

大型可展天线展开方式及规律的研究

肖勇 罗国华 陈国定 王三民 (西北工业大学机电学院, 西安 710072)

Study of deploy methods and rules of hoop truss deployable satellite antenna

XIAO Yong, LUO Guo-hua, CHEN Guo-ding, WANG San-min

(Northwestern Polytechnical University Xi'An 710072, China)

【摘要】 基于对大型可展天线结构功能的分析, 提出了三种天线展开方式和两种展开规律, 采用 ADAMS 软件进行了相应的天线展开过程的仿真分析。在对不同展开方式和规律比较的基础上, 提出了具有较好动力学性能的天线展开方式和规律, 为大型可展天线的设计研制提供了参考依据。

关键词: 天线; ADAMS; 动力学

【Abstract】 Based on analysis of Hoop Truss Deployable Satellite Antenna's function, the simulation of antenna's deploy was carried out in ADAMS. Three deploy methods and two deploy rules were proposed in this paper. The deploy method and rule, which have better dynamic performance, were proposed through compare and contrast between different deploy methods and rules for antenna's further design.

Key words: Antenna; ADAMS; Dynamics

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A

1 绪言

增大卫星天线的口径, 是增强卫星覆盖区域和功能精度、提高卫星接收信号增益的主要途径。卫星天线作为卫星的重要组成部分和功能执行平台, 在多功能、大容量、多谱段、大功率和长寿命等需求的驱动下, 其大型化已成为卫星天线的发展趋势, 大型卫星天线的研究成为多种类型卫星研制工作中的关键技术[1]。

2 天线展开仿真模型

2.1 可展天线的三维实体建模[2]

考虑到可展天线在展开过程中的可靠性要求, 以及避免天线在展开过程中与卫星基体发生干涉, 可展天线一般由展开大臂、展开小臂和天线三部分结构件组成, 并且由连接铰链将卫星基体、展开大臂、展开小臂和天线依次连接, 而天线本体的展开则是通过由同步铰链和自锁铰链连接的天线各杆件的相互运动而完成的。

可展天线的三维建模利用 ADAMS 软件中的 Mechanism/Pro 模块, 在 ADAMS 软件环境下由 Pro/E 软件完成了展开大臂、展开小臂、同步铰链和自锁铰链, 以及天线各杆件等零部件的造型, 并将这些零部件按照一定的装配关系组装形成可展天线的三维实体模型, 如图 1 所示。

2.2 展开方式和展开规律的提出

在对大型可展天线结构功能分析的基础上, 仿真分析中提出了三种天线展开方式, ①先展开大臂, 再展开小臂, 最后展开天线; ②先展开小臂, 再展开大臂, 最后展开天线; ③同时展开大臂和小臂, 然后展开天线。

仿真过程中采用了两种大臂和小臂的展开运动规律, 即匀

速展开规律和正弦展开规律。天线的展开由于结构的复杂性, 因此采用的是匀速展开规律。

一般来讲, 卫星天线展开的速度较慢, 整个展开过程甚至持续若干天。虽然

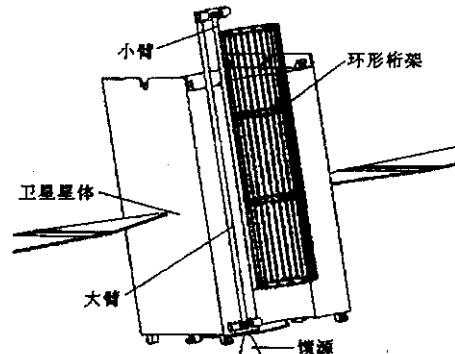


图 1 可展天线的三维实体模型

Fig. 3—3-D solid model of deployable antenna

有限的时间内完成, 但仿真分析中的展开速度可以按实际展开情况换算获得。在这里的仿真分析中, 大臂展开时间和小臂展开时间均规定为 785s, 天线本身的展开时间为 157s。对于大臂和小臂同时展开的方式, 由于其对应于减少展开时间的要求, 所以这种展开方式中大小臂同时展开的时间也规定为 785s。按照这样原则得到的匀速展开规律的角速度 $\omega = 0.004 \text{ rad/s}$, 正弦展开规律的角速度 $\omega = 0.01256 \sin(0.04t)$ 。

应当指出的是, 尽管仿真分析在时间上较之实际展开时间大大减少, 但分析结果是不同展开方式和规律的差异情况仍然是天线实际展开情况的一种合理正确的映射。

2.3 仿真分析中的有关参数确定[3]

仿真分析采用了 ADAMS 软件中自动变阶、变步长的 GS-TIFF 积分程序, 程序中比较重要的参数有积分步长数和容错级别等。

积分步长数的确定有赖于系统方程的非线性程度和容许的计算代价。积分步长数取得过小,求解时间比较短,但求解过程可能出现发散现象而致使计算失败;积分步长数取得过大,虽然迭代计算的收敛性大为改善,但所需计算时间过长、计算代价过大。因此,确定合理的积分步长数对于仿真计算是很重要的。本文针对大型可展天线展开过程仿真分析这一具体问题,经过大量的计算尝试,确定积分步长数取为3454,实际仿真分析也证实这一积分步长数值是合适的。

容错级别决定仿真计算的精度。一般来讲,计算精度越高,计算所需时间就越长。为了在计算精度与计算效率之间取得平衡,合理地确定容错级别是重要的。在大量计算的基础上,本文采用4级容错级别,实际仿真分析表明,这一级别不仅使求解精度达到小数点后面4位,而且计算过程也不需要很长时间。

2.4 仿真分析的输出物理量

可展天线展开过程的动力学问题主要体现在天线展开机构的几个主要连接铰链承受有较大的冲击力,这种冲击力主要出现在天线展开机构的各结构件在其展开阶段结束的时刻。正如前所述,减小天线展开机构主要连接铰链承受的作用力,不仅可能避免因其而激发的卫星—天线耦合振动响应失稳现象,而且对于大型可展天线展开机构的强度、轻量化和长寿命设计都是有意义的。

因此,这里着重研究卫星—展开大臂连接铰链、展开大臂—展开小臂连接铰链、展开小臂—天线连接铰链、天线中的同步铰链和自锁铰链等展开机构的主要连接铰链,在展开机构各结构件展开过程中所承受的最大作用力与展开方式和展开规律的关系,并取最大作用力为可展天线展开过程动力学特征参数,以反映不同天线展开方式和规律的动力学特性。

3 仿真结果和分析

表1是展开大臂、展开小臂及天线展开规律均为匀速展开规律、以及三种展开方式情况下,上述五个连接铰链在天线展开过程中承受的最大作用力。从表1中可以看出,当展开大臂和展开小臂以匀速展开规律展开时,无论哪一种展开方式都表现为在小臂展开结束前,卫星—展开大臂连接铰链、展开大臂—展开小臂连接铰链和展开小臂—天线连接铰链承受的作用力最大,第二种展开方式尤甚。原因主要在于小臂的结构刚度和连接刚度较之大臂的为低,因此在展开过程中由于结构柔软而表现出承受较大的冲击力。从减小连接铰链承受作用力的角度来讲,在小臂展开时施加阻尼影响或延长小臂展开时间都是很有必要的。

天线上的同步铰链和自锁铰链主要在天线展开过程中承受较大的作用力,并且同步铰链承受的作用力略大些。展开大臂和展开小臂的展开过程几乎对同步铰链和自锁铰链没有影响,因为此时天线尚未展开而表现为“刚体”。

表2是展开大臂和展开小臂的展开规律为正弦展开规律、天线展开规律仍为匀速展开规律、以及三种展开方式情况下,上述五个连接铰链在天线展开过程中承受的最大作用力。从表2中可以看出,当展开大臂和展开小臂采用正弦展开规律后,卫星—展开大臂连接铰链、展开大臂—展开小臂连接铰链和展开小臂—天线连接铰链承受的作用力明显减小。

臂一天线连接铰链承受的作用力较之采用匀速展开规律时大为减小,其原因可以归结为采用正弦展开规律后,展开大臂和展开小臂的展开起始和终止速度变化平缓,因而对铰链的冲击也小。由于天线的展开规律仍为匀速展开规律,所以在其展开时同步铰链和自锁铰链承受的作用仍然很大。

表1 匀速展开规律条件下连接
铰链承受的最大作用力(N)

Table1 maximal forces subjected on joints in the
condition of speed—average deployment(N)

第一种展开方式			第二种展开方式			第三种展开方式		
大臂展	小臂展	天线展	小臂展	大臂展	天线展	大小臂展	天线展	
开完成	开完成	开完成	开完成	开完成	开完成	开完成	开同时完	开完成
785(s)	1570(s)	1727(s)	785(s)	1570(s)	1727(s)	785(s)	1570(s)	942(s)
卫星展	49.592	313.88	1.5563	808.25	354.83	1.5563	337.38	2.0645
开大臂 接铰链	49.591	313.88	1.5563	808.24	354.83	1.5563	337.38	2.0645
展大臂 接铰链	49.591	313.88	1.5563	808.24	354.83	1.5563	337.38	2.0645
展小臂 接铰链	49.591	313.88	1.5563	808.24	354.83	1.5563	337.38	2.0645
展小臂 天线连 接铰链	49.591	313.88	1.5563	808.24	354.83	1.5563	337.38	2.0645
自锁链	9.9278	40.532	557.51	163.52	45.104	379.54	80.554	346.71
同步链	13.45	42.19	624.39	192.98	57.188	496.05	37.568	445.47

表2 正弦展开规律条件下连接
铰链承受的最大作用力(N)

Table1 maximal forces subjected on joints in
the condition of sine deployment (N)

第一种展开方式			第二种展开方式			第三种展开方式		
大臂展	小臂展	天线展	小臂展	大臂展	天线展	大小臂展	天线展	
开完成	开完成	开完成	开完成	开完成	开完成	开完成	开同时完	开完成
785(s)	1570(s)	1727(s)	785(s)	1570(s)	1727(s)	785(s)	1570(s)	942(s)
卫星展	1.795	3.2151	1.727	4.8278	4.6125	1.0231	4.0556	1.5628
开大臂 接铰链	1.795	3.2151	1.727	4.8278	4.6125	2.0645	4.0556	1.5628
展大臂 接铰链	1.795	3.2151	1.727	4.8278	4.6125	2.0645	4.0556	1.5628
展小臂 接铰链	1.795	3.2151	1.727	4.8278	4.6125	2.0645	4.0556	1.5628
展小臂 天线连 接铰链	1.795	3.2151	1.727	4.8278	4.6125	2.0645	4.0556	1.5628
自锁链	3.6144	4.8255	405.13	9.8023	3.2153	242.29	16.687	298.42
同步链	4.5263	5.0889	519.37	11.044	4.4296	311.42	26.888	371.4

4 结论

(1) 大臂和小臂的展开采用正弦展开规律,可以大大减小卫星—展开大臂连接铰链、展开大臂—展开小臂连接铰链和展开小臂—天线连接铰链承受的作用力,有利于提高可展天线的寿命和进行天线轻量化设计;

(2) 当大臂和小臂的展开规律为匀速展开规律时,小臂的展开过程对卫星—展开大臂连接铰链、展开大臂—展开小臂连接铰链和展开小臂—天线连接铰链的冲击较大,因此有必要或是引入阻尼作用,或是延长小臂的展开时间,以减小其对连接铰链的冲击;

(3) 同步铰链和自锁铰链承受的冲击力主要来自于天线展开过程的起停时刻,大臂和小臂的展开情况对其影响不大。如

连铸机结晶器非正弦振动模式的研究

时彦林¹ 冯捷¹ 李鹏飞²(¹ 河北工业职业技术学院,石家庄 050091) (² 石家庄钢铁有限公司,石家庄 050031)

Research of ccm mould no-sin vibration mode

SHI yan-lin¹, FENG jie¹, LI peng-fei²(¹Material Department, Hebei Institute of Vocation and Technique, Shijiazhuang 050091, China)(²Shijiazhuang Iron and Steel Company, Shijiazhuang 050031, China)

【摘要】介绍了非正弦振动模式在高速拉坯时的优点,讨论了椭圆齿轮传动实现的非正弦振动曲线函数的构造以及椭圆齿轮设计时的注意问题。

关键词:连铸机;结晶器;非正弦振动;椭圆齿轮

【Abstract】The article shows the advantage of non-sin vibration mode employed in high-speed bland-pulling. It also discusses the structure of the non-sin vibration curving function in ellipses gears and the problems paid attention to while ellipse gears designed.

Key words: CCM; Mould; Non-sin vibration; Ellipse gears

中图分类号:O328 文献标识码:A

1 前言

结晶器及其振动装置是连铸机的重要组成部分。连铸机结晶器的振动规律是指结晶器的运动速度随时间变化规律,是结晶器振动技术中最基本的内容。在连铸的过程中,如果结晶器是固定的,就可能出现坯壳被拉断造成漏钢事故。

由于结晶器上下振动,周期性改变着液面与结晶器内壁的相对位置,有利于润滑和保护渣向结晶器内壁与坯壳间渗漏,使其内壁获得良好的润滑条件,既减少摩擦力又防止钢水与结晶器壁粘结,同时还改善铸坯表面质量。当发生粘结时振动使其强制脱膜,消除粘结,当结晶器内坯壳被拉裂时,振动与坯壳的相对运动中使其愈合。所以连铸得以顺利进行。

正弦振动规律广泛应用于国内外连铸机上,非正弦振动规律是近几年出现的一种新型振动模式。非正弦振动实现可采用液压伺服系统和机械两种方式。液压伺服系统投资昂贵,设备要求高;机械方式投资低,系统简单,对我国来讲很有推广价值。机械方式有双连杆机构和椭圆齿轮机构两种。本文讨论的是用椭圆齿轮机构实现连铸机结晶器非正弦振动。

2 非正弦振动特点

正弦振动和非正弦振动的振动曲线如图1所示。

连铸机结晶器的振动理想波形是,在正滑动区间($V_{\text{振}} - V_{\text{拉}}$)

* 来稿日期 2004-06-28

果结合天线结构的实际情况对天线展开规律进行相应的修正,有可能减小同步铰链和自锁铰链承受的冲击,这是有待于进一步研究的问题。

参考文献

1 肖勇. 环形可展开大型卫星天线结构设计与研究 [硕士学位论文]. 西安: 西北工业大学, 2001. 3.

$V_{\text{拉}}$)较小以尽可能降低作用在坯壳上的拉伸应力,正滑动时间相对增大会使液态保护渣膜厚度增加(润滑充分);而在负滑动区间($V_{\text{振}} - V_{\text{拉}}$)较大使钢水静压力增大,对坯壳施加足够大的压缩力,有利于振痕的愈合;负滑脱时间相对减小会使铸坯表面振痕变浅,改善铸坯的表面质量。

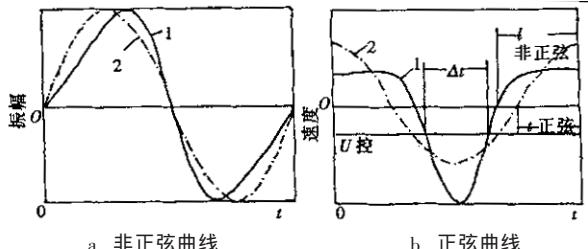


图1 振动曲线模式

Fig. 1 Sin mode of vibration

正弦振动的特性取决于振幅和频率,即正弦振动只有两个相互独立的振动参数。变量小,其波形的调节能力就小,不能同时满足上述几个方面的要求。随着高速铸机的开发,拉坯速度越来越快,正弦振动机构已不能满足高速连铸的工艺要求,特别是对于那些易于粘结的钢种。

非正弦振动是结晶器在振动时结晶器上升具有比下降时间更长的振动波形。向上运动的达到幅值时滞后一定时间(运动慢),而向下运动的达到幅值时超前一定时间(运动快);引入了波形偏斜率 α 这一自由参数,除了可以改变振幅和振频外,还可

2 袁水林, 赫崇智. Pro/Engineer 在航天器结构设计中的应用. 导弹与航天运载技术. 1998. (2).

3 宋健, 张越今. ADAMS 软件应用中解决数值发散的技巧. 汽车技术. 1996. (12).

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>