



汕頭大學
SHANTOU UNIVERSITY

毕业论文

气动直角坐标型搬运机械手设计

Design of pneumatic rectangular coordinate handling manipulator

学 院： _____ 工学院

系 别： _____ 机电系

专业年级： _____ 机械设计制造及其自动化

学生姓名： _____

学 号： _____ 09124059

指导教师： _____

气动直角坐标型搬运机械手设计

摘 要

本次毕业设计题目为面向包装生产线的气动直角坐标型搬运机械手设计，为对题目的进一步细化以明确设计内容，设计初始阶段设定了一个更为明确的工作条件：包装生产线中玻璃瓶饮料装箱过程中搬运动作的实现，具体的工作描述为：规格 500ml 的常见啤酒装箱的实现，12 瓶装每箱，手部实现模块化，有可拆卸性及与相同模块一定的互换性。本论文为本次设计的技术说明书，论文包括一些基本的机械手知识介绍和对设计题目的经进一步细化确定及整个设计的完整过程。设计先从手部的结构及整体的架构开始，完成手部设计（确定负载为进一步气缸选型），整体架构设计（确定行程为进一步气缸选型）后，进而进行气缸的选型，气动回路的设计及电磁阀等控制元件的选择，最后选择 PLC 进行流程分析编写梯形图及程序，完成整体的设计，最后进行各部分检测优化，完成全部设计。

关键词：机械手 气动 包装生产线 直角坐标型 PLC

Design of pneumatic rectangular coordinate handling manipulator

Abstract

The topic of this graduation project is to design a pneumatic rectangular coordinate handling manipulator cater to packaging production line. To make the topic be clearer, before the design going on, clearer work condition has been setting. The manipulator is use for binning glass bottles of drink. More specific work descriptions is, common beer of 500 ml, 12bottles one time, the hand module is detachable and interchangeable. This dissertation is the technical specification of the design. It includes some basic knowledge of handling manipulator; crystallize the topic and design content and the hold design process. The design starts from hand's structural analysis and overall structure design. After this is the selection of cylinder stator and pneumatic circuit designing, and then choice PLC to compiling ladder diagram. At last, checking the whole design and optimize the design.

Keywords: manipulator pneumatic packaging production line
rectangular coordinate PLC

目录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	III
第一章、概述.....	1
第二章、工业机械手.....	2
2.1 机械手的简介.....	2
2.2 工业机械手的组成.....	2
2.3 机械手的运动和分类.....	3
2.4 机械手的主要参数.....	4
第三章、机械结构与驱动气缸的选择.....	5
3.1 设计内容的明确及机械手参数设定.....	5
3.2 手部结构设计及夹紧力分析计算.....	5
3.3 手部气缸的分析选型.....	14
3.4 整体架构的设计.....	17
3.5 XYZ 三轴气缸的分析选型.....	17
第四章、控制系统设计.....	23
4.1 气压传动系统设计.....	23
4.2 机械手的 PLC 控制设计.....	24
附录一、完整梯形图.....	29
参考文献.....	32

第一章、概述

不管是从国家宏观的角度看，亦或是就生产中的每一个劳动者，生产中的自动化都有着重要的意义。一个国家的生产或生活中自动化程度已经成为衡量一个国家工业发展水平的重要标准之一，生产中的自动化能大大提高生产效率，促进国家生产力的提升。而对于个人来说，生产中的自动化能够实现劳动者从繁杂重复的劳动中解脱出来，或者是克服恶劣危险的工作环境，改善劳动者的工作条件。

包装生产线是工业生产的一个重要环节，包装生产线的自动化是工业自动化重要的一部分，因此对包装机械手的研究设计有着重要的意义。机械手的驱动方式包括：气压驱动，液压驱动，电气驱动和机械驱动。由于气压传动系统使用安全、可靠，可以在高温、震动、易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射等恶劣环境下工作；而气动机械手作为机械手的一种，它具有结构简单、重量轻、动作迅速、平稳、可靠、节能和不污染环境、容易实现无级调速、易实现过载保护、易实现复杂的动作等优点^[2]。所以，气动机械手被广泛应用于汽车制造业、半导体、家电行业、食品和药品的包装上。较为简单气动机械手技术的应用如今已是很普遍的了，但随着生产要求的提高，对气动机械手也提出了更高的要求，即他们必须具有高定位精度、能快速反应、有一定的承载能力、足够的空间和灵活的自由度以及在任意位置都能自动定位。本文所涉及的气动机械手属于简易的气动机械手，但简易的机械手的研究设计对掌握包装机械手，工业机械手都有重要帮助，对以后机械结构，驱动系统，控制系统等相关知识的学习有着重要意义。

从专业知识的角度看，设计内容覆盖了四年所学的主要专业课程知识，包括：机械方面的理论力学，机械原理，机械制图，互换性与测量技术基础等；自动化控制方面的现代检测技术与自动控制原理等，另外还有气动驱动及控制这一极其有实际价值的知识的补充。整个设计能够对大学四年的专业知识做一个串联与实践，其中的意义就不明而喻了。

第二章、工业机械手

2.1 机械手的简介

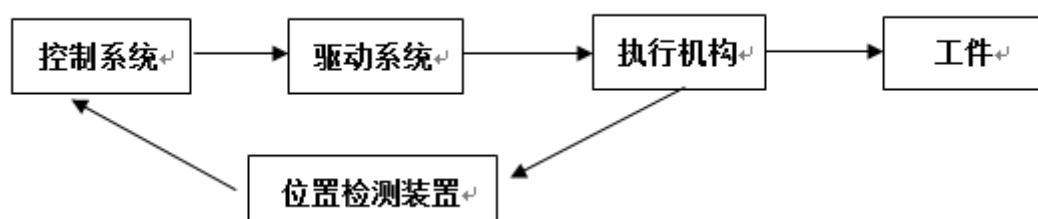
工业机械手是能够模仿人手的部分动作，按照给定的程序、轨迹和要求实现自动抓取、搬运或操作的自动化机械装置。在工业生产中工业机械手简称“机械手”。

工业生产上应用的机械手，由于使用场合和工作要求不一样，所以其结构形式各不相同，技术复杂程度也有很大的差别，但是一般上机械手都有类人的手臂、手腕和手部的动作功能，一般都能够按照预定的要求，自动地、重复地工作^[1]。

工业机械手的主要优势是能代人完成一些繁重和重复的工作，把劳动者从繁重枯燥的劳动中解脱出来；或者是代人完成恶劣环境中的工作，从而减轻工人的劳动强度，改善劳动条件；另由于机械的自动化往往也能提高生产效率。

2.2 工业机械手的组成

工业机械手的构成主要由执行机构、驱动系统、控制系统以及位置检测装置等组成，各个部分之间的相互关系如下图所示：



(2.2-1) 机械手各部分之间的相互关系

1、执行机构

一般由手部，手腕，手臂和机座等部件，有的还增设行走机构。

(1) 手部 直接与工件或工具接触的部分，实现对工件的抓取或工具的握持。有些直接将工具（如焊枪）装置于机械手的前端，而不设置手部。手部一般分为回转型和平移型（多为回转型，因为其结构较为简单）。还可以分为外抓式和内抓式两种；也可以用负压式或真空式的空气吸盘（主要吸取冷的表面光滑的包装对象）和电磁吸盘（导磁材料）。

(2) 手腕 是机械手中连接手部和臂部主要用来确定工作时手部位置并扩大臂部动作范围的部件。有一些实现动作较为简单的机械手不设腕部，而是直接将手部连接在手臂上（本设计就不设手腕）。

(3) 手臂 是机械手中支承腕部和手部，用来实现较大范围运动的部件。

(4) 支柱 是支承手臂的部件，支柱也可是手臂的一部分。手臂的回转，升降或俯仰运动均与立柱有密切的关系。

(5) 机座 是机械手的基础部分。执行机构的各部件和驱动系统均安装在机座上，起支承和连接作用。

有时为了完成远距离的操作或扩大使用范围，可增色滚轮行走机构。

2、驱动系统

机械手的驱动系统是驱动执行机构运动的动力装置，常用的有液压、气压、电力和机械驱动四种形式。

3、控制系统

控制系统是机械手动作的指挥系统，用来控制动作的顺序、位置、时间、速度和加速度等。

4、位置检测装置

位置检测装置是控制执行机构的运动位置，可随时将执行机构的实际位置反馈给控制系统，并与设定的位置进行比较，然后通过控制系统进行调整，使执行机构以一定的精度到达设定的位置。

2.3 机械手的运动和分类

1、机械手的运动

机械手以及其手部所夹持的工件（或工具）在空间的位置，由臂部、腕部、手部等部件以及整体机的各自独立运动合成起来确定。机械手通常可实现的基本动作：

手臂的运动：A、伸缩运动 B、回转运动 C、俯仰运动 D、升降运动。

手腕的运动：A、回转运动 B、上下摆动 C、左右摆动。

手部的运动：A、夹紧 B 松开。

整机的运动：A、整机行走

机械手的每一个运动，都必须用一个原动件，当原动件按照一定的规律运动时，机械手的各部件的、随之做确定的运动，从而使机械手确定性的运动为位置。

2、机械手的分类

机械手按不同的标准有不同的分类方法，目前还没有统一的标准。一般机械手可以有以下的分类方式：

(1) 按坐标形式可分为：

A、直角坐标机械手；

B、圆柱坐标机械手；

C、球坐标机械手；

D、关节机械手。

(2) 按规格（工件的重量）可分为：

A、微型的——搬运重量在 1Kg 以下；

B、小型的——搬运重量在 10kg 以下；

C、中型的——搬运重量在 60Kg 以下；

D、大型的——搬运重量在 500Kg 以上。

目前大部分的工业机械手能搬运的重量为 1~30Kg。最小的为 0.5Kg，最大的已达 800Kg。

(3) 按照机械手的用途可分为：A、专用机械手；B、通用机械手。

(4) 按驱动方式可分为：

A、液压驱动机械手；

B、气压驱动机械手；

C、电力驱动机械手；

D、机械驱动机械手。

(5) 按控制的方式还可以分为：A、点位控制机械手；B、连续控制机械手。

2.4 机械手的主要参数

机械手的主要参数是说明机械手的规格和性能的具体指标，一般包括：

1、抓取重量

抓取重量又称为臂力，是机械手所能抓取或搬运的物件的最大重量，它对其他参数如行程范围、运动速度、缓冲装置等的设计均有影响，是机械手的最基本参数。

2、运动速度

运动速度反映机械手的生产水平，影响机械手的运动周期和生产效率，很多机械手由于运动速度低而影响了它的适用范围。运动速度的大小与机械手的驱动方式、定位方式、抓重大小，行程范围有关系。

3、行程范围

机械手的运动行程对机械手性能有较大的影响。一般来说，手臂的行程应该尽量大，以提高机械手的适应范围；但是另一方面，手臂太长会增加手臂的悬伸量，相应的偏重力矩和转动惯量要增大，且刚性降低，定位精度也会更难得到保障。

4、定位精度

定位精度是机械手的另一重要指标，是机械手从某一位置运动到预期位置时所达到的实际位置的准确程度。定位精度的高低取决于位置控制方式以及机械手零部件本身的精度与刚度，并和抓取重量大小及运动速度等有密切的联系。定位精度包括位置设定精度和重

复定位精度两种，一般所说的是指重复定位精度^[1]。

第三章、机械结构与驱动气缸的选择

3.1 设计内容的明确及机械手参数设定

1、设计内容

设计题目要求为工业生产中包装生产线的气动直角坐标型机械手设计，为使设计的进一步细化明确，本人设定工作场景为：包装生产线中 500ml×12 常见啤酒装箱操作的实现，每瓶啤酒的毛重约为 1Kg（常见为 $0.95 \pm 0.5\text{Kg}$ ），所以设定抓取重量为 13Kg，属于中小型机械手。

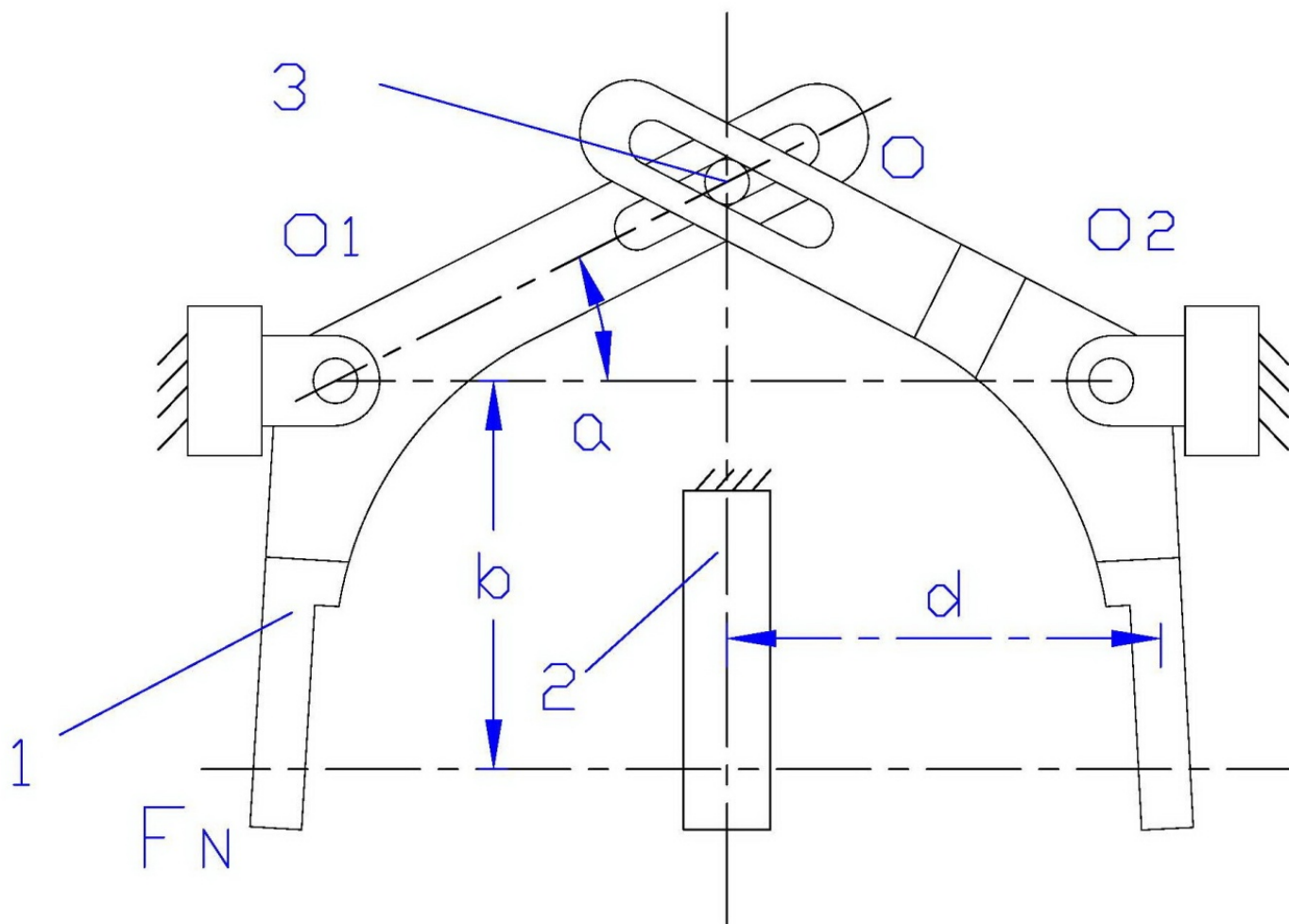
2、机械手主要参数、规格等设定如下表：

表 1

驱动方式：	气压驱动	控制方式：	点位控制
气源气压：	0.6MPa	控制系统：	PLC 控制
规格：	中小型	抓取重量：	13Kg
坐标型：	直角坐标型	运动速度 (X/Y/Z-m/s)：	0.1/0.1/0.1
用途：	介于专用与通用机械手，手部可拆卸，具有一定互换性。	行程范围 (X/Y/Z-mm)：	800/500/950

3.2 手部结构设计及夹紧力分析计算

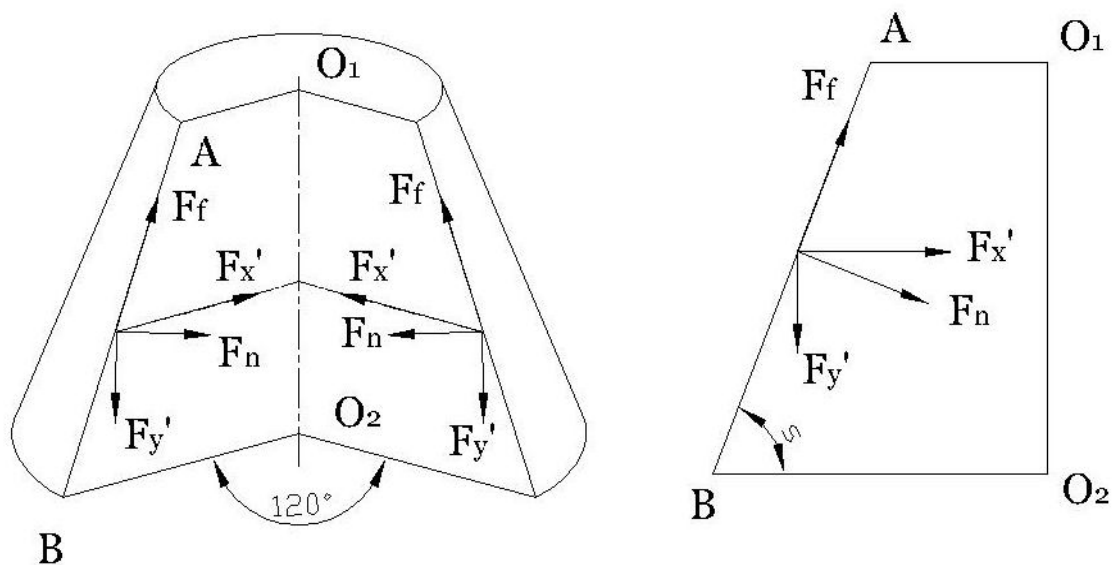
手部选择滑槽杠杆式手部结构，又考虑到两瓶啤酒之间的空间有限，为使结构紧密且手部驱动气缸的受力尽量减小，手部结构采用活动手指与固定手指相结合形式，其结构如下图：



1--活动手指 2--固定手指 3--销轴

(3.2-1) 手抓部分结构图

在活动手指的下端固定橡胶材质的 V 型块能与啤酒瓶上端圆锥形外围相切。其中在气缸推杆的作用下销轴 3 向上运动带动两个活动手指绕 O_1O_2 旋转，使得手指往里加紧推动 V 型块夹紧啤酒瓶。啤酒瓶受力可表示如 (3.2-2)：



(3.2-2) 啤酒瓶受力图

由上图分析可知：

$$F_x' = F_f \cos s + F_n \sin s$$

$$F_y' = F_f \sin s - F_n \cos s$$

$$4F_y' = G$$

$$F_f = F_n f$$

$$4F_n (f \sin s - \cos s) = G$$

由以上式子可得：

$$F_x' = \frac{G(f \cos s + \sin s)}{4(f \sin s - \cos s)} \quad (1)$$

$$F_y' = \frac{G(f \sin s + \cos s)}{4(f \sin s - \cos s)} \quad (2)$$

其中 F_n —— V 型块单个接触面对啤酒瓶的压力；

F_f —— 啤酒瓶受到 V 型块单个接触面的摩擦力；

F_x' —— 啤酒瓶受到 V 型块单个接触面上合力的水平分量

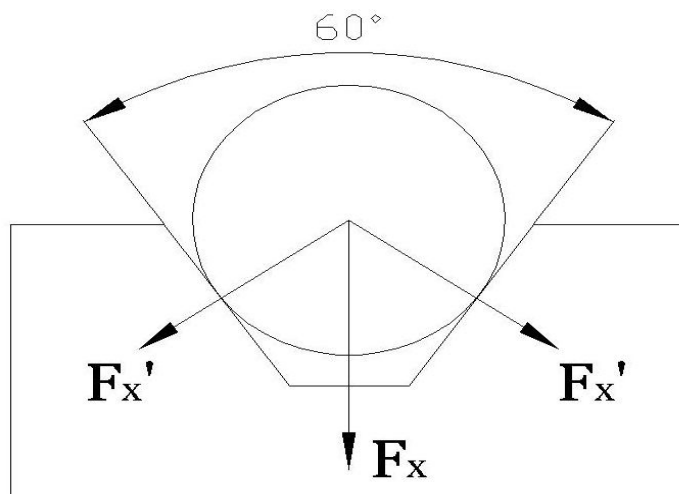
F_y' ——啤酒瓶受到 V 型块单个接触面上合力的竖直分量

f ——橡胶材质 V 型块与啤酒瓶表面的摩擦系数，橡胶与玻璃的最大静摩擦系数可达 0.8，此处，取 $f = 0.5$ ；

s ——啤酒瓶的外围倾斜度的衡量，由图（3.2-5）可知：

$$s = \arctan \frac{40}{0.5(30 - 22)} = 84.3^\circ;$$

G ——单瓶啤酒的所受的重力，单瓶啤酒质量为 1Kg，所以取 $G = 9.8N$ 。
对 V 型块所受的水平方向的力做合成如下图所示：



(3.2-3) V 型块在水平方向上的受力

由上图分析可知：

$$F_x = 2F_x' \sin 30^\circ \quad (3)$$

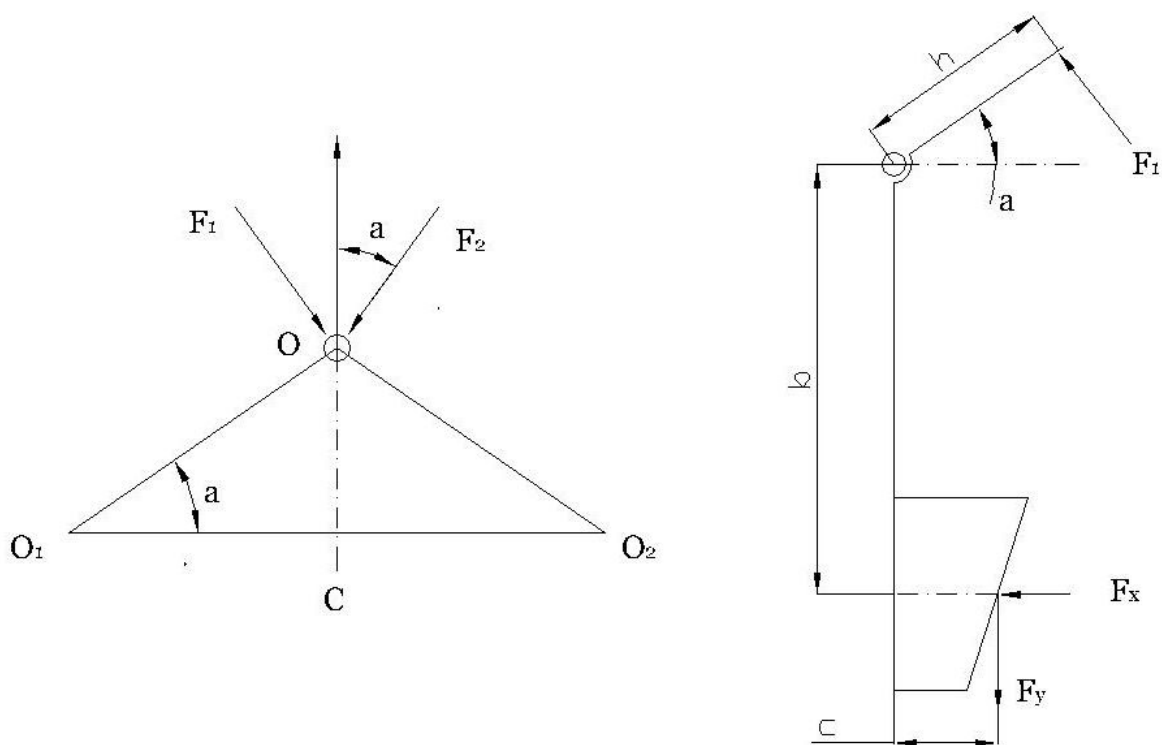
由（1）（3）得：

$$F_x = F_x' = \frac{G(f \cos s + \sin s)}{4(f \sin s - \cos s)} \quad (4)$$

其中 F_x ——V 型块受到的水平方向的合力。

同理 V 型块受到的竖直方向的合力为 F_y ，由于竖直方向两个力 F_y' 方向相同，所以可表示为：

$$F_y = 2F_y' = \frac{G(f \sin s + \cos s)}{2(f \sin s - \cos s)} \quad (5)$$



(3.2-4) 手指受力图

由于最终 V 型块与手指固定连接，所以手指的受力图课表示如上图 (3.2-4)，销轴 3 向上的拉力为 F ，通过销轴的中心 O 点，活动手指的滑槽对销轴的反作用力为 F_1 、 F_2 ，其力的方向垂直于滑槽的中心线 OO_1 和 OO_2 并指向 O 点。

$$\text{由于 } \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \quad \text{得} \quad F_1 = F_2, \quad F_1 = \frac{F}{2\cos\alpha} \quad (6)$$

由于力的相互作用可知： $F_1 = -F_1'$

又由 $\sum M_{O1}(F) = 0$ 有：

$$F_1 h = F_x b + F_y c \quad (7)$$

联合 (4) (5) (6) (7) 可得：

$$F = \frac{2\cos\alpha \cdot G}{h} \left[\frac{b(f\cos s + \sin s) + 2c(f\sin s + \cos s)}{4(f\sin s - \cos s)} \right]$$

$$\text{又 } h = \frac{d}{\cos\alpha}$$

$$\text{所以 } F = \frac{2 \cos^2 \alpha \cdot G}{d} \left[\frac{b(f \cos s + \sin s) + 2c(f \sin s + \cos s)}{4(f \sin s - \cos s)} \right] \quad (8)$$

式中 α ——工件夹紧时手指的滑槽方向与两回转支点连线间的夹角；

c ——V 型块在竖直方向的合力作用点与回转中心 O_1 在水平方向上的距离；

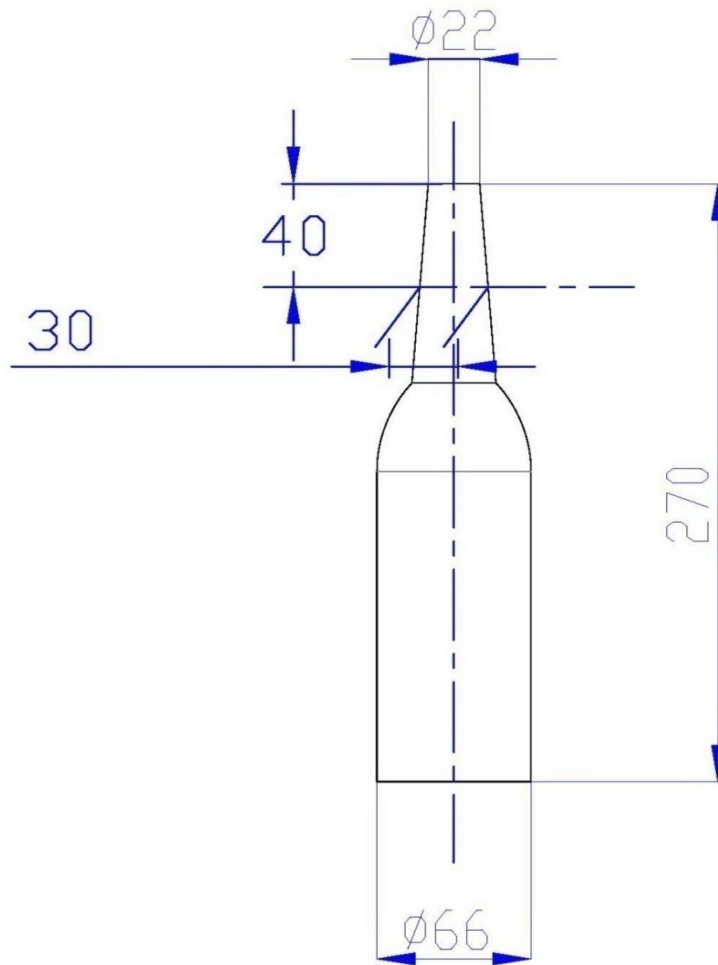
d ——手指的回转支点到对称中心线的距离。

操作对象为常见的 500ml 的啤酒，具体规格参数如下表：

表 2

毛重：	0.95 ± 0.05 KG
高度：	270 ± 5 mm
底部直径：	66 ± 1 mm
40mm 往下处直径：	30 ± 1 mm
瓶口直径：	22 ± 2 mm
装箱排列方式：	3 × 4 紧密排列

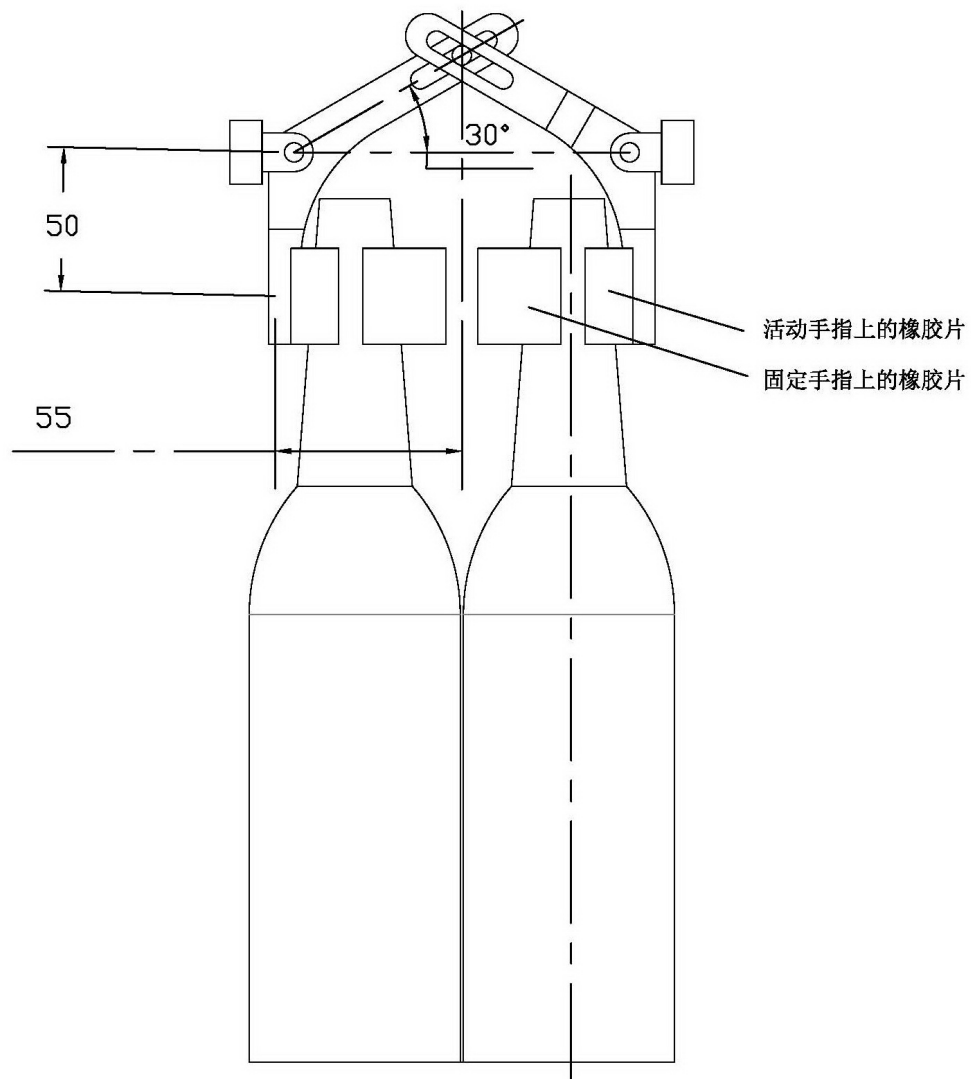
啤酒外围大致尺寸图如下：



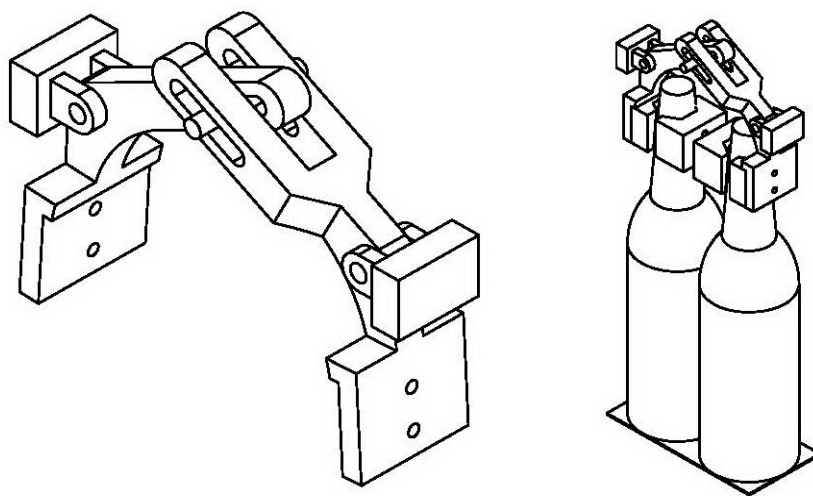
(3.2-5) 啤酒瓶外围尺寸图

由啤酒瓶的外围实际尺寸，决定了手指之间的相间距离，即决定了 d 的大小。另外由式 (1-1) 可知，当驱动力 F 一定时，根据式子 (7) 可知， G 随着角 α 的增大而不断增大，即当 α 越大时，手爪的负载能力越强，但是由于角 α 越大时，活动手指销滑槽的尺寸长度会变大，轴的移动行程也会越大，即最终气缸的行程会变大，一般可取 $\alpha = 30^\circ \sim 40^\circ$ 。

现取 $\alpha = 30^\circ$ ，瓶子底部直径 $\phi = 66\text{mm}$ ，夹紧处直径 $\phi' = 30\text{mm}$ ， c 可取为 15mm ，可得单体实际尺寸图及单体效果图如下所示：



(3.2-6) 单体尺寸图



(3.2-7) 单体效果图

对于单个酒瓶，取其质量为： $m=1.0Kg$ $G=9.8N$ 。考虑到除了静载荷之外工件运动状态变化亦会产生载荷（惯性力或惯性力矩）以及出于安全系数的考虑。

（8）式可写成：

$$F = K_1 K_2 \frac{2 \cos^2 \alpha \cdot G}{d} \left[\frac{b(f \cos s + \sin s) + 2c(f \sin s + \cos s)}{4(f \sin s - \cos s)} \right] \quad (9)$$

其中 K_1 ——安全系数；

K_2 ——工作情况系数，考虑惯性力的影响， K_2 可按下式计算：

$$K_2 = 1 + \frac{a}{g};$$

其中 a ——运载工件时重力方向的最大上升加速度；

g ——重力加速度，取 $g = 9.8m/s^2$ ；

$$a = \frac{v_{\max}}{t_{\text{响}}}$$

v_{\max} ——运载工件时重力方向的最大上升速度；

$t_{\text{响}}$ ——系统达到最大素数的时间；

取安全系数 $K_1 = 2$ ；工况系数 $K_2 = 1.5$ ，有：

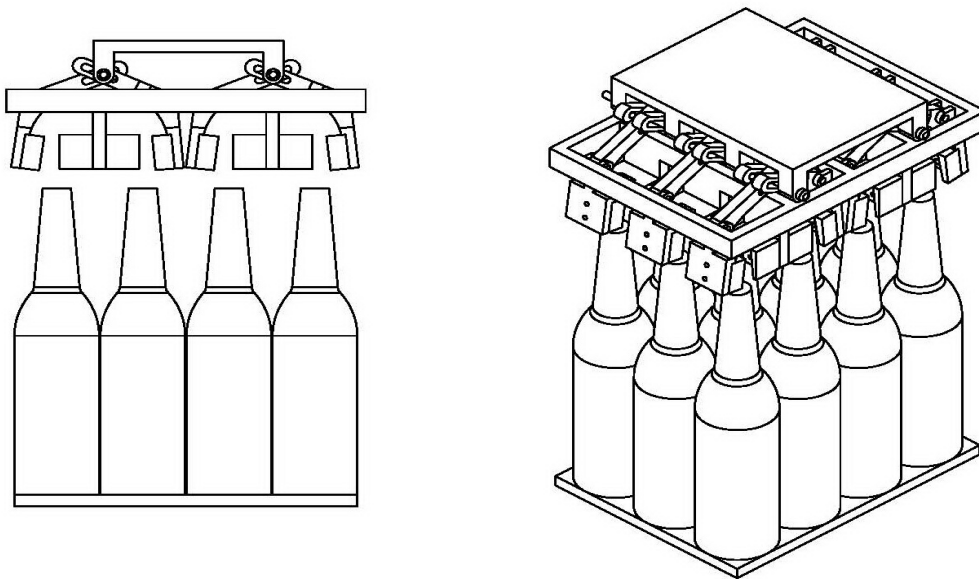
$$\begin{aligned} F &= K_1 K_2 \frac{2 \cos^2 \alpha \cdot G}{d} \left[\frac{b(f \cos s + \sin s) + 2c(f \sin s + \cos s)}{4(f \sin s - \cos s)} \right] \\ &= 3 \times \frac{\frac{3}{2} \times 9.8}{55} \left[\frac{50(0.5 \cos 84.3^\circ + \sin 84.3^\circ) + 2 \times 15(0.5 \sin 84.3^\circ + \cos 84.3^\circ)}{4(0.5 \sin 84.3^\circ - \cos 84.3^\circ)} \right] \\ &= 35.3N \end{aligned}$$

取机械手部的机械效率为： $\eta = 0.85$

$$F_{\text{实际}} = \frac{F}{\eta} = \frac{35.3N}{0.85} \approx 42N$$

所以每一个单体作用在销轴上的实际拉力大小为： $F_{\text{实际}}=42N$

如下图，整个手部由六个单体组合在一起，由两根长销轴连在水平拉板上：



(3.2-8) 完整手部模块效果图

所以拉板上最终需要的拉力为： $F_{\text{总}} = 6F_{\text{实际}} = 252N$ 。

3.3 手部气缸的分析选型

由手部结构受力分析可知：

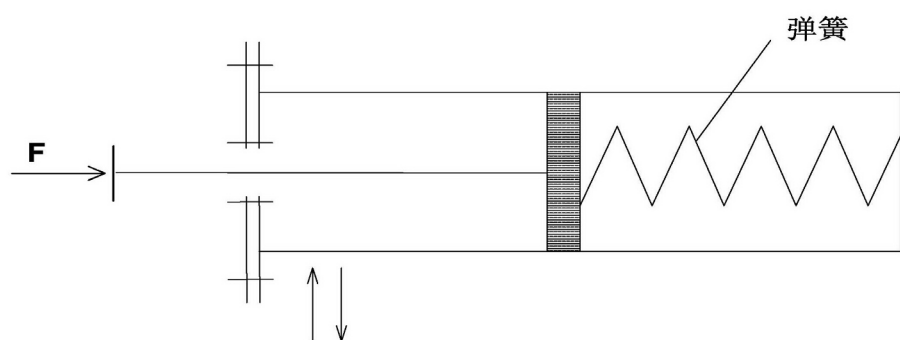
气缸为拉板提供的工作拉力为 $252N$ ，

对气缸，工作拉力： $F = F_{\text{总}} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)p$

式中 D ——气缸的内直径；

d ——活塞杆的直径；

p ——气缸的气压。



(3.3-1) 手部气缸示意图

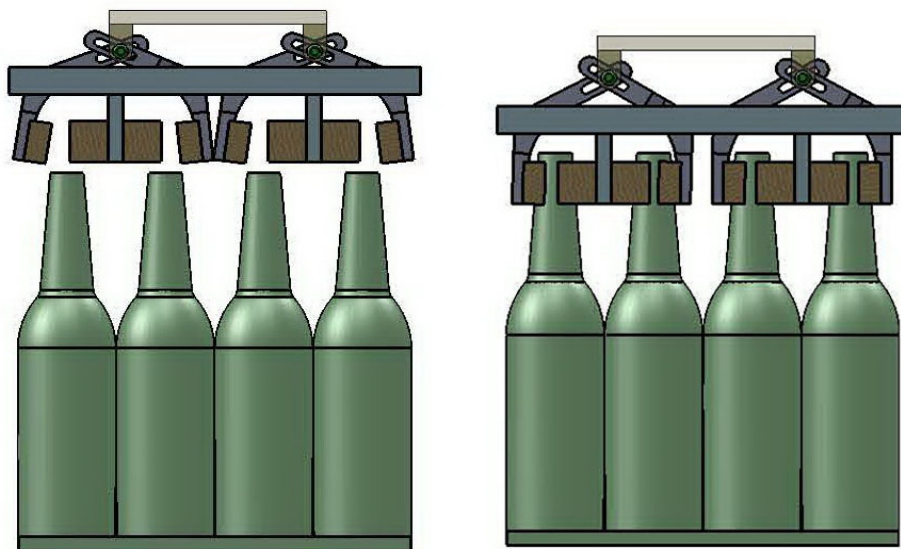
取活塞杆的直径 $d = 0.5D$ ，气源为气缸提供的气压 $p = 0.6MPa$ ，有：

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi p(1-0.5^2)}} = \sqrt{\frac{4 \times 186}{\pi \times 0.6 \times 10^6 \times 0.75}} m \approx 0.027 m$$

所以气缸的内径可以取为 $D = 32mm$

气缸行程计算

手部张开最大角度和夹紧时的示意图如下：



(3.3-2) 手部最大角度示意图

手部张开最大角度时手指与铅垂线的夹角为 7.15° ，手部夹紧工件时手指与铅垂线相互平行，即夹紧过程手指的最大旋转角度为： $\varphi_{\max} = 7.15^\circ$

所以拉板的移动行程为：

$$\begin{aligned} S &= d[\tan(\alpha + \varphi_{\max}) - \tan \alpha] \\ &= 55 \times (\tan 37.5^\circ - \tan 30^\circ) mm \\ &= 10.5 mm \end{aligned}$$

即手部气缸的最小行程为： $S = 10.5 mm$

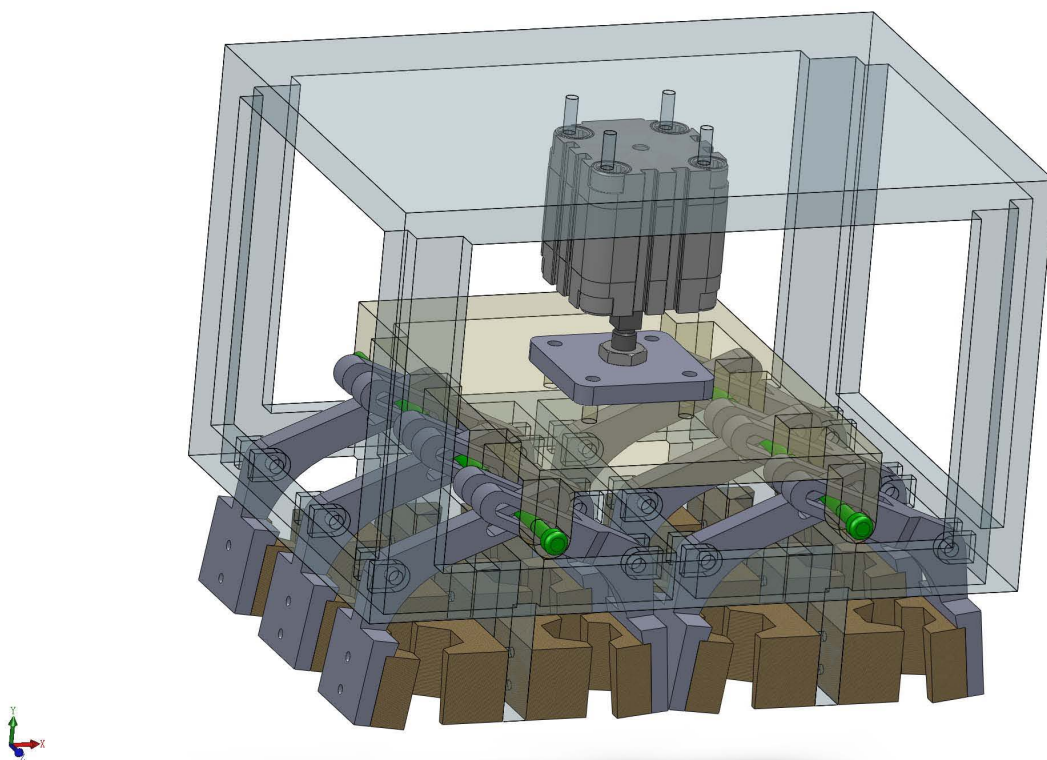
气缸选型

根据 Festo 在线选型软件，选择气缸内直径为 32mm，行程为 15mm 的紧凑型（缩回型）抗扭转系列的单作用气缸，其型号为：AEVULQZ-32-15-A-P-A，同时带连接板，具体技术参数与特性如下表：

表 3

工作介质:	过滤压缩空气, 润滑或未润滑
结构特点:	活塞活塞杆
缓冲形式:	两端带弹性缓冲垫
位置感测:	带位置感测
安装型式:	通过通孔安装通过内螺纹安装通过附件安装
安装位置:	任意
工作压力:	0.8~10 (bar)
6bar 时拉动力理论值:	382 N
活塞杆上的最大扭矩:	0.80 (Nm)

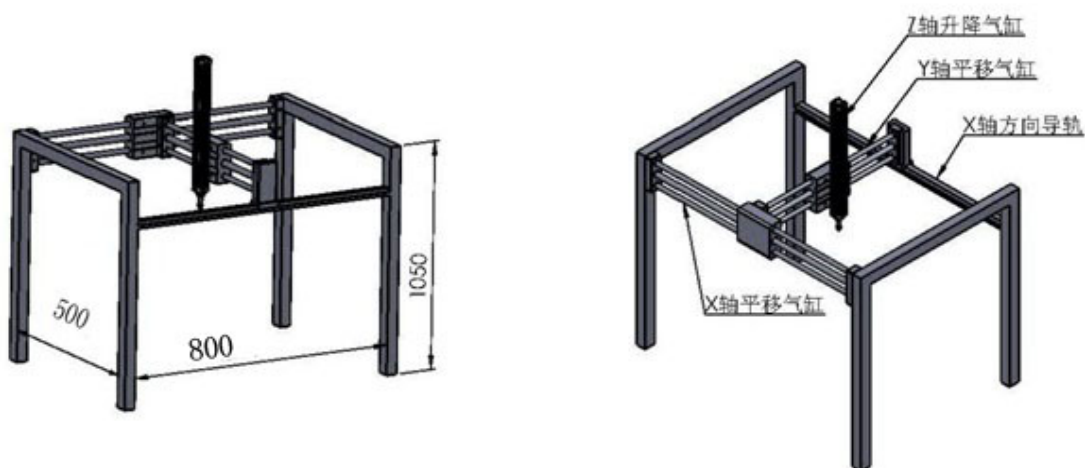
手部紧凑型气缸与整个手爪装配一起形成一个完整的手部模块, 手部模块将与 Z 轴升降气缸的末端进行连接, 手部模块的效果图如下:



(3.3-3) 手部模块的效果图

3.4 整体架构的设计

整体架构设计，主要考虑两个重点：第一是行程能够满足要求，第二是结构的刚度保证机械手的工作精度。一箱 500ml 啤酒的外围尺寸约为 $270\text{mm} \times 200\text{mm} \times 270\text{mm}$ ，手爪部分的高度约为 230mm，所以有行程 $X \geq 540\text{mm}$ ， $Y \geq 400\text{mm}$ ， $Z \geq 270\text{mm} \times 2 + 230\text{mm} = 770\text{mm}$ ，又考虑到手爪模块拆卸后换上其他手爪用以夹持其他瓶装饮料，为加强机器的适应范围，故增大了 XYZ 三轴行程，其结构如图（3.4-1）所示；另由于负载重达 13Kg，加上手部的一定的重量，若采用悬臂型结构，整个机构将受到较大的偏重力矩，影响机构的刚度及机械手的工作精度，所以最终采用类龙门结构，一边是无杆气缸，另外一边配置一小摩擦导轨，中间是另一轴的移动气缸，结构示意图如（3.4-1）所示：



3.4-1 结构示意图

3.5 XYZ 三轴气缸的分析选型

Z 轴提升气缸

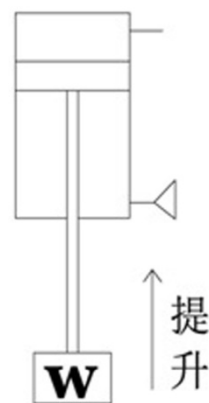
Z 轴提升气缸的负载为手爪与啤酒的重量（13Kg）总和，其中手爪的重量约为 4Kg，即提起重物总重为 $W = 170\text{N}$ ，其示意图如右图所示：

所以负载力 $F = W$ ，

考虑到除了静载荷之外手部模块运动状态变化亦会产生载荷（惯性力或惯性力矩）以及出于安全系数的考虑，上式可写成：

$$F = K_1 K_2 W$$

(9)



(3.4-1)

其中 K_1 ——安全系数；

K_2 ——工作情况系数，考虑惯性力的影响， K_2 可按下式计算：

$$K_2 = 1 + \frac{a}{g};$$

其中 a ——运载工件时重力方向的最大上升加速度；

g ——重力加速度，取 $g = 9.8m/s^2$ ；

$$a = \frac{v_{\max}}{t_{\text{响}}}$$

v_{\max} ——运载工件时重力方向的最大上升速度；

$t_{\text{响}}$ ——系统达到最大素数的时间；

取安全系数 $K_1 = 2$ ；工况系数 $K_2 = 1.5$

所以 $F = 3W = 510N$ ；

$$\text{又 } F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)p;$$

其中 D ——气缸内直径；

d ——活塞杆直径；

P ——为气缸工作压力；

由双作用气缸可设 $d = 0.4D$

$$\text{所以 } F_0 = 0.215\pi D^2 p$$

将工作压力 $p = 0.6 \times 10^6 Pa$ ， $F_0 = 510N$ 代入上式可得：

$$D = 0.0355m$$

所以气缸的直径可取为 $D = 40mm$

由整体机构尺寸设定，Z 轴方向的高度为 950mm，且手爪的高度为 230mm，由于安装时顶部留有一定余量，所以气缸的行程可取 $S = 700mm$ 。

由于负载竖直方向上重力的作用，所以机械手其他轴气缸运动而 Z 轴气缸不动时 Z 轴升降气缸需要安全锁紧以防气缸在中立作用下向下运动。

根据以上的要求选择德国 Festo 中 DNC—KP 带夹紧装置抗扭系列双作用气缸，其型号代码为：DNC-40-700-PPV-A-Q-KP。



(3.4-2) DNC-KP 系列气缸实物图

其具体的技术参数与特性如下表所示：

表 4

型号：	DNC-KE/带夹紧装置，双作用
缓冲形式：	PPV/两端具可调缓冲
位置检查：	A/带位置检测
结构特点：	活塞/活塞杆/钢筒/夹紧装置
缓冲长度：	20mm
有效方向上的夹紧方式：	在两端，通过弹簧力夹紧，供气到释放
安装方式：	通过内螺纹或附件安装
安装位置：	任意
工作压力：	1.5~10 bar
最小释放压力：	3 bar
6 bar 时返回力理论值：	633 N
静态夹持力：	1000 N

XY 轴气缸选型

XY 轴气缸所涉及的情况较为简单，由整个机构可知 XY 轴气缸所受轴向力较小，轴向主要用以克服摩擦力；受到的径向力较大，需要设有导向装置的气缸，减小气缸所受的径向力，提高结构的刚度，且两气缸需要选择无杆气缸，需要行程定位，气缸行程可由机构的尺寸决定位：X 轴 800mm；Y 轴 500mm。可选择 Festo 气缸中带导向滑块的 SLM 直线气缸：

取气缸运动时的摩擦系数为 $f = 0.05$

对于 Y 轴移动气缸，其驱动力： $F \geq fF_N = 0.05 \times 200N = 10N$ ；

其中 F_N 大小等于手部模块加上 Z 轴升降气缸的重力大小；

对于 X 轴移动气缸，其驱动力： $F \geq fF_N = 0.05 \times 230N = 11.5N$ ；

其中 F_N 大小等于手部模块加上 Z 轴、Y 轴气缸的重力大小。

设气缸在定位过程中制动时所用的时间为 0.2s，气缸运动速度为 $0.1m/s$ ，即制动时加速度大小为： $a = 0.5m/s^2$ ；

对于 X 轴气缸，制动过程所受最大扭矩为：

$$M_{\max} = F \cdot S = maS = 23 \times 0.5 \times 0.5 = 5.75N \cdot m；$$

其中 S 取为 Y 轴气缸的最大行程，即为 500mm；

对于 Y 轴气缸，制动过程所受最大扭矩为：

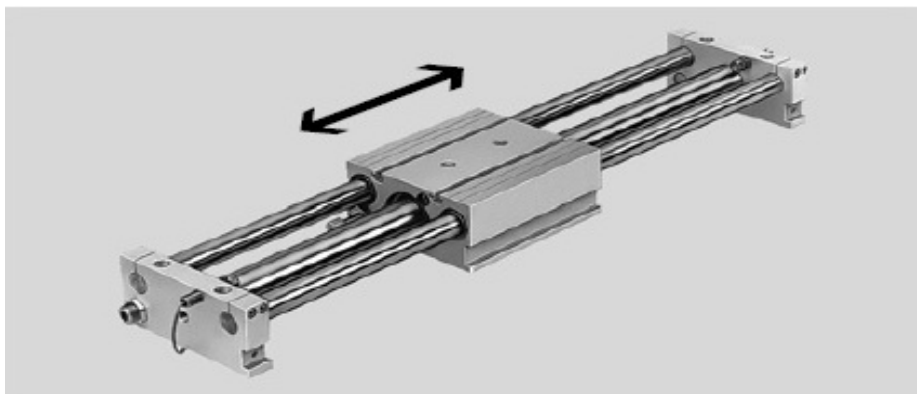
$$M_{\max} = F \cdot S = maS = 20 \times 0.5 \times 0.7 = 7N \cdot m；$$

其中 S 取为 Z 轴气缸的最大行程，即 700mm。

由以上两组数据结合 Festo 中 SLM 系列气缸的许用动态负载图（），选取两轴的气缸分别为：

X 轴：SLM—40—800—KF—A—G—CV—CH—HV—HH

Y 轴：SLM—40—500—KF—A—G—CV—CH—HV—HH



(3.4-3) SLM 系列气缸的实物图

两气缸除了行程不同之外，其他主要技术参数与特性基本相同，具体如下表所示：

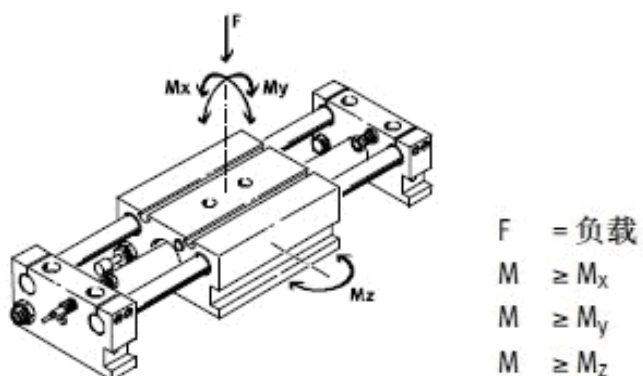
表 5

工作模式：	双作用
结构特点：	滑块单元/直线无杆气缸
终端液压缓冲：	双端带可调缓冲
位置感测：	接近开关
安装方式：	通过通孔/内螺纹

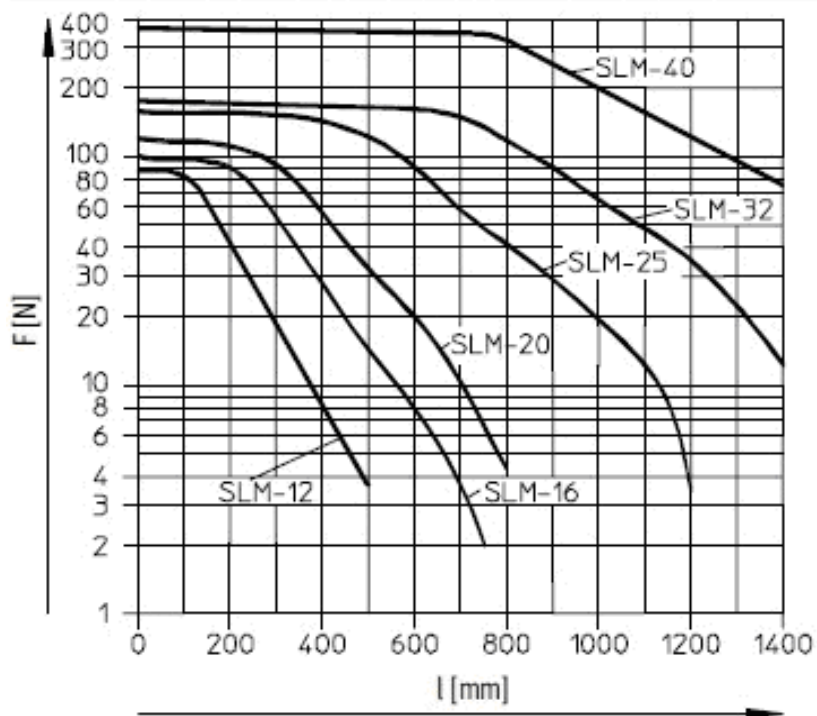
安装位置:	任意
抗扭转/导轨:	导向杆带滑块/滚珠轴承导轨
工作压力:	< 7 bar
6 bar 时, 力的理论值:	754N
磁力耦合脱离力:	1050 N

气缸的许用动态负载如下图所示:

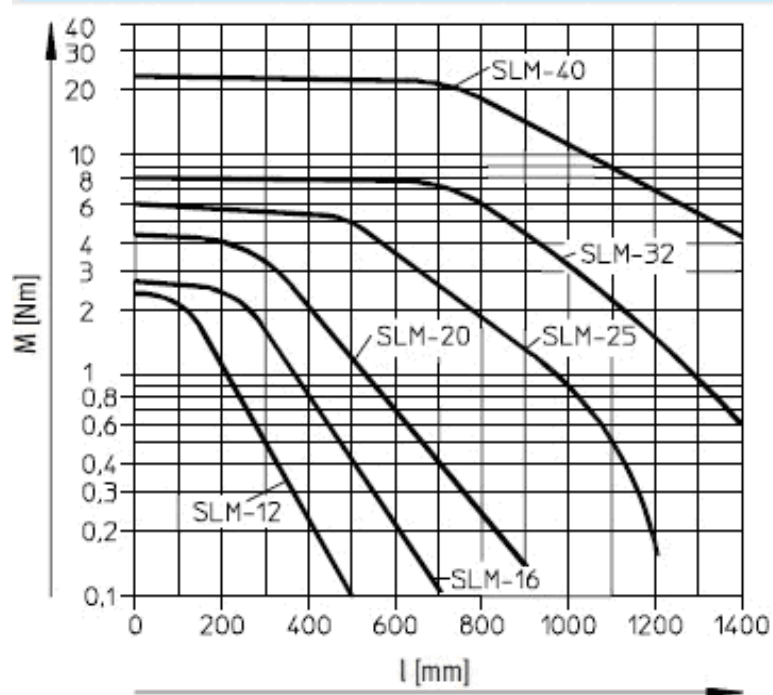
许用动态负载



许用有效负载 F 与行程 l 的关系



许用扭矩M 与行程l的关系

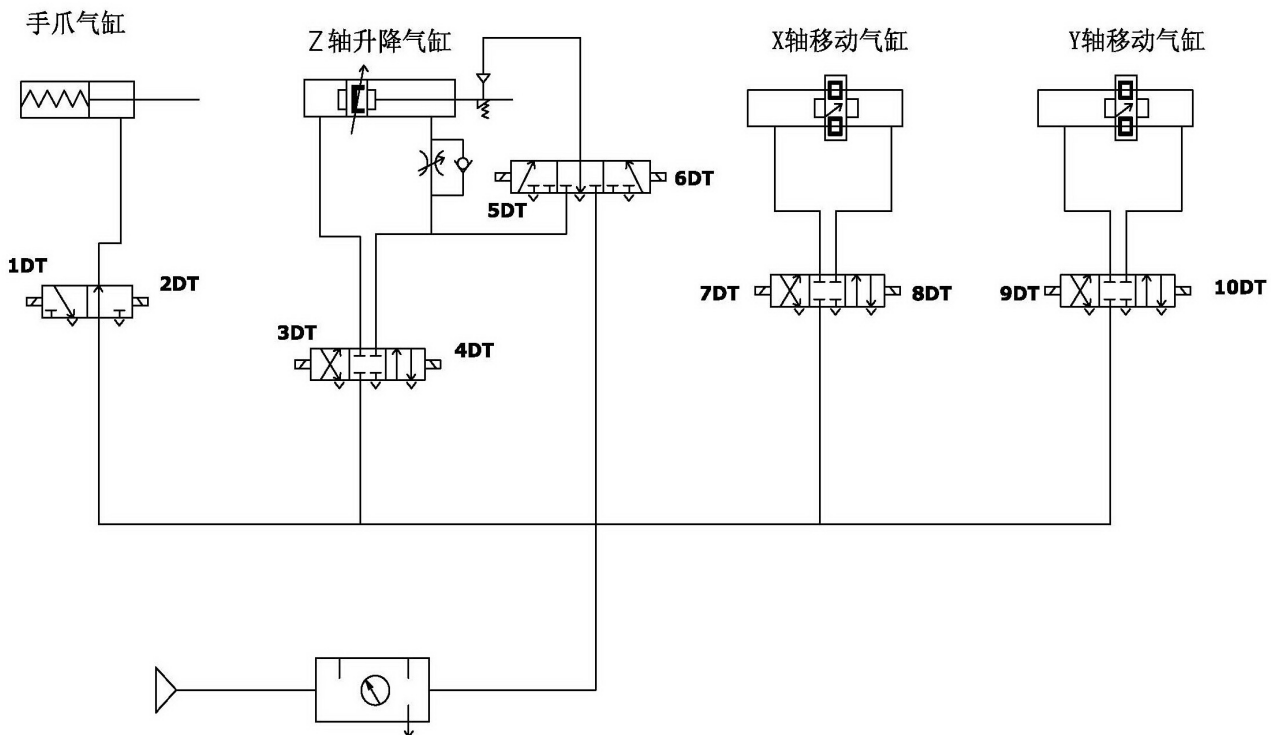


(3.4-4) SLM 系列气缸许用动态负载图

第四章、控制系统设计

4.1 气压传动系统设计

如图4.1-1为该机械手的气压传动系统工作原理图。它的气源是由空气压缩机（排气压力大于0.6MPa）通过快换接头进入储气罐，然后通过气源处理装置对压缩空气进行处理，即经过分水过滤器、调压阀、油雾器，然后进入各并联气路上的电磁阀，以控制气缸和手部动作。



(4.1-1) 气压传动系统原理图

手部气缸：主要完成夹紧与松开动作。气缸完成夹紧后气缸保持夹紧状态一段时间直到机械手走到目标位置才再做松开动作，且松开后无需复位到夹紧状态（因为下个工作周期又以夹紧动作开始，可等到下个工作周期开始再进行夹紧），故可用 2 位 3 通电磁换向阀进行控制。

Z 轴升降气缸：Z 轴气缸为带夹紧装置的双作用气缸，防止气缸意外断气时在负载重力作用下向下运动，其夹紧装置夹紧力有弹簧提供，处于常闭，供气释放。气缸在运动过程中需要在确定位置停止运动，所以主体回路可采用中停 3 位 4 通电磁换向阀，电磁阀处于中位时可实现气缸的停止；另外气缸在下降过程中受到负载及手部重力的作用，下降时排气的气路中可加单向节流阀及防止下落速度过大（此处作为突出，其他主回路亦可加单向节流阀调节速度，或在电磁阀排气口安装节流阻尼螺钉来调节速度）^[3]。

升降气缸夹紧装置：当气缸需要向上运动时，下腔接入气口，此时可用气缸下腔的压力来释放夹紧装置；当上升结束后中停时，夹紧装置需要处于夹紧状态，不给该装置供

气压；当气缸下降时，此时下腔气压不足以释放夹紧装置，可由气源直接给夹紧装置供气以打开夹紧装置。采用 3 伟 4 通电磁阀控制。

XY 轴移动气缸：XY 移动气缸比 Z 轴升降气缸只是少了夹紧装置，其主回路可选择用中停 3 位 4 通电磁换向阀控制。

4.2 机械手的 PLC 控制设计

PLC 实质是一种专用于工业控制的计算机，其硬件结构基本上与微型计算机相同^[4]。考虑到机械手的通用性，同时使用点位控制，因此我们采用可编程序控制器(PLC)对机械手进行控制. 当机械手的动作流程改变时，只需改变 PLC 程序即可实现，非常方便快捷^[5]。

根据传动工作原理图，设定机械手的工作原点在 X 轴右限位，Y 轴后限位，Z 轴下限位位置，确定机械手工作时的控制流程图如下表所示：

表 6

开机
判断是否在原点：Y-下一步、N-回归原点
Z 轴气缸向下动作（4DT，6DT 工作）
到达 Z 轴上限位位置停止
手部气缸夹紧（2DT 工作）
Z 轴气缸向上运动（3DT，5DT 工作）
到达 Z 轴下限位位置停止
Y 轴气缸前移（9DT 工作）
达到 Y 轴气缸的前限位位置停止
X 轴气缸左移（7DT 工作）
达到 X 轴的左限位位置停止
Z 轴气缸向下动作（4DT，6DT 工作）
到达 Z 轴上限位位置停止
手部气缸松开（1DT 工作）
Z 轴气缸向上运动（3DT，5DT 工作）
到达 Z 轴下限位位置停止
Y 轴气缸后移（10DT 工作）
到达 Y 轴气缸的后限位位置停止
X 轴气缸右移（8DT 工作）
达到 X 轴的右限位位置停止

为各个外部设备分配输入输出地址如下表：

表 7

输入地址	对应外部设备
X000	启动按钮
X001	停止按钮
X002	Z 轴上限位
X003	Z 轴下限位
X004	X 左限位
X005	X 右限位
X006	Y 前限位
X007	Y 后限位
X008	手部松开限位
输出地址	对应外部设备
Y000	1DT
Y001	2DT
Y002	3DT
Y003	4DT
Y004	5DT
Y005	6DT
Y006	7DT
Y007	8DT
Y008	9DT
Y009	10DT
Y010	启动指示灯
Y011	停止指示灯
Y012	原点指示灯

定时器分配：

表 8

定时器	功能
T0	夹紧工件定时 1s

内部继电器分配：

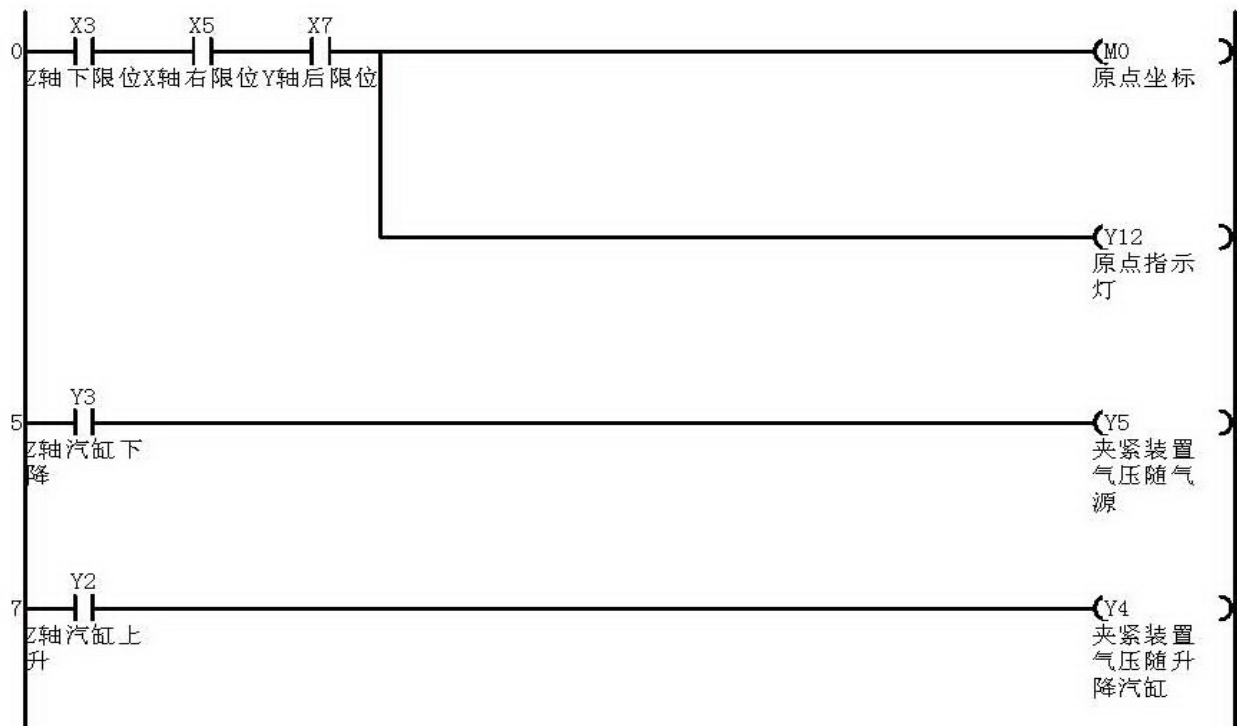
表 9

内部继电器	功能
M0	机械手工作原点位置

根据机械手的动作编写梯形图程序：

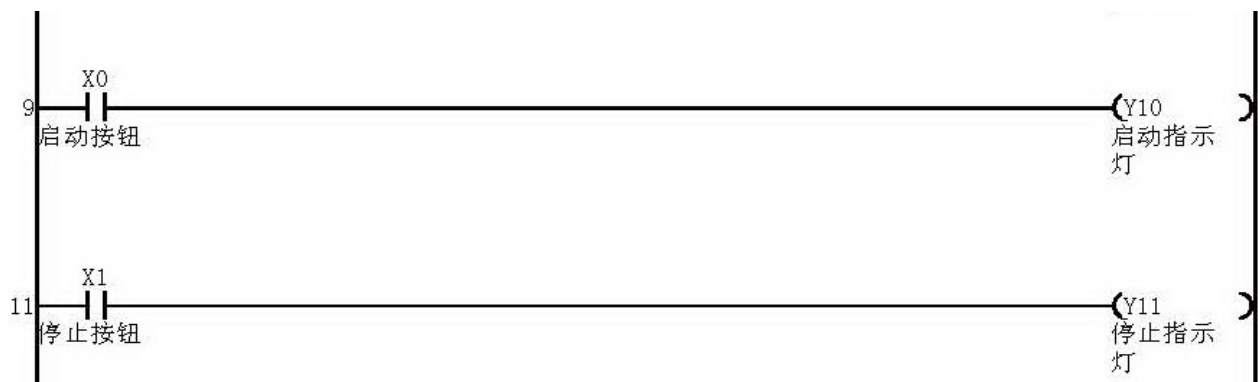
初始位置辅助继电器及夹紧装置工作状态继电器

M0 为初始位置辅助继电器，当机械手位于原点时（效果图中的后右上方），M0 得电；Y004，Y005 为带夹紧装置工作状态继电器，其值由升降汽缸的运动状态决定，即由 Y002，Y003 决定，其梯形图可表示如下：



(4.2-2)

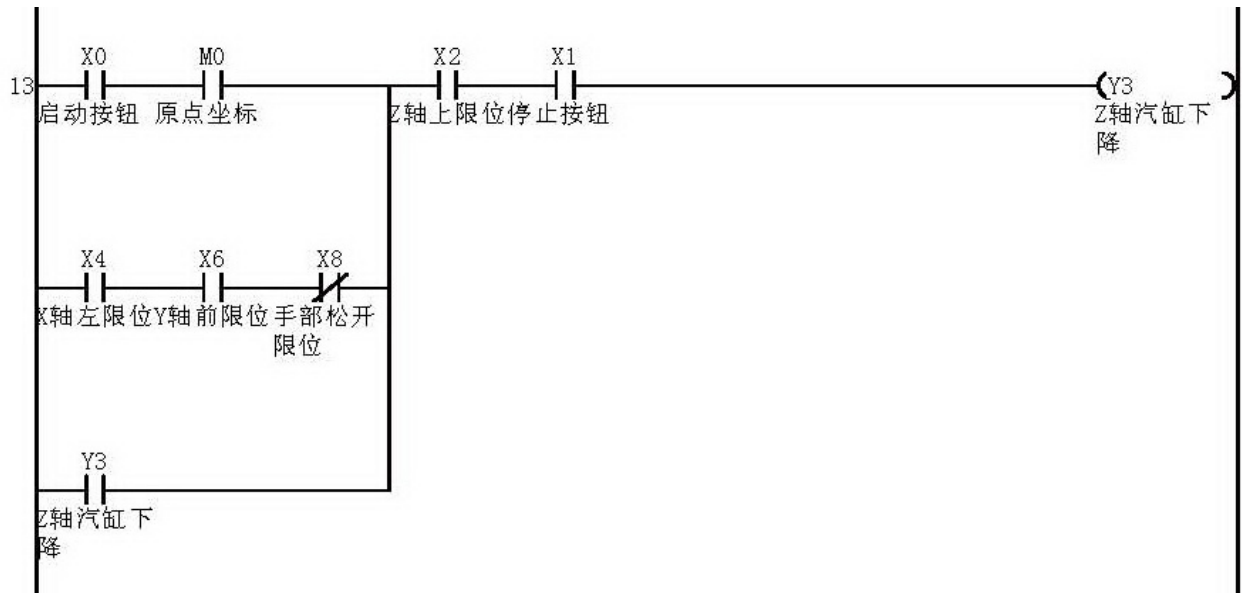
Y010，Y011，Y012 三个继电器分别对应启动，停止，原点指示灯，其中 Y012（原点指示灯）在上一部已写入，剩下的梯形图可如下表示：



(4.2-3)

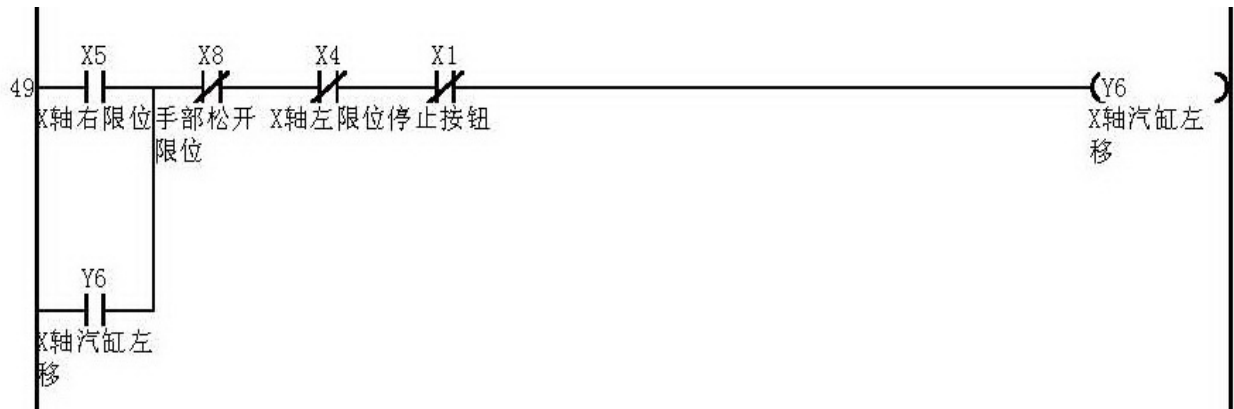
Z 轴汽缸下降过程

Z 轴汽缸下降在两个过程中会有这个动作，第一是在原点处，按下启动按钮后，汽缸向下运动直至到达汽缸下限位位置；第二是在 XY 平面上机械手已到达目标位置，而 Z 轴坐标还未满足的情况，即此时汽缸带负载，手部处于夹紧状态，其梯形图可表示如下：



(4.2-4)

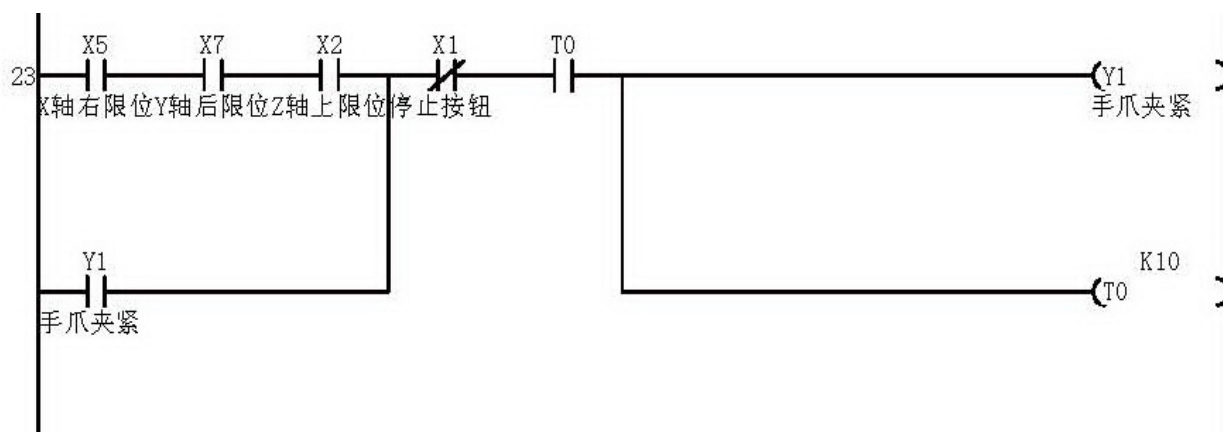
XY 轴汽缸左右前后移动与 Z 轴汽缸的运动相差不多，只是一个周期内只有一个向左或向右的动作过程，以 X 轴的左移为例子，其梯形图可表示为：



(4.2-5)

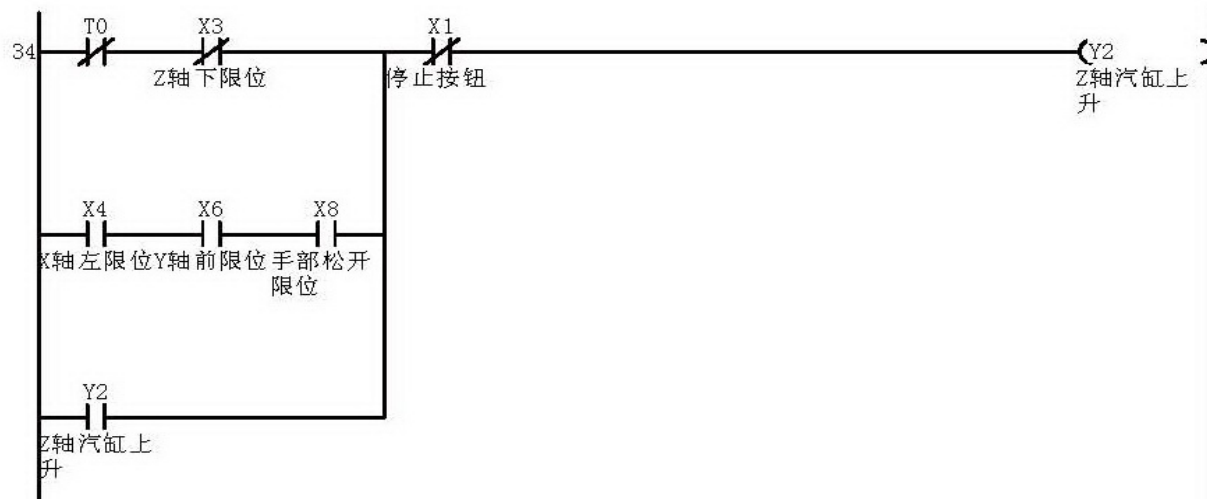
手部的夹紧动作采用延时程序，设置夹紧时间为一秒，一秒之后 Z 轴汽缸开始做上升动作，其梯形图可表示如下：

夹紧延时



(4.2-6)

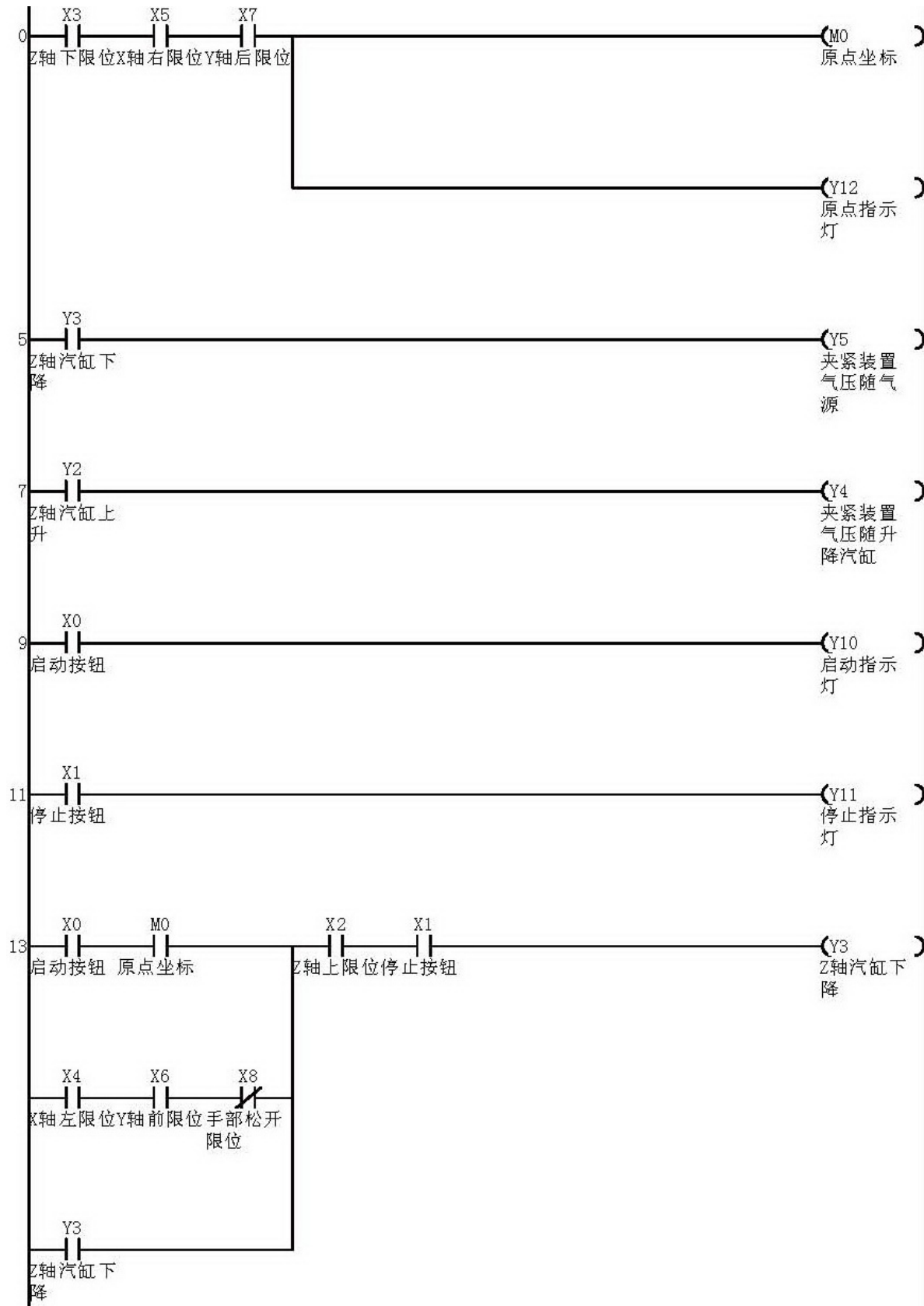
Z 轴开始向上

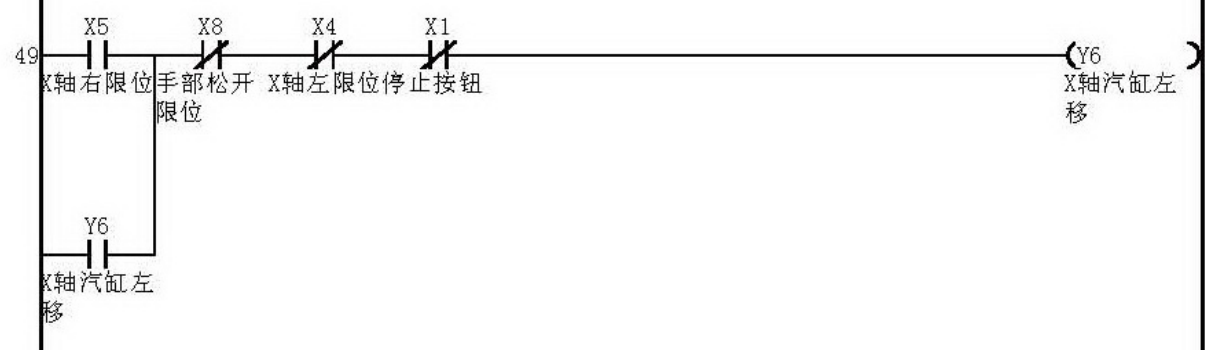
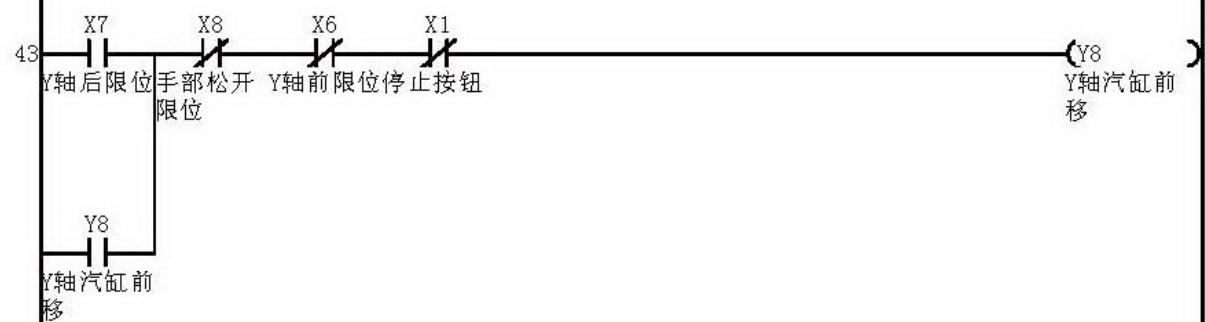
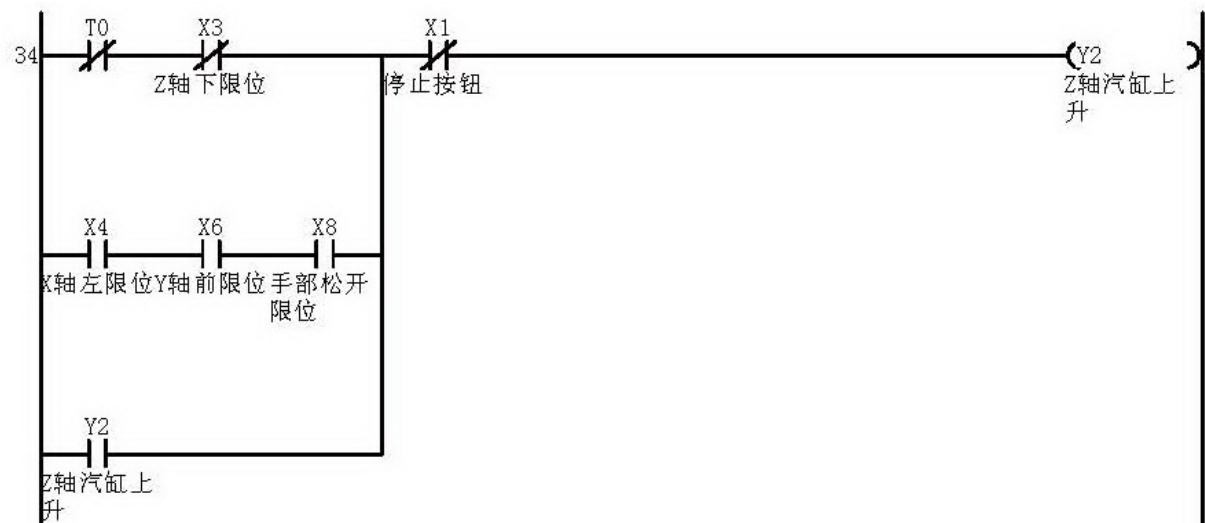
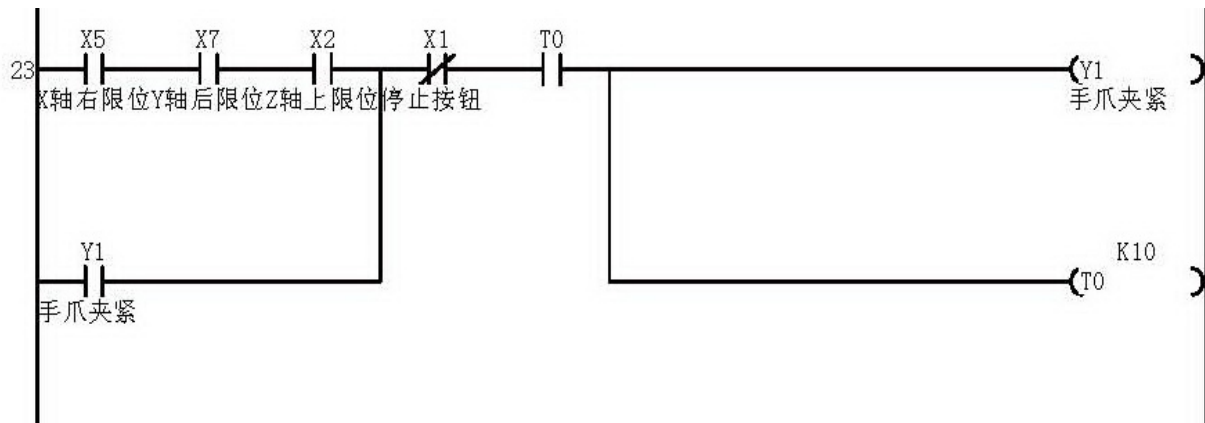


(4.6-7)

其他过程与之前所做说明相似，不做重复，完整的梯形图见附录。

附录一、完整梯形图







参考文献

- [1] 陈立德. 机械制造装备设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [2] Hayshi S, Ganno K, Ishi Y, et al. Robotic harvesting system for eggplants[J]. Jpn Agr Res Q, 2002, 36(3): 163—168.
- [3] 梅荣娣, 葛金印. 液压与气压传动控制技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2012.
- [4] 邓忠星. 机电传动控制[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007.
- [5] 钟新平, 麦艳红. 设备控制编程与实现[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2012.