

屏蔽门用 AU1878L-241 型电磁铁
延长寿命方案分析

陈 庆, 谢永清

(宁波南车时代传感技术有限公司, 浙江 宁波 315021)



作者简介: 陈 庆 (1974-), 男, 高级工程师, 研究方向为屏蔽门控制技术。

摘 要: 针对地铁站台屏蔽门系统中的 AU1878L-241 型电磁铁工作寿命无法满足预期要求这一问题, 建立该电磁铁装置的改进结构, 并利用有限元法对电磁铁装置进行分析, 得到其工作应力及变形, 理论上验证了改进方案的可行性。对该电磁铁装置进行摩擦磨损试验, 结果表明该改进方案使电磁铁装置的摩擦磨损明显减少, 有效的提高了其使用寿命。

关键词: 电磁铁; 寿命; 屏蔽门; 有限元分析

中图分类号: TM574; TH122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)04-0057-04

Life-prolonging Analysis of AU1878L-241 Electromagnet for PSD System

CHEN Qing, XIE Yong-qing

(Ningbo CSR Times Transducer Technique Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315021, China)

Abstract: The AU1878L-241 electromagnet in platform screen door (PSD) systems, whose work life could not meet the requirements of PSD systems, was studied and structurally improved. FEM method was used to analyze the performances of old and improved structures of the electromagnet, providing theories and proof to the improved structure by the analysis results of deformation and stress distribution. Friction and wear tests of the electromagnets were also carried out, and the test results showed that the new structure could effectively protect the electromagnet from being worn and prolong its life.

Key words: electromagnet; life; PSD; FEA

1 屏蔽门门头锁用电磁铁的使用现状

电磁铁为屏蔽门滑动门门头锁的重要部件之一, 通电后通过电磁力带动锁头运动, 完成滑动门闭锁解锁动作。电磁铁寿命是屏蔽门系统寿命的一个重要指标。目前屏蔽门系统中的 AU1878L-241 型电磁铁在无润滑的情况下, 其使用寿命不能达到 120 万次的要求。经过试验分析得出, 经过大约 20 万次工作周期之后, 电磁铁开始出现不稳定现象, 偶尔出现断电后滑动杆不能自动下落的现象, 导致门头锁样机不能自动闭锁; 大约 50 万次后, 电磁铁得电后滑动杆不能上提, 断电后滑动杆不能自动下落的现象频繁出现, 导致门头锁样机完全失效。本文主要从结构优化和材料改进两方面对 AU1878L-241 型电磁铁的失效进行分析研究, 并提出改进方案。

电磁铁的结构优化方面, 主要结合实际工作状态,

利用有限元法分析其结构性能对寿命影响, 并提出相应改进措施。

电磁铁的材料改进方面, 主要采用表面涂层技术, 在电磁铁的中心滑动杆和铜套表面镀膜, 以提高表面的抗磨性能。其中涂层材料的选择是提高电磁铁抗磨性能的关键。目前具有较好的自润滑性能的涂层材料主要有 PTFE、MoS₂、石墨和软金属 Au、Ag 以及金属二氟化物等。其中 PTFE 是超低温到常温领域应用最广泛的润滑剂, 具有优良的自润滑性能, 经过大量研究认为具备较为成熟的技术条件^[1-3]。二硫化钼的性能较突出, 在氧化时生成钼的氧化物同样具备抗磨性^[4]。因此, 主要在电磁铁铜套表面涂覆二硫化钼, 在滑动杆表面涂覆 PTFE 型铁氟龙涂层处理, 以提高电磁铁的抗磨性。

2 电磁铁装置的失效分析

电磁铁装置机械结构如图 1 所示。电磁铁的负载作

收稿日期: 2011-12-30; 收修改稿日期: 2012-04-16

用在负载板上,并通过负载板传递到滑动杆上。滑动杆在电磁力的作用下克服负载沿铜套内壁向上运动,并最终被吸合到铜套内。当线圈绕组失电后,电磁力随之消失,滑动杆在自身重力及负载力的作用下沿铜套内壁向下移动。

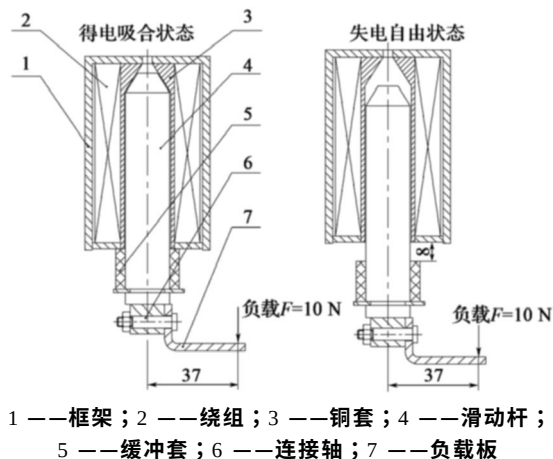
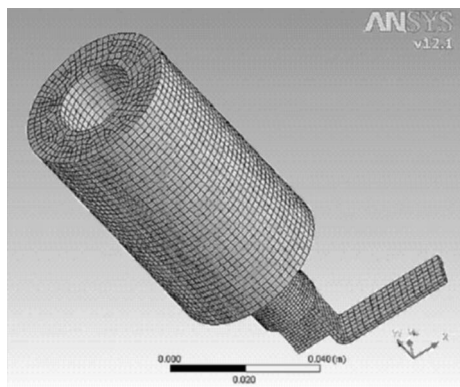


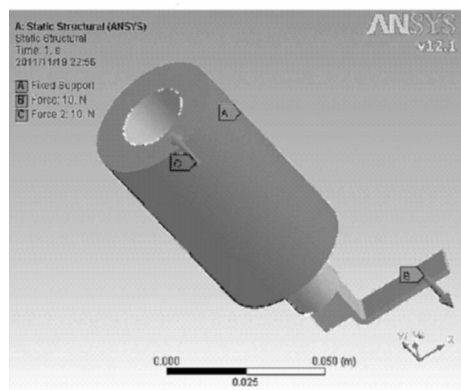
图1 电磁铁结构图

2.1 电磁铁装置失效的有限元分析

利用ANSYS/Workbench软件对电磁铁装置进行有限元结构分析,分析中需要对电磁铁装置进行必要的简化处理。由于本文主要分析电磁铁中滑动杆与铜套内壁的摩擦情况,所以在不影响计算精度的情况下,将电磁铁简化为如图2所示模型。



(a) 有限元模型



(b) 边界条件

图2 电磁铁简化结构的有限元模型及边界条件

如图2(a)所示,电磁铁的简化模型主要包括滑动

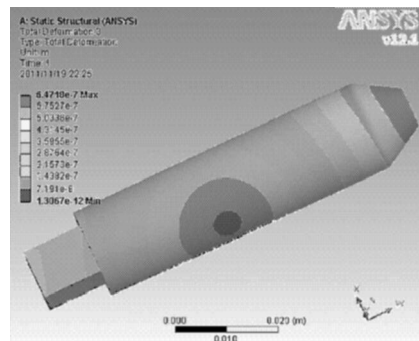
杆、铜套、绕组和负载板4个零件。铜套的材料为黄铜,滑动杆材料为电工铁DT3,具体材料属性参数如表1所示。采用映射和扫略方法将电磁铁划分为六面体网格,其中铜套与滑动杆的表面需要设置相应的接触单元,所以套筒与滑动杆单元需要划分为较小尺寸的网格,以达到接触计算的精度。

图2(b)为电磁铁装置有限元分析的边界条件设置情况。绕组的外表面固定约束,在负载板上施加10 N的载荷,滑动杆上施加反向的10 N载荷,滑动杆表面与铜套内表面设置摩擦接触对,摩擦系数设为0.25。

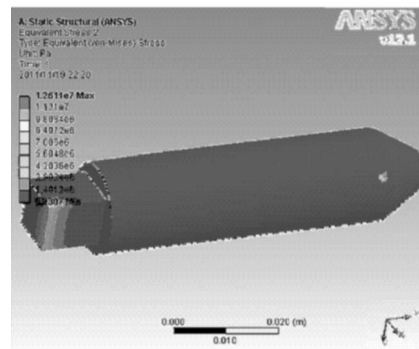
表1 零件的材料属性参数表

零件	弹性模量/GPa	泊松比	密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
铜套	110	0.34	8 300
滑动轴及其他零件	209	0.28	7 850

图3为该工况下滑动杆的变形及等效应力分布情况。由图3(a)可知,滑动杆的最大变形量为 $0.647 \mu\text{m}$,出现在滑动杆的两端。这主要是由于负载板上的载荷与滑动杆中心轴之间存在偏心距,所以负载将对滑动杆产生一个倾覆转矩,导致滑动杆产生较小的转动。此时铜套对滑动杆的支撑形式为两点支撑,由图3(b)中等效力分布的情况可以看出,接触位置处滑动杆的最大等效应力为5.6 MPa,集中在局部区域,该应力集中的区域即为滑动杆的支撑点。



(a) 滑动杆的变形

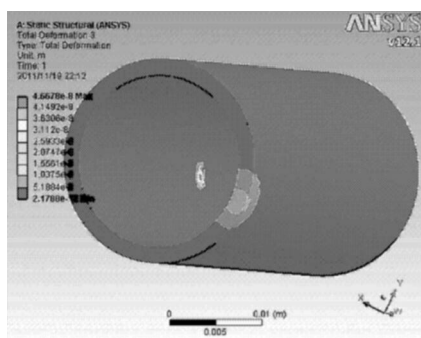


(b) 滑动杆的等效应力分布

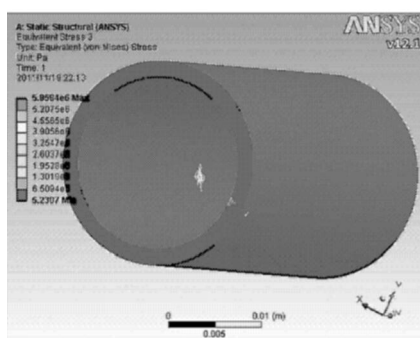
图3 滑动杆的变形及等效应力情况

图4为该工况下铜套的变形及等效应力情况。由图可知套筒的最大变形为 $0.046 \mu\text{m}$,且区域分布较为集中,最大等效应力为5.86 MPa,位于套筒的最大变形

处。在较长时间的工作周期中, 集中变形及应力会导致铜套的局部区域磨损严重, 缩短其使用寿命。



(a) 套筒的结构变形



(b) 套筒的等效应力分布

图4 电磁铁套筒的变形及等效应力情况

2.2 电磁铁装置的失效原因分析

针对上述失效过程, 通过电磁铁装置的结构分析和有限元分析可知, 电磁铁在长期工作之后发生失效的原因主要有以下2个:

①负载的作用点与电磁铁滑动杆中心之间存在偏心现象(如图1所示), 导致滑动杆倾斜, 使得电磁铁铜套对滑动杆的整体面支撑变成两点支撑, 支撑点处的接触压强较大(如图3和图4所示), 加速了支撑点处的磨损。

②电磁铁铜套材质较软, 与表面镀镍处理的滑动杆配合对磨时很容易被磨损。磨损后铜套与滑动杆之间的摩擦力增大, 导致偶尔出现断电后滑动杆不能自动下落的现象。随着磨损的进一步加剧, 铜套与滑动杆之间出现粘滞现象, 导致铜套与滑动杆之间的摩擦力急剧增大, 电磁铁完全失效。

3 电磁铁装置的改进设计与分析

3.1 电磁铁装置的改进方案

针对上述导致电磁铁装置失效的原因, 分别采取以下2项改进措施。

①针对负载偏心问题, 采取改进门头锁电磁铁装置机械结构的方法, 改进后电磁铁的负载对称布置在滑动杆中心两侧, 不会对滑动杆产生额外的倾覆转矩, 如图5所示。这使得滑动杆与电磁铁铜套之间的接触压强变小, 有利于减少滑动杆与电磁铁铜套之间的摩擦力, 降低电磁铁的磨损。

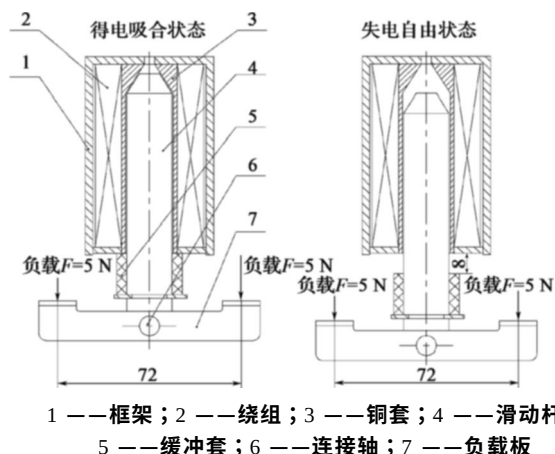
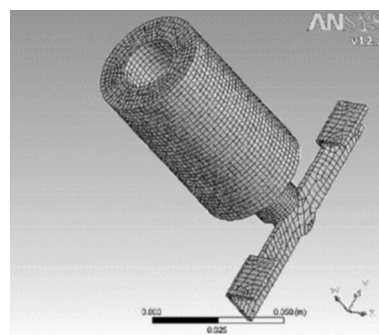


图5 改进后电磁铁结构图

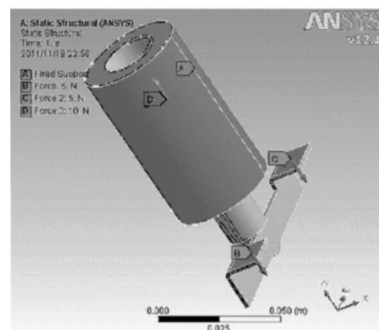
②针对电磁铁铜套材质较软, 容易被磨损后对滑动杆产生粘滞效应的问题, 对电磁铁铜套表面和滑动杆表面分别涂覆二硫化钼和PTFE型铁氟龙涂层处理。二硫化钼和PTFE型铁氟龙涂层都是固体润滑剂, 摩擦系数较低, 可以减少铜套与滑动杆之间的机械磨损, 延长铜套的使用寿命。

3.2 改进后电磁铁装置的有限元分析

图6为改进后电磁铁的有限元分析模型及边界条件设置情况, 其中相关设置与改进前基本一致。在负载板的左右两边分别施加5 N的对称载荷, 因表面采用涂层处理, 滑动杆与铜套之间的接触摩擦系数取0.1。



(a) 改进后几何模型

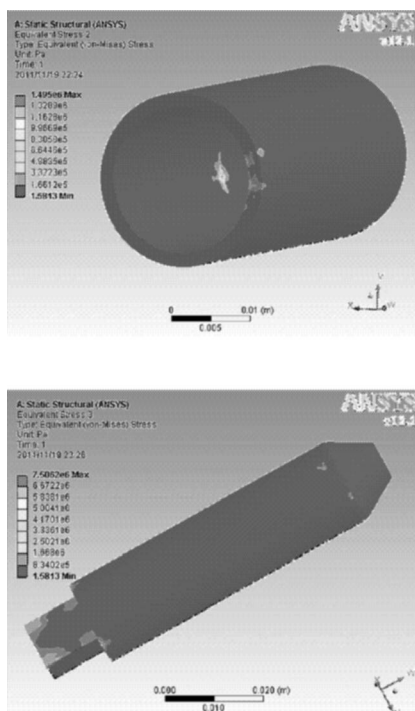


(b) 改进后有限元模型

图6 2种设计方案中电磁铁简化结构的几何模型

图7为改进后铜套与滑动杆的等效应力分布情况。由图可知, 改进后套筒和滑动杆在接触位置的等效应力最大分别为1.5 MPa和1.2 MPa, 相对于改进前的5.8 MPa和5.6 MPa, 等效应力明显减小, 有利于降

低铜套与滑动杆之间的摩擦磨损, 延长电磁铁的使用寿命。



(b) 滑动杆的等效应力分布

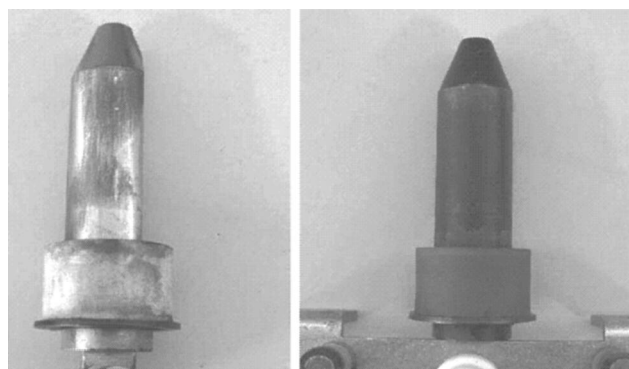
图7 改进后套筒及滑动杆的等效应力分布

4 试验分析

通过电磁铁的摩擦磨损试验, 模拟测试电磁铁在实际工况环境下的使用情况, 以验证改进方案的效果。试验方法如下: 分别按改进前后的负载分布方式给负载板施加相应的载荷。给电磁铁接通周期为600 ms, 占空比为40%的脉冲电源。在该电源的作用下, 滑动杆将沿着铜套内壁做周期性的上下运动。运动过程中, 滑动杆与铜套之间将产生磨损。通过对比分析改进前后滑动杆的磨损情况, 检验改进方案的可行性。

图8为电磁铁装置改进前后滑动杆的试验磨损情况, 其中图8(a)为改进前滑动杆在50万个工作周期之后的磨损情况。此时电磁铁已经经常出现滑动杆不能吸合的现象, 可以认定电磁铁的功能已经丧失。由图8可知, 此时滑动杆顶端侧面发生严重磨损, 该磨损情况与有限元分析结果相吻合。图8(b)为改进后滑动杆在150万个工作周期后的磨损情况。此时电磁铁仍然可

以在正常的电压下工作, 但在低于正常电压20%时会偶尔出现滑动杆不吸合现象。由图8可以看出, 滑动杆底部及顶端侧面位置的涂层发生脱落, 磨损点位置与有限元分析中最大应力的位置相吻合。



(a) 改进前的磨损

(b) 改进后的磨损

图8 电磁铁装置改进前后滑动杆的试验磨损情况

5 结语

本文建立了屏蔽门系统用AU1878L-241型电磁铁装置的改进结构及其理论分析模型, 解决了该电磁铁装置寿命过短的问题。首先利用有限元法分析了电磁铁装置的工作应力及变形, 得出了电磁铁装置的失效原因, 并采取针对性措施, 对电磁铁装置进行改进。利用电磁铁的摩擦磨损试验, 证明该电磁铁的改进方案将AU1878L-241型电磁铁的正常周期由50万次延长到了120万次以上, 完全满足TQMS1型门头锁对电磁铁寿命的要求, 可替代同类型的进口电磁铁装置。

参考文献:

- [1] ZHANG Ji-zhong, YU Xiao-jun, LI Heng-de, LI Xiang-huai. Surface modification of polytetrafluoroethylene by nitrogen ion implantation [J]. Applied Surface Science, 2002(18): 225-261.
- [2] 袁海根, 曾金芳, 杨 杰. 聚四氟乙烯改性研究进展 [J]. 塑料工业, 2005(8): 7-9.
- [3] TANG Hui, JIA Hui-juan, SHAO Jun-peng. Structure and microtribological properties of PTFE/ Al_2O_3 micro-assembling film [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2003, 13(6): 1381-1384.
- [4] K C Wong, et al. Surface and friction characterization of MoS₂ and WS₂ third body thin films under simulated wheel/rail rolling-sliding contact [J]. Wear, 2007, 4(4): 1-9.