

全方位水平姿态爬楼机器人机械系统及关键技术研究

匡畅

广东水利电力职业技术学院 广东广州 510635

摘要：本文中主要对全方位水平姿态爬楼机器人进行了分析，该机器人具有爬楼、越障等功能，采取三自由度足式移动方式，与传统的行走机器人有较大差异，可解决传统机器人在复杂环境中机动性差、运送质量低等问题。同时，本文中对爬楼机器人在解决路径、旋转楼梯等方面的问题进行了分析。

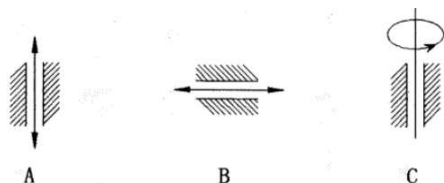
关键词：爬楼机器人；机械系统；行走机构

随着当代经济与科技的全面发展，高层建筑已经成为城市的主要建筑，能够有效地提升城市空间利用率，这也使得通过楼梯、电梯进行物品输送较为常见。电梯在输送中容易受到外界因素影响，如停电、自然灾害等，使得部分情况下需要通过楼梯完成物品输送，而机器人具备良好的适应能力与稳定性，能够完成一定的输送任务，但在高层建筑中的非环境结构的输送上仍然存在问题。全方位水平姿态爬楼机器人在理论上具有解决上述问题的能力，本文则主要对其机械系统、关键技术展开研究。

一、机器人机构的总体设计方法与概念

（一）全方位水平姿态爬楼机器人设计

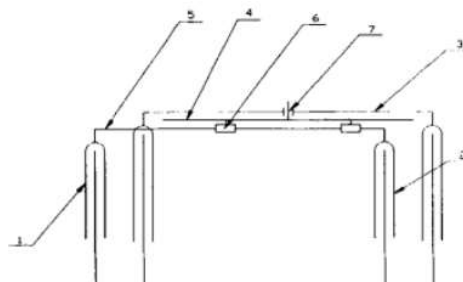
机器人的主要运动环境为空间立体环境，在对其进行设计时，需着重解决机器人的运动自由度问题。每种自由度能够解决某一方向的运动问题，自由度主要可以分为三种，如图一所示。通过对不同自由度进行组合，可解决多种方向的运动问题，本文中主要根据这一原理对机器人进行设计



图一 机器人运动自由度示意图

（二）机器人的成型设计

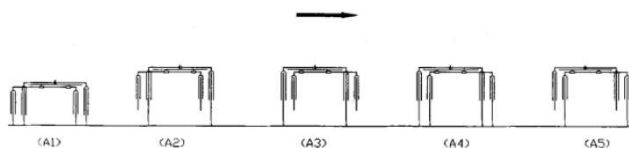
为进一步提升机器人在实际应用过程中的稳定性，采用并联机构对不同自由度进行组合，分别为上台上下自由度与下台上下自由度，其中，前者包含四组自由度形式，后者包含两种自由度形式。同时，机器人中的转动机构、移动机构以及上下运动机构都需要具备相对应的装置，以实现机器人在立体空间内的运动。在进行成型设计的过程中，该机器人可分为两部分，即上台整体与下台整体，二者通过转动副进行连接，可形成相对旋转运动，如图二所示。



图二 机器人机构侧视示意图

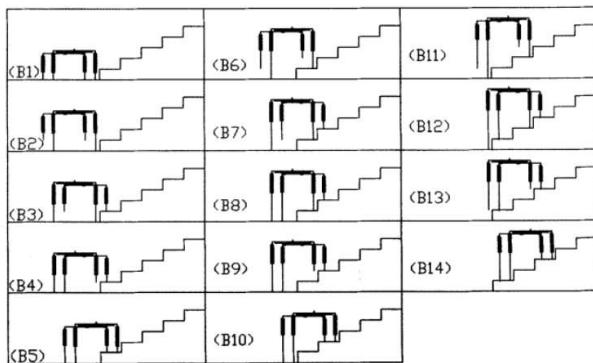
（三）移动原理与爬楼原理

机器人的水平移动原理如图三所示，从A1至A5的过程中，机器人从左至右进行运动，通过上台机构与下台机构的交替运动，可以实现机器人的稳定移动，使其完成水平行走。



图三 机器人水平移动原理示意图

机器人爬楼原理示意图如图四所示，可观察到B1时机器人处于稳定状态，B2至B3机器人的下台机构完成运动，B4至B5其上台机构完成运动。通过上台机构与下台机构的循环运动，机器人能够完成连续的爬楼运动，且整体运动过程较为稳定。



图四 机器人爬楼原理示意图

（四）器材选择与电机选择

对机器人的框架器材以及使用的电机进行选择时，应当对设计要求以及材料价格进行综合考虑，由于本次设计的机器人体型较大，设计周期较长，选用的框架材料为铝型材。铝型材具有良好的可加工性能，且整体费用较低，同时选用电动推杆作为机器人的抬升机构。对机器人电机进行选择时，需考虑电机的功率，可选用转动电机与步进电机，以解决机器人转动运动与直线运动时的驱动问题，确保该机器人能够实现较为稳定的运动。

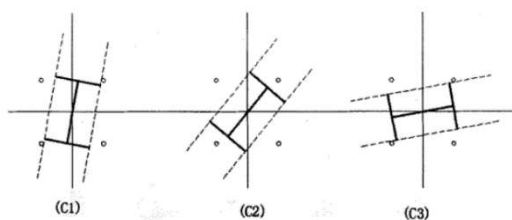
（五）控制系统规划

控制系统能够对机器人的核心功能产生影响，本文中在对机器人控制系统进行分析时，同样遵循从简的设计原则，主要研究通过控制系统实现机器人的基本运动功能。在对控制系统进行规划时，采用 PLC 编程的方式对不同部件进行控制，可起到进一步降低设计难度的作用。控制系统的主要控制对象为直流电机、步进电机以及推杆电机，通过对电机进行控制，可以实现对机器人的运动状态的调整。同时，在设计控制系统时，也需要尽量减少传感器的使用，以确保控制系统的简便性。

二、机器人功能分析与理论分析

（一）转动干涉分析

对于全方位水平姿态机器人，其机械系统的转动过程尤为重要，能够对机器人的行走功能产生较大影响。机器人在完成下台转动时，主要是通过控制运动单元的转动，从而实现机器人行走方向的改变。而由于本次设计中的机器人外形为正方体形状，使该机器人更为适合 90° 转弯以及 180° 转弯，在对其进行任意角度的转动时，存在一定的困难。针对机器人的转动问题，本文中主要对三种情况进行了分析，如图五所示，并根据 C2 所示的转动问题进行建模分析，得到在没有其他干扰因素的情况下，机器人在转动后的位移与其转动角度的关系。



图五 机器人转动极限位置

（二）重心平衡规划设计

机器人通过不同机构的交替运动实现行走，在其整个行走过程中，重心保持平衡，如机器人在上下楼梯时，其重心的方向会与楼梯走势保持一致。本次研究中，机器人的整体体积较小，使得机器人的结构尺寸与其位移距离之间存在较大差距，导致机器人在行走时可能会出现踩空的情况，使得机器人的运动状态受到影响。而为避免机器人在行走时踩空，可通过应用错位平分的方式调整其运动过程，在对机器人的重心进行设计时，也需要应用

该方法。

（二）关键零件有限元分析

机器人的整体框架为铝型材，在对关键零件进行有限元分析时，首先需要对不同的关键零件进行三维建模，而建模软件的选用也会对后续的分析过程产生一定影响，本次研究中所采用的建模软件为 SolidWorks。该软件不仅能够在进行建模的过程中，对机器人的设计进行再次修改，其整体操作过程也较为简便，同时也包含多种捆绑包，使其具备一定的分析功能。

三、机器人的路径规划原理

（一）路径轨迹规划

在机器人的实际工作环境中，可能会存在一定的障碍物，而对路径轨迹进行规划，则是需要在避开障碍物的前提下，寻找最为合适的运动路径，避免机器人在运动过程中受到障碍物影响。本次研究中，在进行机器人的路径规划时，主要应用以直线代替曲线的方法，基于全方位行走的基础前提下，通过调整机器人的直线行走与旋转完成路径规划，有效地解决了机器人的路径失真的问题。即通过对路径情况以及机器人的初始状态进行分析，并且根据分析结果设定失真值，通过反推得到不失真的路径轨迹规划。

（二）路径轨迹规划原理

在对机器人的路径轨迹进行规划时，往往将其看作单调曲线，并根据曲线建立坐标系进行求解。而若机器人的路径轨迹不单调时，则可以划分完成的轨迹的方法，将其分为不同的单调曲线，并在不同曲线的接点处进行求解，以此得到机器人的完整轨迹。而在求解的过程中，常用的方法有根据二元方程求极值、几何代替以及垂线代替等。

五、机器人测试与实验

在完成机器人的结构设计与路径规划后，需要对其进行相应的实验，以此验证机器人的行走功能，本文中则主要对机器人的直角转弯功能与楼梯爬越功能进行了分析。

（一）测试直角路径

在实验过程中，机器人可较好地完成转弯任务，整体行走过程较为平稳，但也存在同步性较差的问题，需要对机器人的控制程序进行相应调整。同时，在其行走过程中，当机器人转弯后，其转动电机的控制较为稳定，可实现机器人稳定的直线转弯运动，整体转弯过程能够满足设计要求。

（二）测试楼梯爬越

机器人的楼梯爬越原理在前文中已经进行论述，而在楼梯爬越实验过程中，机器人能够实现在已经完成规划的路径中稳定爬越楼梯，即该机器人能够通过组件的循环运动完成楼梯爬越，也可以证明本次研究中的机器人运动理论的正确性。

六、研究结论与建议

（一）主要研究成果与展望

本文中的主要研究成果如下：（1）对机器人的全方位运动进行了研究，解决了机器人在爬越楼梯时的转向问题，使其能够在物品输送、调度方面具有良好的应用前景。（2）对机器人在运动过程中的重心问题进行探究，通过上下装置错位的方法使其重心能够始终保持平稳。（3）对机器人的运动理论、成型过程进行了探究分析。（4）对机器人的轨迹规划与楼梯爬越、越障过程进行了分析，有助于提升机器人在非结构环境下的功能性，使其适用性更强。（5）通过以直代曲的方法对机器人的路径失真问题进行研究，同时应用编程对理论进行验证。

（二）研究建议

本次研究中尚且存在部分问题，对后续研究存在以下建议：

（1）对机器人的足点进行组合，可改变其运动姿态。（2）本次研究中在机器人的成型以及控制系统的规划方面，以简化为基本原则，在后续研究中，可通过改变成型材料、更换零件等方式对

机器人的设计进行优化。（3）本次研究中并没有对机器人的功能进行深入探索，只对其基础功能进行分析，在后续研究中可以根据实际需求对其功能进行调整。

参考文献：

[1] 胡雅琪, 吴育飞. 爬楼机器人 [J]. 农村青少年科学探究, 2021(22).

[2] 桑成松. 一种平面行驶和爬楼梯跟随机器人的设计与研究 [D]. 上海海洋大学, 2021.

[3] 方展杰. 仿人步态爬楼的机器人机构原理与功能研究 [D]. 华南理工大学.

作者简介：

匡畅（1987.11-），男，汉族，湖南湘潭人，讲师，本科学历，研究方向为单片机技术。

项目名称：

2020 年广东省普通高校青年创新人才项目“基于 Visual-SLAM 技术的外卖配送机器人研究”（编号：2020KQNCX176）。