

文章编号:1674-8190(2016)01-120-04

机载低空风切变系统适航要求及验证方法研究

韩丽,刘明,王佳杰

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要: 风切变是一种特殊的大气现象,影响飞行安全,民用飞机在飞行时应尽量躲避风切变。机载低空风切变系统是一种有效的风切变探测系统,可以探测风切变的存在并发出警告,使飞行机组有足够的时间采取措施安全地避开风切变。本文简要介绍了风切变的概念及其危害,梳理了民用飞机主要应用的机载低空风切变系统类型,分析了机载低空风切变系统的适航条款要求,并给出了可采用的符合性验证方法。研究结果对国内民用飞机的适航审定取证工作具有积极意义。

关键词: 民用飞机;低空风切变系统;适航要求;符合性验证方法

中图分类号: V37

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2016.01.017

Analysis of Low-altitude Wind Shear System Airworthiness Requirements and Means of Compliance

Han Li, Liu Ming, Wang Jiajie

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: Low-altitude wind shear is a special atmospheric phenomena, which has bad effects on civil aircraft flight. So one of counter-measures to the effects of low-altitude wind shear is to escape such phenomena. Airborne wind shear system is an effective system which could provide wind shear warning and escape guidance commands based upon sensing the aircraft's encounter of such phenomena. The concept and damage of low-altitude wind shear are recommended, and the type of civil aircraft airborne wind shear system is introduced. In order to meet the CCAR25 and CCAR121 well, the requirements of airworthiness terms of airborne wind shear system are researched deeply, the means of compliance are proposed. It can be a reference for domestic civil aircraft to meet requirements of CCAR well.

Key words: civil aircraft; low-altitude wind shear system; airworthiness requirements; means of compliance

0 引言

风切变是风向和风速在水平和垂直方向突然变化的大气紊流,是一种特殊的大气现象。在航空气象学中,风切变又分为垂直风的水平切变、水平风的水平切变和水平风的垂直切变三类。风切变作为一种扰动,会对飞机的正常飞行造成影响,若飞行机组不能及时加以修正,将会使飞机航迹发生

变化,在俯冲、滚转、偏航和空速等方面出现复杂的振荡。然而,在风切变环境中,飞行机组控制指示空速的能力非常有限,而且飞机重量越大,受风切变的影响就越大;风切变发生的高度越低,对飞行的影响也越大。

遭遇风切变时的飞行高度是影响飞机起飞着陆安全的关键因素。理论上讲,飞机起飞时遭遇风切变比着陆时遭遇风切变更危险,而事实却相反,原因是若飞机起飞时遭遇风切变,其危险是飞机失速,这时飞行机组无需判断,只需推大油门以争取飞机的速度和高度即可。而若是着陆时遭遇风切变,则要求飞行机组及早判断,并完全改变着陆操

收稿日期:2015-10-19; 修回日期:2015-11-25

通信作者:韩丽,hanli2@comac.cc

作,但飞行机组在飞机着陆过程中是难以采取相反操纵动作的,故着陆时发生的事故更多。据美国国家运输安全委员会统计,自 1975 年以来,由于天气原因在美国国内发生的恶性空难中,80%是低空风切变导致的^[1-2]。

为保证飞行安全,民用飞机应对低空风切变的最直接方法就是“躲避”,即应用专门的风切变探测技术,提前发现,提前避开。一般通过飞机机载风切变探测系统或机场范围内的地面低空风切变探测系统来探测风切变。通过上述探测技术,可以使飞机在遭遇风切变时或者遭遇风切变之前收到警告,给飞行机组足够的时间来采取措施避开风切变^[3]。

查阅相关民用飞机适航规章,例如《运输类飞机适航标准》(CCAR-25 部)和《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》(CCAR-121 部),发现适航规章对民用飞机机载风切变系统的要求甚少。因此,本文重点研究民用飞机机载低空风切变系统的适航规章要求,明确民用飞机适航取证过程中应该满足的条款要求;同时给出可行的符合性验证方法。

1 机载低空风切变系统概述

机载低空风切变系统按原理可分为预测型低空风切变系统和反应型低空风切变系统两类。预测型低空风切变系统属于主动探测系统,具有前视探测功能的机载微波多普勒雷达系统,能在飞机遭遇风切变之前 15 s 左右发出风切变警告,使飞行机组有时间采取措施应对风切变;而反应型低空风切变系统属于被动探测系统,即只有当飞机遭遇风切变时,系统才会发出风切变警告。

预测型低空风切变系统是利用多普勒效应工作的雷达系统,其通过测量运动目标的回波信号与发射信号频率之间存在的频率差异——多普勒频移,来探测运动气象目标。气象雷达发射的信号遇到大气中的运动粒子被反射回来,根据多普勒效应,运动粒子产生的回波信号与发射信号之间存在相位差,通过测量该相位差,便可计算出粒子的运动速度,从而反映气流速度。

反应型低空风切变系统是利用飞机现有仪表系统中的一些参数异常来提示飞行机组飞机遇到了风切变。波音公司规定:当飞机空速表指示值突

然改变 15~20 n mile/h,则认为飞机遇到了风切变。反应型低空风切变系统早先被用于风切变实属无奈之选,随着科技的发展以及对风切变现象认识的逐步深入,应对风切变最好的办法应是预测型低空风切变系统,因为该系统能真正做到“提前发现,提前避开”。

2 适航要求

查阅相关适航规章,发现《运输类飞机适航标准》(CCAR-25-R4)中没有明确条款对飞机安装机载低空风切变系统提出要求;而《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》(CCAR-121-R4)中,第 358 条对低空风切变系统提出了要求。

CCAR-121-R4 第 358 条——低空风切变系统的设备要求,条款原文为:“除经局方批准外,按照本规则实施运行的涡轮动力飞机(涡轮螺旋桨动力飞机除外)应当装备有经批准的机载风切变警告与飞行指引系统,经批准的机载风切变探测和避让系统,或者经批准的这些系统的组合^[4]。”

结合上述适航要求及目前民用飞机对风切变探测技术的应用,本文认为:①反应型低空风切变系统属于“经批准的机载风切变警告与飞行指引系统”的一种,当飞机遭遇风切变时,该系统能够向飞行机组发出警告;同时,飞行控制系统自动地综合利用空速,无线电高度和迎角信息产生最佳的机动指令,帮助飞机脱离风切变。②预测型低空风切变系统属于“经批准的机载风切变探测和避让系统”的一种,该系统能够提前探测前方风切变的存在;同时,飞行控制系统自动地综合利用空速,无线电高度和迎角信息产生最佳的避让机动指令,使飞机避开风切变。③“经批准的这些系统的组合”可认为是“未来新型风切变系统”,该系统不仅具备机载风切变警告与飞行指引的功能,还兼具机载风切变探测和避让的功能。

CCAR-121-R4 第 358 条,条款原文语句比较复杂,仅从字面解析,无法准确得知“按照本规则实施运行的涡轮动力飞机(涡轮螺旋桨动力飞机除外)”应该装备哪一种风切变系统,反应型低空风切变系统和预测型低空风切变系统是否需要同时安装。

考虑 CAAC 规章与 FAA 规章体系相似,查阅 FAA 规章条款,发现 14 CFR Part 121 第 358 条对

风切变系统提出了要求。

14 CFR Part 121 第 358 条——Low-altitude wind shear system equipment requirements^[5] (低空风切变系统的设备要求), 条款原文为:“(a) Airplanes manufactured after January 2, 1991. No person may operate a turbine-powered airplane manufactured after January 2, 1991, unless it is equipped with either an approved airborne wind shear warning and flight guidance system, an approved airborne detection and avoidance system, or an approved combination of these systems.”(中文译为:(a) 1991 年 1 月 2 日后生产制造的飞机。任何人不得运行 1991 年 1 月 2 日后生产制造的飞机,除非该飞机已经装备了经批准的机载风切变警告与飞行指引系统,经批准的机载风切变探测和避让系统,或者经批准的这些系统的组合。)

查阅规章制定建议公告(NPRM),得知 14 CFR Part 121 第 358 条对应的规章修正案为 1990 年 5 月 9 日发布的 121-216,相应的 NPRM 为 1990 年 4 月 9 日发布的 55 FR 13242。NPRM 主要讲述修订该条款的背景、过程、经济效益、最终规章等,其主要内容如下:1988 年 9 月 27 日,FAA 在联邦注册报 53 FR 37688 发布了新规章——飞机安装低空机载风切变设备和加强飞行飞行机组风切变培训的要求。新规章要求:截止 1991 年 1 月 2 日,所有按照 121 部运营的涡轮动力飞机都必须安装机载风切变警告和飞行指引系统。运营人可以向 FAA 提交改装申请,获得批准后可以延迟符合该规章要求的时间。FAA 修订该条款,主要为了降低与风切变相关的飞行事故率,即使飞机遭遇风切变,其所安装的低空风切变警告和飞行指引系统,也能提高安全裕度。

1989 年 3 月 17 日,ATA(交通运输协会)向 FAA 反馈意见:一些老龄飞机不值得安装风切变警告和飞行指引系统,应排除在外,建议 FAA 在规章中明确。对此,1989 年 8 月 1 日,FAA 在联邦注册报 54 FR 34394 发布了 NPRM,对规章进行了三点修改:①将一些老龄飞机排除在外,规定某些老龄飞机不需要安装机载风切变飞行指引系统;②型号合格证持有人为了满足 121-R4 第 358 (a)条款的要求,可以向 FAA 提交延长符合性截

止时间的申请,申请时,型号合格证持有人可以将机载风切变系统设备安装时间与 TCASII 设备的安装时间保持一致;③当预测型风切变系统发展成熟可用时,经批准的预测型风切变系统将被允许安装。

在征求意见时,达美航空提出:安装反应型风切变系统可能阻碍预测型风切变系统的发展与装机。为此,FAA 最终发布的规章里特别提出:当预测型风切变系统发展成熟可用时,预测型风切变系统也将被允许装机。

规章制定建议公告中相应的说明是:“(a) The final rule specifically allows for the installation of predictive systems if they become available. (b) Because predictive systems would provide pilots with an opportunity to avoid the encounter, the FAA proposed amending 121.358 to allow the use of predictive systems as soon as they are available and certificated.”(中文译为:(a) 最终发布的条款将考虑允许预测型风切变系统的装机,前提是预测型风切变系统技术可行。(b) 预测型风切变系统给飞行机组提供了一个提前规避风切变的机会,因此 FAA 决定,若预测型风切变系统技术可行且能够通过适航验证,则 121.358 条款修订时将允许安装预测型风切变系统。)

综上所述,1990 年规章修订时,预测型风切变系统尚未成熟,故 14 CFR Part 121.358 条并未要求涡轮动力飞机安装预测型风切变系统。14 CFR Part 121.358 条最开始的要求是:按照 121 部实施运行的涡轮动力飞机必须安装机载风切变警告与飞行指引系统。但通过征询意见,考虑到科学技术的进步,且预测型风切变系统能够提供飞行机组避开风切变的选择,FAA 最终对机载低空风切变系统的设备要求进行了修订,允许飞机安装经批准的机载风切变探测和避让系统,即预测型风切变系统(NPRM 原文为:“The FAA is amending the airborne low-altitude wind shear equipment rule to provide for acceptance of alternative airplane equipment in the form of an approved airborne wind shear detection and avoidance system (predictive systems).”^[6])。因此,CCAR-121-R4 第 358 条可解读为:“按照本规则实施运行的飞机,应当装备有经批准的机载风切变警告与飞行指引系

统,或者经批准的机载风切变探测和避让系统,或者经批准的这些系统的组合。”

3 符合性验证方法

新研制的飞机在适航审定取证过程中,若安装有 CCAR-121-R4 第 358 条要求的机载低空风切变系统,则必须表明符合 CCAR-25-R4 第 1301 条“功能和安装”和 CCAR-25-R4 第 1309 条“设备、系统及安装”,即机载风切变系统在安装后功能正常,同时必须保证在各种可预期的运行条件下能完成预定功能^[7]。

适航符合性验证方法分 10 种,分别为:MC0(符合性声明)、MC1(说明性文件)、MC2(分析/计算)、MC3(安全性评估)、MC4(试验室试验)、MC5(地面试验)、MC6(飞行试验)、MC7(航空器检查)、MC8(模拟器试验)和 MC9(设备合格性)^[8-9]。

风切变飞行条件很难控制,机载风切变系统的测试和飞行试验属于高危风险科目,因此国际航空制造商几乎都采取飞行模拟器试验(MC8)开展适航验证工作,有时也可结合 MC1 说明性文件、MC3 安全性评估和 MC6 飞行试验等方法开展适航验证。本文仅介绍机载反应型风切变系统飞行模拟器试验的相关内容。

为了验证机载反应型风切变系统满足 CCAR-25-R4 第 1301 条和第 1309 条的要求,需按照 AC25-12《批准运输类飞机机载风切变警告系统的适航准则》验证风切变系统对飞机和发动机的响应是正确与合适的。同时,按照 AC120-41《机载风切变警告和飞行指引系统的使用批准准则》^[10]验证飞行机组的操纵能否有效降低风切变的危险程度,验证机载反应型风切变系统能否满足 CCAR-121-R4 第 358 条的要求。其中,AC120-41 附件中列出了 10 种可供使用的解析风场,TSO-C117a《运输类飞机机载风切变警告和避让指引系统技术标准》^[11]附件中列出了 6 种可供使用的离散风场。

MC8 模拟器试验点的选取非常重要,需要综合考虑上述规章、咨询通告和技术标准的要求,以验证机载反应型风切变系统的警告功能、飞行导引功能是否正确合适;同时由不同的飞行机组在模拟风切变环境下进行起飞和着陆操作,得到对机载反应型风切变系统的主观和客观评估意见;最后进行综合量化分析,判断机载反应型风切变系统是否满

足相关规章要求。

4 结 论

本文通过对机载低空风切变系统的适航要求地分析研究,明确 CCAR-121-R4 第 358 条的要求为“按照本规则实施运行的飞机,应当装备有经批准的机载风切变警告与飞行指引系统,或者经批准的机载风切变探测和避让系统,或者经批准的这些系统的组合。”同时,给出了机载低空反应型风切变系统 MC8 适航符合性验证可参照的适航规章,对国内民用飞机风切变系统适航取证工作具有积极意义。

参考文献

- [1] 张军,陈汉华,杨雪,等.低空风切变浅谈[J].中国水运,2007,5(11):189-190.
Zhang Jun, Chen Hanhua, Yang Xue, et al. Brief of low-level windshear[J]. China Water Transport, 2007, 5(11): 189-190. (in Chinese)
- [2] 李航.浅析低空风切变及其探测技术[J].西安航空技术高等专科学校学报,2005,23(5):19-21.
Li Hang. A brief analysis on low-level windshear and detection technology[J]. Journal of Xi'an Aerotechnical College, 2005, 23(5): 19-21. (in Chinese)
- [3] 丁立平.低空风切变对飞行的影响及应对措施[J].指挥信息系统与技术,2010(1):77-81.
Ding Liping. Effects of low-level wind shear on flight and its counter-measures [J]. Command Information System and Technology, 2010(1): 77-81. (in Chinese)
- [4] 中国民用航空局. CCAR-121-R4 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则[S].北京:中国民用航空局,2010.
Civil Aviation Administration of China. CCAR-121-R4 Operation certification rules of large aircraft public air transport carrier[S]. Beijing: CAAC, 2010. (in Chinese)
- [5] Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 121 Operating requirements; domestic, flag, and supplemental operation (Amendment No. 121-370)[S]. USA: FAA, 1990.
- [6] Federal Aviation Administration. Federal Register Vol. 55 No. 68. NPRM airborne low-altitude windshear equipment requirements[S]. USA: FAA, 1990.
- [7] 中国民用航空局. CCAR-25-R4 运输类飞机适航标准[S].北京:中国民用航空局,2011.
Civil Aviation Administration of China. CCAR-25-R4 Airworthiness standards; transport category airplanes[S]. Beijing: CAAC, 2011. (in Chinese)
- [8] 中国民用航空局航空器适航审定司. AP-21-AA-2011-03-

- [6] Slawomir Koziel, David Echeverria Ciaurri, Leifur Leifsson. Computer optimization, methods and algorithm[M]. Germany; Springer, 2011; 33-59.
- [7] Norbert Kroll. Numerical methods for multidisciplinary analysis and optimization[C] // Norbert Kroll. CAE-DLR Aerodynamic Seminar 2011. Beijing; CAE-DLR, 2011; 78-96.
- [8] Norbert Kroll, Brezillon J, Abu-ZuraykM, et al. Progress in numerical shape optimization[C] // Norbert Kroll. DLR-CAE Aerodynamics Seminar 2013, Beijing, P. R. China; CAE-DLR, 2013; 1-74.
- [9] Terry L Holst, Thomas H Pulliam. Aerodynamic shape optimization using a real-number-encoded genetic algorithm[EB/OL]. (2001-07-11)[2016-01-21]. <http://people.nas.nasa.gov/~pulliam/mypapers/AIAA-2001-2473.pdf>
- [10] 任玉新, 陈海昕. 计算流体力学基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006; 7-13.
Ren Yuxin, Chen Haixin. The basic computational fluid dynamics[M]. Beijing; Tsinghua University Press, 2006; 7-13. (in Chinese)
- [11] Blazek J. Computational fluid dynamics: principles and applications[M]. 2nd ed. Germany; Elsevier, 2005; 240-247.
- [12] Jamshid A. Samareh. A survey of shape parameterization techniques[C] // Nasa Langley Center. Ceas/AIAA/Icase/ Nasa Langley International Forum on Aeroelasticity and Structural dynamics. USA; NASA, 1999; 333-343.
- [13] Marian Nemeec, David W Zingg. Multi-point and multi-objective aerodynamic shape optimization[EB/OL]. (2002-09-04)[2016-01-21]. <http://people.nas.nasa.gov/~pulliam/mypapers/aiaa-2002-5548.pdf>.
- [14] 潘峰, 李位星, 高琪. 粒子群优化算法与多目标优化[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2013; 137-146.
Pan Feng, Li Weixing, Gao Qi. Particle swarm optimizer and multi-object optimization[M]. Beijing; Beijing Institute of Technology Press, 2013; 137-146. (in Chinese)
- [15] Jun Hua, Sui Zheng, Min Zhong, et al. Design and verification study of an aerodynamic validation model[R]. APISAT-2015, Australia; RAeS Australian Division, 2015.

作者简介:

雷国东(1980—),男,博士,高级工程师。主要研究方向:计算流体力学、飞行器气动设计。

钟敏(1987—),女,硕士,工程师。主要研究方向:计算流体力学、飞行器气动设计。

郑彦(1959—),男,博士,研究员。主要研究方向:飞机总体与气动设计。

(编辑:赵毓梅)

(上接第123页)

- R4 航空器型号合格审定程序[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
Aircraft Certification Department of Civil Aviation Administration of China. AP-21-AA-2011-03-R4 Model qualification procedure of aircraft[S]. Beijing; CAAC, 2011. (in Chinese).
- [9] Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 21 Certification procedures for products and parts [S]. USA; FAA, 2009.
- [10] Federal Aviation Administration. AC120-41 Criteria for operational approval of airborne wind shear alerting and flight guidance systems[S]. USA; FAA, 1983.
- [11] Federal Aviation Administration. TSO-C117a Airborne wind shear and escape guidance systems for transport airplanes [S]. USA; FAA, 1996.

作者简介:

韩丽(1988—),女,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机航空器评审技术。

刘明(1987—),男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机总体设计。

王佳杰(1989—),男,硕士,助理工程师。主要研究方向:民用飞机航空器评审技术。

(编辑:马文静)