低压开关设备模块化信息化设计

胡 启
南京开关厂股份有限公司 江苏 南京 210000

摘 要 低压开关设备是电力系统配电环节的核心设备，它的设计水平直接影响电力供应安全、可靠与经济运行。传统设计模式存在不少问题，比如标准化程度低、研发周期较长、运维效率不高、信息交互也不通畅，这些问题让它很难满足现代电力系统智能化发展的需求。模块化设计依靠标准化模块实现快速组合，也能灵活适配不同场景，信息化设计运用数字技术，可以对设备全生命周期进行管理，两者相互融合，是低压开关设备设计的必然方向。本文先对核心概念和设计价值做出界定，接着分析传统设计模式存在的问题及其产生原因，然后提出模块化信息化设计的具体路径，同时创建配套的保障体系，目的是为提升低压开关设备设计水平、推动电力配电系统智能化升级提供实践上的指导。

关键词 低压开关设备；模块化设计；信息化设计；智能配电

Modular and Information-Based Design of Low-Voltage Switchgear

Hu Qi
Nanjing Switchgear Co., Ltd., Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

Abstract Low-voltage switchgear is a core component of the power distribution system in electrical networks, and its design level directly affects the safety, reliability, and economic operation of power supply. Traditional design models suffer from several issues, such as low standardization, long development cycles, low operation and maintenance efficiency, and poor information interoperability, making it difficult to meet the intelligent development requirements of modern power systems. Modular design relies on standardized modules to enable rapid configuration and flexible adaptation to different scenarios; information-based design utilizes digital technologies to support full lifecycle management of equipment. The integration of these two approaches represents the inevitable direction for low-voltage switchgear design. This paper first defines the core concepts and design value, then analyzes the problems and underlying causes of traditional design models. Subsequently, it proposes specific pathways for modular and information-based design, while simultaneously establishing a supporting guarantee system. The aim is to provide practical guidance for improving the design level of low-voltage switchgear and promoting the intelligent upgrading of power distribution systems.

Key words Low-Voltage Switchgear; Modular Design; Information-Based Design; Intelligent Power Distribution

低压开关设备应用广泛，工业生产、建筑楼宇、新能源发电等领域都有它的身影，它主要负责电力分配，还能进行线路保护，同时承担故障隔离等关键功能。新能源技术不断普及，智能电网建设逐步推进，用户对这类设备需求更个性化，对响应速度要求提高，运维效率和智能化水平也有了更高标准。传统设计模式以定制为主，部件通用性不强，研发周期比较长，生产成本偏高，运维工作依赖人工经验，模块化信息化设计采用标准化模块，并且融合数字技术，能提升设计效率，功能可以灵活拓展，还能实现全生命周期智能化管理。开展低压开关设备模块化信息化设计研究，破解传统设计瓶颈，这对推动低压开关设备产业升级、保障智能配电系统稳定运行有重要现实意义。本文结合行业设计实践，系统探讨核心议题。

1 核心概念与设计核心价值

1.1 核心概念界定

低压开关设备模块化设计是指基于功能拆解与标准化理念，将低压开关设备拆解为若干具有独立功能、统一接口的标准模块，如主电路模块、控制电路模块、保护模块、辅助功能模块等，模块灵活组合与替换，满足不同用户的个性化需求。它有3个核心特征，分别是标准化、通用性、可扩展性。模块间通过标准化接口快速对接，设计和生产的复杂性得以降低。信息化设计是将数字化技术、网络技术、智能传感技术融入低压开关设备设计全流程，涵盖数字化建模、虚拟仿真、智能监测、全生命周期信息管理等环节，实现设计、生产、运维全流程的信息贯通和智能化管控。模块化设计和信息化设计不是孤

立的，两者协同融合能实现双重优势，这些优势包括模块标准化、管理数字化，从而能提升设计效能，也能提高应用效率。

1.2 设计的核心价值

模块化信息化设计能提高设计效率，标准化模块减少重复设计，借助信息化平台，模块可快速选型，模块能快速组合、仿真验证，缩短研发周期，降低设计成本。标准化模块生产方便质量管控，提高产品质量稳定性，减少定制生产误差，模块通用提升备件互换性，降低生产、库存成本。信息化设计贯通设备全生命周期信息，内置智能传感器、数据传输模块，实时采集设备运行数据，帮助运维人员预判故障，制订运维方案，提升效率，降低运维成本。模块化设计支持功能模块灵活拓展，能快速适配新能源接入、智能控制等新增需求，信息化设计让设备和智能电网实现信息交互，辅助配电系统智能化调度与协同运行，提高系统整体效能。

1.3 设计的核心原则

低压开关设备模块化信息化设计需遵循四项核心原则：①标准化原则，模块的功能定义、接口规格、尺寸参数要符合行业标准和企业规范，确保模块通用性与互换性，信息化数据格式、传输协议的统一，保障信息交互顺畅；②功能适配原则，模块划分和信息化功能配置应适配不同应用场景需求，兼顾基础功能保障、个性化功能拓展；③协同融合原则，要统筹模块化与信息化设计需求，确保模块结构设计和信息化部件安装、数据采集需求协同适配，避免两者冲突；④可靠性与安全性原则，模块选型和电路设计要保障设备运行可靠，信息化系统要有数据加密、权限管控功能，保障运行数据安全、设备操作安全。

2 传统低压开关设备设计模式现存问题及成因

2.1 现存核心问题

模块划分少，标准不完善，传统设计以定制为主，设备部件是专用设计，通用性不强，难形成标准模块，不同项目、不同设计师，设计风格相差大，同类产品的结构、接口不统一，提高了生产和维护的难度。研发时间久，设计效率低，定制设计要从方案开始，画图纸、做仿真验证，到制作原型，全程重新进行，重复工作多，设计过程靠人工经验，缺少信息化工具支持，仿真验证和优化迭代效率低，研发周期较长，响应市场需求速度变慢。信息化结合不够，全生命周期管理没做到位，多数低压开关设备没有智能传感和数据传输功能，运行状态监测靠人工巡检，无法实时了解设备运行情况，设计、生产、运维各环节信息不连贯，设计数据不能有效用到生产和运维阶段，运维决策缺少精准数据支持[1]。

2.2 问题成因剖析

成因主要有4个方面：①技术层面，模块化设计标准不完善，缺乏统一接口与尺寸规范，信息化设计技术研发不足，缺少一体化设计平台，数字建模、虚拟仿真、智能监测融合不深；②企业管理层面，部分企业设计理念滞后，仍沿用传统定制化模式，对模块化信息化设计价值认识不足，设计流程缺乏标准化管控，协同机制缺失，对设计人员能力培养不够重视；③市场层面，应用场景分散，用户个性化需求多，企业为快速响应往往倾向于定制化设计，缺乏推动模块化与标准化的动力，且不同用户对信息化功能需求差异大，增加了适配难度；④人才层面，复合型设计人才匮乏，现有设计人员多熟悉传统机械结构，对数字化建模、信息集成等跨学科知识掌握不足，相关培训体系也不健全。

3 低压开关设备模块化信息化设计路径

3.1 模块化设计：构建标准化模块体系

科学划分功能模块，按照低压开关设备核心功能拆分为标准化模块：主电路模块（断路器、接触器、母线）、控制模块（PLC、继电器）、保护模块（过载、短路、漏电）、辅助模块（计量、通信、散热）。模块划分兼顾功能独立性与通用性，确保灵活组合。制定统一的模块标准，明确功能参数、接口规格、尺寸公差、材料选型等要求，采用标准化插拔式接口，确保模块精准对接与互换，遵循GB/T、IEC等标准，提升通用性与兼容性。优化模块结构设计，采用模块化壳体提升装配便捷性，预留扩展接口支持新增功能模块灵活接入，通过结构仿真优化力学与散热性能，保障设备运行可靠[2]。

3.2 信息化设计：融入全生命周期管理

搭建数字化设计平台，整合三维建模、虚拟仿真、协同设计功能，实现低压开关设备一体化数字化设计。采用三维建模构建模块与整机数字化模型，直观呈现结构与装配关系；借助虚拟仿真开展电气、热、力学性能仿真，提前发现并优化设计缺陷；创建协同设计模块，实现电气、结构、工艺等专业人员在线协同，实时共享数据，减少设计冲突。融入智能监测功能，在关键模块内置电流、电压、温度、振动等智能传感器，实时采集运行状态数据；配备RS485、以太网、LoRa等工业通信模块，实现数据实时传输与远程监控；开发设备状态监测系统，分析处理数据，实现故障预警与状态评估[3]。

3.3 模块化与信息化协同融合设计

模块设计需考虑信息化适配，标准化模块的壳体预留传感器安装位置、数据接口和布线通道，便于信息化部件安装与数

据传输。通信模块和控制模块均设计为标准化模块，支持信息化功能灵活配置。采用信息化平台优化模块组合与选型，在数字化设计平台中建立模块库，包含各类标准化模块的参数、性能、三维模型等信息，设计人员可快速筛选并组合模块，通过虚拟仿真验证方案可行性，提升组合效率与设计准确性。利用信息化方式管控模块全生命周期，生产时为模块植入二维码或RFID唯一标识，记录生产批次、质检数据；运维阶段凭标识查询运行数据与维护记录，为更换维修提供精准支持，实现模块溯源管理与全生命周期质量管控。

3.4 典型应用场景设计适配

工业生产场景采用“主电路模块、多功能保护模块、PLC控制模块、智能计量模块和远程通信模块”组合方案，强化设备过载、短路、漏电保护功能，实现生产负荷精准计量及远程监控操作，通过信息化平台实时监测设备状态并发出故障预警，保障工业生产电力供应稳定。建筑楼宇场景采用“紧凑型母线模块、分布式控制模块、消防联动模块和能耗监测模块”组合方案，适配楼宇空间限制需求，通过信息化系统实现配电设备集中管控与能耗统计，助力建筑节能。新能源光伏、储能场景采用“防逆流保护模块、新能源接入模块、储能控制模块、智能调度模块”组合方案，适配新能源发电波动性需求，搭建信息化平台实现新能源接入与配电系统协同调度，提升能源利用效率。

4 设计实施的保障体系

4.1 强化技术保障：夯实设计基础

加大技术研发投入，支持企业和科研机构合作，开展模块化设计标准、信息化设计平台、智能传感技术等核心技术研发，突破技术瓶颈，建立技术成果转化平台，推动实验室技术快速应用到设计实践中，提升设计技术水平。创建一体化设计平台，整合三维建模、虚拟仿真、协同设计、全生命周期管理等功能，开发适配低压开关设备的模块化信息化设计工具，引入大数据、智能系统，提升设计方案的优化效率和精准性。完善技术标准体系，企业联合行业协会制定模块化设计的模块划分、接口规范、尺寸标准，明确信息化设计的数据格式、传输协议、安全规范，推动设计标准的统一与推广[4]。

4.2 完善管理保障：规范设计流程

优化设计管理流程，创建标准化模块信息化设计步骤，明确设计策划、模块选型、方案设计、仿真验证、评审验收各环节权责，建立设计变更管控办法，规范变更申请、审核、审批流程，减少设计反复修改。搭建协同设计机制，创建跨专业协作平台，实现电气、结构、工艺专业人员高效配合，建立与用户、生产厂家的协同对接机制，依托信息化平台实时共享需求与进度，提升需求对接准确度。加强设计质量管控，制定模块信息化设计质量评审标准，从模块标准化、接口适配性、功能完整性、运行可靠性等方面开展评审，采用仿真验证与样机测试双重管控，确保设计方案可行、稳定[5]。

4.3 强化人才保障：提升设计能力

创建复合型人才培养模式，对设计人员开展模块化设计专项培训，涵盖信息化工具操作、智能监测技术等，提升专业能力。通过校企合作、人才引进等方式，吸引兼具电气设计、模块化设计与数字化技术能力的复合型人才。设立创新奖励基金，对设计创新成果突出、技术突破、效率提升显著者予以表彰，完善晋升机制，增强职业归属感与工作积极性。搭建人才交流渠道，组织参加行业研讨会、案例分享会，学习先进经验，鼓励内部技术交流与协作，提升团队整体设计与协作水平。

5 结束语

低压开关设备模块化信息化设计是适配智能电网建设与新能源发展的必然趋势，对提升设计效率、保障运行可靠性、推动产业升级具有重要意义。构建标准化模块体系，融入全生命周期信息化管理，推动模块化与信息化协同融合，可有效提升设计水平与应用效能。完善技术、管理、人才、市场政策四维保障体系，为设计模式转型提供有力支撑。未来应深化技术创新，推动设计标准统一，强化复合型人才培养，助力产业高质量发展，为智能配电系统建设提供核心支撑。

参考文献

[1]蒲深.GB/T 14048.1—2023《低压开关设备和控制设备 第1部分：总则》与GB/T 14048.1—2012的差异分析[J].电器工业,2024(12):76-79.

[2]张双荣,盛建华,陈振家,等.高、低压开关设备机械特性及机械寿命一体测试仪设计与开发[J].电器工业,2024(3):36-39.

[3]杨闯,刘玉龙,邸英杰.中低压开关设备运行态势可靠性自动识别技术[J].自动化与仪表,2023,38(11):13-16,75.

[4]郭娇,李俊华.基于小波算法的开关设备高精度寿命监测方法[J].现代建筑电气,2023,14(4):1-4.

[5]唐治燕,张羽.低压开关设备和控制设备的温升试验[J].电气开关,2023,61(2):114-116.

（本文编辑 曹 阳）