



基于运行数据的“光储直柔” 建筑电力系统优化调度



北京工业大学
BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

北京工业大学
张伟荣
2023年4月8日

目录 CONTENTS

PART.01

光储直柔建筑能源系统

PART.02

光储直柔建筑能源系统中柔性资源的量化

PART.03

光储直柔建筑能源系统的运行调节案例分析

PART.04

结论与展望





目录 CONTENTS

PART.01

光储直柔建筑能源系统

PART.02

光储直柔建筑能源系统中柔性资源的量化

PART.03

光储直柔建筑能源系统的运行调节案例分析

PART.04

结论与展望

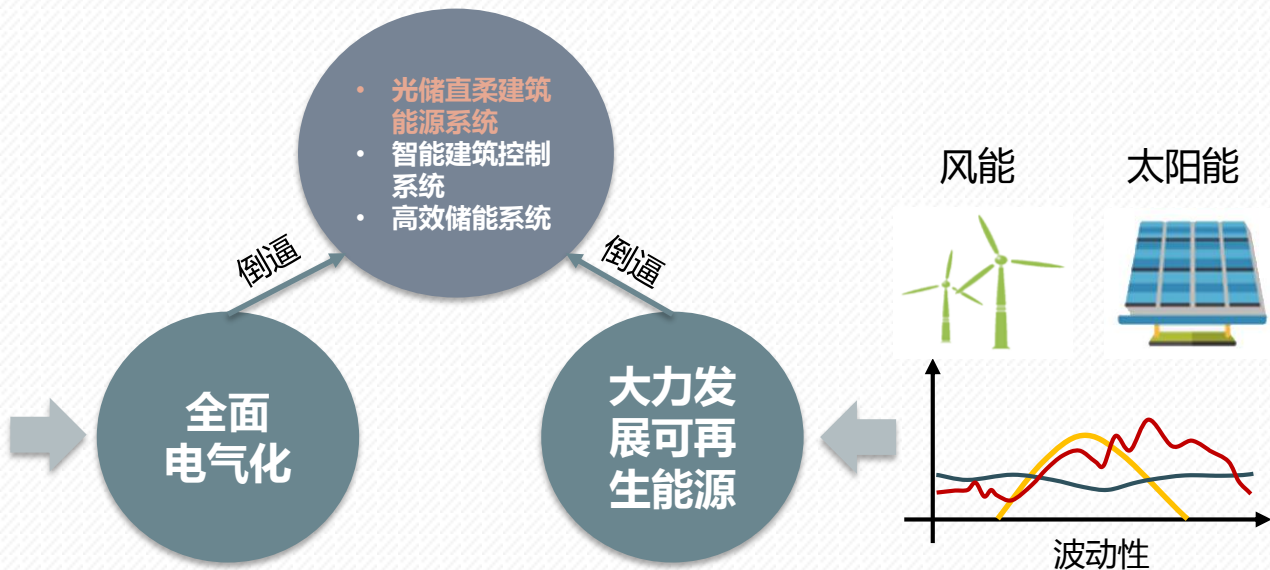
城乡建设领域碳达峰实施方案

城乡建设是碳排放的主要领域之一。随着城镇化快速推进和产业结构深度调整，城乡建设领域碳排放量及其占全社会碳排放总量比例均将进一步提高。为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和决策部署，控制城乡建设领域碳排放量增长，切实做好城乡建设领域碳达峰工作，根据《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》、《2030年前碳达峰行动方案》，制定本实施方案。

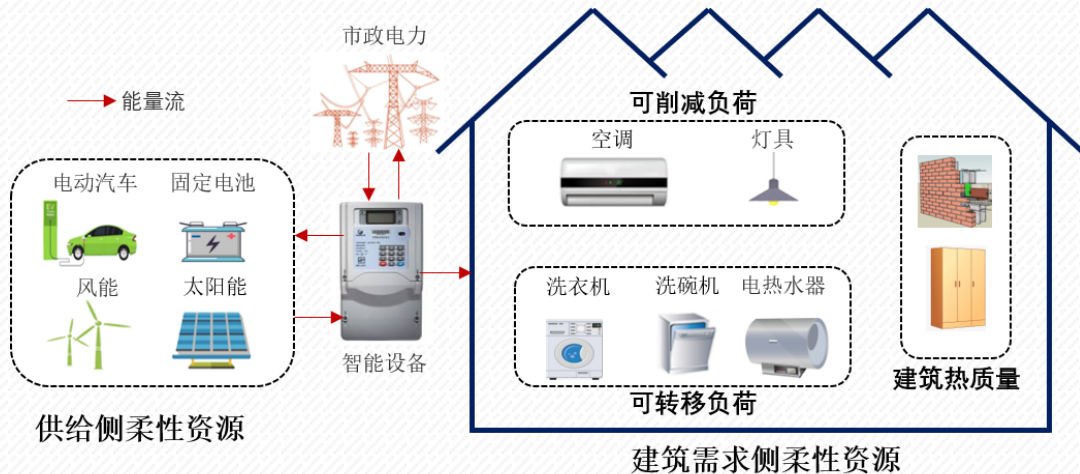
生物质能应用，推广空气源等各类电供热系统技术。到2025年城镇建筑可再生能源替代率达到8%。引导建筑供暖、生活热水、炊事等向电气化发展，到2030年建筑用电占建筑能耗比例超过65%。

推动开展新建公共建筑全面电气化，到2030年电气化比例达到20%。推广热泵热水器、高效电炉灶等替代燃气产品，推动高效直流电器与设备应用。推动智能微电网、“光储直柔”、蓄冷蓄热、负荷灵活调节、虚拟电厂等技术应用，优先消纳可再生能源电力，主动参与电力需求侧响应。探索建筑用电设备智能群控技术，在满足用电需求前提下，合理调配用电负荷，实现电力少增容、不

（住房和城乡建设部、国家发展改革委）



在“双碳”背景下，随着建筑全面电气化的推进，可再生能源的大力发展，传统的建筑电力能源系统亟需改革，光储直柔建筑能源系统作为有效的解决方案，能够满足新时代下的电力能源系统的要求



定义：通过**光**伏等可再生能源发电，蓄电、蓄热等**储**能方式，**直**流配电和需求侧**柔**性用能来构建适应碳中和目标建设需求的新型建筑能源系统

□ 建筑柔性资源调度与量化的数据基础

建筑柔性资源复杂多样，具有较大的不确定性、随机性和波动性，基于实时运行的数据能够为建筑电力能源系统的精准调度提供基础



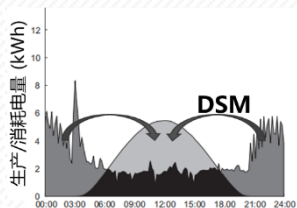
□ 需求侧管理

目前的运行调节策略研究主要针对需求侧进行管理（DSM），这种方法已被证明是应对严重峰值需求和负载波动等问题的有效方法

DSM面临的问题

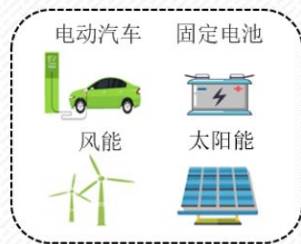


用户使用不方便



调度潜力小，调度不充分

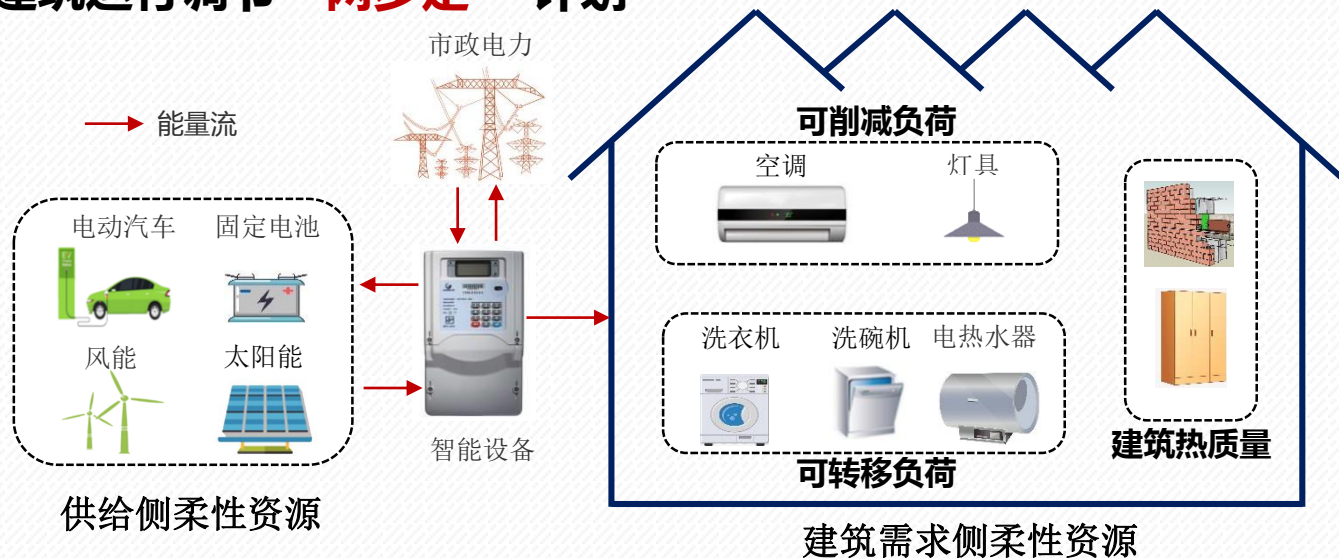
供给侧柔性资源调度



目前的研究多为对以下柔性资源（可再生能源、储能电池与电动汽车）的单独研究

缺乏多种供给侧柔性资源进行联合调度的研究

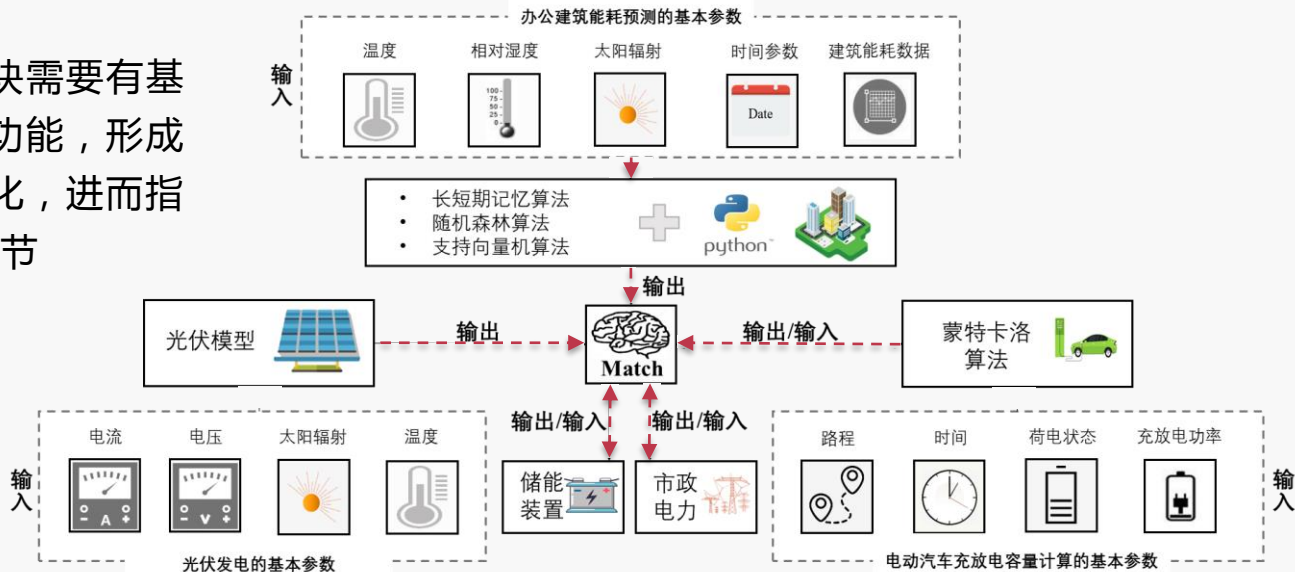
□ 光储直柔建筑运行调节“两步走”计划



- 第一步：不改变建筑用户用电习惯，对建筑内部需求侧柔性资源不进行调节，把建筑作为一个整体，研究供给侧与建筑协同匹配的运行策略
- 第二步：对建筑内部需求侧柔性资源进行调节，在建筑用户用电舒适度范围内提出供给侧与需求侧协同匹配的运行策略

基于实际运行数据和机器学习算法的微电网系统

微电网系统中的重要模块需要有基于**实际运行数据**的预测功能，形成柔性资源潜力的实时量化，进而指导建筑日前的电力运行调节



运行调度关键问题

1. 针对实际监测的电力数据，哪一种机器学习算法更适合于建筑电力能耗预测？
2. 电动汽车是一个移动的储能装置，如何量化其时空转移特性，预测其充放电容量？
3. 在建筑运行阶段，供给侧与需求侧柔性资源如何协同配合？



目录 CONTENTS

PART.01

光储直柔建筑能源系统

PART.02

光储直柔建筑能源系统中柔性资源的量化

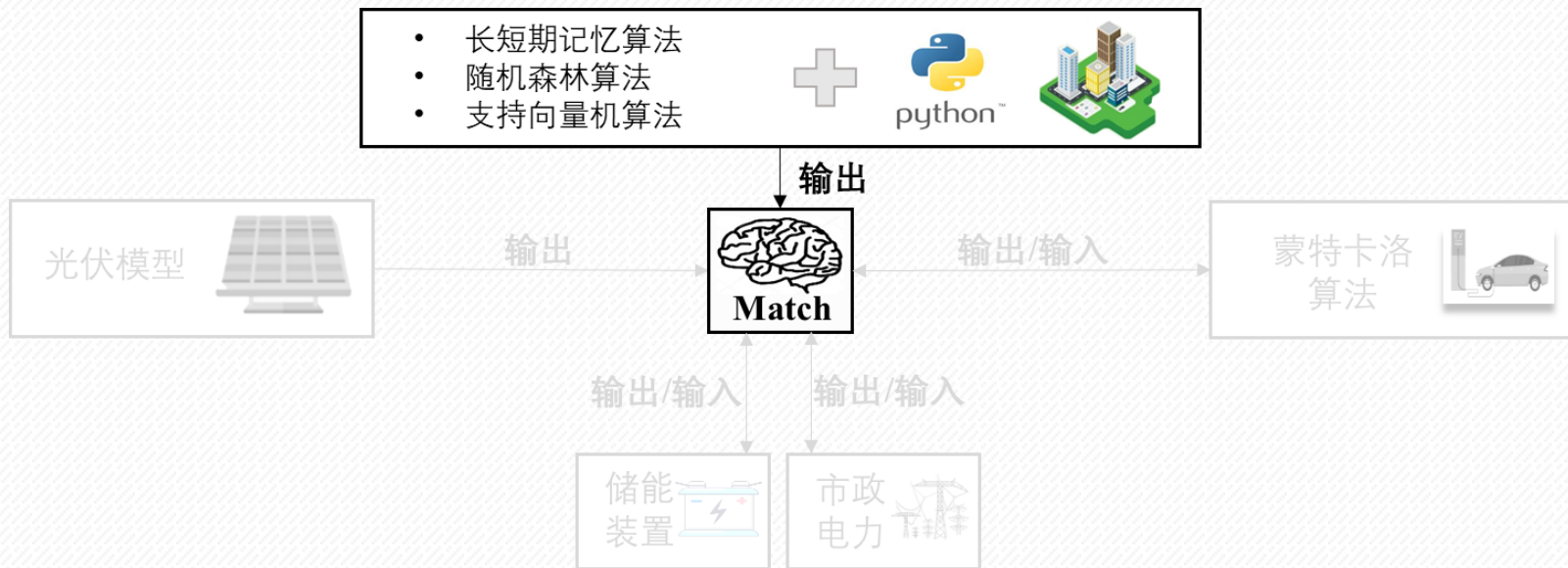
PART.03

光储直柔建筑能源系统的运行调节案例分析

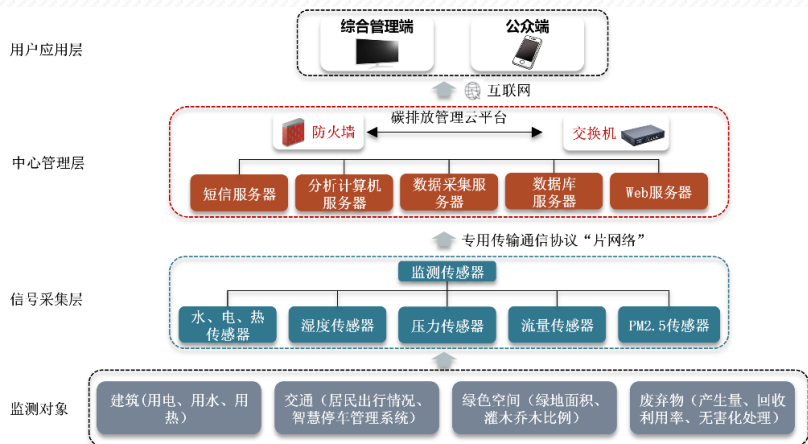
PART.04

结论与展望

基于机器学习算法的建筑电力能耗预测模型

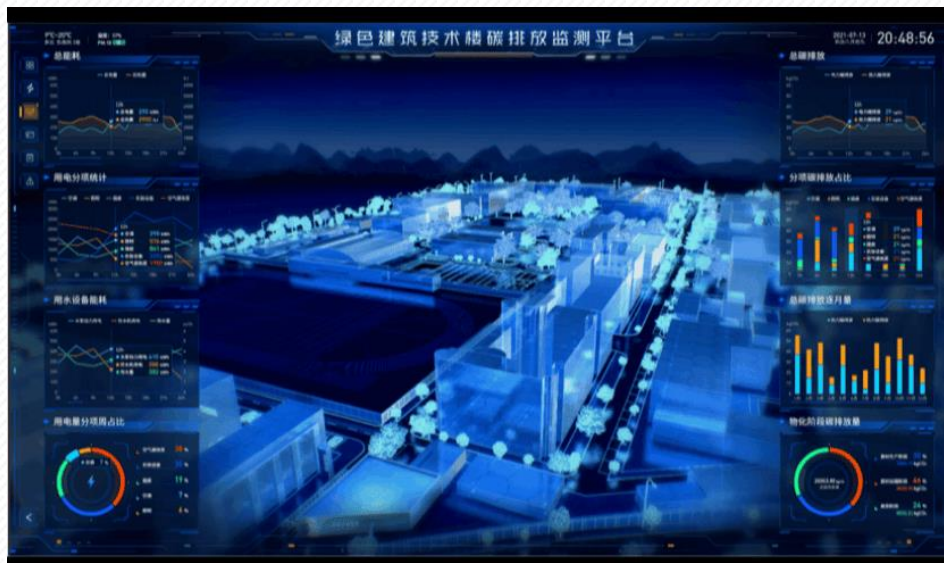


基于机器学习算法的建筑电力能耗预测模型——建筑能耗数据的监测



建筑碳排放监测平台的底层架构

注：建筑碳排放监测平台除了能够监测建筑能耗等基本量以外，还留有大量接口，涵盖交通、绿色空间、废弃物等模块，为后续**建筑群级别的运行调节、碳排放计算**提供支撑



基于数字孪生的碳排放监测平台

- 监测平台已有一年的数据量，数据内容涵盖建筑整体及分项用能、气象参数等，数据颗粒度包括逐分、逐时、逐日、逐月、逐年
- 数据能够支持多维度、多层次的科学研究，包括建筑整体、分项能耗预测、用能行为分析、运行调节策略开发等

□ 基于机器学习算法的建筑电力能耗预测模型—输入输出变量的选择



建筑电力能耗的影响因素

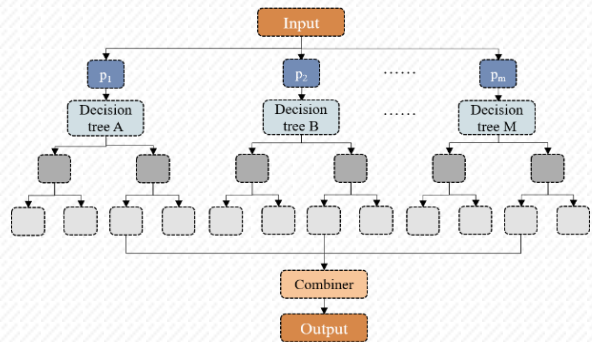
办公建筑电力能耗的内在规律变化主要受不同时间周期的影响，外在规律则主要受气象参数等客观因素的影响

- **时间参数**—月、星期、星期类型、日、时，其中星期类型分为工作日与非工作日，工作日设置为1，非工作日设置为0
- **气象参数**—温度、相对湿度、太阳辐射量

本研究旨在预测办公建筑的实时电力能耗，输出变量为逐时电力能耗数据

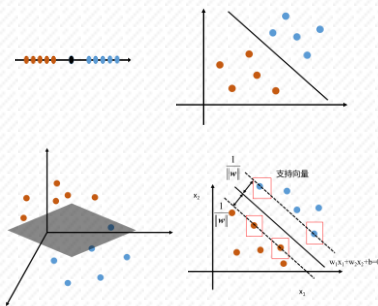
基于机器学习算法的建筑电力能耗预测模型——机器学习算法

随机森林算法 (RF)



- 在当前的很多数据集上，相对其他算法有着很大的优势，表现良好，它能够处理很高维度的数据，并且不用做特征选择
- 模型泛化能力强训练速度快
- 在训练过程中，能够检测到特征间的互相影响
- 实现比较简单
- 对于不平衡的数据集来说，它可以平衡误差
- 如果有很大一部分的特征遗失，仍可以维持准确度

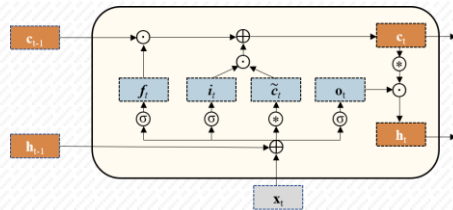
支持向量机(SVR)



支持向量回归使用与 SVM 原理相同，SVR 背后的基本思想是找到最佳拟合线即点数最多的超平面

- 对异常值具有鲁棒性
- 决策模型可以轻松更新
- 具有出色的泛化能力，具有很高的预测精度
- 实现容易

长短期记忆算法(LSTM)



- 改善了RNN中存在的长期依赖问题
- LSTM的表现通常比时间递归神经网络及隐马尔科夫模型 (HMM) 更好
- 作为非线性模型，LSTM可作为复杂的非线性单元用于构造更大型深度神经网络

机器学习算法以实际的监测数据为基础，预测结果相比于能耗模拟软件精度更高，更接近于实际的能耗数据



□ 基于机器学习算法的建筑电力能耗预测模型—小结

随机森林

随机森林模型是基于 Python 3.6版本中的sklearn 0.24.1库实现的，经过参数比较，模型中最终分类器的个数为305（森林中树木的数量），决策树的最大深度为38，随机数设置为50

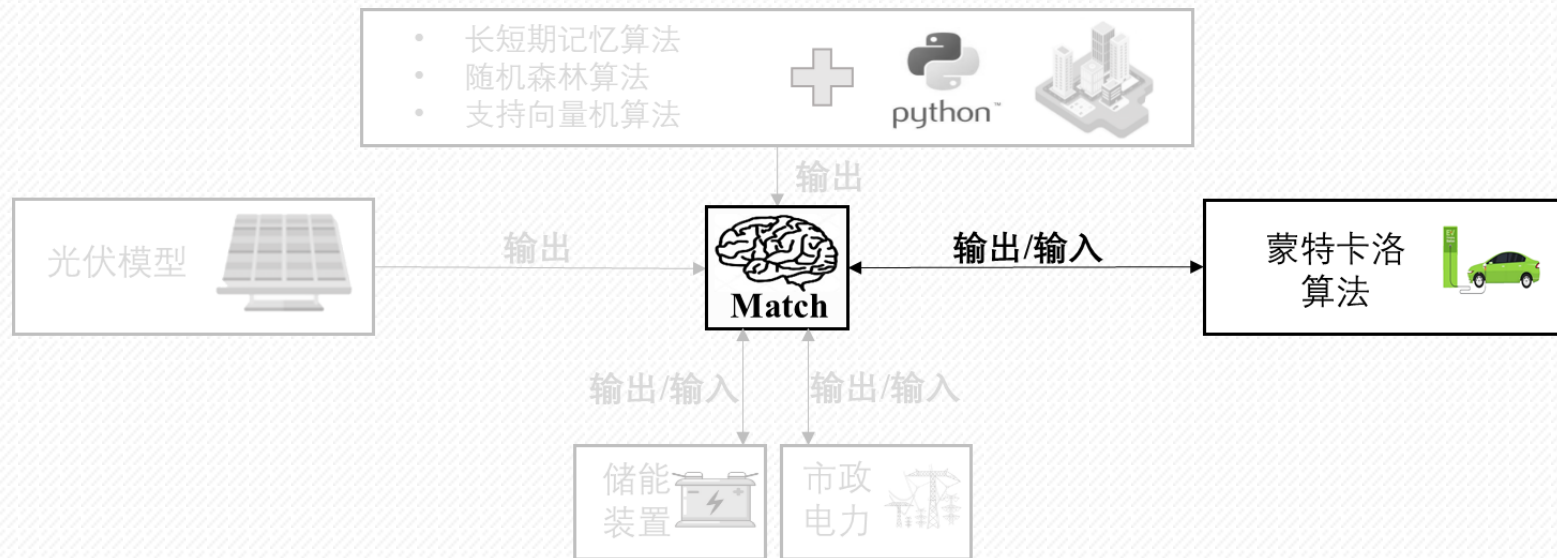
支持向量机

在本次SVR的调优研究中，重点研究了核函数RBF的 γ 参数和正则化参数， γ 参数的取值为0.001,0.01,0.1. 正则化参数的范围为1,100,1000,2000,3000,4000。经过对18种SVR模型的寻优比较，本研究选择的 γ 参数值为0.1，正则化参数值为3000

长短期记忆

本研究建立的LSTM模型是基于 Python 3.6版本中的TensorFlow 2.7.0 库实现的。其中，迭代的次数为500，每次输入到神经网络中训练的样本数200，时间步长为1，隐藏节点（神经元）的个数为1500

具有时空转移特性的电动汽车充放电容量预测



具有时空转移特性的电动汽车充放电容量预测——电动汽车出行参数规律分析

电动汽车行驶路线



电动汽车用户通勤行为调研



- 在工作日期间，往返于办公区与居住区的电动汽车90%的时间处于闲置的状态^[1]，具有较大的可调度潜力
- 该类电动汽车具有时空转移的特性，需要掌握其出行参数规律，才能有效地利用其充放电容量

调查问卷内容

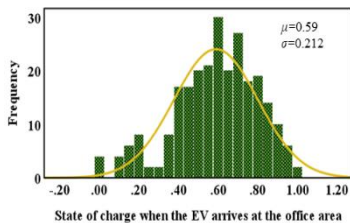
问题	单位
早晨从居住区到办公区您行驶的路程？	km
早晨您到达办公区的时间？	HH:mm
早晨您到达办公区时电动汽车的荷电状态？	%
晚上从办公区到达居住区您行驶的路程？	km
往返电动汽车所需的最低电量是多少？	%
晚上到达居住区的时间？	HH:mm

对北京工业大学的255辆电动汽车进行了实地调查和分析，以确定电动汽车主要出行参数的一般规律，为电动汽车作为柔性资源的调度分析提供支持

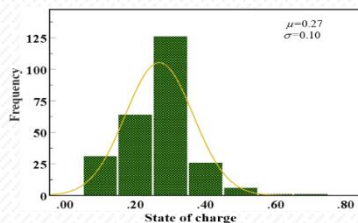
[1]N. Hartmann and E. D. zdemir, "Impact of different utilization scenarios of electric vehicles on the German grid in 2030." J. power sources, vol.196, no. 4, pp. 2311-2318, 2011.

具有时空转移特性的电动汽车充放电容量预测——电动汽车出行参数规律分析

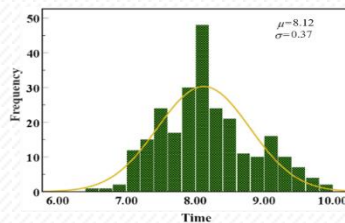
早晨到达时电动汽车的
荷电状态



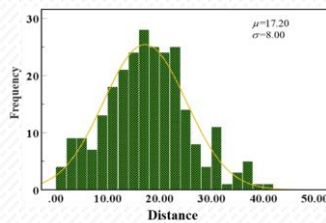
满足往返要求的最低荷
电状态



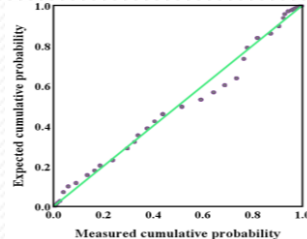
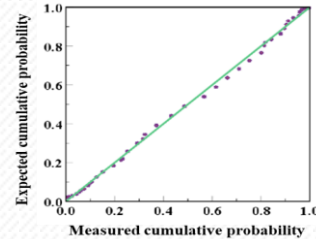
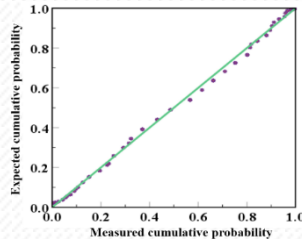
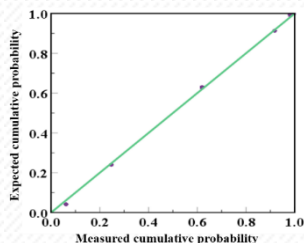
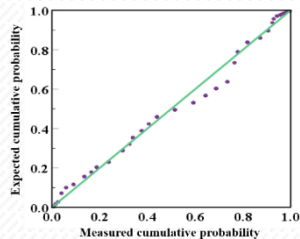
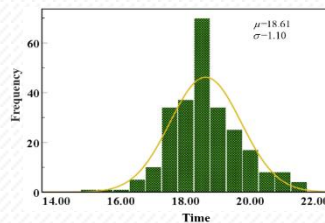
到达办公区的时间



单程行驶距离



到达居住区的时间



往返于办公区与居住区的电动汽车出行参数基本满足正态分布的形式 $N(\mu, \sigma^2)$ ，根据这一规律，可以研究电动汽车的实际充放电功率和柔性调度策略

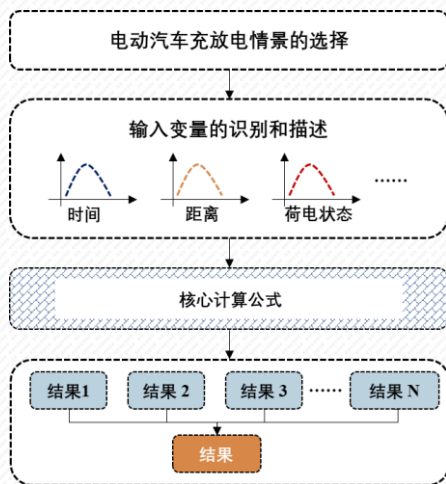


具有时空转移特性的电动汽车充放电容量预测——电动汽车充放电情景分析

情景	内容
1	电动汽车用户根据自己早晨到达的荷电状态判断是否满足充放电要求，选择合适功率进行充放电操作，在上班期间电动汽车不离开办公区，晚上到达居住区根据自己的充电习惯进行充电
2	电动汽车用户根据自己早晨到达的荷电状态判断是否满足充放电要求，选择合适功率进行充放电操作，在上班期间电动汽车会离开办公区，晚上到达居住区根据自己的充电习惯进行充电
3	晚上电动汽车用户在居住区延迟充满电，早晨到达办公区选择合适功率进行充放电，在上班期间电动汽车不离开办公区
4	电动汽车用户根据自己早晨到达的荷电状态判断是否满足充放电要求，并延迟进行充放电，在上班期间电动汽车不离开办公区，晚上到达居住区根据自己的充电习惯进行充电
5	电动汽车用户根据自己早晨到达的荷电状态判断是否满足充放电要求，并延迟进行充放电，在上班期间电动汽车会离开办公区，晚上到达居住区根据自己的充电习惯进行充电
6	晚上电动汽车用户根据用电习惯在居住区充满电，早晨到达办公区选择合适功率进行充放电，在上班期间电动汽车不离开办公区
7	晚上电动汽车用户在居住区延迟充满电，早晨到达办公区选择合适功率进行充放电，在上班期间电动汽车会离开办公区
8	晚上电动汽车用户在居住区延迟充满电，早晨到达办公区选择合适功率延迟充放电，在上班期间电动汽车不离开办公区
9	晚上电动汽车用户在居住区延迟充满电，早晨到达办公区选择合适功率延迟充放电，在上班期间电动汽车会离开办公区
10	以上各种情景配合光伏发电不足情形

往返于居住区与办公区的电动汽车充电情况多样，本研究通过调研电动汽车用户的习惯，总结了10种常见的充放电情景，选取情景1、3、10作为本研究的充放电情景

具有时空转移特性的电动汽车充放电容量预测——基于蒙特卡罗算法的电动汽车充放电容量预测流程



预测流程

荷电状态公式 $E_r = E_{r-1} - \frac{x}{x_{\max}}$

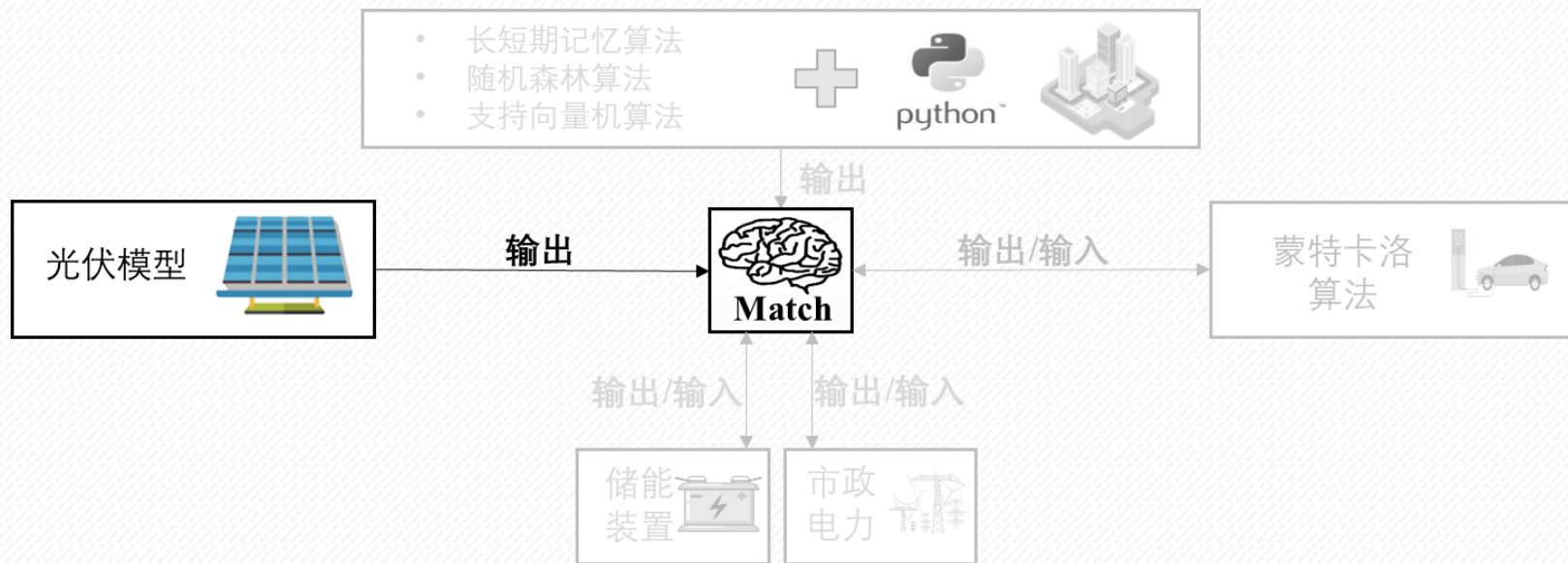
充放电时间 $T_c = \frac{(E_r - E_{r-1})C}{P_c \eta_c}$

$T_d = \frac{(E_r - E_{r-1})C}{P_d \eta_d}$

蒙特卡罗算法作为一种数值算法，极适合解决变量具有概率特性的高度复杂或非线性问题

- 确定电动汽车的充放电情景,在此基础之上,识别计算所需要的输入变量（例如：时间、距离、荷电状态）
- 根据每个变量遵循的概率分布函数随机抽取变量的数值，把随机抽取的变量输入到核心计算公式
- 反复执行前一步骤，计算出大量分布结果,将计算的结果求平均,再根据相应的电动汽车数量条件,转换为最终的电动汽车充放电容量结果

□ 光伏发电量预测模型



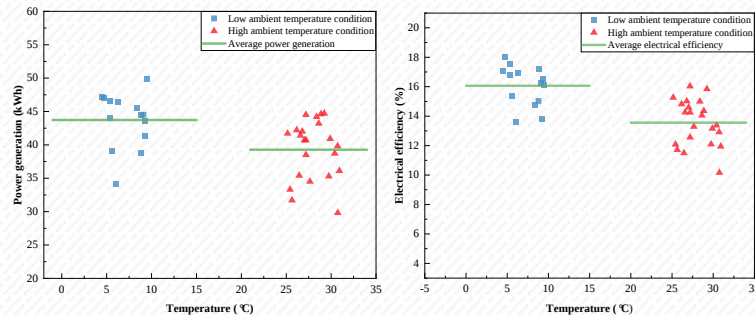
□ 光伏发电量预测模型

实时监测真实建筑电力系统的光伏发电量，提升建筑电力能源系统中光伏发电预测模型的精确度

- 利用小型气象站（FT-CQX12-RP）监测多时间尺度的气象数据，以避免使用大型气象站数据不能准确反映局部气象参数的问题。
- 对可能影响光伏发电的天气因素进行相关性分析，作为预测的输入变量。
- 对多数研究中指出的云量对发电的影响问题重点关注，基于实际测量建立不确定模型，进一步提升预测模型精确度



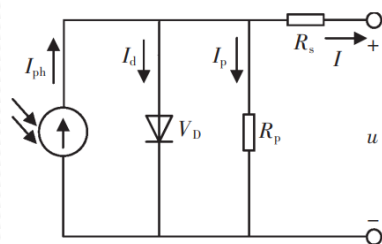
实测建筑与小型气象站参数



高温和低温条件下的发电效率及发电量
(相关性分析示例)

□ 光伏发电量预测模型

数学方程



光伏电池等效电路

$$\Delta T = T - T_{ref}$$

$$\Delta S = \frac{S}{S_{ref}} - 1$$

$$C'_1 = \left(1 - \frac{I'_m}{I'_{sc}}\right) \exp\left(-\frac{U'_m}{U'_{oc}}\right)$$

$$C'_2 = \left(\frac{U'_m}{U'_{oc}} - 1\right) \left[\ln\left(\frac{I'_m}{I'_{sc}}\right)\right]^{-1}$$

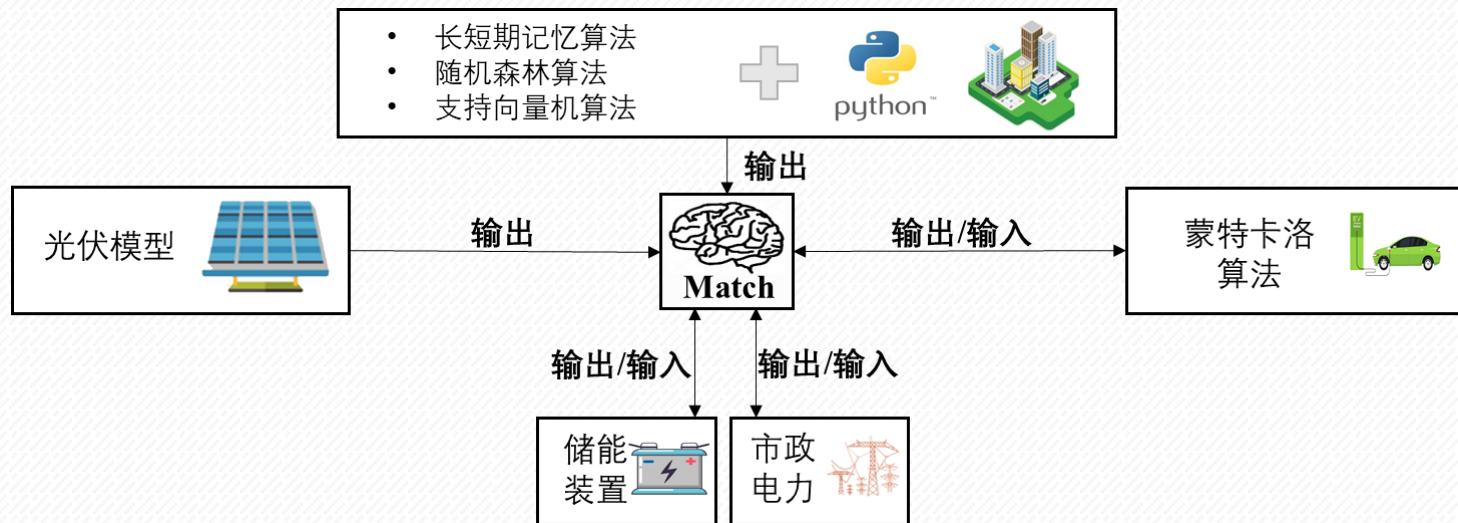
$$U'_{oc} = U_{oc}(1 - \gamma\Delta T)(1 + \beta\Delta S) \quad U'_m = U_m(1 + \gamma\Delta T)(1 + \beta\Delta S)$$

$$I'_m = I_m \frac{S}{S_{ref}} (1 + \alpha\Delta T) \quad I'_{sc} = I_{sc} \frac{S}{S_{ref}} (1 + \alpha\Delta T)$$

$$I = I'_{sc} \left\{ 1 - C'_1 \left(\exp\left(\frac{U'_m}{C'_2 U'_{oc}}\right) - 1 \right) \right\}$$

在实际工程中，生产厂家仅提供标准条件（温度 25°C ，光照强度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ ）下，光伏电池的开路电压 U_{oc} 、短路电流 I_{sc} 、最大功率点电压 U_m 及最大功率点电流 I_m 等基本参数。 I'_{sc} 、 U'_{oc} 、 I'_m 、 U'_m 是一般工作条件下的值，根据上述公式可求得一般条件下的光伏发电量

小结



机器学习算法、蒙特卡洛算法等大数据分析处理技术在光储直柔能源系统模型的搭建中具有重要的意义。储能装置的充放电模型与电动汽车类似，不同的是储能装置没有电动汽车时空转移的特性。



目录 CONTENTS

PART.01

光储直柔建筑能源系统

PART.02

光储直柔建筑能源系统中各种柔性资源的量化

PART.03

光储直柔建筑能源系统的运行调节案例分析

PART.04

结论与展望

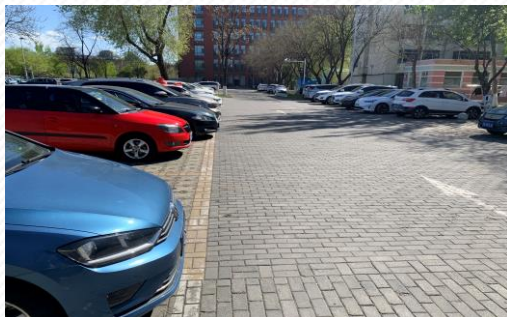
□ 案例研究

本研究以北京工业大学办公楼及其周边电动汽车作为光储直柔建筑能源系统运行调节的案例

办公建筑



电动汽车



- 该办公楼建筑面积 16320m^2 ，屋顶面积 2028m^2 。本研究用一层的电耗数据作为机器学习算法的验证案例，使用2022年4月1日至2022年6月7日的建筑一层的逐时电耗数据作为机器学习算法的样本数据，其中80%为训练数据，20%为测试数据
- 基于蒙特卡洛算法模拟选取30辆电动汽车，模拟5000次，计算电动汽车的充放电容量
- 选取 2000m^2 的屋顶面积模拟光伏发电量，结合光伏发电量、建筑用电量，选取 1100kWh 的电池组作为储能装置



□ 案例研究

情景	内容
1	电动汽车用户根据自己早晨到达的荷电状态判断是否满足充放电要求，选择合适功率进行充放电操作 在上班期间电动汽车不离开办公区，晚上到达居住区根据自己的充电习惯进行充电
3	晚上电动汽车用户在居住区延迟充满电，早晨到达居住区选择合适功率进行充放电，在上班期间电动汽车不离开办公区
10	以上充放电情况分别配合光伏发电充足、不充足情形

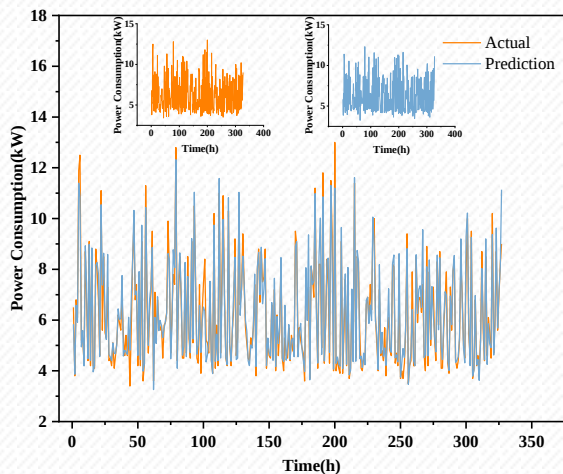


供需匹配策略：光伏发电量、电动汽车放电量用于供给当天8:00-23:00以及次日0:00-7:00的需求侧电力。
在光伏发电量、电动汽车放电量盈余的阶段，电量被储存到储能装置中，用于其他时间段办公建筑的电力需求。对于不能够满足建筑电力需求的时间段，需要购入市政电力满足该时间段的电力需求

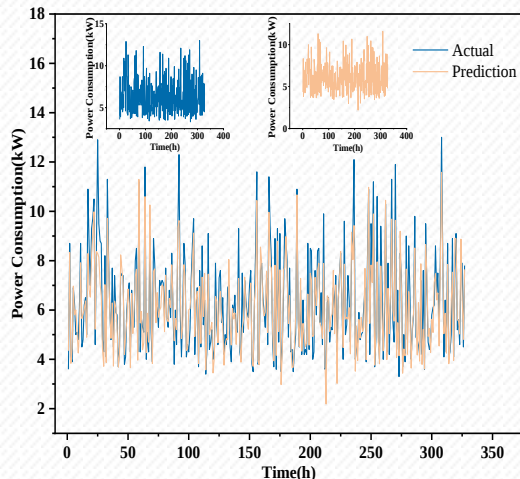


目标：不同情景下，光储直柔建筑能源微电网系统在办公建筑的应用效果及经济性分析

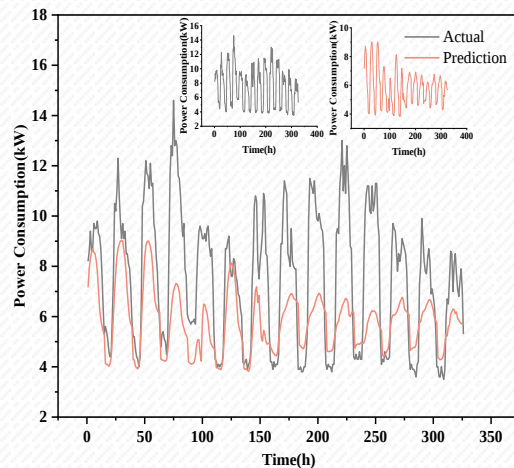
□ 建筑电力能耗预测结果



随机森林算法预测结果



支持向量机算法预测结果

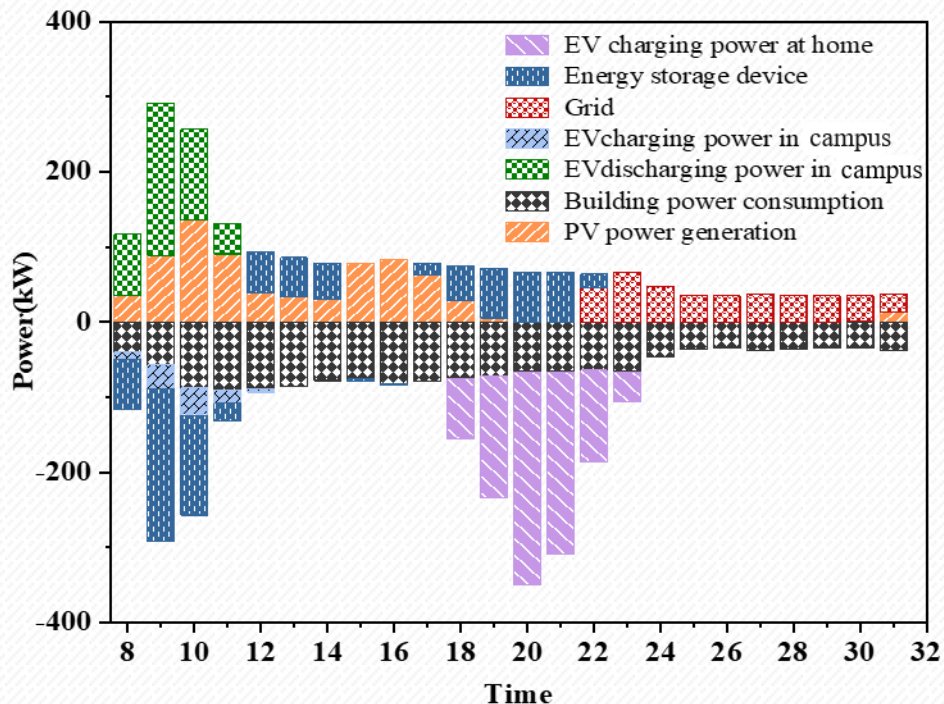


长短期记忆算法预测结果

RF表现的预测性能最为优越，其次为SVR，这是因为这两种技术在映射复杂非线性关系方面具有优异的性能。LSTM算法的预测性能较差，可能是深度学习算法更适合于具有大量数据的长期预测场景。本研究选择RF算法作为预测建筑逐时电力能耗的算法。



光储直柔建筑能源微电网系统供给匹配结果



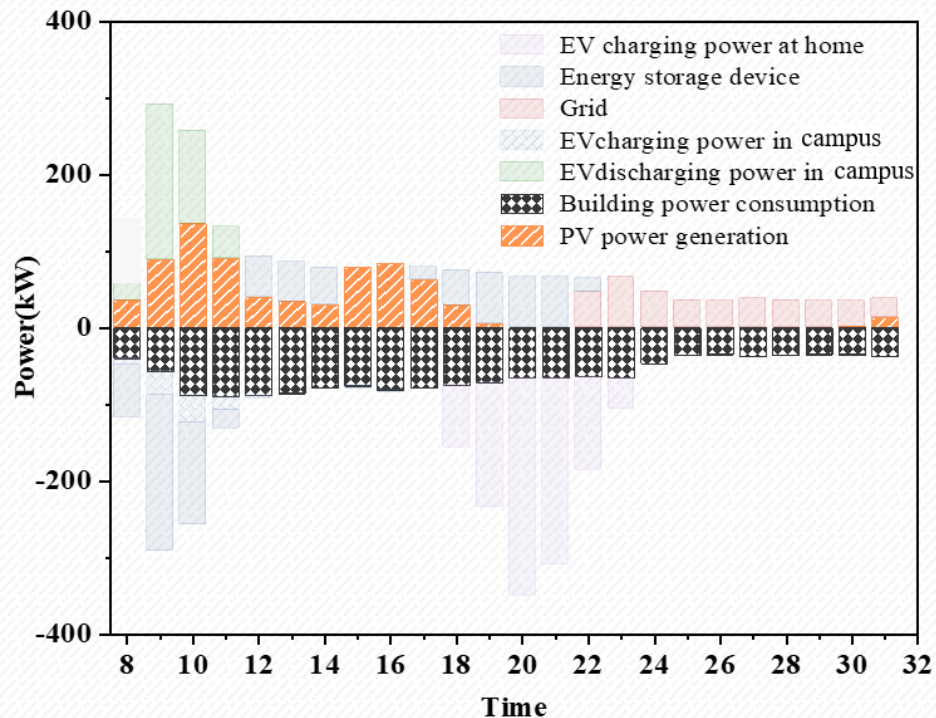
情景1中柔性资源供给匹配结果

备注：2022年6月8日8:00-次日7:00为预测日

- 光伏、电动汽车、储能装置、市政电力的有效协同匹配能够满足建筑的运行情况
- 在9:00-11:00, 15:00-17:00光伏发电量比较充足
- 情景1的电动汽车放电时间为8:00-11:00, 8:00-10:00为电动汽车放电的高峰期。电动汽车的充电时间为8:00-12:00, 9:00-11:00是充电高峰期
- 在办公区放完电的电动汽车, 按照用户的习惯回家立即进行充电, 充电时间为18:00-23:00, 充电的高峰期为19:00-22:00
- 同时具有光伏发电量与电动汽车放电量的时间段, 完全能够覆盖该时间段内建筑、电动汽车的用电需求, 多余的电量被存入储能装置
- 在情景1中, 该多能源供给框架能够满足当日8:00-21:00的电力需求, 在22:00到次日7:00仍需要购入市政电力



□ 光储直柔建筑能源系统供给匹配结果

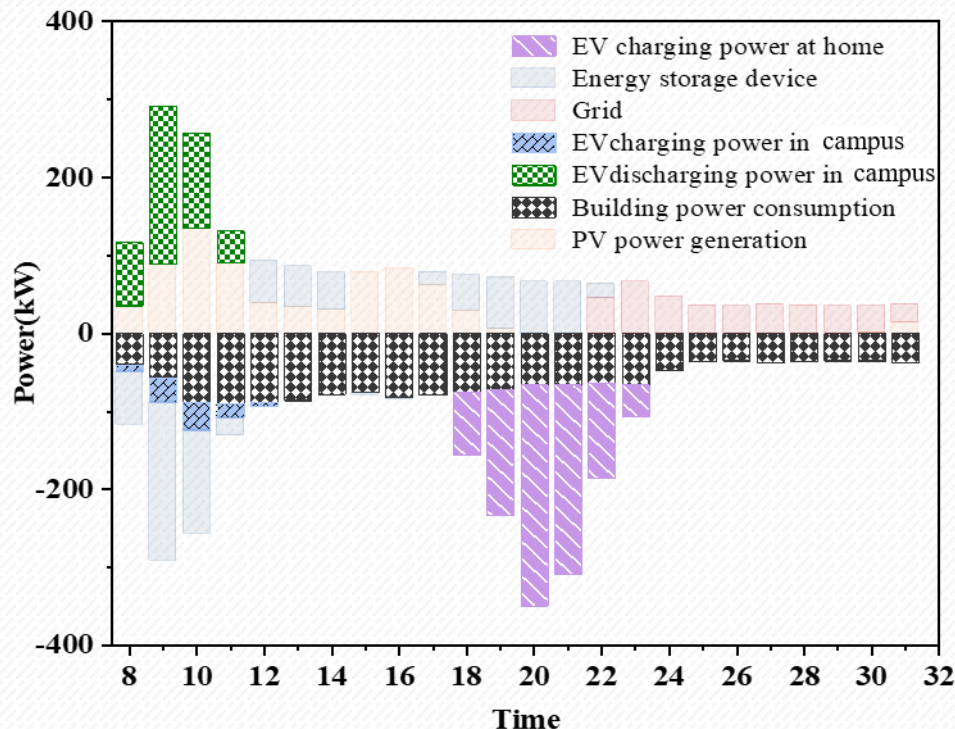


情景1中柔性资源供给匹配结果

备注：2022年6月8日8:00-次日7:00为预测日

- 在9:00-11:00，15:00-17:00光伏发电量比较充足
- 情景1的电动汽车放电时间为8:00-11:00，8:00-10:00为电动汽车放电的高峰期。电动汽车的充电时间为8:00-12:00，9:00-11:00是充电高峰期
- 在办公区放完电的电动汽车，按照用户的习惯回家立即进行充电，充电时间为18:00-23:00，充电的高峰期为19:00-22:00
- 同时具有光伏发电量与电动汽车放电量的时间段，完全能够覆盖该时间段内建筑、电动汽车的用电需求，多余的电量被存入储能装置
- 在情景1中，该多能源供给框架能够满足当日8:00-21:00的电力需求，在22:00到次日7:00仍需要购入市政电力

□ 光储直柔建筑能源微电网系统供给匹配结果

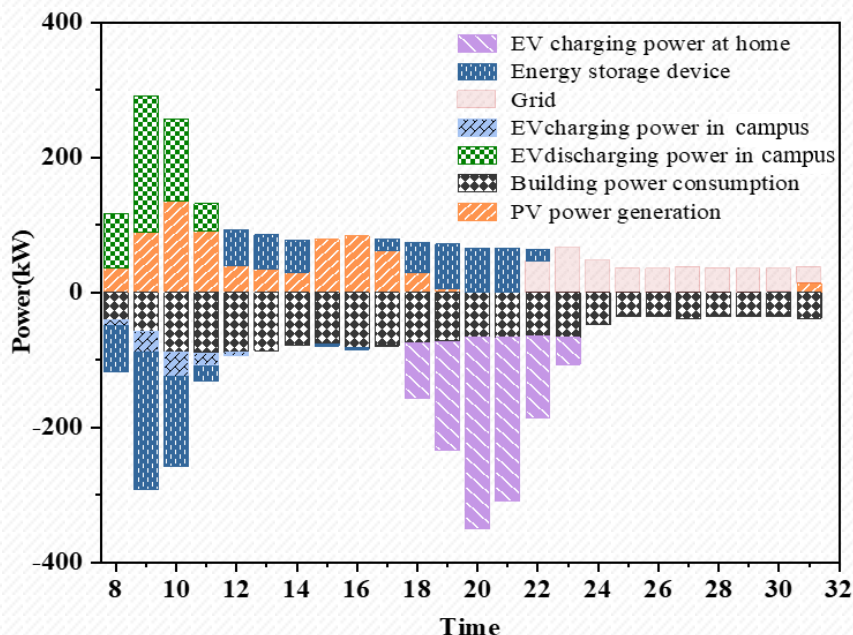


情景1中柔性资源供给匹配结果

备注：2022年6月8日8:00-次日7:00为预测日

- 在9:00-11:00, 15:00-17:00光伏发电量比较充足
- 情景1的电动汽车放电时间为8:00-11:00, 8:00-10:00为电动汽车放电的高峰期。电动汽车的充电时间为8:00-12:00, 9:00-11:00是充电高峰期
- 在校园放完电的电动汽车, 按照用户的习惯回家立即进行充电, 充电时间为18:00-23:00, 充电的高峰期为19:00-22:00
- 同时具有光伏发电量与电动汽车放电量的时间段, 完全能够覆盖该时间段内建筑、电动汽车的用电需求, 多余的电量被存入储能装置
- 在情景1中, 该多能源供给框架能够满足当日8:00-21:00的电力需求, 在22:00到次日7:00仍需要购入市政电力

□ 光储直柔建筑能源微电网系统供给匹配结果



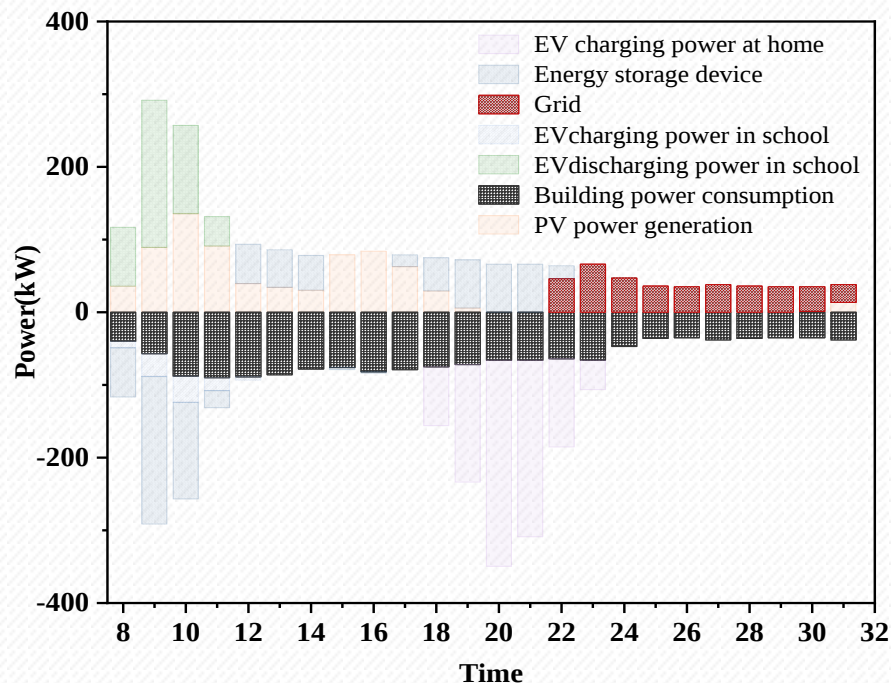
情景1中柔性资源供给匹配结果

备注：2022年6月8日8:00-次日7:00为预测日

- 在9:00-11:00, 15:00-17:00光伏发电量比较充足
- 情景1的电动汽车放电时间为8:00-11:00, 8:00-10:00为电动汽车放电的高峰期。电动汽车的充电时间为8:00-12:00, 9:00-11:00是充电高峰期
- 在办公区放完电的电动汽车, 按照用户的习惯回家立即进行充电, 充电时间为18:00-23:00, 充电的高峰期为19:00-22:00
- 同时具有光伏发电量与电动汽车放电量的时间段, 完全能够覆盖该时间段内建筑、电动汽车的用电需求, 多余的电量被存入储能装置
- 在情景1中, 该多能源供给框架能够满足当日8:00-21:00的电力需求, 在22:00到次日7:00仍需要购入市政电力



□ 光储直柔建筑能源微电网系统供给匹配结果

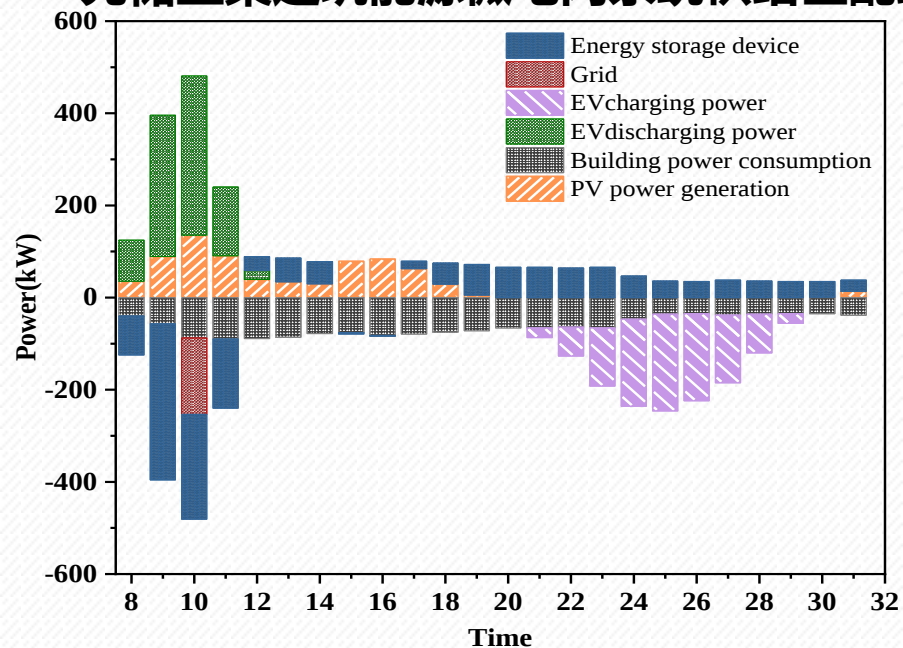


情景1中柔性资源供给匹配结果

备注：2022年6月8日8:00-次日7:00为预测日

- 在9:00-11:00, 15:00-17:00光伏发电量比较充足
- 情景1的电动汽车放电时间为8:00-11:00, 8:00-10:00为电动汽车放电的高峰期。电动汽车的充电时间为8:00-12:00, 9:00-11:00是充电高峰期
- 在办公区放完电的电动汽车, 按照用户的习惯回家立即进行充电, 充电时间为18:00-23:00, 充电的高峰期为19:00-22:00
- 同时具有光伏发电量与电动汽车放电量的时间段, 完全能够覆盖该时间段内建筑、电动汽车的用电需求, 多余的电量被存入储能装置
- 在情景1中, 该多能源供给框架能够**满足当日8:00-21:00的电力需求**, 在22:00到次日7:00仍需要购入市政电力

光储直柔建筑能源微电网系统供给匹配结果



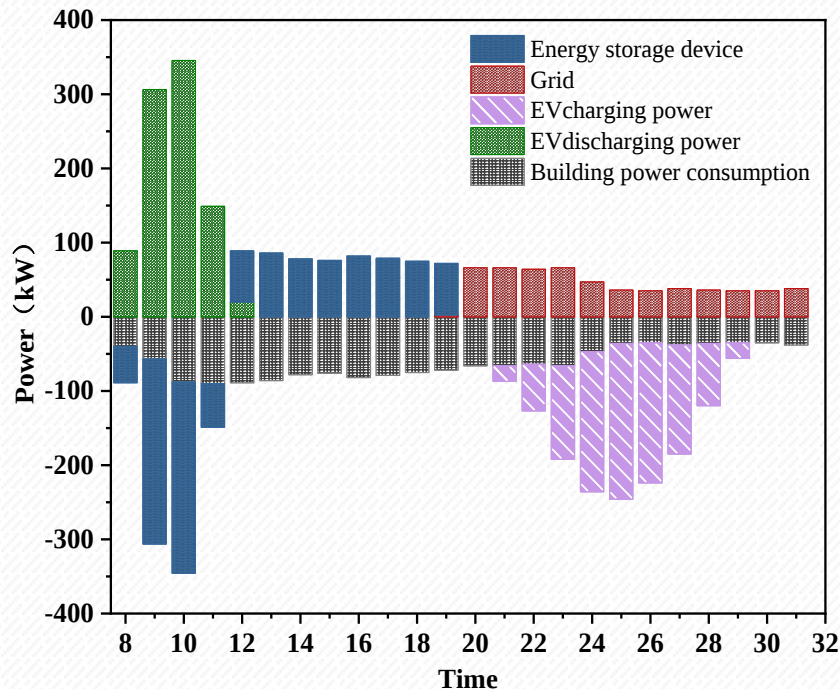
情景3中多能源供给匹配结果

注：在情景3中，随机抽取的30辆电动汽车在家时全部被充满电，很小的一部分电量用于满足从居住区到达办公区的这段路程的要求。电动汽车早晨到达学校时，荷电状态几乎是等于1，30辆电动汽车全部进入放电模式

- 在情景3中，电动汽车放电时间为8:00-12:00，8:00-11:00为电动汽车放电的高峰期
- 在情景3中，该多能源供给框架能够满足6月8日8:00-次日7:00的电力需求，在6月8日10:00，该多能源供给框架能够向电网输送165.5kW，减小电网高峰时段的配电压力
- 在居住区，所有电动汽车的充电时间被延迟了3.5小时，目的是把电动汽车的充电负荷转移到用电的低谷时段，充电高峰期为23:00-次日的3:00

在情景3中，电动汽车选择了慢充的方式，选择这种方式的原因包括：一慢充功率对电动汽车电池的寿命影响较小，二在晚上电动汽车用户不着急使用电动汽车，有足够的时间允许电动汽车充电

□ 光储直柔建筑能源微电网系统供给匹配结果



情景10多能源供给匹配结果

- 情景10模拟的是预测日期是阴雨天的情况，在情景3里去除了光伏的发电量，电动汽车在6月8日8:00-12:00的放电量能够基本满足建筑在13:00-19:00的用电需求
- 建筑在19:00以后的用电量全部需要从市政电力购入，电动汽车的充电情况和情景3一样

总结

- 在情景1中，微电网系统能够满足办公建筑8:00到21:00的用电需求，在晚上用电低谷时段需要购入电力
- 在情景3中，微电网系统能够满足办公建筑一天的用电需求，并在需求侧用电高峰时期，向电网放电
- 在情景10中，在缺少光伏发电的情况下，电动汽车的放电量能够基本满足办公建筑8:00-19:00的电力需求



目录 CONTENTS

PART.01

光储直柔建筑能源系统

PART.02

光储直柔建筑能源系统中各种柔性资源的量化

PART.03

光储直柔建筑能源系统的运行调节案例分析

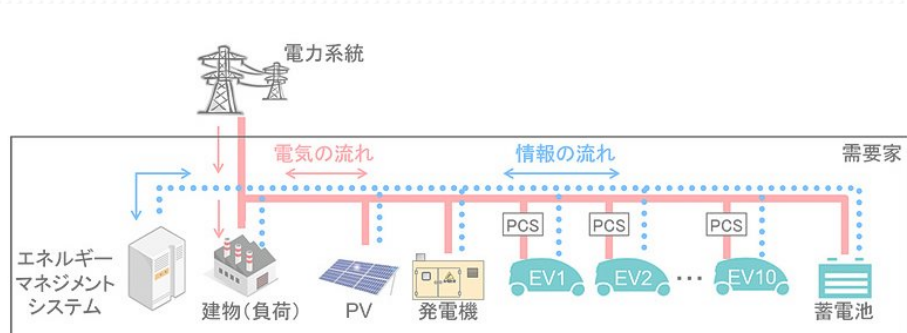
PART.04

结论与展望



1. 光储直柔建筑能源微电网系统供给框架能够大幅度地降低办公建筑的运行成本，但需要建立在运行监测数据的基础上结合预测算法进行调度
2. 柔性资源潜力的量化既是建筑内部制定实时调度策略的基础依据，也是能源系统实施不同优化调度策略后柔性性能利用潜力的评价标准，今后需要进一步研究柔性资源的量化评价指标
3. 优化储能装置选型的方法，为不同的需求响应场景建立储能装置选型的原则，研究耦合电动汽车、储能装置寿命成本的综合经济模型
4. 研究叠加建筑需求侧柔性响应的供需双向优化调度策略，进一步提升整个系统的柔性调节范围，达到充分利用建筑电力能源系统柔性资源的目的

谢谢，欢迎交流讨论



Acknowledgement

感谢以下合作单位一直以来的支持、协作和共同探索，以及为本次报告提供的相关素材。

