

“简易空间机器人”机械结构设计

陈丰 曾凡才

(数力系)

提 要: 本文介绍“简易空间机器人”机械结构设计的指导思想、性能参数、以及结构特点。

关键词: 机器人, 自由度, 结构设计, 精度。

该课题是郑州工学院数力系与航天部五〇二所的协作项目。其最终目标是研制出卫星用高智能“空间机器人”。目前数理力学系承担的任务是: 完成机器人地面样机的本体机械结构设计, 包括结构的运动学分析和有限元并利用计算机软件绘制正式加工图纸。本篇仅介绍“简易空间机器人”的机械结构设计。

1 指导思想

由于空间机器人所处的工作环境的特殊性, 在确定机械结构方案时, 主要考虑了下列各方面因素的影响。

(1)、高真空的工作环境。

(2)、微重力场。

(3)、环境温度场为高低温交变。

(4)、工作环境有宇宙辐射。

(5)、要经受恶劣的“发射”状态(超重、过载、冲击、振动、失重等)。

(6)、为减少对卫星(飞行器)控制的干扰力矩, 机器人手臂的运动速度要求限制在较低的标准之下。

因此在总的设计方针中强调了如下的指导思想:

(1)、重量轻、体积小结构简单、工作可靠, 且易于控制。

(2)、低功耗、低贯量、高效率。

(3)、长寿命。

2 整体布局

经过调研和查阅大量资料, 以及详细地分析比较, 我们决定以puma 200 Robot和Scorbot—Er—Ⅲ机器人的结构形式作为设计的参考, 拟定了四种不同的机构结构形式, 经有关专家对方案进行评审, 确定了该设计方案, 其外形如图1所示。结构特点: 活动空间范围大, 运动灵活, 刚度高, 能完成多姿态的作业, 并在设计中尽量简化传动链, 降低质量, 减

少运动耦合，保持重力平衡，减小驱动功率，采用电机与关节轴相分离的结构形式，电机及减速器等部件靠后面安装，动力与运动的长距离传递，选用同步齿形带传动，图2是其传动示意图。

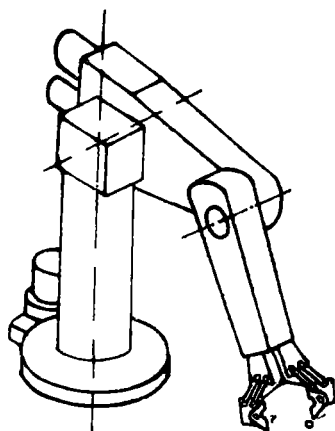


图1 外形图

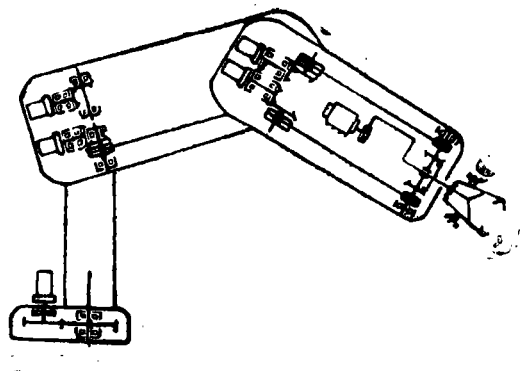


图2 传动示意图

3 性能参数

该机器人主要由手爪、手腕、小臂、大臂、腰身（包括底座）等五部分组成，是一个开链机构，共5个自由度，每一个自由度都由一个单独的电机驱动。其性能参数见表1。

表1：性能参数

外形尺寸	腰身高	350mm	活动范围	腰回转	308°
	大臂长	220mm		肩回转	300°
	小臂长	220mm		肘回转	300°
	最大伸长	880mm		腕俯仰	180°
	手臂最大开度	65mm		腕转动	360°
运动速度	腰回转	0.12rdd/s	其它参数	静负荷(空间)	1kg
	肩回转	0.175rdd/s		重复精度	±0.5mm
	肘回转	0.192rdd/s		最大线速度	U端=0.092m/s
	腕回转	0.698rdd/s		重量	≤10kg

4 结构设计

4.1 手爪的系统

手爪的作用是抓取物体,暂设计为两指电动手爪,用螺钉与腕的前端联接。必要时,可以更换手爪的类型,以适应不同工作的需要。参看传动示意图2。置于小臂内的电机拉动缆绳,以实现手爪的合指运动,松指则由爪杆后端的弹簧完成。每个尖爪的指面均配有5mm厚的橡皮垫片。

4.2 小臂及腕部

小臂的前端是能够使手爪作俯仰和旋转运动的腕部。为了实现腕部两个自由度的运动,采用双向圆锥齿轮传动,由放在小臂末端的两个电动机驱动。电机转速(无机调速电机)拟选用 $n = 30 \text{ rpm}$,经传动比 $i = 126$ 的谐波减速器减速后,再由肘部传动比 $i = 1$ 的圆锥齿轮换向,通过同步齿形带传到腕部。当左右两个圆锥齿轮同向转动时,腕部俯仰;异向运动时,实现腕部旋转。

4.3 大臂设计

大臂的传动路线与小臂相似。为了有利于动力学和运动学计算,设计大臂和小臂长度相等。立柱与大臂、大臂与小臂,即肩关节、肘关节均采用悬伸结构。

4.4 腰身及底座

腰回转采用直齿圆柱齿轮传动,电机转速仍为 $n = 30 \text{ rpm}$;谐波减速器减速比 $i_1 = 126$,齿轮减速比 $i_2 = 2$,可实现腰回转角速度 $\omega = 0.122 \text{ rad/s}$ 。为消除齿轮间隙,将主动轮做成双片齿轮,装配时错位调整,可以消除侧隙。

5 设计特点

简易空间机器人与一般工业机器人的最大区别在于它们的工作环境不同,根据总的设计指导思想,其设计特点有以下几个方面:

5.1 材料选择

机器人各零部件所用的材料均选自航天工业部五〇一设计部航天器材料汇编小组所编写的“航天飞行器材料汇编”,该部近十年来,进行了一系列的航天飞行器研制工作,在航天飞行器材料的研制、选择、试验、使用等方面积累了一定的经验与资料,因此,所荐材料均能满足空间环境的特殊要求。

为保证手臂刚度高、重量轻的特点,大、小臂壳体选用新型复合材料:碳纤维/环氧树脂M40/628。其主要性能见表2(略)。

为降低成本,提高工艺性能,立柱与底座材料选用LD10锻铝合金。

轴、齿轮、轴承、弹簧以及其它构件的材料选用45*优质碳素结构钢和1Cr18Ni9Ti不锈钢以及50CrVA弹簧钢制造,这些材料所制构件在各种飞行器上使用,于真空、幅射、高温低温交变上,均未发现不胜任工作的异常现象,证明均可适用于空间工作环境。

5.2 传动机构

根据设计指导思想要求,在选择传动方式时应充分考虑到:传动路线简洁、传动效率

高、机构变形小、重量轻、精度高。比较各种传动机构的优缺点, 决定采用齿轮和同步齿形带相结合的传动机构, 为防止同步齿形带在工作时被拉长变形, 引起松动和振动, 需要在齿形带外侧加设可调节的张紧轮。

5.3 减速机构

为了减小对卫星(飞行器)控制的干扰力矩, 该机器人各运动部件的速度均被限制在较低的标准之下 ($\omega_{\max} = 0.698 \text{ rad/s}$, $V_{\text{端}\max} = 0.092 \text{ m/s}$), 尽管选用4DA02型无级调速电机, 为保证一定的驱动力矩, 电机转速拟选 $n = 30 \text{ rpm}$, 仍需一个高效率的大传动比减速机构。目前, 在一般机器人设计中, 常用的减速机构有: 齿轮箱传动、行星齿轮传动、蜗杆蜗轮传动以及谐波齿轮传动等, 鉴于空间条件要求, 设计中, 采用谐波减速器与一般齿轮链相结合的方式, 以期达到所要求的传动比。且基本上能满足: 传动平稳、精度高、回差小、高效率、小惯量等设计要求。

5.4 电机组件一体化

从可靠性和可控性多方面比较后, 样机采用机电式执行机构, 由电机、谐波减速器、光学码盘和驱动电路组成了该机的驱动机构。为了减轻整个驱动机构的尺寸和重量, 采用“电机—谐波减速器—光学码盘”作为一体化的组合件。将电机的输出轴直接作为谐波减速器的输入轴, 而将光学码盘直接安装在电机的转子轴一端, 形成了一体化的一个组件。

估算了空间环境及地面重力条件下运行时所需的电机功率分别为 0.0036 瓦和 0.044 瓦(以肩关节为例)。因此根据目前具体情况, 在设计中选用了日本产4DA02型有刷直流伺服电动机, 该电机额定功率: 25瓦、额定电压: 24伏、额定力矩: 0.81千克·厘米、重量: 0.25千克。

因电机可无级调速工作在1~5000rpm之间, 且带有磁码盘, 位置分辨为500p/Rev即每转可以给出500个脉冲信号, 将该电机选用在30rpm的状态下工作, 这样就减少了传动机的传动比, 达到了重量轻、体积小、结构紧凑的要求。

该机选用699厂生产的XB—25—126H型谐波减速器, 其减速比 $i = 126$, 将上述电机的输出轴做为谐波减速器的输入轴, 这样, 即得到了14.3度/秒的输出。其码盘的分辨率为: 0.006度/脉冲。

5.5 润滑

该机各部件能否正常运转, 其寿命能否达到预期的时间, 在很大程度上取决于各机械部件的润滑效果。由于其特殊的工作环境, 一般的润滑油脂是很难胜任的。

从减少蒸发量和对周围环境的污染以及耐高温等角度考虑, 选用固体润滑剂最为有利, 而那些不适于用固体润滑的机械部件, 则采用润滑脂润滑。

从国内文献中, 得到几种固体润滑材料的物理、机械和抗摩性能, 以及中国科学院兰州化学物理研究所提供的“模压工艺制成的几种材料在真空中静态冷焊及动态摩擦试验结果报告”。可以知道几种银基复合材料在真空中的磨擦磨损性能, 它们都有优异的减摩、耐磨性, 在同一试验条件下, Ag—MOS₂体系与Ag—MOS₂—石墨体系材料在真空中的摩擦特性比大气中的摩擦特性好, 说明它们在真空中使用更具有优越性。

为了满足设计指标, 初步考虑, 对轴承和齿轮机构推行MOS₂浅射膜润滑, 对谐波齿轮减速器采用PFPE润滑脂进行润滑。

5.9 其它问题

限位:为确保机器人的精确归零和可靠地限位,各关节处均设有零位和正、反极限位置的行程开关。

自锁:考虑到若发生突然性断电事故时,重力势能的变化可能导致冲击破坏。因此在手臂设计中应该自锁机构,一方面利用谐波减速器的自锁能力,另一方面利用继电器使直流电机向发电状态切换,且输出短路,以便产生转速阻尼。

偏重力矩分析:为了减少偏重力矩引起的不平衡,对机器人的肩—肘—腕关节偏重力矩进行了详细地分析研究,给出了精确的计算公式和有关结果,为设计提供了理论依据。

有限无静动力分析:为了研究机器人的大臂和小臂的刚度特性、强度特性以及动态特性,对其基本结构进行了详细的结构数值分析。(另文叙述)为改进机械结构设计、提高结构刚度和减轻结构自重提供依据。

在设计过程中,机械系的夏恒青、林志英老师给予了热情指导;薛守智、冯树奎、魏绍红、黎国英等同学参加了设计工作,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 工业机械手设计基础 天津科学技术出版社
- [2] 户田义继 小型空间用机械手的研究与试别 日本航空宇宙学会志V01.35, NO, 401 87
- [3] 陆祥生, 杨秀莲编 机械手—理论及应用
- [4] 首届全国机器人学术讨论会论文集 中国电子学会 1987年6月
- [5] 银基自润滑复合材料在空间飞行器上的应用
中国科学院兰州化学物理研究所
- [6] E. L. 萨福德 高级机器人手册 上海翻译出版公司
- [7] E. L. Klinglhofer Potentials of Robotic Operations on Board the Man-Tended Free-Flyer
IAF-87-17

The Mechanical Structure Design of the Simple Space Robot (SSR)

Chen Feng Zeng Fancai

(Department of mathematics and mechanics)

Abstract: The mechanical structure design of the SSR is introduced in this paper, including methods, function parameters and structure characteristics of the design

key words: robot, degree of freedom, structure and precision