

ISO 国际标准体系下电网工程数字化系统研究

周亮, 黄亦章, 刘冰洁, 戴梦云*

国网上海市电力公司, 上海, 中国

*通讯作者

【摘要】随着信息技术发展, 电网工程数字化成为技术创新与能源转型重要领域, 近年来政府部门提出推动新型电力系统等领域国际标准制定。在此背景下, 本研究聚焦 ISO 国际标准体系下电网工程数字化系统, 深入剖析 ISO 国际标准组织在该领域成果, 以电网数字化相关国际标准的主体、客体、目标、载体要素为切入点, 形成科学系统的标准体系, 反映核心要素与技术趋势, 并从管理、设计、运维多维度提出前瞻性建议, 为国际标准制定提供理论与框架支撑, 对提升我国电网工程数字化技术的国际地位具有先行作用。

【关键词】电网工程; 数字电网; ISO 国际标准; 数字技术; 系统

1.引言

电网工程的数字化始于 20 世纪末, 伴随着信息技术的快速进步, 电力系统逐步引入数字化技术以优化运行效率和提高安全性 [1]。电网是连接国家跨域电力生产者与消费者的网络体系, 数字化概念引入了电网实现了技术新探索[2]。电网工程数字化可以实时在线分析电网, 并整合所有信息, 将当前电网状态传达给生产者和消费者, 并预测未来电网状态。2024 年 3 月 18 日, 市场监管总局、中央网信办、国家发展改革委、科技部、工业和信息化部等部门联合发布《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划(2024—2025 年)》, 提出积极推动国际标准研制, 积极参加 ISO、IEC、ITU 等国际标准组织, 深入参与数字技术等重点领域国际标准化工作, 推动在新型电力系统等领域制定一批国际标准。

国际标准化组织 (ISO) 和国际电工委员会 (IEC) 等国际组织通过制定关键技术标准, 引领电网数字化的发展方向。其中, ISO 国际标准化组织 (International Organization for Standardization) 是目前世界上最大、最有权威性的国际标准化专门机构。ISO 成立于 1947 年, 其成员由来自世界各国的国家标准化团体组成, 中国是 ISO 的正式成员, 代表中国的组织为中国国家标准化管理委员会 (SAC)。目前, ISO 国际标准化组织 (International Organization for Standardization) 发布的国际标准覆盖数字化、智能化的行业通用和专用标准研究, 这些标准研究涵盖了电力生产、供应、管理以

及数字化技术应用的多个方面。

电网数字化研究已成为电网工程领域的热点课题, 相关技术的发展集中在数字孪生、人工智能、大数据和区块链等方向, 这些技术在支持电网全生命周期管理、提升智能化水平、优化资源配置方面发挥了重要作用。如, Zhou, H 等人提出基于边缘计算的智能电网中计算卸载与服务缓存联合优化方法, 满足电力物联网在实际应用中的低延迟与高可靠性需求[3]。Mazhar, T 等人分析人工智能与机器学习技术在智能电网物联网应用中的核心挑战及解决方案, 旨在助力开发融合 AI、IoT 与智能电网的优化框架[4]。Mazhar, T 等人结合机器学习与区块链技术, 系统分析智能电网三层架构面临的网络安全攻击类型, 并提出针对性的分层防护解决方案框架[5]。陆健等论述了含有分布式光伏新能源的配电网系统运行结构和模型, 构建了配电网自愈控制的含混合整数的随机规划模型[6]。唐文虎等提出了分布式智能电网的组织方式、结构形态与控制框架, 从物理层、信息层、价值层探索了分布式智能电网的技术体系[7]。

电网工程数字化在国内外已成为技术创新与能源转型的重要领域, 呈现出标准化、智能化、绿色化、安全化和国际化发展的趋势。“智能电网 (Smart Grid) [8]”“数字孪生 (Digital Twin) [9]”“分布式能源 (Distributed Energy) [10]”“电力自动化 (Power Automation) [11]”“能源管理系统 (Energy Management System, EMS) ”“区块链技术 (Blockchain Technology) ”“电网

互操作性（Grid Interoperability）”“电网通信协议（Grid Communication Protocols）”“电力系统建模（Power System Modeling）”等研究主题也占有很大的权重，这些关键词的出现反映了电网工程数字化的多维度特性和重要意义，涵盖了技术标准、智能化应用、新兴技术、安全与标准化以及可持续发展等多个方面。

本研究通过全面系统地开展电网工程数字化 ISO 国际标准体系研究，深入研究 ISO 等国际标准组织在电网数字化领域的研究成果，从电网数字化相关 ISO 国际标准的主体要素、客体要素、目标要素、载体要素为切入点，形成一套科学系统、层次分明的电网数字化标准体系，反映当前 ISO 国际标准体系下电网数字化发展的核心要素和技术趋势，为国际标准的制定提供坚实的理论基础和框架支撑，电网工程数字化 ISO 国际标准体系研究框架见图 1；此外，研究从项目管理、系统设计、智能运维多维度提出前瞻性建议，为电网工程数字化 ISO 国际标准的制定和研究提供明确的方向和路径。研究对于推动我国电网工程数字化技术的国际化发展、提升国际竞争力、保障国家利益和促进电网现代化具有重要意义。

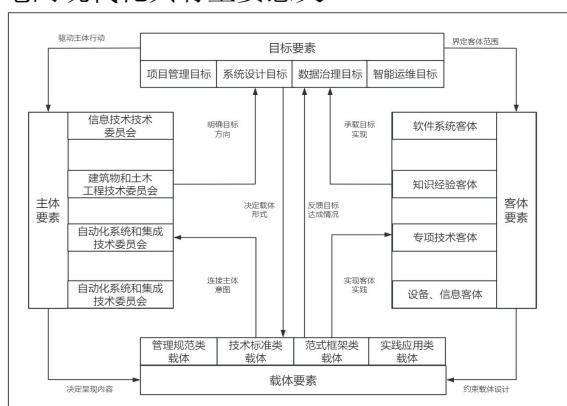


图 1. 电网工程数字化 ISO 国际标准体系研究框架图

2. 电网工程数字化 ISO 国际标准体系主体要素

ISO 国际标准体系下电网工程数字化的主体要素主要指向 ISO 技术委员会，主要主体有 ISO/IEC JTC 1 信息技术技术委员会、ISO/TC 59 建筑物和土木工程技术委员会、ISO/TC 184 自动化系统和集成技术委员会和 ISO/TC 268 可持续发展的城市和社区技术委员会。其他技术委员会如 ISO/TC 176 质量管理与质量保证、ISO/TC 267 设施管理、

ISO/TC 258 项目、项目群和项目组合管理技术委员会等主体编制的标准也有部分涉及电网工程数字化。

2.1 信息技术主体

ISO/IEC JTC 1 是国际标准化组织（ISO）与国际电工委员会（IEC）于 1987 年联合成立的信息技术领域唯一标准化技术委员会，秘书处设在美国 ANSI，负责制定和维护信息技术领域的国际标准，涵盖图形字符集、通信、软件工程、数据交换、识别卡、程序设计语言、信息技术安全等广泛领域，已发布 3600 多项 ISO 标准，对推动信息技术发展和其国际标准化进程发挥关键作用。

在 ISO/IEC JTC 1 信息技术技术委员会中，和电网数字化研究密切相关的分技术委员会有 SC 6（系统之间的电信和信息交换）、SC 7（软件和系统工程）、SC 25（信息技术设备互联互通）、SC 32（数据管理和交换）、SC 31（自动识别和数据捕获技术）、SC 38（云计算和分布式平台）、SC 41（物联网和数字孪生）、SC 42（人工智能）等。

电网数字化相关标准外部合作的编制机构有韩国技术与标准局、欧洲标准化委员会、IEEE 计算机学会、IEEE 计算机协会系统和软件工程标准委员会、IEEE 电气电子工程师学会等，如 ISO/IEC/IEEE 12207:2017 软件生命周期过程标准，由 SC 7 软件和系统工程委员会与 IEEE 计算机协会系统和软件工程标准委员会合作编写；ISO/IEC/IEEE 23026:2023 系统、软件和服务信息网站的工程和管理标准，由 SC 7 软件和系统工程委员会与国际电工委员会（IEC）、电气电子工程师学会（IEEE）三者联合编制。

2.2 建筑物和土木工程技术主体

ISO/TC 59 建筑物和土木工程技术委员会是国际标准化组织（ISO）于 1947 年设立的负责建筑与土木工程领域标准化工作的核心技术委员会，秘书处设在挪威。TC 59 下设 SC 2（语言协调与术语化）、SC 13（建筑信息模型与数字化）、SC 17（建筑可持续性）等 10 个分技术委员会，覆盖术语标准、模数协调、性能要求、BIM 技术应用及韧性设计等关键领域，已制定发布 140 余项国际标准。其标准在全球建筑与土木工程领域广泛应用，助益技术创新与管理规范化。

ISO/TC 59 下分技术委员会中，和电网数字化密切相关的主要是 SC 13 建筑信息模

型（BIM）技术委员会，其专注于建筑和土木工程信息组织与数字化，通过制定 BIM 技术的国际标准，如数据交换格式、信息管理流程及协同工作平台规范等，推动全球 BIM 技术的规范化应用与互操作性发展。SC 13 与 building SMART International（国际建筑信息模型协作联盟）等国际权威组织合作，共同推进 BIM 技术发展，重要成果如 ISO 19650 系列国际标准，显著提升了建筑和土木工程领域的设计、施工与管理效率，对行业信息化、数字化进程产生了深远影响。

电网数字化相关标准外部合作的编制机构主要是欧洲标准化委员会（European Committee for Standardization，简称 CEN），是西欧国家为主体、由各国家标准化机构组成的非营利性国际组织，属于欧洲三大标准化机构之一。SC 13 建筑信息模型（BIM）技术委员会与欧洲标准化委员会合作编制的标准有 ISO 23386:2020《建筑中使用的建筑信息模型和其他数字过程 - 在互连的数据字典中描述、编写和维护属性的方法》、ISO 21597《用于链接文档传递的信息容器 - 交换规范》、ISO 19650《有关建筑物和土木工程的信息的组织和数字化，包括建筑信息模型（BIM）- 使用建筑信息模型进行信息管理》的第 3-6 部分，囊括资产运营、信息交换、信息管理等内容。

2.3 自动化系统和集成技术主体

ISO/TC 184 自动化系统和集成技术委员会是国际标准化组织（ISO）于 1983 年设立，秘书处设在法国，下设 3 个分技术委员会，涵盖工业网络和物理设备控制、工业数据、企业系统和自动化应用等关键领域，已制定包括工业数据、集成制造、企业建模、数控机床、机器人接口等在内的已发布 900 多项 ISO 标准，在全球广泛应用，有力推动了自动化领域的技术创新与产业升级。

在 ISO/TC 184 自动化系统和集成技术委员会中，和电网数字化研究密切相关的分技术委员会主要是 SC 4（工业数据）、SC 5（企业系统和自动化应用的互操作性、集成和架构）。SC 4 专注于工业数据的表达与交换、管理与共享及相关一致性测试的标准化工作，是国际数字孪生标准化的主要机构之一。SC 5 主要负责工业自动化领域中企业系统与自动化应用在互操作性、集成方面的标准化工作，旨在促进企业系统集成、跨部门协同及供应链管理，支持智能制造与数字化

业务协作。

电网数字化相关标准外部合作的编制机构主要是 IEC/TC 3（信息结构、文档和图形符号）委员会，该机构是国际电工委员会（IEC）成立最早的技术委员会之一，其工作范围涵盖信息表示方法、计算机信息处理规则、标识系统与安全规则三大领域。在电网数字化领域与 ISO/TC 184 合作编制的标准主要是 ISO 10303 工业自动化系统和集成-产品数据表示和交换-第 212 部分：应用协议：电工设计和安装。

2.4 可持续发展城市和社区技术主体

ISO/TC 268 可持续发展城市和社区技术委员会是 ISO 于 2012 年设立的，秘书处设在法国，涵盖城市可持续发展管理体系、评价指标、智慧城市战略、可持续性与交通等关键领域，已发布 60 项 ISO 标准。

在 ISO/TC 268 可持续发展城市和社区技术委员会中和电网数字化研究主题密切相关的分技术委员会主要是 SC 1（智能社区基础设施）。SC 1 主要负责制定智慧城市与社区基础设施领域的国际标准，涵盖能源、交通、通信网络等关键公共设施的智能化评估指标及数据交换框架。

电网数字化相关标准一般由 SC 1 智能社区基础设施小组委员会独立编制，如 ISO 37160:2020 智能社区基础设施-电力基础设施-火电基础设施质量的测量方法以及电厂运营和管理的要求。

3.电网工程数字化 ISO 国际标准体系客体要素

客体要素主要阐述的是电网工程数字化 ISO 国际标准的研究对象。根据对以上四大主体要素相关标准的分析，归纳出和电网数字化相关的四类标准，分别是软件系统、知识经验、专项技术和设备及信息客体。

3.1 软件系统客体

在电网数字化领域，软件系统客体指支撑电网全生命周期管理（规划、建设、运行、维护）的各类软件工具与平台，涵盖从底层数据采集到上层决策支持的完整技术链条。其核心标准聚焦于系统互操作性、数据一致性及功能集成性。

例如，ISO/IEC 26550:2015《产品线工程和管理的参考模型》，提供了一个由软件和系统产品线工程和管理的关键流程以及流程之间的关系的抽象表示组成的参考模型，用于创建具有不同层级和颗粒度的软件和系

统产品线工程的标准。ISO/IEC 23396:2020《审查工具的功能》，定义了系统和软件工程中审查工具的核心功能要求，定义了一般评估选择流程和评估特征，适用于项目数量超过1000个的大规模开发项目，以及中小型项目，用于提升审阅工作效率和提高审阅质量。

3.2 知识经验客体

知识经验客体指电网数字化过程中积累的隐性知识显性化成果，包括操作规程、故障案例库、优化算法模型等。其核心标准聚焦于知识结构化、共享机制及持续更新，通过标准化语言实现知识共享与传承，加速经验向生产力的转化。

例如，ISO/IEC TR 19759:2015《软件工程知识体系指南（SWEBOK）》，为软件工程学科提供一个经过共识验证的标准化知识体系，知识体系被细分为需求、设计、测试、质量管理等15个软件工程知识领域。ISO/TR 16214:2025《地理空间与建筑信息模型（BIM）术语条目综述》梳理和比较建筑信息模型（BIM）与地理信息（GIS/地理信息学）两个领域中的术语条目。通过统一术语理解，为BIM与GIS在数据互通、系统协同等方面的融合提供基础支撑。

3.3 专项技术客体

专项技术客体聚焦电网数字化中的特定技术领域，如通信协议、数据安全、边缘计算等。其核心标准聚焦于技术细节的规范化、性能指标的可量化及兼容性保障，旨在解决电网新技术落地中的“最后一公里”问题。

例如，ISO/IEC 30144:2020《物联网（IoT）-支持变电站的无线传感器网络系统》，提出了适用于变电站环境的无线传感器网络（iWSN）架构，强调系统的安全性、可靠性、互操作性与可扩展性，通过无线节点对电气设备和环境的监控，提高数据获取效率。ISO/TR 24464:2025《数字孪生的可视化元素——可视化保真度》，聚焦于物理实体（PTw）与数字孪生体（iDTw）之间的“孪生接口”分析工业数字孪生（iDTw）系统的整体结构，提出一个系统架构模型，重点研究数字孪生中可视化元素及其保真度的特性。

3.4 设备、信息客体

在电网数字化领域，设备与信息客体指支撑电网物理系统与数字系统协同运行的实

体设备及其承载的信息资源，涵盖从底层硬件到上层数据流的完整技术生态。其核心标准聚焦于设备互联的标准化接口、信息交互的语义一致性，以及设备-信息融合的安全性，旨在解决电网数字化转型中“物联”与“数联”的协同问题。

例如，ISO 10303-212:2001《工业自动化系统和集成 - 产品数据表示和交换 第 212 部分：应用协议：电工设计和安装》，定义了电工系统在工程设计、安装和调试阶段所需的产品数据及信息表达方式，适用于包括输电、配电、发电、工业电气机械、建筑照明、电热系统及控制自动化等场景 ISO/TS 10303-1665:2006《工业自动化系统和集成 - 产品数据表示和交换 - 第 1665 部分：应用模块：电网定义》，对电气网络进行建模与表达规定，适用于电力系统、自动化控制及电子产品中的电网结构建模与数据交换。

4.电网工程数字化 ISO 国际标准体系目标要素

目标要素主要阐述的是电网工程数字化 ISO 国际标准的研究目标和预期效果。根据对相关标准的分析，归纳出和电网数字化相关的四类目标，分别是项目管理、系统设计、数据治理和智能运维目标。

4.1 项目管理目标

项目管理目标主要明确电网数字化标准制定与实施过程中的项目管理核心方向，确保项目按计划、高质量、合规性推进。和电网数字化相关的标准在项目管理领域的目标聚焦于知识、信息、质量、资产、流程、运营、协同管理等维度。

例如，在知识管理方面，ISO/IEC 20924:2024《物联网（IoT）和数字孪生-词汇》，定义了物联网与数字孪生领域中的关键术语和定义，旨在统一相关技术领域的语言体系，促进不同行业和系统间的互操作性与信息交流。ISO/IEC 5339:2024，《信息技术 - 人工智能 - 人工智能应用指南》旨在为人工智能（AI）系统的开发与应用提供宏观指导，帮助各利益相关者全面了解AI应用的背景、关键特征及生命周期。

在全生命周期中各方的信息管理方面，ISO 29481《建筑信息模型 - 信息交付手册》的第一部分（方法与格式）规定了在建筑工程全生命周期中，将业务流程与所需信息规范相联系的方法，以及对信息过程进行映射和描述的标准方式；第二部分（交互框架）

界定了各参与方之间协调行为的描述方法与结构化格式，有助于提高信息交换准确性与可靠性，提升项目管理效率与质量。ISO 19650《有关建筑物和土木工程的信息的组织和数字化，包括建筑信息模型（BIM）-使用建筑信息模型进行信息管理》规定了在建筑资产的交付、营运等阶段，如何通过建筑信息模型（BIM）进行信息管理流程的组织与协作，标准明确了信息生成、交换、协调及交付的要求。

4.2 系统设计目标

系统设计目标主要是构建电网数字化相关系统的技术架构与设计原则，支撑高效、稳定、可扩展的数字化服务。

例如，ISO/TS 10303-1638:2010《ISO/TS 10303-1639: 2010 工业自动化系统和集成-产品数据表示和交换-第 1639 部分：应用模块：带电缆组件 3D 的装配模块》，规范了带电缆组件的装配模块的 3D 应用模块，用于产品设计过程中建模和表示包含线缆与连接器的三维装配结构。该标准适用于复杂电子电气系统中线缆布线与连接器装配的三维设计，广泛应用于工业设备、自动化系统、建筑电气等领域的设计与制造流程中，支持产品数据在不同系统间进行高效、准确的交互。ISO/TS 10303-1845:2024《工业自动化系统和集成-产品数据表示和交换-第 1845 部分：应用模块：电线电缆设计连接》规定了电线电缆设计连接应用模块，用于产品设计中对电线电缆的原材料识别、使用实例、终端定义、终端分组及相关连接关系进行建模与信息交换，适用于电气系统中电线电缆的系统设计场景。

4.3 数据治理目标

数据治理目标主要规范电网数据全生命周期管理，提升数据质量、数据交互、信息安全与价值挖掘能力，促进数据的兼容性和互操作性。

数据流程管理方面，ISO/IEC 5212:2024《信息技术-数据使用-数据使用指南》为组织、个人及系统提供数据使用框架，涵盖系统完整性、数据质量、用户功能及组织治理等要素，实施数据治理以平衡数据价值挖掘与风险管控。ISO/IEC 24668:2022《信息技术-人工智能-大数据分析的流程管理框架》定义了一个大数据分析流程参考模型（BDA PRM）及流程评估模型（BDA PAM），涵盖组织利益相关者管理、能力发展、数据管

理、分析开发和技术集成五大流程类别，以实现更科学的决策。

数据信息的交互共享方面，ISO 23386:2020《建筑中使用的建筑信息模型和其他数字过程-在互连的数据字典中描述、编写和维护属性的方法》规范了建筑信息模型（BIM）中属性及属性组的定义、创建和维护方法，实现 BIM 跨系统情境下数据字典互操作性，确保数据一致性、唯一性和可重用性。ISO 7817-1:2024《建筑信息模型-信息需求水平-第 1 部分：概念和原则》旨在为参与各方提供一个统一的信息理解和交付框架，确保在合适的时间传递恰当数量和质量的建筑信息，以支持验证与确认流程，提升协作效率和信息互操作性。ISO 23387:2025《建筑信息模型（BIM）——资产生命周期中使用对象的数据模板》定义了数据模板的概念、在数据字典中创建与维护方法，通过数据模板实现 BIM 标准化与机器可读性，提升信息互操作性及协同效率。

数据质量方面，ISO 8000 Data quality《数据质量》是一套关于数据质量管理的国际标准系列，旨在为提升各类数据的数据质量提供通用框架和实施指南。该系列标准覆盖数据生命周期的各个阶段，定义了与数据质量相关的关键特征（如准确性、完整性、一致性等），并提供了数据治理、质量管理、质量评估等方面的规定与方法。目前该系列标准中已有 27 个子标准已发布，仍有 5 个标准正在制定中，涉及交易数据、传感器数据、智能制造 AI 训练数据质量。

4.4 智能运维目标

智能运维目标主要利用 AI、物联网等技术实现电网运维的自动化、预测性与自愈能力。

例如，ISO 37160:2020《智能社区基础设施-电力基础设施-火电基础设施质量的测量方法以及电厂运营和管理的要求》为火电基础设施在运行阶段的质量评估方法和运营、管理要求提供了明确规范，旨在通过科学的测量体系和优化运营手段，实现电力供应的安全性、经济性、环保性（3E+S）发展目标。ISO/IEC 30144:2020《物联网（IoT）-支持变电站的无线传感器网络系统》支持设备状态监测、故障诊断、运行优化等重要功能，适用于智能电网中的各种变电站运维场景。

5.电网工程数字化 ISO 国际标准体系载体要

素

载体要素是电网数字化技术落地与推广的核心支撑，涵盖管理、技术、范式框架及实践应用四个层面，通过规范化、标准化、结构化和场景化的手段，推动技术成果转化成为实际生产力。

5.1 管理规范类载体

在电网数字化领域，管理规范类载体指向为保障技术实施合规性、效率性和可持续性而制定的制度性文件与流程体系。

ISO/IEC 42001:2023《信息技术-人工智能-管理系统》，为组织在开发、使用、监控或提供人工智能系统的过程中，建立、实施和持续改进人工智能管理系统（AIMS）提供标准要求和指导。该标准特别针对人工智能特有的风险与挑战，如自动化决策的不透明性、持续学习带来的行为变化、数据质量与系统可信度等问题，强调通过风险管理、生命周期管理、数据治理等关键过程确保AI系统的安全性、公平性与透明性。ISO 19650 标准的第6部分 ISO 19650-6:2025《健康和安全信息》，强调了从项目开始阶段就实现健康与安全信息的数字化管理，提出一个信息循环框架，为全生命周期各相关方提供一致透明的标准化信息管理办法。

5.2 技术标准类载体

技术标准类载体是电网数字化领域的技术语言与规则体系，通过统一数据格式、接口协议、测试方法等，保障技术互操作性与可扩展性。

ISO 16757《建筑服务电子产品目录的数据结构》第1部分：概念、体系结构和模型，为建筑服务产品的电子目录提供标准化的数据结构和元模型，支持参数化选择、依赖关系建模、产品组成结构定义以及几何建模等关键功能，以实现产品数据在软件应用程序之间的自动交换与集成。第2部分：几何图形标准，定义建筑服务产品几何信息的建模方法和规范，优化了产品形状、符号图形、功能空间、可视化表面和连接端口的表达，并采用构造实体几何（CSG），结合布尔操作构建边界表示，以支持产品目录数据的标准化交换。ISO/IEC 11518-1:1995《信息技术-高性能并行接口-第1部分：机械、电气和信令协议规范（HIPPI-PH）》，为数据处理设备之间的高效单工高性能点对点接口提供了机械、电气和信号协议规范，通过在物理层和数据框架层提供通用接口来促进计算

机系统的开发和使用。

5.3 范式框架类载体

范式框架类载体是电网数字化相关技术的结构化方法论与架构模型，通过提供可复用的设计模式与实施路径，加速技术规模化应用。

ISO/IEC/IEEE 12207:2017《软件生命周期过程》，为软件生命周期流程建立了一个通用框架，适用于软件系统、产品和服务的获取、供应、开发、运营、维护和处置。ISO 12911:2023《有关建筑物和土木工程的信息的组织和数字化，包括建筑信息模型（BIM）——BIM 实施规范框架》建立一个用于制定建筑信息模型（BIM）实施规范的结构化框架“RASE”——需求（Requirement）、应用（Application）、选择（Selection）和例外（Exception），采用统一且可检查的格式，使 BIM 实施规范既便于人工理解，也可被自动化系统处理，明确信息管理和交付过程中的组织要求，支持交付成果的检查与验证。

5.4 实践应用类载体

实践应用类载体是电网数字化技术的具体落地场景与成果展示平台，通过实际项目验证技术有效性并推动产业化。

ISO/IEC 8506:2024《信息技术 - 自动识别与数据采集技术-AIDC 在工业建筑中的应用》规定了 AIDC 技术在工业建筑全生命周期中的标准化应用框架，涵盖项目唯一标识、数据格式、载体选择及接口协议等核心要求。主要内容包括：为工业建筑物品提供唯一标识符，明确语义与数据语法规范，指定不同类别、替代品及尺寸项目的适配数据载体，提出项目元数据建议，规定基于科学抽样的应用测试方法与参数，定义业务系统与 AIDC 接口的信息服务协议，并为设计师、工程师、维护人员等提供日常操作指导。ISO 37106:2021《可持续城市和社区-关于建立可持续社区智慧城市运营模式的指南》，提供了针对城市和社区管理者的指导，帮助其构建一个开放、协作、以人民为中心并借助数字化手段运作的智慧城市运营模式，强调通过技术与数据的创新性应用，结合组织变革，提升城市在效率、响应力与决策能力方面的表现。

6.结论与展望

6.1 研究结论

ISO 国际标准体系下，电网工程数字化

相关研究标准的主体要素在专业领域呈现多元、交叉的特征，遍布技术信息、建筑土木工程、自动化系统集成和可持续发展城市等领域；子领域主体范围主要涉及电信和信息交换、软件和系统工程、信息技术设备互联互通、数据管理和交换、自动识别和数据捕获技术、云计算和分布式平台、物联网和数字孪生、建筑信息模型、工业数据、企业系统和自动化集成和架构、智能社区基础设施等，通过主体内部专项标准研究和外部力量等各主体要素协同合作，有力推动电网工程数字化的标准化进程与技术创新。

客体要素明确了电网工程数字化 ISO 国际标准的研究对象，分别为软件系统、知识经验、专项技术和设备及信息四类客体。软件系统客体围绕电网全生命周期管理软件，聚焦系统互操作性等核心标准；知识经验客体涵盖隐性知识显性化成果，注重知识结构化等标准；专项技术客体聚焦特定技术领域，强调技术细节规范化等标准；设备、信息客体涉及实体设备与信息资源，关注设备互联标准化接口等标准，共同为电网工程数字化国际标准体系提供支撑。

目标要素围绕电网数字化“管理-系统-数据-运维”全链条构建，通过项目管理保障落地效率，系统设计支撑技术可行性，数据治理挖掘数据价值，智能运维提升运营能力，最终实现电网安全、高效、智能的数字化转型。不同主体目标导向侧重点不同，信息技术主体侧重于实现技术层面的智能高效、安全、可靠、兼容和可扩展性；建筑物和土木工程技术主体聚焦侧重于实现信息质量的准确和安全，以及信息传递的有序、高效和共享；自动化系统和集成技术主体聚焦跨域，侧重于攻关跨系统、跨项目协作，利用数字化提升协同效率；可持续发展城市技术主体目标侧重于提升城市、社区、基础设施运行管理的智能化水平、韧性和可持续性。

载体要素作为电网数字化技术落地与推广的核心支撑，从管理、技术、范式框架及实践应用四个层面发力，管理规范类载体以制度性文件与流程体系保障技术实施合规和高效；技术标准类载体通过统一技术规则，确保技术标准化、参数化、互操作性与可扩展性；范式框架类载体提供结构化方法论与架构模型，加速技术规模化应用；实践应用类载体以应用场景为依托，验证技术有效性

并推动创新应用。各类载体相辅相成，为电网数字化技术的全面落地与广泛应用筑牢根基。

6.2 研究展望

通过 ISO 国际标准体系下电网工程数字化相关标准研究，对未来针对该领域的 ISO 国际标准制定从管理、设计和运维维度提出展望。

项目管理方面，制定针对电网工程全生命周期的数字化管理标准，涵盖规划、设计、施工、运维各阶段的数据采集、存储与共享规范，确保电网资产的全息化追踪与价值最大化。同时，针对电力设施设备的数字化管理互操作性，建立统一设备状态监测、故障诊断等数据的接口协议与语义模型，推动跨厂商设备数据的实时同步。此外，强化数字化管理数据安全与隐私保护，细化电网数据分类分级保护机制，为保障电网数据安全的关键。

系统设计方面，构建电网数字化软件系统工程框架，融合基于模型的系统工程（MBSE）方法，规范电网实时仿真软件与物理系统的闭环交互，推动电网软件模块化设计与插件式架构的标准化。针对智能电网设施设备的数字化集成与交互，应制定设备间通信协议与物联网协议的互操作规范，支持基于数字孪生的设备虚拟调试与协同控制，促进异构设备的无缝对接。同时，细化 AI 和 ML 技术在电力数字化软件中的集成标准，明确数据质量要求、模型可解释性及风险控制，推动 AI 算法在电网负荷预测、设备优化调度等场景的标准化应用。

智能运维方面，建立电力数字化审查评价的全面性和系统性评估指标体系，覆盖电网设备健康指数、运维仿真评估及碳足迹追踪等多维度指标，为电网运维绩效提供量化依据。针对电力数字化过程中的风险，制定风险评估与应急响应标准，明确攻击面分析、防御策略优化及应急演练的流程，提升电网数字化系统的韧性。此外，将电力基建数字化移交和评价实践上升为国际标准，明确移交内容、格式及验收流程，解决跨国电网工程中的数据壁垒问题，促进全球电网数字化的协同发展。

参考文献

- [1]汪际峰, 吴小辰, 林火华, 等.数字电网的概念、特征与架构[J].南方电网技术,

- 2023, 17 (12) : 36-41+89.
- [2]李鹏, 习伟, 蔡田田, 等.数字电网的理念、架构与关键技术[J].中国电机工程学报, 2022, 42 (14) : 5002-5017.
- [3]Zhou H, Zhang Z, Li D, et al. Joint optimization of computing offloading and service caching in edge computing-based smart grid [J]. IEEE Transactions on Cloud Computing, 2022, 11(2): 1122-1132.
- [4]Mazhar T, Irfan H M, Haq I, et al. Analysis of challenges and solutions of IoT in smart grids using AI and machine learning techniques: A review [J]. Electronics, 2023, 12(1): 242.
- [5]Mazhar T, Irfan H M, Khan S, et al. Analysis of cyber security attacks and its solutions for the smart grid using machine learning and blockchain methods[J]. Future Internet, 2023, 15(2): 83.
- [6]陆健, 邹晓峰, 李凡, 等.考虑分布式新能源及其随机性的智能电网自愈控制研究[J].电测与仪表, 2025, 62 (07) : 156-164.
- [7]唐文虎, 黄文威, 郭采珊, 等.分布式智能电网的理论发展与技术体系[J].电网技术, 2025, 49 (03) : 855-867.
- [8]Khalid M. Smart grids and renewable energy systems: Perspectives and grid integration challenges [J]. Energy Strategy Reviews, 2024, 51: 101299.
- [9]Mchirgui N, Quadar N, Kraiem H, et al. The applications and challenges of digital twin technology in smart grids: A comprehensive review [J]. Applied Sciences, 2024, 14(23): 10933.
- [10]王宇倩, 李军祥, 徐敏.区块链框架下基于前景理论的微网分布式能源协同优化[J].系统工程理论与实践, 2022, 42 (09) : 2551-2564.
- [11]金萍, 侯娟.面向新型电力系统的粗糙集和双流网络自动化物联设备故障诊断方法研究 [J]. 电测与仪表, 2024 , 61 (09) : 166-171.