

文章编号:1671-251X(2024)S1-0115-04

带式输送机撕裂检测技术探讨

沈飞, 徐刚

(国能神东煤炭集团有限责任公司 上湾煤矿, 内蒙古 鄂尔多斯 017209)

摘要:在煤矿生产中,输送带输送的煤流中经常混合各种大小的金属器件,如锚杆、采煤机截齿、脱落的螺栓或遗留的工具,易引起输送带撕裂。总结了目前常用的输送带撕裂检测方法的优缺点,包括触发式检测、测力托辊检测、漏料检测、X射线检测、弱磁检测、视觉检测等,指出电磁感应检测方法在输送带撕裂检测中优势明显,其中巨磁阻检测效果较好。巨磁阻传感器通过添加感应电阻和参考电阻,在磁场改变时电桥失去平衡,电压随之发生变化,通过分析电压变化判断输送带煤流中是否有金属器件。在实际应用中,利用无磁支架将传感器固定在输送带上方,以没有异常金属时的磁场环境数据为背景,通过磁传感器探测下方输送带上金属产生的磁异常信号,检测煤流中的金属器件并判断其相对大小,很好地解决了金属器件引起输送带撕裂的问题。

关键词:带式输送机; 撕裂检测; 金属检测; 巨磁阻传感器; 金属探测单元

中图分类号:TD528 文献标志码:A

Discussion on tear detection technology of belt conveyor

SHEN Fei, XU Gang

(Shangwan Coal Mine, CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Ordos 017209, China)

0 引言

输送带是带式输送机的承载结构和牵引连接机构,其成本约占带式输送机总成本的50%~60%。输送带撕裂轻则造成几十甚至几百米输送带损坏,重则造成整个带式输送机毁坏,直接影响矿井生产,给企业造成巨大的损失。如何避免输送带撕裂是一个迫切需要解决的难题。

在煤矿生产中,输送带上的煤流经常会混入托盘、锚索、锚杆、掉落的螺栓、采煤机截齿、现场遗留工具等各类金属器件。输送带上安装的除铁器并不能完全去除输送带上的金属器件。这些金属器件可能造成输送带纵向撕裂,给主煤流运输系统安全生产造成隐患^[1-4]。

金属探测器随着传感器的进步和算法的改进取得了巨大进步。赵会兰^[5]提出利用电感线圈和LDC1000作为金属探测的传感器部分,根据电磁感应现象和涡流效应,动态监测金属并判断金属尺寸,实现金属探测。张卿等^[6]分析了金属检测分离装置的设计原理,提出了改进思路。刘慧娟等^[7]提出利用检测线圈中电压和频率的变化来探测金属,可确

定被测金属的大小、形状等信息。目前金属探测器大多实现了网络化和精确探测功能(探测是否存在金属物体),正逐步向精准刻画被测金属物体外观轮廓方向发展^[8-11]。

为避免因金属器件造成输送带撕裂,在带式输送机上需要配置金属探测器,配合机械臂同时工作,实现实时检测输送带上的金属器件,机械臂自动卸除,无需专人操作。

1 煤矿输送带撕裂成因

带式输送机是物料运输的主要设备,具有不受地形影响、运行可靠、可自动化控制等优点,在煤矿、冶金和物流领域得到广泛使用。带式输送机在长期使用过程中会发生纵向撕裂事故,造成运输系统瘫痪,且停机修复时间长,综合经济损失巨大。输送带撕裂成因及后果如下。

1) 锚杆异物。

成因:采煤过程中打断的锚杆会掺杂在煤中随煤流一起被运输出来,经过除铁机时并不能完全清除锚杆。在维修过程中,也会出现维修工人为了方便向输送带上扔放杂物等情况。上述情况使带式输

收稿日期:2024-01-25;责任编辑:李明。

作者简介:沈飞(1984—),男,内蒙古巴彦淖尔人,助理工程师,主要从事煤矿信息化、自动化管理工作,E-mail:442326146@qq.com。

送机的煤流里混着少量的锚杆和异物。

后果:少量的锚杆在运输过程中会对输送带表面造成损伤,小的损伤慢慢变严重,对输送带产生较大的安全隐患。在一条输送带经过筒仓倒给另一条输送带时,锚杆会对设备与输送带产生安全隐患。

2) 输送带跑偏。

成因:落煤不正和物料冲击、输送带和托辊长期磨损、输送带接头不正、输送带接头不平、托辊架螺旋松动都会引起跑偏。

后果:长期跑偏将引发输送带磨损和撕裂,产生大面积撒料、堆煤等情况,影响整个运输系统正常运行。

3) 堆煤。

成因:当各个落煤点的整体落煤量大于输送带承载量时,将造成堆煤。落煤过程中有大块煤或异物卡在筒仓,造成拥堵,形成堆煤。

后果:堆煤将导致煤抛洒,落入下输送带进入滚筒中,造成输送带撕裂现象。

2 输送带撕裂检测方法

输送带撕裂检测方法包括接触式和非接触式 2 类^[12]。

2.1 接触式检测方法

1) 触发式检测法。该方法将传感器依照输送带形状做成弯曲形,安装在输送带下方。当发生纵向撕裂时,金属器件穿透输送带并接触传感器,传感器受到触发力,发出撕裂信号。该方法的优点是传感器易于安装、成本低;缺点是只有金属器件刺入足够深才能触发传感器,不能检测输送带表面划伤。

2) 测力托辊检测法。该方法是在输送带沿线安装测力托辊,当输送带发生纵向撕裂时,托辊会受到来自撕裂器件的持续压力,且这种压力不同于煤的压力。该方法安装方便,不用增加其他装置;缺点是设备成本较高,托辊磨损量较大,需经常更换。

3) 漏料检测法。该方法是目前煤矿使用最多的输送带撕裂检测方法。其将一块面板型压力传感器安装在输送带下方 2 个托辊的中间位置,保证不会被托辊挡住。当输送带发生撕裂时,煤从缝隙漏到面板上,当煤量达到一定值时触发重力传感器。该方法优点是安装方便,结构简单,不易损坏;缺点是只能放置在固定位置,且只有输送带撕裂较严重时才能检测出来。

2.2 非接触式检测方法

1) X 射线检测法。该方法主要用于检测钢丝绳芯输送带,包括 X 射线发射箱、设备主机箱和 X 射线接收箱,远端控制、监测部分主要由工控机和光

端机组成。该方法可实时显示输送带内钢丝绳芯的 X 光透视图像,通过分析钢丝绳芯的图像判断输送带撕裂情况,但设备较昂贵^[13]。

2) 超声波检测法。该方法主要是检测从输送带返回的超声波波形,当发生撕裂时,输送带返回波形将发生改变。该方法可观察出输送带上的任何微小改变,精确度较高,但井下煤灰较大,容易对超声波的波形产生干扰^[14]。

3) 弱磁检测法。该方法是一种创新性无损检测技术,采用非接触式、宽距离的弱磁感应装置,通过提取铁磁性材料上磁场的分布信息,对钢丝绳内外各种缺陷进行定量、定性和定位检测。在退化的体积元中,磁力线只能沿着不规则的低能耗路径进行排布。这导致了磁通密度变化,使得磁能分布不均匀,每个体积元的磁势能出现差异。退化的程度越严重,磁势能的差异就越明显。通过标定钢绳芯正常体积元的磁势能特征信息,并将其与其他提取的体积元信息进行比较,可以有效识别因退化而产生的磁势能差异。进一步分析这种物理场变量与机械承载性能之间的量化关系,就能实现钢绳芯的量化检测目标。该方法能够在生产的同时完成输送带纵向撕裂、横向断带在线实时自动检测,及时查明输送带非接头区钢芯断裂、接头处钢芯抽动和锈蚀等损伤^[15-17]。

4) 机器视觉检测法。该方法是在人工智能发展起来后兴起的一种无损检测方法。通过摄像机采集现场输送带的带面信息,将信息传送到井上服务器,服务器内置检测算法,对数据进行实时分析。其优点是摄像机采集的信息可直观显示现场画面,对于带面的微小破损都可检测;缺点是煤矿井下环境昏暗,煤灰较大,使得采集的图像质量不高,影响分析的准确性^[18]。

3 电磁感应检测技术

3.1 传统的平衡线圈检测技术

传统平衡线圈具有简洁的电路设计,对元器件参数要求较低,且具备良好的环境适应性。其运行原理主要是将电阻和电感的变化转换为电压变化,通过检测电压实现检测目的。然而,被检测金属的电磁性质差异较大,且电压变化中电感和电阻的变化因素相互交织,使得提高检测精度和拓宽应用范围面临一定的挑战。

平衡线圈检测技术的应用瓶颈如下:

1) 该方法需要进行精确计算,分析各种金属材料通过平衡线圈时对磁场的影响,还要明确不同形状的金属材料的信号幅度和相位,实现过程复杂,实

际操作较困难。

2) 对于被测金属器件的外形难以刻画,不能直观显示。

3.2 传统的谐振检测技术

基于 LC 正弦波振荡原理,采用单个探头,当金属物体通过检测仪器时,由于外磁场的激发,待测金属内将产生涡流,引起 LC 电路的振幅和频率发生变化。通过检测这些变化来确定是否存在金属物质。探头结构复杂,成本较高,维护及调试不方便^[19]。

谐振检测技术的应用瓶颈如下:

1) 通常金属探测器使用正弦波振荡电路作为传感器探头,周围环境干扰使得工作点漂移,引发振荡失真或停止振动,导致系统测试误差大、运行不稳定等问题,产生漏报和误报。

2) 要提高探测精度,需要增大外磁场强度和线圈的有效面积,导致单位面积内精细化探测金属物体形状困难,软件处理量呈指数增加。

3.3 巨磁电阻传感器检测技术

自 20 世纪 80 年代发现巨磁电阻 (Giant Magneto Resistance, GMR) 效应后,国内外研究人员纷纷投身于 GMR 基础理论研究和实际应用开发。GMR 电流传感器的核心原理是基于 GMR 效应,在由磁性晶体铁和铬组成的 3 层薄膜中,铬在中间,铁在内层和外层,发现铁层的电阻发生较大量的变化,是一种电阻与外磁场的大小和角度相关的现象^[20]。

当被测电流产生的磁力线沿敏感轴穿过 GMR 材料时,其阻值会发生变化。为了测量这种变化,向 GMR 材料施加偏置电流,并通过测量其两端电压的变化来计算电阻变化。根据电阻变化,可进一步推算出磁场大小,从而得出被测电流。

GMR 传感器尺寸小,功耗低,性能稳定,抗污染,数据直观,灵敏度高,温度特性好,易于集成。当煤矿输送带上出现磁性物体(铁磁性和非铁磁性),在外场 ρ 的作用下会激发磁性 ρ' ,但 GMR 传感器对外场 ρ 的敏感性不高,但对变化量 $\Delta\rho$ 非常敏感。

$$\Delta\rho = \rho - \rho'$$

(1)

$\Delta\rho$ 可反映巨大的信息,且数据直观。在这种情况下金属探测无需向增加磁场强度方向发展,因此可减小体积、降低能耗。信号采集单元可做到小型化,实现阵列化布置。

技术难点:前期工作主要集中在基本理论研究,对于煤炭行业的应用研究投入较少,对于外场频率和磁饱和的参数与铁磁性金属和非铁磁性金属的匹配关系没有试验数据。

4 GMR 检测

4.1 信号采集单元

GMR 传感器主要利用有 GMR 效应的磁性纳米金属多层薄膜材料,其为一类与集成电路相兼容的元器件。同时,它采用半导体集成工艺制造而成^[21]。GMR 传感器采用惠斯登电桥菱形结构,由 4 个 GMR 组成,如图 1 所示。

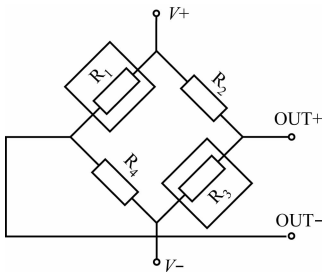


图 1 GMR 传感器结构

图 1 中 R_2 和 R_4 为感应电阻, R_1 和 R_3 为参考电阻。为了保证数据的准确性,将参考电阻密封起来,使其与外部磁场完全隔离,不会因外部磁场的变化引起阻值变化。当受到一个外部磁场作用时,感应电阻值将随着外部磁场的变化而变化,但参考电阻值不发生变化,电桥将失去平衡,电压随之发生变化^[22]。

在 GMR 的惠斯登电桥结构中,假设桥上每个电阻在外加磁场无变化时的阻值均为 R_0 ,即传感器的输出电压为 0,当磁场发生变化时,未被屏蔽的 GMR 阻值变化为 ΔR ,输入电压为 V_{CC} ,则其输出电压为

$$V_{out} = \frac{\Delta R}{R_0} V_{CC}$$

(2)

在 GMR 检测技术中,GMR 传感器工作在线性感应区内,电阻的变化关系满足 $\Delta R = KB$,其中 K 为系数, B 为磁感应强度,则式(2)可写为

$$V_{out} = \frac{KB}{R_0} V_{CC}$$

(3)

4.2 外场激发线圈

虽然 GMR 传感器芯片可以测量金属器件,但 GMR 传感器芯片在实际使用时探测金属磁性较弱,需要使用脉冲信号激励外场线圈增加磁性,如图 2 所示。根据法拉利电磁感应定律,当线圈两端施加一定频率的方波电压时,线圈内部会产生周期性变化的电流,从而形成新的交变磁场。当煤流中的金属器件处于该变化的磁场中时,会在金属器件内部产生涡流,这个涡流又会生成新的磁场,进而改变线圈周围的磁场强度,通过分析磁场的变化来识别煤流中的金属器件。

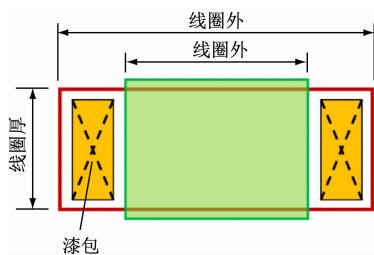


图 2 外场激发线圈

4.3 GMR 检测装置

研制了一体化的 GMR 外场发射单元。发射单元工作原理:外场激发线圈与 GMR 信号采集单元集成为一体化单元,如图 3 所示,从上向下对输送带煤流中的金属器件进行探测和接收,结合输送带的运动形成一个扫描阵列,探测磁场变化信息,从而找出金属器件,并对金属物体进行初步的形状判定。

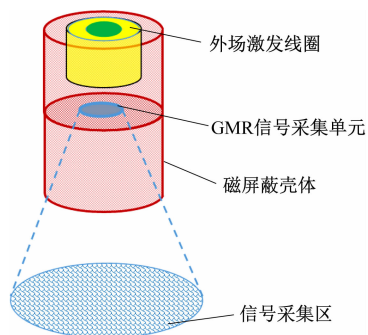


图 3 GMR 外磁场发射单元

5 结语

通过分析带式输送机撕裂的成因和各种检测方法,得出非接触式 GMR 检测是一种较好的检测方式。该检测机构整体简单,能够及时发现煤流中掺杂的金属器件,尤其是针对锚杆等长条形的金属器件。金属探测单元利用无磁支架将磁传感器固定在输送带上方,以没有异常金属时的磁场环境数据作为背景,通过磁传感器探测下方输送带上金属器件产生的磁异常信号,还可接入就地的带式输送机保护装置,实现沿线报警和停机,并判断其相对大小及停机后的相对位置。与传统金属探测器相比,该检测装置只对电磁环境发生突变发出警报,辨识更精准。装置配套机械臂后,可实现检测、除杂的自动集成,对推进无人化、自动化、智能化的胶带运输起积极作用。

参考文献:

[1] 李彦隆. 井下皮带运输机皮带撕裂原因分析及对策[J]. 机械管理开发, 2015, 30(5): 98-99, 104.
[2] 谭文才, 刘俊, 田振华, 等. 矿山除铁器应用现状及探

讨[J]. 现代矿业, 2019, 35(8): 151-153, 156.
[3] 王建军. 煤矿井下原煤运输皮带智能除铁系统分析[J]. 机械管理开发, 2019, 34(6): 63-64, 67.
[4] 杨真, 贺晓峰, 廖志伟, 等. 煤矿智能化主运输系统无人值守关键技术研究与实践[J]. 工矿自动化, 2022, 48(增刊 1): 61-66.
[5] 赵会兰. 金属探测仪在选煤厂的应用[J]. 洁净煤技术, 2019, 25(增刊 1): 66-69.
[6] 张卿, 周志明. 一种基于胶带输送机的金属检测分离装置设计与改进[J]. 机电信息, 2019(23): 62-63.
[7] 刘慧娟, 李志刚. 一种基于电压和频率的金属探测方法[J]. 仪器仪表学报, 2006(7): 769-772.
[8] 陈健熊. 基于 LDC 1000 电涡流传感器的金属探测自主定位装置设计与实现[J]. 自动化应用, 2021(2): 164-167.
[9] 李国洪, 张文彬. 电磁金属探测器的设计[J]. 化工自动化及仪表, 2012, 39(8): 1008-1010, 1033.
[10] 高航. 巨磁效应高精度宽频电流传感技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
[11] 闫利拉. 煤矿胶带输送机胶带撕裂原因探析及防治[J]. 能源与节能, 2018(7): 104-105.
[12] 杨祥, 田慕琴, 李璐, 等. 带式输送机输送带故障检测技术研究[J]. 煤矿机械, 2019, 40(2): 133-136.
[13] 张瑞平, 李文武, 张占东. 基于 X 射线的钢丝绳芯输送带检测装置的设计[J]. 电子技术与软件工程, 2018(22): 90.
[14] 王伟. 输送带撕裂检测技术浅析[J]. 科技创新导报, 2019, 16(16): 59-60.
[15] 毛清华, 毛金根, 马宏伟, 等. 矿用带式输送机智能监测系统研究[J]. 工矿自动化, 2020, 46(6): 48-52, 58.
[16] 王武威. 提升钢丝绳在线监测装置的研究与应用[J]. 煤矿机械, 2019, 40(1): 125-126.
[17] 邹晓华, 朱加双, 徐国春. 钢丝绳在线自动检测系统在岸桥上的应用[J]. 港口科技, 2018(12): 5-8, 12.
[18] 毛清华, 郭文瑾, 翟姣, 等. 煤矿带式输送机异常状态视频 AI 识别技术研究[J]. 工矿自动化, 2023, 49(9): 36-46.
[19] 马帅, 武志刚, 彭静, 等. 多逆变器并网系统的谐振检测方法[J]. 电力电子技术, 2022, 56(2): 88-90, 114.
[20] 王立乾, 胡忠强, 关蒙蒙, 等. 基于巨磁阻效应的磁场传感器研究进展[J]. 仪表技术与传感器, 2021(12): 1-12, 17.
[21] 陈亮, 阙沛文, 黄作英, 等. 一种新型磁阻式传感器在漏磁检测中的应用[J]. 传感器技术, 2004(10): 75-76, 79.
[22] 贺桂芳. 巨磁阻在开关电源电流检测及保护中的应用[J]. 工矿自动化, 2006(4): 33-35.