

大射电望远镜馈源支撑系统建模与仿真

缪岭, 刘玉标

(中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘要: 根据 500m 口径球面射电望远镜 (FAST) 原始设计方案, 基于多体系统动力学建模方法, 建立了馈源支撑系统的机械模型, 并对此模型进行了动力响应分析, 为此项目最终方案的选择提供了参考。

关键词: FAST; 多体动力学建模; 动力响应

中图分类号: TH113

文献标识码: A

文章编号: 1002-2333(2008)07-0130-02

Modeling and Simulation of Feed Supporting System for the Large Radio Telescope

MIAO Ling, LIU Yu-biao

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: According to the original design of Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope (FAST), based on the multi-body system dynamics modeling methods, a mechanical model is set up for the feed supporting system. Dynamic response analysis of the model is done to provide a good reference for the choice of the final project.

Key words: FAST; multi-body system dynamics modeling; dynamic response

1 引言

根据射电天文学发展需要, 我国决定利用贵州喀斯特洼地, 建设 500m 口径球面射电望远镜 (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope, 简称 FAST), 建成后 FAST 将是世界上最大的单天线射电望远镜, 对我国天文学的发展具有重要的意义^[1]。

针对如此巨大口径的现实情况, 对馈源支撑系统, FAST 采用了一种全新的光机电一体化创新设计方案^[2]。此设计方案先通过大跨度的悬索对馈源舱进行粗调, 然后在馈源舱内采用 Stewart 机构进行二次精调, 并实时通过激光检测装置检测接收装置的具体位置, 与主动反射面配合, 反馈给计算机处理进行闭环控制。

由于以往对此工程的机构动力分析一般都建立在有限元的基础上, 无法对系统整体进行拖动的实际仿真计算, 因此根据上述设计方案, 采用多体动力学分析软件 MSC.Adams 建立了馈源支撑系统的机械模型及风载模型, 并分析了其关键点的响应情况。

2 模型的建立

按照多体动力学建模方法, 对实际机械系统进行抽象, 用标准的运动副、驱动约束、力元和外力等要素建立与实际机械系统一致的模型^[3]。

悬索系统采用 6 悬索式悬吊方案。悬索与馈源舱连接并不交于同一处, 而是以相邻两根为一组与馈源舱连接, 形成三角形式的连接方案。悬索模拟采用有限元的方法, 将每根悬索分割为多段, 以铰接连接, 并考虑到悬索的变形, 添加了弹簧阻尼元件, 使悬索模拟更加符合真实。

馈源舱系统根据分析要求可以分为四部分, 分别为三脚架、摆索 (阻尼索)、位置器及 Stewart 平台, 将各部分外形进行简化后, 以标准的连接副进行连接。设 Stewart

平台下端动平台中心位置为关键点的位置 (此处也为接收器的实际位置)。

设定悬索支点与馈源舱顶部中心水平距离 300m, 垂直距离 150m, 以主动反射面的底部最低处作为地面, 馈源最低点高度约为 150m。Y 向为竖直方向, X、Z 平面为水平面。

设定悬索直径为 40mm, 初始建模单根悬索长度为 333m, 馈源总质量为 27.6t, 尺寸尺度为 10m。建模效果图如图 1 所示。

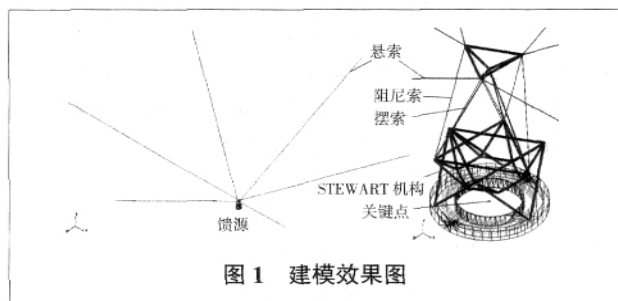


图 1 建模效果图

风载荷模型可根据达文波特风速谱模型建立。风速可以由标准风速及脉动风速两部分叠加得到, 最终得到的风速公式为:

$$U(y, t) = \frac{y}{10} V(10) + \psi(10, t)$$

其中 y 为高度, t 为时间, $V(10)$ 是地面高度为 10m 处的平均速度, $\psi(10, t)$ 为地面粗糙度指数, $\psi(10, t)$ 为脉动风速。实际模拟中, 根据一定的方法将风速转化为力的函数加在实际的模型中^[4]。

图 2 为 10m 高处风速为 4m/s 时求得的脉动风速曲线。

3 工况分析

由于建模时无法预知平衡时的具体位置, 所以第一

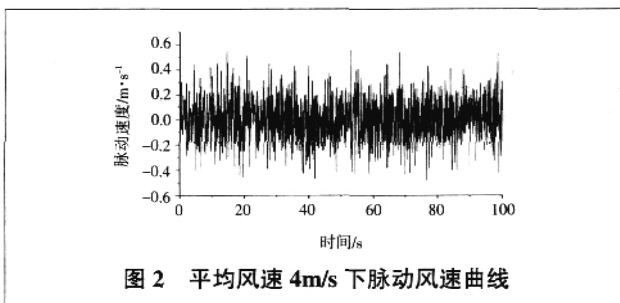


图2 平均风速4m/s下脉动风速曲线

步可以求出无风载下的馈源的平衡位置，然后可根据此平衡位置，得到实际的工作位置。根据计算馈源中心位置相对初始建模位置改变量(单位:m)为(0, +1.373, 0)。

在模型中引入风载荷后，可以得到如图3、图4、图5所示的响应状况。仿真时设定10m高处风速为4m/s(此为设计正常工作状态风速)。计算平衡后仿真20s时加入风载荷，且设定风的方向为水平。

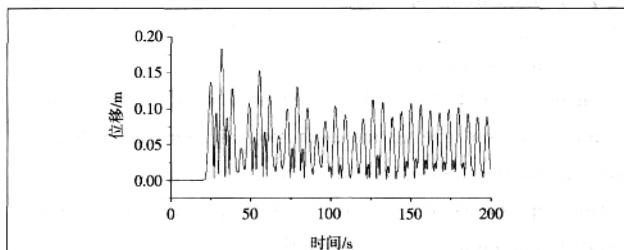


图3 关键点偏离平衡位置距离变化曲线

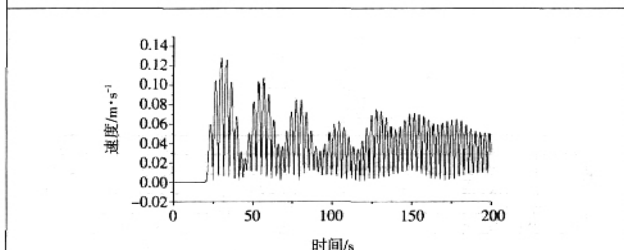


图4 关键点速度绝对值变化曲线

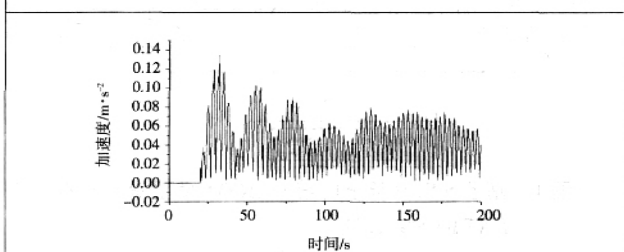


图5 关键点加速度绝对值变化曲线

馈源在平衡状态下受到风载荷影响，相当于一个瞬态响应，由于阻尼索有阻尼的存在，响应幅值会有所衰减，最后达到稳态。风载荷对系统的影响很大。

根据曲线可以得到在受到4m/s的平均风速时，最大偏离距离为0.1837m，最大加速度为0.1350m/s²，在施加控制后，符合望远镜正常工作设计要求。

阻尼索阻尼大小对系统响应也有一定的影响。图6为阻尼减小到上述情况1/10的加速度图像，可以发现，瞬态最大加速度为0.1418m/s²，变化不大，但其振荡过程

中，加速度幅值没有明显的衰减过程。故必须合理选择阻尼的参数。

拖动仿真时设定各根悬索拖动距离分别为-10.897、-10.897、-0.0556、10.643、10.643、-0.0556(m)，图7为关键点的响应图像。在30~70s进行拖动。

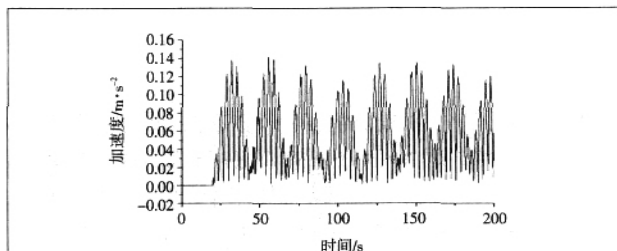


图6 阻尼索小阻尼时关键点加速度绝对值变化曲线

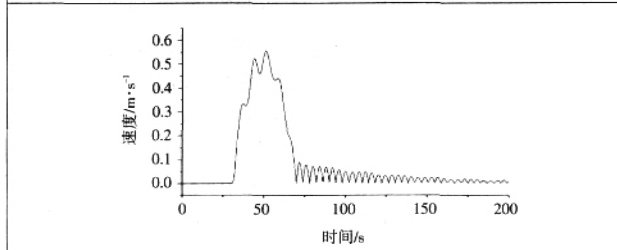


图7 拖动时关键点速度变化绝对值变化曲线

通过仿真可以发现，建立的模型能够很好地完成拖动仿真，在换源平均速度为0.342m/s时，完成时间40s，拖动时系统最大速度为0.555m/s，最大加速度为0.090m/s²。

4 结论

通过建模仿真，对系统进行多体动力学建模分析，可以得到系统的响应状况，并且可以改变设计参数进行对比分析，从而得到最佳的设计参数。并且此模型还可以很好的进行大范围的拖动仿真计算，分析各参数对拖动的影响。后续还可以加入控制系统，进行机电一体化的仿真分析。在正式样机制造前先仿真实际运行状况，减少了设计修改时间。研究为项目的实际设计建造提供了很好的参考。

[参考文献]

- [1] 南仁东. 500 m球反射面射电望远镜FAST[J].中国科学G辑, 2005, 35(5): 449-466.
- [2] Duan B Y. A new design project of the line fed structure of large spherical radio telescope and its nonlinear dynamic analysis[J]. Int.J.Mechatronics, 1999(1): 53-64.
- [3] 陈立平,等.机械系统动力学分析及ADAMS应用教程[M].北京:清华大学出版社, 2005.
- [4] 希缪,斯坎伦.风对结构的作用-风工程导论[M].上海:同济大学出版社, 1992. (编辑 立明)

作者简介: 缪峰(1982-),男,主要从事机械动力学仿真研究。

刘玉彬(1961-),男,中国科学院力学研究所副研究员,主要从事振动控制及结构动力学仿真研究。

收稿日期: 2008-04-17