

# 低速风洞试验

国防工业出版社

# 低速风洞试验

〔美〕艾伦·波普 约翰 J·哈珀 著

彭锡铭 严俊仁 石佑伦 等译

韩志华 柳恩敏 等校

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是专门介绍低速风洞试验的一本著作。内容主要包括低速风洞种类和基本设计原理、风洞试验方法、测试技术、试验数据的修正与应用以及风洞在非航空方面的应用等，对直升机的试验也作了简要叙述。

本书可做大学有关专业的工农兵学员和教师的参考书使用，也可供从事低速风洞试验和设计工作的工程技术人员参考。

LOW-SPEED WIND TUNNEL TESTING

Alan Pope John J. Harper

John Wiley & Sons, Inc. 1966

\*

### 低速风洞试验

[美] 艾伦·波普 约翰·哈珀 著

彭锡铭 严俊仁 石佑伦 等译

韩志华 柳恩敏 等校

\*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张14<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 374千字

1977年5月第一版 1977年5月第一次印刷 印数：0,001—2,800册

统一书号：15034·1531 定价：1.85元

## 译者序

为适应我国航空和宇宙航行科学技术蓬勃发展的需要，遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译了这本《低速风洞试验》，向有关同志介绍国外风洞设计、风洞试验和测试技术等方面的情况。

利用风洞进行气动力试验和研究，在本世纪初即已开始，至目前为止，世界各国建造的各类风洞数已百计，但系统地论述风洞设计和试验的专门著作却不多。艾伦·波普（Alan Pope）曾在一九四七年编著出版了《风洞试验》一书，可算是这方面的专著之一，此书在一九五四年再版。从那时以来，气动力研究工作有了新的发展，各国又先后建造了一些风洞，用以解决诸如垂直短距起落飞机、直升飞机和复合式直升飞机、再入飞行器、导弹低速稳定性及其在发射位置的风载等方面的新问题。在这样的基础上，作者得以在内容上加以充实，并分成《低速风洞试验》和《高速风洞试验》两书于一九六六年出版。

从一九六六年本书原著出版到现在十年过去了，虽然在这期间又有不少新技术、新经验有待总结整理，但书中所阐述的关于风洞设计和风洞试验方面的基本原理和方法等内容，至今仍有一定的参考价值。在译校过程中，对原著的若干错误观点和不切合我国实际之处则做了删节。

在本书的译校过程中，得到了很多同志的热情支持和帮助，在此，谨向他们表示衷心的感谢！

由于水平所限，译校中定有很多错误和不妥之处，热忱欢迎同志们提出批评指正。

# 目 录

第一章 风洞	11
1.1 重要的试验参数	11
1.2 专用术语	15
1.3 风洞的类型	16
1.4 单回流风洞	17
1.5 单回流压力风洞	18
1.6 变密度风洞	18
1.7 全尺寸风洞	19
1.8 烟风洞	20
1.9 自由飞风洞	22
1.10 尾旋风洞	23
1.11 直流式风洞	25
1.12 低紊流度风洞	29
1.13 稳定性风洞	30
1.14 二元风洞	30
1.15 结冰风洞	30
1.16 多用途风洞	32
1.17 垂直短距起落风洞	32
1.18 汽车风洞	34
1.19 低速风洞表	35
第二章 风洞设计	50
2.1 试验段	51
2.2 回流道	55
2.3 换气装置	58
2.4 风扇整流系统	58
2.5 驱动电机	76
2.6 整流罩	78

2.7	拐角 .....	78
2.8	蜂窝器和阻尼网 .....	81
2.9	收缩段 .....	83
2.10	风洞结构 .....	84
2.11	功率损失 .....	86
2.12	冷却 .....	93
2.13	试验段插件 .....	96
2.14	安全 .....	99
<b>第三章 试验段的仪器配置及其校准 .....</b>		<b>101</b>
3.1	液体和压力计 .....	101
3.2	多管压力计 .....	105
3.3	皮托管 .....	107
3.4	基尔 (Kiel)管 .....	112
3.5	气流温度 .....	112
3.6	气流方向 .....	113
3.7	测压排管 .....	114
3.8	附面层探头 .....	115
3.9	流谱观察设备 .....	119
3.10	速度调节 .....	123
3.11	试验段里的速度变化 .....	125
3.12	纵向静压梯度 .....	128
3.13	试验段里的流向变化 .....	128
3.14	紊流度 .....	129
3.15	喘振 .....	137
3.16	能量比 .....	138
<b>第四章 模型的力、力矩和压力的测量 .....</b>		<b>141</b>
4.1	天平 .....	141
4.2	挂线式天平 .....	143
4.3	支杆式天平 .....	144
4.4	台式天平 .....	147
4.5	轭式天平 .....	148
4.6	塔式天平 .....	149
4.7	天平设计 .....	151

4.8	天平安装	155
4.9	天平校准	156
4.10	模型安装	160
4.11	变形	170
4.12	天平测量元件和连杆机构	170
4.13	电测装置	173
4.14	应变天平	175
4.15	内式应变天平的校准	181
4.16	天平的干扰	184
4.17	天平调整	186
4.18	支架阻力和干扰的测量	191
4.19	用动量法测量翼型阻力	198
4.20	用测量压力分布来测量升力和阻力	201
第五章 试验方法		206
5.1	模型的设计和制造	206
5.2	试验计划	214
5.3	使用风洞的程序	215
5.4	一般试验方法	216
5.5	三元机翼试验	220
5.6	二元机翼试验	233
5.7	飞机部件试验	235
5.8	操纵面试验:副翼翼段	237
5.9	操纵面试验:方向舵	249
5.10	操纵面试验:升降舵	253
5.11	全模型试验	255
5.12	机身、短舱和旋转体试验	286
5.13	螺旋桨试验	287
5.14	空腔谐振试验	288
5.15	喷气式飞机的模型试验	289
5.16	气动弹性试验	291
5.17	颤振模型的设计和缩尺	294
5.18	尾旋试验	299
5.19	风车发生器试验	300

5.20	带地板的试验 .....	301
5.21	局部载荷试验 .....	303
5.22	小展弦比机翼试验 .....	303
5.23	发动机试验 .....	305
5.24	投放试验 .....	305
5.25	阻力伞试验 .....	308
5.26	外挂试验 .....	309
5.27	垂直短距起落飞机试验 .....	310
5.28	再入着陆飞行器试验 .....	313
5.29	导弹的倾覆和振动弯曲力矩试验 .....	314
第六章 风洞的边界修正 .....		317
6.1	镜像法 .....	318
6.2	二元试验的洞壁修正 .....	322
6.3	浮力(二元情况) .....	322
6.4	固体阻塞(二元情况) .....	326
6.5	尾流阻塞(二元情况) .....	329
6.6	流线弯曲(二元情况) .....	330
6.7	二元边界修正的小结 .....	333
6.8	二元洞壁修正的实验验证 .....	336
6.9	浮力(三元情况) .....	337
6.10	固体阻塞(三元情况) .....	338
6.11	尾流阻塞(三元情况) .....	340
6.12	流线弯曲(三元情况) .....	343
6.13	一般下洗修正 .....	345
6.14	升力分布干扰(圆形试验段) .....	350
6.15	升力分布干扰(椭圆形试验段) .....	351
6.16	圆形试验段的下洗修正 .....	352
6.17	矩形试验段的下洗修正 .....	353
6.18	圆弧形试验段的下洗修正 .....	357
6.19	椭圆形试验段的下洗修正 .....	360
6.20	闭口八角形试验段的下洗修正 .....	364
6.21	机翼后面气流的下洗修正 .....	365
6.22	翼-身组合体的下洗修正 .....	373



6.23	带动力试验的下洗修正 .....	374
6.24	后掠机翼的下洗修正 .....	374
6.25	襟翼下偏模型的下洗修正 .....	376
6.26	反射板模型的修正 .....	376
6.27	无需修正的试验段形式 .....	380
6.28	螺旋桨试验的边界修正 .....	380
6.29	不对称载荷的下洗修正 .....	382
6.30	垂直短距起落试验的修正 .....	386
6.31	三元边界修正的小结 (闭口试验段) .....	387
6.32	三元边界修正的小结 (开口试验段) .....	392
6.33	操纵面铰链力矩的边界修正 .....	393
第七章 风洞数据的应用 .....		394
7.1	附面层 .....	395
7.2	尺度效应对阻力的影响 .....	402
7.3	尺度效应对升力曲线的影响 .....	406
7.4	尺度效应对襟翼特性的影响 .....	410
7.5	尺度效应对俯仰力矩曲线的影响 .....	411
7.6	尺度效应对纵向稳定性和操纵性的影响 .....	412
7.7	尺度效应对方向稳定性和操纵性的影响 .....	412
7.8	尺度效应对横向稳定性和操纵性的影响 .....	413
第八章 小风洞 .....		414
8.1	不受雷诺数影响的一些试验 .....	414
8.2	雷诺数影响可以忽略不计的情况 .....	415
8.3	示教用小风洞 .....	415
8.4	极低雷诺数的流动 .....	419
第九章 风洞在非航空方面的应用 .....		422
9.1	一般试验方法 .....	422
9.2	房屋建筑和标牌上的风载 .....	423
9.3	结构上的风载 .....	425
9.4	非定常空气动力学 .....	427
9.5	桥和烟囱的振动 .....	429
9.6	输电线路 .....	430
9.7	烟囱绕流试验 .....	431

9.8	汽车和货车试验	434
9.9	雷达天线试验	436
9.10	风动装置	437
9.11	大地和园林试验	438
9.12	水下运载工具试验	440
9.13	帆船和轮船试验	442
9.14	蒸发试验	443
9.15	雪堆模型试验	444
9.16	土壤风蚀作用试验	445
9.17	昆虫和飞鸟试验	446
9.18	人力飞行器	447
9.19	气体混合试验	447
<b>第十章</b>	<b>直升机试验</b>	<b>448</b>
10.1	概述	448
10.2	旋翼模型	451
10.3	试验准备	452
10.4	旋翼的专用测量仪器	453
10.5	试验方法	457
10.6	支架产生的附加荷载、干扰和气流偏角	458
10.7	数据处理	460
10.8	旋翼试验的边界修正	460
10.9	直升机机身试验	462
<b>参考资料</b>		<b>464</b>

# 低速风洞试验

〔美〕艾伦·波普 约翰 J·哈珀 著

彭锡铭 严俊仁 石佑伦 等译

韩志华 柳恩敏 等校

国防工业出版社

## 译者序

为适应我国航空和宇宙航行科学技术蓬勃发展的需要，遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译了这本《低速风洞试验》，向有关同志介绍国外风洞设计、风洞试验和测试技术等方面的情况。

利用风洞进行气动力试验和研究，在本世纪初即已开始，至目前为止，世界各国建造的各类风洞数已百计，但系统地论述风洞设计和试验的专门著作却不多。艾伦·波普（Alan Pope）曾在一九四七年编著出版了《风洞试验》一书，可算是这方面的专著之一，此书在一九五四年再版。从那时以来，气动力研究工作有了新的发展，各国又先后建造了一些风洞，用以解决诸如垂直短距起落飞机、直升飞机和复合式直升飞机、再入飞行器、导弹低速稳定性及其在发射位置的风载等方面的新问题。在这样的基础上，作者得以在内容上加以充实，并分成《低速风洞试验》和《高速风洞试验》两书于一九六六年出版。

从一九六六年本书原著出版到现在十年过去了，虽然在这期间又有不少新技术、新经验有待总结整理，但书中所阐述的关于风洞设计和风洞试验方面的基本原理和方法等内容，至今仍有一定的参考价值。在译校过程中，对原著的若干错误观点和不切合我国实际之处则做了删节。

在本书的译校过程中，得到了很多同志的热情支持和帮助，在此，谨向他们表示衷心的感谢！

由于水平所限，译校中定有很多错误和不妥之处，热忱欢迎同志们提出批评指正。

## 内 容 简 介

本书是专门介绍低速风洞试验的一本著作。内容主要包括低速风洞种类和基本设计原理、风洞试验方法、测试技术、试验数据的修正与应用以及风洞在非航空方面的应用等，对直升机的试验也作了简要叙述。

本书可做大学有关专业的工农兵学员和教师的参考书使用，也可供从事低速风洞试验和设计工作的工程技术人员参考。

LOW-SPEED WIND TUNNEL TESTING

Alan Pope John J. Harper

John Wiley & Sons, Inc. 1966

\*

### 低速风洞试验

[美] 艾伦·波普 约翰·J·哈珀 著

彭锡铭 严俊仁 石佑伦 等译

韩志华 柳恩敏 等校

\*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张14<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 374千字

1977年5月第一版 1977年5月第一次印刷 印数：0,001—2,800册

统一书号：15034·1531 定价：1.85元



# 目 录

第一章 风洞	11
1.1 重要的试验参数	11
1.2 专用术语	15
1.3 风洞的类型	16
1.4 单回流风洞	17
1.5 单回流压力风洞	18
1.6 变密度风洞	18
1.7 全尺寸风洞	19
1.8 烟风洞	20
1.9 自由飞风洞	22
1.10 尾旋风洞	23
1.11 直流式风洞	25
1.12 低紊流度风洞	29
1.13 稳定性风洞	30
1.14 二元风洞	30
1.15 结冰风洞	30
1.16 多用途风洞	32
1.17 垂直短距起落风洞	32
1.18 汽车风洞	34
1.19 低速风洞表	35
第二章 风洞设计	50
2.1 试验段	51
2.2 回流道	55
2.3 换气装置	58
2.4 风扇整流系统	58
2.5 驱动电机	76
2.6 整流罩	78

2.7	拐角 .....	78
2.8	蜂窝器和阻尼网 .....	81
2.9	收缩段 .....	83
2.10	风洞结构 .....	84
2.11	功率损失 .....	86
2.12	冷却 .....	93
2.13	试验段插件 .....	96
2.14	安全 .....	99
<b>第三章 试验段的仪器配置及其校准 .....</b>		<b>101</b>
3.1	液体和压力计 .....	101
3.2	多管压力计 .....	105
3.3	皮托管 .....	107
3.4	基尔 (Kiel)管 .....	112
3.5	气流温度 .....	112
3.6	气流方向 .....	113
3.7	测压排管 .....	114
3.8	附面层探头 .....	115
3.9	流谱观察设备 .....	119
3.10	速度调节 .....	123
3.11	试验段里的速度变化 .....	125
3.12	纵向静压梯度 .....	128
3.13	试验段里的流向变化 .....	128
3.14	紊流度 .....	129
3.15	喘振 .....	137
3.16	能量比 .....	138
<b>第四章 模型的力、力矩和压力的测量 .....</b>		<b>141</b>
4.1	天平 .....	141
4.2	挂线式天平 .....	143
4.3	支杆式天平 .....	144
4.4	台式天平 .....	147
4.5	轭式天平 .....	148
4.6	塔式天平 .....	149
4.7	天平设计 .....	151



4.8	天平安装	155
4.9	天平校准	156
4.10	模型安装	160
4.11	变形	170
4.12	天平测量元件和连杆机构	170
4.13	电测装置	173
4.14	应变天平	175
4.15	内式应变天平的校准	181
4.16	天平的干扰	184
4.17	天平调整	186
4.18	支架阻力和干扰的测量	191
4.19	用动量法测量翼型阻力	198
4.20	用测量压力分布来测量升力和阻力	201
第五章 试验方法		206
5.1	模型的设计和制造	206
5.2	试验计划	214
5.3	使用风洞的程序	215
5.4	一般试验方法	216
5.5	三元机翼试验	220
5.6	二元机翼试验	233
5.7	飞机部件试验	235
5.8	操纵面试验:副翼翼段	237
5.9	操纵面试验:方向舵	249
5.10	操纵面试验:升降舵	253
5.11	全模型试验	255
5.12	机身、短舱和旋转体试验	286
5.13	螺旋桨试验	287
5.14	空腔谐振试验	288
5.15	喷气式飞机的模型试验	289
5.16	气动弹性试验	291
5.17	颤振模型的设计和缩尺	294
5.18	尾旋试验	299
5.19	风车发生器试验	300