

建筑能耗分项计量及其在 需求侧能源规划 中的应用



iBR

深圳市建筑科学研究院
Shenzhen Institute Of Building Research

绿色科技 建筑未来

主要内容

一

深圳市建筑能耗监测与分项计量系统

二

能耗监测与分项计量数据的处理

三

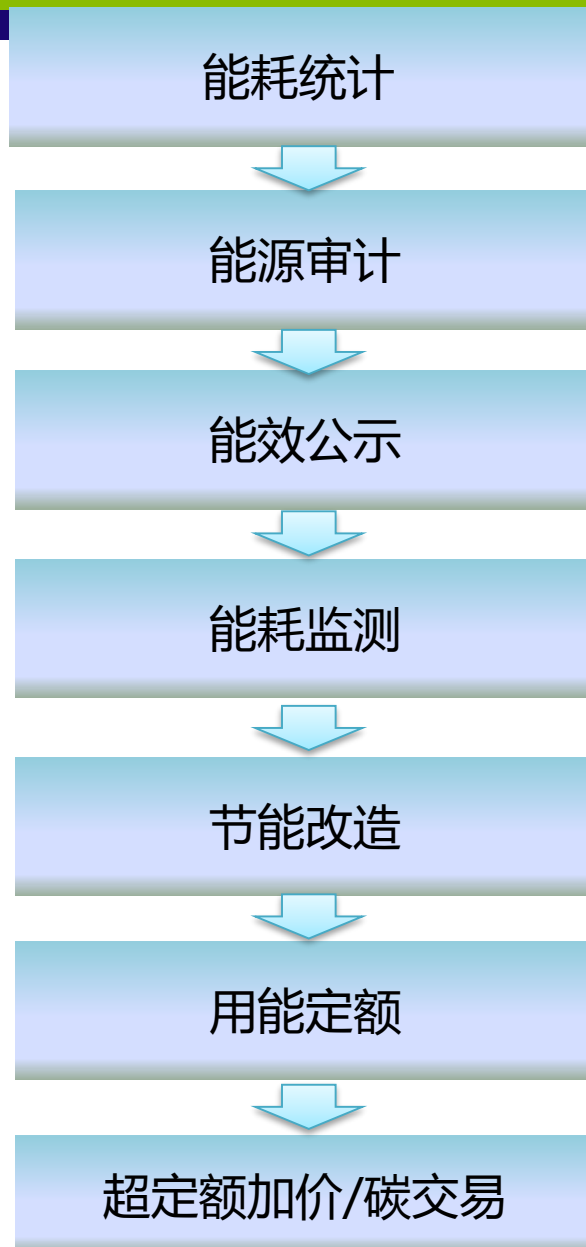
能源规划与能源系统规划设计案例

1. 深圳市建筑能耗监测与分项计量系统

1.1 深圳市建筑能耗管理系统的建设背景

- ◆ 2007年开始，国家提出要建立国家机关办公建筑和大型公共建筑节能监管体系。
- ◆ 这项工作的目标是：逐步建立起全国联网的国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测平台，对全国重点城市重点建筑能耗进行实时监测，并通过能耗统计、能源审计、能效公示、用能定额和超定额加价等制度。
- ◆ 促使国家机关办公建筑和大型公共建筑提高节能运行管理水平，培育建筑节能服务市场，为高能耗建筑的进一步节能改造准备条件。

建筑节能
监管体系
建设内容



1.1 深圳市建筑能耗管理系统的建设背景

2007年8月，深圳市向住建部提交建设大型公建节能监管城市的申请（深府办[2007]183号）

2007年10月，住建部与财政部联合发布建科〔2007〕245号文，将北京、天津、深圳列为首批“国家机关办公建筑和大型公共建筑节能监管示范试点城市”之一

2008年12月，市发改委批复《深圳市国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗动态监测统计系统建设工程》项目

1.2 深圳市建筑能耗监测系统的建设成果

- 建立全国首个建筑能耗监测平台
- 深圳市累计完成750栋能源审计，在全国数量最多
- 是首批3个能耗监测示范城市之一，完成500栋公建能耗监测
- 是首批3个节能改造示范城市之一，开展400万平米改造
- 率先制定能耗定额
- 社会效益显著

深圳在节能监管体系建设中一直走在全国前列。



1.3 深圳市能耗监测系统建设历程

建设期

当前

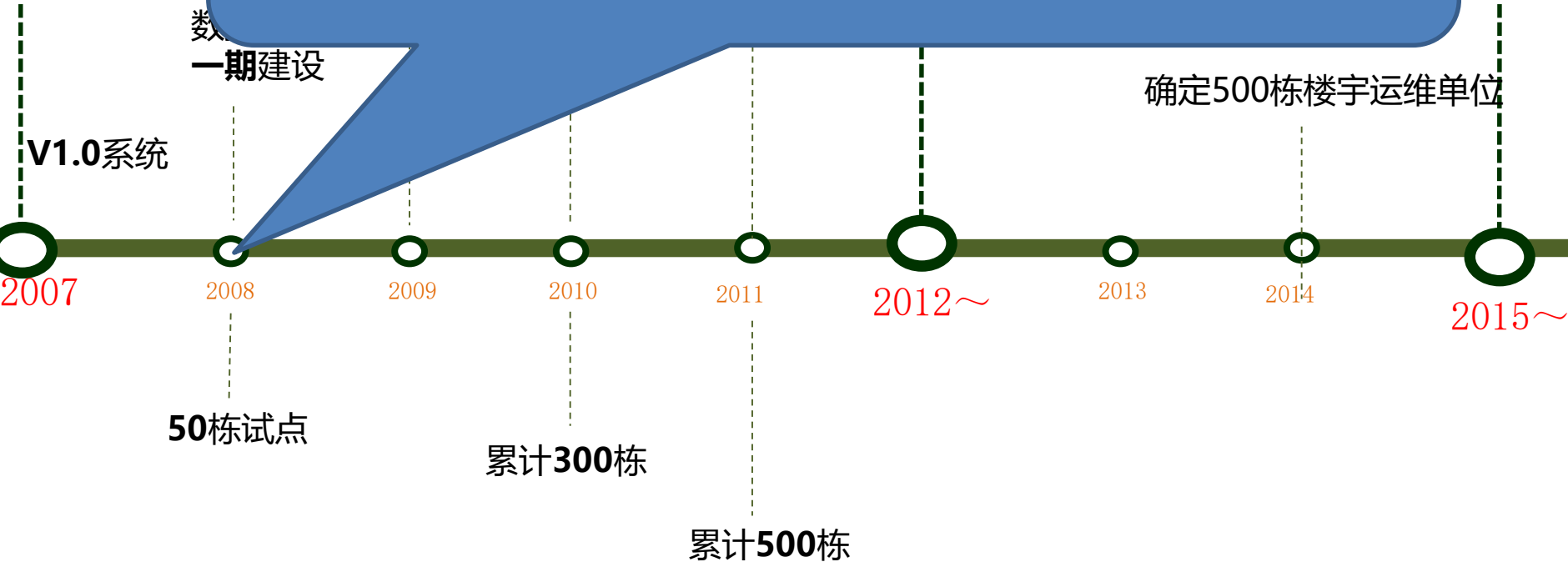
展望

项目立项

完成建设

系统提升，
应用提升

2008年，在当时国内外没有类似的经验、案例参考的前提下，开发了第一代城市级建筑能耗监测系统，成为全国首个城市级建筑能耗管理系统。开启了我国建筑能耗监测领域的先河。



1.3 深圳市能耗监测系统建设历程

建设期

当前

展望

项目立项

完成建设

系统提升，应用提升

为国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测系统建设提供了技术导则：

1. 分项能耗数据采集技术导则
2. 分项能耗数据传输技术导则
3. 楼宇分项计量设计安装技术导则
4. 数据中心建设与维护技术导则
5. 建设、验收与运行管理规范

住建部验收

数据中心一期建设

准单位

V1.0系统

2007

2008

2009

2010

2011

2012~

2013

2014

2015~

50栋试点

累计300栋

累计500栋

1.3 深圳市能耗监测系统建设历程

建设期

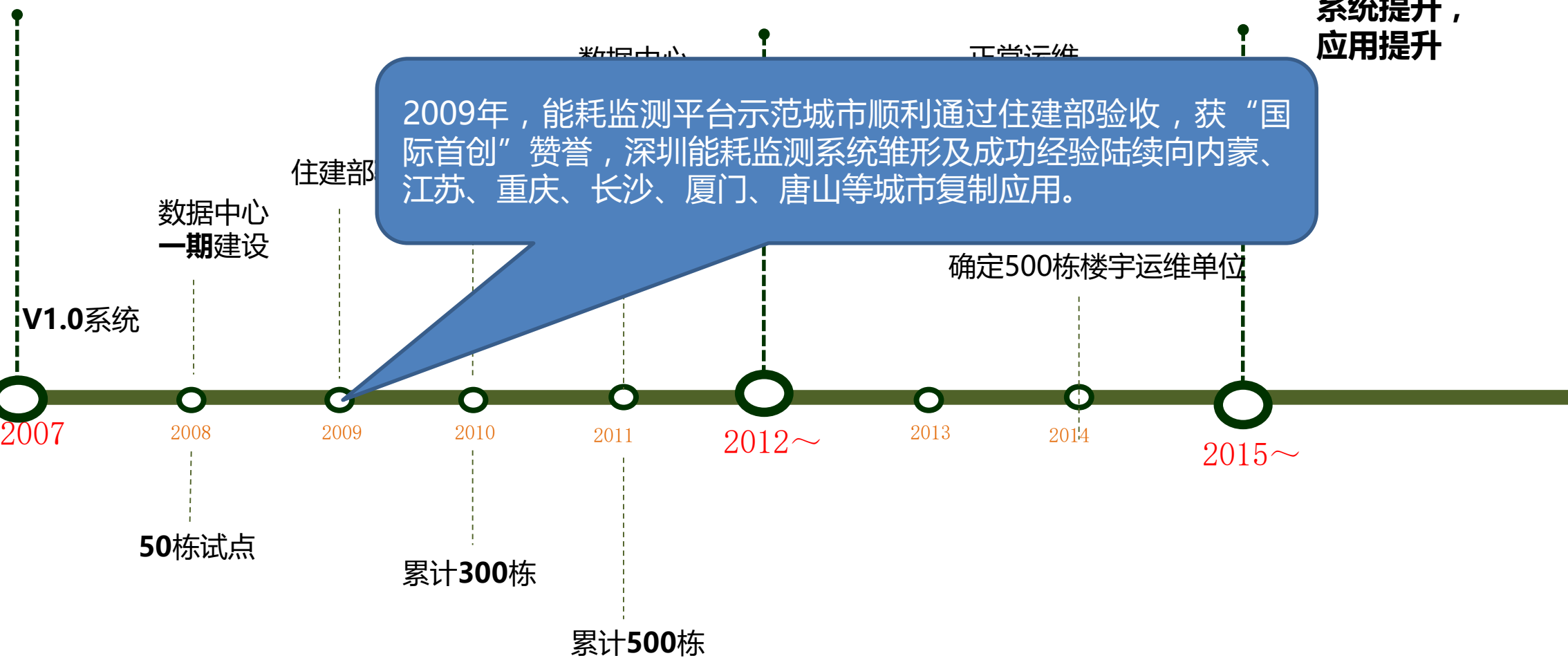
当前

展望

项目立项

完成建设

系统提升，应用提升



1.3 深圳市能耗监测系统建设历程

建设期

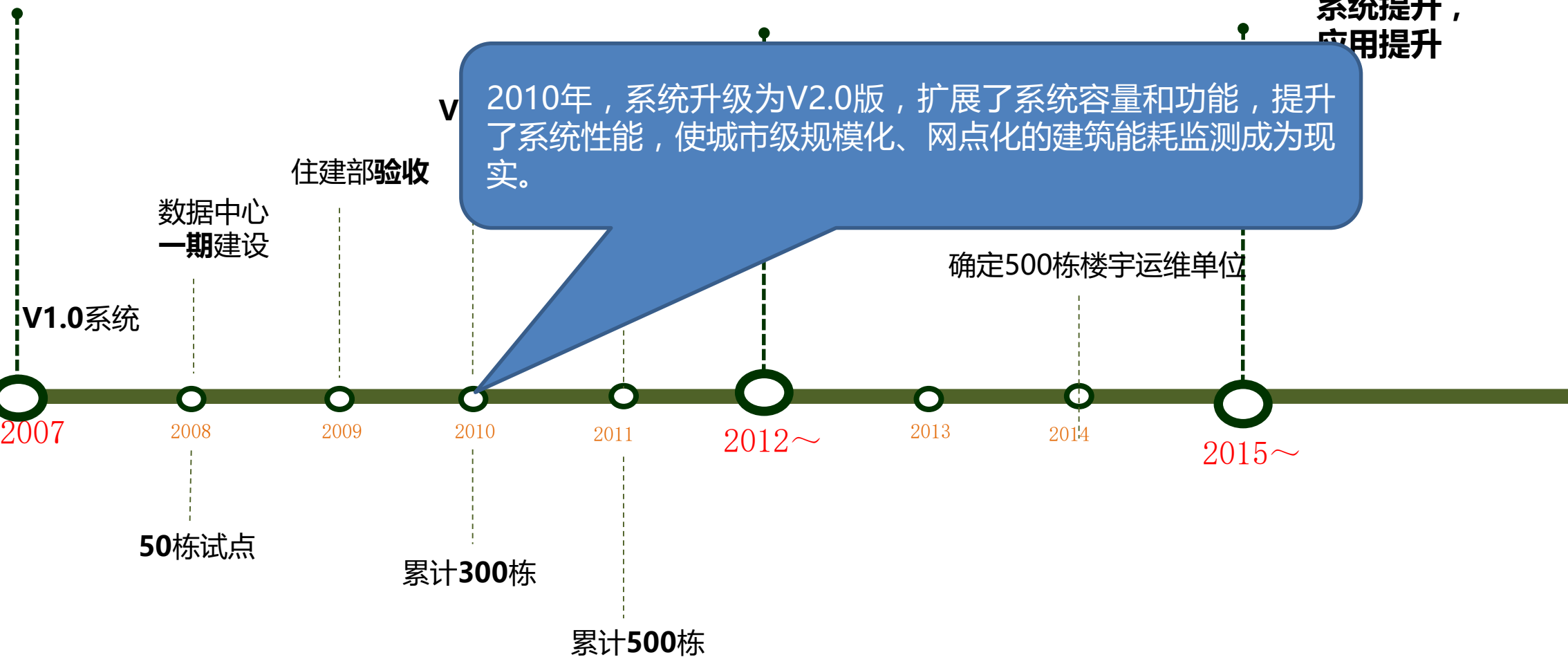
当前

展望

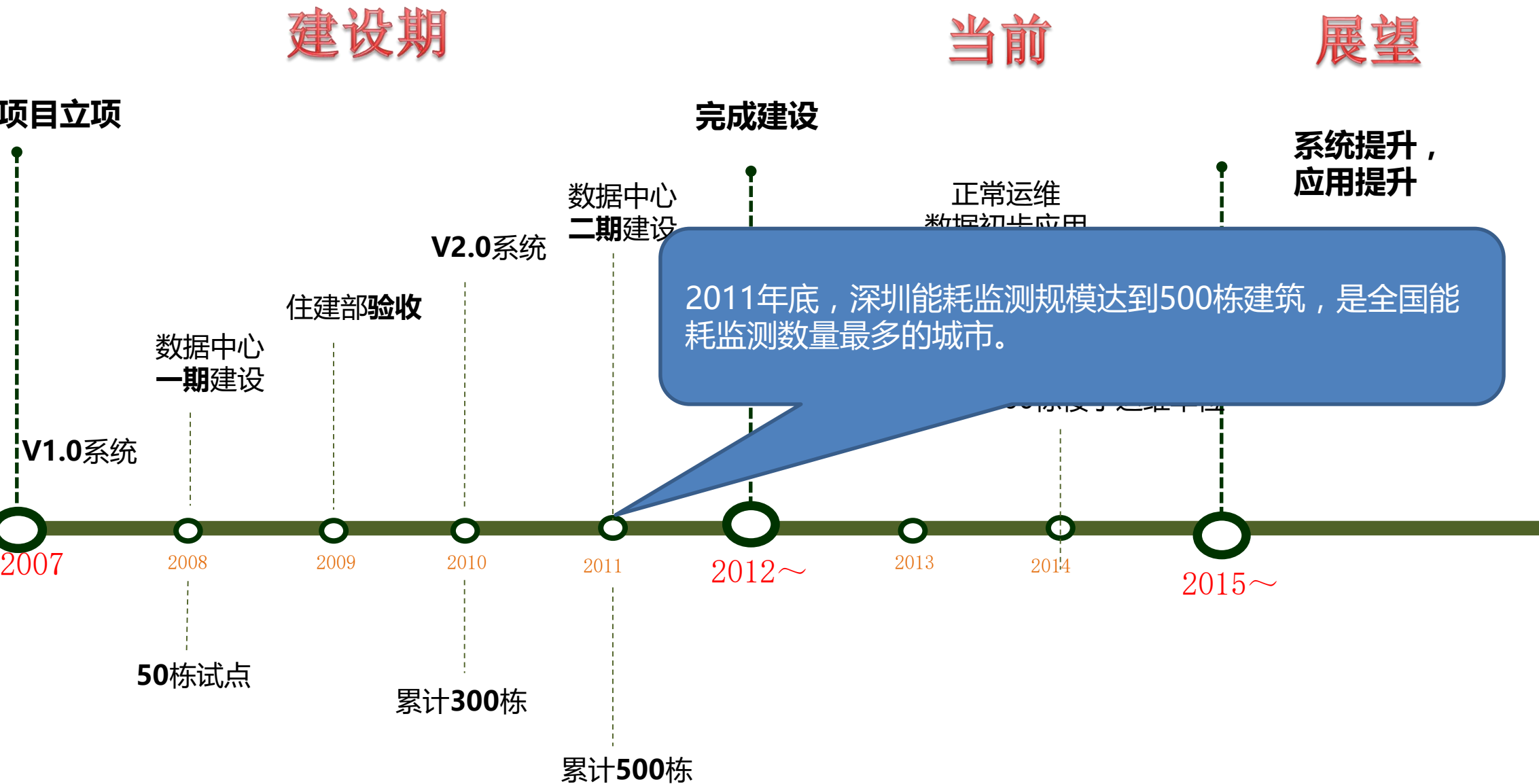
项目立项

完成建设

系统提升，应用提升



1.3 深圳市能耗监测系统建设历程

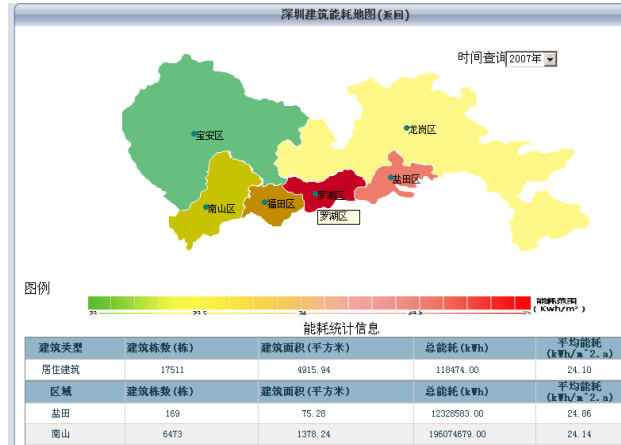


1.4 能耗监测系统的主要功能

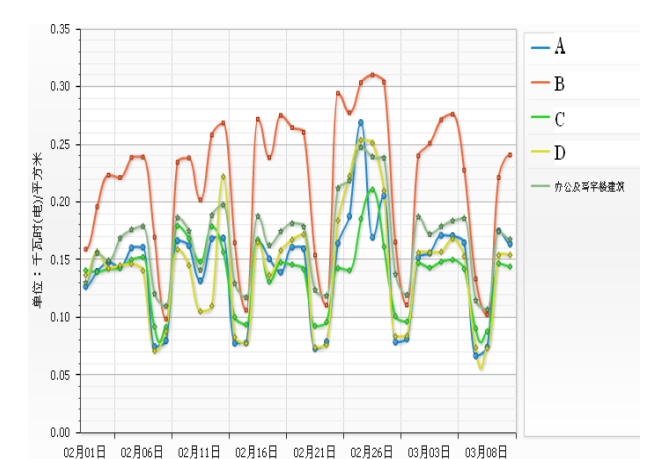
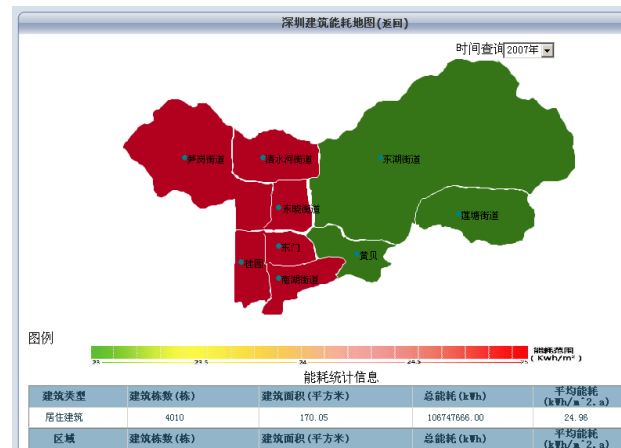
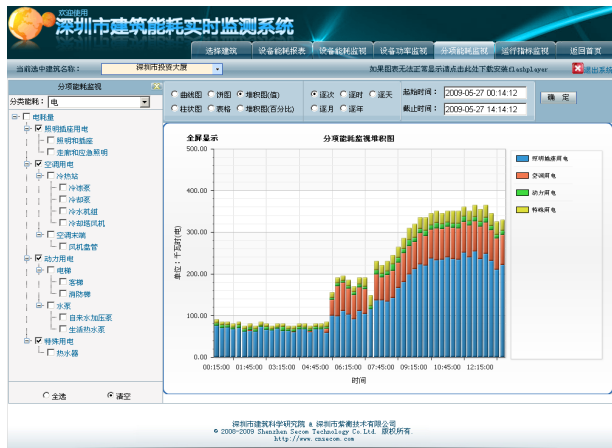
楼宇级能耗监测系统



区级建筑能耗地图及GIS导航系统



城市级能耗监测系统

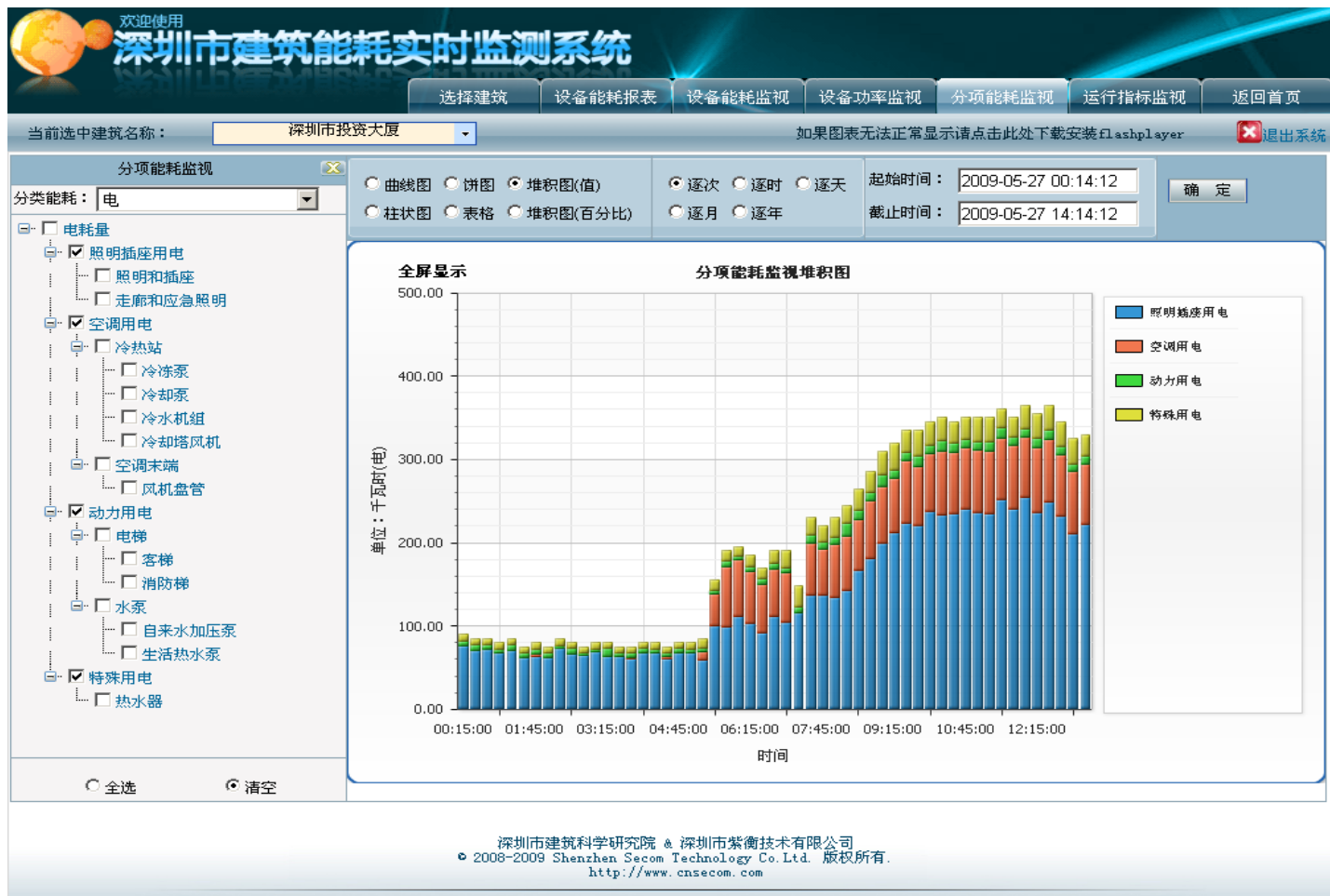


1.5 能耗监测系统的监测对象

◆ 分类能耗：电量、水耗量、集中供热量、集中供冷、其它

◆ 分项能耗：照明插座用电、空调用电、动力用电和特殊用电

◆ 空调用电：主要包括冷水机组、冷冻泵、冷却泵、冷却塔风机、空气机组、新风机组、风机盘管等



1.6 能耗监测与分项计量工作的主要作用

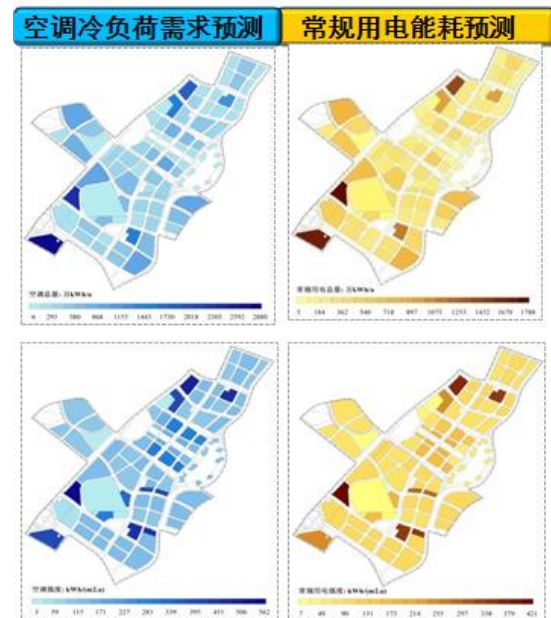
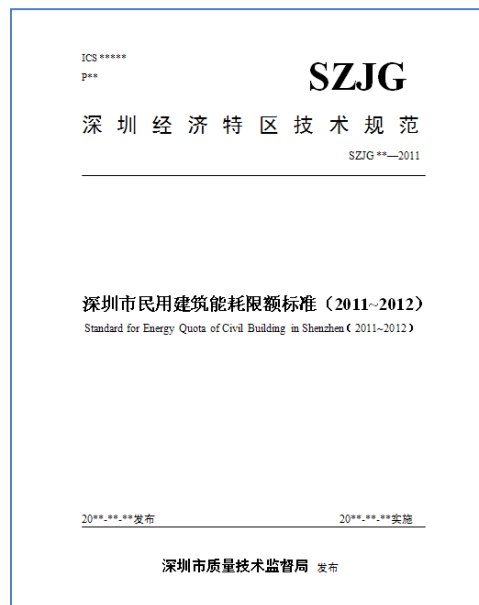
依托建筑能耗监测系统已开展多项研究：

- ◆ 节能管理：建筑优化运行，揭示能耗问题
- ◆ 政策支持：成为深圳限额研究、激励政策研究数据基础
- ◆ 实施模式：节能改造/合同能源管理模式研究的平台

未来侧重在以下方面应用：

- ◆ 单体建筑快速诊断，指导节能改造
- ◆ 节能量预估
- ◆ 节能量交易、碳交易
- ◆ 城市能源规划、能源调控

序号	成果类别	名称
1	法规政策	深圳市建筑节能与绿色建筑“十二五”规划
2		深圳市绿色建筑促进办法
3		建筑能耗标准
4	国家和地方行业标准	公共建筑能耗远程监测系统技术规程
5		深圳市办公建筑能耗限额标准
6		深圳市商场建筑能耗限额标准
7		深圳市旅游饭店建筑能耗限额标准
8	技术导则和 规范指南	深圳市公共建筑节能改造技术导则
9		深圳市公共建筑节能改造能效测评技术导则
10		建筑物温室气体排放的量化和报告规范及指南
11		建筑物温室气体排放的核查规范及指南
12		深圳市公共建筑超定额加价制度研究
13	课题研究	深圳市大型公建分项计量监测系统建设方法的研究
14		深圳市公共建筑能耗评价指标研究
15		深圳市大型公建分项计量监测系统数据校核方法的研究
16		深圳市政府办公建筑能耗特性与节能潜力研究
17		深圳市非政府办公建筑能耗特性与节能潜力研究
18		深圳市大型商场能耗特性与节能潜力研究
19		深圳市酒店类建筑能耗特性与节能潜力研究
20		已装电力监测系统的大型公共建筑分项计量能耗数据采集方案研究
21		深圳市既有公共建筑节能改造配套能力建设研究
22		深圳市既有公共建筑节能改造技术方案
23		深圳市既有公共建筑节能改造对象的确定研究



2. 数据处理与预测基准模型的建立

2.1 能耗监测数据的分析与处理

数据筛选与异常处理：

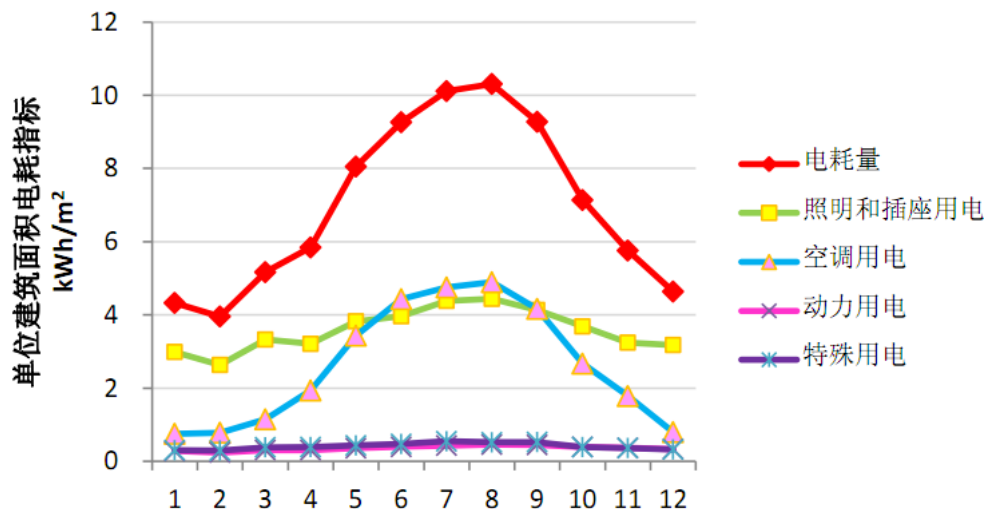
◆ 判断数据是否正常。

- 各分项用电指标之和与总用电量指标的相对误差小于 1%时为数据正常，可以直接采用；否则需进行校准。

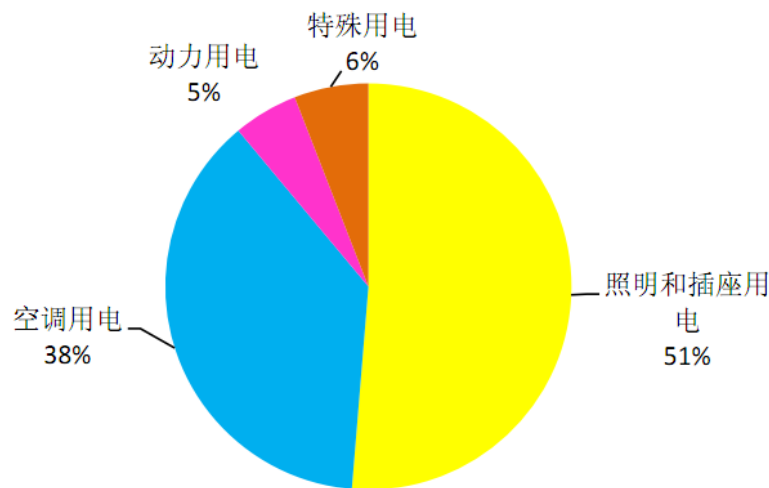
◆ 异常数据处理。

- 当分项用电指标中存在负数时，判定为无效数据，应剔除。
- 当分项用电指标中有两项或以上的建筑逐月变化规律不正常时，数据无法修复，应剔除。
- 当分项用电指标中仅一项的逐月变化规律不正常时，该分项用电指标应等于总用电量减去其余分项用电指标之和。
- 当分项用电量逐月变化规律和分项用电比例基本正常时，以总用电指标为准，对分项用电指标按照相同比例进行调整。

深圳大型办公建筑逐月电耗指标

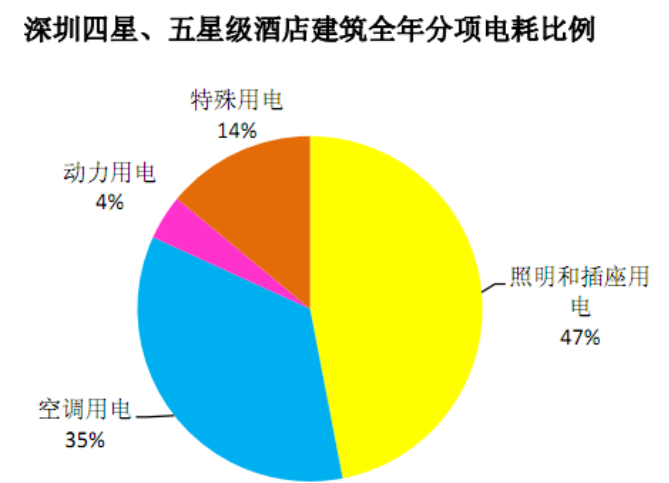
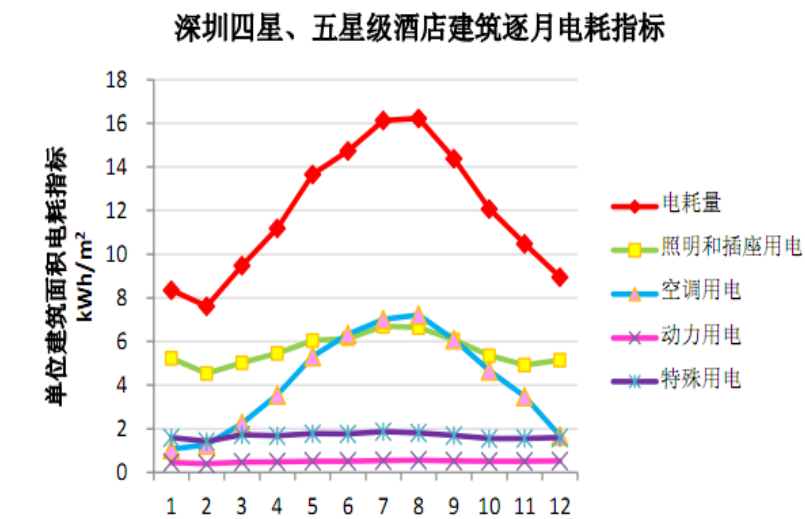
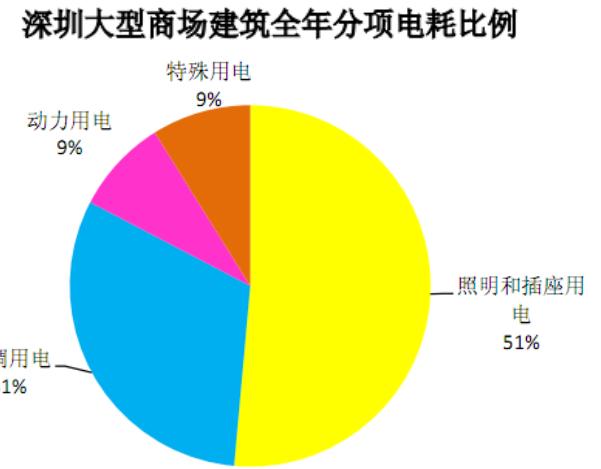
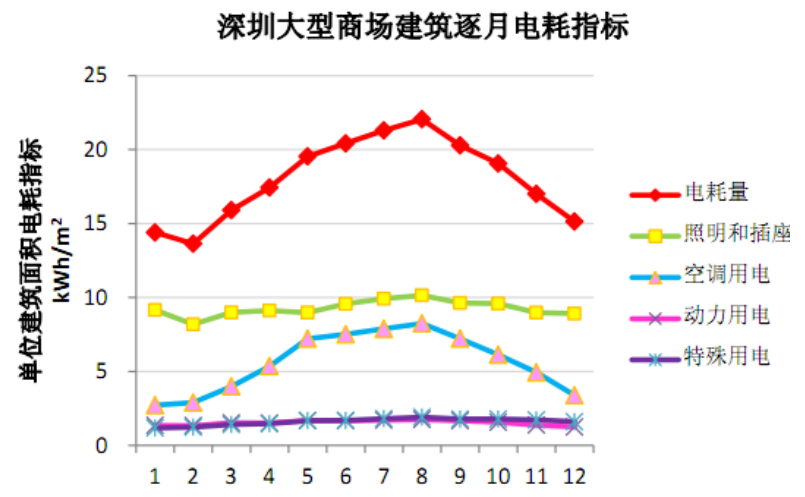


深圳大型办公建筑全年分项电耗比例



2.1 能耗监测数据的分析与处理

- ◆ 根据对筛选出来的 22 栋办公建筑电耗分析，深圳大型办公建筑全年单位建筑面积电耗平均值为 83.83kWh/m²，最大值为 157.09 kWh/m²，最小值为 47.59kWh/m²。
- ◆ 根据对筛选出来的 19 栋商场建筑电耗分析，深圳大型商场建筑全年单位建筑面积电耗平均值为 216.07kWh/m²，最大值为 384.08 kWh/m²，最小值为 105.87 kWh/m²。
- ◆ 根据对筛选出来的 20 栋四星级、五星级酒店建筑能耗分析，深圳四星、五星级酒店建筑全年单位建筑面积电耗平均值为 143.26 kWh/m²，最大值为 293.76 kWh/m²，最小值为 56.30 kWh/m²。



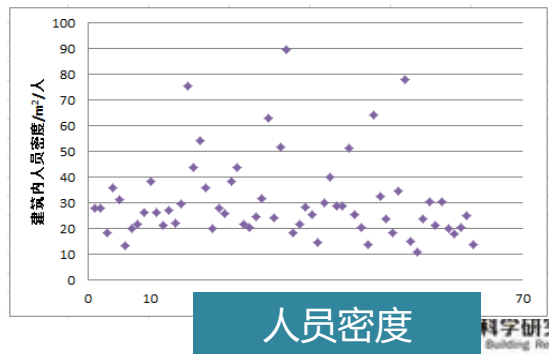
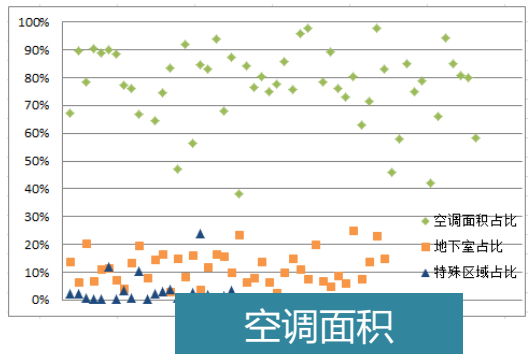
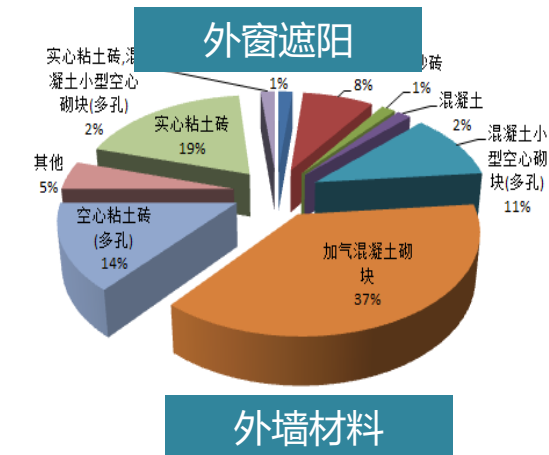
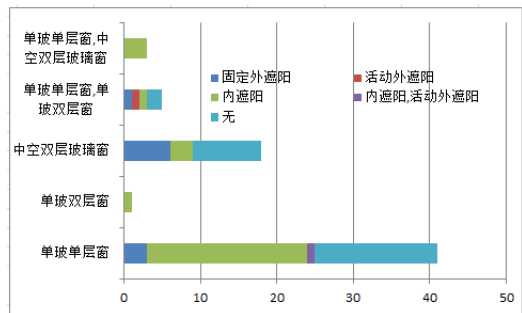
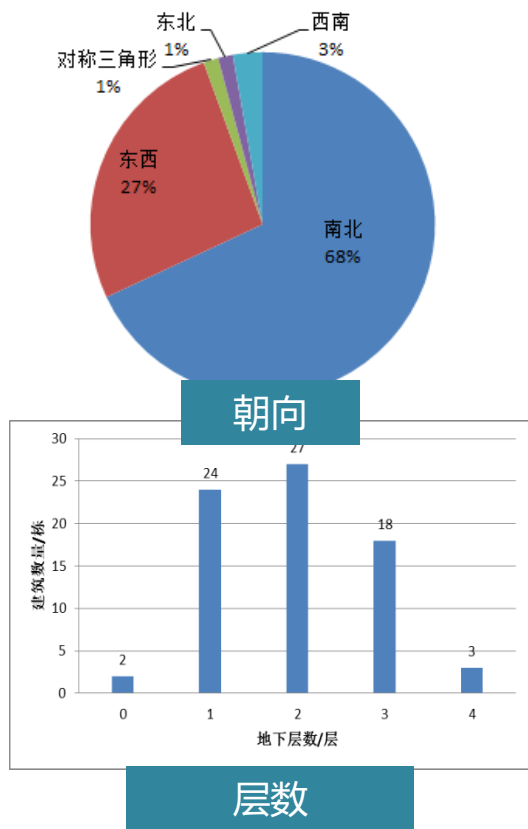
2.2 面向能源规划的建筑能源预测基准模型

预测基准模型的建立方法

- ◆ 统计分析：监测建筑信息
- ◆ 情景分析：基本建筑模型
- ◆ 敏感性分析：模型校验 → 预测基准模型

冷源系统形式	建筑数量	所占比例 (%)
冷水机组（离心式、螺杆式等）	12	25.5
燃气或油锅炉、冷水机组（离心式、螺杆式等）	14	29.8
分体式空调或VRV的局部式机组、锅炉等	7	14.9
冷水机组（离心式、螺杆式等）、热泵等	7	14.9
冷水机组（离心式、螺杆式等）、溴化锂机组等	7	14.9

空调系统形式	建筑数量	所占比例 (%)
分体式空调	4	8.3
分体式空调, 风机盘管加新风系统	3	6.3
分体式空调, 风机盘管加新风系统, 集中式全空气系统	4	8.3
风机盘管加新风系统	13	27.1
风机盘管加新风系统, 集中式全空气系统	19	39.6
VRV的局部式机组系统, 分体式空调, 风机盘管加新风系统, 集中式全空气系统	5	10.4



2.2 面向能源规划的建筑能源预测基准模型

情景分析及预测基本模型

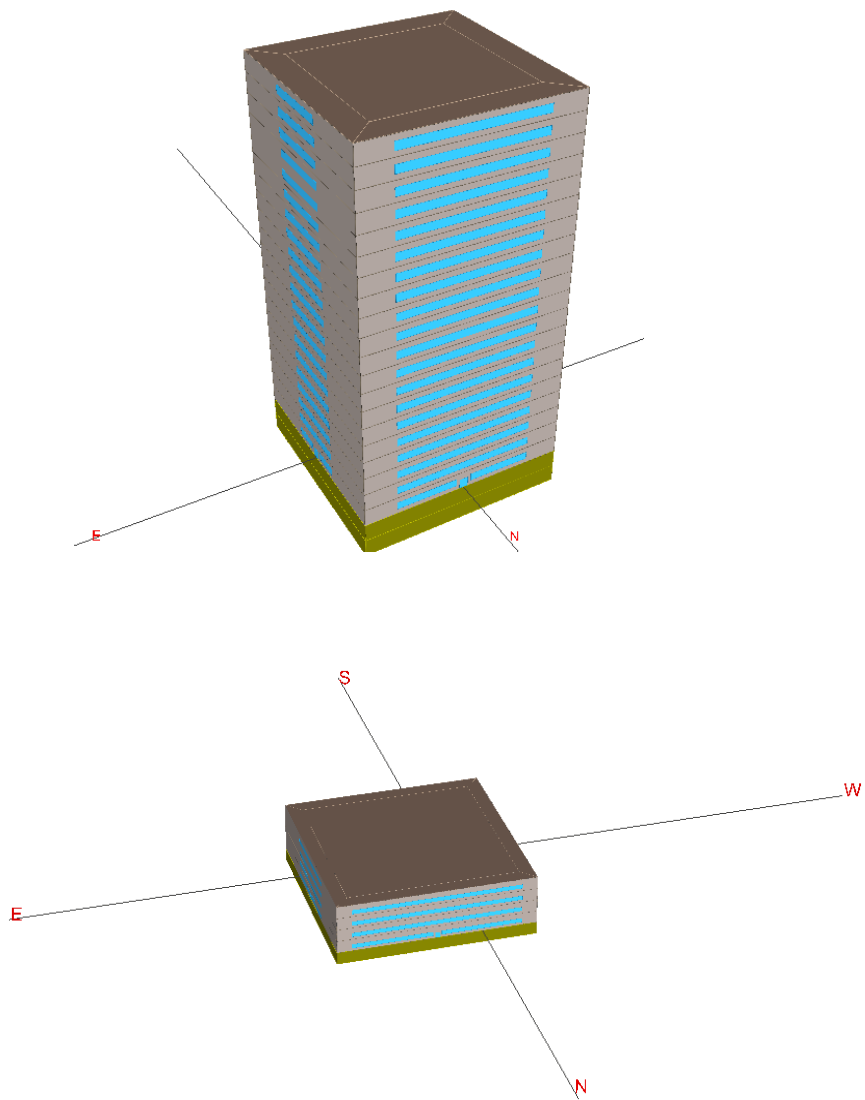
- ◆ 以相关建筑信息参数出现的下四分位、中位数、上四分位数等三种情况进行情景分析，根据情景分析结果来设置典型建筑模型的建筑外形。
- ◆ 建筑朝向、建筑标准层层高、围护结构材料、空调系统形式按照调研出现频次最大的进行设置。
- ◆ 其余建筑外形参数、室内热源散热、空调系统参数及室内外设计参数根据SZJG 29-2009《公共建筑节能设计标准》深圳市实施细则中的规定设置。

建筑类型	地下建筑层数	地上建筑层数		
		情景一	情景二	情景三
办公	2	20	30	40
酒店	1	13	20	30
商场	1	4	6	15

建筑类型	建筑面积 (m ²)		
	情景一	情景二	情景三
办公	33000	48000	63000
酒店	21000	31500	46500
商场	25000	35000	80000

建筑类型	窗墙比		
	情景一	情景二	情景三
办公、酒店、商场	0.3	0.4	0.5

2.2 面向能源规划的建筑能源预测基准模型



预测基准模型的参数设置

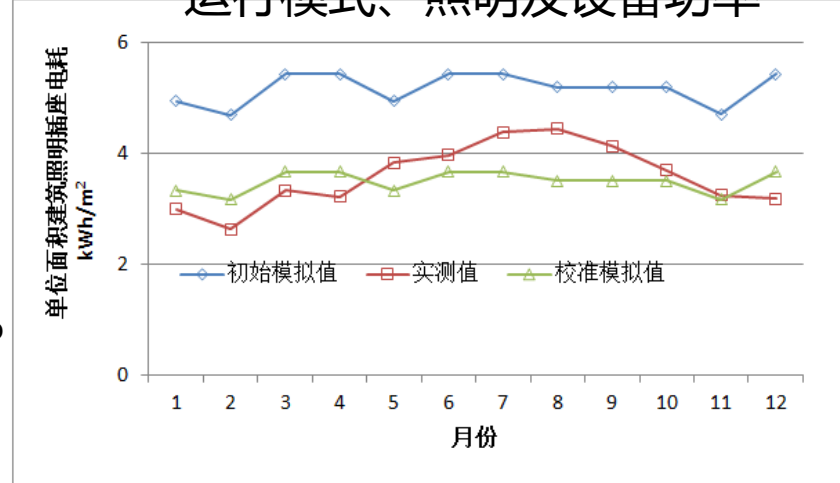
分类	输入参数	指标	参数获取
建筑外形	建筑底面积	建筑底面长宽比	文献
	建筑层高	建筑层高	调研统计
	建筑楼层	建筑楼层	调研统计
	建筑规模	建筑规模	调研统计
	窗墙比	窗墙面积比	标准
	建筑朝向	建筑朝向	调研统计
	建筑底面形状	建筑底面形状	调研统计
	建筑体型	矩形	调研统计
室内热源散热	墙、屋顶、地板、窗	传热系数（透射率、吸收率）	标准
	遮阳	遮阳系数	标准
	人员	人员密度、人员活动强度、群集系数、人员在室率	标准
	照明设备	照明设备功率、照明使用率等	标准
室内外设计参数	室外气象参数	空气温湿度、太阳辐射强度等	标准
	室内设计参数	空调（采暖）设计温湿度、新风量等	标准

2.3 预测模型的校验

校准依据：
总能耗指标
各分项指标

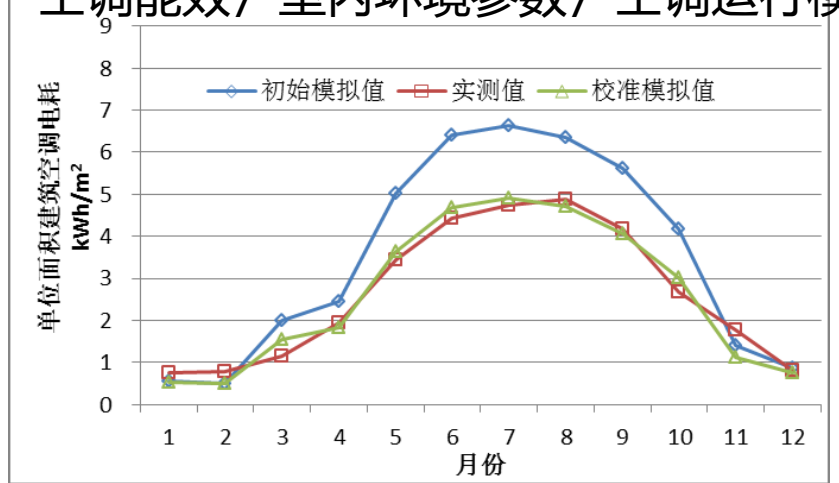
- ◆ 月误差 ±15%
- ◆ 年误差 ±10%
- ◆ 均方差变异系数 ±10%
- ◆ 照明插座与暖通空调系统两个子项是校准的关键。

运行模式、照明及设备功率

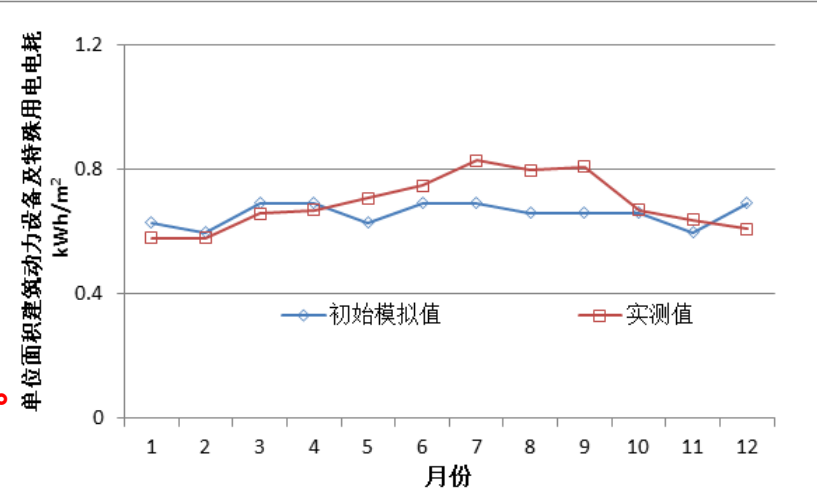


照明

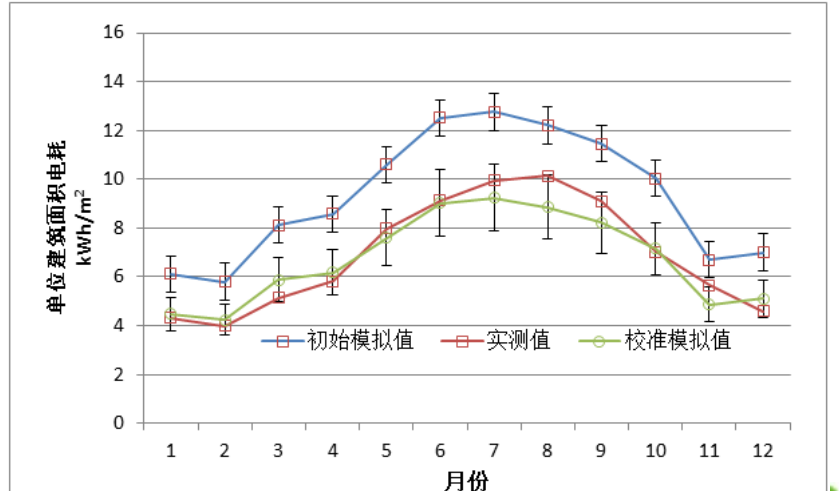
空调能效) 室内环境参数) 空调运行模式



空调



动力



常规用电

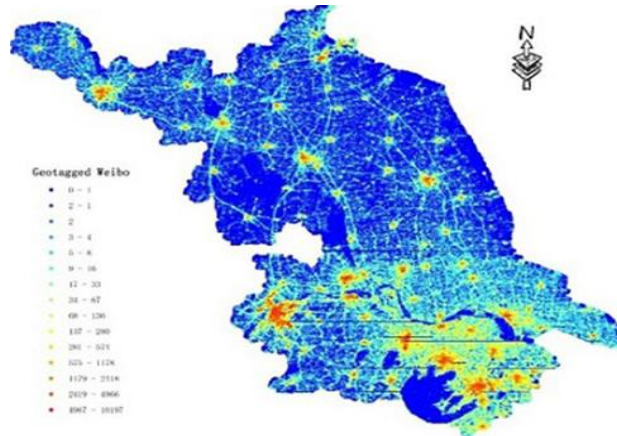
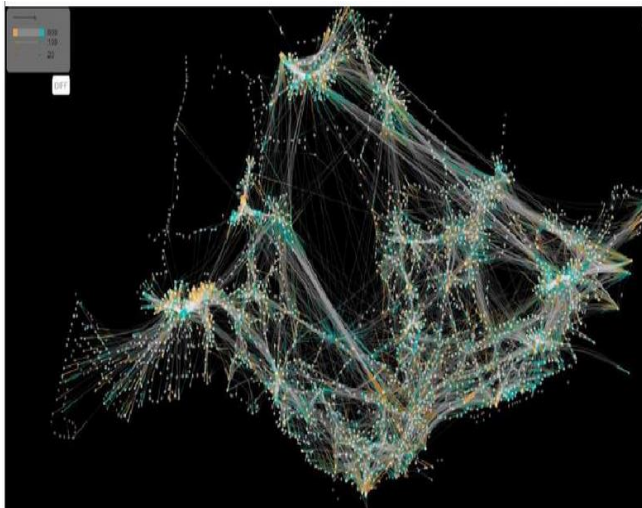
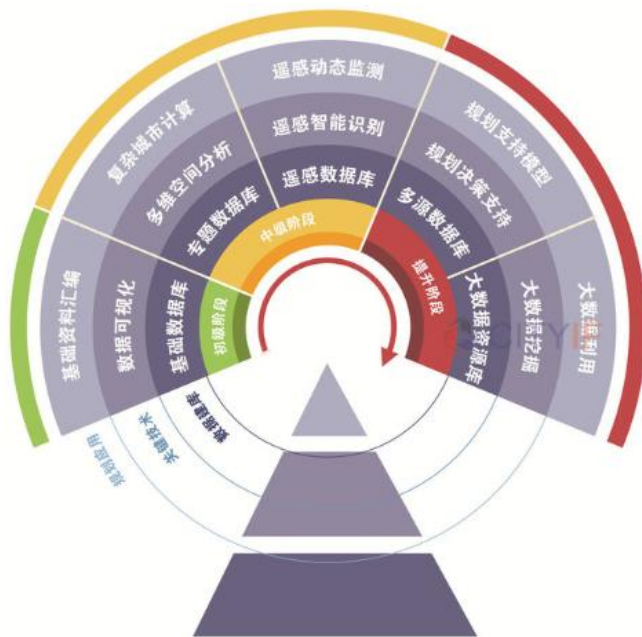
3 ■ 能源规划与能源系统规划设计案例



3.1 建筑能耗监测与能源规划

数据是制定规划的基础

- ◆ 城乡规划逐步从粗放分析和定性判断走向精细化、指标化、量化。
- ◆ 大数据热潮的兴起，使城乡规划编制可获取的数据越来越多，大大推动了规划分析的量化水平。在传统的空间规划、交通规划中已广泛推广和应用。
- ◆ 能源规划的基础数据缺失，不利于能源规划工作的开展及决策。
- ◆ 需求侧能源规划把用户端的能源节约当作一种重要的资源。能源需求数据是能源规划工作的基础！



利用新浪微博6个月内用户发布的带有地理位置的微博（1千万条记录）统计单位网格微博数量，表征各地区人类活动的强度。

3.1 能耗监测与分项计量数据在能源规划中的作用

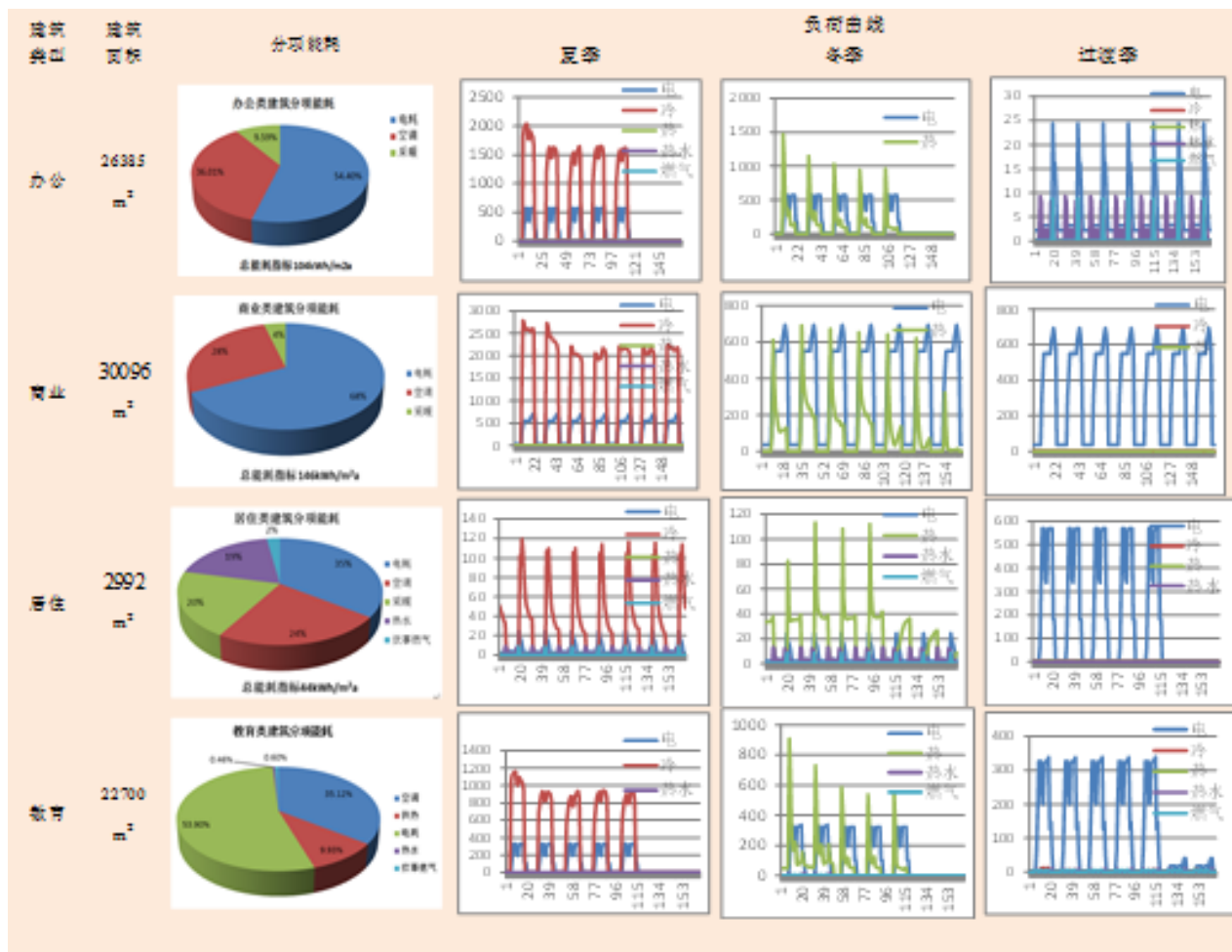
◆ 用于区域负荷与能耗的预测

——能源规划的工作基础

◆ 用于确定能源需求比较基准线、 和能耗定额。

◆ 获取逐时能源需求数据，分析 能源使用规律与使用行为

◆ 分析不同终端能源形式的比例， 供需匹配关系



3.2利用能耗监测和分项计量来确定比较基线

利用能耗监测和分项计量来确定比较基线

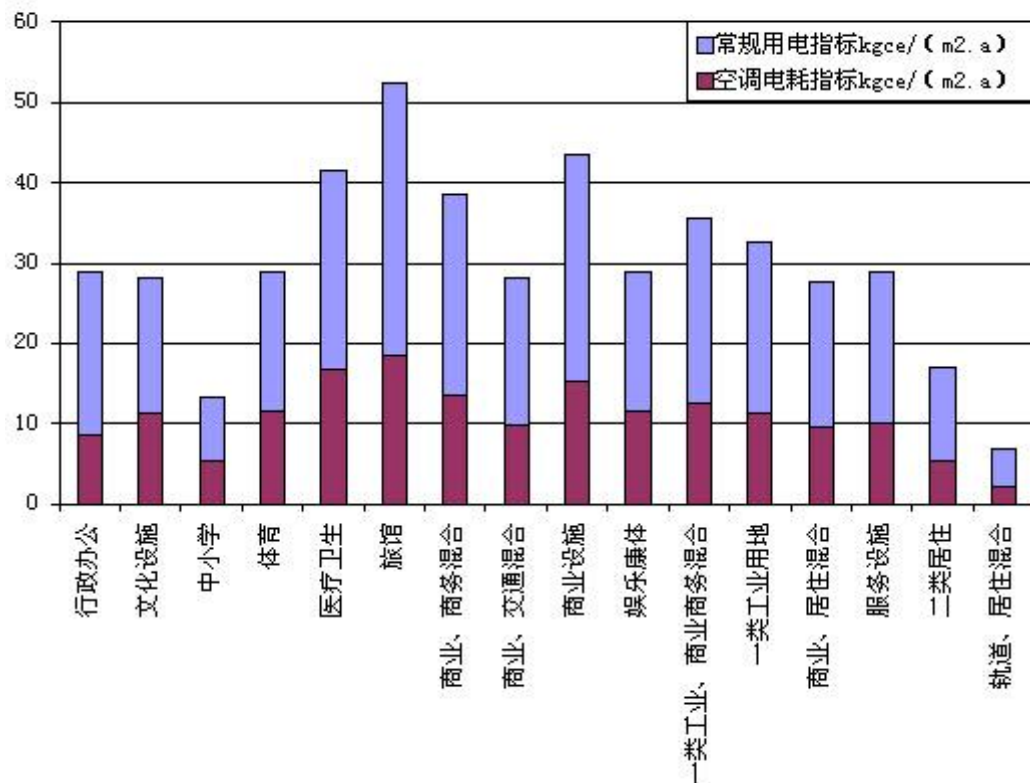
- ◆ 需求侧能源规划以需求端的节约作为一种重要的资源，节能率往往作为一种重要的指标。比较基准线对于相关指标的科学性具有重要的意义。
- ◆ 目前，比较基线多采用能耗限额标准，标准的制定依据大多来源于能耗监测与分项计量的结果。

珠海市部分建筑类型能耗现状值

建筑类型	建筑面积 万m ²	年总耗电量 万kWh	单位建筑面积 耗电量 kWh/m ²
行政办公建筑	57	4546	80
宾馆饭店建筑	31	4546	145
科研教育建筑	16	587	37
医疗卫生建筑	33	3734	115
综合商务建筑	18	1652	93
文化设施建筑	3	204	78
综合商业建筑	14	1694	120

珠海市部分公共建筑能耗指标远小于深圳市能耗监测和分项计量的结果。由于珠海市的样本较小，最终在深圳市监测结果基础上进行了调整。

单位建筑面积电耗指标现状值 (kgce/m²a)



3.3 校正的负荷数据用于能源系统的规划设计

区域能源系统的适宜性评价指标

分布式能源(三联供)

- 负荷密度 --用地性质、容积率
- 负荷延续时间 --功能混合度、容积率
- 负荷同步比SR --功能混合度、容积率

集中供冷(供热)

- 负荷密度 --容积率
- 冷(热)负荷延续时间 --功能混合度
- 负荷波动指数 --功能混合度

蓄能技术

- 负荷波动率
- 负荷延续时间 --功能混合度

负荷同步比

$$SR(t) = \begin{cases} Q_h(t)/RH(t), Q_h(t)/RH(t) < 1 & \text{供热季} \\ 1 & , Q_h(t)/RH(t) \geq 1 & \text{供热季} \\ Q_c(t)/RC(t), Q_c(t)/RC(t) < 1 & \text{供冷季} \\ 1 & , Q_c(t)/RC(t) \geq 1 & \text{供冷季} \end{cases}$$

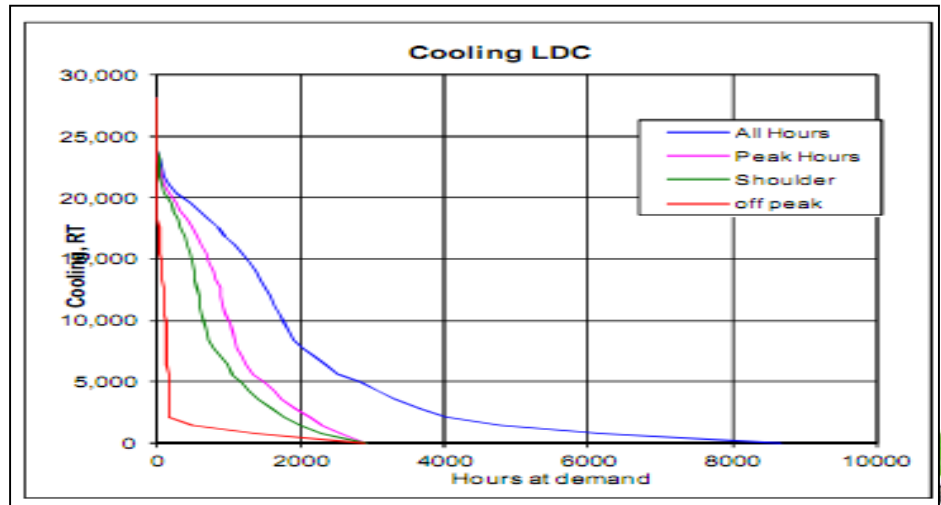
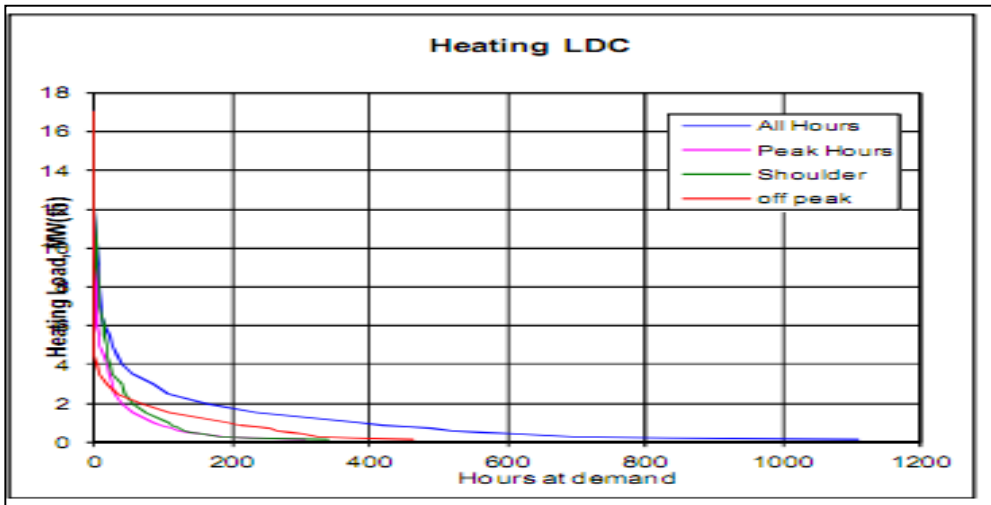
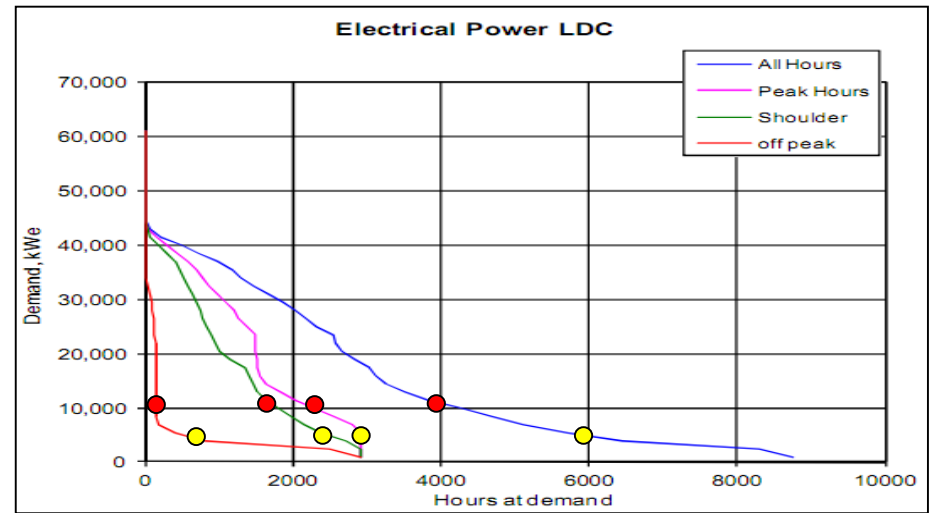
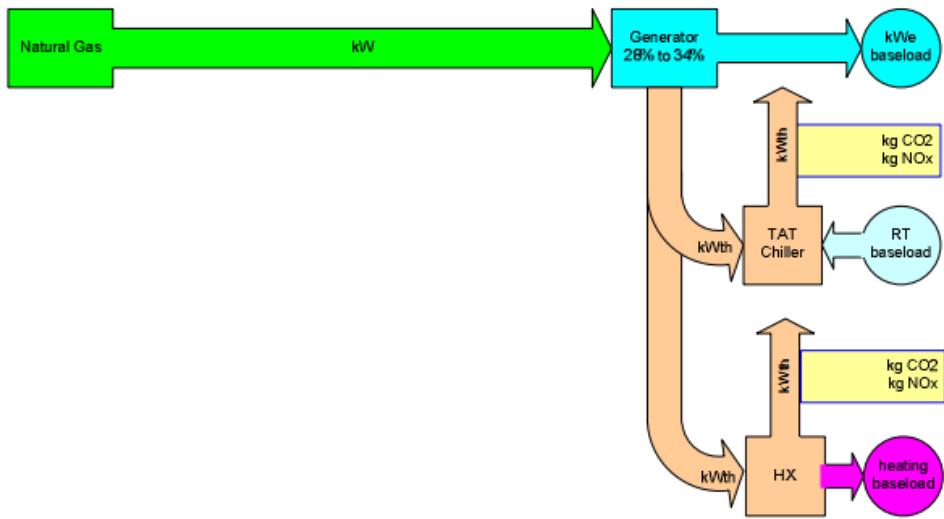
负荷波动指数

$$f = \frac{24 \cdot n \cdot L_{\max} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^m a_k \cdot Q_k(i, j)}{24 \cdot n \cdot L_{\max}}$$

$$L_{\max} = \max\left(\sum_{k=1}^m a_k \cdot Q_k(i, j)\right)$$

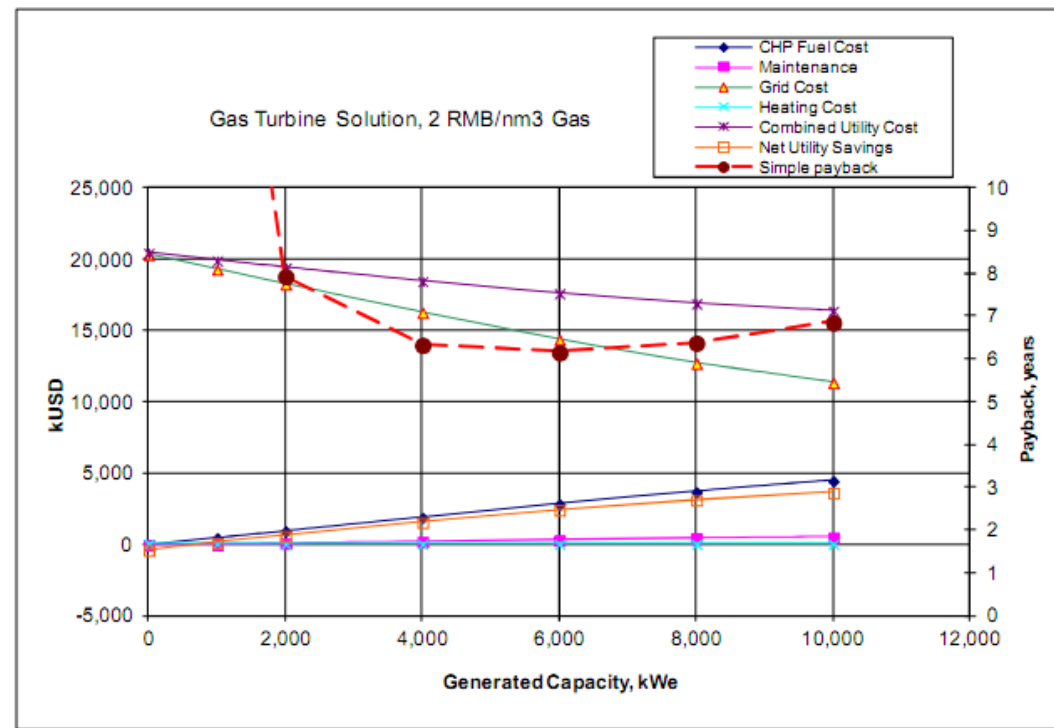
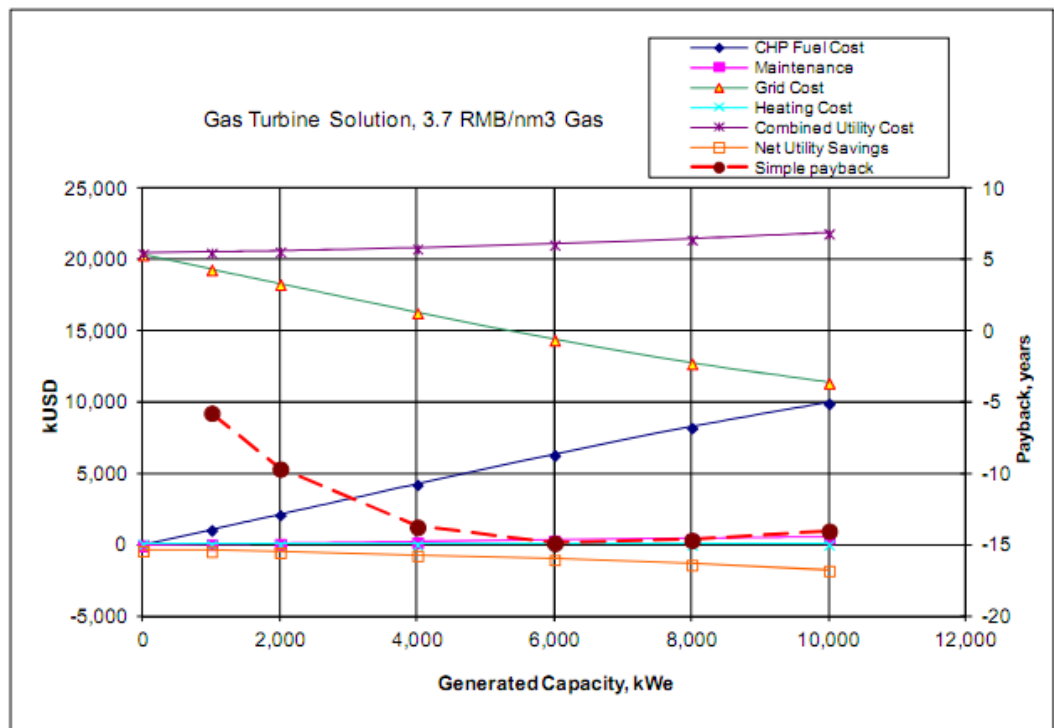
3.3 分布式能源系统的可行性论证

深圳湾科技园分布式能源系统规划



3.3 分布式能源系统的可行性论证

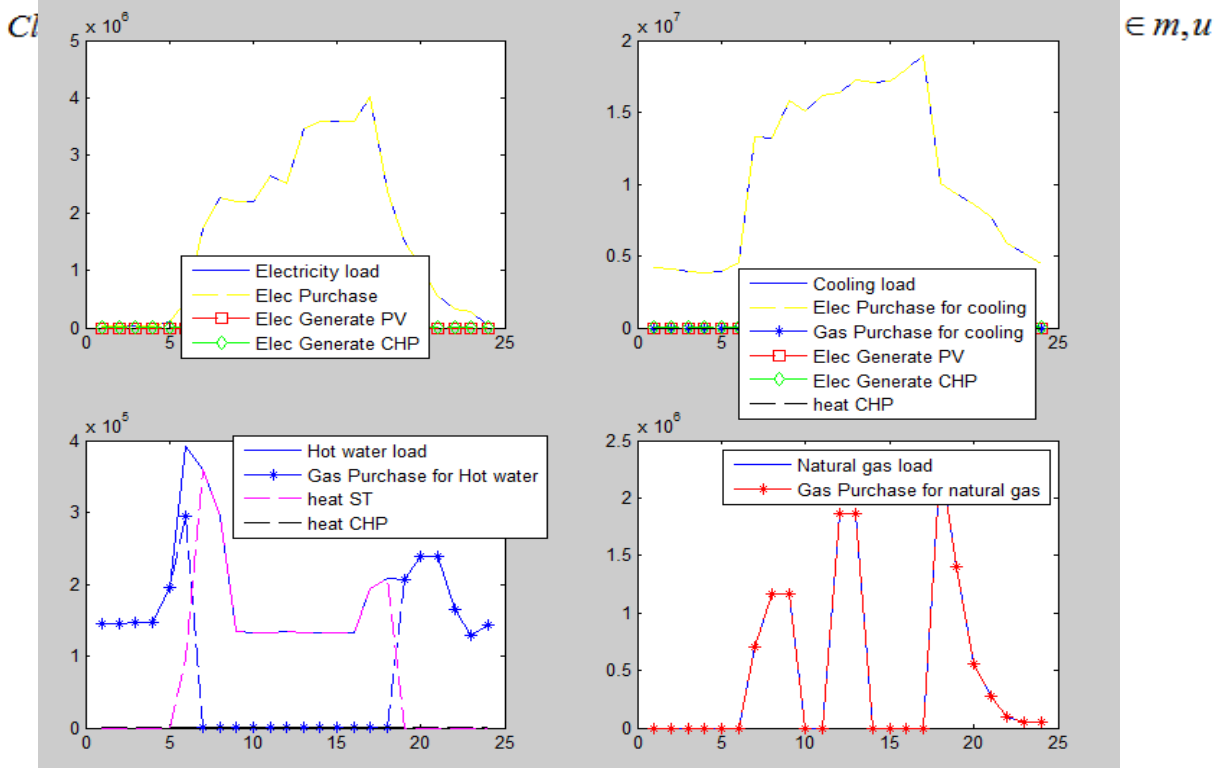
深圳湾科技园分布式能源系统规划



3.4 运用运筹学优化方法进行规划决策

能源系统优化分析

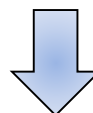
$$\min Cost = \sum_m \sum_u (N_m \cdot Elec_P_{m,u} \times Price_e + N_m \cdot Gas_P_{m,u} \times Price_g) + \sum_i Capcost_i \times Cap_i / Life_i + \sum_i fixOMcost_i \times Cap_i / Life_i$$



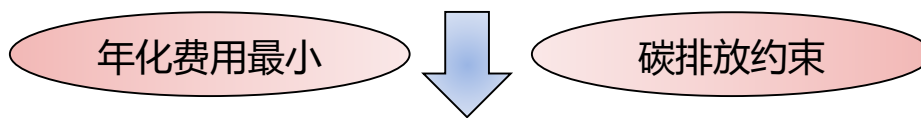
$$\sum_u Heat_G_{CHP,m,u} = \alpha \sum_u Elec_G_{CHP,m,u}, \quad \forall m;$$

系统容量优化流程

能源技术特性	能源技术初投资、 维保费用
区域终端负荷	能源价格价格



优化计算	
优化目标	约束条件



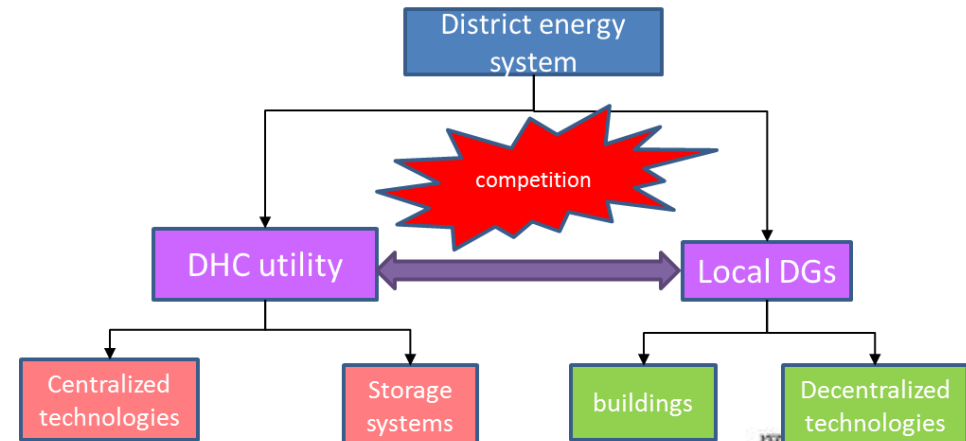
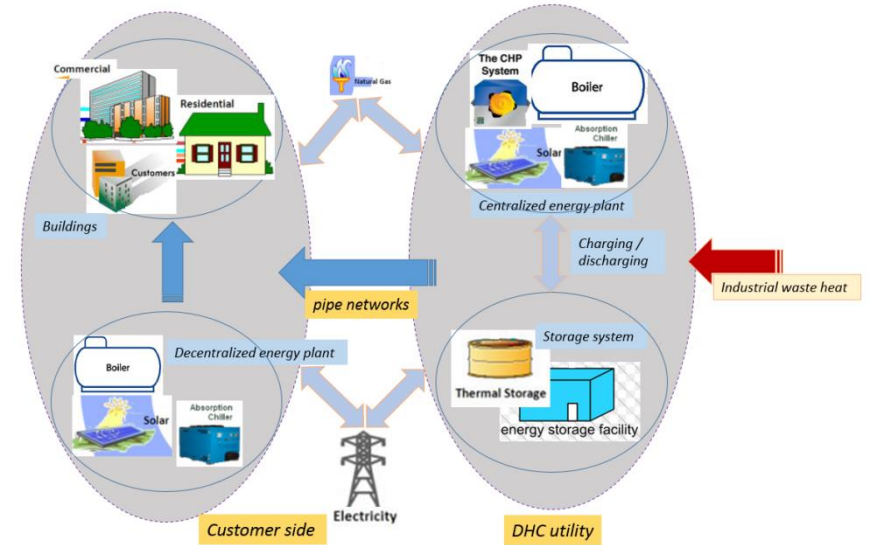
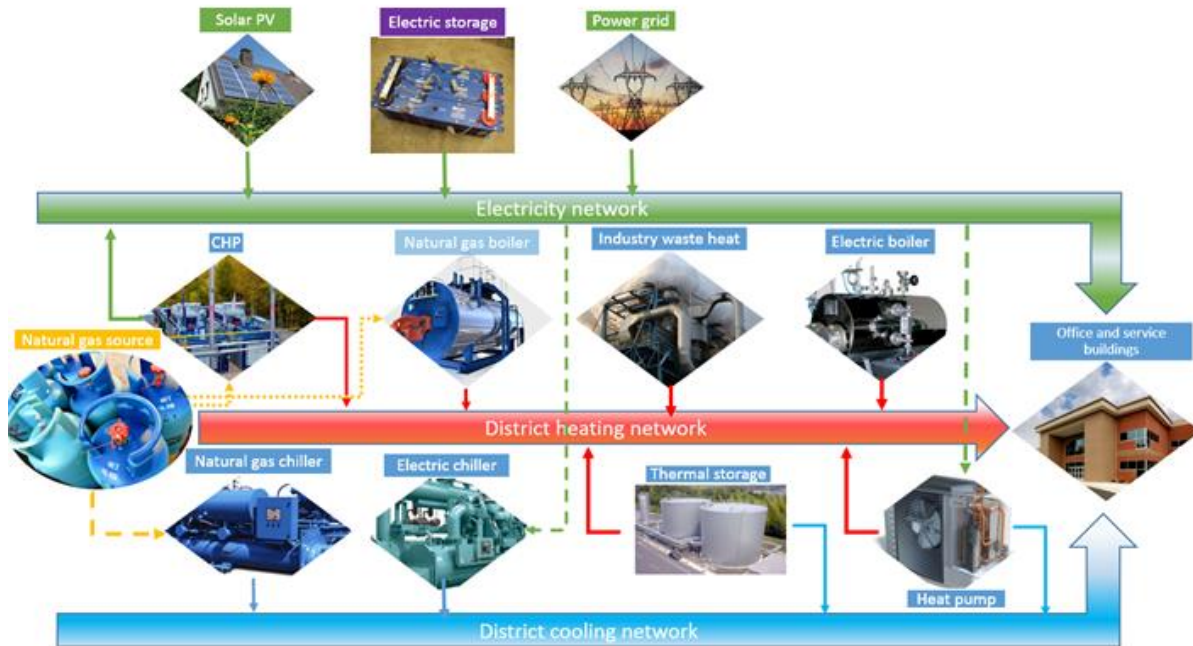
能源系统优化容量		
燃气锅炉	电制冷机组	地源热泵
太阳能热水	太阳能光电	CHP

3.4 运用运筹学优化方法进行规划决策

新型社区能源规划工具开发：

Der-cam \longrightarrow DEEP

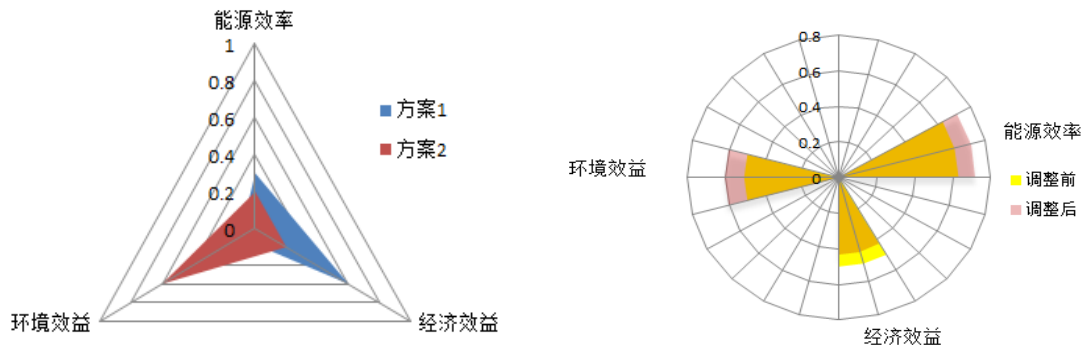
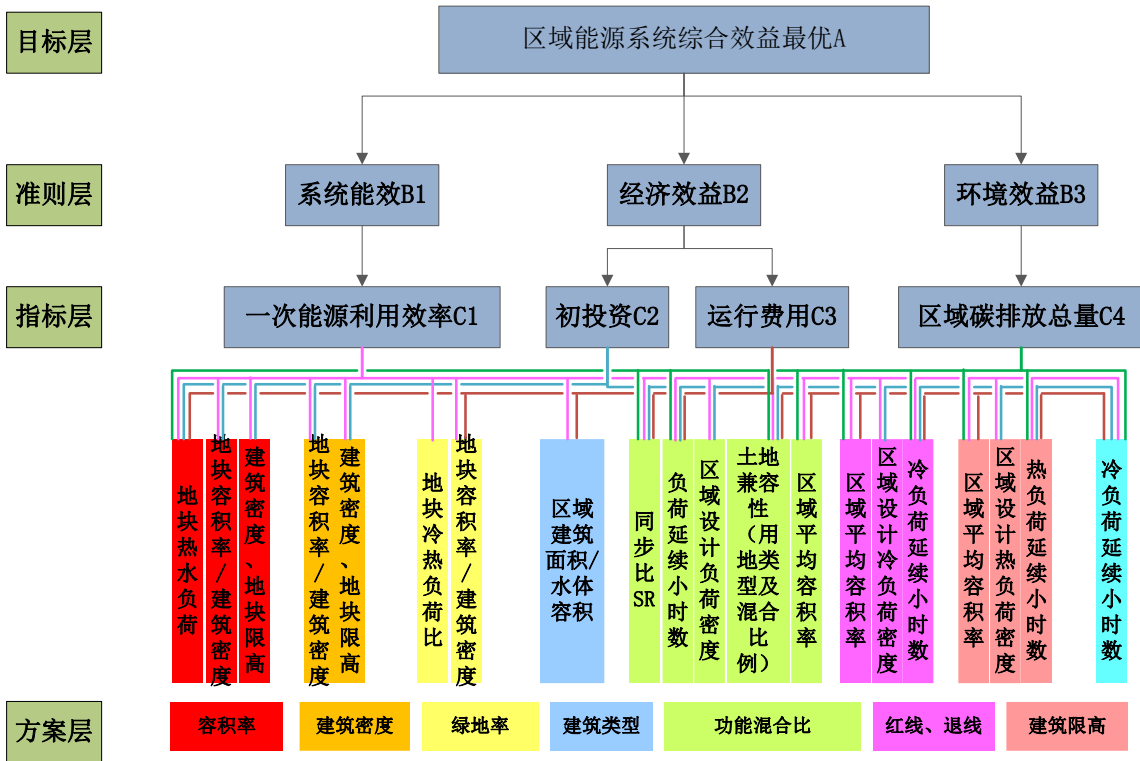
DEEP : District EnERgy Planing tool



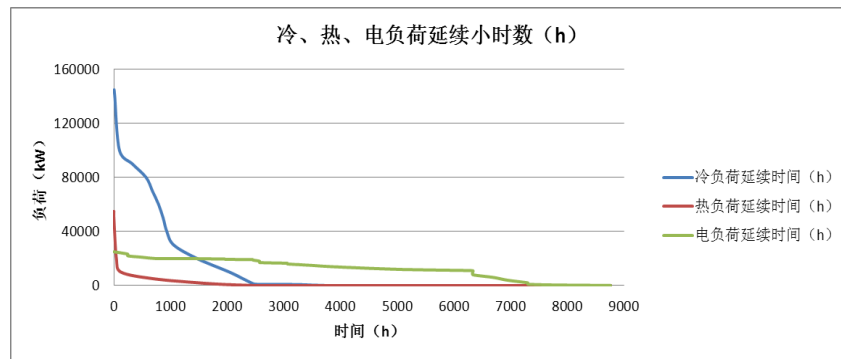
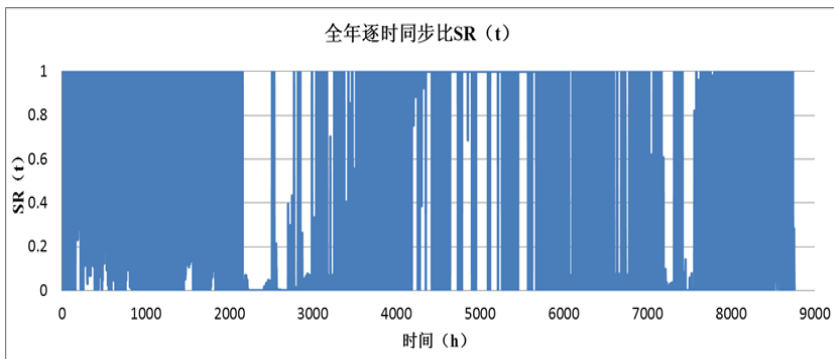
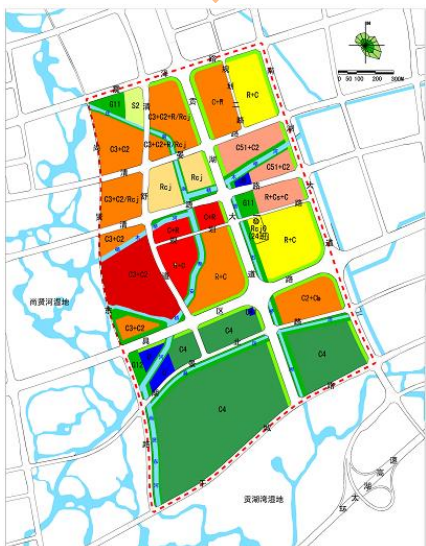
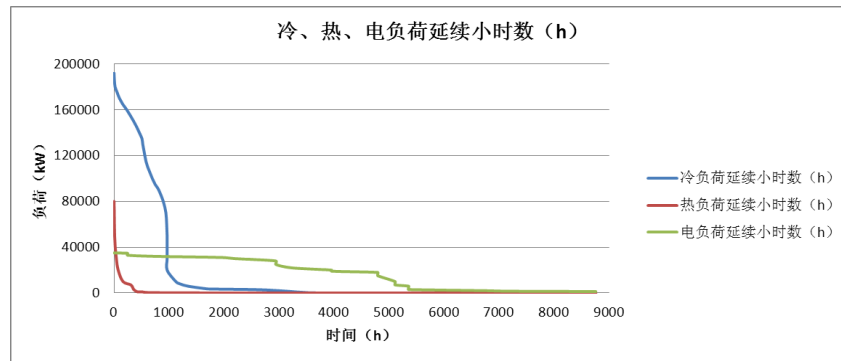
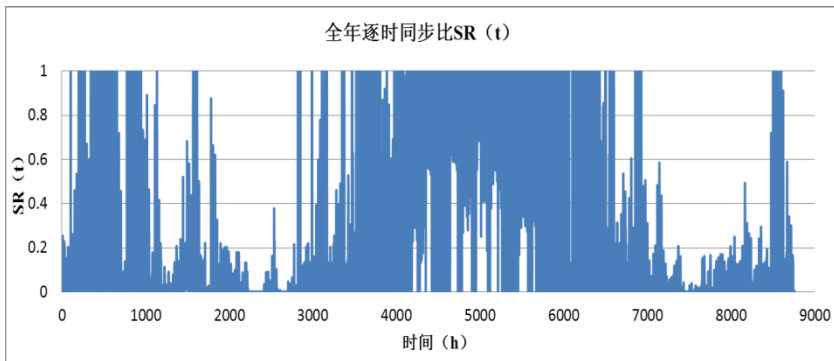
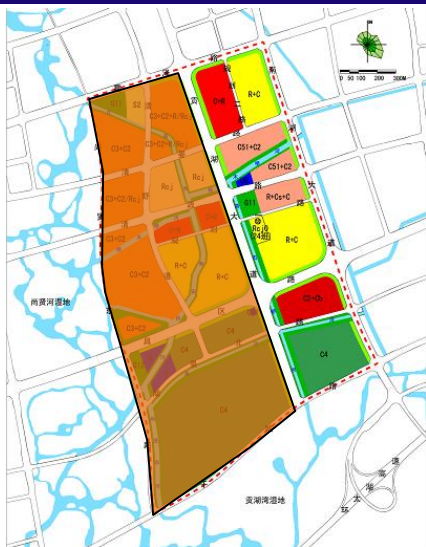
3.5 以能源利用为导向的规划评价与编制方法

- 城市规划人员不太清楚应该如何考虑能源问题，一些重要规划要素的确定缺少能源方面的考量。
- 一些生态城区试图采用高效的区域能源系统，由于负荷特征不能满足要求而作罢。
- 建立规划语境下的能源技术适宜性综合评价方法，最终指导规划人员编制以能源的优化利用为导向的规划。

- 将能源技术适宜性翻译成规划语言。利用规划参数，从**负荷特性**和**资源供给**两个方面判定能源技术类型的适宜性。
- 利用层次分析法，建立规划参数与区域能源系统最优的定量关系，用于规划的评价。



3.5 以能源利用为导向的规划评价与编制方法



负荷密度： 52W/m² → 60W/m²
 负荷同步率： 0.28 → 0.42
 负荷延续曲线： 峰谷差减小，分布更为平坦，负荷互补性增强。

4 结论与展望

- 深圳市建筑能耗与分项计量数据监测平台的建设取得了一定的成绩，系统建设经验和监测的数据为深圳市乃至全国的建筑节能工作提供了重要的支撑。
- 通过建立基准模拟模型的方法，结合总能耗与分项计量数据进行校正，为区域能源规划的编制及能源系统的规划设计提供基础数据。
- 监测数据及其校正的模拟数据可以为用于区域负荷与能耗的预测、用于确定能源需求比较基准线、获取逐时使用数据，分析能源使用规律及不同终端能源形式匹配关系等。
- 能源规划的基础数据仍然很匮乏，更多的能耗与分项计量数据对于提高规划编制的科学性和准确性、对于从规划源头开展建筑节能工作具有重要的意义。

建筑能耗分项计量及其在需求侧 能源规划中的应用

李 渊

深圳市建筑科学研究院股份有限公司

2016.4.15