

编号: (79)08

内 部

出国参观考察报告

法国天文地球动力学

科学技术文献出版社

出国参观考察报告

法国天文地球动力学

(内部发行)

编辑者: 中国科学技术情报研究所

出版者: 科学技术文献出版社

印刷者: 中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

*

开本: 787×1092 1/16。 印张: 5.75 字数: 154千字

1979年9月北京第一版第一次印刷

印数: 1—4,450册

科技新书目: 130—20

统一书号: 13176·68 定价: 0.85元

目 录

(一) 概况	(1)
(二) 天文地球动力学研究状况	(4)
一、法国目前开展的传统的基本天体测量工作	(4)
二、时间和频率标准	(6)
三、法国的卫星大地测量研究	(11)
四、人造卫星激光测距	(21)
五、月球激光测距	(31)
六、干涉测量	(35)
七、空间天体测量	(40)
八、法国天文学家对新技术在天体测量方面应用前景的评论	(48)
(三) 法国的射电天文工作	(50)
一、朗赛射电天文站	(50)
二、波尔多天文台的射电天文工作	(56)
三、法德射电天文合作	(58)
(四) 红外天文概况	(58)
(五) 3.60米加拿大—法国—夏威夷 (CFH)望远镜简介	(61)
(六) 参观单位简介	(62)
一、巴黎天文台	(62)
二、上普鲁旺斯天文台 (Haute Provence)	(63)
三、尼斯天文台 (Nice) 和天文底片测量中心 (CDCA)	(69)
四、天文学地球动力学研究中心 (CERGA)	(73)
五、日中峰天文台	(77)
六、波尔多天文台	(80)
七、巴黎天体物理研究所	(82)
八、经度局	(83)
九、巴黎第六大学地球物理研究所	(84)
十、法国地理研究所	(86)
十一、法国科研中心的计算中心	(87)
附：未参观的其它天文机构简介	(88)
附录：缩写表	(89)

法国天文地球动力学考察报告

中国科学院天文地球动力学考察组

叶叔华、吴守贤、黄坤仪、杨福民、姜崇国

(一) 概 况

中国科学院天文地球动力学考察组一行五人于1978年9月29日至10月21日对法国科研中心(CNRS)所属的有关天文台和研究机构就法国天文地球动力学、天体测量等方面研究进展进行了为期三个星期的学术考察。考察组共访问了十个天文研究机构和七个有密切关系的机构。

根据考察计划与CNRS的热情安排,考察组广泛地与法国天文学家进行了友好的接触和学术讨论。对目前法国在组织天文学(特别是天体测量学和天文地球动力学方面)研究工作的规模和计划有了一般的了解,通过与一些天文学家的交往对法国目前天文地球动力学方面的研究水平和发展趋势有了比较深入的了解。

法国的天文学研究工作全部属于法国科研中心领导,在CNRS下面设立了国家天文学与地球物理学院(INAG),主持和协调天文学和地球物理学方面的研究工作。

法国国家天文学与地球物理学院创建于1967年9月。早在1964年,CNRS的报告中就提出创建一个机构来协调天文学的发展,以后又延伸到包括有关地球物理学的领域。INAG的任务是促进天文学和地球物理学的研究,协调天文学和地球物理学领域中的研究计划,确定和编制大的国家预算,并在重大的工程型的空间研究计划中管理研究合同。研究院包括天文学、天体物理学、空间物理、外部地球物理、低层大气物理、空间大地测量、地球动力学、内部地球物理等领域。

INAG有由二十个成员组成的委员会,主要协助INAG的院长确定和协调研究计划。现任INAG的院长是J. Delhaye教授(专长恒星天文,曾任巴黎天文台台长),付院长G. Aubert和P. Charuin。

在INAG领导下的天文部门共17个,它们是:

- 1)* 巴黎天文台(创建于1667年,巴黎市)。
- 2)* 默冬(Meudon)天文台(创建于1876年,现隶属于巴黎天文台,位于巴黎市西郊)。
- 3)* 朗赛(Nançay)射电天文台(创建于1954年,位于巴黎远郊,现属巴黎天文台)。
- 4)* 上普鲁旺斯(Haute-Provence)天文台(创建于1937年,位于马赛远郊)。
- 5)* 日中峰(Pic du Midi)高山天文台(创建于1878年,位于法国西南部)。
- 6)* 尼斯(Nice)天文台(创建于1881年,位于尼斯市)。
- 7)* 波尔多(Bordeaux)天文台(创建于1879年,位于波尔多市近郊)。
- 8)* 法国天文地球动力学中心,简称CERGA,(创建于1974年,位于法国东南部

Grasse城附近)。

- 9)* 巴黎天体物理研究所(位于巴黎天文台内)。
- 10) 里昂(Lyon)天文台(在里昂市)。
- 11) 马赛(Marseille)天文台(在马赛市)。
- 12) 贝藏松(Besancon)天文台(在贝藏松大学内)。
- 13) 斯特拉斯堡(Strasbourg)天文台(在斯特拉斯堡市)。
- 14) 空间天文研究室(在马赛市)。
- 15)* 天文底片测量中心(在尼斯天文台内)。
- 16) 恒星数据中心(在斯特拉斯堡天文台内)。
- 17) 行星与恒星物理研究室(在巴黎近郊)。

有*记号者就是我们这次参观访问的十个天文研究机构, 另外还参观了有密切联系的七个机构, 它们是:

- 1) 国际时间局(BIH), 设在巴黎天文台内。
- 2) 国家地理研究院。
- 3) 巴黎第六大学地球物理研究所。
- 4) 巴黎第十一大学原子时间频率标准实验室。
- 5) CNRS的计算中心。
- 6) 法国经度局(设在巴黎天文台内)。

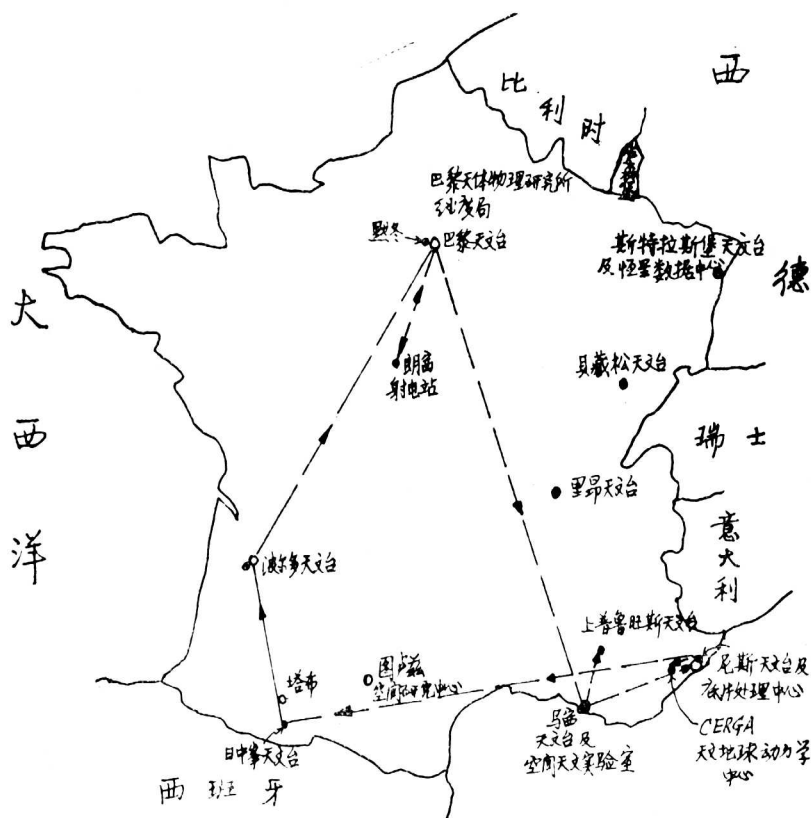


图 1-1 法国天文机构示意图及访问路线

7) 巴黎“发现者”之宫, 这是一个科学普及机构, 巴黎天文馆就设在这里。

本报告特叙述各研究机构的详细情况, 并按各专业领域介绍法国目前的研究状况。图1—1是法国天文机构分布示意图及此次考察路线。

通过这次考察, 对法国的天文学的发展, 特别是天文地球动力学的发展动向有了较多了解。我们认为可以归纳为以下几方面的特点:

1. 计划协调较好, 逐步形成了一些研究中心和研究协作组

在INAG的统一组织领导下, 集中人力物力有计划地建立了天文学和地球动力学研究中心(CERGA), 开展了天体测量和地球动力学各种新技术、新手段和理论工作, 在世界上本学科研究中是富有开创性的; 在尼斯天文台内有天文底片处理中心, 进口一套美国先进的PDS显微光度计, 向全国开放; 在斯特拉斯堡成立了恒星数据中心, 收集各种有关资料; 由图卢兹的CNES中心储存全国的卫星观测数据; 为了协调各国的人卫大地测量研究工作, 成立了空间大地测量研究组(GRGS); 为了节省费用, INAG有一个计算中心(在默冬天文台内), 各天文台就不配备大型电子计算机, 通过终端与中心相联。

在上普鲁旺斯、日中峰、CERGA这三个光学观测条件良好的地方, 建立了观测基地, 向全国开放。观测条件不大好的地方, 如巴黎天文台(包括默冬天文台)则形成仪器设备研制和理论研究的中心。朗赛的射电台址并不理想, 已决定另选射电台址, 以后也会形成中心。

2. 老的天文台在维持原有特色的情况下, 向新的领域发展

例如尼斯天文台已有100年的历史, 原有世界上最大的长焦距折射望远镜, 仍然继续做双星工作, 至今已目视测量了17000多颗双星, 另外一个100年历史的波尔多天文台把一个近百年历史的子午仪改成光电子午仪, 同时又开展毫米波射电天文研究, 已成为法德合作研究计划中的主力; 又如默冬天文台则已成为空间探测, 红外天文等设备和研究的主力。

3. 重视新方法、新技术, 抓住特色开展工作, 力求在世界上有所领先

例如法国的远红外气球探测, 在国际上比较领先, 法国的气球对全世界开放, 该项工作只有10年历史, 从器件及设备研制到理论研究均已配套成龙。电视图象处理, 电子望远镜, 可见光干涉的球望远镜都在积极进行。在大中型望远镜上普遍采用了电子计算机和终端处理设备, 进行仪器控制, 资料获取和处理。自动化程度很高, 提高了工作效率和精确度。

4. 重视国际合作

例如法苏的空间合作, 法德的交响乐卫星, 毫米波射电天文, 以及加拿大、法国、美国三国合作的夏威夷3.6米的大望远镜计划都可见一斑。

5. 重视引进更先进的技术及设备

尽管法国自己从不认为自己在新技术方面是无所作为的, 但是他们还是主张引进新技术, 大型计算机以及终端设备多由美国进口, 也向英国、瑞士进口设备。每年还经常派人去美国工作与学习, 包括激光测月、多卜勒接收机、数据处理自动化等项目。这样, 我们也可看出, 就是一个技术先进的国家, 在某些技术上也应引进更先进的技术, 把自己的技术力量不是摆在世界上已经解决了的问题上, 而是摆在更新的问题上, 这样才能超过。

从另方面看, 我们对上述有关技术, 不应从法国引进, 而应直接从美国引进。

(二) 天文地球动力学研究状况

一、法国目前开展的传统的的天体测量工作简况

法国在基本天体测量的领域内是有悠久历史的国家，这次考察组重点参观了具有三百年历史的巴黎天文台的基本天文研究室和本世纪七十年代初才建立起来的天文地球动力学中心（CERGA，位于法国南方尼斯城附近）。这两个部门的工作是以代表当前法国在本领域的情况。同时我们还考察了波尔多天文台的自动光电子午环。总的来说，给我们的印象是目前法国对天体测量的传统方法研究与新技术新方法相比较没有很重视的迹象。只是有少量过去在这方面作过一些工作的专家还在继续坚持工作。当然他们也取得了不小的进展。这种状况似乎与当前流行的关于传统的方法很难有广阔前景的观点有关系。

1. 关于子午天文的工作

我们参观了巴黎天文台的一个古老子午环和波尔多天文台的另一个古老的子午环，巴黎的子午环处于停止工作的状态。一则是因为巴黎地区（包括默冬部分）因城市影响，夜间的观测均已停止（只有一具 Danjon 等高仪是例外，还在观测）。重点转入理论研究和新技术研究，继续发挥天文学“最高学府”的作用。另一则是正如 Debarbat 所指出，他们估计可能出现新技术能代替传统的天体测量方法，因之持观望态度。与此相反，在法国的西南部波尔多天文台同样的一具子午环，从七十年代初以来，在 Y. Requième 的领导下进行了大规模的技术改造，面目焕然一新。用光电记录装置代替了目视测微器，这一方面的材料已经在杂志上发表过。最近的进展是不仅能记录赤经而且又能记录赤纬。在整个过程中度盘读数，时间记录都采用电子计算机因而达到了高度的自动化。Y. Requième 虽然目前已是一位天文学家，但他原来是电子学专业的大学毕业生，这是他能在这方面取得成就的有利条件。Y. Requième 认为如果在记录上下功夫，同样这一具子午环有可能把目前的极限星等（9m.3）加以提高，他对这一工作颇具信心，而且强烈地反对传统的天体测量没有发展前景的看法。

2. 关于等高法的工作

Danjon 等高仪近年来在原仪器上作了改进，最重要的改进是物端稜镜不再挂放在物镜前而是绕水平方向旋转 30° 后卧于物镜前端，利用稜镜面反射进入物镜成象，稜镜材料改用微晶玻璃做成，据实践结果得到了更为稳定的天顶距测定结果。另一技术性的改进是观测跟星的微调装置已不用平卧的圆环而改用螺杆，这样在观测时不需要观测者像过去那样用双手转动，可用一只手轻巧地转动螺杆。仪器的外形因为稜镜的改变，则向前方有所延长，见图 II-1。

我们参观了巴黎天文台的一架 Danjon 等高仪和在 CERGA 的两架 Danjon 等高仪。巴黎的这架等高仪在测时测纬的同时还兼作星表工作。CERGA 的两架等高仪中，一架经常观测恒星专做星表工作，另一架用来观测太阳，但这项工作尚处在试验阶段。总的看来他们比较重视等高仪在星表工作和太阳系天体观测工作上的作用，而不像我们把仪器的重点放在测时测纬上。据 CERGA 的 Billaud 先生说他们已经收集了用等高仪观测作成的 17 个星表，希望明年出版一本等高仪的综合星表，并希望得到我国等高仪的星表结果。

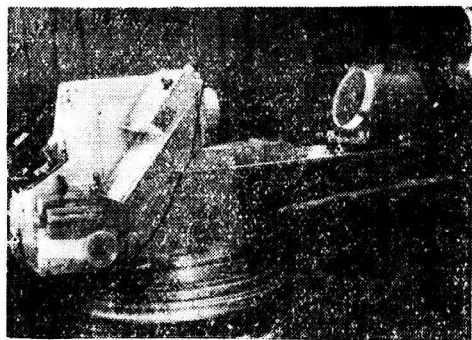
用Danjon等高仪观测太阳是从1974年开始进行的。在物镜的前面安置了一个镀上铬镍的平面镜，以减少太阳的亮度。最初的归算方法是假定在一天之中仪器不变化，于是可以用夜间观测恒星来定经纬度。看来这样的假定有些问题，现在又改用直接取BIH的UTO-UTC代进观测方程式来归算太阳的赤经与赤纬。由于处于试验阶段，尚无定论，也未得知他们的工作细节。这个问题已由F·Chollet等人发表了几篇文章。

目前法国已经基本上制成了光电等高仪，在CERGA刚刚投入试验观测。尽管他们已经看到我国光电等高仪的报导，但他们采用了另外的技术途径来完成这项工作。它的特点是：（1）用马克苏托夫光学系统，两个主镜之间用钼钢棒固牢以保持焦距的稳定；（2）没有采用方位跟踪的装置；（3）用光子计数的方法直接记录恒星过等高圈的时刻。根据这一原理他们的光电等高仪可以观测有视面的天体（如日、月、行星等）。见图Ⅱ—2。

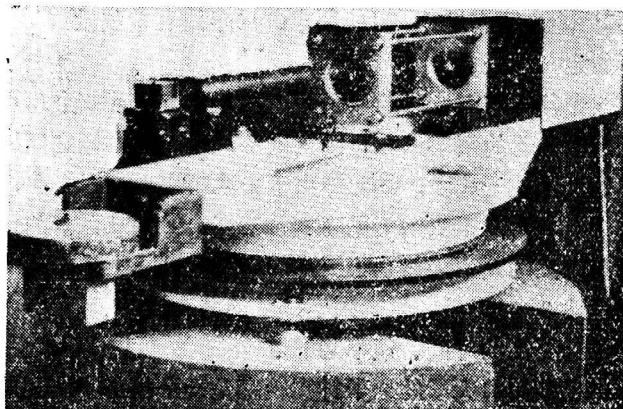
上述几个仪器的观测室并不太考究，大约与我国各天文台的Danjon等高仪的观测室差不多。CERGA有一个观测室外壁没有用互楞铁皮而采用平面的有强反射能力的外壁(图Ⅱ—3)。由于CERGA的气象条件好，其观测结果也不错。

记录设备是专为等高仪研制的有打印设备的计数器，每一个读数记录到毫秒，并打印出到0.1毫秒的读数平均值。

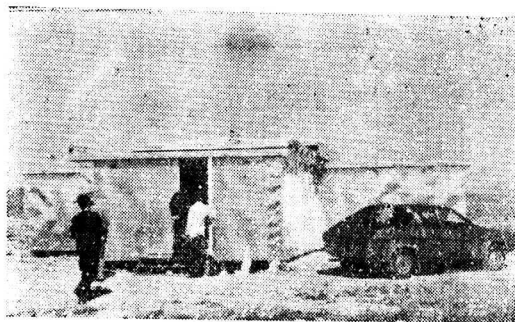
由于原子钟均用无源电视同步与巴黎天文台的原子钟定期比时，所以各地方的观测都能及时地、高精度地换算到巴黎天文台的主钟上。



图Ⅱ—1 改进后的Danjon等高仪



图Ⅱ—2 CERGA的光电等高仪



图Ⅱ—3 CERGA的光电等高仪观测室外貌，
墙壁由非常光亮的铝板制成

二、时间和频率标准

法国集中力量开展了光频标和氢脉泽的研究工作，重点明显地放在潜力很大的光频标上。尽管交谈中从国际时间局主任Guinot到频标实验室的研究人员普遍认为到本世纪末铯钟仍然是国际通用的时间、频率标准，然而他们在自己是否需要研制大铯钟这个问题上一直比较犹豫，还没有造大铯钟的计划。各时间工作的天文台均采用美国商品型HP5061A小铯钟，通过电视进行无源比时，与巴黎天文台的小铯钟同步，一般不再用其它外部比时设备，只有巴黎天文台内BIH的5个小铯钟用二台2000-C型罗兰-C定时接收机与国际的时间系统进行同步。另外正在和加拿大合作利用卫星实现时间同步。

众所周知，氢脉泽具有很高的短期稳定性和长期稳定性，目前世界上做的最好的可达 10^{-15} ，为了满足VLBI的要求，10年内有希望做到 10^{-16} ，但是它只能作为频率的存储器，不能定义秒长。

光频标与微波段的原子频率相比具有以下几个优点：①利用原子或分子的饱和吸收效应稳定激光器的频率，相对线宽更窄，因而频率稳定性更高；②可以把时间和长度这二个最基本的尺度统一起来；③此外由于光波频率远高于微波，因而可以显著地缩短测量时间，反之，测量时间不变则可提高测量精度。但是从目前的技术，制作频率高稳定的激光器和绝对测量光波的频率仍然是很困难的。目前国际上激光器的频率稳定性已达 5×10^{-15} ，频率再现性达 3×10^{-14} ，激光频率测量的精度达 $n \times 10^{-10}$ ，因此不久的将来光频标有可能代替铯钟成为更高的时间、频率基准。

巴黎第11大学的原子钟实验室是一个搞基本研究的单位，研究新型的频率标准和与频率有关的光谱学，分成三个组：①氢脉泽，②光频标，③ Ba^+ 离子的电磁场贮存。

巴黎天文台内国际时间局的光频标实验室则属于工业部计量部门的实验室，偏重于应用研究。下面简单介绍氢脉泽和光频标的研制情况。

1. 氢脉泽

巴黎第11大学原子钟实验室有两台作频标用的氢脉泽，但近几年转做其它实验，只有5年前的测量结果，其稳定度（阿伦方差）为：

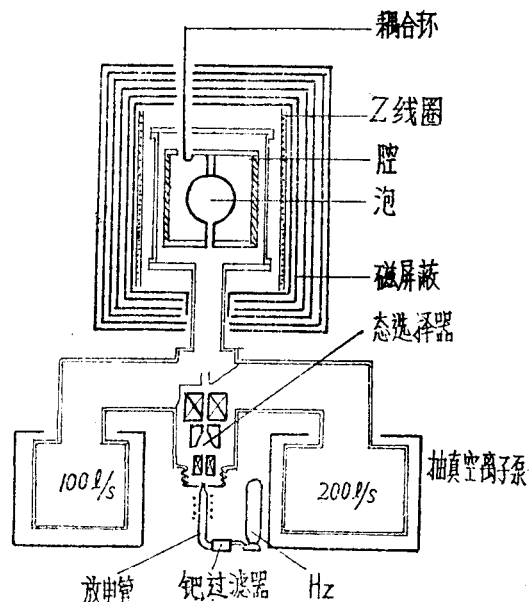
$$4 \times 10^{-13}/1 \sim 40^s; 5 \times 10^{-15}/200^s \sim 1^h, n \times 10^{-14}/\text{天}.$$

结构示意图如图II-4。

设计者考虑了以下四个方面：①储存泡内保存低压；②非常有效地屏蔽环境磁场的波动；③能迅速调节氢流；④微波腔的温度变化控制在 $10^{-3}K$ 以内。

A. 结构上有以下特点：

a. 真空部分采用两个独立的钛离



图II-4 氢脉泽结构示意图

子泵，一个为束源部分抽真空，另一个为泡室抽真空以免互相干扰，泵速分别为200升/秒和100升/秒。当氢原子从束源分布到整个工作区时，存贮泡内的压强从 8×10^{-8} 变化到 3×10^{-7} mmHg。

b. 结合部分没有橡皮，全部用金属，这样做不会变形。磁屏蔽层外面的真空筒用不锈钢制成，磁屏蔽层里面的真空筒则由电解钢制成。所有密封圈都是金属的，这样可以保证泡内聚四氟乙烯涂层清洁、真空。有一部分密封圈是用95%导线和5%铜合金丝做成，熔点296℃，可以保证真空系统加热到200℃。

c. 磁屏蔽：

考虑到实验室内磁噪声较大，采用了6个磁屏蔽层（用2毫米厚的高磁导率合金〔Molt-permalloy，法Mumetal〕制成），层间间隔25毫米。最外屏蔽层的高度是800毫米，直径680毫米。最里层高550毫米，直径430毫米。测得整个泡内剩余磁场切向分量的波动小于5微奥斯特。用另一个作原子物理实验的氢脉泽测出了实验室磁噪声产生的氢原子磁场波动。这样，从 $(F=1, m=0) \rightarrow (F=0, m=0)$ 跃迁的频率稳定度表明，剩余的磁场波动只有0.1微奥斯特。

d. 腔内湿度控制：

腔内湿度变化控制在 10^{-3} 度以内，为此使用了三个同轴的恒温槽，三部分完全独立。第一个是从外面数进来的第二磁屏蔽层，温度保持在28℃；第二个是第五磁屏蔽层，温度控制在43℃；最后一个封闭谐振腔的铜筒，温度48℃，每个高导磁屏蔽层间都充以绝热材料。

e. 锁相电路如图 II—5。

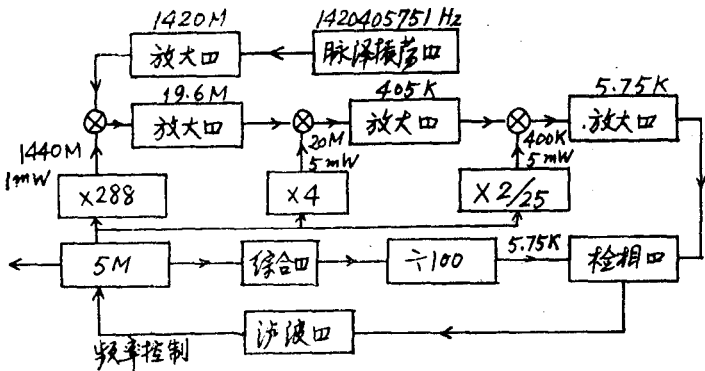


图 II—5 氢脉泽锁相电路

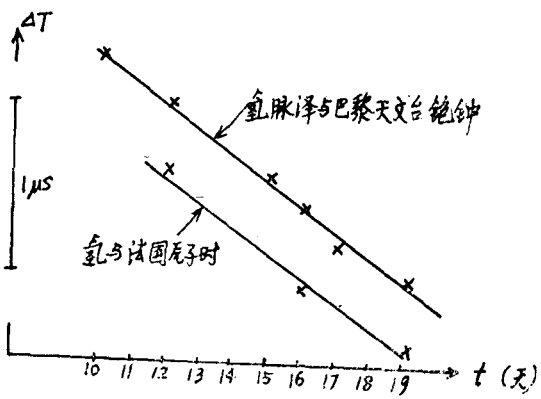


图 II—6

B. 实验结果:

两台氢脉泽 M_1 和 M_2 都可以长期连续工作。

a. 频率稳定度:

M_1 : 4×10^{-13} /秒, $2.8 \times 10^{-15}/100^s$, $8 \times 10^{-15}/10^3s$, 5×10^{-14} /天

M_2 : 2×10^{-12} /秒, $3 \times 10^{-14}/100^s$, $2 \times 10^{-13}/10^3s$, 3×10^{-14} /天

与巴黎天文台的铯钟TOP和法国原子时通过电视比对结果如图Ⅱ—6, 10天的稳定度为 1×10^{-13} 。

b. 氢的超精细跃迁频率:

与国际原子时比较来确定氢超精细结构的跃迁频率。修正值与其误差如表Ⅱ—1 (单位为Hz)。

表 Ⅱ-1

误差来源	二阶多普勒效应	磁 场	壁 移	总 计
修 正 值	-0.0626	+0.0812	-0.0185	+0.0001
误 差	± 0.0001	± 0.0001	± 0.003	± 0.003

表Ⅱ—1中壁移 $\Delta\nu_w$ 是从下列的P.Zitzewitz值, 对FEP120求出的(D是泡的平均直径)。

在 31.5°C , $\Delta\nu_w \cdot D = 0.386\text{Hzcm}$

在 35°C , $= 0.371$

在 40°C , $= 0.347$

外推到 46.9°C , $= 0.314$

这样求出氢的跃迁频率为:

$$f_H = 1420405751.770\text{Hz} \pm 0.003\text{Hz}$$

2. 光频标

BIH的光频标实验室用甲烷的饱和吸收来稳定氦氖激光器。他们正在做一个实用的实验——用频率合成方法进行激光频率的测量。由于目前只能直接测量到微波段的频率, 对于测量高达88核赫的激光频率只能用一系列不同频率的激光器进行频率转换。他们共采用了7个激光器进行7级频率转换, 最大的氦氖激光器长7米, 其它有1个HCN激光器, 一个 H_2O 激光器, 4个 CO_2 激光器。这种方法的基本原理是: 若频率 ν_1 为已知(这是较低的频率, 可以直接测量), 而较高的频率 ν_2 为未知, 则通过非线性元件(如硅点接触型二极管和金属—金属点接触型二极管)将 ν_1 的某一高次谐波与 ν_2 混频, 产生可以直接测量的拍频。若 ν_2 的频率值可以粗略地估计, 以致于能够确定 ν_1 谐波的阶数N, 则从 ν_1 和拍频的测量就能测定 ν_2 。当然原理上可以一次就测定到极高的频率, 但是事实上目前的非线性元件对于次数太高的谐波效率很低, 所以只能一步一步地从较低测到较高的频率。BIH光频标实验室用的频率综合链如图Ⅱ—7, 目前正在做最后的一级。

图Ⅱ—7中符号意义如下: SA代表频率分析器, $\otimes$ 为二极管, ν 表示频率, 单位为 10^{12} 赫兹, ν 加下脚标B表示差拍频率。

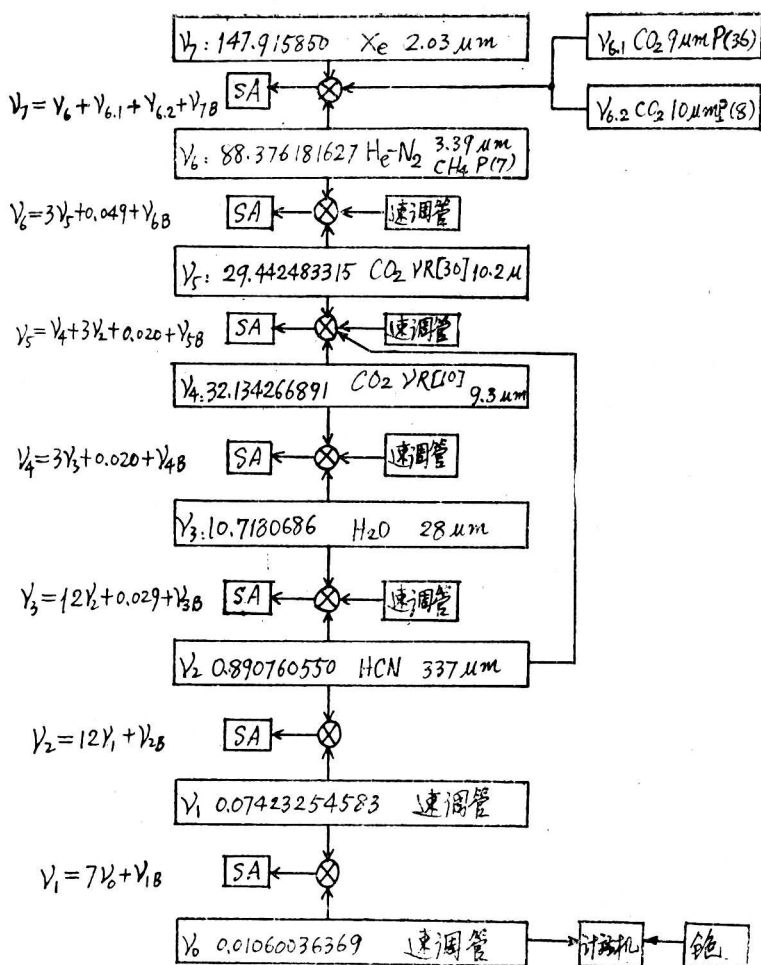


图 II-7 BIH 光频标实验室用的频率综合链

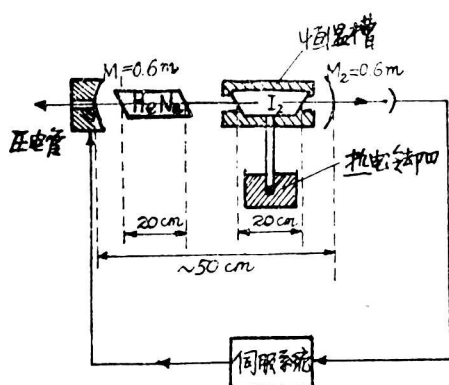


图 II-8 加热碘吸收腔的氦氖激光器频标框图

巴黎第11大学原子钟实验室则用碘饱和和吸收来稳定氦氖激光器和染料激光器。他们考虑到甲烷在3.39 μm 上有五条线，离得太近很难分开，所以用碘更稳定些。他们还准备用更细的钙吸收线来稳定染料激光器（但他们预计钙稳定染料激光器要用20年才能做得很好）。碘饱和和吸收稳定氦氖激光器的做法是典型的，不用详述，这里主要介绍一下他们最近完成的一项重要改进。其方法很简单，仅对碘吸收的腔壁进行加热（155 $^{\circ}C$ ），但效果非常显著，饱和和吸收峰变陡，激光器中期和长期稳定度提高了5倍（介绍人则说已提高到10倍），可稳定到 1.9×10^{-13} 。

腔温提高增加了跃迁能级之间的分子数之差, 因此吸收峰的陡度与温度有函数关系, 当碘饱和和蒸气压强为26巴时饱和吸收峰最尖锐。

实验中采用两个同样的激光器, 激光管是商品型的, 标称输出功率为2毫瓦, 腔长20厘米, 碘腔长也是20厘米, 腔两端的两个反射镜, 曲率半径60厘米, 透射率各为0.9%和0.04%, 碘腔温维持在155°C (如图Ⅱ—8)。

一个激光器调整在碘R127跃迁的超精细结构b分量上, 另一个调整在C分量上, 间隔约8 MHz, 用HP5360A计算计数器测出差拍频率的波动, 通过计数器的机内程序给出以下形式的相对频率误差:

$$\sigma \left(\frac{\Delta f}{f} \right) = \frac{1}{\sqrt{2} f_0} \cdot \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (f_{2i} - f_{2i-1})^2}$$

其中 f_{2i} 是给定时间间隔 τ 中差拍频率的测量值, f_0 是稳定激光频率的平均值 ($f_0 = 4.74 \times 10^{14}$ Hz), 在应用上式时假设两个振荡器是一样的, 并且互相独立, 这个假设对于 $\tau < 10^3$ S在物理上是正确的。

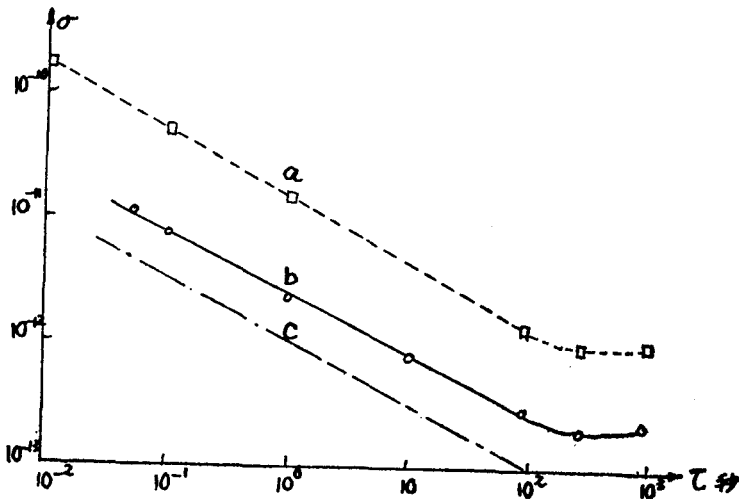
图Ⅱ—9中, a是腔温为常温时的稳定度曲线, b是加热到155°C时的结果。可以看出, 对于 $10^{-1} < \tau < 10^2$ S的取样时间, 频率稳定度提高了5倍, 曲线服从 $\tau^{-\frac{1}{2}}$ 的规律, 有频率白噪声的特点。如果假设这种干扰是光束散粒效应的噪声引起的, 而电子伺服机构是完美的不引入任何误差, 则频率稳定度的理论极限是:

$$\sigma \left(\frac{\Delta f}{f} \right) = 3 \frac{W}{f_0} \cdot \frac{1}{C} \left(\frac{e}{I_1} \frac{1}{\tau} \right)^{\frac{1}{2}}$$

其中 e 是电子电荷, W 是饱和吸收峰半功率点的宽度, C 是峰的陡度, I_1 是光子检测器的电流, 用以下的实验值: 腔温155°C, $W = 4.8$ MHz, $C = 10^{-2}$, $I = 1.5 \mu A$, 求得理论值为:

$$\sigma \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_{Th} = 9.9 \times 10^{-13} \tau^{-\frac{1}{2}}$$

这个理论值用曲线C表示, 可见实验结果与理论值符合的很好。



图Ⅱ—9 激光器的频率稳定度

对于 $\tau=270\text{S}$, 对应的频率稳定度是 1.9×10^{-13} , 当 τ 等于 900S 时, $\sigma=2.2 \times 10^{-13}$, 稳定度略差了一些, 这可能是由于冷点温度波动引起碘压强变化所致。

可见腔壁加热后, 中长期稳定度显著改进。此外, 饱和吸收峰变窄可以显著地缩小声波干扰和振动对激光器的影响。

最近他们在 0.6118 、 0.6328 、 0.6401 三种波长上, 用碘饱和吸收稳定氦氖激光器, 作腔温与频率稳定性的实验, 需要对不同的腔温进行系统地测试。

参 考 文 献

1. Métrologie 1978. 1. 30.
Stabilité de fréquence du laser hélium-néon comportant une cavité à parois chaudes. Pierre Cerez, Seton J. Bennett et Claude Audoin.
2. Optics communications 1977. 6.
Iodine Stabilized He-Ne Laser with a Hot Wall Iodine Cell. P. Cerez, A. Brillet, S. Hajdukovic and N. Man.
3. Optics communications 1978. 6.
Hyperfine structure in iodine at the 612 nm and 640 nm Helium-Neon Laser Wavelengths. S. J. Bennett and P. Cerez.
4. Métrologie 1974.
Development of Hydrogen Masers as Frequency Standards at the Laboratoire de l'Horloge Atomique. P. Petit, J. Viennet 等。

三、法国的卫星大地测量研究

1. 概况

法国在“人造卫星大地测量和地球动力学中的应用”研究方面是仅次于美国的国家。早在1963年, 法国就建立了专门的研究组(主席是M. Levallois), 利用回声一号、回声二号等卫星的光学照相观测, 开始进行卫星大地测量的实验。1965年, 在美国进行卫星激光测距试验的第二年, 法国也进行了卫星激光试验。1966年, 发射了法国的第一个大地测量卫星——D-1A(王冠)卫星。为了加强卫星大地测量的研究, 1971年, 成立了法国空间大地测量研究组(Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale, 简称GRGS), 由著名的天文学家J. Kovalevsky教授任主席。1974年, 在法国南方格拉斯地区成立了天文学地球动力学研究中心, J. Kovalevsky任主任。

法国的空间大地测量研究组是一个联合的组织, 它由下列四个单位联合组成:

(1) CERGA的空间大地测量组。负责人是F. Barlier, 他是CERGA的副主任。该组共有研究人员11名, 技术人员15名, 主要进行卫星激光测距、卫星多卜勒观测、卫星大地测量和卫星测大气的课题研究, 其中卫星测大气的研究工作主要是为卫星大地测量工作服务的。

(2) 法国图卢兹空间研究中心(CNES)的空间大地测量组。负责人是M. Lefebure。该组共有研究人员12人, 技术人员9名, 是法国卫星观测的资料中心和计算中心。主要从事地球模型、卫星测极移等方面的研究。研究力量比较雄厚, 后起之秀G. Balmino就属于这个组。CNES另有若干观测站建于国外。

(3) 巴黎天文台内的国际时间局(BIH), 负责人是Guinot, BIH, 一共12人, 主要从事时间方面的研究, Guinot等少数人(2—3人)也参加空间大地测量组的工作, 从事有关空间方面的研究。

(4) 法国国家地理研究所的空间大地测量组, 负责人是Boucher。地理研究所是法国的测绘机构, 人员达2500人, 其中有500名季节工, 主要是解决测量制图等方面的问题, 类似于我国国家测绘总局。该所的空间大地测量组的工作, 偏重于实际应用。近年来, 该组主要利用人造卫星的多卜勒观测, 采用短弧方法进行点位的测量。从1976年开始到今年8月份完成了全法国的测量。据该所所长M. Louis介绍, 采用短弧方法实测的点位, 同利用美国精确星历表得出的结果相差在一米之内。

G. R. G. S由主席确定项目, 再由领导委员会(由主席J. Kovalevsky同各单位的领导组成)对主席提出的课题项目进行讨论(一般是同意), 确定财政分配。一当项目通过, 研究工作相对独立, 经费由CNES提供。

法国是一个领土只有五十五万平方公里的国家, 因此, 他们的卫星大地测量工作也适应于这个特点, 并努力做到具有自己的特色。概括起来, 它具有下列几个特点:

(1) 重视发展新技术, 引进新技术。上面说过, 在卫星激光测距方面, 法国是仅次于美国比较先进的国家, 这次我们在CERGA参观的卫星激光测距仪就是一架法国自己制造的第二代激光仪。在西班牙的San Fernando有法国的流动激光站。另一方面, 法国虽曾在北京展览过他们制造的卫星多卜勒接收机, 但这次我们看到的都是美国制造的JMR型接收机, 因为法国生产的多卜勒接收机精度赶不上美国的, 他们宁肯引进外国的仪器, 以求做出比较好的结果。再例如, 美国的卫星跟踪卫星的技术已经取得初步的结果, 法国和欧洲空间局吸取了这个技术, 改进观测方法, 准备发展具有特色的卫星跟踪卫星技术。

(2) 努力加强国际合作。为了克服领土小, 在全球独立布站有困难, 法国积极参加国际大地测量卫星观测活动, 以便获取大量外国观测资料, 促进自己科研的发展。1967年春, 在法国大地测量卫星DIC和DID发射之后, 法国空间研究中心(CNES)、美国哥达飞行中心(GSFC)和美国施密松天文台(SAO)共同安排了一个这三个机构的观测站所遵循的观测方案, 强调了当时工作的少数激光仪协同工作的重要性。CNES的三个站, 美国马里兰州格林贝尔特的GSFC站和在奥尔甘帕斯的SAO站都协同参加观测; SAO的贝克—纳恩(Baker-Nunn)站和其他照象系统也参加了观测。1968年, 美国Geos—2卫星发射之后, SAO提议组织第二次国际大地测量卫星跟踪活动, 法国的CNES也积极参加。1971年, 法国CNES为配合低倾角轨道的新激光卫星Peole的发射, 发起组织了一次国际卫星大地测量试验(简称ISAGEX)。这次试验分两阶段进行: 第一阶段, 从1970年9月—11月, 是为了试验情报交流和其他组织问题; 第二阶段, 1971年1月5日—1971年8月31日, 共34星期, 观测7个有激光反射器的卫星和两个大的被动卫星(Midas和Pageos), 共有50多个站参加这次试验, 包括九个激光站(美、法、希腊), 16个贝克—纳恩站, 14个苏联AFU—75站, 共获得1920圈, 约二十万个激光资料和1807圈光学照相观测资料。从77年起, 法国组织了“Medoc Campaign”, 计划到80年—81年结束(详细情况见专题介绍)。此外, 法国还参加了一系列欧洲国家的观测活动等。

总之, 法国通过这些频繁的国际合作活动, 取得了大量的卫星观测资料, 推动自己的研究工作向前发展。我们认为, 加强国际间的科技交流和合作, 也是发展我国卫星大地测量工作的重要一环。

(3) 加强课题的研究。据J. Kovalevsky介绍, 鉴于65年至71年, 科学上发生很大的变化, 研究地球的空间手段有了发展, 天体力学、天体测量学和地球动力学这些方面的研究密切相关, 不可能分离地、孤立地进行研究, 为此, 1974年, 法国成立了天文学地球动力学研究中心CERGA, 其目的是进行课题的研究。它同图卢兹空间研究中心一起, 成为国际上卫星大地测量和地球动力学研究的一支比较雄厚的力量, 在卫星跟踪、地球模型、地球极移等项研究工作中都作出了贡献。

关于卫星观测的科学应用的发展方向问题, 是我们这次考察的主要课题之一。我们用了比较多的时间, 同法国有关科学家如J. Kovalevsky, F. Barlier, Guinot, G. Balmino等人进行了讨论。综合有关情况, 可以得出下列几点结论:

①卫星大地测量和卫星在地球动力学上的应用是当前卫星观测的科学应用的主要发展方向。这方面的工作经历了几个阶段:

a. 基本方法研究阶段, 以1962年在华盛顿举行的“人造卫星在大地测量上的应用”国际会议为标志。这次会议主要涉及基本方法, 即人造卫星的运动理论的问题, 卫星光学观测是当时考虑的主要观测手段。

b. 卫星大地测量获得初步成果阶段。1965年在希腊雅典召开的第二次“人造卫星在大地测量上的应用”会议, 宣布获得站座标和大地水准面高度的精度达到10米—20米。美国施密松天文台(SAO)的标准地球, 是这项工作的先躯, 美国海军武器实验室利用卫星多卜勒观测也获得良好的结果。

c. 成果精化和探索新方法阶段。1971年在华盛顿召开的第三次“人造卫星在大地测量上的应用”会议的重点转向对过去结果的批评分析, 和能推进大地测量知识一个量级的新的观测方法的讨论。激光观测和空间跟踪手段, 如卫星跟踪卫星、卫星测高计等新方法成为大家关心的课题。

d. 卫星大地测量逐步深入到地球动力学领域。由于观测技术的迅速发展, 利用卫星的观测已可逐步对诸如极移、板块运动、地球质量分布等提供直接的测量。因此, 1973年5月在希腊召开的会议改名为“人造卫星在大地测量和地球动力学中的应用”会议。1978年5月29日至6月3日在希腊召开了第二次“人造卫星在大地测量和地球动力学中的应用”会议。看来, 无论是美、苏, 还是法国, 天文部门的卫星观测大都向这个方向发展。

②鉴于激光测距精度提高的潜力和多卜勒观测的高精度和全天候特点, 这两种方法成为70年代以来卫星地面观测注意的重点。但是, 由于下列原因, 光学观测至今仍不失其意义:

——例如, 法国空间研究中心的G. Balmino认为, 卫星激光测距和多卜勒观测测量的是卫星和观测站的相对距离及其变率, 还需要光学照相或长基线干涉仪作为空间绝对定向的手段, 否则, 得出的还只是测站间的相对坐标。因此, 尽管有了多卜勒和激光观测, G. Balmino等人近年来建立的法国Grim地球模型仍然采用大量光学照相资料。这种看法同美国人的看法相同。美国人在最近一期多卜勒专刊中声称: 光学照相和地面重力测量仍是不可缺少的, 前者用于空间定向, 后者用于求引力场高频分量。我们认为, 如果局部地区建站, 独立定轨及反测坐标, 这个问题更为重要。

——英国的King-Hele认为, 多卜勒观测只能观测子午仪卫星系列, 即一千多公里圆极轨道卫星; 激光观测虽然精度高, 但其使用也有严重的局限。为使激光脉冲照亮卫星而不脱靶, 必须以极高的精度预报卫星位置。实际上, 目前可以对近地点高度在600公里以上, 大气阻尼很小的卫星作准确的预报, 但对近地点高度近200公里的高阻尼卫星看来成功希望很

小,而这种卫星对研究高层大气是基本的,对研究地球位势中的高阶系数亦很有用。光学照相观测则可对各种倾角,各种高度的卫星进行观测。有鉴于此,King-Hele最近申请到一笔经费,要在澳大利亚建立一个卫星照相观测站。最近刚建的匈牙利Penc卫星大地测量天文台也装备有SBG型和AFU-75型照相机。

③卫星空间跟踪手段,如卫星跟踪卫星、卫星测高计和卫星重力梯度计是近年来获得迅速发展的新技术。

卫星跟踪卫星的好处是可以连续跟踪卫星,对地面观测站的依赖小,讯号不通过对流层,跟踪精度比地面高。目前采用多卜勒方法,距离变率的测量误差仅为 0.3mm/s — 1.0mm/s ,估计将来还可大大提高。

卫星跟踪卫星有两种做法,其一,应用高轨道卫星对低轨道卫星跟踪,如同步卫星ATS-6对GEOS-3(高度约840公里)的跟踪。其二,低轨道卫星对低轨道卫星的跟踪,如阿波罗-联盟号的跟踪。第一种比较容易实现,观测资料可以随时发回地面,卫星上不必大量贮存资料;而第二种的精度较高,对引力场的长波分量不敏感,适宜于求出引力场的精细结构。

法国空间研究中心的P. Roucher, L. Castel和G. Balmino在1977年9月25日至10月1日于布拉格召开的国际星际航行联合会第28次会议上,提交了一份采用空间实验室对另一颗次级卫星(即低卫星—低卫星)进行跟踪的方案讨论和模拟计算结果的报告,表明了欧洲空间计划(DIABOLO计划)的雄心。该卫星将于1982年左右发射,要求测定引力场的精度为1毫伽,分辨力为50公里~100公里。跟踪仪器将用迈可尔逊型光学干涉仪。在天空实验室上,由一个小的3厘米望远镜发射波长为 10.6μ 的激光,在次级卫星上装置角反射器,反射回来的讯号由天空实验室上的0.5米望远镜接收。两卫星之间的距离变化于0—170公里(地面高度为275公里)之间。另外,在卫星上还将装置测微加速度计以消除卫星绕其质心旋转的速度。测量的精度原则上很高,根据干涉条纹可测出 $1\mu/\text{s}$ 或更好,其实际精度依赖于几个参数,激光发射器的稳定性是最主要的一个(要求稳定度在 10^{-11} 以上)。

卫星测高计也是近年来发展的一项新技术,特别是Geos-3卫星于1975年4月的成功发射及卫星上装置的无限电测高仪的成功工作,引起人们的很大注意。G. Balmino认为,这种方法对了解地球局部大地水准面很有用,但不能解决引力场的全貌问题,解决全貌问题得靠卫星跟踪卫星的方法。

法国空间研究中心空间大地测量组G. Balmino等人利用Geos-3测高资料决定印度洋Kerguelen Islands区域($40^\circ \leq \lambda \leq 85^\circ$, $-66^\circ \leq \varphi \leq -35^\circ$)的大地水准面高度,每平方度一个数值。卫星上的观测从1976年2月开始,持续三个月,得到了153条测高轮廓,卫星的精确轨道由美国国防部制图局(DMA)确定。采用几种不同方案,计算大地水准面高度的结果相差均在一米之内,并发现大地水准面异常和这个区域进行的海深观测的结果强烈相关。

卫星重力梯度计也是颇受注意的一项新技术,国内测绘部门不少人对此也很感兴趣。因为地球引力位的球函数级数的阶数越高,它所反映的地球重力场的特征越细,这些高频分量在整个地球引力场中的作用虽然不大,但却是整个地球重力梯度中极其重要的部分;因此,如能精确测定重力梯度,则能很好地确定地球引力场的高阶系数。在卫星上测定重力梯度采用的方法有两种,一种类似于扭秤,另一种采用系绳连结的卫星对。但是,法国空间研究中心的G. Balmino认为,卫星重力梯度计动力学上是很不稳定的,技术上存在问题,不易得出好的结果。