中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

煤矿智能化学术专题



孙继平,教授,博士生导师,博士,注册安全工程师,现任中国矿业大学(北京)信息工程研究所所长,原中国矿业大学(北京)副校长。兼任国家安全生产专家组煤矿机电组组长,中国煤炭学会自动化专业委员会主任,中国煤炭工业技术委员会信息化专家委员会主任,中国煤炭工业安全科学技术学会监控与信息化专业委员会主任,国务院安委会专家委员会矿山专业委员会副主任,国家安全生产监督管理总局技术委员会委员,国家安全生产监督管理总局煤矿瓦斯与火灾防治技术科技研发平台主任,中国安全生产协会矿山应急救援技术研究中心主任,《煤炭科学技术》杂志编委等。

孙继平教授从事煤矿安全生产监控与通信、安全生产信息化、煤矿电气安全和事故应急救援等方面的研究。作为项目负责人主持了国家重点研发计划、国家自然科学基金重点基金、国家自然科学基金面上基金等多项国家和省部级科研项目。获全国优秀科技工作者奖、中国科学教育发展基金会孙越崎能源大奖,1993 年开始享受政府特殊津贴等。获国家科技进步二等奖 3 项(作为第一完成人 2 项);作为第一完成人获部级科技进步特等奖和一等奖共计 8 项;作为第一完成人主持制定中华人民共和国煤炭行业和安全生产行业标准 28 项;主持制定《煤矿安全规程》第十一章监控与通信;作为第一作者或独立完成著作 12 部;作为第一作者或独立完成发表论文被 SCI 和 Ei 检索 90 余篇;作为第一发明人获国家授权发明专利 60 余项;作为国务院事故调查专家组组长,参加了 10 起煤矿特别重大事故调查工作。

孙继平. 煤矿机器人电气安全技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(4): 1-6. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.04.001

SUN Jiping. Research on electrical safety technology of coal mine robot[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(4): 1-6. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.04.001

移动扫码阅读

煤矿机器人电气安全技术研究

孙 继 平

(中国矿业大学(北京),北京 100083)

摘 要:研究了煤矿机器人必须要解决的动力、蓄电池防爆及充电安全等问题,并提出解决方案。提出通过限制蓄电池容量,增加防止过充、过放、过载、过热等保护,可以将免维护铅酸蓄电池放置在隔爆外壳内,用于煤矿井下爆炸性环境。提出煤矿机器人蓄电池宜采用隔爆型防爆型式。提出采用隔爆型防爆型式的锂离子蓄电池,应限制隔爆外壳内蓄电池容量,并根据隔爆外壳内锂离子蓄电池容量,提高隔爆外壳的耐爆和不传爆性能。提出难以建设机器人专用充电硐室的矿井,可设置机器人充电舱;煤矿机器人充电舱宜采用钢材制成,设置在进风巷和机器人作业区域内;机器人充电舱内必须设置灭火器材和甲烷传感器。提出煤矿机器人蓄电池有线充电宜采用隔爆型充电装置;隔爆型充电装置和隔爆蓄电池,在对接、充电和分离状态均应保证形成独立的隔爆腔;在对接、充电和分离状态均有独立的安全闭锁机构,确保充电接口未可靠连接和充电隔爆腔未形成前,机器人及其充电装置的充电接口不带电。提出煤矿机器人蓄电池井下无线充电,会在周边金属物体上感生电动势,引爆电雷管,较高的感生电动势将会放电,会引起瓦斯爆炸和火灾;单点小功率、多点分散无线充电,不但要考核单一充电点的本质安全防爆性能,还要考核邻近多点的功率和能量叠加;提出不得将较大功率定向充电天线正对固定岗位操作工。

关键词:煤矿机器人;电气安全;防爆;蓄电池;充电;动力

中图分类号:TD76;TN911.73 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-2336(2019)04-0001-06

收稿日期:2019-02-08;**责任编辑**:赵 瑞

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801800)

作者简介:孙继平(1958—),男,山西翼城人,教授,博士生导师,博士,现任中国矿业大学(北京)信息工程研究所所长。E-mail:sjp@cumtb.edu.cn

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

Research on electrical safety technology of coal mine robot

SUN Jiping

(*China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The problems of power, battery explosion-proof and charging safety that coal mine robots must solve are studied, and solutions are proposed. It is proposed that by limiting the battery capacity and increasing protection against overcharging, overdischarging, overloading, overheating, etc., the maintenance-free lead-acid battery can be placed in an explosion-proof enclosure for using in an explosive environment in a coal mine. It is proposed that the coal mine robot battery should adopt the explosion-proof explosion-proof type. It is proposed to use a flame-proof type and explosion-proof type lithium ion battery, which should limit the battery capacity in the flameproof enclosure, and improve the explosion-proof and non-explosive performance of the flameproof enclosure according to the capacity of the lithium ion battery in the explosion-proof enclosure. It is proposed that it is difficult to build a mine dedicated charging chamber for the robot, and a robot charging compartment can be set; The charging cabin of coal mine robot should be made of steel and installed in the air inlet lane and the robot working area; Fire extinguishing equipment and methane sensor must be installed in the robot charging cabin. It is suggested that the explosion-proof charging device and the robot should be used for the wired charging of the coal mine robot battery; The independent explosion-proof chamber should be formed in the docking, charging and separating states; There is an independent safety locking mechanism in the docking, charging and separating states to ensure the charging. The charging interface of the robot and its charging device is not energized until the interface is not reliably connected and the charging explosion chamber is not formed.It is proposed that the underground charging of the coal mine robot battery will induce electromotive force on the surrounding metal objects, detonate the electric detonator, and the higher induced electromotive force will discharge, which will cause gas explosion and fire; single point low power, multi-point decentralized wireless charging, not only to assess the intrinsic safety and explosion-proof performance of a single charging point, but also to assess the power and energy superposition of adjacent multiple points; It is proposed that the larger power-oriented charging antenna should not be facing the fixed-position operator.

Key words: robot for coal mine; electrical safety; explosion-proof; battery; charging; power

0 引　　言

煤炭是我国主要能源,在我国能源生产与消费结构中所占比例最大。20 多年来,煤炭产量约占我国能源生产总量的 70%,煤炭消费量约占我国能源消费总量的 60%[1]。我国富煤、贫油、少气的资源特点和非化石能源占比低的实际,决定了在未来相当长的时期内,我国以煤炭为主体的这种能源生产和消费构成不会有大的改变,煤炭的战略地位十分重要。节能减排、提高能源转化和利用效率、集中清洁利用煤炭、减少煤炭散烧,大力发展高效超低排放火电机组,电热联产、集中供热,积极引导煤炭散烧用户改用电能,推广应用电能汽车等是防治雾霾的有效措施。因此,火电用煤量将会增加。煤炭将向着安全绿色高效开采、清洁高效集中利用方向发展。

煤炭行业是高危行业,瓦斯、水、火、顶板、爆破、运输和机电等事故困扰着煤矿安全生产[1-3]。2018 年全国煤矿共发生事故 224 起、死亡 333 人;其中,较大事故 17 起、死亡 69 人;重大事故 2 起、死亡 34 人;没有发生特别重大事故;煤矿百万吨死亡率 0.093,首次降至 0.1 以下;事故总量、较大事故、重特大事故和百万吨死亡率均大幅下降[4]。事故调查和分析表明,在事故其他条件不变的情况下,煤矿井下作业人员越多,瓦斯爆炸、火灾、水灾等事故死亡人数越多。因此,减少煤矿井下作业人员,是减少煤矿重特大事故、百万吨死亡率、事故总量和死亡人数的有效措施[5]。

煤矿机械化、自动化、信息化和智能化是安全高效绿色现代化煤矿的发展方向。煤矿井下机器人是减少煤矿井下作业人员的有效措施。为指导和促进煤矿机器人发展,国家煤矿安全监察局于 2019 年 1 月 2 日发布了《煤矿机器人重点研发目录》,包括掘进、采煤、运输、安控和救援 5 大类,共 38 种[6]。

煤矿井下是有限空间,有甲烷、一氧化碳等易燃易爆气体,有矿尘,有淋水,环境潮湿,空间狭小,巷道长达 10 余 km,电磁波传输衰减严重,卫星定位信号不能覆盖煤矿井下,电磁干扰严重,电网电压波动范围大等,制约着地面机器人直接在煤矿井下应用[1]。因此,需要针对煤矿井下特殊环境和要求,研究煤矿机器人及其安全技术[7-8]。煤矿机器人安全主要包括动力安全、蓄电池安全、蓄电池防爆安全、蓄电池充电安全等。这些问题制约着煤矿机器人安全标志准用证和防爆合格证的取得,是煤矿机器人下井使用必须解决的关键技术问题和难题。

1　煤矿机器人动力

地面机器人的动力比较容易解决,但煤矿井下机器人的动力是最难解决,且必须要解决的关键技

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

术难题。煤矿井下机器人动力可选择电动、柴油动力和高压气动。柴油动力具有简单的优点,但柴油是易燃物品,煤矿井下自动加注柴油困难;柴油机作业时噪声大、尾气排放污染井下空气。煤矿井下是受限空间,大量柴油动力机器人在井下使用,将使煤矿井下空气质量降低。加大矿井通风量,可以提高煤矿井下空气质量,但在巷道通风断面一定、风速受限的情况下,风量难以大幅度提高。

高压气动具有简单的优点,但高压气瓶是高压容器,使用维护和管理不善会导致高压容器伤人事故。高压气动煤矿井下机器人存在着自重大、续航时间短、加压补气困难等问题。

电动机器人具有自重小、续航时间长、使用维护方便等优点,煤矿机器人宜优选电动。电动机器人供电包括电缆供电和蓄电池供电等方式。电缆供电具有简单、可靠等优点,但远距离拖拽电缆,具有体积大、质量大、不便于使用等缺点。蓄电池供电具有自重小、续航时间长、使用维护方便等优点,煤矿移动机器人宜优选蓄电池供电。但煤矿井下具有瓦斯等易燃易爆气体,制约着蓄电池机器人在煤矿井下应用,急需研究解决煤矿机器人蓄电池安全问题,这包括使用安全和充电安全等。

2 煤矿机器人用蓄电池

常用的蓄电池主要有锂离子、铅酸、镍镉和镍氢等。锂离子蓄电池具有比能量最高、寿命最长等优点,因此被广泛应用。但当充放电保护电路失效,锂离子蓄电池在充电和放电过程中,会发生爆炸。锂离子蓄电池主要有磷酸铁锂、钴酸锂、锰酸锂、镍酸锂等。其中,磷酸铁锂蓄电池安全性最好,但当充放电保护电路失效,在充电和放电过程中,也会发生爆炸事故。镍镉和镍氢蓄电池具有记忆效应,比能量低于锂离子电池,因此,镍镉和镍氢蓄电池被锂电池替代。

铅酸蓄电池历史最悠久,但比能量最低、寿命最短,在过充电的情况下,会析出氢气,因此,《GB 3836.2—2010 爆炸性环境第 2 部分:由隔爆外壳“d”保护的设备》[9]规定,在正常使用可能释放氢气和氧气等电解气体的电池不能在隔爆外壳内使用。允许在隔爆外壳内使用的蓄电池有镍镉、镍氢和锂蓄电池,不包括铅酸蓄电池。这就是说铅酸蓄电池不允许在隔爆外壳中使用。

铅酸蓄电池正常充放电情况下,不会发生燃烧和爆炸。铅酸蓄电池过充电时,会析出氢气,当析出的氢气达到一定量时,遇到火源就会燃烧和爆炸。铅酸蓄电池过充电时的析氢量,与过充电的安时数、电解液含水量、蓄电池电极材质和结构等有关。铅酸蓄电池过充电时的析氢量,与电池过充电的安时数成正比,即过充电电流越大、过充时间越长,析氢量越大。铅酸蓄电池过充电时的析氢量,与蓄电池电解液有关,电解液含水量越大,过充电时的析氢量越大。采用铅钙合金的免维护铅酸蓄电池过充电时的析氢量,远小于采用铅锑合金传统铅酸蓄电池过充电时的析氢量。因此,笔者认为不区分蓄电池容量、使用的材质和结构、是否有防过充保护等,全面禁止铅酸蓄电池用于隔爆外壳内是不科学的。隔爆外壳中的铅酸蓄电池已在煤矿井下使用数十年,正常使用(含充电)与维护的铅酸蓄电池,没有发生引起瓦斯和煤尘爆炸和火灾的案例;因此,笔者认为不区分蓄电池容量、使用的材质和结构、是否有防过充保护等,全面禁止铅酸蓄电池用于隔爆外壳内是错误的。因此,通过限制蓄电池容量,增加防止过充、过放、过载、过热等保护的免维护铅酸蓄电池,可以放置在隔爆外壳内,可以用于煤矿井下爆炸性环境。

因此,通过限制蓄电池容量,具有防止过充、过放、过载、过热等保护的磷酸铁锂、免维护铅酸、镍镉、镍氢蓄电池均可放置在隔爆外壳内,可以用于煤矿井下爆炸性环境。综合考虑比能量、寿命、安全性和性价比等,应优选磷酸铁锂和免维护铅酸蓄电池蓄。

3 煤矿机器人蓄电池防爆

矿用防爆电气设备防爆型式主要有本质安全型、胶封型、增安型、隔爆型等[10-12]。

1)本质安全型防爆电气设备通过双重化或多重化电路,限制功率、电压、电流和故障时间等,进而限制火花能量,使电路在正常工作和规定的故障状态下,产生的电火花和温度其能量足够低,不足以点燃周围可燃性气体混合物。本质安全型防爆性能最好,可用于煤矿井下所有场所和瓦斯超限等各种条件。瓦斯超限后,必须切断非本质安全型电气设备的电源,但本质安全型电气设备可继续工作。但本质安全型防爆措施,限制了大功率、高电压、大电流电气设备采用本质安全型。本质安全型仅用于监控、定位、通信、监视和信号等小功率、低电压和小电流设备。磷酸铁锂等锂离子蓄电池,当充放电保护电路失效后,在充电和使用过程中,会发生爆炸事故。因此,磷酸铁锂等锂离子蓄电池难以制成本质安全型防爆蓄电池。

2)胶封型防爆电气设备将电气设备胶封在胶

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

封剂中,将爆炸性气体混合物与电气设备隔离,使电气设备在正常工作情况下,不会点燃周围爆炸性混合物。胶封剂应具有一定的化学、热、电和机械稳定性。胶封体应具有一定的厚度、无孔隙和裂纹等。胶封型电气设备的防爆性能低于本质安全型和隔爆型,不能用于可能造成胶封体损坏的冲击、挤压、振动、跌落、高温等环境,例如有煤和岩跌落的采掘工作面。被胶封的电气设备不能产生造成胶封体损坏的高压、高温等。因此,短路、过充和过放等会产生高压和高温的蓄电池,难以采用胶封防爆型式。

3)增安型防爆电气设备通过提高电路和导线连接可靠性,加强外壳防护,限制设备温度、提高绝缘等级,加大电气间隙和爬电距离等,使其在正常运行条件下不产生电弧、电火花和危险温度。因此,短路、过充和过放等会产生爆炸和高温的蓄电池难以采用增安防爆型式。增安型防爆电气设备的防爆性能低于本质安全型、隔爆型和胶封型,应用场所受限,不能用于煤与瓦斯突出矿井,不能用于高瓦斯和低瓦斯矿井的总回风巷,主要采区回风巷,采掘工作面及其进、回风巷[13]。

4)隔爆型防爆电气设备将电气设备置于隔爆外壳内,隔爆外壳具有耐爆和不传爆性能。当隔爆外壳内发生燃烧和爆炸时,产生的高温和高压气体,不会使隔爆外壳爆破或产生影响隔爆性能的变形;逸出壳外的爆炸生成物,其温度足够的低,不足以点燃壳外爆炸性混合物。隔爆型防爆电气设备的关键是外壳强度和隔爆面等。隔爆型防爆电气设备的防爆性能仅次于本质安全型,可用于煤矿井下所有场所,不受功率、电压和电流限制,适用范围广,煤矿机器人蓄电池宜采用隔爆型防爆型式。

目前矿用隔爆型防爆电气设备的隔爆外壳强度和隔爆面宽度及间隙,是在隔爆外壳内除甲烷等爆炸性气体外,无其他易燃易爆物质的条件下,根据甲烷爆炸性气体混合物确定的。锂离子蓄电池具有燃烧和爆炸性,当隔爆外壳内有锂离子蓄电池时,其爆炸压力会大幅增加。此外,空气中甲烷气体爆炸迅速,锂离子蓄电池爆炸相对较慢,这增加了隔爆外壳耐高压和耐高温时间。因此,需根据隔爆外壳内锂离子蓄电池容量,提高隔爆外壳的耐爆和不传爆性能,并限制隔爆外壳内蓄电池容量。

4　煤矿机器人蓄电池充电安全

2016 版《煤矿安全规程》“第四百八十五条 使用蓄电池的设备充电应符合下列要求:①充电设备与蓄电池匹配。②充电设备接口具有防反向充电保护措施。③便携式设备在地面充电。④机车等移动设备在专用充电硐室或者地面充电。⑤监控、通信、避险等设备的备用电源可以就地充电,并有防过充等保护措施[13]。

因此,煤矿井下机器人蓄电池需在专用充电硐室或者地面充电。距离地面较近的煤矿机器人,可以在地面充电。但远离地面(可达 10 km)的煤矿机器人到地面充电,将影响煤矿机器人的工作效率。

机器人专用充电硐室应建在进风巷;最好建在机器人作业区域内,以提高工作效率。难以建设机器人专用充电硐室的矿井,可设置机器人充电舱。煤矿机器人充电舱宜采用钢材制成;应设置在进风巷;设置在机器人作业区域内,以提高工作效率。机器人专用充电硐室和充电舱内必须设置足够数量的扑灭电气火灾的灭火器材;必须设置甲烷传感器,当甲烷浓度大于 0.5%时,停电并闭锁。煤矿机器人蓄电池充电装置应具有防过充等保护。

煤矿机器人蓄电池充电可采用有线充电和无线充电。煤矿井下有线充电具有可大电流快速充电、安全等优点,但需专用充电硐室或机器人充电舱。有线充电宜采用隔爆型充电装置和隔爆型蓄电池。隔爆型充电装置和隔爆型蓄电池在对接状态、充电状态和分离状态均应保证形成独立的隔爆腔;在对接状态、充电状态和分离状态均有独立的安全闭锁机构,确保充电接口未可靠连接和充电隔爆腔未形成前,机器人及其充电装置的充电接口不带电,避免产生电弧、电火花和危险温度,引爆瓦斯。

煤矿井下无线充电具有不需要专用充电硐室和机器人充电舱等优点,但不能大电流快速充电,充电功率小,充电时间长。煤矿井下无线充电必须满足本质安全防爆要求,充电功率受限。煤矿井下无线充电受发射功率、工作频率、天线效率、收发天线距离、方向性等影响。煤矿井下无线发射,不但会被接收天线接收,还会在支护、电缆、铁轨、水管、设备等金属物体上感生电动势,较高的感生电动势将会放电,会引起瓦斯爆炸和火灾[14]。煤矿井下较大功率的无线发射,还会引爆电雷管。金属周边的所有无线发射,均会在金属上感生电动势,可能造成能量叠加。因此,单点小功率、多点分散无线充电,不但要考核单一充电点的本质安全防爆性能,还要考核邻近多点的功率和能量叠加。

无线充电不但要考核本质安全防爆性能,还要考虑无线电波对人体的伤害[14]。煤矿井下巷道高度较低、宽度较窄,无线天线距离人员较近,同样发射功率条件下,距离越近,对人体的伤害越大。无线

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

电波对人体的伤害还与无线电波照射时间有关,同样发射功率条件下,照射时间越长对人体伤害越大。因此,应避免较大发射功率天线对人体的长期照射,避免较大功率定向天线正对固定岗位操作工。

5 结 论

1)通过煤矿机械化、自动化、信息化、智能化和机器人等,减少煤矿井下作业人员,是减少煤矿重特大事故、百万吨死亡率、事故总量和死亡人数的有效措施。

2)煤矿井下电气防爆等特殊要求,制约着地面机器人直接在煤矿井下应用。机器人动力、蓄电池防爆和充放电安全等,是煤矿机器人最关键的技术问题,也是必须要解决的技术难题。

3)煤矿机器人动力主要有电动、柴油动力和高压气动。柴油动力具有简单的优点,但柴油是易燃物品,煤矿井下自动加注柴油困难;柴油机作业时噪声大、尾气排放污染井下空气。高压气动具有简单的优点,但高压气瓶是高压容器,使用维护和管理不善会导致高压容器伤人事故。高压气动煤矿井下机器人存在着自重大、续航时间短、加压补气困难等问题。电动机器人具有自重小、续航时间长、使用维护方便等优点,电力是煤矿机器人的主要动力。煤矿移动机器人宜优选蓄电池供电。

4)电动机器人供电包括电缆供电和蓄电池供电等方式。电缆供电具有简单、可靠等优点,但远距离拖拽电缆,具有体积大、质量大、不便于使用等缺点。蓄电池供电具有自重小、续航时间长、使用维护方便等优点。

5)通过限制蓄电池容量,具有防止过充、过放、过载、过热等保护的磷酸铁锂,免维护铅酸、镍镉、镍氢蓄电池均可用于隔爆外壳内,用于煤矿井下爆炸性环境。综合考虑比能量、寿命、安全性和性价比等,应优选磷酸铁锂和免维护铅酸蓄电池。

6)煤矿机器人蓄电池宜采用隔爆型防爆型式。需根据隔爆外壳内锂离子蓄电池容量,提高隔爆外壳的耐爆和不传爆性能,并限制隔爆外壳内蓄电池容量。

7)距离地面较远的煤矿机器人宜在专用充电硐室或机器人充电舱内充电。专用充电硐室和充电舱应建在进风巷,建在机器人作业区域内,以提高工作效率。机器人专用充电硐室和充电舱内必须设置足够数量的扑灭电气火灾的灭火器材;必须设置甲烷传感器,当甲烷浓度大于 0.5%时,停电并闭锁。煤矿机器人蓄电池充电装置应具有防过充等保护。

8)煤矿机器人蓄电池充电可采用有线充电和无线充电。煤矿井下有线充电具有可大电流快速充电、安全等优点,但需专用充电硐室或机器人充电舱。有线充电一般采用隔爆型充电装置。隔爆型充电装置和隔爆型蓄电池在对接状态、充电状态和分离状态均应保证形成独立的隔爆腔;在对接状态、充电状态和分离状态均有独立的安全闭锁机构,确保充电接口未可靠连接和充电隔爆腔未形成前,机器人及其充电装置的充电接口不带电,避免产生电弧、电火花和危险温度,引爆瓦斯。

9)煤矿井下无线充电具有不需要专用充电硐室或机器人充电舱等优点,但不能大电流快速充电,充电功率小,充电时间长。煤矿井下无线充电会在支护、电缆、铁轨、水管、设备等金属物体上感生电动势,较高的感生电动势会放电,会引起瓦斯爆炸和火灾。煤矿井下较大功率的无线发射,还会引爆电雷管。单点小功率、多点分散无线充电,不但要考核单一充电点的本质安全防爆性能,还要考核邻近多点的功率和能量叠加。无线充电不但要考核本质安全防爆性能,还要考虑无线电波对人体的伤害,应避免较大发射功率天线对人体的长时间照射,避免较大功率定向天线正对固定岗位操作工。

参考文献(References):

[1] 孙继平.互联网+煤矿监控与通信[M].北京:煤炭工业出版社,2016.

[2] 孙继平,钱晓红.2004—2015 年全国煤矿事故分析[J].工矿自动化,2016,42(11):1-5.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Analysis of national coal mine accidents from 2004 to 2015[J]. Industry and Mine Automation, 2016,42(11):1-5.

[3] 孙继平,钱晓红.煤矿事故与应急救援技术装备[J].工矿自动化,2016,42(10):1-5.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Technical equipment for coal mine accident and emergency rescue[J]. Industry and Mine Automation, 2016,42(10):1-5.

[4] 国家煤炭工业网.全国煤矿安全生产工作会议召开[EB/OL].[2019-01-21].http://www.coalchina.org.cn/detail/19/01/21/00000006/content.html path=19/01/21/00000006.

[5] 孙继平.煤矿安全生产理念研究[J].煤炭学报, 2011,36(2):313-316.
SUN Jiping. Study on the concept of coal mine safety production[J]. Journal of China Coal Society, 2011,36(2): 313-316.

[6] 国家煤矿安全监察局.《煤矿机器人重点研发目录》[(2019)第 1 号][Z].北京:国家煤矿安全监察局,2019.

[7] 孙继平.煤矿安全生产监控与通信技术[J].煤炭学报, 2010,35(11): 1925-1929.
SUN Jiping. Safety production monitoring and communication technology in coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2010,35

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

(11): 1925-1929.

[8] 孙继平,钱晓红.煤矿重特大事故应急救援技术及装备[J].煤炭科学技术, 2017,45(1):112-116,153.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Emergency rescue technology and equipment of mine extra ordinary accidents [J].Coal Science and Technology, 2017,45(1):112-116,153.

[9] GB 3836.2—2010,爆炸性环境 第 2 部分:由隔爆外壳"d"保护的设备[S].

[10] 孙继平.煤矿安全监控系统[M].北京:煤炭工业出版社,2006.

[11] 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.
SUN Jiping.Research on key technologies of coal mine electrical safety[J].Industry and Mine Automation,2011,37(1):1-4.

[12] 孙继平.《煤矿安全规程》电气部分修订意见[J].工矿自动化,2014,40(4):1-5.
SUN Jiping. Revised opinions on the electrical part of "*Safety Regulations for Coal Mines*"[J].Industry and Mine Automation, 2014,40(4):1-5.

[13] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局.煤矿安全规程[M].北京:煤炭工业出版社,2016.

[14] 孙继平.煤矿信息化自动化新技术与发展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):19-23,83.
SUN Jiping.New technology and development of mine information automation[J].Coal Science and Technology, 2016,44(1): 19-23,83.