



普通高等教育创新型人才培养规划教材



# 微小飞机设计与制作

## 渐进教程

沈海军 孙延波 李汉东 著



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育创新型人才培养规划教材

# 微小飞机设计与制作渐进教程

沈海军 孙延波 李汉东 著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书由易到难、由简到繁、循序渐进,从专业的角度为读者展示微小飞机的设计、制作方法。本书分为初级篇和高级篇两部分,其中,初级篇为微小飞机的设计与制作,内容包括3D打印微小飞机、微小飞机动力测定、升力与阻力的确定、微小飞机性能分析、微小飞机的设计与制作技巧、电磁舵机的选购与制作、超级电容自由飞飞机及卡通生肖电动平板机的设计与制作等;高级篇以某小型无人机为例,介绍了固定翼无人机的设计、制作与试飞等研发全过程。

本书既可作为高校航空专业学生设计微小飞机、无人机,开展微小飞机实践课程的教学用书,也可作为航模发烧友设计与制作航模的教材,还可作为相关无人机企业研发固定翼无人机的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

微小飞机设计与制作渐进教程 / 沈海军, 孙延波,  
李汉东著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社,  
2018. 11

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2842 - 3

I. ①微… II. ①沈… ②孙… ③李… III. ①实体飞机模型(航空模型运动)—设计—高等学校—教材②实体飞机模型(航空模型运动)—制作—高等学校—教材 IV. ①G875.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 233571 号

版权所有,侵权必究。

微小飞机设计与制作渐进教程

沈海军 孙延波 李汉东 著

责任编辑 孙兴芳

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

艺堂印刷(天津)有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:710×1 000 1/16 印张:13.75 字数:293 千字

2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷 印数:1 500 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2842 - 3 定价:39.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

# 前 言

为配合高等航空人才的培养,近年来,笔者在对同济大学航空专业学生的培养过程中实施了微小飞机实践的教学改革。本书就是基于微小飞机实践教学改革的成果而撰写的,目的是将微小飞机的设计、制作经验进行推广。

全书内容安排如下:首先介绍了微小飞机实践对航空人才培养的现实意义、实施方法,不同的飞机设计与制作实践的层次,以及微小飞机实践的目的;然后在“初级篇:微小飞机的设计与制作”中阐述了3D打印微小飞机、微小飞机动力测定、升力与阻力的确定、微小飞机性能分析、微小飞机的设计与制作技巧、电磁舵机的选购与制作、超级电容自由飞飞机及卡通生肖电动平板机的设计与制作等内容;最后在“高级篇:‘同舟’号无人机组研制”中结合具体无人机型号,详细介绍了该固定翼无人机的设计、制作与试飞等研发全过程。

本书内容编写由简到繁,注重理论联系实际,通俗易懂;尽量减少飞机设计过程中的烦琐理论公式,突出制作等动手实践环节。

本书由沈海军执笔编写,孙延波和李汉东负责资料搜集和校对工作。

本书既可作为高校航空专业学生设计微小飞机、无人机,开展微小飞机实践课程的教学用书,也可作为航模发烧友设计制作航模的教材,还可作为相关无人机企业研发固定翼无人机的参考书。

由于笔者水平有限,在编写过程中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2018年4月

# 目 录

绪 论	1
-----	---

## 初级篇:微小飞机的设计与制作

第 1 章 3D 打印微小飞机	8
1.1 简介	8
1.2 3D 打印微小飞机的原型机与设计方案	8
1.3 3D 打印微小飞机的制作过程	10
1.4 3D 打印技术在微小飞机设计与制作上的优势与不足	13
第 2 章 微小飞机动力测定	15
2.1 7 mm 空心杯减速组/GWS4540 桨动力系统	15
2.2 发动机静拉力(或静推力)的确定方法	16
2.3 发动机动拉力的测试	18
第 3 章 升力与阻力的确定	20
3.1 飞机升阻特性的几个基本概念	20
3.2 NASA 的 Tunnel 简易气动软件	21
3.3 某微小飞机的初步构型	26
3.4 微小飞机升力和阻力的确定	26
第 4 章 微小飞机性能分析	30
4.1 飞机巡航迎角、最大平飞速度与质量的控制	30
4.2 尾容量与机翼上反角	31
4.3 飞机的航时	32
第 5 章 微小飞机的设计与制作技巧	33
5.1 常规布局飞机中各部件几何尺寸的大致比例	33



5.2	微小飞机发动机的选择	33
5.3	微小飞机的选材	36
5.4	常用胶水的使用	36
5.5	发动机的下拉与右拉	37
5.6	机翼上反角	37
5.7	前拉、腰推、后推发动机安装要点	38
5.8	重心位置与确定方法	38
5.9	飞机的试飞与调试	39
<b>第6章</b>	<b>电磁舵机的选购与制作</b>	<b>40</b>
6.1	电磁舵机原理与通电线圈的电磁场	40
6.2	自制电磁舵机线圈与磁铁的选取	42
6.3	电磁舵机的选取与制作	44
<b>第7章</b>	<b>超级电容自由飞飞机的动力系统</b>	<b>48</b>
7.1	超级电容自由飞动力系统简介	48
7.2	超级电容与空心杯电机额定电压的匹配	49
7.3	超级电容充电性能测试	50
7.4	电机-螺旋桨性能测试	52
7.5	超级电容放电与动力系统性能	53
7.6	超级电容的有效存储电量	55
<b>第8章</b>	<b>超级电容自由飞飞机外形尺寸的确定</b>	<b>56</b>
8.1	飞机设计动力基准的确定	56
8.2	飞机主要部件尺寸比例的确定	57
8.3	飞机元件及原材料的质量特性	58
8.4	飞机总质量 $W_{\text{总}}$ 与主机翼翼展 $L_{\text{翼展}}$ 之间的近似关系	60
8.5	飞机主要尺寸的确定	61
8.6	飞机修形与优化	61
<b>第9章</b>	<b>超级电容自由飞飞机的制作</b>	<b>63</b>
9.1	制作材料的准备	63
9.2	发动机的安装位置与拉力线	64
9.3	飞机的制作过程	65



9.4	试飞与调试	67
<b>第 10 章</b>	<b>卡通生肖电动平板机的设计与制作(上)</b>	<b>69</b>
10.1	卡通羊飞机 CAD 建模	71
10.2	建模过程	71
10.3	卡通羊飞机动力测试	72
10.4	卡通羊飞机升力和阻力的确定	74
<b>第 11 章</b>	<b>卡通生肖电动平板机的设计与制作(下)</b>	<b>76</b>
11.1	卡通羊飞机的性能分析	76
11.2	卡通羊飞机的制作	79
11.3	卡通羊飞机的试飞与调试	82
 <b>高级篇：“同舟”号无人机研制</b>  		
<b>第 12 章</b>	<b>研究背景与设计性能指标</b>	<b>84</b>
12.1	研究背景	84
12.2	设计性能指标	84
<b>第 13 章</b>	<b>构型设计</b>	<b>85</b>
13.1	气动布局	85
13.2	机翼	85
13.3	尾翼	86
13.4	发动机位置	87
13.5	起落架形式	87
13.6	构型设计的确定	88
<b>第 14 章</b>	<b>主要参数的估算</b>	<b>89</b>
14.1	起飞质量	89
14.2	翼载荷与功重比	92
14.3	主要参数的确定	95
<b>第 15 章</b>	<b>动力系统设计与分析</b>	<b>96</b>
15.1	发动机简介和工作原理	96



15.2	发动机的选择依据 .....	97
15.3	发动机磨车 .....	99
15.4	发动机测试与选桨 .....	100
<b>第 16 章</b>	<b>“同舟”号无人机的初步设计 .....</b>	<b>103</b>
16.1	常规布局飞机的特点 .....	103
16.2	机身外形初步设计 .....	104
16.3	机翼外形初步设计 .....	106
16.4	尾翼外形初步设计 .....	114
16.5	起落架位置的确定 .....	117
16.6	操纵控制系统的初步设计 .....	118
<b>第 17 章</b>	<b>机身结构详细设计 .....</b>	<b>120</b>
17.1	机身隔框的详细设计 .....	120
17.2	机身桁条的设计 .....	122
17.3	机身盖板的设计 .....	123
17.4	机身与机翼连接处的设计 .....	123
17.5	机身与垂尾、平尾连接处的设计 .....	124
17.6	机身与主起落架、后起落架连接处的设计 .....	124
17.7	机身设备舱的设计 .....	126
17.8	机身结构的补强措施 .....	126
<b>第 18 章</b>	<b>机翼的详细设计 .....</b>	<b>127</b>
18.1	中央翼的详细设计 .....	128
18.2	外翼的详细设计 .....	131
18.3	副翼、襟翼和舵机安装位置的设计 .....	132
<b>第 19 章</b>	<b>尾翼的详细设计 .....</b>	<b>134</b>
19.1	垂尾的详细设计 .....	134
19.2	平尾的详细设计 .....	135
<b>第 20 章</b>	<b>“同舟”号无人机的 CAD 建模 .....</b>	<b>138</b>
20.1	概 述 .....	138
20.2	翼面建模 .....	138



20.3	机身建模	143
20.4	起落架建模	143
20.5	“同舟”号无人机的装配	144
<b>第 21 章</b>	<b>质心计算</b>	<b>148</b>
21.1	计算方法	148
21.2	质心计算过程	150
<b>第 22 章</b>	<b>气动建模与升阻特性分析</b>	<b>154</b>
22.1	气动建模理论基础	154
22.2	气动外形的初步建模	155
22.3	升力特性估算	156
22.4	阻力特性估算	162
22.5	升阻特性的 AVL 数值分析	167
22.6	升阻特性的理论计算与 AVL 数值分析比较	170
<b>第 23 章</b>	<b>飞行稳定性计算与分析</b>	<b>171</b>
23.1	设计要求和目标	171
23.2	纵向静稳定性计算分析	171
23.3	横向与航向稳定性分析	176
23.4	稳定性的 AVL 数值分析	182
<b>第 24 章</b>	<b>飞行性能计算与分析</b>	<b>184</b>
24.1	设计要求和目标	184
24.2	起飞性能估算	184
24.3	着陆性能估算	186
24.4	最大上升角和最大上升率	187
24.5	航时的确定	188
<b>第 25 章</b>	<b>主要部件的强度校核</b>	<b>189</b>
25.1	中央翼的强度校核	189
25.2	外翼的强度校核	196
25.3	平尾的强度校核	200
25.4	机身的强度校核	201



25.5	主起落架的强度校核·····	203
25.6	机翼与机身连接件的强度校核·····	205
<b>第 26 章</b>	<b>“同舟”号无人机的制作和试飞</b> ·····	<b>206</b>
26.1	飞机的制作·····	206
26.2	“同舟”号无人机的试飞·····	208
<b>参考文献</b>	·····	<b>210</b>

# 绪 论

## 1. 背 景

航空是一个综合性和实践性特别突出的专业。所谓综合性,是指航空专业的学生需要全面掌握飞机结构、原理、控制、制造工艺、发动机等多门学科的知识,并具备综合利用这些知识的能力;所谓实践性,就是要立足实际,强调“做出东西”,否则只是无“机”之谈。

长期以来,欧美等国家在航空专业人才培养上都十分重视实践环节<sup>[1]</sup>。在欧洲,英国航空模型协会每年都会举办一次英国国际大学生飞行器设计大赛,该飞行器设计大赛至今已有 20 余年的历史,旨在给工程类学生提供一个实践机会,提高大学生的飞机设计水平。在美国,美国航空航天协会(AIAA)每年都会与美国航空企业联合举办全美大学生飞机设计竞赛,吸引全美几十所大学航空相关专业的学生组队参加;在圣母大学,其飞机设计教学被分为两个阶段:第一阶段为理论教学;第二阶段是让学生分组设计、制作小飞机,或者仅做设计飞机,即做所谓的“Aircraft on paper”(纸面飞机设计)<sup>[2]</sup>。在澳大利亚,若干个有航空专业的院校轮流组织,每年都会举办至少一次以大学生为主的全澳航模大赛。

20 世纪 80 年代以前,国内的几所老牌航空院校在航空专业人才培养方面也十分重视实践环节<sup>[3]</sup>。例如,西北工业大学,该校师生曾独立设计并制造农用机“延安一号”<sup>[4]</sup>;南京航空航天大学(原南京航空学院,简称“南航”),曾先后大规模组织师生自行研制了 AD100、AD200、“长空一号”等型号的无人机或轻型飞机<sup>[5-6]</sup>;北京航空航天大学(原北京航空学院,简称“北航”),该校师生也曾自行设计和制造了我国第一架轻型旅客机“北京一号”,当时参加设计生产的北航师生及辅助人员达 1 400 多人,参与的学生超过了七成<sup>[7]</sup>。

20 世纪 80 年代到 21 世纪初,我国航空业进入“萧条期”,赶上高校扩招,学生数量猛增,教育资源及经费短缺问题突显,导致国内航空院校航空专业学生培养的实践环节大大“缩水”。西北工业大学的许多航空专业小班课纷纷改成了大班课;南京航空航天大学、西北工业大学、北京航空航天大学的飞机设计专业,学生的下厂实习时间先后由原来的一个月缩减为两周。此间,在谈到飞机设计专业的学生培养时,南京航空航天大学原校长朱剑英教授曾叹道:“我们飞机专业学生的培养正沦为无‘机’之谈……”

进入 21 世纪,随着大飞机等一批国家重大工程的相继启动,我国航空业迎来了新的春天,国家层面及国内航空院校对航空专业人才培养的实践环节再次得到重视。其中,科研类全国航空航天模型锦标赛由国家体育总局、教育部和科技部联合主办,



自 2004 年起已举办了 10 余届,其对象主要针对大学生群体;近几年,中航工业下属的几个企业也开始举办无人飞行器创新大奖赛和全国未来飞行器大赛,吸引了国内诸多高校参与。“十一五”期间,南京航空航天大学教务处专门划拨 40 余万元用于飞机设计专业的教学实践改革。10 年间,在该校教师的指导下,飞机设计专业的本科生亲手制作了各类电动小飞机 40 余架,凭借这些小飞机的制作连年荣获江苏省本科优秀论文,并多次获得全国航模比赛大奖<sup>[8]</sup>;同时,飞行器设计专业学生的知识运用能力、综合素质和动手能力得到了显著提高,并受到用人单位的广泛好评。

航空专业是一个工程性很强的专业,涉及力学、机械设计与加工、电子、材料等诸多学科。要培养出优秀的飞机设计师、工程师,单一的理论传授是远远不够的,必须要与飞机工程实践紧密结合。目前,国内外许多高校每年都会组织学生制作各种小飞机/航模参加各种航模比赛,但总体来说,这种航模制作活动大多局限于各高校的航模队/航模协会等学生社团,小飞机实践教学均未被很好地纳入航空专业学生的培养体系,甚至在国内外几所老牌航空院校的飞机设计专业中都远谈不上“普及”。

全国知名高校如浙沪一带的同济、复旦、上交大、浙大,北方的清华、西交大等新兴的航空专业普遍起步较晚,教学实践环节的软硬件条件普遍相对薄弱。因此,若要迎头赶上国内外老牌的航空院校,培养出优秀的飞机设计师、工程师,就要在教学实践上不断创新,在人才培养模式和体系上下功夫。

## 2. 小飞机教学实践

结合航空专业本科生培养计划,根据不同年级的课程安排与学生的认知水平,近年来作者在航空专业学生的“航空概论”“小飞机设计与制作”“飞机结构设计”“小飞机制作与实验”“CAD/CAM”和本科毕业设计等专业课程或教学环节中分别应用和推广了多层次递进式学生小飞机实践活动,组织学生参加飞机主题学科竞赛与创新训练项目,让学生所学的理论知识及时应用于相应的飞机实践中,从实践中感悟新知;将理论与实践相结合,探索航空专业人才培养新机制,从而全面提高学生的航空专业知识水平、飞机实践能力以及团队协作精神。具体做法如下:

在航空专业大一的“航空概论”课中,鼓励学生发散思维,开展新概念飞机设计。学生先通过 AutoCAD 绘制飞机的布局方案,然后给出报告,介绍所设计飞机的性能、特点及优势等,同时,用轻木(也称作“巴沙木”,一种密度很低的木材,常用于制作航模)制作成小的飞机静态模型,或用 3D 打印机将 3D 飞机模型打印出来。

大二的小飞机实践环节主要安排在为期两周的“小飞机设计与制作”课程中。4 人一组,分别负责飞机 CAD 建模、动力测试、控制系统搭建以及简易气动分析,一起制作一架微小飞机,并撰写技术报告。该课程的目的是让每个学生都亲身经历一轮简化微缩版的飞机设计、制造、试飞全过程。

大三的“CAD/CAM”课程的一项重要内容就是让学生在计算机上进行未来飞行器设计,即基于 CATIA 软件,在计算机上设计出一款新概念飞机。在大三的“飞机



结构设计”课程中,以“小飞机设计、制作与强度分析”代替试卷,在考核方式上进行改革。

大四的飞机实践环节主要是小飞机团队毕业设计模式,是由老师带学生组队,然后围绕特定小飞机(无人机)研制开展团队毕业设计。通过团体研制无人机环节,学生的动手制作能力、科学实验能力及设备使用能力得到了锻炼,同时学生综合应用知识的能力、团队协作精神以及创新思维也得到了培养。

此外,为了提高学生的实践能力、竞争意识,培养团队协作精神,作者每年还会组织学生以业余小飞机团队的形式参加全国航模锦标赛、全国未来飞行器设计大赛、全国大学生创新论坛等学科竞赛,申报各级大学生创新训练项目。

经过多年的努力和摸索,目前已经形成了“多层次、多方位小飞机实践与学生能力渐进培养相结合”的全新机制<sup>[9-12]</sup>。实践显示,“多层次、多方位小飞机实践与学生能力渐进培养相结合”的全新机制,将学生小飞机实践全方位地融入了航空专业学生的教学与培养体系,可使学生所学的理论知识及时地应用于相应的飞机实践中,从实践中感悟新知;学生的动手实践能力、专业技能、综合能力和团队精神等得到了培养和提高;同时,也有效地改变了当前航空专业中普遍存在的纸上谈“机”和“理论与实践脱节”的教学现状。

### 3. 飞机设计与制作实践的层次

在所接触的航空相关人员中,有对航空感兴趣的中小學生,有业余的航模发烧友/爱好者,有航模操纵手/运动员,有航空专业的大学生,有航模公司的从业者,有职业的飞行员,也有航空企业的工程师,还有航空专业的专家、教授等。对于飞机的设计、制作/制造,按水平可将其分为如下6个层次:

第一层,科普级。了解航空常识,能够动手制作飞机模型,特别是静态模型或手抛简易飞机模型,适合于中小學生。由于高考升学压力大,中学阶段航空知识的普及相对薄弱,故适用对象可扩展至大学低年级学生。

第二层,业余级。经常访问相关论坛,依据经验,下载图纸,做航模,能飞就行。经验丰富者可以做出性能极佳的航模来,其动手实践能力甚至超过绝大多数航空专业的大学生、教授,以及航空企业、飞机设计所的绝大多数人的动手实践能力。

第三层,专业初级。将专业的飞机设计思想大大简化,只保留最基本的飞机设计线条,适合于航空专业低年级学生,以及想扩充理论知识的资深模友(“航模发烧友”的简称)。具体做法参见本书第2~12章。该层次的飞机设计者无需太多的专业知识。

第四层,专业中级。尽量保留专业飞机的设计思想,简化了很多环节,但主要环节都在,较严格地遵循了飞机的设计线条和思路。具体做法见本书的“高级篇:‘同舟’号无人机研制”。在该层次的飞机设计环节中,引进了CFD、CAD、推进系统分析、虚拟装配、性能分析等大量飞机设计的专业知识,加上飞机制作,对于学生最终走上实际航空岗位是一种很好的历练,尽管表面上仍可能是在做航模。该层次适合于



航空专业高年级学生,不再适合于普通模友。注意:经过专业中级的学习后,航空“专业人士”与“业余人士”已彻底区分开来。

第五层,小团体级,或者说是小团体制作搭载一两个人的小飞机/小型通用飞机或实用型无人机。小团体级的第一种为学院派,如南航的 AD100、北航的“小蜜蜂”。这种模式在 20 世纪 80 年代以前曾出现过很好的发展势头,但是,随着高校考评机制的变化,学院派的小飞机研制团队变得举步维艰。小团体级的第二种是小民营企业,具体人员由“若干专业人士”+“少量技术骨干”+“工人”组成,由于低空限制、资金等问题,风险较大,一旦飞机试飞出现重大伤亡事件,企业将面临倒闭。

第六层,“航母级”,即国有大中型企业制作所谓的大飞机。鉴于本书的对象,对于此层次,这里不进行描述。

#### 4. 小飞机实践的目的

在“2. 小飞机教学实践”中,简要介绍了笔者近年来培养航空专业学生的相关做法,希望达到以下目的。

##### (1) 培养学生综合应用知识的能力

小飞机实践的知识面非常广,涉及飞机总体、系统和结构设计,以及计算机辅助设计、工装学、材料学等多方面的知识。学生应将所学的知识尽可能地贯穿并综合应用到当前各自的微小飞机中去,以提高自己运用知识的综合能力。

##### (2) 培养学生的动手制作能力

小飞机/航模实践涉及大量的部件加工、制作与组装工序,在这些工序中,每一项任务、每一个细节都要学生自己去考虑、去实现、去完成,学生的动手制作能力必然会得到很好的培养和提高。

##### (3) 培养学生的科学实验能力

微小飞机实践涉及的科学实验主要有:①推进系统测试;②材料性能测试;③(虚拟)风洞实验。通过这些测试,不管是使用实验设备的能力,还是加工试件的能力,都将得到锻炼,同时分析实验结果的能力也必将提高。

##### (4) 培养学生使用科学软件的能力

在开展多层次小飞机实践的过程中,学生必须要学会一些专业的科学软件工具,如:①Autocad 或 CATIA CAD 软件;②Tunnel 简易气动软件、AVL 涡格法气动软件;③Origin 图形曲线绘制软件;④Matlab 数学分析软件;⑤Nastran/Pastran 或 ANSYS 有限元软件;⑥Betpat 与 MotorCalc 螺旋桨与发动机性能分析软件;⑦Profili 翼型分析软件。通过学习和使用这些软件,学生分析和解决问题的技能将大大增强,这必将为其日后的工作或后续学习打下良好的基础。

##### (5) 培养学生使用常用设备的能力

小飞机实践实施中涉及的加工设备或工具主要包括激光切割机、锡焊电烙铁、小车床、小钻床、石膏模具、锯弓、砂纸等。通过学习和实践,学生使用常用设备或工具的能力将得到培养与锻炼。



## (6) 培养学生的团队协作精神与全局观念

在小飞机实践中,许多情况都是几个人做一个微小或小型飞机,即多人一起完成一个小小的“工程”项目。每个人通常会分担不同的任务,如飞机构型与推进系统设计、CAD建模、气动与性能分析、结构与强度分析等,而飞机的制作与试飞等任务则由大家共同承担。因此,各个成员之间必须相互协作,相互体谅,相互支持,树立全局观念,不能我行我素。

最后,再通过以下事件来阐明为什么要组织学生开展小飞机实践。

2011年6月5日,笔者在财新网博客上发表了《我们无人机的研发全过程(图)》博文。2011年12月26日,湖北省黄冈市的一位网友留言:“建议开办儿童兴趣班哦?就这设计水平?大学的?”“你们也太小儿科啦,都设计的什么破机器啊?根本没什么值得夸你们的地方了!落后要挨打的啊!”

以下是笔者的博客回复留言:

我们组织学生使用气动软件 AVL、Fluent,飞机综合设计软件 AAA,CAD 软件 CATIA、Autocad,推进系统软件 MotorCalc,螺旋桨软件 Betpat,飞行模拟软件 Flightgear,绘图软件 Origin,数学软件 Matlab,有限元软件 ANSYS、Nastran/Pastran 等 20 余种飞机设计过程中的必备专业软件,严格按照真实飞机的设计制造流程,历时 3 个月(本科毕业设计),仅是为了造一个航模吗?显然不是……

苏联航空工业的开创者之一 Korolev 在其回忆录中有这样的描述,“我之所以有今天的成绩,很大程度上归因于我大学本科阶段的毕业设计——设计和制作一架小的航模……”。教育学中有一种经典做法称为小题“大”做,这是因为:①一架航模的设计思想和大飞机的设计思想其实没有本质的区别;②航模的气动性能分析方法与 F-35 战机的分析方法是一样的;③大飞机如 C919 的强度校核思路与航模相同;④现代飞机的性能参数与动力的选配分析大同小异……

总之,大飞机上的虚拟装配、多学科优化、稳定性裕度、操稳性分析等在航模(小飞机)上都同样可以演练……

因此,在培养学生成为未来合格的飞机设计师时,最直接、最有效、最廉价的做法就是从航模做起。正所谓,航模和小飞机同样蕴含“大道理”。

综上所述,小飞机实践的真实目的是要让学生学习各种航空专业软件、专业技能,了解、实践真实飞机的整个研发流程,并掌握真实飞机的设计理念和设计思想。

## 5. 关于微小飞机、室内飞机和小飞机的说明

“微小飞机”和“小飞机”两个词在航模圈内经常被使用,但目前并没有严格的定义或界定。微小飞机通常指巴掌大小至脸盆大小的飞机。由于绝大多数的微小飞机都适于室内飞行,故有时也称为“室内飞机”或“室内微小飞机”。小飞机则泛指个头小的飞机,譬如个头不大的航模、无人机等。本书中将微小飞机和小飞机统称为微小飞机。

本书依次涉及以下 5 种飞机:



① 第1章的3D打印微小飞机。一种迷你型“掌上”微小飞机,骨架使用3D打印机打印,电动遥控,适于室内飞行。

② 第2~4章的碳杆/薄膜微小飞机。碳纤维杆(简称为“碳杆”)做骨架、保鲜膜做蒙皮的微小飞机,“掌上”迷你型,电动遥控,适于室内飞行。

③ 第7~9章的超级电容自由飞飞机。用超级电容做动力的微小飞机,两个巴掌大小,适于室内飞行,无遥控,故称为“自由飞飞机”。

④ 第10和11章的卡通生肖电动平板机。泡沫板材质、十二生肖卡通形象的微小飞机,脸盆大小,电动遥控,适于室内飞行,也可户外飞行。

⑤ 第12~26章的“同舟”号无人机。小型固定翼无人机,翼展3.5 m,由同济大学的学生设计制作,电动遥控,曾在上海F1赛车场成功首飞。

上述5种飞机由易到难、由简到繁,素材均来自笔者的小飞机教学实践。本书将紧密结合这些具体的飞机实例来介绍小飞机的设计与制作方法,希望读者能够从中受益。

# 初级篇： 微小飞机的设计与制作

本篇将结合笔者指导的若干大学生微小飞机设计项目,来介绍不同固定翼微小飞机的设计、制作与试飞技巧。第1章介绍的是一款3D打印室内电动遥控飞机的设计、制作全过程。第2~5章分别介绍了微小飞机动力的测定、升力与阻力的确定、微小飞机性能分析、微小飞机的设计与制作技巧等内容。第6章针对微小飞机中常用的一种所谓的“电磁舵机”,阐述了其选购与手工制作方法。第7~9章针对常规布局的微小型超级电容自由飞飞机,依次介绍了飞机的动力系统、外形尺寸的确定、飞机的制作等内容。第10和11章以卡通生肖电动平板机为例,介绍了电动遥控“板机”的设计与制作、CAD建模、动力测试、性能分析以及制作与试飞等内容。