



城区能源需求预测方法与案例研究

同济大学 潘毅群



CONTENTS

城区能源需求预测特点及方法

案例1：LEED-ND评价中的负荷预测与能耗模拟

案例2：某商务区能源站空调负荷预测



城区能源需求预测特点及方法

城区建筑负荷预测的特点

作用

- 是区域建筑用能规划、能源系统配置、设备选型、运行经济性、碳排放计算等工作的基础
- 关系到系统的长期能效，是区域建筑能源规划的基础

负荷特点

- 具有全年时间动态和空间分布的特点
- 建筑冷、热、电负荷和燃气需求随着气象条件、建筑行为等因素而呈现季节性和日间动态特征
- 由于建筑的空间分布，区域建筑又具有在城区地理空间上分布的特点

影响因素

- 影响单体建筑负荷的因素对区域建筑负荷来说依旧发挥相似的作用，如建筑朝向、建筑构造、围护结构热工性能、室外气象参数、室内负荷及时间表、用户使用行为等
- 上升至区域层面上还有来自于城市和区域尺度上特有因素的影响，如城市形态和微气候等

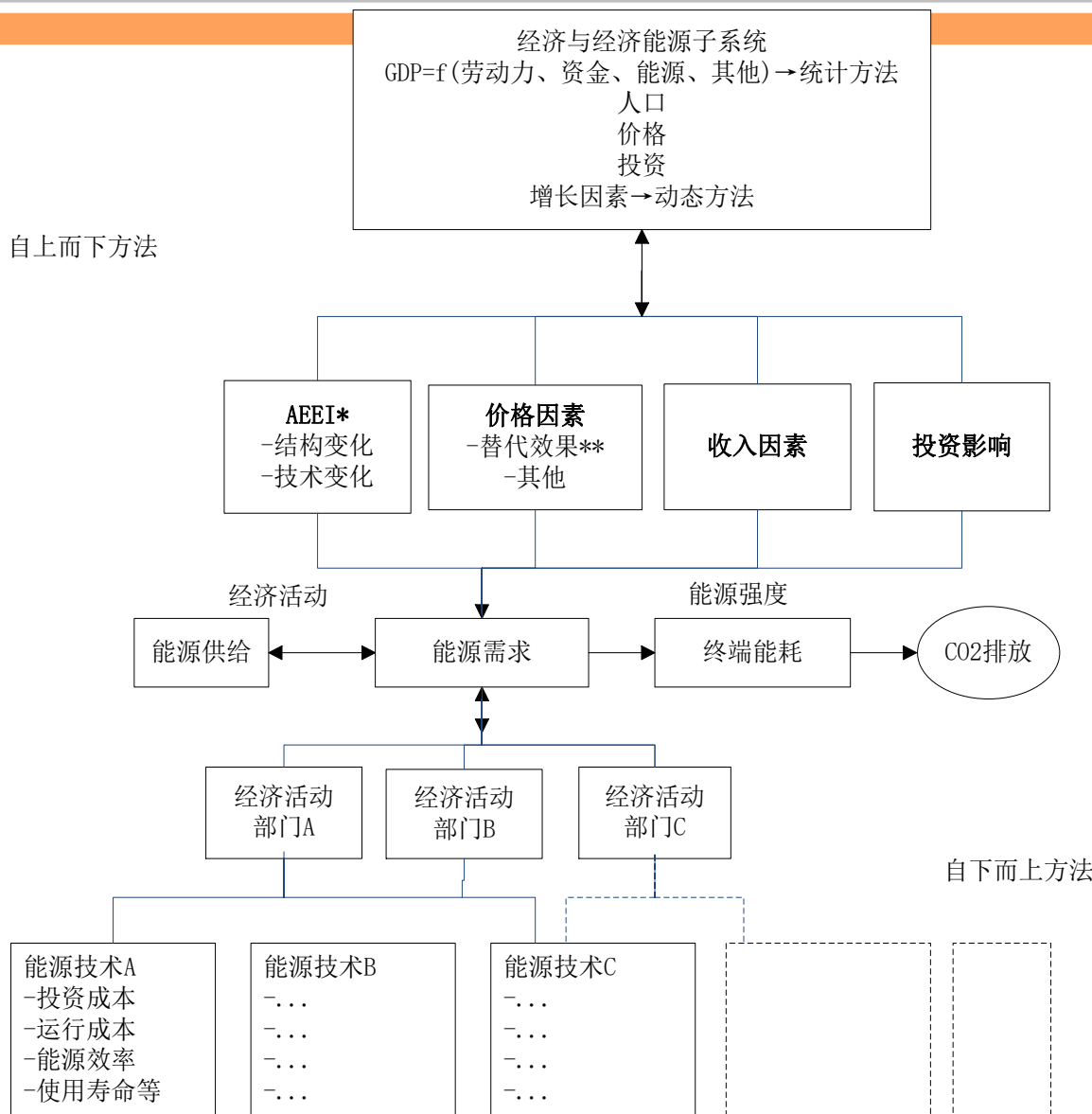
预测特点

- 区域建筑群负荷预测具有较大的前瞻性和不确定性

城区建筑负荷预测的方法

• 自上而下

自上而下方法

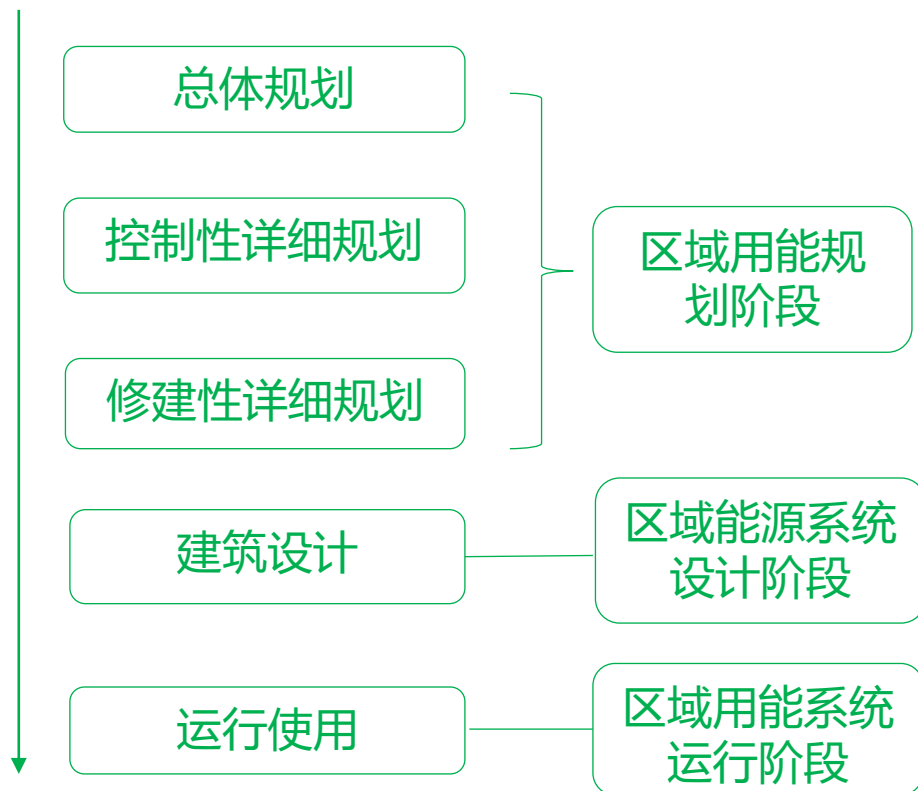


• 自下而上

城区建筑负荷预测的方法

区域建筑能源规划阶段示意图

时间阶段



区域建筑负荷预测周期

短期

- 周期：未来24小时
- 目的：是对系统进行运行调节，使其与用户侧负荷需求相匹配，从而使系统经济、高效运行

中期

- 周期：一般为3~7天
- 目的：为制定系统的生产计划、维修计划、运输计划以及人员和财务计划提供依据

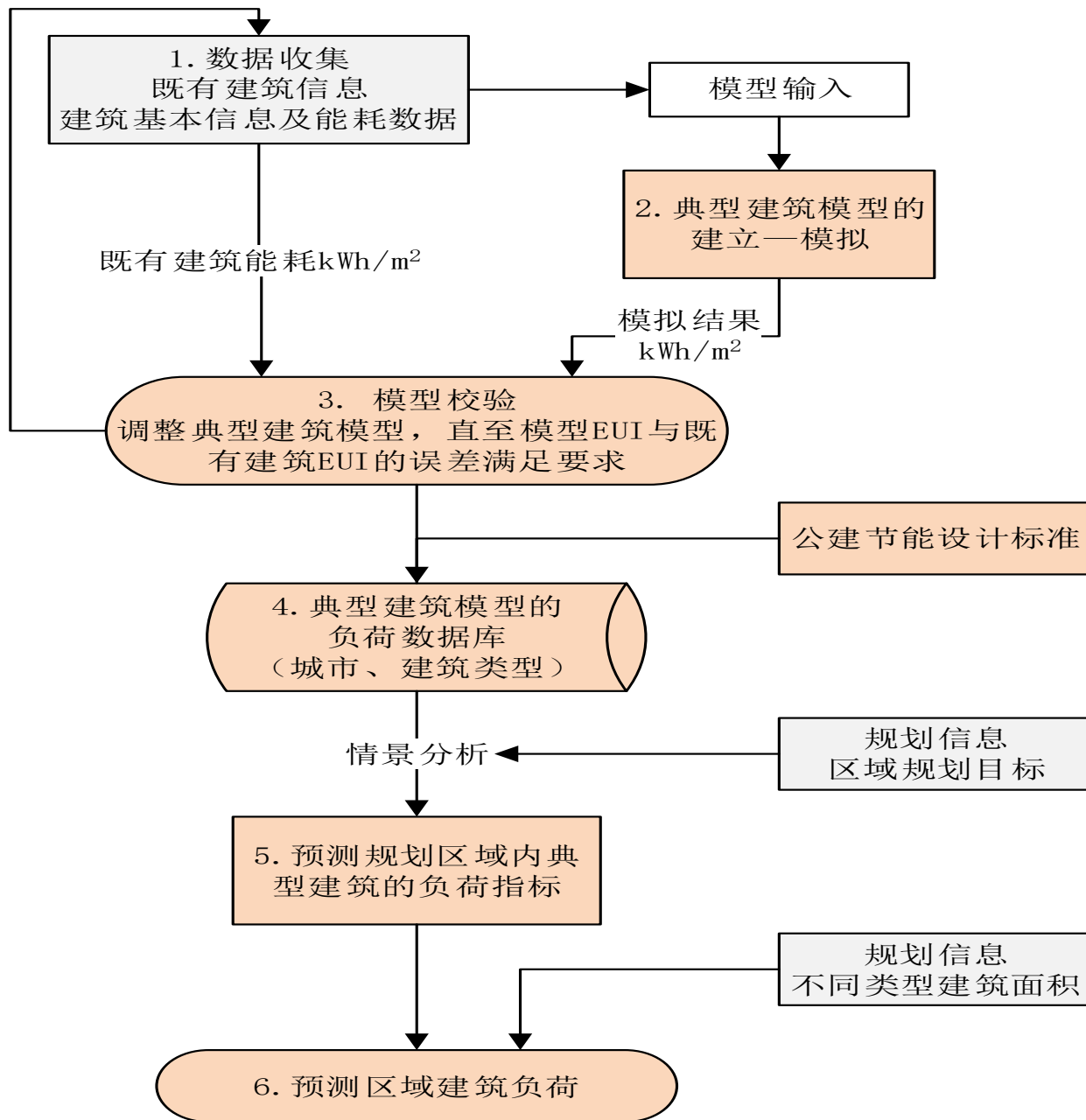
长期

- 周期：通常以年度为单位
- 目的：为用能规划及系统优化提供数据依据

城区建筑负荷预测的方法

预测方法		预测阶段			预测周期			特点
		用能规划	系统设计	系统运行	短期	中期	长期	
面积负荷指标法		√	√				√	静态的估算方法，不能反映负荷的动态特性，且往往高估区域建筑负荷
统计模型预测法	回归分析法			√	√	√	√	需大量历史数据，获得影响因子与负荷之间的回归函数，预测精度不高
	时间序列法			√	√			需大量历史数据，且建模过程比较复杂，需要较高的理论知识
	人工神经网络法			√	√			需大量历史数据，能处理非线性关系，预测精度高，但建模复杂，输入变量选择不当会影响预测结果
	支持向量机法			√	√			所需历史数据较少，能处理非线性关系，预测精度高，但计算速度慢
	灰色理论法	√	√	√		√	√	所需历史数据较少，预测精度一般
软件模拟预测法		√	√			√	√	需要气象参数及详细的建筑信息，计算精度高
情景分析法		√	√			√	√	需要设定多种情景，仍具有不确定性

基于数据挖掘和能耗模拟的城区建筑负荷预测





城区能源需求预测特点及方法



案例1：LEED-ND评价中的负荷预测与能耗模拟

条件：建筑设计资料完整——软件模拟法



案例2：某商务区能源站空调负荷预测

条件：用能规划阶段、建筑设计资料不完整——软件模拟法+情景分析法



案例1：LEED-ND评价中的负荷预测与能耗模拟

案例1：昆山杜克大学校区LEED-ND评价中的负荷预测与能耗模拟

- 指导文件：[Treatment of District of Campus Thermal Energy in LEED V2 and LEED 2009-Design&Construction](#)

方法一：流线型（Streamlined Path）
单栋建筑的冷热源侧都用外购冷热源的方法进行能耗模拟

以统计冷冻水消耗量和空调热水消耗量的方法计算区域的供冷供热能耗。这种方法没有考虑区域供能网络的运行效率，也不能体现冷冻热力站原有的设计方案，较难准确地反映区域实际能耗

方法二：全局型（Full Accounting）
需要考虑区域供能网络的运行效率以及冷冻热力站内各设备的运行性能

默认效率：
供热70%(HIR)， 供冷4.4(COP)

计算效率：
单栋建筑的冷冻水系统需要用虚拟的冷水机组替代上游的区域供冷系统；热水系统需要用虚拟的热水或蒸汽锅炉替代上游区域供热系统。在模拟计算单栋建筑的水侧系统时，需要先计算区域能源的整套上游设备和输配系统的平均效率，然后将区域能源的平均效率作为单栋建筑设计模型中虚拟冷水机组的效率输入进行模拟计算。

LEED v2009	EAc1 总分	方法1 得分 上限	方法2 得分下 限
LEED-NC	19	10	6
LEED-NC Retail	19	10	6
LEED Schools	19	10	6
LEED CS	21	12	8
LEED Healthcare	24	12	7

案例概况

- 地点： 昆山； 规划用地面积： 15000m²； 总建筑面积： 66577m²



空调系统形式

■ 空调系统末端

	定风量系统	变风量系统	风机盘管加独立新风系统
1号楼	√	√	
2号楼	√	√	√
3号楼	√		
4号楼			√
5号楼			√
6号楼		√	

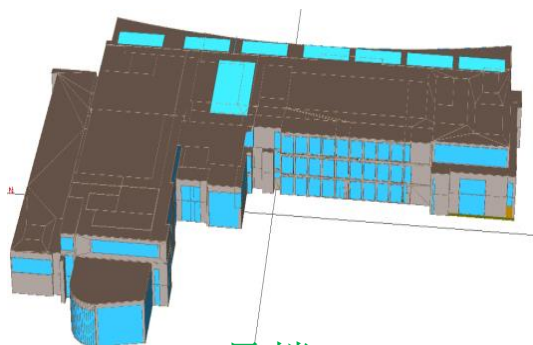
■ 冷热源

- 热源：市政蒸汽管网，各栋楼内用板换将蒸汽换为60/50℃的热水
- 冷源：统一由能源中心集中提供6/13℃空调冷冻水

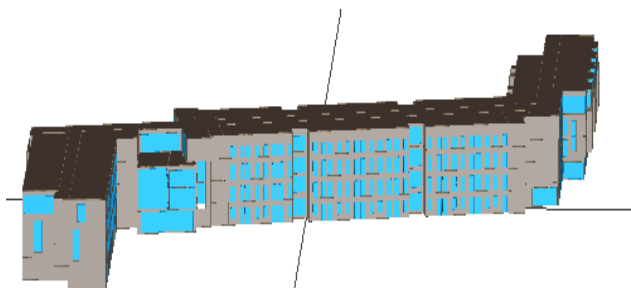
建筑模型

- 几何：Revit
- 系统：eQuest 3-64

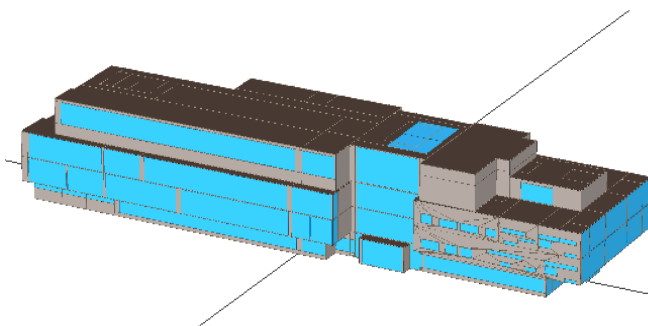
- 设计模型：原设计方案
- 基准模型：ASHRAE90.1-2007



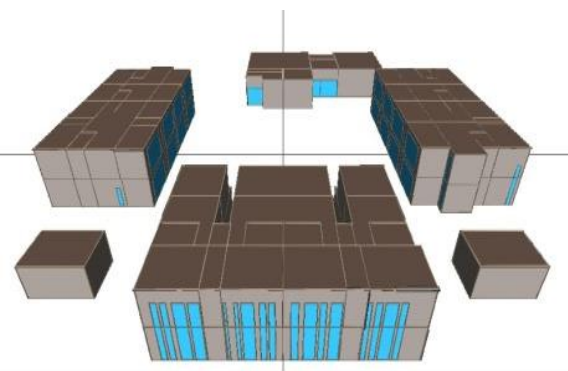
1号楼



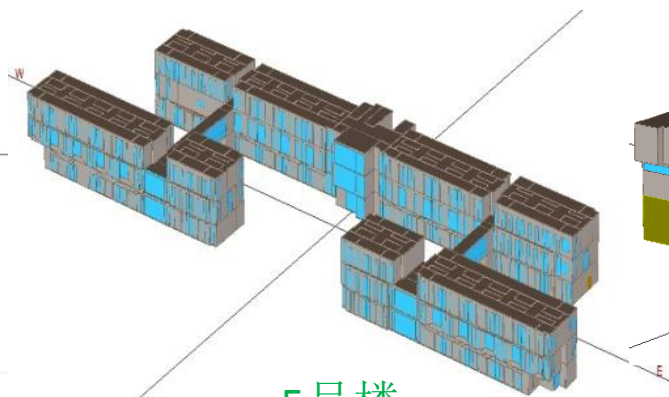
2号楼



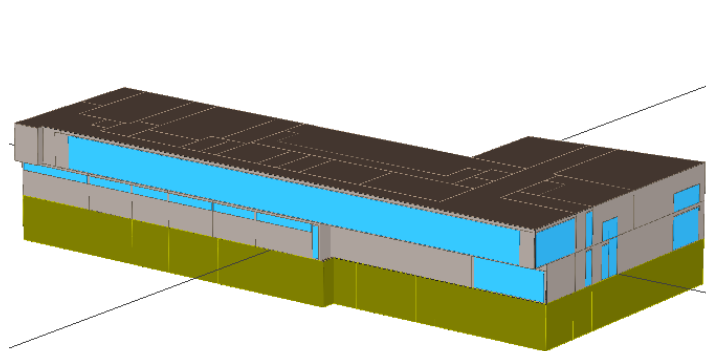
3号楼



4号楼



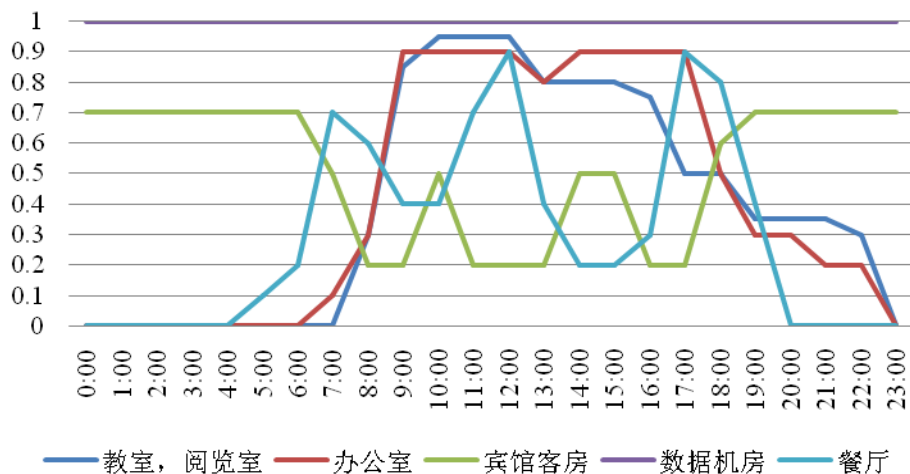
5号楼



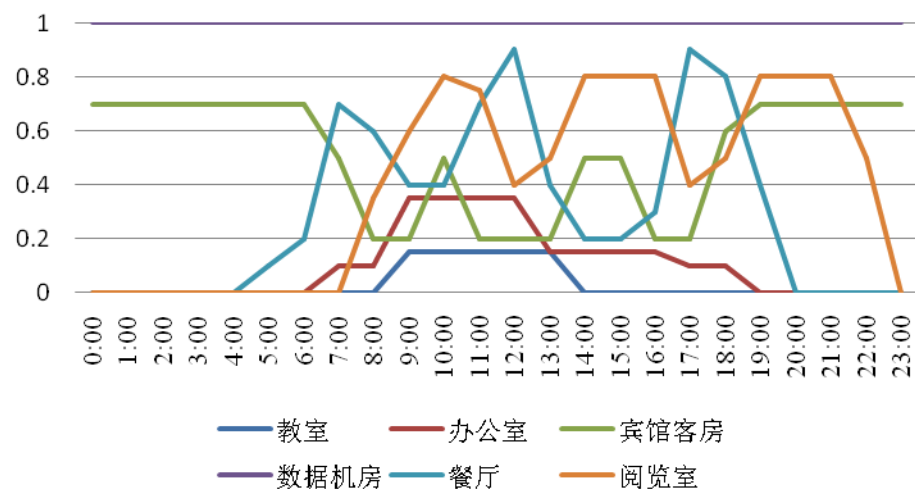
6号楼

负荷时间表

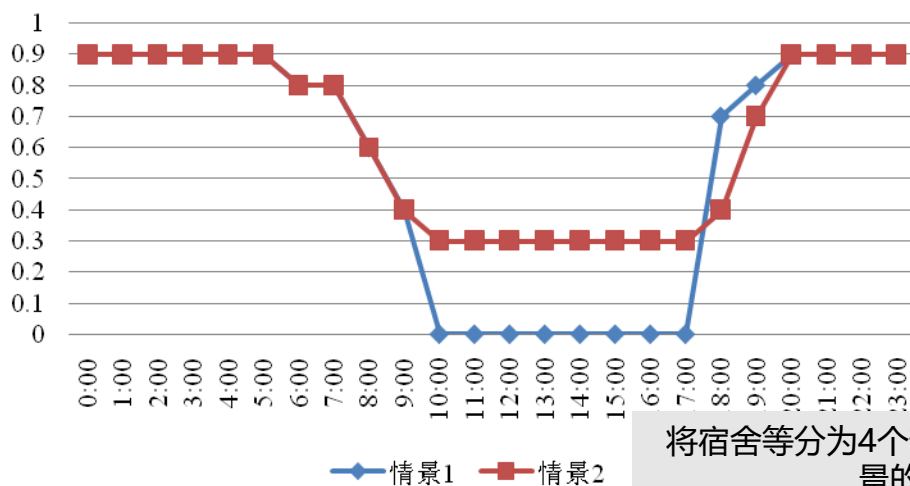
Weekdays



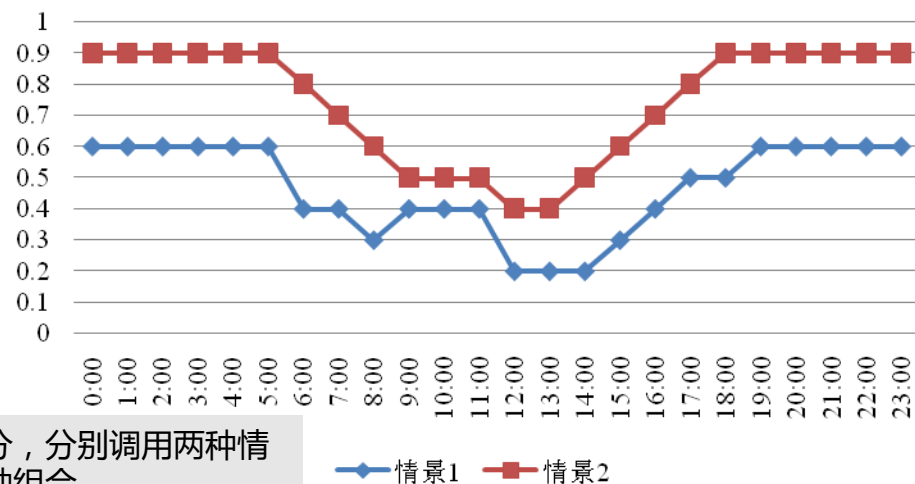
Weekends



Dormitory-Weekdays



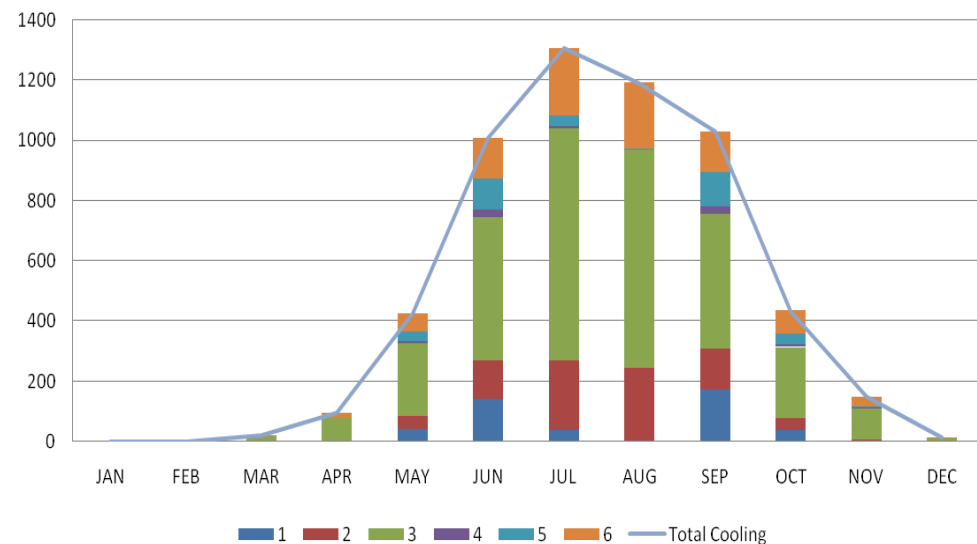
Dormitory-Weekends



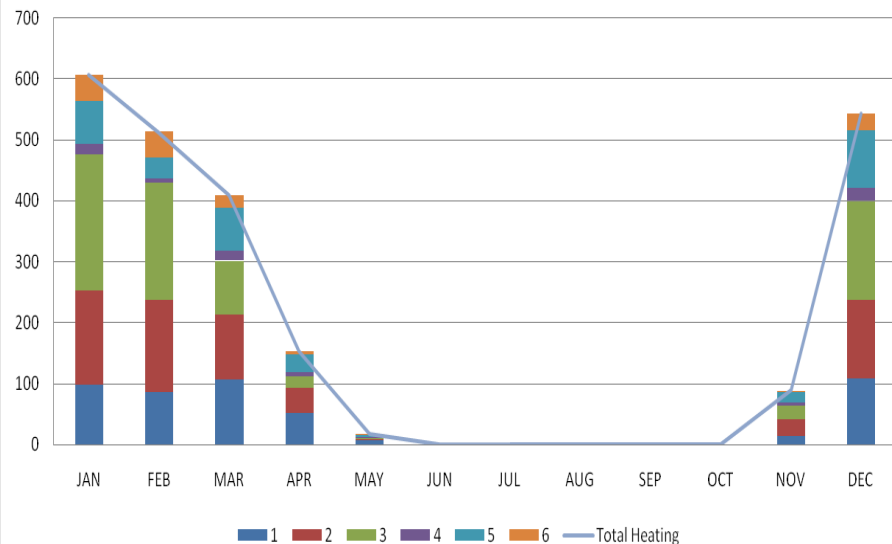
将宿舍等分为4个部分，分别调用两种情景的4种组合

负荷预测

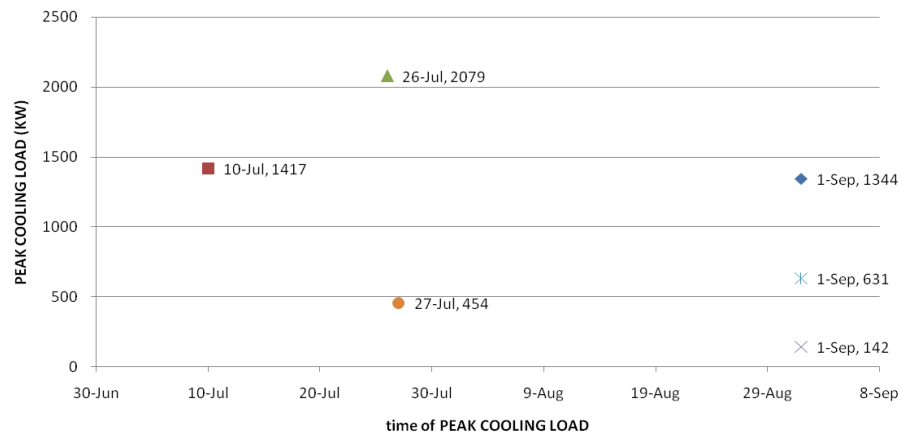
Monthly Space Cooling Load (MWh)



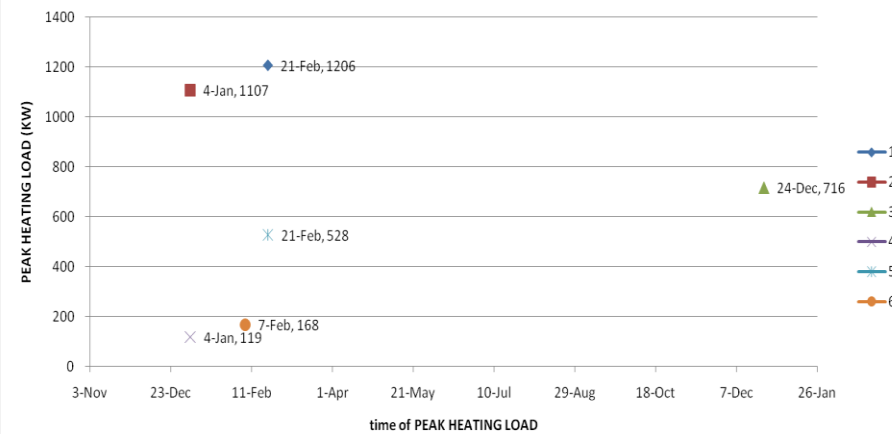
Monthly Space Heating Load (MWh)



Peak Cooling Load



Peak Heating Load



六栋建筑和校园整体部分冷热负荷出现频率

部分冷负荷率	1号楼	2号楼	3号楼	4号楼	5号楼	6号楼	校园整体
<25%	62.51%	73.98%	84.79%	88.20%	92.13%	91.92%	74.55%
25%-50%	16.70%	12.73%	9.18%	11.06%	6.28%	6.24%	17.50%
50%-75%	15.11%	9.57%	5.98%	0.64%	1.24%	1.64%	7.23%
75%-100%	5.67%	3.72%	0.05%	0.10%	0.34%	0.19%	0.72%

部分热负荷率	1号楼	2号楼	3号楼	4号楼	5号楼	6号楼	校园整体
<25%	94.32%	89.32%	81.07%	89.61%	89.52%	84.53%	84.98%
25%-50%	4.97%	10.06%	10.17%	7.77%	8.90%	9.17%	12.72%
50%-75%	0.56%	0.54%	7.17%	2.13%	1.39%	5.41%	2.18%
75%-100%	0.16%	0.09%	1.59%	0.48%	0.18%	0.89%	0.13%

冷热源

■ 设计模型

- 空调冷冻水 (6/13℃)
 - 由区域冷冻热力站集中制取
 - 离心机：1台，4220kW
 - 溴化锂：1台，4220kW
 - 冷冻水泵：2用1备，变流量
- 空调热水(60/50℃)
 - 市政蒸汽管网
 - 各栋楼内用板换将蒸汽换为热水

■ 基准模型

- 1号楼（教室）
 - 冷源：螺杆机2台
 - 热源：外购蒸汽
- 2号楼（宾馆）
 - PTAC系统，直膨盘管制冷
- 4号楼（宿舍）
 - PTAC系统，直膨盘管制冷
- 5号楼（宿舍）
 - PTAC系统，直膨盘管制冷

平均效率计算

离心式冷水机组平均效率COP=

$$\frac{\text{机组供冷量} \times (1 - \text{输送损失})}{\text{机组耗电量} + \text{冷冻水泵耗电量} + \text{冷却塔耗电量} + \text{冷却水泵耗电量}}$$

$$\text{溴化锂机组电侧平均效率} = \frac{\text{溴化锂机组供冷量} \times (1 - \text{输送损失})}{\text{机组耗电量} + \text{冷冻水泵耗电量} + \text{冷却塔耗电量} + \text{冷却水泵耗电量}}$$

$$\text{溴化锂机组热侧平均效率} = \frac{\text{溴化锂机组供冷量}}{\text{溴化锂机组运行所耗蒸汽的热量}}$$

输送损失按供冷量的5%计算，计算平均效率：

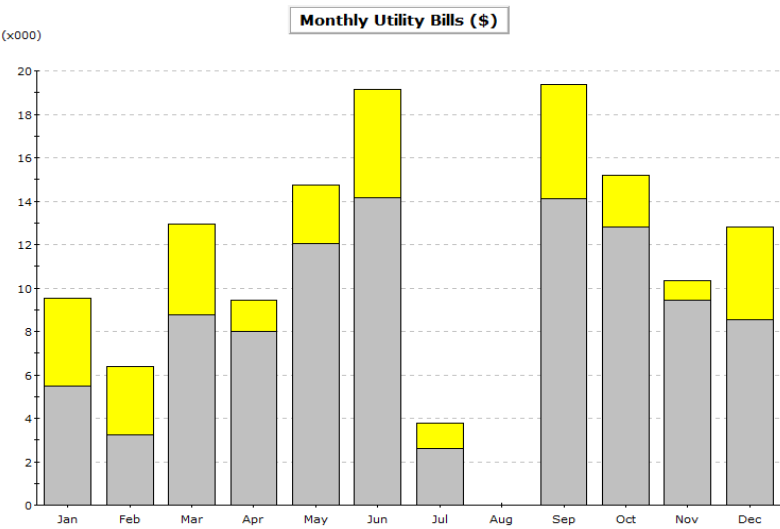
离心式冷水机组平均效率COP=4.6；

溴化锂机组电侧平均效率18；

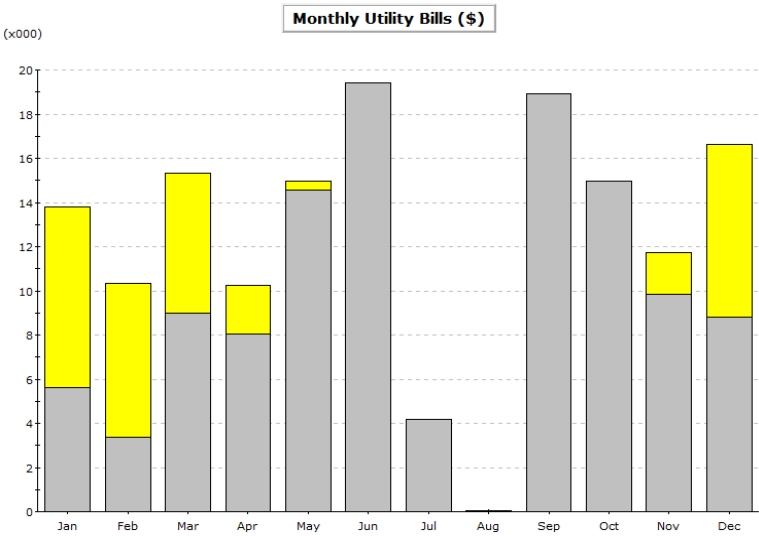
溴化锂机组热侧平均效率0.99。

模拟结果-1号楼

	年用电量 MWh	年度电费 \$	年度用蒸汽量 MBtu	年度蒸汽费用 \$	年度总能耗费用 \$	节钱率
设计模型	762.0	92583	2896	38844	132822	18.6%
基准模型	1023.6	124367	3000	40239	163211	



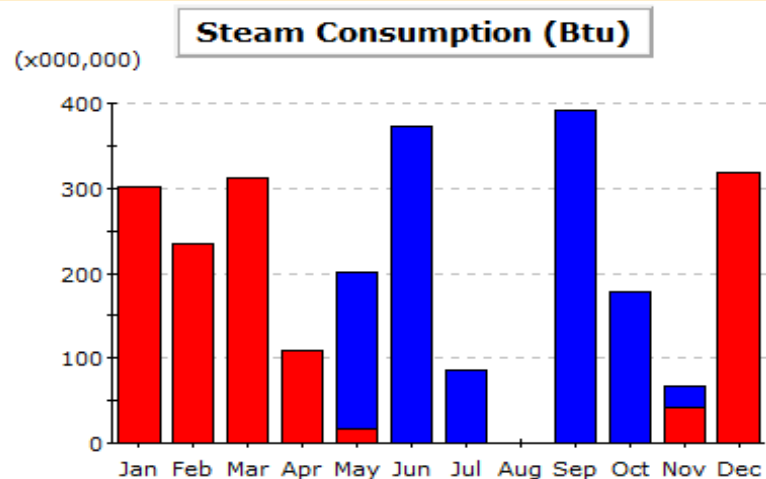
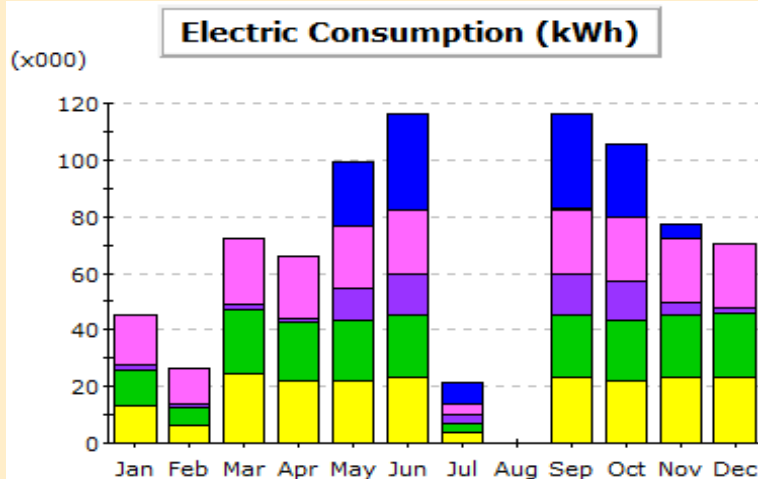
设计模型



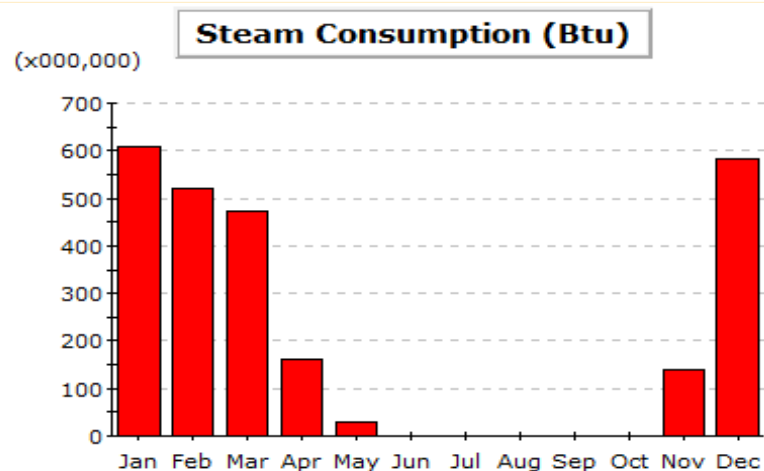
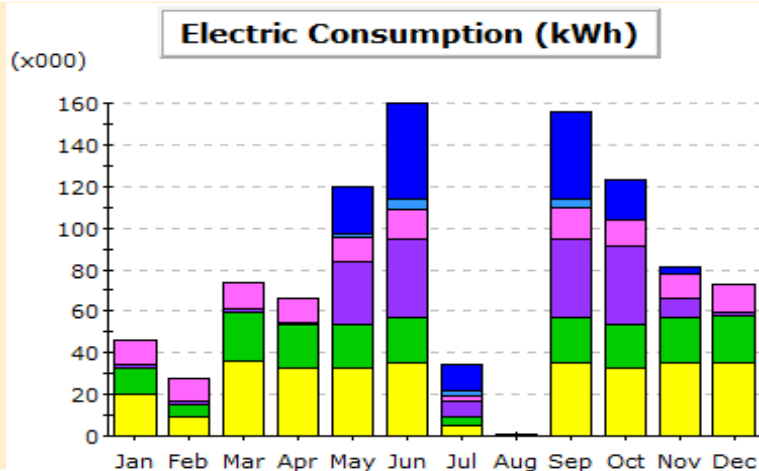
基准模型

模拟结果-1号楼

设计模型



基准模型



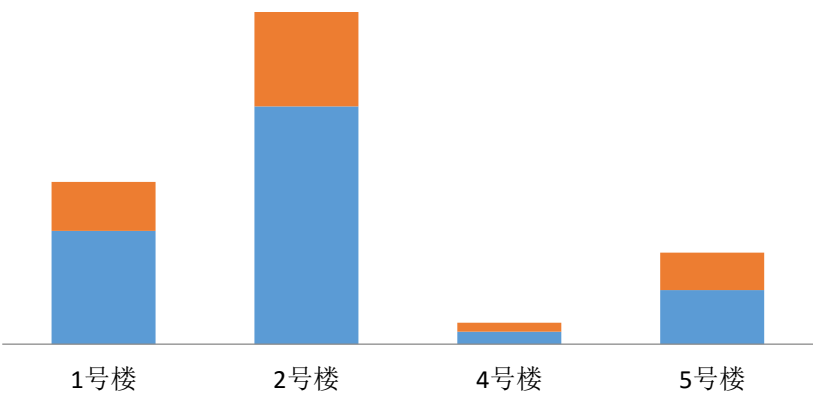
Space Heating Space Cooling

模拟结果-1、2、4、5号楼

		1号楼	2号楼	4号楼	5号楼	总和	节钱率
设计模型	年度电费	92,583	194,568	10,101	44,271	496,986	20.3% (5分)
	年度蒸汽费	40,239	77,419	7,271	30,533		
基准模型	年度电费	124,367	280,514	14,336	60,069	623,831	
	年度蒸汽费	38,844	67,027	10,845	27,829		

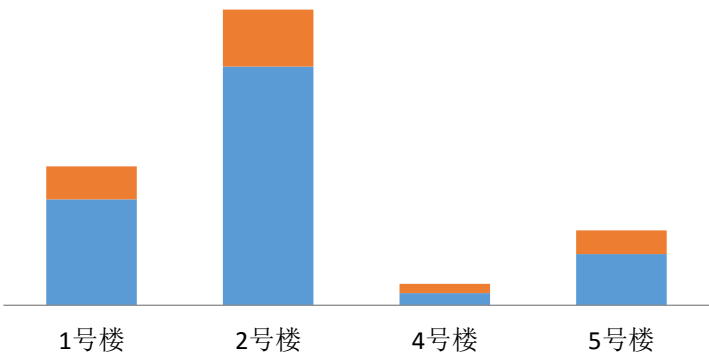
设计模型

■ 年度电费 ■ 年度蒸汽费



基准模型

■ 年度电费 ■ 年度蒸汽费





案例2：某商务区能源站空调负荷预测

案例2：西虹桥商务区能源站负荷预测

项目概况

西虹桥商务区是上海市虹桥商务区涉及青浦区的区域范围，规划面积约19平方公里

为了满足低碳生态的要求，基于该区域的用地特征和能源需求特征，经过初步的技术论证和经济分析，认为适度集中的能源系统较为适宜

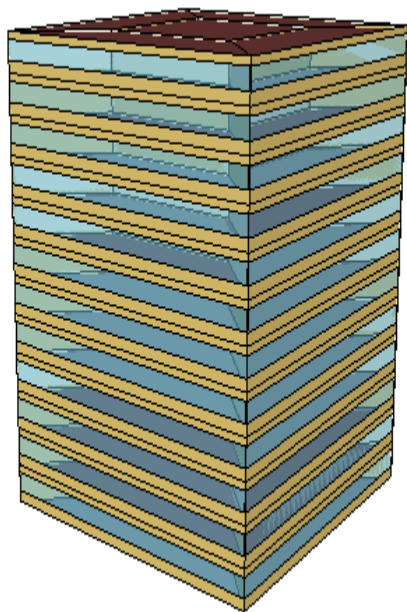


能源站供能区域建筑类型及面积

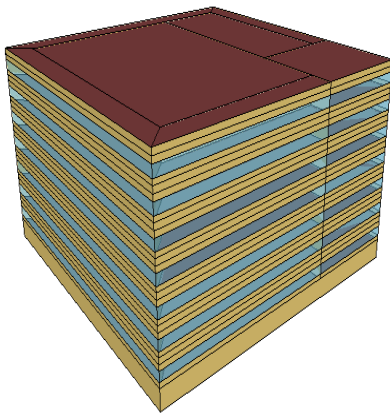
能源站房	项目进度	办公 (m ²)	商场 (m ²)	酒店 (m ²)	总计面积 (m ²)
1#	一期	142265	11368	98106	251739
	二期	172797	127451	—	300249
	三期	164325	246488	—	410813
	小计	479387	385307	98106	962800
2#		435667	401271	—	826938
3#		751930	579215	—	1331145

典型建筑模型的建立

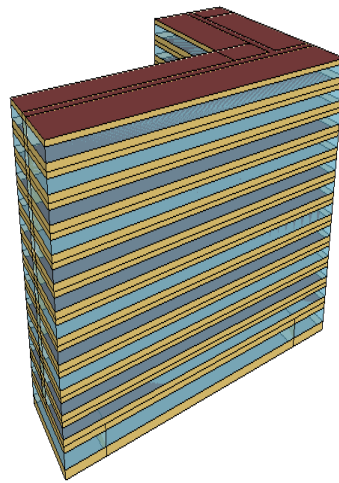
- 典型建筑模型的负荷对区域建筑群负荷预测的结果影响较大
- 基于实际调研建立典型建筑的物理模型
- 围护结构、室内设计参数、内扰参数和新风量均参照上海市《公共建筑节能设计标准》（DGJ08-107-2012）和《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB50736-2012）的要求进行设置



办公建筑



商场建筑



酒店建筑

情景设置

根据建筑的档次，同时参考上海市《公共建筑节能设计标准》(DG108-107-2012)和《公共建筑节能设计标准》(GB50198-2015)中规定的人员密度、照明功率密度和电器设备功率的要求，对三类建筑分别设置三种情景；

根据商务区的功能定位及经验，预测上述各类情景的分布比例，进而得到**典型建筑的逐时负荷结果**（单位面积负荷密度）。

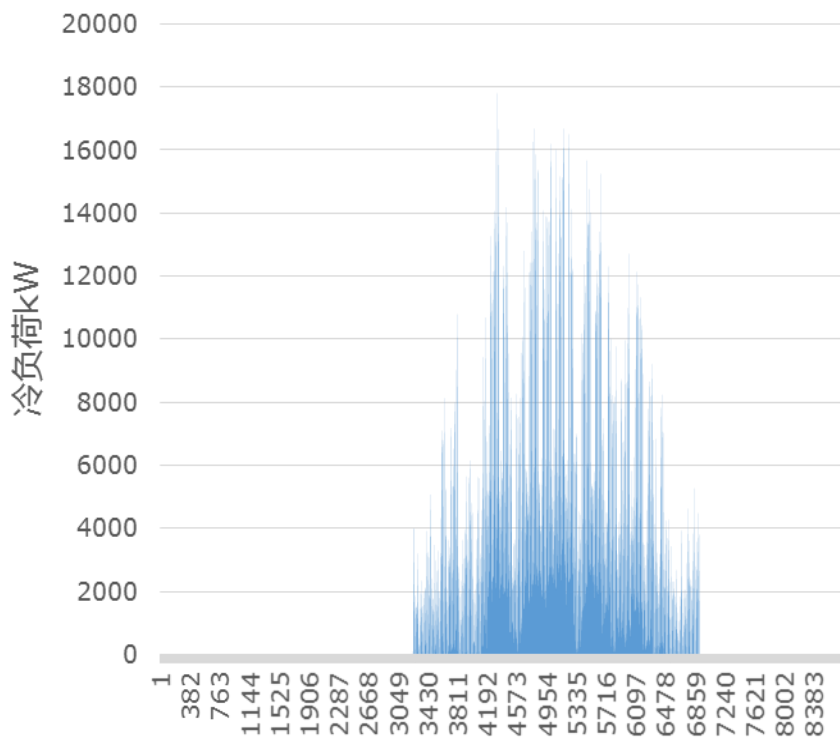
建筑类别	情景	人员密度	照明负荷	设备负荷	新风量	情景所占权重
		(m ² /人)	(W/ m ²)	(W/ m ²)	(m ³ /人 h)	
办公建筑	情景1-普通办公	4	11	20	30	0.3
	情景2-高档办公	8	18	13	30	0.4
	情景3-高档办公	10	9	15	30	0.3
商场建筑	情景1-一般商场	3	12	13	20	0.3
	情景2-高档商场	4	19	13	20	0.4
	情景3-高档商场	8	10	13	20	0.3
酒店建筑	情景1-普通酒店	15	15	20	30	0.3
	情景2-高档酒店	30	15	13	30	0.5
	情景3-高档酒店	25	7	15	30	0.2

区域建筑群逐时空空调冷热负荷

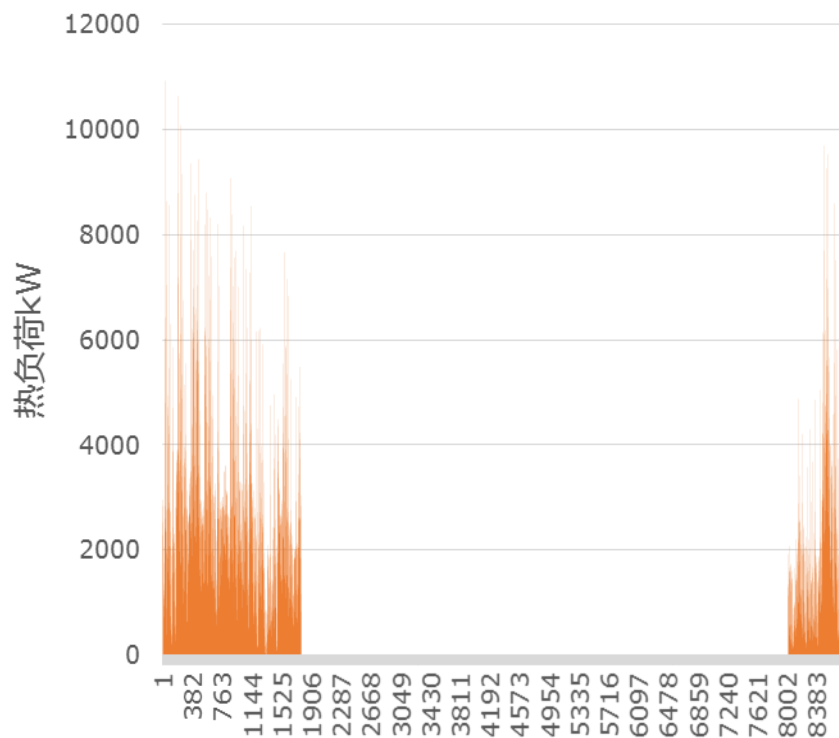
$$\text{建筑群负荷 } Q_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \times A_i$$

式中， Q_j 为建筑群j时刻的负荷值，W； b_{ij} 为i类型典型建筑j时刻的单位面积负荷，W/m²； A_i 为区域内i类型建筑总面积，m²；n为建筑类型总数。

1#能源站供能一期区域建筑全年逐时冷负荷



1#能源站一期供能区域建筑全年逐时热负荷



能源站空调负荷预测结果

能源站空调负荷 $Q_j'=(1+\eta)\times Q_j$

式中， Q_j' 为能源站j时刻的供能空调负荷值，W；
 η 为管网损失，根据《实用供热空调设计手册》取5%。

设计日能源站供能空调负荷

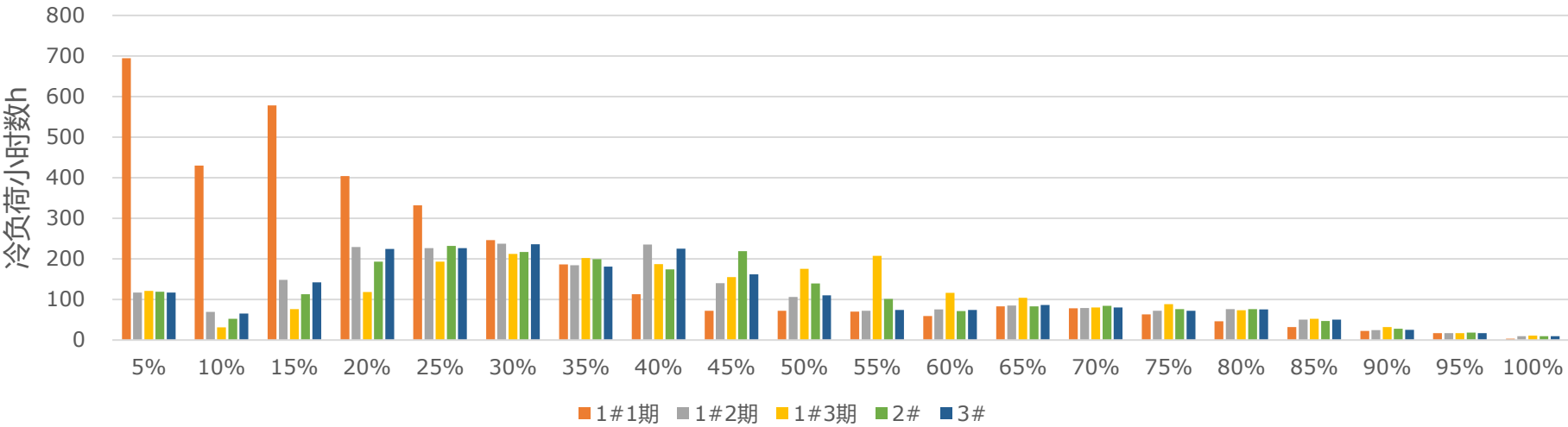
能源站房	能源站供能空调负荷			
	小时负荷MW		日负荷MWh	
	供冷	供热	供冷	供热
1#一期	18.69	11.47	224.86	98.72
1#二期	27.76	10.89	278.02	77.85
1#三期	39.88	13.94	415.63	120.65
2#	78.58	28.90	797.45	200.41
3#	123.43	47.57	1239.50	340.04

能源站供能全年空调累计负荷

能源站房	全年累计冷负荷 (万kWh)	全年累计热负荷 (万kWh)
1#一期	1523	696
1#二期	2284	342
1#三期	3722	421
2#	6748	923
3#	10244	1507

能源站空调负荷率的时间分布

■ 空调负荷率是指逐时负荷与峰值负荷的百分比

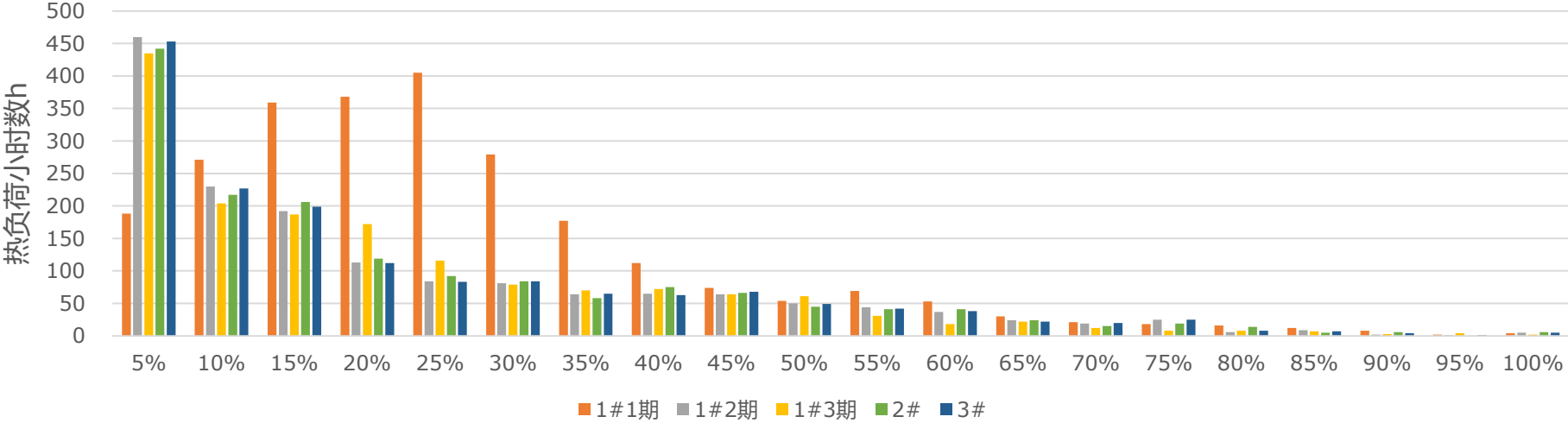


各能源站空调冷负荷率的时间分布

负荷率	0%~25%	25%~50%	50%~75%	75%~100%
1#1期	68%	19%	10%	3%
1#2期	35%	40%	17%	8%
1#3期	24%	41%	26%	8%
2#	32%	42%	18%	8%
3#	34%	41%	17%	8%

能源站空调负荷率的时间分布

■ 空调负荷率是指逐时负荷与峰值负荷的百分比



各能源站空调热负荷率的时间分布

负荷率	0%~25%	25%~50%	50%~75%	75%~100%
1#1期	63%	28%	8%	2%
1#2期	69%	21%	9%	1%
1#3期	71%	22%	6%	2%
2#	68%	21%	9%	2%
3#	68%	21%	9%	2%

与面积指标法结果的比较

■ 建筑负荷指标的比较

建筑类型	冷负荷指标 W/m ²	热负荷指标 W/m ²	模拟冷负荷峰值 W/m ²	模拟热负荷峰值 W/m ²
办公	120	60	77	55
商场	150	65	106	34
酒店	80	60	73	48

■ 同时使用系数的比较

- 面积指标法中同时使用系数的选取根据设计手册或项目经验，缺乏理论依据，商务区的推荐同时使用系数为0.7~0.77。
- 软件模拟法规避了选取同时使用系数的问题，根据计算结果可算出同时使用系数。

同时使用系数= $\frac{\text{各类建筑叠加某时刻最大负荷}}{\text{各类建筑最大负荷之和}}$

同时使用系数	1#站一期	1#站二期	1#站三期	2#站	3#站
冷负荷计算	0.92	0.98	0.98	0.98	0.98
热负荷计算	0.85	0.75	0.77	0.73	0.74

与面积指标法结果的比较

■ 能源站供能区域建筑群设计日峰值负荷比较

能源站房	项目进度	商务办公	商业服务业	酒店、公寓式酒店	总建筑面积	面积指标法*		软件模拟+情景分析	
		m ²	m ²	m ²	m ²	供冷MW	供热MW	供冷MW	供热MW
1#	一期	142264.9	11368.3	98105.57	251738.8	20.50	11.67	17.80	10.93
	二期	172797.3	127451.3	—	300248.7	30.69	14.36	26.43	10.37
	三期	164325	246488	—	410813	43.65	19.93	37.98	13.27
2#		435667	401271	—	826938	94.84	45.96	81.69	32.17
3#		751930	579215	—	1331145	86.60	40.21	74.84	27.52

*同时使用系数取0.7

总结

- 负荷预测是区域供能系统的基础，由于规划阶段缺乏建筑的详细资料，区域建筑负荷预测存在很多的不确定因素，应采用软件模拟法建立典型建筑模型并结合情景分析的方法对区域建筑群负荷进行预测。
- 负荷预测和分析是区域供能系统的难点之一，既有复杂的技术问题又与当地生活习惯、消费水平和市场行为等有关，所以需要随着规划设计的不断深入对负荷预测做进一步的完善，在设计、建设的各个阶段进行修正和调整。



谢谢！