

自己加个封面

## 目录

1 概述.....	3
1.1 背景.....	3
1.2 主要的内容.....	3
1.3 本课题研究的主要方法.....	4
2 总体参数设计.....	5
2.1 形式的选择.....	5
2.1.1. 轴数的选择.....	5
2.1.2. 驱动形式的选择.....	5
2.1.3. 布局形式的选择: .....	5
2.2 尺寸的确定.....	5
2.2.1 外形尺寸.....	5
2.2.2 轴间距.....	6
2.2.3 轮间距.....	7
2.2.4 前后悬架.....	7
2.3 纯电动汽车质量参数的确定.....	7
2.3.1 载客量.....	7
2.3.2 整备质量.....	7
2.3.3 总质量.....	8
2.3.4 装载质量.....	9
2.3.5 质量系数.....	9
2.3.6 轴荷分配.....	9
2.4 纯电动汽车性能参数确定.....	9
2.4.1 动力性能.....	10
2.4.2 燃油经济性.....	10
2.4.3 最小转弯直径.....	10
2.4.4 通过性几何参数.....	11
2.4.5 操纵稳定性参数.....	11
2.4.6 制动性参数.....	12
2.4.7 舒适性.....	13
3 电动机的选择.....	14
3.1 电动机形式.....	14
3.2 电动机主要性能.....	14
3.2.1 电动机最大功率 $P_{emax}$ 和相应转速 $n_p$ .....	14
3.2.2 电动机最大转矩 $T_{emax}$ 及相应转速 $n_T$ .....	15
3.3 悬置.....	16
4 传动系选型.....	17
4.2 纯电动汽车轮胎.....	17
4.3 离合器的选择.....	18
4.4 万向传动轴的选择.....	18
4.5 主减速器的选择.....	18
4.6 驱动桥的选择.....	18

5 动力性能的计算.....	20
5.1 驱动桥主减速器传动比 $i_0$ 的选择.....	20
5.2 变速器一档传动比 $i_g^1$ 的选择.....	20
6 纯电动汽车动力性及燃油经济性计算.....	21
6.1 驱动力的计算.....	21
6.2 加速度的计算.....	22
6.4 加速时间计算.....	22
6.5 纯电动汽车燃油经济性的计算.....	23
结 论.....	24

# 1 概述

## 1.1 背景

纯电动汽车是指以车载电源为动力，用电动机驱动车轮行驶，且满足道路安全法规对纯电动汽车的各项要求的车辆。其具有能源利用效率高、环境污染小、可用能源多样化、噪音低、结构简单、方便维护和操作简单等优点。而且，纯电动汽车的出现很早，经历了可谓“三起三落”，现在又大有崛起之势，必将成为未来地面交通工具的主力军。

现在人们通常将纯电动汽车称为“新能源纯电动汽车”，其实纯电动汽车的历史比内燃机纯电动汽车还要早。1834年 Thomas Davenport 制造了第一辆电动三轮车，比 1885 年德国的卡尔·本茨制造出世界上第一辆以汽油为动力的三轮纯电动汽车还早 51 年。19 世纪末 20 世纪初，曾是纯电动汽车非常繁荣的时代，1890 年全世界纯电动汽车保有量约为 4200 辆纯电动汽车，其中 38% 为纯电动汽车，40% 为蒸汽机纯电动汽车，其他为内燃机纯电动汽车。1911 年巴黎和伦敦有电动出租纯电动汽车运营。1912 年在美国有 3.4 万辆纯电动汽车。1907 年底特律电气公司生产的纯电动汽车最高车速达到 40km/h。但是，由于纯电动汽车使用的蓄电池储能密度低，寿命短，纯电动汽车的续驶里程、动力性与价格都无法与快速进步的内燃机纯电动汽车竞争。尤其是福特公司于 1908 年实现了大批量生产纯电动汽车的模式，T 型车的最大功率 20 马力，最高车速 72km/h，最初的售价只有 825 美元，到了 1921 年，售价降到了 260 美元，将美国带入了纯电动汽车普及时代。到 1920 年纯电动汽车基本上被内燃机纯电动汽车挤出市场，消费者选择了后者。可以说这是纯电动汽车的“一起一落”。

到了 20 世纪 70 年代，世界爆发 3 次石油危机，纯电动车再次受到重视。80 年代美国通用、福特和日本丰田、本田均开发了纯电动汽车。到 2000 年前，全球共销售电动车约 6 万辆，约占全球纯电动汽车保有量 6 亿辆的万分之一。其中最具有代表性的当属通用公司的 EV1 电动车了，它的驱动系统为两级减速的三相交流感应电动机，装备 26 个德科 VRLA 铅酸电池，外形设计十分考究，具有很低的风阻(见图)，最高时速可达 129km/h，加速性优良，0~96km/h 加速时间在

9s 以内，续航里程在 120km-160km 之间。但是，也很遗憾，EV1 总共只生产了 1117 辆就结束了它的征程。许多人对此感到叹息，甚至愤愤不平，著名导演克里斯·佩恩曾经拍摄了一部新闻纪录片《谁杀死了电动车》，指出杀手是石油公司、联邦政府和通用公司自己。指责通用公司更愿意生产悍马这种大排量且利润高的纯电动汽车，没有耐心培育 EV1 这种利于社会但是要赔钱的产品。平心静气分析，客观上的原因是当时电池技术远没有能力取代内燃机技术，最早的铅酸电池，以及后来的镍氢电池都不能满足车辆续驶里程和寿命要求，同时还因为电池带来的最致命的问题：EV1 高昂的造价。还是消费者的选择起了关键的作用。轰动一时的纯电动汽车再次落幕，可以说这是纯电动汽车的“二起二落”。目前，国产轿车的总体设计制造水平比欧洲轿车和日本轿车落后很多，这是一个普遍存在的事实。突出表现车身、底盘和电动机。缺乏优秀产品，过度抄袭他国品牌。国内大品牌都是与国外合资，利用别人的技术。国产车低价高配来吸引消费者。国内纯电动汽车新星，如奇瑞、华晨、一汽红旗等。质量不断提高。

## 1.2 纯电动汽车基本结构和工作原理

相对传统纯电动汽车而言，纯纯电动汽车是将电动机替代电动机输出动力以驱动车辆前进。同时，以蓄电池替代油箱储存能量。当然，并非简单替代，只是在功能上替代而已，他们具有各自特性。纯纯电动汽车的主要结构由电力驱动控制系统、纯电动汽车底盘、车身以及各种辅助装置等部分组成。除电力驱动控制系统，其他部分的功能和结构基本与传统纯电动汽车相似，所以电力驱动控制系统决定了整个纯纯电动汽车的结构组成及性能特征，相当于传统纯电动汽车的电动机与其他功能以机电一体化方式结合。

如图 1.1 中所示为典型纯纯电动汽车的基本结构原理图。其主要由 3 个子系统构成，即电机驱动子系统，能源子系统和辅助子系统。电机驱动子系统由车辆控制器、电力电子控制器、电动机、机械传动装置和驱动车轮组成；能源子系统由能源、能量管理单元及能量源供给单元组成；辅助子系统包括功率控制单元、车内温度控制单元和辅助电源等。

在纯电动汽车工作的过程中，首先驾驶员踩下加速踏板或是制动踏板，从而产生一个车辆控制信号，车辆控制器接收该信号后向电力电子变换器输出正向的控制信号，当电力电子控制器接收到该信号后，发出相应的控制指令去控制电动机，调节电动机和能量源之间的功率流，从而获得驾驶员想要实现的加速、减速或是停车等目的。当纯电动汽车再生制动时，产生的能量通过电力电子变换器逆变将能量储存到能量源中，同时，能量管理单元与车辆控制器一起控制可再生制动能量，从而实现系统能量流的最优化。辅助能源主要给纯电动汽车辅助设备，尤其是车内温度控制单元、功率控制单元、动力转向单元等提供不同电压等级的所需功率<sup>[4]</sup>。

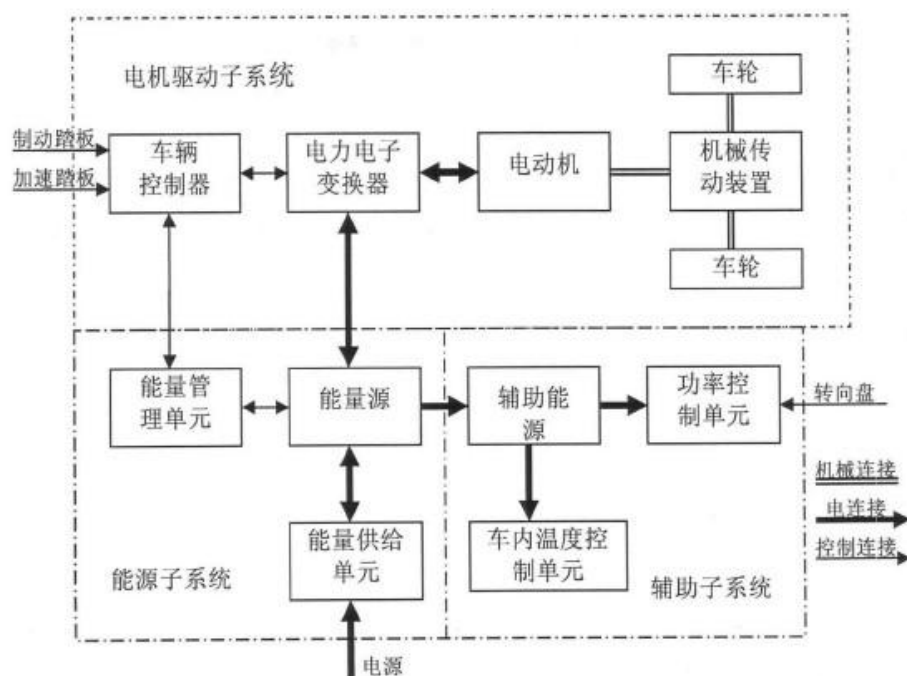


图 1.1 典型纯电动汽车的基本结构原理图

## 1.2 主要的内容

### 设计参数

5 座纯电动汽车，整车尺寸 3900x1800x1400mm，轴数 2，轴距 2218mm，额定载质量 350kg，整备质量 1350kg，最高车速 80km/h，最大爬坡 70%。

### 一、整车主要目标参数的初步确定

#### 1.1 电动机的参数

电动机的最大功率及转速、最大扭矩及其转速的确定。

（电动机的外特性曲线）

1.2 轮胎的选择

1.3 传动系最小、最大传动比的确定

二、传动系各总成的选型

电动机、离合器、变速器、传动轴、驱动桥的选型

三、整车性能计算

纯电动汽车驱动力和行驶阻力、纯电动汽车的加速性能计算

（行驶性能曲线、加速度曲线、加速度倒数曲线、加速时间曲线）

四、电动机与传动系部件的确定

总体布置简图

**1.3 本课题研究的主要方法**

通过现场调研和网络调研，结合数据和文献的分析整理，掌握尽可能多的信息和市场反馈，对设计案例进行分析。

## 2 总体参数设计

### 2.1 形式的选择

主要内容为轴数、驱动形式和布局方案。

#### 2.1.1. 轴数的选择

通过多方面了解到

小于 19t 的纯电动汽车，运输车和轴荷不受道路、桥梁限制的不在公路上行驶的车辆，如矿用车等，采用两轴四轮方案。

总行所述本次设计车选用 2 轴形式。

#### 2.1.2. 驱动形式的选择

本次设计采用 4 轮 2 驱形式。

#### 2.1.3. 布局形式的选择：

综合考虑一下因素本次设计选择前轮驱动。

- (1) 省了传动轴，减轻重量，结构紧密。
- (2) 电动机空间，驾驶空间宽敞，降低地板高度，提高舒适性。
- (3) 电动机近驱动轮，动力传递效率高。
- (4) 电动机和其他总成提升前轴的负载，提高操纵稳定性。
- (5) 简化了后悬。
- (6) 在湿滑路面上，用前轮拉动车身确保方向稳定性。
- (7) 散热器在车前，电动机能方便冷却。
- (8) 储物箱在车的后面，后备箱有很大空间

综合上述三个方面的因素，本次纯电动汽车形式的选择为：2 轴式、电动机前置、4 轮 2 驱。

### 2.2 尺寸的确定

主要尺寸参数主要包括外形尺寸、轴间距、轮间距、前悬架、后悬架等。

#### 2.2.1 外形尺寸

外形尺寸是指车的长度、宽度和高度。

(1)、长度  $L_a$  如下公式：

$$L_a = L + L_f + L_r$$

$$L_a = L/C$$



式中：L 为轴距；L<sub>f</sub> 为前悬距；L<sub>h</sub> 为后悬距；C 为系数  
前置前驱 C=0.63~0.67

(2)、总高 H<sub>a</sub>：

1.轴间底部离地高 H<sub>m</sub>；

2.地板及下部零件高 H<sub>p</sub>；

3.室内高 H<sub>b</sub>；

4.车顶造型高 H<sub>t</sub>。

$$H_a = H_m + H_p + H_b + H_t$$

式中， $h_m \gg h_{\min}$  (最小离地间隙)

$$h_b = 1120 \sim 1380 \text{mm}$$

$$h_t = 20 \sim 40 \text{mm}$$

(3)、宽度 B<sub>a</sub> 如下公式：

1 室内宽度和车门厚度；

2 应保证能布置下电动机、车架、悬架和车轮等。

$$B_a = (L_a/3) + 195 \text{mm} \pm 60 \text{mm}$$

说明：后座乘三人，B<sub>a</sub> 不应小于 1410mm。

$$B_a = (L_a/3) + 195 \text{mm} + 60 \text{mm}$$

综合上述方面原因，外形尺寸长\*宽\*高：3900\*1800\*1400mm。

### 2.2.2 轴间距

轴间距：前轴中心到后轴中心长度。

车度、轴距与排量有关系，高级轿车，轴距 2.8-3 米；中级轿车轴距 2.7-2.8 米；小型轿车轴距 2.3-2.6 米；微型轿车轴距 2.3 米。轴距是同侧两车轮中点点的长度。轴距越长则车厢内空间越大，开起来越平稳。但，轴距大让整车机构布置困难，车身造型难看，因此轴距与全长的比例不大于 62%。

本次设计轴距取 2218mm。

### 2.2.3 轮间距

纯电动汽车轮距 B 应该考虑到车身横向稳定性，主要取决于车架前部的宽度、前悬架宽度、前轮的最大转角和轮胎宽度，同时还要考虑转向拉杆、转向轮和车架之间的运动间隙等因素。主要取决于车架后部宽度、后悬架宽度和轮胎宽度，同时还要考虑车轮和车架之间的间隙。各类纯电动汽车的轮距选用范围如表 2-1 所示。选取  $B_1=1572\text{mm}$ ， $B_2=1603\text{mm}$ 。

#### 2.2.4 前后悬架

前悬尺寸对纯电动汽车通过性、碰撞安全性、驾驶员视野、前钢板弹簧长度、上车和下车的方便性以及纯电动汽车造型均有影响。增加前悬尺寸，减小纯电动汽车接近角，使通过性降低，并使驾驶员视野变坏。

后悬尺寸对纯电动汽车通过性、纯电动汽车追尾时的安全性、货箱长度或行李箱长度、纯电动汽车造型等有影响，并取决于轴距和轴荷分配的要求。后悬长、纯电动汽车离去角小，使通过性降低；而后悬短的乘用车行李箱尺寸不够大。

本次设计选取  $LF=647\text{mm}$ ， $LR=1035\text{mm}$ 。

### 2.3 纯电动汽车质量参数的确定

本次轿车质量参数设计的工作内容为，确定载客量、估算轿车整备质量、估算装载质量、估算质量系数、估算纯电动汽车总质量、估算轴荷分配等方面。

额定载质量 350kg。

#### 2.3.3 总质量

本次设计总质量 1700kg

#### 2.3.4 装载质量

总质量—整备质量=350kg。

#### 2.3.5 质量系数

装载质量/整备质量：

$$\eta_{m_0} = m_e/m_0=350/1350=0.26$$

#### 2.3.6 轴荷分配

轴荷分配应注意以下几点：

- (1) 每个车轮的载荷尽量相近；
- (2) 驱动桥应具有足够的载荷，并降低从动轴的载荷，降低从动轮的滚动阻力，提高在不良路面上的通过性；
- (3) 转向轴的载荷不能太小，以保证转向特性充足。

- (4) 纯电动汽车布局对轴重分布影响很大；
- (5) 在确定分布时，应考虑车辆的使用条件；
- (6) 在确定分布时，应充分考虑车辆的结构特点和性能要求。

综上所述本次设计轴荷分配如下表。

车型	满载前轴	满载后轴	空载前轴	空载后轴
乘用车	45%-50%	50%-55%	51%-56%	44%-49%

本次设计的车型

空载：前轴负荷=51%，后轴负荷=49%；

满载：前轴负荷=35%，后轴负荷=65%。

## 2.4 纯电动汽车性能参数确定

### 2.4.1 动力性能

#### (1) 最高车速的确定

载货纯电动汽车的最高车速主要是根据纯电动汽车的用途以及使用条件和电动机功率大小来确定, 120km/h。

#### (2) 加速时间的确定

纯电动汽车加速时间是纯电动汽车加速性能的一项重要指标。本次设计取 10s。

#### (3) 最大爬坡度的确定

本次设计取 70%

#### (4) 比功率和比转矩

本次设计取最高时速 80，比功率 5.857，比转矩 67.405。

### 2.4.3 最小转弯直径

最小转弯它受以下因素影响：

1. 最大方向盘角度。
2. 轴间距。
3. 轮间距。
4. 方向盘数量。
5. 法规等。

根据 GB7258-2004《机动车与性安全技术条件》，机动车最小转弯直径 $\leq 24m$ ；转弯直径为 24m 时，前转向轴与端轴的内轮差 $\leq 3.5m$ 。最小转弯直径=18m。

### 2.4.4 通过性几何参数

通过性几何参数包括最小离地间隙  $h_{min}$ 、接近角  $\gamma_1$ 、离去角  $\gamma_2$ 、纵向通过半径  $\rho_1$  等。不同形式乘用车的各项参数参考范围见下表 2-8。

表 2-8 纯电动汽车通过性的几何参数

车型	最小离地间隙 mm	接近角°	离去角°	纵向通过半径 m
乘用车	210-250	45-50	35-40	1.7-3.6

本次总体设计,设计为最小离地间隙  $h_{min}$  初定为 30.5mm,接近角  $\gamma_1$  取值为  $47^\circ$ , 离去角  $\gamma_2$  取值为  $37^\circ$ , 纵向通过半径  $\rho_1$  取值为 3m。

#### 2.4.5 操纵稳定性参数

总体设计中,转向特性、侧倾角、制动俯仰角等方面都与操纵稳定性参数有关:

(1) 转向特性参数 为了使纯电动汽车拥有良好的操纵稳定性,应保证纯电动汽车具有一定程度的不足转向,转向特性参数应保持在  $1^\circ \sim 3^\circ$  为宜,故在本次设计中取值为  $1^\circ$ 。

(2) 车身侧倾角 在纯电动汽车以一定速度转弯时,为了保证车身在转弯时有良好的支撑性,应将车身侧倾角控制在  $3^\circ$  以内,最大不超过  $7^\circ$ ,则车身侧倾角取值为  $3^\circ$ 。

(3) 制动前俯角 通常情况下,在纯电动汽车制动时,由于惯性,车头都会出现“点头”现象,为了提高或者不影响乘坐舒适性,车身制动前俯角在设计时不应大于  $1.5^\circ$ ,故此次设计该数值取为  $1^\circ$ 。

#### 2.4.6 制动性参数

纯电动汽车的制动性能是保证车内人员人身安全的必要因素,是衡量一个纯电动汽车整体质量优劣的重要因素之一,所以在确定纯电动汽车制动性参数时一定要符合国家规定的要求。

GB7258-2004《机动车安全条件》规定了道路试验检验用常用制动和紧急制动的性能要求,车辆还应符合本规定,如下表:

表 2-9 纯电动汽车制动性参数

车辆类型	行车制动						应急制动			
	制动车速 km/h	制动距离 m	FEDD $m/s^2$	试车道宽 m	踏板力 N	初速度 km/h	制动距离 m	FEDD $m/s^2$	操纵力 N	
小于 4.5t 纯电动	满载	50	$\leq 22$	$\geq 5.4$	2.5	$\leq 700$	30	$\leq 18$	$\geq 2.6$	手 600 脚 700
	空载		$\leq 21$	$\geq 5.8$		$\leq 450$				

电 动 汽 车										
------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

### 2.4.7 舒适性

纯电动汽车在提供动力性、空间实用性的同时，还要兼顾舒适性，给乘客带来良好的乘坐感受，这也是纯电动汽车市场后期销售重要的影响因素。本设计越野车的舒适性参数参照下表。

	静挠度	动挠度	偏频
越野车	60-130	70-130	1.4-2.0

## 2.2 纯电动汽车整车参数及性能指标确定

本文参照某紧凑型纯电动轿车，对轿车的传动系统进行了分析。最终确立了本文研究车型的整车参数如下表：

表 2.1 紧凑型纯电动轿车整车参数

整车尺寸 (mm)	3900/1800/1400	电池类型	锂离子电池
整备质量 (Kg)	1350	传动效率 $\eta_T$	0.9
离地间隙 (mm)	30.5	续航里程 (Km)	300
前/后轮距 (mm)	1460/1445	空气阻力系数 $C_D$	0.6
轴距 (mm)	2830	迎风面积 A ( $m^2$ )	2.52
轮胎规格	10.00R20	车轮滚动半径 r (m)	0.602
驱动方式	前置前驱	滚动阻力系数 f	0.014

同时，在电动汽车行驶过程中会经历不同的工况，譬如：坡道行驶，加速工况等。因而对电动汽车的最高车速，最大爬坡度，加速时间和最大续航里程等性能有具有要求。参照诸多文献，确立如下紧凑型纯电动轿车的动力性指标：

- (1) 最高车速： $\geq 80\text{Km/h}$ ；
- (2) 最大爬坡度： $\geq 70\%$ ；
- (3) 加速时间：6s (0~50Km/h 的加速时间) ；
- (4) 蓄电池放电深度 80%，能够以速度 30Km/h 行驶 300 公里。

### 3 电动机的选择

#### 3.1 电动机形式

电动机是纯电动轿车中输出动力的部分，是整个电动轿车的核心。电动机的选择直接关系到电动轿车的动力性能。只有所选择的电动机具有足够可以调节的动力范围才能在不同的工况下实现电动轿车的加速、减速或是制动停车等功能。电动机参数的选择主要是对电机的峰值功率、额定功率、最高转速、额定转速和额定电压等参数的匹配计算，经过理论计算，使设计的电机参数能够满足整车的动力性，即不出现动力不足或是动力过剩浪费的情况。电动机功率选择越大，则电动汽车的后备功率越多，加速性和爬坡性能越好，但电动机的体积和质量会迅速增加，使得电动机不能在高效率区工作，从而影响了车辆的续航里程；另外，电动机的成本也会随着电动机功率的增加而增加。电动机功率选择过小，将无法实现电动汽车所要求的性能指标，影响整车的加速性能，甚至会造成电机及其他设备的损坏。因此，合理选择电机的峰值功率和额定功率至关重要<sup>[27, 28]</sup>。

#### 2.3.1 电动机类型选择

纯电动汽车驱动系统要求电机具有较高的可靠性、耐久性、适应性。由于车辆的振动及机室的高温环境，车用电机在振动大、冲击大、灰尘多、温湿变化大的恶劣条件下运行，因而必须适应环境条件的要求，使电机可靠、安全、稳定的运行。此外，由于电动汽车在运行的过程中速度的变化范围大，这就要求电机具有较宽的调速范围，即车用电机要具备低速大转矩和高速恒功率的特性<sup>[29]</sup>。

电动机的类型很多，主要包括直流电动机、交流感应电动机、开关磁阻电动机、永磁电动机。对以上四类电动机的特性作如下对比：

表 2.2 驱动电机特性比较<sup>[29]</sup>

项 目	直流电机	交流感应电机	开关磁阻电机	永磁电机
结 构	有电刷和换向器，可靠性差	结构简单；牢固 可靠性高	由磁阻电机和开关电路控制器组成	有永磁体不需要励磁电流，效率高

外形尺寸	大	中	小	小
质量	重	中	轻	轻
最高转速 (rpm)	4000--6000	9000-15000	>10000	4000-10000
效率 (%)	75-85	85-92	85-93	90-95
可靠性	一般	优	优	良
价格	高	便宜	一般	高
缺点	有电刷易产生火花, 引起电磁干扰维修复杂, 体积大质量大	控制系统复杂	输出转矩脉动大, 具有非线性特性	需要检测转子磁极位置, 永磁体有退磁的问题
优点	结构简单, 转矩控制特性良好	结构简单, 调速范围广, 较小的转动惯量, 技术比较成熟, 维修业比较简单	结构简单, 牢靠 起动时的转矩大, 可调范围宽广, 效率高	体积小, 重量小 所以能量密度大, 控制器比较简单, 效率比较高
运用前景	电动汽车发展初期得到青睐, 与其他驱动技术相比劣势较多	目前大部分电动汽车都选择其作为动力来源	尚未成熟, 发展受到限制	大多数使用在特殊电动汽车上, 如太阳能电动汽车

(1) 直流电机驱动系统具有成本最便宜、易于无极调速、控制器简单便宜、技术成熟等优点, 但由于存在碳刷和换向器, 制约了电机的最高转速还需要定期维护, 使用很不方便。加上电机本身体积大、重量重、效率低, 这些因素制约了在电动汽车上的使用。只能使用在低速、低价的微型电动观光车上。

(2) 交流感应电机驱动系统与直流电机系统相比, 具有效率高、结构简单、坚实可靠、免维护、体积小、重量轻、易于冷却、寿命长等许多优点。感应电机本身比直流电机成本低, 但控制成本比直流电机高。但随着功率电子技术的不断进步, 两者的成本差距越来越接近。

(3) 开关磁阻电动机主要特点是结构紧凑牢固, 适合于高速运行, 并且驱动电路简单成本低、性能可靠, 在宽广的转速范围内效率都比较高, 而且可以方便地实现四象限控制。缺点是转矩脉动大, 电磁噪声大。此外, 相对永磁电机而言, 功率密度和效率偏低。随着技术进步, 该电机在电动汽车上也具有较好的应



用前景。

(4) 永磁电动机可分为永磁无刷直流电动机和永磁交流同步电动机。前者的优点是：控制器简单，输出转矩大；缺点是转矩脉动大。后者的优点是：转矩脉动小，控制较复杂，对于同功率电机，其转矩比无刷直流电机小。可利用矢量算法可以实现宽范围的恒功弱磁调速。

综上所述，永磁无刷直流电机具有优越的起动和调速性能、没有换向器和电刷、寿命长、噪音低和电子干扰小等优点，在电动汽车设计中遇到的诸如起步不稳定、电机噪音大以及行驶过程中频繁制动、加速等问题都可以得到解决，同时直流电机驱动技术较成熟、成本较低，所以本文选择永磁无刷直流电机作为驱动电机<sup>[4]</sup>。

## 3.2 电动机主要性能

### 3.2.1 电动机最大功率 $P_{emax}$ 和相应转速 $n_p$

纯电动汽车的动力性主要决于电动机的最大功率值，电动机的功率越大，动力性就好。最大功率值根据所要求的最高车速 $V_{amax}$ 计算，如下：

$$P_{emax} = \frac{1}{\eta_T} \left( \frac{m_a g f v_{amax}}{3600} + \frac{C_D A}{76140} v_{amax}^3 \right)$$

式中： $P_{emax}$  ……最大功率，kw

$\eta_T$  ……传动系效率，0.849

$g$  ……重力加速度，9.8m/s<sup>2</sup>

$f$  ……滚动阻力系数，取 0.012

$C_D$  ……空气阻力系数，取 0.6

$A$  ……纯电动汽车的正面迎风面积，本车 A 取 2.52 m<sup>2</sup>

$m_a$  ……纯电动汽车总质量，kg

$v_{amax}$  ……纯电动汽车最高车速，km/h

带入相关数据，可得：

$$P_{emax} = 17 \text{ kw}$$

1. 根据汽车爬坡度确定电动机功率

电动汽车以某一车速爬上最大坡度消耗的功率为

$$\sum_{i_{\max}} P = \frac{1}{\eta_T} \left[ \frac{Mgf \cos(\arctan i)}{3600} u_a + \frac{C_D A}{76140} u_a^3 + \frac{Mg \sin(\arctan i)}{3600} u_a \right]$$

式中， $u_a$  为电动汽车行驶速度 (Km/h)； $i$  为坡度。

本文所设计的最大爬坡度，即  $i=70\%$ ；取爬坡时电动汽车的行驶速度为

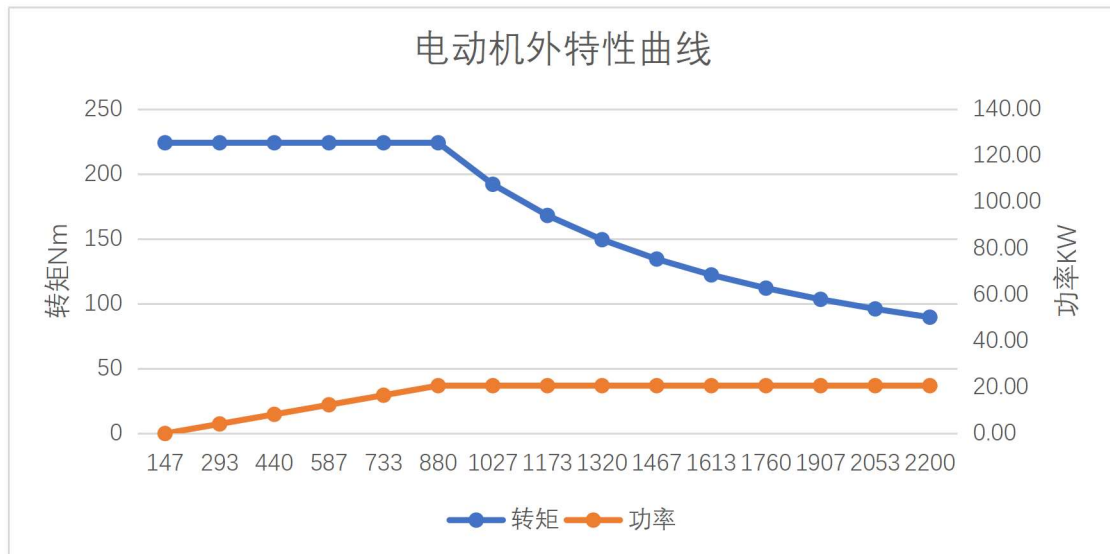
$u_a=25\text{Km/h}$ 。将表 2.1 中的参数带入公式 (2.3) 得： $P_{i_{\max}}=3.95$

查阅资料，选取 DCB 永磁同步电动机，主要技术参数下表。

型号	DCB
气 缸 数	4
排 量/L	
额定功率/ 转速 (kw/r/min)	21 /2200
最大扭矩/转速 (kw/r/min)	224 /880
环保标准	国 VI

电动机外特性曲线如下

转矩	转速	功率
224	147	0.00
224	293	4.13
224	440	8.26
224	587	12.39
224	733	16.52
224	880	20.65
192	1027	20.65
168	1173	20.65
149	1320	20.65
134	1467	20.65
122	1613	20.65
112	1760	20.65
103	1907	20.65
96	2053	20.65
90	2200	20.65



### 3.2.2 电动机最大转矩 $T_{emax}$ 及相应转速 $n_T$

$$T_{emax} = 9549 \times \frac{\alpha P_{emax}}{n_p}$$

式中,  $T_{emax}$ —最大扭矩 (N·m)

$\alpha$ —转矩适应性系数, 取 $\alpha=1.1$

$P_{emax}$ —电动机最大功率 (kw)

$n_p$ —最大功率转速 (r/min)

$$T_{emax} = 9549 \times 2.5 \times 21 / 880 \approx 224 \text{ N} \cdot \text{m}$$

故  $n_p=2200 \text{ r/min}$ ;  $n_T=880 \text{ r/min}$

综上所述, 计算数据与所选电动机数据相符。

## 3.4 动力电池参数匹配

动力电池是纯电动汽车关键技术, 当前纯电动汽车之所以没有得到广泛推广的最根本原因便是因为动力电池技术没有得到很好的突破, 很难同时兼顾动力电池选择的性能和价格。因此, 在本文所设计的纯电动汽车中, 目标便是选择一种性能和价格都较为合适的动力电池, 并进行电池参数的匹配设计, 使其能够满足车辆的加速、爬坡以及延长续驶里程等性能。动力电池的参数匹配主要包括电池组的数目、电池类型、电池组容量、电池组电压等参数的选择。

### 3.4.1 动力电池类型选择

纯电动汽车动力电池一般为蓄电池，而且蓄电池是电动汽车的唯一动力源。因此，对于电动汽车的电池技术要求有：足够高的功率密度、足够高的能量密度、足够大安全性和、足够的循环寿命以及能够接受的成本。目前，在电池技术还没有得到完全突破的情况下，想要同时达到以上几方面的要求是很难得，我们能够做的是寻求五个方面要求的平衡。

目前，纯电动汽车上使用较多的几种电池是铅酸蓄电池、镍氢金属电池、锂离子蓄电池。

(1) 铅酸蓄电池。至今已有 100 多年的历史，是已经成熟的电动汽车电源。其具有以下特点：技术成熟、可靠性高、原材料资源丰富且价格便宜、比功率基本能够满足电动汽车的动力性能要求。不足之处是重量大，同时体积也大，因而比能量较低，续驶里程短，需经常充电，使充电循环次数增多，降低了电池使用寿命，维护频率升高使得成本较高。在电动汽车初期发展应用广泛。

(2) 镍金属电池。电动汽车用镍电池主要是镍金属电池（主要是镍-镉电池）和镍-氢电池两类。虽然镍-镉电池相对于铅酸蓄电池价格昂贵，一般是后者 4-5 倍，但是镍-镉电池有自身优势：比能量能够达到 55Wh/Kg，比功率可以达到 200W/Kg，循环寿命到达 2000 多次，充电速度快。总体使用成本不算是最高的，但是属于重金属，如果一旦回收不好会造成重金属中毒，因此很多发达国家已经禁止开发镍-镉电池。镍-氢电池其高比能量与锂离子电池相当；高比功率可使电动车有良好的起动、加速和爬坡性能，平均充电循环次数可以达到 300-600 次，而且，因其安全、无污染，被誉为“绿色电源”。它是电动汽车中期发展的主要能源，具有很大的发展前景。

(3) 锂离子电池。锂离子电池是上个世界 90 年代发展起来的可充电大容量电池，具有很高的能量密度，大约是铅酸电池的 3 到 4 倍，无记忆效应、自放电率小、寿命长、无污染等优点，是未来电动汽车的主要的动力电池，也是当前各国能量存储技术研究的热点。但是，锂离子电池也仍然还有许多缺点需要一一攻克，例如：一致性、安全性、可靠性差，不能快速充电，成本高，技术尚未成熟，高温性能差等。

现将以上几种电池的性能作下表的对比<sup>[36,37]</sup>：

表 2.4 几种常见电池性能对比

项 目	铅酸蓄电池	锂离子电池	镍镉电池	镍氢电池
能量密度(Wh/L)	120-160	260	120	180
功率密度(W/L)	120	—	—	480
比能量(Wh/Kg)	40-50	105-140	40-50	65
比功率(W/Kg)	200-400	250-400	150-350	160-230
基本电压	2V	3.6V	1.25V	1.25V
可充电次数	500-700	800-1200	800-2000	600-1200
能量效率 (%)	65	—	65	90
容忍过充电率	高	非常低	中等	低
回收利用率 (%)	97	50	99	90
充电时间(h)	8-17	<3	5-60	<6
工作温度 (°C)	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-40 ~ 60	-20 ~ 60
价格 (\$/Kwh)	100	200	300	200

综合以上对几种常见纯电动汽车车用蓄电池的比较, 锂离子电池具有能量密度高、电压高、无记忆效应、自放电率小、循环寿命长、负载能力大、无污染等优点。因此, 本文所选车型决定选用磷酸铁锂离子电池作为车载电源。

### 3.4.2 电池组参数的确定

对于电动汽车蓄电池参数的匹配, 除了上述的电池组的数目、电池类型、电池组容量、电池组电压等, 还有开路电压、电池内阻、能量和功率等。本文主要对锂离子电池的工作电压和能量进行匹配计算。

#### (1) 电池数量确定

##### 1 最大功率选择电池组数目

蓄电池携带的能量必须大于或等于电动汽车的最大消耗, 如此才能保证电动汽车形式要求, 所以要求电池组数目:

$$n = \frac{P_{\text{emax}}}{P_{\text{bmax}}\eta_e\eta_{ec}}$$

其中,

$P_{\text{bmax}}$ --单个电池输出的最大功率, 取 0.7kw;

$\eta_e$ --电动机的工作效率;0.849

$\eta_{ec}$ --电动机控制器的工作效率，取 9.5；

N--单个电池组所含的电池数目，一个电池组含 10 块电池。

计算得出  $n=37$  个。

$$n = \frac{1000LW}{C_1U_1}$$

$$W = P \cdot 1 / V = 0.09$$

其中，

L--续航里程(km);300km

W--电动汽车行驶 1km 消耗能量(kw/h);

N--单个电池组所含的电池数目，一个电池组含 10 块电池。

C1-单节电池额定容量，0.278A·h;

U1-单节电池电压; 3.6V

DOD-放电深度 (80%)

V--车辆等速行驶速度(km/h);30km/h

P--等速行驶需求功率(kw)。2.59 kw

计算得出  $n=26$  个。

最后确定电池数量为 37 个

### (1) 电池组容量的确定

电池组容量表示的是电池荷电量的多少。一般来讲，电池容量是指在一定放电制度下，电池放出的电量或是有效工作时间，是体现电池价值的最重要参数，其可根据下式计算：

$$C = \frac{1000 \times W_{ess}}{U_{ess}} \quad (2.13)$$

式中，C 为电池组的容量 (Ah)； $W_{ess}$  为电池组能量 (Kw·h)； $U_{ess}$  为电池组的平均工作电压 (V)。

而纯电动汽车，电池组能量的大小通常由其续驶里程决定，常采用等速法对续驶里程这一性能指标进行计算，计算公式如下：

$$W_{ess} = P_{ele} \times t = P_{ele} \times \left( \frac{S}{V_{ele}} \right) \quad (2.14)$$

而：

$$P_{ele} = \frac{1}{\eta_T} \left( \frac{Mgf}{3600} V_{ele} + \frac{C_D A}{76140} V_{ele}^3 \right) \quad (2.15)$$

式中,  $P_{ele}$ 为汽车以恒定速度行驶时所需的能量 (Kw) ;  $t$ 为汽车持续行驶时间 (h) ;  $S$ 为汽车的持续行驶里程(Km), 且取  $S = 300\text{Km}$ ;  $V_{ele}$ 为汽车的恒定行驶速度 (Km/h) , 且取  $V_{ele} = 30\text{Km/h}$ 。

将实车参数带入(2.15)计算得:

$$P_{ele} = 19.55 \text{ Kw}$$

将  $P_{ele} = 19.55$  带入 (2.14) 中得:

$$W_{ess} = P_{ele} \times t = P_{ele} \times \left( \frac{S}{V_{ele}} \right)$$

计算得  $W_{ess} = 25.94$  , 再将  $W_{ess}$  带入 (2.13) 中得:

$$\text{计算得 } C = 398.88 \text{ A}\cdot\text{h}$$

考虑到电池容量应有所裕量<sup>[38]</sup>, 故取  $C = 400\text{A}\cdot\text{h}$ 。

综上所述, 电池组中单体电池的个数是 177 个, 工作电压约为 640V, 电池容量为 400A·h。

### 3.5 传动系统参数匹配

传动系统参数匹配主要是对变速器和主减速器参数的匹配。因此本节主要对二者进行参数匹配。因为在电机参数确定的情况下, 传动系速比的选择是十分关键的, 其既要兼顾汽车的经济性要求和动力性要求, 这往往关系到电机的工作状态和电机在不同工况下的工作点, 从而直接影响电机的工作效率, 进而影响到电动轿车的续驶里程。除了考虑加工工艺和成本以外, 还要求变速传动装置的体积要小、重量要轻、档位数合理, 否则将增加整车体积和质量而影响到整车性能。电动汽车传动系中传动系的速比、档位数和换挡规律对整车的性能有着较大影响。

#### 3.5.1 传动系统变速方案选择

传动系统变速器档位数对于整车性能的影响很大。第一, 与传统汽车相比较,

增加电动汽车变速器的档位数，有利于增大利用电动机峰值功率的机会，提高电动汽车的动力性能；同时也可以增大电动机在最佳效率区工作的机会，改善整车经济性，提高汽车续航里程。但是由于电机具有良好的调速特性，电动汽车传动系统的档位数不宜过多。一般情况下不超过三档，否则结构复杂、体积增大、质量增大，同时也降低了传动系的效率，降低了整车的性能。

第二，档位数对电机参数匹配也有影响。电机最高转速和峰值功率的选择不仅受到整车动力性三项指标的影响，还要考虑传动系统档位数和传动比的影响。电动汽车采用不同的档位，其相对应的电机参数匹配时不一样的。多档传动系统可以降低电动汽车对电机最高转速的要求。档位数适当增加会使得对电机最高转速的要求降低。最低档对应起步或爬坡，最高档位对应最高行驶车速。因此在满足同样车速的前提下，采用二档（或三档）能够使电机最高转速的选择适当减小。同时，多档传动的最低档传动比一般选择较大，因而可以明显缩短加速时间。

第三，传动系速比对整车经济性影响。根据电机的工作高效区在电机的额定功率和额定转速附近的原理，电动汽车在循环工况行驶情况下，为了提高其续航里程，应尽量使电动机在恒功率区段和额定转速附近工作。

基于以上档位数对于纯电动汽车整车性能的影响，为了使纯电动汽车更能发挥其优越性，同时降低对牵引电机和电池的要求，电动汽车传动系统可以采用两档变速器，使驱动电机的工作区域扩大。通过对传动系统的控制来保证牵引电机总是能够工作在理想的区域，从而提高整车的动力性、经济性等指标。相对几种自动变速器如 AT、CVT、DCT 等而言，机械式自动变速器（AMT）是一种比较成熟的技术，具有成本低、效率高、体积小和安装方便等优点。而且，相比于一档和三档的自动变速器，两档自动变速器具有前面述及档位数对电动汽车整车影响的最有利特点，换挡简单，无需排挡。因此，本文采用不带离合器的两档自动变速器作为电动汽车传动系统方案。

本文所选车型采用两档自动变速器结构如图 2.6 所示，按照机械式自动变速器（AMT）的结构和工作原理设计的，有两套啮合齿轮副和一套同步器，输入轴与电机相连，输出轴通过主减速器及驱动桥驱动车轮，与传统的 AMT 不同的是两档自动变速器取消了离合器，换挡执行机构没有选档装置，只有换挡装置<sup>[31]</sup>。



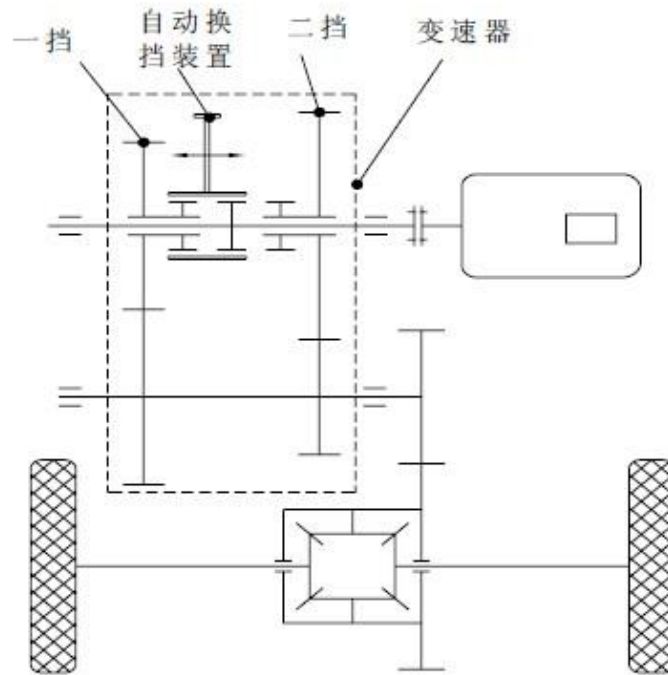


图 2.6 两档 AMT 结构图

### 3.3 悬置

电动机悬置应符合下述条件：

- (1) 悬置应有一定的刚度
- (2) 隔震性能要好
- (3) 能起到减震降噪作用
- (4) 橡胶材料的机械疲劳性能、良好的热稳定性和耐腐蚀性

橡胶悬置：结构简单，成本低，具有一定的动刚度，一般用于货车。

液压悬置的动刚度随频率变化。动态刚度在 10Hz 最小值，20Hz 左右最大值，然后开始减少，当频率大于 30Hz 时趋于稳定。阻尼损失角在 5-25Hz 之间，利于大振动在空转频段（20-25Hz）的衰减。

考虑到驾驶舒适及客户满意度的原因，本次设计橡胶悬置。

## 4 传动系选型

### 4.2 纯电动汽车轮胎

轮胎和车轮支撑着整个纯电动汽车车身，承受纯电动汽车重力，影响着纯电动汽车起步加速、纯电动汽车制动以及纯电动汽车的运动方向。因此，轮胎的选择是很重要的工作。

轮胎和车轮支撑着整个纯电动汽车车身，承受纯电动汽车重力，影响着纯电动汽车起步加速、纯电动汽车制动以及纯电动汽车的运动方向。因此，轮胎的选择是很重要的工作。

根据胎体结构的不同分为：子午线轮胎、斜交轮胎等。

子午线轮胎优点：滚动阻力小，温升高，缓冲性能和附着力性能优于斜交轮胎。油耗低，寿命长，性能好。因此在纯电动汽车设计中应该作为首选。

缺点：制造困难，成本比斜交轮胎低，不易修复。

用途：适用于高速车辆常用的高强度、高导热钢帘线轮胎。钢丝帘只能用作子午线轮胎。对于经常低速行驶的纯电动汽车，尼龙、聚酯、人造丝可以用作轮胎帘子线。斜交轮胎主要用于制造上述材料。

载货纯电动汽车轮胎主要是根据轴荷分配、轮胎的额定复合、使用条件以及车速来选择，所选的轮胎在使用中静载荷应等于或接近于轮胎的额定负荷值。轮胎所承受的最大静负荷与轮胎负荷值之比称为轮胎负荷稀疏，为了避免超载，此值应在 0.85-1.0 之间。

轮胎选用 10.00R20，断面宽度 10 英寸 mm，轮辋直径 20 英寸。

### 4.3 离合器的选择

单片拉式膜片弹簧离合器，无锡市第五机械制造有限公司 L110BH，扭矩 760Nm。

specification	performance parameter				structure dimension												
	Recommended motor power (HP/KW)	working speed (rpm)	Engagement speed(rpm)	Torgue at working speed 3000rpm(Nm)	φd1①	φD	φG	H	A	C	E	F	K	M	B	T	
L07BH	2.5/1.8	3600	2000	8.4	15	-	81	20	-	-	-	-	-	-	4	16.5	
L20BH	6.5/4.8	3600	1800	24	19.05/20	133	90	52	25	-	14.6	36	11.7	38	4.78/5	21.3	
L22BH	5.5/4	3600	1700	18	19.05/20	85	102.6	70	14	15	11.7	63	12.7	34	4.78/5	21.3/22.3	
L30BH	15/11	3600	1700	54	25.4/25	91	100	85	12	15	13.8	62	12.7	34	6.4/7	28.1	
L41BH	13/9.5	3600	2000	40	25.4/25	100.5/160	117.5	103/74	26/8	19	15.8	90	15.7	35	6.4/7	28.1/28.3	
L65BH	24/17.6	3600	1700	106	25.4/25	101.5	114.5	83	16	19	15.8	76.4	15.7	35	6.4/7	28.1/28.3	
L80BH	38/28	3600	1700	141	<42		125										
L90BH	68/50	3600	1700	247	<48		138										
L91BH	125/92	3000	1100	587	<48		138										
L100BH	94/69	3000	1700	437	<55		150										
L105BH	39/28	3600	1400	145	36.5	125.8	130	96	16/5	19	15.8	114.5	15.7	35	9.525	39	
L110BH	162.5/119	3000	1400	760	<60		165										
L111BH	191/140	2500	1100	1075 at 2500rpm	<55		165										

### 4.4 万向传动轴的选择

选用两轴式传动轴,并用十字轴连接，秋戈机械 SWC150，公称扭矩 450KNm。



秋戈机械  
www.shdglve.com

**SWC型十字轴式万向联轴器**

点击数: 4054

产品类别: 产品分类 联轴器 万向联轴器

产品描述:  
SWC型万向联轴器为无螺栓结构，轴承固定不用螺栓，避免了因螺栓剪断而破坏的薄弱环节，延长使用寿命，便于维护。适用于轧钢机械、起重运输机械及其他重型机械，联接两个不同轴线的传动轴系，回转直径100~620mm；传递公称转矩1.25~1000kN·m，轴线折角15°~25°。

[→] SWP型万向联轴器

[←] SWZ型十字轴万向联轴器

### 4.5 主减速器的选择

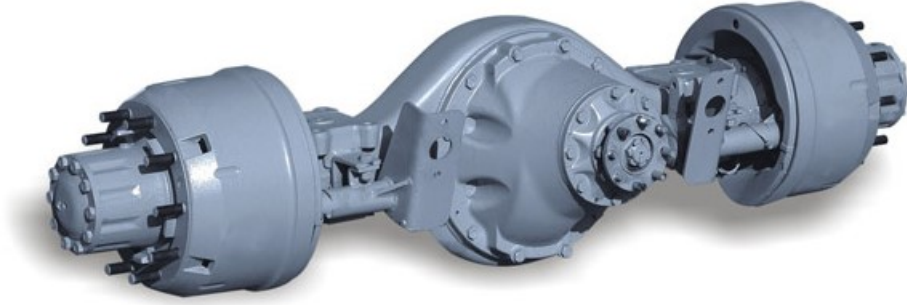
单级圆锥齿轮减速器

### 4.6 驱动桥的选择

本设计选用 HDZ450 单级减速驱动桥

---

HDZ450单级减速驱动桥



## 5 动力性能的计算

### 5.1 驱动桥主减速器传动比 $i_0$ 的选择

在选择驱动桥主减速器传动比  $i_0$  时, 首先可根据纯电动汽车的最高车速、电动机参数、车轮参数来确定, 其值可按下式计算:

$$i_0 = 0.377 \frac{r n_v}{v_{a\max} i_g}$$

式中:  $v_{a\max}$  -- 纯电动汽车的最高车速, 已知 80km/h;

$n_p$  -- 最高车速时电动机的转速, r/min, 一般  $n_v = n_p = 2200$  r/min;

R -- 车轮静半径,  $r = 0.602$ m

$$\text{故 } i_0 = 0.377 \frac{r n_v}{v_{a\max} i_g} = 6.24$$

### 5.2 变速器一档传动比 $i_g$ 的选择

在确定变速器一档传动比  $i_g$  时, 需要考虑驱动条件和附着条件。为了满足驱动条件, 其值应符合下式:

$$i_{g1} \geq \frac{m_a g (f \cos i_{\max} + \sin i_{\max}) r}{T_{e\max} i_0 \eta_T}$$

式中:  $i_{\max}$  ..... 最大爬坡度,  $i_{\max} = 34.99$  度

代入相关数据, 计算得:

$$i_{g1} \geq \frac{m_a g (f \cos i_{\max} + \sin i_{\max}) r}{T_{e\max} i_0 \eta_T} = 4.93$$

$$i_{g1} \leq \frac{Gr\varphi}{T_{e\max} i_0 \eta_T} = 6.76$$

本次设计取  $i_g = 5.84$  .

综上所述, 本设计最小传动比为 6.24 , 最大传动比为 36.46 . 选用浙江中马传动公司的 ZM015/16 变速器, 输入扭矩 1230Nm。

1 档	2 档	R 档
3.410	1.00	3.41

## 6 纯电动汽车动力性计算

### 6.1 驱动力的计算

纯电动汽车的驱动力按下式进行计算：
$$F_t = \frac{T_e i_g i_0 \eta_T}{r} \quad v_a = 0.377 \frac{r n_e}{i_g i_0}$$

式中：

F<sub>t</sub>:力，N

T<sub>e</sub>:电动机转矩，Nm；

n<sub>e</sub>:电动机转速，r/min；

v<sub>a</sub>:纯电动汽车的车速，km/h

i<sub>0</sub>:主减速器的传动比 6.24。

滚动阻力

$$F_f = m_a g \cos \alpha f$$

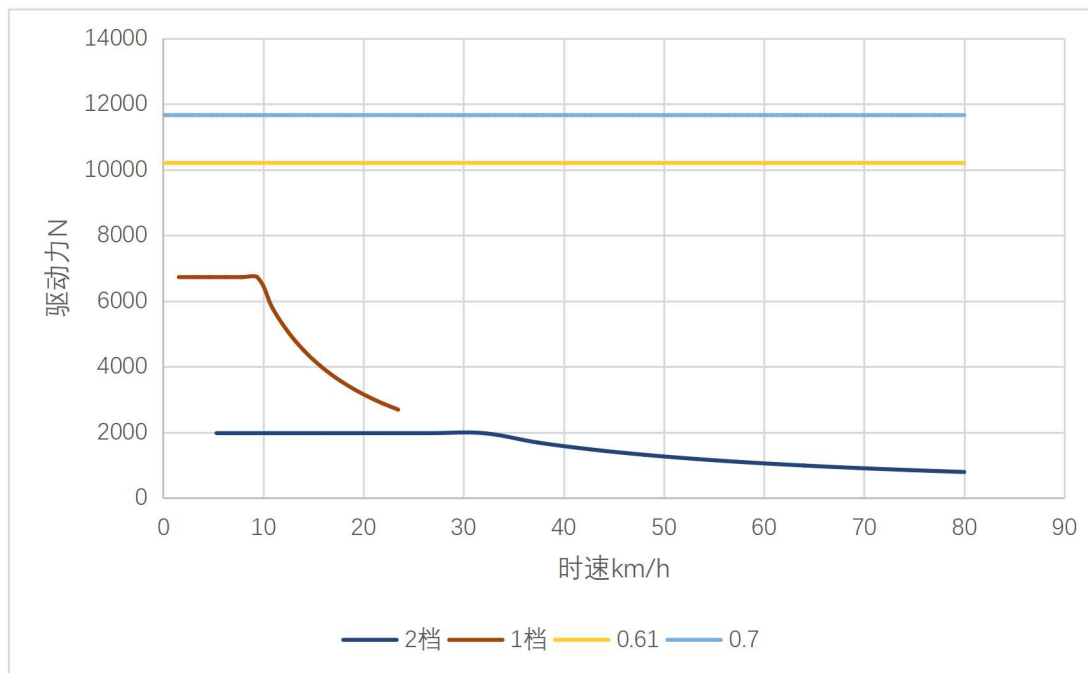
空气阻力

$$F_w = \frac{1}{2} C_D A \rho v_a^2$$

爬坡阻力

$$F_i = m_a g i$$

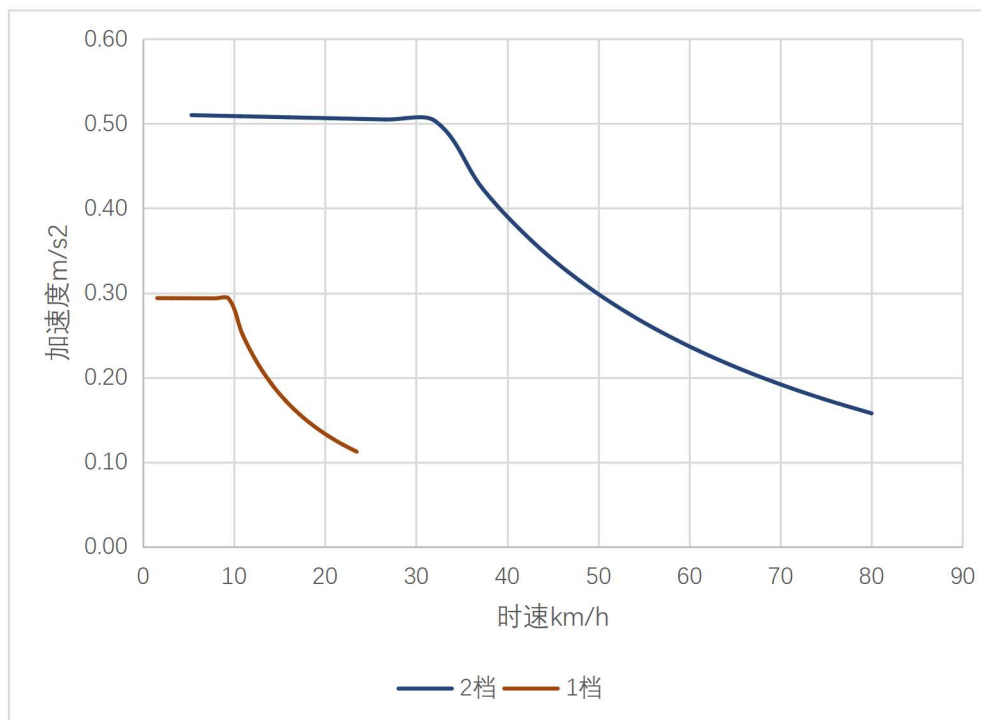
代入相关数据，计算所得数据如下所示。



## 6.2 加速度的计算

加速度计算公式为  $a = \frac{F_t - F_f - F_w}{\delta m_a}$        $F_f = m_a g f \cos \alpha$        $F_w = \frac{1}{2} C_D A \rho u_a^2$

联立上式，代入数据得到



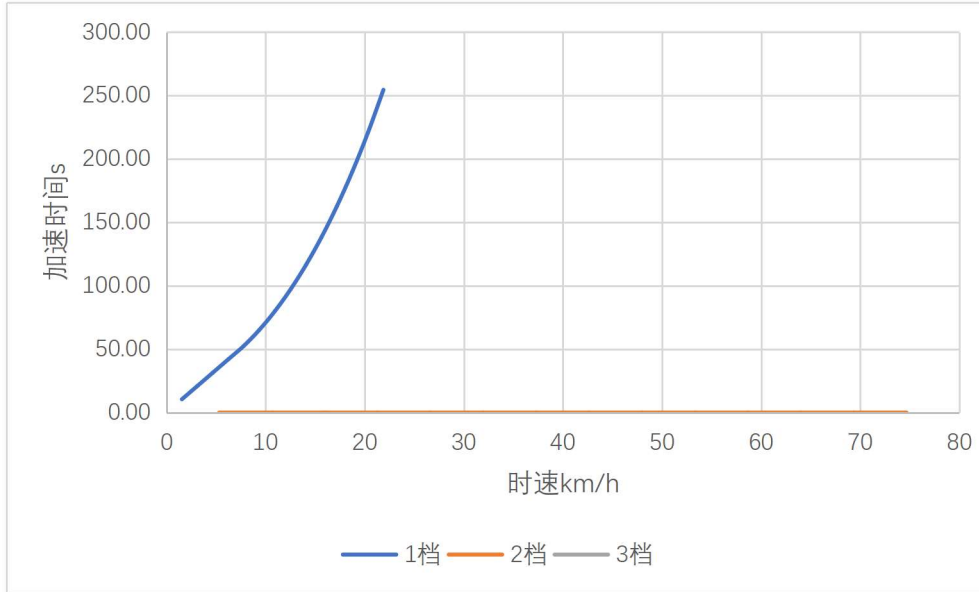
## 6.4 加速时间计算

根据以下公式计算加速时间  $a = \frac{d_u}{d_t}$

得到  $d_t = \frac{1}{a} d_u$

进而得到  $t = \int_{u_1}^{u_2} \frac{1}{a} d_u$

输入数据用 excel 计算出加速时间去曲线如图



### 6.5 汽车经济性的计算

在总体设计时，通常是计算汽车稳定行驶时的经济性，计算公式如下：

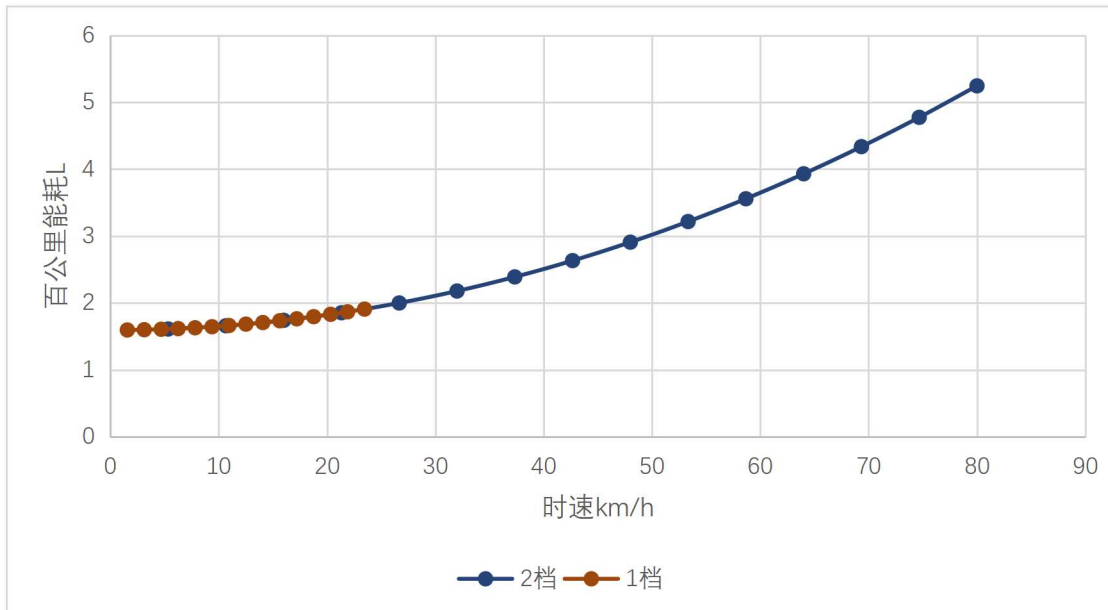
$$Q_s = \frac{Pg_e}{1.02u_a\rho g} \quad v_a = 0.377 \frac{rn_e}{i_0 i_g}$$

式中： $p_e$ ：汽车稳定行驶时所需电动机的功率，kw；

Q: 汽车等速百公里能消耗量，l/100km；

ge:能量消耗率，200g/(kw\*h)

$\gamma$ :消耗重度，这里取 8.04。





## 6.6 爬坡能力计算

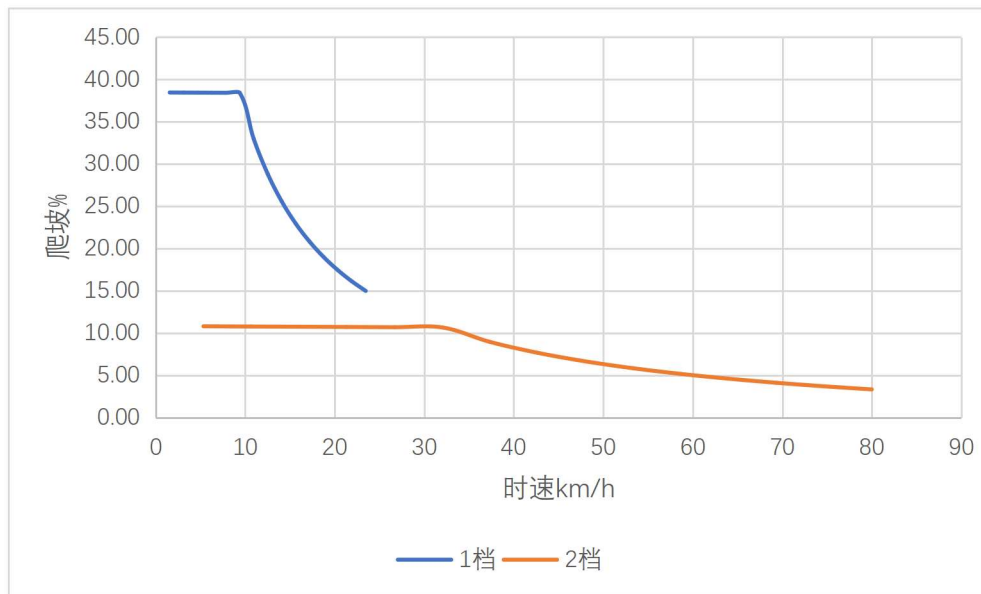
爬坡能力按照下式计算：

$$\alpha = \arcsin \frac{F_t - F_f - F_w}{G}$$

同时：

$$\tan \alpha = i\%$$

根据前两个公式得到爬坡性能曲线如下。



## 结 论

本设计通过学习教材和课程设计指导书，同事上网查阅相关文献和资料，对越野车进行了总体设计。设计内容包括但不限于以下方面：1，对该车型进行尺寸参数设计。2，对质量参数进行设计。3，对电动机传动系部件进行设计选型。4，对动力性能和燃油性能进行计算。并最终绘制总布置图。