

**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**

**典型经验**

**国网天津检修公司**

二零一八年五月

目录

[一、概述 5](#_Toc514403659)

[1.1背景 5](#_Toc514403660)

[1.2意义 5](#_Toc514403661)

[1.3 现状及需求 7](#_Toc514403662)

[1.3.1 无人机线路巡检现状 7](#_Toc514403663)

[1.3.2 无人机线路巡检需求 8](#_Toc514403664)

[1.4目标 11](#_Toc514403665)

[1.5原则 13](#_Toc514403666)

[1.5.1 统一性原则 13](#_Toc514403667)

[1.5.2 规范化原则 13](#_Toc514403668)

[1.5.3 一体化原则 14](#_Toc514403669)

[1.5.4 实用性和先进性原则 14](#_Toc514403670)

[1.5.5 扩展性原则 14](#_Toc514403671)

[1.5.6 开放性原则 15](#_Toc514403672)

[1.5.7 安全性原则 15](#_Toc514403673)

[1.5.8 资源复用原则 15](#_Toc514403674)

[二、研究内容与总体目标设定 17](#_Toc514403675)

[2.1 研究内容 17](#_Toc514403676)

[2.2 总体目标设定 18](#_Toc514403677)

[三、创新点和取得的突破 20](#_Toc514403678)

[四、项目成效 22](#_Toc514403679)

[4.1 项目成果 22](#_Toc514403680)

[4.2 经济社会效益 24](#_Toc514403681)

[4.2.1 经济效益 24](#_Toc514403682)

[4.2.2 社会效益 26](#_Toc514403683)

[4.2.3 管理效益 27](#_Toc514403684)

[五、总结与展望 30](#_Toc514403685)

[5.1 项目进程 30](#_Toc514403686)

[5.2 检标准化作业方法 32](#_Toc514403687)

[5.3 技术方案 32](#_Toc514403688)

[5.4 平台搭建 33](#_Toc514403689)

[5.4.1 首页看板 33](#_Toc514403690)

[5.4.2 飞行作业管理 34](#_Toc514403691)

[5.4.3 数据管理 37](#_Toc514403692)

[5.4.4 飞行资源管理 39](#_Toc514403693)

[5.4.5 权限管理 41](#_Toc514403694)

[5.5 总结 43](#_Toc514403695)

[5.6 展望 43](#_Toc514403696)

**一、概述**

1.1背景

近年来，随着以“互联网+”为代表的新一轮科技革命蓬勃兴起，数字化技术正对传统企业管理模式带来革命性冲击，电力发展在迎来规模化和优质化的双重考验和挑战。结合“以数字化推动管理转型”，当前重点要在4G无线专网建设和大数据开发应用的基础上，努力在移动管理和量化管理上取得突破。一是推广远程无人机巡检等先进技术，推进输变电设备状态移动监测，提高监测实时性和故障识别精准度。二是加快数字化改造，推进量化管理。以数据说话、以数据分析、以数据决策、以数据管控。推进数据治理，挖掘数据价值，促进数据共享。

在电力建设方面，我国目前已形成华北、东北、华东、华中、西北和南方电网共6个跨省区电网，其中电网规模方面，已建成110千伏以上输电线路已达到近51.5万公里。而根据相关数据表明，为了适应我国快速发展的社会经济现状，我国每年电力行业整体投资约为1000亿元，其中硬件设施为73%，其中又以特高压及优质输变电工程建设为主。随着电网的日益扩大，巡线的工作量也在与日俱增，而以目前的传统人工巡线工作效率来说，基本是每人每天仅能巡视5公里左右输电线路。而现阶段，我国输电线路的巡检主要还是以人工巡检为主，随着国家电网快速发展，传统的输电线路巡检模式已经不能完全适应电网发展的需求。

1.2意义

以高压输电线路为主骨架的电网，正深刻改变着我国的能源格局，促进了经济社会的全面可持续发展。电网的安全关系到国民经济发展与社会民生，然而高压输电线路安全运行所面临的挑战与风险与日俱增，极端自然灾害和人为外力破坏等非传统因素造成的电网严重事故时有发生。为适应电网发展方式的转变，加快建设坚强智能电网，相应对高压输电线路运行检修技术提出了更高的要求。高压输电线路输送距离较长、塔架高，自然条件复杂多变，采用人工地面观察或登杆排查等传统手段，输电线路运行状态不仅受到自然条件的制约，而且劳动强度大，人身安全存在隐患，巡检效率低，巡检质量也与巡检人员的技术素质有关，无法实现线路状态的监测，难以适应当前大电网安全生产的要求。

随着通用航空技术的普及和发展，特别是无人机技术的日趋完善，国网公司正在组织建立输电线路直升机、无人机和人工巡检相互协同的新型巡检模式，通过直升机、无人机等智能装备搭载可见光、红外等传感器对线路进行精细化巡检，具有广覆盖、高效率、高可靠、低风险的优势，实时发现线路存在的缺陷及隐患，指导线路运维检修，保障线路供电可靠性。2016年11月，国家电网公司运维检修部发布了《智能运检白皮书》，将直升机、无人机等智能装备纳入国网设备未来发展计划中，要求建立无人机巡检数据中心，实现巡检数据实时录入和智能分析，实现巡检信息收集自动化、巡检结果处理智能化，逐步减少人工巡视直至完全改变传统巡检方式。本项目以智能立体巡检的关键技术研究为支撑，构建基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台，为全面建成智能运检体系提供技术与应用基础，以实现设备本体与传感器一体化、实现环境预警数据、立体巡检数据等大数据的深度融合分析为目标，实现对指挥决策层、业务管理层、现场作业层的集约管控，最终突破传统运检模式在信息获取、状态感知及人力为主作业方式的困局，有力支撑国网公司“一特四大”战略实施和坚强智能电网建设，引领世界范围的智能运检管理模式变革，构建大数据统一分析服务平台，为公司决策、控制、评价提供有效支撑。

1.3 现状及需求

1.3.1 无人机线路巡检现状

无人机线路巡检主要包含数据采集、数据分析两部分；现状如下：

数据采集主要是无人机巡检小组接到巡检任务后，进行现场勘察、巡检准备、现场巡检；巡检采集到的数据以照片为主，存储于相机存储卡中；

数据分析主要由数据分析小组在接到巡检采集到的数据后，进行有效照片筛选、照片命名、照片GPS写入（目前绝大部分无人机不支持照片属性含GPS）、缺陷识别，形成巡检报告；

分析目前无人机线路巡检应用现状，主要存在以下问题：

1）巡检对象主要靠人工寻找，无法精确定位巡检对象，导致在巡检过程中大部分时间被浪费在寻找设备上，挤压了巡检作业的有效时间，影响了巡检效率，提高了巡检作业的成本；

2）外业数据采集尤其是线路本体巡检，尚存在可见光与红外分步采集的方式，未能同步采集，导致数据采集效率不高；

3）数据传输主要为人工传输，导致数据分析小组无法在巡检数据采集后第一时间获得数据并对其进行及时分析，增加了数据分析的等待时间，降低了数据分析成果的时效性；

4）数据分析为纯人工完成，数据分析时间长，数据分析效率低，数据分析成本高，数据分析成果时效性差；

5）现场作业无法得到有效的监控和管理，无法实时掌握现场作业情况；

6）巡检计划、任务等无法得到高效的闭环管理，大量的巡检数据及数据分析成果无法得到有效的管理；

7）巡检数据、分析成果、巡检指标等无法得到有效及时的展示及应用；

8）一些先进技术未能在线路通道巡检中得到及时很好的应用；

1.3.2 无人机线路巡检需求

为了解决现阶段无人机线路巡检现状存在的问题，保证无人机线路巡检朝着高效率、高质量、高安全、高效益发展；无人机线路巡检方案提出如下需求：

1）无人机巡检小组配备用于巡检设备精确定位的专用移动设备；

由于市面专业定位导航设备或带定位导航功能的设备所依赖的地图均为国家允许公开的地图，其不具备电网资源设备的位置信息，所以利用其无法帮助无人机巡检小组进行精确导航定位到巡检设备，故需要有针对性的开发一套能够实现电力设备导航的导航软件或带该导航功能的设备，提升无人机巡检小组作业的有效时间，提高巡检效率。

2）实现近似任务传感器同平台化，近似任务同步化；

针对线路本体巡检中的可见光巡检及红外巡检，因其巡检对象及部位有重合、巡检方式相似甚至雷同，故可将两类传感器集成在统一任务平台，通过一次飞行即可完成两种要求的巡检，降低巡检时间投入（现状，两类巡检需分别进行，且两类巡检交换时需要无人机降落在地面，由人工进行传感器替换），提升巡检效率。

3）实现巡检数据传输自动化、准实时化；

现阶段，数据传输链路主要是：无人机巡检小组按任务进行数据采集，采集到的数据存储于传感器中存储卡内，采集完成由无人机巡检小组在返回单位后交由数据分析小组，数据分析小组再人工逐张照片进行分析；数据传输主要靠人工传输，传输效率低；

现需要打破现阶段数据传输模式及理念，改变数据传输模式及理念，使数据传输链路由人工传输转变为网络实时传输，从而实现巡检数据传输自动化、准实时化，提升数据传输效率；

4）实现数据分析智能化、准实时化；

现阶段，数据分析主要靠数据分析小组纯人工分析，数据分析效率低、投入人员成本高；如果数据分析采取计算机软件分析，即可取缔大量的人工工作甚至有可能完全取缔人工，数据分析实现智能化，加之数据传输准实时化，数据分析也就可以实现准实时化；

5）实现现场作业可视化监控，增强现场与后台交互性；

现阶段，无人机巡检小组在领取任务后，按照计划现场作业，现场任务负责人负责现场作业，后方无法实时掌握现场的作业情况，包括作业环境、作业视角、飞机飞行状态等，这不利于无人机现场作业的管理；为了改变这一现状，需要开发一套现场监控平台，实现现场视频及飞机位置信息的实时跟踪，实现现场作业可视化监控，同时实现现场与后台的交互，保证现场作业在控、可控，保证作业标准化及作业安全；

6）实现巡检任务闭环管理，巡检数据逻辑化管理；

现阶段的巡检任务主要靠纸质、邮件或口头传达，在巡检完成后，也都是靠纸质、邮件或口头回复，这种方式使得巡检任务无法实现统一有效的跟踪管理及闭环管理，且巡检得到的数据多以电子文件格式到处存放，无法实现统一的逻辑化管理，导致任务管理、任务闭环管理、数据管理无章无法无序；急需要采取一些有效的方法，实现巡检任务管理、任务闭环管理以及数据逻辑化管理；

7）实现巡检结果有效及时的展示及应用；

现阶段，线路巡检数据、数据分析成果、任务执行情况、现场作业情况以及飞机飞行轨迹等数据无统一及时的展示，无法体现出工作的进展以及取得的成果，急需要采取一些手段，实现这些数据的有效及时的展示，展现工作的内容及取得的成果；

8）加强新技术在线路通道巡检中的应用；

现阶段，一些新技术包括激光雷达技术、倾斜摄影技术等可以很好的应用到电力线路通道巡检业务的好技术，在电力线路通道巡检中未能得到应用，主要是成本太高，急需要降低这些新技术的应用成本，让线路通道巡检能够更加快捷、准确，从而提升线路通道运维的质量及效率；

9）实现无人机线路本体巡检智能化；

现阶段，无人机线路本体巡检主要还是通过人员现场操控无人机对线路本体进行精细化巡检，这样人力成本较高，且操作风险大，人身安全存在隐患，急需要实现无人机线路本体巡检自动化、智能化，提升巡检数据标准化，降低巡检风险，提升巡检效率。

1.4目标

针对高压输电线路的运行管理模式和常规作业方式，以传统巡线方式进行巡线操作以难以可持续发展，面临种种困难，包括：劳动强度大、工作条件艰苦，且劳动效率低，遇到电网紧急故障和异常气候条件下，线路维护人员不具备有利的交通优势、利用普通仪器或肉眼来巡查设施。这种方式已经不能完全适应现代化电网建设与发展的需求。超、特高压电网急需先进、科学、高效的电力巡线方式。有别于传统的人工巡检和其他巡检模式，基于无人机等智能装备的立体巡检是一种高效、智能、全新的输电线路巡检模式，代表了智能电网输电线路巡检的发展方向。与传统巡检方式相比，基于无人机等智能装备的立体巡检具有作业范围广、巡检科目多、巡检更精细等优势，可以对平原、丘陵、山区、高原等具有复杂地形地貌环境的输电线路进行巡检。目前，国家电网公司已初步建立了立体化巡检体系，其中直升机巡视作业范围已覆盖所有跨区域电网及各网省主干电网，无人机也已广泛应用于输电线路日常巡视，但针对无人机等智能装备的标准化、智能化管理手段尚不完善，在巡检作业管理、数据接入、数据价值挖掘等方面仍存在上升空间，尤其是飞行作业数据智能分析仍存在短板。

构建基于智能装备的立体巡检体系，必须打通巡检作业数据实时采集、实时安全传输、海量多维数据存储、数据实时分析处理、数据价值挖掘等所有环节，再以数字化的方式固化和落实全新的巡检作业管理模式。本项目将针对基于无人机等智能装备的立体巡检中的关键技术进行研究，主要内容包括基于深度卷积神经网络的巡检图像典型缺陷自动识别技术。此外，为实现以上关键技术的综合示范应用，还将针对巡检数据加密传输、海量多维数据接入、存储与展示以及基于智能装备的作业标准化管理、成果管理以及资产全生命周期管理等内容进行研究应用，构建基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台，为智能立体巡检体系提供了技术保障与管理支撑，最终通过对智能巡检的探索与实践，逐步推进运检管理模式的变革，有效提高运检管理效率效益，实现设备状态管控力与运检管理穿透力的全面提升。结合实际业务，目标可分为以下三个方面：

（1）针对输电杆塔的数字图像，利用深度学习算法完成对输电设备典型缺陷图像智能解译体系研究，并将图像智能识别技术与无人机巡检业务相结合，实现了无人机输电线路巡检图像的自动处理，缺陷的自动识别，并且能够精确定位缺陷部位分析缺陷种类。典型缺陷图像智能解译体系具有自学习能力，能在实际应用中通过数据积累不断的提高智能识别的精度，最终达到90%以上。

（2）基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台，为飞行作业全过程管控（计划管理、空域管理、任务管理、作业管控）、数据管理与智能识别分析、无人机资产全生命周期管理提供智能化支撑，为建立健全智能立体巡检体系提供了技术保障与管理支撑，满足基于无人机等智能装备的输电线路巡检业务，逐步实现输电线路巡检业务的管理模式变革。

（3）构建新型现代化巡线模式，从线路日常巡护、应急管理到缺陷的发现等实现以无人机巡护为主的线路管理体系。实现线路管理的高效化，同时提高线路巡护的安全性和经济性。

1.5原则

按照国网公司要求以及天津市电网实际需要，以实用性、先进性、可靠性、兼容性和可扩充性为原则，针对电力巡线特点，逐步建立和完善一套信息化、网络化、标准化、移动化、智能化的管理平台，规划、完善和扩展无人机全周期管控流程，为基于无人机的电力巡护业务提供智能化的服务，实现电力巡护业务的持续改进和完善。

1.5.1 统一性原则

基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台建设是国家电网公司信息化SG186工程建设的有机组成部分，应始终坚持与SG186工程的总体规划协调一致。基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台的建设和实施过程中应遵循统一领导、统一规划、统一标准和统一组织实施的“四统一”原则。

1.5.2 规范化原则

基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台建设，需要严格遵循规范化原则；平台建设的技术标准，必须严格遵循国家标准和行业标准，国家标准和行业标准暂未确定的，参照IEC、ISO、OGC等相关国际标准。同时平台提供按照标准的数据交换格式，以开放式的数据结构保证支持与其他系统的数据集成应用。平台的建设过程中还将逐步明确并制定相关的标准规范体系，包括数据规范、编码规范、平台功能规范、接口规范、管理制度等相关规范。

1.5.3 一体化原则

基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台完全遵循SG186工程的建设标准，通过数据中心实现信息的集中存储，通过应用集成平台实现与各类业务应用的横向集成，通过数据交换实现总部与网省数据的纵向贯通。

1.5.4 实用性和先进性原则

基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台的建设要坚持实用性原则，在确保实用可靠的前提下，尽量采用先进技术和体系架构。要正确处理好信息技术先进性和实用性之间的关系，既不能因循守旧，墨守成规，也不能贪大求全，过分强调技术的先进性，而忽略成熟、稳定性。以保证平台建设的高起点，延长整个平台的生命周期。

1.5.5 扩展性原则

通过采用灵活的构架，使得基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台功能可扩展，满足不断扩展的应用需求。扩展性体现在应用功能的可扩展、部署方式的可扩展和空间数据模型的可扩展、服务的可扩展，保证扩展的过程平滑升级，避免重复投资。

1.5.6 开放性原则

基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台应采用开放性技术平台和软件架构，保证平台能够方便的实现与其他应用集成。平台的开放性原则是实现平台与其他系统间互连的基础，它使平台具备良好的扩展和互操作能力，以便于维护和管理。

1.5.7 安全性原则

数据安全性

基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台中包含详细的基础地理数据和电网专题数据，部分基础地理信息属于国家机密或绝密数据；电网数据需要通过长期的数据采集维护，其表达内容是电网基础设施，数据也是国家机密。在进行平台建设时，需要充分考虑数据的安全性，杜绝各种数据安全隐患。

应用安全性

基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台提供的各类应用功能和服务，都需要进行用户认证或CA认证，这样才能够保证服务的安全，不允许匿名访问和调用相关功能和服务。这样能够防止功能和服务方式的数据泄密。

1.5.8 资源复用原则

需要充分考虑到项目单位已有的信息化系统的软硬件设备设施及电网数据，尽可能继承和复用有价值的软硬件资源和数据资源，避免资源浪费，重复投资。

**二、研究内容与总体目标设定**

2.1 研究内容

本项目将针对基于无人机等智能装备的立体巡检中的关键技术进行研究，主要内容包括基于深度卷积神经网络的巡检图像典型缺陷自动识别技术。此外，为实现以上关键技术的综合示范应用，本项目还将针对巡检数据加密传输、海量多维数据接入、存储与展示以及基于智能装备的作业标准化管理、成果管理以及资产全生命周期管理等内容进行研究应用，构建基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台，为智能立体巡检体系提供了技术保障与管理支撑，最终通过对智能巡检的探索与实践，逐步推进运检管理模式的变革，有效提高运检管理效率效益，实现设备状态管控力与运检管理穿透力的全面提升。

1. 基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台

平台主要包含无人机飞行作业全过程管控、数据智能化分析管理、无人机资产全生命周期管理等业务需求，满足无人机立体智能巡检业务应用及数据处理分析、辅助决策管理需要。

（2）输电设备典型缺陷图像智能解译体系

参考现行《架空输电线路缺陷分类细则》，结合无人机采集图像的特性，制定无人机巡检图像数据标准化采集方法与缺陷分类准则，对于适合使用图像分析的电力设备缺陷进行精准分类，建立基于 “深度学习”技术的电力设施典型缺陷样本库，实现电力设施典型缺陷的模型训练与自动识别，以数据积累带动数据变现，最终打通数据采集到数据价值智能挖掘的处理流程，推动数据辅助决策，支撑公司专业管理转型。

针对无人机输电线路巡检业务应用与数据管理的需要，利用深度卷积神经网络算法服务对数据进行预处理分类识别，并对图像有缺陷的位置进行标注，最终将识别结果反馈，指导检修消缺决策。通过对电力设备巡检产生的海量图像或视频数据处理结果进行优化分析，并可结合专家反馈对识别模型进行优化，逐步提升缺陷查找效率及准确率。通过建立深度学习监督训练，实现绝缘子、螺栓、防震锤、金具、均压环五类设备的智能定位，完成鸟巢、异物、绝缘子自爆、开口销脱落、均压环倾斜、地线金具倾斜、防震锤锈蚀七类缺陷的智能识别。典型缺陷图像智能解译体系具有自学习能力，能在实际应用中通过数据积累不断的提高智能识别的精度，最终达到90%以上。

（3）无人机输电线路巡检工作规范

建立多旋翼无人机及固定翼无人机输电线路巡检两种作业模式，通过对多旋翼无人机及固定翼无人机用于输电线路巡检进行测试，根据测试结论编制出适用于天津地区的多旋翼无人机、固定翼无人机输电线路巡检工作规范。详见《固定翼无人机输电线路巡检工作规范》和《多旋翼无人机输电线路巡检工作范》 。

2.2 总体目标设定

为了提高输电线路巡检生产水平, 规范现场作业, 提高工作效率, 通过无人机的图像数据采取技术和计算机信息管理技术的巡检作业和管理方法，使得设备信息采集、信息资源共享、实时位置跟踪、巡检作业等方面的应用更丰富更具空间性。通过本平台的建设应用, 提升国网天津电力检修公司巡检业务的管理精益化程度，减少人工作业工作量，有效提高巡检作业质量。

配合国网天津电力公司实际巡检业务，设定如下业务目标：

（1）**作业管理精细化。**随着社会的发展，电网建设的规模不断扩大，要求不断提高，因而迫切需要实现生产作业现场与后台应用之间及时畅通交互从而提升管理水平。通过平台实现现场作业的高效安排和有效监控，从而提升生产现场作业精细化管理水平。

（2）**信息传递无缝化。**为提高工作效率，传统的巡检方式为人工采集数据，这样会导致所采集的数据无法实施回传，管控人员也无法了解现场实际情况，通过平台的应用，可将无人机采集的数据实时传递至管理人员，建立生产管理系统和现场工作之间的桥梁，实现生产管理系统和现场工作之间信息传递、流程传递的无缝衔接。

（3）**工作方式现代化。**社会的发展要求电力企业的服务途径、服务能力也与时俱进。对此，平台提供了便捷、实时的现场作业信息查询手段，解决现场工作中信息获取难、数据记录难的问题，提升数据准确率，提高现场工作效率。

**三、创新点和取得的突破**

以数字化引领业务模式变革为原则，通过对国网天津检修公司无人机输电线路巡检的业务需求进行分析研究，为无人机输电线路巡检业务的管理模式变革提出总体方案。形成基于立体巡检体系的无人机智能巡检总体解决方案，解决方案设计开发了基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台，包括高压架空线路通道监测模型与数据分析方案，无人机巡检标准流程，构建电力设施典型缺陷辨识模型，并给出无人机巡检工作规范：旋翼巡检标准与固定翼巡检标准。

满足了无人机应用及数据处理分析、应用需要，指导日常数据建模及数据分析，规范了日常无人机巡检工作流程。提升了电力检修公司巡检业务的管理精益化程度，减少人工作业工作量，有效提高巡检作业效率和质量。

（1）通过基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台，在电力行业率先实现无人机巡检作业全过程管控、海量巡检成果与无人机资产全生命周期管理。以数字化技术推进输电线路巡检作业管理方式的转变。

（2）通过输电设备典型缺陷智能图像解译体系，攻克输电设施微小构件缺陷智能识别技术，并将大中型构件缺陷自动识别精度大幅提高。通过建立基于 “深度卷积神经网络”算法的电力设施典型缺陷海量样本库，持续进行电力设施典型缺陷的模型训练与自动识别。目前国内外电力设施缺陷识别精度一般在50%左右，本项目成果的识别精度超过80%。

（3）通过多旋翼、固定翼无人机在输电线路本体巡视、通道巡检多传感融合技术，将可见光、红外、紫外、倾斜摄影、激光雷达构成的传感器成果融合一体，综合解决输电线路智能巡检作业多维数据应用问题。

（4） 基于国网无人机作业标准，总结制定了无人机本体和通道巡检的细化标准和作业流程，指导智能巡检标准化作业开展。

**四、项目成效**

4.1 项目成果

通过基于深度学习、4G技术的无人机全周期输电智能巡检平台的研究，构建一套可用于高压架空线路巡检的无人机巡检系统，满足无人机的管理、运行、航拍数据处理及分析、应急支持等业务应用，搭建无人机从资源管理、禁飞区管理、运行管理、数据分析、全业务的信息化管理系统，推广远程无人机巡检等先进技术，实现无人机资源的科学统筹，实现无人机巡检作业从计划到实际飞行的管理，实现无人机飞行申请到飞行监控、飞行数据归档等飞行作业的流程化管理，实行航拍数据的处理加工并辅助分析、应用，实现无人机在应急抢修及灾后损失评估等方面的应用；

以此加快数字技术应用和改造，提升无人机在输电线路巡检中的应用水平，提升数据处理分析、应用的水平，提升数据应用的质量及效率，推进数据治理，挖掘数据价值，形成一套基于立体巡检体系的无人机智能巡检解决方案，同时形成针对设备本体的典型缺陷辨识模型以及输电设备本体缺陷样本库。

（1）提出一套基于立体巡检体系的无人机智能巡检的总体解决方案

* 实现无人机资源管理，包括无人机台账、备品备件台账、厂商信息、保养维护信息、驾驶员信息及相关政策法规、规范方案等的管理，并根据无人机的相关规定提供无人机保养预警；
* 实现禁飞区信息的管理，为无人机运行管理提供禁飞信息支撑及飞行预警；
* 实现无人机运行管理，包括空域申请记录、飞行计划及飞行作业的管理，并根据气象条件在飞行作业前提供适航条件预警；
* 实现数据分析，对航拍数据，主要是坐标信息、视频信息、照片信息进行处理分析、应用；实现对无人机飞行过程中轨迹的跟踪监控并根据禁飞区信息提供空域边界预警；实现专家通过航拍照片进行故障识别并进行故障管理；实现航拍线路通道视频生成并可自由设置查看，辅助巡检人员确认巡检重点区域及通道的情况，为巡检提前做好准备工作；实现根据航拍线路通道视频生成输电线路通道模型，自动识别隐患并提供隐患预警提示处理意见；统一管理无人机资源。实现无人机的实时监管，方便无人机资源、使用及运行情况实时统计，实现无人机资源统筹管理，提升对无人机资源集约利用及优化配置的能力。
* 输电线路通道缺陷自动识别和预警。针对通道当中的高大障碍物、常见的威胁通道安全的缺陷进行自动识别、标识和预警。以达到线路通道安全运行的目的。
* 输电线路杆塔本地缺陷的自动识别和分析。
* 实现应急支持，在应急抢修及发生自然灾害是进行应急数据的采集，为应急抢修提供快速故障定位，指导抢修，对受灾区做到快速损失评估。
* 实现实时图传，通过4G无线专网完成数据到现场工作电脑或远程工作电脑的传输，减少数据分析等待时间，提高数据管理效率。

（2）形成一套基于无人机输电线路巡检的设备本体缺陷自动识别技术方案。输电设备缺陷识别模型、输电通道隐患自动识别系统，利用深度学技术以及三维空间分析技术分别对输电设备的照片以及输电走廊的三维模型进行自动分析，完成了输电设备缺陷以及输电通道隐患的自动判别，减轻人工的劳动强度，提高了巡检的效率。

（3）建立基于无人机输电线路巡检的设备本体典型缺陷辨识模型。研发了输电设备典型缺陷智能图像解译体系，攻克输电设施微小构件缺陷智能识别技术，并将大中型构件缺陷自动识别精度大幅提高。建立了基于 “深度卷积神经网络”算法的电力设施典型缺陷海量样本库。

（4）形成一套可用于指导无人机巡检的工作规范。

4.2 经济社会效益

4.2.1 经济效益

无人机在输电线路巡检中应用相比人工巡检效率高、质量好，大大降低输电线路巡检的成本，同时可以避免传统人工输电线路巡检中复杂地形、恶劣天气等因素对巡检工作的影响，提升了巡检效益；另外，无人机还可用于电力应急抢修及灾后损失评估等电力突发事件处理，为突发事件处理赢取时间，降低经济损失。

通过基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台的研究建设，加强了无人机输电线路巡检业务的管理，使无人机资源、运行等管理更加的科学，无人机作业标准化，降低无人机资源不合理利用造成的浪费；加强了航拍数据的科学管理及应用；通过系统实现自动化或半自动化数据处理加工，改变了传统人工数据处理加工效率低下、质量不高的等问题，提升了数据加工的效率，缩短了数据投入应用的周期，对数据应用挖掘更加充分，减少电力故障的发生。

（1）正常情况下，(以天津地区220kV以上输电线路巡检为例）本体通道人工巡检每年投入300人，以每人年成本15万元，人力投入约为300\*15=4500万；而无人机巡检每年投入200人便可完成同样的巡检任务量，以每人年成本20万元，人力投入约为200\*20=4000万元；则直接经济效益每年可节约成本4500-4000=500万元。

（2）由于无人机巡检和缺陷智能识别的技术应用，国网天津市电力公司检修公司每年可新发现缺陷5000项，其中严重缺陷15项，避免220kV线路两次的停电故障，间接挽回损失600万元。

（3）巡检数据采取人工缺陷识别，识别每个杆用时为0.5分钟，则一天按8小时算可以识别960个；2730km包含9100杆，则拍摄照片数可达728000张照片，则需要3人开展1年才能识别完毕，如果计算机可以辅助识别1/3，则节约2人1年的工作，可以节省人工费用60万元。

综上所述，采取无人机开展输电线路巡检并采取基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台的研究进行飞行任务管理、飞行数据管理以及飞行数据分析，一年可以直接节省费用1160万元；未来3年，随着无人机输电线路巡检应用的不断成熟及普及，基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台的研究功能的不断提升，无人机输电线路巡检带来的直接和间接经济效益将超过5000万元。

4.2.2 社会效益

在基于立体巡检体系的无人机智能巡检解决方案中，通过基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台的建设，加强了航拍数据的科学管理及应用；通过系统实现自动化或半自动化数据处理加工，改变了传统人工数据处理加工效率低下、质量不高的等问题，提升了数据加工的效率，缩短了数据投入应用的周期，对数据应用挖掘更加充分；通过建立输电线路通道模型，快速识别隐患，减少电力故障的发生。通过基于深度学习的无人机全周期输电智能巡检平台的建设，提升无人机管理的效率，加快数据处理分析的速度，快速识别隐患，及时进行检修，保证输电线路长距离输电安全，提升电力公司的供电可靠性，提升电力公司形象。

（1）无人机输电线路巡检，由于无人机能够适应复杂天气、复杂地形等条件，且其巡检较人工效率高、无死角等特点，无人机可以在短时间内高质量的完成线路的巡检工作，较人工巡检提前且全面的发现线路中存在的缺陷，争取了抢修的时间，把握抢修的时机，保证了输电线路的供电可靠性；

（2）形成了天津无人机输电线路巡检作业规范，形成了天津无人机输电线路巡检的标准，保证天津在无人机输电线路巡检业务方面有据可依，有规可循，规范现场作业行为，使天津无人机输电线路巡检安全、标准，从根本上指导天津无人机输电线路巡检业务开展，为无人机在天津输电线路巡检业务中的应用奠定基础；

（3）平台提供的无人机输电线路巡检任务管理，保证了巡检设备等资源的科学调度，保证巡检任务按照计划可执行，及时发现线路设备存在的缺陷，及时抢修，保证居民生产和生活的需要，避免了因缺陷导致事故而带来的居民经济损失，提升了电力公司的服务形象；

（4）平台提供的无人机输电线路巡检数据逻辑管理，提升了数据管理的规范性，保证了数据管理的质量及效率，间接提升了缺陷发现的效率，争取了缺陷处理的时间，同时为缺陷的分类管理及缺陷的处理跟踪提供了可靠的基础数据，保证了缺陷整改的针对性，保证了输电线路的供电可靠性；

（5）平台提供的无人机输电线路巡检数据分析与应用管理，其借助计算机计算技术实现巡检数据人机结合的缺陷识别方法，大大提升了缺陷识别的效率，早发现、早抢修，保证了线路供电可靠性；同时平台中的巡检数据还可进行大数据分析，识别线路的不同缺陷多发区域，指导实际巡检应用。

（6）本项目是天津市电力公司乃至整个国家电网公司的公共性、基础性的工程项目，具有—定的前瞻性、探索性，项目成功建设和运营将建立一套科学合理的建设运营机制和方法，为以后类似项目提供宝贵的经验。

4.2.3 管理效益

平台的建立和推广应用，将极大的提高国网天津电力检修公司现有的现场作业管理水平，规范管理工作，为下一步更专业化、更多样化的移动终端应用奠定了基础。

旨在通过建立直升机、无人机巡检数据中心实现数据的实时录入与智能分析，达到巡检信息收集自动化、巡检结果处理智能化，逐步减少人工巡视直至改变传统巡检方式。

根据国网公司关于构建“基于智能装备的立体巡检体系”的要求以及天津市电力公司 “以数字化推动管理转型”的要求，结合检修公司的实际业务现状，提出基于立体巡检体系的无人机智能巡检的解决方案，进而提高生产现场工作管理效率与工作水平，加强可视化水平，建立电力现场作业标准体系，推动构建大数据统一分析服务平台，为公司决策、控制、评价提供有效支撑，为深化推进输电线路巡检的业务模式变革提出进一步的工作目标与方向。

1）提高工作效率。将巡视、检修等生产业务管理有效延伸至工作现场，通过任意地点、任意时间、任意设备的无人机工作模式，实现业务连续性和高效性，提高了现场工作质量与效率。

2）提升管控能力。使用平台可实时了解现场作业情况，打破人员所在的局限性有效规范和指导现场工作程序，杜绝现场工作的随意性。

3）减少运营成本。减少了工作人员多次往返于办公室和现场，节省了大量的时间和车辆运营的成本，缩短了任务流转时间，提高了工作实效性，提升经营效益。

4）业务体系支持。通过平台可为各级生产部门形成可视化的、通用的实时现场应用和指挥平台及生成可视化的输电线路通道模型，为其他业务提供技术支持。

5）建立标准体系。梳理现有现场业务，收集、整理、分析业务报表及业务规范，建立结合现场作业的标准化业务流程与管理体系。

通过基于立体巡检体系的无人机智能巡检的解决方案以及输电智能巡检平台的应用，输电运行管理的业务流程有了高效的信息化支撑，逐步建立起以数字化为特征的管理模式，从整体上提高了管理水平和工作效率，推动公司管理由“业务驱动职能”向“数据驱动流程”转变。

**五、总结与展望**

据统计，运用无人机进行缺陷识别，杆塔瓶口及以上位置、人工难以发现的缺陷占比78.5%。设备本体巡检效率和质量显著提高，并且极大降低了劳动强度，提升了巡检效率，确保了对电力设备状态的运行维护能力。因此，无人机的应用是线路巡检智能化发展的有效解决方案。

根据国网公司关于构建“基于智能装备的立体巡检体系”的要求以及天津市电力公司 “以数字化推动管理转型”的要求，结合检修公司的实际业务现状，提出针基于立体巡检体系的无人机智能巡检总体解决方案，通过建立基于智能装备的巡检标准化作业方法以及构建无人机智能巡检辨识模型，开展无人机装备在智能巡检作业中的综合示范应用。

5.1 项目进程

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项目整体经历了如下几个阶段：

**第一阶段 项目调研、梳理整体需求、研究方案**

通过对无人机巡检的业务流程、发展趋势的调查，梳理了项目的整体需求。在项目需求调研的基础上，进行了关键模块、关键技术的调研和预研，明确技术可行性、实现难度与成本等。

**第二阶段 系统规划、模型设计**

通过现场调研、多方讨论、专家评审等多种形式，在确保不偏离可行性研究报告所定义的原则和方向的基础上，详细展开业务平台调研、评估等工作，建立数据模型，确定数据标准，对业务平台的搭建与支撑提出确切要求。

**第三阶段 数据分析方案研究、流程研究、系统开发**

在明确需求后，项目组开展方案设计研究和开发工作。

1. 期间充分考虑项目技术特性，并在设计中有相应的描述以指导后续的开发工作；
2. 组织了多位专家进行了重要的设计评审工作。并根据评审专家的意见，形成了缺陷、问题跟踪。

**第四阶段 系统测试**

在系统试运行钱，项目组开展测试工作，保证系统运行的可靠性，使系统达能够符合实际生产及满足精益化管理。

**第五阶段 系统上线试运行**

系统上线试运行，通过加强与实施现场的沟通和支持，使系统与实际业务场景更好融合。

1. 建立标准化的实施管理体系相关文档提供给各项目现场，涵盖项目管理文件结构、项目管理指导手册、项目管理文件模板等；
2. 为项目现场提供持续的培训，涵盖项目培训文件结构、项目培训指导手册、项目培训文件模板及具体的培训工作的展开。

**第六阶段 项目验收**

根据项目前期的规划目标与项目建设工作计划安排，开展上线评估和项目验收工作。

5.2 检标准化作业方法

为规范输电线路无人机巡检程序，确保安全、优质、高效的完成输电线路无人机巡检工作，特编制本无人机巡检作业规则，详见《固定翼无人机输电线路通道巡检作业规则》与《多旋翼无人机输电线路通道巡检作业规则》，对巡检作业中的巡检周期、人员资质、空域申报、飞行规则、巡检内容与安全措施等内容进行明确规范。

5.3 技术方案

项目主要采用了无人机相关技术、计算机软件技术、无线传输技术、图像识别技术、倾斜摄影技术、激光雷达技术、三维建模技术、三维测算技术等；该技术架构中各平台、系统主要采用的是计算机软件技术，各平台、系统间主要实现数据的传输，数据传输主要依赖有线传输及无线传输技术；数据采集主要用到无人机相关技术、图像识别技术、倾斜摄影技术、激光雷达技术等；数据分析主要采用了三维建模技术、三维测算技术等。

其中设备本体缺陷自动识别技术方案、照片传输、视频传输及GPS的传输为本方案中的关键点及技术难点：

**1）输电设备缺陷识别模型与输电通道隐患自动识别**

利用深度学习模型完成输电设备的自动定位和提取，在完成输电设备提取之后进行输电设备缺陷类型的感知和分类。在系统运行过程中，通过人工对识别结果进行评价，将评价结果再次反馈给系统，不断更新深度学习模型，不断提高模型的识别精度。通过倾斜摄影技术建立精确的输电走廊三维模型，通过模型单体化，模型量测等。

1. **照片传输**

传感器采用带WiFi传输的SD卡，采集一张照片，SD卡就发送一张照片，将照片发送到照片无线传输中继器中，再由中继器通过传输能力更为强大的4G网络传输到现场工作电脑或远程工作电脑，即直接传输到数据分析小组手中，数据分析小组接到一张照片分析一张照片；数据传输方式变为网络实时传输，数据传输效率提升；

1. **视频传输**

在现场将飞机的传感器第一视角通过4G传输模块进行实时回传到现场监控平台；

**4）GPS传输**

飞机GPS模块将飞机的GPS信息实时发送给GPS信息接收模块，在通过4G实时传输到现场监控平台；GPS接收模块与4G发射模块会集成为GPS传输中继器，并在现场及后台配备4G通信设备，实现现场与后台的信息交互。

5.4 平台搭建

结合国网天津检修公司在无人机输电线路巡检业务的实际情况，方案涉及平台包含以下模块。

5.4.1 首页看板

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **一级功能名称** | **二级功能名称** | **三级功能名称** | **四级功能名称** | **功能描述** |
|
| 首页看板 | 地图展示 | 线路展示 | 无 | 实现线路立体展示 |
|
| 线路总览 | 缺陷查看 | 杆塔总数 | 实现线路缺陷概况总览 |
| 上传照片数 |
| 缺陷总数 |
| 无人机状态 |
| 线路搜索 | 线路检索 | 无 | 实现快速检索线路 |
|
| 国网公司 | 国网公司线路选择 | 展示线路 | 实现根据不同国网公司查看线路 |
|

5.4.2 飞行作业管理

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 飞行作业管理 | 计划管理 | 年度计划管理 | 添加年度计划 | 实现计划的年度细化分 |
|
| 修改年度计划 |
|
| 飞行计划管理 | 计划创建时间 | 实现对飞行计划进行维护及管理 |
| 线路等级 |
| 线路名称 |
| 巡检杆塔数 |
| 空域批复状态 |
| 空域管理 | 批量申请空域 | 无 | 实现对空域申请记录进行维护及管理主要包含年度空域申请记录、季度空域申请记录及月度空域申请记录，为飞行作业提供条件 |
|
| 打包生成任务 |
|
| 信息添加 |
|
| 信息导入 |
|
| 信息导出 |
|
| 导出模板 |
|
| 任务管理 | 任务状态 | 全部任务 | 对无人机在飞行过程中进行飞行轨迹实时监控，并结合空域申请记录进行飞行空域边界预警，根据禁飞区信息进行禁飞区域预警，以保证飞行在预定任务范围内执行 |
| 未派发任务 |
| 未受理任务 |
| 进行中任务 |
| 已完成任务 |
| 已终结任务 |
| 任务台账 | 关联计划编号 |
| 计划开始时间 |
| 计划结束时间 |
| 任务类型 |
| 电压等级 |
| 线路名称 |
| 巡检杆塔数/里程 |
| 空域状态 |
| 任务流程 | 派发任务 |
| 任务受理 |
| 取消受理 |
| 完成任务 |
| 终结任务 |
| 禁飞区域管理 | 电压等级 | 禁飞杆塔信息 | 通过禁飞区域管理，实现在制定飞行计划过程、执行飞行作业准备时，保证无人机飞行作业合法、安全 |
| 禁飞时间 |
| 禁飞区域 |
| 禁飞原因 |

5.4.3 数据管理

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 数据管理 | 缺陷管理 | 缺陷搜索 | 无 | 实现对缺陷的快速检索 |
|
| 数据处理分析及应用 | 深度卷积神经网络算法，智能识别照片中杆塔上的缺陷信息与位置 |
|
| 缺陷隐患报告管理 | 将通过人工智能识别出的隐患和缺陷数据与线路信息相关联，按照定制模板要求输出缺陷隐患报告 |
|
|
|
| 缺陷分类 | 未标记等级缺陷 | 实现对缺陷图片的分类 |
| 无缺陷数据 |
| 一般缺陷 |
| 严重缺陷 |
| 危急缺陷 |
| 数据指标 | 巡检数据 | 无 | 对航拍数据接入情况、数据分析情况以及数据成果等内容进行统计展示，提供以年份或月份为单位的综合数据统计分析，实现对工作指标管理的全过程实时监控 |
|
| 本体缺陷等级比例 |
|
| 近一年缺陷数量统计 |
|
| 缺陷数量最多的十条线路 |
|

5.4.4 飞行资源管理

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 飞行资源管理 | 无人机台账管理 | 无人机信息管理 | 无人机型号 | 实现对无人机资源进行管理，其主要对无人机台账、技术参数及当前任务状态进行管理，实时掌握每个无人机的技术参数及当前任务状态等参数，为飞行任务安排提供数据支撑 |
|
| 无人机参数 |
|
| 保养维护信息 |
|
| 备品备件管理 | 照相机台账管理 | 设备参数 | 实现对备品备件资源管理，其主要对备品备件台账、技术参数及当前任务状态进行管理，实时掌握每个备品备件的技术参数及当前任务状态等参数，为飞行任务安排提供数据支撑 |
|
| 吊舱台账管理 | 设备参数 |
|
| 倾斜摄影机台账管理 | 设备参数 |
|
| 电池台账管理 | 设备参数 |
|
| 旋翼台账管理 | 设备参数 |
|
| 厂商管理 | 厂商设备信息 | 信息添加 | 实现对无人机及备品备件的生产厂商统计，在设备及应用出现相关问题时，可及时联系厂商给予支持 |
| 信息导入 |
| 信息导出 |
| 模板导出 |
| 出入库模板管理 | 模板基本信息 | 模板添加 | 实现保养维修管理，掌握每个设备的保养及维修情况 |
|
| 政策法规管理 | 政策法规信息概览 | 信息编辑 | 管理国家或上级单位对输电线路巡检及无人机输电线路巡检相关的政策、法规及要求 |
| 政策法规信息下载 |
| 政策法规信息添加 |

5.4.5 权限管理

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 权限管理 | 组织机构 | 用户管理 | 添加用户 | 实现机构、各级部门由上到下的管理和层次划分 |
|
| 人员管理 | 添加用户 |
|
| 机构管理 | 机构列表 |
|
| 机构详情 |
|
| 系统管理 | 权限管理 | 导航菜单管理 | 实现机构、各部门业务层次上的权限授权和管理，对系统展开科学的维护 |
|
| 功能权限管理 |
|
| 角色管理 | 添加角色 |
|
| 系统设置 | 系统配置 |
|
| 消息管理 | 系统异常信息列表 |
|

通过无人机智能巡检的平台搭建，提出了一套较为完整的基于立体巡检体系的无人机智能巡检总体解决方案，在验收与运行期间取得了良好的应用效果，提升了无人机线路巡检的效率，降低了无人机线路巡检的成本。

5.5 总结

提出基于智能装备的巡检标准化作业方法，明确巡检规范，确保安全、优质、高效的输电线路无人机巡检作业；通过无人机与平台间数据传输与存储进行数据采集、整理等工作；在无人机智能巡检辨识模型的基础上进一步分析缺陷数据和缺陷指标，通过可视化界面提升巡检效率，为智能巡检作业中的综合示范应用提供可执行的具体工作方法与实施方案。

5.6 展望

基于立体巡检体系的无人机线路巡检方案的建设解决了现阶段无人机线路巡检业务中存在的问题，通过构建适用于天津主干网架的无人机输电线路设备本体典型缺陷辨识模型、数据自动分析以及立体可视化的成果展示提升了无人机线路巡检的效率，降低了无人机线路巡检的成本；通过构建无人机装备巡检的标准化作业规范，为无人机输电线路巡检的业务模式变革提供标准化的可执行工作方法。

未来，以“互联网+”为代表的新一轮科技革命不断蓬勃兴起，数字化技术不断发展与成熟，无人机路巡检业务还将得到更进一步的发展，无人机线路巡检在不久的将来将会实现全自动智能化巡检、数据全过程自动采集，基于数据分析改善故障定位现场作业安排，逐步构建大数据统一分析服务平台，为公司决策、控制、评价提供有效支撑，为深化推进输电线路巡检的业务模式变革提出进一步的工作目标与方向。