

# 忆神舟二号飞船空间天文 X射线探测器项目

沈培若

(中国科学院高能物理研究所 100049)

2022年4月16日神舟十三号载人飞船把三位航天英雄送回地球,6月5日神舟十四号又把三位英雄送上天宫空间站,浩瀚太空一次次留下中国人的足迹,是中国人的骄傲和自豪。从神舟一号到神舟十四号,中国航天人走过了从无到有、由弱到强的航天之路。神舟二号飞船(简称神二,代号SZ-2)是中国第一艘正样无人飞船,我有幸参加神二空间天文X射线探测器项目,受益匪浅,终生难忘!

1993年3月,宇宙线研究室接到一个全新的课题:搭载中国载人飞船开展空间天文研究。1992年9月21日中共中央常委会批准实施载人航天工程(代号921工程),按三步走的发展战略。第一步,发射载人飞船,建成初步配套的试验性飞船。包括航天员系统、空间应用系统,载人飞船系统,运载火箭系统等八大系统。中国科学院承担空间应用系统,开展空间材料科学、空间生命科学、空间天文观测、地球环境监测等研究。为此中国科学院成立空间科学与应用总体部(以下简称“总体部”),总抓空间应用系统的工作。原我所常务副所长张厚英任总指挥,原宇宙线研究室副主任顾逸东任副总指挥,后任总师。

中国科学院高能物理研究所(简称高能所)和中国科学院紫金山天文台(简称紫台)组成空间天文分系统,下设两个子系统。分系统指挥高能所副所长赵维仁,赵维仁退下后由陈和生所长担承。分系统主任设计师马宇蓓(曾用名:马宇倩)总抓高能所和紫台的两个子系统;高能所X射线探测器主管设计

师沈培若负责X射线探测器项目的进度,经费,质量管控,电控箱机械设计和数据接口表;王焕玉负责数据获取兼可靠性设计;张承模负责X射线探头研制;徐玉朋负责数管电路和1553B总线;李毅负责子系统物理设计;林宝军博士后出站后参与轨道本底辐射计算,1996年后调至总体部;赵敏参与数采软件设计,1998年出国留学。张俊逸负责档案和元器件保管;1998年4月完成初样验收后沈培若去美国犹他大学作访问学者。1999年至2000年王焕玉任分系统副主任设计师,张承模任主管设计师,徐玉朋担任副主管设计师。



图1 X射线探测器项目部分成员于2001年7月合影  
(左起:马宇蓓、张俊逸、徐玉朋、沈培若、王焕玉和张承模)

1994年在顾逸东建议下,空间天文观测项目争取放到第一艘飞船,因为从921工程领导到工程人员对第一艘飞船关注度最高。这里增加一个小插曲:921工程第一步计划四艘飞船,前三艘建成初步的试验性载人飞船工程,开展空间应用实验。第四

艘是真正的载人飞船。为保证飞船成功,在模样设计一年多后增加了一艘飞船,试验运载火箭和飞船的测控、遥测参数接收等功能。把木模放在神舟一号上,于是原先的神舟一号飞船成为神舟二号飞船。

“神二”飞船采用三舱一段构成,轨道舱、返回舱、推进舱和附加段。飞船的三个舱段安装了大大小小64件仪器设备组成的有效载荷,返回舱里15件,轨道舱12件,附加段37件。空间天文探测器安装在“神二”飞船附加段里。我室任国孝、荆贵茹的固体径迹探测器安装在“神二”飞船返回舱里。

宇宙 $\gamma$ 射线暴是宇宙中一种突发的短促的能量巨大的伽玛射线爆发现象,每秒钟爆发能量高达千亿万个原子弹。伽玛暴的来源及其发射机制自1967年发现以来至今还是一个谜,这是一个重要的国际前沿热点课题。太阳耀斑是太阳表面局部区域突然和大规模的向外发射各种电磁辐射并伴随粒子辐射突然增强,太阳耀斑中质子耀斑(质子事件)产生的高能质子辐射,对载人飞船有很大威胁,对短波通讯、洪涝灾害等也有直接影响。“神舟二号”飞船上携带了空间天文探测器,在进行宇宙 $\gamma$ 射线暴探测研究的同时兼顾太阳耀斑高能辐射监测。目的就是尝试为解开这一谜底提供更多的信息。

经过一年多的讨论磨合,简化探测器方案,满

足飞船系统分配给空间天文分系统的几何尺寸、重量和电功率,最终方案确定为高能所和紫台联合建一套宽波段空间 $\gamma$ 暴监测器,包含三个探测器:高能所研制双探头X射线探测器;紫台一个超软X射线探测器和一个 $\gamma$ (伽玛)射线探测器。三个探测器各自独立,又相互联合组成宽能区(0.2keV-10MeV)、高时间分辨率谱仪,用于探测并研究宇宙 $\gamma$ (伽玛)射线暴和太阳耀斑爆发等高能辐射的宽波段能谱和快速时变现象。这是我国首次对 $\gamma$ 暴和太阳耀斑进行空间探测。

空间X射线探测器由低能探头、高能探头、数据获取系统电路、数据管理与通讯电路及计数电路,还有数采和数管软件等组成。探测器是以碘化钠(NaI(Tl))为晶体的闪烁计数器,分高低能二个探头,低能探头的碘化钠晶体直径125mm,厚6mm,高能探头的晶体厚度为15mm。它们的探测能区分别为10-200eV和40-800keV。双探头相互联合不仅增加了能段,还互为冗余。图2是装载在神二上的X射线探测器。空间X射线探测器工作原理如图3,X、 $\gamma$ 射线通过碘化钠晶体时,激发产生荧光,光子经光电倍增管放大后转换成电脉冲,再经放大进入数据采集系统,数据管理和传输系统,微处理器在程序控制下按1553B的总线协议下传数据,由地

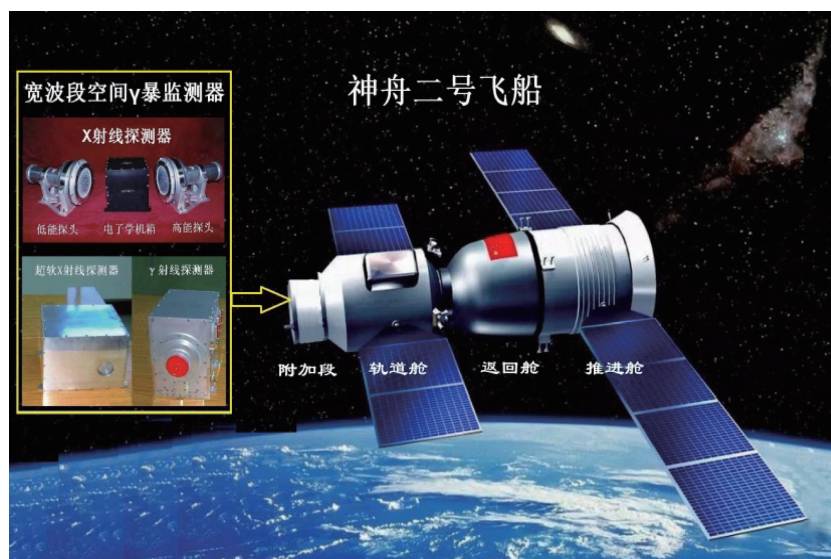


图2 宽波段空间 $\gamma$ 暴监测器安装在“神二”飞船附加段里

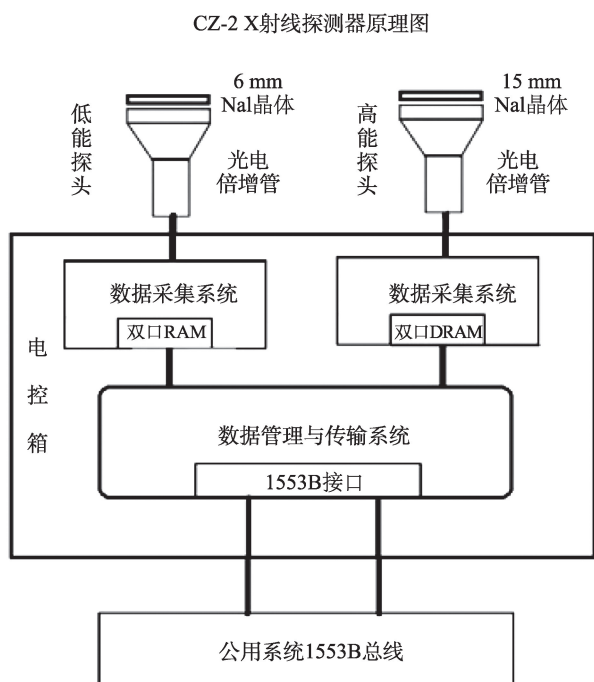


图3 神二X射线探测器原理图

面接收站接收。

空间卫星探测器是一项全新的项目,研制遇到许多困难,在总体部的不断指导下,紧跟总体部,一步一步从木模、模样、初样、正样,走过四个步骤,每一步都要经专家组评审通过后才能走到下一步。卫星探测器的工作环境相对于地面环境恶劣得多,昼夜温差大,真空下元器件散热差;光电倍增管承受的负压、振动、冲击;电子器件耐受电磁辐射的照射,关键芯片要预防高能质子损伤;还有火箭发射时的振动,上升过程中几个G的加速度冲击。所以航天产品必须经过高低温热循环、热真空循环试验及力学试验,振动、冲击试验,还有电磁兼容性和抗干扰能力等一系列测试,总之比地面研制难上百倍。空间卫星探测器要高稳定性,高可靠性以及长寿命。因此对元器件选择要求很高,选用军用级、航天级,元器件由专人专柜保管。1998年4月高能所承担的X射线探测器初样产品硬件和软件按航天产品初样试验规范要求通过总体部验收。硬件包含二个X射线探头和一个电子学机箱(包含前端电子学、数据采集系统、存储系统等),以及微

处理器的数据管理和1553B的总线协议下传数据等程序。X射线探测器的初样通过验收意味着X射线探测器研制大功告成,因为正样产品选择品质更高的器件复制初样产品。项目组又经过两年多奋战,完成了正样产品。

2001年1月10日1时0分3秒神二号在酒泉卫星发射中心发射取得圆满成功,飞船进入预定轨道。神二共搭载64件科学实验设备,均为首次上天的正式产品。神二飞船在太空飞行了6天零18小时,108圈之后神二返回舱安全着陆。遗憾的是降落伞的故障,神二飞船返回舱里的科学实验产品没能回收。当返回舱脱离后,轨道舱在距地球表面高度340公里圆轨道飞行。宽波段空间 $\gamma$ 暴监测器启动运行,工作稳定,各项指标达到设计要求。于1月17日就捕捉到第一个宇宙 $\gamma$ 暴,4月2日和4月15日观测到10来个最大的太阳耀斑爆发和高能辐射事件。飞船于6月26日完成使命,共160天,千余小时的监测数据,得到了644组能谱数据,228组爆发事例。发现了30余例 $\gamma$ 射线爆发事件,包括几个最强的太阳耀斑在内的130余例太阳爆发事例。X射线探测器观测能区在10~800keV,刚好是 $\gamma$ 暴和太阳耀斑爆发的主要波段,因此它成了捕捉 $\gamma$ 暴的主要探测器。马宇蓓等人发挥了数据处理方法的优势,分离、鉴别几百例来自不同源的爆发事例。实现了我国首次对宇宙 $\gamma$ 暴等高能爆发现象的空间实测和研究。

神舟二号空间天文分系统项目在探测器的设计和研制、观测和数据分析方法的全面成功,是我国天文观测走向外太空的首例。此项目《神州二号宽波段空间伽玛射线暴观测研究及仪器研制》获2004年度国家科技进步二等奖,见图5。紫金山天文台和高能物理研究所各五位主要完成人获得国家科技进步二等奖证书,高能物理研究所的马宇蓓为项目第一完成人,其他四位是王焕玉、张承模、徐玉朋和沈培若。高能所的X射线探测器还获得北京市科学技术和中国人民解放军总装备部的科技





图4 2001年1月6日在酒泉卫星发射场与神二合影  
(左起:王焕玉、荆贵茹、张承模)

进步二等奖。目前探测器的设计思想、研制和观测方法已经推广到国内天文、空间物理、对月探测相关领域。此项目培养了一批年轻骨干走上重要职务。原紫金山天文台的常进硕士,现在成为中科院院士、“悟空”号暗物质粒子探测卫星首席科学家、国家天文台台长。原高能所林宝军博士,现任中国科学院微小卫星创新研究院副院长、北斗三号卫星系统总设计师。王焕玉(已故)成长为中国粒子天体物理和空间探测领域杰出专家,曾任高能所党委

书记兼副所长。徐玉朋由实习研究员成为研究员,担任HXMT(慧眼)卫星有效载荷副总设计师。2018年起,担任X射线天文台eXTP卫星有效载荷总设计师。张承模工程师成为正研级高工,“慧眼”有效载荷总质量师。项目第一完成人马宇蓓研究员获三部委颁发的中国载人航天工程突出贡献者奖,中国空间科学理事。

神舟二号飞船空间天文观测的成功为我所粒子天体物理研究中心开了个好头,从此粒子天体物理研究中心的卫星项目一个接一个,似雨后春笋。国家探月工程嫦娥一号卫星、嫦娥二号卫星上的X射线谱仪,嫦娥三号卫星上的粒子激发X射线谱仪;我国第一颗X射线天文卫星(“慧眼”)硬X射线调制望远镜、天宫二号空间实验室的伽玛射线暴偏振实验POLAR、空间电磁环境卫星的低能和高能电子谱仪以及“悟空”暗物质粒子探测卫星的硅微条探测器阵列,以及引力波电磁对应体全天监测器(GE-CAM)、增强型X射线时变与偏振探测卫星(eXTP计划于2025年发射)、中国空间站高能宇宙辐射探测设施(HERD计划于2025年发射)等。

感谢马宇蓓、张承模对此文的修改和提供X射线探测器正样照片。



图5 国家科技进步二等奖证书