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

技术评价导则

Technical evaluation specifications for mechanism and data dual driven modeling of EIoT

（征求意见稿）

T/CSEE XXXX—YYYY

代替 T/XXXX

ICS 19.020

CCS K85

目 次

[前 言 3](#_Toc119676052)

[1 范围 4](#_Toc119676053)

[2 规范性引用文件 4](#_Toc119676054)

[3 术语和定义 4](#_Toc119676055)

[4 总则 5](#_Toc119676056)

[4.1 电力物联网数据-机理融合建模评价体系 5](#_Toc119676057)

[4.2 电力物联网数据-机理融合建模评价范围 5](#_Toc119676058)

[5 数据-机理融合模型精确性评价指标 5](#_Toc119676059)

[5.1 建模精确性 5](#_Toc119676060)

[5.2 计算精确性 6](#_Toc119676061)

[6 数据-机理融合模型可靠性评价指标 6](#_Toc119676062)

[6.1 收敛性 6](#_Toc119676063)

[6.2 稳定性 6](#_Toc119676064)

[6.3 安全性 7](#_Toc119676065)

[7 数据-机理融合模型高效性评价指标 7](#_Toc119676066)

[7.1 时间效率 7](#_Toc119676067)

[7.2 空间效率 8](#_Toc119676068)

[7.3 数据效率 9](#_Toc119676069)

[8 数据-机理融合模型互动性评价指标 9](#_Toc119676070)

[8.1 输入互动性 9](#_Toc119676071)

[8.2 输出互动性 10](#_Toc119676072)

[8.3 调试互动性 10](#_Toc119676073)

[9 数据-机理融合模型泛化性评价指标 11](#_Toc119676074)

[9.1 泛化精度 11](#_Toc119676075)

[9.2 泛化效率 12](#_Toc119676076)

[9.3 泛化鲁棒性 12](#_Toc119676077)

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标准专业委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：清华大学、中国电力科学研究院有限公司、重庆大学、华北电力大学、武汉大学、国网天津市电力公司、国网江苏省电力有限公司。

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-机理融合建模技术评价导则

1. 范围

本文件规定了电力物联网数据-机理融合建模的综合评价体系，包括电力物联网数据-机理融合建模精确性、可靠性、高效性、互动性、泛化性等方面的评价指标。

本文件适用于电力物联网数据-机理融合建模工作效能的综合评价，其他应用（物理建模、电力大数据）也可作为参考。

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

YD/T 2437—2012 物联网总体框架与技术要求

T/CEC 101.1—2016 能源互联网

T/CEC 120170207 能源互联网技术导则

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，面向建模对象建立数字模型的方法。

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。

1. 总则

电力物联网数据-机理融合建模的综合评价体系旨在从多个信息维度对数据-机理融合模型进行科学、公正、客观的评价。

* 1. 电力物联网数据-机理融合建模评价体系

评价体系主要针对电力生产、传输、消费等应用场景中数据-机理融合模型的精确性、可靠性、高效性、互动性、泛化性等方面构建综合评价指标体系，对电力物联网数据-机理融合模型的工作效果进行综合评价。

* 1. 电力物联网数据-机理融合建模评价范围

以下融合建模对象纳入电力物联网数据-机理融合建模评价范围：

1. 外部特性类模型，用于刻画电力物联网中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。
2. 运行控制类模型，用于刻画电力物联网中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。
3. 行为决策类模型，用于刻画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。
5. 数据-机理融合模型精确性评价指标

精确性评价指标主要分为2类：建模精确性指标和计算精确性指标。建模精确性指标用于评价建模方法、模型参数设置、模型结构的精确性，是衡量融合建模准确性的重要评价指标；计算精确性指标用于评价数据-机理融合模型的计算过程和计算输出结果精确性，是评价融合模型计算精度的重要指标。



图1 数据-机理融合模型的精确性评价指标分类

* 1. 建模精确性
     1. 模型参数精确性

数据-机理融合建模所设置的数据、物理参数的精确性，具体可采用判定的精确参数规模和模型参数总规模的比例来衡量。

* + 1. 建模方法精确性

数据-机理融合模型所采用的建模方法的精确性，具体可采用专家打分方法进行评定。

* 1. 计算精确性
     1. 计算过程精度

数据-机理融合模型在计算过程中的中间计算结果的精度，是衡量计算模型计算结果精度的重要评价指标。

* + 1. 输出结果精度

数据-机理融合模型计算输出结果的精度，可用正确输出结果的规模比例、输出结果的精度等指标进行判定。

1. 数据-机理融合模型可靠性评价指标

可靠性评价指标主要分为3类：模型收敛性、模型稳定性和模型安全性。模型收敛性指标用来评价数据-机理融合模型的收敛性和收敛效果；模型稳定性评价指标用来评价数据-机理融合模型的运行稳定性；模型安全性用来评价数据-机理融合模型的运行安全性。



图2 数据-机理融合模型的可靠性评价指标分类

* 1. 收敛性
     1. 计算模型收敛判定

数据-机理融合模型是否收敛是评判模型收敛性的重要指标，可根据模型的建模方法和计算过程时间等多种模型参数进行评判。

* + 1. 模型收敛时间

数据-机理融合模型收敛时间是评价模型可靠性的重要指标，可以通过对比模型收敛时间进行判定。

* 1. 稳定性
     1. 运行无闪退

可采用运行无闪退用来评价数据-机理融合模型的运行稳定性。

* + 1. 无卡顿现象

可采用运行卡顿现象、卡顿出现频繁程度衡量模型的运行稳定性。

* 1. 安全性
     1. 网络防攻击

对于运行环境具有网络攻击潜在风险的数据-机理融合模型，是否具有相应的网络攻击防护措施以及防护等级可用来评判模型的运行安全性。

* + 1. 防范信息泄露

部分数据-机理融合模型的运行环境具有潜在信息泄露风险，应关注并评估采取的信息泄露防护措施以及防护等级，从而评判模型的运行安全性。

1. 数据-机理融合模型高效性评价指标

构建电力物联网环境下数据-机理融合模型的高效性评价指标，其目的在于对电力物联网数据-机理融合模型的工作效率进行评价。高效性评价指标包括以下方面：

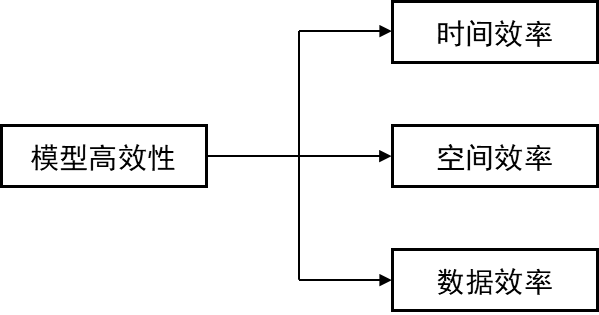


图3 数据-机理融合模型高效性评价指标分类

* 1. 时间效率

时间效率与模型所用计算时间相关，用以评估电力物联网数据-机理融合模型在应用全过程各阶段，所消耗的时间资源。应包括但不限于以下评价指标：

* + 1. 数据预处理时间

采用电力物联网数据-机理融合模型前，将原始采集的数据，处理为融合模型接口所允许的统一形式的数据所消耗的时间资源。一般来说，是指错误数据甄别、错误数据修复、特征提取等环节所消耗的时间资源。量纲为时间单位，如秒（s）、分钟（min）、小时（h）等。

* + 1. 训练时间

电力物联网数据-机理融合模型在数据驱动阶段，从大量数据中获取经验、规律、模式等所消耗的时间资源。一般来说，指的是基于机器学习方法，利用大量训练数据迭代更新人工神经网络的网络参数，或智能体的价值函数、策略、环境模型等环节所消耗的时间资源。量纲为时间单位，如秒（s）、分钟（min）、小时（h）等。

* + 1. 计算时间

电力物联网数据-机理融合模型在给定条件下，完成指定计算任务所消耗的时间资源。对于外部特性模型来说，指的是给定若干已知物理参数或计算参数，求解与之关联的其它物理参数或计算参数所消耗的时间资源；对于运行控制模型来说，指的是给定运行场景与运行目标，求解控制策略所消耗的时间资源；对于行为策略模型来说，指的是求解包含随机性与不确定性，满足特定目标的行为策略所消耗的时间资源。量纲为时间单位，如秒（s）、分钟（min）、小时（h）等。

* + 1. 全过程时间

电力物联网数据-机理融合模型在应用时，从采用前到获得计算结果，全过程所消耗的时间资源。一般来说，全过程时间通常包含：数据预处理时间、训练时间、计算时间等三个环节，其计算公式为：

全过程时间=数据预处理时间+训练时间+计算时间

* + 1. 计算时间复杂度

电力物联网数据-机理融合模型在给定条件下，完成指定计算任务的执行算法所需要的计算时间的量级。表述形式用*O*()及括号内部有关*n*的多项式进行表述，如*O*(*c*)表示常数时间复杂度，O(log *n*)表示对数时间复杂度。

需要注意的是，计算时间复杂度与7.1.3计算时间，是对同一过程的时间效率的两个不同评价指标。其中，计算时间是一个定量指标，同一融合模型在同一条件下，各次运行的计算时间可能存在差异，必须运行后才能得到其精确值；计算时间复杂度是一个定性指标，同一融合模型在同一条件下，其计算时间复杂度必定是一致的，可以通过理论分析直接得到。在不具备运行的条件下，评判两个融合模型的计算过程的时间效率，可以简单地对比二者的计算时间复杂度得到。

* 1. 空间效率

空间效率与模型占用存储空间相关，用以评估电力物联网数据-机理融合模型在应用全过程各阶段，所占用的空间资源。应包括但不限于以下评价指标：

* + 1. 训练数据存储空间

电力物联网数据-机理融合模型在数据驱动阶段训练开始前，存储用以获取经验、规律、模式等的训练数据所占用的空间资源。一般来说，指的是用以迭代更新人工神经网络的网络参数的训练集，或用以迭代更新智能体价值、策略、环境模型的训练集所占用的空间资源。量纲为信息单位，如字节（B）、千字节（kB）、兆字节（MB）、吉字节（GB）等。

* + 1. 训练空间

电力物联网数据-机理融合模型在数据驱动阶段，从大量数据中获取经验、规律、模式等所占用的空间资源。一般来说，指的是机器学习方法的训练过程中，存储训练数据以外的计算数据所占用的空间资源，例如强化学习中经验回放过程，存储训练中实时产生的状态、动作、奖励等值所占用的空间资源。量纲为信息单位，如字节（B）、千字节（kB）、兆字节（MB）、吉字节（GB）等。

* + 1. 计算空间

电力物联网数据-机理融合模型在给定条件下，完成指定计算任务所占用的空间资源。对于外部特性模型来说，指的是给定若干已知物理参数或计算参数，求解与之关联的其它物理参数或计算参数所占用的空间资源；对于运行控制模型来说，指的是给定运行场景与运行目标，求解控制策略所占用的空间资源；对于行为策略模型来说，指的是求解包含随机性与不确定性，满足特定目标的行为策略所所占用的空间资源。量纲为信息单位，如字节（B）、千字节（kB）、兆字节（MB）、吉字节（GB）等。

* + 1. 计算空间复杂度

电力物联网数据-机理融合模型在给定条件下，完成指定计算任务的执行算法在运行时占用存储空间大小的量度。表述形式用*O*()及括号内部有关*n*的多项式进行表述，如*O*(*c*)表示常数空间复杂度，O(log *n*)表示对数空间复杂度。

需要注意的是，计算空间复杂度与7.2.3计算空间，是对同一过程的空间效率的两个不同评价指标。其中，计算空间是一个定量指标，同一融合模型在同一条件下，各次运行的计算空间可能存在差异，必须运行后才能得到其精确值；计算空间复杂度是一个定性指标，同一融合模型在同一条件下，其计算空间复杂度必定是一致的，可以通过理论分析直接得到。在不具备运行的条件下，评判两个融合模型的计算过程的空间效率，可以简单地对比二者的计算空间复杂度得到。

* 1. 数据效率

数据效率与模型输入数据规模相关，用以评估电力物联网数据-机理融合模型在应用全过程各阶段，完成特定任务或达到特定目标所需的输入数据量的大小。应包括但不限于以下评价指标：

* + 1. 维度效率

电力物联网数据-机理融合模型在实际应用时，训练集的数据维度与满足给定效果的最小数据维度的比值。量纲为百分比值。维度效率反映数据驱动环节训练数据的冗杂程度。

* + 1. 训练集效率

电力物联网数据-机理融合模型在实际应用时，训练集数据条目数与满足给定效果的最小数据条目数的比值。量纲为百分比值。训练集效率反映数据驱动环节训练数据的冗杂程度。

* + 1. 数据融合效率

电力物联网数据-机理融合模型中，采用数据驱动方式对部分模型机理进行表述，所替代的单纯以物理机理方式建模时所需数据的规模，占单纯以物理机理方式建模所需数据的规模的比值。量纲为百分比值。数据融合效率反映数据-机理融合建模方式中，数据驱动方式所替代的物理机理方式的数据规模占总体数据规模的大小，代表了数据-物理两种建模方式的耦合程度。

1. 数据-机理融合模型互动性评价指标

构建电力物联网环境下数据-机理融合模型的互动性评价指标，其目的在于对电力物联网数据-机理融合模型在实际应用中的可操作性、易操作性进行评价。应包括但不限于以下评价指标：



图4 数据-机理融合模型互动性评价指标分类

* 1. 输入互动性

输入互动性，用以评估电力物联网数据-机理融合模型在模型输入上对于使用者的互动性。具体包括但不限于以下评价指标：

* + 1. 输入可调率

电力物联网数据-机理融合模型的输入数据中，可供使用者在一定范围内自行调节数值范围的数据条目占总输入数据条目的比例。在一定程度上，输入可调率越高，可认为使用者在使用融合模型时的适用范围越广，模型的输入互动性越好。量纲为百分比值。

* + 1. 输入可调空间

电力物联网数据-机理融合模型的各项输入数据，可供使用者在一定范围内自行调节数值的范围；对于不同的输入数据，输入可调空间可能不同。当某项输入数据的输入可调空间为空集时，认为该输入数据不可调（例如某些模型中的固定输入参数）。在一定程度上，输入可调空间越大，可认为使用者在使用融合模型时的自由度越高，适用范围越广。

* + 1. 输入可视化率

电力物联网数据-机理融合模型的输入数据中，数据可视化展示的数据条目占总输入数据条目的比例。

* + 1. 输入数据信息比

电力物联网数据-机理融合模型的各项输入数据中，携带建模所需信息的数据量，与输入数据总数据量的比值。对不同的输入数据，输入数据信息比可能不同。具体来说，建模所需信息应包括：已知的物理参数或计算参数、给定的运行目标或运行场景、随机性或不确定性的描述等。原始数据应用到数据-机理融合模型前，需要经过一定的预处理并符合一定的形式规范，因此可能会在原有的携带信息的数据上，额外增加并不携带信息，仅用于传输、规范性等方面的数据量。输入数据信息比反映了输入数据中所含真实信息的占比，及输入数据的冗杂程度。

* 1. 输出互动性

输出互动性，用以评估电力物联网数据-机理融合模型在模型输出上对于使用者的互动性。应包括但不限于以下评价指标：

* + 1. 输出可调性

电力物联网数据-机理融合模型的某项输出数据，是否能通过改变某些输入数据的取值范围，来达到改变输出数据的取值范围的目的。在特定的运行目的下，使用者可能期望通过改变某些输入数据的取值，使输出数据在现有的基础上发生一些变化。输出可调性反映的，即是此类情况下，使用者能够通过简单改变输入数据，达到使用目的的难易程度。与输入可调率不同，可调节的输入数据可以直接进行调节，而可调节的输出数据必须通过输入数据的调节进行间接调节，因此以“可调性”而非“可调率”进行表述。

* + 1. 输出可视化率

电力物联网数据-机理融合模型的输出数据中，数据可视化展示的数据条目占总输出数据条目的比例。

* 1. 调试互动性

调试互动性，用以评估电力物联网数据-机理融合模型在模型调试上对于使用者的互动性。应包括但不限于以下评价指标：

* + 1. 可调试环节占比

在电力物联网数据-机理融合模型的全过程，即数据存储、模型构建、数据预处理、模型训练、执行计算任务等环节中，存在中间变量输出，且可以对其单独进行调试的环节占总环节的比值。建模中可能存在数据与物理相继耦合，解耦困难的问题，该指标反映了融合模型可供使用者在运行错误情况下，分环节进行调试查错的能力。

* + 1. 中间变量数据占比

在电力物联网数据-机理融合模型的全过程，即数据存储、模型构建、数据预处理、模型训练、执行计算任务等环节中，存在的中间变量所对应的数据量，占输出数据的数据总量的占比。中间变量数据占比反映了融合模型最终的输出数据，是由多少中间变量数据与输入数据共同决定的，可反映模型从输入到输出的复杂程度。中间变量数据占比越低，模型从输入到输出的复杂程度越低，一定程度上模型的调试互动性越好。

1. 数据-机理融合模型泛化性评价指标

数据-机理融合模型泛化性评价指标主要对融合模型的泛化精度、泛化可靠性、泛化效率等方面进行判定。



图5 数据-机理融合模型泛化性评价指标分类

* 1. 泛化精度

电力物联网数据-机理融合模型在不同应用环境、不同输入数据、不同运行条件下模型精确性指标的变化情况。一般来说，通常用以下几个精确性指标作为泛化精度的基础指标。

* + 1. 泛化计算过程精度

电力物联网数据-机理融合模型在不同应用环境、不同输入数据下，中间计算结果的精度，反映了中间计算结果精度对应用环境、输入数据的灵敏度。

* + 1. 泛化输出结果精度

数据-机理融合模型在不同应用环境、不同输入数据下，计算输出结果的精度，反映了计算结果精度对应用环境、输入数据的灵敏度。

* 1. 泛化效率

电力物联网数据-机理融合模型在不同应用环境、不同输入数据、不同运行条件下模型高效性指标的变化情况。一般来说，通常用以下几个高效性指标作为泛化效率的基础指标。

* + 1. 泛化计算时间需求

电力物联网数据-机理融合模型在不同应用环境、不同输入数据下，完成同样的指定计算任务所消耗的时间资源的变化。泛化计算时间反映了模型在不同应用环境、输入数据下的时间效率的差异。

* + 1. 泛化计算空间需求

电力物联网数据-机理融合模型在不同应用环境、不同输入数据下，完成同样的指定计算任务所消耗的空间资源的变化。泛化计算空间反映了模型在不同应用环境、输入数据下的空间效率的差异。

* 1. 泛化鲁棒性

电力物联网数据-机理融合模型在应用环境、输入数据格式变化，以及输入数据分布漂移条件下，模型泛化精度及效率的变化情况。一般来说，通常用以下几个可靠性指标作为泛化鲁棒性的基础指标。

* + 1. 泛化兼容性

电力物联网数据-机理融合模型在不同应用环境与不同输入数据格式下应当具备可靠运行的特性，尽量减少出现计算中断或意外报错现象。

* + 1. 抗分布漂移能力

电力物联网数据-机理融合模型在输入数据发生分布漂移时应当保持相对稳定的精度与稳定性，反映了模型在不同应用环境下的适应与应对能力。