

# 系留无人机应急通信系统研究

郎为民<sup>1</sup>, 裴云祥<sup>1</sup>, 王振义<sup>1</sup>, 邹 力<sup>1</sup>, 姚晋芳<sup>2</sup>

(1. 国防科技大学信息通信学院, 湖北省武汉市 430010;

2. 石家庄飞行学院第二训练旅, 江苏省徐州市 221005)

**摘 要** 作为应急通信神器,系留无人机具有轻便灵活、部署机动、环境要求低等特点,能实现数十公里范围内廉价可靠的宽带通信,在通信基础设施受到破坏、自然灾害突发、工作环境恶劣等条件下,其应急通信能力优势明显。文章分析系留无人机应急通信系统的构成和类型,描述系留无人机应急通信系统的典型性能指标,归纳系留无人机应急通信系统的主要功能和优势,说明系留无人机应急通信系统的部署过程,列举系留无人机应急通信系统的应用场景。

**关键词** 系留无人机; 应急通信系统; 系统构成; 性能指标; 应用场景

## 0 引言

我国幅员辽阔,是一个地震、洪水、泥石流等自然灾害频发的国家。自然灾害发生时,易导致大面积通信中断,既会影响到灾区人民的正常通信联系,又会迟滞救援行动的有效开展,如何快速实施灾区的应急通信保障一直是学术界和工业界研究的重要课题。

传统解决方案是通过构建应急通信站来恢复灾区的通信覆盖,但由于应急通信站的覆盖范围较小,设备体积较大,搭建成本高,耗费时间长,且易受到地形、植被、地球曲率的影响,在陌生地域或者信号覆盖盲区内不具备大范围、快速部署的能力,因而其应用场景受到一定的限制。

随着无人机技术、信息通信技术和装备制造技术的迅猛发展和日益成熟,灾区应急通信有了新的

解决思路和技术手段<sup>[1]</sup>。在我国,将无人机应用于应急通信领域的研究和探索起步较早,但考虑到飞行性能、续航时间和任务载荷等因素影响,通常选用无人直升机和固定翼无人机作为应急通信平台,因而成本较高,部署周期较长<sup>[2-3]</sup>。

近年来,多旋翼无人机因其灵活机动、部署快捷等特点,在应急通信保障领域受到越来越多的重视,并发挥了不可替代的作用。尤其是系留无人机的应急高空通信和宽带中继通信创新解决方案,凭借超长傲人的续航时间、快速部署的机动能力、简单实用的操作过程,已经成为应急通信保障的生力军<sup>[4-5]</sup>。系留无人机是指将无人机和系留线缆结合起来实现的无人机系统,它通过系留线缆来供应电能,可以使无人机不受电能限制而长时间滞留在空中。例如,在近期遭受暴雨袭击的河南郑州、新乡等地,电信运营商携带系留无人机基站赶赴灾区支援通信恢复工作。系留无人机基站可滞空 300 m,持续工作超过 48 h,在较短时间内实现了大面积移动通信网络信号覆盖。

## 1 系统构成和类型

系留无人机应急通信系统是系留无人机与应急通信需求深度结合的应用,如图 1 所示。在系留无人

基金项目:装备综合研究计划 2021 年度研究类项目“系留升空中继通信系统组织运用研究”,国防科技大学装备综合保障技术重点实验室基金项目“通信装备智能诊断与故障预测研究”,国家自然科学基金资助项目“节能无线认知传感器网络协同频谱感知安全研究”。

机上搭载通信设备(通信基站或通信电台)后快速升空,依托系留无人机高空平台,与远端地面的移动终端、背负电台、室外型 CPE(客户终端设备)、摄像头等地面终端建立通信链路,并将从这些终端获取的高清现场图像和语音等信息传输到指挥中心,实现大范围远距离的宽带应急通信<sup>[6]</sup>。

系留无人机应急通信系统包含无人机平台和地面系统两大部分。无人机平台包括多旋翼无人机、系留飞行控制系统、机载电源模块和任务载荷。地面系统包括起降平台、发电机、地面站、地面 CPE 设备和核心网设备<sup>[7]</sup>。

无人机平台的主体部分为可折叠多旋翼无人机。机身采用轻质航空铝和碳纤维打造,中心盘采用一体成型机身工艺,既可保证结构强度,又能减轻无人机自身重量。机臂采用折叠式设计,便于无人机的存放和运输。无人机的自身重量一般不超过满载起飞重量的 50%,具有很强的任务载荷挂载能力<sup>[8]</sup>。

系留线缆用于连接无人机平台和地面系统,是系留无人机系统最重要的组成部分。它既可把电力从地面供应至空中,又可为升空平台设备提供大带宽的信号回传通道。系留线缆具有抗拉强度大、单位重量轻、传输带宽大等特点,既可保证无人机起

飞状态下线缆在空中的动态指标,又可提高起飞降落过程中线缆多次收放的可靠性。

起降平台作为系留无人机应急通信系统的地面电源设备,内置系留线缆、自动收/放线控制装置和地面电源模块,同时兼具起降平台的作用,可为无人机的自动起飞和降落提供一个稳定的平台。地面电源模块作为电源转换装置,能够将输入系统的交流电转换为高压直流电,通过系留线缆输送至无人机端(工业用电或发电机);自动收/放线控制装置能够自适应地调整系留线缆的拉力,根据无人机起飞、降落等不同状态自动收放线,并配备自动排线装置,以实现线缆的均匀缠绕,在提升线缆散热性能的同时防止线缆卡顿等。

系留无人机应急通信系统配备有专业的地面站,它是一种三防高性能坚固型笔记本电脑,采用全镁合金机壳,抗冲击,抗震动,能够在恶劣的户外天气条件下稳定工作,且自带提手、方便携带。地面站软件具有图形化 UI(用户界面),关键数据一目了然,可实时显示和记录系留无人机飞行状态数据和系统状态数据,具有故障预警和故障数据分析功能。通过地面站软件,还可以实现无人机一键起飞和降落、改变悬停高度、前后左右移动等飞行动作。

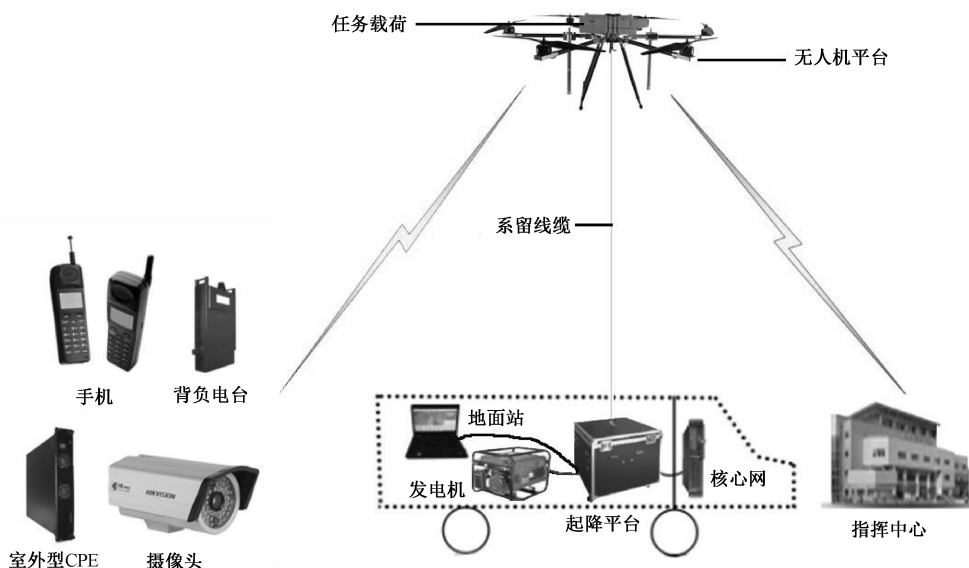


图 1 系留无人机应急通信系统构成

系留无人机应急通信系统可装载于地面固定站、地面车辆、舰船等载体之上,可以按需开通和部署,如图 2 所示。

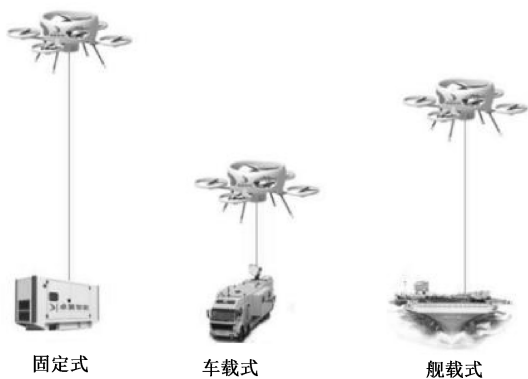


图 2 系留无人机应急通信系统的类型

## 2 典型性能指标

一种典型系留无人机应急通信系统的性能指标见表 1。这是一款净载荷为 20 kg、最大悬停高度为 300 m 的系留无人机系统,可搭载通信中继设备等装备,形成应急通信解决方案,从而大大提升通信覆盖范围。

相对于 100 m 高度的系留无人机应急通信系统,300 m 高度的新型系留无人机应急通信系统搭载通信设备可将覆盖范围从 50 km<sup>2</sup> 提升到 80 km<sup>2</sup>。我国城市楼宇的高度基本在 100 m 以下,而平原或丘陵地带的相对高度均小于 200 m。因此,300 m 高度的新型系留无人机应急通信系统可以将楼宇或地形的遮挡对通信的影响降到最低。

## 3 主要功能和优势

系留无人机应急通信系统能够承载重量在 20 kg 以内的多种通信设备。通过系留线缆,无人机可以从地面源源不断地获取电力供应,能够实现 24 h 以上的定点悬停。搭载通信设备的系留无人机能够在指定高度(变化范围为 5~300 m)长时间定点驻空,以保障广阔区域内的通信覆盖。搭载通信设备的系留无人机可在 15 min 内快速升空至 300 m,24 h 不间断地为灾区提供语音、数据业务等通信保障,通信距离可达 4 km,覆盖面积可达 80 km<sup>2</sup>,支持最大用户数可达 5400 个。这套系统适用于洪水、地

表 1 典型系留无人机应急通信系统的性能指标

系留线缆长度	312 m
起飞重量(不含系留线缆)	40 kg
对称电机轴距	1630 mm
最大上升速度	4 m/s
最大下降速度	3 m/s
系留悬停高度	5~300 m
额定净载荷重量	20 kg
载荷设备供电电压	48 V(直流)
载荷设备供电功率	500 W
抗风能力	6 级
工作温度范围	-10℃~45℃
额定功率	14 kW
额定电压	380 V(交流)
测控通信方式	840 MHz 无线跳频
空地宽带通信方式	单根单模光纤
供电方式	系留线缆供电
支持的电源类型	工业用电、发电机
机型	可折叠六旋翼无人机
可选荷载	RRU(射频拉远单元)和电台设备
指示灯	日光下可见
接口	电源接口、光纤接口
收放线方式	自动收放线、智能自动排线
安全功能	地面供电中断自动降落、控制信号中断自动降落、浪涌保护

震等自然灾害发生时的应急通信保障,在应急通信车无法到达或基础设施无法及时架设维修的场景下,可以作为临时的通信替代手段,实现通信信号的覆盖,拓展通信的覆盖范围。

系留无人机应急通信系统的主要优势包括:

- a)适合机动部署,便于运输,普通的小型越野车均可装载下整套系统。
- b)操作简单便捷,拥有电源、网络、通信等标准化接口,设备完全实现了模块化组装,普通人员经过简单培训即可完成操作。
- c)架设快速,部署灵活,能够在设备到达现场的



20 min 内展开,15 min 内升空至指定高度,进入工作状态,能够满足多种紧急场景的应用需求。

d)系统扩展性极强,无人机上部、下部均为任务载荷预留了安装空间,中心盘预留有任务载荷的供电接口和光纤接口,且可根据不同载荷的结构和电气特点,进行整合设计,形成快速切换方案,满足不同载荷设备的集成和适配需求。

e)在设计过程中,系统充分考虑了高低温、振动、防水、防尘、系留线缆抗拉力等因素影响,覆盖范围灵活可调,用户能够根据保障需求和应用场景自由改变升空高度,环境适应性强,能够满足各类应急救援通信保障需求。

f)续航时间和滞空工作时间超长,通过系留线缆可以确保电源供应和数据传输不间断;系统采用工业用电或发电机供电,在地面供电不中断的情况下,无人机平台能够长时间在空中飞行,具备超长的续航能力,能够 24 h 不间断空中作业,满足了长时间工作的场景需求。

g)系统的最大升限为 300 m,在 5~300 m 之间可任意调节高度。在不同高度工作时,起降平台的散热、收放线等性能均能支持系统长时间高可靠运行,保证产品能够灵活适应不同的工作高度场景。

h)载重量大,20 kg 的净载重能力(不含系留线缆及备用电池)可确保系统能够适配基站设备、通信中继等多种任务载荷,形成不同行业的应急通信解决方案。

#### 4 系统部署过程

当紧急情况发生时,需要将整套系留无人机应急通信系统快速运送到现场,部署设备并开展工作,包括搬运设备、部署设备、连接线缆、设备调试、检查系统状态、开启便携式操作终端、多旋翼无人机起飞、多旋翼无人机悬停、升空通信载荷应急通信、多旋翼无人机降落、设备撤收等内容<sup>[9]</sup>。

搬运设备:首先将运输车辆上无人机、发电机、起降平台板和起降平台箱等设备搬运到车下。

部署设备:将多旋翼无人机从无人机收放箱取出。打开无人机收放箱,检查飞机部件是否完整、配件是否齐全。将多旋翼无人机折叠机臂展开,用锁紧机构将机臂可靠固定。将天线折叠支架展开,用锁紧

机构将机臂可靠固定,将天线从无人机收放箱取出,将天线公头与支架射频座拧紧,天线固定在天线支架上,完成无人机展开。将系留线及航插接头从起降平台箱中取出,并将起降平台盖板安装在起降平台箱上。

连接线缆:将系留线缆从供电/收放线单元拉出,连接系留线缆,通过线缆将遥控器与供电/收放线单元连接。

设备调试:连接好电路和光路之后,需要对设备进行地面调试,并对基站设备进行开站,确保光路畅通,设备能够正常运行。

检查系统状态:调试好设备之后,需要再次检查无人机的桨叶安装是否正确,连接处是否安装牢固。同时需要接通地面站检查系统运行状态。当系统运行状态正常时,即完成系统的所有地面准备工作,可以起飞。

开启便携式操作终端:开启升空载荷地面单元,配置载荷相关参数。便携式操作终端上电,与机载飞行控制系统建立通信连接,通过地面站软件设定飞行高度值并发出起飞指令,起飞指令传输至飞行控制系统,飞行控制系统收到指令后解除锁定并控制多旋翼无人机起飞。同时,供电/收放线单元接收地面站软件指令,将线缆放出,放线过程中通过位移传感器精确测量线缆长度,并根据飞机的上升速度和高度来自动控制收放线的速度。

多旋翼无人机起飞:多旋翼无人机上升至指定高度后进入悬停状态,通过姿态检测传感器、差分北斗定位系统反馈信息,实时调整飞机姿态和位置,确保多旋翼无人机在空中的悬停精度。操作人员可以通过地面站软件监控多旋翼无人机工作状态,同时可操控搭载的任务载荷执行相应工作任务。

多旋翼无人机悬停工作:在多旋翼无人机搭载载荷悬停在空中工作时,便携式操作终端通过扭矩传感器精确测量线缆受到的拉力,根据拉力调节力矩,保证系留电缆一定的张力;另一方面,为了确保飞行的稳定,通过力矩锁定装置设置拉力阈值,当线缆拉力大于阈值时,自动释放电缆,以保护飞机的稳定。多旋翼无人机悬停工作时,地面操作人员可输入改变高度或改变航向指令,控制多旋翼无人机改

变工作的高度和飞机的机头朝向。

**升空通信载荷应急通信：**通过网管软件将参数下发至升空通信载荷地面单元，地面单元通过光纤将控制信息传送至空中单元，从而完成通信网络建立。可实现子网内和子网间数据(IP 和非 IP 数据)业务中继转发；能够采用统一的路由策略进行路由选择，实现 IP(互联网协议)、非 IP 数据和语音的转发功能。

**多旋翼无人机降落：**任务结束后，操作人员通过地面站软件发出降落指令，飞行控制系统收到指令后控制多旋翼无人机下降，便携式操作终端收到指令后开始将线缆收回，收线速度与多旋翼无人机下降速度保持实时一致，并且在收线时自动排线，保证线缆均匀缠绕在转轴上。

**设备撤收：**多旋翼无人机降落至地面后，多旋翼无人机电机停转并锁定。依次关闭高压开关和电源，拆除天线，折叠天线支架和无人机机臂，将无人机和天线装入无人机收纳箱，将包装箱装车固定，完成撤收。

## 5 应用场景

系留无人机应急通信解决方案主要包括系留无

人机高空基站解决方案和系留无人机宽带中继方案。

系留无人机高空基站解决方案的主要应用场景包括：地震、洪水、泥石流等重大自然灾害发生，出现大面积通信中断时，系留无人机应急通信系统可搭载通信基站设备执行应急通信保障任务；在举办大型活动时，系留无人机应急通信系统可搭载通信基站设备执行通信补充覆盖任务。系留无人机高空基站解决方案如图 3 所示。

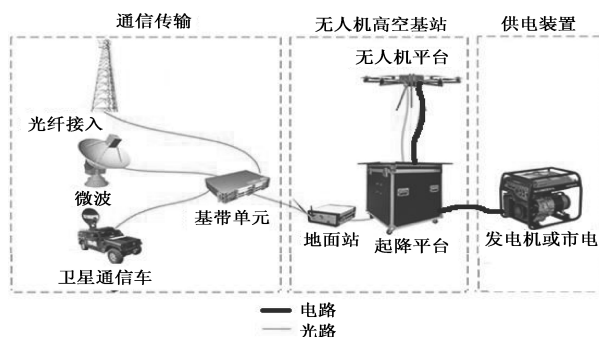


图 3 系留无人机高空基站解决方案

系留无人机宽带中继方案如图 4 所示。其主要应用场景包括：系留无人机应急通信系统可搭载升

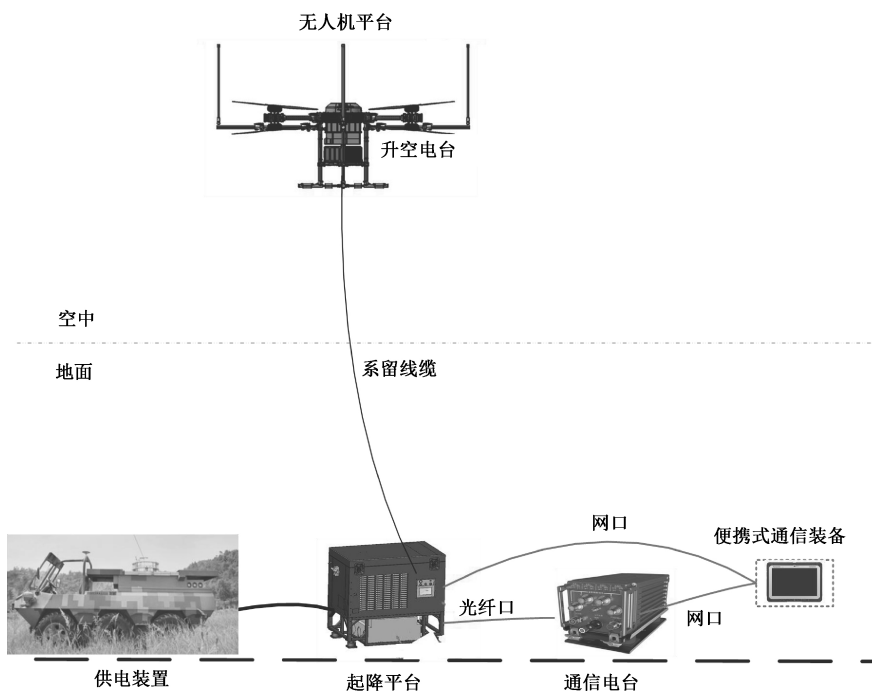


图 4 系留无人机宽带中继方案

空电台,在陌生或者无信号地域迅速搭建大范围通信信号覆盖区,实现本区域内通信设备互联,并确保与原有通信系统的互联,特别是在作战、反恐、抓捕、保卫等场景中起到不可代替的作用;系留无人机应急通信系统还可搭载其他通信中继设备实现通信中继功能。

## 6 结束语

系留无人机应急通信系统搭载基站设备或通信电台,能够形成临时的基站塔或中继链路,在目标区域紧急升空,在通信中断的情况下快速恢复远距离的通信覆盖,可广泛用于冰冻雨雪和地震洪水等应急场景及大型活动的通信保障中。在工作状态下,供电装置为无人机、基站设备或通信电台供电,并通过系留线缆与地面站和客户端设备进行通信,或通过光纤、微波或卫星通信车接入核心网,从而保障 24 h 以上不间断的信号覆盖。

### 参考文献

- 1 穆罕默德·萨德拉伊. 无人机基本原理与系统设计[M]. 郎为民,周彦,等,译. 北京:人民邮电出版社,2018.
- 2 徐秀杰,贾荣光,杨玉永,等. 系留式无人机中继通信系统

在地震应急现场的应用试验研究[J]. 震灾防御技术, 2018,13(3):718-726.

- 3 黄宇,吴彦锋,周镇宇. 基于系留无人机平台的应急通信中继技术研究[J]. 数据通信,2020(2):20-23.
- 4 魏志强,陈明,宋金华,等. 系留无人机系统电磁兼容性分析及整改[J]. 电子测试,2021(6):8-10,130.
- 5 邢龙涛,刘习军,张素侠. 系留无人机系统振动特性分析[J]. 应用力学学报,2021,38(1):106-112.
- 6 罗祎喆,丁文锐,雷耀麟,等. 系留无人机平台搭载的蜂窝通信基站吞吐量优化[J]. 北京航空航天大学学报, 2021,47(6):1161-1172.
- 7 黄智刚,郑帅勇. 无人机通信与导航[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2020.
- 8 龙文彪. 系留多旋翼无人机及其应用[J]. 科技创新导报, 2020,17(2):57,59.
- 9 KISHK, M A, BADER A, ALOUINI MS. Aerial Base Station Deployment in 6G Cellular Networks using Tethered Drones: the Mobility and Endurance Trade-off [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2020, 15(4):103-111.

郎为民(1976—),男,教授,硕士生导师,博士,主要研究方向为智能与无人系统、物联网、云计算和大数据。

收稿日期:2021-07-27

## 下期要目预告

5G 波束优化方法研究

无人机地面控制站研究

5G 基站节能技术及应用研究

5G ToB 专网策略的探讨

移频 MIMO 在 5G 室分中的应用

工业互联网 5G 专网部署模式及方案探索