

煤矿采掘工作面传感器电源自供技术初探

陈银田

中国煤科开采研究院有限公司, 北京 100013

[摘要] 采掘工作面智能化升级需要增加大量传感器, 将导致传感器电缆大幅度增加、导致人力增加, 提出采用自供电传感器化解矛盾, 介绍自发电技术及自组网无线传输系统的起源、特点及无线传感器传输示意图。

[关键词] MEMS 传感器; MEOMS 传感器; 传感器功耗; 环境能量; 摩擦纳米发电机; 压电纳米发电机; 热电/热释电发电机; 太阳能电池、自(发)供电传感器; 自组网

DOI: 10.33142/ec.v5i7.6373

中图分类号: TP212;TD60

文献标识码: A

Discussion on Self Supply Technology of Sensor Power Supply in Coal Mining Face

CHEN Yintian

China Coal Technology & Engineering Mining Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100013, China

Abstract: The intelligent upgrading of mining face needs to add a large number of sensors, which will lead to a significant increase in sensor cables and manpower. It is proposed to use self powered sensors to resolve contradictions. The origin, characteristics and wireless sensor transmission diagram of self generation technology and self networking wireless transmission system are introduced.

Keywords: MEMS sensor; MEOMS sensor; sensor power consumption; environmental energy; friction nano generator; piezoelectric nano generator; thermoelectric / pyroelectric generator; solar cell, self powered sensor; self networking

1 智能化采煤工作面实施传感器电源自供技术的必要性

自 2020 年 2 月 25 日国家发展改革委等九部委发布《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》以来, 煤矿智能化升级改造加速推进。各涉煤省市县、各大煤炭集团, 都已部署智能化煤矿及智能化工作面的规划建设。煤炭学会、国家能源局及涉煤大省, 均发布《智能化煤矿(采煤工作面)分类、分级技术条件与评价》、《煤矿智能化建设指南》及《智能化煤矿验收办法》, 规范体系基本成型。井下特别是采、掘工作面智能化的主要目标是无人(少)人则安, 实现运行无人化、检修少人化。

采集大量数据是实现采掘工作面智能化的前提, 智能化采掘工作面必然要布置相当数量的各类传感器。

采煤工作面: 统计某产能 800 万吨矿井采煤工作面的智能化规划, 各类传感器数量超过 1200 个。数以千计的传感器, 其布线工作量非传统采煤工作面可比, 维护工作也需要增加运维人员; 尤其是采煤工作面所有设备都是持续短时移动的, 数量巨大的传感器电缆跟移将耗费更多的人力。这与采煤工作面智能化的主要目标是相悖的, 所以减少传感器外配电缆, 必须得到重视。

掘进工作面: 掘进工作面围岩压力监测, 包括锚杆(索)工作载荷、顶板离层位移、巷道变形量、巷道内断裂特征参数等, 是个难点。特别是掘进正面, 传感器布线很困难。国内目前有(信号)无线传感器, 解决了信号电缆的布线问题, 但电源线的布线还是难题。随着掘进工作面智能化

建设的推进, 要求实现无人及远程监控, 围岩压力监测数据必将增加。围岩压力监测传感器外配电源线的布线困难, 也必须得到解决。

传感器外配电缆一般包括电源电缆和信号电缆。传感器信号无线化技术已基本成熟(大量信号的无线传输需要进一步研究), 传感器的供电则大多依赖通过电缆由外部电源承担, 少量传感器通过内置电池解决。内置电池因牵涉到定期更换电池, 也会增加运维人力。因此, 如何解决传感器外配电源电缆是实现采煤工作面智能化的制约因素。实施传感器自供电, 则是破解这一制约的可行技术路线。

2 传感器电源自供技术介绍

传感器电源自供, 需要解决两个问题: 降低传感器功耗、传感器利用环境能量发电。降低传感器功耗是基础, 传感器利用环境能量发电是关键。

2.1 降低功耗

降低传感器功耗的常用方法是缩小尺寸, 缩小尺寸的有效方法是发展、推广微系统技术(MST)。

传感器技术的演进趋势是向着超小型化或微系统技术(MST)发展。MEMS(微机电系统)和 MEOMS(微光机电系统)则是这个趋势的重要代表。

MEMS 传感器是当今最热门的传感器, 代表着传感器的发展方向。MEMS 器件兼具电子和机械部件, 这意味着其中至少有一种可移动或可变形的部件, 而电则是其运作的必需部分。MEOMS(微光机电系统), 基于微电子光学的系统。这种器件中至少有一个部件是光学组件。采用 MEMS

或 MEOMS 方法制造的传感器, 大都是三维器件, 其尺寸在 μm 量级, 功耗降至 μA 级。

MEMS 的全称是微型电子机械系统 (Micro-ElectroMechanicalSystem), 微机电系统是指可批量制作的, 将微型机构、微型传感器、微型执行器以及信号处理和电路、直至接口、通信和电源等于一体的微型器件或系统。你可以把它理解为利用传统的半导体工艺和材料, 用微米技术在芯片上制造微型机械, 并将其与对应电路集成为一个整体的技术。所以它是以半导体制造技术为基础发展起来的一种先进的制造技术平台。

微工程学的两大构成, 是微电子学和微细加工。在硅片上制造电子电路的微电子学, 已经是充分发展的技术。微细加工指的是用于制造微工程学器件的结构和运动部件的技术。

微工程学的主要目的之一, 就是要能够把微电子电路集成到微机械结构之中, 制造完全集成化的系统(微系统)。与微电子工业中制造的硅芯片一样, 这种系统也同样具有低成本、高可靠性以及小尺寸的优点。

硅微细加工技术也是已充分开发的微细加工技术之一, 因此硅成为用于微系统制造的最佳材料。硅材料有着十分有用的电特性和机械特性。利用这些特性, 通过 MEMS 加工技术, 硅材料可广泛用于诸如压力、温度、力及触觉传感器等器件的制造。

MEMS 传感器优点: 相对于传统的机械, 它们的尺寸更小, 最大的不超过一个 cm , 甚至几个 μm , 其厚度则更加微小。采用以硅为主的材料, 电气性能优良, 硅材料的强度、硬度和杨氏模量与铁相当, 密度与铝类似, 热传导率接近钨和钨。采用与集成电路 (IC) 类似的生成技术, 可大量利用 IC 生产中的成熟技术、工艺, 进行大批量、低成本生产, 使性价比相对于传统“机械”制造技术大幅度提高。

2.2 自发电技术

自(发)供电技术就是不依赖外部电源和电池, 而是利用周围环境能量发电以实现传感器自我供电, 所述环境能量包括但不限于太阳能、振动、温度梯度能量等。自(发)供电技术, 不仅对于煤矿, 在非煤矿山、国防、军事、工程装备和精密加工等领域都有迫切而广泛的技术需求。根据传感器缩小尺寸原则, 自发电装置也应采用微小结构尺寸。

自发电微装置按照工作原理分为四类: 摩擦纳米发电机 (TENG)、压电纳米发电机 (PENG), 热电/热释电发电机 (TEG/PyNG) 和太阳能电池。前两种类型主要用于基于摩擦电效应和压电效应来收集运动能。除了运动能, 热能和光能是环境中的另外两个重要能源。

(1) 摩擦电纳米发电机

摩擦电纳米发电机的能量收集能力来自两个摩擦层之间的摩擦起电和静电感应。摩擦层的构成材料具有不同

的电子吸引能力, 当它们接触时, 在这两个摩擦表面上会产生相反的摩擦电荷。在通过外力使摩擦层分离之后, 摩擦带电的相反符号会引起电势下降, 该势能随着摩擦电表面的接触和彼此分离而发生变化。为了平衡电势差, 自由电子通过连接的外部电路来回流动。通常, 根据设备的结构和工作方式, 摩擦电纳米发电机具有四种工作模式: 垂直接触分离模式、横向滑动模式、单电极模式和独立式摩擦电层模式。

(2) 压电纳米发电机

压电纳米发电机是一种广泛使用的基于压电效应的能量收集技术。当对压电材料施加外力时, 由于电偶极矩的产生, 会形成内部压电势。通过周期性地施加动态外力, 可以顺序改变压电势, 有助于连续流过外部电路的交流脉冲电流。压电材料和柔性基板是构成压电纳米发电机的两个关键要素, 通过选择压电材料和优化设备结构, 可以进一步提高基于压电纳米发电机传感器的传感性能。

(3) 热电/热释电发电机

除了运动能之外, 热能也是一种广泛的能源。热电/热释电发电机可充分收集热能, 并将热能转化为电能。收集装置的热电偶由两种具有不同塞贝克系数的金属组成, 温度差可能导致输出电压差。另外将金属磁体置于温度梯度下, 内部载体从热端移动至冷端, 然后积聚在冷端, 从而产生沿温度梯度自旋电压。与前两种纳米发电机相比, 基于热电/热释电发电机的传感器对与温度变化有关的信号更加敏感。

(4) 太阳能电池

太阳能是自然界中常见的能源, 它可以直接由太阳能电池收集和转换。太阳能电池的能量收集能力来自 PN 结的光伏效应。在 PN 结的界面处, N 型半导体具有大量自由电子, 这些自由电子会扩散到 P 型半导体, P 型半导体有很多空穴, 这些空穴会扩散到 N 型半导体。此过程使 N 型半导体在界面处带正电, 而 P 型半导体在界面处带负电。可以在 PN 结界面处形成从 N 型半导体指向 P 型半导体的内置电场。当太阳照在 PN 结上时, 在 PN 结的界面处会形成电子-空穴对, 在内置电场的作用下, 电子迁移到 N 型半导体, 空穴迁移到 P 型半导体。因此, N 型和 P 型半导体分别积累过多的电子和空穴, 这会抵消内置电场, 并使 N 型和 P 型分别带负电和带正电。可以在 PN 结处形成电位差, 并使自由电子产生周期性流过外部电路的电流。

2.3 自发电传感器自组网无线通信技术

无线自组网是一个多跳网络。网关路由器可以实现多个移动自组网互连的功能, 组网中的节点可以访问网络。这种形式可以为位于不同位置的工作组提供协作通信能力。无线自组网与互联网和广域网互连。从外面看, 可以认为 ad hoc 网络是一个 IP 子网。网络中一些数据包的传输是由网络中的路由协议完成的(数据包可能要经过多

跳才能到达目的地),当数据包进入或离开子网时,使用标准的IP路由机制,这就要求网关节点能够运行多种路由协议。

(1) 自组网起源

自组网的原型是美国早在1968年建立的ALOHA网络和之后于1973提出的PR(Packet Radio)网络。ALOHA网络需要固定的基站,网络中的每一个节点都必须和其它所有节点直接连接才能互相通信,是一种单跳网络。直到PR网络,才出现了真正意义上的多跳网络,网络中的各个节点不需要直接连接,而是能够通过中继的方式,在两个距离很远而无法直接通信的节点之间传送信息。PR网络被广泛应用于军事领域。IEEE在开发802.11标准时,提出将PR网络改名为Ad Hoc网络,也即今天我们常说的移动自组织网络。

(2) 自组网特点

移动自组织网络能够利用移动终端的路由转发功能,在无基础设施的情况下进行通信,从而弥补了无网络通信基础设施可使用的缺陷。自组网技术为计算机支持的协同工作系统提供了一种解决途径,主要特点有:

网络拓扑结构动态变化:在移动自组织网络中,由于用户终端的随机移动、节点的随时开机和关机、无线发射装置发送功率的变化、无线信道间的相互干扰以及地形等综合因素的影响,移动终端间通过无线信道形成的网络拓扑结构随时可能发生变化,而且变化的方式和速度都是不可预测的。

自组织无中心网络:移动自组织网络没有严格的控制中心,所有节点的地位是平等的,是一种对等式网络。节点能够随时加入和离开网络,任何节点的故障都不会影响整个网络的运行,具有很强的抗毁性。

多跳网络:由于移动终端的发射功率和覆盖范围有限,当终端要与覆盖范围之外的终端进行通信时,需要利用中间节点进行转发。移动自组网多跳组网方式,与一般网络中的多跳不同,无线自组网中的多跳路由是由普通节点共同协作完成的,而不是由专门的路由设备完成的。

有效存储、断点续传:传感器、子站、数据采集分站内置存储芯片,具有实时采集、存储功能,当任一环节出现传输故障或问题时,各节点自动存储监测数据,待系统恢复正常传输时,存储的监测数据自动进行上传,也可通过存储卡取出,保证监测数据的完整性、连续性。

无线传输带宽有限:无线信道本身的物理特性决定了移动自组织网络的带宽比有线信道要低很多,而竞争共享无线信道产生的碰撞、信号衰减、噪音干扰及信道干扰等因素使得移动终端的实际带宽远远小于理论值。

移动终端的局限性:自组织网络中的移动终端(如笔记本电脑、手机等)具有灵巧、轻便、移动性好等优点,

但同时其电源有限、内存小、CPU性能低等限制,使得我们在开发应用程序时,需要考虑这些因素。

(3) 无线传感器传输示意图

采用自组网无线传输模式,各无线节点之间可以自由通讯。当网络内部某个无线节点出现故障,其他节点可以进行网络自组织,选择另外的传输链路,进而实现网络通讯的可靠性。

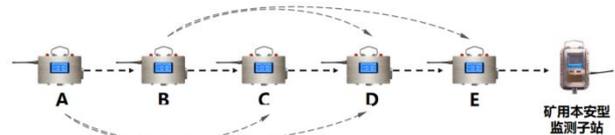


图1 传感器传输示意图

3 自(发)供电传感器在采煤工作面应用展望

采煤工作面环境能量有风能、震动能、声波能、热能、瓦斯(可燃烧)、矿压、涌水、照明等。通过进一步攻关研究,可确定适合于井下传感器自发电的环境能量。

作为采煤工作面传感器自发电的环境能量,必须满足下面几个条件:安全、稳定、不受井下供电影响。采煤工作面处于多煤尘、多瓦斯环境,易燃易爆,安全为第一要务;环境能源必须状态稳定,波动不能剧烈,更不能时有时无;井下环境恶劣,可能出现水灾、火灾、冒顶、冲击地压等矿灾,影响井下供电的可靠性,只有不受井下供电影响的环境能量,才能保证各种传感器不间断的采集必要的信息。初步判断风能和热能基本符合要求。井下通风安全是矿井必保的首要任务,风能稳定可靠;采煤工作面的热能也比较稳定,并且和通风有逆关联,通风可使温度降低、热能减少。

为保证采煤工作面自(发)供电传感器的可靠运行,应研究复合型纳米发电机,融合利用多种环境能量,提供有裕度的自发电解决方案。

可以预期,一旦开发出适于井下采煤工作面的自供电传感器,将会大大提升采煤工作面智能化的成色,实现安装、倒面简便化,运维、检修少人化,从而化解传感器增加与人力增加的矛盾。

[参考文献]

- [1]王中林.摩擦纳米发电机[M].上海:科学出版社,2017.
- [2]徐奇,温娟,等.“Development and outlook of high output piezoelectric nanogenerators”[J].Nano Energy,2021(89):106.
- [3]韩允.MEMS传感器的发展概况[J].电子产品世界,2019,26(1):4-8.

作者简介:陈银田(1976-)男,籍贯:湖南,职称:高级工程师,学位:工学硕士,研究方向:煤矿电控。