

### 摘要：

本文介绍了北斗导航卫星的姿轨控制系统，包括其组成、控制和测量部分的实现。姿轨控制系统主要由 AOCC 控制计算机和 ECU 应急控制线路组成，通过反作用轮和磁力矩器进行姿态的调节。测量部分通过陀螺仪和太阳敏感器实现偏航角测量、偏航控制律设计、太阳翼转动控制、星体大角动量交换等。

关键词：北斗导航卫星；姿轨控制系统；控制；测量；

## 1. 背景知识

卫星是我们现今便利的生活中不可或缺的一环，在许多的方面都发挥着关键作用（如导航，通讯，授时）。为了使卫星能够顺利地工作，除了在卫星上预先设置好应对各种异常情况的专家系统外，也会通过回传遥感数据并进行监控和人工干预。现今利用机器学习的方法对卫星的状态数据进行分析已经十分常见，对卫星健康进行监测，可以比传统的方法更早，更有效地进行遥控修正或是计划报废。

在自动化系开办的交叉项目训练《卫星数据分析和健康监测》，我们拿到了一些经过脱敏的卫星数据，对卫星的健康进行分析。在对大量的数据进行分析后我们发现，姿轨控的数据对于分析的卫星的状态和进行健康监测起着关键的作用，是卫星状态的重要特征。进而我们产生了一个猜想姿轨控数据的获取方式应该要足够精确，我们才能进行精确的控制和监控。而在《卫星数据分析和健康监测》一课的主要关注点在于数据的处理和方析，而没有因而便选择姿轨控数据的获取方式进行说明，我们希望通过调查数据背后的来源，于是便选择了“卫星姿态与轨道遥感数据获取和控制的实现方式”作为目前调研的方向。希望对《卫星数据分析和健康监测》进行拓展，了解到数据的来源。同时也结合《智能传感与检测技术》内容进行补充。

## 2. 以北斗卫星为例

北斗卫星作为对全球用户提供时空基准信息服务的空间基础设施，卫星在设计的时候便有着周密的考虑，保证卫星能够长寿命、高可靠地连续工作。同时北斗卫星也是我国第一批发射的卫星，因而研究北斗对于研究我国卫星姿轨控技术有参考作用。

导航卫星的姿轨控分系统的主要任务包括在导航卫星转移轨道段任务和工

作轨道段任务两个部份。

当导航在卫星转移轨道段任务中，而随着技术的进步，在北斗上搭载了自主研发的算法,能够在星上自主实现转移的功能,减少星地数据交互,能够大大简化了地面飞控工作。

当卫星完成轨道转移，在工作轨道上时，姿轨控分系统会按照设计的基于三轴姿态自主确定,采用反作用轮进行三轴姿态闭路控制。因为北斗卫星等导航卫星在功能上的特殊性，为了保证卫星轨道预报的精度，系统不会直接使用推力器进行姿态控制，而是采用动量交换和磁力矩卸载的方式进行姿态控制，整个过程可以做到无需地面参与,星上能够根据卫星残余角动量自主实施。

3. 具体实现

1. 姿轨系统实现:

姿轨控制系统的组成可见于图 1，可以看出姿轨控制系统，主要由 A0CC 控制计算机和 ECU 应急控制线路两个部份组成，A0CC 为卫星正常工作时的控制系统，左侧太阳敏感器，陀螺等实现了姿轨系数的测量功能，而右边磁力矩，反作用轮用于对卫星的控制。而 ECU 应急控制线路是当系统发生了严重错误时启动的系统，可以发现其使用了推力器，可以知道应急控制时，将会破坏导航天线对地指向与太阳翼对日指向,使导航卫星变得不可靠。

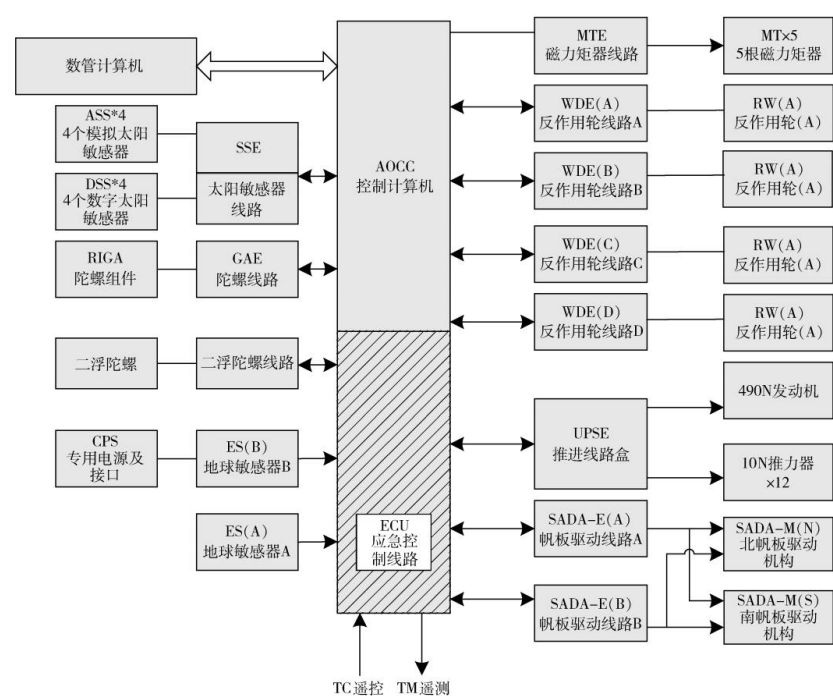


图 1 北斗 2 号卫星姿轨控系统组成

### 1.1 姿轨系统控制部份实现:

由于导航卫星的特殊性,为了保持在轨时导航天线对地指向与太阳翼对日指向,不能像普通的通信卫星一样,通过推力器完成角动量卸载。因此在北斗卫星上,主要是使用了反作用轮和磁力矩器进行姿态的调节。

#### 1.1.1 使用反作用轮进行姿态的调整

卫星姿轨控系统在大范围的角动量调节时,通过改变反作用轮的转动速度来产生相反的角动量,从而实现姿态的调整。

#### 1.1.2 使用磁力矩器姿态的调整

磁力矩器主要用微小范围的态度调整,对姿态进行精细的修正,其利用卫星上的磁力矩器件与地球磁场之间的相互作用,通过调整磁矩的方向来产生磁力矩,从而调整姿态。

### 1.2 姿轨系统测量部份实现:

除了卫星的控制部分外,导航卫星的偏航角测量、偏航控制律设计、太阳翼转动控制、星体大角动量交换都是必需要解决的问题。通过陀螺仪可以知道卫星的自身姿态情况,而太阳敏感器可以知道目前卫星的方位。

#### 1.2.1 陀螺实现对偏航角和角速度测量

卫星陀螺仪直接测量卫星绕各个轴的角速度。卫星通常有三个轴(通常是轨道轴、横轴和纵轴),分别对应卫星运动的不同方向。陀螺仪分别安装在这些轴上,测量绕各轴的旋转速度。

通过测量卫星绕垂直轴(通常是卫星轨道方向)的角速度来实现对偏航角的测量。当飞行器发生偏航运动时,陀螺仪会感应到绕垂直轴的旋转,通过积分陀螺仪输出的角速度信号,可以得到偏航角的变化。

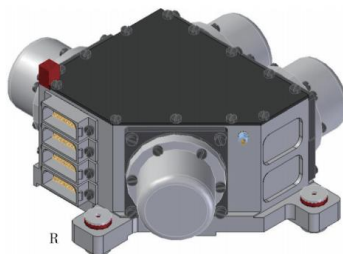


图2 北斗二号卫星 3+1S 二浮陀螺组件外形结构图

#### 1.2.2 太阳敏感器实现对方位的测量:

通过太阳敏感器可以实现卫星相对太阳方位的测量。使用敏感太阳矢量的方位来确定太阳矢量在星体坐标中的方位。

## 2. 关于抗干扰的考虑和实现

在运行的抗干扰方面，北斗也做了充分的考虑。导航卫星姿轨控分系统要求具备自主完成星通过敏感太阳矢量的方位来确定太阳矢量在星体坐标中的方位，从而获取航天器相对于太阳方位信息的光学姿态敏感器。上敏感器的干扰自主保护及地影、月影计算与预报的能力，在保护期间姿态控制精度满足正常模式姿态控制精度要求；同时，要求控制系统在卫星长期管理期间具有轨道自主控制能力，依托获得的轨道信息，能够根据轨道控制目标自主制定相位保持策略，并生成相位保持指令序列，具备策略和指令序列下传功能。

## 4. 讨论和结论

通过阅读论文，了解了导航卫星在姿轨控制和测量上的具体操作，在阅读文献时，也认识到北斗在设计时所做的艰辛工作，打破了外国的进口限制，在对元件完成了自主研发，并获得更好性能。同时也明白了姿轨控系统中各个系数的重要性，我相信这一次的文献阅读对于《卫星数据分析和健康监测》《智能传感与检测技术》两门都起到一定帮忙，一是明白了在《卫星数据分析和健康监测》一课中，各个参数的测量方法，同时明白了各个参数对于控制卫星姿轨的重要性。对于《智能传感与检测技术》不但了解一些卫星上的测量方法，还学习了在卫星上抗干扰所作出的工作。

## 5. 参考文献

1. 谢军, 王平. 北斗导航卫星姿态与轨道控制技术发展与贡献[J]. 空间控制技术与应用, 2021, 47(5): 01-08. XIE J, WANG P.

Development and contributions of Beidou navigation satellite attitude and orbit control technologies[J]. Aerospace Control and Application, 2021, 47(5): 01-08 (in Chinese). doi: 10.3969/j.issn.1674-1579.2021.05.001