

“FAST” 主动反射面的形状调节

摘要

我就是一個簡單的摘要。我还不到下一行吗??? 我就要到下一行了吧，太好了，嘿嘿。下一行，我来了！我就是在下一行。

关键字： 关键词 1 鬼哭狼嚎 无人生还

一、问题重述

中国天眼——500 米口径球面射电望远镜 (Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope, 简称 FAST), 是我国具有自主知识产权的目前世界上单口径最大、灵敏度最高的射电望远镜。它的落成启用, 对我国在科学前沿实现重大原创突破、加快创新驱动发展具有重要意义。

FAST 由主动反射面、信号接收系统 (馈源舱) 以及相关的控制、测量和支承系统组成, 其中主动反射面系统是由主索网、反射面板、下拉索、促动器及支承结构等主要部件构成的一个可调节球面。主索网由柔性主索按照短程线三角网格方式构成, 用于支承反射面板 (含背架结构), 每个三角网格上安装一块反射面板, 整个索网固定在周边支承结构上。每个主索节点连接一根下拉索, 下拉索下端与固定在地表的促动器连接, 实现对主索网的形态控制。反射面板间有一定缝隙, 能够确保反射面板在变位时不会被挤压、拉扯而变形。

主动反射面可分为两个状态: 基准态和工作态。基准态时反射面为半径约 300 米、口径为 500 米的球面 (基准球面); 工作态时反射面的形状被调节为一个 300 米口径的近似旋转抛物面 (工作抛物面)。馈源舱接收平面的中心只能在与基准球面同心的一个球面 (焦面) 上移动, 两同心球面的半径差为 $F=0.466R$ (其中 R 为基准球面半径, 称 F/R 为焦径比)。馈源舱接收信号的有效区域为直径 1 米的中心圆盘。当 FAST 观测某个方向的天体目标时, 馈源舱接收平面的中心被移动到天体目标与基准球面的球心连成的直线与焦面的交点处, 调节基准球面上的部分反射面板形成以天体目标与基准球面的球心连成的直线为对称轴、以馈源舱接收信号为焦点的近似旋转抛物面, 从而将来自目标天体的平行电磁波反射汇聚到馈源舱的有效区域。

将反射面调节为工作抛物面是主动反射面技术的关键, 该过程通过下拉索与促动器配合来完成。下拉索长度固定。促动器沿基准球面径向安装, 其底端固定在地面, 顶端可沿基准球面径向伸缩来完成下拉索的调节, 从而调节反射面板的位置, 最终形成工作抛物面。

本赛题要解决的问题是: 在反射面板调节约束下, 确定一个理想抛物面, 然后通过调节促动器的径向伸缩量, 将反射面调节为工作抛物面, 使得该工作抛物面尽量贴近理想抛物面, 以获得天体电磁波经反射面反射后的最佳接收效果。

请你们团队根据附录中的要求及相关参数建立模型解决以下问题:

1. 当待观测天体 位于基准球面正上方, 即 $\alpha = 0^\circ, \beta = 90^\circ$ 时, 结合考虑反射面板调节因素, 确定理想抛物面。
2. 当待观测天体 位于 $\alpha = 36.795^\circ, \beta = 78.169^\circ$ 时, 确定理想抛物面。建立反射面板调

节模型，调节相关促动器的伸缩量，使反射面尽量贴近该理想抛物面。将理想抛物面的顶点坐标，以及调节后反射面 300 米口径内的主索节点编号、位置坐标、各促动器的伸缩量等结果按照规定的格式（见附件 4）保存在“result.xlsx”文件中。

3. 基于第 2 问的反射面调节方案，计算调节后馈源舱的接收比，即馈源舱有效区域接收到的反射信号与 300 米口径内反射面的反射信号之比，并与基准反射球面的接收比作比较。

二、问题分析

对于问题一，由于理想抛物面的对称性，我们可以将原先的三维问题看为一个二维问题。我们以球心为原点建立直角坐标系，再设出理想抛物面的一个平面上的方程，与反射面板向上伸缩至极限时的方程联立，得到交点的坐标。再结合反射面板的调节限制，进行枚举，得到最合适的理想抛物面的解。

三、模型建立

3.1 符号说明

符号	意义
D	木条宽度 (cm)

3.2 问题一

3.2.1 坐标系的建立

由于理想抛物面的高度对称性，所以我们可以只考虑一个平面。我们只需建立一个平面直角坐标系。以基准球面的球心为原点，建立如图 1 所示的直角坐标系。坐标系

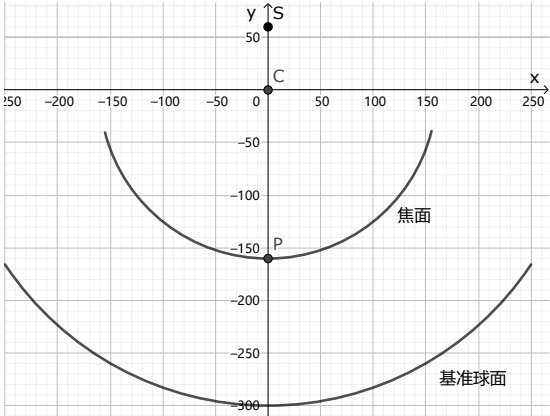


图 1 坐标系示意图

中基准球面的方程为 $x^2 + y^2 = 300^2$ 。反射面板向下伸缩至极限时的方程为 $x^2 + y^2 = (300 + 0.6)^2$ ，向上伸缩至极限时的方程为 $x^2 + y^2 = (300 - 0.6)^2$ 。

设理想抛物面在此平面上投影的方程为 $x^2 = 4p(y + a)$ ，将其与反射板向上伸缩至极限时的方程联立

$$\begin{cases} x^2 = 4p(y + a) \\ x^2 + y^2 = (300 - 0.6)^2 \end{cases}$$

解得

$$\begin{pmatrix} -\sigma_2 \\ -\sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_1 \end{pmatrix}$$

where

$$\sigma_1 = \sqrt{-\frac{4(5a-801)\left(5a+2\sqrt{\frac{41295363226730493}{34359738368}}-4005a-1602\right)}{25}}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{4(5a-801)\left(2\sqrt{\frac{41295363226730493}{34359738368}}-4005a-5a+1602\right)}{25}}$$

参考文献

- [1] 宋叶志. 月球探测器软着陆弹道及地月平动点卫星轨道确定研究. PhD thesis, 中国科学院大学 (中国科学院国家授时中心), 2019.

附录的内容。。。