

S48C钢某型回转支承寿命试验研究

鲍和鹏, 谢程, 姚小军

马鞍山方圆精密机械有限公司, 工程技术研究院, 安徽 马鞍山

收稿日期: 2026年9月14日; 录用日期: 2026年10月7日; 发布日期: 2026年10月15日

摘要

通过对QND1XXX.XX型号回转支承进行台架寿命试验, 评估其在特定载荷谱下的疲劳寿命和失效模式, 为产品设计和工程应用提供数据支持。以材质为S48C的回转支承为对象, 在4 r/min转速下, 施加轴向载荷270 kN、倾覆力矩346 kN·m进行动态循环测试, 并定期在静载条件下测量滚道磨损量。结果显示在10万转试验结束后, 内圈受力最大点出现一处约1 mm × 2 mm的压溃; 外圈滚道出现整圈压痕, 并在堵塞孔旁滚道位置出现一处约1 mm × 1 mm的压溃; 堵头滚道面出现磨损, 钢球与隔离块状态完好。总成径向间隙由初始的0.13 mm增大至0.22 mm, 增大量为0.09 mm。静载条件下, 滚道合成磨损量由初始的0.48 mm增加至0.66 mm, 总磨损量为0.20 mm。该型号回转支承在给定试验条件下完成10万转寿命试验, 未出现影响运转的严重失效, 但滚道已出现早期疲劳压溃迹象。径向间隙和滚道磨损量的变化趋势表明, 其主要失效模式为接触疲劳磨损。

关键词

回转支承, 寿命试验, 疲劳磨损, 滚道压溃, 径向间隙

Life Test Study on a Certain Type of Slewing Bearing Made of S48C Steel

Hepeng Bao, Cheng Xie, Xiaojun Yao

Product R & D Center, Ma'anshan Fangyuan Precision Machinery Co., Ltd., Ma'anshan Anhui

Received: September 14, 2026; accepted: October 7, 2026; published: October 15, 2026

Abstract

Through bench life testing of the QND1XXX.XX slewing bearing, this study evaluates its fatigue life and failure modes under specific load spectra, providing data support for product design and engineering applications. Using a slewing bearing made of S48C material as the test subject, dynamic cyclic testing was conducted at a rotational speed of 4 r/min under an axial load of 270kN and an

overturning moment of 346kN·m. Wear measurements on the raceway were periodically taken under static load conditions. Results showed that after 100,000 revolutions, a crush area of approximately 1 mm × 2 mm appeared at the maximum stress point on the inner ring. The outer ring raceway exhibited full-circumference indentations, with an additional crush area of about 1 mm × 1 mm near the plug hole. Wear was observed on the plug raceway surface, while the balls and separator blocks remained intact. The assembly's radial clearance increased from an initial 0.13 mm to 0.22 mm, representing an increase of 0.09 mm. Under static load conditions, the combined raceway wear increased from an initial 0.48 mm to 0.66 mm, with a total wear of 0.20 mm. This slewing bearing model completed a 100,000-revolution endurance test under specified conditions without severe failures affecting operation. However, early signs of fatigue crushing appeared on the raceway. The trends in radial clearance and raceway wear indicate that the primary failure mode is contact fatigue wear.

Keywords

Slewing Bearing, Life Test, Fatigue Wear, Raceway Crushing, Radial Clearance

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

回转支承是工程机械、风力发电、港口机械等大型装备的核心部件[1][2],同时承受轴向力、径向力和倾覆力矩,其寿命和可靠性直接决定主机的服役性能[3]-[14]。由于回转支承工作环境恶劣、更换成本高昂,在设计阶段通过台架试验准确评估其疲劳寿命至关重要。

目前,针对回转支承的寿命研究多基于 L-P 理论或 ISO 标准进行理论计算,但实际工况下的载荷谱复杂多变,理论计算往往需要试验数据进行验证。QND1XXX.XX 型号回转支承拟用于某特定工况,为验证其设计寿命是否满足 10 万转的使用要求,并探究其在循环载荷下的失效演变规律,特开展本台架寿命试验。本研究通过定期检测间隙变化、拆检观察滚道表面状态,旨在获取该型号产品在设定载荷谱下的实际寿命数据与典型失效特征,为其优化设计和安全应用提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验样品

试验对象为一套 QND1XXX.XX 型号回转支承(产品编号:W2507029XX/N2507029XX),材质为 S48C。出厂检测结果满足技术要求:轴向间隙 0.11 mm (技术要求 0.05~0.15 mm),轴向跳动 0.09 mm (≤ 0.25 mm),径向间隙 0.13 mm (技术要求 0.05~0.20 mm)。试验前对样品进行硬度和淬硬层深度检测,结果见表 1。

Table 1. Hardness and hardened layer depth of samples before testing

表 1. 试验前样品硬度和淬硬层深度

样品名称	硬度(HRC)	滚道淬硬层深度(mm)
外圈	56.2~60.3	4.1~4.6
内圈	54.3~57.6	4.1~4.6
齿面	47.2~53.9	2.1~2.4
齿根	43.3~51.1	2.1~2.2

2.2. 试验条件与方法

试验载荷根据产品承载曲线选取两个工况点，动载试验为转速 4 r/min，施加轴向载荷 270 kN，倾覆力矩 346 kN·m。每 5 000 转进行换向，总循环数为 10 万转；静载检测在动载试验间歇进行，施加轴向载荷约 141 kN，倾覆力矩约 140 kN·m (加载 14 吨盖板重量，倾覆力矩为运转载荷的 20%)，用于测量滚道磨损量。

2.3. 检测指标

试验检测指标为空载总成检测、拆检观察以及滚道磨损量测量，空载总成检测是分别在出厂时、40,000 转后、70,000 转后及 100,000 转后，测量回转支承的轴向间隙、轴向跳动和径向间隙。拆检观察是分别在 40,000 转、70,000 转及 100,000 转后，对回转支承进行拆解，观察并记录内圈滚道、外圈滚道、堵头、钢球及隔离块的表面状态。滚道磨损量测量是在静载条件下，每隔约 5000 转测量两个测试位置的磨损量，并计算合成值 Δh ，即测试位置 1 与测试位置 2 之和，用以表征滚道总磨损量。

3. 结果与分析

3.1. 空载总成间隙变化

不同转数后空载状态下的总成检测结果如表 2 所示。试验期间，轴向间隙在 0.11~0.13 mm 之间波动，无明显增大趋势；轴向跳动由 0.09 mm 减小并稳定在 0.05~0.06 mm。径向间隙变化较为显著，经历先增大(4 万转后增至 0.26 mm)后减小(7 万转后降至 0.04 mm)再增大(10 万转后为 0.22 mm)的波动。与出厂值相比，10 万转后径向间隙增大了 0.09 mm，表明滚道发生了不均匀磨损。

Table 2. Test results of the unloaded assembly at different rotational speeds ((Unit: mm))

表 2. 不同转数下空载总成检测结果(单位: mm)

转数	轴向间隙	轴向跳动	径向间隙
出厂检测	0.11	0.09	0.13
40,000 转后	0.12	0.06	0.26
70,000 转后	0.11	0.05	0.04
100,000 转后	0.13	0.06	0.22

3.2. 滚道磨损量分析

在静载条件下连续监测的滚道磨损量合成值变化趋势如图 1 及表 3 所示。初始合成磨损量为 0.48 mm (空转状态)。随着转数增加，磨损量总体呈上升趋势。在试验初期(0~20,000 转)，磨损量增长较快；中期(20,000~70,000 转)波动中略有增加；后期(70,000~100,000 转)增长速率再次加快。至 100,000 转时，合成磨损量达到 0.66 mm，整个寿命试验期间滚道总磨损变化量为 0.20 mm。这一趋势符合典型的磨损“跑合-稳定磨损-加速磨损”三阶段规律。

Table 3. Raceway wear under static loading

表 3. 静载条件下滚道磨损量

轴向载荷/kN	倾覆力矩/kN*m	测试位置 1/mm	测试位置 2/mm	合成值 Δh /mm	圈数/转
143	140	0.18	0.30	0.48	空转
144	139	0.18	0.31	0.49	5000

续表

141	140	0.19	0.30	0.49	10,000
143	141	0.21	0.33	0.54	15,000
143	140	0.20	0.30	0.50	20,000
141	140	0.18	0.28	0.46	25,000
141	140	0.19	0.32	0.51	30,000
141	141	0.19	0.31	0.50	35,000
140	140	0.17	0.35	0.52	40,000
142	140	0.18	0.35	0.53	45,000
141	142	0.19	0.37	0.56	50,000
140	141	0.20	0.36	0.56	55,000
141	140	0.19	0.39	0.58	60,000
141	140	0.22	0.37	0.60	65,000
141	140	0.19	0.39	0.58	70,000
141	141	0.20	0.40	0.60	75,000
141	140	0.21	0.40	0.61	80,000
141	139	0.21	0.41	0.62	85,000
141	140	0.22	0.42	0.64	90,000
141	139	0.21	0.42	0.63	95,000
141	140	0.23	0.43	0.66	100,000

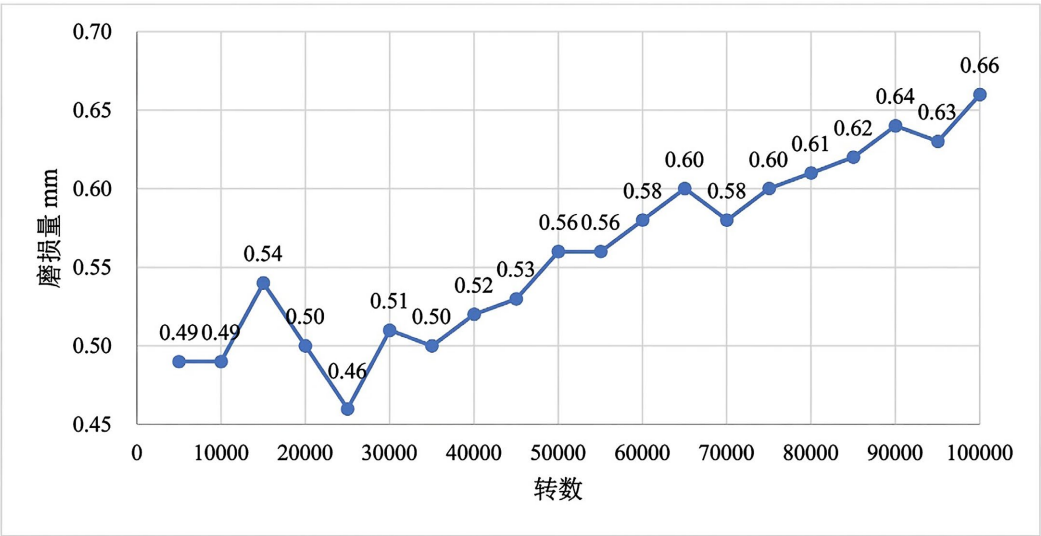


Figure 1. Trend of raceway wear with rotational speed
图 1. 滚道磨损量随转数变化趋势

由图 1 及表 3 可知，在试验转数范围内，试样磨损量整体随转数增加呈平稳上升趋势。5000~25,000 r 为磨合阶段，磨损量基本稳定；30,000~50,000 r 进入稳定磨损阶段，磨损量缓慢增加；50,000 r 以后磨损量持续线性上升，表现出良好的磨损规律。

3.3. 拆检观察结果

拆检观察结果汇总于表 4。40,000 转和 70,000 转拆检时，滚道表面光亮，仅堵头边缘出现轻微磨损，钢球和隔离块状态良好，润滑充分。100,000 转后拆检发现明显疲劳特征，内圈滚道表面光亮，但在受力最大点区域出现一处约 1 mm × 2 mm 的接触疲劳压溃，如图 2 所示。外圈滚道的表面光亮，整圈出现均匀压痕，在堵塞孔旁滚道位置出现一处约 1 mm × 1 mm 的压溃，如图 3 所示。对于其他部件，堵头滚道面出现磨损如图 4 所示；钢球、隔离块外观完好；滚道内润滑油脂充足。

Table 4. Disassembly inspection status at each stage
表 4. 各阶段拆检状态

转数	内圈滚道	外圈滚道	堵头	钢球/隔离块
40,000 转	表面光亮，软带处完好	表面光亮，堵头孔处完好	边缘出现磨损	状态完好
70,000 转	表面光亮，软带处完好	表面光亮，堵头孔处完好	边缘出现磨损	状态完好
100,000 转	1 处压溃(1 × 2 mm)	整圈压痕 + 1 处压溃(1 × 1 mm)	出现磨损	状态完好

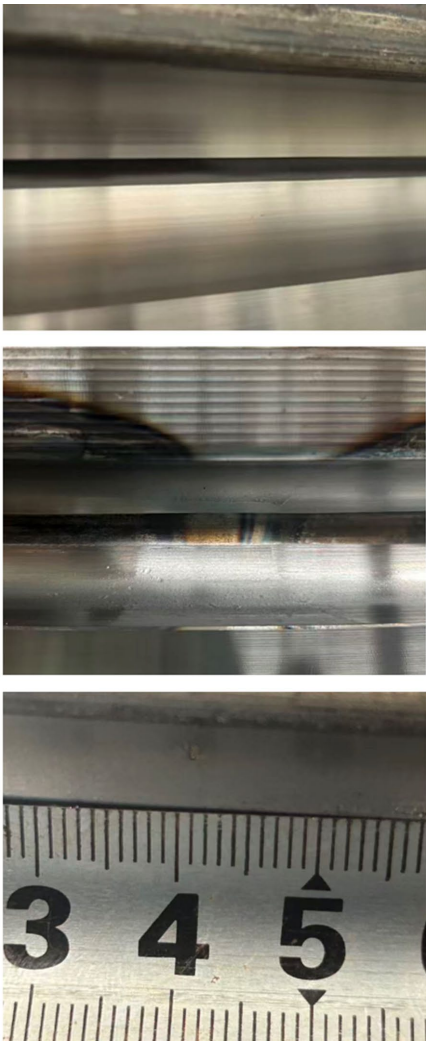


Figure 2. Inner ring raceway collapse
图 2. 内圈滚道压溃

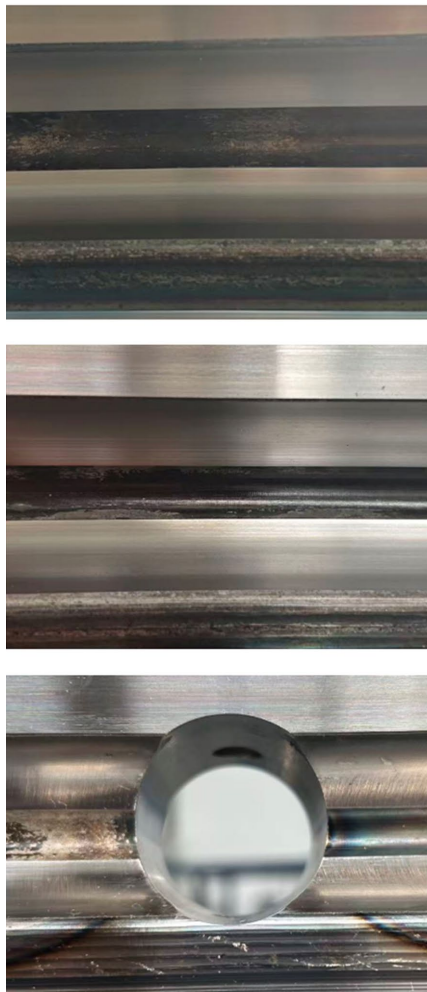


Figure 3. Outer ring raceway crushing
图 3. 外圈滚道压溃

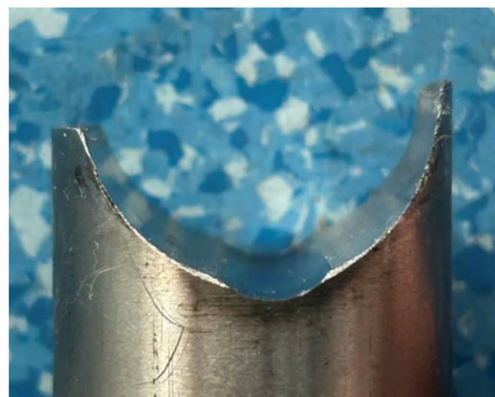
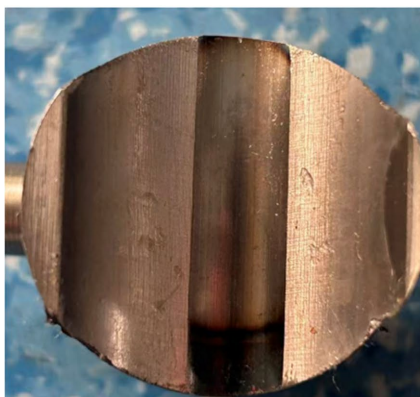


Figure 4. Wear on the plug raceway surface
图 4. 堵头滚道面磨损

4. 讨论

试验结果表明, QND1XXX.XX 回转支承在 10 万转寿命试验后, 虽未发生卡死或断裂等致命失效,

但已出现明确的早期疲劳损伤,表现为内、外圈滚道的局部压溃和径向间隙的增大。滚道压溃发生在内圈受力最大点和外圈堵塞孔旁,这符合接触疲劳理论。受力最大点区域接触应力最高,易达到材料的疲劳极限;而堵塞孔作为结构不连续点,可能引起局部应力集中或润滑不良,从而成为疲劳源。外圈滚道出现的整圈压痕,表明载荷分布较为均匀,磨损以滚动接触疲劳为主。

径向间隙在 7 万转后出现异常低值,这可能是由于磨损碎屑进入滚道或温度变化导致的短暂性游隙减小,随后随着磨损加剧,间隙在 10 万转后再次增大。最终 0.09 mm 的间隙增大量与静载下测得的 0.20 mm 滚道磨损量相互印证,反映了滚道材料的累积损耗。

与出厂前的硬度和淬硬层深度数据对比,内外圈滚道表面硬度(54~60 HRC)和淬硬层深度(>4 mm)满足抗接触疲劳的基本要求。然而,10 万转后出现的压溃表明,在该试验载荷谱下,滚道表层下最大剪切应力处的材料可能已达到疲劳寿命。未来的研究可通过扫描电镜观察压溃区域的微观形貌,并结合应力仿真,进一步优化热处理工艺或滚道几何设计,以提高薄弱区域的疲劳寿命。

5. 结论

(1) QND1XXX.XX 回转支承在轴向载荷 270 kN、倾覆力矩 346 kN·m 的工况下,完成了 10 万转寿命试验。试验后回转支承运转功能正常,满足设计寿命要求。

(2) 10 万转试验后,回转支承出现了典型的接触疲劳损伤特征:内、外圈滚道受力区出现局部压溃,径向间隙较出厂值增大了 0.09 mm。

(3) 滚道磨损量的变化符合“跑合-稳定磨损-加速磨损”的规律,10 万转内滚道总磨损量为 0.20 mm。

(4) 内圈受力最大点和外圈堵塞孔旁是本次寿命试验中的疲劳薄弱环节,在后续设计优化中应重点关注。

参考文献

- [1] 徐立民,陈继刚. 回转支承[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 全国滚动轴承标准化技术委员会. JB/T 2300-2018 回转支承[S]. 北京:机械工业出版社,2018.
- [3] 汪勇,黄筱调,陈捷,等. 回转支承疲劳寿命计算及其试验验证[J]. 煤矿机械,2021,42(4): 18-21.
- [4] 窦方浩,朱良银. 回转支承使用中常见故障原因分析及解决措施[J]. 工程机械,2025,56(6): 164-167, 171, 14.
- [5] 朱渝春,张永志. 回转支承损坏原因探讨与改进对策[J]. 工程机械,2002(9): 13-14, 1.
- [6] 陈博,段旭东. 挖掘装载机回转支承的受力分析及计算探讨[J]. 工程机械,2020,51(11): 33-36, 7-8.
- [7] 徐力琛. 变桨轴承失效分析[J]. 工程机械,2025,56(11): 23-28, 129.
- [8] 陈茂宏,毛荣欢,樊金宝,等. 工程机械产品结构与优化研究[J]. 工程机械,2025,56(7): 150-154, 13-14.
- [9] 顾永兵,马立新,韩小燕,等. 危化品罐车在制动工况下的结构强度和疲劳寿命分析[J]. 工程机械,2024,55(11): 106-113, 11-12.
- [10] 袁久明. 风力发电机组变桨轴承套圈开裂及改进措施[J]. 工程机械,2024,55(10): 204-208, 16.
- [11] 杨兆华. 高温高压井下机械零件裂纹失效分析[J]. 工程机械,2024,55(3): 154-157, 12-13.
- [12] 侯宁,朱良银,胡恒强,等. 回转支承断齿分析及解决方案[J]. 工程机械,2014,45(9): 61-64, 15.
- [13] 蔡黎明. 挖掘机回转支承装置的损坏形式与维修[J]. 工程机械,2003(5): 45-46.
- [14] Harris, T.A., Kotzalas, M.N. 滚动轴承分析[M]. 北京:机械工业出版社,2010.