

电动汽车的 关键技术

万沛霖 主编



北京理工大学出版社

电动汽车的关键技术

万沛霖 主 编

万沛霖 李 山 石晓辉
赵明富 张 兢 涂巧玲 编 著

北京理工大学出版社

内 容 简 介

由于目前科学技术水平可使得电动汽车具备低噪声、零排放、综合利用能源等特点,因此是汽车工业解决当今全球性两大突出难题——能源危机和环境污染的重要途径;也是当今电动汽车的研制再度在世界范围内兴起的原因。

该书共五章分别介绍了电动汽车的结构及特点;电动汽车的控制技术;电动汽车的动力源及其能量管理系统;电动汽车驱动系统及控制系统应用实例;电动汽车最新技术动态。

该书适合汽车工程技术人员和汽车专业的师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车的关键技术/万沛霖主编. —北京:北京理工大学出版社,1998.12

ISBN 7-81045-494-3

I. 电… II. 万… III. 电传动汽车-制造-技术 IV. U469.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 30848 号

责任印制:刘京凤 责任校对:郑兴玉

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

邮政编码 100081 电话 (010) 68912824

各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

787 毫米×1092 毫米 16 开本 7.5 印张 175 千字

1998 年 12 月第 1 版 1998 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 15.80 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

前 言

现今汽车已成为人们生活中重要的组成部分；汽车工业也是一个国家现代化水平的重要标志之一；当今世界由于科学技术迅猛地发展，90年代以来，电动汽车又成为世界各国研制的热点。

电动汽车其实并不是一个新概念，1875年戴维逊就研制成功了电动汽车，开创了电动汽车的先河。“电动汽车”其意义是与燃油汽车相对应的，它包括电动货车、客车、轿车等，但不包括工厂用于运送物件的蓄电池车。

由于目前科学技术水平可使得电动汽车具备低噪声、零排放、综合利用能源等特点，因此是汽车工业解决当今全球性两大突出难题——能源危机和环境污染的重要途径；也是当今电动汽车的研制再度在世界范围内兴起的原因。

我国电动汽车的研制工作亦与国外一样，起步较早，但受诸多技术条件的限制，尚无突破性的进展，我国电动汽车的研制工作现亦正式列入“九五”期间重大科技攻关项目，而实用化、产业化还有待科技工作者的艰苦奋斗！

笔者认为电动汽车现已成为一门技术，是如何将机械、电力、电子、自控、化工等诸多方面技术综合应用到汽车工程上！积多年教学、研究、研制之经验，集论文以及有关资料综合整理、加工提炼、系统地编著成“电动汽车的关键技术”一书，尤其是笔者多年从事模糊控制技术之管见用于电动汽车的控制上，算为首例。本拙著期望使正在从事电动汽车研究开发的科技、工程技术人员和对电动汽车感兴趣的读者，由此获得点滴的启发或微小的借鉴或起抛砖引玉之用。当然，由于编著者水平有限，不可避免有所谬误，诚恳地与读者、专家和学者讨论、磋商。若能共同探讨，起到推动、促进之作用，作者亦会感到极大的安慰！这亦是出版拙著的目的。

本书构意、章节科目安排始于1996年底，1997年多次修改删减，成于1998年3月。本书由万沛霖主编，石晓辉、万沛霖撰写第一章，李山撰写第二章，第三章由赵明富撰写，第四章由张兢撰写，第五章由涂巧玲撰写。万沛霖整体构思、拟定章节科目并统稿修定全书，张兢编辑图稿并负责校对，还有张志远、肖葱葱等同志做了大量的资料查阅整理工作。

最后，在编著中查阅和参考了大量的中外文献，引用了有关文献中的有关资料，在此，仅向这些文献的作者、著译者表示衷心的感谢。

万沛霖

1998年于重庆

目 录

第一章 电动汽车的结构及特点	1
第一节 电动汽车国内外发展情况	1
第二节 电动汽车的特点	2
第三节 电动汽车的结构及原理	4
第四节 电动汽车总体设计理论的探讨	5
第五节 当今电动汽车的关键技术	10
第二章 电动汽车的控制技术	13
第一节 电动汽车的驱动系统及分类比较	13
第二节 电动汽车常规线性控制系统	14
第三节 电动汽车的智能控制技术	20
第四节 电动汽车的自适应控制系统	25
第五节 电动汽车的模糊神经网络控制系统	28
第六节 电动汽车的模糊矢量控制	32
第三章 电动汽车的动力源及其能量管理系统	34
第一节 电动汽车的动力源	34
第二节 电动汽车的蓄电池充、放电技术及其应用	41
第三节 充电器原理及应用举例	48
第四节 电动汽车的能量管理系统	55
第五节 电动汽车能量再生控制系统	56
第四章 电动汽车驱动系统及控制系统应用实例	60
第一节 电动汽车交流感应电机驱动系统	60
第二节 电动汽车交流驱动系统及常规控制应用实例	61
第三节 30 kW 开关磁阻电动机调速控制系统	63
第四节 通用休斯电子公司 120 kW 感应电机驱动系统举例	66
第五节 智能控制系统应用举例	67
第五章 电动汽车最新技术动态	70
第一节 电动汽车驱动系统	70
第二节 电动汽车能源管理及再生系统	93
第三节 电动汽车充电技术	100
参考文献	111

第一章 电动汽车的结构及特点

电动汽车(Electric Vehicle)是以电池为动力的汽车,与燃油汽车有显著区别。电动汽车是涉及到机械、电力、电子、计算机控制等多种学科的高技术产品。

本世纪各国的汽车工业均是“石油—汽车”的道路,汽车虽给国民经济带来发展,给人类带来方便,但也给人类全球环境带来巨大的灾害!42%的环境污染是来源于燃油汽车的排放,80%的城市噪声是由交通车辆造成的,当今世界石油储量日趋减少,而燃油汽车是消耗石油的大户!因而当今汽车工业发展势必寻求低噪声、零排放、综合利用能源的方向!

1873年戴维逊研制成功的电动汽车,在90年代以来,又成为世界各国研究的热点。电动汽车具有低噪声、零排放、综合利用能源等突出的优点,正是当今汽车工业解决能源环保等问题的重要途径。

电动汽车势必成为21世纪取代燃油汽车的主要交通工具!

第一节 电动汽车国内外发展情况

1. 电动汽车国外发展情况

德、日、法、美这几个世界有名的汽车工业发达国家,到目前为止都已研制出家庭的实用电动车,其中包括大客车、电动轻型客车、电动轿车和电动摩托车。德国早在1972年就开始研制电动汽车,以“电动道路交通协会”为中心,在联邦政府的支持下开展电动汽车的开发试验工作,目前已制造出300辆汽车投入试用;日本于1976年成立“日本电动汽车协会”,目前参加该协会共有47名成员,日本政府制定了鼓励电动汽车开发与应用的政策,1978年为了促进电动汽车的推广,日本电动汽车协会制订了“电动汽车试用制度”,每年给试用者试用费。试用车主要用于公司、政府下属机构、公园的事务联络车、服务车、试用地区遍布日本各地。日本通产省计划到2000年普及20万辆电动汽车;法国很早就在城市环卫部门使用电动汽车,目前巴黎已有数百辆电动汽车在运行,全国有上千辆电动汽车在试运行,并计划在5年内有一批电动汽车投放市场。法国的电动汽车基本上采用铅酸电池,而SAFT公司正在努力使镍铬电池商品化。法国环境能源厅对电池的研究开发及电动汽车的试验给予了资助,地方政府对购买电动汽车的用户提供



图1-1 法国1899年造的电动汽车

一定数量的保证金,以鼓励电动汽车的推广。美国是世界上对污染限制最严格的国家,目前美国在电动汽车研制开发方面处于领先地位。美国采取政府干预,以能源部为中心,对电动汽车进行了大量的研究和开发,1989~1992年投入1亿多美元,1995年计划有1万辆电动汽车投入使用。除汽车工业发达国家外,其他国家也非常重视电动汽车的开发,并取得了相应成效,加拿大、奥地利、瑞典、韩国等国都投入巨资研制新一代电动汽车,以期解决能源和城市环境状况。

2. 我国电动汽车发展概况

面对世界各国开发电动汽车迅速发展的步伐,80年代初我国对电动汽车就开展了研究。我国电动汽车研制曾列入八五规划。目前,我国政府也极为关注开发电动汽车,曾明确指示,要把电动汽车列入国家重大攻关项目,并将锂离子电池作为电动汽车的能源,重点开发研究。国家科委也将电动车列入“九五”攻关重大项目。近几年,国家科委、国家计委又投入了大量资金,大力组织电动汽车的开发研究,并已研制出部分样车,如以清华大学为主研制的16座电动中巴车,采用直流无刷电机作为电动汽车的驱动电机,采用铅酸电池为动力源,现正在试验中;以北京理工大学为主研制的大客车,正在运行。湖北东风汽车厂牵头组织的电动汽车开发应用组,东风汽车公司、武汉工业大学、中国船舶工业总公司712研究所等单位联合开发的电动轿车,以盘式永磁直流电机为动力,应用IGBT为调速控制系统和免维护铅酸电池为能源,一次充电续驶里程可达130 km,最高车速90 km/h;而郑州华联电动车辆研究所研制的电动轿车,采用交流同步电机,额定功率10 kW,过载能力4倍,IGBT控制系统;华南理工大学研制的电动轻型客车EV6630,现已在深圳投入试运行中,还有北方工业大学、武汉长江电力公司、天津汽车研究所等也研制出了自己的电动汽车样车。目前电动汽车在全世界已经使用的约4万辆,电动汽车虽然有低噪声、零排放、综合应用能源等突出优点,但其综合性能还达不到实用的要求,如价格高、一次充电续驶里程短,充电时间较长,电池能量有限和循环寿命短,受这些因素制约,使其在目前尚难以达到产业化阶段。仍有许多关键技术需进一步深入研究、试验和开发;值得指出的是,我国汽车工业较发达国家落后,但电动汽车技术与其他国家比较,差距就不明显,有些技术还有优势,如电动车辆用的驱动电机和控制技术方面,就有某些优势,我们可以预言,现在各国大力研究电动汽车技术,必然取得突破性的进展,21世纪将是电动汽车取代燃油汽车的时代。

第二节 电动汽车的特点

近几年来,随着能源危机和环境污染的全球性两大突出问题日益严重,特别是随着电动汽车自身难点的不断解决,使电动汽车具有更多突出的特点。

1. 对环境无污染

燃油汽车排放出的废气主要含有一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、氮氧化合物(主要是NO、NO₂)、碳氢化合物(HC)、二氧化硫(SO₂)、铅化物、臭气和光化学烟雾,这些有害物质的危害是令人震惊的,而电动汽车就无排放。根据美国加州空气资源委员会的统计,在洛杉矶地区广泛使用电动汽车后,可降低碳氢化合物98%,CO可降低99%,CO₂也有大幅度降低,

见表 1-1。

表 1-1 影响城市空气质量的厢式货车队的排放物比较 (g/km)

车 型	GM 汽油机 厢式货车		G 型厢式电动货车			Chrysler 汽油 机微型厢式货车		TEV 厢式电动货车		
地区 排放物	加州	美国	路易斯 安那州	美国	美国 1995 年 以后	加州	美国	路易斯 安那州	美国	美国 1995 年 以后
VOC ₃	0.5	0.68	0.01	0.01	0.01	0.44	0.62	0.006	0.006	0.006
NO ₂	0.68	1.12	0.11	4.02	0.44	0.68	1.12	0.05	0.75	0.19
CO	5.59	6.22	0.01	0.06	0.06	5.59	6.22	0.006	0.03	0.03

噪声污染也是燃油汽车另一种排放污染,从有关资料得知城市 80% 的污染噪声是燃油汽车造成的,同时,一般轿车车外加速行驶噪声中,发动机噪声约占 55%;大中型汽车车外加速噪声中,发动机噪声约占 65%,因此减少燃油汽车噪声的关键是减少发动机噪声,因此用电动汽车代替燃油汽车是减少城市噪声污染的一个主要途径。

2. 节能及能源的多样化和综合利用

电动汽车在运行中停车时不消耗能源,在制动过程中电动机自动转化成发电机,反过来给蓄电池充电补充能量;另外,电动汽车的能源是由发电厂提供的电力给蓄电池充电而获得的,电能可由煤炭、天然气、核能、水能、太阳能、风能、潮汐能等等多种能源转移而得,当然也可用石油转换成电能,可见电动汽车所需的能源可多样化;同时,目前新型的电动汽车能源的转换效率超过燃油汽车的效率,即是把开矿、能量转化及传递过程中的能量损耗考虑进去,电动汽车的能量效率仍高于燃油汽车,见表 1-2。此外,给电动汽车的电池充电可主要放在夜间进行,这样非高峰充电有利均衡电网负荷,降低设备与管理费用,减少消费者的开销。

表 1-2 汽车性能参数与能量效率^①

车 型 参 数	GM 汽油机 厢式货车	G 型厢式电动货车	Chrysler 汽油 机微型厢式货车	TEV 厢式电动货车
轴距 /mm	3 175	3 175	2 845	3 845
装载容积 /m ³	7.249	7.249	3.766	3.766
一次充电行程 /km	—	96.5	—	193
最高速度 /(km·h ⁻¹)	—	83.7	—	104.6
燃油效率	16.1 km/gal ^②	1.61 km/kWb	25.7 km/gal	3.22 km/kWh
能量消耗 / [kWh/(km) ⁻¹]	2.62	1.97	1.64	0.98
① 参考“Technical Brief”. EPRI. April. 1993				
② 美加伦 (USgal) = 3.78543 L; 英加伦 (UKgal) = 4.546092 L				

3. 结构简单和维修使用方便

电动汽车在结构上比燃油汽车简单,运动部件减少,大大降低了日常维修保养量,驾驶操作更加方便,维修简便,节省开支。

第三节 电动汽车的结构及原理

由于电动汽车采用电动机驱动,蓄电池为动力,因此其结构与燃油汽车有着明显的不同,其配置如图 1-2 所示。电动汽车的结构大致为电机驱动,当行驶时,由蓄电池输出电能(电流)

通过控制器驱动电机运转,电机输出的扭矩经传动系统带动车轮前进或后退。其动力源是来源于蓄电池,也就是说,电动汽车续驶里程与蓄电池容量有关,蓄电池容量受诸多因素限制,是有限的,而希望提高一次充电续驶行程,必须尽可能地节省蓄电池的能量,因此,电动汽车与燃油汽车基本骨架就应有明显地区别,如图 1-2 所示。这就要求电动汽车的基本骨架适合以下几点:

- ① 为了确保行驶安全性,提高维护保养性,采用低重心和免维护一体型蓄电池,并将其放在车身后部的车厢地板下;
- ② 为了减轻车架重量,提高刚度,将大断面主车架可设计成纵直车架;
- ③ 为了确保车厢内部具有最大限度的乘员空间,最小限度地紧缩机械空间而采取将乘员空间与驱动系统动力源等完全分开的处置,将电动机、高压电气系统集中配置在车身前部,利用这些技术,既实现了各个部件的高效率利用的配置,又突出了电动汽车本身特性的要求。

1. 电动机

电动汽车按驱动电机可分为直流电机驱动的电动汽车和交流电机驱动的电动汽车两大类。直流电机驱动的电动汽车,虽然在结构上有许多独到之处,如不需离合器、变速箱,并具有起步加速牵引力大,控制系统较简单等优点,但它的整个动力传动系统效率不太高,故目前有被其他驱动类型电动汽车所替代的趋势。交流电机驱动的电动汽车突出的优点是体积小、质量轻、效率高、调速范围宽和基本免维护等优点。它是近几年发展起来的新技术,目前尚处于进一步发展阶段,但是制造成本较贵,然而随着电力电子技术的进一步发展,成本将随之降低,这类电动汽车必将具有强大的生命力。

2. 控制器

直流无刷电机、永磁同步电机、异步电机以及开关磁阻电动机等电机均可作为电动汽

车的驱动电机,控制器相应有所不同。

直流无刷电机现已开发出质量轻、电效率高的产品,其主要部件永久磁铁采用高磁力稀土类磁铁,且对定子和转子进行最优设计,可实现高达 96% 的能量转换效率。其指标是输出功率为 49 kW/1700 ~ 8750 r/min,输出扭矩为 275 Nm ~ 1700 r/min。电动汽车最高速度可达 130 km/h,即可与燃油车在道路上同行,也能轻松自如地运行。

交流电机(包括同步、异步、开关磁阻)驱动系统,近几年来来的研制和开发,不断取得新的突破,体积小、质量轻、效率高、免维护、调速范围宽是它的突出优点。

控制器将蓄电池直流电逆变成交流电后驱动交流驱动电机,电机输出的扭矩经传动系统驱动车轮,使电动汽车前行或倒退。

控制器中将直流电转换成交流电的逆变器电路的开关元件,通常采用损耗小的绝缘栅双极晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor,缩写成 IGBT) 以便减少功率损耗。此外,还有通过对输出功率进行最佳控制的脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation 缩写为 PWM) 和相位控制(点火提前角控制,通电角延长控制),而使低速或高速行驶时均可使电动机处于最佳运转状态的控制。

3. 管理系统

管理系统包括能源、安全管理系统。

能源管理系统包括车载充电器、行车时能源分配、能源再生;安全管理系统包括各类信号检测及防误装置 SRS 安全气囊、ABS(车轮防抱死制动系统),以及舒适设备等等,这些待后述。

第四节 电动汽车总体设计理论的探讨

1. 电动汽车基本性能分析

电动汽车在运行时必然与周围环境进行能量交换和能量转换过程的损失,从能量转换角度看,电动汽车在行驶过程中能量传递特性如图 1-3 所示。

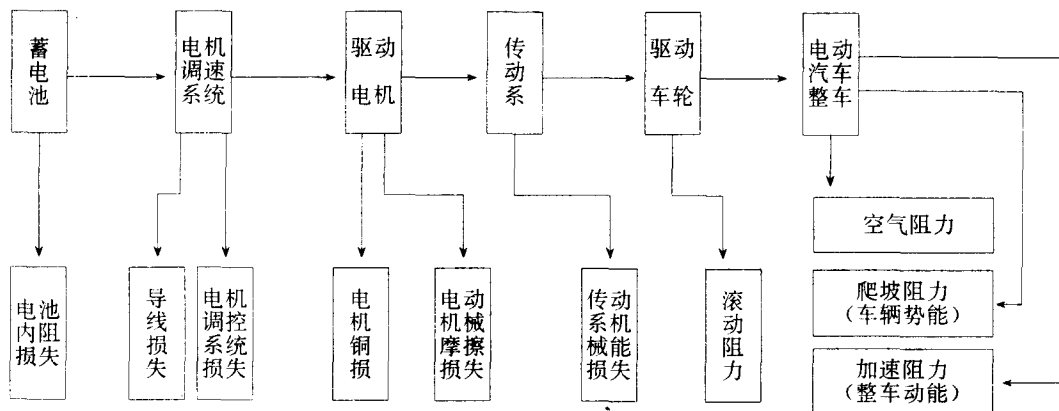


图 1-3 电动汽车的能量传递示意图

图 1-3 中可分析建立电动汽车行驶过程中的动力学方程。

驱动力与阻力的动态平衡方程为

$$F_t = F_f + F_w + F_i + \delta m_a \frac{du}{dt} \quad (1-1)$$

式中 $F_t = \frac{T t_g i_g i_o \eta_T}{r}$ 驱动力; $T t_g$ ——发动机转矩; i_g ——变速器速比; i_o ——主减速器传动比; η_T ——传动效率; r ——车轮滚动半径。

$$F_f = m_a f$$

式中 m_a ——汽车总质量; f ——道路滚动阻力系数;

$$F_w = \frac{C_D A U_a^2}{21.15}$$

式中 C_D ——空气阻力系数; A ——迎风面积; U_a ——车速 (以 km/h 计)。

$$F_i = m_a \sin \alpha$$

α ——道路坡度角。

$$F_i = \delta m_a \frac{du}{dt} = m_a j_a \quad \text{加速阻力}$$

$$\delta = 1 + \frac{1}{m_a} \frac{\sum I_w}{r^2} + \frac{1}{m_a} \frac{I_f i_g^2 i_o^2 \eta_T}{r^2}$$

式中 I_w ——车轮的转动惯量; I_f ——飞轮的转动惯量; m_a ——汽车质量; $\frac{du}{dt}$ ——行驶加速度。

利用(1-1)式即可对电动汽车基本性能进行计算。

在工程计算时,令 α 和 j_a 为 0,便可进行匀速行驶计算;令 α 为 0 而 j_a 不为 0,便可进行加速性能计算;令 j_a 为 0,而 α 不为 0,便可进行爬坡性能的计算。

2. 电动汽车自身的特征分析

电动汽车是以蓄电池为动力源的,所以与内燃机为动力的汽车相比,有许多自身的特征和电参数,而有些参数是相互制约的,诸如蓄电池的放电电流与电动机参数、与车速,释放电能(端电压)与输出功率,续驶里程与车速等的关系,如何合理地选择这些参数,使其达到相互间最佳匹配,是提高电动汽车性能的有效途径,下面我们重点讨论电动汽车总体最佳匹配设计。

3. 蓄电池的放电特性与电机运行特性

(1) 蓄电池的放电特性

目前电动汽车用蓄电池有不同类型,但其放电特性通常可表示为

$$U_o = U_b + R_i I_b \quad (1-2)$$

式中 U_o ——蓄电池的开路端电压(V); U_b ——蓄电池放电时的端电压(V); I_b ——蓄电池的放电电流(A); R_i ——蓄电池的内阻(Ω)。

而蓄电池放电时的输出功率

$$P_b = U_b I_b = (U_o - R_i I_b) I_b \quad (1-3)$$

蓄电池的效率为

$$\begin{aligned}\eta_b &= \frac{U_b I_b}{U_0 I_b} = \frac{U_b}{U_0} = \frac{U_0 - R_i I_b}{U_0} \\ &= 1 - \frac{R_i I_b}{U_0}\end{aligned}\quad (1-4)$$

很清楚蓄电池能输出的最大功率为

$$P_{b \max} = U_0^2 / 4R_i$$

而输出最大功率时的放电电流为

$$I_{b \max} = U_0 / 2R_i$$

蓄电池的内阻不变时,蓄电池放电时端电压 U_b 、放电功率 P_b 、放电效率与放电电流的关系可用图 1-4 表示。由图 1-4 可见,蓄电池的效率与放电电流的大小成反比,与蓄电池放电时的端电压成正比,因此为了有效地利用蓄电池的有效能源,应选择电机的工作电流尽量小,即在功率一定和保证安全的情况下,应尽量提高电机的额定电压(即提高 U_0 值),但是若电流太小,蓄电池的输出功率也会下降,所以电流也不能太小。

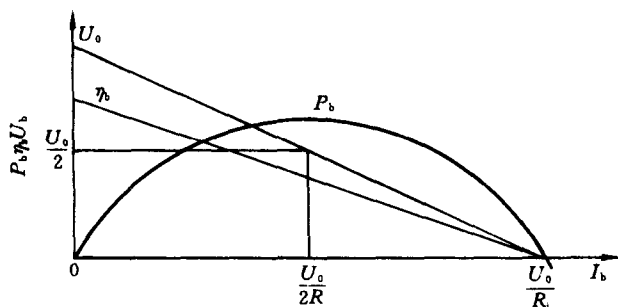


图 1-4 蓄电池的放电特性曲线

(2) 电机运行特性

电动汽车是涉及到机电及控制等多学科的一个动态系统,所以在汽车整体设计时既要考虑整体的性能指标,又要考虑蓄电池、电动机和调速系统之间性能实现最佳匹配,首先考虑电池与电动机的匹配。

电动汽车在各种工况下行驶时,电动机输出的扭矩和电动机输出的功率是行驶速度的函数。假设蓄电池在不同行驶速度时的功率不变,则电动机输出扭矩、功率与电动机转速有如下的关系

$$P_M = \frac{T_M n}{9549} \quad (\text{kW}) \quad (1-5)$$

式中 n ——电动机转速(r/min); T_M ——电动机输出扭矩(N·m); P_M ——电动机输出功率(kW)。

在电动机的工作转速范围内,扭矩 T_M 与转速成反比,即转速低时扭矩大,转速高时扭矩小。但是不同类型电动机的扭矩特性与理想的特性是有区别的,图 1-5 是串激式直流电动机在连续、小时、瞬时(启动)三种工况时输出扭矩、功率与转速的特性曲线。从图可见,启动时的功率大于连续运行时的功率。这一特性使得车辆在短时间内得到较大的加速度或克服较大的坡道运行。

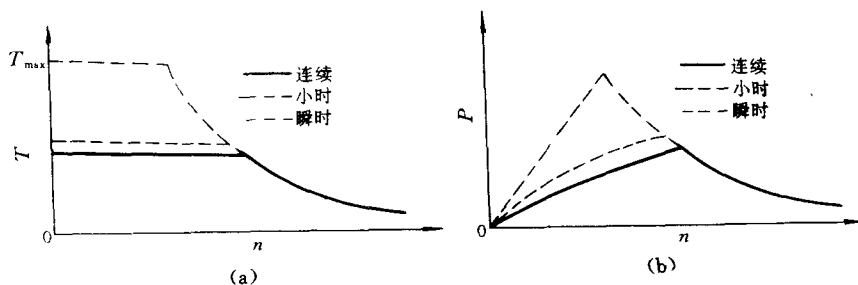


图 1-5 串激式直流电动机在连续、小时、瞬时(启动)情况下输出扭矩、功率与转速的特性曲线

为了便于讨论问题将图 1-5(a)、(b) 二种曲线中的实线部分(连续工作曲线)绘于同一坐标中,如图 1-6 所示。在 $0 \sim n_1$ 转速区间内,即曲线 I 部分,为恒扭矩区,也就是说在 $0 \sim n_1$ 转速区间(低转速时),电动机的输出扭矩较大而恒定,而其输出功率随着转速的增大而增加。电动机的转速达到某一值(n_1)后,转速增大,电动机输出功率恒定,而其输出扭矩呈下降的变化。

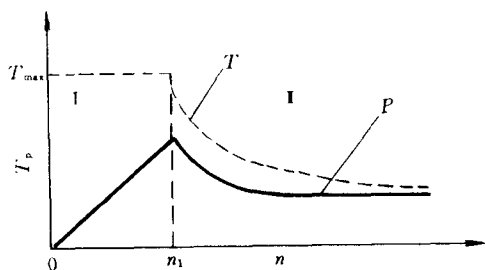


图 1-6 理想的电动机特性

对交流异步电机而言,其电磁转矩可近似地认为是电机的输出转矩,即为

$$T = KSR_2U_1^2 / [R_2^2 + (SX_{20})^2] \quad (1-6)$$

式中 S ——转差率;

K ——是一个常数,决定于电机结构;

U_1 ——定子每相电压(与蓄电池组的

端电压成比例);

R_2, X_{20} ——分别为电机转子的电阻和电抗。

由(1-6)式可见,电动机的输出扭矩 T 与电动机定子每相电压的平方成正比,即电动汽车的蓄电池组的端电压选高些有利。

而电动机的最大输出扭矩为

$$T_{\max} \approx \frac{3p}{2L_k} \cdot \left(\frac{U_b - U_{\text{drop}}}{2\pi f_1} \right) \quad (1-7)$$

式中 f_1 ——定子频率(Hz); L_k ——漏电感(H); p ——电动机的极对数; U_{drop} ——为控制系统电压降(V)。

从(1-7)式可见,为了获得大的扭矩,要求电动机的漏电感越小越好,漏电感还会抑制电动机的高频电流,从而带来能量损失,这一损失在各种行驶工况时都是恒定的,因此当电机工作在部分载荷时,这种损失所占的比例增大,从而导致电动机效率下降;从延长电动汽车的续驶里程而言,应尽量使电动机经常工作在较满负荷的状态下,但这样又会影响电动汽车的动力性。

4. 电参数总体最佳匹配的探讨

(1) 蓄电池容量与放电率的匹配关系

蓄电池的额定容量,一般规定为蓄电池的 10 h 放电率容量,其单位为 $A \cdot h$ 。当放电率低于 10 h 放电率,即放电电流大于 10 h 放电率的放电电流时,所得到的放电容量将低于额定容量。电动汽车在行驶工况中,由于蓄电池的端电压的限制,其放电电流一般都是额定容量放电电流的几倍,甚至几十倍。

综上所述,电动汽车从电参数匹配角度来看,应要求电动机具有稳定运行时,电流较小,通常运动在满负荷的情况下,并要求启动力矩较大;从蓄电池的容量而言,要求比功率、比转率和效率都尽可能的高的电动机,为使整车性能达到最佳匹配,还应考虑电动机功率,必须满足整车的动力性,因电动机的功率直接影响到电动汽车的动力性。而电动机功率应考虑到电动汽车最高车速、爬坡、满载加速等性能的要求:

① 最高车速:电动机的功率必须满足电动汽车最高车速的要求,以保证在良好的工况下或空载时,能以较高的车速行驶。考虑到电动汽车主要是作为城市交通工具,大多数情况下是以中、低速行驶,因此,电动机的功率不能选择得过大,否则会使其经常处于部分负荷下工作,使得电机效率大大下降,大大浪费蓄电池有限的电能。电动机功率的选择既要满足整车具有一定的车速,又要根据整车的车型和使用条件,使得电动机经常在较满负载状态下运行。

② 加速性能:一般来说,电动汽车的电动机功率越大则其储备的功率越高,从而加速性越好,但又会使电动机经常处于部分负荷下工作,这又需根据整车的车型和使用条件来选择。如为城市交通工具,为了不浪费能源,尽量提高电动机的使用效率,其加速性只要能满足城市车流的需要,则折中考虑来选择电动机的功率为佳。但是,也需考虑到行驶工况的复杂性,即使在城市行驶也有坑洼路面,或有一定坡度,或满载启动加速等等,这就要求折中考虑电动机功率的同时,要求电动机有一定的过载能力,即能承受较大的过载电流,能发生高于额定转矩 1.5 ~ 5 倍的转矩。

(2) 电动机额定电压的选择

确定电动机的功率之后就要确定电动机的额定电压和蓄电池组的端电压。电动机功率一定的情况下,电压越高,电流就越小。虽然电流小,线路等功率损失小,在电池以小时电流放电时,可发挥出较大的容量,但若电压选择得过高,一则安全性能和电力电子器件的性能要求提高,这样是很不经济的;二则电压过高,电流过小蓄电池的输出功率显著下降;同时,电压过高,就需要更多的电池串联使用,这样不仅会增加蓄电池组的重量和布置的难度,也增大了由于连接线路的损耗。根据作者经验建议电动机的额定电压一般选择在 120 ~ 400 V 之间为宜,四轮中型车辆通常 240 V 左右,电动二轮、三轮车辆可在 120 V 左右,大型客型 360 V 左右为佳。

5. 提高电动汽车性能的研究

目前研制的电动汽车样车,大多数是利用燃油汽车改装而成,这样是会受到诸多因素限制的,如空间的布置、整车的质量均无法考虑。在当前,缺乏理想蓄电池的条件下,为了提高电动汽车的性能,必须从电动汽车自身的特性出发,进行真正符合电动汽车自身规律的总体设计,才能提高电动汽车的动力性、节约能量、延长续驶里程等。

(1) 从动力学角度出发提高电动汽车性能的途径

① 减小车轮的滚动阻力 一般燃油汽车在良好的(如沥青或混凝土)路面上,其滚动阻力系数在 $0.01 \sim 0.018$ 之间。当车速较低时,车辆消耗的功率主要用于克服滚动阻力。在保证安全性的前提下,设计电动汽车时,若能改变轮胎形状,提高轮胎气压,车轮滚动阻力可减小到 $0.005 \sim 0.006$,滚动阻力可下降至 $40\% \sim 60\%$,可提高车速和节约能源。

② 减轻车辆自重,提高续驶里程 电动汽车为了提高续驶里程,尤其在目前蓄电池能量密度较低的情况下,势必装载大量的蓄电池,增加了电动汽车的自重。为此,电动汽车车身只有采用轻质复合材料,如高强度钢、高强度铝、碳素玻璃纤维、增强塑料等制造,才能大大减轻车自身重,降低能源消耗,多装蓄电池提高续驶里程。

③ 减小空气阻力,节省能源 燃油汽车,尤其是前置发动机汽车,开栅格让空气对散热器冷却,空气阻力系数为 0.3 ,而电动汽车就无需如此,可采用子弹头型的设计进一步降低空气阻力,使其空气阻力系数减少至 $0.15 \sim 0.19$ 。

④ 减小动力传动链的能量损失 采用传动轴驱动的电动汽车,其功率损耗的环节仍较多,尽管设法提高传递效率,但综合传递效率不能明显提高,因此,要尽量减小传递环节,如采用电动轮结构,即电动机与车轮作成一体,直接驱动,提高其动力性,减少能量损失,延长续驶里程。

(2) 从提高蓄电池和电动机性能出发,提高电动汽车的性能

① 提高蓄电池性能 采用能量密度高的蓄电池,如电动汽车采用燃料电池,飞轮电池,能量密度高,有利于提高电动汽车的动力性和续驶里程。但是在目前蓄电池尚无突破的情况下,为控制成本,尽可能采用较高能量密度电池的同时,采用快速充电的途径,来进行弥补,如能将蓄电池的充电时间减至半小时或更短,电动汽车替代燃油汽车就可能在较短时间内实现。

② 提高电动机的效率 电动机损失能源主要是铜损,因此可通过改变电机结构,选用合适的材料,来提高电动机的效率和减轻电动机质量,这是较容易实现的。

③ 采用制动能量再生装置 为了提高续驶里程,电动汽车大多采取制动能量回收装置,即在一定的车速下制动或滑行时,使电动机反向充电电压高于蓄电池电压时将车辆的动能变为电能。

(3) 减小电动汽车线路上的功率消耗

为了节省空间和减轻车身质量,线路中采用的导线横断面积不能过大,亦不能过长,但其线路电阻在大电流(一般都是几十到几百安之间)的情况下,仍不能忽略,通常使得线路上的功率损失达总功率的 $2\% \sim 5\%$ 。为此,应在蓄电池串联接头、导线间的接点上作必要的处理,进行焊接处理以减小接点电阻,从而大大减小线路损耗。

第五节 当今电动汽车的关键技术

电动汽车自诞生以来,至今已有 100 多年的发展历史了,以至科学发展到今天,又是全世界汽车工业研究的热点,时至今日仍难以产业化,是因为电动汽车的关键技术尚未有突破性的进展,如电动汽车的总体设计及车身技术,驱动系统中的电动机及其控制技术,动力蓄电池及其管理系统等。

1. 总体机电一体化匹配设计及车身技术

电动汽车由于车身质量、空间和能源的矛盾,因此在设计时必须考虑采用轻质材料以减轻整车的重量;在充分利用空间的情况下,尽可能增大车厢内部乘员空间的同时,最大限度地降低空气阻力系数和滚动阻力系数,以求减小行驶阻力,利用机电一体化匹配设计,求得电动汽车整车结构参数达到最优化。

2. 车用动力蓄电池

目前主要限制电动汽车发展的是车用动力蓄电池,其比能量、比功率、循环使用寿命低和成本高。因蓄电池的性能决定了电动汽车的性能指标,能量密度决定电动汽车一次充电的续驶里程,功率密度则决定电动汽车的加速性能和最高车速。

目前世界各发达国家都制定了相应的发展电动汽车动力蓄电池的计划,如美国由通用、福特、克莱斯勒三大汽车公司于1991年1月签订了一个为期12年的协议,合作研究电动汽车用先进电池,并成立了先进电池研究联合体(USABC),于1991年4月发布了电动汽车动力电池中期和长期目标。可作为电动汽车动力蓄电池的有很多种,如铅酸、 $\text{Ni}-\text{Cd}$ 、 $\text{Ni}-\text{Fe}$ 、 $\text{Ni}-\text{Zn}$ 、 $\text{Ni}-\text{Mn}$ 、 $\text{Zn}-\text{Br}$ 、 $\text{Na}-\text{S}$ 以及飞轮电池,燃料电池,其中最具有前景的 $\text{Ni}-\text{Mn}$ 、 $\text{Na}-\text{S}$ 和燃料电池、飞轮电池,这些电动汽车的动力电池均有待于从实验阶段进入商业化。

3. 电动汽车驱动系统中的电动机及其控制技术

(1) 驱动电机

驱动电机是电动汽车的关键部件之一,要使电动汽车有较好的使用性能,驱动电机应具有宽的调速范围及高的转速,足够大的启动扭矩,体积小、重量轻、效率高且有动态制动强和能量回馈的性能。交流电动机包括交流同步电动机、交流异步电动机、永磁盘式交流电动机,因其体积小、功率大、加速性能好、效率高,在制动时可方便的实现能量回馈,故在目前的电动汽车中得到了广泛的应用,但是仍然存在着大功率永磁交流电机设计制造、工艺与价格的问题。

(2) 电动汽车的控制系统

电动汽车的控制系统性能直接影响着车辆的性能指标,该控制系统控制车辆在各种工况下的行驶速度、加速度和能源转换情况。它类似于燃油汽车的油门和变速器,其中最关键的是电动机逆变器、控制系统和电动汽车使用条件的合理匹配,智能化控制系统的工程应用及其减轻质量、降低造价、抗振、抗扰、降噪的研制,提高控制系统在电动机制动时能量回收的研究。

4. 电动汽车的管理、监控系统

电动汽车可望在下一世纪初投放市场,又因为电动汽车的自身特性,必须采用比燃油车先进的电子装置来对其进行综合管理、监控的系统,通常有两个系统:

(1) 驾驶员信息中心(DIC)

包括汽车的各种参数显示,电池电量指示,电池残余电量指示,放电情况监视及报警,以及车速、自动防抱、制动能量自动回收和电差速等。

(2) 车辆电子装置中心(VEC)

包括对动力-驱动系统进行监控,平稳调速,换挡提示,车灯监视,悬架控制,汽车电话。其

关键技术为：

- ① 微机综合监控器研究及提高其可靠性的途径；
- ② 电池放电监视及电量指示、报警装置；
- ③ 自动提示换挡和平稳调速控制。

此外,尚需研制高性能充电设备及其监控系统。