

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 体 标 准

T/QGCML XXXX—XXXX

开关磁阻电机系统设计与应用指南

Design and Application Guidelines for Switched Reluctance Motor Systems

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

全国城市工业品贸易中心联合会 发 布

前 言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由 提出。

本文件由全国城市工业品贸易中心联合会归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

开关磁阻电机系统设计与应用指南

1 范围

本指南适用于额定功率范围10W~5MW、额定转速覆盖低速至10万转/分钟的开关磁阻电机系统设计、制造及应用，涵盖工业设备、新能源汽车、家用电器、航空航天等领域。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 700-2023 《碳素结构钢》
GB/T 3190-2020 《变形铝及铝合金化学成分》
GB/T 18801-2022 《空气净化器》
GB/T 19582-2023 《基于Modbus协议的工业自动化网络规范》
IEC 60034-30 《旋转电机能效等级》
GB/T 18655-2018 《车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性》

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

3.1

开关磁阻电机（SRM）

基于磁阻最小原理，通过定转子双凸极结构实现机电能量转换的调速电机。

3.2

转矩脉动

电机输出转矩的周期性波动幅度，通常以峰值与平均值的百分比表示。

3.3

功率密度

单位体积或重量下的输出功率，单位为kW/kg或kW/L。

3.4

相数

电机绕组独立控制的数量，常见为三相、四相结构。

3.5

导通角

绕组通电的电角度范围，直接影响转矩输出特性。

4 系统设计要求

4.1 电磁设计

极数与相数选择：

三相6/4极、四相8/6极为常用结构，相数增加可降低转矩脉动但提高成本。

极弧系数需通过非线性仿真优化，确保磁路饱和均匀性。

气隙设计：

初始气隙建议取值0.2mm~0.5mm，需考虑热膨胀与机械公差补偿。

气隙磁密峰值应控制在1.5T~1.8T，避免局部饱和导致效率下降。

绕组参数：

每相绕组串联匝数需通过有限元分析确定，兼顾铜耗与转矩输出。
导线截面积公差控制在 $\pm 3\%$ 以内，浸漆工艺要求真空压力浸渍两次以上。

4.2 结构与材料

定转子材料：

导磁材料采用35W270冷轧硅钢片，叠压系数 ≥ 0.97 。

转子轭部厚度需满足机械强度要求，高速电机建议采用高强度合金钢。

轴承与密封：

高速电机（ >3 万转/分钟）采用陶瓷球轴承或磁悬浮轴承。

防护等级不低于IP54，潮湿环境需选用IP65及以上密封结构。

4.3 功率变换器

拓扑结构：

不对称半桥电路适用于高功率场景，裂相式电路适用于偶数相电机。

主开关器件选型需考虑电压裕量（ ≥ 1.5 倍额定电压）与电流裕量（ ≥ 2 倍额定电流）。

散热设计：

IGBT模块结温需控制在 125°C 以下，采用热管或液冷散热方案。

母线电容寿命需通过加速老化试验验证，满足10年使用要求。

4.4 控制策略

基本控制方法：

电流斩波控制（CCC）适用于低速重载工况，角度位置控制（APC）适用于高速轻载工况。

PI控制算法需通过遗传算法优化参数，实现动态响应时间 $\leq 50\text{ms}$ 。

智能控制技术：

模糊控制用于抑制转矩脉动，神经网络算法实现参数自整定。

无位置传感器技术采用磁链法或电感法，位置检测误差 $\leq 1^{\circ}$ 。

5 性能测试与验证

5.1 效率测试

采用直接法（输入-输出法）与间接法（损耗分析法）双重验证，测试电源谐波畸变率 $\leq 3\%$ 。

额定效率分级标准：

一级能效： $\geq 92\%$

二级能效： $\geq 90\%$

三级能效： $\geq 88\%$

5.2 温升测试

连续工作制温升 $\leq 80\text{K}$ ，间歇工作制温升 $\leq 95\text{K}$ 。

红外热成像仪检测热点温度，确保绝缘材料耐温等级匹配。

5.3 噪声与振动

1米距离噪声值 $\leq 75\text{dB (A)}$ ，精密设备配套电机 $\leq 65\text{dB (A)}$ 。

径向振动量 $\leq 2.8\text{mm/s}$ ，轴向振动量 $\leq 1.5\text{mm/s}$ 。

5.4 电磁兼容性（EMC）

传导骚扰限值符合GB/T 18655-2018 Class 3要求。

辐射骚扰限值在30MHz~1GHz频段内 $\leq 40\text{dB } \mu\text{V/m}$ 。

6 应用场景与选型指南

6.1 工业设备

龙门刨床：

要求频繁启停（ ≥ 10 次/分钟）、动态速降 $\leq 3\%$ 。

推荐四相8/6极电机，搭配角度位置控制策略。

纺织机械：

需低速高精度（ $\pm 0.1\text{rpm}$ ），采用无位置传感器控制技术。

6.2 新能源汽车

电动汽车主驱：

功率范围50kW~200kW，转速≤1.5万转/分钟。

需通过ISO 16750道路车辆电气电子设备环境条件测试。

电动自行车轮毂电机：

功率0.25kW~1kW，效率≥85%，集成减速器与制动器。

6.3 家用电器

洗衣机：

需多转速模式（洗涤30rpm~80rpm，脱水400rpm~1600rpm）。

采用电流斩波控制实现软启动，降低电网冲击。

空调压缩机：

功率1kW~5kW，效率≥90%，集成变频控制模块。

7 维护与故障诊断

7.1 定期维护

每500小时检查轴承润滑状态，补充耐高温润滑脂。

每2000小时进行绝缘电阻测试（≥1MΩ/kV）。

7.2 常见故障处理

故障现象	可能原因	处理措施
电机无法启动	功率变换器故障	检查IGBT驱动信号与续流二极管
转矩波动过大	相电流不平衡	调整导通角或优化绕组参数
温升异常	散热风扇故障	清理风道或更换散热模块