



2012年10月23日，子午工程国家验收会议

子午工程

装置综述

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确定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；
- 2006年10月，国家发改委批复子午工程国家重大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，子午工程进入建设期试运行；
- 2012年10月23日，子午工程通过国家验收正式转入科学运行；
- 2015年2月4日，负责子午工程运行管理和后续发展工作的非法人机构国家空间天气科学中心（筹）启动运行，并召开第一届理事会第一次会议，成立了国家空间天气科学中心科技委员会暨子午工程用户委员会。

科学背景

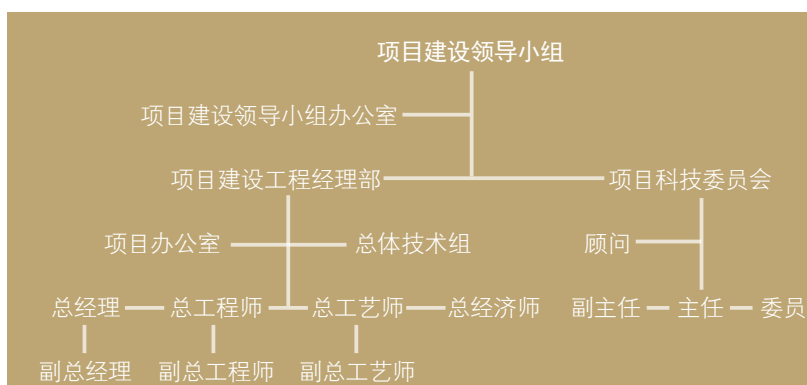
东半球空间环境地基综合监测子午链（简称“子午工程”）是沿东半球120°子午线附近，利用北起漠河、经北京、武汉，南至海南并延伸到南极中山站，以及东起上海、经武汉、成都、西至拉萨的沿北纬30°附近的15个综合性观测台站，建成一个以链为主、链网结合的，运用地磁（电）、无线电、光学和探空火箭等多种探测手段，连续监测地球表面20 km—30 km以上到几百公里的中高层大气、电离层和磁层，以及十几个地球半径以外的行星际空间环境中的地磁场、电场、中高层大气的风场、密度、温度和成分，电离层、磁层和行星际空间中的有关参数，联合运作的大型空间环境地基监测系统。子午工程长期、连续、高精度的观测数据集是发展天基系统的重要参照基准，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之一。

组织管理机制

子午工程由中科院牵头，教育部、工业和信息化部、中国地震局、国家海洋局、中国气象局等7部委下属的12家单位共同参与建设，中科院国家空间科学中心（简称“空间中心”）作为项目法人，牵头子午工程建设、运行管理和后续发展工作。

建设管理机制

在子午工程建设期间，成立子午工程项目建设领导小组（简称“领导小组”）、下设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，由中科院分管领导任组长，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，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

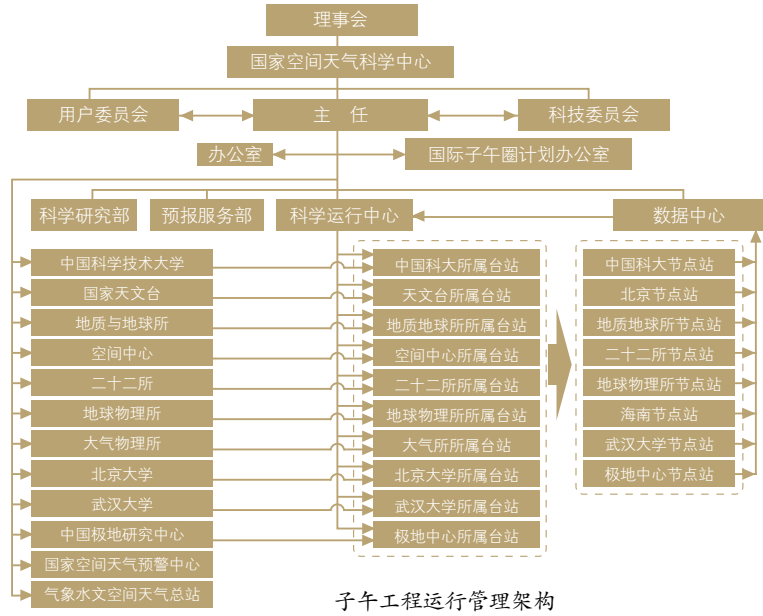


子午工程项目组织结构

高的学者、专家组成。工程建设过程中实行合同管理，有关管理和共享政策可以确保实现监测数据的共享。

运行管理机制

根据国家发改委对子午工程可行性研究报告的批复，子午工程建设完成转入正式运行时，由共建单位联合组建国家空间天气科学中心负责子午链的运行管理和中心发展。中心设立理事会，实行理事会领导下的主任负责制。2015年2月4日，第一届国家空间天气科学中心理事会第一次会议召开，国家空间天气科学中心科技委员会暨子午工程用户委员会成立。科技委员会是中心的学术指导、咨询和评议机构；用户委员会是中心数据共享的监督和评议机



子午工程运行管理架构

构。中心下设办公室，负责子午工程运行的日常工作以及科技委员会和用户委员会的秘书工作。

构。中心下设办公室，负责子午工程运行的日常工作以及科技委员会和用户委员会的秘书工作。

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。

空间环境监测系统

空间环境监测系统是由地磁（电）监测分系统、无线电监测分系统、光学监测分系统以及探空火箭综合监测分系统组成。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）监测链；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，建设多种具有当前国际空间环境监测领域最重要和最先进的无线电监测设备，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5个观测台站，建设多种具有目前世界上先进水平的地基监测设备，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

环境参数的综合监测。

数据与通信系统

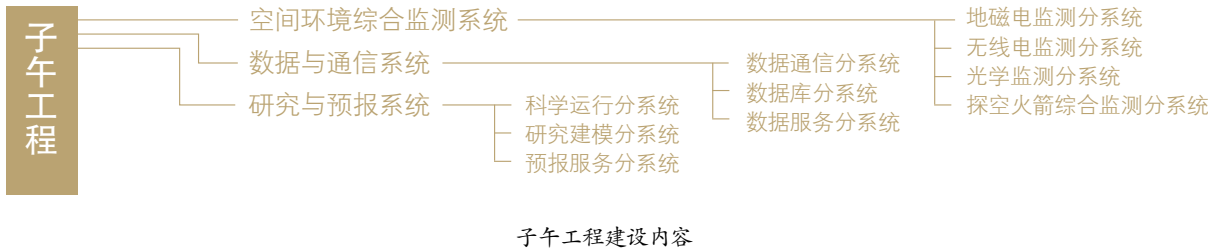
数据与通信系统由数据通信、数据库和数据服务3个分系统组成，该系统将分散在东经120°和北纬30°附近的95台监测设备有机联网，实现地面台站的联合观测和数据的传输、存储、处理、分发和服务。该系统是连接空间环境监测系统与研究预报系统的桥梁和纽带，它利用现代通信技术把空间环境监测系统的监测数据汇集到各个节点站，并传送至子午工程数据中心。

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；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），进行空间天气过程和规律的研究，开展空间天气预报模式和方法的研发，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，经过加工处理，为各类用户提供空间
天气预报产品和服务。



设施运行成果

自建设以来，子午工程已完成了建设期试运行和3大系统联合试运行，并顺利通过国家验收转入正式科学运行，截至目前，已连续探测5年，并获取到我国上空空间环境科学数据，累计汇集数据583万个，总大小2.65TB，为我国从事空间天气领域的科学研究和国家重大保障任务积累了宝贵的数据。

子午工程2010—2014年数据汇集及使用量

年度	汇集数据		分发数据		下载量
	数量 (10 ⁴ 个)	数据量	数量 (10 ⁴ 个)	数据量	
2010	87.7	250.3GB	86.3	115.4GB	
2011	143.6	541.1GB	558.4	1.42TB	17.9GB
2012	165.7	702.2GB	400.7	1.14TB	445.1GB
2013	193.7	737.1GB	1549.5	4.68TB	210.4GB
2014	193.6	799.9GB	467.7	2.14TB	275.9GB
累计	583.3	2.65TB	3062.6	9.49TB	845.5GB

在“边建设，边运行，边产出”的指导思想下，子午工程配合我国“神舟8号”、“神舟9号”、“神舟10号”、“天宫一号”、“嫦娥2号”、“嫦娥3号”等系列重大航天发射任务，提供了大量数据支持服务，同时在空间环境探测、科学研究、应用服务等方面也提供了数据和产品服务，并获得大量具有原创性的科学成果。据不完全统计，2012—2014年，在*Journal of Geophysical Research*，*Annales Geophysicae*，*Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*等著名期刊上发表论文近40篇，专利10项，著作1部，获其他奖6项。

子午工程成果产出

		年度			合计
		2012	2013	2014	
发表论文	国内	19	5	12	72
	国际	4	15	17	
出版著作			1		1
授权专利		1	2		10
其他获奖		1	1	1	6

应用成果

目前，科学家们利用子午工程探测数据在我国区域上空空间环境变化的特征研究、空间天气子午线扰动现象研究以及地球空间不同层次的耦合研究等方面取得重要进展，同时在电离层、中高层大气等重点研

究领域取得重要研究成果，为了解研究空间圈层间耦合和能力传递提供了新证据，有助于了解空间天气的变化规律。以下是部分已发表的成果。

中高层大气科学成果

重大成果之一：高纬度偶发钠层季节和地方时变化的形成机制和中纬度低E层下传的Es事件的研究

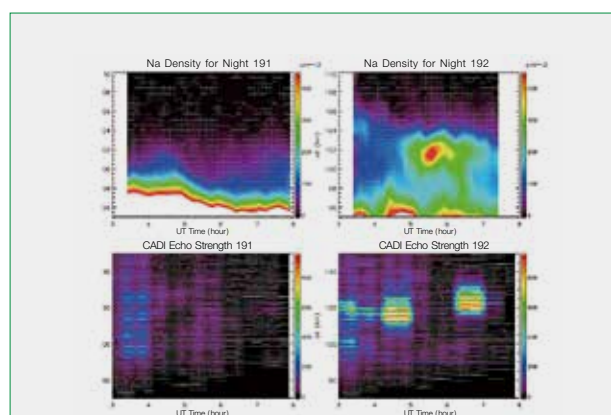
科学家基于 Utah State University (41.7° N, 111.8° W) 钠激光雷达和附近的 Bear Lake Observatory (41.9° N, 111.4° W) 的数字测高仪数据, 研究它们的季节和地方时变化, 这与北京的钠层突发比较, 发现了类似的变化, 但也有很大不同。该项研究是基于美国犹他州 2010 年 9 月到 2014 年 1 月针对 Es 和 Nas 的统计分析研究, 证实了低E层区域两种现象的正相关性, 研究成果发表在 *Journal of Geophysical Research*。

重大成果之二：子午工程兴隆和 Millstone Hill 的FPI观测的行星尺度类型扰动研究

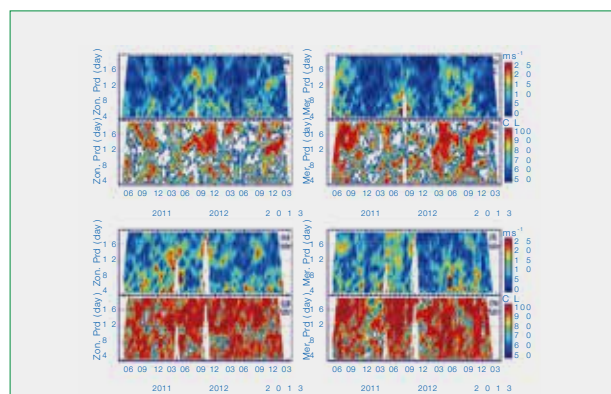
科学家利用东、西半球的 FPI 观测数据研究行星尺度类型扰动, 为了解热层大气的物理过程提供了一个新的研究内容, 为进一步认识和理解热层大气对太阳活动的响应以及上下层耦合提供最新的研究成果。本研究成果成功运用了国际联合观测的地基数据, 为今后的研究与合作创造条件, 研究成果发表在 *Journal of Geophysical Research*。

重大成果之三：首次美国-中国地基F-P干涉仪联合观测研究热层风随经度的变化

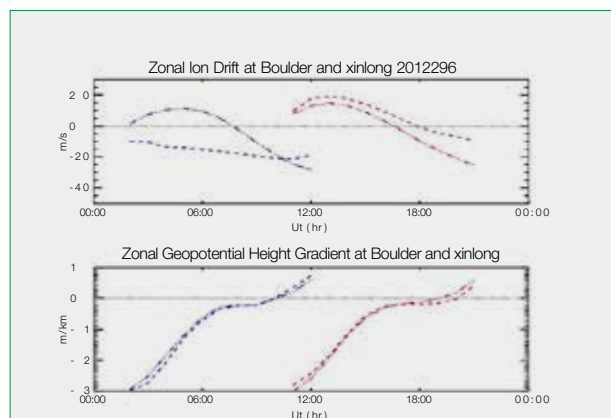
科学家首次利用位于美国 Boulder 和中国兴隆站与山西岢岚站的 3 台 FPI 干涉仪, 利用东、西半球的联合观测数据研究美洲和亚洲地区不同磁纬度区域的热层风场随经度的变化, 并与模式模拟结果进行比较, 将了解热层大气的物理过程提供一个新的研究内容, 为进一步认识和理解热层大气对太阳活动的响应以及极光加热等提供最新的研究成果, 有助于继续开展国际合作研究, 研究成果发表在 *Journal of Geophysical Research*。



2013 年 7 月 10—11 日 CADI Es (下) 和钠激光雷达 Nas (上) 的同时观测。数据时间从 03:00 UT 到 08:00 UT。CADI 数据的高度在 70 km 和 150 km 之间, 犹他州立大学钠激光雷达 Na 密度数据的高度在 95 km 到 110 km 之间。



兴隆和 Millstone Hill (3a, 3b, 3c, 3d) 上空纬向风 (左) 和经向风 (右) 周期为 4 到 19 天的 PWTOs 的幅度 (a, b, e, f) 和置信度 (c, d, g, h) 的时间变化

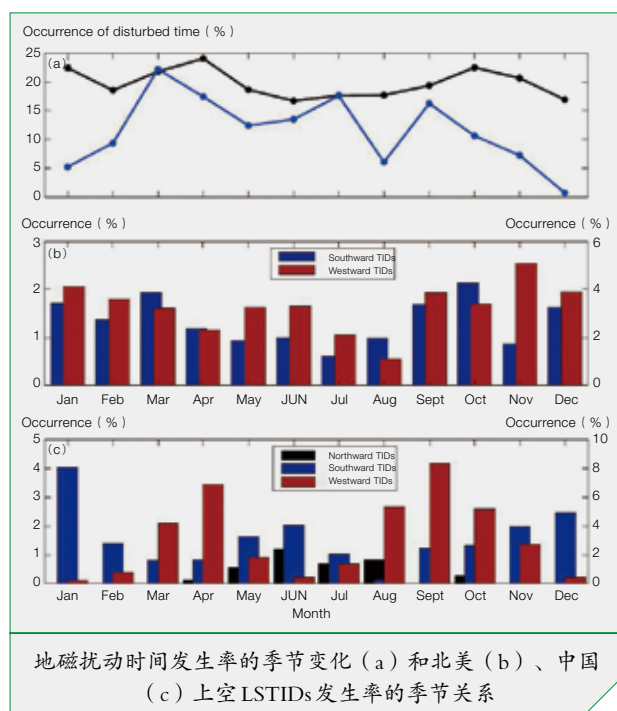


2012 年 10 月 22 日 Boulder 的 TIEGCM (点划线) 重力势高度梯度在黎明时朝西, 相应地, 在这个时间附近将风推向西侧

电离层研究成果

重大成果之四：北美和中国地区大尺度电离层扰动统计特性的对比研究

科学家使用自行编制的 TEC 二维地图解算方法，通过北美和中国的密集 GPS 台网观测，比较研究了两个地区在太阳活动低年期间（2011—2012 年）大尺度电离层行进式扰动传播特征的统计结果。研究组首次使用北美中高纬和中国中低纬两个地区的同时观测，给出了电离层扰动从高纬亚极光带直到赤道异常区这样一个广阔范围内的分类、日变化和季节变化，从全球传播的角度给出了电离层扰动长期变化的完整图像，研究成果发表在 *Journal of Geophysical Research*。

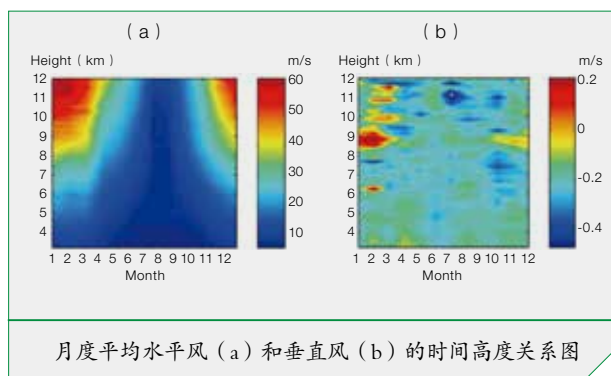


地磁扰动时间发生率的季节变化 (a) 和北美 (b)、中国 (c) 上空 LSTIDs 发生率的季节关系

重大成果之五：长时间流星尾迹不均匀体的空间结构与变化研究

科学家利用子午工程流星雷达数据对流星尾迹不均匀体的空间结构和变化进行了研究。该项研究的科学意义在于完整地重现了背景风场驱使的长时间流星尾迹不均匀体空间结构与演变过程，给出了其

长时间存在的可能原因，研究成果发表在 *Journal of Geophysical Research*。

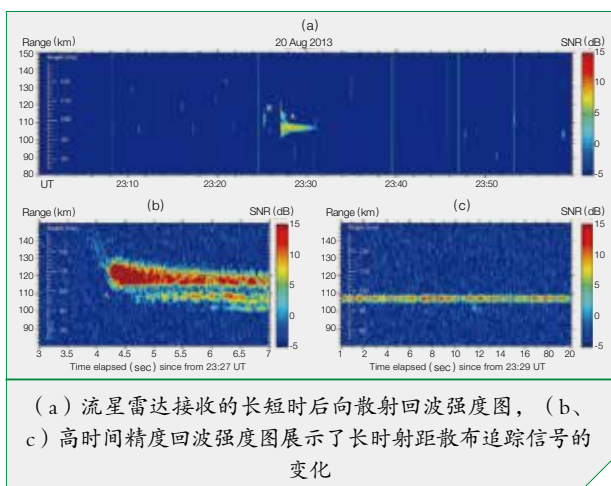


月度平均水平风 (a) 和垂直风 (b) 的时间高度关系图

重大成果之六：基于武汉无线电探测雷达的对流层惯性重力波统计分析

科学家利用子午工程武汉 MST 雷达 2011 年 9 月到 2013 年 2 月之间观测到的对流层三维风场数据，反演得到 2 666 个下行惯性重力波和 1 735 个上行惯性重力波，并利用统计学方法对其进行了分析。结合三维风场统计信息和湖北省的气候特征，得出大气湿对流在夏天最盛行，证实上行和下行对流层惯性重力波各参数特性并没有明显的不同，研究成果发表在 *Journal of Geophysical Research*。

子午工程围绕科学目标开展子午线附近的空间环境日常监测，并针对国家重大航天任务、特定科学任务以及空间天气事件开展探测研究。在“神舟八



(a) 流星雷达接收的长时后向散射回波强度图，(b)、(c) 高时间精度回波强度图展示了长时射距散布追踪信号的变化

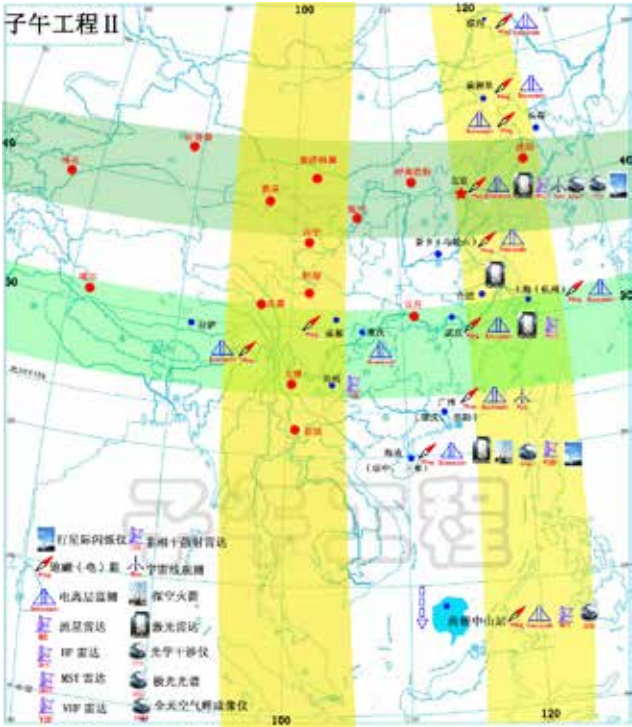
号”、“神舟九号”、“神舟十号”、“嫦娥三号”和“天宫一号”、“风云二号”G星发射等系列航天任务发射期间，利用子午工程数据进行了空间天气预报和现报，为航天任务对接等多次重大航天活动提供

了大量的空间环境数据支持服务。子午工程为重大专项任务也提供了大量的空间天气数据和产品保障。子午工程数据广泛应用于科学研究，监测数据在空间环境预报服务中发挥了重要作用。

未来展望

子午工程Ⅱ期

以子午工程为骨干网，向纬向和经向延拓，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°的两条监测链，与子午工程东经120°和北纬30°监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Ⅱ期）。子午工程Ⅱ期将完成我国地基空间环境监测网基本框架的建设，满足精确、可靠、实时、连续的空间环境监测能力的新要求。通过子午工程Ⅱ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。

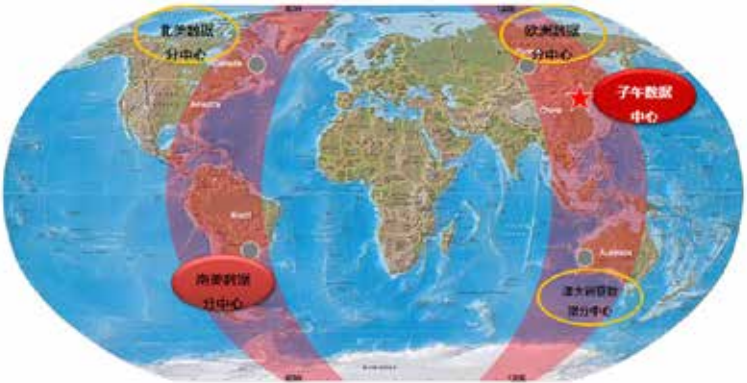


子午工程Ⅱ期台站布局示意图

国际空间天气子午圈计划

以子午工程为基础，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，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。



国际空间天气子午圈计划

中国-巴西空间天气联合实验室/中国科学院南美空间天气实验室



2014年8月6日，中科院副院长阴和俊和巴西INPE主任Perondi共同为联合实验室揭牌

中国-巴西空间天气联合实验室是由中科院国家空间科学中心和巴西国家空间研究院（INPE）联合建设的，目的是联合开展东西半球和南北半球处于共轭区域的地基空间天气的监测与研究。实验室的建设有助于了解空间天气的区域性特征及全球变化规律，具有鲜明的创新特色和重要的科学与应用价值，是中国与巴西及其周边国家空间环境地基探测与研究等相

关资源共享的重要合作交流平台，对于推动以我为主的空间科学重大国际合作计划（包括构建完整的国际空间天气子午圈框架等）有重要意义，也是中科院海外科教基地计划的重要组成部分，将有效发挥联合人才培养桥头堡的作用。联合实验室设在INPE空间天气部，项目于2014年正式启动，2014年8月6日，联合实验室正式揭牌运行。