

# 码垛机器人机构设计与运动学研究

李成伟 负超

(北京航空航天大学 机械人研究所 北京 100083)

Stacking robot kinematics design and research institutions

LI Cheng-wei YUN Chao

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics Robot Institute Beijing 100083 China)

**【摘要】**针对物流自动化行业中对箱包高速码垛的需求,研制了一种码垛机器人机构。并依据搬运机器人的性能要求,设计一种四自由度的码垛机器人。重点对码垛机器人的运动学分析了研究,推导运动学正反解方程及最大工作空间的判断且规划了运动路径,在运动过程中通过码垛关键参数的输入和码垛空间的判断,最后进行了图形仿真,验证了运动轨迹的正确性。实验结果证明所设计的机器人已可满足在物流自动化的目标要求。

**关键词** 机器人机构 运动学分析 工作空间判断 图形仿真

**【Abstract】** In accordance with the requirement of robot palletizer in logistics automation technology, a universal robot palletizer is designed based on the functional requirement. The focus of the campaign path palletizing robots have been studied sought the pros and cons of the location work space and the largest judgment and the development of robot to stack the path planning. During the campaign process by stacking the key parameters of inputting and stacking space judgment a final graphic simulation perification of the correctness of the trajectory the experimental results show that the robot has been designed to meet the objectives of the logistics automation requirements.

**Key words** Robot institutions Kinematics analysis Work space judgement Graphic simulation

中图分类号:TH16,TP24 文献标识码:A

## 1 机器人结构

### 1.1 总体机构的组成

码垛机器人的结构其具体结构如图1所示。该机器人的手臂,固定在腰部上,在该部分内小臂通过前大臂、后大臂与的搬运和码垛作业,且机械系统主要有四个关节部分组成,能实现四种运动:腰部旋转、大臂上下运动、小臂前后运动和手腕回转运动四种运动,全部由交流伺服电机驱动,这种结构的机器人完全可以满足生产线上需求。

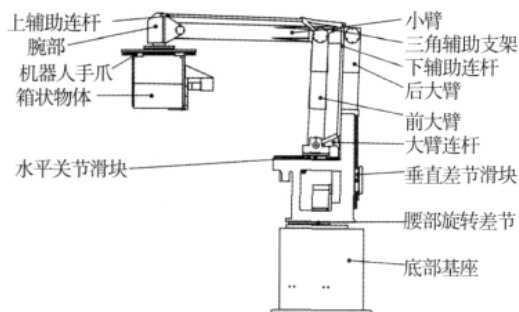


图1 总体机械结构图

### 1.2 水平及垂直关节的结构设计

水平、垂直关节和机械构图如图2所示。因为机架零件会阻挡到其它零件的说明故在此没显示出,水平及垂直关节部份都各有一个电机,每个电机藉由控制同步带轮及齿型带的旋转来使滚

珠丝杠转动,进而带动其滑块及拖板这样的运动可以使机器人实现大臂上下运动,小臂前后运动且可以满足驱动大惯性力矩负载和快速运动精确定位的要求。

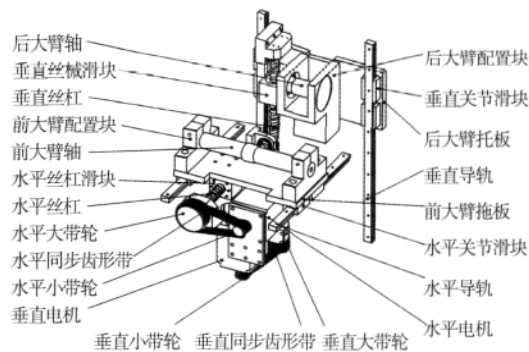


图2 水平、垂直关节机械构图

### 1.3 腰部底座的结构设计

腰部底座关节机械构图如图3所示。腰部底座的运动是藉由底部的伺服电机来控制空心轴,进而使机架实现了腰部旋转,并且经由实验证明底部基座及法兰的结构设计,可以降低机械关节运动时的工作噪音,而通常被搬运的物品只需要从一个位置移到另一个位置上,绕垂直于水平方向的轴旋转调整放置方向,所以此结构满足现场工作的需求。

### 1.4 腕部及机器人手爪的结构设计

腕部关节及手爪机械构图如图4所示。腕部电机控制手爪

\* 来稿日期:2008-08-12

连接盘带动机器人手爪旋转,利用对箱状物机械手控制进行分析,该机构主要完成码垛操作中夹紧箱状物体的动作。机器人手爪底部安装气源入口及气源处理和压力继电器,工作时侧夹板开合由电磁阀控制汽缸活塞杆缩回,带动两侧板互相靠近,从而完成夹紧动作。手爪板完全打开时,可以使张开的手爪之间的宽度大于包装箱的宽度,而另一个电磁阀控制汽缸实现手爪开合,以保证机械手的手爪准确、可靠地落于生产线运输辊之间或拖盘上。

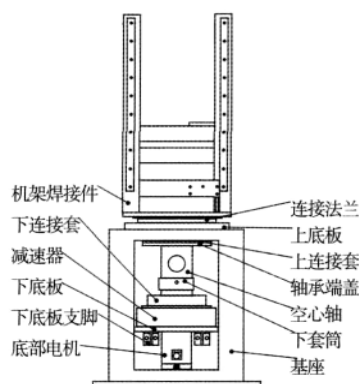


图3 腰部底座关节机械结构图

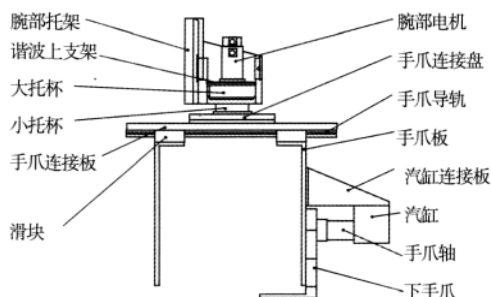


图4 腕部关节及手爪机械结构图

## 2 运动学分析

### 2.1 机器人运动正解

最大工作室空间示意图如图5所示。首先为了便于对并联部分的运动进行分析求解,设置一个固定坐标系 $XOY$ ,随并联部分一起绕腰部转动。当机器人处于零位时,并联部分处于图中虚线位置,此时小臂上 $A$ 点的坐标为:

$$X_{AC}=1430\text{mm}, Y_{HC}=1320\text{mm}$$

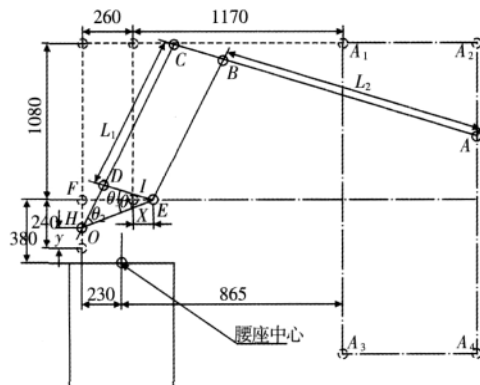


图5 最大工作空间示意图

下面分析当水平关节向前移动 $x$ ,垂直关节向上移动 $y$ ,并联

机构运行到图中实线位置时,机器人腕部位置的变化规律,由图表示可知,在 $\triangle HEF$ 中 $HF=240-y$ , $EF=260+x$ ,则

$$\theta_1=\arctan\left(\frac{240-y}{260+x}\right)$$

$$b^2=EH^2=EF^2+FH^2=(260+x)^2+(240-y)^2$$

在 $\triangle EDH$ 中 $\mu=260$ , $\rho=240$ ;

$$\theta_2=\angle DHE=\arccos\left(\frac{b^2+c^2-a^2}{2bc}\right)$$

$$\theta_3=\angle DEH=\arccos\left(\frac{a^2+b^2-c^2}{2bc}\right)$$

此时 $C$ 点的坐标为:

$$X_C=1300*\cos(\theta_1+\theta_2);$$

$$Y_C=y+130*\sin(\theta_1+\theta_2) \quad (1)$$

$A$ 点的坐标为:

$$X_A=X_C+1430*\cos(\theta_3-\theta_1);$$

$$Y_A=Y_C-1430*\sin(\theta_3-\theta_1) \quad (2)$$

将(1)式代入(2)式,得

$$X_A=1320*\cos(\theta_1+\theta_2)+1430*\cos(\theta_3-\theta_1)$$

$$Y_A=y+1320*\sin(\theta_1+\theta_2)+1430*\sin(\theta_3-\theta_1) \quad (3)$$

根据几何知识反解得:

$$X_A=1430+5.5x, Y_A=1430-4.5y$$

当推导出正反解后就可以依据工作现场的码垛实际需求,计算出可达到的工作空间,以机器人初始位置垂直丝杠下方为原点,如图5所示最大空间点坐标为 $A_1, A_2, A_3, A_4$ ,则运动到 $A_1$ 点的丝杠移动距离为:

$$x=175, y=445; 260+x=200, 240-y=195, b=279;$$

角度为 $\theta_1=115^\circ, \theta_2=17^\circ, \theta_3=16^\circ$ ;则得 $A_1$ 到点的坐标 $A_1(1095, 1120)$

同理运动到 $A_2$ 点的丝杠移动距离为:

$$x=-60, y=45;$$

$$260+x=200, 240-y=195, b=279;$$

角度为 $\theta_1=45^\circ, \theta_2=59^\circ, \theta_3=53^\circ$ ,则得到

$$A_2\text{点的坐标 } A_2(2395, 1120)$$

同理可得运动到 $A_3$ 点的丝杠移动距离为:

$$x=-60, y=445;$$

$$240-y=-205, 260-x=200, b=286;$$

角度为 $\theta_1=135^\circ, \theta_2=58^\circ, \theta_3=52^\circ$ ;则得到 $A_3$ 点的坐标 $A_3(1095, 680)$

运动到 $A_4$ 点的丝杠移动距离为:

$$x=175, y=45;$$

$$260+x=435, 240-y=195, b=477;$$

角度为 $\theta_1=24^\circ, \theta_2=18^\circ, \theta_3=17^\circ$ 则得到 $A_4$ 点的坐标 $A_4(2395, 680)$

假设码垛方式为每层三行三列(9件)腰部、腕部旋转角度计算简图如图6所示。当码垛机器人搬运工件时,从自动生产线上的 $C$ 点运动到托盘上的 $A$ 点再到达 $B$ 点,按照右手定则腰部旋转的角度为:

$$\theta_1=\arctan\left(\frac{y_1}{x_1}\right)-90^\circ, \theta_2=\arctan\frac{b}{r_2}-\arctan\frac{b/2}{r_1}; \quad (4)$$

水平关节移动的距离为:

$$l_1=(\sqrt{(x_1^2+y_1^2)}-y_0)/5.5$$
 (5)

垂直关节移动的距离为：

$$l_2=(z_1-z_0)/(-4.5)$$
 (6)

腕部机械手旋转角度为：

$$\theta_2=-\theta_1$$
 (7)

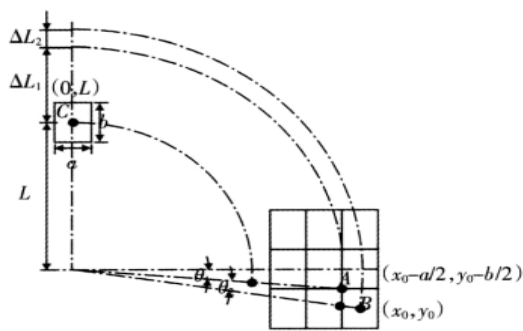


图6 腰部、腕部旋转角度计算简图

由以上分析可知，给定工作区间上初始位置和任意一点，即可根据式(4)、(5)、(6)、(7)求解出各个关节应旋转的角度或移动的距离。

2.2 运动学模型仿真验证

仿真结果显示关节值与运动学反解的计算有很好的匹配性，且也在码垛的工作空间范围并验证了码垛机器人运动学的正确性，根据此数据我们可以对此机器人结构规划实现几种码垛模式，如表1所示。

表1 机器人运动学模型仿真

关节变量 箱子位置	$\theta_1$	$L_1$	A 点坐标	$\theta_2$	$L_1$	B 点坐标	手爪旋 转角度
1	97.85	463.72	(1450,-200)	6.18	185.51	(1600,-400)	-104.03
2	99.86	167.26	(1150,-200)	7.23	192.88	(1300,-400)	-107.10
3	103.24	-126.78	(850,-200)	8.56	203.82	(1000,-400)	-111.80
4	82.14	463.72	(1450,200)	7.85	136.27	(1600,0)	-90.00
5	80.13	167.26	(1150,200)	9.86	132.73	(1300,0)	-90.00
6	76.75	-126.78	(850,200)	13.24	126.78	(1000,0)	-90.00
7	67.52	569.23	(1450,600)	8.44	80.00	(1600,400)	-75.96
8	62.44	297.11	(1150,600)	10.45	63.03	(1300,400)	72.89
9	54.78	40.43	(850,600)	13.41	36.60	(1000,400)	-68.19

3 运动模式

我们针对机器人的工作现场的作业要求，来进行对码垛轨迹规划，使其能够将物品精确的码成所需要形式，而轨迹规划是运动学反解的实际应用，其中包括位姿反解、速度、同理，已知每个关节旋转的角度或移动的距离，末端机械手的位置姿态也可以求出，在这里就不再做详细描述。

加速度的反解，而实现的方式是采用电控控制、机器人语言和机器人动力学特性。

运动轨迹设计，如图7所示。机器人码垛所走的轨迹由  $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5 \rightarrow P_6 \rightarrow P_7$  完成从初始位置到放置物品的过程， $P_7 \rightarrow P_6 \rightarrow P_5 \rightarrow P_4 \rightarrow P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$  完成抓取物品过程，各个点定义如下：

- (1)  $P_1 \rightarrow P_2$  为机械手爪的初始位置， $P_2$  为物品最初放置位置
- (2)  $P_2 \rightarrow P_1$  机械手爪上升到初始高度。

- (3)  $P_1 \rightarrow P_3$   $P_3$  为旋转角度。
- (4)  $P_3 \rightarrow P_4$   $P_4$  为码垛机械手伸长量。
- (5)  $P_4 \rightarrow P_5$   $P_5$  为旋转角度。
- (6)  $P_5 \rightarrow P_6$   $P_6$  为码垛机械手再度伸长。
- (7)  $P_6 \rightarrow P_7$   $P_7$  下降位置，一次动作完成。

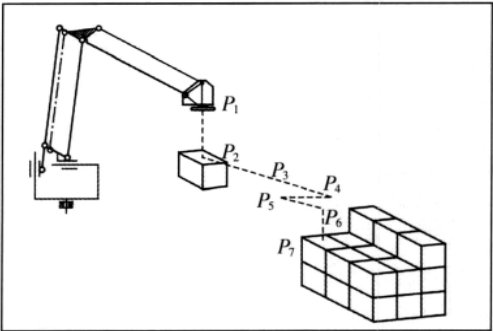


图7 运动轨迹设计

4 仿真分析

机器人码垛过程的仿真采用 VC 与 solidworks2007 的二次开发相结合，用 solidworks2007 构建机器人的三维实体模型，通过 VC 编程将机器人的运动学和轨迹运动算法加入到程序中，而仿真出机器人模型运动，以机器人运动轨迹的关键参数为基准，如表2所示。

表2 机器人运动关键参数表

电机功率	6.4KVA	
码垛重量	120Kg	
码垛能力	1400c/hr	
最大工作空间	Z 轴(垂直轴)	1800mm
	R 轴(水平轴)	1300mm
	轴(腰座)	330
	轴(腕部)	330

以矩形码垛为例，进行整个码垛过程仿真，仿真过程达到我们预想的效果，为工业现场进行离线码垛提供了借鉴。

5 结论

针对某企业生产线的实际需求，设计了一种四自由度并连关节式搬运机器人，该机器人具有机械结构设计合理，负载能力大，且可对硬纸箱、塑料箱、袋状物、盒装物等搬运码垛，只需更换手爪即可。因此，除了用于拆垛、码垛以外，还可以广泛用于物流自动化行业中的物料搬运、分拣等方面，具有广阔的市场前景。

参考文献

1 孙迪生等. 机器人控制技术[M]. 北京 机械工业出版社, 1998  
2 曹彤, 员超, 孙杏初. 电视机搬运码垛机器人应用研究[J]. 机械设计与制造, 2002(2)  
3 曾孔庚, 王宏庆, 丁原彦. 高速机器人搬运码垛系统构成及技术特点[J]. 机器人技术及应用, 2001(4)  
4 蔡自兴. 机器人学[M]. 北京 清华大学出版社, 2000  
5 杨汝清, 高建国, 胡洪国. 高速码垛关键技术研究[J]. 高技术通讯, 2004, 14 (1)  
6 胡洪国, 高建华, 杨汝清. 码垛技术综述[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2000(6)