

上海市合同能源管理指导委员会办公室推荐教材

能源管理与节能

—— 建筑合同能源管理导论

龙惟定 白 玮 主编

中国建筑工业出版社

上海市合同能源管理指导委员会办公室推荐教材

能源管理与节能

——建筑合同能源管理导论

龙惟定 白 玮 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

能源管理与节能——建筑合同能源管理导论/龙惟定, 白玮主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 2
(上海市合同能源管理指导委员会办公室推荐教材)
ISBN 978-7-112-12804-4

I. ①能… II. ①龙…②白… III. ①建筑-节能-研究-中国②建筑业-能源管理-研究-中国 IV. ①TU111.4
②F426.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 259989 号

能源管理和节能服务涉及管理、财务、建筑技术、建筑设备、建筑环境、自动控制等多门学科。目前, 合同能源管理的节能服务项目在我国发展迅速, 但是缺少相关的参考资料与图书。本书从建筑能耗统计与预测、建筑能源审计、建筑系统测试与诊断、能源服务项目的融资等方面, 对建筑合同能源管理中涉及的各个方面进行了充分论述。另外, 书中对系统调试、运行管理、建筑能耗的计量与管理、建筑节能改造技术、建筑节能评价方法等进行了详细介绍, 可以使从事建筑合同能源管理的技术人员掌握相关的知识, 以利于顺利开展工作。

本书与其他类似图书相比, 更全面、实用, 既可以作为高校相关专业教材, 也可以供从事相关专业的工程技术人员参考。

* * *

责任编辑: 姚荣华 张文胜
责任设计: 李志立
责任校对: 马 赛 王雪竹

上海市合同能源管理指导委员会办公室推荐教材
能源管理与节能——建筑合同能源管理导论
龙惟定 白 玮 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
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京市铁成印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张: 23 $\frac{1}{4}$ 字数: 579 千字

2011 年 5 月第一版 2011 年 5 月第一次印刷

定价: 50.00 元

ISBN 978-7-112-12804-4
(20041)

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)

前 言

建筑节能服务是指对建筑节能项目的设计、融资、改造、采购、运行管理、能效审计和测评提供全过程或者若干阶段的服务。建筑节能服务的主要方式是合同能源管理（国内称为 EMC，即 energy management contract；国外一般称为 CEM，即 contracting energy management）。实施节能项目的用户与专营合同能源管理的节能服务公司之间签订能源和管理合同，依据合同用户以减少的能源费用来支付节能项目的全部成本，从而使用户获得长期能源费用的节约，能源服务公司提供项目的设计、融资、采购、施工、运行管理等服务，依据合同取得投资回报并赢利。合同能源管理是市场化环境下的节能机制，这种节能机制起源于 20 世纪 70 年代发达国家的“能源危机”之后。我国引入建筑节能服务的历史并不长，20 世纪 90 年代，我国利用世界银行的贷款和全球环境基金的赠款实施了一批工业节能项目，得到很好的节能效益和经济效益。在建筑节能领域，第一个完全规范的合同能源管理项目当属 1999 年德国 ROM 公司为上海金茂大厦所实施的节能改造。笔者当时作为第三方节能评估单位全程参加了该项目。此后，合同能源管理的节能服务项目，在我国像雨后春笋般发展起来。2009 年，以合同能源管理机制运行的节能服务公司达到 502 家，从业人员 11.3 万人。这些节能服务公司在 26 个行业的 2100 年企事业单位中实施了 5500 个节能项目，节能投资达 360 亿元，年节能能力 1757.9 万吨标准煤，减排 1133.85 吨碳当量。但这些节能成果还主要来自于工业领域。

我国建筑节能领域的合同能源管理还面对许多障碍和困难，人才匮乏是其中之一。能源管理和节能服务涉及管理、财务、建筑技术、建筑设备、建筑环境、自动控制等多门学科，需要复合型的人才。为此，我们决定结合中国国情，编写一本适合建筑合同能源管理这一新兴事业需求的书，试图为学校相关专业的学生和节能服务业的从业者提供一本入门级的综合教材。但需要强调的是，节能服务是实践性极强的专业，只有通过实际工程的历练，才能真正掌握节能服务的关键技术。

低碳城市或低碳建筑是建筑节能在应对全球气候变化新形势下的发展。根据麦肯锡管理咨询公司的分析，建筑领域的二氧化碳减排可以结合建筑节能。大多数建筑节能技术都是最容易实现、成本最低甚至是可以赢利的减排措施。通过合同能源管理，可以使建筑节能资源化，成为一种无碳的虚拟替代能源，同时也成为一门具有经济增长潜力的新型现代服务业。希望我们这本书能为读者的事业和职业发展提供动力。

过去，国内有关能源服务和合同能源管理的书籍和资料十分罕见，即使在美国，也只有为数不多的几本专业书籍，建筑能源服务和合同能源管理的理论与实践也还没有形成体系。本书中尽量收入国内外最新信息，并覆盖合同能源管理的各个方面。本书各章的编著者分别是：第 1 章，龙惟定；第 2 章，白玮，方舟；第 3 章，马素贞；第 4 章，苑翔，刘猛；第 5 章，白玮；第 6 章，马宏权；第 7 章，梁浩；第 8 章，白玮、梁浩；第 9 章，范蕊、蒋小强、樊瑛；第 10 章，马素贞；第 11 章，樊瑛、张改景；第 12 章，曾艺。全书由龙惟定、白玮统稿。

希望本书的出版能推进我国建筑领域能源管理服务和合同能源管理事业的发展进步。

龙惟定
2010 年 11 月

目 录

第 1 章 建筑节能与合同能源管理导论	1
1.1 建筑能耗	1
1.1.1 建筑能耗的基本概念	1
1.1.2 我国城镇建筑能耗特点	4
1.2 建筑节能与可持续发展	6
1.2.1 建筑节能理念的发展	6
1.2.2 面向低碳经济的建筑节能	11
1.2.3 清洁发展机制	14
1.3 合同能源管理	16
1.3.1 建筑能源管理	16
1.3.2 服务外包与合同能源管理	20
1.4 能源服务公司	21
第 2 章 建筑能耗统计和预测	25
2.1 统计基础	25
2.2 能耗统计的意义	26
2.3 能耗统计方法	27
2.3.1 统计分类	27
2.3.2 统计指标	27
2.3.3 统计调查的组织形式	28
2.3.4 统计资料的搜集方法	29
2.4 能耗数据库和能耗数据分析	29
2.4.1 统计资料整理	29
2.4.2 建立能耗数据库	33
2.4.3 能耗数据分析	34
2.5 建筑能耗的预测	35
2.5.1 线性回归法	36
2.5.2 情景分析法	38
2.5.3 系统动力学分析法	39
第 3 章 建筑能源审计	44
3.1 建筑能源审计的类型	44

3.2 建筑能源审计的实施	45
3.2.1 准备阶段 (Pre-site work)	46
3.2.2 现场巡视或测试阶段 (Site-visit)	48
3.2.3 数据分析阶段 (Post-audit Analysis)	51
3.2.4 撰写审计报告	51
3.3 建筑能耗分项计算	53
3.3.1 照明和室内设备	54
3.3.2 HVAC 系统和设备	55
3.3.3 能耗汇总	57
3.4 通过能源审计发现建筑节能潜力	58
3.4.1 照明系统	58
3.4.2 电机	59
3.4.3 HVAC 系统和设备	59
3.4.4 热水器	62
3.4.5 废热源	63
3.4.6 削峰设备	63
第4章 建筑系统测试与诊断	65
4.1 建筑系统测试方法	65
4.1.1 测试技术	65
4.1.2 建筑能量平衡	68
4.1.3 制冷机能效比测定	72
4.2 建筑能耗的测定	75
4.2.1 建筑系统的检测	75
4.2.2 建筑系统的能耗计量	77
4.3 建筑能耗的计算机模拟	79
4.3.1 建筑能耗模拟的建模方法	79
4.3.2 建筑能耗计算机模拟软件	81
4.4 建筑环境的测定与模拟	82
4.4.1 光环境	83
4.4.2 热舒适环境	84
4.4.3 声环境	86
4.4.4 风环境	87
4.5 基于技术标准的诊断	89
4.5.1 建筑体形系数	90
4.5.2 外窗	91
4.5.3 外墙	93
4.5.4 屋顶	95
4.6 信息监控诊断系统 (IMDS)	95
4.6.1 信息监控诊断系统结构	96
4.6.2 大型公共建筑能耗监测系统	97

4.7	基于模型的诊断系统	99
4.7.1	建筑层级的系统诊断	100
4.7.2	制冷机诊断	101
第5章	能源服务项目的融资	103
5.1	合同能源管理的经营模式	103
5.1.1	分享型合同能源管理	103
5.1.2	保证节能量型的合同能源管理	104
5.1.3	能源费用托管型合同能源管理	105
5.1.4	全过程能源管理服务型合同能源管理	106
5.2	EMC 融资方式	106
5.2.1	债务融资	106
5.2.2	股权融资	109
5.2.3	两种融资方式的比较	109
5.2.4	其他融资方式	110
5.2.5	EMC 融资中的主要障碍	112
5.3	能源服务合同	113
5.3.1	能源服务合同	113
5.3.2	标准合同	115
5.4	风险分析与控制	116
5.4.1	不同 EMC 运作模式中的风险分析	116
5.4.2	工程项目中的风险管理	117
5.4.3	EMC 项目中风险管理	118
第6章	系统调试	122
6.1	建筑调试	122
6.1.1	建筑调试简介	122
6.1.2	建筑持续调试过程	124
6.1.3	建筑调试设备	126
6.2	空调系统调试方法	129
6.2.1	空调系统调试准备及调试内容	129
6.2.2	空调系统调试的主要过程	130
6.2.3	空调水系统调试	132
6.2.4	空调风系统的调试	137
6.2.5	自动控制系统及检测仪器联动校验	152
6.2.6	冷水机组的调试	152
6.2.7	中央空调系统的综合调试	153
6.2.8	调试报告	154
6.3	合同能源管理中的系统调适	155
6.3.1	合同能源管理中的建筑系统调适	155

6.3.2 合同能源管理中系统调适的主要类型	157
第7章 建筑运行管理	159
7.1 空调系统的节能运行	159
7.1.1 空调系统运行现状	159
7.1.2 空调系统节能运行管理的内容	160
7.1.3 空调清洗管理	162
7.1.4 空调系统节能运行的目标和建议	163
7.2 负荷追踪型运行管理	163
7.2.1 负荷追踪型运行管理的概念	164
7.2.2 动态负荷追踪管理系统	164
7.2.3 负荷追踪型运行管理的策略	164
7.2.4 多策略相结合的负荷追踪节能管理系统	167
7.3 能源成本追踪型运行管理	168
7.3.1 能源成本追踪型运行管理的概念	168
7.3.2 能源成本追踪管理的一般程序	168
7.3.3 能源成本追踪型运行管理策略	169
7.3.4 人力与制度措施	175
7.4 预防维修	175
7.4.1 预防维修的概念	175
7.4.2 设备的维护保养管理	176
7.4.3 设备的故障维修管理	176
7.4.4 流程组合维修	177
7.4.5 预防维修人员的职责	178
7.5 计算机辅助运行管理系统	179
7.5.1 计算机辅助运行管理系统的应用范围	180
7.5.2 计算机辅助运行管理的硬件和软件	182
7.5.3 计算机辅助运行管理系统的基本要求	184
7.5.4 计算机辅助运行管理系统的发展趋势	184
7.5.5 计算机辅助运行管理的目标	185
7.5.6 计算机辅助运行管理的意义	186
第8章 建筑能耗的计量与计费	189
8.1 建筑能耗计量	189
8.1.1 国内建筑能耗计量现状	189
8.1.2 建筑能耗计量的步骤	190
8.1.3 建筑能耗计量方法	191
8.1.4 建筑能耗计量仪器	193
8.1.5 建筑能耗计量制度	196
8.1.6 建筑能耗计量的意义	196

8.2	能源价格形成机制	197
8.2.1	能源价格构成理论	197
8.2.2	能源定价中的其他因素	199
8.3	建筑能耗收费制度	204
8.3.1	现有收费制度的弊端	204
8.3.2	分户计量应解决的问题	205
8.3.3	热价制定的原则	205
8.3.4	热价分类和构成	206
8.4	建筑能耗计量系统	208
8.4.1	热计量设备的工作原理	208
8.4.2	热量计量原理	210
8.4.3	热量计量系统	212
第9章	建筑节能改造技术	217
9.1	照明系统	217
9.1.1	降低照明负荷	217
9.1.2	安装高效节能的照明系统	219
9.1.3	利用日光	220
9.1.4	加强照明系统的整体控制	221
9.2	输送系统	221
9.2.1	水系统节能改造技术	222
9.2.2	风系统节能改造技术	225
9.3	冷源系统	227
9.3.1	常用冷源形式及现状	227
9.3.2	冷源改造技术	229
9.4	热源系统	234
9.4.1	热源形式及其能效特性	234
9.4.2	热源改造技术	236
9.5	供配电系统	238
9.5.1	降低电力损失	238
9.5.2	安装高效电动机	240
9.5.3	降低电力峰值	242
9.6	可再生能源和热电联产	242
9.6.1	概述	242
9.6.2	可再生能源在建筑节能改造中的应用技术	243
9.6.3	热电联产在建筑节能改造中的应用技术	251
9.7	建筑围护结构	252
9.7.1	窗户	252
9.7.2	墙体	258
9.8	楼宇自控与能源管理系统	260

9.8.1	自控基础知识及楼宇自控	260
9.8.2	能源管理系统	265
9.8.3	实施楼宇自控及 EMS 改造需注意的问题	267
第 10 章	建筑节能的后评估——测试与验证	270
10.1	国际性能测试与验证协议	270
10.1.1	我国对节能效果的确定方法	270
10.1.2	国际性能测试与验证协议	271
10.1.3	M&V 在节能管理中的重要性	274
10.2	M&V 方案 A	275
10.2.1	测量与估算	276
10.2.2	测量的时间间隔	276
10.2.3	抽样和不确定性	277
10.2.4	成本	277
10.2.5	最佳应用	278
10.2.6	节能量计算	278
10.2.7	案例分析: 某高级中学照明灯具改造项目	278
10.3	M&V 方案 B	281
10.3.1	M&V 方案 B 介绍	281
10.3.2	某办公楼锅炉改造项目	282
10.4	M&V 方案 C	283
10.4.1	能源数据	284
10.4.2	影响因素	284
10.4.3	数据分析和模型分析	285
10.4.4	最佳应用	285
10.4.5	某中学综合节能改造项目	286
10.5	M&V 方案 D	290
10.5.1	校准化模拟	290
10.5.2	最佳应用	292
10.5.3	某大学综合节能改造项目	293
第 11 章	建筑节能的评价方法	296
11.1	能源效率——基于热力学第一定律	296
11.2	焓效率——基于热力学第二定律	299
11.2.1	焓	299
11.2.2	焓的计算	300
11.2.3	热力学第二定律	308
11.2.4	焓效率	309
11.2.5	焓分析	310
11.3	投入产出分析——基于经济学	312

11.3.1	建筑节能方案经济性比较的前提	313
11.3.2	经济评价指标	313
11.3.3	建筑节能经济评价新指标	315
11.3.4	不确定性分析和风险分析	317
11.4	生命周期分析——基于温室气体减排	317
11.4.1	生命周期评价方法简介	318
11.4.2	生命周期评价的技术框架	318
11.4.3	生命周期评价在建筑节能评价中的应用	320
11.5	能源利用的生态足迹分析——基于保护环境	324
11.5.1	生态足迹分析法的发展及基本概念	324
11.5.2	生态足迹分析的指标体系	326
11.5.3	生态足迹的计算模型及方法	327
11.5.4	能源的生态足迹分析方法	327
11.5.5	建筑用能的生态足迹评价	329
11.6	建筑节能的能值分析——基于可持续发展观	330
11.6.1	能值的概念及能值分析理论	331
11.6.2	建筑建造、维护、运行的能值分析	332
11.6.3	建筑围护结构的能值分析	334
11.6.4	可再生能源在建筑能源规划中应用的能值分析	335
第 12 章	建筑节能改造的项目管理	342
12.1	可行性研究阶段的项目管理	342
12.1.1	节能工程师的主要工作内容	343
12.1.2	节能量测量与验证的主要工作内容	344
12.1.3	项目经理的主要工作内容	346
12.2	项目条款确认阶段的项目管理	347
12.2.1	节能工程师的主要工作内容	348
12.2.2	节能量测量与验证专家的主要工作内容	348
12.2.3	项目经理的主要工作内容	349
12.3	项目实施阶段的项目管理	350
12.3.1	节能工程师的主要工作内容	351
12.3.2	节能量测量与验证专家的主要工作内容	352
12.3.3	项目经理的主要工作内容	353
12.4	节能量考核与验证阶段的项目管理	354
12.4.1	节能量测量与验证的主要工作内容	354
12.4.2	节能项目管理工作中的关键	355
12.5	外部资源的利用	358
12.5.1	咨询类外部资源的利用	358
12.5.2	解决方案类外部资源的利用	359
12.5.3	项目实施外部资源的利用	360
12.6	项目改造实施计划的制订	361

第 1 章 建筑节能与合同能源管理导论^①

1.1 建筑能耗

1.1.1 建筑能耗的基本概念

建筑能耗有两种定义方法：广义建筑能耗是指从建筑材料制造、建筑施工，一直到建筑使用的全过程能耗。而狭义建筑能耗或建筑使用能耗则是指维持建筑功能和建筑物在运行过程中所消耗的能量，包括照明、采暖、空调、电梯、热水供应、烹调、家用电器以及办公设备等的能耗。除非特别指明，本书中所提及的“建筑能耗”都是指使用能耗。

在建筑能耗中，照明、采暖和空调主要是为了保证建筑物宜居的和舒适的环境；而其他能耗主要是保证建筑物的功能。因此，建筑能耗与当地气候、经济发展水平、生活习惯和习俗、建筑性质、室内环境品质以及能源价格等密切相关。一般而言，照明、采暖和空调的能耗占了建筑使用能耗中最大的比例，因此也是建筑节能潜力最大的部分。

研究建筑节能，首先要区别建筑负荷与建筑能耗这两个概念。负荷的单位是 W 或者 kW，它反映了建筑物的用能需求。负荷的大小一定程度上取决于围护结构的热工性能。围护结构的保温隔热性能越好，室外气候对室内热环境的干扰就越小。另一方面，负荷大小还取决于建筑物的性质和功能，例如由于大型商场室内照明标准和人流量都要高于办公楼，因此商场夏季冷负荷大于办公楼，冬季热负荷低于办公楼。又如五星级酒店的设施标准高于连锁旅馆，因此尽管酒店的围护结构与普通旅馆相差不大，但酒店的负荷还是远大于普通旅馆。能耗的单位是 kWh，它是建筑物对能源的实际消耗量。一定负荷的建筑，用能设备的使用时间越长，能耗量就越大；同样使用时间的建筑，用能设备的能效越高，能耗量就越小。

在研究建筑负荷时，常用采暖度日数（HDD18）和空调度日数（CDD26）的概念。我国《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ 134—2001）中，将采暖度日数（HDD18）定义为一年中当某天室外日平均温度低于 18℃（国外定为 18.3℃，即 65F）时，将低于 18℃的度数乘以 1 天，所得出的乘积的全年累加值。其单位为℃·d。而将空调度日数（CDD26）定义为一年中当某天室外日平均温度高于 26℃时，将高于 26℃的度数乘以 1 天，再将此乘积全年累加。其单位为℃·d。采暖度日数越大，说明当地建筑的采暖需求越大；空调度日数越大，说明当地建筑夏季供冷需求越大。当然，仅用空调度日数还不足以完全表现出供冷需求。因为空调不仅是降温，还有除湿的功能。因此，也有建

^① 本章内容主要引自：龙惟定. 建筑节能与建筑能源管理. 北京：中国建筑工业出版社，2005.

议用“焓日值 (Enthalpy Latent Day, ELD)”来衡量供冷需求的,并将 50kJ/kg 作为焓日数的基准值。

我国城市气候与发达国家城市气候的比较

表 1.1

城市	纬度	采暖度日数	1月平均气温	7月平均气温
柏林	52°	2540	-0.4℃	17.9℃
汉堡	53°~55°	3073	0.5℃	16.8℃
纽伦堡	49°~51°	3010	-0.8℃	18.3℃
慕尼黑	47°~49°	3061	-2.2℃	17.3℃
纽约	40.77°	2614	0℃	24℃
西雅图	47.53°	2471	5℃	19℃
罗马	42°	1570	1.9℃(Min)	31.2℃(Max)
伦敦	51°	2558	4℃	17℃
温哥华	49.18°	2820	3℃	17℃
哈尔滨	45°	5032	-19.2℃	22.8℃
北京	40°	2699	-4.3℃	25.9℃
东京	35.7°	1579	5.2℃	25.2℃
旧金山	37.6°	1675	9℃	17℃
亚特兰大	33.7°	1662	5.0℃	26.0℃
洛杉矶	34°	1274	14.6℃	23.5℃
戴维斯	38.7°	1527	7.3℃	24.0℃
休斯顿	29.7°	1371	10℃	28℃
上海	31°	1691	3.7℃	27.8℃
南京	32°	1967	3.0℃	28.0℃
杭州	30.2°	1647	4.0℃	28.6℃

表 1.1 为我国城市气候与发达国家城市气候的比较。从表中可以看出,我国城市的采暖度日数普遍比同纬度甚至高纬度的发达国家城市高,而 7 月的平均温度比同纬度乃至低纬度的发达国家城市高。这说明我国城市的采暖需求比发达国家大得多。而且,我国城市除了采暖需求,夏季还有较大的供冷需求。

我国建筑物的保温隔热尤其是窗户的热工性能普遍比发达国家差,因此,我国建筑由围护结构传热所形成的采暖负荷要大于发达国家建筑。例如,以北京 20 世纪 80 年代保温水平计算,在同样室温条件下,北京住宅建筑的采暖负荷大致是德国的 3~4 倍。但负荷并不等于能耗,能耗与室内设定温度、采暖系统能效,特别是使用时间有很大关系。德国没有采暖期的概念,只要夜间温度足够低,即使在 9 月份或是 5 月份,也会启动采暖设备。

由于各国各地的采暖度日数各不相同,采暖能耗值应该与采暖度日数正相关,因此统一用单位面积单位度日数的能耗值做建筑能耗的比较。表 1.2 中给出了我国部分有集中采暖的城市与德国平均值的比较结果。很明显,除了北京和鞍山,其他城市的采暖能耗同德国差不多。

再看耗电量。电力驱动空调占了我国城市建筑空调(尤其是住宅空调)的绝对主体地

位。空调的使用同样存在负荷大、耗量少的特点。电力负荷中空调的需求占了最大比例。即使在工业各行业中，现代制造业的空调负荷比重也是很大的。以上海为例，空调用电负荷占了夏季电力高峰负荷的 40% 以上。而在空调负荷中，又以住宅空调负荷的占比最大，住宅空调负荷占整个空调负荷的 64.5%。就是说，在夏季最炎热的时候，很多家庭会开启空调，但在全年大多数时间，出于经济上的考虑，多数家庭是不使用空调的。根据调查，一般家庭全年空调使用时间平均在 600~800 小时，不到全年小时数的 10%。因此，住宅建筑耗电量还处在很低的水平。根据多个调查，上海住宅全年耗电量在 25~30kWh/(m²·a) 之间。而气候相近的美国南部各州，2005 年住宅平均电力消耗是 74.8kWh/(m²·a)，大约是上海的 3 倍。

我国部分城市住宅采暖能耗与德国平均值的比较

表 1.2

城市	北京	哈尔滨	长春	鞍山	唐山	太原	兰州	包头	德国
纬度	39°	45°	43°	41°	39°	37°	36°	40°	>45°
采暖度日 HDD	2699	5032	4642	3283	2853	3160	3094	4017	3043
能耗 kgce/m ²	26.9	26.1	25.8	33.6	18	18.8	17.4	24	17.8
能耗 kWh/m ²	219	212	209	274	147	153	147	194	145
单位度日能耗强度 kWh/m ² HDD	0.0811	0.0421	0.0450	0.0835	0.0515	0.0484	0.0475	0.0483	0.0477

注：1. 我国城市采暖度日数除鞍山、包头外均为最新研究成果，仅指各地采暖期内的度日数。
2. 德国采暖度日数是 2000 年至 2004 年的 5 年平均值。

将我国在部分城市对办公楼能耗的调研数据与日本省能中心的调研结果比较（见图 1.1）可以发现，除了京津和台湾省以外，其他城市办公楼一次能耗 [GJ/(m²·a)] 均小于日本的办公楼能耗。日本的发电效率高于中国，其电力/一次能换算采用 2200kCal/kWh，而我国则是 2900kCal/kWh。如果我国的发电效率能达到日本的水平（近年来我国发电效率逐年有所提高），则我国公共建筑一次能耗还可能更低。

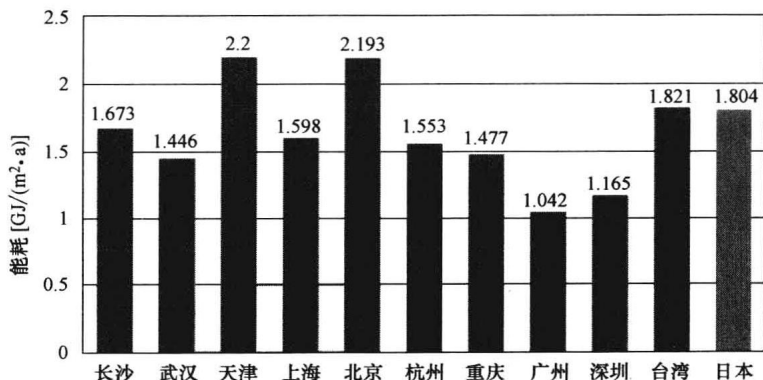


图 1.1 我国部分城市和地区办公楼能耗调查结果与日本省能中心 (ECCJ) 调查结果的比较

对图 1.1 的结果进行分析，可以找出一些原因：

(1) 日本办公楼空调运行时间长。

(2) 日本的“大楼管理法”对办公楼室内空气品质做了法律规定，必须确保新风量和空气处理装置的过滤级别。

(3) 我国北京、天津的办公楼一次能耗高于日本，是由于采暖系统效率较低造成的。我国许多城市的区域供热是按建筑面积固定收费的，用多用少一个样，大楼管理者无法控制采暖能耗。而广州、深圳这些基本没有采暖负荷的地区，其办公楼能耗值要低于其他城市，说明空调供冷的系统效率远大于集中供热。

(4) 图 1.1 中的数据都是均值。日本不同办公楼能耗与均值的离差较小，能耗水平相近，而我国各地办公楼之间，最大能耗值是最小能耗值的数倍。

(5) 我国办公楼中，空调能耗占建筑总能耗的 1/3，空调电耗占建筑总电耗的 50%~60%；而日本的办公楼空调能耗占总能耗的一半。这也说明了日本办公楼空调运行时间长于中国。

由上述分析可以得出如下结论：

(1) 降低建筑负荷是建筑节能的基础。负荷小的建筑，空调或采暖可以用较少的能耗在同样运行时间中创造同样的室内环境。或者说，负荷小的建筑，空调或采暖可以用同样的能耗在较短时间内达到同样的室内环境。因此，降低建筑负荷可以降低能耗，也可以降低城市高峰电力负荷，保证电网的安全。

(2) 但是，降低建筑负荷不一定就能实现建筑节能。低负荷建筑如果没有高效率设备系统，或者有了高效率设备系统却没有良好的运行管理，仍然不可能得到实际节能量。围护结构的隔热保温是降低负荷的主要措施；选用高效设备系统是降低负荷的另一重要手段。但负荷低的建筑并不等于节能建筑。能耗的高低是与参照物相比较而言的，可以与本建筑历史上的能耗量比较，也可以与当地同类建筑比较。因此可以认为，没有什么绝对的“节能建筑”，只有相对的“建筑节能”。

(3) 在建筑物中，能耗最大的是采暖、空调和照明。在各种建筑物中，节能潜力最大的是公共建筑。在既有公共建筑中，节能重点在能耗量大的前 25% 的建筑。

(4) 既有建筑的节能，首先应从管理节能入手，即通过改善能源管理、提倡行为节能等无成本 and 低成本的措施实现节能。在这些措施没有效果或节能量不大的情况下，再考虑节能改造。

1.1.2 我国城镇建筑能耗特点

根据我国特点，将房屋建筑分为农村建筑、工业建筑和民用建筑三大类。所有建筑都有节能问题，但当前更关注的是民用建筑（即城镇民用建筑），我国迄今为止所发布的建筑节能标准、规范，都是针对民用建筑的。

建设部、国家质检总局发布的《民用建筑设计通则（GB 50352—2005）》将民用建筑按使用功能分为居住建筑和公共建筑两大类。

通则明确规定了民用建筑的分类，并举出相关建筑物的例子：

(1) 居住建筑

1) 住宅建筑：住宅、公寓、老年人住宅、底商住宅等；

2) 宿舍建筑: 单身宿舍或公寓、学生宿舍或公寓等。

(2) 公共建筑

1) 办公建筑: 各级立法、司法、党委、政府办公楼, 商务、企业、事业、团体、社区办公楼等;

2) 科研建筑: 实验楼、科研楼、设计楼等;

3) 文化建筑: 剧院、电影院、图书馆、博物馆、档案馆、文化馆、展览馆、音乐厅、礼堂等;

4) 商业建筑: 百货公司、超级市场、菜市场、旅馆、饮食店、银行、邮局等;

5) 体育建筑: 体育场、体育馆、游泳馆、健身房等;

6) 医疗建筑: 综合医院、专科医院、康复中心、急救中心、疗养院等;

7) 交通建筑: 汽车客运站、港口客运站、铁路旅客站、空港航站楼、地铁站等;

8) 司法建筑: 法院、看守所、监狱等;

9) 纪念建筑: 纪念碑、纪念馆、纪念塔、故居等;

10) 园林建筑: 动物园、植物园、游乐场、旅游景点建筑、城市建筑小品等;

11) 综合建筑: 多功能综合大楼、商住楼、商务中心等。

截至 2008 年, 我国城市房屋建筑总面积估计为 200 亿 m^2 。根据对上海市房屋建筑类型构成的分析, 可以得出这样的规律: 城市房屋建筑中约 60% 是居住建筑; 在余下的非居住建筑中, 工业建筑和公共建筑大约各占一半。因此可以估计出我国城市居住建筑面积约为 120 亿 m^2 , 公共建筑面积大约为 40 亿 m^2 。

在公共建筑中, 2 万 m^2 以上的大型公共建筑是节能的重点。这些大型公共建筑的主体部分一般是办公楼或酒店, 裙房或辅助用房的功能比较复杂, 可能是商场和购物中心, 也可能是餐饮和娱乐设施。尽管酒店具备居住建筑的某些特征, 但在大型公共建筑中的一般都是星级酒店, 能耗强度大, 又有经营上的考虑, 所以也归入公共建筑节能的重点范畴。而大学、医院、科技园区等建筑群, 尽管单体建筑面积不一定达到 2 万 m^2 , 但总的建筑面积和体量都很大, 所以也作为大型公共建筑看待。近几年来, 我国城市的开发力度和建筑规模越来越大, 公共建筑面积动辄几十万 m^2 。因此, 估计我国大型公共建筑面积在 10 亿 m^2 左右, 其中, 星级酒店约占 1.2 亿 m^2 。

政府办公建筑 (以及国有产权的建筑) 是公共建筑节能的重中之重。因为此类建筑都是由国家财政投资的, 有的还是当地的标志性建筑, 其能源费也是用财政拨款支付的。因此, 对政府办公建筑节能提出更高要求, 更能体现政府向人民负责和人民对政府的监督, 也是政府廉洁务实形象的昭示。所谓政府办公建筑, 其实应包括党政军、工青妇、人大、政协、民主党派以及相应的事业单位建筑。在我国有“大院”传统, 即一个机关单位办公生活都在一个院子里, 这在一定程度上带来建筑能耗的复杂性, 因为“福利采暖”, 甚至“福利空调”都源自这些大院。但在另一方面, 就近上班也可大大降低交通能耗, 缓解城市交通拥堵。除去居住建筑, 我国究竟有多少机关办公建筑, 一直没有准确的统计。美国联邦有 5 亿 m^2 建筑 (包括驻外机构和军事基地), 中国由财政供养的公务员和准公务员性质的人员超过七千万人, 远多于美国, 因此, 中国的政府 (机关) 办公建筑少说也有 5 亿 m^2 。

截至 2009 年, 我国现有医院床位 441.6 万张, 以平均每床位建筑面积 60 m^2 计算, 我国大中型综合医院 (有住院部) 的建筑面积约为 2.6 亿 m^2 。近年来, 我国医院的医疗

环境得到根本的改善，但与此同时建筑能耗却不断上升，成为能耗最大的公共建筑之一。医院是多种病原与易感人群高度集合的一个特殊场所，其能耗特点是：①消耗能源品种多。综合性医院为满足多种功能需求，需要消耗电、燃气或燃油等能源，以及蒸汽、热水、压缩空气和氧气等二次能源，其种类远比一般公共建筑多得多。②能耗总量大。医院运行时间长，需要不间断运行，设备负荷还要考虑应急状况，综合医院的建筑能耗是一般公共建筑的 1.6~2 倍。③综合医院耗能最大的是一些特殊医疗科室，这些场合对环境控制的特殊要求是对常规节能技术的挑战。

截至 2007 年，我国普通高校除去教工住宅之外的建筑面积有 4.85 亿 m^2 。高等学校的能耗有两个特点：①建筑类型复杂。高校校园内有居住建筑（学生宿舍）、办公建筑（教学科研办公）、公共建筑（图书馆、食堂、教室），甚至有工业建筑（校办工厂和大型实验室）。②建筑物有不同的使用规律。从全年运行规律来看，因为有寒暑假，加之空调不普及、南方高校没有采暖设施，所以一般社会建筑出现的夏季和冬季能耗高峰在高校并不明显。高校的能耗高峰一般出现在 9 月份开学时。从一天运行规律来看，学生宿舍与教学设施的使用时间正好错开，比较适合分布式能源的应用。从学校特点来看，主要通过建筑能源管理和行为节能的方式实现建筑节能。

综上所述，既有公共建筑中的 50% 是需要重点关注的。但并不是说这 50% 的建筑都是高耗能建筑。应通过能源审计，找出各类建筑中能耗量在前 25% 的建筑作为重点用能建筑，在技术经济可行的前提下进行节能改造。

1.2 建筑节能与可持续发展

1.2.1 建筑节能理念的发展

建筑是伴随人类文明的发展而发展起来的。我们的祖先从穴居、巢居开始，逐步掌握了建造房屋的技术。古代建筑利用天然材料，如木材、石材等。最早的建筑只是遮风避雨和防止野兽侵害的掩蔽所。在古代主要依靠被动式的建筑手段来适应气候变化，极少量生存和生活所必需的能源，也是取之于自然。例如，烹饪用薪柴、采暖用木炭、照明用植物油、制冷用窖冰。由于人口少、技术手段有限，不可能大规模使用能源，因此自然生态没有被破坏。天然能源再生的速度远远高于人类消耗的速度。当时人类改造自然，还仅限于保护自己，谈不上向自然索取。

17 世纪西方工业革命之后，人与自然的关系发生了根本的变化。人类掌握了以不可再生的能源（化石燃料）为基础的现代动力机械，有了征服自然的武器，便开始向自然界攫取资源。有了能源和机械，就有可能规模化生产新材料（混凝土、玻璃、钢铁）和大范围普及新技术（电气照明、电梯、锅炉、空调），使人类建筑从掩蔽所逐渐走向追求舒适、方便的舒适建筑阶段。

20 世纪 60 年代末和 70 年代初的两次中东战争，导致石油输出国对美国、日本等国家实行石油禁运，使发达国家经历了严重的石油危机。美、日等国不得不严格限制用能。建筑节能（energy saving）也从此提上各国政府和学者的议事日程。在资源紧缺的条件下，建筑节能的目标被锁定为节约用能、限制用能，即 saving。