

ICS 47.020.01
CCS U 06

T/CANSI

中国船舶工业行业协会团体标准

T/CANSI 94—2024

数字化水火弯板加工工艺要求

Technical requirements for digital flame forming processing



2024-8-20 发布

2024-10-1 实施

中国船舶工业行业协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工艺准备	1
4.1 文件	1
4.2 人员	2
4.3 工装、工具和检验检测设备	2
4.4 环境	2
4.5 安全	2
4.6 加工前检查	2
5 工艺过程	3
5.1 工艺流程	3
5.2 加工信息确认	3
5.3 钢板上料及固定	4
5.4 数字化加工设备状态确认	4
5.5 生成加工参数	4
5.6 数字化加工设备加工	4
5.7 成形质量确认	4
5.8 完工钢板归集	4
5.9 数据收集与管理	5
6 工艺质量	5
7 检验	5
附录 A（资料性） 水火弯板的原理与典型加工参数	6
附录 B（资料性） 水火弯板机器人示例	8

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会提出。

本文件由中国船舶工业行业协会归口。

本文件起草单位：中国船舶集团有限公司综合技术经济研究院、广船国际有限公司、上海交通大学、江苏科技大学、哈尔滨工程大学、上海海事大学。

本文件主要起草人：施理军、曹军军、孙楠、曹雪雁、程萍、咎英飞、盛少琴、魏竹璟、赵刚、韩超帅、殷涛。



数字化水火弯板加工工艺要求

1 范围

本文件规定了数字化水火弯板加工的工艺准备、工艺过程、工艺质量和检验。
本文件适用于民用船舶厚度为10 mm~40 mm钢板水火弯板数字化加工作业。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12924—2008 船舶工艺术语 船体建造和安装工艺
JB/T 7974—1999 火工平台

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水火弯板 **flame forming**

先将板材加工出单向曲面；然后在其边缘(或中心)进行线状加热，并伴以水冷却，使其产生横向弯曲和角变形，从而形成所需要的三维曲面形状的加工方法，其加工原理与典型加工参数见附录A。

[来源：GB/T 12924—2008，2.2.17]

3.2

数字化水火弯板加工 **digital processing of flame forming**

利用信息系统、各类传感器、机器视觉等技术，获取待加工板材的原始数据、各种信息和相关知识，形成可识别、可读取、可存储、处理的数据，并借助计算机控制加工设备，完成板材的水火弯板加工过程。

4 工艺准备

4.1 文件

作业前应准备下列图样和技术文件：

a) 钢板加工信息数据；

- b) 水火弯板加工作业指导书；
- c) 数字化水火弯板加工设备说明书；
- d) 目标加工钢板成形模型数据；
- e) 弯板质量检查标准数据；
- f) 生产系统托盘数据。

4.2 人员

作业人员应按照设备说明书和作业指导书的要求，培训合格方可上岗。

4.3 工装、工具和检验检测设备

加工前应准备下列工装、工具和加工检验设备：

- a) 铁质卡马，水火弯板加工用卡马应使用高强度钢制造，强度应满足克服钢板变形产生的应力；
- b) 火工平台，火工平台应使用高强度精钢制造，平台外形、尺寸、强度应满足 JB/T 7974—1999 的要求；
- c) 吊机设备，吊机设备应经过定期检查和维修且在年检有效周期内，确保其良好的工作状态和安全性能；
- d) 数字化水火弯板加工设备，也称为水火弯板机器人，示例见附录 B。数字化水火弯板加工设备应按使用要求进行维护保养，保证设备的主控单元、控制电路和运行机构等部件正常运行。

4.4 环境

加工及测量应在室内及下列条件下进行：

- a) 温度：-10 ℃~40 ℃；
- b) 湿度：≤90%；
- c) 通风：水火弯板加工区域应在自然通风的基础上设置局部通风，使得加工产生的烟气、水雾等能马上消散；
- d) 照明：水火弯板加工区域应保持良好的照明条件，照明强度应能使操作者能清晰地看到水火加工部位。

4.5 安全

加工作业应满足下列安全要求：

- a) 所有的工具、工装、设备、生产场地等均应符合工厂有关安全规定；
- b) 进入生产场地应穿戴好劳动保护用品，严禁违章操作；
- c) 注意氧气瓶、乙炔瓶、橡胶软管等易燃易爆物的使用安全规定，切实做好防燃、防爆等预防措施。

4.6 加工前检查

加工前应检查下列工作：

- a) 有关仪表、量具经有关部门检验合格且在检验有效期内方可使用；

- b) 作业前对设备和工具进行逐一检查，一切处于良好的工作状态后才可使用；
- c) 检查钢板质量，钢板应符合加工要求，无严重麻点、变形等问题；
- d) 作业人员确认钢板号料、划线正确，要有足够的加工余量。

5 工艺过程

5.1 工艺流程

数字化水火弯板加工工艺流程示意图见图1。

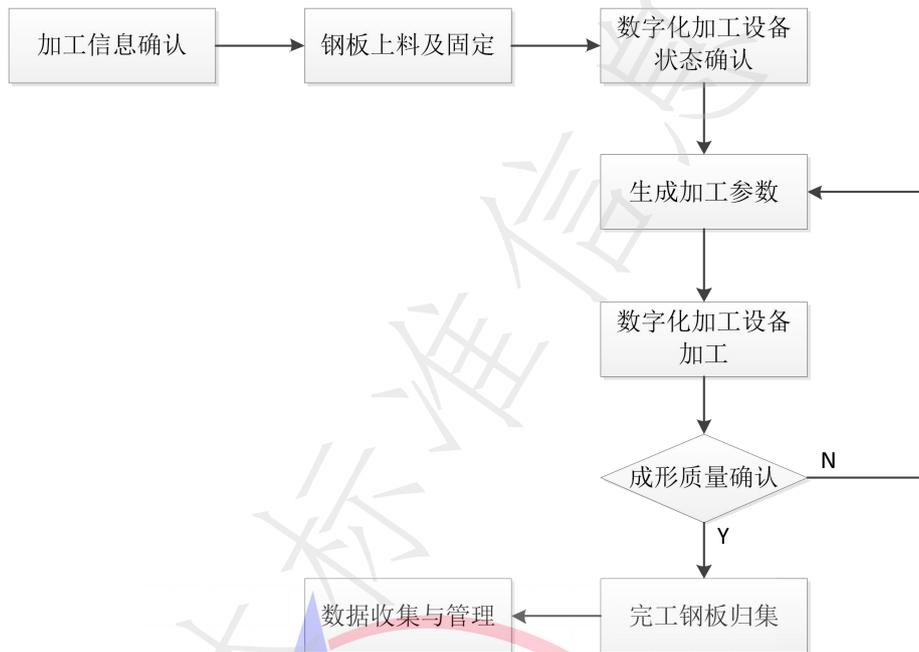


图1 数字化水火弯板加工工艺流程示意图

5.2 加工信息确认

5.2.1 作业人员接收船厂的加工信息，核对钢板信息与加工信息的一致性。

5.2.2 作业前应对钢板进行清除割渣、清除氧化皮、泥沙等杂物。

5.2.3 加热枪加热火焰应满足钢板水火弯板加工所需温度；水火弯板火焰温度与火焰颜色对应关系见表1。

表1 钢材加热温度与颜色关系

单位为℃

温度	颜色	温度	颜色
520~580	暗褐色	830~880	亮红色
580~650	赤褐色	880~1050	黄赤色
650~750	暗樱红色	1050~1150	暗黄色
750~780	深樱红色	1150~1250	亮黄色
780~800	樱红色	1250~1300	黄白色
800~830	亮樱红色		

5.3 钢板上料及固定

5.3.1 作业人员将待加工钢板运送至火工平台加工工位。

5.3.2 根据零件纵横向线型挠曲情况辅以必要的垫块，并用铁质卡马压紧。

5.4 数字化加工设备状态确认

5.4.1 启动数字化水火弯板加工设备，确认设备信号正常，无报警信息。

5.4.2 检查数字化水火弯板加工设备，确认设备各轴位置复位正确。

5.5 生成加工参数

5.5.1 运行数字化水火弯板加工设备，调用目标加工钢板三维图形数据。

5.5.2 启动测量设备，对待加工钢板进行测量，获取待加工钢板三维模型。

5.5.3 根据测量的目标钢板和待加工钢板模型信息，在加工设备系统中生成加工焰道、速度和冷却水路等信息，在屏幕上显示。

5.5.4 数字化水火弯板加工设备发出蜂鸣声音，提醒作业人员检查焰道等信息是否满足生产规范，检查确认完毕，设备提示进入待加工通知界面。

5.6 数字化加工设备加工

5.6.1 作业人员确认加工后，数字化水火弯板加工设备移动加热枪至加工起始点。

5.6.2 加热枪至起始点后，数字化水火弯板加工设备生成加热火焰，同步启动冷却水开关阀，按程序开始进行水火弯板加工，直至加工程序完成。

5.6.3 数字化水火弯板加工设备运行过程中，防撞测量装置保持检测，确保在加工过程中与其他周边设备及物品不发生干涉碰撞。

5.6.4 加工完成后，数字化水火弯板加工设备回到起始点然后停止运动，并发出声音通知作业人员。

5.7 成形质量确认

5.7.1 启动测量设备，对已加工钢板进行测量，并对应生成三维曲面模型。

5.7.2 根据目标钢板、已加工钢板模型信息，按照设定的质量标准，水火弯板机器人生成已加工钢板成型质量检查结论。

5.7.3 根据已加工钢板成形质量信息，作业人员判断本次加工是否完成；符合加工质量要求的钢板转入下一加工流程；出现局部偏差的钢板，进行局部矫正调整；需要重新进行水火弯板加工的钢板，则重新启动数字化水火弯板加工设备，安排第二次加工。

5.7.4 对于进行局部矫正调整的钢板，使用大锤敲击完成；作业时应确定敲击部位，然后根据变形量差异确定敲击力度，敲击过程中随时使用活络卡等装置检验局部矫正成形质量。

5.8 完工钢板归集

加工完成后，作业人员在加热枪烧过部位，刷上底漆，按规定做好标识，并根据零件信息，将工件按照分段及流向进行集配归堆。

5.9 数据收集与管理

加工完成后，所加工钢板的船号、零件号、加工信息等数据按规定格式存储于服务器，在服务器主机中对数据进行分析及管理。

6 工艺质量

弯板成形精度偏差要求见表2。

表2 弯板成形精度偏差要求

单位为毫米

加工方式	弯板类型	检测项目	标准值	极限值	备注
弯曲板	单弯曲板	曲面与目标钢板的间隙偏差	≤ 2.5	≤ 5.0	每档肋距内
		直线方向检验线的直线度	≤ 2.5	≤ 5.0	
	双弯曲板	与目标钢板上基准线的偏差	± 2.0	± 3.0	每档肋距内
		肋位方向与目标钢板的空隙偏差	≤ 4.0	≤ 5.0	
		长度方向与目标钢板的空隙偏差	≤ 3.0	≤ 5.0	

7 检验

使用直尺等工具对加工后的间隙偏差、直线度等进行检验，结果应符合表2要求。

附录 A

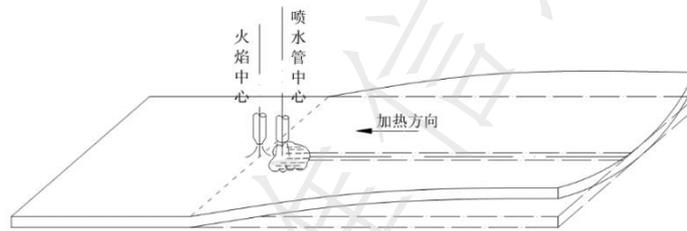
(资料性)

水火弯板的原理与典型加工参数

A.1 水火弯板原理与应用

A.1.1 水火弯板原理

当钢材局部加热至 $600\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时, 由于热场的局部性, 受热金属的膨胀受到较冷金属的限制, 导致受热金属产生压缩塑性变形, 因加热面的温度较高, 产生的压缩塑性变形量大于背面, 在钢材冷却时, 形成的收缩变形也较背面为大, 利用钢材局部受热后所产生的角变形及横向收缩来达到弯曲的目的。而用水冷却可以提高钢材的冷却速度, 增大厚度方向上的温度差异, 从而使角变形量增加, 如图 A.1 所示。



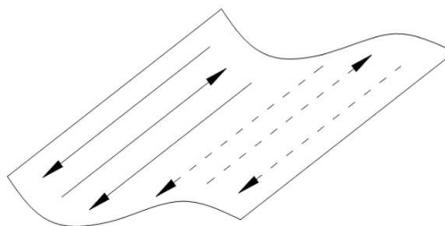
图A.1 水火弯板原理示意图

A.1.2 水火弯板原理的应用

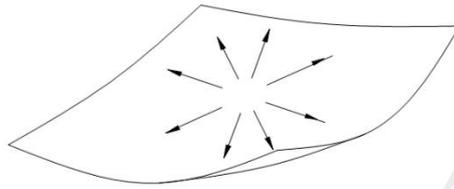
在平直的钢板面上分别设置一定数量的加热线, 加热线设置在板的正反面且以不同方向设置, 加热冷却后得到形状不同的板如图A.2、图A.3、图A.4所示 (图中的箭头所示为加热方向, 实线为正面加热线, 虚线为背面加热线)。



图A.2 柱形板加热位置与方向



图A.3 正反弯板加热位置与方向



图A.4 球形板加热位置与方向

A.2 火工弯板的冷却方式

A.2.1 空气冷却方式

板材经火焰加热后，在空气中自然冷却，从而使板材产生角变形，其优点是一种操作最简单的火焰成形方法，缺点是成形速度慢，在角变形的同时会产生不需要的纵向弯曲，一般不使用此方法。

A.2.2 正面跟踪水冷却方式

将冷却用的水直接浇在板材加热面进行冷却，其优点是冷却速度快，角变形最小，成形效果介于空气冷却方式和背面跟踪水冷却方式之间，操作方便，是最常用的冷却方法。

A.2.3 背面跟踪水冷却方式

将冷却用的水浇在板材加热面的背面进行冷却，其优点是冷却速度快，角变形最大，成形效果最好，但加工不方便，一般在正冷效果不显著的情况下才使用。

A.3 火工弯板典型加工参数

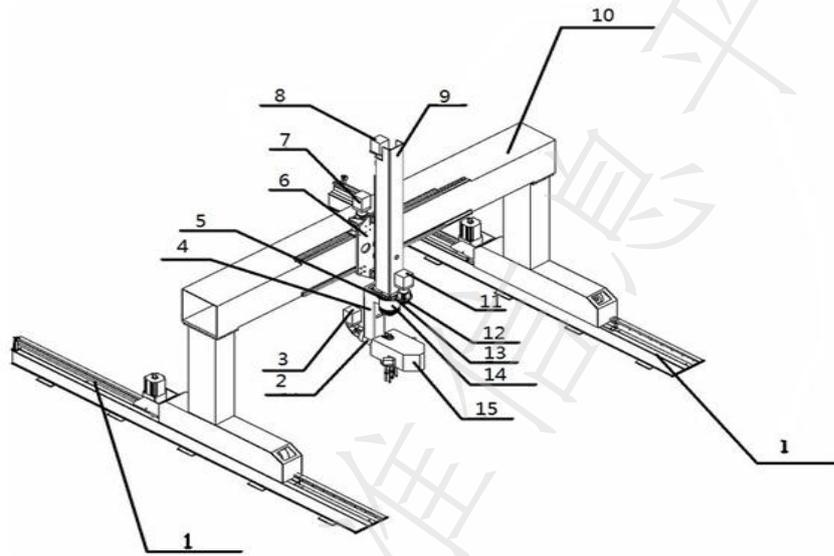
火工弯板典型加工参数见表A.1。

表A.1 弯板典型加工参数表

项目		板厚 δ (mm)			
		≤ 3	3~5	6~12	≥ 12
加热温度 (°C)		<600	650~700	750~800	750~850
最小水火距 (mm)	低碳钢	30~50	50~70	70~100	100~120
	低合金钢	50~70	70~90	90~120	130~150
加热速度 (mm/s)		20~30	10~25	7~20	4~10
加热深度 (mm)		(0.6~0.8) δ			
加热宽度 (mm)		12~15			
氧气压力 (kgf/cm ²)		(6-8) 2~3	(6-8) 3~4	(6-8) 5~7	-
(改性天然气) 乙炔压力 (kgf/cm ²)		12~15			
焰心距板面 (mm)		2~3			

附录 B
(资料性)
水火弯板机器人示例

B.1 典型水火弯板机器人示例



标引序号说明:

- | | |
|-------------|--------------|
| 1——X轴; | 9——移动架; |
| 2——过渡套; | 10——Y轴; |
| 3——RX轴旋转电机; | 11——RZ轴旋转电机; |
| 4——过渡架; | 12——小齿轮; |
| 5——大齿轮; | 13——支撑板; |
| 6——支架; | 14——连接套; |
| 7——Y轴移动电机; | 15——火焰枪。 |
| 8——Z轴电机; | |

图B.1 典型水火弯板机器人示例图

B.1.1 水火弯板机器人采用龙门架结构五轴联动机器人结构见图B.1, 包括X轴(1)、Y轴(10)、Z轴、RX轴及RZ轴。

B.1.2 X、Y、Z轴主要用于控制火焰加热枪在三维坐标系内行走, RX、RZ轴用于控制火焰加热枪在沿焰道行走。

B.1.3 RZ轴旋转机构安装在Z轴移动机构底部, RX轴旋转机构连接在RZ轴旋转机构底部, RZ轴旋转机构包括安装在Z轴移动机构底部的支撑板(13)。

B.1.4 固定轴穿过支撑板(13), 其顶部固定在支撑板(13)上表面。

B.1.5 RZ轴旋转电机(11)安装在支撑板(13)上, 其输出轴穿过支撑板(13)与小齿轮(12)固联, 于支撑板(13)下方在固定轴上还设置有可相对固定轴转动的大齿轮(5)。

B.1.6 大齿轮（5）与小齿轮（12）相啮合，大齿轮（5）底部还连接有随齿轮转动的连接套（14），连接套（14）一侧与过渡架（4）相连。

B.1.7 RX轴旋转机构包括安装在过渡架（4）底部的过渡套（2），可相对过渡套（2）转动的RX转轴穿过过渡套（2），其一端与RX轴旋转电机（3）连接，另一端与火焰枪（15）连接。

B.1.8 Z轴移动机构包括与Y轴移动机构（10）上的Y轴移动电机（7）连接且可沿Y轴移动机构（10）平移的支架（6）。

B.1.9 支架（6）上固定有螺母，滚珠丝杠垂直旋入螺母内，滚珠丝杠一侧平行设置有移动架（9），Z轴电机（8）安装在移动架（9）水平伸出部分上，其输出轴穿过移动架（9）水平伸出部分与滚珠丝杠顶端连接，RZ轴旋转机构安装在移动架（9）底部。

B.1.10 Z轴移动机构包括与Y轴移动机构上的Y轴移动电机（7）连接且可沿Y轴移动机构平移的支架，支架上设置有Z轴齿条以及沿支架滑行的轴杆，Z轴电机（8）水平安装在轴杆上，其输出轴穿过轴杆与Z轴齿轮固联，Z轴齿轮与Z轴齿条相啮合，RZ轴旋转机构安装在轴杆底部。

B.2 运动控制关系

B.2.1 X轴移动装置控制整台设备沿X轴方向移动，路轨端头各有2个接近式限位开关，起安全保护作用，能精确定位和反馈坐标位置。X轴电机实现电气消除及全闭环补偿控制，做到双电机同步驱动，电机带刹车。

B.2.2 Y轴移动装置控制火焰加热枪沿Y轴方向移动，滑轨端头要有2个接近式限位开关，起安全保护作用，能精确定位和反馈坐标位置，电机带刹车。

B.2.3 Z轴移动装置控制火焰加热枪沿Z轴方向移动，滑轨端头要有2个接近式限位开关，起安全保护作用，能精确定位和反馈坐标位置，电机带刹车。

B.2.4 RZ轴旋转装置可以控制火焰加热枪部分绕Z轴旋转 $\pm 90^\circ$ ，装有2个接近式限位开关，起安全保护作用，能精确定位和反馈坐标位置，电机带刹车。

B.2.5 RX轴旋转装置可以控制火焰加热枪部分绕X轴旋转 $\pm 60^\circ$ ，装有2个接近式限位开关，起安全保护作用，能精确定位和反馈坐标位置，电机带刹车。