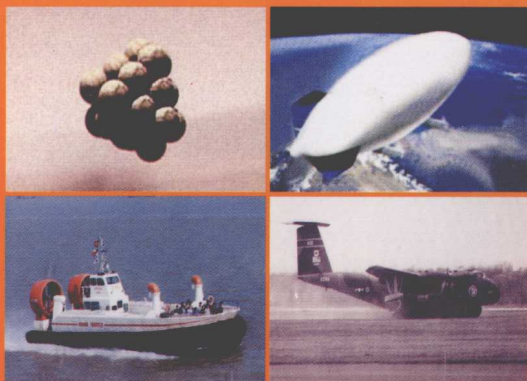


气垫船气囊与气垫

Air Bag and Air Cushion of Hovercraft

李桂春 李铮捷 编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

气垫船气囊与气垫

Air Bag and Air Cushion of Hovercraft

李桂春 李铮捷 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

气垫船气囊与气垫/李桂春,李铮捷编著. —北京:国防
工业出版社,2011.1

ISBN 978-7-118-07026-2

I. ①气... II. ①李... ②李... III. ①气垫船
IV. ①U674.943

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 174815 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10 字数 255 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 40.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评

审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金

第六届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 宋家树 蔡 镛 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟

(按姓氏笔画排序) 甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

序

气囊与气垫技术是一门以气体力学为基础的实用技术,包括多种多样的气囊和气垫结构和不同的应用场合。常见的浮空器(气球、飞艇)和救生气囊是典型的气囊结构,而气垫船的气垫围裙则是最复杂的气囊与气垫结构。气囊与气垫技术在国防军事、航空航天、海岸工程和救险救援等很多领域中应用广泛。尤其在太空探测器软着陆和航天器回收等工程项目中,具有重要的应用价值。气囊气垫技术对于武器装备和高新科技的发展十分重要。

随着科学技术的发展,飞艇技术重新被人们关注。它不依赖于机场和跑道,可以垂直起降,且能悬停空中。以滞空时间长、承载能力大、噪声低、能耗小等特点,成为一种空中的军事装备。在2万m高空太阳能飞艇用于探测弹道导弹,满足导弹防御的要求;巡航飞艇是作为战术用途的通信中继和监视平台。飞艇也是一种绿色运输工具,具有广泛的应用前景。

在太空探测器软着陆和航天器回收方面,降落伞、气囊包裹等减速器技术已成为关键技术之一,国际上每两年有一次专业会议(Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference),有关国家一直注重这项技术的发展。

全垫升气垫船是一种特殊的交通工具,无论在泥泞的沼泽、潮沙滩涂,还是在冰雪海岸和封冻的江面,全垫升气垫船具有良好的通过性,受地貌、潮汐和水深等影响较小。气垫船作为军事装备最鲜明的特点是快速和两栖攻击能力。目前,世界军事强国都为本国部队装备了多种吨位和用途的气垫运输艇和攻击舰。军用气垫

船不仅可以装备常规武器,而且还成为具有导弹发射能力的战斗攻击舰。

气囊与气垫技术,主要基本原理包括柔性薄壳力学和空气动力学。在空气动力学方面包括内部空气动力学和外部空气动力学两部分。内部空气动力学包括风机流动、气体分集管流动、柔性囊结构及气体压力和流量的分配与控制等。外部空气动力学主要包括气囊和气垫的升力和阻力及其稳定性等。因此,它是力学的综合技术,具有潜在的发展优势。

作者在气垫船开发项目中,勤奋工作,勇于创新,积累了丰富的知识和气垫围裙的设计制造经验,认真总结,编写本书。在实践的基础上编著的“气垫船气囊与气垫”,对发展气囊气垫技术的是一个重要的贡献,对培养人材,尤其对年轻的技术人员具有重要的意义。

本书以柔性薄壳力学理论为基础,详细地叙述了气囊与气垫研究设计的原理和步骤,提供了锥形气垫围裙的设计方法。该书具有理论与实际课题密切结合的特点,同时汇集了气囊与气垫的各种应用,展示了气囊与气垫技术的发展前景。这是一本很好的技术专著,可以满足多方面读者的需要。本书的出版将有助于推动我国气囊与气垫技术的应用和发展。

中国科学院院士

左逢甘

前 言

气囊和气垫技术属于空气动力技术范畴。包含了流体力学、柔体力学和接触力学等基本力学原理。自从人类用充气轮胎代替木质车轮,用充气筏代替竹排和独木舟,乘用气球实现升空飞翔的理想开始,气囊和气垫技术的发展经历了漫长的过程。随着科学技术的发展,气囊与气垫技术的应用范围迅速扩展,从军事应用到航空航天,从高空探测到通信中继,从海洋工程到石油勘探,从起重搬运到交通运输,从探险环保到救生救援,从医疗器材到体育娱乐等,到处都崭露头角或层出不穷,一片兴旺发展的景象。

气囊与气垫技术的广泛应用推动了此项技术的迅速发展,越来越被人们重视。为适应现代国防的需要,飞艇、降落伞和气垫船等已成为军事部门必不可少的重要装备。为发展外太空探测技术,在太空探测器的软着陆和航天器的回收方面,包括气囊、气垫和降落伞等气动减速器技术已成为重要的核心技术之一。在常规车、船无法施展其功能的潮汐滩涂、冰雪沼泽地域,在石油勘探、环境保护、海岸工程作业过程中,气垫船已成为必备的交通、运输和基础作业的重要设备。在高空监视、通信中继和目标跟踪方面,气球和飞艇逐渐成为新宠,是卫星和无人机的新伙伴,更具应用发展的潜在优势。诸如此类,举不胜举。如今,气囊和气垫技术的发展已迈出了新的有力的步伐,在广泛的应用中不断地提高,期望在提高中会有创新。

本书介绍了气囊和气垫的设计原理和广泛应用,并以气垫船围裙为例,叙述气囊和气垫的研究设计步骤和方法。作者通过刻苦学习和努力实践,深刻体会到气囊和气垫技术的复杂特性;设计

了多种类型的气垫围裙产品,实践证明是相当成功的。不仅获得了明晰的研究思路,而且总结了完整的设计方法和宝贵的实船经验,希望有助于读者学习和借鉴。薪尽火传、承先启后是作者编写本书的宗旨。不仅要授之鱼,还要授之以渔。

本书是作者在航天空气动力技术研究院十多年从事气垫船课题研究的成果。从工程实用的角度出发,在阐明柔体力学基本原理的基础上,介绍了气垫系统的总体特性参数和研究设计的步骤,总结了经实际应用验证是准确的气囊和气垫设计方法,是从事相关技术开发应用的科技工作者的实用参考书。

本书出版之际,衷心感谢空气动力学专家庄逢甘院士、崔尔杰院士的热情关心和大力支持。对国防科技图书出版基金的资助深表谢意。

鉴于目前国内尚无气囊与气垫技术方面的实用专著,本书的出版将有利于推动气囊和气垫技术的快速发展和广泛应用。限于作者的水平,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

李桂春

2010年5月

目 录

绪论	1
第 1 章 气囊与气垫	15
1.1 气囊的应用	15
1.1.1 碰撞缓冲气囊	15
1.1.2 软着陆气囊包裹	18
1.1.3 飞艇气囊	22
1.1.4 气球气囊	28
1.1.5 气囊弹簧	32
1.1.6 气囊支承	36
1.1.7 救生气囊	39
1.1.8 减速降落伞	41
1.2 气垫的应用	46
1.2.1 气垫托盘	46
1.2.2 气垫导轨	53
1.2.3 气垫传送带	57
1.2.4 软着陆气垫	60
1.2.5 气垫车	61
1.2.6 气垫平台与气垫船	64
第 2 章 柔性薄壳力学基础	77
2.1 虚位移和受力平衡	77
2.1.1 分析力学基本概念	77
2.1.2 虚位移原理	81
2.1.3 矢量力学中的静力平衡	86

2.2	薄壳无矩理论	87
2.2.1	壳体的概念	87
2.2.2	薄膜理论	92
2.2.3	轴对称旋转薄壳的受力平衡	95
2.3	柔顺体上的受力平衡	99
2.3.1	分析力学的截面法	99
2.3.2	柔顺带的静力分析	101
2.3.3	柔顺线上力的平衡	104
第3章	气垫原理和围裙气囊设计方法	114
3.1	气体的压缩性	114
3.1.1	气体的不可压缩状态	115
3.1.2	连续介质运动方程	116
3.2	气囊与气垫原理	123
3.2.1	气垫的垫升原理	124
3.2.2	围裙气囊成型的基本原理	126
3.2.3	气囊的受力分析	132
3.2.4	气垫的动态特性概念	152
3.3	围裙气囊的设计方法	154
3.3.1	围裙气囊的基本结构形式	155
3.3.2	气垫围裙总体参数的确定	163
3.3.3	围裙气囊截面结构的设计方法	174
第4章	气垫围裙设计的船模试验	184
4.1	船模试验的相似准则	185
4.2	围裙成型的风筒管试验	187
4.3	船模围裙静态垫升试验	189
4.3.1	船模设计	189
4.3.2	刚性支承面静态垫升试验	190
4.3.3	水面静态垫升试验	195
4.4	船模围裙水面动态垫升试验	196
4.4.1	水池中船模围裙拖曳阻力测量试验	196

4.4.2	水池中船模围裙耐波性试验	202
4.4.3	水槽中船模围裙水动力特性试验	206
第5章	气垫围裙放样、制作与调试	209
5.1	气垫围裙的放样方法	209
5.1.1	围裙成形计算的基本结果	209
5.1.2	围裙放样的基本方法	213
5.1.3	三元围裙放样的计算方法	215
5.2	气垫围裙的制作	229
5.2.1	围裙材料及工艺	230
5.2.2	围裙的部件组接和悬挂安装设计	238
5.3	实船围裙的垫升调试	243
5.3.1	实船围裙的平台静态垫升调试	244
5.3.2	实船围裙的水面试航调试	251
第6章	气垫系统的压力和流量设计	255
6.1	产生垫升气体的动力系统	255
6.1.1	垫升功率	258
6.1.2	垫升流量和泄流系数	260
6.1.3	气垫压力和围裙的气囊压力	262
6.2	风机的动力特性参数	263
6.2.1	风机的比转数	264
6.2.2	风机的特性方程	266
6.2.3	离心风机的设计要求及基本参数	271
6.3	气垫供气系统设计的基本方法及步骤	272
6.3.1	供气系统的总体设计	273
6.3.2	风机特性参数的估算	275
6.3.3	风机特性参数测量	278
附录A	气垫围裙设计及放样的计算程序	283
附录B	气垫原理术语	294
参考文献		300

CONTENTS

Introduction	1
Chapter 1 Air Bag and Air Cushion	15
1.1 Applications of Air Bag	15
1.1.1 Impact damped Air Bag	15
1.1.2 Soft landing Air Bag Parcel	18
1.1.3 Airship Envelope	22
1.1.4 Balloon Bag	28
1.1.5 Air Bag Spring	32
1.1.6 Supporting Air Bag	36
1.1.7 Life Air Bag	39
1.1.8 Landing Parachute	41
1.2 Applications of Air cushion	46
1.2.1 Air Pad	46
1.2.2 Air Cushion Guide Apparatus	53
1.2.3 Air Cushion Transfer Equipment	57
1.2.4 Landing Air Cushion	60
1.2.5 Air Cushion Vehicle	61
1.2.6 Hover Platform and Hovercraft	64
Chapter 2 Foundation of Flexible Shell Mechanics	77
2.1 Virtual Displacement and Equilibrant	77
2.1.1 Foundation of Analysis Mechanics	77
2.1.2 Principle of Virtual Displacement	81
2.1.3 Equipoise in Vector Mechanics	86
2.2 Non-moment Theory of Shell Construction	87

2.2.1	Shell Construction	87
2.2.2	Theory of Shell Construction	92
2.2.3	Equilibrant in Axis-symmetrical Shell	95
2.3	Equilibrium of Forces in Flexible Bodies	99
2.3.1	Section Idea in Analysis Mechanics	99
2.3.2	Static Analysis in Flexible Ribbon	101
2.3.3	Equilibrant in Flexible Line	104
Chapter 3	Air cushion Principle and Skirt Design	114
3.1	Compressibility of Gases	114
3.1.1	Non-compressibility of Gases	115
3.1.2	Motion Equation of Continuous Medium	116
3.2	Principle of Air bag and Air cushion	123
3.2.1	Lift Principle of Air cushion	124
3.2.2	Principle of Skirt Configuration	126
3.2.3	Static Analysis of Air Bag	132
3.2.4	Dynamic Properties of Air cushion	152
3.3	Method of Calculating Skirt Configuration	154
3.3.1	Basic Types of Skirt Configuration	155
3.3.2	Determine Parameters of Skirt Configuration	163
3.3.3	Design Procedures of Skirt	174
Chapter 4	Model Testing of Hovercraft Skirt	184
4.1	Similarity rule of Model Testing	185
4.2	Wind trunk Test of Skirt Configuration	187
4.3	Static hovering tests of Model	189
4.3.1	Model Skirt Design	189
4.3.2	Static hovering tests on Platform	190
4.3.3	Static hovering tests on water	195
4.4	Towing Tank Dynamic hovering Test of Model	196
4.4.1	Drag Measurement in Trailer Testing	196
4.4.2	Wave-Tolerance Character Measurement	202

4. 4. 3	Hydrodynamic Character Measurement	206
Chapter 5	Template, Manufacture and Adjustment	
	of Skirt	209
5. 1	Flat Pattern Development of Skirt	209
5. 1. 1	Designed Parameters of Skirt	209
5. 1. 2	Method of Skirt Template	213
5. 1. 3	Template Method of Three dimensional Skirt	215
5. 2	Manufacture of Hovercraft Skirt	229
5. 2. 1	Material and Technology of Skirt	230
5. 2. 2	Design of Skirt Component Parts	238
5. 3	Adjustment of Hovercraft Skirt	243
5. 3. 1	Adjustment of Hovercraft Skirt on Platform	244
5. 3. 2	Adjustment of Hovercraft Skirt on Trial Runs ...	251
Chapter 6	Pressure and Flow in Air Cushion Systems	255
6. 1	Power Unit for Offering Lift Gas	255
6. 1. 1	Lift Power	258
6. 1. 2	Fluid Capacity and Leakage Coefficient	260
6. 1. 3	Cushion Pressure and Bag Pressure	262
6. 2	Dynamic Characteristics of Lift Fan	263
6. 2. 1	Specific Speed of Lift Fan	264
6. 2. 2	Characteristics Curve of Lift Fan	266
6. 2. 3	Specifications of Centrifugal Lift Fan	271
6. 3	Design Procedure of Offering Lift Gas Systems	272
6. 3. 1	Program Evaluation of Offering Gas Systems	273
6. 3. 2	Estimation of Fan Characteristics	275
6. 3. 3	Measurement of Fan Parameter	278
Appendix A	Computer-aided Programming on Air	
	Cushion Skirt	283
Appendix B	Glossary of Air cushion principium terms ...	294
References		300

绪 论

概 述

随着科学技术的发展,气囊与气垫的应用日益广泛,但是要对两者作一个确切的界定是很难的。在日常生活中,一般认为气囊与气垫都是封闭的充气柔性弹性体,把球壳、椭球壳和环壳之类的充气结构称为气囊,而把厚度与其长度和宽度相比较小的封闭气囊称为气垫。或者根据其外部形状或者用途作相应的称谓,如气垫床、气垫衣、救生气垫滑梯、减震垫、缓冲垫、橡皮艇、气垫船、救生圈、救生筏、橡胶内胎、充气橡胶芯模、探空气球、篮球等。此外,两个相对运动的物体之间的压力气体膜(层)构成的结构也属于气垫的范畴,如气垫导轨、磁浮导轨(无压力自由气膜)、气垫传输带、气体轴承等。

如果从科学技术上粗略地下一个定义(或称为力学模型),那么,气囊就是一个充气的柔性薄壳结构,是一个柔性壳体内部的充注压力高于环境气体压力的柔性体,或者说是一个内部气体密度低于环境气体密度的柔性体。柔性体的弹性模量随着气体压力增加而增大,受外力作用时具有变形特性,卸去外力后由于柔性壳的张力、气体的连续位移使其基本恢复原来状态(忽略塑性变形)。此类柔性体结构可用薄壳无矩理论(或称为薄膜理论)分析,并用气体力学的流动和浮升原理,柔性体的碰撞、滑动和滚动原理及其能量转换原理等基础理论开展研究设计。气囊和气垫两者密不可分,气囊是封闭的气垫,而气垫是开敞的气囊。

气垫是把具有一定压力的空气围封在某一物体下面形成的空