

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 18220051301692

UDC_____

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

超声波涡街风速计的研究及理论分析

Research and Theoretical analysis of
Ultrasonic Vortex Anemometer

朱徐立

指导教师姓名: 林辉 副教授

专 业 名 称: 机械制造及其自动化

论文提交日期: 2008 年 6 月

论文答辩时间: 2008 年 6 月

学位授予日期: 2008 年 6 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

摘 要

风速的测量作为流速测量领域一个重要的部分，与人们的日常生产、生活已密不可分。古时候的中国人就利用风吹芦苇的弯曲程度以及随风飘扬的旗帜来估计风速的大小；现代科技的发展更促使其广泛地应用在航天航空、科研实验、现代农业及气象科学等重要的领域。

为了满足各个领域的使用要求，科技人员开发出了种类繁多、各具特色的风速仪表。根据测量的原理，风速计可分为转轮式（风杯式与旋桨式）、热敏式、热线式、超声式、皮托管式等五大类，数十个品种。其中，利用涡街发生体（Vortex Generator）产生旋涡原理制成的涡街风速计因具备测量范围大、无活动耗损部件，便于携带等优点获得了广泛的应用。

本课题的主要内容是开发一种具备新型涡街发生体的超声波风速计原型，改进在低雷诺数流场下的流体动力学性能，扩展量程下限，改进市场上现售涡街风速计测量低风速时性能不佳的弱点。

本论文主要囊括了以下研究工作：

1. 结合国内外涡街风速计的研究现状，提出了风速计研究的重点和需要改进的方面，设计了整体的方案。
2. 对涡街流场的稳定性进行理论推导，详细分析了涡街发生体的重要参数——斯特劳哈尔数 S_r 的作用。
3. 为了改进传统涡街发生体在低雷诺数下的性能不佳的缺点，笔者设计了一种新型涡街发生体。并根据流体力学的基本定律，从理论上分析证明了它的优点。
4. 采用 GAMBIT 前处理软件建立涡街流场模型，利用 FLUENT 软件对涡街流场进行数值仿真，比较了几种不同发生体产生的涡街流场，验证了理论分析的结论。
5. 风速计壳体、信号处理电路的设计与制作。
6. 进行试验，测试超声波涡街风速计的性能并获得相关参数。

关键词 涡街发生体；超声波；风速；FLUENT

ABSTRACT

As an important part of measuring fluent, measuring wind velocity has set a close relation with people's ordinary life. In ancient times, Chinese had made use of the reed and flag in wind to estimate wind velocity, and which has been applied widespread in the field of aerospace, scientific research, modern agriculture, meteorology and so on by the development of modern science and technology.

To meet the demand in every field, scientific research personnel has developed various and characteristic anemometers. According to the measuring principle, The instruments could be differentiate with Runner(Wind Cup and Rotary Paddle), Thermal, Hotline, Ultrasonic, Pitot tube, about decades of varieties, and the vortex anemometer, which was made through the principle of vortex generator, has been applied extensively because of much advantages, such as wide measuring range, without activities loss components, carrying easily and so on.

The major content of this article is about how to develop an ultrasonic anemometer with new vortex generator, improve the performance of low Reynolds number, expand the prescribed minimum of range, and conquer the disadvantages in measuring low wind velocity of the vortex anemometer on sale.

This article includes some researches as follows:

1. Combined with the current situation of vortex anemometer in domestic and abroad, to put forward some research points and something need to be improved , and then design a whole scheme.
2. Infer the stability of vortex flow in theory, and analyse in detail about the function of important parameter——Strouhal number S_r .
3. The author designs a new vortex generator in order to conquer the disadvantages in traditional one, whose performance was not well in low Reynolds number, at the same time, he prove the new production's advantages in theory according to the basic law in Hydrodynamics.
4. Set up a vortex flow model by use of the GAMBIT, and utilize the FLUENT to

make a numeral emulation, compare some different vortex flow, and finally, test the conclusion of theory analyse.

5. Research about how to design and manufacture the instrument's shell, the signal processing circuit.

6. Make an experiment, testing the performance and get some parameter based on the experiment.

Keywords: Vortex Generator; Ultrasonic; Wind velocity; FLUENT

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 涡街测速之简介	2
1.3 国内外研究现状	3
1.4 本课题来源、研究难点和主要内容	4
第二章 仪器总体设计	6
2.1 涡街风速计测量原理	6
2.2 传感器系统	7
2.3 总体方案设计	8
2.4 小结	9
第三章 流体力学分析及流场数值仿真	10
3.1 涡街流场分析	10
3.1.1 涡街形成和脱落机理	10
3.1.2 涡街稳定条件分析	10
3.1.3 斯特劳哈尔数 S_r 的流体力学含义	15
3.2 涡街发生体的基本结构	19
3.2.1 涡街发生体的基本要求	19
3.2.2 涡街发生体的几种形状	19
3.3 新型涡街发生体的设计及分析	20
3.3.1 常用涡街发生体	20
3.3.2 新型涡街发生体	21
3.3.3 新型涡街发生体流体力学性能分析	21
3.4 流场数值仿真方法概述	23
3.4.1 计算流体力学概述	23
3.4.2 流体动力学基本控制方程	25

3.5 流场仿真软件 FLUENT 简介	29
3.5.1 程序的结构	29
3.5.2 FLUENT 软件应用领域	30
3.5.3 FLUENT 求解问题的方法	31
3.5.4 FLUENT 求解步骤	32
3.6 涡街发生体的流场数值仿真	33
3.6.1 前处理——利用 GAMBIT 创建计算模型	33
3.6.2 FLUENT 求解过程	38
3.7 流场仿真结果及分析	45
3.8 小结	52
第四章 仪表结构设计	53
4.1 仪表结构的技术要求	53
4.2 结构的设计	53
4.3 试验用风速计壳体外观	53
4.4 小结	54
第五章 硬件电路设计	55
5.1 超声波传感器的介绍	55
5.1.1 超声波传感器的等效电路	56
5.1.2 超声波传感器的种类	57
5.1.3 本课题传感器的选用	58
5.2 仪表电路要求	58
5.3 电路设计	58
5.3.1 激励信号发生电路	59
5.3.2 接收、放大电路	61
5.3.3 检波器	63
5.3.4 功率放大器	65
5.3.5 滤波器	65
5.3.6 整形电路	67

5.3.7 计数处理、显示部分.....	68
5.4 小结	69
第六章 风速计的性能试验及数据分析.....	70
6.1 试验意义及目的	70
6.2 试验方法与步骤	70
6.3 试验数据及结果分析	72
6.4 小结	74
第七章 总结及展望	75
符号表	76
参考文献.....	77
硕士期间发表的学术论文.....	79
致 谢	80

Contents

Chaper I Introduction	1
1.1 Research background and significance	1
1.2 Vortex Introduction	2
1.3 Research on the status quo at home and abroad	3
1.4 The source of topics to study problems and main content	4
Chaper II Instrument Design	6
2.1 Vortex Anemometer measuring principle	6
2.2 Sensor System	7
2.3 Overall Design	8
2.4 Summary	9
Chaper III Fluid dynamics analysis and the flow simulation	10
3.1 Vortex flow analysis	10
3.1.1 Principle of vortex formation and shedding	10
3.1.2 Vortex conditions of stability	10
3.1.3 Strouhal number Sr meaning of the hydrodynamics	15
3.2 The basic structure of vortex generator	19
3.2.1 The basic requirements of vortex generator	19
3.2.2 Several shapes about vortex generator	19
3.3 Design and analysis of new type vortex generator	20
3.3.1 Common vortex generators	20
3.2.2 The new type vortex generator	21
3.3.3 Hydrodynamic performance analysis	21
3.4 Flow simulation methods outline	23
3.4.1 CFD Summary	23
3.4.2 Fluid Dynamics basic equations	25
3.5 Flow simulation software FLUENT Profile	29

3.5.1 Flow simulation software FLUENT Profile	29
3.5.2 FLUENT software applications	30
3.5.3 FLUENT to solve problems.....	31
3.5.4 FLUENT for steps.....	32
3.6 Flow numerical simulation of vortex generator	33
3.6.1 Pre-treatment——using GAMBIT to create models	33
3.6.2 FLUENT solving process	38
3.7 Flow simulation results and analysis.....	45
3.8 Summary.....	52
Chaper IV Instrument structure design.....	53
4.1 Technical requirements about Instrument structure.....	53
4.2 Structure design	53
4.3 Anemometer Shell appearance	53
4.4 Summary.....	54
Chaper V Hardware circuit design	55
5.1 Introduction about Ultrasonic sensors.....	55
5.1.1 Equivalent circuit of ultrasonic sensors	56
5.1.2 The type of ultrasonic sensors.....	57
5.1.3 Selection of sensors.....	58
5.2 Instrument circuit requirements	58
5.3 Circuit design	58
5.3.1 Encouraging signal circuit	59
5.3.2 Receiver, amplifier.....	61
5.3.3 Detector.....	63
5.3.4 PA.....	65
5.3.5 Filters	65
5.3.6 Plastic circuit.....	67
5.3.7 Counting and display	68

5.4 Summary.....	69
Chaper VI Anemometer performance tests and data analysis.....	70
6.1 Experimental significance and purposes	70
6.2 Test methods and procedures.....	70
6.3 Analysis of test data and results.....	72
6.4 Summary.....	74
Chaper VII Summary and Outlook.....	75
List of symbols	76
References.....	77
Publications.....	79
Acknowledgements.....	80

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

从古到今，与流体相关的重要物理量——流速、流量的测量都是人类文明的一种标志。其发展可追溯到古代的水利工程和城市供水系统：埃及人通过测量尼罗河的流量来预报年成的好坏；古罗马凯撒时代人们修渠引水，已采用孔板来测量流速。17世纪的托利拆利（Torricelli）奠定了差压式流速计的理论基础，这是流速测量的里程碑^[18]。当今世界，流速、流量仪表更是出现在工业生产、日常生活的每个角落，它与国民经济、工业生产、科学研究和环境保护息息相关。随着工业自动化的飞速发展，人们对流速、流量的测量要求也日益提高。

风速的测量作为流速测量领域一个重要的部分，与人们的日常生产、生活已密不可分。古时候的中国人就利用风吹芦苇的弯曲程度以及随风飘扬的旗帜来估计风速的大小；现代科技的发展更促使其广泛地应用在航天航空、科研实验、现代农业及气象科学等重要的领域。

现在人们对风速的测量要求越来越高，而风速的检测因被测对象的特性存在着一些困难：

- (1) 被测介质处于多方向的流动状态，为非定常流；
- (2) 被测介质状态（压力、温度）变化范围宽广；
- (3) 气流稳定性较差，对仪器仪表的反应速度、信号的瞬时捕捉能力提出了更高的要求；
- (4) 仪表校验设备庞大、复杂；
- (5) 高精度的仪表普遍存在价格偏高、结构复杂、维护困难等缺点。

人们在大量的生产实践中总结了千百种流速测量仪器的优点，提出了理想风速计的要求^[18]：

- (1) 检测仪表携带方便，可随意移动在任何地点测量，无需复杂繁琐的安装步骤；
- (2) 风速计的流速计算方程简单明确，可外推到未知领域而无需实流校验；
- (3) 抗干扰能力强，不易受到无用信号的干扰；

- (4) 输出信号不受流体介质物性的影响；
- (5) 能输出数字信号，便于远传抗干扰及与计算机联接；
- (6) 仪表重复性好；
- (7) 仪表测量范围宽，线性好；
- (8) 仪表可靠性高，维护简单，价格适中；
- (9) 用户免校验仪表或无需经常校验。

为了更多地具备以上这些要求，使仪表的性能更接近理想化，科技人员充分发挥聪明才智，开发出了种类繁多、各具特色的仪表。根据测量的原理，风速计可分为转轮式（风杯式与旋桨式）、热敏式、热线式、超声式、皮托管式等五大类^[36]，数十个品种。其中，利用涡街发生体（Vortex Generator）产生旋涡原理制成的涡街风速计因具备测量范围大、无活动耗损部件，便于携带等优点获得了广泛的应用。

1.2 涡街测速之简介

在自然界中，存在着许多流体振动的现象。例如旗帜在风中飘扬；野外架空的高压线在风中发出嗡嗡的声响；小溪流中的水草、禾苗、小树枝频频摆动等，这些都是流体振动现象的具体表现。古时候，人们就注意到风可以使拉紧的琴弦发出不同的声音。史书上就有在半夜里，挂在床头墙壁的古琴，被夜风吹得发出声响，把主人从梦中唤醒的记载^[3]。16 世纪中期，著名画家、科学家达·芬奇就在他的作品中描绘了插入水中钝体的后方出现的旋涡列。

世界上最早研究涡街现象的人是匈牙利物理学家斯特劳哈尔（Strouhal）。1878 年，他在实验中发现：在风的作用下，一根细弦发声的音调与风速成正比，而与弦丝的直径成反比^[3]。

1879 年，罗德·拉雷特（Lord-Rarleigh）发现：旋涡引起流体振动时，振动方向与流动方向相垂直；他还观察到：琴弦的固有音调与风对其作用的音调相吻合时，声响会骤然增大。

1908 年贝纳德（Benard）指出了圆柱体后方尾流的周期性与旋涡的形成和排列有关。

1912 年，德国物理学家冯·卡门（Von-Karman）在进行了大量实验观察的基

基础上,研究了涡街的稳定性,并发表了关于无限大均匀流场中涡街稳定条件的著名论文^[3]。从数学上证明了圆柱体下游形成涡街的稳定条件。卡门的这一结论为利用涡街测量流速、流量奠定了理论基础,因此,流体通过涡街发生体而产生的相互交错、规律的两列旋涡也被称为卡门涡街(Karman Vortex)。

涡街流速计就是依据流体力学中卡门涡街的分离频率与流体流速成正比的线性关系原理而设计的。其捕捉涡街分离频率的手段有多种多样,例如有热敏式、电容式、压电式、超声式、电磁式、光纤式等,基于不同检测元件的涡街流速仪表,它们是不同时期为解决特定问题而出现的。这些仪表都是利用不同的传感器检测出涡街频率信号,再通过一定的计算公式得出流速。

超声波被定义为频率超出人耳听力范围的声波信号,一般来说,超声波的频率高于 20000Hz。在各种检测方式中,超声波式捕捉涡街频率的方法以结构简单轻便、输出信号较强,成本低等优点在风速的测量上获得了人们的青睐。

超声波涡街风速计的主要特点有:

- (1) 测量精确度高,重复性好;
- (2) 测量范围(量程比)很宽;
- (3) 压损小,输出与流速成正比的脉冲信号,无零点漂移;
- (4) 重量轻,所占的空间与面积都少,可做成便携式的测量仪表;
- (5) 可精确测量脉动的气流;
- (6) 对大的压力变化不敏感,无压力损失,对气流中的小液滴、漂浮的固体颗粒不敏感;
- (7) 测量过程中气流通过距离要求很短;
- (8) 不受安装条件的影响,对测量现场的依赖性小,如速度分布的不对称,涡流及脉动均对测量基本无影响;
- (9) 风速计可实施干校(无须实流校验),这是仪表先进性的标志。

1.3 国内外研究现状

自 20 世纪 60 年代中期开始,美、欧各国和日本的科学家先后以不同的方式投入了涡街分离原理测量流速、流量仪表的研究。

1967 年,日本学者土屋喜一和山崎弘郎研究应用涡街原理测量圆管流量时,

就在圆管中垂直地放置一圆柱体,在圆柱体下游设置了可绕固定轴转动的金属小旗。流体流动时,涡街的作用使小旗左右摆动,以此检测旋涡信号,进行流速与流量的测量试验^[4]。

1969年,美国 Eastech 公司研制成功采用三角柱形状的涡街发生体的流量仪表,后来被日本 OVAL 公司引进^[5]。

这两种仪表,成为利用涡街原理测速之先导,在钢铁、石油、化工等行业获得应用,并且由此发展出各种各样用于不同被测介质、工作场合的仪器仪表。生产这些仪表的国外厂家大致有^{[6][7]}:

(美) 西屋公司 (Westing House)

(日) 北辰电机厂

(美) 伊斯特克公司 (Eastech)

(英) 肯特 (Kent) 公司

(美) Ficher&Porter 公司

(日) 横河研究所

(德) E+H 公司

在我国,涡街测速仪表的发展也令人瞩目。上世纪 70 年代初,重庆工业自动化仪表研究所、北京公用事业研究所率先投入到涡街流量计的研究开发。到 90 年代全国从事涡街仪表开发、生产的企业已有数十家。

应用在风速测量上的涡街风速计研发起步稍晚,国外企业上世纪 80 年代开始研制便携的风速计,90 年代实现了商品化;国内企业开发的同类产品市场占有率偏低,而目前市场上进口的手持式涡街风速计价格相当昂贵。

1.4 本课题来源、研究难点和主要内容

本课题是福建省重大专项的前期研究项目 (2005HZ1022)。

课题的难点有:

1. 涡街风速计的理论基础还很薄弱;
2. 对旋涡脱落的研究大多是在气体风洞即均匀流场中进行的,而涡街风速计应用于不定常流场,流场具有三维不均匀性,其涡街分离规律与均匀

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts 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.

厦门大学博硕士论文摘要库