

使用维修

某柴油机柱塞泵有刷电机烧坏故障原因分析及改进

曹应佳, 黄 燊, 赵冠华, 张美英, 杜国栋

(七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 对某柴油机柱塞泵内烧坏的直流有刷电机的拆检表明: 换向器镀铜层与电刷材料硬度匹配不当, 导致换向器异常磨损, 进而引起转子线圈电压不足是导致故障的主要原因。对此, 从优化电刷与换向器材料硬度匹配以及提高换向器镀铜层厚度两方面对电机进行了整改。经试验验证: 在电刷磨损量基本不变的情况下, 换向器实际磨损率由 15.6% 减小至 1.7%, 预计电机寿命达到 14 500 h, 整改方案有效。

关键词: 直流有刷电机; 换向器; 电刷; 磨损

中图分类号: TK424.1⁺33 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2021)01-0052-03

Analysis and Improvement of the Burning Fault of a Brush Motor in the Plunger Pump of a Diesel Engine

Cao Yingjia, Huang Shen, Zhao Guanhua, Zhang Meiyang, Du Guodong

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: The burnt DC brush motor in the plunger pump of a diesel engine was inspected, and the results show that the main cause for this fault was that the copper plated layer of the motor commutator was not properly matched with the hardness of the brush material, which led to abnormal wear of the commutator and the insufficient voltage of the rotor coil. Based on the analysis results, the motor was modified from the two aspects of optimizing the material hardness matching between the brush and the commutator, and increasing the thickness of the copper layer of the commutator. The test results show that with the basically unchanged wear degree of the brush, the wear ratio of the commutator is decreased from 15.6% to 1.7%, and the motor life is expected to reach 14 500 h. The modification is effective.

Key words: DC brush motor; commutator; brush; wear

0 引言

直流有刷电机由永磁体定子、线圈绕组转子、电刷和换向器等组成。其工作原理为: 转子旋转使通电线圈与定子中的磁场切割形成安培力, 并通过电刷与换向器的交替接触, 使电机保持同一方向持续转动。有刷直流电机凭借其结构简单、体积紧凑、响应快、成本低等优点, 在多个领域均有应用^[1]。

但直流有刷电机受其结构和工作原理的局限, 在使用过程中也存在以下问题^[2]。

(1) 摩擦损耗大。电机中的电刷和换向器属于内部易损件, 随着电机运行, 电刷和换向器逐渐磨损, 须定期清理维护。

(2) 易发热并形成火花。电刷与换向器接触电阻较大, 工作过程中容易发热和形成火花, 使定子退磁, 电机性能下降, 影响电机可靠性。

(3) 电机寿命短。受电刷、换向器等易损件影响, 直流有刷电机寿命通常为 1 000 ~ 2 000 h, 而无刷电机寿命可达到几万小时。

由以上分析可知, “电刷-换向器”是直流有

收稿日期: 2019-10-18; 修回日期: 2019-11-12

作者简介: 曹应佳(1986—), 工程师, 主要研究方向为柴油机润滑冷却系统, caoyingjia@csic711.com。

刷电机的核心部件之一，其性能好坏直接影响电机的可靠性和使用寿命。

本文针对某直流有刷电机烧坏故障进行原因排查与分析，在此基础上优化电机设计，提高其可靠性和使用寿命。

1 故障及拆检情况

1.1 故障情况

故障电机集成于某小型滑油柱塞泵底部，通过蜗轮蜗杆减速机构带动柱塞泵泵轴。柱塞滑油泵安装于柴油机上，按一定控制策略为特定零部件供油润滑。该柱塞泵及电机主要设计参数如表 1 所示。

表 1 柱塞泵及电机主要设计参数

参数	设计值	备注
柱塞泵额定转速/ (r · min ⁻¹)	18	减速后
电机工作电压/V	DC24	允许波动 ± 10%
电机额定功率/W	30	
电机换向器尺寸/mm	Φ18.5	
电刷尺寸/mm	10	

柴油机试验期间，巡机人员发现：柱塞泵泵轴（搅拌器）处于停止状态。截至故障发生前，该柱塞泵已累计运行 1 559 h。根据控制策略，当前柱塞泵应处于开启状态，对应泵轴应以 18 r/min 逆时针转动。经现场排查，测控软件运行正常，线路供电正常，初步判断为柱塞滑油泵内部故障。现场对柱塞泵进行整体更换，试验恢复正常。

1.2 拆检情况

对故障泵本体进行拆检：柱塞、凸轮等未见异常磨损。更换电机后柱塞泵恢复正常。初步判断本次故障与泵本体机械零件无关。

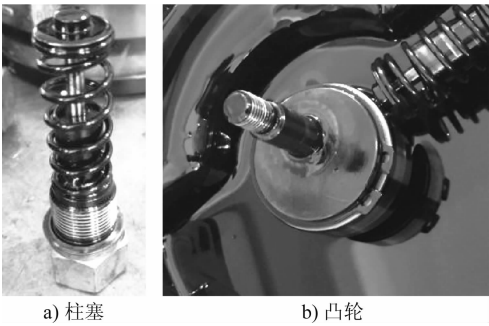


图 1 柱塞与凸轮拆检情况

对底部集成的直流有刷电机进行拆检，情况如下。

(1) 换向器及电刷表面正常，但电机转子部分明显发黑；

(2) 电机所有电路连接、导线铆接均良好，

无松动迹象，配机振动环境对电机影响较小；

(3) 电机内部运动、连接、转动正常，无抱死和运动卡滞情况；

(4) 电机电刷实际磨损 13.4%，远未到寿命极限；

(5) 电机换向器镀铜层实际磨损 97.1%，已磨损至绝缘层，下部呈明显台阶状。电刷和换向器接触电阻值为 30 ~ 280 Ω，远高于正常值（5 ~ 20 Ω）。

可确定本次故障原因为：电机烧毁导致柱塞泵停止工作。



图 2 正常及故障电机转子对比

2 故障原因分析

2.1 电机过载烧毁原因分析

根据电机设计参数、前期运行情况以及拆检情况，可基本排除使用环境、功率匹配、内部运动件润滑等因素导致电机过载烧坏的可能。

根据拆检情况（图 3、图 4），换向器金属层磨损严重，电刷和换向器接触电阻值为 30 ~ 280 Ω，远高于正常值。因此，换向器异常磨损，使得电刷与换向器接触电阻增大、转子电压偏低是导致本次电机烧坏的主要原因。

2.2 电刷与换向器磨损分析

本次电机烧坏故障与电刷和换向器磨损直接相关，结合本次拆检情况，具体分析如下。

(1) 电刷实际磨损率（实际磨损率 = 实际磨损量/设计有效磨损量）为 13.4%，预计寿命为 11 634 h（根据厂家经验，工况负载稳定情况下，电刷和换向器实际磨损量与运行时间呈近似线性关系。预计寿命 = 设计有效磨损量/实际磨损量 × 实际运行时间），远未达到寿命限值。电刷磨损主要分机械磨损和电蚀磨损，其中，电蚀磨损与电流大小有关。该泵配机时电机实际工作负载（电流）低，电蚀磨损较小，这是电刷远未达到寿命限值的

主要原因。



图3 电刷磨损量测量

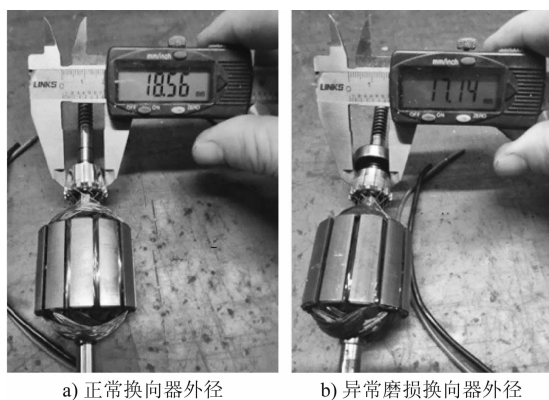


图4 换向器磨损情况测量

(2) 换向器镀铜层实际磨损率为 97.1%，换向器寿命约为 1 559 h，明显不足。换向器磨损主要为机械磨损，与电机转速和材料匹配有关。由于柱塞滑油泵额定转速较低（18 r/min），因此，改善换向器磨损、提高其寿命的工作主要从换向器与电刷硬度匹配和换向器镀铜层厚度调整两方面进行。

综上所述，本次滑油柱塞泵故障是由于换向器镀铜层与电刷材料硬度匹配不当，导致换向器过度磨损，引起转子线圈电压不足，最终导致转子过载，线圈烧毁，柱塞泵停止工作。

3 整改措施及验证

3.1 整改措施

根据上述故障原因分析，从以下两方面进行整改。要求整改后电刷和换向器寿命 $\geq 10\,000$ h。

(1) 材料硬度匹配调整：通过调节电刷材料

碳和铜含量配比，适当降低电刷硬度，在保证电刷磨损寿命的前提下，改善换向器磨损情况。

(2) 结构尺寸调整：优化换向器结构和镀铜层厚度，有效设计总磨损量提高 1 倍。

3.2 试验验证

在试验台架上按超载试验边界要求（额定转速、125% 额定压力），对一台集成了整改后电机的柱塞泵开展 250 h 连续运行试验。试验结束后拆检，电机整改前后换向器及电刷的实际磨损率和预测寿命如表 2 所示。

表2 电机改进前后换向器及电刷的磨损率及预计寿命

零件	状态	实际磨损比例/%	预计寿命/h
换向器	整改前	15.6	1 600
	整改后	1.7	14 500
电刷	整改前	2.1	11 666
	整改后	2.1	11 666

由以上数据可知：改进后的电机在电刷磨损率基本不变的情况下，换向器实际磨损率由 15.6% 降低至 1.7%；预计换向器寿命可达到 14 500 h，电刷寿命可达到 11 666 h，整改措施有效。

4 结论

(1) 换向器和电刷是直流有刷电机的核心部件，其性能好坏直接影响电机的可靠性和使用寿命。

(2) 换向器异常磨损，使得电刷与换向器接触电阻增大、转子电压偏低是导致本次电机烧毁的主要原因。

(3) 故障整改及试验验证表明：改善电刷与换向器的设计与匹配，可有效提升直流有刷电机的可靠性和使用寿命，更好地满足使用需求。

参考文献

- [1] 何鹄环. 永磁有刷直流电动机电磁振动与噪声的分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [2] 朱奎林. 直流电机电刷的选择方法与主要影响因素[J]. 自动化与仪器仪表, 2014 (6): 151-152.
- [3] 崔岗. 直流电机换向器异常磨损的原因分析与维护保养[J]. 企业技术开发, 2016, 35 (8): 124, 133.