# 塔筒翻转装置在北方第一个海上风电场上的首次应用

范士刚，叶建，刘碧玉

（中交三航（上海）新能源工程有限公司　上海　200137）

**摘要：**唐山乐亭菩提岛海上风电场 300 MW 示范工程是河北省重点建设项目，也是北方第一个海上风电场，风电场共 75 台西门子 4 MW 风机，中交第三航务工程局有限公司先后投入了“三航风华”、“三航工 5”、“港航平 9”等大型海上风电安装船。为了提高风机吊装施工效率，降低船机设备成本，设计研发了一种新型塔筒翻转装置，并首次应用于“港航平 9”自升式平台船上，取得了成功。文章着重分析探讨了塔筒翻转装置在北方第一个海上风电场上的应用方法与总结，为后续海上风电施工提供了借鉴与参考。

**关键词：**风机吊装；塔筒翻转；北方风电；应用方法

## 1　工程背景

唐山乐亭菩提岛海上风电场 300 MW 示范工程场址位于唐山市京唐港与曹妃甸港之间乐亭县海域，风电场场址中心距离岸线约 16 km，场址距离曹妃甸港约 27 km，风电场北段距岸线约 11 km，南侧距京唐港－天津新港航道约 6.8 km。本风电场水深约 7～28 m，风电场装机总容量为 300 MW，共安装 75 台单机容量为 4 MW 风机机组，风机轮毂高程 89 m，叶轮直径 130 m，采用三叶片、水平轴、上风向的结构型式。其中 36 台风机基础型式为高桩混凝土基础，其余 39 台为单桩基础。

目前，风机海上分体安装中，中段塔筒和上段塔筒在运输驳上均为水平放置运输，为满足风机吊装要求，需要把塔筒翻转 90°，使塔筒保持竖直状态。中交第三航务工程局有限公司设计研发了一种新型塔筒翻转装置（专利号：201721806420.4），该装置结构适用于外径 5 m 及 5.5 m 塔筒翻身，使用该装置可以在一台起重机的情况下实现塔筒 90° 翻转。

该项目于 2018 年 4 月 1 日投入风机安装平台船“港航平 9”，该船舶配有一台起重机。为满足风机海上分体安装要求，减少船机投入，乐亭项目部将塔筒翻转工装固定在“港航平 9” 甲板上。项目部于 2018 年 4 月 11 日对塔筒翻转装置进行了首次试验，试验结果良好，可满足施工要求，后将该翻转工装应用于“塔筒吊装”工序中。

## 2　翻转工装简介

### 2.1　翻转工装结构

风机塔筒翻转装置如图 1 所示。主要由①调节座、②塔筒托架、③耳板座、④固定轴和⑤底座组成。

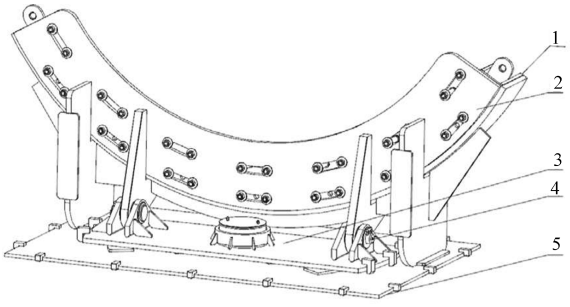


图 1　塔筒翻转工装结构

①调节座：使用螺栓固定于②风机托架圆弧面上，仅用于外径 5 m 塔筒。

②塔筒托架：在塔筒运输时，通过螺栓与塔筒一端连接。

③耳板座：与②塔筒托架形成铰接，还用于调节船体波动对翻转塔筒的影响。

④固定轴：当风机塔筒另一端被抬起后，①和

序②随塔筒一起绕④固定轴旋转，从而实现塔筒的翻转。

⑤底座：通过卡板固定于风电安装船甲板上。

该翻转工装可承重量为 120 t，乐亭项目部中塔和顶塔的重量都约为 100 t，因此满足施工要求。

### 2.2 翻转工装使用原理

塔筒翻转装置用于进行中段、上段塔筒翻身。塔筒翻转原理如图 2，图 2(a)为落驳后的水平搁置和运输支承状态，图 2(b)为使用单吊机的翻转状态，图 2(c)为翻转 90°后的竖直放置状态。图 2 中：1 为风机塔筒，2 为塔筒翻转装置，3 为搁架，4 为吊钩。2 中设有旋转装置，使用吊钩带动风机塔筒绕转轴旋转，实现塔筒的翻转。

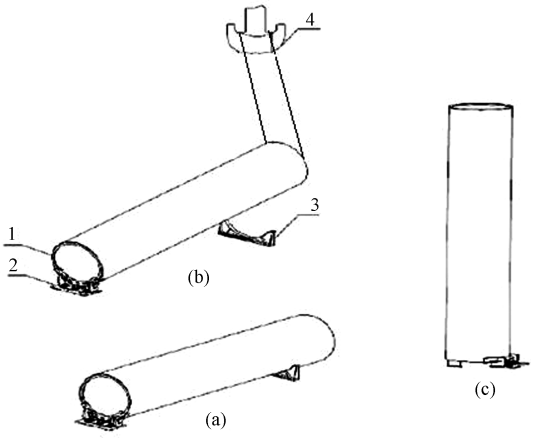


图 2 塔筒翻身示意图

### 2.3 连接方式

外径 5 m 塔筒翻身时，与翻转工装内圈螺栓连接(图 3)。图 3 中：1 为螺栓 M36×120 mm；2 为螺母 M36；3 为垫圈；4 为尼龙套Ⅱ，壁厚 7 mm；5 为螺栓 M36×240 mm，安装数量不少于 14 个；6 为调节座；7 为毛毡Ⅰ。

外径 5.5 m 塔筒翻身时，与翻转工装外圈螺栓连接(图 4)。图 4 中：1 为毛毡Ⅱ；2 为螺母 M36；3 为垫圈；4 为尼龙套Ⅰ，壁厚 4 mm；5 为螺栓 M36×240 mm，安装数量不少于 14 个。

## 3 应用方案

### 3.1 塔筒倒驳

采用此种翻身方案，需在平台船甲板上翻身，平台船甲板稳定，确保翻身安全。倒驳采用 2 根

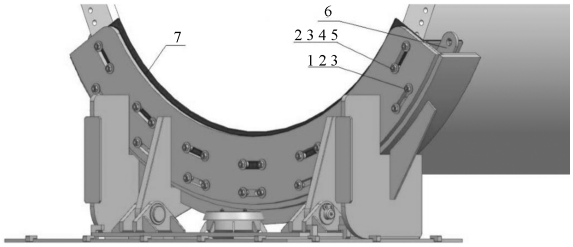


图 3 外径 5 m 上/中塔筒与翻转工装连接

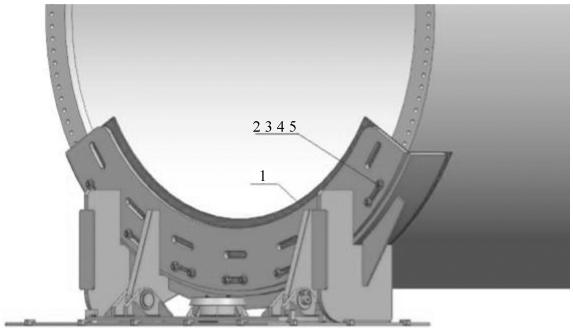


图 4 外径 5.5 m 上/中塔筒与翻转工装连接

40 t/25 m 吊带进行兜吊，上端采用 100 t 平衡梁及 150 t 卸扣连接 40 t 吊带(图 5)，倒驳时，吊带与竖直线夹角不超过 5°，防止起吊过程中吊带产生滑移。倒驳后将塔筒底端安装在翻身工装上，采用 M36 高强螺栓连接。对接的过程中，如果存在对接困难，采用手拉葫芦对翻身工装进行微调，确保螺栓对接准确。同时调整好塔筒上端搁置的枕木高度，确保下套吊装角度准确。

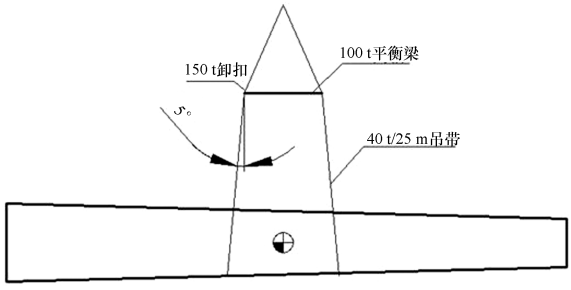


图 5 塔筒倒驳

塔筒倒驳时，需根据确定好的塔筒重心位置，进行吊带位置的调整，吊带相对重心位置对称布置，钩头与重心在一条垂线上。起吊时要慢，两名起重指挥观察塔筒移动趋向，如果塔筒两端吊带不能同时起升受力，则需适当调整位置，确定好之后

用米尺量出位置记录好，后续倒驳过程中按此执行。

塔筒倒驳时，需在两端法兰上设置缆风绳，确保塔筒升高过程中不碰撞运输船。同时应在塔筒两端分别设置 1 名起重指挥。

平衡梁长度为 5 m。平衡梁通过 2 个 120 t 卸扣与 2 根 40 t/25 m 吊带连接，2 根吊带对塔筒进行兜吊，每根吊带双用，则吊装时总吊装能力为 40 t×4＝160 t，中段塔筒最重为 99 t，满足吊装要求。

### 3.2 塔筒翻身

中段塔筒采用主钩进行翻身，顶段塔筒采用副钩进行翻身。翻身时，主吊先循环进行起钩→旋转→涨杆动作，后循环进行起钩→旋转→趴杆动作，通过微调慢慢将塔筒立直。翻转装置在平台上的布置详见图 6。

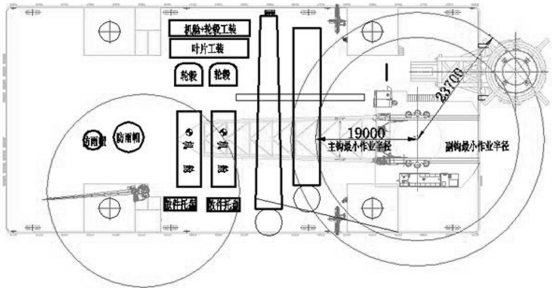


图 6 平台船甲板布置

## 4 应用实例

截至 2018 年 7 月 12 日，“港航平 9”共完成 6 台风机安装，均运用了翻转工装进行塔筒翻身，翻转工装施工工艺已趋于成熟。

### 4.1 首次应用实例

2018 年 4 月 11 日，首次应用塔筒翻转装置完成了中塔翻身。当日早 10:00，进行翻身前的各项准备，10:10 开始翻身当中塔翻转至 45°时，时间是 10:35，翻身进行到一半。11:00 中塔翻身至 90°，翻身试验成功完成，共用时 50 min。

### 4.2 出现的问题及解决办法

(1)塔筒翻身至接近 90°时，由于塔筒重心转移，塔筒因自重向大于 90°方向继续旋转，吊钩钢丝绳出现轻微晃动，对翻转工装调节座产生一定冲击力，存在安装隐患。改进措施：①对调节座进行改进，增加缓冲装置；②加强起重指挥与吊机司机之间的沟通，在塔筒翻身接近 90°时，吊钩缓慢上升，吊重首先达塔筒总重的 80%左右，防止立直后塔筒底端发生晃动，造成人员危险。保持塔筒重心与吊钩垂直，吊钩再次缓慢上升，至吊重达塔筒重量，将塔筒吊离翻转装置。

(2)塔筒翻身用时较长，施工班组人员对本装置不够熟悉。改进措施：不定期对施工班组人员进行交底，随着后续施工过程中施工班组人员对本装置及施工工艺的熟练，将提高施工效率。

(3)起重指挥与吊机司机配合不熟练，造成塔筒底部法兰油漆破损。改进措施：翻身过程中人员应加强观察，起重指挥与吊机司机应熟练配合，确保吊机钩头、钢丝绳与塔筒顶端在一条垂线上，从而避免塔筒底端法兰受损或工装受损。

(4)使用过程中未重视翻转工装的维护保养。改进措施：首次使用时，应按使用手册要求加注黄油，并在后续施工中加强维护保养。

## 5 工效、成本分析

### 5.1 工效分析

根据表 1 可得，随着风机安装机位数量增加，施工班组人员对施工工艺的熟练，出现问题并改进，塔筒翻身用时逐渐稳定在 20 min 左右。施工效率满足预期要求，保证了风机安装过程的顺利进行。

**表 1 “港航平 9”风机安装塔筒翻身用时统计**

| 序号 | 机位 | 中塔翻身用时/min | 顶塔翻身用时/min |
|---|---|---|---|
| 1 | 39# | 50 | 55 |
| 2 | 22# | 38 | 35 |
| 3 | 16# | 26 | 30 |
| 4 | 24# | 21 | 23 |
| 5 | 23# | 20 | 22 |
| 6 | 58# | 18 | 20 |

### 5.2 成本分析

“港航平 9”风机安装平台船配有一台起重机，单钩不能满足中塔、顶塔筒翻身要求。以往的施工工艺为配置一艘起重船舶辅助塔筒翻身，船机利用率不高，造成资源的浪费。

目前乐亭项目部用时 3 个月完成风机安装数量为 28 台，剩余 47 台未安装。项目部投入 2 艘风机

安装平台船，如“港航平 9”安装剩余风机数量的一半，每月安装数量 4 台，将需要施工 6 个月，“港航平 9”于 2018 年 4 月初进场施工，因此总计施工时间为 9 个月。

租赁一艘辅助起重船舶费用约 80 万元（人民币）/月，如租赁起重船舶项目部将支付租金总计 720 万元。现应用塔筒翻转工装，取消了辅助起重船机设备的投入，节约了成本，提高了船机利用率。

## 6 应用总结

在乐亭项目部 3 个月以来的风机安装作业中，新研发的翻转工装在塔筒翻身过程中发挥了重要作用，该装置的应用取得了成功。应用该装置，保证了施工效率，节约了船机成本。项目部后续将持续跟踪、记录施工过程，观察本装置的使用情况，发现问题并逐步改进，确保本装置的使用稳定性。