



文章编号:1671-251X(2019)04-0083-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018120039

低功耗刮板输送机张力无线监测系统设计

翟岩, 武兵, 牛荫楷, 梁义维, 熊晓燕

(太原理工大学 机械与运载工程学院, 山西 太原 030024)



扫码移动阅读

摘要:针对现有刮板输送机刮板链张力监测系统存在易损坏、数据无法实时传输、精度较差和功耗过大等问题,设计了一套低功耗刮板输送机张力无线监测系统及适用于该系统的无线通信布置方案。该系统封装于刮板和中板内部,不会受到矿石的冲击和矿水的侵蚀,封装的同时加工出可供电磁波通过的信号溢出口,使张力数据通过无线方式传输。封装在下压板内的张力采集装置通过粘贴在刮板链上的应变片获取张力信息,张力信息通过无线方式发送给封装在中板内的数据接收装置,数据接收装置再将数据上传至上位机或LCD显示器,实现张力的实时监测。实验结果表明,该系统通过与改造过的刮板输送机部件配合,可避免矿石、矿水的冲击、侵蚀和井下电磁的干扰,完成在恶劣环境下刮板链张力的实时监测任务,有效解决了现有刮板链张力监测系统在恶劣环境下易失效、张力数据不能实时上传等问题;引入接近开关和休眠机制的张力采集装置的能耗可降至最低,休眠状态下的功耗约为工作状态的1/40,大大延长了系统使用寿命。

关键词:刮板输送机;刮板链;张力监测;无线通信;接近检测

中图分类号:TD528

文献标志码:A

Design of wireless tension monitoring system with low-power consumption of scraper conveyors

ZHAI Yan, WU Bing, NIU Linkai, LIANG Yiwei, XIONG Xiaoyan

(College of Mechanical and Vehicle Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In view of problems that existing tension monitoring system of scraper chain of scraper conveyor is easy to damage, cannot transmit data in real-time, accuracy is poor and power consumption is excessive, a wireless tension monitoring system with low-power consumption of scraper conveyors and wireless communication layout scheme suitable for the system were designed. The system is encapsulated in the scraper and the middle plate, which will not be impacted by ore and eroded by mine water. At the same time, a signal overflow outlet can be processed for electromagnetic wave to pass through, so that the tension data can be transmitted wirelessly. The tension acquisition device encapsulated in the bottom pressing plate obtains tension information through the strain gauge pasted on the scraper chain, tension information is transmitted wirelessly to the data receiving device encapsulated in the middle plate, which then uploads the data to the upper computer or LCD display to realize real-time tension monitoring. The experiment results show that through cooperation with modified parts of the scraper conveyor, the system

收稿日期:2018-12-24;修回日期:2019-03-12;责任编辑:张强。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51775364)。

作者简介:翟岩(1994—),男,山西翼城人,硕士研究生,研究方向为无线传感器,E-mail:zhaiyanzyy@163.com。

引用格式:翟岩,武兵,牛荫楷,等.低功耗刮板输送机张力无线监测系统设计[J].工矿自动化,2019,45(4):83-88.

ZHAI Yan, WU Bing, NIU Linkai, et al. Design of wireless tension monitoring system with low-power consumption of scraper conveyors[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(4): 83-88.

can avoid impact of mineral, erosion of mineral water and electromagnetic interference, and can complete real-time tension monitoring in harsh environments, and can effectively solve the problem that existing scraper chain tension monitoring system is easy to failure and can't upload real-time tension data in harsh environments. The energy consumption of the tension acquisition device which introduces proximity switch and dormancy mechanism is reduced to the minimum, and the power consumption in dormancy state is about 1/40 of that in working state, which greatly extends service life of the system.

Key words: scraper conveyor; scraper chain; tension monitoring; wireless communication; proximity detection

0 引言

刮板输送机是综采工作面机械化采煤的关键装备之一,承担着运煤、为采煤机提供运行轨道及为液压支架提供推移支点的重要任务^[1]。刮板链是刮板输送机的关键部件,通常有较高的失效率。当失效发生时,维护费时费力,会严重影响生产率^[2-3]。刮板链的典型失效形式包括卡链、断链等。经深入分析发现,当刮板链发生失效时,其张力会产生明显变化。因此,监测刮板链张力可以降低刮板链故障发生率^[4]。

刮板输送机机身较低,刮板在刮板链的牵引下在中板上摩擦前行,以推动物料。煤层时常渗出大量矿水^[5],极端情况下会将回程刮板淹没。因此,对于需要安装在刮板输送机上的张力监测系统来说,其工作环境是极其恶劣的,要面临矿水侵蚀、电磁屏蔽和干扰、剧烈振动、矿石冲击、煤尘侵蚀等情况,恶劣的工作环境使张力监测极为困难。在对张力监测系统良好保护的同时需要考虑到矿水、矿石、煤尘对监测系统功能的影响。

国内外学者对刮板链的张力进行了大量的理论分析和间接推导计算,提出了基于张力与功率或油缸压力关系的链条张紧力监控技术、基于悬垂量的链条张紧力监控技术和基于微应变的链条张紧力测量技术等。但基于张力与功率或油缸压力关系的链条张紧力监控技术所测的张力精度较低;基于悬垂量的链条张紧力监控技术在实际应用中,由于载荷的分布和大小不同,会影响整条链条的受力分布情况,实际测得的悬垂量不能立即反映出链条的实际张力;基于微应变的链条张紧力测量原理是通过检测应变片的形变来获得链条的张力,此为比较精确的张力监测方法,应用比较广泛,但其传感器易被矿石、矿水损坏,数据传输亦困难^[6]。任威等^[7]设计了一种重型刮板输送机张力检测系统,通过无线收发模块将应变片采集到的刮板链张力信息传递至上位机,但系统未考虑张力采集装置的能源供应和无线通信质量问题。齐秀飞等^[8]研究了一种刮板输送机链条张力检测系统,可采集到刮板输送机运行过程

中链条随机的张力谱,并可将张力谱信息暂存于存储器中,但该张力谱信息只能等刮板输送机停止工作以后才能从存储器中读取,不能实现在线监测。张强等^[9]提出了一种基于压电振动俘能的自供电刮板输送机张力检测系统,但其张力检测装置和无线信号发射装置的功耗依然很大,服务寿命较短。骆铁楠^[10]设计了一种基于 RFID 的刮板输送机圆环链无线张力传感器,但其未考虑矿水对电磁波的衰减作用。

本文在分析现有张力监测系统不足的基础上,设计了一套低功耗刮板输送机张力无线监测系统。该系统封装于刮板和中板内部,不会受到矿石的冲击和矿水的侵蚀。封装的同时加工出可供电磁波通过的信号溢出口,使张力数据可通过无线方式传输。张力采集装置通过应变片采集刮板链张力信息,张力信息发送给数据接收装置后,再由数据接收装置上传至上位机或 LCD 显示器。系统还引入了接近开关和休眠机制,将张力采集装置的能耗降至最低,大大延长了系统的使用寿命。实验结果验证了该系统的实用性和可行性。

1 系统组成

低功耗刮板输送机张力无线监测系统整体构架如图 1 所示,按照功能可划分为 3 个部分。

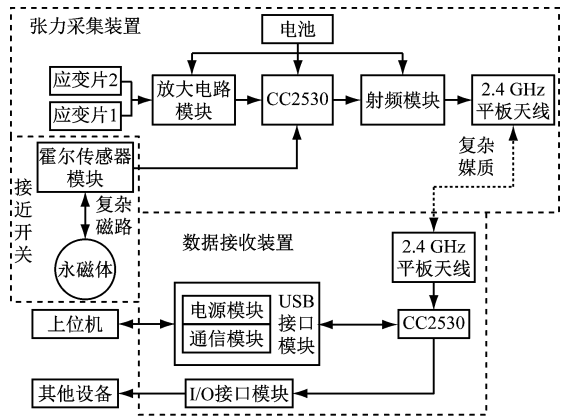


图 1 低功耗刮板输送机张力无线监测系统整体构架
Fig. 1 Overall framework of wireless tension monitoring system with low-power consumption of scraper conveyor

(1) 张力采集装置:依靠电池供电,通过应变片采集双刮板链的应力,应变片输出信号经放大电路放大后被射频芯片 CC2530 采集并通过天线发射到空间中。

(2) 数据接收装置:通过天线捕获空间中的信号,CC2530 将信号解调后上传给上位机,或通过 I/O 接口将张力信息实时显示在 LCD 显示器上。

(3) 接近开关:霍尔传感器模块检测到永磁体产生的磁场后产生特定信号,此信号可唤醒张力采集装置,随后张力采集装置采集并发送张力信号,发送成功后再次进入休眠模式,直到下次唤醒,以降低装置功耗。

2 系统安装

由于刮板链是运动的,又要保证能实时获取张力信息,所以,所设计的张力采集装置封装在刮板内,随刮板一起运动的同时采集张力,并通过无线方式发送数据。在严酷环境下,刮板链可能被矿水淹没,矿水导致电磁波严重衰减,因此,数据接收装置不能离刮板过远。

为了便于安装张力监测系统,确保其功能正常,需要对刮板输送机部分组件进行改造。改造后的刮板输送机部分组件结构如图 2 所示,在刮板横链圆柱段中部加工平槽,用于粘贴应变片;在下压板中部加工空腔,用于安装张力采集装置、霍尔传感器模块等设备;在下压板空腔与应变片之间加工通孔,用于连接应变片和张力采集电路的导线;在中板中部加工空腔,用于安装数据接收装置和永磁体。

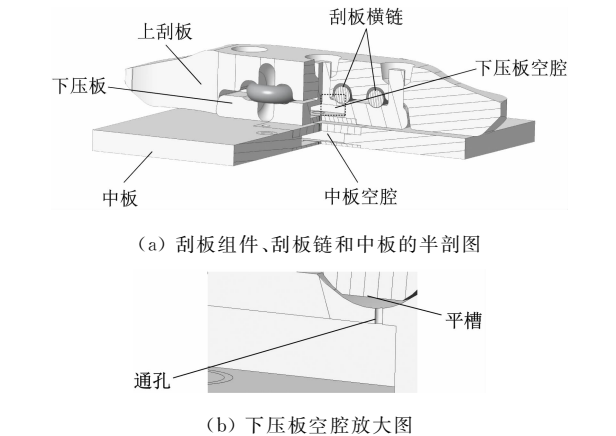


图 2 适合安装张力无线监测系统的刮板输送机结构
Fig. 2 Structure of scraper conveyor suitable for installing wireless tension monitoring system

这样的结构既能有效保护张力监测系统不受物料、矿水的侵害,又能保证系统正常运行。但因钢的电磁屏蔽作用,需加工信号溢出口,以保证无线通信正常工作。

3 系统无线通信布置方案

在煤矿实际开采过程中,工作面会涌现出大量的矿水,矿水的成分比较复杂,一般会含有大量的盐离子^[11]。在实际工作面,刮板输送机的铺设位置较低,刮板输送机的刮板链可能完全被矿水浸没。用于信息传输的电磁波的能量在矿水中会被严重衰减,这会导致无线通信距离较短^[12]。为解决这一难题,本文提出了一种新型无线通信布置方案。

3.1 无线通信工作原理

系统无线通信布置方案如图 3 所示。由于刮板下压板的材质为钢,对电磁波具有屏蔽作用,所以,需要在下压板空腔的保护罩上预留信号溢出口,并用对电磁波衰减较弱的陶瓷材料进行填充,以便电磁波通过。

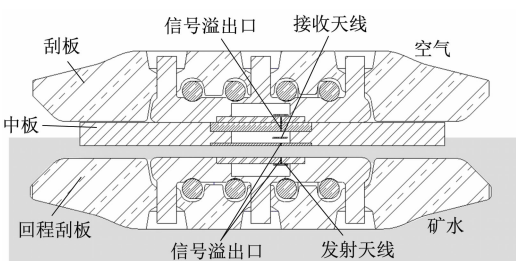


图 3 无线通信布置方案

在传输过程中,电磁波的能量主要损失为介质的热损耗和透射损失。

3.1.1 电磁波在不同介质中的衰减

根据平面电磁场理论,当电磁波在导电媒质中传播时,在媒质中将有电流存在,引起媒质出现热损耗,因而电磁波产生很大衰减^[13]。对于常见的非磁性有损介质,其电导率越大,电磁波在该介质中传播时越容易产生电流,电磁波的衰减也越大。此外,电磁波的衰减还与磁导率和电磁波频率有关。

该系统中所用电磁波频段为 2.4 GHz,发射天线发出的电磁波要被接收天线接收到,需经过的介质有空气、陶瓷、矿水,这 3 种介质的相对磁导率均约等于 1,电导率分别为 0,0.4 S/m。可知,这 3 种物质中,矿水对电磁波的衰减作用最大,空气和陶瓷对电磁波的衰减作用相近。

3.1.2 电磁波的透射

如图 3 所示,电磁波从刮板上的信号溢出口出发,经过水的衰减到达中板上的信号溢出口,只有透射进入中板内部的电磁波才能被数据接收装置接收。在这个过程中,电磁波发生反射和透射,且入射角越小,穿透损耗就越大,垂直入射,损耗最小^[14-15]。

从上述讨论可知,电磁波能量的损失导致无线通信距离较短。为了探究无线通信的可靠性,通信距离的计算是必不可少的。下面通过仿真计算通信距离。

3.2 无线通信距离仿真设计

3.2.1 仿真模型

若将如图 3 所示的无线通信布置方案按原尺寸直接导入电磁场仿真软件 HFSS 进行计算,其复杂的结构会使仿真成本过大,计算时间过长。为了提高计算效率,对仿真模型进行简化。高频电磁波不能深入良导体内部,因此,图 3 中大部分钢体内部的电磁波可忽略不计,将仿真模型简化为图 4,刮板和中板都简化为中部带有空腔的钢材质立方体,其壁厚厚度远远大于电磁波的透入深度。

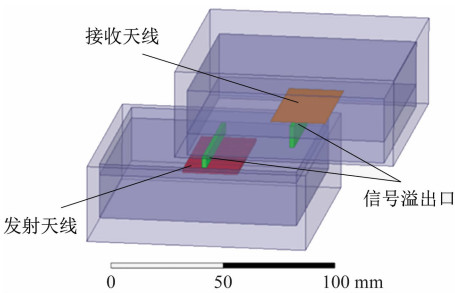


图 4 无线通信仿真模型

Fig. 4 Simulation model of wireless communication

发射天线、接收天线分别位于刮板和中板的空腔内,并用钢材质的保护罩密封,空腔设置为空气介质。保护罩上的信号溢出口设置为陶瓷材质。2 个保护罩之间设置为矿水介质,设定其相对介电常数为 81,电导率为 4 S/m。

3.2.2 仿真参数设置

发射天线的功率设置为 4.5 dB · m,这是本文所用射频芯片 CC2530 的最大发射功率。通过计算接收天线所处位置的电磁波的功率 P_{acc} ,并与 CC2530 的最大接收灵敏度 ($-97\text{ dB} \cdot \text{m}$) 进行对比,就可知道接收天线能否正常收到信号。

图 4 中,刮板相对中板的运动为水平运动,2 个信号溢出口之间的水平距离 d 随时间变化而变化。刮板与中板之间的垂直距离 h 也会随着刮板输送机的磨损而相对缓慢变化。根据《煤矿安全规程》,刮板输送机磨损量设定为不超过 6 mm。仿真时, d 从 -40 mm 开始以 5 mm 的步长逐渐增大至 $+40\text{ mm}$, h 从 1 mm 开始以 1 mm 的步长增大至 6 mm。

参数设置完成后,通过 HFSS 求出不同 h 下的 d 与 P_{acc} 的关系,然后进行分析。

3.3 仿真结果分析

不同 h 下的 d 与 P_{acc} 的关系曲线如图 5 所示。

从图 5 中可以看出,当 $1\text{ mm} \leq h \leq 6\text{ mm}$, $-30\text{ mm} \leq d \leq 30\text{ mm}$ 时,接收电磁功率 $P_{acc} > -97\text{ dB} \cdot \text{m}$,这表明接收功率足够大,接收天线可以收到信号。

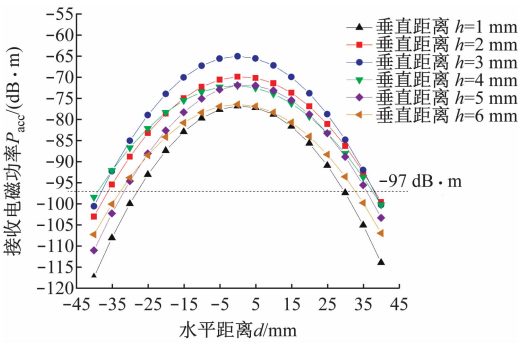


图 5 不同 h 下的 d 与 P_{acc} 的关系曲线

Fig. 5 Relationship curves between d and P_{acc} under different h

4 接近开关设计

上一节论述了恶劣的工作环境使电磁波严重衰减,仅当信号溢出口足够接近时,无线通信才能完成。在刮板运行过程中,大部分时间都不满足无线通信的距离要求,因此,需要设计一个接近开关来告知张力采集装置何时进行无线数据的发送。

基于霍尔效应的接近开关同样需要封装在刮板和中板内部,以防止被矿水、矿石破坏。但钢结构的刮板和中板对静磁场有屏蔽作用,若将霍尔传感器和永磁体完全封闭,磁场会被束缚在钢体内部,无法完成接近监测。为此,设计了如图 6 所示的接近开关结构。中板内部嵌入永磁体,永磁体上方为圆柱体钢。圆柱体钢为顺磁材料,其可增强原磁场强度。陶瓷管隔离了永磁体、圆柱体钢和中板,使磁场不被完全束缚在钢体内部,增大了中板空腔上方的磁感应强度。刮板下压板空腔即为安装霍尔传感器所在位置,空腔被圆柱体钢和陶瓷管密封。这样的结构既能保证接近开关正常工作,又能防止物料、矿水、磨损等带来的损害。

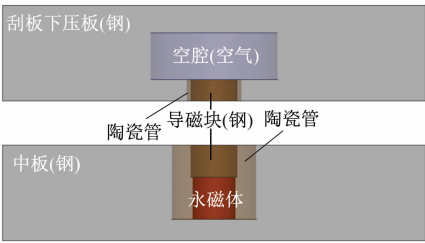


图 6 接近开关的剖视图

Fig. 6 Sectional view of proximity switch

将图 6 所示的模型导入 ANSYS Maxwell, 求出横截面上的场强分布和磁感线, 如图 7 所示。图 7 中红圈即为刮板空腔内安装霍尔传感器的位置, 此处磁场强度较大, 大于霍尔传感器工作点 0.003 5 T。因此, 接近开关可以正常工作。

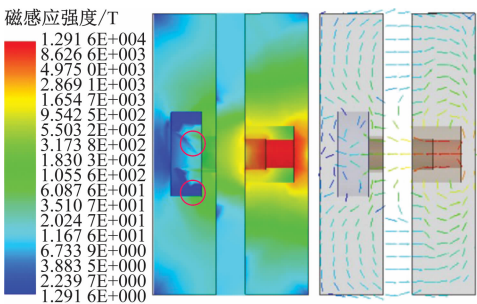


图 7 接近开关仿真
Fig. 7 Simulation of proximity switch

5 系统仿真实验

5.1 实验台搭建

为了验证无线通信和接近开关在实际工况下的可靠性, 在完成张力监测系统设计之后, 加工了 2 个带空腔的钢结构和保护罩用于模拟张力监测系统实际工作环境, 如图 8 所示。保护罩通过螺栓固定在钢结构上, 其内内衬玻璃纸用于防水。

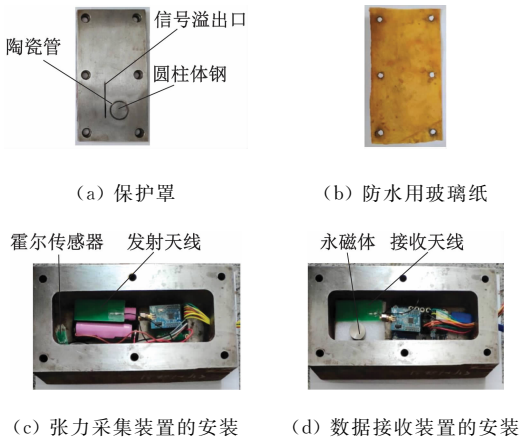


图 8 实验实物

Fig. 8 Experimental objects

图 8(c) 所示的钢结构内为张力采集装置, 与张力采集装置连接的霍尔传感器模块安装在保护罩上陶瓷管附近, 发射天线安装在信号溢出口附近。

图 8(d) 所示的钢结构内为数据接收装置, 永磁体与圆柱体钢同轴贴近安装, 接收天线安装在信号溢出口附近。

2 个钢结构一侧均有通孔, 可以引出导线, 以便连接张力采集装置和应变片或者连接数据接收装置和上位机。用玻璃胶将钢体一侧的通孔密封, 起到防水作用。

5.2 实验过程和结果分析

张力采集装置的工作流程: 上电、初始化, 然后自动进入低功耗的休眠状态。休眠状态下的张力采集装置只有 CC2530 的外部中断功能可用, 因此, 功耗极低。若接近开关被触发, 张力采集装置进入工作状态, 工作模式下张力采集装置采集并发送张力数据, 数据发送完毕后, 再次休眠等待下一次唤醒。

张力采集装置发送的数据若被数据接收装置成功接收, 数据接收装置就可通过数据线将数据上传至上位机, 通过观察上位机端的数据接收情况便可知无线通信的状况。

硬件和软件准备就绪后, 将 2 个钢结构按图 4 所示的位置放入含大量氯化钠的水溶液(用于模拟矿水)中, 不断调整 2 个信号溢出口的相对位置, 观察上位机端数据接收情况。在 $1\text{ mm} < h < 5\text{ mm}$ 的情况下, d 由 -200 mm 变化到 200 mm 的过程中, 上位机端成功接收到了所有张力数据。

然后通过示波器测试了系统运行的实际功耗, 工作模式下平均电流为 20 mA, 休眠状态下电流仅为 0.48 mA。休眠状态下的功耗约为工作状态的 1/40, 由此可见, 接近开关和休眠机制的引入使系统的功耗大大减小, 使用寿命大大增长。

6 结论

(1) 低功耗刮板输送机张力无线监测系统由张力采集装置、数据接收装置和接近开关等组成, 通过与改造过的刮板输送机部件配合, 可避免矿石、矿水的冲击、侵蚀和井下电磁的干扰, 可在恶劣环境下完成刮板链张力实时监测任务, 有效解决了目前多种刮板链张力监测系统在恶劣环境下易失效、张力数据不能实时上传等问题。

(2) 仿真实验验证了系统无线通信方案具有很高的可靠性, 基于霍尔效应的接近开关能有效检测张力采集装置和数据接收装置的相对位置。休眠机制的引入大大降低了张力采集装置的功耗, 延长了系统的服务时间。

参考文献(References):

[1] 陈令国, 赵江华, 梅雪峰. 综采工作面刮板输送机的自动化、智能化控制技术[J]. 工矿自动化, 2011, 37(12): 24-26.
CHEN Lingguo, ZHAO Jianghua, MEI Xuefeng. Automation and intelligent control technology for scraper conveyors in fully mechanized mining face[J]. Industry and Mine Automation, 2011, 37(12): 24-26.
[2] LI Junxia, LIANG Shaowei. Friction and wear of the

- middle trough in scraper conveyors[J]. Industrial Lubrication and Tribology, 2018, 70(6): 1072-1077.
- [3] 蔡柳, 王学文, 王淑平, 等. 煤散料在刮板输送机中部槽中的运动分布特征与作用力特性[J]. 煤炭学报, 2016, 41(增刊1): 247-252.
- CAI Liu, WANG Xuewen, WANG Shuping, et al. Motion characteristics and force properties of bulk coal in middle pan of scraper conveyor[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(S1): 247-252.
- [4] 谢苗, 毛君, 许文馨. 重型刮板输送机故障载荷工况与结构载荷工况的动力学仿真研究[J]. 中国机械工程, 2012, 23(10): 1200-1204.
- XIE Miao, MAO Jun, XU Wenxin. Dynamics simulation of heavy scraper conveyor in working condition of failure-load and structural load[J]. China Mechanical Engineering, 2012, 23(10): 1200-1204.
- [5] 张瑞昭. 煤矿各类废水处理及综合利用途径[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(增刊1): 268-270.
- ZHANG Ruizhao. Various types of wastewater treatment and comprehensive utilization methods in coal mines [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(S1): 268-270.
- [6] 蔡文飞, 雷志鹏, 宋建成, 等. 矿用刮板输送机链条张紧力监控技术现状及其发展方向 [J]. 工矿自动化, 2018, 44(11): 25-31.
- CAI Wenfei, LEI Zhipeng, SONG Jiancheng, et al. Present situation and development direction of monitoring technology for chain tension of mine-used scraper conveyor [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(11): 25-31.
- [7] 任威, 卢明立, 杨志明, 等. 重型刮板输送机张力检测系统设计[J]. 工矿自动化, 2017, 43(3): 6-9.
- REN Wei, LU Mingli, YANG Zhiming, et al. Design of tension testing system of heavy scraper conveyor [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(3): 6-9.
- [8] 齐秀飞, 张佩, 郝志勇, 等. 刮板输送机链条张力检测系统研究 [J]. 机械强度, 2017, 39(3): 534-539.
- QI Xiufei, ZHANG Pei, HAO Zhiyong, et al. Study on scraper conveyor or chain tension testing system [J]. Journal of Mechanical Strength, 2017, 39 (3): 534-539.
- [9] 张强, 王海舰, 毛君, 等. 基于压电振动俘能的自供电刮板输送机张力检测系统 [J]. 传感技术学报, 2015, 28(9): 1335-1340.
- ZHANG Qiang, WANG Haijian, MAO Jun, et al. Self-powered tension testing system for scraper conveyor based on piezoelectric vibration energy harvested [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2015, 28(9): 1335-1340.
- [10] 骆铁楠. 刮板输送机圆环链无线张力传感器研制 [J]. 工矿自动化, 2018, 44(9): 77-83.
- LUO Tienan. Development of wireless tension sensor of round link chain of scraper conveyor[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(9): 77-83.
- [11] 何绪文, 李福勤. 煤矿矿井水处理新技术及发展趋势 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 17-22.
- HE Xuwen, LI Fuqin. New technology and development tendency of mine water treatment [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(11): 17-22.
- [12] 郭山红, 孙锦涛, 谢仁宏, 等. 电磁波穿透墙体的衰减特性 [J]. 强激光与粒子束, 2009, 21(1): 113-117.
- [13] 周琦, 刘新芽. 多层介质中电磁波的反射与透射 [J]. 南昌大学学报(理科版), 2003, 27(1): 37-44.
- ZHOU Qi, LIU Xinya. The reflection and transmission of electromagnetic wave in multilayer media [J]. Journal of Nanchang University (Natural Science), 2003, 27(1): 37-44.
- [14] 常慧, 张玉强, 吕忠亭, 等. 电磁波斜入射分层介质问题 FDTD 分析 [J]. 电子测量技术, 2015, 38(10): 140-143.
- CHANG Hui, ZHANG Yuqiang, LYU Zhongting, et al. FDTD analysis for electromagnetic wave by layered medium problem under oblique incidence condition [J]. Electronic Measurement Technology, 2015, 38(10): 140-143.
- [15] 焦瑜呈. 海水中电磁波特性的分析与研究 [J]. 舰船电子工程, 2018, 38(8): 176-179.
- JIAO Yucheng. Analysis and research of the electromagnetic properties of seawater [J]. Ship Electronic Engineering, 2018, 38(8): 176-179.