

# GPS 技术在海洋开发中的作用

刘基余

(武汉测绘科技大学地测院 武汉)

**摘 要** 基于 GPS 技术的新近研究成果,本文主要论述了 GPS 信号在以下四方面的应用:(1)精确测定海洋测高卫星的运行轨道,为全球海洋学和灾害性海况信息探测提供数据处理基准;(2)建立陆地—海洋大地测量基准,为海洋划界和海洋国土建设奠定基础;(3)建立海底大地测量控制网,为海底工程建设和海底动力学研究提供测量基准;(4)测定海洋平台等海上设施的实时位置,确保海上设施的动态平衡。

**关键词** GPS 技术 海洋测高卫星 海洋大地测量 海洋平台

海洋,占据地球表面 70.9%的面积,意味着整个地球表面有 36 200 万 km<sup>2</sup> 的面积被海水覆盖着。随着陆地资源的日渐减少,开发海洋矿物资源,打开海水资源的宝库,已成为人类向海洋进军的主攻目标。

我国约有 300 多万 km<sup>2</sup> 的辽阔海域,是一个陆地—海洋大国。为了维护我国海洋国土的完整,开发和利用海洋资源,测绘是一项超前期的基础性建设工作。本世纪 80 年代中期兴起的 GPS 卫星测量技术,不仅为全球性全天候的远洋船导航提供了革命性的技术途径,而且为全天候高精度的海洋大地测量开创了技术革命的新纪元。基于 GPS 技术的新近研究成果,本文主要论述 GPS 信号在海洋测绘、全球海洋学研究和灾害性海况信息探测中的应用。

## 1 用 GPS 信号精确测定海洋测高卫星的运行轨道,为全球海洋学研究和灾害性海况信息探测提供数据处理基准。

1992 年 8 月 10 日,美国航空航天局(NASA)和法国国家空间研究中心(CNES)联合发射了 TOPEX/POSEIDON 卫星,其主要任务是,通过卫星距离海洋表面的高度测量(简称为卫星测高,如图 1 所示),实现全球海洋学和全球气象学的研究,特别是全球海洋环流、热带海洋和全球大气的研究。

TOPEX/POSEIDON 海洋测高卫星安设了下列仪器:

——星载 Monarch GPS 信号接收机,用以精确测定 TOPEX/POSEIDON 卫星的运行轨道(其高度为 1333.8km,轨道倾角是 63.1°)。

——先进的双频微波测高仪,它具有±2.0cm 的卫星测高精度和直接测定沿波径的电离层电子含量而改正电离层影响的能力,同时也能测量海浪高度和风速。

——三频微波辐射计,用以测定对流层的水蒸汽量,而改正对流层影响。

——星载激光反射镜阵列,以供地面上现有卫星激光测距站测量它的站星距离。

美国 Texas 大学空间研究中心 H. Rim 等 5 位科学家的研究表明,为了研究洋流和潮汐,探测灾害性海况信息,而要求海面地形的测量精度达到±13cm 时,TOPEX/POSEIDON 海洋测高卫星的轨道径向误差亦应不大于±13cm。传统方法测定 TOPEX/POSEIDON 卫星的运行轨道,人们难以达到所需的±13cm 的轨道测量精度。因为,人造地球卫星环绕地球运行时,受到地球引力、海洋潮汐、地球固体潮、大气阻力、日月引力、太阳辐射压力及其地球反射压力,星体反射压力等扰动力的作用,致使卫星运行轨道成为如图 1 所示的波浪起伏的封闭曲线,而不是一

个规则椭圆,故难以测定卫星的实际运行轨道。

80年代末期,美国加州理工学院喷气推进实验室的 T. P. Yunck 等几位科学家,开始研究不依赖地面观测网作低轨卫星的轨道测量,而代之以 GPS 信号测定低轨卫星的实际轨道,并进行模拟试验研究。为了获得厘米量级的卫星轨道测量精度,除了在低轨卫星上安设 GPS 信号接收机以外,还布设了一个全球性地面基准网(图 2 a、b 所示)。T. P. Yunck 等科学家的研究表明,低轨卫星的在轨点位置变化一般能用 GPS 信号测定到厘米

以内,卫星在轨位置各个点位的 GPS 测量精度一般只能达到亚米级;但是,采用伪距—载波相位观测值的平滑处理技术,1m 的在轨瞬时点位置误差,原则上能通过几分钟数据平滑降低到 10cm。图 3(a、b、c)表示用伪距和载波相位观测值分别解算的卫星运行轨道,以及用伪距和载波相位测量值拟合解算的卫星运行轨道。图中虚线表示真正的卫星运行轨道,带垂线的点表示在轨卫星的测量点位。由于地球引力等摄动力的作用,卫星运行轨道是一个此起彼伏的封闭曲线,仅其周期均值近于椭圆形(如图 4 所示)。

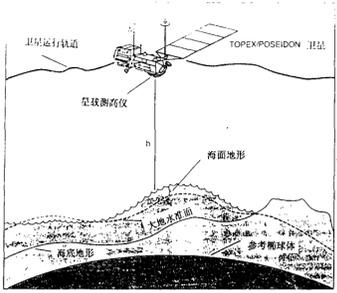


图 1 TOPEX/POSEIDON 卫星 GPS 和海洋测高

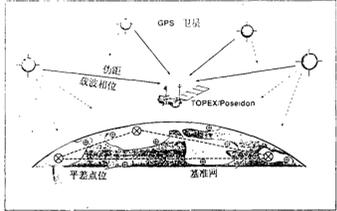


图 2a 卫星 GPS 与地面基准站的求差定轨法

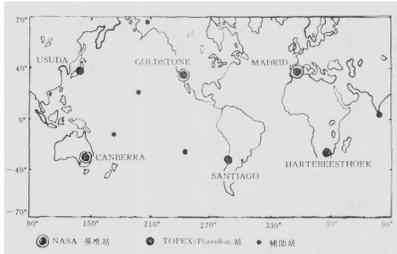


图 3 TOPEX POSEIDON 星载 GPS 示差定位的 6 个地面基站站址



a. 用伪距解算的卫星运行轨道



b. 用载波相位测量解算的卫星运行轨道



c. 伪距和载波相位测量值拟合解算的卫星运行轨道

图 3

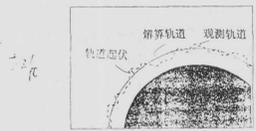


图 4 低轨卫星的实际轨道

定轨误差源		轨道径向中误差(cm)
引力误差	地球引力常数(GM)	0.7
	地球引力	9.4
	海洋潮汐	2.5
	地球固体潮	0.2
太阳光压等非引力误差		0.7
定轨观测误差*		8.0
总 计		12.63

M. Kim 博士仅用 0.34cm,致使轨道径向中误差为 9.78cm

若以 2 小时弧段的±8cm 作为星载 GPS 信号接收机的定轨精度,则知 TOPEX/POSEIDON 海洋测高卫星的轨道径向中误差为±12.63cm(表 1 所示)。新近研究表明,星载 GPS 动态载波。相位测量的 1 秒间隔观测值之点位解算精度能够优于±1cm,以致低轨卫星的定轨观测误差不会大于±1cm;换言之,低轨卫星的轨道径向中误差在±10cm 以内;它能充分满足全球海洋学研究和灾害性海况信息探测的应用要求。

## 2 建立 GPS 陆地—海洋大地测量基准,为海洋划界和海洋国土建设奠定基础

随着海洋国土意识的日渐浓厚,海洋划界已成为海洋国家一项迫在眉睫的历史重任。我国亦存在与周边临国划定海域疆界的现实。遗憾的是,我国辽阔的海洋国土还缺乏统一的规划。<sup>①</sup>究其原因是多方面的,但是,缺乏必配的先进的技术设备,是一个重要的因素。

GPS 卫星测量技术的问世,为海洋测绘,特别是海洋大地测量,开创了全天候高精度的技术新途径。1992 年 6 月 8 至 13 日,国际大地测量协会(IAG)、国际测量工作者联合会(FLG)和国际水文测量局(IHO)在印度尼西亚联合召开了第一届国际海洋大地测量法规学术讨论会,其主要议题是:海洋法规;离岸限制;近海边界;群岛位置;二维和高程基点;新技术影响。与会者一致认为,GPS 技术

不仅能将全球海洋大地测量基准统一于 WGS—84 全球大地测量坐标系,而且能为海洋划界提供高精度的数据基准,值得海洋国家积极开发和广泛应用。

陆地—海洋大地测量控制网,是海洋中岛礁点位与陆地大地测量控制点联系的纽带,是国家大地测量坐标系延伸到海洋国土的有效途径,是海洋综合测绘的工作基础。在 GPS 技术问世之前,人们难以精确联测相距近千公里的陆岛点位,而无法在辽阔的海洋上建立高精度的大地测量基准。GPS 技术,是利用来自 2×10<sup>4</sup>km 高空的 GPS 信号进行点位测量;它不受陆岛点位之间的距离远近限制,成为远距离陆海联测的有效途径。自 1988 年以来,我国多次用 GPS 卫星测量技术进行了陆地海岛联测,特别是 1990 年 3~4 月间的陆地南沙岛礁联测,采用三台 WM102 GPS 双频接收机,完成了南海 5 个岛礁 8 个点位和陆地上 4 个大地测量控制点之间的 GPS 联测,初步建成了陆地南海大地测量基准;这次联测的站间距离最远达到 808 687.519m,这是常规大地测量技术望尘莫及的。在我国境内的 GPS 卫星测量实践表明,GPS 点位的三维坐标精度,能够达到厘米级;用 Trimble 4000SST GPS 双频接收机在湖北崇阳县所测得的点位坐标表明,它与整体大地测量相应点位坐标的比较,二维位置的最大较差亦不过 1cm,最小者为 0.0000;正高的较差稍大一些,其最大值为 42.57mm,其最小值为 1.90mm,但是,没有发现系统性偏差。同一崇阳试验网上,GPS 站间距离与其相应光电测距边的比较,在 22 条边平均长度为 1.9km 的情况下,外部符合精度在 1：300 000 以内者占 41%,1：500 000 以内者占 22.5%,1：500 000 以上者占 36.5%;最低者为 1：110 000(其边长为 1.02km),最高者为 1：7 250 000(其边长为 1.966km)。综

<sup>[1]</sup> 沈义周,赵明才等.关于开展我国专属经济区和大陆架海洋测绘综合研究报告.国家海洋局,1991.4

上可见,GPS卫星测量技术,既能联测相距上千公里的陆海点位,又能达到厘米级的点位精度,而成为海洋大地测量的有效手段。

### 3 建立 GPS 海底大地测量控制网,为海底工程建设和海底地球动力学研究提供测量基准

海底大地测量,是近年来国际海洋学家、测绘学家和地球物理学家共同探索的一个研究热点,其主要目的是,为海底工程建设,灾害性海况成因探测和海底地球动力学研究提供测量基准。

海底大地测量的目的是,在海底地层上布测高精度而稳定可靠的大地测量控制网。其作用在于:(1)为海底工程建设提供测量基准;(2)通过较长时间(如几年)的重复观测成果,研究海底板内运动和海底地壳形变,用以探测灾害性海况信息。GPS技术的问世,为建立海底大地测量控制网提供了有效的技术途径。现行GPS海底大地测量控制网的布测方法是,用GPS信号测量船载GPS信号接收天线的实时位置,通过同步测量的海底声标和测量船之间的水下声距,而联合解算出每一个海底声标的精确位置。模拟计算表明,当船载GPS实时点位的二维位置精度为±5m,而船位高度和 underwater 声距的测量精度均为±5m,声标点位的平均中误差为±4m左右;声标点位的最大中误差在±10m以内。这已能满足某些海底工程建设的需要,而受到海洋学界的高度重视。

但是,米级精度的海底大地测量控制点,不能满足海底地球动力学研究和灾害性海况信息探测的需要,必须将其提高一二个数量级;特别是同一个点位的重复测量精度,需要达到厘米级,才能准确地测得海底地壳动态参数;这是当今海底大地测量的一个国际性难题。为了寻求海底点位的精确测量方法,笔者于1992年3月提出了用于海底定位的GPS/LASER协同系统的概念设计,该系统包括四个子系统:

(1)船载DGPS子系统,用于精确测量船载GPS信号接收天线在海面上航行时的实时位置;

(2)船载蓝绿双色激光测距子系统,它同时发射的4束激光,分别射达安设在海底上4个带激光反射镜的自动深潜站,用以同时测定海面船只至4个自动深潜站的距离;

(3)船载数据处理/控制子系统,它既用于控制和协调GPS测量和双色激光测距,又用于处理GPS定位和双色激光测距的协同数据,而实时地解算出4个海底深潜站各自的三维坐标;

(4)海底自动深潜站,它不仅能够按要求自动深潜到海底预定位置,而且带有激光反射镜,用以反射来自船载蓝绿双色激光测距子系统的激光。

GPS/LASER协同系统,采用船载DGPS测量技术和双色激光测距,不仅能够以厘米级精度测定海底大地测量控制点,而且能够用于潜艇进击和水下打捞的精确定位,而展现了广阔的应用前景。

#### 4 测定海洋平台等海上设施的实时位置,确保海上设施的动态平衡

海洋平台,是钻采海洋油气的基础设施和工作基地,而需要精确测量它的在海位置。海洋平台的定位测量分为下述两类:

(1)将海洋平台安设到既定海位的就位测定;每测定一口井位,常需月余,耗资二三十万元,多由外国公司承担就位测定;

(2)当钻机偏离井眼,而需将钻机重新对准井眼的复位测定;在海洋上作业的油气钻采平台,受到风浪和洋流的作用,处于纵横摆移和上下升降的运动状态,而导致钻机偏离井眼。为了修正钻机偏移,保持海洋平台的动态平衡,需要不断地测定海洋平台的实时位置,采用的现行方法是,精度较低的声学定位测量。

GPS卫星全球定位系统的全面建成,为海上设施定位提供了全天候高精度的测量新

技术。无论是海洋平台的就位测定,还是海洋平台的复位测定,都可以采用 GPS 动态测量技术。自 80 年代末期以来,我们的理论研究和车载、(飞)机载 GPS 测量实践表明,即使是在 GPS 工作卫星实施 SA 技术的今天,我国用户若采用 DGPS 技术作差分伪距测量,其实时点位精度亦可达到士 2~5m,若作动态载波相位测量,其实时点位精度可达到厘米级;因此,GPS 技术将在海洋开发中发挥重大的作用。

#### 参考文献

1 T. P. Yunck. A New Chapter in Precise Orbit Deter-

mination. GPS World, Vol. 3, No. 9, 1992

2 H. Rim, *et al.*, Precise Orbit Determination Using GPS, Proceedings of the 8th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Ohio, March 17~20, 1992, P. 994~1003

3 刘基余. GPS/Laser Synergistic System for Seafloor Surveys, Marine Geodesy (USA), Vol. 15, No. 4, 1992

4 刘基余. Integration of Space-borne GPS and Terrestrial Measurements. Proceedings of the GPS Seminar-cum-Workshop, Kuala Lumpur, Malaysia, June 22-24, 1993

5 刘基余. GPS 接收机的作用和影响,世界电子信息,1994(1)

## 征 稿 启 事

1. 作者向本刊投稿,自稿件发出之日起 4 个月内未收到决定采用的通知,可以将同一作品向其他报刊投稿(在限定期内切勿一稿二投)。来稿恕不退,请自留底稿。

2. 依照《著作权法》的有关规定,本刊可以对来稿作文字性修改、删节;对文章内容若作者不同意修改,务请在来稿中注明。

3. 作者在来稿中摘编或引用他人作品时,应列出主要参考文献,指明原作者姓名,作品名称和出版时间。

4. 来稿请用 16 开单面稿纸抄写或打印(打印字号应大于 5 号体,并留有行距)。

5. 来稿要求观点明确,文字精炼。精炼文章优先采用。论文最长不超过 5000 字(包括图表在内)。3000 字以上均应提供关键词和中英文摘要(限 200 字以内)。

6. 计量单位和数字用法一律采用国家颁布的法定计量单位和有关数字用法的规定。