

# 学士学位论文

## 石墨电极镗孔专机机械系统设计

## 摘 要

石墨电极是电弧炉炼钢或其他电冶金行业的重要导电材料，随着电弧炉炼钢和其他电冶金行业的发展，石墨电极生产已经成为国民经济中不可缺少的部门之一，在国家历次发布的技术发展政策中均被列为重点发展内容。

本文主要讨论石墨电极镗孔专机机械系统设计，主要包括机床床身结构的设计，托料架的设计，夹具及夹紧机构的设计。通过GSK96 数控系统和PLC 实现专机的自动控制。石墨电极接头生产采用数控加工，其优点是加工质量稳定、可靠加工精度高、具有高度柔性、生产率高、改善劳动条件、利于生产管理，减轻工作人员压力，降低生产成本，提高经济效益。

关键词：石墨电极；夹紧机构；夹具； GSK96

## **Abstract**

Graphite electrode is an important conductive material for the electric arc furnace steel-making or other electric metallurgical industry. With the development of the electric arc furnace steelmaking and other electric metallurgical industry, the production of graphite electrodes has become an indispensable one of the sectors in the national economy, and was classified as key development of content each time in our country's technology development policies in the past.

With graphite electrode boring plane mechanical system design were discussed in this paper, mainly including the design of the machine tool lathe bed structure, rack design, design of fixture and clamping mechanism. Through GSK96 and PLC digital control system to realize automatic control. Graphite electrode joint production adopts numerical control processing, its advantage is that machining quality is stable, reliable, high precision, highly flexible, high productivity, improve working conditions, conducive to production management, reduce the staff pressure, reduce the production cost, improve the economic benefit.

**Key words:** Graphite electrode;; Clamping mechanism; Fixture;GSK96

## 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 研究的目的及意义 .....	1
1.2 国内外发展及状况 .....	1
1.3 课题研究内容分析 .....	2
1.4 课题研究的主要内容 .....	2
1.5 本章小结 .....	3
第二章 系统总体方案设计 .....	4
2.1 技术要求 .....	4
2.1.1 石墨电极接头参数 .....	4
2.1.2 机床的技术要求 .....	4
2.2 机床控制方式 .....	5
2.3 镗孔专机机床结构设计 .....	5
2.4 镗孔专机运动方案确定 .....	5
2.5 镗孔专机夹紧系统运动方案设计 .....	6
2.6 本章小结 .....	6
第三章 主传动设计 .....	7
3.1 主轴电机的选择 .....	7
3.1.1 主轴电机的功率计算 .....	7
3.2 滚子链的设计 .....	8
3.2.1 链传动的优缺点 .....	8
3.2.2 滚子链传动的设计计算 .....	9
3.3 减速器的选择 .....	10
3.3.1 减速器的作用 .....	10
3.3.2 减速器的分类 .....	10
3.3.3 镗孔专机减速器的选择 .....	10
3.4 主传动轴的设计计算与校核 .....	11
3.4.1 主轴基本尺寸的确定 .....	11
3.4.2 主轴强度校核 .....	12
3.4.3 主轴刚度校核 .....	13
3.5 键的选择与校核计算 .....	13
3.5.1 键连接的功能及分类 .....	14
3.5.2 键的选择 .....	14

3.5.3 键的校核 .....	14
3.6 轴承的选择 .....	15
3.6.1 轴承的特点及分类 .....	15
3.6.2 轴承类型的选择方法 .....	15
3.6.3 镗孔专机轴承的选择 .....	15
3.7 本章小结 .....	18
第四章 系统主要结构设计 .....	19
4.1 夹具的设计 .....	19
4.1.1 机床夹具的基本要求 .....	19
4.1.2 夹具结构设计 .....	19
4.2 夹紧装置传动机构的设计 .....	20
4.2.1 夹紧装置的要求 .....	20
4.2.2 夹紧装置传动机构的设计方案 .....	21
4.2.3 传动装置的结构 .....	21
4.3 托举机构的设计 .....	21
4.3.1 支撑件的功用 .....	22
4.3.2 对支撑件的基本要求 .....	22
4.3.3 支撑件的设计步骤 .....	22
4.3.4 支撑件的结构设计 .....	22
4.3.5 镗孔专机对托举机构的要求 .....	23
4.3.6 托举机构结构设计 .....	23
4.3.7 托举机构材料的选择 .....	24
4.4 本章小结 .....	24
第五章 丝杠的选择 .....	25
5.1 滚珠丝杠传动的特点 .....	25
5.2 滚珠丝杠的工作原理和结构 .....	25
5.3 滚珠丝杠的选择计算 .....	26
5.3.1 进给率引力 $F_m$ 的计算 .....	26
5.3.2 最大动载荷 $C$ 的计算 .....	26
5.3.3 滚珠丝杠的选择 .....	27
5.4 滚珠丝杠的效率计算 .....	28
5.5 刚度验算 .....	28
5.6 压杆稳定性校核 .....	29
5.7 本章小结 .....	29
第六章 导轨的选择 .....	30

6.1 导轨主要功能.....	30
6.2 导轨的基本形式 .....	30
6.3 间隙调整.....	31
6.4 导轨的润滑.....	32
6.5 润滑油的选择 .....	32
6.6 本章小结 .....	33
第七章 结论 .....	34
致 谢 .....	35
参考文献 .....	36

## 第一章绪论

### 1.1 研究的目的及意义

炭素行业是国家重点支持的基础原材料产业，其主导产品石墨电极是钢铁工业炼钢过程中使用的不可替代的耐高温、耐氧化的导电材料[1]。

石墨电极，主要以石油焦、针状焦为原料，煤沥青作结合剂，经煅烧、配料、混捏、压型、焙烧、石墨化、机加工而制成，是在电弧炉中以电弧形式释放电能对炉料进行加热熔化的导体，根据其质量指标高低，可分为普通功率、高功率和超高功率。

石墨具有以下铜无法比拟的优质特性，加工速度：高速铣粗加工较铜快3倍，高速铣精加工较铜快5倍；可加工性好，能够实现复杂的几何造型；重量轻，密度不足铜的1/4，电极容易夹持，可减少单个电极的数量，因为可捆绑做成组合电极；热稳定性好，不变形无加工毛刺[2]。



图1.1 石墨电极及接头

随着石墨电极市场竞争日趋激烈，电极市场由国内逐步向国外市场开拓，对石墨电极质量的要求已不仅仅局限在电极内部。由于石墨电极是冶金行业，有色金属等行业必需的产品，所以电极的质量与产量将直接影响上述行业的发展。

### 1.2 国内外发展及状况

国际炭素行业起步已久，加工工艺已经成熟，已经达到了大型规模全自动化生产的阶段，并且可以大规模生产大规格超高功率石墨电极及接头产品。其技术领先的国家及公司有：

美国：步高 (POCO) 石墨公司、尤卡炭素公司、斯塔克浦尔炭素公司。

日本：东洋炭素有限公司、东海碳素有限公司、新日本科技炭素有限公司。

德国：西格里碳素集团、逊克炭素公司。

法国：罗兰炭素公司。

我国有超过150 家的炭素企业，主要石墨电极生产企业包括方大炭素(22%)、中钢吉炭(20%)、南通扬子(10%)等，三者合计占据52%的市场份额；高功率与超高功率石墨电极行业集中度更高，方大炭素与中钢吉炭两家合计占60%以上的市场份额。

吉林薛氏炭素有限公司位于吉林省吉林市，是国内仅有的做石墨电极加工机床的厂家之一。近年来该公司发展迅速，已经形成了石墨电极的加工生产线，其制造的机床深受国内外人士的好评。

### 1.3 课题研究内容分析

石墨电极本体加工工艺如图1.2所示[3]。

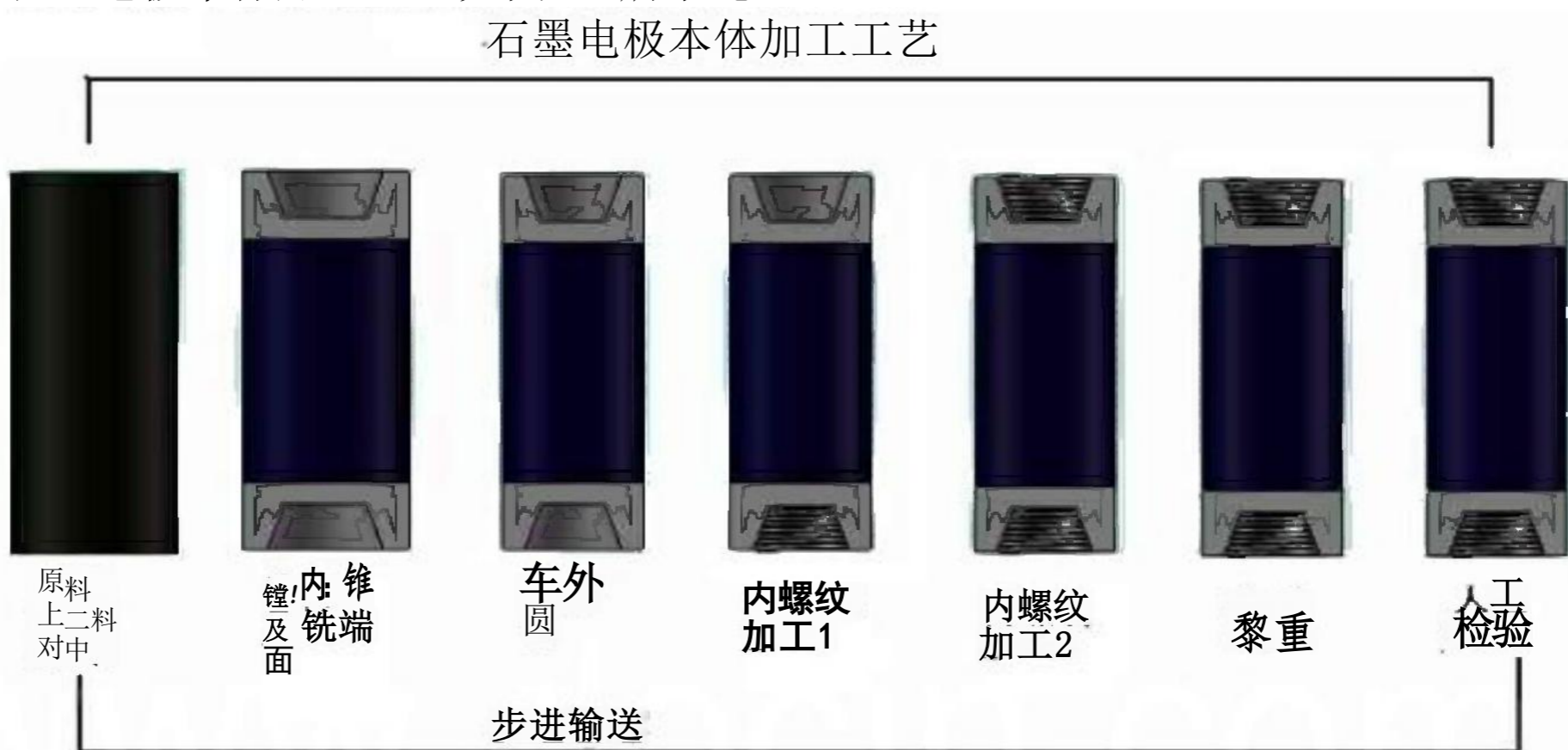


图1.2 石墨电机本体加工工艺图

石墨电极本体加工工艺主要包括：原料上料对中、镗内锥及铣端面、车外圆、加工螺纹、称重，人工检验等。本课题研究该生产线中第二道工序：镗内锥及铣端面专机机械系统设计。通过数控系统控制专机的伺服系统、进给系统和夹紧装置来完成镗孔加工工艺。

### 1.4 课题研究的主要内容

- (1) 了解石墨电极本体加工工艺过程。
- (2) 了解镗孔专机的电气控制系统、液压系统。
- (3) 掌握石墨电极镗孔机械加工工作过程。
- (4) 详细设计石墨电极镗孔专机机械系统。

### 1.5本章小结

本章节对课题的背景进行了大体的概括，介绍了炭素行业石墨电极的工业应用及其在国民经济中的重要地位，了解了石墨电极的加工工艺以及本镗孔专机的重要性，为后来的设计进行铺垫。

## 第二章系统总体方案设计

### 2.1 技术要求

#### 2.1.1 石墨电极接头参数

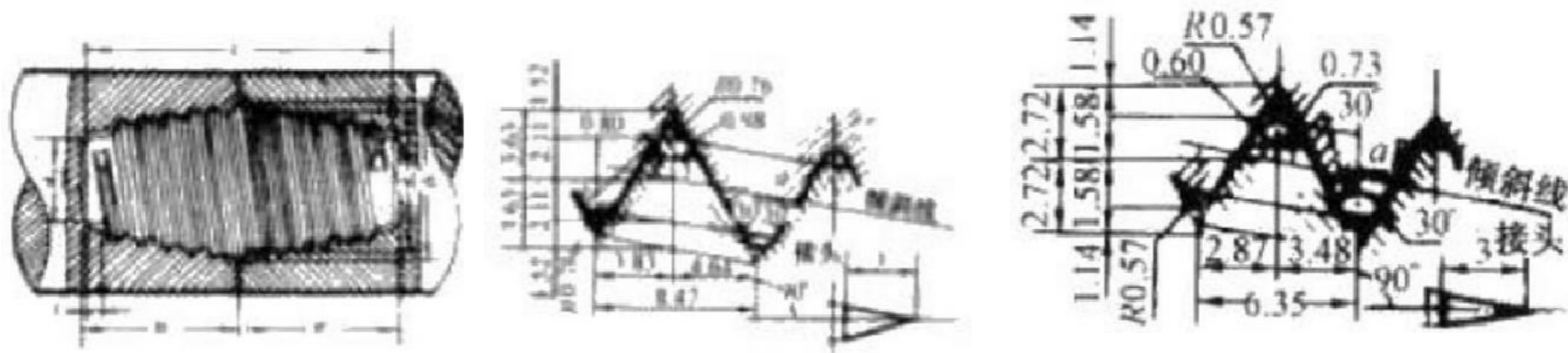


图2.1 石墨电极接头参数

表2.1接头尺寸表(一寸四扣)

电极直径 (/mm)	接头 (/mm)				接头孔 (/mm)				螺距 (/mm)				
	D	L	d2	l	d1	H							
200	122.2	-0.5	177.8	-1	80	-3	115.9	+0.5	91.9	+6 ~ +8.0	6.35		
	4												
250	152.4		190.5		108		146.0		101.3				
300	177.8		215.9		129.2		171.4		114				
350	203.2		254		148.2		196.8		133				
400	222.2		304.8		158.2		215.9		158.4				
450	241.3		304.8		177.9		234.9		158.4				
500	269.8		355.6		198		263.5		183.8				
	8												

#### 2.1.2 机床的技术要求

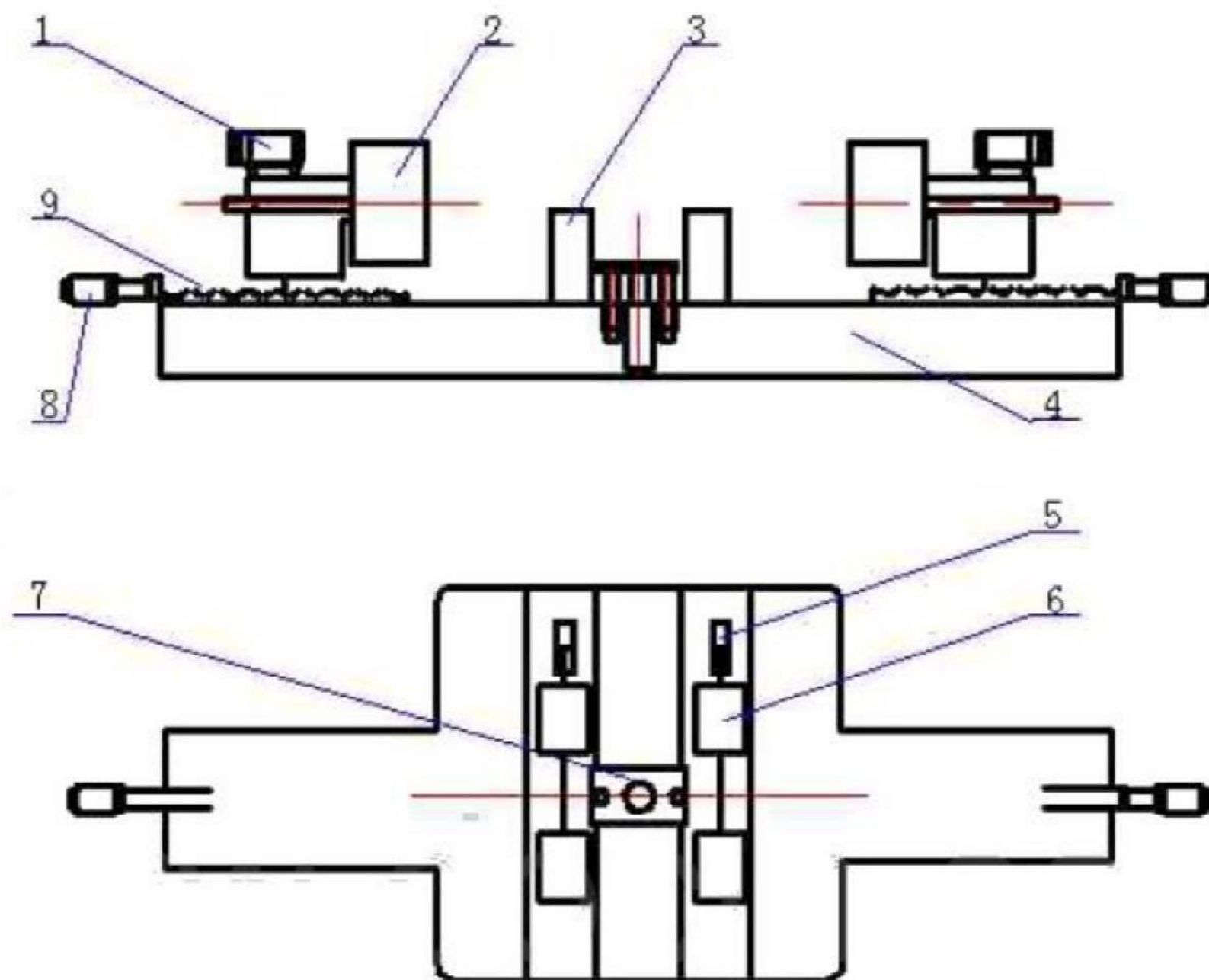
鑫源碳素镗孔专机加工石墨电极直径250~600mm, 长度L=1800~2400mm, 主轴转速n=200r/min, 精度为0.03~0.04mm,采用专用铣刀强力铣削, 加工时间t=2.5 分钟。

## 2.2 机床控制方式

鑫源碳素镗孔专机采用半闭环控制，采用广州数控 GSK96 系统，该系统具有操作简单，维护方便，性能优越，加工质量稳定、加工精度高、具有高度柔性、生产率高、改善劳动条件、利于生产管理现代化并且能全自动的加工石墨电极，减轻工作人员压力，降低生产成本，提高经济效益等优点。

## 2.3 镗孔专机机床结构设计

镗孔专机机床主要结构如图2.2所示4。



1. 主轴电机 2. 除尘罩(刀具) 3. 夹具 4. 床身 5. 液压缸 6. 滑台 7. 托料架 8. 伺服电机 9. 滚珠丝杠

图2.2 机床结构示意图

## 2.4 镗孔专机运动方案确定

动力头为机床主轴提供动力，是机床的重要动力部件，为机床主轴提供主运动。主运动由电机驱动，经过减速器和链轮传递给主轴，机床主轴带动刀具旋转完成镗孔动作。进给运动采用伺服电机通过滚珠丝杠机构传动，刀具的进给运动为机床在水平面内的前进与退回运动。进给系统总体方案框图如图2.3所示。

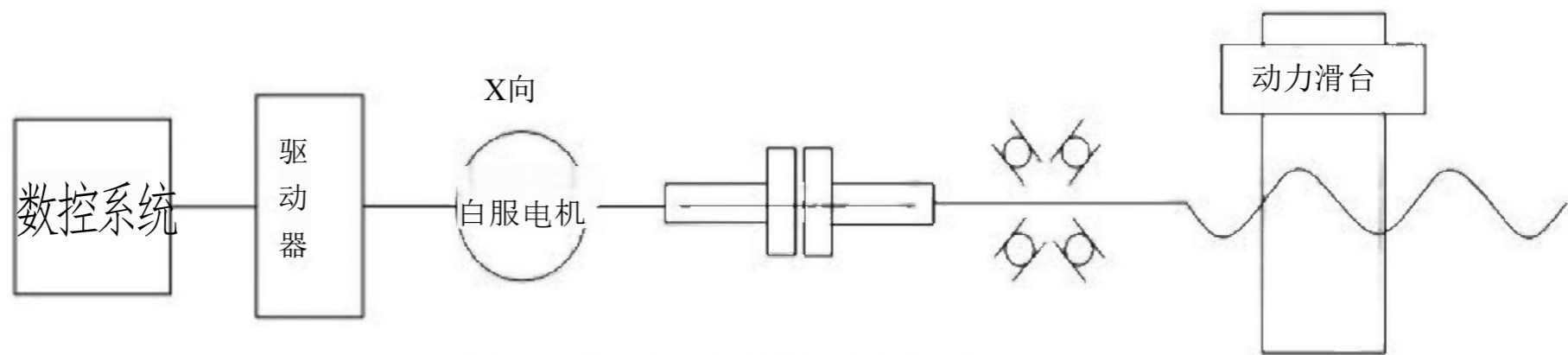


图2.3 进给系统总体方案框图

## 2.5 镗孔专机夹紧系统运动方案设计

夹紧装置要求具有较高的同步性，采用液压控制方式，其优点是结构简单，运行可靠，安装调试方便。液压同步缸控制动力滑台运动，滑台上装有夹紧机构来完成工件的夹紧。

## 2.6 本章小结

鑫源碳素镗孔专机是数字控制专用机床，本章主要对系统控制方式、机床参数以及运动方式进行了阐述，了解了机床的特点，明确了本专机机械结构设计内容。

## 第三章 主传动设计

### 3.1 主轴电机的选择

#### 3.1.1 主轴电机的功率计算

按在加工过程中遇到的最大切削力和最大切削速度来计算，鑫源炭素镗孔加工由于使用专用刀具，切削力较大，所以根据铣削进行计算。即：

$$F_c = \frac{C_F \cdot a_p^{k_1} \cdot f_z^{k_2} \cdot a_w \cdot Z}{d_a^{k_3} \cdot n^{k_4}} \times K \times K_1 \times 10 \quad (3.1)$$

式中  $F_c$ ——切削力(N);

$a_p$ ——切削深度(mm);

$f_z$ ——每齿进给量 (mm/z);

$a_w$ ——切削宽度 (mm);

$d_a$ ——刀具直径 (mm);

$K$ ——刀具前角对切削力的影响系数;

$K_1$ ——切削速度对切削力的影响系数;

$n$ ——铣刀转速(r/min)。

由于石墨硬度未知，可按灰铸铁进行参数选择，根据《切削用量简明手册》[S]查得如表3.1所示。

表3.1 铣削参数

铣刀类型	刀具材料	公式中的系数及指数					
		CF	XF	YF	$\mu r$	WF	qF
加工灰铸铁硬度190HBS							
端铣刀	硬质合金	54.5	0.9	0.74	1.0	0	1.0
圆柱铣刀		58	1.0	0.8	0.9	0	0.9
圆柱铣刀 立铣刀	高速钢	30	0.1	0.65	0.83	0	0.83

根据加工电极最大直径为600mm，由2.1.1 石墨电极接头参数选择刀具直径  $d=125\text{mm}$ ，齿数  $Z=12$ ，主轴转速  $n=196\text{r/min}$ ，铣刀每齿进给量  $f=0.18\text{mm/z}$ ，切削深度<sup>2</sup>  $=7.5\text{mm}$ 。因刀具材料为硬质合金，所以按硬质合金刀具进行铣削参数选择。如表3.2所示。

表3.2 刀具前角对切削力影响系数K

前角 $\gamma_o$	15°	15°	5	0	-5°	-10°	-15	-20°
K	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6

刀具前角  $\gamma=5^\circ$ ，所以  $K=1.1$ 。

铣削速度：

$$v_c = \frac{\pi d_o n}{1000} = \frac{3.14 \times 125 \times 196}{1000} = 76.93 \text{ m/min} \quad (3.2)$$

根据表3.3所示切削速度对切削力的影响系数。

表3.3切削速度对切削力影响系数K

切削速度 V(m/min)	50	75	100	125	150	175	200	250
K <sub>1</sub>	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86

选取 K<sub>1</sub>=0.98

算得最大铣削力

$$F_c = \frac{C_c \cdot a^{0.75} \cdot f^{0.75} \cdot a^{0.75} \cdot Z}{d_o^{0.75} \cdot n^{0.75}} \times K \times K_1 \times 10 = \frac{58 \times 7.5 \times 0.18^{0.75} \times 240 \times 12}{125^{0.75} \times 196^{0.75}} \times 1.1 \times 0.98 \times 10 = 43.85 \text{ kN} \quad (3.3)$$

铣削最大功率

$$P_c = \frac{F_c V_c}{60000} = \frac{43.85 \times 76.93}{60000} = 56.22 \text{ kW} \quad (3.4)$$

因为所选减速器传动比为1:11, 链轮传动比为1:1, 所以主轴电机功率

$$P = \frac{P_c}{11} = \frac{56.22}{11} = 5.11 \text{ kW} \quad (3.5)$$

由于实际加工环境较恶劣, 影响铣削力的因素又有很多, 例如:

- (1) 刀具的齿数;
- (2) 刀具的直径;
- (3) 切削速度;
- (4) 切削宽度;
- (5) 每齿进给量;

所以本设计只是给出其中一种设计计算的方案, 结合实际加工时的情况选择电机型号为11KW 三项异步电机, 型号为Y2—160M—4, 额定电压为380V, 满载转速为1460r/min, 防护等级IP55.

### 3.2滚子链的设计

#### 3.2.1 链传动的优缺点

链传动是一种挠性传动, 它由链条和链轮组成。通过链轮轮齿与链条链节的啮合来传递运动和动力。链传动在机械制造中应用广泛。

与摩擦型的带传动相比, 链传动无弹性滑动和整体打滑现象, 因而能保持准确的平均传动比, 传动效率高; 又因为链条不需要像带那样张的很紧, 所以作用于轴上的径压力较小; 链条采用金属材料制造, 在同样的制造条件下, 链传动的整体尺寸较小, 结构较为紧凑; 同时, 链传动能在高温和潮湿的环境中工作。

与齿轮传动相比, 链条的安装精度要求较低, 成本低。在远距离传动时, 其结构

比齿轮传动轻便的多。

链传动的缺点是：只能实现平行轴之间的传动；运转时不能保持恒定的瞬时传动比；磨损后易发生跳齿；工作时有噪声。

### 3.2.2 滚子链传动的设计计算

#### 1. 选择链齿数

取小链轮齿数  $Z_1=25$ ，大链轮的齿数

$$Z_2 = iz_1 = 1 \times 25 = 25 \quad (3.6)$$

#### 2. 确定计算功率

根据《机械设计手册》第四版查得  $k_s=1.4, K_A=1.0$ ，单排链，则计算功率为

$$P_o = K_A K_s P = 1.4 \times 1.0 \times 5.5 \text{KW} = 7.7 \text{KW} \quad (3.7)$$

式中：  $K_A$  --- 工况系数

$k_s$  --- 主动链轮齿数系数

$P$  --- 电动机额定功率

#### 3. 选择链条型号及节距

根据  $P_o = 7.7 \text{KW}$  及  $n_1 = 136 \text{r/min}$ ，查《机械设计》，纪名刚主编，可选 16A-1。查得链条节距为  $p = 25.4$ 。

#### 4. 计算链节数

初选中心距

$$a_o = (30 \sim 50)p = (30 \sim 50) \times 25.4 \text{mm} = 762 \sim 1270 \text{mm} \quad (3.8)$$

取  $a = 800 \text{mm}$ 。相应的链长节数为

$$L_{p} = 2 \frac{a_o}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{p}{a_o} = 2 \times \frac{800}{25.4} + \frac{25 + 25}{2} + \left( \frac{25 - 25}{2\pi} \right)^2 \times \frac{25.4}{800} \approx 88 \quad (3.9)$$

取链长节数  $L = 88$  节。

#### 5. 计算链速，确定润滑方式

$$v = \frac{n_1 z_1 p}{60 \times 1000} = \frac{136 \times 25 \times 25.4}{60 \times 1000} \text{m/s} \approx 1.44 \text{m/s} \quad (3.10)$$

由  $v = 1.44 \text{m/s}$  和链号 16A-1 可查得采用滴油润滑。

#### 6. 计算压轴力 $F_p$

有效圆周力为：

$$F_t = 1000 \frac{P}{v} = 1000 \times \frac{5.5}{1.44} = 3819.4 \text{N} \quad (3.11)$$

链轮水平布置时的压轴力系数  $K_p = 1.15$ ，则压轴力为

$$F = K F_t = 1.15 \times 3819.4 = 4392.3 \text{N} \quad (3.12)$$

根据以上计算选择链条型号为：16A-1×88。

### 3.3 减速器的选择

#### 3.3.1 减速器的作用

减速机是一种动力传达机构，利用齿轮的速度转换器，将电机(马达)的回转数减速到所要的回转数，并得到较大转矩的机构。在目前用于传递动力与运动的机构中，减速机的应用范围相当广泛。几乎在各式机械的传动系统中都可以见到它的踪迹，从交通工具的船舶、汽车、机车，建筑用的重型机具，机械工业所用的加工机具及自动化生产设备，到日常生活中常见的家电，钟表等等。其应用从大动力的传输工作到小负荷、精确的角度传输都可以见到减速机的应用，且在工业应用上，减速机具有减速及增加转矩功能。

#### 3.3.2 减速器的分类

减速机是一种相对精密的机械，使用它的目的是降低转速，增加转矩。它的种类繁多，型号各异，不同种类有不同的用途。按照传动类型可分为齿轮减速器、蜗杆减速器和行星齿轮减速器；按照传动级数不同可分为单级和多级减速器；按照齿轮形状可分为圆柱齿轮减速器、圆锥齿轮减速器和圆锥—圆柱齿轮减速器；按照传动的布置形式又可分为展开式、分流式和同轴式减速器。以下是常用的减速机分类：

- (1) 摆线针轮减速机
- (2) 硬齿面圆柱齿轮减速器
- (3) 行星齿轮减速机
- (4) 软齿面减速机
- (5) 三环减速机
- (6) 起重机减速机
- (7) 蜗杆减速机
- (8) 轴装式硬齿面减速机
- (9) 无级变速器

#### 3.3.3 镗孔专机减速器的选择

根据工艺要求、机床结构特点及转速选择减速器，已知主轴电机额定转速 $n=1460\text{r/min}$ ，选择摆线针轮减速器，其型号为BWD4-11-11，中心高为200mm，传动比为1:11。摆线针轮减速器具有如下优点：

1. 传动比大：摆线针轮减速机一级减速时传动比为1:7到1:87；两级减速时传动比为121~7569，用户也可以根据自己的实际需要选用减速比更大的三级减速。

2. 传动效率高；

3. 保养方便(润滑方式)：

#6125以下使用不要保养的专用高级油脂；

#### 4. 体积小，重量轻：

摆线针轮减速机采用行星传动原理，输入轴和输出轴在同一轴线上而且有与电动机直联呈一体的独特之处，因而摆线针轮减速机本身具有结构紧凑，体积小、重量轻的特点。用它代替两级普通圆柱齿轮减速器，体积可减少 $1/2 \sim 2/3$ ；重量约减轻 $1/3 \sim 1/2$ 。

#### 5. 拆装方便，容易维修：

由于摆线针轮减速机结构设计合理、拆装简单便于维修，使用零件个数少以及润滑简单。

#### 6. 使用可靠、故障少、寿命长：

主要传动啮合件使用耐磨耗及耐疲劳性能良好的高碳铬轴承钢制造，经淬火处理(HRC58-62) 获得高强度，因此摆线针轮减速机机械性能好，耐磨性能好；运转接触采用滚动磨擦，基本上无磨损，故故障少、寿命长，其寿命较普通齿轮减速器可提高2-3倍。

#### 7. 运行平稳，噪音小：

摆线针齿啮合齿数较多，重叠系数大以及具有机件平稳的机理，使振动和噪声限制在最小程度。

### 3.4 主传动轴的设计计算与校核

#### 3.4.1 主轴基本尺寸的确定

镗孔机床主轴传递的功率为56.22kW，最大转速 $n_{max} = 136 \text{r/min}$ ，选用轴的材料为45号钢，机床主轴为传动轴，主要承受扭矩，所以按照扭转强度条件计算。扭转的强度条件为[6]

$$\tau_r = \frac{T}{W_r} = \frac{9550000}{0.2d^3} \frac{P}{n} \leq [\tau_r] \quad (3.13)$$

式中 $\tau_r$ ——扭转切应力，MPa；

T——轴所受的扭矩，N-mm；

$W_r$ ——轴的抗扭截面系数， $\text{mm}^3$ ；

n——轴的转速，r/min；

P——轴传递的功率，KW；

d——计算截面处轴的直径，mm

$[\tau_r]$ ——许用扭转切应力，MPa，见表3.4。

表3.4轴常用几种材料的 $[\tau_1]$ 及 $A_0$ 值

轴的材料	Q235-A、20	Q275 35(1C, 18N;9T)	45	40Cr、35S;Mn 38S;MnMo
$[\tau_1]/\text{MPa}$	15~25	20~35	25~45	35~55
$A_0$	149~126	135~112	126~103	112~97

由上式可得轴的直径

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{9550000}{0.2[\tau_1]}} \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = A_0 \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (3.14)$$

式中

$$A_0 = \sqrt[3]{\frac{9550000}{0.2[\tau_1]}} \quad (3.15)$$

对于空心轴

$$d \geq A_0 \sqrt[3]{\frac{P}{n(1-\beta^4)}} \quad (3.16)$$

式中， $\beta = \frac{d_1}{d}$ ，即空心轴的内径与外径之比，通常取 $\beta = 0.5 \sim 0.6$

根据表3.4，选取 $[\tau_1]=35, \beta=0.55$ ，所以

$$A_0 = \sqrt[3]{\frac{9550000}{0.2[\tau_1]}} = \sqrt[3]{\frac{9550000}{0.2 \times 35}} = 110.91 \quad (3.17)$$

$$d \geq A_0 \sqrt[3]{\frac{P}{n(1-\beta^4)}} = 110.91 \sqrt[3]{\frac{56.22}{136(1-0.55^4)}} = 85.26 \text{ mm} \quad (3.18)$$

考虑到实际机床结构要求以及轴向的定位要求设计轴的基本尺寸如下：

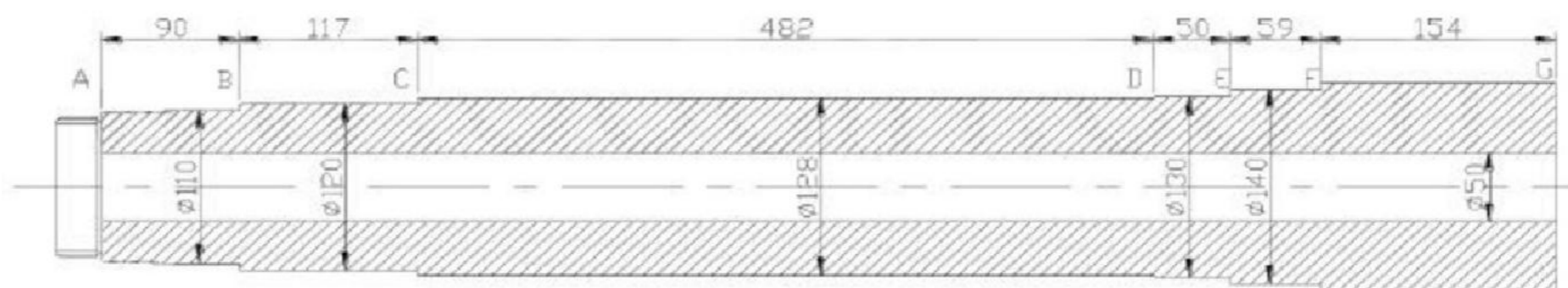


图3.1 轴的结构

### 3.4.2 主轴强度校核

#### 1. 计算外力偶矩

根据轴在实际工作过程中的受力情况，其受力简图如图3.2所示，



图3.2 主轴受力简图

计算出主轴的外力偶矩如下：

已知主轴电机为11kW，摆线针轮减速器效率为93%，链轮效率为95%，

$$M_A=M_B=9550 \frac{P_d}{n} = 9550 \frac{11 \times 0.93 \times 0.95}{136} = 682.43 \text{ N.m} \quad (3.19)$$

2. 画轴的扭矩图，确定危险截面

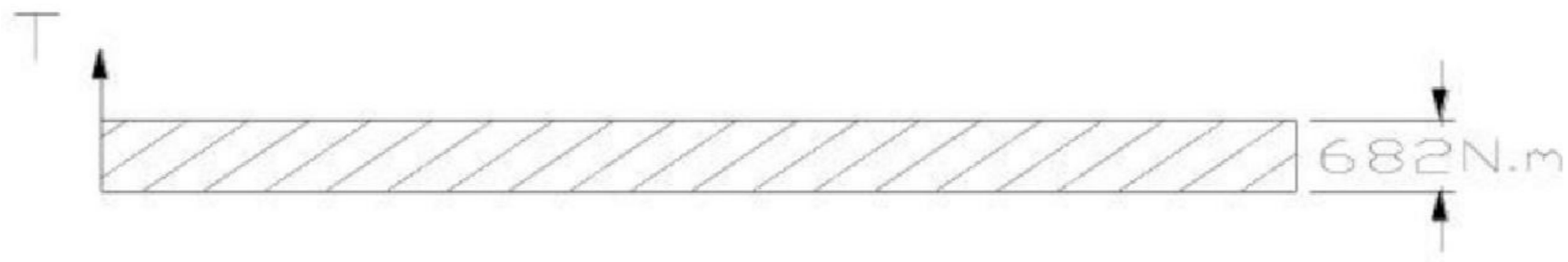


图3.3 扭矩图

根据图3.1, 可以确定危险截面处于 AB 段,  $d=110\text{mm}$ ,  $\beta=\frac{d_i}{d} = \frac{50}{110} = 0.46$ ,

许用扭转切应力 $[\tau]=35\text{MPa}$ 。

3. 强度校核

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{W_t} = \frac{682}{0.2 \times 110^3 (1 - 0.46^4)} = 2.52 \leq [\tau_t] \quad (3.20)$$

所以轴的强度足够。

### 3.4.3 主轴刚度校核

按照刚度条件式

$$\psi = \frac{T_{\max}}{GI_p} \times \frac{180}{\pi} \leq [\psi] \quad (3.21)$$

式中:  $T$ ——横截面上的最大扭矩;

$G$ ——材料的剪切弹性模量;

$I_p$ ——横截面对圆心的极惯性矩;

$[\psi]$ ——单位长度的许用扭转角;

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} (1 - \beta^4) \approx 0.1 d^4 (1 - \beta^4) \quad (3.22)$$

式中 $\beta=\frac{d_i}{d}$ , 即空心轴的内径与外径之比。

已知轴的材料为45号钢,  $G=80 \times 10^3 \text{MPa}$ , 由于机床要求精度较高, 所以取 $[\psi]=0.4/\text{m}$

$$\psi = \frac{T_{\max}}{GI_p} \times \frac{180}{\pi} = \frac{682}{80 \times 10^3 \times 0.1 \times 0.11^4 (1 - 0.46^4)} \times \frac{180}{3.14} = 0.03^\circ / \text{m} \leq [\psi] \quad (3.23)$$

所以轴的刚度足够。

### 3.5 键的选择与校核计算

镗孔专机主轴链轮处采用键连接, 主轴所传递的扭矩为 $682.43\text{N}\cdot\text{m}$ 。