

ICS 27.180
CCS F 11

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 10594—2021

风电场无人机巡检作业技术规范

Specification of unmanned aerial vehicle inspection for wind farm

2021-01-07 发布

2021-07-01 实施

国家能源局 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 巡检系统	2
5 巡检人员	4
6 作业准备	5
7 作业实施	6
8 分析与总结	7
9 设备管理	7
附录 A（资料性） 无人机巡检作业流程	8
附录 B（资料性） 无人机巡检作业记录单	9

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》的规定起草。

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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由能源行业风电标准化技术委员会风电场运行维护分技术委员会（NEA/TC 1/SC 3）归口。

本文件负责起草单位：龙源电力集团股份有限公司、中能电力科技开发有限公司、广东电网有限责任公司机巡管理中心、北京鉴衡认证中心、深圳市大疆创新科技有限公司、上海扩博智能技术有限公司、中国三峡新能源（集团）股份有限公司、洛阳双瑞风电叶片有限公司、江西大唐国际新能源有限公司、大唐定边风力发电有限责任公司、武汉大学、中国电力科学研究院有限公司、北京星闪世图科技有限公司、上海电气风电集团股份有限公司、上海长知实业有限公司、新疆金风科技股份有限公司、广东邦鑫数据科技股份有限公司、艾尔姆（中国）有限公司。

本文件主要起草人：王栋、周继威、孟凯锋、朱志成、李星运、贾克斌、刘峻岐、张海涛、彭炽刚、刘高、陈浩、马斯维、王井伟、俞辉、谢宜峰、张维维、李焯、顾杰夫、刘建平、吕鹏远、黎华、白龙超、李重阳、刘剑、文志科、郑茂、汪小刘、林恒峰、周斌、王展飞、李波、宋广军、李峥嵘、刘月娥、代吉民、李奉公、于海洋、向松波、曾强、高峰、蔡猛、张涵、刘宇星、孔维兵。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

风电场无人机巡检作业技术规范

1 范围

本文件规定了风电场无人机巡检系统、巡检人员、作业准备、作业实施、分析与总结、设备管理等技术要求。

本文件适用于风电场设备设施的无人机巡检作业。

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。

- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- 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 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
- GB 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分
- GB/T 32128 海上风电场运行维护规程
- GB/T 35018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级
- GB/T 37141.2 高海拔地区电气设备紫外线成像检测导则 第2部分：输电线路
- CH/T 3014 数字表面模型 机载激光雷达测量技术规程
- CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范
- DL/T 664 带电设备红外诊断应用规范
- DL/T 796 风力发电场安全规程

3 术语和定义

3.1

无人机 unmanned aerial vehicle

从事民用领域飞行活动，无机载驾驶员操控的航空器。

3.2

多旋翼无人机 multi-rotor unmanned aerial vehicle

以多轴旋翼为推动方式，具有3个及以上的旋翼，具有垂直起降和空中悬停功能的无人机。

3.3

无人直升机 unmanned helicopter

由一个或两个水平旋转的旋翼提供向上升力和推进力，具有垂直起降和空中悬停功能的无人机。

3.4

固定翼无人机 fixed-wing drone

飞行升力由给定飞行条件下保持不变的翼面产生的无人机。

3.5

任务设备 mission equipment

搭载在无人机上，用于采集和记录巡检对象信息或者辅助完成巡检作业的设备。

3.6

风电场无人机巡检系统 **unmanned aerial vehicle inspection system for wind farm**

通过无人机挂载任务设备，对风电场设备设施进行巡检作业的系统，具备任务规划与执行、数据存储与处理、综合保障等功能。

3.7

控制站 **control station**

具有对无人机和任务设备进行数据交换、监控以及操作能力的设备及工具集合。

3.8

任务规划 **mission planning**

根据作业任务要求，通过软件对无人机飞行轨迹以及任务设备动作进行规划。

3.9

自动返航 **return to home**

通过地面控制模块或遥控手柄上的特定功能键启动该功能后，无人机按预先设定的策略中止当前任务并返航。

3.10

超视距运行 **extended visual line of sight operations**

无人机在无人机操作员目视视距以外的运行。

3.11

机载追踪 **airborne tracking**

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确定无人机所在位置的功能。

4 巡检系统

4.1 无人机选型

4.1.1 依据风电场巡检对象的检查要求，选择相应的无人机类型：

- a) 风电机组叶片、塔筒、机舱外表面巡检宜选用多旋翼无人机；
- b) 集电线路杆塔、升压站巡检宜选用多旋翼无人机或无人直升机；
- c) 集电线路通道巡检宜选用固定翼无人机、多旋翼无人机或无人直升机。

4.1.2 风电场叶片、塔筒、集电线路杆塔、升压站等设施细节巡检，宜采用Ⅵ级以下机型；风电场集电线路巡检，宜采用Ⅲ级以下机型；机型级别应符合 GB/T 35018 的规定。

4.2 风电场无人机巡检系统

4.2.1 风电场无人机巡检系统应包括无人机系统、巡检管理系统和综合保障设备。

4.2.2 无人机系统。

4.2.2.1 无人机系统应由无人机、任务设备以及控制站组成。

4.2.2.2 无人机应包括飞行控制子系统、动力子系统、图像及数据传输子系统、障碍物感知子系统。

4.2.2.3 任务设备可采用可见光设备、红外热成像仪、紫外线检测设备、激光雷达等数据采集设备，以及探照灯、辅助除冰等作业设备。

4.2.2.4 控制站应包括控制设备、显示设备、飞行控制软件等。

4.2.3 巡检管理系统。

巡检管理系统应具备巡检规划、任务执行、数据存储、数据分析、设备管理等功能。

4.2.4 综合保障设备。

综合保障设备应由地面保障设备和储运车辆组成，地面保障设备包括供电设备、备用电池、充电器、

地面测风仪、光通量计等。

4.3 无人机巡检模式

4.3.1 自动化模式

- a) 无人机在巡检过程中无须人工操作，可自动识别巡检对象，实时进行任务规划，自主飞行，自动完成巡检数据采集。
- b) 无人机出现偏离作业路径或者其他危险状况时，无人机应自动与风机保持安全距离，由巡检人员切换至手动飞行模式中中止作业并返航。

4.3.2 半自动化模式

- a) 巡检作业前预先设计飞行路径，无人机根据预设路径自主飞行。
- b) 无人机出现偏离作业路径或者其他危险状况时，由巡检人员切换至手动飞行模式中中止作业并返航。
- c) 作业过程中，需巡检人员参与进行巡检数据采集并监控作业过程。

4.3.3 手动模式

巡检作业中，无人机的飞行控制和巡检数据采集均由巡检人员手动控制完成。

4.4 无人机

4.4.1 一般要求

- a) 无人机外观不应有明显变形和伤痕；连接线布局合理，固定牢靠；连接件、紧固件有防松措施；涂镀层无气泡、龟裂和脱落；金属件无锈蚀和机械损伤。
- b) 机头机尾应有明显标识；机身应设置航行灯。
- c) 无人机系统挂载任务设备在无风环境悬停的最大续航时间不应小于 25 min。
- d) 无人机巡检系统开展海上作业时应具备紧急漂浮装置。
- e) 无人机宜具备机载追踪功能或可加装机载追踪装置。

4.4.2 飞行控制

- a) 旋翼无人机巡检系统在地面风力条件小于或等于 5.4 m/s 的工况下：悬停控制偏差不应大于 1.5 m；航迹控制偏差不应大于 4 m。
- b) 固定翼无人机巡检系统在地面风力条件小于或等于 5.4 m/s 的工况下：航迹控制偏差不应大于 10 m。
- c) 通视条件下，无人机有效控制及图像传输距离不应小于 2 km。

4.4.3 安全控制功能

- a) 无人机巡检系统应具备开机自检功能，自检出现影响飞行安全问题时应锁死禁止起飞。
- b) 无人机应具备在低电量、任务中断等紧急情况下的自动返航功能。
- c) 无人机应具备在禁飞区域及限飞区域限制飞行的功能。
- d) 无人机发生动力、传感器、数据传输、任务设备等故障时，应具备异常情况报警和记录功能。
- e) 无人机宜具备感知与避让功能。

4.4.4 数据记录

无人机应具备数据存储和导出功能，数据应包含无人机飞行参数、任务设备状态、操控记录、飞行故障等信息。

4.4.5 环境适应性

- a) 无人机巡检系统在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下应正常工作。
- b) 旋翼无人机在10min平均风速不大于 8 m/s ，瞬时风速不大于 10.7 m/s 的环境条件下应能正常作业。
- c) 固定翼无人机在10min平均风速不大于 10.8 m/s ，瞬时风速不大于 13.8 m/s 的环境条件下应能正常作业。
- d) 无人机巡检系统应符合风电场巡检作业海拔要求，对于 2500 m 以上海拔的巡检作业宜使用高原型无人机。
- e) 电磁兼容：接触放电试验和空气放电等级均不应低于A级，级别应符合GB/T 17626.2的规定；射频电磁场辐射抗扰度不应低于B级，级别应符合GB/T 17626.3的规定；工频磁场抗扰度不应低于A级，级别应符合GB/T 17626.8的规定；脉冲磁场抗扰度不应低于A级，级别应符合GB/T 17626.9的规定。
- f) 无人机系统海上作业应根据实际环境情况对系统防盐雾、防水等环境适应性提出要求，无人机子系统及任务设备防护等级宜采用IP43及以上。

4.5 任务设备

4.5.1 可见光设备。

- a) 设备有效像素不应低于2000万像素；
- b) 设备支持的存储卡容量不应低于64GB，存储卡读写等级不应低于class 10；
- c) 配备三轴无刷云台，俯仰角度宜为 $-90^{\circ}\sim +30^{\circ}$ 。

4.5.2 红外热成像仪。

- a) 响应波段宜为 $7.5\text{ }\mu\text{m}\sim 14\text{ }\mu\text{m}$ ；
- b) 分辨率宜为640像素 \times 480像素；
- c) 采样帧速率：无人机悬停状态的静态目标检测不宜低于7.5Hz，其他应用场景不宜低于25Hz；
- d) 测温范围应覆盖 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim +135\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- e) 噪声等效温差：环境温度在 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对孔径为1时，应小于 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- f) 测温一致性：在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内，测温精度误差不应大于 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 2\%$ ，应取绝对值大者；
- g) 配备三轴无刷云台，角度俯仰宜为 $-90^{\circ}\sim +30^{\circ}$ ；
- h) 支持拍照及录像，且照片包含原始温度信息，有明确的格式解析接口，可用于二次分析。

4.5.3 紫外线成像设备应符合GB/T 37141.2的规定。

4.5.4 激光雷达系统。

- a) 点云数据密度不应低于 $25\text{ 点}/\text{m}^2$ ；
- b) 点云数据高程精度应符合CH/T 8024中的规定；
- c) 激光雷达探测距离在20%反射率情况时，有效探测距离不应低于 100 m ；
- d) 激光等级1级；
- e) 有效点云采集速率不低于 $100\text{ }000\text{ 点}/\text{s}$ ；
- f) IMU的侧滚角和俯仰角测角精度不应大于0.025，航偏角测角精度不应大于0.08。

5 巡检人员

5.1 巡检人员作业安全应符合DL/T 796的规定。

5.2 海上无人机巡检人员作业安全应符合GB/T 32128的规定。

5.3 巡检作业人员角色应包括无人机操作员、云台操作员，角色可根据实际工作场景由一人承担或两人

分担。

5.4 无人机操作员通过遥控器或控制站操控无人机飞行，应负责巡检作业过程中无人机的飞行安全。

5.5 云台操作员操控无人机的任务设备完成巡检数据采集、缺陷检查等巡检工作，应及时确认巡检数据的质量。

5.6 无人机巡检服务单位应持有由民航系统颁发的无人驾驶航空器经营许可证。

5.7 无人机操作员应具有符合民航系统认可的无人机执照，并且执照在有效期内。

5.8 风电场无人机巡检作业人员应了解和掌握工作范围内的危险因素和防范措施，并经过考试合格后方可开展工作；无人机巡检作业有特殊要求的，应实施专项巡检作业培训；专项巡检作业培训应包括任务要求、任务危险因素、专项作业演练、事故紧急处理措施等内容。

6 作业准备

6.1 巡检作业信息收集。

展开作业前，作业人员应收集巡检作业信息，必要时应增加现场勘查环节。巡检作业信息应包括以下内容：

- a) 海拔；
- b) 地形地貌条件；
- c) 植被分布；
- d) 电磁环境情况；
- e) 空域情况；
- f) 巡检作业对象信息，包括设备信息、对象坐标等；
- g) 无人机起飞降落点位置；
- h) 气象信息收集。

6.2 空域规划。

6.2.1 执行作业任务前，应确认飞行空域符合中国民用航空局规定。

6.2.2 在无人机飞行空域受限的情况下，巡检单位应依照无人驾驶航空器飞行管理的相关条例向飞行管制部门申请空域。

6.2.3 巡检作业空域选择应避免居民生产生活设施。

6.3 人员准备。

6.3.1 作业人员应根据巡检任务和机型合理配置。

6.3.2 作业人员应身体健康，精神状态良好。

6.3.3 作业前应对作业人员进行安全和技术交底。

6.4 设备准备。

6.4.1 无人机巡检系统在风电场首次飞行前，应组织巡检试飞，确保无人机巡检系统满足巡检作业要求。

6.4.2 作业地点的气象环境应匹配 4.4.5 的要求。

6.4.3 作业前应准备好工器具及备品备件等物资，完成无人机巡检系统检查。

6.4.4 作业人员应确认无人机电池电量充足，零部件、工器具及保障设备携带齐全。

6.5 常规作业宜在良好天气下，能见度不应小于 3 km。雾、雪、大雨、大风、冰雹等恶劣天气或出现强电磁干扰等不利于巡检作业时，禁止常规作业。应急作业应选择适应性强的机型。

6.6 确认执行巡检作业任务的单位或者个人已投保地面第三者责任险以及机身险。

6.7 风电场无人机巡检作业方案编制内容应包括巡检对象、巡检人员、巡检时间、巡检天气、空域申请、操作方法及流程、安全措施、工器具；红外热成像仪的作业方案编制应符合 DL/T 664 的规定；激光雷达的作业方案编制应符合 CH/T 8024 的规定。

7 作业实施

- 7.1 风电场无人机巡检作业应参照 GB 26860 的规定执行工作票制度、工作监护制度和作业许可制度、工作间断转移和终结制度。
- 7.2 作业现场应远离人群密集、无线电干扰等影响无人机飞行安全的区域。
- 7.3 无人机起飞和降落时，无人机与被巡检设备的安全距离应大于 5 m，作业人员应与无人机始终保持足够的安全距离。
- 7.4 开展海上无人机巡检作业时，应在船舶或机组平台选择可靠的起降平台。
- 7.5 巡检作业人员应确认被巡检对象与巡检作业要求一致，并且确认被检对象已进入安全检测状态后方可开展下一步工作。
- 7.6 巡检系统起飞前，无人机操作员应确认以下事项：
- a) 现场环境符合作业工况要求；
 - b) 现场人员状态良好；
 - c) 无人机巡检系统符合作业要求并通过自检。
- 7.7 在 5℃ 以下的低温环境作业，应将电池充分预热后再起飞。
- 7.8 作业现场存在强电磁干扰时，应暂停或终止巡检作业。
- 7.9 作业阶段环境发生恶化威胁巡检系统飞行安全时，应控制其返航或在安全区域紧急降落。
- 7.10 无人机巡检作业过程中出现交通冲突，作业组应采取应急措施，及时规避。
- 7.11 巡检系统通信链路长时间中断，且在预计时间内仍未返航，应根据巡检系统失去联系前最后的地理坐标或机载追踪器发送的报文等信息及时寻找。
- 7.12 巡检系统出现失去动力等机械故障，应控制巡检系统在安全区域紧急降落。
- 7.13 巡检系统发生坠机事故，应立即上报并妥善处理巡检系统残骸。
- 7.14 作业人员出现身体不适等情况，应及时控制巡检系统安全降落并使用替补作业人员，无替补作业人员，应终止作业。
- 7.15 超视距运行时，巡检系统宜采用自动化模式或半自动化模式完成作业，无人机操作员应当能够随时控制无人机，紧急状态下应控制其返航或在安全区域紧急降落。
- 7.16 风电机组叶片、塔筒、机舱巡检作业技术要求如下：
- a) 图像采集过程应覆盖巡检对象的全部表面，且数据完整性可验证；
 - b) 巡检作业最小分辨力不应大于 1 mm；
 - c) 巡检数据应能清晰确定缺陷的位置、形状、大小。
- 7.17 集电线路杆塔、升压站巡检作业技术要求如下：
- a) 图像采集过程应覆盖巡检对象的所有关键检查部位，且数据完整性可验证；
 - b) 巡检作业最小分辨力不应大于 2 mm；
 - c) 巡检数据应能清晰确定缺陷的位置、形状、大小。
- 7.18 集电线路通道巡检作业技术要求如下：
- a) 图像采集过程应覆盖整个集电线路通道，且数据完整性可验证；
 - b) 巡检作业应清晰分辨线路本体、通道及周边地区的工作状态和损坏情况；
 - c) 巡检作业应完成通道附近滑坡、违章建筑等安全隐患巡查，线路本体异物检测，树障距离测量以及快速勘灾。
- 7.19 巡检系统返航降落后，应及时确认巡检数据的完整性和有效性，巡检数据无效或有缺失应立即补拍。
- 7.20 巡检作业完成后，作业人员应如实填写无人机巡检记录，交由工作负责人签字确认后存档。
- 7.21 巡检作业中发现的紧急重大缺陷或隐患应立即上报并且尽快形成初步报告。

7.22 采用红外热成像仪的作业实施过程应符合 DL/T 664 的规定；采用激光雷达的作业实施过程应符合 CH/T 8024 的规定。

8 分析与总结

8.1 巡检数据整理。

8.1.1 巡检数据宜采用统一的文件格式和命名方式进行管理。

8.1.2 同一类型巡检数据中，不同格式的巡检数据应采用无损的方法转换为统一的文件格式。

8.1.3 巡检数据中涉及涉密或敏感地理信息、个人隐私等数据应进行脱敏处理。

8.1.4 巡检数据中的无效数据应进行清理。

8.1.5 巡检数据应包括无人机飞行路径、任务设备姿态、任务设备采集数据等无人机飞行记录，应对数据的完整性进行检查。

8.2 巡检数据宜采取处理措施以提升巡检结果的精度和有效性。

8.3 巡检数据的分析结果应包括下列内容：

- a) 巡检对象缺陷位置、形状、大小；
- b) 缺陷的分类和分级；
- c) 巡检对象的运行状态和缺陷劣化趋势，以及缺陷处理建议。

8.4 红外热成像仪的数据分析可执行 DL/T 664 的要求。

8.5 激光雷达的数据处理、质量控制、检查验收、成果上交应符合 CH/T 3014 的规定。

8.6 巡检数据分析宜采用人工智能技术加速缺陷的识别和定位。

8.7 巡检作业完成后应形成巡检作业报告，报告主要包括：

- a) 概述：简要说明巡检作业的整体情况，应包括巡检作业项目名称、任务来源，作业的对象和目标，计划与实际完成情况。
- b) 巡检作业执行情况：应包括巡检设备和巡检人员情况、巡检作业流程和过程记录、数据质量和数据质量检查情况。
- c) 巡检数据分析结果。

9 设备管理

9.1 收集和整理无人机巡检作业系统相关设备的技术资料，建立设备技术资料档案。

9.2 设备应建立使用记录档案，设备入库、出库、备件更换应有记录。

9.3 无人机巡检系统检查、保养应符合设备技术要求。

9.4 当无人机巡检系统动力系统、飞控系统、通信链路、任务设备以及操作系统等主要组成部件更换或升级后，应组织试验检测，确保无人机巡检系统满足巡检作业要求。

9.5 无人机巡检系统应在专用库房进行存放和维护保养，设备储放应采取防潮、防霉、防雾措施。

9.6 无人机巡检系统长期不使用，应定期通电检查，发现有异常现象，应及时维修。

9.7 电池应存放在专用电池箱内，宜将电量控制在 40%~60%，并确保存储温度在规定范围之内；电池彻底放电后不应长时间存储。

9.8 电池出现异味、发热、变形、变色或其他异常现象，应立即从无人机或充电器上取出并做废弃处理。

9.9 运输时，无人机巡检系统易损设备和系统部件，应装入具有减振、隔离措施的专用运输包装箱。运输过程中应做好防振、防水、防尘措施，运输包装箱顶部应贴上“小心轻放”“防潮”“防晒”等标签，箱体侧面应贴上箭头朝上标志。

9.10 电池报废前应将电池完全放电，并遵循当地电池回收和弃置规定置于指定电池回收箱内。

附录 A
(资料性)
无人机巡检作业流程

无人机巡检作业流程见图 A.1。

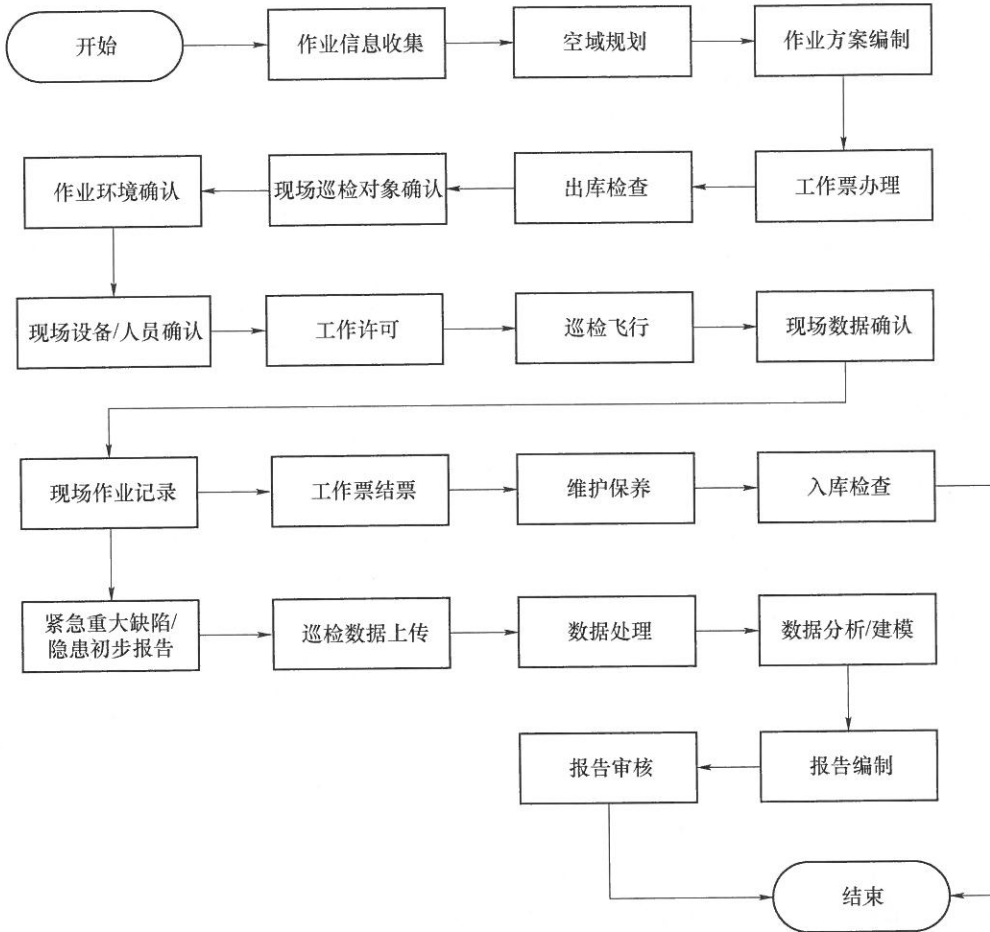


图 A.1 无人机巡检作业流程图

附 录 B
(资料性)
无人机巡检作业记录单

无人机巡检系统使用记录单见表 B.1。

表 B.1 无人机巡检作业记录单

编号:							
风电场		时间		天气			
作业内容							
巡检对象			巡检模式				
无人机型号			无人机编号				
任务设备型号			任务设备编号				
无人机操作员			云台操作员				
作业概况							
作业异常情况							
数据检查			数据上传				
各飞行架次情况							
飞行架次		风速		气温		光照	
作业开始时间				作业结束时间			
飞行情况							
工作负责人: _____ (签名确认)							

中华人民共和国
能源行业标准
风电场无人机巡检作业技术规范
NB/T 10594—2021

*

中国电力出版社出版、印刷、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2021年12月第一版 2021年12月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 26千字

*

统一书号 155198·3313 定价 15.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



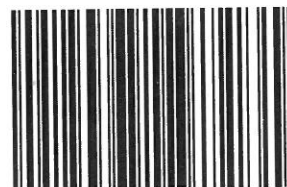
中国电力出版社官方微信



中国电力百科网网址



电力标准信息微信



155198.3313

为您提供最及时、最准确、最权威的电力标准信息