

罗俊颀,贺文彬,李宏宇,2019. 人工影响天气专用装备物联网关键技术研究与应用[J]. 气象,45(6):877-885. Luo J J, He W B, Li H Y, 2019. Research and application of key technologies of special equipment IoT for weather modification[J]. Meteor Mon, 45(6):877-885(in Chinese).

人工影响天气专用装备物联网关键技术研究与应用^{*}

罗俊颀^{1,2} 贺文彬³ 李宏宇⁴

1 陕西省人工影响天气办公室, 西安 710014

2 汉中市气象局, 汉中 723000

3 陕西省气象局, 西安 710014

4 中国气象科学研究院人工影响天气中心, 北京 100081

提 要: 本文介绍了人工影响天气(以下简称人影)物联网技术体系架构组成和人影作业装备弹药安全管理主要业务环节, 讨论了条形码、二维码、RFID等标签技术在人影物联网应用适用领域, 分析指出做好人影设备标记与识别、采集传输和信息融合处理等关键技术, 可以满足人影作业信息化需求, 减少基层业务人员工作量, 有效提高人影业务安全监管能力。

关键词: 人工影响天气, 安全管理, 物联网, 应用

中图分类号: P401, P409

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.06.014

Research and Application of Key Technologies of Special Equipment IoT for Weather Modification

LUO Junjie^{1,2} HE Wenbin³ LI Hongyu⁴

1 Weather Modification Office of Shaanxi Province, Xi'an 710014

2 Hanzhong Meteorological Office of Shaanxi Province, Hanzhong 723000

3 Shaanxi Meteorological Service, Xi'an 710014

4 Weather Modification Center, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract: This paper introduces the architecture of the internet of things technology applied to weather modification field and the major operations of ammunition and equipment safety management. And the application of bar code, two-dimensional code and RFID tag technology in the internet of things of weather modification are also discussed. The analysis points out the key technologies such as marking and recognition, acquisition and transmission, and information fusion process of weather modification equipment. These key technologies can meet the informatization demand of weather modification operation, reduce the workload of grass-root operational staff, can improve the ability of safety supervision of weather modification operation efficiently.

Key words: weather modification, safety management, internet of things (IoT), application

^{*} 中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CAMGJ2012Z19和CMAGJ2014M53)共同资助

2018年4月3日收稿; 2018年12月30日收修定稿

第一作者: 罗俊颀, 从事人工影响天气科学研究和业务管理工作. Email: rybluo@gmail.com

引言

随着社会发展、农业生产需求和生态环境建设需要,人影天气(以下简称人影)工作已经成为当前防灾减灾和保障粮食、生态、水资源安全的重要手段,人影飞机和地面高炮、火箭等作业规模和活动也日益频繁。许焕斌和尹金方(2017)认为目前对人影的基础科学问题的认识还存在局限性和盲目性。郭学良等(2013)回顾和总结了近年来国内外云降水物理与人影研究进展,认为提高云降水形成过程、时空结构与演变机理的深入认识,对提高云水资源开发利用及气象防灾减灾的能力具有十分重要作用。飞机和地面作业信息的采集与作业监控是人影综合业务平台的重要组成,也是人影作业云系研究识别、方案设计验证和效果评估的重要环节,更是人影安全管理建设的重要内容。段婧等(2017)介绍了国际人影作业装备研发改进的进展及现状,汪玲和刘黎平(2015)提出针对人影作业效果评估应连续跟踪高炮和飞机播云作业,邹书平(2011)利用编程和表格处理技术研发了地面人工增雨防雹作业信息采集系统,吴万友等(2012)设计与实现了移动式人工增雨作业技术支撑系统,吴林林等(2013)设计与开发基于 MICAPS 3 核心的人影业务平台。“十二五”期间,为了解决全国人影作业信息管理与数据共享,国家人影中心牵头制定人影业务现代化建设三年行动计划(以下简称三年行动计划)指出,现有人影信息系统其时效性和功能上无法满足全国飞机和地面作业信息实时采集及实时监控的需求,收集上报的作业数据准确性无法保证,指挥或管理部门难以实时掌握实际作业情况和精准的用弹信息,也直接制约了包括安全管理在内的其他业务环节的顺利开展。

物联网是指通过各种信息感知设备和系统实现智能感知识别、跟踪定位、监控管理的一种智能化网络,胡永利等(2012)研究分析物联网信息感知与交互技术,周津(2014)讨论分析物联网环境下信息融合基础理论与关键技术。张吉(2013)探讨了基于物联网的自动气象信息采集技术。陈荣雄(2015)在铁路货运、港口、物流等业务领域融合应用网络、通信、感知和智能仓储技术,可以有效节省货物物流时间和费用。刘捷和陈雷(2012)应用 RFID 技术实现卷烟产品物流跟踪和全程监管。李道亮和杨昊(2018)

在大田种植、设施园艺以及农产品物流等典型农业产业,集成应用信息感知、数据传输、智能处理技术推动信息化与现代农业技术融合。李建邦等(2014)将 RFID 技术应用到安徽省人影业务管理服务平台提高安全和信息化管理水平。戴艳萍等(2018)参照《气象数据分类与编码》(QX/T 151-2012)中的编码原则,对人影作业全过程产生数据按照属性进行归类,制定了人影数据分类与编码标准。从物联网技术特点和人影业务安全管理需求分析,充分利用各类感知设备采集人影作业飞机、高炮、火箭等作业装备第一现场信息,通过多种通信方式实时获取并融合处理外场作业数据,可以提高人影作业科学调度、量化指挥能力,也能为人影作业装备弹药生产、销售、验收、仓储、物流和质量安全追溯提供信息化管理手段,有效提升人影规范化、信息化水平,也是人影业务安全监管能力建设的需要(张吉,2013;李集明等,2006)。

1 人影作业装备弹药主要管理环节

(1) 生产:生产环节是人影作业装备弹药整个生命周期中最前端环节。各生产厂家根据装备和弹药统一标识规范,通过添加条形码/二维码标签、电子标签(RFID 射频识别),实现人影作业装备弹药标识及信息采集。

(2) 验收:验收环节是作业装备弹药质量和安全使用的重要一环。利用扫码或感应技术,可以实现对装备弹药的验收、质量跟踪、有效期监控,同时提供自动化监控告警等功能。

(3) 仓储:各省(区、市)采购的经过验收合格的作业装备及弹药,由生产厂家负责转运到对应省级的仓储库,再从省级仓储库分发到下辖的市县级仓储库,继而分发到下辖的各作业点临时库。通过扫描感应作业装备及弹药(以整箱为单位)的条码和电子标签,实现对作业装备及弹药出入库的跟踪管理。

(4) 转运:根据采购计划,作业装备弹药由厂家向省级运送、省级向市县级调拨、市县级向固定作业点调拨、移动作业车运载至野外发射作业,不同仓储库或位置间作业装备弹药的转移运输,通过物联网技术可实现对装备弹药转运环节跟踪管理。

(5) 使用:人影外场作业装备弹药使用及消耗,通过加载信息采集传感设备,利用有效通信手段可实现对作业信息的实时采集监控。

(6) 报废与销毁:以上各环节中,凡是经发现不合格的人影作业装备和弹药,或不符合规定技术标准和要求,应予以报废,并由对应的生产厂家负责拉走销毁。同样通过物联网技术来实现对该环节的采集监控与管理。

2 人影物联网体系基本架构

将人影物联网系统划分为感知层、网络层和应用层三个层次,如图 1 所示。

(1) 感知层:人影物联网感知层首先是通过位置、声音、计数等传感器技术将作业外场数据采集记录,然后通过感应标签、蓝牙、红外等短距离传输技术传递数据。其中,传感器承载着实时掌握动态信息源头的重要作用,传感器的性能决定了人影物联网性能。信息编码、传感器检测、短距离有线和无线通信是感知层关键技术。

(2) 网络层:网络层解决感知层获取数据长距离的传输问题。人影物联网数据可通过移动通信网、北斗通信网、气象局域网等网络传输。

(3) 应用层:应用层包括应用程序和终端设备层。应用程序层涉及人影安全管理要素的标签识别、位置定位、库存盘点、安全监控、人员考勤、质量

溯源、智能调度等功能设计与实现。终端设备层包括计算机、智能手机、扫码终端、信号开关等硬件人机交互界面。通过终端设备和应用程序设计,实现人影作业静态与动态信息及时准确获取。

3 人影物联网关键技术

3.1 信息标记与识别技术

人影作业装备、弹药标记与识别,是实现人影安全管理要素全面感知与识别基础,根据不同应用场合选择合适的识别技术是人影物联网信息感知的关键。一般来说,人影设备适宜于仓储物流领域广泛应用的条形码、二维码、RFID 非接触式自动识别技术。

3.1.1 条形码识别技术

条形码是按照一定的编码规则,用以表达一组信息的图形标识符。在水平和垂直方向的二维空间存储信息的条形码称为二维条形码,简称二维码。条形码标签存储容量最小、印刷成本低、读写便捷。根据其特点,可以广泛印刷在人影作业炮弹、火箭弹、焰条、焰弹等消耗类物资表面,存储包括生产厂家、生产日期、弹药种类、催化剂类别等最基本数据

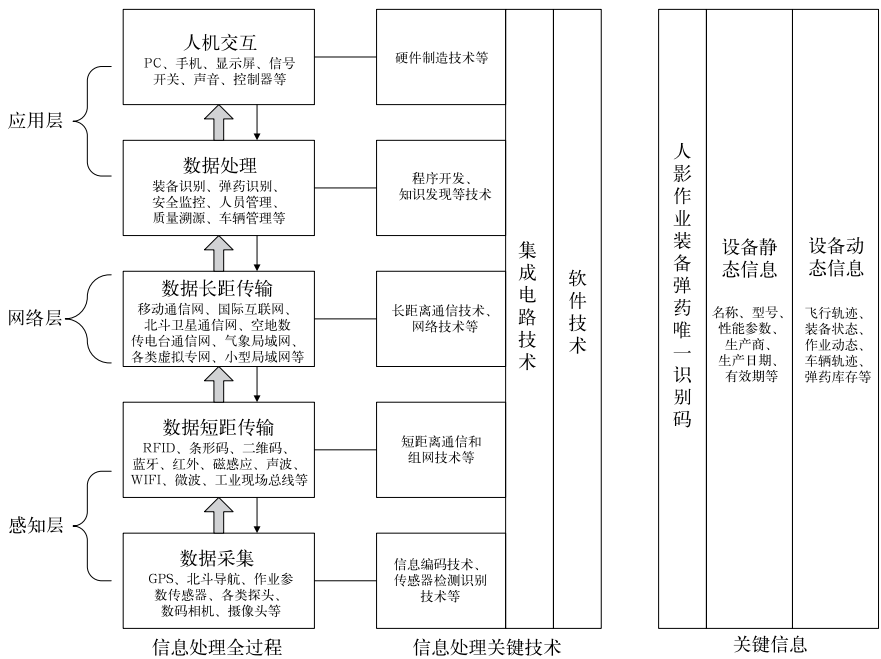


图 1 人影物联网系统架构
Fig. 1 System architecture of special equipment for weather modification

信息;二维码标签是条形码升级版,存储容量较大,适合印刷在飞机作业播撒、探测、通信设备,以及人影作业高炮、火箭发射架等固定资产表面,记录信息包括产品名称、生产厂家、生产日期、产品性能、简要功能等固态信息。

3.1.2 RFID 识别技术

RFID(radio frequency identification)技术,又称无线射频识别,通过无线电信号识别特定目标并

读写相关数据,无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触。一个完整的 RFID 系统一般由后台处理计算机、读写器、天线和电子标签等几部分组成。从工作频率可以分为低频、高频、超高频、微波等。从供电状态进行分类,RFID 标签可分为无源、半有源和有源产品。一般超高频 RFID 标签多为无源标签。表 1 为不同频段 RFID 系统的技术特性。

表 1 不同频段 RFID 技术特性

Table 1 Technical characteristics of RFID in different frequency bands

类别	低频	高频	超高频	微波
主要规格	125 kHz、135 kHz	13.56 MHz	433 MHz、868 MHz、950 MHz	2.45 GHz、5.8 GHz
存储容量	128—512 位	128 位—8 K	128 位—8 K	128 位—8 K
识别距离	<60 cm	60 cm	8 m	<50 m
一般特性	价格较低、识别距离短	价格低、适合近距离识别	价格较高、多重识别、性能好	价格昂贵、易受环境的影响
识别速度		低速<—————>高速		
环境影响		迟钝<—————>敏感		
标签大小		大型<—————>小型		
典型应用场景	门禁、动物芯片	非接触式智能卡	物流、供应链	行李追踪

在人影安全管理领域应用 RFID 技术,首先要选择合适的 RFID 频段。不同频段 RFID 识别系统标签和读写器硬件成本差异较大。结合人影作业装备弹药等火工品属性和管理规模现状,在选择中应考虑其单价成本不宜过高、安全性能好、读取距离较远、抗冲突机制好、产品种类丰富、技术成熟度高的产品。从表 1 分析来看,人影物联网应用解决方案中适合选用高频和超高频频段 RFID 系统。无源超高频 RFID 系统适合用于各级人影作业装备精细化管理和监控,有源 RFID 产品可逐步应用到人影作业装备、弹药运输存储管理中区域定位、安防报警领域。同时,结合地理信息和无线通信技术,实现人影作业人员精确定位、值班考勤等精细化管理功能。

此外,2013 年,工业和信息化部关于加强民爆行业信息化建设有关安全管理的通知指出,在开展 RFID 等信息技术在民爆生产、储存、运输领域应用研发过程中,要首先开展射频对民爆产品安全影响的基础研究以及对民爆生产线控制系统电磁干扰问题研究,确保 RFID 等信息技术使用安全。

3.2 数据采集技术

在人影作业(使用)环节,针对人影飞机和地面作业信息的实时准确采集与监控,是科学调度指挥

作业和客观评价作业效果的基础。

3.2.1 飞机作业数据采集

根据《人影作业信息格式规范》的要求,飞机端实现位置信息、催化信息、机载探测等信息实时采集,省级指挥中心要动态跟踪和指挥飞机作业。飞机作业参数信息可以通过机载定位设备(例如:北斗/GPS/GLONASS)和机载探测设备(例如:温湿仪/DMT/SPEC/CWIP 等)传感器感应或手动记录方式采集。

3.2.2 地面作业数据采集

按照三年行动计划要求,人影地面作业信息包括作业日期、时间、站点经纬度、方位角、仰角、数量、弹药编码信息等。地面作业时间、位置采集可以从集成 GPS/北斗芯片及标签扫描客户端获取,作业参数通过对作业装备加装专用传感器来采集,该环节是作业信息自动获取的难点和关键所在。

3.3 通信传输技术

3.3.1 空地通信技术

目前,用于人影飞机与地面指挥中心通信主要有海事卫星、北斗导航、甚高频(超短波)电台等通信技术。海事卫星可以完成飞机与作业区指挥中心实时语音、数据及小数码率的实时图像数据传输;北斗

通信系统不仅具有其他导航系统定位、授时的功能,同时提供了短报文通信的特有功能,其优点是覆盖范围大、容量大、抗干扰强、安装维护简单、兼容性强,多目标监控等;甚高频(超短波)电台也称为数传电台,可以实现飞机与作业区域地面指挥中心之间的语音交互通信功能,以及观测数据和图像图片等小数据量的实时双向传输。海事卫星通信能力大于北斗短报文通信,其传输的信息内容可包含北斗短报文的所有通信内容,但通信设备及运行费用高。甚高频通信方式受距离、电磁波等诸多要素的限制,当飞机飞出甚高频的覆盖范围,还要架设电台的基站等,相应人力、物力等投资大,给作业带来不便。人影作业中,北斗通信可作为飞机飞行位置参数的全程通信手段,作为海事卫星通信手段的降级备份手段使用。

3.3.2 近距离通信技术

在探测设备组网观测、服务现场自动化控制和气象信息收集与控制等气象业务应用领域,基于传输速度、距离和耗电量等特殊要求,单独或组合使用包括蓝牙、红外数据传输、RFID 和 Wi-Fi 等近距离通信技术解决业务需求。

3.3.3 气象宽带通信技术

全国气象宽带主干网络系统是连接国家级和省级的地面广域网络连接,是依托电信运营商 MPLS VPN 技术建立的网状网。省内宽带网络系统由各省依托运营商地面公共基础设施建设,主要包括省、地市、县三级。气象通信骨干网络将全国气象部门组成一个大局域网,通过一定规则实现局域网数据共享与发布。

3.4 信息处理与显示技术

信息处理与显示技术主要涉及云计算、GIS 技术和数据融合处理等,是实现人影物联网智能管理的基础。

3.4.1 云计算

人影物联网设备终端分散、作业采集种类多、信息量大、交互环节多、应用场景复杂、操作人员水平参差不齐,适合采用端服务、云计算方式进行数据处理技术。

3.4.2 GIS 技术

在人影作业安全射界绘制、作业目标可视化模拟、作业目标及影响区计算等方面,可以利用 GIS 技术实现作业站点、装备、弹药、人员、作业等空间属

性信息统计分析 with 多元化输出。

3.4.3 数据融合处理

在人影作业装备、弹药、人员、安全等管理环节,采用物联网技术可以实时采集大量业务信息。通过数据融合处理技术,能在人影作业装备物资调度、外场方案科学设计和业务安全监管等应用方面挖掘出更有价值信息。

4 人影物联网应用方向及进展

4.1 飞机作业可视化指挥

三年行动计划要求,人影飞机轨迹信息、状态信息、作业信息实现自动采集实时上传。目前,国家高性能增雨飞机采用海事卫星和北斗短报文双备份系统用于解决数据通信链路。全国自有和租赁飞机开展人影作业的省中,91%的省都采用北斗短报文方式进行空地通信,个别省采用数传电台或图传电台进行数据通信。张云平(2012)介绍了河南省采用数传电台技术解决飞机空地数据传输,陈增境等(2017)介绍了北斗通信在宁夏气象数据传输中的应用。利用空地通信技术,可以将人影作业飞机上常规气象要素、云粒子、音视频等观测数据,以及飞机作业轨迹、状态等特征信息实时传输到地面作业指挥中心,实现外场人影作业飞机与指挥中心的物联。

4.2 人影作业物资智能监控调度管理

人影作业在保障粮食安全、应对干旱、森林防火、生态环境建设、交通安全、应急保障服务等方面发挥了重要作用。随着人影技术的发展,对区域空中云水资源和冰雹等灾害的监测、飞机和地面作业设备统一、统筹协调指挥等能力亟待提高。建立人影作业物资智能监控调度系统,依托现有气象专网资源、结合无线通信手段,在国家级和省级建设人影物资信息数据库,接收辖区内的人影作业飞机、地面装备、弹药和人员动态信息,采用数据融合技术、多维分析技术进行处理并入库。通过大数据分析,根据用户使用频率等需求智能调度人影装备、弹药计划,提供弹药告警功能,按照预先设置的监控指标阈值,对超出阈值的弹药信息进行警告。基于地理信息系统实现全区域人影作业物资实时跟踪、库存动态和统计分析的综合展示,使人影物资发挥最佳效益,并有效降低安全隐患。

中国气象局人影作业装备弹药全程监控应用示范项目中,人影作业物资智能监控调度系统主要由国家级节点、省级节点、弹药装备一级库(省级)、弹药装备二级库(市县级)、弹药装备三级库(固定作业点)、弹药转运和移动作业的监控设备组成。系统组成如图 2 所示。其中:国家级节点主要部署人影弹药全程监控处理服务器、共享存储、专用图型工作站、监控数据采集设备和防火墙等设备。省级节点主要部署人影弹药全程监控处理服务器、专用图型工作站、北斗地面通讯控制设备、监控数据采集设备和防火墙等设备,并通过监控数据采集设备和防火墙构建网络安全隔离区(DMZ 区),实现 3G/4G 网络与气象专网的安全隔离。弹药装备一级库、弹药装备二级库和弹药装备三级库:在弹药装备上安装火箭弹无源 RFID 电子标签、高炮炮弹专用条形码,同时在库房出入口配置条形码感应器和 RFID 终

端,实现库存弹药设备数量的自动感知和上传。弹药装备的转运和移动作业车上部署车载北斗设备、条形码感应器和 RFID 终端等设备,实现运输过程弹药装备的自动感知和上传。

4.3 人影作业装备弹药质量安全追溯

实施人影作业涉及航空器飞行安全以及地面安全作业,随着人影作业装备和弹药使用频次和规模不断增加,对人影科学作业和安全监管责任要求越来越高,人影作业装备弹药安全使用成为各级气象部门管理重点。当前,人影作业装备弹药还存在宏观粗放式管理,没有严格量化的监测手段等不足,弹药在运输、存储、使用各环节中仍存在较多安全隐患。《人影作业装备与弹药标识编码技术规范(试行)》对人影作业装备弹药标识和编码进行了定义,通过感应(扫码)技术采集装备弹药身份信息,实现

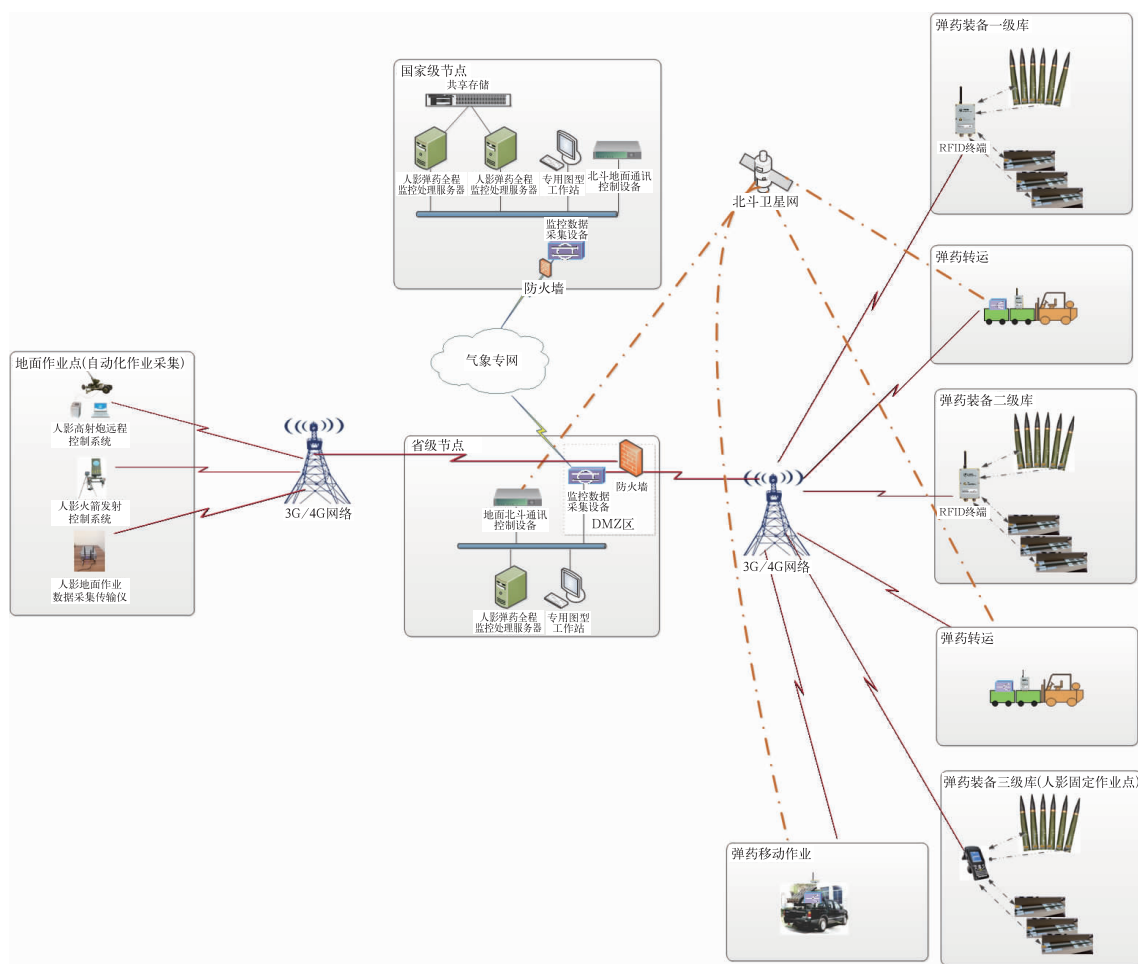


图 2 人影作业物资智能监控调度系统

Fig. 2 Intelligent monitoring and dispatching system for operation of weather modification

弹药生产、装配、运输、储存、发射、销毁等全过程监管信息自动记录。

刘伟等(2017)应用物联网理念开发人影作业装备弹药出厂验收质量管理体系,实现对装备弹药的精细化监管,给全国人影作业弹药提供了数据基础。图 3 展示了人影作业装备弹药出厂验收质量管理业务流程,人影作业装备弹药在生产阶段就标记了唯一标签身份信息,人影安全生产主管部门根据相关标准进行弹药生产验收,验收和相应流转信息通过数据接口程序进入共享数据库,主管部门和用户单位根据自身需求和大数据分析选择使用相关装备弹药。装备弹药使用环节发生安全隐患,第一时间追溯到生产厂家、出厂时间、生产要素、质检员、运输车辆、存储库房等,实现安全质量管理信息化。

4.4 高炮火箭作业信息采集

为解决人工影响天气地面高炮和火箭作业数据收集完全依赖人工录入的瓶颈,切实提升各级作业数据收集上报的准确性和时效性,急需发展业务上更适用的作业数据采集方法。李宏宇等(2015)通过高射炮发射产生的前导噪音、声级突升和声级峰值研究,实现对发射时间和发射弹量的自动、实时采集。张明等(2015)通过电子罗盘实时测量的高炮作业过程中的俯仰角、方位角,用接近开关检测发射人工降雨弹数量。

图 4 展示了一种通用地面作业信息采集装置系

统。该系统功能包括作业参数采集单元、作业参数处理单元、数据通信单元和供电单元(图 4a)。其中,作业参数采集单元用于采集防雷增雨高射炮(虚线所示为火箭采集传感器)作业过程中的作业参数信息;作业参数处理单元与作业参数采集单元连接,用于接收作业参数信息,并将作业参数信息处理和汇总为反映防雷增雨高射炮(火箭)作业过程中作业状态的作业状态信息;数据通信单元与作业参数处理单元连接,用于接收作业状态信息,并将该作业状态信息分别传输至作业点终端应用平台和指挥中心管理平台;供电单元分别与作业参数采集单元、作业参数处理单元和数据通信单元连接,用于为作业参数采集单元、作业参数处理单元和数据通信单元供电。通过陕西人影高炮、火箭外场作业测试,利用该采集系统可以准确记录高射炮或火箭发射架发射作业时间、方位、仰角、数量等信息,利用近距离通信技术和远程通信技术及时将这些信息传输至作业点终端平台和中心管理平台进行相应处理(图 4b)。

4.5 作业值班考勤管理

利用物联网技术将作业人员、作业站点、考核时间节点等有机联动起来,实现特定地点、时间作业人员跟踪和考勤,随时掌握员工工作位置及活动轨迹,分析作业人员分布,使人影作业安全生产和日常管理更加智能。

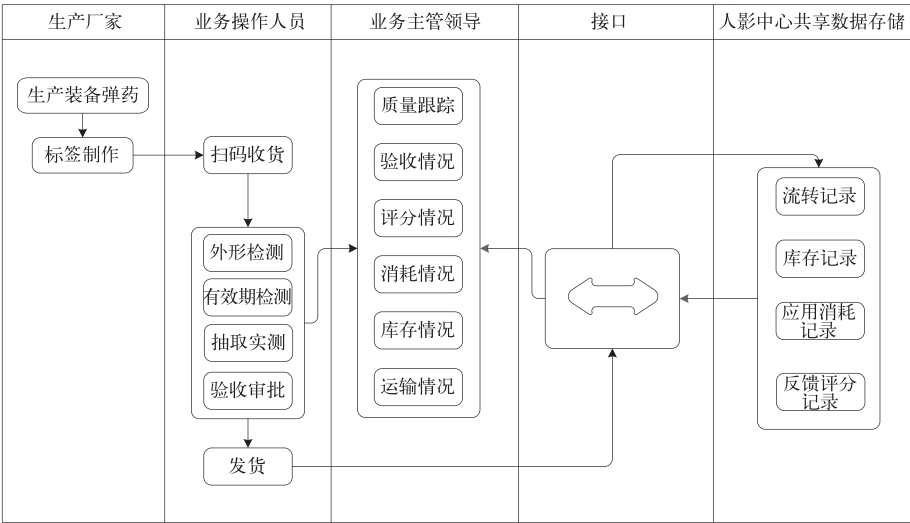


图 3 装备弹药出厂验收质量管理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the quality control system of equipment and ammunition

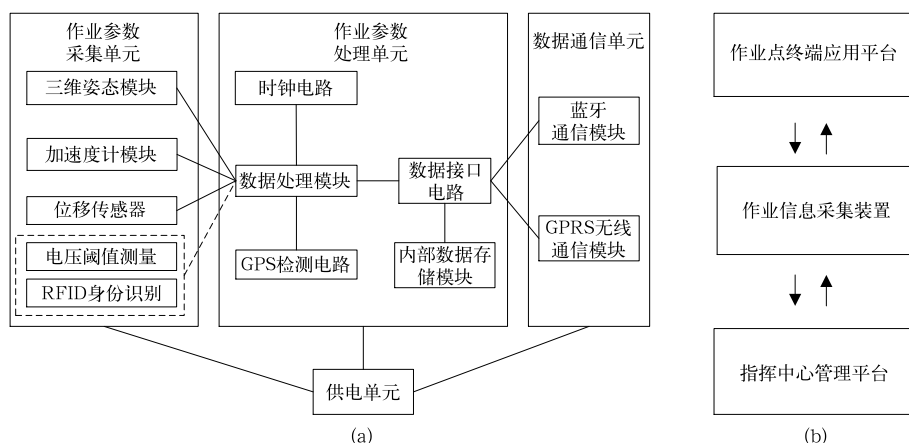


图 4 一种通用地面作业信息采集装置示意图

(a) 功能图, (b) 数据流程图

Fig. 4 Schematic diagram of general surface operation information collection device

(a) function diagram, (b) data flow chart

5 结 论

结合人影业务需求和安全管理特点,通过本文讨论和分析,得出以下结论:

(1) 不同技术特点的条形码、二维码和 RFID 标签技术在人影业务和管理多个场景组合应用,可以有效提升人影工作信息化水平。

(2) 基于标签扫码技术的人影物联网应用能满足人影业务实际需求,实现人影装备弹药出厂验收、运输、存储、使用、报废等全生命周期实时监管,提高人影业务信息采集信息化水平,有效减少基层业务人员工作量,提升人影安全保障能力。

(3) 人影装备弹药编码标识技术是物联网应用基础,充分利用好现有空地通信技术、气象宽带局域网技术,选择适合不同作业装备的信息采集技术,以及作业大数据融合处理技术是人影物联网建设重点环节。

(4) 在飞机作业可视化调度、人影物资智能调度、作业装备弹药安全质量追溯、地面作业信息自动采集和作业人员值班考勤等更多人影业务领域应用物联网技术,能进一步优化人影资源配置,提高业务信息化水平,提升整体工作效益。

参考文献

陈荣雄, 2015. 物联网技术在仓储物流领域应用分析与展望[J]. 信息与电脑(理论版), (14): 14-15. Chen R X, 2015. Application

analysis and prospect of internet of things technology in warehousing logistics [J]. China Computer & Communication (Theoretical Edition), (14): 14-15(in Chinese).

陈增境, 陈玉华, 徐青, 等, 2017. 北斗通信在宁夏气象数据传输中的应用[J]. 气象水文海洋仪器, 34(2): 38-39. Chen Z J, Chen Y H, Xu Q, et al, 2017. Application of Beidou communication in meteorological data transmission in Ningxia[J]. Meteor Hydrol Marine Instru, 34(2): 38-39(in Chinese).

戴艳萍, 李德泉, 车云飞, 等, 2018. 人工影响天气数据分类与编码设计研究[J]. 气象科技进展, 8(1): 186-188, 228. Dai Y P, Li D Q, Che Y F, et al, 2018. Study on classification and coding design of weather modification data[J]. Adv Meteor Sci Technol, 8(1): 186-188, 228(in Chinese).

段婧, 楼小凤, 卢广献, 等, 2017. 国际人工影响天气技术新进展[J]. 气象, 43(12): 1562-1571. Duan J, Lou X F, Lu G X, et al, 2017. International recent progress in weather modification technologies[J]. Meteor Mon, 43(12): 1562-1571(in Chinese).

郭学良, 付丹红, 胡朝霞, 等, 2013. 云降水物理与人工影响天气研究进展(2008—2012年)[J]. 大气科学, 37(2): 351-363. Guo X L, Fu D H, Hu Z X, et al, 2013. Progress in cloud physics, precipitation, and weather modification during 2008—2012[J]. Chin J Atmos Sci, 37(2): 351-363(in Chinese).

胡永利, 孙艳丰, 尹宝才, 2012. 物联网信息感知与交互技术[J]. 计算机学报, 35(6): 1147-1163. Hu Y L, Sun Y F, Yin B C, 2012. Information sensing and interaction technology in Internet of Things[J]. Chin J Comp, 35(6): 1147-1163(in Chinese).

李道亮, 杨昊, 2018. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 49(1): 1-20. Li D L, Yang H, 2018. State-of-the-art review for internet of things in agriculture[J]. Transactions Chinese Society for Agricultural Machinery, 49(1): 1-20(in Chinese).

李宏宇, 王华, 贾丽佳, 等, 2015. 利用声学方法采集人工影响天气高

- 射炮作业数据[J]. 应用气象学报, 26(5): 590-599. Li H Y, Wang H, Jia L J, et al, 2015. Data auto collection based on sound level characteristics for weather modification operation by ground based artillery gun shooting[J]. J Appl Meteor Sci, 26(5): 590-599(in Chinese).
- 李建邦, 周述学, 李爱华, 等, 2014. 物联网在安徽省人工影响天气业务中的应用[J]. 气象科技, 42(6): 1143-1146. Li J B, Zhou S X, Li A H, et al, 2014. Application of IOT technology to weather modification in Anhui[J]. Meteor Sci Techn, 42(6): 1143-1146(in Chinese).
- 李集明, 沈文海, 王国复, 2006. 气象信息共享平台及其关键技术研究[J]. 应用气象学报, 17(5): 621-628. Li J M, Shen W H, Wang G F, 2006. Meteorological information sharing service platform and its key technologies[J]. J Appl Meteor Sci, 17(5): 621-628(in Chinese).
- 刘捷, 陈雷, 2012. RFID技术在烟草物联网应用[J]. 现代商贸工业, 24(4): 242-243. Liu J, Chen L, 2012. Application of RFID technology to tobacco Internet of Things[J]. Modern Business Trade Industry, 24(4): 242-243(in Chinese).
- 刘伟, 曹烤, 龚茜, 等, 2017. 基于物联网的人工影响天气作业用弹药管理系统[J]. 电脑知识与技术, 13(25): 63-64. Liu W, Cao K, Gong Q, et al, 2017. Ammunition management system for weather modification operation based on Internet of Things[J]. Comp Knowl and Technol, 13(25): 63-64(in Chinese).
- 汪玲, 刘黎平, 2015. 人工增雨催化区跟踪方法与效果评估指标研究[J]. 气象, 41(1): 84-91. Wang L, Liu L P, 2015. Algorithm and assessment of tracking seeding coverage in artificial precipitation enhancement[J]. Meteor Mon, 41(1): 84-91(in Chinese).
- 吴林林, 刘黎平, 徐海军, 等, 2013. 基于 MICAPS 3 核心的人影业务平台设计与开发[J]. 气象, 39(3): 383-388. Wu L L, Liu L P, Xu H J, et al, 2013. Design and development of weather modification operational platform based on MICAPS 3 core technology[J]. Meteor Mon, 39(3): 383-388(in Chinese).
- 吴万友, 黄芬根, 宾振, 等, 2012. 移动式人工增雨作业技术支撑系统的设计与实现[J]. 气象, 38(10): 1288-1294. Wu W Y, Huang F G, Bin Z, et al, 2012. The design and implementation of mobile operation system for precipitation enhancement[J]. Meteor Mon, 38(10): 1288-1294(in Chinese).
- 许焕斌, 尹金方, 2017. 关于发展人工影响天气数值模式的一些问题[J]. 气象学报, 75(1): 57-66. Xu H B, Yin J F, 2017. Some key issues in developing the numerical model for artificial weather modification[J]. Acta Meteor Sin, 75(1): 57-66(in Chinese).
- 张明, 樊昌元, 张东明, 等, 2015. 人工影响天气“三七”高炮作业数据采集系统[J]. 成都信息工程学院学报, (3). Zhang M, Fan C Y, Zhang D M, et al, 2015. The system of data acquisition device for “three seven” artillery operations in weather modification[J]. J Chengdu University Infor Tech(3)(in Chinese).
- 张吉, 2013. 基于物联网的自动气象信息采集技术研究[D]. 长春理工大学. Zhang J, 2013. Research on automatic meteorological information acquisition technology based on Internet of Things[D]. Changchun University of Science and Technol(in Chinese).
- 张云平, 2012. 河南省飞机人工影响天气空地数据传输系统的建设及应用[J]. 气象与环境科学, 35(4): 73-76. Zhang Y P, 2012. Construction and application of air-earth data transmission system of Henan airplane weather modification[J]. Meteor Environ Sci, 35(4): 73-76(in Chinese).
- 周津, 2014. 物联网环境下信息融合基础理论与关键技术研究[D]. 吉林大学. Zhou J, 2014. Research on Basic theory and key technologies of information fusion in Internet of Things[D]. Changchun, Jilin University(in Chinese).
- 邹书平, 2011. 地面人工增雨防雹作业信息采集系统[J]. 气象, 37(3): 373-378. Zou S P, 2011. Information acquisition system of anti hail operation on the ground[J]. Meteor Mon, 37(3): 373-378(in Chinese).