

试
验
检
测

单套机车轴承检测机的结构设计

李小勇, 曾承志, 宋辛晖, 王定晓

(北京唐智科技发展有限公司, 湖南 长沙 410014)



作者简介：李小勇（1974-），男，工程师，主要从事铁路机车走行部故障诊断装置的机械设计及研究。

摘 要：介绍 JK11412 轴承检测机结构设计的原理、特点、主要组成、性能和技术参数。利用广义共振 / 共振解调故障诊断及数控机床中的相关技术：旋转油缸、胀套式弹性夹头、同步带轮传动、线性导轨、滚珠丝杠螺母副等，研制出针对铁路机车轴承进行故障检测的单套机车轴承检测机。通过现场考核证明，该检测机自动化程度高、操作简单、检测准确率高，是机车轴承质量检测的重要保障手段。

关键词：轴承检测机；机车轴承；胀套式弹性夹头；加载；诊断

中图分类号：U269.32*2；U260.331*.2 文献标识码：A 文章编号：1000-128X(2011)04-0055-03

The Structure Design of Single Locomotive Bearing-examining Machine

LI Xiao-yong ZENG Cheng-zhi SONG Xin-hui WANG Ding-xiao

(Bejin Tangzhi Science & Technology Development Co., Ltd., Changsha, Hunan 410014, China)

Abstract: Principle, characteristics, composition, performance and technique parameter of structure design of JK11412 bearing examination machine were introduced. With the fault diagnosis technique of generalized resonance & resonance demodulation, and related techniques of numerical control machine such as semi-motor, bilge type of elastic tonghold, synchronous pulley, linear guide rail, ballscrew nut fitting, etc, the single locomotive bearing-examining machine was developed for locomotive bearing fault detect. Practice has proved that the machine has features of high degree of automation, simple operation and high accuracy, and provides important guarantee way for the bearing examination.

Key words: bearing-examining machine; locomotive bearing; bilge type of elastic tonghold; loading; diagnosis

0 引言

随着故障诊断技术在国内铁路领域的快速发展，铁路机车在大修、中修时，需要对其拆卸的轴承进行故障检测，以确定是否能继续使用；也需要对准备替换原有轴承的新轴承进行相关状态检测。北京唐智科技发展有限公司利用广义共振 / 共振解调技术，研制了 JK11412 单套机车轴承检测机（以下简称轴承检测机）。该设备能自动完成轴承的快速装夹、旋转、模拟加载等操作，并实时采集数据上传到服务器中，通过服务器中配备智能故障诊断专家系统，实现轴承的自动诊断，可发现轴承的内环、外环、滚子的滚动工作面和保持架、滚子端面 and 挡边等滑动面的故障，并对故障进行定性与定量诊断。

1 轴承检测机简介

1.1 轴承检测机的结构组成

轴承检测机主要部件有：检测机主体、升降平台

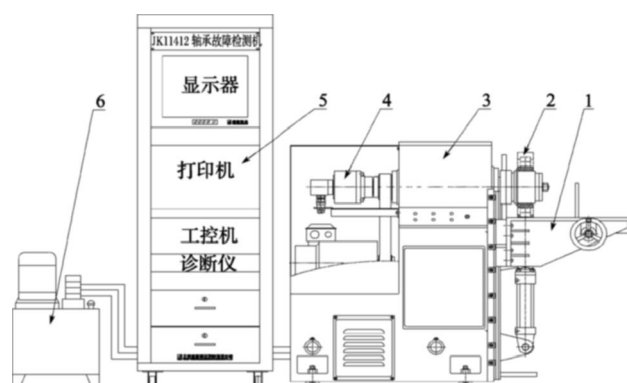


图 1 轴承检测机组成

1 —— 升降平台组件；2 —— 待检测轴承；3 —— 检测机主体；
4 —— 旋转油缸组件；5 —— 自动控制检测诊断系统；6 —— 液压站

收稿日期：2011-05-27

组件、液压站和自动控制检测诊断系统(包括其电气柜)等,相互之间通过电缆或油管进行连接,如图1所示。

1.2 轴承检测机工作流程

轴承检测机的工作状态共有5种,即:初始状态、轴承装进胀紧、径向加载和轴向加载、主轴驱动内环运转检测、转动外环,工作流程如图2。

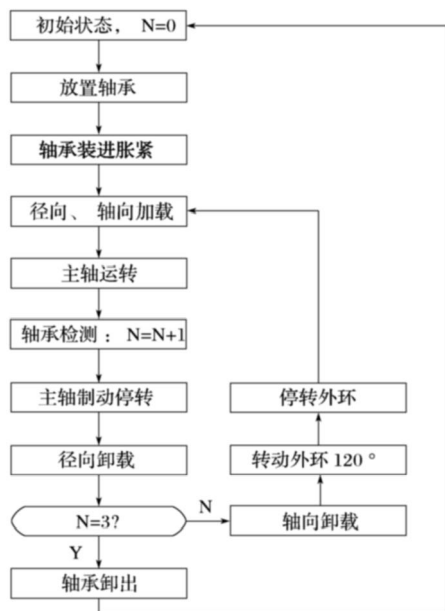


图2 检测机工作流程

2 轴承检测机结构设计

轴承检测机由检测机主体、升降平台组件、液压站和自动控制检测诊断系统组成。

具体结构设计中选用数控车床成熟的伺服电机、旋转油缸、主轴结构、线性导轨、滚珠丝杠螺母副等,既保证设备的工作精度、提高设备的稳定性、可靠性,同时又达到维护简单的要求。在主轴部件中,设计专用的胀套式弹性夹头与旋转油缸配套,实现轴承快速装夹。为了检测规格范围更宽的轴承,通过设计专用的升降平台组件,并与配套的径向、轴向加载组件和不同内径的胀套式弹性夹头组合来实现。升降平台组件可将不同轴承调整到所需高度,方便轴承装卸,减轻工人劳动强度。开发的专用自动控制检测诊断系统控制运行过程,通过人机界面软件实现自动检测诊断。

2.1 轴承检测机主体

轴承检测机主体包含:主轴部件、旋转油缸、伺服电机、径向加载组件、轴向加载组件、操作控制部分等结构部件。检测机主体主要实现轴承胀紧、旋转、径向加载、轴向加载、外环分度检测、制动等功能。检测机主体重量 $\leq 900\text{ kg}$ 外型尺寸为(长 $\times$ 宽 $\times$ 高): $1\,780\text{ mm}\times 815\text{ mm}\times 1\,500\text{ mm}$ 。

2.1.1 主轴部件

在主轴部件(见图3)设计中,选配了数控车床常用的旋转油缸、伺服电机、同步带轮传动等标准结构

并采用弹性夹头、主轴结构、音轮测速等。

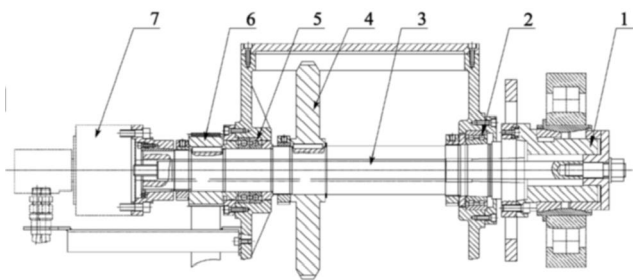


图3 主轴部件组成

1——胀套式弹性夹头;2——双列圆柱滚子轴承;3——拉杆;4——测速音轮;5——角接触球轴承;6——同步带轮;7——旋转油缸

为实现快速装卸、锁紧轴承,设计使用了旋转油缸、胀套式弹性夹头等配合结构。

a. 胀套式弹性夹头通过两端带外锥的圆锥体在油缸拉力的作用下相向移动,胀开带内锥的开槽弹性环,实现轴承内环胀紧。针对不同内环尺寸的轴承,可通过更换胀套式弹性夹头来实现胀紧。

b. 旋转油缸设计在主轴尾部,其拉、推行程移动由脚踏开关控制。轴承安装在弹性夹头上后,通过点动脚踏开关实现快速装夹,操作简单。

旋转油缸组件采用车床成熟技术,可靠性高、稳定性好,不漏油;轴承内环胀套式弹性夹头,拆装方便,拆装时不易损坏,耐磨损,重复定位精度高。

主轴的传动采用同步带轮,传动比 $1:2$,同步带在满负荷运转时动态节距差 $\leq 0.03\text{ mm}$,使主轴在近似刚性传动的条件下平稳运转,避免主轴在轴承滚动体越过故障点时因为阻力突然增大而发生转速瞬时下降等打滑、放让现象及其导致的故障诊断错误,也避免了齿轮传动所导致的啮合振动或冲击对检测的干扰。

主轴中部配置测速音轮,音轮由200个齿均布,转速传感器安装在机体后壁上,敏感部位距离音轮测速齿的间隙为 $0.5\sim 1.5\text{ mm}$,实时采集主轴实际转速,提供给检测诊断专家系统使用,进一步识别主轴转速变化、抖动,并借助“变速机械故障诊断的转速跟踪采样及谱号固化分析方法”克服万一转速抖动所导致的错误诊断。

引用数控车床常用的主轴结构,主轴前端采用双列圆柱滚子轴承,主轴后端采用2个单列角接触球轴承组合。在这种结构基础上,增加主轴壁厚,来保证主轴刚度在工作时能够承受 $4\,500\text{ N}$ 的径向检测加载力和 800 N 的轴向检测加载力。并在该工作载荷状态下,径向跳动 $\leq 0.02\text{ mm}$,径向位移 $\leq 0.05\text{ mm}$ 。通过建模仿真测算,完全达到要求。

主轴选配伺服电机工作状态由计算机控制,从而轻松实现其启动、制动和不同需求的采样转速等。且使用伺服电机能提供低转速状态(约 10 r/min)的特点,在无载荷时带动轴承外环转动,完成一定角度的分度(分度时允许轴承内、外环有小的错位),满足外

环多方位采样诊断要求。伺服电机参数为功率2.2 kW, 额定转矩14 N·m, 额定转速1 500 r/min。

2.1.2 径向加载组件

径向加载组件安装在弹性夹头的正下方, 由传感器信号采集座、加载油缸等组成。

传感器信号采集座设计有2处, 按120°分布的弧面与轴承外环贴合, 每处接触弧面长不小于45°弧, 曲率与外环外圆相同, 接触面粗糙度达1.6以上(精镗加工)。着色检查其与外环接触面积达到75%以上。按照“多传感器共振解调检测技术”, 使用2只传感器同时检测。

加载油缸径向工作的检测加载力为4 000 N, 安装在主轴箱体底面(铸件)位置弹性夹头正下方, 设置导向机构, 保证油缸升降垂直主轴轴线。

2.1.3 轴向加载组件

轴向加载组件适用于带挡边的(U型和J型)轴承, 用于消除挡边与滚子端面的间隙和油脂, 以实现滚动体端面 and 挡边等滑动摩擦面故障的检测。加载油缸安装与主轴平行, 轴向检测加载力800 N, 轴向加载力作用在外环两侧上180°均布, 只加一个方向的力(拉力或推力)。不同外径尺寸的轴承选用不同的轴向加载组件。

2.1.4 操作控制部分

操作控制面板安装在检测机主体前面, 实现简单的设备操作控制, 面板上设置有: 主轴紧急停车开关; 液压站起、停控制开关; 系统上电指示灯; 液压站工作指示灯; 紧急停车开关锁定指示灯; 弹性夹头胀紧指示灯。主轴胀紧弹性夹头控制开关采用脚踏开关形式, 在操作面板上用指示灯显示胀紧状态; 升降平台的升、降微动开关采用移动手持式手摇脉冲信号发生器。升、降微动脉冲信号通过IO接口输入计算机, 经过“容错操作控制”决策^[2](以防止人工误操作引起的机器损坏)再驱动伺服电机, 亦可由计算机输出控制脉冲, 驱动伺服电机运转, 以便批量检测时自动控制升降平台。全系统总电源起、停按钮设置在强电柜位置。主电源开关回路应设计成接触器上电自锁结构, 确保断电后再来电时, 不会自动接通。

2.2 升降平台组件

为了实现检测涵盖机车上的电机、齿轮箱、轴箱等大部分轴承, 根据其轴承型号多, 轴承内、外径变化范围宽特点, 设计了垂直升降平台。不同外径的轴承, 通过升降平台调整高度, 将轴承升到对应的胀套式弹性夹头前, 由手动进给托板轻松推入安装, 完成检测诊断准备。

升降平台组件采用悬臂结构, 基体重量≤600 kg, 工作台面尺寸: 782 mm×700 mm, 台面承重>200 kg, 升降高度范围: 280~895 mm; 平台升降采用线性导轨, 由伺服电机驱动滚珠丝杠螺母副实现。

平台高度位置也可通过手摇脉冲手轮微调, 并

由检测计算机显示高度尺寸, 通过软件设计, 完成自动重复定位和高度位置记忆功能。

线性导轨、滚珠丝杠螺母副、伺服电机等按照设计刚度、强度要求, 从机床专业配套产品目录中选用标准的配置。伺服电机功率2.3 kW, 额定转矩15 N·m, 额定转速1 500 r/min。滚珠丝杠螺母副选配外径40 mm的滚珠丝杠标准配置, 其动态承重大于2倍平台总重冗余。线性导轨长度920 mm, 其刚度、强度、耐磨寿命也采用冗余设计。

升降平台设置上、下限位开关以及零位开关。零位设置在靠近主轴轴线高度位置, 方便计数和确认高度值。

升降平台设置紧急停车按钮, 紧急停车按钮应具有最高优先控制权, 能超越计算机控制。不论计算机发出何种指令, 紧急停车按钮按下后, 升降台伺服电机均立即刹车停止运转, 进行保护。

平台台面上配置手动进给托板, 并设置V型槽(平行于主轴)。正向手摇动则推进托板, 方便轴承装到弹性夹头上。反向手摇动则退回托板。

通过设计升降平台结构, 拓宽了检测轴承尺寸范围。目前国内机务段常用的轴承检测机, 检测的轴承范围只有轴承内径相近的5种规格轴承(轴承内径尺寸: $130\text{ mm} \leq D_n \leq 150\text{ mm}$, 共5种规格)。而此次设计的轴承检测机, 可检测以下规格轴承(轴承内径、外径、宽度满足下列参数), 涵盖了目前国内机车上的大部分轴承。

轴承内径: $85\text{ mm} \leq D_n \leq 180\text{ mm}$ 。

轴承外径: $190\text{ mm} \leq D_w \leq 340\text{ mm}$ 。

轴承宽度: $43\text{ mm} \leq B \leq 110\text{ mm}$ 。

因此, 升降平台结构设计实现了被检测轴承搬运、装卸方便, 减轻了工人劳动强度, 提高了效率。

2.3 液压站

液压站采用独立成套外置式, 放置在检测机旁边, 主要驱动旋转油缸、径向加载油缸、轴向加载油缸。液压站集成安装直流24 V电压控制电磁阀和油压表, 表盘显示液压值, 并安装溢流阀、调压阀, 方便调节工作压力。

2.4 自动控制检测诊断系统

自动控制检测诊断系统是一个自动诊断专家系统集成, 通过人机界面设计, 轴承检测仅需一人即可操作, 简单、可靠, 极大地提高了工作效率。

自动控制检测诊断系统由电气控制系统和控制检测诊断软件组成, 全部安装在一个国际标准上架式机柜内, 与检测机主体之间通过控制电缆、IO线、信号线等电气线路相连接。

电气控制系统由工业控制计算机、检测仪、IO接口板、伺服控制系统、液压电磁阀、传感器系统、电源系统等组成。控制过程: a. 总电源上电; b. 液压站主泵起停控制; c. 升降平台控制; d. 内环胀紧弹性夹头胀紧操作; e. 径向加载与轴向加载操作; (下转第61页)

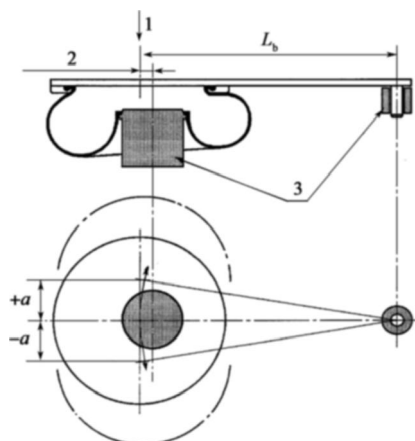


图1 空气弹簧扭转疲劳试验原理

1——垂向加载；2——横向偏移量；3——试验工装

空气弹簧往复运动的振幅按下式计算：

$$a = (L_b \times L_b) / R_c \quad (1)$$

式中： L_b ——车辆定距的一半，m； L_b ——空气弹簧中心到转向架中心销或牵引拉杆中心的距离，m； R_c ——线路曲线半径，根据技术规范要求确定，如果技术规范没有明确要求，取180 m；

疲劳试验应进行共 6×10^5 次循环 频率在0.5~1.0 Hz 范围内。

4.3 有气状态下刚度公差

EN13597 中规定在有气状态下，垂向刚度严格公差为 $\pm 5\%$ 、一般公差为 $\pm 7\%$ ；水平刚度严格公差为 $\pm 10\%$ 、一般公差为 $\pm 15\%$ 。

对于新标准在有气状态下的建议公差为：垂向刚度严格公差为 $\pm 15\%$ 、一般公差为 $\pm 20\%$ ；水平刚度严格公差为 $\pm 15\%$ 、一般公差为 $\pm 20\%$ 。

从上述公差对比，建议公差有所放宽：

EN13597 标准主要是针对胶囊的，公差中没有考虑辅助弹簧的因素，而实际运用时，胶囊则是与辅助弹簧组合在一起工作的。

建议则是针对整套空气弹簧的，考虑了辅助弹簧的制造公差后，提出上述指标。

4.4 垂向压力载荷稳定性公差

EN13597 垂向压力载荷稳定性严格公差为 $\pm 3\%$ 、一般公差为 $\pm 5\%$ 。

建议新标准中垂向压力载荷稳定性严格公差为 $\pm 5\%$ 、一般公差为 $\pm 8\%$ 。

从上述公差对比，建议有所放宽：

EN13597 标准主要是针对胶囊的，公差中没有考虑辅助弹簧垂向变形的因素，而实际运用时，胶囊则是与辅助弹簧组合在一起工作的。

本标准是针对整套空气弹簧的，考虑了辅助弹簧的垂向变形因素。

结合我国车辆供风压力条件和空气弹簧承载力条件，制定上述指标。

5 建议

由于国内既有空气弹簧标准已不适应轨道车辆的运行需要，较多项点没有验证依据和试验方法，新的空气弹簧标准TB/T2841—2010已对TB/T2841—2005进行了修订，在修订时把握住标准的广泛适用性和先进性，采纳了既有国内外标准的合理内容，结合我国线路和车辆运营情况，能够满足我国轨道车辆对二系悬挂系统的需要，建议用户和主机厂尽可能了解并按照执行。

参考文献：

- [1] 孔 军, 王黎明. TB/T2841—2005 铁道车辆空气弹簧[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [2] EUOPENCOMMITTEE FOR STANDARDIZATION. BS EN 13597: 2003 Railway applications—Rubber suspension components—Rubber diaphragms for pneumatic suspension springs[S].
- [3] 日本工业标准委员会. JIS E 4206:1989, 铁道车辆用弹簧装置[S].
- [4] 傅小日, 李金森. 我国铁路客车转向架技术发展的概述[J]. 铁道车辆, 2005(8): 1-9.

(上接第57页) f. 主轴运转控制等。

控制检测诊断软件按照检测机工作运转流程图控制各个动作，界面简洁，操作简单，实现自动采样、诊断功能。检测一套轴承的平均时间约为2~3 min。

3 结语

单套机车轴承检测机通过运用广义共振/共振解调故障诊断技术和引用国内数控机床中成熟技术，使得设备操作简单、轴承装卸方便，并拓宽了检测轴承范围，提升了设备自动化程度，提高了设备运行稳定性、

可靠性等。该轴承检测机已经小批量投产，适用于各路局机务段检修车间和机车制造、修理厂以及非铁路行业的轴承检测，亦可用于轴承制造厂的产品质量检测。

参考文献：

- [1] 唐德尧, 李 辉, 宋辛晖, 黄贵发. 机车轴承若干故障的诊断与分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2004(4).
- [2] 唐德尧, 王定晓. 故障诊断系统的可靠性与容错操作设计[C]// 第一届全国诊断工程技术学术会议论文集. 武汉: 华中理工大学科学技术协会, 1998: 170-175.
- [3] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.