

---

---

## 摘要

现在我们国家的经济发展迅速，随着工业化程度加深，之前使用的人工检测，效率很低，对于现在的生产速度实现不了，还有人工成本现在提高了，这些问题都需要及时解决。电脑对生产过程进行管理和控制，使得生产效率提升很多，以致如今很多人都开始研究这个问题。

本课题主要设计光学检测平台，利用光电检测技术对铁轨进行检测。其主要设计内容有对铁轨列车的发展，光电检测技术的发展等内容的研究；对检测平台的结构进行设计、计算与确定，对驱动部分的零件进行校核。还对平台的控制部分进行设计。

最后，绘制检测平台装配图及主要零部件图，对设计的零件进行二次优化，编写本设计说明书等。

**关键词** 光学检测；平台；铁轨；设计；控制

---

---

## Abstract

With the rapid growth of China's economy , the process of industrialization has been promoted. The low efficiency of traditional manual detection technology has completely failed to keep pace with production , and the rise of labor costs has become an urgent problem. The management of production and the control of production process can solve the problem of low efficiency to a certain extent, so more and more people pay attention to it.

This topic mainly designs optical inspection platform , and uses photoelectric detection technology to detect rail. The main contents of the design are the development of rail train and the development of photoelectric detection technology. The structure of the detection platform is designed, calculated and determined, and the parts of the driving part are checked. The control part of the platform is also designed.

Finally, the assembly drawing and main parts map of the inspection platform are drawn up, and the design parts are optimized for two times, and the design instructions are written.

**Keywords** optical inspection; platform; rail; design; control

---

---

# 目 录

摘要.....	I
Abstract.....	II
1 绪论.....	1
1.1 本课题选题的背景及意义.....	1
1.2 铁轨的概述.....	1
1.3 国内外铁轨列车的发展.....	1
1.4 光电检测技术的概述.....	3
1.5 光电检测技术的发展现状.....	3
1.6 光电检测技术的发展趋势.....	4
1.7 本课题研究的内容及技术路线.....	5
2 总体方案的选择与确定.....	7
2.1 设计任务的确定.....	7
2.2 铁轨光学检测平台参数要求.....	8
2.3 传动方案的选择、比较与确定.....	8
2.4 三相异步电动机的选择.....	11
3 主要零部件的设计与计算.....	14
3.1 联轴器的设计.....	14
3.2 蜗杆传动设计.....	15
3.2.1 选择蜗杆的传动类型.....	15
3.2.2 选择材料.....	15
3.2.3 蜗杆传动的受力分析.....	16
3.2.4 按齿根弯曲疲劳强度设计.....	16
3.2.5 蜗杆与蜗轮的主要参数与几何尺寸.....	17
3.2.6 精度等级公差和表面粗糙度的确定.....	17
3.2.7 热平衡核算.....	18
3.3 轴的设计与计算.....	18
3.3.1 前轮轴的设计与计算.....	18
3.3.2 后轮轴的设计与计算.....	20
3.4 滚动轴承的选择、计算与确定.....	23
3.4.1 前轮轴轴承选择、计算与确定.....	24
3.4.2 蜗杆轴轴承的选择、计算与确定.....	25
3.4.3 后轮轴轴承选择、计算与确定.....	26
4 其他零部件的设计与确定.....	28
4.1 车体的设计与确定.....	28

---

---

4.2 车轮的设计与确定.....	29
4.3 摄像头的选择.....	29
5 电气控制部分的设计.....	31
5.1 设计控制电路应遵循的原则.....	31
5.2 控制电路的设计步骤.....	31
5.3 控制电路原理的确定.....	32
结论.....	33
致谢.....	34
参考文献.....	35

---

---

# 1 绪论

## 1.1 本课题选题的背景及意义

现在铁路的公里数是一直在增加的，所以对铁路的钢轨进行检测的工作量是越来越大。要是轨道的面上有破坏，或者是轨道里面有破坏，那么有可能就会出现轨道断裂的情况，所以轨道在出现比较小的裂痕，还有疲劳损伤的时候就要及时的看出来，这样才能确保铁路安全运行。一般速度的铁路现在在我们国家已经超过了十二万公里，高铁的公里数也已经超过了两万，在这样的大环境下，对钢轨进行检修的工作量就更多了。在火车行驶的时候，钢轨会出现压溃，侧磨等等情况，如果铁路的轨道断裂了，这个事故是非常巨大的，对于乘车人来说会影响到他们的生命的。所以怎么样及时的将钢轨的问题检测出来是非常重要的，再加上现在铁路的公里数一直在加大，乘坐火车的人更多，这样对于检测系统来说显那么就更加重要了。现在对这个检测平台进行设计，一定要更加及时，精度更高，可靠性更好，更快，距离更远的进行检测，它的意义是非常重大的。

## 1.2 铁轨的概述

对于轨道来说，重要零部件是铁轨，这个部分对火车的所有重量来进行承受，不管是强度，还是状态对于火车运行时候的安全性，稳定性影响都很大。

### 1、铁轨有哪些作用

引导火车向着需要的方向进行运行，之后将火车轮的载荷还有冲击全部施加在轨道还有扣件的上面，在自动闭塞的地方，作为轨道电路来说，铁轨是其中的一个部分，可以对信号电流进行传输。在电气化这一段，铁轨还能够将电流的回流进行导线。

### 2、铁轨有哪些要求

铁轨是用来让火车车轮进行滚动的面，一定要不间断，并且非常平顺，阻力不大，并且还能够产生很大的粘着牵引力给火车，所以铁轨上面的面摩擦系数才是符合需要的，这样才能有摩擦力出现；铁轨会受到冲击，要想让火车的车轮对铁轨的冲击少一些，这样铁轨的破坏就没有那么多了，所以铁轨的可挠性是比较好的；在有很大的压力施加在铁轨的上面，铁轨不能出现破坏的情况，那么它的强度一定要很大。要是硬度很大的话，铁轨就会因为火车车轮有动力对它进行冲击，那么铁轨就会被弄坏了，铁轨的断裂韧性一定要好。

## 1.3 国内外铁轨列车的发展

### 1、法国高铁的发展过程

当今世界，最开始着手将火车速度提高的国家就是法国，在 1955 年的时候，法国的火车最高速度就达到了每小时三百三是以公里，日本将新干线建成之后，他们对高铁的研究起点就更高了，在 1976 年的时候，法国建立了 TGV，TGV 高速铁路系统的发展是很快的，不管是技术上，经济上都很厉害的，这四十年来，法国的高铁技术一直都是世界上最先进的。

---

---

在 1981 年的时候，法国拥有了他们国家的第一条高铁线路。在 1990 年的时候，TVG 的高铁运行速度达到每小时五百一十五点三公里，在 1990 年的时候，又建成了地中海高铁线路，火车在运行的时候，速度可以达到每小时三百五十公里，法国还拥有双层火车，时速可以达到每小时三百公里，现在已经研究出来速度更高的火车，时速可以达到每小时三百五十公里。

1993 年的时候，TVG 北方线开始运行，整个长度达到三百三十三公里。北方县有两个支线，是一个相当重要的国际路线。

## 2、德国高铁的发展历史

1986 年开始，德国对高铁开始进行研究，在 1986 年的时候德国将 ICE 开始进行运行，要想在整个欧洲进行使用，ICE 发展到第三代的时候，它不需要使用动力车头。将动力分散到火车的每一个车轮的上面，每一个车厢向前推动的时候力量都是一样的，耗费一样的时候，这个火车的稳定性，动能还有爬坡能力都是非常强大的。在这个技术基础上，德国人有研究了两种摆式火车，一种是 ICE-T，还有一种是 ICE-TD，这两种火车的主要发展目标是为了让火车在拐弯的时候保持车子的速度是平均的，能够很好的在弯道比较多的地方行走，这个火车上有他们专有的车体倾斜技术，这样就算是弯道再多，弯道再急，他在进行拐弯的时候车子的速度更快。

## 3、中国高铁的发展历史

中国的铁路发展到今天已经超过一百年了，新中国建立之后，到现在发展了五十多年，发展过程经历的困难是非常多的，在这段时间里面，我们国家的铁路从小到大，从少到多，从以前的弱变到现在的强大，虽然有失败，有坎坷，但是我们一直在吸取教训，一直在积累经验，所以才有了今天的规模。

这几十年，我们国家的铁路发展是有自己的变化的，也是有自己的发展的。在上世纪七十年代到八十年代这段时间里面，我们国家的铁路进到了更新的发展阶段。路线更新，方针更新的情况下，国家有政策进行引导，铁路行业的发展是相当快的，技术也是一直在进行提升的。

铁路要想适应现在这个发展这么快的社会，速度要提高才是最大的技术要求。不管是日本还是法国这些发达国家，世界上很多国家都开始对高铁进行建设。特别是上世纪九十年代到现在，很多欧洲国家开始建设高铁铁路，在亚洲，北美，日韩国家都开始对铁路进行大规模的研究，大规模的建设。

现在世界上拥有时速超过两百公里火车的国家有日本，有法国，现在对这种火车进行大规模建设的国家有中国，韩国，还有瑞士等等。

上世纪 1994 年的时候，我们国家在广州建成了我们国家第一条高铁线路，并且卖票进行运营，当时的火车时速达到每小时一百六十公里到两百公里，在技术上的提升是很大的，之后还进行大力的研究和开发，对于我们国家来说，这是研究高铁的起点。

在 2003 年的时候，我们国家从秦皇岛到沈阳的高铁开始正式卖票进行运行，在建设

---

---

了这条高铁线之后，运营一段时间之后，找到了一条适合我们国家实际情况的技术标准，还有建设的办法，管理的经验等等，希望到 2020 年的时候，我们国家能够建成四横四纵的铁路网，这样可以很好的提升我们国家的铁路运营状况，满足现代化发展的需要。

## 1.4 光电检测技术的概述

光电检测技术一种新的检测技术，将光学跟电子学结合在一起。他可以去的光的信息，对光还有电进行转换，测量光的有关信息，对检测来的信息进行智能化的处理，它的精度是很高的，速度也是很快的，距离远，并且容量很大，不需要进行接触，使用时间长，可以实现自动化和智能化。在我们国家的很多行业里面，发展也是很快的，并且使用的范围也很大，在光电信息技术行业里面它是技术最先进的。检测光学型号的时候可以通过电子技术来进行，传动，保存，还有控制，显示的时候都可以智能化进行。原则上来说，所有的光量还有具备光特征的非电量，都可以通过它检测出来。将需要检测的非电量进行转换，变位方便接收的光学信息，之后对它进行检测，之后放大电路，对它进行处理，之后就可以输送电的型号了。之后对噪声出现的原因进行分析，将它的规律找出来，这里面涉及到的专业知识是比较多的，电子的，信息的还有电脑的等等，这样就可以改造电路了，那么就可以对噪声下面的电信号来进行研究了，这样就可以知道非电量的状态是什么样了。检测微弱信号，是为了从很大的噪声里面将有用的信号提取出来。

光电检测技术所包含的东西是比较多的，有光电变换技术，有光信息获取技术，还有光信息测量技术等等。这个技术可以将光跟电的技术结合起来，进行测量，它的精度是很高的，速度也是很快的，距离也是相当的远的，测量的时候不需要进行接触等特点。

## 1.5 光电检测技术的发展现状

现在科技的发展很快，光电检测现在的精度是非常高的，有纳米级别的，还有亚纳米级别的；在很多行业里面使用的光电检测是越来越多，有小型的，速度非常快的光电检测系统。原来的检测是需要进行检测的，并且检测时候速度比较慢的，现在的检测技术不需要进行接触，并且速度还非常快，现在的发展方向是维空间三维检测，还有大空间三维检测技术；进行光电检测的时候闭环控制，那么光电检测跟光电控制就实现一体化了。在很多人们没有办法去到的地方进行检测。在很多行业里面，光电检测技术的影响是很大的，让我们的日常生活，工业生产，国防建设都有了很大的变化。现在光纤传感技术发展的很快，现在光纤气体传感器研究的人是很多的，并且用的地方也是很多的。它的灵敏度是很高的，反应起来速度也很快，防止燃烧防止爆炸，对电磁的干扰是没有任何影响的，就算是距离很长，还是可以进行输送，进行操控等好处，所以现在对于光电检测的方法研究的人是越来越多。

现在光纤光栅传感器用的很多，所以通过它对信号进行检测的系统发展也是很快的。跟之前用单色仪，光谱扫描仪来进行检测的系统进行对比，光纤光栅系统对信号进行检测

---

---

的时候，通过转换光电，也就是将检测到的光的信号转变为电压的信号，它的好处是非常多的，并且使用的检测仪器花的钱是比较少的，带到哪都非常方便，对于每时每刻都在变化的信号都可以进行检测，使用的地域范围更加广大等等好处。

在人类基因工程上，光电检测技术的使用也是比较大的，比方说通过光的信号是强还是弱来对 DNA 的型号进行检测，这样的检测 DNA 的系统，一样也是通过硅组成的，这个电路是集成的。在这个系统里面，DNA 的序列跟磁珠连在一起，在 DNA 原油的序列跟探针 DNA 混杂了之后，磁珠就会在载体的上面进行覆盖，这个时候暗区就出来了。不过载体下方的光电二极管阵列，这个时候就可以将杂交之后的 DNA 检测出来，对比反应之后的光的型号，可以看出来它的变化，将 DNA 杂交的输送出来。

新型抗干扰式光电检测头，使用的是优化之后的红外发射管工作时候的数据，还有用脉冲选通门对电路进行监控，这样对电气的干扰噪声就被压制住了，检测头对干扰的抵抗性就变那么就有更好了，并且工作时候的可靠性更好。有实验表示了，它是有效性是非常好的。并且这种光电检测头在很多体型非常大的机器上使用，在生产单位真正使用的时候：新的光电检测头的失误率是老的检测系统的千分之一，对电气的抗干扰性是非常好的，所以在工业上来看，它的可靠性是非常高的。

现在科技发展的这么快，无损检测技术是一种更新的技术，这个跟原来的物理化学分析办法是不一样的，它使用的是物理的办法来进行分析，比方说光学，电学等等，对于产品是不会有破坏的，不仅可以知道产品的有关信息，还不会损伤产品，将无损检测速度跟原来使用的检测办法进行对比，它的速度还是更快的，并且可以从外表就可以知道产品里面的相关信息。现在电脑技术发展的很快，所以化学计量学的发展也是很快的，这样一来在工业还有农业中，无损检测技术的发展使用的范围是更大的。无损光电检测按照需要测量的对象的特征来进行检测，有对光的反应，对声的反应，对热的反应，它的技术有红外光谱检测技术、拉曼光谱检测技术等。按照不一样的使用对象，还有使用的地方来进行划分，无损光电检测技术和相应的检测装置可以进行检测。

现在科技发展的很快，很多更新的检测办法一直在被研发出来的。

## 1.6 光电检测技术的发展趋势

现在全球的竞争是非常激烈的，现在每一天技术都在进步，检测在我们国家的很多行业里面，起的作用都是很大的，不管是进行研究，还是对于产品的质量，还有控制自动化上，都要进行检测，通过现代化的光电子检测技术，不需要进行检测，产品没有损耗，就算是距离再远，对干扰抵抗能力很高，不会受到环境的影响，检测的时候速度是很快的，精度也是非常高的这些好处，在现在的检测行业这个主要的发展方向。光电检测技术的发展方向是精度更高，更加智能化，数字化，自动化。什么是精度更高，也就是说检测的精度是更高的，将来纳米精度，还有亚纳米精度出现的会越来越多的；所谓智能化，说的检测系统更加智能化；所谓数字化，说的是检测出来的结果用数字表示出来，这样就可以

---

---

让光电检测跟光电控制实现一体化；所谓多元化，说的就是光电检测仪器在进行检测的时候综合化更强，参数更多，测量的维度更多等等，还能在很多人们没有办法进到的地方去进行测量，比方说维空间，还有巨大的空间，对他们进行三维检测；所谓自动化，说的就是进行检测的时候可以自动化进行，不需要进行接触，在很快的速度下就可以将结果测量出来，检测的状态原来是静态的，现在是动态的。

光电检测系统的基础就是激光器，这个就是它的发展方向。现在精密度更高，功能性也更加的全面，现在对于原来使用的又贵又复杂的检测方法已经不再使用了。因为激光技术发展的很快，成本也慢慢降低了，所以现在很多光电使用者，最先选用的就是激光光电检测。对于光电检测技术来说，还有一个重要的发展方向就是激光器为主的检测系统。这个技术将激光脉冲进行使用，它的能量是很高的，在跟检测的物品的面进行接触的时候，在很快的时间里面就会产生热作用，在固体的面上会有热特性区出现，之后通过这一点小小的热，让物料里面进行很快的扩散，这样就会有热应力出现，之后因为有热应力，这样就会有超声波出现了。跟一般的超声检测办法来进行对比，激光超声使用的时候距离是非常远的，在温度很高的地方，腐蚀性很强的地方，或者是辐射很大的地方都是可以使用的，在进行扫描的时候速度是非常快的，就算是需要扫描的产品行走的速度很快，他还是可以在线进行检测的；激光超声进行检测的时候，有盲区，但是盲区很小，比一百微米还要小，可以对比较薄的物品进行测量。激光超声的频率带是非常宽的，比一般使用的换能器还要宽的多，可以对一些比较细小的裂纹，缺陷来进行检测；产品的面要是形状非常复杂的，或者是空间非常小的，比方说焊接在最下面的管道等等，在对他们进行观测量的时候可以用激光超声来进行；这种激光超声检测对于空间的分辨率是很高的，可以对出现缺陷的地方进行准确的定位，还能够把缺陷的大小量出来。

还有一个发展方向就是智能光电检测系统，它所包含的内容有对智能信号进行处理的系统，有光电传感系统，还有接口部分等等。因为现在使用的智能光电检测系统对于周围环境的适应力是很强的，测量的范围很大，精度也很高，特别是对于人工智能这一块强化了很多，及时的对于噪声，温度，还有电压的改变进行修改，还有操作界面是非常好的，这样一来对于操作程序上是简单了不少的，对于数值的处理效率是提高了很多，并且分析的时候效率也是很高的。

## 1.7 本课题研究的内容及技术路线

这篇论文研究的是铁轨上使用的光学检测平台，要对整个系统来进行设计，通过查看资料，将理论跟时间进行结合，它的技术路线是：

- 1、查找资料，将小车的总设计方案制定下来，将小车的性能弄清楚，按照平台承受在载荷，还有速率的大小，再加上现在已经使用的机器，还有对铁路进行保养的时候需要注意的问题，对它进行校核，将数据算出来，确定类型。

- 2、对有设计经验的老师傅进行学习，看小车在进行工作的时候会有哪些问题出现，

---

对这些问题怎样去进行解决，将自己的方案告诉老师，看这个方案是不是合理，是不是能够使用。

3、对于承受能力，工作时候的稳定性，预防震动的性能，还有前进时候的速度等进行了解，按照机械要求将这个车子的物理结构设计处理，要注意设计出来的这个系统可以用在现实里面来，并且要方便一些，它的模型要漂亮，并且轻一些，用起来要便利等。

4、将检测系统的传动部分设计出来，将控制电路设计出来，用 CAD 将模型建立出来。

## 2 总体方案的选择与确定

### 2.1 设计任务的确定

论文里面设计的这个平台能够对火车钢轨进行实时的检测，有什么问题能够及时的发现，铁轨光学检测平台一定要及时，精度高，可靠性好，非常方便，距离长，并且能够定量进行检测。整体效果图如下：

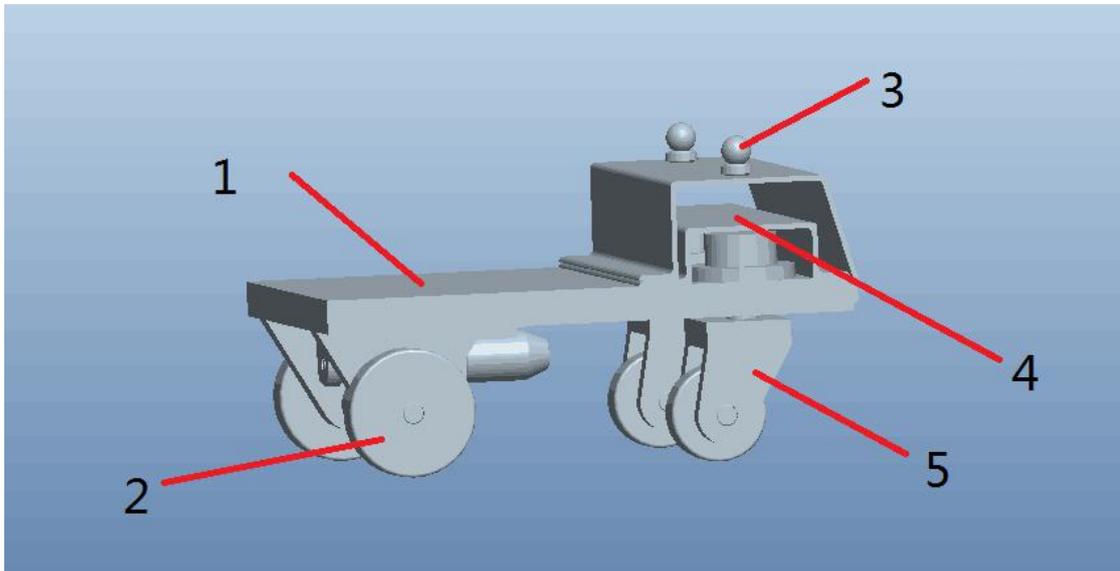


图 2-1 光学检测平台效果图一

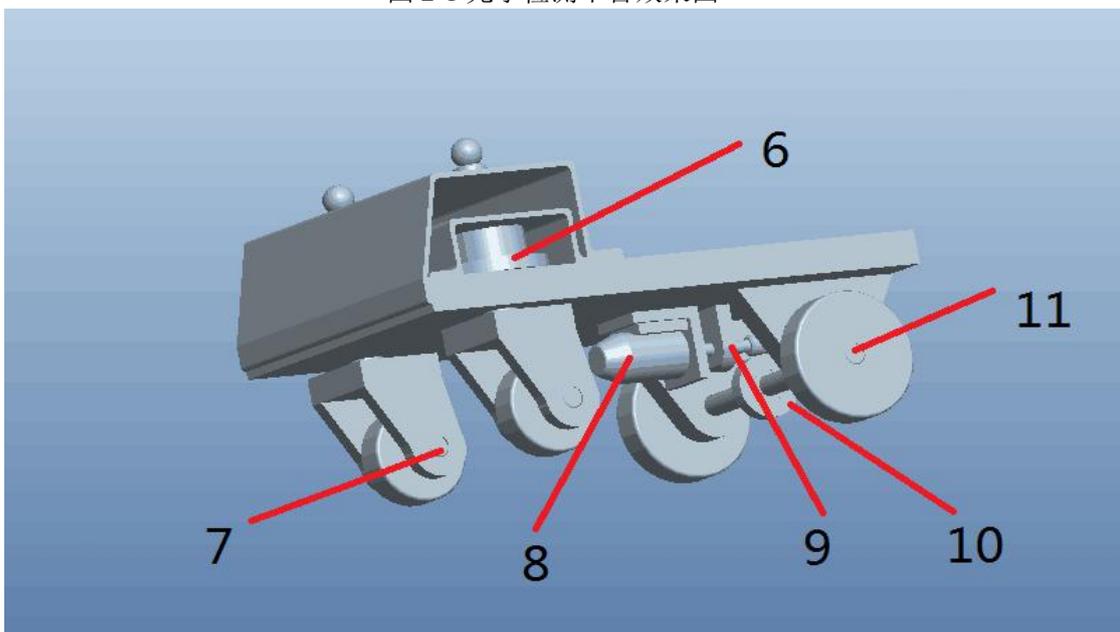


图 2-2 铁轨光学检测平台效果图二

表 2-1 铁轨光学检测平台部件及功能表

	部件	功能
1	车体	抵抗压力，小车的大体轮廓
2	后轮	提供车体运行与平稳
3	智能摄像头	对物体进行检测
4	线路板	使小车能够运行
5	前轮支架	支撑前轮
6	支架轴	起支撑作用
7	前轮轴	省力和改变用力方向
8	电动机	把电能转换成机械能，给小车提供动力
9	蜗杆轴	支撑转动件回转并传递扭矩
10	轴承	支撑机械旋转体
11	后轮轴	省力和改变用力方向

## 2.2 铁轨光学检测平台参数要求

表 2-2 铁轨光学检测平台参数要求

铁轨光学检测平台参数要求	
参考尺寸	180mm，平台车轮两轮间距与车体尺寸必须基于轨距设计
人员配置	本次设计采用无人操作；
重量	设备以轻量化、模块化为核心思想，设备总重量不超过 13.5Kg，工作人员可以在 5 分钟内完成上下线的组装和拆卸
走行操控	无损检测系统与走行操控为运行，走行可以进行；
最高走行速度	≤100mm/s；
续航能力	连续运行距离不少于 40Km 或者连续运行时间不少于 4h；
承重	≤21.5Kg；
偏载与静态减载率	无偏载，静态减载率≤0.65；
走行平台强度	强度满足承载要求，挠跨比≤1/150；
走行轮参数	尺寸符合 TB/T 449 要求。同一车轮垂直方向直径差<0.5mm，同一轮对的两车轮直径差<0.5mm；
走行轮接触材料要求	走行轮接触材料采用聚氨酯制作，正常运行或紧急制动时无明显擦伤，材料性能应满足各项检验要求，走行轮采用绝缘设计，绝缘阻值>1MΩ；
走行车体尺寸要求	车体宽度<2m
走行启动及制动 驻车要求	行车制动与驻车制动装置独立。启动要求在 33%上坡道时可从静止状态实现坡起。制动要求在钢轨踏面淋水下行车制动距离<20m，要求驻车制动距离<30m。在钢轨踏面淋水的 33%的坡道能够稳定驻车；
电器设备防水等级	操作台、电控箱等电器设备外壳防水等级达到 IP55 级；

表 2-3 铁轨光学检测平台探轮系统整体要求

铁轨光学检测平台探轮系统整体要求	
数据处理能力 检测 稳定性	具备 A 型、B 型扫查探伤数据实时处理、显示、标记、存储回放功能。具备闸门内 A 型扫查信号数据输出存储功能；运行过程中可应对过弯，超高，车辆蛇形运动等情况能获得较为稳定的检测结果

## 2.3 传动方案的选择、比较与确定

方案一：结构是四个轮子的。检测小车用的是前面跟后面两个轮子，用一个电动机，用两个锥齿轮减速器，进行二级减速，这样就可以确保两个轮子在动作的时候，速度是一样的，并且进行传送的时候是非常稳定的。因为要想减低速度，就要通过齿轮来进行，在进行传动的时候，效率是很高的。

圆锥齿轮的类型有直齿的，有斜齿的，还有曲尺的等等，不过因为生产的时候使用直齿圆锥齿轮，对它进行测量，进行安装的时候是便利的，生产花费的钱是比较少的，所以使用的是非常多的。曲齿圆锥齿轮因为在进行传动的时候，稳定性是非常高的，承受能力也是比较强的，所以在很多速度快，载荷比较大的传动上使用。比方说车子里面，拖拉机里面的差速齿轮装置等。

可以不管是哪两个轴里面的动力进行传送，传动的时候非常稳定，可靠性高，效率也是很高的，使用时间长，构造非常紧凑，传送的时候速度很快，功率也很大。不过生产的时候使用的机器是专门的，生产精度高，安装精度也高，距离远的时候不能进行传送。

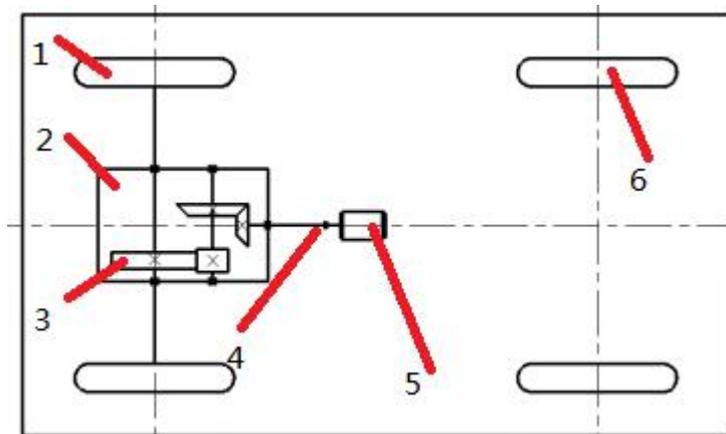


图 2-3 传动方案一

表 2-4

序号	名称
1	后走行轮
2	减速器
3	齿轮
4	联轴器
5	电动机
6	前走行轮

方案二：它的结构是四轮的。用来进行检测的小车，它的电机是同一个，减速的时候用的是蜗轮蜗杆。使用涡轮轴，还有蜗杆轴，因为传动用的是蜗轮蜗杆，在垂直方向上的轴起的作用有两个：一个对电动机还有从动机安装的地方也变那么就有更小，另外使用起来更加便利更加合理。通过减速器之后，三相异步电机带动后轮进行动作。在图纸 2-2 里面就是传动部分。传动的时候使用蜗轮蜗杆，下面对它进行分析：

1、好的地方：

- (1) 一级速比是很大的

圆柱齿轮传动，还有圆锥齿轮传动，他们一级速度正常最大数值在十分之一的样子，不过加工蜗轮蜗杆传动还是比较简单的，速度比在 1/70-1/100。蜗轮蜗杆传动减速器的体积是比较小的，速比是非常大的。图纸里面将蜗轮蜗杆减速器跟斜齿轮减速器进行高对比，他们进行传送的功率是三十，输入轴转动的速度是每分钟一千两百转。

(2) 转动的时候噪声比较小，震动也没有多大

圆柱齿轮跟圆锥齿轮在中心点相合，他们的接触是滚动接触，蜗轮的接触方式用的是滑动的，所以震动不多，噪声也不多。所以，电动扶梯，移动人行道，还有最近这些年避免公害的机器，减速器用的都是蜗轮蜗杆的。

(3) 轴可以垂直布局，并且不会相互相交在一起

蜗轮轴，还有蜗杆轴的结构，可以让原动机还有从动机在进行安装的时候，占据的面积小，并且还非常便利，非常合理。

(4) 防止出现反过来转

蜗杆的导程角比摩擦角还要小，从理论上来说，蜗轮带动蜗杆，所以蜗杆传动部分要设计一个自锁装置。不过，真正的齿面摩擦系数，因为有振动，所以静摩擦系数就变成动摩擦系数，所以有的时候的转动是很慢的，这样要想自锁是非常难的。

2、不好的地方：

(1) 效率不高：

对比蜗轮蜗杆传动，跟别的形式 N 轮传动进行对比，在动力进行传送的时候，齿面摩擦的损耗是很大的，并且效率不高。现在，因为生产的办法进行了改良，所以跟理论上的数据靠的是比较近的，有的蜗轮蜗杆进行传动的时候速比在 1/5，蜗杆转动的速度是 180 转/分下，传动效率可以高到 98%。不过中心距是一样的，要是速比的数值是 1/70，蜗杆转动的速度是 200 转/分，传动效率只能达到 60%。

(2) 齿轮的表面容易有粘附出现：

渐开线齿形圆柱齿轮，如果有载荷作用在齿轮面上，因为有的地方会出现形状的改变，轮齿的接触就变那么就有好了，不过蜗轮蜗杆进行传动的时候，齿轮接触之后变那么就有不好了，换一句话说就是齿轮面上的油膜有可能出现破裂，那么齿轮上就会有粘附出现。。所以，要对在进行组装时候产生的空档进行调整。

(3) 以前的成本是非常高的，蜗轮蜗杆的原材料用的是铜合金，因为生产用的是专用的切齿机床，在进行生产的时候效率不高，所以说在对齿轮的面进行修正的时候，通过人工来进行，所以很浪费时间。

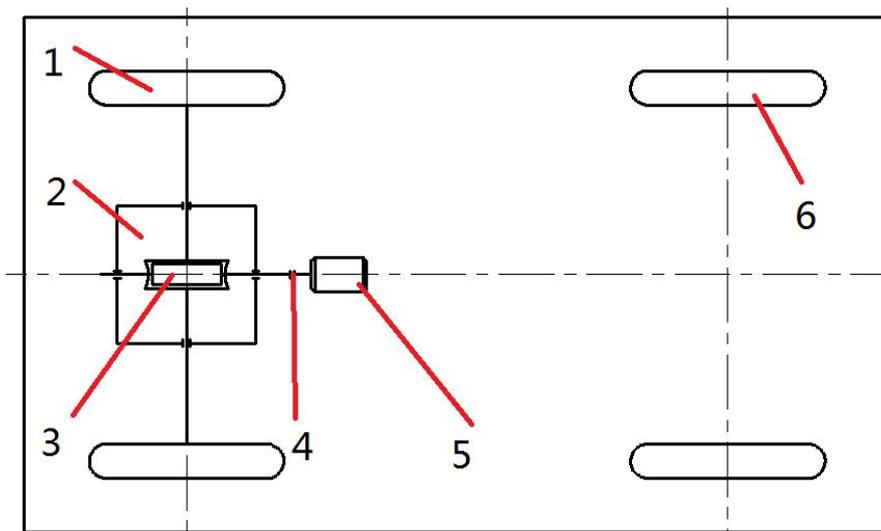


图 2-4 传动方案二

表 2-5

序号	名称
1	后走行轮
2	减速器
3	蜗轮蜗杆
4	联轴器
5	电动机
6	前走行轮

第一个方案里面，减速用的是两级锥齿轮，在降低速度的时候是非常稳定的，传送的时候效率也是非常高的，并且损耗的能量是比较小的，但是占据的空间是非常大的，并且减速比是很小的。在第二个方案里面，减速用的是涡轮蜗杆，它的减速比是很大的，并且占据的空间是比较小的。一样的材料，方案一里面减轻的质量是很多的，在工作的时候，第二个方案里面比第一个方案里面，噪声是小很多的。对比之后，确定用第二个方案。

## 2.4 三相异步电动机的选择

设定这个小车的质量是  $m_1 = 13.5\text{kg}$ ，载荷最大的时候质量是  $m_2 = 35\text{kg}$ ，它在工作时候的速度是  $100\text{mm/s}$ ，那么车轮在转动的时候速度是：

$$n = \frac{1000v}{\pi d} = \frac{1000 \times 6}{3.14 \times 140} \approx 22.75\text{r/min} \quad (2-1)$$

将电机转动的速度算出来

确定蜗轮-蜗杆的减速比  $i=62$

$$n_{\text{电}} = in = 62 \times 22.75 = 1410.5\text{r/min} \quad (2-2)$$

小车在工作时候功率的最小值

$$P_w = FV = m_{\text{总}}gV = 48.5 \times 10 \times 0.1 = 48\text{w} \quad (2-3)$$

电动机需要的功率如下：

$$P_d = \frac{P_w}{\eta} \quad (w) \quad (2-4)$$

传动部分效率的总数是  $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3^2$

联轴器在进行传动的时候效率大小是  $\eta_1 = 0.99$ ，涡轮蜗杆进行传动的时候效率大小是  $\eta_2 = 0.66$ ，深沟球轴承进行传动的时候效率大小是  $\eta_3 = 0.98$

$$\eta = 0.99 \times 0.66 \times 0.98^2 = 0.6275$$

那么就可以知道这个电动机需要的功率大小是

$$P_d = \frac{P_w}{1000\eta} = \frac{48}{0.6275 \times 1000} = 0.077 \text{kw} \quad (2-5)$$

要想电动机选的对，那么它的安全性要好，经济性要高，工作时候可靠性好；要是电机选的不当，不好的情况是会有浪费，严重的话机器都被烧掉了。在选电机的时候要注意它的一些因素，比方说电压，频率，转动速度等等电机在选择的时候不光要从这些方面来看，还要看它的功率，看他的速度这些关键性的因素，所以，在这说一下怎么确定电动机的。

在选电机的时候，按照复合来进行，这里要注意工作条件，负荷，还有生产流程等等，对下面几点的要求都要能够满足。

#### 1、力学性能

机械性能必须是电机的机械性跟工作性配合的好，机器在工作的时候稳定性要好，对于工作时候的起动转矩，最大转矩都要能够对于论文需要是能够符合的。

#### 2、功率

功率是多大，按照生产时候的机械功率来确定，在对电动机的额定载荷进行确定的时候，防止出现小马拉大车的情况，防止造成一些没有必要的浪费。

#### 3、速度

电机的转动速度是多少，对于机械要求要能够满足，比方说最大速度是多少，调整速度的性能是不是满足机器工作时候的要求。

#### 4、运行经济

对这一点考虑的时候，要从整个电机驱动系统所耗费的能源，以及电动机花费的钱来进行考虑，按照电动机的使用效率不一样，有的用的时间是比较短的，在用的时候效率不高，电机的效率是比较差的，总能耗的变化不是太大的，所以电机的效率不是我们考虑的重点，不过有的电器在选电机的时候，还是要注意效率的，比方说空调，循环泵等等，效率高了，总能耗才会降低。

#### 5、价格低廉

对于机器的工作要求都满足的时候，电机的结构不能复杂，工作时候可靠性高，价格不能太高的机器。这篇文章里面，电机工作的环境是比较干净的，两板倒，负荷也不是很

大，并且电源是三相电。那么电机的电压是 380v 的，电动机的系列是 Y 的，三相电的龙型异步电动机。

其主要技术参数如下：

型号：YS5612

电压：380V

功率：0.01kW

同步转速：1420r/min

频率：50HZ

效率：68%

功率因数：0.92

## 3 主要零部件的设计与计算

### 3.1 联轴器的设计

联轴器是用来把不一样的装置里面的主动轴，还有从动轴连接起来的，这样就可以一起转动，并且能够对动力进行传送。联轴器在轴的两头进行安装，一般连接的时候通过键来进行，联轴器可以对两个轴中间的偏差进行补偿，这种偏差是因为加工，或者安装时候不准确，工作时候出现的形状的改变引起的。

现在用的比较多的联轴器已经标准化了，只需要按照需要将联轴器的型号还有大小确定下来。有的时候有需要的，还要校核它比较薄弱的地方的载荷，转动速度很高的时候，还要对它外边的离心力，还有弹性零件形状的改变进行校核。

按照工作时候不一样的状况，联轴器需要具备的功能：

#### 1、可移性

所谓可移性，就是对两个回转零件的位置移动进行补偿。需要连接的零部件在进行加工还有安装时候的偏差，还有工作时候温度的改变等，对于可移性都是有所要求的。

#### 2、缓冲性

因为有载荷，在进行启动的时候，或者是载荷有改变的时候，联轴器可以进行缓冲，将振动变那么就有更低的弹性零部件，这样就可以确保原动机，还有工作零部件不会被破坏。

3、安全性更好，更加可靠，强度能够符合要求，并且使用时间满足需要。

4、构造不能复杂，拆还有装的时候都要方便。

在确定联轴器的种类的时候，要注意下面几点：

(1) 要进行传送的转矩有多大，是什么性质，对于缓冲还有振动都有哪些需要，并且是不是会出现共振等。

(2) 因为加工还有装配的时候会有偏差，轴上会有载荷施加，还有因为热量出现形状的改变，并且零部件进行相对动作这样两个轴的轴线也会出现位置的移动。

(3) 联轴器外部的大小，还有怎么样进行安装，要想安装，调整还有维修的时候空间够大。联轴器比较大的，轴在轴方向上不能进行移动，这个时候是可以进行拆装。

另外还要注意在什么地方工作，使用时间，还有润滑，密封的时候要哪些要求，再加上要知道每一种联轴器的特征，将符合论文的联轴器确定下来。

因为电动机轴的直径是八毫米，输出轴这个地方进行削平了，在跟蜗杆轴进行连接的地方，轴的直径大小是 12 毫米，3-1 图纸里面就是它的结构。

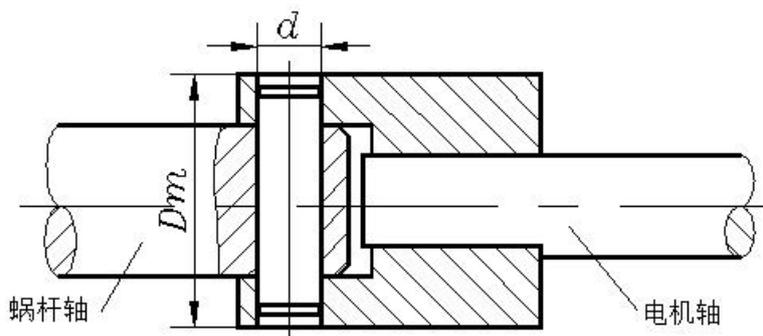


图 3-1 联轴器机构图

联轴器用的是安全的，按照剪切强度来算销钉的直径：

$$d = \sqrt{\frac{8KT}{\pi D_m Z [\tau]}} \quad (3-1)$$

销钉的原材料用的是 45 号钢，查看碳素钢的有关材料，对它进行调质处理，销钉的直径要小于两百毫米。

$$\sigma_b = 637 \text{MPa}, \sigma_s = 353 \text{MPa}, \delta_s = 17\%, \Psi = 35\%$$

$$\alpha_k = 0.39 \text{MJ/m}^2$$

硬度可以达到 217~255HBS

将销钉的许用切应力算出来： $[\tau] = (0.7 \sim 0.8)\sigma_b = 0.75 \times 637 = 477.75 \text{MPa}$

载限制系数 k 值，查看表格确定是 k=1.6

$$T = 0.321 \text{N}\cdot\text{m}$$

$$d = \sqrt{\frac{8 \times 1.6 \times 578}{3.14 \times 12 \times 1 \times 477.75}} \approx 0.646 \text{mm}$$

确定 d=5mm 对于剪切强度的需要是能够满足需要的。

## 3.2 蜗杆传动设计

### 3.2.1 选择蜗杆的传动类型

查看国家标准，蜗杆用的是渐开线的。

### 3.2.2 选择材料

原材料静强度，疲劳强度都要对于论文需要是能够符合的，并且韧性，耐磨程度，抗腐蚀性都要比较高。只有这些性能方面的要求都满足了之后，还要注意这个材料的工艺是不是简单，还有性价比是不是高等等。生产轴用的原材料有碳钢，还有合金钢。

碳钢比较便宜，感应应力的能力比较低，要对它进行热处理，这样材质的性能也就变那么就有更好了，所以现在碳钢用的是比较多的，用的最多的就是 45 号钢。

合金钢跟碳钢对比，机械性更好，淬硬性也更好，有的轴传动的动力是非常大的，另外对它的体积，质量都要弄的小一点，轴颈的耐磨度要更大，在一些温度比较高，或者是非常低的地方，用的材料就要是合金钢。

综合考虑了之后，载荷的布局是什么样，机器用的是什，经济性的要求是什么。

蜗杆的原材料一定要硬度很高，耐磨性也要求高，所以使用的原材料是 40Cr。蜗轮的原材料是灰铸铁 HT200，铸造的时候通过金属模来进行的。

### 3.2.3 蜗杆传动的受力分析

在蜗轮上进行作用的转矩是  $T_2$

$Z=1$ ，将效率估算出来  $\eta=0.7$ ，那么

$$T_2 = 9.55 \times 10^6 \frac{P_2}{n_2} = 9.55 \times 10^6 \times \frac{P\eta}{n_1/i_{12}} = 9.55 \times 10^6 \times \frac{0.08 \times 0.7}{22.75} = 23508 N \cdot mm \quad (3-2)$$

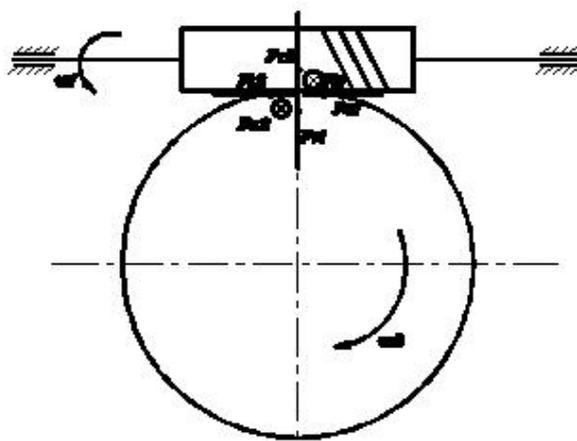


图 3-2 蜗轮-蜗杆受力分析

算出来每一个力的大小

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2 \times 587}{18} \approx 65.22 N$$

$$F_{a1} = F_{t2} = \frac{2T_2}{d_2} = \frac{2 \times 23508}{77.5} \approx 606.66 N$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \tan 20^\circ = 606.66 \times \tan 20^\circ \approx 220.8 N$$

### 3.2.4 按齿根弯曲疲劳强度设计

按照设计开式蜗杆传动的要求，设计齿根的弯曲疲劳强度。基本上只会在蜗轮齿数比较多，或者是开式传动的时候，蜗轮轮齿才会出现失效的情况，这个时候强度都是不对于论文需要是能够符合的的。

用下面的式子将弯曲疲劳强度算出来

$$m^2 d_1 \geq \frac{1.53 K T_2}{z_2 [\sigma_F]} Y_{Fa2} \cdot Y_\beta \quad (3-3)$$

将载荷系数  $K$  确定下来

因为在工作的时候，载荷没有太大的变化，所以确定载荷分布不均匀的系数  $K_\beta=1$ ，在论文里面确定使用系数  $K_A=1.15$ 。因为转动的速度是比较慢的，冲击小，确定动载系数的大小是  $K_V=1.1$ ，那么

$$K = K_A \cdot K_\beta \cdot K_V = 1.15 \times 1 \times 1.1 = 1.265$$

蜗轮的基本许用弯曲应力  $[\sigma_F] = 34 \text{ MPa}$

如果说  $z_2 = 62 \gamma = 3^\circ 10' 48''$ ，那就可以算出来蜗轮的当量齿数

$$z_{V2} = \frac{z_2}{\cos^3 \gamma} = \frac{62}{\cos^3 3^\circ 10' 48''} \approx 62.29$$

已经知道  $x_2 = 0$ ， $z_{V2} = 62.29$ ，那么就可以知道齿形系数的大小  $Y_{Fa2} = 2.3$

螺旋角的系数大小是  $Y_\beta = 1 - \frac{\gamma}{140^\circ} = 1 - \frac{3^\circ 10' 48''}{140^\circ} = 0.9773$

$$m^2 d_1 \geq \frac{1.53 \times 1.265 \times 23508}{62 \times 48} \times 2.3 \times 0.9773 = 34.37 \text{ mm}^3$$

中心距的大小  $a = 50 \text{ mm}$ ，模数  $m = 1.25 \text{ mm}$ ，分度圆直径  $d_1 = 22.4 \text{ mm}$ ， $m^2 d_1 = 35 \text{ mm}^3$

蜗杆有多少头  $z_1 = 1$ ，直径的系数大小 17.92，分度圆导程角  $\gamma = 3^\circ 11' 38''$

蜗轮齿数  $z_2 = 62$ ，变位系数  $x_2 = +0.04$

### 3.2.5 蜗杆与蜗轮的主要参数与几何尺寸

#### 1、蜗杆

轴方向想齿轮的间距  $p_a = \pi m = 3.14 \times 1.25 = 3.925 \text{ mm}$

齿轮顶部圆的直径  $d_{a1} = d_1 + 2ha^* m = 22.4 + 2 \times 1 \times 1.25 = 24.9 \text{ mm}$

齿轮根部圆的直径  $d_{f1} = d_1 - 2(ha^* m + c) = 22.4 - 2 \times (1 \times 1.25 + 0.25 \times 1.25) = 19.275 \text{ mm}$

蜗杆轴方向上齿轮的厚度  $s_a = \frac{1}{2} \pi m = \frac{1}{2} \times 3.14 \times 1.25 = 1.9625 \text{ mm}$

#### 2、蜗轮

将蜗轮的传动比算出来  $i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{62}{1} = 62$

将蜗轮的分度圆直径算出来  $d_2 = m z_2 = 1.25 \times 62 = 77.5 \text{ mm}$

将蜗轮喉这个地方的圆直径算出

$d_{a2} = d_2 + 2m(ha^* + x_2) = 77.5 + 2 \times 1.25 \times (1 + 0.04) = 80.1 \text{ mm}$

算出来蜗轮齿轮根部的圆的直径

$d_{f2} = d_2 - 2m(ha^* - x_2 + c^*) = 77.5 - 2 \times 1.25 \times (1 - 0.04 + 0.25) = 74.475 \text{ mm}$

算出来蜗轮咽喉母这个地方的圆的半径  $r_{g2} = a - \frac{1}{2} d_{a2} = 50 - \frac{1}{2} \times 80.1 = 9.95 \text{ mm}$

### 3.2.6 精度等级公差和表面粗糙度的确定

因为论文里面设计的检测平台，它的传动精度是很高的，查看国家标准里面的圆柱蜗杆，还有蜗轮的精度，确定是六级精度，侧边的缝隙，精度等级是七级。

### 3.2.7 热平衡核算

论文里面的蜗轮蜗杆进行传动的时候是开式的，他们将产生的热量传送到空气里面去，所以不需要算热平衡。

## 3.3 轴的设计与计算

### 3.3.1 前轮轴的设计与计算

按照轴的构造，还有形状来分，有曲轴，直轴，实心轴，刚性轴等等。直轴还能进行划分：

#### (1) 转轴

在进行工作的时候，不仅有弯矩作用在上面，还有扭矩作用在上面，在机械里面用的是最多的，比方说每一种减速器里面使用的轴等。

#### (2) 心轴

它可以对转动的零件进行支承，只会对弯矩进行传送，不过扭矩是不会传送的，有的心轴会进行转动，有的心轴是不会转动的。

#### (3) 传动轴

传动轴只能对扭矩进行传送，对弯矩是不进行承受的。轴的原材料可以用碳素钢，也可以用合金钢等。轴在进行工作的时候，它的能力主要在于刚度是多少，强度是多少，转动的速度非常快的时候，它的振动稳定性也决定了轴的工作能力。

前面的轮轴只会有弯矩作用在上面，没有扭矩作用在上面，所以他是心轴。

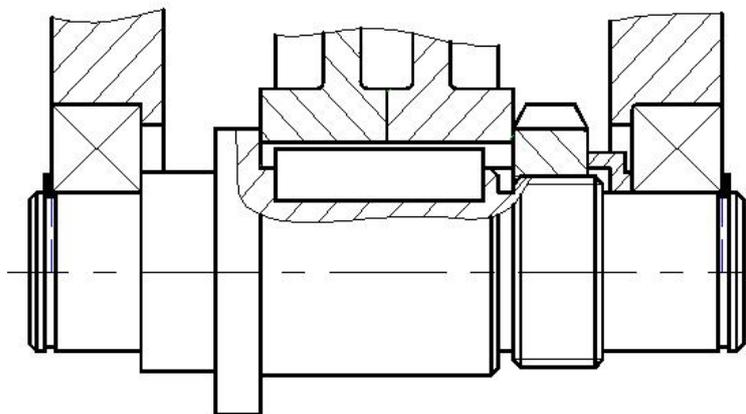


图 3-3 前轮轴

#### 1、将在轴上面作用的力算出来

检测平台前面的轮子受到的力图纸 3-4 里面展示。

$$F = F_C, \quad F' = F'' = \frac{1}{2} F_C = \frac{1}{2} \times 80.84 = 40.42N$$

#### 2、设计出轴的结构

##### 1) 将轴上面零部件的装配方案写出来

从轴的左边向右边按照顺序来进行安装左轮的幅板，还有右轮的幅板，螺母，套筒等，

在轴的最左边，只需要将滚动轴承，还有轴用的弹性挡圈装上去。这样一每一段轴的粗细顺序就设置出来了。

2) 按照轴方向上的定位要求，将轴每一段的直径大小还有长度确定下来

(1) 选用滚动轴承。检测平台前面只有弯矩作用在上面，径方向上，还有轴方向上作用的力是很小的，所以轴承用的是单列深沟球轴承，它的型号是 6004，大小是  $d \times D \times T = 20\text{mm} \times 42\text{mm} \times 12\text{mm}$ ， $d_I = d_{III} = d_{IX} = 20\text{mm}$ 。

用轴肩对右边的滚动轴承来进行定位。查看资料，知道这个轴承在进行过定位的时候，轴肩的高是  $h = 2.5\text{mm}$ ，确定  $d_{IV} = 25\text{mm}$ 。

(2) 在装左边轮辐，还有右边轮辐这个地方轴承的直径大小是  $d_{VI} = 30\text{mm}$ ；用轴肩对轮辐左边这一头进行定位，在右边那一头用螺母把轮辐夹紧了，已经知道轮辐的宽是  $34\text{mm}$ ，要想让螺母的面将左边轮辐还有右边轮辐紧紧的压铸，所以这个轴应该比轮辐稍微窄一点，确定  $l_{VI} = 32\text{mm}$ 。左边轮辐还有右边的轮辐定位都用的是轴肩  $h > 0.07d$ ，确定  $h = 3\text{mm}$ ，那么轴环这个地方的直径大小是  $d_V = 36\text{mm}$ 。轴环的宽  $b \geq 1.4h$ ，确定  $l_V = 5\text{mm}$ 。

(3) 轴上面使用的弹性挡圈是标准零部件，按照国家标准，确定大小是  $d_0 = 20\text{mm}$ ，那么说  $d_{II} = d_X = 19\text{mm}$ ， $l_{II} = l_X = 1.1\text{mm}$ ， $l_{III} = 13 - 1.1 = 11.9\text{mm}$ 。

别的部分的大小，按照前面轮轴上面的数据来进行确定就可以了，将轴上面每一段的直径大小，还有轴的长都确定下来。

3、零件在轴的上面进行轴方向的定位

用平键连接来将左边轮辐，右边轮辐跟轴进行轴方向的定位。查看资料，确定平键的截面大小是  $b \times h = 8\text{mm} \times 7\text{mm}$ ，生产键槽的时候用的是铣刀来进行高的，键槽的大小是  $28\text{mm}$ ，要想确保左边，右边轮辐跟轴配合的时候对中性好，那么他们配合标准是  $H7/n6$ 。滚动轴承跟轴进行轴方向的定位的时候，是要通过过度配合进行确保的，这个轴直径大小公差是  $j7$ 。

4) 将轴上面的圆角，还有倒角的大小算出

确定轴顶端这个地方倒角的大小是  $1 \times 45^\circ$ ，每一个轴肩这个地方的圆角，半径的大小是  $R1$ 。

3、将轴上面的载荷算出来

先按照轴的结构图纸，将轴的计算简图画出来，之后再按照计算见图，将轴的弯矩图纸画出来。

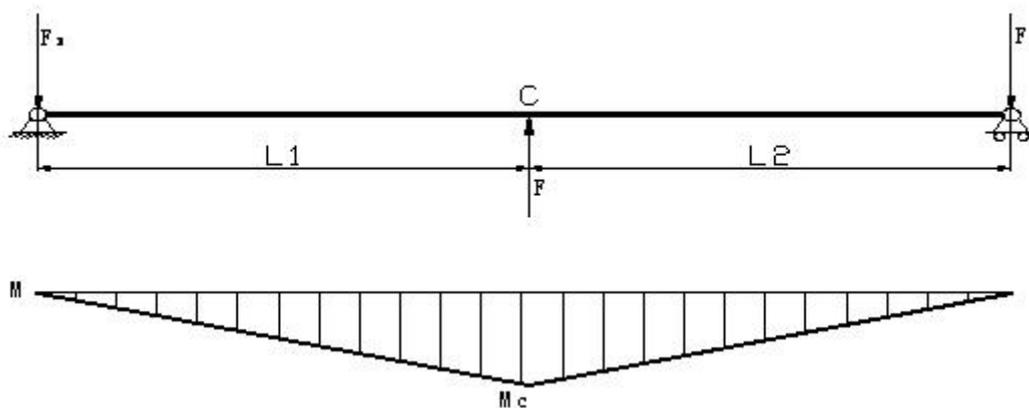


图 3-4 前轮轴的载荷分析图

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{2}F = \frac{1}{2} \times 80.84 = 40.42N, \quad L_1 = L_2 = 39mm$$

$$M_C = -F_1L_1 = -40.42 \times 39 = -1576.38N \cdot mm$$

4、对轴的强度进行校核的时候根据弯曲应力来进行

校核的时候，只需要对作用在它上面的弯矩最大的时候截面前度来进行就可以了。在截面 C 这个地方就是承受的最大弯矩  $M_C = -1576.38N \cdot mm$ 。

校核截面 C 这个地方的强度：
$$\sigma_{ca} = \frac{M}{W} \leq [\sigma_{-1}] \tag{3-4}$$

使用的材料是 45 号钢，对它调质处理  $[\sigma_{-1}] = 60MPa$ ，那么

$$W = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt(d-t)^2}{2d} = \frac{3.14 \times 30^3}{32} - \frac{8 \times 4 \times (30-4)^2}{2 \times 30} = 2288.84mm^3 \tag{3-5}$$

$$\sigma_{ca} = \frac{1576.38}{2288.84} = 0.689MPa < [\sigma_{-1}], \text{ 所以说是符合要求的。}$$

### 3.3.2 后轮轴的设计与计算

后面的轮轴在进行工作的时候，不仅有弯矩作用在上面，还有扭矩作用在上面，所以他是转轴。

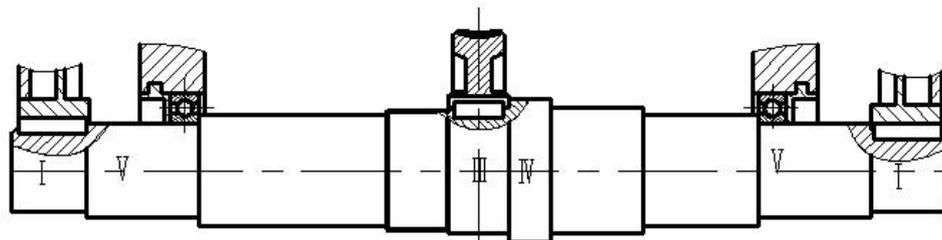


图 3-5 后轮轴结构

1、将后轮轴上面的功率，转动的速度，还有转矩算出来确定蜗轮蜗杆进行传动的时候效率是  $\eta = 0.7$ ，那么

$$P_2 = P\eta = 0.08 \times 0.7 = 0.056KW, \quad n_2 = n = 22.75r/min, \quad T_2 = 23508N \cdot mm$$

2、在蜗轮上进行作用的力

$$F_{t2} = 1263.8N, \quad F_{a2} = 65.22N, \quad F_{r2} = 460N$$

### 3、将轴的直径最小值确定下来

将轴的直径最小值算出来，轴的原材料用的是 45 号钢，对它进行调质，确定  $A_0=115$ ，

$$\text{那么就有 } d_{\min} = A_0 \sqrt[3]{\frac{P_2}{n_2}} = 115 \times \sqrt[3]{\frac{0.056}{22.75}} = 15.5\text{mm}$$

后轮轴的直径最小值，就是装轮辐这个地方轴的直径  $d_{VI}$ 。因为轮辐在跟轴连接的时候用的是键，那么

$$d_{VI} = 26\text{mm}。$$

### 4、设计轴的结构

#### (1) 将轴上面安装零件的顺序定下来

从轴的左边向右边按照顺序来进行安装左轮的幅板，还有右轮的幅板，螺母，套筒等，在轴的最左边，将深沟球轴承装在最右边，将透盖，内轮辐，还有轴上一头的挡圈从右边向左边来进行组装。

#### (2) 按照轴方向上的定位要求，将轴每一段的直径大小还有长度确定下来

选用滚动轴承。因为会有径方向的力，还有轴方向上的力作用在上面，所以轴承用的是单列深沟球，型号是 6206，它的大小是  $d \times D \times T = 30\text{mm} \times 62\text{mm} \times 16\text{mm}$ ，那么  $d_I = d_{III} = d_V = 30\text{mm}$ 。

右边那一头的滚动轴承要实现轴方向上的定位通过轴肩，查资料可以知道 6206 的轴承，定位的时候轴肩的高是  $h=3\text{mm}$ ，那么确定  $d_{IV} = 36\text{mm}$ 。

(3) 轴上面使用的弹性挡圈是一个标准零部件，使用的型号是 GB894.1-8630，它的大小是  $d_0 = 30\text{mm}$ ，所以  $d_{II} = 28.6\text{mm}$ ， $L_{II} = 1.7\text{mm}$ 。

(4) 确定装轮辐这个地方轴的直径大小是  $d_{VI} = 26\text{mm}$ 。轮辐宽是 27mm，要想让轴这一头的挡圈紧紧的沿着轮辐，这个地方轴的大小要比轮辐的宽要小一点，那么  $l_{VI} = 26\text{mm}$ 。

它的大小按照零件的构造来进行确定，将轴的每一段的直径，还有长确定下来。

#### (5) 对轴上面的零部件进行轴方向上的定位

轴跟蜗轮进行轴方向定位的时候，连接用平键来进行。查看资料，平键的截面大小  $b \times h = 8\text{mm} \times 7\text{mm}$ ，键槽的长是 25mm。轮辐跟轴进行配合的时候标准是 H8/h7。

#### (6) 将轴上面圆角，还有倒角的大小确定下来

确定轴一头的倒角大小是  $1 \times 45^\circ$ ，每一个轴肩的地方圆角半径大小是 R1。

### 5、将轴上面的载荷算出来

3-6 图纸里面是后轮轴上面受到的力进行分析： $L_1=L_2=27.5\text{mm}$   $L_3=41\text{mm}$

(1) 在水平面上，后面的轮轴受到的力的图纸 3-6，那么就可以通过静力平衡方程将支座 A、B 这个地方的支反力算出来：

$$F_{NH1} = F_{NH2} = \frac{1}{2} F_{t2} = \frac{1}{2} \times 1263.8 = 631.9\text{N}$$

在截面上，三个集中力作用在上面，那么弯矩的大小是

$$M_{HD} = F_{NH1} \cdot L1 = 631.9 \times 27.5 = 17377.25 N \cdot mm$$

$$M_{HA} = M_{HB} = 0$$

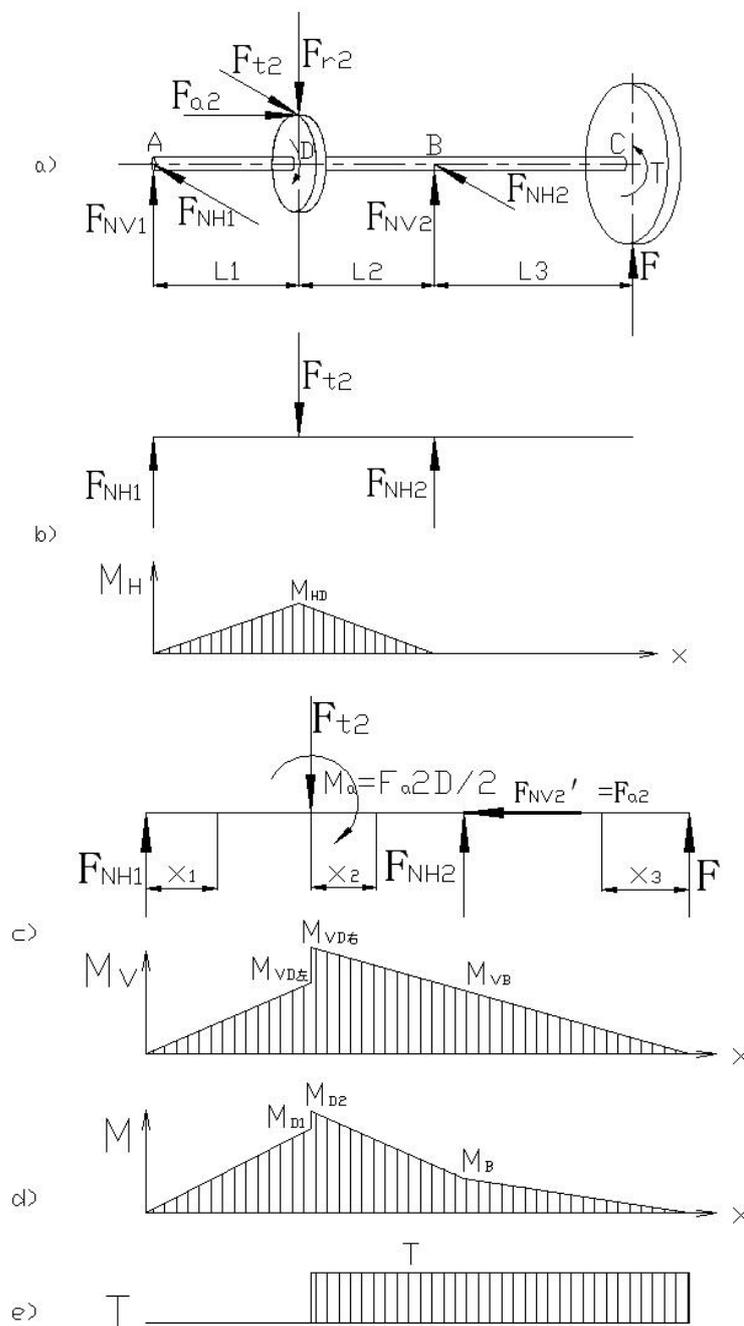


图 3-6 后轮轴的载荷分析图

(2) 3-6 图纸里面，在垂直的面上，后面的轮轴受到的力。

将 A、B、C、D 截面这个地方的弯矩的总数算出来 M

$$M_A = M_C = 0$$

$$M_{D1} = \sqrt{M_{HD}^2 + M_{VD左}^2} = \sqrt{17377.25^2 + 8293.395^2} = 19254.85 Nmm$$

$$M_{D2} = \sqrt{M_{HD}^2 + M_{VD右}^2} = \sqrt{17377.25^2 + 10820.67^2} = 20470.85 N \cdot mm$$

$$M_B = M_{VB} = 646406N \cdot mm$$

将后轮轴上面的转矩算出来  $T = T_2 = 23508N \cdot mm$

6.在对轴的强度进行校核的时候根据弯扭合成应力来进行

校核的时候，只需要对施加在轴上面的弯矩最大值进行校核，还要对危险截面的强度进行校核。

$$\sigma_{ca} = \frac{\sqrt{M_{D2}^2 + (\alpha T)^2}}{W} = \frac{\sqrt{20470.85^2 + (0.6 \times 23508)^2}}{2288.84} = 10.85MPa \quad (3-6)$$

其中， $\alpha$  为折合系数，取  $\alpha=0.6$

$W$  代表的是轴抗弯截面的系数，那么

$$W = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt(d-t)^2}{2d} = \frac{3.14 \times 30^3}{32} - \frac{8 \times 4 \times (30-4)^2}{2 \times 30} = 2288.84mm^3 \quad (3-7)$$

轴使用的原材料是 45 号钢，对它进行调质处理，查看表格可以知道  $[\sigma_{-1}] = 60MPa$ ，因为  $\sigma_{ca} < [\sigma_{-1}]$ ，所以说校核了之后是符合论文需要的，是安全的。

### 3.4 滚动轴承的选择、计算与确定

滚动轴承选的对不对，关系到这个主机的工作性能好不好，并且让他的使用时间变长；企业能不能将修理机器的时间短一点，并且将维修时候花的钱变少一点，将设备的运转率变高一些，它的作用都是非常大的。所以说，不管是设计的地方，还是加工的地方，乃至后期维修的地方，对滚动轴承进行选择的时候，一定要注意。

正常来说，对轴承进行选择的时候从下面几步来进行：

- 1、按照轴承在什么条件下工作，确定轴承的类型，还有公差等级是多少，缝隙等；
- 2、按照这个轴承在什么条件下进行工作，还收承受的力是多大，还有使用时间有什么要求，算了之后，把这个轴承的型号定下来，也可以按照用的时候的需求，把这个轴承的型号定下来，之后在对它的使用时间进行验算；

- 3、选择的这个轴承的额定载荷进行验算，还有对它的转动速度的极限值来进行验算。

在对轴承进行确定的时候，主要思考的东西有，极限转速是多少，使用时间是多长，还有载荷是多大，另外还有一些别的东西可以帮助轴承来确定它是什么类型，构造是什么样的，大小是多少，还有公差等级是多少，还有游隙工求是多少，这样一个最后的方案。

在进行轴承的选用和选择的时候，首先要作的就是依据相应的型号了解它所受载荷的方向，所受载荷的数字的大小，转动的速度、工作环境的影响等等一系列的指标。

通过查阅资料后晓那么就有，在转动的速度比较高，并且所受的载荷比较的小的地方，应该选用以点接触的球轴承作为确定下来的对象；如果安装轴承的地方其承受的载荷或者力比较大，转动的速度又比较的小的时候，应该选用以线进行接触的滚子轴承；如果安装轴承的地方是既承载轴线方向的力又承受直径方向上的力，那就应该选择以线接触的圆

锥滚子轴承否则是以点接触的轴承；还有一种情况就是轴线方向所受的力比较大，根直径方向一样的力，是很小的。

### 1、轴承的预紧

预紧的意思就是把轴承撞到座和轴的上面以后，通过一定的方式让里面滚动的物体和里面还有外面的全之间保持压紧的状态。

预紧轴承是为了在支撑的时候刚性更好，震动和噪音能够有效的降低，也要防止滚动体因为惯性在圈内和圈外进行滑动。

### 2、轴承的安装和拆卸

在的轴承没有进行破开的时候必须要按照轴的方向进行安装还有拆卸，应该最先选择使用里面的圈还有外面的圈来把轴承分开。装在比较长的轴承上面，那么要想装起来简单一点，这个圈的孔的大小就是 1: 12 的。

### 3、经济性要求

对轴承的价格进行比较，正常情况下深沟球的这种轴承价格比较低，滚子轴承比球轴承的价格要高一点。精度越高的轴承，花的钱就多。在选使用什么轴承的时候，需要仔细的对轴承的价格进行了解一下，在满足各种需要的前提，尽量使用成本低的。

这篇论文里面的密封就是对轴承的密封，在进行密封的时候用的是毡圈来进行的，这样能够有效的防止灰尘进到轴承里面，让轴承始终保持干净。

使用毡圈来对轴承进行密封主要因为密封装置结构非常的简单，成本也很低而且使用的范围非常的广泛，是用矩形毡圈装在梯形槽然后产生径向压力来达到密封的效果的。

## 3.4.1 前轮轴轴承选择、计算与确定

使用的时间  $L_h \geq 2500h$ ，转动的速度  $n = \frac{1000v}{\pi d} = \frac{1000 \times 10}{3.14 \times 110} = 28.96 r/min$ ，轴承在径方向上的力是  $F_r = 40.42N$ ，轴方向上力的大小是  $F_a = 0$ 。

### 1、按照上面介绍的对轴承来进行确定

轴承的型号是 6004

$$C_r = 9.38kN, C_{0r} = 5.02kN, n_{lim} = 15000 r/min$$

### 2、算的时候根据额定动载荷来进行

$$C = P \varepsilon \sqrt{\frac{60nL_h}{10^6}} \quad (3-8)$$

是球轴承的  $\varepsilon=3$ ,

$$P = f_p (XF_r + YF_a) = f_p F_r \quad (3-9)$$

查看表格，检测平台  $f_p = 1.2$

放到式子里面算  $P = 1.2 \times 40.42 = 48.504N$

$$C = 48.504 \times \sqrt[3]{\frac{60 \times 28.96 \times 2500}{10^6}} = 79.14N < 9380N$$

那么说 6004 这个型号的轴承对于论文的需要是能够符合的。

### 3、校核的时候根据额定静载荷

通过式子  $C_0 \geq S_0 P_0$ ，确定  $S_0=2$ ， $P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a = F_r = 40.42N$

放到上面的式子里面  $C_0 = 5020N > S_0 P_0 = 2 \times 40.42 = 80.84N$  对于论文的需要是能够符合的。

## 3.4.2 蜗杆轴轴承的选择、计算与确定

使用的时间  $L_h \geq 2500h$ ，转动的速度  $n = 1410.5 r/min$ ，轴承在径方向上的载荷是  $F_{r1} = 110.4N$ ，在轴上面的载荷是  $F_a = 606.66N$ 。

### 1、通过上面的要求来确定轴承

确定轴承的型号是 30203，

$$C = 19.8kN \quad C_0 = 13.2kN \quad n_{lim} = 9000 r/min, \quad e = 0.35$$

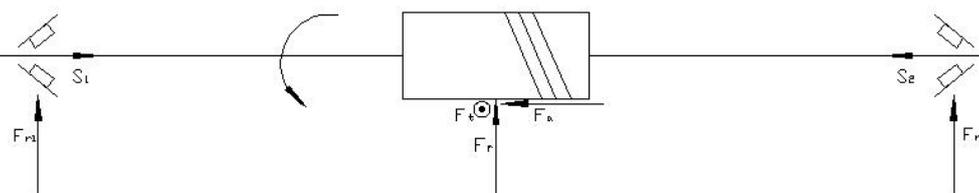


图 3-7 蜗杆轴上的轴承受力

### 2、算的时候根据额定的动载荷来进行

$$C_1 = P_1 \sqrt[3]{\frac{60nL_h}{10^6}} = 1290.58 \times \sqrt[3]{\frac{60 \times 1410.5 \times 2500}{10^6}} = 6433N$$

$$C_2 = P_2 \sqrt[3]{\frac{60nL_h}{10^6}} = 132.48 \times \sqrt[3]{\frac{60 \times 1410.5 \times 2500}{10^6}} = 660N$$

$C_1$ 、 $C_2$  均小于  $C = 19800N$  对于论文的需要是能够满足的。

### 3、校核的时候根据额定静载荷来进行

$$C_0 \geq S_0 P_0, \quad \text{取 } S_0 = 1.8 \frac{F_{a1}}{F_{r1}} = 5.789 > \frac{1}{2Y_0} = \frac{1}{2 \times 1} = 0.5,$$

$$P_{01} = X_0 F_{r1} + Y_0 F_{a1} = 0.5 \times 110.4 + 1 \times 606.66 = 661.86N$$

$$\frac{F_{a2}}{F_{r2}} = 0.294 < \frac{1}{2Y_0} = \frac{1}{2 \times 1} = 0.5$$

$$P_{02} = F_{r2} = 110.4N$$

$P_{01}$ 、 $P_{02}$  均小于  $C_0 = 13200N$ ，对于论文的需要是能够满足的。

### 4、校核极限转动的速度

通过式子  $n_{max} = f_1 f_2 n_{lim}$

$$\frac{P_1}{C} = \frac{1290.58}{19800} = 0.0652, \text{ 就有 } f_1 = 1$$

$$\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = 5.789, \text{ 就有了 } f_2 = 0.5$$

$$n_{\max 1} = 1 \times 0.5 \times 9000 = 4500 \text{ r/min}$$

$$\frac{P_2}{C} = \frac{132.48}{19800} = 0.0067, \text{ 就有了 } f_1 = 1$$

$$\frac{F_{a2}}{F_{r2}} = 0.294, \text{ 就有了 } f_2 = 1$$

$n_{\max 2} = 1 \times 1 \times 9000 = 9000 \text{ r/min}$ ,  $n$  比  $n_{\max 1}$  和  $n_{\max 2}$  的总和还要小, 所以对于论文的需要是能够符合的。

### 3.4.3 后轮轴轴承选择、计算与确定

轴承的使用时间是  $L_h \geq 2500h$ , 轴承转动的速度是  $n = 22.75 \text{ r/min}$ ,

$$\text{轴承 A 在径方向的载荷 } F_{r1} = \sqrt{F_{NH1}^2 + F_{NV1}^2} = \sqrt{631.9^2 + 301.578^2} = 700N;$$

$$\text{轴承 B 在径方向的载荷 } F_{r2} = \sqrt{F_{NH2}^2 + F_{NV2}^2} = \sqrt{631.9^2 + 0.762^2} = 631.9N;$$

轴方向上的载荷大小是  $F_a = 65.22N$ 。

施加在 A 轴承上面的载荷比 B 轴承上面的载荷还要大, 那么校核的时候只要对 A 轴承就可以了。

1、在确定轴承的时候按照上面的要求来进行

确定轴承型号是 6206,  $C = 14.91kN$ ,  $C_0 = 10.01kN$ ,  $n_{lim} = 9500 \text{ r/min}$ ,

2、在算的时候根据额定的动载荷来进行

$$\text{通过公式 } C = P \sqrt[3]{\frac{60nL_h}{10^6}} \tag{3-10}$$

要是轴承是球轴承  $\varepsilon = 3$ ,  $P = f_p (XF_r + YF_a)$

$$\text{已经知道 } \frac{F_a}{C_0} = \frac{65.22}{10010} = 0.0065, e = 0.19, Y = 2.3$$

$$\text{已经知道 } \frac{F_a}{F_r} = \frac{65.22}{700} = 0.093 < e = 0.19$$

查看表格  $P = F_r$

查看表格检测平台的  $f_p = 1.2$ , 放到式子里面去算  $P = 1.2 \times 700 = 840N$

$$C = 840 \times \sqrt[3]{\frac{60 \times 22.75 \times 2500}{10^6}} = 1264.65N < 14910N$$

所以说 6206 这个轴承对于论文的要求是能够符合的。

3、校核的时候根据额定的静载荷来进行

通过公式  $C_0 \geq S_0 P_0$ ，查看表格确定下来  $S_0 = 1$ ，已经知道  $\frac{F_a}{F_r} = 0.093$

查看表格  $\frac{F_a}{F_r} < 0.8$ ， $X_0 = 1, Y_0 = 0$

那么就有  $P_0 = F_r = 700N$ ，放到上面的式子去算， $C_0 = 10010N > S_0 P_0 = 700N$  对于论文需要是能够符合的。

4、校核极限转动的速度

$$n_{\max} = f_1 f_2 n_{\lim}$$

已经知道  $\frac{P}{C} = \frac{840}{14910} = 0.0563$  查看图纸可以有  $f_1 = 1$

$\frac{F_a}{F_r} = \frac{65.22}{700} = 0.093$  查看图纸可以有  $f_2 = 1$

放到式子里面  $n_{\max} = 1 \times 1 \times 9500 = 9500 r/\min$ ， $n = 22.75 r/\min < n_{\max}$  对于论文需要是能够符合的。

## 4 其他零部件的设计与确定

### 4.1 车体的设计与确定

在设计小车车体，还有组成零部件的时候，都是有所要求的，这两个之间都有联系，并且还互相有影响。

#### 1、设计车体时候的要求

对小车车体在用的时候功能的要求：对于进行机械设计的时候，要将事先设定好的使用要求进行满足，还有用起来要方便，并且工作时候非常安全，可靠性要高，体积不能大，质量小，工作效率高，产生的噪声小等等，这些都是进行机械设计所需要的。

设计时候的经济型需求：设计的车体一定要经济性好，在生产还有使用的时候，在对车体进行设计的时候考虑的要全面一些。在进行设计的时候，对它的功能，还有用的时候的需要，结构等等都要合理，符合要求。。

#### 2、设计车体的时候，要注意下面几点：

(1) 车子的结构不管是拆还是卸都应该方便，方便我们进行试验，进行调试，有问题的时候进行维修。

(2) 要留一个空间给传感器，还有功能零件，后期要将他们装上去，这样才能将它的功能进行改进，进行扩展。

#### 3、确定车体使用的原材料

论文设计的这个车体，原材料用的是 6061。

#### 4、确定车体加工的办法

##### (1) 铸造车体

它的好处就是工艺性能好，可以加工的产品形状比较复杂，并且抵抗压力的强度也是非常好的，抵抗压力的刚度也非常好，抵抗振动的性能也是非常好的，不过公共刮飞的时间是比较长的，后期要进行时效处理，这样内应力就克服了。用的比较多的材质是灰铸铁，强度的要求非常高的时候用铸钢，要是质量要求非常轻就用铸铝。现在用的比较多的是铸造方式。

##### (2) 焊接车体

这种组成部分是钢板和型材焊接起来的，生产这种车体非常容易，并且耗费的时间比较短，花费也不是很大，并且非常轻。不过对车体进行焊接的时候，热应力是很大的，非常容易出现形状的改变，要进行退火处理，这样才能让夹具的尺寸稳定下来。

##### (3) 锻造车体

这种车体可以用的地方是形状不复杂，外形不大，并且强度要求高，刚度要求高，在锻造好了之后还要进行退火，这种类型的夹具在生产中用的比较少。

本次设计的车体其制造方式选择铸造。

## 4.2 车轮的设计与确定

### 1、车轮有哪些作用

对于汽车来说，车轮是非常重要的，它跟路面是直接进行碰触的，小车在行走的时候，对它承受的冲击是可以缓冲的，这样确保小车在乘坐的时候非常舒服，并且行走起来也非常平顺；确保车轮跟铁轨在一起，附着性非常好，这样小车的牵引性，还有制动性，通过性都是非常好的，这样可以对小车的质量进行承受。

### 2、将车轮的结构设计出来

按照轮辐的结构不一样，车轮有三种，一种是实心的，一种是幅板的，还有一种是轮辐的，论文里面的车轮用的是轮辐式的。

### 3、将车轮的原材料定下来

车轮的原材料用的是 6061 铝合金，这个材料在进行加工的时候，性能是非常好的，焊接特征也很不错，还有电镀性也是非常好的，韧性是很高的，进行生产之后不会出现形状的改变，还有氧化效果很好等等。

## 4.3 摄像头的选择

最近这些年，智能家居是越来越流行，就算是人不在家，只能摄像头还是可以进行工作。它的功能下面进行介绍：

### （1）自己将安防的模式开下来

使用者离开家之后，只能安防系统自己就开下来了，使用者用手机就可以对家里面的状况进行查看，就算是没有人在家，如果家里有什么状况，那么只能摄像头还能够进行录像，并且告知使用者。

### （2）在进行语音通话的时候非常清楚

这个摄像头不光能看到，还能够进行电话沟通。

### （3）对移动的物体进行检测

摄像头有对运动进行检测的几十户，可以很清楚的知道有没有东西在进行移动，如果一旦检测到，那么摄像头就会发出警告，告诉使用者。

### （4）可以进行保存

不仅能够实时查看，还能够将录下来的视频存储到卡里面去，使用者可以回来查看，安全性很好，避免隐私泄露出来，不需要花钱。

这次装的摄像头，用的就是智能的，好处是非常灵敏，可以抵抗强光，体积不大，使用时间长等等。论文里面使用的摄像头是海康威视萤石智能摄像头。



图 4-1 智能摄像头

## 5 电气控制部分的设计

### 5.1 设计控制电路应遵循的原则

1、设计电气控制路线的时候要注意下面几点：

- (1) 对于电气控制线路的要求，还有保护时候的要求尽量满足。
- (2) 首先对生产工艺进行满足，设计的这个线路不能复杂，经济性要好。在
- (3) 确保控制的时候非常安全，非常可靠。
- (4) 用的时候，还有修的时候非常便利。

2、设计电气控制时候要遵守的原则：

- (1) 在设计的时候，对于控制要求，还有生产要求尽可能的满足。
- (2) 只要对论文的要求满足了，那么控制系统要简单一些，经济性好，用起来方便，安全性好，可靠性好。
- (3) 在确定电气零件的时候一定要合理，这样系统工作才能正常。
- (4) 对于工艺的需要能够满足。

### 5.2 控制电路的设计步骤

1、按照需要将设计任务制定下来。

2、在对电路设计的时候，按照拖动要求来进行：

- (1) 不管是对哪一台电机进行控制，按照它容量的大小，还有拖动时候的载荷来进行，选用合适的启动线路。
- (2) 将转动方向控制的办法确定下来。
- (3) 按照电动机的工作，确定是不是要设置过载保护装置。
- (4) 按照拖动载荷，还有工艺需要，确定是不是需要进行制动，控制怎么样进行。
- (5) 在电路里面设置一个短路保护装置。

3、设计控制回路的时候按照主电路的控制要求来进行：

- (1) 将电路电压的类型，还有具体大小确定下来。
- (2) 将控制步骤画出来。
- (3) 在控制电路里面将短路保护装置设计出来。
- (4) 按照拖动的需要，有特别需要的将控制部分设计出来。
- (5) 进行检查，修改，完善的工作。

4、设计工艺的过程：

(1) 按照电气装置的总结构，还有电气零件的布局，还有用的时候按照需要将电气零件进行分类，将电气控制系统的图纸都画出来。

(2) 按照电气零件的型号，外部形状，大小，安装时候的大小，将每一组的零件布局图纸画出来。



## 结论

这次论文设计的是铁轨光学检测平台。这篇论文里面包含的专业知识是比较多的，有机械的，有材料的，还有自动化的等等。在进行设计的时候，一开始要深入了解检测小车的功能，对它的这些功能了解清楚之后，分析它的动作过程，还有它的机械构造，对他的构造进行改良，对每一个零部件的结构进行改良。设计控制系统的时候，将电气控制系统设计出来。

当然了，这篇论文里面还是有一些不好的地方的，因为转运小车是没法做出来的，从开始到现在，实体是没有做出来，所以肯定会有偏差出现。

## 致谢

自己的专业水平还有限，这次设计并不是没有漏洞，作为一名机械专业的学生，能把所学的专业知识用来解决实际工作中的问题才是检验掌握知识的最好的途径。

这里还要特别感谢我的指导老师。在我毕业论文的写的过程中，指导老师给我提供了相当大的帮助和指导。从一开始选课题再到修正，最后定稿，指导老师的建议是相当关键重要的。也要感谢那些曾经教导过我的老师，不光传授了专业知识，还让我懂得了对待学习以及生活的态度，让我们学到很多。

## 参考文献

- [1] 魏俊民、周砚江.机电一体化系统设计[M].北京：中国纺织出版社，1998
- [2] 朱龙根等.简明机械零件设计手册[M].北京:机械工业出版社，2001
- [3] 许尚贤.机械零部件电动现代设计方法[M].北京：高等教育出版社，1994；
- [4] 潘兆庆等.现代设计方法概论[M].北京：机械工业出版社，1999；
- [5] 唐湘娜. 铁轨表面缺陷的视觉检测算法研究[D].湖南大学，2013.
- [6] 高健. 铁轨表面缺陷机器视觉检测成像方法与装置研究[D].湖南大学，2013.
- [7] 谭伟. 基于图像的铁轨缺陷检测系统的算法研究及软件设计[D].大连海事大学，2004.
- [8] 徐兴虎. 基于 FPGA 的铁轨漏磁检测系统研究[D].哈尔滨理工大学，2012.
- [9] 甄理. 基于计算机视觉的铁轨表面缺陷检测技术研究[D].南京航空航天大学，2012.
- [10] 王海涛, 甄理, 杨春霞, 陈如冰, 丁克勤, 李冬, 王平.基于计算机视觉的铁轨表面缺陷检测系统[J].无损检测, 2011, 33(11):38-41.
- [11] 刘在群, 阮军, 陈佐佐, 陈明艳, 郭嫚.基于 FPGA 的铁轨检测算法设计与研究[J].微型机与应用, 2011, 30(11):92-94+97.
- [12] 张霞.基于双结构元素数学形态学的铁轨图像边缘检测方法[J].铁路计算机应用, 2011, 20(05):28-31.
- [13] 李俊. 基于边缘特征及对称差分的铁路安全图像处理技术研究[D].武汉理工大学，2009.
- [14] 柴世红.基于边缘检测的铁轨识别[J].铁路计算机应用, 2009, 18(04):1-3.
- [15] 王芳, 谢克明.铁轨检测中基准桩的识别及其中心确定[J].微计算机信息, 2008(07):190-191+24.
- [16] 关鹏, 顾晓东, 张立明.一种基于图像处理的铁轨自动检测方法[J].计算机工程, 2007(19):207-209+212.
- [17] 武学春. 铁轨检测车数据采集硬件电路的设计与实现[D].太原理工大学，2006.
- [18] 董志国. 铁轨检测小车的机构设计与测量算法[D].太原理工大学，2006.
- [19] 张闯. 铁轨缺陷检测系统的算法优化[D].大连海事大学，2005.
- [20] Jiang, Ying, Pang, Xiangsheng, Liu, Xiaobing, Guo, Chao, Wang, Zhiqiang. Optical fiber detection device with steel rail as elastomer and railway overload and unbalanced load detection system[P]. : AU2015401228, 2017-06-01.
- [21] Jiang Ying, Pang Xiangsheng, Liu Xiaobing, Guo Chao, Wang Zhiqiang. OPTICAL FIBER DETECTION DEVICE WITH STEEL RAIL AS ELASTOMER AND RAILWAY OVERLOAD AND UNBALANCED LOAD DETECTION SYSTEM[P]: US2017138805, 2017-05-18.
- [22] JIANG, Ying, PANG, Xiangsheng, LIU, Xiaobing, GUO, Chao, WANG, Zhiqiang. OPTICAL FIBRE DETECTION APPARATUS USING STEEL RAIL AS ELASTIC BODY , AND RAILWAY OVERLOAD AND UNBALANCED LOAD DETECTION SYSTEM[P]: WO2017079986, 2017-05-18.
- [23] ZIMMERMANN HARTMUT DR, GOEPEL REINHARD. Railway-type rail with optical sensor for detection of rolling stock movements[P]: DE19510869, 1996-9-19.