

文章编号:1674-8190(2015)03-377-05

民用飞机延程运行型号设计浅析

王稳江, 谢辉松, 李晨

(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: 延程运行(ETOPS)是保证民用飞机安全飞行的重要运行要求。为了给国内 ETOPS 型号设计提供指导,对民用飞机 ETOPS 型号设计进行探索研究。简要介绍了 ETOPS 概念及其发展历程,梳理了民用飞机 ETOPS 型号设计的适航要求以及批准方法,通过对适航材料的研究,提出一种 ETOPS 型号设计思路。本文所提的设计思路能够指导国内民用飞机的 ETOPS 型号设计。

关键词: 民用飞机;延程运行;ETOPS 型号设计;适航

中图分类号: V221

文献标识码: A

Analysis of Civil Aircraft Extended Operations Type Design

Wang Wenjiang, Xie Huisong, Li Chen

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

Abstract: Extended operations(ETOPS) is an important operation to ensure the safety of civil aviation aircraft flight. With the purpose of guiding domestic ETOPS type design, civil aircraft ETOPS type design is studied. The ETOPS definition and development process are briefly introduced. Airworthiness requirement and approving method for civil aircraft ETOPS type design are sorted. Based on the researches of airworthiness material, an ETOPS type design idea is proposed. It can be a reference for the ETOPS type design for domestic civil aircraft.

Key words: civil aircraft; extended operations; ETOPS type design; airworthiness

0 引言

2014年10月15日,欧洲航空安全局(EASA)批准了空客 A350XWB 系列的第一种型号——A350-900“超过 180 分钟延程运行”资质,其中包括最长达 370 分钟的延程运行认证。A350XWB 由此成为航空史上第一款交付前就获得延程运行资质认证的飞机,最长 370 分钟延程运行也使 A350XWB 的用户能够以双发飞机中最高效、最可靠的方式执行越洋远程和超远程航线。

延程运行(Extended Operations, 简称

ETOPS)^[1-2]是国际民航组织(ICAO)为了保证民用飞机安全飞行提出的一项运行要求。ETOPS 规则主要应用于跨越海洋和荒漠地区的飞行,因为沿途可供选择的备降机场稀少,飞机若不具备 ETOPS 能力,意味着需要绕着备降机场稀少的区域飞行,以保证安全。ETOPS 能力越强,意味着航空公司可以开辟更多的直飞航线。例如,从马达加斯加(TNR)到雅加达(JKT),如果没有 ETOPS 能力,则双发飞机不能用于执行该航线飞行,只能用多发(多于两台发动机)飞机进行(如图 1 所示^[3]);而如果具备 180 分钟 ETOPS 能力,双发飞机就可以直飞该航线(如图 2 所示^[3])。

ETOPS 带来的好处是显而易见的。对于乘客而言,ETOPS 意味着飞机具备更高的可靠性和安全性,同时可以直飞去更多目的地,有更多航班

可供选择;对于航空公司而言,ETOPS 运行在节省时间、燃油和提高运行效率方面受益颇多,以往需要三、四发远程客机才能执行的航线现在可以由双发客机取代。

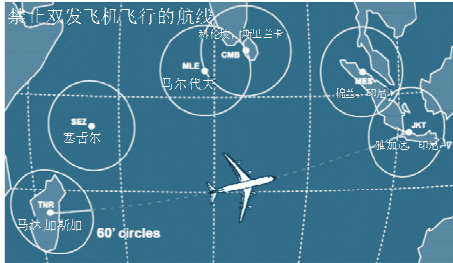


图1 无 ETOPS

Fig. 1 No ETOPS

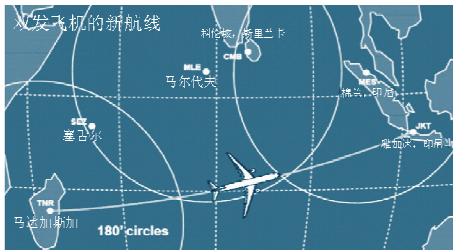


图2 180分钟 ETOPS

Fig. 2 180 min ETOPS

民用飞机要执行 ETOPS 航线飞行必须具备以下两点^[4]:①执行 ETOPS 航线飞行的飞机必须获得 ETOPS 型号设计批准;②运营 ETOPS 航线的航空公司必须获得 ETOPS 运营许可。

ETOPS 型号设计批准是 ETOPS 运营的前提,飞机设计如果不具备 ETOPS 能力,就不可能获得运营批准。ETOPS 对于我国民用航空制造商来说是一个全新的概念,国内对于 ETOPS 型号设计,无论是理论研究方面,还是工程实践方面都十分匮乏,而国外对于诸如 ETOPS 这样的民用飞机设计核心技术,向来都封锁得较为严格。因此,为了提高国产民用飞机的市场竞争力,并为后续民用飞机型号发展提供技术储备,开展 ETOPS 设计研究工作具有重要意义。

本文基于对 ETOPS 相关适航材料(例如 AC. 25-1535-1X, AC120-42A 等)的研究,从 ETOPS 基本概念切入,对 ETOPS 型号设计考虑要素,以及飞机设计过程中 ETOPS 型号设计基本流程进行

分析。

1 ETOPS 概述

延程运行的前身是双发延程运行(Extended-range Twin-engine Operations Performance Standard 或 Extended Twin-engine Operations)。ETOPS 概念形成于 1983 年,最初是国际民航组织为了一些双发商用飞机执行备降机场之间的距离超过“60 分钟限制”的航程的航线所设立的规定。随着工业水平的提升和发动机可靠性的提高,ETOPS 也得到了相应地发展,2007 年 FAA 通过颁布 120 号修正案提出了新的 ETOPS 规章。

1.1 ETOPS 概念

延程运行是指除了多于两台发动机的全货机之外,飞机运行航路上有一点到可用机场的距离,超过其以批准的标准条件下静止大气中的单发失效巡航速度,飞行超过一定时间限制的运行(对于双发飞机,时间限制为 60 分钟;对于多发载客飞机,时间限制为 180 分钟)。

现有 ETOPS 认证等级包括:ETOPS-75、ETOPS-90、ETOPS-120/138、ETOPS-180/207、ETOPS-330、ETOPS-370。

1.2 ETOPS 发展简介

两次世界大战后,大量军用运输机、轰炸机投入到商用飞行之中,出于安全性考虑,根据 20 世纪 40~50 年代初飞机所安装的活塞发动机的可靠性标准制订了所谓“60 分钟限制(60-minute rules)”。

1974 年,空客公司为了打开 A300 飞机的市场,提出“90 分钟改航时间”,得到 ICAO 认可。

1985 年,FAA 发布 AC120-42,批准 120 分钟的 ETOPS 运行,并允许 15% 的最长备降时间增量(138 分钟)。

1988 年,FAA 发布 AC120-42A,允许双发飞机进行 180 分钟 ETOPS,撤销 AC120-42,138 分钟 ETOPS 随之作废。

1994 年,由于意识到 120 分钟与 180 分钟之间需要一个改航时间等级,FAA 发布 ETOPS Policy Letter(EPL)95-1,恢复 138 分钟 ETOPS。

1995 年,波音公司的 B777 飞机开始服役时就

从 FAA 获得了 180 分钟 ETOPS 认证,成为世界上第一架一开始服役就获得 180 分钟 ETOPS 认证的飞机。

2000 年,应工业界要求,FAA 发布 EPL20-1,针对特别规定的北太平洋航线,允许在 180 分钟 ETOPS 基础上增加 15% 的最长备降时间(207 分钟)。

2011 年,CAAC 修订了 CCAR-25 至 R4 版^[5],包含 FAR25 第 120 号修正案的内容。

2014 年 5 月 28 日,B787 飞机从 FAA 获得了 330 分钟 ETOPS 认证;10 月 15 日,A350-900 从 EASA 获得最长达 370 分钟 ETOPS 认证。

2 ETOPS 型号设计要求与批准方法

2.1 ETOPS 型号设计要求

ETOPS 型号设计与飞机多个系统相关,涉及多部规章,例如 FAR21 部^[6]、FAR25 部^[7]、FAR33 部^[8]、FAR121 部^[9]等,民航运输类飞机的 ETOPS 型号设计主要考虑 FAR25 部的相关要求。随着 FAR25 部第 120 号修正案的颁布,ETOPS 型号设计批准的要求已经全部纳入 FAR25 部规章,具体条款为 25.3,25.1535 和附录 K。任何飞机制造商如果其型号设计预期进行 ETOPS 运行,都必须满足 FAR25 部中的相关要求。

FAR25 部中第 25.3 条为第 120 号修正案引入的新增条款,目的是将 ETOPS 型号设计的相关要求纳入 FAR25 部之中,并明确这些要求的适用范围;索引出第 25.1535 条,该条又链接到附录 K,适航规章对于 ETOPS 型号设计的要求主要收录在 FAR25 部的附录 K “延程运行(ETOPS)”之中。

设计要求主要考虑以下十方面:飞机一发动机组合体的安全性评估,人为因素评估,推进系统的可靠性,足够的防冰能力,电源系统的冗余度,确定时间限制系统的时间性能,燃油系统设计,低燃油量告警,辅助动力装置(APU)系统设计,飞行手册和构型维护程序(CMP)。

2.2 ETOPS 型号设计批准方法

根据 FAR25 部附录 K 25.2 条的要求,双发飞机的 ETOPS 型号设计批准方法主要有三种:服

役经历法、早期 ETOPS 方法、服役经历法和早期 ETOPS 方法相结合的 ETOPS 批准方法。

服役经历法是基于对候选飞机发动机组合的设计和服役经历的评估,要求飞机一发动机组合的世界机队累积至少 250 000 发动机小时的服役经历,来确定飞机系统具有延程运行的能力和可靠性。此外,必须通过对空中停车率的测量证明推进系统的可靠性水平是可接受的。

早期 ETOPS 方法定义了比正常在 FAR25 部下颁发新型号合格证更严格的分析和试验要求。该方法允许 FAA 对一架新飞机进行 ETOPS 批准,而无需服役经历法中的服役经历,但是要求申请人之前已有其他型号飞机的服役经历。

服役经历法和早期 ETOPS 方法相结合的 ETOPS 批准方法是使用服役经历法中至少 15 000 世界机队发动机小时的服役经历来代替早期 ETOPS 方法所要求的飞机演示试验;所有其他早期 ETOPS 方法的要求均适用,包括问题跟踪和解决系统的要求。

3 我国民用飞机 ETOPS 型号设计的思考

目前,民用飞机的 ETOPS 型号设计经验在国内尚属空白。而作为民用航空领域的巨头,波音和空客公司的在役机型绝大多数都具备 ETOPS 能力,还不断通过新研机型刷新 ETOPS 认证等级,如表 1 所示。

表 1 波音和空客双发机型的 ETOPS 能力

Table 1 Boeing and Airbus twin-engine aircraft ETOPS capability

机 型	最大 ETOPS 改航时间/min
A300	90
A310/A310-600	180
A320/A319/A321/A318	180
A330	180
A350XWB	370
B737NG	180
B757	180
B767	180
B777-300ER	330
B787	330

为了让我国自主研制的民用飞机型号能够在

前景广阔的国际航空市场中占据一席之地,并具备一定的竞争力,在自主民用飞机研制过程中,开展ETOPS型号设计很有必要。

在民用飞机研制过程中,应从方案论证阶段开始,将ETOPS型号设计作为设计理念的组成部分,贯穿整个民用飞机型号的设计流程。基于对适航条款以及ETOPS相关咨询通告(例如AC25.1535-1X^[2]、AC120-42A^[10]等)的研究,本文提出一种ETOPS型号设计思路,如图3所示。

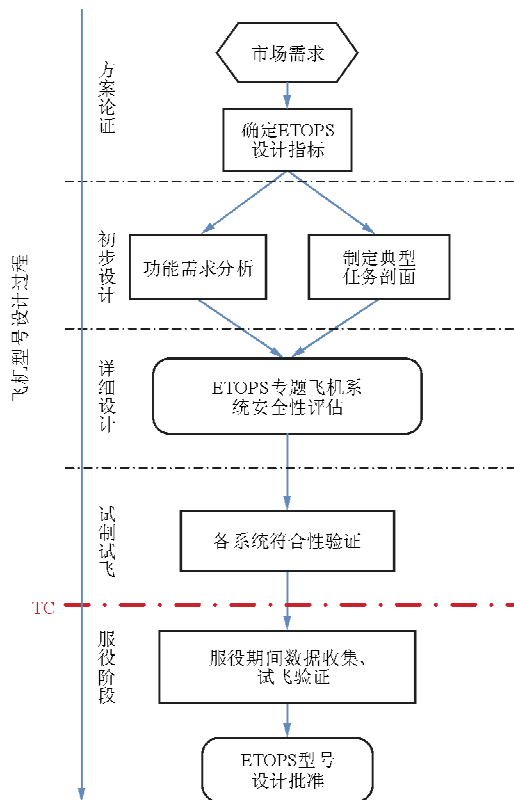


图3 ETOPS型号设计思路

Fig. 3 ETOPS type design flow

(1) 方案论证阶段

充分收集市场信息,包括客户需求以及机型目标覆盖航线信息。根据客户(航空公司)的需求及飞机型号的市场定位,确定飞机型号是否需要ETOPS能力,以及ETOPS设计的目标。

(2) 初步设计阶段

根据ETOPS设计目标,确定出ETOPS专题的功能需求;分析可能的ETOPS改航情况以及场景,制定典型的ETOPS飞行任务剖面。

(3) 详细设计阶段

开展ETOPS专题飞机系统安全性评

估^[2,11-12],以证明飞机一发动机组合所申请批准的最大飞行时间和最大改航时间满足CCAR25.1309条的要求。首先,开展考虑可能的ETOPS改航场景(例如单发失效、座舱失压等)的系统安全性评估的定性分析^[11](即FHA——功能危险性分析),通过考虑最大飞行时间和最大改航时间的定性分析,确定系统级安全性目标,同时梳理出ETOPS重要系统(其失效或故障会对安全进行ETOPS飞行或对ETOPS改航期间飞机的持续安全飞行和着陆产生不利影响的系统)。然后,开展系统安全性评估的定量分析^[11],对于冗余度特性与发动机数量直接相关的ETOPS重要系统,AC25.1535-1X建议采用最大ETOPS任务时间^[2](即预期飞机服役过程中,执行最长ETOPS航线飞行时间的估计值);对于其余ETOPS重要系统,AC25.1535-1X建议采用平均ETOPS任务时间^[2](即预期飞机服役过程中,执行ETOPS航线平均飞行时间的估计值);通过定量分析将飞机级可靠性指标分解到各系统。最后,对系统级/飞机级的可靠性指标是否满足系统级/飞机级安全性目标进行校验,若不满足,需对设备可靠性指标或系统构架进行调整后,重新进行系统安全性评估。详细设计阶段的系统安全性评估是一个迭代过程,直至飞机级/系统级安全性目标^[18]都得到满足为止。

(4) 试制试飞阶段

飞机系统开展ETOPS专题相关的符合性验证活动。根据国内尚无机型获得ETOPS型号设计批准的现状,只能通过服役经历法^[5,7]进行ETOPS型号设计批准。因为没有服役经历,适航当局颁发型号合格证(TC)时,无法批准ETOPS型号设计,所以ETOPS型号设计的批准通常在TC之后。

(5) 服役阶段

世界机队至少累计250 000发动机小时。期间,飞机制造商需要收集包括发动机在内的ETOPS重要系统运行数据(例如发动机的空中停车率等),利用这些服役数据重新评估ETOPS重要系统是否能够满足安全性要求。如果不能满足相关要求,则需要采取一定的纠正措施,使其满足要求,并将纠正措施记录到构型维护程序(CMP)^[5,7,14]中。在获得ETOPS型号设计批准之前,需要模拟单台发动机失效进行一次最长时间的

ETOPS 改航演示试飞,以表明飞机一发动机组合具备 ETOPS 能力。

在新的民用飞机型号研制过程中,飞机制造商还应注意充分考虑与已有机型的技术共通性,通过“技术转移分析”(Technical Transfer Analysis)^[15]将已有民用飞机型号(自主研制)的服役经历折算成新研机型服役经历的补偿因子,缩短新研机型的服役经历,从而缩短研制周期。

4 结束语

ETOPS 型号设计是民用飞机顶层的一个设计专题,具有综合性强、涉及专业广等特点。

ETOPS 型号设计工作贯穿整个民用飞机设计过程,民用飞机制造商应从型号研制开始阶段就着手考虑。

ETOPS 型号设计是进行 ETOPS 运行的基础,其对于我国民用飞机制造商是一项全新的挑战。

参考文献

- [1] Federal Aviation Administration. Extended operations (ETOPS) of multi-engine airplanes[J]. Federal Register: Rules and Regulations, 2007, 72(9): 1808-1887.
- [2] Federal Aviation Administration. AC25.1535-1X Certification of transport category aircraft for extended operation (ETOPS)(Draft)[S]. USA: FAA.
- [3] 韩冰冰,沈浩,李新,等. 运输类飞机延程运行型号设计审定的发展[J]. 航空维修与工程, 2013(3): 89-91.
Han Bingbing, Shen Hao, Li Xin, et al. The development of transport category aircraft ETOPS type design approval [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2013(3): 89-91. (in Chinese)
- [4] Federal Aviation Administration. AC 120-42B Extended operations(ETOPS and polar operations)[S]. USA: FAA, 2008.
- [5] 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 standard of transport aircraft [S]. Beijing: CAAC, 2011. (in Chinese)
- [6] Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 21 Certification procedures for products and parts[S]. USA: FAA, 2009.
- [7] Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Airworthiness standards; transport category airplanes[S]. USA: FAA, 2009.
- [8] Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 33 Airworthiness standards; aircraft engines[S]. USA: FAA, 2008.
- [9] Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 121 Operating requirements; domestic, flag, and supplemental operations[S]. USA: FAA, 2010.
- [10] Federal Aviation Administration. AC 120-42A(Cancelled)-Extended range operation with two-engine airplanes (ETOPS)[S]. USA: FAA, 1988.
- [11] European Aviation Safety Agency. AMC 20-6 Extended range operation with two engine aeroplanes ETOPS certification and operation[S]. EASA, 2008.
- [12] 王鹏. ETOPS 系统安全性评估方法及应用研究[J]. 航空维修与工程, 2011(5): 56-58.
Wang Peng. Research on system safety assessment of ETOPS[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2011(5): 56-58. (in Chinese)
- [13] European Aviation Safety Agency. AMC25.1309 System design and analysis[S]. EASA, 2009.
- [14] 高宇,李楠. 延程运行的发展与运用[J]. 中国民用航空, 2011, 132(12): 24-27.
Gao Yu, Li Nan. Development and application of extended range operations[J]. China Civil Aviation, 2011, 132(12): 24-27. (in Chinese)
- [15] Airbus. Getting to grips with ETOPS[M]. Toulouse, France: Airbus, 1998.

作者简介:

王稳江(1985—),男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机总体设计。

谢辉松(1980—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机总体设计。

李 晨(1981—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机总体设计。

(编辑:马文静)