应保证现场所用传感器精度应满足如下条件：

- 1) 流量传感器应保证实际偏差小于测量流量的 5%，如 ESCO 无条件自行校验时，应要求流量计厂家按照每批订货数量的 10%（至少为 1 个），送至具有检测资质的部门进行校验，校验合格方能使用；
- 1) 水温传感器应保证测量冷冻水供回水温度时，应保证其偏差小于 0.2℃，测量冷却水温度时，应保证其偏差小于 0.3℃；
- 2) 室外温湿度传感器应保证安装位置不应受到太阳直射或受墙面温度影响过大，干球温度的测量精度应小于 0.5℃，湿度测量精度应小于 5%
- 4) 三相功率变送器应在有条件的情况下，采用其他校验合格的电表进行比对，应保证其符合标称精度。

②由于冷冻水和冷却水温度传感器中需要计算温差的，应保证校验时优先采用偏差方向相同的传感器

4. 测量与验证结果分析

本实例以该项目 2012 年 8 月测量验证的实测数据为例，对其测量与验证过程进行说明。由于该冷冻机房缺乏历史运行记录，采用相似日比较的方式进行节能量的测量与验证，所有数据均为经校验确认准确的三相功率表、温度和流量传感器测得，并由现场数据记录仪自动记录。经 ESCO 与业主协商每月挑选一天按照改造前方式运行，2012 年 8 月所挑选的相似日工况如表 3-19 所示。

表 3-19 某酒店冷冻机房改造节能量测量与验证相似日一工况对比

工况	日用电量 (kWh)	室外干球 温度(°C)	室外湿球 温度(°C)	日累计冷负荷 (Ton·h)
螺杆+螺杆	6,217	28.3	21.2	7832
离心+螺杆	5,314	28.9	21.4	8023
参数偏差		2.1 %	0.9 %	2.4 %

从上述独立变量的偏差可以看出，相关参数的偏差均小于表 3-16 约定的最大偏差范围内，因此符合约定的相似日条件，根据上述测量数据可以得到基准日和优化日平均用电量见表 3-20 所示。

表 3-20 某办公建筑冷机替换相似日平均能耗对比

基准日平均用电量 (kWh)	优化日平均用电量 (kWh)	平均日节电量 (kWh)
6,217	5,314	903

通过自动记录仪记录的 2012 年 8 月用电量为 106,280 kWh，结合表 3-19 中相似日测试所获得的用电量，该月一台螺杆机替换为离心机后月节电量，可以结合本案例第三部分关于测量方案的约定和公式，按照如下过程计算：

$$R_{\text{节能}} = \frac{6,217 - 5,314}{6,217} \times 100\% = 16.6\%$$

$$E_{\text{节能}} = 106,280 \times \frac{16.6\%}{100\% - 16.6\%} = 21,154 \text{ kWh}$$

其他月份节能量计算可以按照类似方法进行。

5. 案例小结

本案例对某冷冻机房进行冷机替换的项目进行了说明，对影响替换冷机这一节能项目的因素进行了分析，给出了节能量的测量与验证方案，对该方案中所涉及的独立变量确定、节能量测量计算制定及测量仪器精度要求进行了详细的讨论，并且根据实际测试数据，给出了 2012 年 8 月该项目的节能量计算过程。

方法 B 案例 3——冷冻机房整体改造

1. 工程概况

位于北京的某酒店建筑面积为 13 万平方米，冷冻机房总制冷量为 3,400RT，两台 1,200RT 定频离心冷机、一台为 500RT 的变频离心冷机及一台 500RT 的定频离心冷机。该冷冻机房原为一次泵系统，24 小时连续运行，部分负荷时通过压差旁通阀来调节末端流量，冷却塔及水泵均为定频运行。为了减少运行费用，该酒店与 ESCO 公司达成协议，对冷冻机房实现自动运行基础上的整体节能优化改造。

2. 改造内容及特点分析

通过 ESCO 公司对冷冻机房改造前进行的现场调查，该项目冷冻机房于改造前的基准运行工况为：

1. 24 小时运行，手动启停设备满足所有客房的空调需求；
2. 客房的空调末端均为风机盘管，且水侧回路无调节阀控制；
3. 所有的电机拖动设备（除一台变频离心机外）均为定频运行，包括冷水机组、水泵、和冷却塔；
4. 改造前无独立的计量电表和运行记录。

另外，改造协议约定改造后冷冻机房必需实现自动运行，因此相关的水泵及冷却塔风机均需要加装远程监控信号，同时，为了实现冷机的优化控制及保护，每台主机的运行参数，如冷凝压力和温度等，也均作为自动优化控制系统的采集参数。为了满足上述要求，本项目对该酒店冷冻机房增加了如下设备和传感器：

1. 中央优化控制计算机及相关控制子站优化控制软件
2. 冷水机组冷冻水和冷却水进出口电动蝶阀
3. 分集水器旁通电动控制阀
4. 冷冻水供回水总管温度传感器
5. 冷却水进出塔水温传感器
6. 冷冻水和冷却水流量传感器
7. 室外温湿度传感器
8. 三相功率变送器
9. 冷水机组通讯单元
10. 冷冻水泵、冷却水泵及冷却塔变频控制柜

3. 测量验证方案和计划

1) 独立变量和测量方案确定

该冷冻机房原运行方式为定流量系统，改造后冷冻水和冷却水系统都将成为变流量系统，相应的冷水机组及冷却塔等的运行能耗也都会受这些变化的影响。此外，由于优化控制系统带来的水泵台数和冷却塔台数组合及冷机负荷分

配等多方面的调整，改造后系统的运行已经相对复杂，很难通过简单的单台设备用电量变化来测量节能量，详细的改造前后运行工况变化见表 3-21。

表 3-21 某酒店冷冻机房改造前后运行工况对比

	改造前	改造后
冷机运行工况	主机手动启停 主机供水温度及运行台数根据同期历史记录确定	主机启停及台数控制由控制系统根据优化结果确定并自动执行 主机供水温度由控制系统自动设置
冷冻水泵/冷却水泵	水泵台数与主机台数一一对应 水泵均工频运行	水泵启停及台数控制由控制系统根据优化结果确定并自动执行 水泵变频运行，其运行频率由控制系统自动设置
冷却塔	冷却塔手动启停，台数根据同期历史记录确定 冷却塔风机工频运行	冷却塔启停及台数控制由控制系统根据优化结果确定并自动执行 冷却塔风机变频运行，其运行频率由控制系统自动设置

另外，考虑到项目改造前由于缺乏相应的传感器和电表，该冷冻机房基本没有历史运行记录，因此该项目的节能量只能通过相似日测量来确定。

针对本项目的特点及业主自身运行经验，该冷冻机房用电量主要受室外天气参数及入住率相关，因此 ESCO 与业主多次协商后确定本项目的独立变量为室外干湿球温度和酒店入住率，相关的独立变量偏差要求如表 3-22。

表 3-22 某酒店冷冻机房改造测量与验证方案相似日独立变量最大允许偏差

参数名称	日平均室外干球温度	日平均室外湿球温度	日平均入住率
相似日允许偏差	±5%	±3%	±10%

2) 测量计划制定

在合同签订前，ESCO 对设备和系统的运行特点和时间进行充分的调查，并根据现场调查的情况编制测量方案，同时送交业主审查。最终通过业主审查的测量与验证方案需作为本项目具有约束力的合同附件。

本项目的测量与验证计划和工作内容如下表所示：

表 3-23 某酒店冷冻机房改造测量与验证方案工作内容

工作内容	负责人	实施时间
1. 校验传感器是否满足要求精度	ESCO	每年一次
2. 每月根据天气预报及往年历史数据选择三天作为基准运行工况	ESCO 及业主	合同约定需要进行节能量测量的各月
3. 当月现场巡视及运行情况检查	ESCO 及业主	
4. 收集当月系统记录的运行数据	ESCO	
5. 编制当月测量验证计算报告	ESCO	
6. 业主审查并确认当月测量验证计算报告	业主	

3) 测量仪器选取

该项目节能量测量与验证过程中需要使用大量的测量仪表，具体如表 3-24 所示。此外，现场安装的传感器均连接到自动控制系统，自动记录和监控，ESCO 公司只需要定期的对运行数据和现场进行巡视和检查。

表 3-24 某酒店冷冻机房改造节能量测量与验证测量仪器

设备名称	测量范围	精度要求 ^①	传感器类型	输出信号	监控点
流量计	0.1~8m/s	±1%FSO	超声波流量计	4-20 mA	冷冻水和冷却水流量
温度传感器	0℃~50℃	±0.1% FSO	PT1000（自带变送器）		冷冻水供回水温度、冷却水供回水温度 ^②
室外温湿度传感器	-50℃~50℃	温度±0.1% FSO，湿度±5%	PT1000（自带变送器）		室外空气温湿度
三相功率变送器	/	0.5 级	可编程数显变送器	RS485	水泵、冷却塔及冷机等用电量

注：①本表所列精度为传感器厂家产品手册标注精度，ESCO 公司应采购后重新进行校验，校验应保证现场所用传感器精度应满足如下条件：

- 1) 流量传感器应保证实际偏差小于测量流量的 5%，如 ESCO 无条件自行校验时，应要求流量计厂家按照每批订货数量的 10%（至少为 1 个），送至具有检测资质的部门进行校验，校验合格方能使用；
- 2) 水温传感器应保证测量冷冻水供回水温度时，应保证其偏差小于 0.2℃，测量冷却水温度时，应保证其偏差小于 0.3℃；
- 3) 室外温湿度传感器应保证安装位置不应受到太阳直射或受墙面温度影响过大，干球温度的测量精度应小于 0.5℃，湿度测量精度应小于 5%
- 4) 三相功率变送器应在有条件的情况下，采用其他校验合格的电表进行比对，应保证其符合标称精度。

②由于冷冻水和冷却水温度传感器中需要计算温差的，应保证校验时优先采用偏差方向相同的传感器

4. 测量与验证结果分析

本实例以该项目 2011 年 8 月测量验证的实测数据为例，对其测量与验证过程进行说明。由于该冷冻机房缺乏历史运行记录，采用相似日比较的方式进行节能量的测量与验证。经 ESCO 与业主协商每月挑选三天按照改造前方式运行，2011 年 8 月所挑选的三组相似日工况如表 3-25~3-27 所示

表 3-25 某酒店冷冻机房改造节能量测量与验证相似日一工况对比

工况	日用电量 (kWh)	室外干球 温度(°C)	室外湿球 温度(°C)	入住率 (%)
基准	15306	27.8	22.7	41
优化	10420	27.8	22.3	43
参数偏差		±0%	-1.8%	2

表 3-26 某酒店冷冻机房改造节能量测量与验证相似日二工况对比

工况	日用电量 (kWh)	室外干球 温度(°C)	室外湿球 温度(°C)	入住率 (%)
基准	14321	27.8	21.7	55
优化	10740	27.0	21.3	55
参数偏差		-2.9%	-1.8%	0

表 3-27 某酒店冷冻机房改造节能量测量与验证相似日三工况对比

工况	日用电量 (kWh)	室外干球 温度(°C)	室外湿球 温度(°C)	入住率 (%)
基准	16260	28.1	24.5	40
优化	12962	28.2	24.0	42
参数偏差		0.4%	-2.1%	2

从上述相似日中独立变量的偏差可以看出，相关参数的偏差均小于表 2 约定的最大偏差范围内，因此符合约定的相似日条件，根据上述测量数据可以得到基准日和优化日平均用电量见表 3-28 所示：

表 3-28 某酒店冷冻机房相似日平均能耗对比

基准日平均用电量 (kWh)	优化日平均用电量 (kWh)	平均日节电量 (kWh)	节能率 (%)
15,296	11,374	3,922	25.6

通过该项目安装的自动监控系统所记录的 2011 年 8 月用电量为 387,100 kWh，结合表 3-28 中相似日测试所获得的节能率 25.6%可以计算该月优化控制下节电量为：

$$\text{节省用电量} = (387,100 - 15,296 \times 3) \times \frac{25.6\%}{100\% - 25.6\%} = 117,406 \text{ kWh}$$

其他月份节能量计算可以按照类似方法进行。

5. 案例小结

本案例对某冷冻机房优化改造进行了说明，详细对比了该项目冷冻机房改造前后运行情况的对比，综合分析了各种影响因素，给出了节能量的测量与验

证方案，对该方案中所涉及的独立变量确定、节能量测量计算制定及测量仪器精度要求进行了详细的讨论。同时利用项目实际计算示例给出了整个冷冻机房节能量测量与验证的过程。

方法 C 案例——全建筑照明+空调系统改造

1. 工程概况

位于上海的某酒店共 27 层，建筑总面积为 45,456m²，建筑内不同的系统均使用电力或者天然气，本次改造仅对该酒店的用电量有影响。由于该项目业主希望对酒店整体用能情况做详细分析，尽可能减少运行能耗，因此本次改造涉及的改造措施有：

1. 冷冻机房系统改造（螺杆式风冷热泵机组替换活塞式风冷热泵机组，并增加了冷冻水泵变频和中央空调机组群控系统的优化运行控制）；

2. 照明系统改造（原有灯具更换为 LED，并采用智能照明技术，对宴会厅、会议厅等公共区域进行场景调节）。

2. 测量与验证方案

1) 独立变量和验证方案确定

一般而言，酒店用电量主要受室外天气参数、入住率及节假日天数相关。为了准确的评估节能措施可以带来的节能量，结合本项目的特点及业主自身运行经验，因此 ESCO 与业主多次协商后确定本项目的独立变量为：月工作日天数；月节假日天数；月平均干球温度；月平均入住率；月平均湿球温度。

由于此项目同时对照明系统及空调系统进行了改造，且照明系统改造范围较大，对空调负荷的影响较为明显，无法简单的将两者的节能效果分离，而且此项目改造前后能耗数据较完善，此外，该酒店有 2006-2009 年改造前完整的月能耗数据和改造后连续 10 个月的能耗数据以及改造前后完整的独立变量历史记录，故可以采用方法 C 中的回归模型方式来确定节能量。

2) 数据收集

确定节能量的界限为：用电账单

对收集的能耗数据及与能耗的相关的变量包括：

1. 基准年的情况选择 2006 年~2009 年三年的情况，包括 36 个月的用电账单；
2. 改造后能耗选择 2012 年 3 月~2012 年 12 月，共 10 个月的用电账单；
3. 调查改造前后空调系统形式、运行情况及使用时间；
4. 酒店淡季时整个楼层关闭的情况；
5. 照明水平调查，改造前后变压器、镇流器和照明装置数量和位置；
6. 上海地区 2006 年~2009 年及 2012 年月平均温度及月平均湿球温度；
7. 2006 年~2009 年及 2012 年可用房间数及每个月的平均入住率；
8. 2006 年~2009 年及 2012 年每月的国家法定节假日天数及工作日天数。

以上数据由业主提供和 ESCO 公司现场调查得到，天气参数来源于：

<http://www.wunderground.com/>，改造项目所在地点离上海虹桥机场较近，天气参数选取上海虹桥机场气象数据。

3. 测量与验证结果分析

1) 改造前能耗

改造前能耗选取 2006 年~2009 年 48 个月能耗数据，可以直接从电费账单中得到，不需要调整，如表 3-29。

表 3-29 改造前能耗及相关独立变量

	耗电量 (kWh)	工作日 数 (天)	节假日 数 (天)	月平均 干球温 度 (K)	月平均 湿球温 度 (K)	月平均 入住率 (%)
2006 年 1 月	631,375	19	12	279	277	52.4
2006 年 2 月	605,375	18	10	279	277	66.5
2006 年 3 月	587,250	23	8	284	281	86.2
2006 年 4 月	539,250	22	8	290	286	86.8
2006 年 5 月	686,125	18	13	294	290	75.3
2006 年 6 月	800,625	22	8	299	295	79.3
2006 年 7 月	1,077,625	21	10	302	298	70.5
2006 年 8 月	1,117,500	23	8	303	298	71.2
2006 年 9 月	903,250	22	8	297	293	83.2
2006 年 10 月	738,000	18	13	295	291	80.2
2006 年 11 月	591,750	22	8	288	285	87.5
2006 年 12 月	635,000	23	8	281	278	58.7
2007 年 1 月	701,625	20	11	278	276	54.8
2007 年 2 月	573,625	17	11	283	280	43.3
2007 年 3 月	567,875	22	9	285	282	83.2
2007 年 4 月	501,875	23	7	289	285	86.1
2007 年 5 月	770,125	18	13	296	291	80.8
2007 年 6 月	803,125	21	9	298	295	80.2
2007 年 7 月	1,083,250	22	9	303	299	67.5
2007 年 8 月	1,091,250	23	8	303	298	68.7
2007 年 9 月	842,375	22	8	298	295	84.1
2007 年 10 月	773,625	18	13	293	289	86.3
2007 年 11 月	508,000	22	8	286	283	85.6
2007 年 12 月	631,875	21	10	282	280	75.7
2008 年 1 月	710,000	22	9	277	275	76.1
2008 年 2 月	697,500	18	11	277	274	56.4
2008 年 3 月	518,250	21	10	284	281	74.4
2008 年 4 月	497,375	21	9	289	285	81.8
2008 年 5 月	703,250	21	10	295	290	69.4
2008 年 6 月	822,750	20	10	297	294	67.7
2008 年 7 月	1,097,125	23	8	303	298	60.3
2008 年 8 月	1,004,125	21	10	302	299	56.8
2008 年 9 月	930,250	21	9	299	295	65.5
2008 年 10 月	727,875	20	11	294	290	74.1
2008 年 11 月	562,875	20	10	286	283	73.6
2008 年 12 月	618,375	23	8	280	277	52.4
2009 年 1 月	711,375	17	14	277	275	59.9
2009 年 2 月	536,625	21	7	282	280	59.4
2009 年 3 月	538,625	22	9	284	281	64.7
2009 年 4 月	532,750	21	9	289	285	58.6

2009 年 5 月	763,750	19	12	295	289	52.1
2009 年 6 月	790,250	22	8	300	296	42.7
2009 年 7 月	979,750	23	8	302	298	48.5
2009 年 8 月	972,000	21	10	301	298	54.6
2009 年 9 月	860,750	23	7	298	295	51.2
2009 年 10 月	684,750	17	14	294	290	58.7
2009 年 11 月	588,750	21	9	285	283	57.9
2009 年 12 月	756,875	23	8	279	277	53.2

2) 当前能耗

当前能耗，即改造后能耗，同样可以直接从电费账单中得到，不需要调整。改造后，酒店于 2012 年 2 月开始正常营业，节能量从 2012 年 3 月开始计算，2012 年 3 月~12 月的能耗数据及相关独立变量见表 3-30。

表 3-30 改造后能耗及相关独立变量

	耗电量 (kWh)	工作日 数 (天)	节假日 数 (天)	月平均干 球温度 (K)	月平均湿 球温度 (K)	月平均入 住率 (%)
2012 年 1 月						
2012 年 2 月						
2012 年 3 月	539,442	23	8	283	280	81.2
2012 年 4 月	340,016	19	11	291	287	84.9
2012 年 5 月	481,000	22	9	294	290	75.1
2012 年 6 月	574,992	20	10	298	295	75.7
2012 年 7 月	748,957	22	9	303	299	66.1
2012 年 8 月	687,898	23	8	302	299	65.6
2012 年 9 月	648,278	21	9	296	292	77.6
2012 年 10 月	519,887	18	13	294	290	80.2
2012 年 11 月	384,086	22	8	285	283	82.2
2012 年 12 月	539,514	21	10	279	276	62.3

3) 基准能耗及节能量的计算

通过对改造前每月的用电量和月工作日天数、月节假日天数、月平均干球温度、月平均入住率、月平均湿球温度进行多元二次多项式回归，得到改造前用电量与独立变量的回归公式，带入改造后的独立变量值，计算得到基准能耗。

为避免月平均干球温度、月平均湿球温度产生负值，温度采用绝对温度（K）。因变量为月电耗数据。对月工作日天数、月节假日天数、月平均干球温度、月平均湿球温度、月平均入住率、各自的平方及两两乘积共 20 个自变量进行多元线性回归，再通过偏 F 检验，剔除影响因变量的次要因素，最终回归结果见表 3-31。

表 3-31 某酒店月用电量回归模型

因变量	自变量	回归公式	R ²	CV (RMSE)	F 值	Sig
月能耗 ME	月工作日天数 WD	$ME=1.48 \times 10^6 - 1.04 \times 10^4 \cdot DT + 1816 \cdot DT^2 + 764.5 \cdot WD \cdot HD + 4985 \cdot WT$	0.93	0.063	149.3	1.27×10^{-24}
	月节假日天数 HD					
	月平均干球温度 DT					
	月平均湿球温度 WT					
	月平均入住率 OR					
	WD ² , HD ² , DT ² , WT ² , OR ² , WD*HD, WD*DT, WD*WT, WD*OR, HD*DT, HD*WT, HD*OR, DT*WT, DT*OR, WT*OR					

根据 48 个月耗电量回归出的公式，计算 $R^2=0.933>0.8$ ， $CV(RMSE)=0.063<0.1$ ，F 检验，F 值= $149.3>30$ ，Sig= $1.27 \times 10^{-24}<0.05$ ，可认为计算基准能耗的公式从统计学的角度来说是有意义的。针对基准能耗计算模型，其最大相对误差=（回归值-真实值）/真实值=-15.4%，最小误差=0.13%，误差在±5%以内的有 30 个月，占 62.5%，误差超过±10%的有 6 个月，占 12.5%。总体误差分布见图 3-2。

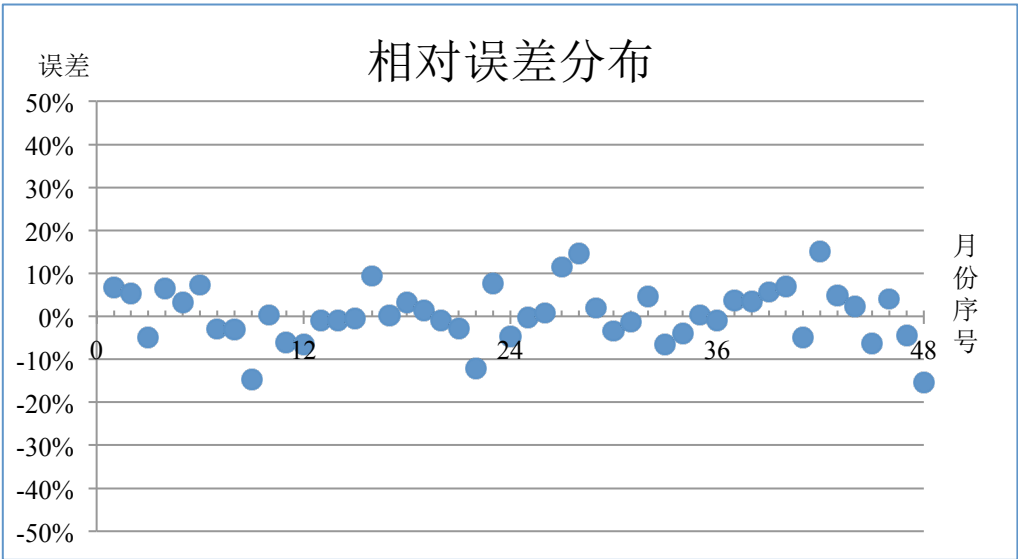


图 3-2 逐月用电量与独立变量回归误差分布

将改造后独立变量代入上述公式，计算出基准能耗，与当前能耗相减，即为节能量，计算结果如表 3-32。

表 3-32 某酒店逐月节能量计算

	当前能耗 (kWh)	改造后独立变量				改造后独立变量下的基准能耗 (kWh)	节能量 (kWh)
月份	来自能耗账单	WD 工作日数 (天)	HD 节假日数 (天)	DT 月平均干球温度 (K)	WT 月平均湿球温度 (K)	基准能耗 =14871261 1- 1042817*D T+1816*D T2+765*W D*HD+498 5*WT	节能量= 基准能耗- 改造后能耗
2012 年 1 月							
2012 年 2 月							
2012 年 3 月	539,442	23	8	283	280	566,364	26,922
2012 年 4 月	340,016	19	11	291	287	616,498	276,482
2012 年 5 月	481,000	22	9	294	290	681,515	200,515
2012 年 6 月	574,992	20	10	298	295	836,776	261,784
2012 年 7 月	748,957	22	9	303	299	1,097,914	348,957
2012 年 8 月	687,898	23	8	302	299	1,031,401	343,503
2012 年 9 月	648,278	21	9	297	293	741,744	93,466
2012 年 10 月	519,887	18	13	294	290	709,037	189,150
2012 年 11 月	384,086	22	8	285	283	552,443	168,357
2012 年 12 月	539,514	21	10	279	276	655,403	115,889
合计	5,464,069					7,489,096	2,025,026

从表 3-32 可以看出，在获得改造后各月对应的工作日天数、节假日天数以及干湿球温度后，就可以利用基于往年历史记录得到的回归模型，来计算改造后各月独立变量所对应的基准能耗。从表中可以得到，采用多种节能措施后，2012 年 3 月~12 月账单累计用电量为 5,464,069 kWh，而各月没有采用节能措施的基准能耗为 7,489,096kWh，对应时间段内的节能量为 2,025,026kWh，相应的节能率按如下计算：

$$\text{节能率} = \frac{\text{基准能耗} - \text{当前能耗}}{\text{基准能耗}} = \frac{7,489,096\text{kWh} - 5,464,069\text{kWh}}{7,489,096\text{kWh}} = 27\%$$

4. 案例小结

本案例对某酒店建筑进行的照明+空调改造项目进行了说明，由于多种改造措施相互影响，隔离测量手段难以衡量各自产生的节能量。为了更好的衡量多项节能措施带来的整体节能效果，且考虑到该酒店历史运行记录相对比较完整，可以采用方法 C 对其节能量进行计算。案例中详细给出了如何利用方法 C 来选择独立变量和计算基准能耗，从计算结果看，可以较为准确的体现多种节能措施的综合节能效果。但是该方法依赖业主历史记录完整和可靠性，如果无法确定，则有可能需要采用其他方法。

方法 D 案例——某五星级酒店全建筑模拟

1. 工程概况

天津市某酒店，是一家五星级的酒店。整体建筑于 2009 年建成并投入使用。项目共 23 层，其中地上 20 层，地下 3 层，共有客房 275 套。酒店总面积为 40,000 平方米，其中空调面积占三分之二。建筑能源结构为电力及天然气，主要涉及的改造有：酒店采暖改造，更新了原来的板式换热器；客梯间、大堂灯光采用 LED 灯替换原来的荧光灯；围护结构改造，客房玻璃幕墙贴膜。

2. 测量与验证方案

此项目涉及空调、采暖、照明和围护结构改造，被改造的部分与建筑物内其他系统相互影响，且改造系统之间能耗相互影响，无法隔离，无法采用方案 A 和 B 计算节能量。酒店为不影响正常营业，客房贴膜选择在无客人入住时进行，改造周期从 2011 年 3 月进行到 7 月，其他改造则在 2011 年 8 月前完成，而业主要求在 2012 年 10 月前得知整栋楼的节能效果，因此采用方案 D 建立改造前模型（2010 年 1 月~2010 年 12 月），校验完成后，调整模型到基准模型和改造后模型，计算得到基准能耗和当前能耗，得到节能量。

1) 运行数据收集

1. 建筑图纸，建筑外立面及其周边环境照片，记录其建筑外形和遮阳设施。

2. 2010 年 1 月~2010 年 12 月情况作为基准年的条件，对这期间的空调系统（制冷站、采暖站、末端）、生活热水系统、照明系统、洗衣系统、厨房系统及插座系统等进行了调查和记录，并进行了机组性能测试和锅炉性能测试。

3. 照明功率水平、照明使用时间及时同时使用系数调查，洗衣房设备、厨房设备铭牌、对应使用时间及时同时使用系数调查，插座设备铭牌，对应使用时间及时同时使用系数调查等。

4. 对以下数据进行点测和短期测量。

① 照明系统：运行时间表、灯的功率；

② 插座负荷：运行时间表、电功率；

③ 空调系统：房间温度和湿度、风量和水量、空气和水的静压和温度、电机功率及风管泄漏量；

④ 空调末端：新风量、新风阀门开度、机组送风量和风机盘管控制策略；

5. 2010 年 1 月~2010 年 12 月、2011 年 10 月~2012 年 10 月酒店入住率。

6. 2010 年 1 月~2010 年 12 月、2011 年 10 月~2012 年 10 月期间的冷冻机房的运行记录和锅炉机房的运行记录。

7. 2010 年 1 月~2010 年 12 月、2011 年 10 月~2012 年 10 月实时天气参数，天气参数来源于：http://www.t7online.com/aktuell/auswahl_TJC.htm，改造项目所在地离天津滨海国际机场较近，天气参数选取天津滨海国际机场气象数据。

8. 2010 年 2 月-2011 年 2 月，2011 年 10 月-2012 年 10 月逐月的能耗数据，包括电力和燃气。

9. 除了因节能改造需改变的输入条件外，调整后的基准能耗模型和改造后能耗模型的模拟计算采用的其他输入条件必须相同，包括相同的天气参数、运行时间、建筑模型和人员密度等变量。

2) 改造前模型

空调系统：酒店的冷源是三台螺杆式冷水机组，对于水系统，所有的冷冻及冷却水泵均为变频水泵，由一套自动控制系统进行调节。水泵、冷却塔与主机不是一对一的启停，而是根据主机及末端的实际需求进行自动加减机。

采暖系统：酒店使用的是 3 台燃气式热水锅炉。

空调末端：本项目的末端系统分成三部分，公共区域以空调箱为主，厨房以新风机加分体空调为主，而客房及部分区域则以风机盘管加新风为主。

生活热水系统：本项目生活热水系统的热源与采暖系统相同，两套系统共用 3 台热水锅炉。现场供应 8 套热水板换，其中 6 套在 6F 层，还有 2 套在地下室，板换通过与锅炉热水换热来产生生活热水。

照明系统：本项目的照明灯具主要由射灯及灯带等组成。餐厅、厨房及洗衣房：本项目酒店内有多个餐厅，这些餐厅均配有各自的厨房，另外，面包房也有部分设备。

插座及其他辅助设备：酒店的插座设备主要是电视及冰箱。辅助设备主要包括扶梯及客梯。这些设备涉及的能耗比重较小。

天气参数：采用 2010 年 1 月~2010 年 12 月天津逐时天气参数。

3) 模型校验

输入合理性检查主要涵盖的内容为：建筑朝向、分区、围护结构特性（朝向、面积、热阻和遮阳系数）、照明和插座负荷功率密度、运行时间、空调系统特性（风量、输入功率、服务区域、最小新风量、系统类型、采暖量和制冷量和风机运行时间）及设备特性（类型、容量、额定效率、部分负荷效率）

——空调系统是否能够满足采暖负荷和制冷负荷；

——照明和设备运行时间设置是否合理；

——风机运行时间是否合理；

——新风负荷是否合理；

——空调设备效率是否合理。

输入检查未发现输入错误或不合理的情况，并重新进行了一些现场调查，着重调查了酒店的厨房设备使用及生活热水系统。在调查期间，发现实际设备使用的情况要大于模型输入情况而且酒店的热舒适要求较高，将夏季的室内设定温度调低，冬季的室内设定温度调高，根据实际调查中发现的问题，对模型参数进行了相应的调整，调整后模型的计算结果与校验数据十分匹配。下面是模拟结果与每月数据比较的情况。

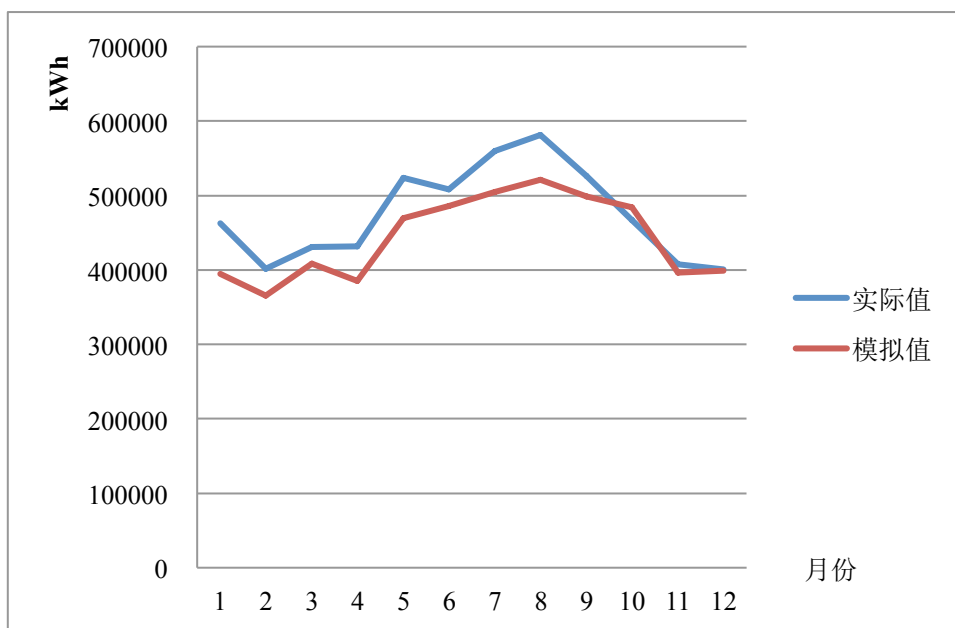


图 3-3 全建筑模型逐月模拟用电量与实际用电量比较

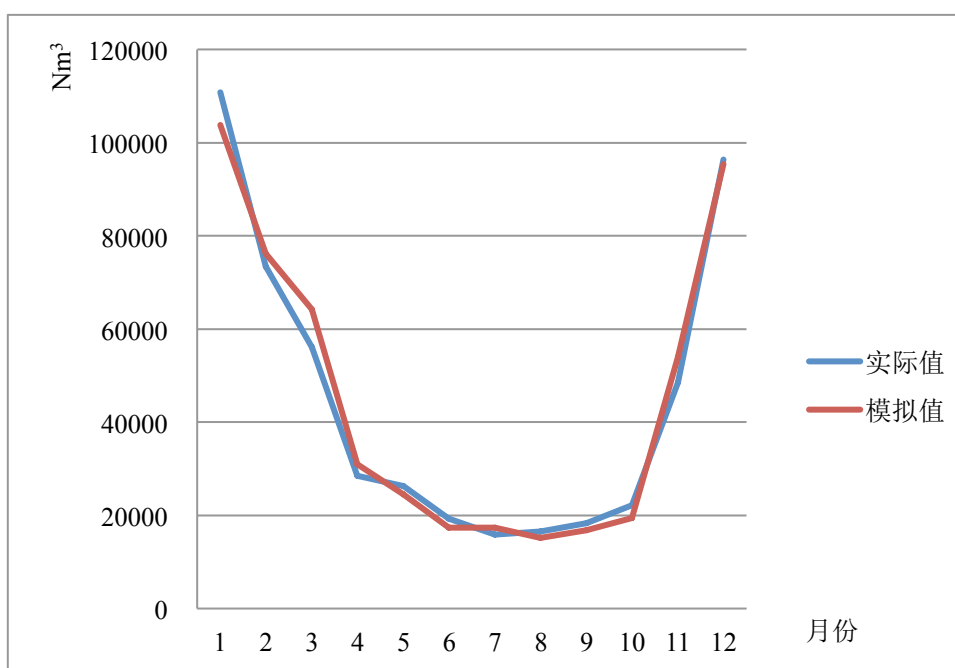


图 3-4 全建筑模型逐月模拟天然气用量与实际用量比较

逐月能耗模拟及校验结果见表 3-33:

表 3-33 全建筑模型逐月模拟用能和实际用能比较

月份	用电量 实际值 (kWh)	用电量 模拟值 (kWh)	误差 (实际 值-模拟值) / 实际值)	天然气 耗量实 际值 (Nm ³)	天然气 耗量模 拟值 (Nm ³)	误差 (实际 值-模拟值) /实际值)
1	462,919	394,500	14.8%	110,813	103,765	6.4%
2	402,067	365,600	9.1%	73,441	76,173	-3.7%
3	430,926	408,900	5.1%	56,084	64,175	-14.4%
4	431,739	384,900	10.8%	28,525	31,026	-8.8%
5	523,411	469,500	10.3%	26,227	24,480	6.7%
6	508,223	485,800	4.4%	19,231	17,412	9.5%
7	559,647	505,300	9.7%	15,874	17,412	-9.7%
8	581,824	521,100	10.4%	16,587	15,116	8.9%
9	526,386	499,000	5.2%	18,260	16,820	7.9%
10	467,184	484,600	-3.7%	22,164	19,412	12.4%
11	408,063	396,600	2.8%	48,492	54,062	-11.5%
12	400,477	399,300	0.3%	96,388	95,361	1.1%
合计	5,702,866	5,315,100	6.8%	532,085	535,214	-0.6%

电力消耗月最大误差 14.8%<15%，年误差 6.8%<10%，均方差变异系数为 8.9%<10%，天然气消耗月最大误差|-14.4%|<15%，年误差|-0.6%|<10%，均方差变异系数 8.8%<10%，均满足误差要求，见表 3-34。

表 3-34 全建筑模型模拟结果误差比较

	最大月误差 (ERR _{month})	年误差 (ERR _{year})	CV(RMSE _{month})
用电量	14.8%	6.8%	8.9%
用气量	14.4%	0.6%	8.8%

3. 测量与验证结果分析

1) 基准模型

将 2010 年 2 月~2011 年 2 月的天气参数文件替换为 2011 年 10 月~2012 年 10 月的天气参数文件。

完成上述修改后重新计算得到基准年能耗数据：

年用电量 = 5,973,952 kWh

年天然气量 = 573,588 M³

2) 改造后模型

在基准模型的基础上，将节能改造措施添加到模型相应的系统，其他部分不作修改，计算得到当前能耗。

3) 节能量的计算，计算结果见表 3-35。

节能量 = 基准能耗 (改造前) - 当前能耗 (改造后)

基准能耗 — 基准模型输出能耗

当前能耗 — 改造后模型输出能耗

表 3-35 某酒店全建筑节能能量计算

	基准能耗	当前能耗	节能量	节能率
电量 (kWh)	5,873,952	5,323,566	550,386	9.4%
天然气 (Nm ³)	573,588	535,673	37,915	6.6%

4. 案例小结

本案例通过全建筑能耗模拟的方式对某五星级酒店采用多种节能措施后的节能量进行了计算，详细说明了建立全建筑模型的过程。此外，通过模拟结果和历史数据的比对，给出了模型校验的过程和结果。从模型校验结果和节能量计算过程来看，校验后确认准确可靠的全建筑能耗模型可以较为准确的衡量多种改造措施的节能量。

附录 B：不确定性的统计方法

B.0.1 节能量的计算过程中涉及改造前后能耗的测量、计算和比较。在这个计算过程中，不仅需要对一些运行参数和能耗进行测量，同时，在某些情况下，为了确保改造前后能耗的可比性，还需要建立一些回归公式来计算特定情况下的能耗。这样，由于测量过程中仪表或设备的可靠性、模型或回归公式的合理性及数据采样质量等都会对能否准确计算实际的节能量造成影响，这就导致在节能量测量与验证过程中实际计算的节能量数值受到多种不确定因素影响。为了体现这些可能的不确定因素对实际节能量数值的影响，有必要对这些不确定因素进行量化或尽可能避免。

在忽略测量仪表误差的前提下，导致能耗量计算不确定性的原因有模型误差、采样误差和偶然误差。

B.0.2 模型误差

回归模型采用线性回归的方法，即根据已知数据，将能耗量表示为若干变量的线性函数。造成模型误差的原因有：

- 模型中忽略了重要的影响因素；
- 对已知的影响因素赋予了不准确值；
- 将回归模型的结果外推到其有效范围外。

根据统计学的原理，模型误差通常由下列三个数据来描述：

- 确定系数(coefficient of determination)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3-1)$$

- 均方差变异系数(coefficient of variation of the root mean square error)

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{y}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \right]^{0.5} \quad (3-2)$$

- 标准差变异系数(coefficient of variation of the standard deviation)

$$CV(STD) = \frac{1}{\bar{y}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1} \right]^{0.5} \quad (3-3)$$

式中：

n——观测样本数；

p——回归模型中的变量个数；

y_i ——第 i 个观测样本值；

$\hat{y}_i$ ——根据回归模型计算得到的第 i 个预测值；

$\bar{y}$ ——所有观测样本的算术平均值。

在这三个参数中，确定系数的大小表示了回归方程估测可靠程度的高低，或者说表示了回归直线拟合度的高低。均方差变异系数与标准差变异系数则都是一组数据平均值分散程度的一种度量。一个较大的均方差变异系数或标准差变异系数，代表大部分数值和其平均值之间差异较大；而一个较小的均方差变异系数或标准差变异系数，代表这些数值较接近平均值。对于回归方程而言，均方差变异系数或标准差变异系数越小，说明回归方程的计算值与原始数据越接近。

B.0.3 采样误差

采样误差是指对一个连续物理量进行定时（每月、每周、每天、每小时、每 15 分钟等）观测，并将观测值作为整个定时观测周期内的实际值所造成的误差。

通过进行连续测量的仪表（如电能表、水表等）所得到的观测数据，如果定时间隔足够准确，可以认为不存在采样误差。此外，无论观测数据是采用人工抄录还是自动记录，都会产生采样误差。

由于采样误差具有随机性，因此通常难以对其影响进行估计。一般而言，定时观测周期越短，采样误差越小。因此，对于一些变化缓慢的数据，如室外温度、定流量水泵的输入功率等，可以采用较长的观测周期（每分钟或更长时间一次），而对于一些变化迅速的数据，如变频风机的输入功率等，则应采用较短的观测周期（每 5 秒或更短时间一次）。

B.0.4 偶然误差

在对客观物理量进行观测时，在消除引起系统误差的一切因素后，所观测到的数据仍有一定的波动，此类误差称为偶然误差。

偶然误差的大小和方向均不确定，其产生的原因也无法确定，因此也就无法控制。但是，大量观测表明，偶然误差完全服从统计规律，当观测次数足够多时，偶然误差的平均值趋向于零。因此，在采样时连续进行多次测量并对所得结果进行算术平均是减小偶然误差的有效方法。

附录 C：回归模型

由于客观事物在发展过程中相互联系、相互影响，因而试验研究中常常要研究两个或两个以上变量之间的关系。

变量间的关系有两类，一类是变量间存在着完全确定性的关系，可以用精确的数学表达式来表示，可以由一个或几个变量的值精确地求出另一个变量的值。这类变量间的关系称为函数关系，这个数学表达式一般称为公式。

另一类是变量间关系不存在完全的确定性关系，不能用精确的数学公式来表示，不能由一个或几个变量的值精确地求出另一个变量的值。像这样一类关系在客观世界中是大量存在的，在统计学中把这些变量间的关系称为相关关系，把存在相关关系的变量称为相关变量。回归分析就是对具有相关关系的变量之间的数量变化关系进行测定，最终确定一个相关的数学表达式，以便进行估计或预测的统计方法。这个数学表达式一般称为回归方程，或称为描述相关关系的回归模型。

相关变量间的关系一般分为两种，一种是因果关系，即一个变量的变化受另一个或几个变量的影响；另一种是平行关系，即两个以上变量之间共同受到另外因素的影响。

统计学上采用回归分析（**Regression analysis**）来研究呈因果关系的相关变量间的关系。表示原因的变量称为自变量，表示结果的变量称为因变量。研究“一因一果”，即一个自变量与一个因变量的回归分析称为一元回归分析；研究“多因一果”，即多个自变量与一个因变量的回归分析称为多元回归分析。一元回归分析又分为直线回归分析与曲线回归分析两种；多元回归分析又分为多元线性回归分析与多元非线性回归分析两种。回归分析的任务是揭示出呈因果关系的相关变量间的联系形式，建立它们之间的回归方程，利用所建立的回归方程，由自变量（原因）来预测、控制依变量（结果）。

同时，统计学上采用相关分析（**Correlation analysis**）研究呈平行关系的相关变量之间的关系。对两个变量间的直线关系进行相关分析称为简单相关分析（也叫直线相关分析）；对多个变量进行相关分析时，研究一个变量与多个变量间的线性相关称为复相关分析；研究其余变量保持不变的情况下两个变量间的线性相关称为偏相关分析。在相关分析中，变量无自变量和依变量之分。相关分析只能研究两个变量之间相关的程度和性质或一个变量与多个变量之间相关的程度，不能用一个或多个变量去预测、控制另一个变量的变化，这是回归分析与相关分析区别的关键所在。但是二者也不能截然分开，因为由回归分析可以获得相关的一些重要信息，由相关分析也能获得回归的一些重要信息。

如果一个自变量可以用若干因变量的线性组合来描述，这种回归模型称线性回归模型。其一般形式为：

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_nx_n \quad (3-4)$$

其中 y 为自变量， x_i 为因变量， a_i 为系数。在最简单的情况下，只需要一个因变量就可以描述自变量（一元线性回归模型）。但是，建筑物的能耗量涉及到很多影响因素，它一般需要用多元线性回归模型来描述。选取回归模型的各个因变量及确定其系数一般可以用计算机程序来完成，在数据比较简单时，也可以用手工完成。

由于回归模型描述的是非严格的数量关系，因此同一个数量关系可以由多种不同的回归模型来描述。通常，我们希望选择一个简单、相容、能产生可重复结果的回归模型。在选择合适的回归模型时，一般需要对几个可能的回归模型进行计算，分别计算它们的确定系数(R^2)、均方差变异系数($CV(RMSE)$)和标准差变异系数($CV(STD)$)的值，对照各种测量与验证方法的有关要求，选取一个既符合要求又最简单的回归模型加以应用。

当变量数较多时，应先对所有的变量进行主因素分析，剔除次要变量，这将有助于选取最合适的回归模型。而且，在取得回归模型后，还需要进行回归关系显著性检验，即 F 检验，来判断自变量与因变量之间是否存在明显的直线关系。

计算 R^2 、 $CV(RMSE)$ 和 $CV(STD)$ 的公式见附录 B，有关主因素分析及 F 检验的进一步内容，可参见相关的统计学书籍。

附录 D：独立变量

独立变量是影响建筑用能系统能耗的基本变量，它将影响用能设备或系统的环境或运行工况，从而影响建筑用能系统的能耗。典型的独立变量包括天气参数、酒店入住率和工业品产量等，这些变量均不受建筑用能系统的影响而独立变化，且可能具有较大的变化率，从而使设备或系统的能耗随着这些独立变量的变化而变化。比如，空调系统中的主机能耗、水泵和风机能耗都随着室外干球温度的全年变化而发生变化。图 1 表示了独立变量与改造前后能耗的关系。由于改造前和改造后系统或设备分别在不同的独立变量下运行，为了与改造后得到的能耗数据进行比较，就需要对改造前能耗进行调整，得到与改造后的独立变量条件相对应的能耗数据，也就是基准能耗。

独立变量是用能系统能耗的基本影响因素，任何需要对用能系统能耗及节能量进行评估和计算的项目都应合理地选择相应的独立变量，并在节能量计算时间段内对其进行准确的测量。为了合理地选择独立变量，必须分析和确定它们对用能系统的运行特性及能耗的影响。如果能够得到包含独立变量在内的建筑能耗表达式，则可以通过一些统计测试方法（如 T 检验等）来分析对各独立变量对用能影响的大小。

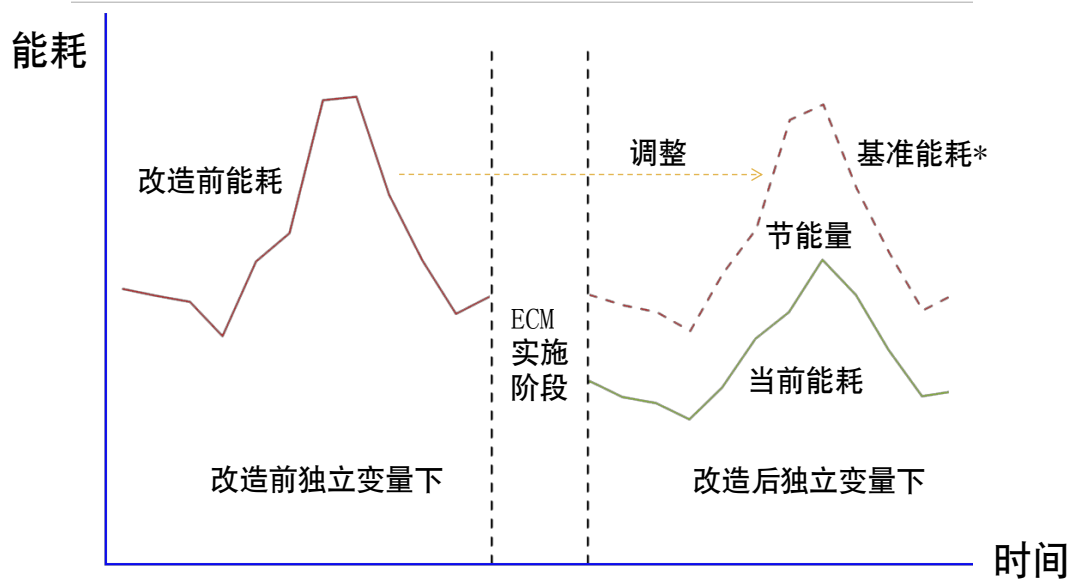


图 1 改造前后能耗与独立变量对应关系

由于相关的建筑用能系统所涵盖的范围不同，在节能量的测量与验证过程中独立变量的数量会有所差异。有些项目中，节能量测量和验证可能只与一个独立变量有关系。例如，在某建筑中施行照明灯具替换的改造工程，在灯具替换前后的实际功率确定后，对节能量有影响的独立变量仅为照明设备的使用时间（不考虑照明负荷变化对空调能耗的影响）。而在其他一些项目中，则可能有两个甚至是更多的独立变量会影响节能量测量和验证的结果。例如在冷冻机房的整体改造项目中，独立变量则包括天气参数、空调面积、出租率、运行时间等。表 1 列出了几种建筑改造项目的对应独立变量。

表 1 改造系统和独立变量举例

改造项目	独立变量
空调系统整体 (包括风系统、水系统)	天气参数、出租率、建筑空调系统运行小时数、空调面积等
建筑空调系统冷冻机房整体 (水系统)	天气参数、出租率、冷冻机房运行小时数、空调面积等
建筑空调风系统	天气参数、出租率、末端空调设备运行小时数、空调面积等
排风机 (车库)	车辆停放量、开放时间等
空调水泵变频	天气参数、出租率、空调面积等
电梯	人流量、商场营业额、运行时间等
工艺	产值、产量、运行时间等

此外，在节能量的测量和验证过程中，特别是在使用相似日法测量节能量过程中，常常需要比较改造前后的用能系统的独立变量变化，表 2 给出了相似日测量法可能会涉及的相关独立变量建议偏差：

表 2 相似日独立变量建议最大允许偏差

独立变量	建议偏差 (%)
平均室外干球温度	±5
平均室外湿球温度	±3
酒店、办公入住率等	±10
日累计冷负荷 (产量等)	±5
系统或设备运行时间	±5

上述偏差均以基准日独立变量数值为基准。本导则中所涉及的独立变量偏差如无特殊说明均指相似日独立变量偏差数值占基准日独立变量的百分比。

第二部分：上海市公共建筑合同 能源管理服务示范项目汇编

示范项目 1：宝山钢铁股份有限公司厂区道路照明改造

1. 项目背景

宝山钢铁股份有限公司（简称“宝钢股份”）总部厂区非主干道及小区道路共有路灯 6800 盏，灯杆高度 6~8 米，路宽为 8 米，灯杆间隔 25~30 米，平均照度 20Lx 以上。路灯光源均为 250W 高压钠灯，发光效率较低，平均使用寿命只有 4000 小时。宝钢股份采用合同能源管理模式分批对厂区路灯进行节能改造。本项目为总体项目的第二批工程，两批节能改造均由上海宝钢节能技术有限公司（简称“宝钢节能”）负责实施。在完成第一批厂区道路照明（各厂部办公楼区域附近 1804 套灯具）改造经验和基础上，本批再改造 3900 套灯具，具体情况见表 4-1。

表 4-1 改造范围内灯具位置及数量情况

序号	生产单位	区域地点	数量（套）
1	炼铁厂	1、2、3 高炉	336
		4 高炉	82
		四高炉原料场	52
		原料堆场	64
		烧结一、二期	170
		烧结三期	132
2	钢管事业部	电炉	268
		电炉渣处理	44
		高线	49
		钢管厂	188
		初轧厂	142
		UOE	77
		涂层	14
3	硅钢部	硅钢	154
4	化工公司	化工	283
		炼焦一、二期	146
		炼焦三期	70
		三期精化	94
5	其他	六号门围厂河	16
		门岗	24
		氢气充填区域	24
		江堤	238
		原料码头	710
		成品码头	167
		长江水渣、化工码头及办公楼	149
		运输部	154
		检修道路	53
	合计		3900

2. 前期评估及成本分析

首先，对 250W 高压钠灯与 LED 灯的主要技术参数进行了比较如表 4-2：

表 4-2 项目中 250W 高压钠灯与 LED 灯的主要技术参数

	250W 高压钠灯	LED 灯	备注
灯具额定功率	250W	80W	LED 功率小
灯具输出功率	300W	<85W	LED 功率小
电源电压	AC220V	AC100-277V	相同
工作电压	100V	DC48V	LED 电压小
功率因数 (PEC)	0.6	>0.95	LED 功率利用系数大
灯具灯通量	28000Lm	5853Lm	由于本项目中采用的 LED 功率小, 灯通量也小
相关色温	2000K	4500±500K	①
显色指数	23	>70	②
工作温度	-40°C~45°C	-30°C ~60 °C	无影响
防护等级		IP65	
工作湿度	≤85%	10%~90%RH	此款 LED 更耐湿
环保	含汞和重金属	无污染	LED 环保

注: ①光源色温不同, 光色也不同, 色温在 3000K 以下有稳重的气氛, 温暖的感觉; 色温在

3000~5000K 为中间色温, 又爽快的感觉; 色温 5000K 以上有冷的感觉。

②显色指数是指一只灯泡的显色指数是彩色物体被该灯泡发出的光照明时彩色被显现的真实程度。

本项目投资估算包含灯具购置费用以及安装人工费等, 估算该项工程总造价为 981.46 万元。本批改造 3900 盏路灯, 投资在三年半回收成本, 产品寿命周期为六年。由于路灯寿命的延长, 在未增加灯具数量的条件下, 维护 LED 灯具的工作量较维护高压钠灯的工作量小, 维护的人工费用较改造之前也有所降低。

3. 项目合同签署

本项目服务合同双方按合同能源管理模式签署, 合同约定项目双方采用节能效益分享型运作模式实施专项节能服务, 并以节能效益支付相应的节能服务费用。项目建设期为合同生效次日至 2012 年 6 月, 节能效益分享期为宝钢股份出具验收证明文件的次日起 72 个月。效益分享期内, 宝钢节能分享 63% 的项目节能收益, 结算电价为 0.76 元/度 (不含税), 且在分享期内不做调整。如宝钢股份实际结算电价随国家政策调整, 宝钢节能分享比例亦做相应调整, 从而使实际结算金额不变。

4. 改造方案及实施

本项目只更换灯具, 不更换灯杆。改造灯具选型为上海度肯光电有限公司提供的 DKLD-070/090-014-55A 型 LED 灯, 整体灯具功率在 75W~85W 之间, 要求 LED 整光灯效在 90Lm/W 以上, 功率因数大于 0.95, 改造后在合同期内照度实测值在 18Lx 以上, 照度均匀性在 0.35 以上。考虑 LED 灯具的驱动电源、光源均采用模块化设计, 元器件体积小、重量轻及方便维护, 灯具的整流器采用与灯头分离的方式 (分腔设计), 整流器安装在原来高压钠灯整流器位置。



图 4-1 改造前照明效果图



图 4-2 改造后照明效果

5. 项目实施效果

本项目由宝钢股份与宝钢节能共同检测与认证。经检测，改造后的节能灯具均运行正常，每天运行 12 个小时。原来使用的 250W 高压钠灯的实际功率按照 300W 计算（另计 50W 整流器功率以及线损功率），新灯具的铭牌功率为 75W，经国家灯具质量监督检验中心（上海）检测，实际功率为 77.2W。

由于本次项目只对节能灯进行了改造，而且厂区的灯具运行时间稳定，因此，通过直接测量改造前后灯具的运行功率，在乘以运行时间，便可获得改造前后能耗情况，再相减就是本次项目的节能量。

改造前能耗情况： $300 \times 12 \times 365 \times 3900 / 1000 = 512.46$ 万度

改造后能耗情况： $77.2 \times 12 \times 365 \times 3900 / 1000 = 131.873$ 万度

因此，改造后每年节约电量为 380.587 万度，折合标准煤 1141.761 吨，年节约电费 289.25 万元。

示范项目 2：东方航空宾馆采用余热回收节能冷热源系统改造

1. 项目背景

上海东方航空宾馆（简称“东方航空宾馆”）是由中国东方航空集团公司和中国东方航空股份有限公司共同投资组建东航酒店集团下属的一家拥有 283 间高中档客房的三星级涉外宾馆。宾馆建筑面积 26,000m²，空调使用面积 20,000m²，其中，行政办公室面积 1,500m²，客房总面积 7,075m²，大堂面积 500m²，会议室面积 2,000m²，建筑冷热源能耗主要采用电与柴油，原有的空调系统及生活热水的能源消耗非常大，急需要采取专业的节能减排措施，转变用能状况。

2. 前期评估及成本分析

改造前，上海东方航空宾馆冷热源系统分制冷与制热二个系统。

制冷采用开利 19L 离心电机制冷主机 2 台，每台制冷量为 1,231kW，输入功率 295kW。配以合众开利活塞式空调 1 台，单冷制冷量为 685kW，单冷输入功率 180kW；冷却塔 3 台。

制暖气和生活热水采用 2 台 3 吨柴油锅炉，配以制冷冷媒水泵 3 台，功率分别为 55kW，30kW，30kW；冷却循环水泵 3 台，功率为 55kW，111kW，5.5kW；热水泵 3 台。

经双方协商，决定以宾馆 2008 年、2009 年、2010 年三年（2008.1.1~2010.12.31）能源消耗量（水、电、柴油等消耗总量）的年平均值得，分别乘以 2010 年 12 月水、电、柴油等能源项目的单价，相加后作为考核节能效益的年度能耗基准值。现经双方确认年度能耗为 942.015 吨标煤，能耗费用约为 392 万元人民币。

上海中普节能科技有限公司（简称“中普节能”）对此项目的节能改造和能源管理全额投资，投资总额为人民 477.68 万元，其中节能措施投资额为 452.99 万元（第三方审核结果）。

3. 项目合同签署

本项目东方航空与中普节能按合同能源管理模式就东方航空宾馆采用余热回收节能冷热源系统、取消锅炉、单冷机组和冷却塔进行节能改造合作，并采用节能收益分享型运作模式，支付中普节能的节能改造和能源管理服务费用。东方航空与中普节能就本项目签订的节能服务合同，其中对基准线能耗范围做了严格的规定，同时本项目签订了 15 年的合同节能收益分享期。

4. 改造方案及实施

中普节能公司经过数据分析之后，为宾馆繁琐复杂的冷热系统提出了一个能量系统优化方案，改造方案包括两部分：

A 空调系统改造方案

1. 取消 2 台开利 19L 离心电机主机。
2. 取消 1 台合众开利活塞式空调。
3. 取消 3 台冷却塔。
4. 取消 3 台冷却循环泵（图 4-3）。
5. 在六楼冷却塔位置安装 3 台 SALS-200HFD 风冷热源热泵机组、2 台 SHR-050HDSC 双效节能冷热源回收机组（图 4-4），可保证全年中央空调和生活热水，开启主机时生活热水全部免费供应。



图 4-3 改造前空调系统图



图 4-4 改造后节能冷热源回收机组

B 热水改造

1. 取消 2 台 3 吨柴油锅炉。
2. 取消 2 台热交换器（图 4-5）。
3. 在原冷却塔位置安装一台 20 吨不锈钢聚胺酸脂发泡保温加热水箱一个，在屋顶安装一只 40 吨不锈钢聚胺酸脂发泡保温加热水箱一个。
4. 通过 2 台双效节能冷热源回收机组 SHR-050HDSC 与 20 吨不锈钢加热水箱一只聚胺酸脂加热水箱连接则可产 55℃ 生活热水，通过变频泵打入屋顶 40 吨保温水箱使热水进入原热泵热水系统（图 4-6）。



图4-5 改造前热交换器



图4-6 改造后空调热水节能系统监控台

5. 机组在生产生活热水时制造出来的冷气免费进入中央空调系统。

5. 项目实施效果

本项目依据东方航空提供的基准年的年（月）能耗量、年（月）的气象等数据，确定能耗基准线。改造验收合格后，在中普节能确保节能量不下降及甲方在收益期内其经营状况不发生改变的前提下，双方确定以固定节能量作为节

能收益额的计算依据。经双方商定，年节能量为 226.08 吨标煤，节能率为 24%（图 4-7），年节能经济效益达 98 万元。

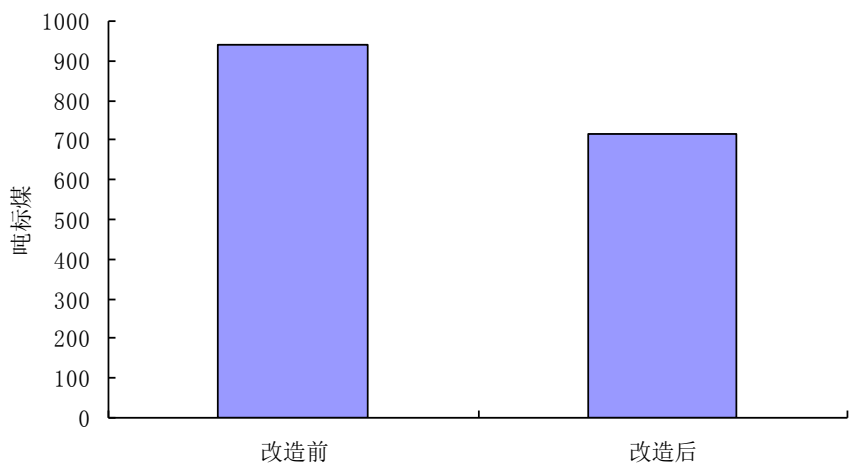


图 4-7 东方航空宾馆改造前后能源使用量对比

示范项目 3：黄浦区人民政府机关办公大楼公共区域照明系统、净水电加热饮水机节能改造

1. 项目背景

黄浦区人民政府机关办公室大楼坐落于山东中路延安东路口，总建筑面积 53,800 平方米，是一幢新近落成的现代化的办公大楼，大楼主体分为东楼、西楼两栋，是政府职能管理枢纽，也是该区标志性建筑之一。

作为低碳发展的先行者，黄浦政府领导在节能减排实际工作中做出表率，黄浦区人民政府机关服务中心（简称“机关服务中心”）委托其物业公司——上海明华物业公司（简称“明华物业”），通过招标采购节能服务的方式，由世界银行/全球环境基金/中国能源管理示范公司——上海能发环保科技有限公司（简称“能发环保科技”）对黄浦政府办公大楼进行节能改造。

2. 前期评估及成本分析

目前大楼中公共区域照明的电感式筒灯、射灯运行年数达 7 年多，电感式筒灯和射灯的外壳已经老化，另外 54 台净水电加热饮水机 24 小时连续工作，能源消耗相对较高，年总耗电量为 115.2 万 kWh，占机关年能源消费量的 24.6%。按电费单价 0.84 元/kWh 算，年用电费用达 96.77 万元。

表 4-3 原灯具系统用电情况

灯具类型	单灯功率 (W)	年照明时间	灯具数量 (只)	年耗电量 (万度)
13W 2U*2 电感筒灯	34	8 小时/天×(22 天/月×12 月-11 天) =2024 小时	2657	18.3
		10 小时/天×(22 天/月×12 月-11 天)=2530 小时	1829	15.7
18W 2U*2 电 感筒灯	46	10 小时/天×(22 天/月×12 月-11 天) =2530 小时	230	2.7
50W 射 灯	51.8	8 小时/天× (22 天/月×12 月-11 天) =2024 小 时	157	1.6
		10 小时/天×(22 天/月×12 月-11 天) =2530 小时	179	2.3
合计			5052	40.6

表 4-4 原净水电加热饮水机设备用电情况

设备类型	单台实际功率(kW)	工作时间	数量(台)	年耗电量(万度)
健胜牌净水电加热饮水机	6	白天: 12 小时/天(7:00~19:00)其中 8 小时保温, 4 小时循环加热 晚上: 12 小时/天(19:00~7:00)其中 9.5 小时保温, 2.5 小时循环加热 年工作时间: (365 天-11 天国定假日)×6.5 小时/天=2301 小时	54	74.6
合计			54	74.6

本合同能源管理服务项目由能发环保科技全额投资实施, 总投资 35 万元, 其中主体设备总费用 18 万元, 工程安装费 12.2 万元, 工程维护费 4.8 万元。由于本项目仅对一种电能进行管理, 采用节电率计算节能收益较为准确, 项目回收期为 1.12 年。

3. 项目合同签署

本合同涉及了甲(明华物业)、乙(能发环保科技)、丙(机关服务中心)交易三方, 合同总金额为 93.6 万元, 采用节能量保证型运作模式, 合同期为 3 年, 在每月节电效益款中提取 2.6 万元, 作为乙方回收投资成本和节电效益的分享款(即利润), 其余的节电效益款(三年共 62.8 万元)归甲方所有。

4. 改造方案及实施

首先, 用嵌入式电子节能筒灯替换电感式筒灯。光源采用 TCP 螺旋电子节能灯, 其使用寿命可达 100000 小时。

其次, 采用嵌入式节能灯杯替换卤素射灯, 其使用寿命可达 10000 小时。

表 4-5 更换的节能灯节能效率

原照明	替换照明	节电率
13W 2U*2 电感式筒灯	3W 节能筒灯	91%
13W 2U*2 电感式筒灯	5W 节能筒灯	85%
13W 2U*2 电感式筒灯	8W 节能筒灯	77%
18W 2U*2 电感式筒灯	18W 节能筒灯	65%
50W 射灯	11W 节能杯灯	85%

第三, 使用三康牌 SK-F 系列智能时控器对 54 台净水电加热饮水机进行有效的实时智能控制, 从而达到节能目的。

项目实施后, 机关办公大楼公共区域的光环境得到合理的改善, 同时, 54 台净水电加热饮水机进行有效的实时控制, 所有设备运行一年多, 运行正常, 年总耗电量下降为 52.9 万 kWh。



图 4-8 改造后公共区域和地下车库照明情况



图 4-9 改造后的净水电加热饮水机运行情况

5. 项目实施效果

1) 照明系统

表 4-6 节能改造后灯具系统能耗

灯具类型	单灯功率 (W)	年照明时间	灯具数量 (只)	年耗电量 (万度)
3W 节能筒灯	3	8 小时/天×（22 天/月×12 月-11 天）=2024 小时	606	0.4
5W 节能筒灯	5	8 小时/天×（22 天/月×12 月-11 天）=2024 小时	782	0.8
		10 小时/天×(22 天/月×12 月-11 天）=2530 小时	1665	2.1
8W 节能筒灯	7.6	8 小时/天×（22 天/月×12 月-11 天）=2024 小时	1269	2.0
		10 小时/天×(22 天/月×12 月-11 天）=2530 小时	164	0.3
18W 节能筒灯	16	10 小时/天×(22 天/月×12 月-11 天）=2530 小时	230	0.9
11W 节能杯灯	7.6	8 小时/天×（22 天/月×12 月-11 天）=2024 小时	157	0.2
		10 小时/天×(22 天/月×12 月-11 天）=2530 小时	179	0.3
合计			5052	7

照明系统节能量计算公式：

照明系统年耗电量=照明系统单灯实际功率×年照明时间×灯具数量（4-1）

年节能量=原照明系统的年耗电量-节能改造后照明系统的年耗电量

年节能量=40.6 万度-7 万度=33.6 万度

2) 净水电加热饮水机

表 4-7 节能改造后设备能耗

设备类型	单台实际功率(kW)	工作时间	数量(台)	年耗电量(万度)
安装三康牌 SK-F 系列智能控制器	6	白天: 12 小时/天 (7:00~19:00), 其中 8 小时保温, 4 小时循环加热 晚上: 0 小时/天 (19:00~7:00) 年工作时间: (365 天-11 天国定假日) ×4 小时/天=1416 小时 其他:双休日不耗电	54	45.9
合计			54	45.9

净水电加热饮水机节能量计算公式：

设备年耗电量=设备单台实际功率×年工作时间×设备数量

年节电量=原设备年耗电量-节能改造后设备年耗电量

年节能量=74.6 万度-45.9 万度=28.7 万度

该项目实施之后，平均每年可节电 62.3 万 kWh，折合标准煤 251 吨，三年办公大楼可节省电费 157 万元¹（表 4-8），平均节电率为 54%。

表 4-8 黄浦政府办公大楼合同能源管理项目实施前后用能比较

项目	节能改造前	节能改造后	对比
每年用电（万 kWh）	115.2	52.9	节省 62.3
三年用电量（万 kWh）	345.6	158.7	节省 186.9
三年电费（万元）	290.4	133.4	节省 157

¹电价为 0.84 元/kWh

示范项目 4：静安区中心医院中央空调及生活热水系统节能改造

1. 项目背景

静安区中心医院是上海市首家绿色医院，正积极开拓发展新市场、新业务满足广大患者医疗服务新需求的同时，能源消耗的包袱却越显沉重。据统计 2010 年全院共消耗煤气 280 万立方米，电力 540 万千瓦时，全年能源费用达 900 余万元（图 4-10、图 4-11）。

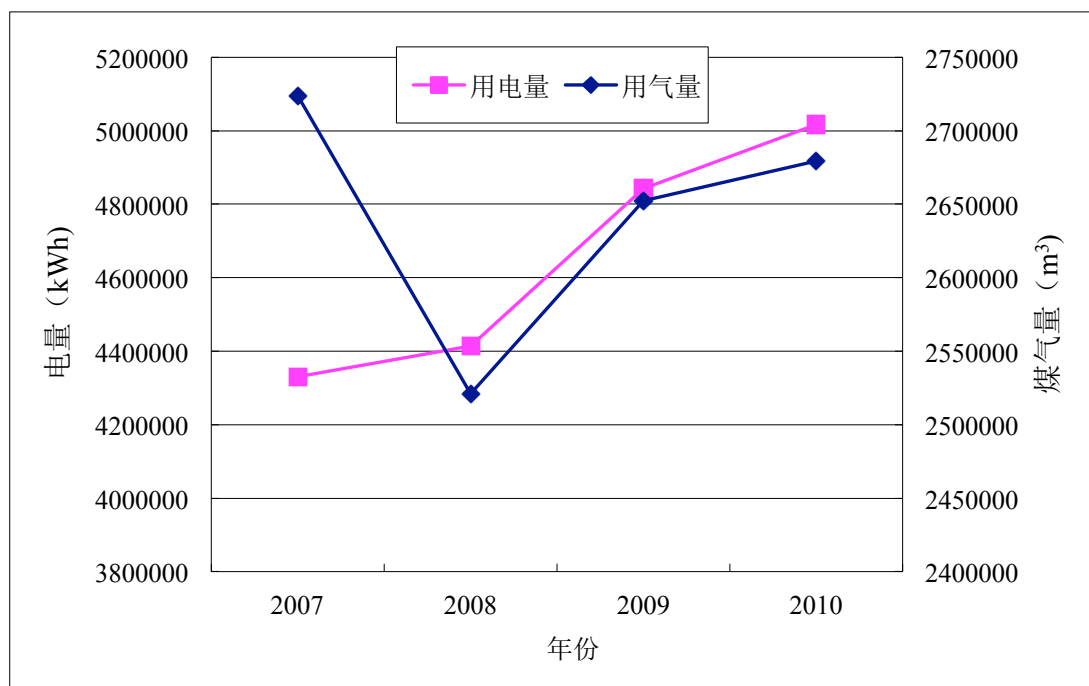


图 4-10 医院 2007~2010 年用电、用气量变化

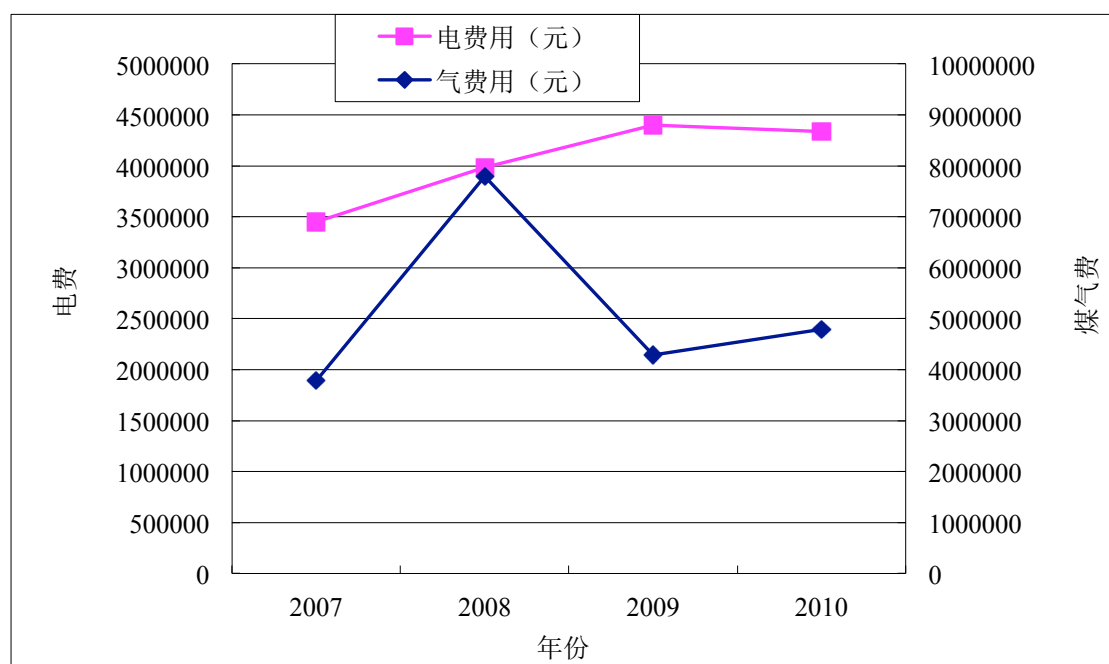


图 4-11 医院 2007~2010 年用电、用气费用变化

全院总建筑面积 47,000 平方米，核定床位数 600 多张，主体建筑包括住院楼、急诊楼和门诊楼，机房分别位于住院楼 6 层和急诊楼地下室，占地面积约 2,000 平方米，额定制冷量为 981 冷吨，系统采用 2 台燃气锅炉所产蒸汽，驱动住院大楼和急诊大楼各 2 台溴化锂机组。空调采暖能源费用占到了全院总能源费用 50%以上，且空调制冷能力不足。

为此，静安中心医院通过上海市合同能源办联系到了上海市节能减排中心与上海东智屏科贸有限公司共同成立项目组。

2. 前期评估及成本分析

静安区中心医院现有中央空调系统主要服务于：住院楼（建筑面积为 24,447 平方米，20 层）、门诊楼（建筑面积为 5,145 平方米，6 层）、急诊楼（建筑面积为 9,765 平方米，12 层），分为两个独立的中央空调系统（住院楼系统和门、急诊楼系统）。两个中央空调供冷系统均分别采用蒸汽型溴化锂吸收式冷水机组，供热系统均分别采用蒸汽-水热交换器，末端采用风机盘管和变风量机组。具体设备情况如下：

1) 住院楼系统的空调主机房位于 6 层，设置 2 台蒸汽型溴化锂吸收式冷水机组（一用一备），额定制冷量分别为 2,300kW 和 1,750kW，COP 值为 0.49。冷冻及冷却循环水泵及汽水热交换器等均设置在机房内，2 台 500CMH 冷却塔设置在 21 层屋面上。

2) 门、急诊楼系统的空调主机房位于急诊楼地下一层，设置 2 台蒸汽型溴化锂吸收式冷水机组（一用一备），额定制冷量均为 1,150 kW，COP 值为 0.27。冷冻及冷却循环水泵及汽水热交换器等均设置在机房内，2 台 400CMH 冷却塔设置在 13 层屋面上。

3) 医院内陆续增加安装了 274 台套分体式空调器，总制冷量约为 1,685kW。

4) 蒸汽系统由 2 台 3.9T/H 的燃气锅炉提供，设置在住院楼地下一层锅炉房内。

5) 医院于 2009 年完成了供电扩容，现有 2 台 1,600kVA 干式变压器，设置在住院楼地下一层变电站内。

改造前，溴化锂机组总体单位制冷量成本为 4.42 元/冷吨。

本项目设备及施工投资总额为 985.03 万元，其中设备购置及安装等工程费用 764.61 万元，其他工程费用为 82.82 万元，预计静态投资回收期 3.5 年。项目工程计算各投资费用使用情况如表 4-9：

表 4-9 项目设备及施工费用估算

	费用分项	金额（万元）
工程费用	空调设备主机	232
	水泵、板交、冷却塔等	97.4
	安装工程	325.67
	配电及控制系统	77.29
	自控设备及安装	72.25
	控制室装修工程	16.3
其他费用	设计、审图、施工图预算编制等费用	45.8
	监理、招标代理、报建、质监等其他费用	16
	项目管理费	60
	不可预计费用	42.32
总计		985.03

3. 项目合同签署

本服务项目的实施方包括上海市节能减排中心有限公司和上海东智屏科贸有限公司，2011 年 2 月两方就本项目与静安中心医院签订了有效期为 6 年的能源管理合同，并按照《合同能源管理技术通则》所规定的“节能效益分享型”运作模式进行中央空调（制冷主机及其系统）专项节能服务。经初步测算，项目年节能效益为人民币 170 万元以上。因此，合同将分享期划分为两个阶段，第一阶段为前 4 年，医院每年制冷季末用节能效益支付给乙方人民币 240 万元，余下节能效益归医院；第二阶段为分享期最后 1 年半，医院每年制冷季末用节能效益支付给乙方人民币 240 万元，余下节能效益归医院；合同期结束后所有效益及项目财产都归医院所有。

4. 改造方案及实施

项目主要是针对空调供冷系统进行改造，设计主要为新增 2 台 600RT 离心式冷水机组，不考虑设置余热回收系统，并保留原急诊楼地下一层机房内的 1 套容积式热交换器（3 台）和生活热水循环泵系统，以及保留住院楼六层的 3 套容积式热交换器和生活热水循环泵系统。

1) 拆除原系统

拆除急诊楼地下一层机房内 2 套蒸汽型溴化锂吸收式冷水机组、冷冻及冷却循环泵和管道等空调供冷系统相关设备，保留 1 套空调供热系统的加热器及循环系统，将此机房改建为新增空调制冷主机机房使用。

2) 新增设备及系统

新增 2 台水冷式三级压缩离心式冷水机组，单台额定制冷量为 600RT，新增冷水机组配套冷冻循环水泵，分为一次泵和二次泵系统。新增配套的电气控制柜及空调系统自控系统，空调供冷系统的一次及二次泵系统均配变频器控制。

新增 2 台冷却塔，每台冷却水量为 400CMH/台，冷却塔风机根据进出水温差进行变频控制。冷却塔均安装在急诊楼 13 层屋面原冷却台的位置上。

由住院楼地下变电所接出二路 380V 电源分别供应 2 台制冷机组；急诊楼地下机房内的水泵按制冷系统划分为二部分，分别由变电所引出两路电源供应。

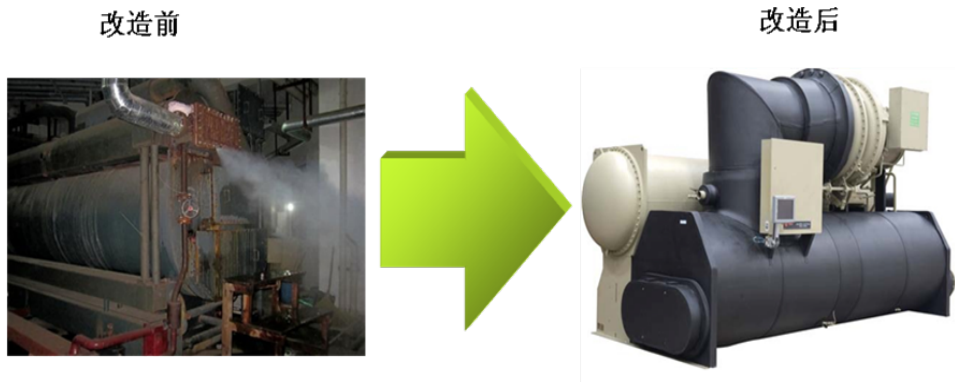


图 4-12 建设完成前、后的运行效果

5. 项目实施效果

改造完成之后，项目双方共同聘请第三方审核机构——上海市节能服务中心对项目节能量进行审核如下：

1) 改造前能耗情况

根据医院对锅炉用城市煤气和项目涉及的住院楼、门、急诊楼电表的数据记录，2010 年静安区中心医院消耗城市煤气约 276 万立方米，用电量约为 525 万千瓦时，全年综合能耗为 2,957 吨标准煤。

2) 改造后能耗情况

改造后对机房设备进行能耗记录，记录了从 2011 年 6 月 15 日竣工试运行至 9 月 19 日制冷季结束，地下机房各用能设备实际消耗的电量如表 4-10：

表 4-10 2011 年 6 月 15~9 月 19 日制冷季-地下机房各用能设备实际消耗

设备	1#主机	2#主机	辅机	控制室空调等	合计	系统制冷量
耗电 (kWh)	235,200	218,080	221,520	3,420	678,220	774,454

3) 项目节能量

经第三方检测机构现场测试，改造前空调供冷系统单位制冷量的能耗为 1.31 千克标准煤/冷吨，单位制冷量成本为 4.42 元/RT。改造后空调供冷系统平均能效为 0.88kW/RT，则系统单位制冷量能耗为 0.26 千克标准煤/冷吨，单位制冷量成本为 0.77 元/RTh，截止至 2011 年 9 月 19 日制冷季结束，空调供冷系统累计耗电量为 67.8 万 kWh，则该制冷季空调供冷系统提供制冷量总计为 77.4 万 RTh。

节能量=（改造前单位制冷量能耗-改造后单位制冷量能耗）×2011 年供冷系统供冷量

节能效益=改造前单位制冷量成本-改造后单位制冷量成本）×2011 年供冷系统供冷量

根据上述节能量计算公式计算得到：静安区中心医院空调供冷系统经改造后年节能量为 813.2 吨标准煤，相当于减少二氧化碳排放 2024.87 吨，年节约能源费用为 282.9 万元。

示范项目 5：仁济医院东院合同能源管理项目

1. 项目背景

仁济医院东院（简称“东院”），即上海交通大学医学院附属仁济医院，其能源使用一直以电、天然气为主，近年来随着用量与单价的同时上涨，能源费用增长较快，其中天然气的平均价格从 2009 年的 3.12 元/m³ 上涨至 2010 年的 3.36 元/m³。东院 2010 年电费占能源费用总量的 60%，天然气费占总量的 31%，预期天然气价格还将继续上涨，现有用能结构将进一步推高总能源开支。

2. 前期评估及成本分析

本项目由中金能源有步骤、分阶段为东院提供全面的节能改造及能源运营管理服务。首先由中金能源投入资金对东院 1、3、7 号楼中央空调系统进行节能改造。其次，对东院 1、3、7 号楼中央空调系统、高低压配电系统、新风系统、生活热水系统、负压吸引系统、氧气站以及 5 号楼锅炉房等，提供合乎国家规范的能源运营管理服务。

改造服务的能耗基准线由上海市发展和改革委员会认定的独立第三方节能量审核机构运用专业方法，对节能改造实施前的 1、3、7 号楼的能耗基准线数据进行核定，基于东院用能记录的实际状况，本项目中 1、3 号楼基准年的能源消耗对应为 2008 年能源消耗量，7 号楼基准年的能源消耗对应为 2008 年~2010 年 3 年能源消耗量的年平均值，并须获得东院认可。考虑到能源成本的发展趋势，从第六年开始对能耗基准线一次性上调 10%。

本项目预计投资额 1,030 万元，合同期为 11 年，节能收益分享期为 10 年，前两年设备改造投入为 965.5 万元，年节能量 633.9 吨标准煤。按照国家和上海针对合同能源管理项目的奖励政策，可获取 206 万元的奖励。项目的内部报酬率（IRR）为 21%，静态投资回收期为 4.9 年。

3. 项目合同签署

经过一年的洽谈沟通，2011 年 9 月，上海中金能源投资有限公司（以下简称“中金能源”）与仁济医院东院正式签订了节能收益分享型合同能源管理合作协议，合作期限自本协议签订之日起开始，至 1、3、7 号楼全部节能改造完毕满 10 年后终止。节能改造预计于 2011 年~2012 年分 2 期完成，其中：2011 年秋季改造 7 号楼，2012 年春季改造 1、3 号楼，预计将于 2012 年 5 月 31 日前结束全部改造。

在节能效益方面，考虑到节能改造服务完全由中金能源全额投入，为了减轻中金能源的投资风险，在合同期内本项目的节能效益不是单纯的进行分享，而是当节能效益小于或等于 180 万元/年时，该节能效益全部归中金能源所有；当节能效益超过 180 万元/年时，中金能源首先取得 180 万元，超过部分则按照 3:7 的比例在双方间分配，东院分享超过部分的 30%，中金能源分享超过部分的 70%。

4. 改造方案及实施

本项目将原东院耗能成本较高的 1、3、7 号楼溴化锂机组、螺杆式机组及其辅助系统更换为离心式冷水机组和高效热水锅炉组合，同时对相应的辅助系统进行更换和优化。



图 4-13 项目改造后效果

5. 项目实施效果

准确的基准能耗是节能效益分享型合同能源管理项目合理实施的基础，中金能源针对性的对本项目建立了 **Baseline** 核定体系，引入了“用能时间”的概念建立了总能耗及单位用能时间能耗的分析指标体系，该体系通过了权威第三方审核机构-宝钢检测中心的认证。

中金能源分别对 3、7 号楼计算得出改造前的 **Baseline**，具体如下：

表 4-11 3、7 号楼改造前的 **Baseline**

类别		电 (kWh)	用电量 (kWh/h)	天然气 (m ³)	用气量 (m ³ /h)	用电单价 (元/kWh)	用气单价 (元/m ³)
3#	用量	953686.3	197.6	573703.5	125.8	0.86	3.68 (冬季) 3.85 (夏季 3.55)
	标煤 (t)	385.3	0.080	745.6	0.163		
	费用 (元)	820107.2		2111229.0			
7#	用量	1196927.9	234.4	398525.0	78.0	0.86	2.91 (冬季) 3.04 (夏季 2.84)
	标煤 (t)	483.6	0.095	518.0	0.101		
	费用 (元)	1029358.0		1159707.8			
合计	标煤 (t)	2132.5					
	费用 (元)	5120464.9					

对于节能改造后的能耗计算，首先分析了节能改造前 3、7 号楼主机运行记录以及对应的制冷制热量，推算在用能时间和用能强度不变的前提下所需要的负荷，最后根据新设备的参数，推算满足该负荷所需要的用能量，并按照当前价格计算费用。

表 4-12 3、7 号楼用能费用计算结果

用能方式	7 号楼	3 号楼
电费（元）	1082738	882494
天然气费（元）	695218	942704
合计（元）	1777956	1825198

由此可估算出本项目的节能量，节能改造前，7 号楼使用天然气和耗电共合计标准煤 1001.5 吨，3 号楼用能合计标准煤 1130.9 吨，所以改造前共耗能 2132.5 吨标准煤。改造后，7 号楼使用能源共 743.7 吨标准煤，3 号楼使用了 732.9 吨标准煤，合计共使用了 1476.6 吨标准煤。因此，本次节能改造项目年节能量为 655.9 吨标准煤，节能率达 30%。

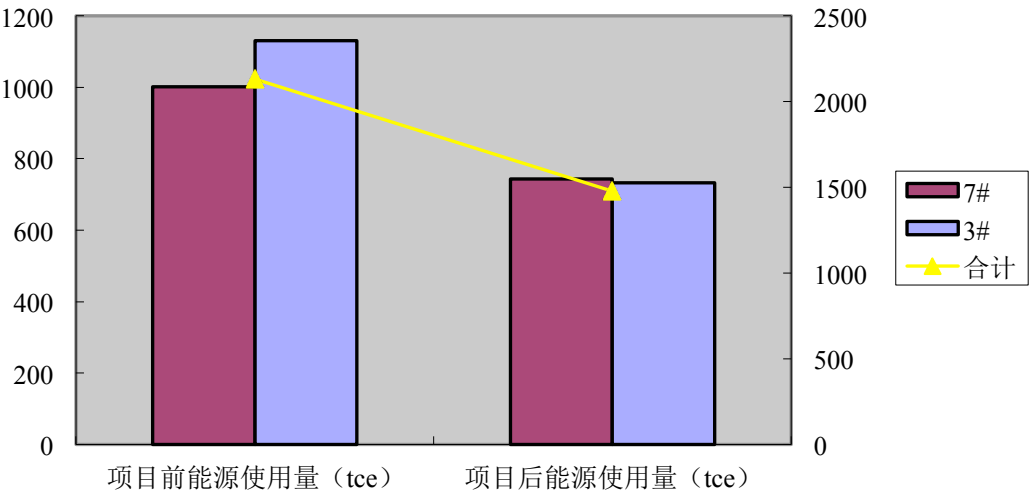


图 4-14 项目前后能源使用量对比

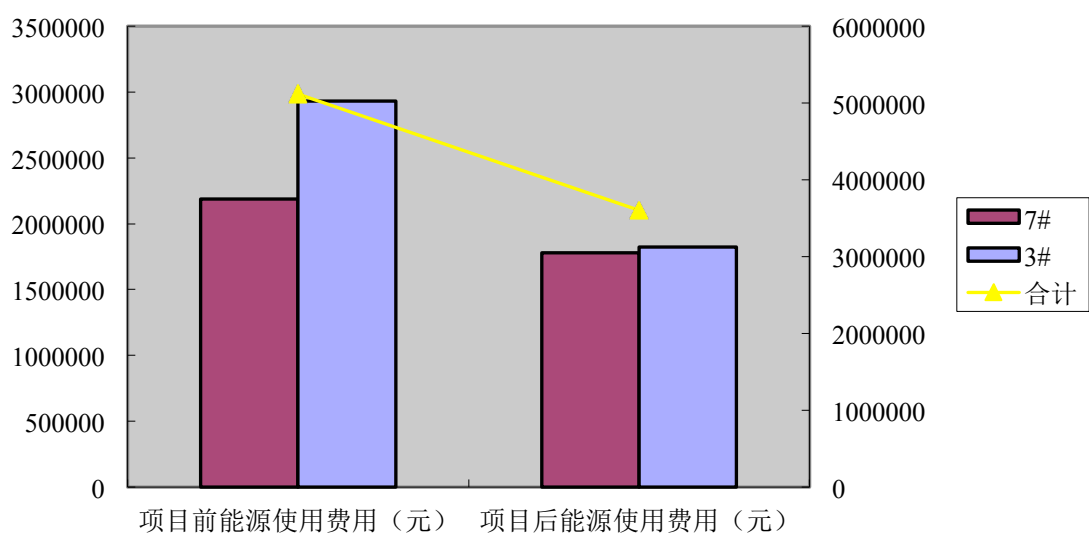
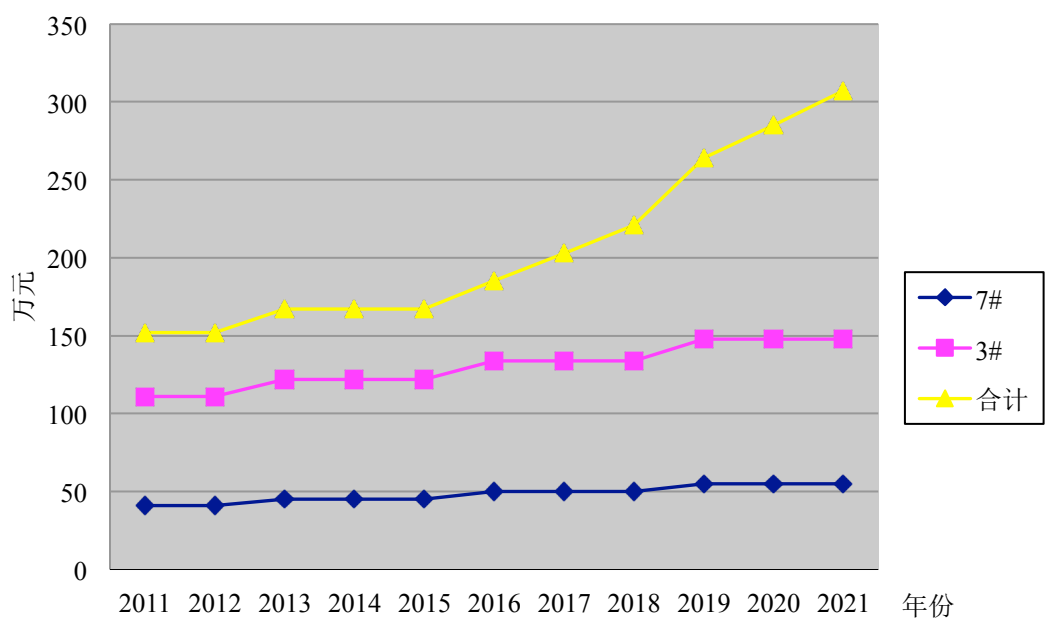


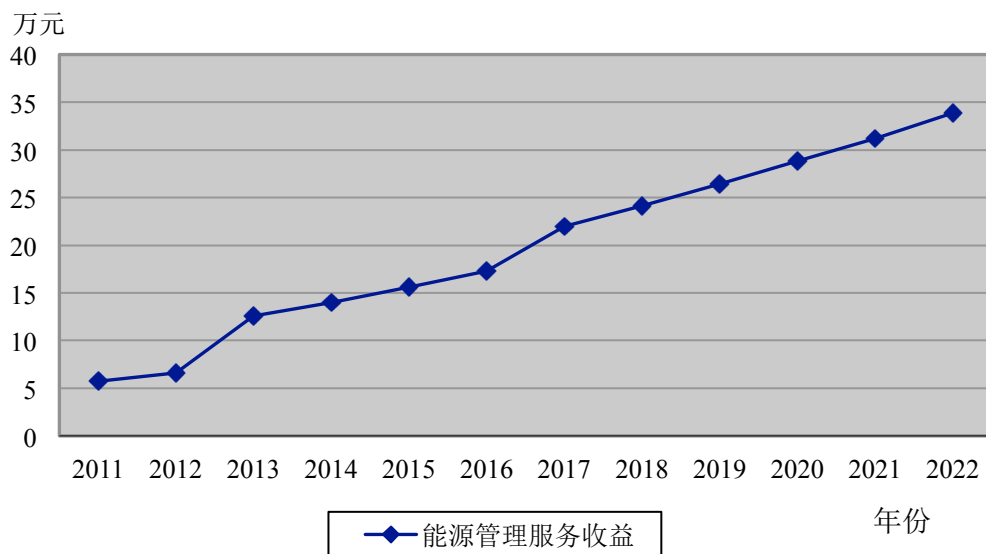
图 4-15 项目前后能源成本对比



注：1. 第六年开始每年按照 3% 的年增长幅度上调能耗基准线；

2. 根据协议，2022 年仅计算前 5 个月的节能量。

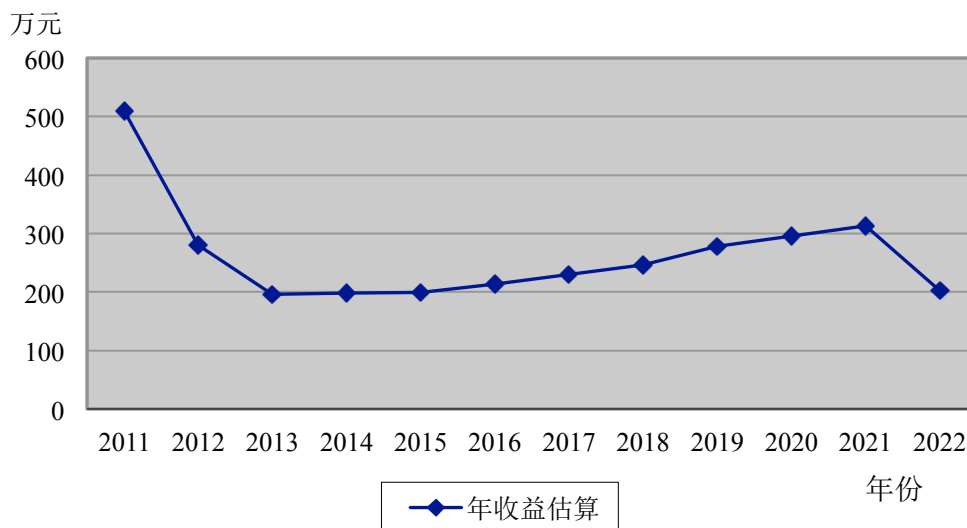
图 4-16 合同期内项目预期节能收益



注：1. 协议约定维保费用每年按上一年度的“动力购进价格指数”调整，且第6年维保费用在第5年的基础上一次性上调10%。

图 4-17 中金能源能源管理服务综合收益预期分析

综合上述三项收益，项目年节能经济收益将逐年提高且超出 180 万元/年（图 4-18），超出部分中金能源与院方 7:3 分享。由于本项目预计投资额 1030 万元，合同期为 11 年，节能收益分享期为 10 年，前两年设备改造投入为 965.5 万元，年节能量 633.9 吨标准煤，按照国家和上海针对合同能源管理项目的奖励政策，可获取 206 万元的奖励。项目的内部报酬率（IRR）为 21%，静态投资回收期为 4.9 年。



注：第一、第二年由于存在固定资产收益，故收益偏高，合同期最后一年（2022 年）只计算半年节能量及节能收益。

图 4-18 中金能源年节能收益估算

示范项目 6：上海百联中环购物广场 B 区空调箱风机节能改造

1. 项目背景

上海百联中环购物广场位于中环线旁的真光路 1288 号，占地面积 10 万平方米，商业建筑面积 25 万平方米，是目前上海规模最大的集购物、餐饮、休闲、娱乐为一体的超大型商业广场。



图 4-19 上海百联中环购物广场

广场主要消耗的能源有水、电、煤气等。电能所占的比重最大，现有变电所 7 个，变压器 24 台。年总耗电量为 40,079,436 度，折合标准煤约 16,192 吨。其中中央空调系统能耗占 50%~60%，节能空间巨大，其余为电梯和照明用电。空调系统每天运行 12~13 小时，尤其是空调箱风机，全年运行。

出于节能和改善空调调节品质的需求，上海百联中环购物广场有限公司（简称“百联中环购物广场”）协同上级单位百联股份公司，选择上海裕生智能节能设备有限公司（简称“裕生智能”），共同对商场 B 区 38 台空调箱风机进行了节能改造。

2. 前期评估及成本分析

百联中环广场 B 区改造项目变风量机组配备情况如下：

表 4-113 百联中环广场 B 区改造项目变风量机组配备情况

楼层	机房	设备位号	额定功率	台数	使用时间
B1F	K2	B1AP10-1	37kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K4	B1AP8-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K5	B1AP7-4	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K7	B1AP-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
1F	K4	1AP5-1	37kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K1	1AP6-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
2F	K1	2AP10-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K2	2AP11-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K3	2AP15-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K4	2AP9-1	37kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K5	2AP8-2	37kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K6	2AP14-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K7	2AP8-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K8	2AP7-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K8-2	2AP7-2	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
3F	K1	3AP10-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K2	3AP11-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K3	3AP15-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K4	3AP9-1	37kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K5	3AP8-2	37kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K6	3AP14-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K7	3AP8-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
4F	K1	4AP10-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K2	4AP11-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K3	4AP15-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K4	4AP9-1	37kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K5	4AP8-2	37kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K6	4AP14-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
	K7	4AP8-1	30kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
泵房间		G10-2	11kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
		G10-1	15kW	1	12 小时/天, 12 个月/年
金汉斯			5.5kW	4	12 小时/天, 12 个月/年
高配间			5.5kW	3	12 小时/天, 12 个月/年
总计			996 kW	月平均耗电量	303093kWh

改造前 38 台空调箱风机为工频运行, 通过风门开度来调节风量, 调节精度不够, 且不节能。总额定功率为 996kW, 实测功率为 897.5kW。

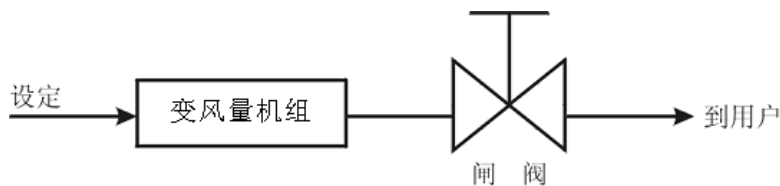


图 4-20 改造前风机运行控制方式

针对本项目设备，裕生智能认为通过安装变频节电装置结合温度采集系统，将风机原有的风、阀门调节、恒速运行模式转变为自动根据负荷变化调整转速的变流量运行模式，在保证原有空调品质的基础上，将大大降低风机设备的能耗。本项目计划总投资为 200.9 万元，投资费用使用情况如下表 4-16。

表 4-124 项目投资成本

序号	型号	名称	台数	单价（元）	合计（元）
1	ZJZ-WII-30	标准型节电装置	21	60000	1260000
2	ZJZ-WII-37	标准型节电装置	8	74000	592000
3	ZJZ-WII-11	标准型节电装置	1	22000	22000
4	ZJZ-WII-15	标准型节电装置	1	30000	30000
5	ZJZ-WII-5.5	标准型节电装置	7	15000	105000
总计			38		2009000

注：1. 以上报价已包括设备安装、调试费用；2. 以上报价已包括设备安放到现场的运输、包装费；3. 以上报价已包括安装设备所需要的导线、桥架等辅助材料费；以上报价已包含税金。

3. 项目合同签署

百联中环购物广场、裕生智能通过合同能源管理模式签订节能改造服务合同，由裕生智能全额进行投资，双方在合同中对购物广场中央空调风机节电改造在设备投入、安装、运行、验收、节能量计算（包括电价确定）等方面达成了条款。此合同为闭口合同，由购物广场将每月实际节省的电费作为合同能源管理费支付给裕生智能，直至付清为止。

4. 改造方案及实施

本项目与 2010 年 4 月 15 日开工，5 月 8 日竣工，总共在 B 区 38 台空调箱机上安装了 38 套 ZJZ 型变频节电装置。

在节电装置的控制设计中，设计手动切换和自动切换旁路功能，即用户可以手动或自动切换使用两套控制线路，确保空调系统无间断运行。

在调试过程中，首先确定了变频器的最低工作频率，将其设定为下限频率并锁定。再将采集的各类信号综合运算，最终转变为模拟信号返回给变频器来控制风机运转，实时调节风量。

项目完成之后，双方共同对项目进行了验收，经检测，乙方在项目中安装设备性能符合合同要求，节能效果达到预定标准。



图 4-21 改造前



图 4-22 改造后

5. 项目实施效果

改造前项目合作双方对原工频状态下每台风机单位时间能耗进行了计量，38 台风机总额定功率为 996kW，实测为 897.5kW，由此计算出工频单位时间耗电量。

当风机开机运行时，节电装置内的计时器开始累计运行时间。由公式（4-4）计算出节能改造前原工频月耗电量。

工频单位时间耗电量×月累计运行时间=该月工频耗电量（4-4）

改造后，节电装置内的电度表累计了节能状态下的每月实际耗电量，由公式 4-5 计算。

该月工频运行耗电量-该月节能运行实测耗电量=该月节电量（4-5）

节电率计算为：

节电率=该月节电量÷改造前（工频）耗电量（4-6）

表 4-135 节能量、节能率计算

月份	天数	改造前（工频） 运行耗电量	节能运行实测耗电量	节电量	节电 率
2010 年 6 月	29 天	290807 度	133227 度	157580	54%
2010 年 7 月	28 天	292176 度	145877 度	146365	50%
2010 年 8 月	34 天	319895 度	168306 度	151589	47%

示范项目 7：上海华联吉买盛购物中心有限公司彭浦店照明系统节能改造

1. 项目背景

上海华联吉买盛购物中心有限公司（简称“吉买盛”）是隶属于百联集团的大型零售企业，位于上海市闸北区安业路 21 号，营业面积共 8,000m²，共安装 T8 电感式 36W（欧司朗）灯管 6100 支。正常营业时间为 8:30~22:30，全天使用照明灯 14 个小时。22:30~隔日 8:30，每层约 100 支灯处于常开状态，全年营业 365 天。上海伊埃姆西节能信息技术有限公司（简称“伊埃姆西”）经过市场调查及实地查看，经双方协商通过采用合同能源管理的模式，对彭浦店的照明系统进行节能改造。



图 4-23 吉买盛彭浦店

2. 前期评估及成本分析

通过对彭浦店的照明系统进行了对比测试（表 4-21），伊埃姆西发现其节能潜力很大，可以使用新型一体化 T5 三基色 22W 节能日光灯对现在使用的 T8 电感式 36W 卤粉荧光灯进行节能更换。更换后的照度超过原来灯管的 25%；并且消除原来灯管的频闪现象；同时，显色性提高 30%以上；照明线路载流量减少近 70%，将大大延长线路使用寿命并减少发热损耗，节电率可以达到 52%。

表 4-16 照明系统对比测试

	原来日光灯管用用电检测	新型节能日光灯用电检测
计量器具	电子式单项电能表（DDS237-1）一块，照度计（TES1330A）一只，UI2008 电参数测量仪	
被测灯管	欧司朗 T8 电感式荧光灯（灯管额定功率 36W），共 40 支	三基色电子新型节能 T5 荧光灯（22W），PT/YZ122E-T5-8（百分百），共 40 支
电能表读数	①初读数：0.2 度 时间：2010 年 9 月 10 日 17: 00 ②终读数：180.6 度 时间：2010 年 9 月 17 日 17: 00	①初读数：0.2 度 时间：2010 年 9 月 10 日 17: 00 ②终读数：86.8 度 时间：2010 年 9 月 17 日 17: 00
照度测量	距地面 1.5m 处 测点 1：照度 1180Lx 测点 2：照度 1143Lx 地面： 测点 1：照度 982Lx 测点 2：照度 960Lx	距地面 1.5m 处 测点 1：照度 1475Lx 测点 2：照度 1425Lx 地面： 测点 1：照度 1260Lx 测点 2：照度 1198Lx
计算	用电量：（180.6-0.2）=180.4 度 每支每天用电量： $180.4 \div 40 \div 7 = 0.644$ 度	用电量：（86.6-0.2）=86.4 度 每支每天用电量： $86.4 \div 40 \div 7 = 0.309$ 度

本项目由伊埃姆西全额投资，6,100 套灯具及施工改造投资总额为 51.85 万元，工程施工 15 天即可完成改造。

3. 项目合同签署

吉买盛与伊埃姆西按合同能源管理模式就彭浦店照明节能改造项目签订了节能效益分享型的服务合同，在合同中就相关术语与定义做了解释，其中定义了项目期限为“效益分享期+施工期=20 个月”，效益分享期为“总投资金额/年节能费用”。并采用保守的实际节能率预测，商定的节能效益与分享比例（伊埃姆西分享 70%的项目节能效益）。

4. 改造方案及实施

项目于 2011 年 3 月 5 日正式开始施工，采用电子式 T5 三基色 22W 荧光灯原位替换原电感式 T8 卤粉 36W 荧光灯，共计用 T5 三基色 22W 电子荧光灯 6,100 套。在不变更原有布线，不影响正常生产的前提下，将 T8 光源替换为新型 T5 节能光源、将原有的电感镇流器替换成电子镇流器。

2011 年 3 月 13 日项目改造完成之后，双方对项目安装质量，灯具质量以及节能效果进行验收，各项指标均符合合同要求。随后伊艾姆西对吉买盛技术人员进行培训，指导其对节能灯具的维修、更换以及合理的使用方法。



图 4-24 照明系统改造后的照片

5. 项目实施效果

改造后，由吉买盛与伊埃姆西双方采用改造前对原使用的 40 支 T8 电感式 36W 荧光灯和新装的 T5 电子式 22W 三基色荧光灯 40 支，分别同时安装电子式单项电度表进行连续 7 天功耗测试结果，作为改造前后大卖场能源节约比对计算、验证的依据，得出节能率测试结果： $(180.4\text{kWh}-86.4\text{kWh})/180.4\text{kWh}=51.1\%$

根据测算结果，项目节能量为： 6100 （改造灯具数量） $\times (0.644-0.309)$ （每天每支节电量） $\times 365$ （全年营业天数） $=743,651\text{kWh}$ ，折合标煤： $743,651\text{kWh}/\text{万 kWh} \times 3.35 \text{ 吨标煤}=249.87 \text{ 吨标煤}$ ，相当于减少二氧化碳排放 622.17 吨。

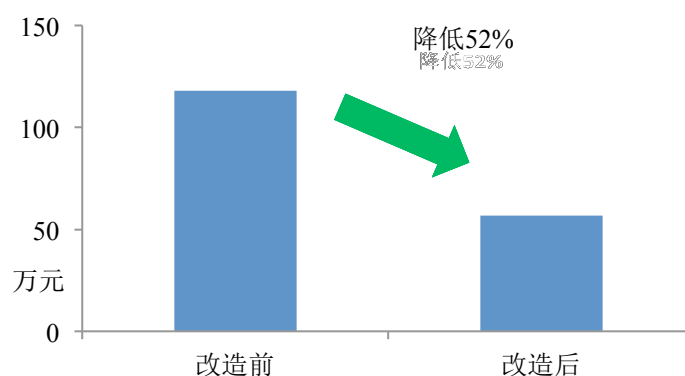


图 4-25 改造前后照明费用比较

示范项目 8：上海火车站扶梯管理控制系统节能改造

1. 项目背景

上海铁路局位于华东沿海地区，是铁道部下属国家特大型运输企业。为积极响应国家节能减排号召，2011 年上海站与上海龙创节能系统股份有限公司（原上海龙创自控系统有限公司）（以下简称“上海龙创”）联系洽谈，采用合同能源管理模式帮助完成上海火车站内 6 台自动扶梯的节能改造。

2. 前期评估及成本分析

该项目在原控制系统的基础上增加变频调压调速装置、微机控制系统及相应的信号检测开关。该变频调速节能方案工作原理如下：判定有无乘客是自动扶梯以什么速度运行的依据，在自动扶梯或自动人行道的上下两个出入口处分别安置红外线探测装置，在无乘客时以较慢的速度运行或处于停止状态，处于节能模式。如果使用者从预定运行方向进入，并出现在红外线探测装置探测范围内时，专用红外线探测装置给微机控制系统发出有人使用的信号，微机控制系统向变频器发出指令，处于节能模式的自动扶梯或自动人行道转入运行模式，在预先设定的时间内平稳地加速到额定速度，并保持到最后一名乘客走出后不少于 10s 时间。乘客离开后，自动扶梯或自动人行道又通过微机控制系统向变频器发出指令，处于额定速度运行的自动扶梯便在预先设定的时间内平稳地减速至预先设定的节能速度，转换为节能模式。

3. 项目合同签署

本项目采用节能量保证型合同能源管理模式实施节能改造服务和效益分享，项目总投资 15 万元，由上海龙创全额投资，合同期 1 年，实际不到一年即可收回投资。在合同中双方确定了与节能率保证相关的节能收益认定和付款方式，即在项目完成并测试性能后 7 天内，上海铁路局上海站按规定支付上海龙创合同总价的 70%，项目双方经验收并确认节能量达标后再付合同总价的 30%。合同结束后上海火车站享有全部节能收益。

4. 改造方案及实施

加装的自动扶梯节能装置采用智能可编程软件固化在微处理器上，通过先进的电子线路对自动扶梯电机的负载进行实时检测与跟踪，实时控制晶闸管（可控硅）的导通角，百分之一秒以内提供电机最适宜的工作电压与电流，使电机的输出功率与实时负载刚好匹配，并能减低铜损、铁损，改善电机起动、停机性能，达到节电效果。

5. 项目实施效果

本次改造将已有的恒速扶梯改成变频调速扶梯，电机不加改动，对原有的电机加装变频器，通过变频器来改变电源频率实现调速的目的。自动扶梯电机

为 2 对极单速电机，根据公式 $n=60f/p(1-S)$ ，当转差率变化不大时， n 基本上正比于 f 。扶梯恒速时 $f=50\text{Hz}$ ，电机转速： $n=60\times 50/2=1500$ ，即每分钟 1500 转。

扶梯慢行时 $f=20\text{Hz}$ ，电机转速： $n=60\times 20/2=600$ ，即每分钟 600 转。当电机的额定电压为 380V，频率为 50Hz 时，经过变频器改变频率后，频率为原频率的 40%，即 20Hz 时，送到电机的电压则变成：

$$U_1=(380V\times 20\text{Hz})/50\text{Hz}=152V$$

根据公式 $U_0/U_1=P_0/P_1$ 得出 $P_1=0.4P_0$ 因而电机所耗费的电功率也为原功率的 40%。

根据上面的推算，一台 7kW 的电动机，每天运行 24 小时，每度电费为 0.94 元，那么它每天的电费为： $24\times 7\times 0.94= 157.92$ 元。安装变频器后，如果每天慢速运行的时间为全天的 50% 的话，那么每天慢行所耗费的电费为：

$$12\times 7\times 0.4\times 0.94= 31.584 \text{ 元。}$$

$$\text{安装变频器后每天耗电为：} 157.92/2+31.584=110.544 \text{ 元。}$$

$$\text{安装变频器后每天节电费为：} 157.92-110.544= 47.376 \text{ 元。}$$

$$\text{每台电梯年节电费=安装变频器后每天节电量}\times 365 =17,292.24 \text{ 元。}$$

按照此方法计算的电梯节能情况汇总如下：

表 4-17 电梯节能情况

序号	型号	品牌	安装位置	功率	数量	改造前耗电量 kWh	改造后耗电量 kWh	节电量 kWh
1	9500	迅达	贵宾厅	7kW	1	61320	42924	18396
2	9500	迅达	贵宾厅	7kW	1	61320	42924	18396
3	SWT	迅达	贵宾厅	15kW	1	131400	91980	39420
4	9300	迅达	贵宾厅	15kW	1	131400	91980	39420
5	SWT	迅达	进站厅	17kW	1	148920	104244	44676
6	SWT	迅达	进站厅	17kW	1	148920	104244	44676
合计					6			204984

由此可见，项目改造后节能 204,984kWh/年，项目达到预期节能结果。

示范项目 9：上海市伊泰利大厦 1 号楼空调系统节能改造

1. 项目背景

伊泰利大厦位于上海市徐汇区肇嘉浜路 446 号，大厦总建筑面积约为 2.9 万 m²，共 24 层。作为办公和商业建筑，2008 年伊泰利大厦年耗电量、耗水量分别为 373 万度和 8.2 万吨。



图4-26 伊泰利大厦

中鼎盛华能源科技发展有限公司（简称“中鼎盛华公司”）在深入了解大厦的用能情况后，经双方协商决定通过采用合同能源管理的模式，开展对伊泰利大厦的节能减排工作。

2. 前期评估及成本分析

伊泰利大厦空调系统共由 8 台风冷热泵机组（制冷量/制热量分别为 335kW/349kW）作为空调系统的冷热源，于楼顶分散放置。冷冻水系统配有 8 台冷冻水泵（流量 200m³/h，功率 30kW，扬程 32m）。整栋大楼空调末端均采用风机盘管加新风系统形式，每层配有一台新风机组。空调主机和水泵的启停均由人工控制，各层的新风机组和室内风机盘管机组也均无自动控制。经测算，伊泰利大厦中央空调系统年耗电量约为 159 万 kWh/a，约占大厦年总耗电量的 42.1%。

整个项目投资额为 80 万元其中设备投资 70 万元，工程费用 10 万元，由伊泰利承担 49%，中鼎盛华承担 51%。预计年节电量 30 万 kWh，年节约效益为 33 万元，预计项目回收期为 5.4 年。

3. 项目合同签署

本项目采用效益分享型合同能源管理运作模式，因此，合同中明确规定，合同期间伊泰利大厦作为合同中向乙方支付节能费用的行为机构，按照实际节能费用如约向中鼎盛华按时支付节能效益分享金，并明确了双方的权利和义务、项目验收及付款方式、设备使用权和所有权的具体情况等一系列规范能源管

理的合同条款。其中，项目合同期为 8 年（96 个月），伊泰利分享 55%的节能效益，中鼎盛华分享 45%的节能效益。

4. 改造方案及实施

1) 建设能源监控管理信息平台

该项目首先为建筑能源系统建立一套能源监控管理信息平台，可对建筑耗电系统的设备进行分项、分设备计量；对各耗电系统、设备实施在线监测、实时计量。

2) 空调水系统的节能优化

对空调水系统的节能优化包括水泵更新和变频节能控制两部分内容。

1. 水泵更换

伊泰利大厦现有的 8 台 30kW 水泵使用时间已经超过 12 年之久，效率衰减严重，因此更换适合而高效的水泵。

2. 变频节能控制

为每台水泵配备一台变频器，根据温度调节水泵转速。

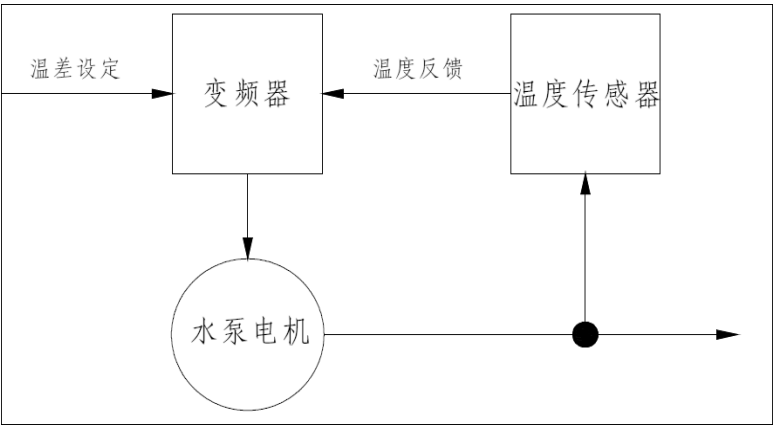


图 4-27 温差变频器



图 4-28 空调系统改造前后效果

3) 机房设备群控优化

1. 机房设备启停、加卸载控制策略

根据伊泰利大厦实际情况，由于机组的设备型号较老，无法对其进行远程控制，只能实施远程监控，因而建议使用远程监控，远程手动启停水泵、阀门等空调设备的节能运行策略。



图 4-29 机房设备群控优化前后对比

2. 水泵恒温差控制策略
3. 冷冻水系统无旁通的运行策略
4. 能耗监控管理策略

5. 项目实施效果

根据伊泰利大厦空调系统节能改造的具体情况和办公建筑能耗特点，选择账单分析法作为节能量测量的基本方法。根据此计算方法，最终计算得本次节能改造项目节能率为 10.5%，年节电量为 30 万 kWh，经济效益可达每年 240 万。

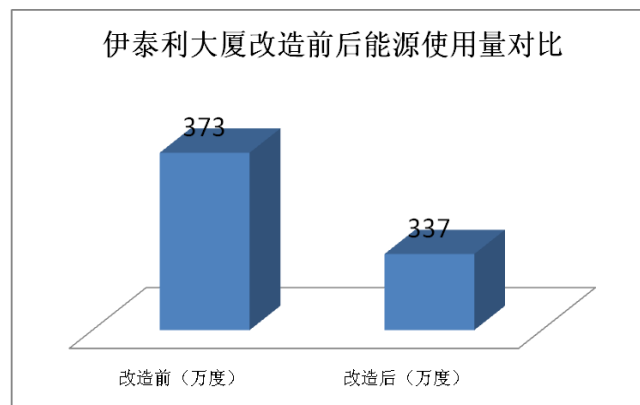


图 4-30 伊泰利大厦节能改造前后能源使用量对比

示范项目 10：上海王宝和大酒店有限公司综合节能改造合同能源管理项

目

1. 项目背景

上海王宝和大酒店(以下简称“酒店”)是一家四星级酒店,楼高 27 层,建筑总面积 45,456m²。为降低能源成本,发展“绿色酒店”,王宝和酒店与上海成信建业节能科技有限公司(以下简称“成信节能”)合作,采用合同能源管理的方式,对酒店的空调系统和照明系统进行综合节能改造,一方面是采用高效空调冷热源设备、水泵变频技术、系统群控技术,使空调系统综合能耗降低 30%左右,同时也大幅降低了空调系统的维护保养成本;另一方面全面采用 LED 作为照明光源,更新原有照明系统的灯具。

2. 前期评估及成本分析

1) 原空调机组能耗:

夏季制冷:由于目前王宝和大酒店夏季最大冷负荷 825Rt,夏季大约 6 个月基本上需要开 4~6 台机组,平均每天白天开 4 台机组,夜晚开 3 台机组,最高负荷时会开到 6 台机组,机组设定出水温度为 7℃,实际冷冻水出水温度为 8.5℃,实际冷冻水回水温度为 12℃,冷冻水泵平均开 5 台,夏季的冷负荷平均约为 800Rt,空调制冷运行时间按 180 天,每天平均运行 20 小时。主机年制冷费用为: $Ny1 = 180 \text{ 天} \times 20 \text{ h} \times 236 \text{ (单台热泵机组的输入功率)} \times 4 \text{ 台} \times 0.67 \text{ RMB/kW} \cdot \text{h} = 228 \text{ 万元/制冷季}$

冬季采暖:由于目前王宝和大酒店冬季最大热负荷 1,500kW,冬季大约 4 个月基本上需要开 2~4 台机组已经完全可以满足热泵机组的制热要求。平均每天白天开 3 台机组,夜晚开 3 台机组,机组设定出水温度为 40℃,实际热水出水温度为 38.5℃,实际热水回水温度为 37℃,冷冻水泵平均开 5 台。采暖天数以 120 计,每天平均 20 小时,主机年采暖费用为: $Ny2 = 120 \text{ 天} \times 20 \text{ h} \times 220 \text{ (单台热泵机组的输入功率)} \times 2 \text{ 台} \times 0.67 \text{ RMB/kW} \cdot \text{h} = 71 \text{ 万元/采暖季}$

因此,原来的风冷热泵机组主机每年的运行费用为 228 万元/制冷季+71 万元/采暖季=299 万元/全年。原空调系统前四年年平均电费约 420 万元。

2) 原照明系统

王宝和大酒店原使用灯具的光源基本上属于第一代光源(白炽灯,卤素灯),部分区域使用节能灯,数量约为 2 万盏,总功率约为 1,000 kW。系统大量采用了白炽灯、卤素灯,此类灯具光效低,使用寿命短,能耗成本很高。

3) 基准能耗

本项目基准能耗是指王宝和酒店 2006 年至 2009 年中央空调系统(含生活热水)、照明系统、电梯系统、灶具燃气系统和楼宇自控系统等综合能耗,其加权平均值折合人民币 703.67 万元

4) 项目投资

本项目投资总额较大，经商定成信节能投资额为 1,780 万元，主要用于空调主机系统（含而至七层空调末端四管制改造中涉及的主管安装）和照明系统（灯具和电源），其他改造由酒店直接投资。

3. 项目合同签署

成信节能与酒店以节能效益分享型运作模式签订能源管理合同，效益分享期为 6 年并划分为两个阶段：第一阶段（第 1~第 4 年）：酒店分享节能效益的 20%，成信节能分享节能效益的 80%；第二阶段（第 5~第 6 年）：酒店分享节能效益的 40%，成信节能分享节能效益的 60%。

4. 改造方案及实施

1) 空调系统

酒店空调系统原有 200RT 活塞式风冷热泵 8 台，如图 4-33 所示。空调系统夏季需要制冷时间大约 6 个月，平均每天白天开 4 台机组，夜晚开 3 台机组，最高负荷时会开到 6 台机组，机组设定出水温度为 7℃，实际冷冻水出水温度为 8.5℃，实际冷冻水回水温度为 12℃，冷冻水泵平均开 5 台；冬季需要制热时间大约 4 个月，平均每天白天开 3 台机组，夜晚开 3 台机组，机组设定出水温度为 40℃，实际热水出水温度为 38.5℃，实际热水回水温度为 37℃，冷冻水泵平均开 5 台。



图 4-31 空调系统原有活塞式风冷热泵机组



图 4-32 空调系统新螺杆式风冷热泵机组

综合考虑酒店冷热量需求、现场施工条件、屋顶承重问题及上海气象等诸多因素，空调主机系统的改造方案采用高效的螺杆式风冷热泵机组替换现有的活塞式风冷热泵机组，新方案的机组包括 6 台 200RT 螺杆式风冷热泵机组和 2 台 100RT 螺杆式风冷热泵机组。

原活塞式风冷热泵机组使用 12 年后，COP 经测试为 1.9~2.0，综合以 1.95 计算，新替换的螺杆式风冷热泵机组额定工况下 COP 为 2.91，综合以 2.7 计算。由空调主机系统的 COP 可以得到系统改造后的节能率：

$$(2.7-1.95) \div 1.95 \times 100\% = 38.5\%$$

空调系统中冷冻水泵的变频运行和机组群控系统的优化运行控制，可以进一步提高系统的节能效率。

2) 照明系统

酒店照明系统设计时间较早，且多为暖色调，对色温、显色指数等要求都比较高。系统大量采用了白炽灯、卤素灯。此类灯具光效低，使用寿命短，能耗成本很高。新照明系统方案结合当前酒店的室内装潢，聘请专业的灯光设计公司对酒店的照明系统进行设计，在保证酒店灯光照明效果的前提条件下，全部采用 LED 灯具作为光源，在这国内酒店照明中尚属第一家。LED 光源与传统光源相比主要有以下特点：a.节能，LED 灯是冷光源，绝大部分的能量都转化成了光能，转换效率高；b.使用寿命长，普通白炽灯使用寿命约为 2,000 小时，日光灯使用寿命约为 8,000 小时，LED 灯的使用寿命在 50,000 小时左右；c.LED 采用的是直流电，无频闪，光线柔和。

酒店照明系统原有灯具约 20,000 盏，总功率约 1000kW。照明系统由于增加了亮度和艺术效果，灯具数量由原来的 20,000 盏增加到了 30,000 多盏，灯具类型包括筒灯、射灯、灯带(灯带以米为单位)、格栅灯、球泡灯、蜡烛灯等，总功率约为 390kW。改造后照明系统的节能率：

$$(800-390 \times (20000 \div 30000)) \div 800 \times 100\% = 67.5\%$$

酒店照明系统设计在充分考虑静态照明效果的同时，采用智能照明技术，对宴会厅、会议厅等公共区域进行场景调节，如准备、欢迎、庆典、投影、会议等场景模式，实现动态的照明效果。

5. 项目实施效果

本次改造项目节能量的计算方法采用的是比较改造前后能源费用的方式，但是本次改造较为复杂，改造后设备运行状况发生较大改变，为了合理准确的估算节能量，计算过程中增加了许多调整量以及计算系数。

1) 基准能耗纪录

基准电费和燃气费参考王宝和大酒店 2006 年~2009 年间的平均数据，根据 2006 年~2009 年王宝和大酒店逐月电费纪录，第一季度至第四季度的电费基准分别为 154.40、144.13、232.79、174.25 万元人民币。

2) 节能效益计算公式

节能效益计算公式如下

$$\Delta M = C1 \times (M0 + \Delta M_L + \Delta M_C) - \frac{M}{C2 \times C3} \quad (4-9)$$

其中， ΔM 是节省的能耗费用， $M0$ 表示基准总电费， ΔM_L 表示由于增加照度而增加的电费， ΔM_C 表示由于空调负荷增加所增加的负荷， M 表示当前总电费。

$C1$ 表示电价变动对节能费用的影响，按下式计算

$$C1 = \frac{\text{当前平均电价}}{\text{基准平均电价}} \quad (4-10)$$

$C2$ 表示酒店业务量对空调、照明电力需求的影响，定义如下

$$C2 = \frac{\text{当前营业收入}}{\text{基准营业收入}} \quad (4-11)$$

由于业主准备增加空调系统的新风量，所以在计算节能费用的时候也必须考虑新风量对空调运行能耗的影响。 $C3$ 表示新风量变化对节能费用的影响，定义如下

$$C3 = 1 + 0.4 \times \frac{\text{当前设计总新风量} - \text{基准设计总新风量}}{\text{基准设计总新风量}} \quad (4-12)$$

其中 0.4 是一个经验系数，表示新风负荷在建筑空调负荷中的比重， $C3$ 则表示新风量变动引起的总空调负荷变化。

在方案设计和沟通过程中，酒店方提出增加灯具照度的要求。通常来讲，必须通过增加灯具的数量、密度或单体灯具的照度来实现，与基本照度设计要求的照明系统相比，这相当于增加了照明系统的功耗，必须在计算节能量时予以考虑。

$$\Delta M_L = 0.35 \times M0 \times \frac{30000 - 20000}{20000} \times 0.7 = 86.43 \quad (4-13)$$

原照明系统白炽灯、卤素灯灯具总计约 20000 盏，按照新的设计要求估计需要总灯具数为 30,000 盏。这部分增加的灯具会增加原照明系统的能耗，按照公式 (4-13) 计算。其中 0.35 表示原照明系统在原来酒店总能耗中占 35%， $M0$ 表示原酒店总能耗。

根据两者相差的灯具数量和类型初步估计， ΔML 估算为 86.43 万元。同时，由于增加的灯具的总耗能与电价相关，因此在其前面乘以修正因子 C1。这是全年的照明系统修正量。按照本合同的约定，节能效益按季度结算和支付；在计算季度的节能效益时，采用 ΔML 的季度算术平均值，即 $0.25\Delta ML$ 。

由于 2~7 层功能区的变化，由原来宴会厅、办公结合变为宴会厅为主，冷热负荷增加，由此会造成能源费用提升。运行电费=空调负荷 $\div$ COP $\times$ 运行天数 $\times$ 运行时间 $\times 0.8 \times 0.5 \times$ 电价，平均电价以 0.9 元/kWh 计算，由全天负荷变化引起的系数以 0.8 计算，由气温变化引起的系数以 0.5 计算,由此计算出 2~7 层总的空调能源费用增加 $\Delta MC=21.5$ 万元。

按照上述节能量计算方法进行计算，该项目综合节能率为 26%，年可节约用电 350 万 kWh，每年节能效益可达到 320 万元人民币。

示范项目 11：豫园商城中央空调系统节能优化改造（一、二期）

1. 项目背景

作为上海特有的人文标志和文化名片的豫园商城地处上海市黄浦区的核心地区，是多元发展、专业经营的国内一流的综合性商业集团和上市公司，拥有商业设施近 13 万平方米，全年客流超过 3,700 万人次。豫园商城股份有限公司（简称“豫园商城”）委托上海乾慧实业有限公司（简称“乾慧实业”）对豫园商城中央空调系统进行全面节能优化改造。由于商城中央空调系统涉及的楼宇较多，乾慧实业将商城的中央空调系统分为两部分，分期进行节能优化改造。一期项目包括对华宝楼、亚一金店和景容楼三幢楼实施节能改造服务；二期项目包括对国购和天裕楼两幢楼实施节能改造服务。

2. 前期评估及成本分析

1) 一期项目

乾慧实业首先对商城中的华宝楼、亚一金店和景容楼进行了详细调查和诊断，诊断情况汇总如下：

表 4-18 一期中央空调存在问题汇总表

使用单位	现有数量		存在问题	每年维保费
	冷机 (台)	热泵 (台)		
华宝楼	1	6	空调金属铝制散热片全部严重腐烂氧化，散热效果不佳，制热、制冷效果受到严重影响。若更换散热片，1 台冷机需花费 15~20 万，1 台热泵需 10 万，7 台机器总计花费将近 80~90 万元。	每年 8 万元左右，其中老旧零件更换费 1~2 万元/年
亚一金店	/	8	2 台热泵几近报废，无法使用；在用的 6 台热泵散热片腐烂氧化严重；变风量机底盘腐烂，严重老化，无法修复，导致漏风即热量的大量损失，致使电量的巨大损失。	每年 3 万余元
景容楼	/	2	压缩机常常出现咬缸的现象，蒸发器也经常需要维修；制热量不能满足需求（注：景容楼的空调还要供应给九狮楼 DQ 和铁画轩部分店铺）	近 2 年内总计已高达 70 余万元

这三幢楼面积分别是 9,400m²、7,500 m² 和 1,500 m²，以电力作为主要能源，电力计量表具齐全，近 3 年，耗电量如表 4-34 所示：

表 4-19 一期三幢楼近 3 年耗电量

名称	2008 年	2009 年	2010 年
华宝楼 (kWh)	2609200	2627340	2591040
亚一金店 (kWh)	2652600	2640580	2672180
景容楼 (kWh)	1590710	1385880	1537460

电量合计 (kWh)	6852510	6653800	6800680
折标准煤 (吨)	2768	2688	2747

由上表可知，近三年这三幢楼用能总量平稳，起伏不大。将 2010 年作为节能量计算基准年，2010 年三幢楼的总能耗达到 2,747 吨标准煤。

乾慧实业经过费用、工期测算，一期项目投资总额 933.49 万元，平均投资回收期为 5.35 年，具体项目投资构成如下（表 4-20）：

表 4-20 一期项目投资构成

	空调主机 (万元)	水泵 (万元)	冷却水塔 (万元)	自控系统 (万元)	工程安装 (万元)	合计 (万元)
华宝楼	219	24.19	13.25	37.57	95.52	389.53
亚一金店	219	24.19	13.25	30.39	99.59	386.42
景容楼	52.4	12.57	6.88	20.81	64.88	157.54
合计	490.4	60.95	33.38	88.77	259.99	933.49

2) 二期项目

基于一期节能改造项目的经验积累，乾慧实业对豫园商城开展二期节能改造。首先对国购和天裕楼中央空调实际用能情况进行调查和诊断，具体情况如下：

表 4-21 二期中央空调存在问题汇总表

使用单位	现有数量		存在问题	每年维保费
	冷泵	热泵		
国购	1	4	散热片欠佳；膨胀阀损坏，冷泵无法开启，按电子膨胀阀的市价 3 万元/个计算，每台冷泵上有 2 个膨胀阀，共计需花费 12 万元。机组效率低下。	国购和天裕楼每年维保费共计 8 万元左右，其中约 2 万元用于更换老旧零件的费用。
天裕楼	1	6	膨胀阀损坏，冷泵无法开启；两台热泵有漏液现象，无法开启，且难以修复。机组效率低下。	

注：1. 维护费用中更换零件的费用所占比例逐年上升，还存在没有配件的情况。

2. 由于使用年数过久，实际制冷量均仅为理论制冷量的 80% 左右。

国购和天裕楼两幢建筑面积分别是 10,636m²、11,997m²，以电力为主要能源，电力计量齐全，近 3 年耗电量如下表 4-37 所示：

表 4-22 二期两幢楼近 3 年耗电量

名称	2008 年	2009 年	2010 年
华宝楼 (kWh)	2197344	2124720	2271660
亚一金店 (kWh)	3000243	2915920	3182180
耗电量合计 (kWh)	5197587	5040640	5453840
折标准煤 (吨)	1559	1512	1636

由表 4-37 可知，近三年这两幢楼用能总量平稳，起伏不大。将 2010 年作为节能量计算的基准年，经折算，2010 年两幢楼的总能耗达到 1,636 吨标准煤。

二期项目采用的节能改造方案与一期相同，二期总投资为 1,032 万元。平均投资回收期为 7.23 年，具体项目投资构成如下（表 4-23）：

表 4-23 一期项目投资构成

	空调主机 (万元)	水泵 (万元)	冷却水塔 (万元)	自控系统 (万元)	工程安装 (万元)	合计 (万元)
国购	262	29.2122	26.5	40.522	146	504.2342
天裕楼	288	31.8702	26.5	35.554	146	527.9242
合计	550	61.0824	53	76.076	292	1032.158

3. 项目合同签署

一期项目采用节能量保证型合同能源管理模式，双方就此签订了一期合同，合同中特别规定豫园商城先支付 49%工程款，项目实施完毕后，经双方确认节能率达到承诺的总建筑节能 15%以上，豫园商城再支付余下 51%工程款。乾慧实业在节能改造完毕后无法达到节能目标时豫园商城股份有限公司可以扣除合同款的 5%，造成豫园商城损失的由乾慧实业承担全部赔偿责任。由于豫园商城预先支付工程款，乾慧实业提前获得节能效益分享，合同有效期为 1 年，1 年之后豫园商城享有所有的节能效益。

二期采用与一期相同的项目运作模式订立合同，其合同形式和内容均与一期合同相似。

4. 改造方案及实施

项目一期对华宝楼、亚一金店、景荣楼进行中央空调系统进行节能改造。首先对三栋大楼分别用 1 台水冷螺杆机组及 2 台风冷热泵机组代替原有旧机组，并且在此基础上进行 TSC 机房系统最佳化改造。改造完成后，由能源管理系统制定节能运行方案，并按照运行方案自动运行，使得主机、水泵冷却塔的用电量大大降低。

基于一期改造的经验，乙方对豫园商城的天裕楼和国购楼进行了同样的节能改造，采用了和一期节能改造同样的改造方案，并且取得了良好的节能效果。



图 4-33 改造前



图 4-34 改造中



图 4-35 改造后

5. 项目实施效果

一期改造完成之后，根据相关设备设计参数，计算优化后供冷系统设计效率，与改造前制冷系统效率进行比较，确认制冷系统节能量，考虑到计算全年空调节能的复杂性，节能量的测算过程采用工况点的测试和计算机模拟计算相结合的方式。以华宝楼为例，计算过程如下：

1) 首先对近二年华宝楼逐月耗电量进行分析，并输入能耗模拟分析软件,分析大楼的用电特性。

2) 对单个工况测试，再加上模拟计算，得到国购楼负荷分布。

3) 根据新旧机组的运行参数，使用能耗模拟软件分别对大楼的制冷系统、热泵系统进行模拟计算，得出其能耗量，然后进行汇总并计算出节能改造的节能率。

表 4-24 一期项目模拟软件计算出的项目节能量

	模拟计算节能量		节能率
	kWh	Tce	%
华宝楼	802757	324	30.9
亚一金店	674221	272	25.2
景容楼	243142	98	15.8
合计	1720120	695	25.3

4) 确定基准能耗，计算节能量。

改造前三栋大楼的电力计量表都比较齐全，将 2010 年作为节能量计算基准年，2010 年三幢楼的总能耗达到 2,747 吨标准煤。乘以节能率 25.35%，即可得出一期改造项目节能量为 695.0 吨标准煤。

二期改造项目完成之后，即 2011 年到审核期，商业经营正常，两栋楼的电力计量齐全，根据计量数据以及上海市电力公司发票联和国购楼管理人员给出的用电量数据以及新机组用电模拟结果，可以得出使用新机组之后系统的总用电量是使用旧机组时系统总用电量的 68%，即采用新机组年节能率为 32%。采用同样方法对天裕楼进行节能量计算，得其节能率为 29%。

表 4-25 二期节能率和节能量计算结果

	2010 年（基准年）耗能量（kWh）	模拟计算节能率	节能量（kWh）
国购楼	2271660	32.0%	726931
天裕楼	3182110	29.0%	922812
合计	5453770	30.2%	1649743

以 2010 年的电耗量作为比较基准，可见项目改造后年节能量 165 万 kWh，折合标准煤 495 吨。两栋楼总的节能率为 30.2%。

两期节能改造总共每年可节省标准煤 1,190 吨，每年可创造经济效益 317.4 万元。

第三部分：公共机构能源管理外 包模式研究

一、公共机构能源管理概述

（一）背景及意义

1、背景

随着全球化石能源消费总量的快速增长，大气中二氧化碳的浓度急剧上升，由此引发的气候问题广受关注。人们在面对气候变暖，海平面上升，极端恶劣天气和自然灾害多发等现实挑战的同时，也在反思过去掠夺式的、过度的和以牺牲环境及生态系统为代价的经济发展模式。

与大多数国家发展道路一样，我国在经济高速发展的同时，也付出了环境破坏和资源消耗的沉重代价。我国的煤炭消费总量持续攀升，石油和天然气消费高速增长。一方面，表现出经济发展过度依赖重工业的发展及其对能源过度依赖的特点；另一方面，也受到我国能源利用效率相对较低和以煤为主的能源结构双重影响。能源供应保障和能源供应的安全始终是我国经济可持续发展的瓶颈制约因素。

在化石能源过度消费的同时，不仅煤烟型污染和汽车尾气型污染加剧的状况未能从根本上得到缓解，而且在应对全球气候变化中不得不面对与我国国民经济发展不相称的压力。如何在未来继续保持我国经济发展的动力与活力，如何使我国经济发展走向与资源和环境相和谐的健康发展道路，是我们不得不面对的挑战。

为应对上述挑战，各类用能主体都在积极探索不断提升能源使用效率的管理模式，而服务外包²行业的快速发展则为此提供了有效的解决路径。能源管理服务外包是指将一项或多项与能源管理相关的业务外包出去，利用外部最优秀的专业化机构来承接其业务，从而使其专注核心业务，达到降低成本、提高效率、增强企业（组织）核心竞争力和对环境应变能力的一种管理模式。

2、意义

公共机构是指全部或者部分使用财政性资金的国家机关、事业单位和团体组织。我国 2007 年 10 月修订的《节约能源法》首次将公共机构节能以立法形式明确。2008 年 8 月 1 日，温家宝总理签署了 531 号国务院令，明确了国管局负责推进、指导、协调、监督全国公共机构节能。2008 年 10 月 1 日《公共机构节能条例》开始实行，从制度上为公共机构节能的实施提供了动力和支持。一些地方政府也出台了《公共机构节能办法》，大力推动各地方公共机构的节能减排工作。

公共机构的节能工作强调以下三个方面作用：一是提高公共机构的能源利用效率，具有实际的节能降耗作用；二是将公共机构节能工作规范化、制度化，具有强化节约型机关作风建设的作用；三是发挥公共机构在全社会节能中的表率作用。

能源管理服务外包业务的发展在促进用能单位能源使用效率提升的同时，也必然进一步扩大能源管理服务行业规模和提升能源管理服务发展水平，有利于三次产业结构优化及经济发展模式转型升级。而率先在公共机构领域通过实

² 服务外包是企业本身为了提高竞争的优势和绩效，对于组织所制造的产品或提供的服务所必需的非战略性活动和业务流程，通过与具有高成熟度的企业签订协议或契约的形式来实现的战略性决策。

施高效的能源管理服务外包模式开展节能减排工作，将会推进能源管理服务外包在全社会的应用。

目前，公共机构的能源管理服务外包主要是由设施管理公司（物业管理公司）以及基于合同能源管理机制来开展业务的能源管理公司（亦称“节能服务公司”）竞标承办。各能源管理服务提供方采用不同的能源管理服务外包模式对公共机构实施节能改造服务和能源管理服务，不同的外包模式也导致了不同的节能减排效果，因此，对公共机构能源管理服务外包模式进行研究，探索出适合我国公共机构能源管理服务的外包模式，具有十分重要的意义。

（二）公共机构分类及用能特点

1、公共机构的分类

公共机构主要包括教育事业类、中央及国家机关类、卫生事业类、社会团体类、科技事业类、文化事业类、体育事业类以及其他事业类等八大类。

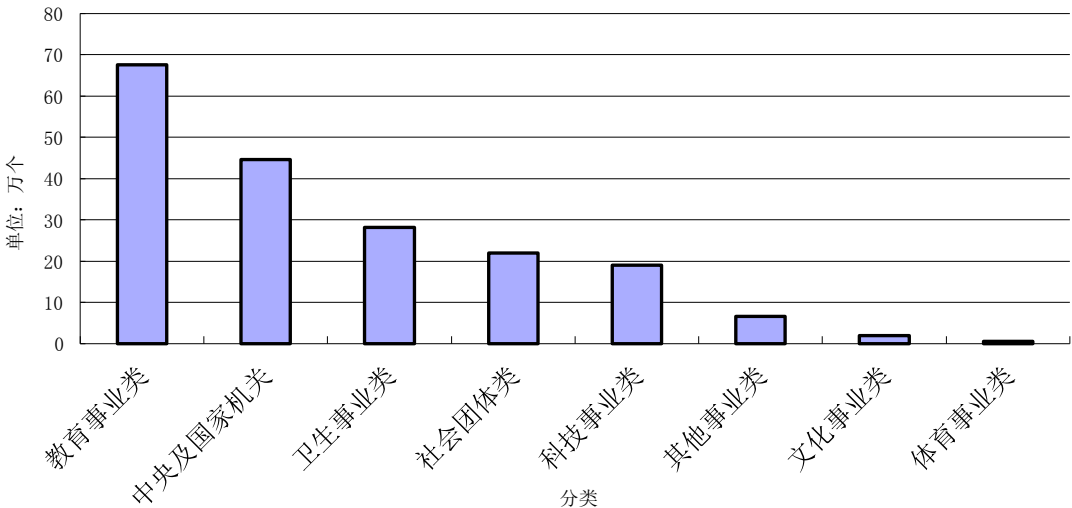


图 1 2010 年我国公共机构数量分布

从图 1 中可看出，教育事业类、中央及国家机关类、卫生事业类这三类公共机构是目前公共机构中数量最多的机构，因此，这三类机构将成为能源管理服务外包的重点实施领域。

2、公共机构用能特点

1) 能耗量大，用能强度高

公共机构和工业、建筑、交通等领域一样，也是我国的能耗大户，已经成为我国节能减排的重要领域。据统计，2010 年全国公共机构约 190.44 万个，能源消耗总量 1.92 亿吨标准煤，约占全社会能源消耗总量的 6.19%，总用水量 132.54 亿吨。有调查显示，国内的各种大型建筑物面积不超过全国城镇总建筑面积的 4%，但其能耗却占到了全国城镇总能耗的 20%以上，单位面积能耗是普通住宅单位面积能耗的 20 倍左右。与欧美等发达国家相比较，我国政府机构单位面积能耗约为其 2-3 倍。政府及机关人员的人均能耗为发达国家的近 20 倍。

2) 能耗类型多样

按照能耗品种分类，包括电能、汽油、柴油、天然气和热能（热水或蒸汽）等。按照能耗用途分类，包括交通能耗和建筑能耗两部分，其中，建筑能耗又可以进一步分为暖通能耗、办公能耗、照明能耗、服务能耗等。

在公共机构的分类能耗中，电能消耗是最大的；在分项能耗中，一般情况下建筑能耗最大（图 2）。

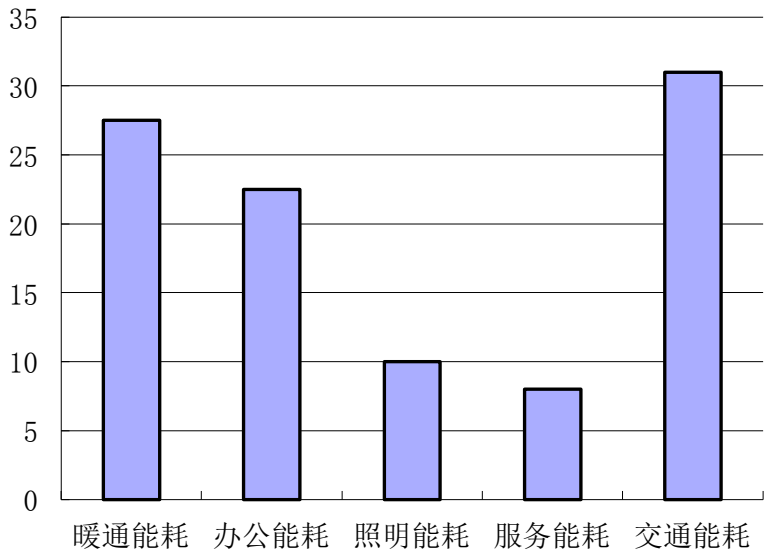


图 2 公共机构典型样本能耗统计平均值^[1-2]

（三）公共机构能源管理现状及存在的问题

通过各方努力，至“十一五”末期，我国公共机构的能耗水平有了明显的下降。以上海为例，2005 年，纳入能耗统计的 83 家市级国家机关能耗总量为 5.8 万吨标准煤，26 家体育系统公共机构能耗总量为 7 万吨标准煤，31 家市级医院能耗总量为 17.61 万吨标准煤，教育系统公共机构（含区、县教育系统）能耗总量为 49.17 万吨标准煤。至 2010 年，纳入能耗统计的市级国家机关能耗总量约为 5.8 万吨标准煤。体育系统 26 家公共机构能耗总量为 6.23 万吨标准煤，实现节能 11.00%。31 家市级医院在实现“十一五”期间公共医疗服务业务量增长 42% 的情况下，2010 年能耗总量较 2005 年增长 21.38%，实现单位业务量能耗下降 6%。教育系统在“十一五”期间校舍面积增长 15.68%、在校生数增长 18.22% 的情况下，2009 年人均单位面积能耗较 2005 年下降 0.98%，能源利用效率进一步提高。

虽然取得了显著成绩，但从持续满足未来节能减排目标的要求来看，公共机构的能源管理还普遍存在以下亟待解决的问题。

1、管理制度不完善，运行机制不健全

一是缺乏自上而下统一的节能减排组织体系。很多公共机构都成立了由主要负责人牵头的节能减排工作领导小组，节能减排工作由相应的后勤服务部门负责，但基本没有明确的管理组织和管理人员。二是缺乏有效的激励和保障措施。“节约无奖励、浪费无惩罚”的现象普遍存在，节能管理人员没有节能的积

极性、主动性。三是基础工作薄弱。能源使用尚未做到分类、分项、分户计量，统计不完整，日常管理措施不系统。

2、缺乏能源管理的专业人才

能源管理，尤其是以节能为目标的能源管理是一项高度专业化的工作，必须依靠经验丰富的专业人才来开展。由于其自身职能定位的原因，公共机构普遍不具备成规模的、能力完整的能源管理团队。

3、节能改造资金投入不足，节能效果不彰显

因财政专项资金有限，多数公共机构只能做断断续续的局部节能改造，无法最大限度地挖掘节能潜力。同时，现有模式下，节能改造的实施主体是公共机构自身，由于公共机构通常不具备能源使用的系统、专业的能力，所以在确定节能改造方案时往往带有一定的盲目性，从而导致节能改造的投入产生不了预期的节能效果。

4、尚未建立公共机构能源消耗标准成本体系

目前公共机构还没有针对各种能耗类别建立相应的能源消耗定额标准和能源消耗标准成本体系，导致财政部门审批公共机构能源费用预算时缺乏合理的能耗标准成本，也没有合理的指标评价各公共机构的用能水平和用能效率。

5、现行的财政预算体制不利于在公共机构中推行创新型的市场化节能服务模式

现行财政预算体制下，财政部门以上一年度公共机构的实际支出情况作为基数核定下一年度的资金预算，公共机构的能源支出费用在公共费用支出预算中统筹考虑，并且在年底决算时实行实报实销，节约下来的费用在会计账面上无法直接体现，结果导致一些行之有效的市场化节能服务模式（如合同能源管理）在公共机构领域难以推行，因为节能服务公司应获得的节能效益款无法从公共机构节约的能源费用中提取支付。

（四）小结：服务外包是公共机构能源管理的发展方向

通过上文对公共机构的用能特点和能源管理中存在的问题所作的分析，我们认为，服务外包是公共机构能源管理未来的发展方向。一方面，现有的政策为公共机构能源管理服务外包提供了必要的制度保障，另一方面，能源管理服务外包这一模式所具有的优势也使得其能针对性地解决目前各类公共机构普遍面临的问题。

1、良好的政策环境

2008年8月1日，国务院颁布《公共机构节能条例》，该条例从公共机构节能管理体制、节能规划的编制和实施、节能管理的基本制度、节能的具体措施以及公共机构节能的监督和保障等方面全面、系统地规范了公共机构的节能

工作。2010年4月5日，国务院颁布的《关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展的意见》，明确了各级政府机构和事业单位采用合同能源管理的相关会计处理方式。2010年，财政部、国家发展改革委联合颁布的《合同能源管理项目财政奖励资金管理办法》明确了财政奖励资金用于支持采用合同能源管理的支付范围包括公共机构节能改造项目。2011年8月，国务院机关事务管理局颁发《公共机构节能“十二五”规划》，提出积极推广合同能源管理等方式，广泛引入市场化手段，为公共机构节能提供有力支持和保障。作为能源管理服务外包模式中的主要模式之一，地方政府在中央政府的引领下，也相继出台了促进公共机构开展合同能源管理服务的相关办法和措施。上述国家及地方的政策为各级公共机构开展能源管理服务外包提供了良好的政策环境。

2、能源管理服务外包模式的优势

首先，能源管理服务外包模式，尤其是合同能源管理型外包模式解决了公共机构节能资金短缺及风险承担的问题。能源管理服务外包企业与公共机构通过签订能源管理服务外包合同，为其提供资金支持和项目设计、实施、维护保养等一系列节能管理服务，用能单位不会因节能改造而增加任何财务负担。同时，由于能源管理服务外包企业的利益同节能效益挂钩，因此也节省了用能单位的监督管理成本。

其次，能源管理服务外包企业基于自身的专业技术能力，以及众多的案例经验积累，能为用能单位度身定做系统的节能解决方案，提供节能项目全过程专业服务，全方位地挖掘节能潜力，充分发挥能源管理服务外包模式技术先进、管理全面、服务专业的特点，使公共机构由自我管理转变为专业管理，解决了节能的技术系统和管理系统的问题，可以有效地减少项目成本，稳定提高能源使用效率，使得公共机构能集中精力专注于自身的主业。

再次，能源管理服务外包可使公共机构获得多重经济利益，包括分享的节能效益以及无偿获得的高效节能设备。

二、能源管理服务外包模式研究综述

（一）国外相关研究

国际上关于能源管理服务外包的研究起步较早。金融、风险认识、信息、能源管理服务企业获取能效设备和技术的便利性、管理的可靠性、信用被认为是影响终端用户实施能源管理服务外包项目的主要影响因素。Hans Westling

（2004）认为能源市场放松管制和私有化的程度将对能源服务的行动措施产生很大的影响^[4]。Nicole Hopper and Charles Goldman, Dave Birr（2004）基于美国 214 个联邦项目和 965 个 MUSH3 项目进行研究，研究发现联邦市场主要是受降低能耗目标被动驱动的，MUSH 客户主要是其资本预算不充分；联邦市场的障碍之一是项目开发时间太长，之二是议会审批周期；MUSH 市场的障碍之一是一些州缺乏良好设计的能源立法，之二是对表外融资的厌恶，特别受安然丑闻影响^[5]。Harrison, and Klevnas（2005）以及 Pavan（2005）认为欧洲能源服务契约日益重要的驱动力是其环境政策，包括近期的欧盟排放权交易方案。在所有的欧洲国家中，二氧化碳交易与其他一系列目的性较强的激励因素共同作用于能效，这些措施能为能源服务契约提供额外价值^[6-7]。此外，Lee, M.K., H. Park., Noh. J. and Painuly, J.P（2000）和 Westling（2003）均指出政府政策制定在能源管理服务外包模式推进方面应发挥关键性作用。节能供给信息传递遇到障碍、项目融资障碍、政府采购标准对能源管理服务外包发展的阻碍、能源价格的“低成本”、对安全和可靠性的关注等阻碍了新技术的引进；繁杂的政策程序使得只有少量大型项目才能被执行；现行财政政策限制了对节能的理解和合同的执行等等，这些障碍都是现行能源管理服务外包产业继续发展面临的现实问题^[8-10]。

针对国际上能源管理服务外包产业遭遇的障碍，研究认为弱化政府干预职能，强调能源管理服务外包模式的市场化是关键性解决方式。Vine（1999）特别指出节能服务产业协会、融资渠道引进、节能审计、信息传递机制和教育培训计划等是促进节能和能源管理服务外包项目的关键性对策^[11]。

（二）国内相关研究

首先，国内有关能源管理服务外包模式的研究多见于介绍合同能源管理机制的文献，围绕合同能源管理运作机制、内涵、特点、促进法规及其在我国的可行性展开。国家经贸委（WB/GEF）认为合同能源管理机制具有商业化的运作模式、高度的整合能力和多赢的局面（许泓，2002）^[14]。上海市合同能源管理指导委员会从实例出发，从经济效益入手，展示了合同能源管理机制这一能源管理服务外包模式在中国运行的可行性和重要性（杨振宇等，2004；谢仲华，2005）^[16-17]。

其次，国内对合同能源管理机制这一能源管理服务外包模式在我国发展的障碍研究相对较多，主要观点认为融资障碍是我国合同能源管理项目发展过程中遇到的关键性障碍，包括项目开发周期长，近期获利能力低；缺乏信用评价机制，银行授予信用额度低两大障碍因素（张震国，2001；王李平等，2008）

³ MUSH 机构是各市/州政府、大专院校、公共免费义务教育学校以及医院的统称。联邦政府部门和 MUSH 机构是美国节能服务产业的两大核心用户群，在节能服务市场中占据巨大的市场份额。

^[18-19]；技术也是制约我国合同能源管理机制发展的主要障碍，主要表现为节能效果衡量困难、能源管理服务公司专业性不强两大障碍因素（王李平等，2008）。信用障碍是制约能源管理服务公司进一步开展合同能源管理项目的又一重要因素（蔡贺年，2009）^[20]。由此，信息、融资、信用、担保和市场环境5大问题的解决成为合同能源管理机制在中国进一步发展中要解决的关键性问题（杨振宇等，2004）。

（三）研究述评

国内外对于公共机构能源管理服务外包的研究多集中于合同能源管理模式的应用及其障碍方面的分析，对于能源管理服务外包其他模式的研究，尤其是各种模式对比研究甚少。本课题通过对公共机构各种能源管理服务外包模式进行对比分析，试图探索出具有长效节能机制、能充分挖掘公共机构节能潜力的能源管理服务外包模式，并进行案例分析，以期为公共机构的能源管理提供借鉴。

三、公共机构能源管理服务外包模式分析

在引进合同能源管理机制之前，我国小型公共机构的能源管理主要由公共机构自行设置管理部门直接进行管理；部分较大型的公共机构则将能源管理外包给第三方物业管理公司进行。20 世纪 90 年代中期引进合同能源管理机制之后，公共机构的能源管理服务外包模式开始趋于多样化。不同的外包模式也导致了不同的节能减排效果。因此，本课题首先将公共机构能源管理服务外包模式进行分类；其次，再对各种能源管理服务外包模式进行比较分析，最后，结合案例对合同能源管理型服务外包模式进行实证研究。

（一）能源管理服务外包模式的分类

从能源管理服务外包的目的出发，目前的能源管理服务外包主要分为两类：一是不具有节能目标的传统能源管理服务外包——设施管理型（物业管理型）能源管理服务外包；二是具有节能目标的新型能源管理服务外包——合同能源管理型能源管理服务外包。

1、设施管理型（物业管理型）服务外包

设施管理型（物业管理型）能源管理服务外包是将公共机构能源管理服务，连同保安、保洁等其它物业管理服务一道外包给专业化物业管理公司实施的模式。在这种模式下，物业管理公司对公共机构的用能系统进行日常管理和维护保养，确保用能系统安全、稳定运行。但通常不会对客户的用能系统实施节能改造并承诺节能目标。

2、合同能源管理型服务外包

合同能源管理型服务外包是指能源管理服务公司通过与公共机构签订能源管理服务合同，为公共机构提供能源系统诊断、节能项目可行性分析、节能项目设计、融资、节能设备采购、安装调试、操作人员培训、合同期内设备运行管理及维护、节能量监测等一系列服务，并从公共机构节能改造后获得的节能效益中按合同约定收回投资和取得利润的一种市场化节能机制和商业运作模式。根据服务项目参与主体及投入方式的不同，合同能源管理型服务外包主要分为以下四种模式：

（1）节能量（率）保证型模式

用能单位提供项目资金或融资，节能服务公司提供方案并保证节能效果，在收取服务费用的同时承担未达到节能效果时的赔偿风险（如图 3 所示）。

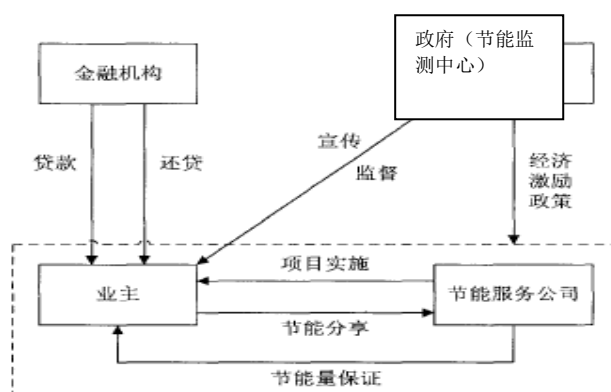


图3 节能量保证型模式

（2）节能效益分享型模式

在合同期限内，用能单位和节能服务公司根据约定的比例共同分享节能效益，合同能源管理项目的改造投入由节能服务公司承担。项目合同结束后，节能设备所有权和收益权无偿移交给用能单位（如图4所示）。

在这种模式中，节能量的测算和资金的获取是项目成功的关键。对于节能量的测算，能源管理服务公司与公共机构双方可以预先对节能测算的方法和技术达成共识，或者委托第三方节能量测量机构。而对于资金的获取，银行贷款成为了能源管理服务公司的主要资金来源。由于我国能源管理服务公司普遍成立时间短，缺乏专业有效的融资评估，在银行方面，能源管理服务公司尚未形成持续、良好的信用记录，也缺乏可抵押的资产，因此需要一种针对能源管理服务公司的担保业务来推动该模式的发展。

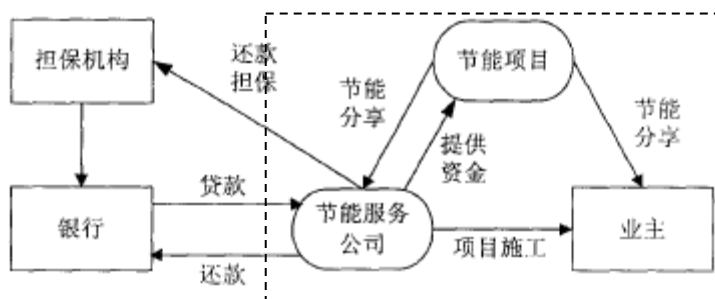


图4 节能效益分享型模式

（3）设备融资租赁型模式

设备融资租赁型模式是租赁业务在合同能源管理项目中的具体运用。该模式中独立的能源管理服务公司通过与节能设备租赁公司签订租赁合同，获取节能设备。能源管理服务公司将设备用于业主的节能改造中，公共机构通过每月的节能效益来偿还设备的租赁费和能源管理服务公司的投资费用，待合同期满后，公共机构将无偿获取节能设备（如图5所示）。

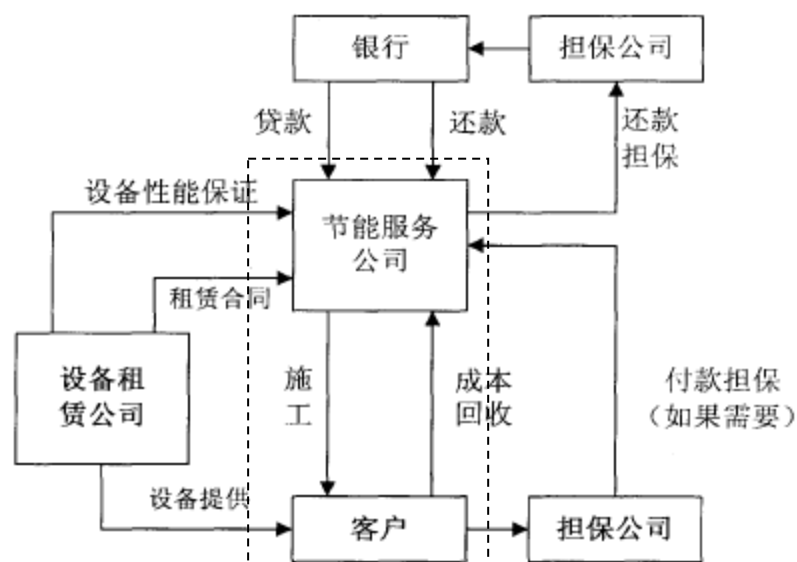


图5 融资租赁型模式

（4）能源费用长期托管型模式

在保证用能单位能源成本降低的前提下，用能单位按照约定的费用委托能源管理服务公司进行能源系统的运行管理。能源管理服务公司通过节能改造和改善运营管理等途径来降低客户的能耗量，并按照合同约定拥有全部或者部分节省的能源费用（如图6所示）。

能源费用托管型模式对能源管理服务公司的整体综合能力要求较高，能源管理服务公司不仅要从技术措施上降低能源消耗，也要从运行管理上发现能耗漏洞，还要把能源管理服务公司的技术优势和先进的管理理念与现场实际情况充分结合，根据用能单位的用能要求做出科学、合理、经济的能源规划。

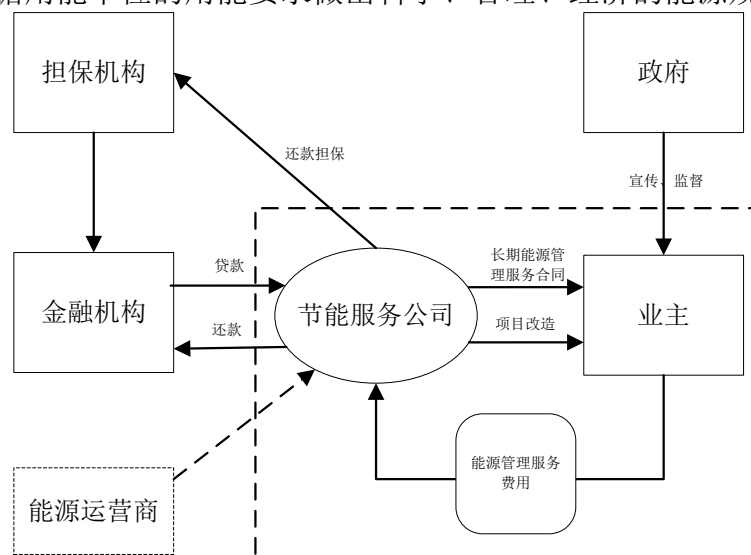


图6 能源费用托管型模式

（二）能源管理服务外包模式比较分析

设施管理型（物业管理型）服务外包的优点在于：第一，操作简便。因为该模式下的设施管理公司（或物业管理公司）通常只对公共机构的用能系统进行日常管理和维护保养，保证用能系统安全、稳定运行，而不会对客户的用能系统实施节能改造，所以相关各方比较容易达成外包服务合作，一般可以与公共机构的其它物业服务（保安、保洁等）一道通过招标完成。这也是目前多数公共机构的通行做法；第二，公共机构可获得一定程度的能源管理专业服务。该模式的不足之处则在于不对公共机构的用能系统实施改造和优化，因而无法充分挖掘公共机构的节能潜力。

合同能源管理型服务外包的优点在于：第一，最大限度地挖掘客户的节能潜力。能源服务公司通过详细的能源审计为客户找到各种有针对性的节能措施，形成系统解决方案并实施节能改造，全方位地实现节能；第二，公共机构能获得完整、系统的能源管理专业服务；第三，解决公共机构节能改造资金投入不足的问题。该模式的不足之处在于操作相对复杂，目前缺乏成体系的操作规范。

（三）合同能源管理型服务外包模式实证分析

1、国内外应用

（1）国外成功经验

在国外公共机构能源管理服务外包应用中，美国、加拿大做得较为出色。美国是合同能源管理服务的发源地，也是最为发达的国家，注重把对低碳服务行业的支持作为节约能源和保护环境的重要政策措施。其合同能源管理型能源管理服务外包主要是从联邦政府、各个州政府及地方政府、大学院校、中小学以及医院中率先开展的。

1992年美国两院议会就通过议案 EPACT 要求政府机构与能源管理服务公司合作，美国 50 个州内的 46 个州对合同能源管理进行立法，主要包括两个方面的内容，首先，州内的政府建筑必须采用合同能源管理方式进行节能改造；其次，以法律的形式规定了合同能源管理合同的最长年限(一般为 10—15 年)。这个法案的实施既不增加政府预算，又能节约能源，提高能源利用的系统效率。同时，允许政府机构在不增加政府费用的情况下，将节能效益与能源管理服务公司分享。美国政府还制定了“联邦政府绩效合同”(ESPC)法案，该法案规定，节能效益作为政府机构应交的电费的一部分由电力公司收取后转给能源管理服务公司，这个法案的实施加快了节能效益分享模式运作的项目资金回收，减小了能源管理服务公司的资金风险。这个法案的顺利实施使得美国节能服务产业从 1990 年-2003 年以及 2005 年之后以平均每年 20%的增长率增长。此外，美国能源部对政府机构进行具体的指导和帮助，制定有关合同能源管理的文件。

除制定法案外，联邦政府还执行一项“联邦政府能源管理计划（FEMP）”，其主要内容就是帮助能源管理服务公司与联邦政府的办公楼实施合同能源管理。经过几年的运行，基本实现了原定的节能计划，取得了极大的节能效益。

加拿大政府于 1992 年开始实施“联邦政府建筑物节能促进计划（FBI）”，不仅要求政府机关大楼带头接受能源管理服务公司的服务，同时鼓励企业积极参与，其目的是帮助各联邦政府机构与能源管理服务公司合作进行办公楼宇的节

能工作。通过实施该计划，顺利实现了 2000 年前联邦政府机构节能 30%、财政开支节省 20%~30% 的目标。

（2）国内成功经验

自上世纪 90 年代中期合同能源管理机制引入我国以来，各地公共机构进行了有益的尝试，并取得了较好的节能减排效果。

2008-2009 年，淮安市第一人民医院先后与苏州辰彩电子科技有限公司、淮安星辰电子科技有限公司签订中央空调循环系统合同能源管理项目、锅炉系统合同能源管理项目，两项目的实施使得淮安市第一人民医院年能耗下降了 35%。

2009 年，深圳南山区检察院与深圳达实智能股份有限公司签订了中央空调系统节能效益分享型合同能源管理项目。项目实行至今，南山区检察院综合节电率每月达 23%，超过预期目标。

四川省于 2010 年 6 月对 4 家省直公共机构采用合同能源管理模式进行改造，分别是省国土资源厅中央空调系统和照明系统、省地税局照明系统、省统计局中央空调和照明系统、省运动技术学院照明系统、分体空调系统和水系统。这次改造涉及房屋建筑面积 7.25 万平方米，投入资金 153.61 万元。改造后，年均节能率达到 17%，节约水电费约 40.33 万元，折合标煤年均节约 205.82 吨，5 年内节能收益约 201.63 万元。

2、案例分析

为深入考察在公共机构领域实施合同能源管理型服务外包的成效、可能存在的问题以及应对的策略，本课题选取了上海市仁济医院东院暖通空调系统节能改造项目为例来进行系统分析。

（1）项目背景：

上海申康医院发展中心作为政府投资医院的责任主体，在推进绿色医疗体系建设、医院节能事业发展方面做了大量卓有成效的工作。据统计，2007—2011 年，申康中心已为 17 家市级医院共计安排了 21 个节能专项改造项目，总投资 9240 万元。与此同时，面对当前艰巨而紧迫的节能减排任务，申康中心认识到如果单纯依靠现行的有限预算资金模式，是难以全面开展所有医院的节能减排工作的。为了广泛引入社会资本参与推动医院节能事业的发展，申康中心于 2011 年选择了仁济医院等三家医院开展合同能源管理项目试点，其中，仁济医院项目以其综合性的节能改造方案和完整的能源管理模式而成为合同能源管理的典范。

上海交通大学医学院附属仁济医院始建于 1844 年，是上海开埠后第一所西医医院，也是目前上海医疗系统中规模较大、用能代表性较强的综合性医院，全院由东、西、南、北四院组成，其中浦东分院是仁济经营主体。仁济医院浦东分院于 1999 年投入使用，占地面积 131 亩；建筑面积 147443.9 m²；核定床位 1000 张，2009 年实际床位数 1156 张，床位使用率 112.3%。

仁济医院东院的能源使用一直以电、天然气为主，近年来随着用量与单价的同时上涨，能源费用增长较快，其中天然气的平均价格从 2009 年的 3.12 元/m³上涨至 2010 年的 3.36 元/m³。东院 2010 年电费占能源费用总量的 60%，天然气费占总量的 31%，预期天然气价格还将继续上涨，现有用能结构将进一步推高总能源开支。运用新的能源管理模式提升用能效率和控制能源费用的需求强烈。

上海中金能源投资有限公司（以下简称“中金能源”）经过长达一年多的努力，包括驻院调研、用能数据分析、用能设备分析、维修保养工作评估、编制能源审计报告、编制节能改造技术方案、召开专家论证、组织施工等一系列的工作，于 2011 年 9 月底开始，分两期成功实施了仁济医院门急诊及内、外科大楼中央空调系统节能改造，并已按照协议约定，分期分批接管院方原现场能源管理运行组人员，全方位地提供合同能源管理服务。

（2）项目模式：

仁济项目属于“能源费用托管型”合同能源管理模式，包括节能改造与能源运营管理服务两部分。其中节能改造部分，由中金能源投入资金对仁济东院 1、3、7 号楼中央空调系统进行节能改造，涉及将原有溴化锂机组、螺杆式机组及其辅助系统更换为离心式冷水机组、高效热水锅炉以及全方位的自控系统，总投入达 1050 万元。改造完成后双方按照协议约定的方式分享节能效益。

能源运营管理服务部分，由中金能源针对仁济东院 1、3、7 号楼“中央空调系统、高低压配电系统、新风系统、生活热水系统、负压吸引系统、氧气站以及 5 号楼锅炉房”等设备，提供规范的能源运营管理服务，同时托管上述范围内的设备维保并承接相关运营管理人员。

（3）项目推进过程：

项目经历了审慎的评估和细致的工作，大致分为能源审计、节能改造准备与实施和运营管理三个阶段。

a、能源审计阶段

从仁济东院的能源使用全局出发，中金能源对仁济医院东院进行了长达六个多月的能源审计工作，分析了近三年来的历史用能数据，对现有用能设备进行了系统的分析评估，摸清了仁济东院的能源使用家底，全面了解和评估现有能源消耗分布、能源使用效率等情况，发掘节能改造机会，并根据医院的运行特点论证改造的可行性。

由于院方可用历史用能数据较少、能源计量基础薄弱、用能设备种类繁多、多种空调系统并存等原因，使得本项目的能耗基准线核算具有较大的难度。中金能源通过引入“用能时间”的概念，设立总能耗及单位用能时间能耗的分析指标体系，通过 10 多版修改后最终确定了本项目的能耗基准线计算方法。该方法经过了第三方节能量审核机构——上海宝钢工业检测公司的独立核定，并得到了仁济医院的高度认可。

b、节能改造准备与实施阶段

在通过能源审计分析得出仁济东院潜在的节能空间之后，基于核定的能耗基准线及仁济医院用能及设备的特点，中金能源提出了 6 种节能改造思路，经过反复论证，充分评估了场地空间、施工难度、投入成本、对医院运营的影响程度、节能效果、施工周期等方面的要素，最终确立了全分散式改造方案，即保留 5 号楼蒸汽锅炉，3、7 号楼根据各自用能情况进行改造的方案。该方案的优越性在于使得设备平面布置合理、施工周期可控、施工难度相对较低、安全性较高，且 3 号、7 号楼分别独立施工，对医院运营干扰小。方案获得了专家评审组（由上海理工大学、中船九院及同济建筑设计研究院等机构的专家组成）的一致通过。

随后，中金能源和仁济医院共同组织了由上海申康医院发展中心、政府主管部门、其他三甲医院的后勤主管副院长等多方组成的专家组对项目合作模式进行了评审。

2011 年 6 月底，仁济项目进入设备采购招标阶段，中金能源成立了招标工作小组，前后经历了招标、投标、开标、评标、询标、议标及定标 7 个环节，秉承公开、公平、公正的原则，最终在 13 家参与投标的厂商中确定了各类用能设备的供应商。

为确保医院的正常、安全运营，7 号楼和 3 号楼的工程施工分别定于 2011 年秋季过渡季和 2012 年的春季过渡季进行。7 号楼施工自 9 月下旬开始进场，拆除原有设备，场地清理及重新布置，做设备基础，安装新设备及配套管线、弱电及自控系统，到 11 月中旬顺利完成改造。

c、运营管理准备与实施阶段

中金能源针对仁济医院的用能特点制订了系统的能源运行管理标准和规范。同时，全面接管院方现有运行组的非在编合同制员工，并对在编员工提供咨询、培训和技术支持服务。这一操作模式维持了原有运行组人数不变，既避免了大的人事变动，又确保能提高能源运营管理效率。

(4) 项目成效：

a、节能减排效果显著

项目年节约标煤近 700 吨，节能率超过 30%，年减少 CO₂ 排放约 1400 吨。能耗的显著降低，将有力地促进医院的节能减排工作。

b、能耗费用大幅下降

项目改造前年能源费用约为 512 万元，改造后初始年能源费用预计下降为约 360 万元，年节约能源费用 152 万；随着未来能源价格的持续上涨，协议期内后续年份的年节约能源费用将持续上升直至 250-300 万，按照协议约定，院方可持续从中分享节能效益，并在协议期满后拥有全部节能效益。

c、用能管理水平提升

中金能源为院方全面提供专业化、规范化、标准化的用能管理服务，通过高效的管理还将为院方带来相当于总能源费用 10% 左右的管理节能效益。这部分节能效益也将与院方共同分享。

d、持续挖掘后续节能空间

在协议期内，中金能源将有步骤地为院方持续挖掘其它潜在的节能空间，如锅炉房改造、照明改造等，从而促使院方的节能减排工作不断跨上新的台阶。

(5) 项目意义：

合同能源管理模式符合当前国家推进节能减排、大力发展节能服务产业的政策，并具有让政府、用能单位、节能服务公司等多方共赢的特点，能够在加速节能减排事业发展中发挥如下积极作用：

第一，可以快速全面推动用能单位节能减排工作，帮助政府完成节能减排目标。

如采用传统的节能减排投入方式，即由政府投入或依靠用能单位投入，其预算额度有限，决策流程复杂，专业度不足，必将会影响到节能项目的实施规模、数量以及覆盖面。而由专业的第三方节能服务公司以合同能源管理这种市场化的方式来运作，就能快速而有效地推动节能项目的实施。

第二，用能单位能耗费用大幅下降，降低其运营成本。

高昂的能源费用占据用能单位日常运营成本中的相当比例，在合同能源管理模式下，用能单位在合同存续期内可分享节能效益，在合同结束后可无偿获得节能设备及其全部收益，综合经济效益明显。

第三，用能单位无须投入，且不承担包括财务风险在内的各类风险。

用能单位无需承担节能改造的初始投资，因此也不会因节能改造而增加任何财务负担。在项目实施过程中，所涉及的技术风险、工程风险、财务风险等均由节能服务公司承担，用能单位依照与节能服务公司签订的合同能源管理服务协议来实现项目风险的转移、获得节能改造与用能管理专业服务。

第四，既能发挥节能服务公司的专业优势，又能让用能单位产生能源管理外包效益

节能服务公司基于自身的专业技术能力，以及众多的案例经验积累，能为用能单位度身定做系统的节能解决方案，提供专业化、规范化、标准化的用能管理服务，并能持续全方位地挖掘用能单位的节能潜力。而用能单位通过外包并非自身擅长的能源管理工作，能够在聚焦主业的同时，获得用能管理水平和服务质量的大幅提升。

四、公共机构能源管理服务外包操作规范

（一）能源管理服务外包模式选择的一般原则

1、能源审计先行的原则

所有公共机构在选择能源管理服务外包模式之前必须进行深入的能源审计，以全面评估潜在的节能空间。

2、能源管理服务外包与节能挖潜相结合的原则

凡能源审计结果显示具备节能改造可行性（技术上和经济上）的公共机构必须采取合同能源管理型服务外包模式，以最大限度地挖掘节能潜力。在具体操作上可采取两种不同的方式：一是由公共机构分别与设施管理公司（物业管理公司）和能源管理服务公司签订合作协议，前者提供用能系统的日常管理和维护保养服务，后者提供节能改造及相关管理服务；二是由具备节能改造实施能力的设施管理公司（物业管理公司）直接提供能源管理外包服务。

3、以实施能力为前提的能源审计机构选取原则

公共机构在选取能源审计合作伙伴时必须考虑其是否有方案实施能力，避免能源审计与节能改造实施相脱节。如能源审计结果显示具备节能改造可行性，则该审计机构自动成为合同能源管理型服务外包的服务提供商。

4、招投标原则

公共机构应以公开招标或邀标的方式遴选出合适的能源管理服务外包合作方。

（二）能源审计

1、能源审计流程

能源审计是一个能源服务公司与用能单位互动的过程，涉及以下几个环节：

1) 对节能需求与机会的初步评估

- a) 节能服务公司与用能单位沟通有关其用能设施和日常运营中遇到的问题，以及节能方面的设想；
- b) 收集建筑与设备的相关数据及运行记录；
- c) 进行初步现场踏勘，并与相关人员交流探讨可能的节能措施；
- d) 节能服务公司向用能单位汇报初步分析结果并明确节能改造路径；

2) 各类节能措施的初步分析

- a) 确定能耗基准线；
- b) 对已明确的各项潜在的节能措施进行初步分析；
- c) 节能服务公司向用能单位汇报分析结果并进一步明确待细化的节能措施；

3) 进一步分析并形成能源审计报告

- a) 进一步分析各项节能措施；

- b) 形成初步能源审计报告；
- c) 向用能单位汇报并收集反馈意见；
- d) 形成最终能源审计报告。

2、能源审计报告的内容构成

能源审计报告应包含如下几部分内容：

- 1) 概述
 - a) 简要列示各项节能措施及其改造、运行成本；
 - b) 简要描述项目基准年能耗及能源费用；
 - c) 简要描述项目的节能量及节能率；
 - d) 对各项节能措施作简要分析；
 - e) 对项目的结论与评价；
- 2) 能耗基准线
 - a) 描述能源账单分析的过程；
 - b) 给出账单分析结论；
 - c) 描述能耗基准线的核定方法；
- 3) 各项节能措施的详细描述，包括：
 - a) 方案说明
 - (1) 项目现状；
 - (2) 拟安装设备及其功能描述；
 - (3) 设备安装或方案实施的计划；
 - b) 节能量计算
 - (1) 基准年能耗及能源费用；
 - (2) 节能改造后能耗及能源费用；
 - (3) 节能量估算（包括分析方法、计算表、假设条件说明等）；
 - (4) 各项节能措施间相互影响情况的说明；
 - (5) 运营和维护产生的节能量（包括详细描述和计算）；
 - (6) 结论及说明；
 - c) 成本估算
 - (1) 工程/设计成本；
 - (2) 材料、设备费用；
 - (3) 施工管理费用；
 - (4) 结论及说明；
 - d) 其他
 - (1) 拟更换设备的平均使用寿命估算；
 - (2) 初步的设备调试计划；
 - (3) 初步的节能量测量与验证计划；
 - (4) 拟更换设备与原有用能系统的相容性情况说明。

（三）合同能源管理型服务外包实施流程及要求

1、实施流程

1) 招标阶段

- a) 发布招标文件；
 - b) 组织投标人项目现场交流及设备踏勘；
 - c) 评估投标方案并初步遴选出候选人；
 - d) 与各候选人面谈以进一步澄清投标文件中的相关事项；
 - e) 确定中标人并签发中标通知。
- 2) 能源审计阶段
- a) 与中标人协商签订投资级能源审计协议；
 - b) 对能源审计报告进行技术评估（包括审核节能量估算、成本估算、各项节能措施、测量与验证计划等）。
- 3) 合同能源管理协议签署及方案实施阶段
- a) 在能源审计报告通过技术评估后，如节能改造方案具备经济和技术上的可行性，则与中标人签订合同能源管理服务协议。
 - b) 根据能源审计形成的方案实施合同能源管理。

2、招标文件构成

- 1) 背景介绍；
- 2) 投标文件提交及筛选投标人的程序说明；
- 3) 工作范围描述
- 4) 投标人应标的格式文本（具体见下文）
- 5) 用能设施概况

招标人应简要介绍其用能设施情况，以便于投标人对所招标项目作出响应。具体包括：

- a) 建筑物清单
 - (1) 建筑物名称
 - (2) 总空调面积
 - (3) 建筑物用途
 - (4) 建造年份
 - (5) 何时做过修缮、扩建、翻新（简要描述）
- b) 能源消耗及能源费用情况

按能源类型（电、气、油、水等）列示最近一年的消耗量及对应的能源费用，如有可能，分别列示每一栋建筑的能耗。
- c) 曾经实施过的能效改进措施
 - (1) 简要描述过往 10 年实施过的能效改进措施（如锅炉/冷水机组更换、加装变频器、自控系统安装/升级、通风系统改进等）。
 - (2) 过去 5 年内是否做过能源审计，如有，能否提供。
- d) 未来的计划
 - (1) 简要描述未来的设想（如照明升级、主要设备更换、建筑物功能改变、用能时间改变等）。
 - (2) 简要描述希望在本项目中探讨的一些节能措施。
- e) 能源使用系统介绍
 - (1) 采暖系统
 - (2) 制冷系统
 - (3) 控制系统

- (4) 照明系统
- (5) 生活热水系统
- f) 运行情况
 - (1) 简要描述各类设备的典型运行时间。
 - (2) 简要描述日常管理中的运行策略。
- g) 设备维护保养情况
 - (1) 简要描述设备维保的执行状况（是否有预防性的维保计划、维保人员的技能水平、维保费用预算是否充足、是否按时进行维保等）。
 - (2) 简要描述已发现的维保中的问题。

3、投标人的应标文件构成

为便于招标人按照统一标准筛选合同能源管理服务提供商，投标人应根据以下格式文本准备应标文件。

1) 公司（即投标人）开展合同能源管理业务的简要描述，包括公司背景、所处的细分市场、公司的核心能力和优势以及公司在合同能源管理业务各环节（项目拓展、能源审计、节能量保证、改造施工、设备调试、测量与验证、客户培训、改造后设备维保等）的能力；

2) 项目历史记录

- a) 过往 5 年完成的合同能源管理项目清单；
- b) 案例介绍（包括项目名称、类型、规模、投资额、完成时间、节能改造的内容、实际节能效果等）；
- c) 与本项目类似的项目经验的说明（从项目规模、工作范围、设备类型、改造路径等方面描述）

3) 公司资质证明

- a) 公司简介（组织架构、发展历程、从事合同能源管理业务的时间、已完成的项目数量等）；
- b) 公司财务报表；
- c) 行业或主管部门认定的资质

4) 开展合同能源管理业务的能力和技术方法

a) 服务内容介绍，简要描述公司在以下方面的技术能力

(1) 能源系统及基础设施

机械/电气系统

- ◆ 照明（室内和室外）
- ◆ 采暖
- ◆ 通风及室内空气质量控制
- ◆ 制冷
- ◆ 控制与建筑智能化
- ◆ 燃料转换
- ◆ 中央能源站
- ◆ 节水

可再生能源

- ◆ 天然采光
- ◆ 光伏

- ◆ 光热
- ◆ 地热
- ◆ 风能
- ◆ 生物质能
- ◆ 分布式供能

特殊系统或专用建筑

- ◆ 厨房/洗衣房
- ◆ 实验室、洁净室
- ◆ 医院
- ◆ 游泳池
- ◆ 计算机房

能源管理服务

- ◆ 能源管理
- ◆ 系统调试
- ◆ 设备维护保养

(2) 项目执行

- ◆ 能源审计（对各种节能措施的了解、节能量计算、改造成本估算等）
- ◆ 工程设计（机械/电气等）
- ◆ 设备采购
- ◆ 改造施工
- ◆ 项目管理

b) 开展合同能源管理服务的技术措施

(1) 舒适性标准的说明（包括改造后照明的照度、空调的温度、新风量等方面的标准）

(2) 能耗基准线计算方法

c) 能源审计报告样本

投标人需提交一份之前完成的、类似项目的能源审计报告。

5) 项目管理及人员配备

a) 项目管理

(1) 施工管理

说明投标人如何与拟改造建筑物的现有运营管理人员协同工作，以确保改造施工与建筑物的正常运行、使用不冲突。

2) 自行完成与分包

概要描述项目中哪些工作自行完成，哪些工作进行外包，并说明理由。

b) 人员配备

说明拟配备人员数量、各自的工作职责、教育背景、专业资质、项目经验等。

4、合同能源管理服务机构的选择

公共机构可从相关市场项目经验、项目管理与协调能力以及项目人员专业能力等三个方面逐一评估投标人的投标文件，并最终遴选出适合本公共机构的合同能源管理服务提供商，具体评价标准见下表：

合同能源管理服务评价表

1) 项目管理与协调

评价	标准
差	项目组成员的职责分工不明确；项目分包部分的合理性无解释；如何管理、协调项目没说明；按计划完成项目的能力存疑。
可接受	项目组有初步的职责分工；项目分包的合理性有简略的说明；如何管理、协调有初略的描述。
好	项目组主要成员的职责分工明确；分包工作的合理性有解释，但无具体责任人；如何管理、协调有较完整的说明。
优秀	项目组成员的职责有清晰的说明；分包的合理性解释充分，且有明确的责任人；如何管理、协调有详尽的描述。
得分/评价	

2) 相关市场项目经验

评价	标准
差	3 年以下相关市场项目或合同能源管理项目经验。
可接受	3—5 年相关市场项目或合同能源管理项目经验。
好	5—8 年相关市场项目或合同能源管理项目经验。
优秀	8 年以上相关市场项目或合同能源管理项目经验。
得分/评价	

3) 项目人员

3a 人员的资历和经验——技术分析(能源审计)方面

评价	标准
差	3 年以下相关市场项目或合同能源管理项目经验；项目团队对各种节能措施知之甚少；节能量计算方法未说明；节能量的实现有很高的风险；项目成本估算不合理。
可接受	3—5 年相关市场项目或合同能源管理项目经验；项目成员对节能措施有基本的了解；有简略的节能量计算方法；设备选择仅考虑了节能的需要。
好	5—8 年相关市场项目或合同能源管理项目经验；项目成员对各类节能措施有较全面的了解；建设成本的估算参考了该公司以前类似项目的经验。

优秀	8 年以上相关市场项目或合同能源管理项目经验；项目成员有关于各类节能措施的广博的知识；节能量的计算方法有详细的说明，且符合可测量与验证的标准；设备选择综合考虑了节能量、维护保养以及客户意愿等因素；结合项目所在地的实际情况进行建设成本估算。
得分/评价	

3b 人员的资历和经验—工程设计方面

评价	标准
差	3 年以下相关市场项目或合同能源管理项目经验；所有的设计均外包；没有明确的设计团队。
可接受	3—5 年相关市场项目或合同能源管理项目经验；设计中的分包部分未做说明；部分设计人员有共同工作的经历，但设计团队不够完整。
好	5—8 年相关市场项目或合同能源管理项目经验；对分包的设计工作有明确说明；大部分设计人员有共同工作的经历；设计团队基本完整。
优秀	8 年以上相关市场项目或合同能源管理项目经验；设计的分包部分有详细说明，且与项目所在地的分包商合作；设计人员有共同工作的经历；设计团队完整；设计过程中会参考相关规范、进行大量的内部讨论并与客户交流。
得分/评价	

3c 人员的资历和经验—施工管理方面

评价	标准
差	3 年以下相关市场项目或合同能源管理项目经验；施工管理团队不明确。
可接受	3—5 年相关市场项目或合同能源管理项目经验；施工团队明确，但没有与设计团队合作的经验，或者不熟悉各种节能措施；施工团队沟通能力弱。
好	5—8 年相关市场项目或合同能源管理项目经验；施工团队明确且有与设计团队合作的经验，同时对某些节能措施有了解；施工团队有较强的沟通能力。
优秀	8 年以上相关市场项目或合同能源管理项目经验；施工团队明确且有广泛的与设计团队合作的经验，同时对各种节能措施有全面的了解；施工团队有很强的沟通能力和解决问题的能力。
得分/评价	

3d 人员的资历和经验—施工方面

评价	标准
差	能源服务公司对项目所在地的承包商不了解，且自身之前未从事过任何施工工作；在未对项目所在地的承包商进行了解的基础上即选择异地承包商，或决定自身进行施工。
可接受	能源服务公司对项目所在地的承包商有所了解，且自身有能力承担部分施工工作；能源服务公司倾向于选择之前有项目合作关系的异地分包商，而非项目所在地的分包商。
好	能源服务公司在项目所在地从事过其它项目，且与当地承包商有合作；能源服务公司有能力承担部分施工工作，并能与客户一道选择合适的分包商。
优秀	能源服务公司在多个地方有项目经验；在类似项目上与众多本地承包商有过合作；自身有能力完成部分性价比合适的施工工作；能与客户一道选择分包商，且分包商有合同能源管理项目的施工经验。
得分/评价	

3e 人员的资历和经验—培训方面

评价	标准
差	没有培训计划，客户需要自身完成对员工的所有培训。
可接受	没有正式的培训日程表；在设备启用和调试期间有客户培训；一般性的培训，而不是关于所安装设备的针对性培训；没有培训记录。
好	针对某些节能措施提出了培训计划；客户在设备启用和调试阶段参与；培训集中在设备的运营与维护方面；有培训记录。
优秀	针对每项节能措施均有培训计划；培训既考虑合同期内的需要，也考虑客户的长期需要；培训针对实际安装的设备进行；有完整的培训记录。
得分/评价	

3f 人员的资历和经验——测量和验证方面

评价	标准
差	测量与验证方案不是根据“国际节能量测量与验证规程”（IPMVP）来制订，而是只考虑能源服务公司自身的利益；没有测量与验证方面的客户培训。
可接受	能源服务公司按照“国际节能量测量与验证规程”来制订方案；但没有探讨客户如何实现长期节能收益；没有讨论客户如何验证节能收益；能源服务公司执行节能量的验证。
好	能源服务公司按照“国际节能量测量与验证规程”来制订方案，且向客户解释如何通过测量与验证方案来确保其长期节能收益；初步讨论了客户如何验证节能量；能源服务公司每年提供节能量验证报告。
优秀	能源服务公司按照“国际节能量测量与验证规程”来制订方案，且向客户解释如何通过测量与验证方案来确保其长期节能收益；对验证方案及节能量评估中的风险有详细解释；能源服务公司每年提供节能量验证报告；对客户进行培训，以使其能开展节能量验证。
得分/ 评价	

3g 人员的资历和经验——项目后期支持方面

评价	标准
差	由设备供应商承担节能改造后的维保事宜，能源服务公司不参与。
可接受	由承包商承担节能改造后的维保事宜；在能源管理服务期限内，如节能量达不到预期，能源服务公司将提供支持服务。
好	由承包商承担节能改造后的维保事宜；无论是否在能源管理服务期限内，如节能量达不到预期，能源服务公司都将提供支持服务。
优秀	由承包商根据客户的需要承担节能改造后的维保事宜；能源服务公司随时与承包商一起合作解决遇到的问题。
得分/ 评价	

五、几点政策建议

综上所述，我们认为，能源管理服务外包是公共机构节能减排，提升能源使用效率的必由之路，相关政府管理部门可从以下六方面来推动这一进程。

（一）改革财政预算体制

改变公共机构能源费用与公用事业经费“混灶吃饭”现状，将公共机构能源费用纳入财政专项预算。财政部门结合公共机构实际情况，以相应的能源消费标准成本为基础核定公共机构能源费用年度预算。当公共机构采取能源管理服务外包模式时，可将节约下来的能源费用按照公共机构与节能服务公司的合同约定支付给节能服务公司，并在公共机构能源专项费用中进行列支。结合能耗定额、能源单价等因素定期对公共机构的能源消费标准成本进行调整，应用调整后的标准成本体系核定新一年的能源费用专项预算。

（二）加强基础能力建设，建立公共机构能源计量、统计和监测体系

在分类、分项、分户计量的基础上，构建公共机构能源计量监管系统与服务平台。利用监管系统收集的大量实际用能数据制定和实施公共机构能耗使用定额标准和用能支出标准，建立公共机构能源消费标准成本体系，为财政部门核定能源费用专项预算提供基础。

（三）颁布公共机构能源管理服务外包操作规范

为全面推进公共机构能源管理服务外包工作，应制订并颁布系统的操作规范。该操作规范须包含如下内容：

1、要求所有公共机构能源管理服务外包必须与合同能源管理相结合，除非能源审计的结果表明该公共机构不具备技术上和经济上实施节能改造的可行性。

2、规定由能源管理服务公司开展能源审计工作，如能源审计结果显示具备节能改造可行性，则该公司自动成为该公共机构合同能源管理服务的提供商。改变以往由财政出资进行单纯的能源审计的做法，避免审计成果被束之高阁而达不到节能的效果。

3、明确公共机构能源管理服务外包纳入政府采购范围，实行公开招标。

4、制订公共机构能源管理服务外包的实施流程及要求。包括招投标阶段、能源审计阶段以及方案实施阶段的相关流程和要求。

5、拟订一系列与公共机构能源管理服务外包相关的标准文本，包括招标文件、应标文件、规范的能源审计报告结构、能源管理服务提供商遴选标准以及合同能源管理服务协议等的格式文本。

（四）进一步强化公共机构能源管理服务市场的准入机制

虽然国家发改委和地方政府相关管理部门已经启动节能服务公司审核备案工作，初步建立了节能服务的市场准入机制，但是对节能服务公司提供后续服务的能力和效果缺乏持续性监管。总体来看，目前行业内企业良莠不齐，多数

节能服务公司规模小，专业能力不强。因此，须进一步强化公共机构能源管理服务市场的准入机制，在现有已备案的节能服务企业中筛选出一批业绩突出、专业能力完整的公司进入公共机构能源管理服务市场。

（五）公共机构节能绩效纳入领导考核

国家机关、事业单位和团体组织等公共机构的支出由财政承担，难以体验“能源紧缺”的“困境”。同时，因缺乏相应的考核奖惩机制约束，加上人员素质、节能观念、激励等问题没有形成有效管理体系，公共机构节能工作面临诸多掣肘。因此，即使将节能管理工作外包给市场，也应将节能管理工作绩效纳入公共机构的领导考评体系。

（六）完善多层次融资担保体系

为有效解决能源管理服务公司融资难的问题，一是建议中央和地方政府从支持节能减排的资金中拿出部分资金成立相应级别的节能担保基金，为能源管理服务公司实施合同能源管理项目进行融资担保。二是建议各地将对合同能源管理项目“后补助”的资金改为成立融资担保基金。目前，各地对合同能源管理达标项目都采取“后补助”的扶持方式，但是，这种补助对企业的吸引力并不大，而且依然解决不了节能投资的来源问题。如果将补助资金改为融资担保基金，就可以充分利用担保机制的放大作用，在一定程度上解决合同能源管理项目的融资问题。

参考文献

- [1]徐龙飞, 彭献永, 王培红, 等.基于能耗统计数据的公共机构节能管理的探讨[J].能源技术, 2008, 29(6): 331-334.
- [2]王一凡, 赵欢, 王培红, 等.能耗管理数据库系统的开发与利用[J].上海节能, 2008, (9): 39-42.
- [3]Michael Brown and Simon Minett. MARKET STUDY ON INDUSTRIAL ENERGY OUTSOURCING [R]. Delta Energy & Environment for The European Bank for Reconstruction and Development, 2003:44-45.
- [4] Goldman, C.A., Hopper, N.C., Osborn, J.G. Review of US ESCO industry market trends: an empirical analysis of project data [J]. Energy Policy, 2005(33):87-405.
- [5] Edward L. Vine. An international survey of the energy service company (ESCO) industry [R].Lawrence Berkeley National Laboratory, 2003
- [6]Hans Westling. Energy Performance contracting requires careful procurement [R].In the International Symposium of the CIB W92 on Procurement Systems, 2004
- [7]Nicole Hopper and Charles Goldman, Dave Birr. The Federal market for ESCO services: How does it measure up? [R]. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2004.http://eetd.lbl.gov/ea/EMS/EMS_pubs.html.2011-06-01.
- [8]Harrison, D., P. Klevnas, S.Sorrell and D.Radov. Interaction of Greenhouse Gas Emission Allowance Trading with Green And White Certificate Schemes[R]. Report to DG Environment, European Commission, National Economic Research Associates, 2005.
- [9]Pavan, M. Italian energy efficiency obligations and white certificates: measurement and evaluation[R].Joint ECEEE, EC and European Parliament workshop on bottom-up measurement and verification of energy efficiency improvements, Brussels, European Council for an Energy Efficient Economy,2005.
- [10]Lee, M. K. & H. Park, et al. Promoting energy efficiency financing and ESCOs in developing countries: experiences from Korean ESCO business [J]. Proceedings of the 6th International High-Level Seminar on Cleaner Production, 2000(10):16-17.
- [11]Westing, H. European Council for an Energy-Efficient Economy [R]. Paris, France, 2003a
- [12]Westing, H. European Council for an Energy-Efficient Economy [R]. Paris, France, 2003b
- [13]Vine, E. Nakagami, H. & C. Murakoshi. The evolution of the US energy service company (ESCO) industry: from ESCO to Super ESCO [J]. Energy, 1999, 24(6): 479-492.
- [14]Bertoldi, P., Silvia Rezessy, and Edward Vine, Energy service companies in European countries: Current status and a strategy to foster their development [J]. Energy Policy, 2006(34):1818-1832.
- [15]Bannai, M. Energy service innovation by energy service company [J].Proceedings of the 4th International Conference on Innovation and Management, 2007(12):5-6.
- [16]许泓.一种基于市场的节能新机制——合同能源管理[J].电力需求侧管理, 2002(06): 47-48.
- [17]王滕宁.对合同能源管理机制的几点理解[J].经营与管理, 2002(12): 13.

- [18]杨振宇, 赵剑锋, 王书保.合同能源管理在中国的发展及待解决的问题[J].电力需求侧管理, 2004 (06) : 10-12.
- [19]谢仲华.合同能源管理机制在上海地区的应用[J].华东电力, 2005 (06) : 16-18.
- [20]张震国.合同能源管理: 金融创新的新举措[J].上海金融, 2001 (02) : 47-48.
- [21]王李平, 王敬敏, 江慧慧.我国合同能源管理机制实施现状分析及对策研究[J].电力需求侧管理, 2008 (01) : 16-18,25.
- [22]蔡贺年.我国合同能源管理项目信用问题研究[D].重庆大学硕士学位论文, 2009.
- [23]常海霞.建筑节能改造工程总承包模式研究[J].节能与环保, 2009 (05) :18-20.
- [24]费琛.构建科学的高校后勤服务外包模式[J].上海商学院学报, 2010 (11) : 85:88.
- [25]陈俊翹等.图书馆业务外包实证研究[J].图书馆论坛, 2012 (32) : 50-51.
- [26]李甬, 马彦琳, 梁晓群.既有建筑节能改造的融资障碍及对策研究[J].建筑经济, 2007(12):15-17.
- [27]窦彬.欧美合同能源管理实践与启示[J].杭州科技,2007(4):62-63.
- [27]刘玉明, 刘长滨既有建筑节能改造的经济激励政策分析[J].北京交通大学学报(社会科学版), 2010, 9, (2):52 — 57