

汽车电动助力转向系统用无刷直流电动机设计

□ 沈阳远大智能工业集团/蒋春雷
□ 沈阳哈工大特种机器人有限公司/孙晓玉

汽车电动助力转向系统市场前景及发展意义

在汽车的发展历程中，助力转向系统经历了三个发展阶段，分别为：机械液压助力转向、电子液压助力转向及电动助力转向系统（EPS）。

EPS的优势在于：

- （1）只在转向时提供动力，显著降低油耗。
- （2）转向助力大小可通过软件调整，能够兼顾低速时的转向轻便性以及高速时的操纵稳定性。
- （3）结构紧凑、质量轻，能够进行很好的生产线装配，易于维护保养。
- （4）通过程序设置，电动助力转向系统容易和不同车型匹配，可以缩短生产以及开发前景。

EPS系统从最开始仅在低速停车状态时工作向全速型的发展，使汽车在高速行驶时主动添加阻尼控制让汽车在全速下也可以进行操纵稳定性控制。应用范围越来越广。

从2014年开始，我国EPS系统的生产、总装以及销售呈现出了较大的增长趋势，近5年内国内电动助力转向系统的产量都在以25%以上的增长率发展，所以国内对于EPS系统的需求在一段时间内还是非常可观的。

但国内的生产企业，电动助力系统的研发和生产还处于初级阶段，在短时间内无法满足高标准的驾驶需求，所以国内市场还是基本被国外产品占据。从长远来看，提升EPS系统的自主研发和产业化升级势在必行，将研究成果转化为实际产品的意义重大。现阶段是国内自主品牌迅速占领市场，提升产品市场占有率的重要时期。

无刷直流电动助力电动机产品分析

1. 基本概念

EPS系统主要由三大部分构成：信号传感装置(包括转矩传感

器、转角传感器和车速传感器)，转向助力机构（助力电动机、离合器及减速传动机构）及电子控制装置，其中助力电动机是最为关键的部件之一。无刷电动机是指无电刷和换向器（或集电环）的电动机，又称无换向器电动机，无刷直流电动机近些年有了快速发展。

2. 市场需求及竞争

（1）整体无刷直流电动机市场规模进一步扩大。由于高昂的价格给企业大规模应用带来较高的成本，很多企业望而却步，宁愿用有刷电动机产品作为替代，所以无刷电动机潜在需求仍未充分释放，未来还有充足的发展空间。前瞻产业研究院预计，未来五年，行业增速仍将保持在20%左右的水平，到2022年，行业市场规模将达到565亿元左右。

（2）电动助力转向系统的发展必然推动高端无刷直流助力电动机的发展。近几年，电动助力转向

技术发展很快，普及这项技术将成为“十三五”期间汽车转向行业的主要发展趋势。

数据显示，2015年，我国乘用车产销量2 459.78万辆，共搭载EPS1 000多万辆，自主品牌EPS只占了300万辆，因此自主品牌汽车市场的增长空间非常大。同时，保守估计，到2020年汽车保有量将达2.5亿辆，作为转向系统的主力军——EPS将迎来发展良机。EPS的快速发展必然推动无刷助力电动机的发展。

(3) 竞争蓝海，但激烈程度将有所提升。目前做无刷电动机的企业较多，但达到一定规模的企业仍在少数。

据国家统计局数据显示，2016年我国无刷电动机行业规模以上企业仅118家左右。特别是无刷直流电动助力电动机，目前国内EPS所用助力电动机全部进口，几乎被博世、日本电装、韩国LG等少数几家垄断。有很多企业在尝试研发，例如阜新德尔、武汉恒隆、通用都研发无刷助力电动机几年了，但是目前都没有批量投产，这也就给新进入企业很大的发展空间。但随着无刷电动机行业前景日趋明朗，未

来预计有更多电动机企业涌入该领域，从而加剧市场竞争。

无刷直流电动助力电动机设计

1.无刷直流电动助力电动机结构形式

无刷直流电动助力电动机结构形式复杂，基本结构如图1所示。

其技术特色在于：

- (1) 产品适应性高。可以正弦波驱动，也可以方波驱动。
- (2) 环形整体磁钢结构。磁场对称性好；稳定性高，可靠性好；不带磁装配，工艺简单，精度高；斜极充磁，齿槽转矩低。
- (3) 集中绕组结构。结构简单，可靠性高；绕组端部短，节省铜材，损耗小，效率高；槽口小，齿槽转矩低；生产率高，成本低；弱磁范围宽
- (4) 动态相应速度快。定子集中绕组响应速度快、转子转动惯量小。

2.辐射环磁钢设计

- (1) 辐射环磁钢技术特色。结构稳定，可靠性高；功率密度

高，电动机体积小；弱磁范围宽；直、交轴磁阻差异、电感差异小，便于控制和驱动；磁场分布均匀，对称性好，电动机转矩波动小，容易实现转子斜极；可实现不带磁装配，安装工艺简单。

(2) 环形整体磁钢的优势分析。

第一，本设计磁钢属于表贴式，与内置式永磁转子结构相比，可以提供较高的气隙磁通密度，提高电动机功率密度，缩小电动机体积；具有较宽的弱磁范围；同时，直、交轴磁阻差异很小，直、交轴电感差异也很小(<10%)，便于控制和驱动。

第二，与普通表贴式(瓦形)磁钢相比，省去永磁体固定结构，减小转子体积，提高了转子的机械强度和电动机安全性，可用于高转速电动机上；转子磁场对称性好，有助于提高电动机运行的稳定性。

第三，可以按设计方向和方式磁化，磁场分布均匀，容易实现转子斜级。

第四，环形整体磁钢可以不带磁装配，便于安装(安装困难是其他所有非整体磁钢共有的工艺难题)。

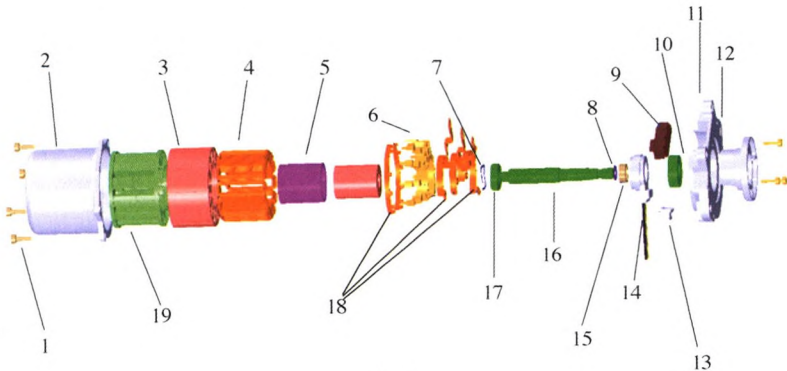


图 1

1.螺栓 2.机座 3.电子铁心 4.电子绕组 5.磁钢 6.钢片支架 7.波形垫圈 8.弹性挡圈 9.外连接线密封垫 10.前轴承 11.端盖 12.轴承座 13.密封橡胶垫 14.旋变定子 15.旋变转子 16.轴 17.后轴承 18.钢片 19.绝缘护套

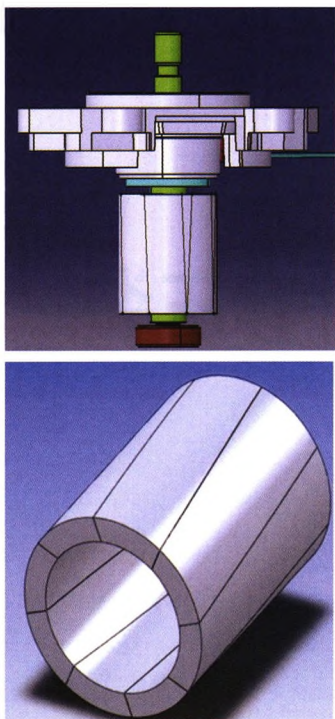


图 2

注意：无论表贴式还是内置式磁钢，在装配时都是N/S级交替安装。因为电动机整体磁路耦合磁场加强，永磁体装配时相互排斥，安装困难、表贴式安装精度难以保证等问题难以解决，而整体磁钢避免了这个问题。

3.集中绕组分数槽设计

(1) 集中绕组分数槽电动机的特色。结构简单，结构可靠性高；端部短，减小铜用量，降低了成本，端部铜耗小，提高了效率；每个机械周期内齿槽周期多，定子槽口间隙小，削弱齿槽转矩；与分布绕组相比大幅度的提高直轴电感，弱磁范围宽；各相之间没有互感，有较高的容错能力；单体绕线可离线生产，大幅提高生产效率，降低成本。

(2) 集中绕组分数槽的优势。绕组结构简单，绕组结构可靠性高；集中绕组各相之间没有互感，容错能力强；每个机械周期内

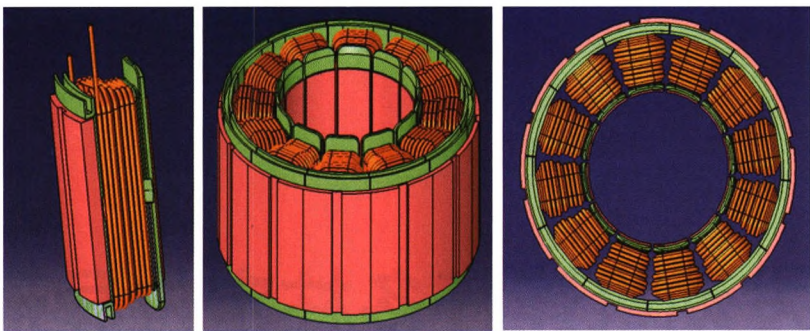


图 3

齿槽周期比较多，削弱齿槽转矩；集中绕组端部短，节约铜材并降低电动机铜耗，提高效率；集中绕组直轴自感比较大，提高了电动机弱磁调速范围；集中绕组的电动机绕线工序可以离线生产，大幅度提高生产效率；集中绕组电动机的定子槽口不需考虑下线，有利于通过减小槽口宽度实现削弱永磁电动机的齿槽转矩。

无刷直流电动助力电动机盈利情况和推广前景

1.盈利情况分析

以到2020年汽车保有量将达2.5亿辆为基数，以自主品牌作为切入点，那么：

- (1) 搭载EPS系统的车辆=2.5亿辆×约50%=1.25亿辆。
- (2) 自主品牌EPS=1.25亿辆×约1/3=4200万辆=所用助力电动机的数量。
- (3) 创造效益=4200万台×约150元/台=63亿元。
- (5) 目前电动机行业的平均毛利率在30%左右，那么每年的毛利率=63亿元×30%=18.9亿元。同时随着生产规模的扩大以及其他领域的切入，毛利率会进一步提升。

2.无刷直流电动助力电动机推广前景

- (1) 全球汽车产业的发展（特别是新能源汽车）必然推动汽车用电动机产品升级，推动永磁直流电动机发展。
- (2) 目前国内应用的电动助力转向系统（EPS）几乎全部来自于进口，主要受到日本和韩国企业垄断。
- (3) 国家有强烈意愿推广国产电动助力转向系统，无刷直流电动助力电动机作为核心部件会受到政策性支持。
- (4) 产品具有较强技术性优势以及使用周期优势，取代有刷电动机具有必然性。
- (5) 国内从事无刷助力电动机的企业较少，并没有形成产业化。产业化推广具有相应壁垒。
- (6) 以往电动助力只应用在20万元左右的汽车上，随着各方面成本下降，逐渐向中低端车辆推广，应用前景良好。AUTO1950