045

**项目名称：**北斗被替换卫星在轨管理与控制技术

**第一完成单位：**北京卫星导航中心

**项目描述：**本成果产生的北斗导航卫星被替换后在轨运行状态监测方法、被替换卫星高精度定轨模型和被替换卫星有效载荷异常处置机制等，在武汉大学卫星导航定位系统工程中心、航天科技集团第五研究院导航项目办、63921部队、中国空间技术研究院西安分院及中国航天时代电子有限公司卫星导航系统工程中心等单位多次使用，为北斗全星座监视与管理、被替换卫星在轨运行管理、被替换卫星故障快速定位和处置、导航系统稳定运行状态评估、高精度轨道确定与电离层模型优化等提供了支撑，创造了效益。

**项目资料：**

**一、项目背景**

北斗二号卫星自2010年陆续发射，按照卫星系统在轨运行8年的设计寿命，现有在轨运行的部分卫星已然处于超寿运行状态，其余卫星也陆续进入寿命末期，为保证北斗系统稳定运行，作为在役系统提供连续稳定、可靠的导航服务，同时，确保北斗系统升级过程中导航服务连续、稳定、可靠、不受影响，系统设计了多颗备份星用于替换北斗卫星导航系统在轨性能较差的卫星，实现服务的接替，来确保导航系统星座整体的连续、稳定。按照备份星替换策略，备份卫星入网之后，现有的卫星将退出服务网络，并漂移至指定的卫星轨位，以维护既得的卫星轨位和频率资源。为此，被替换卫星管理系统需要具备跟踪、观测、管理被替换卫星的能力，实现被替换卫星有效载荷状态的监视与评估，保持在轨热备份工作状态，并使之具备紧急条件下再次快速入网提供服务的能力。

根据任务需要，被替换卫星必须开启有效载荷播发下行导航信号。为实现对被替换卫星的监视、确保被替换卫星处于热备份状态，且在有效载荷异常后能够迅速恢复，被替换卫星管理系统应有能力接收被替换卫星下行信号，并具备快速生成卫星的轨道、钟差与电离层参数能力。

被替换卫星的星号按要求由新入网的卫星继承，使得用户感受不到卫星变化带来的星号的差异，若继续采用原有的信号方案播发电文会产生卫星号重复导致使用混乱，严重时可能会影响北斗用户的使用与现役系统正常运行。为此，我们设计提出了被替换卫星管理系统，使其独立工作于现役卫星运行控制系统之外，受限于可用的监测接收机与大口径跟踪天线数目，且被替换卫星在轨运行时长已超过设计年限，精密轨道确定、卫星钟差测量、电离层模型参数计算、有效载荷在轨状态监测与异常处置都不能完全按照已有的软件、方案、预案，有必要进行软件和策略的创新、优化。

针对以上被替换卫星运行场景复杂、管理控制难、参数计算难的问题，开展了本课题的研究工作。

**二、主要技术内容**

**（一）设计了被替换卫星信号结构，实现了被替换卫星与现役卫星信号并行播发。**

被替换卫星与接替其工作的卫星存在下行卫星号一致的应用场景，此时，若继续按照原有格式和编号播发下行导航电文，空间段将会出现两个同样编号的导航信号，进而会干扰北斗系统的正常运行，被替换卫星管理系统也将受到在役卫星信号干扰。课题组设计提出了被替换卫星信号功率分配模式调整与数据编码格式变化的方法，实现了被替换卫星信号与现役卫星信号的并行播发与隔离。

**（二）提出了Klobuchar like电离层模型，提升了被替换卫星管理系统电离层模型参数性能。**

被替换卫星管理系统可用的接收机数量有限，相比在役系统100余台接收机，被替换星管理系统仅布设了10余台接收机。如何利用较少的电离层穿刺点数据建立可用的Klobuchar电离层模型是一个难题。课题组基于电离层变化的时空特性提出了少量观测数据支持的Klobuchar like电离层模型，并使用实测数据验证了该模型的性能，结果表明Klobuchar like模型内符合修正率比8参数Klobuchar模型高8.35%，外符合修正率高4.17%，已将其用于被替换卫星管理系统，并逐步应用到现役系统。

**（三）基于被替换卫星的信号特征与卫星钟状况，改进了多星联合精密定轨软件，搭建了卫星钟性能监测平台，实现了被替换卫星的轨道参数与卫星钟参数的连续稳定可用。**

鉴于被替换卫星信号结构进行了调整，被替换卫星与其他现役卫星的伪距存在较大的频内差，现役系统的多星定轨软件不能直接用于被替换卫星管理系统。与此同时，被替换卫星超寿运行钟跳频繁，若沿用现役系统的钟差异常处置方案会导致人机交互工作量大。针对上述问题，课题组在多星定轨软件中设计增加了频内差处理模块，实现了同星号数据的智能分拣和自动融合处理，设计了卫星钟智能监测平台，连续稳定生成了被替换卫星的轨道参数与卫星钟参数，保证被替换卫星处于热备份状态，具备随时切入系统提供服务的能力。

**（四）提出了时间异步、控制分离的双系统协同天线管理技术。**

为缩短被替换卫星星载设备异常后恢复的时长，课题组在被替换卫星管理系统中设计了被替换卫星星载单机设备故障快速恢复模块。由于被替换卫星管理系统可用的天线资源有限，被替换卫星逐渐增多，课题组提出了融在役系统、被替换系统协同工作模式的天线管理控制与调度技术，将被替换卫星的空间信号精度作为天线资源调度的依据，实现了多部天线的协同管理。综合运用信号设计、信息处理、故障恢复以及资源调度等技术创新，课题组建成了一套被替换卫星管理系统，相比北斗地面运控系统常规处理，流程更加精简、处理更加快速、状态更加可控，保持被替换卫星处于热备份状态。

**三、授权专利及论文**

共发表论文8篇，其中SCI收录2篇，EI收录5篇，已申请待授权专利1项。

成功研制了一套北斗被替换卫星管理控制系统，实现了北斗被替换卫星的常态化运行监视与热备份状态保持，实现了导航系统全星座的管理，提升了空间段卫星系统的可靠性。

**四、应用推广及效益**

本成果产生的北斗导航卫星被替换后在轨运行状态监测方法、被替换卫星高精度定轨模型和被替换卫星有效载荷异常处置机制等，在武汉大学卫星导航定位系统工程中心、航天科技集团第五研究院导航项目办、63921部队、中国空间技术研究院西安分院及中国航天时代电子有限公司卫星导航系统工程中心等单位多次使用，为北斗全星座监视与管理、被替换卫星在轨运行管理、被替换卫星故障快速定位和处置、导航系统稳定运行状态评估、高精度轨道确定与电离层模型优化等提供了支撑，创造了效益。