



ESCO 与建筑节能改造

——节能量核验方法与案例研究

潘毅群 主编

中国建筑工业出版社

014005316

TU111.4

29

ESCO 与建筑节能改造 ——节能量核验方法与案例研究

潘毅群 主编



中国建筑工业出版社

TU111.4

29



北航

C1692502

014002318

图书在版编目 (CIP) 数据

ESCO 与建筑节能改造——节能量核验方法与案例研究/
潘毅群主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 10
ISBN 978-7-112-15693-1

I. ①E… II. ①潘… III. ①建筑—节能—研究
IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 183771 号

本书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《节能量测量与验证技术通则》, 借鉴国外相关标准和导则, 研究和提出适合我国国情的节能量测量与验证方法, 并给出大量详细案例。本书上篇以导则的形式规定了 A (部分变量测量, 改造部分隔离)、B (全部变量测量, 改造部分隔离)、C (全楼宇验证)、D (校验模拟验证) 四种适合于不同场合下运用的节能量测量和验证方法, 在具有足够能耗数据时采用回归模型建立基准能耗等。本书下篇汇编了 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。读者可通过这些示范项目的操作流程、前期评估与合同签署、改造方案实施效果、节能量测量与验证等对合同能源管理服务有更加直观的认识和理解。

* * *

责任编辑: 张文胜 姚荣华
责任设计: 张 虹
责任校对: 张 颖 王雪竹

ESCO 与建筑节能改造
——节能量核验方法与案例研究

潘毅群 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京天佑书香文化传媒有限公司制版
北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 8 字数: 200 千字
2013 年 10 月第一版 2013 年 10 月第一次印刷
定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-15693-1
(24503)

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

本书编委会

顾问：莫争春 魏玉剑
主编：潘毅群
副主编：吴刚 黄治钟
参编人员：左明明 田柏秋 曹莉萍 于峰 陈在跟
王承德 张鸣 金杨 余文波 鲍冬宇
赵晓东 曹文龙 钟晓雪 孙保京 阙淑艾

特别感谢：本书在美国能源基金会的赠款项目（G-1206-16260）“利用合同能源管理模式推动既有建筑节能改造政策研究”的相关研究成果上编写而成。本书的案例均取自实际的建筑节能改造项目，由国内多家知名ESCO公司提供，在此特别致谢。

会委序

在建筑行业探索节能减排如何从政府主导转化为市场主导的今天，合同能源管理模式被寄予厚望。虽然中央和一些地方政府出台了一系列鼓励推广合同能源管理的激励政策，相关协会和行业组织层出不穷，合同能源管理在建筑节能改造市场的发展仍然不快，这除了社会认知程度不足、融资渠道不畅、交易成本过高、节能服务公司规模小能力弱等诸多因素之外，一个关键问题是对于建筑节能改造所产生的节能量认定不清，规范科学合理与公正公平且易于操作的节能量认定方法是当务之急。

一个有趣的现象是，尽管合同能源管理模式源于美国，且脱胎于建筑节能行业。我国的工业领域应用合同能源管理进行节能改造的力度远远大于建筑领域，合同能源管理模式一直没有很好地与既有建筑节能改造有机结合。相对于节能量认定较为容易的工业领域，建筑行业由于居住者的行为因素难以完全同其他因素剥离，建筑节能改造又往往是多种节能改造技术相结合的综合改造，节能量认定往往产生更多的不确定性。

我国刚刚出台了以 IPMVP 为蓝本的《节能量测量与验证技术通则》GB/T 28750—2012，对于节能量测量与验证等相关概念做了明确定义，并且给出了计算方法、原则、内容和技术等要求。但由于缺乏可指导实际操作的细则以及专门针对建筑领域的实际改造案例，该通则对于节能服务公司进行既有建筑节能改造仍然有隔靴搔痒之感。

编写一本实用的建筑改造节能量认定手册远非易事，一方面需要编写者具备极强的建筑节能改造的理论知识，同时也需要积累丰富的建筑节能改造的实践经验。市面上通常所见的相关书籍，作者往往难以做到两者兼备。

本书的作者恰恰具备了以上所需的两方面特质，因此它的理论性和实用性都非常强，是指导认定建筑节能改造所导致的节能量所不可多得的指导手册。主编潘毅群教授和副主编吴刚先生与我相识多年。大约在 2000 年，我们曾同时在卡内基·梅隆大学的建筑性能与分析中心攻读学位或访问。对 IPMVP 了解更深一点的人可能知道，编写 IPMVP 的美国能源部最早的项目负责人 Satish Kumar 就是在该中心取得的博士学位。潘教授和吴先生在该校积累了深厚的建筑节能理论知识。回国后，潘教授一直从事建筑节能方面的教学工作，而吴先生则创办了自己的建筑节能服务公司，经过了大量实际工程的磨砺和市场的锤炼。因此，这两

位作者的合作可以说是珠联璧合。

该书的实用性体现在它充分考虑了我国节能市场的新兴特点。节能量认定需要确定能耗基准线，而我国尚缺乏大量翔实、完备与公开的建筑能耗运行和统计数据。作者引入的相似日测量法就是针对了这一普遍的市场特性，同时辅以实际应用案例，使读者能够全面了解并掌握这一方法。

本书下篇还精心汇编了上海市利用合同能源管理模式进行建筑节能改造的示范项目，涵盖了各种典型的公共建筑类型，给读者提供了一个了解合同能源管理模式进行建筑节能改造的全方位视角。是一本难得的参考书。

莫争春

2013年9月22日

前 言

随着国民经济的高速发展,我国城市化进程也迅速加快。2011年末,我国大陆城镇人口比重达到51.27%,预计到2020年,我国城市化率将达到60%。城市化进程的加快,将导致我国建筑开发量迅猛增长。根据麦肯锡研究院的研究,我国将出现15个平均人口约为2500万的超大城市,或11个总人口在6000万以上的城市群,这将增加50000栋超高层建筑,相当于10个纽约。然而放眼我国建筑能源利用现状,能源利用效率低下,能源浪费现象严重,这就为建筑节能营造了巨大的节能空间。

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。2010年4月,国务院办公厅转发国家发展改革委等部门关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展意见的通知;财政部、国家发展改革委关于印发《合同能源管理财政奖励资金管理暂行办法》的通知;国务院颁发的“十二五”节能减排综合性工作方案明确提出了落实财政、税收和金融等扶持政策,扶持壮大节能服务产业,加快推行合同能源管理的指导方针;国家发改委、财政部先后公布四批节能服务公司备案名单;住房和城乡建设部出台一系列既有建筑节能改造的标准和指南;各地也出台一系列扶持和规范节能服务产业的政策。

在巨大的节能市场的带动下,以及国家政策的大力扶持下,我国节能服务产业迅猛发展。据统计,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,比2010年增加了88.23%;节能服务业从业人数大幅度增加,从2010年的17.5万人增加到37.8万人,增加116%。在这一大环境下,建筑节能服务行业将迎来快速发展的良好契机。

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。譬如,用能单位实施节能减排的驱动力的问题、ESCO公司融资困难的问题等。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须为独立变量的函数），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》并没有提供合同能源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些困难。

本书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 Guideline 14 等)，研究和提出适合我国国情的节能量测量与验证方法，并给出大量详细案例。本书分为上下两篇：上篇为“既有建筑节能改造中的节能量测量与验证方法”；

下篇为“上海市公共建筑合同能源管理服务示范项目汇编”。

本书上篇以导则形式编写,借鉴 IPMVP 的框架和 ASHRAE Guideline 14 的技术基础,即规定了 A(部分变量测量,改造部分隔离)、B(全部变量测量,改造部分隔离)、C(全楼宇验证)、D(校验模拟验证)四种适合于不同场合下运用的节能量测量和验证方法,在具有足够能耗数据时采用回归模型建立基准能耗等。但考虑到我国既有建筑的实际情况,以及合同能源管理的实践性本质,特意邀请了多家国内知名的 ESCO 公司参与本书上篇的编写,从而使其具备以下特色内容:

(1) 引入相似日测量法,以应用于缺乏分表计量历史数据的场合。目前国内绝大多数既有建筑没有分表计量历史数据,当改造仅对建筑内单个系统或设备实施时,可通过测量改造前后相似运行工况下的基准能耗和当前能耗来验证节能量。

(2) 加入了大量实际案例及相关数据,以使得无论 ESCO 公司或用能单位在实际项目中充分理解测量与验证方法的原理和步骤,具有可操作性。这些案例均来自 ESCO 公司的真实项目,其相关数据也都是真实的。

目前,建筑物用能定额和建筑节能碳交易正引起越来越多人的关注。国家相关部门也正在积极研究相关政策的可行性和可操作性。无论建筑用能定额还是碳交易,正确的节能量测量与验证始终是它们的前提和基础。希望本书所给出的方法可作为《通则》的补充,为 ESCO 公司和第三方节能量核验机构提供实际案例和操作细节,为推动我国的既有建筑节能改造事业的发展提供理论方法和技术支持。

本书下篇汇编了 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。读者可通过这些示范项目的操作流程、前期评估与合同签订、改造方案实施效果、节能量测量与验证等对合同能源管理服务有更加直观的认识和理解。

目 录

上篇 既有建筑节能改造中节能量的测量与验证方法

1	术语	2
2	节能量测量与验证方法	6
2.1	基本概念和方法	6
2.2	方法 A: 部分变量测量, 改造部分隔离	13
2.3	方法 B: 全部变量测量, 改造部分隔离	17
2.4	方法 C: 全楼宇验证	21
2.5	方法 D: 校验模拟验证	23
3	案例	28
3.1	方法 A 案例 1——风机变频改造	28
3.2	方法 A 案例 2——照明灯具替换	31
3.3	方法 A 案例 3——空气源热泵替换燃油锅炉	33
3.4	方法 A 案例 4——热回收	35
3.5	方法 B 案例 1——水泵变频	37
3.6	方法 B 案例 2——离心式冷水机组替换螺杆式冷水机组	40
3.7	方法 B 案例 3——冷冻机房整体改造	44
3.8	方法 C 案例——全建筑照明+空调系统改造	49
3.9	方法 D 案例——某五星级酒店全建筑模拟	55
4	不确定性的统计方法	60
5	回归模型	62
6	独立变量	64

下篇 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	68
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	72
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	75
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	80

示范项目 5	仁济医院东院合同能源管理项目	85
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
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
示范项目 8	上海火车站扶梯管理控制系统节能改造	98
示范项目 9	上海市伊泰利大厦 1 号楼空调系统节能改造	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	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)	110

附录	《节能量测量与验证技术通则》GB/T 28750—2012 简介	116
----	----------------------------------	-----

目 录

上 篇

既有建筑节能改造中节能量的 测量与验证方法

1.0.3 基准能耗 Baseline energy use

基准能耗是在节能改造后建立基准条件下，节能改造前改造范围内的能耗。改造范围内可以安装高精度的设备、系统，也可以安装全面的改造系统。

【说明】

由于改造前和改造后系统设备在不同时段内数量不同，为了对比改造前后的能耗数据，需要对改造前后的能耗数据进行调整，得到改造前后的基准能耗数据，也就是基准能耗。

1.0.4 节能量 Energy saving

节能量是指节能改造前后的能耗差值，即节能量=基准能耗-当前能耗。

1.0.5 独立变量 Independent variables

独立变量是指节能改造范围内系统或设备无关的变量，例如天气、

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。

【说明】

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,则仅通过对比相似日的能耗来计算节能量;当改造所涉及的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。本书第6章中表6.2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 给出了回归模型的不确定性判断标准。

回归模型不确定性判断标准

表 1-1

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 $F \geq 30$, $\text{Sig} < 0.05$)

关于回归模型的详细说明见本书第 5 章。

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

月累积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。

(1-5)

1.4.5 表 表式四 逐时室外空气温度的累加值

表式	表式四 逐时室外空气温度的累加值	表式四 逐时室外空气温度的累加值
1.1.1.2	逐时室外空气温度的累加值	逐时室外空气温度的累加值
2.1.1.2	逐时室外空气温度的累加值	逐时室外空气温度的累加值
3.1.1.2	逐时室外空气温度的累加值	逐时室外空气温度的累加值

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。

条文 2.1.1.1~2.1.1.3 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 $E_{\text{基准}}$ 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 规定了不同条件下基准能耗的确定方法。

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

表 2-1

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时，可通过建立回归模型来确定基准能耗。