气象雷达在民航安全中的应用研究

徐群玉[1],宁焕生[1],陈唯实[1],李 敬[2]
(1.北京航空航天大学电子信息工程学院,北京 100191; 2.民航总局航空安全技术中心,北京 100028)

摘 要: 本文研究了气象雷达在民航安全中的应用概况,主要包括风切变、湍流和鸟击危害探测.分析了微波和激光雷达两种风切变探测技术,探讨了对大气湍流和飞机尾流的探测方法,介绍了以美国鸟击危害咨询系统(AHAS)为代表的气象雷达探鸟系统,结合我国民航运输发展现状、物联网建设和新一代气象雷达网组建,展望了气象雷达在民航安全应用中的发展趋势.

关键词: 气象雷达; 民航安全; 探测; 风切变; 湍流; 鸟击危害
中图分类号: V321 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 09-2147-05

Applications of Meteorological Radar for the Civil Aviation Safety

XU Qun-yu[1], NING Huan-sheng[1], CHEN Wei-shi[1], LI Jing[2]
(1. *School of Electronics of Information Engineering, Beihang University, Beijing* 100191, *China*;
2. *Center of Aviation Safety Technology, CAAC, Beijing* 100028, *China*)

Abstract: Applications of meteorological radar for the civil aviation safety are studied, including wind shear, turbulence and bird hazard detection. Wind shear detection by microwave and laser meteorological radars is analyzed. Atmospheric turbulence and wake vortex measurements are mainly discussed, and meteorological avian radar systems represented by avian hazard advisory system (AHAS) in USA are introduced. Future applications of our national meteorological radar for the civil aviation safety are prospected, according to present requirements of air transportation developments, internet of things construction and new-generation weather radar network building in China.

Key words: meteorological radar; civil aviation safety; detection; wind shear; turbulence; bird hazard

1 引言

气象雷达[1]属于雷达领域中的一个重要分支,其发展至今大致经历了从模拟、数字到以美国 NEXRAD[2]为代表的新一代气象雷达三个发展阶段,目前已广泛应用于天气预报以及农业、水文、林业、交通、能源、海洋、航空、航天、国防、建筑、旅游、医疗等领域的专业气象服务[3].随着气象雷达探测技术的改进和应用范围的扩大,气象雷达在民航安全中的应用引起了民航界和相关学术界的广泛重视.现代气象雷达系统除了能监测雷雨等灾害天气外,还可以对严重影响民航安全的风切变、湍流和鸟类危险目标进行有效探测和预警,为降低进近机场区域低空风切变、飞机尾流和鸟击事件风险做出巨大贡献,对保障飞机飞行的安全性、经济性和舒适性具有重要意义.

本文综述了气象雷达在民航安全中的应用概况,主要包括风切变、湍流和鸟击危害探测,并结合我国民航运输发展现状、物联网建设和新一代天气雷达网组建,展望了气象雷达在民航安全应用中的发展趋势.

2 气象雷达风切变探测

风切变[4]是指小尺度风向或风速突然改变的航空现象,属于航空气象学概念,着重强调风速的突变带给飞机的剪切影响,引起飞机举升力异常变化而导致机体损坏甚至飞机失事.其中 600 米以下的风切变现象称低空风切变(LAWS),已被国际航空和气象界公认为飞机起飞着陆阶段的"无形杀手".为有效监测和提前回避风切变,目前机场装备的风切变探测设备[5]主要有:风廓线仪、低空风切变预警系统(LLWAS)、机场终端多普勒雷达系统、测风激光雷达和集成业务化风切变警报系统.

多普勒气象雷达技术大多应用于监测机场上空伴有雷雨的风切变,这种技术主要根据雷达回波以及反

收稿日期:2009-01-07;修回日期:2010-04-22
基金项目:国家自然科学基金委员会与中国民航总局联合资助项目(No.60879025);国家重点基础发展计划(No.2010CB731800)

演的风场对风切变进行判别.但普通微波型由于时空分辨率低和信号处理方式的限制,测风能力较弱,而且对于晴空风切变无能为力.相比而言,激光雷达具有很高的空间分辨率,因此成为一种新型有效的风切变探测技术.

2.1 微波雷达风切变探测

早在 20 世纪 80 年代初,研究人员就积极尝试应用微波多普勒气象雷达进行风切变探测研究[6].

80 年代末到 90 年代初,FAA 在观测大量风切变的基础上开发了终端多普勒气象雷达(TDWR)系统[7,8].该系统采用 5cm 波长 0.55°窄波束在机场探测风切变和沿着飞机起降路线上的强降雨,并给出下列标准:当估计空速变化量在 10m/s 至 15m/s 时,发送切变警报;大于 15m/s 时则发送微暴警报.此外系统数据还将共享于 FAA 的廊道综合气象服务系统(CIWS)和综合终端气象服务系统(ITWS),以便空管人员管理.TDWR 是地基风切变探测的典型系统,目前已成功应用于美国 45 个主要机场.

在机载风切变探测[6,9]方面,由于机载微波多普勒雷达可与现代机载数字彩色气象雷达兼容,使造价降低,且对飞机无改装要求,因此很适合于机载前视式风切变探测.但是实际探测中,地杂波是主要的干扰因素,尤其飞机进近阶段,抑制地杂波干扰、克服雨衰减和检测低反射率的风切变微弱信号是三大技术难点.其中,适于风切变探测的雷达信号处理方法[6,10]有脉冲对法、快速傅里叶变化法、自适应滤波法、频谱模式分析法等.

2.2 激光雷达风切变探测

测风激光雷达系统[11]是从 20 世纪 70 年代开始发展起来的,最初的测风激光雷达系统一般采用连续 CO_2 激光器和相干检测方法.90 年代后,非相干检测固体激光测风系统得到了迅速发展.目前,国际具有代表性的风切变激光雷达探测系统为美国 Lockheed Martine 公司为美国国防部、NASA 和 FAA 等政府部门研制的相干多普勒激光雷达 Wind Tracer 系统[12].

2002 年,该系统安装于香港国际机场[13],并于 2005 年正式投入服务,这是世界上第一部应用激光雷达在机场探测和自动发出风切变预警的业务系统.该系统采用脉冲式相干 2μm Tm-YAG 红外固态激光雷达,并通过香港天文台自主研发的飞机下滑道扫描风切变探测运算程序(GLYGA)和径向风切变探测运算程序(RAGA)实现风切变自动探测和预警[14].

此外,该系统还在拉斯维加斯 McCarran、日本东京 Haneda、Narita 以及意大利 Palermo 机场得到应用,风切变探测捕捉率均达 90%以上.

3 气象雷达湍流探测

对气象雷达而言,湍流是指微粒速度偏差较大的气象目标[15],这里的速度偏差可理解为速度的范围或频谱,频谱越宽,湍流越大.一直以来,湍流对于飞机尤其是民航飞机的安全造成极大威胁.本节将主要对民航飞机经常遭遇的大气湍流和飞机尾流探测方法作一介绍.

3.1 大气湍流探测

大气湍流[4]由大气快速不规则运动引起,属于气象学概念,通常表现为气流运动急速多变,方向变化不定.

早期气象雷达并不能直接测量大气湍流,通常用间接判别的方法,将大气湍流和降雨量、无规律的回波形状和急剧升降的雨梯度联系起来判断是否存在,但实际中湍流并不一定会伴随上述特征出现,尚存很多缺陷.

20 世纪 80 年代,多普勒技术广泛应用于气象雷达.多普勒湍流检测[16]是一种从频域提取湍流目标信息的相参检测技术.该技术基于多普勒原理,当雷达波束照射到湍流区域时,湍流目标形成雷达回波,由于湍流急速多变的运动特性,所形成的是一个偏离雷达发射频率且频谱宽度较宽的多普勒频移,与一般降雨区回波存在明显差别,从而根据这一特性来探测并且直接显示出湍流区域,大大保障飞行安全.

通常根据湍流区域是否含有降雨雨滴,可把大气湍流分为湿性湍流和晴空湍流.目前,只有湿性湍流能被多普勒气象雷达有效探测[16],而晴空湍流很难用肉眼和普通气象雷达探测,激光多普勒雷达技术是目前主要的探测手段[4].近几十年来,国内外学者对晴空湍流的诊断预报方法[17]进行了大量研究,综合利用雷达、卫星资料,结合先进的数值模式产品和湍流数值模拟研究将是晴空湍流探测预测方法的主要发展趋势.

3.2 飞机尾流探测

飞机尾流[18]是湍流的一种形式,它是指飞行器经过后引起的空气不规则运动,会导致跟进的后机出现机身抖动、下沉、飞行状态改变甚至发动机停车等现象,严重危及飞行安全.目前为避免飞机尾流影响,民航空中交通管理规定了安全尾流间隔标准以确保飞行安全,但民航事业的快速发展迫切需求尾流安全间隔能进一步缩小来有效增加机场跑道容量.

90 年代末,美国 NASA 和 FAA 拟定了为期 4 年的综合研究计划,加强对尾流特性和间隔标准的研究工作.该计划通过气象雷达等子系统探测收集的飞机尾流、机场周围温度、湿度、风场等气象数据,建立尾流特征模型来有效预测尾流,并建立自动涡旋间隔标准系

统(AVOSS)以便空管人员动态调度管理[19].欧洲空中航行安全组织(EUROCONTROL)也相继开展多项尾流研究工作[20],目前主要包括:尾流安全间隔的重新分类;基于时间的动态间隔标准(TBS);起飞作业时尾流侧风减少的研究(CREDOS);单跑道飞机尾流对其他密置平行跑道的影响研究(CSPR)以及空中客车 A-380 尾流间隔确定等项目.

目前监测和预警飞机尾流的主要研究方法为,在测量尾流特性数据基础上,分析尾流的形成机理和消散特性,通过拟合的尾流消散和遭遇模型[21]来有效预测尾流.地基或机载脉冲激光雷达是适于尾流特性测量的主要探测设备,其中 Wind Tracer[12]已在纽约、伦敦、法国 Charles de Gaulle 和德国 Frankfurt 国际机场得到广泛应用,尾流探测效果显著.此外,利用尾流声学性质,应用声传感手段也是一种有效测量方法,如 Lockheed Martine 公司开发的 SOCRATES[22]系统.

4　气象雷达鸟情探测

鸟击[23]是指航空器起降或飞行过程中与鸟类、蝙蝠等飞行物相撞的事件.自航空器问世以来,鸟击事件就对飞行安全存在严重威胁.ICAO 将鸟击灾害定义为 A 类航空灾难,鸟击危害已上升为我国民航的重大安全隐患.

利用雷达识别鸟类目标,建立鸟击预警模型,有针对性地驱散和避开鸟群,是降低鸟击危害的有效途径[23].由于鸟类的直径在几厘米到几十厘米,为获得鸟类目标较稳定的 RCS 量值,探鸟雷达的工作波段通常选择为鸟类尺寸相当的 S-Ka 波段,因此应用气象雷达进行鸟类活动探测有着一定的理论可行性.

早在 20 世纪 60 年代到 70 年代,科研人员就积极尝试应用气象雷达进行鸟类活动观测[24].经过几十年的发展,目前国外已基本形成相对成熟的气象雷达探鸟系统,其中具有代表性的是美国鸟击危害咨询系统(AHAS)[25].

该系统基于 151 部新型多普勒气象雷达 WSR-88D 组成的气象雷达网,实现对美国 48 个州的候鸟迁徙情况进行有效监测和预报.其最高输出功率 750kW,工作频率 2.7-3.0GHz(S 波段),采用口径 9m 的抛物面天线,波束宽度 0.96°,脉冲宽度从 1.57μs 到 4.5-5.0μs 可调,覆盖范围达 124 海里,可探测到大气中鸟类、蝙蝠和昆虫等生物目标.系统每 10 分钟更新一次全美鸟情信息,并通过互联网发布,为鸟击防范和鸟类学研究发挥重要作用.

气象雷达适于探测较广区域(10-60km)的鸟情分布,但由于其造价高、信息更新速度慢、不易操作等原因,并不适合机场区域鸟情探测.目前已经开发出的典型"机场雷达探鸟系统"有 DeTect 公司的 Merlin[26]和 Sicom Systems 公司的 Accipiter[27].北京航空航天大学与中国民用航空总局航空安全技术中心合作,在国内率先搭建了"机场雷达探鸟实验系统",对机场区域内的鸟情探测技术进行了深入研究[28].利用该实验系统进行了广泛的理论和实验研究,验证了雷达探鸟的可行性,积累了大量探鸟雷达图像并形成了供研究的样本库[29].飞鸟目标检测与跟踪算法是该系统的核心,包括背景差分、杂波抑制、量测信息提取、目标跟踪和数据叠加五个步骤,将鸟情信息从复杂的雷达图像中提取出来,生成便于观测的融合图像[30]."机场雷达探鸟系统"研究将为我国全国范围内新一代气象雷达探鸟网的组建奠定了理论和工程基础.

5　小结与展望

民航事业的快速发展使得人们对飞机飞行的安全需求日趋增高,FAA 飞行规划(2009-2013)[31]和 ICAO 业务计划(2008-2010)[32]都将安全纳入第一战略目标.近年来,我国民航事业呈现高速发展的态势[33].目前,全国民用飞机已有 1813 架,内地民用航空机场共 166 个,民航航线里程达 246.18 万公里,航空总周转量和旅客周转量均居世界第二位,但由此带来的航路密集、机场承运量大等问题对我国民航安全提出了更高要求.

为适应物联网发展趋势,将物联网技术应用于民航安全领域潜力巨大.即利用各种感知技术全面监测安全威胁要素,并对各种安全风险进行统一在线管理,将大大保障民航安全,实现我国新一代民航运输系统的建设目标.气象雷达作为物联网电磁感知的重要手段,在民航安全保障中将发挥重要作用;同时我国目前有 216 部 S 波段和 C 波段新一代气象雷达正在不断建设和发展中,新一代气象雷达网[3]的组建将为我国航空安全物联网建设和气象雷达在民航安全中的应用发展提供良好契机.

此外,我国已开始实施低空空域开放政策,实现不误碰大地、不撞山坡及建筑障碍物、不与空中飞行物碰撞(包括飞鸟)、不误入恶劣气象空域(包括低空风切变、尾流等),将是保障低空飞行安全的基本目标[4].

因此,加强气象雷达技术研究,使其可以进行空天地一体化的联网综合探测,实现对地面或建筑障碍物、鸟击危害、风切变、湍流等民航安全威胁要素的一体化探测预警,最终实现低空防撞综合处理智能一体化,将成为我国气象雷达在民航安全应用中的重要发展趋势.

参考文献:

[1] 焦中生,沈超玲,张云.气象雷达原理[M].北京:气象出版社,2005.

Jiao Zhong-sheng, et al. Principles of Meteorological Radar [M]. Bejing: China Meteorological Press, 2005. (in Chinese)

[2] W H Heiss, D L McGrew, D Sirmans. NEXRAD: Next generation weather radar (WSR-88D) [J]. Microwave Journal, 1990, 33(01): 79 – 98.

[3] 中国气象局. 天气雷达近期发展规划(2005-2010 年)[R/OL]. http://english.cma.gov.cn/jwgk/syfzgh/zdjs/t20080509_233924.phtml, 2010 – 04 – 12.

[4] 魏永恒. 大气湍流及航空风切变探测预警体系[J]. 宝成航空科技, 2007, (01): 1-13.

[5] 梁爱民, 陈露. 低空风切变与飞行安全[J]. 中国民用航空, 2009, 105(09): 32.
Liang Ai-ming, Chen Lu. Low level windshear and flight safety [J]. Chinese Civil Aviation, 2009, 105(09): 32. (in Chinese)

[6] 中国航空工业总公司第六 O 七研究所. 机载低空风切变探测技术[M]. 北京: 中国贸促会, 1995.

[7] M E Weber, et al. Comparative analysis of ground-based wind shear detection radars[A]. Proc IEEE 1995 International Radar Conference[C]. Alexandria, 1995. 486 – 495.

[8] MIT Lincon Laboratory. FAA Weather System [EB/OL]. http://www.ll.mit.edu/mission/aviation/faawxsystems/faawxsystems.html, 2010 – 04 – 12.

[9] R L Bowles. Windshear detection and avoidance: airborne systems survey [A]. Proc 29th IEEE Conference on Decision and Control[C]. Honolulu, 1990. 708 – 736.

[10] C Moscardini, et al. Spectral modelling of airborne radar signal in presence of windshear phenomena[A]. Proc EuRAD 2009 [C]. Rome, 2009. 533 – 536.

[11] J M Vaughan, K O Steinvall, et al. Coherent laser radar in Europe[J]. Proc IEEE, 1996, 84(2): 205 – 226.

[12] Wind Sensing. WindTracer Doppler Lidar [EB/OL]. http://www.lockheedmartin.com/products/WindTracer/index.html, 2010 – 04 – 12.

[13] C M Shun, S Y Lau. Implementation of a Doppler light detection and ranging (LIDAR) system for the Hong Kong international airport[A]. Proc 10th AMS Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology[C]. Portland, 2002.

[14] B L Choy, Olivia S M Lee, C M Shun, et al. Prototype automatic LIDAR-based wind shear detection algorithms[A]. Proc 11th AMS Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology[C]. Hyannis MA, 2004.

[15] 骆文成. 机载气象雷达探测系统总体关键技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2001.
Luo Wen-cheng. Studying the signal processing technology of airborne forward looking windshear weather radar[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2001. (in Chinese)

[16] 苏卉芳. 民航机多普勒气象雷达的湍流检测[J]. 电子技术, 1989, (04): 153 – 158.

[17] 沈强, 白洁, 王洪芳. 晴空湍流及其诊断预报方法研究[A]. 中国气象学会 2008 年年会论文集[C]. 北京, 2008. 92 – 99.

[18] 冯志勇. 尾流对飞行的影响及安全间隔研究[D]. 四川成都: 西南交通大学, 2007.
Feng Zhi-yong. How wake vortexes affect the flight and safety separation research [D]. Chendu, Sichuan: Southwest Jiaotong University, 2007. (in Chinese)

[19] D A Hinton, C J O'Connor. Development of a wake vortex spacing system for airport capacity enhancement and delay reduction[A]. Proc. 19th Digital Avionics Systems Conferences [C]. Philadelphia, 2000. 3E6/1 – 3E6/10.

[20] EUROCONTROL. Wake vortex [EB/OL]. http://www.eurocontrol.int/airports/public/standard_page/wake_vortex.html, 2010 – 04 – 12.

[21] Thomas Gerz, et al. Commercial aircraft wake vortices[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2002, 38(03): 181 – 208.

[22] Lockheed Martin. SOCRATES Wake Vortex Detection and Tracking: A Technical Status Report[R]. Mystic, CT: Flight Safety Technologies Inc, 2004.

[23] 宁焕生, 刘文明, 李敬, 等. 航空鸟击雷达鸟情探测研究[J]. 电子学报, 2006, 34(12): 2232 – 2237.
NING Huan-sheng, et al. Research on radar avian detection for aviation[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(12): 2232 – 2237. (in Chinese)

[24] W L Flock. Monitoring bird movements by radar[J]. IEEE Spectrum, 1968, 05(06): 62-66.

[25] S A Gauthreaux Jr, C G Belser, D van Blaricom. Using a network of WSR-88D weather surveillance radars to define patterns of birdmigration at large spatial scales [A]. Peter Berthold, Eberhard Gwinner, Edith Sonnenschein. Avian Migration[M]. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 335 – 346.

[26] DeTect, Inc. Avian Radar Systems[OL]. http://www.detectinc.com/merlin.html, 2010 – 04 – 12.

[27] T J Nohara, P Weber, A Unkrainec, et al. An overview of avian radar developments-past, present and future[A]. Proc. Bird Strike North American Conference[C]. Kingston, 2007. 10 – 13.

[28] Ning Huansheng, Chen Weishi, et al. Bird-aircraft strike avoidance radar[J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2010, 25(01): 19 – 28.

[29] 陈唯实, 宁焕生, 李敬, 等. 基于两种扫描方式的雷达探鸟系统[J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35(03): 380 – 383.
Chen Wei-shi, et al. Avian radar system based on two scanning modes[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 35(03): 380 – 383. (in Chinese)

[30] 陈唯实, 宁焕生, 等. 基于雷达图像的飞鸟目标检测与信息提取[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(9): 1624 –

1627.
Chen Wei-shi, et al. Flying bird targets detection and information extraction based on radar images[J]. Systems Engineering and Electronics, 2008, 30(9): 1624 – 1627. (in Chinese)
[31] FAA. FAA Flight Plan 2009 – 2013[R/OL]. http://www.faa.gov/about/plans_reports/media/flight_plan_2009 – 2013.pdf, 2010 – 03 – 20.
[32] ICAO. ICAO Annual Report of the Council[OL]. http://www.icao.int/icaonet/dcs/9916/index.html, 2010 – 03 – 20.
[33] National Bureau of Statistics of China [EB/OL]. http://www.stats.gov.cn/english/, 2010 – 03 – 20.

作者简介:



徐群玉　女,1985 年生于安徽六安.2007 年毕业于安徽大学,获电子信息工程专业学士;2007 至今,北京航空航天大学硕博连读.主要研究方向为:物联网及其在航空安全中的应用.
E-mail: xuqunyu@ee.buaa.edu.cn



宁焕生　男,1975 年生于安徽怀宁.1996 年毕业于安徽大学,获电子工程专业学士;2001 年于北京航空航天大学获信息与通信工程专业博士;2002-2003 年,航天科工集团航天金卡公司任职,参与和负责行业和国家重大信息化工程建设;2004-2005 年,北京航空航天大学博士后;现任北京航空航天大学电子信息工程学院副教授,副系主任.主持过 973 子专题、国家自然科学基金、863、航空科学基金、航天支持基金、产学研合作项目等 20 余项.曾获省部级奖励 4 项.主要研究领域为:物联网及其在航空安全中的应用、目标识别与电磁感知.
E-mail: ninghuansheng@buaa.edu.cn