

基于FAST超大索网高空编制用 柔性索道锚固系统的设计与应用

沈理 熊佳雯 张国强 莫德荣

(柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

摘要:本文主要介绍了在贵州天文台射电望远镜FAST主动反射面主体支承结构架设中,一种能为锚固器(V型锚固平台)提供锚固点以及能使锚固器自由滑动至自身线形内任意位置的柔性索道锚固系统的设计及应用。该柔性索道锚固系统是索网架设工程中连接索网底部与圈梁的空中索道,它用来提供索网架设过程中V型锚固平台在不同节段的锚固点。该系统由4根钢丝绳索道组成,上端锚固以抱箍的形式固定在圈梁的弦杆上,下端以带调节装置的插销形式固定在索网底部的独立塔架上。施工过程中可以调整柔性轨道锚固系统索道线形确保V型锚固平台处于最佳挂索位置。

关键词:天文台 FAST 柔性锚固 柔性轨道有限元分析

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.03.005

1 前言

500m口径球面射电望远镜(以下简称FAST)是我国建造的世界第一大单口径射电望远镜,工程处于贵州山区。该项目主动反射面主体支承结构由主索网、下拉索、圈梁和格构柱以及格构柱基础组成,如图1所示。

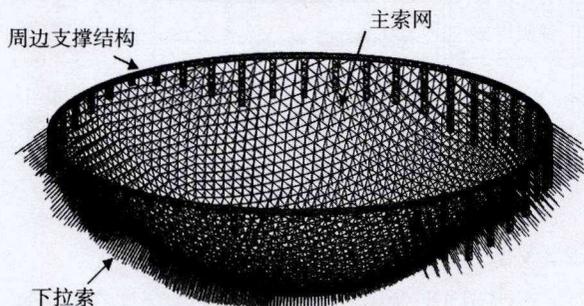


图1 索网结构示意图

FAST建成后将是目前世界上跨度最大、精度最高的索网结构,工程的关键指标远高于国内外相关领域的要求,在世界范围内没有可借鉴的经验或资料。所以需要自主建立一套可行的挂索方案。由于场地限制,全部索网须在高空中进行拼装,靠近圈梁端更是高达50多米。空中编索,需要解决的难点就是拉索与操作人员如何移动到安装位置,最直接的方案就是采用索道牵引体系。但这又面临着另一个问题,索网结构安装不同于常规斜拉桥和悬索桥:在二维平面内挂索,只需

一条固定的索道系统。而FAST主索网是处于一个三维空间体系,挂索施工索道需要跟随索网进度而不断变化,造成挂索施工索道的锚固点不断的变换位置,这就需要设计一个实现V型锚固平台沿弧线“自下向上”移动的柔性索道锚固系统。所以说,柔性索道锚固系统是索网高空缆吊散拼技术中的核心内容之一,如何设计柔性索道锚固系统是确保索网安装方案能否顺利实施的关键。

2 索网安装解决方案

用4根钢丝绳索道连接圈梁与索网底部,调整线形后,形成一套柔性索道锚固系统,穿入装有滑动装置的锚固器(V型锚固平台),用来连接柔性索道锚固系统与挂索施工索道。挂索施工索道需要移动时,只需将锚固器向上滑动,作为一个可移动的锚固点,挂索施工索道也随之移动。如图2所示。

2.1 天文台柔性索道锚固系统的作用

索网A、B、C、D、E五大区域满足五分之一的旋转对称,每个区域又为左右对称结构。在每个分区的对称轴位置设一组柔性索道锚固系统,作为锚固挂索施工索道用,挂索施工索道包括挂索索道和吊篮索道。柔性索道锚固系统位置固定不变,挂索施工索道随施工进度呈V型收缩。初始位置的挂索施工索道上端锚固在圈梁移动台车

上, 下端锚固在独立塔架上。挂索施工索道转移时, 上端圈梁移动台车向柔性索道锚固系统方向对称移动一个挂索节段, 下端由塔架锚固转移至柔性索道锚固系统的V型锚固平台。V型锚固平台自带滚轮系统与锚固装置, 可沿该系统滑移与固定, 挂索施工索道再次转移时, 圈梁移动台车移动到位后, 解除V型锚固平台锚固装置, 收紧挂索施工索道, 牵引V型锚固平台沿该系统索道滑移至施工位置并锚固, 调节柔性索道锚固系统下端调节装置, 调整索道线形至最佳挂索位置。如图3所示。

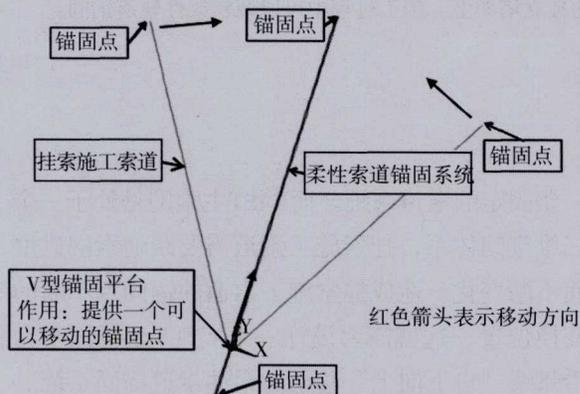


图2 柔性索道锚固系统

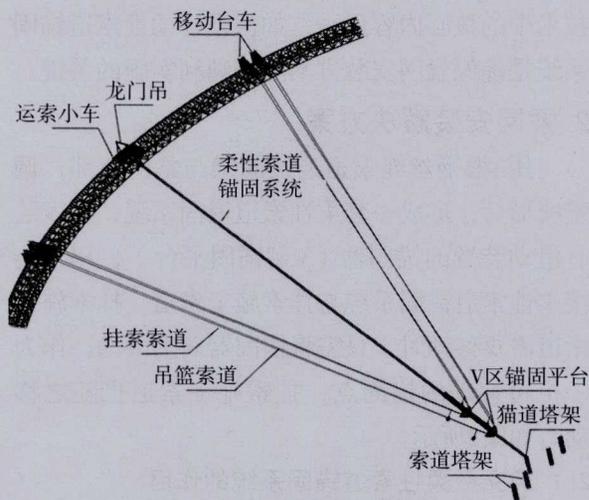


图3 索道布置空间示意图

2.2 天文台柔性索道锚固系统结构设计

柔性索道锚固系统布置在区域的对称线上, 由4根 $\phi 32$ 钢丝绳作为行走索道, 中间锚固2个V型锚固平台。主要用于锚固挂索施工索道, 并提供部分通行能力。柔性索道锚固系统主要包括: 索道钢丝绳、索道端部锚固装置等。

2.2.1 索道钢丝绳

索道钢丝绳作为主要受力构件, 由4根 $6 \times 37S+FC \phi 32$ 捻制钢芯镀锌钢丝绳组成, 每根钢丝绳间隔50cm, 上锚点锚固在圈梁上弦杆中间球节点两侧, 下锚点锚固在塔架锚固框架上, 两端均采用绳夹锚固。钢丝绳索道垂度略小于索网垂度, 线形高出索面约3m~4m。

2.2.2 索道端部锚固装置

索网安装所使用的五个柔性索道锚固系统的上端锚点以抱箍形式分别锚固在圈梁A30、B30、C30、D30、E30的上弦平联球节点两侧的P5圆管上。在抱箍两端各设置一个宽40mm的钢丝绳限位槽, 限制钢丝绳索道水平位移。

柔性索道锚固系统的下端锚点锚固在塔架顶端的锚固框架上。通过锚梁、精轧螺纹钢、锚箱依次连接。在锚梁、锚箱两侧设一块锚固垫板, 精轧螺纹钢前端穿过锚箱, 后端穿过锚梁, 用螺母锚固在锚固垫板上。通过调节精轧螺纹钢长度, 调整该系统索道线形。

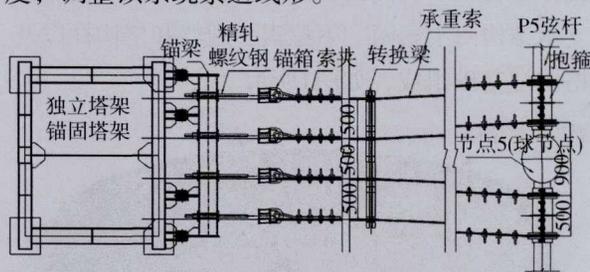


图4 柔性索道锚固系统锚固装置结构示意图

2.2.3 V型锚固平台

V型锚固平台由型钢焊接而成, 穿插在4根钢丝绳索道之间, 前后各设置4套行走机构以及抱索机构, 能自由在钢丝绳上滑动与固定。左右分别设置1个挂索索道吊耳与1个吊篮索道吊耳, 用来锚固挂索索道与吊篮索道。

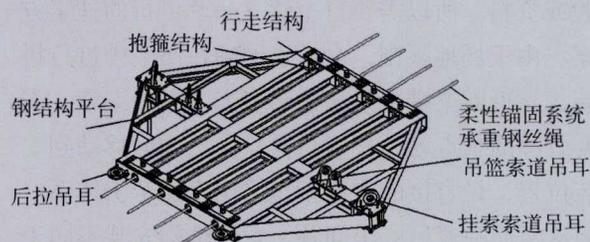


图5 V型锚固平台

3 柔性索道锚固系统计算分析

3.1 工况概述

柔性索道锚固系统主要是作为锚固挂索施工索道用,其主要荷载除本身自重之外还包括锚固在柔性索道锚固系统上的V型锚固平台、锚固在V型锚固平台上的挂索施工索道以及挂索时连接在挂索索道上的径向索。挂索施工索道随施工进度呈V型收缩,挂索施工索道对该系统作用的荷载逐步减少。初始位置的挂索施工索道上端锚固在圈梁移动台车上,下端锚固在独立塔架上,此时该系统仅承受自重与2个V型锚固平台重量。索道转移时,圈梁移动台车向柔性索道锚固系统方向对称移动一个挂索节段,索道下端由塔架锚固转移至柔性索道锚固系统的V型锚固平台锚固,此时该系统的荷载增加了挂索施工索道自重与索道挂索时所连接的径向索自重。

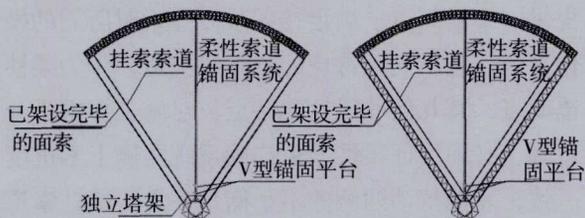


图6 挂索施工索道未上V型锚固平台与挂索施工索道上V型锚固平台

3.2 工况计算分析

3.2.1 工况一:挂索施工索道未转移至V型锚固平台受力分析:

此工况下,柔性索道锚固系统仅承受自重(均布荷载)与V型锚固平台重量(集中荷载),见表1。

表1

序号	项目	规格	单位重量(kN/m)
1	铁丝网(宽2m,长1m)	$\phi 5 \times 60\text{mm} \times 60\text{mm}$	0.101
2	铁丝网(高1.2m,长1m)	$\phi 5 \times 60\text{mm} \times 60\text{mm}$	0.061
3	$\phi 32$ 钢丝绳(4根)	承重	0.164
4	$\phi 16$ 钢丝绳(4根)	扶手绳	0.037
5	横梁(每6m 1根)	10#槽钢(2m)	0.033
6	横梁(每6m 1根)	8#槽钢(2m)	0.027
7	立柱(每6m 2根)	8#槽钢(1.5m)	0.036
8	方木踏步(每3m 8根)	60 × 40 × 700	0.026
	合计		0.485

V型锚固平台荷载:约2t/个。

工况一,柔性索道锚固系统承重绳上锚点拉力为:351kN;下锚点拉力为:246kN。

3.2.2 工况二:挂索施工索道转移至V型锚固平台受力分析:

挂索施工索道转移至V型锚固平台,初次转移使用V型锚固平台做挂索施工索道锚点时,索道锚固系统下锚点拉力达到峰值。因为后阶段V型锚固平台往上行走,挂索施工索道呈V型收缩,所挂设的径向索呈递减趋势,导致索道锚固系统下锚点拉力逐渐减少。

挂索施工索道合力对索道锚固系统作用力为斜向上拉力,抵消了部分索道锚固系统自重对上锚点产生的拉力。所以索道未上V型锚固平台时,上锚点拉力为最大。

工况二下,索道锚固系统上锚点拉力为:313kN;下锚点拉力为:662kN。综上分析结果,上锚点受力最大为351kN,下锚点受力最大为662kN。

3.2.3 上锚点计算分析

(1) 受力分析

索道锚固系统上锚点采用抱箍形式与圈梁上弦平联球节点两侧的P5圆管相连。计算荷载:每根承重索受与竖直方向呈 32° ,大小为 $351/4=87.75\text{kN}$ 的拉力。

(2) 上锚点有限元分析

上锚点受力分析时,既要考虑索道锚固系统荷载对圈梁杆件的影响,同时也要考虑索网对圈梁杆件的影响。

3.2.4 下锚点计算分析

(1) 受力分析

随着施工的进行,需要对索道锚固系统承重绳的线形进行调节,所以索道锚固系统下锚点的连接方式为可调式的,这套调节装置由两部分组成:锚梁、锚箱,之间用精轧螺纹钢连接,实现索道锚固系统的可调性。

下锚点最大拉力值为662kN。其中下锚点处的竖向反力为35kN,水平反力为660kN。每个锚箱连接一道承重绳,每个锚箱按受力165.5kN计

算。锚梁与独立塔架销接。每套调节装置由两根精轧螺纹钢连接,通过调节精轧螺纹钢的长度来实现调节作用。精轧螺纹钢只受拉: $165.5 \times 1000/2 / (3.14 \times 16 \times 16) = 102.94\text{MPa}$ 。

(2) 下锚点有限元分析

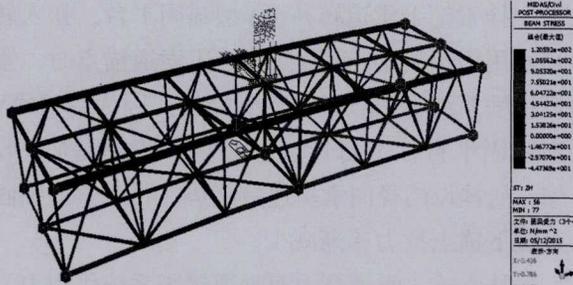


图7 圈梁上弦平联球节点两侧P5圆管组合应力云图

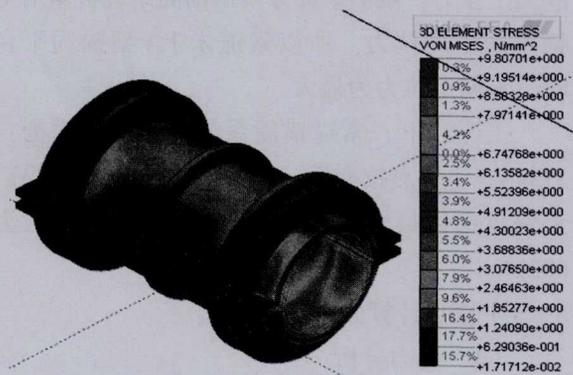


图8 圈梁锚固点抱箍梅赛斯应力云图

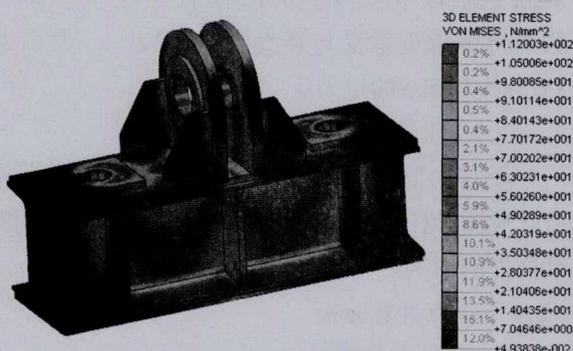


图9 调节装置锚箱范梅赛斯应力云图

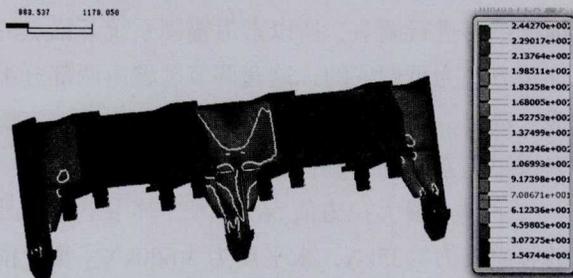


图10 调节装置锚箱范梅赛斯应力云图

3.3 计算分析结论

从有限元分析结果看出,上锚点圈梁上弦平联球节点两侧P5圆管最大应力为121MPa(见图7)、抱箍最大应力为98MPa(见图8);下锚点锚箱最大应力为112MPa(见图9)、锚梁最大应力为244MPa(见图10),只是在销孔位置造成的局部应力集中现象,从图10可以看出绝大部分应力都在70MPa以下。由于所用材料为Q345B结构钢,屈服强度在300MPa左右。所以索道锚固系统整体结构符合规范要求。

4 应用与结论

国家天文台FAST主索网安装施工项目于2015年2月份顺利竣工。自2014年7月柔性索道锚固系统在贵州省国家天文台项目开始安装并投入使用,通过多方计算,验证其安全的情况下,柔性索道锚固系统有效的为索网分区架设施工索道提供空中锚固点,满足在各阶段挂索时所需的操作平台。它不同于常规的悬索桥猫道,作为柔性锚固点,其几何非线性的特点,对施工要求十分苛刻,必须保证柔性索道锚固系统两侧上索进度一致,才能抵消两侧的不平衡水平力。柔性索道锚固系统位于索网面之上,与面索不相互冲突,下锚点调节装置的设计,可实现根据施工节段的不同时期的要求调整柔性索道锚固系统承重绳线形以适应挂索最佳高度。

天文台柔性索道锚固系统的设计与应用,在满足安全的前提下,解决了挂索方案空中柔性锚固的核心问题,使得整套施工方案能顺利的进展下去。从经济角度分析,采用柔性索道锚固系统可以为索网的挂设节约大量临时支架的成本,这既降低了工程造价,又保证了工程施工的安全质量。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部GB 50017-2003. 钢结构设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003
- [2] 中华人民共和国冶金工业部GB 8918-2006. 钢丝绳国家标准[S]. 北京:中国标准出版社,2006
- [3] 中国钢铁工业协会GB/T1591-2008. 低合金高强度结构钢[S]. 北京:中国标准出版社,2008
- [4] 龙驭球,包世华. 结构力学[M]. 北京:高等教育出版社,2000.