



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

机电液系统数字化建模与设计课程报告（一）



目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 本报告章节安排	2
2 任务介绍	3
2.1 建模对象描述	3
2.1.1 集合性	3
2.1.2 相关性	3
2.1.3 环境适应性	3
2.2 建模问题提取	3
2.3 模型假设与标记	4
2.3.1 模型假设	4
2.3.2 模型标记	4



1 绪论

1.1 研究背景与意义

近十年来，中国乃至全世界的老龄化愈发严重，促进了人们对行动不便的人士伤病护理的重视程度的提高。与此同时，机电设备的发展也到达了新的高度，科技人员将机电技术应用在一些日常生活用品，如本文的建模对象，也即手动轮椅，从而到达智能化，机电一体化的在生活护理方面的应用。

患有认知/运动/感觉障碍的人，可以依靠电动轮椅来满足他们的行动需求。由于一些残疾人无法使用传统的操纵杆导航他们的轮椅，他们使用替代控制系统，如手动操纵杆，手指操纵杆（图 1.1所示）。在许多情况下，电动轮椅使用者在日常操纵任务方面存在困难，并且将受益于自动导航系统。

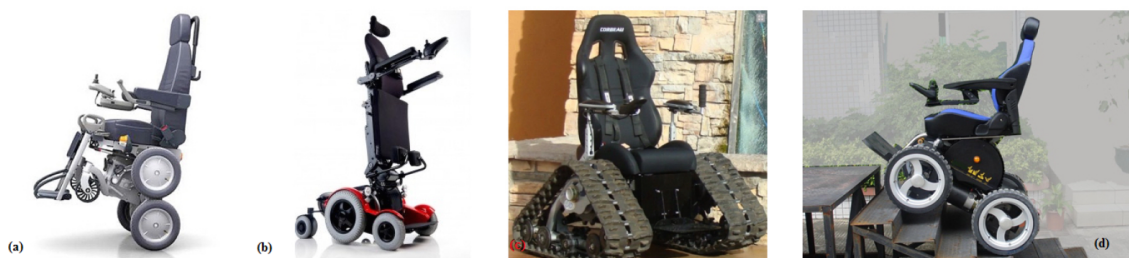


图 1.1 近几年电动轮椅案例。

因此本文建模对象为电动轮椅中的机械与电驱动部分，如图 1.2所示。首先，我们以两轮机器人系统理论应用与手动轮椅主体部分的分析，在此基础上，结合包括了电源，电机与驱动轮的便携式机电驱动模块 (MDM, mechatronic drive modules)。该模块可以在必要时与大规模的手动轮椅系统耦合，以提高推进效率，从而给整体系统带来了很好的优势，因为模块的重量被施加在模块本身上，从而防止了结构的变形。考虑到复杂程度和所学知识，我们进行合理假设与简化模型，取整体系统的机械主体和附加几点模块，进行运动学仿真与键合图建模。

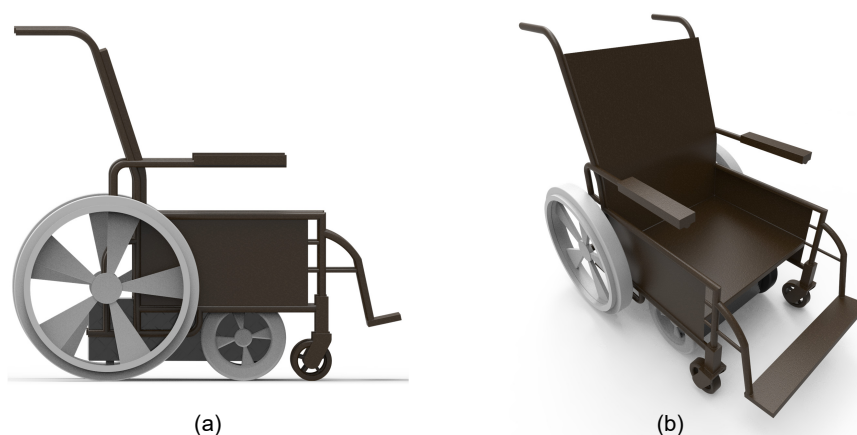


图 1.2 选取电动轮椅示意。(a) 和 (b) 分别表示建模对象的侧视图和立体视图。



1.2 本报告章节安排

本报告从建模对象出发，从手推轮椅主体和机电驱动模块两部分出发进行分析建模，然后两部分结合进行系统整体分析总结，最后给出参考文献，报告主体内容包括以下几个部分：

第二章是对建模对象进行描述和问题提取，并给出相关模型合理假设以及参数标记；

第三章是对手推轮椅主体运动学分析和键合图建模；

第四章是对机电驱动模块的分析与键合图建模；

第五章是整体键合图的给出，并给出总结和分析；

最后部分为本文参考文献。



2 任务介绍

2.1 建模对象描述

所选定建模对象的系统特性将从集合性、相关性、环境适应性三个方面来分析。

2.1.1 集合性

该系统由执行机构（机械子系统）和驱动机构（液压子系统）组成，二者缺一不可。

所谓执行机构在这里指的是机械系统，主要是由铰接点连接的连杆结构。我们可以参照动物相关生理结构对结构进行命名，参见图 1-3。这里值得一提的是踝关节设计为被动式，踝关节和小腿组成一组移动副，在小腿中有一个沿小腿轴线布置的弹簧，弹簧有助于减少足部接触地面时对机器人的冲击力。同时，在足部外面包裹了一层弹性橡胶。这一层橡胶有助于减小足部在地面上的摩擦，从而改善腿部牵引能力。总的来说，该系统能够实现髋关节和膝关节的弯曲和伸展，以及踝关节的直线滑动。

所谓驱动机构是指为机械系统提供动力的部分，这里主要指液压系统（图 1-4）。液压系统由液压泵、阀、液压缸等组成，其中液压缸是直接机械系统相连、为机械系统提供动力的元件。由液压泵将机械能转化为液压能。通过三位四通换向阀改变液压缸中液压油的输入和输出，从而改变液压缸活塞的移动方向，控制髋关节和膝关节是弯曲还是伸展，或者保持现有状态。溢流阀起安全保护作用。蓄能器可以作辅助能源，必要时提供额外的流量，并且可以减少压力脉动、吸收液压冲击。换向阀使液压油保持在适宜温度。

2.1.2 相关性

系统内每一子系统相互依存、相互制约、相互作用而形成了一个相互关联的整体。

机械子系统和液压子系统之间的联系是通过液压缸活塞杆和连杆连接点具有共同的位置和速度来实现的。通过液压缸的运动，实现连杆相对于机架的转动。子系统连接分析见图 1-5。根据几何计算，我们可以得到转动角度 q_1 、 q_2 和各部分长度的关系。这里我们液压子系统和机械子系统之间相互关联的变量是铰接点转动的角速度，也就是说液压子系统给机械子系统的输入变量是铰接点转动的角速度，这样便于和模型仿真相一致。

2.1.3 环境适应性

和其他移动机器人相比，该液压四足机器人具有较强的环境适应性。在移动机器人领域中，经典的轮式或履带式系统能够非常有效地处理平坦且结构良好的固体表面（例如实验室和道路）然而，轮式机器人在崎岖不平的地形上仍然存在着很大的局限性。研究人员在过去几十年里专注于仿生腿式机器的建造。绝大多数现有的腿式机器人是由电动驱动，因为它的大小、价格合适，易于使用和控制。然而，电动机的功率-质量比以及力-质量比小，需要牺牲速度能力来获取大扭矩输出。而且每次机器人足部撞击地面时会产生瞬时高扭矩峰值，容易造成减速箱齿轮断裂。

该液压四足机器人利用液压来改善机器人的动力特性。液压传动具有功率-质量比以及力-质量比大、负载刚度大、调速范围大等优点，能适应机器人在崎岖路面和复杂工况下工作的需要。小腿中的弹簧和足部的橡胶可以减小机器人足部撞击地面时带来的瞬时冲击力。

2.2 建模问题提取

可以将对象的工况分为两种情况：1. 在平坦且结构良好的平坦且结构良好的平面道路条件下：在该条件下，机器人底部受到的速度输入较小，躯干可以维持较为稳定的姿态，但需要配置好工作参数。2. 在崎岖不平且不坚固的道路条件下：在该条件下，机器人底部受到的速度输入较大，躯干如何响应外界速度输入，系统如何做出响应，是我们主要探讨的问题。



2.3 模型假设与标记

2.3.1 模型假设

针对上述工况，结合简化模型的角度出发，做出如下假设：

- 假设机械各部分零件为刚体；
- 假设刚体质心位于几何中心；
- 忽略铰接点连接处的摩擦；
- 忽略电驱动系统工作产热带来的参数变化。

2.3.2 模型标记

表 2.1 列出本模型的相关参数及其数学标记。主要分为分为整体系统参数，手推轮椅主体，机电驱动模块以及手推控制输入部分的参数，如下所示：



表 2.1 系统主要参数及其数学标记

数学标记	系统参数
系统整体参数	
M	总体质量
J	总体转动惯量
V_{CG}	质心速度
w_{CG}	质心转速
手推轮椅主体	
τ_{MSE}	后轮推进扭矩
J_w	后轮转动惯量
M_t	系统质量
J_t	系统转动惯量
R_g	轮胎与地面摩擦系数
C_w	轮辐弹性系数
R_w	轮辐阻尼
r	后轮半径
L_w	轮椅宽度
机电驱动模块	
I_e	电机电感
R_e	电机内阻
J_r	转子转动惯量
R_b	电机轴承阻尼
M_d	机电驱动模块质量
J_d	机电驱动模块转动惯量
L_d	模块宽度
C_s	电机输出转矩
R_s	电机输出轴阻尼
k_1, k_8	电机扭矩系数 Motor torque constant
k_2, k_7	齿轮师叔比
k_3, k_6	Motorized wheels radius
L_{MSe}	输入控制电压
手推控制输入部分	
J	手动轮转动惯量
k_9, k_{10}	手动论半径