

北京信息科技大学(筹)

# 优秀毕业设计(论文)选集

(本科2006届)



北京信息科技大学教务处

2006年9月

北京信息科技大学<sup>(筹)</sup>

# 优秀毕业设计（论文）选集

（本科 2006 届）



北京信息科技大学教务处

2006 年 9 月

# 目 录

1. 中型足球机器人机电系统设计 ..... 尹利君 (1)
2. 基于 Pro/ENGINEER 的三环减速器设计与软件开发研究 ..... 张子兵 (10)
3. 多功能康复医疗床的创新设计 ..... 黄同福 (17)
4. 多边形箍筋机的整机结构设计 ..... 路 陶 (25)
5. 多媒体手机及其界面设计 ..... 周建明 (35)
6. 汽车发动机缸盖生产线规划与仿真 ..... 李 娜 (41)
7. 基于 Microview MVC1280-GE 千兆网络摄像头功能测试 ..... 周 木 (48)
8. 三维视觉测量的靶点定位方法研究 ..... 林 宽 (60)
9. 企业信息管理系统——商品销售管理 ..... 宋世伟 (74)
10. FPGA 数字逻辑电路应用设计——应用软件设计 ..... 向祚昌 (85)
11. 国家质检总局特种设备行政许可审批系统制造企业子系统的开发 ..... 李启明 (94)
12. 北京首创轮胎有限公司生产定额管理系统开发 ..... 李武清 (108)
13. 教育培训管理信息系统开发 ..... 常 柱 (119)
14. 利玛 ERP 软件教学方案设计 ..... 郭晓明 (127)
15. 办公自动化教学网站的设计与制作 ..... 周 伟 (135)
16. 城市建设征地中失地农民的社会保障问题 ..... 邱伟庭 (145)
17. Motif 界面资源文件生成工具软件开发 ..... 贾 非 (154)
18. SSL 协议设计与实现 ..... 范丹华 (160)
19. 网上购书系统的设计与实现——采购子系统 ..... 崔永磊 (173)
20.  $\mu$ C/OS 在 ARM 上的移植研究与实现 ..... 程海亮 (188)
21. 基于 CORBA 的中文办公软件文档存储接口访问 ..... 李 锋 (199)
22. 基于小波变换的数字水印嵌入算法研究 ..... 陈 实 (211)
23. 具有联网功能的无线电信标机的研发 ..... 黄 琰 (218)
24. 基于 DCT 变换的数字水印嵌入算法研究 ..... 郭明华 (233)

25. 基于 IPv6 的视频通信终端 .....	李志钢 (240)
26. 基于模糊控制的二级倒立摆实时控制研究 .....	柯善铭 (246)
27. BP 神经网络在倒立摆控制中的应用研究 .....	高翔宇 (257)
28. Windows 环境下网络监听与分析系统的研究与实现 .....	张继松 (272)
29. NDIS 驱动程序的分析与改进 .....	白 勇 (279)
30. 基于身份信息的人口预测挖掘系统的设计与实现 .....	薛鸿鹄 (288)
31. 中国与东盟贸易互补和贸易竞争分析 .....	郭 辉 (299)

# 中型足球机器人机电系统设计

尹利君

( 机械工程系 机械设计制造及其自动化专业; 指导老师: 李天剑 )

**【摘要】**足球机器人是当前人工智能和机器人领域研究的热点之一,是一个有趣且复杂的人工智能的新兴研究领域。本文在介绍了足球机器人的研究特点和国内外的研究现状的基础上,根据比赛规则以及所运行环境,提出了所要具备的基本性能。介绍了可以任意方向平移的底盘运动系统的原理,进行轮的结构以及底盘的总体设计。介绍了 LMD18200 电机 H 桥驱动芯片,详细介绍了各管脚的功能以及使用方法,并对实际调试过程中遇到的问题进行了分析,提出了解决办法。并在以上基础上,设计并调试出四路电机驱动板。

**【关键词】** 自主机器人; 足球; 电机驱动

## 第一章 绪论

机器人足球赛,顾名思义,就是训练和制造机器人进行足球比赛,是当前人工智能和机器人领域研究的热点之一,是一个有趣且复杂的人工智能的新兴研究领域。它试图利用一个将各种理论、算法和 Agent 体系结构集成在一起的任务来促进机器人学和人工智能研究的发展。技术的范围涉及到了智能机器人研究的各个方面,包括智能 Agent 的设计原理、多 Agent 协作、策略获取、实时推理和规划、机器学习和信息融合等。

机器人足球系统大体可分为三类:一是基于微型计算机的仿真机器人足球比赛系统;二是基于视觉的机器人足球系统即半自主足球机器人;三是全自主足球机器人系统。第一种系统是计算机编程的仿真过程。第二种系统采用集中式控制方式,有共同的视觉和决策系统。第三种系统是典型的多智能体足球机器人系统。该系统中,每个自主足球机器人都是一个独立的智能机器人,有自己的决策系统、视觉和感知系统等。

自主机器人足球系统由若干独立的轮式自主足球机器人组成。每个独立的自主足球机器人都具有车体与驱动子系统、信息收集处理子系统、无线通信子系统和计算机决策与控制子系统四部分。具体的研究内容有:车体结构设计、系统实时通信与网络结构、机器人视觉与多传感器信息融合、单个机器人智能体体系结构的建模与规划和多机器人系统的结构与协调机制等。

## 第二章 系统总体设计

中型足球机器人是机械电子、计算机、自动化控制等一体化的整体系统,是检测和控制相结合的智能化产品。其总体设计就是在进行具体设计之前,从整个系统的功能、要达到的技术指标以及比赛

环境等总体出发，制定合理的设计方案。

## 2.1 设计目标

机器人足球比赛也会出现传、接球，带球，拦截，射门等在人类足球比赛中出现的动作。机器人要有足够的灵活性，硬件上要配有包括摄像头、超声波在内的多种传感器；应该有宽的移动速度范围，且低速移动时要运行平稳，不应有爬行现象；控制系统应考虑电磁屏蔽以及防震。

## 2.2 系统组成

因工控机具有高度的稳定性，抗干扰能力强，所以机器人的主控制器选择以单板机为基础的工控机。其外围主要包括：视频采集系统、超声波探测系统、电机伺服控制系统、踢球与带球控制系统、无线通讯系统、电源系统等。

由于足球机器人要实现的是智能化自动运行，故应可以自动找球和球门，并能自动区分敌我，所以本系统采用视觉处理的方式采集信息；为检测机器人周围障碍与本体间距离信息，本系统采用八路超声波传感器，成米字形排列，对机器人本体周围进行 360 度范围内进行监测。但工控机的外部接口有限，不能够提供八路串口满足八路超声波的信息采集要求，故需要采用单片机控制八路超声波。控制系统组成框图如图 2-1 所示：

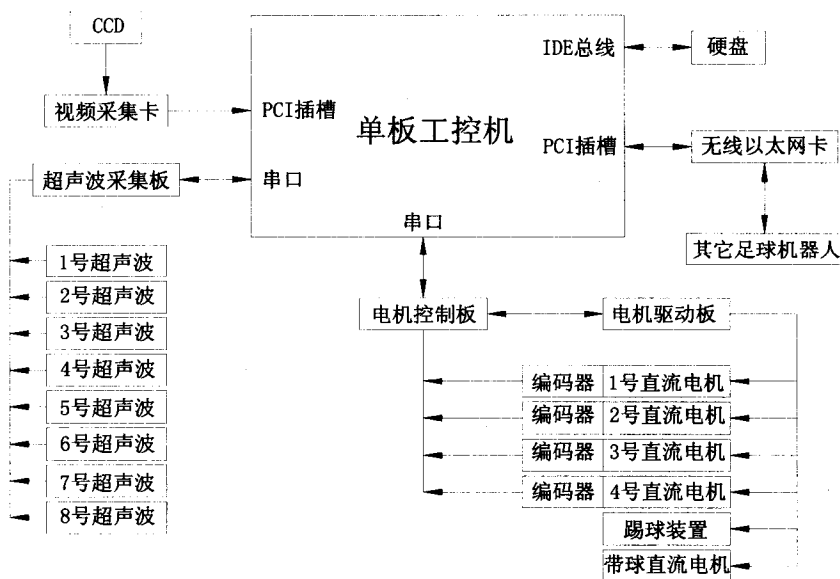


图 2-1 控制系统框图

**单板工控机：**主控制板。进行视觉处理、无线通讯、作决策等，是整个机器人的大脑，处理各种各样的信息，作出相应的决策。

**视频采集卡：**连接摄像头与工控机，将摄像头传回来的模拟视觉信号转换成工控机能够识别处理的数字视频信号。

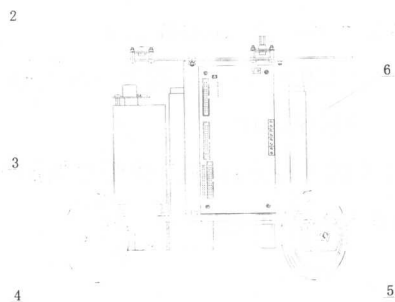
**超声波采集板：**采集八路超声波的信号，通过串口将数据传输给工控机，可以形象的说是工控机的扩展串口。

**硬盘：**程序以及数据存储设备。

无线网卡：机器人间信息交换的“通道”。队内机器人通过无线网卡组成无线以太网，进行数据的传输与交流。

电机控制板：计算机器人各轮的转速与转向，对机器人轮进行闭环控制。

电机驱动板：在电机控制板的控制下，驱动直流电机作出相应的动作。



1. 控制柜 2. 电源 3.电机 4. 轮 5. 电机驱动板 6. 电池组

图 2-2 整体外形图

### 第三章 底盘运动系统设计

足球机器人要求反应迅速，运转灵活，以便完成发球、传接球、踢球、防守、断球、射门等动作。运动是足球机器人的最重要的功能，因此如何使足球机器人运动性能最佳是进行车身和运动机构设计的首要因素。机构设计原则主要体现为三项：降低转动惯量；增强稳定性；加强抗碰撞能力。

#### 3.1 整体驱动结构

机器人的运动，要求具备三个参数，坐标和方向角，即 $(x, y, \theta)$ ，三轮驱动有三个主动轮，对于三个参数 $(x, y, \theta)$ 是完整约束，从一点到另外一点可以直线运动，并且能够在行进中转向，轨迹可以归结为折线。但是由于电机控制有加速过程，当给定机器人的 $(V_x, V_y)$ 时，分配给三个轮子的速度可能有较大的差，这样加速时间就会有不同，因此机器人在启动时就偏离了预定的方向。这个偏差固然可以用视觉来纠正，而从设计角度可以通过增加一个主动轮来降低这种误差，也就是四轮机器人。轮子配置方案如图 3-4。



图 3-4 轮子配置方案

### 3.2 轮设计

要实现四轮驱动，轮的结构是关键。为去除两对轮间轴距变化对算法的影响，简化算法，故采用图 3-5 非互补式万向轮结构。但其轮直径在运动的过程中不断的变化，会对整个机器人产生冲击。取万向轮直径  $D=120\text{mm}$ 。

直径确定后，根据  $\Delta R = R(1 - \cos 180^\circ / n)$  可知， $n$ （小轮个数）越大，运动过程中轮的变化越小，但  $n$  太大又会造成万向轮的结构强度降低，综合各因素取  $n=30$ ，则：

$$\begin{aligned}\Delta R &= R(1 - \cos 180^\circ / n) \\ &= 120 \times (1 - \cos 180^\circ / 30) \text{ mm} \\ &= 0.657 \text{ mm}\end{aligned}$$

以上公式在计算的过程中没有考虑小轮宽度对直径变化的影响，实际中，小轮总会有厚度，并且这种厚度会减小直径的变化，故  $\Delta R < 0.657\text{mm}$ 。

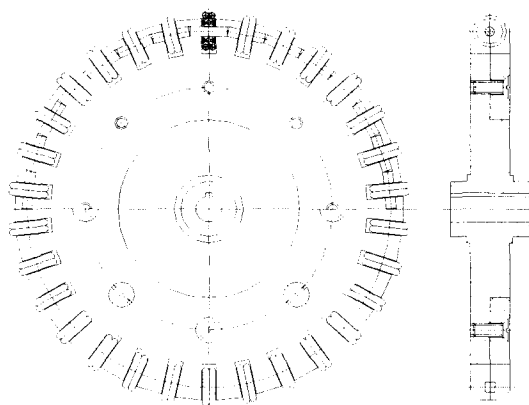


图 3-5 万向轮

为减小万向轮上小轮与固定轴间的摩擦力，小轮采用带密封的深沟球轴承作为主体，外套橡胶圈，以增加摩擦力，但这样成本较高。实际加工中，为简化加工，橡胶圈可选用合适的 O 形密封圈代替，固定小轮用的轴可去轴承厂，选用合适的滚针轴承中的滚针代替。

对于轮体的加工，合理的方式是：用车床加工出轮胚，然后选用数控立铣床进行加工小轮槽和固定螺纹孔。如果采用老式铣床，通过分度头来保证小轮槽的精度，最终的累积误差会导致最后加工的槽与最早加工的槽间的间距不合适，为避免此种现象的发生，提高小轮槽的加工精度，将提高加工的难度和成本。

### 3.3 底盘设计

机器人组装完成后，整体重量都会加在底盘上，因此底盘必须有足够的强度。为减轻机器人整体的重量，提高灵活性，底盘必须使用轻型材料。四轮机器人的运动都是通过调节四个轮子的转速与转向合成实现的，运动过程中必须保证四轮同时着地。由于运动过程中，轮的直径在不断变化，再平的路面也难保证四轮同时着地。如何以最轻的质量来满足强度要求和如何保证四轮的同时着地就成了底盘设计的重点。

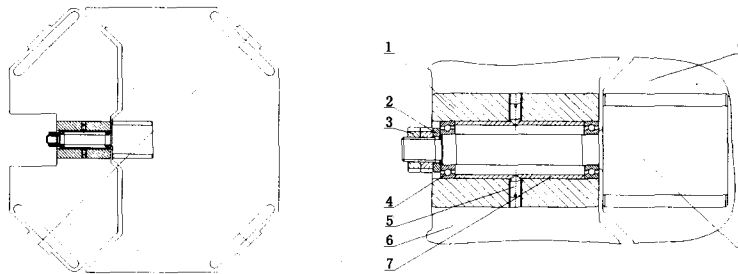
机器人整体完成后估计重量在 30 公斤左右，使用轻型铝合金材料就可以满足轻而强度高的要求，



如何保证四轮同时着地就成了底盘设计的重中之重。

三轮机器人因为是三点着地，就不存在某一个轮不着地的问题，如果能够使四轮机器人也是三点着地，就能解决问题。

通过图 3-7 的结构就能够实现“三点着地”，将整个底盘分为两部分（图 3-7），每部分上装两个轮子，中间通过轴、轴承相连接（图 3-7）。实验表明，将其中一个轮抬高 100mm，仍能保证四轮同时着地，而实际比赛场地比较理想，完全能保证运动过程中的四轮着地。



1.底盘轴承座 2.平垫片 3.小圆螺母 4.轴承 5.顶丝 6.前底盘 7.轴承套 8.底盘轴 9.后底盘

图 3-7 连接

为简化结构，可以去掉轴承套和顶丝，但底盘轴承座轴承孔必须加工成阶梯孔，将会增大底盘轴承座加工难度，提高加工成本。

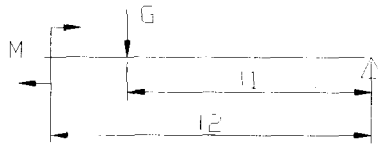


图 3-8 底盘轴受力分析

设计时底盘两部分大小不同，安装时大部分重量都安装在后底盘上，整个机器人重心投影也会落在后底盘上。因此后底盘就形成了以轮为支撑点，前部受扭矩的梁。其简化图如图 3-8。可建立如下平衡关系：

$$M = Gl_1$$

$G$  固定，安装完成后， $l_1$  也固定，一次加在底盘轴上的力

$$F = G l_1 / l_2$$

由上式可知，底盘轴所受力而大小跟其到后底盘轮间距离有关，距离  $l_2$  越大，值越小。因此底盘后部越大越好，这样设计还有利于后底盘上设备的安装。

### 3.4 电机选择

电机的选择对机械结构的影响明显,并且对于小车的运动灵活性起关键作用。

目前，电机还是选用直流伺服电机为宜，为了方便控制,可以选择高电压(24V) 低电流的电机，可

以选用的如 MAXON、Minimotor 等品牌。选择伺服电机的时候需要考虑功重比、外形尺寸、力矩等多重因素。

足球机器人体积有限，所选电机尺寸在满足功率要求的前提下应尽量小。MAXON 电机采用空心杯绕阻，效率高，体积小，输出力矩大，配以精密的行星齿轮减速箱能进一步缩小整体体积，提高输出力矩。机器人在运动过程中速度不必太高，一般取  $V = 1.5\text{m/s}$ ，在运动组合的过程中，由于机器人前进方向与电机轴夹角  $\alpha$  并不等于  $90^\circ$ ，而是在  $0^\circ - 90^\circ$  之间变化，因此轮缘的线速度  $v = V/\sin\alpha$ 。

选用 MAXON 的 RE 26 系列电机中额定电压为 24V 的，功率 18W，具体参数如下：

标称功率：18W

额定电压：24V

空载转速：10600 rad/min

堵转转矩：226 N·mm

空载电流：51 mA

堵转电流：10600 mA

最大连续电流：1440 mA

最大连续转矩：30.7 N·mm

电机的转速为 10600 rad/min

减速比  $I = 10600/337 = 31.5$

配以行星齿轮减速箱 GP 32 A 精确减速比为  $529/16 = 33$  的减速器

最大连续转矩：2.25 Nm

瞬间输出转矩：3.4 Nm

最大效率：75%

最终：

减速器输出转速：321 rad/min

最大连续输出转矩： $30.7 \times 33 \times 0.75 = 780 \text{ N} \cdot \text{mm}$

机器人的最大移动速度：2 m/s

机器人的最大加速度：1.5 m/s<sup>2</sup>

## 第四章 电机驱动板设计

足球机器人在运动的过程中不断的改变速度与转向，就需要对电机速度进行控制，目前直流电机有三种调速方式：调阻调速法、调压调速法和调磁调速法。

调阻调速法现在已基本不用，而调磁调速法都只适用于他励电动机，因此采用调压调速法。

这种调速方法具有以下一些特点：

- 1) 当供电电压连续变化时，转速也可以连续平滑的变化，即可实现无级调速，且调速范围较大。
- 2) 降低电压时，电动机的机械特性与固有特性相平行，斜率不变，即硬度不变，调速的稳定度高。
- 3) 调速时，因电枢电流与电压  $U$  无关，且磁通未变化，故电磁转矩  $T = K_m \Phi I_a$  不变，即为恒转矩调速。

4) 可以用调节电枢电压的办法来起动电动机，而不用其它起动设备。

### 4.1 电机驱动芯片

LMD18200（原理框图见图 4-1）是美国国家半导体公司（NS）生产的、用于电机驱动功率集成芯片。它将 4 个 DMOS 管构成的 H 桥及其控制逻辑电路均包含在 1 个 11 脚的 T-220 封装中，其功能：额定电 3A，峰值电流 6A；电源电压可高达 55V；功率晶体管导通电阻为  $0.3n\Omega$ ；TTL 和 CMOS 兼容的控制信号输入；内含防桥臂单侧直通电路；芯片过热报警输出和自动关断。

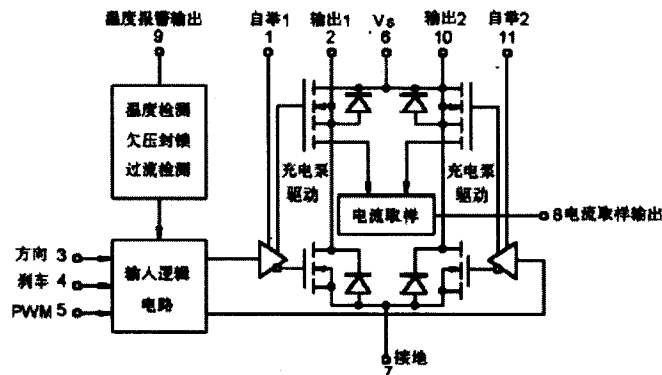


图 4-1 LMD18200 原理框图

#### 实际应用

如图 4-2，利用 LMD18200 搭的实际应用电路。

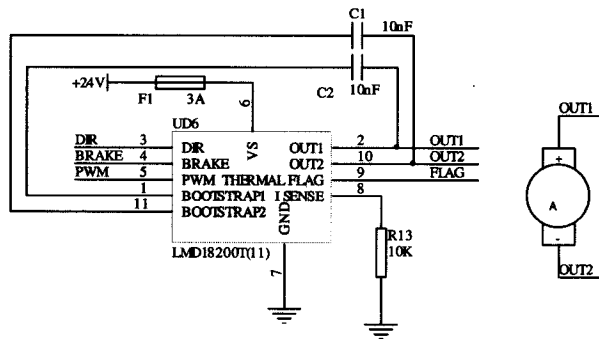


图 4-2 实际应用

### 4.2 电机驱动板电路

驱动板发出包括 PWM 信号、方向信号和 BRAKE 信号的控制信号。由于直流电机的驱动电路直接引入 24V 的电压，如果电路发生问题，电流会直接流入驱动板，对驱动板造成损害，所以所有的控制信号以及反馈信号必须由光电隔离芯片进行隔离，使电机驱动电路同电机控制板完全隔离。即使电路出现问题，也不会对整个系统造成很大损害。因此，驱动板上要加足够的光电隔离芯片。为满足驱动芯片的频率要求，选用高速光电隔离芯片 6N137，频率可达 10KHz，其连线图如图 4-3。

图中 RD9 可以不加或换为阻值较小的电阻，但导通电流较大，对电源冲击较大。尤其当数字信号波形较陡时，会造成相当大的尖峰脉冲噪声，而通常印刷电路板的分布电感会使地线吸收不了这种噪声，其峰值可达 100mV 以上，足以使模拟电路产生自激，A/D 不能正常工作，在可能的情况下，应尽

量取较大的值。

电机驱动一路电路原理图如图 4-4:

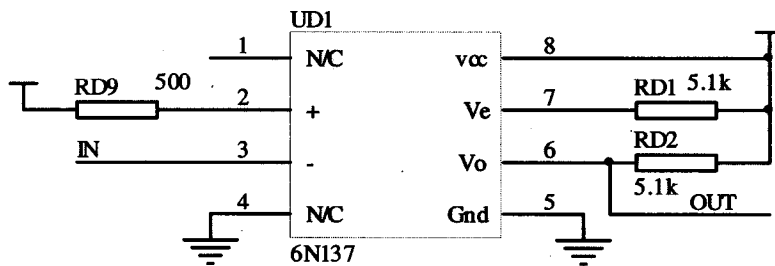


图 4-3 光电隔离芯片 6N137 原理图

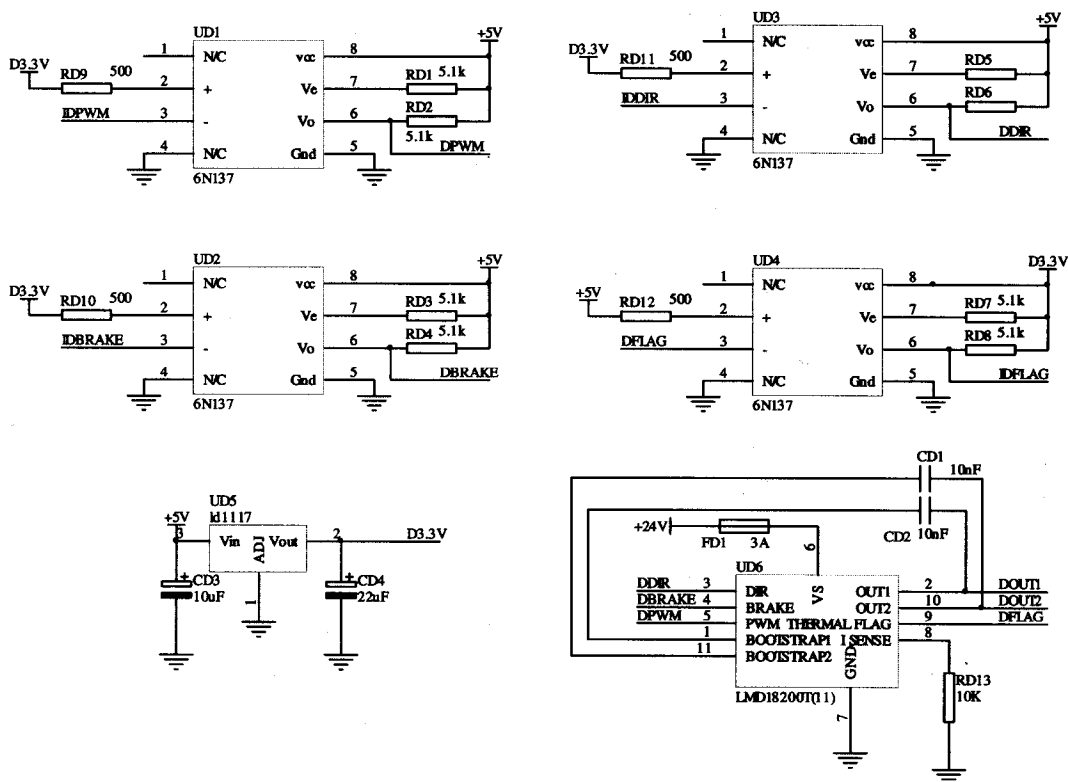


图 4-4 电机驱动板一路原理图

## 第四章 总结

在一个学期的毕业设计中，期间经过项目调研、方案设计、新技术查询等一系列工作，使我对所研究的课题有了更进一步的认识，使我对机械、电子、机器人等学科的知识有了一个全面的、系统的学习，所研究课题“中型足球机器人机电系统设计”是智能化的集中体现。随着科技的发展，人们的生活将向着自主化、智能化方向发展，足球机器人的研究中有很多知识都可以应用到其他领域，为改善人类的生存空间，提高人类生活品质有着非常重大的意义。

本学期的毕业设计，我所完成的主要工作是：

(1) 对于所研究的课题，进行调研，查阅了国内外有关的最新资料技术及发展趋势。

(2) 对“中型足球机器人”进行了机电系统整体的设计，其中包括：机器人整体结构设计、机器人底盘及运动机械部分设计、驱动电路设计、供电系统选型与设计。

(3) 对机器人底盘运动系统设计、简单部分加工、整体组装与调试。

(4) 期间对驱动电路进行了调试。其中包括：电路的设计，芯片的选型采购，电路板的设计与焊接，调试。

此次毕业设计使我受益匪浅，无论是理论水平的提高，还是实际的操作，都锻炼了我的能力。

## 参 考 文 献

- [1] 陈卫东,叶道年等. RoboCup 中型组机器人比赛规则(MSLR). 上海:上海交通大学自动化研究所, 2005.
- [2] 张建民. 机电一体化系统设计. 北京:高等教育出版社, 2001. 8.
- [3] 成大先. 机械设计手册. 北京:化学工业出版社, 2002.
- [4] 王磊等. 基于 LMD18200 组建的直流电机驱动器的设计. 仪器仪表装置, 2004 (1).
- [5] 林建伟. 电机驱动用 H 桥组件 LMD18200 的应用. 国外电子元器件. 1998 (9).
- [6] 王磊, 孙增圻. 足球机器人结构设计研究. 电子机械工程. 2004 (5).
- [7] 纪名刚等. 机械设计. 北京:高等教育出版社, 2001.
- [8] 昭晖等. 光电隔离器 6N137 的特性和应用. 电子技术, 1996. (2).
- [9] 洪炳熔等. 机器人足球比赛研究. 机器人, 2003 (7).
- [10] 李永新等. FIRA 与 ROBOCUP. 自动化与仪表, 2003 (6).
- [11] 李实等. 国际机器人足球比赛及其相关技术. 机器人, 2000 (9).
- [12] 谢云等. 全自主机器人足球系统的研究综述. 机器人, 2004 (9).
- [13] 李磊等. 移动机器人技术研究现状与未来. 机器人, 2002 (9).
- [14] 孙志永等. 数控与电控技术. 北京:机械工业出版社, 2002. 8.
- [15] 张庆双等. 电子元器件的选用与检测. 北京:机械工业出版社, 2002. 8.

# 基于 Pro/ENGINEER 的三环减速器设计与 软件开发研究

张子兵

( 机械工程系 机械设计制造及自动化专业; 指导老师: 黄小龙 )

**【摘要】** 本文研究了三环减速器的结构和工作原理, 并利用 VC ++ 6.0 开发环境和 Pro/ENGINEER 二次开发工具 Pro/TOOLKIT 进行了三环减速器的参数化二次开发。通过参数化建模的具体设计方法说明了运用 Pro/TOOLKIT 对三环减速器系列化生产的结构设计、装配、检测结构设计的合理性, 为其三维模型的建立提高效率, 从而缩短产品开发周期。

**【关键词】** 三环减速器; Pro/TOOLKIT 语言; 参数化设计; Pro/ENGINEER 二次开发

## 第一章 概述

三环减速器是一种常用的机械传动方式, 它的应用日益广泛, 并已经系列化生产。由于三环减速器设计计算较复杂, 部分零件属于标准件, 同时其非标准件的外型变化程度不大, 因而适合于参数化驱动设计及自动装配的实现。由此在 Pro/ENGINEER 环境下开发一个三环减速器参数化系统, 可以大大提高其设计效率和精度, 并且可以借助三维参数化软件快速生成三环减速器的三维模型。

### 1.1 三环减速器的特点及国内外研究现状

三环减速器具有结构紧凑、体积小、重量轻、承载能力大、使用寿命长、生产成本低等一系列优点。在行星传动减速方面, 国内外的专家学者做过很多的研究工作, 根据目前的资料来看, 国内外学者对三环减速器已经作了大量的研究, 特别是部分结构所做的结构分析较多, 三环减速器目前已越来越多地在冶金、起重运输、矿山、环保、建筑等各工业部门大力推广应用, 被列为国家重点推广项目。

### 1.2 Pro/ENGINEER 的参数化零件二次开发研究与实现

Pro/ENGINEER 软件以使用方便、参数化特征三维造型而著称, 但是由于它是通用的设计软件, 没有对特定的产品设计提供专用的开发模块, 不能有效利用以前的设计资源, 企业要想最大效率的发挥发挥 Pro/ENGINEER 的作用, 必须根据企业产品特征和状况对软件进行二次开发, 加入产品设计的专用模块。本课题从参数化零件二次开发的原理、实现流程和实现方法上进行三环减速器系统开发作一些研究, 实现三环减速器参数化设计系统。

### 1.3 课题意义、难点及任务

对于以传递运动为主的机械系统，设计其结构并建立三维模型，对于指导实践生产是有重大意义的。开发符合企业生产的智能化 CAD 系统，也避免了复杂的重复工作，提高了设计效率和质量。在这方面的研究必将成为今后研究的热点和重点，对这方面进行深入、系统的研究具有很大的现实意义。

本课题的难点在于如何通过控制参数关系来实现三环减速器三维模型的正确建立以及如何编写设计程序将各种数据在 Pro/ENGINEER 环境中完成参数画图从而使三维模型图形输出。

本课题针对基于 Pro/ENGINEER 的三环减速器设计与软件开发研究，主要从以下两个方面进行：

- (1) 实现三环减速器的结构设计；(2) 设计三环减速器参数化 CAD 系统；

## 第二章 三环减速器的结构设计

### 2.1 三环减速器的结构和工作原理

三环减速器基本型结构组成如图 2-1 所示，其中二根互相平行且各具有三个偏心的高速轴 1、2，动力通过其中任一轴或两轴同时进行传输，三片传动环板内齿轮 4 通过轴承 5 装在两根高速轴上，一根带输出齿的低速轴 2 与高速轴平行，各轴均通过轴承 5 支撑在机体 6 上。在环板内齿与低速轴外齿啮合运动条件下，形成了大范围传动比。三片内齿圈同时与低速轴齿轮啮合，啮合的瞬时相位差呈 120° 平均分配。其工作原理是当高速轴 1 作为输入轴，带动环板 4 的内齿轮做平面运动，靠内齿轮与低速轴 2 上的齿轮啮合实现了大的减速比。

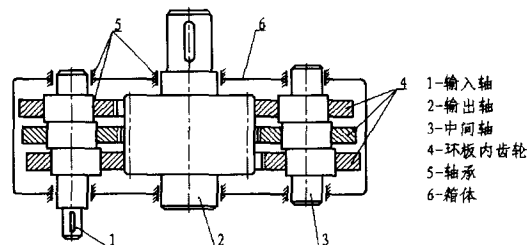


图 2-1 三环减速器机构示意图

三环减速器中三片齿轮同时与输出齿轮啮合，因高速轴与低速轴的回转方向相反，根据机械传动原理，其外啮合一齿差行星齿轮传动比的计算公式如下：

$$i = \frac{Z_1}{Z_2 - Z_1} \quad (2-1)$$

式中： $Z_1$ —外齿轮齿数； $Z_2$ —内齿轮齿数；负号表示回转方向相反。

由于三片内齿圈类似于三个行星轮，由外齿轮直接输出扭矩，故没有一般行星齿轮传动的行星架或少齿差传动的输出机构，既简化了机构，又保留了同轴线传动减速器大范围传动比和结构紧凑的特点。

### 2.2 三环减速器的参数设计

#### 2.2.1 内啮合变位系数的选取

变位系数的选择是三环减速器设计的关键问题之一。在满足各种约束的条件下，可以得到一个封

闭图。根据工程特点在封闭图内选择一对变位系数(内齿轮采用插齿工艺, 外齿轮采用滚齿工艺)。

封闭图的主要约束条件:

(1) 内、外齿轮的齿顶圆大于基圆:

$$(2) \text{ 重合度大于 } 1, \quad \varepsilon_a = \frac{1}{2\pi} [Z_1(\operatorname{tga}_{a1} - \operatorname{tga}') - Z_2(\operatorname{tga}_{a2} - \operatorname{tga}')] > 1 \quad (2-2)$$

(3) 内、外齿轮齿顶厚度大于 0.25 模数

$$r_a \frac{S'}{R} - 2r_a(\operatorname{inv}a_a - \operatorname{inv}a) > 0.25m \quad (2-3)$$

式中:  $S' = \frac{1}{2} \pi m \mu 2xm \tan a$  (内齿“-”, 外齿“+”)。

(4) 不产生齿廓重叠干涉

$$Z_1(\delta_1 + \operatorname{inv}a_{a1}) - Z_2(\operatorname{inv}a_{a2} + \delta_2) + (Z_2 - Z_1)\operatorname{inv}a' \quad (2-4)$$

$$\text{其中: } \cos \delta_1 = \frac{r_{a2}^2 - r_{a1}^1 - a'^2}{2r_{a1}a'}, \quad \cos \delta_2 = \frac{r_{a2}^2 - r_{a1}^1 + a'^2}{2r_{a2}a'}$$

(5) 外齿轮齿根不产生过渡曲线干涉

$$Z_2 \operatorname{tga}_{a2} - (Z_2 - Z_1) \operatorname{tga} > Z_1 \operatorname{tga} - \frac{4(h_{a0}^* - x_1)}{\sin a 2a}, \quad (h_{a0}^* \text{ 为滚刀的齿顶高系数}) \quad (2-5)$$

$$(6) \text{ 外齿轮加工时不根切} \quad x_1 > h_{a0}^* - \frac{1}{2} z_1 \sin^2 a \quad (2-6)$$

(7) 啮合时内齿轮齿根不产生过度曲线干涉

$$(Z_1 - Z_{c0}) \operatorname{tga}'_0 + Z_{c0} \operatorname{tga}_{a0} > (Z_2 - Z_1) \operatorname{tga}' + Z_1 \operatorname{tga}_{a1} \quad (2-7)$$

其中:  $a_{a1}$  — 外齿轮齿顶圆压力角;  $a_{a2}$  — 内齿轮齿顶圆压力角;  $a_{a0}$  — 插齿刀齿顶圆压力角;  $h_{a0}^*$  — 插齿刀齿顶高系数。

## 2.2.2 确定齿轮模数

在一般工作条件下的闭式齿轮传动, 主要失效形式是齿面点蚀和齿轮折断, 所以应进行齿面接触强度和轮齿弯曲疲劳强度计算。设计中应按单个环板(单个环板齿宽系数在 0.2 左右)进行, 按外齿轮和内齿轮做定轴传动来进行设计。

(1) 用接触疲劳强度公式进行计算

$$\sqrt{K_A K_V K_{Ha} K_{H\beta} \frac{z_d 2T_2 \times 10^6}{Z_2 \psi_d d_1^3}} Z_E Z_H Z_\varepsilon \leq \sigma_{H \lim} Z_N Z_L Z_V Z_R Z_w / S_H \quad (2-8)$$

$$\text{求得 } d_1 \text{ 后, } m_1 = \frac{d_1}{Z_1}$$

式中:  $K_A$  — 工况系数;  $K_V$  — 动载荷系数;  $K_{Ha}$  — 断面载荷系数;  $K_{H\beta}$  — 齿向载荷分配系数;  $T_2$  — 扭矩;  $\psi_d$  — 单个环板齿宽系数;  $d_1$  — 外齿轮分度圆直径;  $Z_E$  — 弹性系数;  $Z_H$  — 节点区域系数;  $Z_\varepsilon$  — 重合度系数;  $\sigma_{H \lim}$  — 齿面接触应力;  $Z_N$  — 接触疲劳寿命系数;  $Z_L$  — 润滑剂系数;  $Z_V$



—速度系数； $Z_R$ —光洁度系数； $Z_W$ —工作硬化系数； $S_H$ —接触强度安全系数； $m_1$ —按接触疲劳强度公式得出的齿轮模数。

(2) 用弯曲疲劳强度公式进行计算（按内齿轮）

$$K_A K_V K_{Fa} K_{F\beta} \frac{2T_2' \times 10^6}{\psi_d Z_1 Z_2 m_2^3} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_\epsilon \leq \delta_{Flim} Y_{ST} Y_{NT} Y_{\alpha IT} Y_{RelT} Y_x / S_F \quad (2-9)$$

式中： $K_{Fa}$ —断面载荷系数； $K_{F\beta}$ —齿向载荷分配系数； $m_2$ —按弯曲疲劳强度公式得出的齿轮模数。 $Y_{Fa}$ —齿型系数； $Y_{Sa}$ —应力修正系数； $Y_\epsilon$ —齿根弯曲疲劳极限； $\delta_{Flim}$ —齿根弯曲应力； $Y_{ST}$ —试验齿轮应力修正系数； $Y_{NT}$ —弯曲疲劳寿命系数； $Y_{\alpha IT}$ —圆角敏感系数； $Y_{RelT}$ —表面状况系数； $Y_x$ —尺寸系数； $S_F$ —安全系数。

将接触强度，弯曲强度计算的模数进行对比，去较大者作为设计用齿轮模数（若按齿轮进行弯曲强度计算时，将公式中的 $Z_1 Z_2$ 改为 $Z_1^2$ ）。

选取齿宽系数 0.2，结合上述各计算公式和设计软件，计算出所要设计的三环减速器个参数值如表 2-1 所示。

表 2-1 设计三环减速器相关参数 (mm)

模数 m	3	外齿轮齿数 $Z_1$	57	内齿轮齿数 $Z_2$	58
中心距 a	3.1	外齿轮变位系数 $x_1$	-0.6	内齿轮变位系数	-0.25
啮合角 $\alpha'$	40	外齿轮分度圆直径	171	内齿轮分度圆直径	87
插齿刀齿数 $Z_{co}$	20	外齿轮基圆直径 $d_{b1}$	150	内齿轮基圆直径	163.50
插齿刀齿顶高系数	1.25	外齿轮齿顶圆直径	177	内齿轮齿顶圆直	168
重合度 $\epsilon$	1.2727	外齿轮齿根圆直	162.75	内齿轮齿根圆直	181.5

### 2.3 小结

根据以上的理论分析，我们可以得出以下结论：

(1) 三环减速器传动，当单轴输入时，每一片行星轮在 $0^\circ$ 和 $180^\circ$ 时，是不能传递扭矩的，所以必须采用三片行星轮，当然也可以采用三片以上的行星轮。

(2) 由于该传动没有输出机构，而且转臂受力较小，所以该传动效率较高，可达92%~96%。

(3) 在传递载荷过程中，一部分齿轮变形要大于齿侧间隙，某些不啮合的齿轮对就会发生接触，这就增加了重合度，提高了齿轮传动装置的承载能力。

综上所述，该传动效率高，传动比大，承载能力好，是一种很值得推广的传动形式。

## 第三章 基于 Pro/ENGINEER 的三环减速器参数化系统开发与研究

### 3.1 三环减速器参数化系统设计思想和原理

对于同一系列三环减速器在结构上除一些主要参数不同外，其余的辅助参数大都相同。所以可以选择一个参数化的软件系统，通过对 Pro/ENGINEER 进行二次开发，使结构相似的同类零件可以通过输入不同的参数而快速得到，从而提高三环减速器设计和制造效率，同时使 CAD 系统的功能得到充分发挥。由此，“三环减速器设计系统”是在 Pro/ENGINEER 环境下开发的。PRO/ENGINEER 不仅提供强大的设计、分析、制造功能，还为用户提供了多种二次开发工具，利用 Pro/ENGINEER 二次开发工