

# 浅埋煤层 大采高超长工作面上覆岩层 移动规律研究

■ 付玉平 著



煤炭工业出版社

# 浅埋煤层大采高超长工作面 上覆岩层移动规律研究



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

浅埋煤层大采高超长工作面上覆岩层移动规律研究/  
付玉平著. --北京:煤炭工业出版社, 2015

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4788 - 7

I. ①浅… II. ①付… III. ①薄煤层—大采高—回  
采工作面—岩层移动—研究 IV. ①TD325

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 030253 号

## 浅埋煤层大采高超长工作面上覆岩层移动规律研究

---

著 者 付玉平  
责任编辑 牟金锁 刘永兴 尹燕华  
责任校对 李邓硕  
封面设计 晓 杰

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
电 话 010 - 84657898 (总编室)  
010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com  
网 址 www.cciph.com.cn  
印 刷 北京市郑庄宏伟印刷厂  
经 销 全国新华书店

开 本 850mm × 1168mm<sup>1/32</sup> 印张 6<sup>1/8</sup> 字数 159 千字  
版 次 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷  
社内编号 7643 定价 25.00 元

---

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010 - 84657880

## 前 言

我国是产煤大国，同时也是煤炭消费大国，煤炭在国民经济建设中占有重要的战略地位。我国很多矿区赋存大范围 4.0 ~ 7.0 m 厚煤层，这种煤层采用什么样的采煤方法，一直是采矿界关注的问题，对厚煤层如何开采及开采中围岩如何控制的问题展开研究具有重大的战略意义。随着大采高技术的发展，更多的矿区开始了大采高开采实践，并取得了成功，为厚煤层的开采开创了新的方法。特别是近几年来，神东矿区、晋煤寺河矿等很多矿区都采用了大采高综采技术，并取得成功，大采高开采已成为 4.0 ~ 7.0 m 厚煤层主要的高效开采方法之一。

神东矿区位于陕西省榆林地区北部、内蒙古自治区鄂尔多斯市南部，面积 3481 km<sup>2</sup>，煤炭地质储量为 354 亿 t，是神华集团煤、水、电、路一体化的重要能源基地。神东矿区的开采生产实践表明，煤层埋藏浅，采场矿压显现并不缓和，开采过程中有顶板台阶下沉现象，工作面矿压显现剧烈。国内专家对浅埋煤层开采条件下覆岩结构和移动规律进行了深入的研究，提出了浅埋煤层长壁开采顶板的短砌体梁和台阶岩梁结构模型，并经理论计算得出防止基本顶结构失稳所需的支架工作阻力，对浅埋煤层的开采起到了指导作用。

现阶段神东矿区工作面采高增加至 7.0 m，面长加大至 400 m，在此条件下工作面开采时矿压显现、覆岩移动及围岩控制等规律尚未摸清，这是带给我国采矿工作者的新的课题、新的挑战，开展此领域的相关研究，可为煤矿的安全高效开采提供理

论指导,具有重要的应用价值。

“浅埋煤层大采高超长工作面上覆岩层移动规律及围岩控制研究”项目针对采高增加、面长加大后工作面开采时顶板岩层移动、断裂、垮落演化规律展开研究。此项研究得到了国家自然科学基金(51344002)、山西省青年科技基金(2013021029—1)、太原科技大学博士科研启动基金(20122006)的资助。本研究以埋深100~150 m、采高4.0~7 m、面长240~400 m的神东矿区浅埋煤层大采高超长工作面为研究对象,建立了其顶板断裂关键块结构运动与失稳控制的理论模型,给出了控制关键块平衡应具有支架支护阻力计算公式;通过现场实测总结了浅埋煤层大采高超长工作面开采的矿压显现新特征,工作面来压的新规律;结合理论分析、相似模拟实验、数值模拟计算与现场实测,得到了工作面合理支护强度的预测公式,完善了大采高超长工作面开采的矿压控制理论。本项研究对神东矿区及类似条件的工作面开采提供了理论指导,具有重要意义。

本书对项目研究的思想、方法、成果等进行了系统整理,介绍了浅埋条件下大采高超长工作面的相关规律和特征,对相关领域的科研人员和生产管理人员有一定的参考意义。

在此,对长期关心和支持本项研究的专家、学者和工程技术人员表示由衷的感谢,对太原理工大学采矿工艺研究所宋选民教授的大力支持和无私帮助致以最诚挚的谢意。

由于作者水平所限,书中难免存在不当之处,恳请同行专家和读者批评指正。

作 者

2014年10月

## 目 录

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 1 研究项目概述 .....                         | 1   |
| 1.1 研究的目的是与意义 .....                    | 1   |
| 1.2 浅埋煤层大采高超长工作面采场围岩控制的<br>研究现状 .....  | 3   |
| 1.3 浅埋煤层大采高超长工作面围岩控制中<br>存在的问题 .....   | 10  |
| 1.4 研究内容及技术路线 .....                    | 12  |
| 2 浅埋煤层大采高超长工作面顶板断裂特征及力学模型 .....        | 15  |
| 2.1 浅埋煤层大采高超长工作面的来压特征分析 .....          | 15  |
| 2.2 浅埋煤层大采高超长工作面顶板断裂特征分析 .....         | 26  |
| 2.3 浅埋煤层大采高采场顶板关键层断裂关键块<br>稳定性分析 ..... | 29  |
| 2.4 本章小结 .....                         | 40  |
| 3 浅埋煤层大采高工作面覆岩移动规律的模型实验研究 .....        | 42  |
| 3.1 模拟原型的地质及开采技术条件 .....               | 42  |
| 3.2 相似模拟实验设计 .....                     | 45  |
| 3.3 5.5 m 采高相似模拟实验结果分析 .....           | 49  |
| 3.4 7 m 采高相似模拟实验结果分析 .....             | 76  |
| 3.5 本章小结 .....                         | 111 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 4 浅埋煤层大采高超长工作面开采的数值仿真研究 .....         | 114 |
| 4.1 数值模拟方案设计及模型的建立 .....              | 114 |
| 4.2 大采高超长工作面顶底板移近量分析 .....            | 118 |
| 4.3 大采高超长工作面顶板垂直应力分布特征 .....          | 128 |
| 4.4 大采高超长工作面顶板垮落高度分析 .....            | 133 |
| 4.5 本章小结 .....                        | 143 |
| 5 浅埋煤层大采高工作面长度加大对采场矿压显现规律的影响 .....    | 144 |
| 5.1 上湾矿 $1^{-2}$ 煤层超长工作面矿压显现规律 .....  | 144 |
| 5.2 榆家梁矿 $4^{-2}$ 煤层超长工作面矿压显现规律 ..... | 152 |
| 5.3 工作面长度增加对采场矿压显现的影响分析 .....         | 159 |
| 5.4 本章小结 .....                        | 162 |
| 6 浅埋煤层大采高超长工作面合理支护强度的确定 .....         | 164 |
| 6.1 采高加大工作面合理支护强度预测 .....             | 164 |
| 6.2 工作面长度加大对合理支护强度的预测 .....           | 167 |
| 6.3 工作面支护强度与工作面长度、采高的综合相关影响 .....     | 169 |
| 6.4 神东矿区7 m特大采高工作面支护强度预测 .....        | 171 |
| 6.5 本章小结 .....                        | 176 |
| 参考文献 .....                            | 178 |

# 1 研究项目概述

## 1.1 研究的目的与意义

我国是产煤大国，同时也是煤炭消费大国，煤炭在国民经济建设中占有重要的战略地位。我国很多矿区赋存大范围 4.0 ~ 7.0 m 的厚煤层，这种煤层采用什么样的采煤方法，一直是人们关注的问题。因此对于厚煤层如何开采及开采中围岩控制的问题的研究具有重大的战略意义。众所周知，厚煤层及特厚煤层开采方法有 3 种：分层开采、综放开采及大采高综采。分层开采应用于 20 世纪七八十年代以前，是传统的采煤方法，曾经为我国的厚煤层及特厚煤层开采做出了重大贡献，但随着大采高技术的发展，其缺点也越来越突出。与一次采全高相比，其缺点主要表现在：①巷道掘进工程量及维护费用增加 1 倍以上；②设备搬家费用增加 1 倍以上；③煤炭回收率较低；④分层开采要求留有顶煤用以维护采场顶板稳定，该部分煤炭遗留在采空区，自然发火危险性增加。近 30 年来，综放开采的技术得到了迅速发展，但是不可否认，综采放顶煤开采尚有如煤炭回收率低、工作面煤尘大、自燃的危险等国际性技术难题尚未得到彻底解决。对于厚煤层的大采高综采技术，国外在 20 世纪 60 年代开始研究实践，我国从 20 世纪 70 年代开始引进德国的大采高设备，进行工业性试验。经过几十年的发展，大采高综采技术逐渐成熟，其优势也逐渐体现出来。主要表现在：①工艺布置简单，巷道掘进工程量小，工作面接替容易协调；②工作面生产集中，易于管理，基本上一井一面或者两面就能保证矿井的年产量，便于实现矿井的高产高效；③可以有效提高煤炭的质量，提高煤炭的回收率。



随着大采高技术的发展,更多的矿区开始了大采高开采实践,并取得了成功,为厚煤层的开采开辟了新的方法。特别是近几年来,神东矿区、晋煤寺河矿、同煤四老沟矿等很多矿区都采用了大采高综采技术,并取得成功。这使我们有理由相信,大采高综采是4.0~7.0 m的特厚煤层主要的高效开采方法之一。

值得注意的是,位于陕西、山西北部,内蒙古西南部的神东矿区,探明的地质储量为2236亿t,远景储量为10000亿t,占全国探明总储量的1/4,是我国现已探明的储量最大的煤田,是国家“七五”“八五”“九五”计划重点建设项目。神东矿区煤层埋藏比较浅、顶板基岩薄、地表为厚风积沙覆盖层,是典型的浅埋煤层。虽然煤层倾角近水平,赋存稳定,开采条件优越,但是矿井初期的开采实践表明,长壁工作面有普遍的台阶下沉现象,矿压显现剧烈。运用原有的矿压控制理论不能有效地解释这种现象及机理,给我国的采矿工作者带来了新的课题、新的挑战。从20世纪90年代以来,我国开始了对浅埋煤层矿压显现与岩层控制方面的研究,用现场实测的方法,总结了浅埋煤层长壁工作面矿压显现规律,用相似模拟和数值模拟的方法研究顶板破断的基本特征,建立了浅埋煤层长壁工作面围岩控制理论,指导了现场的生产工作。

但是随着采矿技术的发展,近几年来工作面采高在不断地加大,由3.5 m到4.5 m、5.5 m、6.2 m,并且神东公司补连塔煤矿在2009年年底投产试验的22303综采工作面,最大采高为7.0 m。工作面长度也在不断地增加,从原来的240 m到300 m、360 m,榆家梁矿44208工作面长度为400 m。对于这种浅埋条件下的大采高超长工作面,目前还没有系统的理论来指导生产。本项目基于这方面的问题,进行了一系列的研究,希望能对神东矿区及地质条件相近的矿区生产起到指导作用,同时也能对浅埋煤层大采高超长工作面领域的矿压基础理论进行完善和补充。

## 1.2 浅埋煤层大采高超长工作面采场围岩控制的研究现状

### 1.2.1 国外的研究现状

#### 1.2.1.1 国外大采高技术研究现状

对于大采高综采技术及装备的研究,国外在 20 世纪 60 年代就已经开始了。日本在 60 年代曾设计了一种 5 m 采高的液压支架,这种支架带有中间平台。1970 年,德国的热罗林矿采用垛式支架试采了 4 m 厚的煤层,取得了成功。1980 年,威斯特法伦矿进行了 6 m 大采高综采工作面的工业性试验,该矿采用的是赫姆夏特公司研制的 G550-22/60 掩护式液压支架,取得了成功。美国长壁大采高综采工作面采高曾达到 4.5~4.7 m,日产煤量达 6200 t,工效达 360 t/工,实现了高产高效。捷克的 LAZY 矿大采高工作面采高从 4 m 增加到了 6 m,工作面在正常顶板条件下单产为 7500 t/d,平均 4500 t/d,最高单产达到了 8000 t/d。波兰设计开发了大采高液压支架,也在试用中取得了较好的效果。各国的生产实践证明,在一些良好的煤层地质赋存下开采较硬煤层,大采高综采技术实现了高产高效、高安全、高回收率和高经济效益的目标。20 世纪末期以来,高新技术不断向传统采矿领域渗透,美国等国家采用了大功率可控传动、微机工况检测监控技术、自动化控制技术、机电一体化设计等先进的技术,研制出适应不同煤层赋存条件的高效综采大型设备,实现了从普通综合机械化生产向高产高效集约化生产的根本性转变。国外一般认为:设备重型化和尺寸加大化、煤壁片帮与顶板冒落、高支架稳定性、大断面顺槽开掘与支护、采面运输等都是限制大采高综采取得显著经济效益和推广应用的障碍。因此世界各主要产煤国都在积极改进大采高液压支架,并不断地进行现场实践以推广大采高综采的应用范围。

#### 1.2.1.2 国外浅埋煤层开采研究现状

对于浅埋煤层开采顶板断裂结构及其自身稳定性的研究较

少, 仅仅有些专家针对浅埋煤层开采提出了顶板运动波及地表并对特定的矿井工作面做了矿压实测, 得到了些结论。苏联 M. 秦巴列维奇提出了台阶下沉假说, 该假说认为, 浅埋煤层顶板随工作面推进垮落延伸至地表, 应考虑整个上覆岩层的重量作为支架阻力设计的依据。该理论把岩层运动绝对化了, 其未对基本顶岩层受力过程、垮落形式做出分析, 也未对基本顶垮落后的关键块自身的承载能力做出判断。苏联 B. B. 布德雷克于 1981 年发表了《莫斯科近郊煤田矿山压力的特点》一文, 认为浅埋煤层开采时与普通采深开采相比, 顶板垮落形式明显不同, 普通采深开采顶板为逐次分层垮落, 采场来压显现较缓和, 而浅埋煤层开采时顶板来压剧烈。澳大利亚学者对浅埋煤层长壁开采的工作面进行了一些矿压实测, 得到顶板岩层沿煤壁几乎是垂直断裂, 地表下沉量较大, 最大的约为采高的 0.6 倍, 最大下沉量位置为滞后工作面约 40 m, 说明顶板岩层迅速整体移动, 将采空区压实。

澳大利亚 L. Holla 等对新南威尔士的浅埋煤层长壁开采工作面进行了矿压观测。通过对煤层上方岩层的多点位移观测, 得到垮落带高度约是采高的 9 倍。英国和美国多采用房柱式采煤方法开采, 以避免浅埋煤层开采后地表的塌陷破坏。

我国赵宏珠教授对印度浅埋煤层长壁开采的矿压规律进行了实测研究, 结果表明: 工作面顶板岩层发生离层层数较多, 工作面不同部位分段垮落, 煤壁前方顶底板移近速度增大, 周期来压步距与地表裂缝之间间距大致相同。支架载荷较大, 工作面动载荷不明显。

巴兰布矿、拉金达矿和牛库达矿引进中国整套综采设备进行浅埋煤层开采, 开采期间综采工作面的矿压特点: 顶板的周期来压呈现大小周期交替出现, 大周期来压步距较稳定, 小周期来压步距不等; 顶板来压速度快, 支架载荷迅速增大, 超过其额定工作阻力, 导致立柱刚性支撑损坏; 工作面不同部位顶板来压强度不同, 全工作面支架载荷分布不均; 上覆岩层随顶板来压迅速移

动,在来压的同时,地表产生裂缝;通过实测,地表平均下沉系数较小。

综上国外各专家对长壁开采的工作面进行的矿压观测及国内出口设备试用的研究成果,结果表明:浅埋煤层开采时,基本顶关键层破断后直接波及地表,顶板断裂破断角大,地表下沉速度快,来压明显且难以控制,没有对基本顶断裂过程引起采场初次来压和周期来压的机理及采场围岩控制理论进行系统的研究。

## 1.2.2 国内的研究现状

### 1.2.2.1 国内大采高技术研究现状

国内大采高综采技术研究始于20世纪70年代,开滦范各庄矿引进德国G320-23/45型掩护式支架,用于试采7号煤层,该煤层厚度为3.3~4.5 m、倾角为10°,生产过程中月产量平均为70819 t,最高月产量达到94997 t,为我国当时综采面产量最高的工作面。1984年,西山矿务局官地矿使用我国自行研制的大采高综采设备,在18202工作面进行了工业性试验并取得了成功,综采液压支架为BC520-2/47型支撑掩护式,18202工作面煤层顶板为Ⅱ级3类,采高4.0 m,该面3个月采煤11.2万t。1986年,邢台矿务局东庞煤矿2702工作面进行了工业性试验,该工作面使用国产液压支架配套的大采高综采设备,液压支架型号为BY3200-23/45型掩护式,并且取得了成功。随着矿井高产高效技术的发展,人们普遍认识到大采高综采工作面是整个矿井高效生产的基础,因此大采高采矿技术得到了长足的发展,发展到了一个新的阶段。工作面开采高度突破了5 m,已达到5.5 m、6.3 m甚至是7 m,日产煤量普遍达到了万吨级水平,个别工作面的年产量达到千万吨,已超过国际水平,成为国际一流的大采高综采工作面。

2003年,神东集团的补连塔矿32201综采工作面采高为4.5~4.8 m,年产原煤924万t。2004年,神东集团的上湾煤矿55101工作面实际采高最大为5.5 m,年产原煤一千多万吨。大

同煤矿集团四老沟矿大采高工作面采高为 4.5 m, 使用国产 ZZ9900 - 29.5/50 液压支架成功地开采了顶板及煤质坚硬的 14 号煤层。晋城寺河煤矿采用 ZY9400 - 28/62 支架, 采高达到 6.0 m, 极限高度可达 6.2 m。2009 年, 世界首个 7 m 大采高综采工作面在神东矿区补连塔矿进行工业性试验, 取得了成功。

高进等针对神东矿区煤层赋存情况, 指出大采高综采技术是该矿区对煤层赋存条件最适应的开采方法, 并结合煤层地质条件、矿压分析和设备配套研究, 开发了 6.3 m 采高的技术路线, 同时进行了设备配套和采煤工艺的研究; 张杰等针对工作面采高的变化对顶板关键层破断距离变化的影响规律进行研究, 得到采高变化对组合关键层破断的影响, 即对采场来压步距的影响, 进而修正了浅埋煤层开采采场初次来压步距的计算公式。结果表明, 以该修正的组合关键层破断距公式计算的大柳塔 1203 工作面的初次来压步距与实测非常接近; 刘长友等的研究认为, 大采高开采条件下, 覆岩垮落带和裂隙带高度增大, 岩层活动程度增强, 将造成裂隙带岩层的台阶错动失稳, 是开采中引发突水事故的重要条件, 而裂隙带岩层的台阶错动失稳与其下位岩层的岩性结构和组合状况有关; 宁宇通过三维数值模拟分析得到, 大采高综采工作面加长、采高加大更易发生片帮, 煤壁先发生较小的挠曲变形, 达到极值时, 将在煤壁上部 0.35 倍采高处产生破裂, 之后煤壁全部片落。

郝海金等通过现场工作面上位岩层移动实测、实验室模拟建立了大采高采场整体力学模型, 得到大采高采场上覆岩层存在着比分层开采更高层位的平衡结构; 李文权针对大采高支架的稳定性这一问题做了研究, 探讨了支架倾倒的影响因素; 伊茂森针对神东矿区的地质条件, 对工作面长度的合理选择做了研究, 证实上湾矿工作面长度定在 300 m 是合适的; 弓培林、靳钟铭建立了大采高采场顶板控制的力学模型, 将直接顶分成 3 类, 指出 1 类直接顶顶板载荷按给定载荷或者按照采高倍数估算, 2 类直接顶

暂不适宜采用大采高开采,3类直接顶顶板控制主要考虑关键层的厚度、强度和层位高度,当直接顶距离关键层近时,应该考虑冲击载荷;胡国伟、靳钟铭通过FLAC模拟,得到了大采高采场支承压力的分布规律。

### 1.2.2.2 国内浅埋煤层开采研究现状

我国对于浅埋煤层的研究起始于20世纪90年代,大柳塔煤矿C202工作面进行试采,西安矿业学院的侯忠杰教授对该工作面进行了实测。结果表明,工作面周期来压明显,有明显的台阶下沉,下沉量最大达0.6 m,来压期间支柱动载系数为2.3~4.3。通过C202工作面的开采实践使人们认识到,煤层埋藏浅反而矿压显现及来压期间动载系数比普通采深同级顶板条件下更剧烈,浅埋煤层开采的矿压显现及围岩控制等问题不能沿用旧的理论,需要在其基础上研究适应于浅埋条件下的矿压理论。通过大柳塔煤矿1203综采工作面进行了采高为3 m、4 m和5 m的相似模拟试验。通过试验研究得出:在3种条件下,顶板岩层都是一次性全厚破断,来压时有明显的台阶下沉,来压显现强烈。但是采高3 m和4 m时,顶板断裂裂缝经基岩回转后在其下部闭合,避免了基岩上方松散砂层沿裂缝倒灌工作面的灾害发生,因而确定合理采高为4 m。根据试验结论,大柳塔煤矿布置了采高为4 m、长度为150 m的综采工作面。通过对该工作面进行现场实测,表明矿压显现主要特征与模拟结果基本吻合。

针对浅埋煤层顶板破断机理及其控制这一课题,侯忠杰等教授进行了大型立体相似模拟试验。研究认为,防止工作面顶板沿煤壁切落应同时具备两个条件:一个是足够厚度的顶板基岩,这样厚度的岩层断裂后在采场上方可以形成平衡结构,并且具有承载松散层传递的载荷的能力;另一个是工作阻力足够大的液压支架,高阻力的液压支架可以有效地支撑顶板,减少顶板回转下沉量和避免顶板岩层出现离层,这两个条件同时具备即可防止顶板岩层沿煤壁切落,避免工作面出现台阶下沉。在钱鸣高院士提出

的“关键层理论”基础上，侯忠杰教授提出了“组合关键层”理论。研究认为，浅埋煤层顶板某几层岩层满足以下两个条件即可以形成组合关键层：一要满足刚度条件，二要满足来压步距条件。

黄庆享教授等通过现场实测和相似模拟试验研究，对浅埋煤层采场基本顶周期来压的结构形状和其稳定性进行了分析，建立了基本顶周期来压的“短砌体梁”和“台阶岩梁”结构模型，对顶板断裂块体进行了受力分析，得到岩块滑落失稳和回转失稳时，岩块块度和回转角度的关系，并且通过分析得到，工作面周期来压出现顶板沿煤壁切落主要是因为岩块的滑落失稳造成的，为此计算了控制结构模型发生滑落失稳时支架应具有的工作阻力。

侯忠杰教授在讨论有关断裂基本顶结构假说和理论的基础上，根据基本顶初次断裂拱式平衡和周期断裂砌体梁平衡条件，考虑到岩块间铰点挤压接触面的实际高度，推导出了断裂带基本顶判别的理论公式。

宋选民教授等针对神东矿区的典型浅埋煤层条件，采用现场实测煤柱支承压分布方法，分析给出了榆家梁矿、补连塔矿和大柳塔矿回采巷道的合理煤柱宽度范围，对今后回采巷道布置、煤柱宽度以及巷道支护设计，具有工程实用价值和决策指导作用。

马立强等为解决浅埋煤层的保水开采难题，采用物理模拟方法，研究了浅埋煤层大采高长壁工作面的采动覆岩导水通道的分布特征。结果表明：对于典型浅埋煤层，大采高工作面在初次来压至第一次周期来压期间，覆岩导水通道迅速发育至松散含水层底部，工作面后方约两个周期来压距离后，采空区覆岩垮落带以上的覆岩导水通道被逐渐压实闭合，但开切眼处的导水通道不易闭合；对于次浅埋煤层，主关键层初次来压后，导水通道迅速发育至最大高度，但伴随着主关键层约1~2个周期来压后，基本

顶至主关键层之间断裂带内的覆岩导水通道可很快被压实闭合。该成果可对浅埋煤层保水防溃采煤研究和应用提供基础理论指导。郭树林通过对 2305 综采工作面工程地质条件和开采技术条件,应用数值模拟(RFPA)和现场实测方法,深入研究了浅埋煤层开采后伪顶、直接顶和基本顶的破坏、运动规律,从而对指导、评价采场围岩控制提供理论依据;崔廷锋等为研究浅埋煤层大采高工作面矿压显现规律及支架适应性情况,对酸刺沟煤矿首采工作面进行实测分析。结果表明:周期来压步距随工作面推进速度的增大而增大,工作面推进速度为 4 m/d、13 m/d 时,周期来压步距分别为 12.8 m、21.8 m;来压期间,工作面中部支架工作阻力大,达到额定工作阻力支架的比例达 96%;工作面两端支架工作阻力小,不超过额定工作阻力的支架比例达 91%。刘建等以西部 1203 面覆岩为研究对象,进行相应的覆岩结构稳定性力学分析,得出了关键层结构稳定条件,并采用离散元数值模拟软件 UDEC2D4.0 对覆岩变形破坏进行动态数值模拟计算。揭示了浅埋煤层关键层结构变形破坏规律,给出了避免地表非连续破坏的允许采高为 2 m。

石建军等介绍了神东矿区榆家梁煤矿 44305 浅埋深工作面回采期间的矿压观测方法,结合工作面矿压显现特征,参照来压步距理论计算,确定了工作面周期来压步距,掌握了工作面回采过程中支架的运行状态,为该煤层的顶板控制提供了依据。

王崇革教授、宋振骥院士等通过三维相似材料模拟,将浅埋煤层开采的上覆岩层运动与地表沉陷作为一个整体来研究,对其整体结构,从地下煤层开采到上覆岩层运动规律、破裂拱的形成及发展变化,直至地表沉陷变形运动规律进行研究,给出了相关的定性研究结论,可为现场提供决策依据。

李新元等分析了印度 PVK 矿煤层开采的采场矿压显现规律。浅埋深极松软顶板难以形成“梁”或“板”结构,随着开采的进行,将形成“压力拱”结构;当采场推进到一定距离时,拱



结构失稳破坏,产生初次来压;当拱顶高度接近地表时,压力拱主结构内岩体失稳破坏,引起工作面更剧烈来压,同时,拱外次结构内岩体随之破坏,引起地表下沉;压力拱结构周期性失稳并前移,引起工作面周期来压。研究结果合理解释了顶板极其松软、矿山压力显现且相当剧烈的现象,对国内类似开采条件下的矿压显现规律研究可资参考。

对于超长综采工作面开采时的矿压显现规律,缪协兴教授从实测和模拟上对超长综放工作面覆岩关键层破断特征及对采场矿压的影响做了研究,得到随着综放工作面的长度增加,顶板关键层破裂块度将会减小;张开智教授对 300 m 长度的综放工作面支架顶梁受力做了分析,得到工作面长度加大后支架前柱载荷大于后柱,并分析了原因;孙树臣根据济三矿的具体地质条件和生产条件,论证了布置超长工作面的可行性和必要性;宋选民教授通过实测对工作面长度加大后的矿压显现规律做了总结,得到工作面长度加大后周期来压强度趋于缓和,采场存在冲击载荷;邢平伟等通过对神东矿区各个工作面进行实测,总结了采场由于工作面长度和采高的变化而应该具有的支护强度。

### 1.3 浅埋煤层大采高超长工作面围岩控制中存在的问题

浅埋煤层大采高超长工作面的开采实践表明,合理的支架选型是发挥其生产能力的关键。由于大采高工作面煤壁高度增大,同等地质条件下煤壁片帮引发端面冒顶事故概率增大;工作面长度加大,工作面上部冒落岩石拱高加大,支架工作阻力增大;煤层埋藏浅,上覆岩层中关键层仅有一层或者两层,数量较少,导致载荷层增多,关键层的破断引发的工作面来压显现程度更加剧烈。因此在浅埋煤层大采高超长工作面围岩控制中,合理地选择支架的工作阻力显得尤为重要。

(1) 采高为 1~4 m 时,各级基本顶综采工作面的支护强度