一二次融合成套环网箱技术创新与应用分析

彭 昆

（江西亿晟电气有限责任公司，江西 南昌 330013）

摘 要 一二次融合成套环网箱是智能配电网建设中的关键设备，其核心特征在于将一次配电设备与二次保护、控制、监测单元进行一体化集成设计，从根本上改变了传统环网箱一二次设备分立布置的技术格局。本文系统综述了一二次融合成套环网箱的技术创新成果与工程应用进展。结果表明，采用一二次系统融合一体化环网箱能够简化原有设备外形，实现一、二次系统的有机统一，提高配电网运行安全性、便捷性和自动化程度，为未来配电网的发展提供有力保障。

关键词 一二次融合；环网箱；智能配电网；集成化设计；配电自动化

中图分类号：TM643 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.038

0 引言

配电网作为联系能源与用户之间的最后环节，其可靠性直接影响着用电质量；环网箱负责电能的分配以及故障隔离，然而传统环网箱的一次与二次设备分立设置，分别置于不同柜体中，通过电缆连接，导致占地面积大、接线多、维护困难，并且经常出现一次开关尚未坏而二次控制器已经坏了的现象。随着城市的进一步发展及分布式电源的接入，使得对配电网实时感知及快速反应的要求越来越高[1]。一二次融合环网箱是一次设备及保护控制单元集成为一个密封箱体，实现分配、保护、控制一体化。目前《12kV数字式一二次融合环网箱技术规范》（T/CES 285-2024）等标准发布实施，在多个省份进行试点示范，将相关理念付诸工程项目中。本文对相关技术进展及案例进行总结，探讨可推广价值，并提出智能化发展思路。随着数字孪生、人工智能等前沿技术的深度引入，一二次融合环网箱的智能化水平将得到全方位跃升。

1 一二次融合成套环网箱的关键技术创新

1.1 硬件集成化设计与小型化突破

硬件一体化是成套一二次环网箱最基本的革新之处，在这个环节中，将一、二次分开布置的传统模式彻底颠覆了，将一、二次在结构上以及功能上都进行了整合。对于传统的环网箱来说，其中的一次设备和二次设备都是分别布置到不同的柜子中的，并通过大量的电缆或者航插来进行连接，这样就占据了很大的面积。同时触点多，故障率高。一二次融合成套环网箱DTU间隔单元内置在开关间隔二次箱中，DTU公共单元单独设置二次柜，对电源及通信进行集约化配置，实现公共单元集中供电，间隔单元就地控制运行，减少柜间连线数量，避免了大量线缆接入导致的端子排虚接、松动等问题的发生。体积小型化是硬件集成带来的直接优势。国网宿迁供电公司自主研发的一二次融合紧凑式环网箱，体积较常规环网箱缩小45%以上。体积大幅度缩小解决了以往环网箱因为体积过大而无法适应城区内拥挤空间进行改造和建设的情况，并解决了交通路口上大体积的环网箱遮挡居民出行视线的问题。在防护设计上，数字式一二次融合环网箱也提升了重要设备的防护等级，可以更好地应对户外潮湿、腐蚀性气体等恶劣环境，减少因环境影响带来的设备故障率。硬件上的集成化、小型化的突破是实现一二次融合环网箱规模推广应用的基础[2]。

1.2 数据交互标准化与信息互通

数据交互标准化是一二次融合环网箱多装置协调工作的关键技术保障。在传统的分立模式下，各厂商一次设备及二次终端使用不同的通信协议和数据格式，设备间互联互通需进行复杂的协议转换，增加现场调试的工作量，但同时也在一定程度上造成了信息传送的时延以及失真。一二次融合成套环网箱通过统一规范的设计方式，在各设备之间预留了标准接口，实现了一次设备的即插即用，现场投入运行之后，后续对出现故障的一次设备进行替换不需要专门的软件和计

作者简介：彭昆（1988-），男，本科，工程师，研究方向：电气工程及其自动化。

算机来完成参数设置工作，从而简化了基层工作人员的操作难度。从通信协议角度出发，在行业内制定智能配电一二次融合环网箱通讯性能试验导则以及通信环境协议一致性规范，对数据传输的实时性、可靠性及安全性进行规定，并保证各厂家产品按照规范在同一平台下能够正常交换信息[3]。

1.3 保护控制协同优化与故障自愈

保护控制协同优化是衡量一二次融合环网箱智能水平的关键指标之一，其实质是对过去各自为政的保护逻辑和控制策略在一个平面上进行有机融合并协同决策。传统的环网箱中，保护是由单独的继电保护实现的，而控制则是由站所终端或者人工来执行，两者间没有信息交互和策略关联。一二次融合成套环网箱是把保护功能与控制功能都集成在同一个智能终端上，实现从故障识别、故障切除、非故障区恢复送电全过程自动完成。故障处理：针对干线故障、环网箱内故障、支线故障、通讯链路故障及断路器故障的不同故障形式，设备分别采用光差保护、母线差动保护、三段式过流保护、后加速保护、失压保护等多重保护方案，可快速准确切除不同类型的故障。具备自愈功能，即能根据故障判别结果对故障点进行定位及隔离并完成负荷监测、线路转供、带电合环转供等功能。当配电网出现故障时，装置能够快速响应，自动切除故障区段，同时恢复非故障区域的正常供电。部分先进系统已实现智能分布式馈线自动化，适应各种网架的自动化方案可以可靠快速地检测配电网各类短路故障和接地故障[4]。

2 一二次融合成套环网箱的工程应用分析

2.1 城市配电网改造中的规模化应用

城市配电网改造是目前一二次融合成套环网箱应用最成熟的场景之一。由于老城区配电网普遍面临着用地紧张、空间狭小、线路投运时间长、负荷密度高等实际制约因素，传统的体积庞大的环网箱很难满足现场安装需求，而紧凑型一二次融合环网箱的小型化特点在该场景下得到了充分发挥，成为解决老小线改造难的技术利器。以山东省济南市 10 kV 四大线的改造为例，该线路供电范围覆盖城市核心区域，配变容量 30 265 kVA，涉及 24 个公用区、23 个单电源用户和 6 个双电源用户。改造前全线仅有 2 处分支箱且均处于重要节点，不具备开断能力，无法有效隔离故障及调整运行方式，一旦出现故障就容易造成全线停电。通过将 2 处分支箱全部更换为紧凑型一二次融合环网柜，形成了线路三分段的标准化结构。两段大分支首段均由环网柜断路器间隔接出，实现支线实时监控和故障后的就地隔离[5]。

2.2 新能源并网与新型电力系统适配

近年来，由于大量分布式光伏发电、风力发电接入系统，配电网中出现了大量的有源节点，配电网由传统意义上的无源网络逐渐转变为典型的有源配电网。因此，对配电网中的电力设备的要求也发生了相应的变化，在实现正常电力输送的同时还需要承担起对分布式能源的接入保护、电压质量评估及潮流调节的作用。传统环网箱在并网保护所需的功能及电能质量监测等方面缺乏相应的支持。一二次融合成套环网箱在设计之初即充分考虑了未来分布式电源 10 kV 并网的需求，对相关接口和功能做出了系统性规定。国网宿迁供电公司研制的环保气体紧凑型环网箱，融入了分布式电源接入下的并网保护与电能质量监测功能，能够有力保障电网和用户在供电检修、抢修情况下的双侧安全。在应用场景拓展方面，紧凑型一二次融合环网箱已落地城市 CBD、工业园区、新能源电站、高原风电场等多种电力配网场景。尤其对于新能源电站而言，在面对电压波动频繁、谐波含量高等特殊的运行条件下，一二次融合架构以其快速的保护动作及灵活的控制方式较能满足新能源并网对配电设备的要求[6]。

2.3 智能运维与状态监测的实践成效

一二次融合成套环网箱的一个重要特点是具备智能化运维功能，这种功能是基于成套装置内装有的各类传感装置采集的各种信息以及大数据支撑下的智能运维策略而实现的。普通环网箱只能进行周期性巡视及故障处理，无法实时掌握设备运行情况并及时预警。一二次融合成套环网箱集成多种低功耗智能化传感器，可以对环网柜设备的状态进行监测及评价。智能感知终端可测量热点温度、参考温度、电流有效值、加热器状态等运行数据，并通过差分温升计算与趋势分析对设备健康进行在线评估；在故障预警与定位上，由于双隔离开关、一体式数字信号传感器、智能感知终端等关键核心部件的采用，一二次融合环网箱具备域内外运行全态势感知功能，可实现早期缺陷预警和故障快速定位和隔离。在运维效率方面，一二次设备一体化设计生产、标准化接口大幅降低了现场安装调试及运维工作量。设备集成测控、保护、馈线自动化、线损计量、通信、状态监测等多功能于一体，降低了整体功耗、成本及故障率。从被动抢修到主动预警、

从经验判断到数据驱动的转变，使配电网运维模式发生了根本性变革[7]。

2.4 典型案例分析

江苏省宿迁市项王故里景区项目是典型的一二次融合技术工程化应用示范性项目。2024年10月，经中国电工技术学会鉴定，国网宿迁供电公司自主研发的环保气体紧凑型环网箱主要性能达到国际领先水平。该项目结合景区空间局促特点，采用深度集成紧凑型环网箱代替传统分立式设备，压缩45%以上。装置采用二合一隔离开关、一芯数显传感器、一体化传感控制器等，实现全面状态检测，能够提前发现隐患、及时切除故障，并允许安全接入中压发电车；具有分布式电源上网保护和电能质量监测等功能，在检修抢修期间确保两侧安全。该方案充分证明了应用一二次深度融合理念突破配网改造受限于场地狭窄等问题的有效性，形成了同类型城轨改造成套技术方案，并可进行推广应用。

3 一二次融合成套环网箱技术挑战与发展趋势

3.1 当前面临的技术挑战

目前，一二次融合成套环网箱无论从技术还是工程应用都取得很大突破，但在大范围推广使用中还存在一些需进一步研究解决的技术难题。在设备可靠性方面，一二次深度融合后，二次模块故障是否会影响一次设备正常工作，是需要重点关注的问题。《电化学储能系统消防安全评估技术规范》（T/CES 285-2024）明确要求数字式传感装置安装在二次室内，不将AD转换部分全部集成在互感器中，这样可以防止出现AD转换部件损坏后需停电更换互感器的情况，该设计理念的实际应用情况有待于大容量实际运行经验来检验。在检测及校准方面，由于一二次融合成套环网箱测试系统构成较为复杂，在量值溯源上存在一定的困难。以往对分立设备进行的检测和校准不能完全适用于集成一体化设备中，有必要研究制定专门针对一二次融合设备的检测规范以及校准方案。通信兼容方面，各厂商之间的通信规约及报文未全部实现标准化，部分旧设备之间无法互通互联。在环境适应性方面，户外环网箱架设于电缆沟上，潮气、腐蚀性气体等恶劣环境因素对集成化设备的长期运行可靠性构成持续考验。

3.2 未来发展趋势

面向未来，一二次融合成套环网箱将持续向数字化、智能化、绿色化发展。在数字孪生方面，相关团体标准已就一二次融合环网箱数字孪生运维技术的技术要求、试验方法、维护及保养等方面作出相关规定。数字孪生体可作为虚拟试验平台，开展环网箱设计方案的仿真验证及优化工作。在运维方面，数字孪生技术将会实现状态监测、故障诊断、负载预测等方面的数字化映射，大大提高运维效率以及供电可靠性。在智能提升方面，应用人工智能后，一二次融合环网箱可以由基于规则自动化的形态向基于数据分析的智能化转变；通过对历史运行数据进行分析，实现对设备状态的准确判断及控制策略的最优配置。在绿色化方面，由于数字化设计，可以节省大量的线缆材料以及塑料材料，减小设备重量，减少制造和运输过程中的碳排放。随着环保气体绝缘技术的应用，将进一步降低设备全寿命周期的环境影响。可以预见，一二次融合成套环网箱将在新型电力系统建设中发挥越来越重要的作用，成为配电网数字化转型的关键支撑装备。

4 结束语

通过实现一二次成套、硬件集成化，数据交互标准化，保护控制协同化的系统创新，解决传统分立式环网箱占地大、接线繁、运维难等长期存在的一系列难题，在城市配电网改造、新能源并网接入和智能运维等典型场景下，目前该装置已经取得了很好的实际应用效果，在相关国家标准制定方面也在积极进行中，在测试验证、通讯、抗干扰等方面的问题还需进一步研究解决。未来，在数字孪生、人工智能等新技术进一步应用下，一二次融合成套环网箱将向态势感知更加精确化、决策控制更加智能化以及全寿命周期更加绿色化的方向不断发展，助力新型电力系统建设。

参考文献：

[1] 陈卢明,刘年松,侯范武,等.基于一二次融合成套环网箱的设计与应用研究[J].电力设备管理,2025(01):280-282.
[2] 赵海洋,滕达,姜晓君,等.温度对配电一二次融合成套设备测量准确度影响[J].电工电气,2023(02):57-62.
[3] 陈昊,李思焱,葛明明,等.一二次融合电力环网箱接地定位算法设计[J].电子设计工程,2023,31(18):127-131.
[4] 田中旭,胡学文,刘智健,等.深海浮筏式网箱高效有限元分析及结构轻量化[J].南方水产科学,2025,21(03):92-100.
[5] 王志强,庞国良,黄小华,等.重力式升降网箱设计及其在波浪条件下的动力响应[J].农业工程学报,2025,42(04):170.
[6] 李潇冉,崔勇,关长涛,等.波流联合作用下升降式养殖网箱水动力特性[J].中国水产科学,2025(03):396-408.
[7] 陈元帅,庞国良,黄小华,等.网衣对自升式桁架网箱结构响应的影响[J].南方水产科学,2024,20(01):43-53.