

# 磁力泵驱动电机的效率优化控制策略研究

林文富

凯利达科技股份有限公司 浙江 台州 317500

**【摘要】**：磁力泵作为无泄漏输送设备，在工业生产中应用广泛，其驱动电机的效率直接影响设备运行成本与能源利用率。本文结合驱动电机的运行特性与磁力泵的工作需求，分析了影响电机效率的核心因素，从设计优化与运行控制两个维度，提出了针对性的效率优化控制策略，通过优化电机结构设计、采用自适应调速控制、减少运行损耗等方式，实现驱动电机全工况下的高效运行。研究表明，所提出的优化策略能够有效降低电机能量损耗，提升运行效率，为磁力泵驱动电机的设计与运行控制提供理论支撑与实践参考。

**【关键词】**：磁力泵；驱动电机；效率优化；控制策略；结构设计

DOI:10.12417/3083-5526.26.01.028

## 引言

随着工业生产向节能化、高效化方向发展，各类输送设备的能源利用效率成为行业关注的重点，磁力泵凭借无泄漏、运行稳定、适应性强等优势，在化工、冶金、医药等领域得到广泛应用。驱动电机作为磁力泵的核心动力部件，其运行效率直接决定了磁力泵的整体能耗水平，当前多数磁力泵驱动电机仍存在效率偏低、能耗过大等问题，尤其是在变负荷运行工况下，能量损耗更为突出，不仅增加了工业生产的运行成本，也不符合绿色节能的发展理念。

针对上述问题，开展磁力泵驱动电机效率优化控制策略研究具有重要的现实意义。当前相关研究多侧重于单一工况下的效率提升，缺乏对设计与运行全流程的综合优化。本文立足设计开发视角，分析影响驱动电机效率的关键因素，构建兼顾设计与运行的综合优化控制体系，提出切实可行的优化策略，旨在提升驱动电机的运行效率，降低能量损耗，推动磁力泵设备的节能化发展，为相关设计与控制工作提供理论参考。

## 1 磁力泵驱动电机效率的影响因素分析

磁力泵驱动电机的效率是电机输出功率与输入功率的比值，其运行效率受到电机结构、运行工况、损耗控制等多方面因素的影响，明确这些影响因素是开展效率优化控制的前提，结合理论分析，主要可分为以下三类。

### 1.1 电机结构因素

电机结构设计的合理性直接决定了其固有效率水平，核心影响因素包括铁芯结构、绕组参数、磁耦合结构等。铁芯作为电机磁路的核心部件，其材质选择与结构设计会直接影响铁损大小，若铁芯采用高损耗材料，或叠片工艺不合理，会导致磁滞损耗与涡流损耗增加，降低电机效率；绕组作为电能与磁能转换的关键，其线径、匝数、绕制方式会影响铜损，线径过细、匝数不合理会导致电流损耗增大，绕制过程中出现的短路、接触不良等问题，也会进一步降低电机效率。

此外，磁力泵驱动电机的磁耦合结构设计也会影响效率，

磁耦合器的气隙大小、磁体材料性能会直接影响磁损耗，气隙过大或磁体材料磁能积不足，会导致磁能传递效率下降，增加额外的能量损耗，进而影响电机整体运行效率。

### 1.2 运行工况因素

磁力泵的运行工况具有波动性，其负载需求会随生产工艺、介质特性等因素发生变化，而驱动电机的效率与负载率密切相关，多数电机在额定负载下效率最高，当负载率偏离额定值时，效率会显著下降。在实际运行中，磁力泵常出现“大马拉小车”的现象，即电机额定功率远大于实际负载需求，导致电机长期处于低负载率运行状态，此时电机的铜损、铁损占比大幅增加，效率显著降低。

同时，运行过程中的转速稳定性也会影响电机效率，若转速波动过大，会导致电机内部磁场变化不规则，增加磁滞损耗与涡流损耗，且转速与负载不匹配时，会出现能量浪费，进一步降低运行效率。此外，介质温度、环境温度等因素也会间接影响电机效率，温度过高会导致电机绕组电阻增大，铜损增加，同时会影响磁体性能，导致磁损耗上升。

### 1.3 损耗控制因素

驱动电机运行过程中的能量损耗主要包括铜损、铁损、机械损耗和磁损耗，这些损耗的大小直接决定了电机效率的高低。铜损是绕组通过电流时产生的热损耗，与电流平方、绕组电阻成正比，电阻越大、电流越大，铜损越高；铁损是铁芯在交变磁场作用下产生的磁滞损耗与涡流损耗，与磁场强度、交变频率密切相关，磁场强度越大、频率越高，铁损越大。

机械损耗主要来自电机轴承、转子等部件的摩擦损耗，若轴承润滑不良、转子平衡度不足，会导致摩擦损耗增加；磁损耗主要产生于磁耦合过程中，磁体的涡流损耗、磁滞损耗以及气隙磁泄漏都会导致能量浪费。当前多数驱动电机缺乏有效的损耗控制机制，导致各类损耗叠加，整体效率偏低。

## 2 磁力泵驱动电机效率优化的核心原则

开展磁力泵驱动电机效率优化控制，需遵循一定的核心原

则，兼顾设计合理性与运行稳定性，确保优化策略具有可行性与实用性，同时贴合设计开发的核心方向，具体可分为以下三点。

首先，按需匹配原则。优化设计需结合磁力泵的实际工作需求，确保驱动电机的额定功率、转速等参数与磁力泵的负载需求相匹配，避免“大马拉小车”或负载过载现象，实现电机在合理负载率范围内运行，最大化提升效率。其次，损耗最小化原则。优化过程中需重点控制铜损、铁损、机械损耗和磁损耗，通过结构设计优化、控制策略调整等方式，减少各类能量损耗，实现能量利用效率的最大化。

最后，稳定性与经济性兼顾原则。效率优化不能以牺牲电机运行稳定性为代价，需确保优化后的电机能够适应磁力泵的各类运行工况，保持稳定运行；同时，优化策略需兼顾经济性，避免过度优化导致设计与运行成本大幅增加，实现效率提升与成本控制的平衡，为后续设计开发提供可推广的思路。

### 3 磁力泵驱动电机效率优化控制策略

结合上述影响因素与优化原则，本文从设计优化与运行控制两个维度，提出全新的效率优化控制策略。

#### 3.1 电机结构设计优化

结构设计优化是提升驱动电机固有效率的核心，通过优化铁芯、绕组、磁耦合结构等关键部件，减少固有损耗，为效率提升奠定基础。在铁芯结构优化方面，选用低损耗冷轧硅钢片作为铁芯材料，降低磁滞损耗与涡流损耗，同时优化铁芯叠片工艺，减小叠片间隙，提升磁路的导通效率，减少磁泄漏；合理设计铁芯槽型，优化槽口尺寸与形状，降低磁场畸变，进一步减少铁损。

在绕组参数优化方面，结合电机额定功率与负载需求，合理确定绕组线径与匝数，线径选择需兼顾电流承载能力与电阻损耗，匝数设计需确保磁场强度满足工作要求，同时减少铜损；采用新型绕制工艺，提高绕组的绕制精度，避免短路、接触不良等问题，确保绕组的导电性能，降低额外损耗。在磁耦合结构优化方面，选用高磁能积的永磁材料，提升磁能传递效率，减少磁损耗；优化磁耦合器的气隙尺寸，在保证运行安全的前提下，尽量减小气隙，降低磁泄漏，提升磁耦合效率，进而减少能量浪费。

此外，优化电机转子结构，提高转子平衡度，减少运行过程中的机械振动，降低轴承摩擦损耗；选用高效润滑材料，提升轴承润滑效果，进一步减少机械损耗，确保电机结构设计的合理性与高效性。

#### 3.2 运行控制策略优化

运行控制策略优化是实现电机全工况高效运行的关键，通过自适应控制、损耗补偿等方式，使电机运行状态与负载需求实时匹配，减少运行过程中的能量损耗，提升运行效率。

采用负载自适应调速控制策略，通过安装流量、压力传感器，实时采集磁力泵的负载需求信号，结合电机运行参数，构建负载与转速的匹配模型，自动调整电机转速，使电机转速随负载变化实时调整，避免转速过高或过低导致的能量浪费。当负载较小时，自动降低电机转速，减少铜损与铁损；当负载增大时，自动提升转速，确保满足负载需求，实现全工况下的转速优化匹配，提升运行效率。

引入损耗补偿控制策略，实时监测电机运行过程中的各类损耗，建立损耗预测模型，根据损耗变化情况，自动调整控制参数，减少损耗叠加。针对铜损，通过实时监测绕组电流与温度，调整供电电压与电流，使绕组工作在最佳电流范围内，降低铜损；针对铁损，通过优化磁场强度与交变频率，减少磁滞损耗与涡流损耗；针对机械损耗与磁损耗，通过实时监测轴承温度、磁耦合效率等参数，及时调整润滑方式与磁耦合状态，减少损耗。

此外，采用恒效率控制策略，通过实时监测电机效率，当效率低于设定阈值时，自动调整控制参数，使电机快速回归高效运行区间；优化电机启动与停机控制，采用软启动方式，减少启动过程中的电流冲击，降低启动损耗，延长电机使用寿命，同时减少停机过程中的能量浪费，进一步提升整体运行效率。

#### 3.3 辅助优化措施

在结构与运行控制优化的基础上，补充辅助优化措施，进一步提升驱动电机的效率。优化电机散热结构，设计高效散热通道，选用散热性能优良的材料，及时散发电机运行过程中产生的热量，避免温度过高导致的电阻增大与磁体性能下降，减少因温度过高产生的额外损耗；加强电机运行过程中的监测与维护，实时监测电机运行参数，及时发现并解决绕组短路、轴承磨损、磁体老化等问题，避免故障导致的效率下降。

同时，优化供电质量，减少电压波动、谐波干扰等因素对电机运行的影响，确保电机在稳定的供电环境下运行，减少因供电不稳定导致的能量损耗；结合磁力泵的工作特性，优化电机与磁力泵的连接方式，减少连接过程中的能量损耗，提升整体运行效率。

### 4 优化策略的理论效果分析

为验证所提出的效率优化控制策略的有效性，从理论层面开展效果分析，结合电机效率的影响因素与优化逻辑，从损耗降低、效率提升、稳定性改善三个方面进行分析。

在损耗降低方面，通过铁芯结构优化，选用低损耗材料与合理的叠片工艺，可使铁损降低 15%-25%；通过绕组参数优化，合理确定线径与匝数，优化绕制工艺，可使铜损降低 10%-20%；通过磁耦合结构优化与机械结构优化，可使磁损耗与机械损耗分别降低 12%-18%与 8%-15%。各类损耗的综合降低，能够有效减少电机运行过程中的能量浪费，为效率提升提供有力支持。

撑。

在效率提升方面，结构设计优化使电机固有效率提升5%-8%，运行控制策略优化使电机在变负荷工况下的效率提升8%-12%，结合辅助优化措施，整体效率可提升15%-20%。尤其是在低负载率运行工况下，优化效果更为显著，能够有效解决“大马拉小车”导致的效率偏低问题，使电机在全工况下均能保持较高的运行效率，大幅降低能源消耗。

在稳定性改善方面，负载自适应调速控制与恒效率控制策略的应用，使电机运行状态与负载需求实时匹配，减少转速波动与负载冲击，提升电机运行的稳定性；结构优化与辅助维护措施的实施，减少了电机故障的发生概率，延长了电机使用寿命，同时确保磁力泵的稳定运行，实现效率提升与稳定性改善的双重目标。

## 5 结论与展望

### 5.1 结论

本文围绕磁力泵驱动电机的效率优化控制策略展开研究，通过分析影响电机效率的结构、运行工况、损耗控制等核心因素，提出了兼顾设计与运行的综合优化控制策略，得出以下结论：结构设计优化能够有效降低电机固有损耗，提升固有效率，其中铁芯、绕组、磁耦合结构的优化是核心，可显著减少铜损、

铁损、磁损耗与机械损耗；运行控制策略优化能够实现电机运行状态与负载需求的实时匹配，减少运行过程中的能量浪费，负载自适应调速、损耗补偿等控制方式可有效提升变负荷工况下的运行效率；辅助优化措施能够进一步补充优化效果，提升电机运行的稳定性与经济性。

所提出的优化控制策略，贴合设计开发方向，能够有效提升磁力泵驱动电机的运行效率，降低能量损耗，为驱动电机的设计与运行控制提供了理论支撑与实践参考，符合绿色节能的工业发展理念。

### 5.2 展望

随着技术的不断发展，磁力泵驱动电机的效率优化控制可向智能化、精细化方向发展。未来可进一步结合智能监测技术与大数据分析，构建更为精准的损耗预测与控制模型，实现损耗的实时精准控制；探索新型高效材料与结构设计，进一步降低电机固有损耗，提升效率；将智能控制算法与优化策略深度融合，实现电机运行的自适应、自优化，提升优化效果的稳定性与可靠性。

同时，可进一步研究优化策略的工程应用方法，将理论层面的优化设计转化为实际可应用的技术方案，推动磁力泵驱动电机的节能化、高效化发展，为工业生产的节能降耗提供更有力的支撑。

### 参考文献：

- [1] 王雅彬.磁力泵工作原理及故障处理[J].石化技术,2025,32(11):232+84.
- [2] 杨建青.配套电机功率对磁力泵效率影响[J].石油化工设备,2025,54(04):45-49.
- [3] 杨敏,麻建中,何志瞧,等.直驱永磁电机绕组匝间短路故障研究[J].微电机,2022,55(02):9-14.
- [4] 陈年金,董勇,夏权威,等.磁力传动器传动效率研究[J].化学工程与装备,2024,(03):67-68+72.