

子午工程建设进展

中国科学院空间科学与应用研究中心 中国科学院高技术研究与发展局

(北京 100190)

(北京 100864)

关键词 重大科技基础设施, 子午工程, 建设, 试运行

1 科学背景

空间已被普遍认为是地球除陆地、海洋、大气之外的第四环境,成为发达国家竞争的战略高地;空间环境的天基和地基的综合监测已成为国际科技活动热点之一。我国社会正面临发展高科技、实现国防现代化、建设世界强国的历史时期,为减轻和防止灾害性空间天气给航天、通信导航、电力、国家安全和人类健康等领域带来的巨大损失,全面、系统地开展空间环境监测已成为一种迫切的国际需求。

空间环境中的地球磁力线接近地球子午线的分布,太阳电磁辐射(可见光、X射线、紫外辐射等)沿子午线的天顶角效应,以及地球自转和绕日的公转效应,使地球空间环境形成随时间、地域变化的全球三维结构。它们对磁层结构、电离层结构、带电粒子和等离子体输运过程等起着重要的调控作用,使许多基本的物理过程沿子午圈发生。因而沿地球的子午线经圈配置空间环境监测链,对于了解近地空间环境全球结构的时间和空间变化规律具有重要科学意义。

东半球空间环境地基综合监测子午链(简称子午工程)是沿东半球 120°E 子午线附近,利用北起漠河,经北京、武汉,南至海南并延伸到南极中山站,以及东起上海,经

武汉、成都,西至拉萨的沿北纬 30° 附近共15个综合性观测台站,建成一个以链为主、链网结合的,运用地磁(电)、无线电、光学和探空火箭等多种探测手段,联合运作的大型空间环境地基监测系统。它可连续监测地球表面20—30公里以上到几百公里的中高层大气、电离层和磁层,以及十几个地球半径以外的行星际空间环境中的地磁场、电场、中高层大气的风场、密度、温度和成分,电离层、磁层和行星际空间中的有关参数,子午工程长期、连续、高精度的观测数据集是发展天基系统的重要参照基准,对于我国空间天气地基综合监测系统的建设具有基础性、先导性作用,也是我国和平利用外层空间的重要内容。

2 装置综述

2.1 关键历程

1994年初,子午工程项目构想作为中国空间物理发展规划建议附件上报国家科委。1997年6月,国家科技教育领导小组会议纪要确定了子午工程为国家重大科学工程。2005年8月,国家发改委批复子午工程项目建议书,子午工程项目正式立项。

2005年10月,子午工程项目领导小组、项目建设工程经理部和项目科技委等项目领导、执行和咨询机构相继成立。2006年10月,国家发改委批复子午工程国家重大

* 收稿日期:2010年10月28日



中国科学院

科技基础设施项目可行性研究报告,将子午工程列入国家高科技产业发展项目计划。2007年9月,中科院和国家发改委分别批复子午工程项目建设初步设计和概算,子午工程建设进入实施阶段。

2008年1月,子午工程正式开工建设。2010年1月,工程进入建设期试运行。子午工程建设周期为3年,计划于2011年年初完成建设任务。

2.2 组织管理机制

子午工程由中科院牵头,教育部、工业与信息化部、中国地震局、国家海洋局、中国气象局等下属的12家单位共同参与建设,中科院空间科学与应用研究中心(简称空间中心)作为项目法人,牵头子午工程建设工作。

2.2.1 建设期间管理机制

建设期间,成立子午工程项目建设领导小组(简称领导小组)、下辖项目建设工程经理部和项目科学技术委员会(简称科技委),对子午工程项目建设进行管理和指导。领导小组是工程的领导机构,由中科院分管副院长任组长,成员包括国家发改委、各参加部委职能部门负责人和工程挂靠单位——空间中心负责人。领导小组下设办公室,负责日常联络和沟通。

项目建设工程经理部是工程的实施机构,挂靠空间中心。经理部设总经理、总工程师、总经济师和总工艺师,其成员由领导小组审批。

科技委是工程建设的科学与技术咨询机构,由相关科技领域学术造诣高的学者、专家组成。科技委听取工程进展情况报告,研究工程中出现的重大关键科技问题并提出建议,确保工程建设能够实现预期的科学设想和目标。

工程建设过程中实行合同管理。相关管

理和共享政策可保证实现观测数据的共享。

2.2.2 运行期间管理机制

子午工程完成建设任务后,组建“国家空间天气科学中心”,负责子午链的运行管理和发展,使之成为资源充分开放共享的国家公共科研平台。

2.3 建设目标

子午工程作为实施我国空间天气天地一体化综合监测体系战略构想战略步骤,是“十一五”国家重点建设的12项重大科技基础设施项目之一,也是我国空间科学领域部署的第一个重大科技基础设施,整体科学寿命预计超过11年。子午工程的总体建设目标包括:

2.3.1 科学目标

了解空间环境中的灾害性空间天气的变化规律;逐步弄清我国东经 120° 子午链附近和北纬 30° 纬度链上空空间环境的区域性特征和全球变化的关系;与天基探测相结合,建立相应的空间天气因果链模式,发展综合性的预报方法;做出有重要原始性创新的科学成果。

2.3.2 工程目标

建设与国际接轨,由具有世界先进水平的空间环境监测系统(包括非相干散射雷达、激光雷达、MST雷达、光学干涉仪、全天空成像仪和探空火箭等大型先进科学装置)、数据与通信系统、研究与预报系统组成的东半球 120°E 附近空间环境地基综合监测子午链;以子午工程为基础,推动国际空间天气子午圈计划。

2.3.3 应用目标

为我国社会各类用户提供子午工程的地基观测数据、有关的空间天气模式、产品和成果;为减少或避免空间和地面技术系统以及人类健康遭受灾害性空间天气的损伤和破坏、为提高我国空间天气预报能力和服

务水平做出重要贡献。

3 建设内容

子午工程的建设内容主要包括空间环境监测、数据与通信和研究与预报 3 大系统。组成框架如图 1 所示。

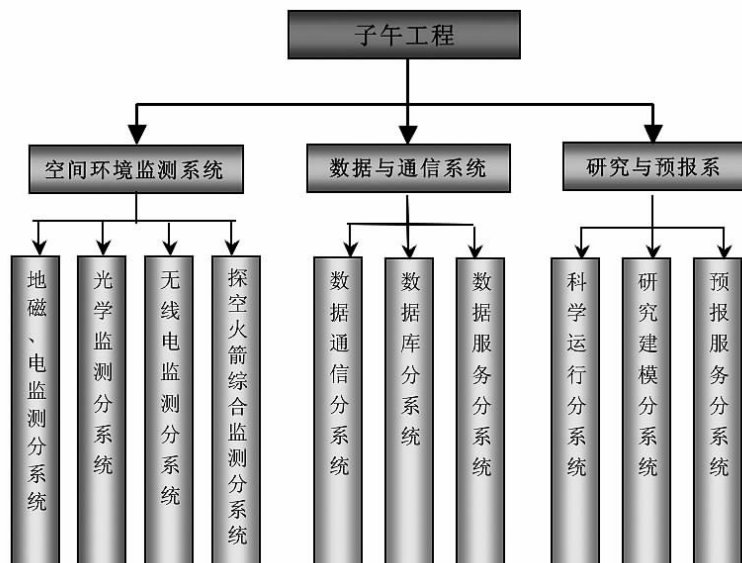


图 1 子午工程组成框架图

3.1 空间环境监测系统

空间环境监测系统由地磁(电)、无线电、光学和探空火箭 4 个分系统组成。主要利用分布于东经 120°附近和北纬 30°附近的 15 个综合台站及 23 类、95 台监测设备,采用地磁(电)、无线电、光学和探空火箭等监测手段,随着地球的自转在子午链上对地表、中高层大气、电离层和行星际实现三维立体观测。

地磁(电)监测分系统,利用 6 种地磁、地电监测设备,由处于东经 120°、北纬 30°附近、呈条带分布的 14 个台站组成地磁(电)观测链。

无线电监测分系统,沿我国东经 120°子午线附近的漠河、北京、武汉、曲靖、海南及南极中山站等,建立具有当前国际上空间环境监测方面最重要和最先进的多种无线

电探测设备,包括非相干散射雷达、MST 雷达、VHF 雷达和数字测高仪等。

光学监测分系统,在北京、武汉、合肥、海南和南极中山站等 5 个观测台站,建设多种世界先进水平的地基探测设备,包括激光

雷达、光学干涉仪、全天空辉成像仪和极光光谱仪等。

探空火箭综合监测分系统,在海南建设以探空火箭为中心的空间环境综合监测站,利用气象火箭、探空火箭和地基配套监测设备等,实现对我国低纬度地区临近空间大气环境参数的综合探测。

3.2 数据与通信系统

数据与通信系统由数据通信、数据库和数据服务 3 个分系统组成,该系统将分散在东经 120°和北纬 30°附近的 15 个综合台站及 23 类、95 台监测设备有机联网,实现地面台站的联合观测和数据的传输、存储、处理、分发和服务。数据与通信系统是连接空间环境监测系统和研究与预报系统的桥梁和纽带,它利用现代通信技术把空间环境监测系统的监测数据汇集到各个节点站,并传

送至子午工程数据中心。

3.3 研究与预报系统

研究与预报系统由科学运行、研究建模和预报服务 3 个分系统组成。科学运行分系统负责整个系统的日常管理,制定子午工程科学监测计划,协调各台站空间天气信息的探测;通过研究建模分系统结合已有探测数据(如天基探测数据、气象探测台网数据等),为进行空间天气过程和规律的研究提供数



中国科学院

据基础;开展空间天气预报模式和方法的研究开发,生成相应的空间天气初级产品,为国内外科技专家进行合作研究提供必备的工作平台;预报服务分系统通过获得空间环境监测数据,结合已有的数据信息,经加工处理,为各类用户提供空间天气预报产品和服务。

4 建设期试运行

4.1 试运行情况

子午工程已于 2010 年年初试运行,主要目标是对已建设完成的设备、节点站、分系统、系统进行联试和工艺验证,同时为正式试运行积累经验。加入试运行的包括科学运行中心、数据中心、6 个节点站以及空间环境监测系统的 52 台监测设备。主要是开展以我国东经 120°子午链和北纬 30°纬度线上的地磁(电)监测,以北京、合肥、武汉、海南为代表的中低纬地区的电离层及中高层大气探测。目前运行总体状况良好,已成功实现地面台站的联合观测和数据的稳定获取、传输、存储、预处理、管理、分发和服务。

研究与预报系统的 3 大分系统已全部建设完成,其中科学运行分系统和研究建模分系统已于 2 月投入试运行,科学运行中心已实现对各运行台站和节点站的科学调度和有效监管,研究建模分系统已逐步实现对探测数据的科学应用。

数据与通信系统的 8 个节点站中,北京、海南、地质与地球所、地球物理所、22 所和中国科大等 6 个节点站已投入试运行;投入试运行的数据中心已实现数据的稳定传输、存储、预处理、管理、分发和服务。截至 10 月中旬,子午工程数据中心已汇集、存储数据文件 50 多万个、数据量 37.73GB。

空间环境监测系统的地磁(电)监测分系统的 52 台地磁(电)监测设备已有 41 台

投入试运行,通过地磁场、地磁脉动、电场等的观测已获得完整、连续、可靠的空间物理和地球物理场观测数据,为研究地球空间环境中的各种物理现象提供基本资料。

光学监测分系统的 8 台光学监测设备中,海南、合肥、北京激光雷达,海南、北京全天空辉成像仪和北京光学干涉仪等 6 台设备已投入试运行,已稳定获取不同纬度的中高层大气风场、温度、密度、成分以及气辉辐射等环境要素。

无线电监测分系统的 33 台无线电监测设备中,海南、武汉、北京数字测高仪、北京宇宙线中子堆和广州宇宙线闪烁体望远镜等 5 台设备已投入试运行,实现对中高层大气、电离层和行星际等空间环境参数的监测。

探空火箭综合监测分系统的气象火箭已于 6 月 3 日凌晨在海南成功发射,首次获得我国低纬度地区 20—60 公里高精度临近空间大气温度、压力和风场数据。

目前, MST 雷达(北京、武汉)、海南 VHF 雷达、非相干散射雷达、探空火箭等重点监测设备正处于建设之中,拟于 11 月份陆续加入试运行。

4.2 子午链台站首次观测到我国上空空间环境对太阳风暴的响应

2010 年 8 月 1 日,太阳发生了中等强度的太阳耀斑(C3.2 级)和日冕物质抛射(CME)事件。受其影响,地球空间环境于 8 月 3 日开始响应,产生地磁 Dst 指数到达 -70 nT 的双谷磁暴。太阳活动存在 11 年的周期规律,科学家们预计下一个太阳活动高年将发生在 2013—2015 年。这次太阳风暴事件被认为是太阳活动重新增强的标志。大的太阳风暴往往能剧烈改变地球空间的环境,引起磁暴、亚暴等现象,对航天、通信、导航、定位和地面电力等高技术系统造成影响。

正处于建设期试运行的子午工程组织地磁(电)监测分系统、光学监测分系统、无线电监测分系统的44台监测设备通过联合观测,首次观测到我国上空空间环境对太阳风暴的响应。观测结果表明,该次太阳风暴对日地系统不同空间区域都产生了一定的影响,行星际有明显的扰动、电离层有较显著的响应、地磁的扰动与磁暴的演化过程有很好的对应关系,而中高层大气钠层的响应尚待进一步分析。

其中8月3-6日期间,子午工程北京、武汉和三亚3个台站观测的电离层F2层峰值频率观测结果表明,此次磁暴在我国北京地区引起了一个小的电离层正暴。为反映本次太阳风暴对地球空间大尺度结构的影响,子午工程研究与预报系统的空间天气物理预报模式利用太阳风条件给出了地球空间磁层顶和弓激波的位置和形状。结果显示,磁层顶日下点在7.4地球半径处,同步轨道卫星尚在磁层的保护之下;电离层越极电位降约为180千伏,高纬度地区上空可能存在比较强的电流,但不足以对地面设备造成显著影响。

5 发展展望

5.1 国际空间天气子午圈计划

以子午工程为依托,通过国际合作,向北延伸至俄罗斯、蒙古,向南经过澳大利亚等国,并和西半球60°经线附近相关国家(加拿大、美国、巴西等)的若干局域子午链形成闭合,构成第一个环绕地球一周的空间环境监测子午圈,实施由中国科学家率先创意并具有牵头引领地位的“国际空间天气子午圈计划”(简称国际子午圈计划)。利用子午工程建立的基础和优势,通过国际子午圈计划来推进国际合作,可以调动国际上的各

种资源,发展和建立地域更为广泛的数据获取能力,使我国在空间天气监测和研究领域具备话语权,并逐步掌握主导权,从而推动国际空间研究的发展,促进我国和平利用外层空间,实质提升我国科技创新能力和中国对人类科学发展的贡献度。

目前,国际子午圈计划正处于初级阶段,已与俄罗斯、蒙古、加拿大、巴西等国签署相关合作协议。中俄之间已将国际子午圈计划纳入中俄政府间合作协议,已就子午圈计划实施的技术、人力、设备和资金的投入方案、人才引进和互访、知识产权归属等进行了多次磋商,并达成一致原则。

5.2 子午工程二期

以子午工程为骨干网,向纬向和经向延伸,升级或新建5个大型综合观测台站和6个专业观测台站,新部署东经100°和北纬40°的两条观测链,与子午工程东经120°和北纬30°观测链共同构成覆盖我国主要区域上空的“#”字型空间环境地基综合监测网(即子午工程二期)。它是利用具有当代国际先进水平的地磁电、无线电、光学等监测设备,对日地空间环境进行多层次、多手段、连续、同时并能区分时空变化的最为先进甚至领先水平的综合观测网,是构成我国天地一体化空间环境监测体系的重要地基基础。

子午工程二期将完成我国地基空间环境监测网基本框架的建设,满足当前发展时期的精确、可靠、实时、连续的空间环境监测能力的新要求。子午工程二期建设,将大幅提高我国对空间环境的认知能力、建模能力和保障服务能力,成为我国空间天气科学领域率先进入国际先进国家行列的标志性工程之一。

(相关图片请见封二、封三)



中国科学院