

固定翼紧密编队控制及应用

李顺

2020 年 3 月

中图分类号： TQ028.1

UDC分类号： 540

固定翼紧密编队控制及应用

作 者 姓 名	李顺
学 院 名 称	宇航学院
指 导 教 师	王佳楠教授
答辩委员会主席	王佳楠教授
申 请 学 位	工学学士
学 科 专 业	飞行器设计与工程
学位授予单位	北京理工大学
论文答辩日期	2020 年 3 月

Close Formation Control and Application of Fixed-wing UAVs

Candidate Name:	<u>Shun Li</u>
School or Department:	<u>School of Aerospace Engineering</u>
Faculty Mentor:	<u>Prof. JN Wang</u>
Chair, Thesis Committee:	<u>Prof. JN Wang</u>
Degree Applied:	<u>Bachelor of Engineering</u>
Major:	<u>Aircraft Design and Engineering</u>
Degree by:	<u>Beijing Institute of Technology</u>
The Date of Defence:	<u>03, 2020</u>

固定翼紧密编队控制及应用

北京理工大学

研究成果声明

本人郑重声明：所提交的学位论文是我本人在指导教师的指导下进行的研究工作获得的研究成果。尽我所知，文中除特别标注和致谢的地方外，学位论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京理工大学或其它教育机构的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的合作者对此研究工作所做的任何贡献均已在学位论文中作了明确的说明并表示了谢意。

特此申明。

作者签名：_____ 签字日期：_____

关于学位论文使用权的说明

本人完全了解北京理工大学有关保管、使用学位论文的规定，其中包括：①学校有权保管、并向有关部门送交学位论文的原件与复印件；②学校可以采用影印、缩印或其它复制手段复制并保存学位论文；③学校可允许学位论文被查阅或借阅；④学校可以学术交流为目的，复制赠送和交换学位论文；⑤学校可以公布学位论文的全部或部分内容（保密学位论文在解密后遵守此规定）。

作者签名：_____ 导师签名：_____

签字日期：_____ 签字日期：_____

摘要

本文主要的研究内容为固定翼无人机紧密编队控制器设计。该控制器考虑固定翼无人机内环的姿态驾驶仪的控制输入量，完成从编队误差量到姿态控制输入量的计算。初步设计完成之后，再从无人机的动力学模型出发，使用 MATLAB/Simulink 等数学仿真工具研究控制器设计的稳定性以及动态特性。其次选取合适的无人机飞行平台，飞行控制硬件并编写控制程序，完成飞行实验验证。完成编队控制器的参数参数整定之后，将实验的结果与仿真结果相对比，最后，使用改进后的编队控制器完成双机编队任务，研究编队过程中的空气动力效果问题，即研究此尺寸无人机编队群对提高整体飞行效率的作用。

关键词：固定翼无人机、编队控制器设计、紧密编队控制、编队空气动力学、飞行实验

Abstract

The main propose of this thesis is to design the close formation controller adapted to the inner-loop attitude controller of the fixed-wing UAV. The close formation controller plays role of translating the formation errors to the input of the inner loop attitude controller. After the preliminary design of the formation controller, the MATLAB/Simulink is used to test and verify the dynamic quality and stability. After that, the controller is rewrote to the algorithm running on the upper controller. The hardware of the controller and the UAV platform is well chosen to accomplish the formation experiment. During this period, the parameters are tuned in order to accomplish the optimal control effect. Finally, the double fixed-wing UAV formation is conducted to verify the effect of the flight efficiency produced by the close formation.

Key Words: fixed-wing UAV, formation controller design, close formation control, formation aerodynamic, flight experiment

主要符号对照表

BIT	北京理工大学的英文缩写
\LaTeX	一个很棒的排版系统
$\LaTeX 2_{\epsilon}$	一个很棒的排版系统的最新稳定版
X_{\LaTeX}	\LaTeX 的好兄弟，事实上他有很多个兄弟，但是这个兄弟对各种语言的支持能力都很强
ctex	成套的中文 \LaTeX 解决方案，由一帮天才们开发
H_2SO_4	硫酸
$e^{\pi i} + 1 = 0$	一个集自然界五大常数一体的炫酷方程
$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	一个昂贵的生成生命之源的方程式

目 录

摘要	I
Abstract	II
主要符号对照表	III
第 1 章 绪论	1
1.1 本论文研究的目的和意义	1
1.2 国内外研究现状及发展趋势	1
1.2.1 形状记忆聚氨酯的形状记忆机理	1
1.2.2 形状记忆聚氨酯的研究进展	2
1.2.3 水系聚氨酯及聚氨酯整理剂	2
结论	3
参考文献	4
附录 A ***	5
附录 B Maxwell Equations	6
攻读学位期间发表论文与研究成果清单	7
致谢	8
作者简介	9

插 图

图 1.1 热塑性形状记忆聚氨酯的形状记忆机理示意图	1
----------------------------------	---

表 格

表 1.1 水系聚氨酯分类	2
---------------------	---

第 1 章 绪论

1.1 本论文研究的目的和意义

近年来,随着人们生活水平的不断提高,人们越来越注重周围环境对身体健康的影响。作为服装是人们时时刻刻最贴近的环境,尤其是内衣,对人体健康有很大的影响。由于合时时刻刻最贴近的环境,尤其是内衣,对人体健康有很大的影响。由于合成纤维的衣着舒适性、手感性,天然纤维的发展又成为人们关注的一大热点。

... ..^[1-5]

1.2 国内外研究现状及发展趋势

1.2.1 形状记忆聚氨酯的形状记忆机理

形状记忆聚合物(SMP)是继形状记忆合金后在 80 年代发展起来的一种新型形状记忆材料^[6]。形状记忆高分子材料在常温范围内具有塑料的性质,即刚性、形状稳定恢复性;同时在一定温度下(所谓记忆温度下)具有橡胶的特性,主要表现为材料的可变形性和形变恢复性。即“记忆初始态 - 固定变形 - 恢复起始态”的循环。

固定相只有物理交联结构的聚氨酯称为热塑性 SMPU, 而有化学交联结构称为热固性 SMPU。热塑性和热固性形状记忆聚氨酯的形状记忆原理示意图如图 1.1 所示

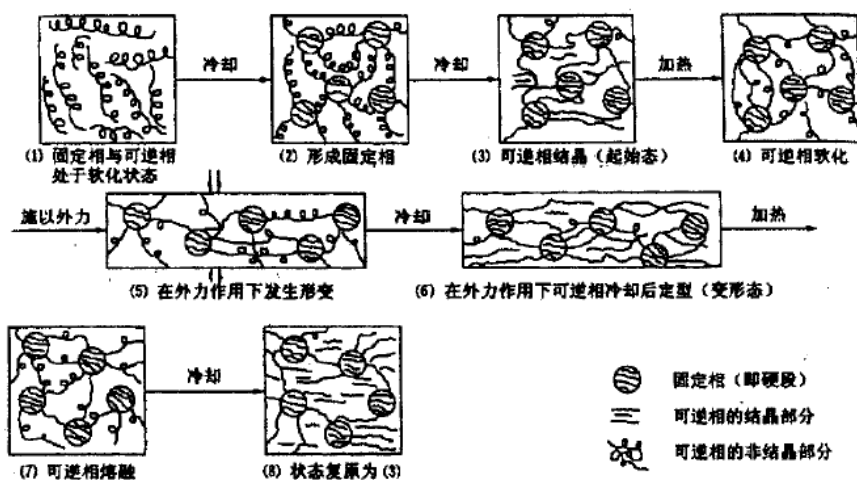


图 1.1 热塑性形状记忆聚氨酯的形状记忆机理示意图

表 1.1 水系聚氨酯分类

类别	水溶型	胶体分散型	乳液型
状态	溶解 ~ 胶束	分散	白浊
外观	水溶型	胶体分散型	乳液型
粒径 / μm	< 0.001	$0.001 - 0.1$	> 0.1
重均分子量	$1000 \sim 10000$	数千 ~ 20□	> 5000

1.2.2 形状记忆聚氨酯的研究进展

首例 SMPU 是日本 Mitsubishi 公司开发成功的……。

1.2.3 水系聚氨酯及聚氨酯整理剂

水系聚氨酯的形态对其流动性，成膜性及加工织物的性能有重要影响，一般分为三种类型^[6]，如表 1.1 所示。

由于它们对纤维织物的浸透性和亲和性不同，因此在纺织品染整加工中的用途也有差别，其中以水溶型和乳液型产品较为常用。另外，水系聚氨酯又有反应性和非反应性之分。虽然它们的共同特点是分子结构中不含异氰酸酯基，但前者是用封闭剂将异氰酸酯基暂时封闭，在纺织品整理时复出。相互交联反应形成三维网状结构而固着在织物表面。……

结论

本文采用……。 (结论作为学位论文正文的最后部分单独排写,但不加章号。结论是对整个论文主要结果的总结。在结论中应明确指出本研究的创新点,对其应用前景和社会、经济价值等加以预测和评价,并指出今后进一步在本研究方向进行研究工作的展望与设想。结论部分的撰写应简明扼要,突出创新性。)

参考文献

- [1] Takahashi T, Hayashi N, Hayashi S. Structure and properties of shape-memory polyurethane block copolymers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1996, 60(7): 1061–1069.
- [2] Xia M, Chen B, Gang Z, et al. Analysis of affective characteristics and evaluation of harmonious feeling of image based on 1/f fluctuation theory[C]. Developments in Applied Artificial Intelligence, International Conference on Industrial and Engineering, Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, Iea/aie 2002, Cairns, Australia, June 17-20, 2002, Proceedings. [S.l.: s.n.], 2002: 780–789.
- [3] 姜锡洲. 一种温热外敷药的制备方法[M]. [出版地不详: 出版者不详], 1989.
- [4] 毛峡. 情感工学破解”舒服”之谜[J]. 科技文萃, 2000(7): 157–158.
- [5] 冯西桥, 何树延. 核反应堆管道和压力容器的 lbb 分析[J]. 力学进展, 1998, 28(2): 198–217.
- [6] 姜敏, 彭少贤, 酆华兴. 形状记忆聚合物研究现状与发展[J]. 现代塑料加工应用, 2005, 17(2): 53–56.

附录 A ***

附录相关内容…

附录 B Maxwell Equations

因为在柱坐标系下， $\bar{\mu}$ 是对角的，所以 Maxwell 方程组中电场 \mathbf{E} 的旋度
所以 \mathbf{H} 的各个分量可以写为：

$$H_r = \frac{1}{\mathbf{i}\omega\mu_r} \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \theta} \quad (\text{B-1a})$$

$$H_\theta = -\frac{1}{\mathbf{i}\omega\mu_\theta} \frac{\partial E_z}{\partial r} \quad (\text{B-1b})$$

同样地，在柱坐标系下， $\bar{\epsilon}$ 是对角的，所以 Maxwell 方程组中磁场 \mathbf{H} 的旋度

$$\nabla \times \mathbf{H} = -\mathbf{i}\omega\mathbf{D} \quad (\text{B-2a})$$

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} \right] \hat{\mathbf{z}} = -\mathbf{i}\omega\bar{\epsilon}\mathbf{E} = -\mathbf{i}\omega\epsilon_z E_z \hat{\mathbf{z}} \quad (\text{B-2b})$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} = -\mathbf{i}\omega\epsilon_z E_z \quad (\text{B-2c})$$

由此我们可以得到关于 E_z 的波函数方程：

$$\frac{1}{\mu_\theta\epsilon_z} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{\mu_r\epsilon_z} \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \theta^2} + \omega^2 E_z = 0 \quad (\text{B-3})$$

攻读学位期间发表论文与研究成果清单

- [1] 高凌. 交联型与线形水性聚氨酯的形状记忆性能比较 [J]. 化工进展, 2006, 532 - 535. (核心期刊)

致谢

本论文的工作是在导师……。

作者简介

本人…。