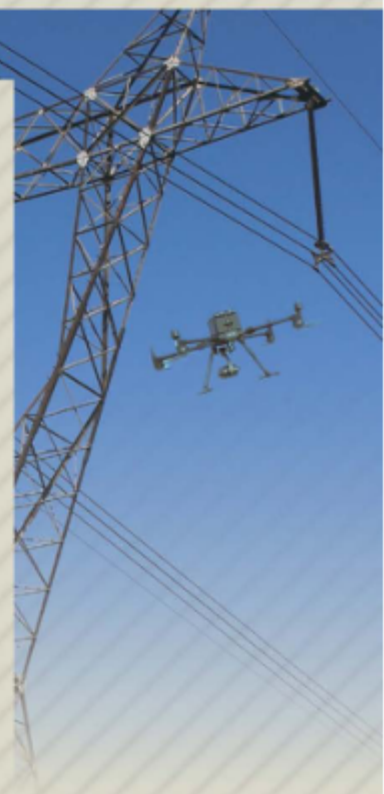




电力行业无人机技术系列丛书



# 电力行业无人机巡检 标准作业方法

EPTC 无人机技术工作组  
国网山东省电力公司 组编  
中国电力科学研究院有限公司  
邵瑰玮 纪鹏志 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## **EPTC 无人机技术工作组**

EPTC 无人机技术工作组成立于 2016 年，由来自国家电网有限公司、中国南方电网有限责任公司、内蒙古电力（集团）有限责任公司、中国电力科学研究院有限公司、南网电科院、各省电力公司、检修公司以及无人机制造企业的专家和代表组成。工作组立足行业需求，开展电力无人机技术的调研与交流、技术创新引导、构建专业的资源平台，促进电力无人机技术和专业人才水平的提升与发展。

### **主要工作成果：**

牵头编制《电力行业无人机巡检作业人员培训考核规范》（T/CEC 193-2-18），《〈电力行业无人机巡检作业人员培训考核规范〉（T/CEC 193-2-18）辅导教材》，《配电网无人机技术应用发展报告》，《无人机输电线路巡检应用发展报告（2016）》等。



电力行业无人机技术系列丛书



# 电力行业无人机巡检 标准作业方法

EPTC 无人机技术工作组  
国网山东省电力公司 组编  
中国电力科学研究院有限公司  
邵瑰玮 纪鹏志 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书紧密结合输配电线路无人机巡检实际，全面系统地介绍了不同作业性质、塔型下标准化的无人机巡检作业方法，为电力行业无人机作业人员技能培训和现场巡检应用提供指引。本书共分为6章，主要内容为无人机巡检作业要求及工作流程、架空输电线路无人机精细化巡检作业方法、架空配电线路无人机精细化巡检作业方法、架空线路无人机通道巡检作业方法、架空输电线路无人机其他巡检作业方法、巡检资料归档。

本书可作为电力巡检领域专业人员岗位培训、各级职业技能鉴定、技能竞赛学习的指导和参考用书，也可作为广大无人机爱好者取证用书和院校相关专业师生阅读参考书。

### 图书在版编目（CIP）数据

电力行业无人机巡检标准作业方法 / 邵瑰玮, 纪鹏志主编 ; EPTC无人机技术工作组, 国网山东省电力公司, 中国电力科学研究院有限公司组编. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2021.5  
ISBN 978-7-5170-9614-6

I. ①电… II. ①邵… ②纪… ③E… ④国… ⑤中…  
III. ①无人驾驶飞机—应用—输电线路—巡回检测  
IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第098033号

书 名	电力行业无人机巡检标准作业方法 DIANLI HANGYE WURENJI XUNJIAN BIAOZHUN ZUOYE FANGFA
作 者	EPTC无人机技术工作组 国网山东省电力公司 组编 中国电力科学研究院有限公司 邵瑰玮 纪鹏志 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	天津嘉恒印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 8.5印张 153千字
版 次	2021年5月第1版 2021年5月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	79.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 《电力行业职业能力培训教材》 教材审查委员会

主任：张志锋

副主任：张慧翔

委员：董双武 苏 萍 王成海 徐纯毅 曹爱民  
周 岩 李 林 孙振权 苏庆民 邵瑰玮  
马长洁 敬 勇 何新洲 庄哲寅 江晓林  
郭 燕 马永光 孟大博 蔡义清 刘晓玲

## 本书编写组

**组编单位：**EPTC 无人机技术工作组

国网山东省电力公司

中国电力科学研究院有限公司

**主编单位：**国网山东省电力公司济宁供电公司

中能国研（北京）电力科学研究院

**成员单位：**国网智能科技股份有限公司

国网湖北省电力有限公司技术培训中心

内蒙古电力（集团）有限责任公司航检分公司

南方电网广东电网机巡管理中心

国网上海市电力公司检修公司

国网浙江省电力有限公司检修分公司

国网湖南省电力有限公司检修公司

国网青海省电力公司检修公司

国网重庆市电力公司永川供电分公司

南方电网深圳供电局有限公司

国网河南省电力公司技能培训中心

贵州电网有限责任公司输电运行检修分公司

国网湖南省电力有限公司输电检修分公司

国网冀北电力有限公司技能培训中心

国网江苏省电力有限公司泰州供电分公司

国网天津市电力公司检修公司

南方电网科学研究院有限责任公司

云南电网有限责任公司

广东电网有限责任公司广州供电局

国网冀北电力有限公司检修分公司

北京数字绿土科技有限公司

## 本书编写人员名单

主    编：邵瑰玮    纪鹏志

副主编：魏飞翔    王    丛    蔡焕青

编写人员：付    晶    周    杰    黄海鹏    张    毅    丁    建  
            何    冰    侯    飞    李    游    张    韧    张    刚  
            郝    宁    陈凤翔    南杰胤    蔡澍雨    徐光彩  
            杨利波    刘云勋    姚隽雯    周立玮    谈家英  
            郭昕阳    邓承会    刘    佷    魏传虎    李    曼  
            杨    鹏    亓孝武    刘书辉    赵勤学

审定人员：赵云龙    吴    烜    张贵峰

# 序

为进一步推动电力行业职业技能等级评价体系建设，促进电力从业人员职业能力的提升，中国电力企业联合会技能鉴定与教育培训中心、中电联人才测评中心有限公司在发布专业技术技能人员职业等级评价规范的基础上，组织行业专家编写《电力行业职业能力培训教材》（简称《教材》），满足电力教育培训的实际需求。

《教材》的出版是一项系统工程，涵盖电力行业多个专业，对开展技术技能培训和评价工作起着重要的指导作用。《教材》以各专业职业技能等级评价规范规定的内容为依据，以实际操作技能为主线，按照能力等级要求，汇集了运维管理人员实际工作中具有代表性和典型性的理论知识与实操技能，构成了各专业的培训与评价的知识点，《教材》的深度、广度力求涵盖技能等级评价所要求的内容。

本套培训教材是规范电力行业职业培训、完善技能等级评价方面的探索和尝试，凝聚了全行业专家的经验 and 智慧，具有实用性、针对性、可操作性等特点，旨在开启技能等级评价规范配套教材的新篇章，实现全行业教育培训资源的共建共享。

当前社会，科学技术飞速发展，本套培训教材虽然经过认真编写、校订和审核，仍然难免有疏漏和不足之处，需要不断地补充、修订和完善。欢迎使用本套培训教材的读者提出宝贵意见和建议。

中国电力企业联合会技能鉴定与教育培训中心

2020年1月

# 前 言

近年来，随着智能巡检技术不断发展，电力无人机巡检技术在电网运维工作中得到广泛应用，已经成为电网设备运行和维护的重要手段。技术的发展，对相关从业人员提出了更高的要求，如何培养“能飞会巡”的复合型人才是摆在电网企业和培训机构面前的重要课题。为了加快电力行业无人机巡检专项技能人才培养，EPTC 电力无人机工作组在广泛调研的基础上，规划了“电力行业无人机巡检技术系列教材”，旨在为专业技能人才培养提供教学参考。

《电力行业无人机巡检标准作业方法》作为电力行业无人机巡检技术系列丛书之一，详细阐述了无人机巡检常见作业类型的标准化作业方法，旨在打破目前全国电力行业无人机巡检没有系统性作业方法的现状，为地方电力公司巡检作业人员和管理人员提供规范和指导。

本书在编写的过程中，得到了国家电网有限公司、中国南方电网有限责任公司、内蒙古电力（集团）有限责任公司等单位领导和专家的大力支持。同时，也参考了一些业内专家、学者的著作，在此一并表示衷心的感谢。由于编写时间紧，书中难免有不足之处，敬请广大读者给予指正。

作 者

2021年3月

# 目 录

## 序

## 前言

第一章 无人机巡检作业要求及工作流程 .....	1
第一节 人员要求 .....	1
第二节 安全要求 .....	2
第三节 作业流程 .....	2
第二章 架空输电线路无人机精细化巡检作业方法 .....	6
第一节 作业前准备 .....	6
第二节 巡检对象及要求 .....	7
第三节 典型杆塔巡检作业方法 .....	10
第三章 架空配电线路无人机精细化巡检作业方法 .....	67
第一节 作业前准备 .....	67
第二节 巡检对象及要求 .....	68
第三节 典型杆塔巡检作业方法 .....	70
第四章 架空线路无人机通道巡检作业方法 .....	80
第一节 架空线路无人机通道巡检作业前准备 .....	80
第二节 通道巡检航线规划流程及注意事项 .....	82
第三节 架空线路无人机通道巡检内容 .....	84
第五章 架空输电线路无人机其他巡检作业方法 .....	94
第一节 红外检测 .....	94
第二节 激光雷达检测 .....	102
第六章 巡检资料归档 .....	114
第一节 巡检资料组成 .....	114
第二节 巡检数据分析 .....	115
第三节 巡检报告要求 .....	120

随着无人机在电力巡检工作中的应用，电力行业无人机巡检安全管理和作业规范问题日益凸显。为保障作业的安全性和规范性，本章将从人员要求、安全要求、作业流程等方面提出通用性标准化作业要求。

## 第一节 人员要求

### 一、作业人员的基本条件

- (1) 经医师鉴定，无妨碍工作的病症（体格检查每两年至少一次）。
- (2) 具备必要的电气、机械、气象、航线规划等巡检飞行知识和相关业务技能，熟悉无人机巡检作业安全工作规程，并经考试合格。
- (3) 具备必要的安全生产知识，学会紧急救护法。
- (4) 具备无人机巡检作业资质，取得中国电力企业联合会颁发的电力行业无人机巡检作业人员能力评价证书。

### 二、人员配置

开展无人机巡检作业应根据作业类型及使用的机型合理配置作业人员。根据中国民用航空局飞行标准司发布的《轻小无人机运行规定（试行）》（AC-91-FS-2015-31）（简称《运行规定》）对无人机的定义和分类，电力巡检用无人机主要为Ⅱ类无人机（空机重量介于0.25~4kg之间、起飞全重介于1.5~7kg之间）和Ⅲ类无人机（空机重量介于4~15kg之间、起飞全重介于7~25kg之间）。本书仅对采用Ⅱ类、Ⅲ类无人机开展电力巡检工作的人员配置要求进行说明。

使用Ⅱ类无人机进行的架空输电线路巡检作业，作业人员包括工作班负责人和工作班成员，分别担任程控手和操控手，工作班负责人可兼任程控手或操



控手，但不得同时兼任。必要时也可增设一名专职工作负责人，此时工作班成员至少包括程控手和操控手。

使用Ⅲ类无人机进行的架空输电线路巡检作业，作业人员包括工作班负责人和工作班成员。工作班成员至少包括程控手、操控手和任务手。

## 第二节 安全要求

(1) 作业前应办理空域申请手续，空域审批后方可作业，并密切跟踪当地空域变化情况。

(2) 作业前应掌握巡检设备的型号和参数、杆塔坐标及高度、巡检线路周围地形地貌和周边交叉跨越情况，起降场地应满足相应机型安全起降要求。

(3) 作业前应检查无人机各部件是否正常，包括无人机本体、遥控器、云台相机、存储卡和电池电量等。

(4) 作业前应确认天气情况，雾、雪、大雨、冰雹、风力大于 10m/s 或超出无人机设计抗风能力范围等情况禁止作业。

(5) 保证现场安全措施齐全，禁止行人和其他无关人员在无人机巡检现场逗留，时刻注意保持与无关人员的安全距离。避免将起降场地设在巡检线路下方、交通繁忙道路及人口密集区附近。

(6) 作业前应规划应急航线，包括航线转移策略、安全返回路径和应急迫降点等。

(7) 无人机巡检时应与架空输电线路保持足够的安全距离。

## 第三节 作业流程

架空线路无人机巡检作业流程如图 1-1 所示。

### 一、作业前准备

#### 1. 设备准备

根据巡检任务选择合适的机型、任务设备及相关保障设备。

#### 2. 资料准备

(1) 根据巡检任务需求，收集所需巡检线路的地理位置分布图，熟悉线路走向、地形地貌以及机场重要设施等情况。

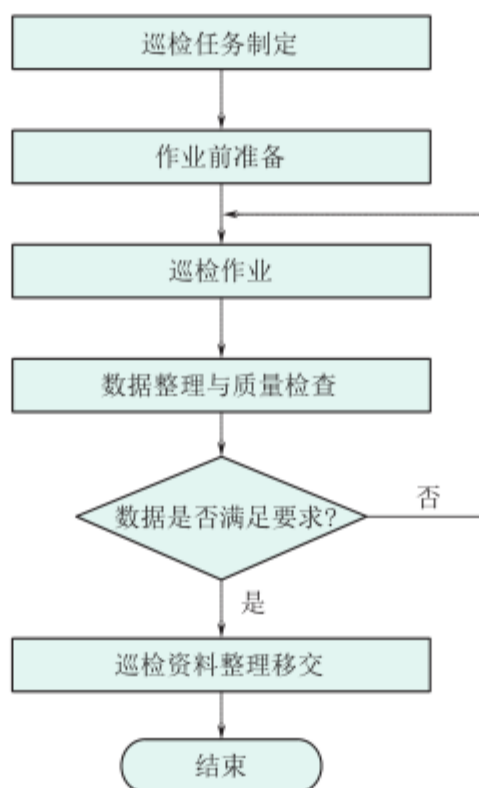


图 1-1 无人机巡检作业流程图

(2) 采用固定翼无人机开展巡检作业还需收集线路的杆塔明细表、经纬度坐标、交叉跨越及架设方式等信息。

(3) 查询巡检线路所在地区的天气情况，提前做好飞行准备。

(4) 资料准备由现场负责人负责，必要时组织巡检作业组人员共同开展。

### 3. 现场勘察

(1) 巡检作业前，应现场勘察起降场地，条件允许时对线路进行实地信息核实。

(2) 选定无人机起降场地，起降场地应满足以下条件：

1) 起降场地平坦坚硬，无浮土等影响无人机起降的物体，采用固定翼无人机时起降场地长度不低于飞机说明书中的起降距离，四周无高大障碍物。

2) 远离信号干扰源。

(3) 现场勘察至少由无人机操作员和现场负责人参与完成。

### 4. 作业申请

(1) 根据无人机巡检作业计划及准备好的架空线路地理位置分布图、杆塔明细表、经纬度坐标等资料，制定飞行计划。

(2) 按照民航和空军相关管理规定，提前一天向当地航管部门报送飞行计划。



## 二、巡检作业

### 1. 起飞前准备

(1) 无人机操作员观察周围环境及现场天气情况（雨水、风速、雾霾等），依据《一般运行和飞行规则》（CCAR-91-R2）规定，判断是否达到安全飞行要求。

(2) 现场负责人核实本次作业任务及飞行计划，地面站操作员导入飞行航迹。

(3) 在选定的起降场地展开无人机巡检。

(4) 现场负责人按照无人机作业安全检查表或者各机型的适航检查单对无人机进行检查，确认达到适航要求。

(5) 现场负责人按照民航和空军相关管理规定，起飞前（一般为1小时内）向当地航管部门报送飞行计划，并获得许可。

### 2. 起飞作业

(1) 现场负责人确认现场人员撤离至安全范围后方可启动无人机，并检查无人机系统工作状态。

(2) 现场负责人确认无人机系统状态正常后，下达起飞命令，无人机操作员操作无人机起飞。

### 3. 作业过程

(1) 根据工作任务开展巡检作业。

(2) 巡检作业全过程中，操作员密切注意无人机状态数据，若发生异常，应及时向现场负责人汇报并根据具体情况采取相应应急措施。

### 4. 作业结束回航

(1) 无人机完成预定任务返航时，现场负责人及时通知其他岗位人员，做好降落前的准备工作。

(2) 无人机降落后，获取飞行数据，断开飞行器电源，记录降落时间和飞行总时长等。

### 5. 作业完毕

(1) 回收设备，检查无人机及机载设备是否正常完好。

(2) 操作员从巡检设备中导出原始资料并进行初步检查，若数据不满足任务要求，现场负责人根据实际情况决定是否复飞。

(3) 设备关机，填写相应无人机现场作业记录表。

### 三、巡检数据整理移交

- (1) 对巡检数据进行整理分析，确定是否存在缺陷（隐患）。
- (2) 按照各单位要求移交巡检数据。

## 架空输电线路无人机精细化巡检作业方法

架空输电线路无人机精细化巡检是指利用无人机对输电线路杆塔、通道及其附属设施进行全方位高效率巡视，可以发现螺栓、销钉等这些无法通过人工地面巡视发现缺陷的巡视作业。目前架空输电线路无人机精细化巡检主要采用多旋翼无人机搭载可见光相机的方式对输电线路杆塔、导地线、绝缘子串、金具、通道环境、基础、接地装置、附属设施八大单元进行检查。

## 第一节 作业前准备

## 一、准备工作安排

应根据工作安排合理开展作业准备工作，准备工作安排见表 2-1。

表 2-1 准备工作安排

序号	内 容	要 求
1	提前现场勘察，查阅有关资料，编制作业指导书并组织学习	1. 明确线路双重称号、识别标记、塔（杆）号，了解现场周围环境、地形状况； 2. 分析存在的危险点并制定控制措施，确定作业方案，组织全员学习
2	填写工作票并履行审批、签发手续	安全措施符合现场实际
3	提前准备好作业所需工器具及仪器仪表	检查无人机及相关设备，确保无人机处于适航状态

## 二、作业组织

明确人员类别、人员职责和作业人数，作业组织见表 2-2。