第 13 卷 第 1 期 复 合 材 料 学 报 Vol. 13 No. 1
1996 年 2 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Feb. 1996

复合材料滚动轴承工作性能实验与分析

张 恒 王相乾 陈新礼 郭 红
(洛阳工学院复合材料研究室，河南 471039)

摘 要 本文对新开发的复合材料滚动轴承的噪声和疲劳寿命进行了实验研究，实验结果显示出复合材料滚动轴承有显著的降噪性能，其负荷容量和塑料滚动轴承相比有较大幅度提高。

关键词 复合材料，滚动轴承，疲劳寿命，噪声

70 年代中期西方先进国家首先推出内、外套圈及保持架皆由工程塑料制造的滚动轴承。这种轴承的优点是具有优良的减震、降噪、耐腐蚀和自润滑性能，但其致命的弱点有负荷容量低、允许转速低、尺寸稳定性差、精度低、耐热性差和工作寿命短等，限制了它的工业应用。目前，世界上只有少数厂家生产塑料滚动轴承，其产品只能用于轻载荷、低转速和不高精度要求的场合。例如，英国 BNL 公司生产的 CM6004 型塑料滚动轴承的承载能力只有 215.6N，而同样尺寸的 104 型钢轴承的承载能力为 7203N，相差 33 倍之多。前者的极限转速为 1500 转/分，后者为 15000 转/分，相差 10 倍。如何提高负荷容量和极限转速，一直是塑料滚动轴承制造业中最感兴趣的问题。

采用短切玻璃纤维或短切玻璃纤维和碳纤维混杂，配以减磨、导热和耐磨等功能性填料增强聚合物复合材料制造滚动轴承，就可以大幅度提高轴承的负荷容量和工作寿命，同时轴承的精度、尺寸稳定性和耐热性都有一定程度的提高。针对此类新产品，本文用实验方法测定了其工作噪声，同时和钢轴承的噪声测试结果进行了对比，发现复合材料滚动轴承具有十分显著的降噪效果。采用定时截尾试验法，本文对 203 型复合材料滚动轴承的疲劳寿命进行了实验测定，实验结果对复合材料滚动轴承的设计和应用将提供一定的有价值的参考。关于复合材料滚动轴承的极限转速特性方面的研究结果，将另文发表。

1 噪声对比实验

1.1 实验设备

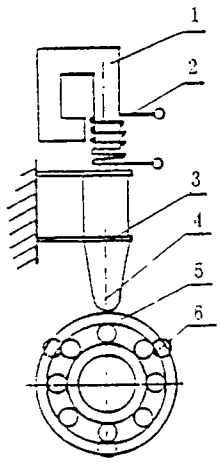
采用 SO 910－1 型轴承振动测量仪，其测试原理如图 1 所示：试验轴承的内圈以 1400 转/分的转速转动，通过三个加载爪对其外圈施加 49N 的轴向力。外圈的振动响应通过测头传给换能器，转变成电讯号，经过仪器的前署放大后输入示波器观察波形、测定峰值并通过快速付

本文于 1994 年 8 月 24 日收到修改稿，1994 年 3 月 17 日收到初稿。国家自然科学基金资助项目

里叶变换 进行瞬时频率分析。同时，轴承的工作噪声由仪器内的声压级计测出并显示出来。

1.2 试 件

试件分成 3 组。Ⅰ组：203 型钢轴承，润滑脂润滑；Ⅱ组，203 型复合材料轴承，润滑脂润滑；Ⅲ组：203 型复合材料轴承，无油润滑。复合材料轴承的内、外圈和保持架均采用玻纤和碳纤混杂/尼龙 66 复合材料，其中内、外套圈材料中加入了一定量的金属纤维和 MoS_2 粉末。滚动体为不锈钢球。每组试件采用 9 套轴承，取各套轴承噪声测试结果的算术平均值。



1——磁铁；2——动圈；3——片簧；4——探头；5——试件；6——加载爪

图 1 测试原理

1.3 试验结果

各组试件的噪声测试结果如表 1 所示（振动分析结果略）。

表 1 噪声测试结果

试件组	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
平均声级(dB)	58.2	28.5	33.0

上述实验结果显示，复合材料滚动轴承有异常显著的降噪功能。众所周知，钢轴承的噪声主要是由轴承的各个零件（内外套圈、滚动体和保持架）的振动和相互碰撞产生的。由此，轴承游隙、保持架引导间隙、配合条件、润滑条件、运转环境温度、转速、负荷及轴承刚性等因素对轴承的工作噪声都有较重要的影响。与钢轴承相比，复合材料轴承的特点是低刚度及材料本身的粘弹性能，它可以衰减振幅、耗散振动能量、减缓各零件之间的碰撞。这就是复合材料滚动轴承低噪声的机理。

2 疲劳寿命实验

2.1 实验方法

滚动轴承的主要损坏形式有接触疲劳、磨损、腐蚀和过热等等，其中接触疲劳直接影响轴承的工作寿命。钢轴承的疲劳寿命实测数据是非常离散的，每次实验规定做 20 套轴承，要采用数理统计方法处理实验数据。对于复合材料滚动轴承，由于复合材料本身的特点，疲劳寿命实测结果更加离散。考虑这一因素，本文采用 38 套轴承试件进行实验。为了缩短实验周期，采用了截尾实验法。

设试验轴承为 n 套，其中有 r 套轴承破坏，其寿命分别为 $L_1, L_2, \cdots, L_r$。其余的 $(n-r)$ 套轴承已分别试验了 $L_{r+1}, L_{r+2}, \cdots, L_n$ 时间，尚未破坏。此时可以不再进行实验，可用已得的实验数据计算原寿命的分布参数估计值。截尾实验法有定时和定数两种，本文采用了定时法，即预先规定寿命基数时间（周数）L_0。所有未破坏的轴承都实验到 L_0 寿命为止，把已发生疲劳破坏的轴承数记为 r。大量的实验结果表明，滚动轴承的寿命符合两参数 Weibull 分布，即轴承寿命小于和等于 L_0 而破坏的概率可表示为

$$F(L_0) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{L_0}{\beta}\right)^e\right] \tag{1}$$

式中 e 为斜率参数，β 为特征寿命参数。本文采用最佳线性不变估计法估算参数 e 和 β。把已发生疲劳破坏的 r 套轴承的寿命从小到大排列为 $L_1, L_2, \cdots, L_r$。则参数 e 和 β 值可按下式所给的近似值计算

$$e = \frac{1}{2.3026 \sum_{i=1}^{r} a_{irn} \lg L_i} \tag{2}$$

$$\lg\beta = \sum_{i=1}^{r} b_{irn} \lg L_i \tag{3}$$

式中 a_{irn} 和 b_{irn} 表示样本容量为 n、截尾数为 r 时的最佳线性不变系数,它们的值可由文献[1]中所引文献查到。在本文的实验中 $n=38$, $L_i=10^6$ 转。

2.2 试件和实验条件

实验用设备为 JB－30 型滚动轴承疲劳实验机,采用油润滑,实验时施加载荷为 $P=450.8$N,实验转速 $n=14000$ 转/分。试件为 38 套,皆采用噪声对比试验中所采用的同类 203 型复合材料滚动轴承。

2.3 实验结果

实验中出现的疲劳破坏模式有:1)表面接触疲劳,表现为点蚀、片状、剥落和块状剥落;2)塑性流动,表现为微小的钢球凹形压痕(有时肉眼可见);3)磨损,表现为大量的轴承材料从接触表面均匀或不均匀地磨下来,出现磨损的废渣,引起钢球和滚动轴承间隙增大。采用上面所述的定时截尾试验法进行实验,按式(2)和式(3)估算 e 和 β,可由实验结果绘出 203 型复合材料滚动轴承的寿命分布如图 2 所示。由图 2 可知,当运转寿命为 1400 万转时,试验轴承大约有 10%发生疲劳破坏而报废,而达到 6000 万转时,大约有 50%的轴承发生疲劳破坏而报废。国际标准组织(ISO)推荐标准 R281 和 DIN622 中对轴承疲劳寿命做出如下规定:"足够数量相同轴承的额定寿命用转数表示,在材料开始疲劳前,该批轴承 90%达到或超过此数值"。根据此项规定,可得结论:203 型复合材料滚动轴承的额定寿命可达 1400 万转。

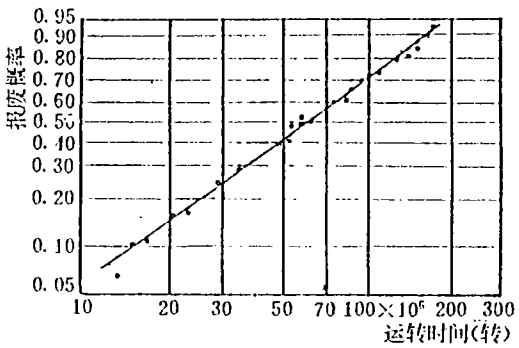


图 2　寿命分布

3 结　　论

本文对复合材料滚动轴承所进行的噪声实验研究结果表明:(1)与钢制滚动轴承相比复合材料滚动轴承具有异常显著的降噪功能。(2)在对 203 型复合材料滚动轴承进行疲劳寿命实验时,所施加的载荷为 $P=450.8$N。查英国 NBL 公司塑料滚动轴承产品目录可知,具有相同尺寸和相近额定寿命的 CM6240 型塑料滚动轴承的承载能力为 274.4N。显然,复合材料滚动轴承的负荷能力相对塑料轴承提高了 64.3%。同时,本文上述疲劳实验结果显示,203 型复合材料滚动轴承的额定寿命可达 1400 万转,而轴承的额定动负荷定义为"额定寿命为 100 万转时的负荷"。由此可以推断:在本文的疲劳寿命实验中,如果在额定寿命为 100 万转条件下进一步提高轴承的负荷。

参 考 文 献

1　万长森. 滚动轴承的理论和设计. 北京: 机械工业出版社, 1985

2　Bohmer H J. Some fundamental considerations about rolling contact fatigue. Ball and Roller Bearing Eng, 1992, 502

3　Tandon N, Nakra B C. Comparison of vibration and acoustic measurement techniques for the condition monitoring of rolling element bearings. Tribology Int, 1992, 25(3)

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE WORKING PROPERTIES OF COMPOSITE ROLLING BEARINGS

Zhang Heng Wang Xiangqian Chen Xinli Guo Hong
(Composite Lab of Luoyang Institute of Technology, Henan 471039)

Abstract The fatigue life and working noise of composite rolling bearings newly developed were tested and analysed in this paper. The results show that the composite rolling bearings have good property to reduce working noise and, when compared with plastic rolling bearings, their load capacity is largely increased.

Key words composites, rolling bearing, fatigue life, noise

参考资料

FRP 制造产业用大型冷水塔技术

日本三家公司(IHI、IPEC 及日本触媒)向美国的贝那公司提供产业用大型冷水塔中使用的 FRP 主架构技术,合同期间为 1995 年 8 月起 5 年。该技术属于 FRP 在工业设备冷水塔主架构中使用的技术(包括 FRP 胶接技术)。

以往的冷水塔主架构中多使用木材及钢材,运行后木材经过 10 年左右、钢材经过 7～8 年就会由于腐蚀而需要进行大规模修补,维护费用很高。此外,为减少森林砍伐带来的环境破坏,也希望用耐腐蚀的 FRP 代替木材。

IHI 和 IPEC 从冷水塔制造厂家的立场,而日本触媒则从 FRP 材料制造厂家和冷水塔用户的立场出发,自 1986 年起就进行了安全性、强度、可靠性等方面的试验,于 1989 年实用化,这种 FRP 制造的主架构共同开发取得成功。

实用化成功的第一个实例是日本触媒川崎制作所中的逆流式大型冷却塔,在长 36m、宽 20m、高 12m 的塔体主架构中采用了约 20t FRP,主要是由日本触媒公司拉挤成型的 900mm 见方的方管等。

由于质轻、耐腐蚀、耐久性优良,且免维修等特点,FRP 制造的主架构实用化后销售顺利,至今已接受预订 29 座。

1994 年 2 月,在美国休斯顿召开的冷水塔国际会议上,IHI－IPEC 发表的技术得到贝那公司的重视,该项技术反向提供给了冷水塔发源地的美国。

申从祥 摘自 EPJ 第 599 号

(下转第 110 页)