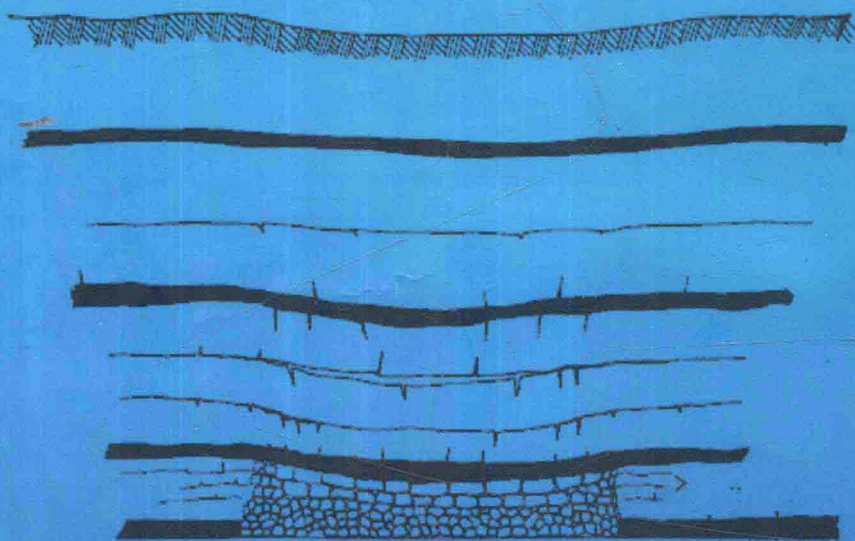


韩 军 宋卫华 朱志洁 著

# 近距离煤层群 上行开采技术



煤炭工业出版社

# 近距离煤层群上行开采技术

韩 军 宋卫华 朱志洁 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

近距离煤层群上行开采技术 / 韩军, 宋卫华, 朱志洁著. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2013

ISBN 978-7-5020-4209-7

I. ①近… II. ①韩… ②宋… ③朱… III. ①短距离—煤层群—上行开采—采煤方法 IV. ①TD823.81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 070658 号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
网址: [www.cciph.com.cn](http://www.cciph.com.cn)  
北京房山宏伟印刷厂 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 8<sup>1</sup>/<sub>4</sub>  
字数 190 千字  
2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷  
社内编号 7032 定价 28.00 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

# 前 言

煤炭资源不可再生性和社会发展对煤炭资源需求的不断增加之间的矛盾，决定了煤炭企业在资源开发中必须要不断提升资源回收率。在过去的煤层群开采过程中，大量的上部煤炭资源开采因地质条件不明或经济上不合理被搁置，利用上行开采方法，将上部搁置的大量煤炭资源回收，不但可以提高资源回收率和矿井产量，而且可以延长矿井服务年限，为矿区经济发展、社会稳定作出重要贡献。此外，随着矿井开采深度的不断增加，冲击地压、煤与瓦斯突出、松软顶板处理、巷道稳定性控制等一系列问题日益突出，上行开采是实现矿井动力灾害防治和岩层稳定性控制最为有效的途径。因此，研究近距离煤层群上行开采问题，对于安全高效生产、解放呆滞煤量、减少资源浪费、提高资源回收率、延长矿井寿命和保障社会稳定都具有重大意义。

近距离煤层群上行开采研究的核心和重点在于确定下部煤层开采后上部煤层的整体性和连续性。然而由于煤岩结构的非均质特征和采矿工程的复杂性，使得在理论上对下部煤层开采过程中采场上覆岩层结构演化及上部煤层的变形和破坏特征的确定面临极大的困难。近年来大量的上行开采实践为该问题的研究提供了良好的条件。本书首先以下部煤层开采后上部煤层的变形和破坏特征分析为主线，综合应用理论分析、数值计算、相似材料模拟和现场探测等方法，系统分析了不同层间距、不同开采条件、不同岩层岩性等条件下采场上覆岩层的运动规律、应力状态和变形破坏特征，特别是系统分析了上部煤层的结构破坏和空间形态；同时就下部煤层开采对上部煤层的采动影响空间关系进行了分析；然后结合部分矿区上行开采实例，对近距离煤层群上行开采的机制给出了解释；最后在上行开采可行性判别方面，提出了综合考虑下煤层采高、层间距、时间间隔、直接顶初次垮落步距等指标的上行开采可行性判别方法。

全书由韩军进行组织和统稿，韩军撰写了第4章、第5章，第1章和第3章由宋卫华撰写，第2章和第6章由朱志洁撰写。辽宁工程技术大学张宏伟教授对近距离煤层上行开采的研究工作和本书的撰写出版给予了大力支持和重要帮助，在此表示衷心感谢。辽宁工程技术大学地质动力区划研究所李胜教授、霍丙杰博士、陈莹博士、兰天伟博士在本书的撰写过程中提出了宝贵的意见和建议，荣海、郭超、高照宇、杨文连、周利峰等研究生参加了部分数

据整理、图件绘制方面的工作，地质动力区划所已毕业的研究生李明、乔鸿波、刘军、李涛等参与了本书部分内容的实验研究工作，在此一并表示感谢。同时还要感谢开滦（集团）有限责任公司张普田高工、邓智毅高工、王久峰高工、郑庆学高工、张金海高工、宋德旺高工、田秀国高工、孙胜高工等，阜新矿业（集团）有限责任公司海立鑫高工、王海兵高工、李伟民高工、田刚高工、赵志高工、苏野工程师等，铁法煤业（集团）有限责任公司冯家元高工、刘日成高工、马会安高工、赵顺利高工等，感谢他们在现场工作中提供的指导和帮助。本书写作中参阅了大量的文献资料，在此谨向相关作者表示衷心的感谢。本书的主要研究内容是在辽宁省教育厅重点实验室项目（2009S047）支持下完成的，在此表示感谢。

限于作者水平，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者

2013年2月

# 目 次

1 绪论 .....	1
1.1 上行开采的意义 .....	1
1.2 上行开采技术发展现状 .....	2
1.3 本书主要研究内容 .....	9
2 采场上覆岩层运动规律和破坏特征 .....	11
2.1 采场上覆岩层运动规律和破坏特征概述 .....	11
2.2 采场上覆岩层结构及应力分布规律 .....	11
2.3 采场上覆岩层破坏及移动规律 .....	18
2.4 采场上覆岩层位移及变形规律 .....	23
3 近距离煤层群上行开采围岩变形和破坏特征分析 .....	33
3.1 近距离煤层群上行开采围岩变形和破坏概述 .....	33
3.2 开滦矿区近距离煤层群上行开采的实验研究 .....	33
3.3 阜新矿区近距离煤层群上行开采的实验研究 .....	50
4 近距离煤层群上行开采实践 .....	59
4.1 近距离煤层群上行开采设计 .....	59
4.2 开滦矿区近距离煤层群上行开采实践 .....	64
4.3 阜新矿区近距离煤层群上行开采实践 .....	78
4.4 铁法矿区近距离煤层群上行开采实践 .....	92
5 近距离煤层群上行开采可行性判别 .....	105
5.1 上行开采可行性判别指标及判别方法 .....	105
5.2 上行开采相关因素的定量化 .....	107
5.3 上行开采判别准则的建立 .....	109
6 主要成果与展望 .....	118
6.1 主要成果 .....	118
6.2 展望 .....	119
参考文献 .....	120

# 1 绪 论

## 1.1 上行开采的意义

地下能源与矿产资源的有效、稳定开发和利用是保持国民经济持续发展和国家经济安全战略实施的重要保障。煤炭是重要的能源矿产资源之一，煤炭工业是我国的基础产业，其是否健康、稳定、持续发展是关系到国家能源安全的重大问题，国家能源中长期发展规划纲要（2004—2020年）已经确定，中国将“坚持以煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展的能源战略”。在我国的一次能源消费结构中，煤炭约占67%，预测到2050年仍将占50%以上。因此，煤炭在相当长的一段时期内将一直是我国居支配地位的主要能源。煤炭在世界一次能源消费量中占25%，未来20年，随着对煤炭的洁净技术的研究与开发，需求必然会增加，国际能源机构（IEA）预计，将提高3.7个百分点。

煤炭资源往往以煤层群的形式赋存于地下。在煤层群的开发过程中，存在以下3种不同的开发顺序：①先开采上部煤层，后开采下部煤层，即上部煤层在下部煤层开采之前已经开采完毕，这种开采程序在采矿界通常叫做下行开采；②先开采下部煤层，后开采上部煤层，即下部煤层在上部煤层开采之前进行开采，这种开采程序称之为上行开采；③上部和下部煤层同时进行开采。

不管采用何种开采方式，煤层开采将会引起原岩应力场的再分布，岩层出现变形和破坏，例如垮落、裂隙、下沉等，因而先期开采工程会或多或少地影响后续的上部或者下部煤层的开采。这种煤层群开采过程中的相互影响通常会引发安全问题，增加生产成本，降低生产效率，造成储量损失。为了避免或者减少多煤层开采相互影响，下行开采被认为是最适合的开采顺序。多年来无论是单一布置还是联合布置，各煤层之间大都按自上而下的顺序开采，下行开采具有矿井建设初期开拓工程量小，初期基建投资少，投产早等优点。

煤层开采顺序主要从经济性、实用性及所有权的角度进行确定，如低灰低硫高热量的煤炭资源往往被优先开采，因而在很多矿区或矿井采空区上方都遗留了一定数量的可采煤层。随着煤炭资源越来越紧张，如何安全、高效地回收上部遗留的煤炭资源，成为相当多的煤炭企业所面临的问题。上行开采为解决上述搁置煤炭资源的回收提供了技术途径。特别是对一些储量不足的老矿区或矿井，利用已有井巷和设备开采这些遗留的煤炭资源，以延长矿区或矿井的寿命，更具有重要的现实意义。此外，随着矿井开采深度的不断增加，冲击地压、煤与瓦斯突出、松软顶板处理、巷道支护等一系列问题日益突出，深部高应力环境下难采煤层下行开采存在诸多弊端，上行开采将从根本上消除高地压所引发的矿山压力和矿井动力灾害的有效途径。因此，研究近距离煤层群上行开采问题，对于安全高效生产、解放呆滞煤量、减少资源浪费、延长矿井寿命和保障社会稳定都具有重大意义。

开采煤层群的时候，在任何情况下，上部的煤层以及其围岩根本不受其下部某些煤层

开采影响的情况是不存在的,实际上仅仅是影响程度大小的不同。上行开采所导致的矿压控制问题在半个世纪前已有报道。Heasley 总结了下部煤层开采后出现的问题,包括顶板下沉、断裂、离层以及残留煤柱引起的底板和煤层破坏等,进而危及开采活动。Stemple 于 1956 年系统报道了在上行开采中观察到的最常见的现象,包括上部岩层的裂隙或者水平方向的断裂。上部煤层经常产生垂向离层,大约一英寸到几个英尺,这种离层既出现于底板和煤层之间,也出现于煤层和顶板之间;下部煤层开采引起的扰动主要包括顶板垮落、底鼓、煤柱破坏等,尽管这些现象在单一煤层开采中能见到,但是在上行开采中更加集中。

## 1.2 上行开采技术发展现状

### 1.2.1 国外研究现状

波兰建筑物下压煤达  $110 \times 10^8$  t 以上(埋深 1000 m 以浅)。自 1920 年开始,波兰采用上行开采方法开采了部分城市建筑物和铁路线压煤,在上行开采方面取得了丰富的实践经验。

波兰学者 W. 捷赫维茨认为,当层间距大于下煤层采高 12 倍的时候,上行开采是可行的;B. 克鲁宾斯基等人进一步考虑了下部煤层不同开采情况下的极限层间距,指出当下部煤层开采高度大于 1.5 m 时,层间距达到采高的 8 倍即可;M. 胡德克、马克耶夫斯基、T. 斯达朗等考虑了岩石碎胀系数和冒落矸石的压缩率,认为上行开采所需的层间距与采高成正比,与岩石碎胀系数及冒落矸石压缩率成反比关系,M. 胡德克提出了如下的判别关系式:

$$H = \frac{M}{K_p - 1} \cdot \frac{1}{1 - \eta} \quad (1-1)$$

式中  $H$ ——上、下煤层的层间距, m;

$M$ ——下煤层采高, m;

$K_p$ ——岩石碎胀系数;

$\eta$ ——冒落矸石的压缩率。

马克耶夫斯基认为,层间距与下煤层采高的平方成正比,与岩石碎胀系数成反比:

$$H = \frac{3M^2}{K_p - 1} \quad (1-2)$$

T. 斯达朗认为,层间距与采高及岩石碎胀系数有关,即

$$H = M \left[ 2 + \frac{4}{\pi(K_p - 1)} \right] \quad (1-3)$$

苏联煤矿上行开采的成功实例很多,库兹巴斯矿区就是其中之一。库兹巴斯矿区是生产优质炼焦煤的基地,过去采用下行式开采顺序开采煤层群,限制了矿井生产能力和新井建设的发展,于是采用上行开采,获得了丰富的上行开采实践经验及科学研究成果。

苏联学者研究认为,足够的层间距是上行开采的基本条件。T. B. 达维江茨认为,上、下煤层层间距至少要达到下煤层采高的 20 倍。A. П. 基里雅奇科夫研究了顿巴斯矿区上行开采实例后认为,当下部开采一个煤层时,上煤层正常开采,应按下式计算层间距,即

$$H = 12M + 3.5M^2 \quad (1-4)$$



Г. Н. 库兹聂佐夫同样考虑了岩石碎胀系数, 提出了如下判别关系:

$$H = \frac{M(3 + 1.5M)}{K_p - 1} \quad (1-5)$$

В. Д. 斯列沙烈夫认为, 当上部煤层位于下煤层开采形成垮落带之上时, 上行开采是可以进行的, 并用下式计算:

$$H = \frac{M}{(K_p - 1) \cos \alpha} \quad (1-6)$$

Т. Ф. 葛尔巴切夫对库兹巴斯矿区 30 个矿井 106 个上行开采实例的分析表明, 在任何煤层间距下, 不管煤层间的岩石组成、开采方法及顶板管理方法如何, 开采下部煤层都将影响到上部煤层的开采。这种影响的特征在很大程度上取决于煤层间距, 同时也取决于上部煤层在因下部煤层开采所形成的下沉盆地的形态及岩层剧烈运动过程时间的长短。

在美国, 据统计有 1560 亿 t 煤炭资源属于煤层群开采, 约占总储量的 68%, 其中相当多的采取了上行开采方式。如在西弗吉尼亚, 美国钢铁公司对 Pocahontas 3 号层上方 18 m 的 4 号和 5 号煤层进行了开采。在宾夕法尼亚, Bethlehem 矿业公司的 33 号矿井采用上行开采方式开采了 B 组煤层之上的 C 组煤层。

H. N. Eavenson 最早对上行开采进行了综合性研究。他的研究表明当层间距超过 6 m 时, 在下部煤层开采后开采上部煤层几乎总是能够取得成功, 同时也给出了数个煤层间距在 36 m 以上但是上行开采未能成功的实例。D. Bunting 和 G. S. Rice 等指出覆岩的性质、下煤层的厚度、下部采空区的形态对上行开采具有重要影响。美国采矿与冶金工程师协会 (AIMME) 岩层运动与沉陷委员会在综合分析了多个上行开采实例的基础上, 指出当下部煤层的开采高度小于 2.5 m 的时候 Eavenson 提出的 6 m 的层间距是适合的。C. T. Holland 和 D. T. Stemple 于 1950 年在近距离煤层群上行开采方面开展了重要的工作, 他指出 6.0 ~ 7.5 m 的层间距就可以提供足够好的上行开采条件。Holland 同时强调上行开采的时间间隔至少为 3 个月。

Stemple 调查了美国东部 45 个矿井的上行开采工程, 最终形成了包括 61 个上行开采实例的数据库。Stemple 发现每一个下部煤层的开采都对上行煤层形成了扰动, 包括岩层破裂、顶板离层、岩层下沉等, 极少数实例中出现了严重的煤体挤压破碎, 并伴随着顶板垮落和底鼓; 大多数的破坏直接出现在孤岛煤柱的上方, 临近采空区的实体煤往往也容易出现, 但是最大的扰动并不是直接位于采空区的边界, 而是在采空区外侧 30 ~ 90 m。Stemple 同时强调了时间间隔的重要性。他认为上部煤层的开采不应该在下部煤层开采后马上进行, 而是要在岩层沉陷结束后, 这个时间大概是 5 ~ 10 年。C. Haycock 基于 Stemple 的数据库, 并增加了一些理论解析、光弹分析和数值模拟等, 形成了一些上行开采评估的经验公式。Haycocks 和 Zhou 提出了一些关系式, 具体如下:

$$I_{co} = h/t[18.84X - 2(Z - 50) - 1240] \quad (1-7)$$

$$I_{co} = h(3.5X - 224) \quad (1-8)$$

$$I_{co} = h/t(15X - 973) \quad (1-9)$$

式中  $I_{co}$ ——临界层间距, ft (0.3048 m);

$h$ ——下部煤层开采高度, ft;

$t$ ——上下煤层开采的间隔时间, a;

$X$ ——下部煤层采出率, %;

$Z$ ——夹层中硬岩百分数, %。

美国的 Heasley (1951) 观察了上下煤层的相互作用, 指出了可能影响上行开采的因素, 提出了能够进行上行开采和下行开采的一些影响因素。HRB - Singer 通过在西弗吉尼亚州和宾夕法尼亚州四个矿的研究, 得出影响上行开采的 12 个因素, 分别是上部煤层顶板强度、上部煤层底板强度、下部煤层采高、下部煤层回采率、下部煤层底板强度、下部煤层底板强度、下部煤层保护煤柱宽度、下部煤层回采工作面倾向斜长、上下煤层间距、下部煤层埋深、上下煤层回采时间间隔、保护煤柱形状。

基于大量的上行开采实例, Dunham 和 Stace 建立了煤壁或者残留煤柱引起的煤体破坏的程度与相互影响机制之间的关系, 研究主要集中于巷道的稳定性和长壁开采工作面的稳定性。研究表明影响巷道稳定的因素包括: 巷道的初始稳定性、煤壁和巷道之间的垂直或者正交距离、煤壁几何尺寸等。提出了一个包括 4 个变量的多参数线性回归模型:

$$Y = 0.564 + 0.084X_1 - 0.003X_2 - 0.015X_3 + 1.427X_4 \quad (1-10)$$

式中  $Y$ ——巷道的破坏程度, 分为 1~5 级, 表示无影响到严重影响;

$X_1$ ——初始稳定程度;

$X_2$ ——煤层垂直间距, m;

$X_3$ ——煤柱留设时间, m;

$X_4$ ——煤柱留设尺寸, m。

为了预测阿巴拉契亚煤田近距离煤层群开采问题, Webster (1983) 分析了 44 个上行开采实例, 提出了一个包含 6 个等级的煤层破坏评估系统。即破坏程度从 0 到 5, 0 代表无破坏, 5 代表非常严重的破坏。建立了一个预测上部煤层破坏程度的经验模型:

$$DF = 1239 + Y - 18.83X \quad (1-11)$$

式中  $DF$ ——上部煤层破坏因子, 正值代表没有相互影响, 负值代表有相互影响;

$X$ ——下部煤层回采率, %;

$Y$ ——煤层间距与下煤层埋深的比值与时间间隔的乘积。

1988 年, Zhou 开展了一项包含了 93 个上行开采实例的研究工作, 在 Webster 所提出的评估体系的基础上提出了一个新的破坏分级体系。通过上行开采实例的统计分析, 建立了上部煤层破坏程度预测的经验公式, 给出了一些变量。提出了  $M$  指标法。 $M$  指标指的是层间距与下部煤层开采高度的比值。通过确定最小的  $M$  值来确保上部煤层不遭受破坏。 $M$  指标的计算方法如下:

$$M = -224 + 3.5X \quad (1-12)$$

式中  $M$ —— $M$  指标;

$X$ ——下部煤层采出率, %。

考虑时间因素的  $M$  指标可以通过下式进行计算:

$$M = \frac{-972.815.1X}{t} \quad (1-13)$$

式中  $t$ ——上下煤层开采的时间间隔, a。

临界层间距计算如下:

$$IBT_c = M \cdot LST \quad (1-14)$$

式中  $IBT_c$ ——临界层间距, ft;  
 $LST$ ——下部煤层开采高度, ft。

$M$  指标法可以通过一个诺谟图来表示 (图 1-1)。

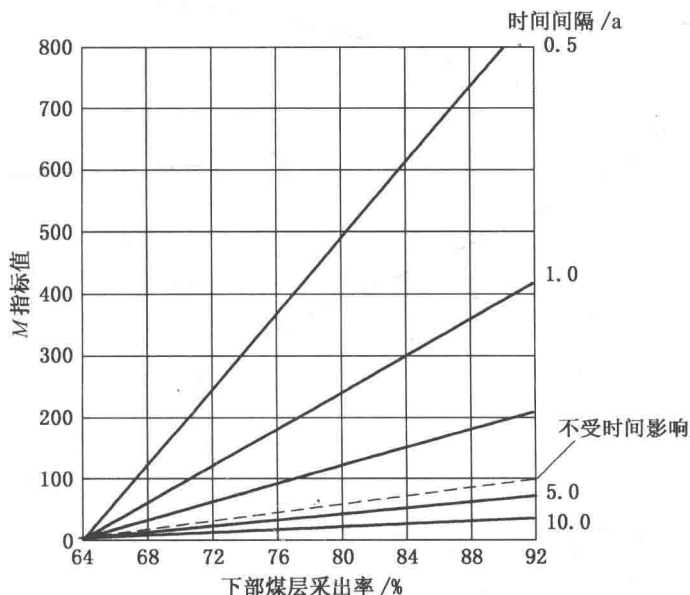


图 1-1  $M$  指标临界值预测诺谟图

另外一个多元回归模型用来预测上部煤层的破坏程度:

$$DR = -1.28 + 1.804LOC - 0.00053 \frac{IBT}{LST} t + 0.0347LEXT \quad (1-15)$$

式中  $DR$ ——上部煤层破坏分级;  
 $LOC$ ——上部煤层开采位置;  
 $IBT$ ——层间距, ft;  
 $LEXT$ ——下部煤层采出率, %。

Luo 回顾了弗吉尼亚理工大学早期的研究成果, 认为尽管就上部煤层破坏程度与夹层厚度、开采高度、时间和采出率的关系方面的研究做了大量的努力, 数据的离散性使得获得这种关系非常困难。Luo 采用了一些比较容易获取的参数, 同时考虑了时间间隔因素, 建立了一个上部煤层破坏分级预测模型:

$$DR = 3.84 \frac{E_1^{1.16}}{T^{0.07}} \left( \frac{L_1^3 P_h O_1}{I_1} \right)^{0.05} - 2.55 \quad (1-16)$$

式中  $L_1$ ——下部煤层厚度, ft;  
 $E_1$ ——下部煤层采出率, %;  
 $I_1$ ——层间距, ft;  
 $P_h$ ——夹层硬岩百分比, %;  
 $O_1$ ——覆岩厚度, ft;  
 $T$ ——间隔时间, a。

考虑覆岩下沉和上部煤层顶板性质对于上部煤层破坏的影响, Luo 引入  $CMRR$  指标来判别上行开采的可行性。上部煤层的破坏分级通过下式计算:

$$DR = 5.14 \frac{S_{\max}^{0.30}}{CMRR^{0.07} T^{0.09}} - 2.55 \quad (1-17)$$

式中  $S_{\max}$ ——最大下沉量, ft;

$CMRR$ ——上部煤层顶板分级指标。

模型 I 和模型 II (图 1-2) 从不同角度对上部煤层破坏程度进行了分析。即使在相同条件的前提下, 预测结果仍然会有差异, 但是 Luo 的研究表明, 二者的差异相对较小, 尤其是对于预测破坏的可能性方面。

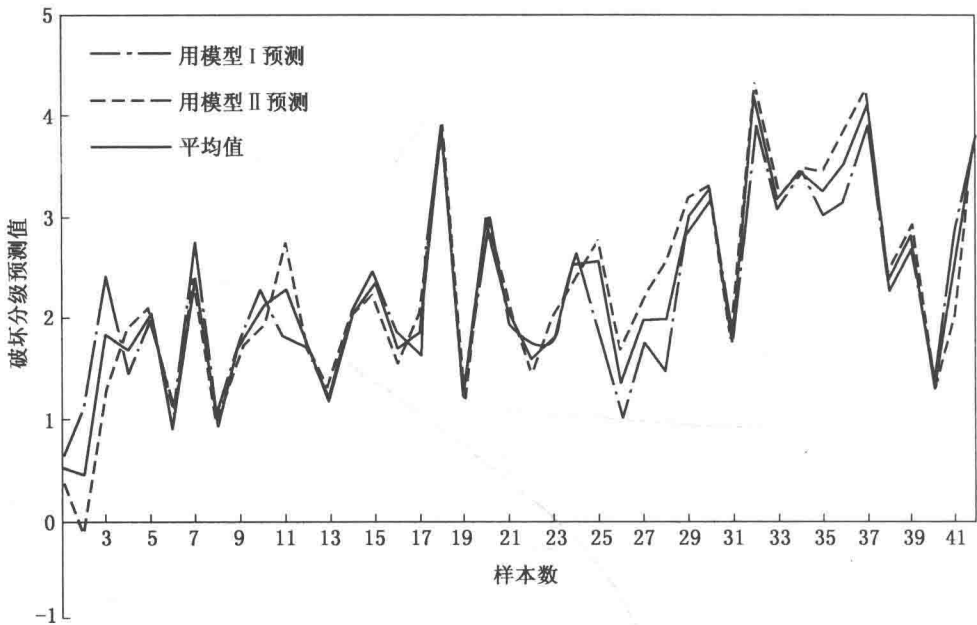


图 1-2 模型 I 与模型 II 预测结果的对比

总体上, 国外主要煤炭生产国家在进行上行开采实践的同时, 分别开展了大量的研究工作。早期的研究工作主要从上下煤层层间距方面入手, 普遍提出了可以进行上行开采的极限层间距, 波兰学者认为当下部开采一个煤层时, 极限层间距为采高的 6 倍, 当下部开采多个煤层时, 极限层间距为采高的 6.3 倍; 当采用充填法上行开采时, 极限层间距与采高的比值为 2.3~2.9。苏联上行开采实践表明, 开采缓倾斜和倾斜煤层时, 极限层间距为采高的 10 倍; 开采急倾斜煤层群时, 极限层间距为采高的 8 倍。

苏联学者的研究工作主要从上下煤层层间距、下煤层采高、岩石碎胀系数等方面开展研究。美国学者在上行开采研究方面的特点在于考虑了更多的指标。在上行开采时间间隔方面, 波兰学者认为上、下煤层开采的时间间隔为 1 年以上。苏联学者认为开采缓倾斜和倾斜煤层时, 在层间距为 18~85 m 的情况下, 上、下煤层开采的间隔时间为 3~12 个月。开采急倾斜煤层时, 在层间距为 8~70 m 的条件下, 上、下煤层开采的间隔时间为 3~10

个月。美国学者普遍认为上行开采应该是在下部煤层开采达到稳定后进行,一般认为时间间隔在5年以上。

### 1.2.2 国内研究现状

我国许多矿区由于地质条件不详、开采技术条件限制、矿井动力灾害防治、巷道稳定性维护以及不同煤质配采等的需求,存在上部煤层未开采而先行开采了下部煤层的情况,因此开展了大量的上行开采工作。如鸡西矿区城子河煤矿自上而下煤层分为4个层组,顶部层组包括42号、37号、36号、29号等煤层,中部层组包括25号、24号煤层,底部层组包括4号、3号煤层,矿井最初采用片盘斜井开拓,车场布置在底部层组或者中部层组里,受初始的条件限制,先从中部层组开采了25号煤层,后开采了其上部的29号、36号或42号煤层,形成了上行开采顺序。开滦矿区林南仓矿自上而下为7煤层、8煤层、9煤层、11煤层和12煤层。矿井投产初期采用煤层群下行开采方式,由于多为三软煤层,围岩压力大,开采困难。于是煤层开采顺序调整为12煤→11煤→8煤、9煤,通过煤层群上行开采方式,矿井生产得以正常进行。淄博矿区上石炭统太原组含煤10余层,可采及局部可采者3~9层;下二叠统山西组含煤4~6层,可采1~3层。由于日伪时期掠夺式的开采和煤层地质条件复杂的影响,有的矿早已开采了下部或者中部的煤层,有的矿则需要按照上行的开采顺序才可满足矿井生产能力的增长,因而在洪山煤矿、寨里煤矿、西河煤矿等进行了大量的上行开采工作。通过在阳泉、大同、阜新、鸡西、本溪、平顶山、开滦等矿区的上行开采实践,获得了丰富的实践经验。20世纪70年代,煤层群上行开采引起了我国采矿界广泛的关注和研究。20世纪80年代,上行开采技术已用于煤矿设计、矿井技术改造及老矿区(矿井)的复采工作中,特别是地方煤矿。

钱鸣高等首次提出了用围岩平衡理论研究上行开采的机理,提出了上行开采可行性判别的围岩平衡方法。指出当上位岩层中有厚层坚硬岩层时,上煤层应在平衡带岩层内。当顶板均为薄层软岩层组成时,则安全间距较前者小。其提出的上行开采安全层间距的公式为

$$H \geq h' + \frac{m \cdot \left(1 - \frac{K - K'}{K_0 - 1}\right) - L \cdot \sin \alpha}{K' - 1} \quad (1-18)$$

式中  $H$ ——层间距, m;

$h'$ ——平衡岩层厚度, m;

$K$ ——岩层拐点位置的碎胀系数;

$K_0$ ——直接顶初始碎胀系数;

$K'$ ——离层系数;

$\alpha$ ——平衡坡度角, ( $^\circ$ );

$m$ ——下煤层开采高度, m;

$L$ ——起始点至基本稳定点间距, m。

刘天泉基于国内外利用垮落法进行上行开采的研究,提出当层间距小于或等于垮落带高度时,上部煤层将受到严重影响,不能进行上行开采;当层间距小于或等于裂隙带高度时,上部煤层将受到中等影响,在采取相应的安全措施条件下,有可能实现上行开采;当层间距大于裂隙带最大高度时,上部煤层只受到轻微影响或无影响,可以进行正常上行开

采。一般称之为“三带”法。在分析了多种情况下进行的受一个煤层和多个煤层采动影响的上行开采的 104 个实例及上部煤层内的巷道受采动影响的 13 个实例分析后,提出了上行开采可行性判别的数理统计关系:

$$H \geq 1.14M^2 + 4.14 \quad (1-18)$$

式中,  $M$  为下煤层采高, 单位为  $m$ 。

我国部分煤矿用垮落法进行的上行开采表明, 在受一个煤层采动影响的上行开采时, 只要采动影响系数  $K$  达到 7.5 以上, 一般在上部煤层内能进行正常的掘进和回采, 仅在某些情况下出现局部伪顶脱落和顶底板岩层、煤层开裂的现象。这种开裂现象在下部煤层采空区边界上方的上部煤层内较多, 而在下部煤层采空区正上方的上部煤层内, 则很少发现。受多煤层采动影响的上行开采中, 只要综合采动影响系数  $K_z$  达到 6.3 以上, 上部煤层的掘进和回采工作也是正常的, 该方法被称为比值法。

汪理全、蔡鸿坡等运用比值判别法、“三带”判别法、数理统计法以及围岩平衡法对城子河煤矿上行开采进行了研究, 提出了该矿合理的开采方案。雷明辉、宋振骥等基于相似材料模拟、数值计算和现场观测, 详细论述了缓倾斜煤层群上行开采的理论依据和基本条件, 分析了上行开采的影响因素, 给出了相应计算公式, 并指出在布置工作面时应根据岩层运动规律和支承压分布规律, 选择合理的开采程序。汪理全、李中颜收集和分析了我国部分煤矿上行开采的 200 多个实例, 总结了我国上行开采一般经验。

近年来, 蒋金泉等基于采动影响系数将上行开采可行性划分为不可上行开采、基本层间距、准上行开采和正常上行开采 4 个区间, 认为上行开采可行的采动影响系数下限为 5.5。

冯国瑞等分析了煤层采出后采空区上方岩层的损伤及其分带, 指出长壁采空区上方遗弃煤层可否安全上行开采, 取决于遗弃煤层在下部采空区覆岩中所处的位置。若处于破损垮落带, 煤层会破损垮落失去整体连续性甚至会发生台阶错动, 不能安全上行开采; 若处于损伤扰动带, 煤层结构虽经过扰动受损过程但还具有一定的宏观整体性, 使安全上行开采成为可能; 若处于无损变形带, 即使发生一定的变形但煤层结构不受损, 可以安全上行开采。其提出了基于力学分析的长壁采空区上方煤层上行开采的安全层间距  $H_j$ ; 计算公式, 即

$$H_j = \frac{1.57\gamma^2 \left[ H - M - \frac{M - W}{(K - 1)\cos\alpha} \right]^2 L}{4\xi^2 R_c^2} + \frac{M - W}{(K - 1)\cos\alpha} \quad (1-19)$$

式中  $\gamma$ ——采场上覆岩层的平均容重,  $kg/m^3$ ;

$H$ ——煤层埋藏深度,  $m$ ;

$M$ ——下部煤层采高,  $m$ ;

$\xi$ ——岩体节理裂隙影响系数;

$R_c$ ——岩体抗压强度,  $MPa$ ;

$\alpha$ ——煤层倾角,  $(^\circ)$ ;

$W$ ——垮落过程中顶板的下沉值,  $m$ ;

$K$ ——碎胀系数。

韩军等通过开滦矿区近距离煤层群上行开采的实例, 分析了上行开采的影响因素, 提

出了近距离煤层群上行开采可行性判别指标的模型,即

$$DR = 155 - 5.41 \times L_{z0} - 8.54 \times T - 2.53 \times \frac{H}{M} \quad \left( T < 5, \frac{H}{M} \leq 7.5 \right)$$

式中  $DR$ ——上部煤层破坏程度;

$L_{z0}$ ——直接顶初次垮落步距, m;

$T$ ——时间间隔, a;

$H$ ——层间距, m;

$M$ ——下部煤层采高, m。

张宏伟、李明、海立鑫等对阜新矿区清河门矿上行开采进行了分析,提出了极近距离煤层群上行开采的机制。

我国煤矿上行开采研究和实践主要体现在以下几点:

(1) 上行开采的可行性判别方法,往往综合采用比值法、“三带”法和围岩平衡法,上述方法的特点是指标的获取比较方便,计算方法简便,计算结果相对保守。

(2) 从上行开采的实践来看,部分矿区已经实现了在采动影响系数小于3的条件下的上行开采,为近距离煤层群上行开采研究提出了新的要求,同时提供了重要的实证资料。

(3) 在上行开采中巷道布置方面,一方面主要通过已有的采场围岩活动规律确定,另一方面通过投入大量的人力和财力对上部煤层进行井下现场探测,未形成系统的上行开采理论体系来指导上行开采工作。

### 1.3 本书主要研究内容

近距离煤层群上行开采的重点是确定在何种条件下可以进行上行开采,主要包括两个方面的问题。一方面,下部煤层开采后,上部煤层是否能够保持完整性和连续性;另一方面,在受到下部煤层采动影响情况下,该如何合理地布置上行开采工作面,实现上部煤层的安全高效开采。因此本书专注于近距离煤层群上部煤层的变形和破坏特征的研究。

事实上,决定上述问题的核心内容,是采场上覆岩层的运动和破坏,确定了下部煤层开采后上覆岩层的运动规律和破坏特征,就可以确定上部煤层的变形特征和破坏特征,从而解决是否能够进行上行开采和如何进行上行开采的问题。长期以来,国内外专家学者和工程技术人员对上覆岩层的运动和破坏进行了大量的研究工作。根据不同的研究目标和研究内容,可以将以往的研究分为两个方面:①面向采场矿山压力显现与围岩稳定性控制。这方面研究的主要目的是研究上覆岩层的运动和破坏对采掘工作面与采场支架的影响,从而解决支架选型、巷道控制及合理开采方式问题;②面向开采损害与沉陷控制。这方面研究的主要目的是确定覆岩破坏范围和地表沉陷规律,为建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采提供依据。近距离煤层群上行开采涉及的问题介于二者之间,一方面可以借助矿山压力与岩层稳定性控制、开采损害与沉陷控制方面的研究成果,对下部煤层开采后上覆岩层的运动和破坏做出一定的分析,另一方面,由于上行开采的关注点与上述研究不同,因此需要在上述研究的基础上针对下部煤层开采后上部煤层的变形和破坏进行研究。

本书以开滦矿区、阜新矿区和铁法矿区多年来上行开采研究和实践为背景,综合应用

理论分析、数值计算、相似材料模拟和现场探测等手段,对不同条件下的采场上覆岩层的运动规律和破坏特征进行分析,重点研究了下部煤层开采后上部煤层的变形和破坏特征,特别是通过现场探测结果对上、下煤层采动影响的空间关系进行了详细论述。另外简略介绍了上行开采过程中工作面围岩活动规律、矿压显现规律和巷道支护技术。具体研究内容如下方面:

#### 1. 采场上覆岩层运动规律和破坏特征

综合压力拱理论、围岩平衡理论和采动沉陷理论,对采场上覆岩层的运动规律和破坏特征进行分析,确定下部煤层开采后上覆岩层的应力分区特征、上覆岩层“三带”分布规律,上覆岩层结构破坏的空间分布特征,为上行开采的可行性判别、上行开采的巷道布置提供理论指导。

#### 2. 下部煤层开采后上部煤层的变形和破坏特征

综合应用数值计算、相似材料模拟和现场探测等方法,对下部煤层开采后上部煤层的应力状态、位移特征和破坏规律进行分析,确定不同条件下上部煤层变形和破坏特征与下部煤层开采的关系,为上行开采巷道布置提供依据。

#### 3. 近距离煤层群上行开采围岩活动规律、矿压显现规律

结合开滦矿区、阜新矿区和铁法矿区数个上行开采实例,对上行开采过程中的围岩活动和矿压显现进行观测,得出不同开采条件下上行开采的围岩活动规律、矿压显现特征,为上行开采过程中的岩层稳定性控制和巷道支护提供依据。

#### 4. 近距离煤层群上行开采可行性判别方法

近距离煤层群上行开采可行性判别是判断下部煤层开采后上部煤层能否实施上行开采的重要依据。上行开采可行性判别方法的研究包括判别指标的选取和判别模型的建立。本书综合考虑煤层赋存条件、下部煤层开采参数和覆岩岩性、结构,提出了对上行开采具有影响的12个因素,通过数学方法确定对上行开采具有重要影响的关键因素,在此基础上建立上部煤层的破坏程度与上述关键因素之间的数学模型,形成上行开采可行性判别方法。

#### 5. 近距离煤层群上行开采机理

通过综合理论分析、数值试验、相似材料模拟试验、现场探测和上行开采实践等途径,对近距离煤层群上行开采的机理进行分析,重点对近距离煤层群上部煤层的破坏时空关系进行研究,阐明近距离煤层群上行开采机理。



## 2 采场上覆岩层运动规律和破坏特征

### 2.1 采场上覆岩层运动规律和破坏特征概述

长期以来,国内外专家学者和工程技术人员对上覆岩层的运动和破坏进行了大量的研究工作。根据研究目标和研究内容的不同,可以将以往的研究分为采场矿山压力显现与围岩稳定性控制和开采损害与沉陷控制两个方面。

采场矿山压力显现与围岩稳定性控制方面的研究主要目的是研究上覆岩层的运动和破坏对采掘工作面与采场支架的关系,从而解决支架选型、巷道控制及开采方式合理问题。这方面的代表性成果主要体现在俄国学者 M. M. 普罗托季亚科诺夫于 1907 年提出的普氏平衡拱假说,德国学者施托克于 1916 年提出的悬臂梁假说,德国学者哈克和吉里策尔于 1928 年提出的压力拱假说,比利时学者 A. 拉巴斯于 1947 年提出的预成裂隙假说,苏联学者 Г. H. 库兹涅佐夫于 1950 年提出的铰接岩块假说,我国学者钱鸣高院士于 20 世纪 80 年代提出的“砌体梁”理论和后期的“关键层”理论、宋振骐院士提出的传递岩梁理论等。

开采损害与沉陷控制方面研究的主要目的是确定覆岩破坏范围和地表沉陷规律,为建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采提供依据。1947 年苏联学者阿维尔申利用塑性理论对岩层移动进行了分析,并结合实践经验建立了地表移动计算方法,其下沉剖面方程呈指数函数形式,提出了水平移动与地面倾斜成正比的著名观点。1950 年,波兰学者克诺特提出了几何理论,并选用高斯曲线作为影响曲线,布德雷克解决了克诺特提出的下沉盆地中的水平移动及水平变形问题,这一理论现在称为布德雷克-克诺特理论。1954 年,波兰学者李特维尼申把岩层移动过程作为一个随机过程,推证下沉服从柯尔莫哥罗夫方程,这一理论被称为随机介质理论,其把对开采沉陷理论的研究提高到了一个新的阶段。刘宝琛、廖国华将随机介质理论发展为在我国广泛应用的概率积分法。刘天泉等对煤层开采引起的覆岩破坏与地表移动规律作了深入的研究,提出了导水裂隙带概念,建立了垮落带与导水裂隙带计算公式。何国清、马伟民、王金庄建立了碎块体理论——地表沉陷的威布尔分布。吴立新、王金庄建立了条带开采覆岩破坏的托板理论。

上行开采所涉及的问题介于上述两方面问题之间,因此可以借助矿山压力与岩层稳定性控制、开采损害与沉陷控制方面的研究成果对下部煤层开采后上部煤层的变形和破坏做出一定的分析,对上行开采的机理进行解释,对上行开采提供理论指导。

### 2.2 采场上覆岩层结构及应力分布规律

#### 2.2.1 压力拱的概念与力学特性

采掘活动打破了原有的采场应力平衡,导致采场三维空间中的初始应力场与能量场的重新分布。压力拱假说认为在回采工作空间上方由于岩层自然平衡的结果形成了一个