

# 船舶嵌补管测量制造系统研究\*

胡 勇 刘光武 王呈方

(武汉理工大学交通学院 武汉 430063)

摘要: 针对船舶制造过程中人工样杆取样管工艺比较繁复的问题, 提出了上船一次安装成功的新技术, 即采用一次用“活络样杆”上船测量, 给出加工小票, 进行弯管加工, 并使用“法兰定位器”进行管子法兰点焊定位、焊接及表面处理等, 从而构成船舶嵌补管测量制造系统. 文中还介绍了该系统中管形测定器的数学模型、测量机构和法兰定位器的理论模型及法兰安装机构, 并探讨了其应用流程.

关键词: 嵌补管; 管形测定器; 法兰定位器; 船舶制造

中图法分类号: U 664. 84

## 0 引 言

船舶管系中, 存在大量的现场取样管(也叫嵌补管或合拢管)需要进行加工制造, 过去通常是由有经验的师傅到现场用样棒采样, 获得管形, 并依此在内场进行弯管加工, 然后将加工的弯管拿到现场进行试装并点焊装配法兰, 再到车间焊接, 最后到现场安装. 由于样棒采样数据不够准确, 弯管也存在误差, 因此有时需要将弯管送回内场校正后再到现场安装. 该工序繁复, 费工费时, 给安装造成困难, 直接影响造船周期和建造成本.

为了改善现场取样管的工艺, 改善现场作业环境, 配合“先焊(法兰)后弯(管)”及无余量弯管等新工艺的实施, 提高生产效率, 提出采用可测取空间各种走势的管子形状的仪器——管形测定器<sup>[1]</sup>, 做到只需到现场测取管形数据, 即可指导内场加工生产, 再配合特定的法兰定位器进行两端法兰的安装, 组成嵌补管测量制造系统, 以达到直接将内场加工的管子经焊接及表面处理后, 送到现场一次安装成功的目的.

另外, 在管子的弯曲制造过程中, 如果能使用“智能弯管回弹伸长测量仪”<sup>[2, 3]</sup>, 解决弯管的回弹量和伸长量的补偿, 则效果更佳.

船舶嵌补管测量制造系统包括两个部分, 即管形测定器和法兰定位器, 现分别介绍如下.

## 1 管形测定器

一般采用具有 2 个弯角和 1 个转角的管形即可表达现场取样管的形状需要. 为了测取具有 2 个弯的弯管形状, 建立如图 1 所示的数学模型. 它可看作是一个 7 连杆机构, 如图建立一直角坐标系, 并规定杆沿逆时针方向旋转为正.

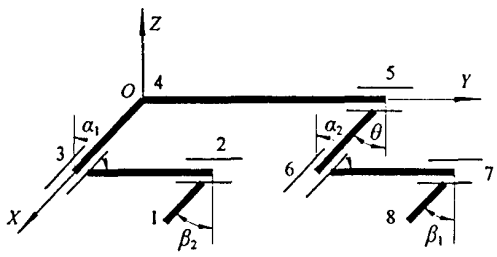


图 1 管形测定器的数学模型

图 1 所示是机构的开始位置(零位), 当机构处于任意状态时, 通过坐标平移及旋转变换可得到 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 点的坐标(设第 4 点为坐标原点), 从而可以求出空间管形 2367 的管形参数, 它包括: 弯管的 2 个弯角; 弯管的转角; 弯管两端

收稿日期: 2004-08-24

胡 勇: 男, 39 岁, 博士, 副教授, 主要研究领域为船舶先进制造技术

\* 中国博士后科学基金资助(批准号: 2002031251)

法兰的安装角.

管形测定器的数学模型求解、测量机构及使

用情况已在文献[ 1] 中有详细讨论. 表 1 是其在江南船厂实测某嵌补管的数据.

表 1 使用管形测定器测得并计算的某嵌补管的数据

测量数据: $\theta_1= 321.8^\circ$ $\theta_2= 144.6^\circ$ $\theta_3= 84.8^\circ$ $\theta_4= 85^\circ$ $\theta_5= 102^\circ$			
$L_1= 573.5\text{ mm}$ $L_2= 602.8\text{ mm}$ $L_3= 544\text{ mm}$			
现场取样管空间矢长测量值: $V= 1\,490.0\text{ mm}$ 空间矢长计算值: $V= 1\,492.9\text{ mm}$			
法兰眼数 $N= 4$ 法兰 1 平台校管安装角: $F_1= 44.0^\circ$ 法兰 2 平台校管安装角: $F_2= 16.1^\circ$			
回弹后半半径 $R= 237.3\text{ mm}$			
理论下料长度: $L= 1\,934.4\text{ mm}$ 实际下料长度: $L= 1\,924.0\text{ mm}$			
管材回弹伸长规律参数: $k_1= 1.031\,5$ $c_1= 1.64$ $k_2= 0.090\,0$ $c_2= -1.81$			
加工参数			
I	$Y/\text{mm}$	$B/(\text{^\circ})$	$C/(\text{^\circ})$
1	610.7	0.0	33.7
2	408.6	91.1	93.9
3	412.6	0.0	0.0
管形坐标			
I	$X/\text{mm}$	$Y/\text{mm}$	$Z/\text{mm}$
1	676.8	0.0	0.0
2	1\,284.3	366.8	0.0
3	1\,296.5	358.9	647.4

2 法兰定位器

管形测定器虽然提供了管形数据以及两端法兰的安装角, 但由于内场制造管子的精度较难达到要求, 因此有必要设计一套法兰定位安装装置, 其实质就是将现场两端的法兰取向仿形到内场, 通过该装置, 可在内场将嵌补管调整好, 焊好两端法兰并经表面处理与试压, 以达到直接将内场加工后的管子送到现场一次装配成功的目的. 该装置即为法兰定位器.

2.1 法兰定位器的数学模型

法兰定位器由左、右两个结构相同的法兰安装装置组成, 如图 2 所示. 以左端法兰定位装置为例, 它是一个可以以  $O$  点为中心作三向转动的机构. 通过转动可以满足空间任意法兰平面的取向要求.

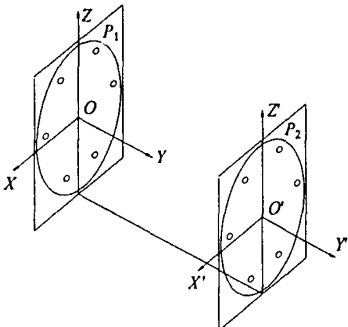


图 2 法兰定位器理论模型

2.2 法兰安装角的计算

假设用管形测定器测得某嵌补管的管形如图 3 所示. 按上述数学模型的构思, 要正确定位安装法兰, 需要进行坐标变换, 即先将图 2 所示的  $OXYZ$  坐标系经平移变换( $OXYZ \rightarrow O'X'Y'Z'$ )为

图 3 所示的坐标系  $O'X'Y'Z'$ , 然后经旋转变换( $O'X'Y'Z' \rightarrow O''X''Y''Z''$ )为最终坐标系  $O''X''Y''Z''$ .

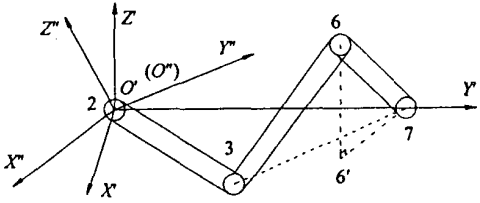


图 3 嵌补管管形 2367

将坐标系  $O'X'Y'Z'$  经旋转变换到坐标系  $O''X''Y''Z''$  后, 假设新坐标系下各点的坐标( $x, y, z$ )与原坐标( $x', y', z'$ )有如下关系

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \end{pmatrix}$$

式中:  $(l_1, m_1, n_1), (l_2, m_2, n_2), (l_3, m_3, n_3)$  分别为新坐标轴  $O''X'', O''Y'', O''Z''$  在原坐标系下的方向余弦, 其求解过程如下.

令平面 237 的一般方程为  $R_{1x} + S_{1y} + T_{1z} + D_1 = 0$ , 其方程又可写为

$$\begin{vmatrix} x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 & z_3 - z_2 \\ x_7 - x_2 & y_7 - y_2 & z_7 - z_2 \end{vmatrix} = 0$$

平面 237 的法向量为

$$\begin{aligned} \mathbf{n} &= \mathbf{L}_{23} \times \mathbf{L}_{27} = \\ &= (x_3 - x_2, y_3 - y_2, z_3 - z_2) \times \\ &= (x_7 - x_2, y_7 - y_2, z_7 - z_2) = \\ &= \begin{pmatrix} \begin{vmatrix} y_3 - y_2 & z_3 - z_2 \\ y_7 - y_2 & z_7 - z_2 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} z_3 - z_2 & x_3 - x_2 \\ z_7 - z_2 & x_7 - x_2 \end{vmatrix}, \\ \begin{vmatrix} x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \\ x_7 - x_2 & y_7 - y_2 \end{vmatrix} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\text{所以 } R_1 = \begin{vmatrix} y_3 - y_2 & z_3 - z_2 \\ y_7 - y_2 & z_7 - z_2 \end{vmatrix},$$

$$S_1 = \begin{vmatrix} z_3 - z_2 & x_3 - x_2 \\ z_7 - z_2 & y_7 - y_2 \end{vmatrix},$$

$$T_1 = \begin{vmatrix} x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \\ x_7 - x_2 & y_7 - y_2 \end{vmatrix}.$$

$$\begin{pmatrix} l_2 \\ m_2 \\ n_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{x_7}{x_7^2 + y_7^2 + z_7^2} \\ \frac{y_7}{x_7^2 + y_7^2 + z_7^2} \\ \frac{z_7}{x_7^2 + y_7^2 + z_7^2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} l_3 \\ m_3 \\ n_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{R_1}{R_1^2 + S_1^2 + T_1^2} \\ \frac{S_1}{R_1^2 + S_1^2 + T_1^2} \\ \frac{T_1}{R_1^2 + S_1^2 + T_1^2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} l_1 \\ m_1 \\ n_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_2 n_3 - m_3 n_2 \\ n_2 l_3 - n_3 l_2 \\ l_2 m_3 - l_3 m_2 \end{pmatrix}$$

由上述推导可得

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i - x_2 \\ y_i - y_2 \\ z_i - z_2 \end{pmatrix}$$

由上式即可求出新坐标系中各点的坐标, 从而计算出左、右两端法兰定位所必需的有关参数.

### 1) 两法兰间的相对距离 $AB$

$$AB = \sqrt{(x_7 - x_2)^2 + (y_7 - y_2)^2 + (z_7 - z_2)^2}$$

### 2) 左端法兰绕轴旋转的角度 $\alpha_1$

因为平面 237 平行于  $OXYZ$  平面, 所以  $\alpha_1 = 0$ .

### 3) 左端法兰绕 $y$ 轴旋转的角度 $\beta_1$ ( $\beta_1$ 即为直线 12 与平面 237 的夹角)

$$\sin \beta_1 = y l =$$

$$\frac{|R_1(x_2 - x_1) + S_1(y_2 - y_1) + T_1(z_2 - z_1)|}{R_1^2 + S_1^2 + T_1^2 \cdot \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}$$

$$\text{故 } \beta_1 = \arcsin y l$$

### 4) 左端法兰绕 $z$ 轴旋转的角度 $\gamma_1$ ( $\gamma_1$ 为直线 23 与 27 间的夹角)

$$\gamma_1 = \arccos \frac{L_{23}^2 + L_{27}^2 - L_{37}^2}{2L_{23}L_{27}}$$

同理, 可求出右端法兰分别绕  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$

轴的旋转的角度  $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ .

至此, 弯管两端法兰定位所需的全部参数均已求得, 据此可在内场安装焊接法兰.

## 2.3 法兰定位器的组成机构

图 4 所示是法兰定位器的总装图. 它主要由以下几部分组成: 1, 机座; 2, 移动手轮, 调节嵌补管两端法兰中心间的距离  $AB$ ; 3, 水平转动圆盘, 调节  $\gamma_1$  (或  $\gamma_2$ ); 4, 俯仰角调节机构, 通过齿轮传动调节法兰安装装置的俯仰角, 从而调节  $\alpha_1$  (或  $\alpha_2$ ); 5, 法兰固定圆盘, 可绕自身的中心轴作旋转运动, 从而调节  $\beta_1$  (或  $\beta_2$ ).

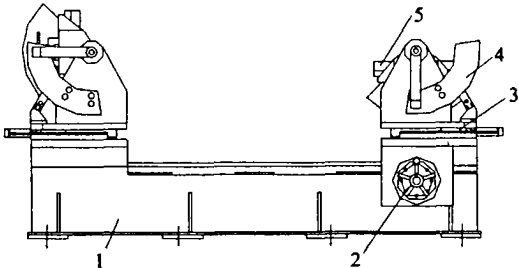


图 4 法兰定位器总装图

## 2.4 法兰定位器的使用

以图 3 所示的嵌补管管形 2367 为例, 其各种参数为已知. 通过坐标变换, 可将管形 2367 放在新坐标系中, 使 2 点为坐标原点, 27 为  $X$  轴, 平面 237 平行于坐标  $OXY$  平面.

调整左、右法兰安装装置的距离  $AB$ , 使  $AB = 27$ , 以右端法兰安装为例, 则绕  $Z$  轴旋转, 可使法兰平面  $P2$  垂直于 66; 绕  $Y$  轴旋转, 可使法兰平面  $P2$  垂直于 67; 绕  $X$  轴旋转, 可使法兰眼对准.

以上旋转所需的角度的都可由管形测定器提供或计算得到. 通过以上变换, 就将嵌补管现场两端的法兰取向仿形到内场. 这时只要将内场弯制的嵌补管拿来与法兰定位器对接, 焊接法兰即可. 若弯管与法兰定位器对接不上, 说明管形有一定偏差, 可在内场调整管形直到能对接为止. 至此, 船舶嵌补管制作完毕.

## 3 船舶嵌补管测量制造系统

针对船舶嵌补管制作的特点, 为改变船舶嵌补管制造的落后现状, 提出了一套全新的船舶嵌补管测量制造系统, 它由管形测定器、智能弯管回弹伸长测量仪、数控弯管机、法兰定位器组成, 如图 5 所示. 其基本原理是<sup>[3]</sup>, 先使用管形测定器测取嵌补管的管形, 然后用智能弯管回弹伸长测量

测量的管子回弹伸长数据对管形数据进行处理 (包括回弹、伸长、起弯点、下料长度等) 以获得嵌补管加工参数, 再由数控弯管机按补偿后的数据进行加工, 获得正确的嵌补管弯管形状, 最后由法兰定位器确定两端法兰的焊接装配. 加工好的嵌补管经检验、试压、表面处理, 即可送到现场安装. 从船舶嵌补管整个加工过程中可以看到, 只要嵌补管制造系统中管形测定器和法兰定位器保持一定的测量精度, 那么由该系统加工制作的嵌补管就可达到一次上现场安装成功的目的.

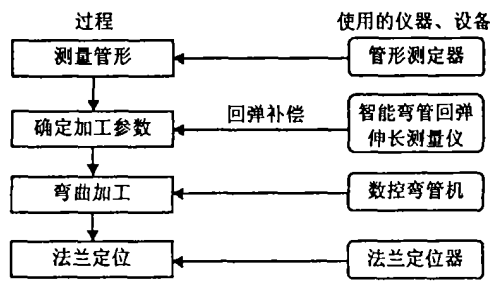


图 5 船舶嵌补管测量制造流程图

4 结 束 语

船舶嵌补管测量制造系统可用于造船生产的管装、机装、甲装等生产环节, 力图改变原来嵌补管的生产工艺, 做到只需到现场测量一次, 即可获得准确的管形数据, 指导管子弯曲加工, 通过法兰定位器进行两端的法兰装配, 达到到现场一次装配成功的目的. 此外, 它也可作为一种活动胎模, 将分段或船台上现场取样管两端的空间情况模拟到内场中, 指导弯管制作及预装配.

参 考 文 献

1 胡 勇, 王呈方, 程敬云. 管形测定器的研制与应用. 造船技术, 1998( 5 ): 13 ~ 15  
2 胡 勇, 王呈方. 智能弯管测量仪数据采集接口研制. 武汉交通科技大学学报, 1998( 1 ): 30 ~ 32  
3 胡 勇, 王呈方. 智能弯管回弹伸长测量仪的研制及应用. 船舶工程, 1996( 2 ): 57 ~ 60

A Study of the Measuring and Manufacturing System for Inserting Pipe in Shipbuilding

Hu Yong Liu Guangwu Wang Chengfang

(School of Transportation, WUT, Wuhan 430063)

Abstract

It is hard work to manufacture an inserting pipe by manual sampling in shipbuilding. A new technique is put forward in this paper. That it works as the following steps. First the shape of inserting pipe is measured by means of a changeable template. The processing data are gained. Then the flange of pipe can be fixed by means of a position device. After welding and surface processing, the inserting pipe can be installed successfully just one time at last. The mathematical model and measuring mechanism of both measuring device for the shape of pipe and position device for pipe's flange are presented. The flow chart of use of the system is also discussed.

**Key words:** inserting pipe; measuring device for the shape of pipe; position device for pipe's flange; shipbuilding