

数控精密火焰切割机



SHU KONG JINGMI HUOYAN QIEGE JI

王文有 邵景峰 编

人民铁道出版社

内 容 简 介

本书较详细地介绍了数控精密火焰切割机的电器部分设计、工作原理和操作维护的技术。特别对于本机使用的专用计算机和随动系统，以及数控基本知识，均以本机的研制实践为例，作了深入浅出的介绍。

本书可供设计研制数控火焰切割机或从事数控技术其他应用领域的技术人员参考；也可供培训使用数控精密火焰切割机的工人及有关人员之用。

数控精密火焰切割机

王文有 邵景峰 编

人民铁道出版社出版

责任编辑 徐仁杰 封面设计 关乃平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：15.5 插页：3 字数：387千

1979年11月 第1版 1979年11月 第1次印刷

印数：0001—14,500册 定价：1.75元

前 言

SKQG-22数控精密火焰切割机是铁道部北京二七机车车辆工厂学习有关单位的先进经验，在清华大学工业自动化系“自四一”班部分师生协助下，于1977年10月研制成功的。经投产使用后，性能良好，基本上达到了设计的要求。

本切割机研制成功后，曾由工厂组织学习班，对工人及有关人员进行教学培训，编者参加了这一工作，编写了一些教材。又因有关单位纷纷索取本机技术资料，编者又主持和参加了编写本机说明书的工作。为了有助于推广这项新技术，编者在上述基础上，参考了有关资料，结合本机的设计研制的实践经验，编成此书，主要介绍本机应用的数控技术电器部分的工作原理，特别是对于随动系统和专用电子计算机作了深入浅出较详尽的介绍；并以本机实践为例，对于有关电子计算机和数字程序控制的基础知识作了应有的叙述，使读者不但了解精密火焰切割机是如何应用了数控技术，同时对于其他的数控技术应用领域也起到一定的推广普及的作用。

本书还对本机采用的超音速强力火焰割嘴的设计原理和制造工艺作了简介，供读者参考。

由于编者技术理论水平和实际经验有限，本书一定存在不少缺点和错误。恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1978年12月

目 录

第一章 切割机概况	1
第一节 切割机技术指标	1
第二节 切割机机械结构	2
第三节 数控装置总体介绍	2
第四节 超音速精密切割嘴	3
第二章 数控技术基础知识	12
第一节 二进制和二进制四则运算	12
第二节 逻辑代数基础知识	24
第三节 脉冲电路的基本单元	30
第四节 插补原理	48
第五节 线性放大器和可控硅电路	55
第三章 本机专用计算机	76
第一节 计算机总体方框图及简介	76
第二节 脉冲源、时钟脉冲、运算脉冲和节拍脉冲	77
第三节 输入部分	83
第四节 运算器	92
第五节 主控部分	106
第六节 输出部分	120
第四章 随动系统	126
第一节 旋转变压器工作原理	126
第二节 相位闭环控制原理	127
第三节 单元线路	128
第四节 随动系统总框图及控制过程	137
第五节 系统的静态分析	154
第六节 自动调节系统的动态分析	160
第七节 自动调节系统的频率特性和稳定判据	171
第八节 系统的动态校正	180
第九节 电磁元件的计算和设计	190
第五章 割嘴自动升降控制	192
第一节 基本原理	192
第二节 主回路和手动升降	192
第三节 自动升降的控制	193
第六章 电源和元件的测试、筛选与使用	196
第一节 电源	196

第二节	元件的测试、处理和筛选	202
第三节	使用组件注意事项	209
第七章	抗干扰性	211
第一节	电网干扰的抑制	211
第二节	空间电场、磁场干扰的抑制	211
第三节	长传输线的处理	212
第四节	工艺措施	213
第八章	使用与维护	215
第一节	图示符号注解和看图说明	215
第二节	程序编制	222
第三节	开关操作和故障处理	227
附录	拉普拉斯变换	234
附图一	输入部分总逻辑图	
附图二	主控部分总逻辑图	
附图三	运算器部分总逻辑图	
附图四	输出部分总逻辑图	
附图五	随动系统总逻辑图	
附图六	电源部分总原理图	

第一章 切割机概况

第一节 切割机技术指标

SKQG-22 数控精密火焰切割机是用二坐标、逐点比较法和二次插补的专用计算机控制的精密切割机。计算机字长24位，主脉冲频率为1兆赫，脉冲当量为0.01毫米/脉冲，使用国际标准代码EIA码。采用角度配合、限制环流的可控硅全波整流供电，直流电机拖动的随动系统是在国内同类产品上，首次采用了旋转变压器反馈的相位闭环与开环相结合的复合控制系统。所用元件为中面积集成电路、J—K触发器和8FC3放大元件等。

本机技术指标和特点：

一、加工工件最大尺寸

1. 自动加工：10米×2.3米；
2. 手动加工：12米×2.3米。

二、加工轨迹：任意平面曲线。

三、加工精度：

1. 轮廓线：±0.5毫米；
2. 圆弧椭圆度：±1毫米；
3. 正方形、矩形对角线：±1.4毫米。

四、切口光洁度：▽4。

五、计算机脉冲当量：0.01毫米/脉冲。

六、切割速度：0~500毫米/分，八档无级调速。

七、辅助机能备有以下各种装置：

1. 紧急停车和解除；
2. 越位保护；
3. 中停和启动（在切割机上）；
4. 计算机逆运算（嘴子沿原轨迹返回）；
5. 齿隙补偿，在0.01~1.92毫米范围内分级调整；
6. 坐标转换，同一程序可在八个不同角度加工；
7. 手动加工，可以在12×2.3米范围内进行；
8. 割嘴手动升降；
9. 程序号显示和程序预选；
10. 手动调速和自动升降调速；
11. 恒速控制；
12. 自动开关氧气。

八、抗干扰性能：

电网电压在330伏~450伏范围内波动时，切割机正常工作；在工作区域附近有15吨天车

运转或电焊机操作时，均不影响本机工作。

第二节 切割机机械结构

本切割机是用来作板材气体切割下料的，因此要求能控制割嘴作任意平面曲线的运动。本切割机有两个坐标方向可以往复运动，如图 1—1 所示：一个是x向，一个是y向，每向用一个直流电动机拖动。x向电动机经过 $1/5.4$ 、 $\frac{1}{10.75}$ 、 $\frac{1}{10}$ 三级减速后，由齿轮（装在大车上）和齿条（装在大车导轨上）传动，带着大车沿12米长的导轨往复运动——x方向的运动；y向电动机经过 $1/5.4$ 、 $\frac{1}{10}$ 两级减速后，由丝杠（固定在大车上）和螺母（固定在小车上）传动，带着小车在大车上沿 2.3 米导轨往复运动——y向的运动。只要能控制x向和y向电动机的不同运转速度和方向，即可控制装在小车上的切割嘴，使其沿任意平面曲线运动。无论是x或y向的电动机，其转速在2700转/分时，对应的割嘴直线位移均为750毫米/分。

为了控制割嘴的升降以适应不同厚度的钢板，小车上还装有一个小直流电动机，叫作升降电机，升降电机经减速后带动割嘴升降。

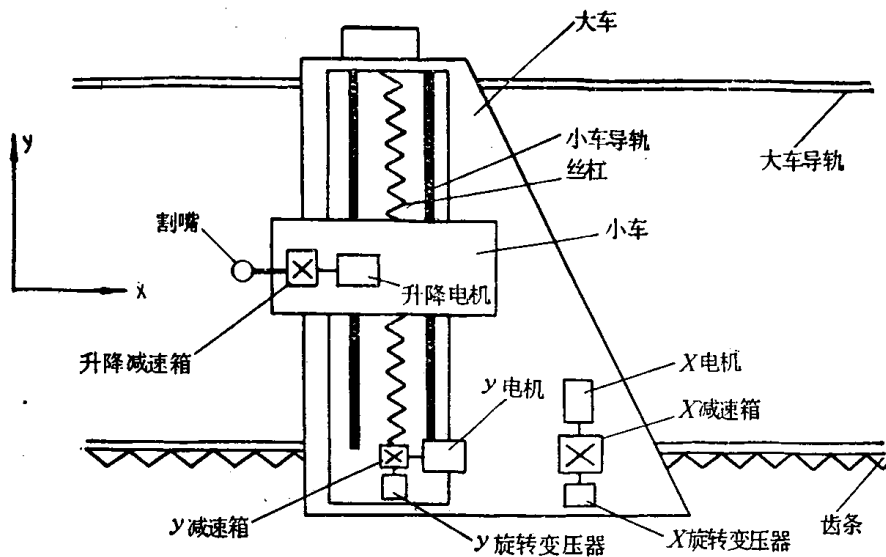


图 1—1 切割机示意图

根据工艺要求，我们研制了一台二坐标二次插补专用计算机，进行加工过程的数据处理和发出进给指令。执行部分选用了可控硅供电，旋转变压器反馈相位闭环和开环相结合的复合控制方案的随动系统。旋转变压器都安装在电机经 1/5.4 减速以后的处所。并为割嘴升降装配一套手动和自动升降控制装置。割嘴选用精密切割嘴头，并备有乙炔增压罐。

第三节 数控装置总体介绍

数控装置总体概况如图 1—2 所示。工作过程是由人根据图纸的要求和数控装置的规定编出程序单，由人用穿孔机将程序打到纸带上，再将纸带由光电输入机送入计算机，计算机就根据程序的要求进行运算，并不断向x和y向随动系统发出进给脉冲 x_{\square} 和 y_{\square} ，随动系统则根据进给脉冲的情况，控制x和y向电动机转动，带动大车和小车运动，使嘴子沿图纸要求

的轨迹运动，以达到切割的目的。嘴子的高低则由升降系统根据割嘴与钢板之间距离来控制。

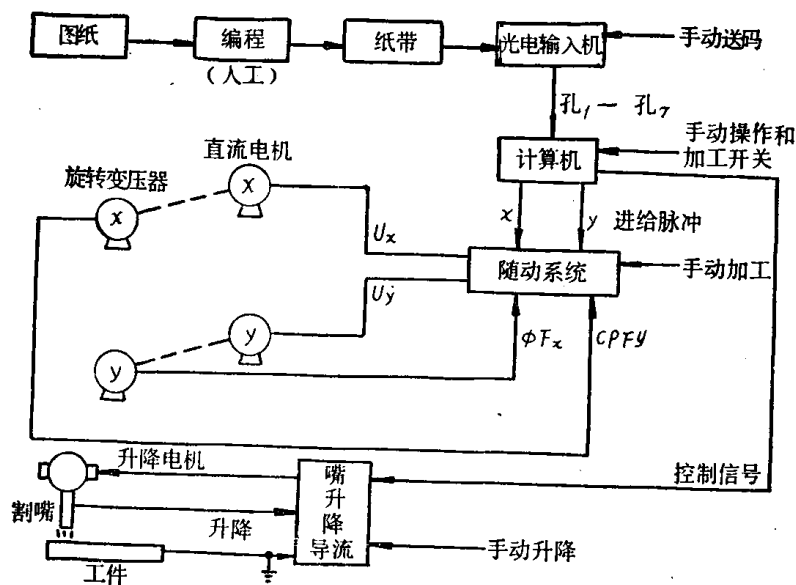


图 1-2 数控装置总体框图

这台数控装置是由光电输入机，专用计算机，x 和 y 向随动系统和嘴子升降装置四大部分组成。输入机是武汉机械研究所出品，型号为 GSJ—1F。使用过程表明这种输入机适用于数控机床。

计算机是一个逐点比较、二次插补的专用计算机。计算机主脉冲频率为 1 兆。寄存器字长 24 位。纸带编码使用 EIA* 码。

随动系统是采用单相全波可控硅整流供电，限制环流和角度配合的有环流可逆系统，控制部分采用旋转变压器反馈相位闭环和开环相结合的复合控制方案，既可保证系统的稳定性又保证了快速性。随动系统也设有手工加工，可以不经计算机，直接控制随动系统进行手工加工。

嘴子升降是一个由嘴子与钢板之间距离（电阻）控制的简单闭环线路，有自动升降和手动升降两种。

还设有高压高频点火装置。

机 设计

第四节 超音速精密切割嘴

本机采用外购的超音速精密切割嘴，这种切割嘴穿透能力强，切割速度快，切口光洁度高，可以不再加工。结合我们使用情况，将这种切割嘴的性能，以及制造工艺简单介绍如下。

一、切割嘴的结构

超音速特型割嘴是按三元轴对称拉伐尔喷管解析法设计。其设计分成三段进行，相邻各段要很好匹配，如图 1-3 所示。

• EIA 代码为国际通用代码，是美国电子工业协会制定的一种代码。

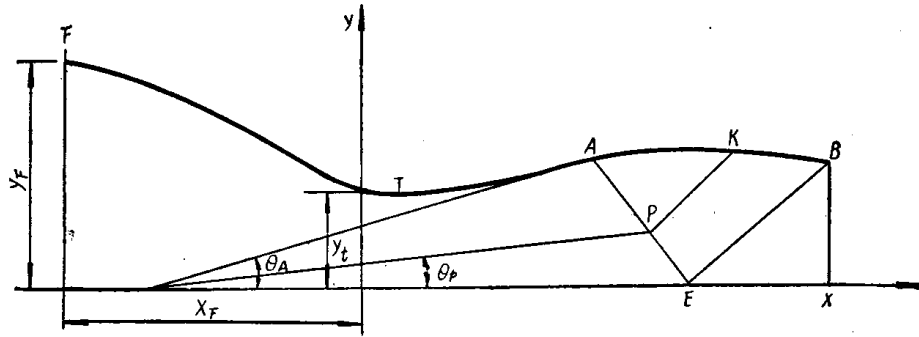


图 1—3 超音速特型割嘴型面

1. 亚音速收缩段 \widehat{FT} 上任一点纵坐标 y 按简化公式确定

$$y = \frac{y_*}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{y_*^2}{y_F^2}\right) \frac{\left(1 - \frac{x^2}{x_F^2}\right)^2}{\left(1 + \frac{x^2}{3x_F^2}\right)^3}}}$$

式中 y_* ——喉口半径;
 y_F ——入口半径;
 x_F ——亚音速收缩段长度。

其中收缩比 $\frac{y_F^2}{y_*^2}$ 一般不小于 4~5, 以便降低紊流度, 改善气流均匀性。若比值过大将会带来制造上的困难, 并增加摩擦损失。若比值过小, 则速度梯度过大。 $\frac{x_F}{y_*}$ 比值一般选择 6~10 为适宜。

2. 超音速初始膨胀段 \widehat{TA} 选用一条三次曲线, 其上任一点的纵坐标 y 按下式确定:

$$y = y_* + x_A \tan \theta_A \left(\frac{x}{x_A}\right)^2 - \frac{x_A \tan \theta_A}{3} \left(\frac{x}{x_A}\right)^3$$

式中 x_A ——拐点 A 的 x 坐标;
 θ_A ——膨胀角。

其中膨胀角 θ_A 的选择很重要, 根据不同的设计马赫数 M_E , 膨胀角一般选择 $3.2^\circ \sim 4.8^\circ$ 之间。

3. 超音速过渡段 \widehat{AB} 上任一点 K (x_K, y_K) 的坐标按福尔斯公式确定:

$$x_K = y_P \left[\cos \theta_P + 2 \sin \frac{\theta_A - \theta_P}{2} \left(\sqrt{M_P^2 - 1} \cos \theta_P - \sin \theta_P \right) \right] - y_A \cos \theta_A + x_A$$

$$y_K = y_P \left[\sin \theta_P + 2 \sin \frac{\theta_A - \theta_P}{2} \left(\sqrt{M_P^2 - 1} \sin \theta_P + \cos \theta_P \right) \right]$$

式中 θ_A ——膨胀角;
 θ_P ——马赫线 \widehat{AE} 上任一点 P 的极角;
 y_A ——A 点向径;
 y_P ——P 点向径;
 M_P ——P 点马赫数。

沿马赫线 \widehat{AE} 由 E 向 A 分度 θ_A , 得 θ_P 值, 这样根据马赫线 \widehat{AE} 上任一点 P 的坐标来确定 K 点的坐标。

由上述计算过程中, M_E 、 y_* 预先给定, 经过计算和数据整理, 就可以确定超音速特型割嘴型面理论坐标值。

二、切割嘴性能

超音速特型喷嘴使用丙烷作为燃气, 氧气纯度为99.5%; 丙烷压力为0.4公斤/厘米², 氧气压力为8公斤/厘米²。

1. 切割速度

采用 $M_E=2.1$ 系列喷嘴对不同厚度低碳钢进行切割, 其最大切割速度如图 1—4 所示。

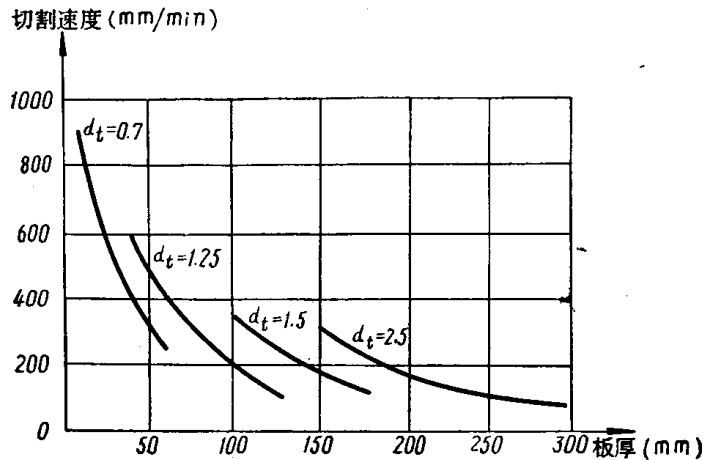


图 1—4 不同厚度低碳钢的最大切割速度
($M_E=2.1$ 系列喷嘴)

d_t : 喉口直径; 氧气压力 8kg/cm^2 ; 丙烷压力 0.3kg/cm^2 。

本切割机受原有机机械和电机限制, 最高切割速度在切割 8 毫米厚钢板时为 500 毫米/分, 尚未充分发挥它的优越性。目前, 我们最厚切割过 200 毫米厚的钢板, 切割效果良好。

2. 切割质量

切割面粗糙度小于 40 微米, 无明显深沟, 光洁度为 $\nabla 4$ 。切口上缘无明显烧塌, 下缘无明显挂渣。

3. 硬度测定

对 45*、30CrMnSi、40Cr 三种钢板切割后进行硬度测定, 结果证明淬硬深度小于 0.45 毫米。

4. 割嘴的特点

这种割嘴风线长, 挺直, 冲力强, 不易回火, 熔渣不易粘着、堵塞, 因此割嘴寿命比一般割嘴可提高三倍以上。

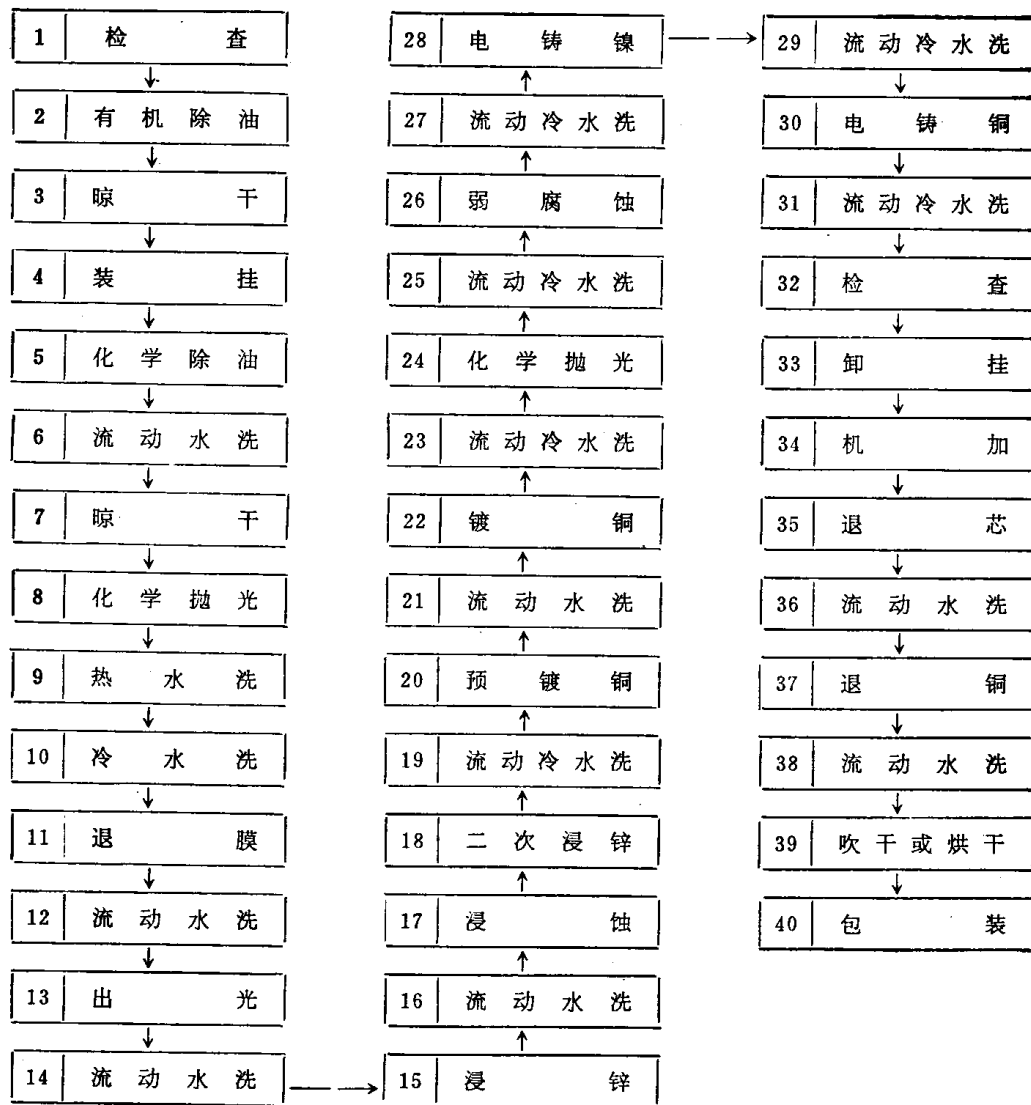
本割嘴也可用中压乙炔, 我们为方便起见也准备了一套乙炔增压器, 利用汽车增压器, 将普通压力的乙炔增压到 $0.4\sim 0.7$ 公斤/厘米²。

三、超音速特性割嘴的制造

1. 割嘴制造简述

先将铝制成割芯毛坯, 在车床上粗车割嘴的内孔型面, 再用专门滚压装置滚压成型, 滚压之前余量不应大于 0.05 毫米。滚压速度为 30~60 米/分。滚压成型后的铝芯直径误差应小于 8 微米, 弯曲度和不圆度, 应小于 5 微米, 表面光洁度要求达到 $\nabla 10$ 。如表 1—1 所示为 $d_t=1.25$ 毫米, $M_E=2.1$, 割嘴铝芯的理论坐标值。制成了铝芯以后, 通过电铸铜和镍, 成型后经过机械加工制成割嘴。

2. 超音速割嘴电铸工艺过程



现将上列主要工序（工序号同上）说明如下：

(1) 检查：制造合格的铝芯模是电铸的第一步，要通过严格的外观检查，要求公差、表面光洁度等，达到质量标准。

(2) 有机除油：用脱脂棉蘸汽油或无水酒精清洗零件，以除去经过机械加工后残留的油污。

(3) 晾干：自然晾干，放置时避免受力。

(4) 装挂：先用细铁丝扎牢，便于下道工序工作。

(5) 化学除油：用脱脂棉蘸氧化镁糊浆物，或用表1—2所示溶液，彻底清除残留油污。

(8) 化学抛光：以提高铝芯表面光洁度，抛光溶液的化学成分及工艺条件如下：

硝酸 (HNO ₃) (1.42)	.....	20% (体积比)
硫酸 (H ₂ SO ₄) (1.84)	.....	20%
磷酸 (H ₃ PO ₄) (1.7)	.....	60%
尿素 [(NH ₂) ₂ CO]	.....	10克
温度	.....	110~130°C
时间	.....	3~4秒

$d_1=1.25$ 毫米、 $M_E=2.1$ 割嘴铝芯理论坐标值

表 1—1

序	x	y	序	x	y	序	x	y	序	x	y	序	x	y
1	0	1.75	26	2.5	0.798	51	5	0.625	76	7.5	0.674	101	10	0.776
2	0.1	1.743	27	2.6	0.78	52	5.1		77	7.6	0.678	102	10.1	0.779
3	0.2	1.722	28	2.7	0.764	53	5.2		78	7.7	0.682	103	10.2	0.782
4	0.3	1.689	29	2.8	0.750	54	5.3		79	7.8	0.685	104	10.3	0.785
5	0.4	1.646	30	2.9	0.736	55	5.4		80	7.9	0.689	105	10.4	0.788
6	0.5	1.596	31	3	0.724	56	5.5	0.627	81	8	0.693	106	10.5	0.791
7	0.6	1.541	32	3.1	0.717	57	5.6		82	8.1	0.697	107	10.6	0.793
8	0.7	1.483	33	3.2	0.702	58	5.7		83	8.2	0.701	108	10.7	0.795
9	0.8	1.425	34	3.3	0.692	59	5.8	0.631	84	8.3	0.705	109	10.8	0.798
10	0.9	1.367	35	3.4	0.684	60	5.9		85	8.4	0.709	110	10.9	0.8
11	1	1.311	36	3.5	0.676	61	6	0.634	86	8.5	0.713	111	11	0.802
12	1.1	1.258	37	3.6	0.668	62	6.1		87	8.6	0.717	112	11.1	
13	1.2	1.207	38	3.7	0.662	63	6.2	0.638	88	8.7	0.724	113	11.2	
14	1.3	1.160	39	3.8	0.656	64	6.3		89	8.8	0.726	114	11.3	0.805
15	1.4	1.115	40	3.9	0.651	65	6.4	0.642	90	8.9	0.730	115	11.4	
16	1.5	1.074	41	4	0.646	66	6.5	0.644	91	9	0.734	116	11.5	0.808
17	1.6	1.035	42	4.1	0.642	67	6.6	0.647	92	9.1	0.739	117	11.6	
18	1.7	1	43	4.2	0.638	68	6.7	0.650	93	9.2	0.743	118	11.7	
19	1.8	0.967	44	4.3	0.635	69	6.8	0.652	94	9.3	0.747	119	11.8	0.809
20	1.9	0.937	45	4.4	0.632	70	6.9	0.655	95	9.4	0.752	120	11.9	
21	2	0.909	46	4.5	0.630	71	7	0.658	96	9.5	0.756	121	12	0.811
22	2.1	0.883	47	4.6	0.628	72	7.1	0.661	97	9.6	0.760	122	12.5	0.8125
23	2.2	0.859	48	4.7		73	7.2	0.664	98	9.7	0.764			
24	2.3	0.837	49	4.8	0.626	74	7.3	0.66	99	9.8	0.768			
25	2.4	0.817	50	4.9		75	7.4	0.671	100	9.9	0.772			

化学除油工艺规范

表 1—2

溶 液 成 分	含 量 (克/升)	温 度 (°C)	时 间 (分)	备 注
碳酸钠 (Na_2CO_3)	30~40	60~70	2~3	表面光洁度要求较高的铝件 可不再进行碱浸蚀
磷酸钠 (Na_3PO_4)	50~60			

(11) 退膜：为保证良好的镀层，必须除去铝芯表面的氧化膜 (Al_2O_3)。退膜溶液的化学成分及加工条件如下：

- 铬酐 (CrO_3)40克/升
- 磷酸 (H_3PO_4) (1.7)20克/升
- 温度.....70~85°C
- 时间.....退尽为止

(13) 出光：在50%的硝酸中清洗除去铝芯表面上残留物。

(15) 浸锌：浸锌的目的是在锌酸盐溶液中进一步除去铝芯表面上的自然氧化膜，同时，使其金属电位提高，以增加锌镀层的结合力。该锌镀层即可防止自然氧化膜的再生，又可电沉积其它金属。在电镀其它金属时，锌镀层作为中间层存在，亦可在镀槽中退除后进行电镀。浸锌的工艺规范如表 1—3 所列。

(17) 浸蚀：为了获得均匀一致的锌沉积层，需按表 1—4 所示规范进行退除锌层。

(18) 二次浸锌：工艺规范同工序15、表 1—3 所列。

浸 锌 的 工 艺 规 范

表 1—3

含 量 (克/升) 名 称	配 方		2		3
	1	2	一 次	二 次	
氢氧化钠 (NaOH)	500	100	500	600	500~525
氧化锌 (ZnO)	100	20	100	60	100
酒石酸钾钠 (KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O)	10	20	20	80	10
三氯化铁 (FeCl ₃ ·6H ₂ O)	1~2	2	1	2	1
硝酸钠 (NaNO ₃)		1		1	
氢氟酸(HF)(40%)	1毫升/升				
溶液温度 (℃)	室 温	室 温	室 温	室 温	室 温
处理时间 (分)	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5~1

注：配方1、3用于各种铝合金，配方2用于含铜的铝合金。

酸 浸 蚀 的 工 艺 规 范

表 1—4

含 量 (毫升/升) 名 称	1	2	3	4	5	6
硝酸 (HNO ₃) (1.4)	500	500	630	750	500	700
硫酸 (H ₂ SO ₄) (1.84)		500	320			
氢氟酸 (HF) (40%)			50	250	500	100
水 (H ₂ O)	500					
温度 (℃)	室 温	室 温	室 温	室 温	室 温	室 温
时间 (分)	5~15	5~15	5~15	5~30	5~30	5~15

注：配方适用于各种铝合金浸锌层的退除；配方2、3适用于硬铝、防锈铝、碱浸蚀的光亮处理；配方4适用于含硅10%以下的硅铝合金的光亮处理；配方5适用于含硅10%以上的硅铝合金的光亮处理；配方6适用于硅铝合金在重金属盐溶液中处理后的酸浸蚀。

(20) 预镀铜：提高零件与镀层的结合力，其工艺规范如表 1—5 所示。

预 镀 铜 工 艺 规 范

表 1—5

含 量 (克/升) 名 称	配 方		含 量 (克/升) 工 艺 条 件	配 方	
	1	2		1	2
氰化亚铜 (CuCN)	25~30	20~30	电 流 密 度 (安培/分米 ²)	0.3~0.4	0.5~0.8
氰化钠 (NaCN)	35~50	6~8	电 流 效 率 (%)	60~70	60~70
碳酸钠 (Na ₂ CO ₃)	10~15		时 间 (分)	15~20	5
			温 度 (℃)	18~25	40

(22) 镀铜：以提高割嘴型腔的表面光洁度，镀铜溶液的化学成分及工艺条件如下：

镀铜与电铸铜溶液规范

表 1—6

镀 种	配 方 名 称	含 量 (克/升)				
		1	2	3	4	5
焦 磷 酸 盐 镀 铜 溶 液	焦磷酸铜 (Cu ₂ P ₂ O ₇)	60~70	60~70	70~90	70~90	
	焦磷酸钾 (K ₄ P ₂ O ₇ ·3H ₂ O)	280~320	280~320	300~380	300~380	
	柠檬酸钾 (K ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·H ₂ O)			10~15	10~15	
	柠檬酸铵[(NH ₄) ₂ HC ₆ H ₅ O ₇]	20~25		10~15		
	酒石酸钾钠 (KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O)		15~20			
	氨基乙酸[N(CH ₂ COOH) ₃]		15~20		10~25	
	硝酸钾 (KNO ₃)		15~20			
	氨水 (NH ₄ OH) (毫升/升)		2~3			
	二氧化硒 (SeO ₂)			0.008~0.02	0.008~0.02	
	2-巯基苯咪唑			0.002~0.004	0.002~0.004	
硫 酸 盐 镀 铜 溶 液	硫酸铜 (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	175~250	175~250	200~250	150~220	200~250
	硫酸 (H ₂ SO ₄)	45~70	40~70	50~70	55~110	50~70
	酚磺酸[C ₆ H ₄ (OH)SO ₃ H]		1~1.5	30~40		
	葡萄糖 (C ₆ H ₁₂ O ₆)					
	一氯醋酸 (CH ₂ ClCOOH)				1~1.5	
	125光亮剂 (毫升/升)				0.2~0.8	
	乙醇 (C ₂ H ₅ OH) (毫升/升)					4~5
氰 化 镀 铜 溶 液	氰化亚铜 (CuCN)	8~35	30~50	35~45	50~70	25~30
	氰化钠 (NaCN)	12~54	40~65	50~72	65~92	35~50
	酒石酸钾钠 (KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O)		30~60	30~40	10~20	
	硫氰酸钾 (KSCN)			8~12	10~20	
	氢氧化钠 (NaOH)	2~10	10~20	8~12	15~20	
	碳酸钠 (Na ₂ CO ₃)		20~30	20~30		10~15

镀铜与电铸铜工艺条件

表 1—7

镀 种	工 艺 条 件	1	2	3	4	5
焦 磷 酸 盐 镀 铜 溶 液	pH值	8.2~8.8	8.2~8.8	8.0~8.8	8.0~8.8	
	温度 (°C)	30~50	30~40	30~50	30~50	
	电流密度 (安培/分米 ²)	1.0~1.5	0.6~1.2	1.5~3	1.5~3	
	阴极移动或空气搅拌	需 要	需 要	需 要	需 要	
硫 酸 盐 镀 铜 溶 液	温度 (°C)	20~50	20~30	20~30	10~40	20~40
	电流密度 (安培/分米 ²)	1~3	1~2	1~3	4~8	2~4
	电流效率 (%)	92~96	90~95	92~96	95~100	95~98
	镀层厚度 (微米)	10~20	10~18	10~20	40~50	20~25
氰 化 镀 铜 溶 液	温度 (°C)	18~50	50~60	50~65	55~65	18~25
	电流密度 (安培/分米 ²)	0.2~2	1~3	0.5~2	1.5~3	0.3~0.4

注：预镀铜时采用氰化镀铜配方 1；
 镀铜时采用任何一种配方均可；
 铸铜时可采用焦磷酸盐镀铜配方 3、4；
 硫酸盐镀铜配方 4、5，氰化镀铜配方 2、4。

(24) 化学抛光：以提高表面光洁度，其工艺规范如下：

硝酸 (HNO₃) (1.4) 1 份 (按体积)

磷酸 (H_3PO_4) (1.7)	1 份
醋酸 (CH_3COOH)	1 份
温度	15~40°C
时间	4 ~ 6 秒

(26) 弱腐蚀：在30~50克/升硫酸中处理。

(28) 电铸镍：电铸镍层使其有更高的机械强度与硬度，并提高抗蚀性能及使用寿命。

其化学成分及工艺条件如下：

硫酸镍 ($NiSO_4 \cdot 7H_2O$)	245~255克/升
硼酸 (H_3BO_3)	28~32克/升
硫酸镁 ($MgSO_4$)	28~32克/升
氟化钠 (NaF)	2.8~3.2克/升
十二烷基硫酸钠 ($C_{12}H_{25}SO_4Na$)	0.3~1.5克/升
温度	15~45°C
pH值	3.9~4.5
电流密度	1~4安培/分米 ²
电流效率	95~97%
时间	20小时

(30) 电铸铜：配方与工序22相同。电铸时间根据镀层厚度而定。其铸铜厚度一般在4~5毫米。

(32) 检查：检查尺寸是否符合技术条件要求。

(35) 退芯：在下述碱液中退芯。

氢氧化钠 ($NaOH$)	300~400克/升
温度	沸腾
时间	退尽为止

(37) 退铜：将型腔内的铜层退尽。其工艺规范如下：

铬酐 (CrO_3)	250~300克/升
硫酸铵 [$(NH_4)_2SO_4$]	100~120克/升
时间	退尽为止

3. 注意事项：

(1) 铝芯件经过浸蚀后的各道工序必须迅速进行，工序之间的间隔时间越短越好。

(2) 零件进入酸浸蚀之前应将水尽可能揩干，以免产生局部过腐蚀现象。

(3) 为避免各种溶液互相掺杂，用冷、热水清洗的工序必须彻底进行，必要时洗涤数次或浸一定时间。

(4) 新配制的化学抛光溶液，先进行试验，合乎要求后再进行生产。

(5) 铝芯抛光前要用细铁丝捆扎好。

(6) 二次浸锌时间不宜过长，以免造成过腐蚀现象。

(7) 在热溶液中电镀时，应在热水槽中预热处理。

(8) 电镀过程中应严格防止中途停电，如若停电时，应取出零件刷洗后再经过酸浸蚀处理。

(9) 电镀铜时开始采用较小电流密度，一般为0.8~1安培/分米²，电镀1~2小时后

再提高。为了提高沉积速度，可采用阴极移动和镀液升温到 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的方法，此时允许的电流密度相应提高。有条件可采用超声波搅拌进行电镀以加快沉积速度。

(10) 若不用氰化镀铜，可采用焦磷酸盐镀铜，这样可省去镀铜和抛光等工序。

(11) 铜阳极要用尼龙布袋包扎。

(12) 电铸后的铝芯可用其它材料加固。为装饰和防腐蚀的目的，还可以对电铸铝芯件进行修饰加工，如抛光、镀覆金属镀层和喷漆等。

四、割嘴水冷环

为防止钢板的热变形太大，在嘴上加一直径为8厘米的水冷环，如图1—5所示，在切割的同时，不停地喷出水来，以降低钢板的温度，但又不影响切割。

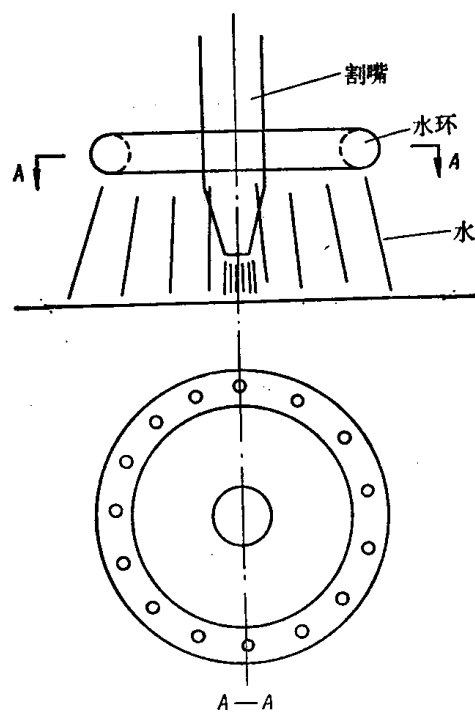


图1—5 割嘴水冷环

第二章 数控技术基础知识

数字程序控制技术是一门先进的技术，它涉及到许多方面的知识，为了便于后边介绍数控技术在精密火焰切割机上的应用，本章将一些与本切割机有关的数控技术基础知识简单地加以介绍。

第一节 二进制和二进制四则运算

机床数控计算机中要进行一些数据的运算，并根据运算结果去控制机床的加工。而数字符号在计算机中是用电子开关元件的不同状态来表示的，因此首先遇到的问题就是数在计算机中的表示方法和数的进制等问题。

一、各种计数制

(一) 十进制数的表示

十进制是我们最常用和最熟悉的计数制，它的数值部分都是用十个不同的数字符号，0、1、2、3、4、5、6、7、8、9来表示的。我们把这些数字叫作数码。这些数码处于不同的位置它们所代表的意义就不同。例如：1969.5这个数，小数点左边的9处于个位，代表9；6处于十位，代表 6×10 ；而第二个9处于百位，代表 9×100 ；1处于千位，代表 1×1000 ；而小数点右边的5处于 10^{-1} 位，而代表 5×10^{-1} 。所以这个数可以写为：

$$1969.5 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$$

由此可推论出任何一个十进制的数都可表示为：

$$S = K_n 10^n + K_{n-1} 10^{n-1} + \dots + K_0 10^0 + K_{-1} 10^{-1} + \dots$$

$$K_{-m} 10^{-m} = \sum_{j=-n}^{-m} K_j 10^j$$

其中 K_j 可以是0、1、2、3、4、5、6、7、8、9十个数码中任何一个， m 和 n 为正整数；10称为计数制的基数。由于基数是十，所以每位满十即向高位进一。俗称“逢十进一”就是十进制计算制。

(二) 二进制数的表示

十进制在日常生活中用的最多，它的各种运算（加、减、乘、除等）我们已很熟悉。但是十进制计数用到数控技术中很不方便，它需要一种有十种不同状态的装置，这在实际应用中比较困难，因此数控技术中常用二进制表示“数”。

二进制数每个数位只需要用两个状态予以显示，所以只用两个数码“0”和“1”就可以了。它的基数是“10”即十进制的2，所以是“逢二进一”。因此任何一个二进制的数 S 都可表示为：

$$S = K_n 2^n + K_{n-1} 2^{n-1} + \dots + K_0 2^0 + K_{-1} 2^{-1} + \dots$$