

# 《航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机》团体标准

## 征求意见稿 编制说明

### 一、任务来源

电动垂直起降飞行器(eVTOL)技术的基础可追溯至20世纪早期的垂直起降飞行器(VTOL)。但是这些早期飞行器依赖燃油驱动,存在噪音大、排放多、维护成本高的问题。直到21世纪初,随着锂电池技术和电动推进系统的进步,电动航空成为可能,eVTOL飞行器由此诞生。相较于传统燃油飞机,eVTOL采用电动推进系统,具有更低的碳排放和噪音污染。此外,电动系统支持多旋翼与固定翼结合的设计,使其在未来空中交通系统中的应用潜力巨大。

永磁同步电机的应用是eVTOL发展的重要里程碑。该电机具备功率密度高、调速范围广、电磁转矩大的优势,非常适用于eVTOL的起飞和着陆阶段。相比直流电机和感应电机,永磁同步电机能够提供全扭矩输出,对于eVTOL频繁垂直起降和悬停的需求至关重要,因此成为电推进动力系统的重要方案。

伴随全球城市化进程加快,城市交通压力日益增加,eVTOL被视为一种高效、环保的空中交通工具,并逐步成为未来城市交通的重要组成部分。市场预测显示,eVTOL市场将在未来20年内快速增长,年均复合增长率可能超过30%。随着电池技术、自动驾驶技术和材料科学的持续突破,eVTOL的航程将进一步提升,成本将有所降低,安全性和可靠性也将不断提高。这些技术进步将促进eVTOL市场的快速发展和广泛应用,同时,各国政府和航空管理机构也将出台更完善的eVTOL监管政策,以确保其在安全、效率和管理上的规范性。

目前,航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机相关的国家标准有GB/T 22711-2019 三相永磁同步电动机技术条件,针对航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机的性能要求、安全要求、环境适应性要求、电磁兼容性要求等,急需立项《航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机》该标准,航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机处于标准空白点,填补标准空白点,确保eVTOL用永磁同步电机的设计、制造、测试等环节遵循统一的技术规范,提高产品的可靠性和安全性。

制定《航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机》团体标准具有如下重要意义:

#### 一、填补技术空白,引领行业发展

eVTOL作为新兴的航空运输工具,其安全高效运行离不开高性能的永磁同步电机。然而,在此之前,针对eVTOL用永磁同步电机的技术标准尚属空白,这在一定程度上制约了eVTOL行业的快速发展。制定《航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机》团体标准,将填补这一技术空白,为eVTOL用永磁同步电机的设计、制造、测试和评估提供科学依据和技术指导,从而引领eVTOL行业向更加规范化、标准化方向发展。

#### 二、提升技术创新能力

在编制《航空垂直起降器（eVTOL）用永磁同步电机》团体标准的过程中，需要深入研究永磁同步电机的性能特点、设计要求、制造工艺等关键技术，这将促进相关企业和科研机构的技术创新和研发能力的提升。同时，标准的实施也将推动 eVTOL 行业的产业升级，提高整个行业的竞争力。

### 三、规范市场秩序

随着 eVTOL 行业的快速发展，市场上出现了越来越多的永磁同步电机产品。然而，由于缺乏统一的技术标准，市场上产品的质量参差不齐，给消费者带来了不小的困扰。制定《航空垂直起降器（eVTOL）用永磁同步电机》团体标准，将规范市场秩序，提高产品质量，为消费者提供更加安全、可靠的产品选择。同时，标准的实施也将促进公平竞争，为行业内的优秀企业创造更加公平的市场环境。

### 四、保障飞行安全，提高运行效率

永磁同步电机作为 eVTOL 的核心部件之一，其性能的好坏直接关系到飞行器的安全性和运行效率。制定《航空垂直起降器（eVTOL）用永磁同步电机》团体标准，将对永磁同步电机的性能要求、安全可靠等方面进行明确规定，从而保障飞行器的安全性和运行效率。这不仅能够提升乘客的出行体验，还能为 eVTOL 行业的可持续发展奠定坚实基础。

### 五、推动绿色可持续发展

当前，全球范围内都在积极推动绿色可持续发展，我国政府也高度重视绿色经济的发展。制定《航空垂直起降器（eVTOL）用永磁同步电机》团体标准，将注重永磁同步电机的能效和环保性能，推动 eVTOL 行业向更加绿色、环保的方向发展。这符合我国政府的政策导向，也符合全球绿色发展的潮流。同时，标准的实施还将促进相关产业链的协同发展，为推动我国绿色经济的发展贡献力量。

## 二、起草单位所作工作

### 1、起草单位

本标准由上海电气集团上海电机厂有限公司提出，由中国技术市场协会归口。本标准由上海电气集团上海电机厂有限公司、浙江优奈特电机有限公司、京马电机有限公司、湘潭电机股份有限公司、东莞市天一精密机电有限公司、氢醇动力科技(山东)有限公司共同起草。

### 2、主要起草单位及其所作工作

本文件主要起草人及工作职责见表1。

表1 主要起草单位及工作职责

起草人	工作职责
上海电气集团上海电机厂有限公司、浙江优奈特电机有限公司	项目主编单位主编人员，负责标准制定的统筹规划与安排，标准内容和试验方案编制与确定，标准水平的把握及标准编制运行的组织协调。人员中包括了电机行业资深专业人员，电机行业管理人员
京马电机有限公司、湘潭电机股份有限公司、东莞市天一精密机电有限公司、氢醇动力科技	实际生产单位、负责汇报企业电机生产数据、试验方法，参与标准编制。

### 三、标准的编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前汽车行业现状，按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定及相关要求编制。

### 四、标准编制过程

#### 4.1 立项阶段

2024年12月24日，中国技术市场协会正式批准《航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机》立项。

#### 4.2 起草阶段

4.2.1 成立标准制定工作组，根据《航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机》编制需要，上海电气集团上海电机厂有限公司、浙江优奈特电机有限公司、京马电机有限公司、湘潭电机股份有限公司、东莞市天一精密机电有限公司、氢醇动力科技(山东)有限公司等机构相关专家成立标准制定工作组。

4.2.2 形成标准草案：根据工作计划及分工安排，在系统参考、学习已有标准及研究的基础上，标准制定工作组完成《航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机》各部分内容，并于2025年1月17日汇总形成标准草案。

4.2.3 2025年3月7日，通过腾讯会议线上召开了《航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机》团体标准讨论会，与会代表30余人参加会议。会上，标准编制组就该标准立项背景和标准框架分别进行了介绍。与会专家和代表就标准名称、框架结构、定义、范围、技术指标、试验方法等内容进行了深入讨论。明确了该标准编制工作方向，并提出了一系列标准内容的完善措施和修改意见、建议。

在讨论会结束后标准编制工作组根据与会专家及参会代表的意见和建议，对标准稿进行了修改完善，形成了标准征求意见稿和编制说明。

#### 4.3 征求意见阶段

2025年3月27日，本标准由中国技术市场协会在全国团体标准信息平台面向社会进行公开征求意见，同时由编制工作组向相关单位进行定向征求意见。

### 五、标准主要内容

根据生产企业上海电气集团上海电机厂有限公司、浙江优奈特电机有限公司、京马电机有限公司、湘潭电机股份有限公司、东莞市天一精密机电有限公司、氢醇动力科技(山东)有限公司等单位的产品数据得到以下主要技术内容：

#### 1 范围

本文件规定了航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于航空垂直起降器(eVTOL)用永磁同步电机（以下简称“电机”）。

#### 2 规范性引用文件

#### 3 术语和定义

GB/T 2900.25、GB/T 2900.83界定的术语和定义适用于本文件。

##### 3.1

S1 工作制 S1 work system

即连续工作制，是指电动机在额定电压、额定频率和额定功率下，能够长时间连续运行而不出现损坏或性能下降的工作状态。

#### 4 分类

分类应符合表1的规定。

表 1 分类

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
功率/kW	<50	50~200	200~500

#### 5 一般要求

##### 5.1.1 工作制

电动机的工作制为连续定额（S1）。

##### 5.1.2 电路图

电动机由驱动器和电动机本体(包括位置传感器)两部分组成，其电路图如图1所示。

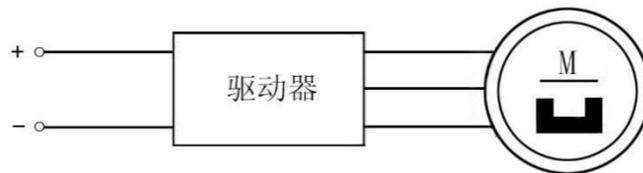


图 1 电路图

#### 6 技术要求

##### 6.1 外观

电动机表面不应有锈蚀、碰伤、划痕，涂覆层不应有剥落，紧固件连接应可靠，引出线或接线端应完整无损，颜色和标志应正确、牢固，铭牌字迹内容清楚无误，且不得脱落。

##### 6.2 功率密度

功率密度应符合表2的规定。

表 2 功率密度

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
连续工作功率密度/ (kW/kg)	3.5~4.5	4.5~5.0	5.0~6.8
峰值功率密度/ (kW/kg)	5.0~6.5	6.5~8.0	8.0~10.0

### 6.3 转矩密度

转矩密度应符合表3的规定。

表3 转矩密度

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
转矩密度	5.0~8.5	8.5~18.0	18.0~36.4

### 6.4 效率

#### 6.4.1 额定工况效率

额定工况效率应符合表4的规定。

表4 额定工况效率

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
$\eta_1$	$\geq 93\%$	$\geq 94\%$	$\geq 95\%$
$\eta_2$	$\geq 92\%$	$\geq 93\%$	$\geq 94\%$
$\eta_3$	$\geq 95\%$	$\geq 95\%$	$\geq 96\%$

注： $\eta_1$ ——额定电压下的综合效率；

注： $\eta_2$ ——额定转速下的综合效率；

注： $\eta_3$ ——额定负载下的综合效率。

#### 6.4.2 部分负载效率

部分负载效率应符合表5的规定。

表5 部分负载效率

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
部分负载效率 (20%~100%额定负载)	85%~93%	88%~95%	90%~96%

### 6.5 平均无故障时间

平均无故障时间应符合表6的规定。

表6 平均无故障时间

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
平均无故障时间/h	$\geq 8000$	$\geq 15000$	$\geq 20000$

### 6.6 温升幅度

温升幅度应符合表7的规定。

表7 温升幅度

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
---	-------	-------	--------

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
温升幅度/K	≤60	≤45	≤35

### 6.7 振幅

振幅应符合表8的规定。

表 8 振幅

-	低功率等级	中功率等级	高中功率等级
振幅/ (mm/s)	≤2.5	≤1.5	≤1.0

### 6.8 防护等级

电动机的防护等级应达到GB/T 4942规定的IP67级别。

### 6.9 耐腐蚀性

盐雾试验后，任何部位不应有明显腐蚀和破坏性变质，且性能应符合本文件规定。

### 6.10 耐机械冲击

试验后，性能应符合本文件规定。

### 6.11 电磁干扰性

#### 6.11.1 电磁辐射发射

应符合GB34660中4.5和4.6的规定。

#### 6.11.2 电磁辐射抗扰度

辐射抗扰度应符合GB34660的4.7中大电流注入(BCI)法和电波暗室法的要求。

#### 6.11.3 电源线瞬态传导抗扰度

电源线瞬态传导抗扰度应符合GB34660中4.8的要求,其中脉冲4仅适用于使用12 V或24 V电源启动发动机的混合动力汽车用驱动电机系统，

### 6.12 噪声

电动机额定电压条件下空载运行时，A计权声功率级，应不大于70 dB。

### 6.13 电气性能

#### 6.13.1 绝缘电阻

直流端动力端子与外壳、直流端动力端子与信号端子之间的绝缘电阻均不应小于1 MΩ。

#### 6.13.2 耐电压

耐电压试验后，性能应符合本文件规定。

### 6.14 超速

电机应能承受不低于1.1倍额定工作转速，持续时间不应小于2 min，试验后性能应符合本文件规定。

## 6.15 环境适应性

### 6.15.1 耐高温

应能在55℃，持续工作2 h，试验后性能应符合本文件规定。

### 6.15.2 耐低温

应能在-40℃，持续工作不少于0.5 h，试验后性能应符合本文件规定。

### 6.15.3 耐湿热

非运行状态下应能承受单次300 min，5次湿热循环。

## 7 试验方法

## 8 检验规则

## 9 标志、包装、运输和贮存

# 六、标准水平分析

## 6.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，暂无相同类型的国际标准与国外标准，故没有相应的国际标准、国外标准可采用。

## 6.2 与国际标准及国外标准水平对比

本标准达到国内先进水平。

## 6.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制定与现有的标准及制定中的标准协调配套，无重复交叉现象。

## 6.4 设计国内外专利及处置情况

经查，本标准没有涉及国内外专利。

# 七、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

# 八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

# 九、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本标准首次制定，没有特殊要求。

十一、废止现有有关标准的建议

无。

团体标准起草组

2025年3月