

# 测力式精密扎捆机的研制

赵明晶 张承嘉 高云国

**摘要:** 本文主要阐述测力式精密扎捆机的传动系统与结构设计, 气马达参数计算, 控制阀的工作程序, 测力传感器的结构与工作原理以及性能测试的结果。

## 一、前言

本文阐述的测力式精密扎捆机是为北京8312工程研制的用于正负电子对撞机簇射计数器装配的专用设备。该机由两部分组成: 一部分是带数字显示的可测定拉力的精密扎捆机, 另一部分是单面双点点焊机。该扎捆机可对电子对撞机簇射计数器各层的捆绕钢带进行拉紧、测力与焊固, 最大拉力为500kgf, 测力误差为0.2%。这种测力式扎捆机与现行的扎捆机相比, 能在拉紧过程中准确测力, 并能进行点焊固定, 因而可使钢带外周表面平整光滑, 保证了簇射计数器的装配质量。不消说, 这是对现行扎捆机的一个创新, 而且在国内是属于首次研制。

## 二、技术指标

扎捆机拉力:  $p_k = 300\text{kgf}$ ;  
测力误差:  $\delta = \pm 1\%$ ;  
数显位数:  $N = 4$ ;  
分辨率:  $k_f = 0.1\text{kgf}$ ;  
滚轮转速:  $n_k = 28.8\text{rpm}$   
拉带速度:  $v_k = 3.5\text{m/min}$   
钢带宽度:  $b = 13\text{mm}$ ;  
钢带厚度:  $h = 0.7\text{mm}$ ;  
钢带材料: 0Cr<sub>18</sub>Ni<sub>14</sub>不锈钢。

## 三、传动系统设计

传动系统如图1所示, 由气马达M通过两组2K-H行星齿轮减速器和一对弧齿圆锥齿轮传动带动滚轮R旋转, 然后由滚轮拉紧钢带。传动系统的设计计算如下:

$$i_1 = \frac{n_m}{n_k} = \frac{7400}{28.8} = 257$$

$$i_t = i_{ad} \cdot i_{dH} \cdot i_b = \frac{44}{6} \times \frac{48}{8} \times \frac{35}{6} = 257$$

$$i_{ad} = 1 + \frac{z_c}{z_a} = 1 + \frac{38}{6} = \frac{44}{6}$$

$$i_{dH} = 1 + \frac{z_f}{z_d} = 1 + \frac{40}{8} = \frac{48}{8}$$

$$i_b = \frac{z_2}{z_1} = \frac{35}{6}$$

$$z_a = 6$$

$$z_c = 38$$

$$z_d = 8$$

$$z_f = 40$$

$$z_b = \frac{1}{2} (z_c - z_d) = \frac{1}{2} (38 - 6) = 16$$

$$z_e = \frac{1}{2} (z_f - z_d) = \frac{1}{2} (40 - 8) = 16$$

$$z_1 = 6$$

$$z_2 = 35$$

式中  $i_t$ ——总传动比；

$i_{ad}$ ——第 1 组行星齿轮减速器传动比；

$i_{dH}$ ——第 2 组行星齿轮减速器传动比；

$i_b$ ——圆锥齿轮传动的传动比；

$n_m$ ——气马达额定转速；

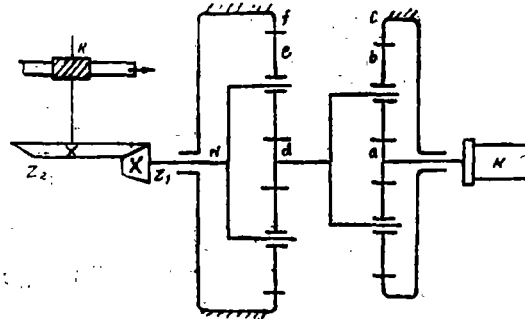


图 1 扎捆机传动系统

$n_b$ ——滚轮额定转速；

$z_a, z_d$ ——中心轮齿数；

$z_b, z_c$ ——行星轮齿数；

$z_e, z_f$ ——内齿轮齿数；

$z_1, z_2$ ——圆锥齿轮齿数。

根据行星齿轮传动的装配条件要求，中心轮与内齿轮的齿数之和同行星轮个数之比应为整数，因此，进行了下列验算。验算结果表明，两组传动均符合要求。

$$q_1 = \frac{z_a + z_e}{A_1} = \frac{6 + 38}{2} = 22$$

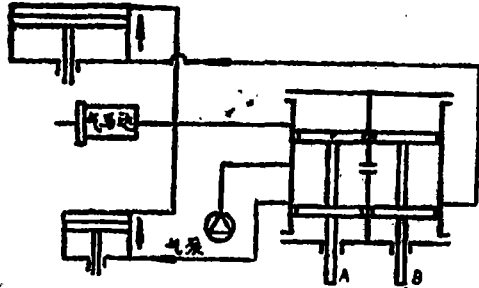
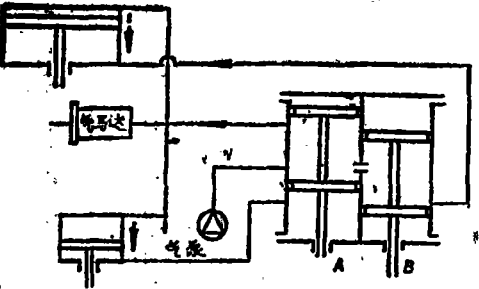
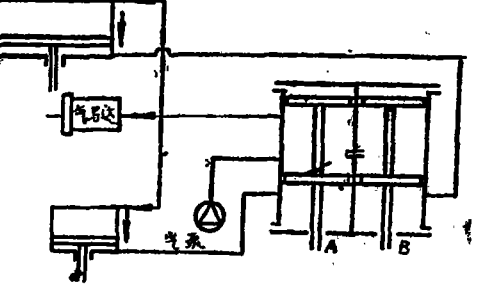
$$q_2 = \frac{z_s + z_f}{A_2} = \frac{8 + 40}{2} = 24$$

式中  $q_1, q_2$ ——任意整数;  
 $A_1 = 2$ ——第 1 组行星齿轮个数;  
 $A_2 = 2$ ——第 2 组行星齿轮个数。

### 四、结构设计

扎捆机的结构如图 2 所示。它由气马达 7、减速器 6、滚轮 8、大气缸 3、小气缸 4、控制阀 5、切断器 2、支座 9、测力传感器 1 及数显表等部件组成。小气缸是用来推动滚轮压紧钢带的；大气缸是用来推动切断器切断钢带的。大小气缸是通过 阀杆由控制阀来控制的。其控制程序如表 1 所示。

表 1 控制阀的工作程序

程序	动 作	工 作 原 理
1	接通压缩空气	
2	按下阀杆 A	
3	按下阀杆 B	

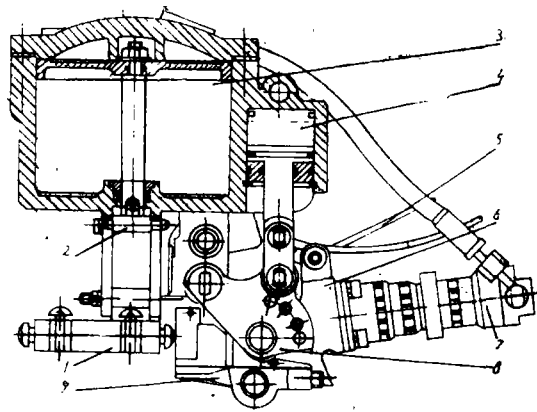


图2 测力式扎捆机的结构

- 1 —— 测力传感器    2 —— 切断器    3 —— 大气缸    4 —— 小气缸  
5 —— 控制阀杆    6 —— 减速器    7 —— 气马达    8 —— 滚轮    9 —— 支座

## 五、气马达与滚轮的参数计算

气马达的特点是可无级调速，可正转与反转，而且起动力矩大，起停迅速并有过载保护作用。为使结构简单、体积小，选用了叶片式气马达。其参数计算如下：

$$n_{max} = \frac{18500}{R_r^{2/3}} k_1 \cdot k_2 = \frac{18500}{1.4^{2/3}} \times 1 \times 1 = 14800 \text{rpm}$$

$$n_m = \frac{n_{max}}{2} = \frac{14800}{2} = 7400 \text{rpm}$$

$$M_{max} = 1.4 P_r \cdot L \cdot R_r \cdot e \cdot k_3 = 1.4 \times 5 \times 3.5 \times 1.625 \times 0.225 \times 1 = 9 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_m = \frac{M_{max}}{2} = \frac{9}{2} = 4.5 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$N_m = \frac{M_m \cdot n_m}{71620} = \frac{4.5 \times 7400}{71620} = 0.46 \text{ps}$$

- 式中  $n_{max}$  —— 气马达最高转速；  
 $n_m$  —— 气马达额定转速；  
 $M_{max}$  —— 气马达最大转矩；  
 $M_m$  —— 气马达额定转矩；  
 $N_m$  —— 气马达额定功率；  
 $R_r$  —— 转子半径， $R_r = 1.4 \text{cm}$ ；  
 $R_s$  —— 定子半径， $R_s = 1.625 \text{cm}$ ；  
 $p_r$  —— 气体压力， $p_r = 5 \text{kgf/cm}^2$ ；  
 $L$  —— 叶片长度， $L = 3.5 \text{cm}$ ；  
 $e$  —— 偏心距离， $e = 0.225 \text{cm}$ ；  
 $k_1, k_3$  —— 转向系数，单向旋转  $k_1 = k_3 = 1$ ；  
 $k_2$  —— 管压系数， $p_r = 5 \text{kgf/cm}^2$  时， $k_2 = 1$ 。

滚轮由小气缸推动来压紧钢带并由风马达及齿轮带动来拉紧钢带。其参数计算如下：

$$n_k = \frac{n_m}{i_i} = \frac{7400}{257} = 28.8 \text{rpm}$$

$$M_k = M_m \cdot i_i \cdot \eta_i = 4.5 \times 257 \times 0.85 = 980 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$P_k = \frac{2M_k}{D_k} k_f = \frac{2 \times 980}{3.8} \times 0.6 = 310 \text{kgf}$$

$$P_{k_{max}} = 2P_k = 2 \times 310 = 620 \text{kgf}$$

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{100} = \frac{\pi \times 3.8 \times 29}{100} = 3.5 \text{m/min}$$

式中  $n_k$ ——滚轮额定转速，

$M_k$ ——滚轮额定转矩，

$P_k$ ——滚轮额定拉力，

$P_{k_{max}}$ ——滚轮最大拉力，

$v_k$ ——滚轮拉带速度，

$D_k$ ——滚轮直径， $D_k = 3.8 \text{cm}$ ，

$\eta_i$ ——总传动效率， $\eta_i = 0.85$ ，

$k_f$ ——钢带变形与摩擦损失系数，由实验确定， $k_f = 0.6$ 。

## 六、控制阀的工作原理

气动控制系统有两个控制阀，分别由阀杆A和阀杆B来控制。其工作原理与控制程序列于表1。

第1程序是接通压缩空气，阀杆A和阀杆B均不动。此时，大气缸的活塞退回待命，小气缸的活塞退回，将滚轮抬起。

第2程序是按下阀杆A（阀A上移）。此时，大气缸的活塞不动，小气缸的活塞下移，使滚轮压紧钢带，同时气马达旋转，使滚轮拉紧钢带。

第3程序是按下阀杆B（阀B上移）。此时，大气缸的活塞下移，切断钢带，然后，撞动锁杆使控制阀复位，于是各零件均复位，工作循环结束。

## 七、测力传感器的结构与工作原理

测力传感器的结构如图3所示，它是采用S型应变式力电转换的弹性体元件，将4支应变片 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 分别贴在弹性体的内壁上，组成如图4所示的全桥式电路。当弹性体触头受力时，则电桥将有电压输出，经前置放大和模数转换后，便可由数显表示出被测力的大小。

电桥的输出电压由下式计算：

$$\Delta U = U k \epsilon$$

$$\epsilon = \frac{P}{EF} k$$

式中  $\Delta U$ ——电桥输出电压，  
 $U$ ——供桥电压，  
 $\epsilon$ ——一个应变片产生的应变值，  
 $P$ ——弹性体上的作用力，  
 $F$ ——弹性体的断面积，  
 $E$ ——弹性模量，  
 $k$ ——结构系数，由实验确定。

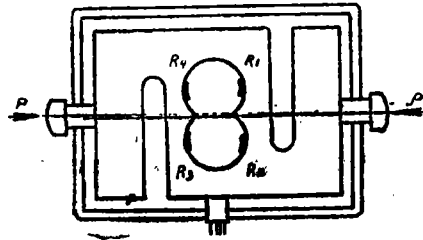


图3 测力传感器的结构

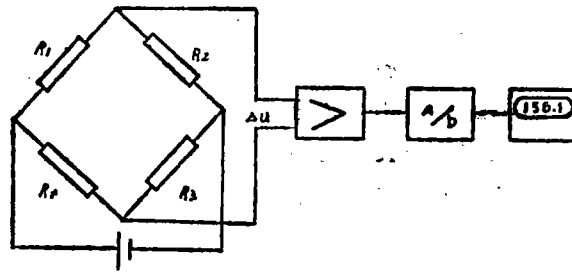


图4 全桥式测量电路

## 八、性能测试

根据技术指标的要求，对测力式扎捆机的各项性能进行了测试。测试结果列于表2。测力传感器的定度是用砝码标定的。通过标定表明，传感器数显表的示值是稳定的。标定的结果示于表3。

表2 测力式扎捆机的性能测试数据

测试项目	技术指标	测试结果
扎捆机拉力	$P_k = 300\text{kgf}$	$P_k = 500\text{kgf}$
测力误差	$\delta = \pm 1\%$	$\delta = \pm 0.2\%$
数显位数	$N = 4$	$N = 4$
分辨率	$k_f = 0.1\text{kgf}$	$k_f = 0.1\text{kgf}$
滚轮转速	$n_k = 28.8\text{rpm}$	$n_k = 33.5\text{rpm}$
拉带速度	$v_k = 3.5\text{m/min}$	$v_k = 4\text{m/min}$
气体压力	$p_g = 5\text{kgf/cm}^2$	$p_g = 5 \sim 5.5\text{kgf/cm}^2$

表3 测力传感器的标定数据

加载重量 $P$ , kgf	数显表示值 $P_s$ , kgf	卸载重量 $P$ , kgf	数显表示值 $P_s$ , kgf
	0	0	0.1
100	100.1	100	100.2
200	200.0	200	200.1
300	300.0	300	300.0
400	400.0	400	400.0
500	499.9	500	499.9

## Manufacture of the Precision Dynamometric Binder

Zhao Mingjing Zhang Chengjia Gao Yunguo

### Abstract

This paper describes a design of the driving system and construction of the dynamometric binder, including the calculation of air motor, the running program of the control valve, the construction and operating principle of the transducer and the data of the performance measurement.