

文章编号: 1001 - 893X(2011)02 - 0090 - 04

# 电流法在天线传动系统故障及跟踪性能分析中的应用\*

张爱成, 党瑞鹏, 赵京广

(北京航天飞行控制中心, 北京 100094)

**摘要:**分析了天线传动系统影响电机电流特性的因素。提出了天线正常跟踪卫星的电流特性标准, 电流在 6 A 以下属于正常范围。利用电机电流分析法, 对测控天线传动系统的周期性故障、阻尼增大故障以及系统级故障进行定位判断, 提出了产生故障的因素。同时, 分析了上述三类故障对测控天线的跟踪性能的影响。结果表明, 电机电流分析法可以对天线传动系统的故障进行预判断, 有效避免系统级故障的发生, 确保天线运行在良好的跟踪状态。

**关键词:**测控天线; 传动系统; 电机电流分析法; 故障诊断; 跟踪性能

**中图分类号:** TN820.3    **文献标识码:** A    **doi:** 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.02.018

## Application of Motor Current Analysis Method in Fault Diagnosis and Tracking Performance Analysis for Antenna Drive System

ZHANG Ai-cheng, DANG Rui-peng, ZHAO Jing-guang

(Beijing Aerospace Command and Control Center, Beijing 100094, China)

**Abstract:** The factors of antenna drive system affecting motor current characteristics are analysed. The standards of motor current characteristics, for antenna normally tracking the satellite, are proposed. The motor current below 6A is in the normal range. Motor current analysis (MCA) is applied to the fault diagnosis of antenna drive system for periodic failure, damped increasing failure and fatal failure. At the same time, the impact of the three types of fault of drive system on tracking performance is analyzed. The results show that MCA can be used to pre-judge the fault of antenna drive system, which can effectively avoid fatal failure, and ensure the antenna to track satellite in good condition.

**Key words:** TT&C antenna; drive system; motor current analysis (MCA); fault; tracking performance

### 1 引言

测控天线一般具有长时间、不间断准确地对目标进行跟踪的特点, 跟踪性能要求极高。特别是伺服传动系统的稳定与否, 直接关系到测控天线的跟踪精度, 而且伺服传动系统在测控天线中故障发生率较高、危害性大, 一旦出现严重故障, 维护周期长、成本高。特别是利用步进跟踪的限动天线, 传动系统磨损更为严重, 严重影响天线的跟踪性能<sup>[1]</sup>。同

时伺服传动系统部件多, 其故障具有定位难、判断时间长等特点, 这不符合测控天线跟踪要求。

对于传动系统的故障, 采取什么类型的诊断方法, 一直是人们致力研究的课题。遵循的原则应该是能够简便和准确地获取所监测设备的状态信息, 并且对获取的数据易于处理。在过去主要是以工程师的经验来对传动系统的故障进行判断。对于测控天线的传动系统, 主要是在传动系统发生故障导致丢星, 然后逐级进行检查。后来振动分析法广泛应用在传动系统的故障诊断中, 但是振动方法的主要问题是传

\* 收稿日期: 2010 - 10 - 18; 修回日期: 2010 - 12 - 18

传感器的安装和对数据的分析,尤其是电涡流传感器,要求设备的特定位置必须有一定的安装空间,并且要保证探头不受其它诸如油类等腐蚀性物质的污染。测控天线的传动系统大部分安装在室外,而且空间比较狭小,不适合传感器的安装。在振动分析中,目前有学者采用 BP 神经网络进行数据分析<sup>[2]</sup>,这种方法受制于神经网络的固有特性,不能对所有数据进行完美分析。针对这些情况,提出一种新的诊断方法,该方法通过采集电机电流,对电机电流在测控天线各种运行状态下的数据分析处理,来监测与诊断电机及其驱动设备机械故障的产生与发展,这种方法称为电流分析法(Motor Current Analysis, MCA)<sup>[3]</sup>。MCA 是一种综合的电机及其驱动设备的故障诊断方法,可以实现远距离测试,对于一些周围环境恶劣的设备,该方法更具有实际意义<sup>[4]</sup>。

## 2 电机电流对传动系统故障判断方法

### 2.1 电机电流分析法原理

电机电流方法基于以下原理,即驱动设备工作的电机本身就相当一个机电转换器,当设备由于载荷变化,或由于部件松动、磨损产生振动变化时,通过转子到定子电流间的电磁耦合作用,在定子电流中产生相应频率的电流成分。人们最初只认为这是一些干扰成分,随着现代谱分析技术的发展,电机电流方法逐渐被人们所认识。电机电流分析法的实质是从力矩到电能量的转换,因而对传动系统力矩类故障比较敏感。由于电流的检测和监测相对易于实施,使电机电流分析法近年的研究比较活跃,对电机本体的故障研究已日趋成熟,研究范围开始扩展至电机的拖动设备<sup>[5]</sup>。1982 年, M. E. Steels 用在电机电源线上串联取样电阻的方法,获取了几台设备故障(如齿轮、轴承故障)和正常状态下的电流谱图,当设备发生故障时,电流谱图均发生明显的变化<sup>[6]</sup>。通过提取电机电流的信号特性曲线,可以对天线传动系统的故障进行分析。

### 2.2 影响电机电流因素

如图 1 所示为电机在测控天线系统中的位置。测控天线传动系统由方位和俯仰两条传动链构成, ACU(天线控制单元)控制驱动器,驱动器驱动电机使能转动,电机带动天线向需要的方向移动。方位链驱动天线方位角度,俯仰链驱动天线俯仰角度,互相不影响。下面以方位传动系统作为分析对象。

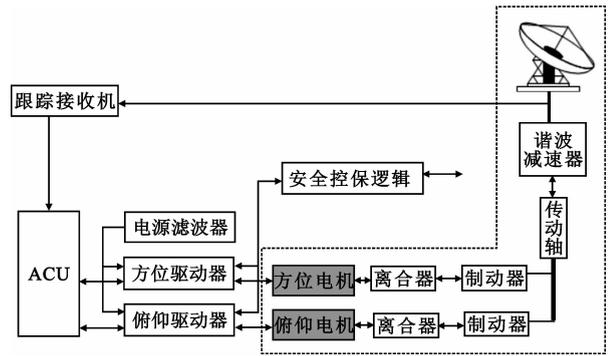


图 1 测控天线简图

Fig. 1 Schematic diagram of TT&C antenna system

天线传动系统由天线、谐波减速器、传动轴、制动器、离合器、电机等部件组成,这些部件任何一个发生异常或者故障都会影响电机驱动,进而反应在电机电流的状态上。

图 2 为实验系统简图。计算机在电机上采集电流,然后进行分析处理。



图 2 实验系统简图

Fig. 2 Schematic diagram of test system

测控传动系统所用电机为直流伺服电机,工作电压为 200 V,最大工作电流为 25 A。

### 2.3 天线正常跟踪卫星时电机电流的特性

电机电流的特性曲线能够直接反应测控天线传动系统的性能状态。在对天线传动系统故障进行分析诊断前,需要制定相应的天线正常跟踪卫星时的电流特性曲线。当天线传动系统出现异常时,电机电流的特性曲线会明显不同于天线正常跟踪卫星时的特性,不同的电机电流特性反应了传动系统的不同故障特征。

图 3 中的曲线显示了天线正常跟踪卫星时电机电流的特性。从图中可以看出,天线在正常跟踪卫星、传动系统没有任何异常时,电机电流在 2 ~ 6 A 之间。如果天线传动系统磨合较好而且谐波减速器以及天线齿轮润滑很充分,会减小传动系统的阻尼,电机电流会更小,甚至低于 2 A。另外,在天线跟踪卫星过程中电机会反向旋转,出现负值电流,所以只要电机电流的绝对值在 6 A 以下,则可以认为传动系统工作正常。

天线随着卫星的漂移而移动。电机的转速与卫星的漂移速度相关,所以电机转速不会匀速地固定在某一个值,同时由于天线传动系统的机械间隙因

素,会影响电机的力矩和转速,进而影响其电流特性,所以正常跟踪卫星时的电流特性会有锯齿波的特征。

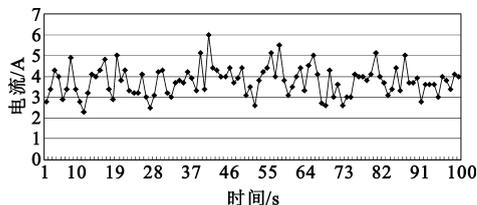


图3 天线正常跟踪卫星时电机电流特性曲线

Fig.3 Current characteristics of antenna tracking satellite normally

在天线跟踪卫星过程,任何异于天线正常跟踪卫星时的电机电流特性都属于传动系统的故障特征。

### 3 传动系统的典型故障及跟踪性能分析

以某测控天线传动系统为测试对象,对测控天线传动系统的3类常见故障进行电机电流特性分析。图4~6的电机电流特性曲线分别代表测控天线传动系统的周期性传动故障、传动阻尼增大以及系统级故障。

图4的电流特性曲线显示电机在正常驱动天线跟踪卫星过程会突然周期性出现超过20 A的大电流,一般出现该类特性曲线表明天线的传动系统发生了周期性的传动故障。当天线传动系统出现周期性故障时,电机仍然可以间隙性驱动天线寻找卫星信号最大值,但天线的跟踪精度、指向精度等明显下降,严重影响天线对卫星的测角和测距。

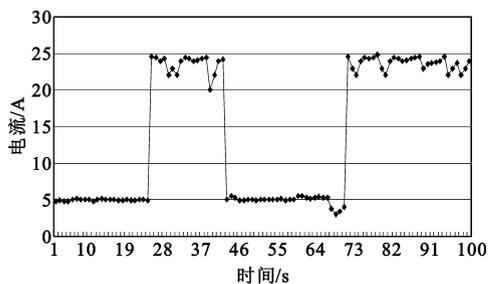


图4 传动系统周期性故障

Fig.4 Periodic failure curve of drive system

在图5中,电机电流一直维持在10 A左右,这种特性曲线反映了传动系统阻尼整体变大。传动系统的阻尼增大故障不影响天线的正常跟踪卫星,仅仅会使传动系统的跟踪性能下降,同时长时间使得电机在大负荷条件下运转,降低了电机的使用寿命。如果传动系统长时间运行在阻尼增大故障状态,最终会导致系统级故障的出现。

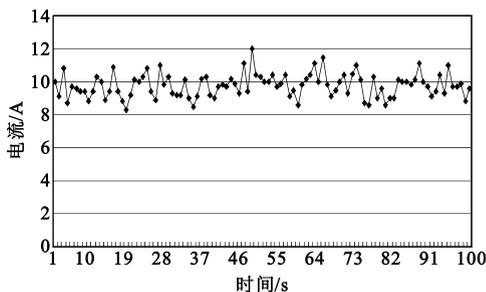


图5 传动系统阻尼增大故障

Fig.5 Damped increasing failure curve of drive system

图6中,电机电流一直在满负荷运转,说明天线传动系统级故障,电机已经满负荷无法驱动天线。系统级故障直接导致天线丢星,失去卫星的测角、测距等参数。当出现这类电流曲线时,需要立即停止电机运行,为了保护电机,最好切断电机电源。

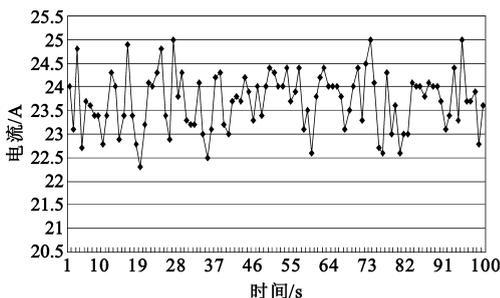


图6 传动系统大故障

Fig.6 Fatal failure curve of drive system

一般引起系统级故障的因素比较复杂,而且也最难诊断。所有的传动系统故障,如果不能及时发现处理,最后都会引起系统级故障,导致如图6所示的电流特性曲线出现。

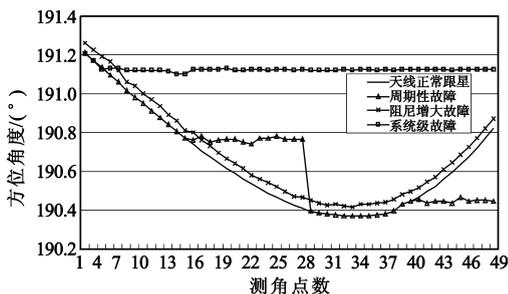


图7 天线方位测角数据曲线

Fig.7 Azimuth curve of antenna

在图7中,分别是天线在正常跟踪某卫星、发生周期性故障、阻尼增大故障以及系统级故障时,天线的方位测角数据曲线。根据在某测控天线的实际应用以及图7可以知道,引起以上3类故障的主要因素以及相应的对天线跟踪性能的影响,如表1所示。

表1 引起传动系统故障因素及对天线跟踪性能的影响

Table 1 Factors of driver system fault and the effect on antenna tracking performance

故障类型	引起故障因素	跟踪性能影响
周期性故障	传动系统某部件松动,但还未完全脱开	卫星信号偶尔丢失
	传动系统连接处有异物,产生周期性摩擦增大	严重影响测角测距影响跟踪精度、指向精度
阻尼增大故障	连接件之间轴系发生弯曲导致不对中	
	传动系统润滑不充分	
系统级故障	传动系统部件之间摩擦增大	可以正常跟星
	离合器摩擦片摩擦增大	影响测角、测距
	制动器未完全脱开	影响指向精度
	轴承性能下降	
系统级故障	电机损坏	
	离合器损坏	
	制动器损坏	完全丢星
	轴承断裂	影响所有跟踪参数
	连接轴断裂	
	减速箱齿轮损坏	

表2显示了某测控天线传动系统3类典型故障实例以及故障恢复时间。

表2 传动系统故障实例

Table 2 Examples of driver system fault

时间	电流反应特征	故障原因	恢复时间/h
2010年1月	周期性故障	方位2号制动器螺钉脱落卡在离合器法兰盘与制动器之间,引起周期性摩擦	0.5
2009年12月	阻尼增大故障	俯仰1号齿轮箱体内润滑油不合格,导致俯仰传动阻尼增大	2
2008年7月	系统级故障	方位1号链减速箱轴承损坏	6

当传动系统发生系统级故障时,由于其引起因素非常复杂,对故障原因判断较为困难。当查明故障原因后,恢复系统耗费时间会相对较长,不符合测控天线的不间断跟踪卫星的要求,所以在实际应用中,要尽量避免系统级故障的产生。

## 4 结论

电机电流分析法作为测控天线传动系统故障的有效分析手段,以天线正常跟踪卫星的电流特性为依据,可以有效地对大部分天线传动系统故障进行分析定位,而且还可以对一些传动系统的故障隐患进行提前判断,避免更严重的传动系统故障发生,这

对于测控天线进行不间断跟踪卫星是非常关键的,可以有效保证天线运行在良好的跟踪状态。

目前电机电流分析法已经应用在某测控天线的故障诊断系统中取得了很好的效果。该方法可以在测控、通信天线传动系统的故障诊断中进行推广应用。下一步需要对电机电流信号进行更详细的特征谱分析,以便能够更好地满足测控天线传动系统的故障定位,特别是对系统级故障的分析判断。

## 参考文献:

- [1] 张爱成,桂勇胜,刘嘉栋. 限动天线利用轨道预测跟踪与步进跟踪模式比较[J]. 电讯技术, 2010, 50(6): 86-89. ZHANG Ai - cheng, GUI Yong - sheng, LIU Jia - dong. Comparison of Orbit Prediction Track Mode and Steptacking model for Limited Motion Antenna [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(6): 86-89. (in Chinese)
- [2] 张爱成,王国刚,刘凯. 基于BP神经网络的测控站天馈系统电机振动故障分析研究[J]. 航空精密制造技术, 2010, 46(3): 42-44. ZHANG Ai - cheng, WANG Guo - gang, LIU Kai. Research on Motor Vibration Failure Diagnosis of TT&C Antenna System Based on BP NN [J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2010, 46(3): 42-44. (in Chinese)
- [3] Kyusung Kim, Alexander G. Parlos, Raj Mohan Bharadwaj. Sensorless Fault Diagnosis of Induction Motors [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2003, 50(5): 1038-1051.
- [4] 时献江,周馨,屈梁生,等. 设备故障诊断的电机电流方法[J]. 哈尔滨电工学院学报, 1992, 15(1): 57-62. SHI Xian - jiang, ZHOU Xin, QU Liang - sheng, et al. The Method of Motor Current Signature Analysis for Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring [J]. HIET Journal, 1992, 15(1): 57-62. (in Chinese)
- [5] Chinmaya Kar, Mohanyt A R. Monitoring Gear Vibration through Motor Current Signature Analysis and Wavelet Transform [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006 (20): 158-187.
- [6] Steels M E, Ashen R A, Knight L G. An electrical method for condition monitoring of motors [C] // Proceedings of International Conference on Electrical Machines. London: IEEE, 1982: 213-235.

## 作者简介:

张爱成(1979-),男,内蒙人,2005年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为航天测控通信;

ZHANG Ai - cheng was born in Inner Mongolian Autonomous Region, in 1979. He received the M.S. degree in 2005. He is now an engineer. His research direction is aerospace TT&C communication.

Email: acc\_2078@126.com

党瑞鹏(1982-),男,山西人,现为工程师;

DANG Rui - peng was born in Shanxi Province, in 1982. He is now an engineer.

赵京广(1977-),男,河北人,现为工程师。

ZHAO Jing - guang was born in Hebei Province, in 1977. He is now an engineer.