

·学科进展与展望·

基于子午工程的国际空间天气子午圈计划

范全林

(中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

[摘要] 国际空间天气子午圈计划以正在建设的国家重大科技基础设施项目子午工程为平台,旨在通过国际合作实现协调全球空间天气联测及共同研究,推动国际空间研究的发展,促进我国和平利用外层空间,实质性的提升我国的科技创新能力和中国对人类科学发展的贡献度。它是一项由中国科学家率先创意,以我为主建设的一项双边/多边重大国际科技合作计划,目前已取得多项实质性的进展。

[关键词] 子午圈计划,子午工程,空间天气,地基观测

1 子午工程建设背景与实施进展

1.1 空间天气走进现代社会生活

人类赖以生存的地球除了固体、海洋和大气环境外,还存在着一个日地空间环境,它由太阳大气、行星际、地球磁层、电离层和中高层大气组成。20世纪80年代以来,在科学(空间科学研究)与需求牵引(天基、地基技术系统)双方紧密结合的驱动下,空间天气学作为一门新的交叉学科迅速发展起来^[1]。不同于发生在地球低层大气系统中的对流层天气、气候现象,空间天气指的是发生于日地空间,由太阳活动引起的高度动态的短时间尺度的条件或状态变化,它可以影响天基和地基技术系统的正常运行和

可靠性,危及人类活动、健康和生命,广义的空间天气还包括空间碎片和电磁噪声等人工空间环境以及流星体。简言之,空间天气指源于太阳的空间环境的变化,它影响人类航天设施和地基技术系统。

空间天气已走进现代人类社会生活(图1),如影响电波传播、卫星运行、电力等长距离管网的安全等。为开发和利用空间资源,拓展人类生存空间,规避灾害性空间天气事件带来的风险和损失,对空间天气进行天地一体化的立体综合监测与研究^[2]已上升为国家行为^[3]。“日地空间环境与空间天气”是我国国家自然科学基金委员会地球科学部“十一五”优先资助领域之一,地球空间双星探测计划也已成功实施^[4]。

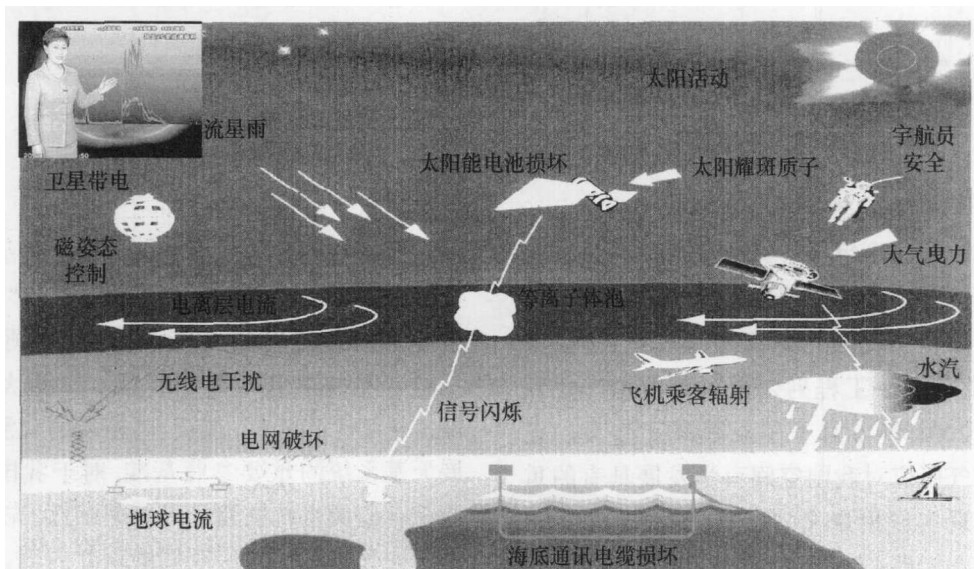


图1 空间天气影响现代人类社会生活

1.2 什么是子午工程

子午工程是“东半球空间环境地基综合监测子午链”项目的简称,它沿东经 120°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、西至拉萨的沿北纬 30°线附近现有的 15 个监测台站,建成一个以链为主、链网结合的,综合运用地磁(电)、无线电、光学和探

空火箭等多种手段,连续监测地球表面 20 km 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,联合运作的大型空间环境地基监测系统(图 2)^[5]。

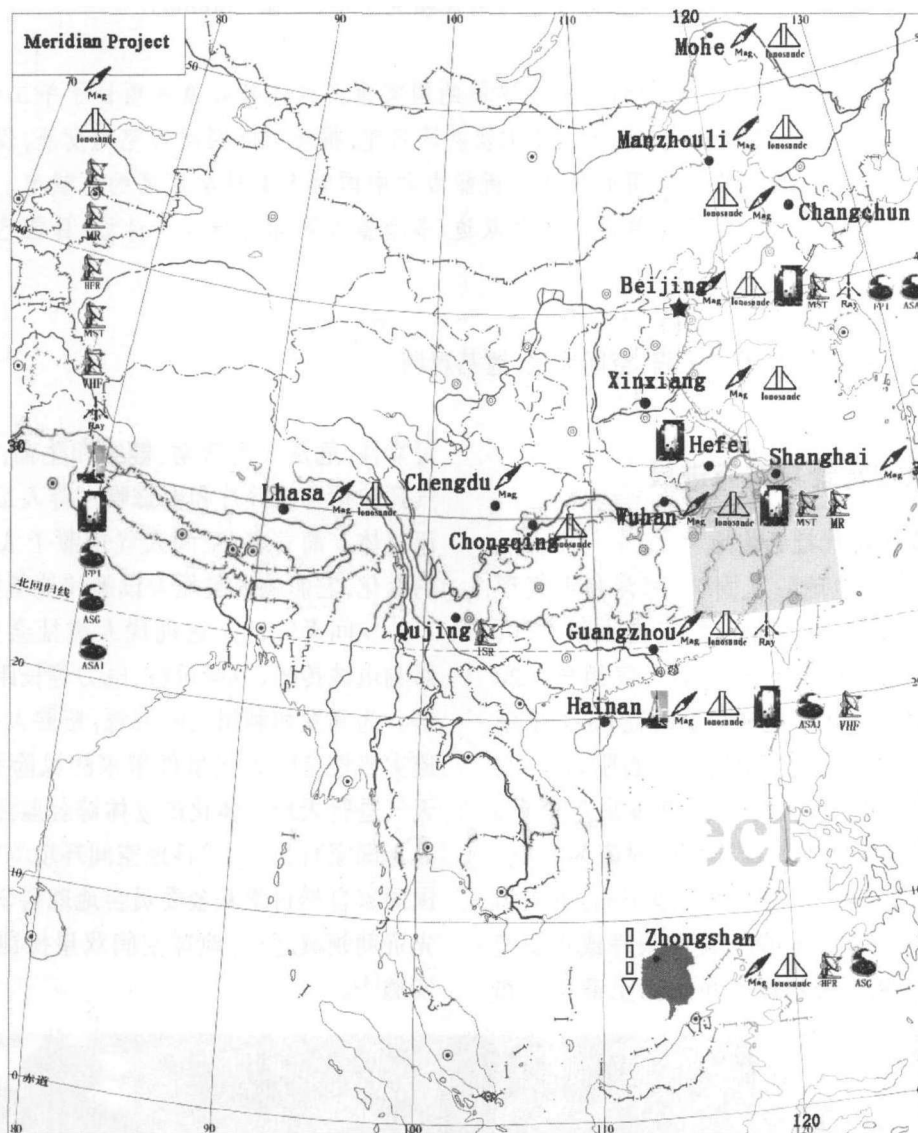


图 2 子午工程台站和空间环境监测设备配置示意图

有关子午工程的构想始于 1993 年。1997 年 6 月国家科技教育领导小组会议确定子午工程为国家重大科学工程。2005—2007 年,国家发展和改革委员会先后批复子午工程项目建议书、可行性研究报告和初步设计,将子午工程列入国家高技术产业发展项目计划。2008 年 1 月子午工程开工建设。正是因为空间天气研究对我国空间科学发展具有的重要科学意义和现实应用意义,中国政府决定建立子午工程这样一个能够在地面持续运行的、综合性的、充分利用中国地域优势的、具有创新科学构思的、网

络式的重大基础设施。

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的重要步骤,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。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。

1.3 空间中心牵头子午工程建设

中国科学院空间科学与应用研究中心(简称空间中心)是中国科学院在空间科学与应用研究方面的核心科研机构,以满足国家发展空间科学的需求为己任,瞄准国家重大战略需求和科学技术前沿,着力发展空间物理、空间环境、微波遥感和电子信息等相关科学与技术,并受中国科学院委托承担空间科学规划的牵头工作,组织空间科学与应用的有关项目。

空间中心是子午工程的项目法人,负责组织我国7个部委12个研究机构(大学)参加子午工程项目,签署子午工程数据共享协议,力争用3年时间完成空间环境监测、数据与通信、研究与预报3大系统的建设,之后组建“国家空间天气科学中心”,负责子午链的运行管理和运行,使之成为资源充分开放共享的国家公共科研平台。

子午工程的建设体系分为项目总体、系统、分系统、设备/子系统4级。作为多部委共建、共有、共享的国家重大科技基础设施项目,为加强子午工程项目的领导和实施,中国科学院成立子午工程项目建设工程经理部并挂靠于空间中心,肩负项目建设的

指挥和工程实施两类职责,对工程建设进行合同管理。子午工程科学技术委员会是子午工程项目建设领导小组和工程经理部的科技咨询机构,由空间中心魏奉思院士担任主任

2 国际空间天气子午圈计划

2.1 中国科学家创意国际子午圈计划

空间环境中的地球磁力线接近地球子午线的分布,太阳电磁辐射呈现沿子午线的天顶角效应,以及地球自转和绕日的公转效应,使地球空间环境具有随时间和地域变化的全球三维结构。空间天气的影响波及全人类,国际合作是其内在的需求和特点。

实际上,我国科学家在酝酿子午工程构想之初,就采取了开放的思路,建议以子午工程为基础和核心,通过国际合作,向北延伸至俄罗斯,向南经东南亚、澳大利亚等联结我国的南极中山站,并和西半球60°附近相关国家和地区的若干局域子午链形成闭合(如加拿大的地球空间监测计划(CGSM)),构成第一个环绕地球一周的空间环境监测子午圈,以我为主实施“国际空间天气子午圈计划(简称国际子午圈计划)”(图3)。

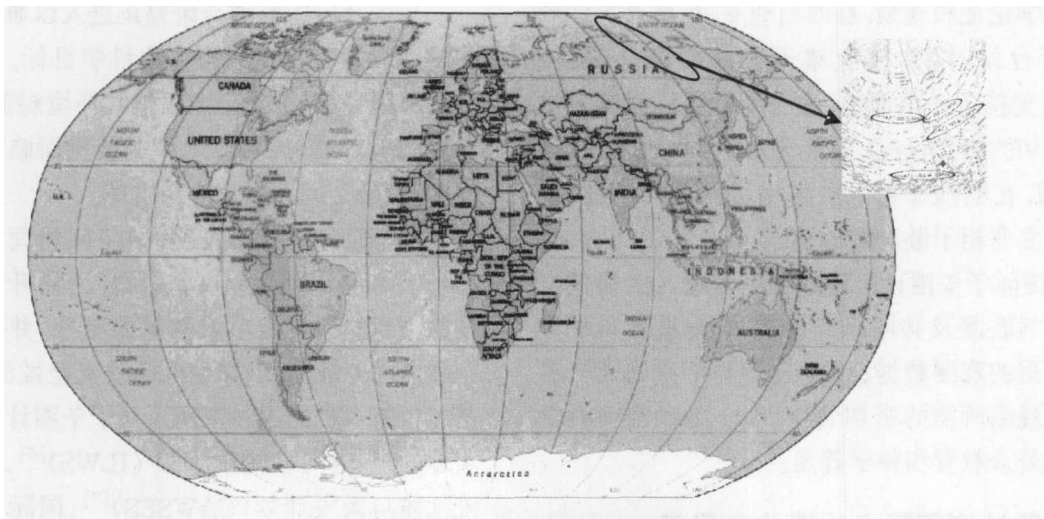


图3 国际空间天气子午圈计划示意图

国际子午圈计划抓住了只有120°E+60°W子午圈是全球陆基观测台站最多的地理特征,以及许多基本的近地空间天气过程沿子午圈发生的物理本质,随地球的自转,比对两个经度相距180°的子午链位置上的空间环境变化,再结合空间探测,第一次使得了解空间天气全球结构的时空变化规律成为可能。

正是由于国际子午圈计划是世界空间天气地基综合监测史上从未有过的创新,对引领空间天气地基监测“多台站、链网式、多学科协同综合监测”的发展方向,增强全球监测空间天气的能力具有深远意义,

因此它一经提出就得到了我国政府部门的支持,也得到了相关国际科学组织、国家与地区的积极响应。

2.2 国家自然科学基金支持国际子午圈计划取得重要进展

国家自然科学基金委员会在子午工程科学目标的提出及凝练、国际子午圈计划的建议等方面,始终给予了高度的关注和积极的支持,资助了一系列基金项目 and 学术会议,资助开展与子午链相关的预先研究和国际交流。

2003年,国家自然科学基金委员会等资助国际

子午圈计划筹备与推进会议,就其实施内容与预期目标、国际合作方案等进行了研讨。

2006年,在国家自然科学基金委员会等的支持下,空间中心在京成功召开了第一次国际空间天气子午圈重大科技合作计划研讨会。来自国际日球物理年(IHY)组织总部、国际日地物理委员会(SCOSTEP)、俄罗斯、中国、韩国、马来西亚和美国的科学家和管理人员近百人出席了会议。加拿大和蒙古国代表提交了报告。这是第一次全力聚焦于国际空间天气子午圈计划的国际会议。会议取得如下重要共识:

(1) 所有与会者都深刻认识到国际子午圈计划对于全球空间环境监测具有无可替代的科学价值,愿意加入到这项由中国科学家率先创意并牵头的计划实施中。

(2) 将实施的多边行动包括:(i) 拓展子午工程使之实现国际化,以涵盖现有位于东经 120° 和西经 60° 的全部子午链,使得空间环境的子午线观测能取得事半功倍、最大的科学产出;(ii) 在中国、美国、加拿大、日本、俄罗斯及本地区其他国家或地区现有的地磁子午链之间建立最紧密的合作。与此同时,建议通过科学论证和规划,在西伯利亚、东南亚等区域新建若干台站,以弥补全球子午链的部分缺口;(iii) 会议支持各个电离层、磁层和行星际观测台站间实施密切的协作;(iv) 沿着全球东经 120° 和西经 60° 子午圈,在欧洲非相干散射雷达网(EISCAT)的框架内建立非相干散射雷达链。

(3) 国际子午圈计划建成后将实现:(i) 协调全球空间天气联测及共同研究;(ii) 向全世界科学界提供可使用的观测数据;(iii) 支持基于空间天气科学攻关和观测所需的密切协作;(iv) 推动空间科学和技术的公众教育和科学普及。

3 子午圈计划国际合作现状和展望

3.1 国际子午圈计划纳入中俄政府间合作协议

作为实施国际空间天气子午圈计划的第一步,空间中心建议中俄共建子午圈计划俄罗斯段。经与俄方牵头单位俄罗斯联邦科学院西伯利亚分院日地物理研究所协调,决定选择俄境内高纬地区沿东经 120° 附近的4个台站与我国子午工程的15个台站联网(图3),实现数据共享和交换,共同推动国际空间天气学科的发展。

2006年,为实质推动国际子午圈计划,中国科学院 e-Science 支撑系统调研利用中俄生态系统网

络作为子午工程北延俄罗斯的数据传输通道,实现北京到伊尔库斯克国际数据交换的方案可行性。

俄方对中方的建议予以积极响应,其有关方面的科学家和管理人员出席2006年第一次国际空间天气子午圈重大科技合作计划研讨会,并与空间中心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,并达成原则一致。双方同意各自负责各自台站的运行维护,双方在平等互利的基础上共享数据,中方帮助俄方建设数据中心,双方进行经常性的人员交换和定期举行学术交流会。

与此同时,俄方科学家和研究所机构也就国际子午圈计划积极向其主管部委俄罗斯联邦科学院、科学与创新署、航天局建议,俄方牵头单位向俄罗斯联邦教育和科学部提出了项目申请。

2007年,国际子午圈计划纳入中俄政府间合作协议(中俄总理定期会晤委员会科技合作分委会第11届例会会议定书项目 No: CR11-08),为最终实施国际子午圈计划奠定了坚实的基础。

3.2 国际子午圈计划将是中国对国际科技合作的重要贡献

空间环境的监测与研究正进入以研究空间环境中的灾害性空间天气为主攻科学目标,建立空间天气全球因果链模式、制定区域性环境规范,开展空间天气预报,为解决人类生存发展所面临的空间灾害问题,发展空间天气学的新时期。

子午工程的建设,使我国空间物理界能获得到第一手的可靠观测和实验数据,为提升中国空间科技的创新能力奠定获取数据的基础,并对提升我国空间活动的能力,保障空间活动安全做出重要贡献。基于子午工程的国际空间天气子午圈计划可与正在实施的“国际与日同在计划”(ILWS)^[6]、国际日地系统气候与天气计划(CAWSES)^[7]、国际日球物理年计划(IHY)^[8]等一系列国际计划有机衔接,并使我国成为其中的核心贡献国家,例如子午工程南极中山站的高频雷达也将参加国际地球极区高频雷达探测网(SuperDARN)的组网。

国际子午圈计划对于实现子午工程的科学、工程和应用目标具有倍增效应,也是我国为国际空间科学合作做出的重大贡献。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》明确指出,“支持我国科学家和科研机构参与或牵头组织国际和区域性大科学工程”,“提供优惠条件,在我国设立重要的国际学术组织或办事机构”。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。

我国科学家在有关部委的继续支持下,将逐步推进国际子午圈计划。现阶段正就国际子午圈计划的总体方案和实施步骤等开展细致工作,力争在3—5年内完成相应的管理机构、实施方案等的研究。与此同时,要将子午圈计划国际研讨会办成有重要国际影响的系列会议,酝酿成立子午圈计划国际科学顾问委员会。在时机成熟之际,成立由我国科学家牵头的国际子午圈常设机构或国际科技组织,共同制定监测计划和研究计划,实行国际化工作模式,合理配置与利用各国科技资源,开展长期实质性的国际合作,同时也为我国培养一批战略科学家和发挥骨干作用的国际型人才队伍。

毫无疑问,空间天气领域的进展将更加依赖于全世界科学家们的集体努力。国际空间天气子午圈

计划将对全世界范围内空间天气研究的不断进步和发展做出重大贡献。

致谢 本工作得到中国科学院国际合作重点项目“国际子午圈计划(I期)和国家自然科学基金项目的资助。

参 考 文 献

- [1] 魏奉思. 空间天气学的基本问题. 中国基础科学, 2000, 7: 9—13.
- [2] 王水, 魏奉思. 中国空间天气研究进展. 地球物理学进展, 2007, 22(4): 1025—1029.
- [3] 中国空间天气战略计划建议调研组. 中国空间天气战略计划建议. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] 于贵华, 于晟. 我国空间科学研究跃上新台阶——地球空间双星探测计划介绍. 中国科学基金, 2005, 1: 31—3. 2.
- [5] Wu Ji, Wang Chi, Fan Quanlin. Introduction to meridian space weather monitoring project. Chinese Journal of Space Science, 2006, 26: 17—24.
- [6] International Living With a Star (ILWS) Program, 见 <http://ilws.gsfc.nasa.gov/>.
- [7] Climate And Weather of the Sun-Earth System, 见 <http://www.bu.edu/causes/>.
- [8] International Heliophysical Year, 见 <http://ihy2007.org/>; <http://www.ap-ihy.org/>.

THE INTERNATIONAL SPACE WEATHER MERIDIAN CIRCLE PROGRAM BASED ON MERIDIAN PROJECT

Fan Quanlin

(Center for Space Science and Applied Research, CAS, Beijing 100080)

Abstract Meridian Space Weather Monitoring Project (Meridian Project for short), a Chinese national mega-project of science research and engineering, is under construction in the coming 3 years. Its complete idea deploys continent-scale ground-based arrays of magnetometer, radio, optical, sounding rocket instrumentation along the 120°E longitude, plus several other stations distributed along the latitude of 30°N, to monitor the solar-terrestrial coupling and its influence on our planetary environment. Based on Meridian Project, an International Space Weather Meridian Circle Program is proposed to connect the other space-monitoring stations in Russia, Australia, and other countries or regions running through the east longitude 120°E as well as in related countries whose territories are traversed by the west longitude 60°W. Through such appropriately-distributing observation arrangements, a circum-terrestrial system for monitoring the spatial environment along the complete meridian line will be coming into being initially, greatly enhancing the ability of global space weather monitoring and reducing/avoiding the hazards to human activities and technical system caused by adverse space weather events.

Key words International Space Weather Meridian Circle Program, Meridian Project, Space weather, ground-based space monitoring