

节地·节能 节水·节材 ——BIM与绿色建筑

冯康曾 彭国忠 高海军 编
于天赤 鲍 冈

节地
•
节能
•
节水
•
节材

——BIM与绿色建筑



冯康曾 彭国忠 高海军 于天赤 鲍 冈 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

节地·节能·节水·节材——BIM与绿色建筑 /
冯康曾等编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015.2
(建学丛书之十)
ISBN 978-7-112-17909-1

I. ①节… II. ①冯… III. ①生态建筑—建筑设计
IV. ①TU18

中国版本图书馆CIP数据核字 (2015) 第050961号

责任编辑: 王 跃 杨 虹
责任设计: 张 虹
责任校对: 姜小莲 刘梦然

建学丛书之十

节地·节能·节水·节材——BIM与绿色建筑

冯康曾 彭国忠 高海军 于天赤 鲍 冈 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: $9\frac{3}{4}$ 字数: 283千字

2015年4月第一版 2015年4月第一次印刷

定价: 46.00元

ISBN 978-7-112-17909-1

(27071)

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

——不成为“序”的序

在建学广大员工的支持下，在中国建筑工业出版社的指导帮助下，《建学丛书》已经出到第十集。在高兴之际，我不禁又要想起我们的创始人之一：孙芳垂大师。

孙总对建学的发展考虑是全方位的，其中写书出版是一个重点。他自己亲自编写的《优化》集，在业界得到很高的评价，对我们大家是个很大的促进和鼓励。

设计单位搞研究、出书——反映了单位的生气和活力，说明它总是在总结自己的设计经验，通过总结选择研究改进的方向。我看到英国哈迪德事务所专人研究参数设计的理论，并把它视为 21 世纪的一种国际风格（尽管对此论点可以有争议，但它的研究探讨是很深入的）。我又特别钦佩意大利建筑师伦佐·皮亚诺，他在自己承担的大型工程中总是要使用和开发一些重要的新技术，例如他在太平洋小岛上设计的特吉巴奥（当地的民族英雄）文化中心中，选用了特别耐腐的木材设计构筑了高大的“盾牌”形象，象征了保卫祖国的英雄气概。在纽约时报大厦的设计中，他创造性地应用了“陶瓷杆”作为遮阳，能更好地利用自然能源，改善室内环境。在我国将建的国家新美术馆的方案设计竞赛中，我看到获胜者法国建筑师让·努维尔如何从大量中国民间艺术品研究中探讨大型玻璃墙面应用时色彩的选择，力图体现中国的传统色彩。他们的设计都不满足于应用现成的技术和材料，而总是自己开发新技术、新材料，来带动建筑业、建材业、电脑应用、自然资源等应用技术。尽管我们在主客观条件上有一定的限制，但他们这种力求创新的精神，值得我们学习和发扬。

设计、研究、写论文，这“一主二副”的组合应当是我们设计人员的努力方向。对有些同志来说，写论文似乎是件难事。其实只要多写勤写，总能写出水平，不要因一两挫折泄气。

建学所成立以来，已先后成立了建筑、人居、绿色、优化四个创作委员会，并经常举行交流活动。大家应当充分利用《丛书》这个论坛，来反映和促进我们设计和技术素质的提高。本人年老体衰，深居简出，早已脱离实际，但是我仍然很希望能够通过《丛书》和网站等，看到大家的业绩，祝建学事业蒸蒸日上，不断产出新的成果。

张钦楠

2014 年 8 月于北京

目 录

1 公共建筑节能思辨	001
2 绿色建筑评估标准	020
3 杭州东部湾总部基地概念规划与城市设计 ——绿色城市理念	025
4 老旧建筑按国际被动式低能耗建筑标准节能改造案例分析	036
5 被动式超低能耗建筑气密性要求及检测	049
6 欧洲被动式绿色建筑简介与体会	058
7 2013 欧洲绿色低碳之旅	062
8 BIM 应用工具 Revit 现状分析及应用策略	066
9 BIM 软件在建筑给水排水工程设计中的优势	069
10 浅谈 Civil 3D 在土方量计算中的应用	073
11 蒙皮效应及在轻钢结构设计中的应用	076
12 轻钢结构檩条优化设计浅析	080
13 门式刚架结构屋面坡度的取值	083

14	多层物流库车道设计荷载取值分析	085
15	通用物流仓储库设计中的层高研究	094
16	物流库太阳能利用经济技术分析	097
17	高压细水雾灭火系统的设计与探讨	099
18	电气专业在绿色建筑设计中的内容和作用	109
19	浅谈生态节能软件在建筑规划设计中的应用	
	——南通崇川经济开发区总部经济产业园	112
20	浅谈土地置换理念之屋面土地化利用	119
21	绿色节能技术在淮安金奥国际广场住宅一期中的运用	125
22	夏热冬冷地区居住建筑节能设计研究	
	——以安徽省黄山市祁门县为例	130
23	优化点滴	141
24	大跨度楼盖的结构优化	144
	附录	149

公共建筑节能思辨

清华大学 江亿院士

1 从生态文明的角度看公共建筑营造标准

长期以来，公共建筑的设计、建造都遵循“以需求标准为约束条件，以成本和能耗最低为目标函数”的原则。首先提出建筑的需求标准，在满足这一标准的前提下，努力实现成本最低、运行能耗最低的建筑和系统设计。分析这些必须满足的需求标准，可以将其分为两类：涉及建筑和人员安全的标准和涉及建筑可提供的服务水平的标准。前者如结构强度、防火特性、有无放射性危害等，这是为了避免人身伤亡事故所必须的标准，属硬性需求的刚性标准，必须严格满足。而后者涉及的是关于建筑提供的服务水平标准，包括各种建筑环境参数，如室内温湿度范围、新风量、照度等。这些需求很难给出严格的界限，属柔性标准。例如，什么是室内温度的舒适范围？是 20~25℃之间？19~26℃之间？还是 18~27℃之间？曾有过旅游旅馆标准，对不同的星级给出不同的室内温度范围，似乎星级越高，室内温度允许的变化范围就越小。更有一些房地产开发项目打出“恒温、恒湿、恒氧”的招牌，似乎人类最合适的室内温度环境就应该恒定在某个温度参数上。日本东北大学吉野博教授统计观测了 20 年来日本住宅冬季室内温度的变化趋势（图 1）。

美国办公建筑室内新风量标准历年来的变化 表1

国家	标准（年份）	人均指标（L/s）	人均指标（m³/h）	补充说明
美国	ASHRAE62-73（1973 年）	2.5	9	于 1977 年印发
	ASHRAE62-89（1989 年）	10	36	允许吸烟的办公建筑
	ASHRAE62-2001（2001 年）	10	36	指办公区域，吸烟室 108m³/h，接待区 28.8m³/h
	ASHRAE62-2010（2010 年）	8.5	30.6	指办公区域，接待区 12.6m³/h

可以看出，随着其经济发展，生活水平提高，冬季室内温度水平不断提高，20 年间北海道冬季平均室温提高了 2~6℃。也有研究表明，美国办公建筑夏季室温 30 年间降低了 5~7℃。表 1 给出了美国近 40 年来办公建筑室内新风量标准的变化，图 4 给出世界上主要国家的办公建筑室内新风量标准，可以看到新风标准是从 9m³/（h·人）到 50m³/（h·人）的大范围变化。当节能被高度重视时，人均新风量标准曾被降低到 9m³/（h·人），而当人的舒适和健康被关注时，新风标准在一些国家提高到 50m³/（h·人），甚至还要更高。那么什么样的数值是满足人的基本需要（最低需求）的？或者从室内人员的基本安全保障出发，这些涉及服务水平的标准应该是什么呢？显然，可以给出的参数范围远远低于目前的大多数相关标准。再来看室内温度要求。按照室内人员安全保障所要求的室内温度范围是 12~31℃（见《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1-2010）），这显然远远低于目前的各种室内温度需求标准。那么，从这个 12~31℃的劳动保护安全标准到 22~23℃之间的

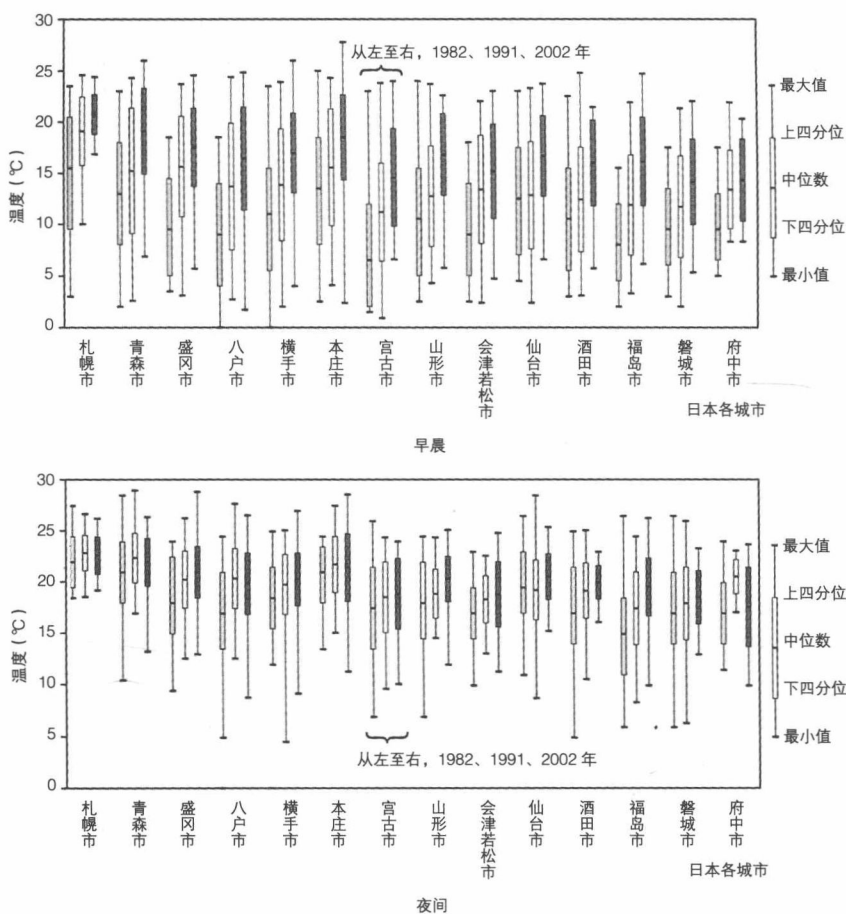


图1 日本各地区住宅冬季平均室温的变化^①

不同室内温度要求，显然是一种舒适度要求，大量的关于 23℃ 舒适还是 24℃ 更舒适的研究与争论只是在讨论如何营造更舒适或最舒适的室内环境。假设室内越接近恒温人就越舒适，建筑物提供的水平就越高（实际上近年来的大量研究表明这一假设并不成立，变动的室温和可以调节的室温环境可能更适合人的需求），但为此需要消耗的能源也越多，那么我们是否就一定要使得室温必须满足这种“最舒适”的标准要求呢？而是否节能也只不过是满足这一标准的条件下通过技术创新尽可能争取的努力方向呢？从工业文明的原则出发，这是无可非议的，不断满足人的日益提高的需求，是驱动工业文明的动力，也是促进技术进步与创新的原因。但这样带来的另一个结果，就是要求的服务标准越来越高，相应的能源消耗量也越来越大（除了极少数特例，技术创新使能耗降低）。这是为什么近百年来发达国家技术水平不断提高的同时，人均建筑能耗仍然持续上升的原因。这也可以从某种宏观的角度解释图 2、图 3 所示的美国、日本单位商业建筑面积运行能耗多年来持续上升的原因。

然而从生态文明发展模式来看，这种“以服务水平标准为约束条件，以成本和能耗为目标函数”的模式并不适宜。我们追求的是人类的发展与可持续的自然资源与环境间的平衡，这样就不能以某

① 日本东北大学（Tohoku University）教授 Hiroshi Yoshino 的 PPT《Strategies for carbon neutralization of buildings and communities in Japan》。

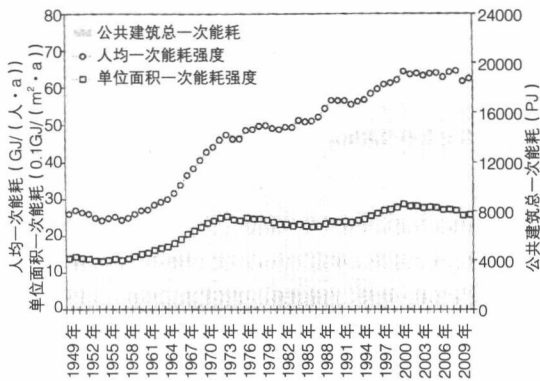


图2 美国公共建筑一次能耗强度 (1949~2010 年)

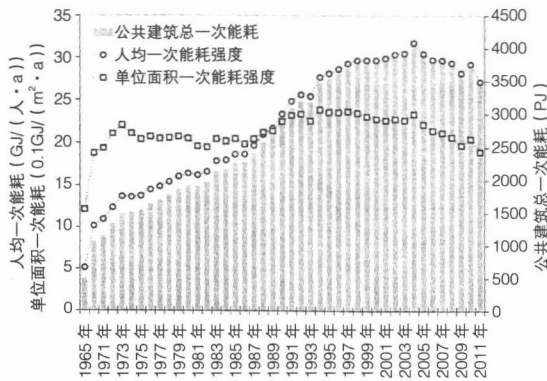


图3 日本公共建筑一次能耗强度 (1965~2011 年)

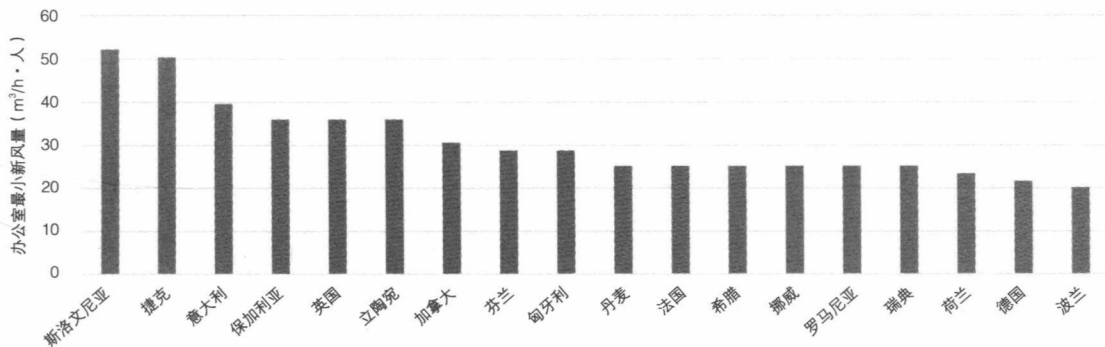


图4 欧洲各国当前办公建筑最小新风量标准^①

种服务水平作为必须满足的约束条件，进而不断地提高这种服务水平标准，不断增加对自然资源的消耗。按照生态文明的发展模式，对于这类“灰色的”柔性标准，就不应该作为约束条件，而应该把自然资源和环境影响的上限作为刚性的约束条件，不得逾越，将建筑物可以提供的服务水平作为目标函数，通过技术的发展和革新，在不超过自然资源和环境影响的约束条件下，尽可能提高建筑物的服务水平，为使用者提供最好的服务。

看起来只是把“约束条件”与“目标函数”的对象作了交换，但其结果却大不相同。表2列出改革开放以来我国相继制定颁布的与公共建筑服务水平相关的标准，可以看出随着我国对外开放程度的提高和经济水平的提高，室内环境标准也在不断提高。与此同时，为了实现节能减排的大目标，也陆续发展建立了一批“具体怎么做”的建筑节能标准，见表3。但是，这些关于节能的标准只能指导如何在满足需求（服务水平）的条件下提高用能效率，相对实现节能。当服务水平的标准也就是“需求”不断提高时，即使在这些指导性规范的指导下，提高了用能效率，但其结果还是很难抑制实际用能量的持续增长。这就是为什么近20年来尽管我国各项建筑节能标准规范的执行力度逐渐强化，新建公建项目实施建筑节能规范的比例越来越大，但公共建筑除采暖外的实际能耗却持续增长，并且按照年代统计，竣工期越晚的建筑，平均状况统计得到的能耗越高。这就是“经济增长—需求增加—技术水平提高—用能效率提高—实际用能量也增长”的过程。工业文明阶段的发展实际就是这样一个过程，西方发达国家建筑能耗与经济发展技术进步同步增长的过程也是这样的过程。

① C.Dimitroulopoulou, J.Bartzis, Ventilation in European offices: a review, University of West Macedonia, Greece.



我国公共建筑服务水平相关的标准 表2

年份	标准号	标准名称
2003 年	GB 50019—2003	采暖通风与空气调节设计规范
2008 年	GB 3096—2008	声环境质量标准
2012 年	GB 3095—2012	环境空气质量标准
2012 年	GB 50736—2012	民用建筑供暖通风与空气调节设计规范
2012 年	GB/T 50785—2012	民用建筑室内热湿环境评价标准
2012 年	WS 394—2012	公共场所集中空调通风系统卫生规范

建筑节能设计标准 表3

年份	标准号	标准名称
1993 年	GB 50176—93	民用建筑热工设计规范
1993 年	GB 50189—93	旅游旅馆建筑热工与空调节能设计标准
2005 年	GB 50189—2005	公共建筑节能设计标准
2006 年	GB/T 50378—2006	绿色建筑评价标准
2007 年	GB/T 17981—2007	空气调节系统经济运行
2010 年	JGJ/T 229—2010	民用建筑绿色设计规范
2012 年	DGJ08—107—2012	上海市公共建筑节能设计标准
2012 年	DG/TJ08—2090—2012	上海市绿色建筑评价标准

需要指出的是，目前有一种观点认为，办公建筑其室内环境会对工作效率产生影响：建筑服务水平越高，人员的工作效率越高，工作效率越高所创造的社会经济价值远大于建筑能耗费用，因此认为在办公楼等建筑中提高工作效率是首要的。从 20 世纪初开始，西方一些学者试图找到室内环境（室内空气质量、热环境、光环境、声环境等）与工作效率之间的定量关系。Wargocki、Wyon 和 Fanger 分别通过实验发现室内空气质量不满意度降低 10%，工作效率提升约 1.5%。但他们的研究仅以办公室人员的打字、加法运算以及校对工作的速度与正确率为指标来评价工作效率，这些不足以体现现代办公建筑白领的工作内容。同时，1.5% 的工作效率提升度是否在误差允许范围内也未可知。与室内空气质量对工作效率的影响研究方法相似，对热环境与工作效率之间的关系的研究也是从对工厂的体力劳动环境发展到打字员、电话接线员等办公室劳动的效率，近年来虽有对中小学教室热环境对学生学习效率影响的研究，但对工作效率或学习效率的评价仍停留在采用简单的成果数量及错误率作为指标的阶段。现代办公建筑中大多数人员的工作并不只是打字、接电话、校对等简单工作，工作效率还与工作难度有一定的关系，但目前还没有非常科学适用的评价现代脑力劳动者工作效率的方法和指标。有一定挑战性的工作能激发工作人员的热情，即使没有外界的刺激也能较好地完成。甚至环境温度略微偏离舒适，人们也会忽略温度的影响，工作效率不会降低。此外，不管环境温度高低，只要人们自己觉得穿的衣服厚薄合适，不觉得冷或热，那么工作效率就没有差别。

总之，尽管对环境过热或过冷都会影响工作效率这一结论无异议，但至今仍无法回答“到底什么样的环境参数能实现最高的工作效率”。在空调环境下，并非室内温度越低或者温度波动范围越小，工作效率就越高。而且，建筑节能并不意味着室内环境品质和人员工作效率的降低。反之，大量实际案例表明，如果能够从建筑使用者根本的需求出发，优先采用自然通风等被动式技术，实现“天人合一”、“亲近自然”，不仅不会影响人员工作效率，甚至可以在改善室内环境和降低建筑能耗的同时还能提高工作效率。

党的十八大政治报告指出“能源节约要抓总量控制”。生态文明发展模式就是要在给定的对自然资源与环境影响上限的约束下实现人类的发展。公共建筑节能就应该同样实行总量控制，先确定用能总量的上限，以这一上限为“顶棚”，通过创新的技术、精细的实施、卓越的管理，使得在不



超过用能总量上限的前提下，提供高水平的服务，营造舒适的室内环境。由此，除了那些关于安全的刚性需求标准外，就应该取消那些关于服务水平、室内环境的“灰色”柔性标准（或者代之以满足安全与健康基本要求的最低标准，并且这些标准应该不再随经济发展而改变），反过来以用能上限、碳排放上限、对环境影响的上线等作为刚性的约束条件，也就是严格的限制约束标准。这样建筑节能相关的标准体系结构就由原有的：

规定必须满足的需求与服务水平标准，指导性的如何实现建筑节能的技术规范；

改为：

规定不得逾越的用能总量和对环境影响，指导性的如何改善室内环境、提高服务水平的技术规范。

目前，在住房和城乡建设部的指导下，经过专家小组的努力，初步形成的“建筑能耗标准”征求意见稿已经上网公示，这是按照上述思路转变我国建筑节能工作着眼点的重要一步，也是按照新的思路开展建筑节能工作的重要基础。按照这样的新的思路一步步走下去，一定会使我国的建筑节能工作产生真的成效。

2 用能上限应该是多少

按照以上思路，如何确定建筑的用能上限就成为核心问题。为此首先要确定我国未来的总的用能上限，然后再根据各用能领域对能源的需求量得到建筑可以使用的用能上限，进而得到公建的用能上限。可以有如下三种方法来确定我国未来的用能总量：

方法一：根据我国的资源状况和可能实现的能源进口状况估算我国今后 20~30 年间可能获得的能源总量。附录中给出了中国工程院根据能源供给部门的发展研究作出的未来能源总量预测。到 2020 年，我国有把握的可供应的能源总量约为 40 亿 tec。

方法二：根据 IPCC 研究控制全球气候变化的要求，2020~2025 年全球二氧化碳排放总量应达到 400 亿 t 的峰值，按照我国占全球人口 20% 来均分排放权，我国二氧化碳排放总量不应超过 80 亿 t。这样，我国的化石能源年燃烧量上限为 31 亿 tec，如果我国届时非化石能源量达到 30%，则年能源消费上限也是 40 亿 ~45 亿 tec。

方法三：我国人口峰值约为 15 亿，达到世界总人口的 20% 之后，人口占全球人口总量的比例会逐年下降。由此，从公平性原则出发，我们使用的能源总量不应超过全球能源消费总量的 20%。全球未来能源消费总量将在 200 亿 ~230 亿 tec 之间，这样，我们可以分摊的用能总量也恰好在 40 亿 ~45 亿 tec 之间。

根据这一用能总量，综合平衡工业、交通的用能需求和发展，我国未来建筑运行用能上限是每年 10 亿 tec，这个数字仅指建筑外的能源系统可向建筑物提供的能源，不包括建筑本身利用各种可再生能源所产生的能源。表 4 给出了目前我国工业、交通和建筑运行这三大部类的用能状况和未来的用能总量规划。表 5 给出了我国各类建筑用能现状和未来达到不同的建筑总规模时，各类建筑可分摊的用能总量和单位建筑面积用能量。

我国分部门用能现状与规划（亿tec） 表4

	2011 年	未来
工业	25.1	23~27
交通	2.9	5~7
建筑	6.9	8~10
总计	34.8	40



我国各类建筑用能现状与规划 表5

	指标	2012 年	控制能耗强度情景 1	控制能耗强度情景 2
北方城镇采暖用能	面积 (亿 m ²)	106	150	200
	能耗 (亿 tec)	1.71	1.5	2.0
	强度 (kgec/m ²)	16.1	10	10
公共建筑用能 (不含北方采暖)	面积 (亿 m ²)	83	120	150
	能耗 (亿 tec)	1.82	2.4	3.0
	强度 (kgec/m ²)	21.9	20	20
城镇住宅用能 (不含北方采暖)	面积 (亿 m ²)	188	300	450
	户数 (亿户)	2.49	3.5	3.5
	能耗 (亿 tec)	1.66	3.1	3.9
	强度 (kgec/ 户)	665	890	1110
农村住宅用能	面积 (亿 m ²)	238	188	200
	户数 (亿户)	1.66	1.34	1.34
	能耗 (亿 tec)	1.71	1.5	1.6
	强度 (kgec/ 户)	1034	1120	1200
总计	面积 (亿 m ²)	510	608	800
	能耗 (亿 tec)	6.9	8.5	10.5

按照表 5 的规划，我国未来各类公共建筑除采暖外的平均能耗应在 70kWh / (m² · a) 以下，具体的分类指标见表 6。表 6 中还给出了目前北京、上海、深圳、成都各类公建的实际用能量范围 (北京的数据不包括集中采暖用能)。其中：

类型 A：建筑物与室外环境之间是连通的，可以依靠开窗自然通风保障室内空气品质，室内环境控制系统采用分散方式。

类型 B：建筑物与室外环境之间是不连通的，需要依靠机械通风保障室内空气品质，室内环境控制系统采用集中方式。

我国公共建筑能耗指标 (引导值) 与现状范围 (kWh/ (m² · a)) 表6

建筑分类	严寒及寒冷			夏热冬冷			夏热冬暖		
	能耗指标		实际范围	能耗指标		实际范围	能耗指标		实际范围
	类型 A	类型 B		类型 A	类型 B		类型 A	类型 B	
政府办公建筑	30	50	21~190	45	65	29~280	40	55	15~255
商业办公建筑	45	60	10~205	60	80	34~300	55	75	25~178
三星级及以下	40	60	12~273	80	120	31~253	70	110	79~320
四星级	55	75		100	150	70~451	90	140	92~377
五星级	70	100		120	180	74~537	100	160	86~388
百货店	50	100	11~392	90	170	56~373	80	190	100~378
购物中心	50	135		90	210	31~578	80	245	183~434
大型超市	80	120		90	180	51~453	80	240	150~471
餐饮店	30	50		50	60	36~156	45	70	—
一般商铺	30	50		50	55	22~150	45	60	—

从表 6 中可以看出，上海、深圳多数公建的目前用能量已经超过这一用能上限指标。公共建筑的实际用能量与当地的经济发展水平有关，我国经济发展尚处相对中下水平的地区，公建能耗基本在上述指标以下，而经济发展相对高水平的北上广深，则正在超越这一上限。那么，这一上限真



的能够守住而不被突破吗?怎样守住这一上限?怎样使得公共建筑的实际能耗既不超过这一用能上限,又不降低其服务水平,不会制约当地的经济和社会发展?这就成为必须面对的大问题。

本书第六章(略)给出了8个不同功能的公共建筑的最佳实践案例。这些案例基本涵盖了各类功能的公建,多数聚集在北上广深,全部为2000年后新建或改建,符合“现代化”时尚要求。但是它们的实际能耗基本上都满足前面给出的用能上限。为什么?除相关政策和运行管理机制外,最主要的是理念的创新。这些理念可以总结为:

是充分利用建筑周边的自然环境条件,与外环境相协调,还是与外环境隔绝?

是集中还是分散地提供服务?

是完全依靠机械方式实现室内通风换气,还是尽可能优先自然通风?

是让使用者被动地接受建筑服务还是让使用者参与,给使用者以充分调节的能力?

下面逐一对这些理念进行解析。

3 建筑内环境与室外是隔绝还是相通?

最佳案例是2009年建成的深圳建科院大厦。尽管这也是一座12层的现代办公建筑,但却与目前绝大多数21世纪内建成的大型办公楼不同。这座楼的每层都连接有很大的露台和与室外半开放的活动空间。茶歇、交谈甚至小组会都在这种半室外空间进行。办公空间也设计为与这些半室外空间很好地相通,并且通过调整门、窗状态还能实现良好的自然通风、自然采光。相对于目前大多数与室外隔绝的现代化办公大楼,这座办公建筑尽可能使室内与室外在某种程度上相通,使用者可以从多个角度感觉到室外环境,甚至将一些露台或半室外空间设计成与几百米之外的外界树木和绿地融为一体的感觉。老北京庭院式的内外沟通环境在这座高楼中得以实现。相比于全封闭的现代化办公建筑,绝大多数使用者更偏爱这里的工作、生活环境。由于全年一半以上的时间依靠自然通风、自然采光就可以满足办公需求,所以该建筑单位面积运行能耗远远低于当地的其他办公建筑,而实测室内的温湿度状况、照度水平等,与一般的现代化办公建筑相差不大,有时冬季温度略偏低,夏季温度、湿度都略偏高。尽管如此,这样的办公环境却受到大多数使用者的偏爱,这是为什么?这种建筑环境的营造理念与目前现代化办公大楼的建筑环境营造理念显然很不相同,这一不同的核心到底是什么呢?

在工业革命以前,人类不具备营造人工环境的能力。为了获得较舒适的建筑空间,就精心设计使建筑与室外环境协调,尽可能利用自然条件营造适应人们需求的建筑环境。例如,北方建筑精心选择朝向以在冬季得到足够的日照,北墙不设窗或仅设很小的外窗以阻挡西北寒风,南方建筑的通风、遮阳等许多方面都下了很大的功夫,一代代传承下来丰富的经验。大约在三千年前人类就发明了窗户,依靠窗户实现在需要的时候对室内通风、采光,在不需要时则挡风、隔光。以后发明了取暖设施,但其只是当室内过冷,通过调节与自然环境的关系仍不能满足需求时的辅助手段。同样人类逐渐有了人工照明手段,但也只是在自然采光无法满足需求时的补充。直至工业革命中期,“自然环境调节为主,在大部分时间内提供需求的室内环境;机械手段为辅,仅在极端条件下补偿自然环境调节的不足”,仍为人类营造自身生活与活动空间的基本原则。这就是北美1950年代初大多数建筑的状况,也是我国至20世纪末绝大多数建筑的实际状况。这样,为了获得较好的室内环境,就要在建筑形式设计上下很大功夫,充分照顾通风、采光、遮阳、保温、隔热等各方面需求,并且在室内环境与外界自然之间的联通方式上下大功夫,许多出色的建筑都在室内外过渡区域通过各种方式营造出满足不同需要的功能空间。

然而,随着工业革命带来的科学技术的飞速发展,人类已经完全具备营造任何环境参数的人工环境空间的能力。依靠采暖、空调、通风换气、照明等各种技术手段营造出科学实验、工业生产、



医疗处理、物品保存等各种不同要求的人工环境，取得了极大的成功，满足了科技发展、社会进步、经济增长的需要。这类人工环境是为了满足其特定的科研与生产需要的，必须严格控制室内环境参数，由此就要尽可能切断室内与室外的联系，尽量避免外界自然环境的温湿度、刮风下雨、日照等因素对人工环境的影响。室内外隔绝得越彻底，室外环境变化对人工环境的影响就越小，营造室内环境的机械系统的调控能力也就越有效。随着为了生产和科研营造人工环境技术的成功，人类开始把这些技术转过来用在服务于人的日常生活与日常工作的民用建筑环境中，尤其是公共建筑中。有了这些技术手段，还可以充分满足建筑师完全从美学出发构成各种建筑形式的需要。于是建筑就不再需要考虑与当地气候和地理条件相适应，建筑就不再承担联系室外自然条件、营造室内舒适环境的功能。任意造型，只要密闭，剩下的事就可以完全由机械系统解决！这时，窗户传统上通风采光的功能也可以完全抛掉，只剩下外表装饰和满足观看室外景观的功能；只有彻底地切断全部自然采光，才能通过人工照明实现任意所需要的室内采光效果；只有使建筑彻底气密，才能通过机械通风严格实现所要的通风换气量和室内的气流场；只有使建筑围护结构绝热，才能完全由空调系统调控，实现所要求的温湿度条件和参数分布。这就是现代公共建筑室内环境控制几十年来的发展模式！工业和科研要求的人工环境从工艺过程出发可以清楚地提出严格的室内环境要求条件，为了使民用建筑室内环境也同样能够提出相应的条件和参数，大量的研究开始探讨人的最佳温湿度条件、最佳的室内流场、最佳的温湿度场。按照同样的技术途径，把为人服务的民用建筑室内空间环境调控完全按照工业与科研的人工环境营造方法来做，固然也可以构成使用者满意的室内环境（如果真正研究清楚了人的需求的话），但由此也造成巨大的能源付出！美国从 1950 年代的传统方式发展到现在的模式，单位面积建筑运行能耗增加了 150%（是原来的 2.5 倍），日本从 1960 年代的传统方式发展到现在的模式，单位建筑面积能耗增长了 1 倍。而反过来的问题是：人类生活与工作真的需要这样严格控制的人工环境吗？这样与外界自然环境隔绝，全面控制的人工环境真的适合人的需要吗？以这样几倍能耗的代价来营造这样的环境，符合生态文明的要求吗？

英国建筑研究院（BRE）在 2000 年曾对英国的各类办公建筑进行了调研，图 5 为他们发表的能耗调查结果。从图中可以看出，除掉前面一段表示采暖的能耗外，不同建筑的能耗除采暖外其他各项能耗相差巨大，典型的自然通风办公建筑，每平方米建筑除采暖外能耗约为 $30\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，而典型的全封闭中央空调办公建筑则超过 $300\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，十倍之差！更值得注意的是对使用这些办公建筑的人员进行满意度的问卷调查，这些自然通风办公楼的满意程度最高，而那些全封闭的中央空调大楼却被投诉为“空气不好、容易过敏、易瞌睡”等，满意程度最差！到底我们应该从哪种理念出发去营造我们生活工作的空间呢？

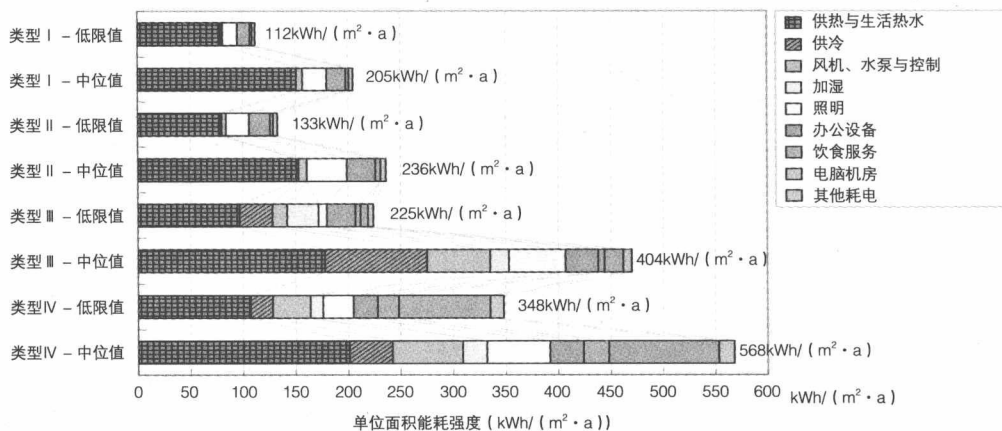


图 5 英国办公建筑能耗调查



表 7 给出了两种不同的室内环境营造理念和由此产生的具体做法及结果。考虑到生态文明的发展原则，就不能追求人类极端的舒适，而应在资源和环境容量容许的上限下适当地发展，在对资源与环境的影响不超过上限的条件下通过技术创新尽可能营造健康舒适的居住与生活环境。这样一来，是否要质疑这种营造现代的人工环境的理念与做法，并且在我们传统的基于自然环境的基本原则下，依靠现代科学技术进一步认识室内环境变化规律及人真正的健康与舒适需求，从而发展出更多的创新方式、创新技术去创造更好的人类活动空间呢？

两种营造和维护室内环境的理念、做法与效果 表7

	营造人工环境	营造与室外和谐的环境
基本原则	完全依靠机械系统营造和维护要求的人工环境	主要依靠与外界自然环境相通来营造室内环境，只是在极端条件下才依靠机械系统
对建筑的要求	尽可能与外环境隔绝，避免外环境的干扰：高气密性、高保温隔热，挡住直射自然光	室内外之间的通道可以根据需要进行调节：既可以自然通风又可以实现良好的气密性；既可以通过围护结构散热又可以使围护结构良好保温；既可以避免阳光直射又可以获得良好的天然采光
室内环境参数	温湿度、CO ₂ 、新风量、照度等都维持在要求的设定值周围	根据室外状况在一定范围内波动，室外热时室内温度也适当高一些，室外冷时室内温度也有所降低，室外空气干净适宜则新风量加大，室外污染或极冷极热则减少新风
调整和维护室内环境状态	运行管理人员或自动控制系统，尽可能避免建筑使用者的参与	使用者起主导作用（开 / 闭窗，开 / 关灯，开 / 停空调等），管理人员和自控系统起辅助作用
提供服务的模式	机械系统全时间、全空间运行，24h 全天候提供服务	“部分时间、部分空间”维持室内环境，也就是只有当室内有人、并且通过自然方式得到的室内环境超出容许范围，才开启机械系统
运行能耗	高能耗，单位面积照明、通风、空调用电量可达 100kWh/m ²	低能耗，大多数情况下单位面积照明、通风、空调能耗不超过 30kWh/m ²

4 室内环境营造方式是集中还是分散？

长期以来一直争论不休的话题之一就是建筑设备服务系统上是采用集中方式还是分散方式？主张集中者认为集中方式能源效率高，相对投资低，集中管理好，技术水平高，一定是今后的发展方向；而主张分散者则是列举出大量的调查实例，说明集中方式能耗都远高于分散方式。那么，问题的实质是什么？集中与分散这两种不同理念在各类建筑服务系统中是否有共性的东西？

- 还是先看一批实际案例：
- （1）办公室空调，全空气变风量方式、风机盘管 + 新风方式、分体空调三种方式在其他条件相同时其能耗比例大约是 3：2：1，而办公室人员感觉的空调效果差别不大。变风量方式即使某个房间没人，空调系统仍然运行，而风机盘管、分体空调方式在无人时都能单独关闭；晚上个别房间加班时，变风量系统、风机盘管系统都需要开启整个系统，而分体空调却可以随意地单独开启。
- （2）集中式生活热水系统总的运行能耗一般是末端消耗热量量所需要的加热量的 3~4 倍，因为大部分热量都损失在循环管道散热和循环泵上了，末端使用强度越低，集中生活热水系统的整体效率就越低。
- （3）在河南某地区水源热泵作为热源的集中供热系统，单位建筑面积耗热量为分散方式采暖的 3 倍多；而把末端改为单独可关断的方式并按照实际开启时间收取热费时，实际热耗就与分散方式无差别，但此时集中式水源热泵的系统 COP 却下降到不足原来的 40%。^①
- （4）大开间敞开式办公室的照明采用全室统一开关时，白天照明基本上处于开的状态，而类似的人群分至一人或两人一间的独立办公室时，白天平均照明开启率不到 50%。办公室额定人数越多，

^① Xin Zhou, Da Yan, Guangwei Deng. Influence of occupant behaviour on the efficiency of a district cooling system. BS2013-13th Conference of International Building Performance Simulation Association, P1739-1745, August 25th -28th, 2013, Chambéry, France.



灯管照明处于全开状态的频率就越高。

(5) 新风供应系统：分室的单独新风换气，风机扬程不超过 100Pa；小规模新风系统（10 个房间），风机扬程在 400Pa 左右；大规模新风系统（一座大楼），风机扬程可高达 1000Pa。如果提供同样的新风量，则大型集中新风系统的风机能耗就是小规模系统的 2~3 倍，是分室方式的 10 倍！同时，大型系统经常出现末端新风不匀，某些房间新风量严重不足；而小型系统很少出现，单独的分室方式则不存在新风不足之说！在每天实际运行时间上，大系统或者日开启时间很短，或不计能耗长期运行耗电严重；而小系统此类问题却很少。

既然集中式如上面各案例，出现这样多的问题，那么为什么还有很大的势力在提倡集中呢？大体上有如下一些理由：

(1) 如同工业生产过程，规模越大，集中程度越高，效率就越高？工业生产过程即是如此，能源的生产与转换过程如煤、油、气、电的生产也是如此。但是建筑不是生产，而是为建筑的使用者也就是分布在建筑中不同区域的人提供服务。使用者的需求在参数、数量、空间、时间上的变化都很大，集中统一的供应很难满足不同个体的需要，结果往往就只能统一按照最高的需求标准供应，这就是为什么美国、中国香港的中央空调办公室内夏季总是偏冷、我国内地北方冬季的集中供热房间很多总是偏热的原因，这也就造成晚上几个人加班需要开启整个楼的空调，敞开式办公只要有一个人觉得暗就要把大家的灯全打开。这种过量供给所造成的能源浪费实际上要远大于集中方式效率高所减少的能源消耗。而且，规模化生产，就一定是全负荷投入才能实现高效，而建筑物内的服务系统，由于末端需求的分散变化特性，对于集中方式来说，只有很少的时间会出现满负荷状态，绝大多数时间是工作在部分负荷下甚至极低比例的负荷下。这种低负荷比例往往不是由于各个末端负荷降低所造成，而是部分末端关断所引起。这样，集中系统在低负荷比例下就出现效率低下。反之，分散方式只是关断了不用的末端，使用的末端负荷率并不低，效率也就不会降低。图 6 所示为实测的河南某热泵系统末端风机盘管风机开启率分布状况。这个系统冷热源绝大多数时间都运行在不足 20%~50% 的负荷区间，但从图中可以看出，这是由于很低的末端使用率所造成。大多数情况下末端开启使用时，对单个末端来说其负荷率都在 70% 以上，是瞬间同时开启的数量过低才导致系统总的负荷率偏低，系统规模越大，出现小负荷状态的比例越高。这样，系统越是分散，各个独立系统运行期间平均的负荷率就越高（因为不用的时候可完全关闭），从而使得系统的实际效率离设计工况效率差别不大；而系统越集中，由于同时使用率低造成整体负荷过低导致系统效率远离设计工况。这样，面对末端整体很低的同时使用状况，大规模集中系统就面对两种选择：放开末端，无论其需要与否，全面供应；这就和目前北方的集中供热一样，系统效率可能很高，但加大了末端供应，总的能耗更高。末端严格控制，这就导致由于系统总的使用率过低而整体效率很低。这样，建筑服务系统就不再如工业生产过程那样系统越大效率越高，而转变为系统规模越大整体效率越低；而分散的方式由于其末端调节关闭的灵活性反而实际能耗在大多数情况下低于集中方式。系统规模越大，出现个别要求高参数的末端的概率就越高，为了满足这些个别的高参数需求系统所要提供的运行参数就会导致在大多数低需求末端造成过量供应或“高质低用”；系统规模越大，出现效率很低的同时使用率的概率就越高，这又导致系统整体低效运行。与工业生产过程大规模同一参数批量生产的高效过程不同，正是这种末端需求参数的不一致性和时间上的不一致性造成系统越集中实际效率反而越低。

(2) “系统越集中，越容易维护管理”？实际上运行管理包括两方面任务：设备的维护、管理、维修；系统的调节运行。前者保证系统中的各个装置安全可靠运行，出现故障及时修复和更换；后者则是根据需求侧的各种变化及时调整系统运行状态，以高效地提供最好的服务。集中式系统，设备容量大，数量少，可以安排专门的技术人员保障设备运行；而分散式系统设备数量多，有可能故障率高，保障设备运行难度大。这可能是主张采用集中系统的又一个重要原因。但实际上，随着技

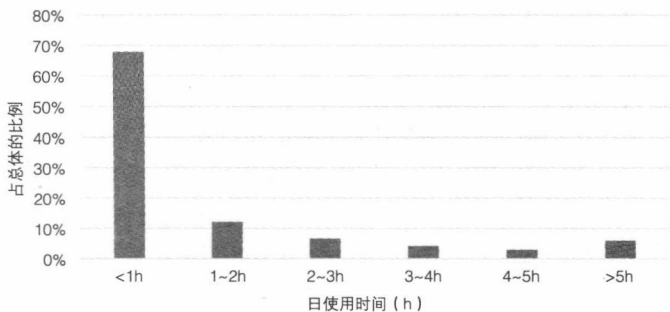


图6 实测河南某热泵系统末端风机盘管日开启时间分布

注：1. 图中数据统计了该小区 2012 年 7 月的风机盘管开启情况，共统计风机盘管数 1462 台。
2. 图中时间范围和比例表示了该开启时间范围内风机盘管数量占总风机盘管数的比例。

术的进步，单台设备可靠性和自动控制水平有了长足的改善。目前散布在千家万户的大量家电设备如空调、彩电、冰箱、灯具的故障率都远远低于集中式系统中的大型设备。各类建筑中使用的分散式装置的平均无故障运行时间都已经超过几千至上万小时。而这类设备的故障处理就是简单地更换，完全可以在不影响其他设备正常运行的条件下在短时间完成。相反，集中式的大型设备相对故障率高，出现故障时影响范围会很大，在多数情况下大型设备出现故障时难以整体更换，现场维修需要的时间要长。由此，从易维护、易维修的需要看，系统越分散反而越有优势，集中不如分散！再来看运行调节的要求，集中式系统除了要保证各台设备正常运行外，调整输配系统，使其按照末端需求的变化改变循环水量、循环风量、新风量的分配，调整冷热源设备使其不断适应末端需求的变化，都是集中式系统运行调节的重要任务。系统越大，调节越复杂。目前国内大型建筑中出现的大量运行调节问题主要都集中在这些调节任务上。可以认为至今国内很少找到运行调节非常出色的大型集中式空调系统。反之，分散方式的运行调节就非常简单。只要根据末端需求“开”和“关”，或者进行量的相应调节即可，不存在各类输送系统在分配方面所要求的调节。目前的自动控制技术完全胜任各种分散式的控制调节需要，绝大多数分散系统的运行实践也表明其在运行调节上的优势。如此说来，“集中式系统易于运行维护管理”是否就不再成立？随着信息技术的发展，通过数字通信技术直接对分布在各处的装置进行直接管理、调节的“分布式”系统方式已经逐渐成为系统发展的主流，“物联网”、“传感器网络”等 21 世纪正在兴起的技术使得对分散的分布的系统管理和调节成为可行、可靠和低成本。从维护管理运行调节这一角度看，越来越趋于分散而不是趋于集中才是建筑服务系统未来的发展趋势。

(3) “许多新技术只适合集中式系统，发展集中式系统是新技术发展的需要”。确实，如冰蓄冷、水蓄冷方式，只有在大型集中式系统中才适合。水源热泵、地源热泵方式也需要系统有一定的规模。采用分布式能源技术的热电冷三联供更需要足够大的集中式系统与之配合。如果这些新的高效节能技术能够通过其优异的性能所实现的节能效果补偿掉集中式系统导致的能耗增加，采用集中式系统以实现最终的节能目标，当然无可非议。然而如果由于采用大规模集中式系统所增加的能耗高于这些新技术获得的节能量，最终使得实际的能源消耗总量增加，那么为什么还要为了使用新技术而选择集中式呢？实际案例的调查分析表明，对于办公楼性质的公共建筑，如果采用分体空调，其峰值用电甚至并不比采用冰蓄冷系统中央空调时各级循环水泵、风机的用电量高。这样与分散方式比，带有冰蓄冷的中央空调对用电高峰的缓解作用也并不比分散系统强。采用楼宇式电冷联产，发电部分的燃气—电力转换效率也就是 40%，相比于大型燃气—蒸汽联合循环纯发电电厂的 55% 的燃气—电力转换效率，相差 15% 的产电率。而电冷联产用其余热同时产生的冷量最多也只为输入燃气能量的 45%，按照目前的离心制冷机效率，这只需要不到 9% 的电力就可以产生，而冷电联产却为