



**天津中德应用技术大学**  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

一种轮式抓取移动机器人机构设计与实现

**Design and Implementation of wheeled Grasping mobile  
robot mechanism**

姓 名 张璇睿

学 院 机械工程学院

专 业 机械电子工程

指导教师 王春光

职 称 讲师

完成时间 2020年6月

**天津中德应用技术大学**  
**本科生毕业设计（论文）的声明**

本人郑重声明：所提交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过论文的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

## 摘 要

移动机器人是一种典型的机器人，也是机器人研究应用领域的重要研究及发展的方向。上世纪九十年代以来，人类开始广泛的进行机器人移动功能的研究和设计，开发不同的移动机构应对各种复杂环境，移动机器人的研究已经成了现代社会人们研究的热点。移动机器人可以概括为四大部分：机器人的机械本体，动力及传动系统，控制系统，环境感知检测系统。

本文主要针对移动机器人的本体部分进行模块化设计分析，用以提高机器人的结构性能以适应复杂环境下爬坡，避障，抓取等任务。本文在查阅了国内外移动机器人研究成果的基础上，综合比较了各种工作环境下各类移动机构的优缺点，设计了一款车轮式移动机器人完成预期目标。通过对移动机器人的设计仿真分析，确定了移动机器人各机构的参数。

本文面向复杂环境下，基于多源信息融合技术进行移动机器人本体设计研发。分析了轮式移动结构，建立移动机器人的静力学、运动学模型。运用 solidworks simulation 等软件进行了结构设计，随着人类对未知的自然环境的不断深入探索，科学的不断进步，会有越来越多的机器人来代替人类进行必要的劳动。

**关键词：**移动机器人；复杂环境；结构设计；静力学分析；运动学

## **ABSTRACT**

As a typical robot, mobile robot is also an important research and development direction in the field of robot research and application. Since the 1990s, human beings have begun to extensively study and design the mobile functions of robots and develop different mobile mechanisms to cope with various complex environments. The research on mobile robots has become a hot topic in modern society. Mobile robot can be summarized into four parts: the mechanical body of the robot, the power and transmission system, the control system, and the environment perception detection system.

This paper mainly carries out modular design and analysis on the ontology part of the mobile robot, in order to improve the structural performance of the robot to adapt to climbing, obstacle avoidance, grasping and other tasks in complex environment. Based on the research results of mobile robot at home and abroad, this paper compares the advantages and disadvantages of various mobile mechanisms in various working environments, and designs a wheeled mobile robot to accomplish the expected goals. Through the design simulation analysis of the mobile robot, the parameters of each mechanism of the mobile robot are determined.

In this paper, the ontology design and development of mobile robot are carried out based on multi-source information fusion technology under complex environment. The statics and kinematics models of the mobile robot are established based on the analysis of the wheeled mobile structure. The structural design was carried out by using software such as solidworks simulation. With the continuous in-depth exploration of unknown natural environment and the continuous progress of science, there will be more and more robots to replace human beings to carry out necessary labor.

**Key words:** Mobile robot; Complex environment; Structure design; Statics analysis; Kinematics

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 选题背景及意义.....	1
1.2 移动机器人国内外发展现状.....	1
1.3 移动机器人移动机构研究概况 .....	3
1.4 主要研究内容和解决的关键问题 .....	4
1.5 本文的内容与结构 .....	4
第二章 轮式抓取机器人移动机构方案比较.....	6
2.1 移动机构发展简介 .....	6
2.2 各类移动机构方案比较 .....	6
2.3 小结 .....	8
第三章 轮式抓取移动机器人机械结构设计.....	10
3.1 移动机器人情况介绍.....	10
3.2 轮式抓取移动机器人方案确定 .....	10
3.3 车轮式底盘的机械结构设计 .....	10
3.4 移动机器人执行机构.....	12
3.5 驱动系统设计 .....	16
3.6 小结 .....	18
第四章 轮式抓取移动机器人结构运动学及静力学分析 .....	19
4.1 轮式移动机器人运动学分析.....	19
4.2 有限元静力学分析方法及分析原理.....	19
4.3 机器人平台构建的有限元静力学分析 .....	20
4.4 机械手的有限元静力学分析.....	21
4.5 小结 .....	23
第五章 轮式抓取移动机器人控制系统设计.....	25
5.1 控制系统功能需求 .....	25
5.2 移动机器人控制系统硬件架构 .....	25

5.3 移动机器人控制系统主要硬件 .....	26
5.4 移动机器人控制系统软件结构 .....	27
5.5 小结 .....	28
第六章 总结与展望 .....	29
参考文献.....	30
致谢.....	31
附录.....	32
附录一 中文译文及外文资料 .....	32
附录二 移动机器人实验过程视频二维码 .....	36
附录三 移动机器人装配图.....	37
附录四 手爪法兰 .....	38
附录五 相机固定架.....	39

## 第一章 绪论

### 1.1 选题背景及意义

从机器人诞生到本世纪初，机器人经历了一个长期缓慢的发展过程。由最初的电缆控制、可以行走，到第一台技能机器人问世的过程，移动机器人通过传感器及各种程序，伺服控制器等的控制，从原来只能从事简单的动作到现在实现各种各样的复杂任务。移动结构也由原来简单的固定式发展到现在的履带式，车轮式，轨道式等的移动结构。

机器人是一种可以自动执行工作，完成预期使命的装置。机器人的任务是协助或替代人类在恶劣、危险、有害、未知环境的或条件下从事单调、复杂、艰苦、繁重的各项工作<sup>[1]</sup>。

随着现代科技的不断进步，机器人领域受到了越来越多的关注，特别是移动机器人的研究与拓展已经成了时下最热门的研究热点。移动机器人的研究可以大致分为四个部分：机器人本体的机构、驱动系统、控制系统和检测系统。提高各个部分的结构性能对提高机器人的综合性能具有重大的意义。

机器人的出现，发展与普及是社会进步及经济发展的必然结果。机器人的诞生为提高社会的生产水平和生活质量做出了巨大的进步。有些工作让人无法进入，例如火山探险，深海探秘，空间探索等等。用机器人代替人类，将人类从繁重的体力劳动和辛苦繁杂的脑力劳动中解放出来已经成了现代社会的进步的必然趋势<sup>[2]</sup>。

本文主要对移动机器人的本体进行设计和研究，主要为移动机构和夹持机构两大部分。其中移动机构部分要求机器人能够在复杂灾难环境下进行爬坡、实时避障抓取等进行深入分析。移动机器人想要实现在复杂路况下的工作，就必须具有优秀的道路适应性和通过性，要实现机器人的复杂运动就必须要有可靠的移动本体机构以及优良的控制系统与控制方法。夹持部分我们采用台球作为实例进行实验，测算并模拟出受力的分析。

随着机器人技术的不断发展与壮大，机器人市场正在逐步扩张，机器人的应用范围越来越广泛，普及速度也越来越快。

### 1.2 移动机器人国内外发展现状

经过改革开放几十年的快速发展，我国目前已经成为了举世公认的制造业大国，各类国产商品遍布全球。随着我国人口红利的不断丧失，劳动力成本不断的提高，我国的经济增长模式和制造业结构开始进行调整。

今天，在工业机器人问世的 30 多年后，机器人已经逐步变成了人们的生产的工具，随着人们生产水平的提高、社会的发展，各种各样应用于除制造业以外的机器人也被加速制造出来，移动机器人已经成为了机器人发展史上一个重

要的分支<sup>[3]</sup>。

2010 年开始，我国机器人需求量猛增，较 2009 年增长了 1.71 倍，2015 年全球工业机器人的销量已经高达 24.8 万台，相比 2014 年增长了 12%<sup>[4]</sup>，大约是 2009 年销量的 4 倍。我国虽然是机器人销量的第一大国，但是自主品牌的占有率极低，核心零部件主要依赖进口<sup>[5]</sup>。

我国机器人在总体技术和核心能力上与国外先进水平相比还存在较大的差距，仅仅相当于国外在 20 世纪 90 年代中期的水平。目前我国有很多企业加入机器人的生产环节，但是规模都不大，多数都处于单件小批生产阶段且大部分关键配套单元部件及器件始终处于需要从国外进口的状态<sup>[6]</sup>。我国企业生产的工业机器人性价比较低且市场占有率不高。随着我国经济的快速发展，我国对机器人的需求量将急剧增加，为研发生产自主品牌机器人提供了很大的契机<sup>[7]</sup>。

近年来，我国移动机器人应用最广泛的领域当属快递分拣行业，图为分拣机器人（图 1-1）随着我国电商平台的发展与壮大，物流体系的进一步完善，移动机器人开始进入市场<sup>[8]</sup>。相信在不久的将来，工业机器人将会进入各行各业发挥他们的作用。



图 1-1 分拣机器人

日本在 2015 年 1 月提出机器人新战略；韩国在 2014 年 7 月提出智能机器人基本计划；欧盟在 2014 年 6 月提出要成为全球最大的民用机器人研发计划；美国在 2013 年 3 月制订出机器人技术路线图：从互联网到机器人。随着人工智能、数字化制造以及互联网的快速发展和不断创新融合，工业机器人的研发和应用得到快速发展。目前，在美国、日本等发达国家，机器人已应用于商场导购、物品移送、家具服务、展厅保安和大面积清扫等多个服务领域。

美国 NASA 研制的火星探测机器人——索杰那，于 1997 年登上火星。这一事件向全世界报道后向世界展示了移动机器人技术发展的一个崭新的里程碑，极大的激发了人们对于移动机器人研究的热情，使得各国都相继的加入了移动机器人的研究领域，加大了移动机器人的研究力度。勇气号与机遇号机器人（图 1-2）的探测周期预计为 90 个火星日，但是两个机器人在 2004 年成功登录后，到现在为止已经远远超过了其预期的工作寿命<sup>[9]</sup>。



图 1-2 美国勇气号

20 世纪 80 年代以后，世界范围内工业生产技术朝着高度自动化与集成化的方向高速发展，同时让机器人行业迅速发展。在这个时期里，机器人的发展对世界工业经济的发展起到拉动与促进的作用。随着相关技术的不断完善与成熟，工业机器人已经逐渐成为一种标准设备得到工业界的广泛应用，逐渐开始渗透到各个领域<sup>[10]</sup>。

### 1.3 移动机器人移动机构研究概况

移动机器人是一种可以在复杂环境下工作的，具有自行组织、自主运行、自主规划的智能机器人。它涵盖了计算机技术，信息技术，通信技术，微电子技术和机器人技术等等学科。在地面上移动行进的机器人按其移动方式可分为轮式或履带式机器人及足式行走机器人两大类。

本文研究的轮式机器人由于自重较轻，承载能力大且驱动和控制方面的表现良好，因此被广泛的应用于生产和生活的各个领域。

从开始出现机器人的概念，到现在出现的各种各样形态各异功能不同的移动机器人，移动机构的不断发展与变化。以美国、俄罗斯、法国、日本为首的发达国家已经开始研究出了更多种类应对不同环境的复杂移动机构，有些移动机构甚至已经开始进入实用化与商业化的阶段。为了应对当代的各种复杂环境与科技探索，对于各种移动机构的研制是最基本最关键的一环。

#### 1.4 主要研究内容和解决的关键问题

本项目面向室内有毒有害气体环境，基于多源信息融合技术进行移动机器人本体设计与分析。需要解决的关键问题主要是对于机器人移动机构的研究以及对机械手的设计，使其能够自由移动来调整合适的角度及位置抓取台球并分析夹持机构的受力问题。

本文对移动机器人的车体结构进行机械设计工作，分别对移动机器人移动机构及夹持机构进行设计，选择执行电机的型号并对此进行相应的计算，对移动机器人的驱动系统进行设计，后续对整体结构进行相应的设计与调整，并使用 solidworks 对移动机器人进行三维建模。

对橡胶轮进行分析，研究整体结构的运动学模型，从理论上对橡胶轮的转速与车体的几何中心速度、车体转角的关系进行相应的分析。

移动机器人的控制过程需要进行简单的分析，本文将基于 NI myRIO 进行移动机器人的系统设计。

最后将移动机器人的各部分结构进行组装与调试。

随着各个国家开始不断研究出各种各样新奇复杂的移动结构，面对日益复杂的环境挑战，哪种移动机构能够更加平稳的在复杂环境下进行工作就成为了需要解决的重要问题。在进行设计的过程中我们还需要结合机器人功能的特点以及运动的特性使得机器人在移动过程中能够灵活运动且便于我们进行控制。内部的结构还需要进行合理的安排保障整体的设计紧凑，如果需要，最好能便于拆装。夹持机构部分的设计最好能够让手爪进行左右移动从而弥补移动机构位置的不精确性。

#### 1.5 本文的内容与结构

本文主要研究的问题在于移动机器人的机械结构设计，在参考了大量国内外关于移动机器人的资料和参考文献的基础上。利用 solidworks 完成部分结构的装配图，并进行 3D 视图及演示，并对部分构件进行有限元分析。

第一章绪论。介绍课题的研究背景及意义，大致描述国内外发展的状况，阐述主要的研究方向，分析主要需要研究与解决的问题。

第二章移动机器人移动方案比较。综合比较各种移动机构的优势与劣势，选出最适于做本次研究的移动机构。

第三章移动机器人机械结构设计。把移动机器人进行模块化划分，对各模块所配备的机构及用途进行详细描述。

第四章进行运动学分析并对部分构件进行静力学分析。分析部分结构的受力情况。

第五章简单分析移动机器人的控制要求，并基于 NImyRIO 对移动机器人的控制系统进行设计。

第六章总结与展望。对全文的研究的一个综述，进一步提出对未来的研究的方向。

## 第二章 轮式抓取移动机器人移动机构方案比较

### 2.1 移动机构发展简介

移动机构、传感系统、控制系统三大部分组成了一个完整的移动机器人系统。移动机构系统的设计应首先考虑机器人的使用场景，对于不同的环境所设计的机构的用途也大致不同，所采取的移动机构也是有很大的差别的。除此之外，还应考虑到机器人的工作环境、耐久性、稳定性、机动性、可控性、复杂性、外形尺寸及涉及费用问题。

本章在分析了移动机器人的各种形式的移动机构及其适用环境的能力基础上，研究的复杂环境设计移动机构，使其能够完成指定任务。

在移动机器人的设计过程中应遵循以下设计原则：

1. 总体结构易于拆装，以便于日常的实验、调试及修理。
2. 给机器人暂时未能涉及到的功能预留装配的传感器、功能原件等的安装位置以便于后期在原有的基础上进行改进及拓展。
3. 利用模块化的设计方案使得各个功能模块之间的独立装配且互不干扰。

### 2.2 各类移动机构方案比较

移动机器人的移动结构是保障机器人能在复杂灾难环境下进行良好工作的基本保障。面向复杂灾难环境应当考虑到机构的转向能力、爬坡能力和避障能力，移动机构的设计将会直接影响整个机器人的性能，检验机器人能否在设定环境下完成工作。常见的移动机构包括履带式、腿足式及车轮式三大类。本节将会对三种移动机构进行系统的分析便于后期对移动机构方案的选择。

#### 2.2.1 履带式移动机构

履带式移动机器人（图 2-1）具有较好的稳定性及较快的移动速度，在大众认知中最深刻的应该就是坦克与装甲车上的履带式结构了。大部分履带式移动机器人的运动控制系统都可分成纵向控制系统和横向控制系统。纵向控制调整机器人的移动速度，横向控制用于调整机器人的移动轨迹。

履带式移动的本质其实是将圆环状循环轨道履带卷绕在其设计的车轮外面，使得车轮并不直接与地面相接触，利用外层的履带来缓冲地面凹凸不平的情况<sup>[11]</sup>。

最早的履带出现在坦克与装甲车上，到后来才慢慢出现在某些移动机器人上。履带式结构牵引力较大，爬坡能力强且负重作业能力具有较大优势但行驶速度缓慢，有些履带结构还会出现严重破坏路面情况。履带式结构可以在凹凸不平的地面上行驶并且可以跨越障碍物及不太高的楼梯，承载能力强，但是由于转向不易且行驶起来比较笨重，耗能较大。



图 2-1 履带式机器人

## 2.2.2 腿足式移动机构方案

腿足式移动机构(图 2-2)大体上模仿的是人或者动物的下肢形态来设计的。



图 2-2 腿足式移动机器人

腿足式也可分为两足、四足、六足、甚至是八足。机器人的行走过程中的腿部形态十分重要,为此必须有能够直接或者间接检测运动时腿足姿态的传感机构。腿足式可以在需要获取姿态信息时,通过关节力矩的反馈控制使其处于柔顺状态,让腿足式足底适应地面的情况。测量关节角度就可以得到机器人腿部姿态信息。

腿足式机器人对场地环境具有良好的适应能力,对环境的适应性良好且智能程度相对较高。腿足式结构机构复杂,虽然适应地面情况能力强但运动控制的难度较大,结构复杂且行驶速度较慢。

腿足式机器人对场地环境具有良好的适应能力，对环境的适应性良好且智能程度相对较高。腿足式结构机构复杂，虽然适应地面情况能力强但运动控制的难度较大，结构复杂且行驶速度较慢。

### 2.2.3 车轮式移动机构方案

车轮式移动机构（图 2-3）能够进行稳定地移动且能源利用率相对较高，机构更加简单更易于控制。车轮式移动机构在其移动过程中能够保持姿势稳定，连续平稳的移动。可以对于目前已有的汽车技术进行借鉴。车轮式更适用于平地行走，运动速度比较快，但是其越野能力不如步行式能力强悍，但是由于结构相较步行式简单很多，更容易控制，因此适用范围更广。随着各种各样的车轮底盘问世，轮式机器人越野性能也开始大幅提升。



图 2-3 车轮式移动机器人

比较典型有名的车轮式移动机器人有日本 NASDA 六轮柔性底盘月球漫游车 LRTV、俄罗斯 TRANSVIASH 六轮三体柔性框架移动机器人 Marsokhod、美国 CBU 六轮三体柔性系列及美国 JPL 六轮摇臂悬吊式行星漫游车 Rocky 系列，都是比较有名的改进式车轮移动机构<sup>[12]</sup>。

轮式移动机器人中以四轮和六轮式机构研究数量最多，本文所选用的是四轮式机构。

### 2.3 小结

设计过程中，在查阅了国内外相关的移动机器人的研究近况信息基础上，综合对比各类移动结构的优缺点，提出可以采取履带式或车轮式组构成移动机器人的移动结构部分。

履带式结构虽然拥有较强的越障能力，但由于其组成单元复杂，整体机动性较差，且耗能较大。相比履带式结构，轮式行走结构更加简易，重量上比履带要轻，且机动性较好，结合轮胎后还能够显著提升整机的减震和越障能力。

我们综合比较了履带式及车轮式的特点发现：车轮式较履带式具有更灵活的避障能力，总的来说，轮式移动机器人具有结构简单、容易控制且速度快运动较为灵活耗能较低等一系列优点。因此，我们在后期的设计过程中优先选择了车轮式移动机构。

车轮式结构可以划分为二轮式机构，三轮式机构，四轮式机构和全方位移动机构四种。如（图 2-4）所示。

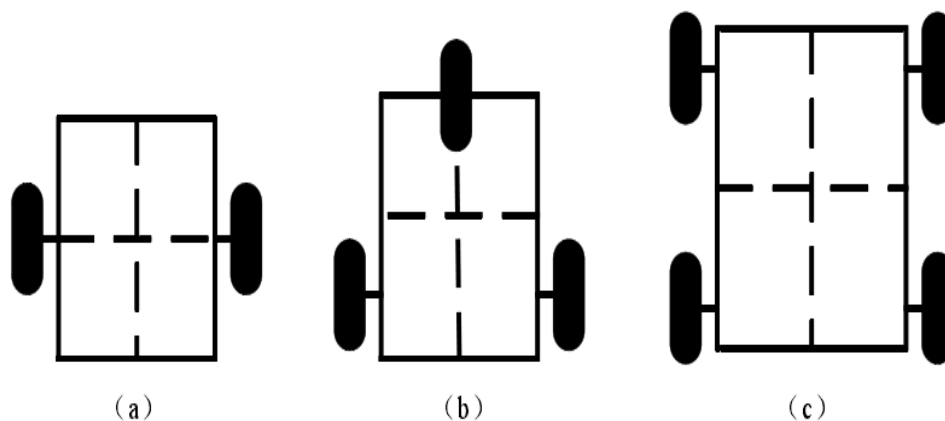


图 2-4 车轮式移动机器人简图

二轮式结构简单但在静止和低速时极不稳定，无法完成我们的工作。三轮式与四轮式机构的运动情况大体相同，但四轮式相较三轮式稳定性更好，因此在本文中我们选择四轮式移动机构进行分析<sup>[13]</sup>。如（表 2-1）所示。

表 2-1 各类轮式移动机构性能比较

性能	独轮机器人	两轮机器人	三轮机器人	复合式机器人
越障能力	一般	一般	一般	优良
承载能力	较差	一般	优良	一般
易于控制	优良	一般	优良	一般
结构简单	优良	优良	一般	较差
调速功能	优良	一般	优良	一般
其他能力	跳跃、潜水	无	无	变形、跳跃等

## 第三章 轮式抓取移动机器人机械结构设计

### 3.1 移动机器人情况介绍

移动机器人作为目前工业机器人方面的一个重要的分支，在侦察、巡视、警戒、排险等危险恶劣的作业环境有着广阔的发展前景，是目前研究的热点热门话题。对于移动机器人的工作环境来说，有可能是在城区或建筑物内的平坦环境，也有可能是在自然环境的复杂未知环境进行作业。在执行指令及完成各项任务的过程中，要求了移动机器人的移动机构能够越过障碍或者对于障碍有规避的动作，因此，本文中设计的避障能力是移动机器人的必要一环。

本文主要阐述移动机器人本体的研发与设计，本章将对移动机器人进行模块化分析。设计每一部分的机械结构以确保机器人能够在设定的复杂灾难环境下完成任务。包括移动机器人的底盘机构设计，车体结构、驱动系统及车轮的牵引特性对比。

在设计的过程中，首当其冲要考虑的就是机器人的用途，对于不同用途的机器人，设计出的移动机构也是不同的。除此之外，还应该参考移动机器人的工作环境进行耐久性、稳定性、外形尺寸等方面的因素进行设计考量<sup>[14]</sup>。通过已有的对不同的移动机构特性和运动特性进行综合比较分析，结合具体的应用要求进行设计。

### 3.2 轮式抓取移动机器人方案确定

研究过程中发现，多数需要移动机器人工作的环境地形都较为复杂，因此移动机器人为了保障正常的工作，就必须要有优秀的适应能力，移动较为灵敏且性能足够强大的移动机构作为支持。也正因为如此，移动机构的设计是移动机器人机械设计的研究灵魂所在，只有拥有了完整优越的移动机构，才能保障后续的工作平稳的进行下去。

我们先期比较了移动机器人在复杂环境工作的情况下需要具备的各类功能与各类移动机构的特点，设计了本次所需的移动机器人的移动机构。考虑到我们所设计的移动机器人的工作环境，我们对移动机器人的功能做了以下几点设想：

1. 优秀的避障能力。灵活的躲避前方的障碍。
2. 在平整地面能够拥有较快的移动速度。
3. 在不平整地面能够适应环境。这就体现了对于车体的平衡能力的要求，在实验过程中由于道路不平坦产生的颠簸情况下不能翻车。

以上各种要求就表示移动机构需要具有良好的车体行走结构与驱动能力。

### 3.3 车轮式底盘的机械结构设计

#### 3.3.1 车架结构

车架的结构、强度、刚度要求能够承载移动机构运动与加速时的负荷，但是又不能过于沉重，会让驱动系统的载荷过大，因此为了减轻车体本身的质量，增大电机的利用效率，小车的车体结构选择了硬质铝合金作为底部车架材料，浅茶色半透明有机玻璃板作为小车上层底板结构的方案<sup>[15]</sup>。在有机玻璃板上加工出所需的圆形孔用来方便组装电路板对车体的各个部分进行控制。提前将所需要的圆形孔在有机玻璃板上进行加工，有效的降低了加工所需的工序还能够达到减少加工成本的目的，后续还会将传感器通过螺栓螺母固定到车架上方便后期的安装与调试能够快速的进行<sup>[16]</sup>。因此，在车架上需要预留出部分的安装孔方便后续传感器的安装，预期效果如（图 3-1）所示。

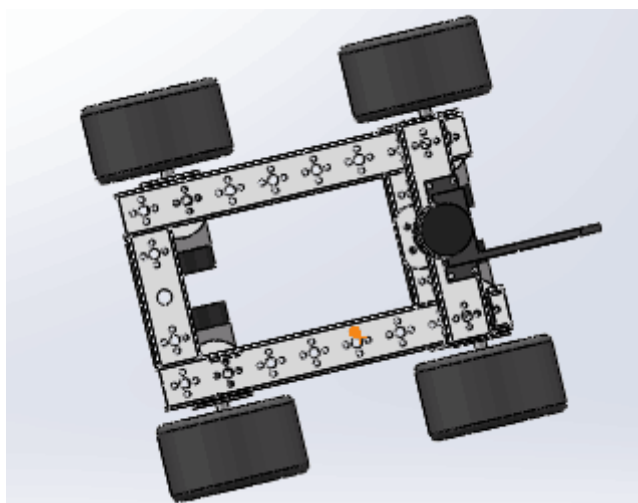


图 3-1 预期底盘效果图

我们将机器人的整个车体的设计成需要由螺钉装配的铝合金板，这样的结构更易于拆装，且成本较低，如果在使用过程中有损坏只需要单独更换损坏部分即可，但是问题在于装配精度会有所偏差，受到碰撞后可能会出现变形问题<sup>[17]</sup>。

在我们这次选择的过程中，为了节约成本与后期维修问题，直接抛弃了整体结构的方案，选择了易于拆装的组合结构。且移动机器人需要在较为复杂的环境中进行作业，车体上还需要装载许多传感器进行后续的任务，要保证在工作时具有稳定的性能还要考虑到减少车体震动的问题。添加减震弹簧或者增加阻尼器等都可以有效的减少震动带来的影响，再者说也可以通过选择轮子的支撑结构以减少在运动过程中的偏移、偏转问题。

关于机器人的移动机构部分，将车架做成内部空心的结构用以减轻车体的重量，空心的设计可以方便我们在车架内部进行排线，不会将线裸露在外，增大空间的利用效率，在架子两端安装 u 形连接件和电动机法兰盘来固定安装在车体上的电动机，电动机与车轮之间通过法兰相连使之——对应从而达到控制小车运动的效果。

### 3.3.2 车轮选择

车轮方面我们选择了橡胶轮（图 3-2）作为车体轮胎。



图 3-2 所选用的橡胶轮样式

橡胶轮通常会安装在金属轮毂的外侧，可以支撑起整个车体的重量，且橡胶能够缓冲外界的冲击，减少车体的晃动带来的影响，保障机器人平稳移动，减少车体的震动。轮胎上的花纹能够增大摩擦，在跨越障碍时非常的有利，且制作成本较为低廉。

### 3.4 移动机器人执行机构

本文所涉及的移动机器人主要分为两个部分，一部分是本文需要解决的重点部分，移动机器人的移动机构部分，这一部分是用于移动机器人行走移动的设计，对于所需适应的地形环境需要有较强的适应能力与通用能力，但是仅仅有移动部分是远远不够的，还需要夹持机构部分的运动将移动机器人进一步完善以达到预期的功能。另一部分——执行机构，也就是机器人的主体部分，主要由提升机构及夹持机构部分组成。提升机构运动能够使移动机器人在面对所需救援的部分进行抓取式救援时将手爪的高度进行相应的调整，夹持机构能够进行左右摇摆用以提高夹持动作的精度。本项目所设计的移动机器人的实际应用价值在于它能够取代复杂危险环境下需要人类涉险的工作，执行机构的工作就是用来完成人类搜救及救援工作的部分。

导向机构、传动机构、动力机构是组成移动机器人的执行机构的重要组成部分<sup>[18]</sup>。在设计这部分的结构时，应着重考虑到机器人的用途，不同的用途设计的执行机构的运动会有巨大的差异，机构能够实现什么样的动作取决于我们所选的运动机构，不同的动作需要选择的电机也不尽相同，存在较大的差异<sup>[19]</sup>。

升降机构的运作能够调整夹持机构的高度，使得后续的抓取工作更加准确，

夹持动作能够顺利进行，升降机构我们选择了滚珠丝杠与导轨两部分进行合作运动，滚珠丝杠可以对位置的升降进行更精确的调整，且滚珠丝杠能够进行自锁，使运动高度的调整更加准确；导轨通过对夹持机构连接件的固定能够使运动更稳定，夹持机构的动作更加平稳。夹持机构在工作的过程中属于机器人的前端部分，需要有一定的运动控制能力，且能够进行加持与摆动调整位置的运动。

### 3.4.1 升降机构

我们采用滚珠丝杠如（图 3-3）来完成夹持机构高度位置部分的调整动作。

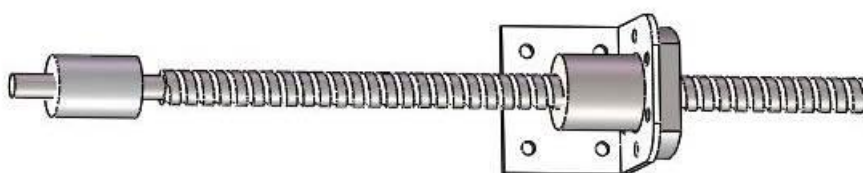


图 3-3 所选用的滚珠丝杠建模图

滚珠丝杠机构一般是由电机、联轴器、丝杠螺母机构三大部分组成。由电机通过联轴器来带动两端被固定的丝杠做旋转运动，使得丝杠上的螺母能够沿着固定的方向进行运动。滚珠丝杠结构是一种可以将旋转运动转化为直线运动的运动机构，我们将滚珠丝杠用作机器人机械臂调整上下高度的部分。这部分使用滚珠丝杠作为运动装置可以保障运动的精度与准确性，虽然是滚珠运动，摩擦阻力很小，但负载能力比较强，刚性好有利于我们对要求精度高的运动控制进行调整。

在升降机构方面，由于直线导轨会使得整体结构过于繁杂并且会加重移动机器人的整体重量使得机器人整体的灵活性降低。在定位精度、摩擦力、刚性三方面再进行比较，皮带机构显然没有滚珠丝杠的优势明显。因此我们选用了滚珠丝杠作为执行升降运动的机构。设计如（图 3-4）用直流电机对滚珠丝杠进行控制，使滚珠丝杠的运动更加精确，方便后续控制的过程动作更加稳定。旁边加装了导轨方便夹持机构的运动，使运动更加平稳可靠。

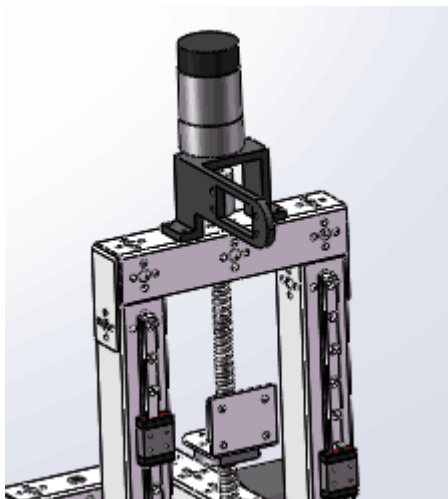


图 3-4 升降机构三位模拟图

选择龙门式结构安装滚珠丝杠还可在钢架上加装导轨以保持运动的稳定。如（图 3-5）所示。

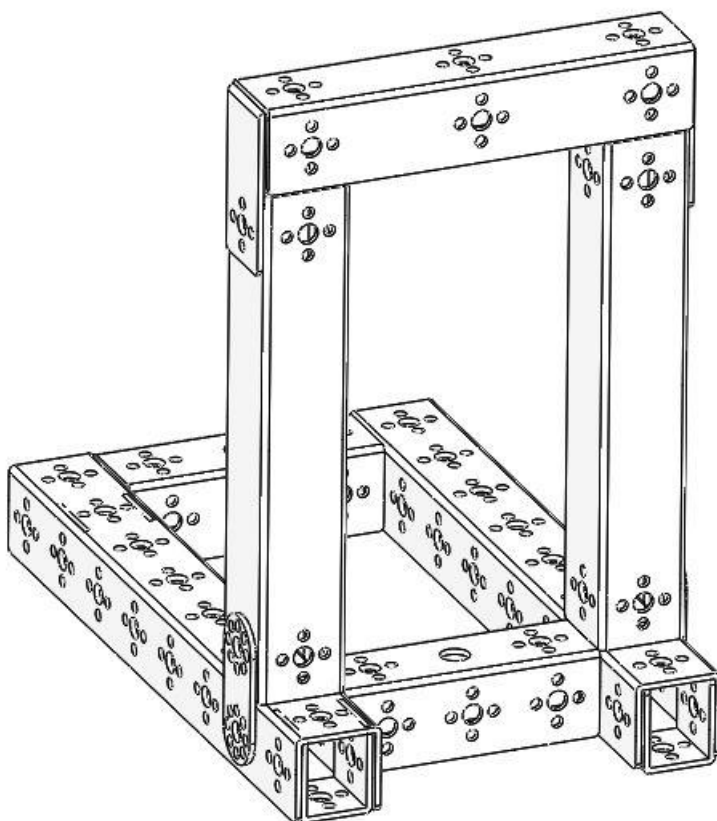


图 3-5 龙门式结构三维建模图

滚珠丝杠的选型计算：

1.确定滚珠丝杠副的导程： 根据一般选取原则，选择 10mm 导程的滚珠丝

杠。则， $P_h = 10\text{mm}$

2.滚珠丝杠副的载荷、转速计算：

导轨静摩擦力为：

$$F_0 = \mu_0 \cdot M \cdot g + f \quad (1)$$

$M$ ——工件及工作台质量

$f$ ——导轨滑块密封阻力

滚珠丝杠副的当量载荷：

$$F_m = \frac{2F_{max} + F_{min}}{3} \quad (2)$$

滚珠丝杠副的当量转速：

$$n_m = \frac{n_{max} + n_{min}}{2} \quad (3)$$

3.滚珠丝杠副的预期额定动载荷：

a.按预期工作时间计算：

$$C_{am} = \sqrt[3]{60n_m L_h} \cdot \frac{F_m f_w}{100 f_a f_c} \quad (4)$$

$n_m$ ——当量转速， $n_m = 60 \cdot \frac{v}{P_h}$

$L_h$ ——预期工作时间

$f_w$ ——负荷系数

$f_a$ ——精度系数

$f_c$ ——可靠性系数

b.按预期运行距离计算

$$C_{am} = \sqrt[3]{\frac{L_s}{P_h} \cdot \frac{F_m f_w}{f_a f_c}} \quad (5)$$

$L_s$ ——预期运行距离

c.按预加最大轴向负载计算

$$C_{am} = f_e F_{max} \quad (6)$$

$f_e$ ——预加负荷系数

$F_{max}$ ——丝杠副最大载荷

因此，我们选用导程为 10mm 的滚珠丝杠完成相应的动作是可行的。

### 3.4.2 夹持机构

夹持机构是移动机器人执行工作的前端部分，整个部分由连接件固定到滚珠丝杠的滑台上来完成上下移动的动作<sup>[20]</sup>。

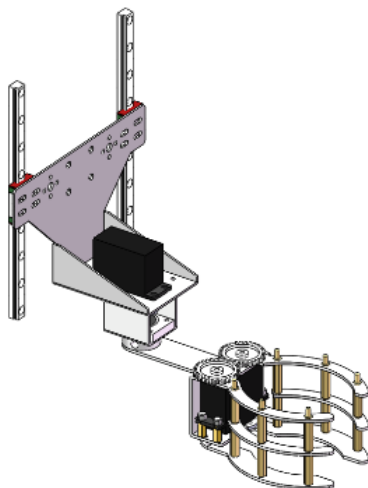


图 3-6 夹持机构三维建模图

以台球作为模拟进行抓取工作，夹持机构通过升降机构进行高度调整，第一步需要完成复位操作及前端部分达到指定高度两部分工作，其次，还需要让抓取机构能够进行左右摆动来调整位置关系，通过手爪的张开再闭合进行夹取工作。移动机器人完成整体的夹取工作需要由升降机构电机带动滚珠丝杠旋转从而进行上下移动，滚珠丝杠上螺母随着滚珠丝杠的旋转进行升降带动整体结构进行上下运动。

为了使夹取工作进行得更准确。弥补移动机构的灵活性问题，决定采用两个舵机分别控制手爪的左右摆动及开合，舵机连接长臂，长臂再连接手爪，进行相应的摆动。

手爪部分结构如（图 3-7）所示

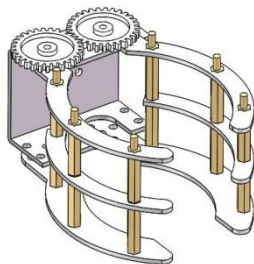


图 3-7 手爪部分三位建模图

为了增大空间的利用效率，在设计过程中，手爪的开合运动采用一个舵机进行控制，为了保证两侧手爪单片运动的同步性，我们在其上加装两个小齿轮使齿轮能够准确啮合保证运动控制的精度与准确性。

### 3.5 驱动系统设计

#### 3.5.1 移动机构部分

移动机构方面采取了传统的四轮式移动机构，分别由四个电机驱动。直流减速电机通过法兰与底部车架，车轮进行连接，由电机直接驱动车轮以达到相应的运动效果。

电机是一种以电磁场作为媒介将电能转化为机械能，从而达到实现旋转或是直线运动目的装置。直流减速电机传动精度高，因为它的传动比的分级比较精细，所以可选择的范围比较广泛，加之其较为紧凑的结构使得电机的整体体积比较小，不会占用过多的空间，可以减小移动机器人的整体体积且造型也较为美观，对于整体设计的影响不大。虽然体积比较小，但是承受过载的能力丝毫不逊色，且能耗较低，噪音小，具备节能环保的优秀特性，性能相对较为优越，工作时的震动小能够使移动机构平稳的运行，使用的寿命较长，比较耐用。且直流减速电机在后期维护方面的成本比较低廉，维护起来比较方便，模块化的设计在密封性能及保护性能上都体现出强势的优势，这就意味着直流减速电机对于环境的适应能力很强，可以满足对于复杂环境的设定，能够在严峻的环境下进行工作。对于整体的模块化设计有着相当突出的优势特点，便于对整体结构进行拆装。因此，本文选择了直流减速电动机作为驱动电机。

### 3.5.2 升降机构部分

升降机构选择了带有编码器的直流电机作为驱动装置。希望通过编码器所测得的电机所转圈数、滚珠丝杠的导程、直线运动距离得出滚珠丝杠运动的距离进行后续的实验。

对此需要进行一定的计算：

已知自带减速器直流电机型号为 GB37Y3530，减速比 1/6.25，最大扭矩 3.1kg\*cm

摩擦扭矩(外部负荷)

$$T_p = \frac{F \cdot P_k}{2} \quad (1)$$

$P_k$ ——滚珠丝杠副的导程

$F$ ——轴向载荷（含导轨摩擦）

摩擦扭矩（预紧力）

$$T_D = \frac{F_p \cdot P_k}{2\pi} \cdot \frac{1-\pi^2}{\pi^2} \times 10^{-3} \quad (2)$$

$F_p$ ——滚珠丝杠副间的预紧力,  $F_p = \frac{F_{max}}{3}$

摩擦扭矩（支撑轴承）

轴承型号——619-8（内径 8mm，外径 19mm，宽度 6mm）

负荷扭矩（加速度）

已知滚珠丝杠运动速度  $v$ ，电机转速  $n_2$ ，加速度  $a$ ，工作台所需加速时间为

$$t = \sqrt{\frac{2v}{a}} \quad (3)$$

负荷扭矩（电机由 0 加速到  $n_2$ ）

$$T_j = J \cdot \frac{2\pi \cdot (n_2 - n_1)}{60 \cdot t} \quad (4)$$

总扭矩

$$T_m = T_p + T_D + T_j + T_\delta < 3.1 \text{kg} \cdot \text{cm} \quad (5)$$

因此，所选的电机符合要求。

### 3.5.3 夹持机构部分

位置伺服驱动器——舵机，舵机是位置伺服驱动器，具有闭环控制系统，其组成结构为小型直流电机、变速齿轮组、可调电位器、控制板等。其通过接收 PWM 信号来实现  $0 \sim 180^\circ$  之间的转动。且由于其拥有紧凑的结构，使得舵机具有极高的稳定性，因此把它应用于夹持机构的动力源。舵机能够使得手爪进行左右摆动与手爪开合运动。

### 3.6 小结

本章详细描述了复杂环境下移动机器人方案进行设计选材过程，对各类移动机构进行比较筛选，选择性价比最高的材料与方案进行设计。对已有的结构进行具体的分析，详细描述小车的装配过程，尽可能将各个部分模块化并系统的进行表示，对需要安置的本体结构，驱动系统及传感器等各个零部件进行设计安放，给出效果图及介绍。预想效果图如（图 3-8）所示

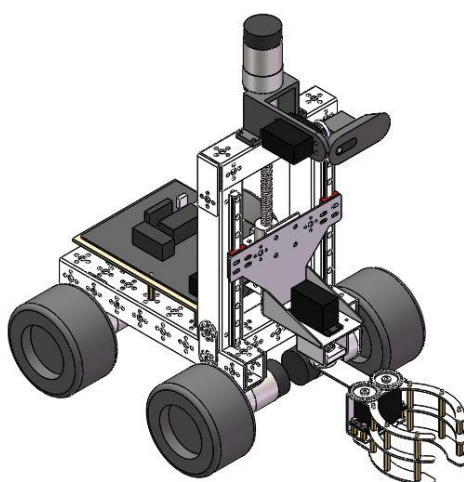


图 3-8 预想三维效果图

## 第四章 轮式抓取移动机器人结构运动学及静力学分析

### 4.1 轮式移动机器人运动学分析

移动机器人运动过程中采取差速驱动的方式进行转向等动作，因此对车轮运动学部分进行一定的运算。

假设：

1. 车轮没有横向滑动；
2. 速度驱动的牵引轴线平行于平面  $xOy$ ；
3. 车轮轴线的中心点  $c$  为质心

左车轮的线速度：

$$v_1 = v_c - a\dot{\varphi} \quad (1)$$

右车轮的线速度：

$$v_2 = v_c + a\dot{\varphi} \quad (2)$$

运动学方程可表示为：

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} (r/2)\cos\varphi \\ (r/2)\sin\varphi \\ r/2a \end{bmatrix} \dot{\varphi}_r + \begin{bmatrix} (r/2)\cos\varphi \\ (r/2)\sin\varphi \\ -r/2a \end{bmatrix} \dot{\varphi}_1 \quad (3)$$

式中  $\dot{\varphi}_r, \dot{\varphi}_1$  的差动关系决定了机器人的旋转速度  $\dot{\varphi}$  和移动速度。

### 4.2 有限元静力学分析方法及分析原理

#### 4.2.1 分析方法

有限元方法是近似求解一般连续域问题的数值方法，应用于固体力学中结构的应力分析，然后广泛应用于求解连续问题如热传导、电磁场、流体力学等。其实质从力学角度看，就是通过离散化的手段，把具有无限多个自由度复杂的连续体理想化为一组只有有限个自由度且按一定方式相互连接在一起的单元结合体；从数学的角度看，就是通过离散的手段，将偏微分方程或者变分方程转化为代数方程求解。离散就是把研究的对象某连续体分割成有限个单元，单元之间仅在节点处连接起来。复杂的连续体经离散化，可以看作为有限个单元的组合物。对每个单元选取适当的差值函数，使得该函数在子域内部、子域分界面上（以及子域与外界分界面上满足力学平衡方程和边界条件。

#### 4.2.2 分析原理

静力学分析是计算在固定不变的载荷作用下结构的位移、应力、应变和受力，它不考虑阻尼和惯性的影响。线性静力分析中的结构材料需要满足线弹性和小变形理论，同时载荷必须是静力载荷，这些假设是结构线性静力分析的前提基础。静力学分析主要是用来确定机械手横梁的静刚度。静刚度是指横梁抵抗外加静态

力作用下产生变形的能力，以静态力与该力作用下所产生的变形量之比表示。静刚度是结构本身的固有特性，与外界载荷无关，它与结构构件的几何参数及材料弹性模量有关。静刚度越高，说明变形越小，其静态特性越好。

### 4.3 机器人平台构件的有限元静力学分析

#### 4.3.1 构件模型网格化

有限元分析程序将模型视为由相互连接的单元组成的网格。这些单元含有的共同点称为节，每个节均由许多参数完整描述。网格化是设计分析过程中至关重要的步骤，软件在网格化过程中自动生成控制每个单元行为的方程式，其中考虑了每个单元与其他单元之间的联系。这些方程式将响应已知的材料属性、约束和荷载。软件根据这些方程式组成的方程组求解未知变量，解的精度取决于网格的质量。一般而言，网格约细致解的精度越高。网格划分后再对型材进行施加部分夹具约束并加以部分的力。以一段钢架结构作为实例，进行有限元分析，结果如（图 4-1）所示：

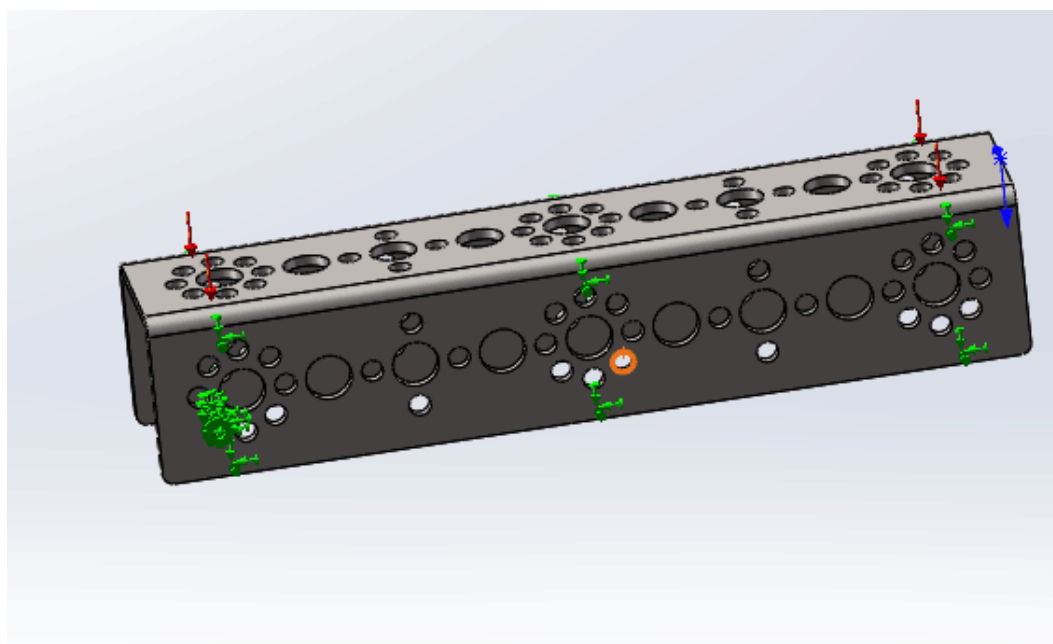


图 4-1 网格划分及施加约束结果

#### 4.3.2 运行求解及结果分析

单击工具栏的“运行”按钮，即可对所建模进行有限元求解。求解完成后，点击左侧结果即出现三种分布图，包括应力分析，位移分析及应变分析三种。

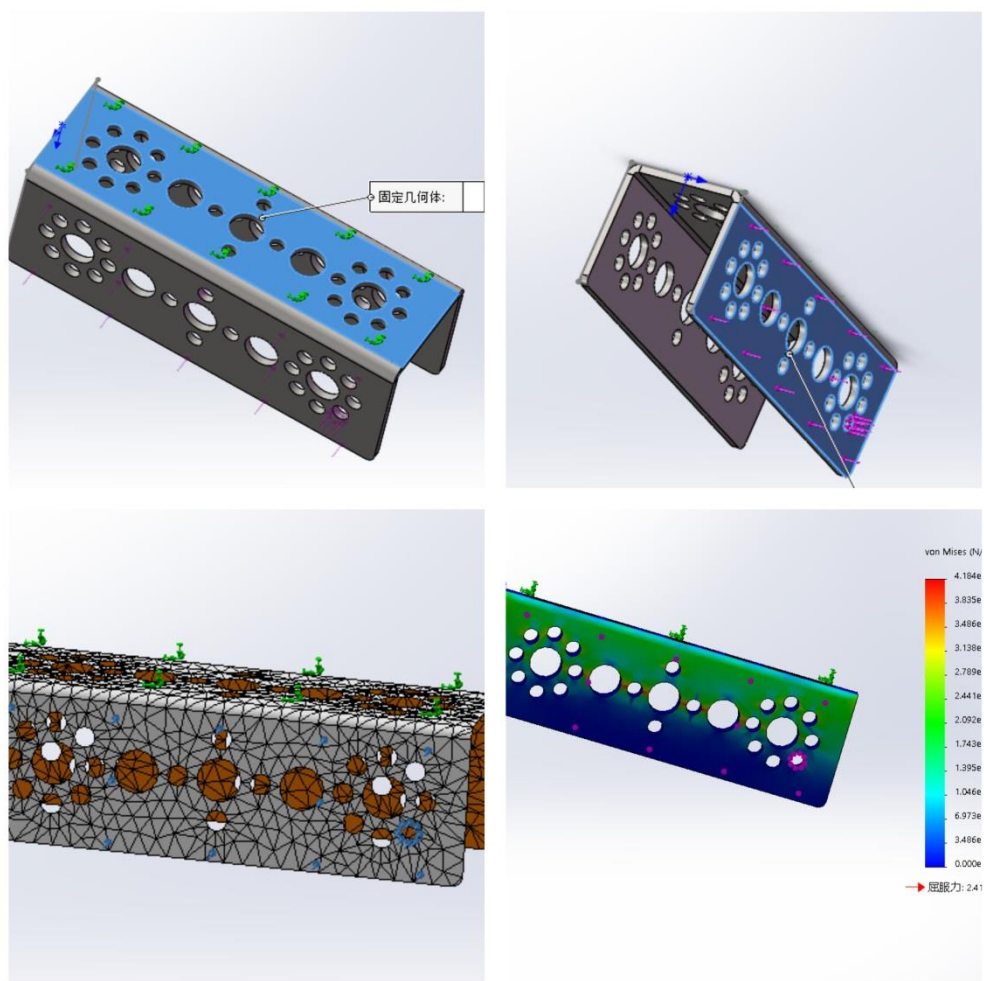


图 4-2 simulation 运行求解结果

## 4.4 机械手的有限元静力学分析

### 4.4.1 机械手长臂模型网格化

如前文所述，长臂在受舵机带动下进行左右摆动运动，在左右摆动的过程中为了保证手爪在运动过程中的稳定性，需要对长臂进行部分的受力分析以保证运动的稳定。网格化过程与构件型材过程相同，结果如（图 4-3）所示：

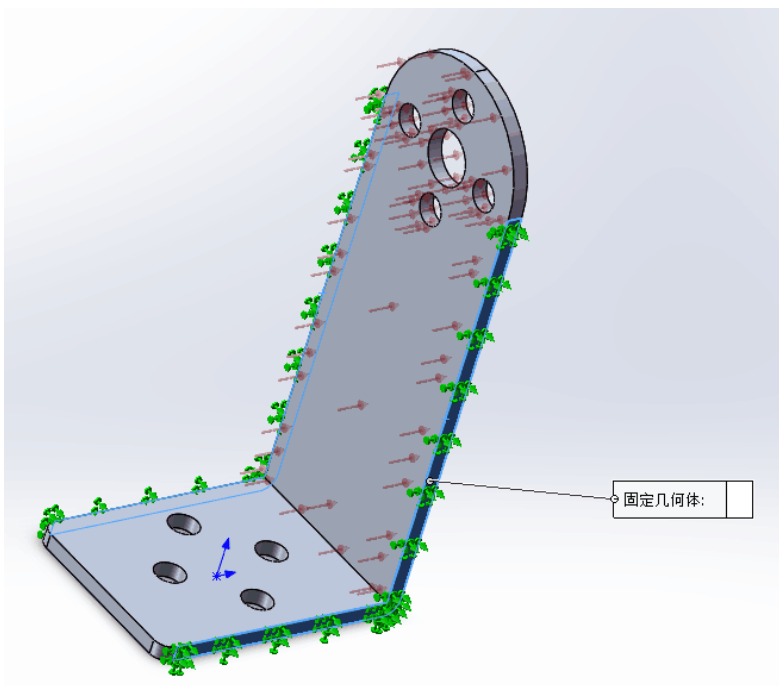


图 4-3 长臂模型网格化结果

#### 4.4.2 运行求解及结果分析

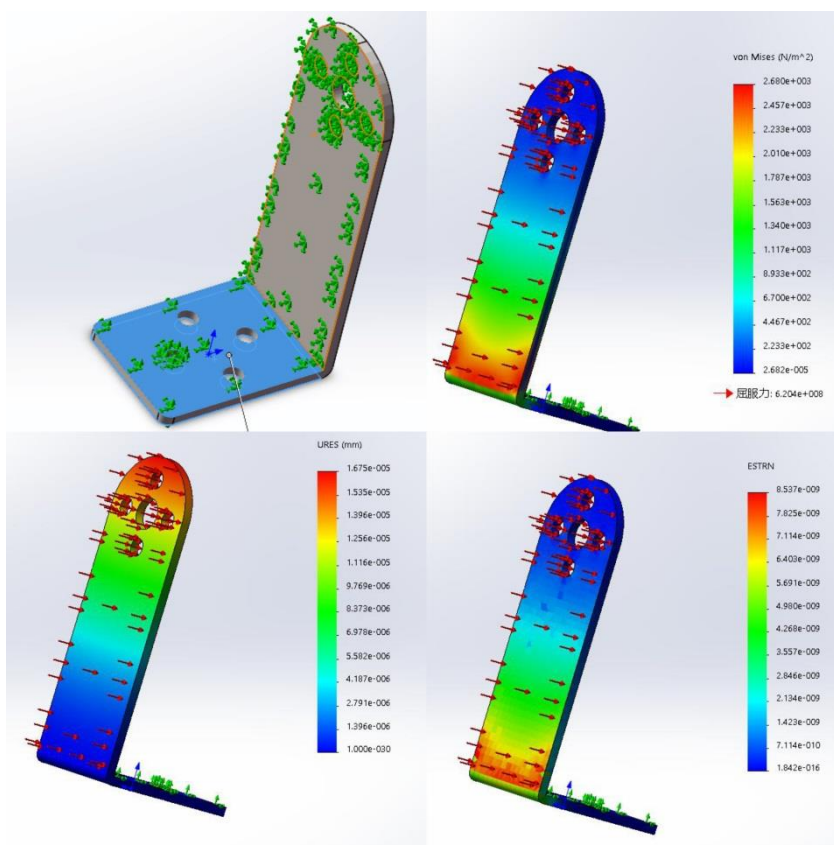


图 4-4 长臂应力、应变、位移分析结果

应力——应变关系如公式：

当  $\varepsilon \leq \varepsilon_p$  时:

$$\sigma_s = E_s \varepsilon \quad (4)$$

当  $\varepsilon_p \leq \varepsilon \leq \varepsilon_y$  时:

$$\sigma_s = A\varepsilon^2 + B\varepsilon + C \quad (5)$$

当  $\varepsilon_y \leq \varepsilon \leq \varepsilon_u$  时:

$$\sigma_s = f_y + (\varepsilon - \varepsilon_y)k_2 E_s \quad (6)$$

当  $\varepsilon_u \leq \varepsilon$  时:

$$\sigma_s = f_u \quad (7)$$

$\sigma_s$ ——钢材的当前应力

$f_y$ ——钢材屈服强度

$E_s$ ——钢材弹性模量

$\varepsilon_p$ ——钢材的比例极限

$\varepsilon_y$ ——钢材的屈服点应变

$$\varepsilon_p = \frac{k_1 f_y}{E_s} \quad (8)$$

$$\varepsilon_p = \left[ k_1 + 2 \frac{(1-k_1)}{(k_2+1)} \right] \cdot \frac{f_y}{E_s} \quad (9)$$

其中,  $k_1 = 0.7$ ,  $k_2 = 0.03$

$f_y$ ——钢材极限抗拉强度

$\varepsilon_u$ ——与极限抗拉强度相对应的极限应变, 其中  $\varepsilon_u = 10\varepsilon_y$

式中:

$$A = \frac{(k-1)}{(\varepsilon_y - \varepsilon_p)} \cdot \frac{E_s}{2} \quad (10)$$

$$B = \frac{(\varepsilon_y - k_2 \varepsilon_p)}{(\varepsilon_y - \varepsilon_p)} E_s \quad (11)$$

$$C = f_p - A\varepsilon_p^2 - B\varepsilon_p \quad (12)$$

其中,  $f_p$  为为钢材的比例极限,  $f_p = k_1 f_y$

#### 4.5 小结

本文首先重点介绍了有限元静力学的分析方法及分析原理, 然后利用

SolidWorks 中的 Simulation 模块对移动机器人的型材以及机械手进行了有限元分析，通过有限元静力学分析得到了相应的参数结果，包括总应变图、应力分布图和位移分布图，获得了静力学特性，为移动机器人结构的优化设计提供了数据基础。

## 第五章 轮式抓取移动机器人控制系统设计

### 5.1 控制系统功能需求

控制系统主要由控制器、驱动系统、传感器系统及外围电路组成，以此来实现机器人的全向移动、识别及抓取功能。

控制系统预期实现的功能为：

- 1.运动控制功能：在接收到指令后能够按照预期的动作进行相应的动作。
- 2.信息采集功能：利用传感器检测信息并上传进行相应的记录
- 3.自动避障功能：在检测到前方的障碍后对运动的路线进行相应的调整。

### 5.2 移动机器人控制系统硬件架构

移动机器人的控制器种类繁多，以西门子 PLC 控制器和 NI 公司的 myRIO 控制器为主流，考虑到西门子 PLC 的输入输出端口数量不多且无法控制多个电机，体型也过于庞大，增加了车体的负载，因此在本次设计中我们选取相对来说更加精简小巧的 myRIO 1900 型控制器。

机器人的控制系统硬件部分可以分为：上位机（PC）、通讯链路、下位机（myRIO）、底层硬件这几个部分。使用计算机作为上位机进行程序编写，摄像头进行颜色的识别，控制器接收来自传感器的信号，通过算法进行相应动作的控制。硬件架构图如(图 5-1)所示。

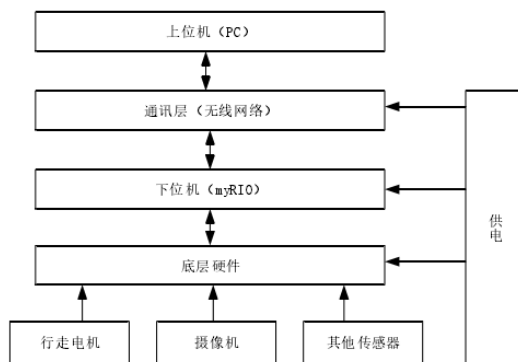


表 5-1 硬件架构图

如果想要实现机器人的全方位移动，需要利用直流减速电机分别控制四个普通的橡胶轮。通过上文我们选取了 NI myRIO 控制器，此平台具有 10 路的模拟量输入，6 路的模拟量输出，40 路数字量的输入与输出，还带有 4 个可编程控制的 LED，1 个可编程控制的按钮和 1 个板载三轴加速度传感器，可以提供 +/-15V 和 +5V 电源输出，可通过 USB 或 Wifi 方式与上位机相连。

移动机器人电路板的接线原理图如（图 5-2）所示。包括了电机驱动、舵机、多种传感器以及 myRIO 的接线端子。搭载丰富的板载资源。包括多个数字输入/输出接口可以支持 PWM 输出、编码器输入、UART 接口和 I2C 接口。还有

8 多个模拟输入以及端模拟输出接口。通过这些接口，能够方便地控制电机驱动以及各种传感器等设备。

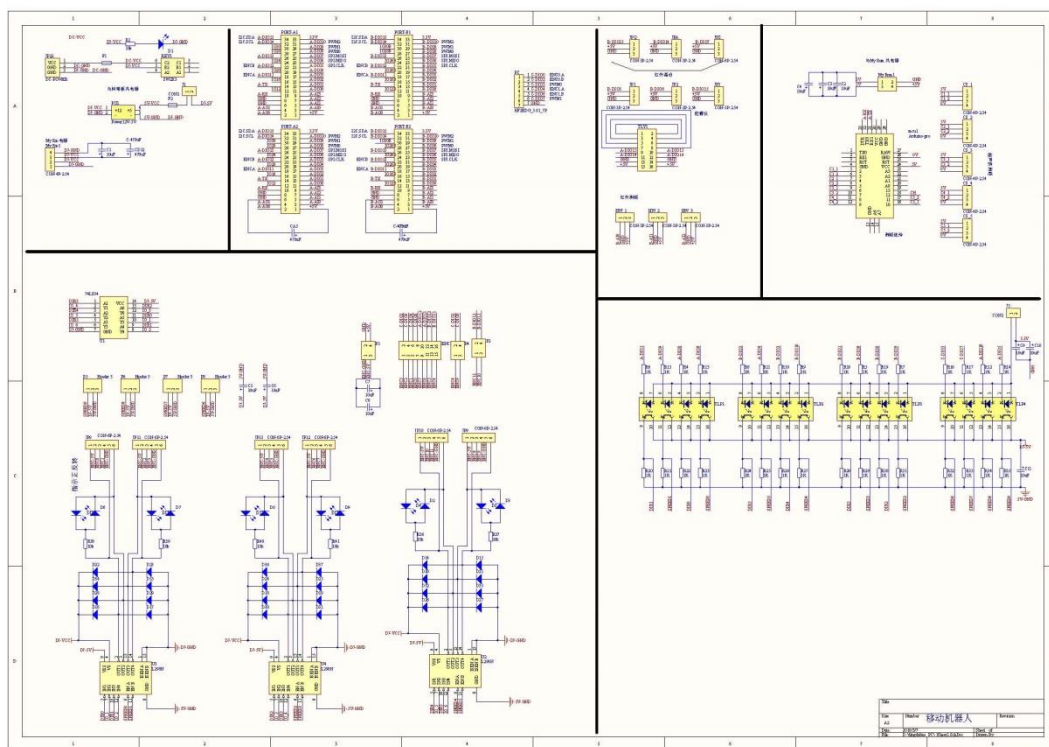


图 5-2 移动机器人电路板的接线原理图

## 5.3 移动机器人控制系统主要硬件

### 5.3.1 主控制器

移动机器人的主控制器选用 NI 公司的 myRIO-1900 型控制器。myRIO 是一款嵌入式的系统开发平台，使用嵌入式系统开发平台能够实现简单的嵌入系统开发，同时也能进行一些复杂度较高的系统设计工作。

myRIO 具有上手简单、程序的编写与开发较为容易、搭载的板载资源丰富、直流供电等优点。相关的软件在安装与使用的界面简单易懂，便于初学者上手学习及应用，编程时能够实时部署应用，具有 WiFi 功能，因此可以远程直接部署应用，不需要将电脑与控制器连接起来，即使是即便安装在机器人内部也无需拆除即可通过无线网络进行程序下载。还包括三个连接端口，一个兼容 NI myDAQ 设备接口。这三个端口能够用于接收与发送各种传感器以及电路的通讯信号，能方便地搭建系统。

### 5.3.2 电机驱动

本文中移动机器人配备了四个直流电机，能够驱动移动机器人行进，驱动器的 SV 端子既能用于模拟量输入，也能用于 PWM 输入。本机器人使用的电机调速方式为 PWM 调速，在电机驱动器的控制软件中将 SV 端子调整为 PWM

输入模式。

表 5-2 接口引脚名称及定义

接口类型	引脚名称	定义说明
控制信号	GND	信号地
	ALM	报警输出
	PG	霍尔信号异或输出
	5V	5V 电源输出
	SV	模拟信号输入
	FR	电机方向控制
	EN	使能信号，低电平有效
	BK	刹车信号，高电平刹车
功率端	GND	电源输入负
	VDC	电源输入正
	W	电机相线 W
	V	电机相线 V
	U	电机相线 U
霍尔信号输入	5V	霍尔供电正
	GND	霍尔供电负
	HA	霍尔信号 HA
	HB	霍尔信号 HB
	HC	霍尔信号 HC

移动机器人实物如(图 5-5)所示。

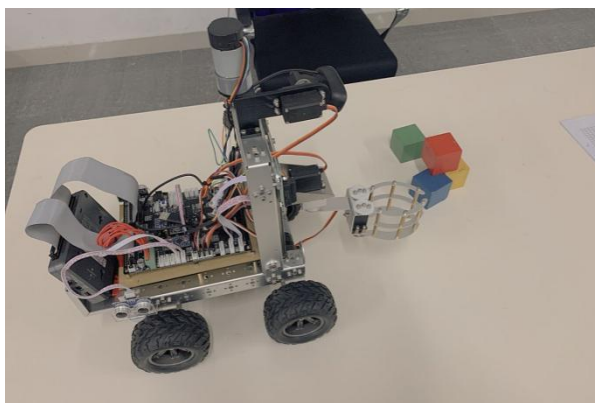


图 5-5 移动机器人实物图

## 5.4 移动机器人控制系统软件结构

### 5.4.1 移动机器人全向移动及姿态调整



## 第六章 总结与展望

本文描述的移动机器人属于复杂环境下的救援类移动机器人，它对于目前面对来说还是具有非常高的研究意义和应用发展前景的，是未来在面对遇险或探测危险环境中一个非常重要的角色。随着人类对未知的自然环境的不断深入探索，科学的不断进步，会有越来越多的机器人来代替人类进行必要的劳动。本文针对移动机器人的本体结构，主要是对机器人的移动机构部分进行设计与研究，本论文完成的工作可以分为以下几个方面：

- 1.移动机器人在我们所设定的复杂环境中进行工作，综合比较各种移动机构的优缺点，希望机器人能够适应在复杂环境下移动并顺利完成工作。
- 2.对移动机器人的底盘进行选择，保障各个模块能够独立运行。
- 3.通过设计夹持机构部分使得夹取动作更加准确。
- 4.综合比较各种常用电机的优劣势，选择合适的电机并进行校核。
- 5.为机械臂选取合适的移动机构。
- 6.对夹持机构上需要受力的长臂进行有限元分析。
- 7.对控制系统进行简单的分析与介绍。

本文研究的移动机器人是一个较为复杂的机器人系统，在设计中，由于作者水平还有极大的欠缺，所进行的研究内容还是较为浅显的，设计中也还存在相当的不足之处，在更深入的研究中，还有许多内容需要进一步完善与优化：

- 1.机械结构能不能进行进一步的改造使空间上更为紧凑。
- 2.各个模块间的连接能不能采取更加优化的连接方式。
- 3.考虑能否将能耗减少到最小，用最低的能耗行驶最远的距离。
- 4.机械手如何设计能够进行更加精准的夹持。

这一课题的研究有利于在今后的复杂环境中减少人在其中的工作，能够保障前线工作人员的生命财产安全。对于必须深入的危险环境给予人们生命最大的保障。

不管是什么东西都是从零开始的，从提出概念到后续的实施再到进一步优化，每一步都要经历一段非常漫长的改造阶段，期间还会有很多次反复实验不断失败的过程，从失败中改进，从缺陷中改良，用实践来检验真理。希望本文的研究能够进一步将机器人的设计向前推进，为祖国的繁荣昌盛添砖加瓦。

## 参考文献

- [1] Kim Jingoog, Maher Mary Lou. Conceptual Metaphors for Designing Smart Environments: Device, Robot, and Friend.[J].Frontiersinpsychology,2020.
- [2] 谭民, 王硕. 机器人技术研究进展[J]. 自动化学报, 2013.
- [3] AmirA.F .Nassiraei, KazuoIshii. Concept of Intelligent Mechanical Design for Autonomous Mobile Robots[J].ScienceDirect,2007.
- [4] 赵杰. 我国工业机器人发展现状与面临的挑战[J]. 航空制造技术, 2012.
- [5] 王田苗, 陶永. 我国工业机器人技术现状与产业化发展战略[J]. 机械工程学报, 2014.
- [6] 柳鹏. 我国工业机器人发展及趋势[J]. 机器人技术与应用, 2012.
- [7] 曹文祥, 冯雪梅. 工业机器人研究现状及发展趋势[J]. 机械制造, 2011.
- [8] 董小雷, 李冬梅. 自动送货机器人结构设计[J]. 机械工程与自动化, 2020.
- [9] 汤永红. 多运动状态的移动机器人结构设计及仿真[D]. 河北工业大学, 2007.
- [10] 孙志杰, 王善军, 张雪鑫. 工业机器人发展现状与趋势[J]. 吉林工程技术师范学院学报, 2011.
- [11] 施敏虎, 庄曙东, 黄金海. 全地形履带式越野寻迹六轮智能小车设计[J]. 机械工程师, 2020(1).
- [12] 李磊, 叶涛, 谭民, 陈细军. 移动机器人技术研究现状与未来[J]. 机器人 ROBOT, 2002, 24(5).
- [13] 彭缓缓. 室内智能移动机器人底盘控制系统研究[D]. 广西科技大学, 2019.
- [14] 朱瑛, 马慧婷, 谢睿. 错架图书识拣机器人结构设计及运动学分析 [J]. 机床与液压, 2020.
- [15] 王云磊. 基于 NImyRIO 的智能移动机器人设计[D]. 天津职业技术师范大学, 2018.
- [16] 杨林. 地面移动机器人载体及搭载平台机械设计与分析[D]. 南京理工. 大学, 2009.
- [17] 钟新华. 移动机器人结构与运动控制方法研究[D]. 中南大学, 2005: 12.
- [18] 吕伟文. 全向移动机器人结构分析与设计[D]. 东南大学, 2006.
- [19] Fengyu Xu, Fanchang Meng, Quansheng Jiang, Gaoliang Peng. Grappling clawsfor arobot to climb rough wall surfaces: Mechanical design, grasping algorithm, and experiments[J]. RoboticsandAutonomousSystems,2020.
- [20] 蒋绍博, 吴玉玮, 丁海旭, 邢瑶. 水下捕捞机械手结构与研究[J]. 机械研究与应用, 2020.

## 致 谢

时光匆匆，转眼间四年的大学生活已经进入了倒计时阶段。刚入校时的忐忑与期待仿佛就是昨天才发生过的事情，转眼间就准备离开学校踏入社会。这学校的这段时间经历了很多也学习了很多，不仅仅是在学习上，更多的是在心智以及自己的能力上的提升。在此我要对学校里所经历的一切表示最真诚的感谢。

在天津中德应用技术大学求学期间，我得到了老师们和同学们非常多的帮助与照顾，在此我要表达我深深的感谢。

首先感谢我的指导教师王春光老师，他严谨的治学态度，幽默的授课方式以及一丝不苟的工作态度都深深的感染着我，指引我在前进的道路上不断进步。我的论文从选题到开题报告，再到后来的撰写、定稿，离不开导师的悉心指导和热情帮助。在此，我谨向我的导师致以衷心的感谢。在此，我还要感谢所有在学校时传授知识给我的各位老师，每一位老师的悉心指导都是帮助我完成这篇论文的基石。感谢老师们在校期间对我的鼓励与帮助。

其次，感谢我的同学，特别是孙文豪，李晓宇，孟祥旭，李大利这几位，是他们无私的帮助与支持，让我的论文能够更加丰满，在细节的把控上更加精准，也是他们在我撰写论文的过程中和我一起解决难题。在这特别要感谢我的舍友董雨琪，在生活中她给了我很多的帮助，在此表示衷心的感谢。

最后感谢我的父母与家人，是他们一如既往的支持与鼓励陪伴着我走到了现在。无论我成功与否，我都不会忘记你们对我的用心良苦，谢谢你们一路上对我的支持与鼓励，我会在今后的日子里加倍努力。

在论文完成之际，衷心的对所有的老师以及周围的朋友们表达最诚挚的感谢。

## 附录

### 附录一 中文译文及外文资料

创建以 Pfeifer 的方法定义一个可接受的“智能”。我们会简要的讨论相关的术语来产生一个合适的 IMD 定义智能机械设计 (IMD)：用于描述以最佳方式解决功能-可用性平衡的完整机械设计（包括自我控制，可靠性，可行性及兼容性）。机械设计必须始终考虑到一个特定的环境。自我控制：如果一个机械设计可以控制一套内部硬件并且拥有独立的外部动力，那么他就是可以自我控制的。对于一个特动的系统，必须始终考虑到他的自控性。可靠性：在大多数情况下，机械设计符合其设计规范都是可靠的。可行性：如果机械设计作为一个真正的机械结构制造并使用当前的制造方法和商业材料，那么机械设计是可行的。可行的机械设计受到许多要求的影响，例如成本、尺寸、重量、水密性、防尘性等。兼容性：如果传感器-电机结构的设计与硬件的尺寸、重量和形状相兼容，那么机械设计就是兼容的。应该始终考虑特定系统的兼容性。功能-可用性权衡：表示在添加新功能和实现可用性条件之间的折中。

环境生态位：机器人的环境生态位可以看作是环境中每个变量的范围。我们在这里使用“环境”一词主要有两层含义。第一层，直接物理意义：机器人被使用的区域或空间，包括自然和人工物体。第二层，间接物理意义：控制其功能的人工参数。这需要一些解释，这里我们用一个例子。以一个设计来参加捡罐比赛的机器人为例（见图 3），机器人的任务是收集周围环境中的物体，并将其带到位于比赛区域一角的易拉罐房间。游戏规则包括机器人的尺寸限制，机器人应该适合特定尺寸的盒子，制作机器人的成本也是有限的。在这种情况下，可以将环境生态位分项如下。

环境生态位：

- 平面(直接) ●室内环境(直接) ●一套圆柱形的罐子(直接) ●一盏灯(直接)
- 一间罐头房(直接) ●规模限制(间接)

环境利基约束：

- 可以大小(D, H) (直接) ●光高度(H1:如果  $H4 > H1$ ) (直接) ●Can-room 大小(L2 W2, H2) (直接) ●可以房间门大小(W3:如果  $W3 < W4$ , H3:如果  $H3 < H4$ ) (直接) ●机器人大小(L4、W4 H4) (间接) ●成本(成本 < X 美元) (间接)

在这个例子中，规模和成本的限制说明了环境生态位的第二个方面。值得注意的是，由于机器人的尺寸限制，一些环境生态位约束应被认为是条件约束。例如，如果窗台高度(H1)低于机器人的最大高度( $H4 > H1$ )，则窗台高度(H1)是一个约束条件。在这种方法中，所有影响机械设计的设计参数都可以被认为是环境生态位的一部分，并且必须在下一节中介绍的第四种 MDP 中加以考虑。

利用原理 4，以材料形态的形式，将倾斜传感器从机器人硬件上移除。也就是说，我们在前后轮上使用了不同的材料。在这种方法中，机器人被动地调整倾斜角度。我们还在机器人的顶部安装了一个无源编码器，通过一个简单的手臂连接到机器人的背部。这为机器人提供了精确的导航，包括计算机器人经过检修孔的数量。当无源编码器没有发送信号到船上的主计算机，这意味着机器人是在检修孔。

## Intelligent mechanical design

Following Pfeifer's approach in attempting to create an acceptable definition of "intelligence" we will briefly discuss the related terms necessary to produce a suitable definition of IMD.

**Intelligent Mechanical Design (IMD):** This term is used to describe complete mechanical designs (designs that are self-controllable, reliable, feasible, and compatible) that resolve the functionality-usability trade-off in an optimal way. Mechanical design must always be considered with respect to a particular environmental niche.

**Self-controllable:** A mechanical design is self-controllable if it can be controlled by a set of internal hardware, independence of external motive forces. Self-controllability should always be considered with respect to a specific system.

**Reliable:** A mechanical design is reliable if, in the majority of cases, it fulfills its design specification.

**Feasible:** A mechanical design is feasible if it can be manufactured as a real mechanical structure using current manufacturing methods and commercial materials. Feasible mechanical design is influenced by a number of requirements, such as cost, size, weight, water tightness, dust resistance, etc.

**Compatible:** A mechanical design is compatible if the design of the sensory-motor architecture has compatibility with the size, weight and shape of the hardware. Compatibility should always be considered with respect to a specific system.

**The functionality-usability trade-off:** Represents a compromise between, on the one hand, adding new functionality, and on the other, achieving usability conditions[5].

**Environmental niche:** The environmental niche for a robot can be thought of as the range of each variable in its environment. We use the term of "environment" here to mean essentially two things. First, the direct-physical meaning: the area or space in which the robot is used, including natural and artificial objects. Second, the indirect-physical meaning: the artificial parameters governing its function. This requires some explanation, here we use an example. Consider a robot designed to compete in a can-collecting competition (see Fig. 3). The task of the robot is to collect objects in its environment and bring them to a can room located in a corner of the competition area. The rules of the game include limitations in size of the robot that the robot should fit in a box with specific dimensions, and the cost for making the robot is

also limited. In this case, the environmental niche can be itemized as follows.

Environmental niche:

- A flat surface (Direct) ● Indoor environment (Direct)
- A set of cylindrical can (Direct) ● A light (Direct) ● A can-room (Direct)
- Size limitation (Indirect) ● Cost limitation (Indirect)

Environmental niche constraints:

- Can size (D, H) (Direct) ● Light height (H1: if  $H4 > H1$ ) (Direct) ● Can-room size (L2, W2, H2) (Direct) ● Can room door size (W3: if  $W3 < W4$ , H3: if  $H3 < H4$ ) (Direct) ● Robot size (L4, W4, H4) (Indirect) ● Cost (cost < X \$) (Indirect)

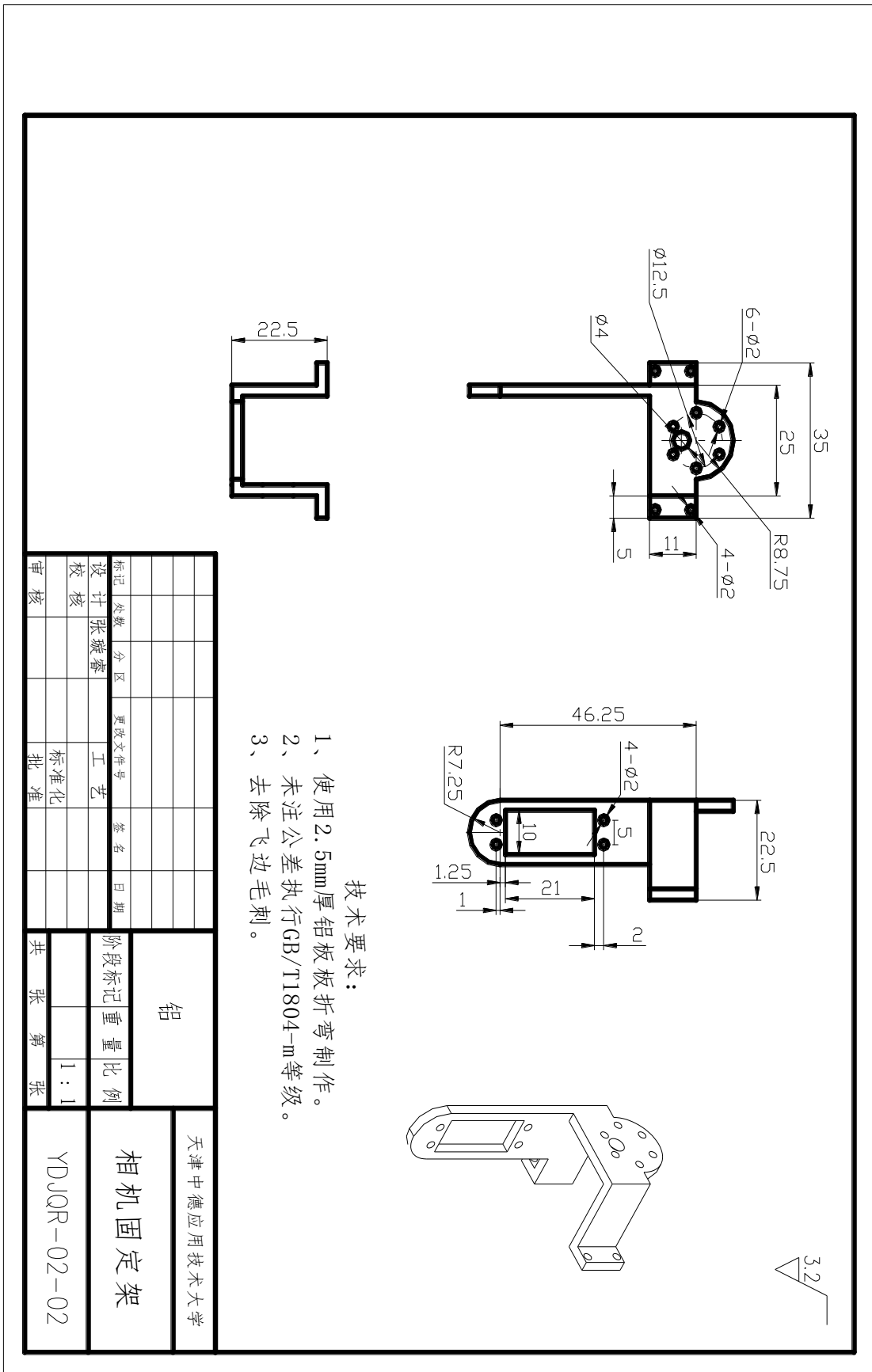
In this example, limitations in size and cost illustrate the second aspect of the environmental niche. Note, because of the robot size limitation, some environmental niche constraints should be considered to be conditional constraints. As an example, the height of the ledge (H1) is a constraint, if it is lower than the maximum height of the robot ( $H4 > H1$ ). In this approach all design parameters that influence the mechanical design can be considered part of the environmental niche and must be considered in the fourth MDP presented in the next section.

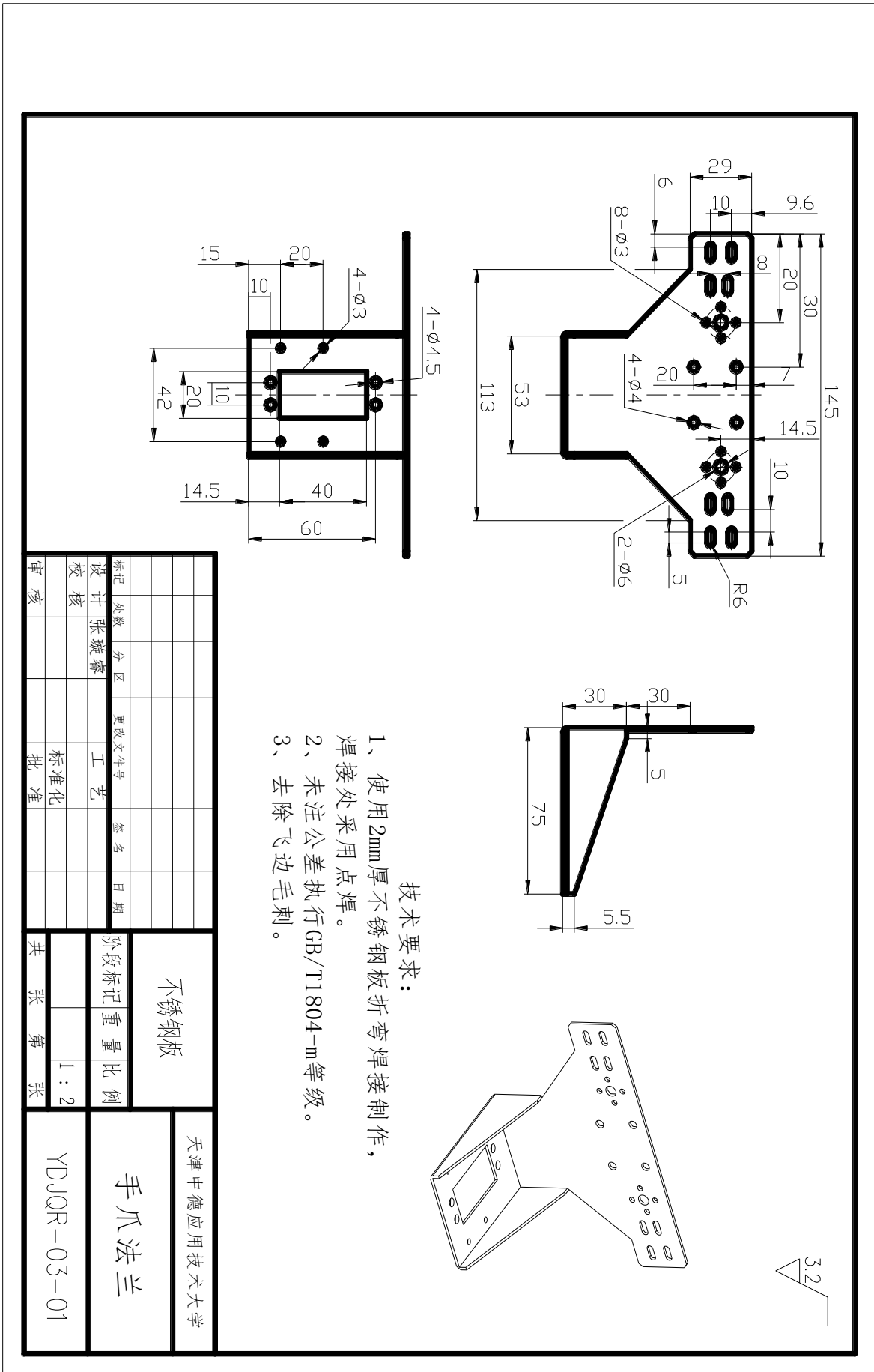
Principle 4 was applied, in the form of material morphology, to remove the tilt sensor from the robot hardware. Namely, we used different materials for the front and back wheels. In this approach the robot adjusts its tilt angle passively. Also we installed a passive encoder on the top of the robot via a simple arm jointed to the top-back of the robot. This provides precise navigation for the robot including counting the number of manholes as the robot passes them. When the passive encoder does not send signal to the on-board main computer, it means robot is in a manhole.

## 附录二 移动机器人实验过程视频二维码

小车在实验过程中的运动及演示请扫描下方二维码进行观看。







技术要求：

- 1、使用2mm厚不锈钢板折弯焊接制作，焊接处采用点焊。
- 2、未注公差执行GB/T1804-m等级。
- 3、去除飞边毛刺。

标记	处数	分区	更改文件号	签名	日期	不锈钢板	阶段标记	重量	比例	天津中德应用技术大学
设计	张璇睿									
校核			工艺							手爪法兰
审核			标准化							
						共	张	第	张	YDJQR-03-01