

文章编号: 1006-4710(2013)03-0319-06

高速列车轴承的可靠性试验标准和规范研究

王磊, 刘宏昭, 朱德馨, 李钊

(西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 为了研究高速列车轴承的可靠性, 国际铁路联合会和其他组织先后颁布了相应的铁路轴承试验标准和规范, 而我国高速列车轴承的发展相对落后, 同时也缺少铁路轴承方面的试验标准和规范。针对这一问题, 在分析国内轴承可靠性试验标准和规范的基础上, 参考国外铁路轴承试验规范和标准, 通过对比分析, 对我国高速列车轴承的可靠性试验标准和规范提出了建议。

关键词: 高速列车轴承; 可靠性试验; 试验规范

中图分类号: TH121 **文献标志码:** A

Research on the High-Speed Railway Bearing Reliability Test Standards and Specifications

WANG Lei, LIU Hongzhao, ZHU Dexin, LI Zhao

(Faculty of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to study the reliability of high-speed railway bearing, the International Union of Railways and other organizations have published related standards and specifications one after another. However, high-speed railway bearing technology in our country is relatively backward, also lack of bearing reliability test standards and specifications in this field. With an aim at this problem, the domestic bearing reliability test standards and specifications are analyzed, on the basis of which some suggestions concerning the high-speed railway bearing reliability test standards and specifications are presented with reference to the foreign locomotive bearing reliability test standards and via comparisons and analysis.

Key words: high-speed railway bearing; reliability test; test specification

国家标准 GB3187-1982《可靠性基本名词技术与定义》规定可靠性的定义为: 产品在规定的条件下, 在规定的时间内完成规定的功能的能力。由此可知定义中包括四个因素: 试验对象、规定的条件、规定的时间、规定的功能。而可靠性试验是为了解产品本身状况和提高产品可靠性而进行的试验。因此高速列车轴承可靠性试验, 其主要目的是验证高速列车轴承的可靠性, 揭露高速列车轴承可靠性的薄弱环节, 制定提高高速列车轴承可靠性的措施, 再进一步验证改进措施的有效性。所以研究高速列车轴承的可靠性试验标准和规范就显得非常重要。

随着高速列车技术的发展, 试验和事实共同证明: 圆锥滚子轴承摩擦力矩最小, 低摩擦力矩导致温升低。因此目前时速高于 300 km/h 的高速列车基本都使用的是双列圆锥滚子轴承^[1]。

1 国内外铁路机车滚动轴承标准和规范分析

1.1 国内滚动轴承可靠性试验规范分析

国内关于滚动轴承的可靠性试验标准和规范如表 1 所示, 将逐一进行分析和讨论。

JB/T 8924-2010 滚动轴承 铁路机车用轴承^[2]是由中国工业和信息化部发布的机械行业标准, 该标准规定了铁路机车用滚动轴承的代号方法、外形尺寸、技术要求、测量方法和检验规则等。该标准适用于轴承制造厂的生产、检验和用户验收, 涉及铁路机车轴承可靠性试验的内容较少。

TB/T 2235-2010 铁道车辆滚动轴承^[3]是原中国铁道部发布的铁道行业标准, 该标准类似于 JB/T 8924-2010 滚动轴承 铁路机车用轴承^[2], 对铁道车辆滚动轴承可靠性试验的参考有限。

收稿日期: 2013-04-23

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2011BAF09B01); 国家自然科学基金项目(51275404)。

作者简介: 王磊, 男, 硕士生, 主要研究方向为机械动力学。E-mail: lianliwanglei@163.com。

刘宏昭, 男, 博士, 教授, 博导, 研究方向为机电系统动力学及控制、机构设计。E-mail: liuhongzhao@xaut.edu.cn。

表1 国内关于滚动轴承的可靠性试验标准
Tab.1 Domestic bearing reliability test standards

| 标准号 | 标准名称 |
|--------------------------------|----------------------------|
| GB/T 24607-2009 ^[8] | 滚动轴承 寿命与可靠性试验及评定 |
| JB/T 8924-2010 ^[2] | 滚动轴承 铁路机车用轴承 |
| GB/T 25570-2010 ^[4] | 滚动轴承 铁路货车轴承 |
| GB/T 25772-2010 ^[5] | 滚动轴承 铁路客车轴承 |
| TB/T 2235-2010 ^[3] | 铁道车辆滚动轴承 |
| TB/T 3000-2000 ^[9] | 铁路机车滚动轴承轴箱试验方法-在轴箱试验机上的热试验 |
| TB/T 3017-2001 ^[10] | 铁路机车滚动轴承轴箱在轴箱试验机上的耐久试验方法 |

GB/T 25570-2010 滚动轴承 铁路货车轴承^[4]和 GB/T 25772-2010 滚动轴承 铁路客车轴承^[5]作为国家标准,都适用于时速不大于 160 km/h 条件下使用的轴承,仅供轴承的生产、检验和验收,同时也未涉及可靠性试验。

随着轴承行业 and 用户对轴承寿命可靠性质量的日益重视,轴承试验设备不断更新,试验技术不断提高。我国特制定了国家标准^[6],以适应新形势下轴承可靠性的发展要求,同国外轴承质量接轨^[7-8]。该文献用于指导一般用途的滚动轴承在试验设备上进行常规寿命和可靠性试验及评定。虽然该标准可以给高速列车轴承可靠性试验规范提供参考,但其适用范围明确规定仅限于内径在 5 mm 至 120 mm 之间和一般用途的滚动轴承,因而需要对其具体分析与取舍。该标准还规定轴承样品应该在检验合格的成品中随机抽取并且样本容量一般取 8~20 套,此外还需备用 5~10 套轴承。

TB/T 3000-2000 铁路机车车辆滚动轴承轴箱试验方法-在轴箱试验机上的热试验^[9]和 TB/T 3017-2001 铁路机车车辆滚动轴承轴箱试验方法-在轴箱试验机上的热试验^[10]是原中国铁道部等采用法国国营铁路 NF F18-201-89 和 NF F18-202-89 两个标准而颁布的铁道行业标准,两者内容基本相同,其中 TB/T 3017-2001 铁路机车车辆滚动轴承轴箱试验方法-在轴箱试验机上的热试验是对 TB/T 3000-2000 铁路机车车辆滚动轴承轴箱试验方法-在轴箱试验机上的热试验的补充。两文献规定了铁路机车车辆轴箱滚动轴承在轴承试验机上的试验方法,可用来对速度在 300 km/h 以内的法国高速列车上所使用的轴箱滚动轴承进行测试。尽管耐久性和可靠性概念不同,但耐久性试验规范在指导可靠性试验方面具有重要参考价值。TB/T 3017-2001 铁路机车车辆滚动轴承轴箱试验方法-在轴箱试验

机上的热试验^[10]主要规定了试验装置、试验方法、测量与检查、耐久试验等方面的内容。

分析可知,国内铁路轴承相关标准和规范对高速列车轴承可靠性试验规范的参考有限,其中 TB/T 3000-2000 和 TB/T 3017-2001 是原国家铁道部等效参考法国标准颁布的,在国内文献中参考价值最大。国内标准和规范的主要问题在于仅适用于内径 5~120 mm 之间和一般用途的滚动轴承,对铁路轴承的可靠性试验,也未能给出具体的试验方案和可靠性评估方法。

1.2 国外滚动轴承可靠性试验标准和规范分析

国外关于滚动轴承的可靠性试验规范如表 2 所示,由于前文已经提到我国 TB/T 3000-2000、TB/T 3017-2001 分别等效参考了标准 NF F18-201-89 和 NF F18-202-89,并进行了相关分析,将不再讨论。

表2 国外关于滚动轴承的可靠性试验标准

| 标准号 | 标准名称 |
|----------------------------------|---------------------------|
| NF F 18-201-89 | 铁路机车滚动轴承轴箱试验方法-轴箱试验机上的热试验 |
| NF F 18-202-89 | 铁路机车滚动轴承试验方法-轴箱试验机上进行耐久试验 |
| UIC 515-5 ^[11] | 机车和车辆-转向架走向装置-轴箱试验 |
| BS EN 12080:2007 ^[12] | 铁路应用-轴箱-滚动轴承 |
| BS EN 12081:2007 ^[13] | 铁路应用-轴箱-润滑油脂 |
| BS EN 12082:2007 ^[14] | 铁路应用-轴箱-性能试验 |

UIC 515-5 Powered and trailing stock-Bogies-Running gear-Tests for axleboxes^[11]由国际铁路联合会于 1994 年颁布,该标准规定轴箱试验由喷水试验、台架试验、运行试验三个阶段组成。喷水试验指的是通过喷水检查轴承的密封性能;台架试验指的是在试验台架上安装轴箱并施加载荷;运行试验指的是将通过喷水试验和台架试验后的试验轴承安装在机车上运行直至完成要求的公里数。

BS EN 12080:2007 Railway applications-Axleboxes-Rolling bearings^[12]是 2007 年批准并颁布的欧洲标准,其目的在于实现良好的铁路运输,该标准规定了欧洲铁路网上铁道车辆轴箱滚动轴承的技术参数,还提到了轴承的冶金和材料性质,同时指定了轴承的几何形状和尺寸特性。该标准主要用于审批和检验铁路机车轴箱滚动轴承,不涉及可靠性试验。

BS EN 12081:2007 Railway applications-Axleboxes-Lubricating greases^[13]是 2007 年通过并颁布的

欧洲标准,该标准主要用于指导生产者、供应商和客户的生产、检验和验收,与可靠性试验关联不大。

BS EN 12082:2007 Railway applications-Axleboxes-Performance testing^[14]由欧洲标准委员会于2007年批准并通过,该标准叙述了轴箱台架试验的原理和方法,指出轴箱装配的轴承应符合EN12080规定,润滑油脂应符合EN12081标准,该文献对试验台架、试验参数、试验过程、试验时温度标准和失效逐一说明。该标准规范了各种车辆轴箱的性能试验,其中涵盖了时速超过200 km/h的机车轴箱轴承试验,因此通过对本标准的分析,可以看出本标准对高速列车轴承可靠性试验具有很重要的参考价值。

2 高速列车轴承可靠性试验规范建议

完整的高速列车轴承可靠性试验规范应包括可靠性试验和试验数据处理,本文主要对试验部分进行研究并提出建议。

2.1 试验对象

我国目前正在研制的高速列车轴承同样是双列圆锥滚子轴承,即为试验对象,其结构如图1所示,部件如图2所示,具体结构型式和参数如表3所示。

表3 高速列车轴承结构参数

Tab.3 Structural parameters of high-speed railway bearing

| 主要结构参数 | 参数值 |
|------------------------|-------|
| 内径/mm | 130 |
| 外径/mm | 230 |
| 宽度/mm | 160 |
| 滚子平均直径/mm | 23.0 |
| 滚子组节圆直径/mm | 180.5 |
| 单列滚子数/个 | 21 |
| 内圆接触角 $\theta/(\circ)$ | 7.75 |
| 外圆接触角 $\theta/(\circ)$ | 10 |
| 滚子有效长度/mm | 45 |



图1 高速列车轴承结构

Fig.1 Structure of high-speed railway bearing

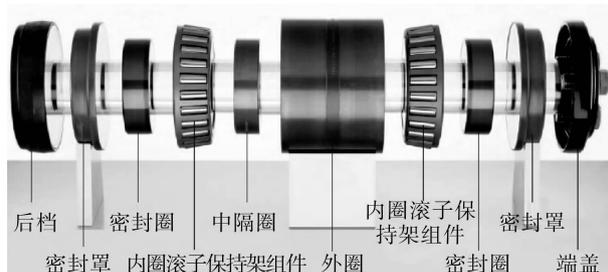


图2 高速列车轴承各部件

Fig.2 Component diagram of high-speed railway bearing

2.2 试验条件

高速列车轴承做可靠性试验,模拟实际工况的试验条件非常重要。制定可靠性试验规范就必须对主要条件进行规定。这些条件应分为可控制条件和监测条件。可控制条件主要包括轴承转速、加载载荷和冷却风量。监测条件主要面向轴承温度、轴承振动和轴承噪音。

2.2.1 轴承转速

实际中轴承最大转速是指车轮在极限磨损状态下的极限转速,其推导过程如下。

$$60n\pi d = 10^3 v_{\max} \quad (1)$$

式中, n 为极限转速(r/min); d 为被模拟车轮的直径(m),一般高速铁路采用的车轮直径为0.9 m; v_{\max} 为机车最大运行速度(km/h)。

目前我国研制的高速列车轴承对应车速要求为350 km/h,由此可得极限转速为:

$$n = \frac{10^3}{60} \times \frac{v_{\max}}{\pi d} = \frac{10^3}{60} \times \frac{350}{0.9\pi} \approx 2063 \text{ r/min}$$

试验中绝大多数时间保持的轮对转速是一般在极限转速基础上增加10%的安全裕量,得到名义试验转速 $N = 1.1n \approx 2269 \text{ r/min}$ 。

2.2.2 加载载荷

实际运行中,轴承在径向承受的作用力主要由机车和载物的重量组成,其比较稳定;而风力、车辆蛇形运动产生的侧向力在列车运行中不断变化,交变作用。因此试验时需要对试验轴承施加恒定的径向载荷和交变的轴向载荷。如图3所示, F_r 表示恒定径向载荷, F_a 表示交变轴向载荷。

1) 径向载荷计算

在计算径向力时,需要参考垂直载荷 F_0 ^[14]:

$$F_0 = \frac{1}{j} \times m_{\max} \times g \quad (2)$$

式中, j 为车辆轮对数量,单节车厢取 $j = 4$; m_{\max} 为运行状态下车辆最大质量(kg),常见的高速列车载重64 t^[15]; g 为重力加速度(m/s²)。

由公式(2)可得垂直载荷 $F_0 = 160\ 000 \text{ kN}$ 。试

验过程中恒定的径向力 F_r (kN) 由公式(3)计算。

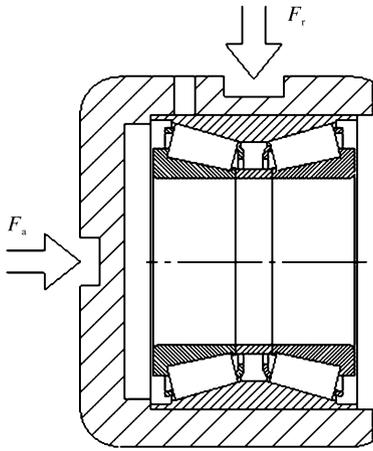


图3 试验轴承加载位置

Fig. 3 Load loading position of tested high-speed railway bearing

$$F_r = 1.2 \times \frac{1}{2} \times (F_0 - m_0 g) \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中^[11], 1.2 为超过参考垂向载荷 20% 的安全裕量; $\frac{1}{2}$ 表示计算单个轴径上力; m_0 为轮对的质量 (kg), 高速列车轮对质量一般取 1.7 t ^[15]。

由公式(3)可求得径向载荷。

$$F_r = 0.6 \times (F_0 - m_0 g) \times 10^{-3} = 0.6 \times (160000 - 1.7 \times 10^3 \times 10) \times 10^{-3} = 85.8 \text{ kN} \quad (4)$$

因此, 为保证径向载荷大小, 可靠性试验取径向加载载荷为 86 kN。

2) 轴向载荷计算

计算轴向载荷^[10], 需参考横向载荷 F_L (kN), 根据公式(5)、(6)计算:

$$F_L = 0.85 \times (10 + 2Q_0/3) \quad (5)$$

$$Q_0 = \frac{1}{2} \times F_0 \times 10^{-3} \quad (6)$$

式中, 0.85 表示轨道移到另一侧之前, 给出的最大载荷系数; Q_0 为每个车轮的平均静态垂直力 (kN)。

试验过程中交变的轴向力 F_a 根据公式(7)计算。

$$F_a = 1.2 \times \frac{1}{2} \times 0.5 \times F_L \quad (7)$$

式中, 1.2 表示超过参考垂向载荷 20% 的安全裕量; $\frac{1}{2}$ 表示计算的是单个轴径上的力; 0.5 表示参考因子, 由于需要考虑到实际运行期间输入一个平均的横向力^[11]。

由公式(5)、(6)、(7)推导出公式(8)。

$$F_a = 0.255 \times (10^4 + F_0/3) \times 10^{-3} \quad (8)$$

由公式(8)可得轴向载荷。

$$\begin{aligned} F_a &= 0.255 \times (10^4 + \frac{F_0}{3}) \times 10^{-3} = \\ &0.255 \times (10^4 + \frac{160000}{3}) \times 10^{-3} = 16.15 \text{ kN} \end{aligned} \quad (9)$$

因此, 为保证轴向载荷大小, 可靠性试验取轴向加载载荷为 17 kN。

2.2.3 冷却风量

实际运行中, 瞬时风速不大于 15 m/s 时可保证列车正常运行^[16]。试验中通风设备旨在模拟的冷却风量取决于实际中环境空气运动的风量^[11], 需要提供的气流速度为 8 ~ 10 m/s (该速度范围源于对每个轴箱附近气流速度测量后取得的平均值)。

试验中, 一般取轴箱的相对风速为 30 km/h (大约为 8.33 m/s), 每个轴箱通风量为 150 000 m³/h。如图 4 所示, 为保证横向和纵向冷却, 一般将冷却风的方向设置在与轴承中心线夹角为 45° 的位置。

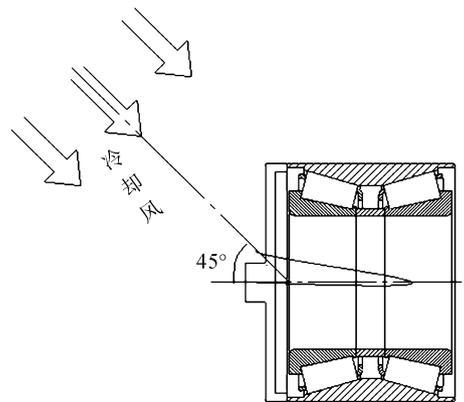


图4 轴承冷却风位置

Fig. 4 Wind cooling position of tested high-speed railway bearing

2.2.4 监测温度

滚动轴承运转过程中, 其外圈表面的温度高出环境的程度称为温升, 温升是影响高速列车轴承润滑效果的关键因素, 对其可靠性寿命的影响很大, 是衡量轴承质量的重要指标, 因此对高速列车轴承做可靠性试验, 需实时监测环境温度和轴承温度以确定温升。

高速列车轴承实际运行, 轴承工况温度即为环境温度, 一般在 $-45^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 之间, 因此试验过程中环境温度为室温即可, 同时需提供温度传感器实时监测环境温度。监测轴承外圈温度, 如图 5 所示, 可在轴承外圈不承受载荷的区域提供监测条件。

2.2.5 监测振动

滚动轴承运转过程中, 除了功能所必须的运动

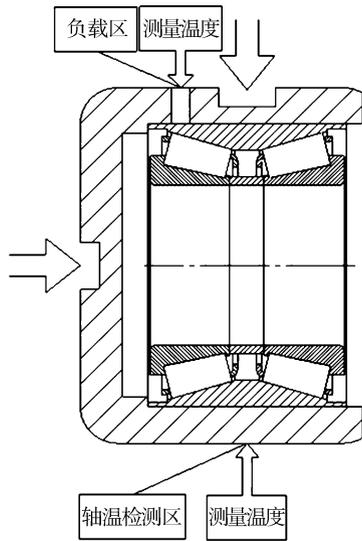


图5 试验轴承温度监测位置

Fig. 5 Temperature monitoring position of tested bearing

外,整个轴承内部所有零件出现偏离理想位置的运动,称为振动。实际运行中,高速列车轴承的振动影响高速列车运行的平稳性及安全性,因此在高速列车轴承可靠性试验中,轴承振动是必须监测和考核的项目之一。监测轴承振动,如图6所示,加载载荷将保证高速列车轴承外圈不动,在轴承外圈不承受载荷的区域提供条件监测内圈旋转时外圈被激发出的振动。

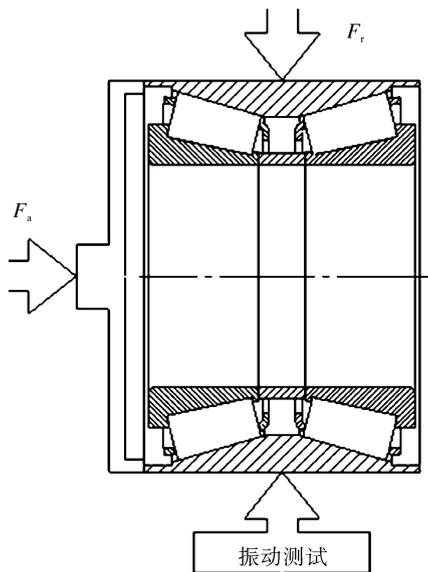


图6 试验轴承振动监测位置

Fig. 6 Vibration monitoring position of tested bearing

2.2.6 监测噪声

滚动轴承运转过程中,由轴承零件的振动及相互碰撞而产生的一种声响,称为噪声。实际运行中,即使出现轻微的损伤也可能发生异常声响和不规则

声音,其往往意味着高速列车轴承出现缺陷或者失效。此外高速列车轴承的噪声既可能污染环境,影响人们的身心健康,又关联到轴承的运转精度和使用寿命。因此在高速列车轴承可靠性试验中,轴承噪声作为滚动轴承重要性能之一,必须对其进行监测和考核。

轴承运转时,除了基础噪声(轴承运动时所固有的声音)外,有时候还会发出异常声响。测量基础噪声主要采用噪声声压级测量仪,具体可借鉴日本标准 JISB1548 中的测试方法,其原理是在消声室里用传声器提取轴承噪声的时域信号。其主要内容如图7所示,要求传声器与测试轴承中心线夹角呈 45° [17]。但对于异常声响,由于理论研究有限,目前现行的方法是人工听觉经验为主,辅助采用一些专用仪器来判断轴承是否发出异常声响。

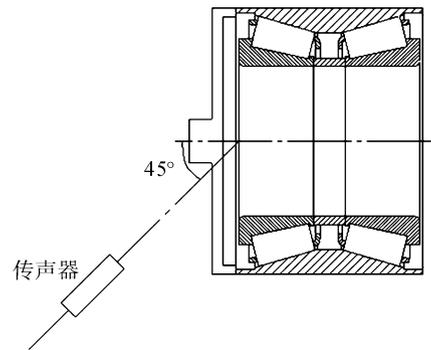


图7 试验轴承噪声监测位置

Fig. 7 Noise monitoring position of tested bearing

2.3 失效判定

实际运行中,高速列车轴承出现某些缺陷或故障导致其丧失规定的功能即视为失效。进行高速列车轴承可靠性试验主要是针对高速列车轴承的可靠性寿命,也即要求准确而及时地获得被试轴承的失效信息。

2.3.1 失效形式

滚动轴承运行过程中,其套圈或者滚动体的工作表面出现一定深度和面积的基体金属剥落称为疲劳失效,疲劳失效是滚动轴承最主要的失效形式,高速列车轴承也不例外。其主要表现为疲劳剥落和磨损过量。其他失效形式包括磨损失效、断裂失效、塑性变形失效等,主要表现为轴承散套、套圈出现裂纹或变形、保持架断裂或变形、滚子卡死或严重损伤、密封圈变形或脱落等。

2.3.2 判定标准

实际试验中,类似于轴承散架、套圈出现裂纹、保持架断裂等轴承零部件损坏的失效较容易发现,

因此一旦出现这方面故障,可直接判定被试轴承失效;对于疲劳失效,特别是高速列车轴承疲劳初期不容易被发现,不能直接判定,因此,可靠性试验应通过监测高速列车轴承疲劳失效会引起的各种效应来间接判断轴承是否失效,一般来说这些效应表现为温度升高、振动陡增、噪声变大等。

对于高速列车轴承的振动和噪声失效判定标准,国内外目前没有参考依据,需要在理论研究的基础上,结合大量高速列车轴承试验来确定。对于温度标准,欧洲标准委员会在 EN12082 中指出,目前铁路机车滚动轴承的温度标准是建立在大量圆锥滚子轴承台架试验的基础上。该标准在国际上被广泛应用。

2.4 试验步骤

做高速列车轴承可靠性试验,先要进行预备试验,再做正式试验。

2.4.1 预备试验

进行预备试验的原因在于,高速列车轴承采用脂润滑方式,被试轴承运转初期轴承温升较高,需要密切关注轴承的温升;此外预备试验将使油脂重新分布达到均匀后轴承温度也将平衡^[14]。

2.4.2 正式试验

正式试验指的是在被试轴承名义试验转速下重复一个循环过程,直到轴承运行累积至一定的距离。国外标准规定,试验最大运行速度超过 200 km/h 的高速列车轴承时,需要进行一定数量的循环周期直到总模拟里程达到 80 万公里^[14]。

2.5 试验方案

可靠性寿命试验可分为完全寿命试验和截尾寿命试验。完全寿命试验进行到所有样品全部失效,优点是能获得完整的试验数据,寿命评估结果较为可靠;缺点是试验周期较长且耗费巨大。而截尾寿命试验进行到部分样品失效,只能获得部分试验数据,但若对其充分利用,也能得到可靠的寿命评估结果。因此,对高速列车轴承做寿命可靠性试验,为了不使试验时间过长或被试轴承数目过多,可进行截尾试验。截尾试验又分为定数截尾试验、定时截尾试验和随机截尾试验。定时截尾试验具有事先可以确定试验所需时间和便于进行试验计划等优点,所以本文推荐高速列车轴承可靠性寿命试验采用定时截尾试验方案。

由于高速列车轴承造价昂贵,可靠性要求高,因此在不影响轴承寿命可靠性评估的前提下为减少成本和节省时间,推荐高速列车轴承做小样本定时截尾的可靠性试验。

3 结 语

本文在分析国内外铁路机车轴承可靠性试验标准和规范的基础上,研究高速列车轴承可靠性试验标准和规范,对高速列车可靠性试验标准和规范提出了建议,为我国高速列车轴承可靠性试验规范的制定提供了参考。

参考文献:

- [1] 刘兴旺,邢振寰. 国外高速铁路客车轴承结构综述[J]. 国外轴承,1992,(4):1-10.
- [2] 赵滨海,张宗峰,孙立明,等. JB/T 8924-2010 滚动轴承铁路机车用轴承[S]. 中华人民共和国工业和信息化部,2010.
- [3] 刁克军,周莉,张弘. TB/T 2235-2010 铁道车辆滚动轴承[S]. 中华人民共和国铁道部,2010.
- [4] 李孟喜,苏敏,徐玲玲,等. GB/T 25570-2010 滚动轴承铁路货车轴承[S]. 中国国家标准化管理委员会,2010.
- [5] 勇泰芳,王朝光,贾秋生,等. GB/T 25572-2010 滚动轴承铁路客车轴承[S]. 中国国家标准化管理委员会,2010.
- [6] 洛阳轴承研究所. GB/T 24607-2009 滚动轴承寿命与可靠性试验及评定[S]. 中国国家标准化管理委员会,2009.
- [7] 张伟,汤洁. 滚动轴承寿命与可靠性试验方法[J]. 轴承,2010,(11):55-58.
Zhang Wei, Tang Jie. Rolling bearing life and reliability test method[J]. Bearing,2010,(11):55-58.
- [8] 张伟,汤洁,胡留现. 滚动轴承寿命与可靠性试验的评定方法[J]. 轴承,2010,(12):54-59.
Zhang Wei, Tang Jie, Hu Liuxian. The reliability test evaluation method of rolling bearing life[J]. Bearing,2010,(12):54-59.
- [9] 大连内燃机车研究所. TB/T 3000-2000 铁路机车车辆滚动轴承轴箱试验方法-在轴箱试验机上的热试验[S]. 中华人民共和国铁道部,2000.
- [10] 大连内燃机车研究所. TB/T 3017-2001 铁路机车车辆滚动轴承轴箱试验方法-在轴箱试验机上的热试验[S]. 中华人民共和国铁道部,2001.
- [11] UIC 515-5 Powered and trailing stock-Bogies-Running gear-Tests for axleboxes [S]. International Union of Railways,1994.
- [12] BS EN 12080:2007 Railway applications-Axleboxes-Rolling bearings [S]. The authority of the Standards Policy and Strategy Committee, 2007.
- [13] BS EN 12081:2007 Railway applications-Axleboxes-Lubricating greases [S]. The authority of the Standards Policy and Strategy Committee, 2007.
- [14] BS EN 12082:2007 Railway applications-Axleboxes-Performance testing [S]. The authority of the Standards Policy and Strategy Committee, 2007.
- [15] Matthias R Kilian. Rolling bearings in high-speed passenger traffic[C]//Proceedings of the 2010 Joint Rail Conference, 2010:27-29.
- [16] 马淑红,马蕴娟. 瞬时风速对高速列车安全运行的影响及其控制[J]. 铁道工程学报,2009,1:11-16.
Ma Shuhong, Ma Yunjuan. Effects of maximum instantaneous wind velocity on the safety of high-speed train and its control [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 1:11-16.
- [17] 夏新涛,颀潭成,孙立明,等. 滚动轴承噪声理论与实践[M]. 北京:机械工业出版社,2005:1-2.