

薄煤层刨煤机成套装备关键技术研究

宋秋爽

(中国煤矿机械装备有限责任公司,北京 100011)

[摘要] 针对薄煤层安全、经济开采这一世界性难题,分析我国薄煤层资源分布以及开采技术现状,提出我国刨煤机成套装备系统所存在的技术问题,通过对成套装备关键技术的分析及研究,提出技术解决方法和途径,为刨煤机的自动化工作面提供技术支持。

[关键词] 刨煤机成套装备;定向定量推移;异构地质;自适应控制

[中图分类号] TD823 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)11-0033-06

1 薄煤层开采现状

煤炭作为我国的主要能源,占一次能源生产和消费总量的76%和69%,未来相当长的时期内,煤炭将仍是我国主要的能源来源^[1]。仅国有煤矿薄煤层储量约占全国煤炭储量的20%,地方煤矿薄煤层储量比重更大,全国保有工业储量超过98.3亿t,据统计,在近80个矿区中的400多个矿井中就有约750层为薄煤层,而开采条件相对较好、煤层厚度在0.8~1.3m的缓倾斜煤层占总储量的45%^[2]。我国薄煤层储量分布广泛且局部集中、煤质较好。薄煤层储量主要分布在安徽省(薄煤层储量占全省煤炭储量的72%)、四川省(薄煤层储量占全省煤炭储量的60%)、山东省(薄煤层储量占全省煤炭储量的54%)、黑龙江省(薄煤层储量占全省煤炭储量的51%)、贵州省(薄煤层储量占全省煤炭储量的46%),山西省、内蒙古自治区、河北省、吉林省也有丰富的薄煤层资源;阳泉、平顶山、徐州、开滦、铁法、七台河等大矿业集团薄煤层储量也占有较大比例。

薄煤层安全、经济开采是一个世界性难题,由于煤层薄、开采作业空间小,工作条件恶劣,回采效率

低,经济效益差,开采安全性较差,百万吨煤死亡率高,机械化程度不高。多数矿区厚薄煤层共存,特别是薄煤层作为解放层开采的矿井,由于薄煤层开采速度缓慢,造成下层煤层资源积压,影响生产的协调发展,少数矿井采厚丢薄,不但浪费了资源,还造成矿井安全生产隐患。我国薄煤层开采技术相对落后,除特殊短缺煤种外,大部分薄煤层被暂时放弃,这将造成煤炭资源的严重浪费,使矿井的服务年限缩短,同时也是煤炭企业的损失,因此研究探索薄煤层开采技术,是煤炭行业面临的急待解决的问题。从先进采煤国家和我国部分矿区薄煤层开采技术发展情况分析,绝大部分薄煤层在0.8~1.3m之间,这些煤层有条件实现机械化开采,采用先进薄煤层机械化开采装备和适当的生产工艺实现薄煤层的安全高效生产是完全可行的。实现薄煤层安全高效的开采,离不开高效的、智能化、高强度的全自动化综采成套装备。薄煤层成套装备的技术实现,不仅能提高优质煤开采产量,而且对煤矿安全生产有着重要意义^[1]。

目前,国内外广泛应用于薄煤层的开采设备主要有刨煤机、滚筒采煤机、螺旋钻采煤机,而随着我国对薄煤层开采的重视,越来越多的煤机生产企业

[收稿日期] 2011-08-27

[基金项目] 中煤集团公司重大科技项目——薄煤层自动化无人工作面成套设备与技术(8-11-9)

[作者简介] 宋秋爽(1960—),男,河南濮阳市人,教授级高级工程师,博士,长期从事煤矿机电研究和技术管理工作;

E-mail:songqius@chinacoal-cme.com

研发薄煤层装备,我国薄煤层技术装备逐渐从全面技术引进转化为全面自主研发。天地科技股份有限公司上海分公司先后研发出 MG100 /238 - WD、MGN132 /316WD、MG2 ×100 /456 - WD、MG2 ×125 /556 - WD 和 MG2 ×160 /710 - WD 系列滚筒式薄煤层电牵引采煤机;2009 年西安重工装备制造集团公司研发出最大功率 MG2 ×200 /925 - AWD(3.3 kW)型薄煤层交流电牵引煤岩同采采煤机;鸡西煤机公司研发的 MG180/420—BWD 筒式薄煤层电牵引采煤机是我国逐渐掌握采煤机关键技术的标志;2009 年冀中能源峰峰集团有限公司研发“薄煤层综采自动化技术研究应用”获得中国煤炭工业协会科学技术一等奖;2010 年兖州集团有限公司与辽宁工程技术大学合作研发“一米以下含坚硬夹矸薄煤层安全高效综采成套设备与技术”获得 2010 年中国煤炭工业协会科学技术一等奖。2011 年 6 月中煤集团公司的重大项目《薄煤层滚筒采煤机无人自动化工作面成套设备与技术项目》在北京煤矿机械有限公司进行验收,该系统实现远程工况监测预警、远程集中控制、记忆切割、人工干预调整、采煤机准确定位、工作面监控视频自动跟机切换、支架跟机移架、成组推溜等各项自动化控制功能。如图 1 所示。



图 1 滚筒采煤机自动化系统

Fig.1 Automatic system of shearer

国外薄煤层开采主要以刨煤机成套机组为主,已经在德国(刨煤机采煤产量占总产量 60%)、美国(刨煤机采煤产量占总产量 35%)、法国(刨煤机采煤产量占总产量 30%)广泛应用。我国先后引进了 10 套刨煤机机组系统,已经从第 1 套的全部成套系统引进转变为只引进刨煤机配国产液压支架和刮板输送机,现在发展到引进适合倾角 25°复杂煤层的刨煤机关键装备^[2]。

我国先后研发拖钩刨煤机、滑行刨煤机,刨速、截割功率、牵引链直径逐渐增大,张家口煤矿机械有限责任公司研发出国内最大功率的刨煤机 BH38/2×400,如图 2 所示。2010 年 6 月沈阳三一重装有限公司与铁法煤业集团联合开发出同一型号的刨煤

机成套设备,并在铁法煤业集团晓明矿进行工业性试验。

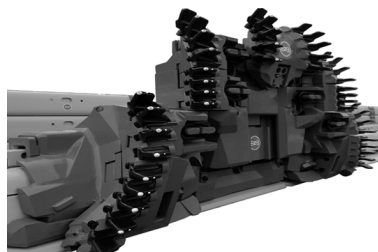


图 2 刨头结构

Fig.2 Structure of plough body

刨煤机作为一种“浅截深、多循环”的采煤设备,具有截深自动控制、自动推溜、自动移架降架、自动喷雾灭尘和远程控制的功能,最适合于薄煤层安全、高效开采,对薄煤层、高瓦斯的矿井具有特有的优势。其工作原理是用输送机两端的刨头驱动装置(电动机、液力耦合器和减速器组成)使固定在刨头上的刨链运行,拖动刨头在工作面往返移动,刨头利用刨刀从煤壁落煤,同时利用梨面把刨落的煤装入输送机,推移液压缸向煤壁推移输送机和刨头,如图 3 所示。

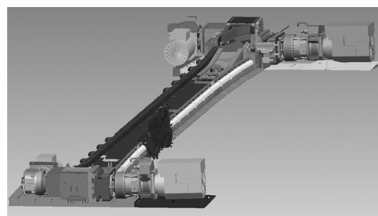


图 3 刨煤机系统布置图

Fig.3 Layout of plough system

薄煤层刨煤机成套装备关键技术研究是在实现无人开采工作面基础上提出的,该项目的实施既能提升我国薄煤层的开采、运输、支护单一设备的关键技术的水平,提高开采装备的可靠性,保证高产高效;又能促进我国薄煤层成套装备的发展,实现井下无人开采,提高我国薄煤层开采的安全性,保障人身安全;同时综采工作面成套技术的发展也为我国提升了煤机产品的总体水平,从而提升我国煤机产品在国际市场上的竞争力^[3]。

2 刨煤机开采成套装备基础条件及存在的技术问题

2.1 刨煤机关键技术研究的基础条件

辽宁工程技术大学作为煤炭重点院校,一直致

力于综采装备的技术研究,拥有大型工矿装备重点实验室和国内唯一的刨煤机综合检测试验系统,先后发表多篇刨煤机相关论文,并获有相关专利,从理论上研究了刨煤机适刨性、结构可靠性、系统动力学、寿命预测、远程监测监控等技术,为刨煤机的工业性分析提供了理论依据;张家口煤矿机械有限公司拥有多年的刨煤机研发经验,并针对某地质条件煤层研发出强力刨煤机,正在建设国内首个以1:1直接模拟井下实际工况条件的综合实验室,它的建成将对我国薄煤层技术装备的理论性研究和试验验证提供条件。中国煤矿机械装备有限责任公司博士后工作站引进一名博士后,针对刨煤机非线性动力学机理及力学行为进行研究,为全自动化刨煤机无人工作面提供理论分析依据。

2.2 刨煤机存在的技术问题

刨煤机是集采煤和运输于一体的开采装备,刨头在无级圆环链牵引下沿着刮板输送机中部槽导轨运行,刨头上刨刀将煤从煤壁上刨落,并由刮板输送机将刨落的煤运出,完成整个开采过程。张家口煤矿机械有限公司作为我国最早开发刨煤机的企业,从1950年开始到现在一直致力于高性能刨煤机的研制,并逐渐形成系列产品,如MBJ-2A、BH26/2×75、BH30/2×132、BH30/2×160、BH34/2×200、BH38/2×400。就我国刨煤机来说,虽然刨煤机的装机功率、刨头刨削速度、高强度圆环链直径有所提高,但与国外先进的刨煤机装机功率2×800 kW、刨头速度3 m/s、 $\phi 42$ mm刨链相比还有差距,主要存在以下问题:a. 刨煤机刨硬煤的能力不强,使得刨煤机的使用局限性加大,设备关键部件的可靠性不高;b. 刨头调向装置的灵敏度不高,使刨煤机推进过程中出现“飘刀”或“啃底”现象,造成刨头推进过程中控制困难;c. 刨煤机的自动化程度不高,不能实现刨煤机驱动设备的正反向转动和转速的切换、刨头位置检测、刨深定量控制、自动喷雾降尘、多点应急控制、自动检测与自适应诊断。

2.3 液压支架存在的技术问题

液压支架作为薄煤层成套装备的重要组成,其自动化要求应根据所确定的刨深自动完成刨头运行轨道向工作面推进方向的定量推进,自动完成液压支架的降架、移架、拉架、升架及对工作面顶板进行支护。我国许多液压支架生产厂家已经研制出不同型号的薄煤层液压支架,ZY4000/06/16.5D作为典型液压支架已经广泛应用,取得了良好的效果,但主

要存在以下问题:a. 工作的适应性差,就要求有更大的伸缩比;b. 液压支架控制程度不高,没有实现双向邻架控制和双向成组控制、定向定量推移控制;c. 液压支架端头的自动化支护未实现。

2.4 刨煤机成套系统存在的技术问题

刨煤机自动化控制系统是由监控系统和控制单元组成,运行时,由刨煤机刨头感应开关不断地采集信号,由监控系统控制器处理刨头当前位置、速度、方向,并把刨头当前位置信息传递给控制单元,控制单元结合自身传感元件实现工作面支架、输送机和刨煤机的自动控制。由于目前对控制系统研究相对比较少,同时我国基础工业相对落后,控制系统元件不能够达到设计要求,使得控制不精准^[4]。

3 刨煤机开采成套装备的关键技术分析

通过产学研发展模式对我国刨煤机的关键技术进行共同研究,由中国煤矿机械装备有限责任公司及所属企业、辽宁工程技术大学和德国EEP公司共同承担刨煤机项目研究;利用国际平台的合作,引进、吸收、消化国际上刨煤机的新技术,主要是刨煤机自动化系统、刨煤机控制系统。

3.1 刨煤机关键技术

为了实现刨煤机的成套自动化就必须突破“煤岩特性自动识别技术”、“煤岩的适刨性技术”、“高强度的强力刨头设计制造技术”、“刨煤机的防啃、防飘和水平控制技术”、“高强度牵引刨链的设计制造技术”、“刨煤机的自动控制技术”、“故障自适应调节技术”。

刨煤机适用于煤不粘顶、煤的可刨性强、硫化铁块度小且含量少、煤质中硬以下和硬度大但水平节理发育的薄煤层,在刨削煤岩过程中,经常会遇到煤层内存在异构结构,煤岩的物理化学特性差异很大,传统按煤层的抗压强度 f 值(即普氏系数)来衡量煤层硬度的方法经实践证明并不可靠, f 值是一个综合性指标,只是从总体上反映了煤岩的坚固程度,当涉及到不同类别的煤岩破碎方法,用它作为一种统一的衡量尺度,就具有很大的局限性,刨煤机的破煤方式充分利用了地压和煤层的层节理特征,采用煤层的适应刨削特性参数来反映煤岩可刨性,有利于煤岩的刨削。煤层适刨性研究主要影响因素有煤层硬度、煤层结构、地质构造、煤层底板、煤层直接板、煤层老顶、煤层厚度、煤层节理裂纹、煤层倾角、涌水瓦斯发火期等。辽宁工程技术大学李贵轩、赵雨娟

等人,采用坚固性系数 f 、截割阻抗 A 、脆韧性、可刨性 F_s 、可切割性能指数 U 综合分析煤层适刨性,为我国的刨煤机开采提供理论依据,如表1和图4所示^[5]。

表1 按 A 值对韧性煤分级

Table 1 Tenacious level of coal by A value

煤坚固性	等级	A 值/($N \cdot mm^{-1}$)
软煤	—	—
中等坚固	II	61 ~ 180
上中坚固	III	120 ~ 180
坚固	IV	180 ~ 240
很坚固	V	241 ~ 300
极坚固	VI	301 ~ 360

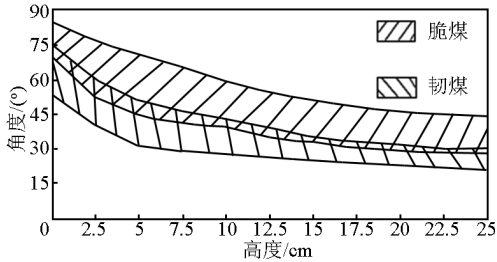


图4 韧脆性煤崩落角的差别

Fig. 4 Difference of tenacious and fragile coal breaking angle

高强度的强力刨头、高强度牵引刨链的设计制造技术是刨煤机可靠运行、减少设备故障率的保证,针对刨头和刨链的设计过程中,采用传统方法对刨煤机部件进行有限元分析和可靠性优化研究,这些方法是假设设计变量和设计参数服从正态分布,但由于工程实际的复杂性和统计数据相对缺乏,使得设计参数的分布概率很多,各种设计参数服从多种形式的概率分布,有些完全不服从正态分布,单纯使用正态分布的可靠性优化设计会带来一定的误差;另一方面刨头等铸件单一化且形状复杂、精度要求较高,刨头制造成本高。采用参数化软件对结构设计进行虚拟样机设计,参数化模型表示了零件图形的几何约束和工程约束。几何约束包括结构约束和尺寸约束。结构约束是指几何元素之间的拓扑约束关系,如平行、垂直、相切、对称等;尺寸约束则是通过尺寸标注表示的约束,如距离尺寸、角度尺寸、半径尺寸等。工程约束是指尺寸之间的约束关系,通过定义尺寸变量及它们之间在数值上和逻辑上的关系来表示。而APDL技术和VB、VC的应用将允许复杂的数据输入,使对任何设计或分析属性有权控制,扩充了更高级运算,提高设计灵敏度,如图5所示^[6]。

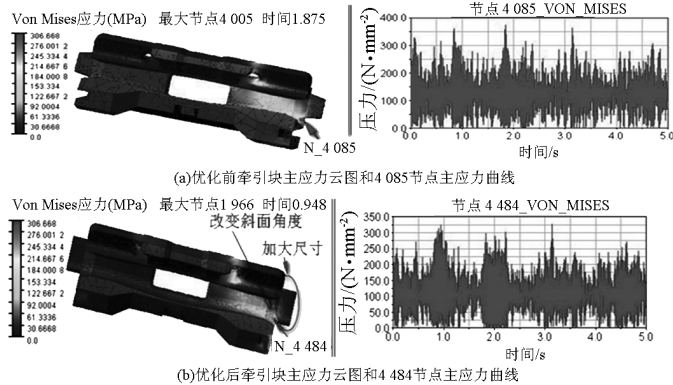


图5 刨煤机牵引块受力优化分析

Fig. 5 Force optimization analyzing for plough driving block

刨头不能随时大量抬高卧底量,遇底板起伏不平,会造成“飘刀”、“啃底”现象,增加刨头煤岩识别能力,特别是刨煤机切割状态的在线识别(或煤岩界面的自动探测),将煤岩特性参数进行检测并通过煤岩识别数据库进行对比。按照采煤工作面顶底板的变化或按照人为设定的规律自动调整刨头的工作高度,避免刨煤机切割顶底板或保持顶底板的平整性,并自动控制刨削刨深和刨速。

刨煤机的变频技术可实现可控启动和停车,实现低速运行,易于实现全程自动化和远程控制,通过控制电动机输出功率实现节能,双机驱动功率平衡好。电动机通过变频调速的方式能够在刨煤机成套开采系统的整个工作过程中无级调速,从而显著提高传动系统的调速效率,使得传动系统能够实现无级调速;同时,在刨煤机成套开采系统启动时,变频电动机能够实现电压由零慢慢提升到额定

电压,动力装置在启动过程中的启动电流就由过去过载冲击电流不可控制变为可控制,并且可根据需要调节启动电流的大小。变频电动机启动的全过程都不存在冲击转矩,而是平滑地启动运行,从而显著降低刨煤机成套开采系统在启动时传动系统承受的振动载荷,避免了刨头牵引电动机因频繁启动、换向而发热。

3.2 液压支架关键技术

为了实现刨煤机的成套自动化就必须突破液压支架的“定向定量推移技术”、“液压支架端头的自动化支护技术”、“液压支架参数化设计制造技术”、“双向邻架、双向成组控制技术”、“电液控制技术”。采用可视化参数设计方法和模糊优化方法研究液压支架支撑强度,并提高其伸缩比,以降低液压支架的支撑高度;采用 APDL 的液压支架参数化设计方法设计液压支架,提高液压支架在异构地质条件的适应性;采用高强度复合材料,提高顶梁支撑强度,并保证顶梁寿命;液压支架采用锯齿型布置,根据刨头位置和自身推移传感器行程来决定移架,根据立柱压力和推移行程传感器自动控制支架的降移升动作并保证双向邻架、双向成组控制;根据输送机位置、输送机的形状和刨深参数自动控制调整推溜动作;液压支架端头的自动化支护技术,保证系统的支撑安全;实现液压支架联动平衡、侧护,实现平衡差动、侧护板抬底,如图 6 所示。电液比例控制技术是保证液压系统精准控制的关键,由于我国基础元件质量和密封条件还达不到要求,大量电液比例控制阀还需要进口。

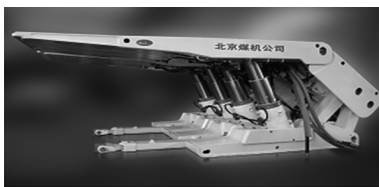


图 6 薄煤层刨煤机配套液压支架

Fig. 6 Thin-seam support for plough

3.3 刨煤机系统关键技术

为了实现刨煤机的成套自动化就必须突破“三机联动控制技术”、“成套设备的实时工况监测技术”、“成套设备远程控制技术”、“系统自动喷雾技术”。刨煤机系统的控制和监测技术是保证成套装备自动化运行的关键,包括刨煤机顺槽内检测、控制器进行集中控制和刨煤机多路负荷中心控制、实现刨煤机及刮板输送机驱动部功率平衡、全自动化控

制系统(锚固监测、刨煤机负荷监测、推移千斤顶行程、立柱压力监测、运输机负载监测、刨头位置方向、水平控制、工作面形状)、“三机”联动控制技术、实现成套设备的实时工况监测技术、成套设备远程控制技术、系统自动喷雾技术、刨头位置监测校正及远程可视化、刨煤机链轮张紧控制、刨煤机电机状态监测、刨煤机过载保护监测与控制^[6]。

4 薄煤层刨煤机成套装备应用实例分析

陕西南梁矿业有限公司南梁煤矿 20302(1) 工作面位于 203 盘区,工作面北侧为 203 盘区巷道,南侧和西侧为小回采区域(采空区),根据工作面钻孔资料显示,煤层平均厚度 1.40 m,倾角 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$,煤层顶板岩性为细粒长石砂岩和粉砂岩,厚度 12.70 m,底板为泥岩,厚度 1.35 m,遇水底鼓现象严重。工作面涌水量较小。工作面瓦斯含量很低。煤硬度 $f > 3$,黏度大。以陕西某矿工作面地质条件为例,进行三机配套设计,三机配套图如图 7 所示。其主要参数如下所示。

滑行刨煤机:设计长度 300 m、理论生产能力 800 t/h、适应煤层厚度 0.9 ~ 1.7 m、适应煤层倾角 $\leq 25^{\circ}$ 、适应煤层硬度 < 350 N/mm、刨煤部装机功率 2×400 kW、调速范围 0.64 ~ 2.3 m/s、刨削深度小于 120 mm、自动化和远程集中控制。

输送机:输送能力 1 200 t/h、刮板链速 1.32 m/s、刮板链规格 34×126 mm 扁环链、刮板间距 1 008 mm、中部槽 $1\ 500$ mm \times 724 mm \times 303 mm。

液压支架:支架结构高度 900 ~ 1 800 mm、支架额定初撑力 5 057 kN、支架额定工作阻力 7 000 kN、推移步距 600 mm、支撑强度 0.76 ~ 1.05 MPa 电液控制。

自动控制系统:全部由德国 EEP 公司引进,实现成套设备的实时工况监测技术、成套设备远程控制技术、系统自动喷雾技术、刨头位置监测校正及远程可视化、刨煤机链轮张紧控制、刨煤机电机状态监测、刨煤机过载保护监测与控制,并将参数上传至地面中协调度室。自动化刨煤机系统设备配置如图 8 所示^[7,8]。

5 结语

我国已经研制出高性能刨煤机、液压支架、刮板输送机,这为我国实现 0.6 ~ 1.3 m 薄煤层全自动化刨煤机成套提供可行性,通过产学研和国际平台的

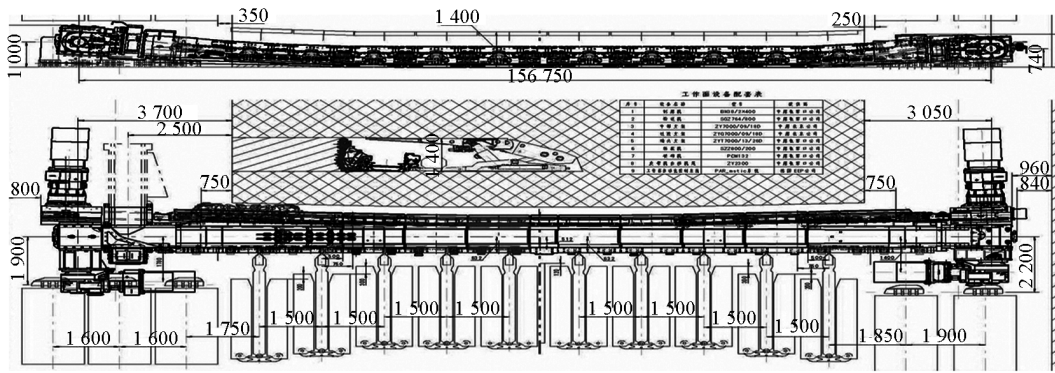


图7 刨煤机三机配套(单位:mm)

Fig.7 Plough complete equipment(unit:mm)

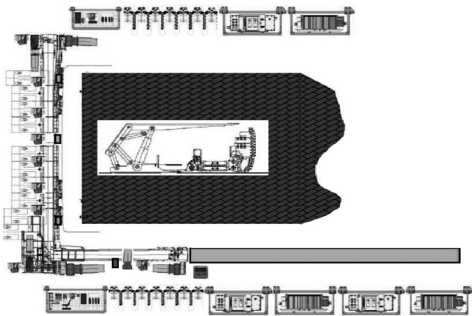


图8 自动化刨煤机系统设备配置

Fig.8 Automatic plough system equipment disposition

参考文献

[1] 国家发展和改革委员会. 煤炭工业发展“十一五”规划[EB/OL]. http://www.ndrc.gov.cn/nyjt/zhd/t20070122_112661.htm, 2007-01-22.

[2] 王金华. 煤炭科技发展现状及前瞻[J]. 煤炭企业管理, 2004(1):31-34.

[3] 刘栋. 极薄煤层和薄煤层的采煤工艺[J]. 煤炭技术, 2008, 27(6):66-67.

[4] 刘占胜, 马英. 国内外刨煤机发展现状及前景展望[J]. 矿山机械, 2006(10):1-3.

[5] 刘大同. 坚硬煤层截割阻力的测试和可刨性研究[J]. 煤矿开采, 2006, 11(5):4-6.

[6] 张树齐. 变频调速技术在刨煤机成套开采系统中的应用[J]. 工矿自动化, 2011(5):100-103.

[7] 王化东. 自动化刨煤机地面诊断系统的开发及应用[J]. 煤炭技术, 2009, 28(11):12-16.

[8] 唐焕勇. 刨煤机的刨运速比选型[J]. 煤矿机电, 2006(6):52-54.

[9] 王国法. 薄煤层安全高效开采成套装备研发及应用[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(9):86-90.

(下转 67 页)

合作,采用 APDL 参数化技术、虚拟样机技术、煤岩识别技术、自动化调高调速技术、三机联动技术、设备远程监测监控技术、远程故障诊断技术、自适应调节技术,将实现薄煤层年生产能力 100 万~200 万 t,使薄煤层国产装备的生产能力、自动化水平、工作可靠性和使用寿命等技术指标达到或接近国际同类装备的先进水平,为薄煤层刨煤机无人工作面的生产提供技术保障^[9]。