

某 2 000 t 自升式风电安装平台起重机的设计与建造

朱秋东, 刘奔浪

(南通振华重型装备制造有限公司, 江苏 南通 226017)

摘 要:文章对某 2 000 t 自升式风电安装平台的起重机特点进行了分析,阐述了其性能参数,设计了该型起重机吊具系统,并提出了起重机制作相关要求,为此类复杂起重平台的设计和建造积累了经验。

关键词:起重机;回转机构;臂架;包容节点

中图分类号:TH21

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2017)02-0056-04

0 引言

目前,海上风电管桩打桩安装对起重机的回转及起吊能力有了更高的要求,因此合理超前的设计也是市场和业主的需求。某 2 000 t 自升式风电安装平台的起重机为全回转重型起重机,连接臂架的回转机构布置在船艏的两根桩腿之间,是集海上打桩、吊重运输、工程安装和风电场维护多功能于一体的综合性工作平台。同其他风电安装船起重机相比,该起重机臂架结构复杂,回转机构安装精度要求高,能有效改善作业状态,提高起重能力及起吊高度,扩大起重作业覆盖范围。^[1]优质有效的建造和焊接工艺是起重机满足设计和安装要求的基本保障。本文首先对该型起重机的特点进行分析,对起重机吊具系统进行设计,并明确了起重机制作工艺及相关要求,以供参考。

1 起重机的特点

该起重机采用双主钩、单副钩的配置,另外索具钩、稳货绞车、变幅均可同时工作,设有主钩起升、副钩起升、变幅和索具、回转等工作机构。起重机放置状态为臂架倾斜向下。相关参数为:起重机基座直径为 11.6 m;臂架绞点距甲板面为 36 m;臂架长度——主钩吊点至绞点为 95 m,副钩吊点至绞点为 100.5 m,主吊钩左右距离为 0.4 m;艏部回转半径不超过 13 m。具体技术性能如表 1 所示。

表 1 起重机技术性能表

性能		单位	主钩	副钩	变幅	索具钩 *1	稳货 *3	旋转
起重能力	顶升:横倾 1°,纵倾 1°	t	2 000	500	/	10(载人 3)	10	2 000
	浮态:横倾 3°,纵倾 2°		800					800
起升高度(甲板上/甲板下)		m	120/20	127/20				/
机构速度 (卷筒最外层)	满载	m/min	0-1.6	0-9.5	0-15min	0-32	0-32	0.10r/min
	空载		0-4.3	0-19	(水平至最小幅度)	0-64	0-64	0.20 r/min
电机功率		kW	600kW*2	500kW*2	500kW*2	75kW	75kW*3	37.5kW*6
钢丝绳直径		mm	62	46	62	30	30	

该起重机额定起重能力为 2 000 t,由船舶主电站提供动力电源。起重机的设计与制造依据中国船级社《船舶与海上设施起重机规范》(2007 版),并参照国内大型起重机实际作业情况,按海上重型起重机进行。臂架采用包容式节点,可降低疲劳应力,具有高可靠性。起重机端部采用可张开滑轮组,张角大,不磨损轮槽,

收稿日期:2017-01-25

作者简介:朱秋东(1979—),男,江苏江阴人,南通振华重型装备制造有限公司工程师。

适合平吊长大构件,同时可直接翻桩。^[2]起重机所有的绞车和回转机构均采用交流变频驱动和控制,可以实现灵活地操纵。

2 起重机吊具系统的设计

2.1 主钩起吊能力计算

根据设计参数,计算出钢丝绳的拉力和安全系数。以钢丝绳直径 $\varphi 62\text{ mm}$ 为例,破断拉力 $T_{br}=350\text{ t}$,单重 19.4 kg/m 。滑轮效率(船舶与海上设施起重设备规范) $\eta=0.98$,钢丝绳的倍率 $m=3$,导向滑轮数量 $n=3$,到每只钩头的钢丝绳根数 $N=1$,计算得出缠绕系统的效率 $\eta_b=0.80$;单只钩头重量 $G_h=54\text{ t}$,钢丝绳重量 $G_r=42\text{ t}$,每只钩下起重量 $Q=1\,500\text{ t}$,计算得出钢丝绳的静拉力 $S_{\max}=111.24\text{ t}$;下放时钢丝绳拉力 $S=69.26\text{ t}$,下放时卷筒最大扭矩 $M_d=60\,323.6\text{ N}\cdot\text{m}$,下放时电机最大扭矩 $M_m=2\,171\,949\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

根据臂幅与回转角度,主钩在顶升和浮态两种状态下吊载能力不同,主钩与副钩吊载在不同起吊角度下的幅度、起升高度和吊载能力如表 2 所示。

表 2 主、副钩能力参数表

			主钩吊载				副钩吊载			
臂架 角度	幅度 (m)	起升高度 (m)	平台顶升		浮态艏吊	浮态回转	平台顶升		浮态回转	
			横倾 1.0°		横倾 1.5°	横倾 3.0°	横倾 1.0°		横倾 3.0°	
			纵倾 1.0°		纵倾 1.0°	纵倾 2.0°	纵倾 1.0°		纵倾 2.0°	
			双钩吊载 (t)	单钩吊载 (t)	双钩吊载 (t)	双钩吊载 (t)	幅度 (m)	起升高度 (m)	吊载 (t)	吊载 (t)
82.46	18	120	2 000	1 500	1 500	800	22.1	127	500	500
75.07	30	117	1 550	1 200	1 500	600	34.7	124	500	450
65.39	45	111	820	710	660	210	50.3	117	500	180
58.47	55	106	560	530	450	70	60.6	110	500	60
50.95	65	98	380	360	300		70.9	102	350	
42.44	75	88	250	240	200		81.1	91	220	
32.09	85	74	150	140	110		91.1	76	140	

2.2 吊钩选择

主钩吊钩为 1 500 t 山字形吊钩 2 个,允许单钩满载 1 500 t 作业;副钩选用 500 t 山字形钩 1 个。在实际使用过程中,根据载荷大小选择不同的吊钩进行作业。

2.3 回转机构

本起重机回转机构的回转范围为全回转,起重能力为 2 000 t,带载回转速度为 0–0.10 r/min,空载回转速度为 0–0.20 r/min。回转底座直径螺栓孔中心距为 11.6 m,总输出扭矩为 18 742 kNm。开式齿轮模数为 32 个,大齿轮齿数为 384 个,小齿轮齿数为 19 个,大小齿轮变位系数均为+0.5,传动比为 20.21。齿轮啮合,齿面接触半点,其要求为:按齿高方向不小于 40 %,按齿长方向不小于 50 %,齿侧间隙为 3.096–3.596 mm。回转支承装置需添加润滑脂,各活动关节应灵活转动。

3 起重机制作工艺

3.1 回转机构与臂架的连接

起重机是由回转机构与臂架绞点连接而成,主尺度为 113 m*16 m,重量约 2 143 t。在起重机工作过程中,臂架围绕回转机构中心旋转,回转机构与起重机基座由法兰螺栓连接,因此回转平台法兰精度要求极高,建造难度较大。^[3]

3.2 回转基座的焊接与加工

起重机回转机构基座与支架为法兰螺栓链接,决定了其法兰焊接和加工的高要求、高精度。考虑到法兰直径较大,平面度较难控制,本起重机回转法兰采用分 8 段下料,拼圆焊接,内外径各加放 10 mm 余量,厚度加放 15 mm 余量。将各分段法兰平面度校正在 1/1 000 mm 以内,采用对称焊接,每道焊缝首次双面焊填 1/3,

通过两次翻身实现焊接,在平面胎架与内膜胎架的共同辅助下完成法兰拼装焊接,在焊接过程中监测法兰椭圆度和平面度变化,拼焊成型后矫正整体平面度。为避免后续螺栓孔开在拼版缝及肘板位置,配孔画线时以拼缝为基准划出十字中心线并用洋冲标记,根据图纸要求划出对螺栓开孔及结构筋板安装线。

回转结构焊接成型后,对绞点耳板进行整体机加工。对法兰面进行平面加工,平面加工后参照开孔要求进行现场配钻,钻孔位置根据划线定位,配孔时检查是否有板缝或肘板相互干涉。整体机加工前需将内部工艺支撑临时拆除,加工完毕前必须再将工艺支撑回复。加工精度要求内外径椭圆度 $\leq \pm 3\text{ mm}$,平面度 $\leq 0.3\text{ mm}$ 。

3.3 臂架制作工艺要求

(1)臂架中部划分。本起重机臂架采用包容式节点焊接,主要对臂架中部分五段进行制作,臂架中部第一、二、三、四段从侧片制作到立体成型均整体制作,合拢口卡码固定,待第一、二段和第三、四段分别立体成型完成后再合拢成整体;臂架中部第五段与臂架根部结构一起制作;臂架中部第六段单独制作,待臂架总拼时合拢。

(2)臂架中部结构制作工艺流程。首先,对主管及包容节点进行来料检验,确认长度、外径、直线度等尺寸是否满足精度要求,要求包容节点加工时留有十字中心线及敲出洋冲点。在主管拼接过程时确认端部余量,在余量修割和装配过程中要有确保主管长度、直线度满足技术要求。在主管上成型胎架前,划出臂架中部成型地样线,以地样线为基准定位内侧桁架,控制内侧桁架直线度、水平度,确保内部桁架安装后主管直线度、外形尺寸与地样线偏差满足公差要求。在整体完成装配后,测量相关尺寸满足精度要求后开始焊接。

(3)主管拼接和包容节点定位。主管与包容节点来料确认满足要求后,在主管表面划出包容节点安装定位基准线。以包容节点表面机加工时点出的十字中心基准点对合主管表面划出基准线,来定位包容节点(注意包容式节点的6种形式及对应位置)。包容节点与主管定位焊固定,焊接节点如图1所示。包容节点定位焊接完成后需要进行尺寸检查,合格后方可进入下道工序。

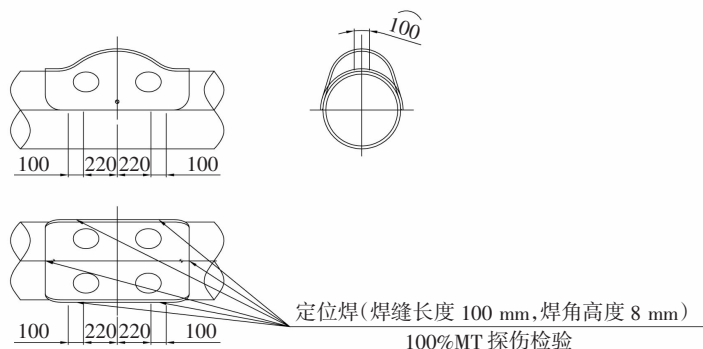


图1 包容节点定位焊示意图

(4)包容节点的焊接。臂架包容节点的焊接采用手工电弧焊或气体保护焊,焊接材料牌号为CHE58-1,焊丝GFL-71Ni,焊条在焊前需经 350°C – 420°C 烘焙一至两个小时,并保温使用。焊条使用中不能受潮,如果已经受潮,将被禁止使用,以保证焊接的质量。臂架的构件在焊前应根据结构图上的具体要求开制坡口,包容节点焊接区在焊前要预热 155°C – 210°C ,焊接时层间温度不得低于预热温度,焊后要立即用保温材料保温冷却。焊接坡口及两侧30 mm范围内应打磨干净,不得有铁锈、油污、毛刺、水分等杂质;臂架焊接时应由双数焊工同时进行对称焊接,焊接速度应尽量均匀一致,焊接过程应安排质检人员对焊接参数进行监控,同时测量臂架精度,若有异常情况,应立即采用适当工艺,及时调整焊接程序或焊接速度予以解决,以保证焊接的质量与精度满足相关要求。

(5)精度要求。臂架中部结构精度要求如表3所示。从表3可知,臂架中部结构制作主要分为主管来料检验、主管对接、内外侧桁架制作、立体成型、中部分段等五个步骤,每个步骤中均提出了相关参数的精度要求,如长度、直线度、水平度、开档尺寸、对角线尺寸等。

表 3 臂架中部结构精度要求

序号	步骤	精度要求
1	主管来料检验	长度: $\geq 120\,000\text{ mm}$ (除取样管外) 外径: 508 mm 直线度: $\leq 1.5\text{ mm/m}$, 全长直线度 $\leq 5\text{ mm}$
2	主管对接	直线度: $\leq 1.5\text{ mm/m}$, 全长直线度 $\leq 5\text{ mm}$ (自由状态) 错边: $\leq 1\text{ mm}$
3	内外侧桁架制作	地样线开档偏差: $\leq 0.5\text{ mm}$ 直线度: $\leq 1.5\text{ mm/m}$, 全长直线度 $\leq 5\text{ mm}$ (0° 和 90° 方向) 两侧主管水平: $\leq 3\text{ mm}$
4	立体成型	直线度: $\leq 1.5\text{ mm/m}$, 全长直线度 $\leq 5\text{ mm}$ 水平度: $\leq 1.5\text{ mm/m}$, 全长水平度 $\leq 5\text{ mm}$ 与地样线偏差: $\leq 0.5\text{ mm}$ 开档尺寸: $3\,500\pm 1.5\text{ mm}$ 对角线尺寸: $4\,950\pm 3\text{ mm}$
5	中部分段	直线度: $\leq 1.5\text{ mm/m}$, 全长直线度 $\leq 5\text{ mm}$ 水平度: $\leq 1.5\text{ mm/m}$, 全长水平度 $\leq 5\text{ mm}$ 与地样线偏差: $\leq 0.5\text{ mm}$ 开档尺寸: $3\,500\pm 1.5\text{ mm}$ 对角线尺寸: $4\,950\pm 3\text{ mm}$

4 结束语

某 2 000 t 风电安装平台起重机的设计和建造, 解决了大型打桩起重船在设计和建造过程中所面临的难点, 使得其各项功能计算数据均超过目前市场同类船舶类似起重机的能力, 获得了船东和船级社验船师的高度评价, 同时, 进一步提升了我国行业内复杂起重机的设计和建造水平, 为后续此类起重平台的设计和建造积累了宝贵经验。

参考文献:

[1]张应力.臂架式起重机安全技术[M].北京:中国石化出版社,2008.
[2]付荣柏.起重机钢结构制造工艺(第三版)[M].北京:中国铁道出版社,2010.
[3]朱大林.起重机械设计[M].武汉:华中科技大学出版社,2014.

Design and Construction of a Hoist of 2 000T Self-elevating Wind Power Installation Platform

ZHU Qiu-dong, LIU Ben-lang
(Nantong Zhenhua Heavy Equipment and Manufacturing Co., Ltd, Nantong 226017, China)

Abstract: This article analyses the features of a hoist of 2000T self-elevating wind power installation platform, elaborates its functional parameters, designs the hoist rigging system of its type, and comes up with relevant hoist manufacturing requirements, which accumulates experience for the design and construction of such complex lifting platforms.
Key words: Hoist; Rotary structure; Boom; Subsumption node