

# Design of Seawater Rising System for Wind Turbine Installation Vessel

Zhenyan Chen<sup>1</sup> Minghua Zhou<sup>2</sup>

1. COSCO SHIPPING Shipyard(nantong) Co. Ltd., Nantong, Jiangsu, 226000, China

2. Nantong LanLing Technical School, Nantong, Jiangsu, 226000, China

## Abstract

The seawater rising system, as the source of seawater for the wind turbine installation vessel during the lifting state, is the sole water supply device for equipment cooling and fire-fighting water. It is particularly important for ensuring the normal operation of various equipment and fire safety of the vessel during the lifting working state. Due to the fact that the water in the operation area of wind turbine vessel is deeply affected by the location of the wind farm and the tides, wind turbine installation vessels have special requirements for the seawater lifting system that are different from those of conventional self-elevating offshore platforms. This article takes the seawater lifting system of the self-propelled and self-elevating wind turbine installation vessel as an example, focusing on elaborating the design scheme of the system, laying a foundation for the subsequent upgrade of related products.

## Keywords

Wind turbine installation vessel; Sea water rising system; Submersible pump; lifting test

# 风电安装船海水提升系统设计

陈桢龔<sup>1</sup> 周明华<sup>2</sup>

1. 南通中远海运船务工程有限公司, 中国·江苏 南通 226000

2. 南通蓝领技工学校, 中国·江苏 南通 226000

## 摘 要

海水提升系统作为风电安装船在提升状态下的海水来源, 是设备冷却和消防水的唯一供水装置, 对保证船舶在提升的工作状态各项设备的正常运转和消防安全显得尤为重要。由于风电船作业海域的水深受风电场的位置, 以及潮汐的影响, 使得风电安装船对海水提升系统有着不同于常规自升式海工平台的特殊要求。本文以自航自升式风电安装船的海水提升系统为例, 重点阐述了系统的设计方案, 为后续相关产品的升级奠定了基础。

## 关键词

风电安装船; 海水提升系统; 潜水泵; 提升试验

## 1 介绍

### 1.1 自航自升式风电安装船简介

海上风机安装基本都是由自升式起重平台和浮式起重船两类船舶完成的, 船舶可以具备自航能力也可以是非自航, 单独或联合采用何种方式安装取决于水深、起重能力和船舶的可用性。其中联合安装比较典型的方式是由平甲板驳船装载风机部件或者单桩拖到现场, 再由自升式平台或起重船从平板驳船上吊起部件完成安装或打桩。

随着风机的不断大型化以及离岸化, 起重能力和起重高度的限制以及海况的复杂化使得传统的起重安装船舶无法满足需求。在这种情况下, 出现了兼具自升式平台和浮式

船舶的优点, 专门为风机安装而设计与建造的自航自升式安装船。与之前的安装船舶相比, 自航自升式安装船具备了一定的航速和操纵性, 可以一次性运载更多的风机, 减少了对本地港口的依赖。船舶配备专门用于风机安装的大型吊车和打桩设备, 具有可以提供稳定工作平台的自升装置, 可以在相对恶劣的天气海况下工作, 且安装速度较快。

该型风车安装船装备有 4 根可升降的桩腿, 船舶达到工作区域后, 通过桩腿上的液压提升系统将船身抬离水面, 为风车的吊运和安装工作提供稳定的基础平台。风车安装船具有自升机构, 当桩腿下降至海底时, 安装船由桩腿底部的桩靴固定于海底(平台离开水面), 利用安装于平台上的主吊车吊装风力透平, 这样可减小环境条件的影响。完成作业后桩腿处于收起状态, 船处于自浮状态, 能通过自身的推进器航行, 并具有 DP 系统, 可以实现定位作业<sup>[1]</sup>。

**【作者简介】**陈桢龔(1982-), 男, 中国江苏靖江, 硕士, 工程师, 从事船舶与海洋工程研究。

## 1.2 工作范围

本文所述的海水提升装置改造工作范围涉及了包括系统方案设计、船体结构加强,相关设备采购、相关设备和管路系统布置、设备系统控制,以及设备安装和平台舾装设计等多项内容。

## 2 海水提升系统

### 2.1 设计方案背景

以往的自升式海工平台的海水提升系统通常采用齿轮齿条驱动的桩腿固定式潜水泵与硬管,或硬管式水塔方案。这两种形式的海水提升系统都有其自身的局限性。其中,桩腿固定式硬管与潜水泵的组合方案虽然具有结构简单牢固、可靠性好等方面的优点,但其只能用于桁架式桩腿结构,桩腿固定式潜水泵系统更适用于空气间隙相对固定的自升式钻井平台使用,对于空气间隙需要变化调节的自航自升式风电安装船不适用,并且无法保证海水对中央冷却的不间断供应<sup>[2]</sup>。

硬管式水塔的方案虽有成功的应用案例,但由于其有重量大、船体与水面的空气间隙不能太高等缺点和限制,加之需过多占用工作甲板面积,因而在重量控制极其严格,甲板空间寸地寸金的自航自升式风电安装船上使用该设计显得没有太大的意义。

系统设计方案:

针对上述两种海水提升系统存在的不足之处,我们根据风电安装船的整体舱室和设备布置的实际情况,采用了现在流行的潜水泵加软管和绞车的改造方案。并根据我们的实际情况做了相应的改进。

其系统简图如附图1所示。

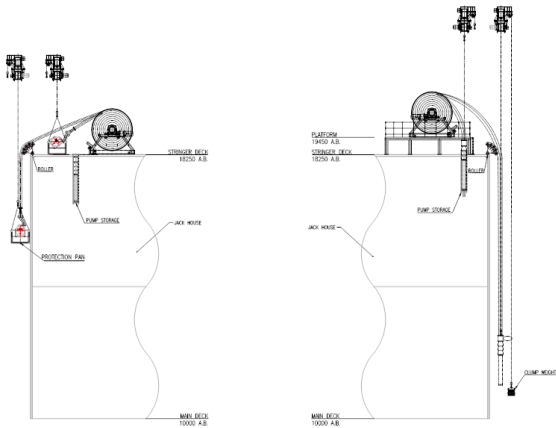


图1 海水提升系统示意图

### 2.2 海水提升系统安装位置说明

风电安装船的海水提升系统布置在艏部锚绞机平台上,从而避免了占用主甲板的使用面积。每一套的海水提升装置均由潜水泵、软管绞车、软管、提升小吊车和稳定配重块组成,并可以对深水泵和浅水提升泵进行安装组合<sup>[3]</sup>。

系统布置和工作条件如下:

风车安装船上有用于水泵升降作业的绞车,绞车安装

在工作平台上;船底到绞车的距离为18米。

潜水泵距水面的距离18.5米,潜水泵可深入水下5米左右;船底离水面间隙是17.5米;工作平台边与桩腿边的距离:1650mm

潜水泵电缆与绳索与桩腿边(或平台边)的距离:1650mm

桩腿尺寸:对角导向面距离为5010mm,呈八角形;长度为70.78m。

潜水泵形状(尺度)及重量:潜水泵为圆柱形,长度为3200mm。直径为165mm。水泵重量约500公斤

潜水泵上端水管尺寸:水管为两根柔性管,工作状态的直径约10cm,水管下端与水泵连接,与水泵一起悬挂下垂至海水中。悬挂水泵的绳索:钢丝绳(直径100x2股)

水泵安装示意图如图2所示。

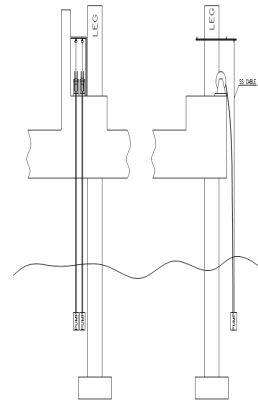


图2 水泵安装示意图

### 2.3 技术优势

与目前应用于同类海工项目的系统比较,该风电安装船海水提升系统改造后具有如下技术优势:

应用范围更广。

该系统可应用于2米到40米水深的风车安装船作业水域,只需要将其软管长度,吊车的起重能力和配重的重量进行适当的调整,便可以推广应用于自升式的海工类船舶和石油钻井平台。

成本低。

该系统均采用当前已有的成熟技术的设备和装置,并结合风车安装船的具体布置和使用情况,专门设计订制了小型专用旋转吊车机构。

结构坚固、抗风暴和其它恶劣气候条件能力强。

浅水工作时,由于潜水泵沉入并固定于海底,其抗风浪能力非常强。深水区域使用时,由于采用了钢丝绳重块导轨的设计,其抗风浪能力也远高于不带导轨的系统,从保证了系统工作的可靠性。经过计算和水池试验结果,该系统的工作波高与风速和船舶本身的各种工况相适应。另外,该系统还可以通过增加配重块的重量来达到抗击更大风速和浪高的目的,为此设计人员在订购旋转小吊车时就已保留了充足的余量<sup>[4]</sup>。

占用甲板空间小。

与传统的硬管水塔式系统相比,该海水提升系统未占用主甲板开敞空间,布置更方便灵活,从而最大限度地保证了开敞甲板的载货面积。

改造后的系统经多条风电安装船的实船试验和使用,各项指标和功能均被证实已达到设计要求,且设计方案也得到了船东方的好评,并得到多个船级社的认可。

### 3 海水提升系统改造方案水动力校核

#### 3.1 试验要求

该船安装的潜水泵,通过甲板上的滑轮,由缆索吊放入海水中,潜水泵的入水深度在5~6m左右。根据该船设计工况所遇到的海况条件,水深为40.0m,在船舶桩腿下降的生存工况,有义波高为5.4m、风速为36m/s(海平面以上10.0m),流速1.6kn;在提升作业工况,有义波高为2.0m、风速为21m/s(海平面以上10.0m),流速1.6kn。由于潜水泵用缆索吊放入水,潜水泵上的水管从泵上端接至船体甲板上,是一种柔性结构形式,在波浪及流、风的联合作用下,会发生摇动,泵体有可能与桩腿或船上的其他设备发生碰撞,产生不良后果。由于难以采用理论计算的方法计算潜水泵在自然荷载作用下的水下运动轨迹,也难以分析水泵对桩腿撞击的可能性及撞击力大小。为此,对潜水泵系统在波浪中的水动力性能进行物理模型试验,通过试验测量潜水泵在水下的运动轨迹及对桩腿的撞击力大小,为海水提升系统的改造提供技术依据<sup>[5]</sup>。

#### 3.2 试验原理

试验的相似准则及换算关系(砂箱底面直径,  $D = 17.29\text{ m}$ ):

几何相似—模型与实体对应的线性尺度比相同

流体动力相似—遵循重力及惯性力相似条件,要求模型与实体的傅汝德数相等

非定常流动相似—模型和实体的斯特哈尔数相等,

结构动力相似—主要指结构物的刚性(弹性)相似。

模型缩尺比,综合分析水文及自然荷载参数、船舶的尺度、测试设备条件及测量精度等,水泵水动力测量试验时,物理模型试验采用正态模型,选取模型缩尺比  $\lambda = 25$ 。撞击力测量试验时取模型缩尺比  $\lambda = 9$ 。试验在上海船舶运输科学研究所风、浪、流水池中进行,水池长×宽×深=90m×15m×2.0m。

试验分两个阶段进行,第一阶段进行波浪及风浪流组合作用下的试验,为较系统分析波浪参数对潜水泵系统运动的影响,分别进行规则波试验及不规则波试验。第二阶段进行撞击力测量试验,根据水中测量得到的水泵移动速度范围,制作略大比尺的水泵模型,根据摆锤原理,在空气中进行撞击力测量试验。

#### 3.3 试验结论

采用钢丝绳+重物的止荡装置,能较有效的减小水泵的摆幅,从而在风浪流联合作用的环境条件下,减小水泵对

桩腿的撞击次数及撞击力。

水泵的摆动主要是由于波浪的作用,波面水质点的轨圆运动周期性导致了水泵的周期性运动,其摆动周期与波浪周期接近。

水泵的最大漂移量主要产生于风及水流的作用。水泵上端的柔性水管,虽直径不大,但很长,风力作用面积大。同样,水泵虽不长,但柔性水管的水下部分较长,也导致收到的水流作用力大。

试验现象观察表明,当风浪流向,并垂直于船体纵向轴线时,由于水泵纵向位置距桩腿有一定距离,水泵摆动方向也基本上垂直于船体纵向轴线,撞击桩腿的可能性较小。当波浪垂直于船体纵向轴线,风顺着船体纵向轴线,由于水泵横向距桩腿也有一定距离,大部分情况,水泵被风吹至桩腿的另一侧外档,在此位置摆动,撞击桩腿的概率较小。当波浪于风的方向与船纵向轴线成 $45^\circ$ ,相对上述两种工况,水泵与桩腿发生撞击的概率增大,但也发觉,由于风流的作用,水泵常会贴在桩腿上,减小了对桩腿的撞击作用。

由于水下柔性水管受到的水作用力大及水面以上水管的受风面积大,水泵的入水深度,对减小水泵运动的影响不大。

### 4 该系统设计的关键技术及创新点

该系统设计具体的创新内容如下:

通过专用吊车外挂的重块来保证深水泵在风暴条件下的位置稳定,避免泵随水流和风浪摇摆而撞击桩腿的现象发生。

通过铰链结构的吊篮,保证浅水提升泵的位置稳定,并与海底形成有效工作距离,从而避免吸入过多的泥沙。

两舷的水泵可以实现互为备用,从而避免因一舷出现问题而无法连续取水的现象。

充分利用船体结构,成功地实现了专用吊车的布置安装和有效工作范围的全覆盖。

用导管架实现了海水软管悬挂于舷侧外部,避免了软管与船体直接接触造成二者间的磨损破坏。

为适应极浅水插桩要求,在系统里增加了海水除砂分离系统,从而以保证被提升的海水过滤清洁。

该风电安装船海水提升系统实现了在可变船体与水面空气间隙条件下均能有效可靠地提取海水的能力,从而保证了船舶上的各种设备和动力系统能够实现不间断正常运行,而且可以实现了整船抬升后进行预压载调节,同时也会后续项目及同类型船舶提供了较为有力的数据支撑及方案借鉴。

#### 参考文献

- [1] 王宪森.某非常规海况下新型海水提升系统选型设计[J].船舶工业工程科技 II 辑2024
- [2] 宫小康;杨飞飞;张磊.自升式平台海水提升系统的优化配置[J].船舶工程,2020(S1)
- [3] 王宪森;陈旭东;沈鼎盛;汪浩.一种海水提升装置[P].中国专利
- [4] 中国造船质量标准[S].2016
- [5] 海船系泊及航行试验通则[S].2011