




既有建筑节能 诊断与改造

薛志峰 编著

中国建筑工业出版社



既有建筑节能诊断与改造

薛志峰 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

既有建筑节能诊断与改造/薛志峰编著. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2007
ISBN 978-7-112-09591-9

I. 既… II. 薛… III. 公共建筑-节能 IV. TU242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 116109 号

本书在对国内外公共建筑节能研究分析的基础上, 通过大量的现场实测数据和能耗调查结果分析, 给出了我国既有建筑的能耗特点, 并结合 108 个无成本/低成本既有建筑节能改造工程实例, 详细介绍了既有建筑节能诊断工作的主要内容和诊断方法, 最后简单介绍了合同能源管理模式推广与特点。

全书共分五章, 对既有建筑的节能诊断与改造进行了系统全面的阐述。主要包括: 既有建筑的能耗特点、节能型物业管理、节能诊断方法和步骤、无成本/低成本节能措施与改造实例、合同能源管理模式等。

本书适用于从事建筑节能的科研工作人员、设计工程师、施工工程师、房地产工程师、系统运行与管理工程师、政府相关部门的技术人员以及高校教师与学生等。

* * *

责任编辑: 张文胜 齐庆梅 姚荣华

责任设计: 董建平

责任校对: 王爽 王金珠

既有建筑节能诊断与改造

薛志峰 编著

*

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

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 14 字数: 280 千字

2007 年 9 月第一版 2007 年 9 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-09591-9

(16255)

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)

序 言

建筑物运行所消耗的能源，即建筑的照明、采暖、空调及建筑物内其他设备的用能，视社会生产与消费结构的不同，一般为社会总能源消耗的25%~40%。我国目前建筑运行能耗与社会能源总消费量之比在22%~25%之间。随着服务业在国民经济中的比例不断增加和人民生活水平的持续改善，这一比例将不断增加。我国是一个能源匮乏的国家，在已探明储量的一次能源中，燃煤、原油、燃气等各类能源的人均拥有量都仅为全球平均水平的1/4~1/9。因此，怎样利用这样有限的能源，满足经济和社会的飞速发展与人民生活水平不断提高的需求，成为我国今后社会发展的最重要的问题之一，也是我们面临的最严重的挑战。全面节能是应对这一挑战，解决能源供需矛盾的唯一途径，而建筑节能可能是各种节能途径中潜力最大的，最有效的节能途径之一。

在我国建筑运行能耗中，约40%用于北方建筑采暖，其单位用能量为相同气候条件下发达国家的2~3倍，因此具有巨大的节能潜力，应把采暖节能置于建筑节能的首位。第二大类建筑用能，也是具有巨大节能潜力的，就是采用中央空调的公共建筑，或称之为“大型公共建筑”的用能。所谓大型公共建筑包括高档办公建筑、高档宾馆、酒店、购物中心、大型文体活动设施、大型交通枢纽等。除去采暖用能，这类建筑的单位面积能耗为一般建筑除采暖以外单位面积能耗的5~15倍。我国这类建筑的总量按照面积计算，仅为城镇建筑总量的2%~3%，但其除采暖外运行所消耗的能源却为我国城镇建筑能耗总量的10%~12%。尽管这类建筑的能源消耗水平与发达国家的同类建筑大致相当，但目前的大量调查研究结果表明，通过对部分关键设备的更换，部分系统较小规模的改造及运行管理方式的改善，可以使这一能耗降低30%以上。这类建筑是各类既有建筑中，单位投资可实现的节能效果最大的建筑类型，因此应作为建筑节能工作的重点。

我们开展既有大型公共建筑的节能诊断工作应是在十年之前。1996年夏季，我带着半个班的空调专业毕业生作为空调运行实习，在北京西客站附近的铁路医院开始了空调系统运行调试和故障诊断工作。薛志峰当时还是这个班的学生。和

这个班的同学一起，我们开始摸索，学习怎样通过实际系统的调查和测试发现问题，解决问题，改善空调效果。1997年夏在北京西客站开始了大规模的空调运行调试工作。由老师、研究生和本科生组成的60人的队伍，进行了连续4周的调查和测试。由于系统庞大，我们又经验不足，所以只是初步摸清系统运行状况，工艺参数，解决了几个诸如水流量分配、气流组织、噪声等问题，还谈不上任何能耗分析与节能诊断。1998年夏季，在北京市制冷学会的联系协调下，我们组织研究生和本科生对北京市的8个大型公共建筑进行了测试和节能诊断尝试。1999年在北京旅游集团的支持下，开始对北京各三星级以上宾馆开始了真正意义上的节能诊断。感谢北京旅游集团的有关同志在各方面给予的大力支持。当时参加这一工作的老师有：朱颖心、金招芬、张寅平、狄洪发等，而薛志峰则一直是这个项目的组织者。进入21世纪后，大型公共建筑的节能诊断就发展成我们的一项经常性工作。随着不同时期社会上主要热点、焦点的不同，我们也针对社会的不同需求，开展相应的调查测试和诊断工作。近六年来这方面的工作包括北京各大商场的节能诊断，北京部分综合商厦的节能诊断，2003年非典期间北京市大型公共建筑通风换气效果的诊断，近两年北京市政府机构建筑的节能诊断和中央国家机关驻京机构建筑的节能诊断等。随着在广度和深度上的不断展开和经验与数据的不断积累，我们逐渐摸索出系统化的节能诊断方法，并陆续建立了包括北京400余座大型公共建筑的能耗统计数据库和相应的分析软件。这就使我们对各类不同建筑空调系统的各种相关指标，如能源消耗、冷量、热量、风机水泵电耗等有了基本的参照数值。这些工作是构成本书的基础。

2003年非典期间，为了战胜非典，渡过难关，在北京市科协的大力支持下，成立了“北京抗击非典中央空调专家工作小组”，组长是北京市建筑设计院前院长吴德绳，组员有我的老师彦启森，空调界的设计大师李娥飞，暖通空调学会当时的理事长吴元炜，中元国际设计院前院长徐华东，北京制冷学会秘书长孙大琪，还有我和我的同事李先庭、薛志峰。我们每周在紫竹院公园的茶亭里开会，先是研究非典期间空调的运行方式，到各个大型公共建筑调查和帮助制定运行方式，后来就渐渐把主题转到节能运行。经市科协批准，小组的名称也改为“北京市大型公建空调节能运行专家小组”。这个小组至今成立三年，活动一直进行。各位专家为大型公共建筑的节能提出了许多新的理念、观点和具体的措施与建议，给了我们重要的启发和指导。这样一批“大牌”专家，完全出于社会责任感，自愿地凑在一起，持续三年坚持不懈，挤出时间和精力为全社会的空调节能工作献计献策，亲临现场调查指导，而无任何报酬。这件事本身使我们看到老一

代专家们的社会责任感和敬业精神，也督促我们尽快把这些年的经验总结归纳，出版成书，向社会汇报。这就构成本书最初的写作动机。

目前，建立资源节约型社会已成为我国的基本国策之一，建筑节能工作受到了前所未有的高度重视。建筑运行能源消耗已成为考核各级政府各级领导班子业绩的重要指标之一。面对这样的大好形势，我们从事这个领域的专业工作者深感责任重大。怎样坚持科学发展观，靠科学，靠管理，靠好的机制去做好建筑节能，尤其是大型公共建筑的节能运行，是一个大题目。本书只能作为这个大题目的一个小小开篇。真心期盼各位志同道合的同行一起，总结经验，大胆创新，开辟出一条符合我国国情的公共建筑节能运行新路，把这个大题目持续作下去。

江亿

中国工程院院士

清华大学建筑节能研究中心主任

2007年7月2日

前 言

既有建筑是指建成后投入使用的住宅和公共建筑等。不同使用功能的建筑物的用能特点不同，住宅的能耗主要是采暖（北方地区）、空调器和各类家电，节能的主要途径是优化设计、保温隔热以及发展高能效的各类家电设备（包括分体空调）。公共建筑的用能设备则包括了空调、照明、电梯等多个复杂系统，单位面积的电耗可高达住宅的5~15倍，其节能问题比住宅复杂得多。除对新建公共建筑采用节能技术外，既有公共建筑运行管理和改造过程中的节能是更加重要的环节。

本书侧重于既有公共建筑的节能问题，特别是大型公共建筑设备系统的维护管理、问题诊断和节能改造。

既有建筑的节能可分为两个层面，首先是针对保温性能极差的门窗墙体、不合理的系统形式以及效率极低的耗能设备的更新更换，这是技术层面的节能。另一个层面则是管理水平的提高，不对建筑部品及楼宇设备进行大的改造，仅通过一些系统调试和科学管理来实现节能。不论是技术层面还是管理层面，本书论述的均是通过极小的投资获得较大的经济效益，强调“无成本、低成本”的维护管理方法。

本书作者自1996年以来对全国500多个近2000万 m^2 的公共建筑进行了调查和走访，并对北京、上海、深圳等城市包括政府办公建筑、星级酒店、写字楼、大型商场和体育场馆在内的100多个公共建筑进行了详细的现场测试。书中所有实例均是源于实测和分析计算结果、物业管理单位现场操作人员总结的实际工作经验以及作者指导完成的大量节能改造工程的总结。

现场测试是一项艰苦的工作，同时也是团队合作的成果，因此感谢清华大学每年暑期参加社会实践的教师和学生，本书的编辑齐庆梅在大学读书期间就是这项工作的参与者，而我的导师江亿院士一直都是现场测试和诊断工作的践行者，在他为本书所作的序言中，讲述了10年来的历程。本书写作过程中，王鑫、张伟荣、金霞三位研究生完成了书中部分案例的整理，彦启森教授对全书内容进行了仔细的校核和修订。可以说这本书是清华大学建筑技术科学系老师和同学们近

10年相关工作的汇集，在此就不再一一列出感谢。

此外要感谢为这项工作提供协助的各大楼管理人员，以及为这项工作提供便利的相关政府主管部门，国家机关事务管理局的范学臣处长、北京市建委科教处刘晓军处长、北京市节能监察大队黄倩队长、北京市节能环保服务中心的张凤华副主任以及他们的同事。

本书可用于帮助物业管理公司培训和提高工作人员的节能管理水平，帮助设计人员了解工程的实际运行效果并改进和完善设计，更主要的目的则是希望能够借此推动能源服务公司 ESCO 对既有建筑进行节能改造，进而推动我国建筑节能工作。

目 录

第 1 章 既有建筑的能耗特点	1
1.1 建筑用能系统的组成	1
1.2 既有建筑的能耗特点	4
1.2.1 不同类型建筑物的节能重点	4
1.2.2 公共建筑的能耗特点	6
1.2.3 既有建筑的节能潜力	16
1.3 既有建筑节能的重要意义	16
第 2 章 节能型物业管理	20
2.1 物业管理的规范化要求	20
2.2 节能型物业管理的特征	31
2.3 设备系统日常管理工作中的节能	35
第 3 章 节能诊断方法和步骤	40
3.1 节能诊断的主要工作和诊断报告内容要求	40
3.2 节能诊断的 (OTI) 方法	44
3.2.1 用能指标核查和负荷需求合理性诊断	45
3.2.2 冷冻机、冷却塔和热源诊断	49
3.2.3 冷热水输配系统诊断	52
3.2.4 空调及通风系统诊断	54
3.2.5 照明和其他用电设备的节能诊断	57
3.3 数据测量和计算方法	59
3.3.1 数据测量	59
3.3.2 设备效率计算	63

第 4 章 无成本/低成本节能措施与改造实例	66
4.1 降低建筑物的冷热负荷	67
4.1.1 围护结构节能	67
4.1.2 减少室内热扰导致的负荷	73
4.1.3 杜绝不合理的引入新风	74
4.2 冷热源高效运行	82
4.2.1 合理的冷热源形式和配置	82
4.2.2 冷冻机的参数设定和优化运行	93
4.2.3 利用自然冷源	99
4.2.4 排热和余热利用	102
4.3 降低输配系统的水泵电耗	106
4.3.1 合理的水系统形式	106
4.3.2 冷冻水系统的调节与影响	116
4.3.3 合理的冷却侧水量和水温	129
4.4 空调及通风系统的合理运行	140
4.4.1 合理的室内温湿度及末端调节	140
4.4.2 合理的气流组织和风量分配	146
4.4.3 空调机组高效运行	161
4.4.4 通风系统节能运行	174
4.5 降低照明和其他设备电耗	179
4.5.1 照明节电	179
4.5.2 降低其他用电设备电耗	181
4.6 建筑节水	184
第 5 章 推动合同能源管理模式	186
5.1 合同能源管理的业务模式及特点	186
5.2 合同能源管理的障碍分析	189
5.3 合同能源管理的合同模式	191
附录 1 常用测量仪表	193
附录 2 相关国家标准	201
附录 3 某项目能源管理合同摘要	202
参考文献	213

第 1 章 既有建筑的能耗特点

1.1 建筑用能系统的组成

建筑物的基本功能是为人们的生活和工作提供舒适健康的室内环境，如图

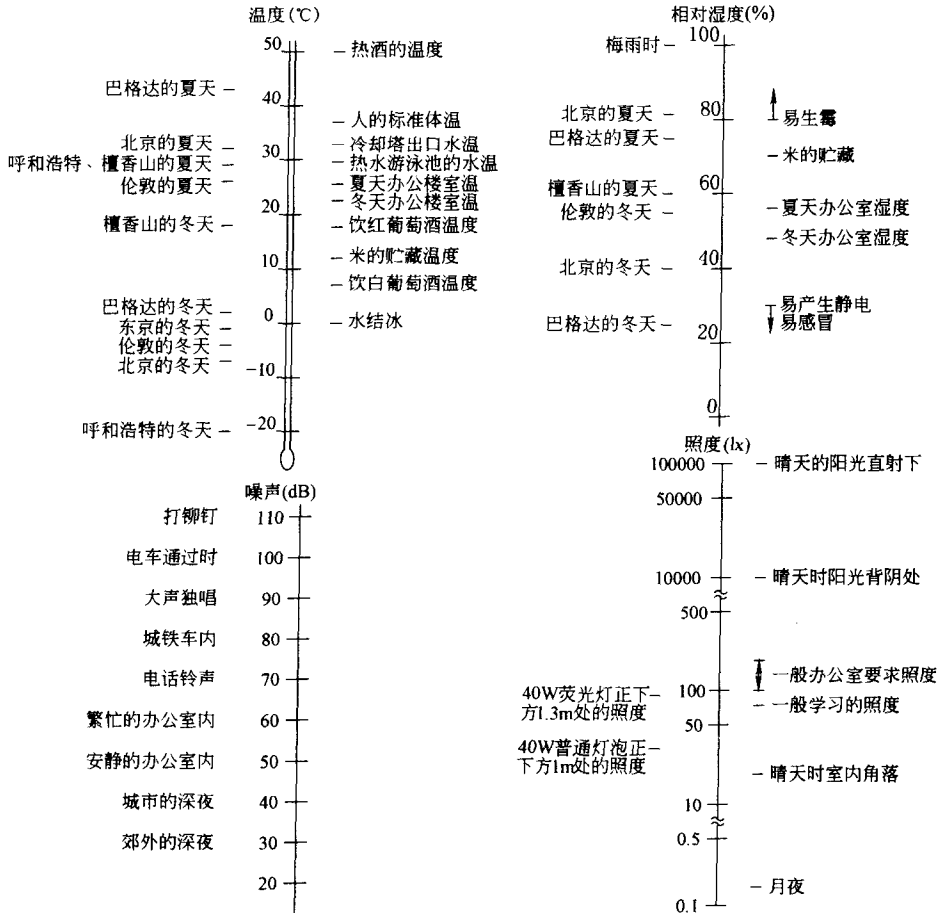


图 1-1 建筑设备系统的各种参数及影响 (一)

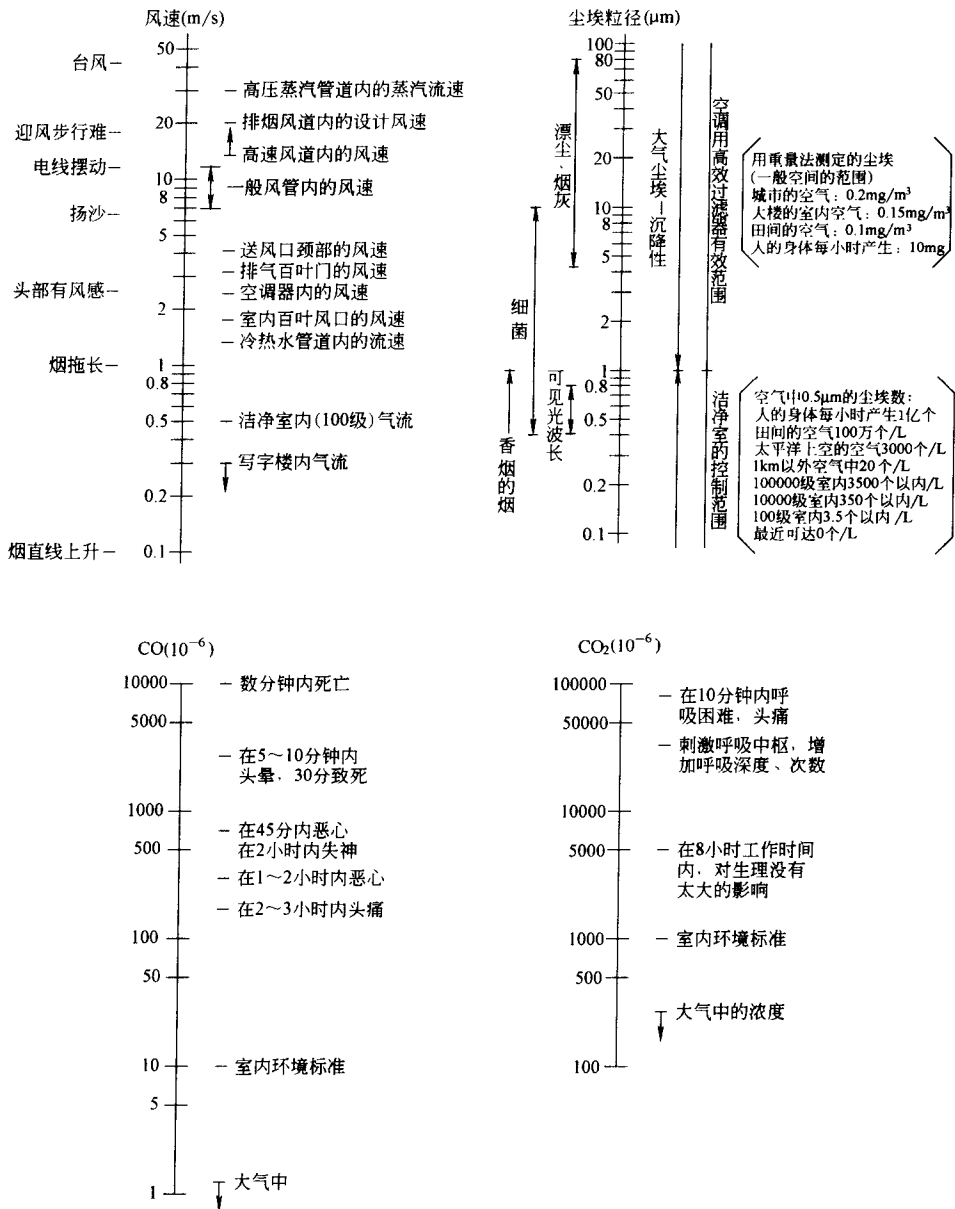


图 1-1 建筑设备系统的各种参数及影响 (二)

1-1 所示, 包含了温湿度、声、光和空气品质的要求。

满足这些要求, 需通过建筑部件和用能设备, 包括墙体、门窗和照明、办公设备、电梯、空调、供热等多个系统。如图 1-2 所示, 建筑设备系统的主要任务是排热、排湿和排除各种污染物、营造舒适健康的室内环境, 其次是完成能源形

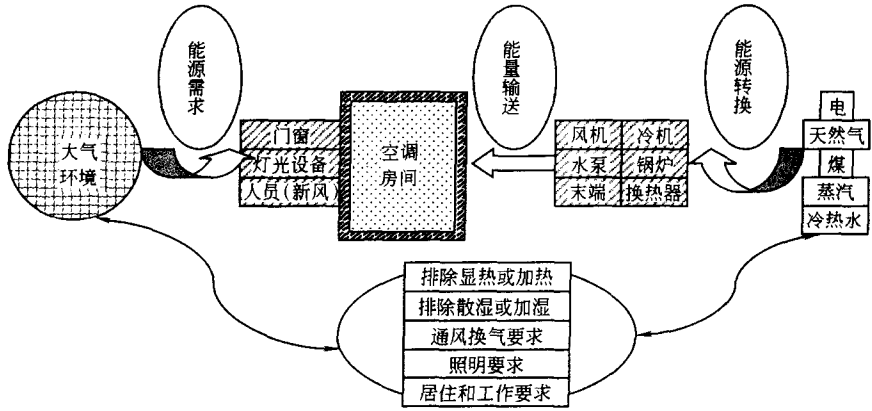


图 1-2 建筑物的能源利用环节

式的转换，最后将冷热量及新风输送到室内。既有建筑的合理运行以及高效节能应重点关注能源转换、能源需求和能源输送等三个与能源利用密切相关的环节。

在建筑物各设备系统中，中央空调系统往往是能耗最大的部分，消耗了建筑物能源总量的 40%~60%。图 1-3 是一个典型的中央空调系统的组成，一般由冷

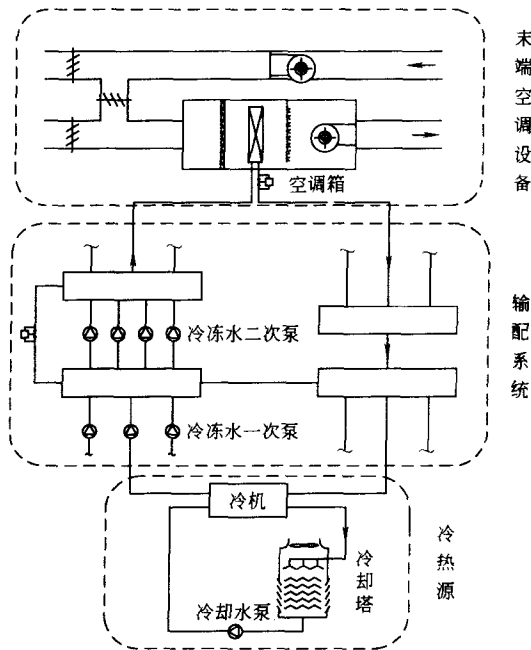


图 1-3 空调系统示意

热源（冷机、冷却塔），输配系统（水泵、空调箱风机）和末端空调设备（表冷器、风机盘管等）组成，基本的空调过程是由冷热源产生冷或热，经风机或水泵输送到房间内，经送风口、风机盘管等末端空调设备将冷或热送进空调房间，从而保证房间的环境要求。

1.2 既有建筑的能耗特点

1.2.1 不同类型建筑物的节能重点

为便于统计建筑能耗及开展节能工作，民用建筑应根据使用性质和用能特点的不同，可分为三类，如图 1-4 所示。

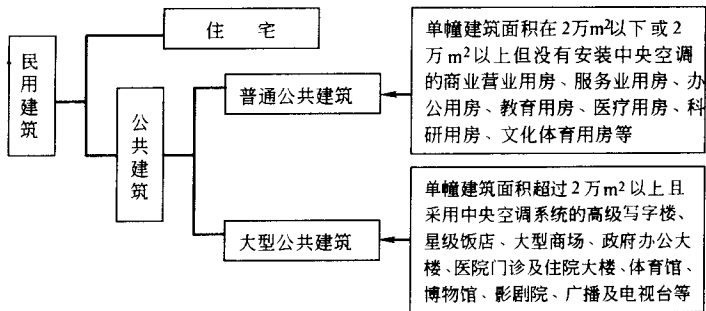


图 1-4 根据用能特点的民用建筑分类

区分为上述三类的原因在于：对北京市近千户居民家庭和 400 多个大型公共建筑的能耗调查数据来看，如图 1-5 所示，住宅年单位建筑面积的电耗为 10~20kWh，而公共建筑的电耗则高得多，单位建筑面积全年用电最高超过 350kWh。对公共建筑进行深入分析发现：面积较小、不使用中央空调的公共建筑的年单位建筑面积耗电量为 40~60kWh，而面积较大、封闭不开窗且采用中央空调的公共建筑的年单位建筑面积耗电量则高达 100~350kWh，是普通居民住宅的 10~15 倍，如图 1-6 (a) 所示。

此外，如图 1-6 (b) 所示，住宅、普通公共建筑、大型公共建筑的采暖能耗也不同，采暖季平均耗热量指标依次为 25~40W/m²、20~45W/m²、10~30W/m²。大型公共建筑由于内部发热量大，采暖能耗比住宅要低。

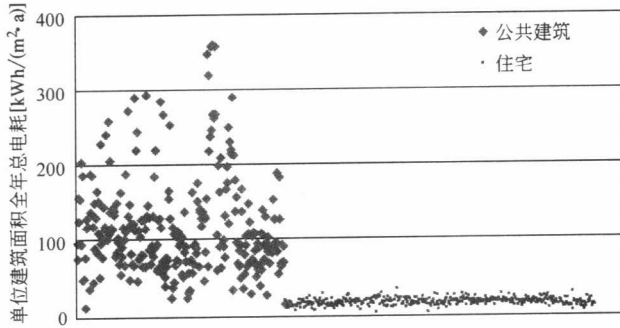
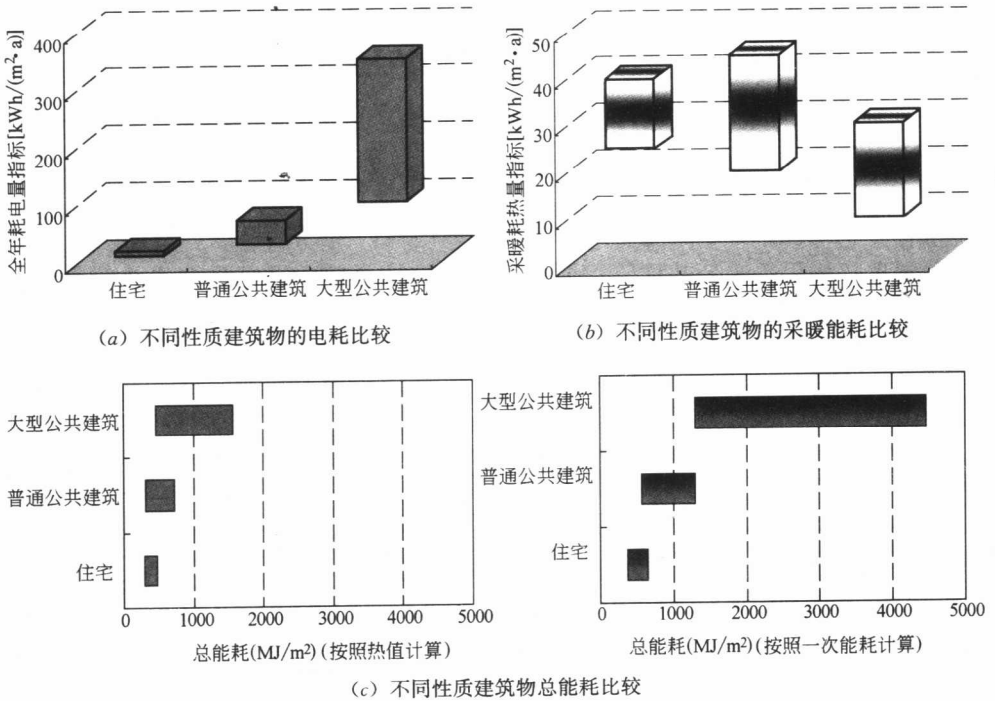


图 1-5 北京市建筑能耗调查数据

综合考虑用电和采暖，如图 1-6 (c) 所示，不论是按照热值还是一次能耗计算，公共建筑特别是大型公共建筑的能耗远大于住宅。按照《北京市实施〈中华人民共和国节约能源法〉办法》规定，年综合能耗在 2000t 标准煤以上的用户即可列入重点用能单位。沿用此规定，将单幢建筑面积超过 2 万 m^2 且采用中央空调系统的星级酒店、大中型商场、高级写字楼以及影剧院、体育场馆、机场、车站等各类服务于公共使用要求的建筑定义为大型公共建筑。



(a) 不同性质建筑物的电耗比较

(b) 不同性质建筑物的采暖能耗比较

(c) 不同性质建筑物总能耗比较

图 1-6 不同性质建筑物的能耗比较

我国幅员辽阔,包括了严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖等多个气候带,不同气候条件和经济发展条件的城市及地区,其建筑能耗特点也各不相同,但相同的规律都是大型公共建筑的能耗要远高于普通居民住宅,而且系统复杂、管理要求高。从节能角度来讲,住宅重在围护结构的保温隔热以及家电的高效,普通公共建筑和住宅类似,另外还需重视办公设备和照明的节电工作。而大型公共建筑要复杂得多,除上述因素,特别要重视的是中央空调系统以及照明等设备系统的高效运行和合理用能。

1.2.2 公共建筑的能耗特点

既有建筑的用能设备,包括照明、办公设备、电梯、空调、供热等多个系统。各自在总能耗中的所占的比重由于使用功能的差异而有所不同。

1. 北京市公共建筑的用能特点

(1) 政府机构办公建筑的用能特点

政府办公建筑比较复杂,建造年代区别较大,围护结构、照明灯具、空调方式也各不相同。如图1-7所示,根据对北京市42家政府办公楼的全年用电量比较可以看出,单位面积电耗在30~180kWh之间,相互之间存在极大的差异。其原因一方面是由于部分政府机构的特殊职能,有大规模的计算机房、通讯站、指挥中心等功能性房间,另一个原因则是建筑类型不同,有些建筑面积较少,设备系统简单,属于普通公共建筑,而另一些建筑体量巨大,安装有复杂的中央空调、电梯、照明系统,属于大型公共建筑。但是,去除上述两方面的影响,发现

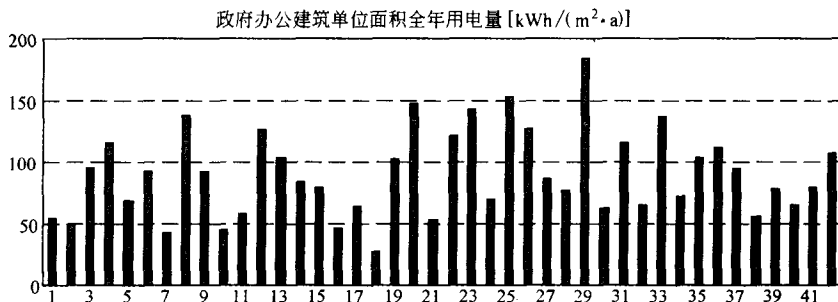
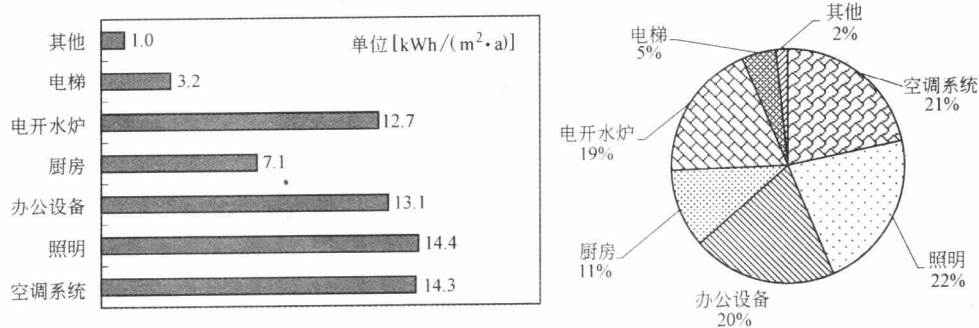


图 1-7 部分北京市政府机构办公建筑相互之间能耗差异

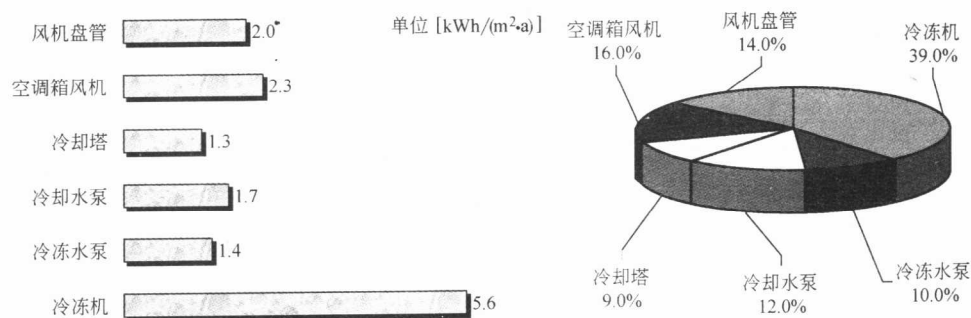
政府办公建筑同样有很大的节能潜力。

以其中一家属于大型公共建筑的政府办公楼 [总用电量 $66\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$] 为例, 具体分析其各用电设备的耗电情况。如图 1-8 (a) 所示, 中央空调、照明和办公设备是该办公楼的三个主要用电环节, 基本上各占总耗电量的 20% 左右, 单位面积全年用电量分别为 $14.3\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、 $14.4\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 $13.1\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。值得注意的是, 该政府办公楼开水炉的用电量相当可观, 达到 $12.7\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 占总用电量的 19%, 剩余的为厨房和电梯用电。

该政府办公楼的中央空调系统中, 如图 1-8 (b) 所示, 冷机耗电量最大, 占空调系统总用电量的 39% [$5.6\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]。而由水泵和风机组成的输配系统的用电量达到了 $5.4\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 和冷机电耗基本相当。此外末端风机盘管占空调系统总用电量的 14%。



(a) 政府办公楼各设备分项耗电量及比重



(b) 政府办公楼空调系统分项耗电量及比重

图 1-8 政府办公建筑的能耗分析

(2) 商场用能特点

商场营业时间通常要从 9:00~22:00, 每天多达 12h 以上, 而且全年基本