

节能型混合励磁交流接触器的优化设计

Optimum design of Energy Saving AC Contactor with Hybrid Excitation

周强 刘闯

南京航空航天大学自动化学院航空电源重点实验室

摘 要:交流接触器是用于远距离频繁接通与分断交流主电路及大容量控制电路的电磁式开关电器。本文从交流接触器的节能问题出发,提出了一种新型的节能型混合励磁交流接触器。该接触器采用直流励磁,并在磁路中加入永磁体以减小损耗。基于电磁场有限元分析软件JMAG-Studio,对混合励磁交流接触器的吸力特性进行了分析,并在此基础上对接触器的结构参数进行了优化设计。

关键词:交流接触器 混合励磁 有限元分析 JMAG-Studio

Abstract: The AC contactor is an electromagnetic switched machine witch used for contact and cut the AC main circuit or the big capacitance control circuit. A new AC contactor with hybrid excitation is presented in this paper for saving energy. The DC excitation and an extra permanent Magnet were adopted to reduce the loss. Based on the JMAG-Studio software of finite-element analysis in electromagnetic fields, the suction characteristics of the contactor are analyzed and the optimum design of the new AC contactor with hybrid excitation is provided in this paper.

Key words: AC Contactor Hybrid Excitation Finite Element Analysis JMAG-Studio

1. 引言

交流接触器是用于远距离频繁地接通和分断交流主电路及大容量控制电路的电磁式开关电器^[1]。其主要控制对象是:交流电动机、电磁铁,也可用于控制其它交流负载,如电照明、电加热等。交流接触器操作的电磁系统一般采用交流励磁电源来实现动衔铁的吸持,但采用交流励磁会带来较大的铁心损耗,存在振动和噪声问题,而且需要的吸持电流大、温升高,严重时还会烧坏线圈,特别是大功率交流接触器,这些问题更为突出。同时交流接触器功率因数低,浪费电能。因此,有必要对交流接触器进行改造。较有效的办法是将交流励磁改为直流励磁。直流励磁可以消除接触器工作时的振动和噪声,改善劳动环境;可以降低释放电压,减小铁芯损耗,使交流接触器线圈温升显著降低,从而延长了接触器的使用寿命;可以节省大量的有功和无功功率。因此,将交流接触器改为直流励磁,对安全生产和节约用电都有较大的实际意义。

交流接触器采用直流励磁或无激磁电流吸持,可减少大部分的损耗。因而本文采用直流励磁与无激磁电流吸持相结合的吸持设计,提出一种混合励磁的交流接触器,即在采用直流励磁的基础上,

在磁路中加入永磁体，实现直流、永磁混合励磁，通过优化设计使其达到比单独采用直流励磁更优良的节能特性。本文选用 CJ20-630 型交流接触器（图 1）为优化目标，该接触器工作电压 AC220V ~ 660V，工作电流最高可达 630A。

2. 混合励磁交流接触器的工作原理

接触器的工作原理和电磁铁类似，是利用通电的线圈产生磁场，使铁芯和衔铁产生磁化而相互吸引的原理来工作的。本文提出的混合励磁交流接触器的模型如图 2 所示，在直流励磁的基础上，引入永磁励磁，电励磁磁路和永磁磁路相并联，两者共同提供气隙磁场，两者之间加入隔磁的铝片，以减少永磁磁路的漏磁，提高永磁体的利用率。



图 1 CJ20-630 交流接触器

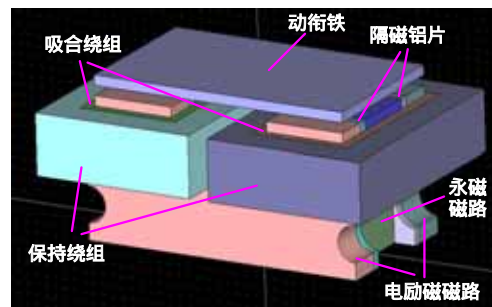


图 2 混合励磁交流接触器模型

由于接触器在工作中需要可靠并快速地闭合、分断电路，因而该接触器采用大电流吸合、小电流保持的方案。即在采用直流励磁与永磁励磁的同时，采用双绕组设计（如图 3），在吸合初期，开关 K 闭合，只有吸合线圈励磁，通过较大电流，和永磁体共同作用，产生较大的电磁吸力，使衔铁带动触头快速吸合。在该阶段，由于气隙较大，永磁吸力较小，电励磁起主要作用。当衔铁吸合至一定位置时（触头接触时）开关 K 打开，此时两绕组串联为保持绕组，仅通过较小电流，和永磁体共同作用，维持触头闭合并提供一个适当的预压力。此时电励磁产生吸力较小，永磁吸力起主要作用。在衔铁完全闭合时，永磁吸力必须小于反力，这样才能保证释放时衔铁能够可靠弹开，但永磁吸力又不宜比反力小过多，这样才能尽可能的减少电损耗，达到节能的目的。

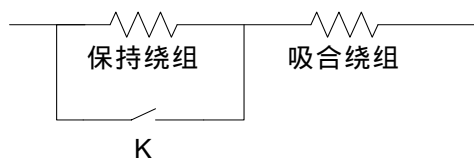


图 3 双绕组结构

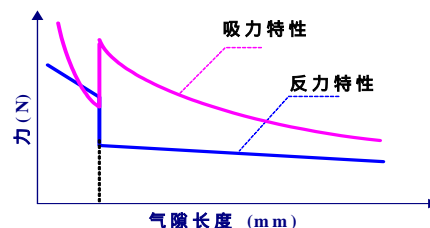


图 4 双绕组的反力、吸力特性配合

接触器的吸力特性和反力特性相互作用，就决定了接触器的运动特性，因此如何选择合理的吸力与反力特性就成为了接触器设计中的关键性问题。本文采用的反力和吸力特性配合如图 4 所示， θ

点以右为吸合阶段，吸力由吸合绕组提供， θ 点以左为保持阶段，吸力由保持绕组和吸合绕组串联提供。为减小触头闭合瞬间冲击，可使 θ 点的吸力略小于反力，而使动触头组依靠自身惯性完成闭合接触，这样可减轻接触时触头的碰撞，减少对触头的磨损。

3. 吸力特性的 2D 有限元分析

混合励磁交流接触器磁路结构复杂，用 2D 有限元分析，不能满足要求。但该接触器可近似分解为直流励磁和永磁励磁两个并联的磁路，因此可以运用 2D 有限元分析分别对接触器的电励磁磁路和永磁磁路进行初步优化。根据不同的气隙长度，分别建立一系列的电励磁和永磁励磁的 2D 有限元静态分析模型^[2]，如图 5 和图 6 所示。其中电励磁绕组由两个线圈构成，单个匝数为 200 匝，永磁体选用的是 JMAG 材料库中的铝镍钴永磁材料 SSMC:NKS-550H。

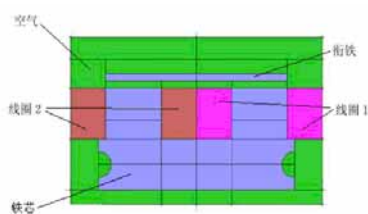


图 5 电励磁 2D 分析模型

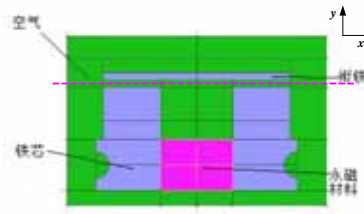


图 6 永磁励磁模型 1

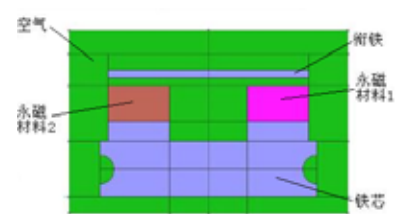


图 7 改进的永磁励磁模型 2

图 8 为仅电励磁作用时的 2D 磁通分布，励磁电流 1A，气隙为 1mm。图 9 为不同励磁电流时电励磁吸力特性的 2D 仿真结果。图 8 中沿图 6 虚线所示位置展开的气隙磁通密度分布曲线如图 10 所示，可见由于永磁体位于铁芯中部，将产生较大的漏磁通，影响永磁体的利用效率。为了减小漏磁，本文改进了永磁体的放置位置，采用了如图 7 所示的永磁模型，图 11 为改进后的气隙磁通分布曲线，图 12 为两方案的永磁体吸力特性对比，可见后一种方案的漏磁明显减小，且永磁吸力也随之增强，也就意味着如果要产生同样大小的吸力，采用后一种方案可减少永磁材料的使用量。

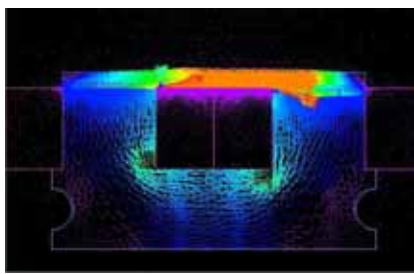


图 8 电励磁 2D 磁通分布

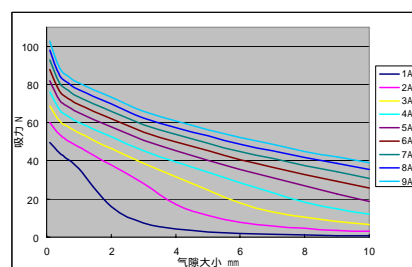


图 9 2D 电励磁吸力特性族

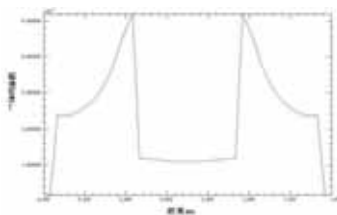


图 10 永磁方案 1 的气隙磁场分布

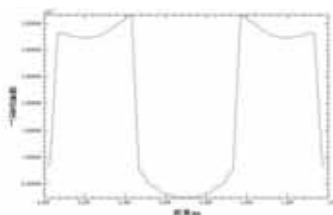


图 11 永磁方案 2 的气隙磁场分布

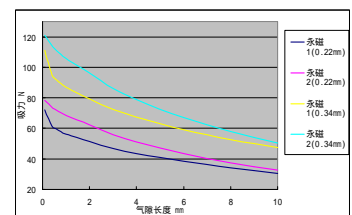


图 12 2D 永磁吸力特性

4. 吸力特性的 3D 有限元分析

2D 有限元分析模型是对接触器的简化,而实际的 3D 磁路中,考虑漏磁的影响和铁芯的饱和,电励磁和永磁磁路不能在简单的认为满足时线性叠加关系。为得到更精确的分析数据,还需要进行 3D 有限元分析。利用计算机辅助制造软件 SolidWorks 完成该接触器的 3D 模型绘制,导入 JMAG-Studio 软件。和 2D 建模一样,根据不同的气隙长度,建立一系列的 3D 静态分析模型^[3]。由图 8 中可以看出,由于初时设计时衔铁厚度较薄,因此衔铁最为饱和,将带来较大的铁芯损耗,因此在 3D 建模时,我们对衔铁进行了重新设计,加厚了衔铁厚度,如图 13 所示。

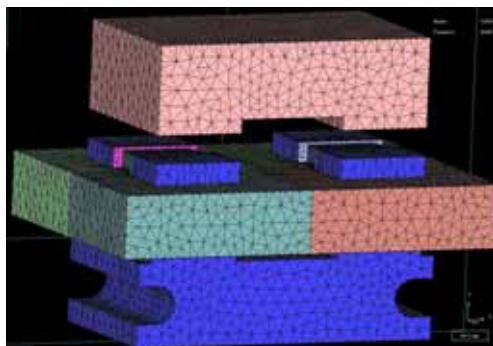


图 13 3D 有限元静态分析模型

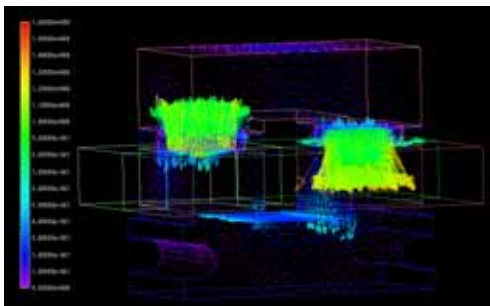


图 14 仅永磁作用时的磁通 3D 分布

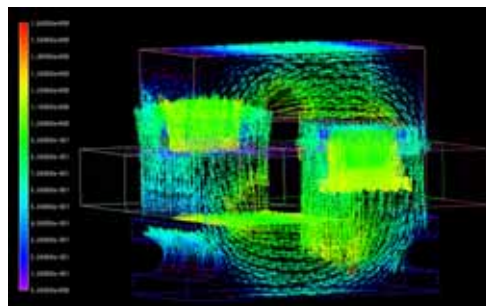


图 15 混合励磁时的磁通 3D 分布

图 14 为仅永磁作用时的磁通 3D 分布,图 15 为混合励磁时的磁通 3D 分布,其中,永磁厚度 20mm,气隙长度 1mm,励磁电流 1A。CJ20-630 型交流接触器的反力特性和优化后的混合励磁交流接触器吸力特性如图 16 所示。

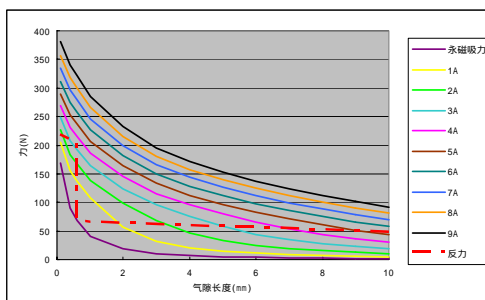


图 14 反力特性和吸力特性族

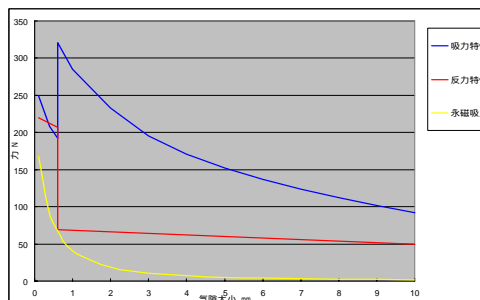


图 15 反力特性和系列特性的配合

5. 吸力特性和反力特性的配合

根据图 14，可最终确定双绕组的吸力特性曲线，在吸合阶段是采用 9A 的曲线，在保持时采用 4A 的曲线，得到的吸力反力特性曲线配合如图 15 所示，其中衔铁完全闭合时，永磁吸力为 168N，此时反力为 220N，符合设计要求。而励磁绕组由两个线圈构成，共 400 匝，因此吸力曲线对应的安培数乘 400 就是该条曲线对应的安匝数。由此得到吸合时安匝数为 3600 安匝，保持时安匝数为 800 安匝，据此可进一步设计吸合绕组和保持绕组的参数。

6. 结论

混合励磁交流接触器采用了直流励磁和永磁励磁相结合的励磁方式，相比原来的交流接触器可节省铁心、短路环和励磁绕组中绝大部分的损耗功率，具有较高的节电效益。本文基于电磁场有限元分析软件 JMAG-Studio，建立了混合励磁交流接触器的有限元分析模型。基于此模型，本文对该接触器的吸力特性进行了详细研究，在此基础上对永磁和电励磁的磁路结构进行了优化，最后在一台 CJ20-630 型交流接触器上进行了改造，并进行了吸合保持实验。实验表明本文提出的混合励磁交流接触器具有很好的节电效果，保持功率仅 3w，节电率高达 97.5%，实验数据如表 1。

表 1 混合励磁交流接触器实验结果

混合励磁 交流接触器	吸合电压	58 V	保持电压	10 V
	吸合电流	2.0 A	保持电流	0.3 A
	吸合功率	116 w	保持功率	3 w
CJ20-630	吸合功率	790 w	保持功率	118 w
节电率	吸合	85.3%	保持	97.5%

7. 参考文献

- [1] 王宝岭。电磁电器设计基础[M]，北京：国防工业出版社，1992。
- [2] 周茂祥。低压设计手册[M]，北京：机械工业出版社，1992。
- [3] 周强，朱学忠，刘闯。基于 JMAG 的开关磁阻电动机场路直接耦合分析[J]，微电机，2007，40(10),pp:1-5。
- [4] JMAG-Studio 8.2 Online Manual[Z]，The Japan Research Institute. Limited。