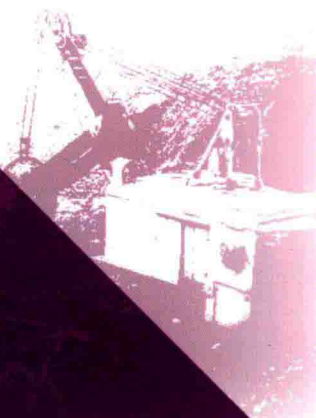


邹积岩 审



Mine Intelligent Apparatus

矿山智能电器

郭凤仪 王智勇 编著

 煤炭工业出版社

矿山智能电器

郭凤仪 王智勇 编著
邹积岩 审

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山智能电器/郭凤仪,王智勇编著. --北京:煤炭工业出版社,2018

ISBN 978-7-5020-6640-6

I. ①矿… II. ①郭… ②王… III. ①矿用电气设备—高等学校—教学参考资料 IV. ①TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 094388 号

矿山智能电器

编 著 郭凤仪 王智勇
责任编辑 徐 武 尹燕华 赵金园 杨晓艳
责任校对 孔青青
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898(总编室) 010-84657880(读者服务部)
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 19¹/₄ 字数 456 千字
版 次 2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月第 1 次印刷
社内编号 9520 定价 58.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

前 言

我国地域辽阔、煤层地质条件复杂，煤炭开采通常在环境恶劣、复杂多变的条件下进行，随着开采深度的增加，开采难度增大。传统矿用电气设备已无法满足当前煤矿生产的需求，研发具有安全智能、绿色高效等特点的矿山智能电气设备势在必行。

本书总结了作者多年的相关研究成果，论述了矿山环境下电气设备的智能化原理与设计方法，力求做到先进性和实用性并重。全书共8章，第一章论述了矿山智能电器的研究背景、目前矿山电气设备存在的问题，以及矿山智能电器的主要研究内容和发展趋势；第二章讨论了矿山供电系统和各级变电所的组成及其特殊性，阐述了典型矿用电气设备的结构特点、工作原理及其智能化设计的功能需求；第三章至第六章论述了矿山电气设备智能化的基本原理和设计方法，包括矿用传感器，矿山智能电器的硬件设计、软件设计、电磁兼容设计以及矿山智能电器的通信技术；第七章给出了矿山电器智能化技术的工程应用实例，进一步阐述了矿山智能电器的设计方法；第八章简要论述了矿用电连接器串联故障电弧及其检测方法。

本书由郭凤仪撰写第一章，王智勇撰写第二、七、八章，李鑫撰写第四、五章，高洪鑫撰写第三、六章，郭凤仪对全书进行统稿。林海副教授、王喜利博士参与了部分书稿的整理工作；邹积岩教授在百忙之中仔细审阅了书稿，并提出了宝贵的修改意见，在此一并表示诚挚的谢意。

本书部分内容引用了国内外同行的相关文献，在此表示感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

2018年1月

内 容 提 要

本书论述了矿山环境下电气设备的智能化原理与设计方法,具体内容包括矿山智能电器的研究内容与发展趋势、矿山供电系统和典型矿用电气设备的基本原理、矿用传感器、矿山电器智能化原理、矿山智能电器通信技术、矿山智能电器设计实例、矿山供电系统串联故障电弧检测技术。

本书可作为矿山电气工程及其自动化专业的教材,也可作为智能电器设计、运行、维护以及矿山机电类相关人员参考用书。

目 录

第一章 概述	1
第一节 矿山智能电器研究背景	1
第二节 矿山电气设备发展历程	2
第三节 矿山智能电器研究内容	3
第四节 矿山智能电器发展趋势	5
参考文献	9
第二章 矿山供电系统与电气设备	11
第一节 矿山供电系统	11
第二节 典型矿用电气设备	19
参考文献	29
第三章 矿用传感器	30
第一节 概述	30
第二节 电流、电压互感器	31
第三节 瓦斯传感器	37
第四节 温度传感器	44
第五节 粉尘传感器	49
第六节 一氧化碳传感器	52
第七节 风速、风量传感器	56
第八节 矿用烟雾传感器	64
参考文献	66
第四章 矿山智能电器的控制系统	68
第一节 以微处理器为核心的控制系统	68
第二节 以 PLC 为核心的控制系统	90
第三节 矿山智能电器电磁兼容设计	96
参考文献	104
第五章 矿山智能电器控制系统的软件设计	106
第一节 控制系统的应用软件设计	106

第二节 控制系统软件的控制算法	108
第三节 矿山智能电器监控系统开发软件	120
参考文献	128
第六章 矿山智能电器的通信技术	130
第一节 有线通信	130
第二节 无线通信	155
第三节 IEC-61850 标准	164
第四节 控制网络	168
第五节 煤矿典型网络	175
第六节 通信技术在煤矿井下人员跟踪定位系统中的应用	184
参考文献	197
第七章 矿山智能电器技术研究成果	199
第一节 矿用高压隔爆馈电开关智能综合保护器设计	199
第二节 矿用隔爆真空磁力启动器智能控制单元设计	210
第三节 ZDS-I 型智能电器实验装置设计	228
第四节 矿山智能电器技术在电力系统中的应用	235
参考文献	247
第八章 矿用电连接器串联故障电弧检测技术	249
第一节 概述	249
第二节 栓接电连接器松动故障的热电特性及识别方法	258
第三节 矿用电连接器串联故障电弧检测方法	277
参考文献	294

第一章 概述

第一节 矿山智能电器研究背景

煤炭是我国的主要能源，约占一次能源的 70%。我国大多数煤矿生产属井工开采，主要包括采煤、掘进、运输、通风、压风、排水、提升、供电、洗选、装运等多个相互关联制约的环节，是一个极为复杂的系统工程。由于地下煤层赋存条件复杂，受矿井水、火、煤尘、瓦斯、冲击地压等自然灾害的威胁，安全管理难度较大，煤矿安全事故时有发生，我国煤矿安全生产仍面临着严峻的形势。

资料显示，仅 2016 年在煤炭产量持续增长的情况下，全国煤矿发生事故 197 起、死亡 538 人。2011—2016 年，全国煤矿百万吨死亡率分别为 0.564、0.374、0.293、0.257、0.159、0.156，而国外产煤大国美国的百万吨死亡率则低于 0.03。事故调查表明，我国煤矿安全事故，尤其是乡镇煤矿安全事故频发的原因可以归结于以下几个方面：技术装备落后、矿井系统不完善、专业技术人才匮乏、安全教育培训滞后、安全责任不落实、现场管理松弛、隐患排查治理不到位等。据统计，2011—2016 年，全国煤矿发生的死亡事故中，无论是事故总数、死亡人数还是百万吨死亡率，乡镇煤矿均远远高于国有重点煤矿。这充分表明，技术装备落后，机械化、自动化、信息化、智能化程度低是造成上述安全事故的主要原因之一。

经过长期的开采和利用，埋藏在地浅层的煤炭已经逐渐枯竭，更加剧了煤炭开采的难度。在开采过程中，要克服极端恶劣的环境条件、复杂的工作条件，传统电气设备已经远远不能满足实际工程需求。因此，应进一步吸收各学科的高新技术，结合现代控制理论、非线性系统理论、现代信息技术和人工智能、现代不确定性理论、现代管理理论、现代地球物理学和矿物回收化学与生物学等现代科学理论，开发适应煤矿开采环境的矿山智能电器。

对比通用电器，矿山电气设备普遍存在以下问题。

(1) 数据采集问题。数据采集是智能电器的一切数据来源，传统电气设备数据采集系统本身就不够完善，许多重要的检测量并没有合适的传感器；针对煤矿井下的特殊使用环境，许多传感器的应用受到了一定的限制，给设备运行状态分析、故障诊断等带来困难。

(2) 通信问题。传统电气设备没有通信接口，或者存在通信接口、软件协议、冗余功能等方面差异，导致每个设备形成各自的信息孤岛，设备间信息交换、统一调度协调均存在较大困难。

(3) 功能单一问题。传统电气设备只具备一般的控制功能，不能进行运行分析、故障诊断、故障定位、寿命预测等功能，在设备出现问题时缺乏一定的决策能力。

(4) 抗干扰问题。矿山环境恶劣、干扰源较多, 电控设备易受干扰出现误动、拒动, 传感器也会受其干扰, 出现较大的检测误差。

(5) 设备维护及体积问题。传统设备内部及设备与设备之间连线较多, 日常维护和设备改造升级困难, 出现故障后, 排除时间较长; 井下空间狭小, 设备需进一步缩小体积。

随着我国煤炭事业的发展及安全形势的严峻, 利用先进技术改造传统的煤炭工业, 提高采煤效率、减少安全事故, 已受到煤炭企业各级领导的高度重视。许多煤炭企业都在实施自动化、信息化、智能化改造, 矿山智能电气设备的发展和应用势在必行。

第二节 矿山电气设备发展历程

矿山电气设备发展可分为以下 4 个阶段。

一、简单电磁装置研制阶段

20 世纪 60 年代是电器发展的初期, 产品主要以电磁类保护电器为主。我国在仿制的基础上设计开发的第一代统一设计的产品以 CJ10、DW10、DZ10、JR16B 等为代表, 这些产品尺寸大、耗材多、性能指标不理想、品种规格也不齐全。那时的电器产品只是简单的电磁装置, 毫无智能化概念。

二、电子电器及装置研制阶段

从 20 世纪 70 年代开始, 随着微电子技术的进一步发展, 出现了电子电器及装置。由于包括晶闸管在内的电力电子器件具有体积小、质量小、功耗小、效率高和响应快等特点, 由它构成的变流装置具有可靠性高、寿命长、容易维护等优点。它的“以弱控强”的特点, 能在强电与弱电间起到桥梁、纽带作用, 实现了应用微电子技术控制电力系统和电气设备的梦想, 拓展了微电子技术 in 电器控制方面的应用空间, 使微电子技术 in 电器智能化控制方面的应用日趋广泛。

三、初步智能化电器研制阶段

到了 20 世纪 80 年代, 随着微处理器的广泛应用, 电器及其装置具备了自诊断和记忆功能, 自动化程度及可靠性有了较大提高。智能化电器对微处理器的基本要求是硬件通用化, 应用灵活化, 具有记忆、计算、查表能力, 指令系统能够实时控制, 以及执行速度快等特点。目前, 微处理器已形成多系列、多品种的局面, 我国所使用的微处理器有 PIC、MSP430、DSP、ARM 等多种系列, 为智能化电器的发展提供了有利条件。接口技术是指微处理器与外围设备之间联系的技术, 包括硬、软件技术。接口电路多种多样, 常用的有微处理器通用接口, 键盘、显示器接口, 打印机接口和 A/D、D/A 接口等。软件技术是智能元件的灵魂, 微处理器与数字电路的本质区别就在于它具有软件系统, 很多硬件电路能实现的, 软件也能做到, 因此在硬件电路设计时, 可以考虑用软件来部分或全部实现。在硬件不变的情况下, 应用微处理器开发的智能化电气系统具备较大的适应性和升级能力。因此, 微处理器的应用为智能电器的发展奠定了基础。

我国第一代智能电器诞生于 20 世纪 90 年代。西安交通大学电器教研室在 1987 年采用 MCS-48 单片机开发出了国内第一台电器保护装置。随着单片机功能日益完善、传感器技术、计算机网络和数字通信技术的高速发展,经过短短的 30 年,智能电器已经从简单的采用微机控制取代传统机电控制功能的单一封闭式装置,发展到具有比较完整的理论体系和多学科交叉的电器智能化系统,成为电器工业领域中电力开关设备、电力系统继电保护、工业供配电系统及工业控制网络技术新的发展方向。

四、全面智能化电器研制阶段

虽然我国智能化电器技术得到了长足的发展,但仍存在智能化程度不高、通信能力较弱等缺点,矿山电器仍以传统电气设备和增加简单智能化功能的电气设备为主。目前煤矿提高了对安全、供电可靠性、采掘效率等方面的要求,而智能电器作为实现上述要求的关键设备,通过进一步发展和研究,使其形成成熟产品是急需解决的问题。而高速发展的科学技术以及新技术和新器件的不断出现,使矿山智能电器的研制成为可能。

从 21 世纪初全面开始了智能电器的研制。目前我国部分低压电器已基本实现智能化、可通信、网络化。全面可通信、网络化电器的应用刚刚起步,智能电器功能尚未全面发挥,系统配套性尚有差距,部分关键技术、产品核心技术、总线协议等与国外仍有较大差距。

第三节 矿山智能电器研究内容

针对智能电器的要求及矿山复杂恶劣的工作环境,矿山智能电器的研究内容包括以下几方面。

一、煤矿电气安全技术

煤矿电气安全技术是保障矿山电气系统正常运行和减少安全事故发生的重要手段之一。在煤矿,安全性最高的设备是本质安全型设备,可以在高浓度瓦斯环境中使用,而大型功率设备一般是隔爆型设备,隔爆设备外壳体积、质量较大,应进一步发展本安技术,扩大应用范围,并开发新材料、新技术,优化隔爆设备相关技术。

二、多参量获取与传感器技术

准确采集各种现场参数是智能电器各种功能实现的基础与关键。只有采集大量能反映电气设备自身状态的电参量,包括各种电、热、磁、光、位移、速度、振动、放电等物理量,才能对智能电器的运行情况有一个全面了解。而传感器是实现参量获取的基础,传统测量方法在适应数字化测量和控制方面还有很多不足,研究新型敏感材料、探索新颖感知方法及敏感元件的阵列化与复合化将成为智能电器领域的重要研究内容之一。

三、多功能化

传统电气设备具有功能单一、功能参数固化等缺点,而智能电器具有自动采集、分析

数据，并将各功能模块集成，如数字化仪表功能：可以实时显示各种运行参数；可以根据工作现场具体情况设置保护类型、保护特性和保护阈值；对运行状态进行分析和判断，完成监控对象要求的各种保护；真实记录并查询故障过程及事故记录数据，以使用户进行事故分析；按用户要求保存运行的历史数据，编制并打印报表等。

四、自检与故障诊断能力

对矿山智能电器的状态进行自我检测与故障诊断，是提高电器可靠性、保障系统安全运行的重要途径之一。电器运行状态往往受多种因素共同影响，即便是获取了各种状态信号，如何判断装备的优劣状态、发现具体的故障位置、故障性质以及产生的原因仍是一项十分复杂的工作。智能电器将结合数学、电气、信息、机械、系统科学和人工智能、模式识别等多个学科理论，进而提高故障诊断能力。

五、自适应控制能力

智能电器在智能感知基础上，采用优化控制技术，能够根据实际工作的环境与工况对其操作过程进行自适应调节，实现控制过程和工作状态最优，从而进一步提高电器自身的性能指标，并在很大程度上节约原材料和减少运行能耗。

六、通信网络技术

通信网络是构成智能电网的基本环节和纽带，也是智能电器各种功能延伸的重要基础。当电器通过通信网络连接起来后，从原理上讲它可以获得整个网络上连接的所有电气设备的各种信息，任何一台开关电器的保护不但可以根据自身回路的工作状况决定操作，还可以根据相关线路的状况综合分析判断和控制，从而大大提高整个系统的智能化水平。

七、绿色节能理论与技术

研究矿用电机启动、调速和能量回馈中的控制策略，减小电能损耗措施；研究大功率电机变频调速的温度控制和谐波治理问题；利用现代驱动理论，研制高功率因数变频调速系统；研究矿山机电装备的能量管理系统、能耗评价体系优化问题。

八、电磁兼容问题

智能电器是典型的强、弱电密切耦合系统，弱电部分的电磁兼容性已经成为十分突出的瓶颈问题。目前广泛采用的电磁兼容标准、规范还不能完全使弱电系统适应电力系统环境，特别是电气设备在操作控制和运行过程中，存在开关暂态干扰、雷电浪涌、高频局部放电、静电放电等现象，电磁干扰的强度和形态与一般环境相比具有很大不同，有必要进行专门的研究，并逐步形成有针对性的规范和标准，以利于指导智能电器的开发与考核验证。

九、模块化和通用性

模块化结构在产品的设计、制造及市场适应性等方面都具有明显的优势，它不仅简化了

产品的生产过程、降低了产品的开发周期,还能方便地扩展产品功能,使产品的维护、检修和升级都更为便捷。将模块化结构应用在矿山智能电器中,必然能在一定程度上提高矿山智能电器的综合性能。

第四节 矿山智能电器发展趋势

一、智能化断路器

智能化断路器将在传统断路器上融合传感器技术、微电子技术、信息与网络技术、自动控制技术等,从而在完成基本开关功能的前提下,具备感知、决策与柔性操作、设备状态监测、寿命评估等功能。

智能化断路器发展趋势如下:

(1) 在线监测技术。在线监测技术是获知断路器运行状态的手段,是智能化断路器的必备技术。目前,对于机械状态、绝缘状态、温升状态等信号的在线检测技术已经逐渐成熟,检测精度也有了一定幅度的提升,但对于采集信息的利用和挖掘还远远不够,许多新的评估和诊断方法还停留在研究阶段,需进一步完善理论及方法。

(2) 智能操作技术。智能操作技术是通过选相技术实现断路器分合闸能力的最大化,可以有效地提升断路器的开断能力、使用寿命,并抑制分合闸产生的过电压和电网谐波。但由于不同断路器操动机构运动特性差别较大、在线监测技术并不成熟,虽已研究多年,但仍停留在实验室研究阶段,需进一步提升操作技术的适用范围,并转换为产品。

(3) 网络与通信技术。断路器是煤矿供电系统中的关键设备,必须要与生产管理系统和调控系统进行信息共享。但目前矿用断路器或不具备通信功能,或通信接口不统一、通信协议不统一,绝大多数断路器并不能完全满足通信要求。将来需要出台相关的行业标准,使智能断路器的网络与通信技术走向正规化。

(4) 智能组件与可靠性技术。目前,对于智能断路器的智能组件及电磁兼容性尚未出现明确的规范,不同厂家的产品在功能、结构等方面都存在较大的差异,并且大多没有经过电磁兼容性试验。需对智能组件的功能、结构和电磁兼容性做进一步的规范。

二、智能化变压器

智能化变压器可以在智能系统环境下通过标准化网络与其他设备或系统进行信息交互,其内部嵌入各类传感器和执行器,在智能化单元管理下,保证变压器能够安全、可靠、经济运行。

智能化变压器,主要研究在线监测技术的设计与实现。目前比较认可的变压器在线检测参数包括:局部放电、油中溶解气体、油中含水量、绕组温度、铁芯接地电流、电容性套管电容量及介质损耗因数、变压器振动波谱及变压器噪声等。除了进一步完善数据检测种类、精度,以及故障诊断方法等,还需要继续研究智能变压器的自我控制功能和自愈功能。

(1) 自我控制功能。随着控制理论和技术的不断完善,智能变压器在未来将会增加自

我控制功能，比如：电压调节、负载能力调节、冷却器切入等。根据变压器本身的运行状态和环境参数，实现电网动态负荷的调整与控制。

(2) 自愈功能。变压器长期工作会出现性能老化问题，自愈功能是指变压器性能的自恢复能力。例如，变压器主体所使用的绝缘材料在老化或劣化后具有绝缘性能的自恢复功能。从目前来看，比较容易实现的是变压器油的自我循环和过滤。

三、智能化电缆

电缆与其他单元式电力电气设备不同，单元式设备便于测量和监控，但电缆属于分布式设备，一般线路较长、环境复杂多变，不利于与传感器结合监控。随着光纤技术和分布式光纤传感系统的迅速发展，在电缆中加装光纤传感器是一个全新的进程，同时也推动着智能化电缆的发展。

智能化电缆在电缆结构中加装分布式感温光纤，可以对电缆的温度进行全线监测。一方面，这种方法比在敷设电缆的同时敷设一根感温光纤的成本要低得多；另一方面，由于光纤装在电缆内部，不易受外部机械应力损伤、不受环境温度影响、实时性好，且测量精度也有一定的提升。目前，国外已经在自容式充油电缆线芯油道中成功加装测温光纤，国内也在大力研究在交联聚乙烯电缆中加装测温光纤。

为适应未来电网及大型设备对智能电缆的要求，以下功能也将是智能化电缆的主要发展方向。

(1) 多参数监测。除了在电缆内加装测温光纤用来检测电缆的温度外，新型智能电缆还将设计多个传感器，以同时实现对电缆温度、机械应力、湿度的实时监测和预警功能。

(2) 通信功能。智能电缆除了具备全新参数监测功能外，还应添加通信单元，使其具备电力传输和信息传输的双重功能。例如，采煤机可通过矿用电缆实现对系统的安全监测、远程自动控制、数据传输等功能。

四、智能开采

智能开采是指在不需要人工直接干预的情况下，通过采掘环境的智能感知、采掘装备的智能调控、采掘作业的自主巡航，由采掘装备独立完成的回采作业过程。智能化开采是在机械化开采、自动化开采的基础上，信息化与工业化深度融合的煤炭开采技术变革。

1. 地质环境及生产条件感知技术

(1) 矿山地理信息系统。地理信息系统是一种特定的十分重要的空间信息系统，它是在计算机硬、软件系统支持下，对整个或部分地球表层（包括大气层）空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。矿山地理信息系统的应用发展是煤矿开采智能化的重要条件，建立完备的矿井地理环境系统数据信息库是其最终目的，其中，矿区的三维地质模型、可视化和数字化是研究的重点和热点。

(2) 煤岩界面识别技术。现有的煤岩界面识别技术在光照不均、粉尘量大、电磁干扰等作业环境下，识别精度和速度受限；数据处理和识别算法影响识别精度和速度；遇到煤层夹矸、断层等复杂工作面，特别是煤岩普氏系数接近时，识别范围与识别精度受限。进一步引入新技术，同时融合多信息，研究高性能的煤岩界面实时识别技术与装备将是研究

重点。

2. 智能化开采控制技术

(1) 智能导航技术。井下三维空间导航系统是装备进行精确定位、协调运行的前提,也是智能化、无人化开采的基础技术。煤矿井下瓦斯等易燃易爆气体和煤尘、无线传输衰减严重、电磁环境复杂等,制约着全球定位系统(GPS)等定位技术在煤矿井下的应用。目前,我国煤矿井下装备自动导航采用光纤惯性导航和三维雷达导航。在未来,建立以卫星辅助的地下空间多维、多尺度的导航系统将是一个重要的研究方向。

(2) 多信息融合的协同控制技术。我国煤矿现有的集控系统只是将各个设备的信息汇总在一起,并没有对数据进行进一步的挖掘和分析。多信息融合的协同控制技术就是要将汇总的信息进行深入的挖掘、分析,根据各设备的当前状态、位置信息、安全规则等,做进一步的控制决策。

(3) 采煤机自动调高技术。采煤机自动调高技术是指采煤机在开采过程中,根据煤层厚度及倾角等自动改变摇臂的高度,以适应煤层的变化,该技术是智能开采的关键技术之一。自动调高技术不能单一依靠煤岩识别技术,还应综合三维测量、数学模型、采煤动应力场和截割参数动态分析等技术,对采煤调高实现精准控制。

(4) 智能化液压支架控制技术。采用电液控制技术,实现液压支架的单机自动化、组网自动化、跟随自动化、智能调斜、支架姿态检测、高压快速卸载等功能,但目前存在液压支架自动姿态调节能力差、传感器精度低等问题。未来还将结合新型液压支架与围岩耦合自适应控制技术,研究支架超前控制技术。

(5) “透明矿山”技术。“透明矿山”是指在煤矿的三维地理信息透明化的基础上,矿山所有子系统都能实现信息相互关联、相互协同,系统不仅可以掌握各子系统的工作状态等信息,而且可以“透视”系统变化的全部要素,是一种信息化和智能化的深度融合。

3. 建立煤矿物联网系统

智能化开采要在复杂、恶劣的工作环境下实现对人员、设备的协同管理和控制,这将需要物联网技术的支持,继续解决的关键技术有安全信息分布式传感、生产过程协同控制、受限异质空间传感网络实时传输及动态组网、安全信息识别与处理等。

4. 智能开采装备的研究与实现

智能开采控制打破了传统的以单机装备为主、总体协调的研制思路,建立了以成套装备总控制网络信息综合决策为主、单机装备为执行机构的体系结构。将采煤机、液压支架、刮板输送机、转载机、破碎机、带式输送机、供液系统、供电系统等装备有机结合起来,构成一个相互联系、相互依存、相互制约的采煤系统,依据系统控制决策模型分析结果,实现对综采成套装备的协调管理与集中控制。

实现智能开采的装备或系统应该具有如下功能:系统具有多方位、多层次的感知能力,可实现综采工作面信息交互的高速网络平台 and 通道;工作面生产系统协同集中控制;采煤机智能化快速记忆截割自动运行;智能化煤流平衡控制;采煤机与运输系统状态及运能的自适应配合;液压支架智能跟机移架,支架远程序列化自动控制;刮板输送机链条张力监测与智能化刮板输送机机尾伸缩自动控制、智能化软启动;各种设备自动协调运行,针对复杂多变的煤层条件及设备工况变化调整自身及设备之间的配合运行参数。

五、智能通信技术的发展趋势

(1) 多种现场总线/工业以太网并存的局面会长期存在。但从长远来看,随着工业控制逐渐向网络化和开放化发展,相对于工业控制系统的有条件的、不彻底的开放性,以太网作为目前应用最为广泛的网络技术,其具有应用广、通信速率高、资源共享能力强、发展潜力大等优点,被广泛应用于工业控制领域中,因此,采用 IP 网络构架的工业以太网技术会逐步替代传统的现场总线。

(2) IEC61850 标准在智能电器中的应用会越来越广泛,由于智能电器支持的通信方式多样,因此异构型网络还会长期存在,为了更好地实现智能电器的信息集成和互操作,IEC61850 标准会应用更广泛,类似的标准也亟须提出。

(3) 随着无线通信技术的发展,无线通信的实时性和可靠性都在一些现场布线困难、传输数据量不大、实时性要求不强的场合得以体现,因此会逐步引入无线通信。

(4) 随着智能电器的网络化,由智能电器组成的智能电网在提高工作效率的同时也会为黑客等外部攻击增加更多的切入点,因此如何保证智能电器通信网络,如 ICS/SCADA 系统的通信安全问题越来越受到重视。

六、人工智能技术在智能电器中的应用

人工智能技术是使用计算机来模拟人的某些思维过程和智能行为,是人类知识转化为机器智能的一项技术,是人类聪明才智的高度体现。智能电器的动态行为表现为非线性、复杂性和不确定性,而人工智能技术是一种基本上不依赖于模型的控制方法,适用于不确定性和高度非线性的控制对象,在控制中可用于方案决策、参数优化、故障诊断、数据预测、实时信号检测及计算等。因此,人工智能技术在智能电器中应用将越来越广泛。

人工智能技术在矿山智能电器中应用趋势如下:

(1) 开采方案决策及参数优化。由于开采地质条件的不断变化、煤层赋存的不可预知性,开采智能化还不能完全离开人的智慧,因此,人工智能技术将在开采的方案决策及参数优化上发挥重要作用。目前,很多人工智能方面的研究所和院校专注于将人工智能这项技术应用到煤炭开采中,如美国阿拉斯加大学设计的专家系统,可以根据实际情况智能地实现在长壁采煤法和短壁采煤法之间选出最佳的截煤方案;俄罗斯东部矿业大学将模糊数学理论应用到煤矿生产中,设计出一项可以智能选择最佳的爆破对策以及将方案参数最优化的专家系统。

(2) 设备故障诊断及定位。随着自动化程度的不断提高,不同设备之间相互关联,在运行过程中形成一个整体,一旦某些设备发生故障,传统诊断方法和理论在故障诊断及定位中存在较大的局限性。而人工智能技术能够克服传统故障诊断方法对模型的依赖性,是故障诊断及定位的一个新途径,将成为故障诊断及定位的一个重要研究方向。

(3) 数据预测。煤矿井下涌水量、瓦斯涌出量等重要参数是制定采掘方案、确定防治措施等的重要依据,因此,对数据进行准确的预测十分重要。由于受复杂的地质条件、多变的环境等因素影响,精确的数学模型往往很难建立,人工智能技术可以不采用数学模型实现输入与输出的非线性映射,将在煤矿井下重要数据的预测中进一步应用。

参 考 文 献

- [1] 中国科学技术学会. 电气工程学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [2] 王汝文, 宋政湘, 张国钢. 电器智能化原理及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [3] 邹积岩. 智能电器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 郭凤仪. 电器学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [5] 王虹. 综采工作面智能化关键技术研究现状与发展方向 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (1): 60-64.
- [6] 田成金. 煤炭智能化开采模式和关键技术研究 [J]. 工矿自动化, 2016, 42 (11): 28-32.
- [7] 王金华, 黄层华. 中国煤矿智能开采科技创新与发展 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (9): 1-6.
- [8] 佟为明, 梁金权, 金显吉. 智能电器通讯技术发展研究 [J]. 电器与能效管理技术, 2016 (3): 1-5.
- [9] 左毅, 陈勇. 人工智能在煤矿安全生产中的运用 [J]. 煤炭技术, 2014, 33 (2): 91-93.
- [10] 李春华, 刘春生. 采煤机滚筒自动调高技术的分析 [J]. 工矿自动化, 2005 (4): 48-51.
- [11] 高乐, 卢宇彤, 虞鹏鹏, 等. 成矿区三维可视化与立体定量预测——以钦-杭成矿带庞西垌地区下园垌铅锌矿区为例 [J]. 岩石学报, 2017, 33 (3): 767-778.
- [12] 马鑫民, 杨仁树, 王茂源, 等. 基于工程类比煤巷支护智能预测系统与应用 [J]. 中国矿业, 2016, 25 (2): 85-90.
- [13] 李文华, 李涛, 杨旭. 基于人工智能控制的井下排水系统 [J]. 工矿自动化, 2010, 36 (1): 88-90.
- [14] 孙继平. 基于图像识别的煤岩界面识别方法研究 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39 (2): 77-79.
- [15] 满慎刚. 煤矿安全危机形成机理与管控研究 [D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [16] 孙继平. 煤矿电气安全关键技术研究 [J]. 工矿自动化, 2011, 37 (1): 1-4.
- [17] 马丽丽. 煤矿井下物联网监控框架及关键技术研究 [J]. 煤炭技术, 2017, 36 (9): 264-266.
- [18] 兰建义. 煤矿人因失误事故分析的关键影响因素危险识别研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2015.
- [19] 杨仁树, 马鑫民, 李清, 等. 煤矿巷道掘进爆破智能设计系统及应用 [J]. 煤炭学报, 2013, 38 (7): 1130-1135.
- [20] 袁亮. 煤炭精准开采科学构想 [J]. 煤炭学报, 2017, 42 (1): 1-7.
- [21] 吴婕萍, 李国辉. 煤岩界面自动识别技术发展现状及其趋势 [J]. 工矿自动化,

2015, 41 (12): 44-49.

- [22] 袁亮. 面向煤炭精准开采的物联网架构及关键技术 [J]. 工矿自动化, 2017, 43 (10): 1-7.
- [23] 靳虎. 人工智能技术在电气工程自动化中的应用 [J]. 科技展望, 2015 (2): 128.
- [24] 靳运章. 我国煤矿事故特征规律及组合预测模型研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2016.
- [25] 王建华, 张国钢, 耿英三, 等. 智能电器最新技术研究及应用发展前景 [J]. 电工技术学报, 2015, 30 (9): 1-11.
- [26] 王建华, 耿英三, 宋政湘, 等. 智能电网与智能电器 [J]. 电气技术, 2010 (8): 1-3.
- [27] 葛世荣. 智能化采煤装备的关键技术 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (9): 7-11.
- [28] 刘怀喜, 曹有助, 曹晓静. 综掘工作面智能化开采技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2017, 45 (7): 106-111.
- [29] Gorokhovich Y, Voros A, Reid M, et al. Prioritizing Abandoned Coal Mine Reclamation Projects Within the Contiguous United States Using Geographic Information System Extrapolation [J]. Environmental Management, 2003, 32 (4): 527-534.
- [30] Che D, Zhou H. Three-dimensional geoscience modeling and simulation of gas explosion in coal mine [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2017, 22 (3): 329-333.
- [31] Tan B, Zhu H, Shi W, et al. Study and training on virtual reality technology of mine fire prevention [C]. 9th International Conference on Computer Science & Education, Vancouver, BC, 2014, 937-940.
- [32] Li Li, Wei W, Qi TR. Processing of ultrasonic reflection signal from coal-rock interface using modified S-transform [J]. Journal of China Coal Society, 2015.
- [33] 孟磊, 丁恩杰, 吴立新. 基于矿山物联网的矿井突水感知关键技术研究 [J/OL]. 煤炭学报, 2013, 38 (8): 1397-1403.
- [34] 孟凡江, 袁志金. 综采工作面多源异构数据融合的远程预警诊断系统的研究与应用 [J]. 煤矿机械, 2017, 38 (7): 133-135.