

国际交流与合作

地球空间双星探测计划的国际合作

刘振兴*

(空间科学与应用研究中心 北京 100080)

关键词 国际合作,双星计划

近十几年来,中国与欧空局(ESA)在空间科学领域开展了密切的合作,大致可分为两个阶段:第一阶段从1991年开始,主要是与欧空局 Cluster 科学数据系统(CSDS)的合作;在此基础上开展第二阶段的合作,即中国地球空间双星探测计划(简称双星计划)与欧空局 Cluster II 的合作。这项合作是以我国提出的探测计划开展的以我为主的国际合作,合作规模和层次迈上了一个新台阶。

1 合作背景

1.1 欧空局 Cluster 科学数据系统

欧空局是国际空间科学和技术领域的主要机构之一,在国际空间活动中占有十分重要的地位。其研制的 Cluster 卫星系列(包括4颗卫星)是20世纪90年代国际日地物理计划(ISTP,主要参加者为美、欧空局、俄、日)发射的核心卫星中最先进的卫星系列。Cluster的4颗卫星在空间中形成一个四面体,卫星之间的距离可根据科学目标要求进行调控。其主要创新点是:能探测过去无法实现的地球空间环境的三维中小尺度结构和分辨时间变化。欧空局曾于1990年向各国发出通告,希望各国空间科研单位提出方案,合作研究 Cluster 的科学数据。

为推动我国空间物理研究和国际合作,1990年,空间科学与应用研究中心(下称空间中心)刘振兴代表该中心向欧空局递交一份合作提案,欧空局科学评议委员会通过了该提案,并决定欧空局与空间中心开展合作。1991—1993年,双方先后召开四次学术讨论和工作会议,终于在1993年11月24日在北京签署了中国科学院和欧空局关于“中国科学院空间科学与应用研究中心与欧空局 Cluster 科

学数据系统(CSDS)的合作协议”。根据协议,中方成立了中国 Cluster 数据和研究中心(CCDRC)及中国 Cluster 科学工作队,由刘振兴担任主任和首席科学家。

我们的主要目的是:可获得 Cluster 的4颗卫星的科学数据,合作开展磁层等离子体边界层结构和动力学过程研究,培养年轻科研人才,提高我国空间物理的研究水平。

这是我国第一次与欧空局建立空间科学合作,也是一项规模较大和层次较高的国际合作项目,对我国空间物理界进入国际舞台、参与国际合作项目具有重大意义。

1.2 双星计划的提出

1993—1996年实施的国际日地物理(ISTP)计划,是20世纪一项规模空前的国际合作计划。到1996年为止,ISTP计划在地球空间(包括磁层、电离层和中高层大气)共发射了4颗卫星,即美国发射的极区卫星(Polar),日本与美国合作发射的磁尾卫星(Geotail),俄罗斯发射的 Interball 卫星(包括两颗卫星)。欧空局原计划发射的 Cluster(包括4颗卫星),由于在1996年6月4日发射时失败,对ISTP计划造成了很大影响。

鉴于 Cluster 在日地空间探测中的重要性和领先地位,在 Cluster 第一次发射失败后,欧空局立即决定,在原 Cluster 的基础上,启动新的 Cluster 计划,称为 Cluster II,仍包括4颗卫星,其轨道和有效载荷与原来 Cluster 相同,计划于2000年发射。

随着地球空间研究的进展,人们逐渐认识到,已发射的ISTP 4颗卫星和 Cluster II 在整体轨道布

* 中国科学院院士。该项目由中国科学院方向性项目和国家自然科学基金委员会重大项目支持

收稿日期:2003年6月13日

局方面存在着一些局限性。其主要弱点是这些卫星的远地点较高，不宜探测近地磁层的重要活动区——对航天活动有重要影响的磁层亚暴、磁暴和粒子暴的发生区。因而，ISTP 计划未能达到原来的预期目标。

我国空间物理界的科学家认识到，当前阻碍我国空间物理发展的主要因素之一，是缺乏我国自己的空间探测数据，多年来就盼望能有一个具有创新特色和在国际上有影响的空间探测计划。本文作者早在 1993 年就曾提出与 Cluster 等卫星相配合的“星链计划”，1997 年 1 月，又在此基础上提出了“地球空间双星探测计划”（下称双星计划），并在 1997 年 4 月的香山学术研讨会上做了报告，引起与会科学家的高度重视和好评。

双星计划提出后，立即引起国际空间界的重视和反响，欧空局国际空间局协调组（IACG）都在其有关会议上讨论了中国的双星计划并写出推荐书，认为双星计划对国际日地物理日地联系计划将有重要作用，表示愿积极参与双星计划的合作。

欧空局为了推动中国双星计划与 Cluster 的合作，主动派出以欧空局科学项目主任 R.Bonnet 教授为团长的代表团于 1997 年 11 月 3 日访问空间中心，双方讨论了双星计划的科学目标、双星轨道和有效载荷。欧空局代表认为，此前中国科学院与欧空局的合作很成功，双星计划对完善 Cluster II 是至关重要的，将对国际日地关系计划做出重要贡献。双方会谈后签署了关于双星计划与欧空局的合作协议书。经过 3 年多的努力，双方于 2001 年 9 月 7 日在巴黎欧空局本部由中国国家航天局局长和欧空局局长正式签署了中国与欧空局关于地球空间双星探测计划的合作协议。

2 合作目标和内容

2.1 合作目标

建立双星计划科学应用分系统，取得可靠的双星探测数据，研制便于科学研究的数据产品，系统分析双星和 Cluster II 的探测数据，揭示磁层重要活动区场和粒子时空变化的新现象；深入研究地球空间暴（包括磁层亚暴、磁暴、磁层粒子暴、电离层暴和热层暴）多空间层次和多时空尺度的驱动和触发机理；建立地球空间暴的理论模型和物理预报方

法；为保障航天活动的安全运行提供科学数据、科学依据和防护对策。

2.2 合作内容

包括 4 个方面：

（1）双星上科学探测仪器的合作研制。双星上科探仪器的水平对取得高时空分辨的科学数据是至关重要的。双星上共有 16 台科学探测仪器，每颗卫星上各 8 台。根据合作协议，欧空局组织和协调欧洲有关科学单位提供 8 台探测仪器，包括三分量磁场探测器（2 台），等离子体电流和电流探测器（2 台），热离子谱仪（1 台），电磁波探测器（1 台），中性原子成像仪（1 台，由空间中心与欧洲研究组合作研制），电位主动控仪（1 台）。这些仪器在 Cluster II 的 4 颗卫星都上过，是目前国际上先进的探测仪器。其余 8 台由空间中心研制。

（2）合作建立双星科学数据系统；提出科学运行计划，建立硬件和软件系统。具体包括：提出双星科学运行主科学计划和短期（一周）、中期（一个月）及长期（半年）的科学运行计划；对探测数据进行快速检查、订正和有效化；研制科学数据产品（4 秒平均图和分钟平均图），研制需要的软件；建立双星数据库。

（3）合作进行双星和 Cluster II 的科学数据分析；揭示新的空间现象，为理论研究提供科学依据。

（4）合作开展双星计划和 Cluster II 关键科学问题研究。主要科学问题聚焦在“地球空间暴多时空尺度的物理问题”，主要内容为相互联系的五个子课题：①地球空间暴多空间层次和多时空尺度的驱动过程；②磁层亚暴、磁暴的触发机理和预报方法；③磁层粒子暴的起源和辐射带动态过程及效应；④极区电离层与磁层耦合的动力学过程；⑤地球空间暴多时空尺度的基本等离子体物理问题。其间的联系见图 1。

我国的双星计划包括两颗卫星，一是近地赤道区卫星（550—60 000km，倾角 28.5°）；一是近地极区卫星（700—40 000km，倾角 90°）。两者密切配合，自成体系，形成具有特色和创新性的地球空间探测计划。其主要优势是：两颗卫星运行于目前国际上开展的地球空间探测计划尚未覆盖的近地磁层活动区，适于探测磁层空间暴（包括磁层亚暴、磁暴和磁

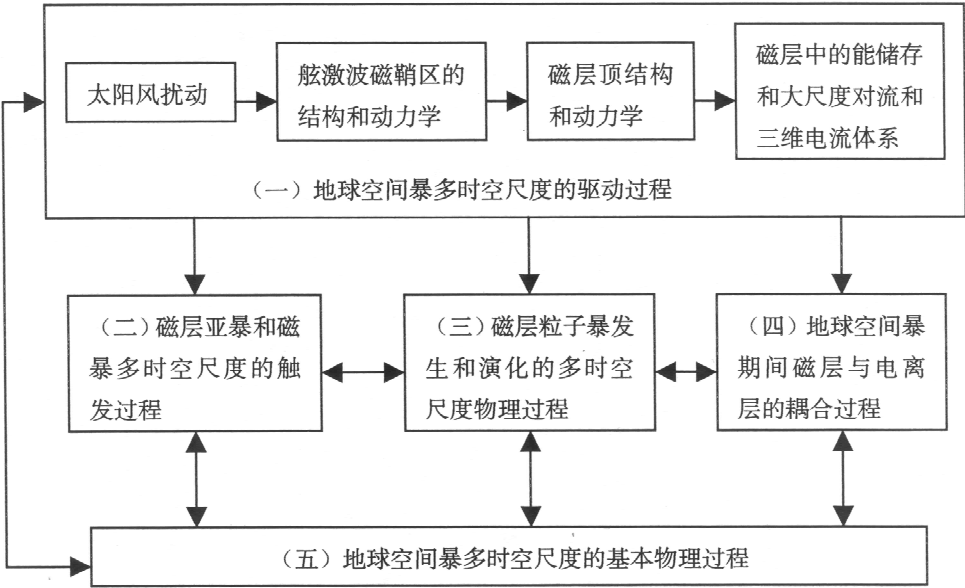


图 1

层粒子暴)的触发过程及其对电离层和热层大气影响的大尺度过程。

双星计划和 Cluster 密切配合,优势互补,首次形成地球空间的“六点探测”,可探测、研究过去难以实现的地球空间暴多空间层次和多时空尺度的驱动和触发过程。

3 合作方式

3.1 合作组织方案

为便于统一提出合作研究的目标和关键科学问题及组织合作各方的科学研究、学术讨论和交流,成立了双星计划科学工作队。根据合作协议,工作队主席由中方双星计划首席科学家担任,另由中、欧双方各出一名科学家担任合作主席;工作队成员由双方科学家组成。

由双星计划科学工作队组织协调合作研究的科学目标、研究内容和学术研讨。

3.2 合作组织科学研究组

(1)中方的组织方式。采用国家自然科学基金委员会重大项目的组织和运行方式,即重大项目成立专家委员会,负责讨论、评议和检查项目科学目标、研究内容和研究进展;二级课题组成研究组;各课题组吸收国外有关学者(包括欧洲和其它国家学者)进行合作研究。

双星计划科学工作队从各研究组选出部分人作为对方研究组的合作研究者(Co-I)。

(2)欧方的合作组织形式。按在双星和 Cluster 上的探测仪器划分研究组,称为 PI 队。

中方可推荐部分科学家参加欧方 PI 队作为合作研究者(Co-I),相应地,欧方也可推荐部分科学家参加双星上中方的探测项目组,作为 Co-I。

双方派人进行互访、交流和合作研究;定期在对方举办学术研讨会。

4 合作成效

4.1 推动了研究的进展,提高了研究水平

以该项目为依托,我们向国家自然科学基金委员会先后申请了一些项目,其主要科学目标和研究内容均围绕着 Cluster 卫星探测的关键科学问题。近十年来,在磁层边界层结构和动力学以及磁层亚暴过程研究方面,取得了一些有创新性的研究成果。如,涡旋诱发磁场重联理论和磁层亚暴全球过程等在国际上具有相当的地位和影响,还曾获 1993 年中国科学院自然科学奖一等奖,1995 年国家自然科学奖三等奖,2000 年国际空间委员会 (COSPAR) Vikram Sarabha 奖,2001 年国家自然科学奖二等奖,2001 年欧空局“ClusterII 突出贡献奖”和 2001 年何梁何利奖。

4.2 获得了大量先进的卫星探测数据

欧空局 Cluster II 的 4 颗卫星已分别于 2000 年 7 月和 8 月分两批顺利发射成功。其后经过三个多月的轨道调整及各项仪器数据检查, Cluster II 的 4

颗卫星已于 2002 年 3 月正式获取人类历史上第一次 4 点空间探测的科学数据。中国 Cluster 数据和研究中心也已正式获得从 2001 年 3 月开始的 Cluster II 的 4 颗卫星上 44 台仪器的全部科学探测数据。

此外, 还可利用与 Cluster 相配合的全球 30 个地面台站的科学观测数据, 研究过去不能研究或不能解决的科学问题。这对推动我国空间物理研究和空间天气预报的发展将发挥十分重要的作用。

4.3 培养了年轻科研人才

通过与欧空局 Cluster 的合作, 我方先后向法国和德国的 Cluster PI 单位派出 4 人学习, 现均已获得博士学位, 成为骨干力量, 并有 7 人被推荐为 Cluster 的 Co-I; 向荷兰欧空局空间技术中心、奥地利科学院空间研究所 Cluster 数据中心、德国欧洲卫星运行中心、英国 Cluster PI 单位、法国 Cluster PI 单位等多批次派出人员进行合作研究, 提高了他们的研究能力, 取得了良好的研究成果。

4.4 推动我国空间科学国际合作的发展

中国科学院与欧空局 Cluster 第一阶段的合作, 我方处于从属地位, 因我国在 Cluster 上没有探测仪器和其它设备, 只是通过合作取得 Cluster 数据, 进行合作研究。

1997 年开始, 双方的合作进入第二阶段, 即以我方为主的合作阶段。中国双星计划与欧空局的合作, 是第一次以我国提出的科学探测计划开展的以我国为主的国际合作项目, 显著提高了我国国际合作的层次和合作范围, 推动了我国空间科学探测国际合作的迅速发展, 为进一步的国际合作奠定了良好基础。

4.5 我国空间探测水平迈上新台阶

(1)通过探测仪器的合作研制和双方专家共同进行全部探测仪器的联合测试, 显著提高了我国探测仪器的研制和联调的技术水平。

双方合作研制和联合调试双星上的探测仪器, 合作检查、订正探测数据, 有利于中方科技人员对欧洲仪器探测数据的了解和分析研究, 提高我国探测仪器的研制水平和数据分析能力。同时, 双方在关键科学问题上的合作研究与交流, 有利于更快地取得创新性研究成果。

(2)提高了我国的卫星技术。双星上有几项关

键技术在我国以往的卫星上未遇到过, 诸如距卫星表面 2.5m 处的卫星剩磁小于 1.5nT; 卫星表面要求等电位, 即卫星表面两点之间的电位差不能大于 1V; 双星长时间在辐射带中心区运行的抗辐射问题以及远距离和大数据率的接收问题等。通过双星计划的合作, 这些方面的技术水平得到显著提高。

(3)提高了科学运行计划编制、卫星在轨运行期间星上仪器数据快速检查、订正和数据产品研制等有关技术的水平; 提高了多卫星数据联合分析的能力。通过双星计划, 我国的空间探测水平迈上了一个新台阶。特别是通过双星计划与欧空局 Cluster II 的合作, 提高了我国在国际空间界的地位。最近, 国际空间局协调组(IACG)组织和协调的 21 世纪前 20 年空前规模的国际合作计划“国际与日共存(International Living With a Star, ILWS)”计划的科学指导委员会主席, 主动邀请中国国家航天局参加 ILWS 第一次工作组会议, 并希望中国国家航天局作为工作组成员, 承担组织、协调世界各国家空间局参加 ILWS 项目的任务。

5 几点体会

空间现象和物理过程是多空间层次、多时空尺度和全球性的, 单靠几颗卫星不能满足其需求。今后空间探测的主要发展趋势是开展小卫星和多卫星的联合探测。多卫星探测任务耗资巨大, 任何一个国家都很难单独进行, 需要进行广泛的国际合作, 联合探测、合作研究。

提出具有我国优势和有创新特色的项目, 是开展国际合作的基本条件。只有这样, 对方才愿意同我方合作, 才能做到互利互惠、优势互补, 从中得到收益, 促使我国空间探测水平得到跨越式提高。

另外, 国际合作可以节约经费、缩短研制周期、迅速提高空间探测的技术水平和创新能力, 提高我国在国际空间界的地位和作用。

今后, 应重视和支持以大项目为基础开展实质性的国际合作, 力求不断提高合作层次, 扩展合作范围。应根据不同合作对象, 提出相应的发展战略和计划, 如与发达国家的合作发展战略, 与发展中国家的合作发展战略, 与周边国家和地区的合作发展战略等。

(相关图片请见封三)