

发布单位：中国空气动力学会

支持单位：中国空气动力研究与发展中心

中国空气动力学发展蓝皮书

(2017年)

Blue Book on Development of China's Aerodynamics(2017)

《中国空气动力学发展蓝皮书》编委会 编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

中国空气动力学发展蓝皮书 (2017 年)

《中国空气动力学发展蓝皮书》编委会 编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书叙述了空气动力学发展史,回顾了中国空气动力学的发展历程,梳理了近5年来我国在空气动力学基础理论、试验设备设施、关键技术以及在国防和经济社会中应用方面取得的成果,阐明了空气动力学学科的现状,并展望了未来的发展趋势。本书的主要读者群体是国防和国民经济相关领域的科研机构、企业、高校的研究人员、管理人员、教学人员和在读学生,也可作为科技管理部门决策提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国空气动力学发展蓝皮书. 2017年 / 《中国空气动力学发展蓝皮书》编委会编. —北京:国防工业出版社, 2018. 9

ISBN 978-7-118-11678-6

I. ①中… II. ①中… III. ①空气动力学-技术发展-研究报告-中国-2017 IV. ①V211-12

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第213325号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京龙世杰印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 26 1/4 字数 429 千字

2018年9月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 198.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

《中国空气动力学发展蓝皮书》

编委会

主任:唐志共

副主任:杨炯 桂业伟

成 员:	俞鸿儒	张涵信	乐嘉陵	李椿萱	李家春
	邓小刚	田红旗	贺德馨	王志川	孙茂
	赵宁	高正红	任玉新	张新宇	沈清
	张来平	徐翔	刘刚	李天春	

编辑部

主任:唐志共

成 员:	程松	艾邦成	马明生	李华	汤更生
	王勋年	肖京平	卜忱	白葵	胡天勇
	夏斌	冯毅	陈逊	钱丰学	杨云军
	肖中云	于明	杨兆欣	黄汉杰	陈立
	袁洪杰	吕计男	陈功	徐明兴	马永一
	祝彬	唐富荣	王旭辉	吴文	任飞

秘书组

组长:付志

成 员:刘勇 张为卓 宋道军 陈二云 石中均

序 言

空气动力学是力学的一个分支,是研究飞行器或其他物体在与空气做相对运动情况下的受力、受热特性、气体的流动规律和伴随发生的物理化学变化的一门科学。空气动力学兼具基础科学和技术科学的特点,能够为航空航天飞行器设计提供新思想、新概念和新方法,推动飞行器更新换代,被称为飞行器研制的“先行官”。

我国近代空气动力学研究始于 20 世纪 30 年代,羸弱的旧中国千疮百孔,航空工业几近于零,作为其基础的空气动力学事业更是举步维艰,发展极为缓慢。以航空报国为己任的莘莘学子纷纷前往国外学习深造,涌现了钱学森、郭永怀、陆士嘉、庄逢甘等享誉世界的大师名家。“卡门-钱公式”“PLK(庞加莱-莱特希尔-郭永怀)方法”“钱学森弹道”等一系列成就世人瞩目,为世界空气动力学和航空航天技术发展贡献了中国智慧、注入了中国力量。

新中国成立后,为独立自主发展“两弹一星”和航空航天事业,刚刚回归祖国的钱学森等就立即着手规划我国空气动力学的建设和发展。根据钱学森的建议,20 世纪 50 年代,先后在原国防部第五研究院和沈阳 112 厂成立了空气动力研究室,即如今中国航天空气动力技术研究院和中国航空工业空气动力研究院的前身。与此同时,中国科学院、兵器系统、相关高校也纷纷建立了自己的空气动力学研究力量。60 年代,为整合全国空气动力学研究优势资源,形成拳头力量,国防科学技术工业委员会决定成立以钱学森为组长的空气动力研究院筹备组,1968 年 2 月空气动力研究院正式成立,即中国空气动力研究与发展中心的前身。

在党和国家几代领导的亲切关怀下,经过数十年的顽强拼搏,我国空气动力事业实现了从无到有、由弱到强的巨大转变,构建了风洞试验、数值计算、模型飞行试验三大手段齐备的空气动力试验研究能力体系,整体规模和水平进入世界先进行列,为国防现代化建设和经济社会发展做出了突出贡献。目前,我国已经建成了大中小配套、全空域全速域覆盖的空气动力地面试验设施;开发了具有自主知识产权的一系列空气动力学数值模拟软件;具备了航空航天模型飞行试验能力;在湍流、涡动力学、分离流、稀薄气体动力学等领域取得了理论研究的突破;空气动力学教育事业蓬勃发展,培养了大批优秀人才;突破了大量飞行器研

制中的关键气动问题,在载人航天、临近空间飞行器、深空探测、新型导弹武器、新一代作战飞机、大型客机等高精尖领域取得了举世瞩目的丰硕成果;充分发挥了军民共用的天然优势,在高速列车、建筑桥梁、风能利用、环境保护等领域做出了重要贡献。

展望未来,飞行器的发展趋势是更高、更快、更远、更环保、更舒适,向地外星球拓展、向不同介质扩展。新的飞行器有大量新的空气动力学问题亟待解决,很多问题呈现出多学科交叉融合的趋势,且宏观问题逐渐向微观、细观分析转变。在民用领域,越来越多的问题需要空气动力学研究的深入。在坚持创新驱动,建设航空、航天强国的精神指引下,在军民融合大背景大趋势下,我国的空气动力学事业任重道远,大有作为。

目前,空气动力学发展要特别重视超大规模计算机及其计算的发展。有了它,对任何物理模型已确定的气动问题,理论上都可数值求解,与没有计算机的时代相比是极大的变化,这就是力学称为“现代力学”的原因。另外,计算结果也有物理流动模型不确定或不完全确定的时候,此时数值模拟就需要地面试验和自由飞试验的验证,这要求提高试验的精度、能力和新方法。这些是现代空气动力学的重要任务。力学、计算和试验要紧密结合起来。

系统全面地总结我国空气动力学最新发展成果,是空气动力学界多年的期盼。为此,由中国空气动力研究与发展中心发起,中国空气动力学会牵头组织,开展了我国首部《中国空气动力学发展蓝皮书》的编撰工作。该书涉及面广、专业性强、编撰难度大,在编撰期间,学会下属9个专业委员会和数十个成员单位积极参与,同时得到了相关领域多位院士、专家的悉心指导,以及上级领导机关的大力帮助,历经近1年的艰苦工作,最终得以出版。

《中国空气动力学发展蓝皮书》致力于系统总结近5年来我国空气动力学发展的最新成就、展望未来发展趋势和方向,是众多专家学者共同努力的成果。相信《中国空气动力学发展蓝皮书》的出版能够为国家相关部门筹划发展、制定政策提供决策支持,为工业部门、研究机构、高等院校等相关单位和科研人员提供参考,为社会各界了解和支持我国空气动力学发展搭建桥梁。我们期待《中国空气动力学发展蓝皮书》能够持之以恒、推陈出新,不断为科技强国建设做出新的更大的贡献。

张恒信

2018年6月

目 录

引言	1
一、世界空气动力学的发展脉络	1
二、我国空气动力学的发展历程	3
三、我国空气动力学在国防和国民经济建设中的作用	7
四、近期我国空气动力学的发展	9
五、中国空气动力学会和首部蓝皮书	10
第1章 低跨超声速空气动力学	12
1.1 基础理论与前沿技术研究	15
1.1.1 基于风洞虚拟飞行试验的空气动力学/飞行力学 非线性耦合机理	15
1.1.2 大尺度空腔高速复杂流动/振动/噪声耦合机理及 控制方法	17
1.1.3 流动控制技术	22
1.1.4 大型飞机风洞试验数据修正技术	24
1.1.5 气动声学	26
1.1.6 旋翼空气动力学	27
1.2 科研试验基础设施设施	29
1.2.1 常规气动力试验设备	29
1.2.2 其他类型试验设备	37
1.3 试验技术	42
1.3.1 边界层转捩模拟试验技术	42
1.3.2 翼型双天平测力试验技术	42
1.3.3 条带支撑试验技术	42
1.3.4 大迎角试验技术	44
1.3.5 脉动压力试验技术	44
1.3.6 进气道试验技术	44
1.3.7 发动机进排气动力模拟风洞试验技术	46

1.3.8	推力矢量风洞试验技术	46
1.3.9	螺旋桨动力模拟试验技术	47
1.3.10	旋转天平试验技术	48
1.3.11	动导数试验技术	48
1.3.12	多自由度动态试验技术	50
1.3.13	水平风洞模型自由飞试验技术	51
1.3.14	虚拟飞行试验技术	51
1.3.15	静气动弹性试验技术	52
1.3.16	捕获轨迹试验技术	53
1.3.17	投放试验技术	54
1.3.18	增升装置试验技术	54
1.3.19	结冰试验技术	55
1.3.20	基于 MEMS 的近壁流动测量技术	56
1.3.21	连续变迎角试验技术	57
1.3.22	直升机旋翼试验技术	57
1.4	在国防与经济社会发展中的应用和贡献	59
1.4.1	大型客机	59
1.4.2	航天飞行器	60
1.4.3	通用飞机	60
	参考文献	60
第 2 章	高超声速空气动力学	63
2.1	基础理论与前沿技术研究	64
2.1.1	高超声速气动布局设计	64
2.1.2	高超声速热防护技术	66
2.1.3	高超声速 CFD 技术	69
2.1.4	湍流、转捩与燃烧	75
2.1.5	高超声速 RCS 喷流及复杂干扰流动	77
2.1.6	复杂多物理效应	77
2.2	科研试验基础设备设施	84
2.2.1	气动力、热试验设备	84
2.2.2	防热试验设备	92
2.2.3	其他类型试验设备	97
2.3	试验技术	101
2.3.1	防热试验测试技术	101
2.3.2	气动力试验测试技术	107

2.4	在国防与经济社会发展中的应用和贡献	115
2.4.1	探月工程	115
2.4.2	火星探测	115
	参考文献	115
第3章	物理气体动力学	120
3.1	基础理论与前沿技术研究	121
3.1.1	高精度物性参数计算方法	121
3.1.2	宽温域气体状态方程理论	121
3.1.3	高温、高压爆轰精密建模	121
3.1.4	高温、高压 CFD 方法	122
3.1.5	高温、高压界面不稳定性与混合理论	123
3.1.6	气动物理学理论	126
3.1.7	等离子体利用技术	128
3.1.8	主动热防护技术	130
3.2	科研试验基础设备设施	130
3.3	试验技术	131
	参考文献	132
第4章	计算空气动力学	135
4.1	基础理论与前沿技术研究	137
4.1.1	几何处理和网格生成	137
4.1.2	物理建模	142
4.1.3	高精度格式	150
4.1.4	多学科耦合数值模拟	153
4.1.5	多目标、多学科优化设计	163
4.1.6	高性能计算	166
4.1.7	气动力建模与参数辨识	167
4.2	计算空气动力学软件建设	170
4.2.1	CFD 软件研制	170
4.2.2	CFD 软件的验证与确认	170
4.3	大型计算机及附属设施	174
4.3.1	中国空气动力研究与发展中心千万亿次级计算中心	174
4.3.2	航空工业研究院高性能计算中心	175
4.3.3	中国航空工业空气动力研究院高性能数值模拟集群	175
4.4	在国防与经济社会发展中的应用和贡献	176
4.4.1	C919 大型客机	176

4.4.2	高速列车	177
4.4.3	深空探测	177
参考文献		178
第5章 风工程与工业空气动力学		184
5.1	基础理论与前沿技术研究	185
5.1.1	结构风工程	185
5.1.2	环境风工程	193
5.1.3	车辆空气动力学	198
5.2	科研试验基础设备设施	201
5.2.1	结构风工程试验设备	201
5.2.2	环境风工程试验设备	203
5.2.3	车辆空气动力学试验设备	204
5.3	试验技术	207
5.4	在国防与经济社会发展中的应用和贡献	208
参考文献		209
第6章 风能空气动力学		211
6.1	基础理论与前沿技术研究	212
6.1.1	非定常风力机空气动力学	212
6.1.2	风力机复杂旋转流场的建模与仿真技术	215
6.1.3	风力机专用翼型族及叶片设计	216
6.1.4	风力机气动弹性及耦合的动态响应特征	217
6.1.5	风力机气动噪声的产生机理与降噪策略	219
6.1.6	风力机结冰问题	219
6.1.7	垂直轴风力机技术	220
6.2	科研试验基础设备设施	222
6.2.1	结冰风洞	222
6.2.2	试验风场	222
6.2.3	3m×1.6m 二元翼型风洞	222
6.2.4	风力机气-液-固综合试验研究平台	223
6.2.5	风力机自动测试控制平台	223
6.3	试验技术	224
6.3.1	整机风洞试验技术	224
6.3.2	翼型风洞试验技术	225
6.3.3	外场实测技术	226

6.4	在国防与经济社会发展中的应用和贡献	226
6.4.1	自主研发的软件应用于整机设计、分析与评估	226
6.4.2	自主研发的大型风力机专用翼型应用于兆瓦级及多兆瓦级叶片的设计	227
6.4.3	风力机防除冰研究成果用于机组设计和风电场运营	227
6.4.4	试验技术进步助力学科发展和风力机产品研发	227
	参考文献	228
第7章	气动弹性力学	231
7.1	基础理论与前沿技术研究进展	233
7.1.1	低速气动弹性问题	233
7.1.2	亚跨超声速气动弹性问题	236
7.1.3	高超声速气动弹性问题	237
7.2	科研试验基础设备设施	239
7.3	试验技术	240
7.3.1	低速气动弹性试验技术	240
7.3.2	亚跨超声速气动弹性试验技术	242
7.3.3	高超声速气弹试验技术	244
7.4	在国防与经济社会发展中的应用和贡献	245
	参考文献	245
第8章	空气动力学测控技术	250
8.1	气动力测试技术	251
8.2	气动载荷测试技术	253
8.2.1	脉动压力试验测试技术	253
8.2.2	压力敏感涂料测压技术	253
8.3	气动热测试技术	256
8.3.1	磷光热图技术	256
8.3.2	温度敏感涂料测试技术	257
8.3.3	红外热图测试技术	257
8.3.4	热流传感器测热技术	259
8.4	防热试验测试技术	260
8.5	目标特性测试技术	261
8.6	气动噪声测试技术	262
8.7	风洞控制技术	263
8.7.1	风洞流场参数控制及仿真技术	263
8.7.2	风洞电液伺服控制及仿真技术	264

8.8 其他测控技术	264
8.8.1 超高速碰撞与动能毁伤测试技术	264
8.8.2 表面摩擦阻力测试技术	264
8.8.3 视频形变测量技术	266
8.8.4 翼型风洞试验测试技术	266
8.8.5 冰形测量技术	267
参考文献	267
第9章 流动显示技术	270
9.1 科研试验基础设备设施	271
9.2 测试技术	273
9.2.1 PIV 技术	273
9.2.2 密度显示与测量技术	279
9.2.3 超声速与燃烧流场测量技术	284
9.2.4 干涉瑞利散射	285
9.2.5 相干反斯托克斯拉曼散射测量技术	286
9.2.6 超声速流场/燃烧场诊断与测量系统	286
9.2.7 相位多普勒测量仪测量技术	287
9.2.8 油流显示与测量技术	288
9.2.9 全息干涉技术	289
参考文献	290
第10章 空气动力学科研和教育机构	291
10.1 主要科研机构	291
10.1.1 中国空气动力研究与发展中心	291
10.1.2 中国航天空气动力技术研究院	292
10.1.3 中国航空工业空气动力研究院	293
10.1.4 中国科学院力学研究所	293
10.1.5 北京应用物理与计算数学研究所	294
10.1.6 其他	295
10.2 主要教育机构	295
10.2.1 北京航空航天大学	295
10.2.2 南京航空航天大学	296
10.2.3 西北工业大学	296
10.2.4 国防科技大学	297
10.2.5 北京大学	297
10.2.6 清华大学	298

10.2.7	中国科学技术大学	298
10.2.8	复旦大学	299
10.2.9	天津大学	299
10.2.10	上海交通大学	299
10.2.11	西安交通大学	300
10.2.12	中南大学	300
10.2.13	同济大学	301
10.2.14	中国科学院大学	301
10.2.15	浙江大学	302
10.2.16	大连理工大学	303
10.2.17	北京理工大学	303
第 11 章	重要学术活动和重要事件	304
11.1	重要学术活动	304
11.1.1	低跨超声速空气动力学	304
11.1.2	高超声速空气动力学	305
11.1.3	计算空气动力学	307
11.1.4	物理气体动力学	308
11.1.5	空气动力学测控技术	309
11.1.6	风工程与工业空气动力学	310
11.1.7	风能空气动力学	311
11.1.8	流动显示技术	312
11.1.9	气动弹性力学	312
11.2	重要事件	313
11.2.1	低跨超声速空气动力学	313
11.2.2	高超声速空气动力学	313
11.2.3	计算空气动力学	314
11.2.4	物理气体动力学	315
11.2.5	风工程与工业空气动力学	315
11.2.6	风能空气动力学	316
11.2.7	气动弹性力学	316
第 12 章	空气动力学展望	317
12.1	空气动力学相关领域的发展趋势	317
12.1.1	航空领域	317
12.1.2	航天领域	318
12.1.3	地面交通领域	319

12.1.4 其他领域 319

12.2 空气动力学面临的挑战性问题 320

12.3 空气动力研究手段的进一步发展 321

12.3.1 风洞试验 322

12.3.2 数值模拟 322

12.3.3 模型飞行试验 323

12.3.4 三大手段研究融合 323

12.4 结束语 324

后记 325

附表1 试验设备 329

附表2 CFD 相关软件 339

缩略语 358

彩插 363

空气动力学界流传着这样一句话：“凡有空气的地方就有空气动力学。”我们知道,人类及一切生物都与空气密切相关,然而,作为一门学科,空气动力学并不为很多人所熟知。空气动力学是力学的一个分支,或者更确切地说,它属于流体力学范畴。它是研究飞行器或其他物体在与空气或其他气体做相对运动情况下的受力特性、气体的流动规律和伴随发生的物理化学变化的一门科学。它既是一门基础科学,又是一门技术科学。

一、世界空气动力学的发展脉络

空气动力学学科的产生和发展可以追溯到 16 世纪,我们可以简要列出一些代表性人物及他们的重要贡献。可以看出,源自于对鸟类飞行的观察,人们产生了对空气流动现象的初步认识,而后又对流体流动开展了观察、实验和理论分析,自 19 世纪初叶以来,伴随着航空航天发展的需求,空气动力学得到了迅速发展。

16 世纪初,欧洲文艺复兴时期,意大利人达·芬奇在《论鸟的飞行》中对空气流动现象进行了描述;1726 年,英国科学家艾萨克·牛顿提出了物体在空气中运动时受到的力与物体的运动速度、物体的特征面积以及空气密度的关系;瑞士物理学家和数学家丹尼尔·伯努利通过实验发现了边界层效应,并在其《流体动力学》一书中提出了能量守恒定律,即伯努利方程;1752 年,法国物理学家和数学家让·勒庞·达朗贝尔在《流体阻尼的一种新理论》一文中提出物体在大范围的静止或者匀速运动的不可压缩、无黏流动中做等速运动时,物体受外力之和为零,这就是著名的达朗贝尔佯谬;1755 年,瑞士数学家莱昂哈德·欧拉在其《流体运动的一般原理》中运用牛顿第二定律给出了物体在无黏流体中运动的微分方程,即欧拉方程;1822 年,法国科学家路易斯·纳维在欧拉方程中加入黏性项导出了黏性不可压缩流体的运动方程,1845 年,英国物理学家乔治·斯托克斯也从不同途径推导出了描述物体在黏性流体中的运动方程,此后这组方程称为纳维-斯托克斯方程,即 N-S 方程;1872 年,奥地利物理学家路德维希·玻耳兹曼通过统计物理方法建立了描述气体从非平衡态到平衡态过渡过程的玻耳兹曼方程;1883 年,英国科学家奥斯本·雷诺通过观察黏性流体在小

直径圆管内的流动,发现了层流和湍流两种流态,并指出流态由惯性力和黏性力的比值确定,这个无量纲参数就是著名的雷诺数;此后,威廉姆·兰金、皮埃尔·雨高尼奥提出了激波关系式,可由此求出激波前后介质运动速度、压强、温度、密度等参数。19世纪90年代初,奥地利科学家恩斯特·马赫在其研究弹丸运动的论文中,指出弹丸速度在小于和大于声速时其扰动特征是不同的,这些特征可以用物体运动速度与当地声速之比来描述,这一参数称为马赫数。至此,经典流体力学的理论基础基本奠定,空气动力学进入了全面发展阶段。

自19世纪末,随着飞行器发展的迫切需要,空气动力学逐步从流体力学中独立出来,并发展成为一个新的分支。最开始的研究是围绕飞机如何提高升力和减少阻力而开展的。1904年,德国物理学家路德维希·普朗特发表了著名的边界层理论,以此奠定了低速空气动力学的基础;1908年,保罗·布拉休斯提出了层流边界层的相似解;1894年,英国科学家弗雷德里克·兰彻斯特提出了无限翼展机翼产生升力的环量理论以及有限翼展机翼产生升力的涡旋理论,在其影响下,普朗特提出了有限翼展机翼理论;1906年,俄国物理学家尼可莱·茹科夫斯基提出了升力公式,建立了二维翼型理论,并在1909年进一步概括为茹科夫斯基翼型理论。

飞机飞行速度的提高以及高超声速飞行器的研制需求,推动了超声速和高超声速空气动力学的发展。普朗特和西奥多·迈耶分别于1907年和1908年独立得到了完全气体膨胀加速二维等熵流的解析解,因此又称为普朗特-迈耶流,这是多维超声速流动的最早理论解。1911年,西奥多·冯·卡门提出了钝体阻力理论,发现了后来被称为卡门涡街的尾涡序列;1918年,普朗特提出了大展弦比机翼的升力线理论;1925年,雅克布·阿克莱特推导出了翼型超声速线化理论;1935年,西奥多·冯·卡门提出了超声速流动中的激波阻力概念,即超声速阻力原则;1935年,阿道夫·布斯曼首次提出了完整的后掠翼思想,为飞机突破“声障”奠定了基础;1939年,钱学森与西奥多·冯·卡门提出了亚声速气流中空气压缩性对翼型压强分布的修正公式,即卡门-钱学森公式;1946年,钱学森和郭永怀提出了上临界马赫数的概念,并给出了上临界马赫数的计算方法;1946年,钱学森提出了“高超声速”这一概念并导出了高超声速相似率,与普朗特和赫尔曼·格劳厄脱的亚声速相似律、西奥多·冯·卡门的跨声速相似率及雅克布·阿克莱特的超声速相似律一起奠定了可压缩流空气动力学的完整基础理论体系。1946年,美国科学家罗伯特·琼斯提出了小展弦比机翼理论;到20世纪40年代中期,钱学森认识到稀薄气体力学的重要性,并于1946年发表了“超级空气动力学——稀薄气体力学”一文,提出了流动区域的划分原则;1949年,郭永怀与庞加莱、莱特希尔提出了计算简便、实用性强的奇异摄动理论中的变形坐标法,此方法称为庞加莱·莱特希尔·郭永怀(PLK)方法;1951年,美国科学家

哈利·艾伦提出钝头体理论,克服了由于高超声速飞行和弹头再入大气层严重气动加热引起的“热障”问题;1952年,美国科学家理查德·惠特科姆提出了跨声速面积律,为飞机实现超声速飞行突破“音障”问题找到途径;琼斯在此基础上提出了超声速面积律;1967年,理查德·惠特科姆提出超临界翼型以及翼梢小翼概念。20世纪70年代以后,脱体涡流型和非线性升力的发展和应用为第三代高机动性战斗机的发展奠定了基础。

然而,在此后的一段时间内,一定程度上受计算机可以代替风洞和认为空气动力学理论已经很成熟的思想影响,空气动力学的发展有所迟缓,以至于一些空气动力学研究人员转行。直至美国国家空天飞机(NASP)计划受阻以后,人们发现,还有诸如超声速燃烧等问题远远没有解决,必须做大量的空气动力学研究工作,这才又导出了“高超声速空气动力学的复苏”问题。此外,诸如湍流这种百年难题仍未解决,因此,空气动力学至今也仍然是一门具有生命力的学科。

二、我国空气动力学的发展历程

20世纪50年代以前,除了当时旅居国外的钱学森、郭永怀等从事流体力学和空气动力学研究的学者为空气动力学研究做出了重要贡献以外,国内只有一些高等学校有流体力学的教学,没有多少实质性的研究工作。

20世纪50年代以后,随着中国对航空航天技术发展的需要,中国空气动力学的研究得到了有序发展。钱学森、郭永怀等一批科学家相继回国,对中国空气动力学的发展起到了至关重要的作用。

1956年2月,钱学森按照周恩来要求,起草了《建立我国国防航空工业的意见书》,建议成立空气动力研究机构,并建设各类空气动力试验设备。1956年末,国防部第五研究院所辖的空气动力研究室成立,此后演变为中国航天空气动力技术研究院。沈阳112厂成立了空气动力研究室,后来演变成中国航空工业空气动力研究院。20世纪60年代,为整合全国空气动力学研究优势资源,国防科委成立了以钱学森为组长的空气动力研究院筹备组,1968年2月空气动力研究院正式成立,后来演变为中国空气动力研究与发展中心。至此形成了中国主要的三大空气动力研究单位。此外,中国科学院力学所、中国兵器科学研究院第二〇三研究所、中国船舶重工集团公司第七〇二研究所以及有关大学的相应院系都有作用重要的空气动力学研究队伍,这些力量积极配合飞行器总体设计单位的研究人员,提供飞行器气动设计需要的数据,支撑着中国空气动力学的不断发展。

空气动力学研究主要通过三大手段,即风洞试验、数值计算和飞行试验进行,任何飞行器设计所需要的空气动力学数据都是通过这三大手段来获取的。