

# 国家天文台FAST工程索网安装施工技术

韦福堂 朱万旭 田蕾蕾

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

**摘要:**国家天文台FAST工程索网安装共包括2225个主索节点、6670根主索和2225根下拉索,所有安装工作均需在空中完成,要求精度高,施工难度大。为了避免索网在安装过程中应力过大,并满足圈梁受力要求,施工过程中将整个索网对称等分为5个施工区域,每个区域都同步施工。施工时,需要采用大量悬空索道进行拼装,其中,施工通道为固定索道,需要承载较大受力,施工索道则随安装进度不断转移。

**关键词:**FAST 索网 安装 施工通道 施工索道

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2015.04.007

## 1 工程概况

500m口径球面射电望远镜FAST (five hundred meters aperture spherical telescope) 是我国建造的世界第一大单口径射电望远镜,也是国家“十一五”重大科学工程之一。FAST项目主动反射面的主体支撑结构由主索网、下拉索、圈梁和格构柱以及格构柱基础组成,该工程索网安装主要为索网和下拉索结构的安装,结构示意图如图1所示。

FAST反射面支撑结构采用整体索网结构,主索网为短程线型三角形网格,除边界节点外每个主索网节点连接6根主索和1根径向控制下拉索,共2225个主索节点,6670根主索和2225根下拉索。主索网固定在周圈环梁上,下拉索下端连接促动器,以通过调节下拉索的长度来控制反射面的变位。

在施工过程中,FAST反射面支撑索网安装跨度500m,高度达134m,合计索根数8895根,面索索网体量大、分布广,同时受地形制约,无法进行地面组装或搭设满堂架平台,必须借助圈梁进行空间牵引安装。跨度大、索量多、要求精度高,使得本工程索网施工繁琐、复杂、工期长。

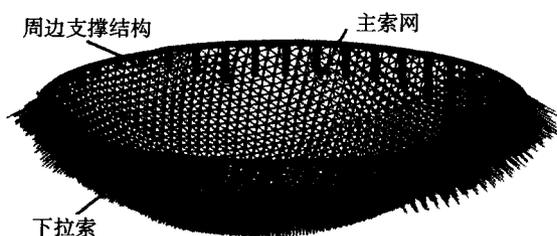


图1 索网结构示意图

## 2 索网安装施工方案

索网安装的总体原则是:面索网严格按照无应力长度组装,通过下拉索采用促动器和施工千斤顶进行张拉。

根据面索网的对称性,索网结构划分为5个区域同时施工,在每个区域相同位置安装径向施工通道以及施工索道,然后在每个施工区域,首先安装对称轴位置的拉索,然后对称向两侧扩展施工。面索和下拉索安装完成后,促动器预紧张拉下拉索。

### 2.1 施工区域划分

索网满足1/5的旋转对称,所以将索网划分为A、B、C、D、E 5个区域(见图2),5个区域的主索长度、截面规格、基准态下索拉力都相同,在施工时要保证同步施工。现场材料的堆放、机械设备和人员的安排均可按区分配。

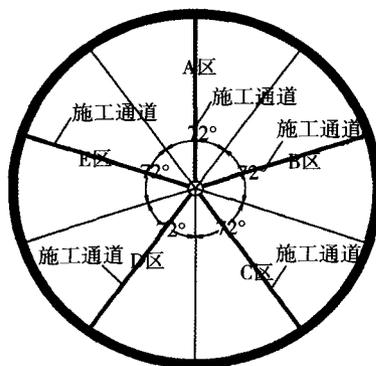


图2 索网分区及施工通道布置平面

### 2.2 施工通道

在每个区域的对称位置设1道施工通道,全

部索网共设置5个施工通道(见图2)。将施工通道设置在区域的对称轴上,首先可以满足人员通行,以及一些轻量的设备物资的搬运工作,另外,施工便道可以为施工索道提供锚固点,便于施工,再次,在施工通道上布设轨道及小车,用于纵向运索。

施工通道的承载主索采用4根 $\phi 32\text{mm}$ 钢丝绳,上端锚固在圈梁上,下端固定在中心圈梁上,面层采用钢丝网和绑扎防滑木的形式。承重索使用前按规范进行预拉处理,这是由于钢丝绳非弹性变形较大,这种非弹性变形将直接影响承重索垂度变化,所以首先要进行预张拉消除非弹性变形。预张拉荷载不小于各索破断荷载的1/2,保持60min,并且要进行2次。施工通道上、下端锚固如图3所示。

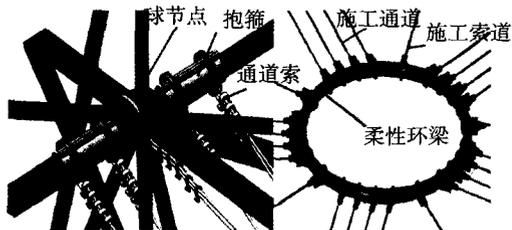


图3 施工通道上、下端锚固示意

### 2.3 施工索道

施工索道由5根钢丝绳组成,通过夹具、手拉葫芦固定在圈梁和施工通道上。这5根钢丝绳,外侧2根间距1.2m是挂篮导索,用于运送操作人员到达安装位置,内侧的2根间距0.8m是滑车导索,用于运送节点盘。高于索面2m处设1根挂索缆吊,用于横向索的运送及安装。施工索道会随着索网安装的开展而进行移动,由起始时的每区域3道索道,变成对称的4道索道,并采用间隔跳的转移方法向两侧移动。施工索道系统如图4所示。

## 3 索道吊装索网施工

### 3.1 索网安装施工顺序

索网安装顺序:①在每个区域中心对称位置安装施工通道;②在区域分界线上安装起始施工索道;③利用施工索道组装区域分界线上的纵向索及其两侧纵向索,安装相邻两纵向索之间的横向索;④向两侧转移索道,由起始的

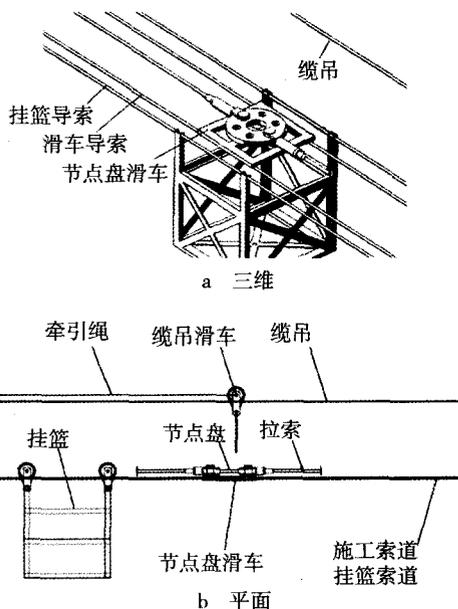


图4 施工索道系统

15道施工索道增加至对称的20道,索网安装呈“V”形安装顺序,施工索道上端在圈梁上环向移动,下端在施工通道上向上移动;⑤依次安装纵向索和横向索,呈“V”形收缩式安装顺序;⑥索网安装结束,张拉下拉索至索网成型施工顺序如图5所示。

### 3.2 纵向索安装

纵向索安装时,长索考虑先在下部拼接、后通过卷扬机将索向上牵引至安装位置进行连接。由于部分纵向索的质量较大,所以在安装时考虑进行分批安装。每根纵向索由25根主索构成,为叙述方便,从圈梁向索网中心方向对主索进行编号,编号为1, 2, 3, 4, ……, 25号。

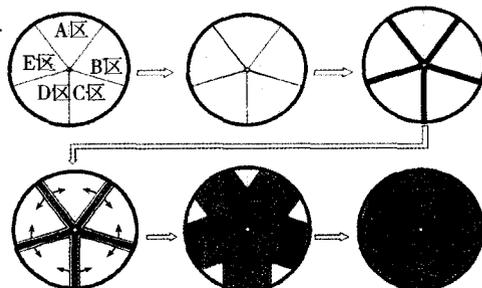


图5 索网安装施工顺序

(1) 将第1, 2, 3, 4号索在索网中心处进行连接,节点盘置于滑车上。卷扬机牵引1, 2, 3, 4号拉索向圈梁移动,最终使1号与圈梁连接。

(2) 将第5, 6, 7, 8号索在索网中心处进行连接, 节点盘置于滑车上。卷扬机牵引5, 6, 7, 8号拉索向圈梁移动, 最终将4号拉索与5号拉索连接。

(3) 以此类推安装至最后一根拉索。

(4) 最后一根拉索要与已安装拉索进行对接, 利用节点盘上的螺孔安装手扳葫芦辅助安装。

短索安装时, 考虑到总重不大的情况, 可进行一次性拼装牵引, 先连接下端, 再连接圈梁。

### 3.3 横向索安装

横向索安装时, 吊篮作业人员在节点盘上安装手扳葫芦并收紧。安装的横向索通过缆吊从圈梁运输至安装位置, 缆吊滑车带可调高度装置, 与索的连接要采用专用吊带, 保证拉索不受损。调节缆吊滑车的高度, 将横向索降到安装位置进行对接, 完成安装。以作业区A区为例, 在相邻两道纵向索A0、A1之间安装横向索, 其相邻两挂篮导索为A、B。横向索安装顺序: ① 相邻两挂篮导索A、B上各安装1部挂篮; ② 挂篮被牵引至待安装横向索节点A1、B1处; ③ 组装连接A1、B1节点之间的横向索及下拉索; ④ 移动A索道上的挂篮至A2节点处, 安装A2与B1之间的横向索; ⑤ 移动B索道上的挂篮至B2节点处, 安装A2与B2之间的横向索; ⑥ 移动A索道上的挂篮至A3节点处, 安装A3与B2之间的横向索; ⑦ 重复以上安装过程, 直至相邻两纵向索间所有横向索及下拉索安装完成。

### 3.4 下拉索安装

下拉索质量不大时, 坡面平缓, 适合走动时, 可以考虑地面人工搬运至安装位置, 吊篮作业人员在节点盘上安装临时滑车, 并放绳索通过滑车。地面人员将绳索与横向索连接, 拉动绳索, 通过上端滑车导向, 将下拉索垂直运送到安装位置, 完成上端安装。地面人员通过绳索、葫芦将下锚头拉至地锚位置, 待安装。

当安装位置坡面陡峭, 人员行动不便时, 采用缆吊运索至安装位置, 将拉索上端与节点盘连接固定。然后在缆吊上安装临时滑车, 并放绳索

通过滑车, 绳索一端与拉索下锚头连接, 一端由地面操作人员控制。拉动绳索, 使下锚头先抬高10cm, 解除下锚头与缆吊滑车的连接。缓慢放松绳索, 下锚头降落至地面。地面人员通过绳索、葫芦将下锚头拉至地锚位置, 待安装。

上端连接完成后, 下端连接采用临时拉索进行辅助安装。下拉索安装施工如图6所示。

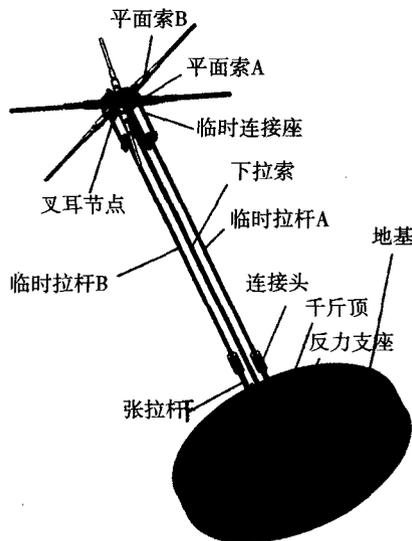


图6 下拉索安装示意图

## 4 结语

国家天文台FAST工程索网安装在国内属于先例, 没有可参考项目。所有安装工作均需在空中完成, 要求精度高, 施工难度大, 本施工方案设计采用索道在空中完成拼装, 需要采用大量悬空索道。其中, 施工通道为固定索道, 需要承载较大受力, 施工索道则随安装进度不断转移。在探索的过程中, 个别施工难题亟待解决, 例如施工索道的便捷转移、中心环梁的定位拉索的运输等。

### 参考文献

- [1] 范峰, 金晓飞. 钱宏亮长期主动变位下FAST索网支承结构疲劳寿命分析[J]. 建筑结构学报, 2010(12): 17-23.
- [2] 金晓飞, 钱宏亮, 范峰等. FAST30米模型整体索网张拉方案的研究[J]. 空间结构, 2007(2): 22-25
- [3] 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
- [4] 杨帆, 朱万旭, 黄颖等. 空间索网结构用节点盘及方便换索的空间索网: 中国, CN201320138023.X[P]. 2013-09-08.
- [5] 乔光宇. 单层索网点支承玻璃幕墙安装工艺[J]. 内蒙古科技与经济, 2013(2): 107-108.
- [6] 孔旭, 姜鹏, 王启明. FAST索网高应力幅变位疲劳问题的优化分析[J]. 工程力学, 2013(S1): 169-174