

# 电动汽车永磁同步电机设计

范 锐

(佳木斯电机股份有限公司, 黑龙江 佳木斯 154002)

**摘 要** 交通运输发展引起的能源矛盾和环境矛盾越来越受到关注, 电动汽车产业迅速发展, 在汽车的使用中最重要的是汽车的驱动, 永磁同步电机可以作为汽车的驱动受到了社会广泛的关注。制造水平、电机性能是永磁同步电机设计的关键, 对促进我国永磁同步电机技术的发展和电动汽车及相关产业的发展具有重要意义。本文介绍了电动汽车永磁同步电机设计的概况研究现状及发展。通过此次设计得到的永磁同步电机同时具备大扭矩、高速转速特性, 满足设计要求, 最终提高电动汽车永磁同步电机的输出能力。

**关键词** 电动汽车 永磁同步电机 电磁设计

中图分类号: U469.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)08-0143-03

## 1 研究电动汽车永磁同步电机设计的背景和意义

19世纪中后期, 电动汽车和燃料汽车相继出现。在随后的几十年里, 电动汽车由于行驶距离短而难以解决, 被发展越来越快的内燃机车所取代。此后燃料汽车的发展对汽车的发展起了主导作用。直到20世纪50年代, 随着内燃机开发带来的问题逐渐暴露, 电动汽车的发展开始恢复。到目前为止, 燃油车的数量巨大, 而且还在增加。燃油车消耗大量石油。但是, 中国石油的对外依存度仍然很高, 石油供应存在隐患。同时, 燃油车排放大量污染物, 使环境空气质量恶化, 损害人体健康, 加剧温室效应。据统计, 我国部分城市燃油车排放的污染物占大气污染总负荷的1.5%以上, 汽车尾气污染问题严重。因此, 消除高能耗、重污染汽车, 加快交通能源转换是必然的选择。

新能源汽车的发展受到我国政府的高度重视, 我国制定了“三纵三横”的新能源产业发展模式, “三纵”主要指纯电动汽车、混合动力汽车、电池汽车为主的新能源汽车种类。“三横”主要指驱动电机、动力电池、多能源动力总成电控三大核心零部件系统。2012年初, 国务院正式颁布了汽车产业发展规划, 确定纯电动驱动为行业主要战略方向。2013年至2015年间, 国家加强培育政策后, 新能源汽车开始在全国推广。工业化和部门和信息化部门提出了一项重要决议, 加快禁止燃油使用汽车的能源优化建议, 并且设立燃油车禁区, 并根据示范情况调整燃油车退出日程。电动汽车开发似乎已经上升为国家战略, 随着该计划的顺利实施, 电动汽车的发展迫在眉睫, 电动汽车进入发展的新时代。

电动汽车结构简单, 能量转换效率高, 舒适度好,

噪声低, 污染物不直接排放。普及电动汽车已成为交通能源变化的重要方向<sup>[1]</sup>。为了区别于传统燃油汽车, 电动汽车由于其先进的技术被划分为新能源汽车。此外, 新能源汽车还包括混合动力汽车、电池电动燃料汽车等。中国新能源汽车产业开始于2000年, 2009年以后, 国家相继出台了各种新能源汽车支持和优惠政策, 表明了国家对新能源汽车开发的重视。与燃气汽车相比, 目前电动汽车的比例仍然很低, 但电动汽车的发展前景正在改善。技术进步将促进电动汽车续航里程的增加和减少, 更多的人将选择电动汽车作为自己的驾驶工具。

电动汽车产业的发展需要性能优良的驱动电机的支持, 电动汽车驱动电机的设计和开发的相关项目, 已经成为新能源汽车行业的重要研究方向。可用于驱动电动汽车的电机主要有交流感应电机、永磁同步电机、无刷直流电机、开关磁阻电机等。从驱动电机的位置来看, 这些电机大多数是集中驱动形式, 也有车轮电机驱动、轮毂电机驱动等分布式驱动形式, 但由于很难解决差动问题, 所以没有得到广泛的应用。目前, 在轿车领域, 以永磁同步电机为驱动电机的集中驱动是汽车企业最流行和广泛使用的形式。作为电动汽车的核心部件之一, 其性能直接影响驾驶体验<sup>[2]</sup>。一方面, 人们需要汽车有舒适的驾驶经验, 马达扭矩小, 运行噪声低, 在一定速度下不会出现共振问题。另一方面, 电动车的续航里程是必不可少的, 这往往令人担忧。除了增加电池容量外, 电机的效率也很重要。最后, 电动汽车要有强大的性能。因为加速和爬坡能力好, 所以高扭矩输出和更好的过载能力是对电机的另一个要求。永磁同步电机具有过载能力、功率密度、

功率效率、调速性能等优点,适合电动车驱动。

目前,国内销售的电动车用永磁同步电机中,国产电机接近一半。比率不低,但与美国、日本、德国等高端电机相比,国产电机在最大出口扭矩和最大转速方面仍然存在差距。定居中国的新能源汽车企业和合资或外资等核心电机企业仍然对中国本土电动汽车产业产生重大影响。因此,目前对永磁同步电机性能和效率的研究、设计和优化将逐步赶上和超过国外技术,为了促进我国永磁同步电机的发展,我国永磁同步电机在新能源汽车市场中所占的比重对促进我国电动汽车产业的发展、产业的竞争力和交通能源的转换具有重要意义。

## 2 电动汽车永磁同步电机的研究现状

永磁同步电机属于永磁电机,永磁电机的开发与永磁材料的开发密切相关,早期直流电机使用的是永磁材料,但当时永磁材料的剩磁及磁校正力都很低,因此制造的电机性能非常差。直到1982年日本发明了永磁材料,永磁电机的发展进入了一个新的阶段,能源和环境问题引起了人们的关注,电动汽车和永磁同步电机的发展再次活跃起来。日本、德国、法国、美国等国家和中国对永磁同步电机进行了深入研究,取得了相当大的成果,多个国家推出了多种永磁同步电机,正在不断升级。

## 3 电动汽车永磁同步电机的发展

德国和法国对永磁同步电机的研究也很早就开始了,早些时候将永磁电机应用于电动汽车。德国大众奥迪混合动力汽车使用的永磁同步电动机、最大扭矩211N/m、最大功率40千瓦,德国宝马在电动汽车中使用了交流感应电动机,但也开发了永磁同步电动机。2013年宝马汽车的混合动力汽车使用了最大扭矩250N/m、最大功率125kW、最大速度11400r/min的永磁同步电动机。目前德国的电动汽车永磁同步电机供应商有西门子、大陆集团、博世、蔡依富等。

美国的电动汽车常用交流感应电机,对永磁同步电机的研究起步晚了一些。美国国家橡树岭研究所于2007年开发了混合磁永磁同步电动机,额定功率33千瓦,最大功率50千瓦,最高速度16000r/min。美国通用航空公司(AMERICAN AIRLINES)2016年推出的电动汽车采用永磁同步电机,最大扭矩为360N/m,最大转速为8810r/min,美国电动汽车和能源公司特斯拉于2018年3月推出了第一款配备永磁同步电机的TESLA。安装在这辆车上的永磁同步电动机的最大速度达到192千瓦/min。

按照政府大力推进新能源汽车发展的政策,我国永磁同步电机技术进步迅速,多年来,我国自有品牌的永磁同步电机已占我国电动汽车电机配套供应的很大一部分,高于其他任何国家。国内多所高校开展了哈尔滨工业大学、天津大学、沈阳工业大学等永磁电机研究,部分开发的电机已应用于新能源汽车。国内一些汽车企业和电机制造商也在永磁同步电机开发方面取得了显著成果。比亚迪是国内领先的新能源轿车企业,制造汽车和永磁同步电机的技术都很先进,生产的电动汽车几乎都是家里生产的永磁同步电机。另外,国内其他电动汽车也大量采用上汽荣威、北京现代、广汽新能源等永磁同步电机。国内永磁同步电机供应商有比亚迪、北汽新能源、精密电气、联合汽车电子等<sup>[3]</sup>。

中国电动汽车实现自动机械功能自给自足的原因之一是政府的政策支持,与我国稀土资源的优势有关。永磁同步电机的核心材料是永磁体,现阶段,性能优良的永磁材料是钴、铝、镍等部分合金永磁材料,制造这种永磁材料需要稀土资源,我国稀土资源丰富,开采冶炼技术处于世界领先水平,2018年稀土冶炼分离产量为世界总产量的86%,国外核心电机企业和车辆企业对本土新能源汽车企业的影响很大。随着电动汽车产业的发展,对永磁同步电机的研究也将进一步深入。

## 4 电磁设计方法

永磁同步电机的设计主要有两种类型的参数设计:结构参数和电磁参数。结构参数的外形设计是为了满足汽车空间的要求,轿车的体积相对较小,空间宝贵,除了安装电机外,还需要安装电池、控制器等主要部件。如果占用空间过大,就会紧紧抓住车辆内的空间,影响乘员的舒适度,因此各结构应尽可能压缩体积,增加功率密度,从而影响永磁同步电机结构参数的内部大小。电磁参数的确定比较复杂,参数多,关系复杂,受结构参数的影响,材料和加工方法的差异也影响电磁参数,转子磁场由永磁体产生,永磁体的位置、排列也影响电磁参数。目前永磁电机的电磁设计方法主要有三种:磁路法、电磁场解释算法、场耦合法。

### 4.1 磁路方法

磁路方法采用基本策略将“场”转换为“路”,将电机内的永磁磁场和定子磁场分为多段,视为线性磁路,将永磁体视为磁动态电源,简化为磁路,重新计算。要纠正计算中的错误,必须引入修正系数。电机磁场复杂的情况下,很难准确计算结果,大量使用经验数据。如果计算结果不符合要求,则必须重复计算。

因此,磁路方法更多地应用于现有结构的电机设计中,对设计师有较高的经验要求,因此在永磁同步电机设计中单纯使用磁路方法是不合适的。后期有一种分析方法,首先对网格进行分割,然后应用磁路方法,结果更准确,但网格的定性分割也不可避免地导致计算错误。

#### 4.2 电磁场求解算法

在电磁场解析方法中,电磁场解析方法采用微分方程的解析方法对电磁场进行解析,在规定的边界条件下用函数管系统生成的偏导数代替解析值,在特定情况下比较有效。电磁场数值计算方法将分析区域划分为单元,分析单元节点的值,计算精度与网格密度成正比,但网格越密,计算时间越长。

#### 4.3 场路结合法

场耦合方法充分发挥了场精度高、道路计算快的优点,说明了精度和效率。一般来说,首先以路算结果建模,然后通过分析验证,减少对经验的依赖。

### 5 永磁同步电机的设计内容和流程

永磁电机的设计内容与传统电机设计相似,根据需要进行凸率、磁截止措施、热冷却等特殊设计。

通常,设计内容包括以下方面:

1. 确定设计目标。根据电力、电压、转速等应用要求,选择合适的电机类型,并考虑冷却方法和电磁负载。电压的高低会影响绝缘的厚度,从而影响散热效率,因此为了保证绝缘的可靠性,必须合理设置电磁负载,以符合适当的散热政策,防止线圈短路。

2. 粗马达体积。根据电机设计的规律,只要电磁载荷不变,电机的输出扭矩就与电机的体积和重量呈正相关。通过体积分配电机的固定、转子、空气间隙等主要尺寸<sup>[4]</sup>。

3. 槽数极数的选择。根据备用电机尺寸和转速要求,选择定子槽数和转子极数。插槽数选择应在合理范围内,插槽数少则每极插槽数少,绕组分布少,齿谐波电动势大,插槽数多则插槽数少,分界线复杂,槽内导体电流承载能力小。极数的多少会影响转速,低速电机会有更多的磁极,高速电机倾向于极数较少。

4. 固定、转子设计。包括电工和磁钢选择、定子型选择、转子永磁布置设计等。目前出现了很多软磁材料,比较了材料选择的性能特性和成本。

5. 计算电磁特性。确认设计方案满足目标要求,并根据偏差修改设计。

6. 性能检查。为了保证电机的可靠性和稳定性,必须检查电机的机械强度和温度上升。

### 6 总结

本文围绕电动汽车关于永磁同步电机的设计与分析,分析梳理了永磁同步电机的磁路特性和电机设计方法,总结了电动汽车永磁同步电机的产品现状及相关技术研究现状。通过梳理国内外电动汽车永磁同步电机的演变和性能水平,概述和分析了国内外电动汽车永磁同步电机的设计、仿真、优化等研究现状。

综合来看,本次设计的永磁同步电机各性能参数达到了设计目标。这次设计也存在一些问题,对电机的运行做出了更加理想化的假设,使设计结果和实际应用成为可能。

### 7 展望

永磁同步电机的设计是一项复杂的系统工程,涉及多学科、多方面的知识,此次设计仅从电机参数方面出发,设计电机的电磁参数,主要考虑理想情况的结果,实际情况受多种因素的影响,可能导致结果和理论设计的差异。设计从满足参数出发,对可制造情况考虑不足,可能会出现不利于实际制造的设计。在电机效率方面,不考虑电动钢板厚度的影响,实际上用于电机制造的电动钢板更薄,从而减少涡流损失。对于仿真,实际的电机控制方法不适用,电机仿真运行效果与实际情况不同。因此,后期工作中要多了解相关方面的知识,综合考虑设计思路,根据实际情况对电机进行针对性优化,使设计结果更接近实际情况。另外,还需要进行电机强度检查和温度检查,但此次设计没有进行。电动汽车的性能取决于电机、电池、电控技术的共同发展,对电机的优化、性能、效率的挑战也将加深。

### 参考文献:

- [1] 栾庆伟. 电动汽车用永磁同步电机设计与分析 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2019.
- [2] 陆海斌, 钱胜, 柴召亮. 电动汽车用永磁同步电机优化设计 [J]. 汽车电器, 2019(05):12-15.
- [3] 王冬梅, 白锐, 冯达, 等. 电动汽车永磁同步电机的有限元分析及优化设计 [J]. 控制工程, 2022-01-07.
- [4] 赵旭涛, 亓玉梅, 王慧波, 等. 一种用于电动汽车的永磁同步电机控制器产品测试治具, CN212694287U [P]. 2021.