

机电与自动化

煤矿巷道掘进装备关键技术现状和展望

郝建生

(中国煤炭科工集团太原研究院有限公司 山西 太原 030006)

摘要:为解决我国煤矿采掘失衡、采掘接续矛盾的问题,通过分析国内外掘进技术装备的现状,探讨了掘锚平行作业和硬岩截割2个制约快速掘进的主要问题,介绍了掘锚一体化联合作业和硬岩截割新技术发展,如悬臂式掘进机机载液压锚杆钻机系统、单巷连续快速掘进成套设备、快速掘进系统等的设计,最后对掘进技术与装备的发展方向提出了展望和建议。

关键词:巷道掘进;掘进设备;采掘失衡;快速掘进;硬岩截割

中图分类号:TD421 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)08-0069-06

Present Status and Outlook of Key Technology for Mine Roadway Heading Equipment

HAO Jian-sheng

(Taiyuan Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In order to solve the problems of a mining and excavation unbalancing and the mining and excavation connection contradiction in China coal mine, with an analysis on the present status of the mine heading technology and equipment at home and abroad, the paper discussed the main problems of the heading and bolting parallel operation and the hard rock cutting, which could restrict a mine roadway rapid heading and introduced a heading and bolting integrated combined operation and a new technical development of the hard rock cutting, including the hydraulic bolt drilling system on a boom type roadheader, a complete equipment for a continued rapid heading in a single mine roadway, a rapid heading system and others. Finally, the paper had a prospect and proposals on the development orientation of the mine road heading technology and equipment.

Key words: mine roadway heading; heading equipment; unbalance between mining and heading; rapid heading; hard rock cutting

0 引言

随着我国煤矿综采技术装备与矿井配套设施的快速发展,综采工作面的开采强度成倍增加,使煤矿井下巷道掘进工程量剧增,“采掘失衡、采掘接续”的矛盾日益突出。发展巷道掘进成套技术装备,提高掘进工艺水平已经成为煤矿可持续健康发展、安全高效集约化生产的重要保障。近些年,随着新技术发展和不断改进,掘进机质量和截割功率不断增大,先进液压和电气系统以及自动化系统的广泛应用,都使掘进机的性能和使用寿命大幅提高。然而

对比国外同类机型,我国在破岩能力、机电一体化、元部件可靠性等技术方面还存在一定差距。随着掘进机向超重型大功率发展,新研制的机型不是简单的局部改进,也不是以往成功机型的放大缩小,而是掘进机技术一次意义深远的多方面变革,其技术难度也越来越大。因此,笔者分析了国内外煤矿巷道掘进装备研究技术现状,并提出有待解决的关键技术问题,以提高截割性能和可靠性。

1 国内外掘进技术装备现状及比较

目前已开发出截割功率30~350 kW、整机质量

收稿日期:2014-04-22;责任编辑:赵瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.08.018

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA06A405)

作者简介:郝建生(1977—),男,山西太谷人,高级工程师,工程硕士。E-mail:haojiansheng@188.com

引用格式:郝建生.煤矿巷道掘进装备关键技术现状和展望[J].煤炭科学技术 2014 A2(8):69~74.

HAO Jian-sheng. Present Status and Outlook of Key Technology for Mine Roadway Heading Equipment [J]. Coal Science and Technology 2014 A2(8):69~74.

18~135 t,从轻型到超重型的20多种型号的系列产品,在煤矿井下煤及半煤岩,甚至全岩巷道的机械化掘进中广泛应用。我国重点煤矿煤及半煤岩巷掘进主要采用中型和重型掘进机,其截割功率在120 kW以上^[1],整机质量在35 t以上,主要适应经济截割硬度为4~6的煤及半煤岩巷掘进。机型以EBJ-120TP、EBZ160TY、EBZ220TY、S200A、EBZ160及EBZ200等为主,占据进机使用量的80%以上。

全岩巷道的掘进主要采用重型和超重型悬臂式掘进机,新汶矿业集团、淮南矿业集团及平顶山煤业集团公司等先后引进了奥地利AHM105、英国MK3和德国WAV300等重型悬臂式掘进机进行试用。其中应用较成功的是AHM105型掘进机,整机质量115 t,电动机总功率555 kW,截割功率300 kW,截割线速度1.4 m/s^[2],掘进高度5.8 m,掘进宽度8.5 m,最大生产能力300 m³/h。该机的技术特点是采用高强耐磨耐冲击截齿,有较高的掘进效率;采用大截割功率、低截割速度,最大程度降低粉尘;掏槽不需移动设备,不破坏底板;采用全自动润滑系统,减少维护工作量。所掘巷道为全岩,断面面积为拱形,巷道宽度为5.4 m,高度为4.3 m,断面面积为23 m²,岩石多为粉砂岩,硬度为8,部分为灰岩,硬度为12~14,岩石坚固,结构致密,平均进尺5.6 m,平均消耗截齿0.2个/m³。

目前,我国超重型岩巷掘进机的研制尚处在起步阶段,但发展迅速,如“十一五”国家科技支撑计划项目——EBH315超重型掘进机的研发。该机质量120 t,截割功率315 kW,采用重载伸缩横轴截割机构、支重轮式履带行走机构、双齿条齿轮回转机构、扇形可伸缩分体式装载机构、负载感应变量液压系统、全功能运行工况实时监测、截割断面监视与记忆截割、远程遥控操作、集中自动润滑系统等先进技术。2009年12月在神东煤炭集团大柳塔矿进行工业性试验,所掘井底中央水仓为全岩巷道,施工段围岩岩性以细砂岩为主,钙质胶结,巷道断面为半圆拱形,掘进宽度5.4 m,掘进高度4.15 m,截面积20.28 m²,岩石硬度为10,月进尺175 m,最高日进尺10.3 m,最高班进尺5.7 m,取得良好的应用效果。

从以上数据对比可看出,国产大功率重型掘进机基本达到国外同类机型的技术性能^[3],除截割性能参数偏低外,在截割刀具基础研究方面表现薄弱,适合我国煤矿地质条件的截割、装运及行走部载荷谱没有建立,没有完整的设计理论,计算机动态仿真

等方面尚处于起步阶段,在元部件可靠性、自动控制技术、截割技术、除尘系统等方面与国外仍有较大的差距。国内外重型掘进机性能参数对比见表1。

表1 国内外重型掘进机性能参数对比

机型	H/m	L/m	整机质量/t	总功率/kW	截割功率/kW	长×宽×高/(m×m×m)
EBZ260	5.00	6.00	80	426	260/200	12.5×2.95×2.0
EBZ300	5.00	6.00	85	447	300	11.6×2.60×2.0
EBH315	5.83	7.01	135	533	315	13.0×3.08×2.5
AHM105	5.80	8.50	115	555	300	17.2×3.55×3.2

注:H为最大掘进高度;L为最大掘进宽度;EBZ260、EBZ300煤岩单向抗压强度均为100 MPa;EBH315、AHM105煤岩单向抗压强度均为120 MPa。

2 我国煤矿井下巷道掘进存在的问题

2.1 掘锚平行作业

煤矿高效掘进装备主要包括掘进、配套运输、通风除尘、巷道支护、供电系统等^[4],各主要工序所采用的机械设备能力相互适应,形成相互配合、连续均衡的生产体系。该工艺是一项复杂的系统工程,设备布置和运行时相互联系和制约,破岩和支护工序作业时间长是制约掘进成巷速度的主要原因,如何将2个主要工序合理布置与安排,是实现快速掘进的关键。目前国内外机掘巷道的掘锚作业工艺主要有前掘后锚、交叉交替作业、边掘边锚3种类型。无论采用哪种工艺,在目前机械破岩、锚杆钻机钻孔、锚杆支护、超前支护、物料运输等技术水平下,都没有形成类似TBM全断面掘进机掘锚平行、连续作业成套系统化的作业工艺。可通过改变采掘工艺推动设备的演变和突破,如短壁开采技术推动了连续采煤机、连续运输系统、梭车、四臂锚杆钻车、行走支架和给料破碎系统等一批技术装备的研发和推广。因此,具有技术密集、成套系统化特征,实现“掘、支、锚、运、探”一体化作业的新工艺装备将是快速掘进的未来发展方向^[5~6]。

2.2 硬岩截割

硬岩的截割一直是悬臂式掘进机面临的难题,特别是单向抗压强度不大于120 MPa的岩石。由于部分断面掘进机利用镐型截齿(或刀形截齿,刀形和镐形截齿所受的截割阻力有相似变化规律)实现对煤岩的截割,镐形截齿刀头是圆锥带尖,没有切削刃,其利用点击和尖劈作用来割煤。截割时,截齿尖接触岩体靠挤压破碎克服煤岩的抗压强度,形成粉

未压实核。对应的力学特征为以压应力对压实核起压碎作用,以剪应力产生裂缝,以拉应力扩大裂缝,直到岩块崩裂。煤岩具有脆性破碎的特征,对应的截割阻力是变载荷,属动载荷中的随机载荷。

截齿截割岩石时,在截齿齿尖切削方向上有截割力 F_s ,其作用是将岩石破碎(或挤碎);轴向有牵引力 F_a ,其作用是使截齿保持切入岩体的切削状态,由截齿牵引力和截割力共同作用截割岩石,如图1所示。 F_a/F_s 比值大小主要决定于煤岩的单向抗压强度及其物理机械性能,岩石越硬,比值越大。较软且脆的煤岩 F_a/F_s 比值约为1,硬且韧的岩石 F_a/F_s 比值约为3(实验室模拟)。可以看出,切入岩石所需的牵引力比截割岩石所需的截割力要大得多。若使截齿保持截割状态,必须有足够的牵引力,否则截齿就会滑出岩体,磨损加剧,产生大量的粉尘,截割效率大幅下降。目前市场上各个掘进机型 F_a/F_s 比值一般在0.75~1.20,因此在井下硬岩截割中,掘进机通常出现让刀抖动的现象,虽在设计中不断提高截割电动机功率和整机质量,以增加截割力和工作稳定性,但由于受到巷道围岩特性、空间尺寸和设备配套的限制,这种设计改进非常有限,因此破硬岩能力和效率仍得不到根本解决,这是部分断面掘进机截割硬岩技术瓶颈的主要因素之一。

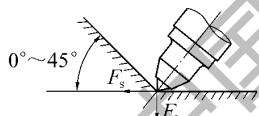


图1 截齿截割力 F_s 和牵引力 F_a

随着岩石硬度和磨蚀性能的提高,截齿和截割头体的磨损也越来越严重,如半煤岩截齿消耗通常低于0.025把/ m^3 ,而岩巷掘进则通常高于0.2把/ m^3 。因此,截齿的耐磨性是解决悬臂式掘进机技术瓶颈的关键因素。截齿耐磨性能影响因素主要是硬质合金及齿体材料性能,截齿合金性能主要包括硬质合金的硬度、断裂强度和抗磨损性,可以承受超强冲击负荷。据实验室试验,基于碳化钨合金的截齿,在截割硬岩(特别是含有石英的砂岩)时,且合金温度达到约550℃时,截齿碳化钨合金头尖部磨损加剧,合金尖部磨损量超过2~3mm时,截割头上各个截齿刀具承受的载荷发生显著变化,振动加剧,刀具磨损进一步恶化,甚至导致截割头体上齿座的非正常磨损。

截割头耐磨性能影响因素主要有布齿的合理性、截割头体与齿座材料的耐磨性能、截割头形状、

工作面围岩情况、掘进作业工艺等,其中以截齿合金头性能、布齿合理性和材料耐磨性能最为关键。掘进机截割头体及齿座磨损的主要机制为机械磨损,伴随着热磨损和磨粒磨损。国内外对截齿表面涂层制作工艺主要包括CO₂气保堆焊或等离子喷焊等。传统技术采用的耐磨层处置工艺,由于热输入量大,熔池温度高,涂层中的碳化钨发生氧化,脱碳和烧损,使涂层性能大幅降低。磨损方式主要是显微切削和犁沟,磨粒磨损与高应力作用下的塑性变形相叠加,使黏结相脱落流失,对硬质相的支持黏连被削弱甚至破坏,继而硬质相颗粒被拔出或研碎带走,提高涂层致密度能降低磨损,从而提高使用寿命。

3 掘锚一体化联合掘进

掘锚联合机组是适应煤矿巷道高效掘进的发展方向^[7],目前掘锚一体机和掘锚成套机组主要有3种类型:①以连续采煤机为基础的掘锚机组;②悬臂式掘进机集成液压锚杆钻机于一体,适应矩形、拱形和异形煤岩巷道的掘进^[8];③悬臂式掘进机或掘锚机配套超前支护与运锚机进行矩形巷道掘进。以上3种方案开发思路均是通过实现掘锚功能集成,将高性能液压锚杆钻机与掘进设备集成于一体,采用先掘后锚的作业方式完成作业,以缩短支护作业时间,实现快速掘进的目的。

3.1 悬臂式掘进机机载液压锚杆钻机系统

当前国内机掘巷道的掘锚工艺^[9]和作业方式通常为掘进机配套单体锚杆钻机,实现“掘后即锚”顺序完成截割、装运和锚护等工序。这种作业方式存在的主要问题是辅助作业时间长,工作人员多,掘进效率低,工作环境差,工人劳动强度大。

2007年,与国外液压锚杆机生产厂家合作开发了EBZ160TY型掘进机机载锚杆钻机,并进行井下工业性试验,如图2所示。系统采用2部1650型液压锚杆钻机,上下撑顶的临时支护,通过在原机型履带架中后部两侧焊接支撑架,用于支撑二级伸缩的伸缩梁,钻臂铰接在伸缩梁上,不工作时机器收回使钻臂位于机器中部,工作时推展至掘进工作面进行锚杆支护,另一套回转机构完成其工作位置的调节。S150型掘进机配套钻臂系统铰接在伸缩横梁上,可沿巷道宽度方向伸缩,通过一个伸展架铰接在掘进机截割悬臂的两侧,形成一个稳定的刚性U型框架,由2组油缸推展至掘进工作面并调节钻臂的工作位置。

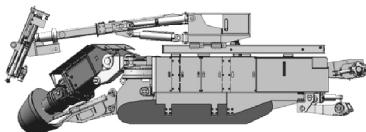


图2 EBZ160TY型掘进机机载锚杆钻机

2008年在引进机载锚杆钻机基础上,自主开发了滑轨式机载锚杆钻机,并配套EBZ160型掘进机进行了井下试验。其采用一部1650型液压锚杆钻机,通过摇臂联接于滑轨机构上,布置在掘进机机身上方,通过油缸链条倍增机构、伸缩机构和推展机构协调动作,使钻机对准锚眼,从而实现锚杆的打设。该布置方式主要优点是对掘进机主机功能影响小,灵活方便,降低了劳动强度。缺点是适应巷道高度不低于4.0 m,且没有明显提高掘进效能。

2012年,研发的EBZ300M型岩巷掘进机机载锚杆钻机如图3所示。经过掘进机结构创新和元部件集成化,开发了适用于岩巷拱形巷道使用的布置在掘进机一侧的机载液压锚杆钻臂系统,其具有简单实用、安全高效的特点。EBZ300M型岩巷掘进机主要技术特征:掘进机长12.8 m,宽3.2 m,高2.35 m,整机质量95 t,截割功率300 kW,最大可掘高度、宽度分别为4.85、6.00 m,钻机定位可锚高度、宽度分别为4.0~7.0、5.0~8.0 m,钻机工作行程2.8 m,钻机扭矩360 N·m。

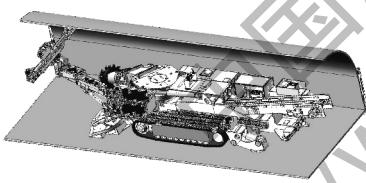
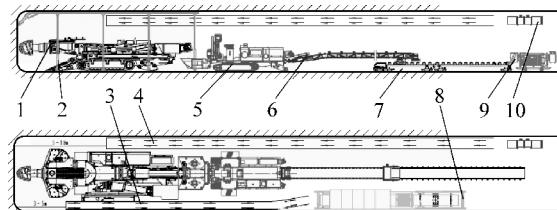


图3 EBZ300M型岩巷掘进机机载锚杆钻机

3.2 单巷连续快速掘进成套装备

随着掘进机机载液压锚杆钻臂系统的研制和井下试验取得的经验不断积累,结合传统超前支护的配套方案,提出了新的单巷快速掘进配套思路,采用将液压锚杆钻臂系统集成设计的悬臂式掘进机布置在超前支护系统下方,掘进机后配套具有接料、物料转载和锚护功能于一体的运锚机,运锚机搭接桥式转载机,跨骑在带式输送机上组成一个连续快速掘进系统,如图4所示。掘进机完成一个掘进循环后,超前支护系统向前行走一个循环,由掘进机机载锚杆钻机打设巷道顶部3~5根锚杆,期间超前支护系统对顶板持续保持一定的支撑力,以确保顶板支护的安全快速。该工艺的关键之处在于:在综掘巷道进行掘锚作业时,锚杆和锚索作业分2步完成,即完

成一个掘进循环后,应用机载钻臂系统打设部分顶锚杆,然后继续下一个掘进循环,剩余锚杆和锚索由料斗式两臂运锚机来打设。该工艺系统可在大部分煤矿井下掘进工作面推广使用,具有较好的适用性,可提高掘进机开机率、掘进效率和施工速度,减轻了工人劳动强度,改善了井下作业环境。



1—EBZ300M掘锚一体机;2—临时支护;3—负压风筒;4—供风风筒;5—运锚机;6—转载机;7—可伸缩带式输送机;8—除尘风机;9—移动变电站;10—供风风机

图4 悬臂式掘进机连续快速掘进系统组成

其中配套料斗式两臂运锚机主要技术特征如下:料斗式两臂运锚机设计质量32 t,液压泵站功率132 kW,配套2台1650型液压锚杆机,适合面积为14~20 m²断面的锚护作业,可在掘进机后面进行锚杆打设、物料转运的综掘工作面配套设备。

3.3 快速掘进系统

采掘关系是目前生产建设中的基本矛盾之一,掘进效率低,采、掘比例失调,成为制约安全高效的主要因素,主要表现在割煤时间占17%~34%,锚护时间占50%~67%,掘进速度相对较快,而锚护作业占用过多工时,因此发展掘、锚平行作业工艺,提高锚护作业效率,是解决问题的根本所在。巷道掘进方式主要有连续采煤机掘进方式、掘锚机掘进方式和综掘机掘进方式,其中连续采煤机月均进尺1 300 m,掘锚机月均进尺550 m,综掘机月均进尺300 m,掘进队伍67个。

成套快速掘进系统采用掘锚机组为龙头设备,能同步进行巷道掘进和锚杆支护^[11]。掘锚平行作业由掘锚机、八臂锚杆钻车、两臂锚杆钻车分步完成全部锚护工作,释放掘锚机截割能力,提高掘进速度;连续运输设备由掘锚机、输送带转载机、履带式自移机尾、迈步式自移机尾组成,保证锚护作业及移机过程中运输的连续性^[12]。

成套快速掘进系统中八臂锚杆钻车是锚护作业核心设备,与掘锚机及其他设备配套作业,跨骑于输送带转载机之上并牵引其行进。与掘锚机的锚护功能形成互补,可以根据顶板条件独立完成全部顶板支护,同时完成部分侧帮支护。带式转载机将掘锚

机截割下的物料转运到巷道内的带式输送机,能够实现在八臂锚杆钻车固定于原地作业时,连续跟进掘锚机进行作业。穿过跨骑式锚杆钻车下方,在跨骑式锚杆钻车销齿机构驱动下实现前进或后退。装载部料斗紧跟掘锚机承接物料,抬高的卸料部连接在履带式自移机尾上。中间设置自适应调平、调偏机构,提高其刚性和适应性,保持自适应带式转载机运转时基本水平。可伸缩带式输送机迈步式自移机尾位于可伸缩带式输送机末端,具备自行移动功能,承担转载运输物料的任务。

该成套快速掘进系统可满足了中厚煤层巷道的快速掘进工艺^[10],主要适用于顶底板较稳定,允许一定空顶,掘锚机锚护时和不锚护时分别不小于3、15 m;煤层倾角不大于3°;断面宽度5.4~6.0 m,高度3.5~4.5 m;在该条件实现掘锚平行作业,并实现1 500~2 000 m的月进尺。目前该系统主要用于神东煤炭集团公司大柳塔矿单巷掘进,使用约6个月,实现总进尺6 450 m,最高月进尺1 500 m,平均月进尺1 350 m。

4 岩巷掘进技术成套装备

4.1 小断面岩巷掘进机

小断面瓦斯抽采巷(岩巷)的开拓方式主要采取钻爆法,机械化开采规模较小,造成效率低下。目前全岩巷掘进机质量大、体积大,最低适应巷道高度、宽度一般分别为3.5和4.5 m,无法适应瓦斯抽采巷的掘进施工。为了适应小断面瓦斯抽采巷开拓,开发了专用EBZ260W型岩巷掘进机,如图5所示。该机型具有如下技术特征:截割功率260 kW,整机质量85 t,机身高度1.65 m,机身宽度2.7 m,截割扭矩82 000 N·m,平均单刀力6 900 N,截割线速度1.49 m/s,最大截割高度、宽度分别为3.8和5.0 m,岩石硬度达8以上。该机技术特点如下:

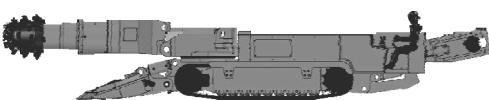


图5 EBZ260W型瓦斯抽采巷专用掘进机

- 1) 采用“质量体积比、功率体积比”理念进行优化设计,通过结构创新和元部件集成,机身高度达1.65 m,可适用于小断面全岩巷掘进。
- 2) 通过采用双电动机并联驱动方式,开发直通式内喷雾水系统,内喷雾寿命提高至2 000 h。
- 3) 采用智能化总线控制系统,实时监测和显示

全功能运行参数和截割断面状态,实现定位记忆截割、数据远程传输等功能。

4.2 截割头及齿座表面喷涂耐磨技术

采用新的焊接技术和工艺措施,在截齿磨损程度较高的齿尖部位堆焊耐磨材料的方法,可改善镐形截齿的耐用性,平均截齿消耗量低于0.02把/m³,可提高设备使用的经济性和可靠性,同时也克服了截齿在磨损较高的齿尖变钝时产生负后角,导致大的磨损平面挤压岩石并产生大量岩粉的情况,降低了截割粉尘浓度。激光熔覆是指将硬质合金WC(碳化钨)基的耐磨材料、自熔合金经数控激光熔覆和激光表面淬火工艺处理,使之与基材(如42CrMo)表面一薄层同时熔化,并快速凝固后形成稀释率极低且与基体呈冶金结合的表面涂层,其厚度为1.5~2.0 mm,并通过光子对涂层内部组织的搅动,使涂层组织晶粒细化组织致密,HV硬度1 400,以提高抗磨损性能。采用激光熔覆后的齿座,经煤矿采掘机械装备国家工程实验室试验台磨损试验,为普通堆焊耐磨材料耐磨性的5倍。

4.3 掘进机机载除尘系统

利用重型掘进机的机身高度优势,将机架上部作为除尘器风道,将吸尘口布置于机架龙门处,如图6所示。将HCN 400/1型除尘器置于主机左后侧,通过合理匹配参数,优化吸风口及风道结构,并配套附壁风筒形成长压短抽带控尘的高效除尘系统。处理风量达到350 m³/min,可适应16~20 m²的巷道断面,通风机噪声不大于80 dB。

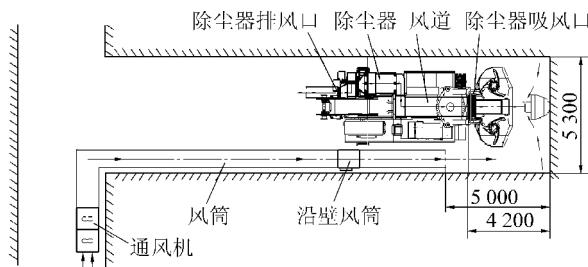


图6 机载湿式除尘工作面布置

5 掘进技术装备发展方向及展望

5.1 掘进技术装备发展方向

- 1) 不断探索新的截割技术。应不断研究、试验新的截割技术,尤其是全岩巷道截割技术。
- 2) 掘支锚运一体化作业,多功能集成趋势明显^[13]。掘进机主机集成液压锚杆钻机系统、机载超前支护系统、机载物探系统和机载除尘系统等,通过

多功能的集成达到提高单机成巷速度的目标。

3)掘进机智能控制技术。主要包括推进方向监控、全功能遥控、智能监测、预报型故障诊断、记忆截割、数据远程传输等技术^[14]。

5.2 掘进技术装备发展展望和建议

1)建立掘进机整机实验室、截割刀具实验室等基础研究设施,深入进行截割技术基础理论的研究。

2)新型硬岩截割技术。目前单向抗压强度100 MPa以下软岩掘进通常采用WC钨形刀具进行破岩,钨形截齿破岩单刀力最大达到30 kN,取得了良好的应用效果。当所掘岩石单向抗压强度大于100 MPa时,碳化钨刀具磨损量急剧增大。为了适应硬岩截割,发展了采用盘形滚刀作为破岩工具的全断面掘进机,单刀推力超过220 kN,截割断面最大直径达19 m。但由于设备经济性价比等原因,全断面掘进机不适用于煤矿巷道掘进。近年来,德国公司提出了底部截槽技术破硬岩新机理,既不同于悬臂式掘进机的钻削式和铣削式,也不同于盾构机正向切入的滚压式。钻进阶段盘形滚刀以一个角度(约10°)向前倾斜,剪切破碎岩石,因为它主要克服岩石相对较小的抗剪强度而非抗压强度,因此可以破碎坚硬的岩石。截割硬度达到200 MPa,需要破碎岩石的能耗约为传统掘进机的1/2,生产速率达到25 m³/min,是目前悬臂式掘进机3倍以上。由于该技术破岩硬度高,效率仅低于TBM全断面掘进机,硬岩巷道掘进具有很好的应用前景,将会对煤矿井下岩巷快速掘进提供新的思路。

3)综掘工作面快速掘进成套技术及装备开发^[15]。系统研究掘进作业循环各工序的作业特点,提出掘、支、锚、运、探一体化施工工艺,研制机载锚杆钻臂系统、综掘工作面及时支护支架、高效掘进机及远程遥控操作系统,以实现综掘作业系统化集成。

4)运行工况监测和智能控制技术研究。通过工况监测和智能决策技术的研究,针对不同性质岩石截割机理进行研究,建立以典型岩石截割工况特征库,开发自适应截割技术,以进一步提高掘进效率和设备可靠性。

5)巷道高效机械化掘进技术是巷道掘进技术的发展方向,需加快高端掘进设备的研制,在掘支锚运一体化技术和硬岩截割技术方面取得突破,以解决煤矿当下采掘失衡的主要矛盾。

参考文献:

- [1] 郝建生.掘进机纵轴式截割头截割效率的优化设计[J].煤炭 74

科学技术 2007,35(2):80-83.

- [2] 郝建生.悬臂式重型掘进机关键技术探讨[J].煤炭科学技术,2008,36(4):4-6.
- [3] 魏永刚,李变荣.我国煤矿采掘装备技术水平及发展趋势[J].煤炭工程 2011(4):108-111.
- [4] 王宏.国外巷道掘进施工技术与发展趋势[J].中国煤炭,2000,26(4):57-58.
- [5] 赵学社.煤矿高效掘进技术现状与发展趋势[C]//煤炭科学研究院50周年院庆科技论文集.北京:煤炭工业出版社,2007:71-82.
- [6] 叶仿拥,马永辉,徐晋勇等.掘进装备在我国煤矿中的发展及趋势[J].煤炭科学技术 2009,37(4):22-24.
- [7] 陶永芹.浅谈悬臂式掘进机发展趋势[J].矿山机械 2005,33(11):13-14.
- [8] 张明敏,高英,王学成.重型掘进机性能主要限制因素及其改进方向[J].煤炭科学技术 2005,33(1):21-23.
- [9] 宁仲良,陈加胜.悬臂式掘进机智能化发展方向初探[J].矿山机械 2006,34(6):34-35.
- [10] 方志淮.试论掘进机掘进技术的发展趋势[J].淮南职业技术学院学报 2003,3(2):52-53.
- [11] 陈同宝,钱沛云,陶峥.我国悬臂式巷道掘进机技术的现状与发展[J].煤矿机电 2000(5):58-62.
- [12] 王金华.我国煤巷机械化掘进机现状及锚杆支护技术[J].煤炭科学技术 2004,32(1):6-10.
- [13] 李书刚.新型掘进机的研制[J].机械管理开发 2005(1):1-2.
- [14] 王学成,张维果,刘英林.悬臂式掘进机现状及发展浅析[J].煤矿机械 2010,31(8):1-2.
- [15] 李晓豁.矿山机械与设备[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000.

(上接第68页)

- [6] 雷崇利.用钻孔煤心鉴别煤层煤体结构及其应用[J].煤田地质与勘探 2001,29(2):11-13.
- [7] 白鸽,张遂安,张帅等.煤层气选区评价的关键性地质条件:煤体结构[J].中国煤炭地质 2012,24(5):26-29.
- [8] 李五忠,王一兵,崔思华等.沁水盆地南部煤层气田煤层气成藏条件分析[J].煤田地质与勘探 2003,31(2):23-26.
- [9] SU Xian-bo,LIN Xiao-ying,LIU Shao-bo,et al. Geology of Coalbed Methane Reservoirs in the Southeast Qinshui Basin of China[J]. International Journal of Coal Geology 2005,62(4):197-210.
- [10] 倪小明,石书灿.不同煤体结构组合下井径扩径的钻进主控因素[J].西南石油大学学报:自然科学版 2011,33(6):135-139.
- [11] 邓金根,程远方,陈勉等.井壁稳定预测技术[M].北京:石油工业出版社 2008:31-46.
- [12] 刘向君,罗平亚.岩石力学与石油工程[M].北京:石油工业出版社 2004:118-129.
- [13] 赵俊芳,王生维,秦义等.煤层气井煤粉特征及成因研究[J].天然气地球科学 2013,24(6):1316-1320.
- [14] 陈振宏,王一兵,郭凯等.高煤阶煤层气藏储层应力敏感性研究[J].地质学报 2008,82(10):1390-1395.