

海上独立钢桩导向架的结构设计与有限元计算

撰文 / 广东华尔辰海上风电工程有限责任公司 方晶

海上独立钢桩进行插桩作业时，需要导向架对其定位导向及垂直度调节，导向架主要由上层抱箍、中层立柱结构、下层导向桁架结构，以及若干调节油缸组成。本导向架的设计充分考虑了水流力、风载对导向架结构的影响，并根据施工条件考虑了多个工况，确保导向架结构设计合理，通过 ANSYS 有限元分析软件，验证设计的合理性，并进一步优化结构，节约成本。

一、引言

导向架用于大直径单桩基础施工过程中的导向和垂直度调节，为保证打入钢桩的垂直度，需要设计独立的导向架平台；本文设计的导向架由导向架本体和四根定位桩组成，在打桩过程中，导向架与船体脱离开，通过四根定位桩将导向架固定，形成独立的海上施工平台，即使在大风浪的情况

下，船体横纵摇也不会对导向架在打桩过程中的垂直度产生影响。

二、导向架整体结构设计

导向架用于海上施工平台，需要考虑水流力和风载对结构的影响，因此首先需要风载和水流进行计算。

五、长条形铝板氩弧对接控制试验

将反面熔宽预设为固定值 8.0mm。图 9 是反面熔宽的控制曲线及局部放大。从图中可以看出，反面熔宽的实际值围绕设定值 8mm 小范围上下波动。总体上控制精度在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内。

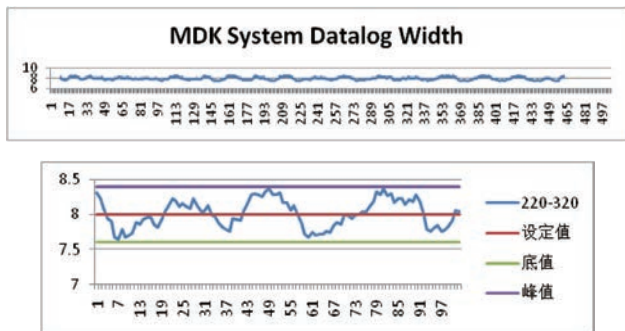


图 9 焊接过程中熔宽变化曲线

六、结语

基于铝合金 TIG 悬空焊工艺，对其焊缝背面的熔宽进行智能控制，设计并开发了激光反面传感熔宽控制系统，包括控制柜、手控盒和图像处理器等激光传感器等；选择 PID 控制策略，比例项 P 能根据检测值与设定值之间的误差进行迅速调节，积分项 I 可以消除静态误差，微分项 D 能实现对趋势的控制，实现超前控制。焊接实验表明，焊接过程稳定，反映迅速，波动小，控制软件与硬件系统工作正常。

对 6mm 厚 2A14 铝板氩弧直流对接焊进行焊缝反面熔宽检测与控制试验。实现铝合金 TIG 焊缝背面熔宽的实时检测与控制，控制精度为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，实现焊缝背面宽度的均匀一致制造。

风载计算: $q=0.613 \left(\frac{v}{m} \cdot \sec \right)^2 \text{Pa}$, $v_f=20\text{m/s}$ (按工作海况 6 级风计算)

风压: $q=245.2\text{kg/ms}^2$, $q=245\text{Pa}$

按型钢制成的平面桁架风力系数取: $C=1.3$

结构的充实率取: $\phi_x=0.4$, $\phi_y=0.6$

挡风折减系数: $\eta_x=0.43$, $\eta_y=0.43$

单根桁架的迎风面积: $A_x=27.6\text{m}^2$, $A_y=26.4\text{m}^2$

总迎风面积: $A_{x1}=3(1+\eta_x) \cdot A_x$, $A_{x1}=118.404\text{m}^2$

$A_{y1}=3(1+\eta_y) \cdot A_y$, $A_{y1}=113.256\text{m}^2$

风载荷: $PW_x=C \times q \times A_{x1}$, $PW_x=3.849\text{tf}$

$PW_y=C \times q \times A_{y1}$, $PW_y=3.681\text{tf}$

三、有限元模型建立

设船长方向为 X 方向, 船宽方向为 Y 方向, 考虑到 Y 方向为导向架计算控制工况, 因此计算主要以 Y 方向为主。

ET,1,beam188 ! 单元类型

MP,EX,1,2.06E11 ! 弹性模量

MP,PRXY,1,0.3 ! 泊松比

MP,DENS,1,7850 ! 密度

ACEL,0.0,0.0,10.29 ! 重力加速度

节点力加载位置为抱箍圆圈均布在四分之一位置, 受力点在四个抱紧油缸上。图 1 为导向架总体设计图, 图 2 为导向架有限元模型。

考虑到垂直度千分之二: 钢桩 67m。

允许最大位移为: $td=2/1000 \times 67\text{m}$

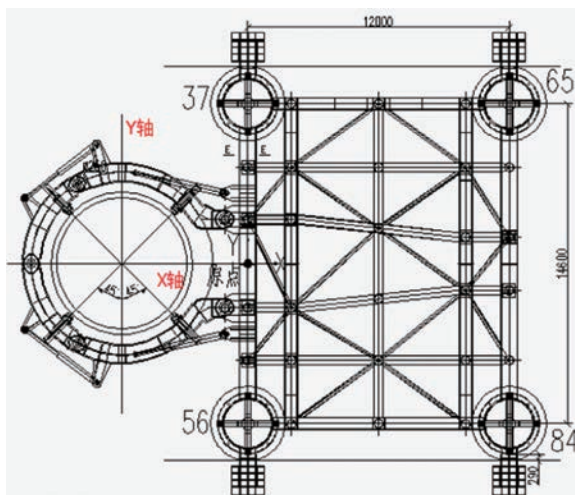


图 1 为导向架总体设计图

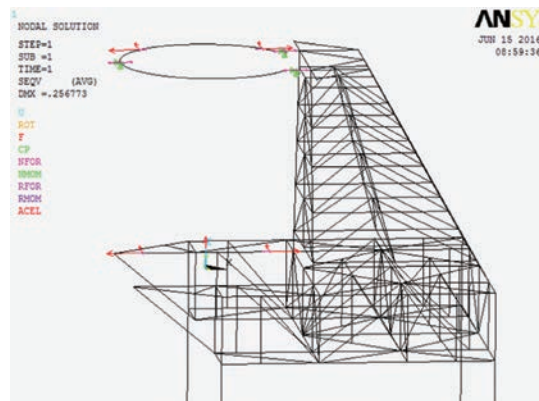


图 2 为导向架有限元模型

其中, ρ 为 1015kg/m^3 ; v 为 2m/s ; C_w 为 0.73 ; A 为 $6.5\text{m} \times 10\text{m}$ 。

水流产生力: $F_w=C_w \times \rho/2 \times v^2 \times A$, $F_w=96.3\text{KN}$

导向架材料为 Q345C, 根据钢结构设计规范, 许用应力为 226MPa 左右; 通过设计参数的输入, 导向架各工况应力分布如表所示。

根据实际情况, 在导向架受横向水流和横风作用情况下, 为最危险工况, 以此基础建立有限元模型。图 3 为导向架整体有限元受力分析。

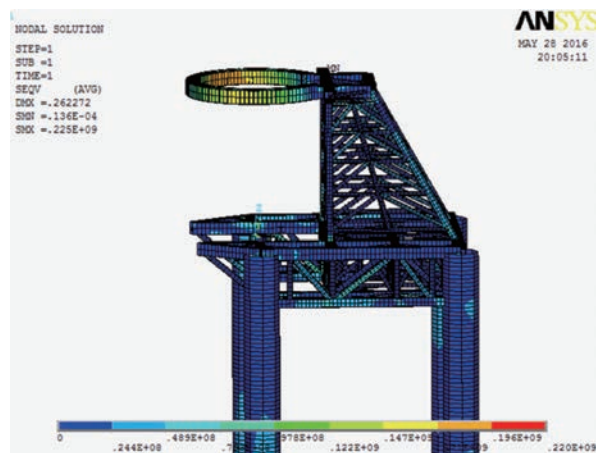


图 3 为导向架整体有限元受力分析

四、上层抱箍结构设计

通过对钢桩直径、重心以及施工地质条件等技术参数进行分析, 钢桩入泥后, 会自重下沉一定深度; 施工前, 导向架会提升 10m , 以保证钢桩重心在上层机械手下面, 使油缸水平推力减小, 减轻导向架本身负荷, 上下两层导向结构

表 各工况受力计算

工况	工况描述	支点 1	支点 2	支点 3	支点 4	应力 (MPa)	位移 (mm)
水流方向	未沉入海床。水流产生力+钢管倾斜3度产生水平力	11.2	7.4	6.1	3.2	101	92.5
Y+ 方向	沉入海床。钢管上层 FY+100 吨力	40.9	39.1	21.6	18.8	190	236.9
Y+ 方向	沉入海床。钢管上层 FY+80 吨力	33.2	30.9	17.6	14.8	158	189
Y+ 方向	沉入海床。钢管上层 FY+60 吨力	26.6	22.8	13.6	10.7	127	142.4
Y+ 方向	沉入海床。钢管上层 FY+50 吨力。 下层 FY+10 吨力	26.6	22.8	13.5	10.7	111	123.2
Y+ 方向	沉入海床。钢管上层 FY+40 吨力。 下层 FY+20 吨力	26.6	20.8	13.5	10.6	95.9	103.6
Y+ 方向	沉入海床。钢管上层 FY+30 吨力。 下层 FY+30 吨力	26.6	22.9	13.4	10.6	80.4	84.3
X 偏 Y45°	沉入海床。钢管上层 FXY+100 吨力	38.7	27.7	32.6	8.1	156	142.6
X 偏 Y45°	沉入海床。钢管上层 FXY+70 吨力。 下层 FXY+30 吨力	39.2	27.3	32.3	8.4	112	109.7
X 偏 Y45°	沉入海床。钢管上层 FXY+60 吨力。 下层 FXY+40 吨力	39.3	27.2	32.2	8.6	97.8	98.7
X 偏 Y135°	沉入海床。钢管上层 FY-X+100 吨力	32.4	36.3	9.0	30.0	169	196.7
X 偏 Y135°	沉入海床。钢管上层 FY-X+70 吨力。 下层 FY-X+30 吨力	32.0	36.8	9.4	29.8	129	147.6
X 偏 Y135°	沉入海床。钢管上层 FY-X+60 吨力。 下层 FY-X+40 吨力	31.8	36.9	9.7	29.7	116	131.2
X+ 方向	沉入海床。钢管上层 FX+100 吨力	23.9	23.9	26.4	26.5	74.5	30.1
X- 方向	沉入海床。钢管上层 FX-100 吨力	24.4	26.2	24.3	26.1	69.8	37.7

可以分别对钢桩垂直度进行调节，中间立柱采用桁架结构，重量轻，传力明确，通过综合分析，导向架整体高度在 17m 左右比较合适；考虑到碰撞间隙，上层机械手在合拢状态下内径为 7m，水平推力油缸安装固定后，前端单个滚轮结构伸出 0.2m，从而保证在闭合状态下，钢桩和机械手油顶滚

轮之间有 10cm 间隙，避免调整垂直度前发生碰撞。图 4 中上层抱箍结构设计图，图 5 上层抱箍应力云图。

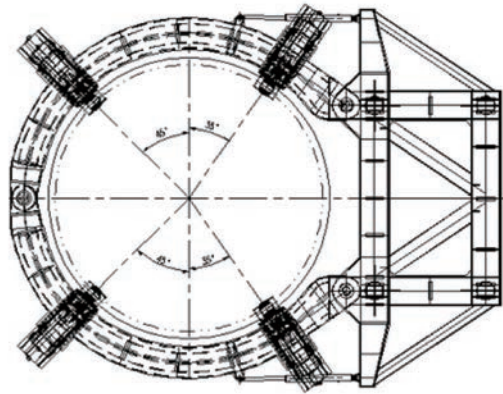


图 4 上层抱箍结构设计图

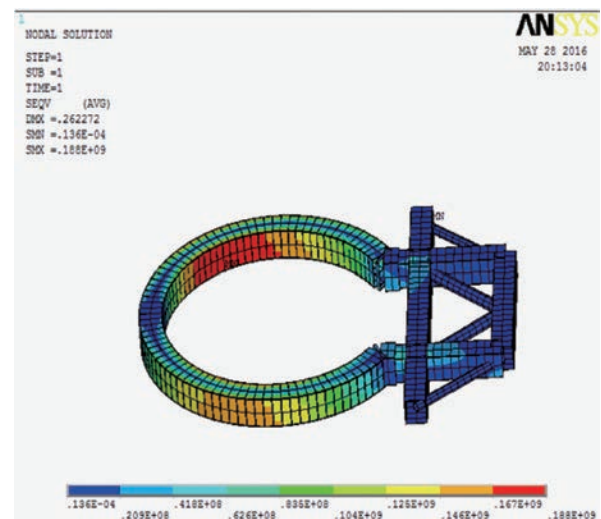


图 5 上层抱箍应力云图

五、中层立柱结构设计

中层立柱结构主要承受打桩时向下的水平力和以及起吊过程中对下层导向桁架的拉力，考虑到迎风面积，立柱设计成桁架结构，结构轻，受力明确；中层立柱主肢采用无缝钢管 $\phi 500 \times 12$ ，通过模型建立，局部应力云图如图 6 所示，图 6 中层立柱结构设计图，图 7 中层立柱应力云图。

六、下层导向桁架结构设计

下层导向桁架与钢套设计成一个整体，下层导向桁架分为上下两层，两层之间间距有 5m，钢套直径为 $\phi 2460\text{mm}$ ，

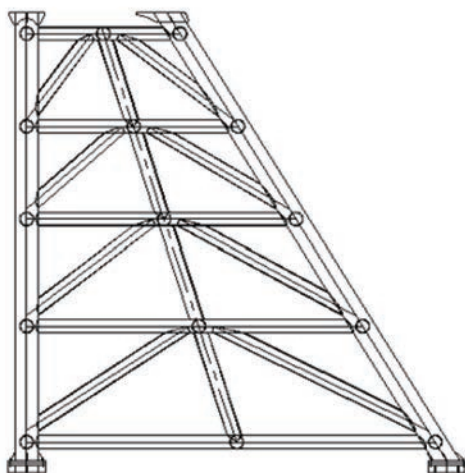


图6 中层立柱结构设计图

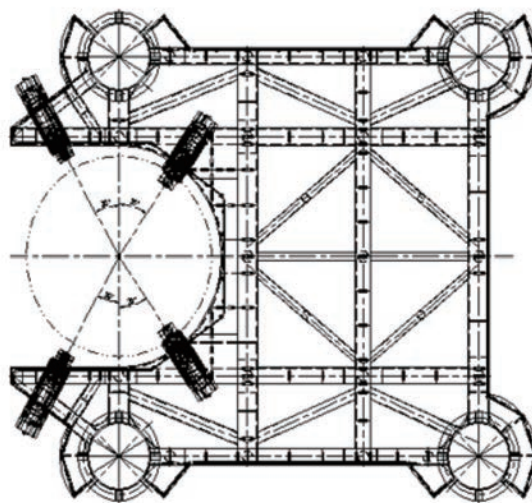


图8 下层导向桁架设计图

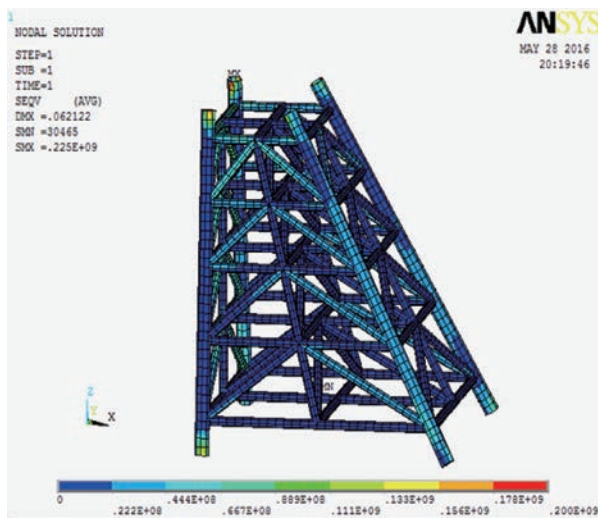


图7 中层立柱应力云图

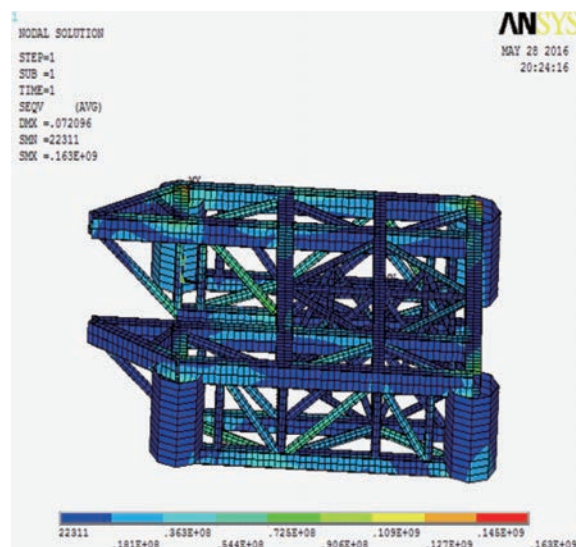


图9 下层导向桁架应力云图

上下两端分别与两层桁架焊接，钢套中间用于插定位桩，钢套外侧均设计有加劲板，为保证打桩过程中整体结构的刚度，两层桁架设计成箱型结构，通过抗弯计算，确定箱型截面尺寸，然后计算应力，优化结构尺寸，减轻重量。如图8下层导向桁架设计图，图9下层导向桁架应力云图。

七、结语

本导向架的结构设计完全依据项目的技术文件参数，在初步设计整体结构后，用 ANSYS 有限元软件对结构进行校核，在满足项目对油缸水平力和垂直力的各项指标要求后，优化结构，减轻重量。目前，经此方案生产的导向架结构应

用于施工现场。同时，这种平台式导向架的灵活、高效和精确调整垂直度的优点，对近海大型风电场建设快速施工的钢管桩插打、试桩数据采集及后期风机安装具有典型意义。

