

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.04.001

# 空客公司成功的机翼设计 I

## ——A300 及 A310 机翼设计

### Wings Design of Success for the Airbus I

#### ——Wings Design of A300 and A310

江永泉 / Jiang Yong Quan

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

#### 摘要:

空客公司的成功离不开其先进的机翼设计,其机翼由英国宇航公司负责设计和生产。空客飞机机翼先进的空气动力设计,包括尖峰后加载翼型、超临界翼型、先进跨声速机翼设计——超临界机翼设计、机翼与机身的干扰、翼梢小翼设计、增升装置设计,机翼低重量设计、机翼构型与载荷,详细设计,结构设计和低成本设计等。作为系列论文之一,综述 A300 及 A310 的机翼设计特点。

**关键词:** 机翼;空气动力学;载荷;结构;成本

**中图分类号:** V214.1<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

**OSID:**



[Abstract] The commercial success of the Airbus family owes much to the design of its wings, for which British Aerospace has been responsible. This article describes advanced aerodynamic design of wings (including peaky-rear loading section, supercritical airfoil, advanced transonic wing design — supercritical wing design, wing-fuselage interference, winglet design, High-Lift device design), design for low weight, wing configuration and loads, detail design, structural design and low cost design. As one part of the article, this paper describes the wings design of A300 and A310.

[Keywords] wing; aerodynamics; loads; structural; cost

## 0 引言

1970年,欧洲发达国家为争夺世界民用飞机销售市场,成立了欧洲空中客车工业公司。参加投资和研制的国家有法国、英国、德国和西班牙四国。根据国际市场的要求,先后设计和制造了 A300、A310、A300-600、A320、A330/A340、A380 和 A350 等先进的高亚声速民用运输机。这些飞机已成为国际市场上的畅销型号,订购量逐年猛增,打破了美国波音公司在民用飞机销售市场上的垄断地位,最终与波音公司平分秋色。

任何民用运输机成功的关键在于:在要求的整个航程范围内,装载有效载荷的能力;在巡航速度下具有最大效率和安全性。机翼是这些性能和品质的

重要影响因素,机翼的设计是否成功是民用运输机是否成功的关键。空客公司的 A300(包括后来改型的 A300-600)和 A310 的机翼设计是非常成功的。本文主要论述这三种机型的机翼设计特点。

## 1 A300 机翼设计特点

空中客车工业公司下属的英国豪克·西德利公司(位于哈特菲尔德)在研发 A300 飞机时的后掠翼设计理念是基于研制“三叉戟”的经验,其设计特点包括:采用“尖峰”后加载翼型、可改善超声速流,增加升力能力;大的整体机加件和自动铆接结构;压配合安装,改进疲劳寿命;第二代飞行控制系统中,逐步采用碳纤维复合材料。

空客公司在发展 A300 机翼的基本翼型的设计

状态有声速带平顶前缘处小吸力峰的压力分布,该压力分布与常规翼型比较如图 1 所示。该翼型比当时高速翼型的后加载大得多,如图 2 所示,产生大负值俯仰力矩。

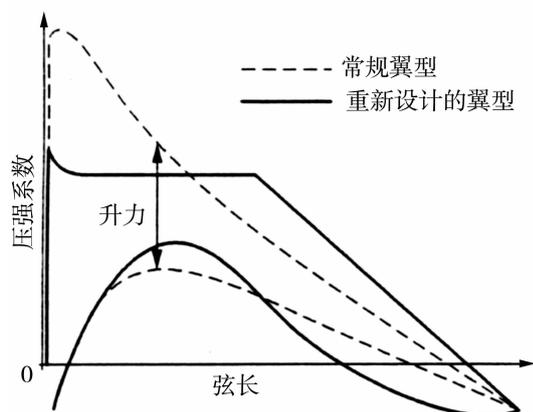


图 1 常规翼型和先进翼型的压强分布比较<sup>[1]</sup>

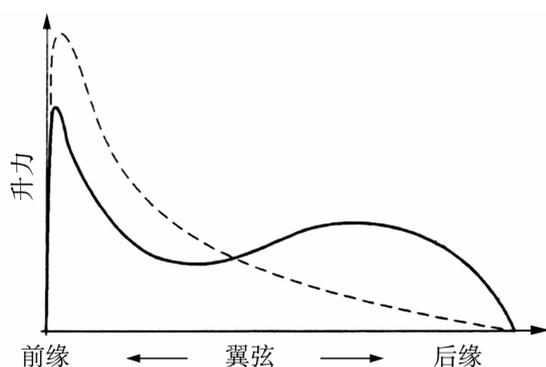


图 2 常规翼型和先进翼型的升力分布比较<sup>[1]</sup>

将巡航状态上翼面的平均压强分布与翼剖面的后部弯度形成的大幅度后加载相结合,研发了对低速高升力更有利的前缘下垂设计。它对巡航平顶压强分布或发展尖峰型剖面压强分布以获得更大的升力系数几乎没有影响。实验与理论相关性的典型压强分布如图 3 所示。

基于这一外翼翼型做了连续高速风洞实验并进行了高雷诺数校核实验,研发了整个外翼,依据理论框架获得巡航状态均匀的上翼面压力分布,同时满足存放起落架,蒙皮为可展曲面等通常的实际要求。设计成功之处是 A300 机翼上的等压线几乎是平行的,如图 4 所示。

英国的豪克·西德利公司对 A300 的机翼贡献很大,其中包括先进的“平顶”后加载翼型,大大增加翼型后部的升力,可使给定后掠角和厚度的机翼在发生激波分离前能承受更大的升力系数,或者说,

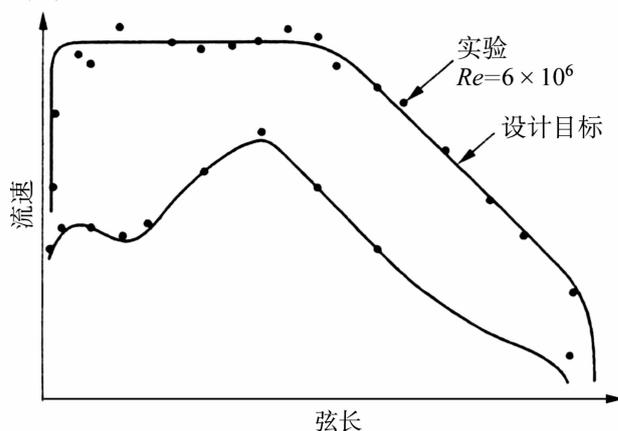


图 3 典型翼型在巡航状态的压强分布<sup>[1]</sup>

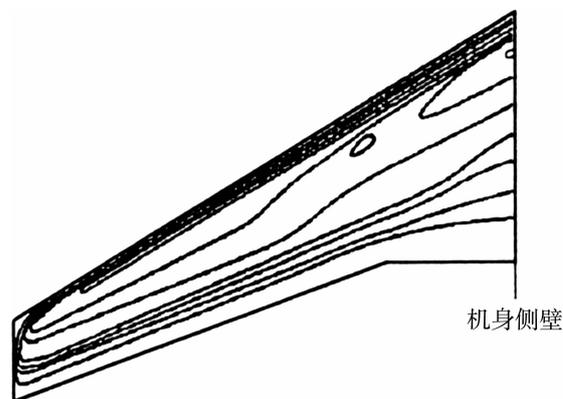


图 4 在巡航状态雷诺数为  $1.47 \times 10^6$  时, A300 机翼的实验等压线图形<sup>[2]</sup>

与常规翼型的阻力相同时,机翼能以较小的后掠角或较大的厚度达到设计升力系数。

在 A300 飞机上,这种平顶翼型已与尖峰前缘相结合,降低了在该区域的压强系数,从而推迟了在翼型顶峰后激波的形成。

机翼设计要求是最大使用马赫数  $M_{M0}$  为 0.84,而阻力急增马赫数不低于 0.83。

考虑巡航要求,可采用大翼载,并与进场要求相结合,要求在可能的着陆  $C_{Lmax}$  范围内,翼载越大越好。还有两个附加设计要求,即避免采用高风险技术以及增升装置不得对起飞/爬升阻力或高马赫数特性有任何不利影响。

图 5 给出了  $Ma = 0.796$ ,  $C_L = 0.42$  时,在半翼展的 52.3% 机翼剖面上的压强分布。在此情况下,发生超声速流,激波出现在 40% 弦长处。超声速区显示有相当程度的等熵再压缩,激波很弱,几乎没有波阻。这就说明应用在设计状态前缘有小吸力峰的

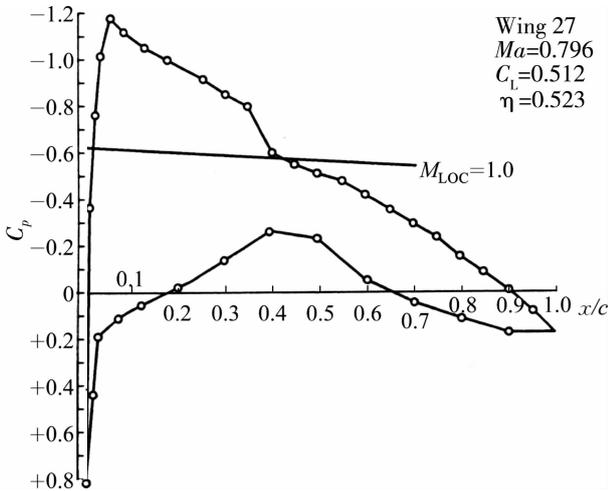


图5 压强分布<sup>[2]</sup>

声速平顶压强分布概念。在略高于设计升力系数时就得到令人满意的“超临界”型压力分布,而没有早期“尖峰”翼型前缘表面速度过高和与其相关的阻力爬升过甚等弊病<sup>[1]</sup>。

A300 按高速巡航  $Ma = 0.82/0.83$ , 远程巡航  $Ma = 0.78$  设计。图 6 表明,  $C_L$  在  $0.30 \sim 0.45$  范围内, 阻力急增马赫数 (阻力比低速阻力水平高  $\Delta C_D = 0.0020$  的马赫数)  $Ma$  在  $0.825 \sim 0.785$  之间变化, 符合设计要求<sup>[1]</sup>。

图 6 到图 8 给出了确定机翼外形的四个翼剖面、制造型架和飞行状态的翼面定义和机翼的扭转。

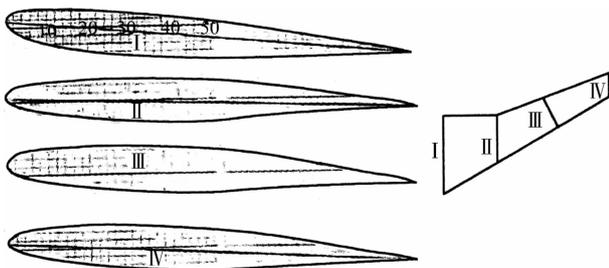


图6 机翼翼型<sup>[1]</sup>

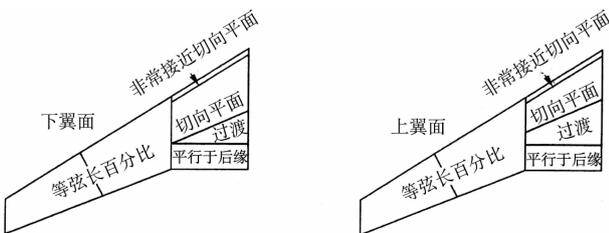


图7 A300B 机翼<sup>[1]</sup>

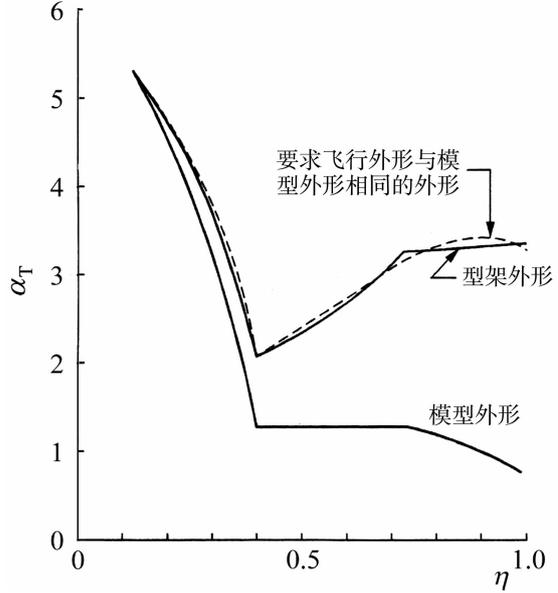


图8 机翼扭转分布<sup>[2]</sup>

气动力上可能接受的最大厚度, 这是因为豪克·西德利公司当时还没有可以加工双曲面机翼蒙皮的设备, 当生产 A310 时才有了这种设备。

### 2 A300-600 机翼设计特点

为了使 A300-600 的机翼能达到设计标准, 在 A310 使用的现代化技术水平基础上通过对已验证过的 A300 机翼在空气动力方面所进行的大量改进以提高 A300-600 机翼的空气动力标准。

A300-600 与 A310 一样通过增加翼型后缘区弯度并取消了后襟翼形成了新的机翼外形, 如图 9 所示, 其特点在于: (1) 增加了内机翼载荷; (2) 增加了后缘区载荷; (3) 降低了诱导阻力; (4) 改进了抖振边界。

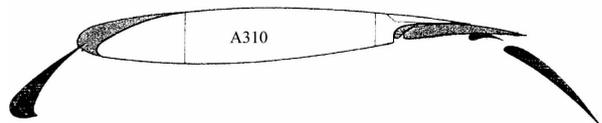


图9 A310 机翼外型

同时, 采用了以下措施使总诱导阻力减小 3.7%: (1) 较小的水平尾翼; (2) 改善机翼和水平尾翼活动面的密封; (3) 新型吊舱; (4) 先进的外挂架形状; (5) 取消后襟翼、前缘缝翼折流板。

此外, A300-600 的机翼设计特点还包括: 加装了翼尖涡扩散器, 获得沿翼展方向的椭圆形压力分布; 降低了诱导阻力和压缩性阻力; 采用了与

A310 相同的横滚原理(取消机翼外侧的低速副翼)。

最后结果是: A300-600 的  $Ma\left(\frac{L}{D}\right)_{\max}$  值要比 A300 的大 8.3%, 如图 10 所示。

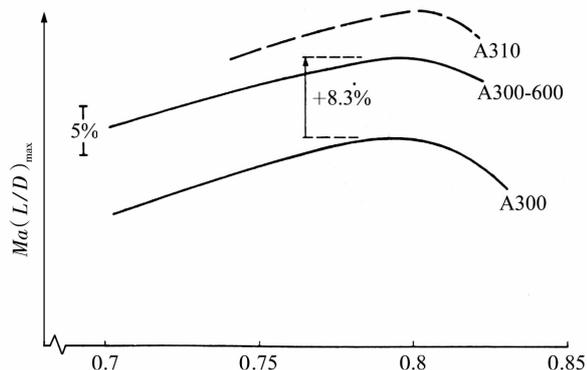


图 10 A300-600 与 A300 的  $Ma(L/D)_{\max}$  差别

A300-600 借鉴了 A310 的比较大的尾翼, 以 A300 的机翼为基础进行设计, 但有主要的细节变化, 如使用了比较小的没有后襟翼的但后缘稍微向下弯曲的单块襟翼(见图 9), 使其着陆升力系数提高了 8%。另外, 取消了襟翼挡板, 所有这些加在一起使巡航阻力降低 8%, 第二阶段爬升阻力降低 4.5%。

图 11 给出了原始 A300 和 A300-600 的展向升力分布。为了能增加 A300-600 的最大起飞重量, 机翼内侧增大后加载, 从而使升力内移, 而且改善了抖振发生边界, 可以更大的升力系数飞行, 见图 12。

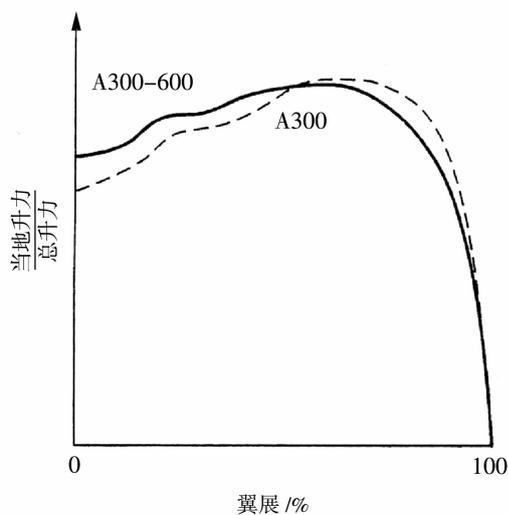


图 11 与原始 A300 相比 A300-600 升力分布的改进<sup>[1]</sup>

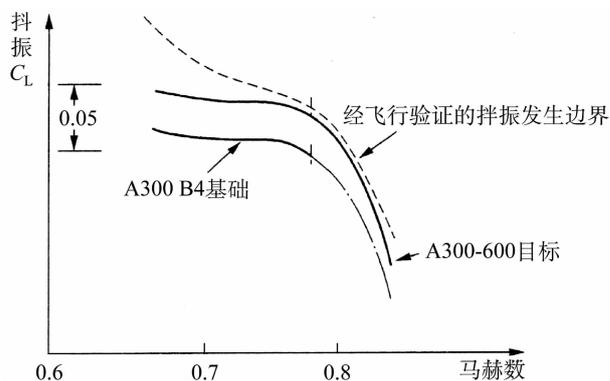


图 12 A300-600 因抖振引起的升力系数随马赫数变化示意图

### 3 A310 机翼设计特点

A310 的机翼设计特点主要体现在以下几方面:

- (1) 第一次在高亚声速民用飞机上采用操纵面的电信号控制;
- (2) 第一次采用计算流体动力学来计算机翼, 以减少风洞实验工作量;
- (3) 第一次在大型高亚声速民用飞机上采用低阻“厚翼型”(即跨声速超临界翼型);
- (4) 第一次在大型民用飞机上采用成型加工/扩散胶合的钛部件;
- (5) 引进高纯度、高强度的铝合金来减小最大起飞重量;
- (6) 第一次在大型民用运输机上采用翼梢小翼。

A310 在机翼内侧采用了双曲面壁板的设计, 从而允许翼根剖面厚得多的机翼。在设计过程中, 考虑问题的重点有以下几个方面:

- (1) 基本机翼/先进二维翼剖面/跨声速设计;
- (2) 内翼段机翼的三维设计;
- (3) 襟翼传动装置整流罩的干扰;
- (4) 台阶/缝隙等气动外形的改善;
- (5) 短舱/挂架/机翼干扰;
- (6) 机翼/机身干扰。

图 13 给出了不同展向位置的翼型。为了在设计状态得到直等压线, 对翼根所作的处理明显包括向内翼移动时安装角增加, 最大厚度位置前移, 前缘变得越来越钝, 而且后加载也逐渐消失了。

A300、A310 和 A300-600 三种机翼之间的关系如图 14 所示。

在 A310 的研制过程中, 给出了 A310 高速机翼设计诸因素, 如图 15 所示。

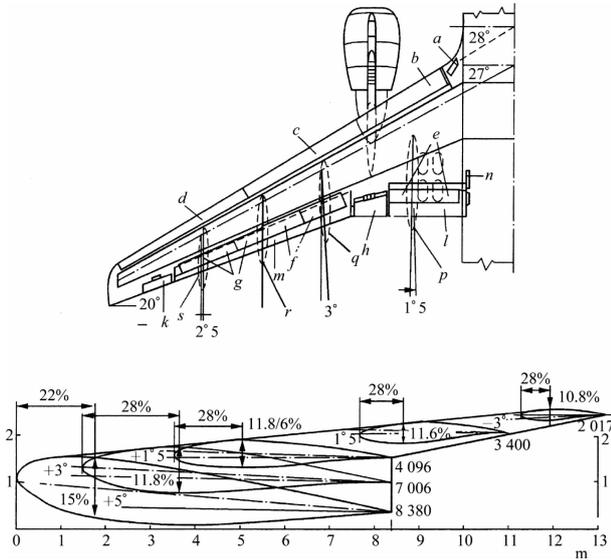


图 13 A310 机翼<sup>[1]</sup>

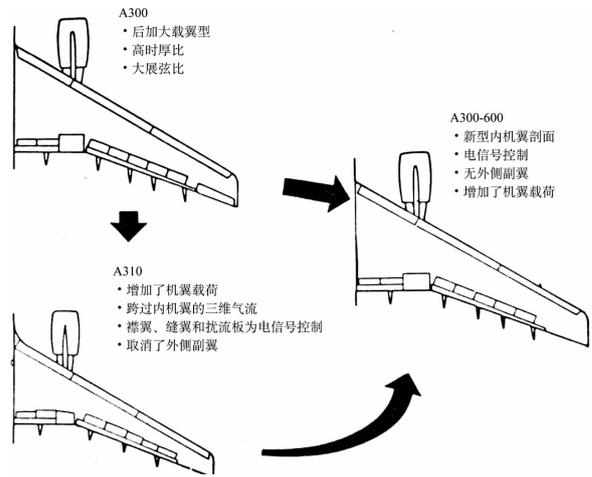


图 14 A300、A310 和 A300-600 的三种机翼之间的关系

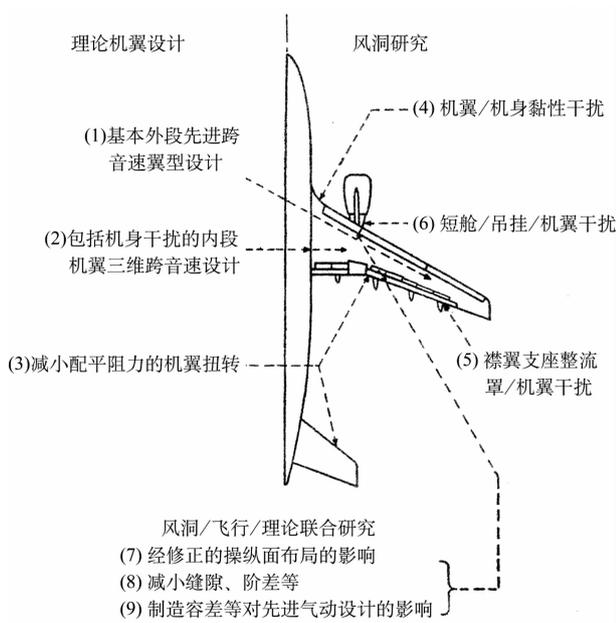


图 15 A310 高速机翼设计诸因素<sup>[3]</sup>

### 4 结束语

本文主要分析了 A300、A310、A300-600 三种飞机的机翼气动力设计,其设计经验值得我们借鉴。

本文第二部分将讨论 A320、A330/A340、A380 和 A350 飞机的气动设计。并对以上几种机型的增升装置实际和翼尖装置设计进行讨论和比较。

### 参考文献:

[1] 艾德·奥波特. 顾诵芬, 吴兴世, 杨新军, 译. 运输类飞机的空气动力设计[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2010.

[2] MCRAE D M. The aerodynamic development of the wing of the A300B[J]. The Aeronautical Journal, 1973, 77(751):367-379.

[3] JUPP J A. Interference aspects of the A310 high speed wing configuration[C]//[s.l.]: AGARD, 1980.

[4] JUPP J A. Wing of success[J]. Aerospace, 1993, 6.

[5] JUPP J A. Wings for the A310[J]. Tech Air, 1981, 5.

[6] BACK R F, WEDDERSPOON J R. The A320 wing-designing for commercial success[J]. Aerospace, 1986, 1.

### 作者简介

江永泉 男, 本科, 高级工程师。主要研究方向: 飞机气动布局设计。