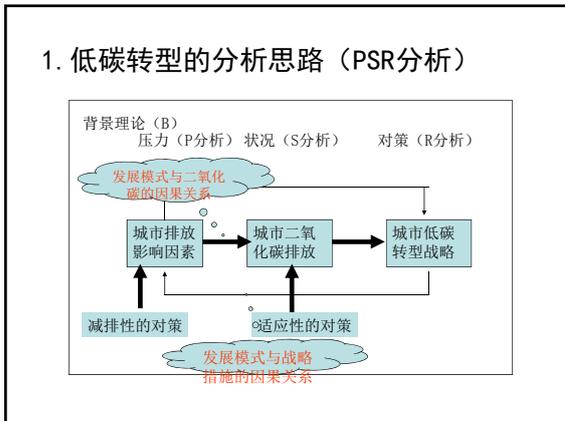


低碳转型的分析思路与路径选择

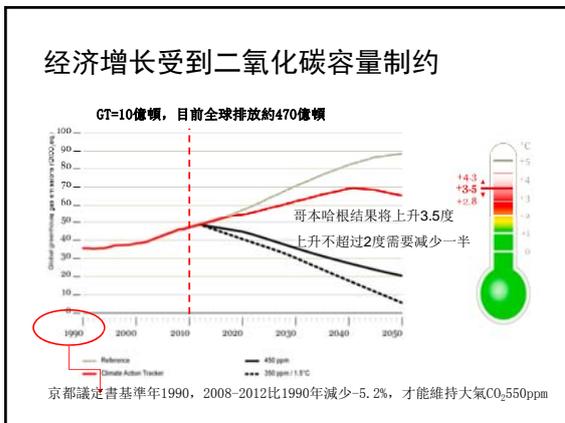
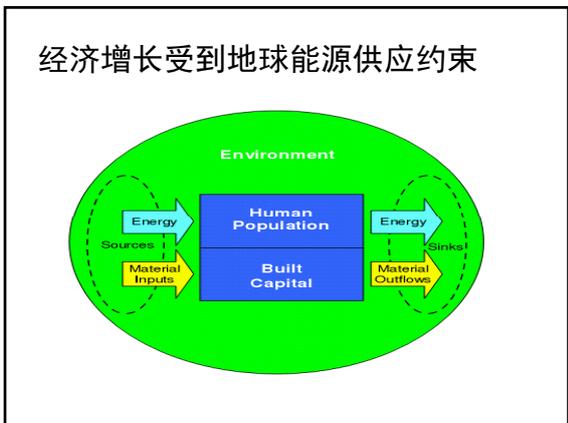
诸大建
同济大学可持续发展与管理研究所

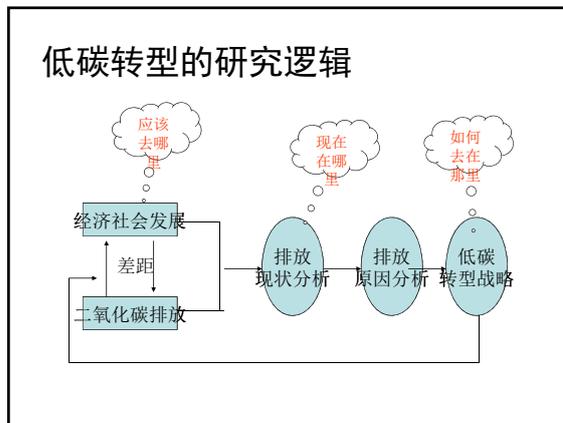
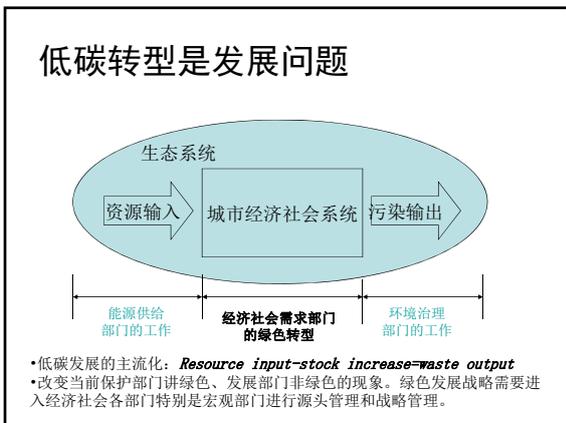


(1) 研究特征: 经济系统与生态系统

Resources → Money → Waste

任何一个相信在一个有限的星球上，指数增长能够持续下去的人，不是疯子，就是经济学家。
——肯尼斯·鲍尔丁 (Kenneth Boulding)

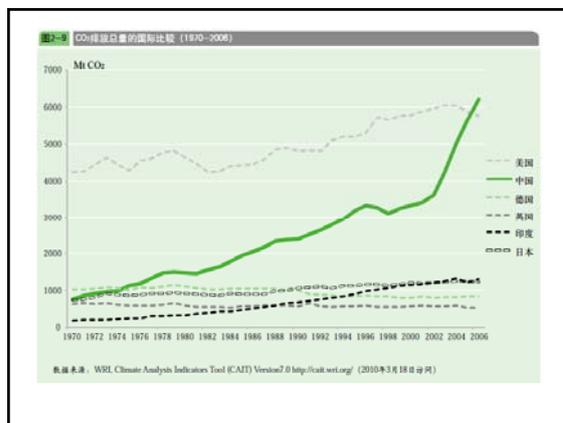




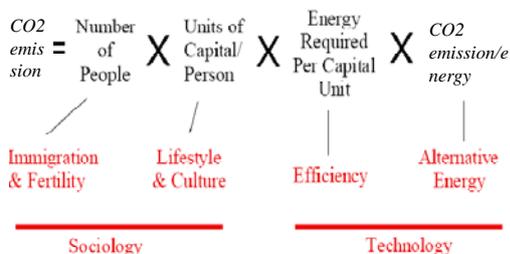
- ### (2) 现状分析：二氧化碳的排放状况
- 二氧化碳排放总量及其发展趋势
 - 单位经济产出的能源消耗及其趋势
 - 单位能源的二氧化碳强度及其趋势
 - 人均能源消耗与二氧化碳排放
 - 经济规模及其增长趋势
 - 人口总量及其增长趋势
 - 人均GDP及其增长趋势

中国排放与世界平均的比较 (IEA数据)

	人口 百万人	人均GDP 美元 (PPP) /人	能源消耗 总量 Mtoe	CO ₂ 排放 总量 MtCO ₂	单位GDP 能源消耗 toe/\$	人均CO ₂ 排 放量 tCO ₂ /人	单位GDP CO ₂ 排 放量 kgCO ₂ /\$
中2007	1320	2360 (5370)	1955.8	6027.9	0.82	4.57	2.52
世2007	6509	7958 (9852)	12029	28962	0.30	4.38	0.73
比率%	20.3	29 (54)	16.3	20.8	273	104	350
中2008	1326	2940 (6020)	2116.4	6508.2	0.81	4.91	2.50
世2008	6688	8613 (10357)	12267	29381	0.30	4.39	0.73
比率%	19.8	34 (58)	17.3	22.2	270	112	340



(3) 原因分析：影响排放的主要因素



二氧化碳排放的测算方式

二氧化碳排放量的卡亚等式 (Kaya Identity):

$$CO_2 = P \times GDP / P \times E / GDP \times CO_2 / E$$

$$\%CO_2 = \%P + \%Y + \%E + \%C$$

For example, in the year 2000, the world figures were

$$6.1 \times 10^9 \text{ pers} \times \$7400/\text{pers} \times 0.01 \text{ GJ}/\$ \times 14 \text{ kgC}/\text{GJ} = 6.4 \times 10^{12} \text{ kgC} = 6.4 \text{ billion tonnes C}$$

Options for reductions

Reduce growth of energy use by...

- reducing population growth
- reducing growth of GDP/person
- reducing E/GDP ratio by
 - increasing efficiency of conversion to end-use forms
 - increasing technical efficiency of energy end-use
 - changing mix of economic activities

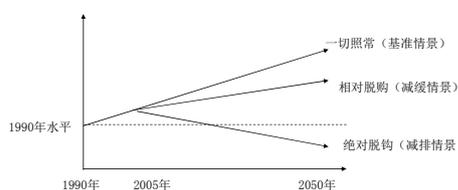
Reduce CO₂/E ratio by...

- substituting natural gas for oil & coal
- replacing fossil fuels with renewables
- replacing fossil fuels with nuclear energy
- capturing & sequestering CO₂ from fossil-fuel use

低碳转型的两种路径（到2020）

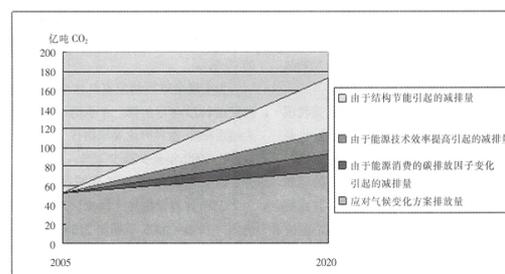
		经济规模（人口乘以人均消费）	能源强度	能源替代
技术路径	能源替代			可再生能源替代
	能源效率		提高工业、交通、建筑能效	
社会路径	聪明增长（发展中国家）	控制人口增长 经济合理增长	降低工业能耗强度	
	降低足迹（发达国家）	稳定人口规模 减少奢侈消费	降低交通建筑能耗	

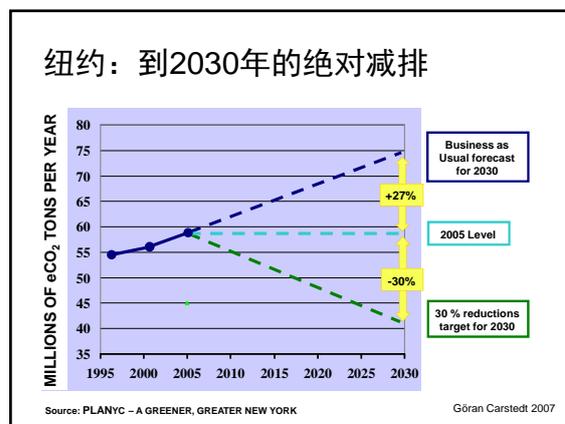
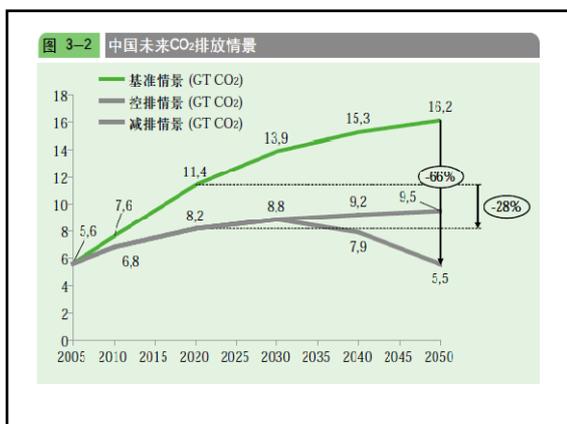
(3) 目标分析：绝对脱钩与相对脱钩



相对脱钩：在二氧化碳排放总量增长下的效率提高；
绝对脱钩：在经济增长的同时减少二氧化碳排放。

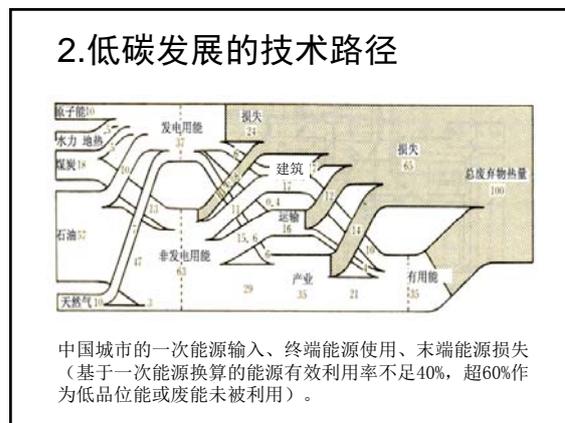
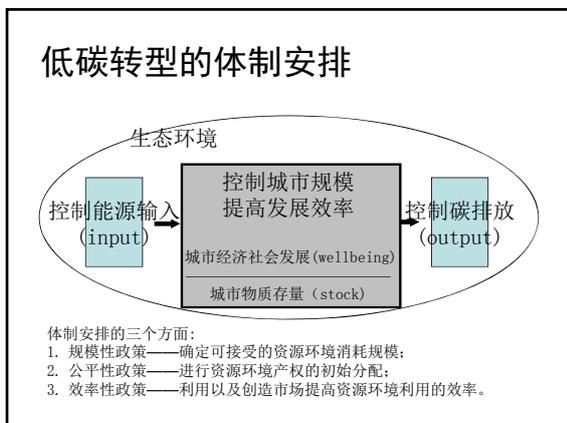
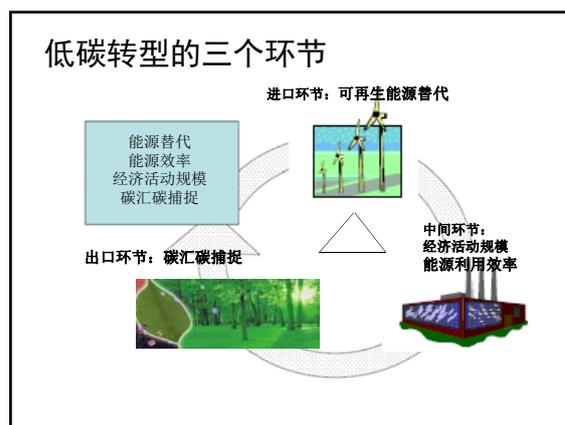
中国：到2020年的相对减排





(4) 对策分析：外推研究vs回溯研究

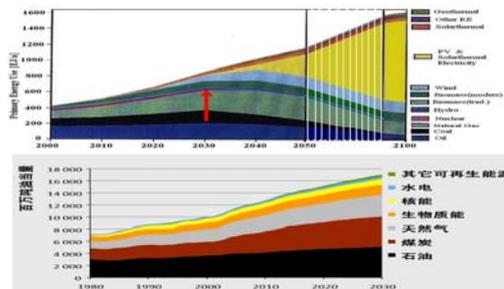
- Forecasting scenario approach**
 - 现在是自变量，未来是应变量
- Backcasting (landing place) scenario approach**
 - 未来是自变量，现在是应变量



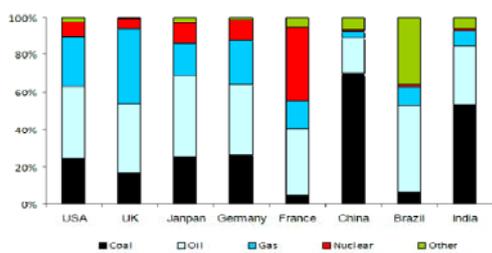
(1) 能源替代与低碳发展

- 可再生能源的供给能力有限
 - 到2020年最大是20%
- 可再生能源生产中的能源消耗
 - 生产效率小于传统能源
- 可再生能源在非电供给中的局限
 - 可再生能源只能用在发电替代中

2030年：80%仍然是化石能源

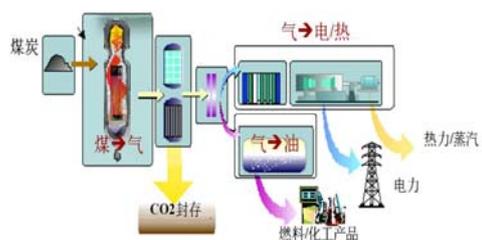


煤在中国能源结构中占主要部分



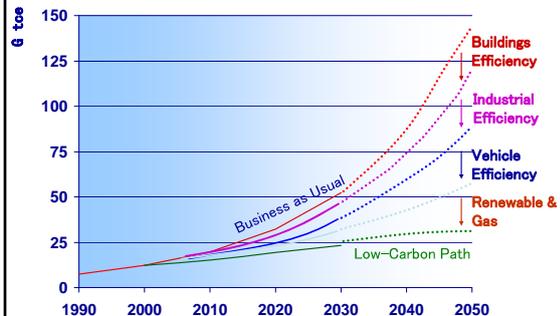
Source: BP Statistical Review of World Energy, 2007

中国需要发展煤炭低碳利用技术



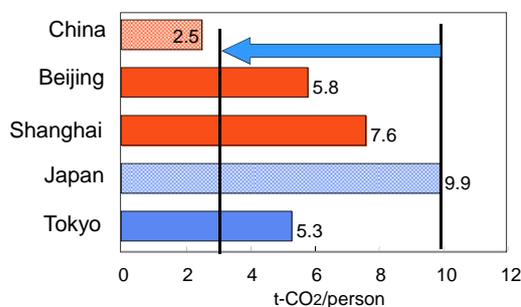
高效清洁，电、热、燃料、化工产品多联产

(2) 能源效率与低碳发展

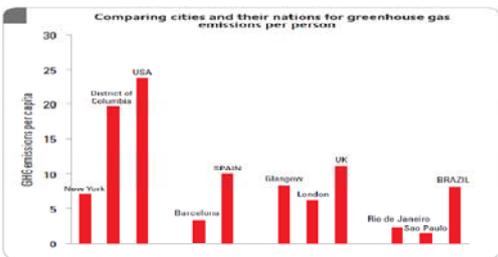


Source: LBNL

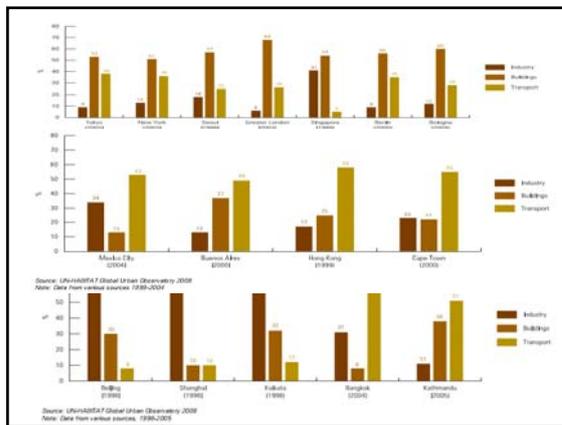
中国城市人均碳足迹高于全国



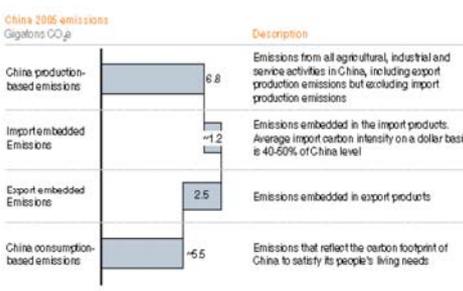
国外城市人均碳足迹低于全国



Source: Hochman, David (2009), "Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions", Environment and Urbanization Vol. 21, No. 1.

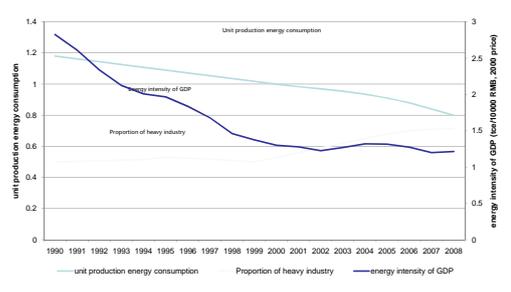


Source: UN/WHO/FAO Global Urban Observatory 2009
Note: Data from earlier sources (1996-2002)
Source: UN/WHO/FAO Global Urban Observatory 2009
Note: Data from earlier sources (1996-2002)

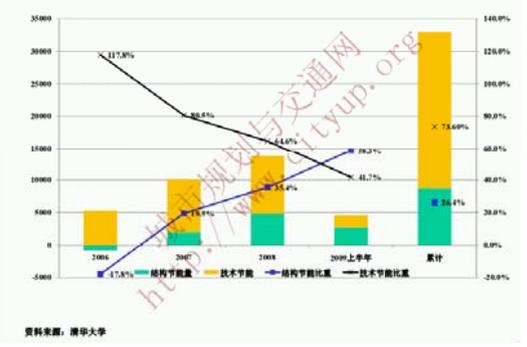


Source: Ye Qi "Accounting embodied carbon in import and export in China", McKinsey analysis
Source: McKinsey&Company, 2009. China's green revolution

中国的产业结构与能源强度



“十一五”以来各年度结构节能和技术节能的比重变化



资料来源：清华大学

中国碳排放的影响因素分解

1996-2007年中国二氧化碳排放指数及其分解(陈诗一, 2010)

时间	排放指数	影响因素分解							
		能源结构	生产部门				生活部门		
			能源强度	产业结构	资本生产率	资本规模	能源强度	人均收入	人口规模
1996-2007	1.0550	0.9978	0.9548	1.0085	0.9746	1.125	0.9976	1.0028	1.0011

主要发现：
 • 能源结构与能源强度减少了碳排放；
 • 产业结构与资本规模自己爱了碳排放

资料来源：陈诗一等，资本深化、生产率提高与中国二氧化碳排放变化，财贸经济，2010（12）

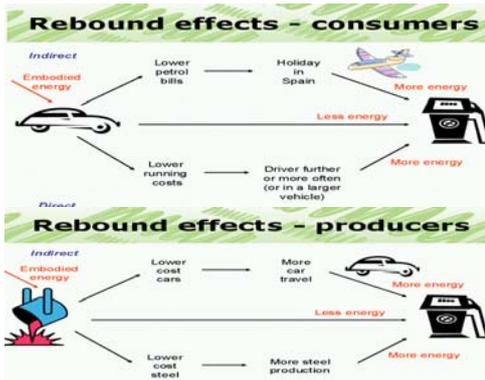
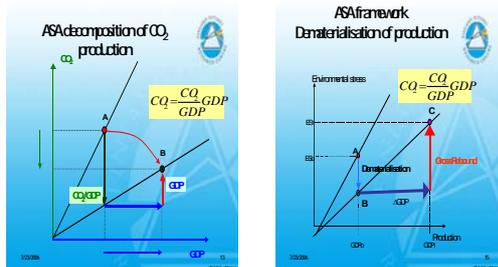
上海二氧化碳排放的国际比较

Item 指标	New York 纽约 (2008)	London 伦敦 (2006)	Tokyo 东京 (2003)	Shanghai 上海 (2007)
Emission amount, MtCO ₂	52.17	44.00	70.44	184.89
Agriculture 农业	--	--	--	0.7%
Heavy industry 大工业	8.1%	7.0%	9.2%	65.6%
Construction 建筑用能	29.7%	33.0%	35.4%	13.20%
民用住宅	39.7%	38.0%	25.3%	8.70%
Surface transport. 地面交通	22.4%	22.0%	30.1%	11.8%
Area 面积, km ²	790	1572	2187.09	6340.5
Population million 常住人口	8.30	7.5124	12.3882	18.5808
单位面积碳排放量, 10000 tCO ₂ /km ²	6.60	2.80	3.22	2.92
Emission per capita, tCO ₂	6.29	5.86	5.69	9.95

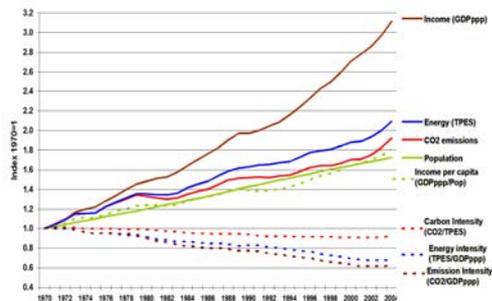
(3) 技术改进与反弹效应

- 反弹效应：节省材料以及减少污染的每一步小小努力都被尾随而来的数量上的扩展所淹没
 - 行：汽车效率的改进被汽车的消费扩展所抵消
 - 住：住房效率的改进被住房的消费扩张所抵消
 - 用：家电效率的改进被家电数量的扩张所抵消
- 规模问题：规模是人均物质消费与人口总量的乘积
 - 市场配置可以提高效率但是不能控制规模
 - 因此需要政府在宏观上确定并调控经济发展的物质规模（土地、能源、水、污染）
 - 传统的环境经济学只涉及效率而不涉及规模问题

二氧化碳的反弹效应

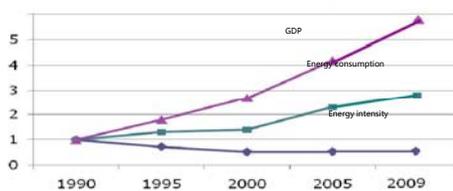


全球二氧化碳排放中的反弹效应

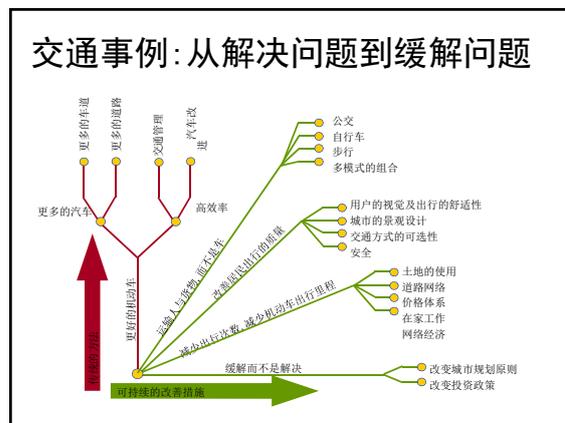
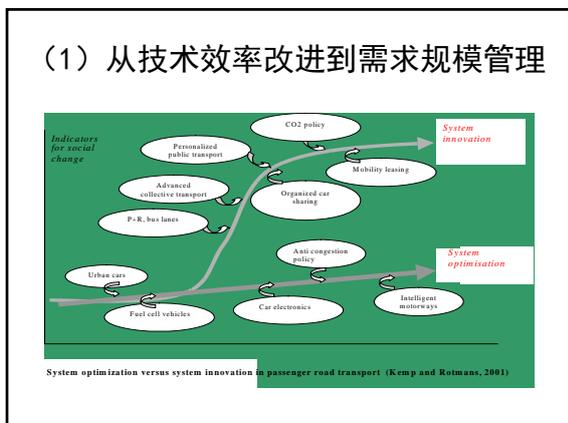
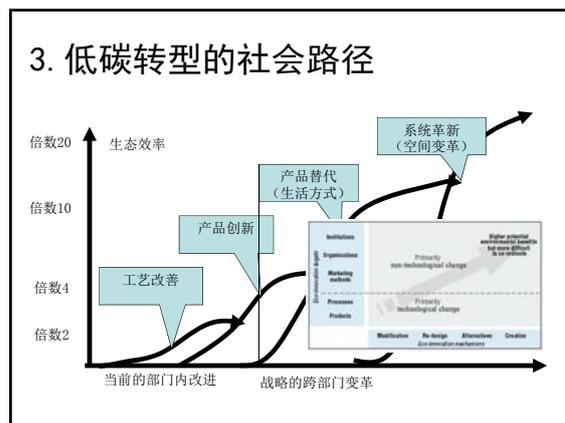
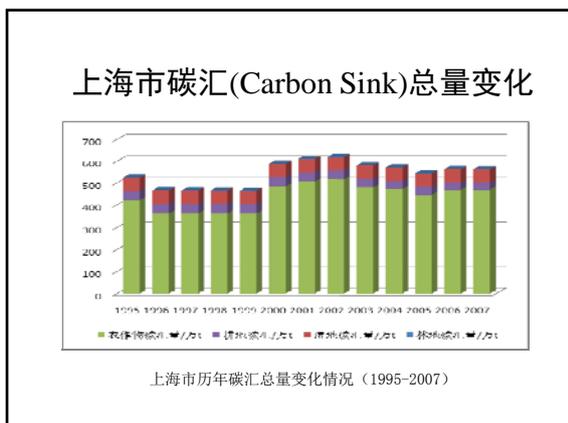
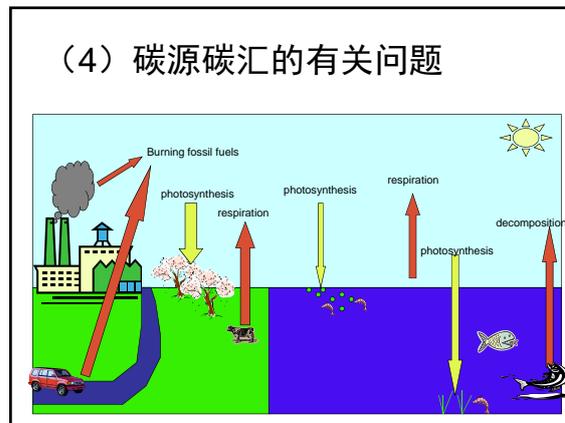
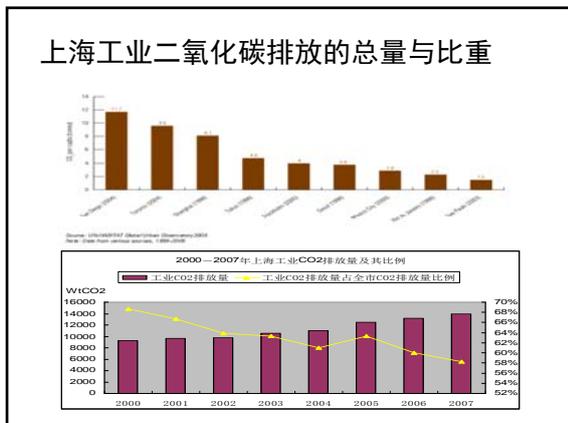


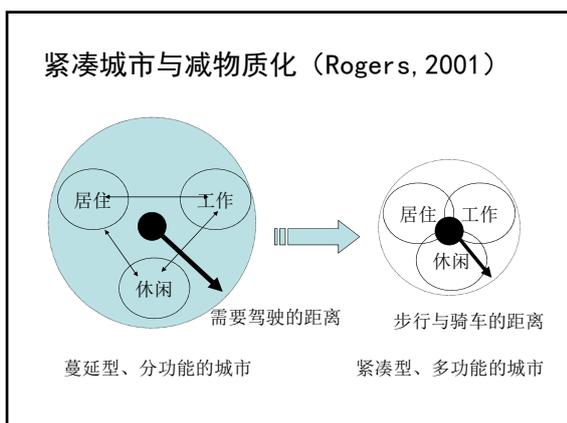
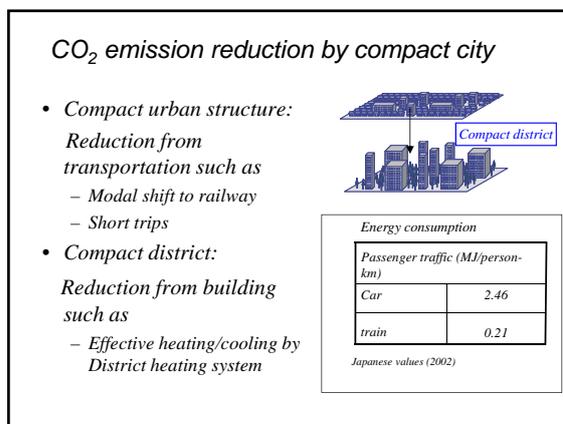
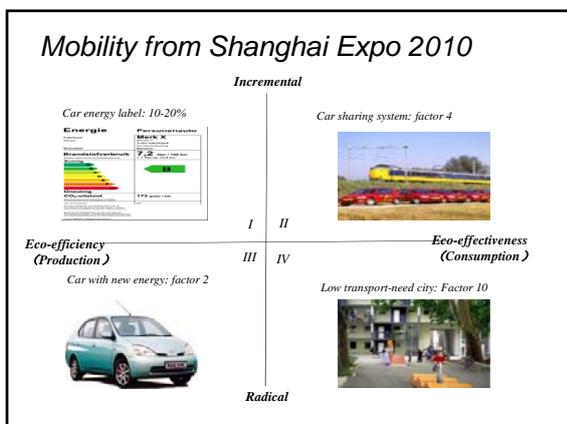
全球二氧化碳排放增长。能源效率与单位GDP二氧化碳排放等长期下降趋势被逆转

中国的能源消耗与能源强度



The comparison among growth index of GDP, energy consumption and energy intensity

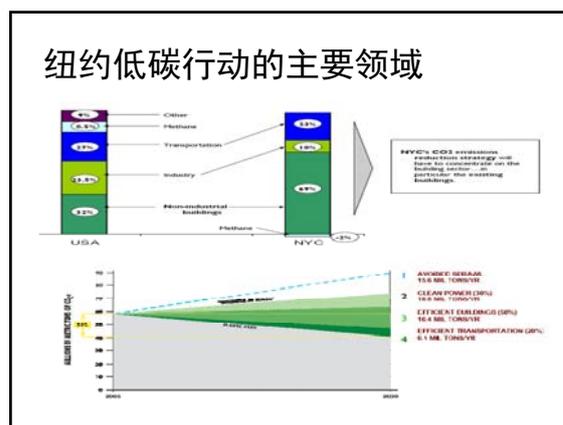
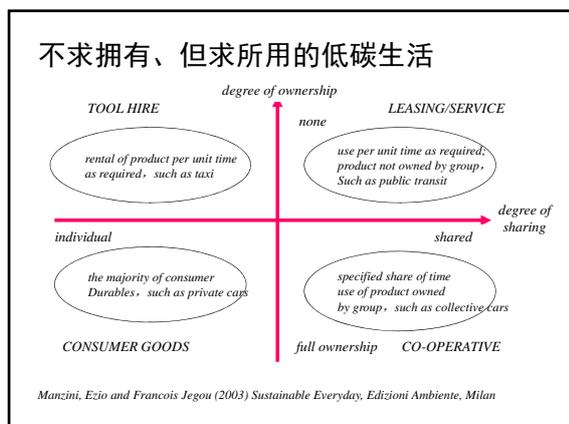




- ### (2) 消费模式与下游效应
- 一种低碳经济措施的意义依赖于这种措施在整个链中的具体位置。
 - 下游的节约对上游的减少起到最大的制衡作用。在系统最下游减少一个单位的消耗,就可以在系统上游减少10个单位的投入。
 - 生态金字塔中的十分之一原理在经济过程中仍然是起作用的。

- ### 下游效应的事例
- 一个典型电站的大约100个单位的石油燃料燃烧输送足够的电能给控制装置, 发动机再输送足够的转矩给泵, 而泵只能从管子里传送出10个单位的能量损失系数几乎达到了10: 1。
 - 但从中可以找到1: 10的减物质化途径, 即在系统的最下游节省1个单位的能量 (例如减少管子中的流动和摩擦) 就能在电厂和终端使用之间避免足够的综合损失, 节约10个单位左右的燃料、降低成本和减少发电厂的污染。

- ### 下游效应的意义
- 下游效应的存在意味着首先应该在系统的下游实施减物质化的节约措施。也就是说, 在产品生命周期中处于下游地位的消费对减物质化具有重要的作用。
 - 例如, 要更新灯和空调, 那么你应该首先更新灯, 这样会使你只需要一只小型的空调。如果颠倒过来行事, 就会为超越所需要的制冷能力支付更多的钱, 也会使空调的效率降低, 因为空调或者会半负荷地运转或者会更多地增加开与关的循环。



- ### 4. 低碳转型的政策重点
- 大幅度提高化石能源的能源生产率
 - 发展中国家的重点是工业
 - 发达国家的重点是建筑与交通;
 - 加强低碳能源对高碳能源的替代
 - 发展太阳能、风能、生物质能
 - 加强用天然气替代煤与石油;
 - 合理地确定经济增长的规模
 - 稳定人口规模
 - 控制奢侈型的物质消费。

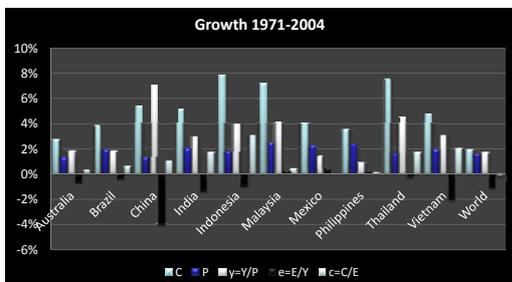
(1) 二氧化碳排放的因素分析

表3 不同地区 1980-1999 年间的年平均变化率, %

地区	人口	人均 GDP	能源强度	碳强度	碳排放
中国	1.37	8.54	-5.22	-0.26	4.00
日本	0.41	2.62	-0.57	-0.96	1.47
OECD-欧洲	0.53	1.74	-1.00	-1.06	0.18
美国	0.96	2.15	-1.64	-0.21	1.23
世界	1.60	1.28	-1.12	-0.45	1.30

来源: J. W. Tester, 2005

IPAT Country Comparison



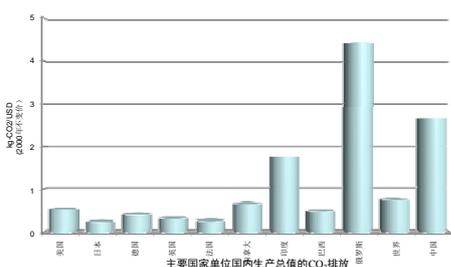
Source: Arief Anshory Yusuf, et al (2008)

1990-2008年中国二氧化碳排放的LMDI分解

	二氧化碳排放总量	单位能源排放强度	单位经济能源强度	人均GDP增长	人口增长
变化量 (万吨)	424460.290	-12865.523	-211289.000	598674.400	49940.465
贡献率 (%)	100.00	-3.03	-49.78	141.04	11.77

资料来源:中国二氧化碳排放量变化的影响因素分解研究,软科学,2010(12)

技术:降低二氧化碳强度



经济:调节经济增长规模

	经济增长	经济能源强度	能源碳强度	二氧化碳排放增长
情景1	40% (年增长8%)	-16%		24%
情景2	40%	-16%	-1%	23%
情景3	35% (年增长7%)	-16%	-1%	18%

技术性强度控制vs经济性总量控制

按照传统发展的“供给管理和强度控制”思路,有

$$I' = P \cdot A \cdot T = 0.02 + 0.09 - 0.04 = 0.07$$

在经济增长保持11%(其中人均经济增长为9%和人口增长为2%)的情况下,虽然能源强度每年减少4%,但是资源环境压力平均每年仍然增长7%,因此20年内将翻两番,有 $I_{2000} = 4I_{2000}$ 。

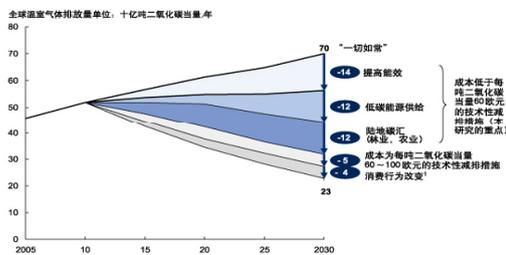
按照低碳发展的“需求管理与总量控制”思路,有

$$I' = 0.035, \text{ 即 } I_{2020} = 2I_{2000}, \text{ 有 } 0.035 = 0.02 + P - T$$

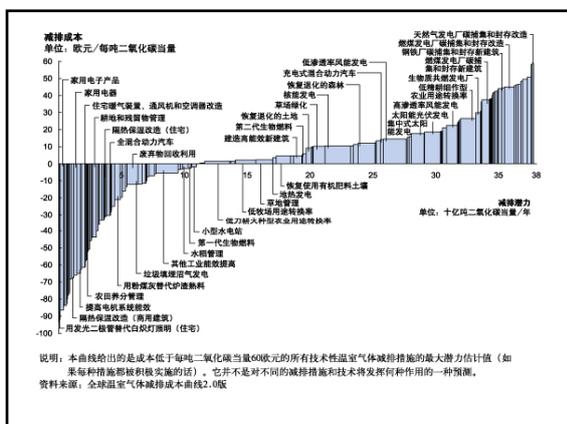
如果要求能源消耗不超过2000年的2倍,要么在经济增长保持11%的同时,提高资源生产率到7.5%;要么在资源生产率维持4%的情况下,经济增长率降低到7.5%;要么同时降低经济增长和提高资源生产率。从现实的情况看第三种情况是可以考虑的,例如经济增长率降低到8%,资源生产率提高到4.5%。因此,未来发展不需要强调超过两位数的增长,而是在稳定增长的情况下致力于提高资源生产率。

上海十二五规划的目标是经济年平均增长为8%,单位GDP强度减少为18%,单位GDP的二氧化碳强度减少19%,因此能源消耗总量控制目标为不超过1.4亿吨标准煤(相对于2010年增加22%),二氧化碳排放总量相对于2010年增加21%。

低碳转型的系统行动



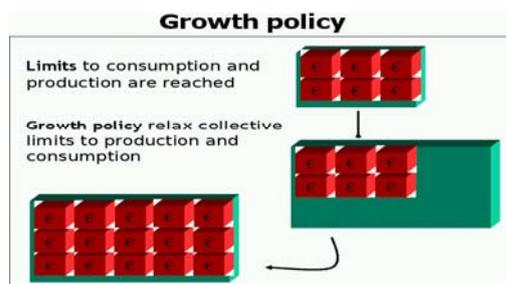
消费行为改变的减排潜力估计值是在所有技术性减排措施实施以后得出的;如果在所有技术性减排措施实施以前建模,减排潜力将更大。
资料来源:全球温室气体减排成本曲线2.0版; Houghton, 国际能源总署; 美国环保署



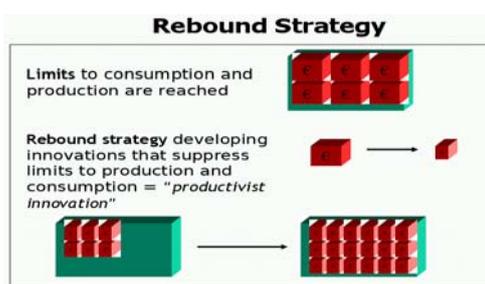
(2) 低碳转型的模式选择

	A模式	B模式	C模式
状态分析	二氧化碳排放趋向超过地球平均	二氧化碳排放远远超过地球平均	二氧化碳排放低于地球平均
因素分析	没有显著的技术进步与社会变革	高的技术改进 低的经济增长	高的经济增长 低的技术效率
对策分析	末端治理	绝对减排	相对减缓
城市类型	空间蔓延城市	生态优化城市	理性增长城市

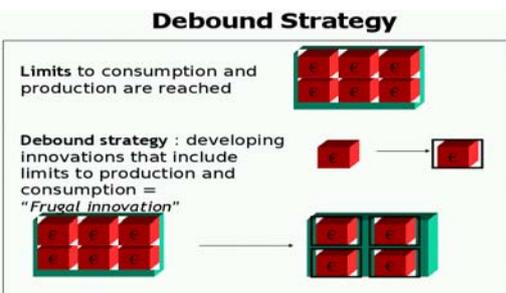
A模式：持续增长与反弹效应



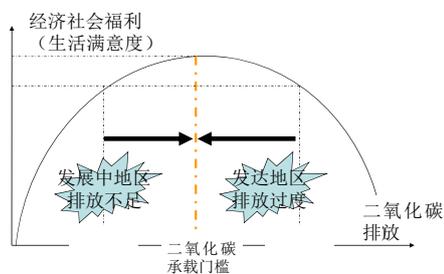
C模式：理性增长与生产创新

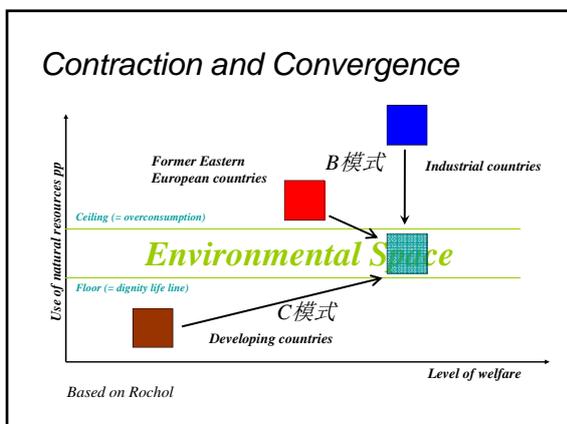


B模式：生态优化与消费创新



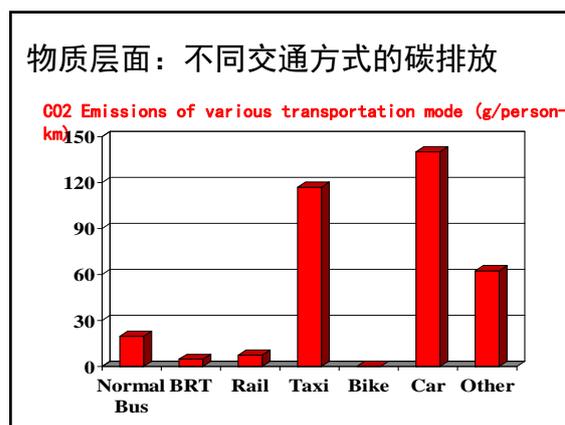
两种方向的低碳转型





(3) 低碳转型的三类政策——交通为例

	物质层	制度层	行为层
控制私人交通出行规模	<ul style="list-style-type: none"> 设计紧凑城市 限制城市街道空间 发展公共交通 	<ul style="list-style-type: none"> 城市拥堵收费 城市停车收费 	<ul style="list-style-type: none"> 从拥有到共享
降低私人轿车排放强度	<ul style="list-style-type: none"> 发展小排量汽车 发展能源替代汽车 	<ul style="list-style-type: none"> 汽车牌照拍卖 提高燃油税 	<ul style="list-style-type: none"> 提倡少开汽车 提倡公共交通



制度层面：控制碳排放量的政策选择

表 13.3 控制公路运输外部成本的政策选择

控制对象	市场手段		行政命令手段	
	直接手段	间接手段	直接手段	间接手段
车辆排放	排放收费	可交易的许可证	制定排放标准	强制性检查排放系统
		汽车的差别税收		强制性推行低污染汽车
燃油类型		补贴新型汽车		强制报废旧汽车
		燃油的高税收	燃油成分标准	燃油的经济标准
交通拥挤		燃油的差别税收	逐步淘汰高污染燃油	限速
	拥挤收费	停车收费	汽车禁行区	汽车使用限制
		对大众交通方式实行补贴	限定行驶路线	公共汽车专用道和其他优先

表 13.2 伦敦居民对市中心在交通高峰期收费的反应及选择 (%)

选择 \ 小时收费	0.5 英镑	1 英镑	2 英镑	5 英镑
驾车并支付高峰期费用	73	63	45	23
转向公共交通	14	20	34	51
在非高峰期使用轿车	10	12	11	16
尽可能不去市中心	3	3	9	9
合计	100	100	100	100

资料来源：欧洲运输部长联合会（1994）：《交通社会成本的内部化》第 199 页

