太阳 X-EUV 成像望远镜波长选择装置

张 鑫 苏东林 李保权 韦 飞

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083) (中国科学院 空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

摘 要: 太阳 X 射线-极紫外射线(X-EUV, X rays-Extreme Ultraviolet)成像望远镜是我国专门服务于空间天气预报研究的太阳短波成像监测仪器,望远镜工作在 0.4 ~ 10 nm 的 X 射线波段和 19.5 nm 的极紫外谱段,能够提供全日面、高分辨率的成像观测. 波长选择装置是该望远镜的一个重要子系统,可以增强望远镜动态响应范围,有助于获取更多的反演日冕等离子体参数,这些参数可用来诊断日冕活动. 该装置的运动控制具有低功耗的特点,能够满足空间应用环境的特殊要求. 其中,步进电机精位置控制是设计的重点,有 2 种光电编码矩阵可以用于位置检测,从工程可实现角度优选出其中一种,并且从工程可靠性角度分析了该光电编码矩阵的故障模式,提出了在轨故障处理的预案.

关 键 词: 空间望远镜; 空间应用; 步进电机; 位置检测

中图分类号: TP 23

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)04-0421-05

Filter wheel device in solar X-EUV image telescope

Zhang Xin Su Donglin

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Li Baoquan Wei Fei

(Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The solar X-EUV(X rays-extreme ultraviolet) imaging telescope is a solar shortwave imaging instrument, which can be used to monitor the solar activities and predict space weather. The solar X-EUV imaging telescope operates in the 0.4 ~ 10 nm X-ray waveband and the 19.5 nm EUV wavelength, and it can provide the high resolving solar full-disk. The filter wheel is an important part of the solar X-EUV imaging telescope, which can expand the dynamic range of responses, redound to reconstruct the plasma parameters from which different solar activities can be analyzed. Low power consumption is one characteristic of the movement control of the filter wheel, which needs to satisfy the special requirement of space application. In addition, it is the emphasis to develop a method to maintain the accurate position of step motor. There are two types of PECM(photoelectric coding matrix) that can be used to detect positions. And then, one of the types is adopted which is realizable in practice. Furthermore, form the point of view of functional reliability, the failure mode analysis of PECM is performed and the correspondent solution is provided.

Key words: space telescopes; space applications; stepping motors; position measurement

收稿日期: 2005-04-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40474069)

作者简介: 张 鑫(1977-),男,河北邢台人,博士生, zhangxin@ee.buaa.edu.cn.

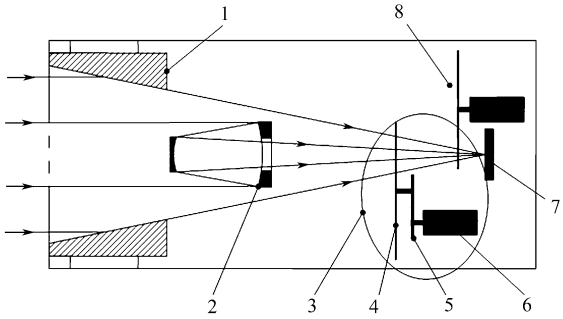
太阳X射线-极紫外射线(X-EUV,X rays-Extreme Ultraviolet)成像望远镜用于观测太阳活动,监测和预报空间天气.空间天气的产生是由于太阳剧烈活动时,会在很短的时间内向星际空间抛射大量的物质,包括磁场、高能粒子、高能电磁波等.当这些物质到达地球的时候,对近地空间环境产生巨大的扰动,造成恶劣的空间天气.这种天气对在轨航天器的安全运行、宇航员太空行走、GPS定位、电波传输、磁场导航、输电网等人类的正常活动产生巨大的影响.认识到空间天气的危害后,美国、欧洲相继制订和实施空间天气战略计划,开展全方位的空间天气监测预报研究[1~3].

随着我国航天活动的日益增多和卫星异常情况的频繁出现,空间天气已经受到关注和重视.在国家基金支持下,正在开发一种专门服务于空间天气预报的太阳成像监测仪:太阳X-EUV成像望远镜,该单台设备集成了X射线波段和19.5 nm的极紫外谱段的成像功能,能够满足国内空间天气预报目标监测需求,建立起我国自主的空间天气预报监测系统.

由于太阳活动可达约10^7动态范围,而望远镜中的成像设备很难监测这么大动态范围内的太阳活动,因此要利用过滤片的不同透过率来实现宽范围观测.成像使用厚、中、薄过滤片对平静日冕和大耀斑等情况分别观测.要求薄过滤片能够对宁静日冕观测而曝光时间不致太长(如果曝光时间太长,由于卫星的运动将会影响图像质量),厚过滤片实现对耀斑观测而曝光时间不致太短.这就需要在系统光路上放置波长选择装置.本文重点讨论太阳X-EUV望远镜中的重要子系统——波长选择装置的控制,并且从航天工程可靠性的角度,对该装置可能出现的故障及其解决方案进行了比较与分析.望远镜在从原理样机向工程样机转化时,将进行多项技术改造,本文对波长选择装置的研究结果为这种技术改造提供了相应的依据.

1 波长选择装置方案设计

波长选择装置由步进电机、滤光片轮和减速器构成,围绕滤光片轮中心均匀分布了8个不同的滤光片,其中1个用于选择极紫外波段光线,另外7个用于X波段选择.这些过滤片设计部分参考美国GOES-12卫星上太阳X射线成像仪(SXI,Solar X-ray Image)的成功经验[4].控制波长选择装置的过程,就是步进电机按指令旋转过滤片轮,使某个过滤片进入系统光路,并精确定位在CCD相机的视场范围内.波长选择装置在整个望远镜中的位置如图1所示.



1—掠入射反射镜面;2—正入射反射镜面;3—波长选择装置;4—滤光片轮;5—减速器;6—步进电机;7—CCD;8—辐照时间控制装置.

图1 太阳X-EUV望远镜结构示意图

波长选择装置的电路系统由电机主控电路、驱动电路和位置检测电路构成,如图2所示.电机主控电路负责控制步进电机的转向、启停和转速,向驱动电路发送脉冲信号.驱动电路根据这些信号,驱动步进电机的启停和转动.在过滤片轮周围,安装有光电开关,用来检测滤光轮的位置并将信号返回给电机主控电路,从而构成一个闭环控制系统.

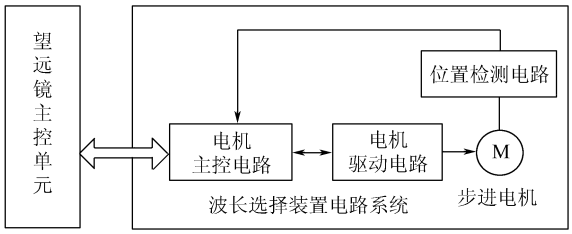


图2 波长选择装置控制原理

2 电机驱动器设计

2.1 硬件选型

太阳X-EUV望远镜作为卫星的一个主载荷,能够从卫星本体获得的能源是有限的,而电机及其驱动电路属于功耗较大的部件,降低这些部件的功耗对于望远镜整体功耗的降低具有较大意义,因而在选择电机和设计驱动器的过程中注意满足低功耗的要求.

电机选型的要求是精度高、噪音低、运行平稳、性能可靠,这其中有交流伺服电机和步进电机可供选择.虽然交流伺服电机的精度较高,但是它的驱动器电路复杂,不仅增加功耗,而且系统可能出现的故障点增多,相比之下,步进电机驱动电路简单,整体的可靠性优于交流伺服电机,更符合航天产品对可靠性的要求.因而,波长选择装置采用

了步距角 1.8°的二相步进电机.

步进电机驱动器设计采用功率放大集成电路 LMD18245,这是由美国国家半导体公司(National Semiconductor Inc.)推出的 DMOS 全桥电机驱动器,可以实现电机的全桥驱动、数字电流控制、过流保护、过热保护、欠压保护、防止对管直通等功能,充分体现了集成功放电路外围设计简单、性能稳定可靠、控制功能全面的特点[5]. 选用 LMD18245 集成驱动器,不仅能简化波长选择装置的驱动电路,而且更重要的在于该款芯片是为数不多的拥有军品级产品的功率放大电路芯片,抗干扰能力强,适用温度范围宽,符合航天产品对元器件高可靠性的要求.

电机主控电路与 LMD18245 的连接见图 3 所示. 2 个 LMD18245 电路分别控制二相步进电机的 *A*, *B* 相,并且两芯片的方向控制端(DIRECTION)、电流控制端(M1 ~ M4)和急停控制端(BRAKE)与电机主控电路的 IO 端口相连,从而使电机主控电路能够很方便的控制电机绕组的电流大小和方向,实现步进电机的整步、半步及细分微步控制等多种驱动方式.

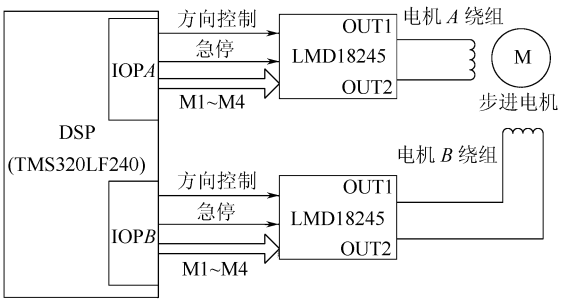


图 3　电机主控电路控制步进电机原理

经过实验测试,步进电机功耗约 5.1 W,驱动电路功耗约 1.4 W,所以波长选择装置整体功耗 6.5 W,而日本的天文卫星 ASTRO-E 中,也有类似的波长选择装置,它的电机和驱动的功耗达到 8 W[6],相比之下,本文设计的波长选择装置的功耗方面优于国外同类仪器.

2.2　控制方式

太阳 X-EUV 成像望远镜的视场角为 45′,通过分析美国卫星 GOES-12 的 SXI 数据发现,一般情况下日面侧翼的活动区视场小于 35′[7],这样实现包含侧翼活动区全日面成像,望远镜视场两侧仅有 5′的余量,而过滤片轮的快速启动、停止都很容易造成望远镜的整体颤动,使日面偏离望远镜的视场角. 因而提高波长选择装置运行平稳性,降低过滤片轮启动和停止的加速度,对望远镜获取完整日面图像尤其重要.

因此,采用细分微步的控制方式来改善步进电机的运行性能. 如果使用常规驱动器(如常用的恒流斩波方式)驱动电机,电机每运行一步,其绕组内的相电流会从 0 A 骤变至额定电流,这种相电流的巨大变化会引起电机运行的振动和噪音. 如果使用细分驱动方式,在 4 细分的状态下,电机每运行一微步,其绕组内的电流变化只有 1/4 额定相电流,且电流是以正弦曲线规律变化,这样就大大的改善了电机的振动和噪音. 步进电机整步步长为 1.8°,每一小步为 0.45°. 电机输出轴接一个 1∶3 的减速器,于是电机每转动一微步,过滤片轮转动 0.15°. 也就是说电机所能控制的过滤片轮的最小精度为 0.15°. 采用细分微步的控制方式后,不仅电机本体振动减小,而且运动精度提高,对太阳 X-EUV 成像望远镜整体性能改善有较大益处.

3　位置检测

3.1　检测方法

过滤片轮上共有 8 个不同的过滤片,当所要求的过滤片转入光路后,过滤片轮应当及时停止,这就要求有一套位置检测装置. 本文设计了 2 种检测办法:

1) 绝对位置检测法. 该方法不需要记录过滤片轮的初始位置,可以保证过滤片轮从任何位置转到指定位置上. 过滤片轮上安装 4 个挡光片,在轮周围的基座上安装 4 个光电开关,如图 4 所示.

过滤片轮的 1,2,3 和 5 号位置上装有挡光片,在基座上安装有 4 个光电开关,定义光电开关的 1 状态为挡光片挡住开关,0 状态为无挡光片遮挡开关. 当过滤片轮顺时针转动时,依次得出表 1 所示的数字值. 由此可见,过滤片的 8 个位置分别用 8 个不同的非零数字表示.

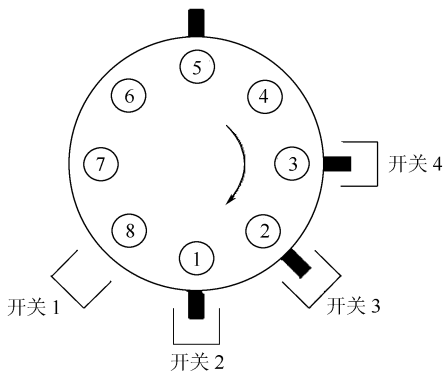


图 4　绝对位置检测法

表1 过滤片位置编码

编号	开关1	开关2	开关3	开关4	值
1	0	1	1	1	7
2	1	1	1	0	14
3	1	1	0	1	13
4	1	0	1	0	10
5	0	1	0	0	4
6	1	0	0	0	8
7	0	0	0	1	1
8	0	0	1	1	3
运行中	0	0	0	0	0

当过滤片轮处于运转状态时,也就是所有的光电开关都处于无遮挡状态时,4个光电开关组合出来的值是0. 因而,挡光片和光电开关组合出来位置值必须为非零值,否则电机主控电路判断不出0值是某个确定位置值还是转动的中间值.

该方法的优点是电机主控电路检测逻辑简单. 当过滤片轮转动过程中,电机主控电路只需要不断检测4个光电开关值与所要求的值是否一致,如果一致则停止电机转动,否则继续检测.

2) 相对位置检测法. 该方法的示意图见图5.

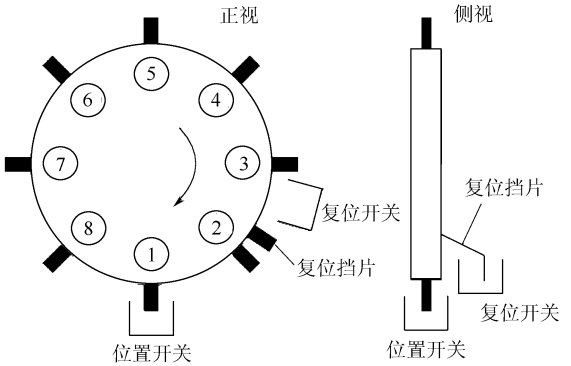


图5 相对位置检测法

光电开关有2个,分别是位置检测开关和复位开关. 挡光片有9个,其中8个位于每个过滤片的位置上,还有一个挡片,作为复位挡片,该挡片与其余8个不在同一个平面上,也就是说经过复位开关的挡片只有复位挡片,而经过位置开关的挡片有8个. 工作流程:当系统上电后,过滤片轮转动,直到复位挡片转到复位开关位置,电机主控电路判断出轮盘处在复位状态. 接下来电机主控电路开始监测位置开关,当有挡片进入位置开关后,电机主控电路判断出过滤片1处在如图5所示位置. 轮盘相对1位置转过一个相对量,即可到达某个位置.

该方法与绝对位置检测法不同的是,电机主控电路时刻都要知道当前过滤片位置,然后计算出所要求的位置与当前位置的间隔,也就是说相对于当前位置转动一个量值.

上述2种方法都有各自特点:绝对位置检测法设计简单,但是使用的光电开关较多,会带来布线和安装上的问题. 更重要的是,该方法对挡光片和光电开关的安装精度要求极高,在多个挡片进入多个开关时,如果某个挡片相对其它挡片滞后,就会造成电机主控电路的误判,如果希望轮盘停在4号位置,4个开关状态应为1010. 当轮盘转到2号位置时,4个开关状态本应当为1110,但是进入开关2的挡片在安装上有偏差,尚未遮住开关2,这时电机主控电路检测到的4个开关状态为1010,认为目前是4号位置,于是发出停机指令,过滤片轮错误地停留在了2号位置. 防止这种问题的产生,就要保证过滤片同时进入光电开关,这对安装精度要求过高,实际工程中不易实现. 所以本文最终选用了相对位置检测法,并且调试通过,目前运行良好,图6所示为波长选择装置调试实景图.

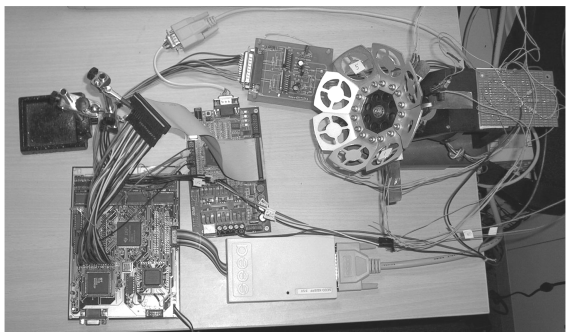


图6 波长选择装置调试图

3.2 检测电路失效分析

太阳X-EUV成像望远镜设计使用寿命5年,为了保障在轨运行期间的正常工作,除了使用高质量的元器件外,还要考虑某些器件失效后的解决措施. 使用相对位置检测法,当光电开关出现故障时,采用如下方案作为应对措施:

1) 当位置开关失效,复位开关正常时,这时电机主控电路能识别出复位状态,然后通过发送不同数量的脉冲,控制轮盘转到不同位置,达到一个开环控制效果.

2) 当位置开关正常,复位开关失效时,这时虽然主控电路不能准确知道当前成像用的是哪一个滤光片,但是仍能保证8个滤光片准确进入望远镜的成像光路,太阳X-EUV成像望远镜将成像

后的数据发送到地面,然后通过比较进行甄别.

3) 2 个开关全部失效,这种情况会导致波长选择装置无法将过滤片准确定位在系统光路上. 为了增加系统的可靠性,本文设计了检测装置的双备份,也就是在过滤片轮周围再安装 2 个光电开关,实现同样的功能. 平时只用其中一套工作,出现故障时启用备份. 虽然该方案会增加光电开关数量,但是将极大增加系统可靠性,将故障带来的损失降到极小值.

4 结　论

波长选择装置是太阳 X-EUV 成像望远镜一个重要的子系统,其优化设置了 8 个过滤片,结合系统的 CCD 相机和快门,可以使望远镜的工作动态范围增加到 7 个数量级,覆盖从冕洞到太阳耀斑爆发的整个动态范围. 满足系统要求的波长选择装置位置控制精度小于 0.5°,同时要求位置检测简便可靠. 太阳 X-EUV 成像望远镜波长选择装置的核心控制芯片采用美国国家半导体公司的 LMD18245,该芯片可以实现电机驱动 16 分频(本系统采用 4 分频),所以选用 1.8°步距角的电机通过分频驱动就能够达到系统位置控制精度要求,这样大大节约了采用微步距角电机的成本. 另外,该集成化芯片的使用同分立放大电路相比,降低了功耗,提高系统运行平稳性和可靠性.

对于波长选择装置的位置检测,本文提出了一种光电编码矩阵,采用了 4 个光电二极管对就能够实现系统 8 个位置识别和选择,同国际上在轨成功运行的 SXT/YOHKOH, EIT/SOHO, TRACE,ASTRO-E 等太阳成像仪器位置检测方式比较,更简单、更可靠. 另外,文中详细分析了这种位置检测的故障模式和故障预案,分析发现这种位置检测方式能够消除该子系统的单点失效项目,增加空间运行的可靠性,满足航天仪器的可靠性设计要求.

参考文献 (**References**)

[1] 李保权,朱光武,王世金,等. 太阳 X-EUV 成像望远镜[J]. 地球物理学报,2005,48(2):235 ~ 242
Li Baoquan, Zhu Guangwu, Wang Shijin, *et al*. The solar X-EUV imaging telescope[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005,48(2):235 ~ 242(in Chinese)

[2] Baker D N. What is space weather[J]. Adv Space Res, 1998, 22(1):7 ~ 16

[3] Sterling A C. Sigmoid CME source regions at the Sun: some recent results[J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2000, 62: 1427 ~ 1435

[4] Freestone K. Telemetry and control for the solar X-ray imager (SXI)[R]. SXI-013, Alabama: Marshall Space Flight Center, 1997

[5] 韩壮志,李　伟,王田苗,等. 方便易用的功放集成电路 LMD18245[J]. 电子技术应用,2000,26(4):58 ~ 61
Han Zhuangzhi, Li Wei, Wang Tianmiao, *et al*. Power amplifier LMD18245 is one type integrate circuit easy to use[J]. Application of Electronic Technique,2000,26(4):58 ~ 61(in Chinese)

[6] Furusho T, Noriko Y Y, Yoshitaka I, *et al*. Filter wheel system for the X-ray microcalorimeters on board ASTRO-E[A]. In: Siegmund, Oswald H W, Flanagan K A. EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy X[C]. Denver: SPIE, 1999. 664 ~ 672

[7] 李保权. 静止轨道卫星太阳 X-EUV 成像望远镜[D]. 北京:中国科学院空间科学与研究中心,2004
Li Baoquan. The solar X-EUV imaging telescope aboard the geostationary orbit satellite[D]. Beijing: Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences,2004(in Chinese)