

文章编号:2096 - 5389(2022)06 - 0089 - 06

贵州飞机人工增雨空地通信作业指挥系统研制与应用

许 弋, 喻乙耽, 李枚曼

(贵州省人工影响天气办公室, 贵州 贵阳 550081)

摘 要:该文简述了北斗卫星导航系统的贵州飞机人工增雨空地通信作业指挥特征,该系统紧密联系贵州飞机人工增雨实时跟踪指挥作业需求,实现了贵州飞机人工增雨业务工作中飞行航线设计和申报、飞行作业时实时 GPS 数据收集、飞行轨迹信息实时显示和监控、催化剂播撒情况和实时作业决策指挥等功能。实践结果表明,自 2018 年使用该系统以来作业指挥效果较好,贵州飞机人工增雨工作在抵御干旱、增加水库电站蓄水、保护生态文明建设、保障脱贫攻坚成果等方面发挥重要作用。

关键词:北斗卫星;飞机增雨;通信系统;设计与应用

中图分类号:P481 **文献标识码:**B

Development and Application of Guizhou Air Ground Communication Operation Command System for Airplane Artificial Precipitation Enhancement

XU Yi, YU Yidan, LI Meiman

(Guizhou Weather Modification Offices, Guiyang 550081, China)

Abstract: This paper briefly describes the characteristics of the Beidou satellite navigation system, closely relates the real - time tracking with the command operation requirements of Guizhou aircraft artificial precipitation enhancement, and realizes the track designing and application, real - time GPS data collection of flight operation, real - time display and monitoring of flight trajectory information, catalyst spreading status, and real - time operation decision - making command in the work of the Guizhou aircraft artificial precipitation enhancement business. In practice, the effect of operation command was better through the use of this system since 2018, and it make the artificial precipitation enhancement work of Guizhou aircraft play an important role in resisting drought, increasing water storage in reservoirs and power stations, protecting the construction of ecological civilization, ensuring the results of poverty alleviation and so on.

Key words: Beidou satellite; aircraft rain enhancement; communication system; design and application

0 引言

飞机人工增雨作业是一项复杂的系统性工程。在保证飞行安全的前提下,空域、飞行、气象等部门需通力配合,在适当时机、区域、剂量实施科学的作业,争取最佳的增雨效果,其中空地配合实时指挥

作业尤其重要^[1-6]。近年来,国内许多省飞机人工增雨作业按照过程预报、潜力预报、监测预警、跟踪指挥、效果检验“五段”实时业务要求,采用最新的技术手段与工具,陆续建设基于北斗卫星导航系统的飞机人工增雨作业地空通信系统,在地面依托雷达、卫星等探测数据,根据天气实时及发展情况,科

收稿日期:2021 - 09 - 03

第一作者简介:许弋(1972—),女,高工,主要从事飞机人工增雨研究工作,E-mail:1042133905@qq.com。

通讯作者简介:喻乙耽(1990—),男,工程师,主要从事飞机人工增雨效果评估工作,E-mail:253042357@qq.com。

资助项目:贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2020]02 - 04 号);模式产品在飞机人工增雨潜力落区和作业条件判定的应用;贵州省科技厅社发公关项目(黔科合 SY 字[2011]3114);贵州暖云增雨外场试验及催化技术研究。

学指挥飞机安全高效开展增雨作业,实现飞机空中增雨作业时与地面实时通讯、监测和指挥,让决策指挥和作业实施更加紧密结合在一起,进一步提高飞机人工增雨作业指挥时效性、科学作业及精准服务水平^[7-13]。

贵州飞机人工增雨工作自 2005 年开展至今,早期在作业指挥上主要通过安装甚高频来实现空地通话联系,效果不尽理想,整个飞机作业的跟踪监控指挥过程,很难及时建立空地之间准确的信息传递和数据统计,飞机增雨作业效益也无法得到科学有效的发挥。2008 年开始逐步使用北斗定位功能监控贵州飞机增雨飞行情况,因信号效果不佳,数据接收不够完整,于 2015 年后未使用。2018 年针对贵州增雨飞机型号,在飞机上重新科学设计改装北斗天线安装位置,对加装北斗系统的人工影响天气飞机天线进行了升级改造,并设计开发基于北斗通信导航系统的集作业、跟踪、指挥、监控、通信于一体的贵州飞机增雨作业空地通信系统,实现贵州飞机人工增雨业务工作中飞行航线设计和申报、飞行作业时实时 GPS 数据收集、飞行轨迹信息实时显示和监控、催化剂播撒情况和实时作业决策指挥等功能,进一步发挥贵州飞机增雨作业在抵御干旱、增加水库电站蓄水、保护生态文明建设、保障脱贫攻坚成果等方面的重要作用。

1 系统设计

1.1 系统构成

贵州飞机人工增雨空地通信作业指挥系统由北斗通信主机和北斗天线、数据服务器、空地终端机及通信作业指挥软件组成。其中北斗设备负责接收飞机实时轨迹等数据信息;数据服务端主要解析北斗设备及相关设备信息和应用数据,向应用软件提供数据服务;空地终端及系统进行飞行航线设计、空地实时通讯、数据监测和作业指挥。

1.2 技术参数指标

1.2.1 北斗设备 探测范围为中国大陆所有地区和海区;定位或信息通信 1 s 之内,精度高达 20 m;工作波段为 S/L 波段,受雨衰影响小;报文处理最长 98 个字节;全向天线发射瞬间功率 100 W,待机模式功耗为 5 W。

1.2.2 空地终端机 Inter 酷睿 i3 处理器;内存 4 GB;硬盘 500 G SATA II 3.0Gb/s;显卡 GeForce GTX 750 , GTX 750 Ti , GTX 760M(笔记本) GTX 765M。

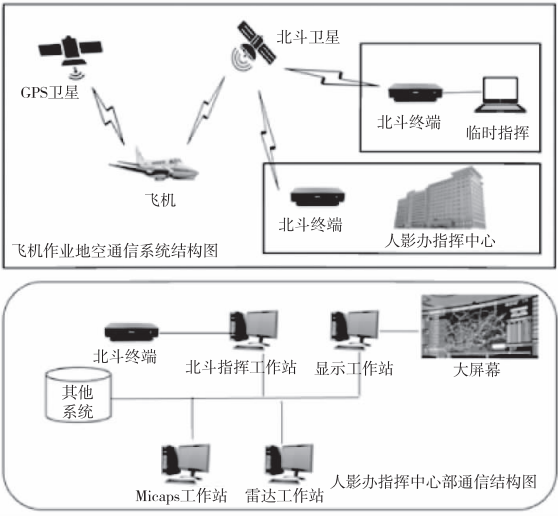


图 1 系统框架图

Fig. 1 System Framework

1.2.3 空地通信作业指挥软件 ①数据标准化与编解码软件:对轨迹数据、作业数据、短信数据和规划数据,采用规范指定的信息数据格式进行编码和解码操作。轨迹文件数据格式内容由数据包长度、序号、飞机编号、经度、纬度、速度、高度、航向、温度、湿度和作业数据信息组成,文件名为 YYYYMM-DD 机场地点飞机编号(架次). Dat, 如 20200507 贵州黄果树 B9792(1). dat;作业数据格式内容由厂商代码、使用方式、催化剂种类、弹药样式、弹药型号和弹药用量编码组成;短信数据格式由发送方北斗卡号、接收方北斗卡号和报文内容组成,报文内容长度不超过 74 字节;规划数据由航线编号、数据包总量、数据包帧号、坐标点数目、坐标点数组和接收方北斗卡号组成。②通信传输系统软件:提供 socket 网络服务,采用 json 技术,对数据进行传输。③传输显示端软件:提供数据展示及数据存储管理。

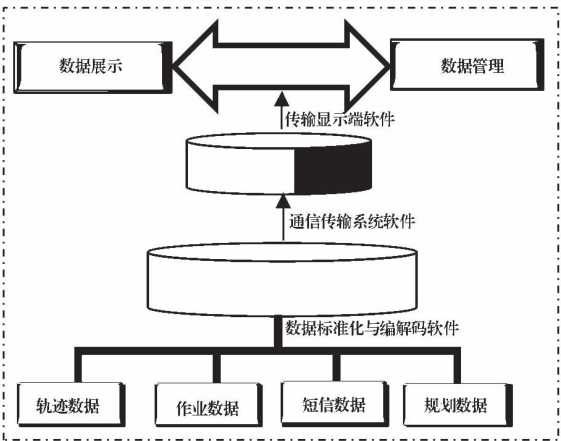


图 2 软件结构图

Fig. 2 Software Structure

1.3 软件功能设计

软件分飞机端和地面端 2 套,主要包括 8 个功能模块:实时作业轨迹显示、短信数据传输、雷达回波及云图叠加、航线设计与导出、作业信息填报、历史回放、消息管理和系统设置。其中飞机端软件主要实时显示飞机位置、机载探测设备数据,将数据实时下发到地面,记录作业信息,与地面实时通信,同时还能对历史数据进行回放;地面端软件主要监控飞机端的下发数据、与各个终端进行信息交换以及实时显示雷达、卫星等相关信息,航线设计与导出、作业信息填报,同时还能对历史数据进行回放。该软件主要关键技术有 3 个。

1.3.1 实现实时飞行轨迹传输、实时跟踪作业、温湿度探测信息和作业信息等实时沟通传输。

①飞机端:实时显示飞机当前的时间、经度、纬度、高度、方向、速度以及温度、湿度等信息,位置信息标绘在电子地图上,飞行轨迹用红蓝色标识,红色为催化作业时段。

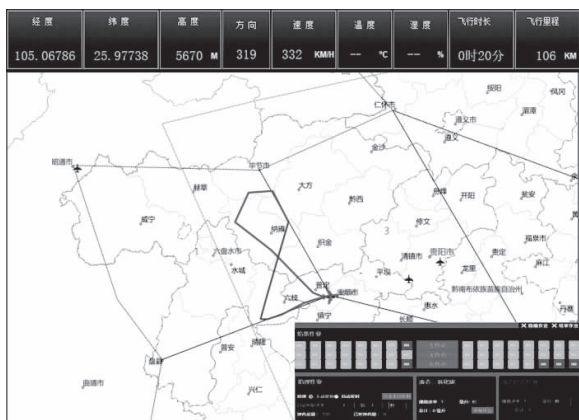


图3 飞机端实时轨迹数据接收图

Fig. 3 Real time trajectory data receiving diagram of aircraft terminal

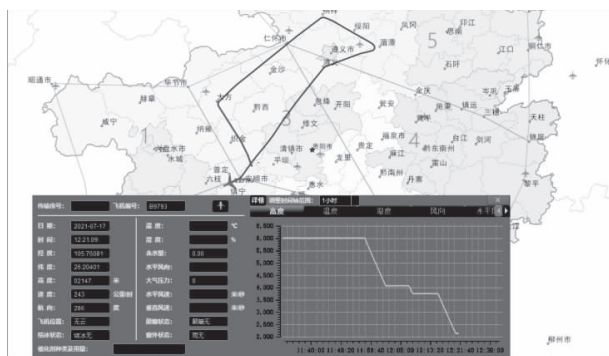


图4 地面端实时轨迹数据接收图

Fig. 4 Real time track data receiving diagram of ground terminal

②地面端:通过北斗卫星回传到地面的北斗指挥机上,软件通过秒级的同步策略,获得飞机的实

时位置实时轨迹在地面电子地图上显示,接收数据同飞机端一致。

③空地端上下传输数据主要是通过短报文(短信)传输,文字为主,可以导出信息互通记录。



图5 短信数据传输截图

Fig. 5 Screenshot of SMS data transmission

1.3.2 通过实时飞行轨迹等地理信息数据与雷达、卫星等气象数据叠加,监控指挥增雨飞机飞行作业情况,在地面端飞行轨迹 GIS 地图上。

①叠加雷达回波实况当前位置、预测位置和发展态势,包括雷达回波强度、速度、谱宽 3 个要素及其在 14 个不同仰角的具体信息。

②调用 Micaps 云图中风云 FY-2D/2E/2G 卫星原始数据,了解飞机过程中云层的情况。

1.3.3 科学设计飞机增雨作业飞行航线,同时自动输出作业方案、计划申请单、架次报等信息。

①每次具备增雨条件的天气过程开始前 24~3 h,根据气象预报和人影模式等产品,综合分析云带演变、云垂直结构、作业条件,结合干旱、生态等增雨需求,确定增雨潜力落区,设计增雨飞行航线(最大绘制点数为 16 个点),输出作业方案、计划申请单、申请表(昆明、贵阳),在文档、表格相应位置填入航线设计相关信息(制作时间、飞行区域、飞行航线、航线图、具体经纬度坐标、地名、预计飞行时间、预计作业时间、高度、值班人员等)存档和上报航空管理部门。

②作业结束后,通过软件读取北斗实际航迹,自动识别起飞时间、降落时间、催化开始时间、催化结束时间、作业航迹起点经纬度、作业航迹拐点经纬度、作业面积等填报信息并导出架次报,并兼有航迹补充功能。

2 业务应用效果

2.1 系统应用情况

2018 年至今,系统已正常业务稳定运行 4 a。截止 2021 年 12 月,使用该系统确定增雨潜力区并

设计增雨飞行航线 165 份;成功实时监控、指挥飞机增雨 110 架次;制作架次报、作业信息报及时上报 220 份,贵州省每年飞机作业信息上报国家局报送

率和完整性均达 100%。贵州省飞机人工增雨科学作业、安全作业能力得到大幅度提升、工作效率进一步提高。

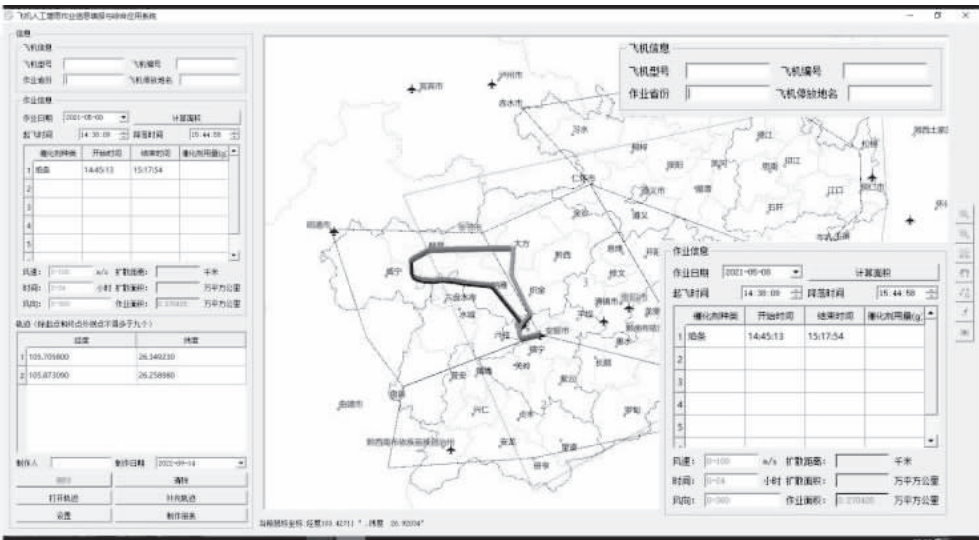


图 6 作业信息填报与综合应用图

Fig. 6 Operation Information Filling and Comprehensive Application Chart

2.2 业务工作流程

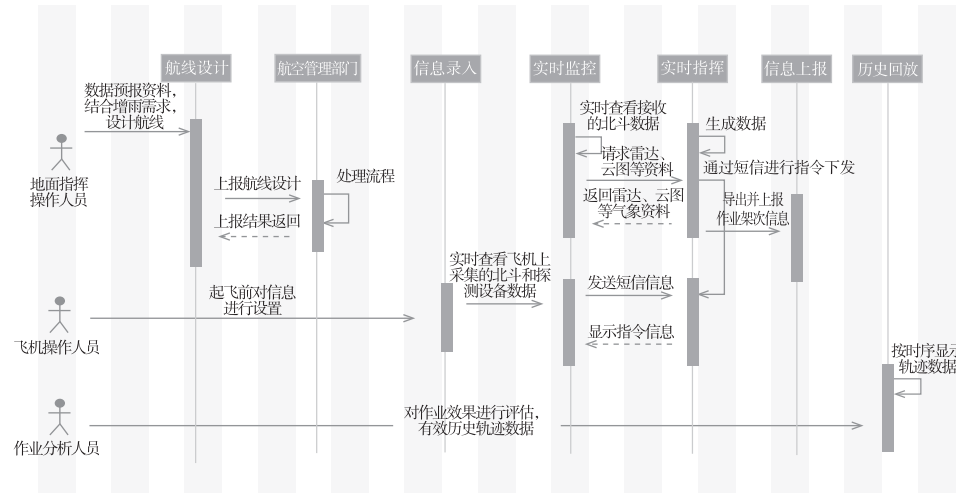


图 7 业务工作流程图

Fig. 7 Business Work Flow Chart

2.3 业务应用效果个例分析

以 2021 年 7 月 17 日 1 d 2 架次飞机人工增雨作业为例,介绍本系统的应用效果。

2.3.1 作业前作业方案设计 受低涡切变系统影响,17—20 日在贵州西部、北部将出现 1 次降雨天气过程。作业前 1 d 16 日 12 时启动系统流程,根据天气系统移向移速和影响范围、人影模式预报、卫星云图、雷达资料,结合农业气象干旱监测、森林火险气象预报、南部电站和水库蓄水不足的增雨需求,分析制作 17 日飞机人工增雨作业计划、作业预

案,利用地面端系统设计飞行航线制定作业方案、计划申请单报空域管制部门。

拟计划 7 月 17 日在贵州省西部、中南部增雨作业潜力区的 5200 ~ 5900 m 高度冷云区以增蓄、抗旱增雨为主采用冷云催化剂适时进行增雨作业。上午抗旱增雨作业航线:安顺黄果树机场—大方—桐梓—湄潭—遵义县—安顺黄果树机场。下午水库增蓄作业航线:安顺黄果树机场—关岭东部 A 点—长顺—贞丰—册亨—望谟东部 B 点—贞丰—安顺黄果树机场。

2.3.2 实时监控指挥及作业情况 17 日根据空域管制部门审批意见,确定 10 时 05 分第 1 架次增雨飞机起飞,14 时 10 分第 2 架次增雨飞机起飞,作业和指挥人员同时打开空中和地面飞机人工增雨通讯系统,飞机端业务软件显示实时飞机轨迹,地面端业务软件实时接收信号,将雷达、卫星等数据在软件上进行叠加,开始实时监控飞机情况。随后,地面人影指挥中心告知飞机作业人员本次增雨作业高度在 0 ~ -5℃层之间,第 1 架次作业层风向 268°、风速 6.4 m · s⁻¹,第 2 架次作业层风向 267°、

风速 6.7 m · s⁻¹,在飞行过程中随时监测航路上作业区域的雷达回波发生发展和变化,分析回波强度、速度、回波顶高情况,根据作业层风向风速及 0℃层等指挥空中作业人员在适当作业高度、作业区域播撒催化剂。第 1 架次在 11 时、第 2 架次在 15 时地面指挥人员观测到飞机已进入有利于进行播撒作业的区域,随即通过通讯系统向飞机作业人员发送作业指令短信,在第 1 架次雷达回波超过 20 dBz,第 2 架次雷达回波超过 30 dBz 时,要求对作业人员云层进行重点播撒。

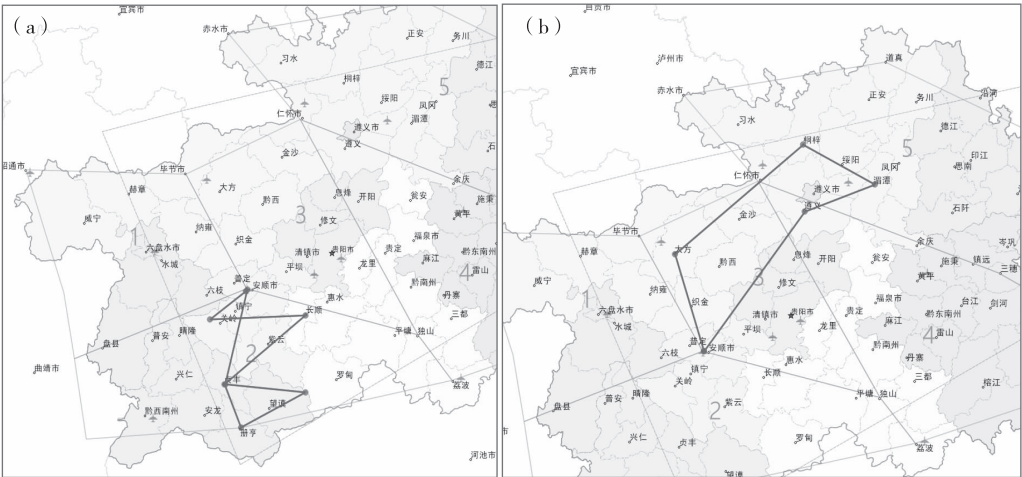


图 8 7 月 17 日 2 架次航线设计图
Fig. 8 Design Chart of Two Secondary Airlines on July 17

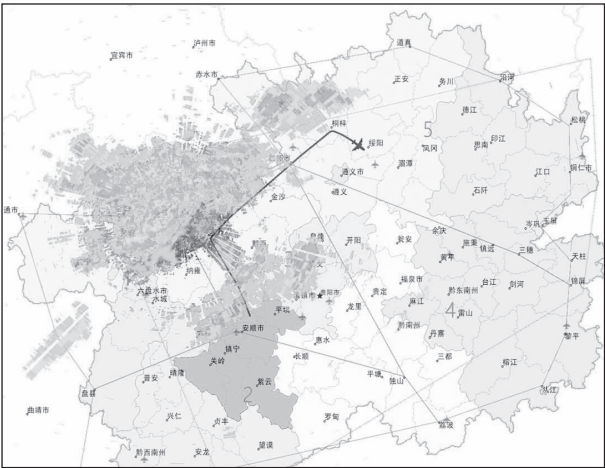


图 9 2021 年 7 月 17 日 11 时 12 分
第 1 架次雷达回波与航线叠加图
Fig. 9 Radar echo overlay route of the first
sorty at 11:12 on July 17, 2021

第 1 架次飞机上作业人员于 11 时 02—54 分在 6000 m 高度、第 2 架次飞机上作业人员于 15 时 07—57 分在 5500 m 高度进行冷云催化剂播撒,均使用催化剂 960 g。其中第 2 架次飞机起飞上升

到关岭上空 4700 m 高度时观测有成片对流云发展,地面雷达观测关岭西部有强回波东移。地面指挥人员通过系统短信告知机上作业人员,机组调整航线绕过强回波作业点(关岭东部 A 点、贞丰),在长顺、册亨、望漠开展作业后安全降落。

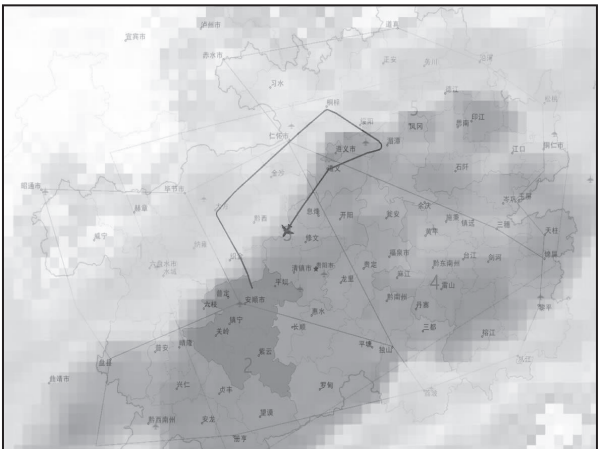


图 10 2021 年 7 月 17 日 12 时 05 分
第 1 架次卫星云图与航线叠加图
Fig. 10 Satellite cloud overlay route of the first
sortie at 12:05 on July 17, 2021

2.3.3 作业上报及效果评估 第 1 架次、第 2 架次分别于 12 时 36 分、16 时 22 分落地,增雨作业结束,北斗通讯系统运行正常,飞行轨迹保存完整,作业监控系统关闭。作业结束后立即将飞机端系统轨迹数据保存拷贝,并通过地面端系统制作架次报文件上报。作业结束后 6 h,导出相关数据制作效果评估指导产品,作业后 6 h 降水量显示作业影响区普降中到大雨,增加降水 1.06 亿 m^3 。

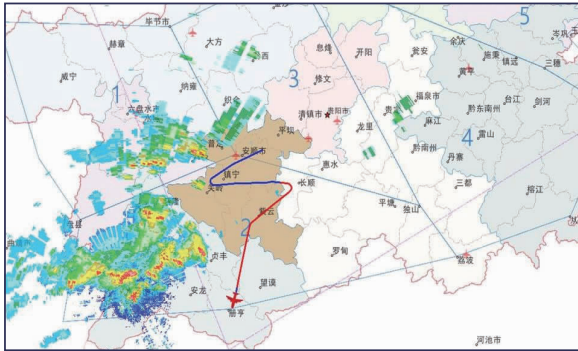


图 11 2021 年 7 月 17 日 15 时
第 2 架次雷达回波与航线叠加图

Fig. 11 Radar echo overlay route of the second sorty at 15:00 on July 17, 2021

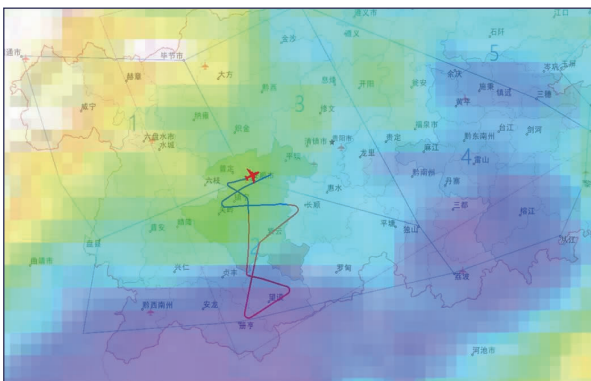


图 12 2021 年 7 月 17 日 16 时
第 2 架次卫星云图与航线叠加图

Fig. 12 Satellite cloud overlay route of the second sorty at 16:00 on July 17, 2021

3 结语

①系统创新融合了北斗一号导航与通信能力,具有精度高、定位可靠、导航、授时服务、短报文通信五大功能,保证了贵州省飞机增雨作业时信息传递的可靠性、精准度, GPS 统一授时,保障作业时效性。

②系统的业务软件以基于 GIS 电子地图为基础,通过地理信息数据与雷达、卫星等气象数据叠加来监控增雨飞机飞行作业情况,及时、准确地提高了空地飞机人工增雨作业调度指挥能力,进一步增强了气象业务现代化水平。

③每次飞机人工增雨空地协调跟踪指挥作业,在飞机起飞前、作业中、起飞后、落地关车及 24 h 内信息上报的过程中,地面指挥中心、飞机上作业人员等之间就各个阶段的有关任务和出现情况,能通过系统进行及时沟通、协商、分析、决策、指挥、执行、反馈等。

④基于北斗导航系统在贵州省飞机增雨作业中的应用,实现了贵州省飞机人工增雨实时飞行轨迹传输、实时跟踪指挥播撒作业、温湿度探测信息和作业信息等实时沟通传输,飞机增雨播撒准确率提高了 90%,增雨效率提升了 80%。

参考文献

- [1] 贺艺,许弋,文继芬,等. 贵州省 2018 年 5 月 3 日飞机增雨作业个例分析[J]. 中低纬山地气象,2019,43(5):48-53.
- [2] 喻乙耽,许弋,李枚曼,等. 贵州省春季一次飞机人工增雨作业个例分析[J]. 科技风,2021(33):154-156.
- [3] 喻乙耽,许弋,李枚曼,等. 多参量动态对比方法在贵州飞机增雨效果检验中的应用研究[J]. 中低纬山地气象,2021,45(6):71-77.
- [4] 李明凡,张红领. 基于北斗系统的飞机人工增雨作业监控指挥系统[C]//. 中国卫星导航定位协会. 卫星导航定位与北斗系统应用论文集,2012.
- [5] 张向军. 北斗地空通信指挥系统在飞机人工增雨作业中的应用[J]. 内蒙古科技与经济,2018(7):87,89.
- [6] 周盛,彭月,兰明才,等. 北斗卫星在飞机增雨中的应用[J]. 气象水文海洋仪器,2015,32(3):65-67.
- [7] 陈农,郑凯,孙利民. 黑龙江省飞机人工增雨空地传输系统业务化设计与研制[J]. 黑龙江气象,2008(2):26-27.
- [8] 宾振,杨晓兰,张志红,等. 基于 GPS/北斗卫星和 GIS 技术集成的飞机人工增雨指挥系统设计与应用[J]. 气象科技,2013,41(5):929-933.
- [9] 杜春丽,丁建芳,李昊,等. 河南省飞机增雨空地信息传输系统建设及应用[J]. 气象与环境科学,2014,37(2):85-88.
- [10] 曾庆化,刘建业,彭文明,等. 我国卫星导航系统相关技术发展分析[J]. 航天控制,2006(4):91-96.
- [11] 唐金元,于潞,王思臣. 北斗卫星导航定位系统应用现状分析[J]. 全球定位系统,2008(2):26-30.
- [12] 苏相琴. 北斗卫星导航系统的现状及发展前景分析[J]. 广西广播电视大学学报,2019,30(3):89-92.
- [13] 杨军. 北斗卫星导航系统建设与发展[J]. 卫星应用,2021(6):12-15.