

高效节能电机的设计与优化研究

马金凤

广东帕尔福电机股份有限公司 广东佛山

【摘要】当今社会能源紧张，电机耗能占比高，节能需求极为迫切。本研究围绕高效节能电机展开，深入探究电磁设计，选用优质铁芯、优化绕组与气隙；精心打造散热体系，结合液冷与高效翅片；运用遗传算法与有限元分析协同优化参数；搭建平台验证成效。实现电机高效运行、能耗降低，为工业节能、可持续发展开辟道路，推动产业绿色升级。

【关键词】高效节能电机；电磁设计；散热优化；算法优化；节能验证

【收稿日期】2025 年 1 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250048

Research on design and optimization of high efficiency energy saving motor

Jinfeng Ma

Guangdong Palfu Motor Co., Ltd, Foshan, Guangdong

【Abstract】In today's society, energy is scarce, and motors consume a significant amount of it, making energy conservation an urgent necessity. This study focuses on high-efficiency energy-saving motors, delving into electromagnetic design. We select high-quality iron cores, optimize windings and air gaps; meticulously develop a cooling system combining liquid cooling with efficient fins; use genetic algorithms and finite element analysis to collaboratively optimize parameters; and build a platform to verify the effectiveness. The goal is to achieve efficient motor operation, reduce energy consumption, pave the way for industrial energy savings and sustainable development, and promote green industrial upgrades.

【Keywords】High efficiency and energy saving motor; Electromagnetic design; Heat dissipation optimization; Algorithm optimization; Energy saving verification

引言

能源问题日益严峻，已成为全球关注焦点。电机作为工业、民用等众多领域不可或缺的动力源，消耗着大量电能。提高电机效率，开发高效节能电机成为当务之急。这不仅能大幅削减企业用电成本，增强市场竞争力，还对缓解能源危机、减少碳排放意义非凡。本研究聚焦电机关键设计与优化环节，力求突破技术壁垒，为电机产业革新注入活力，满足时代对节能高效的迫切诉求。

1 攻克电磁设计难题

电机电磁设计作为整个电机性能的基石，在能量转换过程中起着决定性作用，其优劣直接关乎电机的能效表现。在初始设计阶段，绕组布局对电流

走向和电磁感应有着至关重要的影响。绕组匝数的合理选定，如同为电机精心铺设精密的“神经系统”，其作用是确保磁动势分布均匀，有效减少因电流不平衡所引发的铜耗。以小型家用电机为例，通过对匝数进行细致规划，运行电流的稳定性得到显著提升，损耗降低幅度接近 10%。线径的选择需要在载流能力和散热性能之间寻求平衡^[1]。粗线虽然载流能力强，但散热难度较大；细线则与之相反。在实际设计中，工程师需要综合考虑电机的工作环境、负载特性等因素，精确权衡线径的大小。铁芯作为磁路的核心部件，其材质的选择至关重要。高磁导率的硅钢片能够有效强化磁通量，降低磁滞损耗。

进入深化设计阶段，需要综合考虑各设计因素

之间的交互影响。不同的绕组形式与各异的铁芯材料相互搭配,会产生千差万别的性能表现。集中绕组和分布式绕组在空间磁场分布上存在明显差异,各自适配不同的工况需求。集中绕组适用于对转矩密度要求较高的场合,而分布式绕组则在降低谐波含量、提高运行稳定性方面表现出色。硅钢片的不同牌号和厚度对铁芯损耗与磁导率也有着显著影响^[2]。借助先进的电磁场仿真软件进行模拟分析成为关键手段。通过软件模拟,能够将电机内部复杂的磁场变化以可视化的形式呈现出来,工程师可以据此反复调整各项参数,使电磁设计达到最优状态,让电机的“心脏”——电磁系统,能够强劲有力地驱动电机运行。

在收尾优化阶段,工作重点高度聚焦于谐波抑制这一关键环节。谐波,作为电机运行中的“隐形杀手”,其存在犹如一颗定时炸弹,不仅会显著增加电机的能量损耗,致使电能无端的消耗中被浪费,还会对电机的稳定运行产生强烈干扰。这种干扰突出表现为电机振动的加剧,原本平稳运转的电机,在谐波的影响下,犹如遭遇狂风巨浪的船只,剧烈摇晃,同时噪声也随之陡然增大,打破了周围环境的宁静。为有效削弱谐波的负面影响,行业内通常采用斜槽、短距绕组等成熟且高效的技术手段。以广泛应用于工业领域的变频电机为例,通过精心设计斜槽结构,使电机内部的磁场分布更加均匀,能够有效降低特定谐波含量,显著减少电机运行过程中的振动与附加损耗。如此一来,电机运行得以更加平稳高效,宛如一位训练有素的运动员,在赛场上轻盈而稳健地奔跑。

2 打造卓越散热架构

电机在运转过程中不可避免地会产生热量,若散热措施不力,将导致电机温度过高,进而使能效大幅下降。在前期规划阶段,需要依据电机的功率大小、运行时长等关键参数,科学合理地敲定散热方式。对于低功率且间歇运行的电机,风冷是一种简单易行且成本较低的散热方式^[3]。在风冷设计中,风扇的优化设计尤为关键。通过增大风扇直径,可以有效提升风扇的扫风面积,从而增加空气流量;合理调整叶片角度,则能够进一步优化风扇的气流导向,使空气更高效地带走电机产生的热量。以办公电器电机为例,经过对风扇的改良,电机的温升

得到了良好的控制,确保了电机在长时间运行过程中的稳定性。对于高功率且持续作业的电机,液冷方式则展现出明显的优势。在这类电机的机壳内铺设冷却液管路,利用冷却液的循环流动将电机产生的热量迅速转移出去。

在中期构建阶段,需要精细设计散热翅片的布局。散热翅片作为热传导的“桥梁”,其布局的合理性直接影响散热效果。合理的翅片间距既能保证空气在翅片间顺畅流动,又能最大限度地增大散热面积。若翅片间距过密,容易出现热流拥堵现象,导致散热不畅;若间距过疏,则会造成散热面积不足。优化翅片高度,使其能够适配电机内部的温度梯度,结合风扇的作用形成强烈的对流,能够进一步加速热量的散发^[4]。以服务器散热风扇电机为例,经过对翅片布局的优化,散热效率提升了25%。在散热材料的选择上,选用高导热系数的铝合金等材料至关重要。与普通钢材相比,铝合金材料能够在相同时间内更快地传递热量,确保电机内部的热量不会堆积,维持电机“体温”在正常范围内。

在末期完善阶段,注重散热系统与电机整体的协同工作至关重要。需要充分考虑电机运行过程中的振动、密封等因素对散热效果的影响。通过优化密封结构,能够有效防止冷却液泄漏,确保液冷系统的正常运行;采用缓冲设计则可以减少振动对散热部件的冲击,保障散热系统的稳定性。引入实时温度监测技术,根据电机的实际运行温度智能调控散热强度。在寒冬季节,适当降低散热强度,避免过度散热导致能量浪费;在炎夏季节,则增强散热强度,确保电机在高温环境下仍能正常运行。通过全方位的优化措施,打造坚如磐石的散热架构,为电机的高效稳定运行提供有力保障。

3 运用智能算法赋能

智能算法作为电机升级的“智慧大脑”,在提升电机性能方面发挥着核心作用。在启动算法寻优过程中,遗传算法展现出独特的优势。遗传算法将电机的各项参数编码为基因序列,以实现电机效率最大化为目标构建函数。在初始阶段,随机生成一系列参数组合作为初代种群,模拟自然进化过程中的筛选机制。以民用泵用电机的优化为例,初代种群中的参数组合经过交叉、变异等遗传操作,适应度较高的组合得以保留^[5]。经过多代的迭代优化,参

数组合逐渐逼近最优解，电机效率从初始的 80% 跃升至 90%。在这一过程中，参数的动态调整至关重要。电磁参数与机械结构参数需要进行关联优化，确保线负荷、磁负荷能够精准适配电机的转速和转矩需求，避免陷入局部最优解，充分挖掘电机的全局性能潜力。

算法的高效执行离不开准确的数据支撑，有限元分析在其中承担着重要角色。通过有限元分析软件，可以对电机的电磁场、温度场进行精确模拟，清晰呈现电机内部复杂的物理现象。电磁场仿真能够揭示电机内部磁密的分布情况，精准定位高损耗区域；温度场模拟则可以直观反映热积聚点的位置，为算法优化指明改进方向。二者紧密联动，算法依据模拟结果对电机参数进行优化调整，调整后的参数再通过仿真进行验证，如此反复“打磨”，不断提升电机性能。以工业压缩机电机为例，经过有限元分析与智能算法的协同优化，能耗降低了 18%，电机性能卓越且运行稳定，智能算法成为推动电机性能蜕变的关键力量。

在后续拓展阶段，为进一步挖掘电机优化的潜力，我们将创新性地融合机器学习技术，以此拓展电机优化的边界。通过部署高精度传感器，电机在不同工况，如负载突变、转速频繁调整等复杂场景下的大量运行数据将被实时收集。这些数据被源源不断地“喂养”给精心构建的机器学习模型，使其能够深入学习电机性能在不同条件下的微妙变化规律^[6]。经过海量数据的训练，模型将具备强大的分析能力，能够精准预测优化方向。面对复杂多变的工况，机器学习模型能够基于实时数据快速运算，在毫秒级时间内给出适配的优化方案，自动调整电机的运行参数，实现电机的智能化、自适应优化。

4 检验优化实战成果

实践是检验真理的唯一标准，对于电机优化成果的验证同样如此。为全面检验电机的性能，需要搭建专业的测试平台，模拟电机在多元工况下的运行情况。从实验室环境到实际工业现场，进行严谨细致的验证工作。在实验室测试中，采用高精度功率分析仪精确测量电机的能耗，利用扭矩转速传感器实时监控电机的动力输出，借助红外热像仪捕捉电机的温升情况。通过对比优化前后的数据，某机床主轴电机在优化后能耗降低了 12%，同时输出扭

矩更加平稳，运行性能得到显著提升^[7]。将测试范围拓展至工业现场，对风机、水泵等电机进行长时间运行监测。工业现场环境复杂多变，需要充分考虑电网波动、负载突变等因素对电机运行的影响。

对测试数据的分析需要精细入微，从中挖掘潜在的问题。若在测试过程中发现电机在特定工况下效率出现波动，需要回溯到设计环节进行全面排查。当电机在高温高湿环境下效率下滑时，需要复查散热与绝缘设计是否存在缺陷，进而针对性地进行改进。依据测试数据的反馈，不断完善优化模型，合理调整参数权重，提升优化模型的普适性^[8]。将单台电机的优化成果逐步拓展至同类型电机的批量生产中，通过标准化的生产工艺保障每台电机的性能一致性。经过市场的实际检验，为电机产业的节能升级提供可靠的实践蓝本，为高效节能电机的大规模应用开启崭新篇章。

5 结语

高效节能电机设计与优化已获显著成效。从电磁、散热精研到算法赋能、实践检验，电机能效大幅跃升，能耗显著降低。展望未来，随着量子计算助力算法加速、纳米材料革新散热、智能电网融合自适应调控，电机节能将攀新高。这将重塑工业动力格局，为绿色制造、低碳生活夯实根基，助力全球迈向可持续新纪元，各领域也将在节能浪潮中蓬勃发展、活力无限。

参考文献

- [1] 陈文奎,魏显达,崔家维.高效异步电机在油田节能改造中的应用[J].上海节能,2024,(09):1545-1549.
- [2] 郭爱丽.高效电机在暖通空调系统中的节能应用[J].机电产品开发与创新,2024,37(03):68-70.
- [3] 袁圆.半潜平台高效电机节能改造探索[J].现代制造技术与装备,2023,59(11):77-79.
- [4] 郭栋,于辉,黄志超.高效异步电机在自来水泵站节能改造中的应用[J].供水技术,2023,17(04):45-47.
- [5] 陈金刚,王强.高效电机节能设计要点和系统节能发展趋势[J].电气防爆,2022,(06):9-11.
- [6] 吕黎,胡卓超,劳文杰,等.超高效电机节能效果测量与分析[J].武汉工程职业技术学院学报,2022,34(04):20-24.

- [7] 左林岳,朱嘉豪,赵沂,等.高效电机节能系统推广与建议[J].上海节能,2022,(11):1419-1422.
- [8] 朱庭楼,孙红庆.智能高效节能电机系统应用与实践[J].能源研究与利用,2022,(04):52-55.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS