

# 六足步行机缩放式腿机构的机械设计

王悦凤 甘建国 干东英

**摘要:** 本文详细讨论了用于六足步行机器人的缩放式步行机构的选型及其结构参数的选择, 给出了这种缩放机构的传动系统及机械结构的设计, 为研制实用的六足步行机器人步行机构提供了设计依据。

## 一、引 言

用于步行机器人的缩放式腿机构应具备运动平稳、较大的运动空间、较高的能量利用率、结构简单、易于控制等性能。按照在满足步行机机体具有最佳高度条件、机构足端满足给定的运动空间要求下, 使机构具有最佳受力的优化设计方法设计出的圆柱式缩放步行机构便可以较好地满足上述性能要求<sup>[1]</sup>。

## 二、机构型及其结构参数的选择

### 1. 机构型的选择

图 1 是缩放机构腿的原理图。当  $E$  点被固定时,  $A$  点的运动将以  $K_1 = FD/DC$  的比例传到  $F$  点, 当  $A$  点被固定时,  $E$  点的运动将以  $K = K_1 + 1$  的放大比传动到  $F$  点。即该机构能以较小的本体实现较大的运动, 还可以用  $A$  点和  $E$  点的独立控制来实现支撑重力方向和推进方向这两个相互垂直方向分别驱动, 这即是这种机构的运动解耦性, 这也表明了该机构易于控制且有较高的能量利用率。

为保证机构具有较大的立体运动空间, 不宜采用只有 2 个自由度的缩放机构, 按照 3 个自由度设置情况, 有如下二种形式:

(1) 直角坐标形式, 座标为  $(x, y, z)$ , 足端轨迹应为一矩形空间。

(2) 圆柱坐标形式, 座标为  $(x, z, \theta)$ , 足端轨迹为一个环形空间, 这种形式按自由度设置位置不同分为两种: 一种是在滑块点  $B$  处可沿  $x$  及  $z$  向运动, 铰链  $A$  处绕轴旋转  $\theta$  角, 另一种是在  $A$  处可绕  $z$  轴旋转  $\theta$  角和沿  $z$  轴移动, 滑块  $B$  沿  $x$  方向运动, 分别如图 2 (a) 及 (b) 所示。在相同驱动力作用下, 由于后一种形式较前一种形式所能支撑的重

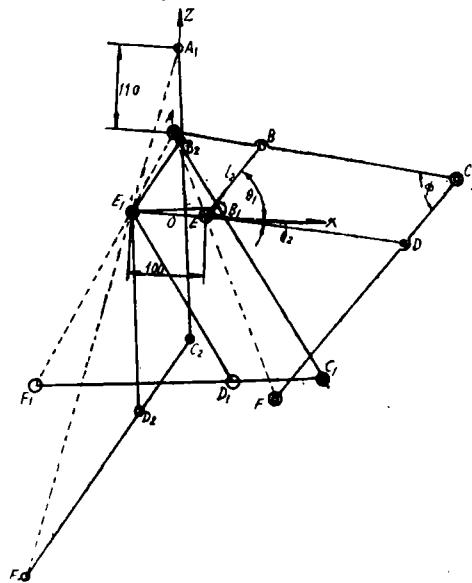


图 1

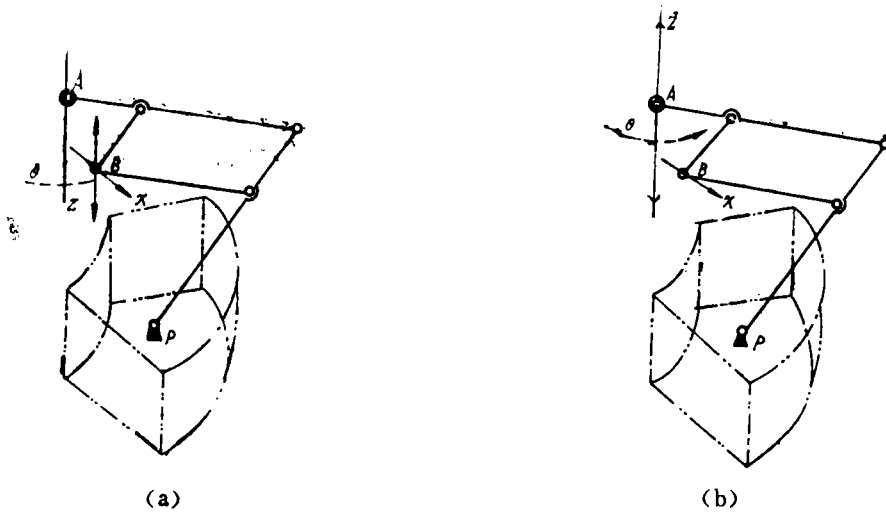


图 2

量更大些而更适合于用作步行机构，所以选用后一种形式作为主结构。

### 2. 结构参数的选择

采用引言中所描述的优化设计方法来选择结构参数，这种方法既考虑了整机的总体结构设计又为机构各几何参数的选择、传动构件的行程及布置提供了最优的参考值。

选择图 2 (b) 所示的圆柱式缩放机构作为六足步行机的步行机构。其机构简图如图 1 所示：按照文献<sup>[1]</sup>的结论，可以得到如下设计参数： $l_1 = l_2 = 119\text{mm}$ ， $l_3 = l_4 = 382\text{mm}$ ，缩放比  $K = l_3/l_1 = l_4/l_2 = 3.211$ 。足端的运动空间为  $\frac{\pi}{2} \times 243.2 \times 103105.21\text{mm}^3$ ，纵向行程  $l_z = 110\text{mm}$ ，横向行程  $l_x = 100\text{mm}$ 。

## 三、机构的机械设计

### 1. 传动系统的设计

(1) 传动系统型的选取 如图 3 所示 E 处的移动通过步进电机驱动滚珠丝杠带动滑块来实现，A 处的移动是由步进电机通过一对圆锥直齿齿轮将运动传到滚珠丝杠带动滑块来实现，整个机构绕 z 轴的旋转由减速比为 1:90 的谐波传动器来实现，旋转角度范围为  $0 \sim 90^\circ$ ，由于本机构是一实验模型其负载较小，经过计算 A、E 处移动的传动系统的减速比为  $i = 1$ ，从而使得结构较为紧凑。

### (2) 驱动电机参数的选择

考虑到这是一台模型设计，所以选用较简便的电传动方式，步进电机可以方便地进行开环位置和速度控制，速度响应快，定位精度高，可以直接用数字信号进行控制，选取反应式步进电机做为该机构 A 点 E 点的驱动源，该电机主要技术参数为：步距

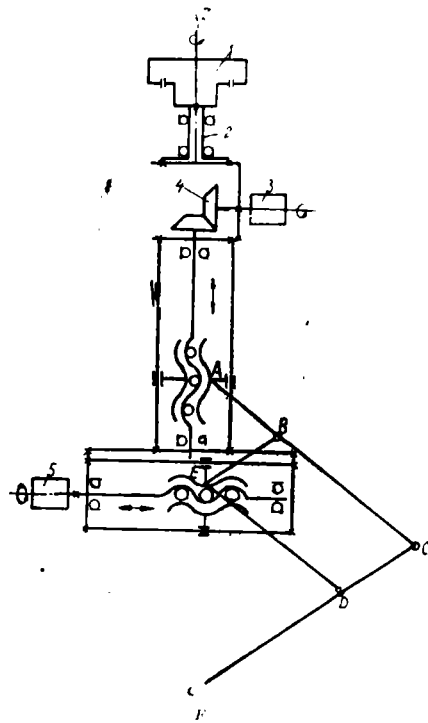


图 3

角 $1.5^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ，最大静转矩 $0.882\text{N}\cdot\text{m}$ ，最高空载启动频率1250（步/秒），相数3。滚珠丝杠的螺距为4mm，机构的运动速度为 $20\text{mm/s}\sim 40\text{mm/s}$ 。

## 2. 结构分析

从图3所示，在套筒1处装有两对向心推力球轴承，轴承可施加适当的轴向预紧力，通过预紧力可以提高支承系统的刚度，减小振动和噪声，防止由于惯性力矩所引起的滚动体相对于内、外圈滚道的滑动，来提高轴系的回转精度，纵、横支承体分别采用铸件，使得整个结构紧凑，从结构上考虑，使E点的行程以A点所在的滚珠丝杠轴线为对称线，同时在与电机1对称的位置配置了平衡块，使得整体结构布置对称，以保证运动平稳；在足端设置了一个可挂负载的装置，以便做加载实验以验证机构的动力学性能及位置精度。

## 四、结 束 语

从上述讨论来看，圆柱型缩放式步行机构由于结构本身所具有的运动解耦性，而使得机构易于控制且有较高的能量利用率，本文所设计的这种缩放机构还具有结构简单，紧凑等特点。这种机构也可用于经济型工业机器人的主结构。

综上所述，在对缩放机构理论分析的基础上，探索了一种用于六足步行机的圆柱式缩放机构的结构设计方法及结构模型，为研制出实用的六足步行机及新型的工业机器人提供了理论基础及实践方法，必将有助于机器人机构学的发展。

### 参 考 文 献

- [1] 于东英、甘建国、王悦凤；天津大学学报，1990年增刊第二分册 146~149页。
- [2] 甘建国、王悦凤；天津大学学报，1990年增刊第二分册 121~124。

## Mechanical Design of a Pantograph Legged Mechanism for a Six-legged Walking Robot

Wang Yuefong Gan Jianguo Gan Dongying

### Abstract

In this paper the selection of the type and the structure parameters of a pantograph locomotion mechanism for a six-legged walking robot is discussed in detail. We give a method to design the transmission system and the mechanical structure. A design basis for developing and making the practical locomotion mechanism of a six-legged walking robot is provided.