

国家高技术研究发展计划资助项目(863计划)(2012AA062101)

国家自然科学基金面上项目(51374200)

江苏省高校优势学科建设工程项目(PAPD)

江苏高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015A046)

薄及中厚急倾斜煤层

长壁综采覆岩运动规律与控制机理研究

屠洪盛 屠世浩 袁永 著

Bao Ji Zhonghou Jiqingxie Meiceng

Changbi Zongcai Fuyan Yundong Guilu Yu Kongzhi Jili Yanjiu

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)

国家自然科学基金面上项目(51374200)

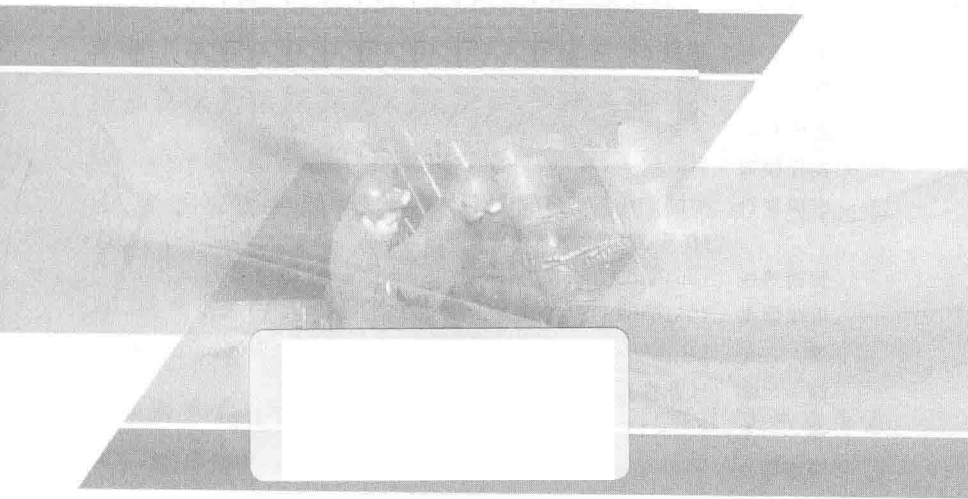
江苏省高校优势学科建设工程项目(PAPD)

江苏高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015A046)

薄及中厚急倾斜煤层

长壁综采覆岩运动规律与控制机理研究

屠洪盛 屠世浩 袁永 著



中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书主要包括急倾斜煤层开采相似模拟实验系统研制、急倾斜煤层综采覆岩运移规律研究、急倾斜煤层综采覆岩结构稳定性与支架承载特征研究、急倾斜工作面区段煤柱合理留设尺寸及其失稳致灾机理研究、急倾斜长壁综采工作面设备稳定控制及安全保障技术。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

薄及中厚急倾斜煤层长壁综采覆岩运动规律与控制机理研究/屠洪盛,屠世浩,袁永著. —徐州:中国矿业大学出版社,2017.10

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3142 - 0

I. ①薄… II. ①屠… ②屠… ③袁… III. ①急倾斜煤层—煤矿开采—研究 IV. ①TD823.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 136587 号

书 名 薄及中厚急倾斜煤层长壁综采覆岩运动规律与控制机理研究
著 者 屠洪盛 屠世浩 袁 永
责任编辑 王美柱
责任校对 周 红
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 880×1230 1/32 印张 6.125 字数 171 千字
版次印次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

急倾斜煤层是指赋存倾角大于 45° 的煤层,此类煤层的安全高效机械化开采是一个世界性难题。在我国急倾斜煤层的储量大约占煤炭总储量的 17%,急倾斜煤层总储量中有 62% 分布于我国北方,38% 分布在南方。据统计,在我国 626 处国有重点煤矿和地方煤矿中,开采急倾斜煤层的矿井有 103 处,占 16.5%。随着我国煤炭高强度开采,我国东部矿井中赋存条件较好的浅部煤层储量逐渐枯竭,使急倾斜煤层及深部难采煤层开采问题迅速进入了人们的视野,引起了人们的高度重视,如山东兖州矿区、河北邢台和开滦矿区、安徽淮南矿区、江苏徐州矿区等;我国西部矿区 50% 以上矿井开采的是急倾斜煤层,如主要产煤省(区)贵州、四川、重庆、云南、新疆、甘肃、宁夏等。

对于不同厚度的急倾斜煤层,其开采的方法并不相同,工作面存在的主要问题与难点也不相同。对于厚及特厚急倾斜煤层,可采用倾斜分层或斜切分层方法开采,工作面比较平缓,不存在设备下滑和倾倒问题,综采开采技术较为成熟;对于薄及中厚急倾斜煤层,由于工作面只能沿煤层层面

布置,倾角大,受工作面采煤设备歪斜、倒架、下滑等问题限制,我国现阶段对此类急倾斜煤层开采采用综采开采的较少,主要采用炮采,以单体支柱或柔性掩护支架支护,机械化程度低、工人劳动强度大、支护系统不能有效封闭作业空间、稳定性差,工作面的安全可靠率低、产量低。

针对薄及中厚急倾斜煤层长壁综采工作面角度大、设备稳定性差、工作人员安全保障程度低问题,综合采用现场调研、理论分析、相似模拟、数值模拟、现场实测等研究方法,对急倾斜煤层开采相似实验平台、覆岩运动规律及工作面围岩、设备稳定控制机理等进行了系统研究,主要研究成果有:① 自主研制了以模型架、旋转系统、承载系统、控制系统和加载系统为主体结构的可旋转急倾斜相似模拟实验系统及可移动水压伺服加载系统,具有能够智能控制模型旋转参数的优点,克服了急倾斜煤层相似模型难以铺设的技术难题,提高了实验数据的可靠性,得出了不同旋转倾角下不同层位煤岩层铺设所需相似材料质量的计算方法,开发了相似模拟配比计算软件,实现了模型架安全旋转及精确跟踪给定压力、均布加载。② 理论分析、数值模拟和相似模拟共同揭示了急倾斜工作面煤岩体的非对称性受力和采空区非对称性矸石充填与压实特征,得到了直接顶“耳朵”形承载壳体与基本顶破断的倾斜“砌体梁”结构,研究了覆岩结构失稳方式、覆岩受力变形与工作面开采参数之间的相互影响关系、支架—围岩承载特征,确定了急倾斜工作面支架工作阻力、采空区矸石充填带宽度的计算方法,结合

急倾斜工作面矿压显现规律验证了其正确性。③建立了急倾斜工作面区段煤柱受力模型,得到了区段煤柱的局部片落—整体滑落失稳方式,即:煤柱下端的塑性破坏区先沿倾斜方向向下片落,直至煤柱尺寸不足以支撑上覆岩层时将发生整体滑落。基于急倾斜煤层区段煤柱受力破坏特征,分析了区段煤柱留设尺寸与工作面开采参数的关系,确定了区段煤柱合理尺寸留设方法,揭示了区段煤柱失稳、工作面煤壁片帮、回采巷道变形以及工作面上覆顶板大面积破断的联动失稳机制。④构建了以固定下端头支架组、锚固刮板输送机机尾、分组间隔移架等技术措施为主,支架与刮板输送机铰接连接,以支架为着力点、刮板输送机为连接件、机体相互依托的工作面“三机”动态稳定控制技术体系,确定了急倾斜工作面仰伪斜布置参数,制定了急倾斜工作面煤壁片帮、巷道围岩控制方法,研究了工作面机道人行道挡矸方法,机道人行道隔离方法,确保了急倾斜综采工作面设备稳定与人员安全。

课题组王方田副教授、张磊副教授、白庆升讲师、卜永强老师参与了部分研究;博士研究生张村、朱德福、郝定溢,硕士研究生宋启、张艳伟、魏帅锋、魏坤、冯星、魏陆海、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、赵滨、李岗、叶志伟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龙煤集团七台河分公司领导、新铁煤矿相关技术人员的帮助,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资助项目(863 计划)(2012AA062101)、国家自然科学基金面上项目(51374200)、江苏省高校优势学科建设工程项目(PADD)、江苏高校品牌专业建设工程资助项目“采矿工程品牌专业建设”(PPZY2015A046)。

由于笔者水平所限,书中难免存在疏漏和欠妥之处,敬请读者不吝批评和赐教。

著 者

2017 年 8 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	3
1.3	主要研究内容	18
1.4	主要研究方法及技术路线	19
2	急倾斜煤层开采相似模拟实验系统研制	22
2.1	设计思路及存在难点	23
2.2	模型架	24
2.3	旋转系统	25
2.4	承载系统	30
2.5	水压伺服加载系统	31
2.6	相似材料质量配比软件开发	34
2.7	本章小结	38
3	急倾斜煤层综采覆岩运移规律研究	39
3.1	采动覆岩应力分布及影响因素的数值模拟研究	39
3.2	采动覆岩受力变形特征的理论分析	48
3.3	相似模拟研究内容及模型设计	65
3.4	直接顶运移空间结构特征	69
3.5	基本顶运移空间结构特征	74
3.6	本章小结	78

4 急倾斜煤层综采覆岩结构稳定性与支架承载特征研究	80
4.1 采空区矸石充填带宽度研究	80
4.2 直接顶“耳朵”形壳体结构稳定性分析	83
4.3 基本顶倾斜“砌体梁”结构稳定性分析	89
4.4 工作面支架—围岩相互作用关系	96
4.5 底板结构稳定性分析	103
4.6 新铁矿 49# 右六片急倾斜工作面矿压规律 实测分析	104
4.7 本章小结	115
5 急倾斜工作面区段煤柱合理留设尺寸及其失稳致灾 机理研究	117
5.1 区段煤柱受力变形特征研究	118
5.2 区段煤柱失稳方式研究	122
5.3 区段煤柱合理留设尺寸研究	124
5.4 工作面煤壁片帮机理研究	129
5.5 工作面巷道围岩变形机理研究	135
5.6 顶板大面积破断机理研究	146
5.7 本章小结	151
6 急倾斜长壁综采工作面设备稳定控制及安全保障技术	153
6.1 工作面合理布置方式及参数研究	153
6.2 工作面综采设备稳定控制研究	157
6.3 工作面防飞矸技术研究	166
6.4 本章小结	169
7 结论与展望	171
7.1 研究结论	171
7.2 展望	173
参考文献	174

1 绪 论

1.1 研究背景及意义

急倾斜煤层是指赋存倾角大于 45° 的煤层,此类煤层的安全高效机械化开采是一个世界性难题。我国急倾斜煤层的储量大约占煤炭总储量的 17%,而其年产量仅占全国煤炭总产量的 3.88%^[1,2]。据统计,中国 626 处国有重点煤矿和地方煤矿中,开采急倾斜煤层的矿井有 103 处^[3],占 16.5%。

近年来随着矿井开采强度的增加,导致优质煤炭资源迅速枯竭,为保证矿井的可持续发展,许多矿区不得不考虑急倾斜煤层开采,如山东兖州、河北邢台和开滦、安徽淮南、江苏徐州、贵州、四川、重庆、云南、新疆、甘肃、宁夏等矿区^[4-11]。此外,由于西部矿区经济发展相对比较滞后,煤炭资源的开采已经是其经济来源的重要组成部分,据统计,西部矿区 50% 以上矿井开采的是急倾斜煤层,而急倾斜煤层开采的资源回收率不足 30%^[12]。由于缺少急倾斜煤层开采覆岩运动规律及合理开采方法等相关理论的支持,工作面围岩控制困难,安全状况差,劳动强度大,推进速度慢。因此,解决急倾斜煤层开采的技术难题对保证中东部矿井的可持续发展、实现西部矿区的经济跨越式发展具有重要意义。

急倾斜煤层厚度不同,煤层开采的方法不同,工作面存在的主要问题与难点也不相同。对于薄及中厚急倾斜煤层由于工作面只能沿煤层层面布置,倾角大,受工作面采煤设备歪斜、倒架、下滑等问题限

制,我国现阶段对此类急倾斜煤层开采采用综采开采的较少,主要采用炮采,以单体支柱或柔性掩护支架支护,机械化程度低、工人劳动强度大、支护系统不能有效封闭作业空间、稳定性差,工作面的安全可靠低、产量低;对于厚及特厚急倾斜煤层可采用倾斜分层或斜切分层方法开采,工作面比较平缓,不存在设备下滑和倾倒问题,综采开采技术较为成熟。因此,迫切需要探索、研究薄及中厚急倾斜煤层的安全、高效、综合机械化开采技术。

研究表明,薄及中厚急倾斜煤层综采主要存在以下几点难题:

(1) 急倾斜煤层工作面上部的垮落煤矸石会向采空区下部滑落,对工作面下部采空区进行充填,引起工作面下部覆岩变形破坏范围小、工作面上部覆岩变形破坏范围大,在沿煤层倾斜方向的采空区形成矸石的充填、滑空特征,造成急倾斜工作面、回采巷道的矿压显现呈非对称性特征^[13,14],围岩控制困难。

(2) 急倾斜煤层工作面上部冒空范围或采动裂隙发育范围可能波及上巷及区段煤柱,造成上巷及区段煤柱稳定控制困难,区段煤柱失稳会将上区段采空区和本工作面导通,上区段采空区破碎岩体、水、瓦斯等有毒有害气体溃入本工作面,此外,煤柱失稳后煤柱承受的支承压力会迅速转移到工作面煤壁和支架上,造成片帮严重、支架压死、巷道围岩控制困难,同时,产生的大量滑落煤岩体会推垮工作面综采设备,给工作面造成灾害。

(3) 急倾斜煤层工作面顶板受到平行层面的分力要大于垂直层面的分力,因此工作面综采设备主要受到平行层面的倾斜推力作用,设备稳定控制困难,此外,由于工作面上部顶板冒落空间大、支架接顶程度低,上部煤岩体受力大、破碎程度高,基本顶在采空区后方得不到垮落矸石的支撑,造成上部顶板运动剧烈,控制困难。

(4) 工作面割落或片帮产生的煤体、冒顶产生的矸石会沿工作面倾斜方向加速向下滑落,砸伤工作面工作人员、损坏设备,同时,大量煤体整体下滑后会冲坏或堵塞工作面下出口,影响工作面正常生产。

(5) 随着煤层倾角的增大,急倾斜工作面底板会破断失稳,断裂的底板也可能向采空区下部滑移,给工作面带来灾害。

(6) 工作面设备下滑严重,人员行走困难,攀爬过程中没有可靠的着力点。

以上是薄及中厚急倾斜煤层长壁综采工作面开采过程存在的主要难题,是制约薄及中厚急倾斜煤层长壁综采技术发展的根本因素。因此,为实现此类煤层的安全高效开采,迫切需要对薄及中厚急倾斜煤层长壁综采工作面覆岩运动规律及其控制机理进行系统的研究。

本书以薄及中厚急倾斜煤层地质赋存条件为基础,对该类煤层开采引起的覆岩受力、变形、结构失稳方式、裂隙演化规律、矿压显现规律、工作面的合理布置方式、区段煤柱变形破坏机理及合理留设方法、支架工作阻力的计算方法、围岩和设备的稳定控制技术等进行研究,并以七台河矿区典型的薄及中厚急倾斜煤层长壁综采工作面煤层地质开采条件为例进行应用研究,为薄及中厚急倾斜煤层安全高效机械化开采提供理论依据。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 急倾斜煤层综采开采研究

国外开展急倾斜煤层综合机械化开采技术方面研究的国家主要有前苏联、法国、德国、英国、印度等。早在 20 世纪 70 年代,前苏联就在急倾斜煤层开采方面进行了一定规模的试验和研究,研制了适合急倾斜和大倾角煤层综采的各类液压支架和采煤机^[15-18],并在此基础上对大倾角特别是 45° 以上的急倾斜煤层开采工艺及采场围岩控制进行了较系统的研究,此研究为前苏联急倾斜煤层综采开采奠定了理论基础。此外,煤炭工业出版社 1956 年出版的《库兹巴斯急倾斜厚煤层充填开采法》一书详细地介绍了急倾斜厚煤层的各种采煤方法、巷道布置方式、工作面配套装备、不同采煤方法适用的煤层

地质赋存条件以及煤层开采之后利用充填法减小采空区岩层移动变形的回采工艺^[19]。

乌克兰顿涅茨煤矿机械设计院自 1986 年开始为顿巴斯的龙恩—亚卡矿井和奥尔忠尼基煤管局所属的叶娜基也夫卡娅煤矿设计了大倾角和急倾斜煤层采煤机及其相配套的支护设备并装备 54 个综采工作面,为了保证采煤机在大倾角和急倾斜煤层工作面上行时牵引部所必须具有的牵引力,在工作面巷道(上部的回风巷)装备了绞车并将采煤机牵引部连接到绞车系统上。龙恩—亚卡矿开采试验期间,最高月产量 17 010 t,平均月产量 12 763 t。统计显示,1993 年乌克兰的煤炭产量中倾角大于 35° 煤层的产量为 849.9 万 t(其中,224.5 万 t 为综采,77.2 万 t 为普采,非机械化开采的产量约占 64.5%),占煤炭总产量的 $3\% \sim 4\%$ ^[20-22]。

在法国洛林矿区,西蒙矿井采用 SAGEM 公司生产的 DGT 型双滚筒采煤机(功率 2×250 kW,适用煤层倾角达 35° 以上,最大采高 3.22 m,滚筒直径 1.65 m,截深 0.825 m,采用埋伏链牵引,液压马达的牵引力为 440 kN,牵引速度 $0 \sim 5$ m/min,采煤机操纵方式为随机遥控,最大距离 10 m);刮板输送机为 2×160 kW 双中心链 DMKF3 型;工作面液压支架为 MFI 公司生产的 4×115 t 支撑掩护式自移支架(最大高度 3.48 m,最低高度 1.5 m,宽 1.5 m,支护强度 $650 \sim 800$ kN/m²)。支架装备有输送机防滑千斤顶并具有完善的洒水系统,保证在降柱移架过程中的降尘。同时,在工作面上巷设有防滑绞车用以作为采煤机防滑的辅助手段,除此之外,在输送机上每隔 10 节刮板设置 1 个专用千斤顶与支架连接,防止输送机下滑(一旦发现输送机出现下滑现象,立即调整工作面使之处于仰伪斜状态),采用上述设备和方法,获得了良好的经济效益。洛林矿区东部的沃斯特矿井利用急倾斜煤层专用的两台 ANF 采煤机和两台 DMKF3 刮板输送机,采用水砂充填系统(工作面水平布置、上行开采)开采了该矿区倾角为 $15^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的两个相互平行的背斜煤层。开采过程中综采工作面管理的特点是,将 5.0 m 长的木支柱锚固在煤层顶板围岩

上,防止顶板垮落,然后,将拱形钢梁的一头搭在被锚固的木柱上,另一端同一块厚木板一起楔紧在工作面另一侧煤层底板上,当采煤机割煤时取下拱形钢梁,采煤机通过后,将钢梁马上支设在采后的新水平顶煤上。一般情况下,每台采煤机每班推进 5.0 m,整个工作面日产 420 t,工作面平均工效为 15.5 t/工。实践证明,该方法开采急倾斜煤层是可行的,其工效达到了长壁工作面的水平,但工作面单产远远低于长壁面的平均值;除此之外,洛林矿区还试验研究了使用伪倾斜布置工作面(伪倾斜角度为 20°)的方法,利用 TSA 型迈步支架配合工作面防滑防倒装置及措施开采了倾角 $30^\circ \sim 60^\circ$ 的煤层^[21]。

德国将赫姆夏特液压支架(设计用于缓倾斜煤层)进行改装并与曼斯菲尔德支架(可用于倾角 70° 以上的急倾斜煤层)或威斯特伐里亚支架结合辅助防滑、防倒技术(如支架节间距离为 0.75 m 并用专用锁头连接,节间靠采空区侧装有挡矸充气包;整个工作面支架利用三条钢带固定在回风巷内巨大的工字钢梁上,支架用柔性悬吊钢丝绳连接成整体等)来开采急倾斜煤层;1992 年在鲁尔矿区的威斯特豪尔特矿,采用 G9—38Ve4.6 加高型滑行式刨煤机配合 WSL 7 型宽体双伸缩两柱掩护式液压支架(支架宽度 1.75 m,支撑高度 1.8~3.6 m,质量 15.8 t,工作阻力 $2 \times 2\,200\text{ kN}$,装有 M3 型电液控制系统)开采了鲁尔矿区 $18^\circ \sim 45^\circ$ (煤层倾角变化极大,局部倾角可达 45°) 的煤层。工作面平均日推进 4.5 m,平均日产量 3 000 t^[20]。

英国使用多布逊支架(适应煤层倾角 $25^\circ \sim 45^\circ$,支架之间装有与相邻支架底座互相铰接的弹性伸缩连接件,用于支架的防滑、防倒)和伽里克支撑式支架(适应煤层倾角小于 40° ,每节支架上有 5 根立柱,同时,为获得较大的稳定性,支架采用了较矮的伸缩式底座。该支架在工作性能方面的最大特点是轻型的顶梁结构可以延缓支架的卸载过程),对 $35^\circ \sim 45^\circ$ 的大倾角煤层进行了开采,取得了一定的技术与经济效益^[20]。

印度以其东北部煤田为基地,研究了应用于急倾斜和大倾角煤层的柔性支架采煤法、巷柱充填采煤法、掩护支架采煤法、综采及其

配套设备^[23-25]。

西班牙在帕里奥和圣安托尼奥煤田的 HUNOSA 矿井使用机械化装备开采了倾角大于 40° 的煤层^[26]。

近年来,随着经济的飞速发展,国外的主要产煤国家对煤炭资源的依赖程度逐渐降低,有些国家目前只开采一些地质条件赋存较为简单的煤层,也有些国家已经关闭了所有的煤矿,如英国、法国和日本等。经过煤矿企业和科研单位的不懈努力,结合急倾斜煤层的各种采煤方法的重大改革,国内少数矿井已经试验并成功应用急倾斜煤层长壁综合机械化开采技术,填补了急倾斜煤层长壁综采的空白。国内在急倾斜煤层开采方法的演变方面主要体现在以下几个阶段。

20 世纪 50~60 年代,我国的急倾斜煤层开采主要进行了采煤方法的改革。各矿区根据急倾斜煤层的实际赋存条件,主要应用的采煤方法有倒台阶采煤法、水平分层一次采全高和水平分层放顶煤采煤法、巷道放顶煤采煤法以及掩护支架采煤法等。这些采煤方法大部分采用风镐落煤、单体液压支柱支护、刮板输送机运煤,垮落法处理采空区,虽然工作面机械化程度比炮采工作面有所提高,但单体支柱支护系统稳定性差,支柱失稳极易引起工作面冒顶,进而引发工作面顶板大面积垮落,形成灾害性事故^[27,28]。

20 世纪 60 年代~70 年代中期,急倾斜煤层开采方法技术革新的重点主要体现在掩护支架结构的合理设计与工作面回采巷道的合理布置方面。为推广应用掩护支架、扩大掩护支架对不同赋存条件煤层的适应能力,徐州、淮南、开滦等矿区先后在急倾斜工作面成功研制并应用了“八”字形掩护支架,改善了原有支架设计的不足,取得了较好的经济效益。此外,一些主采急倾斜煤层的矿区还对急倾斜煤层的开拓和准备巷道的布置方式进行了研究,降低了急倾斜煤层开采岩巷掘进率,改善了巷道围岩作用关系,降低了巷道维护成本。同时,在急倾斜煤层工作面开采工艺方面也进行了革新,工作面开始使用金属支柱和铰接顶梁进行支护,急倾斜特厚煤层的水平分层开采工作面开始使用金属网、竹笆、荆笆等铺设人工假顶,为下分层开

采创造条件^[27]。

20 世纪 70 年代后期~80 年代后期,主要是在急倾斜煤层综采工作面进行了采煤工艺的试验^[29-33]。为提高急倾斜工作面的综合机械化程度,部分矿区(如鸡西)研究并试验了急倾斜煤层滚筒采煤机采煤工艺,四川攀枝花矿区根据急倾斜工作面割落煤炭能够自溜的特征,结合急倾斜薄煤层开采条件研究并试验了急倾斜工作面刨运机综采,淮南、开滦矿区研究并试验了配合掩护支架使用的地沟落煤机。此外,在南桐矿区、四川的部分矿区还对急倾斜煤层工作面综合机械化开采进行了研究,但综采试验的成功率并不高,推广应用的则更少^[27]。

自 20 世纪 80 年代开始,倾斜煤层机械化装备和急倾斜煤层综合机械化装备的研制引起了人们的高度重视。最具代表性的是“大倾角煤层开采成套设备的研制”被列为国家“七五”期间重点科技攻关项目,由沈阳矿务局红菱煤矿与煤炭科学研究总院共同承担,最终研制了 ZYJ3200/14/32G 型液压支架和 ZYS9600/14/32(QYS9600/14/30)型组合式液压支架、MG200—QW 型采煤机、SGBQ—764/160W 型刮板输送机,在煤层倾角为 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的大倾角和急倾斜工作面进行了工业性试验,填补了国内急倾斜煤层综采的空白^[34,35]。

四川广能集团绿水洞煤业公司在 5654 急倾斜工作面采用广能集团自主研制的 ZJ3600/15/36 型支撑掩护式液压支架, MG250/620—QWD 型采煤机, SGB730/60 型刮板输送机,对煤层倾角为 58° 的急倾斜煤层进行了成功开采,工作面采用两采一准方式,日产 1 800~2 500 t,月产 4 万~6 万 t,取得了较好的技术经济效益^[36-38]。

淮南矿务局针对潘北矿 1121(3)工作面煤层倾角 $28^{\circ}\sim 42^{\circ}$,平均倾角 33° ,煤层上方存在 0.4 m 的碳质泥岩伪顶,极易垮落,煤层瓦斯含量高,煤及顶板较软的典型“三软”地质赋存条件,采用郑州煤机厂生产的 ZZ6400/22/45 型支撑掩护式支架,西安煤机厂生产的 MG500/1130—WD 型采煤机,SGZ800/1050 型刮板输送机,工作面

开采 11 个月安全采出煤炭 54 万 t, 创造经济效益 2 亿多元^[39-41]。

天地科技股份有限公司开采设计事业部采矿所与攀枝花煤业集团公司技术人员在借鉴前人已有成功经验的基础上, 研制出了急倾斜煤层开采刨运机组, 该综采机组由液压支架、刨运机、液压与电气控制系统及辅助系统构成。采用刨运机开采急倾斜薄煤层时工作面落煤期间无需司机跟机作业, 且根据急倾斜煤层的赋存特点, 刨运机梁既能做刨头的承载体, 又能做移架横梁, 省去了刮板输送机, 同时, 在刨运机落煤期间采用电液控制, 落煤期间工作面内无操作人员, 为实现智能化急倾斜薄煤层无人工作面开采打下基础^[42-45]。攀枝花煤业公司太平煤矿 25113 工作面煤层倾角 $65^{\circ} \sim 69^{\circ}$, 平均 67° , 煤层厚度变化不大, 平均 1.2 m, 含泥质粉砂岩夹矸 1~2 层, 夹矸厚度平均 0.15 m, 工作面采用 JBB—1 型刨运机组, ZYX2400/07/17 型掩护式液压支架, 工作面月产量 1.7 万 t, 年产量 20.4 万 t, 工效 15.27 t/工^[46]。

华蓥山广能集团有限责任公司为了实现急倾斜煤层安全高效开采, 改善井下工人的劳动环境, 提高煤炭采出率, 经过 8 年的不懈努力在全国率先攻克了急倾斜煤层综采关键技术难题, 研制出了急倾斜煤层综采工作面 ZJ3600/13/3 型液压支架和 ZTHJ11400/15/23 型端头支架, 最大能适应 60° 倾角的煤层开采, 配合 MG250/620—QWD 型采煤机和 SGB—730/320(160) 型刮板输送机, 工作面最低月产 40 001 t, 最高月产达 58 047 t, 平均月产 48 214 t, 经济效益非常显著^[47-50]。

甘肃靖远煤业有限责任公司王家山煤矿 44407 急倾斜工作面回采巷道沿煤层底板布置时, 由于设备沿工作面倾向分力较大, 刮板输送机机头和转载机直接搭接造成工作面液压支架和端头支架间的相互挤咬严重, 工作面推进过程中移架、调架困难, 下端头顶部三角煤稳定控制困难, 研究将回采巷道沿煤层顶板布置, 运输巷道与工作面之间采用渐变过渡方式, 下端头三角煤稳定性得以控制, 渐变过渡方式在一定程度上限制了刮板输送机的下滑。44407 工作面煤层倾角