

美国 NASA 的适航气动研究及启示

NASA's Aerodynamic Research on Airworthiness and Its Inspirations

战培国 刘晓波 / Zhan Peiguo Liu Xiaobo

(中国空气动力研究与发展中心计算空气动力研究所,四川 621000)

(China aerodynamics research and development center CARI, Sichuan 621000, China)

摘要:

飞机适航管理是以民用航空器为对象的强制性、法规性和技术性飞行安全管理。简述美、欧等世界航空大国飞机适航管理及适航规章;研究美国 NASA 在飞机适航领域开展的气动研究工作;探讨我国国家空气动力试验机构服务于适航工作的途径。

关键词: 适航;适航规章;风洞试验;国家风洞试验机构

中图分类号: V217

文献标识码: A

[Abstract] The airworthiness management of civil aircraft is a forced, technical and legal management to ensure flight safety. This paper introduces the system and regulations of airworthiness management in American and European countries, researches the aerodynamic researches of NASA in airworthiness. The service approaches of our nation's aerodynamic test organization for the airworthiness are discussed.

[Key words] airworthiness; airworthiness regulation; wind tunnel testing; national wind tunnel test organization

0 引言

飞机的高度安全性来自其严格的设计生产标准体系、质量保证体系和适航管理体系。通常,一种型号的飞机要在某个国家的市场上销售,就必须取得该国民航管理部门颁发的适航证或该国认可的世界权威机构颁发的适航证。一个飞机型号走向市场、投入运营必须取得适航审定部门颁发的三证,即型号合格证(TC)、生产许可证(PC)、适航证(AC)。但适航取证工作是复杂的,只有贯穿于整个飞机型号的研究、设计和生产过程中,才能保证取证工作的顺利进行。我国适航研究工作起步较晚,经验不足,对国家气动试验研究机构如何参与适航工作、服务于适航工作研究较少,本文从这个角度出发,研究思考美国 NASA 的做法和对我国的启示。

1 美、欧等国适航管理规章

适航即适航性,是指航空器各部件及子系统的整体性能和操纵性在预期运行环境和使用限制下安全性和物理完整性的一种品质,该品质通过适航认证与管理来实现。由此可见,适航取证过程是型号研制部门证明其飞机产品安全可靠的过程,是政

府监管部门监管民用飞机产品性能安全、适合航行的过程。适航管理分为初始适航和持续适航。

适航是针对民用飞机而言的,适航管理是以保障民用航空器的安全性为目标的技术管理,是国家对民用航空产品实行的一种强制性产品合格审定制度,是政府适航管理部门在制定的各种最低安全标准的基础上,对民用航空器的设计、制造、使用和维修等环节进行的科学统一的审查、鉴定、监督和管理。它以安全运营为核心,出发点和落脚点都是“安全”。适航管理的对象大到飞机整机,小到飞机上的一颗螺丝钉。在世界民用航空器市场上,美国和欧洲占据主导地位,其适航认证管理机构也最具权威性,其颁发的适航证在各自的势力范围内得到较多国家的认可。世界上最主要的民用航空器适航认证机构是:

(1)美国联邦航空局(FAA)。成立于1958年,隶属美国运输部,负责民用航空的管理工作,是世界上认可度最高的民用航空器适航认证机构。

(2)欧洲航空安全局(EASA)。1990年,欧洲为了应对美国在民用航空适航管理上设置的门槛和适应民用航空市场竞争的需要,参照FAA的职能,成立了欧洲联合航空局(JAA)。随着欧洲一体化的

发展,2002年,根据欧盟委员会1592/2002法案,欧盟成员国成立了具有法律约束力的欧洲航空安全局(EASA)。随后EASA逐步全面取代了JAA的职能,成为与美国FAA并驾齐驱的民用航空器适航认证机构。

除此之外,俄罗斯、中国等也都建立了政府适航管理和认证部门,制定有各自国家的民用适航法规,但相比美、欧的适航认证而言,国际市场上的认可度较低。世界主要适航规章(或称为条例、标准)有^[1]:(1)美国FAA颁布的“联邦航空规章”(FAR);(2)欧洲EASA颁布的“合格审定规范”(CS)/(前JAA颁布的“联合航空规章”(JAR));(3)俄罗斯的“民用航空规章”;(4)英国民用航空管理局(CAA)颁布的“英国民用适航性要求”(BCAR);(5)中国民用航空局(CAAC)颁布的“中国民用航空规章”(CCAR);(6)国际民航组织(ICAO)颁布的“国际民航组织适航协定”(ICAOA)。

2 美国 NASA 在适航领域开展的工作

2.1 适航符合性验证

美国FAA颁布了各种适航规章(编号:FAR-XXX),对运输类飞机而言,适航证申请人必须设法证明其飞机符合FAR-25所规定的飞行安全品质(A-I九个部分共399条)规章要求。通常,证明采用的符合性验证方法有10种^[2]:符合性声明(MC0)、说明性文件(MC1)、分析/计算(MC2)、安全评估(MC3)、试验室试验(MC4)、地面试验(MC5)、飞行试验(MC6)、航空器检查(MC7)、模拟器试验(MC8)和设备合格性(MC9)。其中,MC2、MC4、MC6等方法都与气动试验研究相关。

2.2 美国 NASA 在适航领域的气动研究工作

根据美国国会颁布的81-415公共法案,美国国家民用航空试验设备主要建设在NASA。国家主要大型风洞试验设备建设在NASA的兰利、艾姆斯和格林三个研究中心。因此,气动研究工作就成为NASA科学研究和试验工作的一部分。在适航方面,NASA利用风洞试验、数值计算和飞行试验的综合气动研究优势,与FAA适航规章制订部门和FAA技术中心建立有战略伙伴关系^[3],通过与FAA联合开展研究的方式,参与适航相关气动研究工作,为飞行事故分析、适航规章制订/修订提供科学依据。

1) 飞机结冰/防冰研究

(1) 结冰气象条件研究。FAA联邦航空规章(FAR-25)附录C界定了适航结冰气象条件包线,NASA为此做了大量数据收集和试验研究;20世纪90年代,NASA/FAA又联合开展了超冷大水滴

(SLD)研究计划(SLDRP),NASA采用“双水獭”结冰研究机采集SLD数据,丰富FAA数据库,为FAA适航规章界定SLD结冰适航气象条件范围提供了科学依据^[4]。

(2) 结冰风洞试验研究。20世纪40年代,NASA建设了大型结冰研究风洞,并以此为核心构建了多种地面结冰试验研究设备和飞行研究设备,制订了结冰研究发展规划^[5-6],为飞机防冰、除冰设计提供了重要技术支撑,使航空制造企业型号产品得以顺利通过适航验证。

(3) 数值模拟工具开发。NASA结冰研究始终面向解决航空安全问题,通过试验研究开发可供适航认证部门和型号研制单位使用的结冰评估或防冰设计工具。如:结冰数值模拟工具LEWICE软件包^[7],包括二维和三维冰生长模拟软件、SMAGGICE翼型表面建模和网格生成软件。用户超过200家,覆盖美国政府部门(如FAA)、航空工业和科研院所。

(4) 参与飞行结冰事故分析,为适航规章修订提供科学依据。1994年,美国ATR72飞机失事事故调查使超冷大水滴(SLD)结冰问题得到FAA关注,NASA联合FAA、工业界和科研院所,制订了解决SLD结冰问题的技术路线图^[8],经过十多年的努力,主要解决了SLD适航气象条件定义、测试仪器、试验方法、设备、数值评估/设计工具五个方面的问题。最近,FAA在联邦注册报上发布了超冷大水滴(SLD)结冰适航的25-140号修正案。此外,NASA/FAA联合开展了飞机平尾结冰研究^[9]。

(5) 开发了结冰飞行训练模拟器^[7]。NASA利用结冰研究成果,除开发了适航当局和企业界广泛使用的结冰评估/设计软件包(LEWICE)外,还开发了结冰飞行训练模拟器供飞行员培训使用。

2) 开展与未来适航规章修订相关的其他新技术研究

美国联邦适航规章FAR是处于不断修订的动态中,目前,由于超声速声暴问题,FAA禁止民用超声速飞机飞行。面向未来,FAA发起了下一代航空运输系统(NextGen)计划^[10],加快环保型飞机技术的发展,目的是持续降低能耗、排放和噪声,民用超声速飞行也是选项之一。面向未来民机环保/噪声/超声速飞行等可能的适航规章修订,NASA积极参与开展新型涡扇发动机风洞试验、超声速飞行声暴问题研究。

3) 为型号单位和适航部门提供分析工具、研究方法和数据库

NASA拥有大量世界一流大型风洞设备,如世界独一无二的4.9m跨声速动力学风洞(TDT),建

立了大尺度、高保真民机颤振的试验评估能力^[11]；有阿姆斯特朗飞行研究中心飞行试验设备的飞行数据，建立了气动数据库，为飞行事故、飞行品质等提供分析工具和研究方法，为适航符合性验证提供技术支撑。

4) 空中安全管制和机场飞机起降安全研究

开展了飞机起降尾涡干扰研究^[12]，通过预测飞机起降尾涡特性及其衰减情况，确定机场安全容量，如果能准确而又安全可靠地预测尾涡衰减特性，在其他机场设施不增加的情况下，机场容量可提高 12% ~ 15%。研究采用机场实测、风洞试验模拟等方法收集数据，建立模型，验证大气分析软件；开展了风切变探测研究，提供安全飞行依据；开展了空中交通管制软件开发，更好地管理空中飞机间距，减少飞机飞行过程中高度变化等变量，达到节省时间、燃料和减排的目的；开展声暴、噪声、鸟类撞击发动机等研究。

5) 开展飞机老龄化研究^[13]，为持续适航规章修订提供技术支撑

持续适航是对飞机初始适航所达到的安全标准的一种持续管理，是对飞机使用和维护的一种过程控制。飞机老龄化涉及飞行性能、品质和效益，识别、鉴定和退役是飞行安全管理的重要方面。

3 国家空气动力试验机构服务于适航工作的思考

我国适航相关研究工作与发达国家相比，起步较晚。中国民用航空局的适航管理体制基本参照美国 FAA 建立，适航规章 CCAR 是根据美国 FAR 翻译、修改和逐步修订而成^[14-15]，在规章编号上也与其保持了一致，如：CCAR-25 对应 FAR-25，其他国家或组织的适航规章也类似。因此，美国 NASA 在适航领域的做法对我国国家气动研究机构在适航领域作用的发挥有重要的参考和借鉴意义。

(1) 适航审定不仅仅是一个飞行验证的过程，更是一个庞大的系统工程，这为国家气动试验研究机构作用的发挥提供了舞台。适航审定工作表面上看是型号研制单位和政府民航管理部门的工作，但深入研究可发现，从政府部门的适航规章条款制定角度出发，国家气动试验研究机构能在飞行安全适航规章的技术研究和修订方面发挥作用，适航飞行安全条款需要有科学严谨的研究数据为依据；从型号研制单位角度看，适航需要通过各种符合性验证方法向政府审定部门证明飞机符合适航条款，符合性验证方法不仅包括飞行试验，也包括风洞试验、数值计算、分析评估等。因此，国家气动试验研究机构可利用其在气动领域的权威性和技术优势，在适航涉及飞行安全品质的诸多方面发挥作用。

(2) 开展联合研究是国家气动研究机构发挥作用的有效途径。国家气动研究机构应加强与政府适航规章制定部门及其技术部门、航空标准化研究机构沟通，建立合作伙伴关系。国外的实践经验表明，一个飞机型号要顺利取得适航证，适航工作需要前置融合于型号研制和生产的标准体系和质量保证体系中。国家气动试验研究机构需要有将自身的标准体系和质量保证体系融合于大的航空标准体系中的理念。这就需要加强与中航集团标准化研究所的合作，加强与中国民用航空局适航司和各适航审定中心的联系。另外，只有采用联合研究的模式，才能发挥相关部门和单位的特长和优势。

(3) 国家气动研究机构在风洞试验、数值计算和模型自由飞方面的核心能力为参与适航领域工作奠定了基础。国家空气动力研究机构拥有国内一流的风洞试验设备和试验技术，拥有先进的数值计算能力和空气动力技术人才，并且在长期的试验研究活动中积累了丰富的经验，构建了各类型号气动数据库。所有这些都为适航符合性验证方法研究、适航相关规章制定、飞行安全评估分析、适航需要的各种软件工具开发提供技术服务和支撑。

(4) 随着自主知识产权的适航规章逐步增加，国家气动研究机构将在适航规章修订中发挥更大的作用。中国民用航空规章 (CCAR) 源自美国联邦航空规章 (FAR)，CCAR 的修订也基本参照 FAR 发布的修订案进行，而规章条款的修订或增加，都是以往安全事故分析研究的结果。随着我国民用航空器和适航事业的发展，具有自主知识产权的规章条款会逐步增多，而不再是简单地照搬国外。因此，未来政府适航部门自主知识产权的规章制定或修定，需要国家气动研究机构提供技术研究支撑。

4 结论

从国际适航领域的发展经历看，适航工作与一个国家或地区民用航空器的发展水平密切相关，它规范、管理和服务于民用航空器的发展，并随着民用航空器技术的发展而不断更新完善。我国拥有巨大的民用航空器市场，民用航空器自主研发尚处于初级阶段，适航规章基本采纳美国 FAA 的规章体系。整体来说，我国航空领域对适航的认识、研究和经验都和美国、欧洲有很大差距，未来我国民用航空器走向世界的进程必将促进适航技术的日趋完善和成熟。为促进这一过程的快速发展，国家气动研究试验机构可以学习和借鉴美国 NASA 的做法，在与适航相关的气动试验研究方面，主动作为，服务于政府适航管理部门和型号研制单位，为适航提供技术支撑。

参考文献:

[1] 王立新. 适航性条例、飞行品质、规范和设计准则[J]. 飞行力学, 2000, 6: 1-4.
[2] 陆中, 等. 民用飞机适航符合性验证方法与程序研究[J]. 航空标准化与质量, 2007, 4: 6-9.
[3] 钟强. NASA、FAA 携手进行航空航天领域合作[J]. 国际航空, 1998, 12: 19.
[4] J. Marwitz. A forecast and verification experiment for super-cooled large drops (SLD) [R]. AIAA96-0931.
[5] R. J. Shaw etc. The NASA aircraft icing research program [R]. N88-15803.
[6] J. J. Reinmann. NASA's aircraft icing technology program [R]. N91-20120.
[7] E. Kreeger. Overview of icing research at NASA Glenn [R]. N20130011558.
[8] T. H. Bond. Overview of SLD engineering tools development

[R]. AIAA2003-386.
[9] T. P. Ratvasky. NASA/FAA tailplane icing program overview [R]. AIAA-99-0370.
[10] 王春生, 刘友丹. 美国和欧洲适航当局民用运输机“潜在适航审查项目”介绍[J]. 航空标准化与质量, 2006, 1: 50-53.
[11] Jose. A. R. . Contributions of Transonic Dynamics Tunnel testing to airplane flutter clearance [R]. AIAA 2000-1768.
[12] 杨新滢. 尾流对飞行影响的研究 [J]. 空中交通管理, 2003, 1: 25-28.
[13] E. Bechhofer. Aging aircraft 2005 [C]//The 8th joint NASA/FAA/DoD conference on aging aircraft.
[14] 中国民用航空局. CCAR25-R4 中国民用航空规章第25部: 运输机类飞机适航标准 [S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
[15] FAA. FAR25-airworthiness standards; transport category airplanes [S]. US: Federal Aviation Agency, 2008. 7.

(上接第 62 页)

路上引出支管连通机外, 利用内外压差抽吸 EE 舱内热空气排出机外, 此时客舱地板下空气通过 EE 舱围护结构间隙进入 EE 舱, 进入的空气温度设为 30℃。若其它计算输入与 2.2 节一致, 排气流量为 180kg/h, 计算得到的 EE 舱空气温度和集中质量温度结果如图 3 所示。从图中可看出, 当利用飞机内外压差排气备份之后, EE 舱空气和集中质量的温度变化趋势与 2.3 节一致, 但是通风系统失效后 2h 内 EE 舱空气温度为 66.6℃, 未超过 70℃。采用飞机内外压差排气冷却备份时, 需要考虑对座舱压力调节系统的影响。

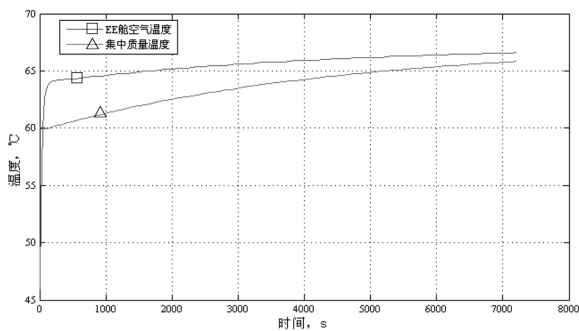


图 3 利用飞机内外压差排气时 EE 舱空气温度和集中质量温度

3.3 降低绝热层的导热热阻

在可以预见的状态下, EE 舱都是通过维护结构向外散热, 基于传热考虑可采用低导热热阻的绝热层, 增强 EE 舱的散热。若其它计算输入与 2.2 节一致, 将绝热层厚度降低为 2.2 节的 1/5, 计算得到的 EE 舱空气温度和集中质量温度结果如图 4 所示。由图 4 可看出, 通风系统失效后 2h 内 EE 舱空气最高温度为 67.53℃。降低绝热层的导热热阻需

评估对舱内噪声的影响和防止绝热层内表面结露。

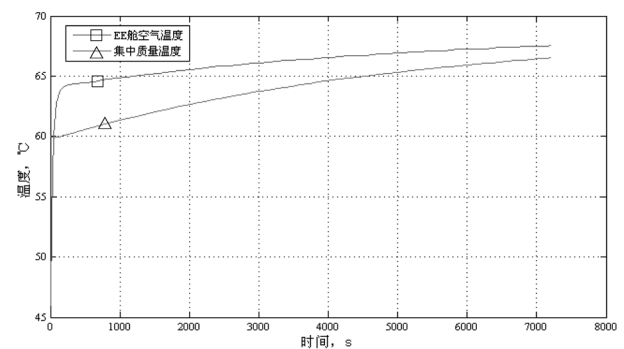


图 4 降低绝热层厚度时 EE 舱空气温度和集中质量温度

4 结论

本文根据热力学和传热学理论, 建立了 EE 舱传热和温度计算模型, 计算了通风系统失效后 EE 舱空气温度。提出了 EE 舱通风失效后, 可采取如下设计或者操作措施来控制 EE 舱温度的上升:

- (1) 关断部分不影响飞行安全的电子设备, 降低 EE 舱电子设备总散热;
- (2) 利用飞机内外压差排气作为备份, 抽吸 EE 舱内热空气排出机外;
- (3) 降低 EE 舱绝热层导热热阻。

参考文献:

[1] 寿荣中, 何慧珊. 飞行器环境控制 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
[2] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 15 册: 生命保障和环控系统 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2001.
[3] 杨世铭. 传热学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.