

丝网印花机系统设计

1 前言

1.1 选题的依据及意义：

纺织品印花技术的发展进程古老绵长，在人类纪元的第一个千年中，我们的祖先在织物印花技艺的发展上作出了卓越的贡献，现今常见的各种印花工艺如直接印花，防染印花以及轧染、蜡染工艺的发源地都在中国。

近年来，我国印染业得到了前所未有的发展。印花机械产业依托大行业的大好形势和自身产业不断整合、改造、技术进步，产业整体水平得到快速提升。也正是在这种环境下，各种先进的自动印花设备应运而生，并在纺织，制鞋，印刷等印染行业扮演着越来越重要的角色。由于其自动化程度高、控制简便、结构简单、价格低廉的优点使得其在家庭企业，中小企业、民营单位甚至轻工业领域都有很高的使用度。其重要性不言而喻，对其进行研究和开发具有很大的市场空间和实用价值。

1.2 国内外研究概况及发展趋势：

近两年来，国内外印染新工艺、新技术、新设备不断涌现，显示出全球印染机械行业蓬勃发展的势头。节能、环保、高效是 21 世纪印染工业可持续发展的方向，短流程以及无水加工技术、无制版印花技术、低温等离子处理等新技术和自动化技术是未来印染机械的发展趋势。

自 CITME ' 2002 以来，我国印染业得到了前所未有的发展。规模以上企业已达 1370 家，产量从 1995 年 136 . 48 亿米增加至 2003 年 251 . 32 亿米，约占全球印染布总量 30%；印染主要六大类产品出口 75 . 78 亿米，同比增长 35 . 30%。印花产业依托大行业的大好形势和自身产业不断整合、改造、技术进步，产业整体水平得到快速提升，产量、质量、花色品种、产品结构均取得了令人瞩目的成绩。据 2003

年统计，我国拥有各种印花设备 2000 余台，其中辊筒印花机 145—174 台，圆网印花机 610—630 台，平网印花机 1377 台。除辊筒印花机外，70%圆、平网来自荷兰、瑞士、奥地利、意大利、德国、日本等先进国家和国内印染机械制造佼佼者如上印机、黄石纺机、浙江印机等厂家。

目前印染设备技术发展总的趋势是：向环境保护、节能降耗、省时高效、短流程方面发展，重视无水加工技术、无制版印花技术、低温等离子处理等新技术；另一重要趋势是广泛采用自动化技术，传动系统采用交流变频多单元同步调速系统；在控制系统方面，广泛应用可编程控制器(PLC)或工业计算机控制(IPC)，参数在线监控普遍应用，提升了染整设备的自动化程度，使工艺稳定性、重现性得以大幅度提高。

1.3 PLC 控制系统的发展概况：

1.3.1 国外 PLC 发展概况

PLC 自问世以来，经过 40 多年的发展，在美、德、日等工业发达国家已成为重要的产业之一。世界总销售额不断上升、生产厂家不断涌现、品种不断翻新。产量产值大幅度上升而价格则不断下降。

目前，世界上有 200 多个厂家生产 PLC，较有名的：

美国：AB 通用电气、莫迪康公司；

日本：三菱、富士、欧姆龙、松下电工等；

德国：西门子公司；

法国：TE 施耐德公司；

韩国：三星、LG 公司等。

1.3.2 技术发展动向

1. 产品规模向大、小两个方向发展。

大：I/O 点数达 14336 点、32 位为微处理器、多 CPU 并行工作、大容量存储器、扫描速度高速化。

小：由整体结构向小型模块化结构发展，增加了配置的灵活性，降低了成本。

2. PLC 在闭环过程控制中应用日益广泛。

3. 不断加强通讯功能。

4. 新器件和模块不断推出

高档的 PLC 除了主要采用 CPU 以提高处理速度外，还有带处理器的 EPROM 或 RAM 的智能 I/O 模块、高速计数模块、远程 I/O 模块等专用化模块。

5. 编程工具丰富多样，功能不断提高，编程语言趋向标准化

有各种简单或复杂的编程器及编程软件，采用梯形图、功能图、语句表等编程语言，亦有高档的 PLC 指令系统。

6. 发展容错技术

采用热备用或并行工作、多数表决的工作方式。

7. 追求软硬件的标准化。

1.3.3 国内发展及应用概况

我国的 PLC 产品的研制和生产经历了三个阶段：顺序控制器（1973~1979）——一位处理器为主的工业控制器（1979~1985）——8 位微处理器为主的可编程序控制器（1985 以后）。在对外开放政策的推动下，国外 PLC 产品大量进入我国市场，一部分随成套设备进口。如宝钢一、二期工程就引进了 500 多套，还有咸阳显象管厂、秦皇岛煤码头、汽车厂等。现在，PLC 在国内的各行各业也有了极大的应用，技术含量也越来越高。

1.4. 设计要求及工作内容：

本课题主要包含自动印花设备的机械结构设计和 PLC 控制系统设计两个部分。

1. 本自动印花设备由可转位的工作台，可上下、左右移动的印花机构，和可左右移

动的推网机构组成。通过各机构的协调动作，实现自动印花过程。

2. 设计工作台的结构。

3. 设计印花机构和推网机构的机械结构。

4. 设计控制系统的电路，实现工作台和印花机构的逻辑动作。

在自动印花设备结构设计时，采用了外槽轮机构带动工作台旋转，并在印花机构和推网机构中采用螺旋机构进行传动。最后成形时所包含的主要部件是底座、槽轮、销子、螺杆、螺母、导轨、轴、工作台等。需要对一些重要部件进行强度校验。

在设计 PLC 控制系统时分为电路原理的设计，PLC 流程图和外部接线图，以及梯形图和程序的设计等。

1.5 . 目标、主要特色及工作进度

1. 目标

设计一套由电动机驱动，PLC 控制，使用控制算法的自动印花设备。

2. 主要特色

本自动印花设备由可转位的工作台，可上下、左右移动的印花机构，和可左右移动的推网机构组成。通过各机构的协调动作和控制系统的电路实现工作台和印花机构的逻辑动作，实现自动印花过程。自动化程度高、结构简单、控制方便，具有很高的实用价值和空间。

3. 工作进度

1. 搜集资料写开题报告，英文翻译。	第 1 周 ~ 第 2 周
2. 设计自动印花设备的机械结构，并绘制零件图和装配图。	第 3 周 ~ 第 8 周
3. 设计控制系统的电路图。	第 9 周 ~ 第 11 周
4. 编写相关控制算法。	第 12 周 ~ 第 14 周
5. 撰写毕业论文。	第 15 周 ~ 第 16 周
6 答辩准备及毕业答辩	第 17 周

2. 整体机械结构与旋转工作台的设计

自动印花设备系统由四部分组成：

1. 旋转工作台
2. 推网工作台
3. 碾子工作台
4. PLC 控制系统

我们所设计的自动印花设备系统的主要参数是根据使用者对设备的要求和所要加工的毛料确定的。

毛料的要求：297mm × 210mm。

效率要高：可以连续不间断的加工产品。

使用舒适度：一个人可以坐在椅子上长时间工作。

成本要低、实用性高、适合大批量生产。

自动印花设备的控制系统有单片机和 PLC 两种控制方式，考虑到实用性、使用效率、普及性、性价比等因素，我们最终选用了技术比较成熟的 PLC 控制系统。

2.1 整体系统结构分析

为了满足使用舒适度，可以让工作者坐在椅子上长时间工作的要求，同时兼顾成本。我们把整体机器的工作界面高度定在 850mm。配合调整椅子的高度，这个高度会让工作者加工起来既方便又舒适，可以使工作者在长时间工作环境下仍感到十分舒适，使工作效率和产品质量不下降。

整个设备机构分为三大部分。按照图 2-1 进行布局。由于本设备体积，重量都不大。所以各设备受力并不大。各部分用铁架作支撑。都采用地角螺栓与地面连接，见图 2-2。所以要注意联结处地面的水平与整洁。

为了满足工作台可转位且可以连续不间断加工产品的要求，我们采用了槽轮传动机构。考虑到我们所需要的槽轮转速很低，所以需要外购一个减速器减速。同时由于精度要求不高，所以省略了锁止弧。

在实现印花机构可以上下、左右移动和推网机构可左右移动时。我们选择了简便实用的螺旋传动机构。其中为了实现印花机同时在二维空间左右、上下运动。我们选用将两个螺旋传动装置的螺母联结起来。上下方向丝杠旋转，螺母上下传动。

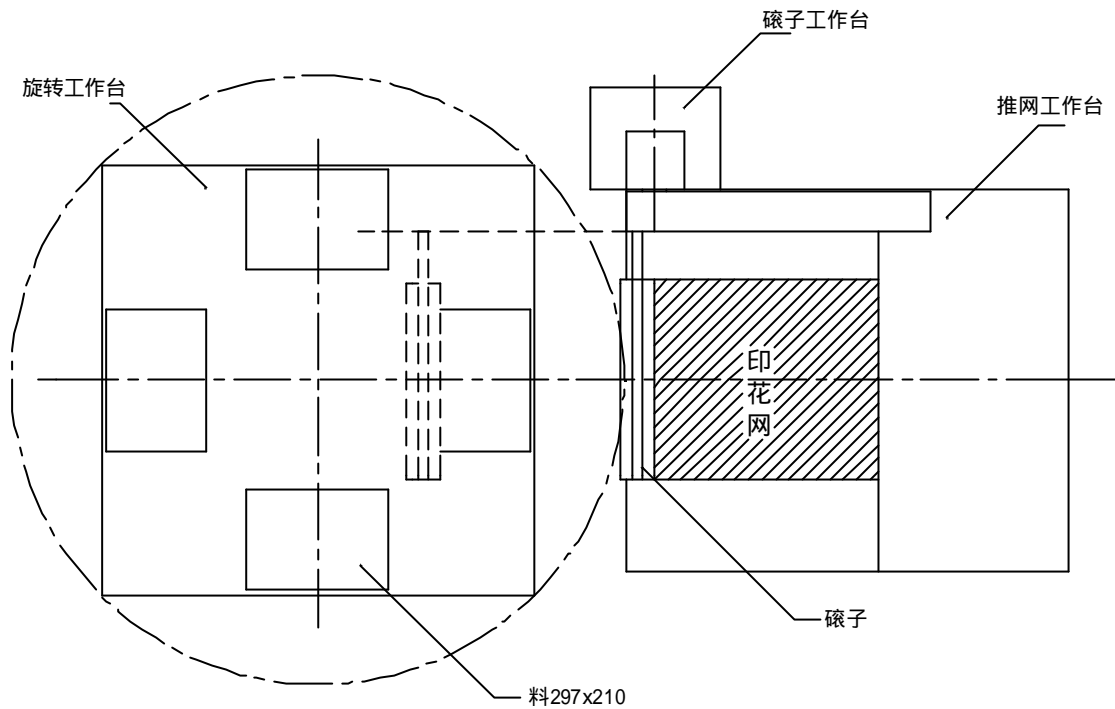


图 2-1 总体安装示意图

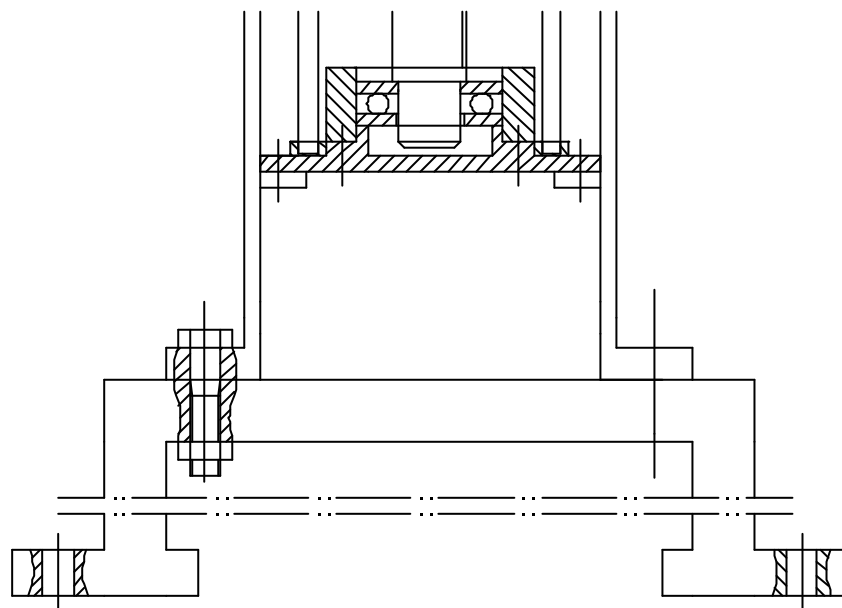


图 2-2 印花设备的连接与固定示意图

左右方向螺母固定，丝杠左右传动从而带动碾子进行印花。巧妙简便的实现了设备的关键工步。为了防止两个螺母联结使竖直丝杠一直受较大的径向力，首先我们安装了一个螺栓，在机器不工作时锁死，来分担丝杠受的径向力。同时将螺母与壳体

相互啮合，既分担了丝杠的径向力。又起到了导轨的作用，见图 2-3。

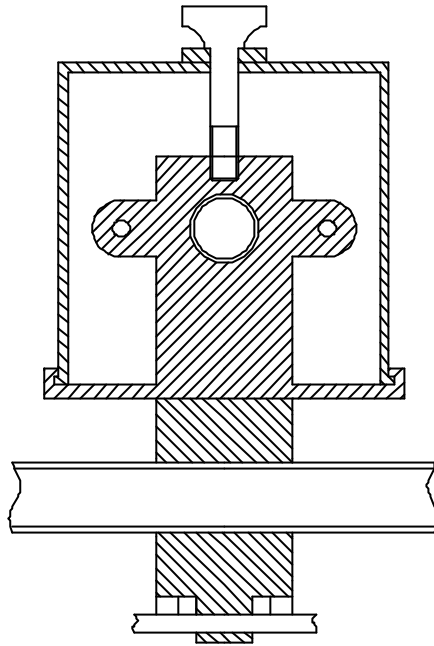


图 2-3 印花机的螺旋机构简图

设备受载荷较小，螺旋传动机构所传递的力也不大。对电动机的选择要求不高。具体选择如下表 2-1。

表 2-1 电动机的简单选择

工作台	动作	电动机代号	电动机型号	电动机转速
旋转工作台	旋转	主电动机	Y90L-6	910r/min
推网工作台	推网/收网	3号电动机	Y90L-6	910r/min
碾子工作台	上/下	1号电动机	A-02	1400r/min
碾子工作台	左/右	2号电动机	A-02	1400r/min

推/收网和碾子推压过程是完成印花的全过程，完成印花后工作台再转 90° ，下一个工作步骤是对加工产品进行烘干，使刻印的花纹图案清晰耐久。可以直接外购一台适合的烘干机配合使用。在此不做详细解释。烘干后工作台再次旋转 90° ，工作者在这个时候可取下加工好的产品。

最后要通过各机构的协调动作和控制系统的电路实现工作台和印花机构的逻辑动作，实现自动印花过程的循环往复。

2.2. 旋转工作台的部件分析

2.2.1 旋转工作台简介

旋转工作台是自动印花机中一个重要的工作界面。通过旋转实现自动连续加工。其主要部件有槽轮机构，心轴，轴承，底座，变速箱和电动机等。其中槽轮是最最重要的一个部机构。工作台在它的带动下做间歇旋转。心轴在机构中不旋转，只承受弯矩，起支撑固定作用。下部用螺钉夹紧限位。台面和壳体联为一体。通过轴承惊醒旋转。最底部加装了一个推力轴承，用来承担较大的轴向力。电动机通过变速器减速达到所需的速度。整个设备用地角螺栓固定，保持较高的水平度。旋转工作台示意图见图 2-4。

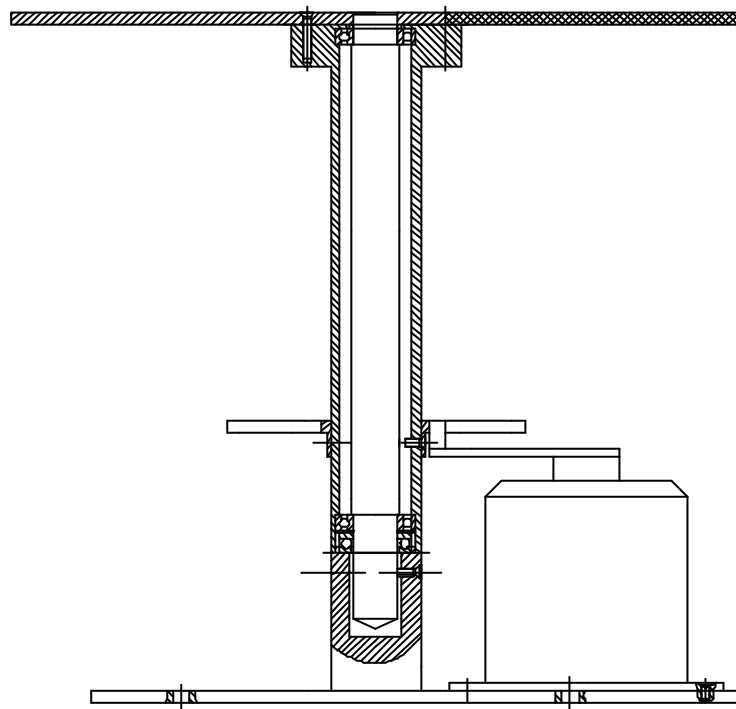


图 2-4 旋转工作台示意图

2.2.2 槽轮的结构分析

槽轮是旋转工作台中最重要的一個機構。由於我們要求的轉速很低，只有 2.5r/min，所以省略了撥盤上的鎖止弧。

1. 槽輪機構的及工作原理和型式

槽輪機構又稱馬爾他機構，如圖 2-5 所示。它是由槽輪 2、帶有圓柱銷的撥盤 1 和機架組成。當撥盤 1 作勻速轉動時，驅使槽輪 2 作間歇運動。當圓柱銷進入槽輪槽時，撥盤上的圓柱銷將帶動槽輪轉動。撥盤轉過一定角度後，圓柱銷將從槽中退出。為了保證圓柱銷下一次能正確地進入槽內，必須採用鎖止弧將槽輪鎖住不動，直到下一個圓柱銷進入槽後才放開，這時槽輪又可隨撥盤一起轉動，即進入下一個運動循環^[1]。

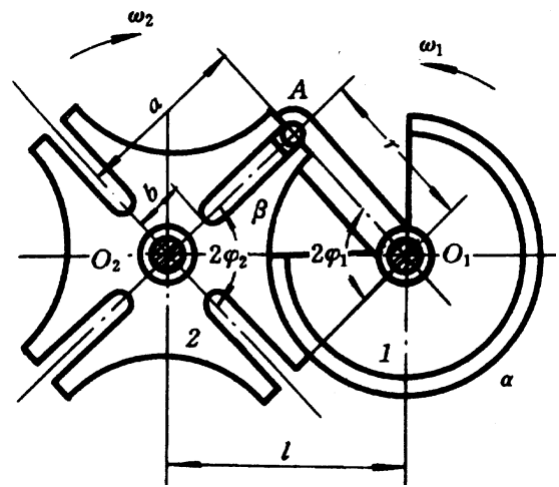


圖 2-5 槽輪機構示意圖

2. 槽輪的特點：

- 1) .構造簡單，外形尺寸小；
- 2) .機械效率高，並能較平穩地，間歇地進行轉位；
- 3) .但因傳動時存在柔性衝擊，故常用於速度不太高的場合。

3. 槽輪機構的幾何尺寸計算：

$$\text{圓銷回轉半徑： } R = L \sin \frac{P}{z} = L \sin \left(\frac{P}{4} \right) = 184 \text{ mm}$$

$$\text{圓銷半徑： } r \approx \frac{R}{6} \approx 10 \text{ mm}$$

$$\text{槽頂高： } S = L \cos \left(\frac{P}{z} \right) = L \cos \left(\frac{P}{4} \right) = 184 \text{ mm}$$

$$\text{槽輪機構的中心距： } L = 260 \text{ mm}$$

$$\text{槽深： } h \geq S - (L - R - r) = 184 - (260 - 184 - 10) = 118 \text{ mm}$$

$$\text{槽輪中心孔： } d1 \leq 2(L - S) = 152 \text{ mm}$$

$$\text{撥盤中心軸： } d2 < 2(L - R - r) = 66 \text{ mm}$$

$$\text{鎖住弧半徑： } R_x = R - r - e = 184 - 10 - 8 = 166 \text{ mm}$$

$$\text{推薦： } e = (0.6 \sim 0.8) r, \text{ 但 } e \text{ 3} \sim 5 \text{ mm}$$

锁住弧张开角： $g = 2p - 2\Psi_1 = p(1 + \frac{2}{z}) = p(1 + 0.5) = 4.7 \text{ mm}$

根据计算设计出我们所需要的槽轮，见图 2-6

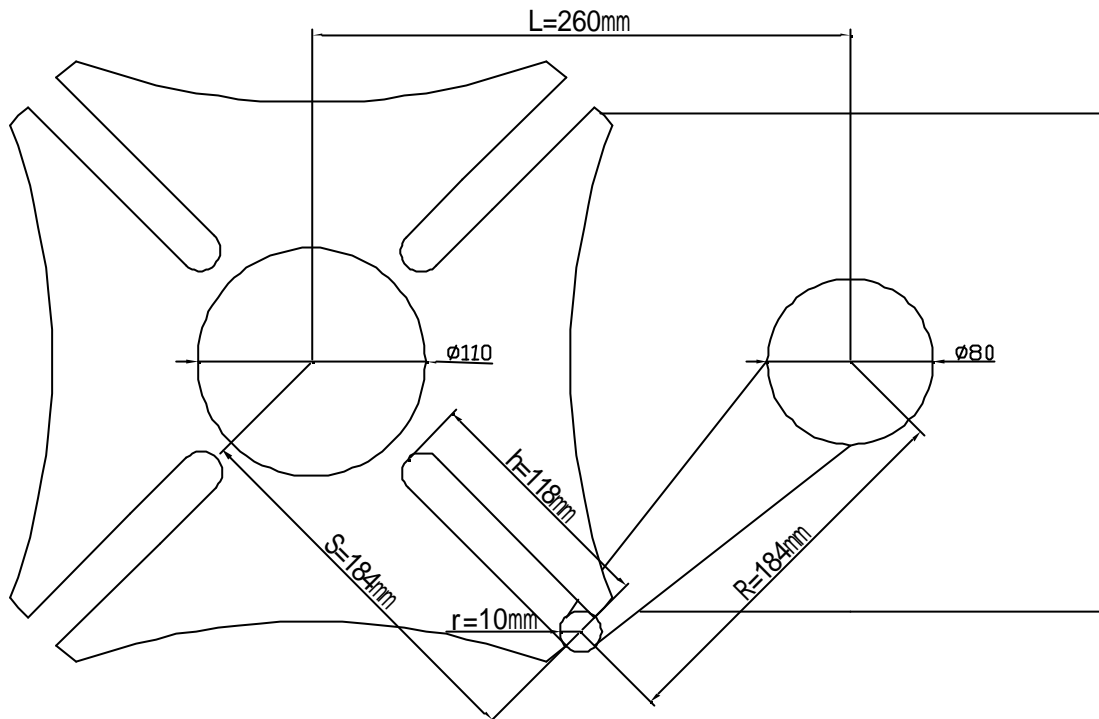


图 2-6 槽轮

2.2.3 滚动轴承类型的选择

选择滚动轴承类型时，需要考虑下列因素：

1. 轴承所受载荷的大小和方向。（径向、轴向或既有径向又有轴向的联合载荷）
2. 轴承载荷的性质。（固定、变动或冲击载荷）。
3. 工作环境（温度和湿度）和轴承转速。
4. 对轴承刚性的要求（要求预紧以增加轴承部件的刚度）。
5. 调心性能的要求（轴的轴线和壳体孔的轴线的同轴度）。
6. 轴向位移的要求（固定支承或游动支承）。
7. 要求轴承工作时振动小、噪声低和安装维修方便等。^[2]

在旋转工作台中所用的一对深沟球轴承，根据机械设计结构，对轴承的转速要

求很低，所以轴承通过不断保养可以使寿命延长很多。轴颈直径 $d = 55\text{mm}$ ，转速 $n = 0.625\text{r/min}$ ，径向载荷 $F_r = 2000\text{N}$ ，轴向载荷 $F_a = 900\text{N}$ ，要求寿命 $L_h = 24000\text{h}$ ，工作温度 $t = 100$ 。

根据给定的条件试选轴承 6211 型轴承。

1) 查表：额定动载荷 $C = 33.35\text{KN}$ ，额定静载荷 $C_0 = 25.02\text{KN}$ ， $n_{\max} = 6000\text{r/min}$ （脂润滑）

2) 按照额定动载荷计算：

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^e \dots\dots\dots (2-1)$$

对球轴承 $e = 3$

$$P = f_p (X F_r + Y F_a) \dots\dots\dots (2-2)$$

由 $\frac{F_a}{C_0} = \frac{900}{25020} = 0.035$ 查表： $e = 0.24$ $Y = 1.85$

由 $\frac{F_a}{F_r} = \frac{900}{2000} = 0.45 > e = 0.24$ 查表： $X = 0.56$

查表得： $f_p = 1$

代入得： $P = 0.56 \times 2000 + 1.85 \times 900 = 2785$

$$C = 2785 \times \sqrt[3]{\frac{60 \times 0.625 \times 24000}{10^6}} = 1248 < 47770(N)$$

故 6211 型轴承能满足要求。

3) 按照额定静载荷校核

$$C_0 \geq S_0 P_0$$

选取 $S_0 = 1$ $P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \dots\dots\dots (2-3)$

由 $\frac{F_a}{F_r} = \frac{900}{2000} = 0.45$

当 $\frac{F_a}{F_r} < 0.8$ 时， $X_0 = 1$ ， $Y_0 = 0$ 得 $P_0 = F_r = 2000\text{N}$

代入上式， $C_0 = 25020\text{N} > S_0 P_0 = 2000\text{N}$ 满足要求

4) 极限转速校核

根据机械设计结构，对轴承的转速要求很低。

$$n_{\max} = f_1 f_2 n_{\lim} \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\text{由 } \frac{P}{C} = \frac{2740}{47770} = 0.057 \quad \text{查图得 } f_1 = 1$$

$$\frac{Fa}{Fr} = 0.45 \quad \text{查图得 } f_2 = 0.9$$

$$\text{代入 } n_{\max} = 1 \times 0.9 \times 4800 = 4320 (r/\min)$$

$$n = 0.625r/\min < n_{\max} \quad \text{满足要求。}$$

2.2.4 螺钉的强度校核

有四个螺钉对称固定槽轮到壳体上,四个螺钉平均受力。槽轮带动工作台旋转,螺钉将受到剪切

剪切强度条件:

$$t = \frac{F}{\frac{p}{4}d_0^2} \leq [t] \dots\dots\dots (2-5)$$

挤呀压强度条件:

$$s_p = \frac{F}{d_0 L_{\min}} \leq [s_p] \dots\dots\dots (2-6)$$

式中: F 为螺钉缩手的工作剪切力,约为 500N ;

d_0 为螺钉剪切面的直径 ;

L_{\min} 为螺钉杆与孔壁挤压面的最小高度,单位为 mm,设计时应该使

$$L_{\min} \geq 1.25 d_0 ;$$

$[s]$ 为材料的许用挤应力 ;

$[t]$ 为材料许用切应力 ;

螺钉螺纹的公差直径 d 设为 10mm ,

查表可得 螺距 P 为 1mm ,

螺钉材料为 45 号钢,查表可知这种材料的屈服极限 s_s 为 240Mpa ,

$$\text{许用应力 } [s] = s_s/4 = 60\text{Mpa} ,$$

$$\text{材料许用剪切应力 } [t] = 0.6 [s] = 36\text{MPa}$$

将以上数据代入式中,得 $t = 6.4\text{MPa} < 36\text{MPa}$

许用挤应力 $[s]_p = \frac{S_s}{S_p}$, $S_p = 1.6 \sim 2$, $[s]_p = 120\text{MPa}$

将以上数据代入式中, 得 $S_p = 50\text{MPa} < 120\text{MPa}$

经检验, 螺钉强度在许用范围之内。

2.2.5 轴的校核

轴是组成机器的主要零件之一。设备中的轴只起支撑作用, 承受弯矩。可以当心轴对待。应该按照弯曲强度计算。轴上零件有深沟球轴承, 推力轴承, 同时在低部有对称的螺钉卡住。从整体上看, 只有在印花设备的碾子下降后左右移动时承受一个短暂载荷, 受力不大。

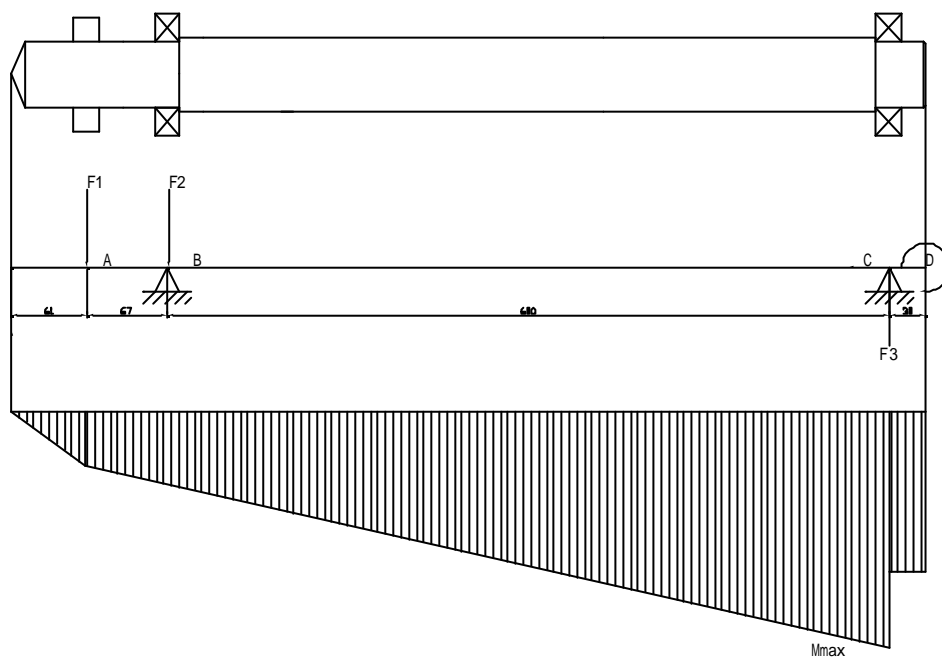


图7 轴的结构图 受力图 弯矩图

做出轴的结构图, 受力图和弯矩图, 见图7。如图所示, 在轴受到弯曲力的时候, 弯曲力会分解为一个弯矩。

$$M_{\max} = F_1(a_1 + a_2) + F_2 a_2 = 200 \times 667 + 600 \times 300 = 313.4 \text{ N}\cdot\text{m}$$

轴的材料为45号钢, 查表得: 许用弯曲应力 $[s_{-1}] = 55\text{MPa}$

查表得:抗弯截面系 $W = \frac{p d^3}{32} \approx 0.1 d^3$

$$s_{ca} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{M_{\max}}{\frac{p d^3}{32}} = 14.78 \text{MPa} \leq [s_{-1}] = 55 \text{MPa}, \text{故安全。}$$

3. 推网工作台与碾子工作台的结构设计

3.1 推网工作台和碾子升降台简介

推网工作台是自动印花设备中的一部分。它负责将印花网自动推到所要加工的产品上,并且在加工完毕后收回印花网。碾子升降台印花的关键设备。通过螺旋传动的下压力和碾子本身的重力,将网子编织的花纹刻印到皮革等加工物上.完成印花。

两个工作台的工作原理类似,由螺杆,螺母,圆柱导轨,轴承,轴衬,碾子,底座等零部件组成。碾子工作台的螺杆和轴承都是一样的,可以通用,维修非常方便。

推网工作台通过螺旋传动带动特制螺母左右滑动,通过导轨确保传动的精度和平稳度。螺母上固定丝网,从而推动丝网左右滑动。在碾子工作台我们设计了两个螺旋传动体,并通过特殊设计的螺母将两个螺旋传动装置联结起来。上下方向丝杠旋转,螺母上下传动,实现碾子的上升、下降。左右方向螺母固定,丝杠左右传动从而带动碾子进行印花。巧妙、简便的实现了设备的关键印花过程。

3.2 推网工作台和碾子升降台结构

推网工作台和碾子升降台的结构装配简图见图 3-1、图 3-2,工作参数见表 3-1。

推网工作台螺旋传动参数:

螺距: $p=10\text{mm}$; 公称直径: $d=80\text{mm}$;

外螺纹中径： $d_2=d-5=75\text{mm}$ ；
 外螺纹小径： $d_3=d-11=69\text{mm}$ ；
 内螺纹大径： $D_4=d+1=81\text{mm}$ ；
 内螺纹中径： $D_4=d-5=75\text{mm}$ ；
 内螺纹小径： $D_1=d-10=70\text{mm}$ ；
 碾子工作台螺旋传动参数：
 螺距： $p=3\text{mm}$ ；公称直径： $d=24\text{mm}$ ；
 外螺纹中径： $d_2=d-1.5=22.5\text{mm}$ ；
 外螺纹小径： $d_3=d-3.5=19.5\text{mm}$ ；
 内螺纹大径： $D_4=d+0.5=24.5\text{mm}$ ；
 内螺纹中径： $D_4=d-1.5=22.5\text{mm}$ ；
 内螺纹小径： $D_1=d-3=21\text{mm}$ ；

表 3-1 两工作台工作参数

设备	动作	电动机转速	行程	丝杠螺距	时间
推网工作台	左/右	910r/min	420mm	10mm	2.75s
碾子工作台	上/下	1400r/min	422mm	3mm	6.03s
碾子工作台	左/右	1400r/min	82.44mm	3mm	1.18s

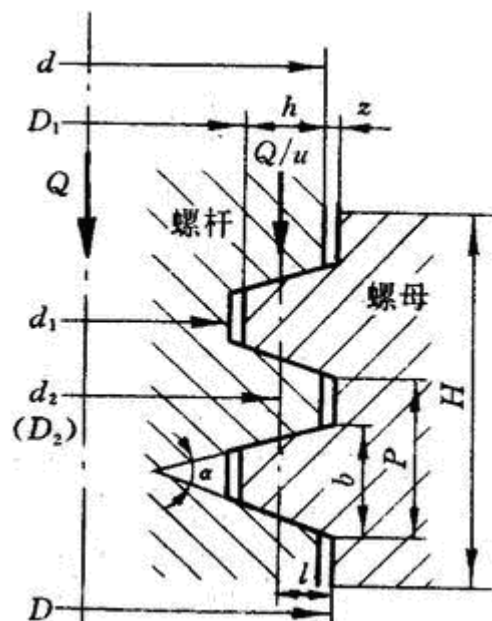
3.3 推网工作台和碾子升降台部件分析

两工作台工作原理相同，零部件类同，校核以碾子工作台的零件为例。

3.3.1 滑动螺旋传动的校核计算

1. 耐磨性计算

滑动螺旋的磨损与螺纹工作面上的压力、滑动速度、螺纹表面粗糙度以及润滑状态等因素有关。其中最主要的是螺纹工作面上的压力，压力越大螺旋副间越容易形成过度磨损。



因此，滑动螺旋的耐磨性计算，主要是限制螺纹工作面上的压力 p ，使其小于材料的许用压力 $[p]$ 。

如图 3-3 所示，作用于螺杆的轴向力为 Q (N)，螺纹的承压面积（指螺纹工作表面投影到垂直于轴向力的平面上的面积）为 A (mm^2)，螺纹中径为 d_2 (mm)，螺纹工作高度为 H (mm)，螺纹螺距为 P (mm)，螺母高度为 D (mm)，螺纹工件圈数为 $u = H/P$ 。

图 3-3 螺旋副受力

则螺纹工作面上的耐磨性条件(可作为校核计算用)为：

$$p = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi d_2 h u} = \frac{QP}{\pi d_2 h H} \leq [p] \text{ MPa} \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

式中： $[P]$ 为材料的许用压力，查表得 $[P]=8\text{MPa}$ ；

$$p = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi d_2 h u} = \frac{QP}{\pi d_2 h H} = 5.62 \text{ MPa} \leq [P] = 8 \text{ MPa}$$

经检验，螺纹工作面上的耐磨性在许用范围之内。

2. 螺杆的强度计算

受力较大的螺杆需进行强度计算。螺杆工作时承受轴向压力（或拉力） Q 和扭矩 T 的作用。螺杆危险截面上既有压缩（或拉伸）应力；又有切应力。因此；校核螺杆强度时，应根据第四强度理论求出危险截面的计算应力 σ_{ca} ，其强度条件为：

$$\sigma_{ca} = \frac{1}{A} \sqrt{Q^2 + 3 \left(\frac{4T}{d_1} \right)^2} \leq [\sigma] \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

式中：

A — 螺杆螺纹段的危险截面面积；

$$A = \frac{P}{4} d_1^2 = \frac{P}{4} 0.24^2 = 0.045 \text{ mm}^2$$

W_t — 螺杆螺纹段的抗扭截面系数；

$$W_t = \frac{P d_1^3}{16} = A \frac{d_1}{4} = 0.00027 \text{ mm}^3$$

d_1 — 螺杆螺纹小径； $d_1 = 19.5 \text{ mm}$ ；

T — 螺杆所受的扭矩 $T = Q t g(\Psi + j_v) \frac{d}{2}$

$[\sigma]$ — 螺杆材料的许用应力，查表得 $[\sigma] = \frac{s_s}{4} = 60 \text{ MPa}$ ，

代入强度条件公式得： $\sigma_{ca} = 49.8 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 60 \text{ MPa}$ ；故安全

3. 螺母螺纹牙的强度计算

螺纹牙多发生剪切和挤压破坏，一般螺母的材料强度低于螺杆，故只需校核螺母螺纹牙的强度。

如图 3-4 所示，如果将一圈螺纹沿螺母的螺纹大径 D 处展开，则可看作宽度为 D 的悬臂梁。假设螺母每圈螺纹所承受的平均压力为 Q/u ，并作用在以螺纹中径 D_2 为直径的圆周上。

螺纹牙危险截面 $a-a$ 的剪切强度条件为

$$\tau = \frac{Q}{\pi D b u} \leq [\tau] \dots\dots\dots(3-3)$$

螺纹牙危险截面 $a-a$ 的弯曲强度条件为：

$$\sigma_b = \frac{6Ql}{\pi D b^2 u} \leq [\sigma]_b \dots\dots\dots(3-4)$$

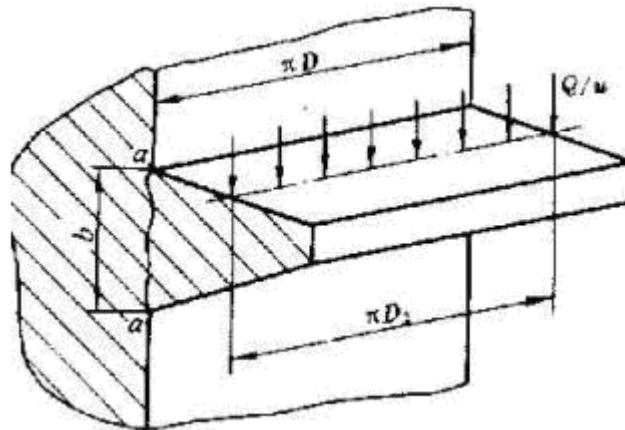


图 3-4 螺母螺纹圈的受力

式中：

b ——螺纹牙根部的厚度，单位为 mm，对于梯形螺纹， $b=0.65P$ ， P 为螺纹螺距；

l ——弯曲力臂，单位为 mm，（参见图 9 $l=(D-D_2)/2$ ）；

$[\]$ ——螺母材料的许用切应力，单位为 MPa；

$[\]_b$ ——螺母材料的许用弯曲应力，单位为 MPa；

查表得：许用应力 $[t] = 0.6[s] = 144 \text{ MPa}$

$$\text{许用应力 } [s_b] = [s] = 240 \text{ MPa}$$

代入上式 $t = \frac{Q}{pDbu} = 98.2 \text{ MPa} \leq [t] = 144 \text{ MPa}$ ；故安全。

$$s_b = \frac{6Fl}{pD b^2 u} = 167 \text{ MPa} \leq [s_b] = 240 \text{ MPa}；故安全。$$

4. 螺杆的稳定性计算：

对于长径比大的受压螺杆，当轴向压力 Q 大于某一临界值时，螺杆就会突然发生侧向弯曲而丧失其稳定性。因此，在正常情况下，螺杆承受的轴向力 Q 必须小于临界载荷 Q_c （单位为 N ）。则螺杆的稳定性条件为：

$$S_{sc}=Q_c/Q \quad S_s \dots \dots \dots (3-5)$$

式中： S_{sc} ——螺杆稳定性的计算安全系数；

S_s ——螺杆稳定性安全系数，对于传导螺旋， $S_s = 2.5 \sim 4.0$ ；

Q_c ——螺杆的临界载荷， N ，根据螺杆的柔度 s 值的大小选用不同的公式计算。 $s = \mu l / i$ ，此处， μ 为螺杆的长度系数，为螺杆的工作长度，单位为 mm ，螺杆两端支承时，取两支点间的距离作为工作长度 l ； i 为螺杆危险截面的惯性半径，

单位为 mm ，螺杆危险截面面积 $A = \frac{\pi}{4} d_1^2$ ，则 $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{d_1}{4}$ ；

$$\text{代入得：} \quad s = \mu l / i = \frac{0.5 \times 0.47}{\frac{0.0195}{4}} = 48$$

（当 $s < 40$ 时，可以不必进行稳定性核核。若上述计算结果不满足稳定性条件时，应适当增加螺杆的小径 d_1 。）

当 $s < 100$ 时，对于强度极限 $\sigma_b = 380MPa$ 的普通碳素钢，如 Q235、Q275 等，取 $Q_c = (304 - 1.12 s) / 4 d_1^2$

代入得： $S_{sc} = Q_c / Q = 4.76$ $S_s = 5.24$ ；所以符合要求。^[2]

3.3.2 联轴器的选择

常用联轴器大多已标准化或规格化，一般情况下只需正确选择联轴器的类型、确定联轴器的型号及尺寸。必要时，可对其易损的薄弱环节进行负荷能力的校核计算，转速高时，还应验算其外缘的离心应力和弹性元件的变形，进行平衡检验等。联轴器类型的选择。

1. 选择联轴器类型时，应考虑：

(1) 所需传递转矩的大小和性质，对缓冲、减振功能的要求以及是否可能发生共振等。

(2) 由制造和装配误差、轴受载和热膨胀变形以及部件之间的相对运动等引起两

轴轴线的相对位移程度。

(3) 许用的外形尺寸和安装方法, 为了便于装配、调整和维修所必需的操作空间。对于大型的联轴器, 应能在轴不需作轴向移动的条件下实现装拆。

此外, 还应考虑工作环境、使用寿命以及润滑和密封和经济性等条件, 再参考各类联轴器特性, 选择一种合用的联轴器类型。

2. 联轴器的简单计算

在两个工作台我们都选择了对中榫凸缘联轴器

载荷计算:

$$\text{公称转矩: } T = 9550 \times \frac{0.75}{1400} = 5.12 N \cdot M$$

查表得 $K_a=1.9$; 计算转矩为:

$$T_{ca} = K_a \times T = 1.9 \times 5.12 = 9.7 N \cdot M$$

型号选择: 查表得 YLD—1 对中榫凸缘联轴器公称转矩为 $10 N \cdot M$, 许用最大转速为 $8111 r/min$, 轴径 $22mm—32mm$, 所以适合。

3. 对中榫凸缘联轴器的介绍

对中榫凸缘联轴器(图 13-5): 用普通孔螺栓来联接两个半联轴器, 靠接合面的摩擦力来传递转矩。一个半联轴器的凸肩与另一个半联轴器上的凹槽相配合而对中。为了运行安全, 凸缘联轴器可做成带防护边的(图 3-6)。

特点: 构造简单、成本低、可传递较大转矩, 但不能补偿两轴间的相对位移, 对两轴对中性的要求很高。适用于转速低、无冲击、轴的刚性大、对中性较好时的场合。^[3]

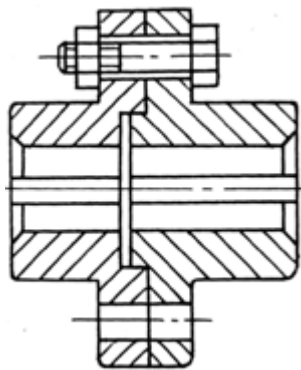


图 3-5

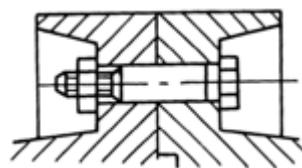


图 3-6

3.3.3 导轨的选择

在螺旋传动中为了保持传递的精确和平稳，我们加装了圆柱直线导轨。固定在螺杆的两端，保持螺母的垂直上下滑动，避免产生转动、摇摆。导轨为外购零件，具体安装如下图 3-7：

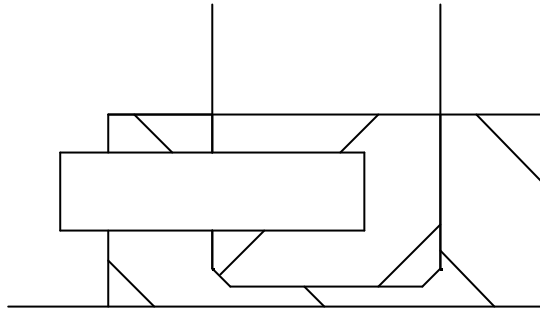


图 3-7 导轨的安装示意图

4. 自动印花设备的控制系统

自动印花设备的控制系统可以选择单片机和 PLC 两种控制方式,考虑到实用性、使用效率、普及性和性价比等因素,我们最终选用了技术比较成熟的 PLC 控制系统。

PLC——可编程控制器(Programmable Controller)是以微处理机为基础,综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术现代科技而发展起来的一种新型工业自动控制装置,是将计算机技术应用于工业控制领域的新产品。早期的可编程控制器主来代替继电器实现逻辑控制,因此称为可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller),简称 PLC,随着技术的发展,现代可编程控制器的功能已经超过了逻辑控制的范围。PLC 从诞生至今,仅有 30 年的历史,但是得到了异常迅猛的发展,并与 CAD/CAM、机器人技术一起被誉为工业自动化的三大支柱之一。^[4]

4.1 可编程控制系统的基本结构

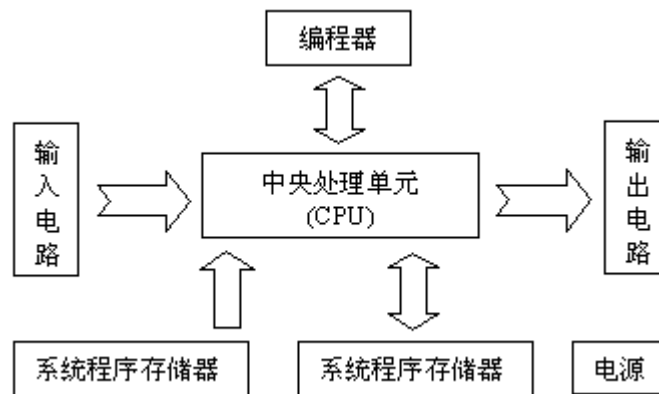


图 4-1 PLC 控制系统的基本结构

1、中央处理单元(CPU)

中央处理单元(CPU)是 PLC 的控制中枢。它按照 PLC 系统程序赋予的功能接收并存储从编程器键入的用户程序和数据;检查电源、存储器、I/O 以及警戒定时器的状态,并能诊断用户程序中的语法错误。当 PLC 投入运行时,首先它以扫描的方式接收现场各输入装置的状态和数据,并分别存入 I/O 映象区,然后从用户程序存储

器中逐条读取用户程序，经过命令解释后按指令的规定执行逻辑或算术运算的结果送入 I/O 映象区或数据寄存器内。等所有的用户程序执行完毕之后，最后将 I/O 映象区的各输出状态或输出寄存器内的数据传送到相应的输出装置，如此循环运行，直到停止运行。

为了进一步提高 PLC 的可靠性，近年来对大型 PLC 还采用双 CPU 构成冗余系统，或采用三 CPU 的表决式系统。这样，即使某个 CPU 出现故障，整个系统仍能正常运行。

2、存储器

存放系统软件的存储器称为系统程序存储器。存放应用程序的存储器称为用户程序存储器。

PLC 常用的存储器类型

(1) RAM (Random Access Memory)

这是一种读/写存储器(随机存储器)，其存取速度最快，由锂电池支持。

(2) EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) 这是一种可擦除的只读存储器。在断电情况下，存储器内的所有内容保持不变。(在紫外线连续照射下可擦除存储器内容)。

(3) EEPROM(Electrical Erasable Programmable Read Only Memory)这是一种电可擦除的只读存储器。使用编程器就能很容易地对其所存储的内容进行修改。

PLC 存储空间的分配

虽然各种 PLC 的 CPU 的最大寻址空间各不相同，但是根据 PLC 的工作原理，其存储空间一般包括以下三个区域：

(1) 系统程序存储区

(2) 系统 RAM 存储区 (包括 I/O 映象区和系统软设备等)

(3) 用户程序存储区

系统程序存储区：在系统程序存储区中存放着相当于计算机操作系统的系统程序。包括监控程序、管理程序、命令解释程序、功能子程序、系统诊断子程序等。由制造厂商将其固化在 EPROM 中，用户不能直接存取。它和硬件一起决定了该 PLC 的性能。

系统 RAM 存储区：系统 RAM 存储区包括 I/O 映象区以及各类软设备，如：逻辑线圈；数据寄存器；计时器；计数器；变址寄存器；累加器等存储器。

(1) I/O 映象区：由于 PLC 投入运行后，只是在输入采样阶段才依次读入各输入状

态和数据,在输出刷新阶段才将输出的状态和数据送至相应的外设。因此,它需要一定数量的存储单元(RAM)以存放 I/O 的状态和数据,这些单元称作 I/O 映象区。一个开关量 I/O 占用存储单元中的一个位(bit),一个模拟量 I/O 占用存储单元中的一个字(16个bit)。因此整个 I/O 映象区可看作两个部分组成:开关量 I/O 映象区;模拟量 I/O 映象区。

(2) 系统软设备存储区

除了 I/O 映象区以外,系统 RAM 存储区还包括 PLC 内部各类软设备(逻辑线圈、计时器、计数器、数据寄存器和累加器等)的存储区。该存储区又分为具有失电保持的存储区域和无失电保持的存储区域,前者在 PLC 断电时,由内部的锂电池供电,数据不会遗失;后者当 PLC 断电时,数据被清零。

1) 逻辑线圈

与开关输出一样,每个逻辑线圈占用系统 RAM 存储区中的一个位,但不能直接驱动外设,只供用户在编程中使用,其作用类似于电器控制线路中的继电器。

另外,不同的 PLC 还提供数量不等的特殊逻辑线圈,具有不同的功能。

2) 数据寄存器

与模拟量 I/O 一样,每个数据寄存器占用系统 RAM 存储区中的一个字(16 bits)。

另外,PLC 还提供数量不等的特殊数据寄存器,具有不同的功能。

3) 计时器

4) 计数器

用户程序存储区

用户程序存储区存放用户编制的用户程序。不同类型的 PLC,其存储容量各不相同。

3、电源

PLC 的电源在整个系统中起着十分重要得作用。如果没有一个良好的、可靠得电源系统是无法正常工作的,因此 PLC 的制造商对电源的设计和制造也十分重视。一般交流电压波动在+10%(+15%)范围内,可以不采取其它措施而将 PLC 直接连接到交流电网上去。^[5]

4.2 自动印花设备的控制要求及印花工艺

实现自动印花的生产过程要经过放料—推网—印花—收网—烘干—取料的循环工序。操作人员将规定大小的皮革等放到旋转工作台上,然后按下启动按钮,主

电动机不间断运行，工作台在槽轮的带动下做每次 90° 的旋转。在槽轮的每一个槽的底部装有启动开关 SB1（见图 4-2），这样可以连续加工，大大提高了工作效率。当销子压下启动开关，启动 PLC 控制系统。在通过对三个三相异步电动机的顺序启动、正反转和延时的控制完成印花的过程。然后通过工作台的旋转完成烘干、卸料、再次放料。自动印花设备的 PLC 流程功能图见图 4-3。

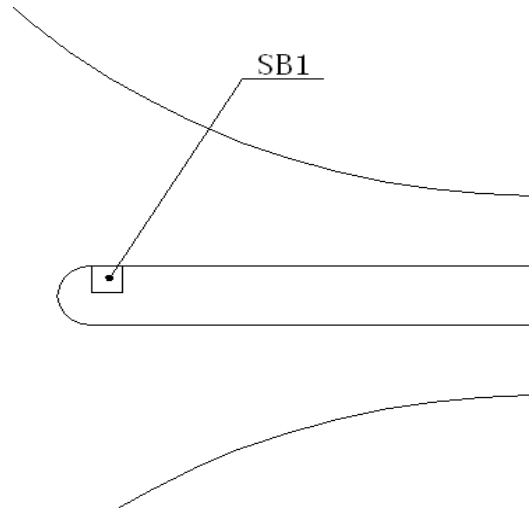


图 4-2 SB1 位置示意图（其它类同）

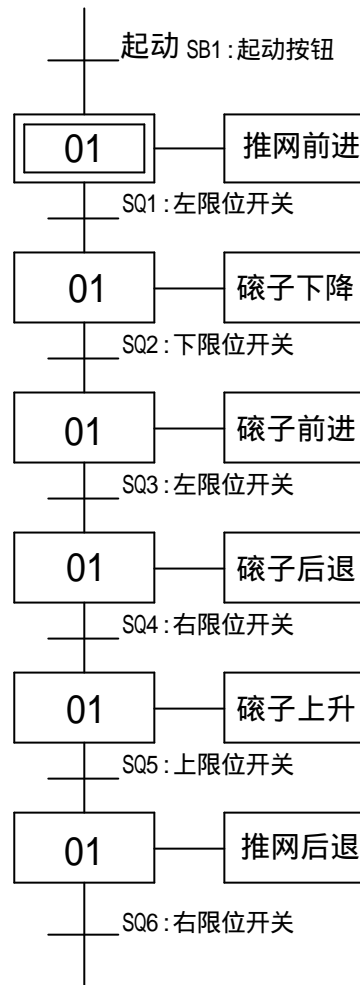


图 4-3 PLC 流程图

4.3 控制系统设计及功能

4.3.1 控制系统的构成

该设备采用机械和电气传动方式来完成印花的过程。由于设备运行环境对控制系统的可靠性和稳定性要求较高，因此，选用性价比高、功能强、速度快的日本三菱 FX2N-24MR 型 PLC 作为控制系统的核心。由此构成的以 PLC 为核心的电气控制系统框图见图 4-4，旋转工作台电路图见图 4-5。

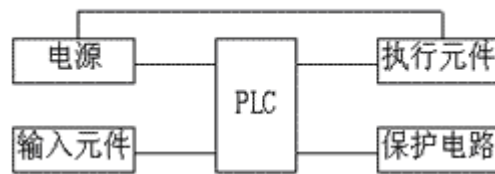


图 4-4 主电动机电路图

4.3.2 主电动机的控制

主电动机用来控制旋转工作台，需要不间断的工作。每次工作前需要人工通过电动机调整槽轮的位置，使销子位于 SB1 所在槽的入口处。这就需要控制电路还要具有正反转，点动及连续控制。

图 19 所示的电路图是三相异步电动机单向全压启动控制线路。它是一个常用的最简单的控制线路。由刀开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM 的主触头、热继电器 FR 的热元件与电动机 M 等构成主电路。

由一系列的按钮，接触器及其常开辅助触头、热继电器的常闭触头和熔断器等构成控制回路。

1. 线路工作原理

启动时，合上 QS，引入三相电源。按下 SB2，交流接触器 KM 的吸引线圈通电，接触器主触头闭合，电动机接通电源直接启动运转。要使电动机 M 停止运转，只要按下停止按钮 SB1，将控制电路断开即可。

当需要点动时将开关 SA 打开，操作 SB2 即可实现点动控制。当需要连续工作时合上 SA，将自锁触头接入，即可实现连续控制。

当需要正反转时控制操作时，必须首先按下停止按钮 SB1，然后再反向启动。是“正—停—反”控制线路。

2. 电路的保护环节

- 1) .熔断器 FU 作为电路短保护，但达不到过载保护的目。
- 2) .热继电器 FR 具有过载保护作用。
- 3) .欠电压保护与失电保护依靠接触器本身的电磁机构来实现。

控制线路有如下三个方面的优点：

第一，防止电压严重下降时电动机低压运行。

第二，避免电动机同时启动而造成的电压严重下降。

第三，防止电源电压恢复时，电动机突然启动运转造成设备和人身事故。^[5]

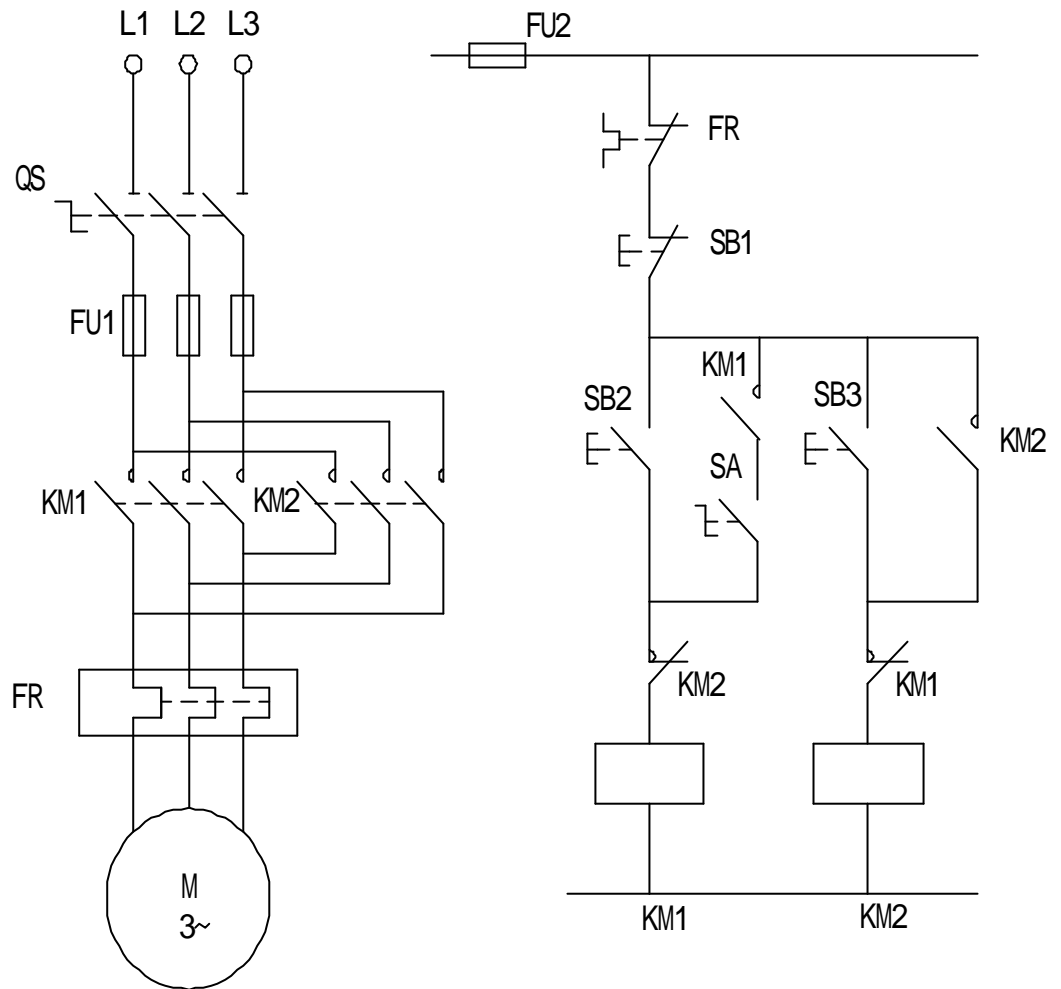


图 4-5 主电动机电路

4.3.3 输入、输出地址分配，PLC 外部接线图和限位开关的位置

PLC 的输入、输出点 (I/O) 分配见表 4-1 和表 4-2。PLC 外部接线图见图 4-6。

表 4-1 输入地址分配表

输入元件	输入端子号
启动按钮 SB1	X0
限位开关 SQ1	X1
限位开关 SQ2	X2
限位开关 SQ3	X3
限位开关 SQ4	X4
限位开关 SQ5	X5
限位开关 SQ6	X6

表 4-2 输出地址分配表

执行元件	输出端子号
控制推网电动机正转的 KM1	Y0
控制推网电动机反转的 KM2	Y1
控制碾子电动机下降 (正转) 的 KM3	Y2
控制碾子电动机上升 (反转) 的 KM4	Y3
控制碾子电动机向左 (正转) 的 KM5	Y4

控制碾子电动机向右(反转)的 KM6	Y5
--------------------	----

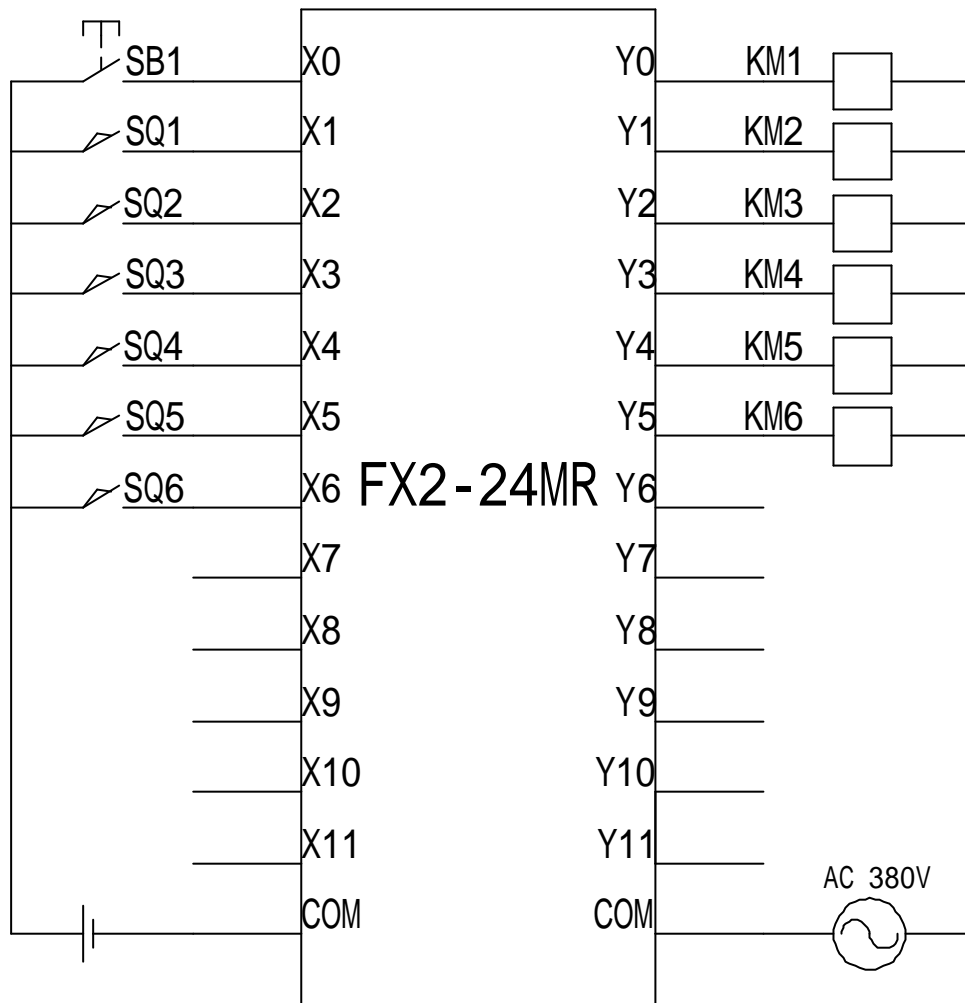


图 4-6 PLC 外部接线图

由表 3 可见碾子和推网设备的限位控制关键在于六个限位开关的位置。它们决定了碾子和丝网的前进、后退，上升、下降的距离和加工的精度。SQ1 安装在推网工作台一侧的导轨上，控制推网前进的位置；SQ2 安装在碾子工作台上上升下降装置壳体上，控制螺母的下降位置。SQ3 和 SQ4 分别安装在碾子工作台上上升下降装置壳体上，同时在左右传动装置壳体上分别安装一个挡块，控制前进、后退距离；SQ5 安装在碾子工作台上上升下降装置壳体上，控制螺母的上升位置；SQ6 安装在推网工作台另一侧的导轨上，控制推网前进的位置。

4.3.4 软件编程

根据自动印花设备的流程图（图 4-3）来设计梯形图，编程软件使用三菱

FXGP-WIN-C,在个人计算机上编程。采用三菱公司为 FX 系列 PLC 提供的步进梯形指令 (STL 和 RET 指令) 可以很方便、容易的设计出梯形图,见图 4-7。这种编程方式在转换实现时,对前级步的状态寄存器和由它驱动的输出继电器的复位是由系统程序完成的,而不是由用户程序在梯形图中完成的。因此,设计的梯形图程序比较短,执行速度较快。设计完成梯形图后,先在电脑上进行查错和模拟运行,无误后写入 PLC 的 RAM 中,具体参考程序如下:^[6]

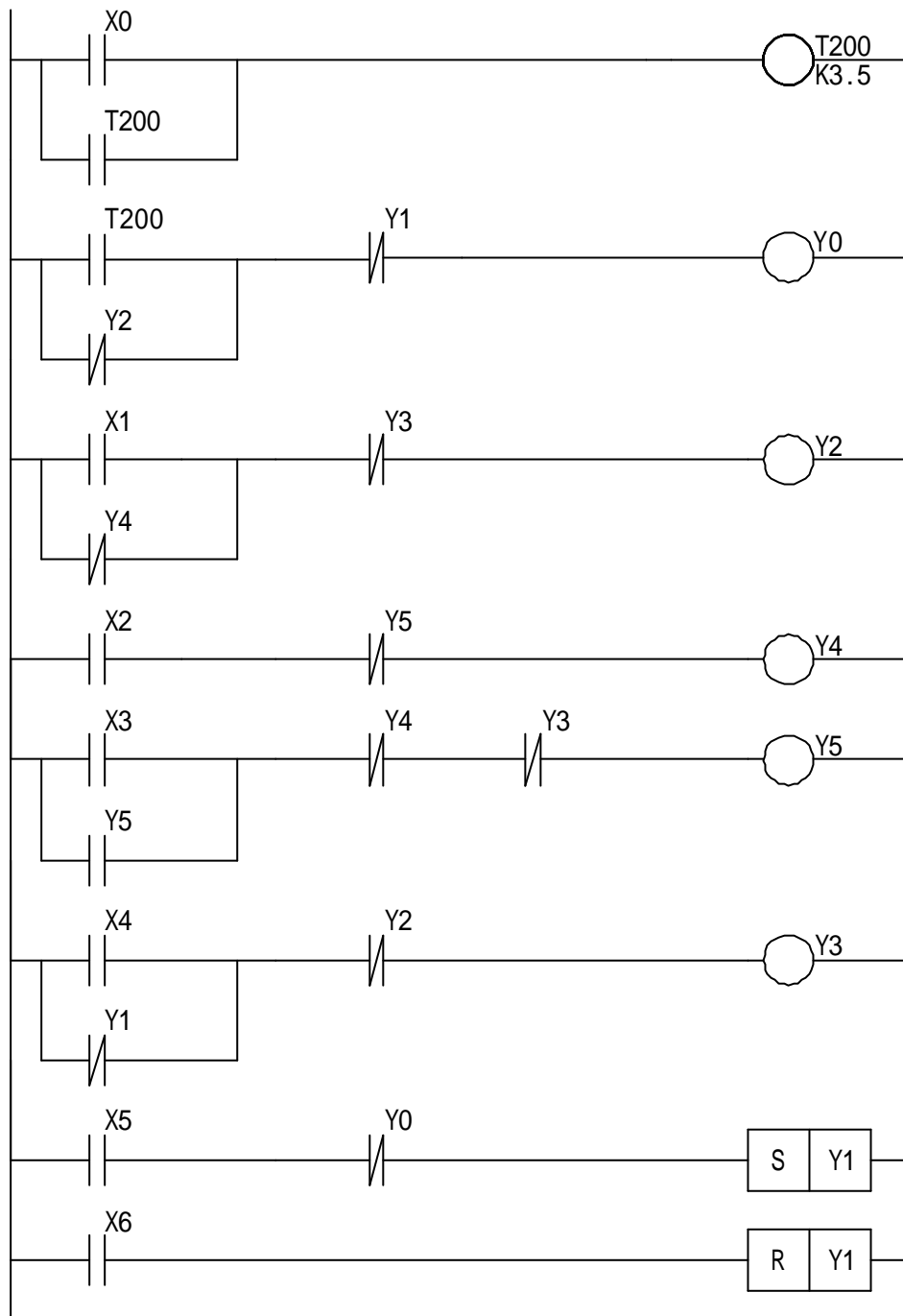


图 4-7 PLC 梯形图

PLC 梯形图的功能简介：

1) 当槽轮的销子触动启动开关 SB1，X0 端口常开变常闭，T200 线圈通电，开始延时；瞬间销子脱离，开关 SB1 弹起，X0 断开，但 T200 线圈有电，T200 接通，保持延时。2) 3.5 秒后，T200 接通，推网电动机反转继电器开关断开，Y0 线圈通电，推网前进。3) 当推网碰到限位开关 SQ1，端口 X1 接通，Y2 线圈接通，Y2 端口常闭变常开，Y0 不通电，实现推网前进停止，碾子工作台下落。4) 当碾子升降台碰到限位开关 SQ2，端口 X2 接通，Y4 线圈接通，Y4 端口常闭变常开，Y2 不通电，

实现下降停止，碾子工作台开始前进。5) 当碾子碰到限位开关 SQ3，端口 X3 接通，Y5 线圈接通，上一个电动机开始反转，碾子瞬间脱离 SQ3，X3 马上断开，Y5 端口常开变常闭，Y5 继续通电，实现自保持碾子继续后退。6) 当碾子工作台碰到限位开关 SQ4，端口 X4 接通，Y3 线圈接通，Y3 端口常闭变常开，Y5 不通电，实现碾子后退停止同时开始上升。7) 当碾子工作台上升碰到限位开关 SQ5，端口 X5 接通，Y1 线圈接通，Y1 端口常闭变常开，Y3 不通电，实现碾子工作台上升停止，推网开始后退。8) 当推网工作台后退碰到限位开关 SQ6，端口 X6 接通，Y1 线圈关闭。整个控制电路停止。

程序：

0 LD X0	13 LD X3
1 OUT T200	14 OR Y5
SP K3.5	15 ANI Y4
2 LD T200	16 ANI Y3
3 ORI Y2	17 OUT Y3
4 ANI Y1	18 LD X4
5 OUT Y0	19 ORI Y1
6 LD X1	20 ANI Y2
7 ORI Y4	21 OUT Y3
8 ANI Y3	22 LD X5
9 OUT Y2	23 ANI Y0
10 LD X2	24 SET Y1
11 ANI Y5	25 LD X6
12 OUT Y4	26 RST Y1

4.4 总结与评价

采用传统的继电器控制系统来实现电动机的控制与保护功能时，由于机械接触点很多，接线复杂，因此传统的控制方式已经越来越满足不了生产过程复杂多变的控制要求。

应用 PLC 实现电动机的启动与停止、正反转、顺序启动、降压启动以及互锁保护等功能，可以充分发挥 PLC “软接控制”的优点、通过变成实现复杂的逻辑控制功能；另一方面，应用 PLC “软触点”来取代继电器控制线路中的自锁触点、互锁触点以及时间继电器触点等，使得 PLC 控制系统的硬件接线得到了很大程度上的简化，提高了系统的可靠性。因此，在电动机控制中，应用 PLC 取代继电器控制系统成为发展的必然。^[5]

参考文献

- [1]. 机械设计手册编委会. 机械设计手册. 北京：机械工业出版社，2004 .
- [2]. 成大先. 机械设计手册（机械传动）. 北京：化学工业出版社，2004 .
- [3]. 陈康宁等. 机械工程控制基础. 西安：西安交通大学出版社，1997 .
- [4]. 何克忠，李伟. 计算机控制系统. 北京：清华大学出版社，1998 .
- [5]. 李树雄. PLC 原理与应用. 北京：北京航空航天大学出版社，2006 .
- [6]. R.T.Lee , W.H.Cheng . A Multizone Scaling Method for CAD in Shoe Sole Design . Int J Adv Manuf Technol (2002) 19 : 313-317 .
- [7]. C. H. Lan . Optimal Control of a Multistage Machining Operation on a Computer Numerically Controlled Machine . Int J Adv Manuf Technol (2002) 20:807 – 811

致谢

本论文是在高延峰导师的悉心指导下完成的。从论文的选题、实验方案的设计、结果分析到论文的撰写，无不倾注了高老师的大量心血和辛勤汗水。高老师深厚的理论基础、丰富的实践经验、严谨求实的治学态度，他循循善诱的教导和不拘一格的思路都给予了我很大的帮助。开拓创新的学者风范、博大的胸怀和诚恳的为人，值得我终生学习。

感谢我机械三班所有的兄弟，在我学习和生活中给予的帮助和支持。

衷心感谢我的父母，感谢他们一直以来给予我的最无私、最伟大的爱，他们的理解和支持是我不断努力的原动力，是我力量的源泉。

在此文论完成之际，谨向两年来给予我关心的良师益友和亲人们致以最诚挚的谢意！