



基于低碳目标的区域建筑能源规划

Community Energy Planning Based on Low-Carbon Target

同济大学 龙惟定
PROF. LONG WEIDING
TONGJI UNIVERSITY

主要内容 overview

- 中国城市化与区域建筑能源规划
- 基于低碳的区域建筑能源规划的目标设定

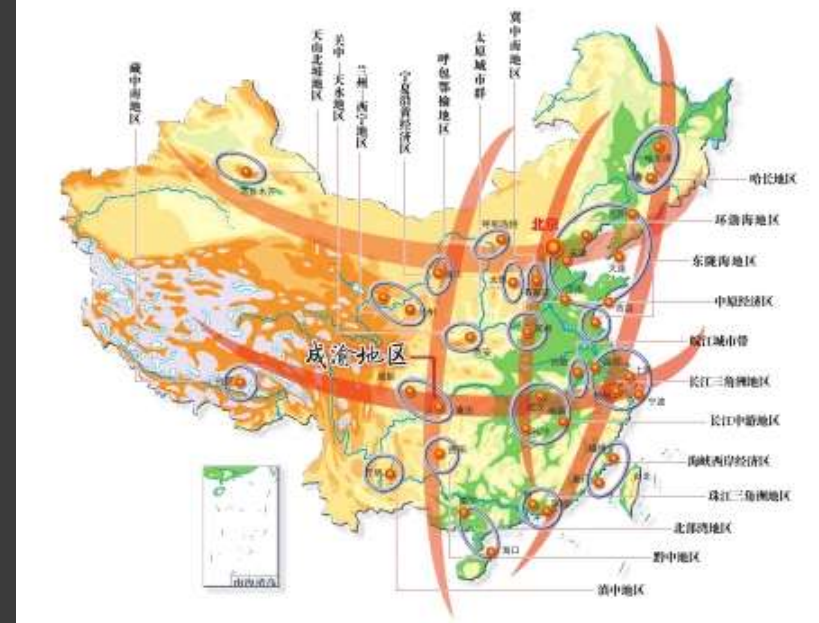


以世博为标志的大规模城市化开发

- 国家主体功能区规划：

- 全国国土空间分为四类：**优化开发区**，即国土开发密度已经较高、资源环境承载能力开始减弱的区域；**重点开发区**，即指资源环境承载能力较强、经济和人口集聚条件较好的区域；**限制开发区**，即资源承载能力较弱、大规模集聚经济和人口条件不够好，并关系到全国或较大区域范围生态安全的区域；**禁止开发区**，即禁止开发的各类自然保护区。

- “两横三纵”的重点开发格局构想，即以**陇海线**和**长江**为两条横轴，以**沿海**、**京广京哈线**、**包头钦州**为三条纵轴，以国家优化开发和重点开发的城市化地区为支撑点，以其他城市化地区为补充，形成“两横三纵”的“井字形”城市化格局。



11个6千万人口以上的城市群（形成超级大城市？）

城市群 城市数量

京津	28
沈大	22
济青	35
西安	8
郑州	23
上海	58
成渝	31
武汉	27
长株潭	20
厦门福州	14
广深	23

2025年，11个城市群的固定资产投资将达到全国总量的**60%**（13万亿人民币）



城市能源特点

- 所有城市都以工业能耗为主；
- 除少数城市，都以燃煤发电的电力为主要能源，能源禀赋是高碳的；
- 城市形态只能是3“H（高）”紧凑型城市（高层/高密度/高容积率）；
- 城市规划中建筑能源规划的缺位；
- 交通能耗日增，交通管理策略的错位；
- 服务业发展水平低、居民消费水平低，使得建筑能耗相对值低、总量和高峰量大；
- 巨大的建筑能耗需求和诉求；
- 建筑能源消费结构的二元化，能源浪费与能源贫困并存。

城市化中基于低碳的建筑能源规划特点

- 一个基础：
 - 低碳城市和区域总体规划
- 两个因素：
 - 节能和减排
- 能源三个层次的3D原则：
 - 减碳；
 - 分布式；
 - 降低负荷。
- 四个协调：资源/环境/经济/需求
- 六大步骤



建筑节能 VS. 低碳技术

建筑节能

很难建立基准线

增量节能

节能一定减碳

“节能50%”只是计算依据

节能量是虚拟量

技术主导

低碳技术

必须建立基准线

增量、存量都要减碳

减碳不一定节能

碳排放必须折算实物量

减碳量是实物量

结果主导

城市能源系统三个层面的3D目标

Production, Utility, Customer 生产-输配-用户



P 减碳
Decarbonization

城市层面



U 分布式
Decentralization

社区层面



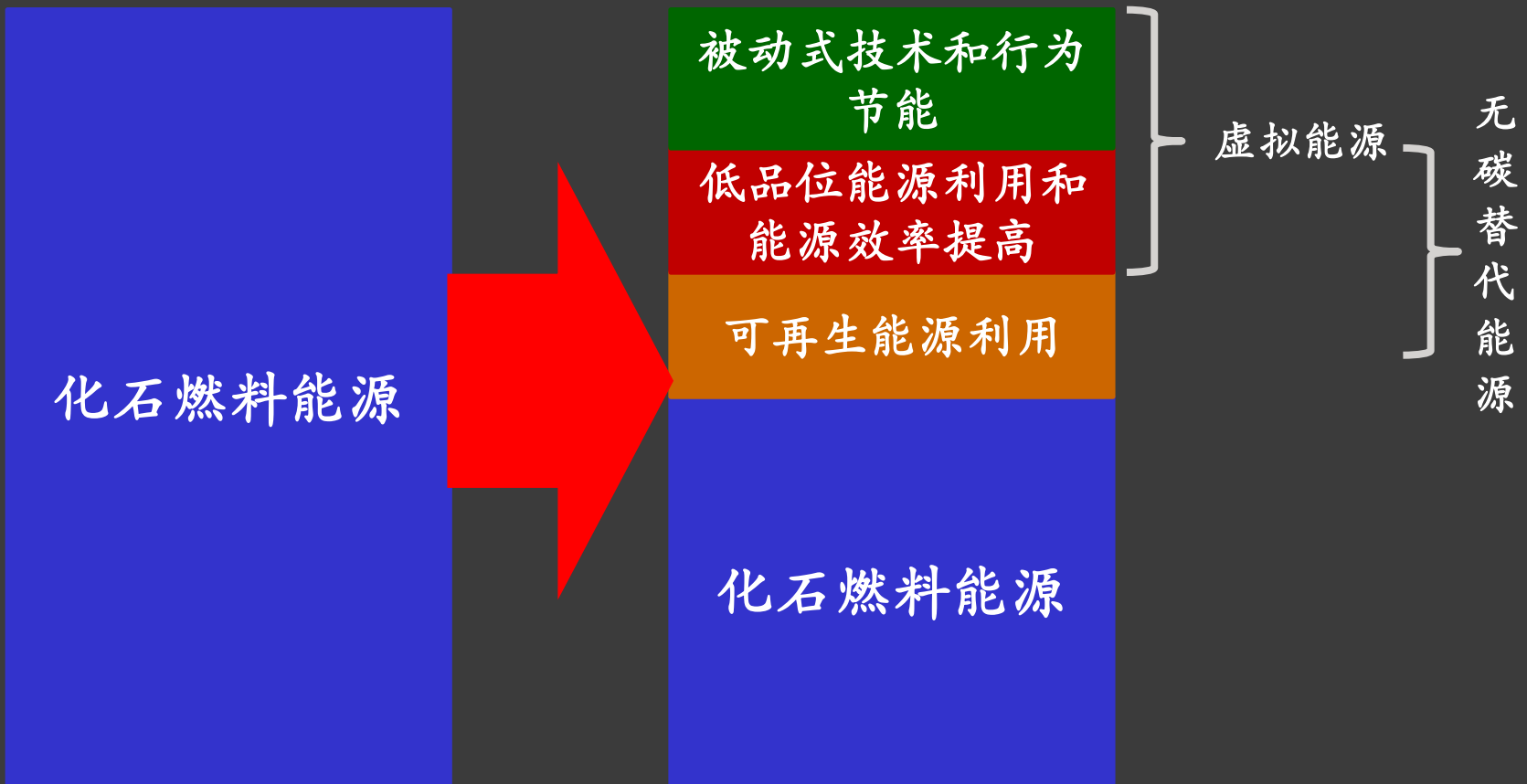
C 降低负荷
Demand reduction

用户层面

建筑能源规划协调四方面关系



节能作为虚拟资源



区域建筑能源规划的六大步骤

区域能源规划

1. 设定节能减碳目标

2. 可利用的资源量分析

3. 建筑负荷预测

4. 负荷的影响因素分析——气候设计

5. 选择合适的能源系统、系统优化

6. 能源系统环境影响分析

基于低碳的目标设定

城市环境本底分析

建筑能耗目标设定

人均碳排放目标设定

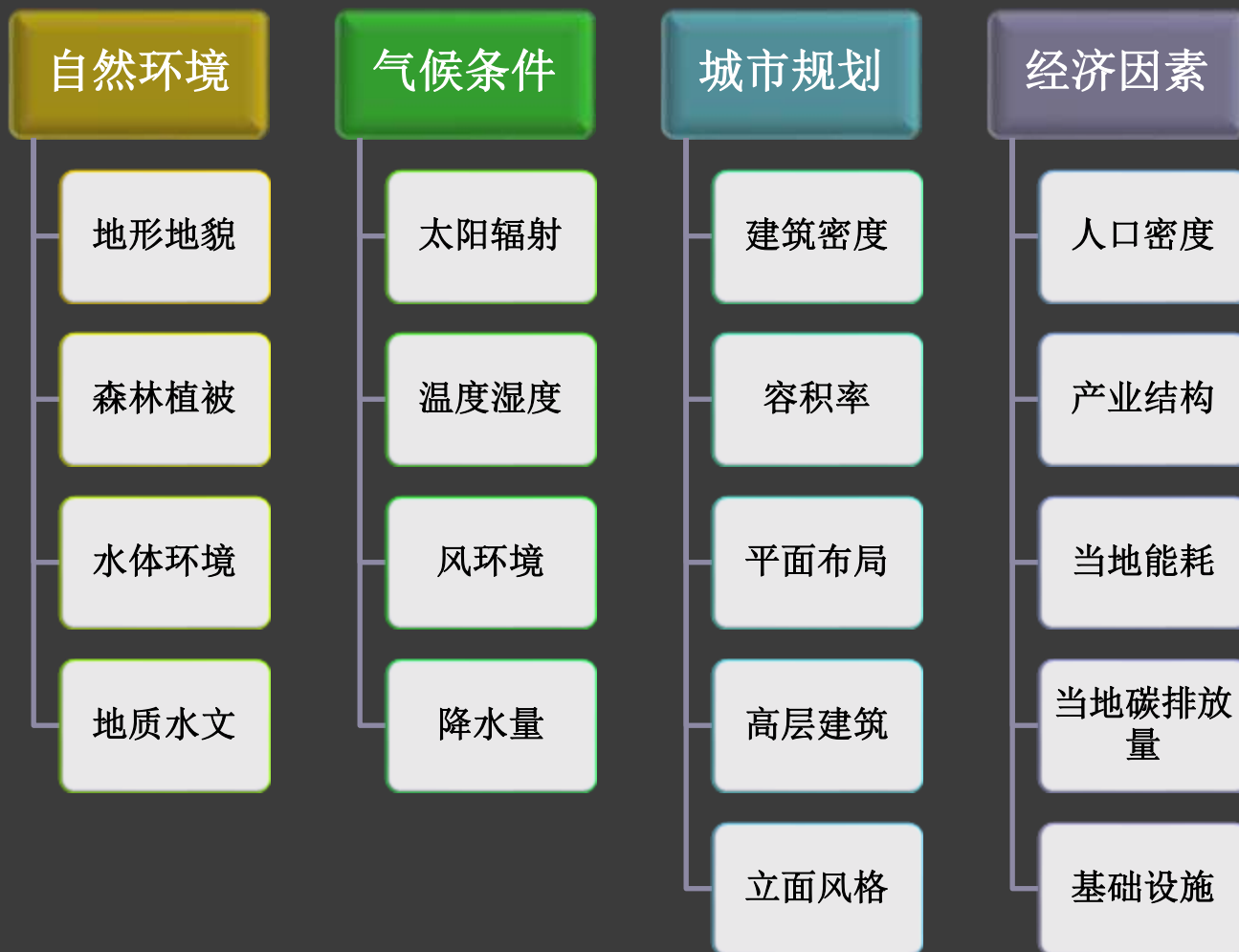
区域能源目标设定

交通景观等规划目标设定

区域评价标准等级目标设定

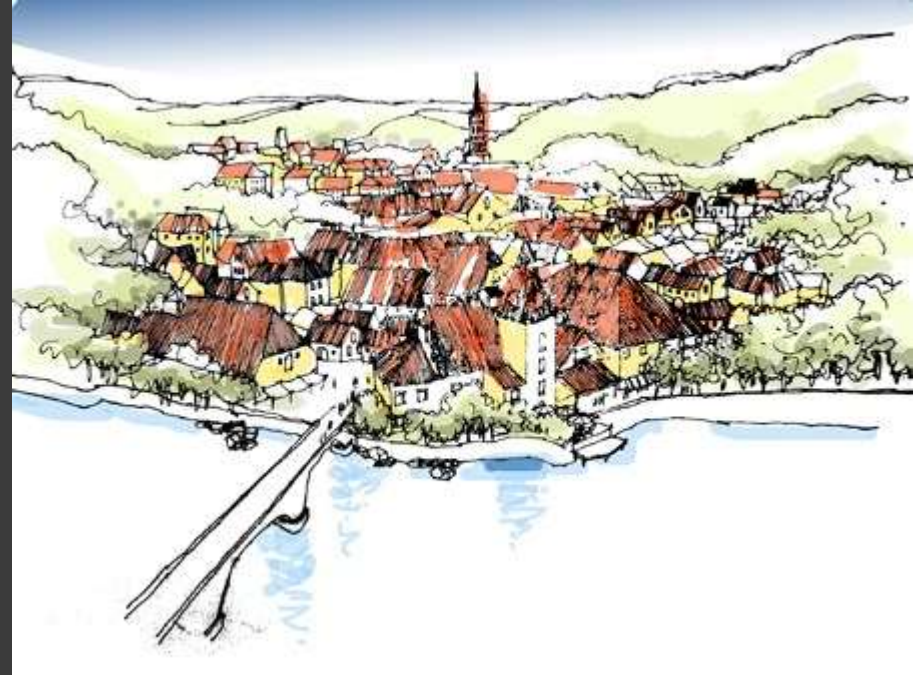


城市环境本底



城市中观和区域微观的气候分析

- 气候变化的适应性分析
(Resilient Analysis)
- 城市中观尺度和区域微观尺度气候特征的改变对建筑负荷的影响；
- 建筑周围微气候环境对建筑能耗的影响；
- 建筑与建筑群布局对建筑人居环境的影响。



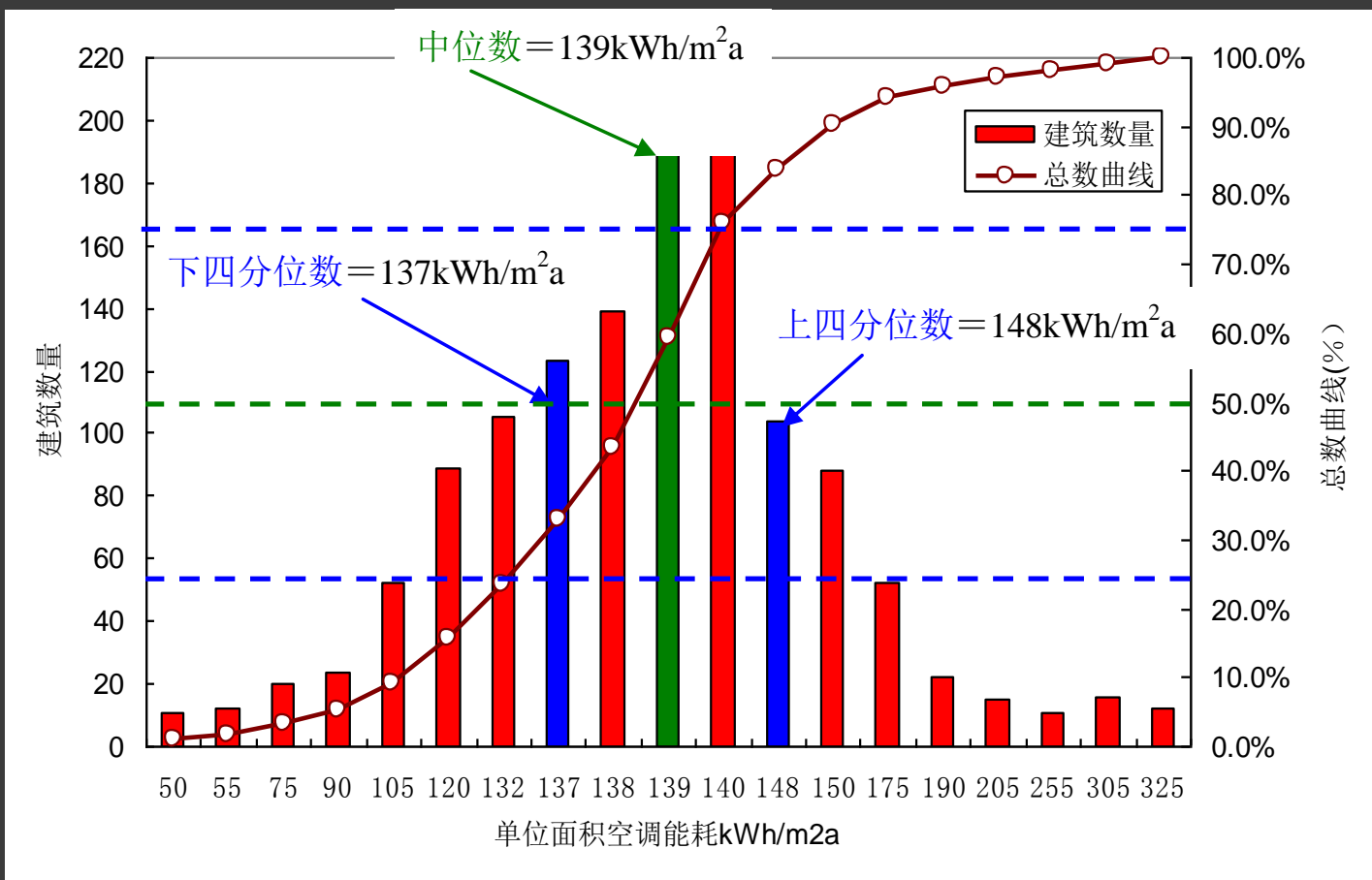
目标1：建筑节能和绿色建筑目标设定

所有建筑均达到国家绿色建筑评价指标的一级标准、部分二级、少部分三级

单位建筑面积能耗低于当地能耗统计数据中同类建筑能耗的下四分位数。

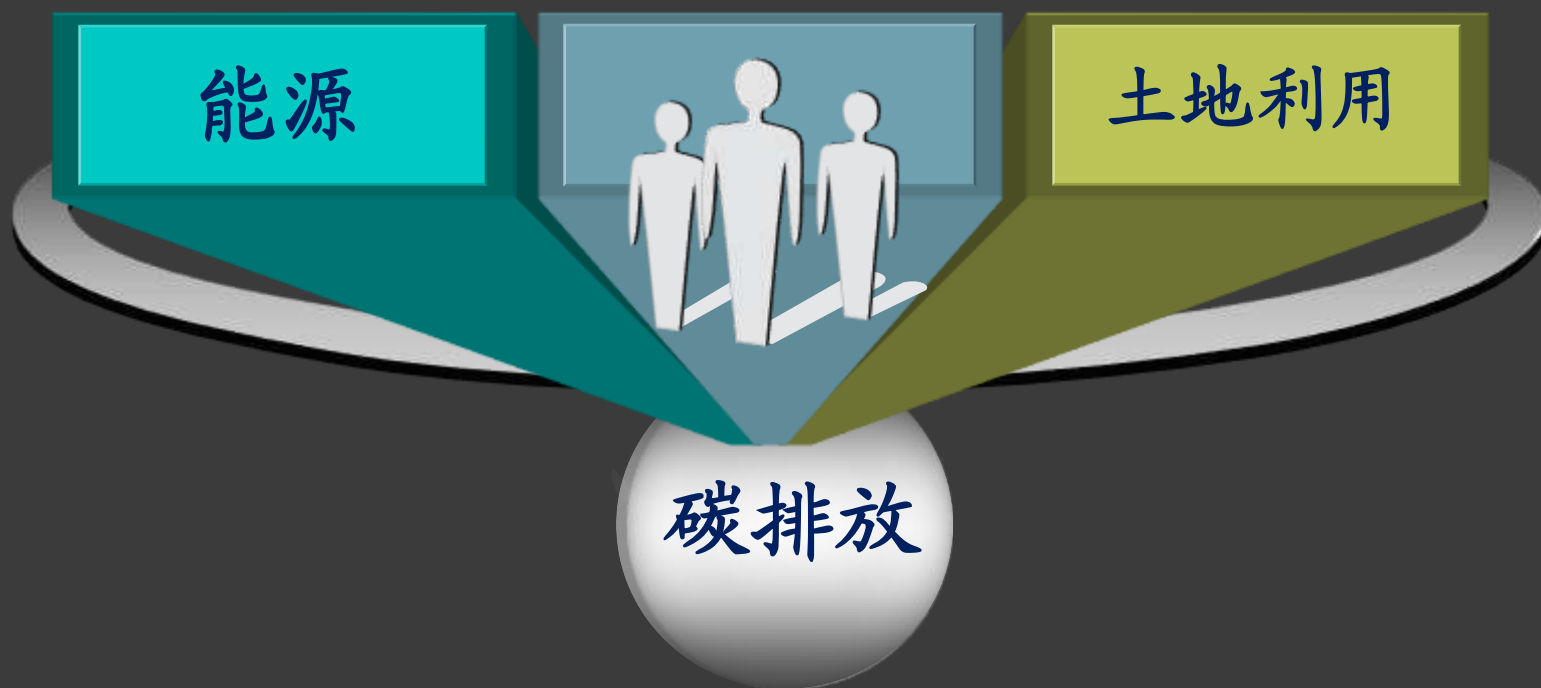
单位面积能耗低于当地最高一级的能效标识

根据统计数据确定建筑能耗指标



建筑能耗碳排放评价标准

- 建筑碳排放实质上是人的碳排放，人通过使用建筑、消耗能源而排放二氧化碳。建筑只是一个人耗能的平台。
- 单位建筑面积碳排放指标忽略了很多因素，特别是人的因素和土地利用的因素，只见物、不见人。
- 用年人均碳排放量指标，可以设定“人均每天X kgCO₂负荷”目标，将年人均碳排放量分摊到250（365）天。
- $(\text{kgCO}_2/\text{m}^2) \times (\text{m}^2/\text{p}) \times [\text{HDD}_s(\text{CDD})_s / \text{HDD}(\text{CDD})]$



目标2：人均碳排放指标目标设定

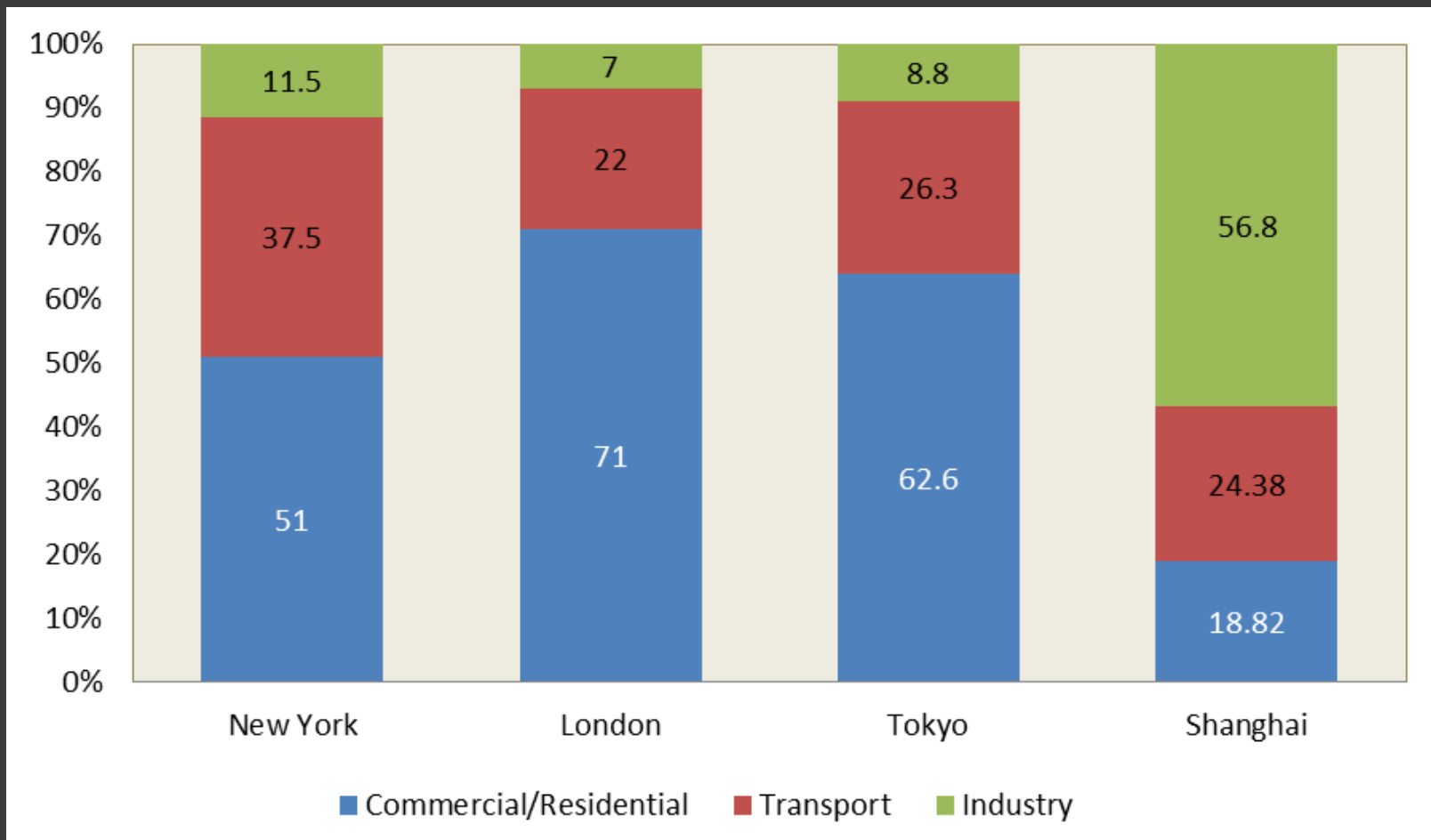
我国城市人均碳排放指标居于高位（中国科学院）

	资源开发型城市	工业主导型城市	综合型城市	旅游型城市	世界平均水平（2006）	经合组织国家（OECD）
市辖区人均CO ₂ 排放量/(t/p)	16.22	15.31	15.01	7.74	4.28	10.93
市辖区地均CO ₂ 排放量/(10 ⁴ t/km ²)	1.61	1.57	1.93	0.69	——	——
市辖区单位GDP CO ₂ 排放量/(t/万元)	4.17	1.91	2.54	1.65	0.902	0.536

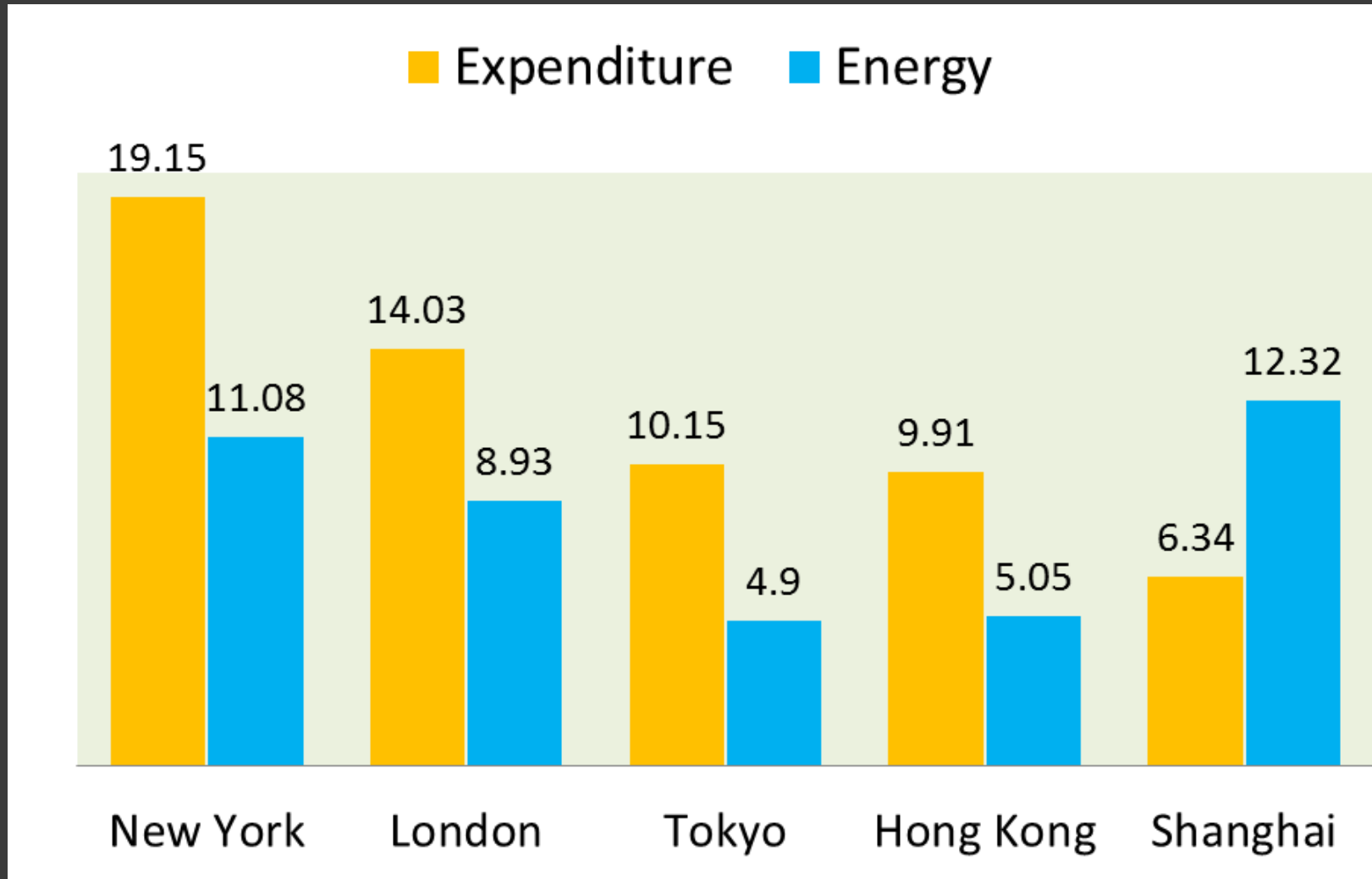
世界主要城市人均碳排放量

年份	城市	人均年排放量 (t/p·a)	年份	城市	人均年排放量 (t/p·a)	年份	城市	人均年排放量 (t/p·a)
2005	德国法兰克福	11.8	2005	法国巴黎	4.1	2008	加拿大温哥华	4.6
2005	德国汉堡	8.0	2005	西班牙马德里	6.1	2003	加拿大蒙特利尔	7.2
2007	加拿大多伦多	9.3	2005	瑞士日内瓦	7.4	2005	丹麦哥本哈根	2.1
2007	中国上海	11.7	2006	中国天津	11.0	2005	美国西雅图	7.1
2008	美国纽约	6.4	2006	日本东京	4.7	2005	德国斯图加特	15.3
2006	中国北京	9.7	2005	瑞典斯德哥尔摩	3.4	2005	比利时布鲁塞尔	7.3
2003	英国伦敦	9.4	2008	美国洛杉矶	13.2	2008	美国波特兰	11.9
2005	希腊雅典	9.0	2005	挪威奥斯陆	3.2	2005	美国芝加哥	12.7
2007	德国慕尼黑	7.1	2008	中国香港	6.7	2005	泰国曼谷	7.1
2008	新加坡	8.7	2005	意大利米兰	5.4			

纽约伦敦东京上海各部分碳排放比例 (%)



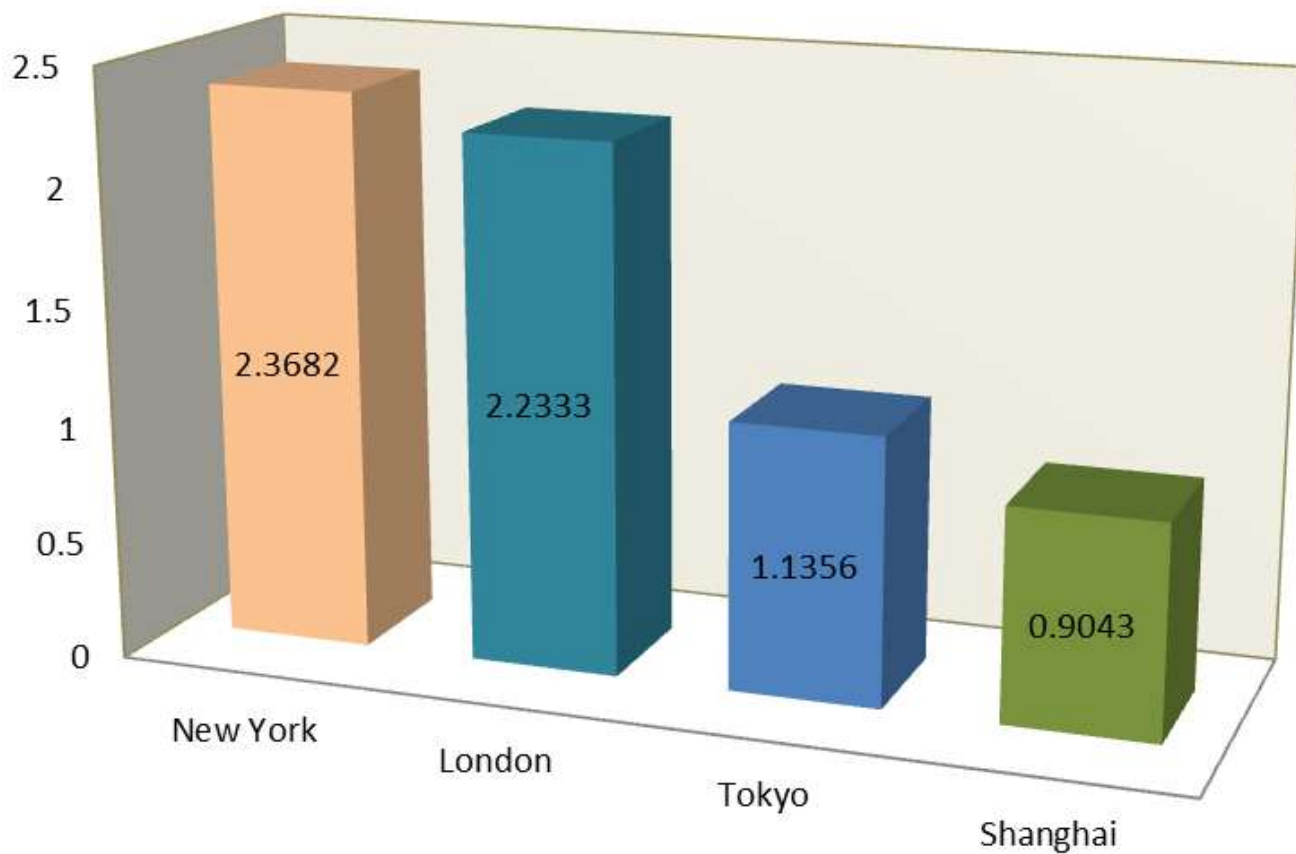
基于支出法和基于能耗计算的人均碳排放 (t/p.a)



城市碳排放计算的几种方法

- 生产者责任原则（本地化原则），上海因能源结构和产业结构，单位GDP能耗最高，碳排放也最大。
- 消费者责任原则，上海最低。
 - 上海的进口隐含碳（Embedded Carbon）最低，进口多为来自发达国家的高端产品和服务产品；
 - 上海的出口隐含碳最高，出口多为低端产品和制造业工业品。
- GDP碳排放的不靠谱。
- 生产是为了消费，供给是因为需求。中国的很多排放，是因为其他国家要消费；一些国家在高消费的同时，将生产和排放转移到了其他国家。因此减排时要以消费为标准。

纽约伦敦东京上海人均生活能耗碳排放比较 (t/p.a)



碳排放目标设定

- 如果用单位GDP碳排放量，必须严格控制产业结构。
 - 例如，北京市海淀区2008年三产占比54.29%，单位GDP能耗0.3155tce，约0.85t二氧化碳排放量
 - 上海市静安区2009年以服务业为主体的三产占比89.3%，单位GDP能耗0.178tce，约0.48t二氧化碳排放量
 - 而我国承诺的2020年减碳目标为万元GDP二氧化碳排放量在2005年基础上降低40-45%，约每万元0.8t二氧化碳。
- 以服务业为主的区域比较容易实现“**碳排放强度在国家承诺基础上再降低X%**”。
- 中国承诺的减排量：

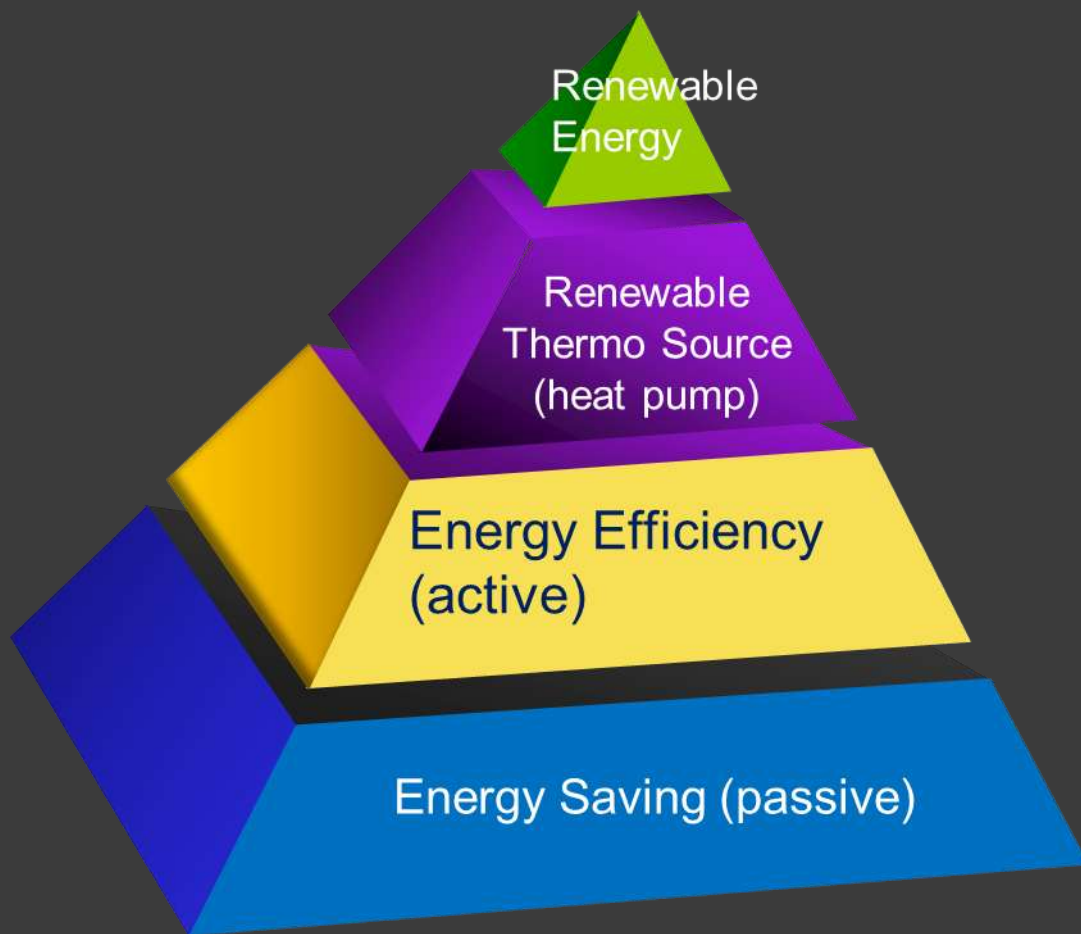
年份	2005	2020
GDP（折合2000年美元）	20980亿	66552亿（年均增长率8%）
单位GDP的CO2排放量/kg/2000\$	2.43	1.34（降低45%）
CO2年总排放量/亿t	51	161（不采取减排措施）
		89（采取减排措施）

我国四个直辖市能源效率和碳排放效率的数据

城市	北京	上海	天津	重庆
单位GDP能耗（吨标准煤/万元）	0.67	0.833	1.02	1.33
单位GDP电耗（千瓦时/万元）	758.25	914.19	1017.15	1148
标准煤碳排放系数（吨CO ₂ /吨标准煤）	1.656	2.122	2.599	2.677
单位GDP碳排放（吨CO ₂ /万元）	1.11	1.77	2.65	3.57
单位第一产业增加值碳排放（吨CO ₂ /万元）	1.18	1.38	1.34	1.23
单位第二产业增加值碳排放（吨CO ₂ /万元）	4.35	2.12	3.00	4.19
单位第三产业增加值碳排放（吨CO ₂ /万元）	0.66	1.36	1.45	1.35

目标3：区域能源目标设定

- 可再生能源利用率
 - 应从减碳目标出发，推算可再生能源利用
 - 必须考虑当地资源条件
 - 园区优先采取建筑节能措施，最后才考虑用可再生能源补足差额
 - 在区域级增加一个百分点的可再生能源都十分困难
- 降低负荷和建筑节能是基础，是优先选项。
- 可再生热源利用率比较基准的算法值得探讨



目标4：规划目标设定

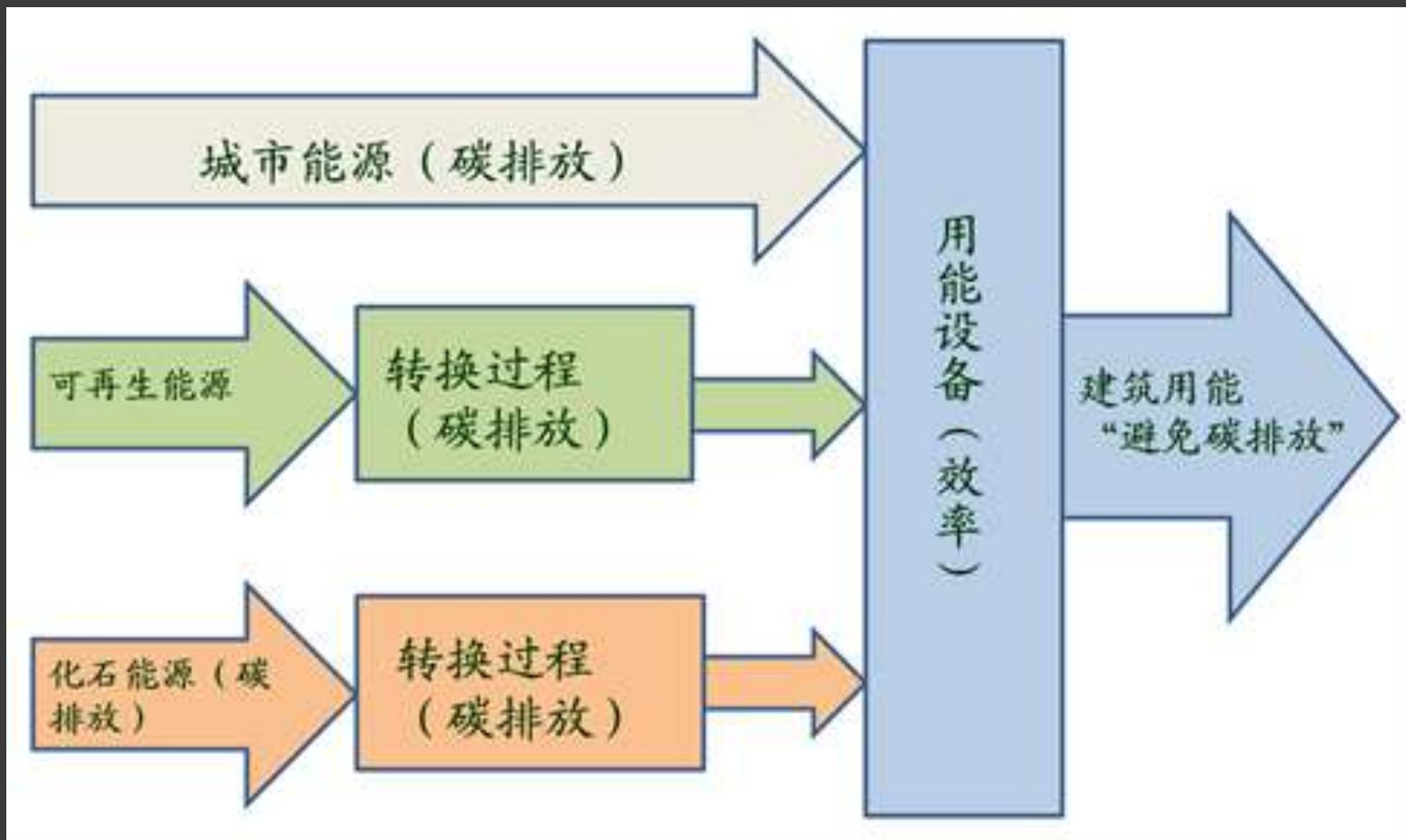
含交通和景观

- 交通能耗和碳排放也是很重要的城市碳源，但区域级交通能耗和碳排放量如何计算尚未解决
- 可以考虑巴黎拉德芳斯（Paris, La Defense）的平台化设计
- 道路隐蔽，无化石燃料汽车社区
- 基于可再生能源的电动车充电系统
- 碳汇布置，结合景观和湿地保护
- 混合社区，提高负荷参差率，降低同时使用系数。



建筑能耗碳足迹的碳值分析方法

- 碳的投入/产出分析



碳的投入产出效率

- 投入碳增量，产出“避免碳排放量 (Avoided Emission)”
- 投入部分：
 - 化石燃料一次能碳排放量，例如我国电力平均0.86 kg/kWh
 - 可再生能源隐含 (embedded) 碳排放量
- 产出部分：供冷供热供热水、照明。不同的用能设备效率，会有不同的“避免碳排放量”。
- 比较的基准线

碳的投入产出效率计算

$$ECM = \frac{100 \times ACE}{EC + IC + DC}$$

- *ECM*, 碳减排效率 (Efficiency of Carbon Mitigation) (%)。
- *ACE*, 避免碳排放 (Avoided Carbon Emission), kg, 由于用能设备能源效率提高而使碳排放与某一基准相比有所减少, 这一减排量即避免碳排放。
- *EC*, 隐含碳排放 (Embedded Carbon Emission), kg, 可再生能源设备在其寿命周期 (生产、制造、运输、安装) 内的碳排放, 即为隐含碳排放。
- *IC*, 间接碳排放 (Indirect Carbon Emission), kg, 用能设备使用碳能源火力发电的电力, 造成间接碳排放;
- *DC*, 直接碳排放 (Direct Carbon Emission), kg, 城市能源 (煤、天然气、石油、生物质) 直接驱动用能设备时产生的碳排放。

各种能源末端供热的碳排放比较

	一（二）次能源	一次能效 (%)	10kWh 供热排放 CO2 (kg)	碳减排效率 ECM (%)
煤锅炉	燃煤	60	5.34	——
燃气锅炉	天然气	90	2.1	154
电锅炉	全国发电平均碳排放	——	9.55	-44
空气源电动热泵 COP = 3.0	全国发电平均碳排放	——	2.87	86
	天然气发电 NGCC	171	1.1	385
	燃煤发电	105	3.05	75
	燃煤发电 IGCC	165	1.94	175
地源热泵 COP = 4.0	全国发电平均碳排放	——	2.15	148
	天然气发电 NGCC	228	0.82	551
	燃煤发电	140	2.28	134
	燃煤发电 IGCC	220	1.45	268
燃气热泵 COP = 3.5	天然气	160	1.19	349
直燃机	天然气	90	2.1	154
热电联产+电力驱动热泵	天然气	162	1.17	356

各种能源末端供冷的碳排放比较

	一（二）次能源	一次能效(%)	10kWh 供冷 排放 CO2 (kg)	碳减排效率 ECM (%)
空气源电动制冷机 COP = 2.6	全国发电平均碳排放	——	3.31	——
	天然气发电 NGCC	148	1.28	159
	燃煤发电	91	3.52	-6
	燃煤发电 IGCC	143	2.24	48
地源热泵供冷 COP = 4.5	全国发电平均碳排放	——	2.22	49
	天然气发电 NGCC	256	0.74	347
	燃煤发电	157	2.04	62
	燃煤发电 IGCC	247	1.30	155
水冷离心式制冷机 COP = 6.0	全国发电平均碳排放	——	1.46	127
	天然气发电 NGCC	342	0.56	491
	燃煤发电	210	1.52	118
	燃煤发电 IGCC	330	0.97	241
燃气热泵 COP = 3.5	天然气	160	1.19	178
直燃机	天然气	130	1.46	127
热电联产(发动机)+电力驱动离心制冷机+单效吸收式制冷机	天然气	240	0.79	319

目标5：达到区域能源评价标准的某一等级

国外区域能源评价标准

1

LEED-ND

可再生能源：

5%-20%

常规能源：

10%-26%

区域供冷供热技术

2

BREEAM Community

可再生能源：

10%-20%

低碳技术

3

CASBEE for Urban Development

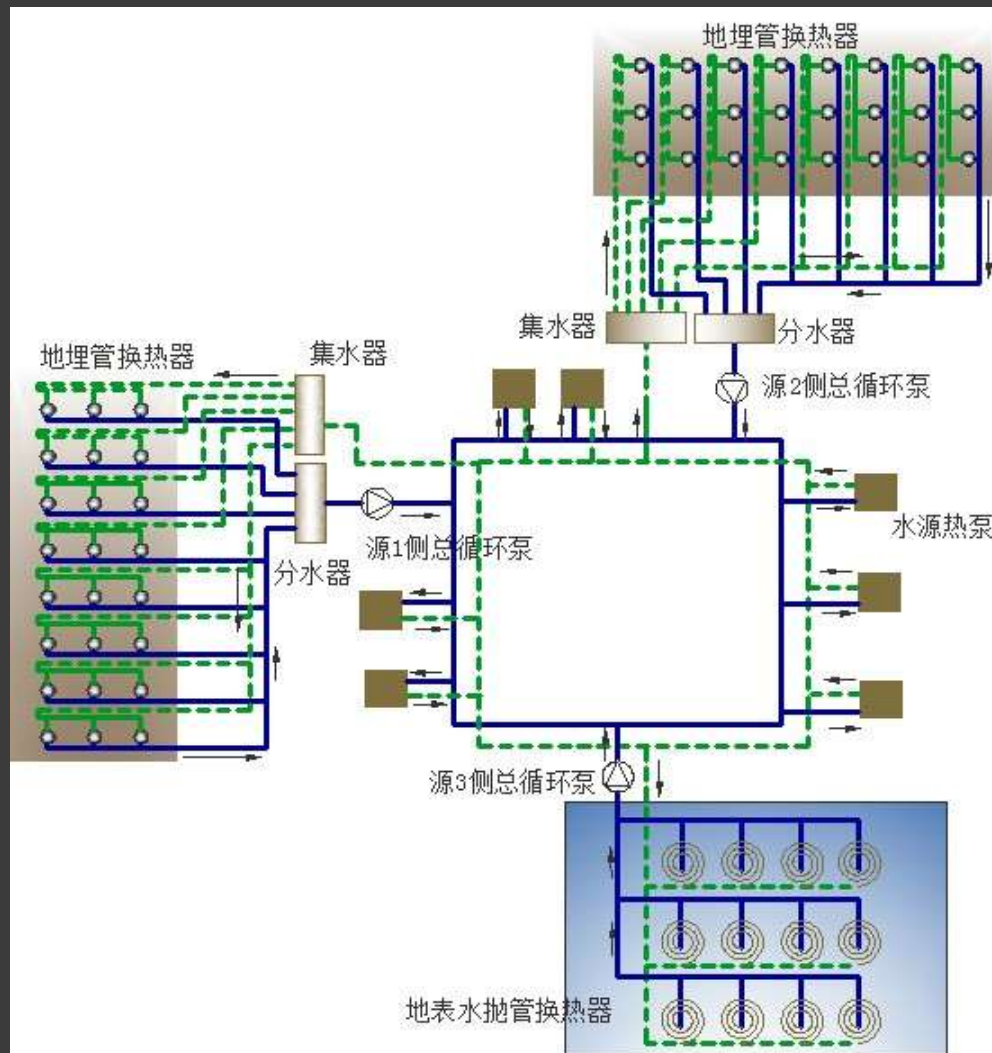
建筑物环境质量与性能；
建筑物的外部环境负荷

期待中国的低碳生态城市评价标准

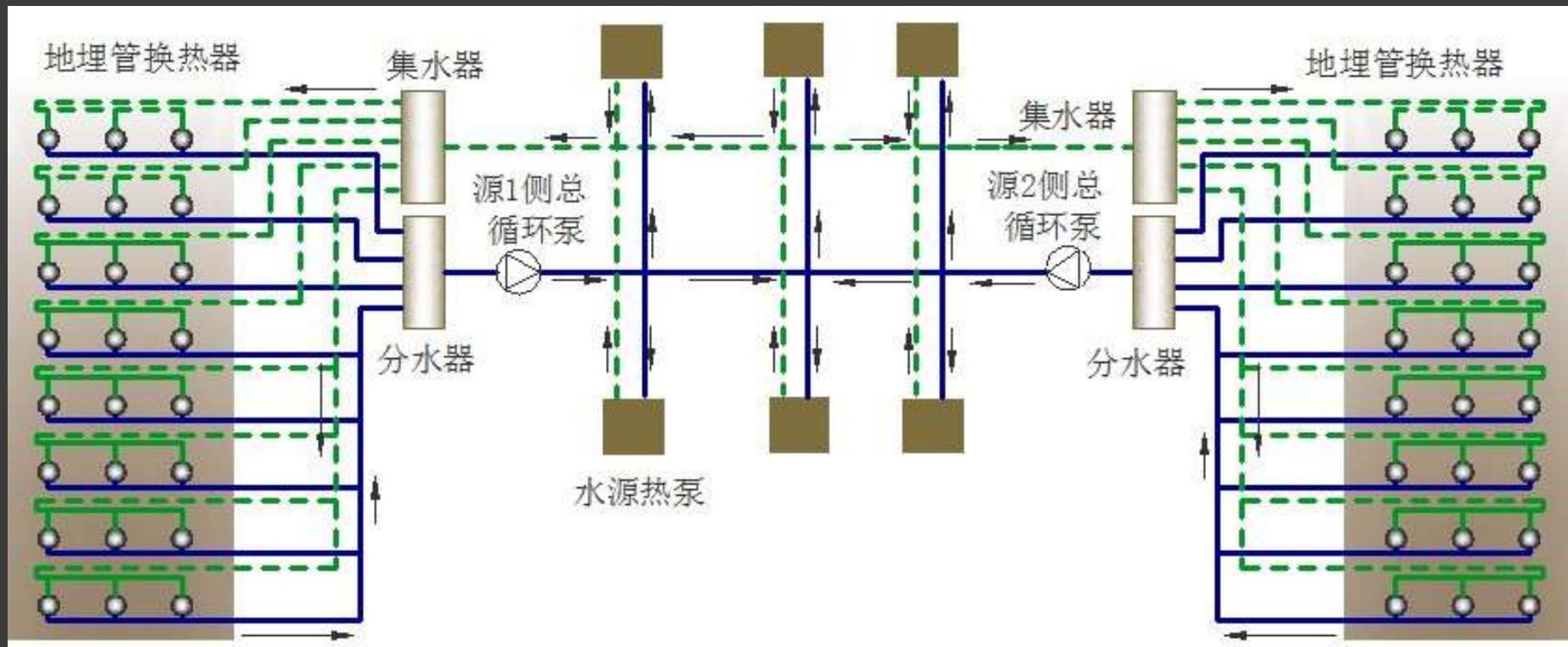
基于可再生能源的能源总线系统 Energy bus

- 在计算机科学中，总线（bus）是一种计算机的内部结构，它是CPU、内存、输入、输出设备传递信息的公用通道，计算机的各个部件通过总线相连接，外部设备通过相应的接口电路也与总线连接。
- 所谓“能源总线（energy bus）”，就是将来自于低品位的可再生能源或未利用能源的热源/热汇水，通过作为基础设施的管网，输送到用户。在用户端，总线来的水作为水源热泵的热源/热汇，经换热后回到源头，或排放（地表水）、或循环再次换热（通过换热器与各种“源”和“汇”耦合）、或回灌（地下水）。
- 多源对多用户，整合和集成应用可再生热源和可再生能源，成为基础设施的一部分。
- 热泵技术是低碳园区能源系统的关键技术

多源环状能源总线系统



多源支状能源总线系统





谢谢!