



Baomeiceng Kaicai

Guanjian Jishu Yu Zhuangbei



国家高技术研究发展计划资助项目(863计划)(2012AA062101)

国家自然科学基金项目(51374200,51404249)

江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

江苏省自然科学基金项目(BK20140201)

贵州省本科高校一流专业建设项目

薄煤层开采

关键技术与装备

屠世浩 王沉 袁永 著

非
外
借

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家高技术研究发展计划资助项目(863计划)(2012AA062101)

国家自然科学基金项目(51374200,51404249)

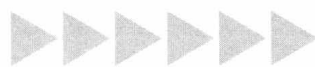
江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

江苏省自然科学基金项目(BK20140201)

贵州省本科高校一流专业建设项目

薄煤层开采

关键技术与装备



Baomeiceng Kaicai

Guanjian Jishu Yu Zhuangbei

屠世浩 王沉 袁永 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

内 容 简 介

本书主要内容包括薄煤层长壁综采工艺评价与决策、薄煤层长壁综采工作面设备选型与配套、薄煤层长壁综采设计及工艺优化技术、快速推进薄煤层综采工作面巷道布置与掘进技术、薄煤层自动化开采安全保障技术、薄煤层自动化综采工艺模式。本书所述研究内容具有前瞻性、先进性和实用性。

本书可供采矿工程及相关专业的科研及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

薄煤层开采关键技术与装备/屠世浩,王沉,袁永著.

—徐州:中国矿业大学出版社,2017.5

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3116 - 1

I. ①薄… II. ①屠… ②王… ③袁… III. ①薄煤层采煤法 IV. ①TD823.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 104321 号

书 名 薄煤层开采关键技术与装备

著 者 屠世浩 王 沉 袁 永

责任编辑 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 9.75 字数 243 千字

版次印次 2017年5月第1版 2017年5月第1次印刷

定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

我国薄煤层储量丰富且煤质较好,在近 80 个矿区的 400 多个矿井中赋存薄煤层,保有工业储量 98.3 亿 t,可采储量约为 65 亿 t,约占全部可采储量的 20%。近年来,我国煤炭开采强度居高不下,“采厚弃薄”的开采方式导致中东部及部分老矿区厚及中厚煤层资源逐渐枯竭,为保证矿井生产能力的均衡和延长矿井服务年限,许多矿区正面临着薄煤层的开采问题,例如,淮北、淮南、淄博、兖州、徐州、大同、新汶、韩城、邯郸、榆林等矿区,薄煤层的开采力度逐年加大,但长期处于“三低一高”的窘境:劳动强度高,机械化程度低,安全程度低,经济效益低,薄煤层采出量仅占全国煤炭产量的 10.4%,与可采储量极不协调。

研究表明,薄煤层综采工艺相对于中厚煤层和厚煤层综采工艺,工作面内的工艺过程基本相同,但受薄煤层综采工作面作业空间狭窄、采高低的制约影响,其主要特点是:工作面设备运转空间有限,人员活动区域小,采煤机跟机操作难度大;薄煤层工作面推进速度快,采掘接替紧张;回采巷道掘进形式均为半煤岩巷;受复杂地质构造、煤厚变化的限制,薄煤层开采水平普遍较低,吨煤成本相对较高;受我国薄煤层赋存特征复杂多样性的制约影响,薄煤层自动化程度普遍偏低,仅在赋存条件适宜的煤层,实施自动化综采技术能够取得一定的技术与经济效益。因此,薄煤层综采工艺体系呈现自身的特有难点,主要包括:工人劳动强度大、“薄煤层、厚装备”问题突出、工艺参数不匹配、系统设计紊乱、自动化程度低及经济效益差等,是制约薄煤层综采技术发展的根本因素。

围绕薄煤层开采的主要技术难点,本书以薄煤层自动化安全高效开采为目标,综合运用理论分析、计算机模拟、工业性试验及现场实测等研究方法,对薄煤层长壁综采工作面采煤方法初选、优选及采煤工艺模式的评价与优选决策、薄煤层长壁综采工作面设备选型与配套专家系统、薄煤层长壁综采设计及工艺优化技术、快速推进薄煤层综采工作面巷道布置与掘进技术、薄煤层自动化综采工艺模式及其安全保障技术进行了系统研究,主要研究成果有:① 构建了以“开采方法初选、开采方法优选及综采工艺模式评价”为中心的薄煤层综采工艺评价与决策支持系统,确定了以经济、技术、人机环境为评价准则的薄煤层采煤方法优选决策指标体系,提出了我国薄煤层综采工艺模式分类策略,设计了薄煤层综采工艺模式优选的神经网络理论模型,实现了给定条件下薄煤层开采方法与综采工艺模式的智能优选。② 建立了基于遗传算法优化的薄煤层综采工作面设备选型与配套专家系统,研发了配套的智能化设备选型决策软件,实现了薄煤层综采工作面关键设备的智能化选型。③ 提出了“以工作面生产为中心”的薄煤层反程序设计及快速推进薄煤层综采工作面“整体降高”采掘系统设计采矿理念,攻克了薄煤层安全高效开采的系统设计难题,开创了薄煤层低成本高效开采的新模式。④ 提出了薄煤层自动化综采工艺模式的精细化分类策略及实施方案,开发了复杂条件薄煤层综采工作面预设截割轨迹自动化综采工艺新模式,构建了以“工作面地质异常体超前勘探、采煤机定姿定位、工作面视频监控、工作面围岩控制智能决策、隔尘与降尘、瓦

斯超限防控及生产系统集成”为基础的薄煤层自动化开采安全保障技术体系,完善了薄煤层自动化综采工艺决策支持系统。

课题组万志军教授、方新秋教授、杨真教授、王方田副教授、张磊副教授、屠洪盛讲师、白庆升博士后、程敬义博士后、高杰老师参与了部分研究工作;博士研究生张村、朱德福、郝定溢,硕士研究生宋启、杨乾龙、陈敏、张艳伟、闫瑞龙、李波、魏坤、冯星、魏陆海、卜永强、李向阳、马行生、邬雨泽、杨振乾、刘志恒、陈忠顺、张新旺、魏宏民、刘汉祥、孟朝贵、袁超峰、梁宁宁、赵宾、李岗、叶志伟、郭建达、鄢朝兴、韩连昌、刘琼等参与了部分研究的试验及现场实测工作,在此表示感谢。同时,本书的研究工作得到了冀中能源邯矿集团郭二庄煤矿、徐州中矿大华洋通信设备有限公司、陕西南梁矿业有限公司、陕西汇森凉水井矿业有限责任公司等单位工程技术人员的帮助,在此一并表示感谢!

本书的出版还得到了如下资助:国家高技术研究发展计划 863 课题“薄煤层开采关键技术及装备”(2012AA062101)、国家自然科学基金项目(51374200,51404249)、江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)、江苏省自然科学基金项目(BK20140201)。

由于笔者水平所限,书中难免存在疏漏和欠妥之处,恳请专家、学者不吝批评和赐教。

著 者
二〇一七年三月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 薄煤层开采技术与装备存在的问题	12
1.4 研究内容与研究方法	13
2 薄煤层长壁综采工艺评价与决策	16
2.1 薄煤层长壁综采工作面开采方法初选	16
2.2 薄煤层长壁综采工作面开采方法优选	30
2.3 薄煤层长壁综采工艺模式优选	43
3 薄煤层长壁综采工作面设备选型与配套	60
3.1 设备选型与配套专家系统原理	60
3.2 设备选型与配套专家系统软件	66
3.3 设备选型与配套专家系统工程应用	68
4 薄煤层长壁综采设计及工艺优化技术	74
4.1 薄煤层开采设计新方法	74
4.2 薄煤层长壁综采工作面工艺优化	75
5 快速推进薄煤层综采工作面巷道布置与掘进技术	91
5.1 快速推进薄煤层综采工作面沿空留巷技术	91
5.2 快速推进薄煤层综采工作面采掘系统降高设计	93
6 薄煤层自动化开采安全保障技术	103
6.1 薄煤层自动化开采关键技术体系概述	103
6.2 薄煤层工作面地质异常体探测技术研究	104
6.3 薄煤层综采工作面采煤机定位定姿技术	114
6.4 薄煤层综采工作面视频监控技术	117
6.5 薄煤层综采工作面围岩控制智能决策支持系统	119
6.6 薄煤层综采工作面瓦斯超限防控技术	123
6.7 薄煤层综采工作面生产系统集成控制技术	126

7 薄煤层自动化综采工艺模式	129
7.1 记忆切割自动化综采工艺模式	129
7.2 预设截割轨迹自动化综采工艺模式	131
7.3 薄煤层智能化综采工艺模式	137
7.4 薄煤层综采工作面自动化移架技术	139
7.5 薄煤层综采工作面“三机”联动技术	141
参考文献	144

1 绪 论

1.1 研究背景及意义

我国煤炭资源/储量丰富、地理分布广泛,煤炭在我国一次能源生产中一直占主导地位,近年来,在经济发展的带动下,我国原煤产量持续快速增长,煤炭产量由2000年的10.8亿t一跃上升至2014年的38.7亿t,占当年世界煤炭产量的48.99%。在世界前10个产煤国中,我国煤炭年产量相当于另外9个国家的煤炭产量之和^[1]。多年来,煤炭在我国一次能源生产和消费结构中的比重始终保持在70%左右,尽管随着天然气、石油、风能等能源日趋广泛的使用,煤炭生产和消费所占比重有所下降,但是截至2012年,我国煤炭消费量占一次能源消费的比重依然高达68.5%,能源资源禀赋的限制决定在短期内我国以煤炭为主的能源供应和消费格局无法改变^[2]。

我国薄煤层储量丰富且煤质较好,在近80个矿区中的400多个矿井赋存薄煤层,保有工业储量98.3亿t,可采储量约为65亿t,约占全部可采储量的20%^[3,4]。根据“十一五”期间统计,极薄煤层(煤厚小于0.8m)占13.98%,薄煤层(煤厚0.8~1.3m)占86.02%^[5,6]。表1-1为薄煤层在我国主要省份的分布及在煤炭储量中所占的比重^[7-10]。

表 1-1 我国部分省区薄煤层储量统计表

地区	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	湖南	贵州	河南	四川
储量/亿 t	3.27	13.8	1.97	1.98	0.65	0.44	0.41	4.64	5.24	14.8
比重/%	16.8	17.6	15.1	12.9	18.3	1.35	28.9	37.2	12.3	51.8

近年来,我国煤炭开采强度居高不下,“采厚弃薄”的开采方式导致中东部及部分老矿区厚及中厚煤层资源逐渐枯竭,为均衡矿井生产能力、延长矿井服务年限、提高资源回收率及煤层群卸压开采的需要等,许多矿区正面临着薄煤层的开采问题,例如,淮北、淮南、淄博、兖州、徐州、大同、新汶、韩城、邯郸、榆林等矿区,薄煤层的开采力度逐年加大,但长期面临“劳动强度高、机械化程度低、安全程度低、经济效益差”的技术难题,薄煤层采出量仅占全国煤炭产量的10.4%^[11],而且还有继续下降的趋势,与可采储量极不协调。为此,“国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)”及“国家‘十二五’科学与技术发展规划”均指出要重点研究深层和复杂矿体采矿技术,薄煤层属于“复杂矿体”,地质结构和开采环境复杂,研究薄煤层开采关键技术及装备有利于煤炭资源的充分利用,符合煤炭开采技术的发展趋势。

研究表明,薄煤层综采相对于中厚煤层和厚煤层综采技术,工作面内的工艺过程基本相同^[12],但受薄煤层综采工作面作业空间狭窄、采高低的制约影响,薄煤层开采呈现自身的特

征,主要为:

- ① 工作面设备运转空间有限,人员活动区域小;
- ② 薄煤层工作面推进速度快,半煤岩回采巷道掘进速度慢,采掘接替紧张;
- ③ 薄煤层自动化程度普遍偏低,仅在赋存条件适宜的煤层,实施自动化综采技术能够取得一定的技术与经济效果。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 薄煤层矿井开采设计现状

据不完全统计,我国薄煤层采区走向长度主要为 1 000~1 300 m,倾向长度主要为 400~800 m,采区储量一般为 100 万~150 万 t,单个采区一般布置 3~8 个工作面。薄煤层工作面长度主要分布在 125~150 m,采高多在 1.2 m 以上,单面储量不足 20 万 t,回采巷道高度多为 2.5 m 左右,工作面日产量大多低于 2 000 t,万吨掘进率达到 100 m/万 t 以上,如图 1-1 所示。

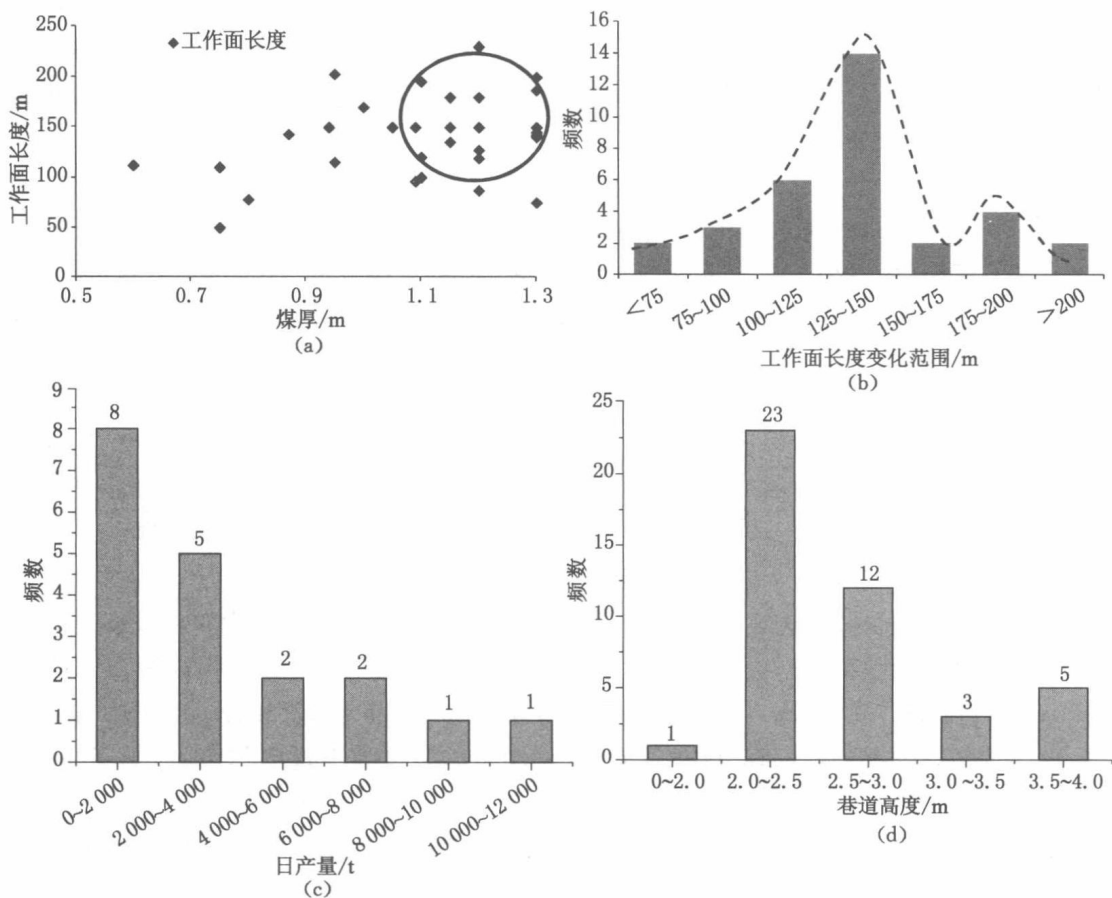


图 1-1 部分薄煤层工作面尺寸与产量统计

(a) 工作面长度及采高分布;(b) 工作面长度频数分布;
(c) 工作面日产量频数分布;(d) 回采巷道平均高度频数分布

1.2.2 薄煤层综采装备研究现状

随着煤炭科技不断进步,薄煤层综合机械化开采在“十一五”期间取得了新的进展,按照薄煤层综采工作面应用的采煤机种类划分,目前我国薄煤层综采技术主要包括滚筒采煤机综采、刨煤机综采、螺旋钻采煤机综采及连续采煤机综采^[13]四类。

1.2.2.1 滚筒采煤机

滚筒采煤机综采技术由于截割效率高、破煤岩能力强、适应性好等优点,是薄煤层综合机械化开采的主要方法。

(1) 国外薄煤层滚筒采煤机研究现状

国外将煤层厚度不大于 2 m 的煤层统称薄煤层。2004~2005 年美国长壁式综采工作面 52 个,其中薄煤层工作面 21 个(刨煤机工作面 1 个、滚筒采煤机工作面 20 个),刨煤机工作面年产量 159 万 t,工效 1 817 t/工,滚筒采煤机综采工作面平均年产量 448.7 万 t,平均工效 3 513 t/工,薄煤层滚筒采煤机综采在薄煤层开采中占据很大的比例^[14,15]。

国外薄煤层大功率电牵引采煤机均是在 20 世纪 80~90 年代研制成功的,德国 Eickhoff 公司在 20 世纪 80 年代中期研制成功的 EDW—300LN 型薄煤层爬底板采煤机,采高 0.9~1.7 m,装机功率 335 kW,其中,截割功率 300 kW,牵引功率 2×17.5 kW,牵引速度 0~5.4/8.6 m/min,牵引力 353/221 kN^[16]。

英国 Long-Airdox 公司在 20 世纪 90 年代中期推出的安德森薄煤层 Electra 交流变频电牵引采煤机,采高 1.0~1.5 m,采用多电动机横向布置驱动,截割电动机悬挂在煤壁侧,总装机功率 516 kW,其中,每个摇臂截割功率 225 kW,牵引功率 2×33 kW,牵引速度 0~12 m/min,牵引力 504 kN^[16]。

20 世纪 80 年代后期,波兰 KOMAG 采矿机械化研究中心与煤炭科学研究总院上海分院联合研制成功 KSE—344 型爬底板交流电牵引采煤机,适用采高 0.9~1.6 m,装机功率 344 kW,其中,截割功率 300 kW,牵引功率 2×22 kW,牵引速度 0~7.8 m/min,牵引力 350 kN。在此基础上,将牵引功率增大到 2×30 kW,研制成功 KES—360 型薄煤层采煤机^[16,17]。

目前,波兰根据国内坚硬薄煤层开采条件,着手设计一种特殊形式的单滚筒采煤机,采煤机两端头分别安装一个装载装置,将装载功能从滚筒分离出来,提高采煤机滚筒运动学参数,利用此类采煤机可节省采煤机进刀工序,能够很好地适应波兰 1.0~1.6 m 薄煤层长壁工作面的开采^[18]。

捷克 TMachinery 股份公司生产的 MB240E, MB290E 和 MB320E 型采煤机。其中, MB240E 型采煤机适用于采高 0.8~1.6 m,总装机功率 219.5 kW,牵引力 2×160 kN,机重 14 t。MB290E 型采煤机适用于采高 1.0~2.1 m,总装机功率 291.5 kW,牵引力 2×220 kN,机重 17 t。MB320E 型采煤机适用于采高 1.0~2.3 m,总装机功率 321.5 kW,牵引力 2×220 kN,机重 17 t^[16]。

目前,国际上先进的薄煤层采煤机为 2011 年美国 JOY 公司在 7LS1A 的基础上推出的 7LS0 采煤机。机身高度 890 mm,适应采高 1.3~2.0 m,总装机功率 820 kW,截割功率 2×336 kW,牵引功率 2×60 kW,机重 45 t。截割电动机、机身布置在煤壁侧,可达到降低机面高度、增大过煤空间的目的^[16]。

(2) 国内薄煤层滚筒采煤机研究现状

我国对薄煤层滚筒采煤机的研究始于 20 世纪 60 年代,自行研制始于 70~80 年代。90 年代以来,为满足开采较硬薄煤层、提高薄煤层滚筒采煤机的可靠性、薄煤层作为保护层开采^[19]等需要,研制了多电机驱动的交流变频调速大功率无链牵引采煤机,相应的液压支架、工作面输送机等配套装备也得到发展,形成了薄煤层综采技术。

煤炭科学研究总院上海分院与波兰 KOMAG 采矿机械化研究中心联合研制成功 MG344—PWD 型强力爬底板采煤机,具有机面高度低、装机功率大、机组运行平稳、工作可靠等优点。采用性能先进的交流变频调速技术,变频装置安放在巷道内。总装机功率为 344 kW,其中,截割功率为 300 kW,牵引功率 2×22 kW,采用齿轮—销轨式无链牵引,最大牵引力 350 kN,牵引速度 $0 \sim 7.8$ m/min。适用于采高范围为 0.9~1.6 m、煤质较硬的薄煤层工作面,曾在大同煤矿集团的雁崖矿、燕子山矿、忻州窑矿、永定庄矿等矿井使用。在燕子山矿平均日产稳定在 1 500 t 左右,1996 年 10 月在采高 1.3 m 的煤层中月产达到 7.2 万 t^[16]。

90 年代以来,为了满足薄煤层作为保护层开采矿井的迫切需要,煤炭科学研究总院研制了新一代的 MG200/450—WD 型薄煤层电牵引采煤机,该采煤机采用多电动机横向布置驱动,交流变频调速无链牵引等技术。总装机功率达 450 kW,其中,每个摇臂截割功率 200 kW,牵引功率 2×25 kW,牵引力 440 kN,采用骑输送机布置方式,截割电动机悬挂在煤壁侧,可用于采高为 1.0~1.7 m 的薄煤层综采工作面,于 2003 年 1~3 月在采高为 1.2~1.7 m 工作面取得了最高月产 14.45 万 t,最高日产 6 406 t 的好成绩,并创国内同等煤层开采厚度的最高月产与日产记录^[16]。

21 世纪初,为满足晋城煤业集团薄煤层生产的需要,天地科技股份有限公司上海分公司在 MG200/450—WD 型电牵引采煤机的基础上,研制成功了 MG2 \times 125/550—WD 型采煤机,采煤机除截割功率较前者增大外,采高范围更大,适应性更好。其总体布置采用常规骑输送机方式,采煤机采用多电动机驱动横向布置,解决了机面高度、装机功率与过煤空间三者之间的矛盾,截割部首次采用双电动机联合驱动方式。机面高度 980 mm,总装机功率 550 kW。在平均采高为 1.6 m 的煤层条件下,平均日生产能力达 3 000 t^[16]。

2007 年,为满足淮南矿业集团薄煤层作为保护层开采的需要,天地科技股份有限公司上海分公司、鸡西煤矿机械有限公司分别推出了装机功率更大、性能更加先进的 MG320/710—WD、MG2 \times 150/700—WD 型采煤机^[16]。

为满足 0.8~1.0 m 的薄煤层高效开采的需要,在“十一五”期间,天地科技股份有限公司上海分公司、鸡西煤矿机械有限公司等推出了多款薄煤层采煤机,主要有 MG100/238—WD、MG150/346—WD、MG200/446、MG180/420—BWD 等型采煤机^[16]。

2006 年至 2009 年,由天地科技股份有限公司、山东能源枣庄矿业有限责任公司、重庆能源投资集团公司合作完成了国家“十一五”科技支撑计划“薄煤层机电一体化开采关键技术与装备”课题研究,研制开发出具有自主知识产权、最低采厚达到 0.75 m 的 MG100/238—WD 型紧凑电牵引滚筒采煤机,适用于煤层厚度 0.75~1.25 m,煤层倾角 $0 \sim 25^\circ$ 或 $0 \sim 45^\circ$ 、煤质中硬的薄煤层综采工作面,满足了薄煤层高产高效生产的需要,薄煤层综采试验工作面月单产达 4 万 t 以上^[20]。国内部分滚筒采煤机开采薄煤层的成功实例见表 1-2^[21-28]。

表 1-2 我国薄煤层滚筒采煤机开采的成功实例

工作面名称	煤厚/m	倾角/(°)	工作面长度/m	特点	采煤机	平均日产量/t
南屯矿 3602 工作面	0.92	4	164	含硫化铁结核	MG180/420—BWD	958
小屯矿 14459 工作面	1.1	4.5	44	断层多、顶板坚硬且破碎	MG200/456—WD	3 000
沙曲煤矿 22201 工作面	1.1	4	150	薄煤层保护层开采	MG2×150/700—WD	1 077
朱庄矿 II 646 工作面	1.25	8	170	厚层坚硬顶板,煤与瓦斯共采	MG200/456—WD	1 426
葛亭矿 11604 工作面	1.22	9	34	短工作面,含硫化铁结核	MG200/456—QWD	3 000
桑树坪矿 4216 工作面	0.73	5	150	瓦斯富集,不稳定薄煤层保护层开采	MG320/710—AWD	1 132
桑树坪矿 4219 工作面	0~1.3	8~10	175	最大功率机型(811 kW)	MG350/811—WD	
朱集东矿 1111 工作面	1.2	3	230	薄煤层保护层开采	SL300	1 425
新兴矿 801 工作面	0.7	13.5		国内最小机型(0.65~1.1 m)	MG150PW	393

通过对国内薄煤层工作面使用的滚筒采煤机主要技术参数进行调研,得到目前国内薄煤层滚筒采煤机装机功率及采高统计分布规律,如图 1-2 所示。

据不完全统计,适用于薄煤层开采的滚筒采煤机机型达 61 种。薄煤层滚筒采煤机最小采高达到 0.52 m(MG110/130—TPD),最小采高在 0.8 m 以下的采煤机种共 6 种,仅占薄煤层采煤机种的 9.8%,极薄煤层矮型化滚筒采煤机仍然较为匮乏;目前,薄煤层滚筒采煤机装机功率主要分布在 200~800 kW,装机功率在 600 kW 以上采煤机种仅占 37.7%,且最小采高均在 1.2 m 以上,大功率小型化薄煤层滚筒采煤机的选择余地较小。其中,装机功率最大机型为鸡西煤矿机械有限公司生产的 MG350/811—WD,适用于采高范围为 1.0~1.98 m 的综采工作面,能够满足硬煤的截割要求,在韩城矿业公司桑树坪矿 4219 工作面进行了现场应用,工作面采高 1.1~1.2 m,开采期间采煤机运行平稳,故障率较低,取得了良好的应用效果。

滚筒采煤机综采工艺因截割效率高、破煤岩能力强、适应性好等优点,在我国薄煤层综采技术中占据主导地位,据不完全统计,滚筒采煤机综采工艺占薄煤层综采工艺的比例高达 85%左右,在本书阐述过程中,不做特殊说明情况下,综采工艺即指滚筒采煤机综采工艺,研究及开发薄煤层高效综采工艺及装备已经成为我国薄煤层开采的主要发展方向。

1.2.2.2 刨煤机

受刨煤机破煤岩能力差、设备稳定性差、对地质条件要求苛刻等多种因素的制约,限制了刨煤机开采技术在我国薄煤层综采工作面的推广应用。

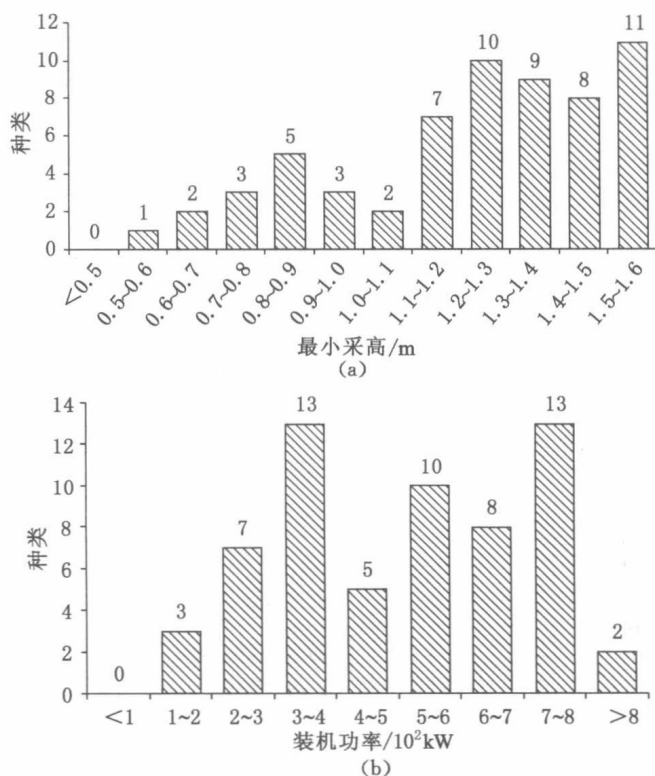


图 1-2 薄煤层滚筒采煤机参数信息统计结果图

(a) 最小采高;(b) 装机功率

(1) 国外刨煤机开采技术发展现状

刨煤机自 20 世纪 40 年代在德国问世以来,很快得到推广和发展,成为薄煤层机械化采煤的主流。在德国,薄煤层是指煤层厚度在 1.6 m 以下的煤层,其薄煤层几乎全部采用刨煤机开采,据不完全统计,煤层厚度 1.8 m 以下的 30 多个高产工作面中,只有 1 个滚筒采煤机工作面,刨煤机工作面年产量达 200 万 t 以上。在波兰,每年使用刨煤机的工作面平均 65 个。在俄罗斯,每年使用刨煤机的工作面达到 150 多个。澳大利亚、南非等主要产煤国薄煤层工作面也都使用了全自动化刨煤机。其中,使用刨煤机效率最高的是美国,它的薄煤层刨煤机工作面年产量可达 300 万 t 以上^[9,29]。

德国 DBT 公司是世界上研制刨煤机最早、技术水平最高的一家公司。目前,刨煤机的技术水平已发展到采高 0.6~3 m,截深最大可达 300 mm,可刨煤坚固性系数达到 4,刨速最高可达 3 m/s,刨链直径达 42 mm,设计长度达 400 m,装机功率最大可达 $2 \times 800 \text{ kW}$ ^[29]。

波兰 Bogdanka 矿井 7/Ⅷ/385 盘区工作面采用卡特彼勒公司 GH1600 型刨煤机系统,刨煤机采用 $2 \times 210/630 \text{ kW}$ 发动机提供动力, $2 \times 800 \text{ kW}$ 的刮板输送机配备的智能 CST 驱动系统,工作面支架配备 PMC-R 电液控制。工作面于 2012 年 2 月 16 日以日单产 2.44 万 t 创造在同类刨煤机工作面的日单产世界纪录^[30]。

目前,刨煤机装机功率越来越大,已达到 800~1 600 kW,体积向着紧凑型方向发展,可靠性、自动化控制程度更高,刨削能力得到明显提高。

(2) 国内刨煤机开采技术发展现状

自 2000 年以来,国内引进 7 套德国 DBT 公司刨煤机开采系统,分别应用在铁法煤业集团的小青矿和晓南矿、山西焦煤西山煤电集团公司马兰矿、晋城煤业集团凤凰山矿,刨煤机功率除凤凰山矿为 2×400 kW 外,其余均为 2×315 kW。截至 2011 年年末,铁法煤业集团利用刨煤机生产煤炭超过 1 000 万 t,创造了我国刨煤机产煤的新纪录^[31]。

铁法煤业集团小青矿 W_2-712 工作面长度 212 m,可推进长度 1 547 m,煤层厚度 1.15~1.8 m,煤层倾角 $2^\circ \sim 10^\circ$ 。工作面可采储量 57.2 万 t,设计月产量 9.3 万 t,可采期 6.2 个月,工作面采用德国 DBT 公司 DBT-98VE5.7N 全自动化刨煤机、PRT-GH-PF3/822 运输机及计算机远程控制系统等装备,其他配套设备由国内各生产厂家协助制造,液压支架型号为 ZY4800/06/16.5D,乳化液泵站型号为 BRW315/31.5。在地质条件相对简单、煤厚 1.4 m 左右时,刨煤机综采工艺的适应性较好^[32]。

大同煤矿集团晋华宫矿 8118 工作面采用德国 DBT 公司 GH5.7-9-38/Ve 型刨煤机。工作面煤层赋存稳定,平均厚度 1.3 m,平均倾角 7° 。工作面直接顶、基本顶均为粉细砂岩,煤层坚固性系数为 3。工作面长度 200 m,平均采高 1.3 m。刨煤机刨头功率 400 kW,生产能力 700 t/h,刨链规格 $\phi 38$ mm \times 137 mm,刨速 1.47/2.94 m/s。工作面平均日产 5 060 t,较相邻普采工作面平均日产增加 2 060 t。后期由于盘区内煤层厚度变小,起伏程度较大,地质构造复杂,利用滚筒采煤机逐渐代替了刨煤机的开采^[33]。

三一重型装备有限公司研制的国内首套全自动化刨煤机成套设备,2010 年 11 月至 2011 年 3 月在铁法煤业集团晓明矿 N2419 工作面进行了工业性试验,标志着国产全自动化刨煤机组成套设备开始在煤矿实际应用。晓明矿 N2419 工作面长度 159 m,可推进长度 472 m,煤层厚度 1.3~1.4 m,煤层倾角 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。工作面选用 BH38/2 \times 400 型刨煤机,SGZ-800/800 型刮板输送机,SZZ-800/400 型转载机,ZY5200/08/18D 型掩护式液压支架。实际生产过程中,刨煤机刨深上行为 70 mm,下行为 30 mm,平均运行速度上行为 1.7 m/s,下行为 1.2 m/s,平均日产量达到 2 121 t^[34]。

与此同时,自动化刨煤机综采成套装备逐步实现国产化。陕西南梁矿业有限公司 20302(1) 薄煤层综采工作面主采 2-2 煤层,煤层厚度 1.2~1.9 m,煤层倾角 $1^\circ \sim 3^\circ$,工作面地质条件简单,工作面长度 150 m,可推进长度 580 m,工作面采用刨煤机开采方式。针对 20302(1) 工作面开采条件,中煤装备公司及所属张家口煤矿机械有限责任公司、北京煤矿机械有限责任公司研发了我国首套装机功率 2×400 kW,理论生产能力 800 t/h,设计工作面长度达 300 m,在采高 0.9~1.7 m 的煤层条件下年生产能力达到 100 万 t 的高效可靠强力刨煤机工作面成套设备,并在 20302(1) 工作面进行了井下工业性试验,实现了全国产化刨煤机工作面无人开采,平均日进尺 4.8 m,工作面月产 3.7 万 t。

我国典型矿区薄煤层刨煤机综采工作面应用情况见表 1-3。

表 1-3 典型矿区薄煤层刨煤机综采工作面应用情况

工作面	煤层厚度/m	煤层倾角/ $^\circ$	煤层坚固性系数	刨煤机	平均日产量/t
小青矿 W_2-712 工作面	1.2~1.8	2~10	2~3	DBT-98VE5.7N	3 100
晓明矿 N2419 工作面	1.3~1.4	3~5	2~3	BH38/2 \times 400	2 121

续表 1-3

工作面	煤层厚度/m	煤层倾角/(°)	煤层坚固性系数	刨煤机	平均日产量/t
南梁矿 20302(1) 工作面	1.2~1.9	1~3	3	BH38/2×400	1 233
马兰矿 10508 工作面	1.2~1.4	3~5	2~3	GH—9—38Ve/5.7	3 667
凤凰山矿 95313 工作面	0.7~2.2	3~13	3	GH—9—38Ve/5.7	5 500
平煤二矿已 ₁₇ - 22092 工作面	1.2~1.4	4~8	2	BH30/2×160	500
晋华宫矿 8118 工作面	1.1~1.5	3~12	3	GH—9—38Ve/5.7	5 060

1.2.2.3 连续采煤机

经过 50 多年的不断研究与改进,连续采煤机开采方法在短壁综采工作面的应用过程中得到了逐步完善,而在长壁工作面中的应用较少。

(1) 国外连续采煤机开采技术发展现状

连续采煤机开采技术在美国、澳大利亚得到了广泛的应用。1985 年,美国连续采煤机房柱式开采产量占总开采量的 70.4%,采用连续采煤机开采方法的矿井平均采出率为 53.05%。美国高产高效连续采煤机房柱式开采工作面采煤机械的发展,使其井工矿产量、效率的增长速度高于露天矿的增长速度。

美国连续采煤机短壁开采技术发展较为成熟,美国弗吉尼亚州 Glen Lyn 地区 Fairchild International 公司生产的 F330 连续采煤机广泛应用于薄煤层的开采,连续采煤机采用纵螺旋方式,其主要结构由截割部、行走部、输送部组成,一次采宽可达 6.1 m。F330 薄煤层连续采煤机利用螺旋滚筒的相向对滚,将落下的煤堆推装到刮板输送机上,再运到机尾卸载。美国 Rosebud, Sterling 和 Four O 矿业公司均采用 F330 连续采煤机进行了薄煤层工作面的开采,取得了良好的应用效果,使用情况见表 1-4。

表 1-4 美国薄煤层矿业公司采用连续采煤机进行房柱式开采典型案例

煤矿名称	Rosebud Mining Company		Sterling Mining Company		Four O Coal Company
地点	Kittanning, Pennsylvania		North lima, Ohio		Haysi, Virginia
煤层厚度/m	0.88~1.01		0.97~1.02		0.81~1.07
连续采煤机	GE—Fairchild F330		GE—Fairchild F330		GE—Fairchild F330
连续运输系统	4 节	6 节	4 节	6 节	4 节
盘区巷道布置	3 巷	5 巷	5 巷	7 巷	5 巷
盘区采出率/%	58	49	64	72	58
每米进刀出煤/t	7.5		7.9		7.4
生产能力/(万 t/a)	55		50		21

20 世纪 50 年代末期,澳大利亚在美国房柱式采煤方法的基础上,试验成功了一种旺格维利连续采煤机采煤方法,到 1975 年,澳大利亚的房柱式开采达到全盛时期,共有 193 台连续采煤机,所采煤炭占井工煤矿煤炭产量的 93%。其中,库克煤矿在每个盘区装备 1 台 JoyCM12 型连续采煤机,连续采煤机在盘区一侧回采巷道里分别推进 15 m,接着贯通回采巷道之间的联络巷,然后把连续采煤机开到盘区另一侧,进行采煤和贯通联络巷,在掘进和回收煤柱的同时把煤炭采出,实现了工作面人少产量高的目标。在南非,类似的采煤方法被称为西格玛采煤方法。

(2) 国内连续采煤机开采技术发展现状

20 世纪 90 年代以来,我国注重连续采煤机配套设备的引进,连续采煤机在煤巷掘进及完成残留煤柱的回收和对煤田边角煤、条带煤的开采方面显示了独特优势^[35]。以连续采煤机为核心的现代房柱式采煤方法在我国神东、黄陵等埋深不大的矿区得到推广应用,取得了月产 10 万 t、采出率达到 80% 的良好效果。

1999 年 7 月,神东煤炭集团从澳大利亚引进旺格维利采煤法,并在大海则煤矿进行了开采试验,开采过程中在煤房之间留设 15 m×100 m 左右的大煤柱,然后采用留设煤皮的方法支撑顶板,顺序回收煤柱,工作面回采率比切块式采煤法提高了 10%^[36]。

2003 年由我国首次研制的 LY1500/865—10 型煤矿井下连续运输系统通过地面调试在神东矿区投入试生产,具有运量大、效率高、移动灵活、对煤层和巷道适应性较强等特点,适用于煤矿井下工作面短壁房柱式采煤、高产高效连续采煤作业,与连续采煤机和带式输送机配套实现落煤、破碎、装煤、运煤机械一体化^[37]。

近年来,为了进一步扩展连续采煤机短壁开采技术的适用范围,以适应我国复杂多变的煤层地质条件,中国煤炭科工集团太原研究院在山西中煤东坡煤业有限公司开展了复杂地质条件下的连续采煤机机械化开采示范工程,开创了东坡连采短壁采煤法,简称“东坡采煤法”^[38,39]。

1.2.2.4 螺旋钻采煤机

螺旋钻采煤机是一种能够解决极薄煤层开采、提高煤炭资源回收率的采煤设备^[40]。用螺旋钻采煤机采煤,由于工人不出现在采煤工作面内,而是在采煤工作面以外的地点操作设备,完成工作面内的破煤、装煤、运煤等各工序,设备检修也都在工作面以外的巷道中进行,真正实现了无人工作面采煤,使工人远离较危险的工作地点,把工人从繁重的体力劳动和恶劣的工作环境中解放出来,而且占用人员少,劳动生产率高,提高了资源回收利用率。螺旋钻采煤机无人工作面采煤对地质构造适应性强,如果采用滚筒采煤机或刨煤机采煤,长壁工作面遇到较大断层时,需重新开切割眼,工作面搬家费工费时,而螺旋钻采煤机采煤遇到断层时,只需移动钻机到新地点重新定位钻采即可,工艺、操作都比较简单。该采煤方法可广泛应用于开采围岩稳定、煤层倾角小于 15° 的极薄煤层,并且还可以用来开采边角煤、三下压煤、顶板松软破碎煤层和回收各种煤柱。使用螺旋钻采煤机不仅可减少巷道投入、减少开采对地面的影响,而且可最大限度地回收极薄煤层煤量,有利于提高薄、极薄煤层的配采比例,延长矿井服务年限,提高矿井的经济效益和社会效益。

但从目前国内外对螺旋钻采煤机的研究和使用情况看,采用螺旋钻采煤机进行薄煤层开采主要还存在以下一些问题:缺乏指导螺旋钻采煤机研制、开发的基础理论研究;采煤机在钻采过程中,由于受不同地质条件、钻头和钻杆重力及不平衡力矩的影响,使钻头和钻杆

在钻进过程中经常发生偏斜,限制了钻采深度;钻杆的装卸占用时间较长,严重影响采煤效率;采煤时钻孔之间要根据顶板情况留有不小于 0.2 m 宽的小煤柱,且只有 3 个钻头开采,采宽小,开采效率和资源回收率低,影响螺旋钻采煤机技术在薄及极薄煤层开采中的推广应用。

1.2.2.5 其他设备

伴随薄煤层采煤机技术的不断发展,相应的薄煤层液压支架、工作面输送机等配套装备也取得了相应的发展。

(1) 液压支架:通过对国内薄煤层工作面使用的液压支架主要技术参数进行调研,得到目前国内薄煤层液压支架工作阻力及最小支撑高度的统计分布规律,如图 1-3 所示。

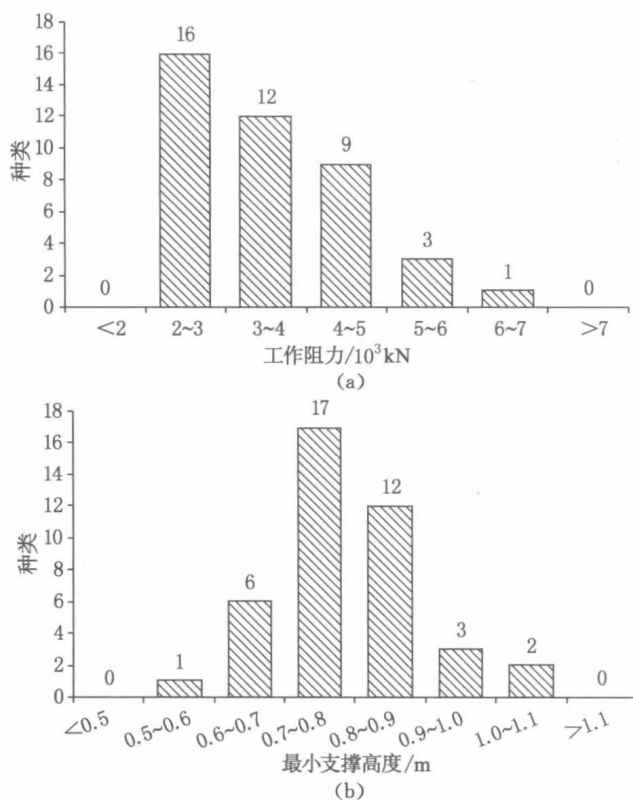


图 1-3 薄煤层液压支架参数信息统计结果图

(a) 工作阻力;(b) 最小支撑高度

薄煤层液压支架种类达 41 种,薄煤层液压支架工作阻力最大能够达到 7 000 kN (ZY7000/09/18D 型),适用于支撑范围为 0.9~1.8 m 的综采工作面,在陕西南梁矿业有限 20302(1)工作面进行了现场应用,应用效果良好。工作阻力在 5 000 kN 以上的薄煤层液压支架种类仅占 9.7%,可供选择的高工作阻力液压支架架型较为匮乏,且以上架型的最小支撑高度为 0.7~0.9 m,难以满足极薄煤层综采工作面开采的需求。整体来看,最小支撑高度在 0.7~0.9 m 薄煤层液压支架架型相对丰富,占 70.7%;薄煤层液压支架支撑高度最小达到 0.55 m (ZY2400/5.5/12 型)。

(2) 刮板输送机:通过对国内薄煤层工作面使用的刮板输送机主要技术参数进行调研,得到目前国内薄煤层刮板输送机输送能力的统计分布规律,如图 1-4 所示。