

坞内水上船舶倾斜角度安装起重机方法研究

刘聪, 练博强, 陈景庚, 赵登海, 陈祥荣

(中船黄埔文冲船舶有限公司造船事业三部技术工法部, 广东 广州 511462)

摘要: 随着海上风机单机容量的提升, 叶片直径扩大, 风机塔筒、发电机组重量增加, 对风电安装平台配置的起重性能要求更高, 风电安装平台配重的起重机主要有液压式和纯电式, 与液压式相比纯电式起重机更加环保, 维护成本低, 但建造过程中容易受到船厂起重能力的制约。本文介绍一种坞内水上安装带角度大型起重机的新安装方法, 将装载起重机的运输船拖带至船坞, 通过船坞定位小车倾斜平台适应起重机的安装角度, 利用 900t 龙门吊起水吊装起重机, 解决了租赁大吨位浮吊成本高的难题, 为类似船型大型设备安装提供新思路。

关键词: 纯电式起重机; 船坞; 倾斜船体

中图分类号: U66

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 10—0100—03

1 前言

在近两年开发的上海风电项目中, 欧洲海上风电 6 兆瓦以上机组占据主流, 6 兆瓦以上的机型占到 80%, 国内海上风电机组以 4 兆瓦为主, 6 兆瓦以上机组在逐渐增多。随着海上风机单机容量的提升, 叶片直径扩大, 风机塔筒、发电机组重量增加, 对风电安装平台配重的起重机起升重量、起升高度、吊装幅度等要求更高。风电安装平台配重的绕桩吊分液压式和纯电式, 安装方式略有不同。比如“海龙兴业号”、“正力 800”、“精钢 1 号”风电安装平台配置的均为液压式绕桩吊, 液压式绕桩吊回转总成安装时可不考虑安装角度, 龙门吊吊装回转总成后待法兰面螺栓预紧后通过外界液压泵组将回转总成旋转至臂架安装角度, 之后吊装臂架。

“华祥龙”及“三峡 2000t 风电安装平台”配置的均为纯电式起重机, 纯电式起重机无法通过外界液压泵组将回转总成旋转至零位, 厂内临时电源功率和频率无法满足回转总成旋转需求, 回转总成在吊装时必须按臂架角度安装, 其他船厂一般在主船体下水后租赁大型浮吊通过浮吊移动倾斜指定角度吊装回转总成和臂架, 使回转总成安装时满足零位要求。

为广州打捞局建造的 1200t 风电安装平台配置的 1200t 纯电式起重机回转总成(回转平台和 A 支架)重量为 820t, 超出 600t 龙门吊起水能力, 为节约大吨位浮吊租赁费用, 黄埔文冲龙穴厂区利用清坞槛的时机, 将风电平台和运输船均拖带至船坞, 通过船坞定位小车和卷扬机精准倾斜风电平台, 利用 900t 龙门吊起水安装起重机, 与码头采用大型浮吊吊装相比安装效率更高且成本更低。

2 坞内水上吊装策划

为解决广州打捞局风电安装平台 1200t 纯电式起重机的起水和安装难题, 集思广益, 多次讨论后形成两种起水安装方案:

方案一: 1200t 风电安装平台水平船台滚装下水后租赁 1600t 以上浮吊吊装回转总成及臂架, 安装时间预计 4 天, 浮吊租赁费用预估需要 300 万元。选型浮吊需满足以下指标: 起升重量 820t 时起升高度需 $\geq 85\text{m}$, 浮吊幅度需 $\geq 20\text{m}$; 起升重量 450t 时起升高度需 $\geq 45\text{m}$, 浮吊幅度需 $\geq 40\text{m}$ 。

方案二: 利用 2020 年第一坞次挖泥船清坞槛的契机型平台进坞通过 6 台 20t 卷扬机和 2 台引船小车来倾斜平台, 全站仪测量配合将船体精准倾斜 18.8° , 振华重工装载起重机的运输船在坞门打开后准时进坞, 重量为 820t 的回转总成由 900t 龙门吊起水后直接安装, 安装时间预计 2-3 天, 平台在挖泥船清坞槛结束前出坞, 可节省 300 万元大型浮吊租赁费用。

但方案二能否顺利实施面临 1200t 起重机回转总成吊装钢丝绳角度过大、平台如何精准倾斜 18.8° 、运输船到厂时间与出坞节点匹配等方面的难题。

3 坞内水上吊装技术难点攻克

3.1 回转总成吊装钢丝绳角度过大难点攻克

“华祥龙”1200t 起重机为振华重工建造, 与华南船机的起重机回转平台和 A 支架分开供货方式不同, 本平台 1200t 起重机回转平台和 A 支架整体供货, 重量达 820t。A 支架顶部的 4 个吊码(吊码间距 8m)吊装时最高位置距路轨 67.6m, 900t 龙门吊 1# 吊钩极限距路轨

73.6m，即如果使用龙门吊吊排吊装 1200 吨起重机回转平台和 A 支架，吊排和吊索具总长度仅剩 6m 的高度，而龙门吊吊排及吊索具最短距离为 13m（吊排自身高度 3.5m）且吊装时钢丝绳角度较大（接近 60°，吊排销轴间距 4.5m）。为解决上述技术难题，将厂内长 9m 宽 0.7m 高 1.2m 的双腹板工字梁通过增加两侧封板的形式改造成 500t 吊梁，降低改造费用，500t 吊梁共设 4 个 250t 吊点，外侧吊点间距 8m，内侧吊点间距 5m，既能解决吊高空间有限的问题，又使钢丝绳受力角度尽量垂直。

按照 API 规范，吊耳结构以及与吊耳连接的结构强度校核需要考虑 1.5 倍的安全系数，所有结构的强度校核需满足 1.15 倍的安全系数。

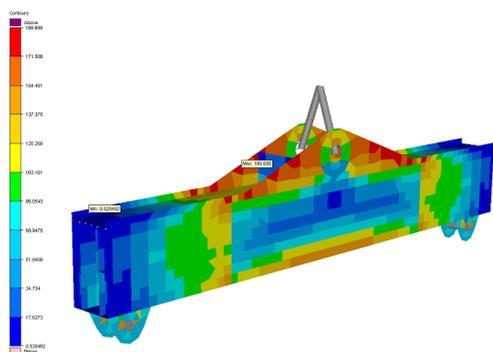


图 1 双腹板工字梁改造设计方案有限元分析结果

表 1 500t 吊梁各工况最大应力值

工况	材料属性	最大等效应力 (MPa)	许用应力 (MPa)	利用率	结论
1.15 倍基本 载荷工况	Grade A 结构	103.26	164.3	63%	满足要求
	AH36 结构	145.06	248.2	58%	满足要求
1.5 倍基本载 荷工况	Grade A 结构	134.24	164.3	80%	满足要求
	AH36 结构	188.69	248.2	76%	满足要求
吊耳结构	AH36 结构	188.69	248.2	76%	满足要求

有限元分析结果显示，500 吨吊梁工装吊装结构强度分析中，所有结构强度均能满足规范要求。



图 2 500t 吊梁工装 575t 负载试验 (1.15 倍)



图 3 安装 1200t 起重机回转平台和 A 支架

500t 吊梁不仅能吊装 1200t 起重机回转平台和 A 支架，也可吊装圆柱式桩腿（采用内侧 5m 吊点），600t/900t 龙门吊吊排维护期间又能使用该吊梁工装作为临时吊排吊装分总段，降低吊排维护对生产进度的影响，实现一种工装多种用途。

3.2 平台精准倾斜 18.8° 难点攻克

1200t 起重机臂架安装角度与平台长度方向夹角为 18.8°，在平台主甲板上布置 3 台 20t 卷扬机，见图 4，平台船艏东侧的 20t 卷扬机和 400kN 引船小车收缆，平台船艏西侧的 20t 卷扬机放缆，6 台 20t 卷扬机和 2 台 400kN 引船小车每台均布置 3 名以上起重人员观察缆绳收紧情况，各司其职，及时收放缆绳，避免缆绳因受力过大出现断裂。

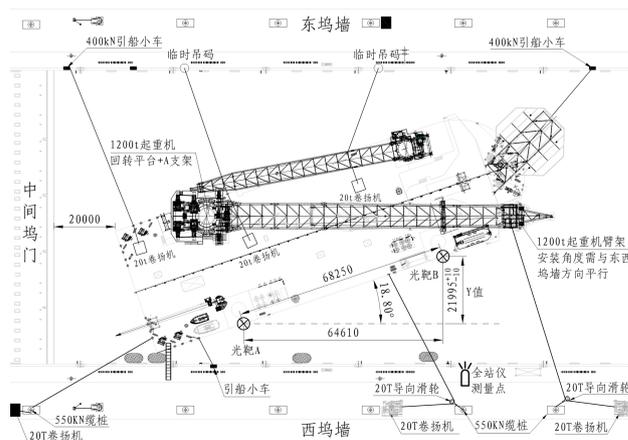


图 4 平台坞内倾斜 18.8° 精度测量图

在平台右舷固桩室相同高度贴 2 个光靶，2 个光靶间距 68250mm，Y 值为 2 个光靶平行于船坞宽度方向的数值（理论值为 21995mm），平台倾斜角度接近 18° 时，加大全站仪测量频率，根据每次停顿卷扬机的收放钢丝绳量程和 Y 值变化的趋势使起重人员和测量人员默契配合，最终使 Y 值达到 21995 ± 10mm，回转平台角度偏差 ≤ 0.01°。

4 生产准备及方案执行

“华祥龙”配置了2台起重机，分别为350t/1200t起重机，振华重工一船供货，为压缩平台进坞时间，充分利用600t、900t两台龙门吊，合理安排吊装顺序，组织各部门对多种吊装顺序进行逐个推演，每个工序的作业时间精确到小时，24小时无缝衔接，编制两台龙门吊并行作业的作业计划，见表2，并严格落实各项吊装前的准备工作。为减少设备运输船舶滞留，运输船根据出坞时间提前4天发货，既不产生运输船滞留费也不增加平台进坞周期。

表2 平台进坞600t/900t龙门吊吊装计划表

序号	主要工作内容	吊装件重量及外形尺寸	日期	开始时间	结束时间	周期(小时)	吊车
1	平台进坞靠西坞墙带缆搭上落梯		16日	4:00	8:00	4小时	32吨门吊
2	运输船进坞靠西坞墙带缆	运输船长152m, 宽33m, 吃水5m	16日	6:00	8:00	2小时	32吨门吊
3	平台调整角度18.8°		16日	8:00	12:00	4小时	
4	1200吨起重机回转总成吊装及预紧	820t, 约18.5m*17m*36.3m	16日	12:00	4:00	16小时	900吨
6	350吨起重机回转总成吊装及预紧	310t, 约15.9m*11.3m*25.3m	16日	12:00	18:00	6小时	600吨
5	350吨起重机臂架吊装, 安装销轴	102t, 约68.8m*5.8m*7m	16日	18:00	2:00	8小时	600吨
7	吊钩、钢丝绳等起重机附件起水	50t/44t	16日	2:00	4:00	2小时	600吨
8	压载调整		16日	12:00		全程持续	
9	1200吨起重机臂架安装, 安装销轴	450t, 约107.6m*8.7m*12.6m	17日	4:00	16:00	12小时	600吨+900吨
10	桩腿44B接桩		17日	16:00	06:00	14小时	600吨
11	桩腿42B接桩		17日	16:00	06:00	14小时	900吨
12	平台出坞		18日	08:00	10:00		
13	关坞门, 抽水清坞		18日	10:00	12:00		



图5 平台坞内水上精准倾斜18.8度安装起重机现场照片

黄埔文冲龙穴厂区首次尝试坞内水上由900t龙门吊起水820t回转总成(包吊排重量880t),在坞内通过6台20t卷扬机和2台引船小车来倾斜平台,全站仪测量

配合将船体精准倾斜18.8°安装1200t起重机,见图5。现场实施时1200t起重机回转总成的螺栓孔与基座法兰面螺栓孔一一对应,定位销安装非常顺利高效,回转总成从吊装到全部的螺栓开始预紧仅用时2小时。回转总成螺栓全部预紧后吊装臂架,臂架与搁架位置吻合。

5 总结归纳

与其他船厂在主船体下水后由大型浮吊通过浮吊移动倾斜指定角度吊装回转总成和臂架相比本文介绍的坞内水上安装纯电式起重机的方法,利用出坞节点,将装载起重机的运输船拖带至船坞,利用坞边引船小车和卷扬机倾斜风电安装平台,利用900T龙门吊起水吊装起重机,安装效率更高且成本更低。

坞内水上安装纯电式起重机的成功实施,是黄埔文冲龙穴厂区多个部门大胆创新、小心求证、紧密配合、协同奋进的结果,达到了降本增效的目的,也为后续的“三峡2000t风电安装平台”及类似船型大型设备安装提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 罗顶瑞, 朱兆华. 大型吊装组织设计与方案实例分析 [M]. 化学工业出版社. 2008.
- [2] 中国建筑业协会石化建设分会等. 大型设备吊装工程使用手册 [M]. 中国建筑工业出版社. 2012.
- [3] 大型设备吊装技术 [M]. 石油工业出版社. 2012.
- [4] 姚震球, 韩强. 海上风机吊装运输船及其吊装方式的研究概况 [J]. 船舶, 2011, 22(2): 55-61.
- [5] 毛善荣. 特大型设备整体吊装项目的组织和管理 [J]. 石油化工建设, 2008, 30(2): 18-42.
- [6] 应长春主编. 《船舶工艺技术》. 上海交通大学出版社.
- [7] 船舶与海上设施起重设备规范 [S]. 中国船级社, 2007.
- [8] 朱大林. 起重机械设计 [M]. 华中科技大学出版社, 2014.