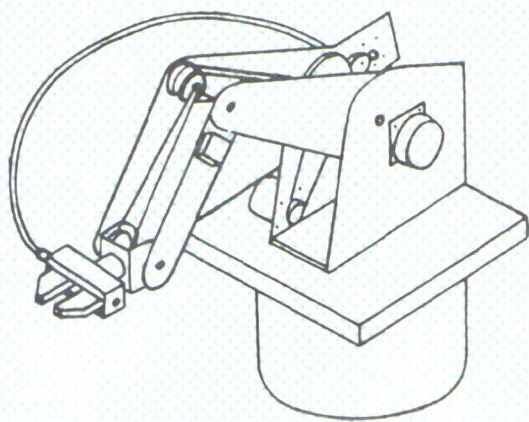


# 微型计算机控制的 机器人

(设计 · 制造 · 控制)

[日] 洞 啓二 著  
堀尾惇也



机械工业出版社

78.122

78.127  
9009720

# 微型计算机控制的机器人

(设计·制造·控制)

〔日〕 洞 啓二 著  
堀尾惇也  
屈 革 译  
高世义 校



机械工业出版社

本书详尽地介绍了机器人的基本原理、机器人的结构、机器人的设计与制造以及机器人的微机控制等。图文并茂，通俗易懂。既是一本关于机器人的普及读物，也是一本关于机器人的入门书。

本书可供从事机器人的设计制造与研究的科技人员参考；也可供大、中专院校有关专业的师生参考；还可供具有中等文化水平对机器人技术感兴趣的读者阅读。

## マイコン制御

### ハンドロボット

《設計・製作・制御》

洞 啓二 共著  
堀尾惇也

株式会社 パワー社

昭和 59 年 7 月

\* \* \*

## 微型计算机控制的机器人

(设计·制造·控制)

(日) 洞 啓二 著  
堀尾惇也

屈 革 译

高世义 校

\*

责任编辑：晏章华 版式设计：胡金荣

封面设计：姚毅 责任校对：熊天荣

责任印制：郭焯

\*

机械工业出版社出版 (北京东黄城根北街2号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32·印张 3<sup>3</sup>/<sub>8</sub>·字数 84千字

1989年11月北京第一版·1989年11月北京第一次印刷

印数 0,001—1,810 定价：3.60元

\*

ISBN 7-111-01250-3/TP·31

## 序

近年来，计算机的发展与普及异常迅速，不仅用于数值计算，用于机械控制的计算机也在日益增多。由于是跨机械工程与电子工程这两个领域的技术，因此产生了所谓“机电一体化”这一术语。目前已经出现了许多用计算机控制的精密的自动机械。如NC（数控）机床，工业机器人和内部装有微机的洗衣机、缝纫机等。这些对于与机械工程有关的人员来说，确是令人震惊的和应该重新学习的。对于机械系统来说，计算机是一个复杂的电子设备（黑匣子），但是，可以采用正在普及的微型计算机作初步的控制，也就是用微型计算机控制继电器和步进电机等。通过对计算机的接触，可以知道用计算机的数字量能够对继电器进行ON（通）OFF（断）控制。数字量能使机械动作的事实，对于迄今的机械技术来说，仍然是个新鲜的事物。

工厂制造的计算机控制设备价格昂贵、性能高、复杂，欲详知其具体的原理是困难的，与此有关的参考书籍也是概论性的，对于初学者来说是很难理解的。因此，制造出最初步的采用步进电机驱动的六轴控制的机器人，虽然其功率、耐久性未必能够满足，但是作为机械控制入门是合适的，这就是编著本书的目的。

由于本人才疏学浅，内容可能有所遗漏和错误，请读者给予指正。

最后，对于在编写本书过程中参考过的图书与文献的著者以及给予各种教益的诸位深表谢意。

另外，对电力出版社以平柳氏为首的有关各位在本书出版时所给予的大力帮助深表谢意。

著者 1983年10月

# 目 录

第一章 机器人概要 .....	1
1.1 概论 .....	1
1.2 微型计算机 .....	2
第二章 机器人的结构 .....	3
2.1 机器人的结构 .....	3
2.2 动作 .....	4
2.3 齿数比的确定 .....	6
2.3.1 旋转 .....	6
2.3.2 第一臂 .....	8
2.3.3 第二臂 .....	10
2.3.4 手腕的弯曲 .....	11
2.3.5 手腕的扭转 .....	12
2.3.6 抓握装置 .....	14
2.3.7 总结 .....	15
第三章 机器人的设计与制造 .....	17
3.1 旋转 .....	17
3.1.1 旋转台 .....	17
3.1.2 旋转轴 .....	19
3.1.3 机器人的肩 .....	21
3.2 第一臂 .....	23
3.2.1 构架 A .....	23
3.2.2 构架 B .....	25
3.2.3 构架的组装 .....	26
3.3 第二臂 .....	26
3.3.1 构架 A .....	27
3.3.2 构架 B .....	27
3.3.3 构架的组装 .....	28

3.4	手腕的弯曲	29
3.5	手腕的扭转	31
3.6	抓握装置	33
3.7	控制装置	35
3.7.1	步进电机	35
3.7.2	驱动装置	36
3.7.3	输出通道与位(bit)的分配	41
3.7.4	微型计算机与驱动装置的连接	43
第四章 控制机器人的软件		47
4.1	流程图	47
4.2	机器人的动作与数值数据	43
4.2.1	旋转(X)	48
4.2.2	第一臂(Y)	43
4.2.3	第二臂(Z)	49
4.2.4	手腕弯曲(H)	50
4.2.5	手腕扭转(R)	51
4.2.6	抓握装置(手爪的开闭)(T)	52
4.3	数值数据举例	53
4.4	机器人的手腕保持水平	57
4.5	抓握装置的手爪保持水平	60
4.6	机器人的控制程序	61
4.6.1	输入输出通道的确定	61
4.6.2	动作数据的输入	61
4.6.3	数据的打印	67
4.6.4	数据的再编制	67
4.6.5	手腕保持水平的修正运算	69
4.6.6	脉冲数据的准备	71
4.6.7	脉冲数据的机器语言化	71
4.6.8	步进电机驱动程序	75
4.6.9	确定输入输出通道(子程序)	75
4.6.10	步进电机驱动(汇编语言)	81
4.7	机器人的控制举例	87

4.7.1 程序的执行 .....	87
4.7.2 机器人的动作举例 .....	88
4.7.3 程序的改进 .....	97
参考文献 .....	99

# 第一章 机器人概要

## 1.1 概 论

机器人这个词最早出现在漫画和科学幻想小说中，是虚构的东西，其外表多半是人的形象。代替人做各种操作的所谓自动机械，很早以前人们就曾有过各种各样的构思，古代有的“自动装置”也可以说是一种机器人。另外，应用液压、气压、电气等做某种规定的重复操作的加工机械、焊机等在工业上早已被应用。

但是，近来由于电子技术的发展，特别是计算机的普及，一种具有柔性而且相当于人手的称为工业机器人的东西重新出现了。只用机械来完成无论如何复杂的工作，还不能叫做机器人。机器人，尚无明确的定义，但起码具有人的某种功能的机械才能称为机器人。

总之，由于机械工程与电子工程结合的机电一体化的发展，工业机器人开始迅速地普及，很多人都希望了解有关机器人方面的知识。但是目前机器人的价格较昂贵，其结构和软件一般来说掌握比较困难。

因此，有人利用目前迅速普及的微型计算机，制成了作为智能机器人前身的数控机器人。

NC（数控）机床一般是由二轴或三轴控制的。以它为基础，设想将它扩展成六轴控制的，其形态如人们手臂那样的机器人。这就是本书所述的机器人。

另外，此机器人如仅由计算机输出指令，即为开环控制方式，但如将传感器安装在机器人的臂和爪上，即成为闭环控制方式。所以使这种机器人智能化是可能的。



## 1.2 微型计算机

当控制机器人的时候，微型计算机是必不可少的，工业机器人的出现与计算机的小型化、价格不断降低密切相关。这里，对所使用的微型计算机的要求叙述如下：

- 1) 能够使用 BASIC 与汇编语言。因为控制机器人需要数值运算，所以须具有超过 BASIC 的高级语言。
- 2) 在编制程序方面须有 CRT 显示器
- 3) 为作数值数据记录和列程序表须有打印机（如对数据记录等另有办法，则可不带打印机）。
- 4) 各有输入输出端子

将这些用图来表示，则如图1-1所示。

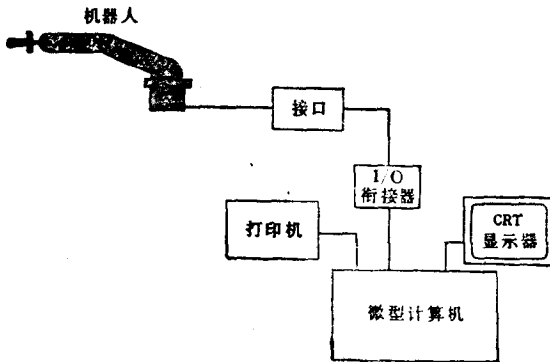


图1-1 微型计算机

本书中所使用的微型计算机是：

BASIC MASTER LEVEL II (日立)

## 第二章 机器人的结构

### 2.1 机器人的结构

机器人的型式，有以下几种。

1) 直角坐标型 如图2-1 a) 所示,  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三轴各自做直线运动, 根据应该移动的位置数据向驱动装置发出指令, 运算处理比较容易。

2) 多关节型 如图2-1 b) 所示, 基本上进行以关节轴为中心的旋转运动, 对位置数据的运算处理比较麻烦。另外, 对于直角坐标的情形, 机器人的臂的顶端, 若最初处于水平, 则  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴虽然运动, 仍能保持水平。但是, 对于多关节型来说, 若第一、二臂运动, 就会影响到机器人臂的顶端。一般来说, 需要保持最初水平状态的修正指令。因为近似人的手臂的动作, 所以更近乎于所谓的机器人。

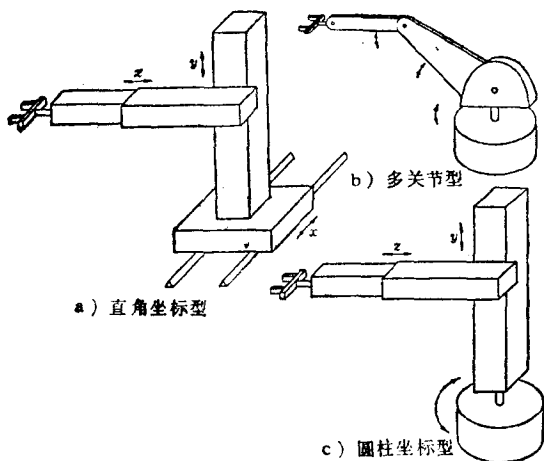


图2-1 机器人的型式

3) 圆柱坐标型 如图2-1 c) 所示, 将直角坐标型的  $x$  轴的直线移动变成旋转运动, 结构比较紧凑。

尽管以上列举了机器人的各种型式, 然而机器人不仅是操作的机械, 还要具有接近于人的形象, 所以, 下面将多关节型的主要规格介绍如下。

#### 机器人的规格

1) 可搬重量	最大2.5kg
2) 速度	最大 10cm/s
3) 臂的长度	最大 650mm, 最小 300mm
4) 机器人本体重量	25kg
5) 驱动电机	六台步进电机 (步进角1.8°)
6) 位置再现精度	$\pm 1.0\text{mm}$

## 2.2 动 作

该机器人的结构见图2-2 a)、b) 所示, 由旋转台、肩、第一臂、第二臂、手腕、抓握装置所组成, 其动作如下所述。

1) 旋转 机器人整体旋转, 其角度设为  $\theta$ , 由上向下看去, 顺时针旋转时为正, 逆时针旋转时为负。旋转范围为  $270^\circ$ 。

2) 第一臂的旋转 第一臂的旋转角设为  $\alpha$ , 由水平位置向上旋转时为正, 臂下降时为负。旋转范围为  $90^\circ$ 。第一臂的旋转轴称为第一关节。

3) 第二臂的旋转 第二臂的旋转角设为  $\beta$ , 其旋转轴称为第二关节。当第一臂与第二臂成一直线时  $\beta$  为 0, 由此第二臂向下旋转时为正, 臂提升时为负。旋转范围为  $180^\circ$ 。

4) 手腕的弯曲 手腕弯曲角设为  $\gamma$ , 其旋转轴称为第三关节。当第二臂与手腕成一直线时  $\gamma$  为 0, 向下旋转时为正, 向上旋转时为负。旋转范围为  $180^\circ$ 。

5) 手腕的扭转 手腕的旋转角设为  $\delta$ , 抓握装置的手爪呈水平时  $\delta$  为 0, 由外面沿旋转轴方向看手腕, 顺时针扭转时为正, 逆时针扭转时为负。旋转范围, 以抓握装置的手爪作为驱动的结构是  $180^\circ$ 。

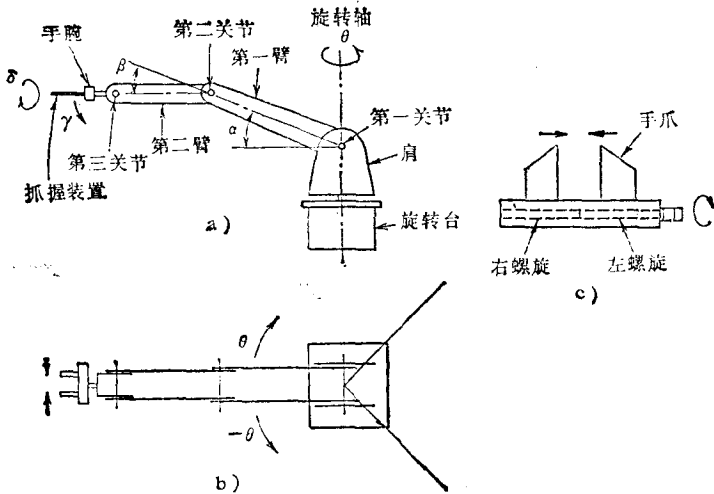


图2-2 机器人的机构

6) 抓握装置 为了便于抓握物体，抓握装置的两个手爪平行移动，其方法是：对一边的手爪，用右螺旋的螺母转动来移动，对另一边的手爪，用左螺旋的螺母转动来移动。如图 2-2 c) 所示，从中间看，右半部为右螺旋，左半部为左螺旋，这样组合而成。当螺旋旋转时，则手爪开闭，用来抓握物体。使手爪的间距缩小时螺旋的旋转方向为负，使手爪的间距增大时旋转方向为正。手爪的开度最大为45mm。

这种具有六种动作的多关节型机器人，是能够模仿接近于人们手臂的动作，能进行组装部件、搬运的装配机器人。

此外，对于机器人的动作，虽然六个轴同时控制是可能的，但是作为实际问题，边张开抓物的手爪边移动，或边关闭边移动是没有必要的。所以，这里进行五轴同时控制，当臂的位置确定后，再来控制第六轴的手爪。

### 2.3 齿数比的确定

为了能使机器人的臂转动，所需要的最大转矩是当臂呈水平状态，如图2-3所示。设各部分的尺寸和重量如下。

- 1) 第一臂的第一和第二关节轴之间的距离为 300mm，重量为1.5kg，其重心在距离第一关节150mm处。
- 2) 第二臂的第二和第三关节轴之间的距离为 200mm，臂与电机合计重量为0.6kg，其重心在距离第一关节400mm处。
- 3) 手腕及抓握装置合计重量为 1 kg，其重心在距离第一关节575mm处。
- 4) 最大可搬动重量为 2.5 kg，在距离第一关节 650 mm 处。

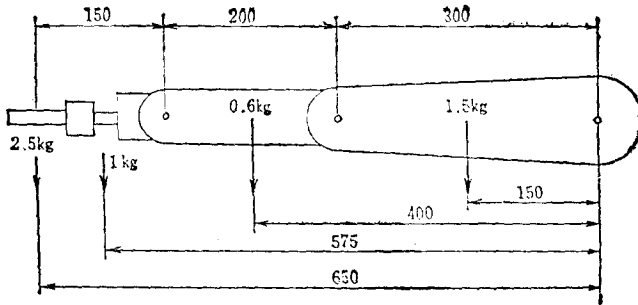


图2-3 臂的重量

#### 2.3.1 旋转

旋转是使机器人整体回转，若轴承是光滑的，则使旋转所需的静转矩比较小。因为将臂伸开成水平时转动惯量较大，所以在旋转开始时可能产生步进马达的转矩不足。

下面估算一下绕机器人臂的旋转轴的转动惯量。如图2-4 a) 所示，绕矩形板重心轴的转动惯量为  $I_c$ ，可由下式计算(板厚与长度相比很小)。

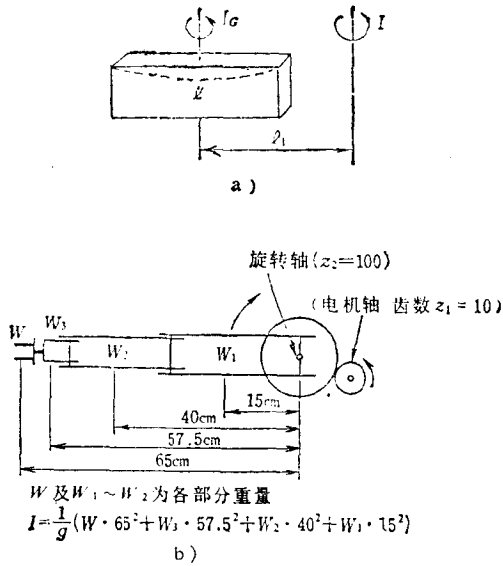


图2-4 转动惯量

$$I_G = \frac{1}{12} \cdot \frac{W}{g} \cdot l^2 \quad (2.1)$$

$W$ : 板的重量 (kg)

$g$ :  $980 \text{ cm/s}^2$

$l$ : 板的长度 (cm)

另外, 对距重心轴为  $l_1$  处的轴的转动惯量, 可表示如下:

$$I = I_G + \frac{W}{g} l_1^2 \quad (2.2)$$

若  $l_1$  比  $l$  大, 则  $\frac{W}{g} l_1^2$  远大于  $I_G$ , 机器人臂的各部分重量到旋转轴的距离, 如图 2-4 b) 所示。若绕各部分重心轴的转动惯量忽略不计, 则绕机器人臂的旋转轴的转动惯量, 可作如下估算。

$$I = \frac{1}{980} \{2.5 \times 65^2 + 1 \times 57.5^2 + 0.6 \times 40^2 + 1.5 \times 15^2\}$$

$$= 15.47 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2 \quad (2.3)$$

其次，若臂以1.2r/min（臂的前端的周速度为8.1cm/s）的速度旋转，则旋转开始时所需的转矩可表示如下（静摩擦力矩忽略不计）：

$$T = I \times \dot{\omega} \quad (2.4)$$

$T$ ：旋转开始的转矩（kgf·cm）

$I$ ：转动惯量（kgf·cm·s<sup>2</sup>）

$\dot{\omega}$ ：角加速度（rad/s<sup>2</sup>）

此外，因角速度 $\omega$ 可以用 $2\pi N$ （ $N$ ：r/min）来表示，所以，

$$\omega = 2\pi N = 2 \cdot \pi \cdot 1.2 = 7.54 \text{ rad/min}$$

$$= 0.125 \text{ rad/s} \quad (2.5)$$

使机器人臂从 $\omega = 0$ 的状态到 $\omega = 0.125$ 时，若所需时间为0.1s，则

$$T = I\dot{\omega} = 15.47 \times \frac{0.125 - 0}{0.1}$$

$$= 19.33 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \quad (2.6)$$

若考虑绕机器人臂的各部分重心轴的转动惯量及静摩擦力矩，则旋转开始时的启动转矩可假定为30kgf·cm。如图2-4b)所示，马达轴的齿轮齿数 $z_1$ 为10，模数为1，旋转轴的齿轮齿数 $z_2$ 为100，步进马达的名义驱动转矩为4kgf·cm，实际可采用3kgf·cm。

### 2.3.2 第一臂

设使第一臂举起所需要的转矩为 $T_1$ ，且臂呈水平状态时为最大，则

$$T_1 = 2.5 \times 65 + 1 \times 57.5 + 0.6 \times 40 + 1.5 \times 15$$

$$= 266.5 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \quad (2.7)$$

步进马达的步进角为1.8°，即每旋转1/200转就能进行控制，采用名义转矩为10kgf·cm，实际的驱动转矩用8kgf·cm来计算。

齿轮二级传动的效率为0.85，如将齿数比用  $i$  来表示，则

$$\begin{aligned} & (\text{马达的转矩}) \times (\text{齿数比}) \times (\text{传动效率})^2 \\ & = (\text{需要的转矩}) \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\text{齿数比} = \frac{266.5}{8 \times 0.85^2} = 46.1 \quad (2.9)$$

虽然得到齿数比为46.1，但是为了传动得好一些，采用齿数比为50，如图2-5所示，齿轮的模数  $m$  为1，齿数  $z$  是：

$$\begin{aligned} z_1 = 10 \quad z_2 = 100 \quad z_3 = 20 \quad z_4 = 100 \\ i = 50 = \frac{z_2 \times z_4}{z_1 \times z_3} = \frac{100}{10} \times \frac{100}{20} \end{aligned} \quad (2.10)$$

齿数为100与20的两齿轮固结在同一轴上，齿轮的材质，齿数10的齿轮为钢制品，其它为黄铜制品，齿宽均为7 mm。关于齿轮的强度，步进电机的转数  $N$  约为120 r/min，安装在马达轴上的齿轮周速度  $v$  为

$$\begin{aligned} v &= \frac{\pi (m z_1) \cdot N}{60} = \frac{3.14 \times 1 \times 10 \times 120}{60} \\ &= 62.8 \text{ mm/s} = 0.0628 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (2.11)$$

速度很低，因而，只校核轮齿的静弯曲强度即可。

发生在第一臂的力矩为266.5 kgf·cm，因齿轮  $z_4$  的半径为50 mm，所以齿轮  $z_4$  与  $z_3$  的轮齿所承受的力  $F$  如图2-6所示，其

$$F = \frac{266.5}{5} = 53.3 \text{ kgf} \quad (2.12)$$

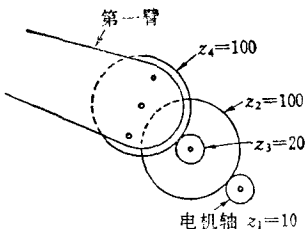


图2-5 第一臂旋转的齿数比

齿轮的模数  $m = 1$



图2-6 齿轮的强度



从而，根据路易斯公式，

$$F = \sigma m b y \quad (2.13)$$

$\sigma$ ：低速旋转时的许用应力

$m$ ：模数

$b$ ：齿宽

$y$ ：齿形系数 (0.446)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F}{m b y} = \frac{53.3}{1 \times 7 \times 0.446} \\ &\approx 17.07 \text{ kgf/mm}^2 \end{aligned} \quad (2.14)$$

因黄铜的拉伸强度为30~48kgf/mm<sup>2</sup>，对实用来说不成问题。

### 2.3.3 第二臂

如图2-7所示，为使第二臂旋转所需要的转矩为

$$\begin{aligned} T_2 &= 2.5 \times 35 + 1 \times 27.5 + 0.6 \times 10 \\ &= 121 \text{ kgf}\cdot\text{cm} \end{aligned} \quad (2.15)$$

采用与第一臂相同的步进电机，驱动转矩为8kgf·cm，电机安装在第一臂的构架燕尾上。虽然电机安装在接近于驱动部分为好，但是距离第一关节远，且电机本身有1kg的重量，从而使驱动第一臂的电机负担加重，所以在第一臂的构架上，且与第一关节臂相反的一侧做成燕尾使其伸出，配置呈平衡状态。向第二

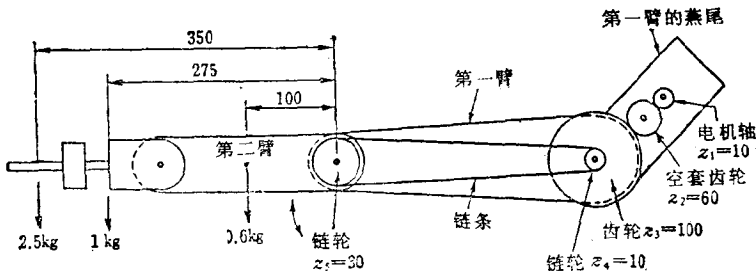


图2-7 第二臂旋转的齿数比

链条节距  $P = 6.35$