

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.05.011

电动汽车驱动电机轴承寿命可靠性试验研究^{*}

蔡丽萍¹, 张 斌¹, 章有良¹, 阎昌春², 周琪斌¹, 徐建波¹

(1. 浙江省机电产品质量检测所, 浙江 杭州 310051; 2. 杭州人本电机轴承有限公司, 浙江 杭州 310022)

摘要:针对电动汽车国产驱动电机轴承寿命短、可靠性低的问题,通过对电动汽车驱动电机轴承工作特性进行分析,提出了电动汽车驱动电机轴承寿命可靠性的模拟试验参数和一种台架模拟试验机的设计方法。对国内外同型号驱动电机轴承样品的台架进行了模拟试验对比。结果表明:国内外驱动电机轴承寿命可靠性的主要差距来源于润滑、密封和耐高低温性能等方面;该结果可为国产驱动电机轴承寿命的可靠性提升提供技术改进方向的参考。

关键词:电动汽车;驱动电机轴承;寿命可靠性;试验

中图分类号:TH133.3

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)05-0478-05

Life reliability test of electric vehicle drive motor bearing

CAI Li-ping¹, ZHANG Bin¹, ZHANG You-liang¹, YAN Chang-chun²,
ZHOU Qi-bin¹, XU Jian-bo¹

(1. Zhejiang Testing and Inspection Institute for Mechanical and Electrical Products Quality, Hangzhou 310051, China; 2. Hangzhou C&U Motor Bearing Co., Ltd., Hangzhou 310022, China)

Abstract: Aiming at the problems of short service life and low reliability of the domestic drive motor bearings of the Electric Vehicle, whose work characteristics were analyzed. The simulated test conditions of the life reliability for the drive motor bearings and a design technique for the simulated bench tester were proposed. The comparative bench simulation life test between the domestic and foreign drive motor bearings of same type, was preusemeed the results show that the main gap of their life reliability is caused by lubrication, sealing and high and low temperature performance. The optimization measures for the life reliability improvement of the domestic drive motor bearings were proposed.

Key words: electric vehicle; drive motor bearing; life reliability; test

0 引 言

汽车产业作为中国经济的支柱产业之一,近年发展迅速,在国民经济和社会发展中发挥着重要作用,但行业发展与日益严重的能源消耗以及环境污染的矛盾也愈显突出^[1]。电动汽车以车载电源为动力,用驱动电机通过变速箱驱动车轮行驶,具有结构简单、无污染、噪声低、能效高等优点,作为资源节约型和环境友好型的新能源汽车近年销量增速惊人。

我国电动汽车产业快速发展的同时,也面临部分核心零部件关键技术尚未完全突破、严重依赖进口的问题,驱动电机轴承就是其中之一。由于电动汽车驱动电机(以下简称“驱动电机”)取代了传统燃油汽车的发动机,驱动电机成为电动汽车的核心关键零部件,其相对于常规电机通常要求瞬时功率大、过载能力强、变速范围大,并能适应频繁启/停、加速/减速,低速爬坡时要求高转矩、高速行驶时要求低转矩^[2]。正是由于驱动电机这些特性,决定了驱动电机轴承比一般电机轴承的性能可靠性要求要

收稿日期:2016-11-23

基金项目:浙江省科技计划资助项目(2017C31090)

作者简介:蔡丽萍(1983-),浙江杭州人,女,工程师,主要从事轴承检测、轴承寿命试验的研究及相关试验机的开发工作。E-mail:80708445@qq.com

高得多。另外驱动电机轴承还要求具有优良的耐高/低温、耐湿热、防水防尘等抗环境影响性能。目前国内常规电机轴承的尺寸精度、旋转精度、游隙控制、启动力矩、静态性能等指标已基本接近国外水平,也能满足驱动电机的使用要求,但由于原材料、磨前加工工艺、高速设计、特殊润滑脂及特殊保持架等方面还与国外存在较大差距,轴承的性能可靠性与国外产品仍存在较大差距,主要表现为轴承使用寿命短、可靠性低,很难满足驱动电机频繁启停、急变速等工况的使用要求^[3]。

我国驱动电机轴承性能可靠性较差除上述原因外,还与我国目前驱动电机轴承性能可靠性测试与评价技术不完善有直接的关联性。驱动电机轴承性能要求的特殊性决定了现有通用轴承的性能可靠性测试与评价技术不完全适用性。

目前我国驱动电机轴承性能可靠性测试方法与评价技术规范尚处于空白状态,本研究通过驱动电机轴承特性分析,着力研究一种驱动电机轴承动态性能可靠性试验方法,并介绍其台架模拟试验机的设计方法,根据试验结果分析国内外产品质量性能差距及产生原因,为驱动电机轴承的进口替代指明技术改进方向。

1 驱动电机轴承特性分析

驱动电机轴承大多为脂润滑深沟球轴承,如图1所示。



图1 电动汽车驱动电机轴承

脂润滑是一种最简单、最方便的润滑方式,约有80%的滚动轴承采用脂润滑,但它仅适用于中、低速应用工况,其主要原因是润滑脂稠度较大,轴承高速运转时,润滑脂纤维组织受到强烈剪切,搅动功耗大,剪切发热严重,轴承温升高,且润滑脂冷却效果

差,温升过高导致轴承提前失效^[4]。另外,轴承高速运转时,轴承腔内润滑脂由于离心力作用容易被甩出滚道,影响润滑效果。因此,一般脂润滑轴承不宜应用在高速运行工况,而驱动电机轴承均有高转速要求,如电动轿车的驱动电机轴承要求最高转速在12 000 r/min以上,故高速性能是驱动电机轴承的特性之一。

高温环境下,一般润滑脂稠度降低,润滑脂容易从轴承密封间隙中流出,剩余润滑脂也会由于高温基础油挥发,润滑充分性逐步丧失,导致轴承磨损加快,轴承磨损后进一步增加轴承温升,进入恶性循环,大幅降低轴承的使用寿命,严重时甚至导致轴承卡死。低温环境下,一般润滑脂稠度变大,分油率下降,在降低轴承旋转灵活性,增大轴承驱动功率和搅动功耗的同时,还会导致轴承润滑不良,磨损加重,进而缩短轴承的使用寿命^[4-7]。因此,一般脂润滑轴承在高、低温环境下高速运行,对轴承及润滑脂的高低温性能要求较高,而驱动电机轴承不可避免要运行在高低温环境下,我国境内地面高气温记录极值为47.7℃,低气温记录极值为-52.3℃^[8]。考虑到辐射的影响,电动汽车在停放时,其高温极值将超过70℃,在实际行驶时,这一值会更高,这一点也在现行标准中规定轴承组件及润滑脂能在高、低温环境下正常使用得到印证^[9-11]。故耐高低温性能是驱动电机轴承的特性之一。

由此可见,驱动电机轴承的特性是在高温、低温等环境下能持久高速运行,且存在急变速、频繁启停等工况。

2 模拟试验参数的选择与设计要素

如前所述,驱动电机轴承需有较多的特殊性能,而轴承性能可靠性影响因素诸多且复杂,许多因素的影响机理尚未被完全弄清楚,通过模拟试验来评价轴承的动态性能不失为一种有效的解决方案。模拟试验参数的选择与设计极为重要,应考虑如下基本要素:

(1) 高低温环境模拟。根据驱动电机轴承应用环境温度分析,试验应重点研究极限应用温度(如低温-54℃,高温+140℃)下轴承的性能可靠性。

(2) 高速运转工况模拟。驱动电机轴承实际应用时,不仅要高速运转,还存在急变速、频繁启停等条件,试验应重点研究极端转速及极端加速度工况,建立合

适的“转速-时间”模拟试验转速谱。

(3) 载荷工况模拟。由于车内载重情况及道路状况不同,驱动电机轴承的真实承载情况也不是一个定值,为了更好地评估轴承的动态性能,该试验应运用现有滚动轴承强化寿命试验理论和经验,对各工况载荷进行强化程度分析,建立合适的当量载荷或载荷谱。

3 台架模拟试验机的设计

3.1 试验机的主要参数

根据驱动电机轴承的实际应用工况,确定试验机的设计参数如下:

- (1) 试验轴承范围: 内径 $\Phi 30 \sim \Phi 70$ mm, 外径 $\Phi 25 \sim \Phi 120$ mm;
- (2) 试验轴承数量: 4 套;
- (3) 试验温度范围: $-55\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +150\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- (4) 试验载荷 (Fr) 范围: $0 \sim 120$ kN;
- (5) 最高转速: $13\ 000\text{ r/min}$ (无级可调);
- (6) 监控参数: 试验载荷、试验转速、扭矩、温度、振动等。

3.2 试验机主体结构及特点

试验机的主体结构如图 2 所示。

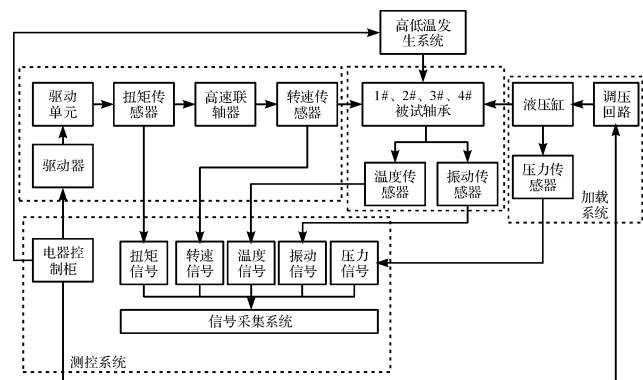


图 2 主体结构简图

试验机主要由驱动单元、加载系统、试验单元、高低温发生系统及测控系统组成:

(1) 驱动单元。驱动单元由驱动器、驱动电机、扭矩传感器、高速联轴器及转速传感器组成。通过驱动器调节驱动电机输入频率,与转速传感器形成闭环控制,使试验轴承按设计的转速谱运转。

(2) 加载系统。试验机采用液压比例阀实施加载,将轴承当量载荷或载荷谱施加在被试轴承上。液压原理图如图 3 所示。

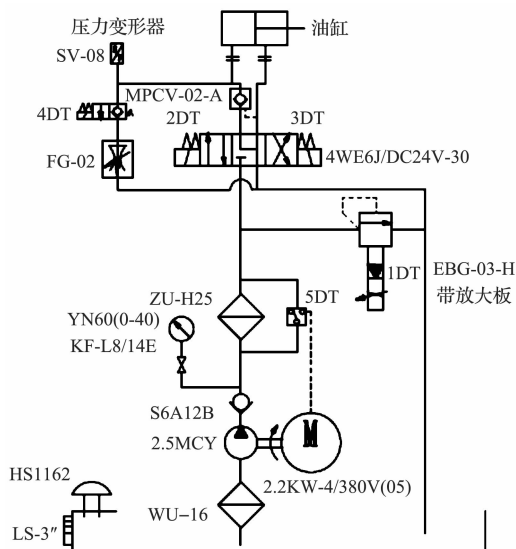


图 3 加载系统液压原理图

(3) 试验单元。轴承试验单元采用桥式结构,试验单元结构图如图 4 所示。

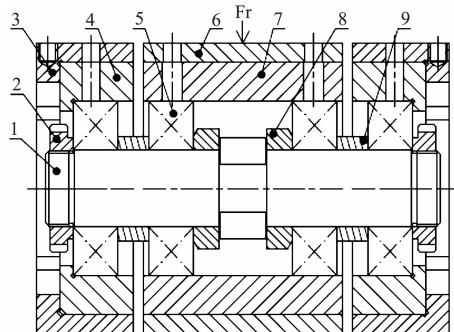


图 4 试验单元结构图

1-水平轴;2-锁紧螺母;3-端负荷体;4-端衬套;5-被试轴承;6-中负荷体;7-中衬套;8-拆卸环;9-隔离环

4 套被试轴承安装在同一水平轴 1 上,试验载荷作用在中负荷体 6 上,通过中衬套 7 传递至中间两套被试轴承 5,两端两套被试轴承 5 在反作用力下承载。

(4) 高低温发生系统。高低温集成环境中,低温采用压缩机组与干冰调和组合方式实现,高温采用电加热方式实现,将高、低温整合到同一个环境系统中。

(5) 测控系统。测控系统可对试验轴承的载荷、转速、扭矩、温度和振动进行实时监控并实现越界停机。即传感器将测得的试验载荷、转速、扭矩、温度和振动信号传递给信号放大器,经工控机处理后显示,当试验轴承发生失效时,其温度、扭矩或振动将越界,监控器将失效信息传递给电脑,电脑自动关停

试验机并保存之前的监测数据。测控系统原理如图5所示。

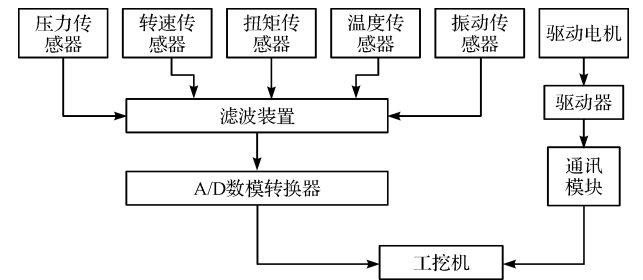


图5 测控系统原理图

4 试验应用

4.1 试验条件及结果

笔者选取6207-2Z驱动电机轴承国内样品A和国外样品B各12套,用本研究模拟试验台架对其分别在常温(+20℃)、高温(+140℃)和低温(-54℃)3种环境下进行性能可靠性对比试验(每种环境各4套),样品编号分别为A1~A12、B1~B12。

试验条件如表1所示。

表1 6207-2Z驱动电机轴承动态承载性能试验条件				
运行阶段	转速/ (r·min ⁻¹)	载荷/N	试验时间/s	总时间
磨合阶段	3 000		1 800	0.5h
加速1	0~4 000		7	
恒速1	4 000	1 000	3	
加速2	4 000~8 000		6	累计200
恒速2	8 000		3	个循环,
加速3	8 000~12 000		6	共 计 试
恒速3	12 000		120	验 时 间
减速1	12 000~6 000	700	10	400 h
恒速4	6 000		7 035	
减速2	6 000~0	1 000	10	

典型失效外观照片如图6~8所示。

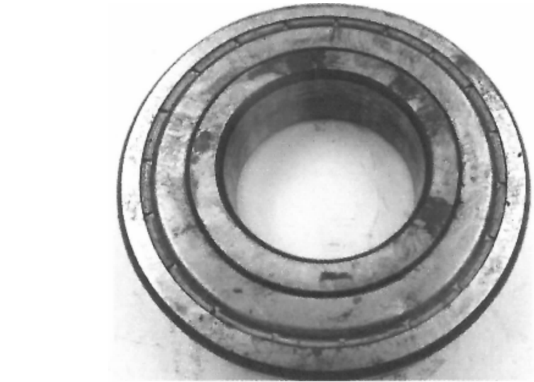


图6 样品A常温试后典型外观照片(少量漏脂)



图7 样品A高温试后典型外观照片(严重漏脂)



图8 样品A低温试后典型外观照片(少量漏脂)

试验结果如表2所示。

表2 6207-2Z驱动电机轴承动态承载性能对比试验结果				
轴承 编号	环境 温度	试验结果		备注
		试验时间/h	样品状态	
A1	常温 +20℃	385.4	轴承旋转不灵	扭矩急剧增
A2			活,轻微卡滞,	大,温度异
A3			少量漏脂	常停机
A4				
B1		400	轴承旋转灵活,	
B2			无卡滞、漏脂现	截尾停机
B3			象	
B4				
A5	高温 +140℃	298.5	轴承旋转不灵	扭矩急剧增
A6			活,卡滞、漏脂	大,温度异
A7			严重	常停机
A8				
B5		400	轴 承 旋 转 灵	
B6			活,无卡滞现	截尾停机
B7			象,少量漏脂	
B8				
A9	低温 -54℃	312.2	轴承旋转不灵	扭矩急剧增
A10			活,严重卡滞,	大,温度异
A11			少量漏脂	常停机
A12				
B9		400	轴 承 旋 转 灵	
B10			活,无卡滞、漏	截尾停机
B11			脂现象	
B12				

4.2 试验结果比对

表 2 试验结果表明,国内样品 A 与国外样品 B 在常温环境试验结果差距较小,高、低温环境下试验结果差距较大。总体来说,国内样品 A 的动态承载性能无法满足表 1 试验条件 200 个循环的试验要求,而国外样品 B 完成 200 个循环试验后,轴承状态仍然良好或较好。

拆套检查结果表明,各 12 套样品均未出现疲劳剥落失效;12 套国外样品中仅 4 套高温试后样品润滑脂明显减少,其余 8 套样品润滑脂减少量并不明显,且 4 套高温试后样品润滑脂尚处于正常湿润状态;4 套常温试后国产样品润滑脂状态与国外高温试后样品基本类同;4 套高温试后国产样品润滑脂已处于干固、黑色状态,说明润滑失去后已出现严重磨损;4 套低温试后国产样品润滑脂明显减少,呈黑色,结合手感检查可判定磨损严重。

4.3 性能分析与应用

试验结果表明,所试国内外样品动态承载性能质量差距较大,但试验结果显现,差距原因不在原材料、磨前加工工艺或轴承高速设计等方面,而在润滑、密封、抗高低温、抗急变速性能等方面,建议在提升保持架性能质量满足高速、急变速要求,改进密封结构高速、密封性能要求的同时,重点改进润滑脂的高速、高低温性能。

5 结束语

本研究通过台架模拟试验,可有效显现轴承动态承载性能,通过后处理分析,可发现轴承设计与工艺中的薄弱环节,进而有针对性地实施优化措施,同时还可作为轴承用户进行轴承选型、性能评估提供技术支持。

由于试验样本量的局限性,试验结果并不代表国内先进产品水平,本研究的试验方法及试验机也存在很多不足,希望业内人士多提宝贵意见与建议,将台架模拟试验推向一个更高的水平。

参考文献(References):

- [1] TAE U J, SUNG H L, SUNG I I, et al. The development of hybrid electric compressor motor drive system for HEV[C]. Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007 VPPC. Arlington: IEEE, 2007.
- [2] 余金凤,丁 川. 电动汽车电动机的选择及加速性能试验[J]. 河南科技大学学报, 2003, 24(1): 47~50.
- [3] 徐文龙,肖曙红,肖红光. 角接触球轴承传热机理及其对高速电主轴性能的影响分析[J]. 机电工程技术, 2016, 43(4): 49-54.
- [4] 蒋书运,朱宝库,王连明. 高速滚动轴承脂润滑的试验研究[J]. 轴承, 1994(5): 28-29.
- [5] 张锡昌. 超高速高温轴承实验机的设计[J]. 轴承, 1995(3): 28-30.
- [6] 卢志伟,马 晨,刘 波,等. 气浮针杆轴承与性能测试装置设计[J]. 轻工机械, 2016, 34(3): 74-76.
- [7] 钱 勇,黄文俊,常 超,等. 附加轴向力对离心风机自由端滚动轴承温升的影响[J]. 流体机械, 2016, 44(4): 41-44.
- [8] GJB 1172.2-91. 军用设备气候极值[S]. 北京:国防工业出版社, 1991.
- [9] JB/T 10859-2008. 滚动轴承汽车发动机张紧轮和惰轮轴承及其单元[S]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- [10] GB/T 28698-2012. 滚动轴承电机用深沟球轴承技术条件[S]. 北京:中国标准出版社, 2012.
- [11] JB/T 8167-2006. 滚动轴承汽车发电机轴承技术条件[S]. 北京:机械工业出版社, 2006.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

蔡丽萍,张 斌,章有良,等. 电动汽车驱动电机轴承性能可靠性试验研究[J]. 机电工程, 2017, 34(5): 478-482.

CAI Li-ping, ZHANG Bin, ZHANG You-liang, et al. Life reliability test of electric vehicle drive motor bearing[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(5): 478-482.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>