



构建绿色低碳的新型能源系统

——雄安某高校能源规划案例分享

中国中元国际工程有限公司 曹荣光

2025/6/4

【2025全国（新疆）清洁与智慧供热研讨会】



中国中元国际工程有限公司
CHINA IPPR INTERNATIONAL ENGINEERING CO.,LTD.

目录

contents

- 1 | 背景及问题
- 2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征
- 3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计
- 4 | 多能互补区域能源规划工程案例
- 5 | 主要结论

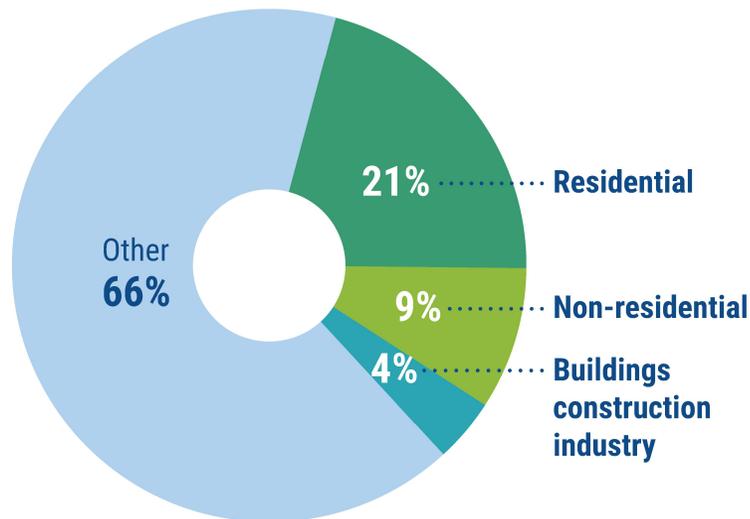


□ 建筑行业碳排放背景 Background

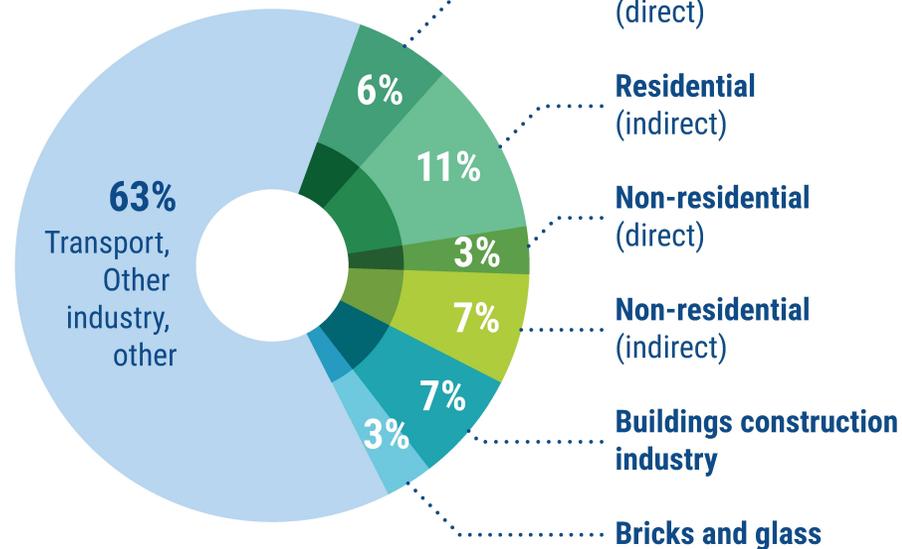
- 从国际上来看，2022年全球建筑行业是主要的能源消费行业之一，其中建筑运营能耗占最终能源需求的30%，碳排放占27%，主要用于供暖和制冷等运营需求。

Figure 1 Share of buildings in total final energy consumptions in 2022 (left) and share of buildings in global energy and process emissions in 2022 (right)

ENERGY DEMAND BY SECTOR 2022



EMISSIONS BY SECTOR 2022



(Source: IEA 2023a. Adapted from 'Tracking Clean Energy Progress')

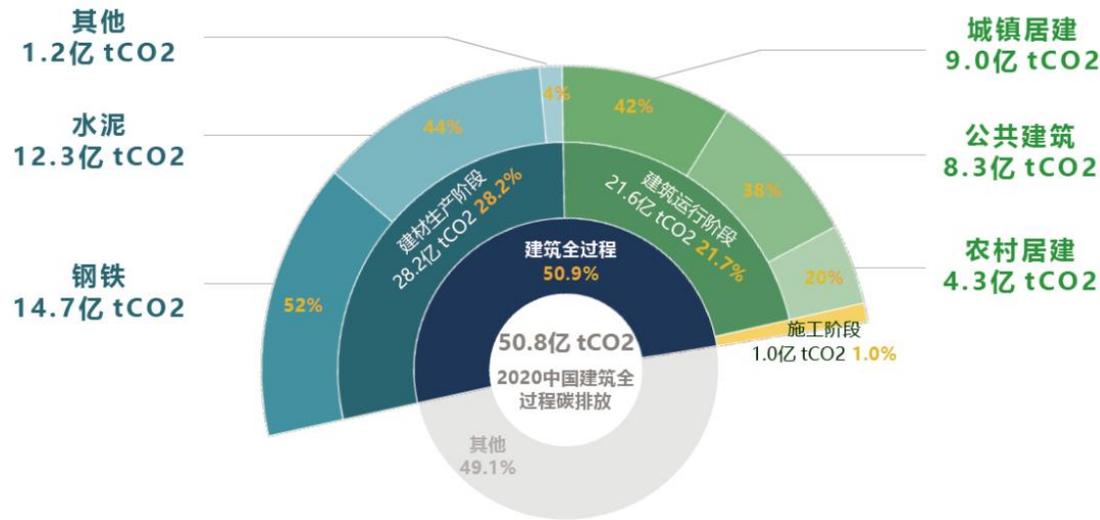
Notes: Buildings construction industry refers to materials used in construction, including concrete, steel and aluminium. Other materials shown separately.



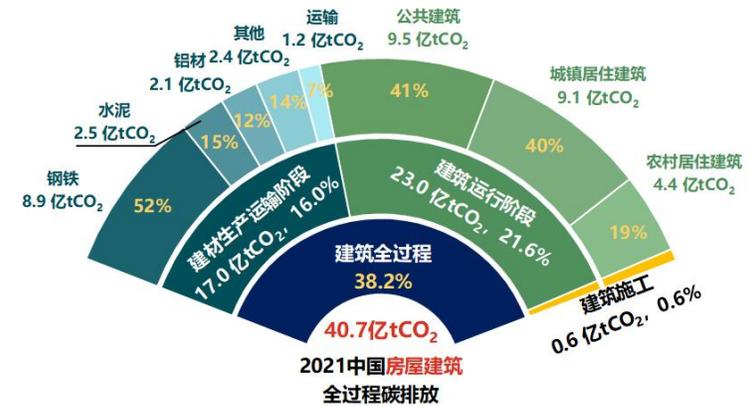
1 | 背景及问题

□ 建筑行业碳排放背景 Background

- 目前，得益于建材生产缩减，我国建筑行业碳排放占比稍稍下降，但建筑运营能耗增加。随着城镇化的持续推进，我国建筑需求不断攀升，加之南方供暖市场逐渐扩大，建筑领域的碳排放量在未来十年内仍会持续攀升，建筑行业面临空前的节能减碳挑战。



2020年中国建筑全过程能耗碳排放总量及占比情况
(来源：中国建筑节能协会：
2022中国建筑能耗与碳排放研究报告)



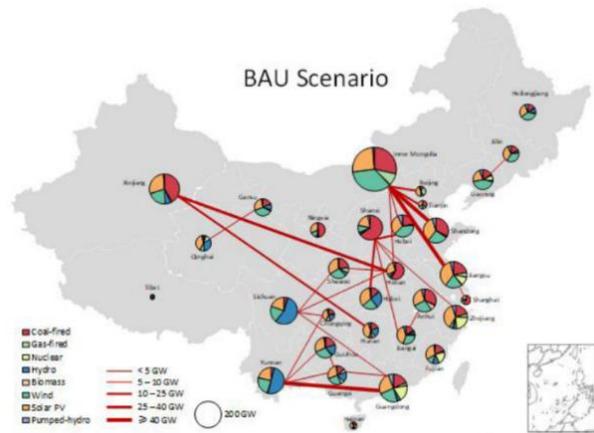
注：建造阶段的建材碳排放和施工碳排放仅包含房屋建筑，不涉及基础设施；
建材碳排放仅为能源碳排放，不含建材的工业过程碳排放；
全国能源相关碳排放总量106.4亿tCO₂，数据源自国际能源署（IEA）。

2021年中国房屋建筑全过程碳排放
(来源：中国建筑节能协会和重庆大学：
2023中国建筑与城市基础设施碳排放研究报告)

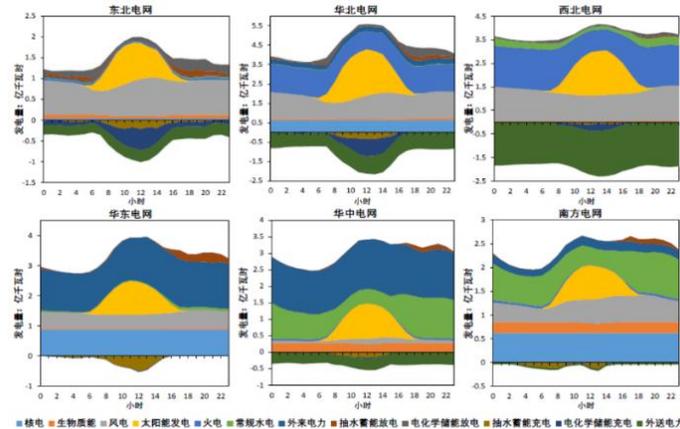


□ 建筑行业碳中和技术路径：清洁电力→全面电气化→碳中和

- 促进可再生能源大规模利用的未来电力系统：建设低碳的未来电力系统，通过电源结构调整、区域电网规划、以及储能技术布局等措施，经济有效地接纳高比例可再生能源。
- 建筑用能“光储直柔”：建筑设备全面电气化、尽可能使用绿电、发展零碳热源。
- 源网荷储实现一体化：“发-输-变-配-用”向“源-网-荷-储”一体化循环转变。
- 柔性用电：配电+售电，聚合用电终端削峰填谷。



未来跨区域电网结构



未来各区域典型天的电力调度



源网荷储协调控制



□ 建筑行业脱碳减排实施路径

- 我国关于“双碳”的国家总体政策是以“1+N”的形式发布，其中“1”就是顶层设计指导意见，N就是各行业、各领域分别的政策措施。建筑行业的N：o₁源头减量、o₂能源转型、o₃能效提升、o₄模式升级、o₅资源循环、o₆负碳技术这六大类。
- o₃能效提升：以全面电气化和技术创新提升用能效率。推行全面电气化用能模式，并通过设备提效与节能、信息化、热回收等技术的创新升级，提高建筑行业高清洁能源占比和能源利用效率。

北京市城市管理委员会 北京市发展和改革委员会

京管办发〔2022〕303号

北京市城市管理委员会 北京市发展和改革委员会 关于印发《北京市新增产业的禁止和限制目录 (2022年版)》热力生产和供应业 管理措施实施意见的函

二、实施原则

(一) 新建供热项目

1. 采用新能源和可再生能源供热，或采用新能源和可再生能源耦合常规能源供热。

2. 新能源和可再生能源热源包括地热能(含浅层地热和中深

供热)、绿电(含蓄热)和太阳能等。

3. 耦合常规能源供热方案中新能源和可再生能源设施装机占比不小于项目总装机的60%，常规能源作为调峰或辅助热源。

4. 常规能源包括既有的燃气锅炉房和热电联产热源。

5. 常规能源优先考虑周边既有的热电联产热源。

(二) 改(扩)建供热项目

1. 优先采用新能源和可再生能源供热。

2. 不具备新能源和可再生能源供热实施条件，距离周边现状供热设施较近的，可优先考虑接入现状供热设施，但应同时对周边现状供热设施进行低碳改造。

3. 不具备新能源和可再生能源供热实施条件，也不具备并入周边现状供热设施的，经过论证后，可按改(扩)建需求增建或保留燃气供热设施。

(三) 新建、改(扩)建非供热项目(工业生产用蒸汽和用热项目)，参照改(扩)建供热项目。

(四) 不具备新能源和可再生能源供热条件或新能源和可再生能源装机占比达不到60%的项目：供热面积为5万平方米以下的，由区发展改革部门组织区级相关部门进行论证，出具论证意见，并报市发展改革等部门；供热面积为5万平方米(含)以上，

北京市发展和改革委员会 北京市城市管理委员会 文件

京发改〔2024〕1202号

北京市发展和改革委员会 北京市城市管理委员会 关于优化调整《北京市新增产业的禁止和限制目录(2022年版)》热力生产和供应业管理措施实施意见的通知

市经济和信息化局、市规划自然资源委、市生态环境局、市住房城乡建设委、市水务局、市农业农村局，北京经济技术开发区管委会、各区发展改革委、城市管理委：

《<北京市新增产业的禁止和限制目录(2022年版)>热力

- 1 -

一、实施分类管理

1. 首都功能核心区的新建和改(扩)建供热项目，因地制宜利用新能源和可再生能源供热，对于不具备新能源和可再生能源利用条件的，论证后可接入附近市政热力供热。

2. 首都功能核心区之外的新建和改(扩)建供热项目，应认真分析梳理项目所在区域各类新能源资源禀赋条件，对于新能源和可再生能源利用条件较好的，必须优先利用新能源供热，耦合供热系统中新能源供热装机占比原则上不小于项目总装机的60%，既有的市政热力或低碳常规热源作为调峰(辅助)热源；

对于新能源和可再生能源利用条件较差的，按照“因地制宜、宜用尽用”的原则，经过论证，耦合供热系统中新能源供热装机占比可以低于60%，既有的市政热力或低碳常规热源作为补充；对于不具备新能源和可再生能源利用条件的，经过论证，可优先接入附近市政热力或低碳常规热源供热，必要时可增建燃气供热设施。

- 2 -

3. 鼓励各区按照分区规划、乡镇域规划和控制性详细规划，充分挖掘区域新能源和可再生能源资源潜力，综合平衡街区、组团、地块内新建和改(扩)建项目新能源供热装机占比，以满足相关政策要求，支持规划建设区域综合能源站，根据新能源资源禀赋条件，在街区、组团、地块供热规划或方案中以综合能源站方式达到新能源供热政策要求的，区域内单体项目可直接从综合能源站接入冷热源，项目视为满足相关政策要求。

4. 支持热力生产和供应单位对城市热网和区域热网整体增



□ 综合能源系统研究的关键问题

- **多目标条件下的综合能源系统规划方法**：随着传统能源行业的壁垒逐步消除，综合能源市场进一步发展，逐步产生了“产消者”以及能源共享等新概念，并考虑到市场参与者的多样性，为了促进综合能源系统进一步落地，有必要对市场机制与能源交易影响下的综合能源规划进行研究；
- **考虑动态特性的综合能源系统设计方法**：综合能源系统设计应综合考虑系统本质上具有的暂态与时延特性，采用动态设计方法以准确地描述能量转换与传输过程，达到满足末端负荷需求的同时提高系统能效。
- **能源-信息系统融合（智慧综合能源管理平台）**：实时有效的**自动控制**是智慧综合能源系统高效运行的关键。控制的本质是**反馈**，无论是在工程、经济和生物系统中，反馈都是实现有效控制的核心要素。**结合人工智能、外部环境变化的表征与控制，智慧能源系统应通过感知、认知和行动，与物理环境进行深度交互，增强自动化系统的柔性能力，使得自动化系统不再局限于预设的程序，而是能够根据环境的变化进行自主决策和行动，包括对人的意图和行为动机的理解。例如天气变化、周末假日、使用行为等应采取不同的运行控制策略等。**



□ 综合能源系统相关研究内容

- 园区级综合能源系统的建模以及多能流的源、荷、储协同规划；
- 区域级综合能源系统多能流的潮流算法；
- 跨区域级综合能源系统的能源运输及能源互补；
- 能源-交通系统融合以及能源-信息系统融合等。

□ 综合能源系统研究的热点问题

- **多目标条件下的综合能源系统规划方法**：随着传统能源行业的壁垒逐步消除，综合能源市场进一步发展，逐步产生了“产消者”以及能源共享等新概念，并考虑到市场参与者的多样性，为了促进综合能源系统进一步落地，有必要对市场机制与能源交易影响下的综合能源规划进行研究；
- **考虑动态特性的综合能源系统设计方法**：综合能源系统设计应综合考虑系统本质上具有的暂态与时延特性，采用动态设计方法以准确地描述能量转换与传输过程，达到满足末端负荷需求的同时提高系统能效。



□ 区域能源设计实践中的“痛点”与“解决方案”

痛点

- 能源规划缺位：碳排放无约束、系统设施无保障；
- 专业协同目标复杂化：指标化 → 性能化。

解决方案

- 碳排放限额设计贯穿规划设计→施工图设计全过程；
- 碳排放/能耗限额区域能源系统性能化设计。

性能化系统设计与指标化系统设计的差异

项目	传统的系统设计 (指标化系统设计)	基于碳排放限额的区域能源系统设计 (性能化系统设计)
参数选取	直接从规范中选定设计参数	基于碳排放限额/能耗限额，给出满足要求的参数和指标要求
工作范围	主要关心系统设计	关心设计、建造及运行全过程
措施选择	原则上采用规范中所规定的方法或措施	所提供的措施只要是能证明合适的，就允许采用，为设计提供创造空间
指导原则	重视细节，轻视整体	强调系统整体有机集成



目录

contents

- 1 | 背景及问题
- 2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征
- 3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计
- 4 | 多能互补区域能源规划工程案例
- 5 | 主要结论



2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 能耗计算方法

应采用计算机软件计算，并具备下列功能：

- 应能计算建筑供暖、通风、空调、照明、插座设备、生活热水、电梯系统的能耗和可再生能源系统的利用量及发电量；
- 应能计算围护结构传热、太阳辐射得热、建筑内部得热、通风等形成的负荷，计算中应考虑供暖空调系统间歇运行时由于建筑热惰性引起的附加负荷；
- 应能计算新风热回收对通风负荷的影响；
- 应能计算当夏季室外空气焓值低于室内时，利用室外新风降温对建筑空调冷负荷的折减；
- 应能计算室外气象参数、设备负荷率、设备运行工况等对供暖空调冷热源系统能效的影响；
- 应能计算供暖空调末端设备及系统调节控制方式对输配系统能耗的影响；
- 应能计算天然采光和自动控制对照明能耗的影响。



□ 两个问题 Questions

- 规划阶段如何计算建筑能耗?
- 如何控制建筑负荷?



2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 规划阶段如何计算建筑能耗？

➤ 情景分析法

假定某种现象或某种趋势将持续到未来的前提下，对预测对象可能出现的情况或引起的后果作出预测的方法。

➤ 基于建筑整体情景分析的建筑能耗计算方法

以建筑整体或功能区整体作为研究对象，根据其使用功能和运行规律，采用计算机软件对建筑年度冷、热、电、燃气等能源消耗进行计算分析的方法。



区域建筑规划（强排方案）

时刻	开机比例		时刻	开机比例	
	工作日	周末		工作日	周末
0:00	10%	10%	12:00	20%	20%
1:00	10%	10%	13:00	20%	20%
2:00	10%	10%	14:00	95%	20%
3:00	10%	10%	15:00	95%	20%
4:00	10%	10%	16:00	95%	20%
5:00	10%	10%	17:00	95%	10%
6:00	10%	10%	18:00	30%	10%
7:00	10%	10%	19:00	30%	10%
8:00	50%	10%	20:00	10%	10%
9:00	95%	20%	21:00	10%	10%
10:00	95%	20%	22:00	10%	10%
11:00	95%	20%	23:00	10%	10%

教学建筑运行规律

时刻	开机比例		时刻	开机比例	
	工作日	周末		工作日	周末
0:00	10%	10%	12:00	100%	100%
1:00	10%	10%	13:00	100%	100%
2:00	10%	10%	14:00	50%	50%
3:00	10%	10%	15:00	10%	10%
4:00	10%	10%	16:00	50%	50%
5:00	10%	10%	17:00	100%	100%
6:00	50%	50%	18:00	100%	100%
7:00	100%	100%	19:00	50%	50%
8:00	100%	100%	20:00	10%	10%
9:00	50%	50%	21:00	10%	10%
10:00	10%	10%	22:00	10%	10%
11:00	50%	50%	23:00	10%	10%

食堂建筑运行规律



2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 建筑概况

- 上海地区（夏热冬冷气候区）某办公建筑外形如图所示，属于超高层办公建筑及裙房，总建筑面积 92396 m^2 ，其中空调区建筑面积 63305 m^2 ，建筑高度 140.5 m 。
- 围护结构参数符合《公共建筑节能设计标准》（GB50189-2015）

表 3.6 围护结构各主要部位参数

朝向		东向	南向	西向	北向
外墙(含窗)(m^2)		6093.90	11188.37	5688.00	11188.37
外窗	窗墙面积比	0.84	0.88	0.89	0.83
	外窗(m^2)	5118.88	9845.77	5062.32	9286.35
屋顶(m^2)		7451.95			

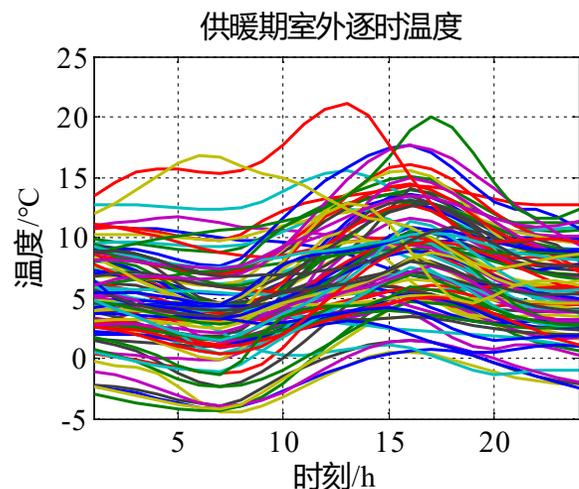
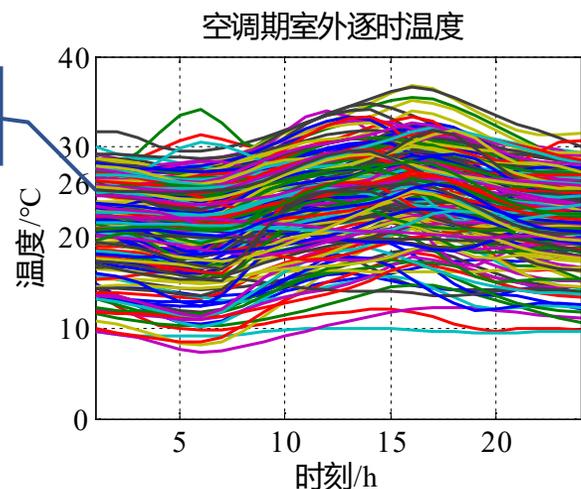


2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 建筑使用情景分析

➤ 空调期：4月1日~10月15日，共计198天。供暖期：12月1日~3月1日，共计90天。

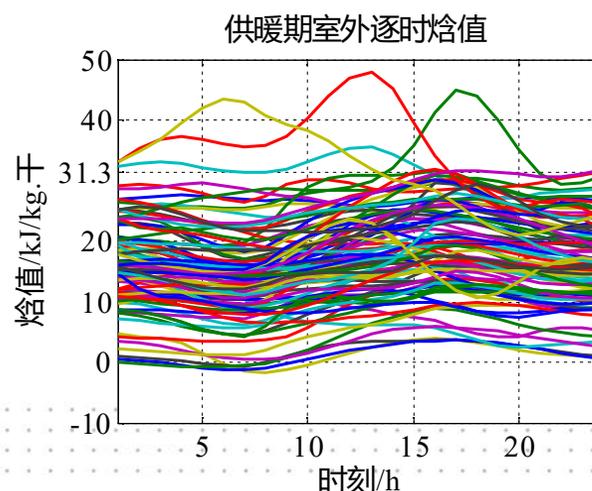
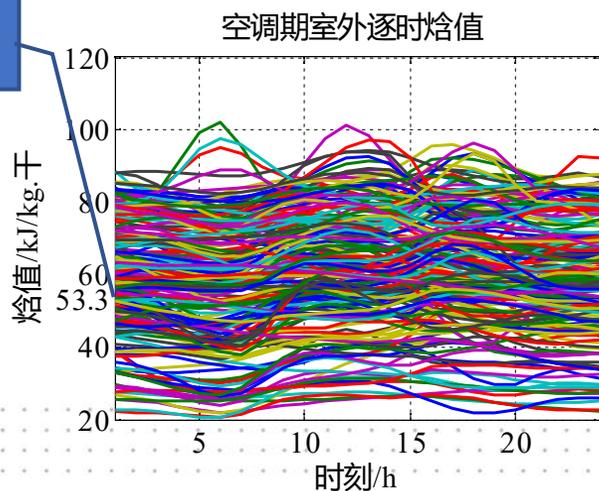
传热方向



末端设备开启率

时刻	开机比例		时刻	开机比例	
	工作日	周末		工作日	周末
0:00	5%	5%	12:00	80%	10%
1:00	5%	5%	13:00	80%	10%
2:00	5%	5%	14:00	80%	10%
3:00	5%	5%	15:00	80%	10%
4:00	5%	5%	16:00	80%	10%
5:00	5%	5%	17:00	80%	10%
6:00	5%	5%	18:00	40%	10%
7:00	10%	10%	19:00	10%	10%
8:00	40%	10%	20:00	5%	5%
9:00	80%	10%	21:00	5%	5%
10:00	80%	10%	22:00	5%	5%
11:00	80%	10%	23:00	5%	5%

最大新风



2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 建筑能耗时空分布特性

➤ 供暖系统能耗

供暖期：12月1日~3月1日，共计90天。

供暖期总耗热量：65.49 万kWh，合 10.34 kWh/m²；

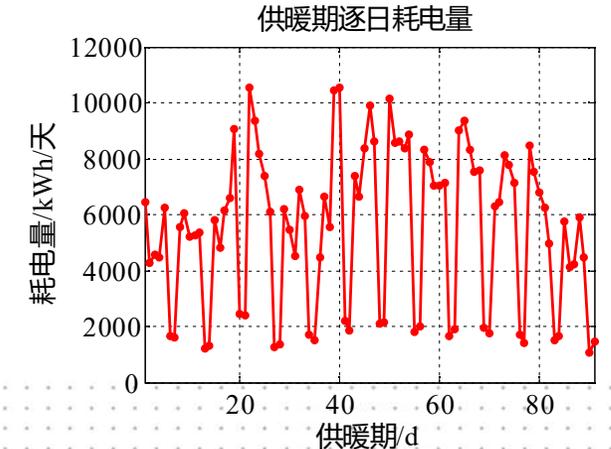
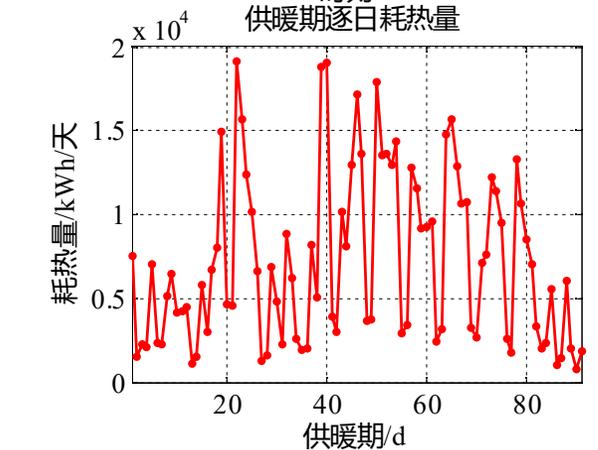
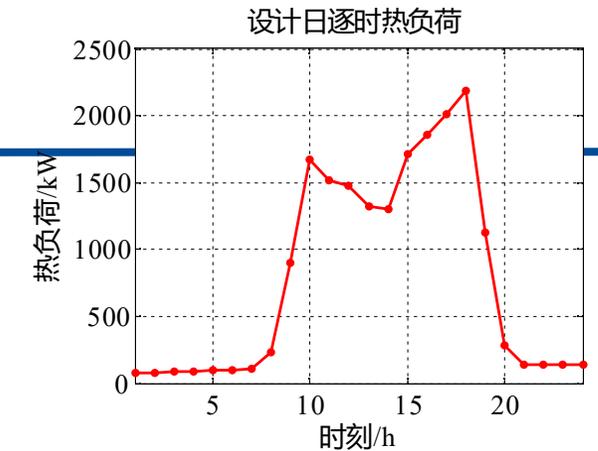
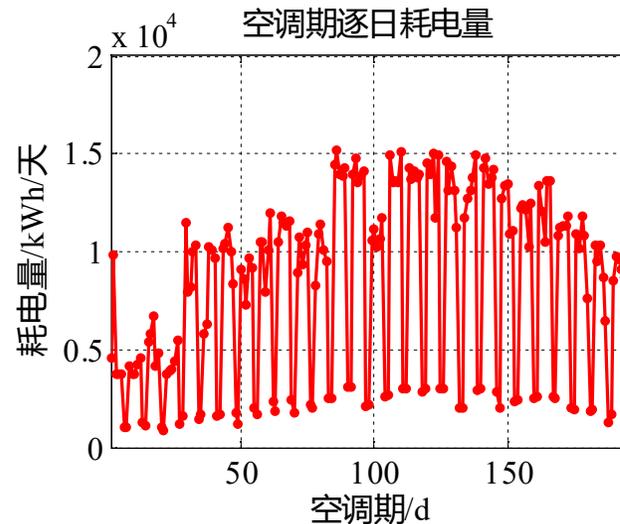
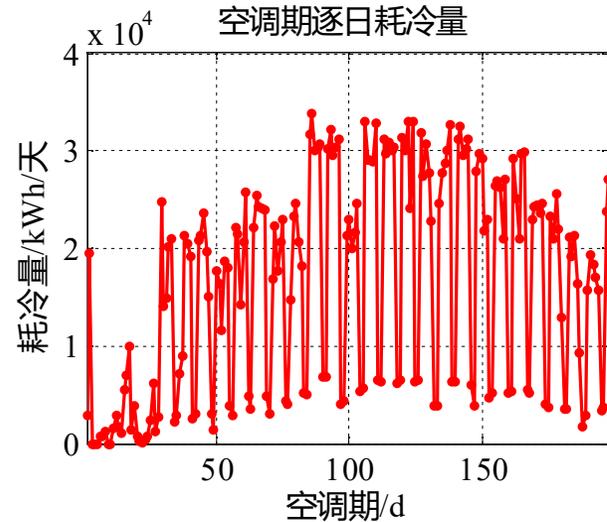
供暖期总耗电量：49.76 万kWh，合 7.86 kWh/m²。

➤ 空调系统能耗

空调期：4月1日~10月15日，共计198天。

空调期总供冷量：323.23 万kWh，合 51.06 kWh/m²；

空调期总耗电量：162.13 万kWh，合 25.61 kWh/m²。



2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 建筑能耗时空分布特性

➤ 照明、插座设备、电梯系统能耗

计算时间：1月1日~12月31日

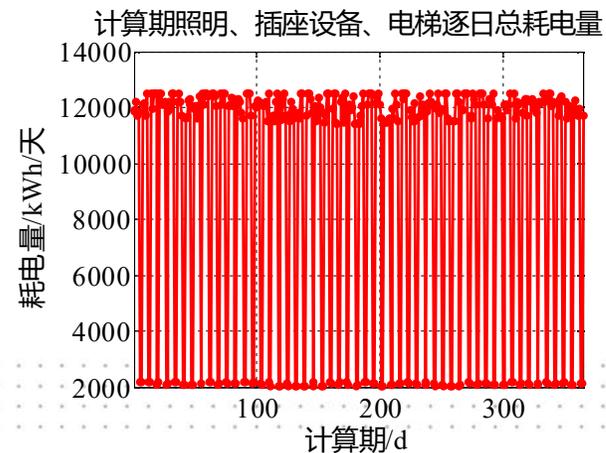
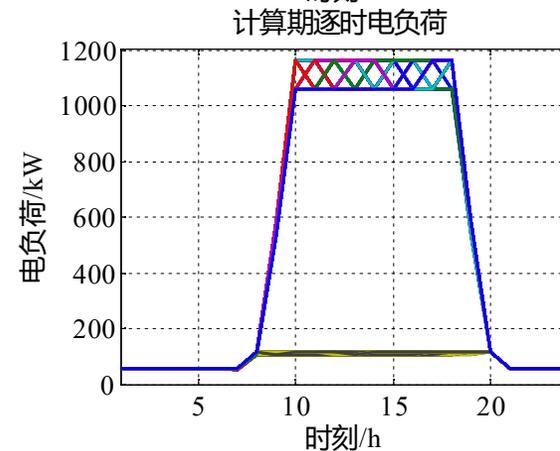
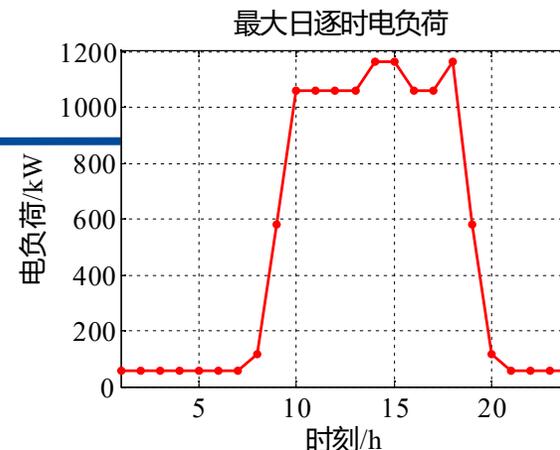
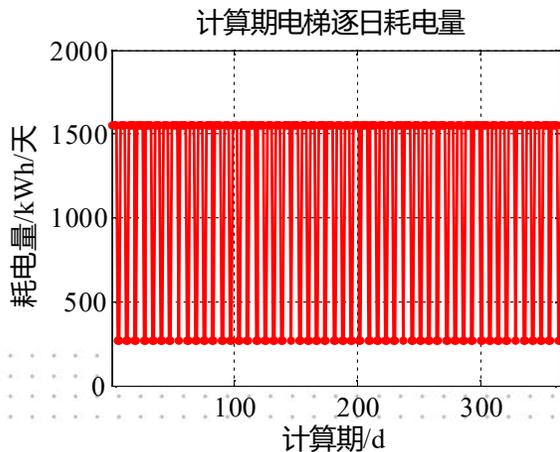
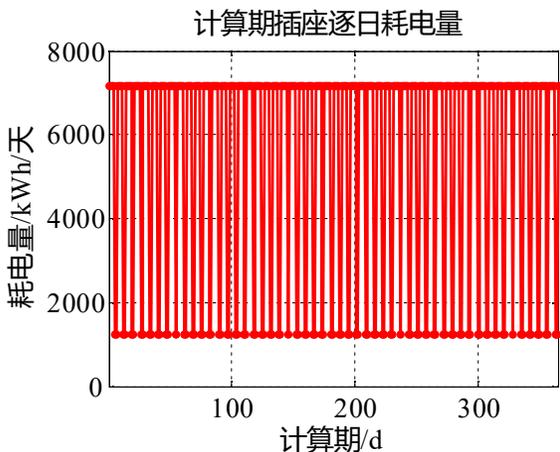
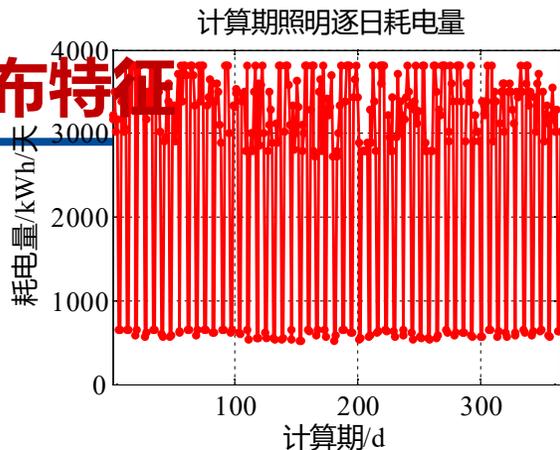
照明耗电量：94.83 万kWh，合 14.98 kWh/m²；

插座耗电量：199.29 万kWh，合 31.48 kWh/m²；

电梯耗电量：43.17 万kWh，合 6.82 kWh/m²；

计算期照明、插座设备、电梯总耗电量：

337.29 万kWh，合 53.28 kWh/m²；



2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 建筑能耗时空分布特性

➤ 建筑能耗模拟结果汇总

建筑总能耗为供暖、空调、照明、插座设备（含生活热水）、电梯系统的能耗之和，模拟结果汇总详见表 3.10。单位面积总能耗指标为 $86.75 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ，其中供暖空调系统为 $33.47 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ，占比为 38.6%；室内设备系统为 $53.28 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ，占比为 61.4%。

表3.10 建筑能耗汇总表

序号	项目	建筑能耗		占比	备注
		能耗 (万kWh)	面积指标 (kWh/m ² ·a)	%	
1	供暖系统	49.76	7.86	9.1	
2	空调系统	162.13	25.61	29.5	
3	供暖空调系统小计	211.89	33.47	38.6	(1)+(2)
4	照明系统	94.83	14.98	17.3	
5	插座设备系统	199.29	31.48	36.3	
6	电梯系统	43.17	6.82	7.9	
7	室内设备系统小计	337.29	53.28	61.4	(4)+(5)+(6)
8	总计	549.18	86.75	100	(3)+(7)



2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 对比分析

- 模拟数据与实测数据类比，结果表明：**基于建筑整体情景分析的建筑物能耗计算方法，合理考虑了建筑能耗的影响因素，可以用于规划阶段建筑能耗计算。**

表3.11 上海市公共建筑能耗监测平台数据（2021年）*

序号	建筑类型	数量(栋)	数量占比(%)	面积(m ²)	单位面积用电强度(kWh/m ²)	照明与插座电耗占比(%)	空调电耗占比(%)	动力电耗占比(%)	特殊电耗占比(%)
1	国家机关办公建筑	240	9.8	4068903	89.4	37.7	35.8	8.4	18.1
2	办公建筑	700	32.7	34125366	89.8	48.8	31.1	10.2	9.9
3	旅游饭店建筑	248	10.2	9816759	111.7	40.6	36.2	9.6	13.5
4	商场建筑	274	12.8	15893528	141.1	50.7	28.2	9.3	11.8
5	医疗卫生建筑	135	6.3	4936467	148.5	35.7	39.6	8.5	16.3
6	综合建筑	255	11.9	20755523	100.1	49.4	27.6	11.7	11.3
7	教育建筑	235	11.0	6836385	45.1	45.9	30.0	12.2	11.9
8	文化建筑	35	1.6	952990	84.4				
9	体育建筑	19	0.9	928876	73.6				
10	其他建筑	62	2.9	2696182	100.6				
11	总计	2143	100	101010979					

注：其它建筑包含交通运输类建筑、会展建筑、商住两用建筑等。

*吴蔚沁,王何斌,徐强,冯君,徐雯娴,陈仕炎.2021年上海市公共建筑能耗监测平台数据分析[J].上海节能,2022(09):1096-1104.

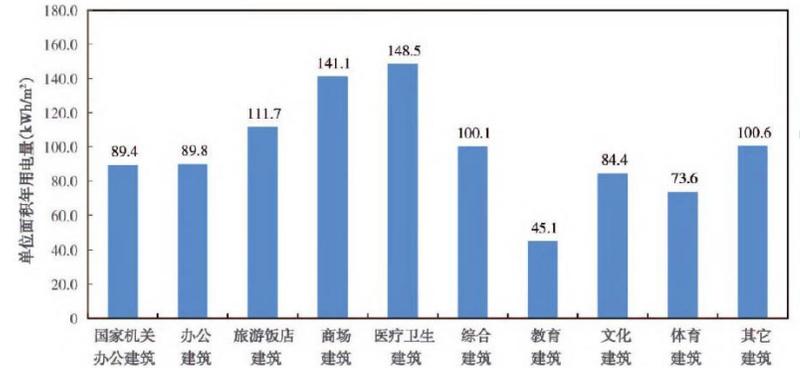


图 3.8 上海市与能耗监测平台联网的各类型公共建筑年用电强度情况 (2021年)

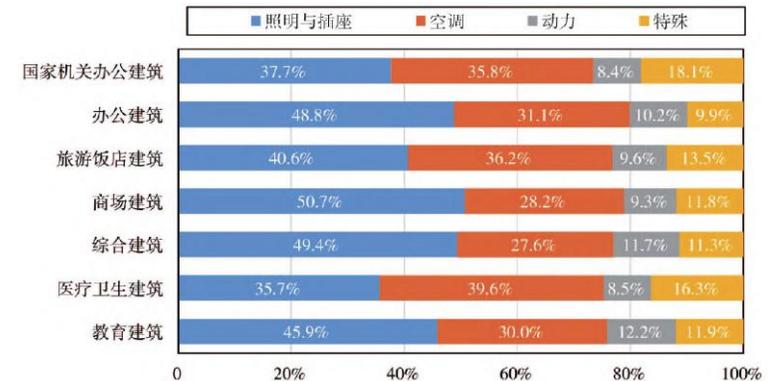


图 3.9 上海市主要类型建筑分项用电量占比情况 (2021年)

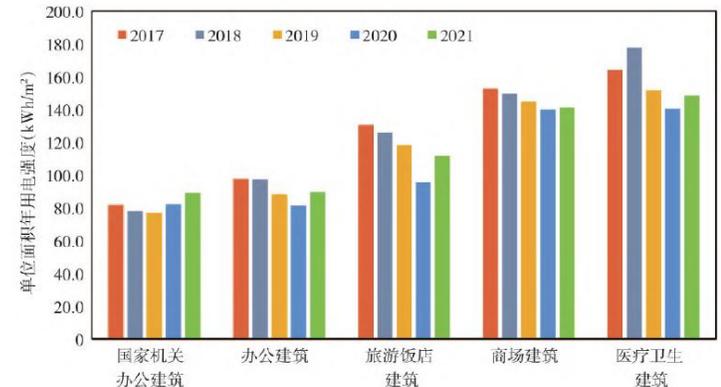


图 3.10 上海市主要类型建筑单位面积年平均用电量变化情况 (2017年-2021年)

2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 如何控制建筑负荷？

(1) 建筑面积传热系数 HTCFA 定义：

在稳态条件下，建筑物与室外大气接触的外围护结构两侧空气温度差为1K时，单位时间内传递的热量与该建筑物总建筑面积的比值定义为建筑面积传热系数， $W/m^2.K$ 。

(2) 计算方法

建筑面积传热系数 (HTCFA) 可按下式计算：

$$HTCFA = \frac{k_w \cdot A_w}{A_F} \quad (2.1)$$

式中： k_w —建筑外围护结构平均传热系数 ($W/(m^2.K)$)；

A_w —建筑外围护结构面积 (m^2)；

A_F —建筑地上部分建筑面积 (m^2)。

建筑外围护结构面积可按下式计算：

$$A_w = S \cdot A_F \cdot H_F \quad (2.2)$$

式中： S —建筑体型系数 (m^{-1})；

H_F —建筑地上部分平均层高 (m)。

根据式 (2.1) 和式 (2.2)，建筑面积传热系数 (HTCFA) 也可按下式计算：

$$HTCFA = k_w \cdot S \cdot H_F \quad (2.3)$$

$$Q = f(A)$$
$$N = g(A)$$

(3) 指标意义

建筑面积传热系数表示单位建筑面积对应的围护结构面积的平均传热系数，从单位面积建筑能耗角度反映了建筑围护结构保温性能指标。提升围护结构保温性能、降低建筑体型系数及层高均可以降低HTCFA值，降低建筑围护结构能耗。



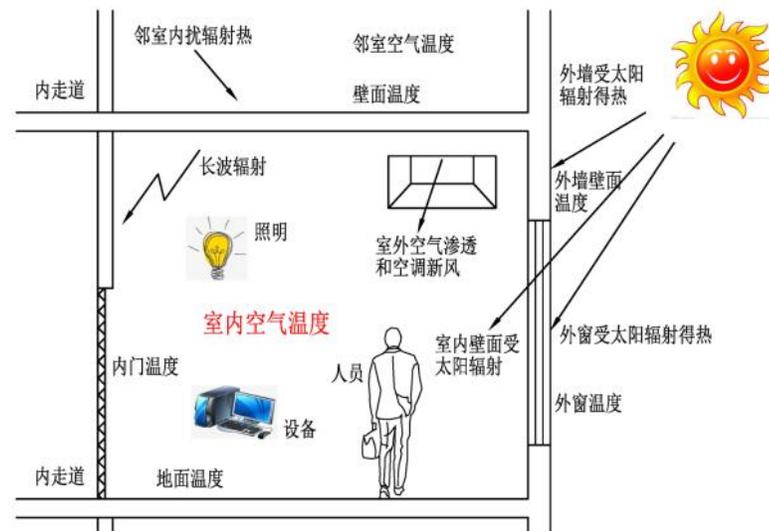
2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征

□ 建筑面积传热系数限值 LHTCFA

- 建筑面积传热系数限值 LHTCFA 定义:

在满足供暖空调能耗限额条件下, HTCFA 的最大允许值。

- 2.1.1 外表系数 *surface factor* 建筑物与室外大气接触的外表面积与节能计算建筑面积的比值, 无量纲 (《北京市居住建筑节能设计标准》DB11/891-2020)。标准中对外表系数有限值要求, 且围护结构传热系数的要求根据外表系数分为两档。



$$HTCFA \leq \frac{HSPF \cdot SEER \cdot N \cdot A_F - SEER \cdot \sum_{i=1}^{t1} (\Delta h_i \cdot G_i - q_i - qsh_i) - HSPF \cdot \sum_{i=1}^{t2} (\Delta h_i \cdot G_i + q_i + qsc_i)}{3.6 \cdot A_F \cdot \left(SEER \cdot \sum_{i=1}^{t1} \Delta t_i - HSPF \cdot \sum_{i=1}^{t2} \Delta t_i \right)} \quad (2.15)$$

建筑面积传热系数限值 LHTCFA 为 HTCFA 的最大允许值, 根据式 (2.15) 得:

$$LHTCFA = \frac{HSPF \cdot SEER \cdot N \cdot A_F - SEER \cdot \sum_{i=1}^{t1} (\Delta h_i \cdot G_i - q_i - qsh_i) - HSPF \cdot \sum_{i=1}^{t2} (\Delta h_i \cdot G_i + q_i + qsc_i)}{3.6 \cdot A_F \cdot \left(SEER \cdot \sum_{i=1}^{t1} \Delta t_i - HSPF \cdot \sum_{i=1}^{t2} \Delta t_i \right)} \quad (2.16)$$

分摊到围护结构上的最大负荷与累积温差的比值



目录

contents

- 1 | 背景及问题
- 2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征
- 3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计
- 4 | 多能互补区域能源规划工程案例
- 5 | 主要结论



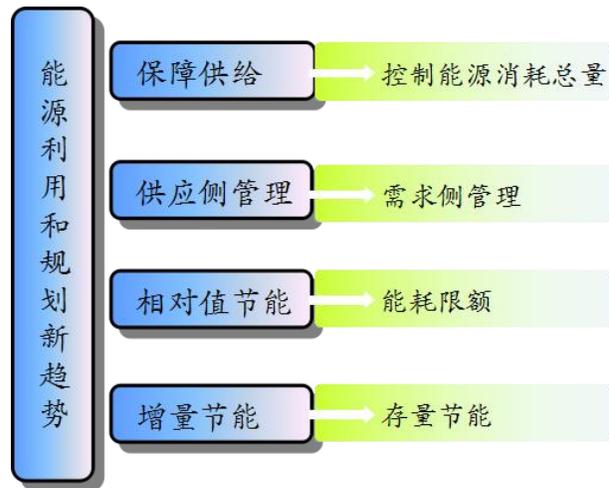
3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

➤ 区域能源规划

以构建绿色、低碳、清洁、高效、智慧、安全、稳定、经济可持续的能源供应体系为目标，推动能源梯级利用，大力发展绿色可再生能源，在能源供需平衡的基础上优化区域能源供应模式，进行总量和单耗的“双控”，最大限度降低碳排放及传统能源的消耗。

主要内容	要素
能源需求预测	用能特点分析
	用能量预测
区域常规能源与可再生能源资源评估	常规能源资源分析
	可再生能源资源分析
区域能源系统及设施规划	能源系统规划
	能源设施规划
分项指标	可再生能源利用率
	能耗限额指标
	碳排放指标

➤ 新时期的能源规划已经发生的新变化



➤ 碳达峰碳中和框架下的能源规划新趋势

- 新建建筑零碳化。
- 终端消费能源电气化。
- 可再生能源应用。
- 碳捕集碳封存CCUS。
- 提升建筑寿命，防止“大拆大建”，减少新建建筑量。



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

➤ 综合能源规划新方法

1) 综合资源规划 (Integrated Resource Planning, IRP)

除供应侧资源外，把需求侧通过运行节能所减少的能耗和需求，以及通过设计节能所降低的负荷也视为一种资源，两者作为一个整体同时参与能源规划，对供能方案和节能方案进行成本效益分析；经优选组合，在满足同样能源服务条件下，形成对社会、供能企业和用户等各方综合效益最优的规划方案。

2) 供应侧能源规划和需求侧能源规划对比

供应侧能源规划	需求侧能源规划
技术路线	
基于可靠性，要有充足的冗余和储备	基于综合资源规划，终端节能资源化
化石能源为主	多源耦合系统，集成可再生能源
大集中系统	能源组网
适应工业化时代需求，消耗高温高压高品位能源，稳定的负荷	适应后工业化时代需求，强调能源的梯级利用，低温低压低品位能源，变动的负荷
集中产能，远程输送	现场产能，分布式产能
单向供应	双向供应
电力、燃气、热力规划自成体系，协同协调不够	

供应侧能源规划	需求侧能源规划
方法论	
负荷预测：极端用能情况下的高峰负荷	负荷预测：采用节能措施后的减量化负荷
指标法粗放型 预测。取单位建筑用地、单位建筑面积、人均生活用电、人均综合用电指标，取其大者。装机留有裕量， 做加法	精细化 预测。采取各类建筑、各种情景下的逐时负荷进行叠加，实现负荷平准化和错峰， 做减法
大机组大集中系统，发挥大机组的高能效	分布式产能，灵活运行，分散式个性化用能
大部分时间运行在低负荷工况，输送能耗高	系统满负荷运行时段延长，综合能效提高
热电联产，电力依赖上网或并网，重视余热利用，综合一次能源利用率70%以上	热电联产，电力自用，余电上网；发出的电力驱动热泵，与余热共同承担供冷供热任务
进入法定城市规划系列，有成熟的技术标准	
效益分析	
用户对能源品种和供应方式只有唯一选择	用户可有多种选择，必须有灵活的价格机制和周到的服务，系统运行的商业化模式，是需求侧能源规划中必须考量的要素
利用价格杠杆推动需求响应，用足存量、降低增量，用户节钱不节能/节能不节钱	根据市场交易原则，选取最有利的运行模式，既节能又节钱
保障供应侧利益，实行按面积收费	供需双赢、计量收费、有吸引力的合理价格
只有一个投资主体	多个投资主体，多种投资形式，非常适合采取公私合营 (PPP) 模式

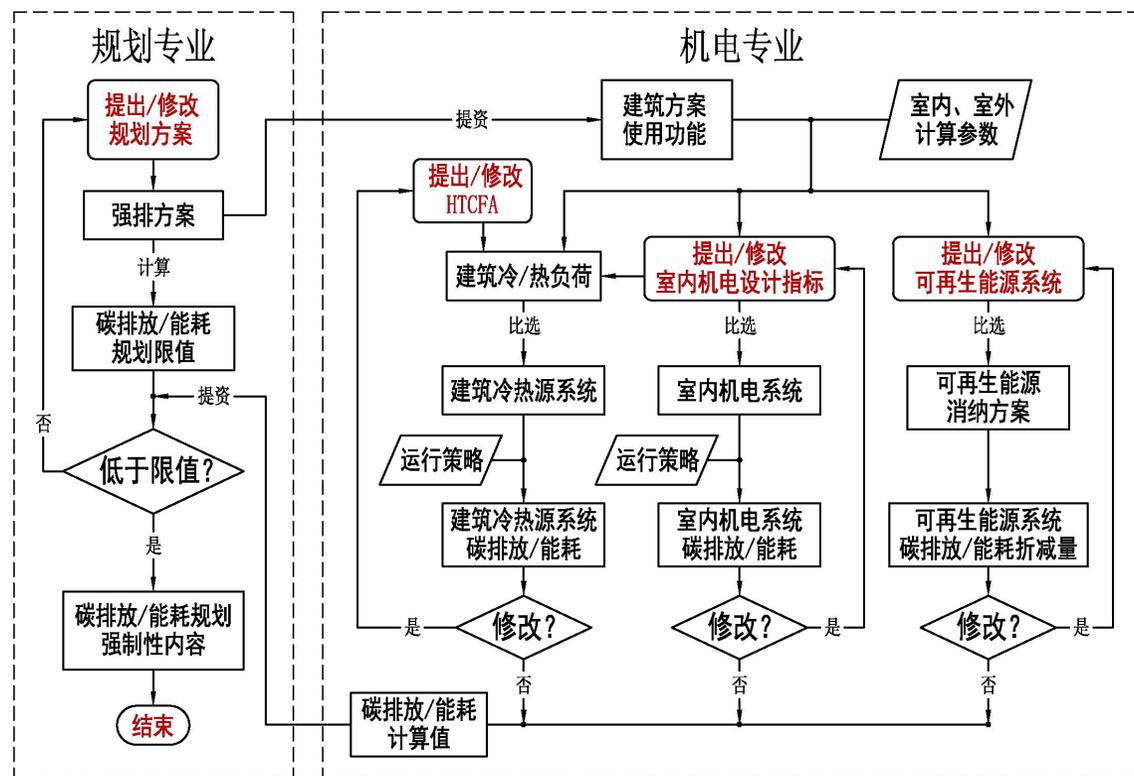


3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

碳排放/能耗限额下区域能源规划技术路线

设计流程:

- (1) 规划专业制定强排方案，计算碳排放/能耗规划限值；
- (2) 机电专业计算建筑碳排放/负荷，考虑可再生能源系统折减量，汇总得出碳排放/能耗计算值。
- (3) 通过修改强排方案、HTCFA指标、室内机电设计指标、可再生能源系统等参数，或通过修改机电系统设计，迭代计算，直至满足要求；
- (4) 如有多个规划方案满足要求，应通过增量投资分析法确定最终优选方案；
- (5) 编制性能化设计报告。



多能互补综合能源系统设计流程-规划阶段



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

□ 规划编制概要

- 地热能资源
- 市政条件

- 市政热力
- 市政天然气

➤ 用能负荷

- 负荷指标
- 负荷分析

➤ 能源需求

- 全年供暖空调耗热/耗冷量
- 生活热水量
- 全年用电量
- 全年用燃气量

□ 能源综合利用系统及设施

➤ 能源综合利用系统规划

- 供暖、供冷系统
- 供生活热水系统

区域能源规划编制概要



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

□ 规划设计工程实例

➢ 北京某建筑综合体项目涵盖办公、商业、公寓等功能业态，总建筑面积25.69万m²，区域能源规划目标：

- 1、项目整体建成超低能耗建筑，降低运营成本。相对标准《民用建筑能耗标准》（GBT 51161-2016）中规定的建筑能耗约束值，本项目建筑综合节能率 ≥ 50%，建筑等效耗电指标 ≤ 39.5 kWh/(m²·a)。
- 2、项目整体建成具有示范意义的低碳园区，碳排放指标 ≤ 23.1 kgCO₂/(m²·a)。

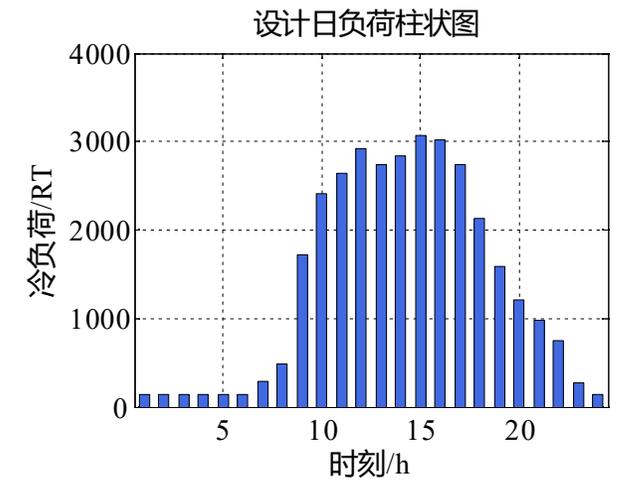
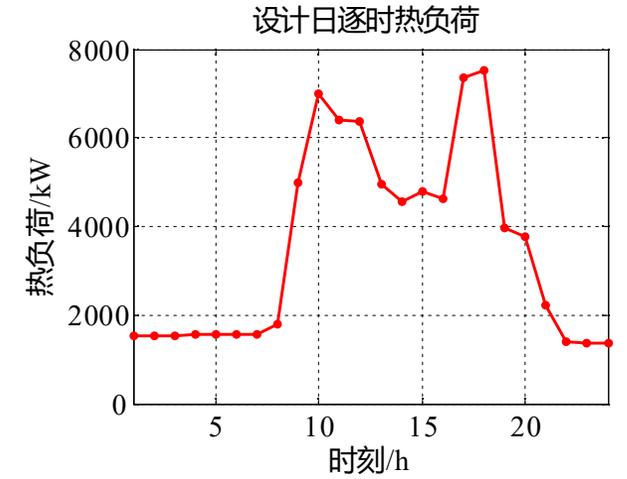


a)强排方案概念图 b)强排方案平面图

图 4.1 概念规划图

表 4.2 强排方案的建筑节能规划指标

1	建筑名称	单栋面积	栋数	建筑面积	围护结构平均传热系数(k _p)	体形系数(S)	层高(HF)	HTCFPA	备注
		m ² /栋		m ²					
2	办公建筑								
3	办公1~5	9600.00	5	48000	1.03	0.1444	4.50	0.6695	
4	办公6~7	9600.00	2	19200	1.03	0.1444	4.50	0.6695	
5	办公8	22500.00	1	22500	1.00	0.1047	4.50	0.4692	
6	办公9	14400.00	1	14400	1.03	0.1247	4.50	0.5754	
7	办公10	30000.00	1	30000	1.18	0.0203	5.40	0.1296	
8	办公建筑合计	—	10	134100	—	—	—	0.5050	
9	公寓建筑								
10	公寓1~2	12100.00	2	24200	0.98	0.1603	3.80	0.5959	
11	商业建筑								
12	配套商业1	3300.00	1	3300	0.75	0.3382	5.40	1.3751	
13	配套商业2	7300.00	1	7300	0.69	0.2975	5.40	1.1158	
14	配套商业3	1000.00	1	1000	0.69	0.2952	5.40	1.1009	
15	配套商业4	30000.00	1	30000	1.18	0.0203	5.40	0.1296	
16	商业建筑合计	—	4	41600	—	—	—	0.4248	
17	车库、设备用房								
18	车库、设备用房	57000.00	1	57000	—	0.0000	4.00	—	
19									
20	区域建筑设计指标汇总	—	17	256900	—	—	—	0.4993	
21	注：建筑面积传热系数 heat transfer coefficient of floor area (HTCFPA)：在稳态条件下，建筑物与室外大气接触的外围护结构两侧空气温度差为1K时，单位时间内传递的热量与该建筑物总建筑面积的比值。								



□ 负荷及能耗分析

➤ 年耗冷量

本项目夏季空调开始时间：5月1日，空调结束时间：9月30日。

根据上述边界条件进行模拟计算得：

空调期总耗冷量：749.30 万kWh，
合 37.48 kWh/m²；

➤ 年耗热量

本项目冬季供暖开始时间：11月15日，空调结束时间：3月15日。

根据上述边界条件进行模拟计算得：

供暖期总耗热量：568.15 万kWh，
合 28.42 kWh/m²；

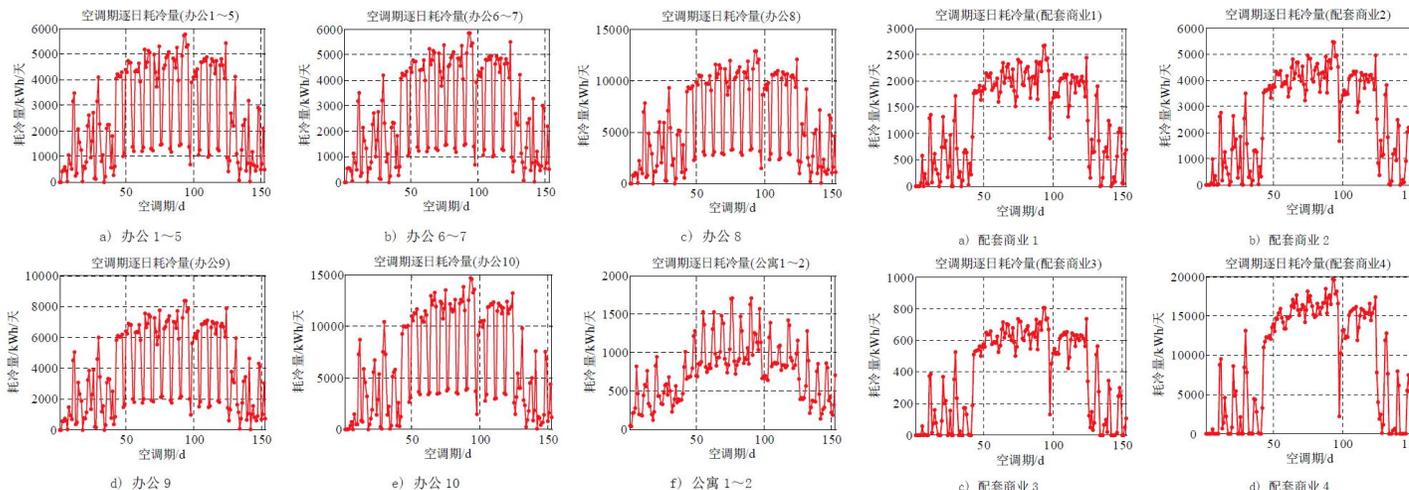


图 4.8 空调期逐日耗冷量（办公、公寓）

图 4.9 空调期逐日耗冷量（配套商业）

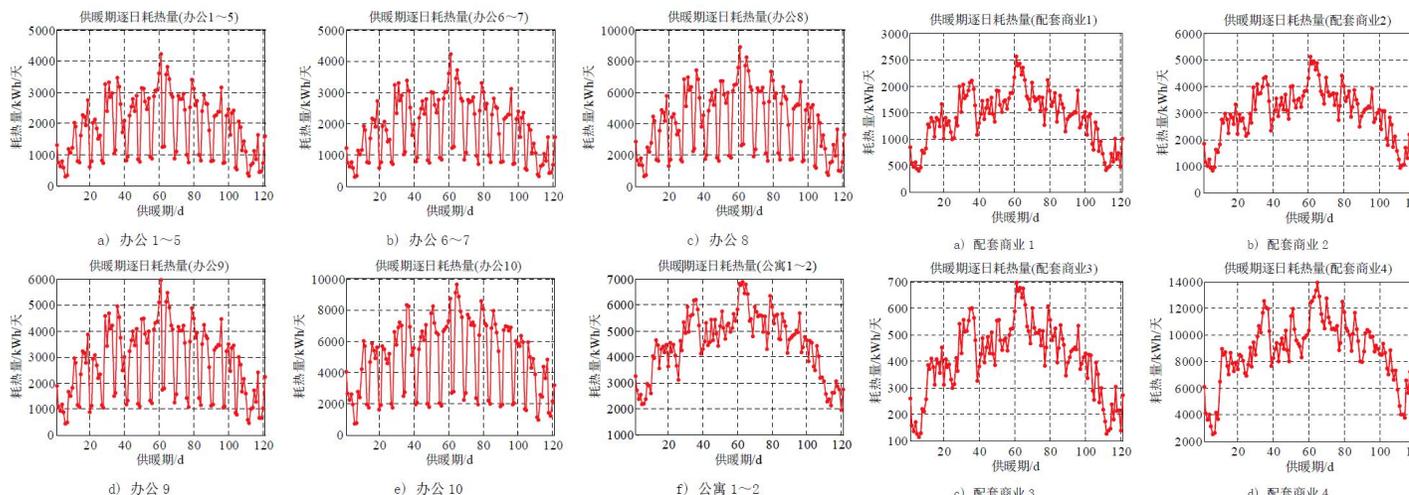


图 4.10 供暖期逐日耗热量（办公、公寓）

图 4.11 供暖期逐日耗热量（配套商业）



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

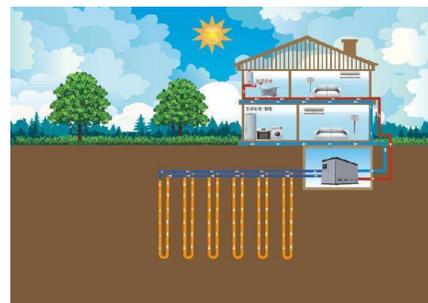
□ 冷热源方案比选

表 4.12 各系统可承担负荷类型

序号	系统名称	可承担负荷类型	
		冷负荷	热负荷
1	常规电制冷供冷	●	
2	冰蓄冷供冷	●	
3	市政热力供热		●
4	燃气锅炉供热		●
5	燃气直燃机	●	●
6	空气源热泵	●	●
7	地埋管地源热泵	●	●

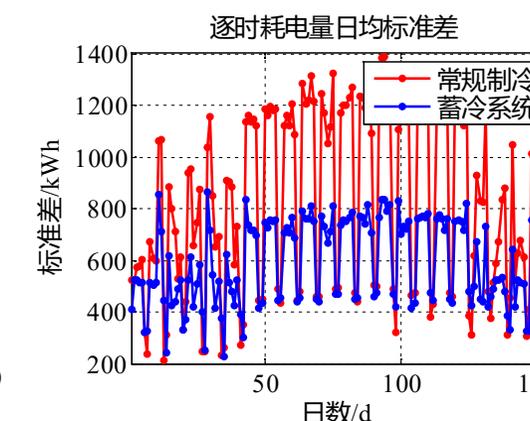
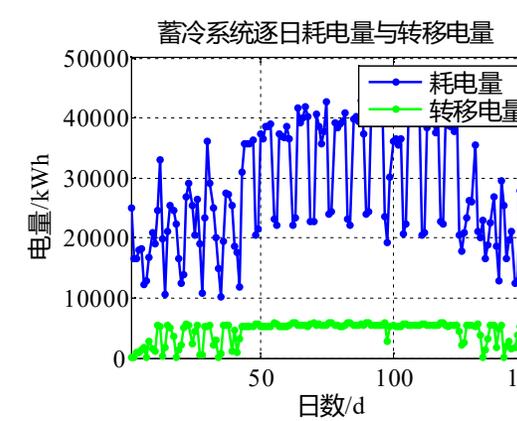
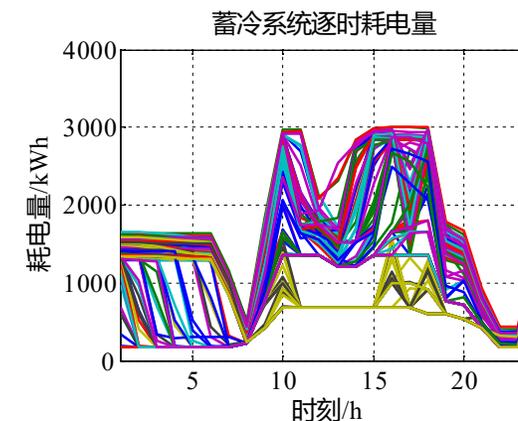
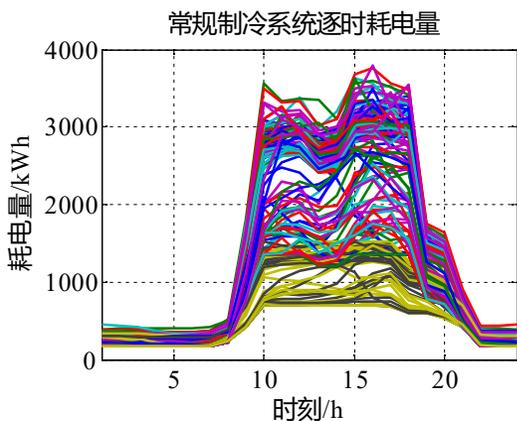
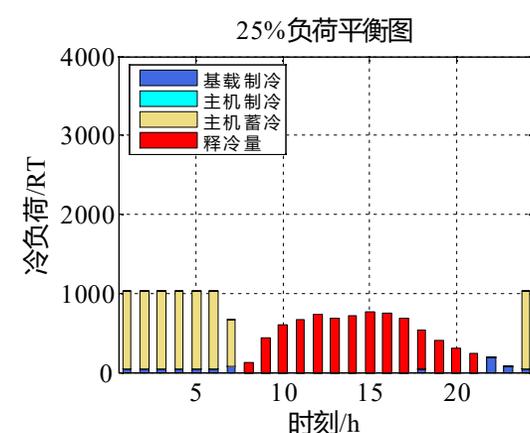
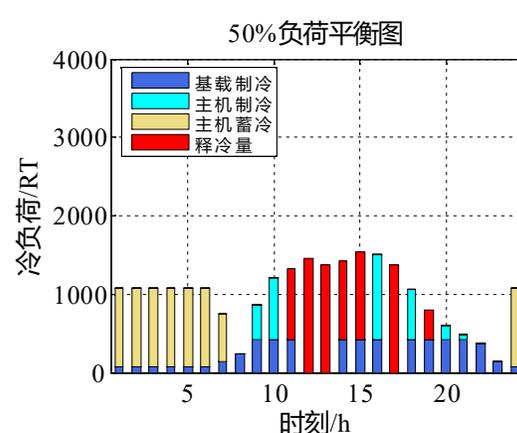
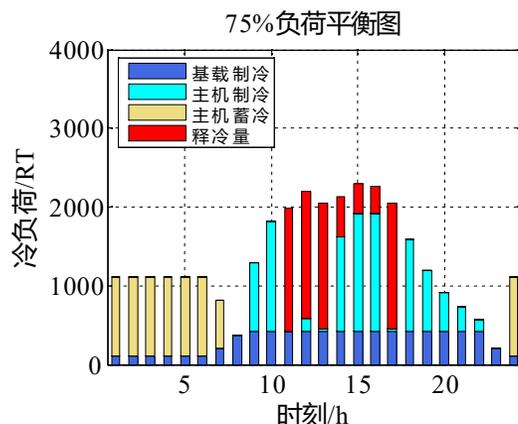
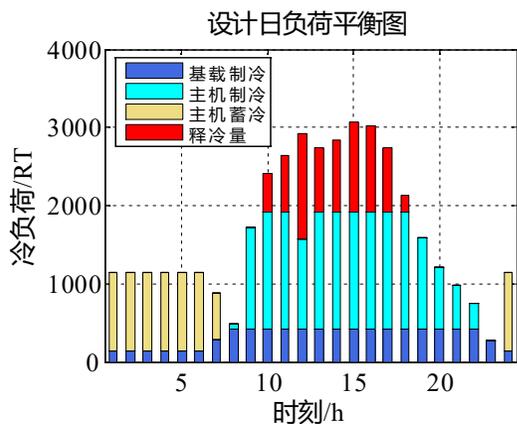
表 4.20 备选方案编号

方案编号	冷热源型式		备注
	冷源	热源	
1	常规电制冷	市政热力	市政热力两部制热价
2	冰蓄冷	市政热力	部分蓄冷内融冰系统 市政热力两部制热价
3	常规电制冷	燃气锅炉	烟囱高度需满足环保要求
4	冰蓄冷	燃气锅炉	部分蓄冷内融冰系统 烟囱高度需满足环保要求
5	燃气直燃机		烟囱高度需满足环保要求
6	空气源热泵		螺杆式超低环温空气源热泵机组
7	地埋管地源热泵		含1台电制冷冷水机组及辅助散热冷却塔



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

冷热源方案比选：蓄冷系统分析



□ 冷热源方案比选：地埋管地源热泵系统分析

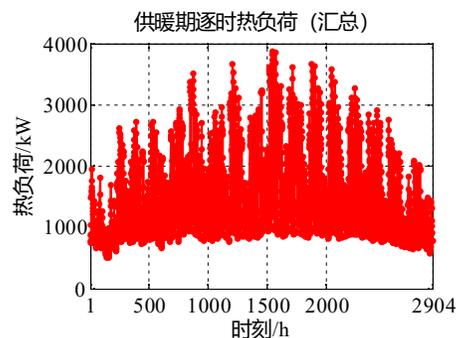


图1-1 逐时热负荷

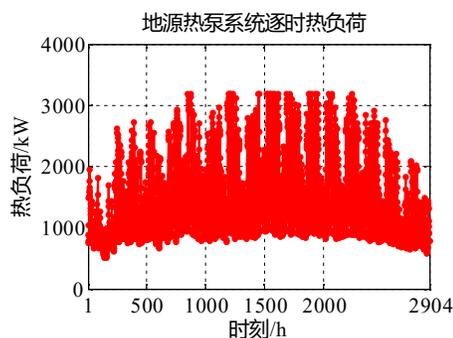


图1-2 地源热泵逐时供热负荷

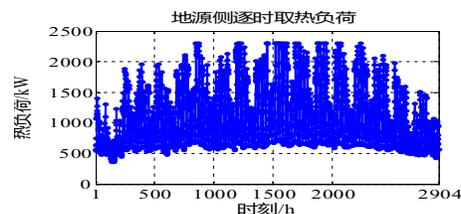


图1-3 地源侧逐时取热负荷

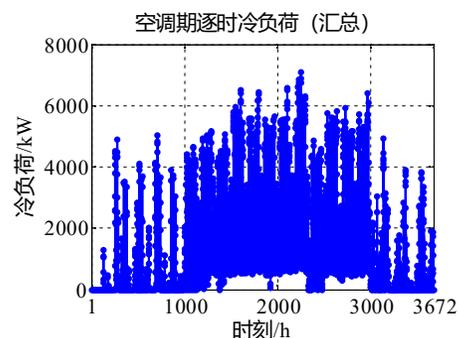


图2-1 逐时冷负荷

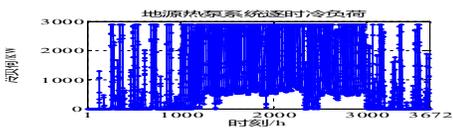


图2-2 地源热泵逐时供冷负荷

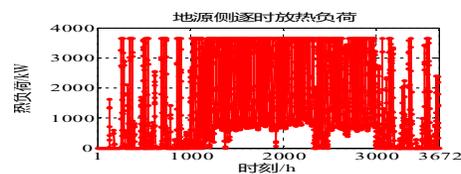


图2-3 地源侧逐时放热负荷

■ 保证地源侧取/放热平衡的技术措施

1. 地源热泵系统延迟 49 天开机 (即6月19日开始启动地源热泵系统), 如图2-4所示。
2. 地源热泵系统降低出力至 1300 kW, 如图2-5所示。
3. 增设地源热泵系统辅助排热冷却塔 (散热负荷约为 2009 kW) 。
4. 设置地源侧放热量检测与控制系统, 保证土壤热平衡。

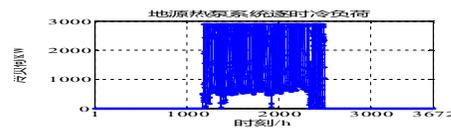


图2-4 地源热泵延迟49天开机

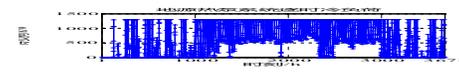


图2-5 地源热泵降低出力至1300kW



□ 冷热源方案比选

➤ 冷热源方案比选:

(1) 选择LCC由低到高:

方案7—方案4—方案3。

(2) 碳排放由低到高依次为:

方案7—方案3—方案4。

(3) 工程可实施性: 地块周边规划有生态公园, 可供敷设地埋管面积6万m², 可满足方案7地埋管面积要求。

➤ 中选方案:

方案7 地埋管地源热泵方案。

各冷热源方案组合的全生命周期(20年)费用

方案编号	冷热源型式		土建投资(万元)	设备初投资(万元)	年运行费(万元)	全生命周期费用(万元)	差值(万元)	变化率
	冷源	热源						
1	常规电制冷	市政热力	160.00	1172.83	965.85	20553.91	0.00	0.0%
2	冰蓄冷	市政热力	200.00	1423.23	923.06	19964.51	-589.40	-2.9%
3	常规电制冷	燃气锅炉	180.00	1324.35	582.83	13052.95	-7500.96	-36.5%
4	冰蓄冷	燃气锅炉	220.00	1574.75	540.04	12463.55	-8090.36	-39.4%
5	燃气直燃机		120.00	1258.47	654.95	14405.47	-6148.44	-29.9%
6	空气源热泵		80.00	1731.05	648.27	14728.45	-5825.46	-28.3%
7	地埋管地源热泵		120.00	2491.50	487.74	12294.30	-8259.61	-40.2%

各系统可承担的负荷类型及碳排放对比

方案编号	冷热源型式		能源消耗			能耗综合值 kWh/(m ² .a)	碳排放 (kgCO ₂ /m ²)	差值 (tCO ₂)	变化率
	冷源	热源	电力 (万kWh)	热力 (万kWh)	天然气 (万Nm ³)				
1	常规电制冷	市政热力	382.52	568.15	0	84.4	18.54	0.00	0.0%
2	冰蓄冷	市政热力	433.41	568.15	0	91.0	20.03	1.49	8.0%
3	常规电制冷	燃气锅炉	384.33	0	61.74	80.4	17.33	-1.21	-6.5%
4	冰蓄冷	燃气锅炉	435.22	0	61.74	87.0	18.82	0.28	1.5%
5	燃气直燃机		282.82	0	124.17	98.0	20.54	2.00	10.8%
6	空气源热泵		639.43	0	0	83.2	18.68	0.14	0.7%
7	地埋管地源热泵		484.35	0	0	63.0	14.15	-4.39	-23.7%

注: 本表采用的排放因子: 电力: 0.5839 tCO₂/MWh; 热力: 0.2592 tCO₂/MWh; 天然气: 19.76 tCO₂/万Nm³



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

□ 照明、插座设备、电梯能耗

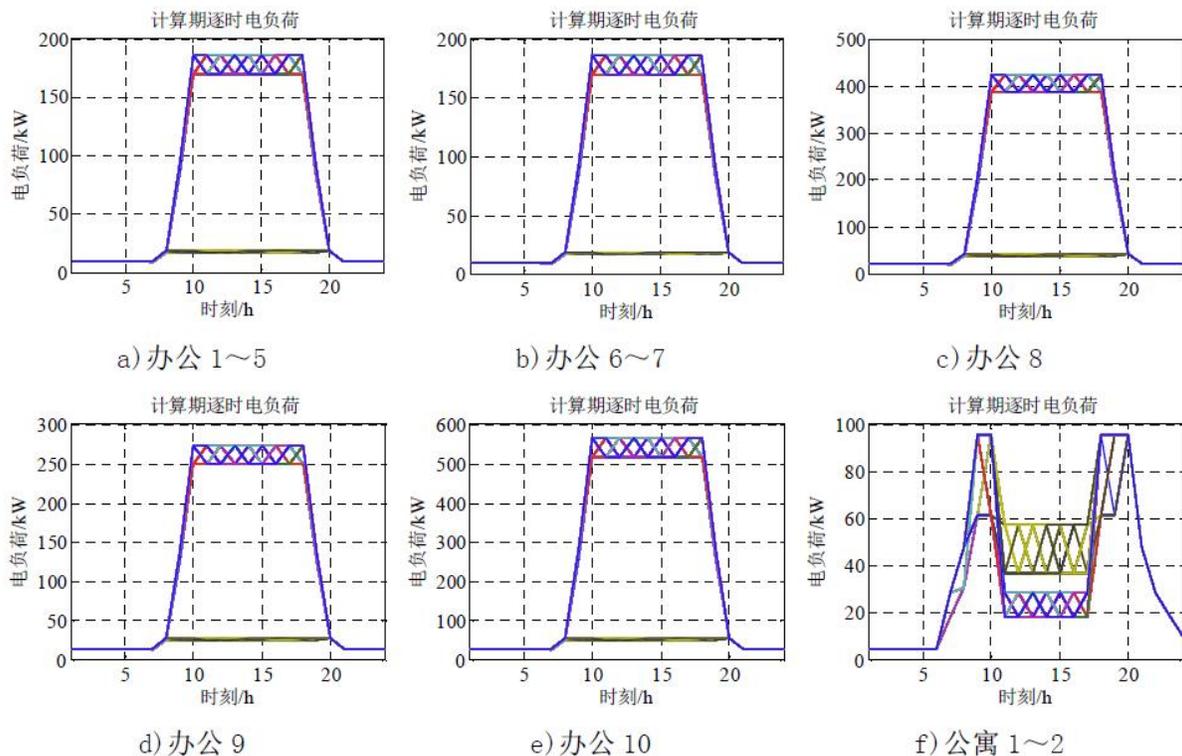


图 4.27 办公及公寓照明逐时耗电量

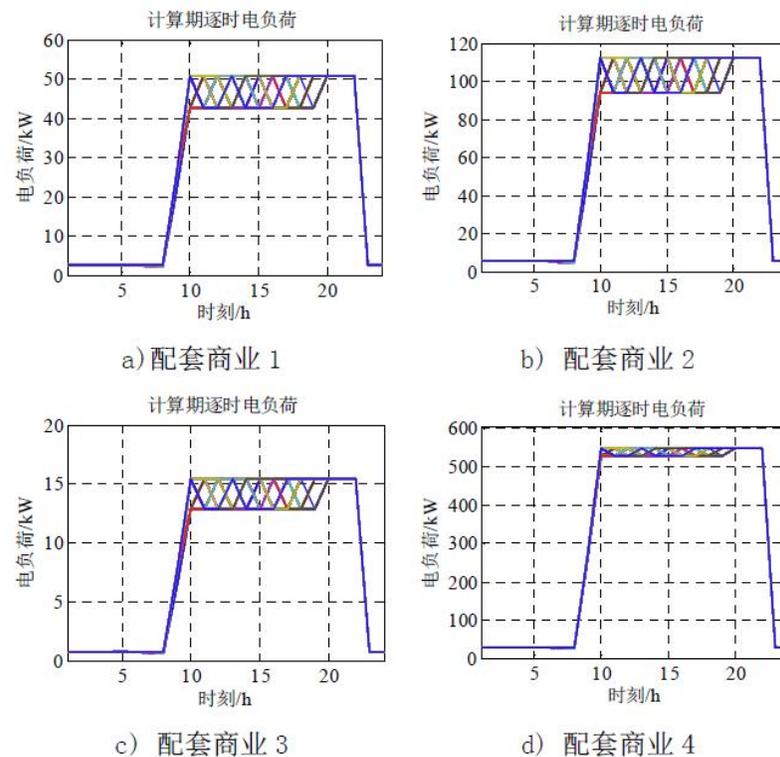


图 4.28 配套商业照明逐时耗电量



□ 照明、插座设备、电梯能耗

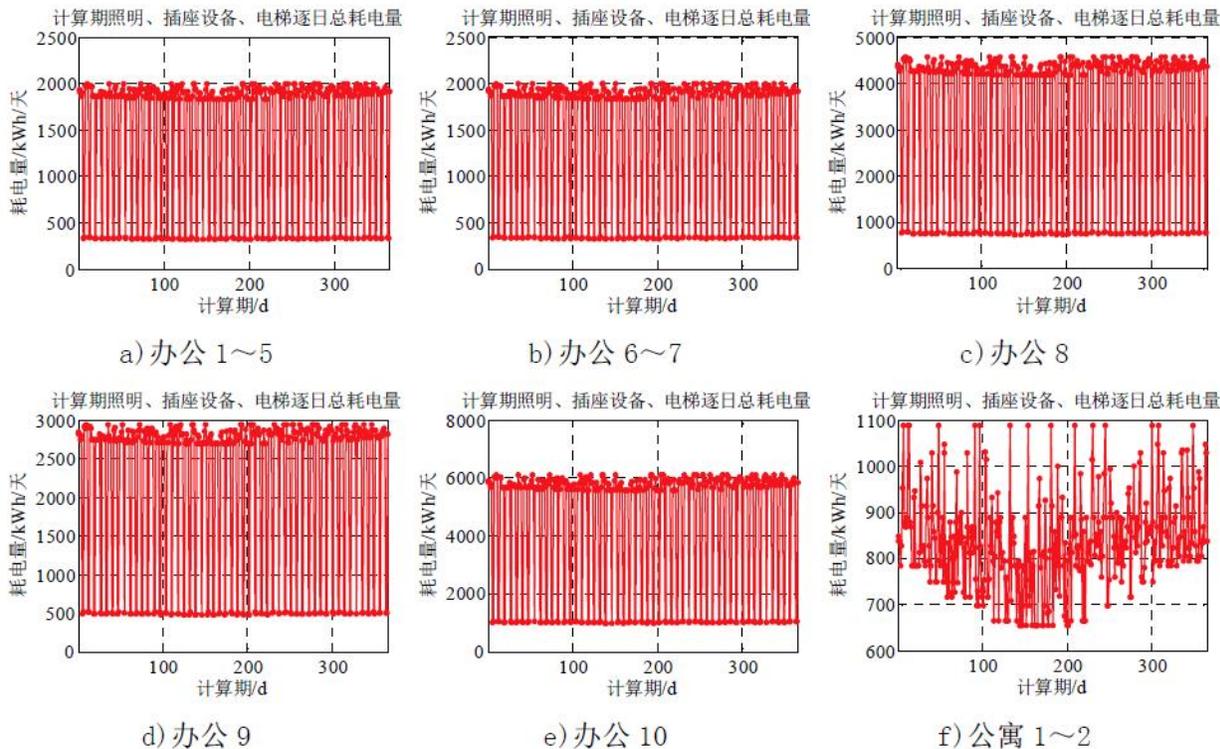


图 4.35 办公及公寓照明、插座设备、电梯总逐日耗电量

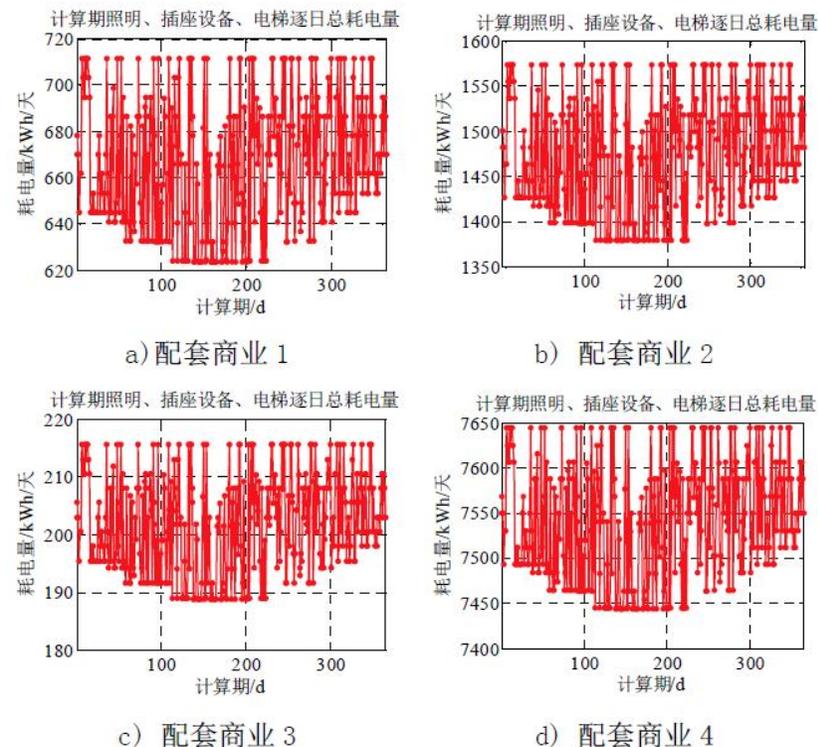


图 4.36 配套商业照明、插座设备、电梯总逐日耗电量



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

□ 照明、插座设备、电梯能耗

➤ 照明、插座设备、电梯能耗

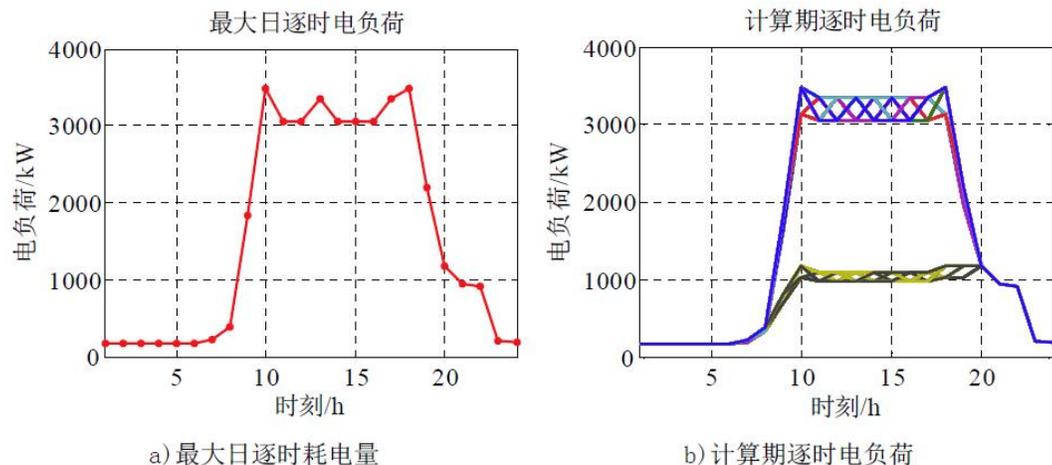


图 4.37 照明、插座设备、电梯总逐时耗电量

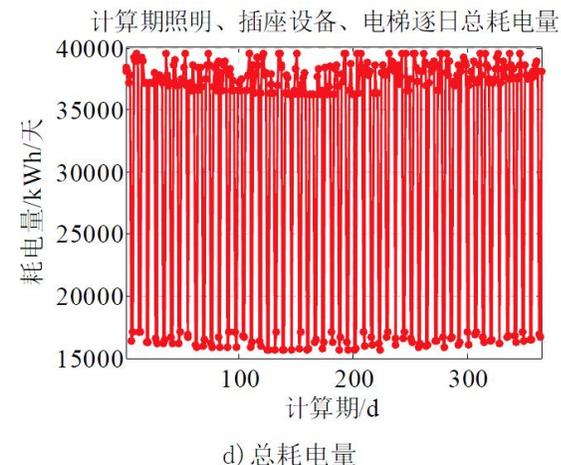


图 4.38 计算期逐日耗电量

➤ 地下车库通风能耗

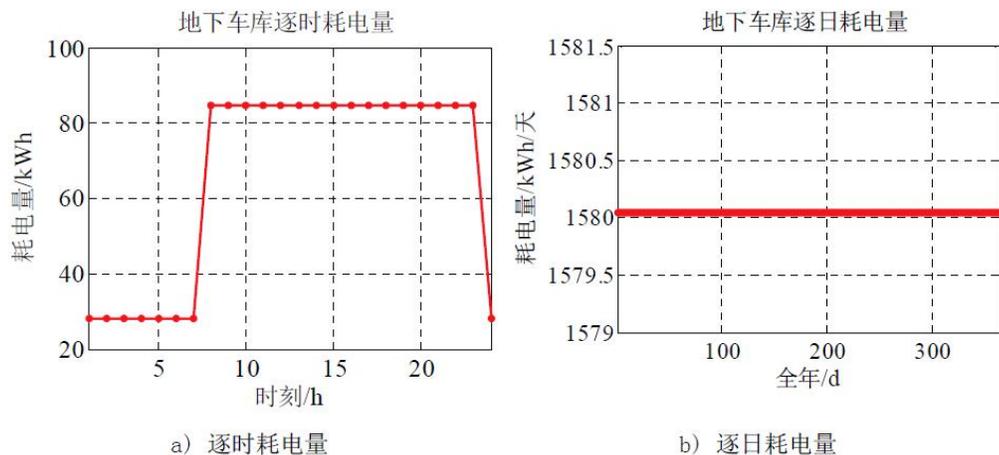


图 4.39 全年逐日通风耗电量



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

□ 光伏发电板布置



a) 屋顶光伏

b) 光伏幕墙



c) 光伏局部遮阳

d) 光伏全遮阳

图 4.40 光伏建筑一体化示意图

表 4.28 光伏设置区域及面积

1	建筑名称	单栋面积 m ² /栋	栋数 栋	建筑外表面积 (m ²)					
				东向		西向		屋顶	
				单栋	小计	单栋	小计	单栋	小计
2	办公1~5	9600	5	1440	7200	1440	7200	1200	6000
3	办公6~7	9600	2	1080	2160	1080	2160	1200	2400
4	办公8	22500	1	2025	2025	2025	2025	2500	2500
5	办公9	14400	1	1620	1620	1620	1620	1600	1600
6	办公10	30000	1	1188	1188	1161	1161	0	0
7	公寓1~2	12100	2	836	1672	836	1672	1100	2200
8	配套商业1	3300	1	621	621	594	594	3300	3300
9	配套商业2	7300	1	810	810	1215	1215	7300	7300
10	配套商业3	1000	1	149	149	149	149	1000	1000
11	配套商业4	30000	1	1188	1188	1161	1161	0	0
12	合计	—	16	—	18633	—	18957	—	26300
13	光伏面积	—			6000		6000		20000



3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计

□ 光伏发电系统方案

➤ 光伏发电系统方案

本项目位置:

经度: 116 度 28 分;

纬度: 39 度 48 分;

本项目光伏敷设面积: 32000.00 m²;

光伏计算开始时间: 1月1日;

结束时间: 12月31日;

光伏系统最大发电时刻: 4月8日13点;

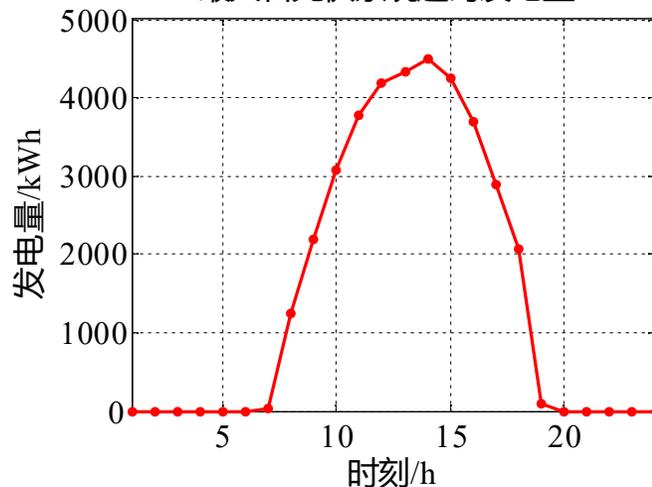
最大发电值: 4488.56kW;

光伏面积发电指标: 140.3W/m²;

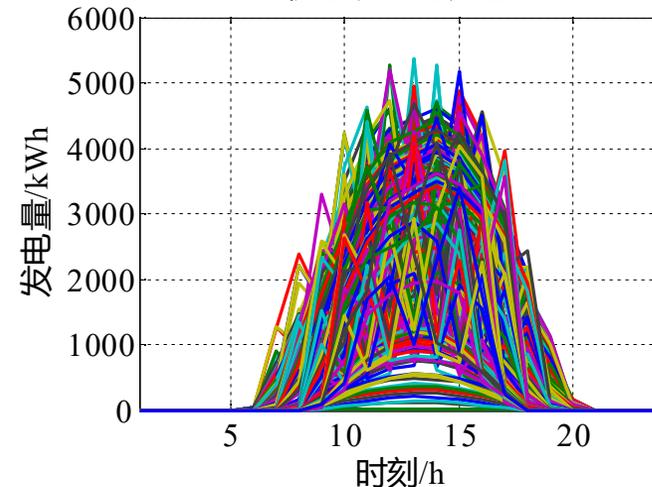
光伏系统年总发电量: 726.49 万kWh;

合227.03 kWh/m²。

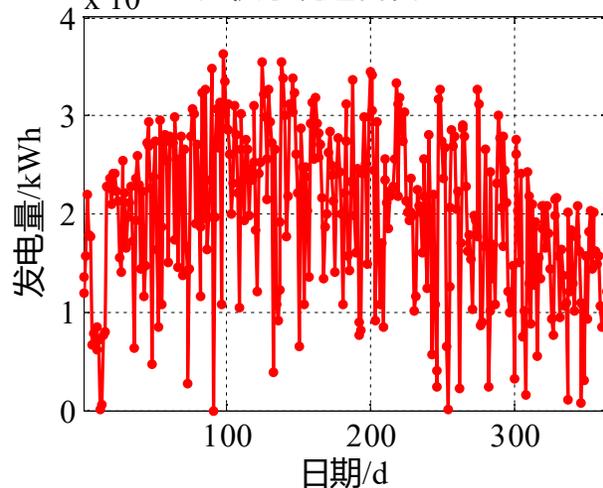
最大日光伏系统逐时发电量



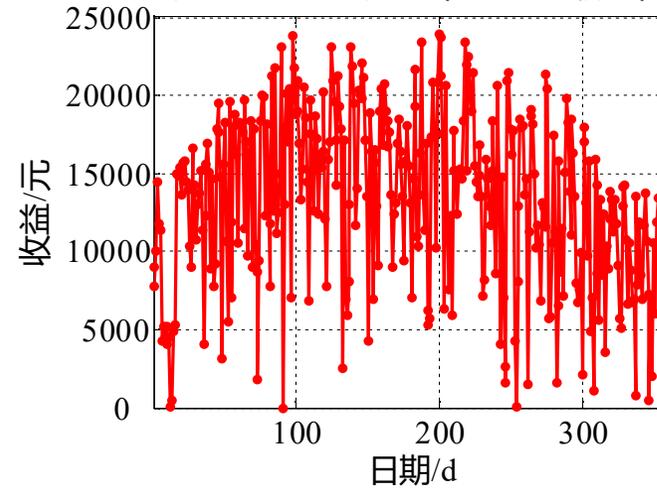
光伏系统逐时发电量



光伏系统逐日发电量



光伏系统逐日总收益 (以项目电价计)



□ 能耗及碳排放计算

➤ 强排方案的能耗

由表 4.29 可见，本项目强排方案的单位面积电耗为 $37.9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，满足规划目标中建筑等效耗电指标 $\leq 39.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的要求。

➤ 强排方案的碳排放

单位面积碳排放为 $22.13 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，满足规划目标中碳排放指标 $\leq 23.1 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的要求。

表4.29 本项目强排方案的能耗及碳排放

序号	能耗分项	能源消耗			碳排放 (kgCO_2/m^2)	备注
		耗电量 (万kWh)	单位面积 电耗 (kWh/m^2)	分项占比 (%)		
1	建筑供暖空调	484.35	18.9	28.5	11.01	地理管面积 33000 m^2
2	照明、插座设备 电梯	1158.31	45.1	68.1	26.33	
3	地下车库	57.67	2.2	3.4	1.31	
4	小计(1+2+3)	1700.33	66.2	100	38.65	
5	光伏发电系统	-726.49	-28.3	-42.7	-16.51	光伏面积 32000 m^2
6	合计(4+5)	973.84	37.9	57.3	22.13	

注：本表采用的排放因子：电力：0.5839 tCO_2/MWh



碳排放规划强制性内容

本项目碳排放规划目标有两个：

一是，项目整体建成超低能耗建筑，相对标准《民用建筑能耗标准》（GBT 51161-2016）中规定的建筑能耗约束值，本项目建筑综合节能率 $\geq 50\%$ ，建筑等效耗电指标 $\leq 39.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

二是，项目整体建成具有示范意义的低碳园区，碳排放指标 $\leq 23.1 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

碳排放规划内容应贯穿空间规划和详细规划两个阶段，对影响建筑能耗和碳排放的技术指标进行控制，落实表4.30中的强制性内容。

表 4.30 碳排放规划强制性内容

序号	项目	规划指标及基础设施配套规定	备注
1	建筑用途及建筑密度	总建筑面积：25.69 万 m^2 ，其中： 办公建筑：13.41 万 m^2 ； 公寓建筑：2.42 万 m^2 ； 商业建筑：4.16 万 m^2 ； 地下车库：5.70 万 m^2 。	
2	建筑节能	办公建筑：HTCFA $\geq 0.5050 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ； 公寓建筑：HTCFA $\geq 0.5959 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ； 商业建筑：HTCFA $\geq 0.4248 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ； 项目整体：HTCFA $\geq 0.4993 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。	HTCFA = $k_w \times S \times H_F$
3	可再生能源利用	(1) 地源热泵埋管面积 3.30 万 m^2 ； (2) 光伏面积：3.20 万 m^2 ，其中： 屋面：2.00 万 m^2 ； 东向外立面：0.60 万 m^2 ； 西向外立面：0.60 万 m^2 。	(1) 埋管面积相邻地块解决； (2) 光伏系统配套电量消纳方案。
4	建筑能耗及碳排放	(1) 项目整体建成超低能耗建筑，相对标准《民用建筑能耗标准》（GBT 51161-2016）中规定的建筑能耗约束值，本项目建筑综合节能率 $\geq 50\%$ ，建筑等效耗电指标 $\leq 39.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ； (2) 项目整体建成具有示范意义的低碳园区，碳排放指标 $\leq 23.1 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。	



目录

contents

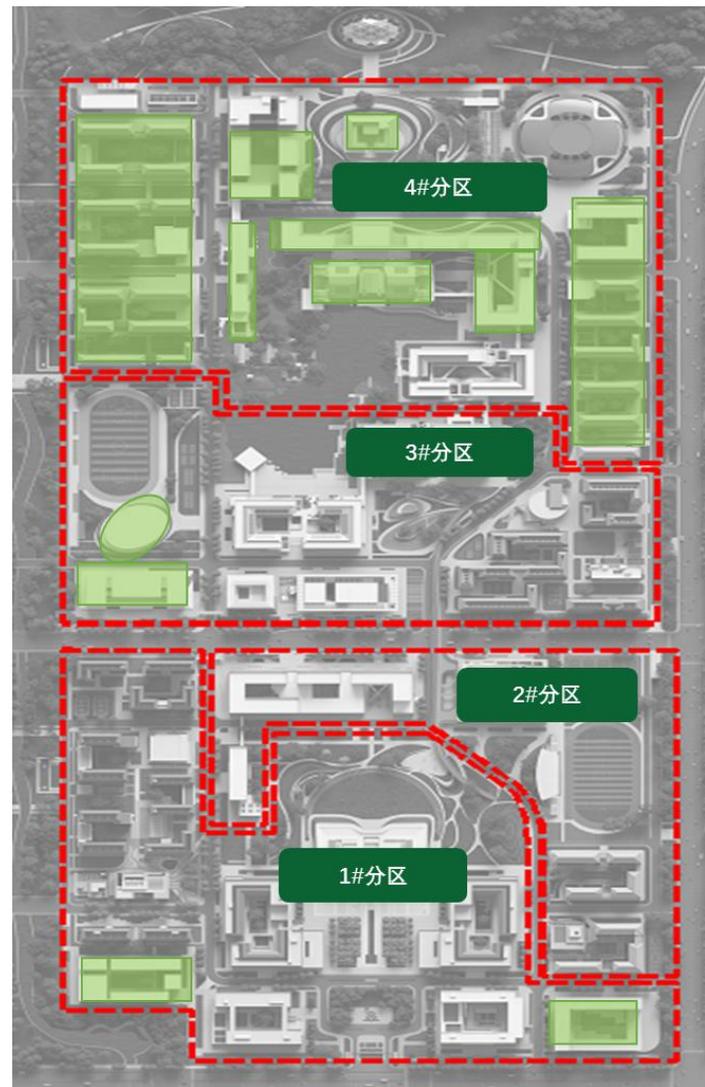
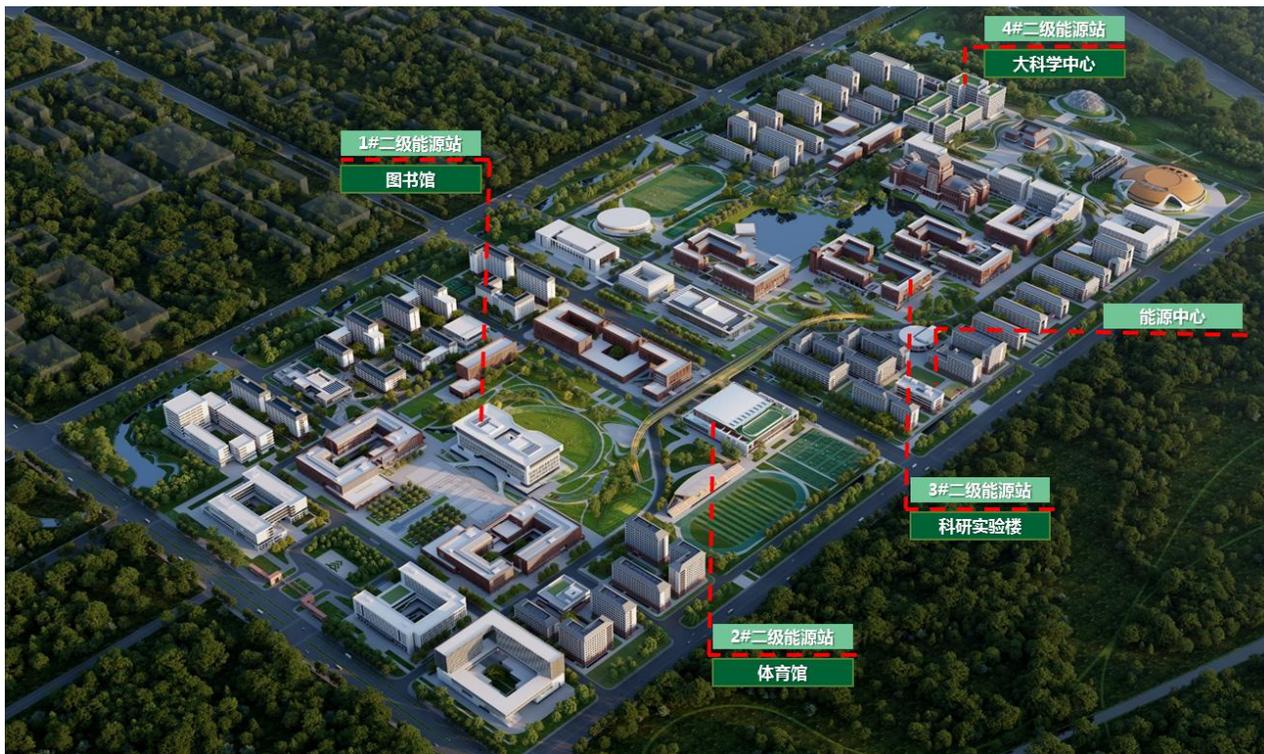
- 1 | 背景及问题
- 2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征
- 3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计
- 4 | 多能互补区域能源规划工程案例
- 5 | 主要结论



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 项目概况：高校L雄安校区

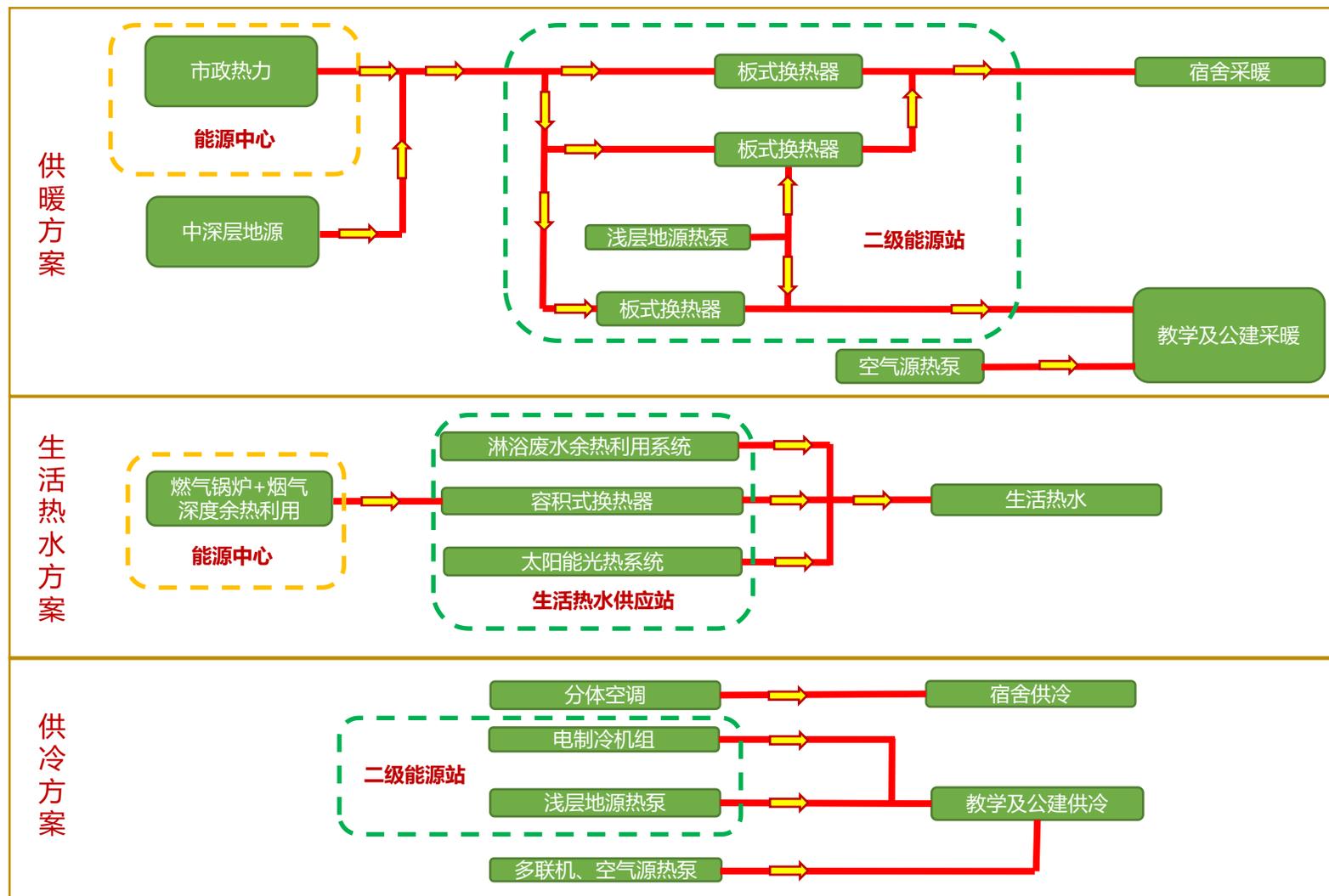
41



- **高校L雄安校区**规划用地面积约2200亩，总建设规模为160.76万平方米，办学总规模32000人。
- 供冷、供热采用“**集中+分散**”的耦合系统，根据供冷、供热区域分布情况，建设1座能源中心、4座二级能源站、16座生活热水站，管网配套了一次采暖管网，一次生活热水管网及二次冷热管网。各个站房共同组成“1+4+16”综合能源供应系统。



4 | 多能互补区域能源规划工程案例



■ 系统规划

- 供暖：市政热力+浅层地热+中深层地热（二期预留）提供学校采暖负荷，其中浅层地热及中深层地热（二期预留）提供基础热负荷，市政热力提供调峰及保障热负荷。
- 供冷：浅层地热+电制冷机组+分体空调提供学校冷负荷，其中浅层地热提供基础冷负荷。
- 供生活热水：太阳能光热+淋浴废水余热回收+燃气锅炉，其中燃气锅炉提供调峰及保障热负荷。
- 能源系统总投资约4.8亿。



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 规划目标

- 满足上位规划中清洁能源供热比例达到 100% 的要求，满足上位规划中可再生能源利用的要求，满足学校关于建设示范性能源综合利用系统的要求，建设具有示范意义的新型“知山知水，树木树人”的绿色、低碳学校。
- 通过能源综合利用系统的搭建，达到供冷、热及生活热水可再生能源运行占比超过 40% 的目标。

指标项		合计	一期	二期
热负荷 装机	总负荷 (kW)	85385.44	48292.42	37093.02
	市政热力 (kW)	37880.79	21862.77	16018.02
	浅层地源热泵 (kW)	31455.00	25380.00	6075.00
	中深层地源热泵 (kW)	15000.00	0.00	15000.00
	空气源热泵 (kW)	1049.65	1049.65	0.00
冷负荷 装机	总负荷 (kW)	109830.67	61116.17	48714.50
	制冷机组 (kW)	36616.63	13013.52	23603.11
	地源热泵 (kW)	32530.38	26247.69	6282.69
	空气源热泵 (kW)	1049.65	1049.65	0.00
	分体空调 (kW)	39634.00	20805.31	18828.69
生活热水 负荷 装机	总负荷 (kW)	35341.84	18583.62	16758.22
	太阳能光热 (kW)	17848.56	9236.30	8612.26
	燃气锅炉 (kW)	42000	28000	14000
	淋浴水废水水源热泵 (kW)	11467.36	6284.81	5182.55

可再生能源 装机占比	合计	一期	二期
供热(全校)	55.64%	54.73%	56.82%
供冷(全校)	30.57%	44.66%	12.90%
供冷(公建)	47.84%	67.72%	21.02%
供生活 热水(全校)	41.11%	35.66%	49.63%



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

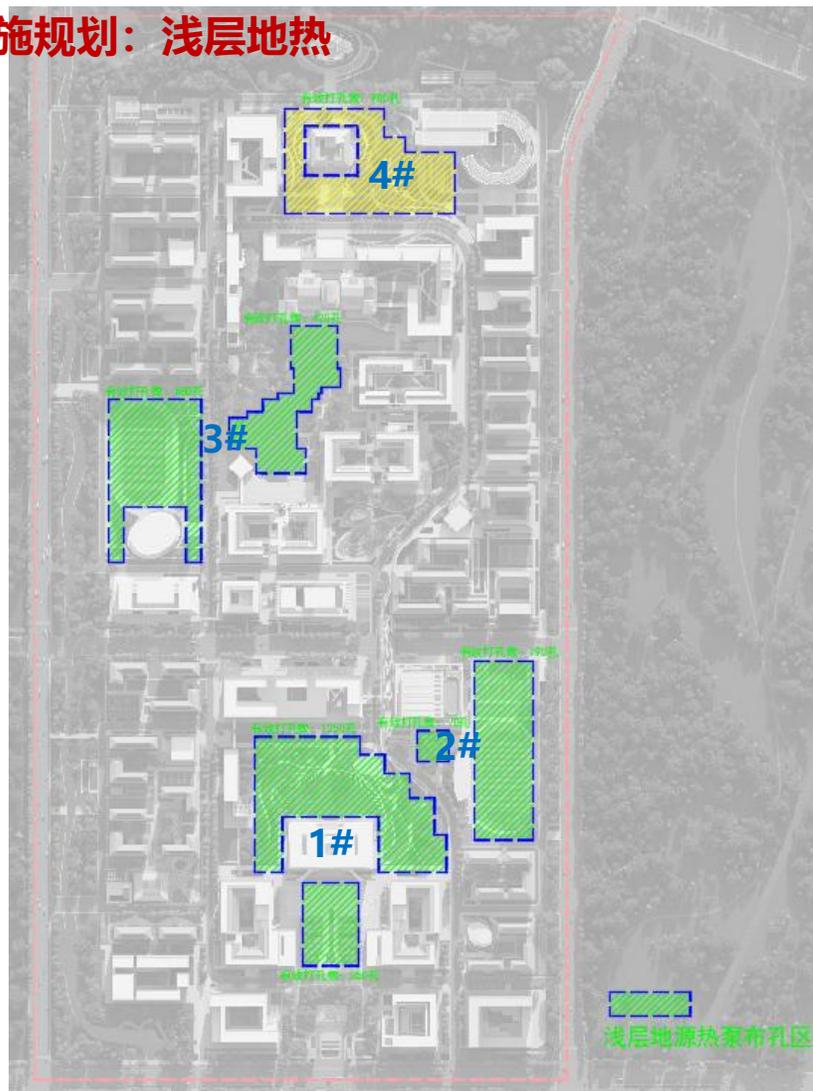
■ 设施规划：能源站

- 高校₁根据功能分为科研组团、教学组团、生活组团等。根据区域建设分期，将校园分成₄个供能分区，每个分区内包含不同功能组团，便于新能源及可再生能源在不同功能建筑物内的利用。
- 供冷、供热采用“集中+分散”的耦合系统，根据供冷、供热区域分布情况，建设₁座能源中心、₄座二级能源站、₁₆座生活热水站，各个站房共同组成“₁₊₄₊₁₆”综合能源供应系统。
 - “₁”—₁座能源中心：能源中心作为全校的生活热水集中热源，站内主要配置燃气热水锅炉及烟气余热回收热泵等。能源中心通过一次供热管网向全校供热，负责学校生活热水的调峰及保障热源。
 - “₄”—₄座二级能源站：每个供能区域内设置₁座二级能源站，共₄座。
 - “₁₆”—₁₆座生活热水站：宿舍区内设置生活热水站，共₁₆座。



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 设施规划：浅层地热



一期地源热泵

能源站编号	打孔面积	打孔数量	有效打孔数	换热量 (kW)	换冷量 (kW)	供热量 (kW)	供冷量 (kW)
1#	55600	1780	1600	8400	13200	10800	11169.23
2#	30050	960	860	4515	7095	5805	6003.46
3#	50450	1450	1300	6825	10725	8775	9075
合计	136100	4190	3760	19740	31020	25380	26247.69

二期地源热泵

能源站编号	打孔面积	打孔数量	有效打孔数	换热量 (kW)	换冷量 (kW)	供热量 (kW)	供冷量 (kW)
4#	32775	1000	900	4725	7425	6075	6282.69
合计	32775	1000	900	4725	7425	6075	6282.69

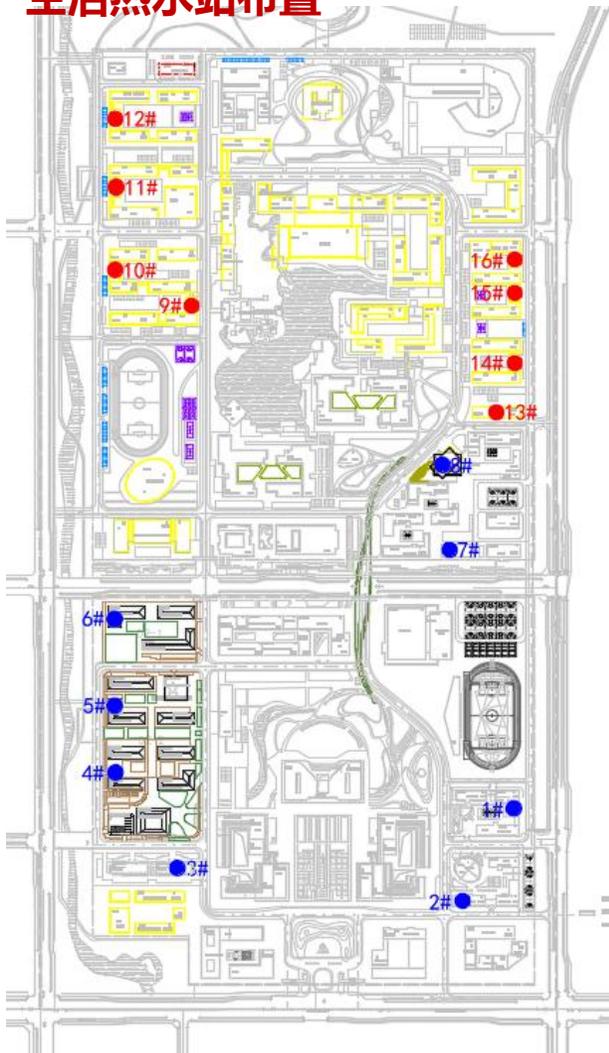
浅层地源热泵的设置原则：

- 地源热泵孔主要布置区域主要为绿地、景观湖底、体育场；
- 竖直地埋管深度 150 m，孔间距 5 m，水平联络管埋深 2.0 m 以下；
- 绿地内打孔，需避让高大乔木（2 m 以外），避免对植物根系造成影响；
- 地源热泵打孔数量考虑未来检修等条件，针对不同地形考虑一定程度富余量；
- 4# 区域地源井根据建设场地的建设时序 2 期施工。



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 设施规划：生活热水站布置



生活热水站	设计小时耗热量(kW)	日耗热量(kWh)	日用水量(m ³ /d)	小时最大用水量(m ³ /h)
1#	1669.76	6261.59	99.58	26.55
2#	1775.96	8257.14	131.31	28.24
3#	1545.70	8788.68	139.77	24.58
4#	2827.39	10602.70	168.62	44.96
5#	2526.22	11091.93	176.40	40.17
6#	2507.31	9402.39	149.53	39.87
7#	2101.49	7989.79	127.06	33.42
8#	3032.79	13023.52	207.12	48.23
9#	2245.91	8422.15	133.94	35.72
10#	2000.51	7501.91	119.30	31.81
11#	3461.52	13843.25	220.15	55.05
12#	2816.72	10562.69	167.98	44.79
13#	768.20	2880.73	45.81	12.22
14#	1835.13	6881.75	109.44	29.18
15#	1835.13	6881.75	109.44	29.18
16#	965.08	5216.37	82.96	15.35

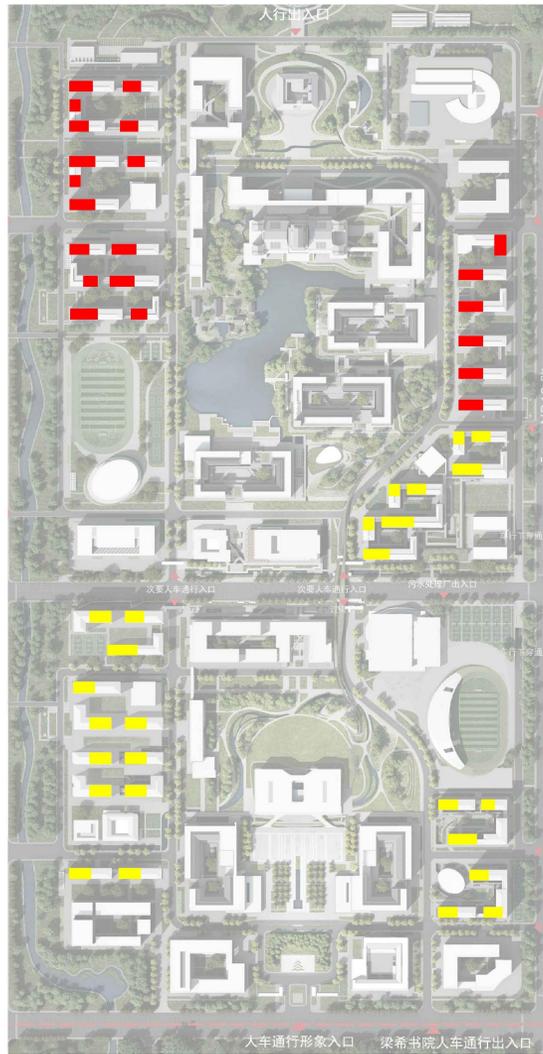


4 | 多能互补区域能源规划工程案例

光热装机规模计算表	
集热器总集热面积(m ²)	22934.73
平均日耗热量 (kJ/d)	495390066.87
水的比热[kj/(kg.°C)]	4.187
对应热水 _{tr} 下的热水密度(kg/L)	0.983
集、贮热水箱热水设计温度(°C) ₅₅₋₆₀	60
冷水温度 (°C)	4
太阳能保证率 _{0.3-0.8}	0.5
当地集热器采光面上的年平均日太阳能辐照量[kj/(m ² .d)]	27000
集热器年均集热效率	0.5
集热系统热损失率	0.2
集热器面积补偿系数	1
可用面积系数	0.5
宿舍计算屋顶面积(m ²)	24140.00
集热器所需屋顶面积(m ²)	45869.45
宿舍太阳能供热量占比	0.53
光热装机规模 (MW)	17.85

设施规划：生活热水光热板布置

光热装机规模分期表		
序号	分期	光热装机规模
1	一期	9.24
2	二期	8.61
3	合计	17.85



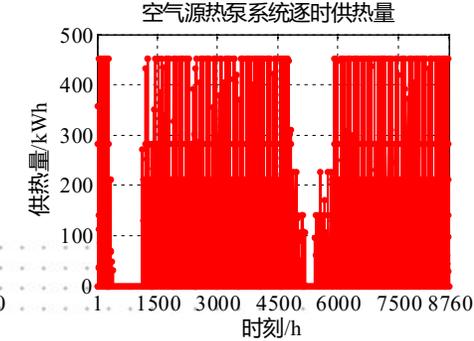
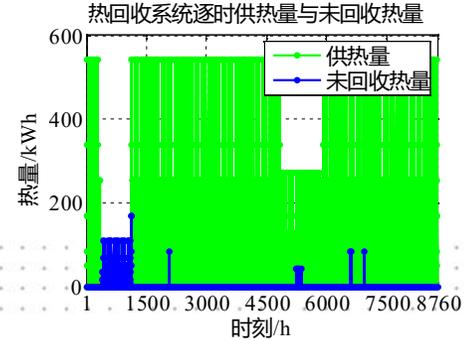
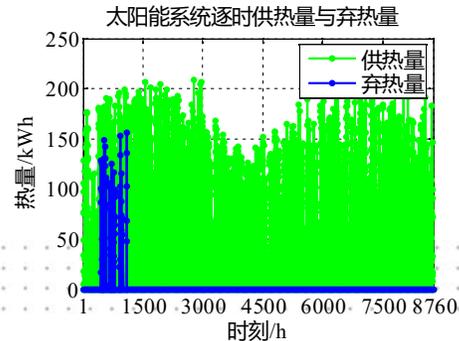
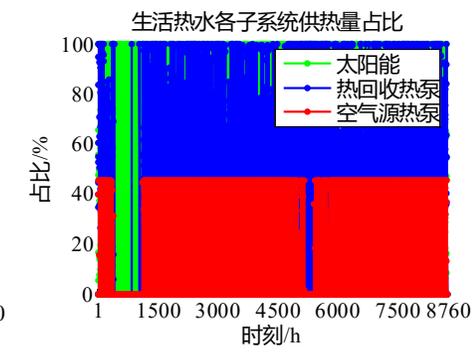
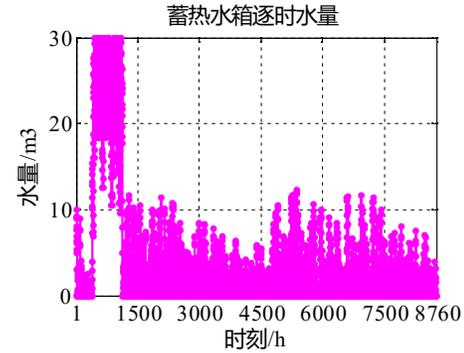
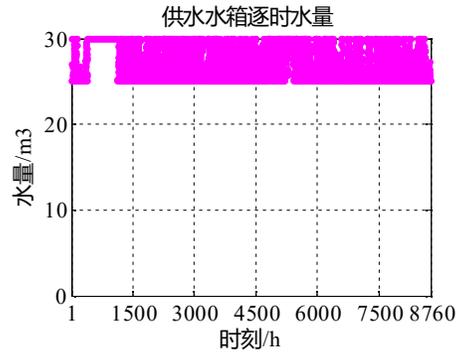
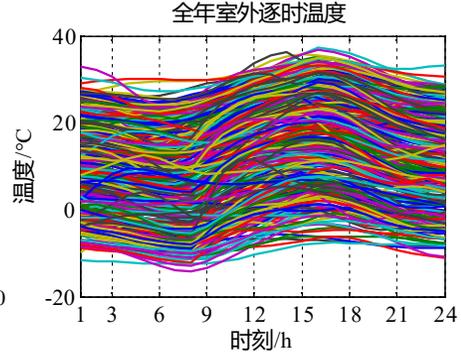
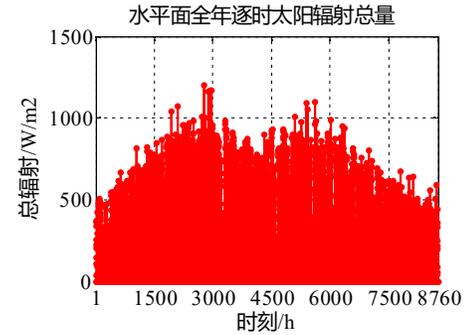
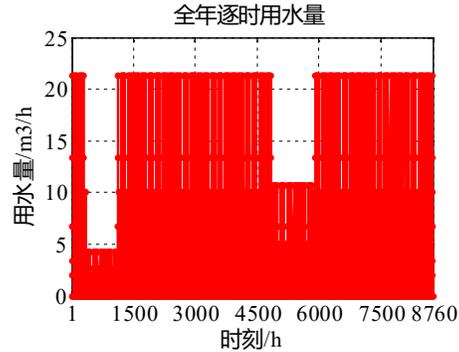
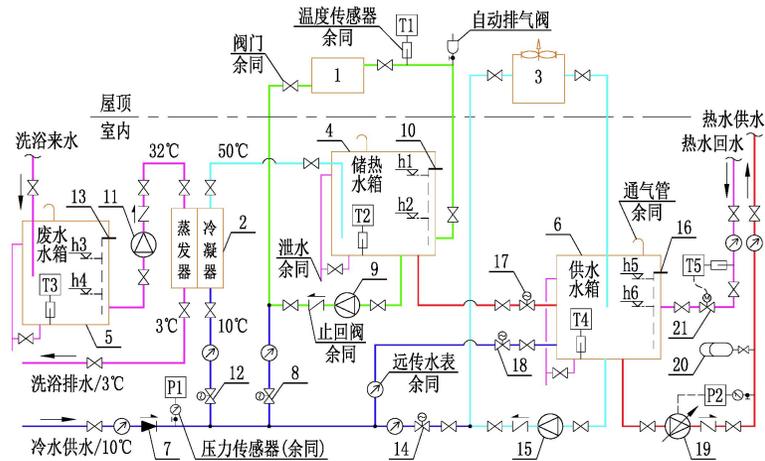
一期宿舍屋面
 二期宿舍屋面



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

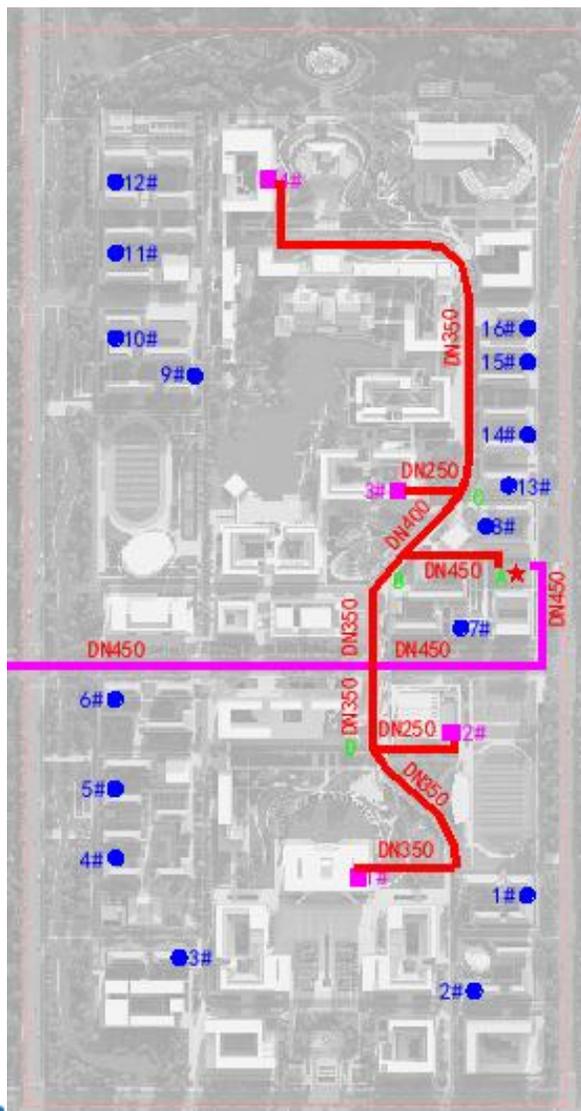
□ 多能互补生活热水系统：太阳能+热回收热泵+空气源热泵耦合

- 生活热水系统生产 1 m^3 热水电费 $4.5\text{ 元}/\text{m}^3$ ，碳排放 $5.00\text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ 。
- 与燃气锅炉制取生活热水方案比，生产 1 m^3 生活热水可节省费用 10.01 元 ，节费百分比为 68.9% ，减少碳排放约 4.99 kgCO_2 ，减排百分比为 49.9% 。

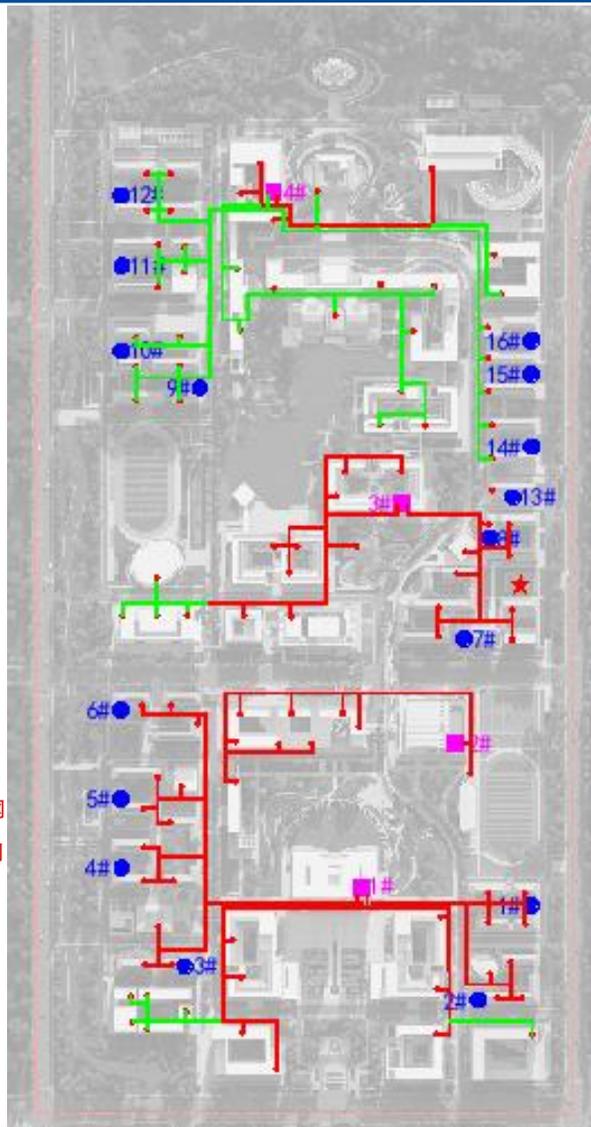


4 | 多能互补区域能源规划工程案例

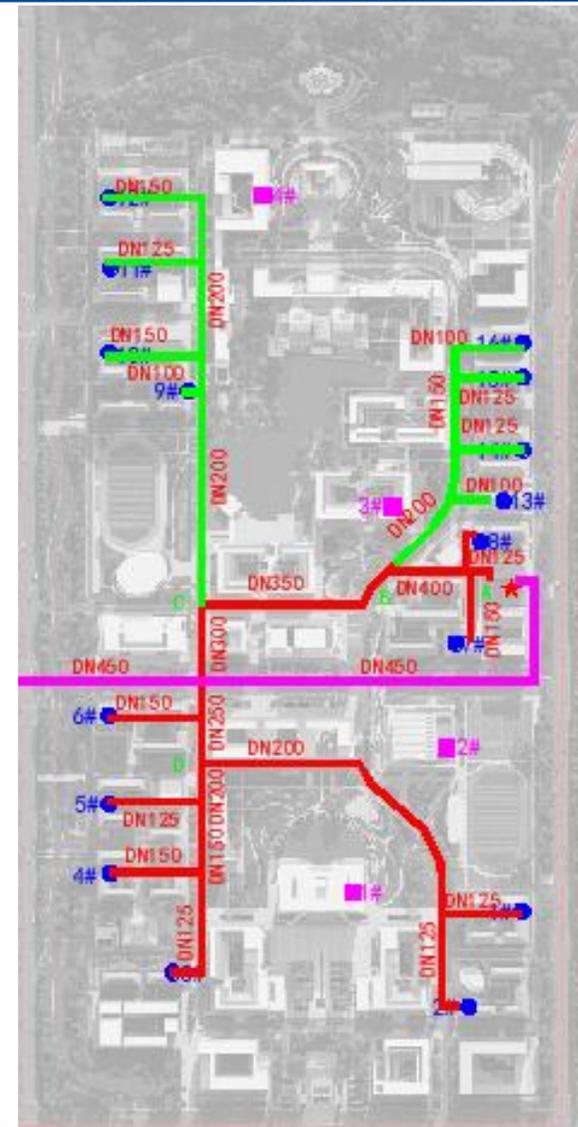
■ 设施规划：冷热水管网布置



一次高温热水管网



二次热水管网



生活热水管网

- 市政热力管线
- 一期一次热网
- 能源中心
- 二级能源站
- 生活热水站

- 一期二次热力管网
- 二期二次热力管网
- 能源中心
- 二级能源站
- 生活热水站

- 市政热力管线
- 一期一次热网
- 二期一次热网
- 能源中心
- 二级能源站
- 生活热水站



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

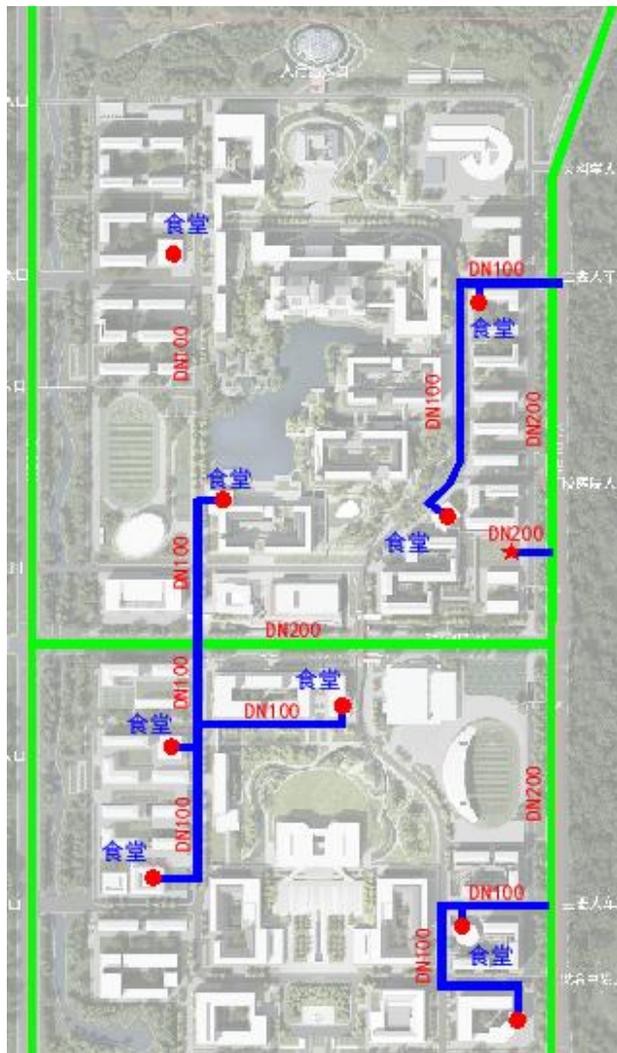
■ 设施规划：燃气管网布置

➤ 中压燃气管线

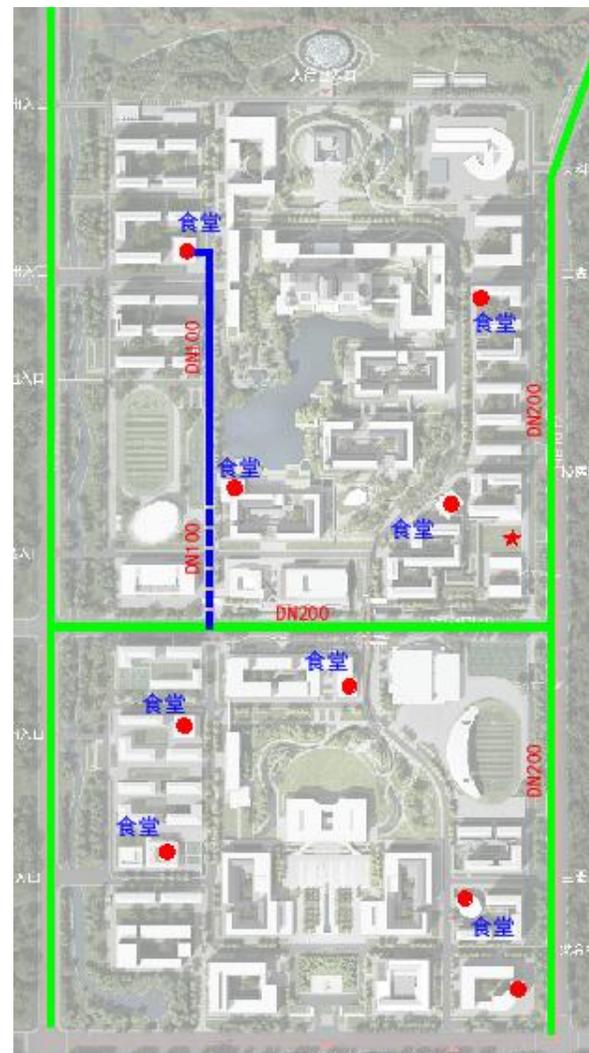
- 由市政中压燃气管线，接入中压燃气管线，管径DN100和DN200。其中NB10和EB3道路燃气接入口共5处。管径DN100接至校园内食堂，供食堂生产使用。管径DN200接至校园内能源中心，供锅炉房生产使用。

➤ 调压箱

- 在校园8处食堂和1处学术交流中心内，安装调压箱，将中压燃气管线经调压后，满足食堂低压用气需求。

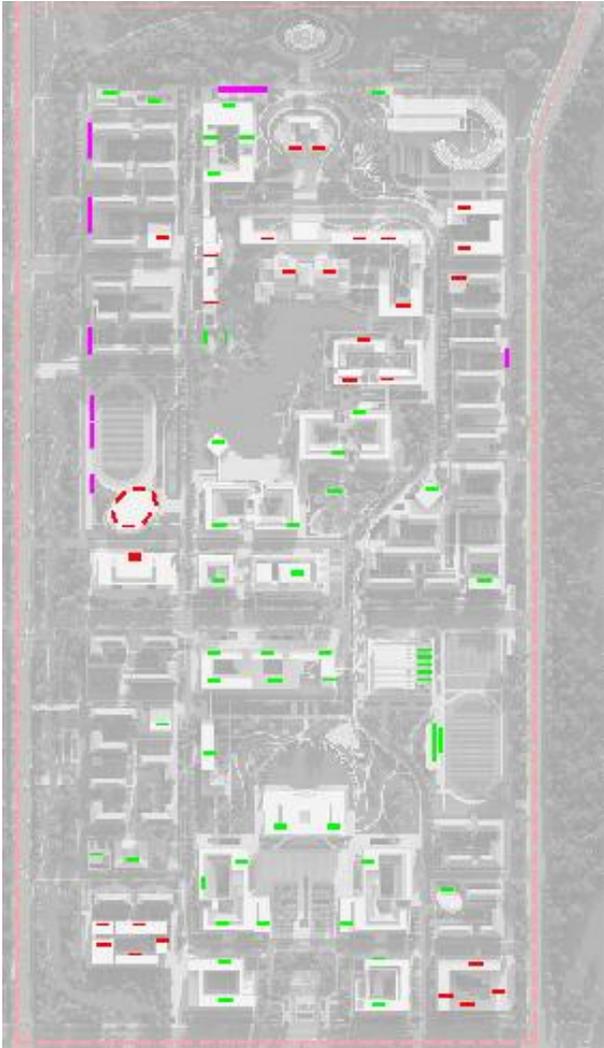


一期燃气管道



二期燃气管道





□ 光伏系统设置原则

- 在全校除宿舍外的建筑均设置太阳光伏发电系统，规划按照屋顶光伏考虑，安装光伏板的屋面面积占总屋顶面积的10%，全校屋顶光伏装机情况如下表。
- 地上停车位上设置光伏车棚。
- 光伏发电全部就地消纳，运行方式为“自发自用、并网不上网”。

光伏装机总表				
项目	一期范围		二期范围	合计
车位/屋顶面积 (m ²)	2160.0	97387.0	58332.0	157879.0
安装面积 (m ²)	2160.0	9738.7	5833.2	17731.9
单位面积装机功率 (W _p /m ²)	200	110	110	
光伏总装机功率 (kW _p)	432.00	1071.26	641.65	2144.91

全校终期光伏装机功率约为2.15MW_p，光伏布置示意图左图。

图中：绿色为二期屋面光伏、紫色为光伏车棚、红色为二期屋面光伏。

-  光伏车棚
-  一期建筑光伏
-  二期建筑光伏



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 设施规划：分级计量

➢ 规划内容：

- 自来水—累积流量
- 生活热水—累积流量
- 天然气—累积流量
- 电—累积电量
- 供暖—瞬时流量、瞬时热量、
累计流量、累积热量
- 供冷—瞬时流量、瞬时冷量、
累计流量、累积冷量

➢ 规划原则：

- 经济实用
- 满足运行单位管理要求
- 满足智慧校园管理要求



注：所有远传表计需标配RS485接口，用于将计量信号上传至智慧校园控制中心。



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

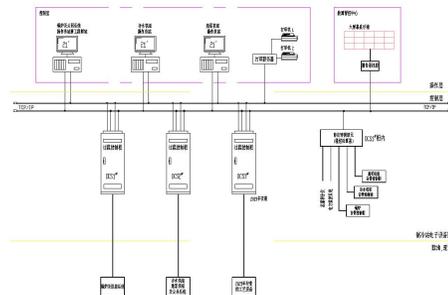
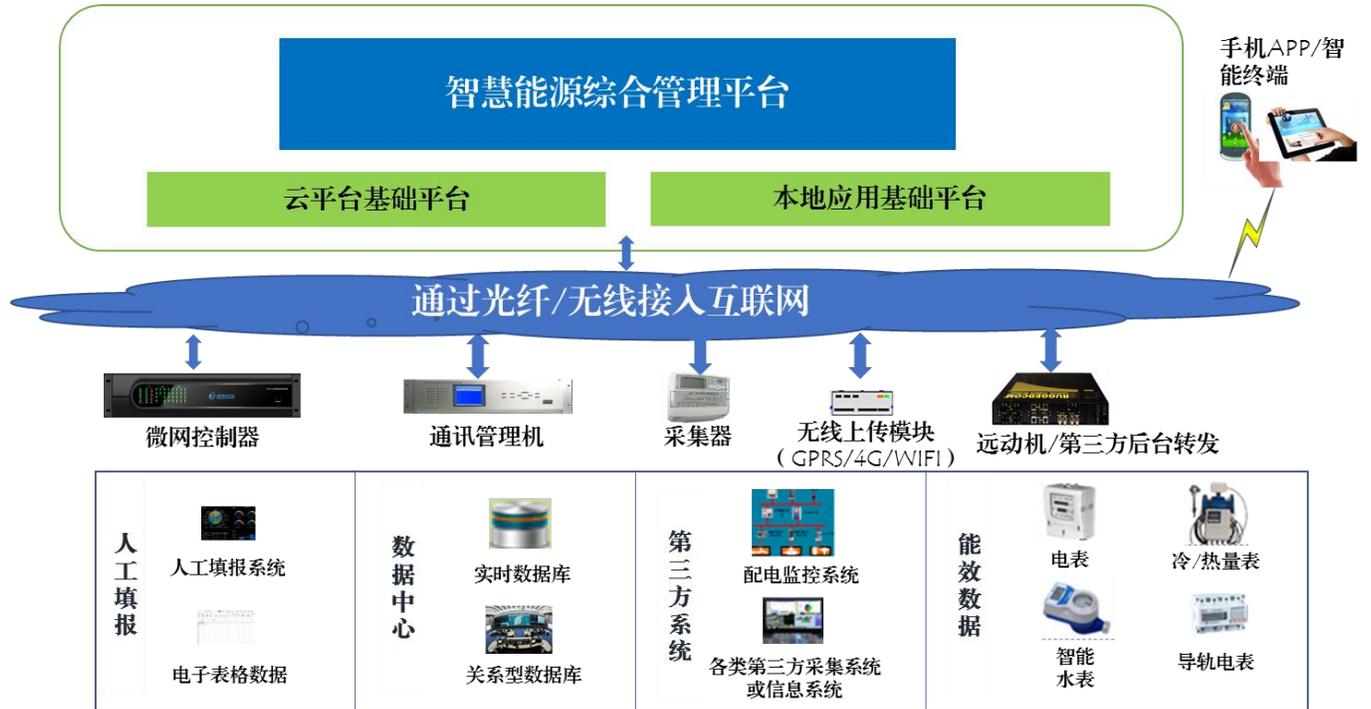
■ 设施规划：智慧能源管控系统

能源中心及二级能源站

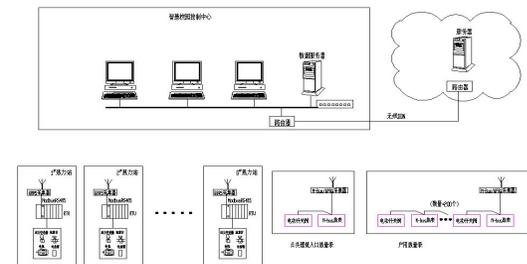
- 能源中心、二级能源站冷热源工艺系统的控制采用分散控制系统DCS。
- 在能源中心、二级能源站分别设置自控系统控制室，内设冷热源工艺系统工程师站、操作员站、DCS过程控制站、仪表配电柜等。

生活热水站

- 根据生活热水站的特点，采用PLC控制系统。该系统预留上传至智慧校园的通信接口，以实现智慧校园对各生活热水站的群控管理等功能。
- 生活热水站控制室内平时不设运行值班人员，仅保留巡视人员，实现生活热水站的智能化运行控制和管理。
- 生活热水站的调控主要由智慧校园平台远方完成。



DCS系统网络结构示意图



生活热水站网络结构示意图



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 供能计算分析

指标项		合计	一期	二期
供热量	供热面积(m ²)	1434775.00	799043.00	635733.00
	总供热量(GJ)	329998.25	183779.89	146218.59
	市政热力供热量(GJ)	76444.15	55763.91	20680.47
	浅层地源热泵供热量(GJ)	154544.45	121540.73	33003.72
	中深层地热供热量(GJ)	92534.40	0.00	92534.40
	空气源热泵供热量(GJ)	6475.25	6475.25	0.00
光伏发电	年发电量(万kWh)	241.90	168.59	73.31
供冷量	总供冷量(GJ)	202192.53	112917.23	89275.30
	分体空调供冷量(GJ)	58809.28	31505.19	27304.09
	制冷机组供冷量(GJ)	40258.23	0.00	40258.23
	浅层地源热泵供冷量(GJ)	101673.98	79961.00	21712.98
	空气源热泵供冷量(GJ)	1451.04	1451.04	0.00
生活热水	总供热量(GJ)	145886.39	81854.84	64031.55
	太阳能光热供热量(GJ)	73260.07	41105.22	32154.86
	淋浴废水废水水源热泵(GJ)	47811.97	27133.37	20678.61
	燃气锅炉供热量(GJ)	24814.34	13616.26	11198.08
能耗	年耗电量(万kWh)	11892.90	7629.12	4263.78
	生活热水年耗燃气量(万Nm ³)	253.37	140.51	112.86

采暖年供热量占比图



生活热水年供热量占比图



年供冷量占比图



□ 电力碳排放：

- 电力碳排放=电力消耗的碳排放-光伏发电的碳减排；
- 计算依据：《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366-2019、《2019年度减排项目中国区域电网基准线排放因子》等国家规范、标准和参考数据；
- 电力消耗的碳排放：雄安新区电力碳排放因子取0.604。
- 全校年均电力碳排放为 $6.55 \times 10^4 \text{ tCO}_2$ ，单位面积年均碳排放约为 $44.58 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

□ 燃气碳排放：

- 全年耗天然气量约为 $253.37 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，根据油田天然气折碳排放系数 2.162 进行计算(考虑项目计算燃气热值为 34860 kJ/m^3)，计算耗燃气碳排放量为全年 $0.49 \times 10^4 \text{ t}$ ，单位面积年均碳排放约为 $3.27 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

□ 碳排放总计：

- 全校年均电力碳排放为 $6.55 \times 10^4 \text{ t}$ ，单位面积年均碳排放约为 $44.58 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。
- 燃气碳排放量为全年 $0.49 \times 10^4 \text{ t}$ ，单位面积年均碳排放约为 $3.27 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。
- 合计碳排放为 $7.04 \times 10^4 \text{ t}$ ，单位面积年均碳排放约为 $47.85 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 项目概况：高校R通州新校区

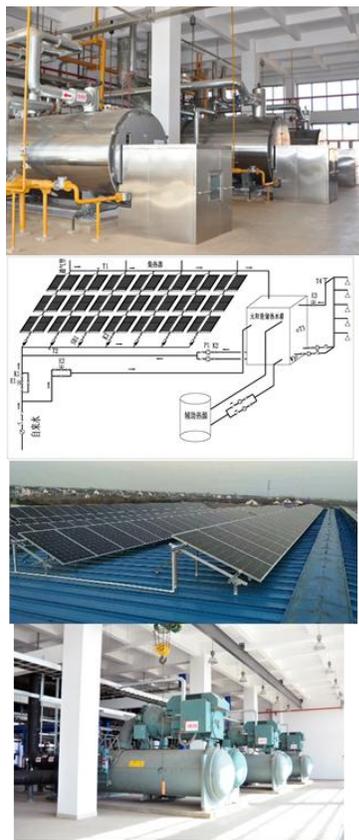
- 建设规模：规划总建筑面积约104.6万平方米，其中一期工程建筑面积约59.3万平方米。
- 热源方案：地源热泵+燃气锅炉+污水源热泵+太阳能光热；
- 冷源方案：地源热泵+污水源热泵+冷水机组；
- 节能效果：地源热泵系统约占设计冷负荷的60%。实现“清洁100%”的供能体系，年节省标煤 $4182t$ ，减碳 $2843t$ 。



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 规划成果

- 规划目标：清洁能源100%、可再生能源利用率大于30%；
- 智慧校园、绿色校园、低碳校园。

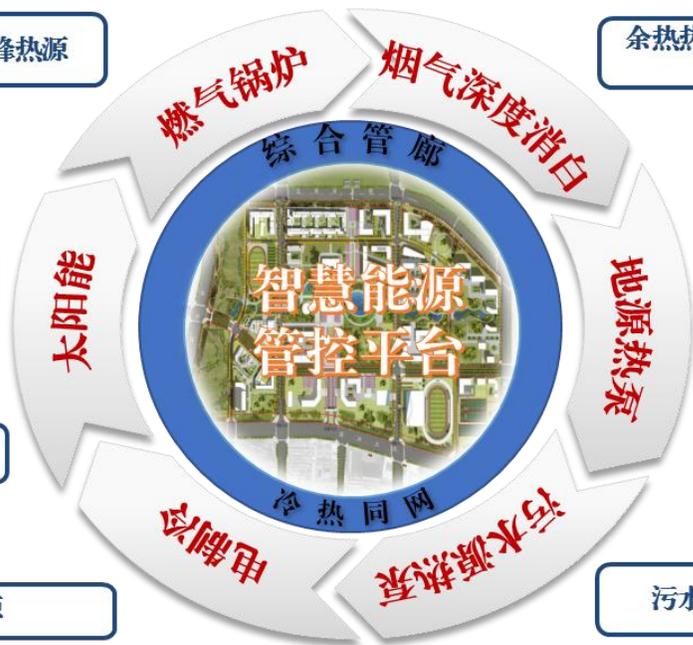


燃气热水锅炉应急调峰热源

太阳能提供淋浴用生活热水

太阳能光伏发电

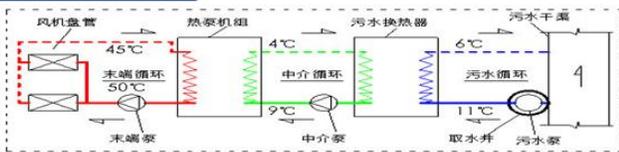
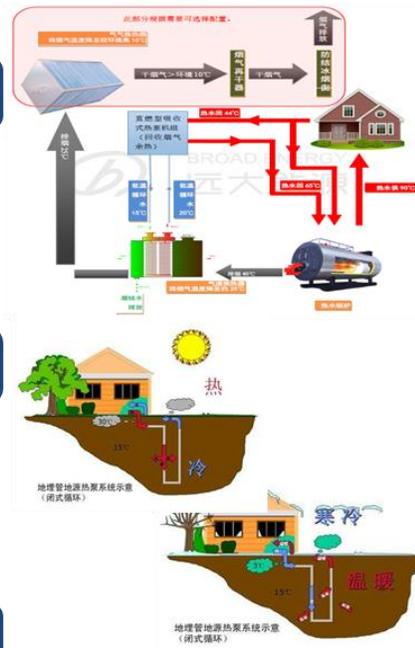
电制冷调峰冷源



余热热泵，深度烟气消白，回收烟气余热

浅层地埋管地源热泵

污水源热泵，回收污水余热

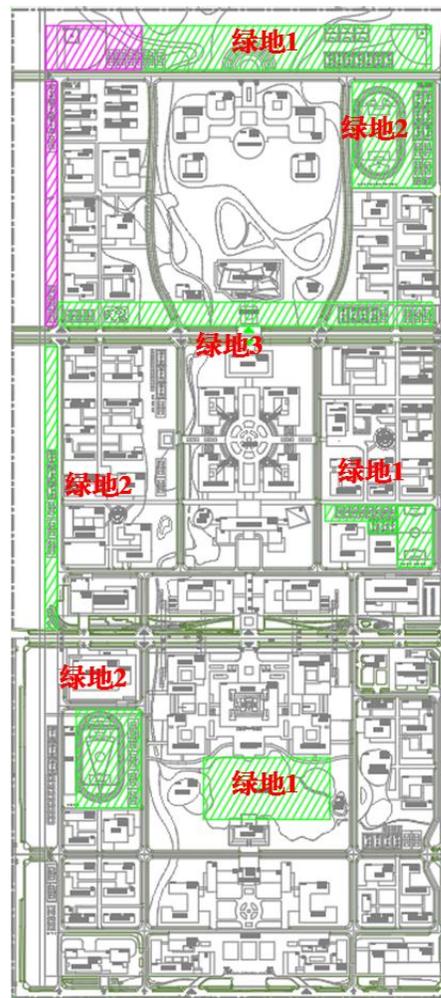


4 | 多能互补区域能源规划工程案例

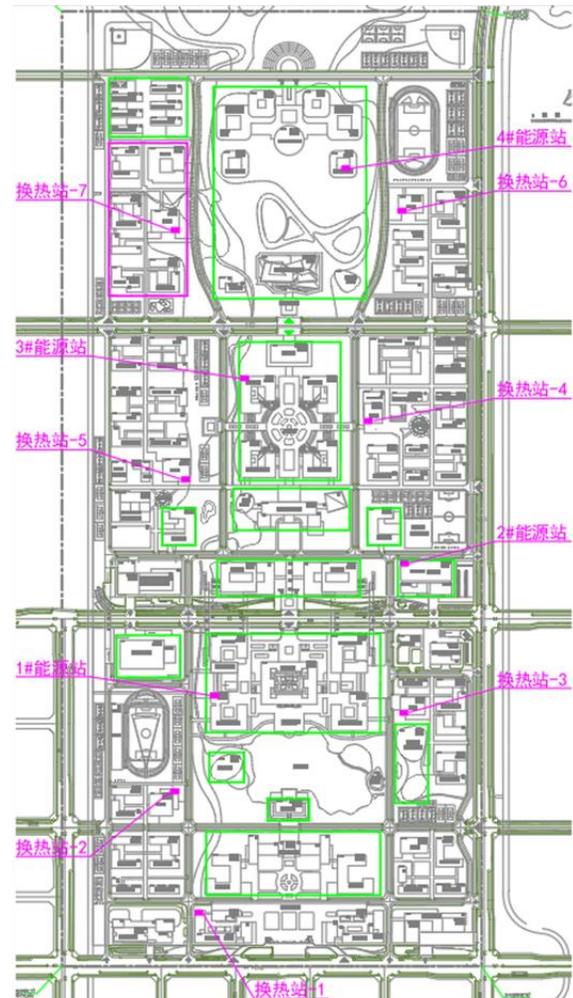
■ 项目概况：高校K雄安校区



- **高校K雄安校区**位于雄安新区第五组团，校区总占地约 2450 亩，建设用地约 1700 亩。规划总建筑面积 190.4 万 m^2 （暂定），学生规模达 35700 人左右。
- 综合考虑雄安新校区功能定位及校区内可利用资源情况，本项目以浅层地埋管地源热泵负担公共建筑基础冷、热负荷，市政热力负担宿舍区域供暖负荷，且市政热力同时作为保障热源，以电制冷作为调峰冷源，耦合太阳能生活热水、污水源热泵及空气源热泵系统，同时积极探索中深层地热的应用，实现多能互补，清洁能源 100% 的供能体系。
- 根据负荷分布及建设时序，本规划设置 4 个能源站（一期 2 个，二期 2 个）、 1 个锅炉房和 7 个热力站。



打井区域分布图

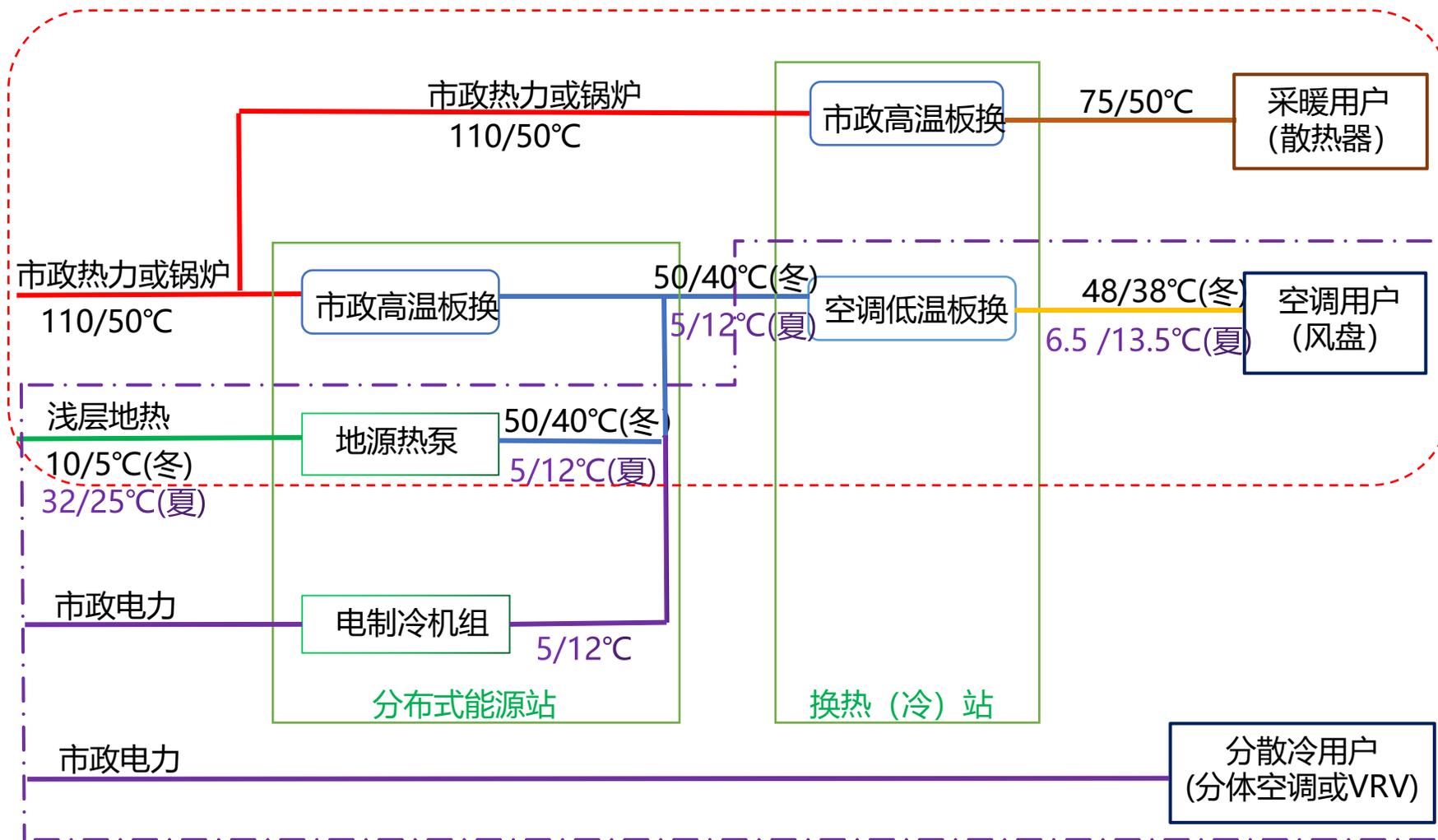


可再生能源供热区域及分布式能源站



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 规划成果



多能耦合供热供冷系统流程图



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

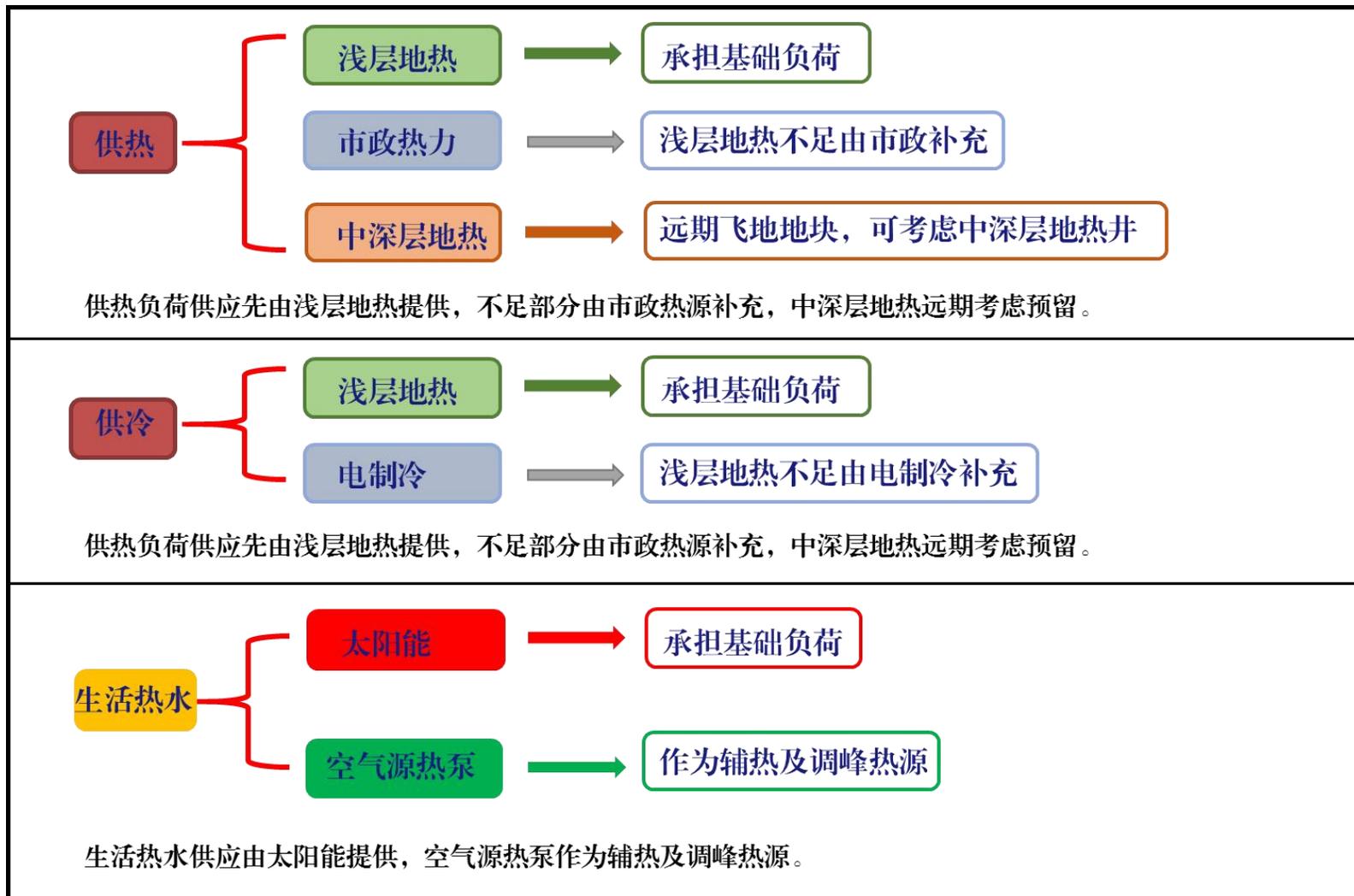
■ 项目概况：高校D雄安校区

- **用地规模：**拟占地面积（含代征道路和绿地）106.66 公顷（1600亩），拟建设用地面积 80 公顷（1200 亩）；
- **师生规模：**计划入驻全日制在校生20000人，教职员工2657人；
- **建设规模：**规划地上建筑面积约96.00万平方米；
- **能源专项：**规划5座能源站，其中一期3座（1#，2#，3#），能源系统总投资约3亿元。



4 | 多能互补区域能源规划工程案例

■ 规划成果



目录

contents

- 1 | 背景及问题
- 2 | 区域能源负荷需求特性及时空分布特征
- 3 | 基于碳排放/能耗限额的区域能源规划设计
- 4 | 多能互补区域能源规划工程案例
- 5 | 主要结论



□ 主要结论

1. 碳排放限额设计应贯穿规划设计→施工图设计全过程。能源站房、地热能利用场地、太阳能板布置等**设施规划**是多能互补区域能源系统后续工程实施的前提和必要条件。①中深层地热的应用，应对拟利用区域进行工程地质和地热资源调查，并根据地热资源调查结果对地热资源进行评估，充分论证地热能利用方案的技术及经济可行性；②浅层地热的应用，应根据具体总图布置及地热勘察报告，确定浅层地源热泵具体打井方案及装机规模，研究评估**大规模密集打井**后热泵系统的实际运行工况；③太阳能利用系统应落实热/电消纳方案。
2. 多能互补区域能源规划设计应采用**综合资源规划**（Integrated Resource Planning, IRP）分析方法，贯彻**安全+低碳**理念；结合项目建设时序，宜采用**集中+分散**的系统形式，耦合常规能源与地热、太阳能、余热等可再生能源；其中，可再生能源承担基础负荷，常规能源承担峰值负荷和备用能源功能，提高可再生能源的消纳率，同时保证系统的安全性。
3. 末端负荷的时空分布特征是多能互补区域能源系统设计的基础，规划阶段宜①基于城市设计（强排方案），采用**情景分析法**分析区域建筑负荷的时空分布；②应用“**建筑面积传热系数HTCFA**”指标对建筑负荷进行从规划-施工图的全过程控制。



□ 主要结论

4. **智慧能源管控系统**是区域能源多能互补优化运行的基础。以供能信息化和自动化为基础，以信息系统与物理系统深度融合为技术路径，运用物联网、空间定位、云计算、信息安全等“互联网+”技术感知连接区域能源系统“源-网-荷-储”全过程中的各种要素，运用大数据、人工智能、建模仿真等技术统筹分析优化系统中的各种资源，运用模型预测等先进控制技术，按需精准调控系统中各层级、各环节对象，实现系统可再生能源消纳和运行安全等多重目标。
5. 构建**区域综合能源柔性用能系统**，提高系统对区域内/外可再生能源的消纳能力是未来有潜力的发展方向。研究提出一套完整的设计及运行技术措施：包含基本结构、优化配置、调节控制等多个环节的优化选取。综合考虑建筑本体可利用的光伏等可再生资源、合理的系统架构，配置合理的关键设备和储能容量，保证系统中合理的储能调蓄能力；在此基础上进一步研究综合能源系统与电网交互的策略方法，将综合能源系统作为电网中灵活负载的调节措施，与电网供给侧的发展相适应，提出实现综合能源系统与电网友好互动的有效机制/模式。



A modern glass skyscraper with a grid-like facade, illuminated from within, set against a light blue sky. The building is the central focus of the image. There are dark blue triangular shapes in the top-left and bottom-right corners.

敬请提出宝贵意见!

曹荣光 13810131169