

ICS 国际标准分类号

CCS 江苏省标准文献分类号

# 团 体 标 准

T/JES XXX-XXXX

## 新型电力系统时序生产模拟技术要求

Technical Requirements for Production Cost Minimization Simulation in the  
New Power System

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

江苏省电工技术学会 发布



## 目 次

目 次	I
前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 数据输入及处理	2
4.1 数据采集	2
4.2 数据处理	3
5 电力系统生产模拟方法	4
5.1 随机生产模拟	4
5.2 时序生产模拟	4
6 时序生产模拟建模	4
6.1 时序生产模拟目标函数	4
6.2 时序生产模拟约束条件	4
7 时序生产模拟结果求解与运行指标	6
7.1 时序生产模拟结果求解	6
7.2 时序生产模拟运行指标	6
附 录 A 时序生产模拟模型求解方法	7
附 录 B 典型时序生产模拟工具	8
参 考 文 献	9



# 新型电力系统时序生产模拟技术规范

## 1 范围

本标准规定了新型电力系统时序生产模拟的原则及方法。

本标准适用于有新型电力系统时序生产模拟需求的调度机构、企事业单位，以及相应产品的设计、研发、检测及运行，为电力系统规划研究阶段开展时序生产模拟提供技术规范依据。

## 2 规范性引用文件

以下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 30149 电网通用模型描述规范

GB/T 31464 电网运行准则

GB/T 33590.1-2017 智能电网调度控制系统技术规范 第1部分：总体架构

GB/T 33590.2-2017 智能电网调度控制系统技术规范 第2部分：术语

GB/T 33602-2017 电力系统通用服务协议

DL/T 1170 电力调度工作流程描述规范

GB 38755 电力系统安全稳定导则

GB/T 38969 电力系统技术导则

DL/T 5003 电力系统调度自动化设计规程

DL/T 516 电力调度自动化系统运行管理规程

NB/T 11194-2023 新能源基地送电配置新型储能规划技术导则

DL/T 2674-2023 新能源高占比电力系统规划阶段电网方式选取技术规范

国家发展和改革委员会令（第14号）电力监控系统安全防护规定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

电力系统时序生产模拟 **production cost minimization simulation**

根据电源的出力特征、电网的拓扑结构、负荷分布特性等边界条件，以经济性最优为目标，以安全运行为约束，模拟电力系统规划方案的运行过程。

### 3.2

混合整数线性规划 **mixed-integer linear programming**

目标函数和约束条件均为线性，部分决策变量限制为整数的数学规划问题。具体来说，其约束条件支持等式约束及不等式约束；变量类型包括0-1变量、整型变量、实数型变量。

### 3.3

启停成本 startup and shutdown costs

指机组从关闭状态启动或从运行状态停机时，所产生的额外成本。启停过程通常需要考虑机组的燃料消耗、启动时间、初始负荷条件等因素。

### 3.4

弃风/弃光成本 wind/photovoltaic curtailment cost

指在某些时段，风电或光伏发电由于系统负荷过低或电网调度限制等原因未能被完全消纳的情况下，造成的经济损失。

### 3.5

机组爬坡率 ramp-up and ramp-down rates

指发电机组在单位时间内功率输出的最大变化速率，分为向上爬坡率（增加功率）和向下爬坡率（减少功率）。

### 3.6

电力电量平衡约束 power balance constraint

指在电力系统的运行过程中，系统的总发电量必须等于系统的总负荷需求加上其他可能的系统损耗。

### 3.7

潮流约束 power flow constraint

用于描述电力在电网中各节点和线路之间的流动规律。在潮流分析中，功率流的分布由节点的净电力注入、线路的电气参数和电网拓扑结构共同决定。

### 3.8

传输约束 transmission constraint

规定了电力在电网中各输电线路上的功率传输限制。这些约束通常包括输电线路的最大承载能力和最小承载能力，以防止线路过载并确保系统的安全稳定运行。

### 3.9

备用约束 reserve capacity constraint

用于保证电力系统在运行过程中能够提供足够的备用容量，应对突发负荷增长或发电机组失效等情况。备用容量分为向上备用和向下备用，分别用于应对负荷增加和发电机组故障，确保系统的可靠性和安全性。

### 3.10

最小启停时间 minimum on/off duration

指发电机组从停机状态启动或从启动状态停机所需的最短时间。该约束确保机组在启停过程中不会过于频繁地操作，从而避免由于快速启停带来的设备损耗和不必要的成本。

### 3.11

频率安全约束 frequency security constraint

指电力系统运行过程中对频率变化率的限制，通常以系统频率的最大变化速率（RoCoF）为依据。该约束用于确保电力系统在遭遇突发事件（如机组故障）时，能够快速调整频率，维持系统的稳定运行。

## 4. 数据输入及处理

### 4.1 数据采集

时序生产模拟的输入数据通常包括：当地的负荷/新能源出力数据、电网拓扑结构及参数、机组运行特性参数等。为确保模拟结果的准确性与可靠性，数据的采集和处理应符合相关标准，并保证数据的实时性和准确性。

#### 4.1.1 负荷数据要求

负荷数据为当地的负荷数据，数据可采用小时级或 15 分钟级的时间分辨率。

负荷数据宜通过终端或调度自动化系统自动采集，采集数据应满足 GB/T 33604-2017 的要求，并可通过手动方式补充录入。

应包括所有负荷节点的用电需求数据，以及可能影响负荷的其他重要因素（如节假日、季节性变化等）。

用户负荷数据通过新型电力负荷管理、调度自动化等系统采集，可根据实际情况采用直采、拟合等方式获取，应包括来自电力用户的、对用户用电负荷有较大影响的用户生成计划数据。

#### 4.1.2 新能源出力数据要求

新能源出力数据应涵盖风电、光伏、以及其他新能源发电（如生物质能等）的出力信息。

风电出力数据原则上根据当地测风塔代表年风资源数据进行测算，光伏出力数据原则上根据当地测光站代表年太阳能总辐射量进行测算。若无上述实测数据，可参考近区具有代表性的场站标杆机组实际运行数据或利用相关气象、卫星数据进行估算。

新能源的出力强烈依赖于天气因素，风速、光照强度、气温等气象数据应作为辅助数据输入。

#### 4.1.3 电网拓扑结构及参数要求

节点数据应包括电网中各节点的标识、类型、并网容量等信息，同时应详细描述节点间的连接关系。

线路数据应包括输电线路的电气特性参数（如电阻、电抗、最大容量等）、两端连接节点信息、线路长度、是否有备用线路等。

#### 4.1.4 机组运行特性参数要求

基本数据应包括机组接入节点、机组类型（如燃煤、燃气、核电、风电、水电等）、机组发电成本系数、机组容量、所属电厂、机组启动方式等基本信息。

运行参数数据应包括最大发电能力、最小出力能力、最大向上/下爬坡率、最小启停时间、机组调节能力等。

#### 4.1.5 其他要求

负荷数据、新能源出力数据应与时序生产模拟的范围、时间尺度相匹配。

### 4.2 数据处理

对空数据点、零数据点、连续恒定值、异常阶跃值等数据进行辨识，通过数据插值、回归模型、数据推断等方法填补缺失数据，以确保后续处理和分析不受影响。补充后的数据应符合数据源的分布特征。经过修正的数据应以特殊标志以做区分。

所有数据应具备较高的采集精度，特别是负荷数据、风电和光伏出力等关键数据，精度要求通常在小时级、15 分钟级或分钟级，确保模拟过程中数据的细粒度。此外，所有数据应按照相同的时间步长进行同步处理，避免因时间不对齐导致计算误差。

采集的原始数据应经过严格的校验，确保其准确无误。可以采用数据校验规则，如负荷功率数据不应超过机组能力范围，风电和光伏的出力数据应在物理和设备能力范围内。

所有输入的数据应按照统一的数据格式进行存储与处理，确保不同来源的数据能够相互兼容。例如，负荷数据、机组数据、新能源出力数据等应采用统一的时间戳格式、单位标准等，避免由于格式不一致导致数据不易对接或错误。

## 5 电力系统生产模拟方法

生产模拟方法在电力系统中被广泛运用于电量平衡分析、发电调度过程模拟以及系统运行指标评估，为电网规划与运行方式的安排提供了重要的决策依据。

### 5.1 随机生产模拟

常见的生产模拟方法可主要分为类。第一类是基于持续负荷曲线的随机生产模拟。这一方法通过简化电力系统的时序运行特性，安排各类机组在持续负荷曲线上的运行状态和启停顺序，进而计算出系统及各类机组在中长期尺度下的运行指标。此方法计算速度较快，适用于电力电量平衡的快速分析。然而，随着新能源的大规模并网，该方法在反映系统时序特性方面需要进一步加强，以更好地模拟实际调度过程。

### 5.2 时序生产模拟

第二类是时序生产模拟技术。该方法基于负荷及新能源的时序曲线，在较高的时间分辨率下进行长时段的电力电量平衡模拟，能够较为真实地模拟电力系统的调度过程，展现系统运行的具体细节。通过引入更加细致的系统和机组运行约束，进行中长期时段的时序平衡分析，结果更为贴近实际操作。本标准主要介绍时序生产模拟的模型、求解及运行指标。

## 6 时序生产模拟建模

### 6.1 时序生产模拟目标函数

电力系统时序生产模拟模型一般以整个系统的总运行成本最低为目标，形式如下：

$$\min \sum_{t \in T} \left( \sum_{g \in \mathcal{G}} F_g(P_{g,t}) + \sum_{w \in \mathcal{W}} F_w(P_{w,t}) + \sum_{s \in \mathcal{S}} F_s(P_{s,t}) \right) \quad (1)$$

式中：

$F_g(P_{g,t})$ ——发电机组  $g$  在时刻  $t$  的发电功率  $P_g$  产生的成本函数，可以包含发电成本、启停成本等；

$F_w(P_{w,t})$ 、 $F_s(P_{s,t})$ ——风电、太阳能在时刻  $t$  的发电功率  $P_w$ 、 $P_s$  的成本函数，通常与弃风或弃光成本相关；

$T$ ——时间集合，通常是调度周期内的所有小时或更短时间间隔的集合；

$\mathcal{G}$ 、 $\mathcal{W}$ 、 $\mathcal{S}$ ——发电机组、风电场、光伏电厂集合。

### 6.2 时序生产模拟约束条件

#### 6.2.1 系统级约束

系统级约束主要包括电力电量平衡约束、潮流约束、传输约束、备用约束等。

a) 电力电量平衡约束

$$\sum_{g \in G} P_{g,t} + \sum_{w \in W} P_{w,t} + \sum_{s \in S} P_{s,t} = D_t + \sum_{o \in O} P_{o,t} \quad (2)$$

式中：

$D_t$ ——时刻  $t$  的负荷需求；

$P_{w,t}$ ——时刻  $t$  其他负荷或者储能。

b) 潮流约束

$$P_{l,t} = \sum_{b \in B} SF_{l,b} P_{b,t}^{inj} \quad (3)$$

式中：

$P_{l,t}$ ——传输线  $l$  上在时刻  $t$  的功率流；

$SF$ ——潮流迁移因子；

$P_{b,t}^{inj}$ ——节点  $b$  在  $t$  时刻的净电力注入；

$B$ ——节点集合。

c) 传输约束

$$P_l^{\min} \leq P_{l,t} \leq P_l^{\max} \quad (4)$$

式中：

$P_l^{\min}$ 、 $P_l^{\max}$ ——传输线  $l$  的最小、最大功率容量。

d) 备用约束

$$\sum_{g \in G} \mu_{g,t} P_g^{\max} + \sum_{w \in W} P_{w,t} + \sum_{s \in S} P_{s,t} \geq D_t + R_t^{\text{up}} \quad (5)$$

$$\sum_{g \in G} \mu_{g,t} P_g^{\min} + \sum_{w \in W} P_{w,t} + \sum_{s \in S} P_{s,t} \leq D_t - R_t^{\text{down}} \quad (6)$$

式中：

$\mu_{g,t}$ ——表征发电机组开启和关停状态的 0/1 变量；

$P_g^{\min}$ 、 $P_g^{\max}$ ——发电机组  $g$  的最小、最大出力；

$R_t^{\text{up}}$ 、 $R_t^{\text{down}}$ ——系统  $t$  时刻向上、向下旋转备用容量需求。

## 6.2.2 机组级约束

机组级约束主要包括出力约束、爬坡约束、最小启停时间约束等。

a) 出力约束

$$\mu_{g,t} P_g^{\min} \leq P_{g,t} \leq \mu_{g,t} P_g^{\max} \quad (7)$$

b) 爬坡约束

$$P_{g,t+1} - P_{g,t} \leq (\mu_{g,t+1} - \mu_{g,t}) P_g^{\min} + P_g^{\text{up}} \quad (8)$$

$$P_{g,t} - P_{g,t+1} \leq (\mu_{g,t} - \mu_{g,t+1}) P_g^{\min} + P_g^{\text{down}} \quad (9)$$

c) 最小启停时间约束

$$\sum_{k=t+1}^{k^{\text{on}}} \mu_{g,k} \geq T_g^{\text{on}} (\mu_{g,t+1} - \mu_{g,t}) \quad (10)$$

$$\sum_{k=t+1}^{k^{\text{off}}} \mu_{g,k} \leq T_g^{\text{off}} (\mu_{g,t+1} - \mu_{g,t} + 1) \quad (11)$$

$$k^{\text{on}} = \min \{t + T_g^{\text{on}}, T\} \quad (12)$$

$$k^{\text{off}} = \min \{t + T_g^{\text{off}}, T\} \quad (13)$$

式中：

$T_g^{\text{on}}$ 、 $T_g^{\text{off}}$ ——发电机组  $g$  的最小开启和关断时间。

### 6.2.3 其他特殊约束

除上述系统级和机组级的约束外，在某些特定场景下，还要结合实际需求，考虑诸如频率安全等约束。

$$\frac{P_{g,t}}{\sum_{g \in G} 2H_g P_g^{\max} u_{g,t} - 2H_g P_g^{\max} u_{g,t}} \leq \text{RoCoF}_{\text{lim}} \quad (14)$$

式中：

$H_g$ ——发电机组  $g$  的惯性常数；

$\text{RoCoF}_{\text{lim}}$ ——设定的频率变化率限值。

## 7 时序生产模拟结果求解与运行指标

### 7.1 时序生产模拟结果求解

所建立的时序生产模拟模型是包含海量整数变量、复杂耦合约束（机组数量多、时间跨度长、运行约束精细考虑）的大规模混合整数线性规划问题，求解非常耗时。通过定制的加速方法（如松弛、聚类、分解等）以及结合人工智能技术，可以显著提高求解效率。此外，直接采用现有的生产模拟软件，也可以节省开发时间并加速求解过程。

### 7.2 时序生产模拟运行指标

通过时序生产模拟可以得到时序电力电量平衡情况、线路传输功率、碳排放与燃料消耗量等。基于这些计算结果建立相关评价指标体系，可以得到系统运行的统计指标，如充裕性（失负荷概率）、经济性（度电成本）、环境性（总碳排放）等，为相关应用与研究提供量化分析支持。。

附 录 A  
时序生产模拟模型求解方法

A.1 时序生产模拟模型加速求解方法

时序生产模拟模型属于大规模混合整数线性规划问题，求解非常耗时，常见加速求解方法见表 A. 1。

表 A. 1 时序生产模拟模型加速求解方法

序号	类 别	方 法
1	基于松弛的方法	整数松弛
		线性松弛
		拉格朗日松弛
		锥松弛
		对偶松弛
2	基于聚类的方法	时间段聚类
		机组聚类
		负荷/新能源聚类
3	基于分解的方法	滚动求解
		时序分解
		<b>Benders</b> 分解
		列生成法
		<b>Lagrange</b> 分解
		动态规划分解
4	人工智能技术辅助求解	整数变量预测
		变量选择预测
		节点选择预测
		切平面预测

## 附录 B 典型时序生产模拟工具

### B.1 典型时序生产模拟工具

随着可再生能源大规模并网，运行模拟的模型与方法研究成果层出不穷，对应的软件工具也迎来显著进展与更新，部分电力系统时序生产模拟软件见表 B.1。

表 B.1 部分电力系统时序生产模拟软件

序号	软件	时间分辨率	求解算法
1	GridView	小时级 (最高可达分钟级)	线性规划、动态规划
2	Antares	小时级	线性规划、混合整数规划
3	LPSP_ProS	全年逐月 典型日逐小时	加速变步长搜索法、代数方程法、小偏差量算法
4	NEOS	小时级	混合整数规划
5	Flextool	通常为小时级 (可根据输入数据调整)	线性规划
6	PLEXOS	通常为小时级 (最高可达分钟级)	数学优化(线性规划、混合整数规划)、部分均衡
7	GOPT	小时级	线性规划、混合整数规划

参 考 文 献

- [1] 魏利岫,艾小猛,方家琨,等.面向新型电力系统的时序生产模拟应用与求解技术综述[J].电力系统自动化,2024,48(06):170-184.
- [2] 徐新智,杜尔顺,高艺,等.电力系统运行模拟与容量规划工具研究与应用综述[J].电力系统自动化,2022,46(02):188-199.