



文章编号:1671-251X(2014)07-0032-05 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.07.010

田子建,林越,陈健,等.无线输电技术及其在矿井安全监控系统中的应用[J].工矿自动化,2014,40(7):32-36.

## 无线输电技术及其在矿井安全监控系统中的应用

田子建<sup>1</sup>, 林越<sup>1</sup>, 陈健<sup>1</sup>, 李玮祥<sup>1</sup>, 林鹏<sup>1</sup>, 王文清<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083;

2. 北京工业职业技术学院机电学院, 北京 100042)

**摘要:**介绍了无线输电技术的概念和发展史,依据现有三大无线电能传输标准,重点阐述了电磁感应式、无线电波式、电磁谐振式3种无线电能传输方式,并认为磁耦合谐振式无线电能传输方式最具研究前景;针对煤矿井下工作环境特点和防爆要求,分析了无线输电技术在矿井中的应用前景,指出矿井安全监控系统是无线输电技术的优先发展领域,并依据《煤矿安全规程》及相关行业标准,通过实例分析了矿井安全监控系统应用无线输电技术的需求和意义;指出了矿井无线输电技术需要解决的关键问题。

**关键词:**矿井安全监控;无线输电;电磁感应;无线电波;磁耦合谐振

**中图分类号:**TD655 **文献标志码:**A **网络出版时间:**2014-07-02 13:48

**网络出版地址:**<http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13272/j.issn.1671-251x.2014.07.010.html>

### Wireless power transmission technology and its application in mine safety monitoring system

TIAN Zijian<sup>1</sup>, LIN Yue<sup>1</sup>, CHEN Jian<sup>1</sup>, LI Weixiang<sup>1</sup>, LIN Peng<sup>1</sup>, WANG Wenqing<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Electronic and Information Engineering, China University of

Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China;

2. Electrical and Mechanical Department, Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China)

**Abstract:** The paper introduced concept and development history of wireless power transmission technology, expounded three kinds of wireless power transmission modes of electromagnetic induction mode, radio waves and electromagnetic resonance mode according to existing wireless power transmission standards, and thought that the magnetic coupled resonant wireless power transmission mode is the most promising research area in the future. It analyzed application prospect of the wireless power transmission technology in coal mine according to characteristics of the coal mine working environment and explosion-proof requirements, and pointed out that the mine safety monitoring system is the priority development areas of wireless power transmission technology. It analyzed requirements and significance of application of the wireless power transmission technology in mine safety monitoring system by use of an example and according to *Coal Mine Safety Regulation* and relevant industry standards, put forward key problems which need to be solved of mine wireless power transmission technology.

收稿日期:2013-11-22;修回日期:2014-05-07;责任编辑:张强。

基金项目:国家自然科学基金资助重点项目(51134024);国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA062203);国家自然科学基金资助项目(U1261125);北京市属高等学校创新团队建设提升计划资助项目(IDHT20130511);中国矿业大学(北京)大学生创新创业训练项目(Z20131403,Z20131402)。

作者简介:田子建(1964—),男,湖南望城人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为矿井监控与通信,E-mail:tianzj0726@126.com。

**Key words:** mine safety monitoring and control; wireless power transmission; electromagnetic induction; radio waves; magnetic coupling resonance

## 0 引言

随着高产高效矿井的普及推广,矿井安全监控系统的安全保障作用越来越显著<sup>[1-2]</sup>。但目前矿井安全监控系统的传感器由于供电的原因还不能脱离分站独立工作,这使得如采煤工作面上隅角等地点无法设置瓦斯传感器,严重制约着矿井安全监控系统安全保障作用的发挥。因此,研究安全监控系统的传感器无线输电具有重要意义。本文依据有关行业标准,分析了矿井安全监控系统应用无线输电技术的需求,分析了无线输电技术在矿井中的应用方向和前景,并指出了矿井无线输电技术需要解决的关键问题。

## 1 无线输电技术及其发展史

无线输电(Wireless Power Transmission, WPT)就是借助于空间中电磁场或电磁波来进行能量的传输,以空间中的电场和磁场为媒介来传递能量。无线电能传输技术以其独特的优势被美国《技术评论》评为22世纪十大科学发明之一。

在20世纪初,尼古拉·特斯拉提出了无线电能传输的概念,并在1914年获得美国专利<sup>[3]</sup>,在此基础上进一步提出了全球无线输电的概念,以电离层和地球之间约8 Hz的低频共振带为媒介,利用环绕地球表面的电磁波进行能量的无线传输,由于种种条件的限制,最终特斯拉的理想并未实现,至此无线输电的研究也进入低谷。

期间有诸如日本的YAGI H和UDA S、雷声公司(Raytheon)的布朗(BROWN W C)和华盛顿ARCO电力技术公司等做了相应的研究,直到2006年11月,美国麻省理工学院物理系助理教授MARIN S的研究小组在全球首次宣布了将电场或者磁场应用于无线供电技术的可行性,并于2007年6月在《科学》杂志上发表论文,证明了磁耦合共振无线输电的实用性<sup>[4]</sup>,从此一股研究无线电能传输的“热旋风”在全球刮起。

## 2 无线输电技术的标准及其分类

伴随着现代天线技术、功率变换技术、左手材料<sup>[5]</sup>等的发展,WPT技术走进了人们的生活<sup>[6]</sup>。无线电能传输技术有3大标准:① Qi协议标准;

② Power Matters Alliance 标准;③ Alliance for Wireless Power 标准。

按照传输机理和现有的3大标准,无线电能传输方式可以分为电磁感应式、无线电波式、电磁谐振式3种。

### 2.1 电磁感应式无线电能传输

电磁感应式无线电能传输(Electromagnetic Induction Wireless Power Transmission, EI-WPT)的机理类似于可分离变压器<sup>[7-8]</sup>,其原理是法拉第电磁感应:电流流过导体线圈时,在线圈周围产生磁场,相邻的线圈在变化的磁场中产生感应电动势,进而产生感应电流,供给负载,达到电能的无线传输,传输示意如图1所示。由于可分离变压器中气隙代替了原有的铁芯,故而电能从发射端转移到接收端的效率较低,而且随着初、次级线圈距离的增加,效率会图变得更低。

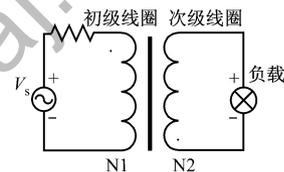


图1 电磁感应式无线电能传输示意

Qi协议无线电能传输就是基于电磁感应原理,Qi协议是全球首个推动无线充电技术的标准化组织——无线充电联盟(Wireless Power Consortium, WPC)推出的“无线充电”标准,其特点是通用性和便捷性。2010年9月1日,北京宣布将Qi无线充电国际标准率先引入中国,工业和信息化部通信电磁兼容质量监督检验中心也加入了该组织。

理论和试验表明,气隙对初、次级线圈间耦合系数的影响是很大的,固然可以通过在初级线圈回路中加入补偿电路,但在距离稍远时,效率仍很低,因此,电磁感应式无线电能传输适用于短距离、低功率的工作环境,如手机无线充电。

### 2.2 无线电波式无线电能传输

无线电波式无线电能传输(Radio-wave Wireless Power Transmission, RWPT)原理是把电能转换成高频无线电波(如微波)在空间传输,接收端收集散布在环境中的电磁波,经过检波和整流后供给直流负载使用,通过远场来进行能量的传输<sup>[9]</sup>,其基本原理类似于早期使用的矿石收音机。适用于远距离、大范围的无线电能传输,尤其适合在能量接

收终端比较密集、不易受周围环境限制的条件下传输,是目前研究比较多的无线电能量传输方式。

无线电能量传输中,能量传输的效率是至关重要的。但无线电波式无线电能量传输的功率一般比较小,定向性不好,传输的效率很低,受环境影响明显,而且如此频繁地暴露在高频电磁环境中,对生物体的影响不可忽略,同时对天线的设计要求很高。

现有市场上应用此原理进行无线电能量传输的标准是功率事务联盟(Power Matters Alliance, PMA)制定的 PMA 标准,PMA 联盟由美国 Duracell Powermat 公司发起,致力于为符合电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE)标准的手机和电子设备充电。

### 2.3 电磁谐振式无线电能量传输

#### 2.3.1 电场耦合谐振式无线电能量传输

电场耦合式无线电能量传输(Electrically-Coupled Wireless Power Transmission, EC-WPT)利用的是两终端电场的耦合进行无线电能量的传输,属于近场传输。在电场耦合式无线电能量传输中,电源侧的金属平板和负载侧的金属平板形成电容,利用电容的电场进行电能传输。由于系统体积较大而且电场对人体的危害比磁场严重,因此,目前研究得比较少<sup>[10]</sup>。

#### 2.3.2 磁耦合谐振式无线电能量传输

磁耦合谐振式无线电能量传输(Magnetically-Coupled Resonant Wireless Power Transmission, MCR-WPT)方案是 2007 年 6 月麻省理工学院 Marin Soljacic 及其小组成员提出的,其原理是利用 2 个具有相同谐振频率(9.9 MHz)、直径为 60 cm 的铜线绕制的线圈间磁耦合共振原理成功点亮了一个离电源约 2 m 的 60 W 电灯泡,其系统模型如图 2 所示,后来这项技术被称为 WiTricity<sup>[11]</sup>。模型包括 4 个线圈:激励源线圈(A)、谐振线圈(S、D)、负载线圈(B)。K 为两谐振线圈间的耦合系数, $K_S$ 、 $K_D$  分别为激励源线圈 A 和谐振线圈 S、谐振线圈 D 和负载线圈 B 之间的耦合系数,调整各线圈位置,消除不相邻线圈间的交叉耦合。

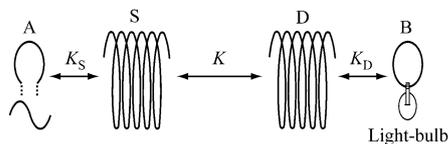


图 2 磁耦合谐振式无线电能量传输系统模型  
能量在两谐振线圈间来回振荡交换,高品质因

数的谐振线圈可以明显地减少系统的能量损耗,从而使得系统在中、远距离传输时,可以获得很高的传输效率。参考文献[4]中的试验和仿真数据显示:在距离约为 2.2 m 时,无线电能量传输的效率约为 40%,而且今后随着人们对磁耦合谐振式无线电能量传输系统研究的深入<sup>[12-13]</sup>,远距离传输时的效率能够得到很大的提高,磁耦合谐振式无线电能量传输被认为是未来最有潜力的无线电能量传输方式。

目前市场上应用此原理进行无线电能量传输的标准是无线电力联盟(Alliance for Wireless Power, A4WP)制定的 A4WP 标准,由美国高通公司、韩国三星公司以及 Powermat 公司共同创建。

### 3 矿井无线输电的应用需求前景和意义

煤矿井下有非常多的金属导体和导线,如金属支架、锚杆和架线电机车的供电线路等,在电磁波辐射场中都等效于接收天线,可吸收辐射场的能量,金属结构上的这部分能量如果在断点刮擦、碰撞等情况下,就会以放电的形式释放,可能点燃处于爆炸限的井下瓦斯气体,由于无线通信设备在煤矿井下逐步广泛使用,为避免上述情况的发生,新版的 GB 3836.1—2010《爆炸性环境 第 1 部分 设备 通用要求》<sup>[14]</sup>明确规定在煤矿瓦斯气体环境中射频天线的辐射功率不得超过 6 W,而早期的 GB 3836.1—2000《爆炸性气体环境中电气设备 第 1 部分 通用要求》并没有对无线设备发射功率进行限定。

矿井生产作业的移动性对无线输电有很迫切的需求,由于矿井爆炸性环境对辐射功率的限制,无线输电直接驱动煤矿井下机械动力设备是无法实现的,可能的选择是研究无线输电对矿井机械动力设备蓄电池进行充电,而目前对煤矿井下无线输电最为迫切的需求是对矿井安全监控系统的传感器进行无线输电。

下面将以《煤矿安全规程》和有关行业标准为依据,通过实例来分析矿井安全监控系统对无线输电的需求。

上隅角是采煤工作面瓦斯最易积聚的区域,因此,也是最需要进行瓦斯体积分数监测的地方。但是,《煤矿安全规程》第 169 条<sup>[15]</sup>只要求“高瓦斯和煤与瓦斯突出矿井采煤工作面上隅角设置便携式甲烷检测报警仪”,AQ 1029—2007《煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》第 6.2 条<sup>[16]</sup>要求所有矿井采煤工作面上隅角必须设置甲烷传感器或便携式瓦斯检测报警仪。可以看出,AQ 1029—2007《煤

矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》的要求比《煤矿安全规程》更严格,但也只是要求设置甲烷检测报警仪或甲烷传感器,报警仪只能报警,无法将检测的瓦斯数据上传,只有甲烷传感器才能同时实现报警和数据上传,而没有硬性要求设置甲烷传感器的原因就是目前的甲烷传感器受供电制约难以实现无线工作。《煤矿安全规程》和 AQ 1029—2007《煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》都规定了在采煤工作面采煤机小于 10 m 处需设置甲烷传感器  $T_1$ ,如图 3 所示,随着采煤机的后退,甲烷传感器  $T_1$  的信号电缆要随着采煤机的后退不断地收缩,而矿用信号电缆为避免线间电磁干扰又不能盘绕,为解决这样的难题,现场实际的解决方案是采用信号电缆的分节接续,甲烷传感器  $T_1$  每次后退就将信号电缆的一节拆除,这种方式下信号电缆由若干节电缆插接而成,故障点随之增加,同时每次传感器  $T_1$  的移动都必须先断线,非常繁琐,故障率高又无法连续检测。

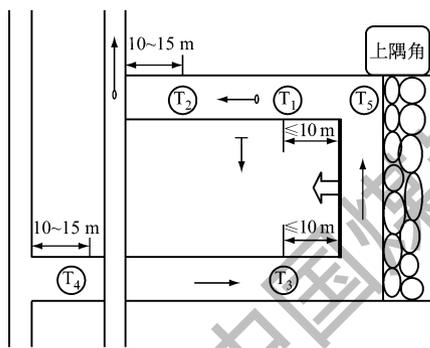


图 3 采煤工作面甲烷传感器的设置

矿井安全监控系统的现状:传感器经 3 芯或 4 芯矿用信号电缆与分站相连,其中 1 芯用作地线,1 芯用作信号线,1 芯用作由分站向传感器供电,在无线数据传输技术成熟之前,有线数据传输和有线电源供电的双重“有线”,使传感器经信号电缆与分站相连这一模式成为矿井安全监控系统的唯一选择,而随着 WiFi、ZigBee 等技术的发展,传感器和分站之间的无线数据传输已经得到了解决,目前制约传感器无线工作的瓶颈只是供电问题,尽管蓄电池可以使传感器摆脱外接电源线的束缚,但目前《煤矿安全规程》和相关的行业标准都规定矿井安全监控系统蓄电池是作为外接电源故障时,为传感器提供能量使其不小于 2 h 正常工作的备用手段。这是因为,为保障矿井安全监控系统蓄电池在短路、碰撞等不利情况下的安全性,蓄电池必须全封闭免维护、置于防爆腔中并应设计双重保护电路等,这就导致矿

井安全监控系统蓄电池容量有限,通常只能保障传感器在没有外接电源情况下工作 2 个多小时,只能是维持传感器短时工作的备用手段。

借助无线输电现有的研究成果和技术,研究无线输电在矿井中的应用对提高矿井安全监控系统的技术水平,保证矿井安全监控系统安全保障作用的发挥具有重要的作用和意义。

#### 4 结语

介绍了无线输电技术的发展历程以及传输方式分类,并结合矿井下的实际应用,研究分析了无线输电技术在矿井下的应用需求前景和意义,得出无线输电技术在矿井安全监控系统中的应用可以借助现有的研究成果的结论。但在井下环境中应用无线输电技术和产品首先要研究解决的问题如下:①井下爆炸性环境中无线输电设备的电磁辐射安全性;②无线输电的距离。这 2 个问题是相互关联制约的,通过研究在辐射功率不超过 6 W 的限制条件下,如何提高无线输电的距离以及各种无线输电方式在矿井爆炸环境下的本质安全条件和最大无线输电距离,以此确定适合井下爆炸性环境的无线输电方式。

#### 参考文献:

- [1] 孙继平. 现代化矿井通信技术与系统[J]. 工矿自动化, 2013, 39(3): 1-5.
- [2] 孙继平. 安全高效矿井通信系统技术要求[J]. 工矿自动化, 2013, 39(8): 1-5.
- [3] TESLA N. Apparatus for transmitting electrical energy: U. S. 1, 119, 732[P]. 1914-12-01.
- [4] KURS A, KARALIS A, MOFFATT R, *et al.* Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances[J]. Science, 2007, 317(5834): 83-86.
- [5] WANG B, TEO K H, NISHINO T, *et al.* Experiments on wireless power transfer with metamaterials[J]. Applied Physics Letters, 2011, 98(25): 254101-254110.
- [6] KIM S, HO J S, CHEN L Y, *et al.* Wireless power transfer to a cardiac implant[J]. Applied Physics Letters, 2012, 101(7): 073701.
- [7] 毛赛君, 王慧贞. 非接触感应电能传输系统可分离变压器特性分析[J]. 电源世界, 2006(5): 37-39.
- [8] 张茂春, 王进华, 石亚伟. 无线电能传输技术综述[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2009, 26(5): 485-488.
- [9] 赵争鸣, 张芝明, 陈凯楠. 磁耦合谐振式无线电能传输

文章编号:1671-251X(2014)07-0036-05 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.07.011  
程磊,李建雷. 矿井通风网络图自动绘制技术研究[J]. 工矿自动化,2014,40(7):36-40.

# 矿井通风网络图自动绘制技术研究

程磊, 李建雷

(河南理工大学 安全科学与工程学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:**为了掌握目前矿井通风网络图自动绘制技术的研究现状以进行进一步的研究,从通风系统图网络结构信息的采集、网络通路的生成以及网络图的绘制等3个方面进行详细分析;阐述了这3个方面的研究内容和已经取得的研究成果,并且分析了目前这3个方面的研究存在的一些不足之处;最后指出了下一步的研究方向:引入人工智能,研究更高效的网络通路生成算法和怎样使网络图更简单美观。

**关键词:**矿井通风;通风网络图;自动绘制

中图分类号:TD672 文献标志码:A 网络出版时间:2014-07-02 13:49

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13272/j.issn.1671-251x.2014.07.011.html>

Research of automatic drawing technique of mine ventilation network graph

CHENG Lei, LI Jianlei

(College of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** In order to grasp current research status of automatic drawing technique of mine ventilation network graph for further study, the paper analyzed from three aspects of information collection of network architecture, generation of network path and drawing of network graph in details. It expounded research contents, research results and existing problems of the three aspects, and finally pointed out the future research directions: the introduction of artificial intelligence, research more efficient network path generation algorithms and how to make network graph simpler and more beautiful.

**Key words:** mine ventilation; ventilation network graph; automatic drawing

收稿日期:2013-11-22;修回日期:2014-04-27;责任编辑:胡娴。

基金项目:河南省科技攻关项目(0624460003)。

作者简介:程磊(1973—),男,安徽砀山人,副教授,主要从事矿井通风与安全方面的教学与研究工作,E-mail:chengl@hpu.edu.cn。

- 技术新进展[J]. 中国电机工程学报,2013,33(3): 1-13.
- [10] CHEN YANG X, CHAO WEI L, JUAN Z. Analysis of power transfer characteristic of capacitive power transfer system and inductively coupled power transfer system[C]//IEEE International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), Jilin,2011: 1281-1285.
- [11] 罗斌,刘好. 基于 WiTricity 技术的无线功率传输的匹配电路方案研究[D]. 南昌:南昌大学,2012.
- [12] BEH T C, IMURA T, KATO M, *et al.* Basic study of improving efficiency of wireless power transfer via magnetic resonance coupling based on impedance matching [C]//IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Bari,2010:2011-2016.
- [13] KIM J W, SON H C, KIM K H, *et al.* Efficiency analysis of magnetic resonance wireless power transfer with intermediate resonant coil [J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, 2011, 10(3): 389-392.
- [14] GB 3836.1—2010 爆炸性环境 第1部分 设备通用要求[S].
- [15] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿安全规程[M]. 北京:煤炭工业出版社,2011.
- [16] AQ 1029—2007 煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范[S].