

# Research on UAV Inspection Management System Based on Artificial Intelligence Technology

Wenzhuo Wang<sup>1</sup> Bo Liu<sup>2</sup> Yiming Zhang<sup>1</sup> Peixian He<sup>3</sup> Wei Wang<sup>2</sup>

1. State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou, Gansu, 730000, China

2. State Grid Gansu Electric Power Company Ultra High Voltage Company, Lanzhou, Gansu, 730000, China

3. State Grid Gansu Electric Power Company Pingliang Power Supply Company, Pingliang, Gansu, 744000, China

## Abstract

In modern society, the application of artificial intelligence is increasing day by day. Against the backdrop of digital transformation and intelligent upgrading of smart device management in the power grid, Gansu Company continues to promote the large-scale application of drone inspection, continuously optimize the drone inspection management system, and assist in the nested cooperation between smart devices and business management. The paper focuses on “professional platform support and iterative model driven” as the main research direction, and innovatively establishes a “hardware+software” unmanned aerial vehicle inspection management system around PMS3.0 and principal component analysis. It combines rigidity and flexibility to achieve intensive online unmanned aerial vehicle inspection scheduling and standardized offline business processing, helping Gansu Company complete the transformation and upgrading of its operation and maintenance mode.

## Keywords

UAV inspection management system; intelligent equipment; digital; Internet area

# 基于人工智能技术的无人机巡检管理体系研究

王文卓<sup>1</sup> 刘波<sup>2</sup> 张益明<sup>1</sup> 何沛贤<sup>3</sup> 王伟<sup>2</sup>

1. 国网甘肃省电力公司, 中国·甘肃 兰州 730000

2. 国网甘肃省电力公司超高压公司, 中国·甘肃 兰州 730000

3. 国网甘肃省电力公司平凉供电公司, 中国·甘肃 平凉 744000

## 摘要

现代社会中, 人工智能的应用日益增多。在电网智能设备管理数字化转型、智能化升级的背景下, 甘肃公司持续推进无人机巡检规模化应用, 不断优化无人机巡检管理体系, 助力于智能设备与业务管理的嵌套配合。论文以“专业平台支撑、迭代模型驱动”为主要研究导向, 围绕PMS3.0和主成分分析法, 创新建立了“硬件+软件”的无人机巡检管理体系, 刚柔相济, 实现线上无人机巡检调度集约化, 线下业务处理标准化, 助力甘肃公司完成运维模式的转型升级。

## 关键词

无人机巡检管理体系; 智能设备; 数字化; 互联网大区

## 1 引言

近年来, 人工智能技术发展迅速, 技术门槛和成本不断降低, 随之应用领域也渗透千行百业, 推动产业变革升级。为持续优化电力供应环境, 保障社会用电, 甘肃公司不断优化线路及设备的运检手段, 初步实现了从人工巡检到无人机精益巡检的转变。随着社会电力需求的不断增长, 设备巡检任务大幅增加, 还需进一步探索智能化巡检管理新模式, 助力运维模式转型升级。无人机巡检作为电网运维转型的关键“风口”之一, 成为甘肃公司重点关注领域, 公司将协同PMS3.0, 线上打造专业管控平台, 线下研究精益管理规范,

“硬件+软件”并进, 开拓电网运维模式升级的新阶段, 保障甘肃电网供应能力。

## 2 甘肃公司无人机巡检现状

当前, 甘肃公司无人机巡检工作存在“作业调度不集中, 数据共享性较差”“业务管控较独立, 任务响应度较慢”等问题。

随着无人机巡检技术在电网企业深入推广应用, 甘肃公司已逐步实现了由“人巡为主, 机巡为辅”到“机巡为主, 人巡为辅”的转变, 设备资产精益管理系统也升级为3.0版本。秉承着“技术当先, 管理跟上”的良性发展原则, 甘肃公司亟待针对无人机巡检工作的现有问题, 积极响应PMS3.0本地部署工作, 依托科学手段改进无人机巡检管理体系, 全面推动智能技术与巡检业务融合, 助力运维模式智能化变革。

【作者简介】王文卓(1980-), 男, 本科, 高级工程师, 从事智能电力设备管理研究。

### 3 基于人工智能技术的无人机巡检管理体系研究

在 PMS3.0 的部署契机下，甘肃公司以硬件和软件为两条主线，深入探索无人机巡检管理的新体系。

在硬件方面，公司基于 PMS3.0 系统，构建无人机微应用群，实现无人机巡检的线上管控，为构建无人机巡检管理体系奠定了硬件基础。在软件方面，公司从巡检业务管理组织和业务评价体系两个方向，分别进行了管理规范 and 模型创新，研究并实践了基于主成分分析法（PCA）的业务评价模型，以实现无人机巡检业务的精准评价。通过刚柔相济的策略，研究无人机巡检管理新体系，实现线上无人机巡检调度集约化、线下业务处理标准化。

#### 3.1 部署无人机微应用群，建设机巡平台

甘肃公司遵循 PMS3.0 “三区四层”总体架构（横向分为生产控制大区、管理信息大区、互联网大区，纵向分为感知层、网络层、平台层、应用层），依托 PMS3.0 统一工作台，部署输、变、配无人机巡检微应用群。打破专业信息孤岛，建立“全链条”线上流转的巡检作业模式，基于大数据和人工智能技术提高数据联动性、专业联动性。

在应用架构方面，微应用群以管理信息大区与互联网大区划分业务模块，分区实现输、变、配微应用群功能，每个单元模块应用能独立运作，同时又能整合到更大的业务流程中。

省级、地市级分别拥有特定的职责和权限，在应用架构上具有“省级部署、多级应用”的功能特征，以确保整体业务流程的顺畅。管理信息大区包含作业计划管理、作业任务管理、航线库管理、统计分析等功能模块；互联网大区包含作业管控、缺陷管理、任务管理等功能模块；移动端实现任务航线接收、自主巡检、安全管控（含告警功能）、数据回传等功能。

在数据架构方面，微应用群打通了生产控制大区、管理信息大区和互联网大区的数据流转通道，实现无人机多专业巡检数据的共享、流通。其中，生产控制大区存储设备运行数据；管理信息大区侧主要存放输变配专业的台账数据、巡检数据与样本数据；互联网大区侧识别分析无人机终端的作业结果数据，并上传至管理信息大区缺陷管理模块，实现缺陷数据流转自动化。互联网大区存放的数据与信息内网中的管理信息大区基本一致，但互联网大区中的涉密数据必须脱敏，且只能短期存放。

#### 3.2 规范无人机管理体系，创新评价模型

##### 3.2.1 激发联动合力，构建两级业务管控中心

为打破各单位、各专业独立管控巡检任务的现状，加快全省无人机巡检业务融合，建立省、市两级机巡管控中心，最终形成“集权统筹、分权管控”的巡检工作格局。

电科院依托设备健康管理中心建设省级机巡管控中心，依托地市公司输电监控中心建设市级巡检管控中心。省侧打

造指挥中枢，负责全省范围内的输电、变电、配电等领域的无人机巡检业务，以及应急响应调度指挥工作；地市部署执行力量，负责组织地市公司的无人机巡检工作，最终形成“集权统筹、分权管控”的无人机巡检工作格局。

##### 3.2.2 完善保障制度，实施定点维保组织结构

为确保维保工作的完整性和协同性，提高机巡配置质量，设立“两级+三定点”式（两级：设置省级维保中心、市级维保中心；三定点：设置东、中、西三个维保服务点）维保组织结构，将管理范围划分为网格区域，每个区域都有维保中心、维保点，确保全面覆盖甘肃公司及其地市单位的维保业务，保持高效的管理和响应速度，实现甘肃公司无人机维保工作的属地化、规范化。

省级和市级维保中心与三个维修点在无人机维保系统中分别承担着战略规划、日常运维和培训服务的角色，相互协作以确保整个维保体系的高效运行。

省级维保中心：侧重体系规范与资源调度。制定和监管全省无人机维保政策和标准；管理和调配备用无人机以应对紧急和复杂需求；提供专业飞手培训和最终取证工作。

市级维保中心：侧重区域性维保业务快速响应。快速响应省侧任务，进行无人机的初步检查和小型维修；定期进行管控范围内的无人机的保养工作；收集和报告无人机的使用数据和维修记录。

东、中、西部维保点：侧重技能培训和备用资源管理。设立飞手培训基地与考点，开展飞手技能培训和考核工作；建设设备品备件库，管理和维护备品备件。

##### 3.2.3 融合专业算法，研究 PCA 机巡评价模型

在常规业务评价中，由于涉及众多指标，且这些指标的精确度常受设备和技术迭代的影响，未经筛选和整理的指标会增加评价模型的复杂性，进而影响评价结果的准确性。为了提高机巡管控中心的管控效能，以主成分分析法（PCA）为核心，固化机巡管控中心业务评价模型的构建路径，为两级机巡管控中心提供一个高效、可迭代的评价模型，最终模型输出包含绝大部分信息的线性组合指标，能对机巡管控中心业务处理能力进行更为全面描述。

两级机巡管控中心业务评价模型迭代路径如下：

一是原始指标选取。由省级机巡管控中心确定用于评估地市级机巡管控中心业务效能的关键指标，这些指标应该全面覆盖巡检业务的各个方面，如飞手数量、巡检里程、作业时间、设备维保次数、任务完成时间、缺陷识别误差率、维修成本、应急响应时间等。

二是量纲消除。由于不同指标的量和数量级可能不同，需要对数据进行标准化处理，最终选取 Z-score 标准化对原始指标进行量纲消除。

三是主成分分析。对处理过后的指标进行主成分分析，使用主成分分析法来减少评价指标的数量，同时保留最重要的信息，最后输出载荷矩阵和成分矩阵，如表 1、

表2所示。

四是输出评价模型。基于成分矩阵和载荷矩阵的结果，依据成分矩阵的累计方差贡献率结果，以不低于95%的判定条件确定主成分个数；通过载荷矩阵结果，获取各主成分所含原始指标的载荷（即权重），得到业务相关的评价指标的计算公式，输出评价模型。

五是输出综合评价指数。结合原始指标在各主成分中的载荷情况，为主成分重新命名，形成新线性指标（如巡检效率、可靠性、巡检质量、作业成本），依照载荷计算各主成分的得分，最后按照各主成分的方差贡献率对主成分得分进行加权求和，得到综合评价指数（如业务效能指数），具体计算流程可参照图1。

表1 载荷矩阵结果

指标	主成分			
	1	2	3	4
飞手数量	0.828	0.844	0.494	0.155
巡检里程	0.146	0.741	0.273	-0.031
作业时间	0.727	0.403	-0.845	0.097
设备维保次数	0.162	-0.867	-0.179	0.816
任务完成时间	-0.917	-7.005	-0.161	0.15
缺陷识别误差率	-0.231	-0.349	-0.891	0.37
维修成本	0.325	-0.405	0.067	0.904
应急响应时间	0.904	0.362	0.016	0.081

表2 成分矩阵结果

成分	成分矩阵		
	总计	方差贡献率(%)	累积(%)
1	4.691	67.01	67.01
2	1.392	19.89	86.90
3	0.56	8.00	94.90
4	0.216	3.08	97.98
5	0.064	0.92	98.90
6	0.046	0.66	99.56
7	0.031	0.44	100.00

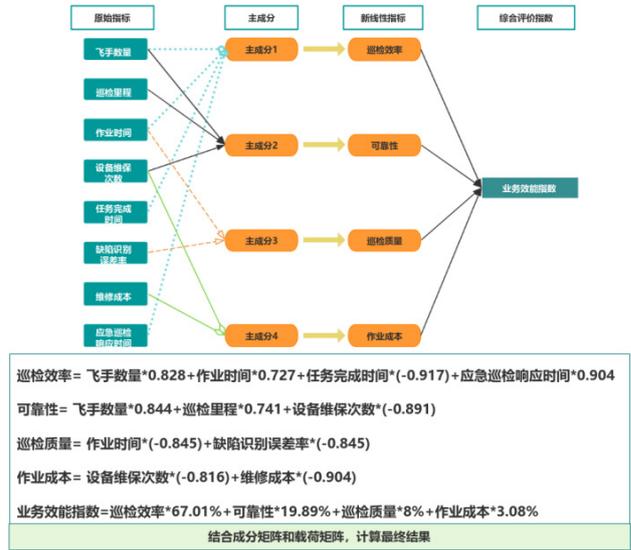


图1 基于主成分分析的评价模型计算结果

## 4 结语

论文从甘肃公司实际管理需求出发，紧跟智慧技术的发展潮流，以优化无人机巡检管理模式、提高无人机工作效率为目标，研究“刚柔并济”视角的人机巡检管理体系，为无人机巡检提供了一种新的管理思路和方法。

通过构建全省统一的无人机巡检管理平台，实现数据资源的共享和流通，为无人机巡检管理体系提供硬件支持；通过规范无人机管理组织、维保组织，创新评价模型，从而提升无人机巡检业务的管控效能，为无人机巡检管理体系提供软件辅助。在实践中，我们发现这种管理体系在提高工作效率、优化资源配置、提升管控效能等方面取得了显著的效果。

无人机巡检管理体系建设是一个持续迭代和优化的过程。在未来的工作中，我们将继续关注无人机技术的发展趋势，积极探索和实践新的管理模式，以适应不断变化的业务需求。同时，我们还将深入研究更为智能化的评价模型，以实现无人机巡检业务的精细化管理和智能化决策。

## 参考文献

- [1] 程鑫,王永涛.基于无人机系统的海事保障体系构架及发展规划研究[J].中国海事,2017(7):49-51.
- [2] 程海涛,刘俊男,武卓琦,等.无人机-人工协同巡视技术体系研究[J].中国安全科学学报,2023,33(1):169-173.
- [3] 孙红江,陈筠钰,林钰婕.整合优势资源驱动市级供电企业智慧物联建设[J].电力系统装备,2023(3):122-124.