

团 标 准

T/CES XXX-2025

中压配电网巡视业务无人化等级

评价导则

Assessment Guidelines for Unmanned Level of Medium-Voltage Distribution Network Inspection Services

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布



## 目 次

目 次 .....	I
前 言 .....	III
1 范围 .....	4
2 规范性引用文件 .....	4
3 术语和定义 .....	4
4 符号、代号和缩略语 .....	5
5 总体要求 .....	5
6 配网巡视无人化分级 .....	6
6.1 配网巡视无人化分级原则 .....	6
6.2 配网巡视无人化分级要素 .....	6
6.3 中压配网巡视无人化等级划分 .....	6
6.3.1 L1 级配网巡视无人化 .....	6
6.3.2 L2 级配网巡视无人化 .....	6
6.3.3 L3 级配网巡视无人化 .....	6
6.3.4 L4 级配网巡视无人化 .....	7
6.3.5 L5 级配网巡视无人化 .....	7
7 中压配网巡视无人化等级要求 .....	7
7.1 一般要求 .....	7
7.1.1 等级递进要求 .....	7
7.1.2 指标量化要求 .....	7
7.1.3 评估要素必要性要求 .....	7
7.1.4 包含性要求 .....	7
7.2 各类别巡视无人化等级要求 .....	7
7.2.1 架空类巡视无人化等级要求 .....	7
7.2.2 站房类巡视无人化等级要求 .....	8
7.2.3 管缆类巡视无人化等级要求 .....	8
7.3 单位/部门巡视无人化等级要求 .....	8
8 中压配网巡视无人化等级评估方法 .....	9
8.1 各类别巡视无人化评估模型 .....	9

8.1.1	各类别巡视无人化计算方法	9
8.1.2	各类别巡视无人化指标	9
8.2	单位/部门巡视无人化评估模型	9
8.2.1	符号定义	9
8.2.2	评估模型	9
附录 A	(资料性附录) 中压配网巡视无人化等级定义	10
附录 B	(资料性附录) 各巡视类别无人化评价指标	11
附录 C	(资料性附录) 各类别巡视无人化等级要求	18
参 考 文 献		19

## 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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会带电作业与智能运检工作组归口。

本文件起草单位：广东电网责任有限公司广州供电局、贵州电网有限责任公司电力科学研究院、广西电网有限责任公司电力科学研究院、云南电网有限责任公司电力科学研究院、南方电网数字电网科技（广东）有限公司、南方电网人工智能科技有限公司、北京国金源富科技有限公司、上海人工智能研究院公司、佰聆数据股份有限公司。

本文件主要起草人：贾鹏辉、罗林欢、潘威、童锐、沈超、江辉煌、刘明昊、周岐林、陈旭东、徐雨、林芳妃、黄泳熙、郭霖徽、张敏、黄雅莉、陈浪、黄晟洋、谢鑫、陈恒安、李旭烨、王意迪、姜晓博、白振东、白振东、戴志波、高峰、杜双育、龚伟、唐泽慧、田永海。

本文件为首次发布。

# 中压配电网巡视业务无人化等级评价标准

## 1 范围

本文件规定了中压配电网（10kV-35kV）巡视按无人化/智能化程度所划分为的五个层级（L1-L5）定义、评价指标及评估方法。

本文件适用于电力企业中压配网架空类、站房类、管缆类巡视业务及电力企业/部门整体中压配网巡视业务所涉及智能化关键技术演进的理论框架指导及评价工作，电力企业其他类型巡视业务参照使用。

## 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。

T/CES 255—2023《架空输电线路智能运检应用成熟度评价导则》  
T/CES 233—2023《无人机电力巡检红外图像分析技术规范》  
T/CMEPCA 008—2024《智能巡检机器人通用技术规范》  
T/CES 289—2024《电力人工智能模型场景化评价指南》  
T/CSEE 153—2022《电力巡检无人机边缘智能终端技术规范》  
DL/T 288—2024《架空输电线路直升机巡视技术导则》  
DL/T 741—2010《架空输电线路运行规程》  
DL/T 1482—2023《架空输电线路无人机巡检技术导则》  
DL/T 1722—2017《架空输电线路机器人巡检技术导则》  
DL/T 664—2016《带电设备红外诊断应用规范》  
GB/T 40429—2021《汽车驾驶自动化分级》  
GB/T 44721—2024《智能网联汽车无人化系统通用技术要求》  
GB 26859—2011《电力安全工作规程电力线路部分》  
GB/T 25095—2020《架空输电线路运行状态监测系统》  
GB/T 45418—2025《配电网通用技术导则》  
GB 51354—2019《城市地下综合管廊运行维护及安全技术标准》

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 配网巡视 **distribution network inspection**

指运维单位为及时发现配电线路、设备及设施的缺陷和隐患，以保持线路、设备及设施连续不间断处于正常工作（包括备用）状态所进行的巡视工作。

### 3.2 架空类巡视 **overhead transmission lines inspection**

指对 10kV 及以下架空配电线路及其附属设备（包括杆塔、导线、绝缘子、柱上开关、变压器、避雷器、接地装置等）和线路通道环境，按巡视管理规定的周期、内容和方法实施的系统性检查活动。

### 3.3 站房类巡视 **substation building inspection**

指对 10kV 及以下电压等级的配站房（含开关站、箱变、台变等站房类设施）及其内部设备（变压器、开关柜、母线、电容器、自动化终端、消防设施等）和运行环境，按巡视管理规定的周期、内容和方法实施的系统性检查活动。

3.4

#### 管缆类巡视 **pipeline and cable inspection**

指对 10kV 及以下电压等级的电力电缆线路及其附属设施（包括电缆本体、电缆终端头、中间接头、电缆通道、电缆井、电缆沟、电缆桥架、防火设施及标识标示等）和运行环境，按巡视管理规定的周期、内容和方法实施的系统性检查活动。

3.5

#### 配网巡视无人化 **unmanned distribution network inspection**

指基于环境感知、决策规划、自主控制等人工智能技术，实现配电网巡视业务的自动化执行与闭环管理等体系化能力。

3.6

#### 配网无人化评价指标 **unmanned distribution network assessment indicators**

指将巡视场景、功能要求及性能表现转化为可测量、可比较、可归一化的定量或定性参数集合，用以判定无人化水平的高低。

3.7

#### 配网无人化等级评估 **unmanned level assessment of distribution network**

指在配网巡视业务场景下，依据预先建立的指标体系，对用于巡视工作的人工智能能力，就其完整性、代表性、规范性以及业务价值进行分级评定的过程。

3.8

#### 人工智能感知能力 **AI perception capability**

指通过传感器或者数据输入感知环境及设备状态，并从中提取电气量、状态量、环境量、视频量等有用信息的能力。

3.9

#### 人工智能认知能力 **AI cognitive capability**

指基于智能模型进行知识生产、管理、消费的全流程处理，实现业务记忆、注意力、语言理解、逻辑推理和规划等能力。

3.10

#### 人工智能决策能力 **AI decision-making capability**

指通过智能应用在认知基础上做出选择和决策的能力，包括从简单条件判断到预测分析、风险评估、策略优化以及多智能体博弈协同等复杂决策能力。

3.11

#### 人工智能具身智能 **embodied intelligence (EI)**

指利用各种工具，对物理世界、虚拟现实以及数字世界进行交互、操作、行动的智能能力。

### 4 符号、代号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

AI: artificial intelligence

EI: embodied intelligence

### 5 总体要求

中压配网巡视无人化等级评估应收集配网巡视相关的巡视计划、巡视工单、巡视执行、巡视结果等信息，对信息中所包含的人工智能技术应用情况进行分析评价。

中压配网巡视无人化等级评估应系统化衡量人工智能感知、决策、执行链路等能力在巡检效率、缺陷识别、风险预测等维度的应用成熟度。

中压配网巡视无人化等级评估应包括按场景的巡视类别评估和按单位/部门的整体评估，类别包括架空类、站房类、管缆类三种，类别评估和整体评估均可分为 L1-L5 层级。

按单位/部门的整体评估应在按场景的巡视类别评估基础上结合区域内配网巡视业务整体情况进行综合判定。

## 6 中压配网巡视无人化分级

### 6.1 中压配网巡视无人化分级原则

本文件以配网架空类、站房类、管缆类三种巡视类别为评估对象，以“感知→认知→决策→具身智能”能力跃迁为核心，形成阶梯式、安全可控的配网巡视无人化演进路径。通过评估配网巡视任务中人工智能技术的应用情况、电网风险处置效率及人工参与程度等，将中压配网巡视无人化等级分成 1 级至 5 级。通过构建可衡量、可落地、可扩展的指标评估体系，确保人工智能对巡视业务的赋能结果可量化、可验证、可复用。中压配网巡视无人化等级定义见附录 A。

### 6.2 中压配网巡视无人化分级要素

中压配网巡视无人化等级从人工智能感知能力、认知能力、决策能力、具身智能四个能力维度进行指标体系设计和划分，分别体现配网巡视业务在信息化系统方面的支撑情况、使用智能化装备的程度、在设备缺陷识别范围及精准度情况、在主动性发现设备问题并提供辅助决策的支撑情况、智能体与人和智能装备的互动效率及合理程度、智能体自主化完成工作程度及成功率等无人化分级要素。具体分级要素与指标设计如下：

- a) 感知能力主要从智能装备应用、数据采集能力等 2 个方面进行指标设计；
  - b) 认知能力主要从缺陷识别、隐患分级、状态评价、故障分析、知识体系等 5 个方面进行指标设计；
  - c) 决策能力主要从仿真推演、风险评估、故障预测、策略推荐等 4 个方面进行指标设计；
  - d) 具身智能主要从人机协同、任务泛化、自动闭环等 3 个方面进行指标设计；
- 针对不同类别的巡视业务，充分考虑其业务特征，针对性设计相关指标。

### 6.3 中压配网巡视无人化等级划分

#### 6.3.1 L1 级配网巡视无人化

在 L1 级别，设备运维部门通过业务信息化系统开展巡视管理工作。巡视过程主要依赖人工完成，人工智能仅提供数字化记录、简单数据存储等基础工具辅助。

#### 6.3.2 L2 级配网巡视无人化

在 L2 级别，设备运维部门建立“以人为主，机器为辅”的配网设备巡视模式。人工智能在轨迹比对、关键设备缺陷识别等特定环节替代人工。

#### 6.3.3 L3 级配网巡视无人化

在 L3 级别，设备运维部门建立以“数据驱动，人机协同”的巡视业务模式。人工智能通过数据驱动业务决策方式，辅助人机高效作业。

### 6.3.4 L4 级配网巡视无人化

在 L4 级别，设备运维部门基本实现自动化巡视的工作模式。智能体依据设备状态情况自主决策，并驱动智能装备开展巡视工作，人员只需少量干预监督。

### 6.3.5 L5 级配网巡视无人化

在 L5 级别，设备运维部门完全实现巡视业务全过程自动化工作模式。智能体通过自学习和自适应能力，能够不断地根据新的数据情况进行自我优化和升级，以保持对配网巡视业务的最优自主化支持。

## 7 中压配网巡视无人化等级要求

### 7.1 一般要求

#### 7.1.1 等级递进要求

将配电网巡视业务划分为 L1~L5 共五个递进等级。通过对设备状态识别准确率、缺陷定位精度、策略推荐合理性、人工干预度等核心指标设定递增阈值，形成“逐级达标、逐级提升”的刚性要求。

#### 7.1.2 指标量化要求

评估要素须尽量转化为可测、可比、可溯源的量化指标。指标值由实测数据或经权威校准的仿真数据生成，并给出测量方法、误差范围、置信区间及更新周期等信息。

#### 7.1.3 评估要素必要性要求

定性指标：描述须清晰、可核查、无歧义的业务要求，仅需给出“通过/不通过”判定，不设分值；  
建议满足指标：全部达成方可进入对应等级，任何一项未达标即“一票否决”，直接降级。

#### 7.1.4 包含性要求

无人化等级评估需满足向下包含原则，任何 Ln 等级须完整继承 L (n-1) 级的全部指标条目，且指标阈值只能严于或等于 L (n-1) 级。

## 7.2 各类别巡视无人化等级要求

### 7.2.1 架空类巡视无人化等级要求

架空类巡视无人化等级要求见附录 C.1。

#### L1 级架空类巡视无人化应满足以下要求：

- a) 基本实现无纸化业务数据记录；

#### L2 级架空类巡视无人化应满足以下要求：

- a) 无人机自巡覆盖率  $\geq 80\%$ ；
- b) 智能监测终端覆盖率  $\geq 80\%$ ；

#### L3 级架空类巡视无人化应满足以下要求：

- a) 核心缺陷（导线/绝缘子/金具类）识别率  $\geq 80\%$ ；

#### L4 级架空类巡视无人化应满足以下要求：

- a) 智能决策闭环率  $\geq 90\%$ ；

#### L5 级架空类巡视无人化应满足以下要求：

- a) 无人巡视代替率  $\geq 98\%$ ；

### 7.2.2 站房类巡视无人化等级要求

站房类巡视无人化等级要求见附录 C.2。

**L1 级站房类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 基本实现无纸化业务数据记录;

**L2 级站房类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 监测参数完整;

**L3 级站房类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 智能监测传感器覆盖率  $\geq 80\%$ ;
- b) 智能巡检设备覆盖率  $\geq 80\%$ ;

**L4 级站房类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 60 分  $<$  无人化评价得分  $\leq 80$  分;
- b) 巡检数据自动分析率 100%;

**L5 级站房类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 无人值守巡检占比  $\geq 80\%$ 。

### 7.2.3 管缆类巡视无人化等级要求

管缆类巡视无人化等级要求见附录 C.3。

**L1 级管缆类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 基本实现无纸化业务数据记录;

**L2 级管缆类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 管缆在线监测覆盖率  $\geq 60\%$ ;

**L3 级管缆类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 缆终端头、中间接头、分支箱等 6 类典型缺陷（漏油、放电痕迹、过热、锈蚀、破损、异物）识别准确率  $\geq 85\%$ ;

**L4 级管缆类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 近半年内综合故障概率预测准确率  $\geq 80\%$ ;
- b) 智能决策闭环率  $\geq 80\%$ ;

**L5 级管缆类巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 无人干预率  $\geq 90\%$ ;

### 7.3 单位/部门巡视无人化等级要求

**L1 级单位/部门巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 管辖区域内架空类、站房类、管缆类巡视无人化等级均需达到 L1 级别或以上;

**L2 级单位/部门巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 管辖区域内架空类、站房类、管缆类巡视无人化等级均不得低于 L2 级;

**L3 级单位/部门巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 管辖区域内架空类、站房类、管缆类巡视无人化等级均不得低于 L3 级;

**L4 级单位/部门巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 管辖区域内架空类、站房类、管缆类巡视无人化等级均不得低于 L4 级;

**L5 级单位/部门巡视无人化应满足以下要求:**

- a) 管辖区域内架空类、站房类、管缆类巡视无人化等级均不得低于 L5 级;

## 8 中压配网巡视无人化等级评估方法

### 8.1 各类别巡视无人化评估模型

#### 8.1.1 各类别巡视无人化计算方法

各类别巡视无人化评价指标子项分由得分和权重共同决定,即无人化指标子项分等于该指标的实际得分值乘以权重系数,再按巡视类别对各指标子项得分进行求和,得出该类别无人化的最终得分。

各类别巡视无人化得分按公式(1)计算。

无人化得分=指标项1得分\*所占权重+指标项2得分\*所占权重+……+指标项n得分\*所占权重,其中n=该类别指标数量

[分] (1)

#### 8.1.2 各类别巡视无人化指标

各类别巡视无人化指标判定,依据智能设备接入、感知、分析应用实际,重点以指标促进业务发展及侧重为指导,不作为业务部门或组织单位的智能化水平判定依据。

- a) 架空类巡视无人化评价指标参考附录B.1;
- b) 站房类巡视无人化评价指标参考附录B.2;
- c) 管缆类巡视无人化评价指标参考附录B.3。

### 8.2 单位/部门巡视无人化评估模型

#### 8.2.1 符号定义

$S_{OH}$ : 架空类场景得分(0-100);

$S_{RM}$ : 站房类场景得分(0-100);

$S_{CB}$ : 管缆类场景得分(0-100);

$S_{unit}$ : 部门/单位得分(0-100);

$\alpha, \beta, \gamma$ : 该部门/单位三类巡视业务的设备数量权重,满足 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。

#### 8.2.2 评估模型

以单位时间1小时人工巡视所能完成的架空类(按公里)、站房类(按数量)和管缆类(按公里)的设备量分别进行统一口径折算,再计算出单位/部门的架空类设备折算总量x,站房类设备折算总量y,管缆类设备折算总量z。

$$\alpha = x / (x+y+z)$$

$$\beta = y / (x+y+z)$$

$$\gamma = z / (x+y+z)$$

(2) 单位/部门巡视无人化得分按公式(2)计算。

$$S_{unit} = \alpha \cdot S_{OH} + \beta \cdot S_{RM} + \gamma \cdot S_{CB}$$

[分] (2)

附录 A  
(资料性)  
中压配网巡视无人化等级定义

表 A.1 给出中压配网巡视无人化等级定义、主要特征、业务模式级主要人工智能能力特点。

表 A.1 中压配网巡视无人化等级定义表

级别	主要特征	业务模式	主要人工智能能力特点
PDN-PI-L1 基础数字化层	以信息化系统为手段, 固化巡视业务流程和操作要求, 实现业务标准化与数据一致性, 靠系统驱动人, 巡视过程数据基本实现无纸化记录。	人+信息化系统(含移动作业)	数字化记录与存储
PDN-PI-L2 流程自动化层	信息化系统融入机器(含无人机、采集终端等)巡检流程, 使其能够自主规划路线、执行巡检任务, 并对采集数据进行标准化缺陷识别与报告生成, 实现从数据采集到初步分析的自动化闭环。	以人为主, 机器为辅	自主巡检与标准化分析
PDN-PI-L3 预测性维护层	通过智能体定义, 为用户提供巡视业务引导、任务推荐、操作建议等能力, 并根据用户决策, 实现与各类型智能装备的交互, 部分自动或手动执行相关任务。	数据驱动, 人机协同	多源数据融合与异常预警
PDN-PI-L4 自主决策层	数字人、智能人、多模态个性化智能体等能自动根据业务数据做出决策推理, 并联动智能装备自动执行巡视工作, 过程中主动与人交互, 允许用户中断任务处理, 接受用户反馈和监督, 不断学习提升决策与执行能力。	自动化作业, 人员少量参与	多智能体自主协同与动态调度
PDN-PI-L5 认知智能层	具身智能机器人通过物理实体与环境变化全场景实时交互, 实现感知、认知、决策和行动全过程自主化闭环, 基本能够胜任巡视工作相关操作, 推理并优化整个配网巡视体系。	完全自主, 基本无人	全场景自治与自我进化

附录 B  
(资料性)  
各巡视类别无人化评价指标

表 B.1 给出架空类巡视无人化评价指标, 包含指标名称、指标定义、指标说明、分值区间、权重等内容。

表 B.1 架空类巡视无人化评价指标表

序号	维度	一级指标	(二级) 指标名称	指标定义	指标说明
1	感知能力	装备应用	无人机自巡覆盖率	自动巡查无人机的架空里程占架空总里程比例	自动巡查无人机的架空里程/总架空里程 *100%
2	感知能力	装备应用	金具监测覆盖率	耐张线夹、接续管等关键金具监测安装率	安装监测的耐张线夹或接续管数量/线路关键金具总数*100%
3	感知能力	数据采集	杆塔多参量融合度	杆塔同时接入的传感器类型及标识数量	倾斜+风偏+微气象+图像等
4	感知能力	数据采集	关键参数有效覆盖率	采集数据的绝对精度误差	$(1 -   \text{基准值} - \text{采集值}   / \text{基准值}) * 100\%$
5	认知能力	缺陷识别	线路缺陷漏检率	实际存在但未识别的核心缺陷占比	未识别的真实缺陷数 / 总真实缺陷数*100%
6	认知能力	缺陷识别	线路缺陷识别准确率	系统正确识别的架空类核心缺陷数量占实际缺陷数比例	AI 正确识别的核心缺陷数/人工复核确认的缺陷总数*100%
7	认知能力	故障分析	故障溯源准确率	精准定位故障点(如杆塔号+相别)并识别绝缘子串闪络路径的比例	杆塔号+相别定位误差≤30m的故障数/总雷击故障数*100%
8	决策能力	故障分析	高风险故障预警准确率	正确预测的故障数占总预测故障数的比例	正确预测故障数 / 总预测故障数) *100%

序号	维度	一级指标	(二级) 指标名称	指标定义	指标说明
9	认知能力	知识体系	架空线路标准覆盖率	知识库中已覆盖的架空线路巡视业务标准规范知识点占比	已纳入标准数/有效标准数×100%
10	认知能力	知识体系	知识推理可解释性	基于知识的推理结果与实际业务判断的一致性	专家认可的风偏调整建议数量/AI生成的总决策数
11	认知能力	状态评价	数字孪生模型覆盖率	对现有架空类线路的杆塔/通道进行数字化评价的长度比例, 例如需含倾斜角、锈蚀等级等	已建模的线路长度 / 线路总长度*100%
12	决策能力	仿真推演	线路状态推演预测精度	仿真推演对线路状态(如线路破损老化等)的预测与实际演化的一致性	$(1 -   \text{预测值} - \text{采集值}   / \text{采集值}) * 100\%$
13	决策能力	仿真推理	无人机巡视路径自主规划率	由AI自主规划的巡视路径里程占比	AI自主规划的巡视路径里程/巡视总里程*100%
14	决策能力	风险评估	外破风险分级准确率	评估的风险等级(如低/中/高)与实际风险严重程度的匹配度	(AI评估等级与人工评估一致数 / 总评估数) * 100%
15	决策能力	策略推荐	典型隐患处置策略覆盖率	典型线路故场景和应对策略覆盖比例	(已录入的隐患处置SOP数量 / Q/CSG 210124-2025标准策略数) * 100%
16	决策能力	策略推荐	应急策略采纳率	巡视过程中AI生成的决策被人工确认可行的数量总智能决策任务数的比例	人工确认的AI推荐策略数/AI智能决策任务数*100%
17	具身智能	闭环执行	应急任务执行闭环率	无人机识别故障后自动调用机器人完成临时处理的比例	无人机识别→机器人处理→验收成功次数/总断股处置任务数*100%
18	具身智能	任务泛化	未知地形航线生成能力	对未建模的线路区域的识别与适应能力	无预设地图区域生成安全航线次数/未知地形任务总数*100%

表 B.2 给出站房类巡视无人化评价指标, 包含指标名称、指标定义、分值区间、权重等内容。

表 B.2 站房类巡视无人化评价指标表

序号	人工智能维度	一级指标	(二级) 指标名称	指标定义	指标说明
1	感知能力	装备应用	智能安防监测配置率	含有算法与智能技术的视频监控、门禁管理、入侵报警系统配置率	含有算法与智能技术的视频监控、门禁管理、入侵报警系统数量/各类安防设备总数量*100%
2	感知能力	装备应用	智能巡检设备覆盖率	配备智能巡检设备(如轨道机器人、无人机、红外热像仪、局放检测仪等)的关键设备(变压器、开关柜、电缆头等)占比	已完成设备传感器配置的设备数量/站房关键设备总数量*100%
3	感知能力	装备应用	(普通)环境监测传感器覆盖度	环境监测点(温湿度、SF <sub>6</sub> /O <sub>2</sub> 浓度、烟雾、水浸传感器)的配置率和覆盖密度(如每 50 m <sup>2</sup> 至少 1 个环境监测点)	已完成环境监测传感器配置的设备数量/站房关键设备总数量*100%
4	感知能力	装备应用	智能监测传感器覆盖率	含有算法的智能监测传感器(含设备、环境、标识等)覆盖率	含有算法的智能监测传感器总数量/站房各类传感器总数量*100%
5	感知能力	数据采集(准确性、连续性等)、采集覆盖率等指标	监测参数完整性	可监测的核心参数类型(电气参数: 电压 / 电流 / 功率 / 谐波; 设备状态: 绕组温度 / 油位 / 局部放电; 环境参数: 温湿度 / 气体浓度等)	可获取的检测参数总数量/站房各类参数总数量*100%
6	感知能力	数据采集(准确性、连续性等)、采集覆盖率等指标	无人值守巡检占比(区域占比/环节占比/巡检频率占比)	评估站房巡视作业关键环节/机器人巡检覆盖的设备区域占比。	已完成无人化巡视作业的环节数(巡检作业数、区域占比)/站房巡视作业(巡检作业总量、区域占比)总数量*100%
7	感知能力	数据采集(准确性、连续性等)、采集覆盖率等指标	监测数据自动采集覆盖率	整合的运维相关数据类型(如设备台账、历史故障、巡检记录、负荷数据、环境参数)占总需监测数据类型的比例	已完成自动采集的数据总数量/站房监测数据总数量*100%

8	认知能力	缺陷识别(范围、准确度)	缺陷识别率	AI 识别的缺陷数占总典型缺陷总数比例, 缺陷包括(导线类、绝缘子类、金具类、杆塔类等)	AI 识别的典型缺陷数/典型缺陷总数比例*100%
9	认知能力	缺陷识别(范围、准确度)	缺陷诊断准确率	系统自动识别缺陷(如发热、放电、外破)的正确率	$(1 - AI \text{ 误判或漏检缺陷数} / \text{人工复核缺陷总数}) \times 100\%$
10	认知能力	故障分析(类型、定位准确率)	设备故障异常识别率	系统通过传感器数据(如电流突变、温度超限)、AI 分析(如局放图谱、振动异常)自动识别故障(含隐性缺陷)的数量占实际故障总数的比例	识别出来故障缺陷总数量/故障缺陷总数量*100% (重大故障如短路、电弧需100%自动识别, 如未识别成功不得分; 隐性缺陷如绝缘老化识别按实际比例计入得分)
11	决策能力	仿真能力(仿真推演)	数字孪生模型覆盖率	核心区域高精度数字孪生建模完成率	已经完成数字孪生建模的架空里程/总架空里程*100%
12	决策能力	策略推荐(准确性)	站房数据智能分析准确率	站房各类数据智能分析准确率(经人工复核)	准确数据条目/数据总条*100%
13	决策能力	策略推荐(准确性)	巡检数据自动分析率	巡检采集的图像、红外测温、局放等数据, 由 AI 算法自动识别异常(如过热、漏油、异响)的比例(无需人工逐帧分析)。	可自动分析的数据数据条目数/巡检数据总条目数*100%
14	决策能力	故障预测(准确性)	故障预警准确率	提前 72 小时成功预警的故障占比	提前 72 小时预警且实际发生的故障数/总预警故障数*100%
15	决策能力	算法模型能力(覆盖场景、准确性)	巡检环节自主规划率	由 AI 自主规划的巡视业务环节占比	AI 自主规划的巡视业务环节数/巡视环节总数量*100%
16	决策能力	算法模型能力(覆盖场景、准确性)	运维数据自主决策指令达成率	整合的运维相关数据类型(如设备台账、历史故障、巡检记录、负荷数据、环境参数)自动关联智能应用场景并输出决策指令。	已完成自主决策的数据应用场景数量/站房数据应用场景总数量*100%
17	具身智能	人机协同能力(效率、准确度)	具身智能机器人巡检作业覆盖度	评估站房巡视作业关键环节具身智能机器人巡检覆盖的设备区域占比。	已完成无人化巡视作业的环节数(巡检作业数、区域占比)/站房巡视作业(巡

					检作业总量、区域占比) 总数量*100%
--	--	--	--	--	----------------------

表 B.3 给出管缆类巡视无人化评价指标，包含指标名称、指标定义、指标说明、分值区间、权重等内容。

表 B.3 管缆类巡视无人化评价指标表

序号	人工智能维度	一级指标	指标名称	指标定义	指标说明
1	感知能力	装备应用	在线监测覆盖率	已安装在线监测终端的管缆回路数占比	已安装在线监测终端的管缆回路数/管缆总回路数 × 100%
2	感知能力	数据采集	关键参数覆盖率	如电流、振动频谱、局部放电量等，关键设备包括管缆接头、开关柜、接地装置等易故障部件	被监测的关键设备数量 / 总管缆关键设备数量 × 100%
3	感知能力	数据采集	多源传感融合度（单条管缆）	单条管缆同时接入的传感器类型及标识数量	温度传感器+局部放电传感器+接地环流传感器+振动传感器+…
4	认知能力	缺陷识别	缺陷漏检率	实际存在但未被系统识别的缺陷比例	(未识别的真实缺陷数 / 总真实缺陷数) × 100%
5	认知能力	缺陷识别	缺陷识别准确率	系统自动识别缺陷（如发热、放电、外破）的正确率	(1 - AI 误判或漏检缺陷数 / 人工复核缺陷总数) × 100%
6	认知能力	缺陷识别	缺陷类型覆盖度	系统自动识别缺陷所覆盖的类型程度	(AI 可识别的缺陷类型数 / 管缆所有已知缺陷类型数) × 100%
7	认知能力	状态评价	状态等级吻合率	AI 输出的健康指数与人工评估值的平均吻合程度	(AI 评价的状态等级与实际状态等级一致的设备数 / 总评价设备数) × 100%
8	认知能力	状态评价	状态评估覆盖率	对管缆状态进行评价的物理长度占比	(纳入评价的设备数 / 管缆内所有设备数) × 100%
9	认知能力	故障分析	故障根因识别准确率	AI 给出的故障根因与实际根因的一致性比例	(正确识别故障根本原因的案例数 / 总故障案例数) × 100%

序号	人工智能维度	一级指标	指标名称	指标定义	指标说明
10	认知能力	故障分析	故障定位精准度	AI 识别的故障点与实际故障点的物理距离匹配程度	$(AI \text{准确定位故障点的次数} / \text{实际发生故障总次数}) \times 100\%$
11	认知能力	知识体系	标准规范覆盖度	知识库中已覆盖的管缆巡视业务标准规范知识点占比	$(AI \text{纳入的行业标准 / 规程数} / \text{现行有效标准 / 规程数}) \times 100\%$
12	认知能力	知识体系	历史案例覆盖度	知识库中已覆盖的管缆巡视业务历史案例知识点占比	$(AI \text{学习的历史故障 / 缺陷案例数} / \text{实际累计案例数}) \times 100\%$
13	认知能力	知识体系	知识匹配准确率	用户通过自然语言查询业务知识, 系统回答的准确率	$(AI \text{调用的知识与当前场景匹配的次数} / \text{总调用次数}) \times 100\%$
14	认知能力	知识体系	知识推理可解释性	基于知识的推理结果与实际业务判断的一致性	专家对 AI 知识推理过程的可理解性认可度
15	决策能力	仿真推演	场景覆盖完整性	仿真模型对管缆可能场景(正常运行、单一故障、极端天气、设备老化等)的覆盖比例	$(\text{已覆盖场景数} / \text{潜在场景总数}) \times 100\%$
16	决策能力	仿真推演	场景还原度	仿真场景与管缆实际物理场景的吻合程度	关键参数(如设备位置、线缆走向、环境温湿度)的平均偏差率(%)
17	决策能力	仿真推演	推演预测精度	仿真推演对管缆状态(如故障扩散、负荷变化)的预测与实际演化的一致性	$(AI \text{推演预测正确次数} / \text{推演总次数}) \times 100\%$
18	决策能力	风险评估	风险等级评估准确性	评估的风险等级(如低 / 中 / 高)与实际风险严重程度的匹配度	$(AI \text{评估等级与人工评估一致数} / \text{总评估数}) \times 100\%$
19	决策能力	风险评估	风险平均提前预警时间	从 AI 发出预警到实际故障发生的平均时间(小时)	平均响应时间(秒)
20	决策能力	风险评估	风险识别准确率	正确认别的风险数占总识别风险数的比例	$(AI \text{正确认别的高风险设备数} / \text{实际高风险设备数}) \times 100\%$
21	决策能力	故障预测	故障预测准确率	正确预测的故障数占总预测故障数的	正确预测故障数 / 总预测故障数) $\times 100\%$

序号	人工智能维度	一级指标	指标名称	指标定义	指标说明
				比例	100%
22	决策能力	故障预测	故障预测提前量	提前 72 小时成功预警的故障占比	(AI 提前 72 小时预警且实际发生的故障数 / 总预警故障数) × 100%
23	决策能力	策略推荐	策略采纳率	运维人员采纳 AI 推荐策略比例	(采纳策略数 / AI 总推荐策略数) × 100%。
24	决策能力	策略推荐	策略库覆盖 rate	典型故障场景的应对策略推荐比例	(故障场景推荐策略数 / 故障场景总数) × 100%。
25	具身智能	自动闭环	远程控制成功率	对物理设备的主动操作(如打开检测窗口、调整传感器角度)的成功比例	(智能化终端自动执行操作指令次数 / AI 下达操作指令总数) × 100%
26	具身智能	人机协同	任务决策成功率	巡视过程中 AI 主动与人交互并被人工确认任务数占总智能决策任务数的比例	(无需人工确认 AI 决策任务数 / AI 智能决策任务数) *100%
27	具身智能	任务泛化	任务自适应泛化率	对未建模管缆区域的识别与适应能力	(AI 对于未知场景的识别数 / 业务场景总数) *100%

附录 C  
(资料性)  
各类别巡视无人化等级要求

表 C.1 给出架空类巡视无人化等级得分要求及补充性必要要求。

表 C.1 架空类巡视无人化等级要求评估表

序号	无人化等级	等级得分要求	补充性要求
1	L1	评价得分<=20 分	基本实现无纸化业务数据记录
2	L2	20 分<评价得分<=40 分	无人机自巡覆盖率≥80%; 智能监测终端覆盖率≥80%
3	L3	40 分<评价得分<=60 分	核心缺陷(导线/绝缘子/金具类)识别率 ≥80%
4	L4	60 分<评价得分<=80 分	智能决策闭环率≥90%
5	L5	80 分<评价得分<=100 分	无人巡视代替率≥98%

表 C.2 给出站房类巡视无人化等级得分要求及补充性必要要求。

表 C.2 站房类巡视无人化等级要求评估表

序号	无人化等级	等级得分要求	补充性要求
1	L1	评价得分<=20 分	基本实现无纸化业务数据记录
2	L2	20 分<评价得分<=40 分	监测参数完整性≥50%;
3	L3	40 分<评价得分<=60 分	智能监测传感器覆盖率≥80%; 智能巡检设备覆盖率≥80%;
4	L4	60 分<评价得分<=80 分	巡检数据自动分析率 100%;
5	L5	80 分<评价得分<=100 分	无人值守巡检占比 100%;

表 C.3 给出管缆类巡视无人化等级得分要求及补充性必要要求。

表 C.3 管缆类巡视无人化等级要求评估表

序号	无人化等级	等级得分要求	补充性要求
1	L1	评价得分<=20 分	基本实现无纸化业务数据记录
2	L2	20 分<评价得分<=40 分	在线监测覆盖率≥60%
3	L3	40 分<评价得分<=60 分	缆终端头、中间接头、分支箱等 6 类典型 缺陷(漏油、放电痕迹、过热、锈蚀、破 损、异物)识别准确率 ≥ 85%
4	L4	60 分<评价得分<=80 分	近半年内综合故障概率预测准确率 ≥ 80%; 智能决策闭环率≥80%
5	L5	80 分<评价得分<=100 分	无人干预率 ≥ 90%

## 参 考 文 献

- [1] GBT+21072-2021 通用仓库等级
- [2] GBT+40429-2021 汽车驾驶自动化分级
- [3] GBT+44721-2024 智能网联汽车自动驾驶系统通用技术要求