可持续的区域能源综合规划

机械与能源工程学院
于航 教授
yuhang@tongji.edu.cn

可持续智能城镇化课程

能源是人类活动的物质基础

- 能源是向自然界提供能量转化的物质（矿物质能源，核物理能源，大气环流能源，地理性能源。）
- 人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。
- 在当今世界，能源的发展，能源和环境，是全世界、全人类共同关心的问题。

中持续智能城镇化课程

- 第一次工业革命——机械化，人类驾驭了蒸汽动力，用机器代替人力
- 第二次工业革命——电气化，电力、内燃机、飞机、电影
- 第三次工业革命——自动化，数字技术、个人计算机技术、互联网
- 第四次工业革命到来——无人驾驶汽车、智能机器人、3D打印和先进制造技术

可持续智能成套化课程

能源供给

智能城镇化课程

中国矿产资源分布

可持续智能城镇化课程

可持续智慧城镇化课程

煤炭的开采消耗大量水资源

可持续智能城镇化课程

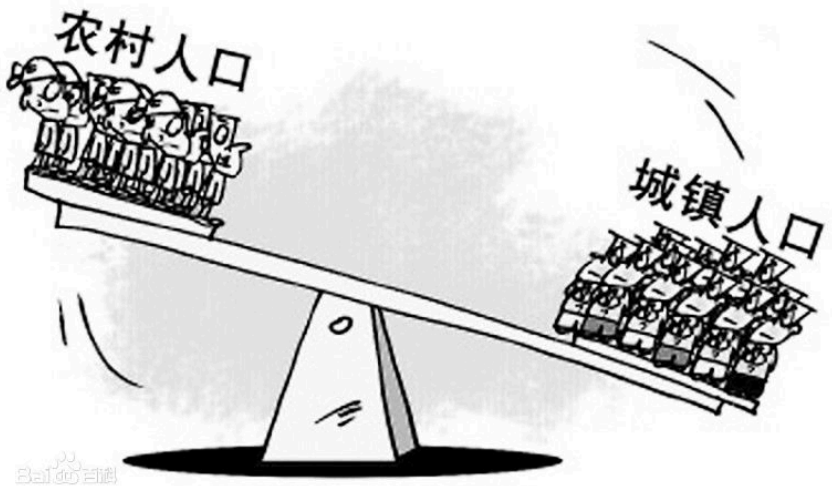
可持续智能城市课程

可持续智能城镇化课程

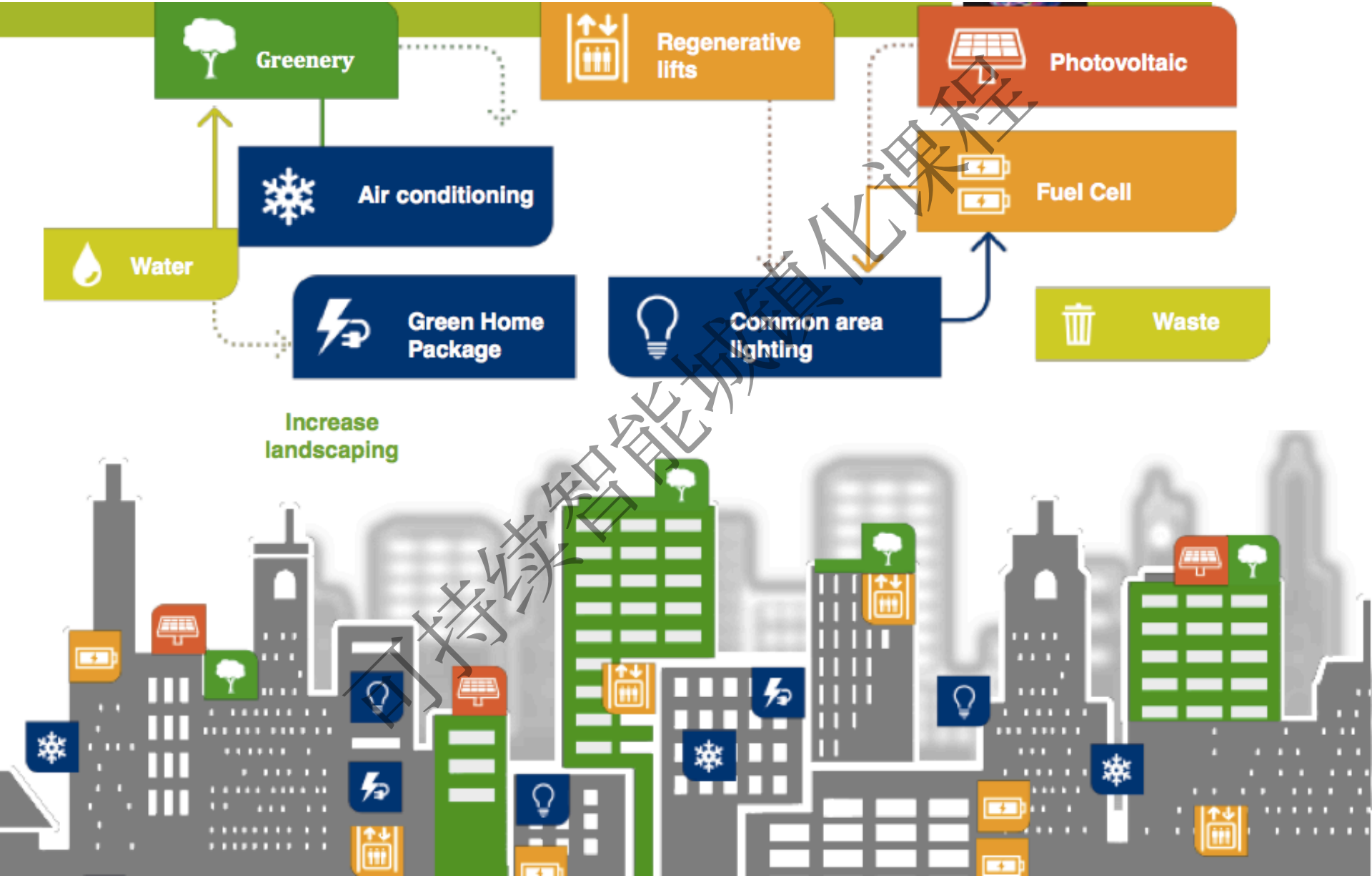
西南科技智能城镇化课程

城市对能源的需求

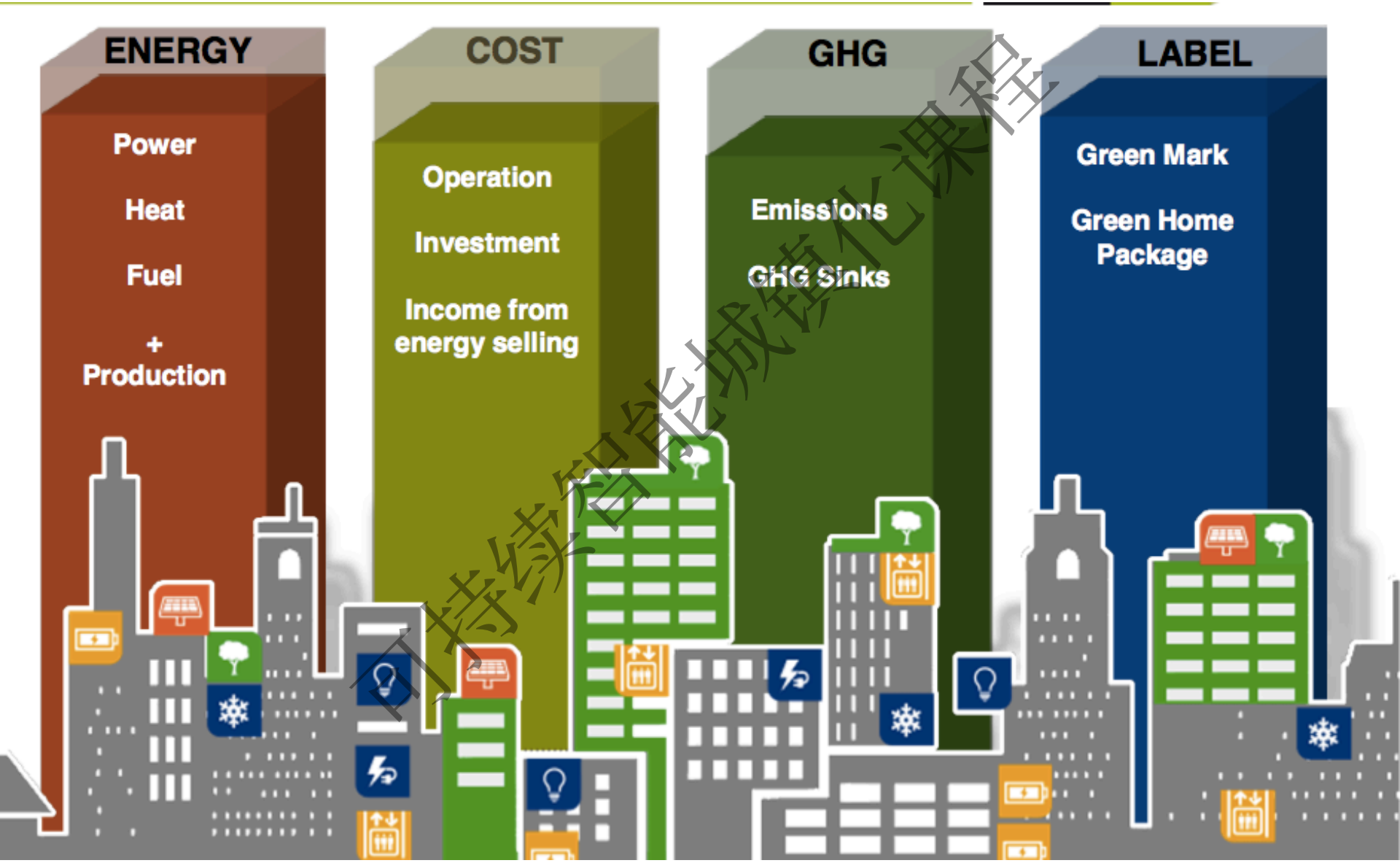
- 中国的城市化面对很大的能源挑战
- 城市资源环境综合承载力的限制
- 城市生活能耗（Urban life energy）增长



可持续智能城市化课程


Greenery
Regenerative lifts
Photovoltaic
Air conditioning
Fuel Cell
Water
Green Home Package
Common area lighting
Waste
Increase landscaping

可持续智能城镇化课程


ENERGY
Power
Heat
Fuel
+
Production
COST
Operation
Investment
Income from energy selling
GHG
Emissions
GHG Sinks
LABEL
Green Mark
Green Home Package

可持续智能城镇化课程

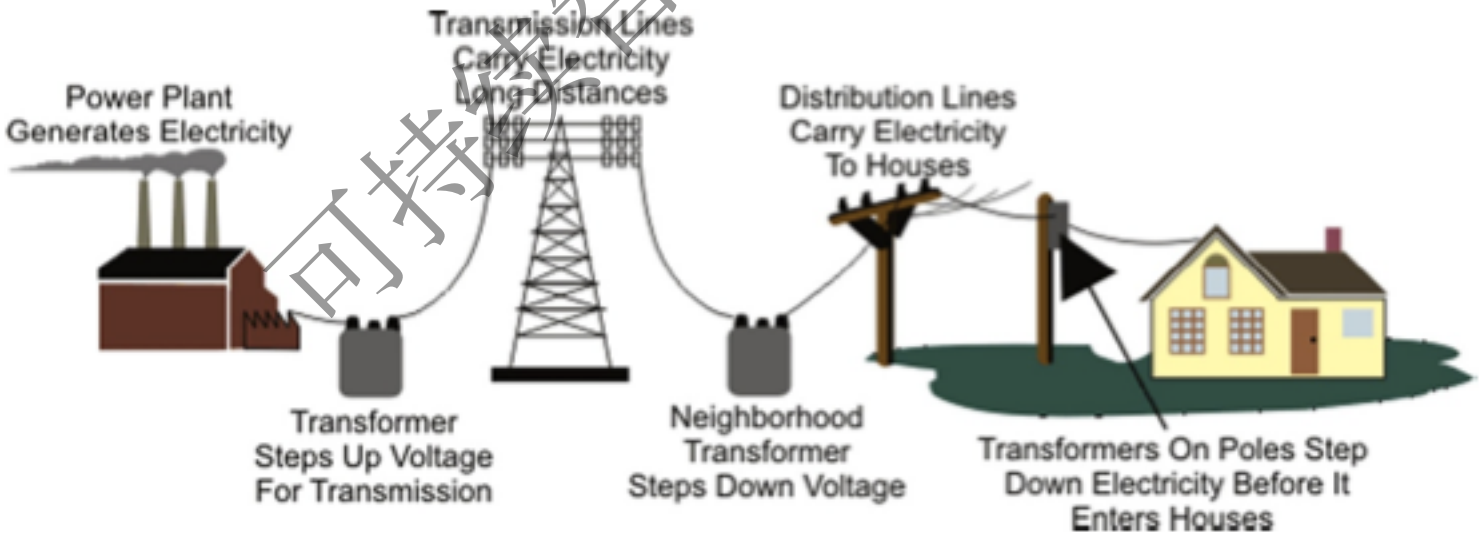
能源综合规划

- 供应侧规划：大电网、燃气输配管网、热力管网等规划
- 需求侧规划：各类用户需求预测及规划协调
- 能源综合规划：基于需求响应的供应侧能源规划

可持续智能城市化课程

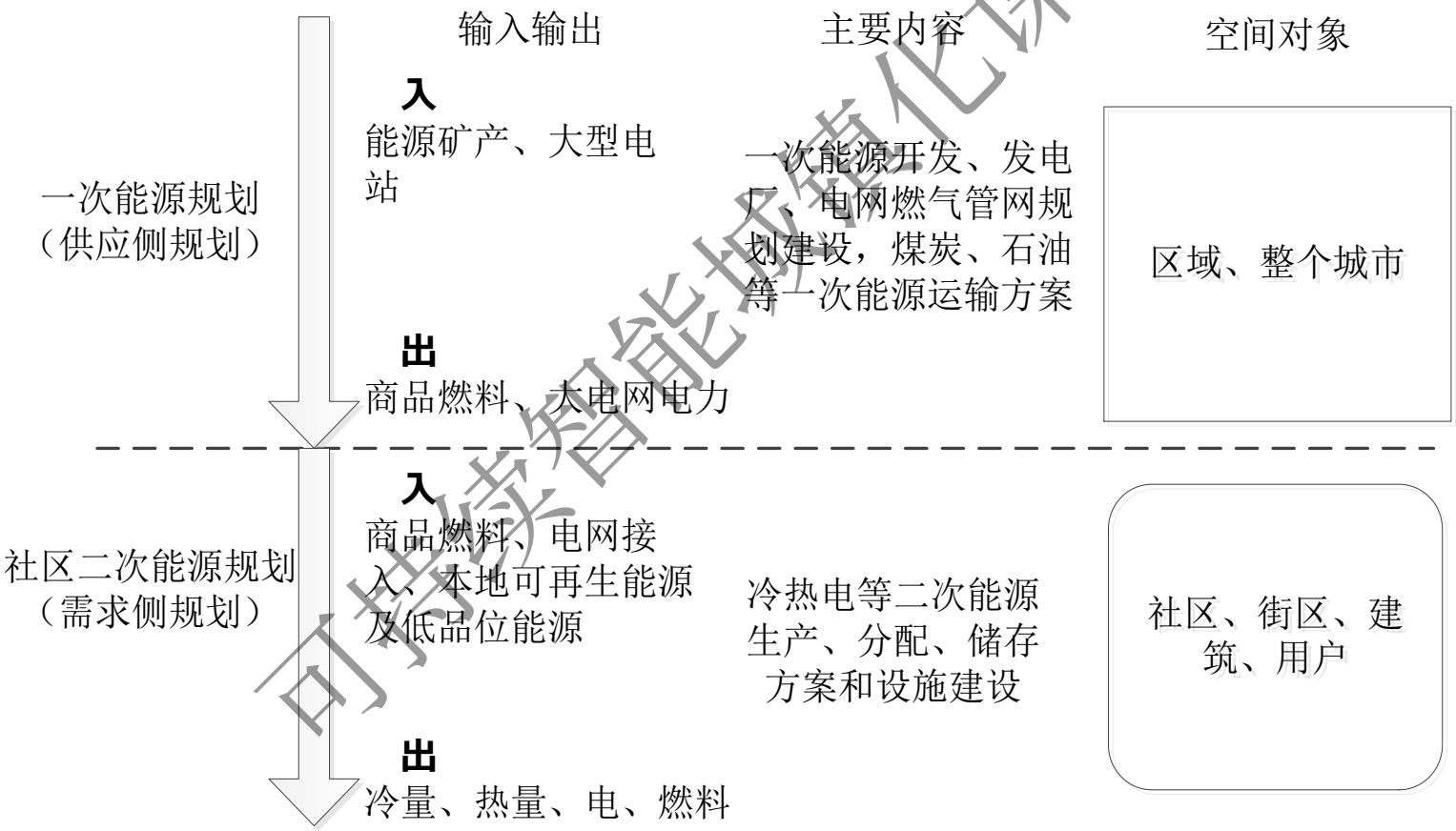
区域能源系统的三个层次

- 城市：能源生产
- 城区：能源转换
- 终端：能源利用



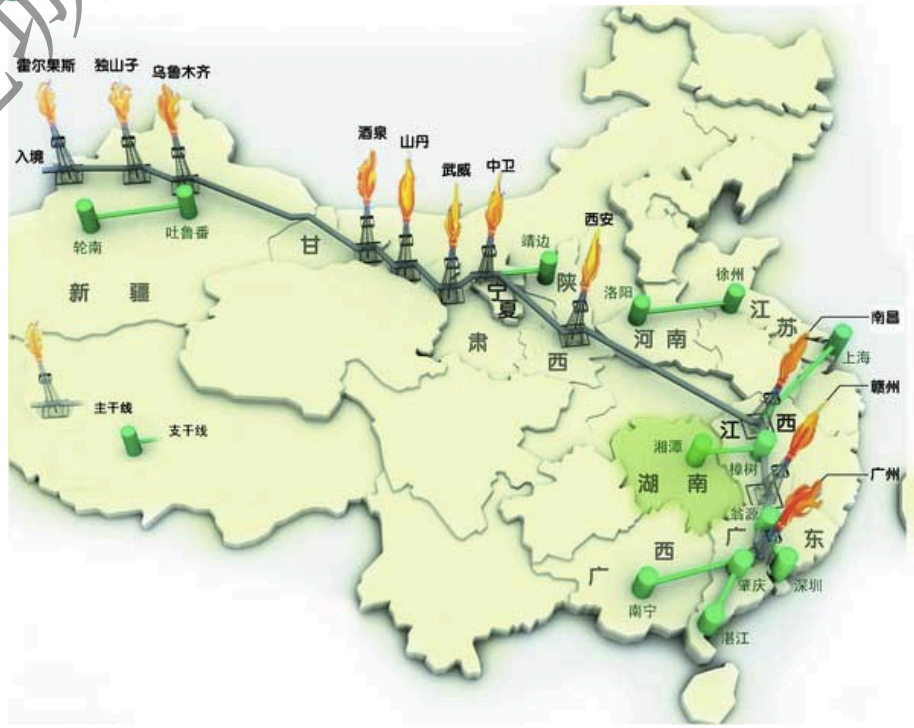
可持续智能城镇化课程

能源规划内容比较



可持续智能城镇化课程

- 能源供应侧规划



特续智能城市化课程

可持续智能城镇化课程

供应侧调控

- 2009年，国家出台《可再生能源法》，以法律形式明确清洁能源优先使用
- 2015年全国风电平均利用小时数1728小时
- 风电限电率：内蒙古18%，甘肃39%，新疆32%，吉林32%，直接经济损失超过160亿元。

可持续智能城镇化课程

需求侧能源规划的定位

- 在我国的规划体系中，能源规划主要指电力规划、燃气规划和热力规划，属于市政工程系统规划。
- **以满足最大需求为目标**，易造成能源供应侧和需求侧失衡。
- 分布式能源使用户具有了一定程度的能源生产能力，以及将过剩的产能作为商品进行交易的需求。
- 需求侧能源规划将为**用户端能量的交易**构建政策环境、设施环境、市场环境，赋予供需双方选择权，形成更具活力和弹性的智慧能源系统。

可再生智能城镇化课程

供应侧能源规划—2012年冬季奥会（索契）

- 2009年时电力负荷为424MW，预计新增360MW。
- 2012年建成天然气联合循环热电联产的阿德勒斯卡亚热电厂，供热能力为227 Gcal/h。
- 扩容电力网络2.5倍。热电厂通过2km长公称直径700mm的供热管网向竞技场馆、奥林匹克公园以及周边住宅区供热。
- 冬奥会后由于产能过剩造成设备闲置

可持续智能城镇化课程

Typical supply-side energy planning

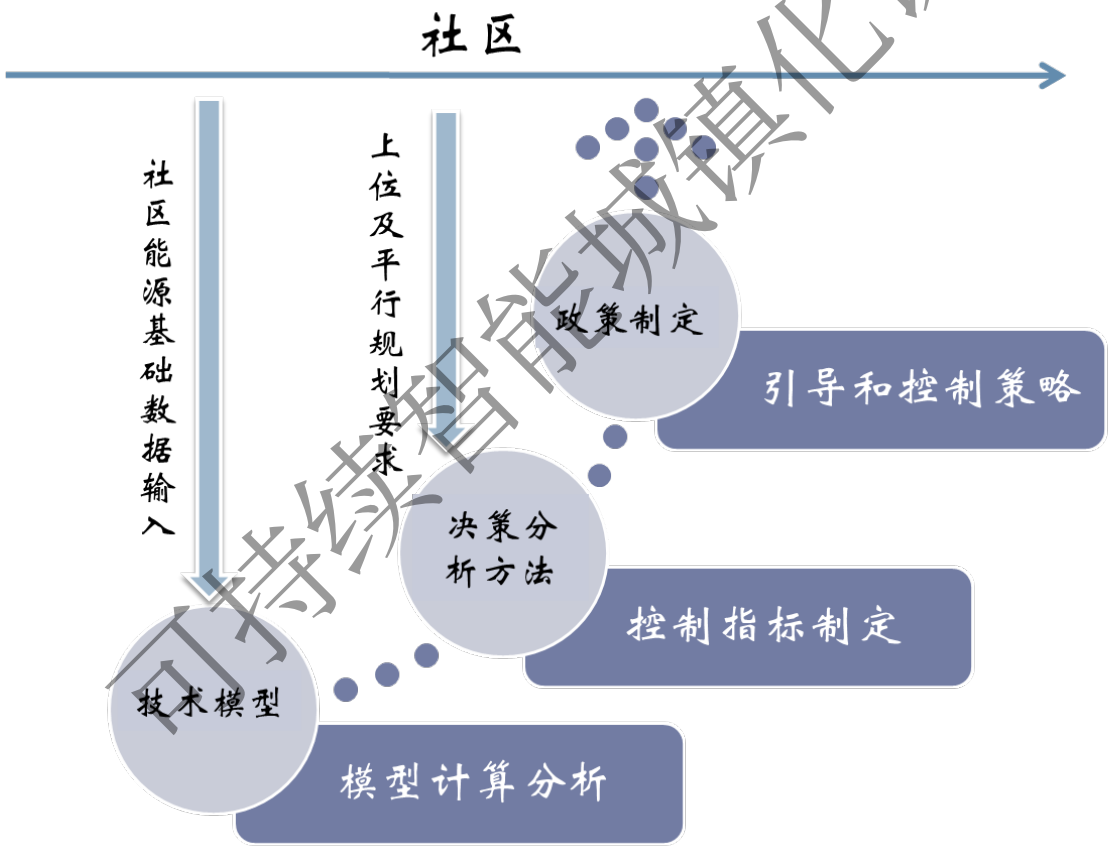
需求侧能源规划—2014年夏季奥运会（伦敦）

- 首先订立了以2006年建筑规范为基准线，到2013年要实现减少CO2排放50%的目标（实现47%）。
- 编写设计导则、将碳减排目标列入招标书和设计任务书、设计单位按照导则规定的统一的模型和计算方法提出项目的碳减排报告。
- 建成2个能源中心，共3台3.3MW的燃气发动机，热电冷联供，供冷管网一共40km长。
- 能源中心由政府授予40年特许经营权，交由民营公司投资、建设、运营、管理。

Typical demand-side energy planning

可持续智能城镇化课程

能源综合规划的技术路线



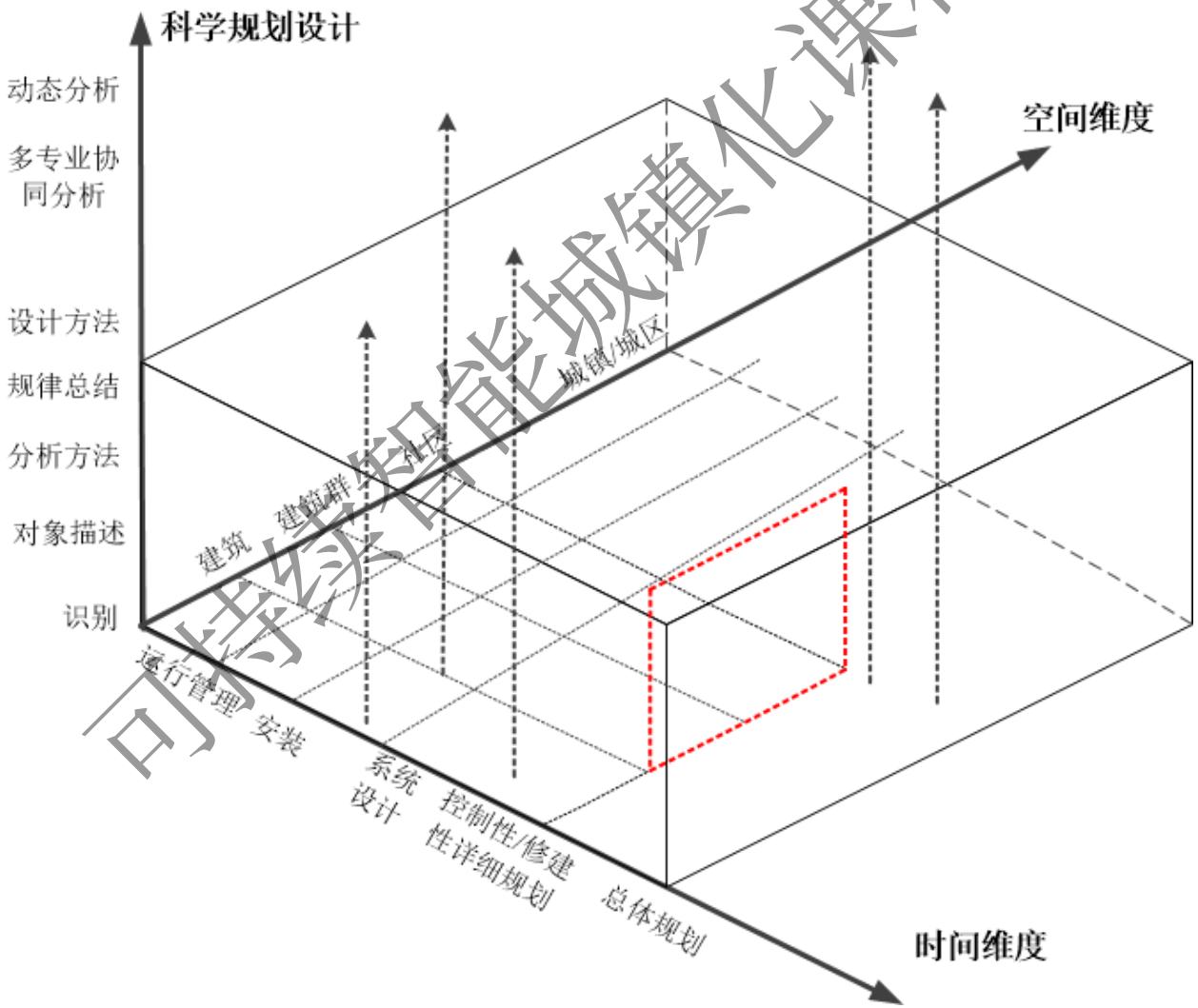
可持续智能城镇化课程

涉及的内容

- 社区冷热电负荷预测方法
- 终端能源结构转型预测
- 建筑能源需求基准设定
- 社区形态与能耗强度
- 能源微网的交易机制

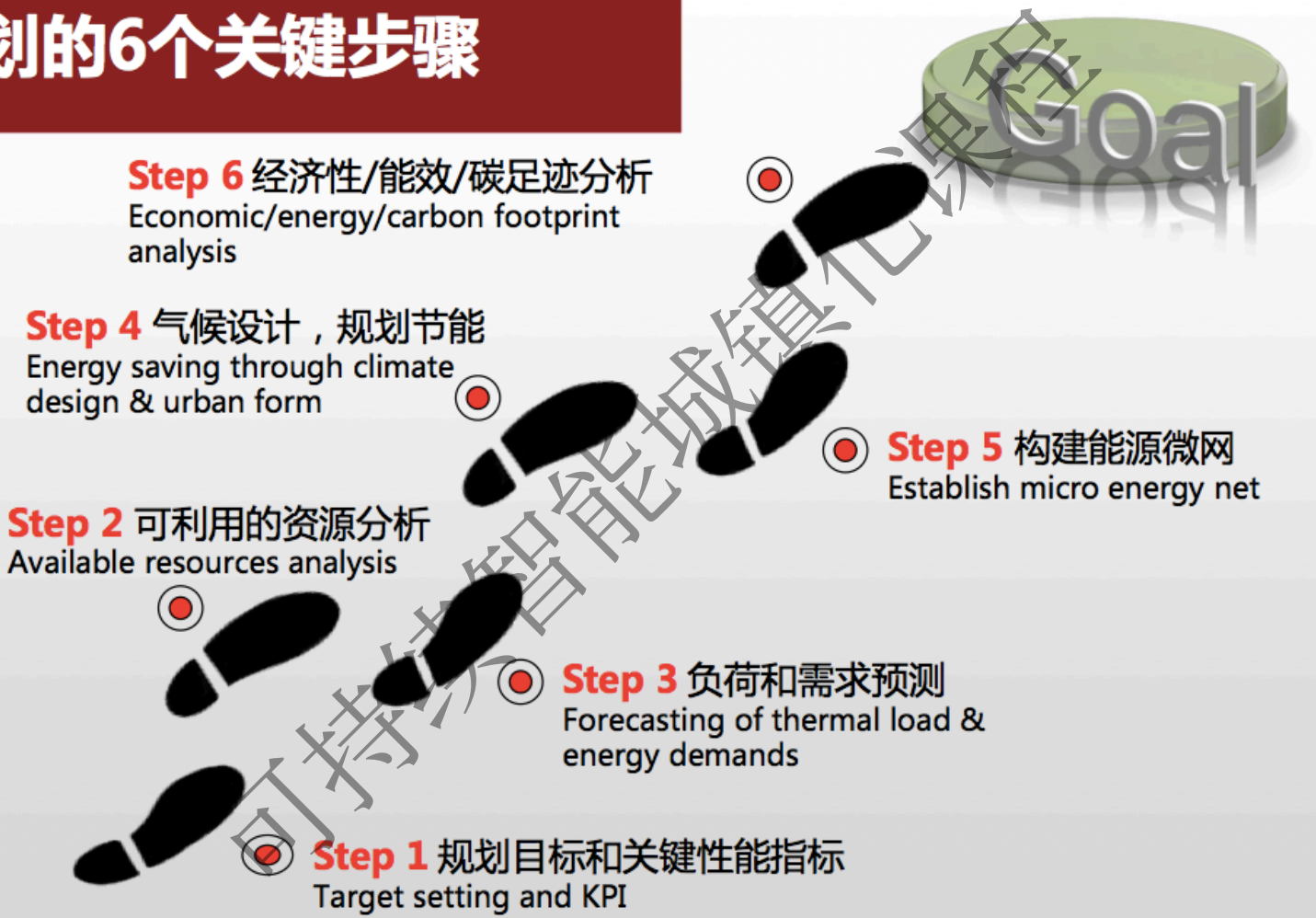
可持续智能城镇化课程

能源综合规划的空间和时间维度



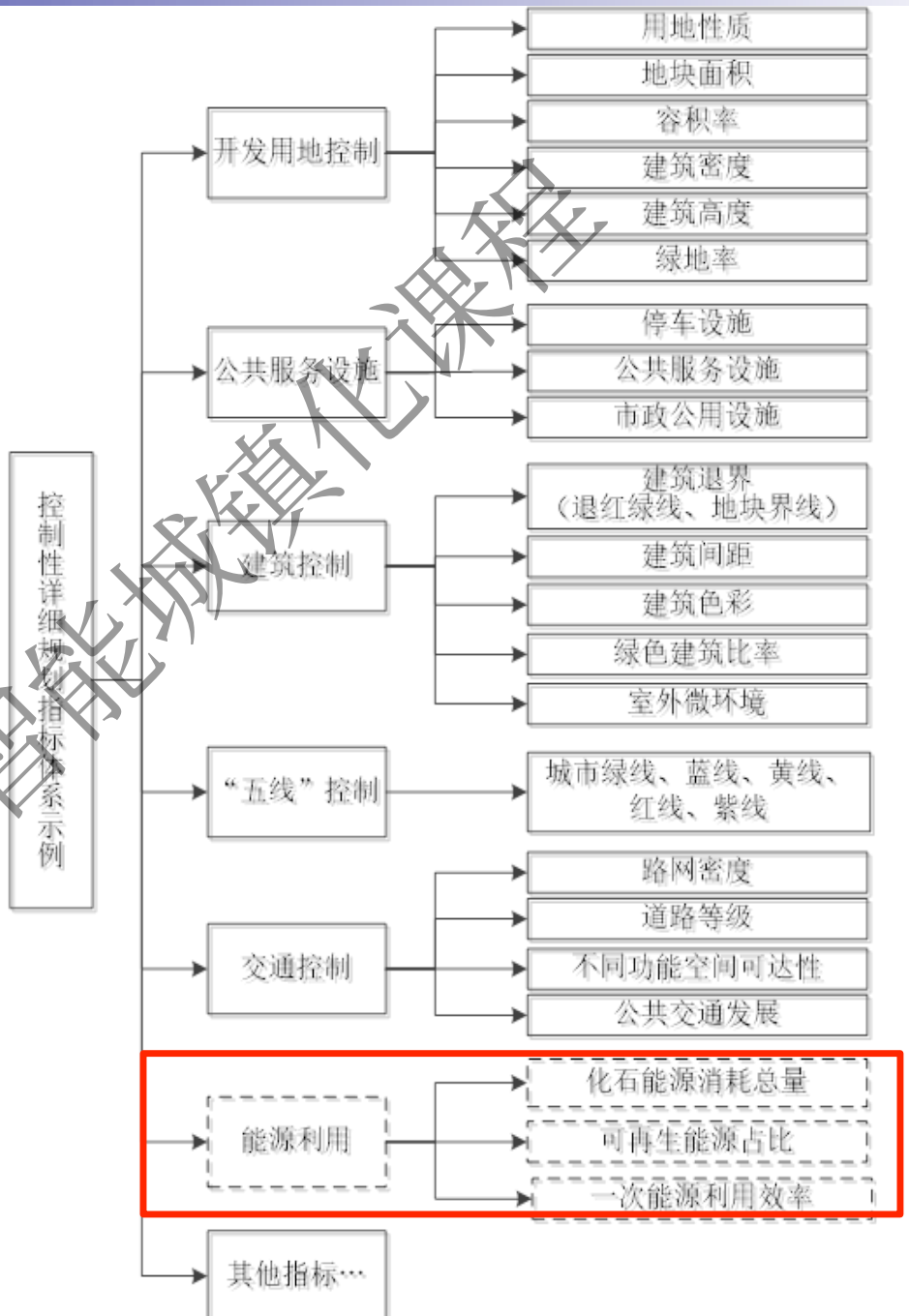
可持续智能城镇化课程

能源规划的6个关键步骤



可持续智能城镇化课程

能源规划体系



可持续智能城镇化课程

规划目标和指标

gef

城区建筑能源需求基准制定手册

基于需求侧节能的综合能源规划实施路径研究技术援助项目

二〇一五年十一月

可持续智能城镇化课程

表 4-1 办公建筑能耗基准线推荐值　　单位：kgce/（m^2·a）

建筑类型	严寒和寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
机关办公建筑	≤20	≤29	≤26	≤18
商业办公建筑	≤28	≤39	≤31	≤25

表 4-2 宾馆饭店建筑能耗基准线推荐值　　单位：kgce/（m^2·a）

建筑类型	严寒和寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
按五星级标准设计和建设	≤53	≤69	≤62	≤28
按四星级标准设计和建设	≤43	≤56	≤52	≤21
按三星级及以下标准设计和建设	≤35	≤46	≤44	≤17

表 4-3 商业建筑能耗基准线推荐值　　单位：kgce/（m^2·a）

建筑类型	严寒和寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
大型百货店、购物中心	≤58	≤71	≤80	≤29
大型超市	≤46	≤85	≤87	≤30

表 4-4 医疗卫生建筑能耗基准线推荐值　　单位：kgce/（m^2·a）

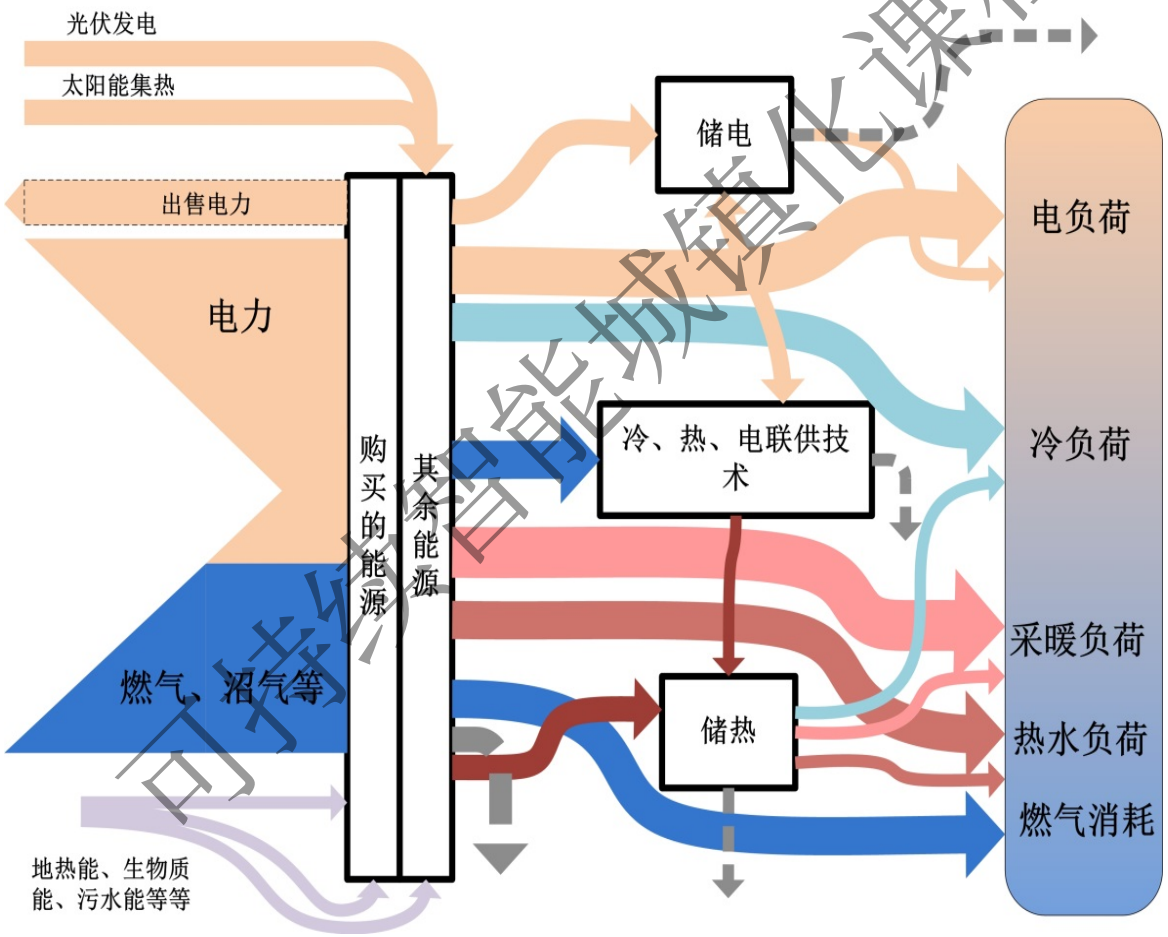
建筑类型	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区
三级医院	≤78	≤73
二级及二级以下医院	≤40	≤37

表 4-5 高校建筑能耗基准线推荐值　　单位：kgce/（m^2·a）

建筑类型		单位建筑面积能耗
高等学校综合单耗		≤25
高校内不同建筑类型	教学楼	≤9
	办公楼	≤12
	学生生活楼	≤8
	食堂	≤30
	体育场（馆）	≤5

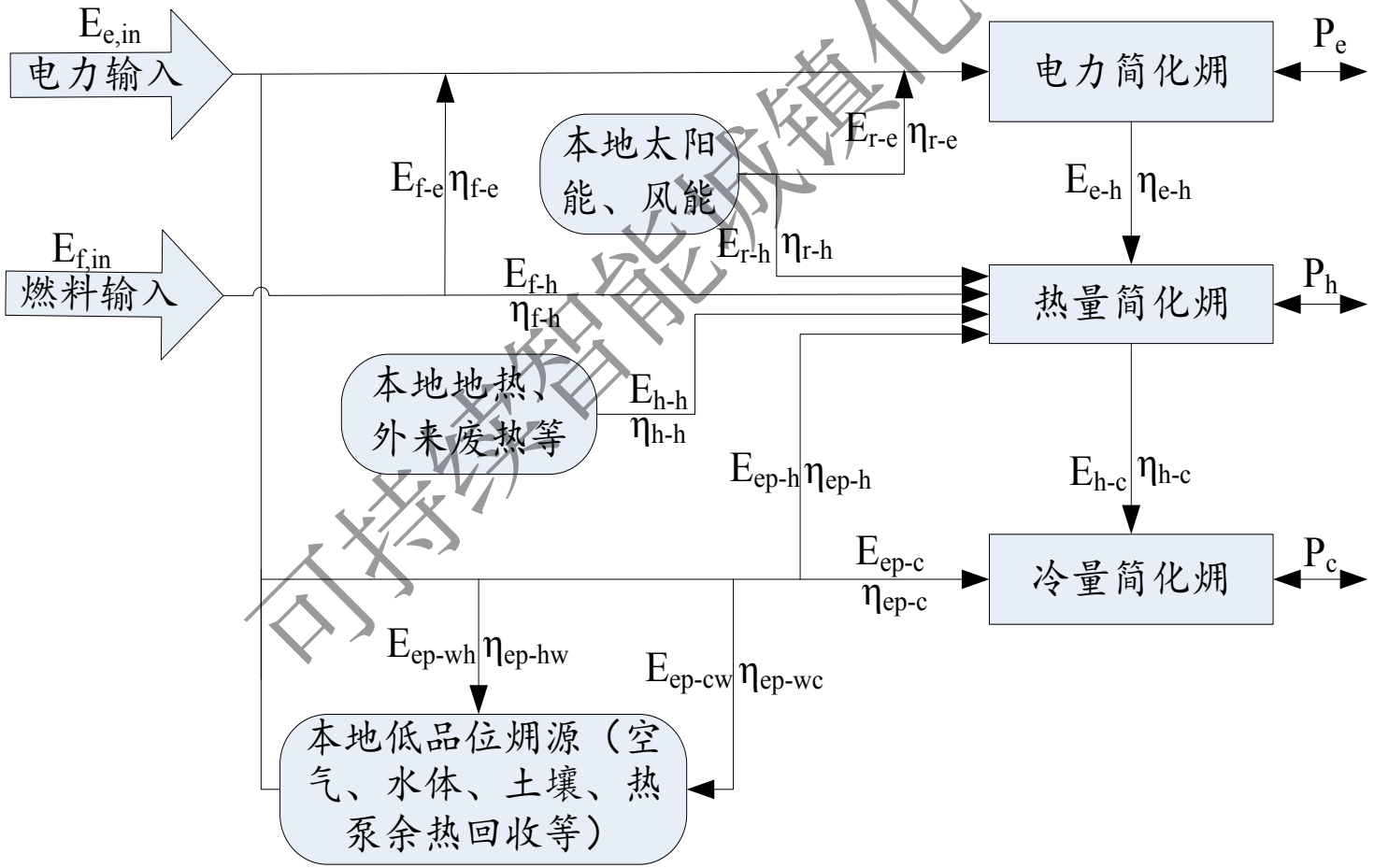
说明：表 4-1 至表 4-5 中，严寒和寒冷地区采用集中供热的能耗不包含在内。其他地区采用区域集中供冷/供热的能耗包含在内。

资源分析—能流图



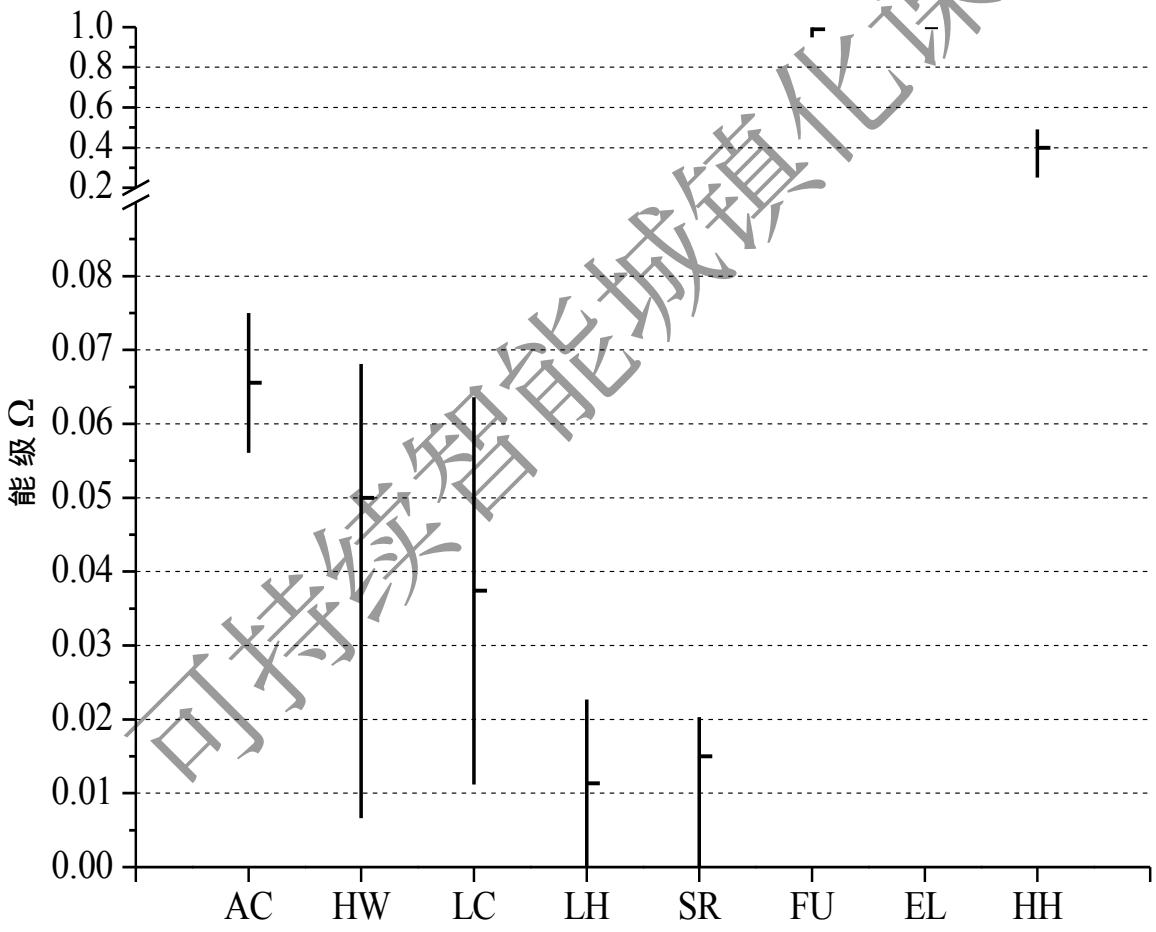
可持续智能城镇化课程

- 能量的品位和梯级利用
- 能量品位的高低指转换为机械功的能力



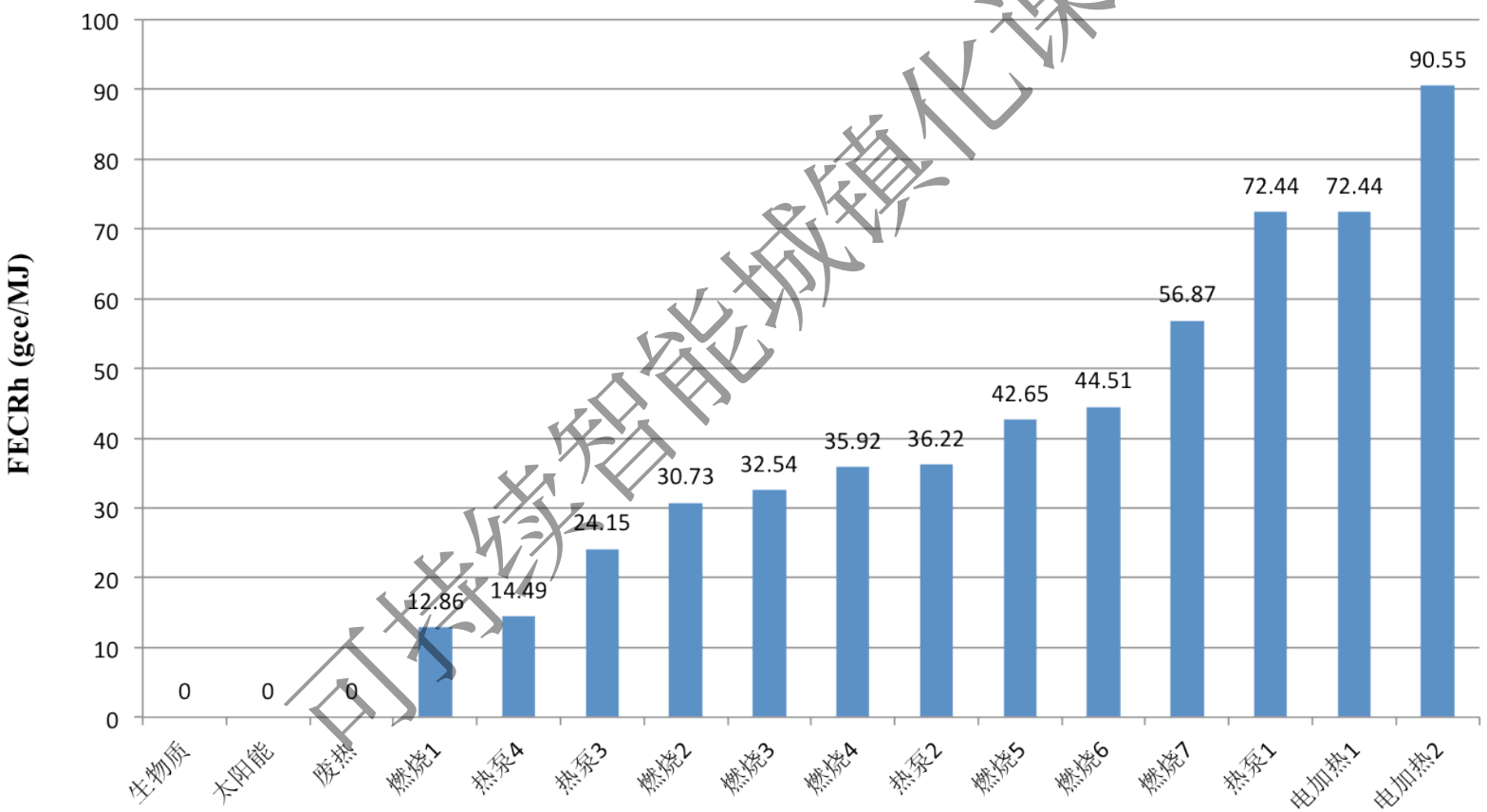
可持续智能城镇化课程

载能介质的能级图谱



可持续智能城镇化课程

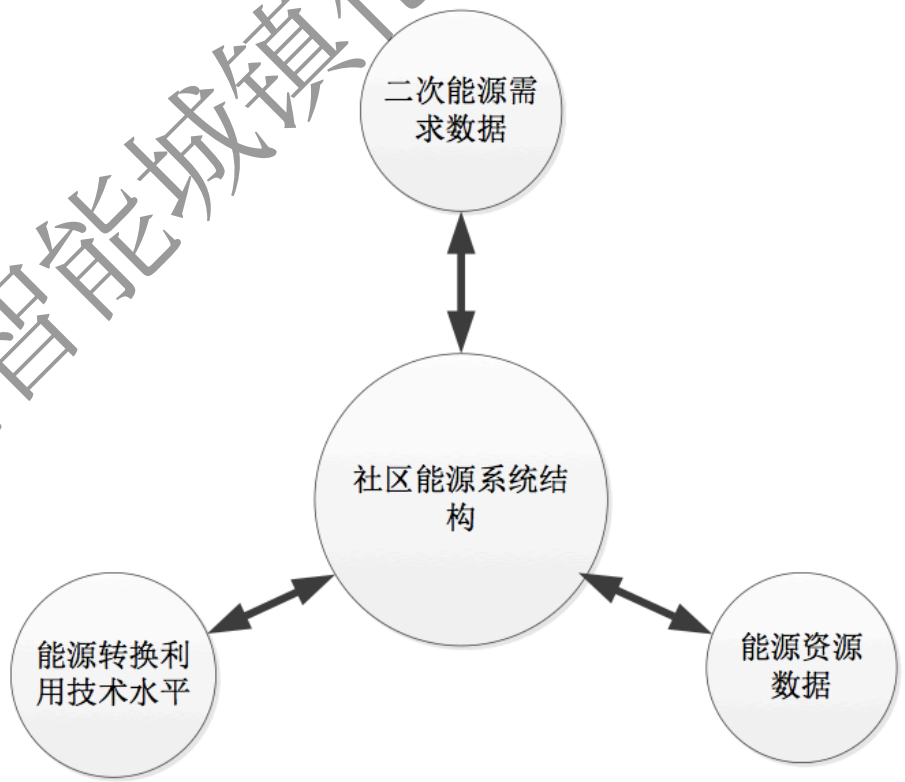
热量的生产成本



可持续智能城镇化课程

定量分析模型

- 社区能流优化模型
- 社区能流演变模型
- 总能系统分析模型



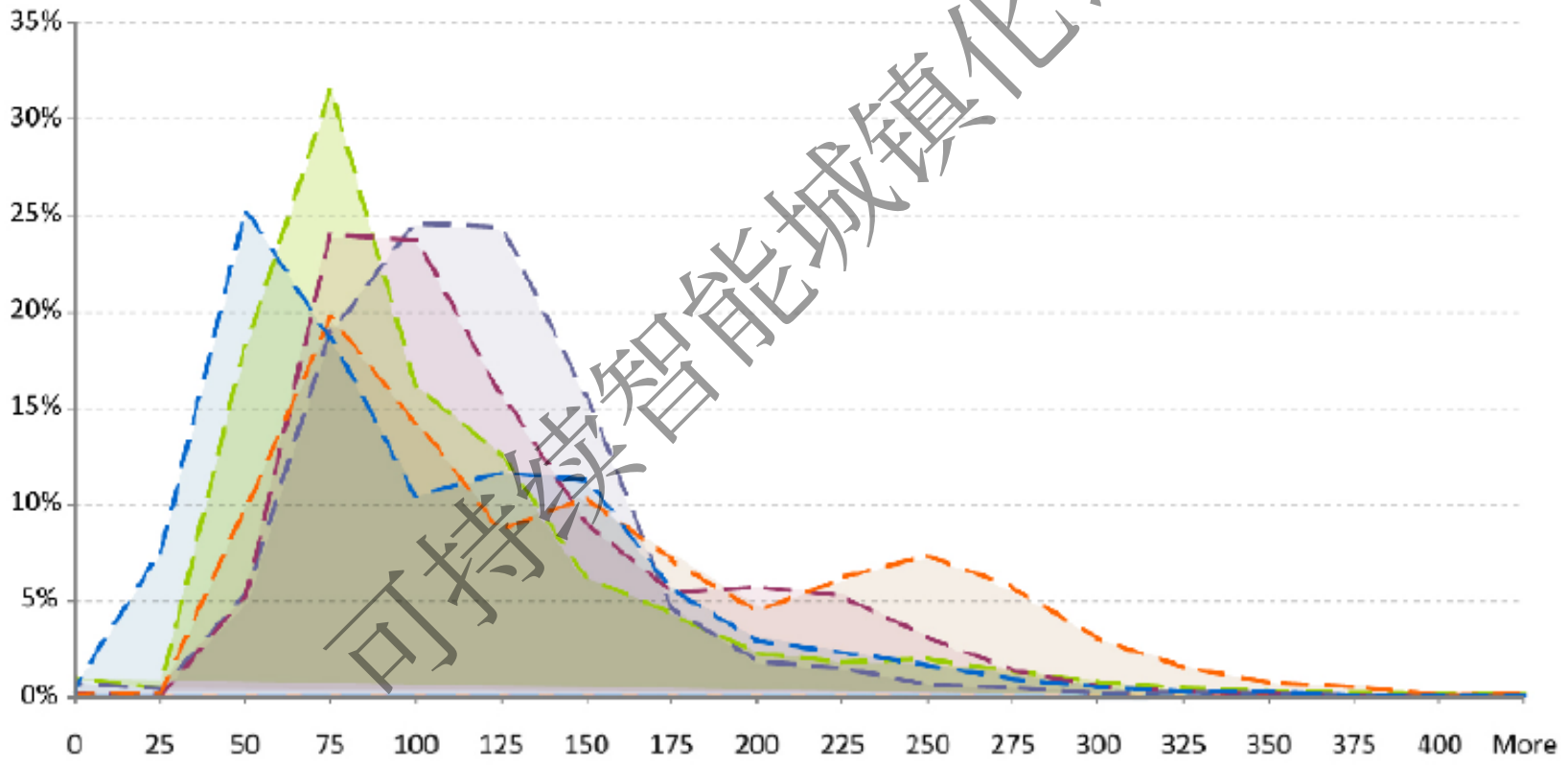
可持续智能城镇化课程

建筑群负荷预测

- 城市空间的混合开发
- 建筑类型配比
- 负荷平准化
- 优化区域能源配置

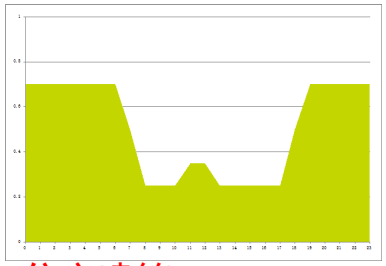
可持续智能城镇化课程

功能配置与负荷分布



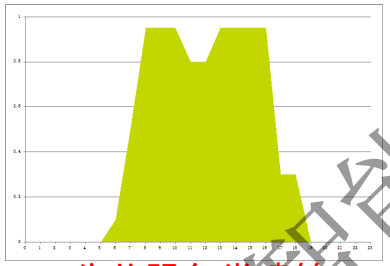
可持续智能城镇化课程

混合开发与负荷平准化



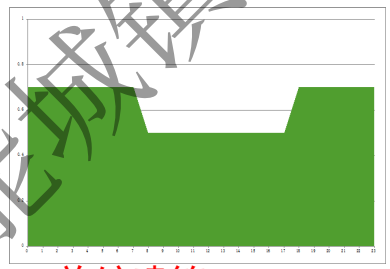
住宅建筑

RESIDENTIAL



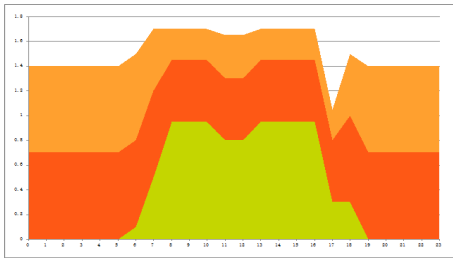
公共服务类建筑

TERTIAIRY



旅馆建筑

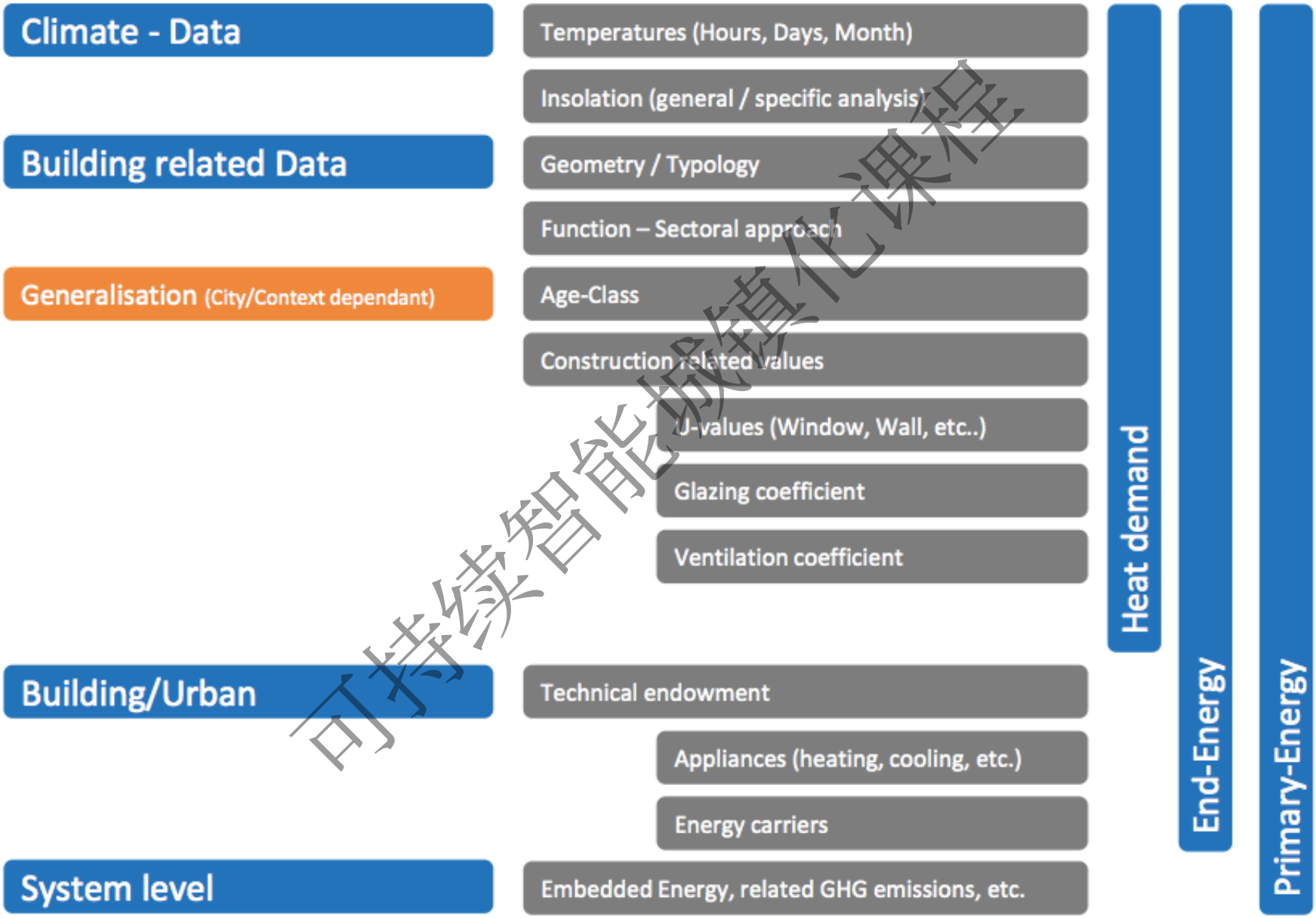
HOTEL



综合后的负荷

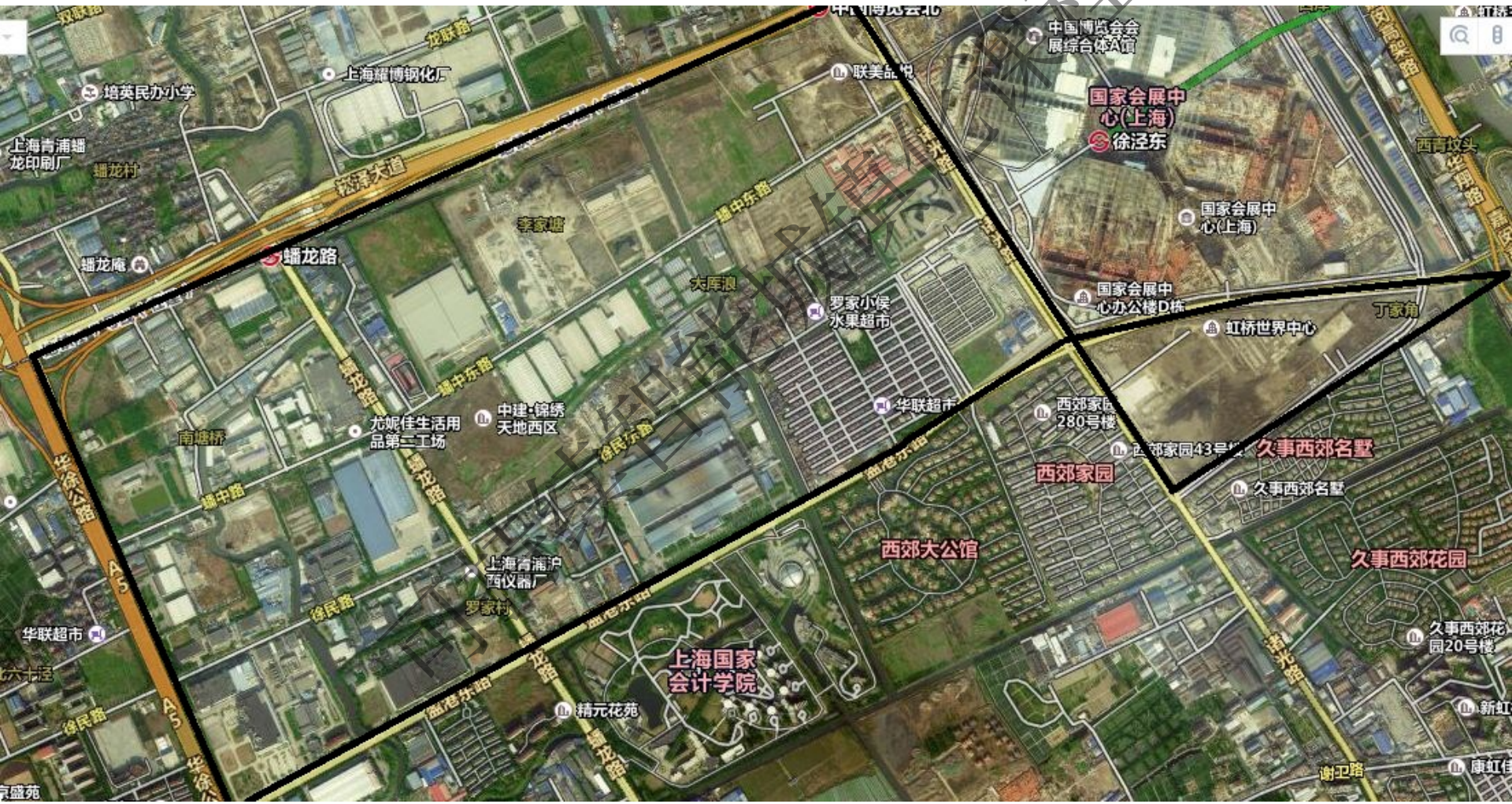
UNIFORM LOAD

可持续智能城镇化课程


Climate - Data
Temperatures (Hours, Days, Month)
Insolation (general / specific analysis)
Building related Data
Geometry / Typology
Function – Sectoral approach
Generalisation (City/Context dependant)
Age-Class
Construction related values
U-values (Window, Wall, etc..)
Glazing coefficient
Ventilation coefficient
Building/Urban
Technical endowment
Appliances (heating, cooling, etc.)
Energy carriers
System level
Embedded Energy, related GHG emissions, etc.
Heat demand
End-Energy
Primary-Energy

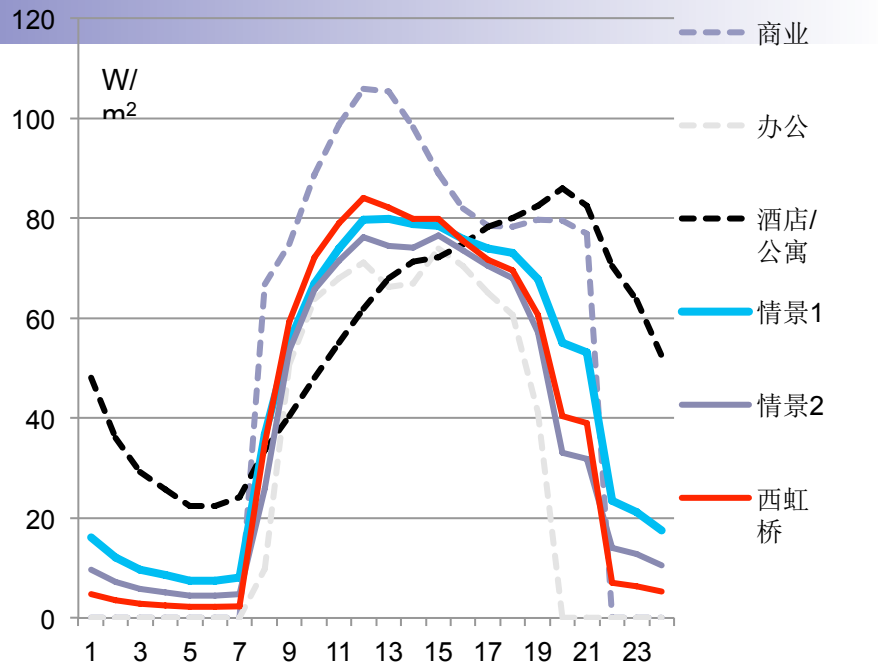
可持续智能城镇化课程

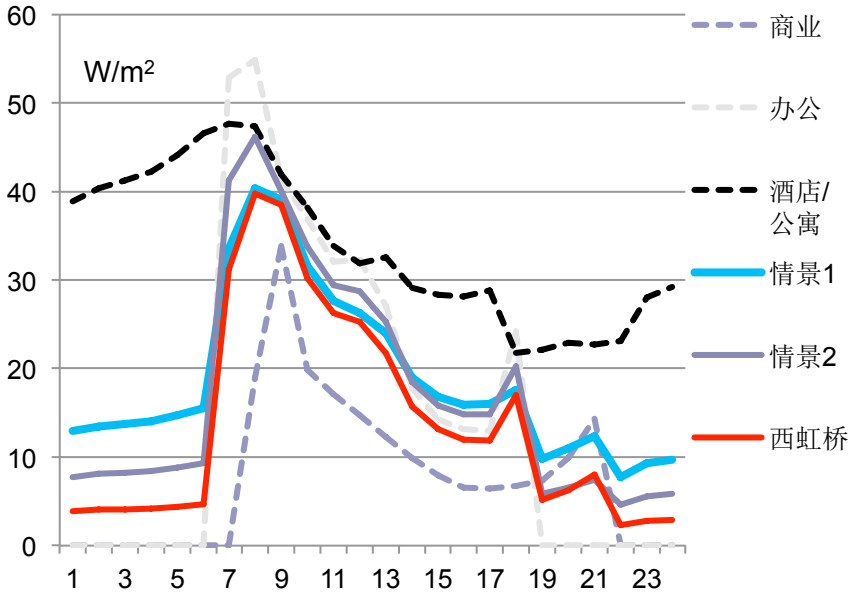
以西虹桥商务区为例



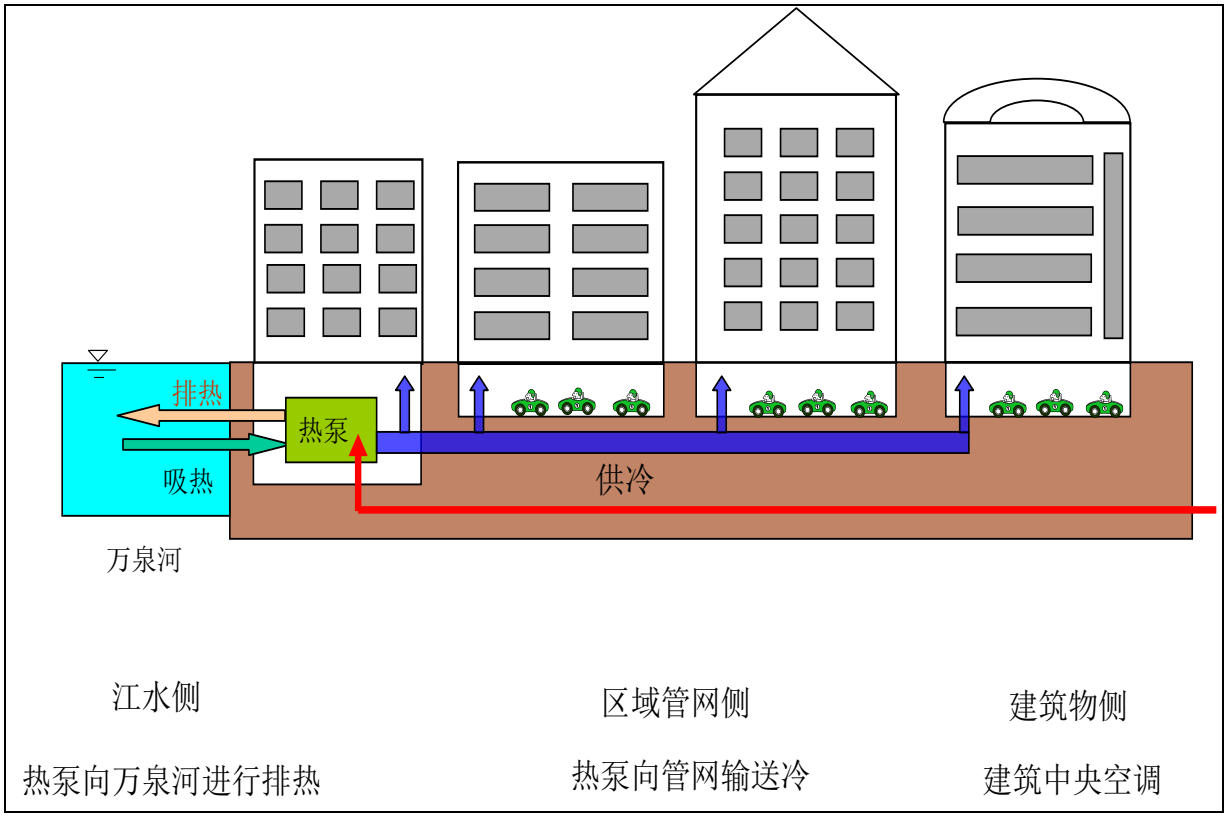
现代化国际大都市的重要商务集聚区，一流的综合功能区域。

上海虹桥商务区
G2
京
沪
高
速
公
路
G15
沈
海
高
速
公
路
S20
外
环
高
速
公
路
G50
沪
渝
高
速
公
路
虹桥综合交通枢纽
HONGQIAO INTEGRATED TRANSPORT HUB
国家会展中心（上海）
上海虹桥火车站
上海虹桥机场
西虹桥商务区
四至范围：
东起小涞港，西至G15沈海高速公路
南至G50沪渝高速公路，北至G2京沪高速公路


W/m2
120
100
80
60
40
20
0
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
商业
办公
酒店/公寓
情景1
情景2
西虹桥

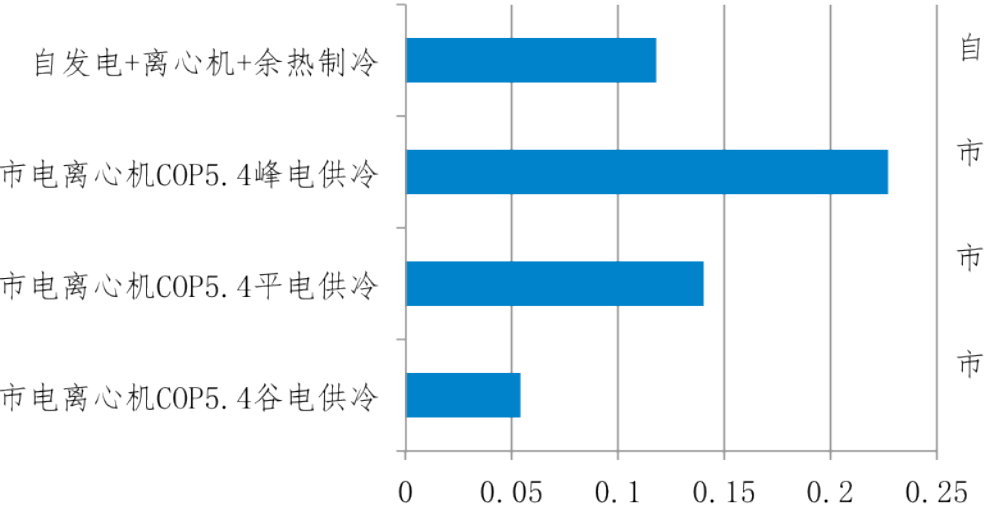

W/m2
60
50
40
30
20
10
0
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
商业
办公
酒店/公寓
情景1
情景2
西虹桥

优化区域能源配置

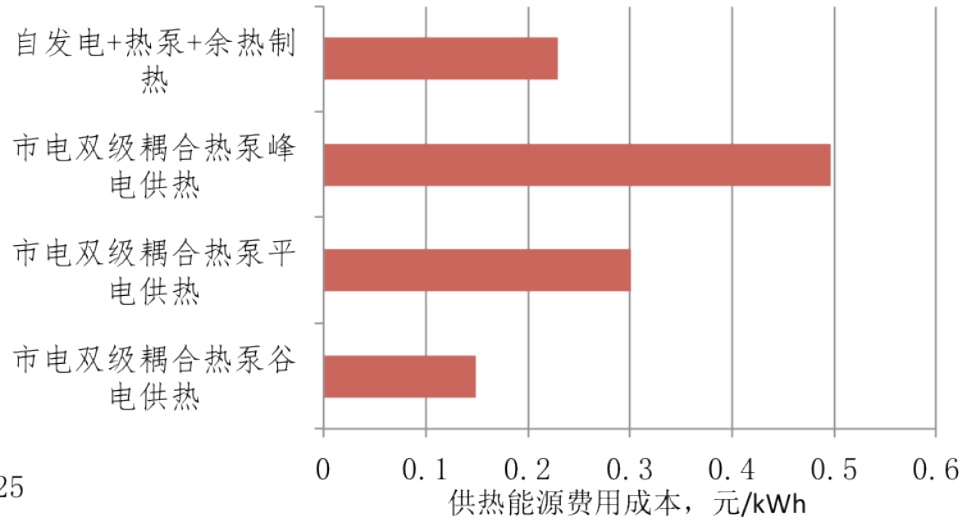


夏季	时间分区	电价 [元/kWh]
峰时	8-11 时、18-21 时	1.227
平时	6-8 时、11-18 时、21-22 时	0.757
谷时	22 时-6 时	0.293
非夏季	时间分区	电价 [元/kWh]
峰时	8-11 时、18-21 时	1.192
平时	6-8 时、11-18 时、21-22 时	0.722
谷时	22 时-6 时	0.358

	发电机组（元/kW）	燃气锅炉（元/kW）	吸收式冷机（元/kW）	电制冷机（元/kW）	热泵机组（元/kW）
设备初投资	2500	200	900	700	700



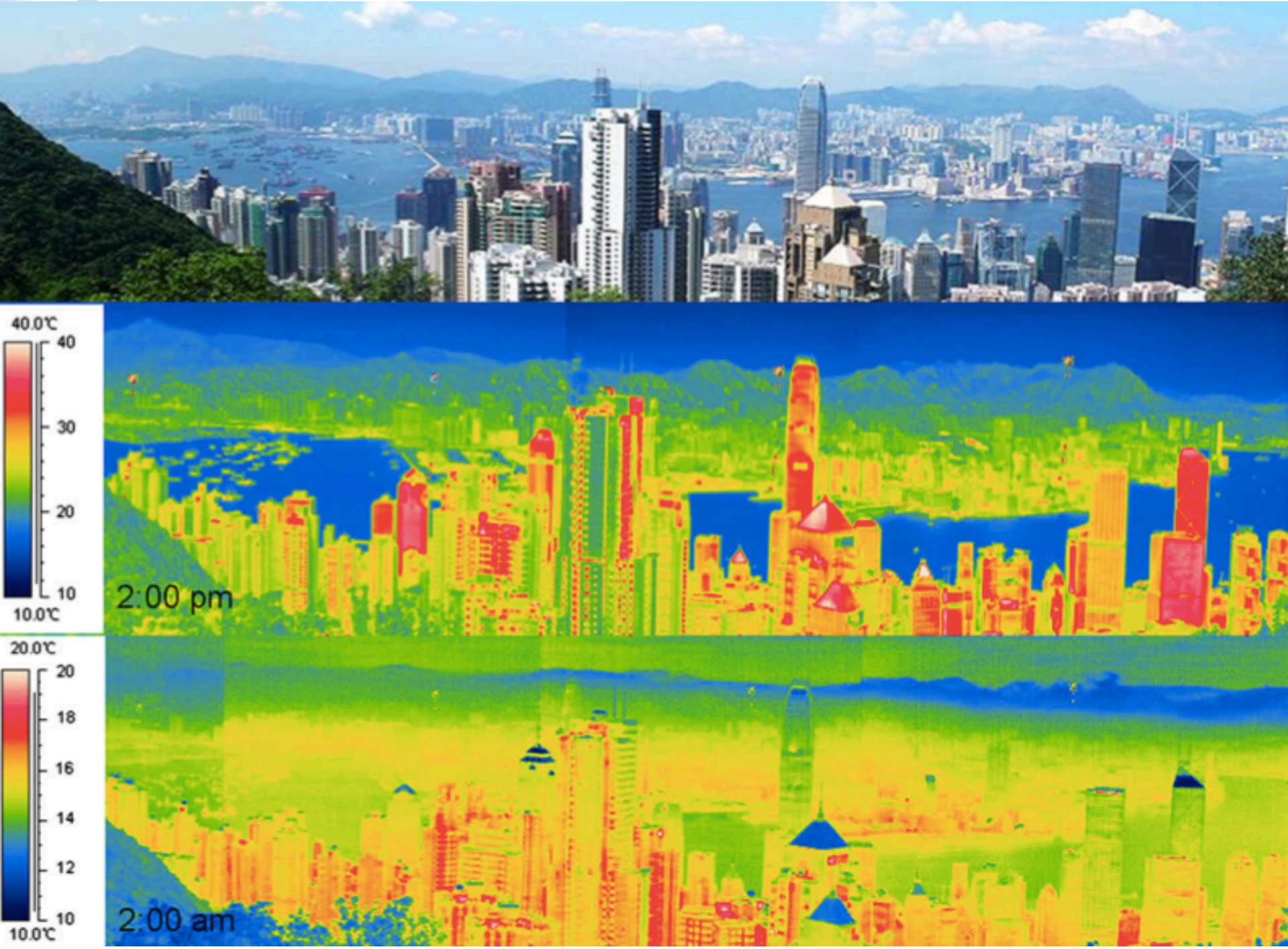
供冷能源费用成本，元/kWh



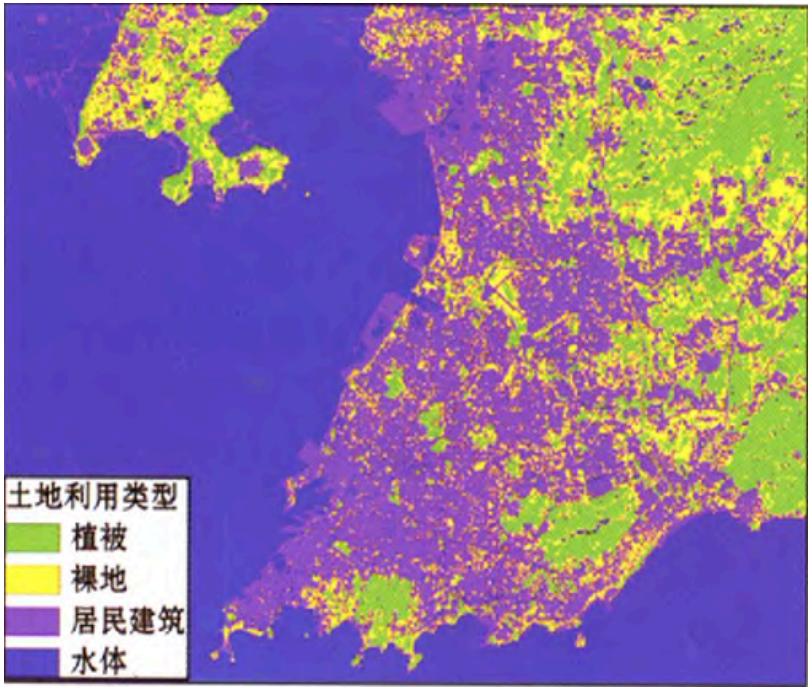
供热能源费用成本，元/kWh

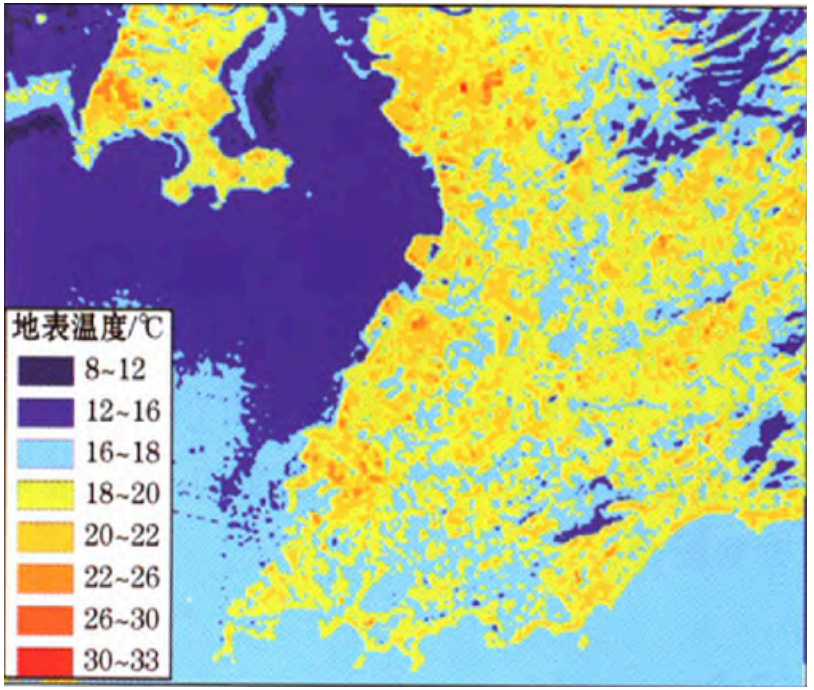
气候设计 / 规划节能

- 城市热岛
- 街谷风廊道


40.0℃
40
30
20
10
10.0℃
2:00 pm
20.0℃
20
18
16
14
12
10
10.0℃
2:00 am

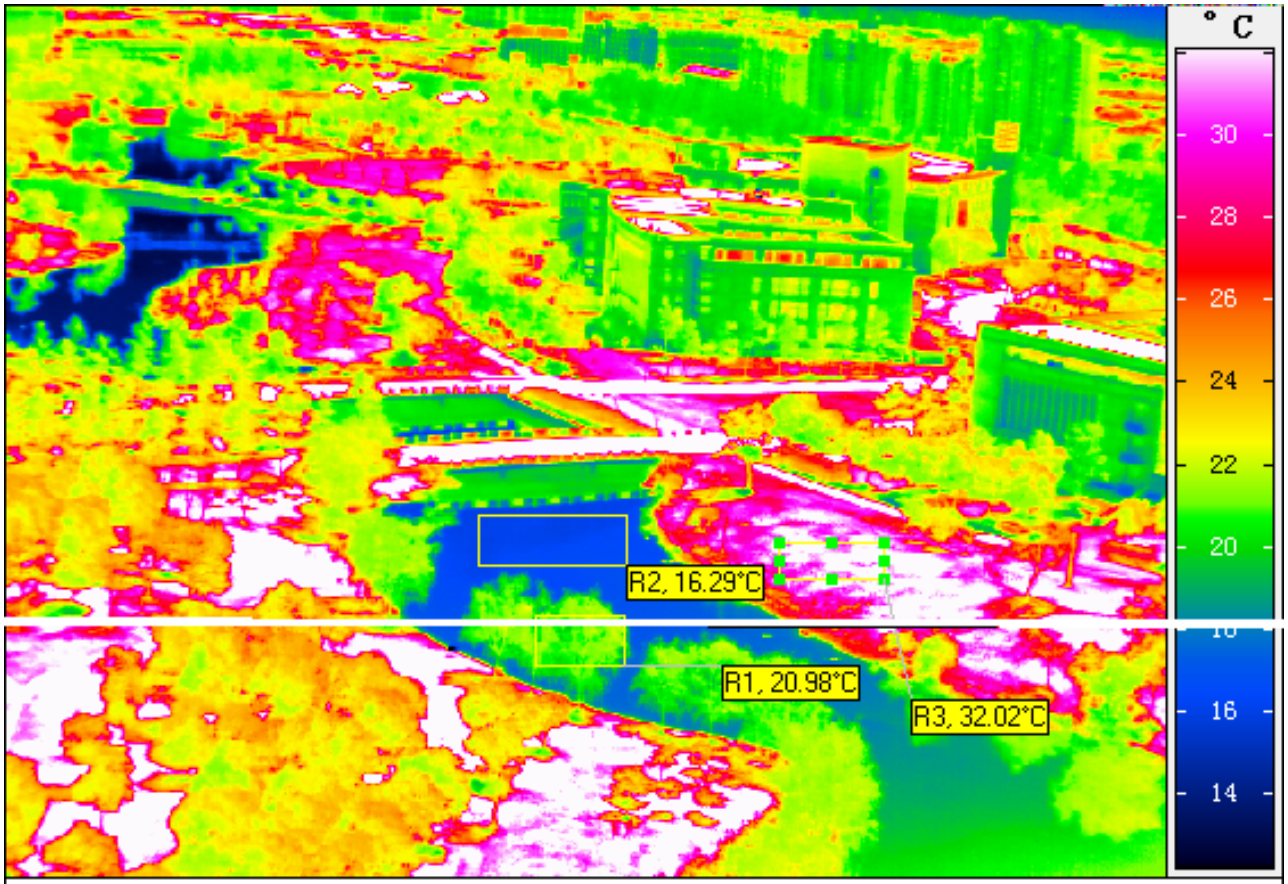
- 青岛地表温度分布（2006年）





- 嘉定校区－2015年

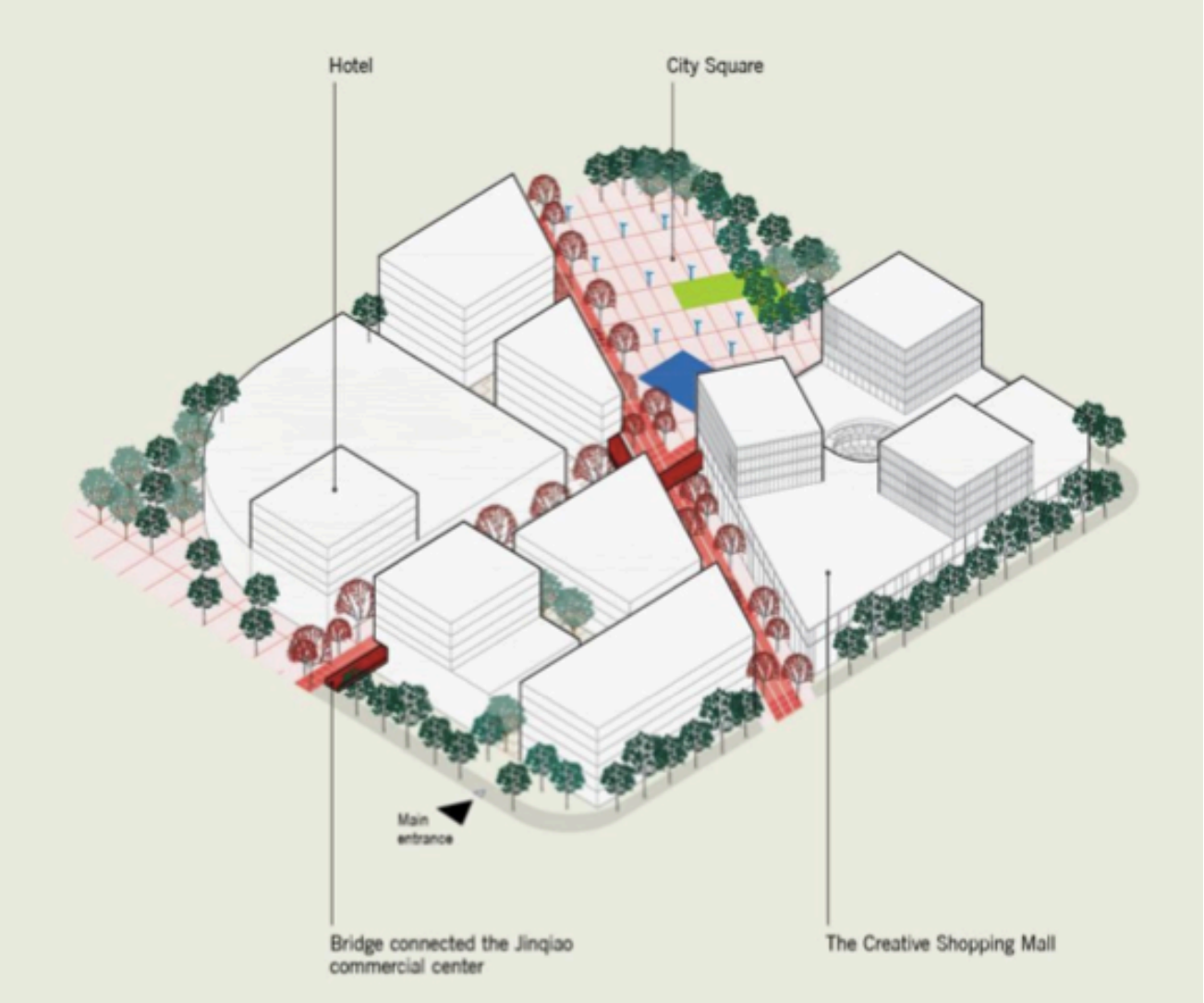
热图



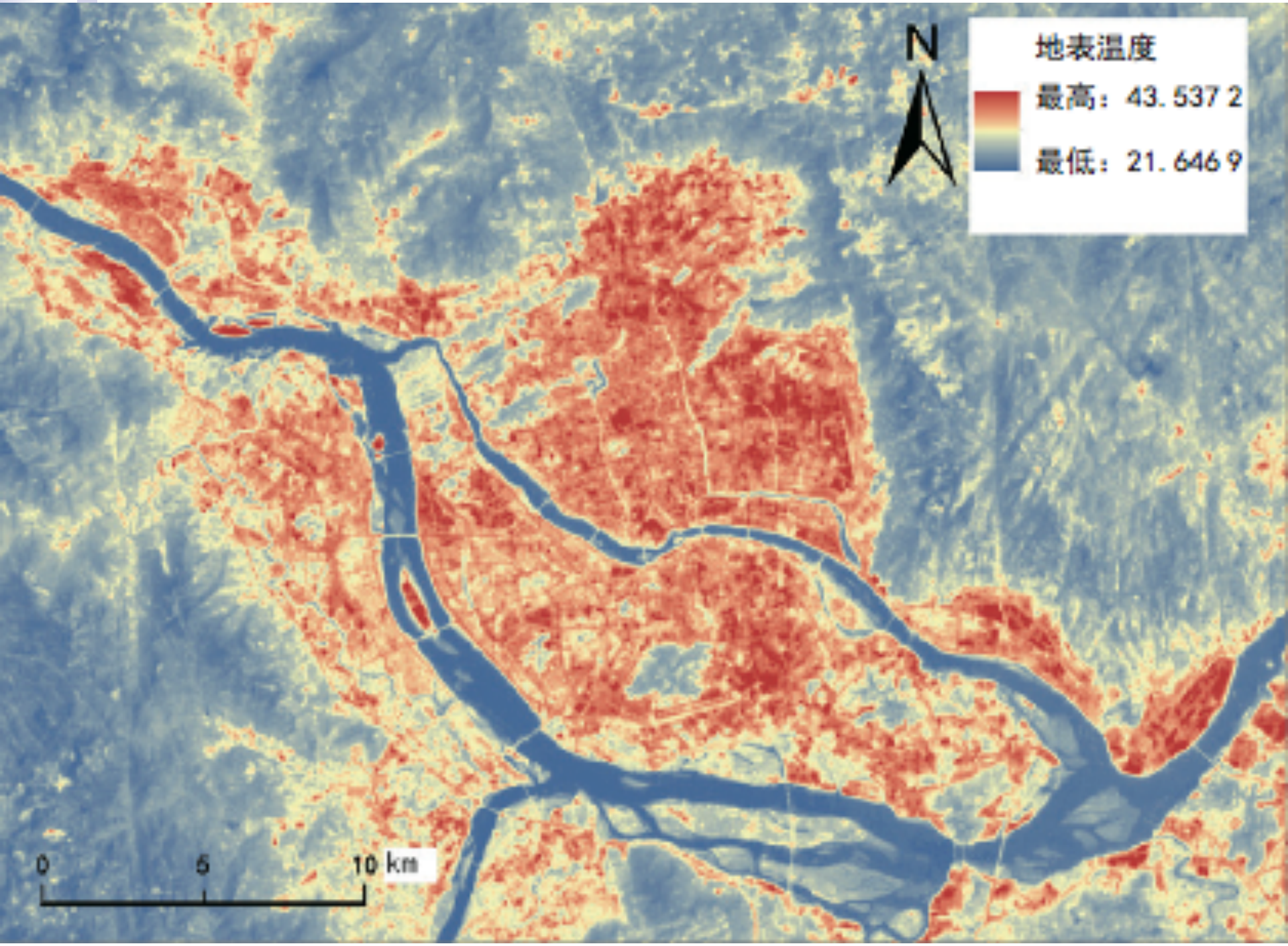
JENOPTIK ESW GmbH : VC HiRes
R1：树木冠层 R2：水面 R3：裸露地面

识别码	平均值	最小值	最大值	范围	标准方差
R1	20.98	17.42	22.50	5.08	0.62
R2	16.29	15.90	16.76	0.86	0.19
R3	32.02	28.11	34.62	6.52	1.16

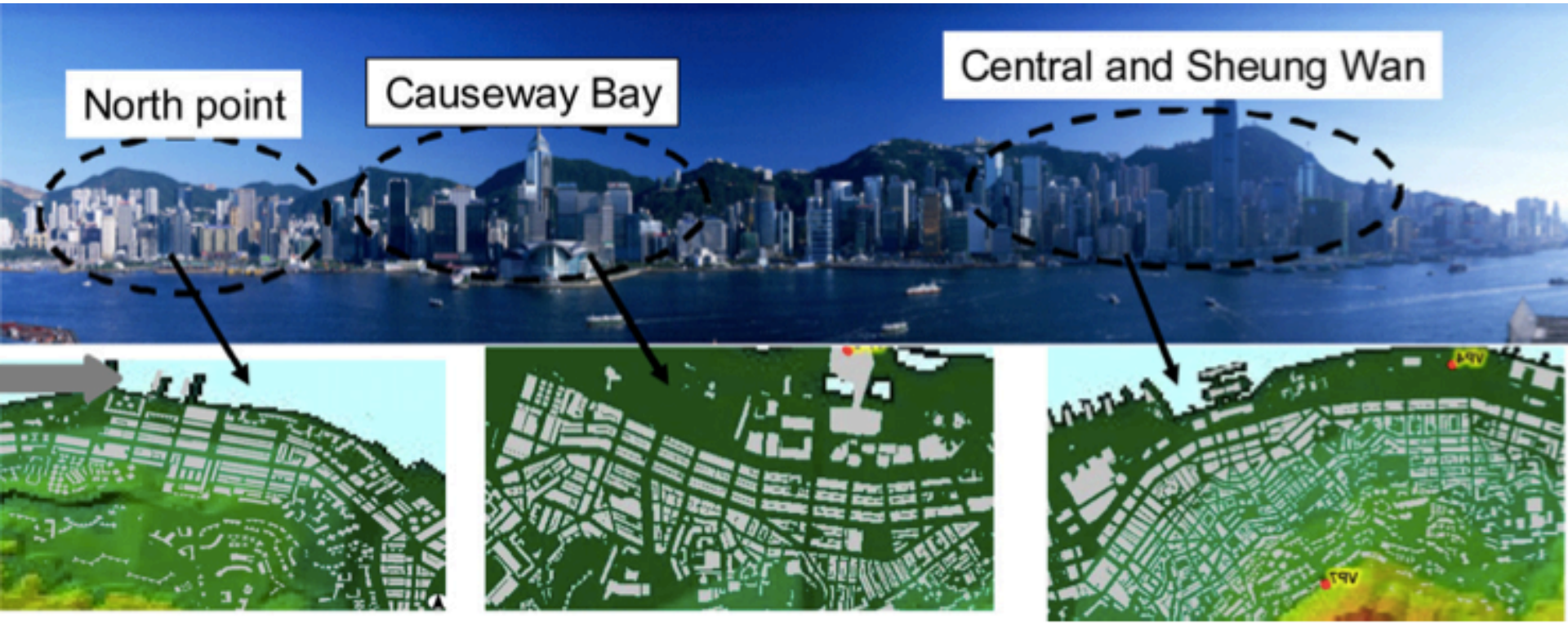
- 街谷风廊道的构建


Hotel
City Square
Main
entrance
Bridge connected the Jinqiao
commercial center
The Creative Shopping Mall

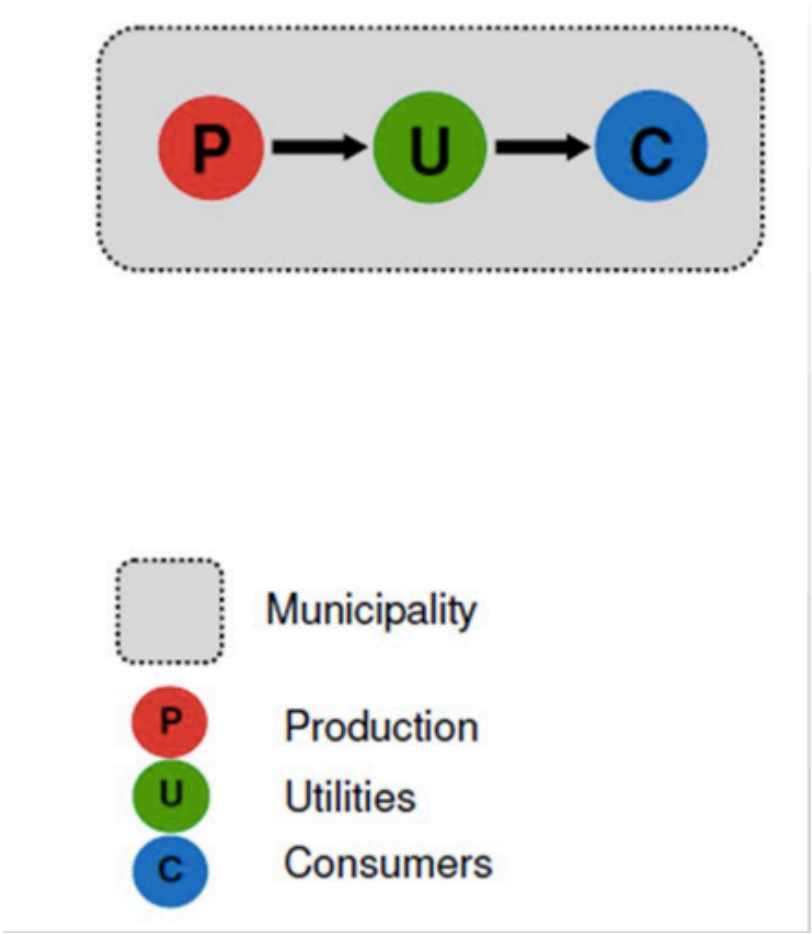
风廊道—福州

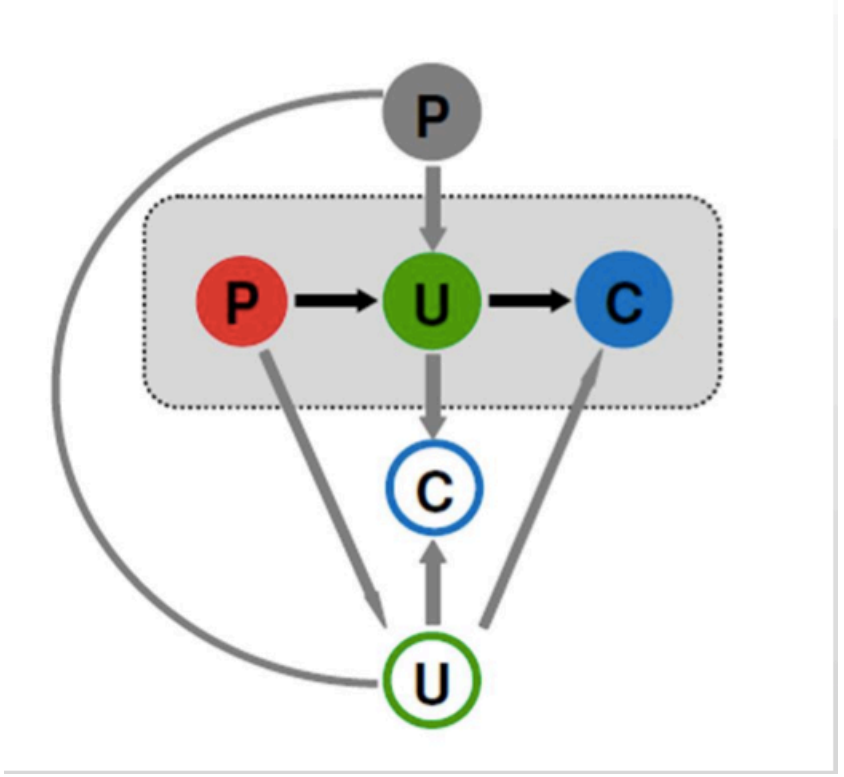

N
地表温度
最高：43.537 2
最低：21.646 9
0
5
10 km

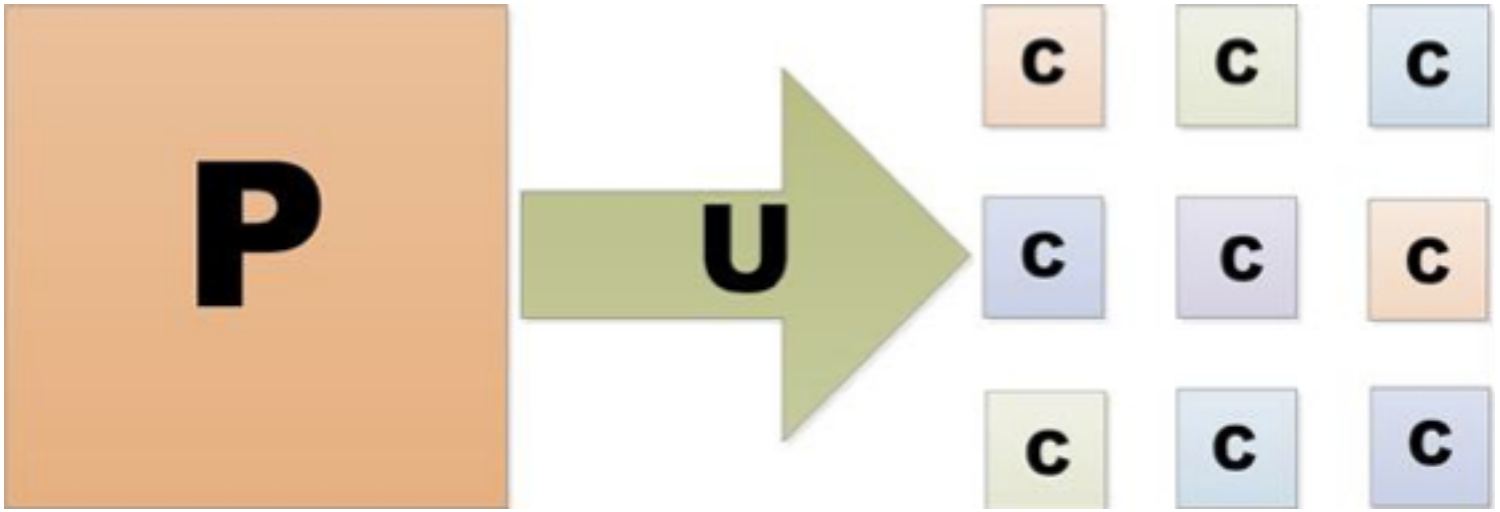
- 风廊道—香港（2010）



能源供求关系模型


P
U
C
Municipality
P
Production
U
Utilities
C
Consumers


P
P
U
C
C
U

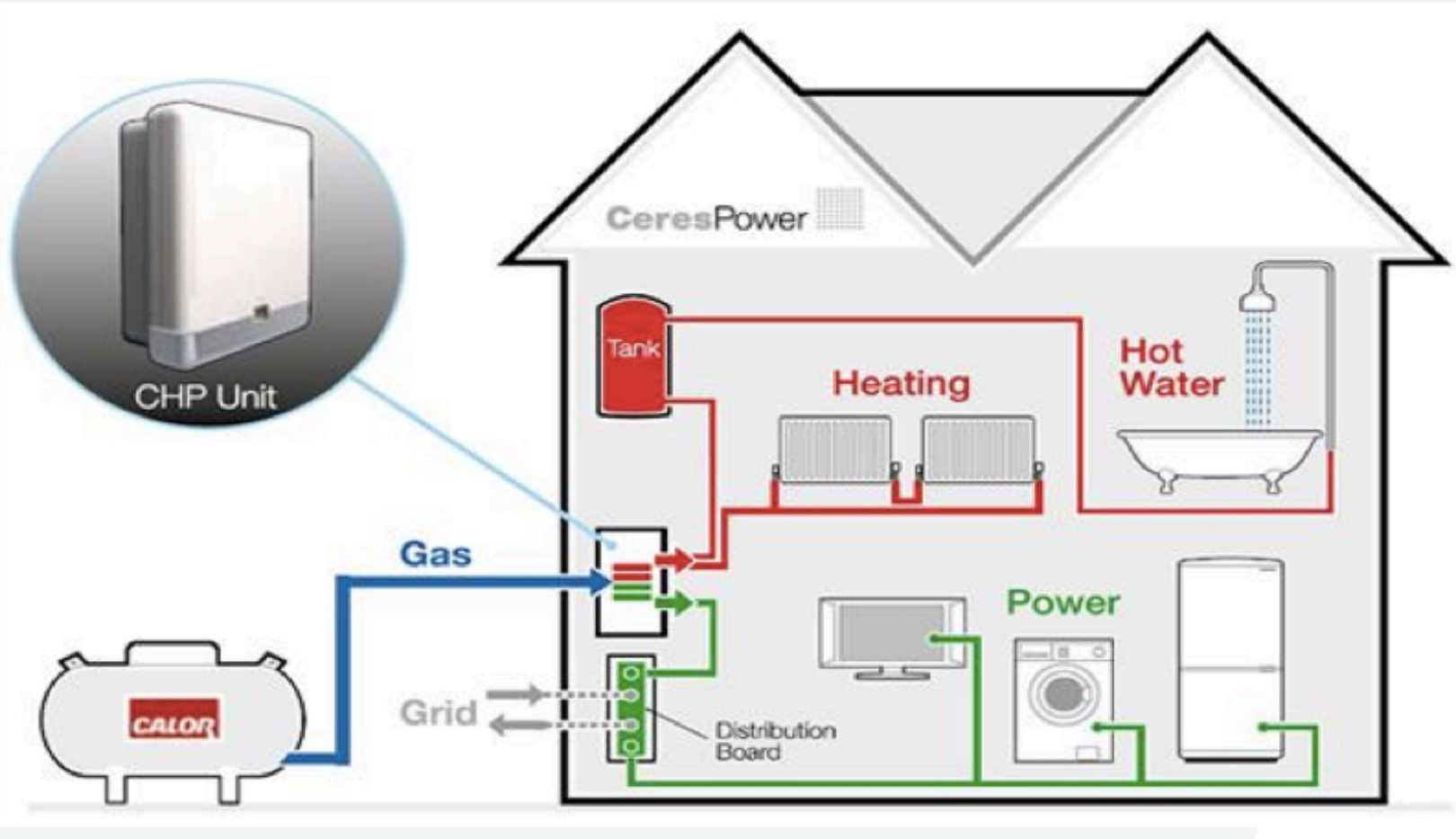


垂直模式：能源生产者是单一的，用户无法选择

用户—能量的消费者和生产者

- 多种形式的可再生能源利用使得用户在消费能源的同时，具备了或大或小的能源生产能力。
- 形成新型能源市场交易机制，激发用户产能。（光伏、风电、家用燃料电池、。。。。。）
- 构建新型邻里资源共享的社区能源网络，推动城市能源架构转型，形成新型、高效、节能的新型城市能源系统。

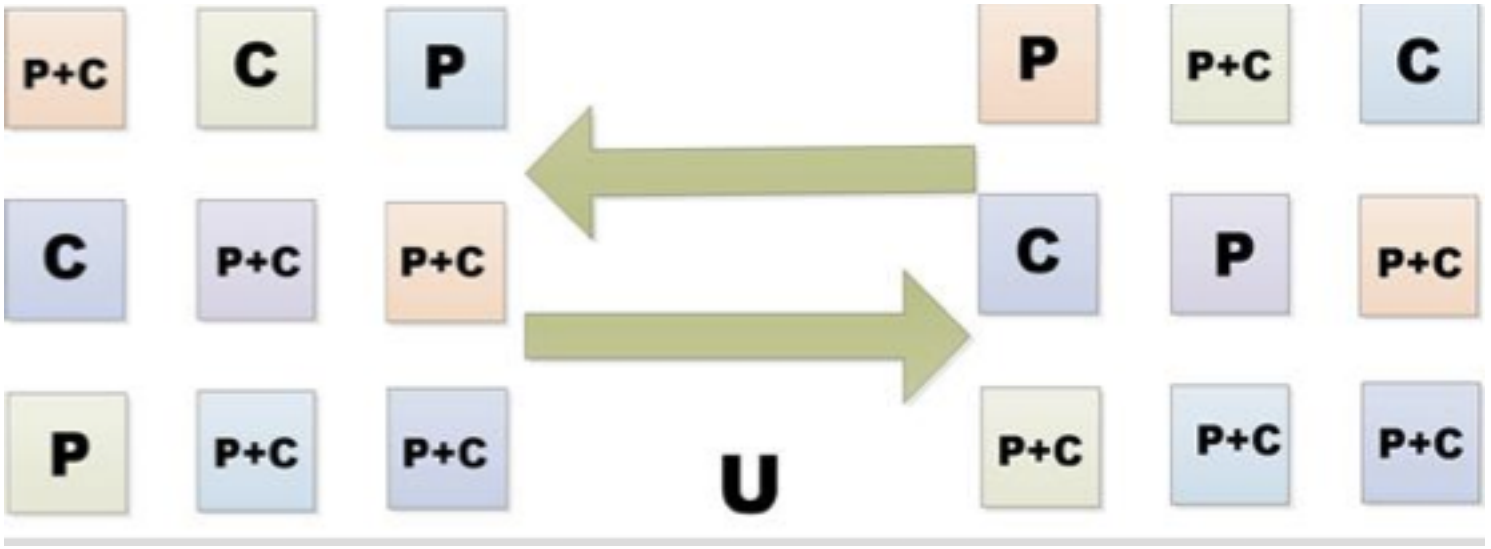
用户能源消费形式


CHP Unit
CeresPower
Tank
Heating
Hot
Water
Gas
Power
CALOR
Grid
Distribution
Board

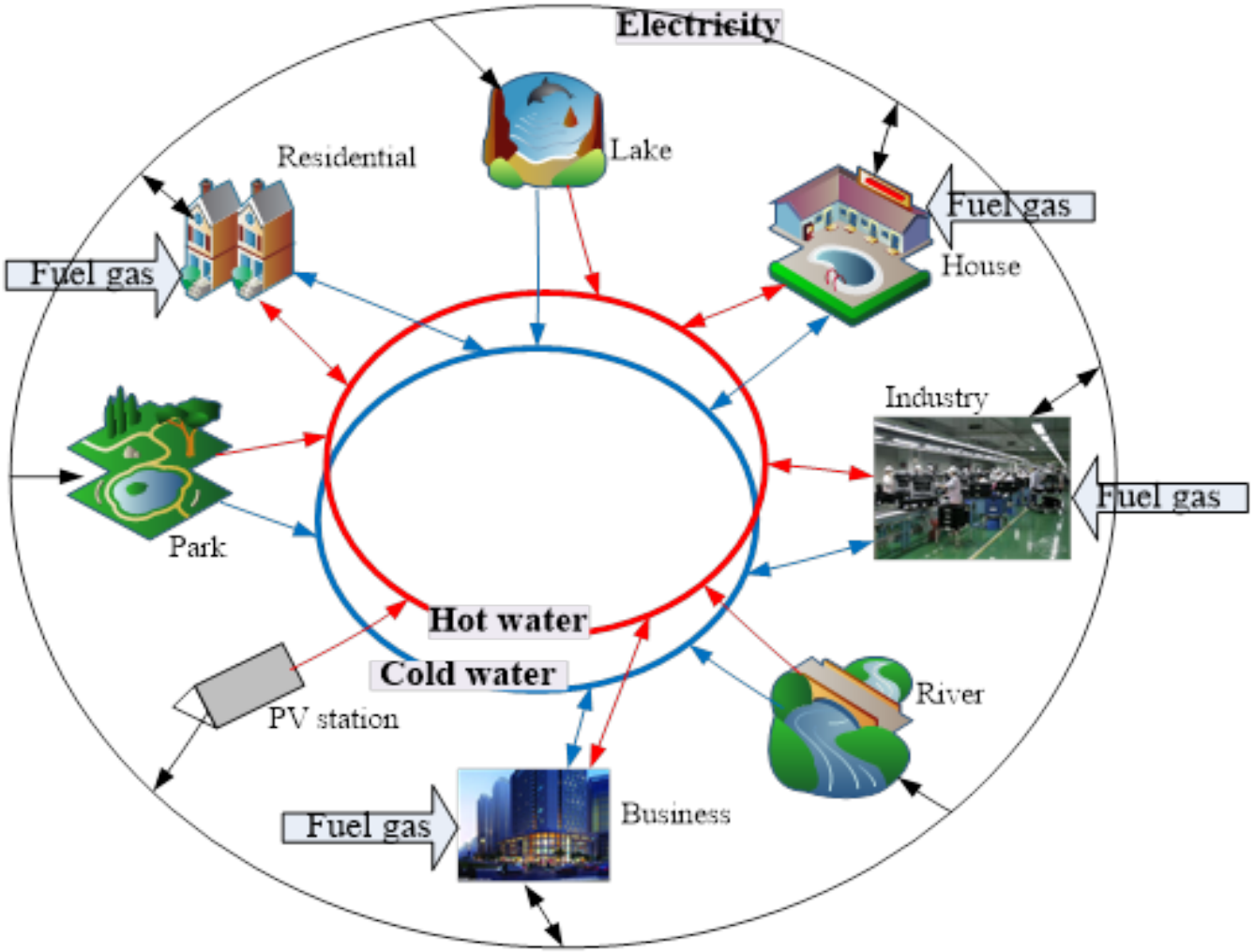
- 生产者还是消费者？

互 联 网
＋
扁平模式

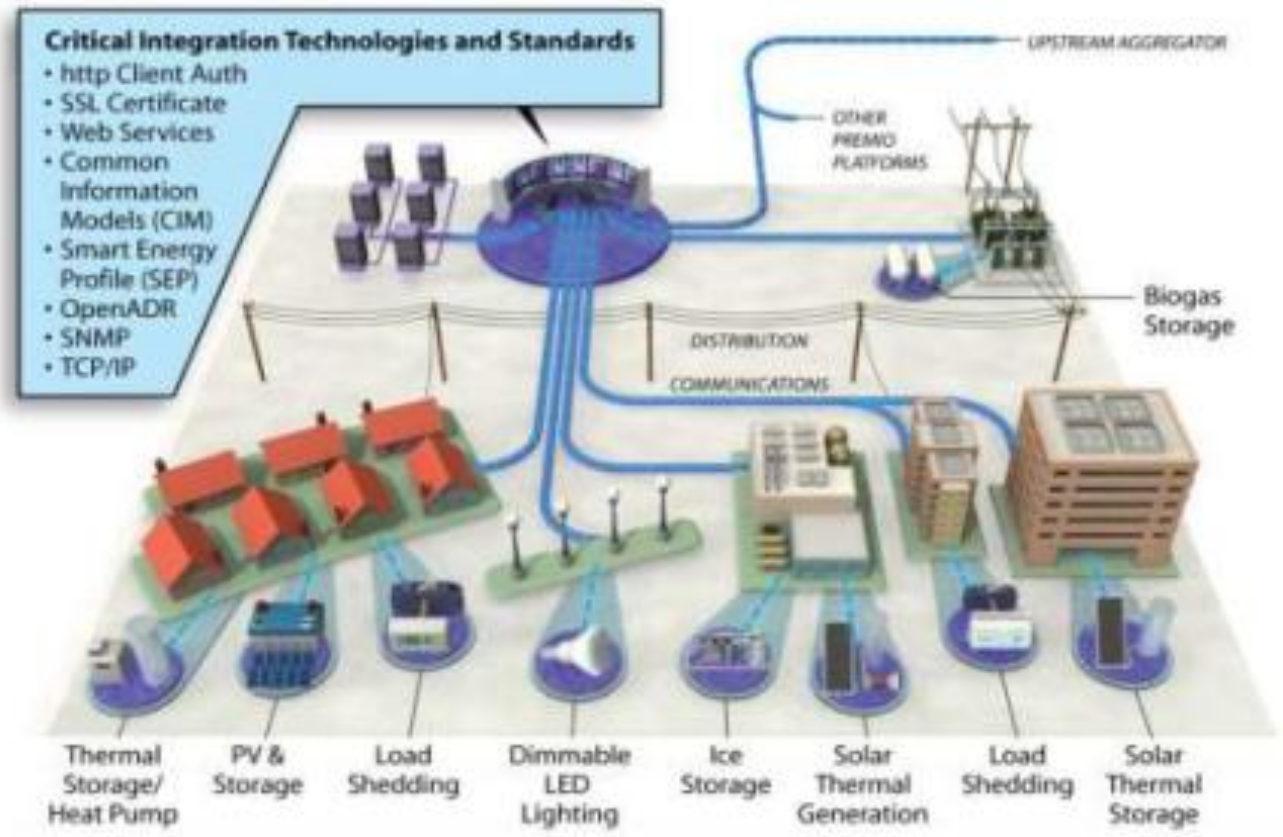
Emissions for Industrial Sites
Total Monthly CO2 Emission for 2010
Sum All Selections
Tons CO2
Factory Load Profile Today
Legend
kW kVAR BTU/Hr
Power Factor
Time (Hours)


P+C
C
P
P
P+C
C
C
P+C
P+C
C
P
P+C
P
P+C
P+C
P+C
P+C
P+C
U

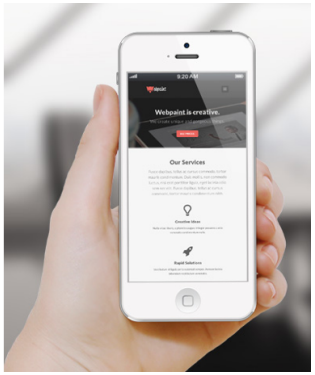
- 能源微网—邻里能源资源共享平台

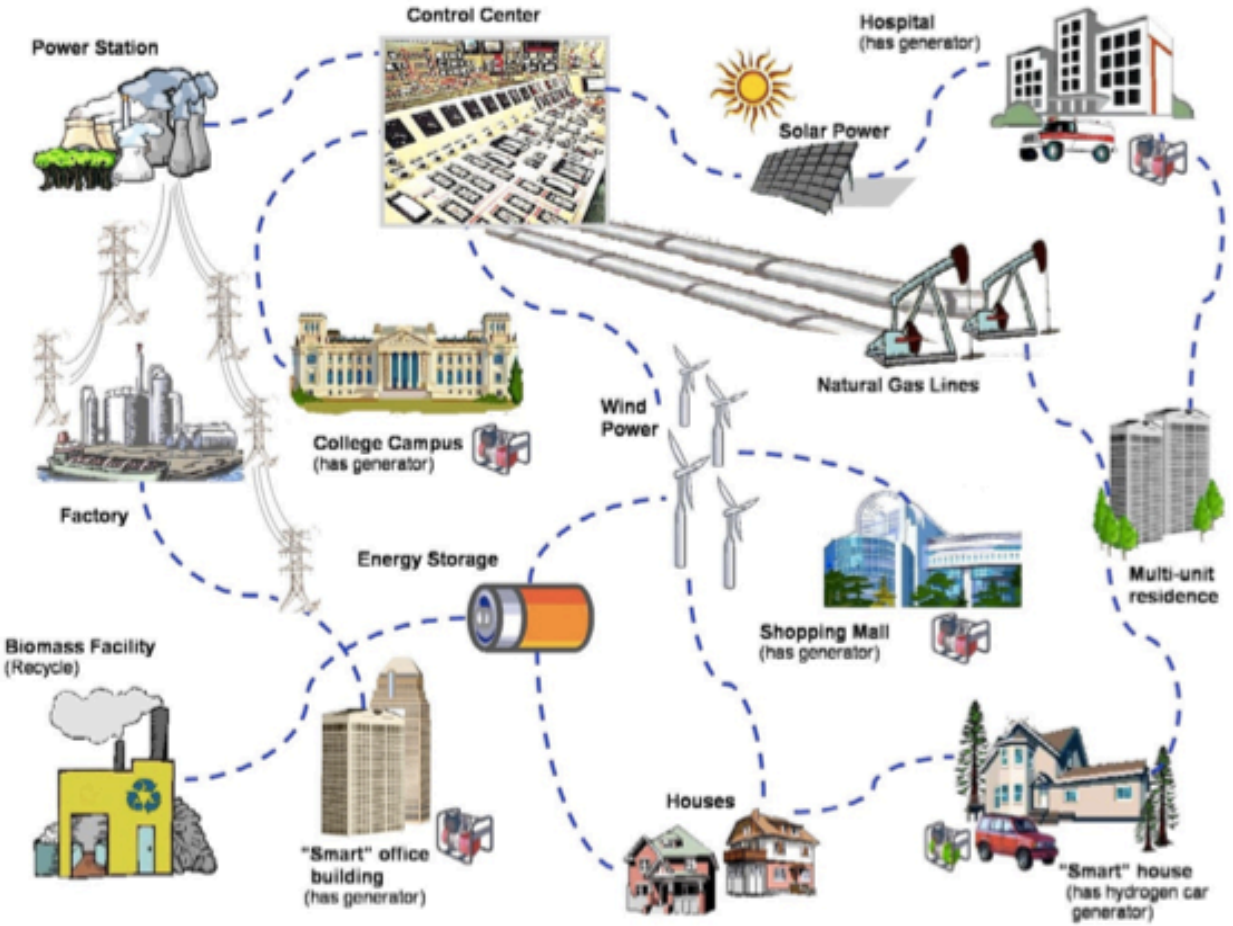


智能电网Smart Grade



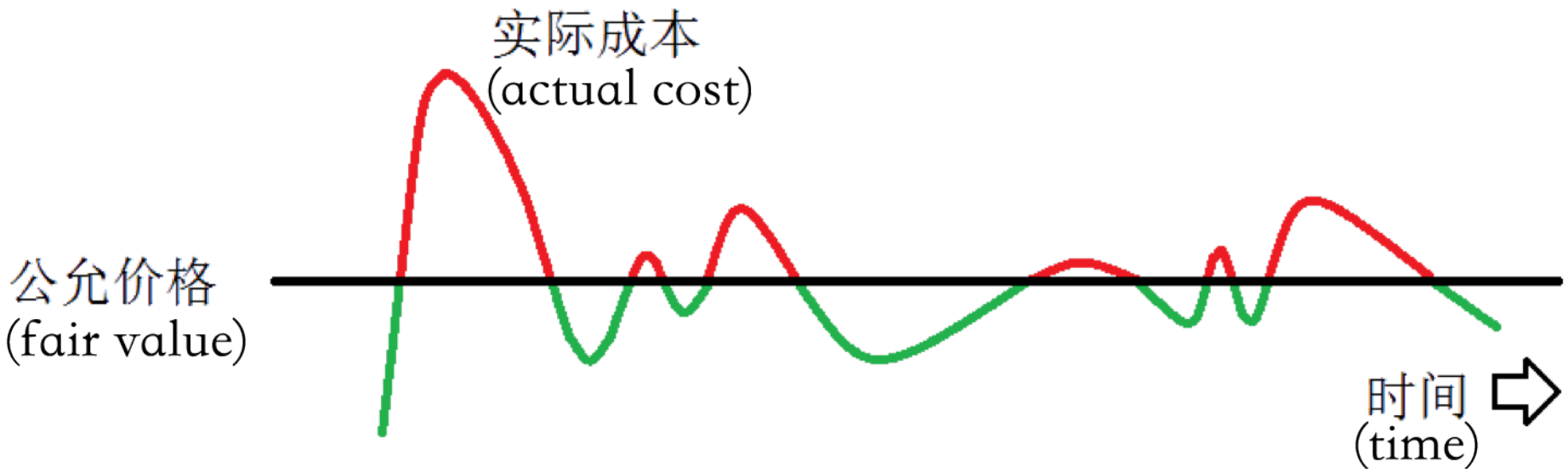
基于数据交换协议的能源交易机制





Renewable Energy System, Second Edition, 2014

- 能源产品的定价



能源综合规划的关键技术要素

- 需求侧节能技术提升
- 提高分布式能源效率
- 化石燃料替代（清洁可再生）
- 可再生能源整合为综合能量系统
- 集中供能与分布式能源的有机融合

THANK YOU