

文章编号: 2096-1618(2018)03-0281-05

四川省人工影响天气现代业务系统设计

刘平¹, 林丹¹, 任超¹, 范思睿¹, 吴佐强²

(1. 四川省人工影响天气办公室, 四川 成都 610072; 2. 华云信息技术工程有限公司, 北京 100081)

摘要:人工影响天气作为防灾减灾的有力手段, 服务领域涉及各行各业。四川是一个干旱、冰雹、森林草原火灾多发地区, 着眼提高作业效益, 建立一套适应服务需求的现代业务系统迫在眉睫。通过梳理业务任务, 设计了业务系统流程及功能架构, 简要介绍了业务系统各模块功能和实现的技术路线, 分析了作业指标等关键技术业务应用。基于数据库技术, 采用 B/S、C/S 及 APP 架构, 应用 GIS 和信息网络技术建立了四川省人工影响天气现代业务系统, 实现了需求分析、作业条件监测分析、作业方案设计、作业产品制作发布与实时指挥、信息采集、效益评估一体化的业务平台。业务运行表明, 业务系统为省市县及作业点人工影响天气服务提供了有效的业务支撑, 提高作业的科学性。

关键词:人工影响天气; 作业任务; 业务系统; 科学设计; 关键技术

中图分类号: TP311

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2018.03.010

0 引言

经过几代人长期不懈努力, 中国人工影响天气(简称人影)已发展成为基础性公益事业, 其工作体系基本形成, 作为现代气象业务的重要组成部分, 初步建立了国家、省、市、县及作业点五级人工影响天气业务体系^[1]。为提高业务能力, 全国大部分省市区先后开展了人工影响天气业务技术与系统建设^[2-9], 取得了一些成果和业务应用, 并在人影服务工作中发挥了积极作用。

近些年, 四川根据本省人影服务需求, 先后建设“四川省人工影响天气业务系统”“西南区域飞机作业航线制作软件平台”“人影作业指挥与信息收集平台”, 开展了飞机跨区增雨(探测)作业调度模型业务平台的探索与研究^[10]。但随着气象数据不断丰富, 人影探测技术、催化技术、效果检验技术的发展以及云降水数值模式的应用, 人工影响天气业务得到了快速发展, 部分业务系统已不能适应业务发展要求, 满足不了服务需要。加快人影业务现代化建设, 建立以省级为核心, 市县为基础的现代人工影响天气业务体系^[11-13], 全面提升人影业务能力、科技水平和服务效益, 摆在了突出的位置。为此, 2014 年四川省启动了四川省人工影响天气现代业务系统(简称业务系统)建设, 结合中国气象局业务现代化人影 3 年行动计划以及四川省人影 3 年行动计划实施方案, 通过科学设

计、实施和业务应用, 实现监测分析、条件预报、作业方案设计、跟踪指挥和作业实施以及效果评估等业务任务, 为增雨抗旱、特色农业防雹、森林草原防灭火、生态环境保护等提供技术支撑。

1 系统功能架构设计

1.1 业务任务和流程

按照“以省级为核心, 市县为基础的现代人工影响天气业务体系”原则, 对省、市、县、作业点业务任务进行了整体布局, 建立了省、市、县及作业点四级业务。其中, 省级业务设计为 5 段任务: 制订过程预报和作业计划(72 ~ 24 h); 制订增雨潜力预报和作业预案(24 ~ 3 h); 制订防雹潜力分析和作业预案(24 ~ 3 h); 制订增雨作业监测预警和飞机作业方案设计(3 ~ 0 h); 飞机跟踪指挥和作业实施(0 ~ 3 h); 飞机作业效果评估检验(作业后)。在业务任务布局基础上, 按任务时间尺度建立省级人影业务流程(图 1)。市级业务任务主要包括制订作业计划、制订作业预案、下达作业指令、作业实施和信息上报以及效果评估。县及作业点业务任务主要是作业实施和信息上报。

1.2 系统功能设计

业务系统功能设计首先要按流程实现五段业务任务, 同时兼顾业务系统的稳定性、扩展性、开放性的原则, 据此按层次化、组件化进行设计。对应设计了综合分析处理子系统、综合业务管理子系统、作业指挥决策

收稿日期: 2018-03-09

基金项目: 中国气象局气象关键技术集成与应用面上资助项目(CMAGJ 2015M51)

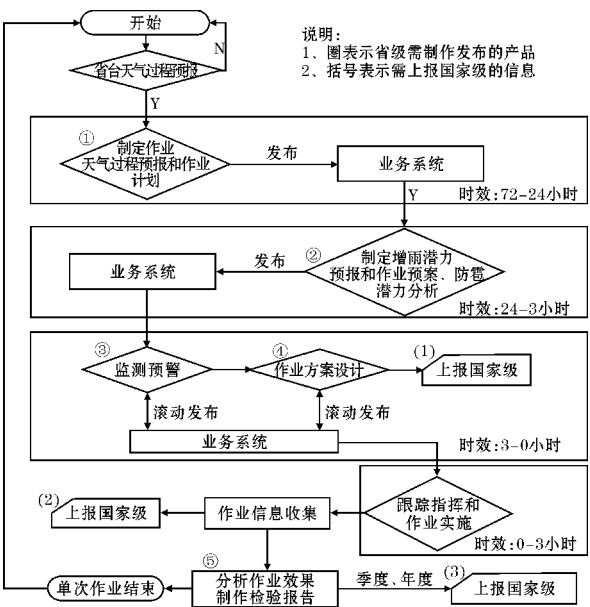


图 1 省级人影业务流程

子系统、移动终端子系统、数据采集加工处理子系统共 5 个子系统。综合分析处理子系统实现过程预报、潜力预报、监测预警和飞机作业效果评估,确保各类数据快速准确处理,且稳定可靠;综合业务管理子系统为用

户提供方便快捷的作业信息填报查询及地面作业效果评估等业务,同时提供人影产品共享服务;作业指挥决策子系统实现飞机作业跟踪指挥;移动终端子系统为移动用户提供一种操作方便、响应快速的访问方式,提高作业信息交互的及时性;数据采集加工处理子系统是整个系统的数据基础环境,为全省人影业务提供统一的数据支撑服务。

1.3 系统构架设计

系统构架设计为用户层、业务应用层、应用支撑层、基础设施层 4 层结构。其中,用户层分为省级业务人员、市级业务人员、县级业务人员和作业人员 4 类;业务应用层是整个系统的核心,为确保人机交互清晰简便,其构架和 5 个子系统一一对应;应用支撑层是业务系统开发的技术支撑,主要有绘图引擎、数据引擎、控制总线、数据总线、WEB 应用服务、系统运行监控等;基础设施层有软件和硬件两部分,其中基础软件包括操作系统、数据库、存储备份系统、系统安全软件、GIS 软件等,基础硬件包括服务器、存储设备、网络及网络安全设备等,系统功能构架(图 2)。

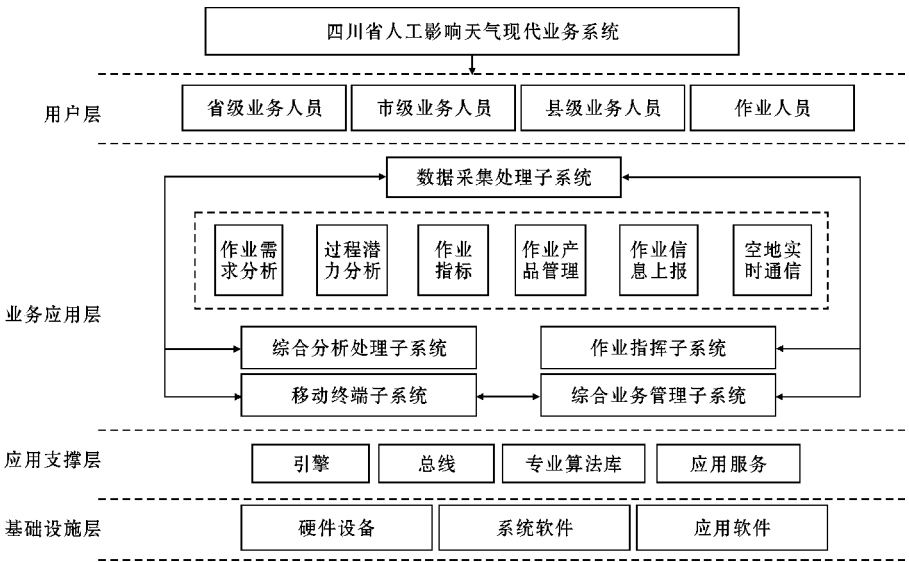


图 2 系统功能构架

1.4 系统模块功能简介

业务系统集成了作业需求分析、作业条件监测预报、作业产品制作、作业方案设计、作业指挥调度、作业效果评估、作业信息上报、作业信息管理、作业装备与安全管理等业务功能。通过数据加工处理实现业务流程,由 5 个子系统来承载。一是综合分析处理子系统,由需求分析、过程预报、潜力预报、监测预警、作业方案、效果评估、个例分析等功能模块组成。二是综合业

务管理子系统,由弹药管理、装备管理、作业点管理、人员管理、作业产品管理、作业信息管理模块组成。三是作业指挥决策子系统,主要针对省级飞机作业实时指挥而设计,通过 GIS 地图上叠加雨量、雷达和飞行 GPS 航迹实时资料,直观了然掌握飞机作业实况,指挥飞行作业。四是移动终端子系统,由监测产品、作业指令、资源管理和系统设置 4 个功能模块组成。五是数据采集加工处理子系统,实现对雷达、模式预报数据的采集,各类图形产品的生成,干旱监测、土壤墒情的解析

入库,自动站、探空、卫星、闪电等数据的加工处理分发以及存储,主要包括数据采集、数据处理分发、数据存储功能模块。

2 业务系统技术路线

综合业务分析处理子系统与作业指挥决策子系统基于 CS 结构搭建人机交互方式,采用 ArcGis Engine APi 实现地图操作和数据显示分析,Winfrom 编程技术+DevExpress 实现软件界面设计,确保系统运行稳定、易于扩展,同时保障系统安全性及响应速度。

综合业务管理系统开发基于 J2EE 平台和 MVC 模式设计,前端采用 JQuery 并通过 Velocity 技术实现 View 层展示;后台基于 SpringMVC 框架技术,使用 Quartz 定时器框架创建同步实时数据以及作业信息等数据,以 B/S 结构搭建人机交互方式。此技术路线设计系统利用率高、维护简单,同时方便省市县及作业点业务人员访问。

移动终端子系统兼容 Android 与 IOS 操作系统,具有统一认证中心保证系统安全性,J2EE 架构设计保证系统可扩展性。前端技术采用html 5技术保证了系统良好的跨平台功能,在数据传输过程中采用 DES 数据加密技术进行数据加密,在终端应用上采用高速缓存的 Memcached 技术进行常用数据缓存,以上技术以便于智能手机等移动客户端屏幕相对较小、运算速度慢、客户端浏览器标记语言不统一等环境下的访问和使用。

数据采集加工处理子系统采用 C/C++/Ruby 实现高效稳定的数据处理,满足多任务并发、计算量大、响应及时的需求,采用 JAVA 编程实现稳定的数据采集,易于维护,Nginx 提供对外数据服务接口。数据管理系统主要由 Spring MVC + Hibernate 实现,由 maven 统一管理第三方 jar 包,由 quartz 定时调度采集功能,根据 smb、ftp、http 等协议将需要的气象数据采集到服务器,统一进行数据管理;并将本地数据以 ftp 形式推送到相应的服务器,实现数据共享。

业务系统依托气象业务专用网络,数据存储及加工处理、GIS 服务、Web 服务等业务放在核心业务区。共享数据、综合业务门户等业务放在 DMZ 区,并通过防火墙与核心业务区隔离。手持终端、飞机作业数据传输通过 Internet 网,经防火墙与 DMZ 区共享服务器连接。省市县业务系统操作平台通过气象业务专网进行数据访问。系统网络拓扑结构见图 3。

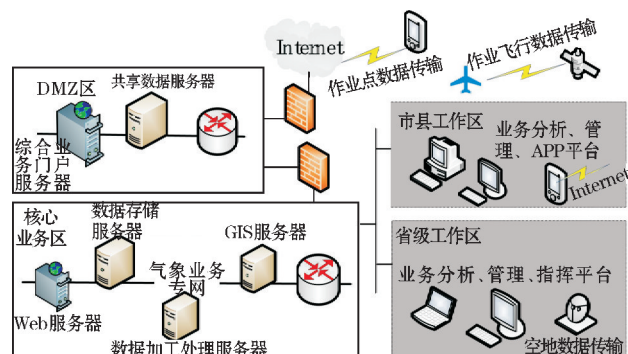


图3 系统网络拓扑结构

3 关键技术分析与业务应用

3.1 雷达作业指标实用技术

在降水性天气系统背景下,处于发展阶段的云团适合进行增雨防雹作业,其作业指标有较多的研究成果^[14-17],取值雷达 1.5° 的基本反射率因子 R 、径向速度 V 、回波顶高、垂直累积液态水含量等指标进行地面作业条件判断。

3.1.1 输入数据

(1)增雨、防雹作业条件判据指标雷达产品阈值基础数据库信息配置(分为不同地区、不同月份设置判别指标和阈值);

(2)增雨、防雹不同作业类型雷达产品数据报警方式设置(包括闪烁、高亮等报警方式);

(3)实时获取本地区或省级相邻地区雷达产品数据。

3.1.2 处理过程

(1)作业目标区分析判断。作业目标判断主要是根据雷达产品的实况数据结合阈值进行判断。业务系统自动获取作为判别指标的雷达产品阈值配置信息,同时实时获取并解析单部雷达体扫产品作为数据源,主要应用到的产品包含反射率因子 R 、径向速度 V 、回波顶高和垂直累积液态水含量。对回波顶高和垂直累积液态水含量产品进行插值和格点化处理,生成精细格点,投影到地面,遍历该产品的所有格点进行判定,满足阈值的标记为1,不满足的标记为0。对反射率因子和径向速度,滤除 0° 层以下数据,先进行三维格点处理,根据作业装备的最大射高,滤除高于最大射高的数据。将射高以内的反射率因子和径向速度投影到地面格点中,根据阈值对格点进行标记1或者0。

同一格点内所有条件均标记为1时,判定为有效格点,否则视为无效格点。对有效格点根据反射率因子强度按不同颜色绘制在GIS地图上。按照格点的连续性进行区域面积统计和分析,从而得到作业目标云投影区。

(2)方位角和仰角计算。首先根据作业弹药最大

射程确定最大作业半径 R , 再根据作业目标云投影区域的位置和形状, 确定目标云投影区域的几何中心位置, 当作业点与作业目标云投影区距离小于作业点装备射程临界值时, 认为在水平方向上目标云已进入作业范围, 该作业点具备作业条件, 从而建立作业点与作业目标云投影区对应关系, 推算方位角和仰角。

设作业点 A 经纬度坐标 (X_A, Y_B) 、海拔高度为 H_A , 目标云中心经纬度坐标 $B(X_B, Y_B)$ 、海拔高度为 H_B , 发射仰角为 α , 方位角为 γ , 地球半径为 r 。

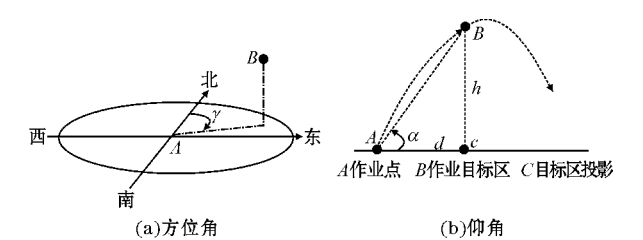


图 4 方位角、仰角示意图

目标区投影点 C 与作业点 A 间的距离 r :
$$D = \sin(Y_A) \times \sin(Y_B) \times \cos(X_A - X_B) + \cos(Y_A) \times \cos(Y_B)$$
$$d = r \times \arccos(D) \times \pi / 180$$

仰角计算^[18](单位为度):
$$\alpha = \arctan\left(\frac{H_B - H_A}{d}\right) \times 180 / \pi$$

方位角计算(单位为度):
$$\gamma = \arctan\left(\frac{Y_A \sin X_A - Y_B \sin X_B}{Y_A \cos X_A - Y_B \cos X_B}\right) \times 180 / \pi$$

按照人影地面作业标准, 正北设定为 0° 基准, 顺时针方向递加, 则:

- 东北方位角 $= \gamma$;
- 东南方位角 $= 180^\circ - \gamma$;
- 西北方位角 $= 180^\circ + \gamma$;
- 西南方位角 $= 360^\circ - \gamma$ 。

3.2 区域对比分析统计检验

业务系统采用效果评估统计检验的区域对比分析作为飞机增雨作业效果评估方法, 同一个天气系统下, 把作业对比区实测降水量作为作业影响区自然降水量的初始值, 然后与作业影响区实测降水量作比较, 得出人工增雨效果。

3.2.1 数据输入

业务系统从数据中心获取雨量站资料, 自动叠加在 GIS 地图。收集作业起飞时间、降落时间、作业高度、催化剂种类、催化剂播撒时间、催化剂量、作业航迹拐点等信息, GIS 地图叠加作业飞行 GPS 轨迹信息, 明确作业影响区范围, 实现作业影响区信息的可视化。

3.2.2 绘制作业对比区

根据飞机播撒路线确定作业影响区范围后, 参照催化播撒起止经纬度, 在 GIS 地图上选取播撒路线外环一闭合区域绘制作业影响区(可以是多边形、正方形、长方形、圆形等形状), 业务系统设计为 4 个可选对比区, 按对比区选择原则鼠标拖动绘制作业对比区。

作业对比区选择原则^[19]:

- (1) 对比区和作业影响区要求受相同或相似天气系统影响;
- (2) 对比区必须在作业影响区的上风方或侧风方, 不受催化作业影响的区域;
- (3) 对比区的地形、面积与作业影响区大体一致。

3.2.3 效果计算

人工增雨效果可定性和定量表征, 其中降水量为定量表征: 设作业影响区作业后实测平均降水量为 R_1 , 对比区同期平均实测降水量为 R_2 , 作业影响区面积为 S , 则人工增雨作业影响区增水量 W 可表示为

$$W = (R_1 + R_2) \times S \tag{1}$$

将式(1)通过编程代入实测值并进行单位换算自动计算生成影响面积为 1.20 万 km^2 的增雨效果, 见表 1。

表 1 2016 年第 2 期飞机人工增雨效果

增雨效果		影响区	对比区(1)	对比区(2)	对比区(3)	对比区(4)
降水量	3 小时	1.8 mm	0.2 mm	/	/	/
	6 小时	4.6 mm	0.3 mm	/	/	/
增水量	3 小时	—	0.192 亿 m^3	/	/	/
	6 小时	—	0.516 亿 m^3	/	/	/

4 结论

业务系统很好地结合了中国气象局人工影响天气业务现代化工作要求, 完整覆盖 3 年行动计划五段业务任务, 建立了省市县作业点四级无缝隙业务流程, 实现了省市县作业点一体化业务, 加快了四川省人影业务现代化建设步伐。

业务系统充分考虑了业务任务的不同性质, 分别按 CS、BS、APP 进行部署, 并逐步实现了与 CIMISS 数据的对接。同时集成了高炮自动采集器信息, 开通了 BS 和移动终端管理员同步授权审核模式, 实现了地面作业信息自动上传中国气象局人影中心。APP 技术的应用, 解决了作业信息上报问题, 提高了数据传输的准确性和时效。

业务系统实现了数据的智能化处理。系统能够自

动加工处理雷达产品、卫星反演产品、探空数据等产品生成人影业务的应用产品。同时能够根据阈值指标综合计算作业各种指标,包括作业区和作业参数等。比如利用雷达反射率因子、垂直累积液态水含量、回波顶高等产品综合计算增雨的目标区。

近几年,雨滴谱、双偏振雷达、微波辐射计等观测设备快速发展,其资料的分析应用此业务系统中没有体现。业务系统开发了飞机作业效果评估功能,但技术方法简单,没有进行催化扩散计算。数据分析工具不够精细,不能制作理想的图形图像产品。下一步,将探索和引进新的技术方法,加强业务应用,提高业务系统的技术水平。

参考文献:

- [1] 国家发改委与中国气象局共同印发. 全国人工影响天气发展规划(2014-2020年)[Z].
- [2] 周毓荃,张存. 河南省新一代人工影响天气业务技术系统的设计、开发和应用[J]. 应用气象学报,2001,(S1):383-388.
- [3] 袁野,杨光,李爱华,等. 安徽省人工影响天气信息管理与作业指挥系统设计与开发[J]. 气象,2011,37(11):1459-1465.
- [4] 邹书平,许弋,李玮,等. 贵州省人工影响天气业务集成系统[J]. 贵州气象,2010,34(2):36-38.
- [5] 许乐. 吉林省人工影响天气作业指挥业务系统的设计研究[D]. 兰州:兰州大学,2014.
- [6] 游积平,冯永基,何婉文,等. 基于Web GIS技术的人工增雨指挥系统[J]. 气象科技,2010,38(4):405-509.
- [7] 吴林林,刘黎平,徐海军,等. 基于MICAPS 3核心的人影业务平台设计与开发[J]. 气象,2013,39(3):383-388.
- [8] 耿蔚. 四川省人工影响天气业务系统功能[J]. 高原山地气象研究,2012,32(2):91-94.
- [9] 王英,常骏,李永利,等. 内蒙古气象综合信息系统功能设计与实现方式[J]. 气象,2010,36(4):80-84.
- [10] 刘平,周筠珺,张庆,等. 西南地区飞机人工增雨跨区作业调度模型[J]. 气象科技,2016,44(5):811-815.
- [11] 中国气象局. 全国人工影响天气业务发展指导意见[Z].
- [12] 郭学良. 大气物理与人工影响天气[M]. 北京:气象出版社,2010:445-474.
- [13] 中国气象局. 人工影响天气业务现代化建设三年行动计划[Z].
- [14] 刘晓璐,周长春. 川西南山地冰雹雷达预警指标[J]. 气象科技,2016,44(2):252-258.
- [15] 刘平,石立新. 人影作业指挥与信息收集平台技术开发与推广[R]. 四川省科技成果档案馆,2011.
- [16] 刘志,祁红彦,陈章,等. 基于雷达产品的人工增雨作业指令实时计算软件[J]. 气象科技,2013,41(3):470-475.
- [17] 田泽彬,陈章,刘平,等. 多普勒雷达资料在四川省盆地地面人工增雨中的应用[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),2011,34:226-228.
- [18] 曾庆存. 数值天气预报的数学物理基础[M]. 北京:科学出版社,1979:10-11.
- [19] 中国气象局. 人工增雨作业效果检验技术指南[Z]. 2016.

Modern Business System Design of Artificial Weather Modification in Sichuan Province

LIU Ping¹, LIN Dan¹, REN Chao¹, FAN Si-rui¹, WU Zuo-qiang²

(1. Weather Modification Office of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 2. Huayun Information Technology Engineering Co., Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: Artificial weather modification is used as a powerful means to prevent and mitigate natural disasters, and the field of its service covers all walks of life. Sichuan is a drought, hailstorm, forest grassland fire risk areas. It is urgent to focus on improving operational efficiency and establish a modern business system to meet the needs of the service. By combing the business tasks and processes, the functional architecture of the business system is designed, and the function of each module of the system is elaborated. The technical route of the business system is briefly introduced, and the key technology business applications such as operation index are analyzed in this paper. Based on database technology, by using B/S, C/S and APP architecture and applying GIS and information network technology, the modern business system of artificial weather modification in Sichuan province has been established. This system realizes the business platform of demand analysis, operation condition monitoring analysis, operation plan design, production and release of operation products and real-time command, information collection and benefit evaluation. Business operation shows that this business system provides effective business support for people in provinces and cities, and improves the scientific nature of the operation.

Keywords: artificial weather modification; business task; system design; business system; business application