

结构与可靠性

济柴 12V175 型柴油机曲轴无损检测与寿命评估方法

宋明媚¹, 郑维杰², 宋明明³

- (1. 中国石油集团济柴动力有限公司再制造分公司, 河北 沧州 062650;
2. 中国石油集团渤海石油装备制造华油钢管有限公司, 河北 沧州 062650;
3. 中国石油集团华港燃气集团有限公司, 河北 沧州 062550)

摘 要: 针对传统曲轴检测方法测量精度低、易产生误差的问题, 采用智能涡流/磁记忆检测仪对曲轴外部进行无损检测, 采用超声波检测仪对零件内部进行检测; 在此基础上将检测数据传输给寿命评估软件, 进行曲轴再制造前的寿命评估工作。实际应用表明该检测及寿命评估方法效果良好。

关键词: 柴油机; 无损检测; 涡流; 磁记忆; 寿命评估

中图分类号: TK423.3⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2021)06-0057-05

Non-Destructive Testing and Life Evaluation of Crankshaft of Jichai 12V175 Series Diesel Engine

Song Mingmei¹, Zheng Weijie², Song Mingming³

- (1. Remanufacturing Branch, CNPC Jichai Power Company Limited., Hebei Cangzhou 062650;
2. North China Petroleum Steel Pipe Co., Ltd., Hebei Cangzhou 062650;
3. CNPC Huagang Gas Co., Ltd., Hebei Cangzhou 062550)

Abstract: In response to the common problems associated with traditional crankshaft detecting methods, such as low measurement accuracy and high error rate, the intelligent eddy current/magnetic memory detector was used to detect the external defects of a crankshaft, and the ultrasonic detector was used to detect the interior of parts. On this basis, the test data was transmitted to the life evaluation software for the life evaluation of the crankshaft before remanufacturing. The practical application shows that the detection and life evaluation method is effective.

Key words: diesel engine; non-destructive testing; eddy current; magnetic memory; life evaluation

0 引言

曲轴是发动机的重要部件, 又是高速旋转件。工作时, 曲轴承受惯性力及惯性力矩的作用, 受力大且复杂, 极易产生裂纹及磨损。传统曲轴检测方法是目测与千分尺测量, 测量精度低, 易产生误差。基于上述问题, 本文结合济柴 12V175 型柴油机曲轴部件, 介绍一种新型曲轴无损检测方法。该方法通过智能涡流/磁记忆检测仪进行检测, 并通过寿命评估软件进行剩余寿命评估。

1 曲轴部件

济柴 12V175 型柴油机曲轴部件由合金结构钢经全纤维锻造而成。曲轴中段由 6 个曲拐按 120° 夹角排列构成; 每个曲拐均由主轴颈、连杆轴颈、曲柄和平衡块等部件构成, 如图 1 所示。

2 传统曲轴检测方法

2.1 曲轴外观检查

曲轴清洗后, 通过目测对其进行外观检查, 观

察有无划伤、裂纹、锈痕等缺陷,必要时对其进行磁力探伤。



图 1 12V175 型柴油机曲轴

2.2 轴颈磨损状况检测

根据曲轴轴颈选用适当量程的外径千分尺,每一轴颈取两个截面,每个截面选取 A-A、B-B 两个方向分别测量磨损量,如图 2 所示。若有横向裂纹且其深度在轴颈修理尺寸以内,可通过磨削将裂纹磨掉,否则应予以报废。

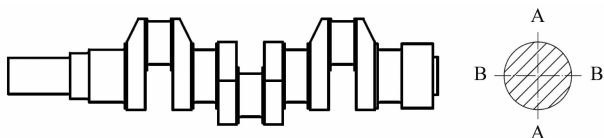


图 2 曲轴轴颈测量部位

3 曲轴涡流/磁记忆无损检测法

3.1 涡流检测原理

涡流检测以电磁感应为基础,其基本原理为:当载有交变电流的检测线圈靠近导电工件时,线圈中的交变电流产生交变磁场,工件会感生出涡流。涡流的大小、相位及流动形式受到工件导电性能等因素的影响,而涡流的反作用磁场又使检测线圈的阻抗发生变化。因此,测定检测线圈阻抗的变化就可以得出被测工件的导电性差别及有无缺损等情况^[1-2]。

3.2 磁记忆检测原理

机械零部件和金属构件发生损坏的主要根源是各种微观和宏观的机械应力集中。在应力集中区域,腐蚀、疲劳和蠕变过程的发展最为激烈。机械应力与铁磁材料的自磁化现象和残磁状况有直接的联系。在地磁作用条件下,缺陷处的导磁率减小,工件表面的漏磁场增大,铁磁性材料的这一特性称为磁机械效应。磁机械效应的存在使得铁磁性金属工件的表面磁场增强,这一增强了的磁场“记忆”着部件的缺陷或应力集中的位置,这就是“磁记忆”效应。在缺陷位置或内应力相对集中的地方,金属导磁率最小,其磁场切向分量具有最大值,而

法向分量方向改变,具有零值。对工件表面漏磁场法向分量进行扫描检测,便可确定应力集中区域,从而可间接地判断该铁磁性工件存在缺陷的可能性。

3.3 曲轴转位机系统

曲轴转位机由万向联轴器、支撑滚轮、V 型块底座等部件组成,如图 3 所示。在开机前,检查伺服系统是否正常:启动伺服系统电源,操作点动按钮使伺服电机空转,判断设备运转声是否正常,检查伺服系统脉冲输出信号是否正常。



图 3 曲轴转位机系统

3.4 智能涡流/磁记忆检测仪的组成

智能涡流/磁记忆检测仪是新一代电磁无损检测设备。设备包括上位机软件、工控机和检测传感器。检测传感器连接装置采用非铁磁性材料制成,可有效避免铁磁性材料对传感器检测信号的干扰。

3.5 智能涡流/磁记忆检测仪的检测内容

该检测仪可以对曲轴的裂纹、凹坑、划痕、穴蚀、表面磨损和烧伤等外部缺陷进行检测。零件内部应力探测深度为 10 mm,扫描速度为 100 mm/s,检测误差不大于 5%。检测部位为主轴颈、主轴颈圆角、连杆颈、连杆颈圆角。既可以通过涡流传感器获得曲轴宏观疲劳裂纹的量化特征数据,又可以通过磁记忆传感器得到曲轴应力集中状况的检测结果。

3.5.1 涡流裂纹深度标定功能

(1) 拟合算法。拟合算法是计算伤深标定曲线的计算方法,有“二次曲线”及“插值”两种算法。

(2) 100% 伤深。100% 伤深指伤深标定时 100% 代表实际裂纹深度。

(3) 伤深标定过程。在涡流调试界面将标准钢试块上的裂纹幅度值记录下来,填入“幅度”列表中;“深度”列表依次设为 0、10%、20%、30%、40%;无伤深裂纹时标定为 0 mm。数据

输入完成后, 按“拟合”按钮, 则显示出标定二次曲线, 如图 4 所示。伤深标定时, 标准点标定得越多, 标定后的数值越准确。

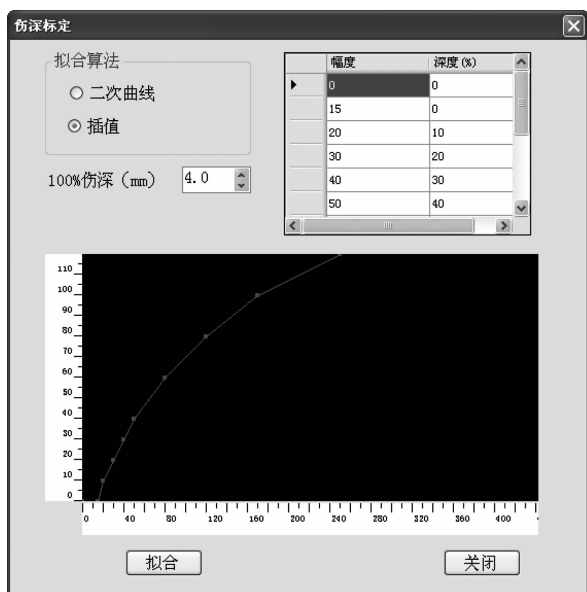


图 4 伤深标定曲线图

3.5.2 磁记忆探头归一化功能

在进行磁记忆检测时, 检测探头与大地磁场须做校准操作, 使仪器和探头互相匹配, 减小干扰。

3.5.3 测量阻抗平面缺陷信号的幅度和相位

试样缺陷的大小由信号幅度来判别, 检测仪频率的改变会引起信号相位的变化。一般来说, 工件同样大小的缺陷, 深处缺陷的涡流信号与表面缺陷的涡流信号相比较, 前者幅度较小且相位滞后, 检测时必须注意分析鉴别。

3.6 涡流/磁记忆无损检测法的优点

智能涡流/磁记忆检测仪克服了单一检测方法的局限性, 对多种型号的曲轴均有较好的通用性。与传统检测方法相比, 涡流/磁记忆复合检测方法检测速度快, 工作效率高, 可对缺陷特征做定量化描述, 提取的缺陷特征数据精度更高。

4 超声波无损检测方法

采用数字式超声相控阵检测仪, 配备相控阵探头, 可获得记录工件缺陷幅度、深度及水平距离的扫描图像。零件缺陷探测深度为 900 mm, 扫描速度为 100 mm/s。

5 曲轴寿命评估方法

5.1 寿命评估软件的工作原理及系统

运用涡流/磁记忆检测仪对工件进行外部缺陷

检测, 运用超声波检测仪对零件内部缺陷进行检测。对上述无损检测结果进行声像与内部应力状态数据、内部和表面缺陷性质和状态数据的提取和处理, 传输至寿命评估分析软件, 将缺陷声像数据和内部应力状态数据进行叠加和显示, 通过疲劳寿命和磨损寿命算法, 对零件的疲劳和磨损寿命进行分析预测。

寿命评估软件系统由各功能模块和各种数据库构成, 如图 5 所示。

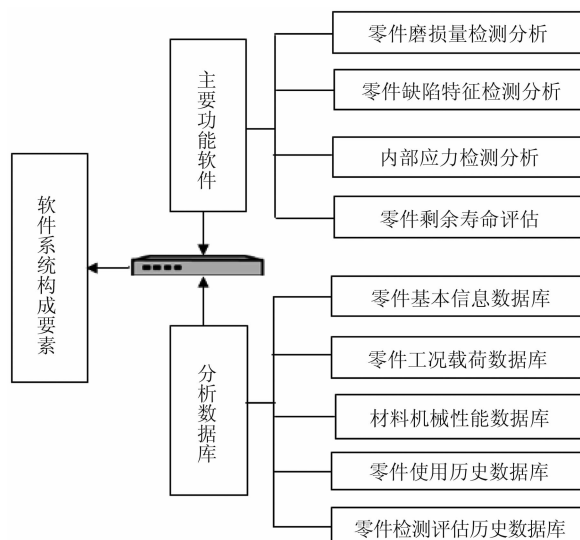


图 5 寿命评估系统组成

5.2 曲轴的寿命评估方法

本文以“济柴牌”电动钻机用 175 系列柴油机曲轴为例介绍该寿命评估软件的使用方法。

(1) 通过涡流/磁记忆检测仪检测曲轴的外部缺陷, 步骤如下:

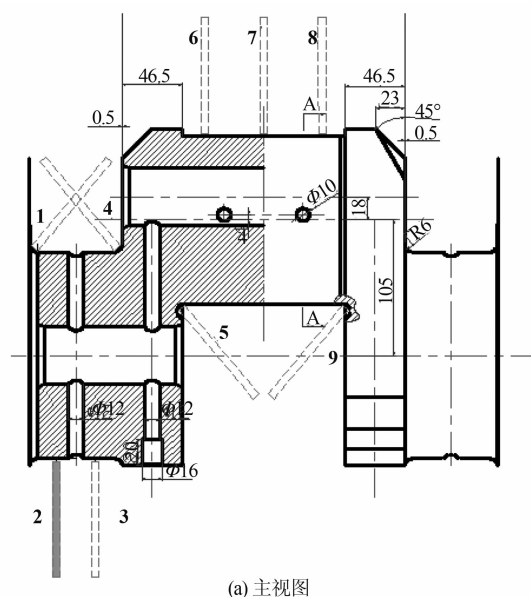
①清理待测零件表面杂质 (积炭、铁锈等), 避免对检测结果造成影响。

②打开涡流/磁记忆检测仪, 设置仪器探头参数, 校准磁记忆探头传感器, 运用对比试块完成涡流检测标定, 并储存仪器参数设置。

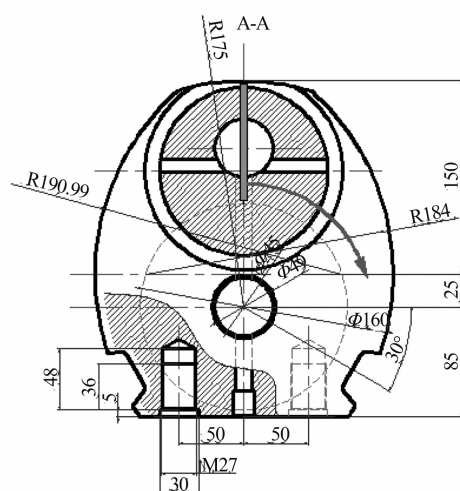
③将曲轴安放在曲轴转位机上, 调整曲轴位置, 使曲轴位于设定的初始位置, 将编码器的输出端连接到涡流/磁记忆检测仪上。

④检测从第一个主轴颈开始, 再至第一个连杆颈, 以此类推。以曲轴单拐为例, 依次检测主轴颈 1、2、3、4 检测位置 (见图中粗体数字, 下同), 再检测连杆颈 5、6、7、8、9 检测位置, 直至一根曲轴的所有检测位置检测完毕。曲轴涡流/磁记忆扫描如图 6 示意。

(2) 曲轴缺陷部位涡流检测幅度值如图 7 所示。涡流检测数据如表 1 所示。



(a) 主视图



(b) 俯视图

图6 曲轴涡流/磁记忆扫描示意图

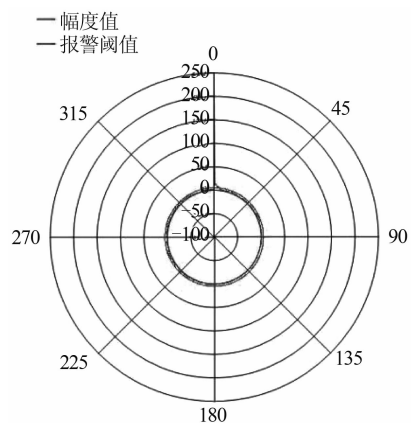


图7 主轴颈1处涡流检测结果

曲轴缺陷部位磁记忆检测结果如图8所示。磁记忆检测数据如表2所示。

表1 涡流检测数据

检测位置	角度 θ (°)	深度/mm	报警阈值/V	幅度值/V
1	0	4.7	5	240
1	0.5	0	5	11
1	1.0	0	5	14
1	1.5	0	5	14
1	2.0	0	5	13
1	2.5	0	5	10
1	3.0	0	5	8
1	3.5	0	5	6
1	4.0	0	5	6
1	4.5	0	5	8
1	5.0	0	8	8
1	5.5	0	5	7
1	6.0	0	5	4
1	6.5	0	5	1
1	7.0	0	5	0
1	7.5	0	5	1

— 0(A/m)/mm
 — 报警阈值
 — $K1(dH_p/dv)(A/m)/mm$: 第二通道磁记忆圆弧面检测信号幅度变化量
 — $K2(dH_p/dv)(A/m)/mm$: 第四通道磁记忆圆弧面检测信号幅度变化量

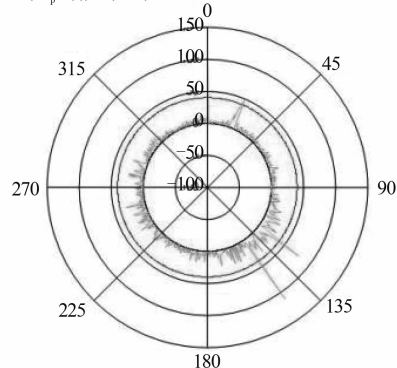


图8 主轴颈1处磁记忆检测结果

表2 磁记忆检测数据

检测位置	角度 θ (°)	深度/mm	报警阈值/V	幅度值/V
1	0	4.7	5	240
1	0.5	0	5	11
1	1.0	0	5	14
1	1.5	0	5	14
1	2.0	0	5	13
1	2.5	0	5	10
1	3.0	0	5	8
1	3.5	0	5	6
1	4.0	0	5	6
1	4.5	0	5	8
1	5.0	0	5	8
1	5.5	0	5	7
1	6.0	0	5	4
1	6.5	0	5	1
1	7.0	0	5	0
1	7.5	0	5	1

(3) 经超声波检测该曲轴无内部缺陷。

(4) 将涡流/磁记忆检测数据输入寿命评估软件,如图 9、图 10 所示。点击菜单栏“寿命评估”,再点击“再制造前寿命评估”,或点击功能栏“寿命评估”,再点击窗口菜单列表的“再制造前寿命评估”,均可进入再制造前零件剩余寿命评估界面。具体评估步骤如下:



图 9 寿命评估软件读取涡流无损检测数值



图 10 寿命评估软件读取磁记忆无损检测数值

- 单击“无损检测结果加载”,即可加载该零件的涡流,磁记忆及超声波检测结果数据。
- 单击“材料性能参数加载”即可加载该曲轴的材料参数信息。

- 单击“零件工况参数加载”即可加载该曲轴的工况参数信息。
- 输入“裂纹预期深度”为 5.5 mm。
- 单击“零件剩余寿命评估”,即可对零件进行疲劳寿命评估。经评估,该曲轴再制造前剩余寿命为 43 218 004.18 转,如图 11 所示。



图 11 寿命评估结果

- 单击“寿命评估数据存储”,即可将零件再制造前疲劳寿命结果保存在数据库中,可用于检测评估历史查询。

6 结束语

本文介绍了“济柴牌”电动钻机用 175 系列柴油机曲轴的涡流/磁记忆、超声波无损检测与寿命评估方法。无损检测数据可通过数据线传输给寿命评估软件,进行曲轴再制造前的寿命评估工作。目前,此项技术已应用于企业实践中,效果良好。

参考文献

[1] 张俊哲. 无损检测技术及其应用 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2010.

[2] 刘贵民, 马丽丽. 无损检测技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.