

团 体 标 准

T/CES 153—2022

电力巡检无人机边缘智能终端技术规范

Technical specification of the edge intelligent terminal for
power inspection based on UAV

2022-12-19 发布

2022-12-21 实施

中国电工技术学会 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 缩略语.....	2
5 总体要求.....	2
6 相关技术参数.....	2
6.1 按适配无人机类型.....	2
6.2 按部署位置.....	2
6.3 尺寸与质量.....	2
6.4 算力与功耗.....	3
6.5 接口要求.....	3
6.6 环境要求.....	3
7 功能要求.....	3
7.1 实时缺陷识别功能.....	3
7.2 实时部件识别功能.....	3
7.3 智能数据采集功能.....	3
7.4 实时温度预警功能.....	3
7.5 实时通信功能.....	4
8 性能要求.....	4
8.1 识别精度.....	4
8.2 识别效率.....	4
9 测试方法.....	5
9.1 功能测试.....	5
9.2 性能检测.....	5

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专利的责任。

本文件由国网河南省电力公司电力科学研究院和北京御航智能科技有限公司共同提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化工作组归口。

本文件起草单位：国网河南省电力公司电力科学研究院、北京御航智能科技有限公司、国网信息通信产业集团有限公司、广东云燕智能科技有限公司、广东科能云科技有限公司、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、华北电力大学、山东大学、国网江苏省电力有限公司泰州供电分公司、国网新疆电力有限公司、国网新疆电力有限公司信息通信公司、国网智能科技股份有限公司、中移（成都）信息通信科技有限公司、电子科技大学、中国地质大学（北京）、西南大学、天津大学、国网山西省电力公司电力科学研究院、哈尔滨工业大学（深圳）。

本文件主要起草人：郭志民、高小伟、谭启昀、李炳森、田杨阳、单玉、李唐兵、胡京、蒙天骐、赵振兵、翟永杰、聂礼强、戴永东、常喜强、张博、肖靖峰、郭江涛、曹澍、王万国、刘越、王涛、周剑、吴建龙、王祝、周纪、行敏锋、钱江、王丹丹、李月臣、朱介北、王卫卫、芦竹茂、孔祥。

本文件为首次发布。

电力巡检无人机边缘智能终端技术规范

1 范围

本文件规定了电力巡检无人机边缘智能终端的术语和定义、缩略语、总体要求、相关技术参数、功能要求、性能要求以及测试方法。

本文件适用于以无人机边缘智能终端为基础的电力巡检工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.5—2008 电工术语 发电、输电及配电 通用术语

GB/T 5271.34 信息技术 词汇 第34部分：人工智能 神经网络

GB/T 32673 架空输电线路故障巡视技术导则

GB/T 37136—2018 电力用户供配电设施运行维护规范

GB 50059—2011 35kV~110kV 变电站设计规范

DL/T 664—2018 带电设备红外诊断应用规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

缺陷识别 defect identification

针对不同类型的电网设备和部件，对输电、变电和配电领域的典型故障进行识别和定位。

3.2

平均检测效率 average detection rate

在单位时间内，指定的硬件配置下，从图像输入检测模型开始，到输出检测结果为止，平均每张图片所耗费的计算时间。

3.3

每秒传输帧数 frames per second (FPS)

指每秒钟传输的视频帧的数量。

3.4

置信度 confidence

指算法输出的矩形框中含有目标的可能性大小，数值在0~1之间。

3.5

边缘智能终端 intelligent edge terminal

边缘智能终端是融合无人机、机器视觉与无线通信为一体的智能化产品，结合其他外围配件和运维管理平台可对应用场景进行实时自动监测，可实现故障的精准识别、定位和报警等功能。

3.6

每秒处理频次 tera operations per second (TOPS)

处理器运算能力单位，1TOPS 代表处理器每秒钟可进行一万亿次（ 10^{12} ）操作。

3.7

平均精度均值 mean Average Precision (mAP)

平均精度的均值，是预测目标位置以及类别的这一类算法的性能度量标准。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

UAV：无人机（Unmanned Aerial Vehicle）

EV：曝光量（Exposure Value）

5 总体要求

5.1 典型的场景需求包含输电精细化巡检、配网线路巡检和变电站巡检。

5.2 无人机边缘智能终端可同时或分别具备实时部件识别、实时缺陷识别、智能数据采集、红外温度预警功能，应依照典型场景需求选取对应功能：

- a) 无人机边缘智能终端可实现数据自主采集中的实时部件识别及定位功能，或实现实时缺陷识别功能。
- b) 无人机边缘智能终端可具备智能数据采集功能。能够通过边缘计算实时操控云台及其载荷；能完成智能调整焦环，智能对准、对焦、变焦、拍照和感应曝光等操作；能够结合 AI 技术优势使巡检数据更加清晰且目标居中，有效降低自主采集数据的废片率。
- c) 无人机边缘智能终端可实现红外图像温度监测及预警功能。

5.3 无人机边缘智能终端应实现与无人机巡检中台、移动端无人机操控系统或机巢系统进行信息交互、指令发送、视频/图像数据的实时传输等系列操作。

6 相关技术参数

6.1 按适配无人机类型

6.1.1 多旋翼无人机边缘智能终端：适配多旋翼无人机。

6.1.2 固定翼无人机边缘智能终端：适配固定翼无人机。

6.2 按部署位置

6.2.1 机载端边缘智能终端：边缘智能终端部署于无人机机身上。

6.2.2 遥控端边缘智能终端：部署于无人机遥控器中。

6.2.3 机巢端边缘智能终端：部署于无人机配套的机巢内。

6.3 尺寸与质量

6.3.1 机载端边缘智能终端尺寸不宜大于 $10\text{cm}\times 8\text{cm}\times 6\text{cm}$ ，质量不宜大于 300g。

6.3.2 遥控端边缘智能终端尺寸不宜大于 $5\text{cm}\times 4\text{cm}\times 3\text{cm}$ ，质量不宜大于 150g。

6.3.3 机巢端边缘智能终端尺寸不宜大于 $20\text{cm}\times 15\text{cm}\times 10\text{cm}$ ，质量不宜大于 1 000g。

6.4 算力与功耗

- 6.4.1 机载端边缘智能终端算力不宜小于 1.5TPS，功耗不宜大于 15W。
- 6.4.2 遥控端边缘智能终端算力不宜小于 3TPS，功耗不宜大于 5W。
- 6.4.3 机巢端边缘智能终端算力不宜小于 21TPS，功耗不宜大于 50W。

6.5 接口要求

- 6.5.1 无人机边缘智能终端应可通过标准 Type C 接口或 USB 接口与无人机、遥控器和机巢端控制模块进行无缝集成，且可扩展支持新型数据接口。
- 6.5.2 无人机边缘智能终端应可独立供电，或基于 Type C 接口或 USB 接口从无人机或遥控器取得电源，且可扩展支持新型数据接口。

6.6 环境要求

在如下环境条件下应能正常工作，特定使用场景可另行要求：

- a) 环境温度：-25℃~+45℃；
- b) 相对湿度：5%RH~95%RH。

7 功能要求

7.1 实时缺陷识别功能

- 7.1.1 应实现无人机图像/视频的实时缺陷检测及告警功能。
- 7.1.2 缺陷检测应能够识别场景中主要缺陷，忽略背景中的模糊缺陷。
- 7.1.3 在无人机飞行过程中，应在无人机操控系统中实时显示缺陷信息。
- 7.1.4 缺陷检测应给出缺陷位置信息及缺陷类型。
- 7.1.5 缺陷检测应给出缺陷置信度信息，若置信度较低应忽略该缺陷。
- 7.1.6 缺陷检测应包含设备本体缺陷和环境安全隐患。

7.2 实时部件识别功能

- 7.2.1 应能实时识别杆塔、金具、绝缘子、导线和附属设施等设施设备。
- 7.2.2 应能自动识别关键部件，并输出目标位置信息。
- 7.2.3 部件识别应给出目标置信度，若置信度较低应忽略该目标。
- 7.2.4 部件检测应识别场景中主要部件，忽略背景中的模糊部件。
- 7.2.5 若部件结构复杂，应进一步检测部件中的细分部件。

7.3 智能数据采集功能

- 7.3.1 应能基于部件识别结果，实现对相机和云台的全方位实时控制。
- 7.3.2 应能基于部件位置实现目标居中对准。
- 7.3.3 应能基于部件位置自动调整焦环，实现智能对焦、变焦。
- 7.3.4 应能基于智能感应目标物及环境光照条件，实现自动调整 EV 值。
- 7.3.5 应能结合人工智能技术优势，实现智能数据采集，降低自主采集数据废片率。

7.4 实时温度预警功能

- 7.4.1 应充分考虑输变配电中不同的应用场景，选取满足目标实时温度预警需求的方法，例如红外实

时温度预警方法。

7.4.2 实时温度预警应支持自动选取待检测目标识别范围。

7.4.3 实时温度预警应支持平均温度和最高温度预测。

7.4.4 实现实时温度预警时应充分考虑硬件设备类型，例如绝缘子的工作温度阈值及温度预警、金具的工作温度阈值与温度预警等。

7.4.5 部件是否发热应结合部件最高温度和相对温升共同判定。

7.4.6 实时温度预警应实时显示温度数值，温度满足告警条件时进行告警提示。

7.5 实时通信功能

7.5.1 应能通过无人机边缘智能终端，实现与无人机巡检中台、移动端无人机操控系统或机巢系统的实时通信。

7.5.2 应能通过无人机边缘智能终端，将视频/图像数据实时传输至无人机巡检中台、移动端无人机操控系统或机巢系统。

8 性能要求

8.1 识别精度

识别精度指标主要由召回率、精确率、准确率、mAP 值组成。无人机边缘智能终端应满足以下识别精度评价指标，见表 1。

表 1 无人机边缘智能终端识别精度评价指标

无人机边缘智能终端精度指标	指标解释	精度要求
召回率	反映分类器或者模型正确预测正样本纯度的能力，即正样本被预测为正样本占总正样本的比例。值越大，性能越好。	召回率 $\geq 85\%$
精确率	反映分类器或者模型正确预测正样本精度的能力，即预测的正样本中有多少是真实的正样本。值越大，性能越好。	精确率 $\geq 75\%$
准确率	反映分类器或者模型对整体样本判断正确的能力，即能将正样本判定为正样本和负样本判定为负样本的正确分类能力。值越大，性能越好。	准确率 $\geq 75\%$
mAP 值	平均精度均值，即 AP 的平均值。mAP 值越高，表明该分类器或模型在给定的数据集上的检测效果越好。	mAP 值 $\geq 70\%$

8.2 识别效率

识别效率指标主要指识别单张图片或单帧视频所需时间。无人机边缘智能终端模型应满足以下识别效率评价指标，详见表 2。

表 2 无人机边缘智能终端识别效率评价指标

无人机边缘智能终端效率指标	指标解释	效率要求
识别效率	指从输入检测数据开始，到识别出设施设备的部件所需要的时间。	部件识别 $\geq 15\text{FPS}$
	指从输入检测数据开始，到识别出设施设备的缺陷所需要的时间。	缺陷识别 $\geq 10\text{FPS}$

9 测试方法

9.1 功能测试

9.1.1 实时缺陷检测功能测试主要包括以下内容：

- a) 检查是否具备输电、变电、配电场景下的实时缺陷识别及告警功能；
- b) 检查无人机飞行过程中，在无人机操控系统中是否可实时显示缺陷类型及位置信息；
- c) 检查缺陷识别功能中是否能够给出缺陷置信度信息；
- d) 检查缺陷识别功能是否能够支持设备本体类缺陷和环境安全风险或隐患需求。

9.1.2 实时部件识别功能测试主要包括以下内容：

- a) 检查通过边缘计算可实时识别杆塔、金具、绝缘子、导线和附属设施等设施设备；
- b) 检查是否能够自动识别关键部件，并输出目标位置信息；
- c) 检查部件识别是否能够给出的目标置信度，若置信度较低应忽略该目标；
- d) 检查部件检测是否能够识别场景中主要部件，忽略背景中的模糊部件。

9.1.3 智能数据采集功能测试主要包括以下内容：

- a) 检查是否可基于部件识别结果，实现对相机和云台的全方位实时控制；
- b) 检查是否可基于部件位置实现目标居中对准；
- c) 检查是否可基于部件位置自动调整焦环；
- d) 检查是否可基于智能感应目标物及环境光照。

9.1.4 温度预警功能测试主要包括以下内容：

- a) 检查实时温度预警功能自动选取待检测目标识别范围是否正确；
- b) 检查实时温度预警功能平均温度和最高温度值预测是否正确；
- c) 检查部件的最高温度和平均温度是否是部件区域的最大温度值和平均温度值；
- d) 检查部件发热是否结合部件最高温度和相对温升共同判定；
- e) 检查实时温度预警是否可实时显示温度数值，在温度满足告警条件时进行告警提示。

9.1.5 实时通信功能测试主要包括以下内容：

- a) 检查通过无人机边缘智能终端，是否能实现与无人机巡检中台、移动端无人机操控系统或机巢系统的实时通信；
- b) 检查通过无人机边缘智能终端，是否能实现与无人机巡检中台、移动端无人机操控系统或机巢系统的指令发送；
- c) 检查通过无人机边缘智能终端，是否能将视频/图像数据实时传输至无人机巡检中台、移动端无人机操控系统或机巢系统。

9.2 性能检测

9.2.1 召回率测试内容如下：

- a) 在进行召回率计算时，应将样本分成独立的三部分，即训练集、验证集和测试集。其中，训练集和验证集参与模型训练，不得参与精度计算。选用测试集检验最优的模型召回率，召回率的计算见公式（1）。

$$\text{召回率} = \frac{TP}{TP+FN} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

TP——被正确识别的目标数量；

FN——被错误识别的背景数量。

- b) 在进行召回率计算时，测试集样本数量应占总样本数量的 25%，测试集样本从全部样本中随机

抽取；

- c) 计算召回率时，使用的测试集缺陷总数量应为标注缺陷和模型检测的缺陷经人工核查去除重复后取并集的数量。

9.2.2 精确率测试内容如下：

- a) 在进行精确率计算时，应将样本分成独立的三部分，即训练集、验证集和测试集。其中，训练集参与模型训练，不得参与精度计算。选用测试集用来检验最优的模型精确率，精确率的计算见公式（2）。

$$\text{精确率} = \frac{TP}{TP+FP} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

FP——被错误识别的目标数量。

- b) 在进行精确率计算时，测试集样本数量应占总样本数量的 25%，测试集样本组成从样本中随机抽取。
- c) 在计算精确率时，使用的测试集缺陷总数量应为标注缺陷和模型检测的缺陷经人工核查去除重复后取并集的数量。
- d) 目标识别精确率不低于 75%。

9.2.3 准确率测试内容如下：

- a) 在进行准确率计算时，应将样本分成独立的三部分，即训练集、验证集和测试集。其中，训练集和验证集参与模型训练，不得参与精度计算。选用测试集用来检验最优的模型准确率，准确率的计算见公式（3）。

$$\text{准确率} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

TN——被正确识别的背景数量。

- b) 在进行准确率计算时，测试集样本数量应占总样本数量的 25%，测试集样本从全部样本中随机抽取。
- c) 在计算准确率时，使用的测试集缺陷总数量应为标注缺陷和模型检测的缺陷经人工核查去除重复后取并集的数量。
- d) 目标识别准确率不低于 75%。

9.2.4 mAP 值测试内容如下：

- a) 在进行 AP 值计算时，应将样本分成独立的三部分，即训练集、验证集和测试集。其中，训练集和验证集参与模型训练，不得参与精度计算。选用测试集用来检验最优的模型 mAP 值。AP 和 mAP 值的计算见公式（4）和公式（5）。

$$AP = \int_r^1 p(r)dr \dots\dots\dots (4)$$

$$mAP = \frac{\sum_{i=1}^N AP_i}{N} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- r ——识别召回率；
- $p(r)$ ——识别所定位召回率对应的精准率；
- AP ——平均精度；

N ——所识别目标种类数目；

i ——自然数，1, 2, 3, ..., N 。

- b) 在进行 mAP 值计算时，测试集样本数量应占总样本数量的 25%，测试集样本从全部样本中随机抽取。
- c) 在计算 mAP 值时，使用的测试集缺陷总数量应为标注缺陷和模型检测的缺陷经人工核查去除重复后取并集的数量。
- d) 目标识别 mAP 值应不低于 70%。

9.2.5 识别效率测试内容如下：

- a) 图片识别效率为完成单张图片目标识别的速度。
 - b) 视频识别效率为完成每帧视频中目标识别的速度。
 - c) 在进行图片识别效率计算时，应将样本分成独立的三部分，即训练集、验证集和测试集。其中，训练集和验证集不得参与精度计算，选用测试集检验最优的模型识别效率。
 - d) 在进行图片识别效率计算时，测试集样本数量应占总样本数量的 25%，测试集样本从全部样本中随机抽取。
 - e) 在计算图片识别效率时，使用的测试集缺陷总数量应为标注缺陷和模型检测的缺陷经人工核查去除重复后取并集的数量。
 - f) 在图片识别中，部件识别效率应满足平均检测效率不低于 15FPS，缺陷识别效率应满足平均检测效率不低于 10FPS。
-

团 体 标 准

电力巡检无人机边缘智能终端技术规范

T/CES 153—2022

2022 年 12 月第一版

*

北京西城区莲花池东路 102 号天莲大厦 10 层

邮政编码：100055

网址：<http://ces.org.cn/html/category/17060132-1.htm>

电话：010-63256990 63256997

版权专有 侵权必究