

船体建造工艺学

综合实验指导书



武汉理工大学

前 言

《船体建造工艺学》是船舶工程专业本科生必修的一门骨干课程，《船体建造工艺学》综合实验课是根据《船体建造工艺学》教学大纲要求设置的。

《船体建造工艺学》是一门理论与实践紧密结合的课程，实验课的目的是为了巩固课堂讲授的理论知识，了解船体建造过程中所需要的测量仪器、测量方法及船体肋骨的加工过程，培养学生的实际动手能力和严谨、科学的工作作风，培养学生分析和解决实际工程技术问题的能力。实验内容采用目前最先进的测量仪器和加工设备完成。

本书实验内容由袁萍副教授、李培勇副教授与中心实验室共同商定，包括目录中所列的 4 个内容，其中 1~3 项内容由冷荣嘉编写，文字编写及插图由常志谊完成，第 4 项由郑绍春编写，全书由冷荣嘉审定。

本书在编写过程中得到交通学院、船海系、教材出版部门的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

目录

1. 经纬仪应用与测量技术.....
2. 全站仪应用与测量技术.....
3. 船体型材构件成形加工.....
4. 船体型线空间坐标测量与误差分析.....

一、经纬仪应用与测量技术

1. 概述

在船体建造中，经纬仪广泛地应用于船体放样，分段建造、船台装配、船体变形测量、船舶设计水线及水尺的划线等方面。如基线及格子线的绘制，曲面（平面）分段、底板上纵横构件安装线的划线，肋骨框架的定位，船台中心线的划线，船台铺墩、分段的吊装定位、船舶主尺度及纵向变形测量等。经纬仪在造船中的应用主要是建立定位基准，如直线或平面、垂直面。

2. 实验目的

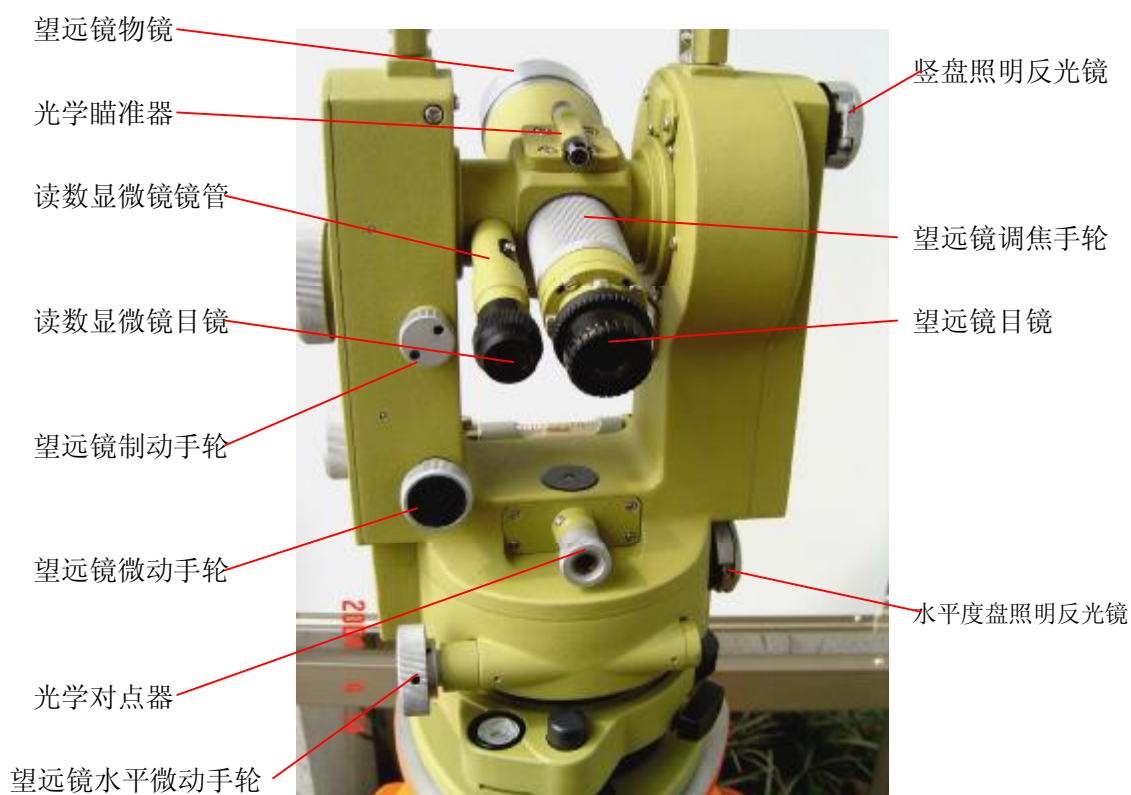
- 2.1 了解经纬仪的构造原理
- 2.2 初步掌握仪器的使用方法
- 2.3 应用于造船技术测量。

3. 实验项目

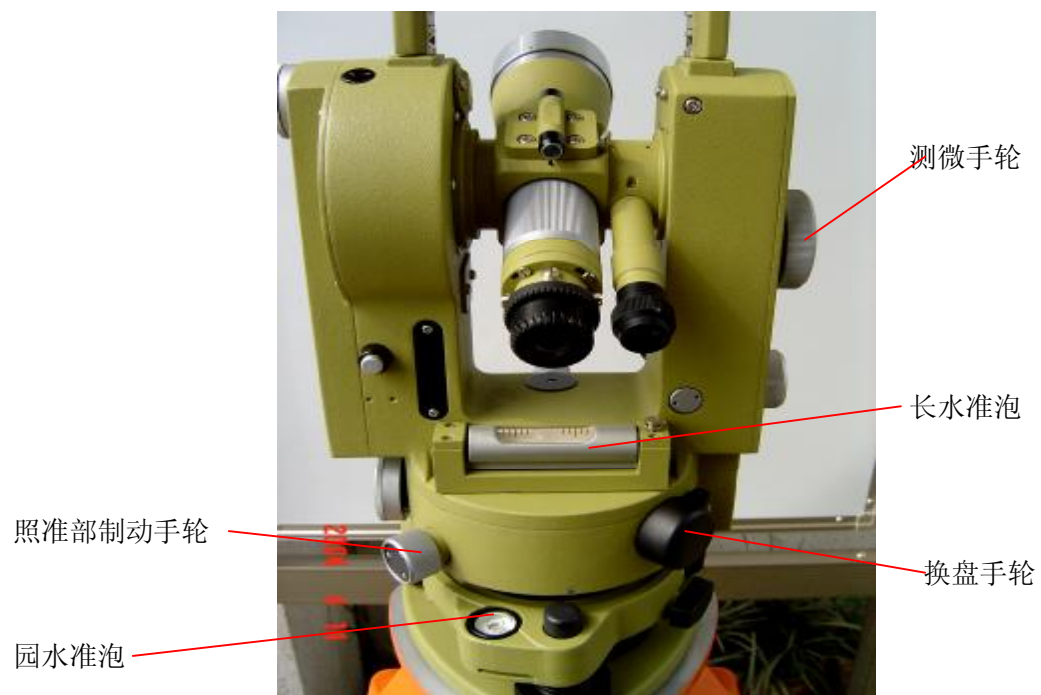
用经纬仪划船台中心线及肋骨检验线

4. 仪器构造及各操作旋钮功能

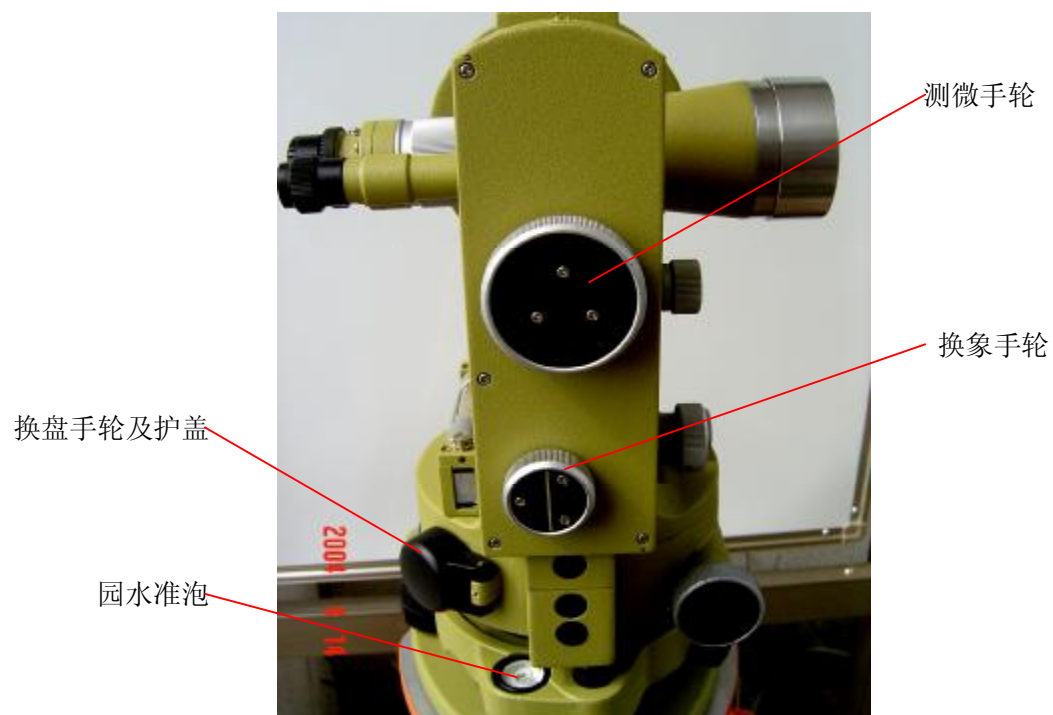
经纬仪由望远镜、度盘、测微器（水平度盘、垂直度盘）、自动归零补偿器、读数显微镜、水准器（长水准器、园水准器）、光学对点器等组成。



正镜观测时外观



倒镜观测时外观



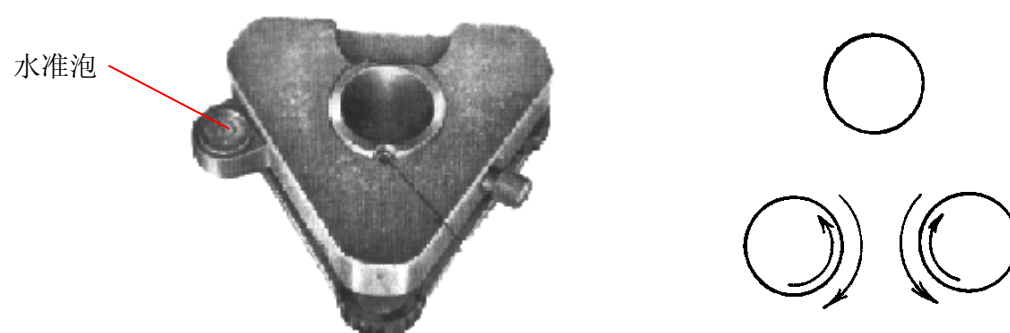


5. 仪器操作过程：（以划一条基准直线为例）

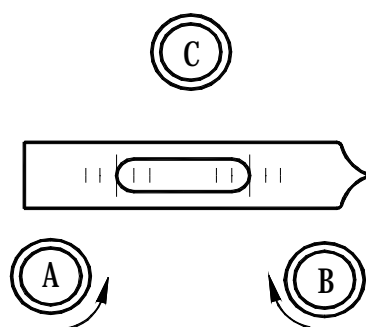
5.1 置中（光学对点器瞄准目标点）

5.2 整平：1）初步整平：调整三角架高度，观察园水准泡是否居中。

2）调整三只脚螺旋，观察长水准泡是否居中。



注：置中与整平是一个交替进行的过程



水准器（精确整平用）

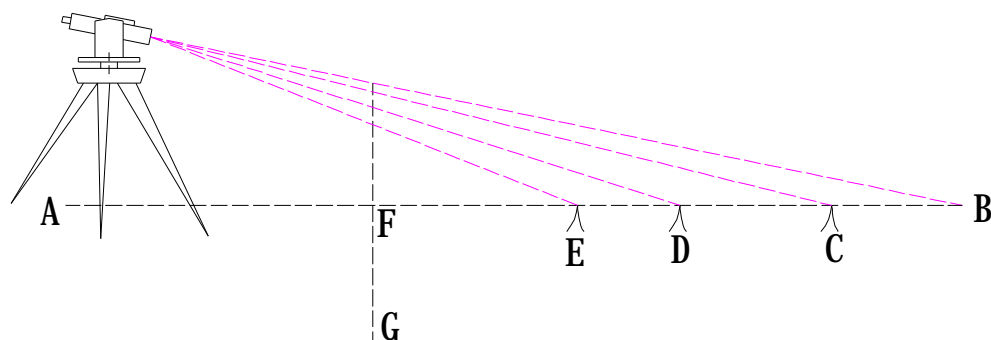
5.3 瞄准目标：用光学瞄准器初步瞄准目标（远处 B 点）

5.4 焦距的调节：转动目镜，将分划板十字线调清楚。转动望远镜调焦手轮，使目标影像清晰，再用十字线，精确瞄准目标（在 2 个坐标方向上移动）

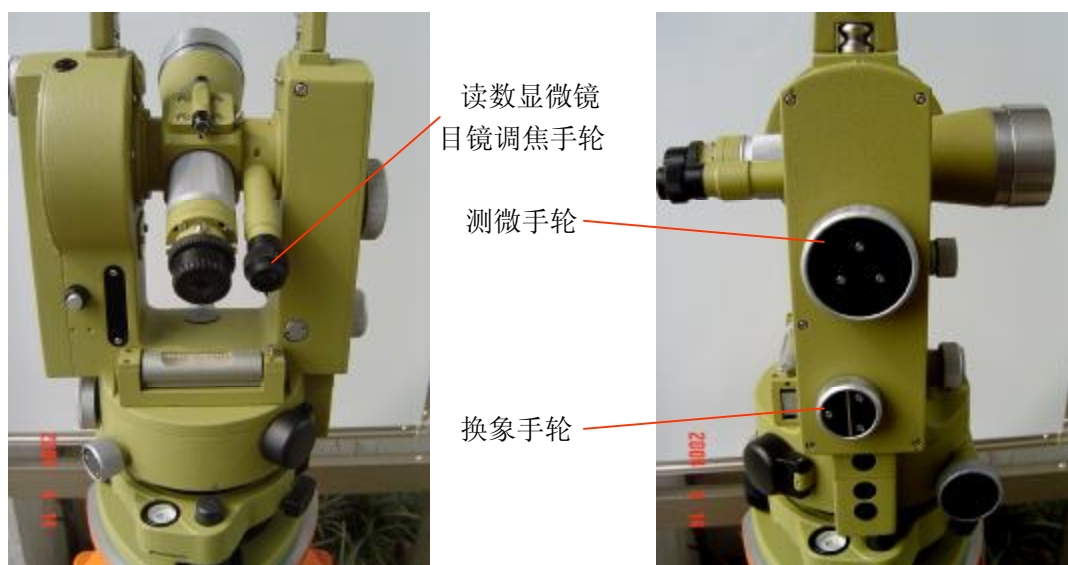


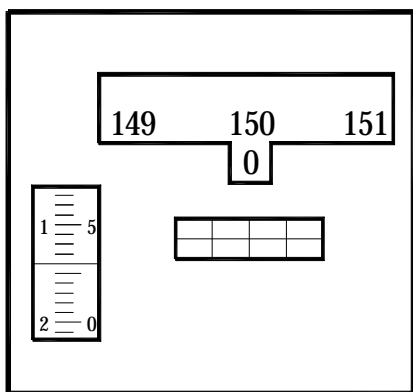
5.5 将照准部自动手轮旋紧, 使照准部不能在水平方向上转动

5.6 瞄点、作标记: 改变望远镜的俯仰位置, 以竖向十字线的单线或双线为基准, 瞄一系列的点, 点与点之间的距离以方便弹线为原则。



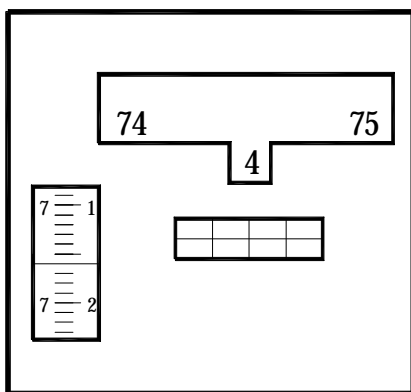
5.7 读数目镜的使用





水平度盘读数

$$\begin{array}{r} \text{上窗读数: } 150^{\circ} 00' \\ \text{小窗读数: } 01' 54'' \\ \hline 150^{\circ} 01' 54'' \end{array}$$



垂直度盘读数

$$\begin{array}{r} \text{上窗读数: } 74^{\circ} 40' \\ \text{小窗读数: } 07' 16'' \\ \hline 74^{\circ} 47' 16'' \end{array}$$

5.8 应用实例

5.8.1 水平距离测量

将两台经纬仪分别固定在 C 和 D 处，精确地测量出经纬仪之间的距离 L 和角度 α_1 、 β_1 、 γ_1 、 β_2 及 γ_2 ，则由 $\triangle ABC$ 可得

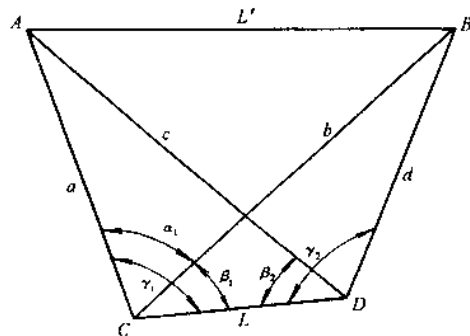
$$L' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha_1}$$

由
$$\frac{a}{\sin \beta_2} = \frac{L}{\sin [180^{\circ} - (b_2 + g_1)]}$$

$$a = \frac{L \sin \beta_2}{\sin (b_2 + g_1)}$$

又
$$\frac{b}{\sin g_2} = \frac{L}{\sin [180^{\circ} - (b_1 + g_2)]}$$

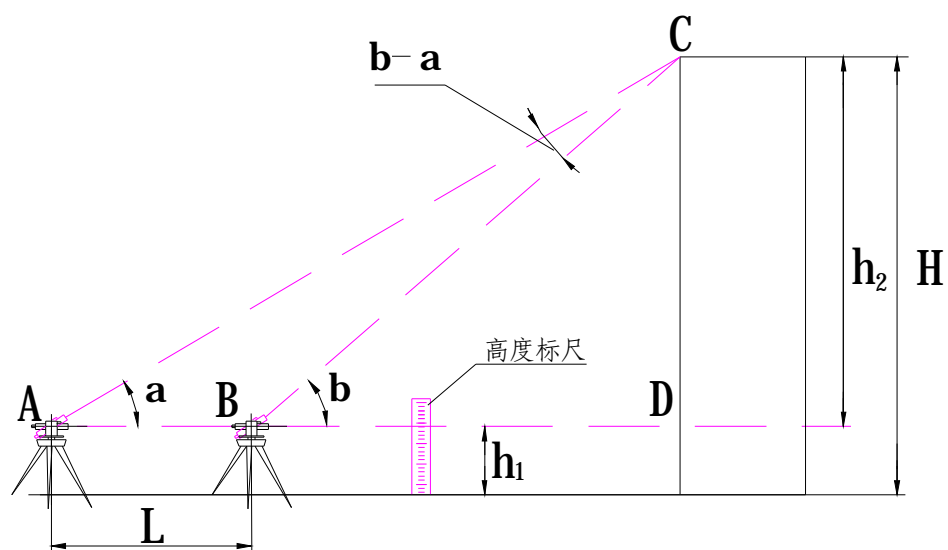
$$b = \frac{L \sin g_2}{\sin (b_1 + g_2)}$$



将 a, b 值代入 $L' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha_1}$ 得被测长度为

$$L' = L \sqrt{\frac{\sin^2 \beta_2}{\sin^2 (b_2 + g_1)} + \frac{\sin^2 g_2}{\sin^2 (b_1 + g_2)} - \frac{2 \sin \beta_2 \sin g_2 \cos \alpha_1}{\sin (b_2 + g_1) \sin (b_1 + g_2)}}$$

5.8.2 垂直高度测量



A、B _____ 经纬仪架设处

L _____ 两台经纬仪之间的水平距离

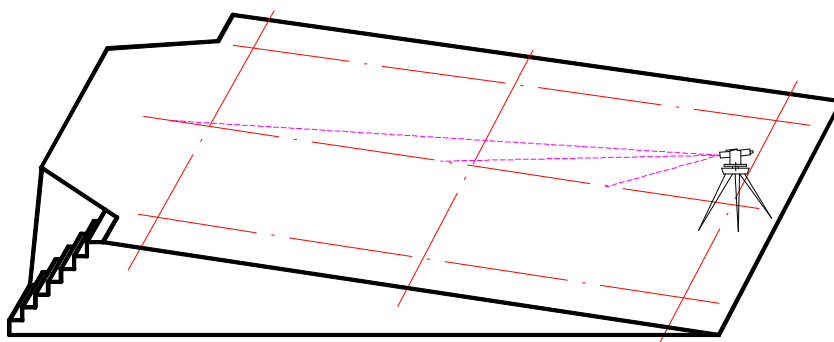
a、b _____ 由经纬仪垂向度盘读出的角度数

h_1 _____ 高度标尺读数

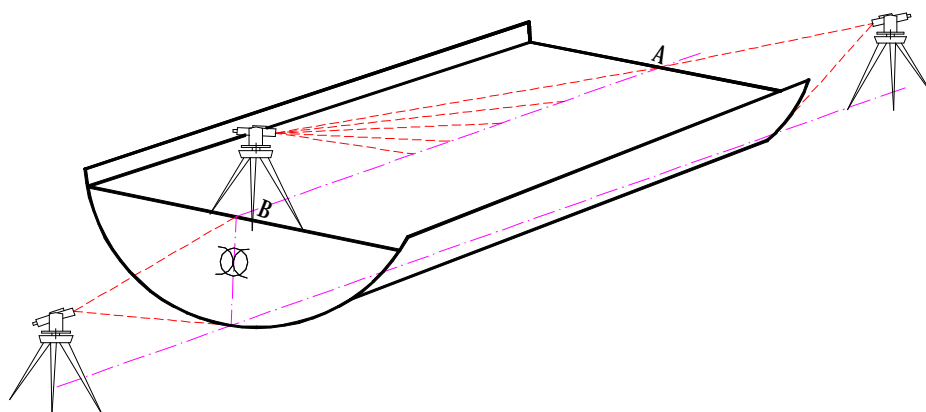
H _____ 建筑物高度

H _____ $h_1 + L \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta / \sin(\beta - \alpha)$

5.8.3 划船台中心线及肋骨检验线



5.8.4 划修正中心线



船台中心线各基准点描好后，采用拉线的方法，用钢尺测量各基准点的偏差，将测量数据记录至下表中。

划 船 台 中 心 线 记 录 表

测 点 编 号	仪 器 中 心 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
偏差 (mm)											
标准偏 差	$\pm 1\text{mm}$										
是否超 差											

6. 注意事项

- 6.1 光学仪器各旋钮操作要轻,特别是锁紧旋钮。
- 6.2 仪器精确整平后,在操作过程中不能碰动仪器,否则全部重来。
- 6.3 要求每个学生至少瞄一个点。

二、全站仪应用与测量技术

1. 概述

SET530R 是新一代的高性能全站仪,采用三频率高精度相位差式无棱镜可见激光测距技术和数字信号处理技术,全中文操作菜单提示,具有光斑小、测程远、稳定性好、精度高和操作简便等特点,广泛应用于建筑、大地测量、大型金属结构制造与安装、船舶建造等行业。

主要技术指标如下:

测距范围: 无棱镜	1.3m~100m 以上
RS90 反射片	3m~500m
CP01 棱镜	1.3m~800m
一个 AP01 棱镜	1.3m~4000m
测距精度: $\pm(3+2\times 106\times D)\text{mm}$	
测距时间: 精测 1.3 秒/次(初次 2.6 秒)	
测角精度: 5 秒(最小显示值 1 秒)	

2. 实验目的

- 2.1 了解全站仪的构造原理
- 2.2 初步掌握仪器的使用方法
- 2.3 应用于造船技术测量。

3. 实验项目

用全站仪测量船舶分段的长度

4. 仪器构造及各操作旋钮功能

SET530R 全站仪主要由照准部和基座两大部分组成。照准部包括望远镜、显示屏、各功能旋钮及按键等,基座上含三个脚螺旋与三角架固定螺栓联接的内螺纹。





5. 仪器安装与整平

5. 1 将仪器用三角架上的固定螺栓固定于三角架上，调整三角架的高度，使仪器基座上的园水准泡居中。

5. 2 开机：按“ON”按钮，仪器进入自检状态。



5. 3 在“测量”模式下，按“FUNC”键，显示“P1”菜单，按“倾斜”对应的菜单键，显示如下图所示的图标：



电子水准泡不居中

调整三个脚螺旋，使电子水准泡居中，调整方法为：

- a. 转动照准部，使显示屏方向与两个脚螺旋中心连线一至，同时相向转动脚螺旋，使电子水准泡左、右居中；
- b. 转动第三只脚螺旋，使电子水准泡上、下居中，如下图所示：



电子水准泡居中

仪器已精确整平（X、Y 方向显示的角度数在 $10''$ 之内）

6. 船舶分段长度的测量（以船舶模型代替）

分段 1 长度测量：

6. 1 在各分段起点、终点贴“十”字线图标
6. 2 按“ESC”键进入测量模式
6. 3 按“SFT”按钮，选择无反射片测量模式，显示屏右边显示“—→|”图标（共有三种测量模式：棱镜；反射片；无反射片）
6. 4 放松“水平制动钮”和“垂直制动钮”，转动照准部，用“粗照准器”初步照准目标（分段 1 起点目标），旋紧“水平制动钮”和“垂直制动钮”，再旋转“望远镜调焦环”，使目标清晰，转动“水平微动手轮”和“垂直微动手轮”，使望远镜中“十”线精确照准分段 1 的起点图标。

6. 5 按“FUNC” 按钮，显示“P1”（右下角处），再按“距离” 对应的菜单键，显示屏如下图所示：



其中：H—照准部中心至分段 1 起点的水平距离

ZA—望远镜（目镜）中心垂向角度

HAR—望远镜（目镜）中心水平方位角

将 H、ZA、HAR 的数据记录至相应的表格中

6. 6 放松“水平制动钮”和“垂直制动钮”，转动照准部，用“粗照准器”初步照准目标（分段 1 终点图标），旋紧“水平制动钮”和“垂直制动钮”，再旋转“望远镜调焦环”，使目标清晰，转动“水平微动手轮”和“垂直微动手轮”，使望远镜中“十”线精确照准分段 1 的终点图标。

6. 7 按“FUNC” 按钮，显示“P2”（右下角处）菜单，如下图：



再按“对边” 对应的按钮“F2”， 显示屏如下图所示：

其中：S—分段 1 起点和终点间的斜距

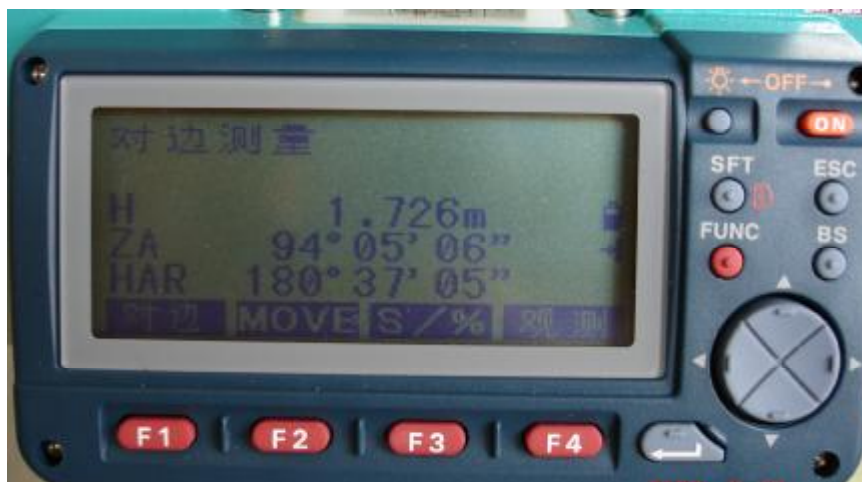
H—分段 1 起点和终点间的水平距离

V—分段 1 起点和终点间的垂向高度差

如果船舶模型水平放置，S、H 值应相等，H 值即分段 1 的长度。

将 S、H、V 的数据记录至相应的表格中。

6. 8 按“观测” 对应的按钮， 显示屏如下图所示：



其中：H—照准部中心至分段 1 终点的水平距离

ZA—望远镜（目镜）中心垂向角度

HAR—望远镜（目镜）中心水平方位角

将 H、ZA、HAR 的数据记录至相应的表格中

分段 1 长度测量完成。

分段 2 的长度测量：

6. 9 重复 6.4 的操作，使望远镜中“十”线精确照准分段 2 的起点图标。

6. 10 重复 6.5 的操作，显示屏如下图所示：



其中：H—照准部中心至分段 2 起点的水平距离

ZA—望远镜（目镜）中心垂向角度

HAR—望远镜（目镜）中心水平方位角

将 H、ZA、HAR 的数据记录至相应的表格中

6. 11 重复 6.6 的操作，使望远镜中“十”线精确照准分段 2 的终点图标。

6. 12 重复 6.7 的操作，显示屏如下图所示：

其中：S—分段 2 起点和终点间的斜距
H—分段 2 起点和终点间的水平距离
V—分段 2 起点和终点间的垂向高度差
H 值即分段 2 的长度。
将 S、H、V 的数据记录至相应的表格中。

6. 13 重复 6.8 的操作，显示屏如下图所示：



其中：H—照准部中心至分段 2 终点的水平距离
ZA—望远镜（目镜）中心垂向角度
HAR—望远镜（目镜）中心水平方位角
将 H、ZA、HAR 的数据记录至相应的表格中
分段 2 长度测量完成。

6. 14 重复 6.9~6.13 的操作（或重复 6.4~6.8 的操作），测量分段 3 的长度。
6. 15 重复 6.9~6.13 的操作（或重复 6.4~6.8 的操作），测量分段 4 的长度。
6. 16 重复 6.9~6.13 的操作（或重复 6.4~6.8 的操作），测量分段 5 的长度。

7. 数据处理与分析

7. 1 将记录表格中各分段的长度相加，其值即为船舶模型的总长度。
7. 2 按 CB/T4000—2005 中国造船质量标准的规定，船舶总长度的偏差为 $\pm L/1000$ ，船舶模型按比例制做的总长度为 m，偏差为 m。
7. 3 分析产生偏差的原因。

船 模 分 段 长 度 测 量 记 录 表

分段 1						分段 2					
起点测距		对边测距		终点测距		起点测距		对边测距		终点测距	
H		S		H		H		S		H	
ZA		H		ZA		ZA		H		ZA	
HAR		V		HAR		HAR		V		HAR	
分段 3						分段 4					
起点测距		对边测距		终点测距		起点测距		对边测距		终点测距	
H		S		H		H		S		H	
ZA		H		ZA		ZA		H		ZA	
HAR		V		HAR		HAR		V		HAR	
分段 5						上层建筑					
起点测距		对边测距		终点测距		起点测距		对边测距		终点测距	
H		S		H		H		S		H	
ZA		H		ZA		ZA		H		ZA	
HAR		V		HAR		HAR		V		HAR	

船模设计总长度： m

标准偏差： m

实测总长度： m

实测偏差： m

三、船体型材构件成形加工

1. 概述

在船体建造中,大量使用不同品种与规格的材料,如不等边角钢、球扁钢、轧制(或焊接)T型材、扁钢等。为了满足船体建造的需要,型材在使用前都必须按用途弯制成形,按弯制时是否加热可划分为热弯(中频加热)和冷弯(在常温下弯曲),在冷弯机中又分三支点式四支点式,目前,在国内外的造船企业中广泛采用三支点式型材冷弯机。

2. 实验目的

2. 1 了解型材加工机械的构成和技术参数

2. 2 了解型材加工过程

3. 实验项目

程序控制等曲率正弯(或反弯)船用不等边角钢

4. 实验设备

4. 1 JXS-100 程控机械手肋骨冷弯机(见附图)



4. 2 JXS-100 程控机械手肋骨冷弯机

- | | | |
|----------|-------------|---------------|
| 4. 2. 1 | 最大水平推、拉弯曲力: | 1000 kN |
| 4. 2. 2 | 弯曲支点距离 | 650 - 1050 mm |
| 4. 2. 3 | 中机架推、拉最大行程 | ±175 mm |
| 4. 2. 4 | 中机架最大夹紧力 | 35kN |
| 4. 2. 5 | 侧机架最大夹紧力 | 20kN |
| 4. 2. 6 | 加工范围 | |
| | 球扁钢规格 | 220mm |
| | 角钢 | 180mm |
| | T 型钢 | 125mm |
| 4. 2. 7 | 最小弯曲半径 | 10×腹板高度 mm |
| 4. 2. 8 | 主油路 | |
| | 油压 | 20Mpa |
| | 电机 | 18.5 kW |
| 4. 2. 9 | 副油路 | |
| | 油压 | 16Mpa |
| | 电机 | 11 kW |
| 4. 2. 10 | 最大水平弯曲速度 | 10mm/s |
| 4. 2. 11 | 最大进料速度 | 100mm/s |
| 4. 2. 12 | 工作高度 | 800mm |
4. 3 型材冷弯成形测量控制方法
4. 3. 1 样条对样
4. 3. 2 逆直线观测对样
4. 3. 3 程序控制（等曲率）弯曲：调节接近开关和感应块的相对位置，控制弯曲量的大小。
4. 3. 4 数控：按放样型值用计算机控制加工和测量全过程。

5. 实验过程

5. 1 开启肋骨冷弯机：合上总电源开关，在控制柜上按辅泵启动按钮，待运行平稳后，再按主泵启动按钮。

5. 2 空车程控运行

5. 2. 1 将程控弯曲调节装置（见下图）上的接近开关和感应块调至正弯（或反弯）位置。



a 零位



b 正弯



c 反弯

5. 2. 2 将操作台（见下图）上的操作方式开关置于“手动”位置；进料方向开关置于左向（或右向）；弯曲方向开关置于正弯；按“双合”按钮至指示灯亮；再按“左夹紧”、“中夹紧”、“右夹紧”按钮至指示灯亮；将操作方式开关由“手动”位置拨至“程控”位置，此时冷弯机开始连续的空车运行过程。



操纵台

5. 3 程控等曲率正弯船用角钢 $L75 \times 50 \times 8$ （或其它规格型材）

5. 3. 1 将操纵台（见上图）上的操作方式开关置于“手动”位置；进料方向开关置于左向；弯曲方向开关置于正弯；按“双合”按钮至指示灯亮；将中机架的前后位置调至中间位置；再按“左夹松”、“中夹松”、“右夹松”按钮至便于型材放入的位置；从右至左放入型材；将程控弯曲调节装置上的接近开关和感应块调至正弯位置（错开量 S 约为 $30 \sim 35\text{mm}$ ）按“左夹紧”、“中夹紧”、“右夹紧”按钮至指示灯亮；将操作方式开关由“手动”位置拨至“程控”位置，此时冷弯机开始连续的等曲率正弯船用型材加工过程。当型材末端处于右侧机架弯曲模内时，将操作方式开关由“程控”拨至“停止”位置，加工停止。

6. 实验结束后观察

从冷弯机上取下型材，观察水平成形质量，垂向是否水平（腹板是否在同一水平面内）。

四、船体型线空间坐标测量与误差分析

(采用光学经纬仪(前方交会法)实验基本原理与步骤)

1. 前方交会法定义

自两已知三角形坐标点A和B, 观测一被测点P的水平角(α 、 β), 以推算其坐标位置, 称为前方交会法。

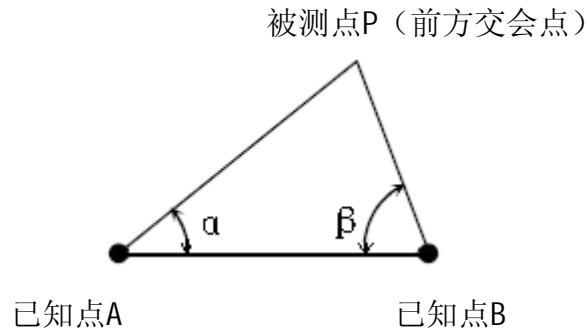


图1 前方交会法

2. 前方交会点

此种被测点称为前方交会点, 通常为无法设置仪器之测点, 如塔尖、避雷针、烟囱...等等。

3. 前方交会法适用场合:

- 3.1 具有两个已知三角点。
- 3.2 三点(两已知点及被测点)间可以通视。
- 3.3 两已知点可以架设仪器, 但被测点不方便架设仪器。
- 3.4 有数个被测点待测定时(见图2)。

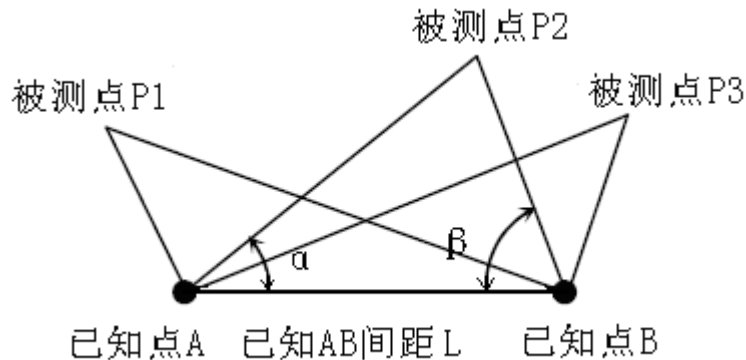


图2 数个被测点

4. 前方交会法操作步骤:

- 4.1 设定A和B两已知点及其间距L(如设定为2米, 可用全站仪标定)。
- 4.2 经纬仪分别置于A、B 两三角点上, 进行对中、调平。
- 4.3 将A点经纬仪瞄准B中心点, 读水平角 α_0 , 同样将B点经纬仪瞄准A中心点, 读水平角 β_0 。
- 4.4 分别照准P1、P2、P3Pn点, 分别测得各点 α 、 β 两水平角, 并记录下在表1。

表1实验数据记录表格

经纬仪间距 $L=$

No.	α_i	b_i	No.	α_i	b_i
1			16		
2			17		
3			18		
4			19		
5			20		
6			21		
7			22		
8			23		
9			24		
10			25		
11			26		
12			27		
13			28		
14			29		
15			30		

4.5方法一：通过计算（可借助Excel），根据自己推导的公式求出各P点坐标，并做图。方法二：直接利用AUTOCAD做图。两种方法进行比较。，并记录下在表2。

表2 数据处理误差分析

No.	计算法		AUTOCAD 作图法		误差
	X_i	Y_i	X_j	Y_j	δ
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

1.5 误差分析。（基于无原始数据可通过无棱镜电子全站仪测量获取）使用光学经纬仪测量加工后肋骨的形值和原始数据（无棱镜电子获取），分析对比并进行误差分析(表3)，分析误差产生的原因。

表 3 型值点误差分析

	原数据（全站仪测量值）		测量值(修正后)		误差
No.	Xm	Ym	Xn	Yn	ε
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					