

文章编号:1671-251X(2021)04-0039-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020120026

采煤机可收集微弱环境能量分析

罗一民¹, 刘振坚^{2,3}, 刘冰², 邱锦波³, 庄德玉³, 张阳³

- (1. 煤炭科学研究总院, 北京 100013;
2. 中煤科工集团上海研究院有限公司, 上海 200030;
3. 天地科技股份有限公司上海分公司, 上海 200030)



扫码移动阅读

摘要:能量收集是将外部环境能量转换为电能的过程,在实现低功耗无线传感器的自供电方面具有一定发展潜力。目前能量收集技术在采煤机上的应用探索缺乏对能量收集系统适应性的研究,不能实现可靠应用。针对上述问题,根据采煤机的工况环境特点,分析了采煤机上可收集的微弱环境能量及其转换为电能的可行性,指出光照能量、温差能量、振动能量作为采煤机的 3 种典型环境能量,由于能量特点不同,其适应性也各不相同。光照能量适应性差,不适合作为能量收集技术中的环境能量来源。温差能量来源稳定,温差发电片安装便利,具有一定的适应性,但温差发电片需安装在采煤机的主要产热部位,安装位置具有一定的局限性。振动能量总量大,压电发电片结构简单,受工况环境因素影响较小,安装位置不受限制,具有较强的适应性。

关键词:采煤机; 能量收集; 适应性分析; 光照能量; 温差能量; 振动能量; 低功耗无线传感器

中图分类号:TD632 文献标志码:A

Study on weak environmental energy harvesting by shearer

LUO Yimin¹, LIU Zhenjian^{2,3}, LIU Bing², QIU Jinbo³, ZHUANG Deyu³, ZHANG Yang³

(1. China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. CCTEG Shanghai Research Institute, Shanghai 200030, China;

3. Shanghai Branch, Tiandi Science and Technology Co., Ltd., Shanghai 200030, China)

Abstract:Energy harvesting is the process of converting external environmental energy into electrical energy. This technology has certain development potential in realizing self-powered low-power wireless sensors. At present, there are few researches on the adaptability of energy harvesting systems in terms of the application of energy harvesting technology in shears. Therefore, it is unable to achieve reliable applications. In order to solve the above problems, based on the characteristics of the working environment of shearer, this paper analyzes the feasibility of the weak environmental energy being harvested by shearer and the feasibility of converting the energy into electrical energy. It is pointed out that light energy, temperature difference heat energy and vibration energy are the three typical environmental energies that exist in shearer. Theses three energies have different adaptability due to different energy characteristics. Light energy has poor adaptability and is not suitable as an environmental energy source in energy harvesting technology. Temperature difference energy source is stable and the thermoelectric power generation device is easy to install. This energy has certain adaptability. However, the thermoelectric power generation device needs to be installed in the main heat producing part of shearer, and the

收稿日期:2020-12-14;修回日期:2021-03-05;责任编辑:王晖,郑海霞。

基金项目:中国煤炭科工集团有限公司科技创新创业资金专项(2018MS035)。

作者简介:罗一民(1996—),男,江苏淮安人,硕士研究生,研究方向为机电一体化,E-mail:139110177@qq.com。

引用格式:罗一民,刘振坚,刘冰,等. 采煤机可收集微弱环境能量分析[J]. 工矿自动化,2021,47(4):39-43.

LUO Yimin, LIU Zhenjian, LIU Bing, et al. Study on weak environmental energy harvesting by shearer[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(4): 39-43.

installation location has certain restrictions. The total amount of vibration energy is large, and the piezoelectric power generation device has a simple structure. Vibration energy is less affected by the working environment factors and has a strong adaptability without installation location restrictions.

Key words: shearer; energy harvesting; adaptability analysis; light energy; temperature difference energy; vibration energy; low-power wireless sensor

0 引言

传统采煤机传感器大多采用有线供电或电池供电方式,煤矿井下环境恶劣,有线供电易发生断线等物理损伤,电池供电可靠性不高且寿命受限^[1]。如何克服环境因素对传感器电源造成的影响成为亟需解决的问题^[2]。

随着环境能量获取技术与微机电系统的迅速发展,从环境中获得微弱能量为低功耗无线传感器供电成为可能。能量收集是将外部环境能量转换为电能的过程,具有能量来源丰富、环保等优点^[3],在实现低功耗无线传感器的自供电方面具有一定发展潜力。能量收集系统主要包括能量转换器、控制电路等^[4]。能量转换器是能量收集的核心部分,主要作用是收集环境能量并将其转换为电能。控制电路分为接口电路和功率控制模块,可以为无线传感器提供稳定的电能^[5]。

目前能量收集技术已在非煤行业得到广泛应用,如用于生物医疗的植入式传感器节点供电系统、用于监测系统结构健康的分布式传感器节点供电系统等^[6]。许多学者针对能量收集技术在煤矿中的应用进行了探索。张强等^[7]提出了一种基于压电振动俘能的自动供电监测系统。燕乐^[8]提出了一种基于压电能量收集器的自供电无线传感器网络系统。踪征雪等^[9]提出在煤矿无线协作网络中引入能量收集技术,延长网络使用寿命。但目前缺乏对能量收集系统适应性的研究,在采煤机上仍无法实现可靠应用。针对这一现状,本文依据采煤机工况环境特点,分析了采煤机上可收集的微弱环境能量及其转换为电能的可行性,提出了能量收集技术在采煤机上应用的相关建议。

1 采煤机工况环境能量分析

采煤机在行走及切割过程中产生的振动能量、水冷散热结构不同位置的温差能量及工作面辅助照明设备的光照能量,都可以作为能量收集技术中环境能量来源,采用合适的能量收集装置得到的能量功率最高可达 500 mW,基本满足低功耗无线传感

器(功耗为 0.1 μ W~1 W)的能量需求。

1.1 光照能量

采煤机自身或其他设备遮挡光源导致局部有阴影,阴影位置与形状随着采煤机工作位置、状态而改变。选用 GM1030 高精度照度仪测量采煤工作面不同时间段的光度,如图 1 所示。可看出由于粉尘等因素的影响,采煤工作面的光度下降十分明显,其下降比例在 50% 以上,由此可以推断采煤机工作时存在阴影遮挡的部位光度更低,光照能量收集可靠性较低。

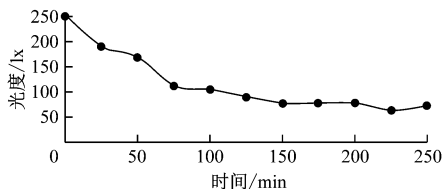


图 1 采煤工作面光度变化曲线
Fig. 1 Change curve of luminosity in coal working face

1.2 温差能量

采煤机工作过程中主要功率消耗在摇臂上,机械传动系统的效率损失转换为热能损耗,摇臂温度会逐渐升高。轴承和啮合齿轮副是采煤机摇臂产生热能的主要位置^[10],在不考虑冷却措施的条件下,摇臂温度可达 200 $^{\circ}$ C 以上。选用 GWD100 矿用本安型温度传感器对采煤机摇臂温度与环境温度进行测量,记录数据如图 2 所示。可看出,采煤机工作后摇臂温度逐渐升高,最高可达 90 $^{\circ}$ C,而采煤工作面环境温度则稳定在 30 $^{\circ}$ C 左右,两者之间存在较大温差。为了更直观地观察采煤机工作时摇臂不同位置

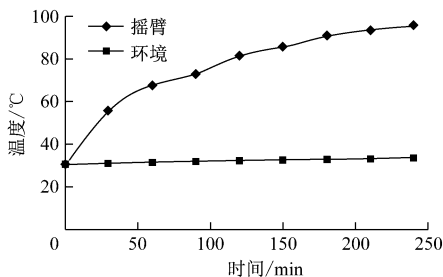


图 2 采煤机摇臂与环境温度变化曲线
Fig. 2 Temperature variation curves of shearer rocker arm and environment

的温差,选用 FLUKE TIS400 型红外热成像仪测量采煤机工作时摇臂温度分布云,如图 3 所示。可看出采煤机摇臂不仅与周围环境存在较大温差,其内部也存在较大温差。

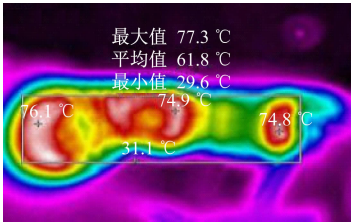


图 3 采煤机摇臂温度分布云

Fig. 3 Cloud map of temperature distribution of shearer rocker arm

采煤机工作时由于机械传动系统效率问题,产生大量热能,摇臂温度升高明显,与环境温度存在较大差异,且热能来源稳定,具有较强的能量收集可行性。

1.3 振动能量

采煤机在工作面刮板输送机上往复割煤装煤过程中会产生大量振动能量,这些振动能量包括落煤的冲击振动和采煤机工作时的固有振动^[11]。选用 GBY5 型矿用振动传感器采集采煤机在实际工作中的振动数据,采用小波分析法分析采煤机工作时振动能量分布情况。对经过 Fourier 变换后的采煤机主要振动信号进行 3 层小波重构,分成 8 个频带,每个频带带宽为 3 000 Hz,并进行能量计算,不同频带能量分布如图 4 所示。可看出 3 000 Hz 以下低频振动频带集中了 90% 以上的振动能量,是能量的主要集中部分。对 3 000 Hz 以下低频段振动信号再次进行 3 层小波重构,分为 8 个带宽为 375 Hz 的频带,并进行能量计算,得到的能量分布如图 5 所示。由图 5 可知,采煤机工作时振动频率越低,振动能量越高。

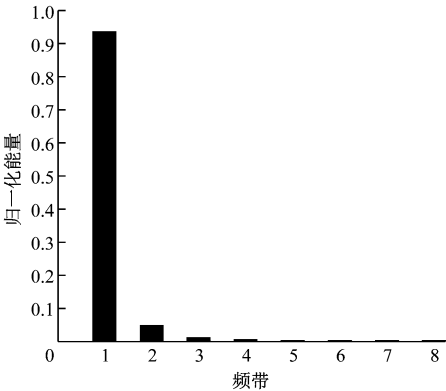


图 4 不同频带能量分布

Fig. 4 Energy distribution in different frequency bands

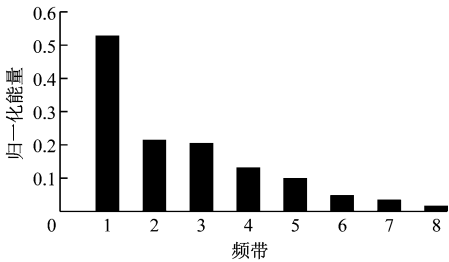


图 5 低频段振动信号能量分布

Fig. 5 Energy distribution low-frequency vibration signal

采煤机振动能量总量大,存在于各个部位,且主要能量集中于低频段内,便于能量收集,具有较强的可行性。

2 能量供电可行性分析

2.1 光伏发电

煤矿井下光照条件差,粉尘与煤块掉落会降低 50% 以上的发电量,且会损坏光伏发电板。此外,温度环境也是影响光伏发电的重要因素之一,温度每升高 1 °C,发电效率便会降低 0.44%^[12],长期处于高温状态下的光伏发电组件工作寿命会降低 30%。综合考虑煤矿井下光照条件差、温度高等因素,光伏发电在采煤机上的适用性较低。

2.2 温差发电

温差发电技术目前已较为成熟,主要利用热电效应将热能转换为电能。热电效应是指热电材料两端具有温差时,材料内的载流子会由高温端向低温端移动,从而形成电势差的现象^[13]。采煤机摇臂存在较大温差,具备温差发电条件。

在冷端温度为 30 °C 理想环境下,选用 TEG1-12708 温差发电片收集采煤机摇臂热能,输出功率与温差变化关系如图 6 所示。可看出温差发电片的输出功率随着温差发电片两端温差的增大而增大,当热端温度达到 90 °C 时,温差发电片的输出功率为 470 mW。

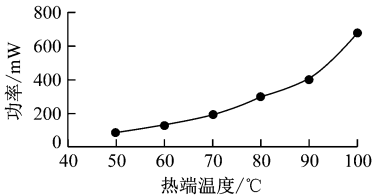


图 6 温差发电片输出功率与温度关系

Fig. 6 Relationship between output power and temperature of thermoelectric power generator

煤矿井下工作面实际情况与理想环境相差较大。采煤机在工作时摇臂温度处于逐渐升高的状态,由于存在热传递,冷端温度也会不断升高,从而

降低能量转换效率。笔者设计一种内置管道中装有高性能冷却剂的水冷散热装置,其具有散热快、可循环利用且无需排出的优点。将该散热装置安装在温差发电片冷端,可有效降低冷端温度,提高发电效率。同时在水冷管道之间增加散热装置,以提高散热效率。温差发电片体积小,安装在处于温度较高部位的无线传感器内部,将热端贴于采煤机摇臂壳体,如图 7 所示。温差发电系统受环境因素影响较小,便于安装,在采煤机上具有较强的适应性。

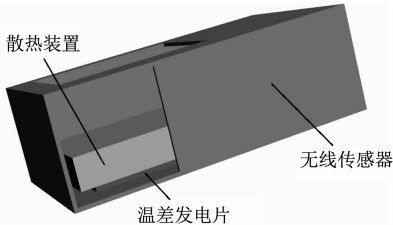


图 7 带有散热装置的温差发电系统

Fig. 7 Thermoelectric power generation system with heat dissipation device

2.3 振动发电

使用悬臂梁式压电发电片将采煤机工作过程中产生的振动能量转换为电能^[14]。当压电发电片发生谐振时,机械能转换为电能的效率最高,但普通压电发电片的谐振频率高于采煤机摇臂主要振动能量分布频率范围。谐振频率与压电发电片的长度、质量惯性矩等因素有关,在压电发电片自由端增加质量块来降低压电发电片谐振频率^[15],利用 COMSOL 软件对无质量块和有质量块 2 种压电片的能量收集情况进行仿真分析,结果如图 8 所示。可看出有质量块的压电发电片谐振频率明显降低,提高了能量收集效率,达到最佳能量收集效果。

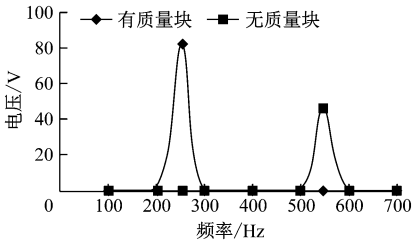


图 8 压电能量收集仿真

Fig. 8 Piezoelectric energy harvesting simulation

采煤机工作时存在冲击振动,因此设计了一种带有凹槽的固定装置,以满足采煤机工况需求,如图 9 所示。该固定装置安装在无线传感器内部,如图 10 所示。采用该固定装置的单个压电发电片输出功率可达 2 mW,且固定装置体积小、复杂度低,可以防止压电发电片发生位移,提高发电片稳定性。

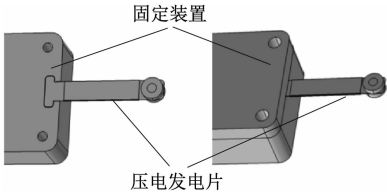


图 9 压电发电片固定装置

Fig. 9 Piezoelectric power plate fixing device

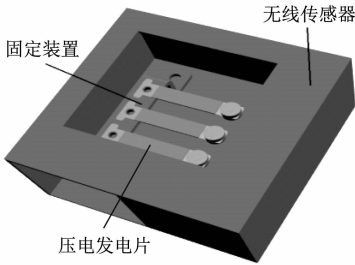


图 10 压电发电片安装

Fig. 10 Installation of piezoelectric plate

采煤机工作时振动能量分布广,总量大,压电发电片结构简单,在采煤机各个部位均可收集振动能量,具有较强的适应性。

3 结语

光照能量、温差能量与振动能量作为采煤机的 3 种典型环境能量,由于能量特点不同,其适应性也各不相同。光照能量适应性差,不适合作为能量收集技术中的环境能量来源。温差能量来源稳定,温差发电片安装便利,具有一定的适应性,但温差发电片需要安装在采煤机的主要产热部位,安装位置具有一定的局限性。振动能量总量大,压电发电片结构简单,受工况环境因素影响较小,安装位置不受限制,具有较强的适应性。设计适用于煤矿井下的温差与振动能量收集系统,可以有效解决采煤机无线传感器的供电问题,提高传感器可靠性与工作寿命。

参考文献 (References):

[1] 范京道. 大采高工作面智能化综采关键技术研究[J]. 工矿自动化, 2018, 44(12): 1-8.
FAN Jingdao. Research on key technologies of intelligent fully mechanized mining on working face with large mining height [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(12): 1-8.

[2] 王兴友, 吴中伟, 范胜祥, 等. 煤矿供电系统无人化建设技术研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(增刊 2): 153-156.
WANG Xingyou, WU Zhongwei, FAN Shengxiang, et al. Research and practice of unmanned construction

technology in coal mine power supply system[J]. Coal Science and Technology,2018,46(S2):153-156.

[3] 汪丛笑. 煤矿安全监控系统智能化现状及发展对策[J]. 工矿自动化,2017,43(11):5-10.

WANG Congxiao. Present situation and development countermeasures of coal mine safety monitoring and control system intelligentization [J]. Industry and Mine Automation,2017,43(11):5-10.

[4] KIM S,CHOU P H. Energy harvesting by sweeping voltage-escalated charging of a reconfigurable supercapacitor array [C]//International Symposium on Low Power Electronics and Design, Fukuoka, 2011:235-240.

[5] ERTURK A,INMAN D J. 压电能量收集[M]. 北京:国防工业出版社,2015.

ERTURK A, INMAN D J. Piezoelectric energy harvesting [M]. Beijing: National Defense Industry Press,2015.

[6] PRIYA S,INMAN D J. 能量收集技术[M]. 南京:东南大学出版社,2011.

PRIYA S, INMAN D J. Energy harvesting technologies [M]. Nanjing: Southeast University Press,2011.

[7] 张强,石抗抗,王海舰,等. 基于压电俘能装置的刨刀受力检测系统[J]. 煤炭科学技术,2017,45(2):136-140.

ZHANG Qiang, SHI Kangkang, WANG Haijian, et al. Stress detecting system of plough based on piezoelectric energy harvester[J]. Coal Science and Technology,2017,45(2):136-140.

[8] 燕乐. 煤机装备诊断自供电无线传感器网络系统的设计与研究[D]. 太原:中北大学,2016.

YAN Le. Design and research of self-powered wireless sensor network system for shearer equipment diagnosis [D]. Taiyuan: North University of China,2016.

[9] 踪征雪,丁恩杰,刘燕,等. 基于能量收集技术的无线协作网络中继选择[J]. 工矿自动化,2020,46(3):49-54.

ZONG Zhengxue,DING Enjie,LIU Yan,et al. Relay selection in wireless cooperative networks based on energy collection technology[J]. Industry and Mine Automation,2020,46(3):49-54.

[10] 崔灿. 温度对采煤机摇臂结构强度的影响研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2015.

CUI Can. Temperature effect on structural strength of shearer rocker arm[D]. Xuzhou:China University of Mining and Technology,2015.

[11] 张启志,刘振坚,邱锦波. 新型采煤机截割振动信号采集与识别系统设计[J]. 煤矿机电,2017(6):1-4.

ZHANG Qizhi, LIU Zhenjian, QIU Jinbo. Design of cutting vibration signal acquisition and recognition system for a new type of shearer [J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology,2017(6):1-4.

[12] 吴国盛. 太阳能电池的温度和光强特性研究[D]. 太原:太原科技大学,2013.

WU Guosheng. Research on the temperature and light intensity characteristics of solar cells[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology,2013.

[13] 杨沛. 飞机无线传感器热能与振动能综合能量收集自供电技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2014.

YANG Pei. Aircraft self-powered sensors with thermal and vibration hybird energy harvester[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,2014.

[14] 石宏武. 温差与振动混合能量收集及其电能管理关键技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2016.

SHI Hongwu. The research of hybrid energy harvesting and energy management for vibrations and temperature differences [D]. Changsha: National University of Defense Technology,2016.

[15] 房目稳. 压电俘能器俘能性能数学建模及仿真分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.

FANG Muwen. Modeling and simulation of piezoelectric energy harvester [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology,2010.