



城市发展的能源效率政策

国合会政策研究背景报告2008

中国环境与发展国际合作委员会2008年年会

(2008.11.12-14)

课题组成员

课题组长

江 亿，中国工程院院士，教授，清华大学建筑节能研究中心主任
图比娅娜，国合会委员，法国可持续发展与国际关系研究院创始人及院长
周 伟，国合会委员，交通部科学研究院原院长，课题组中方副组长

课题组成员

毛其智，清华大学建筑学院，副院长，教授
李 强，清华大学人文学院，院长，教授
齐 晔，清华大学公共管理学院，教授，所长
江玉林，交通部科学研究院，副总工程师
姜克隽，研究员，国家发改委能源所
Bertrand CHÂTEAU, 法国Enerdata公司总裁
Albert BRESSAND, 教授，美国哥伦比亚大学能源、海洋运输和公共政策中
(CEMTPP)心执行主任
Shobhakar DHAKAL, 日本国立环境研究所全球碳项目中心主任
Nick EYRE, 英国牛津大学环境变化研究所高级研究员
Lucienne KROSSE: 荷兰技术、舒适、健康与能源中心研究员
Partha MUKHOPADHYAY, 印度政策研究中心主任

支持专家

林波荣，清华大学建筑节能研究中心，副教授
Carine Barbier, 研究员，法国可持续发展与国际关系研究院
Mark MAJOR, 欧盟能源和交通首席代表
Shomik MEHNDIRATTA, 高级交通专家，世界银行北京办公室
赵吉敏，英国牛津大学环境变化研究所高级研究员
杨 秀，清华大学建筑节能研究中心
刘佳燕，清华大学人文学院，博士后
张声远，清华大学建筑节能研究中心
谷立静，清华大学建筑技术科学系
李 哲，清华大学建筑技术科学系
吴洪洋，交通部科学研究院，副教授
李振宇，交通部科学研究院，工程师
王静文，清华大学建筑学院，博士后

摘 要

目前中国建筑与交通消耗的能源占社会终端总能耗的 33%左右,相当于欧盟国家 60 年代的水平。而根据发达国家的经验,随着人均国民生产总值的增加,建筑和交通行业的能源消耗量占能源消耗总量的比例会稳步增长。在经济合作发展组织和欧盟成员国,建筑和交通行业的能源消耗量约占能源消耗总量的三分之二左右。即使只考虑城市地区,建筑和交通的能源消耗量也占了能源消耗总量的一半,成为节能减排的重点领域。

中国的城市建筑正持续以 5%~8%的速度增长,每年新增 10 多亿平米的新建筑,不仅直接导致了今后 15 年内城镇建筑拥有量将再增加一倍、建筑运行总能耗持续增长,还间接推动了水泥、钢材、玻璃等高耗能建材业的快速发展。据统计,2005 年中国用于城镇建设的水泥、钢材、玻璃、陶瓷等占社会总能耗的 20%左右,如果建筑规模减少一半,则总能耗可降低 10%。

在“与国外接轨”和“三十年不落后”的理念影响下,不断涌现大批标新立异、贪大求洋、高标准、大面积的住宅和办公建筑。据统计,中国目前城镇人均建筑面积接近 30m^2 ,超过香港,接近日本、新加坡等国城镇平均水平(约 36m^2),部分省市该指标则超过日本和新加坡,但总体上低于美国和欧洲。但是,近 15 年来大约每 7 年城镇建筑面积翻一番,每年开工面积超过 10 亿平米。如果按照每年持续新建 10 亿 m^2 ,而城市人口每年增加 1500 万,到 2030 年城镇人均建筑拥有量将达到 42m^2 ,接近欧洲平均水平。如果城镇建筑总量增加一倍,那么建筑能耗总量很可能要增加一倍甚至更多。

目前中国人均建筑运行能耗仅为美国的 1/12,西欧北欧国家的 1/6;城市人口的人均建筑运行能耗为美国的 1/7,西欧北欧国家的 1/3.5;城市建筑单位面积平均运行能耗为美国的 1/3,住宅单位面积平均能耗为美国的 1/3,欧洲的 1/2。然而,近几年来,随着经济增长和生活水平的提高,在“与国外接轨”和“三十年不落后”的理念影响下,不断涌现大批标新立异、贪大求洋、高标准的住宅和办公建筑,其运行能耗也实现了“与国外接轨”,单位面积能耗大幅度增加。例如,中国某地的高档住宅,号称采用了世界上最先进的空调采暖节能技术,全年大部分时间采暖空调全天 24h 运行,能耗水平为 $20\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$,是普通住宅的 7~10 倍,与发达国家高档住宅的能耗水平相当;又如,中国部分大城市的大型公共建筑的单位面积年耗电量指标为 $200\sim 300\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$,已达到美国、日本、欧洲等发达国家水平。中国类似的大型公共建筑面积不足 5%,却消耗了 10%以上的建筑能耗。

如果前述“与国外接轨”的城镇化理念得到蔓延，将使中国的建筑能耗达到“发达国家”的高水平。以中国城市建筑单位面积用电量指标为例，未来如果达到美国目前的平均水平，则2020年300亿 m^2 的城镇建筑每年就要消耗3万亿度电，这是中国目前全国发电总量的1.5倍；如果单位建筑面积用电量达到德国法定节能建筑的水平（60kWh/ $m^2 \cdot a$ ），则届时全国城镇建筑用电量也将达到目前中国全年发电量之和。

此外，伴随着快速城镇化，中国的机动化水平也在快速提高，其中尤其以私人小汽车的拥有量增长最为突出。仅2003-2005年，私人小汽车拥有量就从578万辆增加到1325万辆，年均增长率达到31.9%。城市交通的快速发展，机动化水平的不断提高，对城市发展带来了严峻挑战。一方面，在城市中心区，交通拥堵日益严重；另一方面，交通能耗和污染排放不断加剧。交通行业能源消耗的规模逐年上升，能源消耗的增速高于全社会能源消耗的增速，已成为中国用能增长最快的行业之一。

与发达国家过去30年发展的情况不同，中国城市建筑和交通发展处在更为恶劣的资源与能源环境下。全球日益紧张的能源与环境形势使中国必须在更有限的人均能源与资源条件下发展，走一条资源与能源节俭的路。

需要注意的是，自2001年起，伴随着蓬勃的市场经济下人民生活水平的不断提高，普通百姓对住宅、汽车、家用电器等耐用消费品需求不断增加，生活消费模式正朝着“高标准、超豪华”、“国际接轨”的方向发展。整体上，中国经济实质上已经进入到一个以消费结构升级所拉动的重化工业发展阶段。在这种情况下，研究与城市节能相关的工作、生活、休闲与出行方式以及对城市建筑和交通能耗的影响，研究中国当前社会能耗的消费分层及其内在社会影响因素、基于调节人类行为的角度，探讨在中国实现节能型社会目标的政策手段和价值引导手段，确定以资源节约为导向的未来社会新的消费增长点，发展与已有发达国家不同的建筑和交通用能模式，在满足社会发展和人民生活水平改善的基础上比目前西方现代化国家消耗更少的资源，意义重大。

国内外大量研究表明，城市建筑和交通领域的能源消耗，具有明显的消费领域特征，与工业领域的节能完全不同。城市领域的节能，与技术进步有关，但又不完全。一些非技术因素，如优化组织与管理，提高能源价格，提倡节约的生活方式，也可以达到相同的效果。特别是用能设备的运行模式、交通工具的选择、使用时间，多数情况下相对更为重要。使用公共交通工具而不是私人汽车上班，控制适当的住宅单元规模和办公室建筑人均建筑面积，合理采用空调采暖方式，合理设定采暖空调温度，减少采暖空调时间、使用自然通风、合理选择生活热水供应方式、等等，都能在获得相同或相似服务质量的基础上，减少能源消耗。中

国传统百姓长期以来形成“人走灯灭、节俭用能”的生活模式，公共建筑中习惯的“部分空间、部分时间”采暖空调方式，是当前中国的住宅能耗目前仅为发达国家（如美国）1/3、普通办公建筑能耗约为美国的 1/2 的重要原因。

此外，对于消费与服务型城市，城市建筑与交通的能源需求和发展模式还与城市规模，建筑与人口密度，居住、交通、工作及业余生活模式密切相关。例如，密集型城市倾向于大容量交通和密集型服务网络的发展，这样有助于提高效益。与此相反的是，扩张性城市需要远距离交通、相对分布或独立的网络和服务，否则消费者需要花费更高的费用，也不利于能源系统的效率。

本课题以探索建设资源节约型社会或能源节约型城市为目标，正是要综合考察上述措施的节能效果对城市能源消费的影响。即通过对国内外典型城市的大规模调研比较，研究不同城市规模、建筑密度、人口数量、人口密度、人口分布和人均收入水平下整个城市的建筑和交通能耗情况，建立城市尺度和个人工作、生活、休闲、交通行为和能耗模型，研究整个社会不同人群的不同用能行为对城市建筑和交通节能的影响。

从城市社会文化的视角，解读当前不同社会群体生活模式及其能源消费方式背后的社会文化和价值观，深入探究支撑其消费文化的内在认知要素；结合中国城市化发展的自身特点，探索基于自身社会和资源背景条件下的适宜消费模式和城市化发展模式，以及可促成这种模式的实现需要的政策和机制。

本课题的研究，将从城市社会群体和政策多角度看待能源节约型城市的建设策略问题。即通过研究、分析所有这些微观层面的节能措施到底对各个部门、乃至整个国家真正的能源消费和能源节约有何贡献，为相关政策建议的出台提供依据和具体措施。

目 录

一、城市发展与节能的基本概念和方法学	1
1.1 城市消费领域节能的基本概念	1
1.1.1 降低能耗是城镇可持续发展和经济增长的关键	1
1.1.2 如何实现城市消费领域的节能?	1
1.1.3 节能是政策问题.....	2
1.1.4 如何实现城市节能?	2
1.2 城市规划设计与节能	4
1.2.1 基本概念.....	4
1.2.2 建筑节能.....	4
1.2.3 城市交通节能.....	5
1.2.4 城市规划设计与节能	6
二、中国及国外城市能耗与能效现状与发展	7
2.1 引言：中国城市化进程及其特征	7
2.2 各主要国家城市建筑与交通能耗现状	10
2.2.1 中国与发达国家的城市能耗情况	10
2.2.2 各国城市化及其能耗的比较.....	12
2.3 中国建筑能耗现状	17
2.3.1 中国建筑能耗为社会总能耗的四分之一左右.....	18
2.3.2 当前中国建筑能耗水平低于发达国家.....	19

2.3.3 国内建筑单位面积能耗水平也存在较大的差异性.....	21
2.3.4 公共建筑能耗差别也和用能方式密切相关.....	22
2.3.5 不同的建筑环境营造模式和行为模式是导致能耗差别的重要原因.....	23
2.4 中国城市交通与能耗现状	24
2.4.1 中国交通发展回顾.....	25
2.4.2 居民出行需求不断增加.....	26
2.4.3 城市交通客运总量增长迅速	27
2.4.4 交通行业已经成为中国用能增长最快的行业之一.....	28
2.4.5 各种出行方式中小汽车单位能耗最高.....	28
2.4.6 人均交通油耗低于发达国家水平，但增长迅速、势头猛.....	29
2.4.7 城市客运能耗中小汽车能耗总量比重最高.....	30
三、结论	31

一、城市发展与节能的基本概念和方法学

1.1 城市消费领域节能的基本概念

1.1.1 降低能耗是城镇可持续发展和经济增长的关键

随着京都议定书的签订与近年来能源供应的日趋紧张，各国纷纷将节能提上重要日程。无论是经合组织成员国，还是非经合组织成员国，均结合本国国情，采取了相应的应对措施，或进行政策变革。市场手段（包括非官方的协议、标识与情报传播等）与相关调节机制都在市场可能失效的一些环节（如建筑业、设备业等）中得到了广泛的应用，并发挥了极大的作用。

在发展中国家与地区，节能之重要性所体现的领域与发达国家不同。发展中国家的节能减排，除了重视温室气体减排与降低当地污染外，更强调减少石油、天然气进口的依赖度，降低能源投资，并充分提高现有能源供应系统的效率。

随着 2003 年以来的能源价格剧增，能源成本高涨，对贫困国家的经济发展造成了极大的制约。任何消费部门能效的提高，都能在市场贸易中得到直接的回报。例如，以节约用电为例，将产生两方面收益：

- 在相同的发电量基础上，供给更多的用电终端。实际上，缺乏足够的电力供应正是许多亚洲与非洲国家发展的主要制约之一。
- 遏制电力需求的快速增长，以减少发电基础设施建设投资。这对于中国以及许多东南亚国家等电力需求剧增的国家尤为重要。

1.1.2 如何实现城市消费领域的节能？

城市建筑和交通领域的能源消耗，具有明显的消费领域特征，与工业领域的节能完全不同。而消费领域的节能，意味着在既定的用能项目（如采暖，照明等）或活动中，能源消费总量的减少。这种能耗的减少，与技术进步有关系，但又不完全。一些非技术因素，如优化组织与管理，提高能源价格，提倡节约的生活方式，也可以达到相同的效果。

消费领域的节能，直接与个人行为相关，反应了消费者的节能意识。减少不必要的能耗，或选择合适的设施以减少用能成本等，都有助于在满足个人需求的基础上降低能源消费。包括受能源价格影响，一些能耗消费者可能通过适当降低用能服务水平（比如，降低室内温度设定，或减少车辆使用等），来实现节能。这种改变，不会明显影响工作生活质量，并无不可。

消费领域的节能固然是一种个人行为，但也常常与服务设施的设计好坏密切相关。室内温度的能否可控、照明的启停、外窗是否可开启、公共交通网络是否可及，等等，都极好地说明了这一点。可以说，设施的好坏与个人行为一样对节能有着重要的影响。

1.1.3 节能是政策问题

任何考虑成本与能效的个人决定，都或多或少取决于设备购买当时的成本与因能效提高而可能带来的未来收益之间的平衡。随着实际或预期的能源价格的提高，人们更倾向于采用节能措施与手段。

以家电设施或其它个人设备为例，考虑能效的因素，好的投资决策必然基于合理的经济分析。合适的价格是必需的因素之一。

在市场经济中，能源价格，虽然在终端用户处难以控制，但基本上可以准确地反映能源供应的成本。然而，由于各种因素，能源价格往往只能反映燃料与电能的部分成本，而没有、或极少包含与环境相关的外部成本以及长期的边际效应成本等。

因此，终端用户在做出选购某用能设备、或做某项能效投资（比如房屋的节能改造等）的决定时，往往不能与全球经济最优化保持同步，这导致了实际的节能效果，与在精确考虑所有内外部成本的价格体系下预期的节能效果有出入。

征收消费税是各国政府常用的手段，以减少或限制在个人消费层面的能源价格的变动。然而这也决定了税收一直是能源政策与措施的辅助与补充，而不能变成这些政策与措施的组成部分进而发挥作用。因为税收在社会与经济方面的影响十分深远，虽然它极大地决定了能源政策与措施实施的有效性。

1.1.4 如何实现城市节能？

当前中国面临着两个重要的能源挑战：一是以天然气、石油为主的烃类燃料进口量的快速增长，极易导致日益严重的能源安全及社会经济稳定问题。二是污染物与温室气体排放量的快速增长，极易导致日益严重的环境威胁以及可能随之而来的国际压力。

TF 工作组建议将城市节能的概念延展至中国社会经济可持续发展的层面。这意味着中国各城市的节能工作有两个主要目标：一是处理好能源增长（包括以天然气、石油为主的烃类燃料需求不断增长）与促进经济发展、提高社会福利之间

的关系；二是要处理好解耦污染与温室气体排放与促进经济发展、提高社会福利之间的关系。

福利与社会及文化价值密切相关，包括了生活质量与能满足个人需求的可能性等。因此，城市节能除了考虑技术革新之外，还要考虑提供城市效率、控制城市规模、建设高效设施、提倡绿色健康的生活与消费方式相关。

从工程技术角度看来，一般说增加一栋建筑的保温是有利于采暖节能，因为获得相同舒适的室内采暖温度所消耗的能量少了。但这种微观层面上的节能技术并不一定能实现建筑领域能耗总量的减少。简单计算就可以知道，只要空调采暖的建筑数量越来越多，标准越来越高，用电设备越来越多，计算单位面积的采暖能效提高了，但是总的建筑能耗必然会增加。事实上，工业生产制造领域也有类似的例子。即尽管各工厂不断节能降耗，但是当越来越多的高能耗密度产业大幅增长时，技术层面的节能并不一定降低整个工业领域的用能总量。

能效不仅是技术问题，也与服务方式的选择有关：使用电话通知而不是上门拜访，使用公共交通工具而不是私人汽车上班，减少供暖、空调时间，降低空调、采暖的舒适度标准，等等，都能在获得相同或相似服务质量的基础上，减少能源消耗。

城市领域的节能正是要综合考察所有这些微观层面的节能效果，对宏观层面能源总量的影响。即从政策角度分析所有这些微观层面的节能成果会对各个部门、乃至整个国家真正的能源发展有何贡献。当然这里面有不少困难。首先，从概念上来说，城市领域的节能，与生产效率很很大不同，受政策、行为的影响很大。其次，从方法论上看还比较难以区别开消费领域节能各因素的不同作用。

欧盟、世界能源协会和国际能源署提出通过如下三类指标解决上述问题：

- 总体宏观经济指标，涵盖宏观经济与政治概念上的节能，并分别考察 GDP 能耗强度的两大主要组成部分：经济结构相关部分，以及与各产业能效相关的部分。
- 产业部门指标，旨在对建筑、交通、工业等产业部门的节能进行经济与措施的综合考察，进而将措施评价与实际节能量挂钩，并据此估算其效益。
- 国际横向比较指标，基于一系列可比的能耗数据，旨在通过国家之间的比较确定已有的节能成果中，哪些是由政策措施导致的，哪些是由税收、价格体系导致的。

1.2 城市规划设计与节能

1.2.1 基本概念

按照节能减排和建设和谐社会的要求，中国建设能源节约型城市包括的内容主要有如下三个方面：

1. 从经济角度来看，包括：1) 在保证一定的生活质量的基础上，使中国城市居民的能源消耗最小化；2) 使中国能源总量最小化，特别是降低能源进口量。
2. 从环保角度来看，包括：1) 改善城市生活环境；2) 在保证中国人民生活水平的基础上，使温室气体排放量最小化。
3. 从社会角度来看，包括：1) 提倡合适的生活方式与期望(如生活质量等)，以在相同收入水平条件下，能源消耗最少；2) 减少社会不公平，特别是国民生活水平的差异。

其中，需要解决两个层面的城市节能问题：

1. 一个是居民层面，包括个人日常生活状况（主要是建筑内）以及城市内部的个人交通状况：在改善生活环境、提高生活质量的同时，最小化个人能源费用。这与技术因素、个人行为、以及生活方式相关。
2. 一个是城市层面，以整个城市为整体，通过空间与功能结构的合理组织最小化城市能源服务的需求、及其所需的能源输入，进而在城市与全球水平减轻其对环境的负面影响。

1.2.2 建筑节能

从技术层面看，建筑节能受以下几个因素的影响：

- 1、 建筑设计，包括建筑体型、围护结构保温隔热性能以及被动式节能技术策略（如自然通风、自然采光、被动式太阳能利用，等等）；
- 2、 空调冷热源和输配系统、照明、设备。

各种研究表明，生活模式和行为对于建筑节能的影响最为显著。即：

- 1、是否是部分时间、部分空间的使用；

- 2、降低建筑内的冬季采暖温度，或升高夏季的空调温度；
- 3、建筑内采暖空调、照明等设备系统的管理，是否可以独立调节，等等。

1.2.3 城市交通节能

从技术方面来看，城市交通能源效率主要包括两个方面：城市交通工具的技术性能，及对能源进口和环境影响较小的能源使用情况。交通工具的技术性能包括发动机效率、传动效率和交通工具的大小和动力类型。提高现存交通工具的效率几乎不可能，但是可以投入大量工作开发新的交通工具。为了减少能源进口，降低城市交通工具对环境造成的影响，选择生物燃料和电力很重要。但是应该注意到，生物燃料和电力的生产过程也会影响全球的环境。

行为模式对交通节能的影响主要包括三个方面：

- 1、对于购买小汽车的人，小汽车的特点（大小，动力类型，能耗……）；
- 2、对于有小汽车的人，根据旅行方式和目的决定是否使用以及如何使用（负荷情况，开车的态度）；
- 3、对于所有的人，根据旅途长短决定是否采用步行或自行车。

购买的汽车的特性一般与汽车制造商与销售者之间的沟通以及使用小汽车的费用有很大关系。一般的交通模式选择受以下几个因素的限制：其他类型的交通工具的便利情况（公共交通，自行车车道……），小汽车的使用条件（通行税、停车场是否方便使用以及费用），同时也会对社会惯例的出行文化（自行车既可以看成穷人使用的一种很过时的方式，也可以看做现代人的很时髦的方式）有很大依赖性。

选择公共交通还是小汽车出行取决于两者的便利性、时间花费方面的比较。这就是为什么公共交通应该设计单独的专用通道，像地下铁道、电车轨道或者公交专用车道上证明比常规的汽车更具有吸引力。这要求更加昂贵的基础设施建设费用和设备，但是它们被证明在客运交通繁忙时更加经济有效。这涉及到城市的人口数量，也涉及到交通流的集中度，这反过来也影响了城市的人口密度和功能布局。

所以，提供能源效率机动性服务涉及到城市空间在交通等竞争性基础设施（为小汽车建的街道、公共交通车道与软性模式的专用通道）之间的分配问题。这又是一个涉及到现有城市的大小、地理位置、布局和未来扩张的问题。这样，就主要考虑两个方面：一是对现有公共汽车车道、电车轨道和软性模式车道等城市的街道网的重新配置；二是城市未来扩张的规划，即如何使城市交通经济有效。

在第二个方面，需要研究城市发展的相关概念：即将未来城市高密度区域与现有的区域相联系；在未来低密度区域，每 2-3km 内，创造人口交通流动线路，包括合适的小汽车和自行车停车场。

1.2.4 城市规划设计与节能

城市规划对采暖能耗有一定影响，即不同功能分区的位置、人口和平均供热密度相关。这三个因素直接的影响区域供热系统的经济效益。城市规划与降低采暖能耗，有两点值得研究，1、在高人口密度地区设立创造高密度供热区，使单位住户区域供热成本最低；2、太阳能被动式建筑适合于天气晴朗且有大量空地的地区。

城市规划与交通节能更加密切相关。选择公共交通还是小汽车出行取决于两者的便利性、时间花费方面的比较。这就是为什么公共交通在单独的专用通道上，像地下铁道、电车轨道或者公交专用车道上证明比常规的汽车更具有吸引力。这要求更加昂贵的基础设施建设费用和设备，但是它们被证明在乘客交通繁忙时更加经济有效。这涉及到城市的人口数量，也涉及到交通流的集中度，这反过来也影响了城市的人口密度和功能布局。所以，提供能源效率机动性服务涉及到城市空间在交通等竞争性基础设施（为小汽车建的街道、公共交通车道与软性模式的专用通道）之间的分配问题。这又是一个涉及到现有城市的大小、地理位置和布局和未来扩张的问题。这样，需要考虑两个方面：

1. 对现有公共汽车车道、电车轨道和软性模式车道等城市的街道网的重新配置；
2. 城市未来规划如何使交通更加经济有效

在第二个方面，需要研究城市发展的相关概念：

1. 将未来城市高密度区域与现有的区域相联系；
2. 在未来低密度区域，每 2-3km 内，创造人口交通流动线路，包括合适的小汽车和自行车停车场。

二、中国及国外城市能耗与能效现状与发展

2.1 引言：中国城市化进程及其特征

改革开放 30 年，中国的城镇化进程持续保持高速增长势头。1978 年的城镇化率 17.92%，至 2007 年，全国城镇化率已达 44.94%，年均增长率超过 0.9%。根据目前的发展态势，中国 2010 年的城镇化率为 48%；预计至 2030 年前后，中国的城镇化进程将达到世界的平均水平，并在 2030-2050 年期间与世界的增长率保持同步。

从 1990 年至 2005 年，中国的城镇化率从 26%增长到了 43%。各地区城镇化水平参差不齐，上海、北京和天津城镇化率最高，均在 70%以上；其次是广东、浙江、江苏及东北三省，城镇化率 50%-60%；贵州、云南和西藏三省城镇化率最低，不到 30%，其余地区城镇化率在 30%-50%之间。可见中国大部分地区仍处于城镇化中期加速发展阶段。

伴随着快速城镇化，人均居住面积也在不断增加。统计数据显示，目前中国的城市人均建筑面积接近 30 m^2 ，超过了香港，接近日本与新加坡水平(约 36 m^2)；甚至部分省市的此值已超过日本与新加坡水平。但整体说来，中国人均建筑面积仍远低于美国与欧洲国家。然而在最近 15 年内，中国城市建筑面积每七年翻一番，年均增长面积超过了 10 亿平米。如果每年新建 10 亿平米建筑，同时城市人口增加 1500 万，则中国的城市人均建筑面积将接近欧洲水平，达到 42 m^2 。而建筑能耗也将必然随着建筑规模的增加而增加。如果城市建筑规模增加一倍，建筑能耗将增加一倍，甚至更多。因此，科学合理地控制城市建筑规模与总量，将城市人均建筑面积限制在 35 m^2 以下，每年新建建筑面积应小于 7 亿平米。

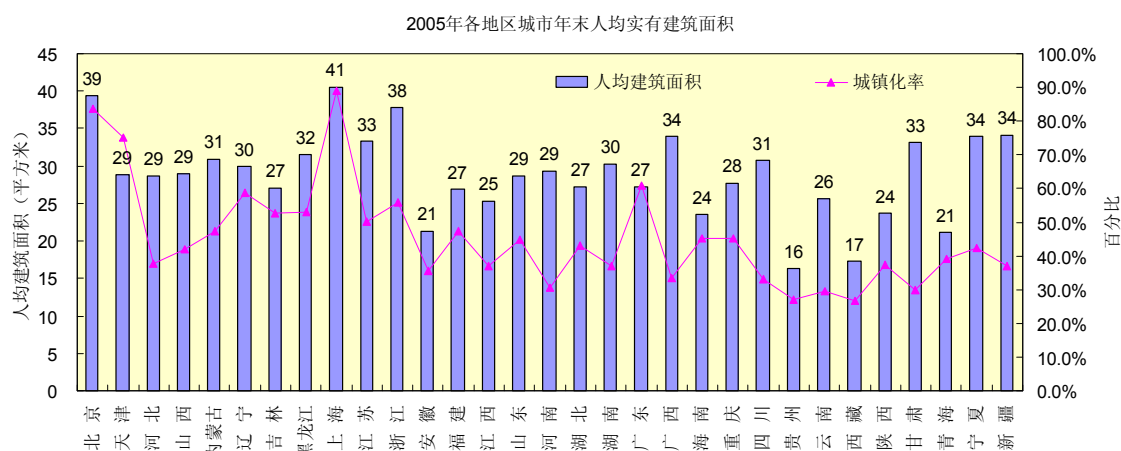


图 2-1 各省城市人均建筑面积以及城市化率

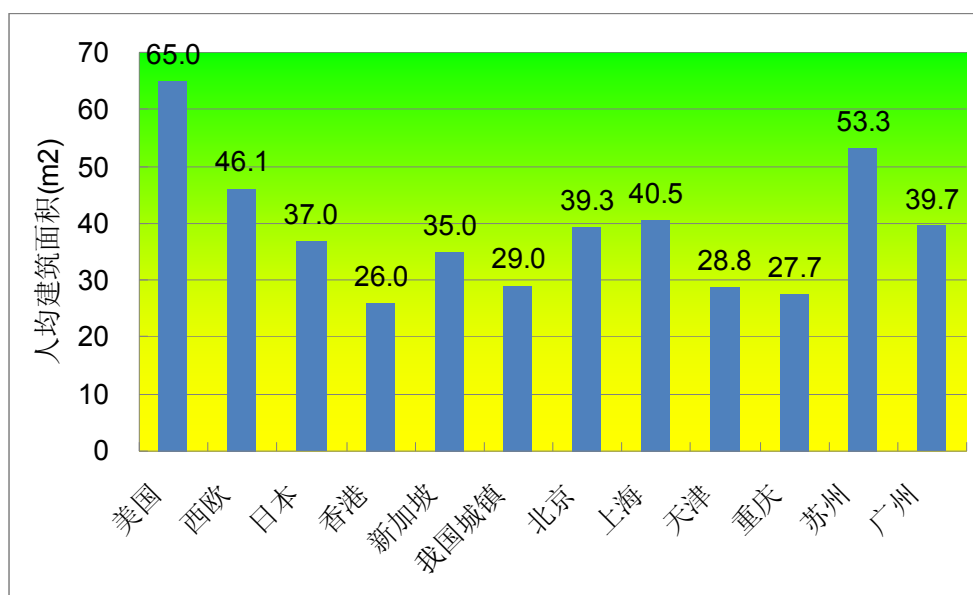


图 2-2 国内外人均建筑面积比较

未来五年中国城镇人口将增加 7700 万人，年均增加 1500 万以上，大量人口向城镇集中必将直接带动城镇住宅用地和各类公共基础设施用地的迅速猛增。然而，到底追求需要多大的人均建筑面积，会对城镇建设带来巨大的影响。例如，目前正在做“十一五”和到 2020 年的发展规划，关于城市建设今后的发展规模，可找到如下版本：

- 目前每年城镇竣工面积达 20 亿平米，今后这个速度将维持下去，因此，十一五期间将新建 100 亿平米。到 2020 年，还将建造 300 亿平米城镇建筑，那时中国城镇将拥有建筑面积 450 亿平米，人均将达到 $54\text{m}^2/\text{人}$ ；
- 每年新建建筑 20 亿平米，其中城镇竣工面积 10 亿平米，按照这个速度发展，2020 年，还将建造城镇建筑 150 亿平米，那时城镇建筑面积总量将为 300 亿平米，人均将达到 $35\text{m}^2/\text{人}$ ¹；
- 每年新建 7~10 亿平米，到 2020 年，城镇建筑面积增加 100 亿平米，达到 250 亿平米，人均将达到 $30\text{m}^2/\text{人}$ 。

目前城市建设发展势头正猛，应该任其下去，达到甚至超过上述第一种预测结果，还是应适当控制？

1 2020 年人居居住面积规划：广州 30m^2 、天津 30m^2 ，某些省市 35m^2 。

从图 2-2 看出，与亚洲几个发达国家和地区相比，中国目前城镇无论是人均建筑面积还是人均住宅面积，都已经处于前列。即使每年增加 1500 万由于农村移民造成的城市人口的增量，每年只要再竣工 5~6 亿平米新建筑，就可以维持城镇人均建筑面积和人均居住面积达到亚洲发达国家的水平。如果每年竣工 10 亿平米新建筑，则到 2025 年，中国城镇人均建筑面积就可以达到西欧水平，如果每年竣工 20 亿平米，则到 2030 年，中国城镇人均面积就将超过美国目前的水平。然而，中国的土地，资源，能源与环境条件显然不能够容许我们在人均建筑面积这一点上达到西欧或者美国水平。

此外，快速城镇化推动建筑业的发展，还促进了建材产业的飞速发展。在建筑中大量使用的建筑材料，如钢、水泥、玻璃等，都属于高能耗的工业产品。它们在生产过程中消耗的能源、资源，以及排放的环境污染物，在全社会范围内也占据着相对较高的比例。

以 2005 年数据为例。这一年钢产量达 3.2 亿吨，能耗 2.24 亿吨标煤，超过中国商品能源消费总量的 11%；其中建筑用钢 1.5 亿吨，占钢产量的 47%，如果再加上铁路，公路，道桥，大坝的用钢量，基本建设用钢接近钢产量的 70%，仅此一项造成的能源消耗就占商品能源总量的 8%。2005 年水泥产量为 10.64 亿吨，60%~70%用于城市新建建筑，其余则主要用于交通建设和水利工程。生产水泥能耗 1.3 亿吨标煤，占中国商品能源总量的 8%。此外，平板玻璃，建筑陶瓷，建筑用塑料，建筑用有色金属等大量建筑材料的生产，这些也消耗大量能源，初步估算，这部分建材生产能耗为全社会商品能源总量的 4%~5%。如此计算，2005 年由于建筑和水利交通建设所需要的钢材和其它建材造成的直接和间接的能源消耗接近中国商品能源消耗总量的 20%，如果建设规模降为一半，则总的能源消耗可降低 10%。

过快的城市建设规模和速度，与社会消费理念、消费文化的转变密切相关。事实上，自 2001 年起，中国出现了重化工业加速发展的态势，钢铁、建材以及房地产产业出现了 20 多年来罕见的高增长。伴随着的是蓬勃的市场经济下人民生活水平的不断提高，以及普通百姓对住宅、汽车、家用电器等耐用消费品需求不断增加。中国城市的生活消费模式正朝着“”高标准、超豪华、“国际接轨”的方向发展。整体上，中国经济实质上已经进入到一个以消费结构升级所拉动的重化工业发展阶段。

研究发现，消费作为一种系统化的符号操作性行为，成为社会成员实现其身份认同的重要工具。在社会等级结构中处于优势地位的群体，总是通过对某些物品的排他性占有和炫耀性消费，来体现自己的身份和地位。中国社会正处于转型的特殊时期，社会结构的急剧变迁带来社会成员（包括官员、企业家或普通百姓），

盲目学习发达国家，在城市建设中贪大求洋，追求高标准、奢华的建筑规模、人均面积、建筑环境（如大面积玻璃幕墙）及工作、生活模式，盲目照搬美国的空调采暖系统和运行方式，势必会带来建筑能耗的急速增加。而仰慕美国的汽车文化，更是导致了交通堵塞、污染严重、石油瓶颈等诸多问题。

而事实上，在经历了上个世纪可怕的能源危机、经济危机和环境污染之后，半个世纪以来，西方社会开始自发对于这种以竞争性和炫耀性物资消费为代表的生活方式进行反思，新的健康的生活方式的倡导运动得以兴起。美国、欧洲等国家一些人正在进行自愿简朴的生活。例如认为晒衣绳、窗帘和自行车有衣服干燥机、空调和轿车所缺少的魅力。它们不仅安静、便于人工操作、防火，对臭氧和气候无害，而且容易修理和价格便宜。又因为它们不太“方便”，因而需要一定程度的预见性和对天气状况的了解，从而训练了生命所必需的空间感和时间感。

2.2 各主要国家城市建筑与交通能耗现状

2.2.1 中国与发达国家的城市能耗情况

与世界其他地方相比，中国作为最大的发展中国家，目前仍处于城市化较低水平，而且能源消耗的人均指标并不高。但是，中国目前已经进入城市化加速阶段，在实现经济快速增长的过程中，如果不采取可持续的城市发展战略，也必将面临着能源消耗和环境破化的严峻挑战。

近四十年来，随着人均国民生产总值的增加，西方发达国家建筑和交通行业的能源消耗量占能源消耗总量的比例稳步增长。在经济合作发展组织和欧盟成员国，建筑和交通行业的能源消耗量约占能源消耗总量的三分之二左右。即使只考虑城市地区，建筑和交通的能源消耗量就占了全国能源消耗总量的一半。其中主要的原因是消费模式的转变和城市扩张，这两者相互关联，不可分割。这也是当今中国必须面对和亟需解决的问题。

表2-1 城市建筑与交通能耗发展情况（来源：法国Enerdata公司）

	1971	1980	1990	2000	2005
OECD	54%	56%	61%	62%	64%
EU-25	48%	54%	59%	62%	64%

需要注意的是，改革开放 30 年，随着经济发展和城镇功能的提升转化，在基本保持第二产业在城市经济结构中的比重不变的同时，中国第三产业的比重在

逐步增加，第一产业的比重快速下降。根据中国国家统计局 2008 年 4 月的公告，全国 2006 年第一产业、第二产业和第三产业的构成（%）为 11.3：48.7：40.0。

总体看来，第二、第三产业是城市主导产业，并且部分省市的第三产业有超过第二产业的趋势。例如，北京、上海、南京、广州等市的第三产业的比例已经是最大。根据国际经验，伴随着经济发展和城市化，绝大多数城市的功能将逐步从生产型向消费和服务型转化，第三产业将成为城市的主要经济活动。对于第三产业为主要经济活动的城市(或省市)，建筑和城市交通自然将成为城市能源消耗的主要构成。

中国目前的交通和建筑行业占能源消耗总量的 33%左右，相当于欧盟六十年代期的水平。但上世纪九十年代以来，交通和服务行业的能源消耗量以每年 8%左右的水平增长，同期全国能源消耗总量的增长率仅为 3.4%。在 2003 年至 2005 年，中国生活直接能源消费量较上年的增长幅度依次为 13.1%、7.3%和 9.9%。2005 年中国生活消费消耗的能源总量达 5.3 亿吨标准煤，占能源消费总量的 24%，2006 年这一数字提高约 10 个百分点。

部分发达城市的城市 and 建筑能耗已经达到 50%以上，相当于欧盟国家 80 年代的水平。例如，国内主要城市如北京第三产业比重高达 70%，其建筑与交通能耗所占总能耗中的比重也最高，达 50%。

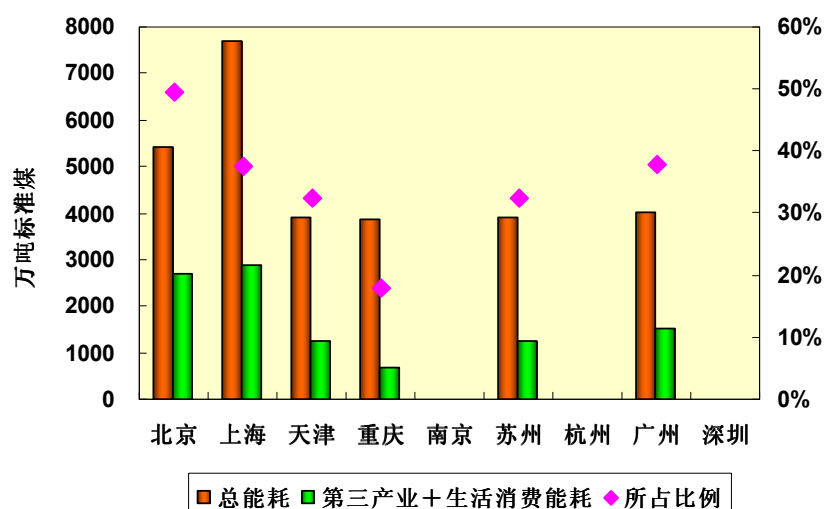


图 2-3 各地第三产业及生活消费能耗（2005）

单就建筑能耗比重而言，北京的建筑电耗比重最高，可达 55%，上海、天津、苏州、广州的建筑能耗比重在 30%-40%之间。

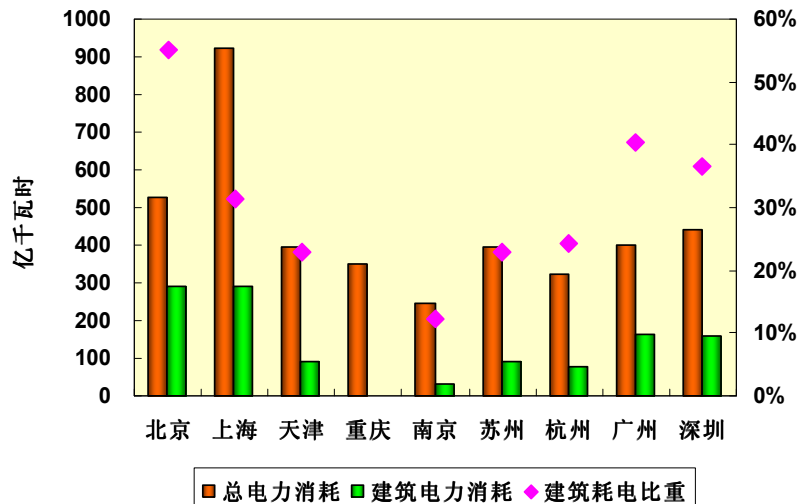


图 2-4 各地第三产业及生活消费电耗（2005）

2.2.2 各国城市化及其能耗的比较

对城市生活模式的研究表明，大型城市可以为当地市场提供更多的专门产品与服务，积聚更多的金融服务产出和高素质劳动力，以及集中管理功能；这些对经济有着积极的促进作用。

灵活的城市很可能影响一个国家的竞争力。比如，城市秩序对高质量的交通系统起决定性作用，而众所周知，货运与客运的流畅性对经济发展有极重要的影响。另外，对很多依赖石油进口的国家而言，如何实现石油供给是巨大的经济负担。而正是由于城市对能源需求的影响，间接影响了国家经济发展的竞争力水平。

对于人均 GDP 相同的城市，城市规模、人口密度以及城市类型可能是决定能耗的主要因素。

各国城市人口密度

与世界其它国家相比，亚洲国家的城市人口密度更高，如图 2-5 所示。印度的孟买与加尔各答市（未在图中）人口密度达 3 万人每平方公里。巴基斯坦的卡拉奇、尼日利亚的拉各斯、中国的深圳以及韩国的汉城也是人口密度较高的城市。相反，北美城市的人口密度反而低些。

城市边界的不同，造成了各国横向比较的难以进行。北美与欧洲城市占地广，而亚洲国家的城市则更集中些。下图中巴黎人口密度为 3500 人每平方公里，然而在巴黎中心区域，人口密度高达 2 万每平方公里。

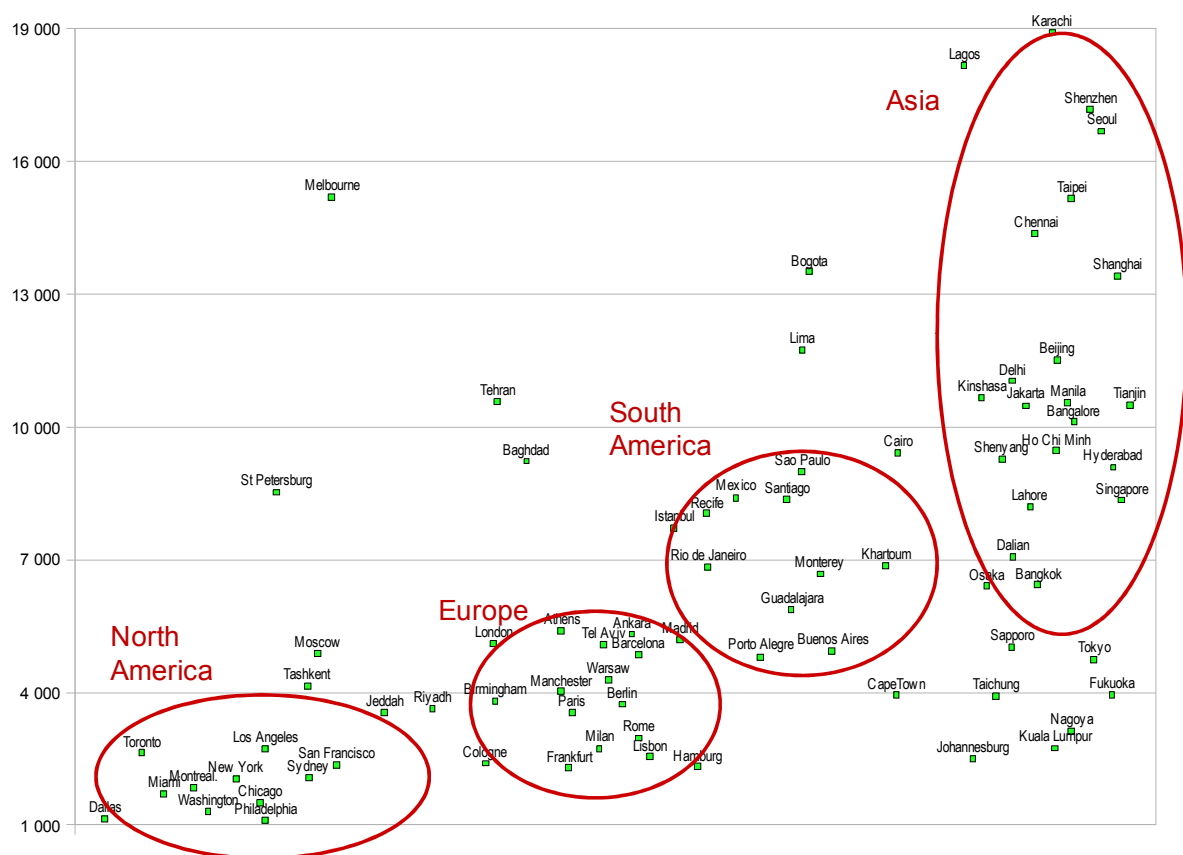


图2-5 各国家地区主要城市人口密度 (数据来源: Enerdata)

基于各国主要城市的人口密度数据可以计算各大洲的平均人口密度。在搜集了全球超过 250 个城市的数据后，计算结果如下表所示：

表2-2 各大洲平均城市人口密度

Asia	8200	inhab / km ²
Europe	3200	inhab / km ²
Africa	5300	inhab / km ²
Pacific	2000	inhab / km ²
Middle East	4300	inhab / km ²
Russia and Central Asia	5000	inhab / km ²
North America	1300	inhab / km ²
South and central America	5900	inhab / km ²

数据来源: Enerdata

欧洲城市人口密度在降低。在过去的二十年，欧洲与美国的城市更多地横向扩张，而非纵向发展，因此城市中心区域的人口数量在减少，而城市周边地区增长显著。巴黎是城市扩张的典型代表。20 世纪初，巴黎的城市中心区域有 3 百万居民，而没有郊区。而现在，巴黎城市中心区域仅有两百万居民，而郊区则多达八百万。人们更愿意住在城市周边郊区，然后在城市间穿梭往返。城市扩张有如下几个特点：

- **多按单一功能分区：**商业、居住与工业生产彼此隔离，致使居民的居住、工作、购物与娱乐场所区域之间互相远离，步行不能满足交通的需求。另一个结果就是，这些区域人行道也很少，甚至没有。
- **低人口密度：**城市扩张由于降低了人口密度，较传统的城市发展需要更多的土地。低密度的准确定义仍有争议，但是独立单体的家庭住宅，以及与之相对的公寓楼这二者之间的差别，能较好的说明其含义。
- **产生一定数量的私有小汽车人群：**对汽车交通的依赖，是城市扩张的又一显著特征。由于城市间居住、商业以及工业区域的独立分割，如购物、上班等绝大多数的活动都需要使用汽车。

人口密度对交通能耗的影响

大量的数据表明，城市密集度高的城市，其公共交通更发达。下图 2-6 是各洲城市人口密度，及其公共交通所占市场份额。易见，亚洲城市的公共交通显著高些，这由其城市人口密度决定。

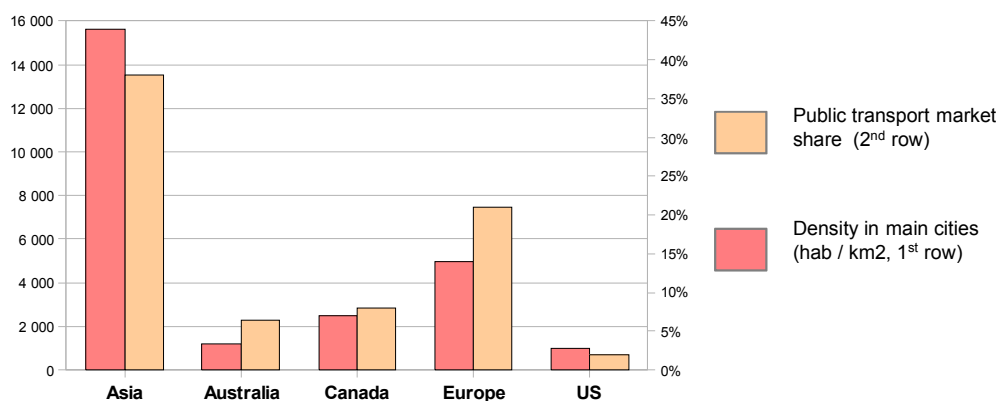


图 2-6 各大洲平均城市人口密度及公共交通占市场份额比较

通过搜集城市的人口密度数据，以及使用汽车上班的人口比例（法国国家统计系统将巴黎及其周边郊区分为 400 多个子地区，保证搜集的数据在地理上十分精确），结果如图 2-7 所示，进一步论证了上述观点。

可以发现，人口密度高的地区，人们更愿意使用公共交通而不是私人汽车出行，反之亦然。因此，在巴黎中心区域，人口密度在 2 万人每平方公里，其中约 25% 的人使用汽车上下班。相反的，在周边郊区，人口密度约 500 人每平方公里数，但 70% 的人都使用汽车上下班。

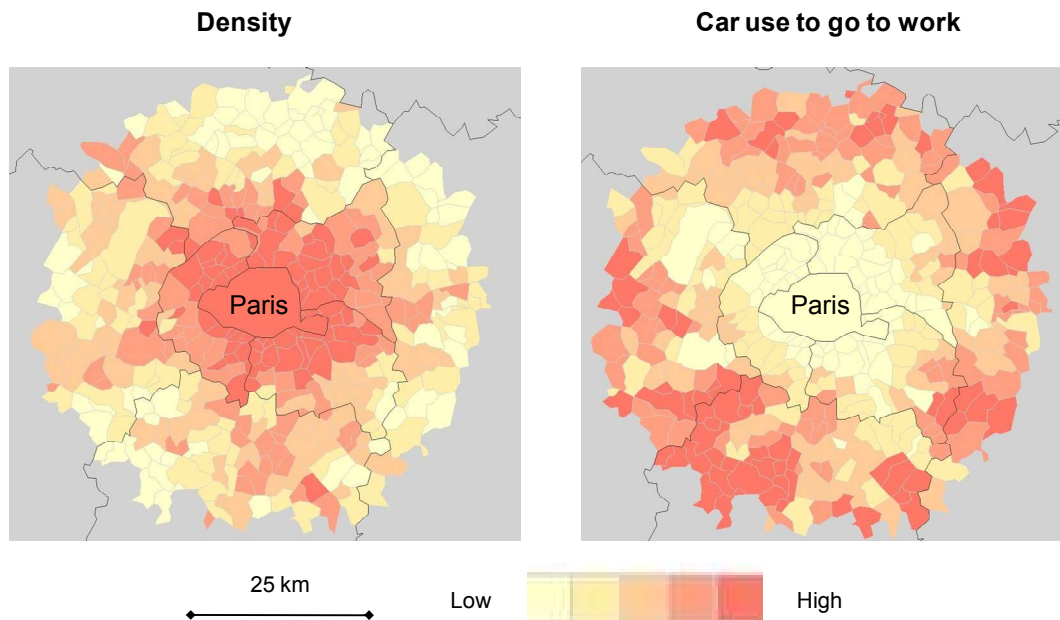


图2-7 巴黎人口密度与汽车使用状况

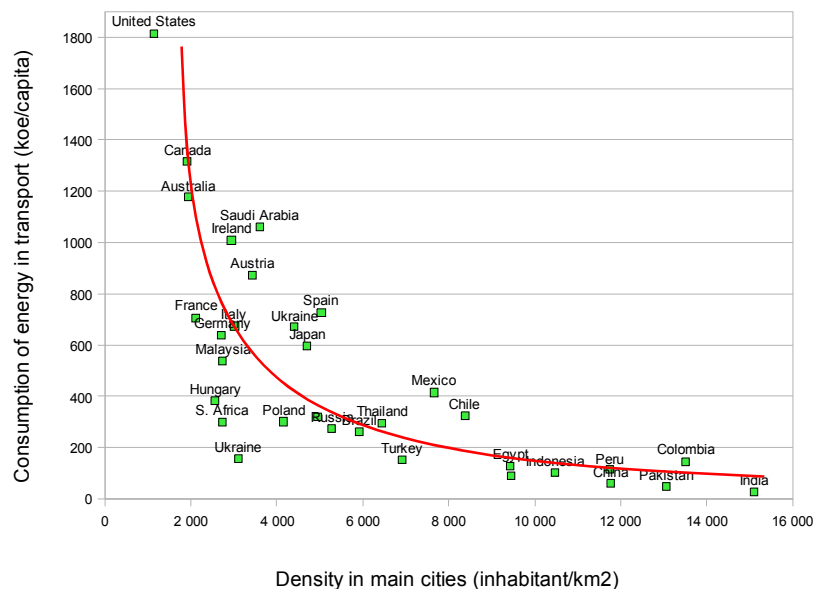


图2-8 主要城市的人口密度与交通能耗

图 2-8 也反映了同样的结论，其中横坐标是人口密度，纵坐标是交通能耗。基本上，一个国家人口密度低，则其交通能耗则高些。比如，一个美国人平均每

年消耗 1.8 吨油当量用于交通，是欧洲的近两倍，虽然这两个地区的生活水平十分接近。这种差别，是由于不同的城市规划造成的：欧洲人口多集中于城市，其城市人口密度高于美国。

美国与日本的比较，典型地反映了城市对交通能耗的影响机制。在日本，城市人口密度极高，并且无法或几乎没有像欧洲一样完成城市的横向扩张。而在美国则不同。城市扩张甚至是国家精神与文化的组成部分，洛杉矶常被认为是这种城市扩张文化的典型代表。

表2-3 美日宏观比较

	美国	日本
人均 GDP	43 000 \$	37 000 \$
平均人口密度	31 inhab. / km ²	350 inhab. / km ²
户均汽车拥有量	2.4 cars	1.2 car
人均年交通能耗	1 820 koe	600 koe

数据来源: Enerdata

人口密度对住宅能耗的影响

人口密度是否也对住宅能耗（主要指采暖能耗）有影响呢？

考虑到多层住宅的围护结构保温供热性能比单体住宅好，答案是肯定的。某法国研究项目估算了多户住宅的每年平均采暖能耗约为 125KWh/m²；而单体住宅为 174KWh/m²，高出 40%。

因此，低人口密度地区往往拥有更多的单体住宅，将导致更高的能耗。

城市化与交通以及采暖能耗的关系：巴黎

以往研究都明确了城市化对采暖以及交通能耗的重要影响。在此基础上，估算不同人口密度下的能耗量：低人口密度的城市，与高人口密度的城市。

本研究将巴黎分为三部分：巴黎中心区，一环区和周边区（半径小于 30 公里）。

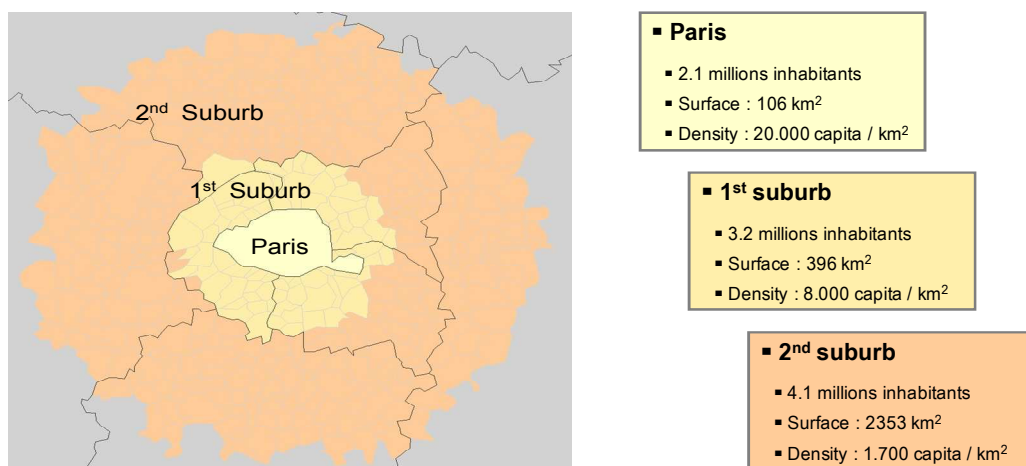


图2-9 巴黎分区说明

从下表可见，周边区人均采暖能耗比中心区高 80%。我们的估算结果如下表 2-4 所示。

表2-4 城市与采暖能耗的变化

年能耗/toe	中心区 (210万人 口)	一环区 (320万人 口)	周边区 (410万人 口)
工作交通	120 000	280 000	470 000
采暖	800 000	1 500 000	2 500 000
总能耗	920 000	1 780 000	2 970 000
人均总能耗	0,43	0,57	0,73

2.3 中国建筑能耗现状

与建筑相关的能源消耗包括建筑材料生产用能、建筑材料运输用能、房屋建造和维修过程中的用能以及建筑使用过程中的建筑运行能耗。中国目前处于城市建设高峰期，城市建设的飞速发展促使建材业、建筑业飞速发展，由此造成的能源消耗已占到中国总的商品能耗的 20%。关于建材能耗的分析在第一部分已经提及，这里主要讨论建筑运行能耗。建筑运行的能耗，即建筑物照明、采暖、空调和各类建筑内使用电器的能耗，将一直伴随建筑物的使用过程而发生。

2.3.1 中国建筑能耗为社会总能耗的四分之一左右

2004年中国建筑总面积为389亿平方米，消耗了约5.1亿吨标煤的商品能源，占社会总能耗的25.5%，见表2-1，各类建筑的能耗情况如下：

表 2-1 中国的建筑能源消耗分类和现状（2004 年）

	总面积 (亿平米)	电耗 (亿 kWh)	煤炭 (万吨标煤)	液化石油气 (万吨标煤)	天然气 (万吨标煤)	煤气 (万吨标煤)	生物质 (万吨标煤)	总商品能耗 (万吨标煤)
农村	240	830	15330	960	-	-	26600	19200
城镇住宅(不包括采暖)	96	1500	460	1210	550	290	-	7820
长江流域住宅采暖	40	210	-	-	-	-	-	740
北方城镇采暖	64	-	12740	-	-	-	-	12740
一般公共建筑	49	2020	1740	-	590	-	-	9470
大型公共建筑	4	500	-	-	-	-	-	1760
建筑总能耗	389	5060	30270	2170	1140	290	26600	51730

注：燃料和热力消耗按低位发热量法折合为标准煤消耗，当考察建筑总能耗时，把电力按发电煤耗法折合为标准煤，折合系数参考2004年全国平均火力发电煤耗，即1kWh电力折合为354g标准煤，下文同。

数据来源：农村数据，可持续能源发展财政和经济政策研究参考资料；2005年数据，王庆一，2005年10月；其他数据，详《中国建筑节能年度发展研究报告2008》附录二。

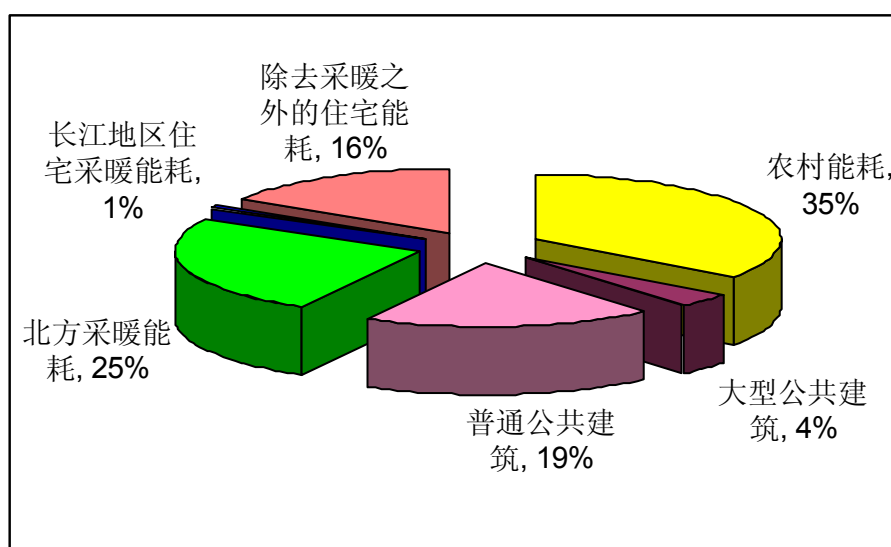


图 2-10 2004 年中国各类建筑的能源消耗

2.3.2 当前中国建筑能耗水平低于发达国家

中国建筑能耗已达 5.1 亿吨标煤之巨，但如图 2-11，将中国建筑能耗与世界主要的发达国家进行比较，可以看到，中国建筑能耗大大低于发达国家水平。从图中看出，即使与发达国家中建筑节能做得较好的欧洲国家相比，中国单位面积建筑能耗仅为欧洲的 1/5，人均建筑能耗仅为 1/7。虽然目前国际上各国的能源统计方法和体系不同，能耗数据各有差别，但所有数据反映出的趋势和数量级是相互吻合的，因此通过中国与主要发达国家的能耗数据进行比较，可以得到结论：中国建筑能耗按照单位面积比较，目前水平仅为主要发达国家的 1/2~1/3。

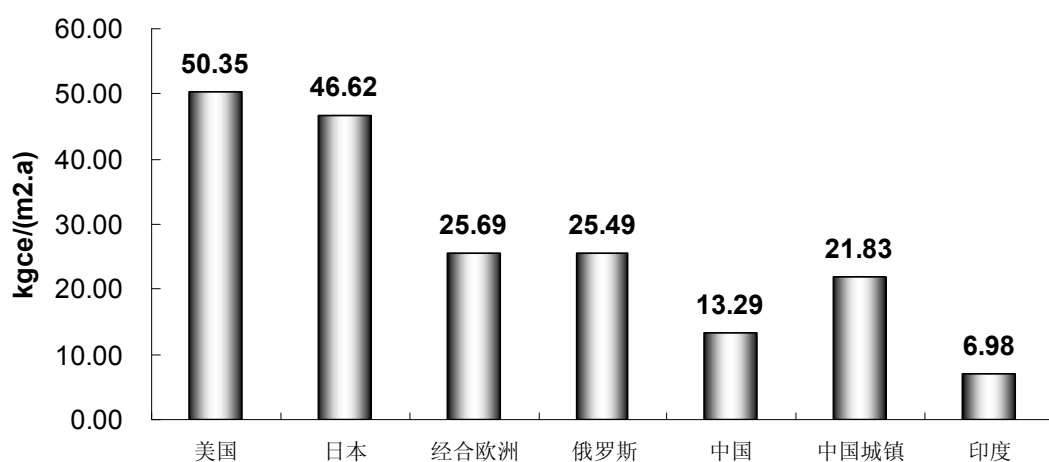


图 2-11 2004 年主要国家单位建筑面积年能耗比较

数据来源：中国数据参见《中国建筑节能年度发展研究报告 2008》附录二；其它国家数据来自 International Energy Outlook 2007, Energy Information Administration (EIA), 2007。

即使采暖能耗，中国建筑的能耗水平也并非以往宣传的是同等气候发达国家能耗的 1~2 倍。表 2-5 为在北京对一百多个各类供热小区统计出的各类建筑物采暖当室温维持于 18℃ 时所需要热量的范围，这是在 2006 年实际运行数据的基础上加上外温修正得到。表 2-6 为欧洲一些国家的采暖能耗，由于其外温与北京有所不同，因此表中同时列出采用同样方法进行外温修正后的采暖能耗。比较表 2-5 与表 2-6，可以看出北京市建筑采暖需要的热量与目前欧洲国家相差不大。

表 2-5 北京市各类建筑采暖需热量（室温 18℃）

建筑类型	采暖需热量范围 kWh/m ² .年
普通住宅楼	50~100
普通办公楼	30~90
旅馆酒店	40~90
商场	10~120
学校	30~100

表 2-6 一些国家的采暖能耗调查值

年份	建筑类型	国别	采暖度日数	采暖能耗 kWh/m ² 年	修正为北京气候的采暖能耗 (kWh/m ² 年)
2004	住宅	北京	2450	83	83
1998	住宅	波兰	4043	124	75
2004	住宅	德国	3126	185	145
1998	住宅	德国	3430	57	41
2004	住宅	法国	2747	150	134
1998	住宅	芬兰	5303	55	25
1998	住宅	瑞典	3230	20	15
2004	住宅	希腊	1565	120	188
2004	办公楼	德国	3126	120	94
2004	办公楼	法国	2747	166	148
2004	办公楼	荷兰	2784	310	273
2004	办公楼	希腊	1565	100	157
2004	宾馆	德国	3126	225	176
2004	宾馆	法国	2747	179	160
2004	学校	德国	3126	160	125
2004	学校	法国	2747	118	105
2004	学校	荷兰	2784	145	128
2004	学校	希腊	1565	55	86

欧洲这些国家建筑围护结构保温水平都远优于北京市的大多数建筑，为什么采暖需热量却在大多数情况下与北京相差不大？这是因为采暖需热量不仅仅由建筑保温状况决定，还与建筑物的体型系数²、建筑物的通风换气状况、以及室

²体型系数是指建筑物与室外大气接触的外表面积和其所包围的体积之比，它实质上是指单位建筑体积所分摊到的外表面积。

内温度设定值有关。欧洲住宅多为独立别墅，其体型系数约为我国大型公寓式住宅（12 层）的两倍，欧洲多数层高低体量小的办公建筑其体型系数也为我国大型办公建筑的 1.5 倍以上。此外别墅型建筑通风换气次数在一次以上，欧洲的各类公共建筑也从近年来开始严格控制室内空气质量，普遍采用机械通风换气，换气次数也多在 1 次/小时以上。除了个别采用排风热回收措施的建筑外，非住宅建筑通风换气的热损失已接近或超过围护结构热损失。此外欧洲采暖室内设定温度在 21~24℃，对于北京的气候条件来说，这样的设定值比 18℃ 的采暖设定值能耗高出约 15%。

此外，中国北方采暖地区以燃煤的热电联产的余热为热源，通过城市热网集中供热，总体上能效效率不比发达国家水平差。在优化的工况下运行热电联产进行供热，其供热能耗折合到一次能源，约为目前最节能的水源热泵采暖方式的 70%~85%，因此尽管建筑的围护结构保温性能相对差，但是整体的能耗水平不比发达国家高。

2.3.3 国内建筑单位面积能耗水平也存在较大的差异性

可见，目前中国无论按照人均建筑能耗还是差异原因分析按照单位建筑面积能耗，都远低于发达国家目前水平。其实，即使对中国同一地区、同一功能的建筑，其能源消耗量有时也存在巨大差别。图 2-12 给出的是实测的北京、上海、重庆等地住宅单位面积年均耗电量指标。从中可以看出能耗的差别能有 3~5 倍。

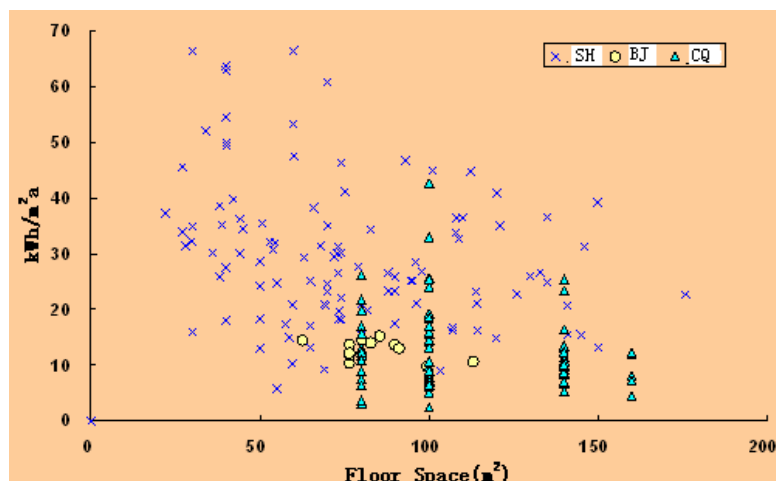


图 2-12 住宅能耗比较（北京、上海、重庆）

图 2-13 给出 2007 年在北京实测的一座采用分体空调的中等收入住宅楼的有校样本户的全年空调用电量。可见，在围护结构相同，经济条件相同，使用相同的空调设备的基础之上，其能耗的差别就达十数倍之巨。进一步分析发现，分体

空调能耗的这样巨大差别与各户的经济收入相关性很差,但与户主的年龄在一定程度上呈负相关,即年龄越高,空调能耗越低。

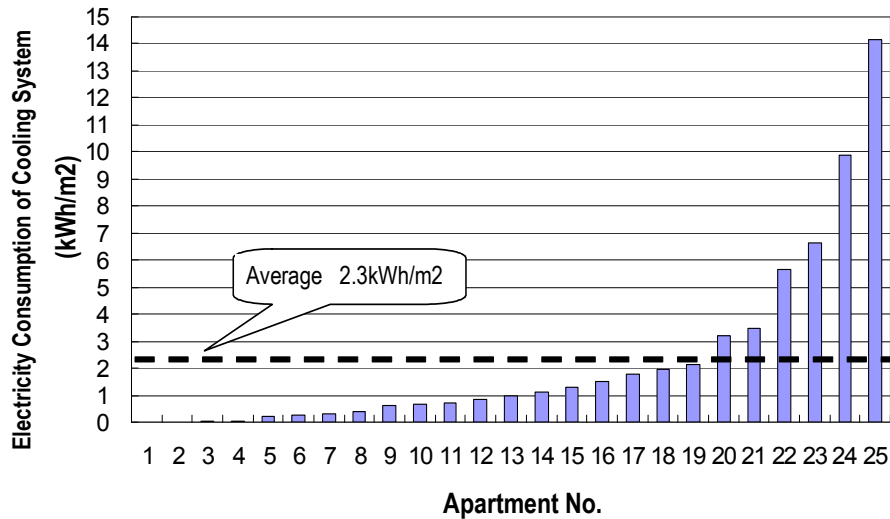


图 2-13 北京某采用分体空调的住宅楼各住户全年空调能耗 (kWh/m².年)

2.3.4 公共建筑能耗差别也和用能方式密切相关

上述是住宅能耗与用能模式之间关系的分析,对于公共建筑,有同样的结论;造成建筑间数倍电耗差别的,往往不是技术因素,而是人们如何使用建筑。图 2-14 为北京和美国费城两座著名高校校园一些教学性办公建筑的全年电耗比较。为了深入理解费城校园办公建筑能源消耗原因,取一座电耗总量接近该校园平均值的办公建筑进行剖析。此建筑建于 2002 年,围护结构采用了非常好的保温隔热,空调系统为变风量 (VAV) 方式。图中表明,用电量的主要差别来自照明、空调制冷、和服务于空调制冷的风机水泵。

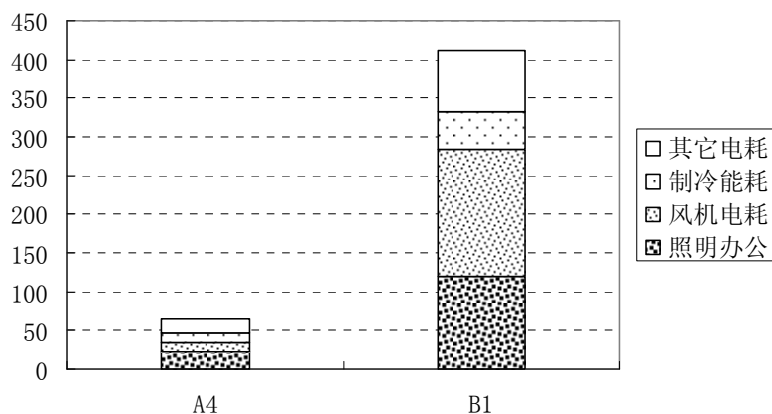


图 2-14 北京 A2 建筑与费城 B1 建筑分项全年用电比较 (kWh/m².年)

图 2-15 为位于北京的几座采用中央空调的政府办公大楼的空调电耗。这些建筑的单体规模相近、功能相同，但空调电耗的差别达一倍以上。造成差别的原因依影响程度大小排序，分别是：

总的运行时间>风机电耗>机械通风的新风量>室内温室度水平。

这些影响因素的差别在一定程度上导致室内热舒适状况有一定的差异表现为对所有的空调房间的满意程度、对整个使用时间内的满意程度和对所有使用者的满意程度。

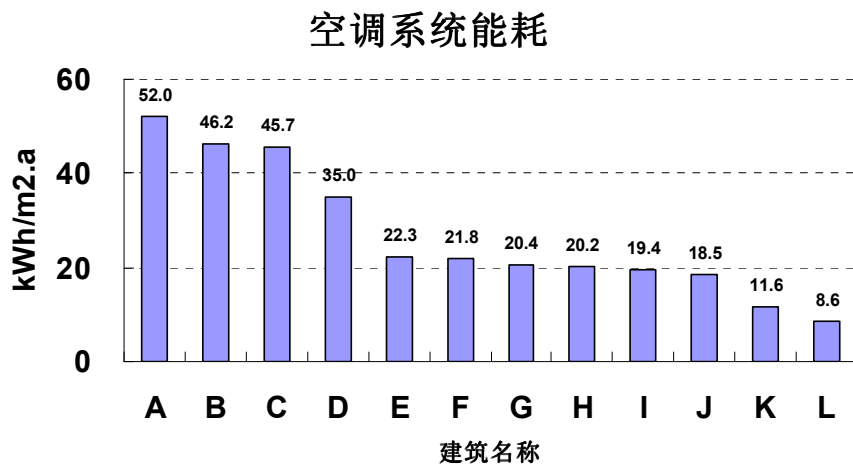


图 2-11 位于北京的一些政府机构办公大楼的空调电耗（单位：kWh/m²年）

2.3.5 不同的建筑环境营造模式和行为模式是导致能耗差别的重要原因

综合前面的讨论，可以看到，目前实际上有两条不同的营造室内环境的途径：机械优先模式，依靠人工手段，消耗大量能源来营造；自然优先模式，优先选择自然方式，而将机械系统仅作为一种补充手段。

机械优先模式。通过人工的机械通风、空调、照明方式，营造适宜的室内环境，使室内物理状态严格地控制在所谓使人“最舒适”的状态。这是工业革命以来，随着科学技术的不断发展，人类营造建筑室内环境的能力不断提高，“人定胜天”成为主导地位后逐渐形成的一种理念。同时也是工业产品生产的理念延伸到建筑室内环境营造的结果。严格的追求温度、湿度、通风换气量、室内照度等各个物理参数，通过空调、通风、照明等全面的机械手段来实现和维持这些参数，从而为居住者提供最佳服务。然而却忽视了居住者自身的适应与调节能力和居住者本人主动对环境状况的调节。其结果，一方面造成巨大的能源消耗。如果全人类都按照这一模式营造自己的生活环境，仅此就需要消耗目前全球总的能源生产量的

130%；另一方面，居住者并不十分满意这种室内环境。失去变化，无自行调节手段，并非是经过上万年自然界进化发展的人类所真正喜好的，也不一定符合人类健康的需求。通过各种技术创新，可以在一定程度上降低能源消耗，但要数倍的降低能耗，却是不现实的。通过技术创新去营造各种居住者喜好的变化，赋予居住者各种对环境的调节能力，可能会从心理和生理上更适合居住者的要求，但却是以增加能耗为代价的。

自然优先模式。从自然环境出发，通过各种被动式手段和居住者自身的调整（如开窗通风、遮阳等）营造适宜的居住环境，同时通过人体自身的调整和适应能力与自然环境协调与适应。在最终仍不能满足环境状态要求时，通过机械的（或人工的）手段进行补充（例如采暖）。机械优先模式追求的往往是一种恒定的所谓“最佳状态”，而自然优先式则营造的是随着自然环境变化而变化的所谓“和谐状态”。实际上人类进入现代社会以前的几千年来一直是采用这种方式营造自身的居住环境，它支撑了几千年人类的繁衍和文明的发展。由这一模式营造的人类居住环境并不需要消耗过多的能源，也没有对地球环境造成颠覆性破坏。

而这二种模式在建筑使用过程中的取舍，正是造成建筑能耗数倍，乃至十数倍差别的主要原因。

2.4 中国城市交通与能耗现状

伴随着城镇化的快速增长，机动化速度也呈迅猛增长趋势。从 90 年代起，中国民用汽车保有量保持了年均 13% 的增长速度，是目前世界上最快的。到 2006 年底，民用汽车保有量达 3697 万辆。而私人车辆的增长速度则达到 23%，远远超过机动车保有量的增长速度。图 2-16 为近年来中国民用汽车和私人汽车保有量的增长情况。图中，民用汽车包括运营性运输单位的客车和货车，以及事业企业单位和个人家庭所拥有的社会车辆，不包括消防、环卫和部队等专用车辆。私人汽车为家庭拥有车辆。

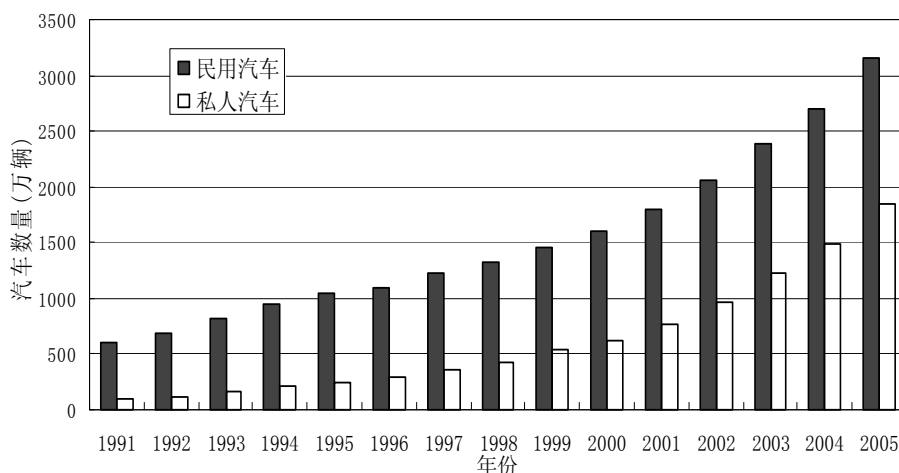


图 2-16 中国机动车保有量增长情况

在未来 10-20 年里，中国城市仍将保持快速机动化的趋势，目前中国的机动车保有总量仍然不大，相对于发达国家，人均机动车拥有量更低。国际经验表明，当人均 GDP 水平达到 3000-4000 美元时，将出现机动车的购买高峰，而中国未来 20 年人均 GDP 水平将达到上述水平，机动车作为生活水平提高的重要标志，特别是青年人追求生活时尚的一个载体，必将仍然保持快速增长趋势。

2.4.1 中国交通发展回顾

城市交通系统的发展是由其内在的矛盾演化推动的，以中国城市交通发展为例，按照城市交通主要矛盾的演化可以分成如下四个阶段：

(1) 城市交通系统发展初期

在工业化和机动化之前的时期内，城市人口增长缓慢，居民出行以步行、畜力、自行车等非机动、慢速交通方式为主，这些方式占全部出行的比重达很高，并且平均出行距离较短。这一时期的交通供需矛盾并不突出，绝大多数出行均在可忍受的距离或时间内完成。

(2) 城市交通系统发展的起步期

随着中国城市经济发展步伐的加快，GDP 和人民生活水平显著提升，城镇化进程开始加快，机动车保有量开始迅速增长。这一时期城市交通系统的主要矛盾表现为快速增长的机动化交通需求与有限的道路资源之间的矛盾，为了适应机动化的发展需要，交通规划方案主要是以突出机动性为主，因此很多大型城市开始了需求满足型的交通基础设施建设，包括新建宽大马路、拓宽机动车道、修建快

速路和立交桥等，这些设施的兴建则进一步刺激了机动化的发展速度，因此在不到十年间国内大型城市普遍出现了交通拥堵现象。事实证明，中国城市不能采取放任小汽车发展的交通模式。

（3） 城市交通系统发展的加速期

为了应对快速发展的机动化，促进城市交通系统的健康发展，中国城市实施了“畅通工程”的政策和措施，公共交通优先的发展战略开始备受关注。国家部委也相继制定了相关的规定，并提出了在 2010 年前后基本确立公共交通在城市交通中占主体地位的目标。这一时期内，除交通供需矛盾之外，公共交通与个体交通之间的矛盾也越发突出。由于机动化进程发展势头之猛、对城市生活影响之大，因此很多城市在制定交通发展战略时都明确把适度限制小汽车、确立公交优先作为首要发展目标。截至目前，公交优先策略的实施对缓解城市交通问题起到了很大成效，但也遇到了巨大挑战，今后必须在落实战略优先、策略优先、土地优先和政策优先方面加大力度才能确保上述目标的实现。

（4） 城市交通系统发展的成熟期

当城市交通供需矛盾、个体交通和公共交通矛盾得以缓解的时候，交通系统的服务水平和居民多样性、高质量的出行需求之间的矛盾可能会凸显出来，这就要求城市交通系统应该向居民提供快捷、安全、多层次、高效率和高可达性的交通模式，无论机动化交通方式还是非机动化交通方式，无论公共交通还是个体交通，均能够在合理的土地利用结构中充分发挥各自的技术经济特性，满足人的发展而派生的交通需求。

2.4.2 居民出行需求不断增加

中国城镇居民的出行距离、出行次数随着城市化进程的加快与居民生活水平的提高不断增长，出行方式上越来越多的依靠机动车和个体交通方式出行，而且因休闲而出行的比重有增加态势。研究分析表明，按照宏观社会经济发展的情景设定，到 2020 年，中国未来城市总出行人次将达 9517 亿人次，其中公共交通、小汽车等机动车出行的总人次将达 2557 亿人次，1998—2020 年期间年均增长率达 9.0%（见图 2-17）。

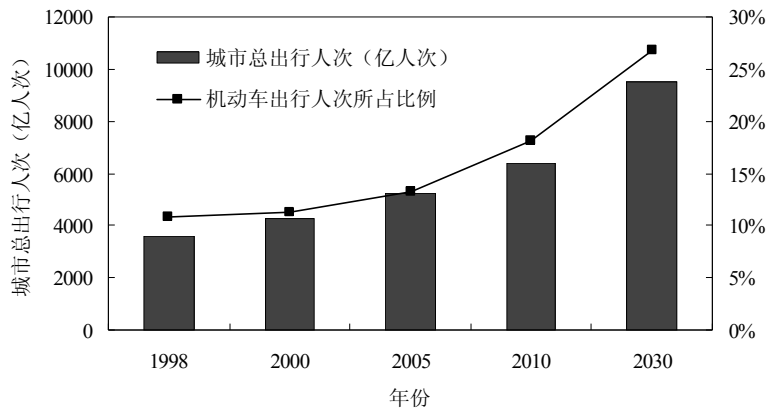


图 2-17 中国城镇居民出行趋势分析图

2.4.3 城市交通客运总量增长迅速

1980 年以来，随着城市居民出行需求的不断增长，城市公共交通（包括公共汽车、电车和轨道交通）客运总量也稳步增长，2005 年达 4836930 万人次，比 1980 年增长 1.6 倍。特别是近十年增长速度加快，年均增长达 7.4%，已经接近于 GDP 增长速度（见图 2-18）。城市客运是中国汽油的消费大户，柴油消费中城市客运只占了较少的一部分。以北京和上海为例，2000 年北京市汽油消费量是 106 万吨，到 2005 年的五年间增长了 122%，达 235 万吨。2000 年上海市汽油消费量是 133 万吨，到 2005 年的五年间增长了 82%，达 242 万吨。其中，90%以上的汽油被交通消费。除了主要用于城市客运，还有少量用于城间客运和货运，但后者所占比例较少。另外，据国家发改委能源所研究测算，2000 年和 2005 年，北京市汽油消费量分别是 90 万吨和 210 万吨。2000 年和 2005 年，上海市汽油消费量分别是 106 万吨和 200 万吨。小汽车消费都占了其中 80%左右。

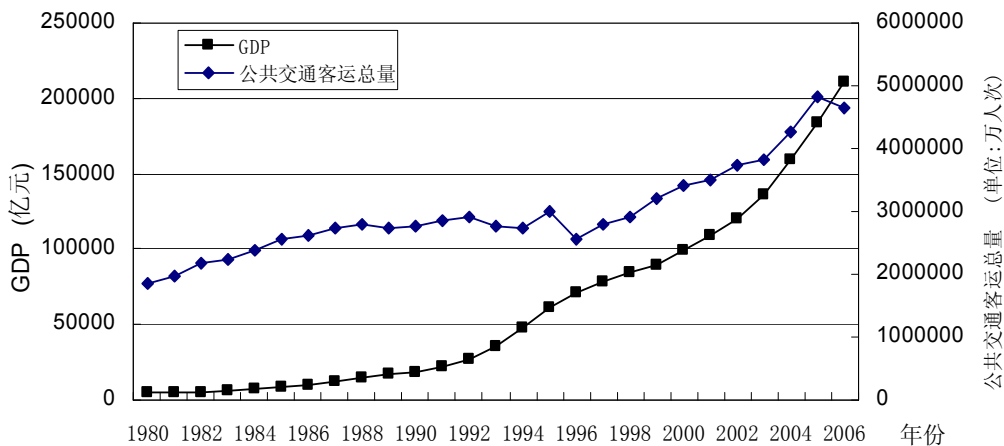


图 2-18 中国公共交通客运总量变化趋势

2.4.4 交通行业已经成为中国用能增长最快的行业之一

交通行业是资源占用型和能源消耗型行业，随着中国经济社会的快速发展以及运输规模的扩大，交通行业能源消耗的规模逐年上升，能源消耗的增速高于全社会能源消耗的增速，成为中国用能增长最快的行业之一。据统计数据显示，2006年，交通行业能耗总量约占全国总能耗的7.55%，消费石油及制品约占全国石油消费总量的31.45%，与2000年相比，年均增长率分别达到10.76%和12.16%，见图2-19。交通行业单位能耗、能源利用效率、主要耗能设备效率等指标与世界先进水平相比仍有较大差距。

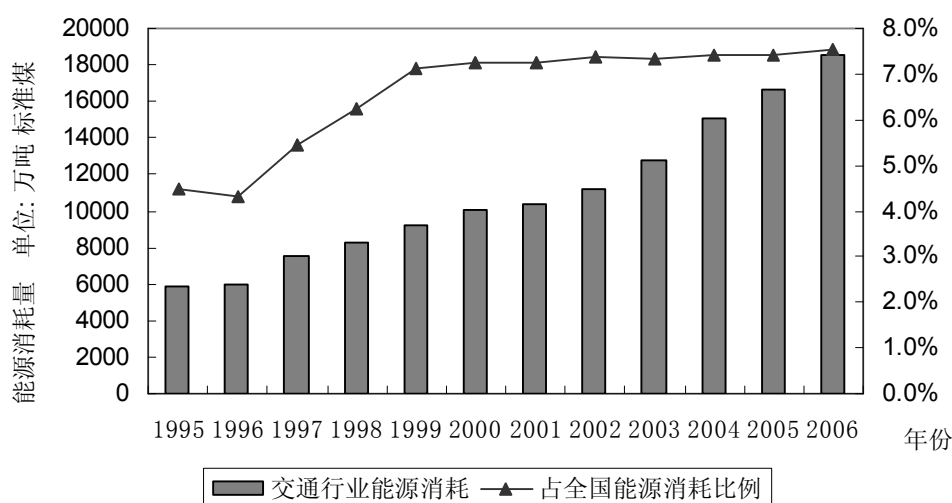


图 2-19 1995-2006 年交通行业能源消耗增长趋势图

需要特别明确的是，交通运输业在中国的统计体系中仅包括对从事社会运营的交通运输企业的统计，相应的能源消费统计量也只包括其运输工具的燃料消费，而一些非交通行业的道路或水运交通工具以及大量的社会非运营交通工具的燃油消耗并没有纳入交通行业的能源消耗统计中。如果按照国际通用口径估计，目前中国交通行业能源消费量约占全国总用能量的10%，其中用能以油气为主，各类交通工具消耗了几乎全部的汽油、60%的柴油和80%的煤油。中国的石油对外依存度已达40%左右，并且在逐年提高，能源形势非常严峻。为保障国家能源安全，实现中国“十一五”单位GDP能耗降低20%的节能目标，交通行业必须从自身做起，高度重视节能降耗。

2.4.5 各种出行方式中小汽车单位能耗最高

城市交通系统中，各种交通方式的能源消耗差别是很大的，表2-7是各种交通方式能源消耗的比较结果，可以看出小汽车的每人公里能源消耗在各种交通方

式中是最大的，而轻轨、地铁、有轨电车等大运量交通工具的每人公里能源消耗却很小，几乎只相当于小汽车的 6%左右，公共汽车（单车）能源消耗也只相当于小汽车的 10%左右。而在不同交通模式单位客运周转量的 CO₂ 排放中，小汽车的排放量是各种交通方式中最大的，是公共汽车的 7 倍以上。由此可以看出，综合考虑环境效益和交通效率，发展轻轨、地铁、有轨电车、公共汽车等大运量的公共交通工具应是构建未来高效节能型城市交通的必然趋势。

表 2-7 各种交通工具能源消耗比较（以公共汽车单车为 1）

交通工具类别	每人公里能源消耗	交通工具类别	每人公里能源消耗
自行车	0	无轨电车（铰接车）	0.8
摩托车	5.6	无轨电车（专用道）	0.7
小汽车	8.1	有轨电车	0.4
公共汽车（单车）	1	轻轨	0.45
公共汽车（铰接车）	0.9	地铁	0.5
公共汽车（专用道）	0.8		

2.4.6 人均交通油耗低于发达国家水平，但增长迅速、势头猛

1990 年至 2005 年间，中国人均汽油消耗量增长较快（图 2-20）。与全国的平均消耗水平相比，北京市的消耗水平很高，约是全国平均消费水平的三倍。但是，同日本和韩国城市客运的人均汽油消耗量相比，中国目前的平均消耗水平较低。同时，图 2-20 中日本人均汽油消耗量变化曲线显示，1999 年前，东京的人均汽油消耗水平低于全国的消耗水平，但在 1999 年后赶上并超过全国的平均消耗水平，部分原因是由于东京小汽车购买者对小汽车的类型喜好变化。在日本东京拥有两辆车的家庭很普遍，多数消费者开始买车时都喜欢宽大型的轿车，所以人均汽油消耗量不断增长。但是，又由于消费者在准备购置第二辆小汽车时，考虑到税费和环保的原因，通常会选择经济型的小排量车，所以尽管近年来东京小汽车的保有量不断增长，但东京的人均汽油消耗量却保持相对平稳的原因。

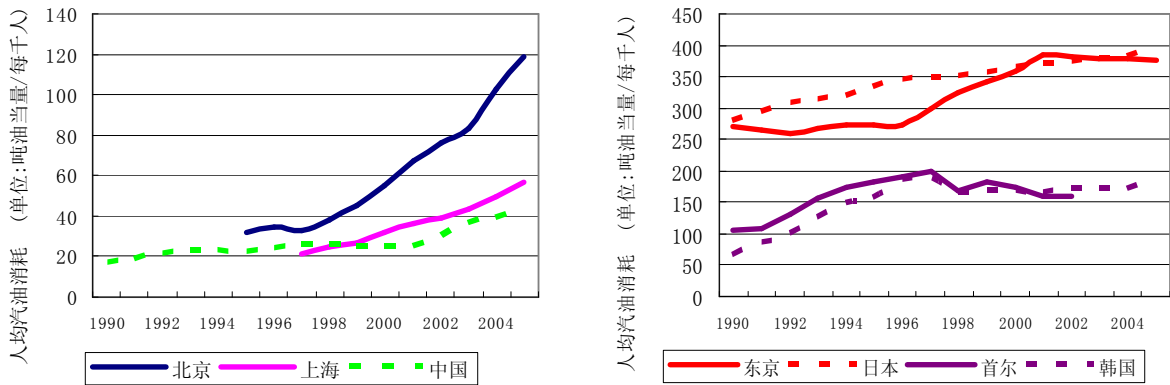


图 2-20 中国、日本、韩国城市客运能耗对比

2.4.7 城市客运能耗中小汽车能耗总量比重最高

据测算，2000 年中国城市客运交通的能源消费总量约为 790 万吨标准油，在 2000-2030 年的 30 年间，用能消费年均增长率为 5.9%，到 2030 年将达到年消耗能源 4530 万吨标准油，是 2000 年的 6 倍左右。其中，小汽车的能源消费始终占到整个城市客运交通的能源消费总量的 80%左右，是城市客运能源消费的大户（图 2-21）。

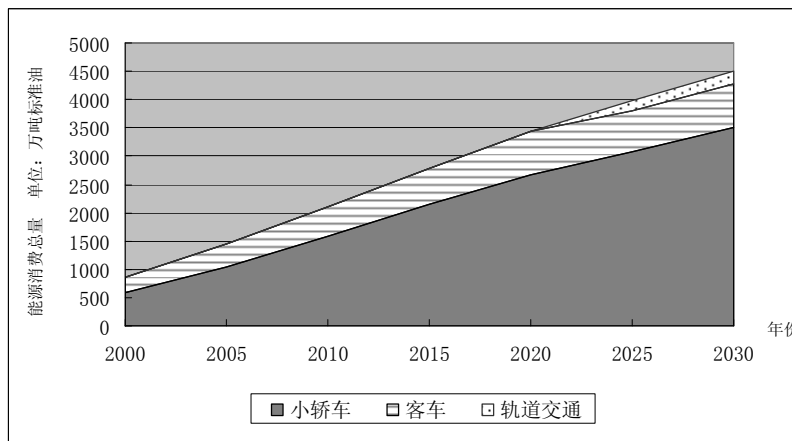


图 2-21 2000-2030 年中国城市客运的能源消费

三、结论

目前中国建筑与交通消耗的能源占社会终端总能耗的 33%左右,相当于欧盟国家 60 年代的水平。而根据发达国家的经验,随着人均国民生产总值的增加,建筑和交通行业的能源消耗量占能源消耗总量的比例会稳步增长。在经济合作发展组织和欧盟成员国,建筑和交通行业的能源消耗量约占能源消耗总量的三分之二左右。即使只考虑城市地区,建筑和交通的能源消耗量也占了能源消耗总量的一半,成为节能减排的重点领域。

中国的城市建筑正持续以 5%~8%的速度增长,每年新增 10 多亿平米的新建筑,不仅直接导致了今后 15 年内城镇建筑拥有量将再增加一倍、建筑运行总能耗持续增长,还间接推动了水泥、钢材、玻璃等高耗能建材业的快速发展。据统计,2005 年中国用于城镇建设的水泥、钢材、玻璃、陶瓷等占社会总能耗的 20%左右,如果建筑规模减少一半,则总能耗可降低 10%。

在“与国外接轨”和“三十年不落后”的理念影响下,不断涌现大批标新立异、贪大求洋、高标准、大面积的住宅和办公建筑。据统计,中国目前城镇人均建筑面积接近 30m²,超过香港,接近日本、新加坡等国城镇平均水平(约 36m²),部分省市该指标则超过日本和新加坡,但总体上低于美国和欧洲。但是,近 15 年来大约每 7 年城镇建筑面积翻一番,每年开工面积超过 10 亿平米。如果按照每年持续新建 10 亿 m²,而城市人口每年增加 1500 万,到 2030 年城镇人均建筑拥有量将达到 42m²,接近欧洲平均水平。如果城镇建筑总量增加一倍,那么建筑能耗总量很可能要增加一倍甚至更多。

目前中国人均建筑运行能耗仅为美国的 1/12,西欧北欧国家的 1/6;城市人口的人均建筑运行能耗为美国的 1/7,西欧北欧国家的 1/3.5;城市建筑单位面积平均运行能耗为美国的 1/3,住宅单位面积平均能耗为美国的 1/3,欧洲的 1/2。然而,近几年来,随着经济增长和生活水平的提高,在“与国外接轨”和“三十年不落后”的理念影响下,不断涌现大批标新立异、贪大求洋、高标准的住宅和办公建筑,其运行能耗也实现了“与国外接轨”,单位面积能耗大幅度增加。例如,中国某地的高档住宅,号称采用了世界上最先进的空调采暖节能技术,全年大部分时间采暖空调全天 24h 运行,能耗水平为 20kWh/m²·年,是普通住宅的 7~10 倍,与发达国家高档住宅的能耗水平相当;又如,中国部分大城市的大型公共建筑的单位面积年耗电量指标为 200~300kWh/m²年,已达到美国、日本、欧洲等发达国家水平。中国类似的大型公共建筑面积不足 5%,却消耗了 10%以上的建筑能耗。

如果前述“与国外接轨”的城镇化理念得到蔓延，将使中国的建筑能耗达到“发达国家”的高水平。以中国城市建筑单位面积用电量指标为例，未来如果达到美国目前的平均水平，则2020年300亿 m^2 的城镇建筑每年就要消耗3万亿度电，这是中国目前全国发电总量的1.5倍；如果单位建筑面积用电量达到德国法定节能建筑的水平（60kWh/ $m^2\cdot a$ ），则届时全国城镇建筑用电量也将达到目前中国全年发电量之和。

此外，伴随着快速城镇化，中国的机动化水平也在快速提高，其中尤其以私人小汽车的拥有量增长最为突出。仅2003-2005年，私人小汽车拥有量就从578万辆增加到1325万辆，年均增长率达到31.9%。城市交通的快速发展，机动化水平的不断提高，对城市发展带来了严峻挑战。一方面，在城市中心区，交通拥堵日益严重；另一方面，交通能耗和污染排放不断加剧。交通行业能源消耗的规模逐年上升，能源消耗的增速高于全社会能源消耗的增速，已成为中国用能增长最快的行业之一。

与发达国家过去30年发展的情况不同，中国城市建筑和交通发展处在更为恶劣的资源与能源环境下。全球日益紧张的能源与环境形势使中国必须在更有限的人均能源与资源条件下发展，走一条资源与能源节俭的路。

需要注意的是，自2001年起，伴随着蓬勃的市场经济下人民生活水平的不断提高，普通百姓对住宅、汽车、家用电器等耐用消费品需求不断增加，生活消费模式正朝着“高标准、超豪华”、“国际接轨”的方向发展。整体上，中国经济实质上已经进入到一个以消费结构升级所拉动的重化工业发展阶段。在这种情况下，研究与城市节能相关的工作、生活、休闲与出行方式以及对城市建筑和交通能耗的影响，研究中国当前社会能耗的消费分层及其内在社会影响因素、基于调节人类行为的角度，探讨在中国实现节能型社会目标的政策手段和价值引导手段，确定以资源节约为导向的未来社会新的消费增长点，发展与已有发达国家不同的建筑和交通用能模式，在满足社会发展和人民生活水平改善的基础上比目前西方现代化国家消耗更少的资源，意义重大。

国内外大量研究表明，城市建筑和交通领域的能源消耗，具有明显的消费领域特征，与工业领域的节能完全不同。城市领域的节能，与技术进步有关，但又不完全。一些非技术因素，如优化组织与管理，提高能源价格，提倡节约的生活方式，也可以达到相同的效果。特别是用能设备的运行模式、交通工具的选择、使用时间，多数情况下相对更为重要。使用公共交通工具而不是私人汽车上班，控制适当的住宅单元规模和办公室建筑人均建筑面积，合理采用空调采暖方式，合理设定采暖空调温度，减少采暖空调时间、使用自然通风、合理选择生活热水供应方式、等等，都能在获得相同或相似服务质量的基础上，减少能源消耗。中

国传统百姓长期以来形成“人走灯灭、节俭用能”的生活模式，公共建筑中习惯的“部分空间、部分时间”采暖空调方式，是当前中国的住宅能耗目前仅为发达国家（如美国）1/3、普通办公建筑能耗约为美国的 1/2 的重要原因。

此外，对于消费与服务型城市，城市建筑与交通的能源需求和发展模式还与城市规模，建筑与人口密度，居住、交通、工作及业余生活模式密切相关。例如，密集型城市倾向于大容量交通和密集型服务网络的发展，这样有助于提高效益。与此相反的是，扩张性城市需要远距离交通、相对分布或独立的网络和服务，否则消费者需要花费更高的费用，也不利于能源系统的效率。

下一步工作将进一步加强国内外相关城市的调研，通过对国内外典型城市的大规模调研比较，研究不同城市规模、建筑密度、人口数量、人口密度、人口分布和人均收入水平下整个城市的建筑和交通能耗情况，建立城市尺度和个人工作、生活、休闲、交通行为和能耗模型，研究整个社会不同人群的不同用能行为对城市建筑和交通节能的影响。在此基础上，政策研究包括但不限于：

- 1、研究如何实现控制城市建设规模的政策措施；
- 2、研究如何以税收为杠杆，通过政策研究和机制创新，探索物业费、小汽车拥堵收费、公交外部成本内部化、公共交通的票制票价及补贴政策等的出台的可行性；
- 3、研究如何加强城市规划的科学性和系统性的政策建议，即从城市可持续发展和节约能源角度出发，根据城市气候、采暖空调需求、城市规模、人口密度、居民出行时间、出行距离，统筹城市空间开发、建筑密度、交通模式规划与能源网络设计。

本报告由课题组提供