



天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

双梁单块式机翼结构设计与分析  
Structural Design and Analysis of Twin-beam Monoblock Wing

姓 名\_\_\_\_\_何柯妍\_\_\_\_\_

学 院\_\_\_\_\_航空航天学院\_\_\_\_\_

专 业\_\_\_\_\_飞行器制造工程（专升本）\_\_\_\_\_

指导教师\_\_\_\_\_姚冀涛/岳峰\_\_\_\_\_

职 称\_\_\_\_\_副教授\_\_\_\_\_

完成时间\_\_\_\_\_2022年6月3日\_\_\_\_\_



天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

双梁单块式机翼结构设计与分析  
Structural Design and Analysis of Twin-beam Monoblock Wing

姓 名\_\_\_\_\_何柯妍\_\_\_\_\_

学 院\_\_\_\_\_航空航天学院\_\_\_\_\_

专 业\_\_\_\_\_飞行器制造工程（专升本）\_\_\_\_\_

指导教师\_\_\_\_\_姚冀涛/岳峰\_\_\_\_\_

职 称\_\_\_\_\_副教授\_\_\_\_\_

完成时间\_\_\_\_\_2022年6月3日\_\_\_\_\_





天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 毕业设计（论文）任务书

题 目：双梁单块式机翼结构设计与分析

学 院：航空航天大学

专 业：飞行器制造工程

学生姓名：何柯妍

学 号：20414040220

起止日期：2021年12月03日~2022年06月03日

指导教师：姚冀涛 / 岳峰

任务书下达日期：2021年12月03日

## 任务书填写要求

1. 毕业设计（论文）任务书由指导教师根据各课题的具体情况填写，经专业负责人审查签字后生效。此任务书应在毕业设计（论文）开始前一周内填好并发给学生；
2. 任务书内填写的内容，必须和学生毕业设计（论文）完成的情况相一致；
3. 任务书内有关“学院”、“专业”等名称的填写，应写中文全称，不能写数字代码。学生的“学号”要写全号（如：16014010101）；
4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004年3月21日”或“2004-03-21”。
5. 本毕业设计（论文）课题成果的要求，内容要具体化和数量化。如“毕业设计（论文）一套；A0号装配图纸1张；A2号电气控制原理图纸2张；实物样机1台；产品2件”等。

# 毕业设计（论文）任务书

## 1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

- （1）航空产业是国家战略性产业，而飞机机翼设计又是飞机结构设计的核心。
- （2）飞机的机翼在飞机结构中，是直接产生升力托起飞机的构件，而双梁单块式机翼也是目前大中型客机和运输机的最常见的机翼结构。
- （3）相关的公开的论文经查不是很多，一定程度上填补空白。
- （4）飞机机翼的结构和强度对飞机整体性能影响很大，包括受力、传力、布置、结构强度、材料等情况，都直接影响到飞机的性能、载重和用途功能。
- （5）参照国内外优秀的机翼结构设计，在此基础上进行设计、优化和改进，对于航空技术的发展非常关键。
- （6）机翼结构设计的核心是工程力学原理，该题目对于强化学生在飞机结构及力学类课程的所学内容的实际应用设计能力非常重要，包括设计类软件的使用和模拟。
- （7）学生也需要考虑航空工业的特点，以及飞机设计的一些特殊因素，比如材料、重量、空间、温度等环境特点，进行设计，对学生能力是全面的锻炼。

## 2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

- （1）锻炼学生的查阅资料的能力，学生需要了解不同类型飞机对于飞机机翼结构的不同要求，以及常见机翼结构的分类和组成，特别是双梁单块式机翼的特点。
- （2）学生需要明确所设计的双梁单块式机翼的机翼结构的设计要求和使用条件。
- （3）进而结合飞机功能等确定机翼载荷（机翼吊点或挂点，以及气动压力和自重）和飞行过载要求等，设计出双梁单块式机翼的结构组成和各部分尺寸。
- （4）学生需具备计算和查阅手册进行设计的能力，进而可以设计出尽可能完整的机翼结构（包括翼梁、桁条、翼肋、加强肋、蒙皮等的尺寸、结构、类型和材料等）。
- （5）运用软件绘制机翼装配体（包括翼梁、桁条、翼肋、加强肋、蒙皮等的装配体）的三维模型并进行校核计算，通过软件模拟施加载荷，并判断分析结果。
- （6）在模拟计算结果帮助下，对设计进行进一步改善和优化，最终确定设计方案。
- （7）完成论文的撰写。

3. 毕业设计（论文）课题成果（包括毕业设计论文、图表、实物样品等）：

- (1) 毕业设计（论文）一套；
- (2) 机翼结构三维模型一套；
- (3) 电子版装配图纸一套。

4. 推荐参考资料：

- (1) 飞机结构或机翼结构类教材；
- (2) 飞机结构设计手册；
- (3) 相关论文及资料等。

所在专业审查意见：

同意

负责人：\_\_\_张健\_\_\_

2021年12月6日



天津中德应用技术大学

Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计（论文）开题报告

题    目： 双梁单块式机翼结构设计与分析

学    院： 航空航天大学

专    业： 飞行器制造工程（专升本）

学生姓名： 何柯妍

学    号： 20414040220

起止日期： 2021年12月03日~2022年06月03日

指导教师： 姚冀涛 / 岳峰

开题日期： 2022年03月05日

## 一、 开题报告内容（课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究（应用）情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献等）

课题的目的意义：

飞机设计作为航空高科技的重点发展产业逐渐发展壮大，不断丰富、更新和拓展，为了与此相适应，飞机的结构设计方案和各类技术也应不断优化和提高。在飞机结构设计时，机翼也是非常重要的一部分，机翼的设计很大程度上决定了飞机的性能，通过对机翼结构设计的研​​究可以极大优化飞机的整体性能。所以参照国内外优秀的机翼结构设计，在此基础上进行设计、优化和改进，对于航空技术的发展非常关键。在学校时，我们接触到非常多有关飞机的各类课程，所以融会贯通学校所学飞机结构、工程力学等相关知识，并融入设计软件进行模拟应用，对我个人能力的提升具有非常大的帮助。而且在近期查资料的过程中，相关的公开的论文不是很多，可以一定程度上填补空白。

有关的国内外研究情况及发展趋势：

在机翼构造形式的发展过程中，最主要的变化是维形构件和受力构件的逐渐合并。因此，根据其构造形式的发展，我们可以将机翼分为很多种类。

早期飞机大多数采用架构式的机翼。而随着飞机速度的增大，出现了蒙皮参加受力的梁式机翼。其特点是有强有力的翼梁和硬质蒙皮，常用金属铆接结构。梁式机翼为现今飞机所广泛采用，其大部分弯矩由翼梁承受，梁腹板承受剪力，蒙皮和腹板组成的盒段承受扭矩，蒙皮也参与翼梁缘条的承弯作用。梁式机翼的不足之处是蒙皮较薄，桁条较少，因此，其机翼蒙皮的承弯作用不大。根据翼梁的数量不同，进一步将梁式机翼分为单梁式、双梁式和多梁式机翼。

随着飞行速度的进一步增大，为保持机翼有足够的局部刚度和扭转刚度，需要加厚蒙皮并增多桁条。这样，由厚蒙皮和桁条组成的壁板已经能够承受大部分弯矩，因而梁的凸缘就可以减弱，直至变为纵樯，于是就发展成为没有翼梁的单块式机翼。单块式机翼的维形构件和受力构件已经完全合并。

目前主流的民航客机的机翼结构采用的是双梁单块式，前后有两根梁，之间又有很多的翼肋，这样梁和翼肋就组成了机翼的内部骨架结构，外侧是蒙皮和壁板的设计。机翼除了追求更好的飞行性能还需要顾及其经济性，巡航效率也是影响飞机经济性至关重要的原因之一，而巡航效率又与燃油效率息息相关，所以在 2012 年，孙滢和吴桂林通过分析了民航客机燃油效率的影响因素，将气动阻力进行分解，推导出了以巡航效率为优化目标的最佳机翼面积的优化方法。

现如今，随着科学技术的不断提高，机翼的结构设计与建模逐步实现自动化调整。2008 年，北京航空航天大学航空科学与工程学的罗明强等人为提高总体设计的质量和效率，研究了民用飞机机翼结构及整体油箱的设计措施，并在一个开放式飞机总体设计环

境中实现这一功能。定义了飞机翼面坐标系，提出了机翼、梁/墙、桁条、翼肋和蒙皮的参数化描述及模型构建方法，建立了交互式机翼结构及油箱三维设计环境，自动获取结构及油箱的体积、重量、重心和惯性矩等物理信息。2020年，郭俊毫提出了一种机翼有限元混合建模方法，建立机翼有限元模型并进行强度分析，分析结果可为机翼后续优化设计提供参考。

目前国内民航客机的设计还处于发展阶段，机翼梁的尺寸的确定、最佳蒙皮厚度以及更多的参考相似机型的数据，建立一套完整而实用的飞机设计的综合优化方法，还需要更多的研究和努力。本课题利用现有民航客机双梁单块式机翼的结构设计，通过SOLIDWORKS软件进行设计及加载分析，并根据分析结果进一步优化，得出结论完成此项研究。

#### 主要内容：

1. 理解课题，制定设计方案。
2. 查阅资料，了解飞机机翼结构的分类、双梁单块式机翼的应用现状、发展趋势等。
3. 确定双梁单块式机翼的结构布局与具体尺寸。
4. SOLIDWORKS软件进行双梁单块式机翼3D图的绘制及加载分析，得出结论。
5. 通过与现有双梁单块式机翼应用机型的对比，进行结构优化。
6. 撰写论文、查重及完成答辩。

#### 参考文献：

- [1] 李成智. 飞机机翼的发展[J]. 机械技术史, 1998(00):420-424.
- [2] 土成. 飞机机翼上的学问[J]. 民防苑, 2007(02):21-22.
- [3] 罗明强, 冯昊成, 刘虎, 武哲. 民用飞机机翼结构快速设计及自动化调整[J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35(04):468-471. DOI:10.13700/j.bh.1001-5965.2009.04.007.
- [4] 孙滢, 吴桂林. 民航客机最佳机翼面积的优化方法[J]. 航空计算技术, 2012, 42(03):14-17.
- [5] 马清. 某轻型运动飞机双梁式机翼结构研究与分析[J]. 装备制造技术, 2014(6):3.
- [6] 郭俊毫. 典型机翼结构建模与有限元分析[J]. 工程与试验, 2020, 60(03):27-29.
- [7] 王小涛. 复合材料中央翼结构型式优化设计方法研究[D]. 南京航空航天大学, 2012.
- [8] 飞机设计手册[M]. 航空工业出版社, 《飞机设计手册》总编委员会编, 2000

[9] Robert M. Rivello. Theory and Analysis of Flight Structures, McGraw-Hill Book Company, 1969.

## 二、进度及预期结果

起止日期	主要内容	预期结果
2022.03.04- 2022.03.08	制订设计方案	方案科学、合理、完整、充分、实事求是
2022.03.09- 2022.03.14	掌握双梁单块式机翼在航空器中的应用	掌握双梁单块式机翼的应用范围
2022.03.15- 2022.04.01	掌握 SOLIDWORKS 软件并绘制双梁单块式机翼 3D 图	完成双梁单块式机翼 3D 图
2022.04.15- 2022.04.20		完成分析研究工作
2022.04.21- 2022.04.30	使用 SOLIDWORKS 软件分析加载数据，得出结论	完成论文
2022.05.01	撰写论文	完成查重
2022.06.03	论文送审 论文答辩	完成答辩
<b>完成课题的 现有条件</b>	1、关于双梁单块式机翼在航空器中应用的大量技术资料 and 文献资源。 2、SOLIDWORKS 软件绘制图纸并加载分析。	
<b>指导教师 意见</b>	同意 指导教师: <u>姚冀涛/岳峰</u> <u>2022</u> 年 <u>3</u> 月 <u>8</u> 日	
<b>开题答辩 小组意见</b>	同意 组 长: <u>王军</u> <u>2022</u> 年 <u>3</u> 月 <u>5</u> 日	

**天津中德应用技术大学**  
**本科生毕业论文（设计）的声明**

本人郑重声明：所提交的学位论文，是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：何柯妍  
年 月 日

本人声明：该学位论文是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过论文的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

学位论文指导教师签名：  
年 月

## 摘 要

我国航空制造业经历了长达约半个世纪的仿制到自主研究的发展历程，已经基本形成完整的航空工业的基本体系，也已具备生产大型飞机的基础与能力，但仍然缺少大型民航客机的设计经验，很多部件的结构设计也需要优化和改进。

机翼是飞机的重要部件，不仅是产生升力的来源，还有储存燃油承载发动机的作用，所以机翼的优化对于飞机的飞行性能和使用安全起着非常重要的作用。目前主流的大型民航客机的机翼结构采用的是双梁单块式。

论文内容将对目前世界大中型民用飞机上普遍采用的双梁单块式机翼结构展开研究分析，对所设计的双梁单块式机翼的主体受力结构，如翼梁、翼肋、蒙皮、腹板等进行布局，并计算出结构主体部分的具体尺寸，从而完成双梁单块式机翼结构的设计方案。

在完成双梁单块式机翼设计方案的基础上，通过 Solid-works 软件进行设计及加载分析，并根据分析结果进一步优化，设计出更加科学的双梁单块式机翼结构。

**关键词：**双梁单块式机翼；民用飞机；结构优化

## ABSTRACT

China's aviation manufacturing industry has experienced a development process of about half a century of imitation to independent research, has basically formed a complete basic system of the aviation industry, and has the foundation and ability to produce large aircraft, but still lacks the design experience of large civil aviation airliners, and the structural design of many components also needs to be optimized and improved.

At present, the wing structure of the mainstream large civil aviation airliner adopts a double-beam monolithic type, and the wing is an important component of the aircraft, not only the source of lift, but also the role of the fuel bearing engine, so the optimization of the wing plays a very important role in the flight performance and safety of the aircraft.

In this paper, the double-beam single-block wing structure widely used in existing large-scale civil aviation airliners will be studied and analyzed, and the main stress components of the designed double-beam single-block wing such as the wing beam, wing ribs, skin, web, etc. will be laid out, and the specific size of the main components will be estimated to complete the design scheme of the double-beam single-block wing structure.

On the basis of completing the double-beam single-block wing, the design and loading analysis are carried out by SOLID-WORKS software, and further optimized according to the analysis results, a more scientific double-beam single-block wing structure is designed.

**Key words:** Double-Girder Monolithic Wing; Civil aircraft; Structural optimization

## 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>6</b>
1.1. 选题背景及意义 .....	6
1.2. 国内外研究状况 .....	6
1.3. 设计主要内容 .....	8
<b>第二章 机翼结构布局设计</b> .....	<b>9</b>
2.1. 机翼结构设计要求及主要依据 .....	9
2.2. 几种典型机翼的结构特点 .....	10
2.3. 双梁单块式机翼受力特点 .....	11
<b>第三章 双梁单块式机翼结构设计</b> .....	<b>13</b>
3.1. 机翼结构设计的主要依据 .....	13
3.2. 机翼平面参数 .....	13
3.3. 翼型的分类与几何参数 .....	14
3.4. 翼型选择 .....	15
3.5. 平面参数确定 .....	16
3.6. 双梁单块式机翼主要构件布置 .....	17
3.7. 主要构件材料 .....	24
<b>第四章 双梁单块式机翼三维图绘制及载荷计算</b> .....	<b>26</b>
4.1. 双梁单块式机翼各个组成部分三维图的绘制 .....	26
4.2. 双梁单块式机翼装配图 .....	28
4.3. 载荷计算 .....	28
<b>第五章 加载分析与优化</b> .....	<b>31</b>
5.1. 整体加载分析 .....	31
5.2. 结构优化 .....	31
<b>结论与展望</b> .....	<b>32</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>33</b>
<b>致谢</b> .....	<b>34</b>



## 第一章 绪论

### 1.1. 选题背景及意义

航空工业作为发展二十一世纪航空技术的关键性行业，飞机的发展也事关中国国民经济发展战略和国家安全。航空业并不能没有民机，目前全球所有航空业的民机产值都超过了全国总量的百分之七十，而且全世界都非常关注大飞机的发展，由于大飞机带动了新材料、造船、电子、自动控制计算机等学科领域的发展，且技术复杂，科技含量高，是现代高新科技的大集合，它也是体现国家科学技术工业水平和综合国力的标志，所以国家将发展航空业作为中国高新技术的重要支柱，关注民用飞机的发展也是中国航空业可持续发展的必然选择。

而目前全球的民用大中小型飞机交易市场已被波音和空客两个企业长期垄断。以我国为例，截止到 2021 年 6 月 30 日，据统计我国一共有 3930 架民航飞机。空客占一半，波音占 45%，而国产客机只占约 2%，所以对国外优秀机型数据进行参考并在此基础上进行设计、优化和改进，对于我国航空技术的发展非常关键。

目前，在我国航空制造业经历了长达约半个世纪的仿制到自主研究的发展历程，已经形成完整的航空工业的基本体系，也已具备生产大型飞机的基础与能力，但仍然缺少大型民航客机的设计经验，很多部件的结构设计也需要优化和改进。总之，在飞机结构设计应与时俱进，以满足人们的各种需求。机翼作为飞机的重要部件，不仅是产生升力的主要来源，还具有储存燃油、承载发动机的作用，所以机翼的优化对于飞机的飞行性能和使用安全起着非常重要的作用。目前世界上主流飞机，特别是民用飞机，都普遍采用了双梁单块式的机翼。本章主要针对现有双梁单块式机翼构造展开研究分析，并且根据结果进一步优化，设计出更加科学的机翼结构。

### 1.2. 国内外研究状况

早期飞机大多数采用架构式的机翼。而随着飞机速度的增大，出现了蒙皮参加受力的梁式机翼。其特点是有强有力的翼梁和硬质蒙皮，常用金属铆接结构。其大部分弯矩由翼梁承受，梁腹板承受剪力，蒙皮和腹板组成的盒段承受扭矩，蒙皮也参与翼梁缘条的承弯作用。梁式机翼的不足之处是蒙皮较薄，桁条较少，因此，其机翼蒙皮的承弯作用不大。根据翼梁的数量不同，进一步将梁式机翼分为单梁式、双梁式和多梁式机翼。

随着飞行速度的进一步增大，为保持机翼有足够的局部刚度和扭转刚度，需要加厚蒙皮并增多桁条。这样，由厚蒙皮和桁条组成的壁板已经能够承受大部分弯矩，因而梁的凸缘就可以减弱，直至变为纵墙，于是就发展成为没有翼梁的单块式机翼。单块式机翼的雏形构件和受力构件已经完全合并。目前主流的民航客机的机翼结构采用的是双梁和单块

混合式，前后有两根梁，之间又有很多的翼肋，这样梁和翼肋就组成了机翼的内部骨架结构，外侧是蒙皮和壁板的设计。

如今，民航客机机翼的发展主要在两个方面：一是使用先进的设计与分析手段对机翼结构和外形进行优化；二是在机翼上使用大量复合材料。

### 1.2.1. 国外研究现状

#### 1) 材料上：

##### 美国 ACEE、ACT、AST 计划

美国第一个实行的计划是飞机效能计划 ACEE（1976-1986）。通过本次的计划，美国飞机三大公司成功的研制出了 DC-10 方向舵、L-1011 副翼和垂直安定面、波音 727 升降舵、以及波音 737 水平安定面。为把复合材料运用到航空结构上，奠定了基础。

在 ACEE 计划之后，美国 NASA 又实行了 ACT 计划（1988-1997）。这个计划的主要研究内容是将各种复合材料应用在民用飞机的主要承力结构上。在经过进行了长期和艰苦的设计与研究，波音最终成功制造并研发制造出了使用了 12.8m 长复合材料的嵌缝式复合材料和复合材料机翼盒段，比波音之前一直使用的铝合金结构盒段降低到了总生产成本的近 20%，减重到了近 20%~30%。

1992 年美国启动了先进亚声速技术计划 AST（1992-2002）。这项计划的主要目的是通过提高例如检测脱胶、疲劳裂纹和腐蚀的非破坏评估技术提高了飞机的可靠性和可维修性。

ACEE 飞机效能计划和先进复合材料技术计划是美国将复合材料应用在飞机结构上的研究计划，而先进亚声速计划 AST 则是为了提高美国的航空运输全球竞争力，优化环境性能和提高系统安全性。美国正是通过这三个计划，提升了自己的民航市场竞争力。

##### 欧盟 TANGO、ALCAS 计划

在美国积极研究复合材料的同时，为了保证飞机重量更轻、油耗更小、环境影响小的前提下，进一步提高飞机的结构效率，欧盟推出了商业目标和对象 Tango 的技术应用方案，将复合材料应用于机身结构部件，具有最大的减重和降低成本的潜力。这个想法很快被应用于空中客车公司的 A380 飞机。

在 TANGO 计划成功之后，欧盟机构已经开始启动实施欧洲最先进的材料技术和低成本的机身结构计划 ALCAS 计划，即通过利用新型材料，设计方式和生产工艺，更好地把复合材料和航空系统结合起来，为更好地生产低成本的轻量化飞行器提供了数据和经验。

#### 2) 结构上：

##### 美国 IAS 计划

在飞机设计领域，美国的 NASA 飞机中心于一九九六年开始研究和通过了整体机体设计项目的 ISA，该项目主要是在进行研究，包括了飞行器总体框架和块状构造材料的耐久性设计/损伤容限性能研究，以及技术应用研究。在拥有同等产品的结构性能强度和承受

重量前提下,整体结构件在常温下有着相对较高水平的弯曲刚度系数和剪切强度,可以在降低成本的同时,满足在飞机结构设计中某些特殊要求。

NASA 首次将 IAS 计划用于了波音 747 发动机的发动机研制计划中,取得了一些非常显著的的研究成绩。采用整体结构并加上焊接工艺制造的新波音 747,可减少整机安装总费用为 300 万美元人民币左右。

### 1.2.2. 国内研究现状

相较于国外来说,我国民机方面的研制较为空白,以下为我国航空业比较具有代表性的大型客机,其机翼也采用了许多新技术,采用了许多新材料:

#### 1) 运 10

我国首个由中华人民共和国自行设计和生产的拥有自主知识产权的超大型喷气式飞机。其工程目标是为当时该国的领导人开发一架特殊的飞机,以访问国外。运-10 的结构在轰-6 的基础上进行了改进,机翼采用双梁单块铝合金铆接结构,并首次参考美国适航法规 FAR-25 标准。76 种新材料的选用占 18%,新标准的选用占 17%,新成品的选用占 70%,这些新材料、新标准、新成品的应用为我国民用飞机研究奠定了基础。

#### 2) ARJ21

ARJ21 型支线飞机是根据国际最新标准的要求而研制成功,并具有高度自主、完整知识产权的中国飞机。也是在 2014 年 12 月 30 日,获得交通部中国民航航空局培训中心颁发的波音 ARJ21-700 型式证书,这又标志着中国首次生产出世界上第一架可以正常进入欧洲航线进行运维的支线喷气式客机。

#### 3) C919

C919 是中国第一架全面参照国外先进适航标准研发的单通道超大型干线飞机,并具有我国全部的自主知识产权。

C919 飞机于 2017 年 5 月 5 日成功首飞。它采用了许多新技术,例如使用先进的空气动力学布局和先进的空气动力学设计技术,例如新一代超临界机翼。但随着新的结构设计和大量开发新的金属与材料,复合材料约占百分之二十,大大降低了飞行器的结构重量。

### 1.3. 设计主要内容

本文将对现有大型民航客机广泛使用的双梁单块式机翼结构进行研究分析,设计优化机翼结构。

1. 综合考察国内外民用飞机,计算双梁单块式机翼结构的尺寸。
2. Solid-works 软件进行双梁单块式机翼 3D 图的绘制及加载分析,得出结论。
3. 对机翼主要构件尺寸进行优化。

## 第二章 机翼结构布局设计

### 2.1. 机翼结构设计要求及主要依据

#### 2.1.1. 机翼结构设计要求

机翼结构设计要求有空气动力外形要求；结构重量要求；受力系统布置和构件的强度和刚度要求；工艺性要求。机翼设计包括外形设计和结构设计。

#### 2.1.2. 机翼的平面形状

机翼常见的形状有矩形翼、梯形翼、后掠翼、三角翼、变后掠翼、S形前缘翼。

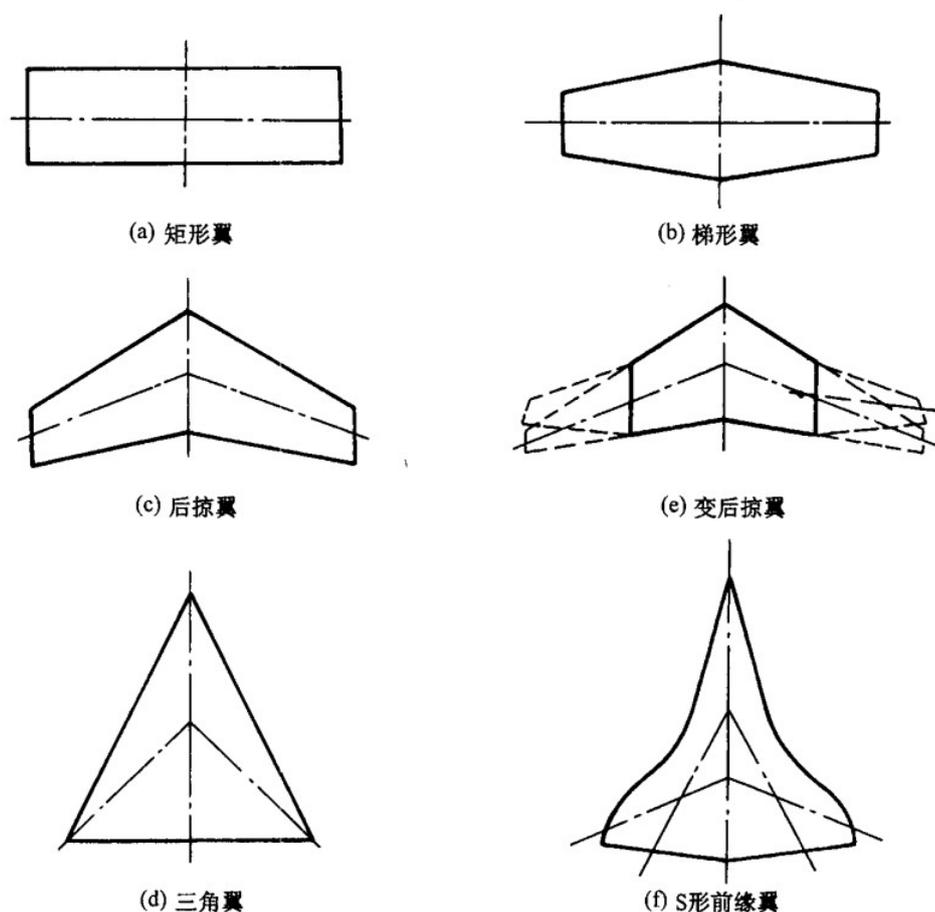


图 2-1 几种常见机翼的平面形状

#### 2.1.3. 机翼平面形状的选用

低速飞行器通常并不采用后掠飞机，也因此没必要采用后掠来处理空气动力学的问题。在低速航空器中，采用后掠翼也主要是为了通过后掠来调节中心与焦点之间的相对位移，以增加航空器的纵向稳定性。后掠翼也能够增加飞机的临界马赫数，所以在高亚声速航空器中往往采用后掠翼来增加航空器的马赫数范围。

## 2.2. 几种典型机翼的结构特点

常见飞机的机翼形式结构类型有梁式、单块式结构和多腹板式。

### 2.2.1. 梁式机翼

梁式机翼由翼肋、翼梁、蒙皮和长桁组成，其最大的特点是具有很强的梁缘条，长桁比较弱，蒙皮非常薄。

这个构型一般用作直翼、小后掠角的飞行器以及相对机翼厚度很大的低速飞行器。另外对于使用中下单翼机体布局型式的航空器，由于其机翼结构又不一定允许从根部结构贯穿到机体二端而可以选用靠梁型连接，而根部结构则大多是靠梁受力连接，在较接近机体的侧面更方便地集中连接。而对于承载较小载荷的航空器，则常选用梁式结构

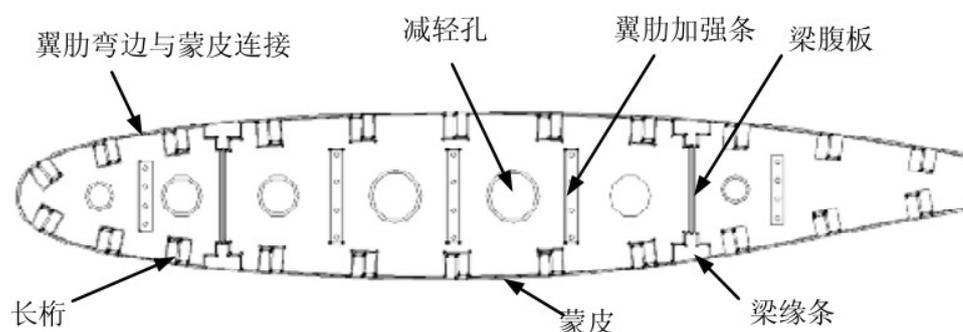


图 2-2 梁式机翼典型剖面图

### 2.2.2. 单块式机翼

单块式机翼由蒙皮、翼肋、翼梁和长桁组成。与梁式机翼相比翼梁截面积要小得多，长桁相对较强，蒙皮也比梁式的厚。

单块式机翼通过中央翼将左右翼连为一体，并贯穿机身，由中央翼固定在机身加强框上，一般多用于上单翼或下单翼飞机，并且机身内空间也便于利用和布置。在单位宽度载荷较大时，相对厚度较大，适宜采用受力分散的单块式结构。

### 2.2.3. 多腹板式机翼

多腹板式的机翼上采用复合材料的多腹板数量相对甚多，无桁条，蒙皮一般相对于较窄厚，一般仅作为飞机按照等宽强度比设计的一般原则而计算而得到的渐变度蒙皮尺寸（翼根到翼梢蒙皮逐渐变薄）之一，翼肋宽度则相对而言较少，一般的飞机也只应考虑到在飞机翼根、翼梢等部位之间和机身其他各有较大受力集中部位的主要载荷部位之间应布置出一个加强式的翼肋，机翼上的翼型强度主要还是靠机翼由多腹板结构设计制造来继续保持。多腹板式的机翼结构较多的可用于设计高速涡轮螺旋桨飞机系统中的小单位面积的展弦比机翼和超薄型机翼战斗机。

## 2.3. 双梁单块式机翼受力特点

### 2.3.1. 双梁式机翼受力特点

蒙皮桁条直接受静气动力作用，产生剪力，剪力发生后通过两个铆钉的连接将这两个支点气动载荷的形式分别传授给了长桁板和翼肋板；然后当两个长桁板分别受静载压力影响后，将两个气动载荷的形式分别以一个多支点的梁的气动载荷形式分别传授给两个翼肋板；翼肋是在其两端都是由沿梁腹板所支持，是由沿周缘所支持在另一个是由沿梁和蒙皮板组成支撑的空间盒式梁体结构上，载荷传递是要通过翼肋来传递荷载到梁腹板面上去的；由于机翼梁腹板都是与两翼其它的很多个平行翼肋所垂直相连，由其中每个水平翼肋所上传送而来的载荷一般都要以平板受反切剪作用的形式，从水平翼尖向上传递荷载到平行翼根上并在最后一步是靠在垂直翼根部由对接的接头来提供的支反力作用来获得载荷平衡。梁式机翼设计上的主要因素有由翼梁缘条所要承受的由弯矩力作用引起的扭转载荷的轴力，其扭转载荷应力面积都较为集中。梁式机翼结构产生扭转的扭矩力通常同时也是通过以翼盒内蒙皮和翼肋所受的剪角作用的形式逐级向机翼根部方向进行传递，扭矩力则由翼尖向翼根的逐渐方向而呈阶梯形方向逐级的增加。蒙皮也往往变得很厚粗薄，与许多其它结构截面形式尺寸相同的机翼构件相比，其截面尺寸在与翼盒闭室面积尺寸相同的结构截面情况下，扭转的扭转刚度往往很小，故承剪的能力也很弱。

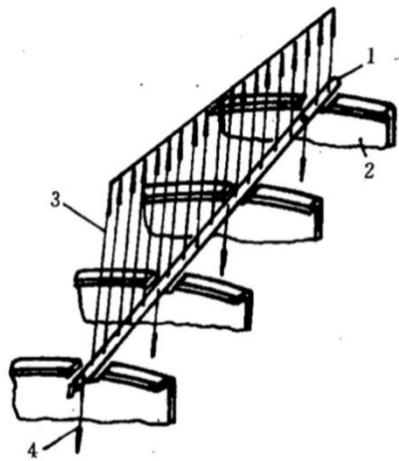


图 2-3 长桁受载

1- 长桁 2-翼肋 3-蒙皮传来的载荷 4-翼肋的支反力

梁式机翼梁段间横向跨度空间较大，便于充分利用整个机翼段内部横向空间，也较便于开口，开口形成后通常不会造成破坏传递弯矩力和剪力矩的路线，仅只需考虑为其传递的扭矩力进行一些补强的措施即可。

### 2.3.2. 单块式机翼受力特点

单块式机翼由蒙皮、翼肋、翼梁和长桁组成。与梁式机翼相比翼梁截面积要小得多，长桁相对较强，蒙皮也比梁式的厚。

单块式机翼结构在机翼承受剪力时结构与双梁式机翼结构相似；弯矩载荷主要依靠由长桁架和厚蒙皮结构组成的机翼壁板的承受载荷及应力传递，相比梁式的机翼板承受拉压和应力作用的有效面积沿翼剖面及其周边方向分散均匀分布。单块式的机翼蒙皮一般较厚，对增加飞机颤振临界效率非常有用。

### 2.3.3. 新机翼选型

梁式机翼：梁式机翼的两个翼梁间跨度大，高度也比较高，有利于开口。

单块机翼：机翼下的上、下腹段及壁板段等构件为整个机身分散刚性结构受力，它比梁式机身刚度比特性要好，材料利用率很高，重量却很轻。缺点之一则主要是不便开口。

设计现代的民航客机，机翼载荷量较大，现代的类型飞机已基本上不采用纯粹的梁式机翼结构，但现代民机翼上，不可避免还有很多开口结构以及其他组件，因此所设计的新机翼采用双梁式与单块式的混合结构形式，布局如下：

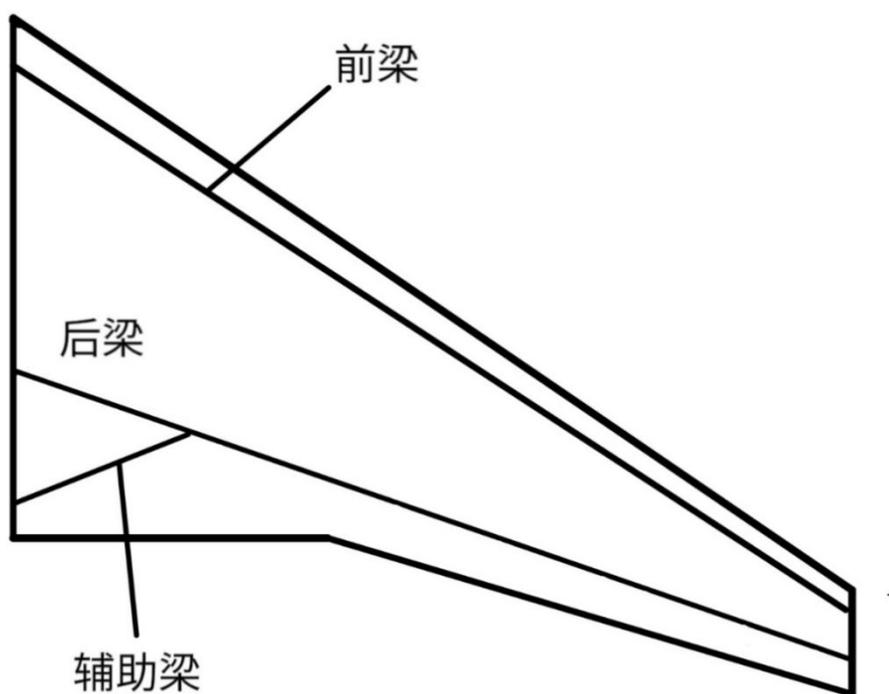


图 2-4 机翼双梁单块混合式

### 第三章 双梁单块式机翼结构设计

气动力布局外形参数选用与设计对包括平面参数、翼型和几何形状参数的选用和设计。

#### 3.1. 机翼结构设计的主要依据

飞机气动力布局、总体布局、技术使用要求，是机翼设计的主要依据。

##### 1) 飞机气动力布局

气动力布局外形参数主要有有机翼面积 $S_w$ ，机翼展长 $L$ ，根梢比 $\eta$ ，展弦比 $A$ ，后掠角 $\Lambda$ ，上或下反角 $\Gamma$ ，相对厚度 $\bar{c}$ ，机翼翼型弯度和扭转分布等。

##### 2) 总体布局

总体布局上需特别考虑：机翼前缘与前机身前缘相对应位置及传力系统布局，传弯矩和传剪力结构的加强框位置及后机翼后缘与主机身后缘的对接框位置；机翼结构内部是否装有起落架，机翼结构上的外挂物的摆放位置，机翼结构内外侧是否允许安置燃油箱，油箱形式如何等要求；飞机翼板内各种装置系统、设备等的布置安装，运动控制协调机构及维护舱口盖系统的安装设置的要求等。

##### 3) 强度刚度规范及设计

强度刚度规范及设计参数包括由总体设计给出的全机主要参数，飞机的重量；机翼翼载大小， $M-H$  的飞行包线；按飞行重量的限制，安全系数规定，战斗任务面及使用计划强度、刚度及疲劳强度设计规范及检修间隔等要求。

#### 3.2. 机翼平面参数

确定机翼的平面外形，一般要使用以下三种数据：展弦比、稍根比和前缘后略角比来表示。再计算机翼面以判断翼平面形状尺寸的高低以判断飞翼的根弦长，尖弦长，展长的前后缘以及四分之一弦的前后掠角。

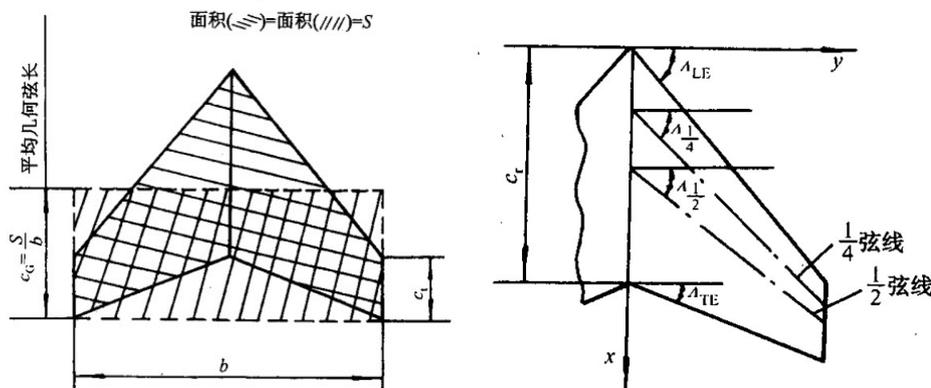


图 3-1 机翼平面参数的定义

1) 展弦比( $A$ )：机翼展长和平均几何弦长之比。常用以下公式表示

$$A = \frac{b}{c_G} = \frac{b^2}{S}$$

式中：b—机翼展长

S—机翼面积

$c_G$ —平均几何弦长， $c_G = s/b$ 。

2) 梢根比 ( $\lambda$ )：机翼翼梢弦长与翼根弦长之比。

$$\lambda = \frac{c_t}{c_r}$$

式中： $c_t$ —翼梢弦长

$c_r$ —翼根弦长

3) 后掠角 ( $\Lambda$ )：机翼上有代表性的等百分比弦线与垂直于对称面的轴线之间的夹角。

如图 2-3 所示：

图  $\Lambda_{LE}$ —前缘后掠角

$\Lambda_{1/4}$ — $\frac{1}{4}$ 弦线后掠角

$\Lambda_{1/2}$ —中弦线后掠角

$\Lambda_{TE}$ —后缘后掠角

4) 机翼面积 S：即机翼前、后缘延伸到飞机对称面所围成的面积。

大型飞机根据 CCAR-25 部的规定，机翼面积设计需要满足：1 起飞距离要求，2 着陆要求，3 按巡航速度要求估算。分别从这三个方面进行设计。

### 3.3. 翼型的分类与几何参数

#### 3.3.1. 翼型分类

翼形按使用的速度范围又可以分成中低速飞机翼形，亚音速翼型，跨声速飞机机翼形和超音速翼型，需要按照飞机大小和使用速度范围来选择适当的翼形。

按气动特征可分为：层流翼型、尖峰翼型、超临界翼型、超声速翼型、NACA 翼型。

在飞机设计中，应用最广泛的是 NACA 系列翼型。

#### 3.3.2. 翼型的几何参数

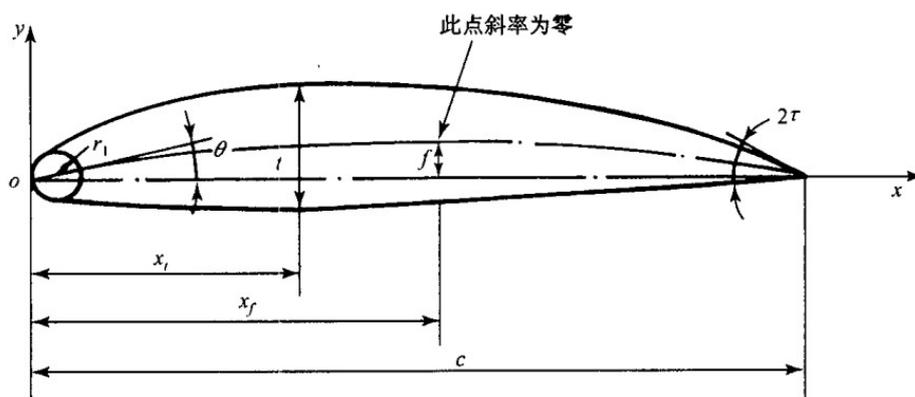


图 3-2 翼型的构成

(1) 中弧线：翼型内接圆圆心的连线称为翼型的中弧线。如图 3-3 所示。

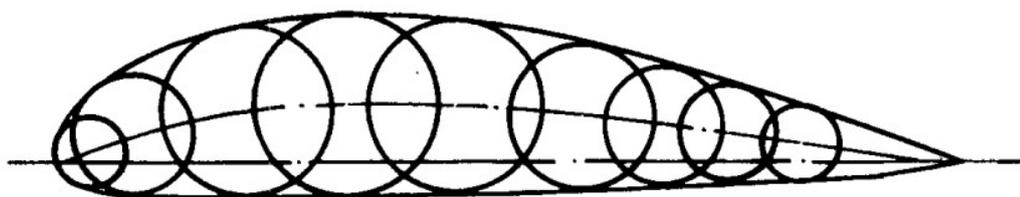


图 3-3 翼型的中弧线

(2) 前、后缘：在翼型图上弧线的最前端和最后一点，依次为其前缘和后缘。

(3) 弦线：连接前、后缘的线，叫做弦线。

(4) 弦长：弦线被前端、后缘所截的距离叫做弦长，用  $c$  表示。

(5) 弯度：最大弯度：中弧线坐标  $y$  的最大值称为最大弯度，简称弯度，以  $f$  表示。

(6) 厚度：最大厚度：翼型的基本厚度坐标  $y$  的最大值的 2 倍称为最大厚度，以  $t$  表示，简称厚度。厚度与弦长之比称为相对厚度，以  $t$  表示，即  $t = t/c$ ，见图 1-4。

(7) 前缘半径：翼型前缘曲率圆的半径称为前缘半径，以  $r_1$  表示。前缘半径与弦长之比称为相对前缘半径，以  $\bar{r}_1$  表示，即  $\bar{r}_1 = r_1/c$ 。

(8) 后缘角：翼型后缘上下两弧线切线的夹角称为后缘角，以  $\tau$  表示。

### 3.4. 翼型选择

当今的民用飞机中除协和超音速飞机以及俄罗斯图-144，其它飞机都是亚声速飞机，而层流翼形则比较理想的亚声速翼形，最经典的层流翼形为 NACA6 系列翼型。对常规的 NACA 翼型一般相对厚度在 12%~15% 时达到最大升力系数。亚声速飞机可以在相对厚度为 10%~15%。所以设计新机翼型根部使用波音 737 Root (最大厚度为 15.37%，位于 19.5% 弦长处，最大弧度为 1.91%，位于 4.9% 弦长处) 翼稍翼型使用 NACA 642-015。

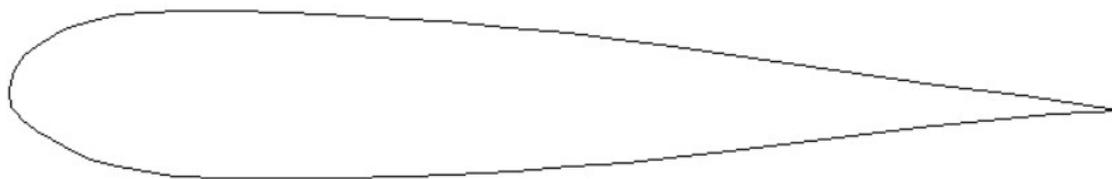


图 3-4 波音 737 Root

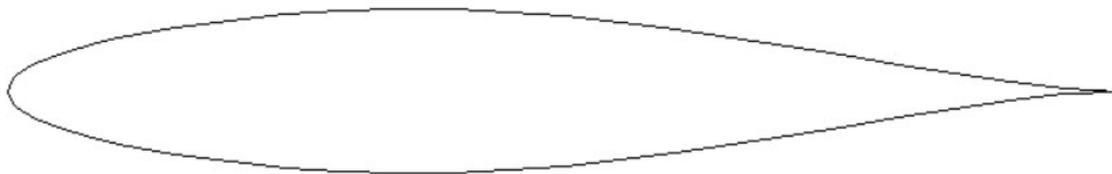


图 3-5 NACA 642-015

六位数字翼型的含义：NACA 642-015 6—六系列；4—表示厚度分布使零压力位置在 0.4 处；2—有利升力系数范围为  $\pm 0.2$ ；15—相对厚度约为 15%。

### 3.5. 平面参数确定

以波音 737-800 及空客 320 为参考机型，在机翼总体设计中需要确定的参数包括：机翼面积  $S$ ，机翼展弦比  $A$ ，后掠角，梢根比等。

表 3-1

机翼参数	机翼的总体参数	
	B737-800	A320
面积 ( $m^2$ )	124.6	122.4
展长 (m)	34.3	33.91
平均气动弦长 (m)	4.17	4.29
展弦比	9.44	9.39
梢根比	0.278	0.240
1/4 弦线后掠角	$25^\circ$	$25^\circ$

由于展弦比的尺度增大，升力曲线的坡度上升，以及最大升力值的上升，而造成了摩擦力的减小和升阻比的上升，这些空气动力学特性将改善飞机性能的各个方面。尤其是注

重巡航特性的飞机转速较低，升力系数大，而上升阻力又在总阻力中起着主导作用，所以往往用来改善巡航特性。机翼面积通常是指所谓全面积，根据以上表格初步确定机翼面积为  $125\text{m}^2$ ，展长为  $30\text{m}$ （单个机翼展长为  $15\text{m}$ ）。用展弦比公式： $A=\frac{b^2}{S}$  计算得出展弦比为  $9.8$ ，后掠角为  $25^\circ$ 。

表 3-2

参考民用客机梢根比		
机型	梢根比	备注
B737-800	$\lambda=0.278$	
伊尔 62	$\lambda=0.262$	俄 74 年服役，140~174 座
A320	$\lambda=0.240$	

通过参考民用客机梢根比初步确定新机翼梢根比为  $0.27$ ，机翼参数整合为

表 3-3

新机翼平面参数				
机翼面积 ( $\text{m}^2$ )	展长 (m)	展弦比	梢根比	后掠角
125	30	9.8	0.27	$25^\circ$

机翼外形示意图大致为图 3-3。

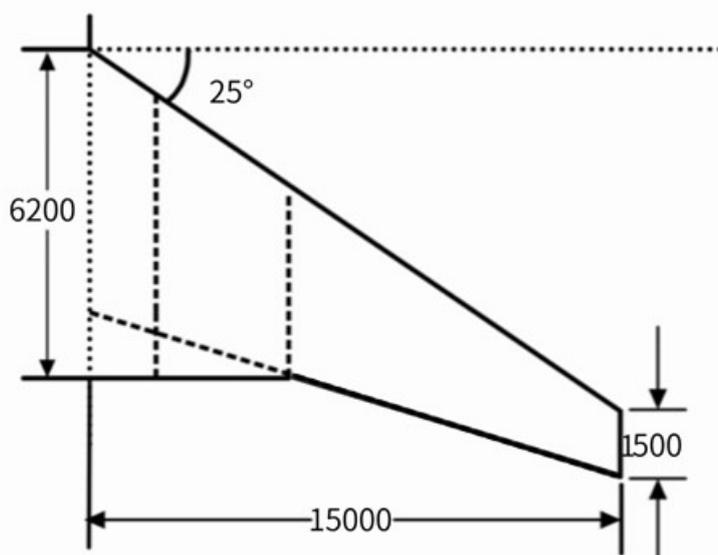


图 3-6 新机翼外形（单位 mm）

### 3.6. 双梁单块式机翼主要构件布置

新机翼由左、右盒段组成。左、右盒段由前、后梁和上、下蒙皮组成。各盒段的蒙皮由展向桁条加强。

### 3.6.1. 翼梁设计

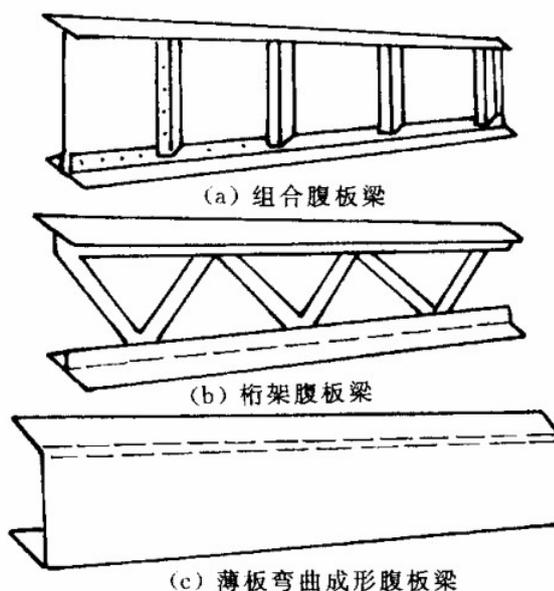
不管单块式、梁式或混合式机翼，都要设有翼梁，因此它是机翼主体的主要纵向受力部件。

翼梁的结构设计必须满足 CCAR-25: 翼梁构件必须可以承载有限的负荷，但又不能形成有害的永久变形。在任何负载作用下，直到极限载荷，变形都不能危害飞机安全。假设机翼为一体式油箱，则梁在限制载荷的作用下不可以扭转和稳定翼梁。在极端负载下，腹板允许失稳。前梁高度由前缘有增升安装，增升安装的类型，及其前缘热防冰条件决定。在满足其需要的情形下，尽可能将前梁放在占翼弦长度的 15% 处。

- a. 后梁根据后缘襟翼、副翼、扰流片和阻力板面积大小及其安装空间和操纵机构确定，后梁一般位于翼弦长的 55% ~ 60% 处。
- b. 梁位确定必须考虑综合利用，根据起落架的安装位置和其收放形式综合考虑翼梁的合理位置。

在布置前梁时，需要考虑其他部件的位置，并参考其他机翼前梁的位置。前梁应设计得更靠近前缘，翼箱越大，供油的空间越大，这也有利于减轻结构的重量。在设计新机翼时，翼根处前梁距离前缘为 13% 弦长处。新机翼展弦比较大，机翼前梁不能按等百分比弦布置，在翼梢前梁距前缘 32% 弦线处。后梁在翼根处距离前缘 64.5%，翼梢处距离前缘 56.6% 处。

翼梁的主要结构形式归纳为 6 种：



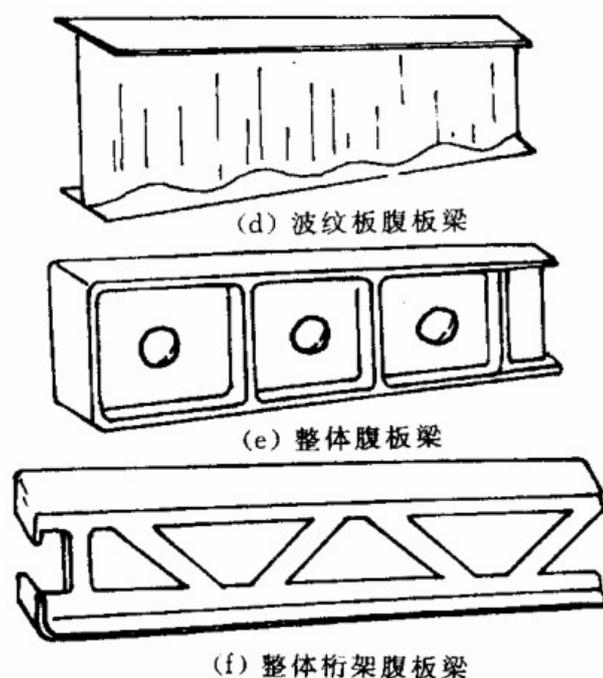


图 3-7 梁的典型结构形式

对于翼剖面高度比较高，展向尺寸相比较大的机翼，一般中、大型运输机都采用组合腹板梁，所以新机翼也初步选用组合腹板梁。

它由梁缘条复板和支柱以及对接接头和对接带板所构成。上、下缘条通常由 T 字形和 L 形挤压型料经加工后制成。而横梁腹板则是利用对轧制实木板条进行机加工或化学铣削来生产的。立柱通常采用 r 形 II 形和 T 形挤压型材冷压制造。

缘条与腹板一般采用双排紧固件连接，平行排列和交错排列都有应用，在缘条立筋高度允许情况下尽量选用平行排列。根据翼梁的使用情况和梁的设计要求，选用紧固件；如果有密封要求，可以选用干涉铆钉；如果对强度和密封都有要求，则选用高锁螺栓和环槽铆钉。立柱与梁缘条连接选用比腹板与立柱连接紧固件大一级的紧固件。

机翼缘条一侧与腹板接触，一侧与蒙皮接触，通过铆钉连接，用于机翼部位选取埋头钉。通过查阅《飞机设计手册 第二册 标准与标准件》选取 HB6315~6319-89 标准铆钉，铆钉直径  $d$  为 2mm，沉头孔直径  $D$  为 4.6mm。由此确定缘条尺寸。

梁缘条宽度与厚度设计，应该尽量使上下缘条形心距离较大，又不能太薄导致临界应力过小，通过参考《飞机设计手册 第十册 结构设计》14 章翼梁设计中，中等强度梁立柱宽厚比，初步取梁缘条宽度与厚度之比为 8:1，厚度为 2mm 时，梁缘条宽度为 16mm，翼梁宽度为 3mm。

翼梁高度由当地翼肋高度决定，通过计算得到以下数据：

表 3-3

前梁高度	
翼根处翼梁高度 (mm)	翼梢处翼梁高度 (mm)
900.86	209.1

表 3-4

后梁高度	
翼根处翼梁高度 (mm)	翼梢处翼梁高度 (mm)
535.92	166.13

翼梁截面示意图为图 3-8：

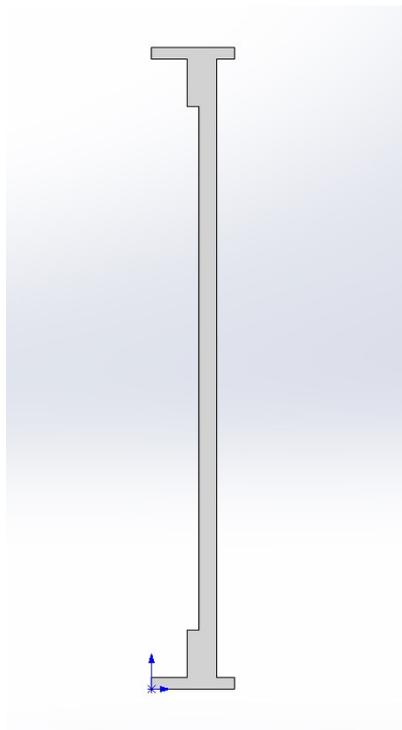


图 3-8 翼梁截面

### 3.6.2. 翼肋布置

翼肋布局采用正交布局，正交布局称为机翼翼肋的正常布局，这种布局可大大减少翼肋的长度，同时还可以减少整个机翼有效壁板的长度，提高壁板的稳定性，减轻结构重量。而且制造工艺性好，受力比较清晰，具有比较高的结构效率。

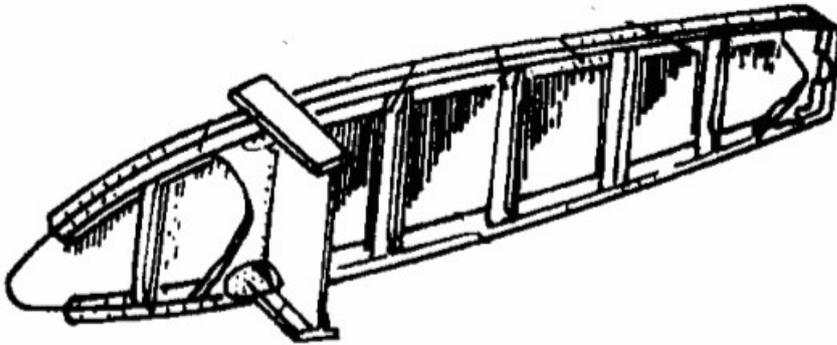


图 3-9 飞机铆接肋

布置顺序：先布置承受集中力的加强肋再布置普通肋。

翼肋如图 3-10 布置，1 为根肋，3-5 为起落架加强肋，8 为发动机挂架加强肋。表 3-4 给出一些民用客机普通翼肋间距作为参考，初步确定新机翼翼肋间距为 600mm，则根据机翼半展长可以布置 24 根翼肋。

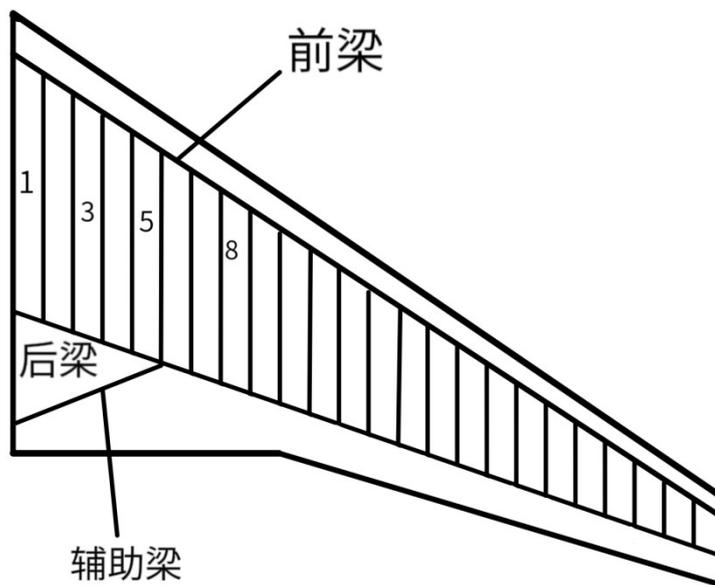


图 3-10 机翼主要受力构件布置

表 3-5

参考民用客机的普通翼肋间距			
机种	一般肋距/mm	机种	一般肋距/mm
B707	724	DC-8	762
B727	673	DC-9	711
B737	641	DC-10	711
B747	724	L-1011	609

通过 Profili 软件模拟可以得出机翼翼肋各个弦长数据如下：

表 3-6

左盒段翼肋弦长			
翼肋编号	弦长 (mm)	翼肋编号	弦长 (mm)
1	6200.00	6	5471.46
2	6172.51	7	5118.16
3	6089.29	8	4666.26
4	5948.02	9	4083.15
5	5774.39	10	3300.00

表 3-7

右盒段翼肋弦长			
翼肋编号	弦长 (mm)	翼肋编号	弦长 (mm)
11	3194.45	18	2822.64
12	3177.73	19	2713.60
13	3149.67	20	2586.29
14	3109.96	21	2437.86
15	3058.14	22	2264.16
16	2993.59	23	2058.79
17	2915.47	24	1811.03

翼肋厚度与翼梁宽度保持统一，取 3mm。

### 3.6.3. 蒙皮设计

新机翼蒙皮主要由上、下蒙皮构成，由蒙皮和梁组成的翼盒，承受机翼上绝大部分的弯、剪、扭载荷。通过查阅资料，初步确定蒙皮采用整体壁板。

整体壁板就是不需铆接、胶接、焊接和螺接技术将蒙皮和长桁及加强部分制成一体的加筋板件。常用于中、小型飞机的机翼和尾翼壁板和大型飞机的机翼壁板，特别是受压壁板。

壁板剖面采用 z 字形剖面，其特点是：

1. 筋条腹板易加工；
2. 相同剖面面积的情况下，其惯性半径最大；惯性半径越大，壁板的临界应力就越高。
3. 壁板筋条容易实现与翼肋或框的缘线相连。
4. 壁板成形稍困难。

壁板长桁主要提供蒙皮的局部失稳临界应力，因而选择较密的长桁，为 16 根，布置如下：

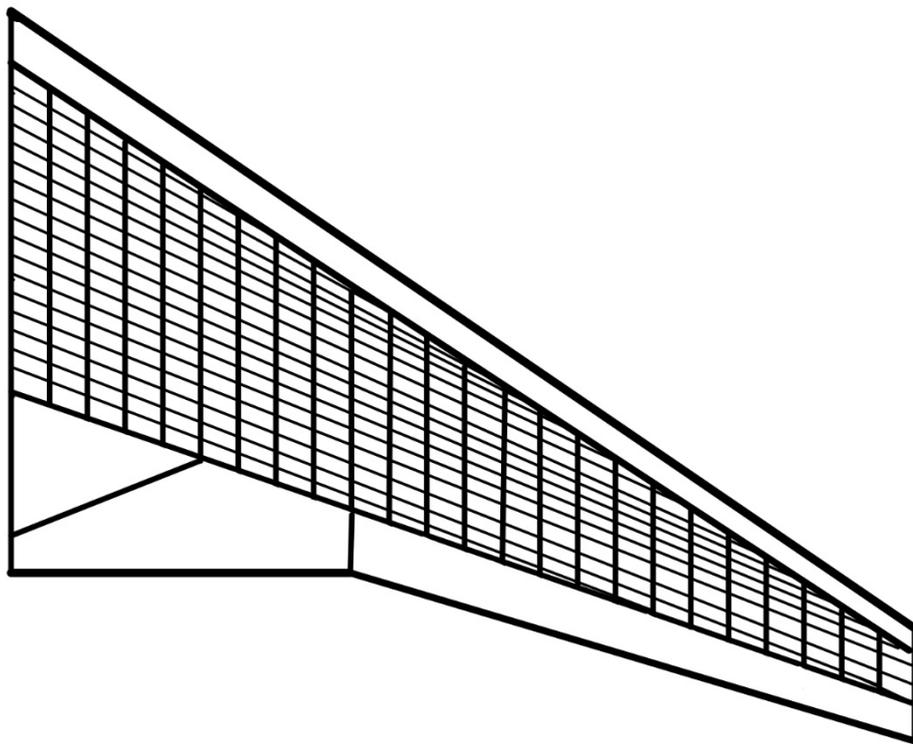


图 3-11 长桁布置

蒙皮切面示意及参数如图 3-12（单位 mm）：

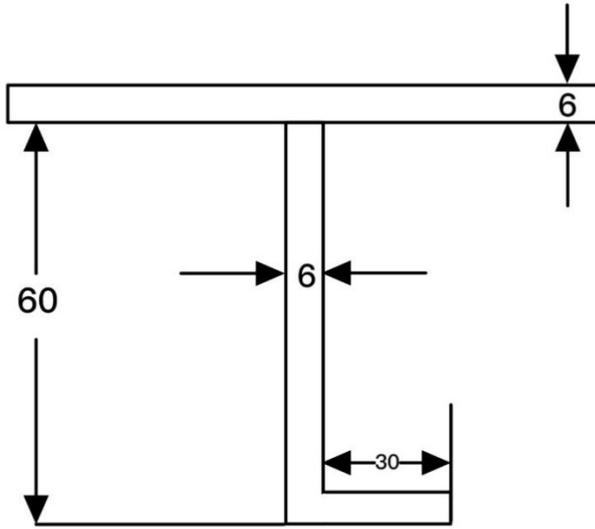


图 3-12 蒙皮切面

### 3.7. 主要构件材料

目前世界上大部分飞行器的主体结构材质仍然使用铝合金，主要是 Al-Cu-Mg 系列，以及 Al-镁能电子-Mg-Cu 系列，他们分别对应于材料牌号中的 2XXX 系列铝合金，以及 7XXX 系列铝合金。前者属于中强度铝合金，由于具备很好的疲劳特性和非常低的断裂延伸速率，所以主要用作疲劳敏感区域；而后者则属于高强度铝合金，由于具备极高的硬度，常用于受压为主的区域。

通过查阅资料，大型客机机翼主承力结构的材料整理如下：

表 3-8

大型客机机翼主承力结构的材料						
机翼	上蒙皮(壁板)	上桁条	下蒙皮(壁板)	下桁条(壁板)	翼梁	翼肋
A320	7150-T651	2024-T351	2024-T351	NA	NA	NA
A380	7055、7449	7010	2024HDT	2026	7040(前); 7085(后)	7010、7085
B777	7055-T775 1	7055-T7751 1	2324-T39	NA	7150	NA
ARJ-2 1	7055-T775 1	7150-T7751 1	2524-T351 1	7150-T7751 1	2026-T3511 (下缘条); 7150-T77511 (上缘条); 2324-T39	7150-T77(缘条); 7150-T77(腹板)

在新机翼进行选材时遵照：

- (1) 所有选用的材料都应有明确的材料标准；
- (2) 材料标准选用的优先顺序是：国标、国军标-行业标准-企业标准；
- (3) 所有材料均满足 CCAR-25 运输类飞机适航标准规定；

新机翼选材基本以铝合金为主，翼梁选用 7085-T6；为了减轻重量，蒙皮采用碳纤维复合材料-钛合金层压板；翼肋采用 7150-T77，为整体翼肋设计，成本较低。

## 第四章 双梁单块式机翼三维图绘制及载荷计算

### 4.1. 双梁单块式机翼各个组成部分三维图的绘制

双梁单块式机翼由蒙皮、翼梁、翼肋组成基础部分，通过第三章对机翼各部分数据的确定进行绘制。

#### 4.1.1. 翼梁的绘制

已知在第三章中选择了组合腹板梁，并且根据图 3-8 翼梁截面和翼梁选材绘制出三维图如下：

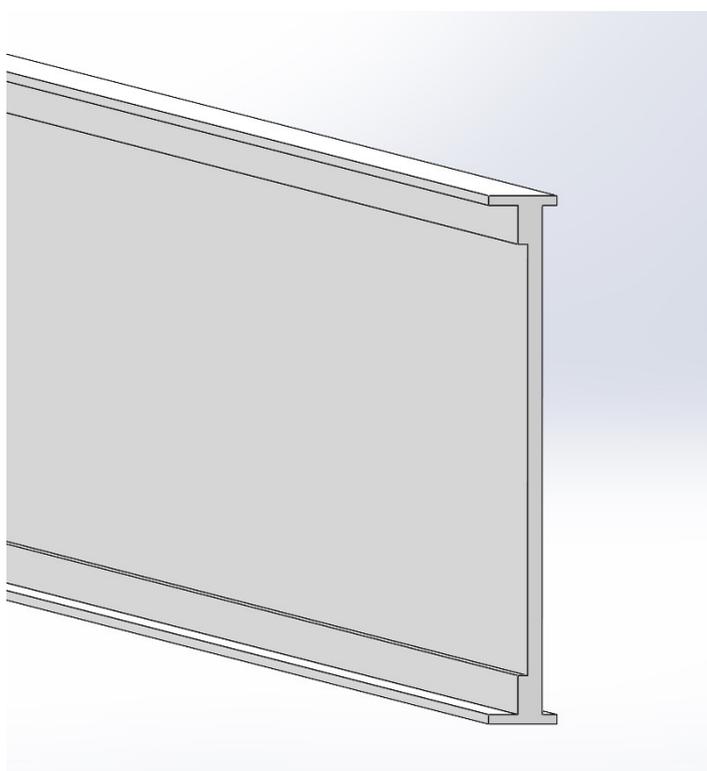


图 4-1 翼梁三维图

#### 4.1.2. 翼肋绘制

通过选定翼型，从 Profili 软件中导出翼型数据到 Solid-works 软件中，根据第三章所得出各个翼肋弦长，并与翼梁结合，绘制出的三维图如图 4-2 所示：

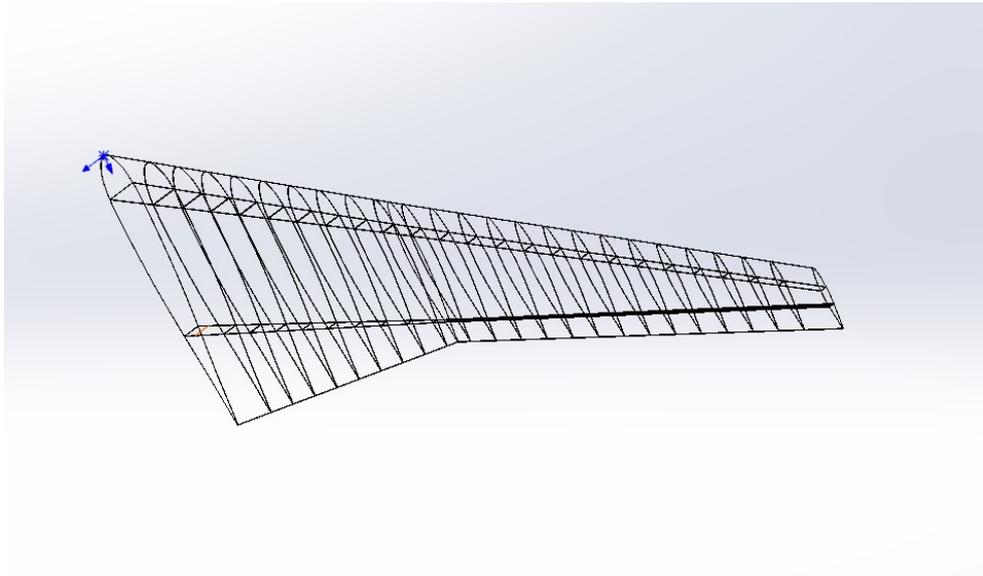


图 4-2 翼肋翼梁三维图

### 4.1.3. 蒙皮绘制

根据第三章确定的蒙皮数据绘制出蒙皮三维图：

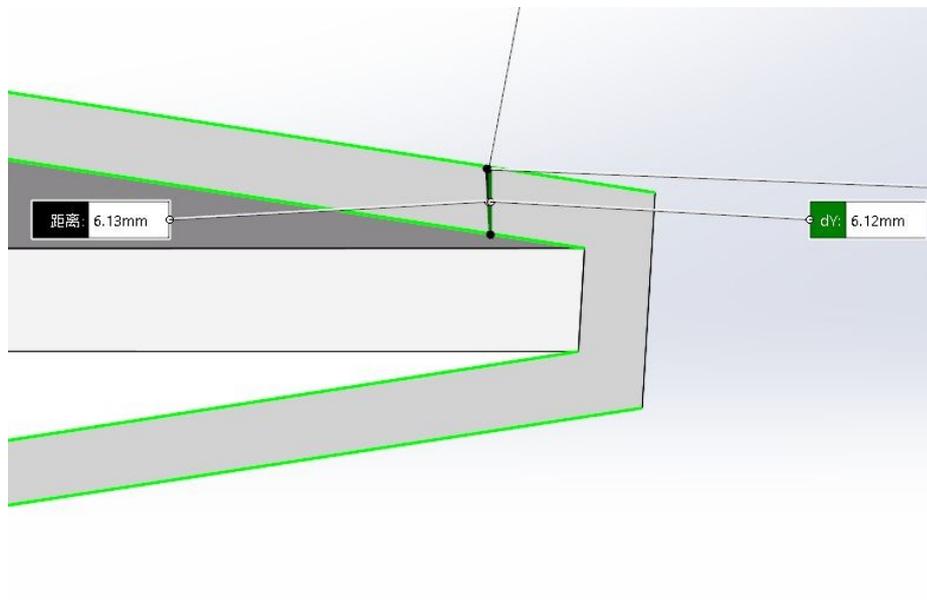


图 4-3 蒙皮细节图

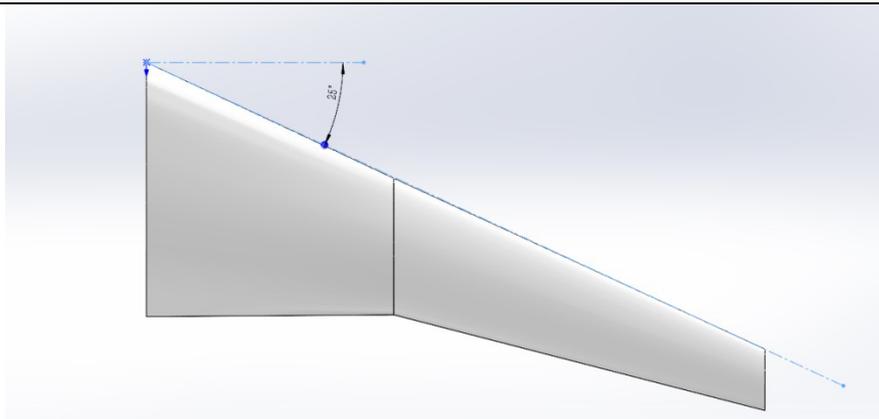


图 4-4 蒙皮整体图

## 4.2. 双梁单块式机翼装配图

通过对机翼各个部分的绘制，最终装配图剖面如图 4-5 所示

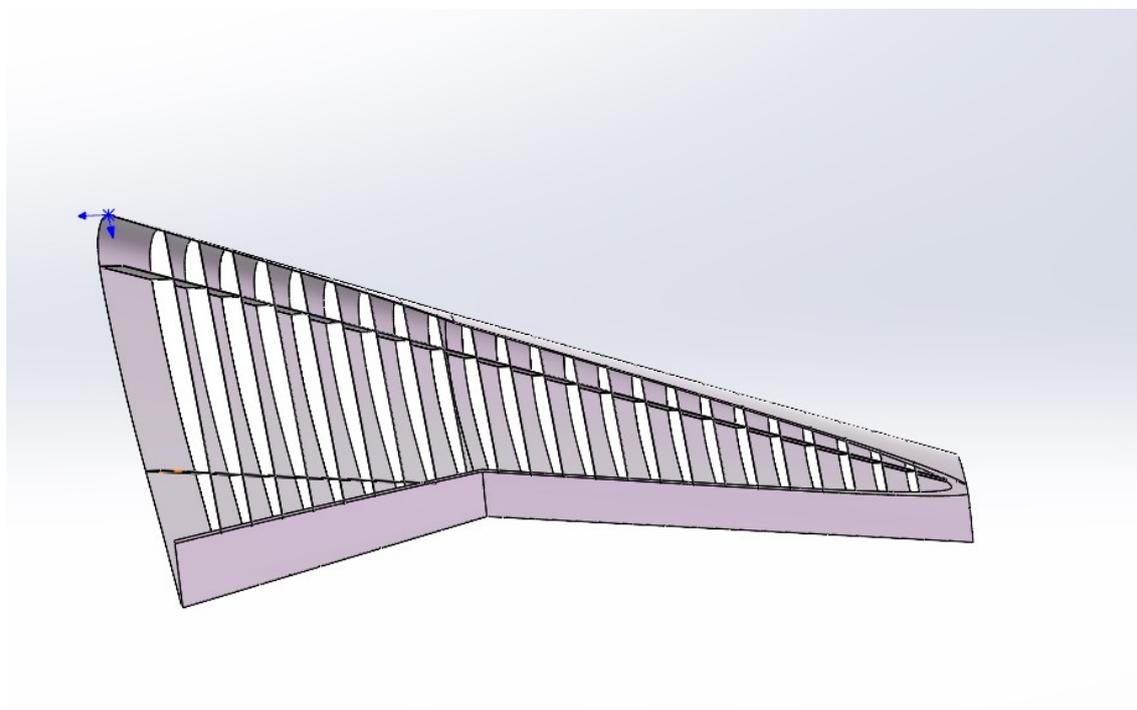


图 4-5 双梁单块式机翼装配图

## 4.3. 载荷计算

### 4.3.1. 升力计算

已知升力计算公式：

$$Y = C_l \frac{1}{2} \rho v^2 S$$

式中： $C_l$ 为升力系数，由于翼根处选取翼型为波音 737Root，因此 $C_l$ 取值为 3.24； $\rho$ 为空气密度，空气密度取用  $1.297\text{kg/m}^3$ ； $v$ 为速度，参考波音 737 飞机航行速度为  $267.2\text{m/s}$ ；

S 为机翼面积，值为  $125\text{m}^2$ 。因此可计算出升力的大小  $Y=C_l \frac{1}{2} \rho v^2 S=1.8 \times 10^7\text{N}$ 。

### 4.3.2. 气动力分布

新机翼翼型用 profile 软件提供并可以绘制出该翼型在给定速度下压力系数  $C_p$  分布，下图是机翼中段压力系数分布：

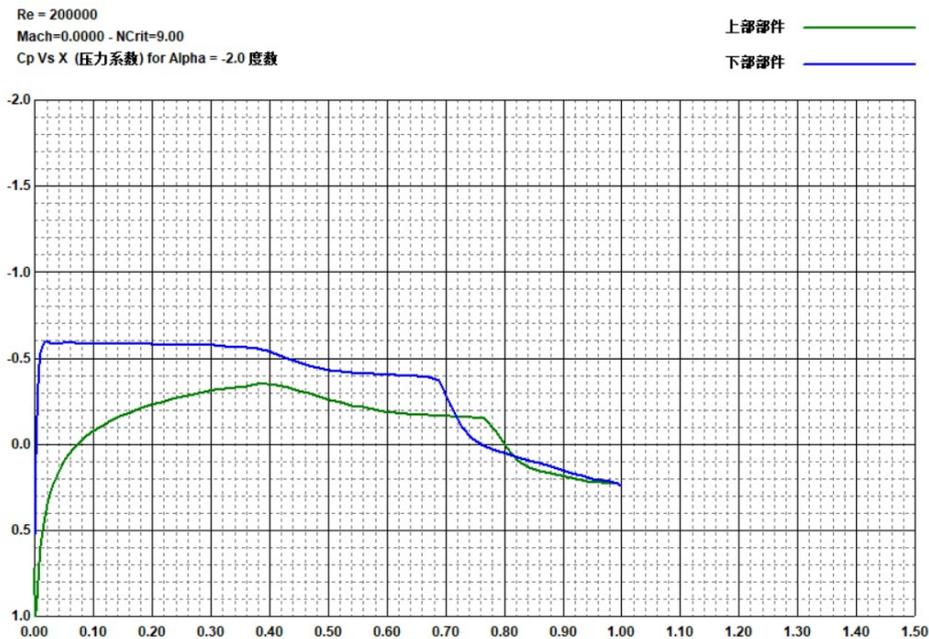


图 4-6

由观察可知：翼盒部分上下表面压差近似相等记为  $\Delta P$ ，

$$Y = kP \times S$$

式中： $Y$ —升力， $S$ —翼盒面积， $k$ —修正系数。

通过公式可以计算出机翼压力  $P$ 。从上图压强分布来看，很显然压强是随飞机状况而改变的，在没有其他数据支撑的情形下，在本文所采取措施的巡航状况下机翼翼盒压强分布也可以近似地取等比压强分布，机翼上各零部件的作用力通过集中力的形式传导在加强肋上，在此篇文章中暂时不做分析。

### 4.3.3. 剪力计算

由于飞机载荷还需要在后续实验中进一步验证，所以本文载荷取过载系数  $n_y = 3$ 。

$$Y = 1.8 \times 10^7\text{N}, f = 1.5$$

$Y$  为升力， $f$  为安全系数

参考其他机型确定其他载荷：外侧机翼重量为  $9.8\text{t}$ ，动力装置及挂架吊舱总重量为  $6.6\text{t}$ ，着陆装置重量为  $2.92\text{t}$ ，外侧机翼载油量为  $16\text{t}$ ，统称为其他载荷  $G=35.32\text{t} \times g=3.46 \times 10^5$ 。

以半外侧的机翼推力为合力分析的对象，忽略机翼阻力，则机翼外侧的力就只有一个升力和一个质量力，则机翼半外侧力的合力方程为：

$$Q = \frac{Y - G}{2} = 8.827 \times 10^6 N$$

设计剪力为  $Q_d = Qf = 1.324 \times 10^7 N$

## 第五章 加载分析与优化

### 5.1. 整体加载分析

通过第四章对机翼载荷进行计算，使用 Solid-works 软件对机翼整体进行加载分析，固定面为翼根与机身的连接面。通过软件自动生成加载结果。

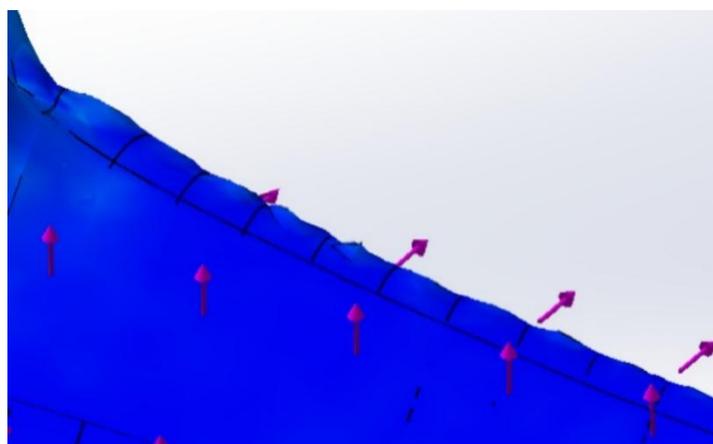
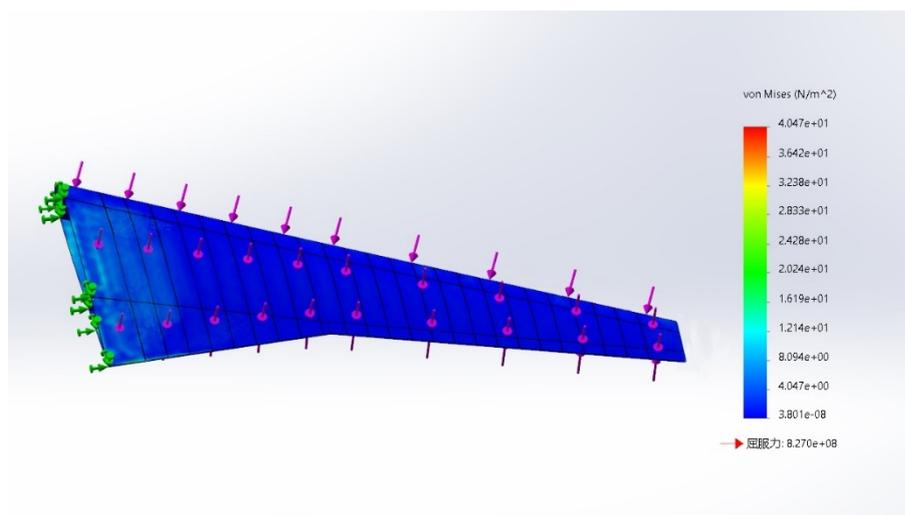


图 5-1 机翼整体屈曲应力云图

通过分析发现机翼根部为主要受力区，并且机翼前缘处部分蒙皮略微变形，明显无法满足载荷要求，本章第二节为结构优化方案。

### 5.2. 结构优化

通过对机翼进行加载分析，通过屈曲应力云图及应力值，观察到所设计机翼前缘部分蒙皮变形较大，所以首要对蒙皮进行改进优化，经查阅资料，蒙皮厚度应该是从机翼根部到翼梢逐渐变薄，采用变厚度设计，因此对机翼根部蒙皮处进行厚度调整，翼根蒙皮厚度增加至 10mm，翼梢处蒙皮厚度减少至 4mm。同时因为蒙皮改为变厚度设计，机翼的翼梁和翼肋也应当适配蒙皮进行进一步优化，这些优化将在后续试验中进行改进。

## 结论与展望

### 总结

通过对双梁单块式机翼的设计，了解到了机翼设计过程中所需要的各类数据和步骤，在经过查阅和学习手册的过程之后，可以完整的计算并设计出双梁单块式机翼的各个结构的具体尺寸；对机翼结构载荷进行初步计算，使用 Solid-works 软件对计算结果进行验证，通过观察屈曲临界应力云图分析加载结果，为机翼的设计积累了数据和经验。

### 展望

机翼是飞机的重要组成部分，双梁单块式机翼是民航客机中常用的机翼类型，在完成双梁单块式机翼设计的过程中，相关资料不是很多，但民航客机已经融入人们的日常生活中了，所以对民航客机进行更加详细的研究是非常重要的。

在本文中：

1. 机翼其他零部件位置及影响未作考虑；
2. 加强翼肋的位置及尺寸大小未作考虑；
3. 辅助梁的尺寸及位置并未详细确定，因为辅助梁主要是挂载起落架，对机翼设计影响不大，所以并未进行详细分析。
4. 同时在设计蒙皮时虽然考虑到了长桁的布置与结构形式，但在加载载荷时只粗略的考虑了蒙皮的承力。
5. 加载过程中屈曲临界应力云图变形较大，并且由于试验次数过少，未能确定出最合理的机翼结构。

在后续的研究中还需进一步解决以上问题。

## 参考文献

- [1] 李成智. 飞机机翼的发展[J]. 机械技术史, 1998(00): 420-424.
- [2] 吴洋, 钱光平, 刘沛清. CJ818 超临界机翼气动优化设计[J]. 民用飞机设计与研究, 2009(S1): 7-11. DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2009.s1.002.
- [3] 土成. 飞机机翼上的学问[J]. 民防苑, 2007(02): 21-22. [4] 张佳佳, 王振宇, 李琪, 刘星北, 何景武. CJ818 大型飞机开口结构设计[J]. 民用飞机设计与研究, 2009(S1): 60-63. DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2009.s1.012.
- [4] 飞机设计手册编辑委员会编. 飞机设计手册 (第五册). 北京: 国防工业出版社, 1980.
- [5] 飞机设计手册编辑委员会编. 飞机设计手册 (第六册). 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [6] 飞机设计手册编辑委员会编. 飞机设计手册 (第九册). 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [7] 飞机设计手册编辑委员会编. 飞机设计手册 (第十册). 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [8] 秦晓辉, 刘沛清, 张大伟, 吴洋. 大型飞机超临界翼型设计与优化[J]. 民用飞机设计与研究, 2009(S1): 1-6. DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2009.s1.001.
- [9] Robert M. Rivello. Theory and Analysis of Flight Structures, McGraw-Hill Book Company, 1969.
- [10] FAA-H-8083-4, Helicopter Instructor's Handbook[S], U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service, 2012.

## 致谢

毕业论文的结束意味着我在大学的本科学习生活即将结束，在学校的这两年里，我收获颇多，这些经历会变成我生命中弥足珍贵的记忆。

特别要在此感谢我的指导老师，他非常敬业而且见多识广，从日常学习到论文的撰写，老师都给予了我悉心的指导，并且耐心给我解答问题。也正是在老师的帮助下，我才能完成本次论文的撰写。

除了老师以外我还非常感谢我的室友，在日常生活中我们是非常亲密的朋友，不仅经常在一起玩，互相分享自己的所见所闻，也会在心情低落时互相鼓励，遇到困难时向对方伸出援手，我们携手度过许多有点难熬的时光，共同进步。

当然我的同学们也对我非常好，我们曾经一起努力，相互支持和帮助，留下了许多难忘的回忆。

我还感谢我的父母和家人，感谢他们对我的生活给予支持和照顾。尤其是在我上了大学之后，我的父母变化也很大，他们不再像以前那样严厉，而是对我的决定给予支持和理解。我也不再像过去那么叛逆，而是认真倾听他们的经历，适当采纳他们的意见。

我真心觉得非常幸运能够遇到这么多关心我帮助我的人，也是真心的希望大家能够在自己人生的画布上，绘出自己满意作品。最后，再次郑重的跟所有人道一声：谢谢你们！