

**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技术规程

**国网天津检修公司**

**二零一八年五月**

**目录**

[1 范围 3](#_Toc514410291)

[2 规范性引用文件 3](#_Toc514410292)

[3 术语和定义 3](#_Toc514410293)

[4 巡检内容 4](#_Toc514410294)

[5 一般要求 5](#_Toc514410295)

[6 安全要求 6](#_Toc514410296)

[7 作业要求 8](#_Toc514410297)

[8 巡检资料整理及移交 12](#_Toc514410298)

[9 维修保养 12](#_Toc514410299)

[10 异常处置 12](#_Toc514410300)

[附录A （资料性附录） 固定翼无人机巡检前检查工作单 14](#_Toc514410301)

[附录B （资料性附录） 架空输电线路固定翼无人机巡检系统使用记录单 17](#_Toc514410302)

[编制说明 19](#_Toc514410303)

# 1 范围

本标准规定了固定翼无人机巡检作业的巡检种类、巡检内容、安全要求、巡检前准备、巡检作业、巡检资料整理归档、异常情况处置和维护保养等。

本标准适用于采用固定翼无人机巡检系统在110kV（66kV）及以上电压等级架空输电线路所进行的巡检作业，35kV架空输电线路参照执行。

# 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，仅所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。

中华人民共和国国务院、中华人民共和国中央军事委员会令第371号 通用航空飞行管制条例

CCAR-91R2 一般运行和飞行规则

DL/T 741 架空输电线路运行规程

Q/GDW 26859 国家电网公司电力安全工作规程（线路部分）

# 3 术语和定义

3.1 固定翼无人机巡检 fixed-wing unmanned aerial vehicle inspection

使用固定翼无人机及其任务设备（可见光照相机、摄像机等）对输电线路通道及本体等进行巡视检查，根据所用固定翼无人机巡检系统的不同，分为中型固定翼无人机巡检和小型固定翼无人机巡检。

3.2固定翼无人机巡检系统 fixed-wing unmanned aerial vehicle inspection system

固定翼无人机携带可见光照相机、摄像机等任务设备，完成架空输电线路巡检任务的作业系统。一般由固定翼无人机分系统、任务载荷分系统和综合保障分系统组成。

3.3中型固定翼无人机 medium-sized fixed-wing unmanned aeria

指空机质量大于7kg且不大于20kg的固定翼无人机，续航时间一般不小于2小时。

3.4 小型固定翼无人机 small fixed-wing unmanned aerial

指空机质量小于等于7kg的固定翼无人机，续航时间一般不小于1小时。

# 4 巡检内容

固定翼无人机可用于对线路通道、本体进行巡检，主要巡检内容见表1。

表1 固定翼无人机巡检内容表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 巡检对象 | 巡检项目 |
| 1 | 线路通道 | 施工作业、建筑物、构筑物、山火、覆冰、地质灾害、交叉跨越、树竹生长等情况。 |
| 2 | 线路本体 | 1. 杆塔倾斜变形、倒塌。 2. 导、地线断线。 3. 绝缘子掉串。 4. 其他明显的设备隐患及缺陷。 |

# 5 一般要求

5.1 人员要求

5.1.1作业人员应掌握高压输电线路运行维护及安全生产相关知识，了解航空、气象、地理等必要知识。

5.1.2 作业人员应熟悉固定翼无人机巡检作业方法和技术手段，通过相应机型的操作培训并持证上岗。

5.1.3 作业人员应身体健康，精神状态良好，作业前8小时及作业过程中严禁饮用任何酒精类饮品。

5.1.4 固定翼无人机巡检作业人员配备应至少满足表2要求。

表2 固定翼无人机飞行巡检作业人员配备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 角色 | 人数 | 作业分工 |
| 工作负责人 | 1 | 全面组织巡检工作开展，负责现场飞行安全。 |
| 操控手 | 1 | 负责固定翼无人机人工起降操控、飞行姿态保持、设备准备、检查、撤收等。 |
| 程控手 | 1 | 负责固定翼无人机航线规划、程控飞行、遥测信息监测、图传信息监测、设备准备、检查、撤收等。 |

5.2 设备要求

5.2.1 固定翼无人机巡检系统应通过性能检测，各技术指标满足巡检作业要求。

5.2.2 应配置充足的备品备件并经检测合格。

5.2.3 应根据实际需要选配运输车辆。

# 6 安全要求

6.1 人员安全

6.1.1 作业现场应注意疏散周围人群，做好安全隔离措施，必要时终止作业。

6.1.2 作业时，作业人员之间应保持联络畅通，严格遵守有关规定，禁止擅自违规操作。

6.1.3 固定翼无人机起飞和降落时，作业人员应与其始终保持足够的安全距离，避开起降航线。固定翼无人机螺旋桨转动时，严禁无关人员接近。

6.1.4 作业人员应正确使用安全工器具和劳动防护用品。

6.2 设备安全

6.2.1 作业前，固定翼无人机应预先设置突发和紧急情况下的安全策略。

6.2.2 作业现场应做好灭火、防爆等安全防护措施，严禁吸烟和出现明火。带至现场的油料应单独存放。

6.2.3 加油和放油操作应在良好天气条件下进行，操作人员应使用防静电手套。

6.2.4 固定翼无人机巡检系统断电应在螺旋桨停止转动以后进行。

6.2.5 作业现场不应使用可能对固定翼无人机巡检系统造成干扰的电子设备。

6.3 环境要求

6.3.1 如遇大雨、大风、冰雹等恶劣天气或出现强电磁干扰等情况时，不宜开展作业。

6.3.2 起飞前，应确认现场风速符合现场作业条件。

6.3.3 巡检区域处于狭长地带或大档距、大高差、微气象等特殊区域时，作业人员应根据固定翼无人机的性能及气象情况判断是否开展作业。

6.3.4 特殊或紧急情况下，如需在恶劣气候或环境开展巡检作业时，应针对现场情况和工作条件制定安全措施，履行审批手续后方可执行。

# 7 作业要求

7.1 现场勘查

7.1.1 应制定固定翼无人机巡检计划，确定巡检作业任务，选择合适机型，必要时开展现场勘查。

7.1.2 勘查内容应包括地形地貌、气象环境、空域条件、线路走向、通道长度、杆塔坐标、高度、塔型及其他危险点等。

7.1.3 根据现场地形条件合理选择和布置起降点。

7.1.4 计划外的巡检作业，应履行相关审批手续，必要时进行现场勘查。

7.2 航线规划

7.2.1 作业前应根据实际需要，向线路所在区域的空管部门履行空域审批手续。

7.2.2 应根据固定翼无人机的性能合理规划航线。

7.2.3 航线规划应避开军事禁区、军事管理区、空中危险区和空中限制区，远离人口稠密区、重要建筑和设施、通讯阻隔区、无线电干扰区、大风或切变风多发区，尽量避免沿高速公路和铁路飞行。

7.2.4 应根据巡检线路的杆塔坐标、塔高等技术参数，结合线路途经区域地图和现场勘查情况绘制航线，制定巡检方式、起降位置及安全策略。

7.2.5 首次飞行的航线应适当增加净空距离，确保安全后方可按照正常巡检距离开展作业。若飞行航线与杆塔坐标偏差较大，应及时修正航线库。

7.2.6 固定翼无人机起、降点应与输电线路和其他设施、设备保持足够的安全距离，进场条件良好，风向有利，具备起降条件。

7.2.7 固定翼无人机应在杆塔、导线上方开展作业，与塔顶的垂直距离不宜小于100m。巡航速度宜在60～120km/h范围内。

7.2.8 线路转角角度较大，宜采用内切过弯的飞行模式；相邻杆塔高程相差较大时，宜采取直线逐渐爬升或盘旋爬升的方式飞行，不应急速升降。

7.2.9 应建立巡检作业航线库，对已作业的航线及时存档、更新，并标注特殊区段信息（线路施工、工程建设及其它影响飞行安全的区段）。

7.2.10 进行相同作业时，应在保障安全的前提下，优先调用历史航线。

7.3 作业许可

7.3.1 抵达现场后，应报告空管部门，履行工作许可手续，获得许可后方可开展作业。

7.3.2 巡检作业前，根据机型和巡检任务编制巡检作业指导书。

7.3.3 故障巡检、特殊巡检等非计划巡检也应办理工作许可手续。

7.4 现场作业

7.4.1 起飞前准备

7.4.1.1 应检查起降点周围地理环境、电磁环境和气象条件，确认满足安全起降要求。

7.4.1.2 应核对航线规划是否满足安全飞行要求。

7.4.1.3 应检查固定翼无人机动力系统的燃油或电能储备，确认满足飞行巡检航程要求。

7.4.1.4 作业人员应逐项开展设备、系统自检，确保固定翼无人机处于适航状态，并填写巡检前检查工作单（见附录A）。

7.4.1.5 应明确工作内容、人员分工，落实现场安全措施，并履行确认手续。

7.4.2 起飞

7.4.2.1 起飞时，应确认风向适宜。

7.4.2.2 中型固定翼无人机不宜采用手抛起飞方式。

7.4.2.3 采用手抛起飞时，作业人员抛掷固定翼无人机后应迅速远离飞行航线。

7.4.2.4 采用弹射起飞时，弹射架应置于水平地面上并做好防滑和防误触发措施。高海拔地区进行弹射起飞时，应适当增加弹射架长度或滑跑距离，以保证起飞初速度。

7.4.2.5 采用滑跑起降时，应提前做好跑道清理工作。

7.4.2.6 起飞后，应密切关注无人机飞行状态，做好突发和紧急情况下手动接管固定翼无人机准备。

7.4.3 巡检飞行

7.4.3.1 固定翼无人机宜采用自主飞行模式执行巡检作业。

7.4.3.2 应通过地面站全程监控固定翼无人机的发动机或电机转速、电池电压、飞行航线等技术参数及飞行状态，必要时进行人工干预。

7.4.4 返航降落

7.4.4.1 应提前做好降落场地清理工作，确保其满足降落条件。降落时，人员与无人机应保持足够的安全距离。

7.4.4.2 采用伞降回收方式时，应充分考虑现场风向、风速，合理确定开伞地点及高度。

7.4.4.3 采用机腹擦地着陆或滑跑降落方式时，降落场地应满足其最小滑行距离要求。

7.4.4.4 采用撞网回收方式时，回收网应有固定支撑，牢固可靠。

7.4.4.5 降落期间，应密切关注无人机飞行状态，做好人工接管准备，必要时切换手动降落。

7.4.5 飞行后检查及撤收

7.4.5.1 作业结束后，应及时向空管部门汇报，履行工作终结手续。

7.4.5.2 降落后，应进行外观及零部件检查，恢复储运状态并做好相关记录。

7.4.5.3 撤收前，油动无人机应将油箱内剩余油料回收并妥善储存；电动无人机应将电池取出。

7.4.5.4 人员撤离前，应清理现场，核对设备和工器具清单，确认现场无遗漏。

# 8 巡检资料整理及移交

8.1 每次巡检结束后，应及时将任务设备的巡检数据导出，汇总整理巡检结果并提交。

8.2 应及时做好空域审批文件、工作票（单）、航线信息库等资料的归档。

# 9 维修保养

9.1 设备维护

9.1.1 固定翼无人机巡检系统及油料应定置存放，并设专人管理。

9.1.2 应定期对固定翼无人机巡检系统进行检查、清洁、润滑、紧固，确保设备良好。

9.1.3 设备电池应定期进行检查维护，确保其性能良好。

9.2 设备保养

9.2.1 应定期进行零件维修更换和保养。

9.2.2 无人机巡检系统主要部件（如电机、飞控系统、通讯链路、任务设备等）更换或升级后，应进行检测，确保满足技术要求。

9.2.3 无人机长期不用时应定期检查设备状态，如有异常应及时调试或维修。

# 10 异常处置

10.1 无人机巡检作业应编制异常处置应急预案（或现场处置方案），并开展现场演练。

10.2 飞行巡检过程中，发生危及飞行安全的异常情况时，应根据具体情况及时采取返航或就近迫降等应急措施

10.3 作业现场出现雷雨、大风等突变天气或空域许可情况发生变化时，应采取措施控制固定翼无人机返航或就近降落。

10.4 当无人机出现状态不稳、航线偏移大、通讯链路不畅等故障时应及时采取措施恢复正常状态或控制无人机降落。

10.5 无人机未按预定计划返航时，应根据通讯链路或机载追踪器发送的最终地理坐标信息组织寻找。

10.6 无人机发生事故后，应立即启动应急预案，对现场情况进行拍照取证,及时组织事故抢险，做好舆情监控和民事协调，并将现场情况报告相关部门。

# 附录A （资料性附录） 固定翼无人机巡检前检查工作单

时间： 年 月 日

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1.现场环境检查 | | | |
| 序号 | 检查内容 | | 检查确认 |
| 1.1 | 天气是否适合作业。 | |  |
| 1.2 | 地理环境是否适合作业。 | |  |
| 1.3 | 使用测频仪检查起降点周围是否存在信号干扰。 | |  |
| 1.4 | 其它。 | |  |
| **检查人签名** | | |  |
| 2.固定翼无人机检查 | | | |
| 序号 | 检查内容 | | 检查确认 |
| 2.1 | 机体是否正常。 | |  |
| 2.2 | 发动机是否正常。 | |  |
| 2.3 | 电气检查是否正常。 | |  |
| 2.4 | 其它。 | |  |
| **检查人签名** | | |  |
| 3.任务设备检查 | | | |
| 序号 | 检查内容 | | 检查确认 |
| 3.1 | 任务设备电池电量是否充足。 | |  |
| 3.2 | 任务设备与无人机电气连接是否正常。 | |  |
| 3.3 | 开机后任务设备操控是否正常。 | |  |
| **检查人签名** | | |  |
| 4.地面站系统检查 | | | |
| 序号 | 检查内容 | | 检查确认 |
| 4.1 | 测控设备是否正常。 | |  |
| 4.2 | 航线规划及上传是否正常。 | |  |
| 4.3 | 安全策略是否合适。 | |  |
| 4.4 | 地理信息是否正常。 | |  |
| 4.5 | 其他。 | |  |
| **检查人签名** | | |  |
| **以上检查完毕，确认无误，工作负责人签名后方可起飞作业。** | | **工作负责人** |  |

# 附录B （资料性附录） 架空输电线路固定翼无人机巡检系统使用记录单

编号： 巡检时间： 年 月 日

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 使用机型 |  | | | | | | |
| 巡检线路 |  | 天气 |  | 风速 |  | 气温 |  |
| 工作负责人 |  | | | 工作许可人 |  | | |
| 操控手 |  | 程控手 |  | 任务手 |  | 机务 |  |
| 架次 |  | | | 飞行时长 |  | | |
| 1.系统状态 | 记录无人机巡检系统航前、航后检查情况，飞行过程中的状态等。 | | | | | | |
|
|
| 2.航线信息 | 如为首次巡检的航线，记录巡检航线周边环境信息，否则记录周边环境信息的变化情况。周边环境信息包括：空中管制区、重要建筑和设施、人员活动密集区、通讯阻隔区、无线电干扰区、大风或切变风多发区和森林防火区等的位置和分布。 | | | | | | |
| 3.其他 | 记录巡检过程中无人机巡检系统出现的其他异常情况。 | | | | | | |

记录人（签名）： 工作负责人（签名）：

输电线路固定翼无人机巡检技术规程

# 编制说明

**目录**

[1 编制背景 21](#_Toc514410336)

[2 编制主要原则 21](#_Toc514410337)

[3 与其他标准文件的关系 21](#_Toc514410338)

[4 主要工作过程 21](#_Toc514410339)

[5 标准结构和内容 23](#_Toc514410340)

[6 条文说明 23](#_Toc514410341)

# 1 编制背景

为进一步提升输电线路运检管理水平,建立直升机、无人机和人工巡检相互协同的输电线路新型巡检模式，本标准依据《国家电网公司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）的要求编写。

# 2 编制主**要**原则

《输电线路固定翼无人机巡检技术规程》遵循安全性、适用性、可靠性以及与相关标准协调一致的原则，从输电线路运检需求出发，规范了输电线路固定翼无人机巡检的任务范围、作业内容、操作流程、安全保障技术要求等方面内容，为公司固定翼无人机的迅速推广和广泛应用提供可靠依据。

# 3 与其他标准文件的关系

《输电线路固定翼无人机巡检技术规程》作为在无人机标准体系的一部分，是国网公司系统各单位开展输电线路固定翼无人机巡检相关工作的指导性文件。由于国际和国内尚未颁布类似标准，因此，本标准属于原创性标准。

本标准与我国现行的法律、法规、政策及相关标准协调一致。

# 4 主要工作过程

本标准在编制过程中，国家电网公司运维检修部先后组织多次会议，对标准的编制给予协调和指导。

2013年3月，根据国家电网公司运维检修部的相关要求，由国网冀北公司牵头负责，国网通航公司、国网山东公司、国网青海公司、中国电科院作为配合单位，开展《输电线路固定翼无人机巡检技术规程》技术标准编制工作。国网冀北公司对此高度重视，专门成立标准编写组，编制完成了《输电线路固定翼无人机巡检技术规程项目建议书》。早在2010年，国网冀北公司就已组织研究应用了小型电动固定翼无人机，取得初步成效，累计巡检500kV输电线路19条，飞行里程超过1000公里，发现外部隐患33处，较大尺寸本体缺陷9处，在固定翼无人机巡检应用中积累了较多经验。

2013年4月，组织召开编写大纲研讨会,制定完成标准大纲。

2013年7月，在广泛开展调研和交流的基础上，完成标准初稿。

2013年11月，国网公司运维检修部组织各省公司专家在山东召开讨论会，对标准的内容进行讨论，提出了修改意见。

2013年12月，根据专家提出的建议和意见，修改完善《架空输电线路固定翼无人机巡检技术规程》初稿。

2014年2月，国网公司在山东组织召开第二次输电线路无人机巡检相关标准讨论会。

2014年2月底，结合专家意见，编写组完成《架空输电线路固定翼无人机巡检技术规程》征求意见稿编写，在国网公司范围内广泛征求意见。

2014年10月，在征求各省公司意见的基础上，修改形成《架空输电线路固定翼无人机巡检技术规程》送审稿。

2014年12月，国网公司运维检修部在北京召开标准评审会，邀请专家集中讨论，提出深入意见和建议。

2014年12月，根据评审会意见，完善形成《架空输电线路固定翼无人机巡检技术规程》报批稿。

# 5 标准结构和内容

本标准的结构和内容如下：

a) 目次

b) 前言

c) 标准正文共设11章：范围、规范性引用文件、术语和定义、巡检内容、一般要求 、安全要求、作业要求、巡检资料整理及移交、维修保养、异常处置。

# 6 条文说明

本标准第1章中，电压等级的约束是建立在实践基础之上的，编写组对多条500kV电压等级输电线路进行了大量的实践工作，积累了丰富的数据和经验。参照执行的电压等级，未进行现场飞行巡检试验。

本标准第4章表1中，巡检内容是在大量实际应用中总结得出的，固定翼无人机因其本身固有的飞行速度、高度、方式等方面特点，优势在于快速、大范围地对输电线路走廊进行巡检；因无悬停功能，故重点关注线路通道、周边环境、沿线交叉跨越等宏观情况，兼顾对较明显的设备缺陷（如倒塔、断线等）进行巡检。

本标准第6.1.3条中，因固定翼无人机飞行速度较快，且机身相对较大，为防止造成人身伤害，现场人员应远离飞行路线，并防止桨叶脱落飞出伤人。

本标准第6.2.1条中，安全策略是作业过程中保证设备、人身安全的重要技术措施，作业前应预先设定，并应根据实际情况选择优先级别。

本标准第6.3.1条中，由于雪、雨、雾等天气会降低现场能见度，造成固定翼无人机起、降困难，任务设备拍摄效果不清晰，强电磁干扰可能影响固定翼无人机通讯链路，影响飞行安全，因此不建议无在此环境下巡检作业。

本标准第7.2.4条中，每次巡检前都应检查、更新地图，确保航线规划所使用的地图为最新版，并对需规避的区域进行标注、绕行。

本标准第7.2.7条中，固定翼无人机的飞行轨迹位置与速度是编写组在保障输电线路和固定翼无人机安全的前提下，为提高固定翼无人机巡检拍摄效果，结合大量实际应用经验，参考国网公司固定翼无人机巡检系统飞行验证试验效果，充分考虑各类型固定翼无人机的飞行特点和技术参数以及线路地形起伏、气流等因素对固定翼无人机飞行航迹的影响而制定的。对于需重点监控点区域，可在其上方盘旋飞行，多角度、全方位获取影像资料。

本标准第7.2.8条中，固定翼无人机飞行速度较快，因惯性作用，易冲出预定航线、偏离线路方向，当线路转角较小时，宜沿线路方向飞行巡检；当线路转角较大时，固定翼无人机宜内切过弯，即预先转弯，使其尽可能覆盖线路通道；当地形起伏造成杆塔高程相差较大时，由于为保障飞行稳定性和巡检效果，防止固定翼无人机失速，宜采取由低入高逐渐爬升或盘旋爬升的方式。

本标准第7.4.2条中，目前常见的固定翼无人机起飞方式有抛掷、弹射和滑跑3种。主要由厂家设计、起飞重量和起降场地决定，根据军方应用经验，当起飞重量达5kg以上时，不建议采用手抛起飞方式，起飞重量达20kg以上时不建议采用弹射起飞方式。高海拔地区因空气稀薄，气压偏低，空气浮力相对较小，因此作业时应适当增加弹射架长度或滑跑距离以保证起飞初速度。

本标准第7.4.3.1条中，因固定翼无人机速度快、高度高等飞行特性，其飞行状态相对不易人工控制，且巡检模式简单固定，故宜采取全自主飞行模式，但必要时应进行手动干预，保障固定翼无人机飞行状态良好。

本标准第7.4.4条中，目前常用降落方式有机腹擦地、滑跑、伞降、撞网4种。机腹擦地或滑跑降落时，跑道应平整且长度足以保证其成功减速；伞降方式时，根据现场应用经验，现场风向、风速的变化将极大影响固定翼无人机降落点位置，因此应根据实际情况及时调整；撞网降落时，为保证人员安全，不应人工撑网。

本标准第9章中，适当的维护保养可有效延长固定翼无人机的使用寿命，提高巡检作业效率，降低巡检工作成本，不同类型的固定翼无人机应根据自身特点及要求进行维修保养，操作原则以本机型说明书及维护保养相关要求为准。