

中国可持续能源项目

大卫与露茜尔·派克德基金会
威廉与佛洛拉·休利特基金会
能 源 基 金 会
项目资助号：G-0604-08301



中国大型公共建筑节能管理政策研究
Study on the Energy Conservation
Management Policies for Large-scale Public
Buildings in China

国家发展和改革委员会

能源研究所

2007年7月

目 录

一、我国大型公共建筑能源消耗现状、存在的主要问题及原因分析	5
(一) 大型公共建筑的能源消耗现状	5
(二) 大型公共建筑能源消耗特点及存在的主要问题	7
(三) 大型公共建筑能耗高的原因分析	12
二、国外大型公共建筑能耗情况与我国的对比	16
(一) 国外大型公共建筑能耗现状与历史的比较分析	18
(二) 国外大型公共建筑能耗现状与国内的比较分析	19
(三) 结论	21
三、我国大型公共建筑节能管理障碍分析	21
(一) 对大型公共建筑的发展模式缺乏足够的认识	21
(二) 在大型公共建筑的设计和建造阶段，缺乏评价和监督节能性能的主体	22
(三) 在大型公共建筑的使用阶段面临的节能障碍	23
四、中国大型公共建筑节能管理政策研究	28
(一) 大型公共建筑能源消耗定额确定方法研究	28
(二) 大型公共建筑能耗定额管理实施方法研究	36
(三) 大型公共建筑能耗定额管理奖惩方法研究	41
五、政策建议	51
(一) 选择示范省市，开展大型公共建筑能耗定额管理和实行阶梯能源价格的试点工作	51
(二) 积极推动大型公共建筑节能工作，对大型公共建筑的节能工作给予一定政策倾斜	51
(三) 加强针对大型公共建筑的节能信息传播与培训，宣传国家的节能政策和大型公共建筑的节能技术	52
(四) 大力支持采取“合同能源管理”模式的节能服务公司实施大型公共建筑节能项目	52
参考文献	53
附件	56

课题组长：郁聪

课题副组长：康艳兵

课题组成员：刘静茹、魏庆芑、袁伟亮，王鑫，张声远，
杨秀、宋芳婷，王远、张祥靖，顾道金，蔡宏武等

总报告主要执笔人：

能源研究所：郁聪、康艳兵

清华大学建筑节能研究中心：魏庆芑

总报告参与执笔人：刘静茹、袁伟亮，王鑫，张声远，杨
秀、宋芳婷，王远、张祥靖，顾道金，蔡宏武等

一、我国大型公共建筑能源消耗现状、存在的主要问题及原因分析

（一）大型公共建筑的能源消耗现状

我国建筑总能耗约占社会终端能耗的 20.7%。根据 2004 年的统计数据，我国城乡民用建筑总面积约为 400 亿平米，各类建筑的面积和能耗状况如图 1 所示。

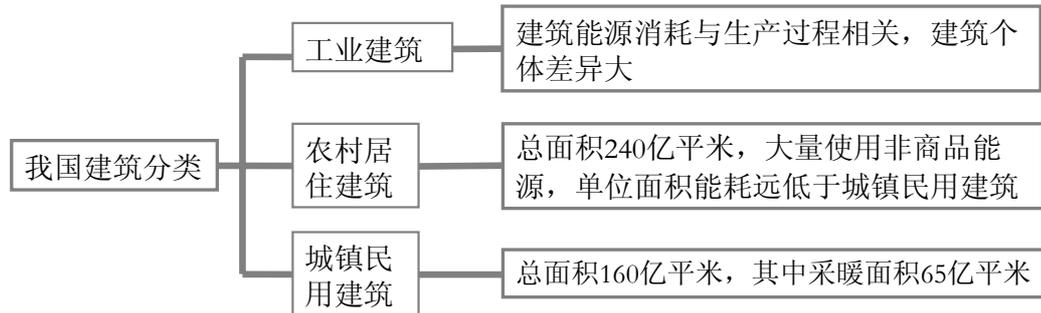


图 1 我国的建筑分类

城镇民用建筑按照用途来分，可以分为城镇住宅和公共建筑。公共建筑按照建筑面积是否超过 2 万平米，以及是否采用中央空调系统，可分为大型公共建筑和普通公共建筑。

按能源消耗状况，我国的建筑能源消耗可分类为：农村生活用能耗、北方城镇采暖用煤、城镇住宅除采暖外的能耗、一般公共建筑除采暖外的能耗和大型公共建筑电耗等五大类。各类能耗现状如表 1 所示^[1]：

表 1 我国的建筑能源消耗分类和现状

项 目		面积 (亿平方米)	目前能耗状况	单位面积能耗
农村生活用能	(不包括非商品能)	240	0.3 亿吨标煤/年 (折合 890 亿度电) 900 亿度电/年	总计: 折合电 7.5kWh/m ² ·年
北方城镇采暖		65	1.3 亿吨标煤/年 (合 3700 亿度电)	折合电 57 kWh/m ² ·年
城镇建筑	住宅用电	100	2000 亿度电/年	10~30 kWh/m ² ·年
非采暖用能	一般公共建筑	55	1600 亿度电/年	20~60 kWh/m ² ·年
	大型公共建筑	5	1000 亿度电/年	70~300 kWh/m ² ·年
	总量	160	4600 亿度电/年	29 kWh/m ² ·年
能耗总量		400	1.6 亿吨标煤/年(合 4600 亿度电) 5500 亿度电/年	共折合 25 kWh/m ² ·年, 或 9 公斤标煤/m ² ·年

注：标准煤按发电效率折合等效电，1kWh 电力=350g 标准煤

如果将建筑用能全部按照发电煤耗折算成电量，公共建筑在建筑总面积的比重只有 15%，但用能却占全部建筑能耗的 28.3%；在公共建筑中，大型公共建筑面积仅占 8.3%，但用能却占公共建筑面积的 38%（见图 2）。我国大型公共建筑不足城镇建筑总面积的 4%，但能耗却占我国城镇建筑总能耗的 20%以上，是建筑能源消耗的高密度领域。

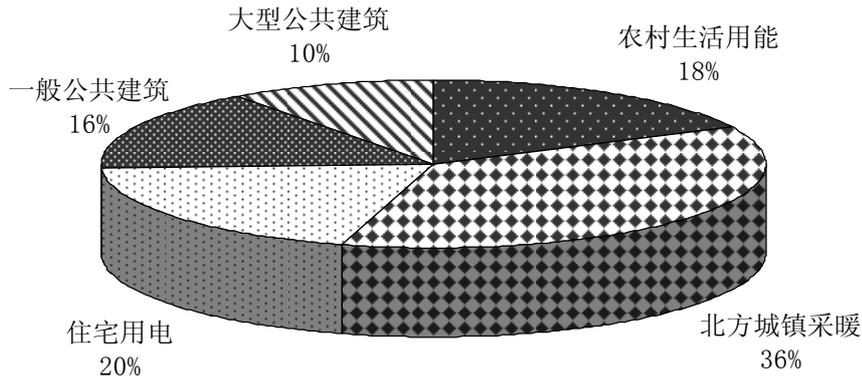


图2 我国各类建筑能耗所占比例(均折合为电力)

(二) 大型公共建筑能源消耗特点及存在的主要问题

本研究课题委托清华大学建筑学院建筑节能研究中心对国内大型公共建筑进行了调查。调查方式采用了问卷式普查、重点走访调查和现场测试相结合，分别对北京市7个试点单位以及8座大型公共建筑进行了能耗测试和节能诊断，并对其中三幢建筑进行了节能改造，取得了良好的效果。

插叙 1:

问卷式普查: 清华大学建筑学院建筑节能研究中心向大型公共建筑的管理负责人发出了能耗调查表，内容包括建筑物基本信息、各种能源每月消耗量和账单、空调系统主要设备参数等。通过回收此表，以及当地市政府其他渠道的统计数据，建立相应的大型公共建筑能耗数据库。例如，2004年11月至2005年4月，清华大学建筑节能研究中心对北京市404幢大型公共建筑进行能耗普查。目前数据库中共有全国近500幢大型公共建筑的能耗普查信息。

重点走访调查: 在进行问卷式能耗普查的同时，清华大学建筑学院建筑节能研究中心于2005年4月至5月期间对北京市41座典型建筑入户调查，深入了解了几类大型公共建筑空调系统、照明系统、电梯、办公设备等运行情况，及其对能耗的影响。

现场测试: 中央空调系统是影响大型公共建筑能耗的重要环节，且最复杂。因此，在普查和重点调查基础上，现场测试中央空调系统的空调负荷，冷机、水泵、风机等主要设备的能耗和效率，才能指出大型公共建筑用能不合理和节能潜力所在。

2005年6月至8月和2006年6月至8月，清华大学建筑节能研究中心结合上述三种方法分别对北京市7个试点单位以及8座大型公共建筑进行了能耗测试和节能诊断，并对其中三幢建筑进行了节能改造，取得了良好的效果。

2006年8月至9月，清华大学建筑节能研究中心与深圳市建筑科学研究院合作，对深圳市四座大型公共建筑（包括政府办公楼、商业写字楼、酒店、商场）进行详细的能耗测试和节能诊断。

2006年9月，清华大学建筑节能研究中心与上海市建筑科学研究院合作，对上海市四座星级宾馆进行详细的能耗测试和节能诊断。

1、大型公共建筑能耗高

清华大学建筑节能研究中心在对国内近 600 幢大型公共建筑能耗普查、对其中 200 多幢建筑调查走访和 50 多幢建筑详细测试后，得出的结论是大型公共建筑单位面积耗电量达 70~300 度，是普通公共建筑的 4~6 倍、住宅的 10~15 倍。

北京市近千户居民家庭和三百多个大型公共建筑的用电量调查数据如图 3 所示。其中，住宅单位建筑面积年电耗为 10kWh~30kWh，而公共建筑的电耗则高得多。一般的能耗统计过程中，把除去采暖部分的能耗列为主要统计内容，得到各类建筑的电耗。

对公共建筑进行深入的分析发现，面积较小、不使用中央空调的一般公共建筑，单位建筑面积年电耗为 40~60kWh；而面积较大且采用中央空调的公共建筑，单位建筑面积年电耗高达 70~350kWh，是普通居民住宅的 10~15 倍，如图 4(a)所示，但由于其内部产热量大，采暖能耗甚至低于住宅和一般公共建筑，如图 4(b)所示。

相应的，将单幢建筑面积超过 2 万平方米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。本文所提到的“大型公共建筑能耗”指大型公共建筑除采暖之外的电耗。

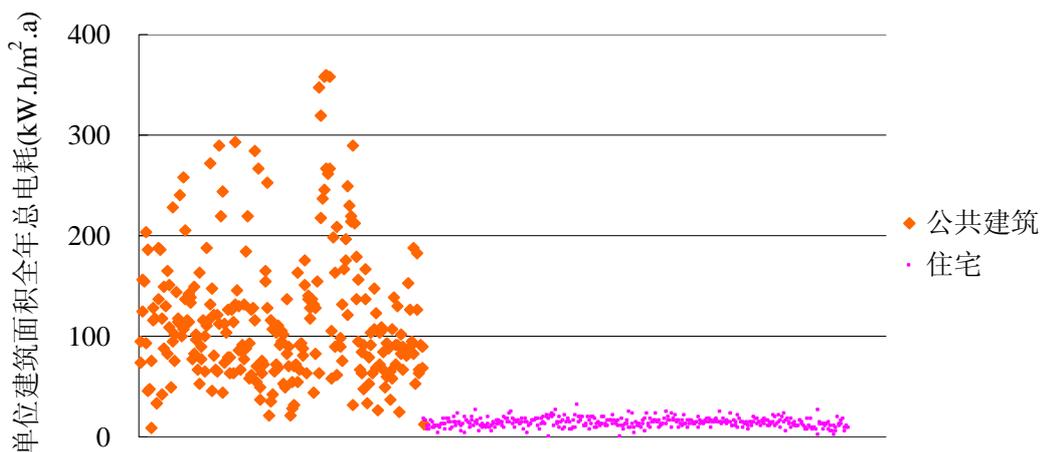


图 3 北京市建筑能耗调查数据 (kWh/m².a)

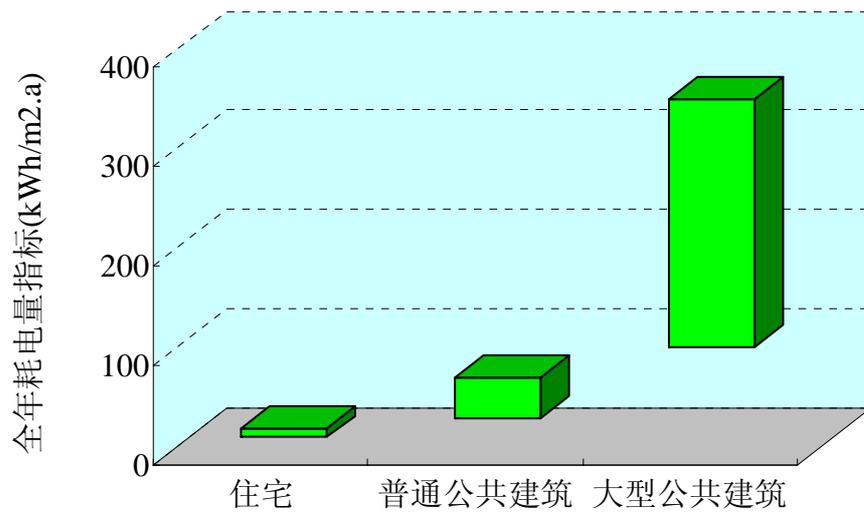


图 4(a) 不同性质建筑物的电耗比较

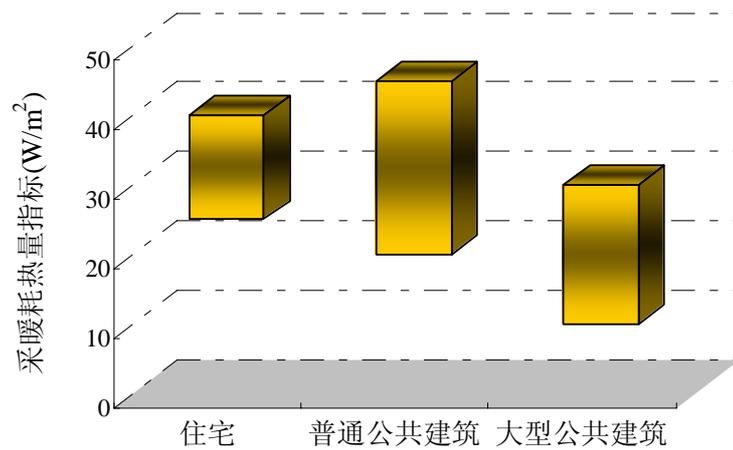


图 4(b) 不同性质建筑物的采暖能耗比较

2、商场类建筑能耗最高，政府办公建筑最低

根据北京市各类大型公共建筑 2004 年能耗调查结果（如图 5），在不同类型的大型公共建筑中商场类建筑能耗最高，政府办公建筑最低。

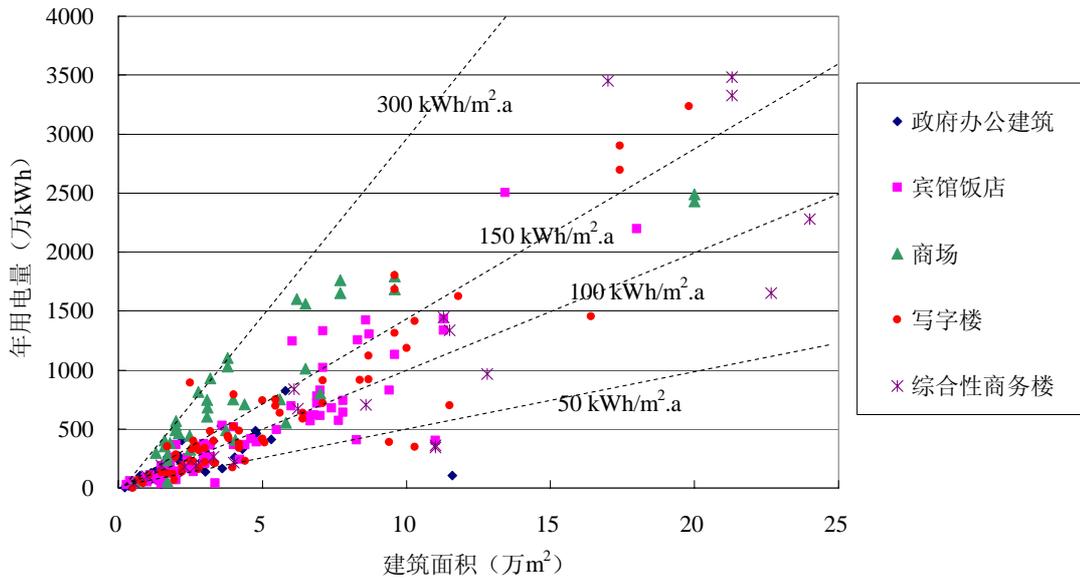


图 5 2004 年北京市大型公共建筑调查数据

3、空调系统耗电是大型公共建筑的主要能源消耗

通过现场测试数据可以发现，夏季使用空调系统，电耗显著上升。虽然对于不同功能建筑其比例不尽相同，但空调系统的高效运行是大型公共建筑节能的关键。从数据库中选取 64 座大型公共建筑，划分为商场、星级酒店、以及办公楼等三种基本类型，各种类型建筑平均逐月电耗如图 4 所示。

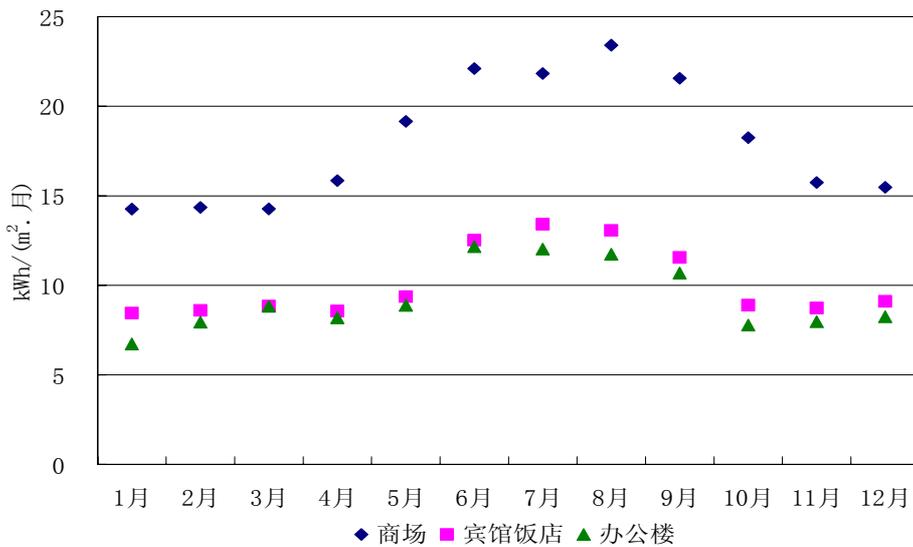


图 6 各类建筑 2004 年逐月平均单位面积电耗

4、不同类型的大型公共建筑耗能特点各不相同

大型商场营业时间长，每天多达 12 个小时以上，而且全年基本没有节假日，此外由于内部发热量大，空调开启时间也较其它公共建筑长。北京地区商场通常采用的是全空气系统，空调箱风机全年运行，因此风机电耗所占比重最大，占到了该商场空调系统总用电量的 65.4%。一般地，空调系统用电占总用电量的 50%，其次为照明用电占总用电量的 40%，其余 10% 为电梯用电。

写字楼属于高级办公建筑，全年使用时间约为 200~250 天，每天工作 8 小时，设备全年运行时间约为 1600~2000 小时。北京地区写字楼采用了变风量系统，全年空调箱风机电耗占空调总用电量的 45.3%。写字楼用电量中，空调系统所占比重最大，达到 37%，其次为照明和办公设备分别占 28% 和 22%；写字楼电梯除上下班高峰外的其它时间使用率不高，因此用电量所占比重不大，约 3%。

星级酒店与商场和写字楼不同，虽然营业时间长，但是由于受到旅游季节变化和入住率波动的影响，多数时间是在部分负荷下工作。一般地，北京地区酒店客房普遍采用风机盘管加新风的空调方式、大堂及餐厅基本采用全空气系统，全年空调箱风机和风机盘管电耗合计所占比重达 47.7%。北京地区酒店总用电量中，比重最大的两个部分是空调和照明，所占比重依次为 44% 和 25%。此外酒店为客人提供 24 小时循环热水，因此给排水系统电耗也高于其它大型公共建筑，所占比重达到 17%。酒店电梯使用较为频繁，电耗也高，占到总用电量的 9%。

由于气候条件不同，各城市公共建筑的能耗高低在数值大小上有所不同，但电耗指标基本都在 100~500 kWh/m².a、总能耗指标为 1~6 GJ/m².a。同类型建筑物的能耗水平也存在较大差异。

表 2 各大城市公共建筑的能耗调查结果

城市	能耗特点
上海 ^[2]	对上海 9 幢写字楼的调查表明，办公楼的最大平均耗能量与最小平均耗能量相差 2.21 倍，平均能耗量为 1.8 GJ/m ² .a。另外对上海 9 家星级宾馆的单位面积年一次能耗量的调查结果表明，其平均耗能量为 2.698 GJ/m ² .a。
深圳 ^[3]	对 15 幢高层办公建筑的抽样调查结果，写字楼的单位面积能耗最小的 45 kWh/m ² .a，最大的为 150 kWh/m ² .a，平均值为 96 kWh/m ² .a (1.14 GJ/m ² .a)。其中空调、照明、办公设备大约各占 30%。

天津 ^[4]	对公共建筑的能耗采用访问方式进行调查，按照一次能耗来计算，单位建筑面积能耗最大的为 5.7 GJ/m ² .a，最小的为 0.86 GJ/m ² .a，平均值为 2.86 GJ/m ² .a。
武汉 ^[5]	对 9 幢大楼的全年能耗进行调查和现场测试，建筑能耗为 0.386~2.579 GJ/m ² .a，空调能耗为 0.137~0.868 GJ/m ² .a，最大的建筑能耗与最小的建筑能耗相差 6.68 倍，最大的空调能耗与最小的空调能耗相差 4.41 倍。商场、办公楼、酒店的平均空调能耗为 0.495 GJ/m ² .a。空调能耗占总能耗的 22.33%~79.41%。
香港 ^{[6][7][8][9]}	总计 16000 幢大型商业建筑的能耗要占到总能耗的 30%。其中空调系统的电耗为 43%、办公设备 17%、电梯扶梯 7%、照明 34%。对 16 家星级宾馆的调查结果表明，宾馆的平均能耗高达 564 kWh/m ² .a (6.7 GJ/m ² .a)。部分商场的调查数据为电耗 391~454 kWh/m ² .a，平均 430 kWh/m ² .a (5.11 GJ/m ² .a)，其中照明和空调系统占到了 85% 以上。
台湾 ^[10]	对 24 家县政府机关、33 家“中央”政府机关、929 幢中低层办公建筑、8 幢高层办公建筑、3 幢智能型办公建筑的电耗进行调查，其用量指标依次为 136、171、149、194、219 kWh/m ² .a (1.61、2.03、1.77、2.30、2.60 GJ/m ² .a)。商业性写字楼的能耗高于政府办公建筑，建筑规模越大、智能化程度越高的办公楼能耗越高。

(三) 大型公共建筑能耗高的原因分析

1、大型公共建筑节能的鼓励和限制的政策明显不足且执行效果不明显

对于公共建筑的节能，国家从 2005 年才给予实质性的关注，明显滞后于工业和住宅节能。

——2005 年 7 月 1 日，由建设部组织编制、审查、批准并与国家质检总局联合发布的《公共建筑节能设计标准》正式强制实施，这是我国批准发布的第一部公共建筑节能设计的综合性国家标准，也是建筑节能工作在民用建筑领域全面铺开的标志。《标准》中对于公建的节能提出了明确的要求，同时提出了公建空调调节系统室内的计算参数和建筑玻璃幕墙占到墙面的比例等。与上世纪 80 年代初建成的公共建筑相比，采用新标准后，全年供暖、通风、空调和照明的总能耗可减少 50%。其中，建筑围护结构和采暖通风空调的节能贡献率大约各为 20%，

照明节能贡献率约为 10%。此节能标准仅限于新建建筑，不涉及旧楼改造。该《标准》对公共建筑每个朝向的窗墙面积比例有了明确要求，即不应大于 0.70，对屋顶透明部分的面积也做出不应大于屋顶总面积 20%的具体规定，明确公共建筑的幕墙不能使用普通玻璃，必须使用节能玻璃，并对直接用电做采暖空调冷热源做出了明确的限制性规定。按照建设部的规定，新建建筑如不能达到节能设计，相关单位将被罚款 50 万。

——建设部 2005 年 10 月发布了《民用建筑节能管理规定》，并于 2006 年 1 月 1 日起实施，旨在加强民用建筑节能管理，提高能源利用效率，改善室内热环境质量。《民用建筑节能管理规定》指出，鼓励民用建筑节能的科学研究和技术开发，推广应用节能型的建筑、结构、材料、用能设备和附属设施及相应的施工工艺、应用技术和管理技术，促进可再生能源的开发利用。

新建民用建筑应当严格执行建筑节能标准要求，民用建筑工程扩建和改建时，应当对原建筑进行节能改造。

采用集中采暖制冷方式的新建民用建筑应当安设建筑物室内温度控制和用能计量设施，逐步实行基本冷热价和计量冷热价共同构成的两部制用能价格制度。

——2006 年 3 月建设部公布了《关于加强大型公共建筑和政府办公建筑节能工作的通知》，提出针对此类建筑的节能工作目标和主要工作措施。《通知》中提出了研究建立大型公共建筑和政府办公建筑能源审计制度的政策措施。基本思路 and 做法是通过组织对用能单位用能活动的检查、诊断、审核，对能源利用的合理性做出评价，提出改进建议，增强政府对用能活动的监控能力，提高能源利用的经济效果。同时，组织开展大型公共建筑及政府办公建筑的能耗统计工作，确定重点用电单位，根据其历年用电情况、节电潜力等因素，确定能耗定额及相应的奖惩措施，并将用能信息以适当的形式向社会公示。

——为了贯彻落实《国务院关于加强节能工作的决定》的精神，加强建筑节能和城市公共交通节能工作，实现“十一五”期间建设领域节能目标，建设部于 2006 年 9 月公布了贯彻《国务院关于加强节能工作的决定》的实施意见，提出对超过 2 万平方米的公共建筑和超过 20 万平方米的居住建筑小区，将实行建筑能耗核准制。建设部将会同国家发展改革委研究制定大型公共建筑能耗限额和超限额加价制度。各地应开展大型公共建筑能耗统计工作，结合实际研究制定大型公共建筑单位能耗限额。建设部要求，建设单位应将项目的设计方案报政府主管部门进行能耗核定，符合节能标准的出具建筑能耗审核意见书。未取得建筑能耗审核意见书的项目，将不能获得《建设工程规划许可证》，不得批准开工建设。

对于不按照节能标准进行设计、施工、监理的企业，将记入企业不良记录；情节严重的，依法降级或撤销其资质等级，并追究有关人员的责任。

——2006年2月，建设部完成了《建筑节能管理条例》征求意见稿，并向国家发改委等多个部门发出了征求意见函。针对我国建筑节能标准的实施和监督缺乏可操作性法律依据的现状，《建筑节能管理条例》征求意见稿中，首次明确提出通过经济激励促进建筑节能的规定，并要求商品房标明节能指标、政府公共建筑和大型公共建筑强制能效测评，否则将遭到依法处罚。

目前，除了国家制定了高耗能大型公共建筑管理政策和标准外，一些地方政府也相应的出台了大型公建节能管理措施。例如：上海制定了“十一五”建筑节能目标，建筑节能降耗工作在“十一五”期间将不断完善推进节能建筑机制，并要建立建筑节能专项资金；同时，强化大中型公共建筑能源运行监管，将5000万平方米公共建筑纳入核定用能指标。江苏省2007年4月正式启动政府办公及大型公共建筑节能监管，规定：新建建筑节能不达标，不得办理竣工验收；既有建筑开展能耗定额管理。4月16日，江苏省级机关资源节约领导小组和省建设厅专门举办了有关培训班。江苏是建设部加强政府办公建筑和大型公共建筑运行节能监管示范省之一。江苏省已对省级机关121家单位资源消耗情况作了调查统计，重点调查了22家省级机关单位。《北京市投资项目合理用能评估管理办法》已制定并颁布实施。凡新建建筑面积超过2万平方米，年耗能超过2000吨标准煤的项目没有前期节能设计和评估，一律不得开工建设。年耗能2000吨标准煤以上的固定资产投资项目，在项目建设前期都要进行节能评估，符合要求的方可开工建设。2004年北京出台了《大型公共建筑节能评审方法》。今后，本市所有新建大型公共建筑，项目建设前期必须依照设计方案进行节能评审，符合节能要求的方可开工建设。北京市还对大型公共建筑执行合理用能配额管理。对新建和已建大型公共建筑从设备选型、安装、系统调试到运行实施全过程的能源管理；对大型公共建筑按不同耗能环节，积极推行分项计量管理。北京《公共建筑节能设计标准》已于2005年发布，新的建筑节能标准中不仅包括更换节能空调、安装专门设备收集空调排到窗外的余热、取消暖气罩明装暖气、调整维护结构、改造电路系统、更换节能灯等技术措施，还包括一些非技术性的人为规定，如指导工作人员提高节能意识以及设定一些相应的日常节能规范等。通过本标准的实施，较1980年典型公共建筑能耗基础，可节约能源50%以上。

尽管对于大型公建的节能标准、政策已逐步出台，但是我国正处在高速发展的建设时期，每年大型公共建筑的建设速度远远超过发达国家，不能达到建筑节能标准的现象仍然普遍。如何加强大型公建节能标准、政策的执行力度，保证这些管理政策和标准能够真正实施和落实，达到的预期效果是最为关键的问题。

题。

2、大型公共建筑的所有者和管理者节能意识薄弱、缺乏节能的主动性

尽管自 2005 年 7 月 1 日起开始实施《公共建筑节能设计标准》国家标准（GB50189-2005），但在监管和执行方面还存在很大问题。有些项目在设计上虽然达到国家标准，但在具体的建造过程中却很少按照《标准》实行，这是有些大型公共建筑明明是节能项目，而仍是耗能大户的原因之一。

建筑节能意识的淡漠，既有政府层面上的，也有开发商和消费者层面上的。节能技术不是问题，主要是市场和政府的认识，政府和开发商在建公共建筑时，很少有人去考虑建筑的节能问题，不是以低能耗和保证舒适度为主要目标，而大都把建筑的外观设计放在最重要的位置，形成了形式至上的设计理念。

一些有代表意义的政府工程没有重视节能，往往带来‘上行下效’的不良影响。目前各级政府普遍都在建地标性建筑，片面追求外在的形式，而忽略了以节能为核心的内在品质。在这种风气的影响下，导致相当多的政府大楼成为高投资高耗能的建筑。

在商业公共建筑领域，现在市场的流行趋势是通过建筑外观来提升地产的价值，靠概念营销，认为建筑没有高贵的外表就没有艺术性，没有价值。建筑重艺术、轻技术，在业内流行的写字楼评级标准中，看重的是智能化程度、装修标准、配套设施完善程度、电力承载等，节能指标不在其中。

对于公共建筑来说，业主、使用者、运行者之间相互分离，开发商盖完后为急于脱手，所以只注重建筑外表，是否节能是使用者的事情，而大厦一般由物业公司管理，物业公司宁愿多花一点电费，也绝不允许空调调高温度影响客户，影响生意。物业和业主结算费用时基本没有一个非常清晰的能耗计算方法，均采用实报实销的方法，没有激励机制。

3、大型公共建筑管理体制复杂，使节能政策、措施难以贯彻

大型公共建筑的种类较多，既有饭店、宾馆、商厦、写字楼等商用建筑，也有学校、医院、政府办公楼、图书馆、体育馆、电影院等公共事业建筑，涉及的管理机构繁多，管理体制复杂。例如：饭店和宾馆多是国家旅游局下的中国旅游饭店业协会的会员单位，同时各地大多成立了旅游股份有限公司，既拥有星级酒店，也拥有大型商厦。如北京旅游股份有限公司拥有北京星级酒店 30 余家，也拥有首旅集团、新燕莎集团等，首旅集团在酒店管理行业中建立了“首旅建国”和“如家”两大知名品牌，在全国控股、管理着五十余家酒店；“如家”是以经济型酒店为核心的品牌，实行品牌连锁经营，目前如家连锁店近百家，已覆盖北

京、上海、广州等地。大专院校一般为教育部直属管辖，也有地方教育主管机构所辖；医院一般由当地卫生局管辖，也有隶属大专院校；政府办公楼主要由国家和地方机关事务管理局管理；体育馆有直属国家体育总局的，也有属各地体育局管理的；图书馆、博物馆一般隶属文化部或地方文化局；电影院一般隶属中央广播电视总局或地方广电局。如此众多的管理机构，使大型公共建筑在节能政策的贯彻、落实上容易出现信息渠道不通畅，政策传达不到位，多头管理或管理缺失的状况。

4、大型公共建筑在设计和运行管理中存在问题

- 选型过大

在设计过程中，空调冷机选型普遍稍大；而实际运行过程中，大部分工况下冷机处于部分负荷状态，导致冷机 COP 较低。与冷机选型过大对应，一般地水泵选型较大，导致水泵工作点偏离最佳工作点，大部分时间水系统运行在“大流量，小温差”工况下，水泵电耗很大。

- 设备匹配不良

空调冷机额定流量与冷冻泵、冷却泵的额定流量匹配不好，冷却塔与空调负荷之间不能很好匹配等，都将造成能源浪费和利用效率的降低。

- 选用的终端用能设备能效水平低

例如照明电器产品的选用还不能满足“绿色照明”的要求。建筑物内电脑、复印机、打印机、冰箱、冰柜、饮水机的选择，也不能满足节能和提高能效的要求。

- 运行管理存在漏洞

通过建筑逐时电耗观察发现，部分建筑中下班时间内办公电耗较大，很多电脑处于待机状态。

部分楼宇存在加班现象，导致冷冻机 24 小时开启，造成很大的浪费。

某些建筑中存在冷机停机不断电现象，造成很大冷机待机电耗。

二、国外大型公共建筑能耗情况与我国的对比

建筑能耗是社会总能源的三大吞噬力量之一，以 2003 年为例，通过对世界各国的统计发现，建筑能耗（运行能耗）基本上占据了社会总能耗的 16~30%。不仅如此，经济越发达的国家，其建筑能耗比重越大，即就是说随着经济的发展，

建筑能耗的比重有越来越大的趋势，因此要想节约能源，建筑节能便是举足轻重的一环。

国外自上世纪 70 年代以后，一直对建筑能耗比较重视，各国均开展了不少关于建筑能耗的统计[5]。这其中比较有代表性的是美国能源部能源信息署所进行的统计。但是不足的是，这些统计大多没有区分大型公共建筑，而一般是将建筑区分为住宅和商业建筑。表 3 是各主要国家 2003 年建筑能耗统计数据，从表中可以看出，各国商业建筑能耗占建筑总能耗的比例分布在 23~53%之间，发达国家的商业建筑能耗比重明显高于发展中国家。

表 3 2003 年各主要国家建筑能耗量(单位:亿 kWh)

国家		世界	美国	加拿大	中国	日本	OECD 欧洲	印度	非洲
住宅	石油	20533	2906	194	1356	1356	5424	1937	1162
	天然气	34868	10073	1162	775	775	10460	0	194
	煤炭	3725	0	0	2129	0	532	266	133
	电	40442	12601	1465	2344	2638	8206	1172	1172
	热/按热水	3112	0	0	207	0	553	0	0
	可再生	2051	1172	0	0	0	293	0	0
	总和	104732	26752	2821	6811	4768	25468	3375	2661
商业建筑	石油	9685	1550	775	1356	2131	1937	0	194
	天然气	12979	6392	969	0	387	2906	0	0
	煤炭	798	133	0	266	0	133	133	133
	电	33115	12015	1172	1172	2638	7326	879	586
	热/按热水	484	0	0	0	0	138	0	0
	可再生	293	293	0	0	0	0	0	0
	总和	57355	20383	2916	2794	5156	12441	1012	913
建筑总能耗		162086	47136	5737	9606	9924	37909	4388	3574
人均建筑能耗	kWh/(人·年)	2572	16030	18206	743	7774	5219	412	420
商业建筑能耗比例		35.4%	43.2%	50.8%	29.1%	52%	32.8%	23.1%	25.5%

注: OECD Europe 包括如下国家: 奥地利,比利时,捷克共和国,丹麦,芬兰,法国,德国,希腊,匈牙利,冰岛,

爱尔兰,意大利,卢森堡,荷兰,波兰,葡萄牙,斯洛伐克共和国,西班牙,瑞典,瑞士,土耳其,英国等。

数据处理方式:单位换算: 1Q Btu=1055×1015J; 1kWh=3.6×106J;

热电转化效率: 石油,66.1%; 天然气 66.1%; 煤炭,45.4%; 热,按热水 23.6%; 可再生,100%

利用此关系,将来自 International Energy Outlook 2006 的能耗数(J)转化成本表(kWh)

建筑总能耗=住宅总和+商业建筑总和;

人均建筑能耗=建筑总能耗/各国人口数；

数据来源:International Energy Outlook 2006

注：本表摘选自《中国建筑节能年度发展研究报告 2007》，并增加了商业建筑能耗比例一行。

美国能源署 2001 年对 480 亿平方英尺的空调面积的调研结果显示，大型公共建筑能耗约占商业建筑总能耗的 75%。按照这样的比例计算，则各国的大型公共建筑能耗占建筑总能耗的比重则约为 17~39%，其用地位相当重要。

（一）国外大型公共建筑能耗现状与历史的比较分析

虽然各国的建筑能耗仍在逐年增加，但通过各国的节能努力，单位面积的建筑能耗却有所下降，目前各国的平均建筑能耗为 $190\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ [9]。而从表 2-3 中可以看出，在上世纪 60~80 年代的空调年能耗就已经就这么多多了。由此可以，看到国外经验丰富 30 多年的努力，建筑节能工作还是取得了一些长足的进步。

文献[10]对一典型建筑进行了详细的研究，能源危机前该建筑空调时开窗现象严重，窗户采用单层玻璃，人工照明照度过高，忽视设备负荷，为追求舒适造成了大量的能源浪费。此时该建筑的单位建筑面积年电耗约为 $328\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ ，建筑各项用电的拆分情况如图 7 所示。能源危机爆发以后，该建筑进行了一系列节能改造，单位建筑面积的年耗电量变为 $230\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ ，与改造前相比，节能 30%，这还没有考虑室内负荷增加的影响，如将此计算在内，则实际节能量更大。节能改造后的该建筑的电耗拆分如图 8 所示。

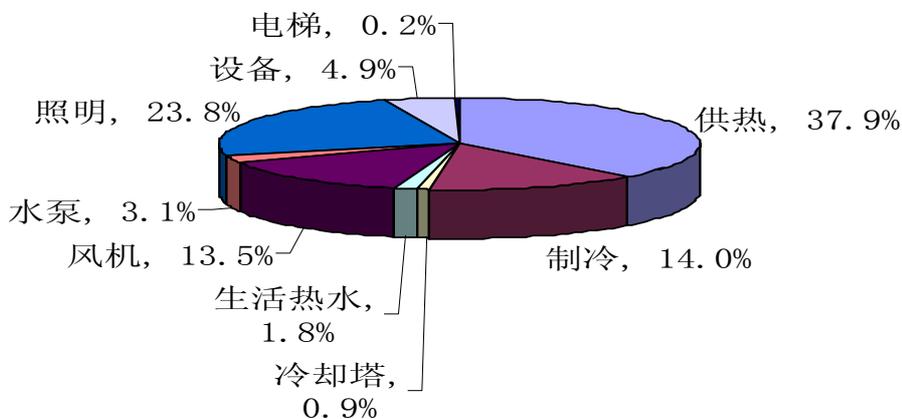


图 7：典型建筑能源危机前的能耗拆分饼图

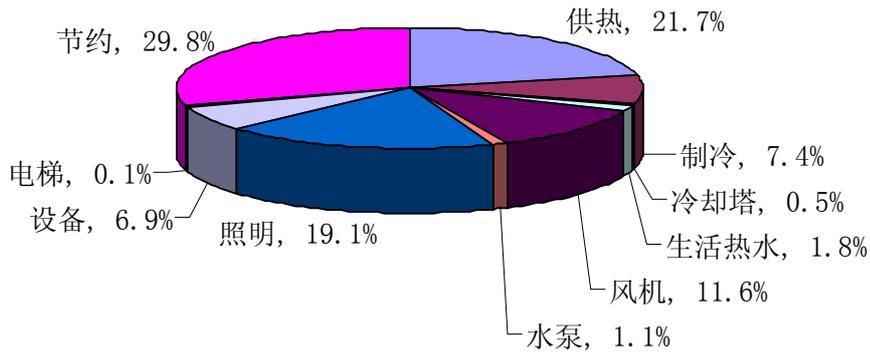


图 8: 典型建筑能源危机后的能耗拆分饼图

(二) 国外大型公共建筑能耗现状与国内的比较分析

通过国外大型公共建筑能耗现状与国内的比较,有利于更清楚地了解到我们现在的能耗状况。虽然目前社会上普遍认为国人的节能水平与国外尚有差距,但是通过对现阶段的各种能耗比较来看,中国目前的能耗水平并未达到发达国家水平,如果按人均建筑能耗来计算,则能耗水平则远远低于发达国家水平。根据文献[1]的研究成果,可以作出中国、美国、日本三个国家目前的大型公共建筑能耗对比图,如图 9 所示,可以看出中国大型公共建筑的能耗水平尚不到发达国家的 60%。各国与中国之间更详细的建筑能耗对比,可参见表 3。

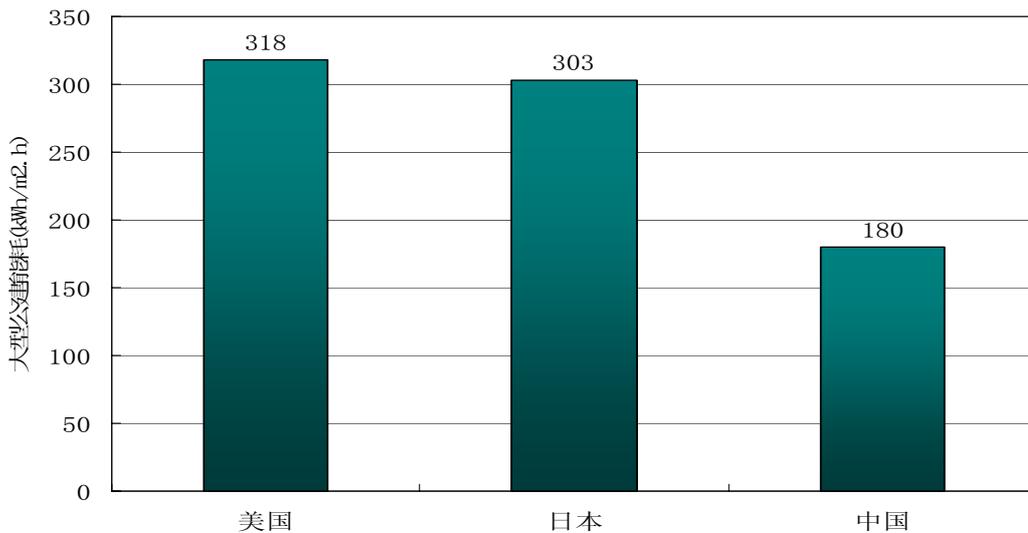


图 9: 中国、美国、日本大型公共建筑能耗对比柱状图

表3 各主要国家人均建筑能耗预测表 (单位: kWh/(人·年))

项目		2003	2010	2015	2020	2025	2030
美国	住宅能耗	9098	9862	10392	10857	11156	11554
	商业建筑能耗	6932	7664	8360	9089	9819	10649
	总和	16030	17525	18752	19946	20975	22203
中国	住宅能耗	527	1099	1323	1533	1787	2113
	商业建筑能耗	216	385	445	506	566	634
	总和	743	1484	1768	2039	2353	2747
日本	住宅能耗	3735	3662	3662	3662	3662	3662
	商业建筑能耗	4039	4117	4346	4346	4346	4346
	总和	7774	7778	8008	8008	8008	8008
加拿大	住宅能耗	8953	9884	10814	10814	10814	12358
	商业建筑能耗	9253	10498	11113	12043	12658	13588
	总和	18206	20382	21927	22857	23471	25946
印度	住宅能耗	317	506	598	680	748	830
	商业建筑能耗	95	230	297	325	380	450
	总和	412	736	895	1005	1128	1280
巴西	住宅能耗	818	1255	1255	1528	1528	1801
	商业建筑能耗	601	930	1094	1258	1586	1751
	总和	1419	2185	2349	2786	3114	3551
非洲	住宅能耗	313	614	706	717	802	836
	商业建筑能耗	107	142	142	176	211	211
	总和	420	756	848	894	1013	1047
OECD Europe	住宅能耗	3506	3592	3649	3667	3831	3916
	商业建筑能耗	1713	1789	1856	1896	1977	2034
	总和	5219	5381	5505	5563	5808	5950
世界	住宅能耗	1662	2046	2232	2387	2558	2753
	商业建筑能耗	910	1080	1198	1310	1422	1538
	总和	2572	3127	3429	3697	3980	4291

注: OECD Europe 包括如下国家: 奥地利,比利时,捷克共和国,丹麦,芬兰,法国,德国,希腊,匈牙利,冰岛,爱尔兰,意大利,卢森堡,荷兰,波兰,葡萄牙,斯洛伐克共和国,西班牙,瑞典,瑞士,土耳其,英国等。

数据处理方式:单位换算: 1Q Btu=1055×1015J; 1kWh=3.6×106J;

热电转化效率: 石油,66.1%; 天然气 66.1%; 煤炭,45.4%;

热,按热水 23.6%; 可再生,100%

利用上述关系,将来自 International Energy Outlook 2006 的能耗数(J)
转化成本表(kWh)

数据来源:International Energy Outlook 2006

注: 本表摘自《中国建筑节能年度发展研究报告 2007》

(三) 结论

- 1) 建筑能耗在各国均占社会总能耗的相当比重, 经济越发达国家, 建筑能耗比重越大, 发达国家的建筑能耗约占总能耗的 30%, 建筑节能是节约能源的重要环节。
- 2) 大型公共建筑是建筑能耗的主要环节, 对大型公共建筑进行节能研究, 并实施节能改造, 规范用能管理具有重要的意义。
- 3) 大型公共建筑最主要耗能环节是空调系统, 对空调系统的节能研究是建筑节能不可忽略的重要环节。
- 4) 国外在建筑节能方面起步较早, 已取得了一定的经验和成效, 值得肯定和学习。但发达国家的能耗水平仍远远高于中国, 且仍普遍存在不合理的用能现象, 浪费严重。
- 5) 中国的建筑节能研究虽然起步较晚, 在建筑节能立法方面与国外发达国家有一定差距。但对于节能的技术研究并不落后于国外发达国家, 且在能耗统计、分项计量、建立建筑能耗数据库等方面所开展的工作已处于世界领先水平。

三、我国大型公共建筑节能管理障碍分析

(一) 对大型公共建筑的发展模式缺乏足够的认识

大型公共建筑单位面积能耗远高于住宅和普通公共建筑, 近年来已经开始引起一定重视, 尤其体现在《公共建筑节能标准》和建筑节能改造方面。但是, 即使大型公共建筑能够达到《公共建筑节能标准》要求的水平, 其单位面积的能耗

仍然比住宅和普通公共建筑高得多。

目前，大型公共建筑的发展速度非常快，每年新增的面积约为 5000 万平方米。并且随着大型公共建筑在新增公共建筑中的比重逐渐加大的发展趋势，这一数量在持续提高，也必将成为许多城市未来能源消费的一个主要增长点，给实现节能减排任务带来更大的困难。

那么，为什么大型公共建筑发展速度这么快？大型公共建筑是否应该成为未来公共建筑发展的主流消费模式？哪些类型的公共建筑应该采用大型公共建筑的模式？哪些可以向其它方向发展？向什么方向发展？应该采取哪些措施对公共建筑的发展模式进行合理引导？这些问题值得思考，但是目前尚缺乏深入研究。

尽管尚未有研究定论，然而毋庸置疑的是，随着经济社会发展，一些建筑需要采用这种模式，而大型公共建筑自身的特点决定了其单位面积用电量远高于普通公共建筑，从而进一步决定了公共建筑能耗无法阻挡的快速上升趋势，在城市发展规划阶段就应该引起足够的重视。

（二）在大型公共建筑的设计和建造阶段，缺乏评价和监督节能性能的主体

1、从政府部门角度

当前，节能减排已经成为政府部门政绩考核的约束性指标，如何保障大型公共建筑的节能性能，首先应该成为政府部门的责任。

在大型公共建筑在设计和建造阶段，其节能性能主要取决于设计单位和施工单位。尽管《公共建筑节能设计标准》2005 年已经出台，2007 年初我国又出台了《关于加强固定资产投资项目节能评估和审查工作的通知》，将对从源头上把好公共建筑的节能关起到重要作用，但是目前在节能性能的评价方法和评价监督的主体方面都存在问题，影响了这些政策的贯彻实施。首先，大型公共建筑的能耗和节能效果不但与建筑的设计与系统（设备）的选型有关，很大程度取决于建筑物和系统（设备）的使用环节，如何评价是否达到了要求的节能效果不单单是评估建筑围护结构和系统（设备）的节能性能问题，缺乏有效的评估方法。其次，缺乏对大型公共建筑进行节能评审的机构主体，即使当前已经有些部门开始对公

共建筑进行节能评估检测，但是远不能满足市场需求。此外，缺乏承担节能责任的主体，目前多是说有多少公共建筑没有达到节能要求，但是未见有哪个部门承担相关责任的情况。

2、从用户角度

用户是大型公共建筑的使用者，节能性能直接影响其能源费用的支出。所以，从用户的角度，一方面出于必须执行国家政策，而且出于自身经济利益，对建筑物和系统（设备）的节能性能是比较关心的；另一方面又要考虑所采用技术和设备的技术经济性，因此也不愿意承担过高的成本而采用超前的技术。目前，在公共建筑的设计和建造阶段，缺乏类似于节能监理的节能咨询机构为用户服务，帮助用户从两个方面把关：一是建筑物和系统（设备）的性能和功能是否满足用户的要求；二是采用的技术和设备技术经济性对用户来说是否合理。

（三）在大型公共建筑的使用阶段面临的节能障碍

大型公共建筑的节能改造，是当前节能改造的一个重点领域。在大型公共建筑使用阶段，能源费用的支出是否合理，节能是否真正“省钱”，是影响用户节能改造积极性的最关键因素。在这个阶段，面临的主要节能障碍包括：

1、缺乏单位面积能耗的合理指标

单位面积建筑能耗多少是合理的？这个问题一方面影响了推动政府机构节能的过程中，公共财政对能源费用合理支出范围，另一方面影响了商业建筑用户是否进行节能改造的决策。同时，这也是一个非常复杂的问题，除了与建筑围护结构和系统（设备）的节能性能有关，还取决于建筑类型、气候条件、用户的作息习惯等多种因素。为推动政府机构节能工作，目前一些针对政府机构建筑的节能审计活动已经委托相关机构正在开展。但是，一方面，上述技术性问题尚未有定论，另一方面，至今仍然有许多机构没有得到政府部门应该支付的节能审计费用，从而影响了政府机构节能工作的开展进程。此外，商业建筑用户则基本上没有自己出钱主动进行节能审计的情况。

2、用户缺乏足够的节能积极性

“节能是否能够省钱”是影响用户节能积极性的根本性因素。目前，影响用

户节能积极性的障碍主要包括：

(1) 能源费用征收管理体制：(a) 政府机构建筑能源费用“实报实销”，影响了政府机构后勤部门节能的积极性。更有甚者，一些部门借改造之名，滥用公共财政，能源费用没有显著降低，却借购买相关设备之机个人获益。(b) 按照面积征收采暖费的收费机制使公共建筑的供热节能改造缺乏根本的原动力。(c) 物业公司与分散性租房单位的租赁关系，影响了节能效果：一般情况是按照面积收费，物业公司有节能积极性，但是对能耗量有很大影响的分散用户却没有节能积极性；对按照租房单位征收水电费的情况，租房单位有节能积极性，但往往无法改变空调系统等硬件设施。

(2) 节能效益相对比较小，担心从总体上节能改造对自己带来负面影响。比如，宾馆饭店的节能改造虽然可以带来节能效益，但是业主担心由此影响营业经营情况等建筑物基本功能，从而造成更大的经济损失，所以不愿意轻易采取节能改造措施。这种情况下，对业主而言，是否愿意节能改造，主要取决于节能效益是否足够大，节能改造的“总帐”是否合理。

3、用户缺乏足够的节能专业知识

即使用户有节能积极性，由于缺乏足够的节能专业知识，导致的能源浪费现象也非常普遍。

(1) 大型公共建筑在建成之后，用户对既有的建筑和系统（设备）的管理和运行会对其能耗及能源费用产生很大影响。但是，由于用户往往缺乏节能专业知识，浪费现象比比皆是。

(2) 在系统（设备）功能和性能出现了问题后，涉及设计单位、施工单位、各种设备供应商，因为缺乏专业知识，往往出现各单位推诿责任、用户不知所措的问题。例如，在四川省的某大型体育场馆，刚投入使用一年多，就面临着夏季室内不冷、冬季室内不热、能源费用却很高的情况。该用户找设计方，设计方说设计没有问题；找施工方，施工方说施工没有问题；找制冷机供应商，制冷机供应商说制冷机没有问题；找采暖锅炉供应商，锅炉供应商也说锅炉没有问题；找风机盘管设备供应商，也说没有问题。很简单的一个系统调试和节能运行控制问题，却因为业主缺乏专业知识，各方推卸责任，导致问题托了一年多也没有得到

解决。当然，在建筑设计、施工和验收环节，如前文所述，这也和用户当时没有找到类似于“节能监理”的节能咨询服务机构帮助自己把关有关。

(3) 因为缺乏节能专业知识，同时由于缺乏能源消耗的分项计量措施，非常普遍的情况是，用户不知道自身的节能潜力有多大，或者即使知道有许多能源浪费环节，但是不知道应该采取什么样的节能技术措施进行改造。

4、用户缺乏节能改造资金

缺乏足够的节能改造资金是影响大型公共建筑实施节能改造的又一个典型障碍。因为政府机构建筑的能源费用由公共财政支付，其节能改造理应由公共财政承担。但是当前推动公共建筑节能改造的公共财政资金非常缺乏，严重影响了政府机构节能工作的实质性开展。对于商业建筑而言，即使业主有节能改造意愿，但是往往面临的情况是业主缺乏足够节能改造资金而导致节能改造项目搁浅。

5、节能服务公司面临的障碍

为了解决上述问题，我国政府在推动和发展按照“合同能源管理”模式运作节能服务公司。他们通过与客户签订能源服务合同，为客户的节能项目进行投资或者融资，并向客户提供能源审计、项目设计、设备采购、施工、工程验收、节能监测、系统维护等一条龙服务，以与客户分享项目运行后产生的节能效益的方式回收投资并获取合理的利润。在推动初期，项目线主要针对工业节能领域，但是由于楼宇节能改造项目“投资小、见效快”、非常适合于节能服务公司实施的特点，所以在公共建筑节能领域按照“合同能源管理”模式实施的节能项目在快速增长。根据 2005 年的调查¹，节能服务公司在公共建筑节能领域实施的项目数量约占其实施项目总量的一半左右。目前，大部分节能服务公司的业务范围都包含了楼宇节能，这些节能服务公司在节能咨询、节能技术改造、节能项目融资等方面有力地推动了公共建筑节能工作，成为一支在公共建筑节能领域快速发展壮大的生力军。但是，由于在公共建筑节能领域发展的时间相对比较晚，这些节能服务公司在实施节能项目时也面临着诸多障碍，主要包括

(1) 项目规模障碍：与工业项目比较，楼宇节能项目一般规模比较小。一

¹ 国家发改委能源研究所，《中国节能服务产业现状调查分析报告》，2006。

方面，所需资金投入少，是一个优点；另一方面，由于项目规模小，导致其节能收益相对较小，这在项目前期投入相差不多的情况下，一定程度上影响了节能服务公司在楼宇节能领域发展业务的积极性。

(2) 节能市场障碍：除了前文所述的相关原因，导致大型公共建筑用户缺乏节能改造积极性，从而影响了节能服务公司的开拓节能项目市场以外，因为“合同能源管理”模式由节能服务公司负责节能改造的一条龙服务，会直接影响大型公共建筑原来的物业、后勤等相关部门的传统利益。在目前大型公共建筑的内部管理体系中，一般由物业、后勤等部门负责系统的维护和设备的采购，并且这些部门在节能改造的决策中发挥着重要作用。但是，这些部门往往都已经拥有长期的设备供应商关系，节能服务公司的介入将破坏这种既有的格局。许多情况下，他们不愿意放弃打破这种传统格局，从而影响了节能服务公司开拓节能市场。

(3) 节能量确认障碍：保障节能改造项目的节能量是“合同能源管理”模式的根本特点。但是，因为节能量与很多因素有关（如大型公共建筑的运营和管理情况、用户的作息习惯、设备的负荷率、气候条件等，以及计算节能量的“基线”条件和能耗基数，都对节能量产生直接或间接的影响），目前缺乏统一的测量和计算方法。所以，采用“合同能源管理”模式实施节能项目的节能服务公司经常面临节能效益确认的问题，容易与客户发生分歧，产生纠纷。但是，目前我国还没有明确的机构对此类合同的争议进行裁定，无相应的规范对能耗标准进行界定，一旦发生争议，节能公司将面临投诉无门的窘境，影响了这种模式的发展。

(4) 银行贷款融资障碍：因为节能服务公司业务的特点决定了其进行节能改造初期就要投入大量的资金，而大部分节能服务公司属于中小企业，仅靠自身的能力无法实现。同时，银行对于这类节能项目的评估目前还没有成熟的方法，加上这些项目多数是中小项目，银行的管理成本也会相对偏高，使得节能服务项目融资困难。

(5) 政策障碍：采用“合同能源管理”模式实施节能项目，节能服务公司要承担大部分甚至全部项目风险。在国外，为推动这种节能机制的发展，很多国家出台了许多财税政策优惠来支持节能服务公司开展楼宇节能改造项目。在美国，早在 1995 年，美国国会专门针对合同能源管理新机制的推广应用进行立法，

积极鼓励在政府机构节能中实施合同能源管理进行建筑节能改造,组织开展试点示范以及宣传推广工作。通过征收 2%~3%的电力附加费等方式建立“节能公益基金”,主要内容之一就是支持节能服务公司的节能改造活动。在日本,政府通过为项目初投资提供部分补助金(如 NEDO 提供)、提供低息贷款等方式支持节能服务公司进入政府部门和公共部门的节能项目;日本政府还通过 NEDO 对节能项目的实施提供支持和补助,2004 年该机构对于合理使用能源事业者的补贴预算为 12,525,931 千日元(政府将补助金拨给 NEDO,由 NEDO 具体运作)。节能服务公司和项目业主可以提出申请,比如引入新节能设备的项目、在民用或商业楼宇引入高效节能系统的项目均可以申请达到项目金额三分之一的辅助金,最高限额为 5 亿日元(约合 500 万美元)。在加拿大,联邦政府不仅要求政府机关大楼带头接受节能服务公司的服务(例如,“联邦政府建筑物节能促进计划”),同时鼓励企业和居民接受节能服务公司的服务。加拿大的六家大银行也都支持节能服务公司的项目,银行对用户和项目进行评估,并给予资金支持。但是,目前我国支持节能服务公司的具体财税优惠政策很少。

尽管存在上述障碍,很多节能服务公司在大型公共建筑节能改造领域已经收到了良好的节能效果和经济效益。同时,在实践的过程中“合同能源管理”模式也得到了发展和创新。例如,采用能源费用托管型模式,业主委托节能服务公司进行能源系统的节能改造和运行管理,并按照合同约定支付能源托管费用;节能服务公司通过提高能源效率降低能源费用,并按照合同约定拥有全部或者部分节能的能源费用。西安某军医大学,建筑面积 50 多万平方米,业主原来每年的能源费用支出高达 5000 多万元,存在大量的能源浪费问题。经过艰难的谈判后,某节能服务公司对其能源供应系统进行了托管,实施了节能的运行管理和改造,并从节能效益中返还一部分给业主,实现节能效益的共赢。目前,该项目进展顺利,仅节能服务公司每月的节能效益就超过 100 万元。可以看出,只要克服诸多机制和市场障碍,节能服务公司可以发挥生力军作用,为推动大型公共建筑节能做出积极贡献。

四、中国大型公共建筑节能管理政策研究

（一）大型公共建筑能源消耗定额确定方法研究

为提高大型公共建筑能源管理水平，首先要研究确定大型公共建筑能源消耗水平的合理性，为此就必须开展大型公共建筑能源消耗定额确定方法的研究。

大型公共建筑能源消耗定额的确定是一个节能工作科学管理和科学决策的过程。其主要内容是：对大型公共建筑中能源消耗水平、使用效率进行客观考察和定量分析，通过能耗审计与统计分析、用电分项计量、模拟分析等手段，发现用能不合理现象和节能潜力，设定通过低成本/无成本改造可以实现的节能目标，以此作为大型公共建筑能源消耗定额。其中，低成本/无成本改造措施主要包括加强运行管理、改善系统调节、更换部分关键设备、增加必要的控制调节手段等。由于不同功能的建筑物在用能特点上存在差异，用能定额宜采取分类确定的方式，也就要求针对不同功能建筑物给出相应的定额。又由于大型公共建筑用能系统复杂，建筑物中不同功能的用能系统要求不同、特点不同，用能定额必须采取分系统确定的方式，即要求针对不同的用能分系统给出相应的定额。

1、能源消耗定额确定的基本原则

（1）能耗总量定额管理（简称总量定额）

这是政府主导迈出定额管理的第一步。即在现有条件下，由于政府主管部门往往只能通过能耗统计的方法，获得所辖区域内各个大型公共建筑每年的能耗总量，并且政府希望通过相对简单的方法，突出能耗高、节能潜力大的建筑物，以定量的用能定额为目标，辅以相应的激励政策或惩罚措施。

此时，定额确定方法的基本原则是：

- 尽量简单，使得政府主管部门可以在一定范围内开始对大型公共建筑试行定额管理；
- 以能耗统计所获得的大型公共建筑基本信息和能耗数据作为定额确定的基础；
- 对建筑物进行分类，在同功能类型的大型公共建筑之间进行比较，利用统计分析方法确定定额数值；

- 定量给出各个建筑物若达到定额要求所能实现的节能量和节能率，根据已有经验判断这一节能量、节能率是否可以达到，并根据经验和该类型建筑物的实际情况，适当调整定额；

依此确定的定额应低于大部分建筑物的现有能耗，使得业主感觉有压力、有动力，以全面促进大型公共建筑业主开展节能降耗工作。

(2) 分项能耗定额管理（简称分项定额）

在迈出定额管理的第一步后，政府希望定额更严格，更具有可考核性、可操作性。而业主由于经济或政治原因，主动谋求节能降耗以达到定额要求，这样双方形成互动和良性循环，可推进定额管理深入一步。此时，可以实施分项用能定额（或分系统用能定额），基本原则是：

- 通过能耗审计或分项计量等手段，获得各个大型公共建筑各主要用能分系统的基本信息和具体能耗数据，作为定额确定的基础；
- 定量给出各个建筑物、每个用能分系统若达到定额要求所能实现的节能量和节能率，根据已有经验判断这一节能量、节能率是否可以达到，并且还应指出用能过程的主要不合理环节或部位，以及节能潜力。
- 与（1）相类似，在相同功能、相同系统形式的大型公共建筑之间比较分项能耗，也可与自身不同时间段、不同分项能耗的历史数据进行比较，利用统计分析方法，确定定额数值。

依此确定的分项能耗定额可以同时向政府主管部门和业主双方提供充分的信息，因此更科学、合理。

(3) 个性化科学定额管理（简称个性定额）

在前两步工作基础上，建筑物业主已有充分的动力开展节能工作，努力降低建筑物能耗，此时，应充分考虑每座大型公共建筑的特点，为每座建筑物制订一个科学合理的用能定额，即个性化科学定额管理。

这一定额确定原则与 1 或 2 中的基本原则相比都有所不同。首先，充分考虑建筑物的个体差异，每一栋建筑物的定额都可能是不同的，使得定额数值更加符合建筑物的实际使用情况。并且，需要承认既有大型公共建筑的若干现实条件，使得根据定额所确定的节能目标确实可以通过低成本节能改造实现，具体包括：

- 承认建筑物的热性能，即已有的建筑围护结构状况不作大的变化；
- 承认其建筑使用的合理需求，即定额根据建筑物的实际功能构成和使用要求确定；
- 承认空调系统冷热源主机（制冷机、锅炉）设备的选型及其性能；

在上述前提下，当用能系统的某些设备、系统连接形式、运行调控方式等确实不合理时，应可以进行更换或者改善。也就是说，以上均为个性化科学定额确定过程中的前提条件，并为每个大型公共建筑业主提供最科学合理的定额，以及达到定额要求所应采取的低成本/无成本改造措施建议。

2、确定用能定额的基本方法

上述三个层次的定额管理方式本着循序渐进、科学合理的原则，从易到难，由宏观而微观，由政府主导起步工作，逐步推动业主自觉实行。相应的，确定定额所需基础条件、获取基础数据的方法、政府与业主的角色也有所不同，如下表所示。

	总量定额	分项定额	个性定额
确定定额的基础条件	每个建筑物全年能耗总量，以及建筑面积	建筑物详细信息，以及暖通空调、照明、办公设备等用能分系统能耗，以及主要设备的能耗	建筑物各个用能系统能耗，主要用能设备如冷机、水泵、风机、室内照明、办公设备等实际运行和能耗状况，建筑物和各个系统、以及主要设备的详细信息和实际运行操作状况
能耗数据记录周期	年	实时、日、周、月，年	实时、日、周、月，年
获取基础数据的方法	能耗调查统计	能耗审计 分项计量	节能诊断，现场实测 模拟分析
政府角色	主导，全力推动	引导，全力推动	鼓励，规范管理
业主角色	服从，被动接受	积极配合，争取达到定额要求	自觉地最大程度地节能降耗
管理模式	粗放，计划经济	集约	科学，以人为本，和谐

根据清华大学建筑节能研究中心已有工作基础,在本报告中给出三个层次定额确定的详细方法,即:

- 以能耗调查统计为主要手段的总量定额确定方法
- 以能耗审计为主要手段的分项定额确定方法
- 以模拟分析为主要手段的个性定额确定方法

3、基于能耗统计的总量定额确定方法

这一方法是根据单位建筑面积全年总能耗(以下建成 OECl)即建筑的能耗总量与建筑面积的比值为主要指标确定不同建筑物能耗定额的方法。数据来源是统计数据或调查数据。

首先要对大型公共建筑按使用功能分类,例如:办公建筑(政府办公楼和商业写字楼)、商业建筑(商场、超市)、旅游建筑(星级宾馆饭店)。对于同类建筑物,统一用能指标 X 进行统计分析,求出调查样本的统计平均值和标准差,即:

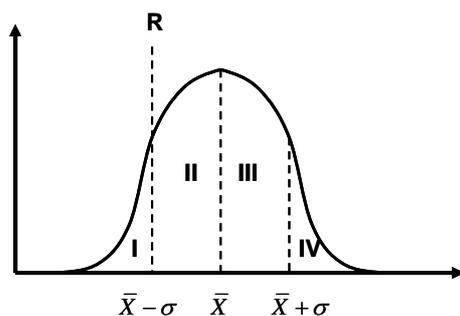
$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

通常,可认为大型公共建筑中各项用能指标 X 服从正态分布,当对大量样本进行统计分析之后,某项用能指标的定额 R 可确定为:

$$R = \bar{X} - \sigma$$

具体方法如下:

(1)大型公共建筑的总体用能指标 OECl 较容易获得,当样本数量足够多时,定额 R 可认为是通过低成本/无成本改造实现的节能目标,并作为下一年度考核时的评判依据。如下图所示说明其应用。



当 $OECI > R$ 时，说明该建筑物的能耗水平高于定额所要求的能耗，需要通过节能措施降低能耗，以达到定额的要求。根据统计规律，有 84.1% 的建筑物属于这类的，因此这一定额将促进绝大部分的建筑物加强和改进节能工作。在开始实施定额管理时，政府主管部门应告知大型公共建筑的业主其能耗定额数量，以及其当前所处的位置，使其明确节能的任务和目标。当一年后进行考核时，该建筑物的总能耗指标满足定额要求时，即 $OECI \leq R$ ，应对工作予以充分肯定。若总能耗指标不满足定额要求，仍然存在 $OECI > R$ 的问题时，应进行相应的惩罚措施。根据其落在 II/III/IV 区的具体范围，可对超过定额部分的能耗征收梯级的能源消耗费，以区别对待。

而当 $OECI \leq R$ 时，即该建筑物的现有能耗水平低于定额所要求的能耗，根据统计规律，只有 15.9% 的建筑物属于图中 I 区范围内，其与同类型建筑相比属于能耗最低的，应受到鼓励。

(2) 总体用能定额 R 每隔几年（也可每年）就重新进行重新统计计算核定，作为该类建筑物下一年的定额，以促进持续的节能。

(3) 可以定义超过定额的建筑物 i 现在能耗与定额之差为目标节能量 S_i ，目标节能量与现在能耗的比例为目标节能率 η_i ，即

$$S_i = X_i - R, \quad \eta_i = \frac{S_i}{X_i} \times 100\%$$

这样可以根据定额对每个楼的节能工作提出目标要求，而且一定是现在能耗高的建筑物所需要实现的目标节能量和节能率都高，起到奖优罚劣的作用。

(4) 需要说明的是，以 $R = \bar{X} - \sigma$ 设定定额，是比较严格的要求。在实际运作时，也可以根据具体情况采用逐步推进的方式，即以下式的形式设定定额， $0 \leq a \leq 1$ 。这样，可以每年逐步提高 a 的取值，使得定额 R 从统计平均值 \bar{X} 逐步下降，定额要求逐步严格。

$$R = \bar{X} - a\sigma$$

具体应用实例见附件 1。

4、基于能源审计的分项定额确定方法

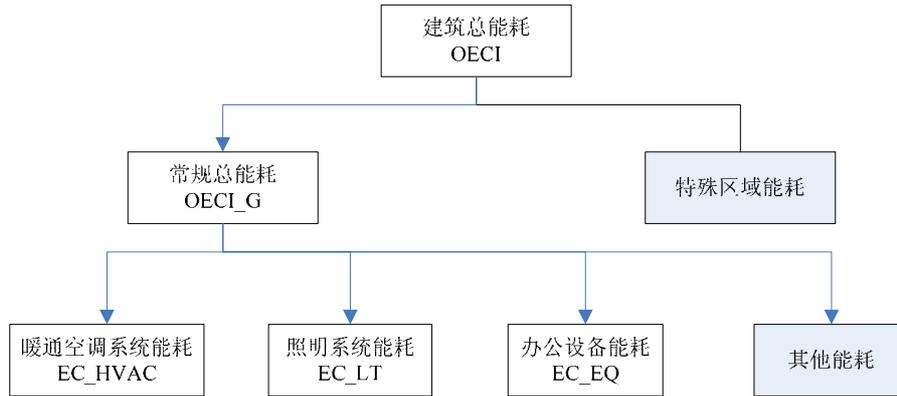
上述建筑总用能定额确定方法，使得建筑节能主管部门可以开始利用定额来督促各个大型公共建筑的业主推进节能工作。随着工作的推进，仅依靠总用能定额进行管理显然不够科学，而对于能耗超过定额的建筑物业主，也不清楚自己的建筑物究竟在哪些方面、哪些系统上能耗高于平均水平、或正常使用的要求。因此，分系统用能定额是更科学、更有效的管理模式，其难度在于准确获取建筑物中各分系统详细用能数据。

(1) 分项用能定额的主要指标

- 单位建筑面积全年常规总能耗 OE_{CI_G} 。即建筑的常规能耗总量与建筑面积的比值。“常规能耗”即总能耗减去特殊区域能耗。特殊区域能耗是指建筑各类特殊区域设备能耗量，暂不列为定额管理的目标。“特殊区域”是指采用特殊专业设备且终端能耗密度高的区域，如厨房、信息中心、洗衣房等。
- 单位建筑面积采暖空调通风系统全年耗电量 E_{CHVAC} 。即用于供暖、通风、空调系统的常规能源消耗与建筑面积的比值。
- 单位建筑面积照明系统全年耗电量 E_{CLT} 。即照明系统能耗与建筑面积的比值。
- 单位建筑面积办公设备（插座）全年耗电量 E_{CEQ} 。即室内设备能耗与建筑面积的比值。

(2) 用能定额管理的体系结构

如下图所示。需要说明的是，这一树状层次结构是可以延伸发展的：随着工作的深入，还可以进一步分项描述各个分系统能耗的构成。例如，暖通空调系统能耗还可以进一步分解为：冷冻站能耗，冷源系统能耗、冷冻机能耗、冷却泵能耗、冷冻泵能耗、空调系统末端风机能耗等，分别进行定额。

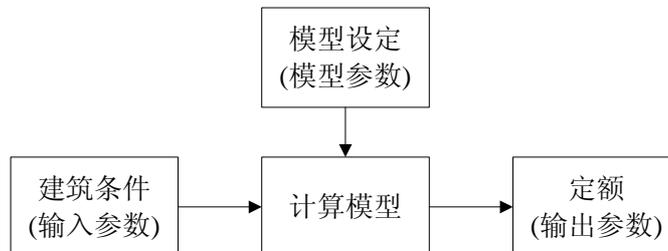


通过对大型公共建筑进行能耗审计和终端能源用户分拆，对分系统用能数据进行统计分析，可以逐步确定分系统用能定额。分系统定额可以用于查找能源浪费的环节、以及节能潜力所在，并且随着对问题的深入研究，可以进一步细分各种用能系统，使得管理更加精细和科学。分系统用能定额应是大型公共建筑不断发展的方向。具体应用实例见附件 1。

5、基于模拟分析个性定额确定方法

(1) 方法的基本思路

该方法主要是通过计算来确定各用能系统的定额，每一栋建筑物的定额都是不同的，方法的特点就在于充分考虑建筑物的个体差异，使得定额数值更加符合建筑物的实际使用情况，其思路可概括为下图：



其中建筑条件是计算模型的基本输入参数，指的是在计算定额时对以下状况予以承认：

- 1、建筑物的热性能，即承认已有的建筑围护结构状况；
- 2、建筑物的功能构成以及实际的使用要求，即承认其建筑使用的合理需求；
- 3、冷热源的主机设备，即承认主机设备的选型及其性能；

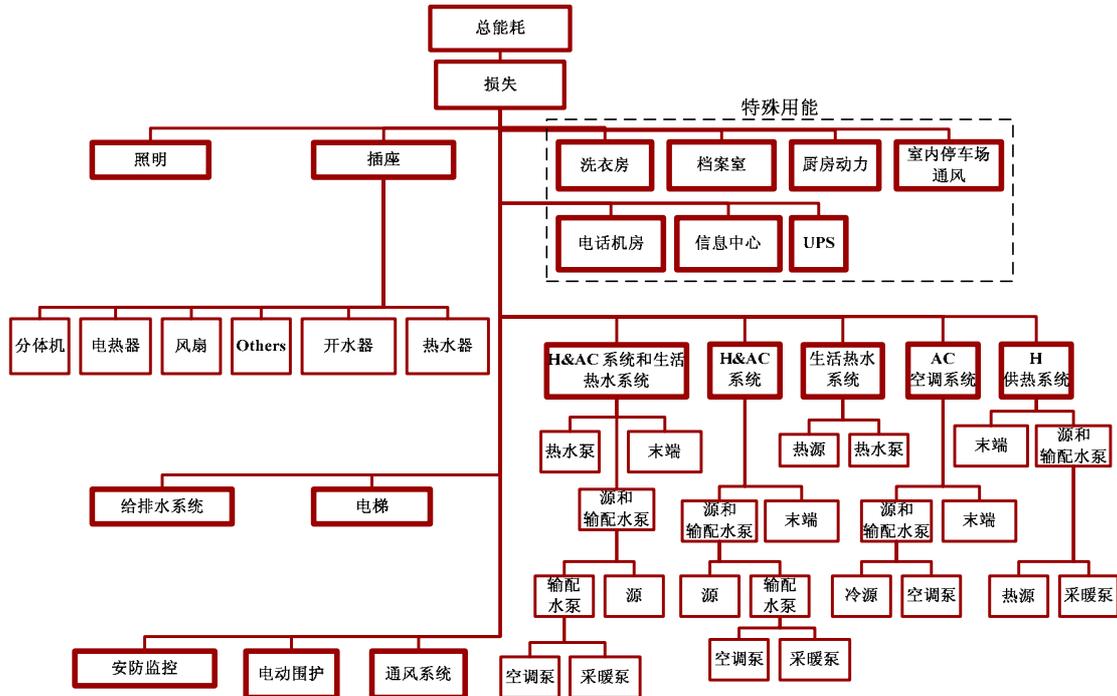
以上条件均为模拟分析的前提条件和计算时的输入参数。

根据已经承认的不同用能系统的需求大小，按照规范的原则确定对应系统设备的选型和性能，同时遵循节能运行的原则（在当前技术水平条件下能够通过无成本或低成本改造达到最终节能目标）给出系统及其设备的运行方式、控制调节要求以及系统不同设备直接的搭配运行原则，结合需求、选型和运行的信息即可计算出建筑物各分系统的合理能耗（即定额）。

模型设定指的是，为计算出定额，模型对用能系统的某些设备、连接形式、运行方式、控制调节方式做出的设定，这些设定以反映当前技术条件下能达到的水平为原则，从而体现定额制定的目标能够通过低成本改造来实现。

(2) 用能系统的统一分类体系

大型公共建筑物内的用能系统按照使用功能和用能特点建立统一的分类体系，作为分系统能源消耗定额的分类基准，其基本分类结构如下图所示：



(3) 应用该方法所需要的基本条件和数据

- 冷热源的主机设备的性能参数（考虑到获取的难度，替代方案是只获取基本参数，同时建立不同类型设备的无因次性能曲线）；
- 建立建筑物构成部分的功能类型的分类，并为不同功能类型建立相应的数据信息，比如该功能的照明功率密度值、该功能的典型作息。

(4) 应用该方法确定定额的数据分析过程

- 设计标准的建筑物基本信息表，通过现场调研或由业主直接上报有关围护结构、建筑物功能构成及其使用要求、冷热源主机设备、空调系统形式等信息；
- 根据这些基本信息，结合模型对于其他信息如系统运行原则、控制调节的基本要求、系统不同设备直接的搭配运行原则等的预设，对建筑物各分系统的合理能耗（即定额）进行计算。

(5) 应用该方法确定的定额形式

定额形式以反映对应的用能系统的用能特点为原则，规范定额形式有利于今后对定额数值进行比较和分析。下表给出了部分分系统的定额形式：

定额分类	政府机构办公楼	商用写字楼	宾馆酒店	商场
照明	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y
供暖	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y
空调	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y	kWh/m ² ·y
通风	kWh/m ³ ·y	kWh/m ³ ·y	kWh/m ³ ·y	kWh/m ³ ·y
生活热水	kWh/capita·y	kWh/capita·y	kWh/服务人次·y	——
饮用水	kWh/capita·y	kWh/capita·y	kWh/服务人次·y	——
室内设备	kWh/capita·y	kWh/capita·y	kWh/服务人次·y	?
餐厨	kWh/服务人次·y	kWh/服务人次·y	kWh/服务人次·y	kWh/服务人次·y

上表中宾馆和商用写字楼的单位面积应进行入住率/出租率的修正。

具体应用实例见附件 1。

(二) 大型公共建筑能耗定额管理实施方法研究

根据上述大型公共建筑能源消耗定额确定方法的研究以及具备的可操作性，课题组建议针对目前大型公建存在的主要问题，实施大型公建能耗定额管理，激励大型公建所有者、管理者积极参与到全社会的节能减排工作中。

1、大型公共建筑能耗定额管理概述

大型公共建筑能耗定额管理是指在准确计量建筑物使用过程中各项能耗基础上，由节能管理部门针对建筑物的具体情况制定动态合理的能耗定额指标；通过计量一定时间段内建筑物的各项实际能耗，与能耗定额指标进行对比，对于超过能耗定额部分实施一定的经济或行政惩罚，并修正能耗定额指标，从而实现持续地对建筑能耗进行定额管理的制度。

由于不同功能的建筑物在用能特点上存在差异，用能定额宜采取分类确定的方式，即针对不同功能的建筑物给出相应的定额，采取相应的定额管理方法。

由于大型公共建筑用能系统复杂，建筑物中不同功能的用能系统要求不同、特点不同，用能定额宜采取分系统确定的方式，即针对不同的用能分系统给出相应的定额，使得定额管理能够落实到各个分系统能耗相关的责任人，既确保定额的科学合理，又使定额管理落实到位。

2、实施大型公共建筑能耗定额管理的基础

大型公共建筑能耗定额管理的成功实施，需基于以下两点：

一是能够全面准确计量建筑的实际能耗情况。为了能科学合理的进行定额管理，必然要求能准确掌握建筑物中不同子系统的能耗情况，这在客观上要求对建筑能耗、特别是用电情况进行分项（系统）计量。目前，在北京市科委支持下，清华大学已经研发成功大型公共建筑用电分项计量与实时分析系统，并成功应用于 10 座在京大型公共建筑中。随着分项计量数据的积累、技术的推广，将使得实施大型公共建筑能耗定额管理的基础越来越坚固。

二是能够在能耗计量数据基础上准确确定建筑能耗的合理值（范围）。建筑作为一个综合能耗系统，不仅消耗的能源多种多样（煤、天然气、电等），而且用能系统错综复杂（如照明、空调、办公、炊事等）。每栋建筑本身和周边的情况又千差万别，从而又直接或间接影响到建筑能耗情况。因此准确确定建筑的合理值（范围）是一项科学的系统工程。作为实施建筑能耗定额管理的首要基础，在第二次报告中已有一定的研究，但仍需要积累大量实际经验、数据和案例，进一步深入。

3、依靠其他获取建筑能耗方法确定能耗定额的局限性

(1) 依靠建立大型公共建筑能耗统计和定期普查制度

大型公共建筑能耗统计是指一定的节能行政主管部门，统计本辖区内大型公共建筑的建筑面积、建筑类别、结构形式、往年能耗年度总量等基本信息，之后按季、年对能源数据进行采集统计，以普查数据作为建筑实际用能数据的方法。

已有的实践是：清华大学从 2004 年起，统计了北京市近 500 座大型公共建筑能耗相关的上述信息；上海市建筑科学研究院于 2006 年统计了浦东陆家嘴地区 74 栋大型公共建筑能耗相关的信息；深圳市建筑科学研究院 2005 年统计了深圳市 24 家政府机构大型办公建筑的能耗；清华大学从 2005 年起参与统计了中央国家机关和北京市政府机构 150 余座大型公共建筑的能耗。

上述实践的经验都表明：由于存在信息不对称，在利益驱动下，建筑物业主或管理单位存在故意向能耗统计机构提供经过修改后的能耗数据现象，这一现象在业主或管理单位得知能耗数据可能用于节能相关指标制订、或工作考评时，尤其严重。这使得统计数据的质量保证和真实性检验非常重要，否则依据不实数据确定的能耗定额很快就会成为弄虚作假的数字游戏。而检验能耗统计数据的准确性和真实性又增加了成本，使得能耗定额管理难以推行。

(2) 依靠建立大型公共建筑能耗抽样审计制度

抽样审计制度是指根据能耗统计结果，选取能耗总量大、社会影响大、各类型建筑中单位面积能耗排名靠前的建筑作为重点用能单位开展能源审计，从运行管理方面分析审计对象存在的问题、原因，提出用能系统节能运行管理的改进建议。审计内容包括：能源账目审查、运行管理制度审查、采暖空调系统的能耗简单的检测等。能耗审计可以作为定期普查制度的补充，以期在一定程度上遏制建筑管理单位谎报数据的情况。

清华大学从 1996 年起开展大型公共建筑节能诊断工作，对超过 100 座大型公共建筑进行过深入细致的能耗审计。然而，现实情况是，目前大型公建中普遍仅安装了 1-3 块收费用的电表，基于这些电表进行的能耗审计，无法为能耗定额确定和实施管理提供必要的基础数据。主要问题有：

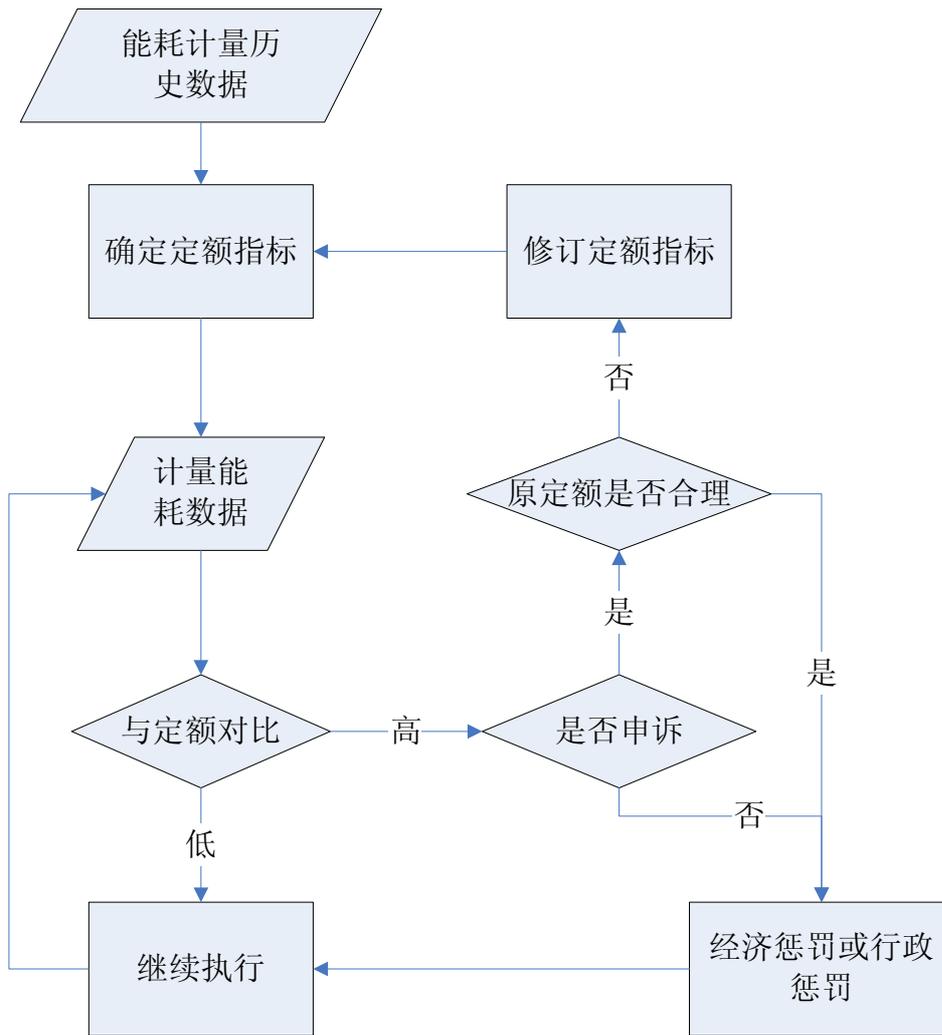
1) 分项能耗分拆数据不可靠。要了解某个用电支路的用能状况,就需要从总电量中通过某种拆分方法进行估算。实例发现,与实际计量数据相比,拆分结果偏差能达几倍。这样,由此得到的对用能状况的认识就可能对定额确定和节能工作的误导。

2) 供电局提供数据或者人工抄表数据缺乏实时性。供电局抄表提供的月电耗记录与采用实时计量得到的真实数据间也存在较大偏差,究其原因,发现是由于供电局读表时刻不规律所导致。而且,目前仅有的逐月数据无法满足能耗分析的需求,因为月能耗无法获知该建筑的白天、夜晚能耗情况,也不能对建筑用能的实时变化进行分析。这些数据可以用作收费的材料,却无法为能耗审计或确定定额提供必要的数据依据。

上述研究表明,通过统计能耗总量、审计拆分计算分项能耗等方法,都具有一定的局限性。通过分项计量获取能耗数据、确定定额指标、实施定额管理,是一种科学可行的大型公共建筑能耗管理实施方法,并且能够完全涵盖能耗统计或者能耗审计的功能。因此,建议在实际推行大型公共建筑能耗定额管理时,应先建立大型公共建筑用电分项计量与实时统计体系,根据自动定时采集的分项能耗数据,确定定额、实施管理。

4、大型公共建筑能耗定额管理的闭环管理模式

大型公共建筑能耗定额管理制度可建立在一个闭环管理的模式上,如下图所示:



这一管理模式主要由三个环节构成：

(1) 确定定额

在一定时期分项计量能耗数据的基础上，通过数理统计方法，确定建筑综合能耗指标和各能耗系统能耗指标，作为定额。通过数理统计的方法所确定的指标，可以是算术平均值，也可能是中位数，或者其他统计量，需要进一步研究各自之优劣。这样给出的定额指标，必然忽略了与每栋建筑具体能耗相关的大量因素，不很准确，因此只是第一步的一个参考指标，但可以以此开始实施定额管理。

(2) 实行奖惩

在(1)确定的定额指标基础上，对建筑管理单位实行“少奖多罚”，即根据每栋建筑一定时间段的能耗计量数据，与定额指标进行比较：

- 低于定额指标的建筑，可依少用之比例得到一定奖励或表扬，并继续执行定额管理；
- 高于定额指标的建筑，可依多用之比例，对多用能耗实施高于普通能耗价格数倍的惩罚价格，作为罚款。

注意：这里使用“少奖多罚”而并非“节奖超罚”，是因为定额管理所依据之能耗计量数据和指标的对比，可能并不能反映建筑实际上是节能的还是不节能的。但随着计量数据的不断积累和完善，最终可实现“节奖超罚”的目标。

(3) 允许申诉

出于对能耗定额不精确性之考虑，应建立能耗申诉制度，允许建筑物业主或管理单位向节能管理部门进行申诉，说明相应建筑在该时间段内的使用情况，并提出能耗超过定额的原因。节能管理部门在接受申诉后，应仔细核查分项计量能耗数据，如有必要时组织专家对相应建筑进行现场调研和测试，以核实建筑的实际能耗情况。若原有能耗定额指标合理，则维持不变，业主接受相应惩罚；若确实原有能耗定额不合理，则需在双方认可的能耗计量历史数据基础上，修订定额指标。这一申诉制度的实行，可以使能耗定额管理透明公正，可持续发展。

(三) 大型公共建筑能耗定额管理奖惩方法研究

1、划定大型公共建筑能耗定额管理奖惩范围的基本方法

不论是在总量能耗还是在分项能耗的层次上，都可按照如下方式确定定额和相应的定额域：

对于同类建筑物、同一用能指标 X 进行统计分析，求出调查样本的统计平均值和标准差，即：

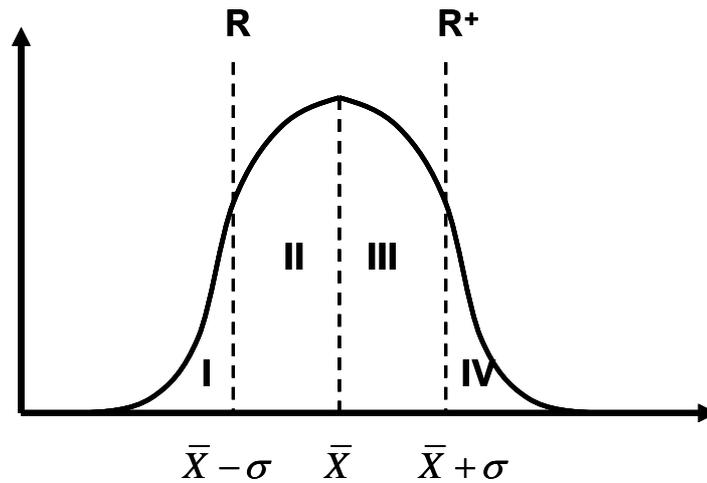
$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

当对大量样本进行统计分析之后，某项用能指标的定额 R 可确定为：

$$R = \bar{X} - \sigma$$

相应的定额域如下图所示：



这样，划分出四个域：

	下确界	上确界
I	-	R
II	R	\bar{X}
III	\bar{X}	$R^+ = 2\bar{X} - R$
IV	R^+	-

在开始实施定额管理时，节能管理部门应告知大型公共建筑的业主其能耗定额数量，以及其当前所处的位置，使其明确节能的任务和目标。当一定时期后进行考核时，根据能耗计量值其落在 I/II/III/IV 区的具体范围，可对超过定额部分的能耗征收梯级的能源消耗费，以区别对待。

需要说明的是，以 $R = \bar{X} - \sigma$ 设定定额，是比较严格的要求。在实际运作时，也可以根据具体情况逐步推进，即以下式的形式设定定额：

$$R = \bar{X} - a\sigma, \quad 0 \leq a \leq 1$$

这样，可以每年逐步提高 a 的取值，使得定额 R 从统计平均值 \bar{X} 逐步下降，定额要求逐步严格。

2、按梯级能源价格模式确定定额管理奖惩的基本方法

对于建筑物其能耗为 x ，基准能源价格为 P_0 。若未实施能耗定额管理，业主需要支付的能耗费用为：

$$M_0 = x \cdot P_0$$

当实施能耗定额管理时，业主除需支付 M_0 的能耗费用之外，额外需支付的能耗费用为：

$$\Delta M = M_1 + M_2 + M_3$$

$$M_1 = P_1 \cdot (x - R) \cdot \text{sign}(x - R)$$

$$M_2 = P_2 \cdot (x - \bar{X}) \cdot \text{sign}(x - \bar{X})$$

$$M_3 = P_3 \cdot (x - R^+) \cdot \text{sign}(x - R^+)$$

其中：

$$\text{sign}(x - y) = \begin{cases} 1, & x - y > 0 \\ 0, & x - y \leq 0 \end{cases}$$

$P_1/P_2/P_3$ 为相应的能源价格。这样，当建筑物实际能耗落于各个区时，其需要支付的额外能耗费用和总能耗费用如下表所示：

		额外能耗费用	总能耗费用
I	$R < x$	0	M_0
II	$R \leq x < \bar{X}$	M_1	$M_0 + M_1$
III	$\bar{X} \leq x < R^+$	$M_1 + M_2$	$M_0 + M_1 + M_2$
IV	$x > R^+$	$M_1 + M_2 + M_3$	$M_0 + M_1 + M_2 + M_3$

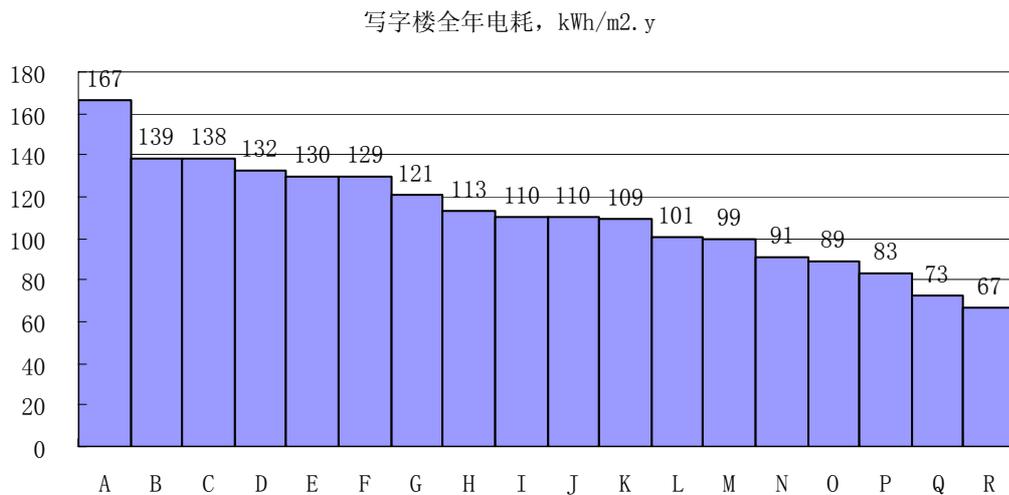
这样，即使取 $P_0 = P_1 = P_2 = P_3$ ，那么，超过定额 R 的部分能耗，也分别被 2 倍加价、3 倍加价和 4 倍加价。在实施时，还可根据具体情况确定 $P_1/P_2/P_3$ 相应的能源价格，使得业主交纳超额能耗费用高于实施节能改造的投入，实现梯级能源价格惩罚。

3、按梯级能源价格模式确定定额管理奖惩的案例分析

以北京市的商业写字楼、政府办公楼、大型商场、星级宾馆饭店等四类典型大型公共建筑总能耗定额为例，应用上述梯级能源价格奖惩方式，试算当实施能源定额管理后的能耗费用。

(1) 商业写字楼，样本个数：18

各建筑物总体用能指标如下图所示。



计算得到

$$\bar{X} = 111.2, \quad \sigma = 25.7$$

以 $R=85.5\text{kWh/m}^2.y$, $R+=136.8\text{kWh/m}^2.y$ 。

按上述能源梯级价格进行计算，得到下表。其中：

$$\text{超额部分等效惩罚电价} = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{x - R}$$

$$\text{超额惩罚电费比例} = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{M_0}$$

电费取 $P_0=P_1=P_2=P_3=0.8$ 元/kWh。

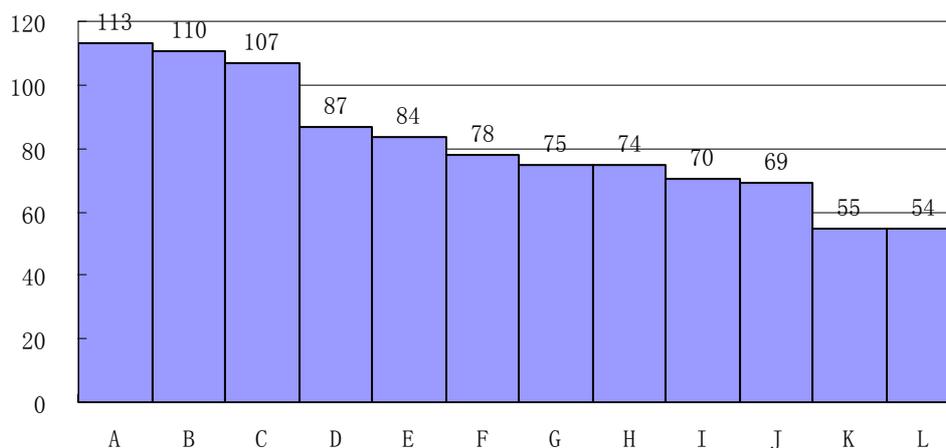
建筑	电耗 x	M0	M1	M2	M3	M1+M2+ M3	超额等 效惩罚 电价	超额惩 罚电费 比例
	kWh/m ² . y			元/m ² . y			元/kWh	
A	166.86	133.49	65.08	44.56	24.03	133.67	1.64	100.1%
B	138.54	110.83	42.43	21.90	1.37	65.69	1.24	59.3%
C	138.08	110.47	42.06	21.54	1.01	64.61	1.23	58.5%
D	132.37	105.89	37.49	16.96		54.45	1.16	51.4%
E	129.88	103.91	35.50	14.97		50.48	1.14	48.6%
F	129.20	103.36	34.96	14.43		49.38	1.13	47.8%
G	121.03	96.82	28.42	7.89		36.31	1.02	37.5%
H	113.26	90.61	22.21	1.68		23.89	0.86	26.4%
I	109.93	87.94	19.54			19.54	0.80	22.2%
J	109.86	87.89	19.48			19.48	0.80	22.2%
K	109.03	87.22	18.82			18.82	0.80	21.6%
L	101.09	80.87	12.47			12.47	0.80	15.4%
M	99.41	79.52	11.12			11.12	0.80	14.0%
N	91.10	72.88	4.48			4.48	0.80	6.1%
O	88.86	71.09	2.68			2.68	0.80	3.8%
P	82.92	66.33						
Q	73.00	58.40						
R	66.56	53.25						

可以看出：一方面，实行梯级能源价格对超定额部分实施经济惩罚方法，力度较大，一半的业主将为超额能耗额外支付每平米、每年 20~30 元的费用，比现有能耗费用多四分之一，必将刺激业主的节能需求。另一方面，对于某些能耗高的建筑物而言，若征收超额能耗惩罚费则达到现有能耗费的 150~200%，也是相对高的一笔费用，很可能业主会通过申诉过程置疑能耗定额准确性和合理性，因此仅通过总能耗显然不够科学、准确，进一步实施分项计量和实时分析系统、积累大量数据和案例，才能科学、合理地确定能耗定额，被社会所接受和认可。

(2) 政府办公楼，样本个数：12

各建筑物总体用能指标如下图所示。

政府办公楼年耗电量 kWh/m². a



计算得到

$$\bar{X} = 81.4, \sigma = 19.8$$

以 $R=61.56\text{kWh/m}^2.y$, $R+=101.23\text{kWh/m}^2.y$ 。按上述能源梯级价格进行计算，

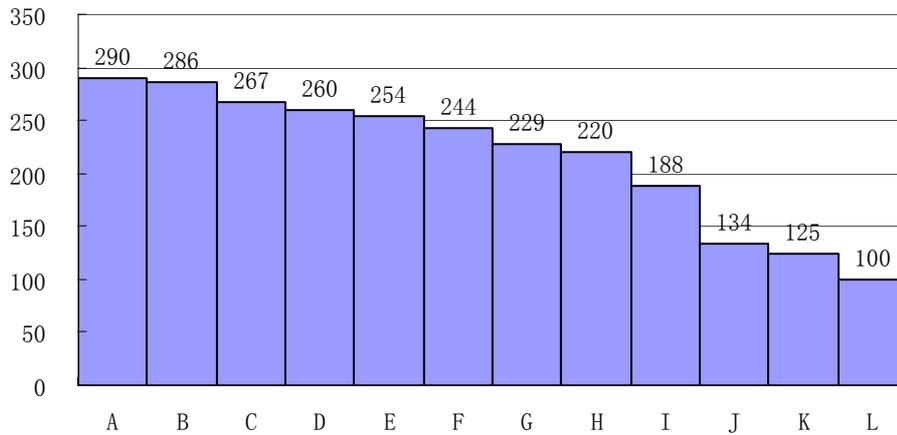
得到下表：

建筑	电耗 x kWh/m ² . y	M0	M1	M2	M3	M1+M2+ M3	超额等 效惩罚 电价 元/kWh	超额惩 罚电费 比例
		元/m ² . y						
A	113.00	90.40	41.15	25.28	9.42	75.85	1.47	83.9%
B	110.39	88.31	39.06	23.19	7.33	69.58	1.43	78.8%
C	106.90	85.52	36.27	20.40	4.54	61.21	1.35	71.6%
D	86.60	69.28	20.03	4.16		24.20	0.97	34.9%
E	83.77	67.02	17.77	1.90		19.67	0.89	29.3%
F	78.00	62.40	13.15			13.15	0.80	21.1%
G	74.68	59.74	10.50			10.50	0.80	17.6%
H	74.47	59.58	10.33			10.33	0.80	17.3%
I	70.45	56.36	7.11			7.11	0.80	12.6%
J	69.21	55.37	6.12			6.12	0.80	11.1%
K	54.92	43.93						
L	54.36	43.49						

(3) 大型商场，样本个数：12

各建筑物总体用能指标如下图所示。

商场全年电耗, kWh/m².y



计算得到

$$\bar{X} = 216.2, \sigma = 65.1$$

调整系数 a, 取 a=0.5, 计算得到 $R = \bar{X} - 0.5\sigma = 183.7 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 。

以 $R=183.7 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$, $R+=248.8 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 。按上述能源梯级价格进行计算,

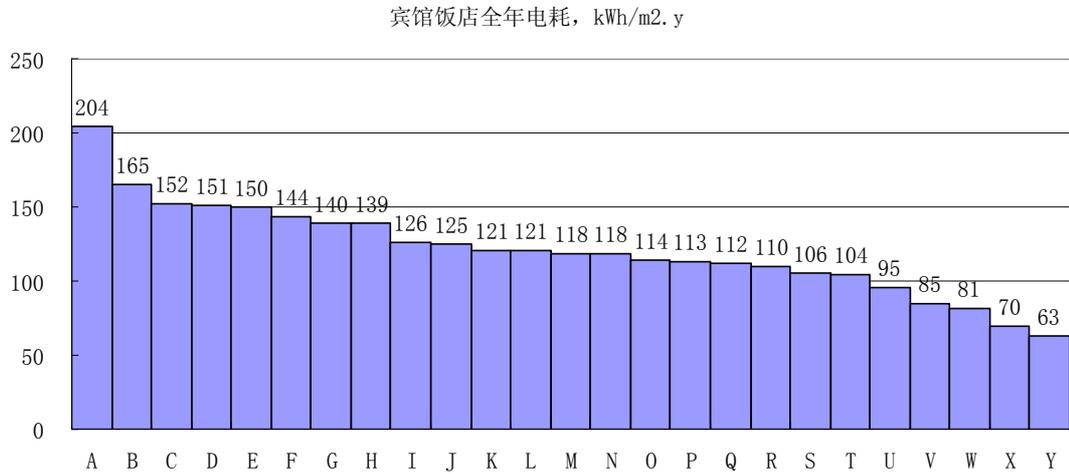
得到下表:

建筑	电耗 x kWh/m ² .y	M0	M1	M2	M3	M1+M2+ M3	超额等 效惩罚 电价 元/kWh	超额惩 罚电费 比例
		元/m ² .y						
A	289.73	231.79	84.84	58.79	32.74	176.36	1.66	76.1%
B	286.22	228.98	82.03	55.98	29.93	167.93	1.64	73.3%
C	266.99	213.59	66.64	40.59	14.54	121.78	1.46	57.0%
D	260.24	208.19	61.24	35.19	9.14	105.58	1.38	50.7%
E	253.97	203.17	56.23	30.18	4.12	90.53	1.29	44.6%
F	243.52	194.81	47.87	21.81		69.68	1.16	35.8%
G	228.57	182.86	35.91	9.86		45.77	1.02	25.0%
H	219.74	175.79	28.84	2.79		31.64	0.88	18.0%
I	187.58	150.07	3.12			3.12	0.80	2.1%
J	133.72	106.98						
K	124.57	99.66						
L	100.13	80.11						

由于样本较少, 个体差异较大 (个别能耗较小的样本拉低了能耗定额值), 因此能耗定额可能无法反映建筑物实际正常用能状况。这也说明仅仅统计能耗总量制订定额是不科学、不准确的。

(4) 星级宾馆饭店，样本个数：25

各建筑物总体用能指标如下图所示。



计算得到

$$\bar{X} = 121.1, \quad \sigma = 31.0, \quad R = \bar{X} - \sigma = 90.1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$$

适当调整系数取 $a=0.6$ ，计算得到 $R = \bar{X} - 0.6\sigma = 102.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 。

以 $R=183.7 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ ， $R+=248.8 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 。按上述能源梯级价格进行计算，得到下表：

建筑	电耗 x	M0	M1	M2	M3	M1+M2+ M3	超额等 效惩罚 电价	超额惩 罚电费 比例
	kWh/m ² . y			元/m ² . y			元/kWh	
A	204.45	163.56	81.58	66.69	51.79	200.06	1.96	122.3%
B	165.28	132.22	50.24	35.35	20.45	106.04	1.69	80.2%
C	151.67	121.33	39.35	24.46	9.56	73.37	1.49	60.5%
D	150.83	120.66	38.68	23.79	8.89	71.36	1.48	59.1%
E	149.93	119.94	37.96	23.07	8.17	69.21	1.46	57.7%
F	143.87	115.10	33.12	18.22	3.33	54.67	1.32	47.5%
G	139.51	111.61	29.63	14.73		44.36	1.20	39.7%
H	138.71	110.97	28.99	14.09		43.08	1.19	38.8%
I	125.95	100.76	18.78	3.88		22.66	0.97	22.5%
J	124.99	99.99	18.01	3.12		21.13	0.94	21.1%
K	120.91	96.73	14.75			14.75	0.80	15.2%
L	120.53	96.43	14.45			14.45	0.80	15.0%
M	118.37	94.69	12.72			12.72	0.80	13.4%
N	118.06	94.45	12.47			12.47	0.80	13.2%
O	114.38	91.51	9.53			9.53	0.80	10.4%
P	112.80	90.24	8.26			8.26	0.80	9.2%
Q	112.22	89.78	7.80			7.80	0.80	8.7%
R	109.87	87.90	5.92			5.92	0.80	6.7%
S	105.92	84.74	2.76			2.76	0.80	3.3%
T	104.27	83.41	1.43			1.43	0.80	1.7%
U	95.28	76.22						
V	84.89	67.91						
W	81.35	65.08						
X	70.05	56.04						
Y	63.27	50.62						

4、大型公共建筑建筑能耗定额管理之奖惩力度初步分析

奖惩力度是建筑能耗定额管理成功实施的关键环节之一，确定奖惩力度与节能管理机构的管理目的有关，也与节能的收益和成本有关。其中：

- 节能收益

是指假设实施节能改造，在付出一定的改造成本后，每年所节约的能源可按当年价格转换为现金流，以改造年为基准年折现后，减去改造成本后的差值，较简便的计算方法如下式所示：

$$\text{节能收益} = (\text{能耗指标值} - \text{定额}) \times \text{电价} \times \text{建筑面积} - \text{节能改造成本}$$

- 节能成本

计算方法如下式所示：

$$\text{节能成本} = \text{培训成本} + \text{用能成本} + \text{排污成本}$$

- 培训成本

指的是对建筑管理者和实际运行人员进行建筑节能意识和技术培训所需的经费，从这一角度来看，不仅可以较为合理确定罚款额度，而且给出了罚款的主要用途。建筑节能意识和技术培训这项工作本身是一项具有正外部性的工作。

- 用能成本

指的是经计算得到的少用或多用的能源的机会成本，表示与能源直接相关的外部性。它与建筑类型、规模及采用的围护结构相关，是充分考虑这些因素后计算的结果。

- 排污成本

指的是由于能源少用或多用还与污染排放直接相关，可通过计算污染排放的社会成本得到这部分外部性。

根据上述节能收益和节能成本分析，目前有两种确定奖惩力度的方式可供采用：

- 比例系数法

即建筑实际能耗比定额高的比例与奖惩力度之间保持简单比例关系。比例系数可针对不同的管理对象、楼宇类型和规模以及问题症结选取不同的数值，但原则上，每年课以的罚款应不大于当年实施节能改造所可能取得收益净现值（即假设实施节能改造，在付出一定的改造成本后，每年所节约的能源可按当年价格转换为现金流，以改造年为基准年折现后，减去改造成本后的差值）。此种方法较为简单易行。

- 外部性法

既然实施节能改造对于建筑管理单位而言是有利可图的，那么现在节能工作未能全面展开的根本原因，除了产权方面的问题外，就是管理者缺乏建筑节能意识或相应的节能技术。那么，罚款额度的确定就可从以下角度考虑：

(1) 对建筑管理者和实际运行人员进行建筑节能意识和技术培训所需的经费，从这一角度来看，不仅可以较为合理确定罚款额度，而且给出了罚款的主要用途。建筑节能意识和技术培训这项工作本身是一项具有正外部性的工作。

(2) 由于建筑本身少用能或多用能本身即具有正的或负的外部性，那么亦可以从这一角度出发确定奖惩力度。可以计算两个方面的外部性并加总得到总外部性，首先可计算少用或多用的能源的机会成本，表示与能源直接相关的外部性；其次由于能源少用或多用还与污染排放直接相关，可通过计算污染排放的社会成本得到这部分外部性。

上述节能收益和成本分析，初步分析了确定大型公共建筑能耗定额管理的奖惩力度的因素，将随着定额管理的实施，逐步完善。

五、政策建议

(一) 选择示范省市，开展大型公共建筑能耗定额管理和实行阶梯能源价格的试点工作

针对大型公共建筑存在的能耗高、缺乏激励机制等问题，应尽快选择合适的省或市开展大型公共建筑能耗定额管理和实行阶梯能源价格的试点工作。通过具体实施定额管理和阶梯能源价格，发现存在的问题，及时总结经验，不断完善能耗定额确定方法，调整阶梯能源价格的力度，尽快构建适合市场经济体制的大型公共建筑节能激励机制。

(二) 积极推动大型公共建筑节能工作，对大型公共建筑的节能工作给予一定政策倾斜

大型公共建筑作为一个重点节能领域，应该给予大力扶持。尤其对公益性比

较强的活动,应该进一步加大资金扶持力度,确保其在市场经济条件下的公益性。第一,加大对大型公共建筑节能评审和监督环节的资金扶持力度;第二,加大对大型公共建筑节能信息传播、培训和宣传活动的资金扶持力度;第三,加大对公共建筑节能方面政策研究的资金扶持力度,尽快研究和出台《大型公共建筑节能管理办法》、《大型公共建筑节能能量确认方法》、《大型公共建筑能源消费分项计量管理办法》等政策文件;第四,对大型公共建筑节能改造项目,结合节能效果和节能投入,给予资金方面的鼓励,拉动既节能又节钱的效应,实现“参与节能的各方共赢”的效果;第五,对节能性能超过国家强制性能效标准要求的大型公共建筑和相关用能设备,给予优惠政策扶持;第六,对大型公共建筑节能审计和节能诊断的活动给予资金支持,尤其是在政府机构的节能审计方面要加大资金投入力度。

(三) 加强针对大型公共建筑的节能信息传播与培训, 宣传国家的节能政策和大型公共建筑的节能技术

为克服大型公共建筑业主缺乏节能专业知识的障碍,应该对包括大型公共建筑的业主负责人、物业和后勤部门以及相关节能服务公司和设备供应商等在的人员加强节能政策信息、节能案例、节能设备、节能技术及节能管理经验的传播,有针对性的根据不同人群、不同类型建筑、不同管理体系开展多种形式的培训和现场交流活动,推动大型公共建筑不断提高能源利用效率和科学管理水平。

(四) 大力支持采取“合同能源管理”模式的节能服务公司实施大型公共建筑节能项目

按照市场化“合同能源管理”模式的节能服务公司是推动大型公共建筑节能工作的生力军。一方面要不断提高节能服务公司在开展大型公共建筑能源诊断、节能技术咨询、节能融资等方面的能力,与国际水平接轨;另一方面建议尽快出台鼓励节能服务公司实施大型公共建筑节能项目的财税优惠政策和节能融资政策,并积极支持节能服务公司探索符合中国国情的大型公共建筑节能服务模式。

参考文献

- [1]. 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2007. 中国建筑工业出版社
- [2]. 谢仲华, 龙惟定. 建筑采暖空调能耗与节能潜力分析. 能源技术, 2002 (3): 158~161
- [3]. 梁珍, 赵加宁, 郭骏. 高层办公建筑能耗调查与节能潜力分析. 节能技术, 2001, 19 (1)
- [4]. 杨洁, 涂光备. 天津神户公共建筑能耗调查及空调制冷系统节能分析. 暖通空调, 2002, 32 (1): 40~42
- [5]. 李玉云, 张春枝, 曾省稚. 武汉市公共建筑集中空调系统能耗分析. 暖通空调, 2002, 32 (4)
- [6]. Shi-Ming Deng and John Burnett. A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong. Energy and Buildings, 2000 (31): 7~12
- [7]. W.L.Lee and F.W.H. Yik. A strategy for prioritizing interactive measures for enhancing energy efficiency of air-conditioned buildings. Energy, 2003 (28): 87-89
- [8]. Philip C.H.Yu and W.K.Chow. Energy use in commercial buildings in Hong Kong. Applied Energy, 2001 (69): 243~255
- [9]. Joseph C. Lam. Electricity consumption characteristics in shopping malls in subtropical climates. Energy Conversion and Management, 2003 (44): 1391~1398
- [10]. 林宪德. 热湿气候的绿色建筑. 台湾: 詹氏书局, 2003. P28
- [11]. 薛志峰. 大型公共建筑节能研究. 清华大学博士学位论文. 2005.12
- [12]. 江亿等. 中国建筑节能年度发展研究报告 2007. 中国建筑工业出版社
- [13]. 李佳鹏. 高能耗建筑加剧能源危机 建筑节能工作刻不容缓. 经济参考报. 2004年10月18日
- [14]. 陈二厚. 建设部部长: 中国建筑能耗是发达国家的2至3倍. 北京现代商报. 2004年5月9号
- [15]. 湖南建设网. 欧盟建筑能源性能指令及对制定我国建筑节能法律法规的启示. <http://www.hunanjs.gov.cn/news/2006-9-27/104650.html>
- [16]. Detlef Westphalen And Scott KosZalinski. 2001. Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HVAC Systems.
- [17]. Bernard Aebischer. Impact of climate change on energy demand in the Swiss service sector—and application to Europe. the International Conference on Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings (IEECB' 06), Frankfurt, Germany, 26/27 April 2006
- [18]. Qingpeng wei. Dr.. Energy consumption in large scale commercial

buildings. HKAEE. Oct. 2006

- [19]. Francois Marechal, Daniel Favrat, Eberhard Jochem. Energy in the perspective of the sustainable development: the 2000 W society challenge. P reprint submitted to Journal of Cleaner Production. 4 June 2004
- [20]. Mahadev Raman. Aspects of Energy Consumption in Tall Office Building. Committee 12C-Environmental Design
- [21]. 江亿, 薛志峰. 北京市建筑用能现状与节能途径分析. 暖通空调, 2004, 34 (10): 13~16
- [22]. 陈超, 渡边俊行, 谢光亚, 于航. 日本的建筑节能观念与政策. 暖通空调, 2002, 32 (6): 40~43
- [23]. ASHRAE. ASHRAE Standard 90-1975, Energy Conservation in new building design. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 1975
- [24]. ASHRAE. ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1989, Energy efficient design of new buildings except low-rise residential buildings. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 1989
- [25]. 薛志峰, 江亿. 商业建筑的空调系统能耗指标分析. 暖通空调, 2005, 35 (1): 37~41
- [26]. Shi Ming Deng, John Burnett. A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong. Energy and Building, 2001, 31: 7~12
- [27]. Wailing Lee, Francis W H Yik, John Burnett. Simplifying energy performance assessment in the Hong Kong Building Environmental Assessment Method, Building Services Engineering Research & Technology, 2001, 22 (2): 113~132
- [28]. R G Zmeureanu, Z A Hanna, P Fazio, J G Silverio. Energy Performance of Hotels in Ottawa. ASHRAE Transactions, 1994, 100 (1): 314~322
- [29]. 日本节能中心. エネルギー管理支援ツール v1.0 操作説明書. 日本, 省エネルギーセンター, 2004
- [30]. 美国能源部. COMcheck-EZ Software User's Guide for the 2001 IECC and 2003 IECC. US, Department of Energy, 2004
- [31]. 美国能源部. COMcheck-EZ Software User's Guide for 90.1-1989. US, Department of Energy, 2004
- [32]. 美国能源部. COMcheck-EZ Software User's Guide for 90.1-1999 and 90.1-2001. US, Department of Energy, 2004
- [33]. 美国能源部. COMcheck-EZ Software User's Guide for the 1998 IECC. US, Department of Energy, 2004

- [34]. 美国能源部. REScheck Software User's Guide. US, Department of Energy, 2004
- [35]. 袁伟亮. 商业建筑能耗指标、评价方法及北京市商业建筑能耗分析. 学士学位论文, 清华大学, 2005

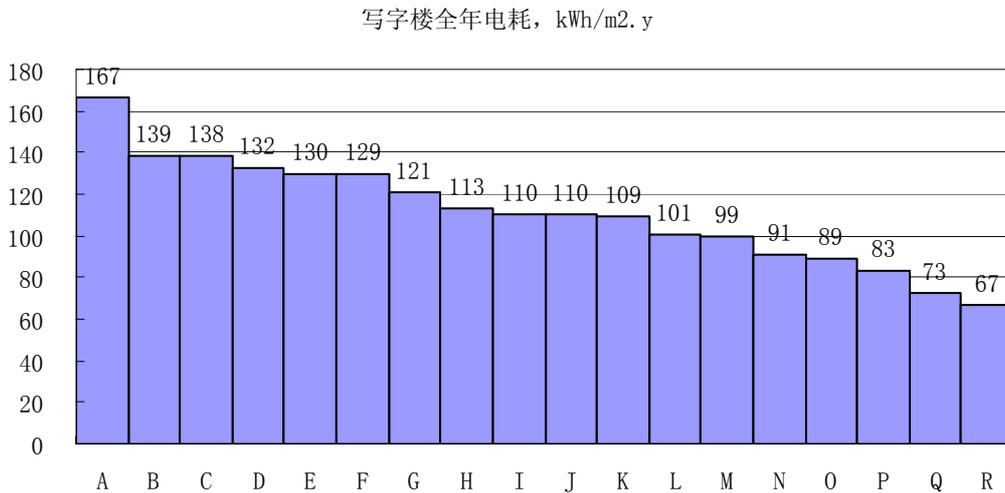
附件

应用实例 1：北京市四类主要大型公共建筑总体能耗定额的确定

受北京市发改委、规委、建委、科委，以及国务院机关事务管理局等单位委托，清华大学对北京市百余座大型公共建筑能耗状况进行调研，对其中六十余座建筑物进行重点调查，对二十余座在京中央国家机关和北京市政府机构办公建筑进行详细的能源审计和节能诊断，建立了大型公共建筑能耗数据库，现有全国五百多座大型公共建筑的基本信息和能耗数据。根据这些基础条件，应用上述能耗定额确定方法，以北京市为例，给出包括商业写字楼、政府办公楼、大型商场、星级宾馆饭店等四类典型大型公共建筑的能耗定额。

(1) 商业写字楼，样本个数：18

各建筑物总体用能指标 OECl 如下图所示。

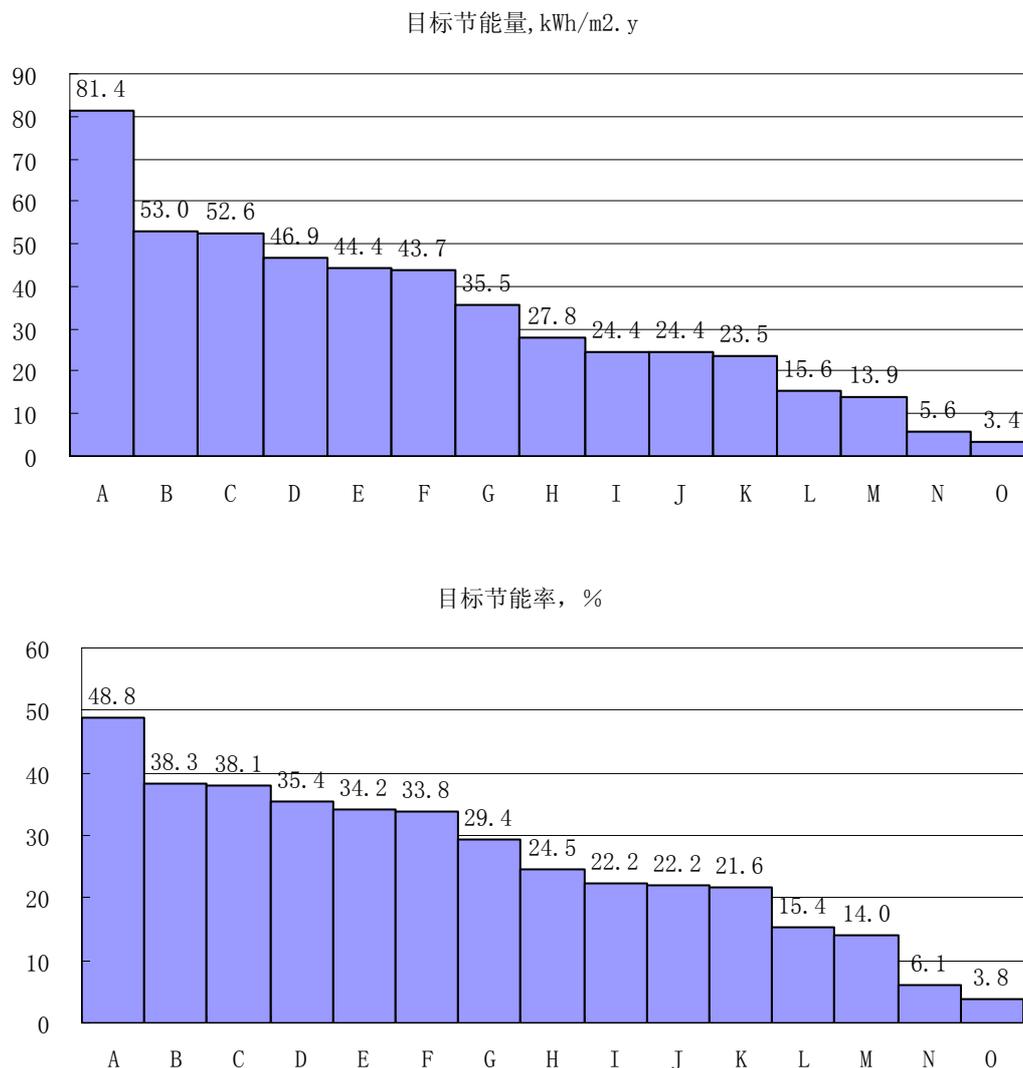


计算得到

$$\bar{X} = 111.2, \sigma = 25.7, R = \bar{X} - \sigma = 85.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$$

以 $R=85.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 为定额，18 个样本建筑物中有 15 座需要加强节能，比例约

83.3%，定额管理的覆盖面较广。计算目标节能量和目标节能率，如下图所示。

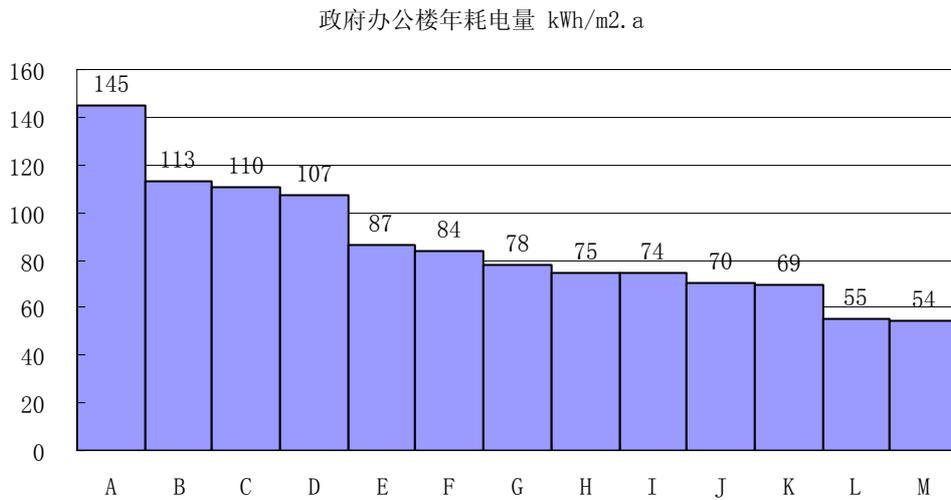


平均目标节能量 33.1kWh/m².y，平均目标节能率 25.8%。可以看出，推进节能的力度相当大。根据经验，这一目标是可以低成本/无成本改造实现的。对于目标节能量和节能率最高的建筑物，应进一步仔细分析。

注：样本包括长安俱乐部，发展大厦，泛利大厦，光华长安大厦，国航大厦，国投物业北京二分公司，华茂物业管理中心，金隅大厦，科伦大厦有限公司，联合大厦，平安大厦，赛特大厦，赛特广场，腾达大厦，月坛大厦，中服大厦，中国人寿大厦，中仪大厦等

(2) 政府办公楼，样本个数：13

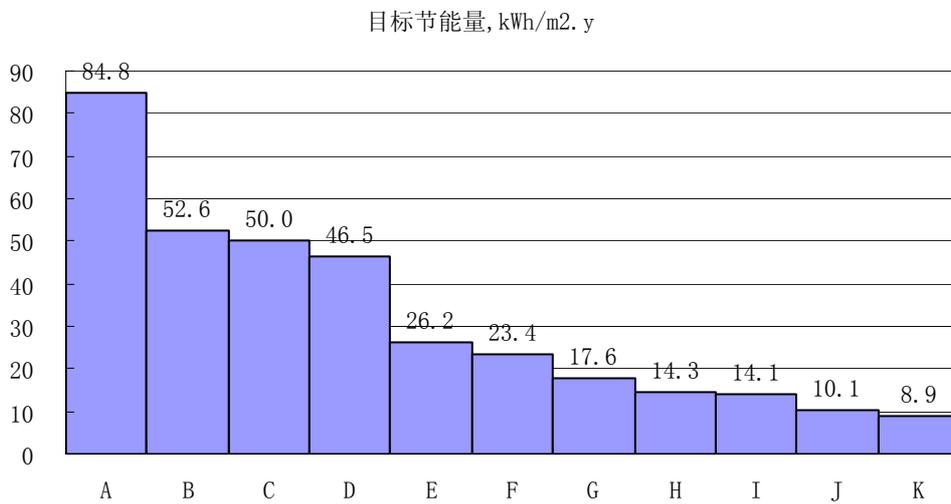
各建筑物总体用能指标 OECI 如下图所示。



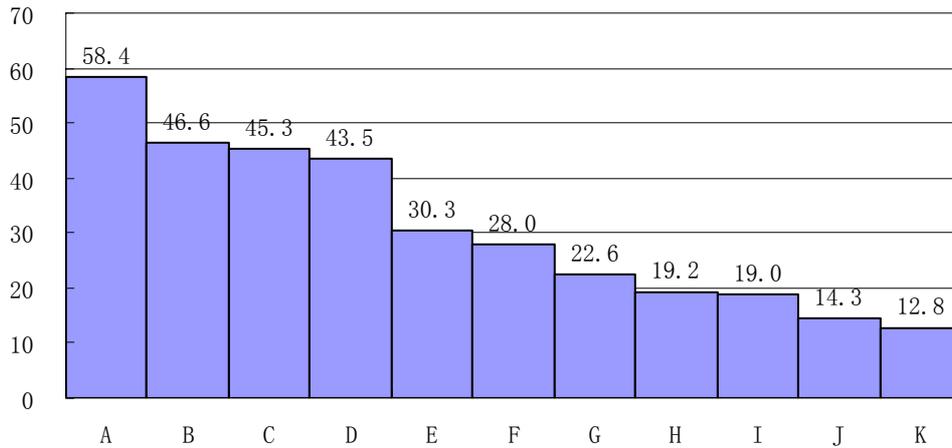
计算得到

$$\bar{X} = 86.3, \sigma = 25.9, R = \bar{X} - \sigma = 60.4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$$

以 $R=60.4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 为定额，13 个样本建筑物中有 11 座需要加强节能，比例约 84.6%，定额管理的覆盖面较广。计算目标节能量和目标节能率，如下图所示。



目标节能率, %



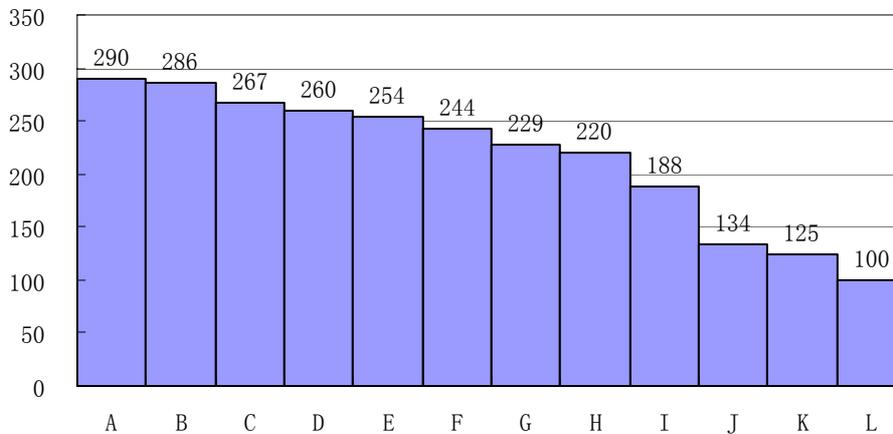
平均目标节能量 31.7kWh/m².y，平均目标节能率 30.9%。可以看出，推进节能的力度相当大。根据经验，这一目标是可以低成本/无成本改造实现的。对于目标节能量和节能率最高的建筑物，应进一步仔细分析。

注：样本包括国务院，发改委，国资委，中联部，民政部，卫生部，广电总局，国家统计局，全国妇联，中国人民银行等

(3) 大型商场，样本个数：12

各建筑物总体用能指标 OECI 如下图所示。

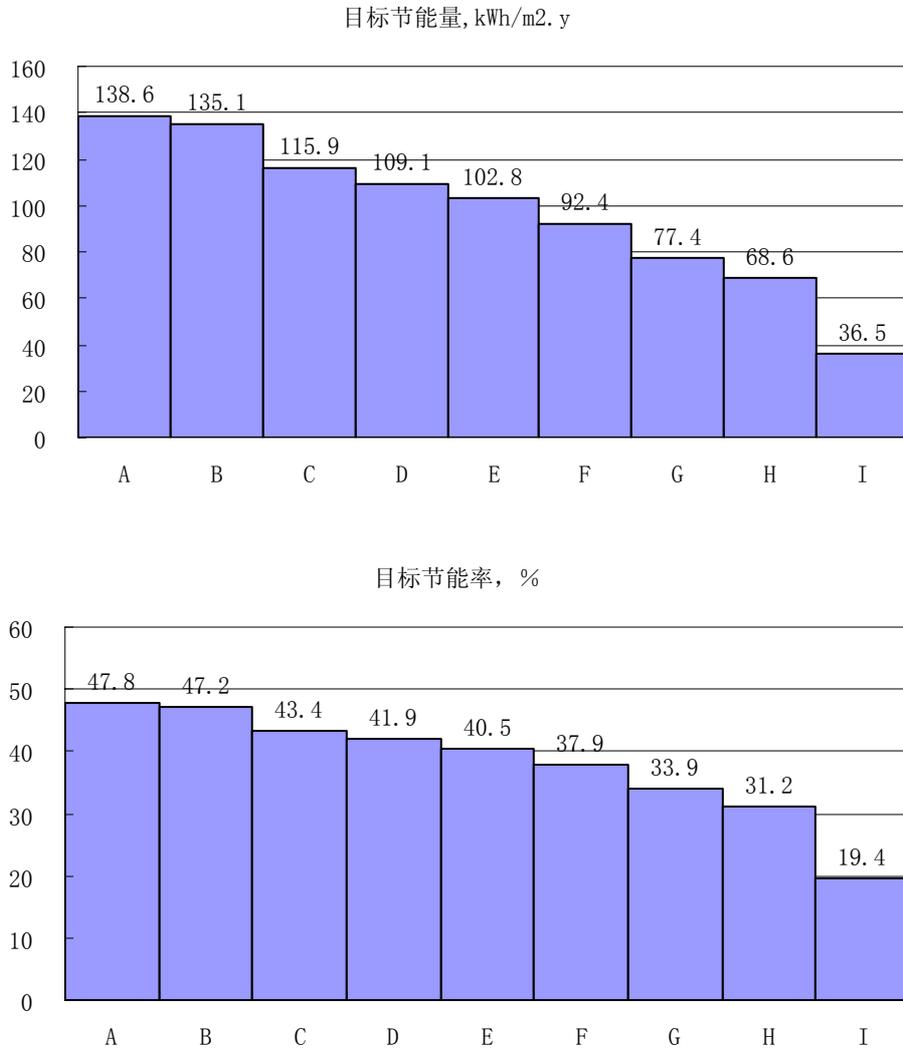
商场全年电耗, kWh/m².y



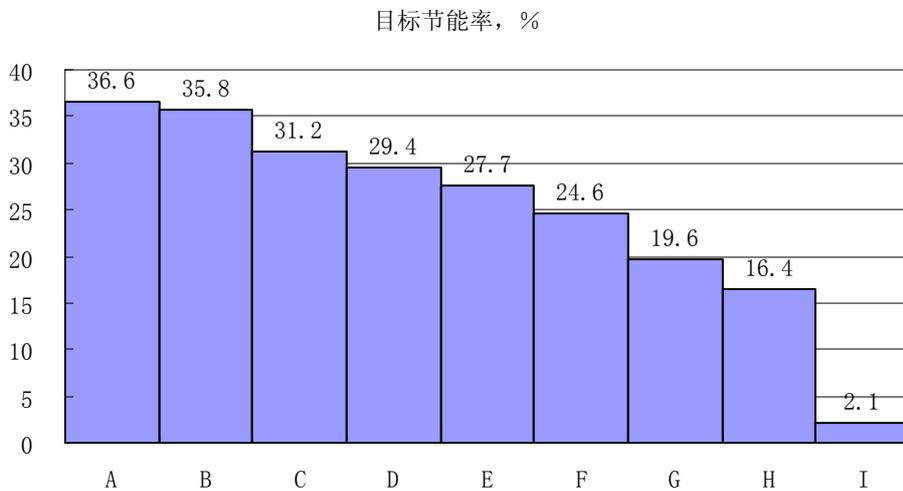
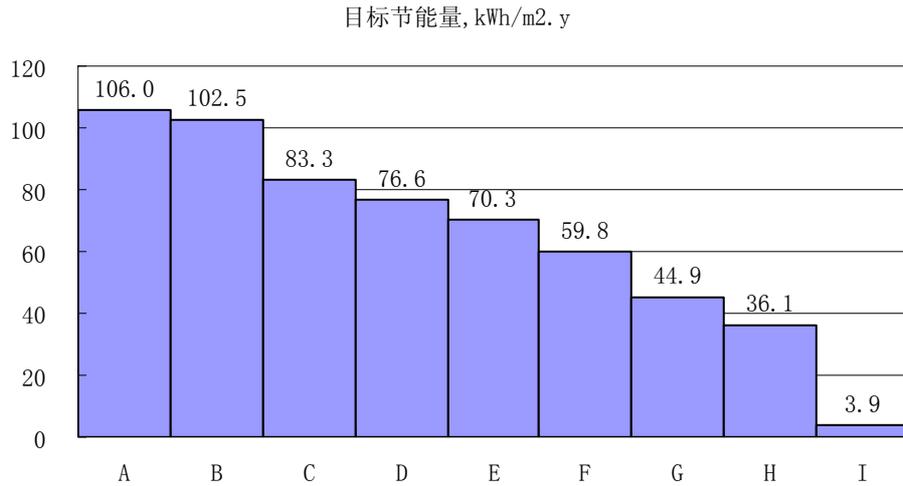
计算得到

$$\bar{X} = 216.2, \sigma = 65.1, R = \bar{X} - \sigma = 151.1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$$

以 $R=151.1\text{kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 为定额，12 个样本建筑物中有 9 座需要加强节能，比例约 75%，定额管理的覆盖面较广。计算目标节能量和目标节能率，如下图所示。



平均目标节能量 $97.4\text{kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ ，平均目标节能率 38.2%。根据经验，这一推进节能的力度有些过大，目标可能很难通过低成本/无成本改造实现。出现这一问题这与样本之间差异过大有关，也与样本数量较少有关。因此，调整系数 a ，例如取 $a=0.5$ ，计算得到 $R = \bar{X} - 0.5\sigma = 183.7\text{kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 。重新计算目标节能量和目标节能率，如下图所示。



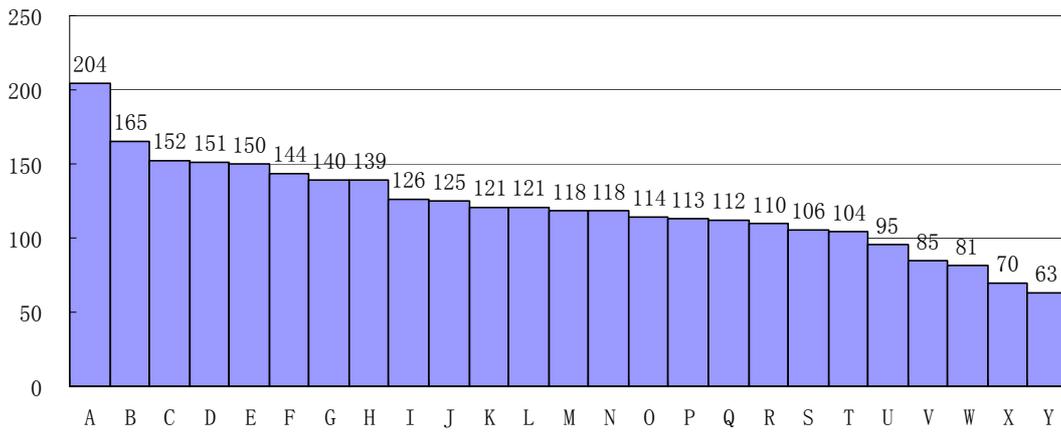
重新计算得到的平均目标节能量 64.8kWh/m².y，平均目标节能率 24.8%。根据经验，这一推进节能的力度较合理，目标可以难通过低成本/无成本改造实现。

注：样本包括百货大楼（王府井百货（集团）股份有限公司），百盛购物中心，长安商场，城乡贸易中心，丹耀大厦，当代商城，贵友大厦，双安商场责任有限公司，王府井工美大厦，西单商场-西单商场股份有限公司，西单世纪明珠百货有限公司，中友百货等

（4）星级宾馆饭店，样本个数：25

各建筑物总体用能指标 OECl 如下图所示。

宾馆饭店全年电耗, kWh/m².y



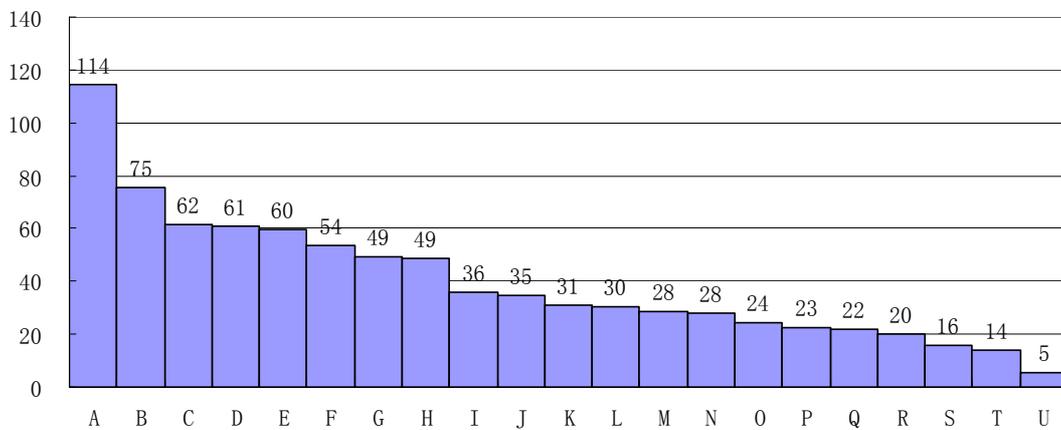
计算得到

$$\bar{X} = 121.1, \sigma = 31.0, R = \bar{X} - \sigma = 90.1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$$

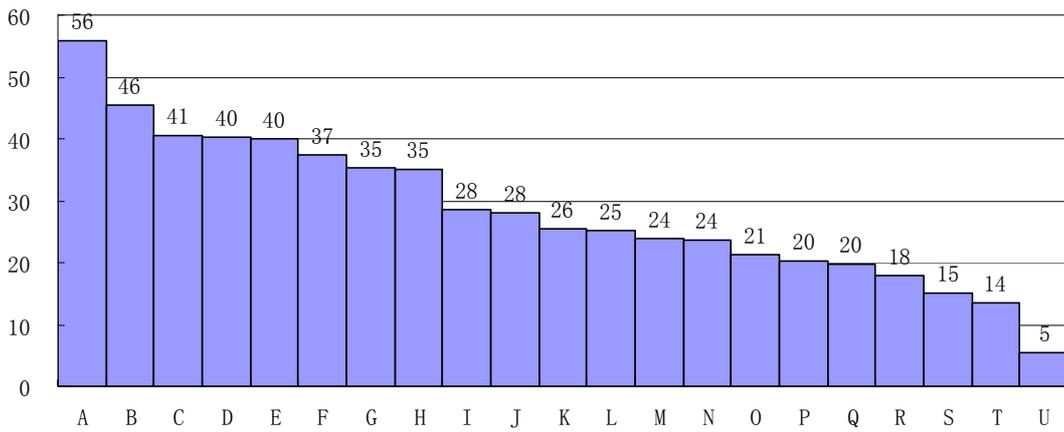
以 R=90.1kWh/m².y 为定额, 25 个样本建筑物中有 21 座需要加强节能, 比例约

84%, 定额管理的覆盖面较广。计算目标节能量和目标节能率, 如下图所示。

目标节能量, kWh/m².y

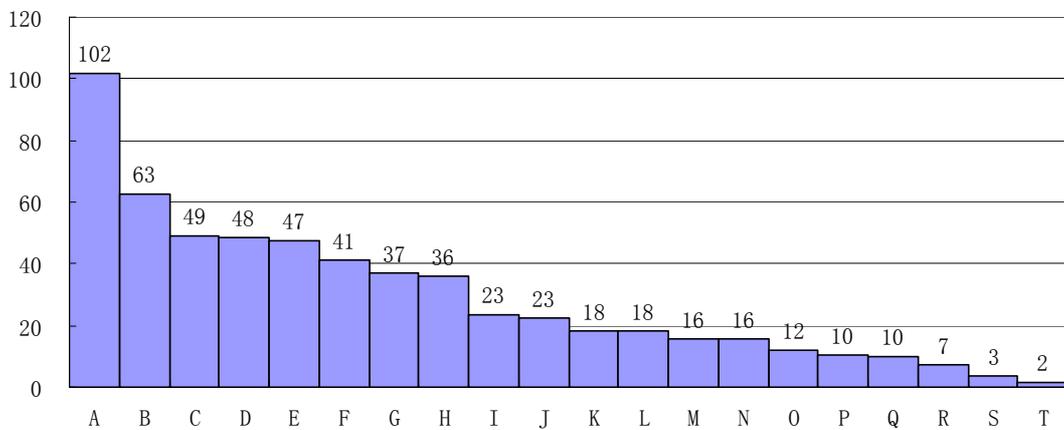


目标节能率, %

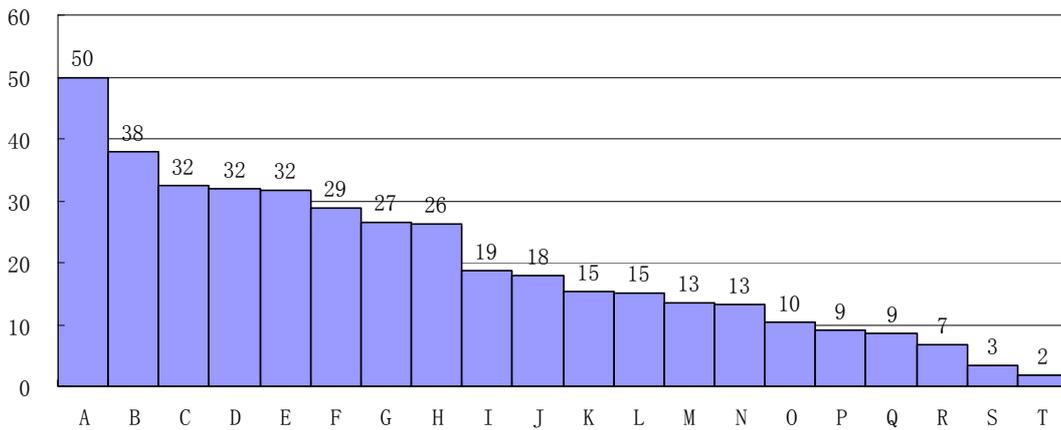


平均目标节能量 $39.8\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{y}$, 平均目标节能率 28.5%。根据经验 , 这一推进节能的力度相当大 , 通过低成本/无成本改造实现有一定的难度。适当调整系数 a , 例如取 $a=0.6$, 计算得到 $R = \bar{X} - 0.6\sigma = 102.5\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{y}$ 。重新计算目标节能量和目标节能率 , 如下图所示。

目标节能量, kWh/m².y



目标节能率, %

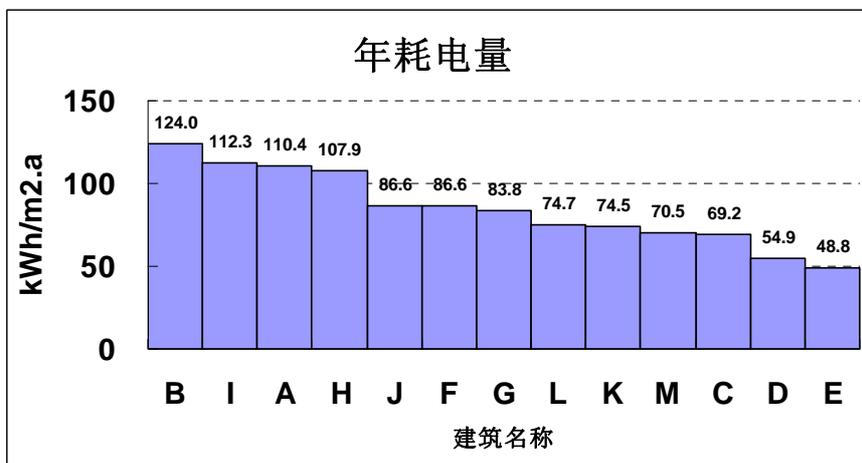


重新计算得到的平均目标节能量 29.2kWh/m².y, 平均目标节能率 20.0%。根据经验, 这一推进节能的力度较合理, 目标可以难通过低成本/无成本改造实现。

注: 样本包括北京饭店, 北京锦江富园大酒店, 港澳中心, 港中旅新时代大酒店, 贵宾楼, 河南大厦, 华都饭店, 皇家大饭店, 林大厦, 金都假日饭店, 昆仑饭店有限公司, 赛特饭店 (赛特集团), 商务会馆, 首都大酒店, 四川大厦, 天伦王朝饭店, 万商大厦, 希尔顿, 香山饭店, 新大都饭店 (首创股份有限公司), 新世纪饭店, 星明湖度假村, 亚洲大酒店, 月亮河度假村 (东润投资集团), 住邦 2000 等

应用实例 2 - 通过能耗审计确定办公建筑主要用能分系统的能耗定额

通过能耗审计和分拆分析, 得到了 13 个办公建筑的总体能耗和各个分系统的能耗。其中, 各建筑物总体用能指标 OECl 如下图所示。



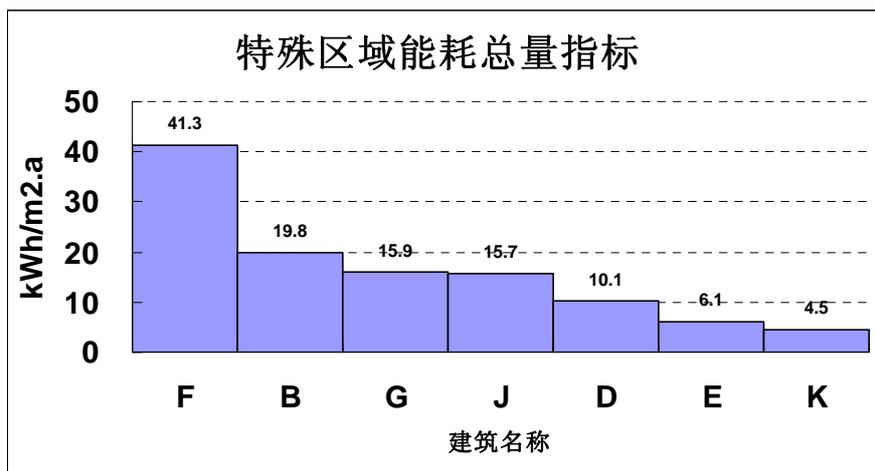
计算得到

$$\bar{X} = 84.9, \sigma = 23.0, R = \bar{X} - \sigma = 61.9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$$

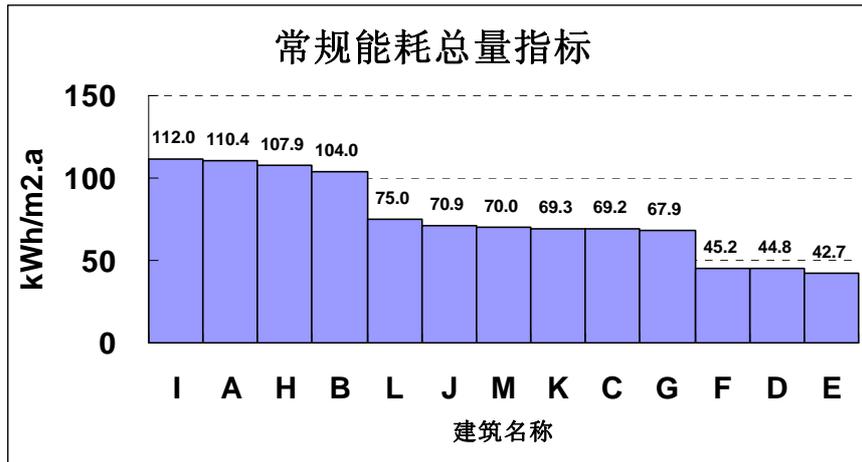
以 $R=61.9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 为定额，13 个样本建筑物中有 11 座需要加强节能，比例约 85%。若根据总能耗定额确定目标节能量和目标节能率，上图前四座建筑物 B/I/A/H 是否能够做到，定额是否合理，能耗高的原因是什么，可通过下列的分系统用能定额确定过程进行分析。

(1) 常规能耗定额确定

上述 13 个办公楼中，有 7 个样本建筑物中有信息中心、网络机房、厨房等特殊用能部分 7 个样本的特殊功能用电指标如下图所示。



因节能途径、措施与办公建筑的常规能耗不同，因此特殊用电部分应从总能耗中减去。这样得到 13 个样本的常规用电能耗指标 OECL_G，如下图所示。



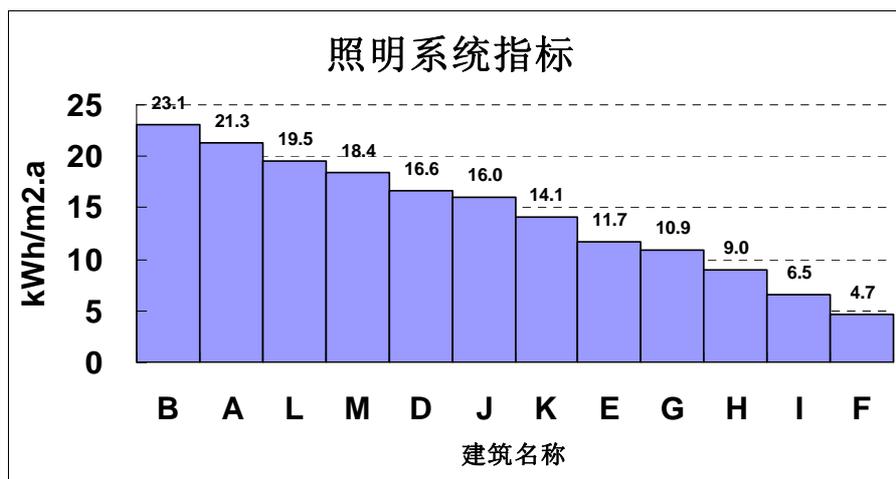
计算得到

$$\bar{X} = 78.9, \sigma = 24.0, R = \bar{X} - \sigma = 54.9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$$

以 $R=54.9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$ 为定额，13 个样本建筑物中有 10 座需要加强节能，比例约 77%。注意到前四座建筑物顺序略有变化为 I/A/H/B。

进一步分析，得到空调系统、照明系统、办公设备、以及建筑物中其他综合服务设施（电梯、给排水泵、热水器等）的分系统电耗指标。

(2) 照明系统能耗定额确定



计算得到

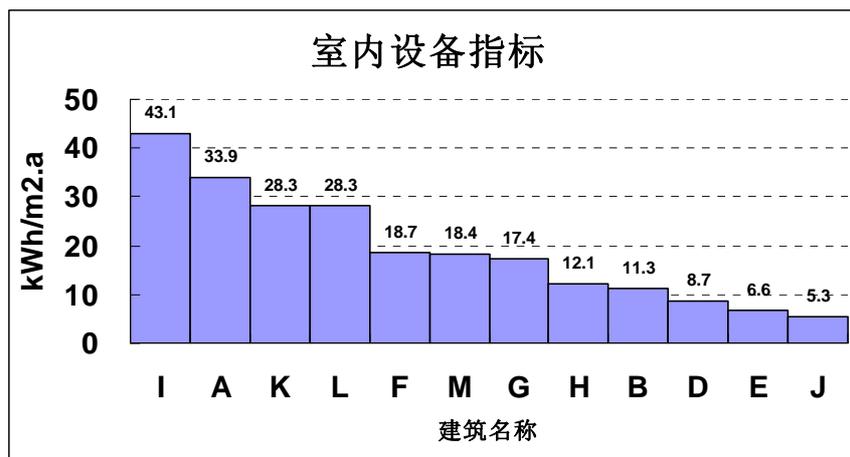
$$\bar{X} = 14.3, \sigma = 5.9, R = \bar{X} - 0.5\sigma = 11.4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y}$$

此处，以 $R=11.4\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{y}$ 为照明系统用能定额，可促进各建筑物以此为目标开展节能工作。根据经验，这一定额是可以实现的。

注意到：B/A 建筑照明系统电耗远高于各建筑物照明系统能耗平均值；而 H/I 建筑物则是低于平均值。B/A 建筑应深入考察照明系统的用电状况，看能耗是否确实是因为功能所需的合理要求，还是由于管理不善导致。

在具体案例中发现，B 建筑的走廊、大厅等区域照明基本没有控制，白天、深夜、周末几乎所有灯具全部开启，因此，确实存在巨大的节能潜力。而 A 建筑有一部分外景泛光照明，所处地理位置要求其长时间开启泛光照明，因此电耗较高，有一些合理因素。

(3) 室内各种办公设备能耗定额确定



计算得到

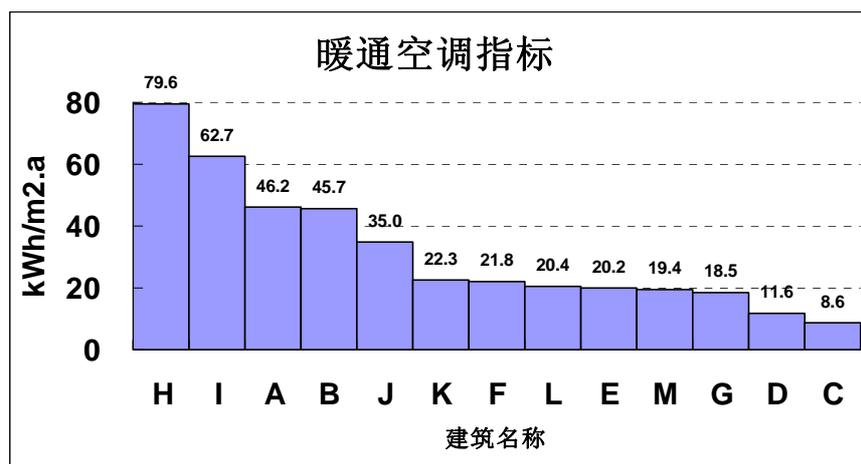
$$\bar{X} = 19.3, \sigma = 11.8$$

此处，由于差别较大，因此以 $R=19.3\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{y}$ 为办公设备用能定额，促进各建筑物以此为目标开展节能工作。

注意到：各建筑物差别很大。I/A 建筑各种办公设备的电耗远高于能耗平均值；而 H/B 建筑物则是低于平均值。因此，I/A 建筑应深入考察各种办公设备的用电状况，看能耗是否确实是因为功能所需的合理要求，还是由于管理不善导致。

在具体案例中发现，I 建筑由于功能要求，办公室内除一般的办公设备之外，还有大量的电视监控设施，长时间开启，因此能耗较高具有一定的合理因素。而 A 建筑人员密度高，电器设备密度也高，因此电耗较高也有一定的合理性。

(4) 空调系统能耗定额确定



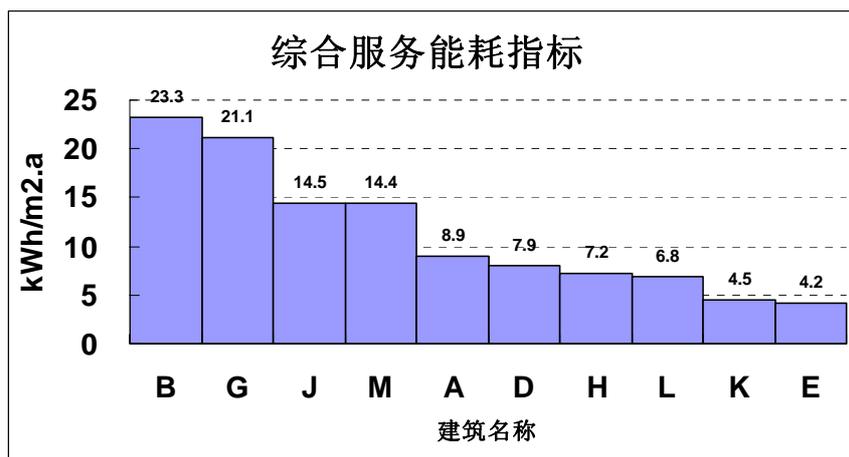
计算得到

$$\bar{X} = 31.7, \sigma = 21.2$$

此处，由于差别较大，因此以 $R=31.7\text{kWh/m}^2.y$ 为办公设备用能定额，促进各建筑物以此为目标开展空调系统节能工作。

注意到：H/I/A/B 空调系统电耗远高于能耗平均值，排在最前面，也是导致上述四个样本建筑物能耗高的主要原因。因此，空调系统确实应进一步深入研究，看能耗是否确实是因为功能所需的合理要求，还是由于管理不善导致。

(5) 建筑综合服务系统能耗



此外，电梯、热水器、给排水循环泵等设备设施耗电量在总耗电指标中也占一定份额。但各个建筑物的具体情况差别很大，目前的研究还不够深入，因此暂不进行定额管理。待分项计量等研究条件具备之后，这些系统的用能定额也可给出。

应用实例 3 - 通过能耗审计与节能诊断确定空调系统能耗定额

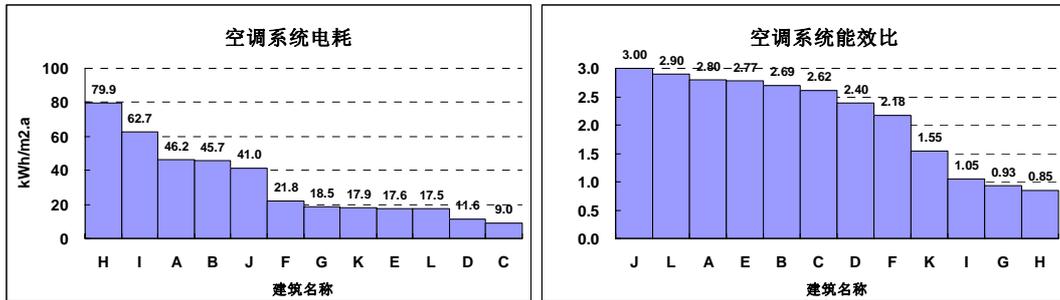
从上述样本建筑物能耗分拆分析可以看出，暖通空调系统 (HVAC) 是导致大型公共建筑能耗高的主要原因。因此，暖通空调系统确实应进一步深入研究。

空调系统的特点是消耗电能等，通过能量转换、输配等环节，向建筑物各个空间提供所需要的冷热量。因此，评价和确定空调系统或主要设备的能耗定额时，既要考虑到该系统或设备的实际电能消耗量，又要考虑其完成能量转换、输配等功能的效率，还应考虑建筑物实际消耗冷热量与所需要冷热量之间的匹配关系。因此，在暖通空调系统能耗定额确定过程中，每一项定额 (针对空调系统中的不同设备或系统) 都包括一个能耗绝对量，和一个反映其与承担冷热量 (也包括所需的新风量) 转换或输配功能相关的无量纲指标。

(1) 空调系统电耗和空调系统能效比

空调系统能效比是指空调系统供冷量与空调系统能耗的比值，无量纲。空调系统

供冷量是指空调系统的冷源设备产生的，能够直接用于处理各种热湿负荷的冷量。13 个样本建筑物空调系统电耗和空调系统能效比如下图所示。



计算得到：

空调系统电耗： $\bar{X} = 31.7$ ， $\sigma = 21.2$

空调系统能效比： $\bar{X} = 2.14$ ， $\sigma = 0.82$

注意到各个建筑物空调系统综合能效比差别巨大。仔细研究发现，空调系统能效比最低的两个楼 I/H 均采用燃气（油）吸收式制冷，因此其空调系统能耗高。若只考虑采用电驱动制冷空调系统的建筑物，则计算得到：

空调系统能效比： $\bar{X} = 2.54$ ， $\sigma = 0.45$ 。

注意到 A/B 两个建筑虽然空调系统能耗高，但是能效比 2.80 和 2.69 都高于平均水平，因此，其能耗高的主要原因是全年制冷量高。因此，可以通过全年制冷量定额的确定过程来分析 A/B 建筑制冷量在同类建筑物中的地位、是否合理。但目前建筑物空调系统全年累计制冷量数据尚需要继续积累和深入分析研究。

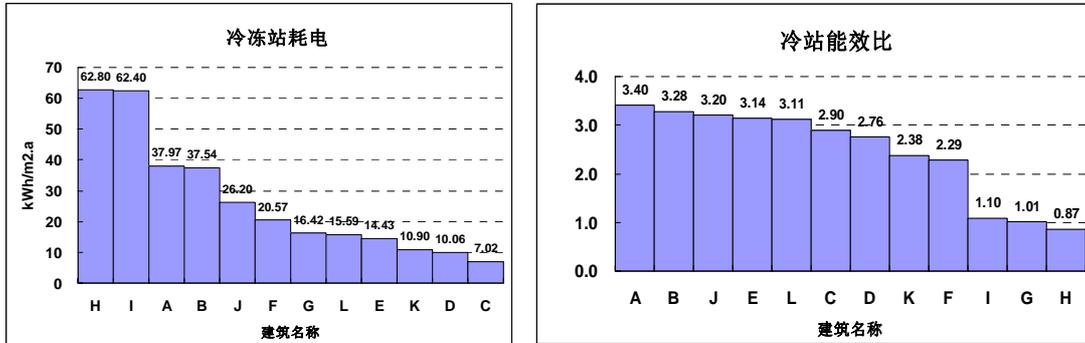
G 建筑空调系统能效比非常低，因此在后续定额确定过程中也给予关注。

(2) 冷冻站耗电和冷冻站能效比

冷冻站耗电包括：冷机耗电、冷却水泵耗电、冷冻水泵耗电、冷却塔耗电。冷冻站耗电是空调系统耗电的主要部分；同时，配电系统中这部分电路也通常集中在一起便于分项计量；而且，在建筑物管理中冷冻站也常常是单独的部门管理，因

此，可单独进行分析。

冷冻站能效比是指冷冻站产生的冷量与冷冻站耗电之间的比值。13 个样本建筑物空调系统冷冻站电耗和冷冻站能效比如下图所示。



计算得到：

冷冻站电耗： $\bar{X} = 26.8$ ， $\sigma = 19.4$

冷冻站能效比： $\bar{X} = 2.45$ ， $\sigma = 0.94$

注意到各个建筑物空调系统冷冻站电耗差别巨大，因此需根据系统形式进一步深入研究。同样的，将冷冻站能效比最低、采用燃气（油）吸收式制冷的三个楼 I/H 单独考虑，分析采用电驱动制冷空调系统的建筑物，则计算得到：

冷冻站电耗： $\bar{X} = 19.7$ ， $\sigma = 11.0$

冷冻站能效比： $\bar{X} = 2.94$ ， $\sigma = 0.39$ 。

注意到 A/B 两个建筑冷冻站能效比达到 3.40 和 3.28，都高于平均水平，因此，从另一个侧面反映出其能耗高的主要原因是全年制冷量高，需深入分析研究。

而 G 建筑冷冻站能效比远低于平均水平，说明其能耗高的主要问题存在于冷冻站设备中。

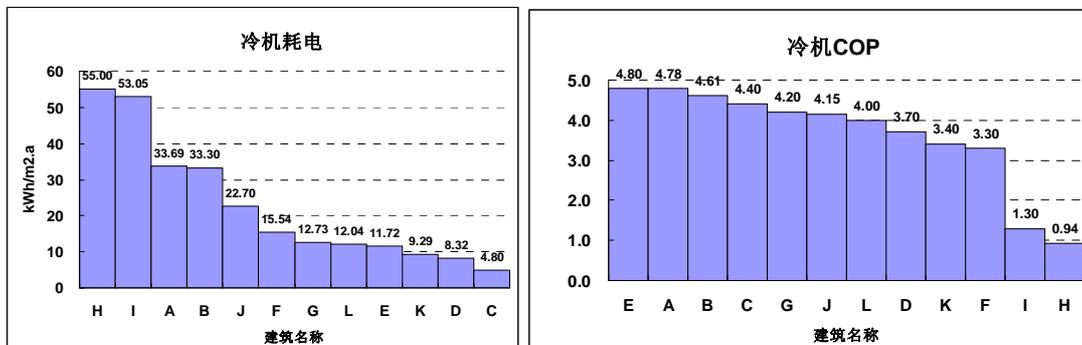
在详细分析空调系统能耗定额时，可从冷源系统与输配系统两方面进行。

(3) 冷源系统耗电与能效比

冷源系统包括冷机、冷却水泵、冷却塔等设备。

● 冷机

13 个样本建筑物空调系统冷机耗电和冷机能效比 COP，如下图所示。冷机能效比 COP 是指冷机产生的冷量与冷机耗电量之间的比值。



可以看出，I/H 两个直燃吸收式冷机的耗能高、能效比 COP 低。将这二者排除后，得到电驱动冷机的平均耗电和平均 COP 为：

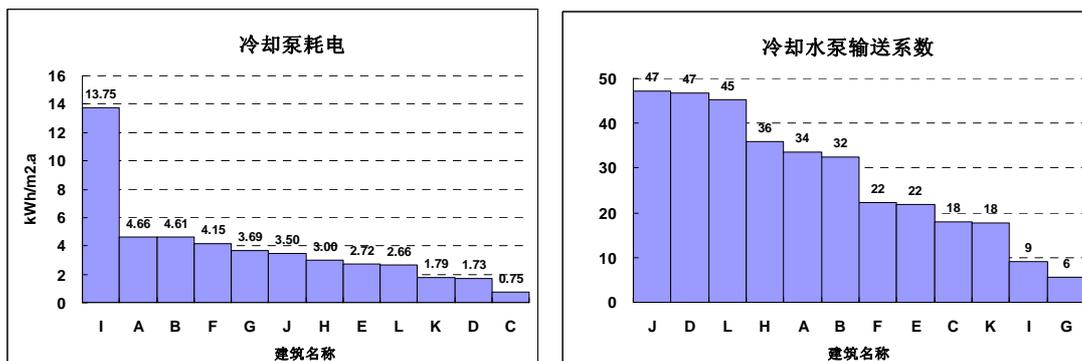
冷机耗电： $\bar{X} = 16.4$ ， $\sigma = 10.2$

冷机 COP： $\bar{X} = 4.13$ ， $\sigma = 0.54$

可以看出，冷机电耗差别较大，与冷机的实际运行调节非常相关，需进一步深入研究。冷机 COP 平均 4.13，各个建筑物差别不是很大。注意到 A/B 建筑冷机 COP 都很高，G 建筑的冷机 COP 也高于平均水平。

● 冷却水泵

13 个样本建筑物空调系统冷却泵耗电和冷却水泵输送系数，如下图所示。冷却水泵输送系数是指冷却水系统所承担的排热量与冷却水泵电耗的比值。



计算得到：

冷却水泵耗电量： $\bar{X} = 3.9$ ， $\sigma = 3.3$

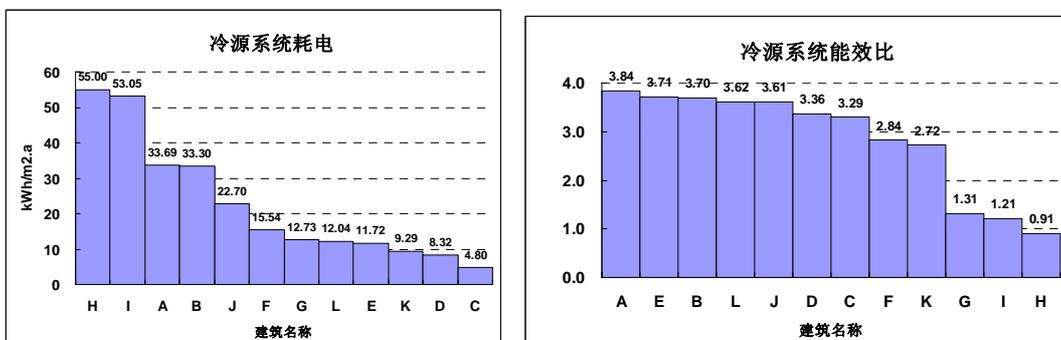
冷却水泵输送系数： $\bar{X} = 28.0$ ， $\sigma = 14.4$

注意到：I 建筑冷却泵能耗高、输送系数低，深入调查发现，主要问题是该直燃机系统冷凝器阻力过大（压降达到 25 米水柱）；G 建筑冷却水泵输送系数偏低，深入调查发现，主要原因是冷却水系统连接方面存在不合理，导致冷机不开启时也要开启冷却水泵，从而导致系统能耗升高。

● 冷源系统

为综合评价，可引入冷源系统能效比的概念，即冷源系统产生的冷量与上述冷机、冷却水泵、冷却塔等设备耗电总和之间的比值。美国采暖通风制冷工程师学会 ASHRAE 也以冷源系统为对象，综合评价制冷系统用能效率。

13 个样本建筑物冷源系统耗电和冷源系统能效比 COP，如下图所示。



可以看出，I/H 两个直燃吸收式冷机的耗能高、能效比 COP 低。将这二者排除后，得到电驱动冷源系统的平均耗电和平均 COP 为：

冷源系统耗电： $\bar{X} = 16.4$ ， $\sigma = 10.2$

冷源系统能效比： $\bar{X} = 3.20$ ， $\sigma = 0.76$

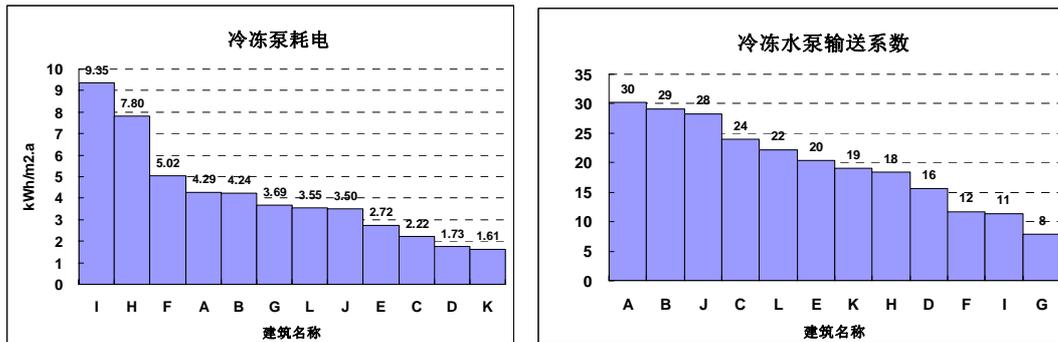
(4) 输配系统耗电与能效比

输配系统承担将冷源系统所产生的冷量输送并分配到建筑物内部各个需要的空

间中。输配系统能耗主要包括冷冻水泵电耗和末端各种风机的电耗。

- 冷冻水泵电耗和冷冻水泵输送系数

13 个样本建筑物空调系统冷冻泵耗电和冷冻水泵输送系数，如下图所示。冷冻水泵输送系数是指冷冻水系统所承担的冷量与冷冻水泵电耗的比值



计算得到：

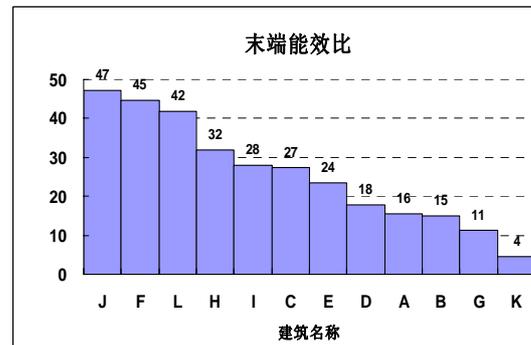
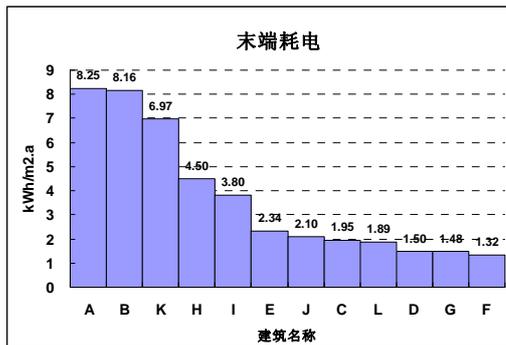
冷冻水泵耗电量： $\bar{X} = 4.14$ ， $\sigma = 2.33$

冷冻水泵输送系数： $\bar{X} = 19.9$ ， $\sigma = 7.3$

注意到：采用直燃吸收式制冷机的两个建筑物 I/H 其冷冻水泵电耗也较高，I 建筑冷冻泵输送系数低，深入调查发现存在水系统旁通问题，即不开启或负荷率很低的冷机里也要流过大量的冷冻水，导致冷冻水泵电耗高、输送系数低。G 建筑也存在类似的水系统旁通问题，导致其冷冻水泵输送系数较低。

- 空调系统末端（风机）电耗和末端（风机）输送系数

13 个样本建筑物空调系统末端（风机）电耗和末端（风机）输送系数，如下图所示。末端（风机）输送系数是指空调系统各种末端（全空气系统的风机、风机盘管系统的风机等）所承担的冷量与各种末端（风机）电耗的比值。



计算得到：

末端（风机）耗电量： $\bar{X} = 4.14$ ， $\sigma = 2.33$

末端（风机）输送系数： $\bar{X} = 3.69$ ， $\sigma = 2.66$

注意到 A/B 两建筑末端（风机）电耗较高，主要是由于其中全空气系统所占比例较高，风机电耗大。G 和 K 建筑末端（风机）能效比较低，其中 K 建筑末端耗电量也远高于平均值，深入调查发现，主要是全空气系统风量过大，风机长时间开启导致。

应用实例 4 - 根据个性确定能耗定额的方法

实例建筑物说明：办公楼，如图 1 所示，建筑面积 1163.68m²，该楼有一小信息中心，案例中将其作为常规用能处理。

1、需要准备的信息包括：

(1) 建筑物的围护结构热性能参数

(2) 冷机的基本参数；

(3) 楼内不同功能区域构成情况及其所占面积；

(4) 建筑物的使用要求：1) 人员、灯光、设备等内扰强度值；2) 楼内的冷热需求要随时满足。

2、定额计算过程：

(1) 将同样功能的房间合并，建立简化的建筑模型，内扰设定遵循原则：人员按照实际情况设定，灯光应该按照标准值设定，如标准功率密度值，设备按照实际的安装功率考虑，模拟计算其建筑负荷和自然采光状况；

(2) 照明定额的计算；

首先根据功能和自然采光的模拟结果整理出各功能区域的面积和自然采光修正系数 ($1 - \text{自然采光满足照度要求小时数} / \text{满足照度要求总小时数}$)，然后根据实际情况填充下表中蓝色显示的部分，使用状况修正系数中，会议室的修正系数含义为平均每五个工作日中有两个工作日需要使用会议室，办公室的修正系数含义为办公人员的平均出勤率为 40%，走廊的修正系数含义为走廊照明的同时使用系数为 0.7，卫生间的修正系数含义为平均使用率，信息中心的修正系数含义为巡视率（该房间无人看管，只需偶尔巡视）。工作日数和休息日数根据 2005 年实际情况统计。

需要准备的信息包括：

(1) 建筑物的围护结构热性能参数

(2) 冷机的基本参数；

(3) 楼内不同功能区域构成情况及其所占面积；

(4) 建筑物的使用要求：1) 人员、灯光、设备等内扰强度值；2) 楼内的冷热需求要随时满足。

3、定额计算过程：

(1) 将同样功能的房间合并，建立简化的建筑模型，内扰设定遵循原则：人员按照实际情况设定，灯光应该按照标准值设定，如标准功率密度值，设备按照实际的安装功率考虑，模拟计算其建筑负荷和自然采光状况；

(2) 照明定额的计算；

首先根据功能和自然采光的模拟结果整理出各功能区域的面积和自然采光修正系数 ($1 - \text{自然采光满足照度要求小时数} / \text{满足照度要求总小时数}$)，然后根据实际情况填充下表中蓝色显示的部分，使用状况修正系数中，会议室的修正系数含义为平均每五个工作日中有两个工作日需要使用会议室，办公室的修正系数含义为办公人员的平均出勤率为 40%，走廊的修正系数含义为走廊照明的同时使用系数为 0.7，卫生间的修正系数含义为平均使用率，信息中心的修正系数含义为巡视率 (该房间无人看管，只需偶尔巡视)。工作日数和休息日数根据 2005 年实际情况统计。

功能分类	会议室	办公室	走廊	卫生间	信息中心
工作日合理照明小时数	4	8	12	12	8

休息日合理照明小时数	0	2	4	4	2
合理功率密度	11	11	5	7.5	18
区域面积	190.37	606.16	299.8	49.51	17.84
合理总功率	2094.07	6667.76	1499	371.325	321.12
使用状况修正系数	0.4	0.4	0.7	0.2	0.1
自然采光修正系数	1	0.7	0.7	1	0.9
当年工作日数	256	256	256	256	256
当年休息日数	109	109	109	109	109
全年人工照明小时数	409.6	634.5	1718.9	701.6	203.9
合理照明电耗	857.7	4230.6	2576.7	260.5	65.5

由上表可得累计的 2005 年合理照明能耗为 7991kWh，即 6.87kWh/m²，实际该建筑 2005 年照明电耗为 8059kWh，即 6.925 kWh/m²，可见其照明电耗比定额稍高。分析其原因，先看照明的实际安装功率，如下表所示：

功能分类	会议室	办公室	走廊	卫生间	信息中心
实际功率密度	8.5	10.4	5.8	8.5	12.1
合理功率密度	11	11	5	7.5	18
区域面积	190.37	606.16	299.8	49.51	17.84
全年人工照明小时数	409.6	634.5	1718.9	701.6	203.9
照明电耗差额	195.3	230.85	-428.0	-34.15	21.44

照明电耗差额的合计值为-14.6kWh，表明就安装功率而言，实际情况已经超出定额的要求，即便实际使用过程（即照明小时数）保持在定额的水平上，照明电耗仍会偏大。

（3）供暖、空调定额的计算；

负荷模拟遵循的原则：根据使用要求，系统需要随时满足冷热的控制要求，因此空调和供暖的时间跨度为全年，日作息则根据办公建筑的典型作息设定，工作日休息日的分布按照实际情况考虑，气象参数按照实际情况（或头一年）考虑，内扰部分前文已说明，人员设备可能需要通过统计的方法建立合适的参考值，对其产生约束的唯一机制就是空调和供暖能耗的同时考核，人员设备负荷大则空调能耗大，供暖能耗小，与人员对应的用能都会升高，设备用能也升高，所以需要建

立参考值，不能随便调整其大小。另外对于无组织新风的设定则需根据建筑物的可开启面积比建筑体积来确定模拟时的最大最小换气次数，模拟时采取理想换气模式。

整理出冷机所负责的所有区域的供暖、空调负荷，分别根据热冷源状况进行计算。

- 供暖

电制热方式，性能系数暂取 0.8 计算，可得合理供暖电耗 85583kWh，实际电耗则为 173261.6kWh，大大超出定额值。

- 空调

- 冷源主机

风冷机的参数——COP：2.95，额定制冷量 197kW，压缩机功率 66.7 kW，风机功率 0.25×8 kW，冷机 COP 随负荷率、室外空气温度的变化关系未知，本可采用已知典型风冷机性能曲线代替，但暂时没找到，这里先按照平均 1.5 的 COP 进行估算，可得合理冷机电耗为 17988kWh，然而实际冷机电耗 28111kWh，大大超出定额值，主要是因为冷机运行时间长，负荷率低，COP 小。

- 冷冻水泵

水泵与冷机一对一，定速，水泵的额定流量应按照冷机的蒸发器额定流量确定，附加 10% 余量： $1.1 \times 3.6 \times 197 / 5 / 4.186 = 37.3 \text{m}^3/\text{h}$ ，泵的扬程包括管道阻力和设备阻力，管道阻力按照建筑物的规模考虑，这里按照 0.15MPa 考虑，设备阻力按照 0.05MPa 估算，则水泵的扬程为 0.2MPa。由此可计算出水泵的额定功率： $37.3 \times 0.2 / 3.6 / \text{水泵效率}$ ，这里暂取 0.6，则水泵额定功率应为 3.45kW，计算得到水泵的合理电耗为 2484kWh，然而实际水泵电耗为 11419.2kWh，主要原因

是其全年不间断运行。

■ 空调末端

风机盘管总功率为 4.7kW，按照模拟结果，最大冷负荷为 139.48kW，假定最大冷负荷时风机盘管全开，按照逐时负荷与这一最大冷负荷的比例计算逐时风机盘管电耗，可得风机盘管合理电耗为 909.22kWh。

功能分类	会议室	办公室	走廊	卫生间	信息中心
工作日合理照明小时数	4	8	12	12	8
休息日合理照明小时数	0	2	4	4	2
合理功率密度	11	11	5	7.5	18
区域面积	190.37	606.16	299.8	49.51	17.84
合理总功率	2094.07	6667.76	1499	371.325	321.12
使用状况修正系数	0.4	0.4	0.7	0.2	0.1
自然采光修正系数	1	0.7	0.7	1	0.9
当年工作日数	256	256	256	256	256
当年休息日数	109	109	109	109	109
全年人工照明小时数	409.6	634.5	1718.9	701.6	203.9
合理照明电耗	857.7	4230.6	2576.7	260.5	65.5

由上表可得累计的 2005 年合理照明能耗为 7991kWh，即 6.87kWh/m²，实际该建筑 2005 年照明电耗为 8059kWh，即 6.925 kWh/m²，可见其照明电耗比定额稍高。分析其原因，先看照明的实际安装功率，如下表所示：

功能分类	会议室	办公室	走廊	卫生间	信息中心
实际功率密度	8.5	10.4	5.8	8.5	12.1
合理功率密度	11	11	5	7.5	18
区域面积	190.37	606.16	299.8	49.51	17.84
全年人工照明小时数	409.6	634.5	1718.9	701.6	203.9
照明电耗差额	195.3	230.85	-428.0	-34.15	21.44

照明电耗差额的合计值为-14.6kWh，表明就安装功率而言，实际情况已经超出定额的要求，即便实际使用过程（即照明小时数）保持在定额的水平上，照明电

耗仍会偏大。

(3) 供暖、空调定额的计算；

负荷模拟遵循的原则：根据使用要求，系统需要随时满足冷热的控制要求，因此空调和供暖的时间跨度为全年，日作息则根据办公建筑的典型作息设定，工作日休息日的分布按照实际情况考虑，气象参数按照实际情况（或头一年）考虑，内扰部分前文已说明，人员设备可能需要通过统计的方法建立合适的参考值，对其产生约束的唯一机制就是空调和供暖能耗的同时考核，人员设备负荷大则空调能耗大，供暖能耗小，与人员对应的用能都会升高，设备用能也升高，所以需要建立参考值，不能随便调整其大小。另外对于无组织新风的设定则需根据建筑物的可开启面积比建筑体积来确定模拟时的最大最小换气次数，模拟时采取理想换气模式。

整理出冷机所负责的所有区域的供暖、空调负荷，分别根据热冷源状况进行计算。

● 供暖

电制热方式，性能系数暂取 0.8 计算，可得合理供暖电耗 85583kWh，实际电耗则为 173261.6kWh，大大超出定额值。

● 空调

■ 冷源主机

风冷机的参数——COP：2.95，额定制冷量 197kW，压缩机功率 66.7 kW，风机功率 0.25×8 kW，冷机 COP 随负荷率、室外空气温度的变化关系未知，本可采用已知典型风冷机性能曲线代替，但暂时没找到，这里先按照平均 1.5 的 COP 进行估算，可得合理冷机电耗为 17988kWh，然而实际冷机电耗 28111kWh，大

大超出定额值，主要是因为冷机运行时间长，负荷率低，COP 小。

■ 冷冻水泵

水泵与冷机一对一，定速，水泵的额定流量应按照冷机的蒸发器额定流量确定，附加 10% 余量： $1.1 \times 3.6 \times 197 / 5 / 4.186 = 37.3 \text{m}^3/\text{h}$ ，泵的扬程包括管道阻力和设备阻力，管道阻力按照建筑物的规模考虑，这里按照 0.15MPa 考虑，设备阻力按照 0.05MPa 估算，则水泵的扬程为 0.2MPa。由此可计算出水泵的额定功率： $37.3 \times 0.2 / 3.6 / \text{水泵效率}$ ，这里暂取 0.6，则水泵额定功率应为 3.45kW，计算得到水泵的合理电耗为 2484kWh，然而实际水泵电耗为 11419.2kWh，主要原因是其全年不间断运行。

■ 空调末端

风机盘管总功率为 4.7kW，按照模拟结果，最大冷负荷为 139.48kW，假定最大冷负荷时风机盘管全开，按照逐时负荷与这一最大冷负荷的比例计算逐时风机盘管电耗，可得风机盘管合理电耗为 909.22kWh。

应用实例 5 - 通过能耗审计与节能诊断确定空调系统能耗定额

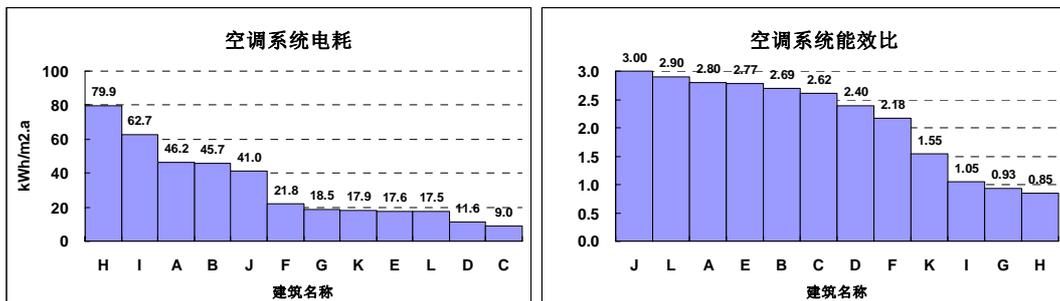
从上述样本建筑物能耗分拆分析可以看出，暖通空调系统 (HVAC) 是导致大型公共建筑能耗高的主要原因。因此，暖通空调系统确实应进一步深入研究。

空调系统的特点是消耗电能等，通过能量转换、输配等环节，向建筑物各个空间提供所需要的冷热量。因此，评价和确定空调系统或主要设备的能耗定额时，既要考虑到该系统或设备的实际电能消耗量，又要考虑其完成能量转换、输配等功能的效率，还应考虑建筑物实际消耗冷热量与所需要冷热量之间的匹配关系。因此，在暖通空调系统能耗定额确定过程中，每一项定额 (针对空调系统中的不同

设备或系统) 都包括一个能耗绝对量, 和一个反映其与承担冷热量(也包括所需的新风量) 转换或输配功能相关的无量纲指标。

(1) 空调系统电耗和空调系统能效比

空调系统能效比是指空调系统供冷量与空调系统能耗的比值, 无量纲。空调系统供冷量是指空调系统的冷源设备产生的, 能够直接用于处理各种热湿负荷的冷量。13 个样本建筑物空调系统电耗和空调系统能效比如下图所示。



计算得到：

空调系统电耗： $\bar{X} = 31.7$ ， $\sigma = 21.2$

空调系统能效比： $\bar{X} = 2.14$ ， $\sigma = 0.82$

注意到各个建筑物空调系统综合能效比差别巨大。仔细研究发现，空调系统能效比最低的两个楼 I/H 均采用燃气(油)吸收式制冷，因此其空调系统能耗高。若只考虑采用电驱动制冷空调系统的建筑物，则计算得到：

空调系统能效比： $\bar{X} = 2.54$ ， $\sigma = 0.45$ 。

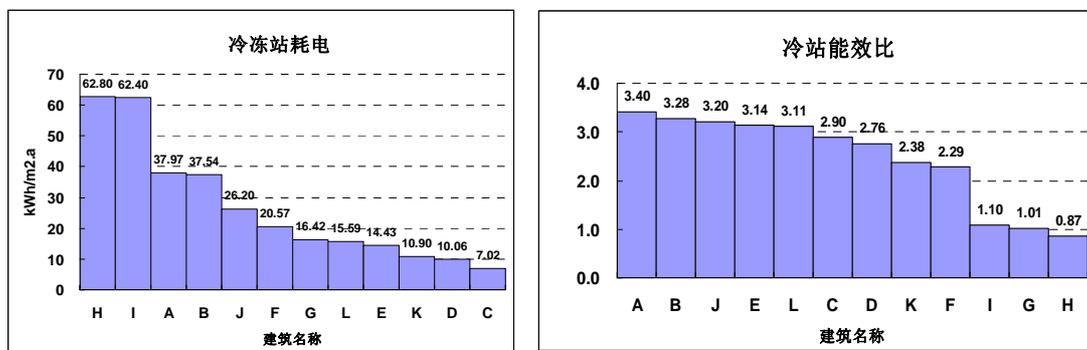
注意到 A/B 两个建筑虽然空调系统能耗高，但是能效比 2.80 和 2.69 都高于平均水平，因此，其能耗高的主要原因是全年制冷量高。因此，可以通过全年制冷量定额的确定过程来分析 A/B 建筑制冷量在同类建筑物中的地位、是否合理。但目前建筑物空调系统全年累计制冷量数据尚需要继续积累和深入分析研究。

G 建筑空调系统能效比非常低，因此在后续定额确定过程中也给予关注。

(2) 冷冻站耗电和冷冻站能效比

冷冻站耗电包括：冷机耗电、冷却水泵耗电、冷冻水泵耗电、冷却塔耗电。冷冻站耗电是空调系统耗电的主要部分；同时，配电系统中这部分电路也通常集中在一起便于分项计量；而且，在建筑物管理中冷冻站也常常是单独的部门管理，因此，可单独进行分析。

冷冻站能效比是指冷冻站产生的冷量与冷冻站耗电之间的比值。13 个样本建筑物空调系统冷冻站电耗和冷冻站能效比如下图所示。



计算得到：

冷冻站电耗： $\bar{X} = 26.8$ ， $\sigma = 19.4$

冷冻站能效比： $\bar{X} = 2.45$ ， $\sigma = 0.94$

注意到各个建筑物空调系统冷冻站电耗差别巨大，因此需根据系统形式进一步深入研究。同样的，将冷冻站能效比最低、采用燃气（油）吸收式制冷的三个楼 I/H 单独考虑，分析采用电驱动制冷空调系统的建筑物，则计算得到：

冷冻站电耗： $\bar{X} = 19.7$ ， $\sigma = 11.0$

冷冻站能效比： $\bar{X} = 2.94$ ， $\sigma = 0.39$ 。

注意到 A/B 两个建筑冷冻站能效比达到 3.40 和 3.28，都高于平均水平，因此，从另一个侧面反映出其能耗高的主要原因是全年制冷量高，需深入分析研究。

而 G 建筑冷冻站能效比远低于平均水平，说明其能耗高的主要问题存在于冷冻

站设备中。

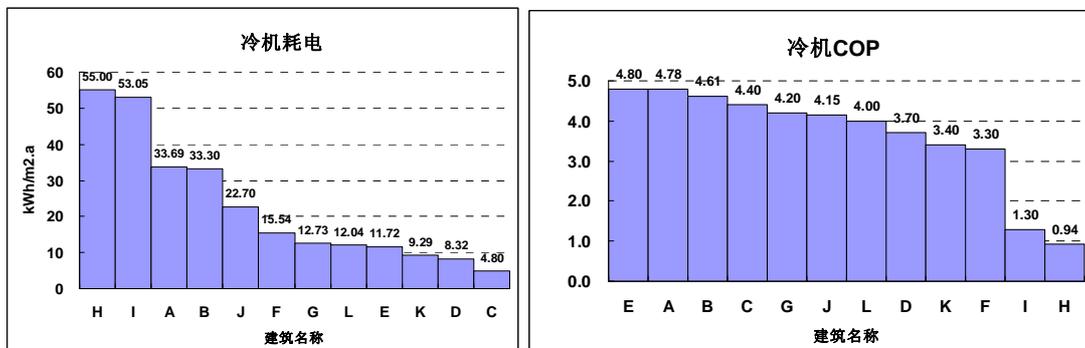
在详细分析空调系统能耗定额时，可从冷源系统与输配系统两方面进行。

(3) 冷源系统耗电与能效比

冷源系统包括冷机、冷却水泵、冷却塔等设备。

● 冷机

13 个样本建筑物空调系统冷机耗电和冷机能效比 COP，如下图所示。冷机能效比 COP 是指冷机产生的冷量与冷机耗电量之间的比值。



可以看出，I/H 两个直燃吸收式冷机的耗能高、能效比 COP 低。将二者排除后，得到电驱动冷机的平均耗电和平均 COP 为：

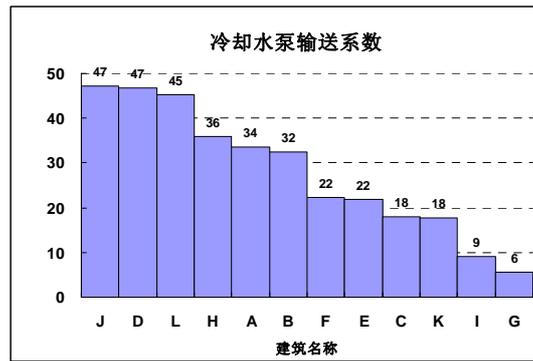
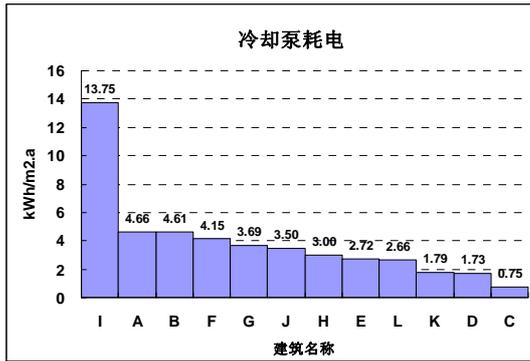
冷机耗电： $\bar{X} = 16.4$ ， $\sigma = 10.2$

冷机 COP： $\bar{X} = 4.13$ ， $\sigma = 0.54$

可以看出，冷机电耗差别较大，与冷机的实际运行调节非常相关，需进一步深入研究。冷机 COP 平均 4.13，各个建筑物差别不是很大。注意到 A/B 建筑冷机 COP 都很高，G 建筑的冷机 COP 也高于平均水平。

● 冷却水泵

13 个样本建筑物空调系统冷却泵耗电和冷却水泵输送系数，如下图所示。冷却水泵输送系数是指冷却水系统所承担的排热量与冷却水泵电耗的比值。



计算得到：

冷却水泵耗电量： $\bar{X} = 3.9$ ， $\sigma = 3.3$

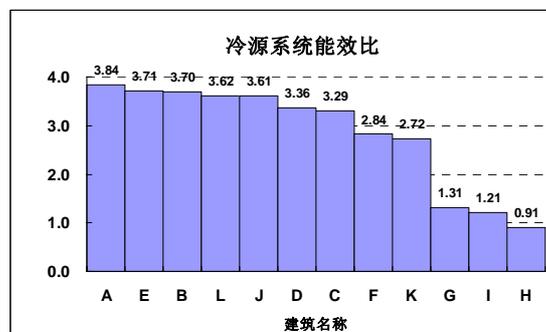
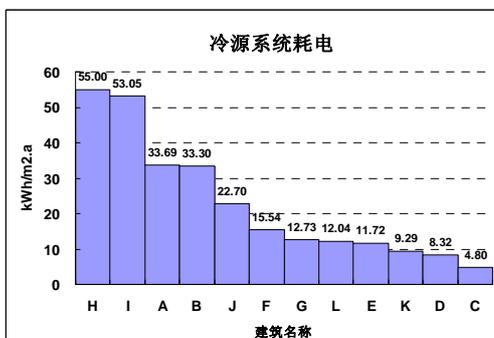
冷却水泵输送系数： $\bar{X} = 28.0$ ， $\sigma = 14.4$

注意到：I 建筑冷却泵能耗高、输送系数低，深入调查发现，主要问题是该直燃机系统冷凝器阻力过大（压降达到 25 米水柱）；G 建筑冷却水泵输送系数偏低，深入调查发现，主要原因是冷却水系统连接方面存在不合理，导致冷机不开启时也要开启冷却水泵，从而导致系统能耗升高。

● 冷源系统

为综合评价，可引入冷源系统能效比的概念，即冷源系统产生的冷量与上述冷机、冷却水泵、冷却塔等设备耗电总和之间的比值。美国采暖通风制冷工程师学会 ASHRAE 也以冷源系统为对象，综合评价制冷系统用能效率。

13 个样本建筑物冷源系统耗电和冷源系统能效比 COP，如下图所示。



可以看出，I/H 两个直燃吸收式冷机的耗能高、能效比 COP 低。将这二者排除

后，得到电驱动冷源系统的平均耗电和平均 COP 为：

冷源系统耗电： $\bar{X} = 16.4$ ， $\sigma = 10.2$

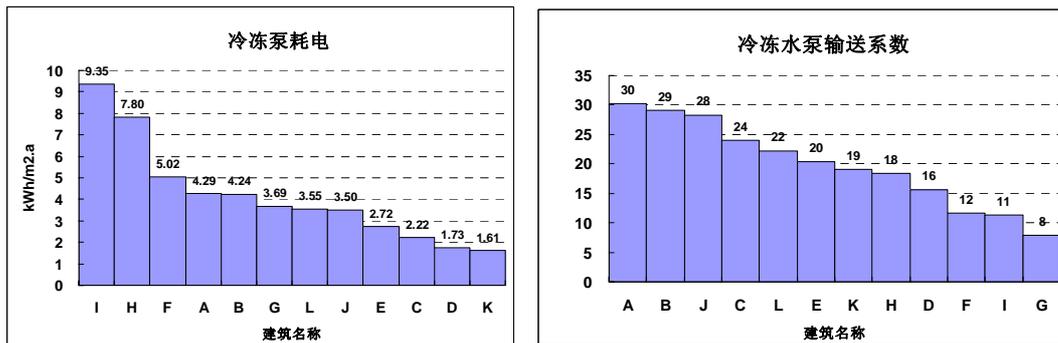
冷源系统能效比： $\bar{X} = 3.20$ ， $\sigma = 0.76$

(4) 输配系统耗电与能效比

输配系统承担将冷源系统所产生的冷量输送并分配到建筑物内部各个需要的空间中。输配系统能耗主要包括冷冻水泵电耗和末端各种风机的电耗。

● 冷冻水泵电耗和冷冻水泵输送系数

13 个样本建筑物空调系统冷冻泵耗电和冷冻水泵输送系数，如下图所示。冷冻水泵输送系数是指冷冻水系统所承担的冷量与冷冻水泵电耗的比值



计算得到：

冷冻水泵耗电量： $\bar{X} = 4.14$ ， $\sigma = 2.33$

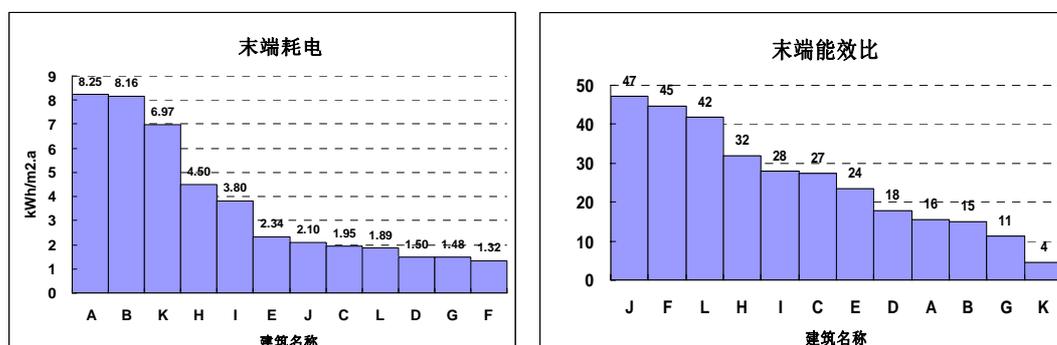
冷冻水泵输送系数： $\bar{X} = 19.9$ ， $\sigma = 7.3$

注意到：采用直燃吸收式制冷机的两个建筑物 I/H 其冷冻水泵电耗也较高，I 建筑冷冻泵输送系数低，深入调查发现存在水系统旁通问题，即不开启或负荷率很低的冷机里也要流过大量的冷冻水，导致冷冻水泵电耗高、输送系数低。G 建筑也存在类似的水系统旁通问题，导致其冷冻水泵输送系数较低。

● 空调系统末端（风机）电耗和末端（风机）输送系数

13 个样本建筑物空调系统末端（风机）电耗和末端（风机）输送系数，如下图

所示。末端（风机）输送系数泵输送系数是指空调系统各种末端（全空气系统的风机、风机盘管系统的风机等）所承担的冷量与各种末端（风机）电耗的比值。



计算得到：

末端（风机）耗电量： $\bar{X} = 4.14$ ， $\sigma = 2.33$

末端（风机）输送系数： $\bar{X} = 3.69$ ， $\sigma = 2.66$

注意到 A/B 两建筑末端（风机）电耗较高，主要是由于其中全空气系统所占比例较高，风机电耗大。G 和 K 建筑末端（风机）能效比较低，其中 K 建筑末端耗电量也远高于平均值，深入调查发现，主要是全空气系统风量过大，风机长时间开启导致。