

超短期负荷预测详细设计方案

目 录

1. 技术方案总述.....	3
2. 技术方案	4
2.1 外部详细技术方案	4
2.1.1 电站注册接口	5
2.1.2 实时数据上传接口	6
2.1.3 预测结果拉取接口	6
2.2 内部技术方案.....	7
2.2.1 数据处理模块	7
2.2.2 负荷数据与气象数据合并	9
2.2.3 特征工程模块	11
2.2.4 特征工程模块模型训练与选优	14
2.2.5 预测阶段数据处理	15
2.2.6 实时预测	16
2.3 定时任务.....	17
2.3.1 输入特征搜索接口	18
2.3.2 超参数搜索接口	18
2.3.3 历史气象拉取接口	19
2.3.4 模型训练接口	19
3. 数据库设计.....	20
3.1 STATION_INFO 电站信息表	20
3.2 STATION_HISTORY_LOAD 电站历史负荷表	20
3.3 METEO_INFO 气象源信息表	21
3.4 STATION_METEO_RELATION 电站气象关联表.....	21
3.5 STATION_METEO 电站气象数据表.....	21
3.6 USTLF_RES 电站预测结果表.....	22
3.7 USTLF_LOG_INFO 超短期负荷预测日志记录表.....	23
3.8 FEATURE_HP_INFO 输入特征及模型超参数表	23

1. 技术方案总述

负荷预测是指以电力负荷变化以及外界因素变化为基础，以特定的数学方法或者建立数学模型的方式为手段，通过对电力负荷历史数据进行分析，对电力系统的用电需求做出估计的过程。根据对预测未来的长短可分为超短期负荷预测、短期负荷预测、中长期负荷预测等。本文主要研究的负荷预测为超短期负荷预测技术，对工商业电站未来4h、时间颗粒度为15min的负荷预测，超短期负荷预测总体方案框架如图1所示。

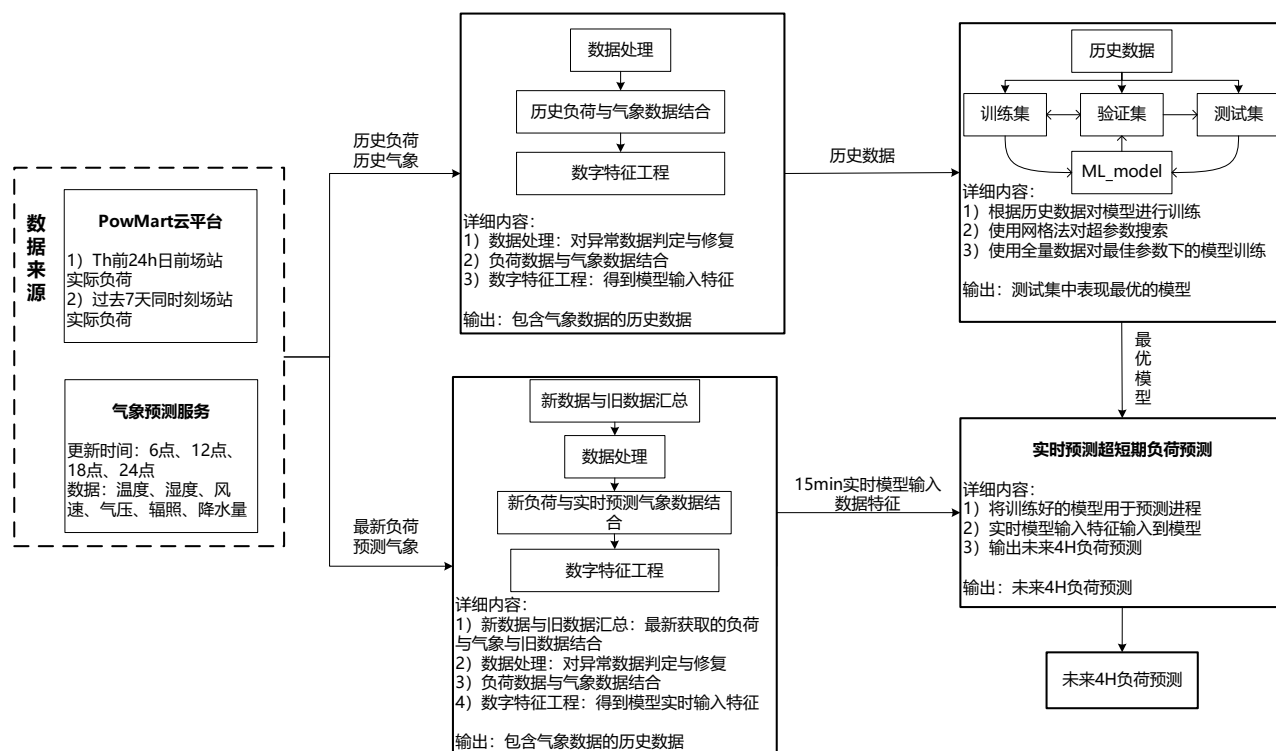


图 1 超短期负荷预测总体方案框架

超短期负荷预测总体方案可分为以下七步：

Step1 数据获取：超短期负荷预测的数据主要来源两个方面：1) PowMart云平台：获取与测试时间点Th前24h及日前场站实际负荷数据；2) 气象预测服务：获取每日6点、12点、18点及24点的对未来24h的气象预测，其中气象要素包括：温度、湿度、风速、气压、辐照及降水量。

Step2 数据处理：从PowMart云平台获取的真实负荷数据存在如下异常：1) 数据缺失；2) 出现正常负荷数值范围外的数据；3) 存在负荷数据长时间保持不变的情形。因此，针对上述三种异常情况，进行数据清洗与修复，确保数据的准确性和可靠性。

Step3 负荷数据与气象数据合并：将处理后的历史负荷数据与气象数据按照时间维度进行合并，形成初步的数据集。

Step4 特征工程：在输入模型训练之前，需要对输入数据与目标负荷之间做相关性分析，得出对负荷相关性较强的特征组合。

Step5 模型训练与选优：该步骤由以下三个部分组成：

- 1) 数据划分：将数据集分为训练集与验证集；
- 2) 超参数优化：采用网格搜索法，遍历所有超参数组合，评估其在训练集和验证集上的效果；
- 3) 模型构建：确定最优超参数组合，合并训练集和测试集，进行全量数据训练，构建最终模型。

Step6 预测阶段数据处理：

更新频率： 每15分钟更新一次历史负荷和气象预测数据。

数据整合： 新数据与旧数据合并，重复第Step 2~Step 4的处理流程，生成用于下一阶段预测的输入特征。

Step7 实时预测：将Step 6中的输出数据输入到Step 5训练好的模型中，输出未来4h的超短期负荷预测结果。

2. 技术方案

2.1 外部详细技术方案

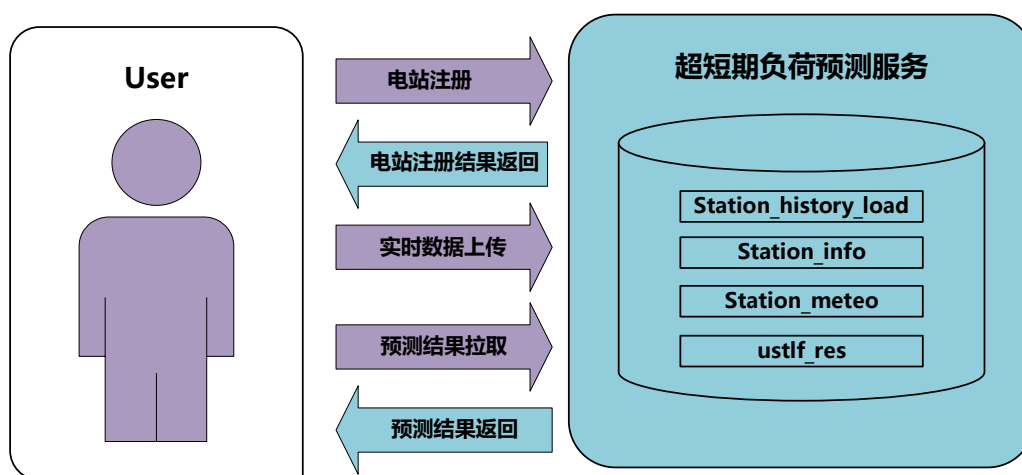


图 1 超短期负荷预测外部调用基本流程图

本服务部署在自有云平台服务器，对外部用户提供3个接口使用本服务。分别为：1) 电站注册接口、2) 实时数据上传接口以及3) 预测结果拉取接口。对于外部使用者可分为一下三步：

Step 1: 注册新电站时，上传电站的基本信息、电站历史负荷数据、历史气象数据（可调用历史气象拉取），电站注册成功时返回200状态码，反之返回其余异常状态码；（注：历史负荷数据必须大于3个月）

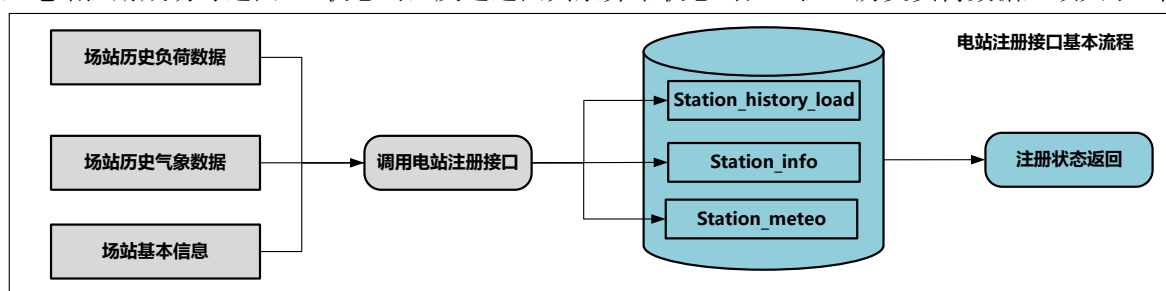


图 2 电站注册基本流程图

Step 2: 实时数据上传时，需要上传距离上次预测与本次预测之间的真实负荷与气象预测结果，成功则返回200状态码，反之返回其他异常状态码。当成功录入实时数据后，即触发模型训练流程，对上传电站进行预测未来4h负荷。

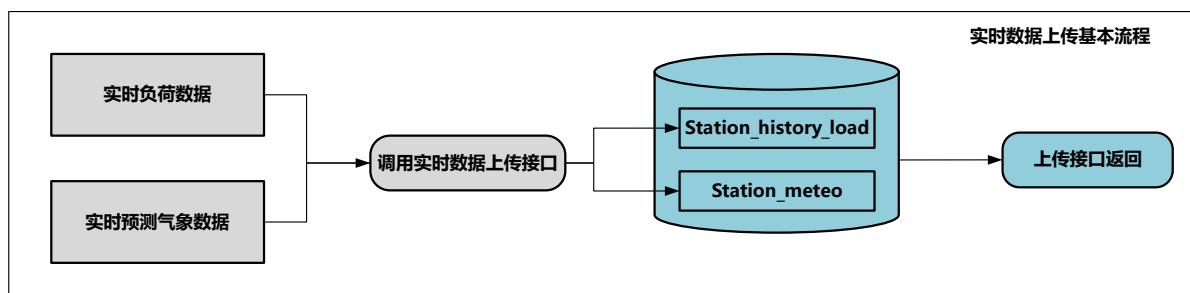


图 3 实时数据上传基本流程图

Step 3: 预测结果拉取时，需要上传对应电站的id和预测结果开始时间，然后超短期负荷预测平台从数据库中拉取结果返回给调用方。返回数据包括从开始时间往后的4H负荷预测结果。

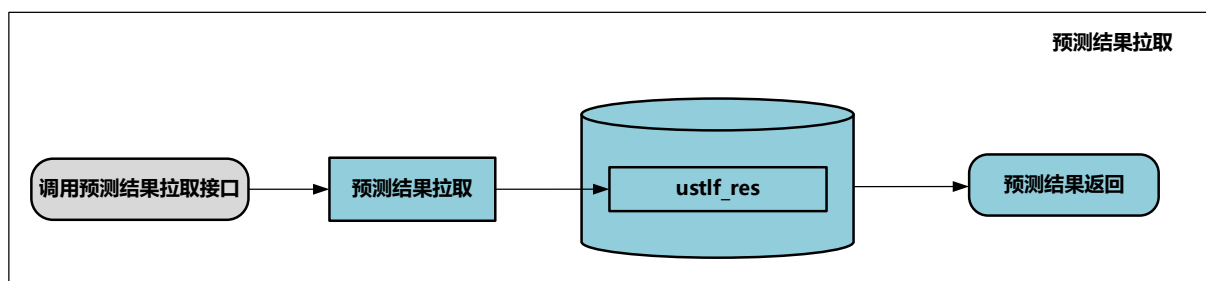


图 4 预测结果拉取基本流程图

2.1.1 电站注册接口

算法服务以对外开放API接口的形式，接受用户的请求并响应，请求服务的参数必须满足入参条件，否则无法请求成功。

电站注册接口说明见表1，这一步会对电站基本信息、历史负荷数据、历史气象数据审核，若电站信息异常或历史长度不足均会导致注册失败。

表1 电站注册接口说明

接口名称	电站注册接口			
服务接口	/ustlf/station/register			
接口描述	输入电站最近3个月历史负荷、气象及电站基本信息			
HTTP 请求方式	POST			
请求内容参数	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	Site_Id	True	string	电站id
	Site_Name	True	string	电站名称
	Longitude	True	float	经度
	Latitude	True	float	维度
	Rated_Capacity	True	float	额定容量
	Rated_Power	True	float	额定功率
	Rated_Power_PV	True	float	额定光伏发电功率（若无光伏填0）

	Frequency_Load	True	int	负荷数据时间分辨率
	Frequency_Meteo	True	int	气象数据分辨率
	First_Load_Time	True	string	负荷开始时间
	Upload_time	True	string	电站注册时间
	His_load	True	file	历史负荷数据
	His_meteo	True	file	历史气象数据
请求编码方式	UTF-8			
返回结果格式	Json			
返回参数内容	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	code	True	string	状态码，200 表示成功，401 为参数校验错误，402 为历史负荷时长不足 3 个月，500 为算法内部错误
	msg	True	string	返回信息

2.1.2 实时数据上传接口

实时数据上传接口说明见表2，这一步需要为实时负荷预测输入的负荷与预测气象做处理，以正确输出超短期负荷预测结果。该操作为2.1.3的负荷预测的前置条件，可理解为数据上传与结果返回的异步操作。

表2 电站注册接口说明

接口名称	实时数据上传接口			
服务接口	/ustlf/station/real_time_data_upload			
接口描述	输入电站上次预测时间到目前的实时历史负荷、实时预测气象			
HTTP 请求方式	POST			
请求内容参数	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	Site_Id	True	string	电站id
	Real_his_load	True	Json	实时负荷数据
	Real_his_meteo	True	Json	实时气象预测数据
请求编码方式	UTF-8			
返回结果格式	Json			
返回参数内容	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	code	True	string	状态码，200 表示成功，401 为参数校验错误，500 为算法内部错误
	msg	True	string	返回信息

2.1.3 预测结果拉取接口

预测结果拉取接口说明见表3，这一步是拉取模型预测后的结果，输出预测时间（包括）往后的4H预测结果，其中预测时间必须是15min的倍数形式的时间字段（比如12: 00, 12: 15），其余时间（12: 03, 12: 17）等为非法时间字段，接口返回异常警告。

表3 电站注册接口说明

接口名称	实时数据上传接口
服务接口	/ustlf/station/time_ustl_forecast_res

接口描述	输出实时超短期负荷预测结果			
HTTP 请求方式	POST			
请求内容参数	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	Site_Id	True	string	电站id
	Begin_time	True	string	负荷预测结果起始时间
请求编码方式	UTF-8			
返回结果格式	Json			
返回参数内容	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	code	True	string	状态码，200 表示成功，401 为参数校验错误，500 为算法内部错误
	Res	True	json	实时超短期负荷预测结果

2.2 内部技术方案

2.2.1 数据处理模块

模块名	数据处理模块
实现功能	动态计算储能充放电损耗
输入	<p>Load: 历史负荷数据</p> <p>Date_time: 历史负荷数据对应时间信息</p> <p>threshold_loss: 数据丢失占比的阈值（默认50%）</p> <p>threshold_abnormal: 数据大小异常占比的阈值（默认50%）</p> <p>threshold_constant: 数据斜率异常占比的阈值（默认30%）</p>
输出	Load: 修复后的负荷数据
核心步骤	<p>Step 1: 检测缺失值</p> <p>Step 2: 检测正常范围外的值</p> <p>Step 3: 检测负荷曲线斜率是否异常</p> <p>Step 4: 分位法异常值检测与线性插值</p>

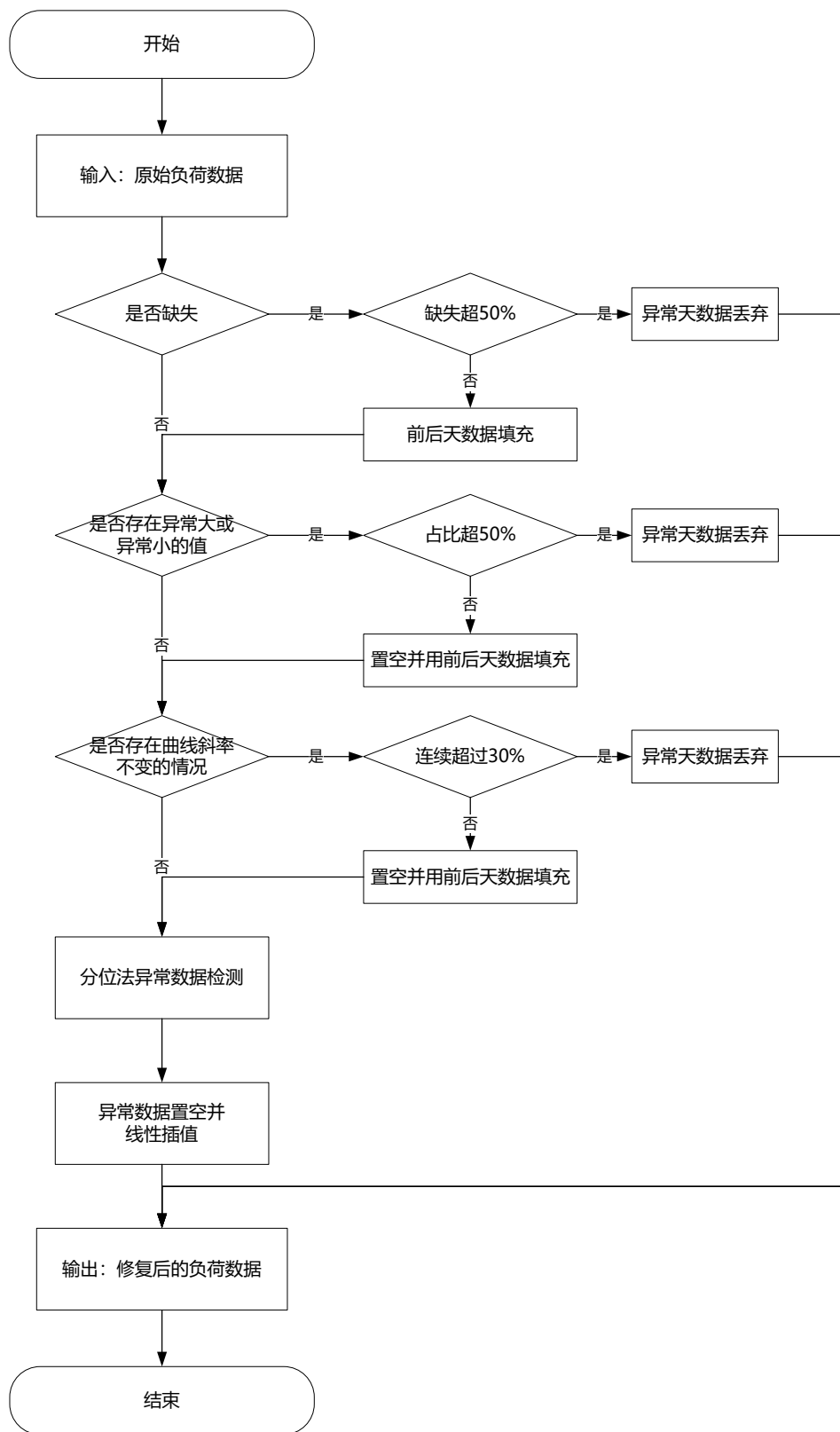


图 5 数据处理流程图

从PowMart云平台获取的原始数据存在一定的异常数据，无法直接使用该数据进行模型训练与前向推理，因此本节针对原始数据设计了三个数据处理步骤，分别为1) 是否缺失、2) 是否存在异常大或异常小的值及

是否存在曲线斜率不变的情况。具体步骤如下四步：

Step1 检测缺失值：以天为单位对原始负荷数据进行空值检测，若当天的负荷数据不存在缺失，则进入Step2，反之则进一步判断丢失率是否超过50%，若没有，则对空值使用前后天平均数据填充并进入Step2，反之则将当日的负荷数据丢弃。

Step2 检测正常范围外的值：以天为单位对负荷数据进行异常大或异常小检测，若当天的负荷数据不存在数据异常大或异常小，则进入Step3，反之进一步判断异常占比是否超过50%，若没有，则对异常数据置空值并使用前后天平均数据填充，进入Step3，反之则将当日的负荷数据丢弃。

Step3 检测负荷曲线斜率是否异常：以天为单位对负荷数据进行曲线斜率是否不变进行检测，若当天的负荷曲线不存在斜率不变的情况，则进入Step4，反之对斜率不变的情况是否连续占比超过30%进行检测，若不存在，则对异常数据置空并使用前后天平均数据填充，进入Step4，反之则将当日负荷数据丢弃。

Step4 分位法异常值检测与线性插值：使用分位法对异常数据检测，若存在异常数据则置空并使用线性插值的方式补齐，反之直接输出修复后的负荷数据。

补充说明：

1、使用前后天数据填充：当前后天数据存在时，使用前后天平均值。若前（后）一天数据不存在，直接使用后（前）一天数据填充，若前一天和后一天依然不存在，则使用线性探索【哈希表中开放寻址法的一种算法】的方式使用周围天负荷填充。

2、斜率检测：本文的斜率计算公式如公式（1）所示：

$$\text{Slope}_t = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_t - y_{t-1}}{x_t - x_{t-1}} \quad \text{公式（1）}$$

其中 Δy 表示负荷的变化值， Δx 表示时间的变化值，相邻时间点的变化值为1，例如，有如下两个数据分别为：

数据1：时间2024-12-21 23:00 负荷值：24

数据2：时间2024-12-21 23:15 负荷值：35

计算得出的斜率结果如公式（2）所示：

$$\text{Slope}_t = \frac{11}{1} = 11 \quad \text{公式（2）}$$

2.2.2 负荷数据与气象数据合并

模块名	负荷数据与气象数据合并模块
-----	---------------

实现功能	负荷数据气象数据按照时间维度合并
输入	Load: 历史负荷数据 Date_time: 历史负荷数据对应时间信息 Weather_data: 气象数据
输出	data: 合并后的负荷-气象数据
核心步骤	按时间维度对负荷数据与气象数据合并

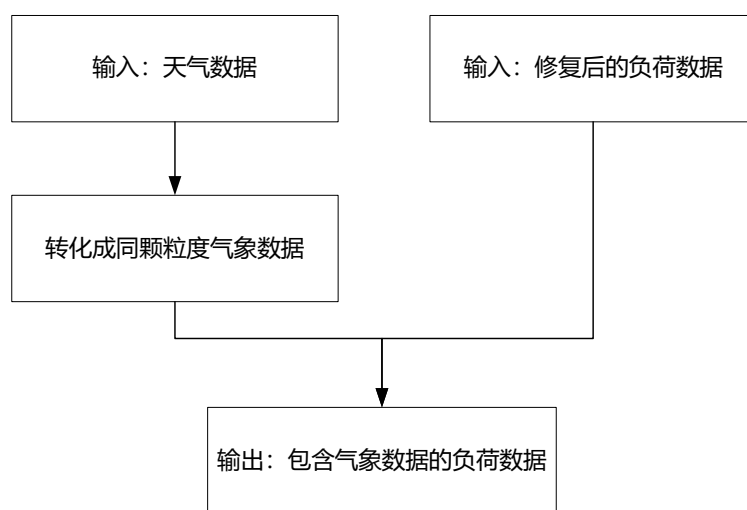


图 6 负荷数据与气象数据合并流程图



图 7 气象数据颗粒度对齐示意图（以15min为例）

负荷数据与气象数据合并流程图6所示，从气象服务提供的数据在一定程度上存在时间间隔为1H、3H、等不同颗粒度的情况，因此需要对中间缺失的气象数据使用线性插值的方式补齐数据，补齐后的气象数据需与负荷数据颗粒度保持一致，即15min颗粒度。最终本模块输出包含气象数据的负荷数据集，时间颗粒度

为15min。

以原始气象数据时间间隔为1H为例（见图4），具体步骤如以下两步：

Step 1: 对原始数据使用空值插入，即在9:00~10:00之间的9:15、9:30、9:45时间点对应的气象数据设置为空值，以确保颗粒度与负荷数据对齐；

Step 2: 使用线性插值的方式对空值部分进行补齐，以保证数据的完整性。

2.2.3 特征工程模块

模块名	特征工程模块
实现功能	获取机器学习模型输入特征
输入	Load: 历史负荷数据 Date_time: 历史负荷数据对应时间信息 Weather_data: 气象数据
输出	data: 模型输入数据特征汇集后的数据集
核心步骤	Step 1: 根据时间信息获取对应时间特征 Step 2: 根据气象数据获取对应气象特征 Step 3: 根据负荷数据获取负荷及其衍生特征

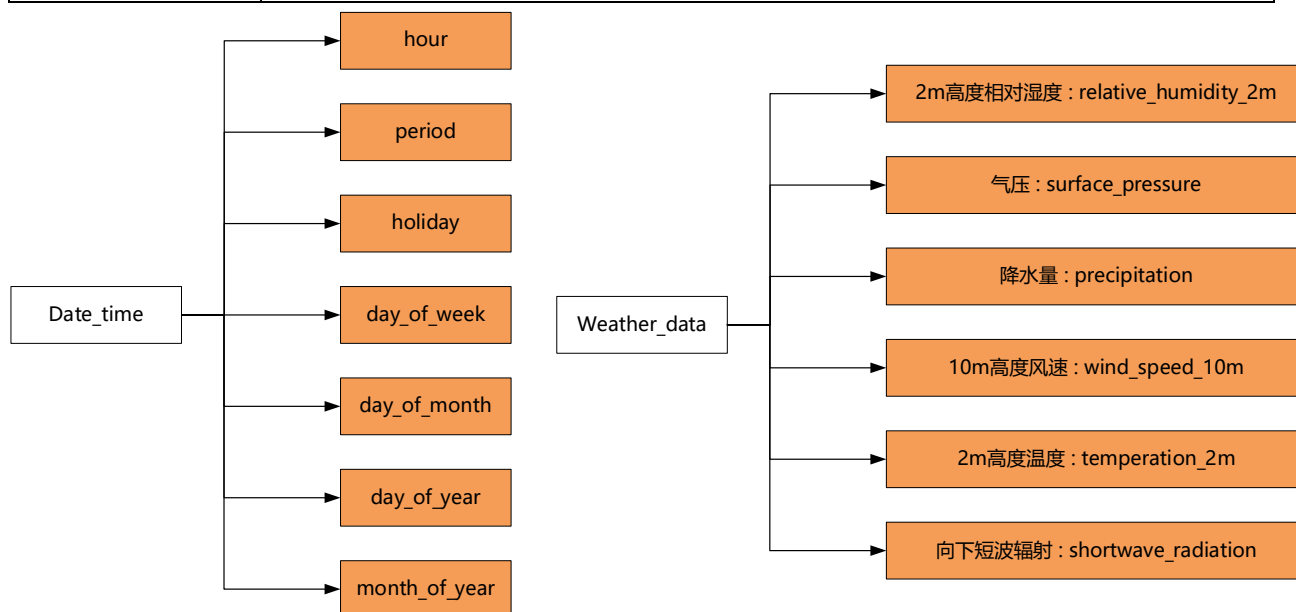


图 8 时间数据特征与气象数据特征获取方式图

图8为时间和气象对应衍生特征获取方式，其中时间数据可以扩展为如下7种：

1) hour: 对应时刻小时数；

- 2) period: 周期数，对应时刻在当日96个数据中所占位次；
- 3) holiday: 当日是否为节假日，以每年国务院发布的节假日信息为准；
- 4) day_of_week: 当天所在周内的次序；
- 5) day_of_month: 当天所在月内的次序；
- 6) day_of_year: 当天所在年内的次序；
- 7) month_of_year: 当月所在年内的次序。

气象数据可分解为以下6种气象要素：

- 1) relative_humidity_2m: 2m相对湿度
- 2) surface_pressure: 气压
- 3) precipitation: 降水量
- 4) wind_speed_10m: 10m高度风速
- 5) temperation_2m: 2m高度温度
- 6) shortwave_radiation: 向下短波辐射

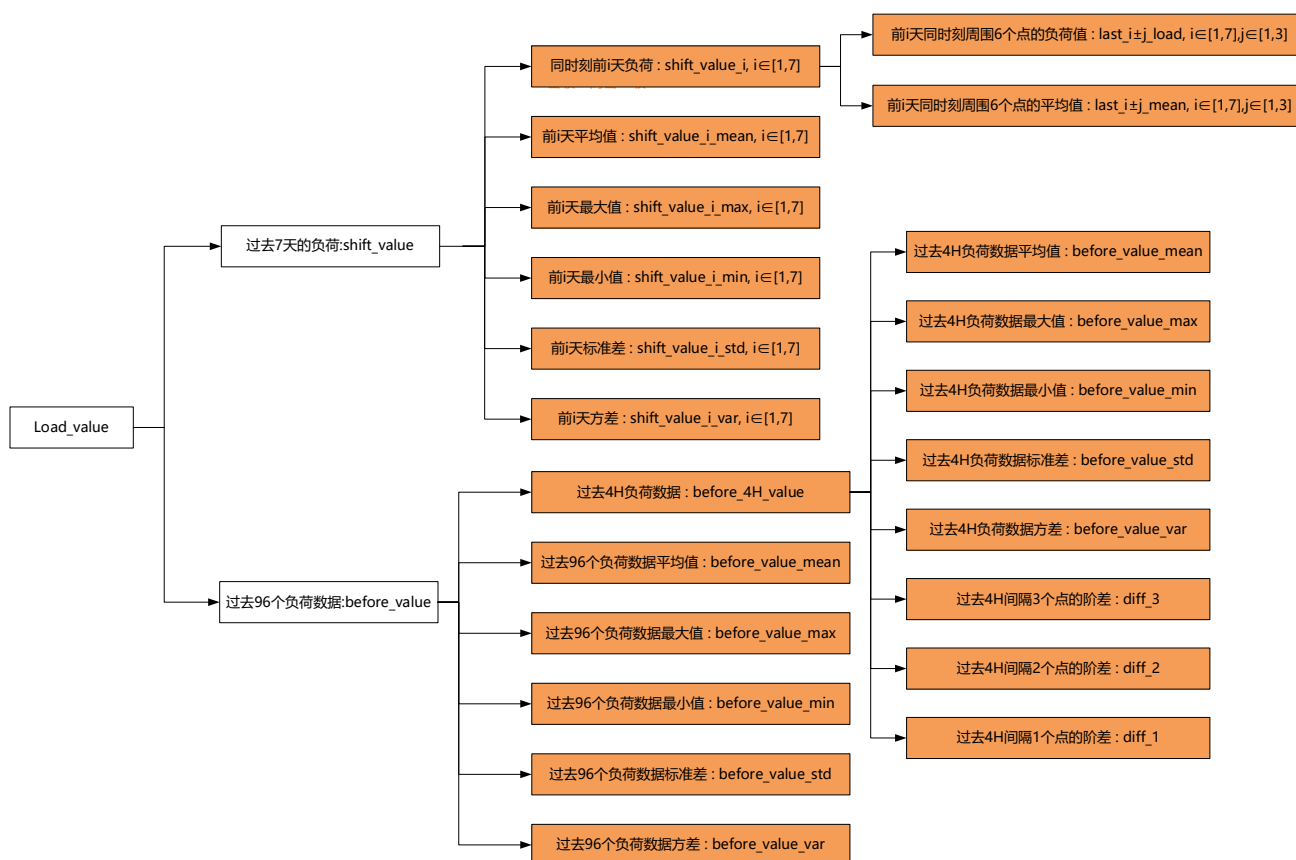


图 9 时间数据特征与气象数据特征获取方式图

根据图9所示的结构，负荷数据特征主要有两类负荷数据及其衍生特征构成，分别为日前负荷数据及其

衍生负荷以及过去96点负荷数据。

其中日前特征负荷数据由过去7天的负荷值表示并可变换得到：

1) 同天前*i*天负荷数据：shift_value_i, $i \in [1, 7]$ 表示过去1到7天内的负荷值，在此项数据基础上可以再次划分两种日前数据特征：

1. 前*i*天同时刻周围6个点负荷数据：last_i+j_load, $i \in [1, 7], j \in [1, 3]$;
2. 前*i*天同时刻周围6个点负荷数据平均值：last_i+j_mean, $i \in [1, 7], j \in [1, 3]$;
- 2) 前*i*天平均值：shift_value_i_mean, $i \in [1, 7]$ 表示过去1到7天内的日均负荷值；
- 3) 前*i*天最大值：shift_value_i_max, $i \in [1, 7]$ 表示过去1到7天内的最大负荷值；
- 4) 前*i*天最小值：shift_value_i_min, $i \in [1, 7]$ 表示过去1到7天内的最小负荷值；
- 5) 前*i*天标准差：shift_value_i_std, $i \in [1, 7]$ 表示过去1到7天内的标准差；
- 6) 前*i*天标准方差：shift_value_i_std, $i \in [1, 7]$ 表示过去1到7天内的方差；

实时特征负荷数据由过去96个点的负荷值表示并可变换得到：

1) 过去4H负荷数据：before_4H_value，在此项数据基础上可再次划分8种实时特征数据：

1. 过去4H负荷数据平均值：before_value_mean;
2. 过去4H负荷数据最大值：before_value_max;
3. 过去4H负荷数据最小值：before_value_min;
4. 过去4H负荷数据标准差：before_value_std;
5. 过去4H负荷数据方差：before_value_var;
6. 过去4H间隔3个点的阶差：diff_3;
7. 过去4H间隔2个点的阶差：diff_2;
8. 过去4H间隔1个点的阶差：diff_1;
- 2) 过去96个负荷数据平均值：before_4H_mean;
- 3) 过去96个负荷数据最大值：before_4H_max;
- 4) 过去96个负荷数据最小值：before_4H_min;
- 5) 过去96个负荷数据标准差：before_4H_std;
- 6) 过去96个负荷数据方差：before_4H_var;

最后将上述特征作为输入标签label，目标负荷为target，形成<label, target>数据集作为后续模型训练的数据集。

2.2.4 特征工程模块模型训练与选优

模块名	模型训练与选优模块
实现功能	使用网格搜索对模型训练与参数寻优
输入	data_set: 数据集 ml_model: 机器学习模型 agrs: 模型候选超参数
输出	trained_model: 最佳参数下训练好后的模型
核心步骤	Step 1: 将数据集分为训练集和验证集 Step 2: 使用网格方式搜索超参数进行模型训练与验证 Step 3: 使用全量数据用在搜索后的参数下的模型进行训练并输出训练好的模型

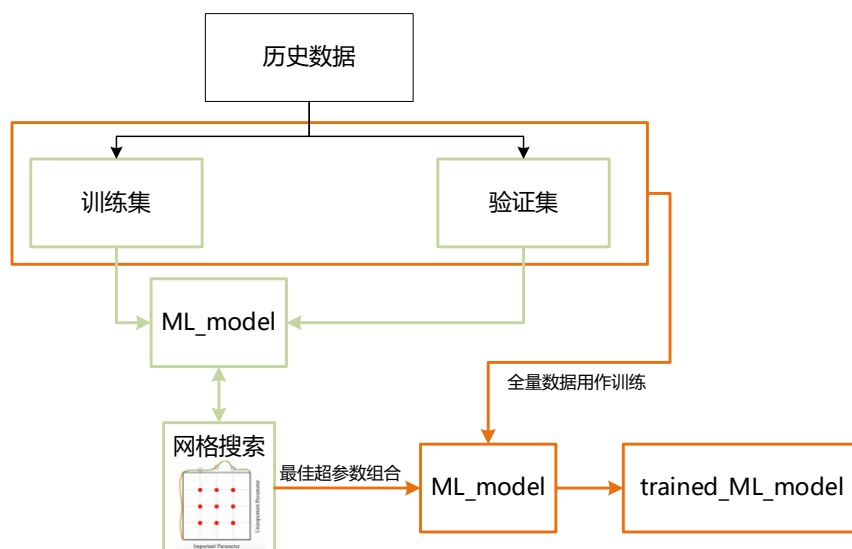


图 10 模型训练与优选模块框架图

如图10所示，本模块主要是利用已有数据对模型参数进行搜索和训练，并用于2.6节的实时超短期负荷预测。本模块主要分为以下3步：

Step1 数据集划分：将2.1~2.3节处理好的数据按照时间划分为两部分：1) 验证集：最后一个月数据作；2) 训练集：除去验证集之外的数据。这里数据集的标签使用的是2.3特征工程中得到的特征，目标为真实负荷值；

Step2 网格搜索获取最佳模型超参数：在图6中，训练集和验证集分别通过训练集训练ML_model（机器学习模型），然后使用验证集进行验证。通过网格搜索（Grid Search），我们可以系统地遍历不同的特征组合和超参数组合。这包括：

1、网格搜索特征组合：使用网格搜索方法，系统地遍历不同的特征组合，目的是找到那些对模型准确率提升最有帮助的特征子集。这有助于筛选出最有效的特征，减少数据的维度，避免过拟合。

2、网格搜索超参数组合：在确定了最佳特征组合后，进一步使用网格搜索来优化模型的超参数，比如学习率、树个数等，以提高模型的预测准确性。通过这种方法，模型在给定的参数空间内找到最佳的参数配置。

Step3 全量数据模型训练：在这一步中，Step1中的训练集和验证集被合并，利用Step2中得到的最佳参数和特征组合对ML_model进行最终训练。全量数据的使用有助于提高模型的泛化能力，使得模型在未见过的数据上也能保持较高的预测准确性。

通过这种流程，我们实现了对机器学习模型的系统性优化和训练，以确保模型在超短期负荷预测任务中的高效性和准确性。图6清晰地展示了从数据处理到模型训练的完整流程，每一步都基于前一步的结果进行优化，从而确保了最终模型的性能最佳化。

2.2.5 预测阶段数据处理

模块名	预测阶段数据模块
实现功能	对实时新产生的数据与旧数据合并得出下一时刻预测模型的输入特征
输入	new_load: 最新的负荷数据 new_weather: 最新的气象预测 old_load: 旧的负荷数据
输出	trained_model: 最佳参数下训练好后的模型
核心步骤	Step 1: 新负荷数据与旧负荷数据合并 Step 2: 新气象数据与旧气象数据合并 Step 3: 重复2.2~2.3节工作并输出下一阶段模型输入的特征值

预测阶段数据处理主要工作是为了将相邻两次负荷预测结点之间的负荷数据利用起来，同时获取到最新的气象预测数据用于下一次的超短期负荷预测，通过增强数据可靠性增加超短期负荷预测的准确率。本模块主要由以下3个步骤组成：

Step1 新旧负荷数据合并：如图7所示，当在Th+15min对未来4H进行预测时，需要使用在此之前的负荷数据，然而与上一个预测点Th相比，此时缺少中间的15min数据，因此需要对新数据与旧数据进行合并，以保持负荷数据输入的实时性；

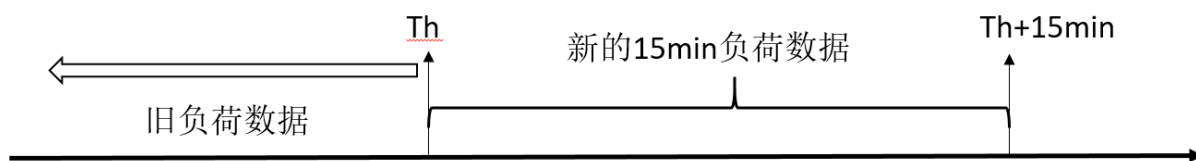


图 11 新旧负荷数据示意图

Step2 新旧气象数据合并： 由于气象预测服务大多以6H为间隔对未来气象进行预测，所以在与气象数据合并之前需要查看是否有新的气象数据并入，如果有更新的气象预测数据进入，则需要更新气象数据，然后再进行Step3操作；



图 12 新旧数据合并流程

Step3 输出特征： 重复2.2~2.3节流程并输出图7中Th+15min的模型输入特征数据。

2.2.6 实时预测

模块名	实时预测模块
-----	--------

实现功能	将特征输入到训练后的模型中并输出未来4H负荷预测结果
输入	<code>new_feature</code> : 最新的负荷数据 <code>trained_model</code> : 训练后的模型
输出	<code>forcaste_load</code> : 负荷预测结果
核心步骤	Step 1: 将特征输入到模型中, 并获取未来4H的超短期负荷预测结果

本模块作为最终超短期负荷预测的输出环节, 负责将第2.5节预处理得到的特征数据输入到第2.4节已训练好的模型中, 以预测未来4小时的超短期负荷情况。此外, 在进行下一次负荷预测时, 需先重复第2.5节的操作, 再执行本模块。模型运行满一天后, 需重新执行第2.1至2.4节的流程, 对模型进行再次训练, 以确保模型能够实时更新, 保持预测的准确性。

2.3 定时任务

定时任务中主要分为两条定时任务主线分别为电站注册后的参数寻优和每日的模型实时训练更新。

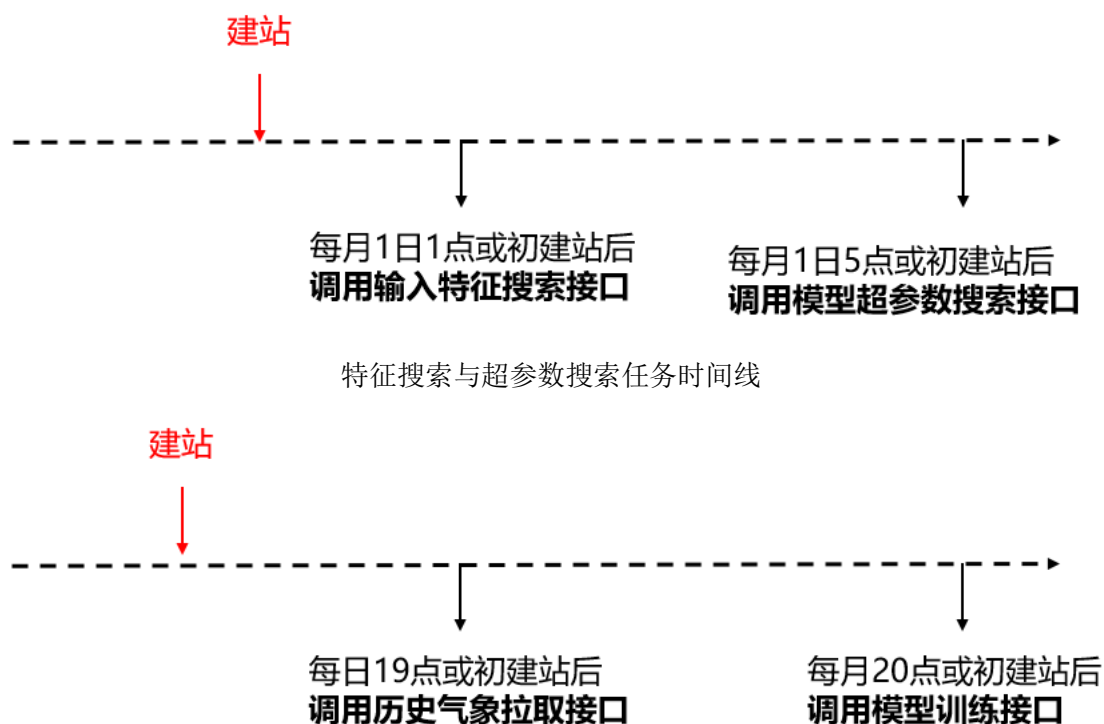


图 13 历史气象拉取与模型训练时间线

对于以上两条定时任务曲线, 需要有如下4个内部接口被使用, 分别为:

- 1) 输入特征搜索接口;
- 2) 模型超参数搜索接口;

- 3) 历史气象拉取接口；
- 4) 模型训练接口。

2.3.1 输入特征搜索接口

在电站建站后，无法得知电站对应模型的最佳输入特征，因此在预定初始特征的情况后，本方法需要另外对输入特征进行遍历检索，以获取到最佳的模型输入参数，并将输入特征以文本形式记录到数据库对应表中。对应数据从历史负荷表与历史气象表中获取，此接口详细说明见表4。

表4 输入特征搜索接口说明

接口名称	电站注册接口			
服务接口	/ustlf/station/feature_search			
接口描述	对模型的输入特征进行搜索			
HTTP 请求方式	POST			
请求内容参数	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	Site_Id	True	string	电站id
	End_date	Fasle	string	搜索结束时间（默认为最新负荷数据的前一天）
请求编码方式	UTF-8			
返回结果格式	Json			
返回参数内容	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	code	True	string	状态码，200 表示成功，401 为参数校验错误，500 为算法内部错误
	msg	True	string	返回信息

2.3.2 超参数搜索接口

在电站建站并输入特征搜索后，无法得知电站对应模型的最佳超参数组合，因此在预设超参数的情况（不影响正常注册后的模型预测任务），本方法需要另外对超参数组合进行遍历检索，以获取到最佳的模型超参数组合，并将最佳的模型超参数组合以文本形式记录到数据库对应表中。对应数据从历史负荷表与历史气象表中获取，此接口详细说明见表5。

表5 模型超参数搜索接口说明

接口名称	电站注册接口			
服务接口	/ustlf/station/hp_search			
接口描述	对模型的超参数组合进行搜索			
HTTP 请求方式	POST			
请求内容参数	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	Site_Id	True	string	电站id
	End_date	Fasle	string	搜索结束时间（默认为最新负荷数据的前一天）
请求编码方式	UTF-8			
返回结果格式	Json			
返回参数内容	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明

	code	True	string	状态码，200 表示成功，401 为参数校验错误，500 为算法内部错误
	msg	True	string	返回信息

2.3.3 历史气象拉取接口

在每日正常实时预测时，使用的气象均为预测气象，并不是历史气象，为了纠正预测气象与历史气象之间的差异，本接口需要每日被调用，以重新覆盖表中保存的过去时段对应预测气象。此接口详细说明见表6。

表6 模型超参数搜索接口说明

接口名称	电站注册接口			
服务接口	/ustlf/station/get_history_meteo			
接口描述	获取电站对应历史气象			
HTTP 请求方式	POST			
请求内容参数	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	Site_Id	True	string	电站id
	Meteo_Id	False	int	气象id（默认为研究院气象）
	End_time	False	string	搜索结束时间（默认为当日19点）
请求编码方式	UTF-8			
返回结果格式	Json			
返回参数内容	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	code	True	string	状态码，200 表示成功，401 为参数校验错误，500 为算法内部错误
	msg	True	string	返回信息

2.3.4 模型训练接口

在拉取历史真实气象后，为使得模型能实时掌握电站变化规律，每日对电站对应模型进行训练。模型的最佳参数与模型最佳超参数组合可以通过表feature_hp_info中的元素获取，历史负荷与气象可从station_history_load和station_meteo表中获取。此接口详细说明见表7。

表7 模型超参数搜索接口说明

接口名称	电站注册接口			
服务接口	/ustlf/station/model_train			
接口描述	指定日期的模型训练			
HTTP 请求方式	POST			
请求内容参数	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	Site_Id	True	string	电站id
	End_date	False	string	输入训练结束时间（默认为当日20点）
请求编码方式	UTF-8			
返回结果格式	Json			
返回参数内容	参数名	必选	字段类型	字段描述及说明
	code	True	string	状态码，200 表示成功，401 为参数校验错误，500 为算法内部错误

	msg	True	string	返回信息
--	-----	------	--------	------

3. 数据库设计

3.1 station_info 电站信息表

列名	含义	备注
Site_Id	电站id	主键
Site_Name	电站名称	
Longitude	经度	
Latitude	纬度	
Stype	1: 光储电站 2: 储能电站 3: 其他电站	
Rated_Capacity	额定容量	
Rated_Power	额定功率	
Rated_Power_PV	额定光伏发电功率	
Frequency_Load	负荷数据时间分辨率	
Frequency_Meteo	气象数据分辨率	
First_Load_Time	负荷开始时间	
Upload_time	电站注册时间	

```
CREATE TABLE power_station (
    SiteId INT PRIMARY KEY COMMENT '电站id',
    SiteName VARCHAR(255) COMMENT '电站名称',
    Longitude DECIMAL(9,6) COMMENT '经度',
    Latitude DECIMAL(9,6) COMMENT '纬度',
    Stype INT COMMENT '电站类型: 1-光储电站, 2-储能电站, 3-其他电站',
    RatedCapacity DECIMAL(10,2) COMMENT '额定容量',
    RatedPower DECIMAL(10,2) COMMENT '额定功率',
    RatedPowerPV DECIMAL(10,2) COMMENT '额定光伏发电功率',
    FrequencyLoad INT COMMENT '负荷数据时间分辨率',
    FrequencyMeteo INT COMMENT '气象数据分辨率',
    FirstLoadTime DATETIME COMMENT '负荷开始时间',
    UploadTime DATETIME COMMENT '电站注册时间'
) COMMENT='电站信息表';
```

3.2 station_history_load 电站历史负荷表

列名	含义	备注
Site_Id	电站id	主键
Site_Name	电站名称	
Load_TimeStamp	负荷时间	

Load_Data	负荷数值	
Upload_time	上传时间	

```
CREATE TABLE stationhistory_load (
  SiteId INT COMMENT '电站id',
  SiteName VARCHAR(255) COMMENT '电站名称',
  LoadTimeStamp DATETIME COMMENT '负荷时间',
  LoadData DECIMAL(10,2) COMMENT '负荷数值',
  UploadTime DATETIME COMMENT '上传时间',
  PRIMARY KEY (SiteId, LoadTimeStamp)
) COMMENT='电站历史负荷表';
```

3.3 meteo_info 气象源信息表

列名	含义	备注
Meteo_Id	气象id	主键
Meteo_Name	气象名称	
Upload_Time	气象源注册时间	

```
CREATE TABLE meteo_info (
  MeteoId INT PRIMARY KEY COMMENT '气象id',
  MeteoName VARCHAR(255) COMMENT '气象名称',
  UploadTime DATETIME COMMENT '气象源注册时间'
) COMMENT='气象信息表';
```

3.4 station_meteo_relation 电站气象关联表

列名	含义	备注
Site_Id	电站id	联合主键
Meteo_Id	气象id	联合主键
Update_Time	更新时间	

注：这里将Site_Id、Meteo_Id作为联合主键

```
CREATE TABLE site_meteo_association (
  SiteId INT COMMENT '电站id',
  MeteoId INT COMMENT '气象id',
  UpdateTime DATETIME COMMENT '更新时间',
  PRIMARY KEY (SiteId, MeteoId)
) COMMENT='电站与气象关联表';
```

3.5 station_meteo 电站气象数据表

列名	含义	备注
----	----	----

Site_Id	电站id	联合主键
Meteo_Id	气象id	联合主键
Update_Time	更新时间	
Timestamp	时间戳	联合主键
relative_humidity_2m	2m相对湿度	
surface_pressure	气压	
precipitation	降水量	
wind_speed_10m	10m高度风速	
temperation_2m	2m高度温度	
shortwave_radiation	向下短波辐照	

注：这里将Site_Id、Meteo_Id、Update_Time作为联合主键

```
CREATE TABLE site_meteo_data (
  SiteId INT COMMENT '电站id',
  MeteoId INT COMMENT '气象id',
  UpdateTime DATETIME COMMENT '更新时间',
  Timestamp DATETIME COMMENT '时间戳',
  RelativeHumidity_2m DECIMAL(5,2) COMMENT '2m相对湿度',
  SurfacePressure DECIMAL(8,2) COMMENT '气压',
  Precipitation DECIMAL(8,2) COMMENT '降水量',
  WindSpeed_10m DECIMAL(6,2) COMMENT '10m高度风速',
  Temperature_2m DECIMAL(5,2) COMMENT '2m高度温度',
  ShortwaveRadiation DECIMAL(8,2) COMMENT '向下短波辐照',
  PRIMARY KEY (SiteId, MeteoId, UpdateTime)
) COMMENT='电站与气象数据表';
```

3.6 ustlf_res 电站预测结果表

列名	含义	备注
Site_Id	电站id	联合主键
Meteo_Id	气象id	联合主键
Cal_Time	计算时间	联合主键
Forecast_Time_Start	预测结果的起始时间	联合主键
Res_Data	超短期负荷预测结果	从Forecast_Time_Start开始的4H预测结果

注：这里将Site_Id、Meteo_Id、Cal_Time、Forecast_Time_Start作为联合主键

```
CREATE TABLE short_term_load_forecast (
  SiteId INT COMMENT '电站id',
  MeteoId INT COMMENT '气象id',
  CalTime DATETIME COMMENT '计算时间',
  ForecastTimeStart DATETIME COMMENT '预测结果的起始时间',
  ResData TEXT COMMENT '超短期负荷预测结果',
  PRIMARY KEY (SiteId, MeteoId, CalTime, ForecastTimeStart)
) COMMENT='超短期负荷预测结果表';
```

3.7 ustlf_log_info 超短期负荷预测日志记录表

列名	含义	备注
Log_id	记录id	主键
Site_Id	电站id	
Info	日志信息	
Date	日志录入时间	

```
CREATE TABLE ustifloginfo (  
    Log_id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY COMMENT '记录id',  
    Site_Id INT COMMENT '电站id',  
    Info TEXT COMMENT '日志信息',  
    Date DATETIME COMMENT '日志录入时间'  
) COMMENT='超短期负荷预测日志记录表';
```

3.8 feature_hp_info 输入特征及模型超参数表

列名	含义	备注
Site_Id	电站id	主键
Feature_info	输入特征信息	
Hyperparams_info	输入超参数信息	

```
CREATE TABLE feature_hp_info (  
    SiteId INT PRIMARY KEY COMMENT '电站id',  
    Featureinfo TEXT COMMENT '输入特征信息',  
    Hyperparamsinfo TEXT COMMENT '输入超参数信息'  
) COMMENT='输入特征及模型超参数表';
```