

国家天文台FAST反射面支撑索网 安装环向缆吊支腿设计与应用

莫德荣¹ 张国强¹ 罗宾² 沈理¹

(1 柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005 2 东南大学 江苏南京 210096)

摘要:国家天文台FAST工程主动反射面采用大型索类结构,主动反射面主要由6670根拉索、2225个节点和2225根下拉索组成。因受复杂地形的制约,本工程的主动反射面索网安装采用可以随索网安装而不断移动的施工索道。施工索道上端锚固在圈梁移动台车上,下端锚固在环向缆吊支腿上。在施工期间,施工索道作用在环向缆吊支腿上的载荷较大,而且大量施工人员在施工索道上作业,环向缆吊支腿的稳定性至关重要,同时还要考虑将交叉作业的影响范围降至最小。故本文针对施工索道的下端环向缆吊支腿进行设计和计算分析。

关键词:环向缆吊支腿 FAST 索网 施工索道 SAP2000

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.04.002

1 前言

FAST索网是由6670根主索通过2225个节点盘织成一张跨度约500m,高差约130m的索网,通过150根边缘主索悬挂在圈梁之上。由于FAST施工现场地形多为陡坡,索网组拼无法在地面进行,而需要借助大量悬空索道进行高空拼装。索道上端锚固在圈梁顶面的移动台车上,而下端则锚固在环向缆吊支腿上。

在施工期间,施工索道作用在环向缆吊支腿上的载荷较大,而且大量施工人员在施工索道上作业,环向缆吊支腿的稳定性至关重要。环向缆吊支腿设计除了稳定性还要考虑多种现场因素的干扰,其中影响较大的是:①如何避开测量基墩和纵向集水渠;②为馈源舱代舱的安装留出空间;③尽可能少的破坏仓底环形道路;④结构运输能否通过窝函螺旋路;⑤快捷拼装,缩短工期。环向缆吊支腿如何布置,采用何种结构形式的支腿成为索网施工方案设计的关键所在。

2 环向缆吊支腿的位置布置

考虑施工成本以及索网安装便捷性,环向缆吊支腿布置在大窝函直径为80m的圆周范围内。环向缆吊支腿主要包括:锚固缆吊支腿、移动缆吊塔架、连接桁架、及钢绞线背索等。环向缆吊

支腿共20个,其中锚固缆吊支腿共5个,移动缆吊支腿15个。环向缆吊支腿利用栓接的方式与基础的预埋件连接,每个环向缆吊支腿上部设有背索锚固装置,通过钢绞线背索与基础相连,在施工阶段对钢绞线施加适当的预拉力,相邻的环向缆吊支腿用桁架把其上端连接起来。

环向缆吊支腿的位置布置如图1所示,锚固缆吊支腿TA4、TB4、TC4、TD4、TE4为与A009、B009、C009、D009、E009锚墩重叠。移动缆吊支腿TA1、TA2、TA3分别与A004、A005、A006锚墩重叠;移动缆吊支腿TB1、TB2、TB3分别与B004、B005、B006锚墩重叠;移动缆吊支腿TC1、TC2、TC3分别与C004、C005、C010锚墩重叠;移动缆吊支腿TD1、TD2、TD3分别与D004、D005、D006锚墩重叠;移动缆吊支腿TE1、TE2、TE3分别与E004、E005、E006锚墩重叠。背索基础BSJ-1、BSJ-2、BSJ-3、BSJ-4、BSJ-5分别与A003、B003、C003、D003、E003锚墩重叠。该布置方式既有效的避开了测量基墩和中心区馈源舱安装范围,又减少对环形道路的破坏。与锚墩重叠的布置方式还能简化索网安装过程缩减节点盘胎架数量节约成本。

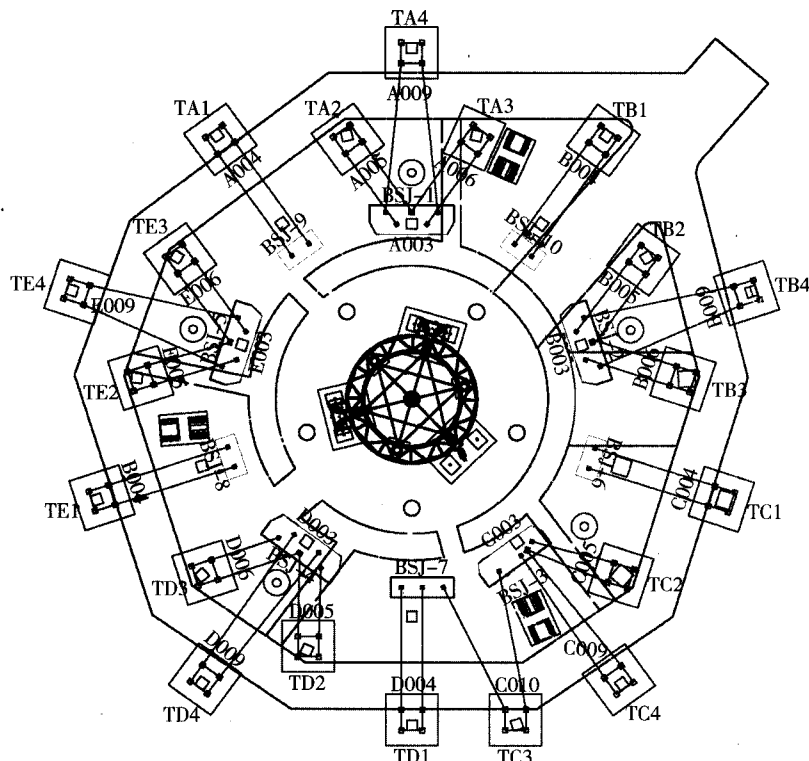


图1 环向缆吊支腿平面布置图

3 环向缆吊支腿设计及受力分析

环向缆吊支腿结构设计时既要满足受力要求,又需要考虑拼装和拆除空间。高度太高不仅浪费材料,还会干涉馈源舱吊装。但如果支架高度不够,施工索道在索网安装过程中由于挠度较大,将会出现“压索”情况。因此,首先要确定塔架高度。采用大型通用有限元软件ANSYS,考虑到结构具有双重非线性(几何非线性和材料非线性),因而在计算中需要考虑几何大变形和应力刚化效应。通过二次开发编制APDL语言程序进行计算分析。分析中,所有的拉索采用Link8单元,环向缆吊支腿采用Link10单元。

通过模拟计算可见(如图2):在牵引过程中,由于导索的刚度较弱,垂度较大,在牵引的初始阶段,靠近环向缆吊支腿安装区的导索在被牵引索网的作用下,会产生明显的竖向位移,其最低点的高度要低于环向缆吊支腿的高度,同时,此处的索网面索所受的牵引力较小,会产生明显的下垂。当塔架高度为8m时,牵引过程不会出现“拖地”和“压索”现象。随着牵引的进

行,结构刚度逐渐变大,靠近环向缆吊支腿区域的导索的下凹现象逐渐消失。最终形成的形状与导索在自重下形成的形状基本相同。8m的支腿高度不会影响到馈源舱吊装,又满足螺旋道路整体运输的要求,因此,塔架高度确定为8m。

环向缆吊支腿杆件和连接节点均采用Q235C钢材,其质量标准应符合《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591-2008)的规定,背索选用4- ϕ 15.2环氧钢绞线。各构件材质和截面规格如表1所示。



图2 索网安装过程中导索变形模拟分析

表1 各构件材质和截面规格表

项目	材质	截面规格
锚固缆吊支腿	Q235C	H250×250×9×14 2×[40A O102×5
移动缆吊支腿	Q235C	H200×200×8×12 O102×5
桁架	Q235C	H200×100×5.5×8 O73×4
背索	JTG- f_{pk} 1860	4- ϕ 15.2

在索网安装阶段主要考虑的载荷和作用如下:

(1) 结构自重, 将其定义为DEAD。

(2) 猫道受力最不利时作用在锚固缆吊支腿上的力 F_1 (水平力为1000kN, 竖向力为200kN)。

(3) 猫道自重作用下在锚固缆吊支腿上的力 F_2 (水平力为200kN, 竖向力为40kN)。

(4) 挂索索道受力最不利时作用在移动缆吊支腿上的力 F_3 (水平力为400kN, 竖向力为150kN)。

(5) 挂索索道自重作用下在移动缆吊支腿上的力 F_4 (水平力为80kN, 竖向力为30kN)。

(6) 背索作用在环向缆吊支腿上的预应力。其中塔架平面图中向内凹的10个移动缆吊支腿的背索定义为PRET拉索组; 锚固缆吊支腿的背索定义为PRET1拉索组; 其余5个移动缆吊支腿的背索定义为PRET3拉索组。

各种作用于环向缆吊支腿上的载荷如图3所示, 背索组定义如图4所示。在索网安装阶段, 环向缆吊支腿受力工况主要分为4个阶段, 具体为:

(1) 阶段1: 环向缆吊支腿安装完成后, PERT背索组预应力张拉至80kN, PRET1和PRET3背索组预紧, 如图4所示。

(2) 阶段2: PRET3背索组预应力张拉至145kN, PERT背索组索自动变至160kN~170kN, PRET1背索组未张拉, 如图4所示。

(3) 阶段3: 沿索道完成面索之后, 卸掉PRET3背索组的预应力, PRET1背索组预应力张拉至225kN; PERT背索组拉力自动保持在165kN左右, 如图5所示。

(4) 阶段4: 沿猫道安装扇形区部分的面索网, 张拉下拉索, 直至完成整个索网的安装, 如图5所示。

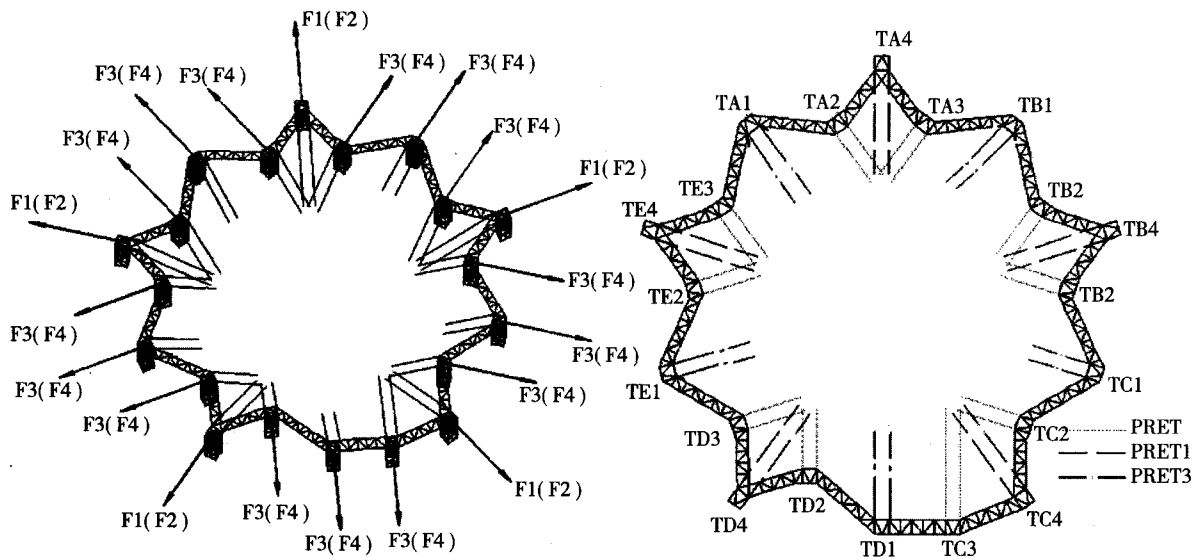


图3 塔架上各种荷载和背索组示意图

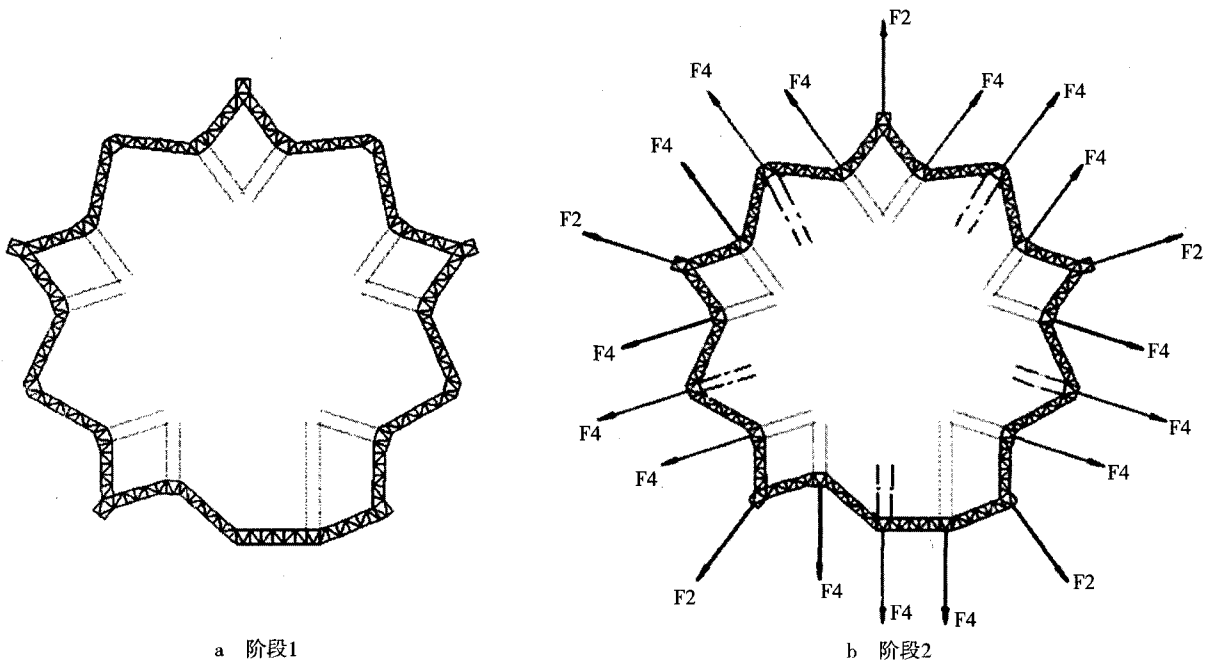


图4 阶段1和阶段2背索张拉示意图

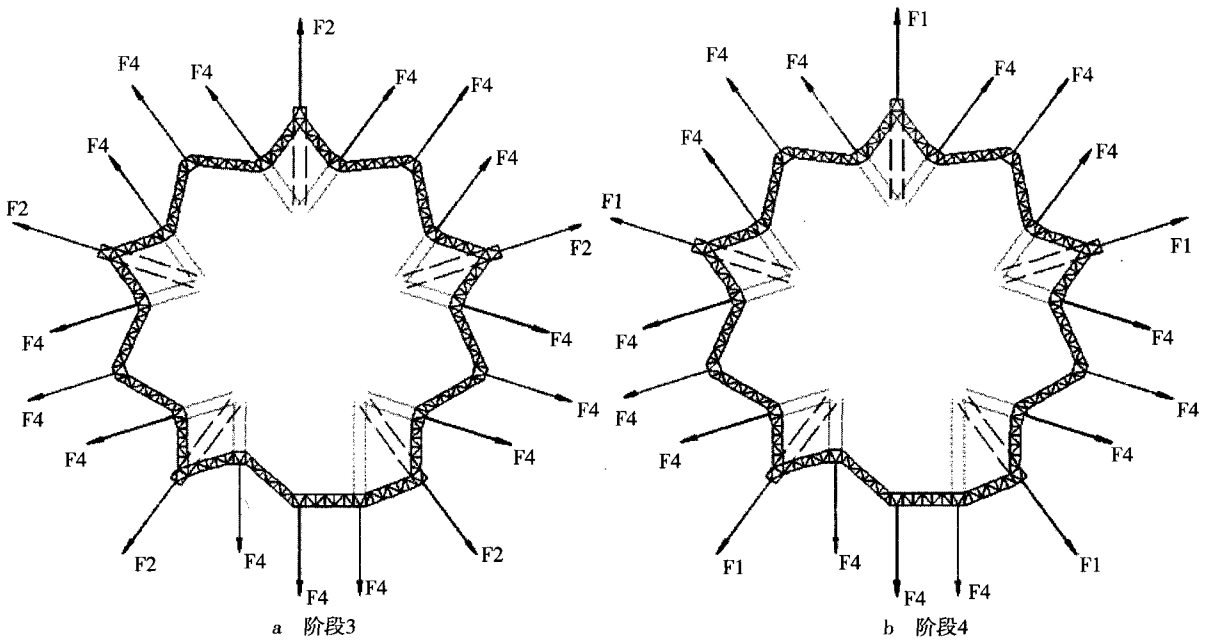


图5 阶段3和阶段4背索张拉示意图

经ANSYS模拟计算，得出如下结构静力分析结果：

(1) 构件承载能力极限状态验算。各杆件按强度和稳定性验算的应力比结果见表2和图6。根据验算结果，从缆吊支腿结构在各种工况组合

下的最不利的稳定强度应力比中，取出缆吊支腿的杆件中最大的5个单元的验算结果，见表2。可以看出缆吊支腿结构的稳定、强度应力比最大为0.903，背索张拉力为其破断力的0.5倍，因此结构构件强度满足要求。

表2 缆吊支腿稳定应力比最大的前5个单元的验算结果

序号	单元编号	截面	载荷工况	应力比
1	87	2×[40A	1.0DEAD+1.4F1+1.4F4+1.2PRET+1.2PRET1	0.903
2	84	2×[40A	1.0DEAD+1.4F1+1.4F4+1.2PRET+1.2PRET1	0.903
3	29	H200×200×8×12	1.2DEAD+1.4F3+1.4F2+1.2PRET+1.2PRET3	0.834
4	26	H200×200×8×12	1.2DEAD+1.4F3+1.4F2+1.2PRET+1.2PRET3	0.834
5	229	H200×200×8×12	1.0DEAD+1.4F3+1.4F2+1.2PRET+1.2PRET3	0.820

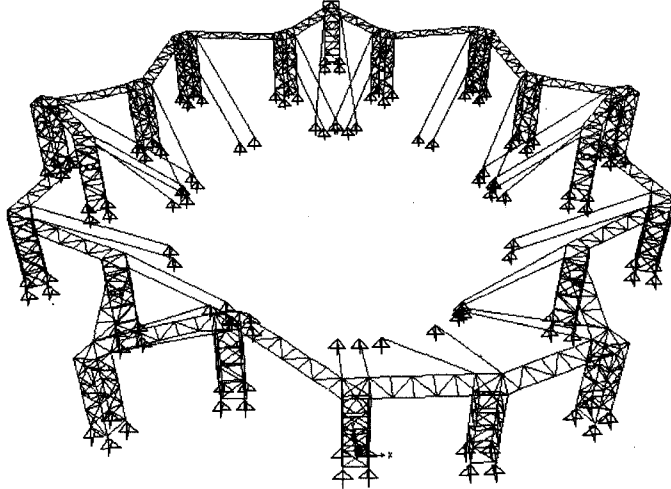


图6 缆吊支腿结构整体应力比

(2) 构件位移极限状态验算。

缆吊支腿在上述载荷情况组合中,在载荷组合1.0DEAD+1.0PRET+1.0PRET1下结构变形最大,表3给出了缆吊支腿杆件中位移最大的5个节

点的位移值(详见表3)。其中,最大位移为15.8mm,塔架高度为8000mm,其相对变形为15.8/8000=1/506,相对位移较小,结构构件的变形满足要求。

表3 缆吊支腿位移最大的前5个节点的位移表

序号	节点编号	控制工况	Ux(mm)	Uy(mm)	Uz(mm)	U(mm)
1	586	1.0DEAD+1.0PRET+1.0PRET1	-7.47	13.83	-1.65	15.80
2	594	1.0DEAD+1.0PRET+1.0PRET1	-10.82	11.39	-1.64	15.80
3	588	1.0DEAD+1.0PRET+1.0PRET1	-7.52	13.84	-0.53	15.77
4	596	1.0DEAD+1.0PRET+1.0PRET1	-10.82	11.45	-0.52	15.77
5	584	1.0DEAD+1.0PRET+1.0PRET1	-7.62	13.36	-3.08	15.68

4 结束语

FAST工程是我国拟建世界最大的单口径射电望远镜,索网结构是FAST工程主动反射面的主要支撑结构,是主动反射面实现变位工作、寻源和自动跟踪的关键。而安装索网采用的施工工艺中环向缆吊支腿由于承受较大的施工荷载,并随着索网的安装而不断变化,其设计、计算关系到整个索网安装过程的施工安全。环形缆吊支腿安装位置通过精确测量放样,避开所有障碍物,并预留出馈源舱安装空间。然后,通过采用大型

通用有限元软件ANSYS,考虑结构具有双重非线性(几何非线性和材料非线性),计算中考虑几何大变形和应力刚化效应。并通过二次开发编制APDL语言程序进行计算分析,找出了最不利的荷载组合,并分析了该荷载对环向缆吊支腿的影响完成设计计算,确保了施工的安全。

参考文献

- [1] 韦福堂,朱万旭,田蕾蕾. 国家天文台FAST工程索网安装施工技术[J]. 施工技术, 2014, 43(02):18-20.
- [2] 郭正兴,许曙东,刘志仁. 预应力鞍形索网屋盖工程施工工艺研究[J]. 施工技术, 1999,28(12):9-11.
- [3] 北京钢铁设计研究总院. GB50017-2003[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.