

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23220121153034

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

飞艇的气动模型与线性运动特性分析

On the aerodynamic model and the linear motion characteristics of the airship

刘 玲

指导教师姓名: 沈少萍 助理教授

专业名称: 控制理论与控制工程

论文提交日期: 2015 年 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

本文以飞艇为研究对象，在完成飞艇动力学建模过程中，除了考虑重力、浮力、推力对飞艇的作用外，重点分析了俄罗斯、美国以及加拿大体系下的气动力模型，比较了不同气动力结果的差异，进而讨论不同气动力成份对飞艇动态特性的影响。所进行的研究工作主要包括以下几个方面：

(1) 飞艇动力学模型的建立。本文基于空间运动的坐标系、坐标变换矩阵以及运动参数，推导了飞艇运动学方程和动力学方程，对飞艇受到的重力、浮力、推力等进行了分析和建模。

(2) 分析比较俄罗斯、美国、加拿大学者所采用的气动力估算方法。以俄罗斯现代飞艇技术一书中A-01飞艇作为研究对象，分析三种不同的气动力模型。根据俄罗斯飞艇动力学，将飞艇的气动力分为无粘性气动力和粘性气动力，无粘性气动力表达式采用 λ 的结果，粘性定常气动力表达式通过风洞实验得到。注意到不同国家所采用的坐标系不同，通过坐标变换的办法将气动力结果统一在美国坐标系下表示，得到了三种气动力表达式。比较结果表明，这些气动力模型均由粘性气动力的结果和无粘流气动力的结果融合而成，但在处理细节上有所差异。美国学者认为所有与角速度有关的非定常气动力均不存在；加拿大学者认为稳定力矩应该同时包含有粘流中的稳定力矩和无粘流中的Munk力矩；俄罗斯学者则认为有粘性气动力表达式中已包含无粘性中的相同非定常气动力项。文中对这些观点的合理性进行了进一步的讨论。根据以上三种气动力分析思路，得到了美国坐标系下三种不同的气动力结果，从而得到三种气动力模型下的飞艇六自由度动力学方程。

(3) 分析不同气动力成分对飞艇动态特性的影响。分别对三组不同气动力模型下的六自由度方程进行小扰动线性化。分别计算三组纵向和横向状态方程的特征根，采用模态分析法，比较不同气动力成分对飞艇运动模态稳定性的影响，进一步讨论不同气动力观点的合理性。同时也分析了飞艇横向和纵向运动特性的差异，探讨了飞艇结构对飞艇运动特性的影响。相对于俄罗斯气动力模型来说，美国气动力模型中没有考虑气动力关于各角速度的阻尼项，因此在纵向运动中，缺少阻尼项导致飞艇摆动模态无法收敛，说明气动力阻尼项对飞艇动态特性有重要影响。加拿大气动力参数模型中，考虑了各种气动力项，并且没有消去Munk力矩，Munk力矩减小了飞艇俯仰扰动运动，使纵向摆动模态和横向偏航、侧滑衰减模态更快趋于平衡状态。

以上分析表明，不同气动力模型对飞艇动态特性影响不一样，飞艇气动力的研究是建立飞艇动力学模型的重要环节，也是研究飞艇动态特性的基础，飞艇气动力模型的研究具有重要意义。

关键词：动力学方程； 非定常气动力； 线性化； 模态分析； 动态特性

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

This paper mainly introduces the existing aerodynamic parameter models of Russia, the United States, and Canada, in addition to considering the effect of gravity, buoyancy, thrust to the airship. The influence of different aerodynamic components on the dynamic characteristics are emphatically analyzed. The work mainly includes the following aspects:

Dynamics model is established. Based on the space coordinate system, the kinematics equations and dynamics equations are deduced. The gravity, buoyancy and thrust suffered by the airship are also analyzed and modeled in this paper.

Aerodynamic estimation methods adopted by the Russia, the United States and the Canada scholars are investigated and compared. The airship of A-01 is the research object. On the basis of the Russia's airship dynamics, viscous and non-viscous aerodynamic parts constitute the aerodynamic of airships. Non-viscous aerodynamic part is given by Lamb's research results, and the viscous aerodynamic part can be obtained by the detailed experiment data. Particularly, the non-viscous and the viscous parts can overlap. Kirilin think that Munk moment and some non-viscous aerodynamic forces achieved by Lamb's method should be eliminated. The coordinate system definition method of Russia is different with the United States, while it is the same with the Canada's. In order to facilitate comparison, the aerodynamic results of Russia's coordinates are transformed to coordinate system defined by the United States, and then the American aerodynamic results can be obtained, in which the Munk moment is eliminated, but damping terms related to the angular velocity are not be taken into account in the American aerodynamic parameter model. The Canada scholars Yuwenli considered all of the aerodynamics. However, he didn't remove the Munk moment.

The influence of different aerodynamic components on airship dynamic characteristics are discussed. The approximate linear models of three different systems are derived from the nonlinear dynamic model under the small perturbation assumption. The mode analysis method is proposed, and the motion modes of the airship are investigated. Relative to the Russia aerodynamic model, the American's aerodynamic results didn't contain damping terms, which lead that oscillation mode can't convergence. While the Canada aerodynamic model contain Munk moment, which reduced longitudinal disturbed motion of the airship.

The above analysis shows that, different aerodynamic model has different influence on the airship dynamic characteristic. The research on the airship aerodynamics

is an important part of setting up the airship dynamics model, as well as the foundation of dynamic characteristics research, which is of great significance.

Key Words: dynamical equation; unsteady aerodynamic; perturbation ; modal analysis; dynamic characteristics

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

摘要	I
第一章 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 国内外研究现状综述	2
1.2.1 飞艇气动力研究现状	3
1.2.2 飞艇动力学建模和运动特性研究现状	6
1.3 本文主要工作及论文结构	8
第二章 飞艇的动力学建模	9
2.1 坐标系及坐标转换	9
2.1.1 坐标系定义	9
2.1.2 坐标变换	10
2.2 飞艇空间运动方程	12
2.2.1 运动学方程	12
2.2.2 动力学方程	13
2.2.3 受力分析	15
2.3 本章小结	17

第三章 空气动力和空气动力矩	19
3.1 俄罗斯体系所采用的飞艇气动力模型	19
3.1.1 无粘性条件下的气动力（力矩）	19
3.1.2 有粘性条件下的气动力（力矩）	21
3.2 美国体系所采用的飞艇气动力模型	25
3.3 加拿大学者采用的飞艇气动力模型	31
3.4 飞艇总气动力（力矩）的分析	32
3.4.1 总气动力的分析	33
3.4.2 总气动力矩的分析	35
3.5 本章小结	37
第四章 飞艇动力学特性分析	39
4.1 小扰动线性化概论	39
4.2 运动方程解耦	42
4.2.1 基于俄罗斯气动力模型的线性化方程	43
4.2.2 基于美国气动力模型的线性化方程	48
4.2.3 基于加拿大气动力模型的线性化方程	52
4.3 飞艇运动稳定性分析	54
4.3.1 运动稳定性的概论	54
4.3.2 模态分析方法	55
4.4 本章小结	63

第五章 总结与展望	65
5.1 全文总结	65
5.2 工作展望	65
参考文献	67
攻读硕士期间发表的学术论文	70
致谢	71

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Contents

Abstract	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Significance	1
1.2 Research Actuality	2
1.2.1 Research Actuality of aerodynamics	3
1.2.2 Research situation of dynamic model and characteristics	6
1.3 Core Contribution of the Dissertation and Its Structure	8
Chapter 2 The dynamics model of the airship	9
2.1 Coordinate systems and transformations	9
2.1.1 The definition of the coordinate system	9
2.1.2 Coordinate transformations	10
2.2 Space motion equations	12
2.2.1 Kinematic equations	12
2.2.2 Dynamic equations	13
2.2.3 Force analysis	15
2.3 chapter conclusion	17
Chapter 3 Aerodynamic forces and torque	19
3.1 The airship aerodynamic model of Russia	19
3.1.1 Cohesionless aerodynamic	19
3.1.2 Sticky aerodynamic	21
3.2 The airship aerodynamic model adopted by American	25
3.3 The airship aerodynamic model of Canada	31
3.4 The total aerodynamic force and moment	32
3.4.1 Analysis of the total aerodynamic force	33
3.4.2 Analysis of the total aerodynamic moment	35
3.5 Chapter Summary	37

Chapter 4 Analysis of the airship dynamic characteristics	39
4.1 Linearization theory of small perturbation	39
4.2 The grouping of motion equations	42
4.2.1 the linear equations based on the Russian's aerodynamic model	43
4.2.2 the linear equations based on the American's aerodynamic model	48
4.2.3 the linear equations based on the Canada's aerodynamic model	52
4.3 The stability analysis of airship movement	54
4.3.1 Stability theory	54
4.3.2 Stability analysis	55
4.4 Chapter Summary	63
Chapter 5 Conclusion and Prospect	65
5.1 Conclusions	65
5.2 Prospects	65
Bibliography	67
Publications	70
Acknowledgements	71

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.