

# 打造“绿色客机”——波音 787 的环保理念与技术

诸逢佳

(上海飞机设计研究院档案中心, 上海 200235)

Manufacturing the Green Airliner——Boeing 787's Eco-friendly Ideas and Technologies

Zhu Fengjia

(Archives Center, Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200232)

**摘要:** 在全球关注环境保护的今天, 航空制造业也展开了“绿色竞争”, 争相推出“绿色飞机”。波音公司最新的 787 飞机就具备卓越的环保性能, 波音将环保理念融入到该机的设计、制造、运营到退役的整个生命周期中, 并采用了先进技术工艺以确保其环保性能, 787 也因此被誉为“绿色客机”。

**关键词:** 波音 787; 绿色; 环保; 先进技术

**[Abstract]** Environmental protection has got global attention today. The aviation industry is in a green competition, and manufacturers boast green aircraft one by one. Boeing's new 787 is an eco-friendly airliner, with green ideas incorporated into its life cycle from design, manufacturing, operation, to retirement, and advanced technologies are used to ensure the eco-friendliness. Boeing 787 is thus called a Green Airliner.

**[Keywords]** Boeing 787; Green; Eco-friendly; Advanced Technology

## 0 引言

当今社会, 在工业快速发展的同时, 全世界也越来越关注由于工业发展所带来的环境污染、全球变暖等问题。航空业的发展对环境的影响也引起了人们的担忧, 能源紧缺、温室气体排放、噪声污染、废弃物管理等问题使得航空业的发展面临着巨大的挑战。

各大航空制造商在应对这些挑战的过程中都不遗余力, 纷纷举起环保大旗。空客公司近年来尤为关注环保问题, 并于 2007 年 1 月成为第一家获得 ISO14001 环境认证的航空制造企业, 其研制的 A380 客机也因优良的环保性能而享有“优雅的绿色巨人”的美名。庞巴迪公司于 2008 年 7 月宣布启动其载客为 110 至 130 座的 C 系列新款飞机时, 也亮出“省油环保”的招牌, 称其研制的新型飞机将成为同级别单通道客机中最“绿色”的机型。航空制造业竞争的焦点已悄然从“更大”、“更快”转为了“更绿”。

作为航空制造业的领军企业, 波音公司在这场“绿色竞争”中当然不甘落后。波音努力追求产品的环保性能, 在燃料使用、尾气排放、社区噪音等多个环保领域都取得了稳步发展。如今, 波音将其环保理念和最新技术都融入到 787 梦想飞机中, 使民用飞机的环保性能再上一层台阶, 而 787 也被誉为“绿色客机”。

## 1 波音 787 先进的绿色技术

波音 787 卓越的环保性能首先体现在其节省燃油、减少排放和降低噪音等方面, 与现有同级别飞机相比, 787 的燃油消耗降低了 20%, 尾气排放减少 20%, 噪声影响区缩小 60% 以上。而这些环保优势主要取决于 4 项关键技术: 大量使用的轻型复合材料、新型的绿色发动机、高效的系统以及先进的气动性能。

### 1.1 轻型复合材料

复合材料是保证波音 787 取得成功的关键因素之一。波音 787 所采用的复合材料的重量比例达到了史无前例的 50% (其中碳纤维复合材料为 45%, 玻璃纤维复合材料为 5%), 而且在其他传统飞机上占到这个比例的铝合金在该机上仅占 20%。“波音 787 飞机主结构的 50% 采用了复合材料, 包括整个机身尾段, 机身和机翼的一些主要部件, 远多于波音和其他制造商目前制造的任何一款先进民用客机。钛和钢占到了波音 787 材料总量的 25%, 用在机翼的某些部件、起落架、发动机挂架等部位, 传统的铝材仅占了 25%, 而塑料、橡胶和其他材料则占了 5%。”

复合材料具有多种优势, 其中最显著的优势就是重量轻, 与常规材料相比可以使飞机总重减少 15% ~ 30%。轻便的复合材料结构件能够提高飞机效率, 降低油耗, 波音 787 可以提高燃油效率多达

20%,在很大程度上得益于复合材料结构的大量使用。二氧化碳是燃油消耗后的产物,油耗的降低就意味着二氧化碳的排放也会相应减少,每减少使用一吨燃油就能减少 3.16t 的二氧化碳排放到大气中,在全球关注温室气体排放的今天,二氧化碳减排也成为了波音 787 的一大亮点。

此外,波音 787 用复合材料制造的机身要比用铆钉连接的铝机身使用更少的紧固件,表面光洁度也要好得多,这就有效地减少了机身表面的湍流噪声。

## 1.2 新型绿色发动机

波音 787 可选装通用电气的 Genx 和罗·罗的遑达 1000 发动机,这两款都是具有卓越性能的“绿色发动机”。波音称 787 可以将油耗和相关尾气排放降低 20%,这一进步约有一半应归功于先进的发动机。当前发动机的涵道比一般约为 5,而 Genx 和遑达 1000 发动机的涵道比分别达到 9.5 和 11,高涵道比发动机可以显著提高燃油效率、减少排放,如 GENx 发动机预计将提高燃油经济性 8%。新发动机还应用其他新技术进一步减排,如 Genx 发动机就采用了双环预混旋流燃烧室,在可比推力下 Genx 的氮氧化物排放将比 GE 公司目前广泛应用的 CF6 发动机的氮氧化物排放减少 30% 以上。

波音 787 发动机还采用新的静音技术降低噪声,最突出的就是短舱的裙边设计和进气道声学处理。波音在发动机短舱末端的风扇机壳上采用了锯齿形边缘的裙边设计,这样能在每个锯齿边产生涡流,以增进相邻气流的混合比率,从而减少发动机噪声中的喷流噪声分量。波音还消除了短舱进气道吸音衬套的接缝,大大增强其吸音效果。这些设计可以确保飞机产生的 85dB 噪音不会超出机场边界,使波音 787 的噪声影响区比现有同尺寸的飞机要小 60% 以上。另一方面,由于 787 的发动机采用了这些降噪设计,机身无需再安装噪声衰减材料,因此飞机重量得以减轻,油耗也进一步降低。

## 1.3 高效的系统

在以往的飞机上,很多功能是以发动机引气作为动力的,如发动机和辅助动力装置的起动、机翼防冰、客舱增压和液压泵等。但在波音 787 上,这些系统均转换为以电为动力,因此波音 787 被称为“多电”(more-electric)飞机。“多电”使飞机系统控制

方式发生了重大转变,也带来很大影响,这不仅减少了发动机引气,去掉了 APU 载荷的压气机、预冷器、管路、阀门以及空调系统,同时还降低了飞机的重量和维修成本,提高了飞机效率。这种无引气的电动化结构预计可以减少发动机 35% 的动力需求,在巡航状态下节省燃油 1% ~ 2%。

“多电”还可以提高设备效率,优化能源配送系统,由此减少能源浪费和动力消耗,从而直接减少燃油消耗以及二氧化碳和氮氧化物的排放。

## 1.4 先进的气动性能

波音 787 的设计中融合了先进的空气动力学技术,显著提升了飞机性能,既降低了运营成本,也有利于节能减排、保护环境。这些先进的空气动力学技术包括层流型短舱、平滑机翼和后缘可变曲度控制等。

层流型短舱技术:787 通过精巧的设计,创造了保持层流的短舱部分长度之最,这样可以有效降低阻力,飞机每年的油耗最多可减少 113 550L 左右。

平滑机翼技术:在 787 的后缘襟翼,襟翼导轨整流罩比传统飞机的要小得多,其结果是 787 获得了高效的升阻比性能,从而降低了油耗与成本。

后缘可变曲度控制技术:在改进后缘装置与扰流板的基础上,787 还实现了巡航中后缘装置可变曲度控制这一技术进步,在巡航飞行中,机翼后缘上下调节,持续优化翼型和效率,从而将油耗降到最低。

## 2 波音 787 节约的绿色制造

除了在设计中采用先进技术以体现其环保理念外,波音 787 在生产制造环节也力求减少浪费,彰显绿色制造。现有飞机的主要材料是铝,必须将大块或大片材料碾碎后进行机加,然后用来制造飞机结构。被用于制造飞机零部件的原材料中,通常有 90% 在生产过程中成了边角余料。虽然这些材料可以再次利用,但如果能避免浪费无疑是更为高效和环保的方法。波音 787 主要由碳纤维复合材料制成,先进的材料自然辅之以先进的制造理念和工艺。

在 787 复合材料制件生产过程中采用了整体成形等技术,能够成形大型整体部件,明显减了少零件、紧固件和模具的数量,减少零件装配,从而有效地降低制造成本、节约资源。787 复合材料结构制

造还采用了自动铺带技术(碳纤维预浸料铺层由机械自动完成),与手工相比,这种先进的铺带技术可降低制造成本的 30%~50%,可成型超大尺寸和形状复杂的复合材料制件,而且质量稳定,缩短了铺层及装配时间,工件近净成型,大大减少切削加工环节及原材料的耗费。

此外,制造过程中还将减少或弃用对人体和环境有害的材料、化学物品和制剂。波音 787 更为环保的生产工艺及程序最终不仅能够节省资源、减少浪费,还将有利于工人的身体健康和厂区环境。

### 3 波音 787 点对点的绿色运营

波音 787 的设计意图是要以最快捷、最经济、最环保的方式将乘客从出发地运送到最终目的地,这是波音环保理念与其未来航空市场运营理念的充分结合。与空客推出 A380 超大客机连接大型中心枢纽的观点不同,波音认为城市间点对点的运输方式会成为主流。在波音看来,远程旅行无论你想去哪里,航线安排总是绕不开东京、芝加哥、伦敦这样的大型枢纽机场,而它们可能根本不是旅客的目的地,只是一个中转地。波音的研究表明,在枢纽机场,30%~50%的乘客只是在中转,在一个既不是出发地也不是目的地的城市造成拥堵,并对环境带来其他负面影响。

因此波音没有开发超大型客机,而是开发具有远距离运输能力的先进中型客机。787 具备大型宽体飞机的续航能力,但体积小、载客量少,经济性更佳,航空公司可以用其提供更多连接中型城市的直达航班,减少不必要的起降。这不仅有利于航空公司的运营和旅客的出行,也有益于环境,直达航班所需燃油和时间都更少,也就意味着油耗和排放的降低,同时,减少起降次数也可以减少整体噪声影响。

### 4 波音 787 再循环的绿色回收

波音 787 不仅在设计、生产和运营方面体现“绿色”,在退役后也将做到环保。787 至今尚未交付,距离第一架飞机退役还有 30~40 年时间,但为了确保这一天到来时不会对环境造成不良影响,波音很早就开始着手准备“绿色”处理。波音签署协议并牵头组建了一个由 19 家公司参与的飞机机队回收协会(AFRA),该协会将致力于改进老旧机队

资产管理,促进航空材料的回收和安全环保的循环利用。

波音 787 主要由碳纤维复合材料制造,其退役后的绿色处理将大致分为两步:首先,利用机械流程将复合材料与飞机的其他材料分离;其次,使用回收利用流程,将能够在航空航天生产中再次作为原料利用的、质量尚好的纤维回收。另外,飞机回收利用还包括从合金中挑拣铝、飞机航电设备的回收利用、也包括有害废物、固体废物、飞机流体在内的飞机其他部件的有效处置以及劳动力和能源的节约,其目的是实现飞机回收的总体目标——减少退役飞机对环境的影响。目前波音仍在积极地与全球合作伙伴共同寻找 787 绿色回收的最佳方案。

### 5 结论

波音 787 能够成为民用航空史上启动最成功的机型,其卓越的环保性能功不可没,而这又得益于波音将环保理念贯穿于 787 的整个生命周期,并采用了多项有利于环境的新技术。在提倡“绿色航空”的今天,全球的航空制造商都必须思考如何在创造更高价值的同时最大限度地减少对环境的影响,“绿色客机”波音 787 使航空制造业在承担环境责任、探索可持续发展方面迈出了重要的一步。

#### 参考文献:

- [1] Boeing 2010 Environment Report[EB/OL]. 2010-09-09. [http://www.boeing.com/aboutus/environment/environment\\_report\\_10/](http://www.boeing.com/aboutus/environment/environment_report_10/).
- [2] Guy Norris & Mark Wagner. Boeing 787 Dreamliner [M]. 1<sup>st</sup> Edition. New York: Zenith Press, 2009.
- [3] Graham Warwick. Green Day [J]. Aviation Week & Space Technology, January 5, 2009: 20-21.
- [4] Green Aviation: A Better Way to Treat the Planet. 2010-09-15. <http://www.aeronautics.nasa.gov/pdf/greenaviation-factsheetweb.pdf>.
- [5] 徐昕. 走出供应链危机的波音 787 [J]. 国际航空, 2008 (1): 20-24.
- [6] 张义. 波音 787 系统上的跨越 [J]. 国际航空, 2008 (1): 24-25.
- [7] 郝建伟、陈亚莉. 先进复合材料主要制造工艺和专用设备 [J]. 航空制造技术, 2008 (10): 9-12.
- [8] 无名氏. 波音公司的环保工程 [J]. 中国民用航空, 2007 (12): 32-33.