

盾构滚刀磨损在线检测系统设计

牛江川, 赵红霞, 李素娟, 郭京波

(石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:盾构刀具磨损检测一直是盾构施工过程中的一个难题。在盾构机掘进过程中,无法直接测量刀具的磨损量,这就给刀具的视情换刀带来了巨大的困难。针对盾构施工时的刀具磨损检测,设计了盾构滚刀磨损在线检测系统。其中,下位机采用电涡流传感器对盾构滚刀的磨损进行检测,将电涡流传感器采集到的电信号转换为数字信号后通过串行通信方式与上位机通信;上位机利用 C# 编程语言开发了盾构滚刀磨损检测软件系统,将下位机采集到的信号进行处理与计算并显示出刀具的磨损量。通过对盾构滚刀磨损的实时测量,从而及时准确地掌握滚刀的磨损状态,为“视情换刀”提供技术支持。

关键词:盾构机;盘形滚刀;磨损状态;在线检测

中图分类号:U455.3 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2015)04-0058-05

0 引言

随着社会的发展,我国铁路、公路和地下隧道等交通运输业迅猛发展,这也就造成了土地资源紧张,并且随着人口的增长,地面交通越来越不能满足人们的需求,因此隧道施工以及地铁施工项目等地下工程日渐增多,盾构机的应用也越来越广泛^[1]。在盾构施工中,盾构机的状态、故障检测及刀具磨损成为影响盾构施工的主要因素,其中滚刀的磨损检测成为影响一个工程进度和质量的关键问题。刀盘上的刀具是易耗件、易损件,换刀过早会造成资源的浪费,换刀过晚又会加重刀具周围的滚刀的载荷,加速磨损,因此及时检测到滚刀的磨损状态,视情换刀十分必要。

目前国内外检测盾构刀具磨损的方法主要有:开仓检查、异味检测、油压检测、掘进参数分析等。开仓检查危险系数高,可能会造成开挖面坍塌,严重的还会造成人员伤亡,并且工作效率低,异味检测能够很敏感地报告刀具损坏的信息,但是这种方法适合用在 TBM 中,在盾构机中无效^[2]。在油压磨损检测中,由于油路数量有限,油路只能安装于少部分刀具上,对于其它刀具的磨损则检测不到,而且无法获取具体的磨损量,此外马广州提出了利用掘进参数分析法^[3]计算刀具的磨损量,管会生等利用磨损系数计算刀具寿命^[4],本文设计了一种滚刀磨损在线检测系统,下位机采集到滚刀的磨损信息,将磨损信息送到上位机进行处理,显示出刀具的磨损量,通过对盾构滚刀磨损的实时测量,从而及时准确地掌握滚刀的磨损状态,为“视情换刀”提供技术支持。

1 系统总体设计

盾构滚刀磨损在线检测系统采用上位机和下位机体系结构来实现。下位机采用电涡流传感器检测技术对盾构滚刀的外边缘磨损进行检测,传感器采集到与滚刀外边缘的距离信号,经过滤波、放大等一系列操作,将信号数字化后传到上位机,上位机利用 C# 编程语言开发了盾构滚刀磨损检测软件系统,将下位机采集到的信号通过处理与计算,显示出刀具的磨损量,以便于及时掌握滚刀的磨损状态。

收稿日期:2014-09-06 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.2015.04.11

作者简介:牛江川(1977-),男,博士,副教授,主要从事状态监测与故障诊断的研究。E-mail:menjc@163.com

基金项目:国家自然科学基金(51275321);国家 863 计划项目(2012AA041803);河北省教育厅自然科学基金项目(QN2014151)

牛江川,赵红霞,刘进志,等.盾构滚刀磨损在线检测系统设计[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2015,28(4):58-62.

2 系统硬件设计

2.1 硬件方案设计

盾构刀具磨损在线检测系统的硬件主要由传感器、信号调理器、数据采集器、转换器、工控计算机组成。图 1 为盾构刀具磨损在线检测系统的硬件结构图。

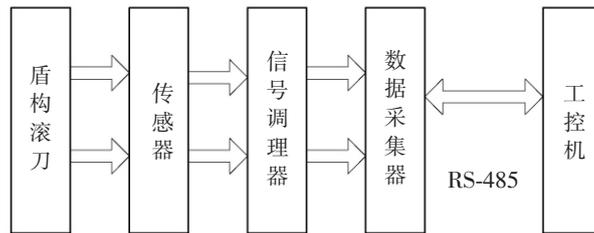


图 1 检测系统硬件结构图

由于要测量盾构滚刀的磨损量,因此就要用到位移传感器,传感器测量与滚刀刀圈的径向距离,经过信号调理器进行滤波、放大等一系列操作被数据采集器获取,并与工控机通过 RS-485 协议进行串行通信,在工控机上通过软件处理,将刀具的磨损量直观地显示出来。

2.2 硬件工作原理

2.2.1 电涡流传感器

电涡流传感器模块由前置器、探头、电缆三部分组成。系统中的电涡流传感器采用 MLW3300 一体化电涡流传感器,图 2 为电涡流传感器结构原理图。

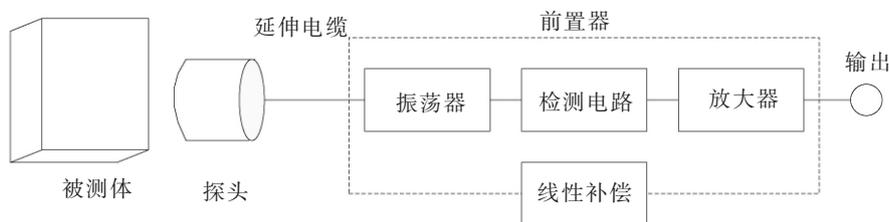


图 2 电涡流传感器的结构原理图

(1)前置器。电涡流传感器的前置器将采集到的信号进行线性检波、滤波、线性补偿、放大等处理,然后输出电压量或电流量。前置器还为探头线圈提供高频交流电流,而且可以感受探头与被测金属导体接近时引起的参数变化,从而输出相应变化的电压或转换为电流。

(2)电缆。延伸电缆是传输信号的部分,MLW3300 电涡流传感器的延伸电缆为 5 m 电缆。

(3)探头。MLW3300 电涡流传感器的探头由电感、保护罩、不锈钢壳体、高频电缆、高频接头等组成。探头线圈产生的磁场范围是有限的,被测体中电涡流场作用的深度与频率、材料导电率、导磁率有关^[5],因此被测导体不同,电涡流传感器的线性范围就不同,在使用电涡流传感器之前要对其进行校正。本系统以直径 25 mm 的电涡流传感器检测宽度 25 mm 的滚刀刀圈的距离,还需要重新拟合出传感器的电流与距离的对应关系。

2.2.2 数据采集

本系统采用 DAM-3054 作为数据采集模块。DAM-3054 为 4 路高速模拟量输入模块,采样频率为 100 Hz,支持 RS-485 串口通信。DAM-3054 有隔离转换特性,可以自动调节整个 RS485 网络的通讯速率和数据格式,DAM-3054 模块内部设置有双看门狗电路,在主机或模块死机或者通信不正常时,DAM-3054 会自动输出安全值。本系统以其中 1 个通道进行测试。图 3 为 DAM-3054 的线路连接图。IN0+ 和 IN0- 分别为电涡流传感器检测到的信号输入的正端和负端,DATA+ 和 DATA- 分别为 RS-485 接口信号的正端和负端。在端子接线图中,VS+、GND 分别与电源的正、负极连接,IN0+、IN0- 分别与电涡流传感器前置器的 OUT 和 COM 连接,DATA+、DATA- 分别与转换器 DAM-3232 的 RXD+ 和

RXD—连接。

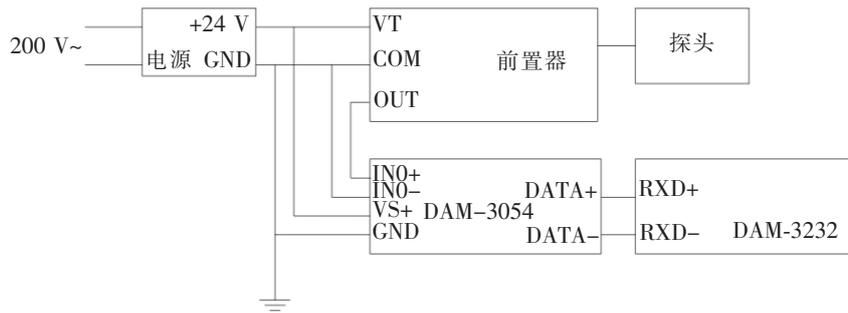


图 3 DAM-3054 线路连接图

DAM-3054 和前置器需要加载 24 V 直流电源,选取 220 V 交流电压转 24 V 直流电压的电源作为本系统的电源。将电源的正、负极分别与 DAM-3054 的 VS+ 和 GND 连接,并分别与前置器的 VT 和 COM 连接。将前置器的 OUT 和 COM 分别与 DAM-3054 的 IN0+ 和 IN0—连接,将 DAM-3054 的 DATA+ 和 DATA—分别与 DAM-3232 的 RXD+ 和 RXD—连接,DAM-3232 是一款通用 USB 转 RS-485/RS422 的转换器。最后将 DAM-3232 与工控机通过 USB 相连。经过测试,其工作电流为 70 mA,电源工作时电压为 24 V,计算出其功率为 1.68 W。

3 系统软件设计

盾构刀具磨损在线检测系统上位机软件利用 Visual Studio 2005 的 C# 编程语言^[6-7]进行 Windows 应用程序开发,并利用 SQL Server 2005 数据库作为后台数据库。盾构滚刀磨损检测系统软件主要由两部分组成:系统设置部分、刀具磨损检测部分。图 4 为盾构滚刀磨损在线检测系统功能模块图。

系统设置的功能设定用来设定是否启用数据库记录和设置工控机连接的 COM 端口;运行参数则用来设置电涡流传感器与滚刀外边缘的距离、滚刀外径和每屏显示的采集点数;测量标定曲线用来校正电涡流传感器的电流与距离的转换关系。刀具磨损测量的磨损监控界面用来实时地反应滚刀的磨损信息;磨损记录用来查询某段时间内刀具磨损的情况。盾构滚刀磨损在线检测系统可以实时检测滚刀外边缘的磨损情况并可以进行磨损数据存储和查询磨损记录。下面对系统的主要功能进行介绍。

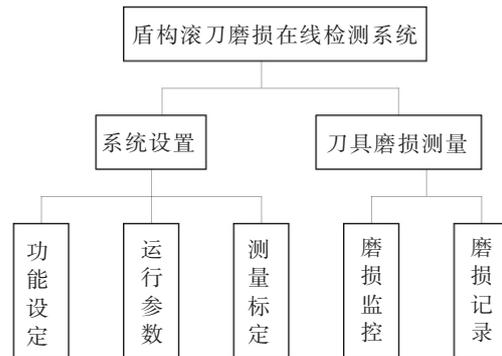


图 4 盾构滚刀磨损在线检测系统功能模块图

3.1 电涡流传感器标定

系统选用直径 25 mm 的电涡流传感器测量其与边缘处刀圈宽度为 25 mm 的滚刀的径向距离,改变传感器与刀圈的距离,同时记录下当前电流值,测得距离电流曲线。电涡流传感器的测量标定界面如图 5 所示。

在实际测量时,采用分段插值的方法进行计算。根据测量的电流值 I ,在已保存的距离电流曲线中查找其所在前后两个测量电流值 I_1 、 I_2 ,根据其对应的距离 L_1 、 L_2 ,然后利用线性差值计算当前的距离值 L ,其计算公式

$$L = L_1 + \frac{I - I_1}{I_2 - I_1}(L_2 - L_1) \quad (1)$$

3.2 滚刀磨损状态识别

通过在线检测,可以实时获取滚刀的磨损量,判断滚刀的磨损状态的流程图如图 6 所示。

首先获取当前滚刀的磨损量并进行记录,然后在采集记录中进行查询,判断在此点之前有无其它磨

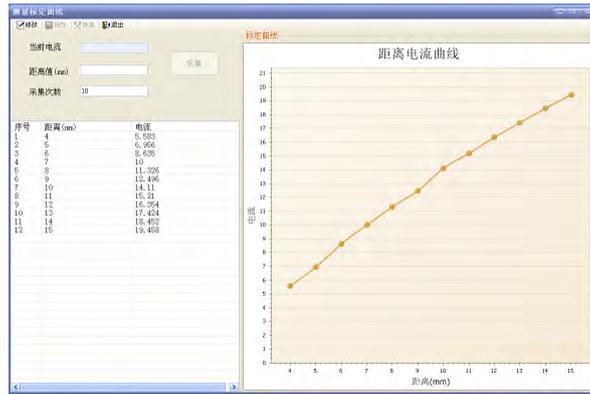


图 5 电涡流传感器的测量标定界面

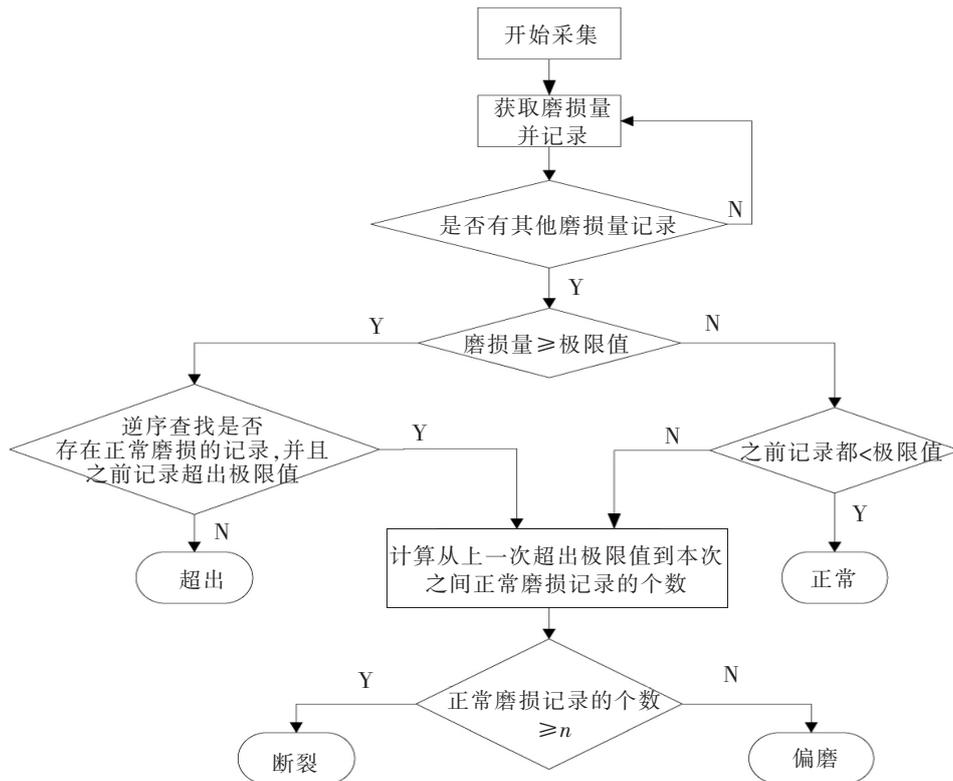


图 6 刀具磨损状态识别流程图

损记录,如果没有磨损记录则继续获取滚刀磨损量,直到有两条磨损记录。然后将当前获取的磨损量与磨损量极限值进行比较,如果磨损量小于极限值,并且之前的记录都小于极限值,那么判定当前的磨损状态为正常磨损状态。如果此点的磨损量大于等于极限值,则逆序查找是否存在正常磨损的记录并且之前记录超出极限值,如果不存在,说明磨损量一直从正常磨损到超出磨损范围,判定此时刀具的磨损状态为超出磨损范围;如果存在,或者本次是正常磨损但之前存在超出磨损极限值的记录,则计算从上一次超出极限值到本次之间正常磨损记录的个数,如果其个数大于等于 n (根据滚刀偏磨与断裂的磨损记录,找出处于偏磨与断裂临界状态正常磨损的采集点个数,将其设置为 n),说明变化坡度比较大,说明刀圈有断裂口,判定刀具的磨损状态为刀圈断裂状态;如果个数小于 n ,说明变化比较平缓,说明刀圈有一部分磨损严重,其它部分正常,判定此时刀具的磨损状态为刀圈偏磨状态。

本系统可支持八把滚刀的磨损量在线检测,用一把滚刀进行测试。系统可识别的刀具磨损状态有四类:正常磨损、超出磨损范围、刀圈偏磨和刀圈断裂。当滚刀的磨损量没超过磨损极限量时,指示灯处于绿色状态,滚刀处于正常磨损状态。当滚刀的磨损量超出磨损极限时,指示灯处于红色状态,滚刀处于超

出磨损范围状态。当滚刀的磨损量出现突变时,指示灯处于红色状态,滚刀处于刀圈断裂状态。当滚刀的磨损量出现缓慢坡度时,指示灯处于红色状态,滚刀处于刀圈偏磨状态。设极限值为 10 mm,刀圈超出磨损范围时,其检测界面如图 7 所示。



图 7 刀圈超出磨损范围状态

4 结论

本文设计了一套盾构滚刀磨损在线检测系统,对其硬件工作原理进行了分析。本系统在实验室中进行了测试,运行效果良好。下位机采用电涡流传感器对盾构滚刀的磨损进行检测,将电涡流传感器采集到的模拟量转化成数字信号并与上位机进行通信。上位机利用 C# 编程语言开发了盾构滚刀磨损检测软件,可以实现对盾构刀具磨损状态的跟踪与识别。通过对盾构滚刀磨损的实时测量,可以及时准确地掌握滚刀的磨损状态,从而为盾构换刀提供技术支持。

参 考 文 献

- [1]张凤祥,朱合华,傅德明. 盾构隧道[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [2]张厚美. 复合地层中盾构刀具磨损的检测方法研究[C]//上海隧道工程股份有限公司. 大直径隧道工程与城市轨道交通工程技术;2005 上海国际隧道工程研讨会文集. 上海:同济大学出版社,2005.
- [3]马广州. 盾构掘进中刀具磨损的跟踪检测[J]. 隧道建设,2006,26(S2):65-68.
- [4]管会生,高波. 盾构切削刀具寿命的计算[J]. 工程机械,2006,(1):25-28.
- [5]刘柱,李巍,金建新. 电涡流传感器的特性分析与标定方法[J]. 机械与电子,2013(2):14-15.
- [6]张跃延,许文武,王小科. C# 数据库系统开发完全手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.
- [7]沃顿(Karli watton). C# 2005 数据库编程经典教程[M]. 陈秋萍,译. 北京:人民邮电出版社,2007.

Design of On-line Detection System for Shield Disc Cutter Wear

Niu Jiangchuan, Zhao Hongxia, Li Sujuan, Guo Jingbo

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Cutter tool wear detection is always a difficult problem in shield tunnel construction. During tunneling process, the wear cannot be measured directly, which has brought great difficulties to the timely cutter tool replacement. Aimed at the problems of cutter tool wear detection during shield machine construction, an on-line system of cutter tool wear detection is designed. The subordinate computer measures the cutter wear by electricity eddy current sensor, and transforms the collected electricity signal into digital signal, and then it communicates with the upper computer by the serial communication. The upper computer program of cutting tool wear detection is developed by C#. And the collected signals are processed and showed by the software system. By measuring the cutter wear at current time, we can know the state of cutter wear timely and accurately. The system can offer the technology support for replacing cutter tool by condition.

Key words: shield machine; disc cutter; wear state; on-line detection