

《电力设备数值计算模型的可靠性评估及不确定性量化导则》

编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

1 主要工作过程

起草（草案、调研）阶段：

2024年10月，由重庆大学牵头，成立标准编写工作组，开启《电力设备数值计算模型的可靠性评估及不确定性量化导则》标准制定工作。工作组按照GB/T1.1—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》要求，面向高压电力设备制造企业在设计、优化中的物理场数值仿真需求，开展调研分析，明确标准核心框架、技术指标及适用场景，制定标准大纲并形成草案稿。

标准立项阶段：

2025年11月，经中国电工技术学会标准工作委员会审核审议，批准《电力设备数值计算模型的可靠性评估及不确定性量化导则》标准立项，确定该标准由中国电工技术学会高电压试验技术及开关设备标工组归口管理。

编写研制阶段：

2025年12月-2026年6月。标准编写组围绕电力设备数值计算模型可靠性评估和不确定性量化的流程、建模方法、数值验证、模型确认、不确定性量化等核心内容，开展多轮技术研讨与论证。针对草案稿中的技术细节、指标参数、条款表述等进行反复打磨，优化完善模型计算误差估计、模型修正的层次与方法、不确定性量化的计算方法等关键内容，最终形成《电力设备数值计算模型的可靠性评估及不确定性量化导则》征求意见稿，为电力设备仿真人员开展系统、标准化的数值计算模型可靠性评估和不确定性量化及相关工作提供相应技术依据。

2 主要参加单位和起草工作组人员及其所做的工作

本标准由重庆大学、西安交通大学、西安西电变压器有限责任公司、保定天威保变电气股份有限公司、北京云道智造科技有限公司、北京大学、华北电力大学、清华大学、中国电力科学研究院有限公司、全球能源互联网研究院有限公司共同负责起草。

主要成员：杨帆，廖瑞金，王嘉玮，杜振斌，王革鹏，刘兰荣，姜慧，孔祥宇。

标准编写组收集了近几年来数值仿真可靠性评估及不确定性量化的国内外相关标准和学术成果，通过对比整理分析确定了标准主要技术内容，由重庆大学牵头完成标准编制、整理和完善，其他参与单位配合并负责收集相关资料、提出建议。

二、标准编制原则和主要内容

1、标准编制原则

a. 本标准的起草遵循《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，以科学性、先进性和经济性为原则，坚持实事求是，遵守国家有关法律、法规，同时符合团体标准要求。本标准以电力设备数值计算模型可靠性评估和不确定性量化为基础，推动数值计算模型的标准化评价，提升电力装备制造行业仿真人员工作效率和设备设计优化水平，为相关从业人员提供工作依据和技术指导。

b. 采用会议讨论的形式，集合数值计算、电力设备设计、多物理场建模等不同领域的专家，系统分析电力设备数值计算模型的可靠性与不确定性评估方法框架及其各技术环节（数值验证、模型确认、不确定性量化评估）的专业技术要求，体现出标准编制的科学性、实用性和先进性。

2、标准主要内容

本标准分为 9 个章节，（1）范围；（2）规范性引用文件；（3）术语和定义；（4）符号、代号和缩略语；（5）模型可靠性评估和不确定性量化方法；（6）模型建立方法；（7）数值验证方法；（8）模型确认方法；（9）不确定性量化；（10）运行维护。主要内容如下：

模型可靠性评估和不确定性量化方法：规定了由数值仿真、实验验证和不确定性量化构成的计算模型可靠性评估和不确定性量化（VVUQ）评估 workflow 及 VVUQ 资料文档规范。

模型建立方法：明确了模型建立流程、模型的层次分类（概念模型、数学模型和计算模型）及各类模型要素。

数值验证方法：规定了数值验证的分类与流程、代码验证和计算验证的技术手段及其实施步骤。

模型确认方法：规定了模型检验的实验设计要求、检验结论判断准则以及基于实验结果的模型修正方法。

不确定性量化方法：规定了模型不确定性量化的任务、输入与输出形式、敏感度分析和不确定性计算方法

3、主要技术差异

本标准为新制度标准，无主要技术差异。

4、解决的主要问题

数值仿真在电力设备的优化设计、安全运行和及时维护中有着重要的理论和工程价值，是我国高端电力装备制造产业的核心竞争力体现之一。但是，数值仿真结果的可靠性高度依赖仿真人员的操作经验和具体应用场景。针对同一电力设备数值仿真需求，采用不同的仿真软件、建模方法和参数设置，对仿真结果有着显著的影响。通用数值仿真结果可靠性评估标准的缺乏，严重限制数值仿真结果的实际工程指导价值。

本文件针对上述问题，为电力设备多物理场仿真分析人员提供通用的数值仿真模型可靠性评估和不确定性量化操作导则，填补电力设备数值计算模型可靠性评价领域的空白，为相关从业人员提供工作依据和技术指导。

三、主要试验（或验证）情况

本标准是面向数值计算模型的基础标准，不需要进行试验或验证。

四、标准中涉及专利的情况

本标准是面向数值计算模型的基础标准，不需要进行试验或验证。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

数值仿真在电力设备的优化设计、安全运行和及时维护中有着重要的理论和工程价值，是我国高端电力装备制造产业的核心竞争力体现之一。我国现存23000余家电力装备制造企业，其中大多具有承担电力设备多物理场数值仿真工作的专业人员甚至团队，但各企业之间、乃至企业内部不同部门人员关于数值仿真的工作流程、技术手段和软件平台均有较大差异，导致对数值仿真结果的可靠性评价缺乏统一标准和通用技术手段，也使得现存的实用数值仿真模型难以高效率地拓展至新应用场景或新的自主仿真软件平台。本标准可填补我国缺乏电力设备数值计算模型可靠性评价标准化手段的空白，改善我国电力装备制造业仿真人

员工作效率，提升行业整体设计制造水平，为相关从业人员提供工作依据和技术指导，促进产业结构调整与优化升级。

六、与国际、国外对比情况

目前，我国相关领域标准化工作开展较少，尚无与本提案类似标准化对象相同的对应标准，本项目参考的、内容较相关的国内标准为《GB/T 33582-2017：机械产品结构有限元力学分析通用规则》，以结构力学的有限元仿真过程为标准化对象，规定了计算仿真、结果输出和报告撰写的通用流程和术语。本提案与上述国标及其标准化对象的差异主要在于：

(1) 标准化对象的内涵更广：本项标准化对象并不局限于机械部件的结构力学分析，适用电力设备相关的多种物理场/路耦合数值仿真，且允许使用的数值方法为包括有限元方法在内的任何数值离散算法。

(2) 标准化对象的要求不同：现有标准主要提出了有限元仿真的流程要求；本项目的标准化对象为前述标准的“产品”（即有限元仿真产生的计算模型/结果），对其可靠性和不确定性评估提出通用的技术导则。

国际上，关于数值模型可靠性和不确定性分析的研究与标准化工作由美国航空与航天协会（AIAA）、机械工程协会（ASME）等学会主导，负责起草行业标准、运营相关学术期刊《ASME Journal of VVUQ》和 VVUQ 专业年会。但这两个协会因专业背景原因，已形成的标准主要集中于计算固体力学和计算流体力学两大学科领域，而电工学科所属的国际电气与电子工程师协会（IEEE）在电磁场和以电磁现象为核心的多物理场仿真领域尚无相关标准出台。

在已有国际标准方面，以 ASME 学会为例，其在 2006 年起草了《计算固体力学 V&V 标准》（ASME V&V 10-2006），厘清了数值模型可靠性评估的标准流程和术语，取得了很好的反响。但一线工程仿真人员反映，基于 VVUQ 框架的模型可靠性评估涉及的算法技术较多，该标准在个别环节仍欠缺可执行性。因此，ASME 协会在 2012 年补充发布了《计算固体力学 V&V 概念阐释》（ASME V&V 10.1-2012），基于具体计算案例阐明数值仿真模型可靠性评估的计算过程，并进一步规划了《计算固体力学 V&V 中的不确定性量化》（ASME V&V 10.2）以及《计算固体力学 V&V 中的实验指标计算》（ASME V&V 10.3）两项补全细节的标准起草计划，以期形成具有良好可执行性的计算固体力学模型可靠性评估标准体系。在计算流体力学领域，ASME 和 AIAA 协会也开展了类似的工作，形成了与计算固体力学类似的模型可靠性评估标准体系。

考虑到电气学科的电力设备仿真制造领域，多面临以电磁场为核心的多物理

场仿真需求，本标准对标《计算固体力学 V&V 标准》(ASME V&V 10-2006)的定位，将其中概念和方法拓展至一般多物理场分析领域，希望给从事电力设备多物理场仿真的设计、科研人员提供标准化的方法框架和清晰的概念、术语定义。

标准水平为国内先进水平。

七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

在标准体系中的位置：

目前国内相关标准包括《GB/T 33582-2017：机械产品结构有限元力学分析通用规则》，以结构力学的有限元仿真过程为标准化对象，规定了计算仿真、结果输出和报告撰写的通用流程和术语。

本项目与上述国标及其标准化对象的差异在于：

(1) 标准化对象的内涵更广：本项标准化对象并不局限于机械部件的结构力学分析，适用电力设备相关的多种物理场/路耦合数值仿真，且允许使用的数值方法为包括有限元方法在内的任何数值离散算法。

(2) 标准化对象的要求不同：现有标准主要提出了有限元仿真的流程要求；本项目的标准化对象为前述标准的“产品”(即有限元仿真产生的计算模型/结果)，对其可靠性和不确定性评估提出通用的技术导则。

综上，本标准为国内现行相关标准的拓展，无不协调之处。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

标准编制过程中广泛征集了专家意见，所有意见均按照标准编制程序进行了采纳，不存在重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

建议本标准的性质为团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准批准发布2天后实施。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其他应予说明的事项

无。