

**基于立体巡检体系的无人机装备在智能巡检作业中的综合示范应用**

**无人机巡检工作规范**

架空输电线路固定翼无人机巡检系统

**国网天津检修公司**

**二零一八年五月**

**目录**

[1 范围 3](#_Toc514657723)

[2 规范性引用文件 3](#_Toc514657724)

[3 术语和定义 4](#_Toc514657725)

[4系统分类 6](#_Toc514657726)

[5 系统组成 6](#_Toc514657727)

[6 功能要求 7](#_Toc514657728)

[7 技术指标要求 10](#_Toc514657729)

[8 其他要求 13](#_Toc514657730)

[9 检测试验内容 14](#_Toc514657731)

[附录A （资料性附录） 架空输电线路固定翼无人机巡检系统移交资料 17](#_Toc514657732)

[编制说明 19](#_Toc514657733)

# 1 范围

本标准规定了用于架空输电线路巡检的固定翼无人机巡检系统的组成、功能要求、技术指标要求、检测试验内容以及其他要求。

本标准适用于交、直流架空输电线路固定翼无人机巡检系统。

# 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 4208 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 25480 仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法

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 2423.5 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击

GB/T 2423.8 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ed：自由跌落

GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动(正弦)

GB/T 2423.21 电工电子产品环境试验　第2部分：试验方法 试验M：低气压

GB/T 2423.22 电子电工产品环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化

GB/T 2423.38 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验R：水试验方法和导则

QCT 743 电动汽车用锂离子蓄电池

# 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 机载追踪器 airborne tracker

不依赖于机载电源和数传电台工作，能通过定时自动或受控应答方式与工作人员取得联系，确定无人机所在位置信息的机载设备。

3.2 全自主起降 automatic take off and landing

无需人工操作，按照预先设置的指令完成起飞、着陆任务。

3.3 手动飞行模式 manual flight

不依赖导航定位系统，固定翼无人机不受飞控系统闭环控制的飞行模式。

3.4 增稳飞行模式 augmentation flight

导航定位系统不参与控制，飞行控制系统控制固定翼无人机飞行姿态，操作人员控制速度、航向、高度等的飞行模式。

3.5 全自主飞行模式 automatic flight

固定翼无人机完全由飞控系统闭环控制的飞行模式。

3.6 滑跑起降 sliding takeoff and landing

固定翼无人机在起飞和降落时需要在跑道上滑行一段距离的起降方式。

3.7 弹射起飞 catapult takeoff

固定翼无人机利用弹射装置施加推力，提高初始速度完成起飞的方式。

3.8 手抛起飞 hand throw takeoff

固定翼无人机借助人力抛掷完成起飞的方式。

3.9 机腹擦地着陆 belly landing

固定翼无人机借助机腹与地面的摩擦完成降落回收的方式。

3.10 伞降回收 parachute landing

固定翼无人机利用降落伞完成降落回收的方式。

3.11 撞网回收 arrestted landing

固定翼无人机利用拦阻网和缓冲装置完成降落回收的方式。

3.12 三维程控飞行 3D programmed flight

由计算机自动控制无人机按照预设航线变高程飞行的控制方式。

3.13 真高 actual height

固定翼无人机飞行时距离地面的垂直距离。

3.14 一键返航 a key to return

不论无人机处于何种飞行状态，只要操作人员通过地面控制站或遥控手柄上的特定功能键（按钮）启动该功能，无人机应中止当前任务，按预先设定的策略返航。

# 4系统分类

4.1 中型固定翼无人机指空机质量大于7kg且小于等于20kg的固定翼无人机，续航时间一般大于等于2小时，适用于大范围通道巡检、应急巡检和灾情普查。

4.2 小型固定翼无人机指空机质量小于等于7kg的固定翼无人机，续航时间一般大于等于1小时，适用于小范围通道巡检、应急巡检和灾情普查。

# 5 [系统组成](#_Toc355794024)

5.1 固定翼无人机巡检系统应包括固定翼无人机分系统、任务载荷分系统和综合保障分系统。

5.2 固定翼无人机分系统

5.2.1 固定翼无人机分系统包括：固定翼无人机平台、通讯系统和地面站系统。

5.2.2 固定翼无人机平台包括无人机本体和飞行控制系统，应装有机载追踪器和飞行数据记录仪，中型固定翼无人机宜增配北斗卫星机载追踪器。

5.2.3 通讯系统包括数据传输系统和视频传输系统。

5.2.4 固定翼无人机巡检系统的地面站系统包括硬件设备、飞行控制软件和检测软件等，具备系统航迹及参数显示和控制等功能。

5.3 任务载荷分系统

5.3.1 任务载荷分系统包括任务设备和地面显控单元。

5.3.2 任务设备应包括可见光照相机和可见光摄像机，可根据巡检任务需求选择搭载红外检测设备。可在地面显控单元实时显示视频。

5.4 综合保障分系统一般包括供电设备、动力供给（燃料或动力电池）、发射回收装置、专用工具、备品备件等,根据需要可配备储运车辆。

# 6 [功能要求](#_Toc355794025)

6.1 起降方式

起降方式满足以下要求：

1. 宜具备全自主起降功能。
2. 起飞可采用滑跑、弹射、手抛等方式。
3. 降落可采用伞降、滑跑、机腹擦地、撞网等方式，其中伞降为必备方式。
4. 机载任务设备、电机/发动机等核心部件应具有适当防护措施，防止着陆时受直接冲击。
5. 采用机腹擦地方式降落的固定翼无人机，触地部位应使用耐磨材料。
6. 采用伞降方式的固定翼无人机，机体应具备适当保护措施。
7. 采用撞网方式降落的无人机，机体布局应采用后置螺旋桨的布局型式。

6.2 飞行功能

飞行功能满足以下要求：

1. 应具备一键返航功能。
2. 飞行控制系统应具备三维程控飞行功能。
3. 一般应具备手动、增稳和全自主飞行模式，三种飞行模式可自由无缝切换，切换过程中，固定翼无人机应保持稳定的飞行状态和飞行姿态。
4. 在自主飞行模式下执行任务时，具备定点盘旋功能，相关参数可灵活设置。
5. 飞行状态和任务模式可灵活设置，设置内容包括但不限于飞行航线、高度、速度，起飞和降落方式，安全策略等，且在地面站上应有参数设置界面。
6. 应具备在线任务规划功能，支持通过地面站在飞行过程中实时修改航路点。
7. 飞行任务可保存，并支持重复调用和编辑，且应支持航路点信息批量导入和导出。
8. 飞行数据可在线记录，具有飞行数据下载和分析工具。

6.3 通讯功能

通讯功能满足以下要求：

1. 应能够实现固定翼无人机分系统的测控数据上传和下传。
2. 应能够实现任务载荷分系统的测控数据上传和下传。
3. 具有实时视频传输功能。

6.4 任务功能

任务功能满足以下要求：

1. 同时具备拍照、全程摄像功能。
2. 拍照支持手动和自动模式（定点、定时和定距）。
3. 可见光图像和视频数据均可机载保存，同时能记录图像获取的时间和位置信息。
4. 红外检测设备应具备伪彩显示功能。

6.5 地面显示功能

地面显示功能满足以下要求：

1. 应具备地图导入及显示功能，且预设航线、飞行航迹和机头指向等应能在地图中显示。
2. 应具备飞行状态、通讯状态等遥测参数的显示和记录功能，宜具备发动机（电机）状态显示和记录功能。
3. 宜具备巡检任务界面和飞行控制界面分屏显示的功能。
4. 应采用高亮屏，在户外阳光下应能清晰显示。
5. 人机交互界面应为中文界面。

6.6 安全保护功能

安全保护功能满足以下要求：

1. 应具有自检功能，自检项目应至少包括：飞行控制模块、电池电压量、发动机（电机）工况、遥控遥测信号等。以上任一部件故障，均能进行声、光报警，并且系统锁死，无法起飞。根据报警提示，应能确定故障部件。
2. 应具备飞行状态、通讯状态、发动机（电机）状态等参数越限告警功能，报警方式应为声、光报警。
3. 应具备安全控制策略，包括返航策略和应急降落策略。返航策略应至少包括原航线返航和直线返航，可对返航触发条件、飞行速度、高度、航线等进行设置。应急降落策略触发条件可设置。
4. 若采用弹射起飞，弹射触发启动装置需具备防误操作措施。

# 7 [技术指标要求](#_Toc355794026)

7.1 环境适应性

环境适应性满足以下要求：

1. 存储温度范围：-20℃～+65℃。
2. 工作温度范围：-20℃～+55℃（电动）、-30℃～+55℃（油动）。
3. 相对湿度：≤90%(+25℃)。
4. 抗风能力：≥10m/s（距地面2m高，瞬时风速）。
5. 抗雨能力：能在小雨（12小时内降水量小于5mm的降雨）环境条件下短时飞行。

7.2 起降技术指标

起降技术指标满足以下要求：

1. 采用滑跑方式起飞、降落或采用机腹擦地方式降落时，滑跑距离应小于50米。
2. 弹射架应可折叠，折叠后长度不宜超过2米，重量不宜超过30kg。
3. 采用伞降降落方式时，开伞位置控制误差不宜大于15米。

7.3 飞行性能技术指标

飞行性能技术指标满足以下要求：

1. 巡航速度：60～100km/h。
2. 最大起飞海拔高度≥4500m。
3. 最大巡航海拔高度≥5500m。
4. 最小作业真高≤150m。
5. 续航时间要求：中型固定翼无人机续航时间≥2h,小型固定翼无人机续航时间≥1h。
6. 最小转弯半径≤150m。
7. 最大爬升率≥3m/s。
8. 最大下降率≥3m/s。

7.4 任务载重

任务载重满足以下要求：

1. 中型固定翼无人机正常任务载重≥2kg。
2. 小型固定翼无人机正常任务载重≥0.5kg。

7.5 航迹控制精度

航迹控制精度满足以下要求：

1. 水平航迹与预设航线误差≤3m。
2. 垂直航迹与预设航线误差≤5m。

7.6 通讯

通讯满足以下要求：

1. 传输带宽≥2M（标清），图传延时≤300ms。
2. 数传延时≤80ms。
3. 通视条件下，最小数传距离≥20km。
4. 通视条件下，最小图传距离≥10km。

7.7 任务载荷

任务载荷满足以下要求：

1. 在作业真高200m时，采集的视频可清晰识别航线垂直方向上两侧各100m范围内的3m×3m静态目标。
2. 在作业真高200m时，采集的图像可清晰识别航线垂直方向上两侧各100m范围内的0.5m×0.5m静态目标。
3. 高清可见光摄像机帧率不小于24Hz；支持数字及模拟信号输出，支持高清及标清格式。
4. 机载存储应采用插拔式存储设备，存储空间不小于64GB。

7.8 可靠性

可靠性满足以下要求：

1. 平均无故障工作间隔时间MTBF≥50h。
2. 机械和电子部件定期检查保养周期不低于20个架次。

7.9 操作性

操作性满足以下要求：

1. 展开时间≤20min。
2. 撤收时间≤10min。

7.10 整机使用寿命不低于300架次。

# 8 其他要求

8.1 起降场地周边净空环境满足安全起降要求。

8.2 固定翼无人机巡检系统所有部件均应能够满足GB/T 25480 的要求。

8.3 任务设备、电池及配套使用工具等均应装箱储运，便于携带运输。

8.4 连接接头应具有良好的外绝缘强度、各触点间导通性良好，接头连接牢固、可靠，应具备防误插功能，满足长时间连续使用的需要。

8.5 电池循环寿命应不小于300次，且应满足0℃～﹢45℃可正常充电，在充电及储运状态下应有防爆、阻燃等安全措施。电池宜有固定卡槽，固定于机身上，电源接口宜采用防火花接头。所有电池（包括飞控电池、舵机电池、任务设备电池以及地面站电池等）的单次使用时间应大于相应机型的续航时间。

8.6 油动型固定翼无人机油箱应具备一定的抗冲击性和防腐蚀性，宜有油量指示。

8.7 固定翼无人机巡检系统应配备飞行模拟仿真培训系统以及培训教材等，所用语言应采用中文。

8.8 固定翼无人机巡检系统的移交资料参见附录A。

# 9 检测试验内容

表1列出了对固定翼无人机巡检系统的专用检测试验内容，包括型式试验、出厂检验的内容。

表1　固定翼无人机巡检系统载机的专用检测试验内容

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目 | 型式试验 | 出厂检验 | 试验方法参照标准 |
| 1 | 外观及尺寸测量 | ● | ● |  |
| 2 | 重量测量 | ● | ● |  |
| 3 | 高低温贮存试验 | ● | ○ | GB/T 2423.1 |
| 4 | 高低温工作试验 | ● | ○ | GB/T 2423.1 |
| 5 | 湿热试验 | ● | ○ | GB/T 2423.1 |
| 6 | 冲击试验 | ● | ○ | GB/T 2423.5 |
| 7 | 跌落试验（带包装） | ● | ○ | GB/T 2423.8 |
| 8 | 振动试验 | ● | ○ | GB/T 2423.10 |
| 9 | 低气压试验 | ● | ○ | GB\_T2423.21 |
| 10 | 温度变化试验 | ● | ○ | GB/T2423.22 |
| 11 | 淋雨试验 | ● | ○ | GB 4208  GB/T 2423.38 |
| 12 | 电磁兼容测试试验 | ● | ○ | GB/T 17626.3 |
| 13 | 任务编辑试验 | ● | ● | ※ |
| 14 | 自检试验 | ● | ● | ※ |
| 15 | 全自主起降试验 | ● | ● | ※ |
| 16 | 飞行模式验证及切换试验 | ● | ● | ※ |
| 17 | 三维程控飞行试验 | ● | ● | ※ |
| 18 | 安全策略试验 | ● | ● | ※ |
| 19 | 巡航速度测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 20 | 起飞海拔高度测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 21 | 最小作业真高测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 22 | 测控距离测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 24 | 最大起飞重量测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 25 | 最小转弯半径测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 26 | 续航时间测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 27 | 爬升率、下降率测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 28 | 可见光检测效果试验 | ● | ● | ※ |
| 29 | 软件测试试验 | ● | ○ | ※ |
| 30 | 电池充放电次数试验 | ● | ○ | QCT 743 |
| 31 | 电池放电特性试验（-20℃～+60℃） | ● | ○ | QCT 743 |
| 32 | 电池安全试验 | ● | ○ | QCT 743 |
| 备注 | ● 表示规定必须做的项目；○表示规定可不做的项目；※表示相关标准，另行规定。 | | | |

# 附录A （资料性附录） 架空输电线路固定翼无人机巡检系统移交资料

架空输电线路固定翼无人机巡检系统的移交资料包括但不限于下表1中规定的内容。

表1 移交资料目录列表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 数量 | 备注 |
| 1 | 装箱清单表 | 1份 |  |
| 2 | 技术规格书 | 2份 | 包括但不限于型号、结构、技术参数、执行标准等 |
| 3 | 操作手册 | 2份 |  |
| 4 | 维护手册 | 2份 |  |
| 5 | 备品备件清单 | 1份 |  |
| 6 | 随机工具和仪器清单 | 1份 |  |
| 7 | 出厂检验报告 | 1份 |  |
| 8 | 出厂合格证 | 1份 |  |
| 9 | 系统软硬件版本信息表 | 1份 |  |
| 10 | 故障记录表 | 1份 |  |
| 11 | 维护记录表 | 1份 |  |

架空输电线路固定翼无人机巡检系统

# 编制说明

**目录**

[一、编制背景 21](#_Toc514407863)

[二、编制主要原则 21](#_Toc514407864)

[三、与其他标准的关系 21](#_Toc514407865)

[四、主要工作过程 22](#_Toc514407866)

[五、标准结构和内容 24](#_Toc514407867)

[六、条文说明 24](#_Toc514407868)

# 一、编制背景

本标准依据《国家电网公司关于下达2014年度公司技术标准制修订计划的通知》（国家电网科[2014]64号文）的要求编写。

利用架空输电线路固定翼无人机巡检系统进行线路巡检时，对其系统组成、功能、技术指标及所需进行的检测试验内容等均有一定要求，有必要制定一部专门的关于固定翼无人机巡检系统的规范，用以指导固定翼无人机巡检系统的研发、制造、安全巡检及规范检测。

# 二、编制主要原则

（1）本标准以现有各类型固定翼无人机巡检系统的功能和性能为基础，结合国家电网公司协同巡检应用，考虑5年内无人机巡检系统的技术发展和应用需求进行编制；

（2）本标准适用于国家电网公司架空输电线路固定翼无人机巡检工作，保障固定翼无人机巡检系统工作的效率、效果和安全；

（3）标准编制工作以理论结合实际为原则，广泛征求生产厂家建议，调研应用需求，以工程实践和试验测试数据为基础，提出科学合理的技术指标。

# 三、与其他标准的关系

本标准的制定过程主要依据和参考文献如下：

GB 4208 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 25480 仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法

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 2423.5 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击

GB/T 2423.8 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ed：自由跌落

GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动(正弦)

GB/T 2423.21 电工电子产品环境试验　第2部分：试验方法 试验M：低气压

GB/T 2423.22 电子电工产品环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化

GB/T 2423.38 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验R：水试验方法和导则

QCT 743 电动汽车用锂离子蓄电池

# 四、主要工作过程

2013年3月，国家电网公司下达关于印发输电线路直升机、无人机和人工协同巡检模式试点工作方案的通知(国家电网运检〔2013〕415号)，根据通知中编制无人机巡检系统设备类标准的要求，成立了标准编写小组。

2013年5月至10月，收集各生产厂家的产品技术资料，并进行技术调研，同时吸取了有关专家的意见，编制《架空输电线路固定翼无人机巡检系统》初稿。

2013年11月，邀请国网冀北电力、国网山东电力、国网浙江电力、国网福建电力、国网四川电力和中国电科院等单位有关专家，在山东莱芜召开了标准初稿审查会，讨论了无人机巡检系统的分类、设备和人员等配置要求，并提出了修改意见。

2014年1月，国家电网公司下达2014年技术标准制修订计划的通知〔国家电网科〔2014〕64号)。

2014年2月，邀请中国电科院、国网冀北电力、国网山东电力、国网浙江电力、国网福建电力和国网四川电力等单位有关专家，对该标准的框架及各分项具体内容进行了集中讨论。

2014年3月，根据讨论会专家意见修改标准，形成征求意见稿。

2014年4月，公司运检部发文对标准进行征求意见。

2014年6月，收集、整理回函意见，提出征求意见汇总处理表，根据反馈意见完成标准修改，形成标准送审稿。

2014年12月，国家电网公司在北京主持召开了标准送审稿审查会，邀请了国网北京、天津、山西、安徽、湖北、江西、黑龙江、浙江、四川电力和中国电科院等相关专家，对国网山东省电力公司牵头编写的《架空输电线路固定翼无人机巡检系统》送审稿进行了评审。

2015年1月，根据专家提出的意见对标准送审稿进行修改，形成报批稿上报主管部门批准。

# 五、标准结构和内容

本标准依据DL/T 800—2012《电力企业标准编制规则》的编写要求进行了编制。本标准主要结构及内容如下：

（1）目次。

（2）前言。

（3）标准正文共设9章：范围、规范性引用文件、术语和定义、系统分类、系统组成、功能要求、技术指标要求、其他要求和检测试验内容。

# 六、条文说明

1. 6.1b）中所述“起飞可采用滑跑、弹射、手抛等方式”是指固定翼无人机巡检系统起飞方式可采用其中的一种方式或多种方式。
2. 6.1c）中所述“降落可采用伞降、滑跑、机腹擦地、撞网等方式”是指固定翼无人机巡检系统降落方式可采用其中的一种方式或多种方式。
3. 6.2d）中所述“具备定点盘旋功能”是指固定翼无人机巡检系统可对某区域内或某指定被巡检目标进行多次重复巡检。
4. 7.1中环境适应性指标要求适用于固定翼无人机巡检系统的所有电池。
5. 7.2a）中“滑跑距离应小于50米”是结合大多数固定翼无人机巡检系统滑跑起降所需最小距离与现场巡检时一般能够提供的最大距离综合考虑的结果。
6. 7.2b）中“重量不宜超过30kg”是考虑了固定翼无人机巡检系统整体的运输性及使用方便性，弹射机体重量过大不便于使用。
7. 7.2c ) 中“开伞位置控制误差不宜大于15米”指在无风或风力较小时的参考值。
8. 7.3a）中“巡航速度：60～100km/h”是指固定翼无人机巡检系统的巡航速度必须保证巡检中拍摄的视频和照片清晰，能够辨识线路故障或隐患。
9. 7.3b)、c) 中“最大起飞海拔高度≥4500m”、“最大巡航海拔高度≥5500m”要求，是为了使固定翼无人机巡检系统能够适用于高海拔全部地区的巡检工作。
10. 7.7a）、b）中所述“在作业真高200m时”是因为固定翼无人机巡检系统一般在距离输电导线150m-200m处进行巡检作业。
11. 7.7d）中所述“机载存储应采用插拔式存储设备”是因为固定翼无人机巡检系统续航时间长，数据量大，插拔式存储设备能够避免在数据导出时固定翼无人机巡检系统长时间上电待机。
12. 第9章表1中“试验方法参照标准”部分内容仅指采用该标准中所述试验方法，具体参数指标另行规定。