

# CVC 轧机轧辊轴承载荷工况在线检测\*

史 荣 申光宪 陈占福

(燕山大学机械学院 秦皇岛 066004)

陈步权 江光彪 赵宏伟 黄庆学 李玉贵 李淑娟

(宝钢集团公司)

(太原重型机械学院)

摘要: 为了研究热连机轧辊轴承失效原因, 对宝钢 2050CVC 轧机 F4 机座工作辊操作侧组合轴承的载荷工况进行了在线检测, 包括轴承的动态径向列间分布、轴向力及轴承外环温度分布, 获得了大量有价值的试验数据, 为提高轴承寿命研究提供了科学依据。

关键词: 测试技术 传感器 轧辊轴承 CVC 轧机

中图分类号: TH133 TG335

## 0 前言

轧辊轴承是轧钢机的重要部件, 轴承的寿命直接影响到轧机的产量与产品的质量。对于大型板带轧机, 由于工作辊弯辊机构的使用, 有效地改善了板型, 但也恶化了轴承的受力状态, 降低了轴承的使用寿命。宝钢 2050CVC 热连轧机精轧机组 F4 至 F7 轧机工作辊操作侧, 使用 SKF 公司进口的组合轴承, 1996 年至 1999 年间多次出现点蚀和剥落, 导致轴承寿命下降, 并产生严重的轴承烧熔事故。该公司曾多次派人前来考察, 提出了许多方案, 但并没有从根本上解决问题<sup>[1]</sup>。为此, 以宝钢热轧厂轴承车间为主体, 与燕山大学、太原重机学院等单位合作, 组成联合攻关小组, 针对轴承破坏机理及改造方案进行攻关。首先于 1999 年 8 月 10 日至 9 月 2 日, 对 CVC 轧机 F4 机座工作辊操作侧轴承进行了 4 次在线检测, 在测试的基础上, 通过理论分析, 找到了引起轴承破坏的主要原因, 提出并实施了改造方案, 并于 2000 年 5 月 16 日至 18 日进行了第二次试验, 取得了满意的结果。有关轴承破坏机理的理论分析及改造方案, 参见文献[2, 3], 本文主要阐述轧辊轴承载荷工况在线检测方法 with 试验结果。

## 1 试验设计

### 1.1 测试内容

精轧机组 F4 机座工作辊 2050 操作侧轴承如图

1 所示, 图 2 为轴承座三维实体示意图。该轴承座具有固定 CVC 轧辊轴向移动的机构, 使轴承受力更加复杂, 因此, 对该轴承进行全面的载荷工况在线检测是非常必要的。



图 1 2050CVC 轧机组合轴承

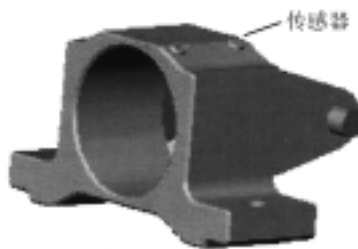


图 2 2050CVC 轧机工作辊操作侧轴承座示意图

本次试验的主要内容是: ①轴承径向载荷列间分布。②轴承轴向载荷。③轴承座内的温度变化。同时还对轧机的工作状态, 轧制规程和轴承破坏方式等现场情况进行了调研, 掌握了大量第一手资料。

### 1.2 轴承径向载荷分布测试方案

在轧制过程中, 工作辊轴承的径向载荷主要通过两列圆柱滚子轴承承受, 要了解这两列轴承的受载情况, 最有效的办法是将传感器安装于轴承座内, 使其直接感受各列轴承的径向力, 但由于轴承结构与密封要求, 这种测试方案具有相当难度, 目

\* 国家“九五”攻关基金资助项目(95528010201)。20010822 收到初稿, 20020128 收到修改稿

前尚未见到有关报道。通过深入的理论分析与反复试验,设计了一种埋入式传感器,将其装在工作辊轴承座内。为了保证传感器的正常工作,埋入式传感器必须具有较高的灵敏度、良好的密封、较强的抗干扰能力与较长的使用寿命;由于传感器位于弹性系统中,传感器的刚度与轴承座的整体刚度有一定的比例关系,以保证传感器的输出灵敏度。

传感器在轴承座内的安装位置见图 2,埋入式传感器直接与轴承外环接触,预紧力由专门调整机构调整。由于各列轴承之间具有间隙,可保证各传感器输出信号的独立性。为了考察每列轴承的接触压力,沿两列圆柱滚子轴承外环处安装了 4 个传感器,1、2 号传感器靠近辊身侧,3、4 号传感器靠近操作侧。按照理论分析结果,轴承径向接触压力分布沿圆周方向是不均匀的,其最大值分布于垂直对称面两侧  $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$  左右的范围内<sup>[2]</sup>。同时根据轴承座的结构,该处外表面是平面,没有其他构件与之接触,便于加工,是安装传感器的最佳位置。

宝钢热轧厂属大型连续性生产企业,试验必须在生产条件下进行,在试验中不得有任何影响生产的因素存在。而且工作轴承辊是在高速重载条件下工作,加之大量冷却水的冲击,给试验带来很多困难。为保证现场实测的顺利进行,按照相似理论设计了试验样机,进行了反复的实验室模拟试验,对该方案的可行性与可靠性进行了验证,为现场实测提供了可靠的试验方案<sup>[4]</sup>。

### 1.3 轴承轴向载荷测试方案

板带轧机的轴向力是引起轴承破坏的原因之一,许多学者在轴向力形成机理、计算方法和试验方法等方面进行了研究,并发表过许多论文<sup>[5]</sup>。

本次试验采用了在轴承两端端盖的 16 个紧固螺栓上安装传感器的方法(见图 3)。轴向力通过轧辊、组合轴承、轴承压盖、测力传感器、螺钉、轴承座、CVC 轴辊缸和机架形成一个串联的力封闭链,传感器是其中的一个环节,因而能够真实反映轴向力的变化,每个传感器输出信号之和为总轴向

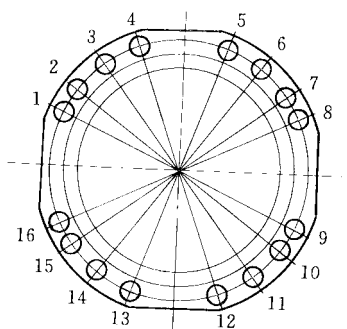


图 3 轴向力传感器在轴承压盖上的安装

力。这种检测方式既可测出轴向力的大小与方向,还可判断轴向力沿圆周方向的分布,对研究辊系交叉行为具有重要意义。

在安装时,应严格控制紧固螺栓的预紧力,否则将影响传感器的信号输出。

### 1.4 轴承座内温度测量

轴承的工作温度是影响轴承寿命的重要因素,检测轴承座内部工作温度及变化趋势具有重要意义。本次试验采用热电阻作为检测元件,因为在  $-20\sim 600^{\circ}\text{C}$  之间,热电阻具有较好的线性与较高的灵敏度,而且价格便宜,其使用寿命满足试验要求。本次试验使用的检测元件为上海仪表三厂生产的 WZC-270 型热电阻。

为了安置热电阻的探头,需在轴承座的适当位置打孔,将探头深入到轴承座内,使之与辊身侧轴承外环接触,通过测量外环的温度变化,可监测轴承的温度变化,也可作为轴承温度场理论分析的边界条件。图 4 为轴承座打孔位置与热电阻的安置情况。

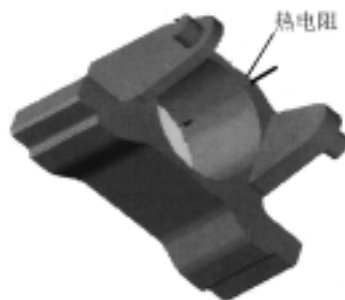


图 4 热电阻安装示意图

## 2 测试系统组成

综上所述,本次试验主要是以力参数为主,电阻应变测试技术是最适用的方法之一,测试系统如图 5 所示,主要由传感器、电阻应变仪和示波器等仪器组成。

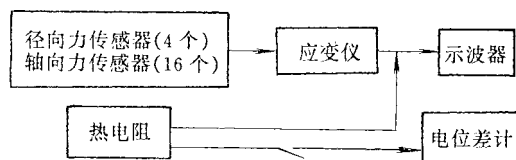


图 5 测试系统框图

## 3 试验结果

### 3.1 轴承列间径向压力分布

图 6 为 4 个径向力传感器在一个轧制道次中输

出信号的变化情况。其中 1、2 号传感器安装在工作辊轴承座的辊身侧, 3、4 号传感器位于操作侧。由图可见, 1、2 号传感器的输出值大于 3、4 号传感器的输出, 两者瞬间载荷相差 5 倍多, 超出了轴承所允许的偏载能力。在尖峰负荷的反复作用下, 轴承内的高负荷区出现点蚀与剥落, 导致轴承烧熔。

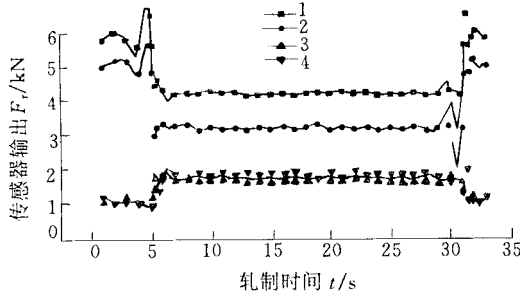


图 6 轴承列间径向压力分布

下表是 1998 年 1 月至 1999 年 7 月现场轴承烧损部分统计资料, 测试结果与现场轴承破坏形式相吻合, 证实了试验结果的正确性。

表 组合轴承报废报告单

| 序号 | 轴承座  | 轴承号   | 报废状况                                                                 |
|----|------|-------|----------------------------------------------------------------------|
| 1  | B077 | 106   | 圆柱轴承外圈大面积疲劳剥落 80 mm×60 mm, 挡边已有裂纹, 滚道反面也有裂纹, SKF 拿去做金相夹杂物化验          |
| 2  | BU43 | 64    | 圆柱、圆锥外圈均有小剥落、小压痕和锈蚀; 滚动体锈蚀; 滚动体锈蚀严重; 靠辊身侧的圆柱轴承保持架盖与轴承座内盖与轴承座内盖相摩擦    |
| 3  | BU71 | 104   | 靠近辊身侧的圆柱滚子均有粗糙压痕                                                     |
| 4  | BU55 | 94-5  | 圆柱外圈 A 滚道疲劳剥落, 50 mm×50 mm, 从挡边处开裂; 圆锥外圈 A 滚道大面积疲劳剥落, 约 300 mm×40 mm |
| 5  | B01  | NF8-4 | 拆下轴承座后, 轴承全部留在辊颈处。靠近锁紧螺母处, 锁紧螺丝端面与圆柱轴承内圈烧损, 有粘铁                      |

### 3.2 轴承轴向载荷分布

图 7 显示了 F4 机座下工作辊轴向力在 2 个轧制周期的分布曲线。在整个轧制过程中, 轴向力的方向始终指向操作侧, 空载时轴向力较小, 在 120~180 kN 之间。轧件咬入后, 轴向力明显增加, 在 210~300 kN 之间, 大部分时间轴向力在 180~280 kN 范围内, 在长达 4 h 的连续测试过程中, 轴向力的最大值为 320 kN。

### 3.3 轴承座内温度变化

轴承座内靠近辊身侧轴承外环的温度分布如图 8 所示。轧辊开始旋转后的 30~40 min 内轴承温度

增长迅速, 随后增长减慢, 但总体仍呈增加态势, 当轧制间隔时间大于 35 s 时, 轴承的温度不再增长并开始下降。整个测试期间, 记录到轴承外环温度均低于 65 °C, 最高为 64.2 °C(当时的室温为 33 °C)。

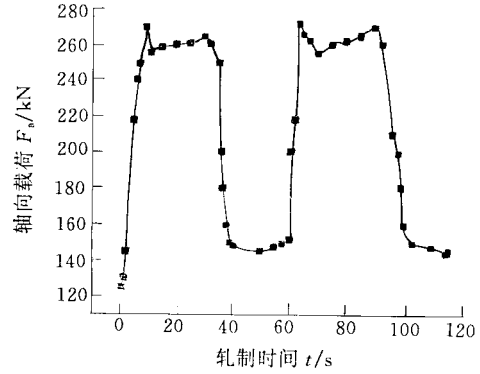


图 7 轧制过程中轧辊轴向力变化

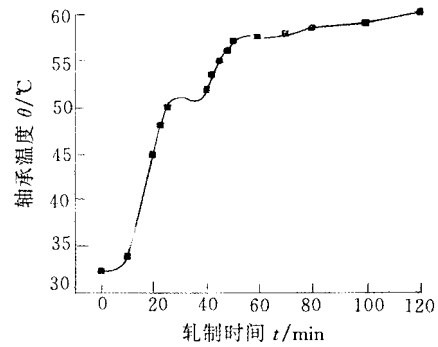


图 8 轧制过程中轴承外环温度变化

### 3.4 滚动轴承自适应均载机构效果

理论分析与试验结果均证明, 2050CVC 轧机操作侧工作辊轴承存在严重的偏载现象, 滚动轴承自适应均载机构是减少乃至消除偏载的专利技术<sup>[6]</sup>, 图 9 显示了采用该项技术对轴承座进行改造后, 轴承列间径向压力分布。与图 6 比较可见, 轴承偏

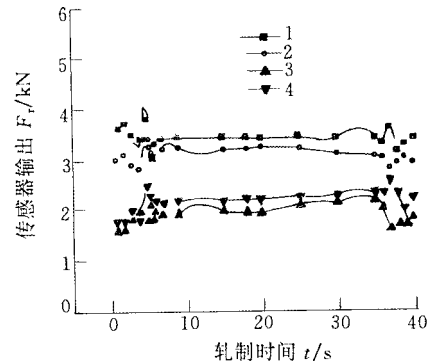


图 9 改造后轴承列间径向压力分布

载得到有效改善。经过近一年的运行, 轴承寿命明显提高。同时该装置寿命可靠、运转良好。目前, 热连轧精轧机组 F4~F7 机座全部采用自卫装置对轴承座进行了改造, 取得了良好的经济效益。该成果 2001 年获省级科技进步一等奖。

## 4 结 论

(1) 现场实测结果表明, 2050CVC 轧机工作辊轴承载荷分布测试方案设计合理, 方法正确, 试验结果为研究轴承失效机理提供了科学依据。

(2) 径向力传感器设计合理, 可直接测量轴承径向载荷分布, 而且排除了各列轴承间的相互干扰, 提供了一种新的轴承径向力测试方法。

(3) 轴向力检测方法正确, 不但可反应轴向力的大小和方向, 而且可反应轴向力沿圆周方向的分布。

(4) 采用热电阻对轴承内部温度进行了检测, 该测试方法还可作为轴承内部温度变化的长期监测手段。

(5) CVC 轧机轧辊轴承自卫装置具有明显的均载效果, 能够有效地解决轴承偏载问题, 提高轴承寿命。

## 参 考 文 献

- 1 陈占福. 2050CVC 热连轧机工作辊滚动轴承运行行为及自适应均载方法研究: [博士学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 2000
- 2 Ebaugh, Roger L, Nowak, Edward. Chock and roll maintenance and its effect on work roll bearings. *Iron and Steel Engineer*, 1978, 55(11): 64~68
- 3 黄庆学, 申光宪, 史荣, 等. 宝钢 2050 mm 轧机组合轴

承载荷特性的边界元法解析及试验研究. *机械工程学报*, 2001, 37(2): 43~47

- 4 史荣, 李玉贵, 赵宏伟, 等. 大型板带轧机工作辊轴承载荷分布实验研究. *钢铁*, 2002, 37(6): 54~58
- 5 黄传清. 板带轧机轴向力的理论与试验研究: [博士学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 1994
- 6 申光宪, 陈占福, 肖宏, 等. 工作辊滚动轴承座自适应均载装置. 中国实用新型专利, 99251068.6

## ROLLING BEARINGS LOAD DISTRIBUTION ON-LINE TEST FOR THE CVC HOT STRIP ROLLING MILL

*Shi Rong Shen Guangxian Chen Zhanfu*  
(Yanshan University)

*Chen Buquan Jiang Guangbiao Zhao Hongwei*  
(Baoshan Iron and Steel Co.)

*Huang Qingxue Li Yuguai Li Shujuan*  
(Taiyuan Heavy Machinery Institute)

**Abstract:** In order to study CVC hot tandem mill rolling bearings invalidation subject, a over-all on-line test is completed for working state of operating side bearing of work roll in the 2050CVC mill of Baoshan Iron and Steel Company, consists of load distribution among rows, axial force, temperature, and so on. A great deal testing results be provided for extend service life.

**Key words:** Testing skill Sensor Rolling bearing  
CVC hot tandem mill

作者简介: 史荣, 女, 1949 年出生, 教授。主要从事机械设计及理论、工程测试与信号分析等方面的科研与教学工作。获省部级科技进步奖多项, 发表论文 30 余篇。