

T/WEA

团 体 标 准

T/WEA XXXX—2026

电力系统智能巡检与故障诊断实施规程

Code of practice for implementation of intelligent inspection and
fault diagnosis in power systems

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国智慧工程研究会 发布

目 次

前言 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体原则 3

5 系统架构与功能要求 4

6 巡检对象与数据采集要求 7

7 数据传输与存储要求 10

8 数据质量控制与治理要求 13

9 故障诊断与健康评估要求 15

10 告警处置 18

附录 A（规范性） 数据流与诊断链路 21

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。

本文件由中国智慧工程研究会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

全国团体标准信息平台

引 言

电力系统作为关键基础设施，其安全稳定运行直接关系到国民经济运行、社会公共安全与民生保障。随着新能源大规模并网、交直流混联、电网结构复杂度提升以及用户侧负荷特性快速变化，电力设备运行环境与故障机理呈现出“多源扰动、多尺度耦合、隐患早期信号弱、故障演化路径复杂”的新特征。传统以人工巡检为主、以事后检修为主的运维模式，在覆盖频次、响应速度、缺陷识别一致性、复杂工况下的诊断准确性以及人员安全保障等方面面临明显瓶颈，已难以满足新型电力系统对“可观、可测、可控、可预警”的要求。

智能巡检与故障诊断技术的发展，为电力系统运维模式转型提供了有效路径。基于传感监测、移动终端、无人机/机器人巡检、在线监测装置、边缘计算与云平台协同、人工智能识别与知识推理、数字化台账与工单闭环等技术手段，可实现对输电线路、变电站（含一次/二次设备）、配电网及重要用户侧关键设备的状态信息采集与融合分析，推动设备管理由“定期检修”向“状态检修”、由“经验判断”向“数据驱动”、由“被动抢修”向“主动预警”转变。与此同时，数据来源多样、协议接口不统一、标注样本不足、模型可解释性与泛化能力不稳定、告警噪声与误报漏报、网络与数据安全、跨专业协同流程不清晰等问题，也使得不同单位在系统建设与落地应用中形成较大差异，迫切需要形成统一、可执行、可评价的技术规程。

本文件面向电力系统智能巡检与故障诊断的工程实践需求，围绕“巡检对象—数据采集—传输与存储—质量控制—融合分析—诊断判据—告警分级—处置闭环—持续优化”的全流程，规定实施原则、系统架构要求、数据与接口要求、算法与模型管理要求、业务流程与职责分工、性能评价与验收方法，以及安全与合规要求。

本文件适用于电网企业及其运维单位、发电企业、重要用户（如轨道交通、数据中心、化工园区等）以及为电力行业提供智能巡检与故障诊断系统/服务的相关组织。在具体应用中，应根据电压等级、设备类型、场站环境、运维组织方式、信息化基础与风险等级，进行分层分级配置与实施。本文件强调工程可落地与可评价：既覆盖现场巡检作业与在线监测的协同，也覆盖平台侧的模型治理与告警运营；既关注算法能力，也关注数据、流程、人员与制度的配套，从而支撑智能运维体系的长期稳定运行与持续迭代优化。

电力系统智能巡检与故障诊断实施规程

1 范围

本文件规定了电力系统智能巡检与故障诊断的实施总体原则、系统架构与功能要求、巡检对象与数据采集要求、数据传输与存储要求、数据质量控制与治理要求、故障诊断与健康评估要求及告警处置等内容。

本文件适用于输电、变电、配电及重要用户侧电力设备与辅助系统的智能巡检与故障诊断工程实施，包括但不限于：输电线路与通道、变电站一次设备与站内环境、二次系统关键装置与通信链路、配电网开关设备与台区设施、发电厂/新能源场站关键设备及其监控系统、重要用户关键供配电设备与应急电源系统等。对于仅开展单一巡检手段（如仅人工巡检或仅无人机拍照）且不涉及诊断闭环管理的应用场景，可参考本文件有关条款执行。

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 1.1 标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则

GB/T 2887 计算机场地通用规范

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 28448 信息安全技术 网络安全等级保护测评要求

GB/T 35273 信息安全技术 个人信息安全规范

GB/T 37988 信息安全技术 数据安全能力成熟度模型

GB/T 43697—2024 数据安全技术 数据分类分级规则

GB/T 43705—2025 科学数据安全分类分级指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能巡检 intelligent inspection

利用传感监测、移动终端、无人机、机器人、在线监测装置及智能分析技术，对电力设备、环境与通道状态进行自动或半自动采集、识别与评估的巡检方式。

3.2

故障诊断 `fault diagnosis`

基于采集到的状态量、事件量、告警量与历史运维信息，对故障类型、部位、原因及演化趋势进行识别、定位与解释的过程。

3.3

健康评估 `health assessment`

对设备运行健康程度进行量化评价的过程，通常输出健康指数、风险等级或剩余寿命区间，用于指导检修策略。

3.4

状态量 `condition parameter`

用于表征设备运行状态的连续或准连续测量数据，如温度、振动、局部放电、油中气体、开关分合闸特性等。

3.5

事件量 `event data`

反映设备或系统状态突变的离散数据，如跳闸事件、保护动作、遥信变位、通信链路中断等。

3.6

告警 `alarm`

当状态量或事件量满足预设规则或模型判据时触发的异常提示信息，包含告警等级、对象、时间、依据与处置建议等。

3.7

数据治理 `data governance`

围绕数据标准、质量、主数据、元数据、权限、生命周期、可追溯等开展的制度与技术管理活动。

3.8

边缘计算 `edge computing`

在靠近数据源的现场或站端节点进行数据预处理、压缩、特征提取、初步识别或本地联动控制的计算模式。

3.9

闭环处置 `closed-loop handling`

对告警或缺陷从发现、研判、派单、处置、复核到归档复盘的全流程管理，确保问题可追溯、可验证、可持续改进。

3.10

模型治理 model governance

对算法模型的版本管理、训练数据管理、验证评估、上线审批、漂移监测、回滚与审计追踪等管理要求的总称。

4 总体原则

4.1 以风险为导向的分层分级实施

智能巡检与故障诊断实施应坚持风险导向，依据设备重要度、故障后果、运行工况复杂度、环境暴露程度、历史缺陷分布与供电可靠性要求，开展分层分级配置。对主网关键通道、枢纽变电站关键一次设备、重要二次系统链路、重要用户核心供配电设备等高风险对象，应优先部署多源感知与高频巡检，配置更严格的诊断阈值、告警运营规则与闭环处置时限；对一般对象可采用低频巡检与抽检相结合方式，以统一平台纳管逐步扩展覆盖范围。分层分级的对象划分、数据来源与诊断关注点的典型对应关系见表1。

表1 典型巡检对象、数据来源与诊断关注点

巡检对象类别	典型对象	主要数据来源	典型诊断关注点
输电线路与通道	导线、绝缘子、金具、杆塔、通道环境	无人机可见光/红外、激光点云、综合在线监测、通道视频	发热缺陷、外力破坏隐患、覆冰/舞动风险、树障与异物
变电一次设备	变压器、GIS、断路器、隔离开关、互感器	红外测温、局放、油色谱、振动与声学、开关特性	局放异常、过热、机构卡滞、绝缘老化、气体异常
变电站环境与辅控	站内环境、消防、门禁、空调、通信机房	环境传感、视频、门禁日志、辅控系统数据	温湿度越限、入侵、设备过温、通信异常
配电网设备	开关柜、环网柜、柱上开关、台区设施	在线监测、手持终端、配变监测、停电事件	接头发热、局放、负荷异常、跳闸原因定位
用户侧关键供配电	变配电室、UPS、应急电源、母线	能耗与电能质量、设备状态监测、事件记录	供电可靠性风险、电能质量异常、冗余失效

4.2 数据驱动与规则判据并重

故障诊断与健康评估应采用规则判据与数据模型相结合的技术路线。对机理清晰、阈值稳定、可测量性强的状态量与事件量，应优先采用规则判据与专家规则库实现快速识别与可解释输出；对环境扰动强、早期信号弱、特征关联复杂的对象（如通道外力破坏隐患、局放模式识别、开关机构早期卡滞、配电网间歇性故障等），宜采用机器学习、深度学习或知识推理方法提升识别能力。无论采用何种方法，诊断输出均应提供数据依据、判定逻辑或证据链，使结果支持复核、追溯与审计，并能够指导处置策略。

4.3 端—边—云协同与闭环处置优先

系统建设应遵循端—边—云协同原则，形成“采集—预处理—融合—诊断—告警—处置—复核—归档—复盘”的闭环运行机制。端侧负责稳定采集与现场可视化取证，边缘侧承担必要的的数据预处理、质

量校验、特征提取与本地快速告警，云侧承担多源融合分析、模型推理、告警运营、工单管理与知识沉淀。为说明端一边一云协同与闭环运行关系，参考架构见图1。

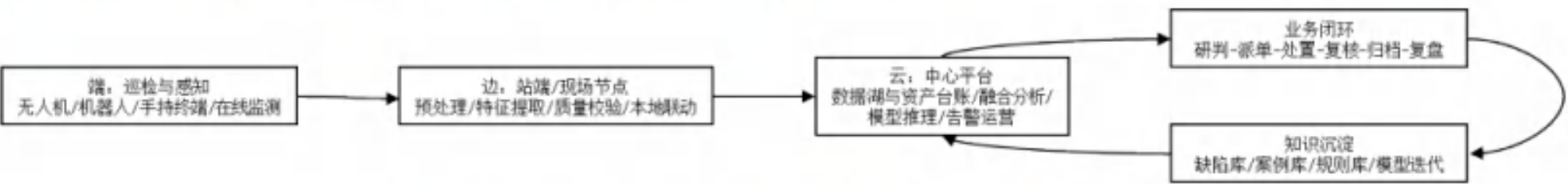


图1 智能巡检与故障诊断端一边一云闭环架构

闭环处置应以“可处置、可验证、可追溯”为原则，告警信息应包含对象定位、时间、证据、等级、建议处置与责任边界，避免仅输出“黑箱告警”。对需要现场复核的告警，应形成统一复核路径与复核记录；对确认缺陷或故障的处置结果，应回写台账、缺陷库与案例库，为后续模型迭代与阈值优化提供依据。

4.4 标准统一、接口开放与可扩展部署

智能巡检与故障诊断应建立统一的对象编码体系、数据字典、事件模型、告警模型与接口规范，保证不同厂商设备、不同巡检载体与不同业务系统之间的数据互联互通与结果可比。系统应支持增量接入与分阶段建设，满足新增设备类型、新增巡检载体、新增算法模型的平滑扩展需求；应支持模型灰度上线、版本回滚与多版本并行对比验证，避免一次性切换引入运行风险。对接既有生产管理系统（如设备台账、缺陷管理、工单系统、调度与监控系统等）时，应明确数据责任边界、同步频率与一致性校验机制，确保闭环链路连续可靠。

4.5 安全合规、最小权限与可审计

智能巡检与故障诊断系统涉及生产控制数据、关键基础设施运行信息及可能的个人信息或视频图像信息，应落实网络安全等级保护与数据分类分级要求，遵循最小权限与分域隔离原则。应对采集、传输、存储、使用、共享与销毁全过程实施访问控制、加密保护与审计追踪，确保关键操作可追溯、关键数据可定位、关键事件可复盘。对外部承包商、第三方平台或云资源使用，应明确安全责任与边界，制定数据出域控制与合规审查机制，避免因供应链或接口暴露导致的系统性风险。

4.6 持续改进与运营化管理

智能巡检与故障诊断应以长期运营为导向，建立指标化管理与持续改进机制。应持续监测巡检覆盖率、数据完整率、告警准确率、误报漏报率、平均响应时间、闭环完成率与复发率等关键绩效指标；应定期开展案例复盘、规则库维护、模型漂移监测与再训练评估；对季节性、地域性与设备批次差异引起的分布变化，应通过阈值自适应、分场景模型与分层策略及时调整，保证系统在全生命周期内保持稳定有效。

5 系统架构与功能要求

5.1 总体架构要求

智能巡检与故障诊断系统应采用端—边—云协同架构，形成数据采集、传输、存储、融合分析、诊断推理、告警运营与处置闭环的一体化能力。系统建设应保证：多源数据可接入、关键链路可用、诊断输出可解释、告警可处置、处置可复核、结果可沉淀。系统端—边—云协同与闭环运行关系见图1。

系统应支持分阶段部署与平滑扩展：初期可聚焦高风险对象与高价值场景（如输电通道外力破坏隐患、变电站红外测温与局放诊断、配电网开关柜局放与接头发热等），在统一数据标准与平台能力基础上逐步扩展至更多设备类型与更广覆盖范围。

5.2 端侧功能要求

端侧包括无人机、巡检机器人、手持终端、固定摄像头/通道视频、在线监测装置及其配套传感器等。端侧应满足以下要求：

- a) 采集能力：支持可见光、红外、声学、局放、电参量、环境量等至少一种或多种数据采集，对图像类数据应满足清晰度、曝光与稳定性要求，避免因成像质量导致误检漏检；
- b) 定位与标注：支持对象定位（杆塔号/间隔号/设备位号/二维码/RFID/地理坐标等）与采集时间自动记录，具备现场快速标注缺陷位置与类型的能力；
- c) 现场安全：端侧设备应符合电力现场安全作业要求，具备必要的防触电、防跌落、防碰撞与禁飞/禁入控制；
- d) 数据缓存：在通信中断或弱网条件下具备本地缓存与断点续传能力，防止巡检数据丢失；
- e) 交互与反馈：对需要现场确认的告警或复核任务，应支持在端侧提示、回传证据与记录处置结果。

5.3 边缘侧功能要求

边缘侧用于靠近数据源进行预处理、质量控制与必要的本地联动。边缘节点应满足：

- a) 数据预处理：支持去噪、时间对齐、压缩编码、特征提取、初步异常检测；
- b) 质量校验：支持完整性校验、格式校验、异常值识别、重复数据去重与采集异常标记；
- c) 本地告警：对强实时或高风险场景（如站内设备过温越限、通信链路中断、局放突增等），支持本地快速告警与联动输出（如提示现场人员、联动辅控系统等），并保证告警同步上传；
- d) 离线能力：在云侧不可用或链路异常时，仍应保持关键数据采集与关键告警输出能力；
- e) 安全隔离：边缘节点应满足现场网络分区与访问控制要求，避免对生产控制网络造成不利影响。

5.4 云侧功能模块要求

中心平台（云侧）应至少包含数据层、资产与台账层、分析与诊断层、告警运营层、闭环工单层、知识与模型治理层、系统管理与安全审计层等模块。为便于工程实施明确输入输出与责任边界，平台功能模块与典型要求见表2。

表2 功能模块、输入输出与责任边界

功能模块	主要输入	主要输出	责任边界与控制要点
数据接入与接口管理	端/边数据流、第三方系统数据	统一数据流、接入日志	协议适配、鉴权、限流、数据落库一致性
数据治理与质量控制	原始数据、元数据、主数据	清洗数据、质量报表	质量规则、异常标记、可追溯、数据血缘
资产台账与对象编码	设备清册、位号、GIS信息	统一对象编码、资产画像	主数据权威源、变更同步、版本控制
融合分析与特征工程	多源状态量/事件量	特征集、关联结果	时间对齐、空间关联、跨源一致性校验
故障诊断与健康评估	特征集、规则库、模型	诊断结论、健康指数、证据链	可解释输出、置信度、模型版本可追溯
告警运营与分级	诊断输出、阈值策略	告警、告警等级、处置建议	去重抑制、告警合并、噪声控制、SLA
工单闭环与处置	告警、巡检任务、人员资源	工单、处置记录、复核结论	研判-派单-处置-复核-归档全链路
知识库与案例库	处置结果、复盘记录	缺陷库、案例库、规则迭代建议	结构化沉淀、检索、复用与权限管理
模型治理与评估	训练数据、验证集、监测指标	模型版本、评估报告、漂移告警	上线审批、灰度、回滚、审计追踪
安全与审计	账号权限、访问日志、操作日志	审计报表、异常访问告警	最小权限、分域隔离、日志不可篡改

5.5 业务流程与系统联动要求

系统应支持从巡检计划制定到闭环复盘的全流程数字化管理，至少包括：

- a) 任务计划：按对象分级生成巡检策略与任务清单，支持周期巡检与专项巡检；
- b) 执行采集：端侧按任务采集并自动关联对象编码与位置信息；
- c) 数据入湖：端/边数据按统一接口入库，完成质量校验与标记；
- d) 融合诊断：平台进行规则判据与模型推理，输出告警与诊断结论；
- e) 告警运营：告警分级、去重抑制、关联合并并生成处置建议；
- f) 闭环处置：派单到责任单位/班组，完成现场处置与复核；
- g) 归档复盘：处置结果回写台账与知识库，驱动规则与模型迭代。

上述数据流与诊断链路在系统层面的典型关系见附录A。

5.6 接口与互操作性要求

系统应支持与常见电力行业数据与业务系统互联互通，并明确权威数据源与同步机制：

- a) 与设备台账/资产管理系统：同步设备清册、位号、投运信息、检修记录等；
- b) 与生产管理/缺陷管理/工单系统：同步缺陷状态、工单流转与处置结果；
- c) 与调度/监控/保护信息系统：获取事件量、遥信变位、保护动作信息；
- d) 与综合在线监测系统与站内辅控系统：接入局放、油色谱、温湿度、视频等数据；
- e) 数据接口应支持批量与实时两类模式，具备鉴权、加密、限流与审计能力。

接口对接应避免直接跨区访问生产控制核心区，宜采用隔离区/数据中转区方式实现安全交换。

5.7 可用性、可靠性与容量要求

系统应根据巡检覆盖范围与数据规模确定容量指标，包括但不限于：并发接入数、日增数据量、图像/视频存储周期、在线推理吞吐、告警峰值处理能力等。平台应具备故障告警、冗余与容灾能力，关键模块发生故障时应支持降级运行并保证数据不丢失、告警不漏报（可允许延迟但应可追溯）。对强实时场景，应优先在边缘侧实现快速告警并与云侧结果一致或可对齐。

6 巡检对象与数据采集要求

6.1 总则

智能巡检数据采集应围绕“对象可定位、要素可复核、证据可追溯、质量可量化”的原则组织实施，确保采集数据能够支撑后续融合分析、故障诊断、告警分级与闭环处置。采集内容应覆盖设备状态量、事件量与环境量，并与对象编码、位置信息、时间戳、采集工况、采集载体与操作者信息建立关联，形成最小可用数据集。系统总体数据流与诊断链路关系见图2。

采集方案应结合对象分层分级结果确定采集频次与采集手段组合：对高风险对象应优先采用“在线监测+周期巡检+专项巡检”的多源组合；对一般对象可采用周期巡检与事件触发巡检相结合方式。采集要素与数据来源的典型对应关系可参照表1。

6.2 巡检对象分类与采集边界

6.2.1 对象分类

巡检对象宜按输电线路与通道、变电一次设备、变电站环境与辅控、变电二次系统与通信链路、配电网设备、重要用户侧供配电与应急电源系统等分类，并在资产台账中建立统一对象编码与位号映射。对象编码与台账职责边界应符合表2中“资产台账与对象编码”模块要求。

6.2.2 采集边界

采集边界应明确“必采要素、选采要素与禁止采集内容”：

- a) 必采要素应支撑诊断闭环最小需求，包括对象定位信息、采集时间、主要状态量/图像证据、采集工况与采集载体信息；
- b) 选采要素用于提升诊断准确率与可解释性，如声学特征、点云结构量、局放谱图等；
- c) 涉及个人信息或敏感场景的视频与定位信息应遵循最小化原则采集，并按数据分类分级要求进行脱敏、授权与审计。

6.3 数据类型与采集内容要求

6.3.1 状态量采集

状态量应根据设备类型确定，宜包含但不限于：温度（红外/接触式）、振动、局部放电、油中溶解气体、开关分合闸特性、电参量（电压、电流、功率因数、谐波等）、绝缘参数、环境温湿度等。状态量采集应明确量纲、采样率、量程与精度等级，并记录传感器型号、校准信息与安装位置。

6.3.2 事件量采集

事件量应覆盖跳闸/分闸、保护动作、告警触发、遥信变位、通信链路中断、设备自检异常等。事件量应具备统一事件编码、事件源系统标识、发生时间、对象编码与关键字段（如动作元件、动作相别、动作值、持续时间等），并支持与状态量和图像证据的时间对齐。

6.3.3 图像、视频与多媒体采集

图像与视频应支持缺陷识别与复核取证，采集时应确保视角覆盖关键部位、对焦清晰、曝光合理，并避免强反光与运动模糊。对红外图像应记录发射率设置、环境温度、测温距离与测温点位置；对可见光图像应记录焦距或等效视场信息。对无人机巡检，应记录航线、飞行高度、云台角度与气象条件。

6.3.4 点云、三维与结构化采集

对通道建模、杆塔倾斜、导线弧垂、通道树障等场景，宜采用激光点云或三维重建数据。应记录坐标系、基准点、配准参数与精度评估结果，并保持可复现的配准流程。

6.4 采集频次与触发机制要求

采集频次应结合风险等级、设备健康状态与季节性规律确定，并支持动态调整：

- a) 周期巡检：按月/季/半年等周期执行，覆盖常规缺陷发现；
- b) 事件触发巡检：由跳闸事件、异常告警、极端天气预警、通道外破风险等触发，要求在规定时间内完成取证；
- c) 专项巡检：在迎峰度夏、迎峰度冬、重要保供期或设备检修窗口期开展，强化对重点部位与历史缺陷复查。

巡检任务与对象清单应由平台统一生成与派发，任务执行与回传要求应满足第5章闭环流程要求。

6.5 数据质量要求

6.5.1 完整性与一致性

采集数据应满足最小可用数据集要求，不得缺失对象编码、采集时间、采集载体标识与关键证据字段。数据格式、单位与命名应符合统一数据字典，避免同一要素在不同系统间出现不同含义或不同量纲。

6.5.2 准确性与可用性

状态量应在传感器量程与精度范围内可靠采集，超过量程、明显异常值或传感器故障应进行标记并触发复采或维护。图像类数据应满足可识别性要求，出现模糊、严重过曝/欠曝、遮挡关键部位等情形应判为不可用并要求补采。

6.5.3 时序对齐与时间同步

多源数据应具备统一时间基准。端侧与边缘节点应启用统一时间同步机制，并在数据入湖时记录时间源与同步状态。对于跨系统事件关联，时间误差超出诊断需求阈值时，应采用对齐校正策略并保留校正记录。

6.5.4 采集工况记录

采集时应记录影响判读的关键工况参数，如负荷水平、环境温度、风速、降雨/覆冰、站内运行方式、设备切换状态等。缺少关键工况信息导致无法复核诊断依据的，应判为数据证据不足并触发补采或人工复核。

为便于工程实施阶段统一不同数据类型的最低采集与质量判定要求，典型建议见表3。

表3 典型数据类型的最低采集与质量判定要点

数据类型	最低采集要求	关键元数据	质量判定要点
可见光图像	分辨率满足缺陷可识别；覆盖关键部位不少于2个视角	对象编码、时间、视角/距离、采集载体	清晰可辨、无遮挡关键部位、无明显运动模糊
红外图像/测温	同一部位可见光与红外配对采集；测温点可定位	发射率、环境温度、距离、测温点位置	温度读数稳定；热点边界可辨；参数记录齐全
视频	覆盖关键动作或关键部位连续过程	帧率/时长、对象编码、采集路径	连续不丢帧；关键过程无严重抖动；可回放复核
局放数据	支持幅值与相位/谱图等关键特征输出	传感器类型/安装点、采样配置、工况	噪声水平受控；特征稳定可复现；异常段可定位
振动/声学	采样率满足特征提取；采集时长满足统计稳定	传感器位置、安装方式、转速/负荷	饱和/削波为不合格；重复采集一致性满足阈值
点云/三维	满足目标结构分辨；可完成配准与测量	坐标系、配准参数、精度评估	配准残差受控；关键结构完整；无大面积空洞
事件量/日志	事件字段完整；具备统一事件编码	事件源系统、对象编码、发生时间	时间戳可对齐；字段不缺失；重复事件可去重

6.6 数据标识、命名与目录组织

采集数据应按“对象编码—时间—数据类型—采集载体—序号”的规则进行命名与目录组织，保证跨系统检索一致。建议采用分层目录结构：区域/站所—电压等级—对象编码—日期—数据类型。对同一对象的多模态数据（可见光、红外、局放、点云等）应建立关联索引，支持一键回溯同一时间窗证据链。

6.7 采集安全与现场作业要求

巡检作业应符合电力现场安全管理要求，执行作业许可、风险辨识与安全隔离措施。无人机巡检应遵守禁飞区与电磁环境约束，确保不干扰电力设备运行；机器人巡检应具备防碰撞与紧急停止能力；手

持终端与传感器安装应避免带电风险与高处坠落风险。涉及站内视频与通道视频的采集与回传，应落实访问控制与审计，防止视频外泄造成安全风险。

7 数据传输与存储要求

7.1 总则

数据传输、接口与存储应满足“安全可控、稳定可靠、标准统一、可追溯可审计”的要求，确保端侧采集数据能够在规定时限内完整进入中心平台并支撑诊断与闭环处置。系统总体数据流与诊断链路见图2。数据接入与接口管理、数据治理与质量控制、以及安全与审计的责任边界应符合表2规定的要求。

7.2 数据接入方式要求

7.2.1 接入模式

系统应支持以下一种或多种接入模式，并在工程实施方案中明确适用范围：

- a) 实时流式接入：适用于在线监测、站内环境与关键告警等数据，要求低时延、可订阅、可回放；
- b) 批量文件接入：适用于无人机巡检图像/视频、点云与离线巡检结果等数据，要求断点续传与完整性校验；
- c) 事件驱动接入：适用于跳闸事件、保护动作、遥信变位等事件量，要求事件编码统一、时间同步可靠；
- d) 混合接入：对同一对象的多模态数据，可采用“事件驱动触发批量回传+关键摘要实时上报”的组合方式。

7.2.2 边缘网关与协议适配

对于非标准接口或老旧设备数据，应通过边缘网关进行协议适配与数据标准化，避免直接将原始私有协议暴露至平台侧。边缘网关应支持缓存、重传、限流与异常断链告警，并应记录接入日志用于追溯。

7.3 接口规范与数据标准要求

7.3.1 对象编码与主数据一致性

所有接入数据必须绑定统一对象编码，并与资产台账保持一致。对象编码、位号、地理位置、间隔信息等主数据应以权威数据源为准，并建立同步机制与冲突处置规则。对象编码与台账管理要求见表2“资产台账与对象编码”模块。

7.3.2 数据字典与字段规范

系统应建立统一数据字典，至少覆盖：

- a) 状态量名称、单位、量纲、采样率/统计周期、精度与量程；
- b) 事件量字段、事件编码、来源系统标识、关键参数；

- c) 告警字段、告警等级、证据链字段、处置状态字段；
- d) 图像/视频/点云等多媒体数据的元数据字段。

数据字典应版本化管理，变更应可追溯，并同步至边缘网关与端侧采集应用，避免“同名异义或异名同义”。

7.3.3 数据交换接口

平台对外接口应同时支持系统间对接与业务应用调用，宜提供：

- a) 基于HTTP/HTTPS的REST接口或等效接口，用于查询、批量提交与工单交互；
- b) 消息队列或订阅发布接口，用于实时告警与事件流分发；
- c) 文件传输接口，用于大文件（视频、点云）上传与下载，支持分片、断点续传与校验；
- d) 行业协议对接能力（适用时），例如站内通信与远动协议的网关对接。

接口必须具备鉴权、授权、签名校验、访问控制、审计记录与限流机制。

7.3.4 时间戳与同步字段

所有数据应包含统一时间戳字段，并记录时间源与同步状态。对于需要跨源关联的关键数据，应提供采集时间、接入时间、入库时间等多时间戳，以便定位链路时延与数据缺失环节。时间对齐与同步要求应满足6.5.3规定。

7.4 传输安全与网络分区要求

7.4.1 网络分区与隔离

系统部署应遵循生产控制网络分区分域原则，端/边/云之间的数据交换应通过安全隔离区或数据中转区进行，避免跨区直连生产控制核心区。对接既有调度、监控、保护信息等系统时，应采用白名单、单向传输或网闸等控制手段，并明确责任边界与审批流程。

7.4.2 加密与完整性保护

跨网段、跨区域传输的数据应采用加密通道，关键数据应采用传输完整性校验（如哈希校验）与重放防护。对大文件传输应采用分片校验与全量校验组合，确保文件在传输与落库过程中不被篡改且不缺片。

7.4.3 身份认证与访问控制

所有接入主体（端侧设备、边缘网关、第三方系统、运维人员账号）应具备唯一身份标识并进行强认证。应实施最小权限原则，按角色与对象范围授权，禁止共享账号与越权访问。安全审计要求见表2“安全与审计”模块。

7.5 数据存储分层与生命周期管理

7.5.1 分层存储

平台存储应采用分层策略，至少包括：

- a) 原始数据层：保留原始采集文件与原始记录，用于取证与复核；
- b) 清洗标准化层：完成格式统一、质量标记与时间对齐的数据，用于分析；
- c) 特征与结果层：存储特征集、诊断结论、告警记录、工单记录等结构化结果；
- d) 索引与检索层：支持按对象编码、时间窗、缺陷类型、告警等级等快速检索。

分层存储与数据血缘关系应可追溯，满足审计与复盘需求。

7.5.2 元数据与血缘

应建立元数据管理机制，至少记录数据来源、采集载体、格式版本、质量标签、处理流程、算法版本、输出去向等信息，形成数据血缘链路。元数据应支持查询与导出，以支撑模型训练可追溯与结果复核。

7.5.3 数据保留期限与归档

应根据数据分类分级与业务需要确定保留期限：

- a) 告警记录、工单记录与诊断结论应满足可追溯要求，保留期限不应低于设备检修周期或企业规定的最短周期；
- b) 原始图像/视频/点云等证据数据应满足复核与争议处置需要，保留期限应与重要性等级匹配；
- c) 超过保留期限的数据应按制度归档或销毁，销毁应可审计。

7.5.4 备份与容灾

平台应具备备份与容灾能力，明确备份频率、恢复点目标与恢复时间目标。关键告警与工单数据应优先保障高可用与快速恢复；边缘节点应具备本地缓存以抵御短时链路中断。

7.6 日志、审计与可追溯性要求

系统应对以下行为进行日志记录并可审计：

- a) 数据接入、传输失败与重传；
- b) 数据清洗、质量规则触发、异常值处理与人工修正；
- c) 模型推理调用、模型版本变更、阈值策略变更、告警合并/抑制规则变更；
- d) 告警确认、派单、处置、复核、归档与复盘；
- e) 账号登录、权限变更、敏感数据访问与导出。

7.7 与外部系统的数据交换边界

与资产台账、缺陷管理、工单系统、调度监控系统、综合在线监测系统、辅控系统外部系统对接时，应形成接口清单与数据交换边界说明，至少包括 数据项范围、同步频率、失败重试策略、冲突处理、权限与审计要求。对跨域共享数据，应进行合规审查与脱敏处理，避免超范围共享。

8 数据质量控制与治理要求

8.1 总则

数据质量控制与治理应贯穿数据全生命周期，覆盖采集、传输、入库、处理、分析与共享各环节，确保诊断输出“有依据、可复核、可追溯”。数据治理与质量控制的系统职责边界应符合表2中“数据治理与质量控制”模块要求。质量控制应以规则化、自动化为主，人工介入为辅。对人工修正、人工标注与人工确认的过程，应形成可审计记录并纳入数据血缘链路。

8.2 数据标准体系要求

8.2.1 数据标准组成

应建立统一数据标准体系，至少包含：对象编码标准、数据字典与字段规范、事件编码规范、告警模型规范、文件命名与目录规则、元数据规范与质量标签规范。数据标准应版本化管理，变更应遵循审批流程并具备回滚机制，避免因字段变更导致历史数据不可用或模型失效。

8.2.2 主数据与权威源管理

对象编码、位号、站线名、间隔信息、地理位置等主数据应明确权威来源系统，并建立同步机制与一致性校验机制。主数据发生变更时，应触发关联数据映射更新，确保诊断结论、告警与工单能够正确关联到当前有效对象。

8.3 数据质量维度与指标体系

8.3.1 质量维度

数据质量指标应至少覆盖以下维度：

- a) 完整性：关键字段不缺失，证据链字段齐全；
- b) 准确性：数值在合理范围，量纲与单位正确；
- c) 一致性：跨系统同一字段语义一致，对象映射一致；
- d) 及时性：满足规定时延要求，关键告警不延迟；
- e) 唯一性：重复数据可识别、可去重；
- f) 可用性：图像清晰度、局放噪声水平等满足判读要求；
- g) 可追溯性：来源、处理过程、版本信息可查询。

8.3.2 指标阈值与处置动作

应针对不同数据类型设置质量阈值与处置动作，例如：

- 图像模糊或遮挡：判为不可用并触发补采；
- 关键字段缺失：判为不合格并阻断入库或进入隔离区；
- 传感器超量程或持续异常：触发设备维护工单或传感器校验；
- 时间戳偏移超阈值：触发时间同步告警并进行对齐校正。

为统一工程实施过程中的质量指标与处置动作，质量指标体系示例见表4。

表4 数据质量指标、阈值与处置动作

数据类型/对象	质量指标	阈值/判定规则	自动处置动作	人工复核要求
图像/视频	清晰度与可识别性	关键部位不可辨/严重模糊判不可用	标记不可用、触发补采任务	补采失败时人工复核并记录原因
红外测温	关键元数据完整	发射率/距离/环境温度缺失判证据不足	标记证据不足、限制自动诊断输出	由专业人员复核后出具结论
局放/振动	噪声水平与信号饱和	噪声超阈或信号削波判不合格	触发重采/调整参数；记录设备状态	必要时现场复测并校验传感器
事件量	字段完整与事件编码	事件编码缺失或字段缺失判不合格	阻断入库或进入隔离区；告警数据源异常	核查源系统并修复映射
多源融合	时间对齐误差	对齐误差超阈判不可融合	触发时间同步告警；执行对齐校正	校正失败时人工确认并降级诊断
主数据映射	对象编码一致性	映射失败或冲突判不合格	阻断关联诊断；触发主数据工单	主数据管理员复核并修正映射
平台链路	接入时延与丢包	时延/丢包超阈触发链路告警	触发重传、切换备用链路	必要时进行链路排障与复盘

8.4 数据质量控制流程要求

8.4.1 入库前校验

数据接入时应执行格式校验、字段校验、对象编码校验与完整性校验。未通过校验的数据应进入隔离区或拒绝入库，并生成质量告警与整改任务。

8.4.2 入库后清洗与标记

入库后应进行异常值识别、重复数据去重、缺失字段补全（仅限可通过权威源补全的字段）以及质量标签标记。对任何自动修正行为，应保留原始值、修正值、修正规则与时间，以满足可追溯要求。

8.4.3 质量监测与报表

平台应具备数据质量监测看板与周期报表能力，至少输出：数据完整率、不可用率、异常值比例、对齐误差分布、链路时延、数据源健康状态等指标，并支持按区域/站所/设备类型/数据源维度下钻。质量报表应服务于运维考核与持续改进。

8.4.4 质量问题闭环

对重复出现的质量问题（如某类相机长期模糊、某型号传感器漂移、某接口字段缺失），应触发根因分析与整改闭环，形成标准化整改措施并固化为质量规则或采集规范。

8.5 数据标注与样本库建设要求

8.5.1 标注原则

用于训练、验证与评估的样本数据应通过规范化标注形成。标注应保证标注对象明确、缺陷类别统一、位置可复核、时间与工况可追溯。对存在歧义的缺陷类别，应提供定义、判据与示例，并形成标注指南。

8.5.2 标注质量控制

应建立标注一致性检查机制，包括交叉标注、抽样复核与争议仲裁。对关键缺陷类别（如局放模式、断路器机构异常早期特征等），应由具备资质或经验的专家复核确认。标注过程应记录标注人员、标注版本、标注工具与变更历史，确保训练数据可追溯。

8.5.3 样本库版本与覆盖

样本库应版本化管理，明确训练集、验证集、测试集划分原则，避免数据泄漏与评估偏差。样本库应覆盖不同季节、不同地区、不同设备厂家/批次与不同工况，避免模型只在单一场景有效。样本不足的类别应通过专项巡检、仿真生成或增量采集补齐，并记录样本来源与适用边界。

8.6 数据共享、出域与脱敏要求

数据共享应遵循数据分类分级与最小必要原则。对需要跨单位、跨区域或与第三方共享的数据，应明确共享目的、范围、期限与责任，并执行脱敏与访问控制。对视频、图像与定位等敏感数据，应优先采用摘要特征或事件级共享方式，避免原始数据无控制扩散。所有出域行为应可审计、可追溯。

9 故障诊断与健康评估要求

9.1 总则

故障诊断与健康评估应以多源数据融合为基础，采用规则判据、数据驱动模型与知识推理相结合的方式输出诊断结论、健康指数与处置建议。诊断过程应确保证据链完整、逻辑可解释、结论可复核，并支持在模型版本、数据版本与阈值策略变更后对历史结论进行追溯比对。系统数据流与诊断链路见图2，平台诊断引擎与告警运营模块的职责边界应符合表2要求。

为说明诊断引擎“规则+模型+知识推理”的组合关系与输出路径，诊断引擎组成示意图3。

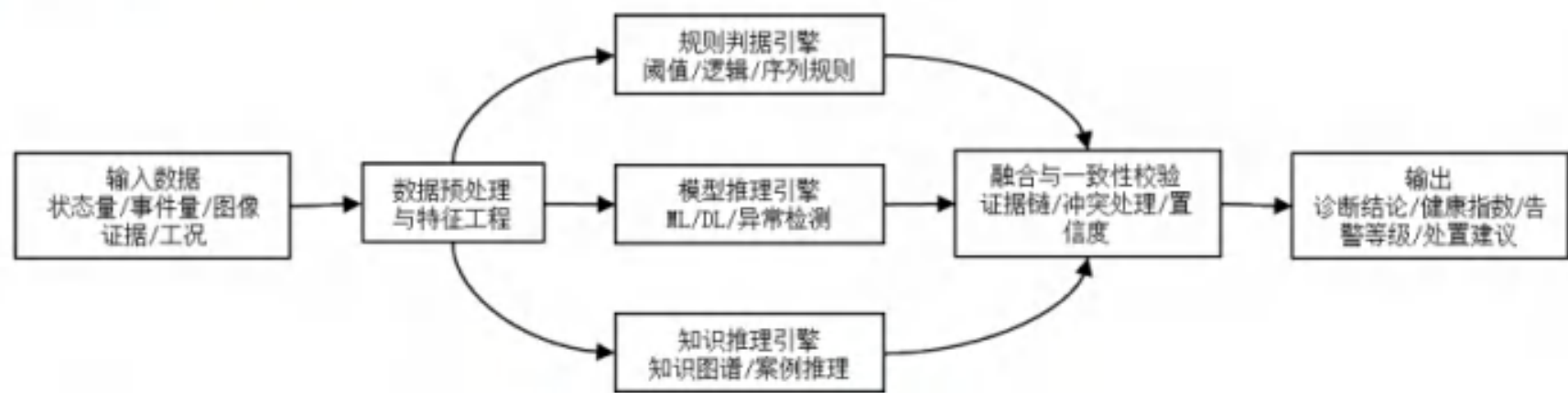


图2 诊断引擎组成与输出路径

9.2 诊断输入与数据要求

9.2.1 输入数据范围

诊断输入应至少包括：

- a) 状态量：与对象类型相关的关键测量数据及其统计特征；
- b) 事件量：跳闸、保护动作、遥信变位、通信异常等；
- c) 多媒体证据：可见光/红外图像、视频、局放谱图、点云等；
- d) 工况信息：负荷水平、环境条件、运行方式、检修窗口等；
- e) 台账与历史：设备型号、投运年限、历史缺陷、检修记录与同类对比信息。

9.2.2 输入数据质量门槛

用于自动诊断的数据应满足第8章质量阈值要求。对关键元数据缺失、质量不可用或无法对齐的数据，应输出“证据不足/需复核”的诊断状态，不应强行输出确定性故障结论；必要时应触发补采或人工复核任务。

9.3 诊断方法体系要求

9.3.1 规则判据引擎要求

规则判据适用于机理明确、阈值稳定、可直接量化的场景，应满足：

- a) 规则可配置、可版本化、可审计；
- b) 规则应明确适用对象、适用工况与阈值来源（标准阈值、试验阈值、历史统计阈值或专家阈值）；
- c) 规则执行应输出触发原因、触发字段与阈值对比结果，形成证据链。

9.3.2 模型推理引擎要求

数据驱动模型适用于特征复杂或早期信号弱的场景，应满足：

- a) 明确模型适用边界（对象类型、数据来源、工况范围、季节/地域限制等）；
- b) 模型输出应包含置信度或不确定性度量；
- c) 模型应具备漂移监测机制，当数据分布偏离训练分布或误报漏报升高时应触发告警与再评估；

d) 模型上线应通过验证评估与灰度发布，回滚机制与审计追踪应满足表2“模型治理与评估”模块要求。

9.3.3 知识推理与案例推理要求

知识推理用于提升诊断可解释性与处置建议一致性，应满足：

- a) 知识库结构化：缺陷类型、特征描述、证据要求、处置策略、复发风险等字段完整；
- b) 案例可检索与可复用：支持按对象类型、特征模式、告警等级检索相似案例；
- c) 推理过程可追溯：输出应包含引用的规则、案例或知识节点标识。

9.3.4 多源融合与冲突处理

当规则、模型与知识推理输出不一致时，应执行融合与一致性校验，至少包括：

- a) 证据优先级：高可信证据（例如多源一致、与工况一致、与历史缺陷一致）优先；
- b) 冲突分流：对冲突不可消解的情形，输出“需人工研判”并列冲突点；
- c) 置信度融合：综合各引擎置信度与证据完整性形成最终置信度；
- d) 结果降级：当数据质量或工况信息不足时，降级输出为“异常提示”而非“确定故障”。

9.4 诊断结论与输出要求

9.4.1 诊断输出内容

诊断输出应至少包含：对象编码、对象名称与位置、时间窗、异常类型/疑似故障类型、影响部位、证据链摘要、置信度、建议告警等级、建议处置措施与复核要求。对图像类识别结果，应提供缺陷位置标注或定位信息；对局放/振动等特征输出，应提供关键特征值与对比基线。

9.4.2 健康指数与风险等级

健康评估应形成可比较的量化指标，如健康指数HI（0~100）或风险等级（例如I~IV级）。健康指数计算应明确输入要素、权重来源与更新频率，并支持在不同对象类型间采用分模型/分权重策略，避免“一刀切”。当采用剩余寿命或故障概率预测时，应给出区间或置信范围，并说明适用边界。

9.4.3 输出分级与建议处置

诊断输出应与告警运营规则联动，支持按风险等级给出建议处置时限与处置策略，例如：

- a) 紧急：存在立即风险，建议立即现场核查或采取临时措施；
- b) 重要：短期内可能劣化，建议计划性检修或复测；
- c) 一般：趋势性异常，建议跟踪监测与复核；
- d) 观察：证据不足或轻微异常，建议补采或提高频次。

告警分级与处置闭环要求应符合第10章规定。

9.5 复核机制与人工研判要求

对以下情形应启动人工研判或现场复核：

- a) 多引擎输出冲突且无法自动消解；
- b) 置信度低于阈值但异常风险可能较高；
- c) 诊断涉及停运、负荷转供或重大检修决策；
- d) 数据质量被标记为证据不足；
- e) 新设备型号、新工况或模型适用边界之外的场景。

人工研判应形成记录并回写知识库与样本库，用于规则优化与模型再训练。

9.6 诊断性能指标与持续优化要求

应建立诊断性能指标体系，至少包括：准确率、召回率、误报率、漏报率、平均告警确认时间、闭环完成时间、复发率等，并支持按对象类型、场景、数据源分维度统计。性能指标应作为模型漂移监测与阈值策略优化的依据，并与第8章数据质量指标联动分析，区分“数据问题导致的误差”与“模型/规则问题导致的误差”。

10 告警处置

10.1 总则

告警运营与闭环处置应以“减少噪声、提升可信、确保可处置、形成闭环”为目标，将诊断输出转化为可执行的运维行动。告警运营与分级、工单闭环与处置模块的职责边界应符合表2规定，告警产生与闭环处置在系统链路中的位置见图2。告警应具备唯一标识、分级标准、证据链摘要与处置建议，并支持处置过程可追溯与可审计。

10.2 告警生成与证据链要求

10.2.1 告警生成规则

告警生成应基于诊断结论、阈值策略与场景规则综合确定，避免仅由单一噪声信号触发高等级告警。对高等级告警应优先要求多证据支持，例如：多源数据一致、与工况匹配、与历史缺陷相符或事件链闭合。

10.2.2 告警内容要求

告警记录至少应包含：

- a) 告警ID、对象编码、对象名称与位置；
- b) 发生时间、发现时间、数据时间窗；
- c) 告警等级、异常类型、影响部位；

- d) 证据链摘要（关键数据片段、图像/红外热点位置、局放特征、事件序列等）；
- e) 置信度/不确定性指标与触发依据（规则ID、模型版本、案例引用等）；
- f) 建议处置动作、建议时限、责任单位建议；
- g) 当前状态（新建、研判中、已派单、处置中、待复核、已关闭等）。

10.3 告警去重、抑制、合并与关联

10.3.1 去重与抑制

平台应配置告警去重与抑制策略，至少包括：

- a) 时间窗去重：同一对象同一异常在短时间窗内重复触发时合并；
- b) 阈值抑制：在数据质量标记为不可用或证据不足时抑制高等级告警升级；
- c) 维护窗口抑制：在计划检修或已确认停电检修窗口内，告警可降级或转为记录；
- d) 噪声源抑制：识别数据源故障（如传感器漂移、通信抖动）后，优先触发“数据源健康告警”而非设备故障告警。

10.3.2 合并与关联

对存在因果关系或同源关系的告警，应进行合并与关联，形成“主告警—子告警”结构，减少工单碎片化。合并与关联规则至少应考虑：

- a) 同一对象多模态一致异常（如红外过热+局放增大）；
- b) 事件链关联（如通信中断→遥测缺失→模型异常）；
- c) 区域或通道级联（如同一通道多点异常可能指向外破风险）。

关联结果应保留原始告警，确保追溯完整。

10.4 研判与工单闭环

10.4.1 研判要求

告警研判应以证据链为核心，结合工况、历史缺陷与同类对比进行确认。研判结论应至少包括：确认异常/疑似异常/误报/证据不足四类状态，并给出依据与下一步动作。对A、B级告警应优先完成研判后派单；对确需先现场核查才能研判的情形，应直接生成现场核查工单并明确核查要点。

10.4.2 派单规则

工单派发应支持按对象归属、地域、专业、班组能力与当前负荷自动推荐责任单位；同时应支持人工调整并记录调整原因。工单应包含：告警信息摘要、证据附件链接、处置建议、SLA时限、复核要求与安全注意事项。

10.4.3 处置与回写

现场处置应记录处置过程、采取的措施、复测数据与照片/视频证据，并回写平台。对涉及更换部件、调整运行方式或计划检修的，应同步更新缺陷状态与检修计划，并将关键结论沉淀至知识库。

10.4.4 复核与关闭

工单关闭前应进行复核。复核方式可为：数据复核（指标回落、异常消失）、现场复核（复测确认）、或专家复核（重大告警）。复核通过后方可关闭告警并归档。对无法完全消除但风险可控的缺陷，应转入“跟踪监测”状态并设置复查周期。

10.5 升级与应急联动

10.5.1 升级机制

当满足表5规定的升级条件，或出现风险扩大、重复触发、影响范围扩展等情形时，应自动或人工触发告警升级，并同步调整处置时限与责任链路。升级应保留升级前后等级、依据与操作者信息。

10.5.2 通报机制

对A级告警、重大缺陷或跨部门联动事件，应按企业制度执行通报，通报内容应包含对象、风险评估、已采取措施、后续计划与责任人。通报过程应可追溯并纳入事件复盘。

10.5.3 应急联动

当告警指向可能的紧急故障或人身安全风险时，应联动应急响应机制，包括现场安全隔离、运行方式调整、负荷转供、抢修资源调度等，并保留全过程记录。

10.6 告警运营指标与持续优化

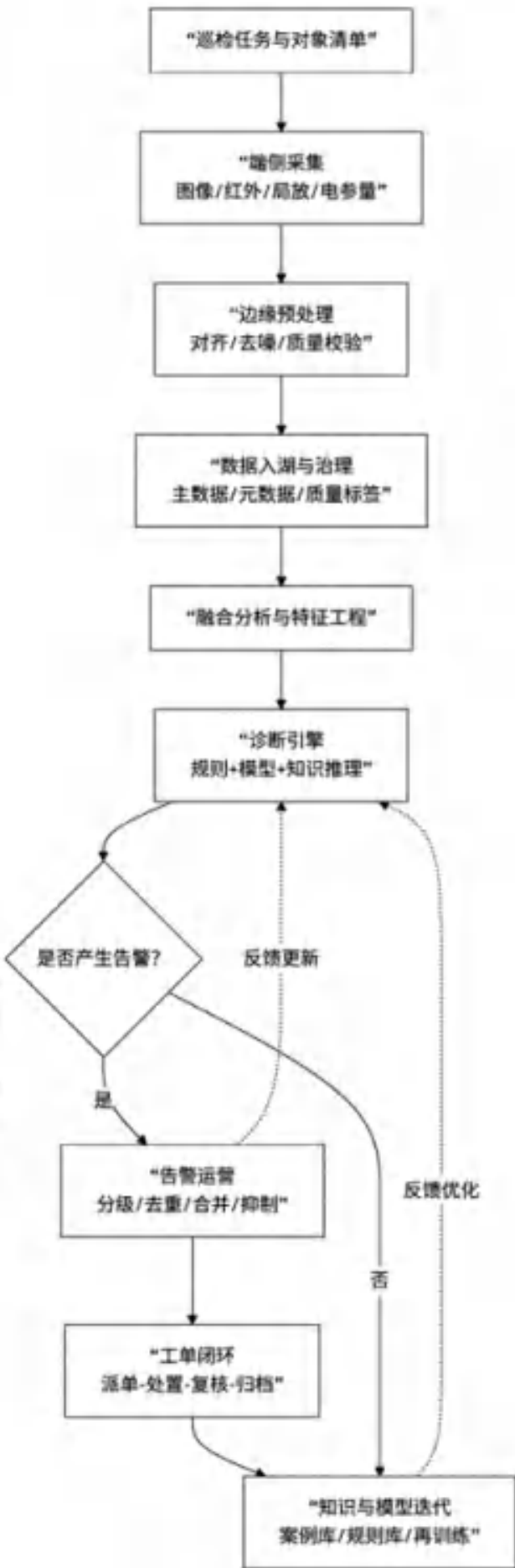
应建立告警运营指标体系，至少包括：

- a) 告警总量、告警密度（按对象/区域/时间）、高等级告警占比；
- b) 误报率、漏报率；
- c) 平均研判时间、平均派单时间、平均闭环时间、SLA达成率；
- d) 重复告警率与复发率；
- e) 告警合并率与抑制命中率。

运营指标应定期复盘，驱动阈值策略、合并抑制规则、数据质量规则与模型参数迭代，并在模型治理流程中形成闭环。

附录 A
(规范性)
数据流与诊断链路

数据流与诊断链路见图A.1。



图A.1 数据流与诊断链路