

# 多波束系统在长江航道测量中的测线布设方法研究

张旭 叶小心 洪德玫

(长江南京航道局 南京 210011)

**【摘要】**随着长江航道测量技术的飞速发展,多波束测深系统已在长江航道测量中扮演着重要角色。本文结合多波束系统的测量要求与长江航道特点,提出了基于先验水深图的多波束系统测线布设方法。并以EM2040C多波束系统应用,经过试验验证,证明所提出的测线布设方法是合理可行的。

**【关键词】**多波束系统;长江航道;测线布设

**【中图分类号】** U644      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006-7973(2017)01-0052-04

## 1 引言

多波束测深系统是一种多传感器的复杂组合系统,是现代信号处理技术、高性能计算技术、高分辨显示技术、高精度导航定位技术、数字化传感器技术等多种技术的高度集成。多波束测深系统引入长江航道测量已有数年之久,在航道地形测量、水下工程检测及沉船搜寻等工作中发挥着重要作用。

测线布设是多波束应用于航道水深测量的重要环节,科学合理的测线布设方式既可以提高测量效率、节约测量成本,又能真实、完善地反映航道地形。多波束测深作业规范和长江航道特点决定了长江航道多波束测线布设方法的必要性和特殊性。

## 2 多波束测线布设理论

### 2.1 测线布设的必要性

对于多波束测深系统的应用,理论上只要波束将整个测区全部覆盖即可,测量船采取何种航迹行驶似乎无关紧要。但在实际测量中,考虑到测量工

作效率、成本、航行安全以及多波束的作业特性,需要在测量前进行测区技术设计。根据航道与测区的特点和多波束作业要求,有规律地、科学地布设测线。在测量过程中,测量船按照预先布设的测线航行,才能保证测区全覆盖,采样水深点密度均匀。

测线的布设需要满足两个方面的需求:一是技术上合理可靠;二是在经济上节省人力物力、花费最小。测线的布设要疏密恰当。测线布得过密,会造成工作量增大和人力物力的浪费;测线布设过疏,会使相邻测线的覆盖范围没有重叠,产生盲区,导致目标漏测。因此,预先有效、合理地对测区进行布设测线,不仅是确保测量过程与成果资料满足作业规范与要求,也是高效完成作业任务的重要保障。

### 2.2 布设要求

应用多波束测深系统进行长江航道测量时,一般遵循有利于测深作业开展、有利于航道地形显示、有利于航行障碍物探测为基本原则进行测线布设工作。在结合《海道测量规范》(GB12327-1988)和《多波束测深系统测量技术要求》(JT/T 790-2010)

基础上,顾及长江航道地形的固有特点,总结测线布置的基本要求。

### (1) 平行布设

测区内的各主测线应为平行关系,且测线走向应与等深线的走向一致。这样就可以最大限度地增加江底覆盖率,保持有效扫测宽度在一定的区间

内。由于长江航道的横断面呈典型的“U”字型,即航道中心轴线处水深值最大,往航道两侧逐渐减小,因此等深线的走向与航道走向大致相同。故而布设的测线应是与长江航道的走向平行的一系列直线(见图1)。

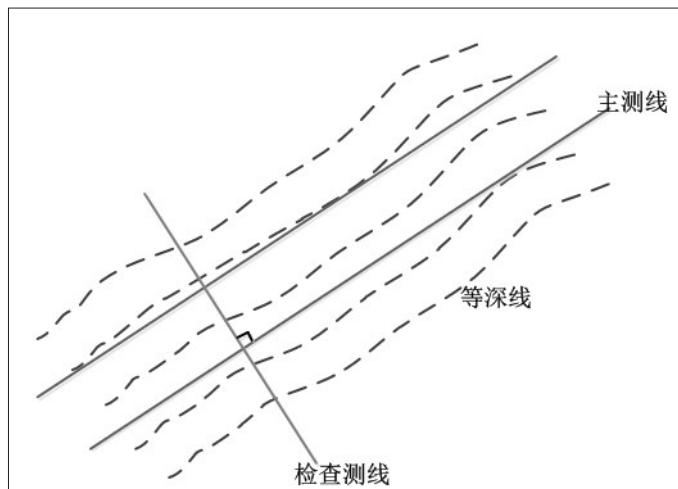


图1 测线布置方向示意图

### (2) 相邻测线的测幅间需重叠

长江航道水深测量是保障航行船只安全行驶的重要手段。因此,不能留有任何测量盲区,必须保证测区内无遗漏、全覆盖。多波束测深系统属于“线一面”测量模式,在与航迹垂直的平面内一次能够测出几十个甚至上百个深度(见图2)。

图2中,波束投射到航道底部只有中间部分的

回波信号是清晰的,系统根据这部分回波信号解算出的水深值是准确、可靠的;而两侧的边缘波束与竖直方向夹角大,换能器接收到的回波信号质量差,因而解算出的水深值(图中阴影部分)精度不高、可信度低。

因此,相邻测线的测幅应有10%的相互重叠以避免产生探测盲区、保持测图精度。

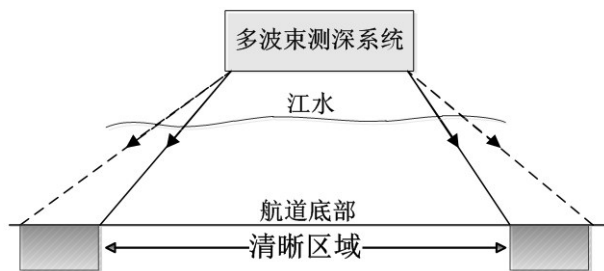


图2 多波束声波覆盖航道底部示意图

### (3) 测线稍长于测区范围

多波束测深系统是一个极其复杂的系统,任何的不稳定因素都将可能导致测量数据的巨大偏差。有关实验表明,多波束系统在数据采集过程中,测量船出现转弯和速度增加、减小,就相当于船只发

生了横摇和纵摇误差,而这种误差是难以消除的。为了消除这种误差影响,测量船应提前上测线测量,并保持匀速直线航行。这就要求布设测线时主测线的长度应稍稍超出测区范围,以便测量船稍早上线,有利于系统的稳定性,测量数据更加准确。

#### (4) 测线总长度尽量短

测线总长度是衡量测量工作复杂程度的标准之一。在满足测量要求的前提下,应使得测线总长度尽可能的短。长江航道的横断面呈“U”字型,水深呈“中间深、两边浅”特点。多波束测线布设应充分利用水深分布特点,测线间距可不采用相等距离,水深较深的区域测线可稍稀疏,在长江航道的实际应用中就表现为:长江中心处测线稍稀疏,靠近两岸区域稍密。尽管水深较深区域的测线间距可以适当增大,但不能超过有效测深宽度的80%,从而保证相邻测线10%的覆盖面积。合理的设置测线疏密能在一定程度上减少了测线条数,缩短测线总长度,既可以避免扫测盲区,又可以避免过度重叠。

#### (5) 一定数量的检查测线

检查测线应垂直于主测线,且要在测区内均匀分布,并要求布设在较平坦处,同时至少通过每一条主测线一次,以便能够普遍检查主测线。检查测线的数目不能过少,一般要求其长度总和不少于主测线总长度的5%。检查测线既可以采用单波束测量,也可以采用多波束系统,如使用多波束测量时,仅使用中间回波清晰区域的波束数据。

#### (6) 航行障碍物区域要加密测线

多波束实施测量时,航道地形的表征能力与采样点数目呈正相关。采样点密度越大,航道地形分辨率越高,对航道地形的描述越精细,越能完善地显示航道地形。当在航道内发现航行障碍物(如沉船等),应以障碍物为中心布设“井”字形加密测线(见图3),务求从多个方向对障碍物区域进行重复扫测,以便获取更为精细、丰富的水下地形数据。

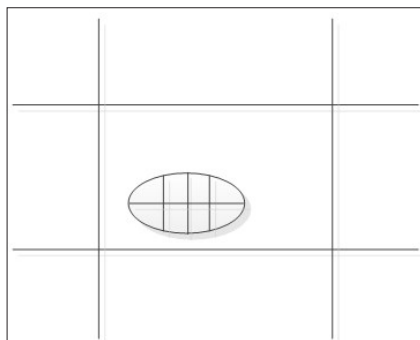


图3 “井”字形加密测线

### 3 基于先验水深的多波束测线布设方法

长江航道测量多属于维护性测量,也就是说每个测区都有前期测图成果。因此,在长江航道中可以利用现有水深图的先验水深来布设多波束测线。

#### 3.1 测线布设思路

多波束入射夹角 $\theta$ 和实际水深 $H$ 决定了扫测宽度 $W$ 。不考虑水深的变化,扫测宽度、入射夹角与实际水深之间的关系可以表述为:

$$W = 2H \times \tan \theta$$

这样就可以根据扫测宽度、覆盖率来选择测线布设的最优位置。由于现有成果图上的水深数据(图注水深)一般是基于航行基准面的值,所以实际水深应该在图注水深的基础上加上测量时的水位值,即 $H_{\text{实际}} = H_{\text{图注}} + \text{水位}$ 。在本文提出的方法中,将布设测线时的水深值称为参考水深。

#### 3.2 具体流程

本文测线布设方法是从航道中间往两侧布设,在最大水深处布设第一条测线,并大致确定该测线的扫测宽度,根据已布设的测线及测宽值依次向两侧布设相邻测线,直至测线的扫测宽度覆盖整个测区。具体流程如下:

- 1) 参考水深确定。参考水深等于图注水深加上当日估测的最低水位,这是后续测线布设的基础。
- 2) 布设测区中最大参考水深等深线处的测线,并根据入射角确定扫测宽度。
- 3) 从步骤2中已布设的测线开始,按照图4的流程图,依次往航道两侧布设测线。

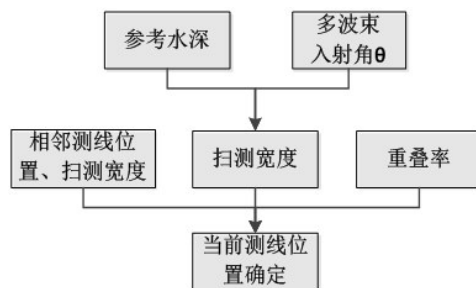


图4 多波束测线布设流程图

需要指出的是,虽然要求相邻的测线覆盖率为10%,但考虑实际测量过程中避让过往船只的情况,

测量船不可能完全按照预先布设的测线航行,因此  
在实际测线布设时会将覆盖率提高至15%以上。

### 3.3 实验验证

为了验证本文提出方法的有效性,利用  
EM2040C多波束系统分别在安庆水道、大通水道、

东流水道和太子矶水道进行了测量实验,测量区域  
涵盖锚地、沉船浅点区域、深水航道及浅水航道。

实验中测量船载重、航速和天气等因素均相  
似。从测线数、测线总长、时间以及漏测情况四个方  
面进行了对比,结果如表1所示。

表1 本文方法与等间距方法对比

	等间距方法				本文方法			
	测线数(条)	测线长(km)	时间(min)	是否漏测	测线数(条)	测线长(km)	时间(min)	是否漏测
实验1	11	17.6	111	否	8	12.8	80	否
实验2	7	5.6	44	否	6	4.8	36	否
实验3	6	6.1	36	否	5	5.5	30	否
实验4	10	6	48	否	9	5.4	42	否

从表1中可以看出,对于同一测量区域,本文所  
列方法在测线数、测线总长度和测量时间均小于按  
照等间距布设测线的方法,这就说明本文所列方法  
是高效、可靠的。同时,使用本文方法能够确保100%  
的覆盖率,相邻测幅不存在过度重叠的情况;进一  
步分析得知,本文方法获取的水深数据满足多波束  
测量要求,最终的地形图成果也符合相关要求。

## 4 结束语

本文通过分析多波束测深系统的测线布设要  
求,结合长江航道的特点,提出了一种基于先验水  
深的测线布设方法,并通过实验验证方法是合理、  
有效的。本文提出的测线布设方法也具有一定的局  
限性,如测区处在航道拐弯处或不规则图形测区,  
这就需对测区进行合理分割处理,作者将会在后续  
的研究中予以关注。

### 【参考文献】

- [1]赵建虎,刘经南.多波束测深及图像数据处理[M].  
武汉:武汉大学出版社,2008.
- [2]李家彪.多波束勘测原理技术与方法[M].北京:海  
洋出版社,1999.
- [3]刘雁春,肖付民,等.海道测量学概论[M].北京:测  
绘出版社,2006.
- [4]JT/T 790-2010.多波束测深系统测量技术要求  
[S].北京:人民交通出版社,2010.
- [5]GB12327-1988.海道测量规范[S].北京:中国标准  
出版社,1999.
- [6]张立华,殷晓冬.水深测量计划测线布设与航迹控  
制算法[J].海洋测绘,2002,22(2):33-35.

【收稿日期】2016-12-05

【作者简介】张旭(1988-),男,助理工程师,主要从  
事航道测绘工作。