

# 微型外转子无刷直流电机及其控制技术要点分析

李彬

深圳市朗科智能电气股份有限公司北京分公司，北京，100086；

**摘要：**微型外转子无刷直流电机结构简单，功率密度，以及效率较高，所以在很多行业领域中，都有着广泛的应用，例如：无人机、便携式医疗器械、智能家居等。对此，本文对微型外转子无刷直流电机进行深入研究，并且提出控制技术，通过利用实例，对微型外转子无刷直流电机进一步研究，目的是优化和提升微型外转子无刷直流电机运行性能，满足相关行业发展需求，也希望给相关研究工作，提供具有价值参考。

**关键词：**微型外转子；无刷直流电机；控制技术

**DOI：**10.69979/3041-0673.25.10.013

## 引言

微型外转子无刷直流电机属于现代动力系统的核心，主要因为该电机运行性能直接影响系统运行。同时，微型外转子无刷直流电机属于驱动型电机，并且运行效率较高，但尽管这样还是存在着一定不足，所以在了解电机原理以后，应对微型外转子无刷直流电机进行合理构建，并且通过利用有位置传感器无刷直流电机控制，以及无位置传感器无刷直流电机控制等技术，提升电机运行性能，降低异常发生概率。

## 1 微型外转子无刷直流电机原理

微型外转子无刷直流电机由电子开关线路、永磁式同步电动机，以及位置传感器等方面组成，并且电机电枢绕组一般以多相形式为主，将驱动器与直流电源进行连接，定子通电以后会产生磁场，与转子主磁场呈现相互作用，形成转矩驱动电机运行<sup>[1]</sup>。同时，微型外转子无刷直流电机外部设置防护盖，目的是起到保护和防护的作用，并且具有损耗低、电能利用率高，噪声低，以及效率高等特点，可避免雨水、灰尘等进入影响电机运行，从而保证微型外转子无刷直流电机稳定运行，允许在恶劣环境中使用。微型外转子无刷直流电机具有明显的优越性，装置结构以及控制结构相对较为简单，功率密度也相对较高，输出转矩较大，促使微型外转子无刷直流电机在相关领域中，将自身价值得以充分发挥。

## 2 微型外转子无刷直流电机设计

尽管微型外转子无刷直流电机结构较为简单，但也需要掌握基本结构参数，对电机进行合理设计，确保电机结构的严谨性和紧密度，促使其可以稳定运行，表 1

为微型外转子无刷直流电机结构基本参数。

表 1：微型外转子无刷直流电机结构基本参数

转子外径	19.7mm
转子内径	15.9mm
转子材料	电工纯铁
定子外径	14.9mm
定子铁心长度	8.3mm
定子硅钢片材料	35w400
永磁体磁钢材料	钕铁硼
极数	14（7 对极）

### 2.1 电机模型设计

电机形式选择对于微型外转子无刷直流电机设计，有着十分重要的作用，在选择期间，应当对应用场景、功率需求、效率，调速性能方面进行综合考虑，可以将有限元仿真作为基础，对微型外转子无刷直流电机进行建模，根据模型选择电机形式，以此保证电机使用的合理性。同时，通过有限元仿真软件，对电子电磁中定子、转子、以及绕组等部件进行建模，根据模型确定各个部件之间的关系<sup>[2]</sup>。另外，为保证微型外转子无刷直流电机运行的稳定性，需要对电机模型进行深度细化，例如：根据实际情况，以及运行需求，适当添加绕组、剖分等，以提升微型外转子无刷直流电机运行性能仿真的准确性。

### 2.2 电机结构设计

电机结构主要包括外转子结构、轴、轴承、通风散热等，这几点电机结构设计内容如下。

（1）外转子结构。一般情况下，外转子结构指转子利用单悬臂结构放置在定子外侧，并且该结构直接影响

响电子的运行性能，以及散热程度。同时，在外转子结构设计期间，可以较高气隙密度的永磁体设计方式为主，并且对外转子表面散热性能进行优化，目的是在电机表面形成湍流，以此优化微型外转子无刷直流电机的散热性能。

(2) 轴设计。轴是转子和定子连接的主要部件，一般以合金钢轴为主，主要因为合金钢轴强度较高，可以保证电机稳定运行。同时，为满足微型外转子无刷直流电机需求，还对轴进行精细化设计，目的是减小摩擦损失，降低振动，避免出现异常情况。

(3) 轴承选择。轴承属于微型外转子无刷直流电机结构中关键部件，起到支撑电机旋转的作用，根据运行需求，可以选用摩擦系数低，耐久性较高的轴承，以此减少机械损失<sup>[3]</sup>。

(4) 通风散热。可以采用自冷通风方式，利用转子结构形成离心气流进行冷却，以此保证微型外转子无刷直流电机处于相对良好的运行环境。在微型外转子无刷直流电机运行期间，通常会产生大量热量，如果不能及时散热，很容易影响电机运行的稳定性。对此，通过利用有限元软件对微型外转子无刷直流电机进行热分析，模拟电机运行过程的发热情况，以此有针对性制定散热方案，例如：可结合实际情况，对散热筋进行优化，或者添加散热风险，以此提升微型外转子无刷直流电机散热能力。

### 2.3 电磁场分析

将有限元软件作为基础，对电磁场密度、齿槽转矩、以及反电动势波等进行分析，并且根据仿真结果，对定子冲片尺寸，以及转子磁钢形状等进行适当调整，减少齿槽转矩和反电动势谐波，降低电机噪声。

## 3 微型外转子无刷直流电机控制技术要点

为保证微型外转子无刷直流电机处于稳定、可靠的运行状态，控制技术的合理使用是非常必要的，通过控制技术对运行速度、转矩等进行调节，以此消除或者减少运行隐患。同时，微型外转子无刷直流电机控制技术主要包括：有位置传感器、无位置传感器。本段内容针对这几点控制技术要点，进行分析和研究。

### 3.1 有位置传感器无刷直流电机控制

合理使用控制技术，可有效保证微型外转子无刷直流电机稳定运行，避免出现异常情况<sup>[4]</sup>。同时，微型外

转子无刷直流电机控制技术一般以有位置传感器控制方式，指在微型外转子无刷直流电机电定子上，安装位置传感器，利用位置传感器对转子进行检测，获取转子磁钢磁极信号，并且对信号进行处理，形成电信号，这样可以为逻辑开关提供准确信息，对导通和截止进行控制，在空间形成步进式旋转磁场，驱动永磁转子呈现稳定、不间断运行。但是，在使用位置传感器期间，应当重点考虑以下几点内容。

首先，如果使用位置传感器安装到微型外转子无刷直流电机中，会增加电机体积和成本，并且传感器输出信号一般相对较弱，很容易受到高温、低温、污浊空气等方面影响，以此降低的传感器的使用性能。对此，应结合微型外转子无刷直流电机实际需求，合理使用位置传感器，并且采用监测方式，检测电机转子位置，以此保证位置传感器应用效果，提升微型外转子无刷直流电机控制质量。

### 3.2 无位置传感器无刷直流电机控制

对于无位置传感器无刷直流电机控制，是指不使用位置传感器，使用其他方式得到转子信号位置、角速度等状态量，从而实现逆变器公路切换，并且对定子绕组进行换相，保证微型外转子无刷直流电机控制效果<sup>[5]</sup>。同时，在无位置传感器微型外转子无刷直流电机时控制期间，状态观测器法、磁链计算法、电感法等控制方式为主，但需要根据实际情况，选择合适的方式，以此保证良好的控制效果，减少微型外转子无刷直流电机运行异常频次产生。

## 4 微型外转子无刷直流电机实例分析

以额定电压三相 12V，额定功率 30W、额定转速 20000r/min，额定转矩为 14mN·m 微型外转子无刷直流电机进行分析。同时，在微型外转子无刷直流电机进行分析期间，利用 MAG-TROL 测功机对微型外转子无刷直流电机进行负载试验，该试验采用无位置传感控制技术，目的是保证微型外转子无刷直流电机处于稳定、无振动运行状态。根据试验需求，对微型外转子无刷直流电机运行速度进行调整，调速范围为：12000r/min~20000r/min。

在微型外转子无刷直流电机试验分析期间，通过利用无位置传感控制设备、无刷直流电机、计算机、示波器等，利用联机线将无位置传感控制与无刷直流电机进

行连接，并且利用通信线缆，将无位置传感控制设备与计算机进行连接，目的是便于信息和数据传输<sup>[7]</sup>。同时，将示波器探头与电机关键信号源进行连接，目的是对微型外转子无刷直流电机运行状态进行实时监测，从监测结果对电机运行进行控制。表2：微型外转子无刷直流电机试验运行参数。

表2：微型外转子无刷直流电机试验运行参数

参数类型	数据
额定功率/W	30
额定电流/A	3.5
额定电压/V	12
额定转速/(r/min)	20000
额定转矩/(N·m)	14
峰值电流/A	7
定子线电阻/Ω	0.139
定子线电感/mH	0.77

预设微型外转子无刷直流电机运行转速为1500r/min，并且利用无位置传感控制设备，有效提升电机控制能力。在预设微型外转子无刷直流电机运行期间，如果电机突发加载情况，电机运行系统很容易因为电流和转矩剧烈波动，导致转速产生较大误差，影响电机正常、稳定运行<sup>[8]</sup>。对此，为应对微型外转子无刷直流电机加载突发情况，控制设备可以根据实际情况，对电机转速进行自动调整，避免转矩出现异常，并且通过无位置传感控制设备对电流进行调整，以此保证转速运行的精准度，提升微型外转子无刷直流电机的抵抗能力，保证电机始终处于正常、稳定运行。

从微型外转子无刷直流电机试验中可以知道，利用无位置传感控制装置，可以结合实际情况，对电机启动和稳定状态进行调速，确保微型外转子无刷直流电机在满载状态下，处于较为理想的运行状态。另外，微型外转子无刷直流电机借助无位置传感器，可以有效提升抗干扰性，可靠性，具有良好发展前景。

## 5 结束语

综上所述，将仿真有限元仿真软件对微型外转子无刷直流电机进行分析和设计，结合实际情况，对电机模型进行设计，合理设计电机结构，对电磁场进行分析，

目的就是优化微型外转子无刷直流电机运行性能。另外，通过利用有位置传感器、无位置传感器等方式，加强微型外转子无刷直流电机的控制，促使电机可以稳定、安全运行，满足相关行业使用需求。

## 参考文献

- [1] 古刚. 基于模糊PID的无刷直流电机控制方法[J]. 电气技术与经济, 2025, (02): 223-225.
- [2] 王卓, 张新宇, 高良超, 等. 基于改进滑模观测器的无刷直流电机控制研究[J]. 微特电机, 2025, 53(01): 47-52+59.
- [3] 朱焜秋, 郝正杰, 潘伟, 等. 无轴承无刷直流电机的研究、应用及发展趋势[J]. 电工技术学报, 2019, 34(2) : 4428-4440.
- [4] 王琼, 王晓侃. 基于PIC单片机控制的纯电动车无刷直流电机驱动系统设计与实现[C]//中国机电一体化技术应用协会, 中国机械工业教育协会. 第二届中德机电一体化职业教育国际论坛暨第三届全国机电一体化专业教学经验交流会论文集. 河南机电职业学院; , 2019: 13-16.
- [5] 仇志坚, 马东旭, 魏康妮. 无轴承无刷直流电机悬浮控制特性优化分析[J]. 电工技术学报, 2019, 34(23): 4939-4947.
- [6] 兰志勇, 胡滨, 李福, 等. 基于改进型换相算法的无刷直流电机无位置传感器控制[J/OL]. 电气工程学报, 1-9[2025-04-22].
- [7] 陈志刚, 高冰. 基于STM32单片机的无刷直流电机自动化控制系统[J]. 电子设计工程, 2025, 33(03): 58-62.
- [8] 唐博, 曲志伟, 范正鑫. 无位置传感器无刷直流电机监测与控制系统设计[C]//航空工业测控技术发展中心, 中国航空学会测试技术分会, 状态监测特种传感技术航空科技重点实验室. 第十六届中国航空测控技术年会论文集. 航空工业沈阳兴华航空电器有限责任公司; , 2019: 358-362.

作者简介：李彬（1982.07-）男，汉族，河北省保定市人，研究生，研究方向：永磁同步电机设计。