

连杆式仿生载重步行机的研究

剑 恩 喜

摘要： 本文提出了一种新的连杆式载重大足履步行机的行走机构，分析了该机构的运动学、力学特性。通过实验模型，验证了这种机构原理。同时，提出了一种用计算机绘制四连杆曲线图谱的新方法。

一、引言

步行机 (Walking machine) 是移动式机器人 (Mobile robot) 的一个门类，也称为行走式机器人 (Walking robot) 或足式机器人 (Legged robot)。步行机的特点是采用腿式迈步行走而不是轮式滚动。该课题前期工作虽取得了很大进展，研制成功了可载 400 公斤有效货物的小型仿生载重步行机样机，因采用了液气压传动方式，造价太高，石油部等用户难以承受。要求研究经济型的。为此开展了本课题的《连杆式载重步行机的研究》。本论文的目的在于寻找一种不用液压、气动这些复杂、昂贵的传动方式，而全部采用安全可靠的机械传动的机构。

二、行走机构的确定

步行机的行走机构在步行机的发展过程中起着重要的作用。从机构学的角度，分析综合了步行机行走机构的特点，把步行机的行走机构归结为四种形式：液压滑动式、旋转多足式、关节式、连杆式。阐述了几种有代表性的行走机构的原理。最后说明了步行机行走时足端轨迹应满足的要求。

为寻找满足行走条件的四连杆机构，我们做了以下工作：

1. 用优化计算的方法选择四连杆机构，建立了直角坐标系中的数学模型。如图 1 示。若要 M 点在给定轨迹 mm 上精确再现 S 个点，则有 $q + S$ 个设计变量。用连杆上再现的 S 个点与给定的 S 个点之差平方和最小的方法建立目标函数：

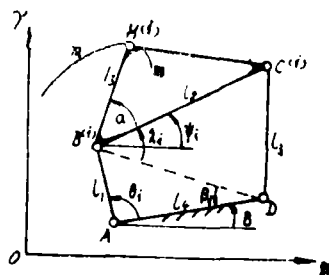


图 1

$$F(x) = \sum_{i=1}^S \omega_i \{ [m_x^{(i)} - \bar{m}_x^{(i)}]^2 + [m_y^{(i)} - \bar{m}_y^{(i)}]^2 \}$$

约束方程，为满足曲柄存在条件：

注：本文作者的导师为范朝来

$$C(1) = x_1 + x_2 - x_3 - x_4 < 0$$

$$C(2) = x_1 + x_3 - x_2 - x_4 < 0$$

$$C(3) = x_1 + x_4 - x_2 - x_3 < 0$$

为保证 θ_1 至 θ_{10} 的连续递增

$$C(4) = \theta_i - \theta_{i+1} < 0 \quad i = 1 \dots\dots 9$$

为保证各杆长适度及最小传动角,

$$C(5) = 5 - x(1) < 0$$

$$C(6) = 13 - x(3) < 0$$

$$C(7) = 2 - x(2)/x(1) < 0$$

$$C(8) = 15 - x(2) < 0$$

$$C(9) = 17 - x(14) < 0$$

设计变量: $x_1 = l_1, x_2 = l_2, x_3 = l_3, x_4 = l_4, x_5 = l_5, x_6 = a, x_7 = \beta, x_8 = \theta_0, x_9 = \theta_{11}, x_{10} = \theta_{12}, x_{11} = \theta_{13}, x_{12} = a_s, x_{13} = a_r, x_{14} = f$

确定边界条件后, 利用通用优化程序算出一组值。

2. 计算机图谱法查找曲线。图谱法以其直观性, 以及使用方便、简单、在四连杆的应用中, 但目前公开发行的图谱、图册很少, 而以往的图谱不能满足我们的要求。本文提出了一种利用四连杆机构的空模型原理选取采样点, 在计算机上编排图谱的方法。编制了绘制四连杆曲线图谱的实用计算机程序。如图 2 示, 偏斜八面体 ABCDEF, 称为铰链四杆机构的空模型。它建立了全部机构尺寸类型和空间点的一一对应关系。空间中的每一个点对应着一个确定的四连杆机构。ADEG 子空间包括了全部存在的曲柄摇杆机构。有规律地选取 A-DEG 子空间的点, 做为取样点绘制各点的样张, 完成一套图谱。运行程序时, 就相当于在查找一本图谱, 对选定的图谱样张可以用打印机输出。对相关区域可以取高精度, 观察其细微变化。

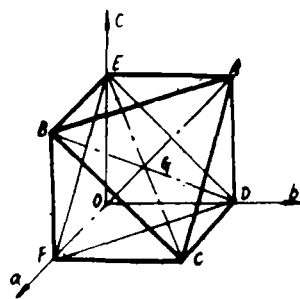


图 2

运用上述方法编制的计算机图谱程序, 我们全面地观察了四连杆机构的曲线变化, 在某些与我们要求曲线相近的区域, 采用了较高的精度, 结果找到了一条比较理想的四连杆曲线。确定了满足要求的机构。这一机构实现了与动物的足端轨迹相近似的曲线。在连杆曲线的外侧有近似的直线段, 回程段有急回特性, 满足了步行的要求。

三、机构的性能分析

我们编制了铰链四杆机构的速度分析程序, 加速度分析程序, 力分析程序, 对我们确定的机构做了进一步的分析。从结果中看出, 我们选定的机构, 连杆曲线的外侧存在近似的直线段, 直线段对应的主动轴转角近似 180° , 由于非直线段具有的急回特性, 使得该机构满足两足步行机或四足步行机类似人行走时换足的要求。从速度、加速度分析看, 曲线直线段的水平方向速度近似匀速, 铅垂方向速度近似 0, 铅直方向加速度近似 0, 这说明机身前进时平稳, 波动小。曲线的直线段的波动 < 0.001 。我们的分析还得出, 主动轴所受力矩不平稳,

水平方向换足有冲击，但是不大。

四、模型设计

为了验证所确定的机构，我们设计制造了一台实验模型。在模型的设计中，我们主要考虑了以下几个问题：腿的结构形式的确定；总体结构的确定；动力源的确定；传动方式的选择等。

五、结论

通过理论分析和模型实验，我们得到这样的结论：

1. 四连杆机构中，虽然找不到实现连杆曲线外侧是完全直线的机构，但存在实现连杆曲线外侧近似直线段的机构。2. 我们求解了一组性能十分优越的四连杆曲线，外曲线段近似直线，直线段对应主动轴转角 $>180^\circ$ ，有急回，换足平稳，直线段速度加速度、平稳。3. 利用四连杆曲线外直线段的行走机构，机构简单，可靠，节省能量，单一的实现直线行走的机构只需一个动力源。大大地简化了控制系统。4. 从模型实验看，电机仅10W，自重6kg，负重4kg，说明负重能力很好，有效地利用了能量。

A Study of Loaded Walking Machine with Connecting Rod

Jian Enxi

Abstract

In this paper, a new walking mechanism is provided. The motion of the walking mechanism and the forces on it is discussed. A prototype of walking machine has been manufactured. The principle of the mechanism has been verified and a new method of drawing atlas of coupler paths of 4-bar linkage is provided.