

DOI: 10.13382/j.jemi.B1902830

大台面热模锻液压机运动滑块 平衡状态远程监控系统*

翟华^{1,2} 方华^{1,2} 李贵闪³ 李琪⁴ 闫梦飞^{1,2} 贺永森³

(1. 航空结构件成形制造与装备安徽省重点实验室 合肥 230009; 2. 合肥工业大学 工业与装备技术研究院 合肥 230009; 3. 合肥合锻机床股份有限公司 合肥 230009; 4. 中铁宝桥股份有限公司 宝鸡 721006)

摘要:大台面热模锻液压机滑块运动受多种因素干扰,滑块工作平面容易产生倾斜,严重影响热模锻模具寿命和产品质量,需要进行实时跟踪测量并进行纠偏。针对已有大型液压机滑块平衡检测方法不足,提出基于运动滑块倾斜角的整体倾斜和下表面变形双重状态检测方法,设计适用于该方法的传感节点布局,基于 ZigBee 技术构建远程监控系统,实时检测运动滑块平衡状态。通过大台面模锻液压机滑块运行实验,对比远程实时检测数据和滑块的实际工作数据,监控系统通信良好,检测精度可达 0.01°,表明滑块平衡状态检测方法及远程监控系统对热模锻液压机正常运行有一定参考意义。

关键词:热模锻液压机;平衡状态检测;无线传感网络;远程监控

中图分类号: TH17; TN92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

Real-time balance state remote monitoring system of the hot forging hydraulic press moving slide with large table

Zhai Hua^{1,2} Fang Hua^{1,2} Li Guishan³ Li Qi⁴ Yan Mengfei^{1,2} He Yongsen³

(1. Anhui Province Key Lab of Aerospace Structural Parts Forming Technology and Equipment, Hefei 230009, China; 2. Institute of Industry and Equipment Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3. Hefei Metalforming Intelligent Manufacturing Co. Ltd., Hefei 230009, China; 4. China Railway Baoji Bridge Group Co. Ltd., Baoji 721006, China)

Abstract: The movement of slide of large table hot die forging hydraulic press is interfered by many factors. The working plane of slide is prone to tilt, which seriously affects the service life of forging die and product quality. It is necessary to conduct real-time tracking measurement and rectification. In view of the shortcomings of the exist slide balance detection methods for large-scale hot die forging press, based on the tilt angle of the moving slider, a dual state detection method of the whole tilt and the deformation of the lower surface is proposed, and designing the sensor node layout that is suitable for this method. Based on ZigBee wireless sensor network, a balance state remote monitoring system of moving slide has been presented, which can detect the balance state of the moving slide in real time. Through the operation experiment of the slide of the large table die forging hydraulic press, the comparison between the remote real-time detection data and the actual working data of the slide shows that the detection accuracy reaches 0.01°, The results show that the detection method of the balance state of the slide and the remote monitoring system have certain reference significance for the normal operation of the hot forging hydraulic press.

Keywords: hot forging hydraulic press; balance state detection; wireless sensor network; remote monitoring

0 引言

大吨位大台面热模锻液压机是大型锻件制造核心设

备^[1-2],其工作状态受锻件几何形状、导轨制造精度、加工工艺、加热温度和模具安装影响,主要工作部件——运动滑块经常承受偏向工作载荷^[3],导致滑块平衡状态出现不可预知的倾斜和波动,容易降低锻件成型精度。由于

环境温度高、运行时间长、加载吨位大等因素,运动滑块平衡状态在线监控是大吨位热模锻液压机监控领域的关键问题。

已有运动滑块平衡状态检测中,调平检测法^[4-5]为模锻压机滑块平衡检测提供了理论模型。但常见液压缸同步平衡检测^[6]依赖于液压系统控制灵敏度,受管路失压和系统泄漏等频发液压故障影响,长时间检测工作难以保证。四角位移的平衡检测^[7]忽视了热模锻液压机滑块工作面变形问题,检测数据只表征了四点位移,并未反映滑块底面整体变形。

无线传感器网络(WSN)是一种空间分布的自主传感网络^[8],被广泛用于军事^[9]、环境检测^[10]、智能医疗^[11]和工业监控^[12-13]等领域。综合了传感器、嵌入式计算、现代网络及无线通信等技术,打破了布线式传感网络约束,实现集约式节点数据采集、分布式传感网络监控。同时故障诊断^[14-15]、数据可视化^[16]、监控网络协议^[17]和通信优化^[18]等技术深入研究,促进了无线传感网络功能拓展。因此,运用无线传感网络技术,实现设备状态检测,逐渐成为解决工业生产问题的重要手段。

针对现有液压机运动滑块平衡检测研究中存在的精度不稳定和状态检测不完全问题,本文结合无线传感网络技术,提出基于组合倾角检测的运动滑块平衡状态检测方法,构建了平衡状态远程监控系统,通过多倾角节点联合部署和传输网络通信优化,可实现运动滑块整体倾角和工作面变形在线检测,提高远程数据传输工作可靠性。经过在道岔锻造液压机上远程监控实验,表明该方法的可行性,并有助于提高设备可靠性。

1 液压机滑块平衡控制系统检测原理

在大吨位热模锻压机运动滑块平衡控制系统中,已有检测方法分为液压缸同步平衡检测法^[6]和基于四角位移平衡检测法两种^[7]。

液压缸同步平衡检测法通过在滑块的四角上安装平衡油缸,对角布置构成封闭的液压系统。如图 1 所示,当运动滑块因工作偏载发生倾斜,两组对角平衡油缸产生压差,由压差形成纠偏反力矩 M ,完成对滑块倾斜的随动纠偏。在实施中,该方法检测精度主要依赖于液压系统控制灵敏度,而管路失压和系统泄漏等常见液压故障导致其工作性能难以保证。

四角位移平衡检测法通过在滑块的四角平衡油缸内安装位移传感器,检测出的滑块四角位移差值判断滑块平衡状态,当位移差值超出系统平衡精度,平衡油缸进行纠偏。相比液压同步平衡系统,该方法检测精度高,反应灵敏,通过位移差值反馈调整平衡油缸行程,保证滑块水平精度达到系统设定精度范围内。

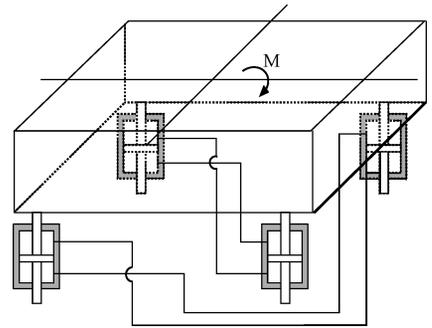


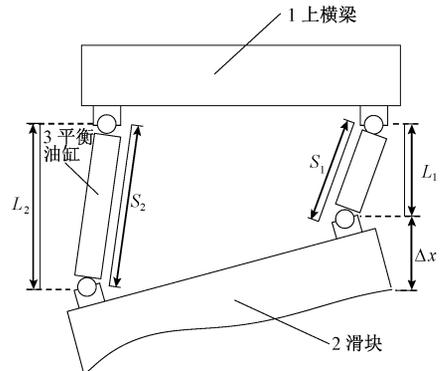
图 1 液压四角同步缸平衡检测原理图

Fig. 1 Schematic diagram of hydraulic four-corner synchronous cylinder balance detection

如图 2 所示,基于位移传感器的滑块平衡检测存在如下问题。

1) 实际四角位移与位移传感器检测值存在偏差。传感器安装在平衡油缸上,平衡油缸与滑块采用球铰连接。根据位移值进行平衡状态分析时,传感器测量出的位移差值与理论计算的位移值存在偏差,当滑块尺寸较小和滑块倾斜不大时可忽略,但在大台面滑块平衡检测中,这种偏差对高精度检测容易产生干扰。

2) 滑块工作面变形问题,大型热锻压机在对锻件进行锻造时,其工作下表面由于偏向载荷会发生变形,根据位移传感器测量滑块上表面的四角位移差值进行平衡状态判断,会使检测结果与实际工况产生偏差。



L_1, L_2 —理论位移; S_1, S_2 —传感器测量位; Δx —位移差值

图 2 四角位移平衡检测方法误差示意图

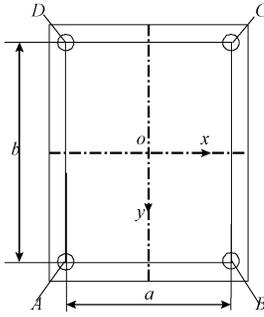
Fig. 2 Error diagram of four angle displacement balance detection method

2 运动滑块工作面平衡状态检测方法

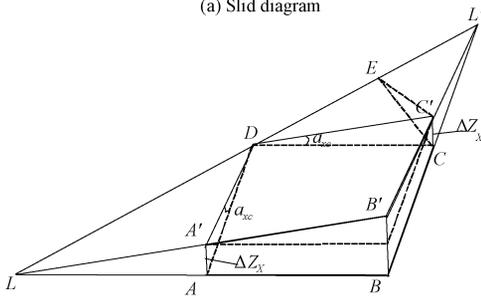
2.1 无载荷情况下运动滑块平衡状态检测方法

如图 3(a) 所示, a, b 分别为液压机滑块四角平衡缸安装中心的距离,建立 x, y 平面坐标系,垂直滑块平面为

z 轴坐标。如图 3(b) 所示, ΔZ_x 、 ΔZ_y 分别为滑块 x 向和 y 向的位移差值。定义 α_{xz} 和 α_{yz} 分别为 O_{xz} 和 O_{yz} 平面内滑块的倾斜角, 根据图中几何关系得出。



(a) 滑块简图
(a) Slid diagram



(b) 滑块四角平衡状态测量示意图
(b) Slide four angle balance detection

图 3 滑块平衡检测模型

Fig. 3 Model of slide balance detection

$$\alpha_{xz} = \frac{\Delta z_x}{a} \quad (1)$$

$$\alpha_{yz} = \frac{\Delta z_y}{b} \quad (2)$$

当滑块平面发生倾斜时, 令点 D 为最低点, 则平面 $ABCD$ 倾斜至 $A'B'C'D'$, 为求出倾斜平面 $A'B'C'D'$ 与水平面夹角, 将平面 $ABCD$ 与 $A'B'C'D'$ 延伸并相交于线 LL' 。

已知 α_{xc} 、 α_{ye} 和滑块平衡缸的安装距离 a 、 b , 采用转换二面角测量解法^[4] 求解平面倾角计算问题, 在四面体 $DBL'C'$ 做辅助线 $CE \perp L'D$ 、 $C'E \perp L'D$, 如图 3(b) 所示, 并将图 3(b) 的三维模型投影, 如图 4 所示。

由图 4 可知, $\triangle A'LA$ 和 $\triangle C'(B')L'C(B)$ 的边角关系为:

$$LA = \Delta z_y \tan \alpha_{xz} \quad (3)$$

$$L'C = \Delta z_x \tan \alpha_{yz} \quad (4)$$

图 4(b) 中, $\angle CEC'$ 为平面 $L'DC'$ 与平面 $L'DC$ 夹角, 即平面 $ABCD$ 与平面 $A'B'C'D'$ 的夹角。

利用二面角测量转换公式^[4] 得:

$$\angle CEC' = \frac{\sqrt{\alpha_{yz}^2 + \alpha_{xz}^2 - 2\alpha_{yz}\alpha_{xz}\cos\beta}}{\sin\beta} \quad (5)$$

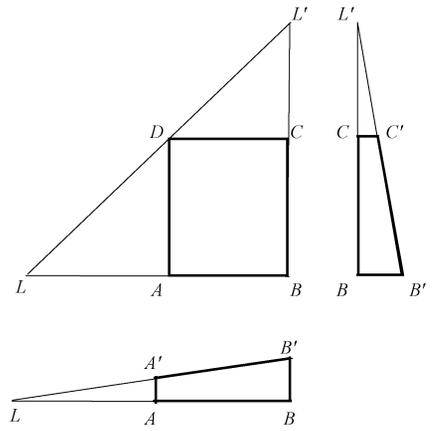


图 4 滑块倾斜模型几何投影

Fig. 4 Geometric projection of slide incline model

其中 $\angle L'CD = \beta = 90^\circ$, 代入式(5)得:

$$\angle CEC' = \sqrt{\alpha_{xc}^2 + \alpha_{yc}^2} \quad (6)$$

令滑块调平控制精度为 $[\beta]$, 当 $\angle CEC' \leq [\beta]$, 由式(6)可知, 二面角 $\angle CEC' \geq \max\{\alpha_{xc}, \alpha_{yc}\}$, 平面检测角度在平衡状态精度范围内。

2.2 受载情况滑块工作表面平衡状态检测方法

由于大型热锻压机的滑块尺寸大, 滑块在反复压制工作过程中呈弱刚度状态, 工作表面受偏向变载荷会发生局部变形^[19], 其变形分布近似于“拱桥形”, 如图 5(a) 所示, 在受载情况下滑块平衡状态由滑块整体倾斜程度和工作表面变形情况两部分组成。

考虑平面变形量相对于整体滑块较小, 两种变形叠加, 经过简化, 如图 5(b) 所示, 基于工作表面四角局部平面倾角检测, 完成滑块压制锻件前工作面平衡状态检测。

将变形平面以四角划分, 以点 A 处局部平面变形检测为例, 如图 5(b) 所示, l_x 、 l_y 为倾角仪分别沿 x 、 y 向的安装距离。

由式(1)、(2)、(6)得出与倾角关系式:

$$\alpha_A = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2} \quad (7)$$

$$\Delta x_A = l_x \cdot \alpha_x + l_y \cdot \alpha_y \quad (8)$$

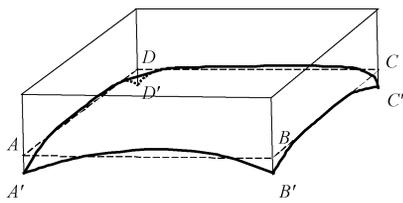
式中: α_x 为倾角仪 x 向倾角; α_y 为倾角仪 y 向倾角; α_A 为平面倾斜角角度; Δx_A 为滑块的点 A 处平面最大变形量。

3 运动滑块平衡状态远程监测系统

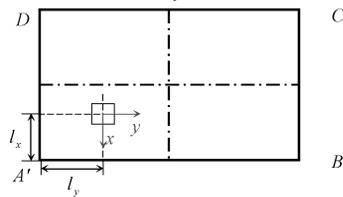
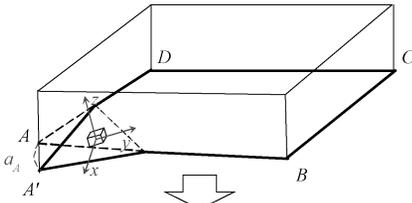
3.1 系统总体结构

运动滑块平衡状态远程监测系统如图 6 所示, 由倾角数据采集层、数据传输层和监控平台应用层组成。

数据采集层通过多倾角仪组合检测滑块平衡状态数据, 以多组倾角仪为检测端, 构建传感子节点采集网络, 可以实现对滑块整体倾斜度和工作面变形度同时采集。



(a) 滑块工作面“拱桥形”变形
(a) Arch shape deformation of slide working surface



(b) 平面变形简化测量示意图
(b) Simplified measurement of plane deformation

图 5 滑块工作面变形简化模型

Fig. 5 Simplified model of slide working surface deformation

数据传输层通过 ZigBee 模块进行无线组网通信,以数传网关(DTU)为传输端构建簇头节点,进行无线传感网络与 Internet 网络的通信,实现检测数据的网络传输,保证检测数据高效采集、稳定传输。

监控平台应用层通过与网关建立 socket 通信连接,对传输的倾角原始数据进行分类、提取,识别出滑块整体倾斜度和工作面变形状态数据,并进行倾斜状态诊断。

3.2 平衡状态检测无线传感网络

由于平衡状态检测精度要求较高,为了保证数据采集实时性、准确性,采用星型拓扑网络构建无线组网,在远端软件平台中完成数据处理和优化过程,数据采集端和数据处理端同步进行,提高数据采集和处理速度。

远程监控系统中,传感子节点^[20]由倾角仪模块与 ZigBee 子节点模块组成,以透传模式进行检测数据的无线传输。簇头节点与各子节点组成局域监测网,聚合各子节点传输的数据。簇头节点通过 RS485 串口与智能网关连接,以保证频繁数据采集稳定性,减少数据失真。智能网关将数据封装,以 TCP 协议通过 Internet 传输至远端服务器。

根据运动滑块平衡状态检测分析,综合整体倾斜和工作表面变形制定倾角仪的安装方案。如图 7 所示,在

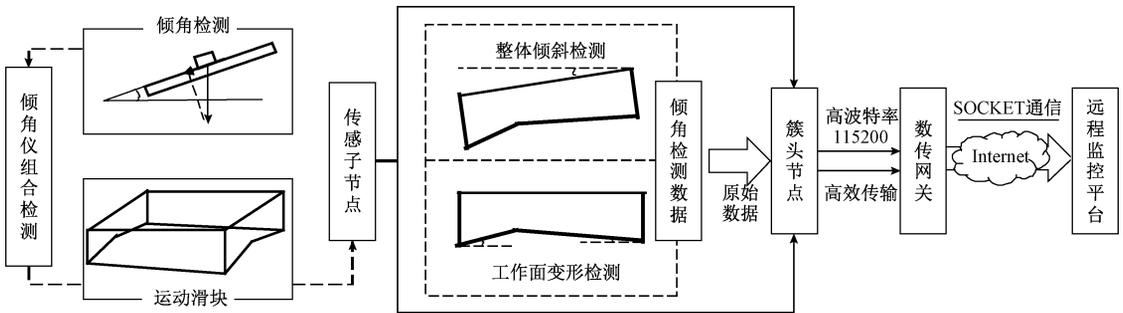


图 6 锻压机滑块平衡检测远程监控系统框架图

Fig. 6 Framework of remote monitoring system for balance detection of forging press slide

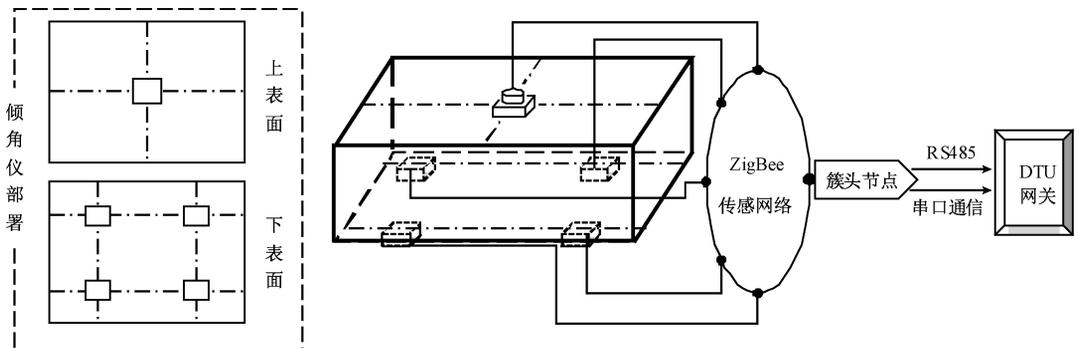


图 7 倾角仪传感节点部署及传感网络搭建

Fig. 7 Sensor node deployment and sensor network construction of inclinometer

滑块上表面中央安装一个双轴倾角仪,在下表面四角分别布置倾角仪。

3.3 运动滑块平衡状态远程监控平台

远端平台采集到滑块的倾角检测数据,包括滑块上表面 X、Y 轴向倾角和工作面四角的区域平面 X、Y 轴向倾角。平台对数据进行诊断预警处理,如图 8 所示,上表面倾角仪用于检测滑块整体的倾斜角度 α_{\pm} ,当角度大于滑块的平衡控制精度,则将滑块的状态诊断为异常工作状态,反之,则处于正常的工作状态内。滑块下表面四角的倾角检测数据(α_{F1} 、 α_{F2} 、 α_{F3} 、 α_{F4})为滑块整体倾斜和下表面变形叠加的结果,则计算下表面的变形倾角:

$$\Delta\alpha_{\pm} = \alpha_{\pm} - \alpha_{Fi} \quad i \in \{1, 2, 3, 4\} \quad (9)$$

当 $\Delta\alpha_{\pm} \neq 0$ 时,说明滑块工作表面发生变形,并将其与滑块的平衡控制精度对比,判断变形是否超出范围,诊断滑块平衡状态。

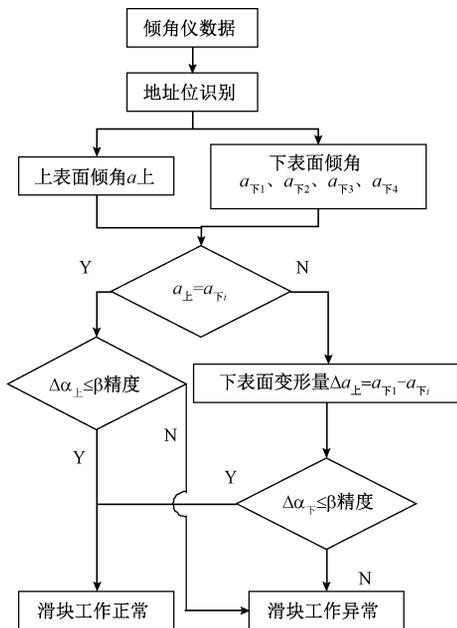


图 8 倾角数据诊断流程

Fig. 8 Inclination data diagnosis process

4 实验验证

4.1 实验介绍

长距离的钢轨道岔生产中,采用多工位热模锻成型工艺,如图 9 所示,道岔成型热模锻压机主体由主机身、活塞缸、柱塞缸、上滑块和移动工作台上。压机滑块的主要参数如表 1 所示。

对道岔成型热模锻压机进行滑块平衡状态检测实验,对比远端监控平台实时数据波动与现场压机实际工作情况,评估滑块平衡状态远程监控系统的工作性能。



图 9 道岔成型热模锻压机

Fig. 9 Hot die forging press for turnout forming

表 1 压机滑块的主要参数表

Table 1 Main parameters of the press slider

参数名称	单位	数值
工作压力	kN	50 000
滑块最大行程	mm	600
滑块尺寸	mm	3 000×2 000
最大模具质量	t	25
滑块压制速度	mm/s	10~30

如图 10 所示,滑块底面两侧安装双倾角仪,上表面中心安装双轴倾角仪,对三个倾角仪进行无线组网,无线透传单元(DTU)实现对现场检测数据的远程传输。在远端 PC 上,数据监控界面如图 11 所示,实时显示检测数据和预警信息,采用 SQL server 创建数据库,储存各倾角仪检测数据。



图 10 滑块检测实验图

Fig. 10 Slider detection experiment

4.2 实验结果与分析

根据锻压机设计标准,压机滑块平衡精度分别以静止滑块下表面与工作台面平行度和运动滑块与工作台面的垂直度表示,道岔热模锻液压机工作台面长 3 000 mm,滑块行程 600 mm,由精度检验标准^[21],滑块静止平衡精度 $\epsilon_{\text{静}} = 0.53 \text{ mm}$,滑块运动平衡精度 $\epsilon_{\text{动}} = 0.79 \text{ mm}$,将平



图 11 滑块检测数据远程监控界面

Fig. 11 Slider detection data remote monitoring interface

衡精度转为角度制表示,由式(10)和(11)得出 $\beta_{静} = 0.01^\circ$ 和 $\beta_{动} = 0.075^\circ$ 。

$$\arctan \beta_{静} = \frac{\varepsilon_{静}}{L} \quad (10)$$

$$\arctan \beta_{动} = \frac{\varepsilon_{动}}{S} \quad (11)$$

式中: L 为压机工作台面长度; S 为运动滑块行程。

实验以连续采集方式进行数据采集,滑块倾角数据如图 12 所示,实验过程中数据传输实时性好,未出现通信中断情况,数据传输稳定。

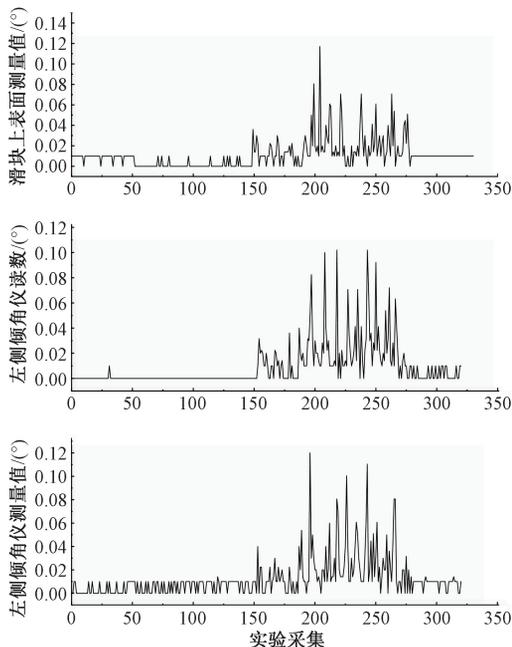


图 12 滑块平衡检测实验过程倾角数据

Fig. 12 Inclination data of slider balance detection experiment process

对比锻压机平衡精度要求和实验检测数据,在压机启动,滑块静止阶段,3 个倾角仪的测量值均在 $0.00^\circ \sim 0.01^\circ$ 浮动,在平衡精度 $\beta_{静}$ 许可范围内;在运动滑块运动阶段,上表面中心倾角仪测量值波动为 $0.00^\circ \sim 0.12^\circ$,下表面左侧倾角仪在压机滑块工作时,数据波动为 $0.00^\circ \sim$

0.10° ,下表面右侧倾角仪在压机滑块工作时,数据波动为 $0.00^\circ \sim 0.12^\circ$,测量值超出平衡精度 $\beta_{动}$ 。滑块反复运动且行程速度较快,超出压机工作速度,出现不稳定微倾覆现象。

对比上表面中心倾角仪和底面两侧倾角仪数据,在压机滑块开始工作时,3 个传感器同时检测到滑块的运动,在第 150 组数据开始出现较大的数据波动,在滑块停止后,倾角仪的测量值同时停留在 $0.00^\circ \sim 0.01^\circ$ 范围内,实验检测数据实时同步性良好。

通过实验检测数据精度评估和同步性评估,表明滑块平衡状态检测方法精度高,灵敏度好,符合道岔成型模锻压机实际检测需求。

5 结 论

已有大型液压机的运动滑块平衡状态检测方法存在的检测精度低等问题,针对大台面热模锻液压机运动滑块的整体变形和下表面的挠度变形,提出了滑块实时平衡状态多组倾角仪同时检测方法。设计了基于 ZigBee 组网多倾角仪组合检测传感网络,搭建了具有倾角数据提取、分类和诊断功能的远程监控平台。通过对长 3 m、宽 2 m 的道岔锻造液压机滑块运行进行实验,实验结果表明大台面热模锻液压机运动滑块平衡状态远程监控系统,具有稳定好、检测精度高等特点,对大台面热模锻压机的滑块状态远程监控具有重要意义。

参考文献

[1] 任运来,张建国,杨晓禹,等. 大型锻件锻造新中心压实法及工艺参数研究[J]. 机械工程学报, 2011, 47(16):61-66.
REN Y L, ZHANG J G, YANG X Y, et al. Research on new JTS method and its process parameters [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47 (16) : 61-66.

[2] 雷杰,邹玮,陆新江,等. 大型模锻装备锻造过程建模与运行分析[J]. 机械工程学报,2015,51(18):26-33.
LEI J, ZOU Y, LU X J, et al. Modeling and operating performance analysis for complex forging system [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51 (18) : 26-33.

[3] 高梦迪,刘志峰,黄海鸿,等. 液压机滑块导向装置最佳配合设计方法研究[J]. 中国机械工程,2016, 27(24):3267-3272.
GAO M D, LIU ZH F, HUANG H H, et al. A novel method for best fit design of slide guide device in hydraulic press [J]. China Mechanical Engineering, 2016, 27 (24) : 3267-3272.

[4] 杨润泽,芝世磊,吕波. 调平的测量误差分析与倾角传感器精度的选择[J]. 传感技术学报, 2015, 28(10):

- 1482-1485.
- YANG R Z, ZHI SH L, LV B. Analysis of measurement errors on leveling and the selection of tilt sensor accuracy [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2015,28 (10): 1482-1485.
- [5] 佟刚,王涛,吴志勇,等. 高精度倾角传感器在测量车载平台变形中的应用[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6):1347-1353.
- TONG G, WANG T, WU ZH Y, et al. Application of high accuracy inclinometer to deformation measurement for vehicular platform [J]. Optical And Precision Engineering, 2010,18 (6): 1347-1353.
- [6] 刘忠伟,刘少军,黄明辉. 巨型模锻液压机同步控制系统控制性能影响因素研究[J]. 锻压技术, 2010, 35(5): 64-68.
- LIU ZH W, LIU SH J, HUANG M H. Influence factors research on control performance of synchronous control system for giant forging hydraulic press [J]. Forging & Stamping Technology, 2010,35(5): 64-68.
- [7] 赵长财,杨盛福,刘培培,等. 大型模锻液压机平衡系统原理及其理论研究[J]. 机械工程学报, 2012, 48(10):82-89.
- ZHAO CH C, YANG SH F, LIU P P, et al. Principle and theoretical analysis of the balancing system for large die forging hydraulic press [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012,48 (10): 82-89.
- [8] YUAN J S, ZHANG J. Development of wireless sensor network based on ZigBee and RFID technology [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 341-342(2): 1175-1180.
- [9] WAN L, HAN G, SHU L, et al. Distributed source localization algorithm using manifold separation technique for mobile wireless sensor networks based on cloud computing in battlefield surveillance system [J]. IEEE Access, 2015(3):1729-1739.
- [10] ZHU D X, WANG X D, WU W B. Research on the forest fire survey system based on wireless sensor network [J]. Advanced Materials Research, 2012: 518-523;1597-1602.
- [11] SHA D L, XIE W C, FAN X L, et al. Based on wireless sensor network (NWK) of non-contact tremor monitoring equipment improvement for Parkinson's disease [J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 713-715(19): 491-494.
- [12] MUDULI L, MISHRA D P, JANA P K. Application of wireless sensor network for environmental monitoring in underground coal mines: A systematic review [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2018(106):48-67.
- [13] 徐恒,王建平,李奇越,等. 基于多维尺度的矿山无线传感器网络定位算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2018,32(9):63-71.
- XU H, WANG J P, LI Q Y, et al. Improved MDS localization algorithm for a WSN in a sub-surface mine [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2018, 32 (9): 63-71.
- [14] HOU L, BERGMANN N W. Novel industrial wireless sensor networks for machine condition monitoring and fault diagnosis [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2012, 61(10):2787-2798.
- [15] 刘秀丽,徐小力. 风电场机组远程监测系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2017,31(5):794-801.
- LIU X L, XU X L. Remote monitoring system for wind turbine [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2017,31 (5): 794-801.
- [16] 罗家木,陈雍君,陈渝江,等. 基于5G无线传感网络的智慧管廊综合监控系统设计[J]. 电子测量技术, 2017,40(4):127-132.
- LUO J M, CHEN Y J, CHEN Y J, et al. Design of monitoring system for intelligent pipe gallery based on 5G wireless sensor network [J]. Electronic Measurement Technology, 2017,40 (4): 127-132.
- [17] CAIONE C, BRUNELL D, BENINI L. Distributed compressive sampling for lifetime optimization in dense wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(1):30-40.
- [18] 张铮,曹守启,朱建平,等. 面向实时监测的无线传感网低功耗通信策略[J]. 仪器仪表学报, 2019,40(2): 257-264.
- ZHANG ZH, CAO SH Q, ZHU J P, et al. Low power communication scheme in wireless sensor network for real-time monitoring [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019,40 (2): 257-264.
- [19] 宋继顺,张建民,李森. 复合材料液压机偏载工况下滑块变形规律的研究[J]. 机械设计, 2014,31(2): 76-81.
- SONG J SH, ZHANG J M, LI S. Research of slide deformation law of composite material hydraulic press in partial load condition [J]. Mechanical design, 2014, 31 (2): 76-81.
- [20] 史琳芸. 基于 ZigBee 的电力变压器无线监控系统监测策略研究 [J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(10): 119-123.
- SHI L Y. Research on monitoring strategy of power transformer wireless monitoring system based on ZigBee [J]. Foreign Electronic Measurement

Technology, 2019, 38 (10): 119-123.

- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会. 四柱液压机 精度:GB/T 9166-2009[S]. 2009.

General Administration of quality supervision, inspection and Quarantine of the people's Republic of China and China National Standardization Administration. Four-column hydraulic press-Testing of the accuracy: GB / T 9166-2009 [S]. 2009.

作者简介



翟华(通信作者),分别在 1995 年、1998 年和 2003 年于合肥工业大学获得学士学位、硕士学位和博士学位,现为合肥工业大学教授,主要研究方向为精密校直工艺研究及装备研发。

E-mail:jxzhaihuajx@hfut.edu.cn

Zhai Hua (Corresponding author) received B. Sc. , M. Sc. and Ph. D. all from Hefei University of Technology in 1995, 1998 and 2003, respectively. Now he is a professor at Hefei University of Technology. His main research interests include research on straightening technology and its equipment.



方华,2017 年于安徽工业大学获得学士学位,现为合肥工业大学硕士研究生,主要研究方向为远程监控与设备故障诊断。

E-mail:fhua1124@163.com

Fang Hua received his B. Sc. degree from Anhui University of Technology in 2017. Now he is a M. Sc. candidate at Hefei University of Technology. His main research interests include remote monitoring and equipment fault diagnosis.