第一章 绪论

第二章 浮式风力机水池模型试验

2.1 浮式风力机水池模型试验目的

2.2 浮式风力机水池模型试验主要影响因子

2.3 提高叶轮推力的方法

2.4 重新设计模型叶片方法

第三章 模型叶片翼型选择及翼型升阻力系数计算

3.1 模型叶片翼型

3.1.1 与原型机几何相似翼型

3.1.2 NACA 4412翼型

3.1.3 AG 04翼型

3.2 翼型的几何描述

3.3 翼型升阻力系数计算方法

3.3.1 2D RANS方法

3.3.2 计算域选择与分割操作

3.3.3缩尺比选择

3.3.4升阻力计算结果

第四章 叶片性能计算理论

4.1 BEM理论

4.2 GDW理论

4.3 FAST软件

4.4 MATLAB应用FAST软件

4.4.1 模式搜索法

4.4.2 MATLAB优化叶片

第五章 叶片设计结果对比与分析

5.1 叶片性能计算理论对比分析

5.2翼型对比分析

5.3 模型试验试验点选取

# 绪论

# 浮式风力机水池模型试验

近年随着陆地及近海风力发电的快速扩张，远离海岸线深海区域的丰富风资源得到人们关注。建立于此的浮式风力机噪音要求低，风力机分布也无需考虑视线遮挡问题，各式概念浮式风力机层出不穷，而浮式风力机的水池模型试验是概念机得到实际应用前必不可少一步。

## 浮式风力机水池模型试验目的

海上浮式风力机工作时需要一个相对稳定的基础。而浮式基础所受作用力来自两个方面：叶片传导过来的空气动力、浪和流对浮式基础的水动力。图2-1所示为Hywind海上浮式风力机，风力机水上部分受风力作用，水下部分则受浪和流作用。



图 2‑1 Hywind浮式风力机

Figure 2‑1 Hywind floating wind turbine

如今，凭借着计算机计算能力的大幅提升，以及流体力学的相关理论的发展，大型流体仿真软件正不断的完善优化，目前已经可以通过数值模拟方法较好模拟出海上浮式风力机的运动和受力情况。然而在工程界，专家和学者们普遍认为现阶段物理模型试验的结果比数值计算结果更加可靠，大部分公司和机构均以物理模型试验结果作为最终设计依据。因此新型浮式风力机从提出概念到实际建造过程必须要进行水池模型试验测试风力机[1]。

浮式风力机水池模型试验时，叶片部分和浮式基础部分需要满足不同的相似条件来预报其水动力学性能、空气动力学性能以及二者耦合所产生的运动响应。试验工况分为以下三种[2]：

#### 浮式基础固定试验工况

将浮式基础固定，测量风机在给定风速下的推力、扭矩及功率特性，验证风机模型在试验中所受到的风力是否符合要求，从而验证模型制作与模拟的准确性。

#### 静水试验工况

包括模型浮态的观测、模型单自由度运动衰减试验、系泊系统水平刚度试验和模型及其系泊系统单自由度运动衰减试验、模型的风作用力试验和模型的流作用力试验。其中，模型的风作用力试验用于测量浮式风力发电机在静水中运动响应。

#### 波浪试验工况

包括规则波试验和不规则波试验。模型在规则波中的试验主要是为了获得海上浮式风机在单纯波浪作用下和风浪联合作用下的运动和受力的频率响应函数，用于校验和分析不规则波中的试验结果。模型在不规则波中的试验是核心试验部分，目的是为了直接获得在真实海况下的水动力性能。试验内容包括五十年一遇的极限海况和工作状态海况、不同浪向及不同风、浪、流方向组合下的模型运动和受力状况。

## 叶片影响浮式风力机水池模型试验主要因子

外界风吹动叶片旋转时，产生一个方向在叶片盘内的叶轮转矩，和一个方向垂直于盘面的推力，以及叶片旋转产生的陀螺力矩。陀螺力矩可以明显抑制浮式基础的运动响应，并且陀螺力矩主要受叶片质量分布和叶片转速的影响，该力矩可以在试验时控制与原型机保持相似，而叶轮转矩及推力则不容易满足相似。叶轮转矩会通过塔筒传导至浮式基础，从而影响浮式基础在风浪中的运动响应。而产生的推力会直接影响浮式基础纵摇运动响应。以某6MW浮式风力机为例，在额定工况下，叶轮推力达到最大值，为891.7KN，此时叶轮扭矩为6163.6 KN∙m，叶轮中心距水平面为100m，若粗略以静水面为参考，推力对平台的影响比上扭矩的对平台影响为(891.7×100)/6163.6≈14.5倍。可见叶片产生的推力对平台的影响相比产生的转矩对平台的影响要大得多，形成了数量级的差距。对于叶轮推力和扭矩，保持两者同时与原型机相似十分困难。相关研究很少有设计模型叶片同时以推力和扭矩与原型机相似为设计目标[3]。因此本研究将聚焦于如何保持模型与原型机之间推力性能相似。

## 叶轮推力分析

### 模型叶轮推力小的原因

叶轮的推力由叶片产生，而叶片的推力主要来源于翼型的升力。翼型的升力系数与其所处的雷诺数息息相关，翼型所处雷诺数越大，翼型的升力系数越大，而阻力系数越小，也即体现出叶片产生的推力越大，阻力越小，叶轮性能更加优良。以本文所研究的某6MW浮式风力机为例，在缩尺比为1:54的Froude（付汝德）相似环境中，该原型风力机在额定工作环境下，叶片离轮毂中心70%长度处截面的雷诺数约为，而通过相似换算后的模型叶片，同样在额定工况，叶片70%长度截面处的雷诺数骤降至，原型机大约为模型机的400倍。如此巨大的雷诺数差异，导致原型与模型叶片表面的流场分布差异很大，体现出来的结果如上所述就是原型机叶片产生的升力大阻力小，而模型机叶片相对产生的升力小而阻力大。



图 2‑2 原型机叶片与模型机叶片70%处升力系数对比

Figure 2‑2 Comparison lift coefficient of 70% blade's radius between prototype and model blade



图 2‑3 原型机叶片与模型机叶片70%处阻力系数对比

Figure 2‑3 Comparison drag coefficient of 70% blade's radius between prototype and model blade

**参考文献**

[1] 盛振邦，肖龙飞. 深海海洋平台混合模型试验技术[J]. 上海造船. 2003(01): 12-14.

[2] 郭子伟，孟龙，赵永生，等. 海上浮式风机水池模型试验方法及其研究进展[J]. 中国海洋平台. 2016(06): 1-8.

[3] de Ridder E, Otto W, Zondervan G, et al. Development of a scaled-down floating wind turbine for offshore basin testing[Z]. American Society of Mechanical Engineers, 2014V9A.

**校对报告**

当前使用的样式是 [Advances in Atmospheric Sciences（大气科学进展）]

当前文档包含的题录共3条

有0条题录存在必填字段内容缺失的问题

所有题录的数据正常