

ICS 国际标准分类号  
CCS 中国标准文献分类号

# 团 体 标 准

T/JES XXX-XXXX

## 虚拟电厂外特性计算技术规范

Technical Specification for Calculation of External Characteristics of Virtual  
Power Plant

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

江苏省电工技术学会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号、代号和缩略语 .....	2
5 总体要求 .....	2
5.1 虚拟电厂聚合要求 .....	2
5.2 聚合资源类型 .....	2
6 虚拟电厂外特性指标 .....	3
6.1 调节容量 .....	3
6.2 调节持续时长 .....	3
6.3 调节速率 .....	3
6.4 调节精度 .....	3
6.5 响应时间 .....	3
7 虚拟电厂外特性计算流程与数据采集 .....	3
7.1 虚拟电厂数据采集 .....	4
7.2 电网拓扑参数 .....	4
7.3 分布式资源基本参数 .....	5
7.4 分布式资源运行数据 .....	5
8 虚拟电厂外特性计算方法 .....	5
8.1 调节容量计算方法 .....	5
8.2 调节持续时长计算方法 .....	6
8.3 调节速率计算方法 .....	6
8.4 调节精度计算方法 .....	6
8.5 响应时间计算方法 .....	7
附录 A（资料性附录）虚拟电厂外特性计算实例 .....	8
A.1 虚拟电厂外特性计算实例 .....	8
图 1 虚拟电厂外特性计算流程 .....	4
图 A.1 光伏出力曲线 .....	8
图 A.2 虚拟电厂可调节容量 .....	9
图 A.3 虚拟电厂调节持续时长 .....	10
图 A.4 虚拟电厂调节速率 .....	10
图 A.5 虚拟电厂响应时间示意图 .....	11
图 A.6 虚拟电厂响应时间 .....	11
表 1 分布式资源数据采集内容 .....	5
表 A.1 储能参数 .....	8
表 A.2 燃气轮机参数 .....	8
表 A.3 可调负荷参数 .....	9

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由江苏省电工技术学会提出并归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司经济技术研究院、南京工业大学。

本文件主要起草人：郭莉、窦迅、薛贵元、徐箴、牛文娟、李佳承、杨函煜、李慧祥、王陈煜、诸晓骏、吴垠、陈琛、肖人杰、王鑫、谈健、史静、李冰洁、李泽森、葛毅、袁晓昀、胡晓燕、李琥。

本文件为首次发布。

# 虚拟电厂外特性计算技术规范

## 1 范围

本文件主要规定了虚拟电厂外特性参数计算的计算模型、计算方法和计算步骤。

本文件适用于虚拟电厂聚合资源调节容量或调节上下限、调节持续时长、调节速率、响应时间等外特性计算。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 44241-2024 虚拟电厂管理规范
- GB/T 44260-2024 虚拟电厂资源配置与评估技术规范
- GB/T 36572-2018 电力监控系统网络安全防护导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 虚拟电厂 **virtual power plant; VPP**

通过先进的信息通信技术、智能计量以及优化控制技术，将分布式电源、分布式储能、可调节负荷等分布式资源进行集成，构成能响应电网需求、参与电力市场运行或接受电网调度的系统。

### 3.2

#### 虚拟电厂资源 **VPP resources**

能向外输出电能或提供电功率调节能力的分布式设备或系统。

注：包括但不限于分布式电源、分布式储能、可调节负荷及其组合等。

### 3.3

#### 虚拟电厂运营商 **VPP operator**

将具备可调潜力或发电能力的分布式资源、虚拟机组集中在一起，作为整体参与电力市场或电网运行，并代理相关事宜的机构。

### 3.4

#### 虚拟电厂技术支持系统 **VPP technical support system**

由虚拟电厂运营商运营的，通过信息双向互动通信为其实施调控策略提供技术支撑的，实现信息处理、运行监控、业务管理、计划监管、控制执行等功能的软硬件系统。

### 3.5

#### 虚拟电厂终端 **VPP terminal**

实现数据采集、信息接收及控制执行等功能，并能与虚拟电厂技术支持系统进行信息交互的设备或系统模块。

注：包括负荷管理装置、虚拟电厂运营商自行安装的采集装置等。

### 3.6

#### 虚拟电厂外特性 **External characteristics of virtual power plant**

虚拟电厂聚合资源调节上下限、调节持续时长、调节速率、响应时间等聚合响应能力指标信息。

### 3.7

#### 等效接入点 **Equivalent Access Point**

为便于虚拟电厂的统一调度和协调运行,将多个分散部署的分布式资源聚合后等效为单一电力注入或调节点的的网络位置。

### 3.8

#### 虚拟机组 **Virtual Power Unit**

虚拟电厂为聚合和管理目的,将多个分布式资源整合而成的最小可调度单元,能够独立响应调控指令并完成功率调节。

## 4 符号、代号和缩略语

VPP: 虚拟电厂 (virtual power plant)

DDG: 自用型分布式电源 (domestic distributed generation)

PDG: 公用型分布式电源 (public distributed generation)

V2G: 车网互动 (Vehicle-to-grid)

EV: 电动汽车 (Electric Vehicle)

## 5 总体要求

### 5.1 虚拟电厂聚合要求

#### 5.1.1 聚合原则

虚拟电厂聚合分布式资源应满足以下原则:

- a) 聚合主体为虚拟电厂,应具备有效的聚合能力,支持电力市场监管者、电力负荷管理中心、运营商、分布式电源拥有者和可控负荷等参与者共同开展虚拟电厂分布式资源聚合行为,满足各参与方间的互动需求。
- b) 虚拟电厂可采取分层分区的架构,综合考虑电压等级、电网联络情况等因素,形成具有明确聚合外特性的市场主体和电网互动主体。
- c) 虚拟电厂应进行分布式资源的聚合效果评估,并由市场运营机构指定第三方检测机构进行检测并出具检测报告,满足当地监管机构的容量与性能指标等要求,方可在电力负荷管理中心与市场交易中心注册并参与市场交易。
- d) 虚拟电厂应综合采用协议签订、中长期规划、日前计划组织、日内与实时控制等手段实现分布式资源的有效聚合与运行管理。
- e) 分布式资源聚合后的整体外部特性应满足参与电力现货市场或调峰、调频、需求响应、备用等各类电网互动场景的要求。
- f) 虚拟电厂运营商技术支持系统与虚拟电厂终端应具备相应的支撑功能,其中系统侧应具备基础管理、运行预测、聚合潜力分析等功能;虚拟电厂终端应具备资源分析、数据采集、数据存储等功能。

### 5.2 聚合资源类型

#### 5.2.1 聚合节点要求

虚拟电厂应区分所聚合分布式资源并网所属电网节点的位置,对应节点电压等级不高于 220kV;若同一虚拟电厂所聚合资源并网不在同一电网调度区,应通过设置多个虚拟机组的方式,将所聚合资源进行分类聚合管理,每个虚拟机组对应资源的并网节点均位于统一电网节点内。

## 5.2.2 虚拟电厂资源类型

虚拟电厂所聚合的分布式资源类型可分为自用型分布式电源、公用型分布式电源、分布式储能、可控负荷等。

- a) 自用型分布式电源：主要为 10 kV 及以下并网、运行模式以自发自用、余电上网为主的分布式电源，包括屋顶光伏、小型柴油发电机、小型燃气发电机、燃料电池等，主要参与电能量与辅助服务交易。
- b) 公用型分布式电源：主要为 10 kV 或 35 kV 及以下并网、运行模式为全额上网的非统调分布式电源，包括风电、光伏等新能源场站等，主要参与电能量交易。
- c) 分布式储能：主要为电源侧及负荷侧自身配备的储能等，包括电化学储能、户用光储、飞轮储能，主要参与电网平衡与辅助服务交易。
- d) 电动汽车充电站：主要为具备充放电功能的电动汽车集中式充电设施，其核心特征为支持车网互动技术。此类充电站不仅可从电网受电为电动汽车充电，也可在电网需要时，将电动汽车动力电池中存储的电能反向输送给电网，从而作为一种灵活、可调度的分布式资源。
- e) 可控负荷：主要指在一定时间内对其用电功率或运行时段进行灵活调节的负荷资源，包括智能家居、中央空调、工商业可中断负荷等。

## 5.2.3 其他

虚拟电厂在聚合分布式光伏资源过程中，聚合资源类型应包括非自然人户用、一般工商业、大型工商业分布式光伏发电三类；其中，大型工商业分布式光伏发电资源可只参与辅助服务市场，非自然人户用、一般工商业光伏发电资源可参与电能量市场和辅助服务市场。

## 6 虚拟电厂外特性指标

### 6.1 调节容量

虚拟电厂根据指令可达到的最大输出功率和最小输出功率。

注：虚拟电厂消耗功率时，输出功率为负值。

### 6.2 调节持续时长

调节持续时间是虚拟电厂满足目标输出功率，且偏差保持在一定范围内所持续的时间。

### 6.3 调节速率

虚拟电厂在响应电网调度指令或市场信号时，从当前输出功率调整到目标功率时单位时间的调节容量，分为向上调节速率和向下调节速率。

### 6.4 调节精度

调节精度指虚拟电厂实际的调节功率与收到的电网调度指令或市场信号目标值之间的吻合程度，即虚拟电厂执行指令的准确度，通过百分比表示。

### 6.5 响应时间

响应时间是指虚拟电厂从接收到外部指令或市场信号，到实际调整其内部资源并完成目标功率输出变化所需的时间。

## 7 虚拟电厂外特性计算流程与数据采集

虚拟电厂外特性计算应采用调节容量、调节持续时长、调节速率、调节精度、响应时间等指标。  
虚拟电厂外特性计算前应进行数据收集，明确数据采集点及数据对象（包括分布式资源基本参数及运行数据），且数据应满足采集频率、采集精度及测试要求。  
虚拟电厂外特性计算流程见图 1：

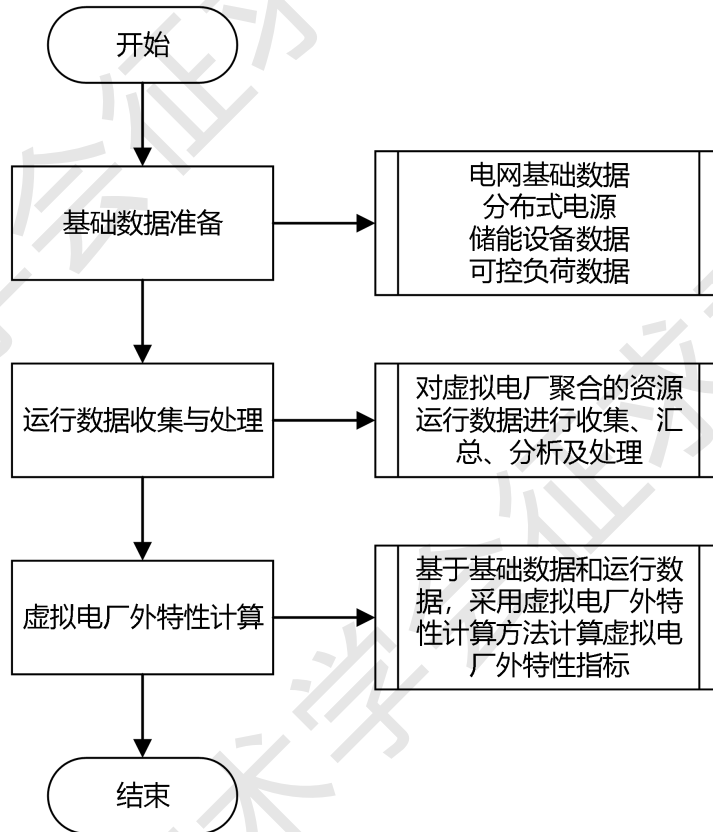


图 1 虚拟电厂外特性计算流程

## 7.1 虚拟电厂数据采集

### 7.1.1 数据采集点

数据采集点应与虚拟电厂的等效接入点建立明确、唯一的对应关系，确保数据来源可追溯、可映射。

### 7.1.2 采集频率

应统一规定数据采集周期及系统间数据交互频率。计量装置应具备按固定周期采集电能数据的能力，并明确其最小采集间隔。

### 7.1.3 采集精度

应分别明确工商业负荷与居民负荷所用数据采集装置及系统的最低采集精度要求，确保数据满足虚拟电厂运行与调度需求。

### 7.1.4 数据测试

所有采集数据在写入数据库前，应进行完整性与合理性校验。对于缺失或异常数据，应采用合理方法进行补充或修正，并通过日志文件完整记录异常数据的识别、处理及修正过程。

## 7.2 电网拓扑参数

电网拓扑参数包括电网基本参数和电网运行参数，具体如下：

- a) 电网基本参数：包括电网拓扑结构、线路容量等静态信息；
- b) 电网运行参数：包括实时运行方式、负荷水平、线路潮流、母线电压等动态运行状态信息。

### 7.3 分布式资源基本参数

分布式资源基本参数涵盖资源总体统计数据、用电/发电数据及设备本体参数，具体包括：

- a) 资源统计参数：如最大容量、运行容量、典型负荷曲线、典型发电曲线等；
- b) 设备参数：包括设备名称、类型、地理位置、功能属性、数量、额定功率、额定电压、安装容量、爬坡率、响应延迟时间等。

### 7.4 分布式资源运行数据

分布式资源运行数据可分为分布式负荷数据与分布式发电数据，具体如下：

- a) 分布式发电数据：包括有功功率输出、无功功率输出、累计发电量、功率因数、用户设备运行状态等；
- b) 分布式负荷数据：包括负荷有功功率、累计电能、电压水平、用户设备运行状态等；
- c) 电动汽车充电桩（含 V2G）数据：包括充放电功率、累计充放电电量、充放电状态（如充电中、待机、放电等）、充放电持续时间等。

虚拟电厂对分布式资源的数据采集要求如表 1 所示。

表 1 分布式资源数据采集内容

序号	计量项	单位	适用范围
1	有功功率	千瓦 (kW)	通用
2	无功功率	千乏 (kvar)	通用
3	电压	伏特 (V)	通用
4	电流	安培 (A)	通用
5	电量	千瓦时 (kWh)	通用
6	最大上调功率	千瓦 (kW)	通用
7	最大下调功率	千瓦 (kW)	通用
8	响应时间	秒 (s)	通用
9	剩余电量	千瓦时 (kWh)	分布式储能
10	充电量	千瓦时 (kWh)	分布式储能、电动汽车
11	放电量	千瓦时 (kWh)	分布式储能、电动汽车（支持 V2G）
12	充电功率	千瓦 (kW)	分布式储能、电动汽车
13	放电功率	千瓦 (kW)	分布式储能、电动汽车（支持 V2G）
14	额定容量	千瓦时 (kWh)	电动汽车
15	电量状态	百分比 (%)	电动汽车
16	剩余充电时间	分钟 (min)	电动汽车
17	剩余放电时间	分钟 (min)	电动汽车（支持 V2G）

## 8 虚拟电厂外特性计算方法

### 8.1 调节容量计算方法

调节容量  $\Delta P_t^{vpp}$  指虚拟电厂在等效接入点上输出功率的上界与下界，计算方法见式(1)

$$\begin{aligned}\Delta P_t^{vpp} &= P_{t,\max}^{vpp} - P_{t,\min}^{vpp} \\ P_{t,\max}^{vpp} &= \max \left\{ P_t^{vpp} \mid P_t^{vpp} \in \Omega_{vpp} \right\} \\ P_{t,\min}^{vpp} &= \min \left\{ P_t^{vpp} \mid P_t^{vpp} \in \Omega_{vpp} \right\}\end{aligned}\quad (1)$$

式中：

$\Delta P_t^{vpp}$  ——虚拟电厂在等效接入点上输出功率的调节容量；

$P_{t,\max}^{vpp}$  ——虚拟电厂在等效接入点上输出功率的上界；

$P_{t,\min}^{vpp}$  ——虚拟电厂在等效接入点上输出功率的下界；

$P_t^{vpp}$  ——虚拟电厂在等效接入点上输出功率；

$\Omega_{vpp}$  ——虚拟电厂聚合分布式资源（分布式电源、储能、可调节负荷等）构成的可行域。

## 8.2 调节持续时长计算方法

调节持续时长  $\tau$  指虚拟电厂输出功率维持在调节指令之上的时间，计算方法见式(2)

$$\begin{aligned}\tau &= \sum_{t_{st}}^{t_{st}+T_{ss}} \xi_t \\ P_t^{vpp} &\leq P_{ord}^{vpp} + \xi_t M, \quad t = t_{st}, t_{st} + 1, \dots, t_{st} + T_{ss}\end{aligned}\quad (2)$$

式中：

$\tau$  ——虚拟电厂调节持续时长；

$\xi_t$  ——布尔变量；

$P_{ord}^{vpp}$  ——虚拟电厂调节指令；

$t_{st}$  ——虚拟电厂调节指令开始时间；

$T_{ss}$  ——虚拟电厂调节指令结束时间。

## 8.3 调节速率计算方法

调节速率  $r_t$  指虚拟电厂相邻时间输出功率的差值，计算方法见式(3)

$$\begin{aligned}-r_{t,\max}^{dn} &\leq r_t \leq r_{t,\max}^{up} \\ r_{t,\max}^{up} &= P_{t+1,\max}^{vpp} - P_{t,or}^{vpp} \\ r_{t,\max}^{dn} &= P_{t,or}^{vpp} - P_{t+1,\min}^{vpp}\end{aligned}\quad (3)$$

式中：

$r_t$  ——虚拟电厂调节速率；

$r_{t,\max}^{up}$  ——虚拟电厂上调速率最大值；

$r_{t,\max}^{dn}$  ——虚拟电厂下调速率最大值；

$P_{t,or}^{vpp}$  ——虚拟电厂原始输出功率。

## 8.4 调节精度计算方法

调节精度  $\delta_t$  指虚拟电厂实际调节值与电网调度指令或市场信号目标值的吻合程度，计算方法见式(4)

$$\delta_t = \left( 1 - \frac{|P_t^{vpp} - P_{ord}^{vpp}|}{P_{ord}^{vpp}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\delta_t$ ——虚拟电厂调节精度，采用百分比表示。

## 8.5 响应时间计算方法

响应时间  $\omega^{vpp}$  指虚拟电厂接受到调节指令到达调节指令所需的时间，计算方法见式(5)

$$\begin{aligned} \omega^{vpp} &= t_{st} - t_{ord} \\ \omega^{vpp} &\leq \omega_{ord} \end{aligned} \quad (5)$$

式中：

$\omega^{vpp}$  ——虚拟电厂响应时间；

$t_{ord}$  ——虚拟电厂接受调节指令时间；

$\omega_{ord}$  ——特定调节指令所需的响应时间。

附录 A  
(资料性附录)  
虚拟电厂外特性计算实例

### A.1 虚拟电厂外特性计算实例

现某地区虚拟电厂聚合了 7 台燃气轮机、3 个储能、4 个光伏和 9 个可调节负荷。  
光伏出力见图 A.1。

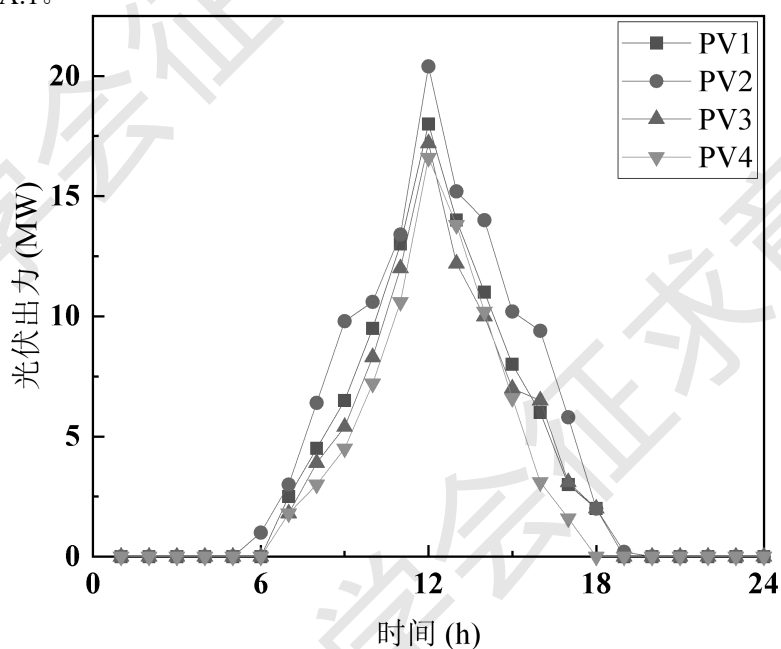


图 A.1 光伏出力曲线

储能和燃气轮机参数分别见表 A.1 和 A.2。

表 A.1 储能参数

编号	储能容量上下限(MWh)	储能充放电功率(MW)	充放电效率(%)
1	1.2~10.8	6	95
2	0.8~7.2	4	95
3	1~9	5	95

表 A.2 燃气轮机参数

编号	最大发电功率(MW)	最大爬坡功率(MW/h)
1	20	6
2	20	6
3	24	6
4	24	4
5	20	5
6	20	5
7	20	5

虚拟电厂聚合可调负荷参数见表 A.3。

表 A.3 可调负荷参数

编号	可调负荷(MW)
1	4.8
2	4.8
3	4.8
4	4.8
5	9.6
6	16
7	12
8	16.8
9	4.8

### A.1.1 调节容量

通过虚拟电厂外特性计算方法得到虚拟电厂在等效接入点上的可调节容量见图 A.2。

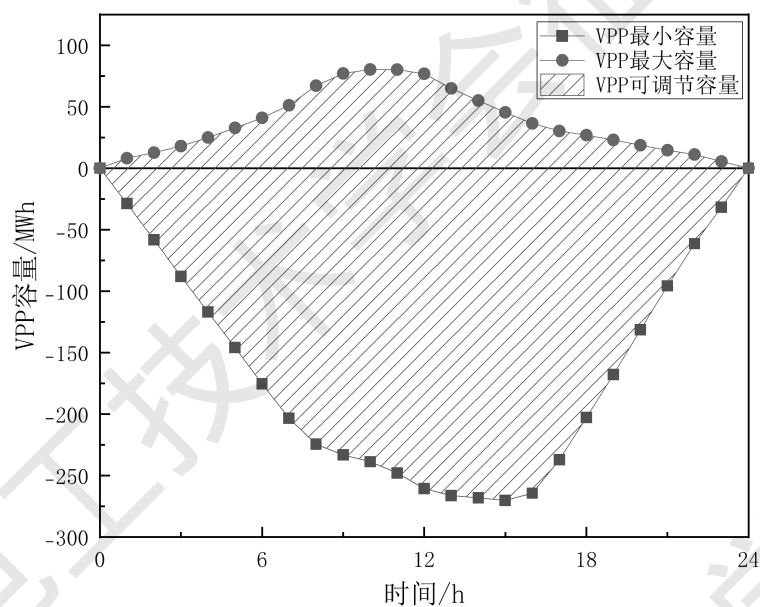


图 A.2 虚拟电厂可调节容量

### A.1.2 调节持续时长

虚拟电厂调节持续时长见图 A.3。

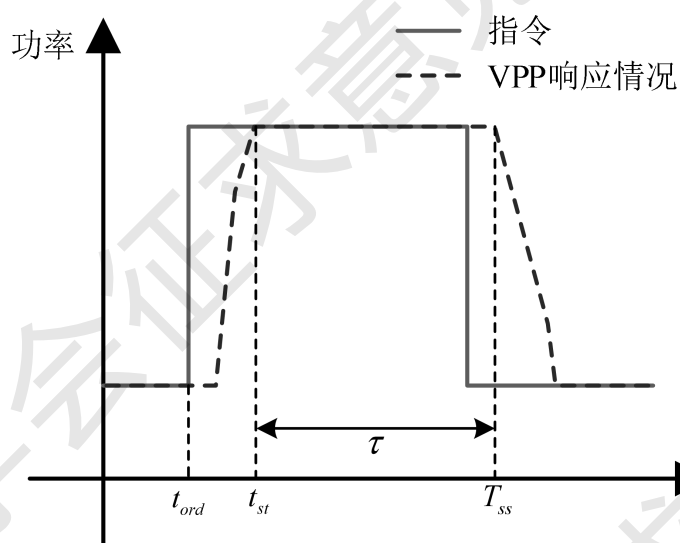


图 A.3 虚拟电厂调节持续时长

### A.1.3 调节速率

通过虚拟电厂外特性计算方法得到虚拟电厂在等效接入点上的调节速率见图 A.4。

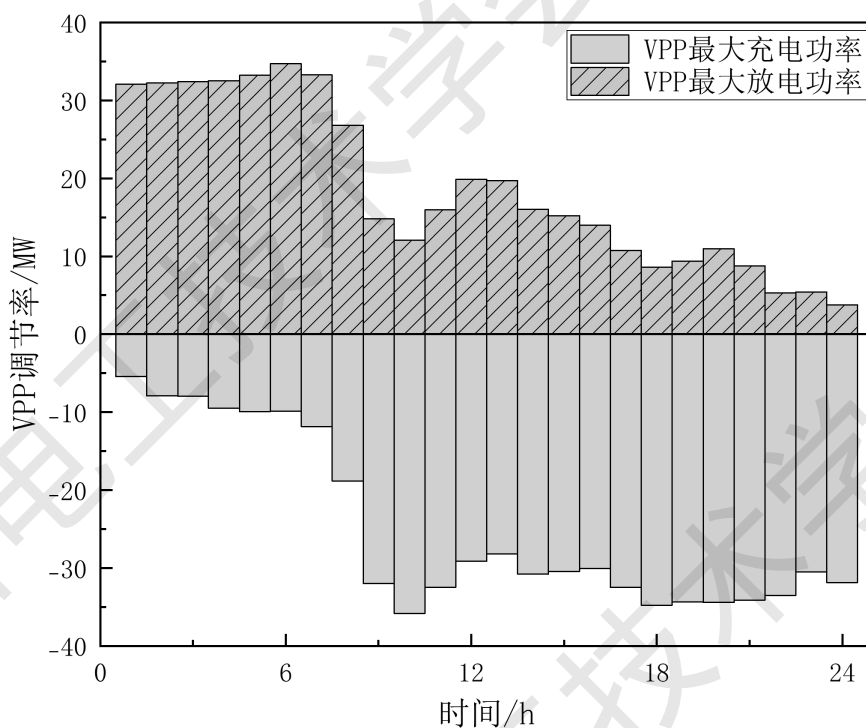


图 A.4 虚拟电厂调节速率

### A.1.4 响应时间

虚拟电厂响应时间见图 A.5 和图 A.6。

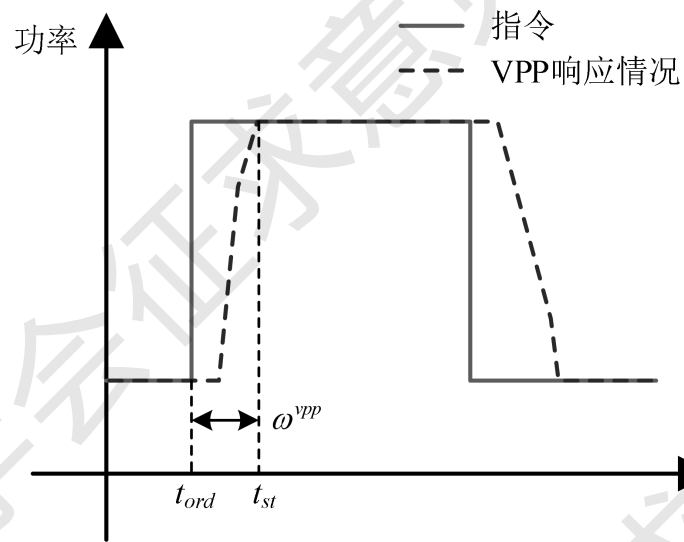


图 A.5 虚拟电厂响应时间示意图

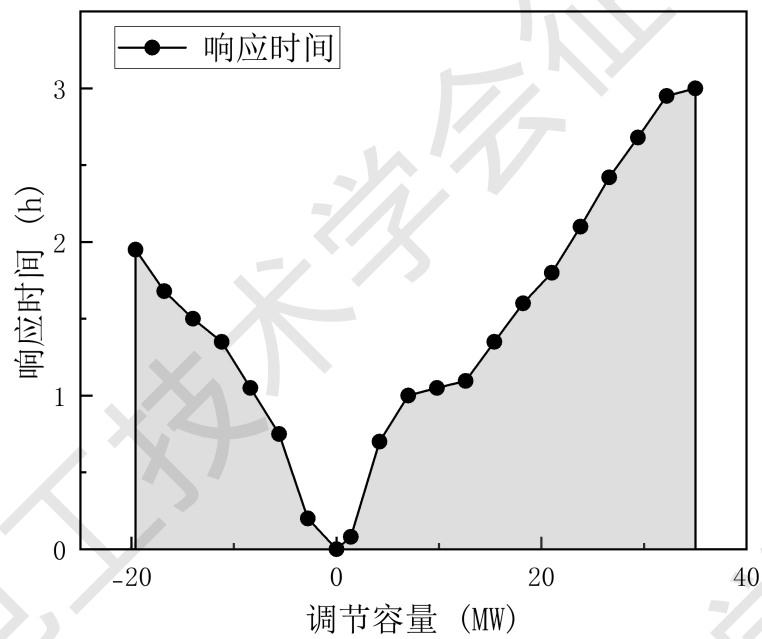


图 A.6 虚拟电厂响应时间