

T/CIEP

中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP XXXXX—XXXX

一二次融合环网箱运行维护技术要求

Technical requirements for operation and maintenance of integrated
primary-secondary ring main unit

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业环保促进会 发布

目 次

目 次	I
前 言	III
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
4.1 使用环境条件	2
4.2 运维原则	2
4.3 环网箱技术性能	2
4.4 环网箱结构与布局	2
4.5 二次设备（DTU）技术要求	2
4.6 一二次融合接口	3
4.7 安装、调试与验收	3
5 运行监测	4
5.1 电气参数监测	4
5.2 设备状态巡检	4
5.3 智能化监测补充要求	5
5.4 馈线自动化功能监测	5
6 维护检修	5
6.1 总体要求	5
6.2 现场巡视基本要求	5
6.3 巡检准备与核验	5
6.4 日常巡检	5
6.5 定期维护	6
6.6 电源系统专项测试	7
6.7 通信链路诊断	7
6.8 缺陷处理时限	7
6.9 大修要求	7
6.10 终端运行状态管理	8
7 故障处理	8
7.1 总体原则	8
7.2 故障快速定位与隔离	8
7.3 恢复供电流程	8
7.4 故障后设备检查与修复	9
8 安全防护	10
8.1 外壳防护	10
8.2 防误操作闭锁	10

8.3 接地保护	10
8.4 户外环境安全	11
8.5 应急处置要求	11

前 言

本文件按照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。

本文件由中国工业环保促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

编制说明：

当前，一二次融合环网箱在配电网中广泛应用，但其运行维护尚缺乏统一、专门的技术要求。现有标准体系中，国标（如GB/T 3906-2020《3.6kV~40.5kV交流金属封闭开关设备和控制设备》、GB 50150《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》）、行标（如DL/T 2805-2024《12kV一二次融合环网箱》、DL/T 721-2024《配电自动化终端技术规范》）主要解决设备“生产与品控”（设计、生产、试验、验收），团标（如T/CIET 1492-2025《12kV智能型一二次融合成套环网箱》）侧重“产品特性”（智能化要求、包装运输等），均未形成“投运后常态化监测、预防性维护、故障快速处置”的运维全流程专项技术要求，导致运维工作缺乏统一依据，易出现操作不规范、风险管控不到位等问题。

为提升一二次融合环网箱运维工作的规范化、精细化水平，保障配电网安全可靠运行，特制定本标准。本标准立足于运维实际需求，是对DL/T 2805-2024、DL/T 721-2024等现有产品标准和试验标准的补充与延伸：针对DL/T 2805-2024未覆盖的“投运后监测、维护、故障处置”内容进行细化，形成“产品标准与运维标准”的闭环，重点规定一二次融合环网箱在运行监测、维护检修、故障处理及安全防护等方面的技术要求。

本标准不涉及对设备制造阶段的技术要求，可为运维单位提供技术依据，提升运维标准化水平。

一二次融合环网箱运行维护技术要求

1 范围

本文件规定了12kV一二次融合环网箱（以下简称“环网箱”）的基本要求、运行监测、维护检修、故障处理及安全防护的技术要求。

本文件适用于12kV电压等级一二次融合环网箱的验收、投运、运行监控、维护检修及故障处理等运维全流程管理工作。其他电压等级及应用场景的环网箱可参照执行。

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。

- GB/T 708—2019 冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 11022 高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求
- GB/T 22386 电力系统暂态数据交换通用格式
- GB 50150 电气装置安装工程电气设备交接试验标准
- DL/T 402—2016 高压交流断路器
- DL/T 404—2018 3.6kV-40.5kV交流金属封闭开关设备和控制设备
- DL/T 721—2024 配电自动化终端技术规范
- DL/T 2805—2024 12kV一二次融合环网箱
- GB/T 3906 3.6kV~40.5kV交流金属封闭开关设备和控制设备
- DL/T 5844-2021 配电自动化终端设备调试验收规程
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）
- GB/T 2423.6 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Eb 和导则：碰撞
- GB/T 2423.17 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

3 术语和定义

DL/T 721、DL/T 2805界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 一二次融合环网箱 *primary-secondary integrated ring main unit*

将一次设备（含断路器、负荷开关等）与二次设备（配电自动化终端、保护装置等），经标准化接口有机融合，达成数据采集、控制、保护及通信等功能的环网箱成套设备。

3.2 危急缺陷 *critical defect*

对人身或设备安全构成直接威胁，可能引发电网事故、设备烧毁或自动化系统瘫痪，应立即处置的缺陷。

3.3 重要缺陷 major defect

对设备功能或系统运行有影响，可能发展为危急缺陷，需在限定期限内安排处理的缺陷。

3.4 一般缺陷 minor defect

对安全运行影响较小，可在综合检修时处理的缺陷。

4 基本要求

4.1 使用环境条件

环网箱的正常使用环境条件应符合DL/T 2805中第4章的规定。超出规定范围时，应视为特殊使用条件，需采取加热、驱潮、防晒等针对性措施，并在运维中重点关注环境适应性指标（如柜内凝露、部件老化速度）。

4.2 运维原则

环网箱的运维工作应遵循“安全第一、预防为主、综合治理”的原则，实行标准化作业和全生命周期管理（覆盖投运前验收、运行中监测、故障后修复、退役后处置）。

4.3 环网箱技术性能

4.3.1 概述

环网箱的技术性能，包括额定值、绝缘水平、短路耐受能力等，应符合DL/T 2805中第5章的规定。运维工作应以该章规定为基准，定期监测其性能指标的稳定性，确保与出厂值无显著偏差。

4.3.2 运维关键性能参数

在运维过程中，应重点关注以下关键性能参数，其运行值应符合设备技术文件要求，并与出厂值或历史数据进行比较分析：

- a) 主回路电阻：运行值应不超过出厂值的120%。
- b) 断路器机械特性：分/合闸时间、速度、同期性等，应符合DL/T 2805-2024中5.5的限值要求。
- c) 绝缘电阻：一次回路绝缘电阻 $\geq 1000\text{M}\Omega$ （2500V兆欧表），二次回路绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ （500V兆欧表）。
- d) 气体压力（适用于气体绝缘环网箱）：应在设备额定压力范围内，具体参数见设备技术文件。

4.4 环网箱结构与布局

环网箱的结构、布局及一次设备接口要求应符合DL/T 2805的规定，运维中应确保：

- a) 结构完整性：柜体无变形、锈蚀，密封胶条无老化脱落。
- b) 密封性：气体绝缘环网箱漏气率 $\leq 0.5\%$ /年（测试条件符合DL/T 2805-2024中7.4.2规定）。
- c) 标识清晰度：设备双重名称、接线图、警示标识完整可辨。

4.5 二次设备（DTU）技术要求

4.5.1 通则

DTU的功能、性能、试验方法应符合DL/T 721的规定。其调试验收应满足DL/T 5844要求，核心验收指标包括：遥测误差 $\leq \pm 0.5\%$ 、遥控成功率100%、遥信正确率100%。

4.5.2 运维功能要求

DTU在运维中应持续满足以下功能，并可作为状态评估依据：

- a) 数据采集与上传：电压、电流等电气参数采集准确性 $\leq\pm 0.5\%$ ，数据上传延迟应不大于3s；
- b) 遥控操作：遥控指令执行响应时间 $\leq 3s$ ，遥控成功率应为100%（连续10次操作无失败）；
- c) 故障处理：具备故障录波功能，录波数据格式符合GB/T 22386要求；
- d) 后备电源管理：交流失电后，后备电源应能支持DTU及开关操作 $\geq 4h$ ，电源无缝切换；
- e) 自诊断与时钟同步：可自动检测模块故障（如通信模块、电源模块）并上传告警信号，时钟同步误差 $\leq 1s$ （光纤通信）、 $\leq 10s$ （无线通信）。

4.6 一二次融合接口

一二次融合接口的通信协议（如DL/T 634.5101-2002）、连接器要求应符合DL/T 2805-2024第8章及DL/T 721-2024第6章的规定。运维中应定期检查：

- a) 接口连接：航空插头插针无氧化变色，接触电阻 $\leq 0.1\Omega$ ，防护等级达IP67；
- b) 防误插：连接器应具备防误插结构，避免正负极接反或信号端子错接；
- c) 通信稳定性：接口数据传输误码率 $\leq 10^{-6}$ ，无频繁中断现象（月中断次数 ≤ 1 次）。

4.7 安装、调试与验收

4.7.1 安装

环网箱的安装要求，包括基础固定、母线安装、电缆终端制作、接地系统施工等，应符合DL/T 2805中第7章及产品技术文件的规定。安装过程应形成关键工序记录（如基础水平度测量记录、母线连接力矩记录）。

4.7.2 调试

环网箱投运前的调试工作，其项目与方法应严格执行DL/T 5844及GB 50150的规定。调试内容应至少包括：

- a) 绝缘电阻测试：一次回路 $\geq 1000M\Omega$ （2500V兆欧表），二次回路 $\geq 10M\Omega$ （500V兆欧表）。
- b) 工频耐压试验：一次回路，相间、相对地42kV/1min、隔离端口48kV/1min；二次回路2kV/1min。
- c) 主回路电阻测试：测试值应不超过出厂值的120%。
- d) 机械特性试验：分闸时间 $\leq 40ms$ 、合闸时间 $\leq 60ms$ ，三相不同期 $\leq 2ms$ 。
- e) 五防联锁功能验证：验证“防止误分合闸、防止带负荷拉合隔离开关、防止带电挂接地线”等功能有效。
- f) 三遥功能测试：遥测误差 $\leq \pm 1\%$ ，遥控响应时间 $\leq 3s$ ，遥信正确率100%。
- g) 一二次联调：模拟开关分合闸，终端状态指示、远程控制、保护跳闸功能正确可靠。
- h) 电缆相位校验。
- i) 投运前联调：应在蓄电池供电模式下，完成与配电自动化主站的“三遥”（遥测、遥信、遥控）对点测试，确保数据准确、控制可靠，且蓄电池容量应能保证完成所有开关的分、合闸操作。

4.7.3 验收

验收应基于调试结果，并形成完整的验收档案，至少包括：

- a) 柜体外观：外观无变形锈蚀，标识清晰完整。
- b) 安装精度：柜体垂直度偏差 $\leq 1.5mm/m$ ，基础水平偏差 $\leq 5mm$ ，维护通道 $\geq 0.8m$ 。
- c) 接地系统：接地螺栓紧固力矩 $\geq 40N\cdot m$ ，接地电阻 $\leq 4\Omega$ （独立接地系统），柜门接地软线完好。
- d) 防护措施：底部封堵严密，通风孔有金属网（孔径 $\leq 10mm$ ），户外柜有防雨帽，基础高于地面 $\geq 0.5m$ 。

- e) 安全措施：操作闭锁有效，配备合格安全工器具。
- f) 技术资料：交接试验报告（按GB 50150和DL/T 404执行）、“三遥”验收记录、保护功能逻辑试验报告、竣工图纸、设备说明书及合格证、调试缺陷处理记录。
- 验收合格后方可投入运行。

5 运行监测

5.1 电气参数监测

系统应具备实时监测并记录以下电气参数的功能，其中，电压/电流/功率因数的准确性应符合DL/T 721的要求：

- a) 三相电压：测量误差±0.5%；
- b) 三相电流：测量误差±0.5%；
- c) 零序电流：测量误差±1%；
- d) 功率因数：测量误差±1%；
- e) 谐波畸变率（THDu）：≤4%（符合GB/T 14549要求）；
- f) 柜内温度：-5℃~60℃（测量误差±1℃）。

监测数据应每1min本地存储一次，并每5min上传至运维主站；异常数据需在15s内主动上传。

5.2 设备状态巡检

应通过DTU或专用传感器对以下状态量进行实时或定时监测，并设定预警/告警阈值，当达到预警值时，现场应能自动启动散热或除湿装置；达到告警值时，应在5s内上传至主站并触发短信/平台通知。

环网箱运行监测指标及异常处理要求应满足表1要求，数据应在本地保存至少30天，主站保存1年，支持历史曲线查询与导出。

表1 运行监测指标及异常处理要求

监测类别	监测指标	阈值要求	监测频次	采集方式	异常处理依据
电气参数	三相电压	±0.5%	实时	DTU自动采集	按DL/T 721-2024 5.3.2执行
设备状态	柜内温度	-5℃~60℃（预警45℃，告警60℃）	每15min/次（户外）、每30min/次（户内）	温湿度传感器+DTU上传	超预警时启动散热装置，超告警时停运检查
设备状态	局部放电	预警≥100pC，告警≥500pC	每月1次（常规）、每月2次（污秽地区）	局部放电在线监测装置/便携式检测仪	超预警时缩短监测频次，超告警时停电排查
电源系统	后备电池电压	标称值±5%	每日1次（自动）、每月1次（人工复核）	电池管理系统（BMS+万用表）	电压异常时检测内阻，更换电池
设备状态	柜内湿度	≤95%，出现凝露风险告警	每30min/次（户外）、每1h/次（户内）	温湿度传感器+DTU上传	出现凝露风险时启动除湿装置，湿度超限时检查密封情况
设备状态	电缆接头温度	≥80℃预警	每10min/次（负荷高峰期） 每30min/次（常规）	红外测温传感器+DTU上传	超预警时检查接头紧固情况，必要时停电处理
通信链路	信号强度	低于-85dBm预警	实时	通信模块自动采集	信号弱时检查天线位置，必要时更换通信模块
柜体防护	柜体水浸	检测到水浸即告警	实时	水浸传感器	告警时检查柜体密封及基础排水，排除积水

5.3 智能化监测补充要求

a) 支持IoT监测终端接入：环网箱应预留标准化通信接口（如LoRa、4G/5G等），允许接入第三方温度、湿度、局部放电IoT传感器，数据格式应符合GB/T 22386要求。

b) 数字孪生平台对接：运维数据（如电气参数、状态量、故障记录等）应可导出至数字孪生系统，支持设备健康度评估、故障模拟预测，数据更新频率不低于1次/min。

c) 智能诊断功能：DTU应具备故障智能诊断能力，可根据电压电流突变、局部放电趋势等数据，自动识别“电缆老化”、“开关触头磨损”等潜在缺陷，诊断准确率不低于90%（通过模拟10类典型缺陷验证，正确次数 ≥ 9 次）。

5.4 馈线自动化功能监测

a) 已投入FA功能的环网箱，主站系统应对其FA就绪状态进行实时监测，监测内容包括：终端在线状态、保护信号上传完整性、图模一致性、通信链路健康度。

b) 运维单位应每年至少配合主站部门对FA逻辑进行模拟仿真测试，验证其动作逻辑的正确性。

c) 故障发生后，若FA动作，运维人员应记录动作情况，并与调度部门核对动作过程是否正确，对误动、拒动情况进行分析与消缺。

d) FA功能的投入与退出应严格执行调度指令，并履行相应的审批手续。

6 维护检修

6.1 总体要求

维护检修工作应制定年度、季度、月度计划，应符合国家现行电力安全规程。维护类别分为日常巡检（每月1次）、定期维护（季度维护、年度维护）、缺陷处理（即时或按缺陷等级时限处理）三类。所有维护工作应完成标准化作业卡（SOP），作业完成后2日内录入运维管理系统，形成闭环。

6.2 现场巡视基本要求

a) 严禁触碰带电操作部件：包含分合闸操作手柄、功能切换旋钮、跳闸出口压板等机械传动机构，防止因误触发引发线路非计划停电事件。

b) 特殊操作前强制断电程序：实施线路检测作业（如局部放电测试）前，须执行三级断电（终端直流电源隔离 \rightarrow 跳闸压板解除 \rightarrow 遥控连接退出），形成电气隔离保护体系。

6.3 巡检准备与核验

a) 人员与工具：巡检人员需随身携带绝缘手套、验电器等个人防护用品，以及万用表、红外测温仪等常用工具，同时携带设备台账、历史缺陷记录及标准化巡视卡等资料。

b) 标识核对：巡视时同步核对设备编号、双重名称、铭牌信息（如额定电压、额定电流），确保与现场实际一致。

c) 记录填写：巡视记录应包含气象条件（温度、湿度、风力）、巡视人员、日期、范围、设备名称、缺陷情况（类别、位置、描述）、初步处理意见；发现危急缺陷（如柜内放电、气体泄漏），须立即上报运维负责人并协助消缺。

d) 巡视记录应同步上传至运维管理平台，缺陷照片现场拍摄并关联设备台账。

6.4 日常巡检

6.4.1 总体要求

日常巡检应保持每月1次，宜采用信息化手段（如扫码、NFC）完成巡检确认，系统自动生成巡检二维码标签，供下次核验。

6.4.2 标识与外观核查

a) 设备标识：线路标识、双重名称、警示标识（“高压危险”）完整清晰，一二次接线图与实际配置一致。

b) 柜体外观：无锈蚀、剥落，门锁功能正常，铰链转动灵活无卡滞，观察窗无破损。

6.4.3 通风系统维护

a) 通风口：基础通风口无异物堆积、泥土覆盖，通风通畅。

b) 防护网：钢丝网无变形破损，通风孔径符合设计要求（ $\leq 10\text{mm}$ ）。

6.4.4 间隔状态监测

a) 五位置指示系统验证：开关分合闸状态、储能状态、接地刀闸位置、隔离刀闸位置及远方/就地模式均应与实际运行工况一致。

b) 指示灯系统校验：分合闸状态灯（红绿双色）、储能指示、带电显示装置显示应与电气量测量结果匹配（如带电显示装置应在一次设备带电时点亮）。

c) 电气量测量复核：PT电压指示（单相5.77kV，线电压10kV）、电流表数值与实测值误差不超过 $\pm 5\%$ 。

6.4.5 防误闭锁验证

机械联锁机构（如隔离开关与接地刀闸联锁）处于有效闭锁状态，操作手柄联动关系正确。（如接地刀闸合闸时，隔离开关无法操作）

6.4.6 环境与DTU巡检

a) 环境适应性：电缆进出口封堵严密（无小动物侵入痕迹），柜内温度 $-5^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，除湿装置工作正常（无凝露）；

b) DTU 状态：交直流输入空开闭合，蓄电池无漏液、鼓包；光纤/无线通信模块指示灯正常闪烁（如4G模块“信号灯”常亮、“数据灯”闪烁），波特率设置符合规约要求（如9600bps）；终端定值区参数与保护整定单一致，控制字投退状态及修改记录应可追溯。

6.5 定期维护

6.5.1 季度维护

季度维护周期每三个月一次。

a) 一次设备：检查隔离开关、接地开关操作机构灵活性（手动操作无卡滞），联锁装置可靠性；测量母线接头、开关触头温升（红外测温，温升 $\leq 40\text{K}$ ，依据DL/T 404-2018 7.2.3）。

b) 二次设备：测试DTU“远方/就地”切换功能（切换后遥控、就地操作均正常）；校验时钟同步误差 $\leq 1\text{s}$ 。

c) 联动校验：通过主站发起3次遥控分合闸试验，验证一次设备动作与二次遥信反馈一致性（动作响应时间 $\leq 3\text{s}$ ，遥信正确率100%）。

6.5.2 年度维护

年度维护周期每年一次，每次维护后应出具正式试验报告，由运维负责人签字并归档，试验数据同步上传至运维管理平台。

6.5.2.1 一次设备

- a) 绝缘试验：按DL/T 2805-2024中9.2执行工频耐压试验（一次回路，相间、相对地42kV/1min、隔离端口48kV/1min）、绝缘电阻测试（一次回路 $\geq 1000M\Omega$ ）。
- b) 回路电阻：复测回路电阻，判定标准同4.3。
- c) 机械特性：复测断路器分闸时间（ $\leq 40ms$ ）、合闸时间（ $\leq 60ms$ ）、三相不同期（ $\leq 2ms$ ）。
- d) 气体处理（气体绝缘环网箱）：测量气体湿度（20℃时 $\leq 1000\mu L/L$ ），补气至额定压力。

6.5.2.2 二次设备

- a) 电池检测：容量 \geq 额定容量80%、内阻 $\leq 40m\Omega$ ，不合格则更换。
- b) 软件维护：升级DTU至最新稳定版本，备份配置参数。
- c) 定值核查：核对过流保护、零序过流保护等定值，与调度下达的整定单一致。

6.5.2.3 接地系统

用钳形接地电阻测试仪测接地电阻（ $\leq 4\Omega$ ），接地螺栓无锈蚀，接地软线无断裂。

6.6 电源系统专项测试

- a) 总体要求：电源系统专项测试每半年应进行一次。
- b) 电池检查：检查蓄电池有无老化、漏液，测量后备电池电压、内阻是否符合要求；运行年限达到5年的蓄电池应强制更换。
- c) 带载能力：断开交流电源，检查DTU及开关操作回路正常运行。
- d) 切换功能：模拟交流失电，UPS/超级电容自动切换时间 $\leq 5ms$ （用示波器测量）。

6.7 通信链路诊断

通信链路诊断每季度应进行一次，内容包括：

- a) 光纤链路：测量光纤连接器插入损耗 $\leq 0.2dB$ ，光功率预算余量 $\geq 5dBm$ ；
- b) 无线链路：射频模块发射功率符合设计要求（如4G模块发射功率 $23dBm \pm 2dBm$ ），信号强度指示满格（ $\geq -70dBm$ ）。
- c) 诊断结果应自动生成报告，异常时光功率、误码率曲线截图上传平台。

6.8 缺陷处理时限

- a) 危急缺陷：2小时内处理（如柜内起火、气体大量泄漏、接地故障），处理期间需隔离故障设备，防止扩大影响。
- b) 重要缺陷：应在7日内处理完成（如DTU通信终端、电缆接头过热 $\geq 80^\circ C$ ）。
- c) 一般缺陷：应在3个月内制定处理计划，并结合年度检修安排完成。
- d) 在缺陷消除前，设备允许维护单位应对存在缺陷的设备加强监视，防止缺陷升级。缺陷处理全过程应在线流转，形成“发现-定性-处理-验收-归档”闭环，支持二维码扫码查看进度。

6.9 大修要求

大修属于深度维护，周期不宜超过3年，内容包括：

- a) 一次设备解体检查：断路器灭弧室（有无烧蚀）、触头磨损量（用卡尺测量，磨损量 \leq 出厂值的20%）、绝缘子（有无裂纹）。
- b) 二次设备程序重构：重新写入DTU程序，校验与主站的通信协议兼容性。
- c) 接地系统全面测试：检查接地排腐蚀情况，更换锈蚀螺栓，复测接地电阻，判定标准同4.3。

d) 柜体防腐处理：对柜体内部重新喷涂防腐涂层（户外柜采用“三防”漆，符合GB/T 2423.17中96h中性盐雾试验）。

6.10 终端运行状态管理

DTU在主站系统中宜设置调试态、正常态和缺陷态等运行模式，并符合以下要求：

- a) 新投运终端在正式投运前应为调试态，主站不保存其数据。
- b) 终端正式投运后应为正常态，主站保存并利用其数据进行运行分析和故障处理。
- c) 对在线率持续过低或存在遥控失败、遥信频繁抖动等缺陷的终端，应自动或手动转换为缺陷态。
- d) 终端设备主人负责终端状态的现场验收与转换，确保主站状态与现场实际情况一致。

7 故障处理

7.1 总体原则

a) 安全优先：故障处理前必须执行“停电→验电→挂接地线→悬挂标识牌”等安全技术措施，严禁无票作业、严禁带电处理。

b) 分级处置：根据故障等级（紧急/一般）启动预案：紧急故障（如短路、人身触电）30min内到场处置，一般故障（如DTU数据异常）2小时内到场。

c) 优先复电：故障发生后立即上报调度及运维部门，记录故障时间、现象（如异响、火光）、初步原因，优先通过转供电恢复非故障段供电。

d) 所有故障处理过程应通过移动终端实时回传照片、视频、定位，形成可视化闭环。

7.2 故障快速定位与隔离

7.2.1 故障定位步骤

故障定位工作应按照以下步骤进行实施：

a) 现场勘查：观察箱体外部有无放电痕迹、焦糊味、部件脱落或外力破坏（如撞击）；查看监控系统报文（保护动作信号、电压/电流突变记录），初步判断故障类型（短路、接地、设备损坏）。

b) 绝缘检测：用绝缘电阻测试仪测故障隔室主回路对地及相间绝缘电阻，若低于 $10M\Omega$ （依据DL/T 404-2018 8.3.1），判定为绝缘异常，需进一步排查；用红外测温仪查电缆接头、开关触头温度（异常温升 $\geq 90^{\circ}C$ 提示接触不良）。

c) 逐级排查：断开故障间隔上下游断路器/负荷开关，分段试送电（每次试送后监测3min），确认故障区段；若怀疑设备内部故障（如负荷开关、熔断器），停电后打开隔室目视检查（有无烧蚀、异物）。

7.2.2 故障隔离措施

故障隔离工作应按照以下步骤进行实施：

a) 物理隔离：立即断开故障间隔的进线、出线开关及母排侧隔离开关，在操作手柄挂“禁止合闸，有人工作”警示牌；电缆故障需在电缆两端做接地封堵（挂接地线），防止反送电；

b) 安全隔离：应根据现场情况设置安全警戒区域，原则上不小于5m，禁止无关人员靠近；若存在电弧烧伤或环保气体（如SF₆替代气体）逸出风险，需通风30min后方可开箱检查（用气体检测仪测浓度，低于安全阈值方可进入）。

7.3 恢复供电流程

7.3.1 临时供电方案

若故障点可隔离（如某一馈线间隔故障），通过环网柜其他健康间隔转供电至下游负荷；重要用户（如医院）启用移动电源车临时保电（适用于故障处理超过4小时的场景）。

7.3.2 永久恢复操作

故障排除后（如更换损坏的负荷开关、修复电缆接头），按“先分闸→后合闸”顺序操作：

- a) 闭合隔离开关（先母线侧、后负荷侧）。
- b) 闭合负荷开关/断路器（手动或遥控）。
- c) 应由运维人员确认无异常后，方可撤离现场。
- d) 记录归档：更新设备台账（故障原因、处理措施、更换部件型号），形成故障处理报告。
- e) 恢复送电后1h内，DTU应完成一次全面自检，结果上传主站。

7.4 故障后设备检查与修复

7.4.1 全面检查项目

全面检查项目应按表2的要求进行实施，检查数据应现场录入移动终端，照片自动叠加时间、位置水印。

表 2 全面检查项目

检查部位	检查内容	工具/方法
外观检查	箱体变形、烧蚀痕迹、密封胶条老化	目视+拍照存档
一次设备	负荷开关分合闸灵活性、触头磨损量（ \leq 出厂值 20%）；熔断器熔丝规格；避雷器计数器动作次数	手动操作+卡尺测量
二次回路	接线端子紧固度（力矩扳手测 $\geq 15\text{N}\cdot\text{m}$ ）、继电器触点状态（无烧蚀）、控制电缆绝缘层（无破损）	力矩扳手+万用表
接地系统	接地螺栓锈蚀、接地电阻值（ $\leq 4\Omega$ ）	钳形接地电阻测试仪
电缆线路	电缆头外观（无开裂）、绝缘层破损、电缆沟积水	目视+绝缘电阻测试仪
通信模块	模块指示灯状态（正常闪烁）、接口松动、天线损坏	目视+通信测试仪
电源系统	蓄电池漏液、鼓包，充电器输出电压（DC $54\text{V}\pm 5\%$ ）	目视+万用表

7.4.2 典型故障修复

- a) 短路故障：清理电缆沟内杂物，更换受损电缆头及绝缘护套；检查负荷开关灭弧室（烧蚀则整体更换），复测绝缘电阻（ $\geq 1000\text{M}\Omega$ ）。
- b) 接地故障：排查电缆外皮破损（如被老鼠咬坏）或接地点腐蚀，修复后做电缆直流耐压试验（10kV 电缆试验电压 24kV/15min）；校验接地刀闸接触电阻（ $\leq 50\text{m}\Omega$ ），确保接地可靠。
- c) DTU 通信故障：检查通信模块电源（DC $12\text{V}\pm 1\text{V}$ ）、天线连接（无松动）及 SIM 卡状态（无欠费、无损坏），更换故障模块；重新配置通信参数（IP 地址、端口号等），确保与主站正常通信。
- d) 后备电源故障：更换老化蓄电池组（容量 \leq 额定值 80%），测试 UPS 切换功能（切换时间 $\leq 5\text{ms}$ ）；检查充电器输出电压（DC $58\text{V}\pm 2\text{V}$ ），不符合则更换充电器。
- e) 故障处理完成后，应认真分析故障原因，检查自动化系统对故障事件的反应和记录是否正确，并进行详细记录和结论归档。对于频发或典型故障，应纳入缺陷案例库，用于指导后续运维工作。

7.4.3 测试与验收

- a) 绝缘与耐压：修复后，测设备绝缘电阻及主回路电阻，应符合 4.3.2 要求；做交流耐压试验应符合 4.7.2 要求；电缆做直流耐压及泄漏电流测试（泄漏电流 $\leq 10\mu\text{A}$ ）。
- b) 功能验证：模拟故障信号（如短路电流），验证保护装置动作正确性（跳闸时间 $\leq 0.5\text{s}$ ）；多次分合闸操作（3 次），检查机械联锁及电气指示一致性。
- c) 签字确认：测试数据经运维负责人签字后，方可投入运行，测试报告归档至设备档案。

8 安全防护

8.1 外壳防护

环网箱外壳防护等级不低于 IP43（依据 GB/T 4208），具体要求：

- a) 门体与锁具：关闭后无缝隙，配备防盗锁具（钥匙唯一编号，专人保管）；门铰链应加装防撬销，开启角度 $\geq 110^\circ$ ，且具备自动限位功能。
- b) 材质与防腐：户外柜采用冷轧钢板（厚度 $\geq 2\text{mm}$ ）或铝合金（厚度 $\geq 2.5\text{mm}$ ），表面喷涂“三防”漆（防盐雾、防湿热、防霉菌），满足 GB/T 2423.17 96h 中性盐雾试验。
- c) 散热与防护：顶部设防雨百叶窗，底部进风口加装金属滤网（孔径 $\leq 1\text{mm}$ ）；户外柜设立防撞杆（高度 400mm，抗冲击 $\geq 50\text{kJ}$ ，依据 GB/T 2423.6 碰撞试验）。

8.2 防误操作闭锁

应具备完善的防误操作闭锁功能，包括但不限于：

- a) 负荷侧断路器分闸后，方可操作隔离开关（机械联锁）。
- b) 接地刀闸合闸时，禁止合闸操作（电气闭锁+机械闭锁）。
- c) 带电隔室门与接地刀闸联锁（接地刀闸未合闸时，门无法打开）。
- d) 带电状态下禁止挂接地线（带电显示装置与接地刀闸联锁，带电时接地刀闸无法合闸）。
- e) 所有带电部件封闭于独立隔室（如断路器隔室、母线隔室），隔室间隔离等级符合 GB/T 3906-2020 LSC2A 类。
- f) 闭锁机构每年做 10 次模拟操作试验，无失败记录；设置紧急解锁装置，需双人授权使用，解锁后进行记录（时间、原因、人员）。
- g) 闭锁状态应接入 DTU 遥信，主站实时监视，异常时 5s 内告警。

8.3 接地保护

8.3.1 主接地排

- a) 材质：T2 铜排，截面积 $\geq 50\text{mm}^2$ ；
- b) 螺栓：不锈钢 M12，紧固力矩 $\geq 40\text{N}\cdot\text{m}$ ；
- c) 柜门通过 $\geq 6\text{mm}^2$ 铜芯软线与主接地排可靠连接。

8.3.2 在线监测（推荐）

推荐配置接地电阻在线监测仪，要求：

- a) 测量精度 $\leq \pm 2\%$ ；
- b) 数据刷新周期 1min；
- c) 接地电阻超限（ $> 4\Omega$ ）时，现场声光告警（声音 $\geq 80\text{dB}$ ，灯光为红色闪烁）并上传主站。

d) 接地电阻数据应纳入月度运行报告，超阻值站所需在 7 日内完成整改。

8.4 户外环境安全

8.4.1 警示标识

箱体外部显著位置张贴“高压危险”反光警示牌（字体高度 $\geq 50\text{mm}$ ），符合GB 2894要求。各隔室标识清晰，注明设备名称、编号及电压等级。

8.4.2 专项防护

- a) 防小动物：基础底部设金属网格（网格孔径 $\leq 10\text{mm}$ ），电缆穿管采用阻燃管材（氧指数 $\geq 32\%$ ，符合GB/T 2406.2要求）。
- b) 防火阻燃：电缆舱、端子排区域采用V-0级阻燃材料（燃烧时间 $\leq 10\text{s}$ ，无滴落），柜体内部配备气溶胶灭火器（灭火剂量 $\geq 200\text{g}$ ，适用于电气火灾Class C）。
- c) 环境适应性：外壳涂层抗紫外线老化（老化试验后涂层附着力 ≥ 1 级，依据GB/T 9286），适应 $-40^\circ\text{C}\sim+70^\circ\text{C}$ 极端温差，防水等级符合GB/T 4208中IP43要求。
- d) 台风、暴雨前后应开展专项检查，记录柜体密封、基础排水、防撞杆完好情况。

8.5 应急处置要求

- a) 柜体起火：必须立即断开上级电源，用二氧化碳灭火器灭火（禁止直接喷水）；火势较大时拨打火警电话，疏散周边人员（半径 $\geq 10\text{m}$ ）；灭火后检查绝缘损伤，绝缘电阻 $\geq 1000\text{M}\Omega$ 方可恢复送电。
 - b) 绝缘气体泄漏：若气体压力1小时内下降 $\geq 10\%$ ，立即撤离现场并保持通风（开启柜体通风扇）；用气体检测仪测浓度（低于安全阈值）后方可进入；泄漏点修复后重新补气（至额定压力），静置24小时做气密性试验（漏气率 $\leq 0.5\%/年$ ）。
 - c) 人身触电：立即切断电源（拉开隔离开关或使用绝缘杆挑开电线），对触电者实施心肺复苏（CPR），同时拨打120及调度电话；现场保护，待事故调查且整改（如接地、绝缘、标识）完成后，方可恢复供电。
 - d) 自然灾害：台风前检查柜体固定情况（基础螺栓紧固力矩 $\geq 50\text{N}\cdot\text{m}$ ），加固防雨设施（如防雨帽），关紧柜门并加贴封条；暴雨后检查柜内湿度，若 $\geq 95\%$ ，应检查是否进水，绝缘电阻 $< 1000\text{M}\Omega$ 需烘干+通风处理，排除积水后方可投运。
 - e) 应急处置全过程应通过移动终端录制视频，自动上传至安监与运维平台，形成应急档案。
-