ICS 29.240.01
CCS F 20

T/CS

团 体 标 准

T/CS 572—2026

一二次融合环网箱智能监测与运维技术规范

Technical specification for intelligent monitoring and operation-maintenance of primary and secondary integrated ring main units

2026 - 06 - 30 发布　　2026 - 06 - 30 实施

中国商品学会　　发 布

目　　次

前言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 基本要求 2
5 智能监测功能要求 3
6 信息处理与通信要求 4
7 供电与电源管理要求 6
8 智能检测 6
9 安装与验收 8
10 证实方法 9

前　言

本文件按照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。

本文件由中国商品学会提出并归口。

本文件起草单位：四川万控电气成套有限公司、鲁南技师学院、宁红电气科技有限公司、英捷电气有限公司、江苏国能合金科技股份有限公司、川力电气有限公司、安徽意通电力设备有限公司、株洲中车机电科技有限公司、中国联合网络通信有限公司苏州市分公司、烟台市芝罘区隆中房地产开发有限公司、星玛智能电气有限公司、广东中鹏电气有限公司、内蒙古浩普电力检修有限责任公司、湖南亚泰电气设备有限公司、湖南星源电气有限公司、北京广发电气有限公司、国网吉林省电力有限公司集安市供电公司、山东骏能电气设备有限公司、宇超电力股份有限公司、浙江易汇电力设备有限公司、大华智能科技有限公司、万电电气股份有限公司、浙江飞沃电气有限公司、河南宇和电气有限公司、沈阳汇鼎润达科技有限公司、众美电气（南通）有限公司、祥兴电气有限公司、网源电力科技有限公司、北京万兴卓能电力科技有限公司、伏尔特电气（深圳）有限公司、广西苏同电气科技有限公司、昆明三川电线电缆有限公司、河南平高通用电气有限公司、天铂电力集团有限公司、卡雷迪电气（常州）有限公司、浙江巨力电气有限公司、合肥亿存科技有限公司、平高集团电力检修工程有限公司、江苏江阴华明电气设备有限公司、山东汇能电气有限公司、浙江荣登科技有限公司、江西浩拓电气科技有限公司、江西泰豪智能电力科技有限公司、山东红申电气有限公司、天津尼凯斯电器设备股份有限公司、孝感先源电力有限责任公司、上海南华兰陵电气有限公司、巨邦集团有限公司、广发电器集团有限公司、天津津通华电气设备有限公司、山西隆富电气科技有限公司、江苏华鹏智能仪表科技股份有限公司、圣普集团电力设备有限公司、河北瑞泰电器科技有限公司、西电恒驰（江苏）电气有限公司、浙江邦耀电气有限公司、雷朋电气集团有限公司、扬州隆源电器有限公司、沈阳晨源电气有限公司、安徽亨通智能电力设备有限公司、沃力特电力科技集团有限公司、国网山西省电力有限公司阳泉供电分公司、河南省玖洲水利建设工程有限公司、河南方圆天下建设集团有限责任公司、周口冰造建筑工程有限公司、烟台国铨文化科技有限公司。

本文件主要起草人：赵荣、王杰、朱勇、周炜田、薛飞、方新来、王小露、刘放平、李梦妮、姜佩佩、钟兰芬、黄书胡、张美玲、陈显堡、彭梦良、郑加鹏、辛奕、王树雷、毛玲云、钱素丹、潘政瑞、陈逸、陈丝、张泽栋、任宗锋、杨剑、陈鼓禹、蒋浩航、刘宏兴、李健、朱宝红、郭东山、张海、施凯、陈晓冬、刘海胜、郭玲玲、马慧珍、龚剑、张宝月、朱慧萍、刘丹、彭秋明、王先顺、尚得来、宋诚、杜腾飞、陈卢明、金洲、张伟、黄建强、肖又文、李铁军、刘清清、谈国庆、唐少萍、钟星、贾旗、李承哲、裴丽飞、张建明、孙胜、胡永安、凌艳清、李延吉、唐亚茹、张亚茹。

一二次融合环网箱智能监测与运维技术规范

1 范围

本文件规定了一二次融合环网箱智能监测与运维的系统架构、监测功能、信息处理与通信、智能运维功能、安装与验收要求及证实方法。

本文件适用于额定电压 6 kV～20 kV 交流一二次融合环网箱智能监测系统的设计、制造、试验、验收和现场运维管理。

2 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。

DL/T 634.5101 远动设备及系统 第 5-101 部分：传输规约基本远动任务配套标准

DL/T 634.5104 远动设备及系统 第 5-104 部分：传输规约 采用标准传输协议集的 IEC60870-5 网络访问

DL/T 721 配电自动化终端技术规范

GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 7261 继电保护和安全自动装置基本试验方法

GB/T 11287 电气继电器 第 21 部分：量度继电器和保护装置的振动、冲击、碰撞和地震试验 第 1 篇：振动试验（正弦）

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术 第 11 部分：对每相输入电流小于或等于 16 A 设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验

GB/T 20840.7 互感器 第 7 部分：电子式电压互感器

GB/T 20840.8 互感器 第 8 部分：电子式电流互感器

GB/T 22065 压力式六氟化硫气体密度控制器

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A： 低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.10 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc: 振动（正弦）

GB/T 2423.102 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验：温度（低温、高温）/ 低气压 / 振动（正弦）综合

GB/T 36572 电力监控系统网络安全防护导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

一二次融合环网箱 primary and secondary fusion ring main unit

一种将环网柜、站所终端、互感器、外箱体进行一体化融合设计，可实现在线监控、故障识别及定位、故障就地隔离和电量计算等功能的配电开关设备。

3.2

智能监测系统 intelligent monitoring system

应用于一二次融合环网箱的在线监测与状态感知系统。通过部署于环网箱内的传感器、智能终端及通信模块，实现对本设备电气量、状态量、环境信息及开关机械特性的就地采集、数据处理、逻辑研判与远程信息交互。

3.3

智能运维 intelligent operation and maintenance

利用在线监测数据、历史运行信息和预防性试验结果，对环网箱实施状态评价、故障诊断、远程巡检和检修决策辅助的运维模式。

4 基本要求

4.1 系统架构

4.1.1 智能监测系统应整体设计，数据采集、数据传输处理及通信模块应实现一体化集成。

4.1.2 智能监测系统的感知层包括电子式互感器、温度传感器、局部放电传感器、环境传感器、气体密度/压力传感器及开关位置接点等，完成原始信号的就地采集。

4.1.3 智能监测系统的终端层为智能终端，应实现数据汇聚、保护逻辑运算、故障研判、通信管理和人机交互。智能终端应采用模块化设计，各功能插件应支持带电插拔更换，更换后应自动识别并恢复配置。

4.1.4 主站层为配电自动化主站或运维管理系统，应实现远程监视、状态评价、故障定位和运维管理功能。

4.2 环境适应性

4.2.1 户内安装的智能监测组件工作环境温度范围为-25℃～+40℃，户外安装的智能监测组件工作环境温度范围为-25℃～+70℃，相对湿度不高于 95%（无凝露）。

4.2.2 智能终端及通信模块在海拔 2000m 及以下应能正常工作。

4.2.3 智能监测系统各组件的外壳防护等级应符合：

a) 环网箱柜内安装组件不应低于 IP20；

b) 户外柜体外壳不应低于 IP55，电缆沟内传感器不应低于 IP68；

c) 防护等级试验应按 GB/T 4208 的规定执行。

4.3 可靠性

4.3.1 智能终端的平均无故障工作时间不应低于50000 h。

4.3.2 传感器（含局部放电监测用内置耦合器）的设计寿命不应少于15年，智能终端的设计寿命不应少于12年。

4.3.3 智能终端应具备硬件看门狗和软件自恢复功能，任何单一故障不应导致保护功能的丧失。

5 智能监测功能要求

5.1 电气量检测

5.1.1 智能监测系统应采集各回路的下列电气量：

a) 三相电流及零序电流；

b) 母线三相电压及零序电压；

c) 可根据需要采集各回路的有功功率、无功功率和功率因数。

5.1.2 电子式电流互感器准确度不应低于0.5S级，保护用准确级不应低于5P20级；电子式电压互感器准确度不应低于0.5/3P级。误差限值及试验方法应符合GB/T 20840.7和GB/T 20840.8的规定。

5.1.3 模拟量采集的采样率应符合下列规定：

a) 用于故障录波及暂态分析的采样率不应低于 80 点/工频周波；

b) 用于有效值计算及稳态监测的采样率不应低于 24 点/工频周波；

在上述采样率下，电流、电压的有效值计算准确度均不应低于0.5级。

5.2 开关状态监测

5.2.1 智能监测系统应实时采集下列开关状态信息：

a) 断路器/负荷开关分合闸位置；

b) 接地开关分合闸位置；

c) 储能机构储能状态；

d) 开关柜门板开闭状态。

5.2.2 对于配置断路器的间隔，应监测分合闸线圈电流波形，记录动作时间、动作峰值电流和波形特征，动作时间分辨率不应大于0.5ms。

5.2.3 开关机械特性监测应包括分合闸时间、分合闸速度、超程和触头开距等参数，分合闸时间的测量误差不应超过±1ms。

5.3 气体状态监测

5.3.1 采用六氟化硫（SF_6 ）气体绝缘的环网箱应配置气体密度在线监测单元，监测参数应包括：

a) 气体密度或压力；

b) 环境温度补偿后的等效压力。

5.3.2 SF_6 气体密度监测的准确度等级不应低于2.5级，测量范围应覆盖-0.1MPa～0.9MPa（表压）。控制器准确度要求应符合GB/T 22065的规定

5.3.3 对于采用SF_6 气体绝缘的环网箱，智能终端应针对SF_6 气体设定以下密度告警阈值：

a) 告警值：不应高于额定充气密度的 90%；

b) 闭锁值：不应高于额定充气密度的 85%。

当密度下降至告警值时，智能终端应在30s内上送告警信号；下降至闭锁值时，应闭锁对应间隔的开关操作回路并上送闭锁信号。

5.4 温度监测

5.4.1 应对下列部位进行温度在线监测：

a) 主回路进出线电缆接头；

b) 断路器/负荷开关触头室；

c) 母线搭接处；

d) 智能终端柜内环境温度。

5.4.2 温度测量准确度应在±2℃范围内，测量范围应覆盖-40℃～+150℃。

5.4.3 接点温度绝对告警阈值应按以下原则设定：

a) 被测点温度不应超过设备制造商规定的该部位最高允许温度值；

b) 当被测点温度超过设定阈值时，智能终端应在 30s 内生成告警信号并上送主站；

c) 相对温升告警阈值可按稳定运行温升基值上浮 15K 设定，基值应通过不少于 48h 连续运行数据计算确定；

d) 温度告警阈值应可在智能终端上在线修改，修改应经权限验证并记录操作日志。

5.5 局部放电监测

5.5.1 局部放电在线监测至少应采用TEV法、超声波法和UHF法中的一种，推荐采用TEV和超声波联合检测方式，其性能指标应满足以下要求：

a) TEV 法：检测灵敏度不应低于 20dBmV，线性度误差不应超过±10%；

b) 超声波法：中心频率宜在 40kHz 附近，灵敏度应能检测到 10pC 等效放电；

c) UHF 法：检测频带应覆盖 300MHz～1500MHz，平均等效高度不应低于 10mm。

5.5.2 局部放电告警阈值设置应依据设备出厂试验结果确定基线，当局部放电幅值超过基线3倍或放电频次超过基线5倍时，应在30s内上送告警信号。

5.6 环境监测

5.6.1 智能监测系统应配置下列环境传感器：

a) 柜内温湿度传感器，温度测量范围应覆盖户外安装-25℃～+70℃或户内安装-25℃～+40℃，准确度±1℃；湿度测量范围 0%～100%RH，准确度±5%RH；

b) 电缆沟水位传感器（当环网箱设于地下或半地下时），测量范围 0～2m，准确度±5%FS；

c) 烟感传感器，用于电缆室火灾早期探测。

5.6.2 环网箱内应配置凝露控制装置，当柜内湿度超过75%RH时，应自动启动除湿，湿度降至55%RH以下时应自动停止。除湿装置的状态及故障信号应上送至智能终端。

5.6.3 电缆沟水位达到预设警戒值时，应上送告警信号并可联动启动排水泵控制。

6 信息处理与通信要求

6.1 数据处理与储存

6.1.1 智能终端应对采集的模拟量进行数字滤波、标度变换、零漂校正和有效性校验。模拟量死区值应可在线设置，死区设置范围应覆盖0.1%～5.0%额定值。

6.1.2 智能终端数据存储容量应满足下列要求：

a) 模拟量历史数据，采样周期不大于 15min，循环存储不少于 12 个月；

b) 状态量变化及告警事件记录，存储不少于 3 个月；

c) SOE 记录，存储不少于 12 个月；

d) 局部放电特征量，存储不少于 6 个月。

6.1.3 存储数据应支持本地导出和远方召测，导出格式应为逗号分隔值或可扩展标记语言等开放可解析的数据格式。

6.2 就地化继电保护与馈线自动化

6.2.1 智能终端应具备不少于8个可独立整定的定值区，定值切换和修改应有权限管理和操作日志记录。

6.2.2 保护功能应至少包括：

a) 两段或三段式相间过流保护；
b) 零序过流保护；
c) 重合闸（可投退，重合次数可设，重合间隔可调范围 0.3s～30s）。

6.2.3 就地FA功能应支持电压-时间型、电流-时间型或分布式智能型等多种馈线自动化模式，实现故障区段定位、隔离和非故障区段恢复供电。

6.2.4 遥控正确率不应低于99.99%，遥信动作正确率不应低于99.9%，测试应在连续不少于200次操作条件下统计。

6.3 告警管理

6.3.1 告警信号应划分为以下三个等级：

a) 紧急告警：影响设备安全或人身安全，需立即处置，包括 SF_6 气体密度闭锁、保护动作、控制回路断线、短路故障等；
b) 重要告警：设备运行异常，需尽快安排检查，包括 SF_6 气体密度告警、接点超温、局部放电超标、储能故障、通信中断超过 5min 等；
c) 一般告警：设备运行状态提示，包括柜门未关、除湿装置故障、电池容量低于 50%等。

6.3.2 告警发生后，紧急告警应在10s内上送主站，重要告警应在30 s内上送，一般告警应在60s内上送。告警信号应包含告警类型、等级、发生时间、测点位置及当前值。

6.3.3 应支持告警抑制、告警恢复自动确认和告警频度分析功能。同一告警源在1 min内重复动作不应生成重复告警记录。

6.4 通信接口与协议

6.4.1 智能终端应至少配置下列通信接口：

a) 不少于 2 个以太网接口（10/100 Mbps 自适应，RJ45 或光纤）；
b) 不少于 2 个 RS-485 串行接口，用于接入传感器及本地维护终端；
c) 可配置无线通信模块（4G/5G 或 LoRa），用于与配电自动化主站通信。

6.4.2 通信中断恢复后，智能终端应在5min内完成断点续传，补齐中断期间的历史数据。

6.5 对时与同步

6.5.1 智能终端应支持北斗/GPS卫星对时及网络SNTP对时。卫星对时精度不应低于±1 ms，SNTP对时精度不应低于±10 ms。

6.5.2 SOE事件记录的分辨率不应大于2 ms。

6.5.3 当卫星信号丢失时，智能终端应自动切换至内部时钟或网络对时，内部时钟守时偏差不应超过1s/24h。

6.6 信息安全防护

6.6.1 信息安全防护应符合GB/T 36572的要求，并根据GB/T 22239达到网络安全等级保护第二级及以上。

6.6.2 应实现以下安全功能：

a) 用户身份鉴别，应采用用户名+口令方式，口令长度不应少于 8 位，包含字母、数字和特殊字符中的两类以上，错误尝试超过 5 次应锁定账户不少于 15min；
b) 远程运维访问应采用双因子鉴别机制；
c) 通信报文应包含校验码或数字签名，保证数据传输完整性；
d) 应记录所有用户登录、操作和配置变更的审计日志，审计日志应不可被用户删除或修改。

6.6.3 智能终端不应开放非必要的网络端口和服务，应支持白名单机制限制可接入的IP地址或设备标识。

7 供电与电源管理要求

7.1 智能监测系统应配置不间断后备电源，在交流电源失电后，应维持智能终端、通信模块及必要的传感器持续工作不少于4h，采用超级电容作为后备电源时，应维持其持续工作不少于15min。

7.2 后备电源宜采用蓄电池或超级电容。蓄电池应采用免维护密封型，设计浮充寿命不少于5年。超级电容方案应在失电后维持供电不少于15min，蓄电池方案应独立维持供电不少于4h。

7.3 应具备充放电管理功能，包括过充保护、过放保护、温度补偿充电和定期活化测试。应在线监测电池电压、内阻或电容容量，剩余容量低于50%时应在60s内上送一般告警信号。

7.4 智能终端整机功耗在正常工况下不应超过50W（不含除湿加热器），低功耗模式下不应超过20W。除湿加热器功率应根据柜体容积配置，不应超过200W，并应有独立的温湿度控制器控制启停。

8 智能检测

8.1 状态评价

8.1.1 系统应基于在线监测数据、历史运行数据、检修记录和预防性试验数据建立环网箱状态评价模型，将设备状态划分为正常、注意、异常和严重四个等级，各等级定义及判据如下：

a) 正常：所有监测参量均在标准限值内，无告警信号，设备可长期可靠运行；

b) 注意：单项或多项监测参量出现偏离标准值但未超过告警阈值，或出现一般告警信号，设备仍可继续运行，应加强监视并适时安排检查；

c) 异常：单项或多项监测参量超过告警阈值，出现重要告警信号，设备存在较严重缺陷，应在规定期限内安排停电检修；

d) 严重：单项或多项监测参量超过闭锁阈值或出现紧急告警信号，设备随时可能发生故障，应立即停运处理。

状态评价更新间隔不应大于 1h。状态评价结果应生成评价报告，内容包括各参量当前值、趋势分析、扣分项明细和建议运维措施。

8.1.2 状态评价应考虑以下参量：

a) 电气量变化趋势及越限情况；

b) 开关分合闸次数、开断电流加权累计值；

c) 分合闸时间变化趋势；

d) 接点温度及温升趋势；

e) SF_6 密度下降速率；

f) 局部放电发展趋势；

g) 环境温湿度历史数据。

8.1.3 评价结果应以打分或等级形式展示，并生成状态评价报告，报告内容包括各参量当前值、趋势图和扣分项明细。

8.2 故障诊断与定位

8.2.1 智能终端应具备故障类型综合研判功能，在具备完整电气量和开关状态信息的条件下，相间短路和单相接地故障类型识别准确率不应低于90%。

8.2.2 在多分段环网结构下，结合相邻终端的故障信息，故障区段定位准确率不应低于95%。

8.2.3 应记录故障发生前后的录波数据，录波长度不应少于故障前4个周波和故障后10个周波，采样率不应低于80点/周波，录波数据应以COMTRADE格式存储。

8.3 寿命评估与趋势预测

8.3.1 系统应具备基于运行数据的设备寿命评估功能：

a) 电寿命评估应根据累计开断电流（$\Sigma I^2 t$ 或 $\Sigma I^{\alpha} t$）与允许开断次数的比值计算剩余电寿命百分比；

b) 机械寿命评估应根据累计操作次数与额定机械寿命的比值计算，当累计操作次数达到额定机械寿命的80%时，应在1h内生成维护提示。

8.3.2 系统应对以下参数进行趋势预测，当预测值在 30 日内将达到告警阈值时，应提前预警：

a) SF_6 气体密度下降趋势；

b) 接点温度上升趋势；

c) 局部放电幅值增长趋势。

8.4 远方控制与操作

8.4.1 智能终端应支持通过安全加密通道进行远方操作，包括：

a) 保护定值区切换和定值修改；

b) 保护功能投退；

c) 开关分/合闸操作。

8.4.2 远方遥控分/合闸应具备同期检测或电压闭锁等安全校核功能，操作命令应经过双因子验证，执行结果和操作人员信息应记录在SOE中。

8.4.3 远方遥控操作应设操作超时限制，命令发出后30s内未完成操作应自动撤销并告警。

8.5 远程巡检与自诊断

8.5.1 系统应支持远程巡检功能，巡检项目应至少包括：

a) 传感器自检（偏移量、通信状态）；

b) 通信链路测试（延时、丢包率）；

c) 后备电源状态检查（电压、容量）；

d) 主要模拟量当前值核查；

e) 时钟同步状态检查。

8.5.2 远程巡检应支持按日、周、月自动执行计划，也可手动触发，巡检报告应在巡检完成后 5 min 内生成。

8.6 远程升级与维护

8.6.1 智能终端应支持远程程序版本升级，升级过程应满足：

a) 升级前应进行文件完整性校验和数字签名验证；

b) 升级失败时应自动退回至前一版本，并向主站发送升级失败告警；

c) 升级不应影响开关的运行状态和已投入的保护功能，开关合位时应闭锁程序升级操作。

8.6.2 远程升级操作应记录操作人员、时间、版本号变化和结果，纳入审计日志管理。

8.7 设备台账与资产管理

8.7.1 系统应建立环网箱电子化台账，内容包括：

a) 设备铭牌信息（型号、额定参数、出厂编号、生产日期）；

b) 主要部件序列号（开关本体、操作机构、电子式互感器、智能终端）；

c) 投运日期和质保期限；

d) 历次检修、试验和缺陷处理记录。

8.7.2 台账信息应与配电生产管理系统实现数据同步，更新延迟不应超过4h。

8.8 现场运维管理

8.8.1 环网箱应设置专用本地调试接口，连接便携式维护终端时应进行身份认证，认证机制应采用挑战-应答方式，认证失败超过3次应锁定接口不少于30min。
8.8.2 现场维护终端应支持查看实时数据、历史数据、告警记录和定值，并支持定值修改和保护功能投退，所有操作应生成不可篡改的日志记录。
8.8.3 应支持电子化工作票功能，工作票至少包含工作内容、安全措施、操作步骤和许可信息。操作完成后应生成操作报告并与台账关联。

8.9 应急运维管理

8.9.1 智能终端应内置典型故障应急处理预案，当发生保护动作、气体闭锁、通信全断等事件时，可在就地人机界面上按预案步骤引导运维人员处置。
8.9.2 应急操作预案应定期更新，版本信息应可追溯。
8.9.3 应急情况下，应支持通过应急手动操作机构直接操作开关，不受电子闭锁限制，但操作事件应完整记录。

9 安装与验收

9.1 安装

9.1.1 传感器的安装位置和方式应满足以下要求：

a) 温度传感器应与被测点可靠接触，导热路径热阻应最小化，采用抱箍或粘贴方式安装时接触压力应均匀；
b) 局部放电传感器应安装于开关柜电缆室或母线室的内壁，距离绝缘薄弱部位尽可能近；
c) 气体密度传感器应通过专用接口与气室连接，接口密封性应满足年泄漏率不大于 0.1%；
d) 水位传感器应安装于电缆沟最低处，固定牢固。

9.1.2 二次电缆布线应与一次回路保持足够的绝缘距离，信号线与电力电缆应分层敷设或采用屏蔽隔离，模拟量信号电缆应采用双绞屏蔽电缆。
9.1.3 智能终端应安装于环网箱二次仪表室，固定牢固，操作面板朝向方便运维人员查看和操作的方向。终端与环网箱柜体之间应有可靠电气连接（接地）。

9.2 验收

9.2.1 出厂试验验收

9.2.1.1 每台智能终端出厂前应完成以下试验：

a) 功能试验；
b) 绝缘电阻及介电强度试验；
c) 连续通电老化试验，不少于 72h；
d) 通信协议一致性试验。

9.2.1.2 出厂试验应出具试验报告，报告应包含试验项目、试验标准、试验数据和结论。

9.2.2 现场交接验收

9.2.2.1 智能监测系统在现场安装调试完成后，应在投运前进行交接验收，内容包括：

a) 传感器安装检查和信号核对；
b) 通信链路对调和协议一致性测试；

c） 保护功能整组试验；
d） FA 功能联调试验；
e） 远程运维功能测试（远程巡检、定值修改、遥控操作）；
f） 后备电源投切试验。

9.2.2.2 交接验收应形成验收报告，所有参试人员签字确认，验收资料纳入设备档案。

10 证实方法

10.1 一般要求

10.1.1 证实方法分为型式试验、出厂试验和现场交接试验三类。型式试验应在具有相应资质的第三方检测机构进行，出厂试验和交接试验可在制造厂或现场进行。

10.1.2 除另有规定外，试验环境大气条件应符合 GB/T 2423.102 的规定，试验用仪器仪表应经检定或校准合格并在有效期内。

10.1.3 型式试验时，各项功能验证应搭建完整的终端—传感器—主站联调环境；出厂试验和交接试验时，可根据条件采用模拟信号源替代部分传感器。

10.2 电气量监测功能验证

10.2.1 电子式电流、电压互感器准确度试验按 GB/T 20840.7 和 GB/T 20840.8 的规定执行，在标准试验条件下对各准确度等级对应的测试点施加标准信号，误差满足 5.1.2 的规定。

10.2.2 气体密度传感器准确度试验：在标准气压源上对传感器施加不少于 5 个压力点（覆盖测量范围的 0%、25%、50%、75%、100%），记录传感器输出值，误差应满足 5.3.2 的规定。随后降低压力至告警值和闭锁值，使用计时器测量从压力降至阈值到信号上送的时间，判定是否≤30s。

10.2.3 温度传感器准确度试验：将温度传感器置于标准温度源（温场均匀度优于±0.2 ℃），至少在 -20 ℃、20℃、50℃、100℃ 四个点进行比对，每个点稳定 30min 后记录，测量值与标准值的最大偏差不应超过±2℃。

10.2.4 温湿度传感器准确度试验：在温湿度试验箱中设定温度 25 ℃、50 ℃和 85 ℃，湿度 30%RH、50%RH 和 80%RH 的 9 个组合工况，每工况稳定 30min 后记录，误差应满足 5.6.1 a)的规定。

10.2.5 水位传感器准确度试验：在标准液位装置上选取测量范围的 20%、50%、80%三个点进行比对，误差应满足 5.6.1 b)的规定。

10.3 开关状态与动作特性试验

10.3.1 开关位置状态正确性验证：在模拟开关或实际开关上进行分合操作不少于 50 次，每次操作后比对智能终端显示的开关位置与开关实际位置，应一致；接地开关位置和储能状态验证各进行不少于 20 次。

10.3.2 分合闸线圈电流波形采集验证：用录波仪和智能终端同步采集不少于 5 次分合闸线圈电流波形，比对动作时间和波形特征，时间测量差异不应超过±0.5ms。

10.3.3 开关机械特性监测验证：对断路器间隔执行分合闸操作不少于 10 次，比对智能终端与机械特性测试仪测得的合闸时间、分闸时间，偏差不应超过±1ms，应符合 5.2.3 的规定。

10.4 局部放电监测功能验证

在标准局部放电模拟装置上注入已知放电量的信号，检查传感器最小可测放电量、线性度误差，指标应满足 5.5.1 的规定。

10.5 环境监测功能验证

10.5.1 温湿度传感器：在温湿度试验箱中设定温度 25 ℃、50 ℃和 85 ℃，湿度 30%RH、50%RH 和 80%RH 的 9 个组合工况，每工况稳定 30min 后记录，误差应满足 5.6.1 a)的规定。
10.5.2 凝露控制功能：在试验箱中使湿度升至 80%RH 以上，检查除湿装置是否自动启动；降至 50%RH 以下，检查是否自动停止，应符合 5.6.2 的规定。

10.6 数据处理与存储验证

10.6.1 模拟量死区验证：设定死区值为 1%额定值，缓慢改变输入量 0.5%额定值，检查终端应不上送变化数据；改变 1.5%，应上送变化数据。
10.6.2 存储容量验证：根据采样周期和存储时长要求，计算所需存储空间，通过实际运行或模拟数据填充验证存储满足 6.1.2 的要求。

10.7 保护与 FA 功能验证

10.7.1 保护功能整组试验：按 GB/T 7261 的规定，用继电保护测试仪对每个保护元件进行定值校验，动作值误差不应超过±5%或±0.05In（取较大值），动作时间误差不应超过±30 ms 或±1%整定时间（取较大值）。
10.7.2 就地 FA 功能验证：搭建含至少三台环网箱终端的最小配电系统，分别模拟线路首端、中端和末端的相间短路和单相接地故障，记录故障隔离和非故障区段恢复供电时间，验证逻辑符合 DL/T 721 的规定。
10.7.3 遥控和遥信正确率验证：在连续不少于 200 次遥控操作和不少于 200 个遥信变位下统计正确率，应符合 6.2.4 的规定。

10.8 通信与对时验证

10.8.1 通信协议一致性试验：采用协议分析仪按 DL/T 634.5104 或 DL/T 634.5101 对报文格式、时序和异常处理逐项测试，应无协议错误。
10.8.2 对时精度验证：以标准时间源（偏差小于 0.1ms）为基准，向智能终端授时后，用 SOE 记录触发动作时刻与基准时刻比对，对时偏差不应大于 1ms，SOE 分辨率应满足 6.5.2 的规定。
10.8.3 守时精度验证：切断卫星信号 24 h 后，比对终端内部时钟与标准时间的偏差，不应超过 1s。

10.9 电磁兼容验证

按以下标准进行电磁兼容抗扰度试验，试验中和试验后智能终端不应发生死机、误动、数据丢失或器件损坏，允许出现可自恢复的暂时性功能降低：

a) 静电放电抗扰度：按 GB/T 17626.2，空气放电±8kV，接触放电±6kV；

b) 电快速瞬变脉冲群抗扰度：按 GB/T 17626.4，电源端口 ±4 kV（5 kHz 重复频率），信号端口 ±2kV（5 kHz 重复频率）；

c) 浪涌抗扰度：按 GB/T 17626.5，电源线-线 ±1 kV，线-地 ±2 kV；

d) 射频场感应的传导骚扰抗扰度：按 GB/T 17626.6，频率 150 kHz～80MHz，试验电平 10V；

e) 工频磁场抗扰度：按 GB/T 17626.8，稳定持续磁场 100 A/m；

f) 电压暂降和短时中断：按 GB/T 17626.11，电压暂降至 40% UT（持续 0.5s 和 50 个周波），短时中断（持续 0.5s 和 250 个周波）。

10.10 环境适应性验证

10.10.1 低温试验：按 GB/T 2423.1 进行，严酷等级取-25 ℃（户内组件）或-25℃（户外组件），保持 16h，试验期间和恢复后装置功能应正常。

10.10.2 高温试验：按 GB/T 2423.2 进行，严酷等级取+40℃（户内组件）或+70℃（户外组件），保持16h，试验期间和恢复后装置功能应正常。
10.10.3 恒定湿热试验：按 GB/T 2423.3 进行，温度 40℃±2℃，相对湿度(93±3)%，持续 48h，试验后绝缘电阻不应低于 100MΩ，功能正常。
10.10.4 振动试验：按 GB/T 2423.10 和 GB/T 11287 进行，扫频范围 10 Hz ～ 150 Hz，加速度 1 g，每轴向 20 个扫频循环，试验后装置无结构损伤和松动。
10.10.5 外壳防护等级试验：按 GB/T 4208 进行，结果应符合 4.2.3 的规定。

10.11 信息安全验证

10.11.1 身份鉴别验证：检查用户登录机制，验证口令复杂度检查、错误尝试锁定和双因子认证功能是否实现，应符合 6.6.2 的规定。
10.11.2 通信完整性验证：使用网络协议分析仪或报文注入工具，在终端与主站通信链路上捕获正常通信报文后，修改其关键字段（如控制命令、定值参数、校验码或数字签名字段）并重新注入链路，检查智能终端是否检测到完整性错误并拒绝执行被篡改的命令，同时应上送通信完整性异常告警。
10.11.3 审计日志验证：执行不少于 10 次不同类型的操作，检查审计日志记录的完整性、准确性和不可删除性。
10.11.4 漏洞扫描与渗透测试：按 GB/T 22239 的要求，对智能终端网络接口进行安全漏洞扫描和渗透测试，不应存在高危漏洞。

10.12 后备电源验证

在正常运行条件下，切断交流输入电源，测量终端及通信模块持续正常工作时间，不应少于 30min，并验证低电量告警在电池容量低于 50%时正确产生，上送时间应符合 7.3 的规定。

10.13 远程运维功能验证

搭建终端—主站联调环境，按以下步骤执行验证：
a) 远方修改定值 5 次，检查定值是否成功同步并生效；
b) 远方切换定值区 3 次，验证切换结果；
c) 模拟远程升级过程，验证校验机制和失败回退功能；
d) 执行自动远程巡检计划，检查巡检报告内容的完整性和生成时效。
所有操作应生成审计日志，且不应发生功能异常。

10.14 故障诊断准确率验证

在动模试验平台或仿真环境中注入不少于 5 类故障工况，每类工况至少重复 20 次，统计故障类型识别和区段定位的准确率，应符合 8.2.1 和 8.2.2 的规定。