

大型海上升压站上部模块高效、快捷制造技术

莫 鹏

南通振华重型装备制造有限公司 江苏 南通 226000

摘要：海上风电场离岸较远时，为了减小传输时的电能损耗，均需要建造海上升压站将风机输出电压升压后通过海缆送至陆上集控中心。由此可以看出海上升压站是整个风电场的核心，是海上风电并网过程中至关重要的一环。海上升压站上部结构不是单纯的钢结构，上部结构内部布置较多特定功能的重要设备，且涉及多个专业施工。

关键词：升压站；模块；高效；建造

引言

欧洲在2000年以后开始建设了一批离岸较大的海上升压站，发展至今已形成了三代海上升压站，相关制造技术比较成熟。国内海上风电场发展迅速，从2014年至今已完工了5座海上升压站。中国国内从山东鲁能升压站项目开始进入海上升压站市场，中广核是国内第二个海上升压站项目，目前已完工的大唐滨海海上升压站是国内的第五座升压站。

与国外比较，国内海上升压站市场仅仅是起步阶段，相关建造技术，工法还在探索，尚不成熟。由于国内外海上升压站建造周期、施工环境、基础设施的不同，导致国内项目不能照搬硬套国外项目的制造经验。通过中广核、华能海上升压站项目积累的建造经验，在大唐海上升压站项目上优化及完善，最终为了研究出一种高效、快捷的海上升压站制造技术。

1 项目简介

风电发展“十三五”规划指出，到2020年，风电累计并网装机容量达2.1亿千瓦以上，其中海上风电并网装机容量达到500万千瓦以上。十三五期间风电新增装机容量8000万千瓦以上，其中海上风电新增容量400万千瓦以上。“十三五”规划促进了近几年国内海上风电行业的发展，较多海上风电场并网发电的节点越来越远。

海上风电场离岸较远时，为了减小传输时的电能损耗，均需要建造海上升压站将风机输出电压升压后通过海缆送至陆上集控中心。由此可以看出海上升压站是整个风电场的核心，是海上风电并网过程中至关重要的一环。在此背景下，国内海上升压站普遍存在项目多、时间紧、任务重、要求高等问题。

“大唐滨海海上升压站上部结构”是目前国内建造的最大升压站上部结构项目，此项目在建造过程中存在工期紧、工作量大、建造要求高等难题。通过对该项目的建造技术研究，

超短周期项目需要各部门共同组织，相互配合，通过多方面共同努力解决建造难题。需制定合理的制造工艺方案明确建造流程，保证相关工序间的紧密衔接，缩短建造时间。

大型设备进舱需要结合建造时间，调整进仓顺序，尽量保证在结构封顶前进舱，避免后续结构开工工艺孔或结构补装的时间损耗及工作量的增加。

升压站上部结构精度控制方案尤其重要，结构后续与下部导管架连接，不仅要保证两者的匹配性，还要保证其主柱开档尺寸等必须满足设计要求。实际建造中需通过一定的措施进行过程控制。

2 海上升压站上部结构建造的重点及难点

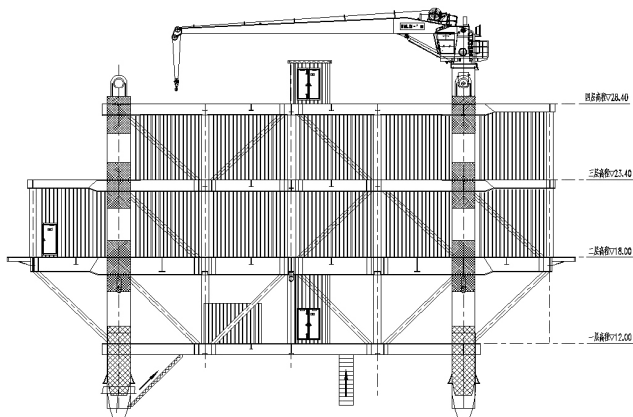
海上升压站上部结构不是单纯的钢结构，上部结构内部布置较多特定功能的重要设备，且涉及多个专业施工。其结构建造有如下难点：

- 1) 升压站上部结构外形尺寸较大，无法在车间内整体建造；
- 2) 各层铺板结构焊接量大，且容易变形，影响后续设备安装精度；
- 3) 大型设备需在结构制造过程中选择适当时机安装，结构完成后安装难度、安装成本都会大大提高；
- 4) 升压站上部结构分段后重心偏移较多，结构转运、吊装难度较大；
- 5) 与下部导管架对接主柱开档要求较高，受装配误差、焊接收缩等因素影响，上述尺寸要求较难保证；

3 海上升压站上部结构建造的总思路

大唐滨海海上升压站上部结构为四层钢结构房体，结构总高度约25m，最大截面尺寸43.2m×33.6m，结构总重达3200t。上部结构上下层之间通过立柱、次柱、斜撑进行支撑，并通过舱壁板分隔成各个功能区域。一层结构相对简单，无特定功能区域；二层最为重要，布置有主变室、GIS室、水泵房、开关室、配电室等；三层布置

有柴油机房、通风机房、蓄电池室等；四层（顶层）布有一些室外天线和1台悬臂吊。



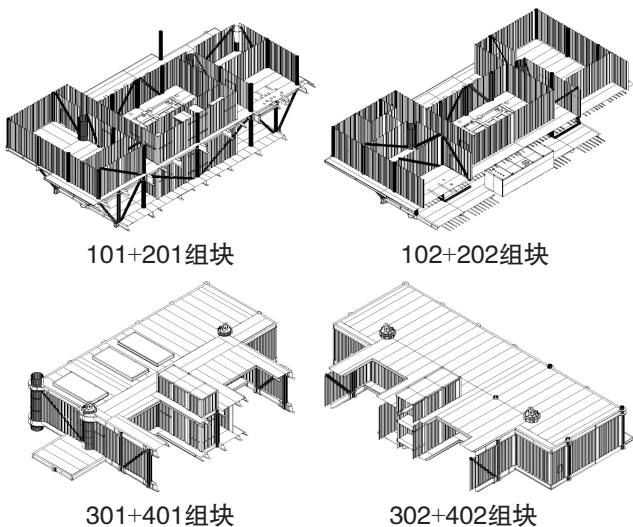
海上升压站上部结构的建造思路是通过合理的建造工艺流程安排及技术措施，使得各工序顺利展开，各工序间的相互影响要降到最低，从而在有限的工期内，高效、快捷地完成项目建造。

4 技术思路及创新

4.1 上部结构分段划分

钢结构制造企业一般尽量将结构制作放在车间内进行，原因在于车间内设备齐全，施工环境好，且受天气影响小，能有满足正常的施工周期需要。

大唐升压站上部模块1~4层最大截面尺寸为43.2m×33.6m，根据公司基地生产能力（结构车间门宽37m，冲砂油漆车间门宽24m），各层无法在车间内做成整体。鉴于外场施工无法保证施工周期，所以我们确定对结构进行分段划分，划分后的分段外形减小，能进出各车间，方便施工，至少缩短半个月以上的生产周期。具体分段划分见下图。



4.2 上部结构组块化建造方案

海上升压站上部结构按照常规钢结构建造思路，各甲板层分段车间内分别建造成型后到外场自下而上依次进行安装。这种建造方式的优点在于各工序依次施工，分工明确，交叉作业较少；缺点是不能满足本项目工期要求。

本项目实际施工时将上部模块钢结构分为4个组块在车间制作，转运至外场后将一二层组块合拢，三四层组块合拢，形成一二层，三四层两个大组块，最后大合拢做成整体。此方案优点是能将工作面铺开，各组块能平行施工，减少了工序间的等待时间。

4.3 大型设备进舱方案

海上升压站由于其功能需要，布置了较多大型设备，如：GIS、主变及散热器、柴油机、除湿机、不锈钢水箱、接地变及电阻柜等。具体方案为：

一、二层分段组块合拢，上口未封闭状态下安装。101+201组块、102+202组块合拢时，结构各尺寸已基本已确定，二层GIS、主变、不锈钢水箱、接地变及电阻柜可以直接从二层上部敞口吊入。

三、四层分段组块合拢时，上口已封闭（除预留设备检修口）。其中三层柴油机可以从顶层设备检修口吊入，除湿机必须从门孔进入。由于除湿机外形尺寸比外侧门孔大，所以必须增大外侧门孔尺寸，具体措施为不安装门框，预留局部舱壁板暂不安装。

4.4 主柱精度控制技术

海上升压站上部结构最主要的尺寸控制点为4根主柱的开档尺寸及对角线。因为海上安装时，4根主柱要插入下部导管架基础，尺寸偏差大会影响上下结构的对接。

上部结构特点为主柱贯通上下两块节点板，主柱开档尺寸可以转化为节点板中心距。为了对结构焊接收缩进行补偿调整，我们对节点板内圆单边各放了20mm的调整余量。分段结构焊后根据图纸理论开档尺寸修割节点板内圆余量，然后将主立柱插入进行焊接。

由于一二层、三四层的主柱根据结构分段要求也是断开的，主柱平面尺寸控制的同时，也要控制上下主柱对接时的错边量。所以主柱精度控制时要求上层主柱在下层主柱装配或焊后进行施工，上层主柱根据下层主柱实际尺寸进行调整。

4.5 分段车间正造

海上升压站上部分段结构与船体分段相似，这样的结构反造是首选。因为反造能将背部加强肋仰焊作业转化为横焊或平焊作业，能降低施工难度。但是反造后续要求翻身，然后安装层间支撑及舱壁，由于分段尺寸比较大，车间高度不够，必须将分段转运至外场进行翻身。转运及

外场翻身作业每个分段至少2~3天时间,完成所有翻身至少需要半个月。反造在本项目中已失去了优势。

为了满足项目工期需要,我基地提出了分段车间正造的方案。正造方案与反造比较,主要有以下几点优势:

1) 受设计供图影响较小,铺板、舱壁能在分段制作后期安装;

2) 铺板施工完成后不需翻身即可安装层间支撑和舱壁,消除了翻身操作过程中结构变形的潜在风险。

4.6 分段转运

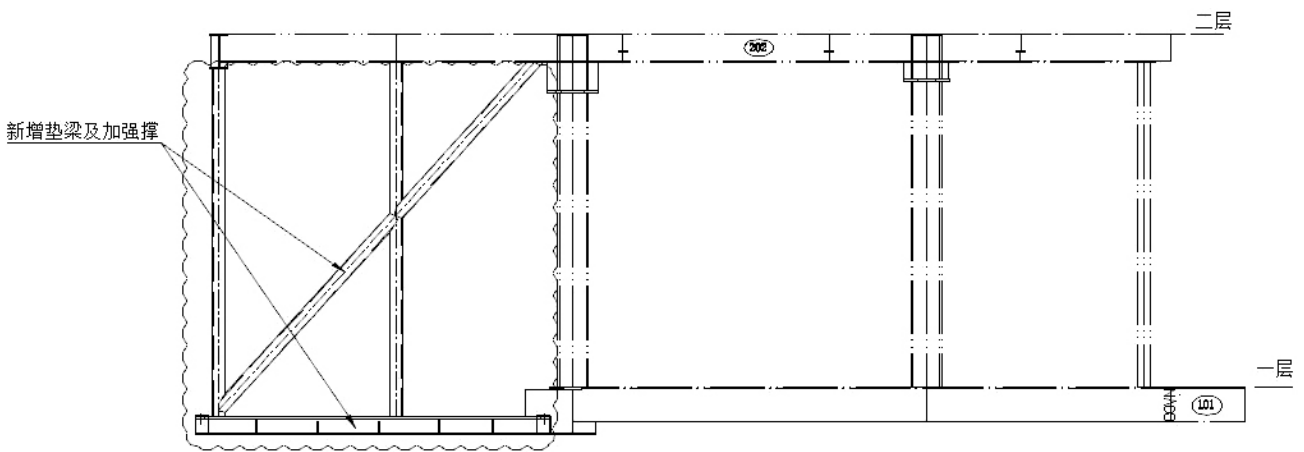
海上升压站上部结构划分后的分段结构不规则,一层结构无外伸平台,比上层外形尺寸小。分段组块重心位置不在结构中心,转运时平板车接触面不足,相邻

平板车有偏重的情况,可能会导致“溜车”结构倾覆现象,这样严重影响转运的安全性。

为此,我基地对分段转运进行两方面的改进、创新。

在结构一层增加垫梁及工艺加强撑,使一、二层平面尺寸趋于一致,这样二层不存在悬出端,平板车与结构侧接触面也得到保证。

由于结构偏重的问题依然存在,必须增加受重较小平板车上的实际重量。这里我们在结构一层侧面悬挂40T左右的配重,配重通过钢丝绳固定悬挂在伸出的结构梁上。为了防止钢丝绳在转运过程中的滑动,钢丝绳与结构梁之间增加斜枕木。



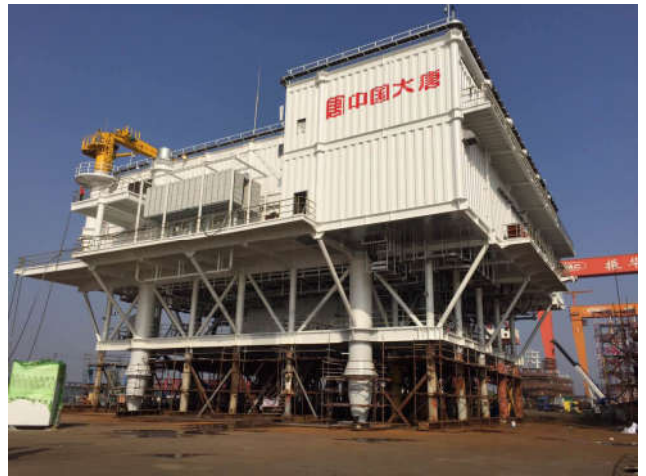
(4) 结构施工过程中增加防变形措施,减少或消除后续对结构变形的矫正时间。



5 实施效果

大唐滨海海上升压站上部结构项目已如期完工,上部结构施工取得如下效果:

- (1) 上部结构各尺寸精度满足图纸要求;
- (2) 结构甲板平整度相比前期两个项目有较大改善;
- (3) 合理的制造流程安排减少了交叉作业,缩短了施工周期;



参考文献

- [1] 《海上固定平台入级与建造规范》(中国船级社)
- [2] 《海港工程钢结构防腐技术规范》(JTS153-3)
- [3] 《钢结构设计规范》(GB 50017)
- [4] 《浅海固定平台建造与检验规范》(CCS 2004)