团体标准

发 布

中国电机工程学会

20XX—XX—XX实施

20XX—XX—XX发布

电力物联网数据-机理融合建模技术导则

Mechanism and Data Dual Driven Modeling Specification of EIoT

（征求意见稿）

T/CSEE XXXX—YYYY

ICS 19.020

CCS K85

目 次

[前 言 3](#_Toc674)

[1 范围 4](#_Toc18511)

[2 规范性引用文件 4](#_Toc141)

[3 术语和定义 4](#_Toc14832)

[4 总则 5](#_Toc11682)

[5 建模对象分类 5](#_Toc24680)

[5.1 外部特性模型 5](#_Toc5688)

[5.2 运行控制模型 5](#_Toc25427)

[5.3 行为策略模型 5](#_Toc25999)

[6 建模数据要求 5](#_Toc17058)

[6.1 外部特性模型数据要求 5](#_Toc24259)

[6.2 运行控制模型数据要求 6](#_Toc5189)

[6.3 行为决策模型数据要求 6](#_Toc10810)

[7 融合建模策略选择 6](#_Toc2141)

[7.1 机理模型可完整获得 6](#_Toc927)

[7.2 机理模型不可完整获得 7](#_Toc12233)

[8 建模技术要求 7](#_Toc29870)

[8.1 外部特性建模技术 7](#_Toc8262)

[8.2 运行控制建模技术 7](#_Toc27480)

[8.3 外部特性建模技术 8](#_Toc10884)

[附　录　A （资料性） 融合建模对象建议 9](#_Toc11784)

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据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专利的责任。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会人工智能专业技术委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1 号，100761，网址：http：//www.csee.org.cn，邮箱：[cseebz@csee.org.cn](mailto:cseebz@csee.org.cn)）。

电力物联网数据-机理融合建模技术导则

1. 范围

本文件规定了电力物联网数据-机理融合建模的专业术语、建模适用对象、建模数据要求、建模技术要求，对融合建模策略和技术选型提出了建议。

本文件适用于电力物联网建模相关工作，现阶段主要用于指导基于电力物联网的源网荷储协同中的数字建模工作。

1. 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 33474—2016 物联网 参考体系结构

GB/T 33745—2017 物联网 术语

GB/T 36478（所有部分） 物联网 信息交换和共享

YD/T 2437—2012 物联网总体框架与技术要求

IEEE 2413—2019 IEEE Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

机理驱动建模 mechanism driven modeling

根据建模对象的应用场合和模型的使用目的进行合理的假设后，依据其内在机理建立数字模型的方法。

数据驱动建模 data driven modeling

根据建模对象的应用场合和模型的使用目的，依据可表征其状态、特性、运行环境等影响因素的历史数据和实时数据，采用统计、数据挖掘、数据解析、机器学习等数据分析手段建立数字模型的方法。

数据-机理融合建模 mechanism and data dual driven modeling

采用机理驱动方法和数据驱动方法相结合的技术手段，通过不同机理驱动和数据驱动融合建模策略，面向建模对象建模数字模型的方法。

融合建模策略 fusion modeling strategy

机理驱动方法和数据驱动方法在建模过程中的融合路径。

机理主导建模策略 mechanism-led modeling strategy

机理驱动决定模型结构，数据驱动模型辨识参数。机理驱动模型能够较为清晰描述对象的内在规律，但部分计算参数需要通过数据驱动方法进行辨识。

数据主导建模策略 data-led modeling strategy

机理驱动提供先验知识指导，数据驱动主导模型。有限的机理驱动为数据驱动模型提供必要的参考，在数据预处理和特征工程阶段提高模型输入输出的关联性。

外部特性模型 external characteristic model

在建模对象外部接口参数已知基础上，对若干物理参数或计算参数之间的动态关系进行建模。

运行控制模型 operation control model

在建模对象部分控制逻辑和控制参数明确的情况下，对满足更多运行场景和运行目标下的控制方法进行建模。

行为策略模型 action strategy model

在建模对象在面对不同外界环境状态时，对其具有一定随机性和不确定的行为模式和行动策略进行建模。

2. 总则

针对大规模互联电网高维非线性、强不确定性特点，可采用数据-机理融合建立数字模型，以提高模型的计算效率，同时保证模型的计算精度。

数据-机理融合建模应满足系统的基本约束条件与物理规律，按照传统机理建模方法与数据驱动方法有机结合的方式开展，以确保电力系统的安全运行。

数据-机理融合建模根据分析建模对象的机理模型可获取程度不同，可灵活地选择不同融合策略，也可组合选用多种融合策略进行建模。

数据-机理融合建模可解决纯机理模型难以完整获取或计算时效性不满足需求，以及纯数据驱动方法存在的可解释性差、小样本条件下容易过拟合、计算结果可能超出可行域的问题。

1. 建模对象分类
   1. 外部特性模型

外部特性模型适用于建模对象内部机理驱动存在观测盲区或无法求解情况下的输入输出关系建模，通过数据驱动建模方法部分取代建模对象内部机理，建立不同物理量或计算量之间的映射关系。

* 1. 运行控制模型

运行控制模型适用于设备或系统在不同运行状态和运行目标下的运行控制策略建模，仿真或优化建模对象所处环境状态变量与自身控制变量之间的对应关系。

* 1. 行为策略模型

行为决策模型适用于电力物联网中包含人为因素的各个参与方在能量和信息层面的行为规律建模，描述供应商、代理商、运营商和个体用户等不同角色在能源互联网运营模式下的互动过程。

1. 建模数据要求
   1. 外部特性模型数据要求

外部特性建模根据建模对象运行机理确定模型输入输出数据，建模数据应以能够反映建模对象运行状态的运行数据为主。包括反映外部环境的动态运行数据和反映建模对象具体类别及运行状态的静态属性数据。

* 1. 运行控制模型数据要求

运行控制建模数据包括环境变量和控制变量两部分。环境变量应合理反映建模对象的运行目标，控制变量应符合建模对象的现实约束条件。

* 1. 行为决策模型数据要求

行为决策模型建模数据应考虑系统参与方自身固有的行为特点以及在不同激励政策、市场行情和个体利益下的响应惯性。

1. 融合建模策略选择



图1 建模策略的选择路径

* 1. 机理模型可完整获得
     1. 串行优化融合建模

先构建机理驱动模型，以数据驱动模型直接修正机理模型计算结果与实际数据之间的误差。适用于机理模型可获得、计算复杂度较低但计算精度不足的情况，通过数据驱动模型矫正由于假设、简化物理条件导致的计算误差。

* + 1. 反馈迭代融合建模

先构建机理驱动模型，以数据驱动模型迭代修正机理模型的计算参数，间接矫正计算误差。适用于机理模型可获得、计算复杂度较低但计算精度不足的情况，通过数据驱动模型校核由于环境变化（如线路老化）等原因导致的机理模型系数变化。

* + 1. 并行互补融合建模

分别构建机理驱动模型与数据驱动模型，二者计算结果取加权和。适用于机理模型可获得、计算精度足够但计算复杂度中等的情况，通过判断数据驱动模型输出结果的置信度区间，动态调整以数据驱动模型计算结果与机理驱动模型计算结果的占比。

* + 1. 机理嵌入融合建模

先构建机理驱动模型，以数据驱动模型拟合机理模型的计算曲线。适用于机理模型可获得、计算精度足够但计算复杂度较高、真实数据分布不均的情况，通过进行机理约束下的无监督训练使数据驱动模型直接学习物理方程，从构建融合模型替代复杂机理模型。

* 1. 机理模型不可完整获得
     1. 部分替代融合建模

先对未知机理部分构建数据驱动模型，再将数据模型的输出代入构建机理驱动模型。适用于已知大部分机理、少部分机理不明的情况，通过建立数据驱动模型对未知机理部分进行替代，从而建立分析对象的完整模型。

* + 1. 机理引导融合建模

将机理知识表征为数学规则，以正则项等方式加入数据驱动模型的构建过程。适用于已知少部分机理知识、大部分机理不明的情况，通过机理知识约束数据驱动模型的训练与计算，可指导数据驱动模型选型或确定模型计算的初始值或边界条件等。

1. 建模技术要求
   1. 外部特性建模技术
      1. 变量选择

模型输入输出变量应符合已知的机理驱动关系，尽量减少黑箱建模部分；变量之间应尽量相对独立。

* + 1. 特征提取

原始数据应通过特征工程转换为有效特征，特征提取的过程可选择以下两种方式：

1. 按照数据类型进行适当的预处理；
2. 通过机器学习方法自动生成特征。
   * 1. 模型架构

模型架构可根据建模任务类型和业务需求进行选择，包括BP神经网络、Elman神经网络和RBF神经网络等。模型选择应遵循结构风险最小化准则。

* 1. 运行控制建模技术
     1. 变量选择

运行控制模型变量包括环境状态变量和自身控制变量：

1. 环境状态变量应根据建模对象的具体功能进行选择，可包括但不限于直接量测的感知数据或经过边缘处理的计算数据。
2. 自身控制变量应根据建模对象的控制手段确定。
   * 1. 特征提取

环境状态变量可通过以下两种方式实现：

1. 依据某些物理控制原理从原始数据中直接计算获得输入信号量；
2. 利用外部特性模型中的特征提取或数据预处理方法自动生成环境状态。

自身控制变量可直接描述自身状态。

* + 1. 模型架构

运行控制模型可采用强化学习框架，包括A3C、DDPG、PPO等算法。动作执行反馈的计算方式在有模型的强化学习中可相对激进；在无模型的强化学习动作执行反馈应该对平稳，同时应适当提高动作探索率。

* 1. 外部特性建模技术
     1. 变量选择

行为决策模型主要从系统层面对设备整体特性和运行行为进行建模，可以分为两类：

1. 第一类行为决策模型：源侧和负荷侧的各类功率预测模型，该类模型变量与外部特性模型变量选择原则相同。但在数据类型上应以时序数据为主。
2. 第二类行为决策模型：运营商、代理商和用户的能源生产、消耗和交易行为模型，该类模型变量应能够反映参与方的自身利益、个体特征以及在不同市场情况和激励政策下的影响因素。
   * 1. 特征提取

模型特征提取方法可采用波动特性分析、混动特性分析和行为特性分析等等，相关技术包括但不限于各类统计方法、基于距离或密度的聚类、卷积神经网络等。

* + 1. 模型架构

第一类行为决策模型可采用与外部特性模型相同的模型架构。第二类行为决策模型可以采用与运行控制模型相同的模型架构。

1. （资料性）  
   融合建模对象建议

各类融合建模对象建议参见表A.1，具体可根据实际情况进行调整。

表A.1　融合建模应用建议表

|  |  |
| --- | --- |
| **建模分类** | **建模对象** |
| 外部特性模型 | 光伏发电的电压功率特性 |
| 化学储能系统的电池充放电特性 |
| 蓄冷蓄热设备相变材料的温升特性 |
| 电-热-冷转化效率特性 |
| 燃气轮机的压力-温度特性 |
| 家用电器的负荷特性 |
| …… |
| 运行控制模型 | 光伏发电MPPT控制 |
| 风力发电恒转速控制 |
| 燃气轮机转速-燃料控制 |
| 电锅炉恒温控制 |
| 电网故障处置控制 |
| 配电网负荷专供控制 |
| 储能电站充放电控制 |
| …… |
| 行为决策模型 | 分布式电源上网电量计划模型 |
| 电动汽车和储能充电放需求模型 |
| 用户综合用能需求模型 |
| 用户需求侧响应行为模型 |
| 能源交易服务各方行为模型 |
| …… |

**━━━━━━━━━━━**