

# 多波束测深系统的现状和发展趋势

刘经南<sup>1</sup> 赵建虎<sup>1,2</sup>

(1. 武汉大学 GPS 研究中心; 2. 武汉大学测绘学院, 湖北 武汉 430079)

**【摘要】** 介绍并分析了多波束系统的现状, 阐述了系统的发展趋势。认为系统的研制基本成熟, 未来的研究重点将倾向于数据处理和应用研究, 最后也探讨了具体的研究方向。

**【关键词】** 海洋测量 多波束测深系统 数据处理 发展趋势

## 1 引言

不同于单波束测深系统, 多波束测深系统可在测量断面内形成十几个至上百个测深点, 几百个甚至上千个回向散射强度数据, 从而保证了较宽的扫描幅和较高的测点密度; 另一方面, 较窄的波束、先进的检测技术和精密的声线改正方法的采用, 也确保了测点船体坐标的归位计算精度, 因而多波束测深具有全覆盖、高精度、高密度和高效率的特点。因此, 多波束测深系统正日益受到海道测量同行的认可, 并在实际生产中发挥着越来越重要的作用。

多波束测深系统是一种由多传感器组成的复杂系统, 系统自身性能、辅助传感器性能和数据处理方法, 对于系统的野外数据采集和波束脚印的归位计算起着十分重要的作用。

为此, 下面对系统的性能和数据处理现状进行分析, 进而概括了今后系统的发展趋势。

## 2 多波束测深系统的最新进展

从测深技术的发展来看, 多波束测深技术尽管经历了短短三十年的发展, 其研究和应用已达到了较高的水平, 特别是近十年, 随着电子、计算机、新材料和新工艺的广泛使用, 多波束测深技术已经取得了突破性的进展。主要表现为:

(1) 全海深测量技术的发展。多波束是一种窄波束测深系统, 受换能器结构设计、声脉冲信号处理的限制, 长期以来, 存在着系统庞大、扇面开角和扫海幅度都较小的问题。随着换能器设计结构的不断改进和信号处理技术的进一步完善, 现有系统的扇面开角扩大到  $150^\circ$ , 波束增至 120 个, 实现了真正意义上的全覆盖式测量。此外, 系统可应用于深水、中

深度和浅水测量中, 实现了全海深测量。许多新型系统还采用了双频、变脉冲发射技术, 达到了一机多用的效果。

(2) 高精度测量技术的发展。根据测量扇面内波束传播距离的特点和单一底部检测的缺陷, 许多厂家采用了振幅和相位联合检测技术, 保证了测量扇面内波束测量精度的大体一致(张卫红等, 1999)。为了保证中央波束和边缘波束分辨率的一致, 一些厂家将等角和等面积发射模式应用于新型的多波束系统, 使得中央波束脚印面积同边缘波束相近, 测点间距基本一致, 保证了成图质量。

动态海洋环境下多波束测量, 因海况不稳可能导致在发射位置接收不到该方向的回波, 为此, 生产商研制和开发了定向发射和接收的新型系统, 对船只的横摇作了方向性补偿。

测量精度的提高还表现在新型材料的应用和抗噪声水平的提高方面。

(3) 集成化与模块化技术的发展。多波束系统是计算机技术、导航定位技术以及数字化传感器技术等多种技术的高度组合。一个完整的多波束系统除拥有结构复杂的多阵列发射接收换能器和用于信号控制与处理的电子单元外, 还应该配备高精度的运动传感器、定位系统、声速断面和计算机软、硬件及相应的显示设备。因此, 现代多波束测深产品实际上已经发展成为由声学系统、波束空间位置传感器子系统以及数据采集与处理系统组成的综合系统。多波束发射接收换能器、电子单元及实时采集与控制计算机构成多波束波束形成的核心部分; 高精度的定位设备、运动传感器以及声速断面仪组成的波束空间位置传感器子系统是多波束系统必不可少的组成部分(李家彪[1999], 黄谟涛[2000], 周兴

华[1998])。

(4)高分辨率测量技术的发展。Atlas Fansweep 20、Submetric 2000 和 EchoScope 系列多波束系统是目前众多系统中分辨率较高的三种系统,以 Atlas Fansweep 20 为例,该系统既不是相干声纳,也不是传统意义上的多波束系统,而是一种具有相干特点的多波束系统。其换能器由许多声学单元组成,返回信号的振幅、传播时间和入射角都是该系统的观测参量,其中回波信号的入射角是由位于换能器内部独立工作的相位测量单元通过相位漂移测量获得的。这种系统能够识别不同方向的回波信号,并将它们区分出来,因此,特别适合具有复杂地形特征的海底测量。

由于波束形成时采用了相干法,故获得波束的个数远高于束控法形成波束的多波束系统,且由于发射脉冲同时应用于侧扫成像,每次可提供多达 4096 个侧扫成像数据,基本上等于高精度侧扫声纳的成像数据个数,使多波束测深发展成为名副其实的面测量技术。

根据上述分析,未来的一段时间内,多波束系统在系统研制方面将主要集中在仪器结构和性能两个方面。在仪器结构方面,将向更小的体积和重量、更高的集成度以及更灵活的安装和维修方向发展;在仪器的性能方面,将趋于更可靠、更稳健,同时在确保测深密度和精度的前提下,提高系统的分辨率,改善系统的成像质量,进而达到取代侧扫声纳的目的。

### 3 多波束测深系统数据处理的发展趋势

相对于系统研制方面的迅速发展,多波束系统在数据处理方面的进展却比较缓慢,这主要是因为多波束数据采集是在复杂的海洋环境下进行的一种动态作业,未知的和不确定的因素给多波束数据处理带来了很大的障碍。

多波束测深系统与单波束测深系统在技术特点上存在两点差异,一是采用窄波束,二是在一个扇面内形成多个具有不同入射角的波束,这两点对于提高多波束测量精度和效率起到了关键性作用,同时也带来了一些相关问题。这些问题主要表现在如下几个方面:

#### 3.1 声速及声线跟踪

声速的确定及其对声线的影响是多波束测深系统中研究和关注的重点。现有的声速经验模型比较多,这为深度的计算精度提高提供了宝贵的理论依据。但由于这些模型均为特定情况下的声速计算模型,计算所得声速彼此之间也存在着一定的差异,对

波束脚印的归位计算带来了一定的困难。考虑多波束系统的应用范围广,涉及海域的水文因素变化复杂等特点,为此寻求一种适合多波束的最优声速经验模型已成为首要课题。

声速可通过直接法获得。国内一些学者对声速断面测站的布置,以及声速误差对深度的影响等方面进行了初步研究(丁继胜,张卫红,2000),这些对于减小声速断面的代表性误差,提高声速精度是非常很有益的。

声速在海水中的传播特性决定了实际声线为曲线而非直线,为了得到波束脚印的准确位置,就需进行声线跟踪。现有的声线跟踪方法严格依赖声速断面,又对声速在传播层内的变化特征进行了比较好的假设,因此,计算精度远高于简单的三角法。由于多波束原始观测数据量大得惊人,现有方法虽然保证了声线跟踪的高精度,但耗时长、过于依赖声速断面,因此,在保证计算精度的情况下,各国学者正致力于如何提高声线跟踪快速简捷算法的研究。

#### 3.2 多波束辅助参数的测定和滤波

多波束是一个由多传感器组成的复杂系统,最终测量成果质量不但取决于系统自身的测量数据质量,还取决于辅助传感器测量参数的精度,因此,开展诸如导航定位技术、声速改正技术、潮汐改正技术以及换能器吃水改正技术等与多波束测深相关的专项技术研究,也是多波束数据处理未来面临的主要任务(黄谟涛,2000)。

导航定位目前多采用全球定位系统(GPS),它可在复杂的海洋环境下提供比较准确的导航定位服务。GPS 按照作业模式可分为绝对定位和相对定位,相对定位按照作用距离又可分为局域差分 and 广域差分定位。为了提高导航定位的精度,一般情况下多采用局域或广域差分。由于广域差分系统作用距离远,理论上定位精度不受作用距离的限制(刘经南等,2000),因此,非常适合多波束远距离作业的需求。但受计算模型和其它方面因素的影响,现有的广域差分系统还没有像 Loran C 那样信号遍布全球,定位精度还没有达到理论精度水平。近年来,发展起来的事后的精密单点定位方法,只须用一台 GPS 双频接收机,利用事后精密星历和采用一定的 IGS 站数据计算精密卫星钟差,可在全球任意地点实现  $\pm 0.2\text{m}$  精度的单机动态定位,这对于远洋多波束测深的导航是具有重要应用价值的。

GPS 技术的另一个发展方向是提高 GPS 的测量精度,并用于精密工程测量。随着 GPS 载波相位测量技术的日益成熟,人们对 GPS 的重视不再局限于

高精度的平面定位,厘米级的高程定位精度,使得GPS替代传统测量方式成为可能。在海洋测量方面,GPS载波相位定位技术用于船姿、潮位以及衍生出来的无验潮模式下的水下地形测量,均说明了这一点。

在测量船姿态方面,国外的研究表明,GPS可以确定高精度的姿态参数,但仅涉及到航向角、横摇和纵摇参数;国内尚鲜见GPS用于船姿测量的文献,但利用GPS确定飞机姿态的文献却比较多,这为船体姿态的确定奠定了理论基础。

GPS在海洋测绘中的另一个应用是GPS验潮,利用载波相位测量技术确定潮位的瞬时变化,再对其进行Kalman滤波,便可获得最终的潮位。文献表明,一般情况下,GPS架设在岸边的验潮井上,距离基准站较近,可获得理想的潮位测量精度,但对于岸边不能架设验潮站和测量水域超出验潮站作用范围的情况,则讨论较少,因此,它也成为GPS验潮的一个研究方向。

GPS姿态测量和潮位测量的可行性也表明了无验潮模式下的水下地形测量技术是可行的。国内外文献均表明,海况比较好的情况下,利用GPS载波相位测量技术进行水下地形测量可以替代传统模式的水下地形测量。无验潮模式的水下地形测量,省略了潮位观测,减少了野外工作量;由于直接得到海底点高程,因而也减少了内业数据处理的工作量,相对传统作业方式,该方法可以说是一项很大的变革。但受海况条件的制约,仅能应用于江河、湖泊水域的测量,对于海上作业,无验潮模式的水下地形测量方法还需要进一步的完善。

### 3.3 深度数据滤波

测量过程中白噪声和海况的影响以及参数设置的不合理等,都将会导致测量数据中出现假信号,形成虚假地形,从而使绘制的海底地形图与实际地形存在差异。为了提高测量成果的可靠性,必须消除这些假信号,因此需不失时机地展开测深异常数据的定位研究,对数据进行必要的编辑,剔除假信号,为后处理成图做好准备(黄谟涛,2000)。

深度测量误差不仅包含粗差和随机误差,还包含了系统误差,某些情况下,系统误差的影响还相当显著。这主要是由于实际测量中,声速断面的测量误差和代表性误差、姿态测量误差等,在深度测量中的系统性表现和仪器设备自身的系统性影响造成。

多波束作业是一种动态环境下的数据采集,采样点均是独立和惟一的。因此,深度数据的质量评估和滤波不可能像传统方法那样,而要采用特殊的

滤波方法。深度数据滤波通常采用门限法和滑动平均法,这对于显著粗差的检测是非常有效的,但对小粗差不敏感。随着抗差理论的逐步完善,基于M估计的抗差滤波法也应用到了测深数据滤波中(黄谟涛,1999),这为粗差的快速定位提供了可能。

目前,系统误差多通过提高声速断面的测量精度和减少声速断面的代表性误差来削弱,但由于海况的复杂多变,系统误差还是被带进了测深数据中。朱庆等人(1998)将航空摄影测量中的条带匹配思想应用于系统误差的削弱,但由于模型参量与估计参量之间的相关性不是很强,其削弱系统误差的效果值得怀疑。同时,这种方法仅利用几何方法消除了条带重叠区内深度数据的不匹配现象,重叠区外的深度数据尚未顾及。

非参数(半参数)法消除系统误差的方法已经得到了很大的发展,它为从机理上消除系统误差提供了可能。其难点在于,确定系统误差的组成,以及各组成成份在总系统误差中所占的份额,因此,对多波束系统中各误差源进行全面分析,利用半参数(非参数)法彻底消除系统误差对深度的影响,将成为深度数据滤波中研究的热门课题。

### 3.4 图像处理

反向散射强度是多波束系统中又一类重要测量参数,由于数据量庞大,国内许多用户很少采集这方面的数据,对其图像的研究也少有文献。其实,多波束声纳图像与遥感图像、雷达图像等除形成机理存在差异外,图像的处理思想基本相同。多波束图像由于形成机理、环境噪声等与其它图像还存在着很大的差异,因此,在现有的图像处理方法中研究适合多波束声纳图像处理的最优方法是图像数据处理研究中的一个重要问题。

### 3.5 多波束数字信息与侧扫声纳图像信息的融合

随着数字技术的突飞猛进,数字地球的研究已成为地球空间信息科学发展的重要方面。为了实现海底全面准确的认知,将清晰的图像信息和精确的数字信息引入海洋研究已成为必然。

同多波束系统一样,侧扫声纳也可对海底进行全覆盖式测量。两类设备的应用,对实现海底地形地貌的认知起着十分重要的作用。

多波束系统既可获得高密度、高精度的测点位置信息,又可获得海底图像信息,但由于分辨率的限制,一般情况下,成像质量较差;而侧扫声纳则以成像为主,可获得高分辨率的海底影像,但仅能给出描述海底地貌、地物的概略位置。

多波束能够给出海底地物的位置、大小等定量

分析数据,但在对海底的定性分析方面还存在不足;而侧扫声纳则可根据图像的明暗程度反演海底地质组成,并在此基础上,进行地质分类和定性分析,但却难以利用概略的位置信息进行精确的量化分析。

由此可见,二者具有很强的互补性,如能将二者信息融合,对于海底进行定性、定量分析和全面、详尽解释,则是一件十分现实和有意义的事情。

就国内外的参考文献来看,有关二者融合的相关资料很少,主要因为,侧扫声纳图像的量化问题、侧扫声纳的精确导航问题和两类设备在线测量数据

的有效性问题没有解决。由于图像测量数据量十分庞大,原有的侧扫声纳设备仅能输出图像并随机打印在图纸上,若对图纸进行量化,势必会造成精度损失或图像失真。现有的侧扫声纳解决了数据的存储问题,因而,可以直接得到量化后的图像数据;由于现代侧扫声纳系统还配备了超短基线定位系统,换能器位置的确定精度可达米级,高可靠性的多波束系统和侧扫声纳系统基本上保证了在线观测数据的连续性和可靠性,因而两种数据的融合时机已经成熟。

参 考 文 献

1 黄谟涛,翟国君,管铮,等. 多波束测深技术研究进展与展望[J]. 海洋测绘, 2001, (3): 2~7  
2 刘经南,陈俊勇,等. 广域差分 GPS 原理和方法[M]. 北京: 测绘出版社, 1999  
3 朱庆,李德仁. 多波束测深数据的误差分析与处理[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(1): 43~46  
4 黄谟涛,翟国君,王瑞,等. 海洋测量异常数据的检测[J]. 测绘学报, 1999, 28(3): 269~277  
5 丁继盛,张卫红. 声速断面对多波束测深误差的影响[J]. 海洋测绘, 1998, (3): 15~19  
6 赵建虎. 多波束深度及图像数据处理方法研究[学位论文][D]. 武汉: 武汉大学, 2002

机构信息

海军司令部航海保证部图书供应站

下列图书供应站向国内外用户供应海军司令部航海保证部出版的航海图和书表资料。

海司航保部图书供应总站

地 址: 天津市和平区开封道 4 号  
邮政编码: 300042 电话: 022— 23322728

海司航保部天津图书供应站

地 址: 天津市塘沽区上海道 102 号  
邮政编码: 300450 电话: 022— 25891362

海司航保部大连图书供应站

地 址: 辽宁省大连市明阳街 10 号楼(10—3—1)  
邮政编码: 116001 电话: 0411— 2705017

海司航保部烟台图书供应站

地 址: 山东省烟台市葡萄山南路 28 号  
邮政编码: 264001 电话: 0535— 6227014

海司航保部青岛图书供应站

地 址: 山东省青岛市徐州路 151 号  
邮政编码: 266071 电话: 0532— 5818314

海司航保部上海图书供应站

地 址: 上海市虹口区闵行路 2 号  
邮政编码: 200080 电话: 021— 63250247

海司航保部舟山图书供应站

地 址: 浙江省舟山市定海环城南路 200 号  
邮政编码: 316000 电话: 0580— 2025140

海司航保部温州图书供应站

地 址: 浙江省温州市株柏路 18 号  
邮政编码: 325003 电话: 0577— 88817342

海司航保部福州图书供应站

地 址: 福建省福州市东门塔头路 100 号  
邮政编码: 350011 电话: 0591— 7336608

海司航保部厦门图书供应站

地 址: 福建省厦门市镇海路横巷 23 号  
邮政编码: 361001 电话: 0592— 2111421

海司航保部广州图书供应站

地 址: 广东省广州市新港中路 470 号综合大楼  
邮政编码: 510320 电话: 020— 84205996

海司航保部湛江图书供应站

地 址: 广东省湛江市霞山椹川大道东一路 5 号  
邮政编码: 524001 电话: 0759— 2398156

海司航保部深圳图书供应站

地 址: 广东省深圳市蛇口工业大道中华彩花园南山阁 6G  
邮政编码: 518067 电话: 0755— 26855518

海司航保部海口图书供应站

地 址: 海南省海口市秀英区双拥路海军航保科  
邮政编码: 570311 电话: 0898— 68655492