

# Application of Precision Engineering Survey in Ship Installation

Daoguang Yin

Guangdong Nonferrous Geological Surveying and Mapping Institute, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

## Abstract

This paper combines the application of precision engineering measurement in ship installation, expounds how to use a high-precision total station to control measurement and precise positioning for its special precision engineering purposes, and cooperate with the overall construction progress of equipment installation to obtain equipment basic data required for installation. Several important technical issues in the application of precision engineering measurement in this field are discussed.

## Keywords

precision engineering survey; installation and calibration; ship

# 精密工程测量在船舶安装中的应用

殷道光

广东省有色地质测绘院, 中国·广东广州 510000

## 摘要

论文结合精密工程测量在船舶安装中的应用实例, 阐述了如何采用高精度全站仪对其特种精密工程目的的控制测量和精密定位, 配合设备安装的整体施工进度, 获得设备安装所需要的基础数据。探讨了精密工程测量在此领域中应用的几个重要技术问题。

## 关键词

精密工程测量; 安装校准; 船舶

## 1 引言

船舶在工作运行之前, 为了获得船上各种设备的精确位置及其相对位置关系, 需要采用测绘的技术手段和方法, 进行相关测量和空间位置关系的转换, 获取有关设备的位置及姿态数据, 输入控制系统自动进行设备偏差的修正, 以满足船舶设备的正常精密运行。

本次测量采用高精度全站仪精密工程测量, 完成设备安装的三维控制基准测量。吃水面的姿态测量、船左右卡勾位置测量、GPS 天线位置测量、Seapath 天线位置测量、甲板舱内重力计位置测量、-1 层船舱内 MRU 测量、船底多波束安装测量、船底测深仪安装测量及内业数据整理<sup>[1]</sup>。

## 2 控制基准测量

采用独立坐标高程系统, 取与船坞长边平行的方向为 Y 轴建立坐标系 (Y 轴与船舶中心线一致), 以坞底面为假定高程面。整个控制网共布设 4 个基准点 (A1、A2、A3、

A4), 点位稳固可靠, 相邻基准点间通视良好; 另布设船甲板导线点 2 个 (B6、B7)。具体情况如图 1 所示。

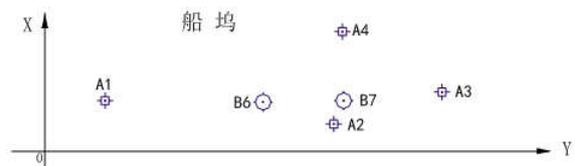


图 1 基准点分布图

### 2.1 平面控制测量

平面控制使用导线的形式, 将 6 个基准点布设成闭合导线。按一级导线测量的技术要求进行观测和成果质量评定。导线计算采用严密平差法, 测量斜距需要气象改正和仪器常数改正后进行平距计算, 其计算公式为:

$$D=S \cos a \quad (1)$$

其中,  $D$  为平距;  $S$  为斜距;  $a$  为垂直角。

### 2.2 高程控制测量

高程控制测量采用电磁波测距三角高程测量, 在平面控制的基础上将 4 个点布设成环形高程导线, 并按四等三角高程测量的技术要求进行实测。观测方式采用对向观测, 高差计算公式为:

$$h=S \sin a+i-t \quad (2)$$

【作者简介】殷道光 (1985-), 男, 中国湖北随州人, 本科, 高级工程师, 从事工程测量、地籍测绘及无人机航空摄影测量等研究。

其中,  $h$  为高差;  $s$  为斜距;  $a$  为垂直角;  $i$  为仪器高;  $t$  为棱镜高。

### 3 船吃水线平面及设备安装测量

以 6 个基准点为基础进行船体及设备的安装测量。设站时, 精确整平并严格对中, 仪器或反光镜的对中误差不大于 2mm; 仪器高和棱镜高使用对中杆在不同的位置量取两次至 1mm, 取平均作为高度值。设站以一个点作为后视方向, 并对另一点进行检核, 满足限差要求方可进行测站测量。测量时设置仪器为精测模式并取连续测量 4 次的平均值作为测量结果<sup>[2]</sup>。

#### 3.1 吃水线平面测量

为了获取准确的吃水平面位置, 观测前在船头船尾轴线及船身左右对称的吃水线上(红蓝油漆线分界处)粘贴反光片。船吃水线平面及设备安装测量以 6 个基准点为基础进行船体及设备的安装测量。设站时, 精确整平并严格对中, 仪器或反光镜的对中误差不大于 2mm; 仪器高和棱镜高使用对中杆在不同的位置量取两次至 1mm, 取平均作为高度值。设站以一个点作为后视方向, 并对另一点进行检核, 满足限差要求方可进行测站测量。测量时设置仪器为精测模式并取连续测量 4 次的平均值作为测量结果。观测结果如表 1 所示。

表 1 吃水线平面测量观测结果

序号	点号	测点位置	X/m	Y/m	H 高程 /m	备注
1	HH	船头	104.032	173.321	11.300	检核点
2	HS		104.044	176.481	14.902	
3	TT	船尾	104.032	119.178	11.500	检核点
4	TS		104.020	113.941	14.728	
5	LS	船左	109.040	145.374	14.840	检核点
6	L1		109.036	145.366	14.854	
7	RS	船右	99.032	145.370	14.861	检核点
8	R1		99.031	145.375	14.878	

#### 3.2 船顶架 Seapath 天线测量

为了准确获取圆形设备传感器中心位置, 在圆周上 4 个不同位置进行测量(以下同), 解算出其中心位置(3 个点确定中心位置, 1 个点用于检核)。分别在 A1 和 A4 设站, 从不同方位对 Seapath 天线圆盘不同位置进行测量。观测结果如表 2 所示。

表 2 船顶架 Seapath 天线测量观测结果

序号	点号	测点位置	X/m	Y/m	H 高程 /m	备注
9	SP4	左边天线	105.100	128.980	33.890	计算点
10	SP3		105.262	128.958	33.897	
11	SP8		105.208	129.113	33.824	
12	SP7		105.126	129.101	33.825	检核点
13	SP2	右边天线	102.760	129.048	33.868	计算点
14	SP1		102.608	129.056	33.862	
15	SP6		102.698	129.195	33.782	
16	SP5		102.630	129.179	33.778	

#### 3.3 船上 GPS 位置测量

GPS 天线及测点情况如图 2 所示。



图 2 GPS 天线及测点

在 A1 和 A2 设站, 从不同方位对 GPS 天线圆盘不同位置进行测量。观测结果如表 3 所示。

表 3 船上 GPS 位置测量观测结果

序号	点号	测点位置	X/m	Y/m	H 高程 /m	备注
17	GP1	二层甲板	102.463	135.472	22.730	计算点
18	GP3		102.351	135.514	22.719	
19	GP5		102.450	135.578	22.713	
20	GP4		102.384	135.573	22.713	
21	GZ1	船顶架上	104.051	130.155	33.689	此天线测量时已拆除, 测的旁边立柱, 点位仅作参考
22	GZ2		103.925	130.136	33.672	
23	GZ3		103.958	130.189	33.687	

#### 3.4 船舱内重力计位置测量

在船上点 B6 设站, 后视 B7 点检核 A1 点, 经甲板走道, 进入船舱内重力计安装的位置进行测量。观测结果如表 4 所示。

表 4 船舱内重力计位置观测结果

序号	点号	测点位置	X/m	Y/m	H 高程 /m	备注
24	ZL1	右前	105.654	134.082	16.786	
25	ZL2	左前	106.106	134.088	16.791	
26	ZL3	左后	106.103	133.621	16.798	
27	ZL4	右后	105.649	133.623	16.794	

#### 3.5 船舱内 MRU 测量

在船上点 B6 设站, 后视 B7 点检核 A1 点, 经甲板走道下楼梯, 进入船舱内 MRU 房间, 先进行导线测量, 然后测量 MRU。观测结果如表 5 所示。

#### 3.6 船底测深仪安装测量

测深仪安装均于底板固定一起且保持探头面与底板面平齐, 为获得较高精度的测深仪姿态, 所以测定底板前后左右的位置来计算测深仪的姿态。在点 A2 设站, 后视 A1 检核 A3, 对测深仪上所有的点倒置棱镜进行观测。观测结果表 6 所示。

表 5 船舱内 MRU 观测结果

序号	点号	测点位置	X/m	Y/m	H 高程 /m	备注
28	MR1	前右	102.854	156.864	14.8697	姿态点
29	MR2	前左	102.950	156.865	14.8704	
30	MR3	后左	102.949	156.674	14.8705	
31	MR4	后右	102.854	156.674	14.8696	
32	MR0	前侧面中心	102.902	156.865	14.818	中心点

表 6 船底测深仪传感器安装测量观测结果

序号	点号	测点位置	X/m	Y/m	H 高程 /m	备注
33	CS1	前	103.030	156.039	11.0570	姿态点
34	CS2	右	102.702	155.534	11.0573	
35	CS3	后	103.029	154.800	11.0637	
36	CS4	左	103.362	155.539	11.0559	
37	T1	圆周点	103.157	155.481	11.049	前测深仪
38	T2		102.892	155.524	11.048	
39	T3		103.058	155.734	11.047	
40	T5		103.031	155.578	11.042	
41	T4	定位点	103.177	155.635	11.049	后测深仪
42	T6	103.099	155.032	11.058		
43	T7	圆周点	103.035	155.154	11.056	
44	T8	102.965	155.033	11.059		
45	T9	中心点	103.032	155.067	11.058	

### 3.7 船底多波束安装测量

传感器四角点用于确定其姿态情况，中心点用于测定其空间位置。在 A4 设站，后视 A1 检核 A3，分别在传感器框四角测点处及中心位置倒立棱镜进行观测，观测结果如表 7 所示。

表 7 船底多波束安装测量观测结果

序号	点号	测点位置	X/m	Y/m	H 高程 /m	备注
46	DU1	前左	104.230	158.588	10.6635	前探头传感器
47	DU2	前右	103.984	158.591	10.6675	
48	DU3	后右	103.979	157.646	10.6642	
49	DU4	后左	104.234	157.643	10.6626	
50	DU0	中心	104.104	158.124	10.667	后探头传感器
51	DU5	前右	103.791	157.359	10.6649	
52	DU6	后右	103.792	157.107	10.6621	
53	DU7	前左	104.258	157.355	10.6630	
54	DU8	后左	104.257	157.106	10.6617	
55	DU9	中心	104.029	157.227	10.664	

## 4 船系坐标系确立及吃水平面姿态状况

### 4.1 船系坐标系确立

根据表 1 所测船头船尾及船左船右吃水线上点的情况，以船纵轴线 (CL) 且指向船艏方向为船系坐标系 x 轴正方向，以指向船右舷且过所测船吃水线的上测点 RS 与 x 轴垂直的方向为 y 轴正方向，z 轴与 x、y 构成左手系，船系坐标系原点 O 位于测量坐标系的 (104.032, 145.374, 14.83) 处，取船头、船尾、船左、船右测点的平均高程的吃水线平面为参考高程面。建立船系坐标系如图 3 所示。以下所报告的设备空间位置及姿态情况即以此坐标系为准而确定的。

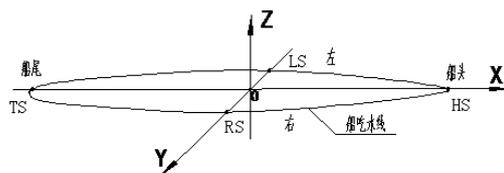


图 3 船系坐标系建立示意图

### 4.2 船吃水线主要点的空间位置及吃水平面姿态状况

根据表 1 测量数据及所建立的船系坐标得到吃水平面姿态情况。如表 8 所示。

表 8 吃水平面姿态情况表

	测量数据计算 /m		吃水平面相对于水平面姿态 /°		备注
	前后	右左	与纵轴平行方向	与横轴平行方向	
高差 h	0.1736	0.0213	0.159°	0.122°	
距离 d	62.540	10.010	(头高尾低)	(左低右高)	

注：姿态倾斜角计算采用公式  $\tan a = h/d$ 。

## 5 船系坐标系下各设备空间位置及姿态情况

设备传感器的位置由所测的 3 或 4 个外形周边坐标根据几何图形解算 (或取其均值) 作为中心位置来确定，并转换到在船系坐标系中；设备姿态状况根据所测 (或转化) 的设备传感器前后左右 4 个测量坐标，先计算其相对于测量坐标系水平面的姿态，然后再归算到船系坐标平面上的姿态<sup>[1]</sup>。

### 5.1 船舷左右卡勾空间位置

根据测量数据及与船系坐标系的空间位置关系，转换得到船左右两个卡勾的空间位置，如表 9 所示。

表 9 船舷左右卡勾空间坐标

点号	位置	卡勾在船系坐标系的坐标 /m		
		x (纵轴)	y (横轴)	z (竖轴)
KL	船左边	-3.902	-5.231	0.052
KR	船右边	-7.541	5.252	0.200

### 5.2 船顶架 Seapath 天线空间位置及与船艏方向夹角

根据表 2 测量数据，可以得到同一支架上的两个 Seapath 天线的空间位置，求得它们与船艏轴线方向 (x 轴正方向) 的夹角，如表 10 所示。

表 10 船 Seapath 天线空间位置及夹角

位置	天线中心计算位置 /m			船系坐标系的坐标 /m			天线与船艏方向中心线夹角 /°
	X	Y	H	x (纵轴)	y (横轴)	z (竖轴)	
左边天线	105.188	129.019	33.859	-16.355	-1.155	19.026	88.063
右边天线	102.687	129.104	33.823	-16.271	1.345	18.990	

### 5.3 船上 GPS 空间位置

根据表 2 测量数据，可以得到天线在船系坐标系的坐标，如表 11 所示。

表 11 船上 GPS 空间位置

位置	天线中心计算位置/m			船系坐标系的坐标/m			备注
	X	Y	H	x(纵轴)	y(横轴)	z(竖轴)	
二层甲板	102.417	135.520	22.719	-9.855	1.615	7.886	
船顶架上	103.990	130.132	33.682	-15.242	0.042	18.850	这个天线位置仅供参考

5.4 船舱内重力计空间位置

根据表 4 测量数据,可以得到甲板船舱内重力计的空间位置的坐标,如表 12 所示。

表 12 船舱内重力计空间位置

名称	安装中心计算位置/m			船系坐标系的坐标/m			备注
	X	Y	H	x(纵轴)	y(横轴)	z(竖轴)	
重力计	105.877	133.853	16.792	-11.521	-1.845	1.959	

5.5 船舱内 MRU 空间位置及姿态

根据表 5 测量数据,可以得到负一层船舱内 MRU 设备中心点的空间位置及其设备的姿态状况,如表 13 所示。

表 13 船舱内 MRU 空间位置及其姿态情况

名称	设备中心(MRU0)在船系坐标系的空 间位置/m			相对测量水平面 姿态		相对于船吃水平面 姿态	
	x (纵轴)	y (横轴)	z (竖轴)	与 Y 纵 轴平行 方向	与 X 横 轴平行 方向	与纵轴 x 平行方向	与横轴 y 平行方向
MRU	11.490	1.130	-0.015	0°	-0.477°	-0.159° (头低尾高)	-0.599° (左高右低)

5.6 船底测深仪空间位置及姿态

根据表 6 测量数据,可以得到船底测深仪中心点的空间位置及其设备的姿态状况,如表 14 所示。

5.7 船底多波束传感器空间位置及姿态

根据表 7 测量数据,可以得到船底多波束传感器中心点的空间位置及其设备的姿态状况,如表 15 所示。

表 14 船底测深仪空间位置及其姿态情况

位置	设备中心在船系坐标系的空 间位置/m			相对测量水平面 姿态		相对于船吃水平面 姿态	
	x (纵轴)	y (横轴)	z (竖轴)	与 Y 纵 轴平行 方向	与 X 横 轴平行 方向	与纵轴 x 平行方向	与横轴 y 平行方向
后测深仪	9.700	1.000	-3.775				
前测深仪中心点	10.205	0.995	-3.791	-0.309°	0.122°	-0.468° (头低尾高)	0.000° (左右持平)
前测深仪内特 定点	10.260	0.885	-3.784				

表 15 船底多波束传感器空间位置及姿态情况

位置	传感器中心在船系坐标系的空 间位置/m			相对于水 准面姿态		相对于吃 水平面姿态	
	x (纵轴)	y (横轴)	z (竖轴)	与 Y 纵 轴平行 方向	与 X 横 轴平行 方向	与纵轴 x 平行方向	与横轴 y 平行方向
前面设备	12.751	-0.075	-4.168	+0.127°	+0.640°	-0.032° (头低尾高)	+0.510° (左低右高)
后面设备	11.857	0.007	-4.170	+0.468°	+0.142°	+0.309° (头高尾低)	+0.012° (左低右高)

至此,本次安装测量工作全部完成。

6 结语

高精度精密测量应用于船舶安装测量,其基本技术是基于基本控制测量原理及高精度碎步测量对其进行坐标转换,得到其安装坐标系上。难度在于基准网的稳定性和坐标转换的精度问题。本次测量技术解决了此次安装测量方面的问题,存在的问题是检核条件太少,坐标系统的稳定性得不到较好的保障。

参考文献

- [1] 张正禄.工程测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2002.
- [2] 孔祥元.控制测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2006.
- [3] 曹永辉.复杂环境下自主式水下航行器动力定位技术研究[D].西安:西北工业大学,2006.