无人机在高原电力工程建设中安全质量检查的应用

曹 森
国网冀北电力有限公司检修分公司，北京 102401

[摘要]随着国家西进战略不断纵深推进，海拔较高地区的电力工程建设对于参建人员而言通常存在着低温、缺氧及辐射高等可能危害健康不利因素，且地形复杂、环境恶劣等，同时为工程建设中安全质量检查工作的开展增添了难度。为了加强施工作业现场安全管理,管理人员可采取新技术进行辅助。目前新兴的无人机技术已广泛应用于各个领域,文中将其应用在高原电力工程施工现场安全质量检查过程中,通过无人机的航拍功能和智能化的处理,短时间内完成大面积巡视,并能快速抵达人不方便到达的区域,可有效提高安全质量检查的效率。

[关键词]高原电力工程；无人机；安全质量检查
DOI：10.33142/hst.v2i2.461 中图分类号：TV541;TV523 文献标识码：A

Application of UAV in Safety and Quality Inspection in Plateau Electric Power Engineering Construction

CAO Sen
State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Overhaul Branch, Beijing, 102401 China

Abstract: With the deepening of the national strategy of westward march, the construction of power projects in higher altitude areas usually has unfavorable factors such as low temperature, hypoxia and high radiation, which may endanger the health of the participants, and the terrain is complex and the environment is bad. At the same time, it adds difficulty to the safety and quality inspection work in the construction. In order to enhance the safety management of construction operations on site, managers may adopt new technologies to assist them. At present, the newly emerging UAV technology has been widely used in various fields. In this paper, the UAV is applied to the safety and quality inspection of plateau electric power project construction site. Through the aerial camera function and intelligent processing of the UAV, a large area of inspection is completed within a short period of time. And can reach the area which is not accessible to the person quickly, can improve the efficiency of safety and quality inspection effectively.

Keywords: Plateau electric power project; UAV; Safety and quality inspection

1 无人机技术的优势

1.1 高分辨率图像采集

无人机携带高分辨率图像采集设备，可以全方位多角度的采集施工作业人员图像、施工现场图像，铁塔结构图像等，对各标段施工现场情况进行备案、影像留存，为安全质量检查工作提供可靠有效的影像资料。通过影像资料对施工单位下发现场安全整改通知单，责令整改闭环。

1.2 机动性能好

无人机动作迅速，起飞降落要求的条件较低，可以在野外条件下进行操作使用，起飞速度快，几分钟之内就可以完成起飞准备，进而升空作业。其机动性可以适应复杂地形和飞行气象条件，抗风能力强，可以在五级强风条件下执行任务。在恶劣天气和复杂地形地貌情况下也可迅速飞往指定地区，执行既定任务。

1.3 操纵方便

无人机的操作界面，复合人体工程学要求，操作较为简单，经过一段时间的专业培训，即使初次接触无人机的人员也可以较好的进行任务操作。智能化程度越来越高，现有无人机可以记忆规划路线，进行智能存储，可以根据规划路线，实现自主飞行及自动返航，并可以实现智能避障功能，自动绕开障碍物，规避碰撞风险。

1.4 体积小，造价低

无人机体形较小，根据搭载的设备不同，普通民用无人机其长度从零点几米到几米不等，机身采用复合材料，重量轻，可以携带的装设备重量可以相应增加，加上技术已经成熟，制造成本大大降低。可以较大批量配置无人机，进行不间断飞行监控，实现全时无死角安全管控。可以替代重复的人员巡逻工作。

Copyright © 2019 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 无人机的选择

2.1 高海拔无人机需具有的特点

2.1.1 无人机能够适应高海拔作业任务，不会因海拔及温度等环境因素改变而对动力性能产生极大影响，且携带、运输方便、灵活。

2.1.2 无人机可垂直起飞和降落，无需任何辅助装置，不需要专门的机场和跑道，对环境要求极低，可在野外随处起飞和降落，在特殊地形甚至能手持起飞与降落。

2.1.3 无人机飞行精度高，可长时间悬停、前飞、后飞、侧飞、盘旋等。航拍能够提供清晰度为 720P 图传与 4K 的拍摄，可以利用空中优势，全方位、高精度对施工现场情况进行稳定的拍照录像，从细微处查找安全隐患点。

2.2 无人机的选择

由于电力工程地处高海拔地区空气稀薄会导致动力损耗，另外，空气稀薄还会影响升力，无人机机在高海拔地区要通过更高转速才能获得和低海拔一样升力。此外，工程沿线施工作业点多处在高山峻岭中，车辆无法到达作业点，很多情况都需要徒步攀爬山峰才能到达。因此，优先选择便于携带的微型多旋翼电动无人机（即指空机质量小于等于 7kg）。

2.3 Mavic Pro 无人机简介

大疆 Mavic Pro 无人机（如图 1）采用新颖的折叠式设计，空机质量仅有 734g，在保证飞行和使用质量的前提下，显著提升了便携性。此外，无人机配备前视和下视视觉系统，能实现指点飞行、自动避障等功能，并可自动返航以及在室内外稳定悬停、飞行。28mm（35mm 格式等效）低畸变广角相机和三轴高精度防抖云台，可稳定拍摄 4K 超高清视频与 1200 万像素无损 RAW 格式的照片。最大飞行速度 65km/h，最长飞行时间 27 分钟。

图 1 无人机新颖的折叠式设计

2.4 关于 Mavic Pro 无人机系统

Mavic Pro 无人机主要由飞控、通讯系统、视觉系统、动力系统、以及智能飞行电池组成。

2.4.1 通讯系统

Mavic Pro 无人机通讯系统包含：控制系统、软件系统。控制系统包含机载和由遥控器与手机组成的地面端，维持飞机的稳定飞行由无人机机身内置的机载端负责并通过 OcuSync 高清图传技术实时传输高清图像信号到地面端，稳定传输最高 1080p 图像以及上下行数据，信号传输距离最远可达 7 公里。地面端根据无人机的状态以及得到的图像信号作出下一步的任务信号，并发送给机载端。软件系统基于手机平台开发的 DJI GO 4 APP 实现了无人机的导航、空间数据处理和三维可视化的功能，同时可以通过软件来操作 Mavic Pro 的云台和相机，控制拍照、录影以及设置飞行参数。

2.4.2 视觉系统

Mavic Pro 视觉系统包括前视和下视视觉系统。前视视觉系统位于机头两侧，由摄像头组成，通过视觉图像测距来感知障碍物。下视视觉系统位于无人机底部，由摄像头和超声波传感器模块组成。下视视觉系统为图像与超声波双结

Copyright © 2019 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

合的视觉系统，利用摄像头获取无人机位置信息，同时通过超声波判断当前高度，从而使无人机精确定位，同时也能提供飞行器对地高度参考。

2.4.3 动力系统

无人机的动力系统主要包含电机、电调(控制电机转速)、螺旋桨。Mavic Pro 无人机的电机采用四个高转速无刷永磁直流电机，与之匹配的高效率电调控制电机转速，四只复合材料螺旋桨，通过旋转产生向下的强劲推力，可提供最大飞行速度 65km/h，最长飞行时间 27 分钟。

2.4.4 智能飞行电池

智能飞行电池是专门为 Mavic Pro 设计的一款容量为 3830mAh、电压为 11.4V、带有充放电管理功能的电池。该款电池采用全新的高能电芯 LiPo 3S（LiPo，全称 Lithium-Polymer Battery，锂聚合物电池），并使用先进的电池管理系统为无人机提供充沛的电力。

2.5 Mavic Pro 无人机相关规格参数，如图 2

规格参数	
飞行器	
起飞重量（不含云台罩）	734 g
起飞重量（含云台罩）	743 g
尺寸	83×83×198 mm（折叠状态）
对角线距离（不含桨）	335 mm
最大上升速度	5 m/s（运动模式）
最大下降速度	3 m/s
最大水平飞行速度	65 km/h（运动模式，海平面附近无风环境）
最大起飞海拔高度	5000 m
最长飞行时间	Mavic Pro 铂金版：30 分钟；Mavic Pro：27 分钟 （无风环境 25 km/h 匀速飞行）
最长悬停时间	Mavic Pro 铂金版：27 分钟；Mavic Pro：24 分钟 （无风环境）
综合续航	21 分钟（普通机动飞行，剩 15% 电量）
最远续航里程	Mavic Pro 铂金版：15 km；Mavic Pro：13 km （无风环境）
工作环境温度	0℃至 40℃
镜 头	FOV 78.8° 26 mm（35 mm 格式等效）f/2.2 对焦点：0.5 m 至无穷远；畸变 <1.5%
ISO 范围	100 - 3200（视频）；100 - 1600（照片）
电子快门速度	8 - 1/8000 秒
照片最大分辨率	4000×3000
照片拍摄模式	单张拍摄 多张连拍（BURST）：3/5/7 张 自动包围曝光（AEB）：3/5 张 @0.7EV 步长 定时拍摄 HDR
录像分辨率	C4K: 4096×2160 24p, 4K: 3840×2160 24/25/30p 2.7K: 2720×1530 24/25/30p FHD: 1920×1080 24/25/30/48/50/60/96p HD:1280×720 24/25/30/48/50/60/120p
视频存储最大码流	60 Mbps
支持文件系统	FAT32（≤ 32 GB），exFAT (> 32GB)
图片格式	JPEG，DNG
视频格式	MP4, MOV（MPEG-4 AVC/H.264）

遥控器	
工作频率	2.400–2.4835 GHz
信号有效距离	FCC: 7000 m；CE: 4000 m（无干扰、无遮挡）；SRRC: 4000 m
工作环境温度	0℃至 40℃
电 池	2970 mAh
发射功率（EIRP）	FCC: ≤26 dBm；CE: ≤20 dBm; SRRC: ≤20 dBm
工作电流 / 电压	950 mA @3.7 V
支持移动设备	厚度 6.5-8.5 mm，最大长度 160 mm 接口类型：Lightning, Micro USB (Type-B), USB Type-C™
充电器	
电 压	13.05 V
额定功率	50 W
智能飞行电池	
容 量	3830 mAh
电 压	11.4 V
电池类型	LiPo 3S
能 量	43.6 Wh
电池整体重量	约 240 g
充电环境温度	5℃至 40℃
最大充电功率	100 W

图 2 无人机相关规格参数

3 无人机在高原电力工程建设中安全质量检查的应用

3.1 常规手段开展安全质量检查

高原电力工程输电线路所经的地形起伏比较大，存在一些比较大的档距，如一座山丘就只有一基杆塔，用传统人工途步对其进行安全质量检查，爬不了几座山头人工体能就因高原缺氧明显的下降，难以支撑。遇到偏远山区，且车辆无法直接到达的作业施工地点，直线距离只有 2 公里，用人工沿着崎岖小道攀爬上山步行需 5 小时方可抵达施工地点，下山还需要 3 个小时才能返回到车辆，除完成正常安全检查任务外，更多时间是浪费在抵达施工地点及返回到车辆的路上。所以采用人工检查是既费时又耗力，工作效率极其低下。

3.2 应用无人机开展安全质量检查

采用 Mavic Pro 无人机进行检查，1 小时内就可完成检查工作。无人机可升空或旋停空中，对不同作业现场安全文明施工过程及已完成的输电线路导地线、绝缘子、金具、杆塔、基础、附属设施等进行近距离、多方位拍照或录制高清视频等，为安全质量检查提供真实有效的佐证影响资料，同时无人机还可以围绕目标进行 360 度零死角全方位拍摄，快速、准确地传达给地面检查人员，实时将发现的问题及时通过电话传达给现场监理人员或施工负责人。尤其在“四

Copyright © 2019 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

不两直”（即不发通知、不打招呼、不听汇报、不用陪同和接待,直插基层、直奔现场）专项检查中 ，无人机的作用更是极为显著。例 1：应用无人机对某标段施工作业现场安全检查，发现铁塔上作业人员未按规定要求佩戴五点式电工安全带。（如图 3）例 2：应用无人机在某标段正在放线段施工作业点进行安全质量检查，通过后期用 Adobe Lightroom Classic CC 将无损的 RAW 格式照片转换成 JEPG 格式文件，并将照片放大处理，发现施工人员未将铁塔做成品保护直接将钢丝绳套在铁塔横担上挂滑车，且有个别螺栓未紧固。如：（图 4）

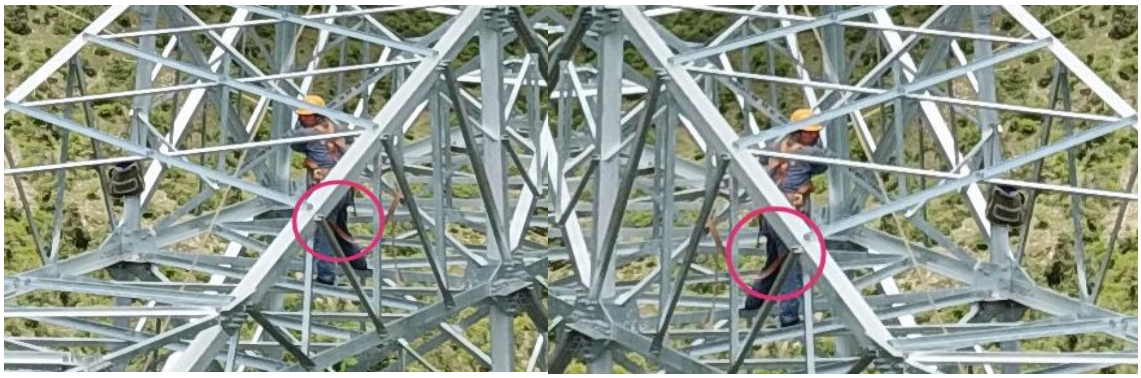

图 3 铁塔上作业人员佩戴五点式电工安全带

图 4 施工作业点安全质量检查

4 高原山区对无人机应用的影响

4.1 高原地貌

工程线路标段大多是建在高原山区，车辆基本上到达不了目的地，再加上有山丘遮蔽，那么对控制信号的影响是非常大的，基本不能进行远程对无人机的控制，因此需要检查人员攀爬至距施工作业点一定距离（受限于 Mavic Pro 无人机技术参数，水平距离 4km 内[1]，垂直高度 0.5km 内）地点使用无人机才能对现场安全进行检查。

4.2 微气象区

高原地区天气变化情况很复杂，其变化范围也非常大，因此使用 Mavic Pro 无人机进行现场安全质量检查过程中，通常一条线路要经过很多复杂的天气，比如在检查这段线路中是多雾区域，而下一段则是地形升高区，或者是峡谷风道区域，在这些比较特殊的地段中，其会遇到大风、低温和大雨，环境非常复杂，如果没有针对性的对这些问题进行分析和研究，那么无人机在进行检查过程中，就有可能发生故障和坠机的情况，也就是让无人机进行多段施工作业点检查是不能完成的。

4.3 环境温度

高原地区的温度比平原气温基本要低一些，经过长时间的检测发现，冬天温度每下降 10℃，Mavic Pro 无人机使用的锂聚合物电池内阻成倍上升，造成与过放类似的伤害，会受到很大的限制，因此其放电能力就会下降，长时间在低温状态下工作，其放电和充电都会受到影响。 所以在冬天进行安全质量检查前，需将无人机的电池（包括遥控器电池）进行保温，使其温度维持在 23℃左右。

Copyright © 2019 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

4.4 电池容量

Mavic Pro 无人机的电池容量 3830mAh，在平原地区可提供 27 分钟飞行时间，而在高原地区，随着海拔升高，动力提供不足，消耗的电能增加，导致最长可提供 20 分钟飞行时间，造成无人机滞空时间较短，使无人机应用在工程建设安全检查的效率大打折扣，有时难以一次顺利完成高原地区的检查，经常要飞几个起落才能完成检查工作。

5 注意的事项

5.1 相关培训要求

在无人机使用操作培训工作中，人员熟练掌握操作技术显得非常重要，同时熟悉无人机的性能，了解飞行环境对无人机的影响，掌握航拍技术对后期照片及视频处理也十分关键。

5.2 飞行前准备及方案制定

在使用无人机进行安全质量检查之前，要对安全质量检查施工作业点的实际环境进行勘察，制定无人机安全检查的具体方案,其中包括各区域检查频率、检查顺序、飞行航线等内容。航线必须避开军事禁区、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、大风多发区等。

5.3 周围环境各种干扰

注意现场是否有电磁信号，或者是否存在电磁环境影响对无人机的控制等。同时还要观察上空是否有障碍物，对飞行的线路是否产生威胁，避免发生坠机危险的可能。

6 结语

随着我国社会经济的快速发展，用电供需在不断的增加，与之相应的电力工程建设强度也在不断加强。而我国的国土幅员辽阔，地形也相对复杂，高原丘陵较多、平原较少，加上气象条件的复杂多变，给跨区电网和超高压输电线路工程的建设带来一定难度。在工程建设安全质量管理上，仅仅依靠现有的检查手段并不能满足高效快速发展的要求，也不能达到很好的效果。无人机技术的运用，能够很好的完成高原电力工程建设中安全质量检查任务，促进电力工程建设的快速发展，同时保障电力人员的安全，将会是电力行业未来发展中不可或缺的辅助手段。

注：1.Mavic Pro 无人机提供信号传输距离最远可达 7km，根据实际高原飞行，最远 4km 内可保障稳定信号传输，且能够保障电池电量前提下,完成检查任务后可靠返航。

[参考文献]

[1]付昱玮,李宇明,姜洪.无人机巡线的发展和应用研究[J].黑龙江科技信息,2014,21(13):66-68.
[2]王建平.浅谈无人机在输电线路巡视方面的应用[J].中国电力教育,2013,22(15):78-79.
[3]杨晓红.无人机遥感系统在国土资源执法监察中的应用研究[J].安徽地质,2013,11(14):101-103.

作者简介：曹森（1982.11-）河北唐山人，本科，工程师，研究方向：电气工程及其自动化。

Copyright © 2019 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.