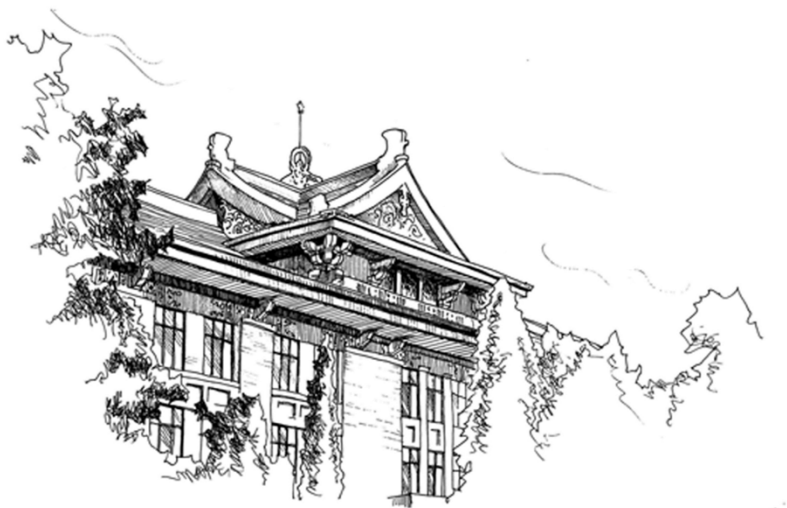




天津大学建筑节能中心
Building Energy Efficiency Center, Tianjin University

基于实际数据的建筑供暖耗热量解析和运行优化

-同济大学建筑能源学术周



田喆 天津大学
2017.10.27



第一部分 建筑供暖耗热量构成的数据解析

- 1、工作背景
- 2、实际用热量解析

第二部分 供暖运行策略

- 3、用户热特性识别
- 4、负荷预测方法探讨

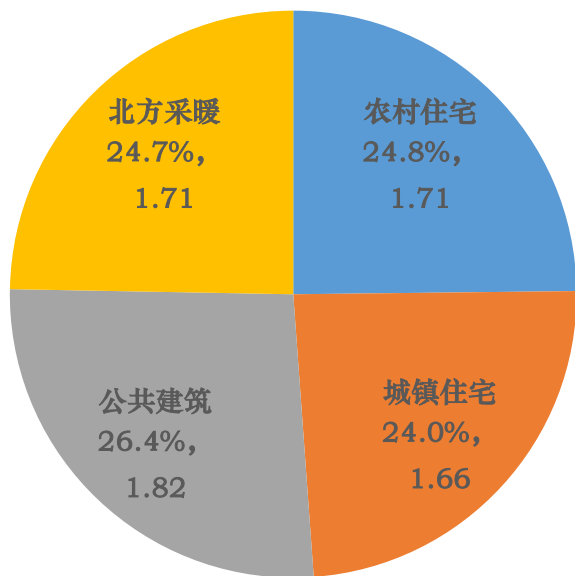


第一部分

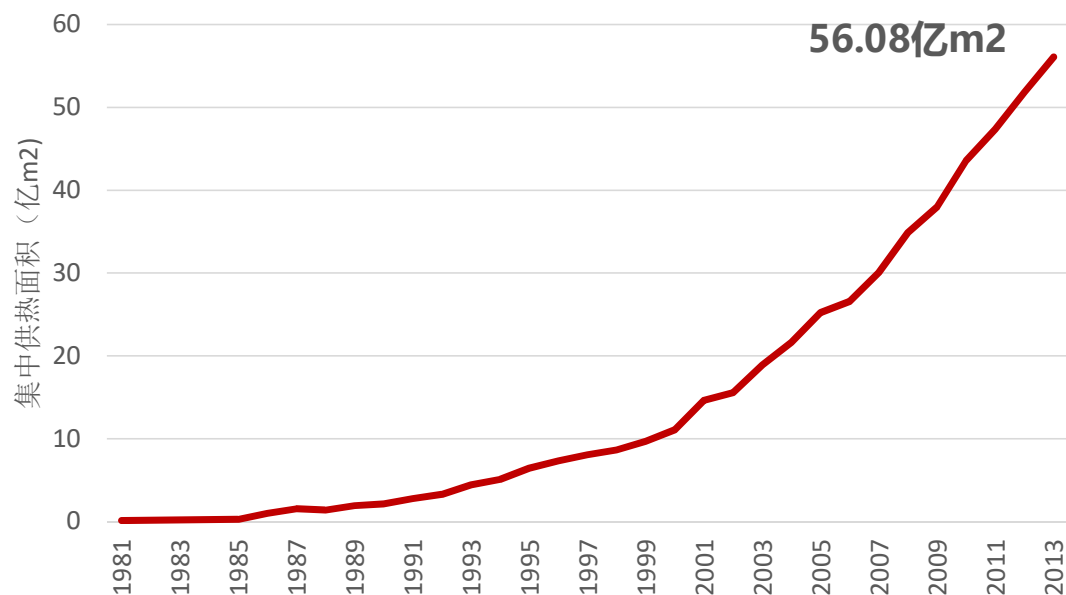
天津大学建筑节能中心
Building Energy Efficiency Center, Tianjin University



我国建筑节能发展

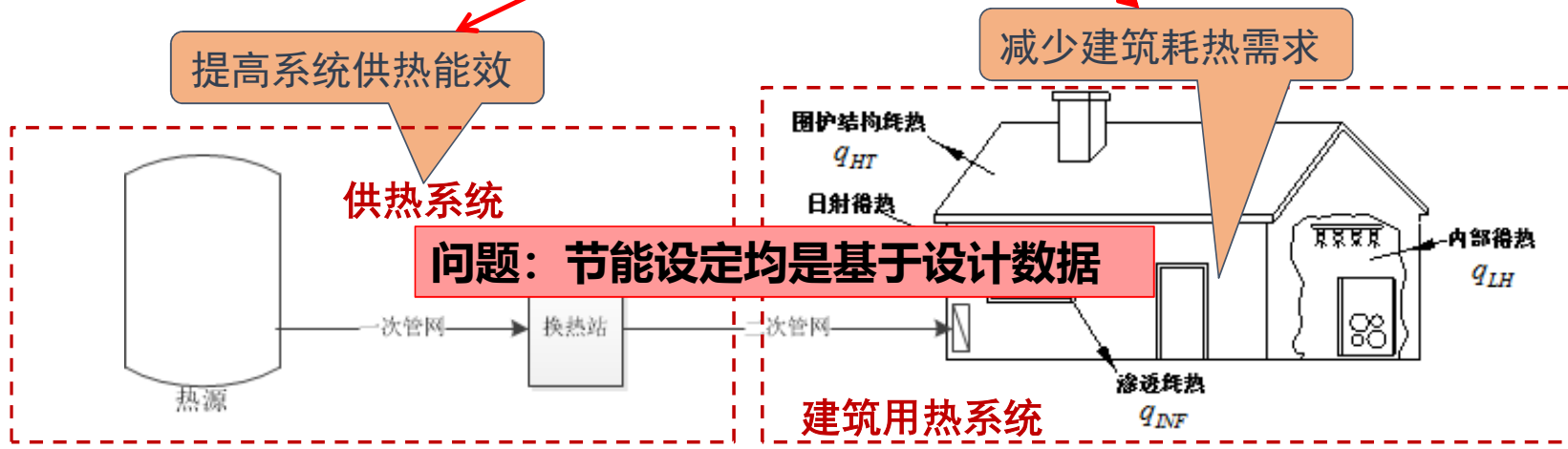
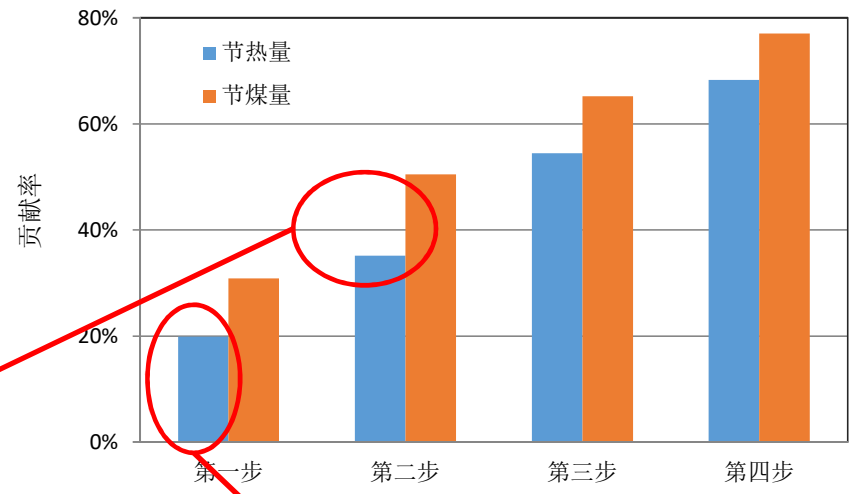
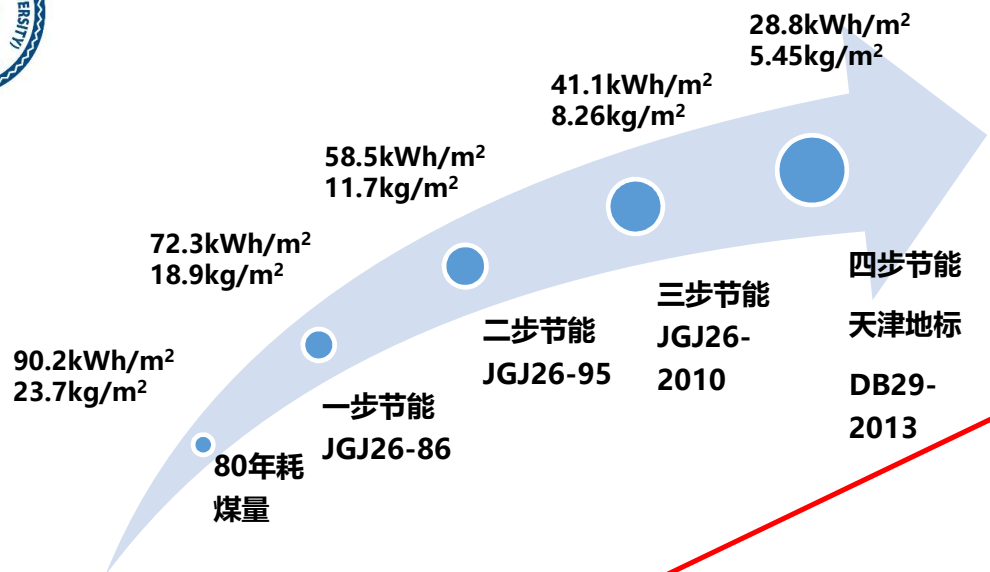


数据来源：清华大学，建筑节能年度发展报告2014 (亿吨标煤)



住房和城乡建设部统计数据显示，截止到2013年底，北方城镇建筑面积 **87.12亿m²**，集中供热率达到**64.37%**
新建建筑集中采暖、兼并分散小锅炉房、改造都发生在集中供热区域

TZTJU1 增加我国集中供热面积和热化率
天津大学田喆, 2016/10/14

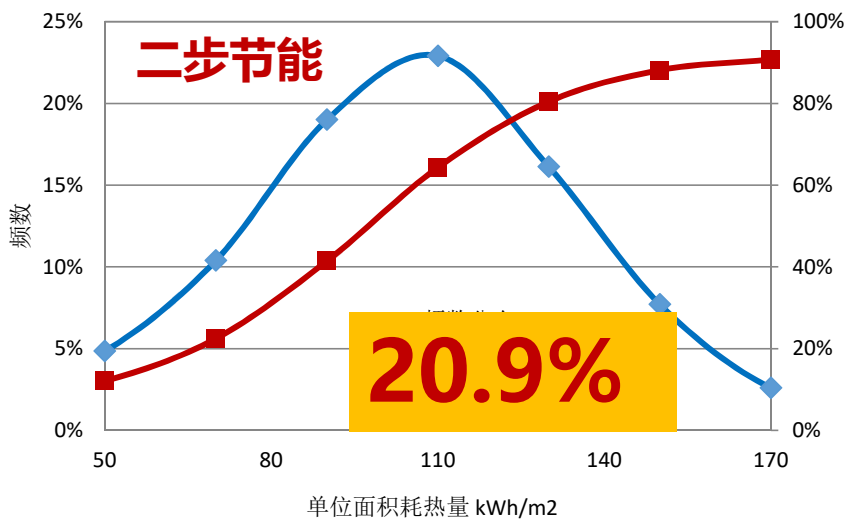




建筑实际耗热量调查

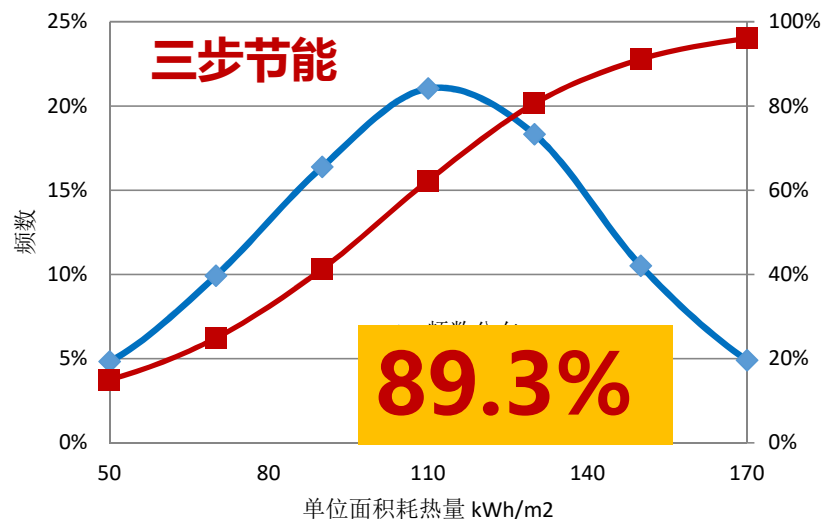
二步节能建筑：9767户表
三步节能建筑：6358户表

数据经采暖期修正
11月15日-3月15日，120天



加权平均耗热量：95.2kWh/m² (采暖面积)
71.4kWh/m² (建筑面积)

设计目标耗热量：59.0kWh/m²



加权平均耗热量：104.7kWh/m² (采暖面积)
78.5 kWh/m² (建筑面积)

设计目标耗热量：41.1kWh/m²

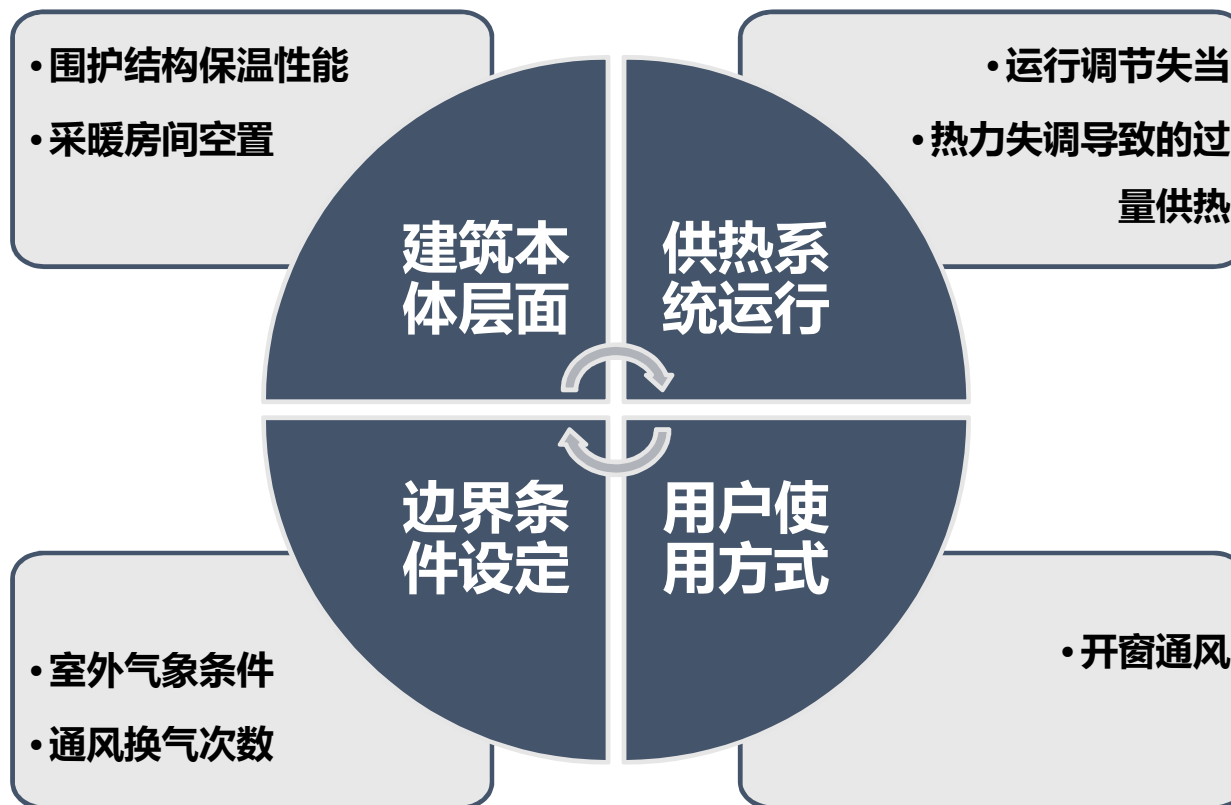


2、用户实际用热量解析

天津大学建筑节能中心
Building Energy Efficiency Center, Tianjin University



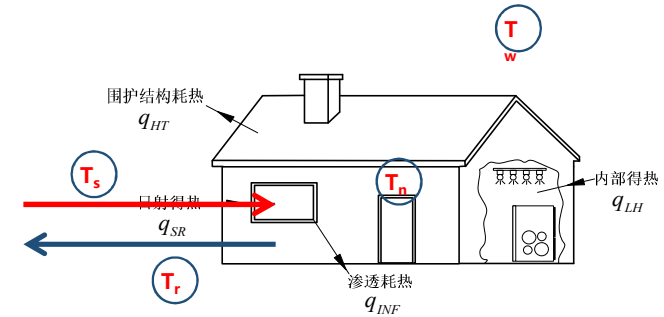
实际与理论耗热量差异的原因预判





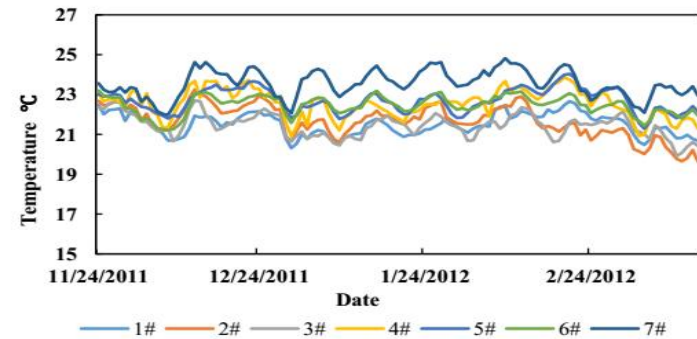
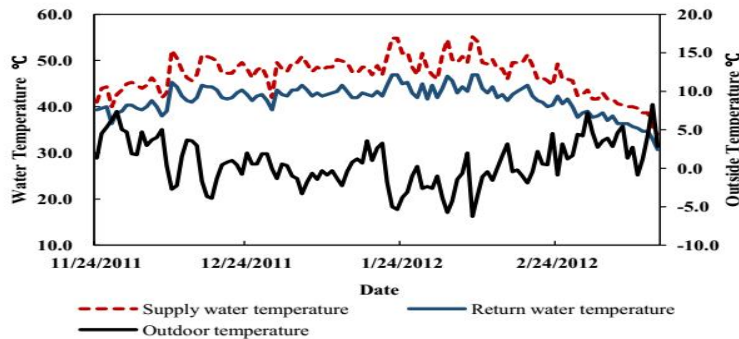
测试对象

建筑类型: 某住宅
建筑高度: 30m
建筑面积: 11,781m²
节能标准: 二步节能 (2003)
采暖末端: 散热器
采暖热源: 集中供热



测试参数: 室内温度
 供回水温度
 供回水流量
 室外温度

持续时间: 120天
采集频率: 10min





模拟计算结果

TRNSYS软件模拟建筑耗热量

@典型气象年

@室内余热3.8W/m²

@冷风渗透0.5ACH

建筑耗热量 = 围护结构失热量 + 冷风渗透耗热量 - 室内得热 - 日射得热
= $K_{\text{等效}} A (t_n - t_w) - \text{常数}$

	室外平均温度 °C	室内平均温度 °C	围护结构和冷风渗透耗热量 kWh/m ²	建筑耗热量 (供热量) kWh/m ²
模拟值	-0.16	18	76.7	49.3
实测值	0.95	22.3	98.2	70.8
室外温度修正的实测值	-0.16	22.3	103.3	75.9

实际供热量相比设计预期高出54%



差异性分析

室内得热

1984年北京抽样调查并借鉴
国外经验得出的结果



现阶段普通住宅



$3.8\text{W}/\text{m}^2$



$4.17\text{W}/\text{m}^2$



$1.1\text{kWh}/\text{m}^2$

日射得热

对近十年该市供暖季太阳辐射强度分析，其波动范围较小。由于日射得热造成的建筑耗热量偏差在 $\pm 2.4\text{kWh}/\text{m}^2$ ，因此可以认定典型气象年条件下的日射得热和测试工况日射得热没有过大差异。



建筑保温性能

围护结构综合传热系数

$$\kappa_z = \left(\sum_{i=1}^n k_i \times S_i \right) / A$$

建筑等效传热系数

$$\kappa_d = \kappa_z + \frac{C_p \rho N V}{A}$$

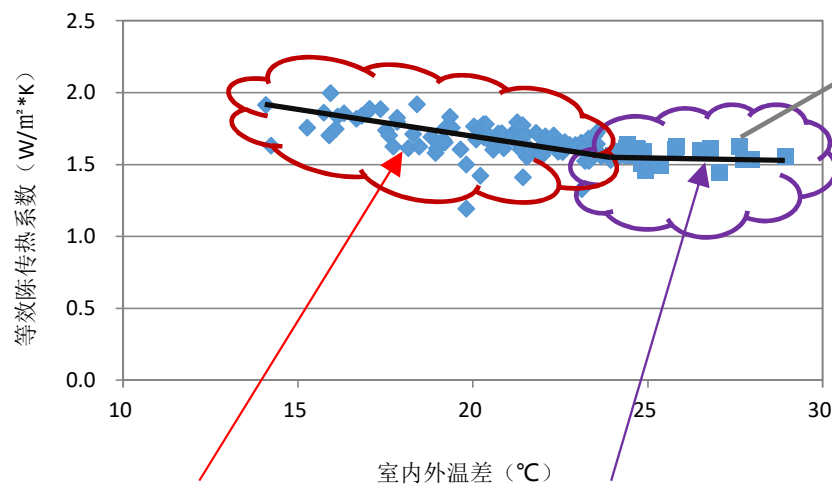
建筑设计热工性能	外墙	外窗	屋顶	地面
面积 (m ²)	4579	1879	1229	1229
传热系数 (W/m ² K)	1.042	4.0	0.5	0.9
建筑面积 (m ²)	11,782			
围护结构综合传热系数 W/m ² K	1.19			
建筑等效传热系数 (W/m ² K)	1.53 (@0.5ACH换气)			



实际供热量 = 围护结构耗热量 + 冷风渗透耗热量 - 室内得热 - 日射得热

实际建筑等效传热系数 $k_{\text{实际}} = \frac{Q_{\text{(围护结构+冷风渗透)}}}{A}$

按理论值
确定



平均值为1.56W/ (m²·K)
建筑换气次数为0.5ACH

实际围护结构传热系数
为1.22W/ (m²·K)
设计值1.19W/ (m²·K)

建筑保温性能达到设计预期

室外温度升高，开窗通风行为增加

室外温度低，居民开窗行为减少，曲线平缓



开窗通风耗热量

供暖季建筑等效传热系数平均值 $1.66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

理论建筑等效传热系数 $1.53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$$K_d = K_z + \frac{C_p \rho N V}{A}$$

超出部分认为来自于开窗通风效应



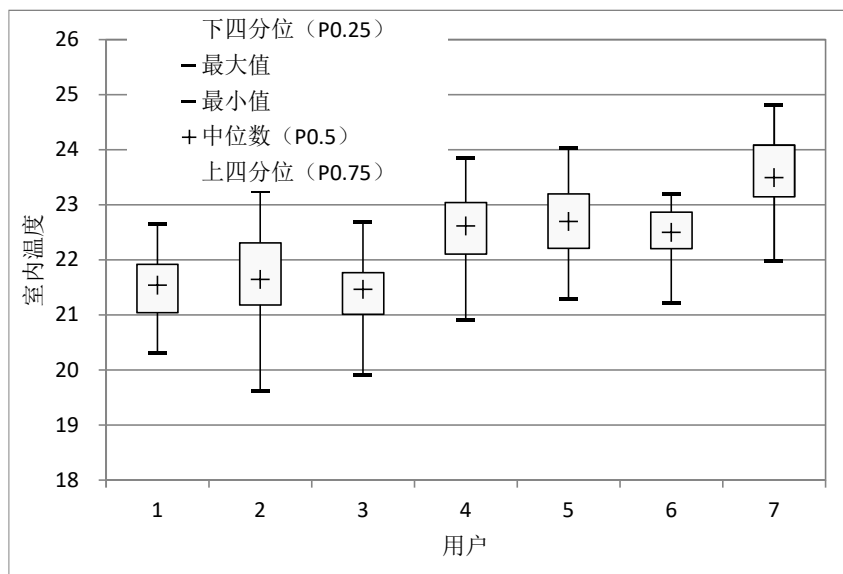
供暖季平均换气次数 0.69 ACH
超出理论计算值 0.19 ACH



开窗通风热损失: $7.8 \text{ kWh}/\text{m}^2$

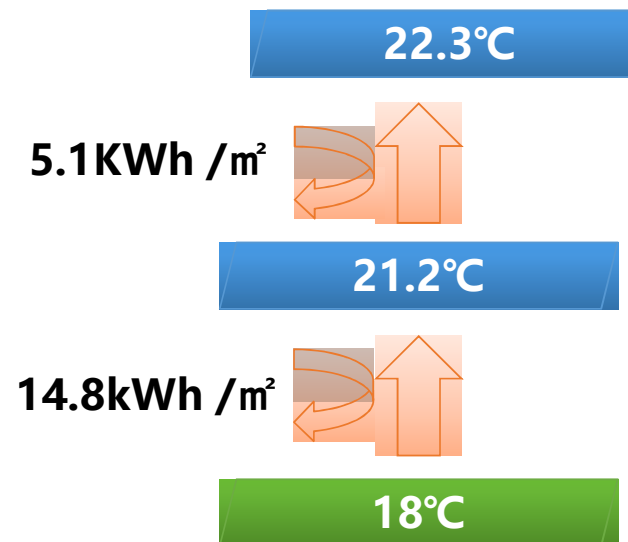


供暖系统热力失调



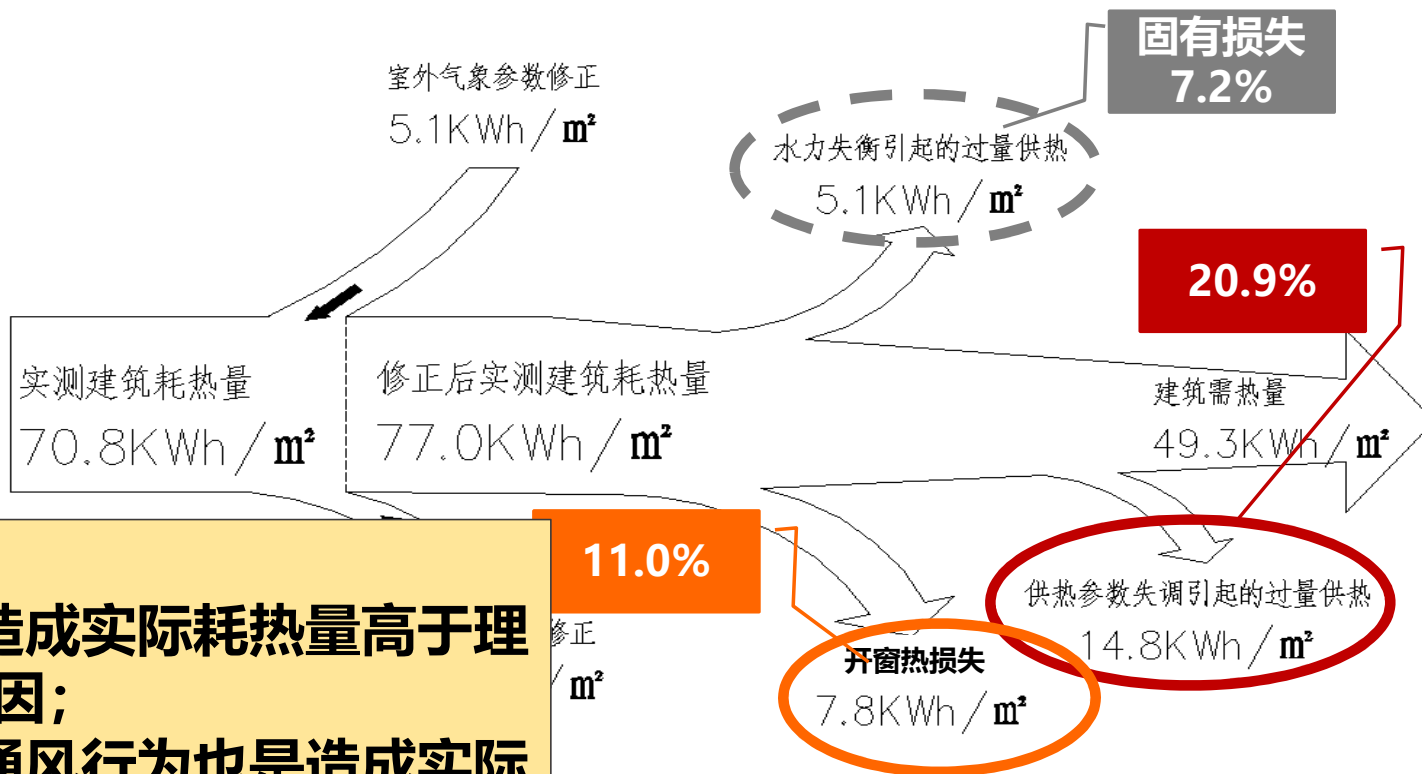
该建筑存在热力失调带来的过量供热现象

用户室内温度设计预期18°C
用户室内平均最低温度21.2 °C
用户室内温度平均值为22.3°C





实际耗热量解析



结论:
1, 过量供热是造成实际耗热量高于理论预期的主要原因;
2, 连带的开窗通风行为也是造成实际耗热量高的原因之一;

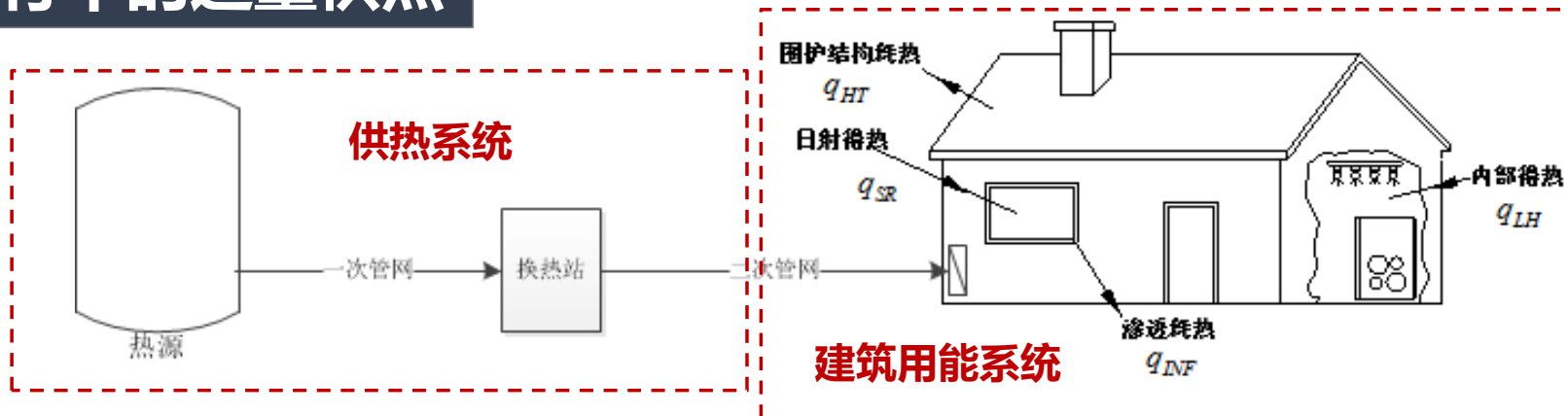


用户热特性识别

天津大学建筑节能中心
Building Energy Efficiency Center, Tianjin University

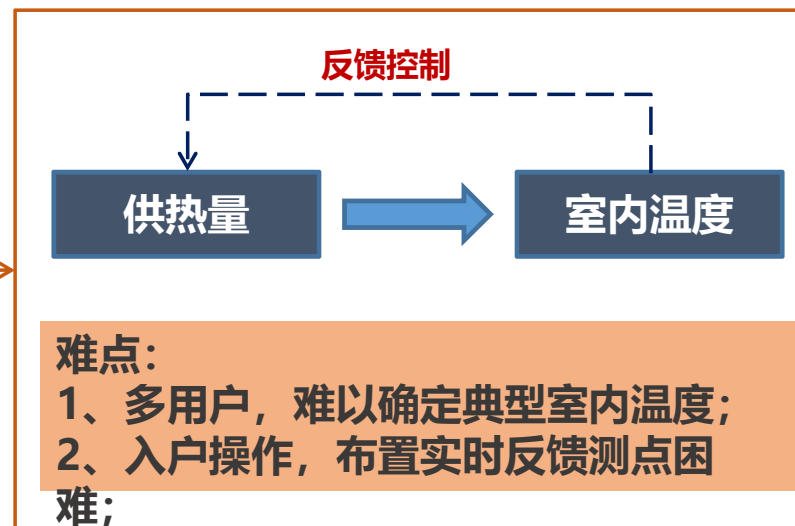


运行中的过量供热



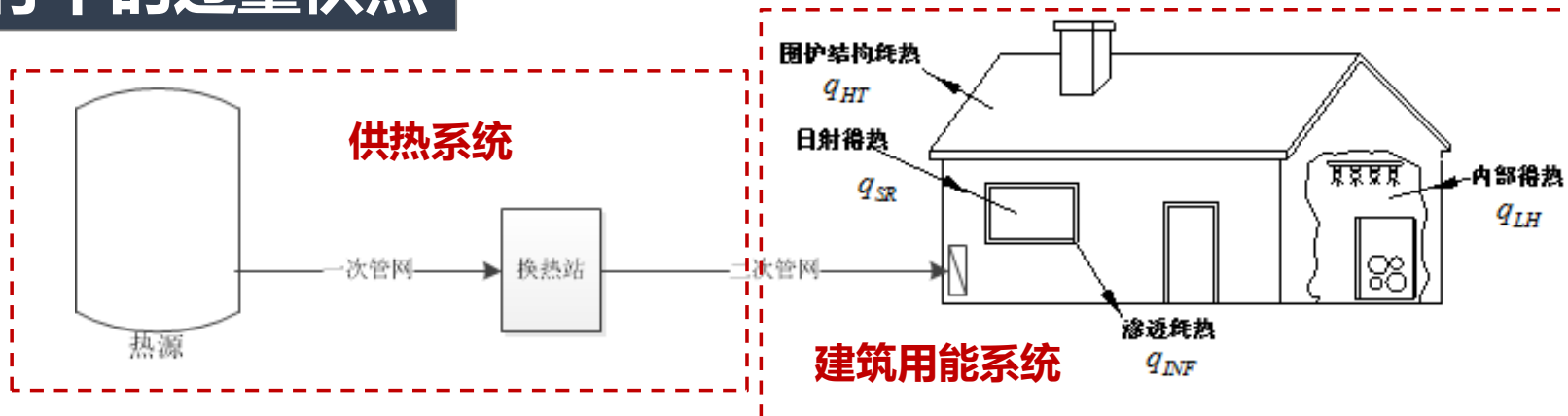
建筑适量供热的两种技术路线：

1、掌握室内供暖温度状况



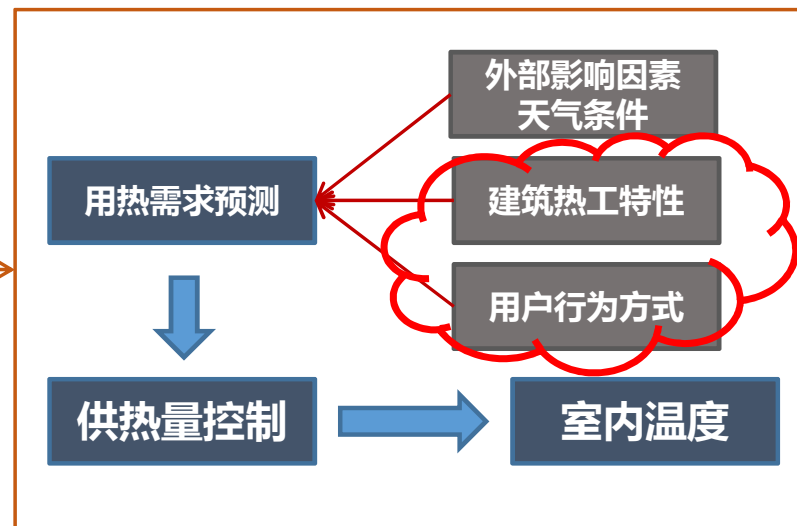


运行中的过量供热



建筑适量供热的两个方式:

- 1、掌握室内供暖温度状况
- 2、掌握建筑用热实际需求

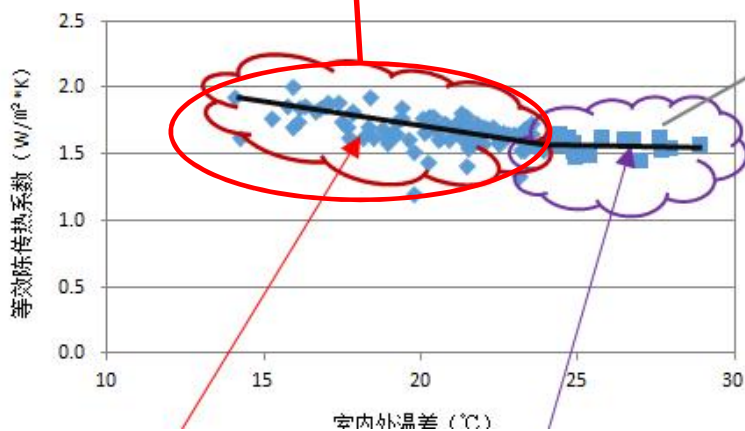




方法总结

定量掌握建筑（群）整体热工特性

粗知用户开窗行为习惯及耗热需求



平均值为 $1.56\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
建筑换气次数为 0.5ACH

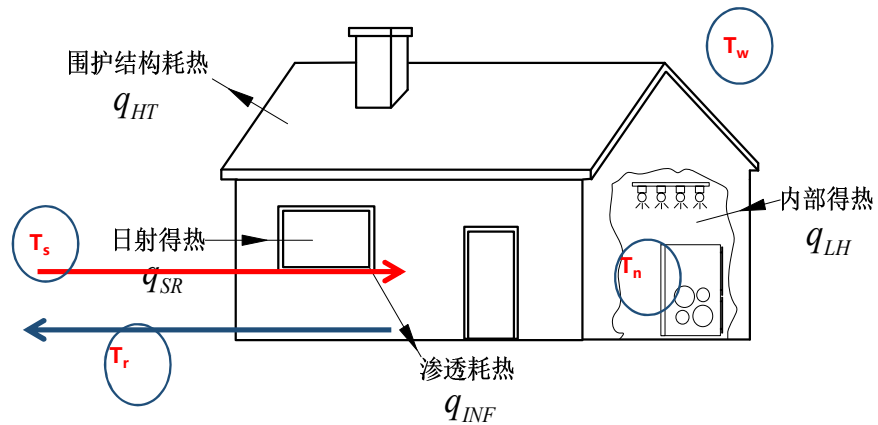
实际围护结构传热系数
为 $1.22\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

设计值 $1.19\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



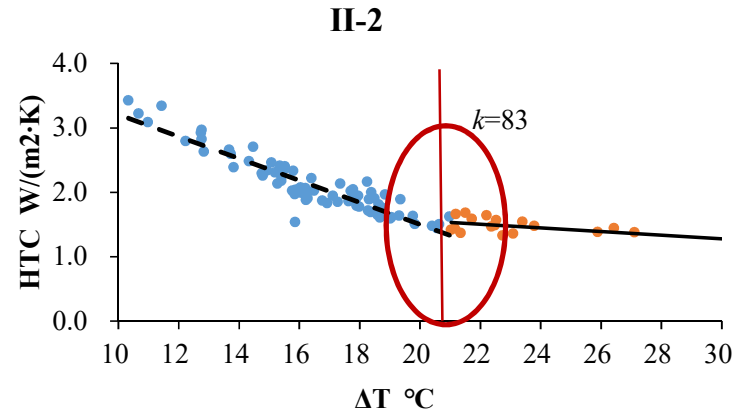
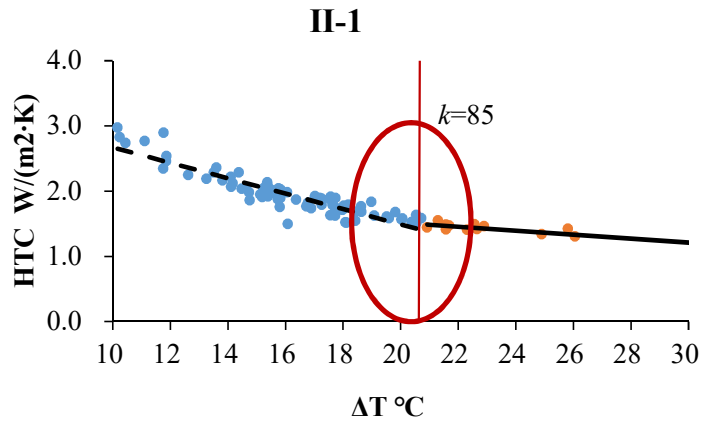
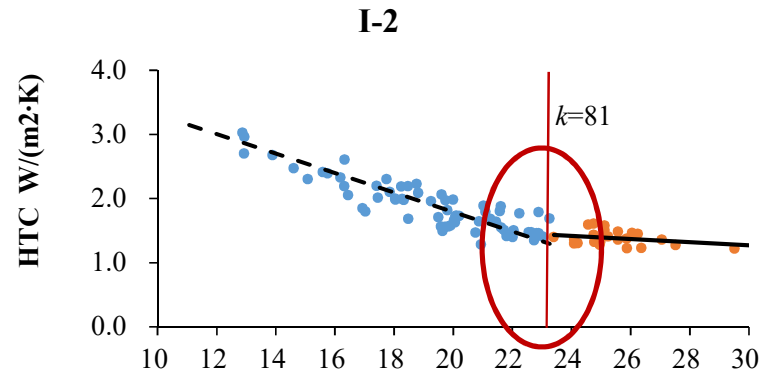
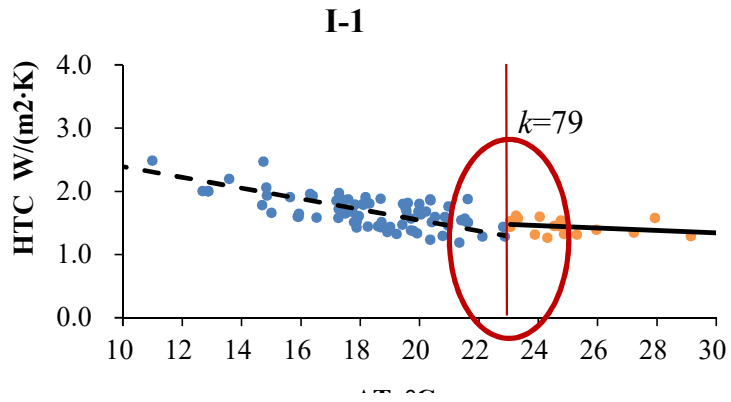
案例应用

建筑编号	建设年代	建筑面积(m ²)
1-1	1997	9480
1-2		7580
2-1	1988	3060
2-2		5850





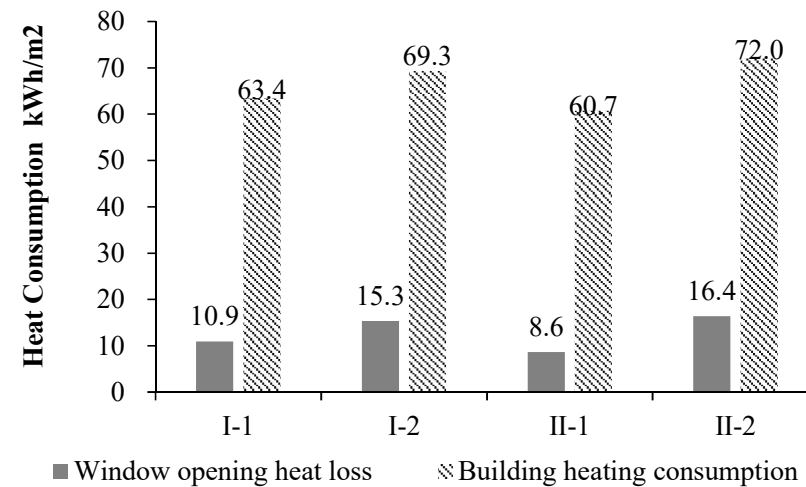
案例应用





案例应用

建筑序号	围护结构 平均传热系数 $W/(m^2 \cdot K)$	改造标准 $W/(m^2 \cdot K)$	预期节能空间 %
I - 1	1.42	1.15	19.0
I - 2	1.35	1.16	14.1
II - 1	1.62	1.22	24.7
II - 2	1.43	1.13	21.0





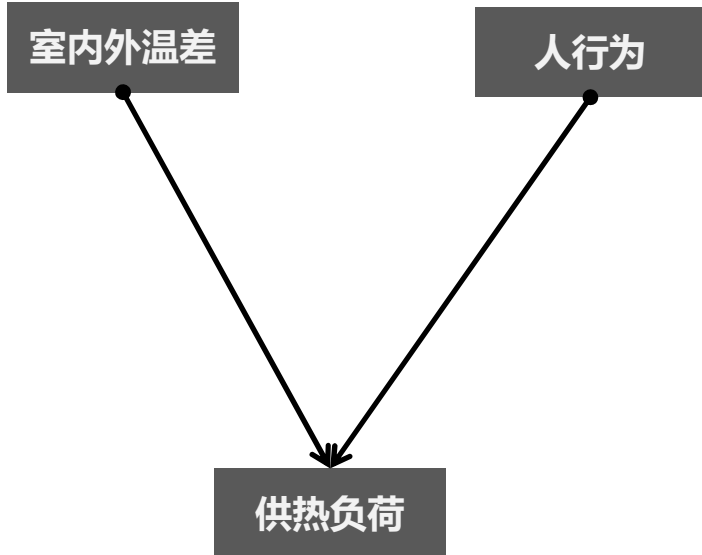
负荷预测探讨

天津大学建筑节能中心
Building Energy Efficiency Center, Tianjin University



实现负荷准确预测的困难

输入



输出

1, 人的行为对负荷影响很大, 但是传统预测方法难以纳入行为因素。

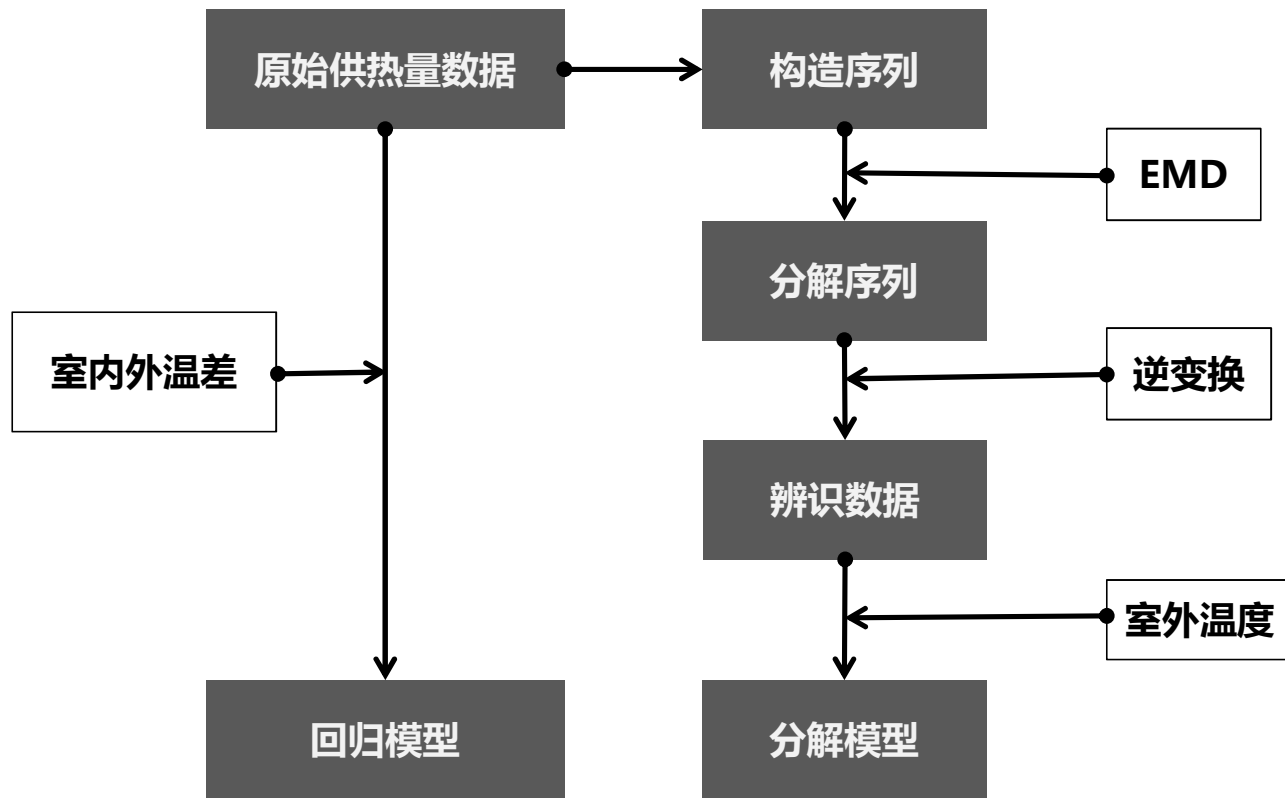
2, 影响供热负荷的是室内外温差, 然而室内温度难以获取, 通常只有室外温度数据。



思路架构

人行为因素随机性强，对应负荷组分频率高；

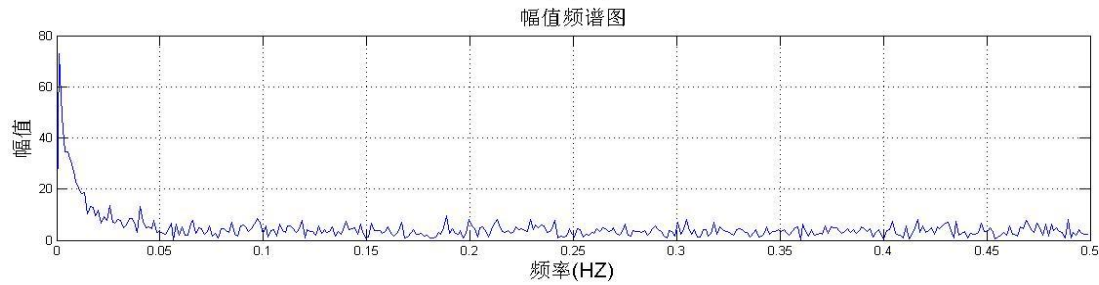
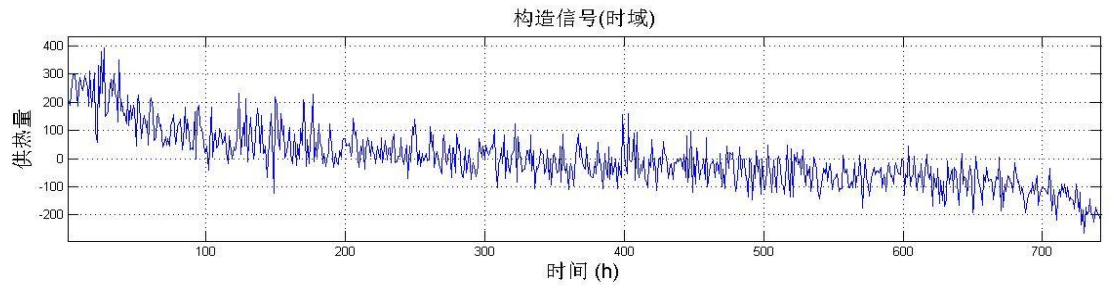
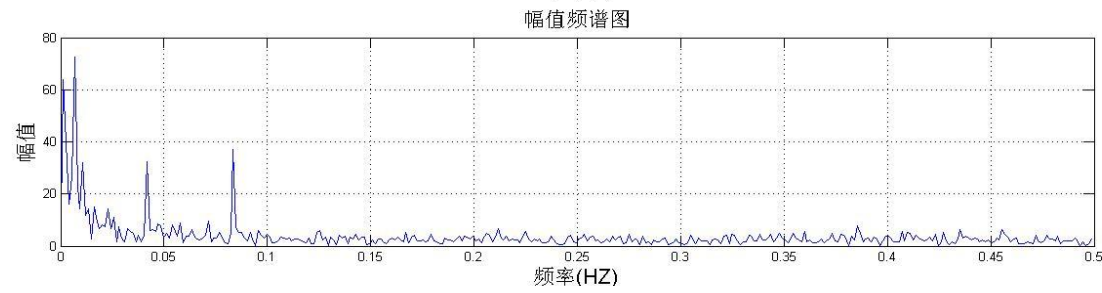
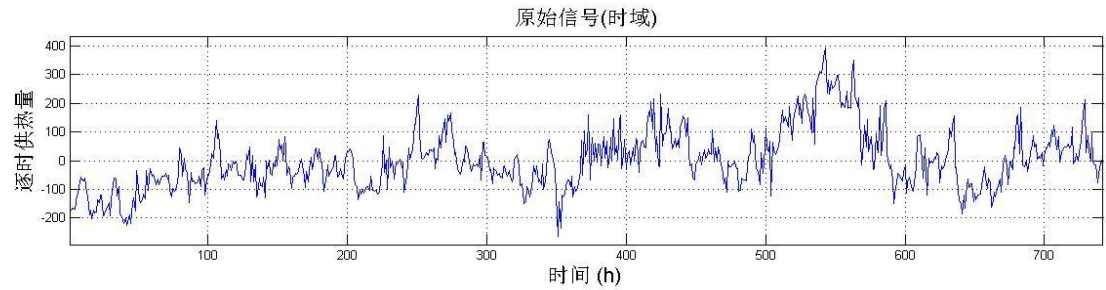
室外气象影响时滞特点明显，对应负荷组分频率低；



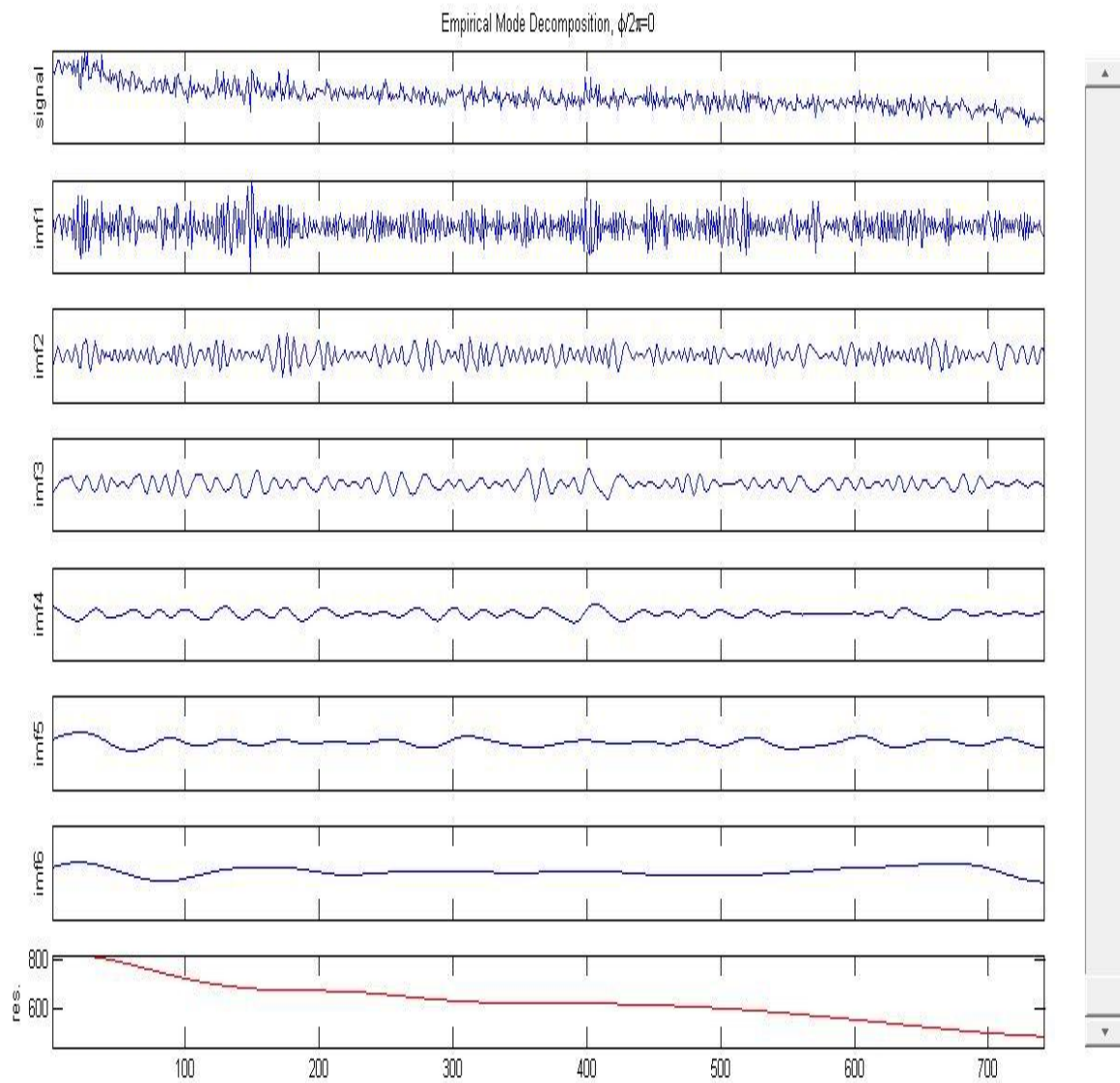


分析过程

第一步：数据变换



可以看出，数据变换之后，频域性质随着发生变化。

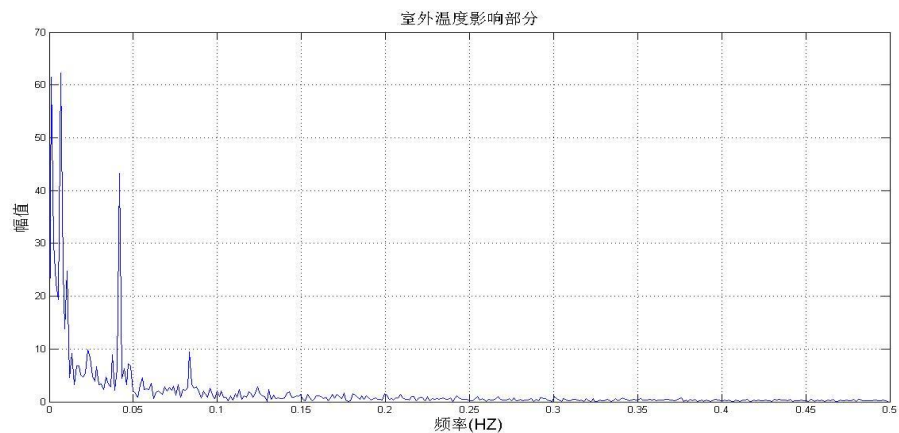
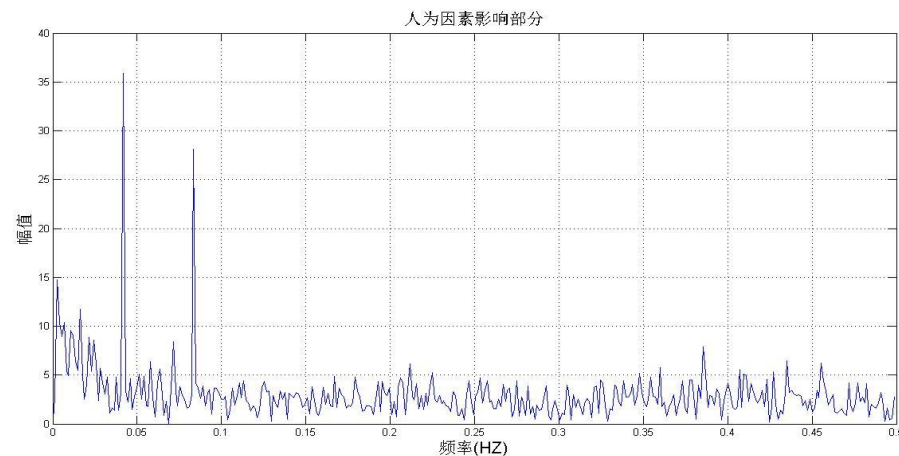
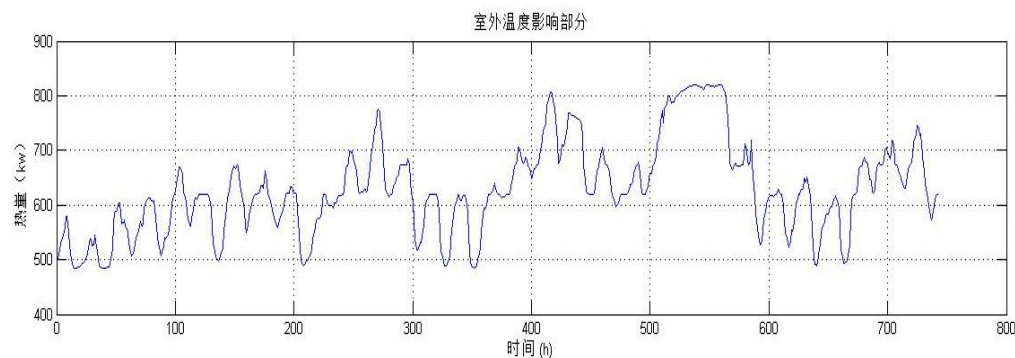
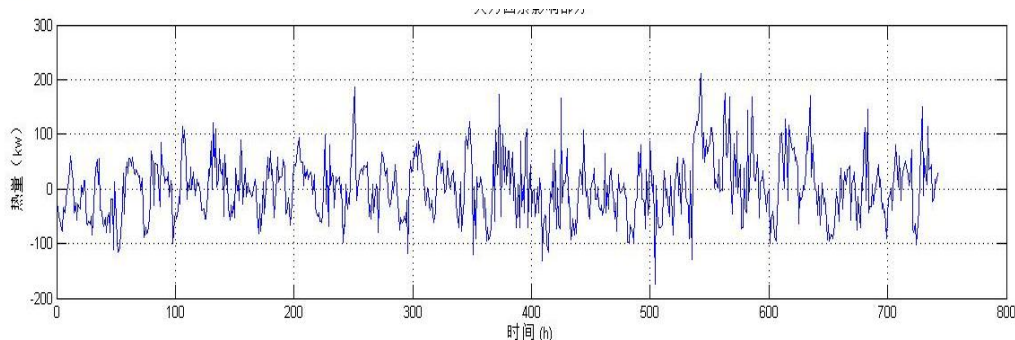


第二步：数据分解

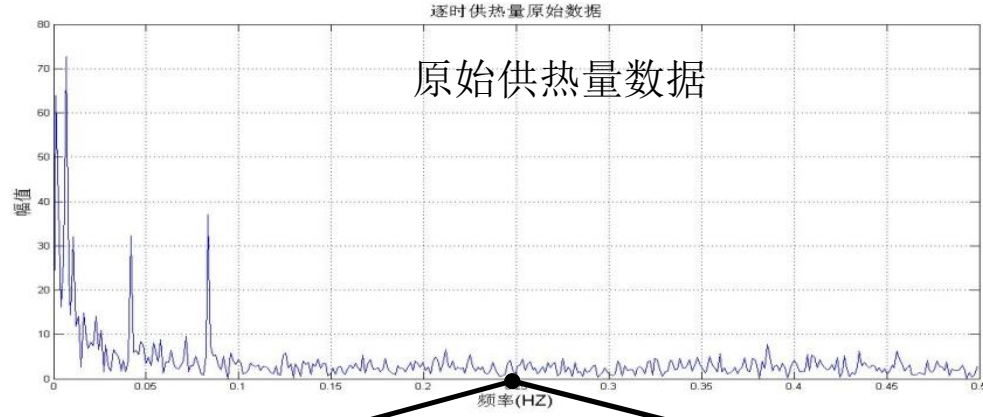
通过对构造数据进行EMD分解，选择余量序列进行逆变换后作为辨识用的供热量数据；其余的则为人为因素产生的影响。



第三步：数据逆变换

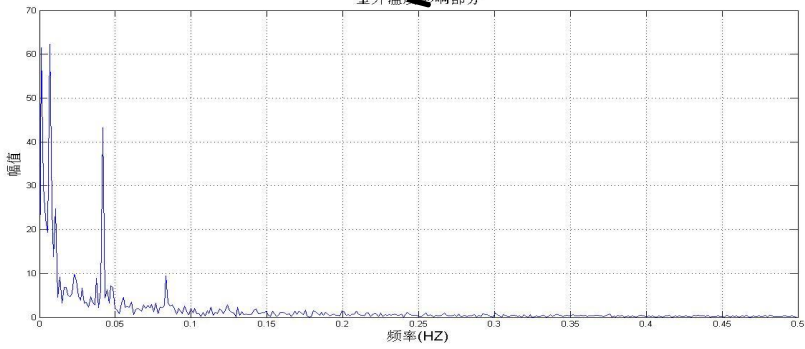


将分解得到的数据变换回原始时间维度上，可以看出人行为对系统产生了一个周期性的影响。



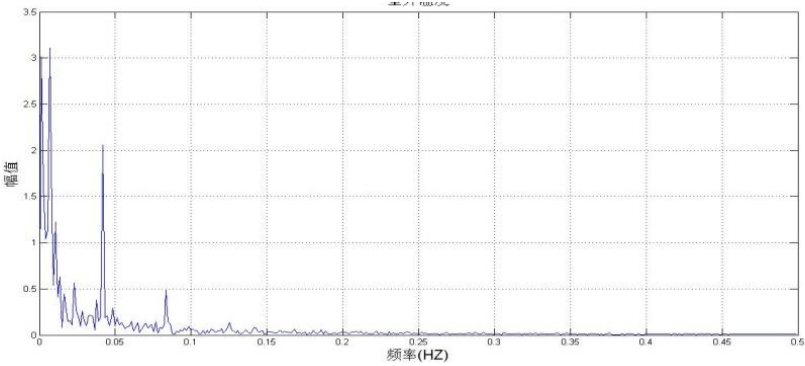
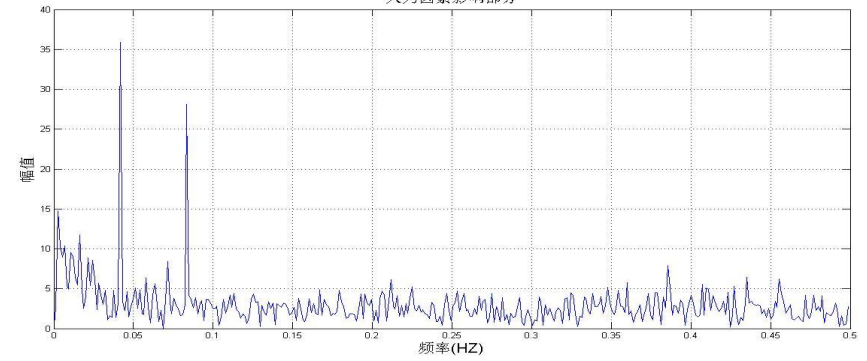
气象部分

室外温度影响部分



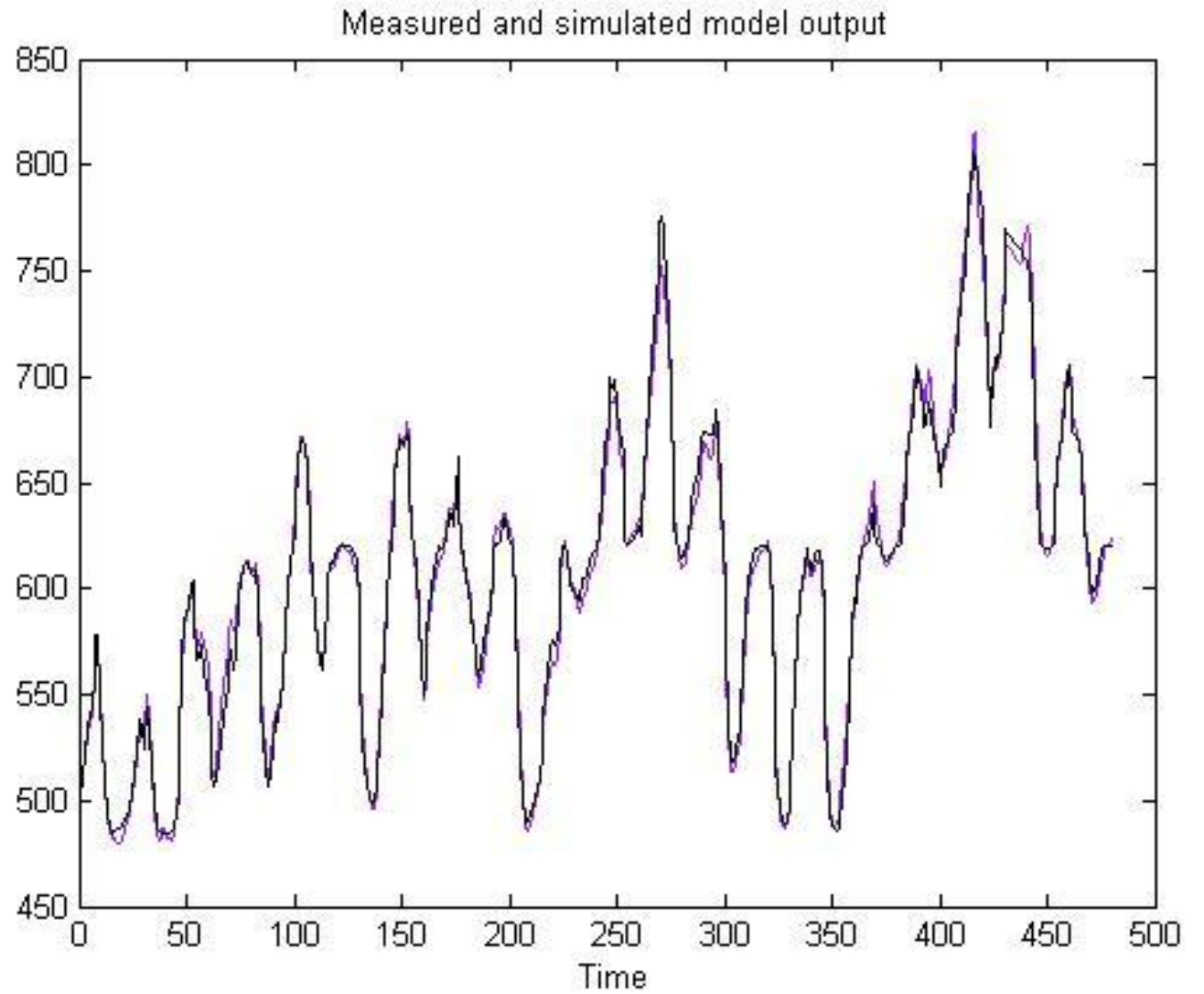
人为主观部分

人为因素影响部分





室外气温对应负荷组分



天津大学建筑节能中心
Building Energy Efficiency Center, Tianjin University



研究兴趣:

建筑能源, 建筑气象

Tianjin University

Email: tianzhe@tju.edu.cn

天津大学建筑节能中心
Building Energy Efficiency Center, Tianjin University