

国家自然科学基金项目(50704024) ■  
山西省青年科技研究基金项目(2007021024) ■ 资助  
山西省高等学校优秀青年学术带头人支持计划 ■  
太原市技术创新计划(0803003) ■

# 煤矿残采区上行开采 基础理论与实践

■ 冯国瑞 著

煤炭工业出版社



国家自然科学基金项目 (50704024)  
 山西省青年科技研究基金项目 (2007021024)  
 山西省高等学校优秀青年学术带头人支持计划  
 太原市技术创新计划 (0803003)

资助

# 煤矿残采区上行开采基础理论与实践

冯国瑞 著

昆明理工大学图书馆  
 呈贡校区  
 中文藏书章



煤炭工业出版社  
 · 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿残采区上行开采基础理论与实践/冯国瑞著. -- 北京:  
煤炭工业出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3724 - 6

I. ①煤… II. ①冯… III. ①煤矿开采 IV. ①TD82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 184501 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)

煤炭工业出版社印刷厂 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 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub>

字数 283 千字 印数 1—500

2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 6534 定价 32.00 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

(45074024) 目 录 金 基 学 林 林 自 家 国

(4507021024) 目 录 金 基 学 林 林 青 西 山

### 内 容 提 要

本书从残采区上行开采层间岩层结构及其上部煤层底板移动变形规律入手，通过试验研究、理论分析、数值模拟、现场实测以及工业试验相结合的方法，对残采区上行开采的层间岩层结构、可行性判定理论及方法、上部煤层底板移动变形规律和残采区上行开采矿压控制技术进行了系统的研究，形成了残采区上行开采的理论与技术，并在白家庄煤矿进行了试验及工业实施，成功解决了采空区上方煤层回收的技术难题，取得了显著的技术经济效益与环境、社会效益。

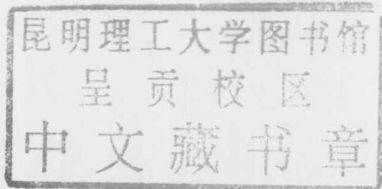
本书可供采矿工程、岩土工程领域的科研与工程技术人员以及相关专业的高校师生阅读、参考。

善 微 国 兴

中国矿业大学工程硕士  
学位论文  
中 文 摘 要

地质工业出版社

· 京 北 ·



# 序

一

我国对煤炭需求增长的无限性与资源的有限性这一矛盾日趋突出，而新生替代能源目前还不能取代煤炭的主体能源地位，因此必须节约煤炭资源，提高资源回收率。现有生产矿区（井）中，很多采空区上方遗弃有大面积的可采煤层，资源整合背景下这种情况更为多见，科学合理地回收这部分煤层对于建设节约型社会和促进国民经济可持续发展有着十分重要的意义。

回收采空区上方的遗弃煤层实质上是残采区上行开采。通常煤层开采在顶板岩层中形成的破坏扰动区远大于在底板岩层中形成的破坏扰动区，因此，为减小本煤层开采对临近煤层的扰动，生产实际中几乎全部采用下行开采方式，与此相应人们所开展的理论技术研究也多针对下行开采领域。上行开采虽有一些研究，但远未成熟，仍处于经验性偏重的起步阶段，尚没有系统成套的理论与技术作指导，许多问题还有待人们去探索和研究。

该书作者针对煤矿残采区上行开采的技术难题，通过试验研究、理论分析、数值模拟、现场实测相结合的方法，对残采区上行开采的层间岩层结构、可行性判定理论及方法、上部煤层底板移动变形规律和残采区上行开采矿压控制技术进行了系统的研究，取得了创新性的成果。如首次提出并从层间岩层结构的角度研究了残采区上行开采，发现了垮落法和刀柱式残采区上行开采层间岩层都存在相应的控制层，分别建立了相应控制层结构的力学模型——块体梁-半拱结构和受压弹性杆支撑下的（梁）板结构，并揭示了这两种结构的演化规律；提出了基于结构理论的垮落法和刀柱式残采区上行开采可行性判定理论及方法；研究了上行开采上部煤层底板的移动变形规律，建立了相应的理论预测模型。尽管上行开采还有很多需要进一步深入研究的问题，但该书着实为残采区上行开采提供了非常有价值的理论指导与技术支持，为上行开采理论体系增添了新的重要内容。

该书思路新颖，见解独到，富有创新性。愿该书的出版，能为人们在上行开采领域更多的探索与研究提供借鉴和启迪，成为推动上行开采研究的新动力。

中国科学院院士

2010年9月于大连

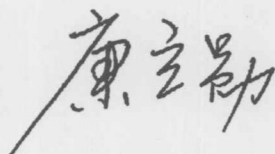
## 序 二

随着煤矿开采强度的不断增大,全国很多矿区开采条件好的煤炭资源日趋减少,而诸多新能源还难以挑起我国能源供应的大梁,采空区上方遗弃煤层的开采问题已进入一些煤炭企业的视野,煤炭资源整合突显了采空区上方弃煤开采(即残采区上行开采)的重要性和必要性。残采区上行开采的矿压显现特征、顶板控制、安全技术保障等与常规的下行开采相比具有其特殊性,现有的煤层开采理论和技术并不适用。有关可行性判定、层间岩层结构等一系列最根本的基础理论的问题尚没有系统的科学认识,生产中矿压控制措施与实际不尽相符,遗弃资源的回收率较低。因此,深入、系统地研究残采区上行开采的岩层结构理论和岩层控制技术,对于残采区上行开采的安全进行具有重要意义,对回收遗弃资源、建设节约型矿井(区)有重大的理论意义与指导价值。

该书作者从残采区上行开采层间岩层结构及其上部煤层底板移动变形规律入手,通过试验研究、理论分析、数值模拟、现场实测以及工业试验相结合的方法,针对垮落法残采区上行开采和刀柱式残采区上行开采两种情况,在试验模拟上行开采层间岩层演化规律的基础上分别提出了相应的层间岩层结构模型,并对其进行了详细的力学解析,确定了下部煤层开采对层间岩层的损伤影响范围,揭示了残采区上行开采层间岩层的结构机理;根据其力学特性,分别给出了两种不同形式残采区上行开采的可行性判定实用理论及方法;以力学原理为核心,借鉴理论预测与现场实测的结果,研究了残采区上行开采上部煤层底板移动变形规律;基于此,针对残采区上行开采可能出现的异于常规的特殊矿压显现提出了残采区上行开采矿压控制技术。纵观全书,作者从全新的视角研究了残采区上行开采的基础理论,取得了不少创新性的成果,为残采区上行开采理论增添了重要的内容。

愿该书的出版,能为解决残采区上行开采的技术难题提供借鉴,并成为上行开采尤其是残采区上行开采理论与技术研究的新引玉之砖。

太原理工大学 教授 康立勋  
博士生导师



2010年9月于太原

# 前 言

作为主要能源,煤炭在我国一次性能源结构中所占的比重一直在67%以上,煤炭工业在我国国民经济中占有举足轻重的地位。就是在能源发展日趋多样化的现在和不久的将来,煤炭在我国的能源消费结构中仍然或者仍将很长时间内占据主体地位。据预测,2020年全国煤炭需求量约占一次性能源消费的60%。而随着社会主义现代化进程的加快,国计民生所需要和所消耗的煤炭资源愈来愈多,煤炭又是不可再生资源,对煤炭需求增长的无限性与资源的有限性这一矛盾便会日趋剧烈,因此我们除了寻求新的替代能源外必须节约资源,提高资源回收率,建设节约型矿区,在国内资源整合的大背景下尤应如此。

而事实上在现有生产矿区(井),很多采空区上方都遗弃有可采煤层,其储量还比较可观。回采这些遗弃煤层,对延长老矿区(井)的寿命、解放呆滞煤层、提高资源回收率、提升经济效益等都具有重要的现实意义。回收采空区上方遗弃煤层实质上是残采区上行开采。通常煤层开采在顶板岩层中形成的破坏扰动区远大于在底板岩层中形成的破坏扰动区,因此,为减小本煤层开采对临近煤层的扰动,生产实际中几乎全部采用下行开采方式,与此相应人们所开展的理论技术研究也多针对下行开采领域。仅有的上行开采的相关研究,也多集中在以层间距为核心的仅考虑下部煤层开采影响的经验可行性判定方法、矿压观测分析等方面,而事实上上行开采的核心问题是上、下煤层开采共同影响作用下上部煤层底板的移动变形规律,其移动变形规律又取决于层间岩层结构。因此,只有进行残采区上行开采层间岩层结构及上部煤层底板移动变形规律的研究,才能深入奠定残采区上行开采的理论基础,进一步促进上行开采技术的发展和高效回收历史弃采煤层。

本书从残采区上行开采层间岩层结构及其上部煤层底板移动变形规律入手,通过试验研究、理论分析、数值模拟、现场实测以及工业试验相结合的方法,对残采区上行开采的层间岩层结构、可行性判定理论及方法、上部煤层底板移动变形规律和残采区上行开采矿压控制技术进行了系统的研究。主要内容包括:

(1) 针对残采区上行开采,分垮落法和刀柱式残采区上行开采两种情况,通过相似模拟试验进行了层间岩层结构的演化规律、围岩应力分布规律和层

间岩层移动变形规律的研究。研究发现：残采区上行开采层间岩层存在控制层，垮落法残采区上行开采层间岩层控制层为块体梁-半拱结构，刀柱式残采区上行开采层间岩层控制层呈现典型的梁、板结构。

(2) 在相似模拟试验基础上，结合岩石力学、块体理论、弹塑性力学和结构力学等理论，分析并获得了下部煤层开采对层间岩层的损伤影响范围，分别建立了垮落法和刀柱式残采区上行开采层间岩层结构的力学模型，并进行了详细的解析，分析了上行开采的机理，同时用数值模拟的方法进行了验证。

(3) 针对残采区上行开采的层间岩层，通过理论推演的方法研究了上部煤层开采的采动及其扩散影响，分析了残采区上行开采层间岩层的稳定性，进而基于结构的理论分别提出了垮落法和刀柱式残采区上行开采的可行性定量判定方法，并通过现场试用，验证了该理论及技术的科学合理性与客观适用性。

(4) 通过现场实测，对残采区上行开采的矿压显现规律进行了研究。结果表明：因受下部煤层开采的损伤影响，在上部煤层开采前，上覆岩层的自重及其载荷已部分传递给采空区范围以外的煤岩体，起到了卸压的作用，残采区上行开采的矿压显现不剧烈，周期来压步距不大。同时引入概率积分法，对残采区上行开采上部煤层底板移动变形情况进行了预测分析，与实测结果比较，研究了残采区上行开采上部煤层底板移动变形规律。

(5) 用数值模拟和理论分析相结合的方法，分析了残采区上行开采上部煤层底板移动变形的力学特性，从而分别建立了垮落法和刀柱式残采区上行开采上煤底板岩层运移的力学模型，通过解析，获得了残采区上行开采上煤底板岩层运移规律的预测模型。

(6) 在上述理论、试验研究与现场实测研究的基础上，形成了残采区上行开采的理论与技术，在西山煤电集团白家庄煤矿进行了试验及工业实施，成功解决了白家庄煤矿8号煤层采空区上方6号煤层回收的技术难题，取得了显著的技术经济效益与环境、社会效益。为残采区上行开采提供了理论指导、技术支持与成功经验。

本书是在作者的博士论文以及近年来的研究工作基础上完成的。期间得到了导师康立勋教授的悉心指导，同时得到了中国科学院宋振骥院士，煤炭科学研究总院姚建国研究员、康红普研究员，太原科技大学郭勇义教授，中国矿业大学（北京）王家臣教授、何富连教授，西山煤电集团总工侯水云、副总工秦斌青、原国政高工、王万冬高工，太原理工大学郭敏泰教授、刘鸿福教授、周安朝教授、田取珍教授、杨双锁教授、翟英达教授、



栗继祖教授、魏毅强教授、宋选民教授、康天合教授、邢玉忠教授、贾喜荣教授等专家的热情指导与无私帮助。值此书出版之际，谨向尊敬的导师及各位专家学者致以崇高的敬意和诚挚的感谢。写作中参阅了大量的文献资料，谨向有关作者表示由衷的谢意。

本书的主要研究内容是在国家自然科学基金项目（50704024）、山西省青年科技研究基金项目（2007021024），以及山西省高等学校优秀青年学术带头人支持计划、太原市技术创新计划（0803003）、太原理工大学矿业启明星计划资助下完成的，在此，谨向有关部门及人士表示衷心的感谢！

受诸多因素的影响，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

**作 者**

2010年9月

# 目次

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 国内外上行开采研究现状 .....	3
1.3 采场顶底板岩层结构研究现状 .....	8
1.4 覆岩移动变形规律研究现状 .....	13
1.5 研究内容与方法 .....	14
<b>2 残采区上行开采模拟试验研究</b> .....	16
2.1 概述 .....	16
2.2 相似模拟方案 .....	17
2.3 残采区上行开采层间岩层结构演化规律 .....	24
2.4 残采区上行开采层间岩层移动变形规律 .....	33
2.5 本章小结 .....	41
<b>3 残采区上行开采层间岩层结构及上行开采机理研究</b> .....	44
3.1 垮落法残采区上行开采层间岩层结构研究 .....	44
3.2 垮落法残采区上行开采机理研究 .....	61
3.3 垮落法残采区上行开采的数值模拟 .....	65
3.4 刀柱式残采区上行开采机理研究 .....	71
3.5 刀柱式残采区上行开采层间岩层结构研究 .....	74
3.6 刀柱式残采区上行开采的数值模拟 .....	79
3.7 本章小结 .....	85
<b>4 残采区上行开采技术条件判定研究</b> .....	86
4.1 概述 .....	86
4.2 上部煤层开采的采动影响及其扩散 .....	89
4.3 垮落法残采区上行开采控制层稳定性分析 .....	94
4.4 垮落法残采区上行开采技术条件判定方法 .....	95
4.5 刀柱式残采区上行开采控制层稳定性分析 .....	98
4.6 刀柱式残采区上行开采技术条件判定理论及方法 .....	100
4.7 本章小结 .....	102

<b>5 残采区上行开采矿压显现及底板岩层移动变形规律实测</b> .....	104
5.1 概述 .....	104
5.2 白家庄煤矿残采区上行开采矿压显现规律 .....	104
5.3 白家庄煤矿残采区上行开采底板移动变形规律预测 .....	124
5.4 白家庄煤矿残采区上行开采底板移动变形规律实测 .....	133
5.5 本章小结 .....	142
<b>6 残采区上行开采底板移动变形规律理论分析与预测模型</b> .....	143
6.1 概述 .....	143
6.2 残采区上行开采底板移动变形规律数值模拟 .....	143
6.3 残采区上行开采底板运移的力学特性 .....	148
6.4 残采区上行开采底板运移的力学模型 .....	149
6.5 残采区上行开采底板运移预测模型 .....	152
6.6 本章小结 .....	155
<b>7 残采区上行开采技术及应用</b> .....	156
7.1 概述 .....	156
7.2 白家庄煤矿残采区概况 .....	156
7.3 白家庄煤矿残采区上行开采可行性分析 .....	160
7.4 白家庄煤矿残采区上行开采方案工业实施 .....	161
7.5 本章小结 .....	175
<b>8 主要结论</b> .....	176
<b>参考文献</b> .....	180

# 1 绪 论

## 1.1 引言

作为我国的主要能源,煤炭在我国的一次性能源结构中所占的比重一直在 67% 以上,煤炭工业在我国国民经济中占有举足轻重的地位。在能源发展日趋多样化的现在和不久的将来,煤炭在我国的能源消费结构中很长一段时间内仍将占据主体地位。据预测,2020 年全国煤炭需求量约占一次性能源消费的 60%<sup>[1,2]</sup>。随着社会主义现代化进程的加快,科技日新月异,国计民生所消耗和所需要的煤炭资源将愈来愈多,但煤炭却是不可再生资源,这样煤炭需求增长的无限性与资源的有限性这一矛盾便会日趋明显。这就要求我们除了寻求新的替代能源以外必须节约资源,提高资源回收率,建设节约型矿区。

事实上在现有生产矿区或矿井中,很多采空区上方都遗弃了一些可采煤层,遗弃的煤炭储量还相当可观。其原因多种多样:有的地质勘探不详,在已采煤层上部又发现了可采煤层;有的把薄及不稳定煤层划为不可采煤层,而在生产中又发现可采,但已来不及布置采煤工作面,只好丢弃了上部煤层而采下部煤层;有的矿井因生产任务及经济效益问题,必须先开采主要煤层,而主采煤层与上部次要煤层的开采错距尚未拉开,只好注销次要煤层的部分储量,先采下部煤质好、生产能力大的主采煤层;有的矿井在设计时,因下行开采程序与采区布置和生产能力之间发生了矛盾,而丢弃了上部次要煤层部分储量。随着科技和生产水平的提高,对于以上因种种原因而丢弃的煤炭资源,采取一定的措施仍然可以回收,变注销储量为可采储量。特别是对一些储量不足的老矿区或矿井,利用现有井巷和设备开采这些遗弃的煤炭资源,对延长矿区或矿井的寿命、提高资源回收率、提升经济效益、缓减企业压力等更具有重要的现实意义。因此,在某些条件下,采用上行开采,不但对高效生产、解放呆滞煤层、加快能源建设具有重大意义,而且对于促进国民经济持续发展具有特殊重要的意义<sup>[3-6]</sup>。

所谓上行开采,即开采煤层(群)时,先采下煤层(分层或煤组),后采上煤层(分层或煤组)。国内外上行开采工程实践始于 20 世纪 70 年代,在世界采矿界广泛关注和研究的同时,有计划地进行试采。尤其是以前苏联、波兰、中国等为代表的国家进行了相应的研究与实践,取得了一些值得肯定的成果,创造了较为可观的技术经济效益,积累了一定的实践经验。上行开采法作为一种特殊的开采方法,在特殊的条件下具有很强的优越性和适用性<sup>[5,6]</sup>,主要有:

(1) 当上煤层顶板坚硬、煤质坚硬不易采出时,采用上行开采,可减轻或消除上煤层开采时产生的冲击地压和周期来压强度。

我国有许多矿井采空区顶板岩石长时间不冒落,造成悬顶。有的矿井工作面悬空面积达 10000 m<sup>2</sup> 以上,当采空区面积达到顶板稳定的极限时,一定厚度的岩层会发生整体性折断或突发性冒落,综采工作面将发生液压支架损坏(弯曲、折断)、缸体爆裂以及其他

构件的变形破坏,对工作面正常生产构成严重威胁。在这种地质条件下,如采用上行开采法,则可使上部煤层和顶板受到损伤,从而减轻或消除上煤层开采时产生的冲击地压和周期来压强度。

(2) 当上煤层含水量大、顶板淋水,工作面工作条件困难时,先采下煤层可疏干上煤层含水。

在下行开采法中,一些矿井煤层覆岩中含水量大、顶板出现淋水,造成工作面生产环境恶劣,影响工人的身体健康,采区上(下)山带式输送机所输煤流下滑,大巷运输矿车粘底,减小了矿车的有效容量。更为严重的是,有些矿井因为顶板淋水较大而被迫停产。如枣庄矿务局甘霖煤矿黄贝井 1702 工作面,煤层顶板为 1.5 m 厚的灰岩,含裂隙溶洞水,正常涌水量为 6~18 m<sup>3</sup>/h。由于淋水较大,1975 年经批准注销了工作面剩余产量。该井由于采用了上行开采法,1983 年重新开采 1702 工作面时,发现工作面无滴水现象,多采出煤炭 2.63 万 t。这充分说明,采用上行开采方法能使溶洞水通过裂缝渗透到下部煤层的采空区,起到疏干上煤层含水的作用。

(3) 当上部为煤与瓦斯突出煤层时,先将下部煤层作为保护层开采,可减轻或消除上煤层的煤与瓦斯突出的危险,确保矿井安全生产。

煤矿井下地质条件千变万化,煤层赋存情况千差万别,在同一个井田内,有时候会出现上煤层瓦斯含量高、下煤层瓦斯含量低的现象。如四川松藻矿区的藻渡煤矿, k<sub>2</sub> 煤层瓦斯含量低,而上部 k<sub>3</sub> 煤层和下部 k<sub>1</sub> 煤层不但瓦斯含量高,而且有突出的危险。如按常规下行开采顺序,必须先采 k<sub>3</sub> 煤层,然后向下依次采 k<sub>2</sub>、k<sub>1</sub> 煤层。如这样做,就必须考虑巷道布置的位置、瓦斯抽放设备、安全防范技术措施等,势必要增加井巷工程量和初期设备投资,影响建井速度和经济效益。该矿在改扩建设计中,采用上行法采煤,把主要巷道布置在 k<sub>2</sub> 煤层,在开采 k<sub>2</sub> 煤层的同时建立完整的通风系统和瓦斯抽放系统,而后在上、下煤层进行瓦斯抽放,为矿井的安全生产创造了良好的条件。

(4) 当煤层赋存不稳定,上部为劣质、薄及不稳定煤层,开采困难,长期达不到矿井设计能力时,先采下煤层或上、下煤层及薄厚煤层搭配开采,能很快达到矿井设计能力。

随着我国能源结构的变化,对煤炭的需求量也越来越大,一些大型、特大型矿井正在崛起。由于煤层赋存不稳定的原因,一些井田虽然储量丰富,适合建设大型矿井,但有的煤层上薄下厚,上、下层之间存在着压茬关系,如果采用下行开采法,为了保证矿井的产量,就得多布置工作面,如果采用超前工作面布置方法,会带来巷道布置和生产管理方面的困难,也会给供水、供电、运输等辅助设施的布置带来困难。类似于上薄下厚的煤层或上、下层煤质不一样的煤层,设计中可以在矿井一翼采用下行开采法,另一翼采用上行开采法。此种布置方法可以解决矿井均衡生产及煤质不同的问题。

(5) 用于建筑物、水体及铁路下的“三下”采煤,有时需要先采下煤层,后采上煤层,以减轻对地表的影响。

(6) 上部煤层开采困难或投资很多,或下部煤层煤质优良,从国民经济需要出发,有时采用上行开采,可迅速提高经济效益。

(7) 在某些地质和技术条件下,新建矿井采用下行与上行开采相结合的方式,可以减少初期巷道工程量、投资及缩短建井工期,获得显著经济效益。

近年来,上行开采在我国越来越引起采矿界的重视,原因有两个方面:一方面是我国采空区上方遗弃的煤层所占比重很大,大多矿区都存在上行开采的问题,如西山矿区、大同矿区、平顶山矿区、阳泉矿区、兖州矿区、开滦矿区、新汶矿区、淮南矿区等;另一方面是多年的开采已经使部分矿区赋存条件“优越”的煤层储量越来越少。随着煤矿开采强度的不断增大,特别是近年来快速发展的高产高效技术,已经使大部分矿区开采条件好的煤层在较短的服务年限内接近枯竭,而诸多新能源还难以挑起我国能源供应的大梁,于是遗弃煤层的开采问题迅速进入人们的视野,并引起高度重视。

尽管已经有了一定的关于上行开采的实践与认识,但至今为止仍缺乏成熟的理论体系与成套的技术方法科学地指导上行开采。现有的下行开采顶板岩层控制理论和经验,不能很好地解释上行开采的矿压现象及机理。在上行开采的过程中,仍存在诸如准确判定未采煤层的上行开采可行性、应对特殊矿压显现的岩层控制措施等许多技术难题<sup>[7-31]</sup>。科学家 Kant. E. 曾经说过,任何一门自然科学或者某自然科学的一个方向,只有当它能应用数学工具进行研究时,才能算是一门发展渐趋完善的真实科学,而且一门科学对于数学工具的应用程度,就是这门科学渐变为真实成熟科学的发展程度。衡量一门学科或其某一方向成熟与否的重要指标就是看它能在多大程度上科学地指导工程实践。可见,从理论和技术层面上讲,上行开采作为开采顺序比较特殊的开采方法,到目前为止远未成熟。

要保持所有矿区尤其是老矿区高产高效和可持续发展,确保国家能源供应就必须解决遗弃煤层上行开采问题。而残采区上行开采成熟经验较少,也没有系统科学的基础理论作为支撑,这就为采矿、岩土界科技工作者提出了新的课题。开展相关理论和技术研究,可为残采区上行开采提供理论依据和技术支持,也可为回收遗弃资源、建设节约型矿井或矿区提供思路与方法。

综上所述,煤矿采空区上方遗弃煤层在我国分布广泛,这些煤层上行开采的矿山压力显现特征、顶板控制、安全技术保障等与常规的下行式开采相比均具有特殊性,现有的煤层开采理论和技术不完全适用于残采区煤层上行开采。有关可行性判定问题、层间岩层结构等一系列基础理论方面的问题尚没有系统的科学认识,生产中矿压控制措施往往盲目性较大,遗弃煤炭资源的回收率仍然不高。因此,深入、系统地研究残采区煤层上行开采的围岩结构及底板岩层移动变形规律,确定矿压的防治措施,探索出一种适用于残采区煤层上行开采的岩层结构理论和岩层控制技术,对于残采区煤层上行开采的安全生产具有重要意义。

## 1.2 国内外上行开采研究现状

### 1.2.1 国外煤层(群)上行开采的研究现状<sup>[4]</sup>

#### 1.2.1.1 前苏联上行开采的研究现状

前苏联煤矿上行开采的实例较多,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,过去采用下行开采方法开采煤层群,限制了矿井生产能力和新井建设的发展;后来采用上行开采,获得了丰富的上行开采的实践经验及研究成果。

#### 1. 实践经验

开采缓倾斜和倾斜煤层时,在受下部一个煤层采动的影响下,采动影响倍数  $K \geq 10$ ,上行开采成功;开采急倾斜煤层群,当下部开采一个煤层时,采动影响倍数  $K > 8$ ,上煤

层可正常开采。开采缓倾斜和倾斜煤层时,在层间距为 18~85 m 的条件下,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。

## 2. 研究成果

前苏联学者研究认为,足够的层间距是上行开采的基本条件,代表性观点有:

(1) Т·В·达维江茨认为,上、下煤层层间距与采高成正比,即

$$H = 20M \quad (1-1)$$

(2) А·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,上煤层能否正常开采,应按下式计算层间距:

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

(3) Г·Н·库兹涅佐夫认为,层间距与下煤层采高及岩石碎胀系数有关,即

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

(4) В·Д·斯列沙烈夫认为,层间距大于冒落带高度,可以进行上行开采,并用下式计算:

$$H = \frac{M}{(K_p - 1) \cdot \cos\alpha} \quad (1-4)$$

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;

$\alpha$ ——煤层倾角, (°)。

### 1.2.1.2 波兰上行开采的研究现状

煤炭是波兰国民经济的主要支柱之一。波兰建筑物下压煤达 110 亿 t 以上(埋深 1000m 以上)。为了采出建筑物下的压煤,早在 1920—1930 年,就有计划地试采上西里西亚煤田建筑物下的保护煤柱。1945 年以后,开始大规模的开采城市建筑物及铁路下的保护煤柱,获得了丰富的特殊开采实践经验。其在建筑物及铁路下采煤时,有采用下行开采顺序,也有采用上行开采。顶板管理方法有全部垮落法、水砂充填法,也有两者兼而用之。

#### 1. 实践经验

研究上行开采时,常把上、下煤层之间的层间距( $H$ )与下煤层采高( $M$ )之比( $K$ )称为采动影响倍数。

波兰采用上行开采缓倾斜煤层的成功实例表明:当下部开采一个煤层时,采动影响倍数  $K > 6$ ,可成功进行上行开采;当  $K < 6$  时,上煤层受到不同程度的破坏,不能进行上行开采。当下部开采多个煤层时,综合采动影响倍数  $K_z = 6.3$ ,可以成功进行上行开采;当  $K_z < 5$  时,上煤层受到不同程度的破坏,不能进行上行开采。采用充填法上行开采时,采动影响倍数  $K = 2.3 \sim 2.9$ ,上煤层未受破坏,生产正常。上、下煤层开采的间隔时间为一年以上。

#### 2. 研究成果

波兰学者研究认为,上、下煤层之间层间距的大小是影响上行开采的主要条件之一。

代表性的观点有：

(1) W·捷赫茨认为，层间距与下煤层采高成线性关系，即

$$H = 12M \quad (1-5)$$

(2) B·克鲁宾斯等人也认为，层间距与下煤层采高成线性关系，即

$$\begin{aligned} M < 1.5 \text{ m 时,} & \quad H = 8M \\ M > 1.5 \text{ m 时,} & \quad H = 12M \end{aligned} \quad (1-6)$$

(3) M·胡德克等人认为，层间距与采高成正比，而与岩石碎胀系数及冒落矸石压缩率成反比关系，即

$$H = \frac{M}{K_p - 1} \times \frac{1}{1 - \eta} \quad (1-7)$$

式中  $\eta$ ——冒落矸石的压缩率。

(4) 马克叶夫斯基认为，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，即

$$H = \frac{3M^2}{K_p - 1} \quad (1-8)$$

(5) T·斯达朗认为，层间距与采高及岩石碎胀系数有关，即

$$H = M \left[ 2 + \frac{4}{\pi(K_p - 1)} \right] \quad (1-9)$$

### 1.2.2 我国煤层（群）上行开采的研究现状

我国许多矿区由于各种不同的原因需要上行开采，从原因角度划分，不外乎历史原因、主观原因和客观原因。

(1) 历史原因。新中国成立前，一些矿井在建井初期将开采水平放在下部较厚的煤层，下部厚煤层采完后，为了延长矿井寿命，不得不开采上部较薄的煤层，如淄博矿务局洪山煤矿就是如此。该矿是1937年建设的矿井，由于日本侵略者大面积的掠夺式开采，开采水平放在下部的厚煤层，新中国成立后，为了国民经济发展的需要，只好在采空区上部采煤。

(2) 主观原因。一些矿井为了保证矿井设计产量，违反常规开采程序，把生产巷道布置在厚煤层中，一旦矿井出现储量衰竭、采掘失调，不得不采用上行开采，如枣庄矿务局甘霖煤矿黄贝井就是如此。该井一水平西一下山采区原设计为17、18号煤层联合开采，因上部17号煤层较薄，下部18号煤层较厚，在特定条件下，先采18号煤层，后来为了完成煤炭产量任务，才被迫开采上部的17号煤层。

(3) 客观原因。有些矿井由于客观原因而采用上行开采法。如峰峰矿务局三矿为了薄、厚煤层配采，疏放上部煤层的瓦斯及巷道淋水。

我国煤矿上行开采取得了较为丰富的实践经验，表1-1和表1-2是我国部分煤矿上行开采的实例<sup>[4]</sup>。从这些上行开采的实践总结经验可知：①当下部开采一个煤层时，采动影响倍数  $K > 7.5$ ，上煤层可正常进行掘进和采煤，如果下煤层采出时留有煤柱，则在下部煤柱对应的上煤层工作面内可能出现局部顶板岩层和煤层的开裂现象，采取一定措施后，可正常进行上行开采；②当下部开采多个煤层时，综合采动影响倍数  $K_x > 6.3$ ，可在上煤层正常进行掘进和采煤工作；③上煤层位于下煤层开采后的冒落带之上时，一般可正常进行上行开采；④上、下煤层的开采必须间隔足够的时间。

对于异于常规下行开采的上行开采，由于其下层煤已经回采完毕，其上覆岩层必然产



表 1-1 下部开采一个煤层的上行开采实例  
(表中 K 为采动影响倍数)

矿井名称	上煤层号, 采高 (m) 下煤层号, 采高 (m)	煤层 倾角/ (°)	煤层 间距/ m	$K = \frac{H}{M}$	层间 岩性	采煤 方法	上、下煤层 开采间隔 时间/月	上煤层 开采情况
城子河煤矿	27 号, 1.2 25 号, 1.2	12	22	18.3	砂岩 62%, 其 余为页岩	长壁 全陷	96	采掘正常
阳泉二矿西 四尺井	小南坑, 3 号 8 号, 1.9~2.1	3~6	59	23.5	砂岩 45%, 其 余为砂质页岩、 页岩	长壁 全陷	30	采煤 9750m <sup>2</sup> , 采掘全过程无影 响
大同永定庄 煤矿 101 盘区	9 号, 1.2~1.3 11 号, 1.4~1.5	5~6	35	24.1	中、细砂岩夹 薄层页岩、砂质 页岩	长壁 全陷	108~240	开采正常
蛟河煤矿六 井	5 号, 1.0~2.0 6 号, 2.1	8~16	50~60	26.2	砂岩、页岩互 层	长壁 全陷	36	中央区正常边 缘区有裂缝
蛟河煤矿六 井	5 号, 1.8 6 号, 1.6	11~12	30	18.8	砂岩、页岩互 层	长壁 全陷	1	压力大、底 鼓、伪顶易脱落
鸡西立新煤 矿三井	6 号, 0.9 5 号, 1.2	18	30	25	坚硬砂岩	长壁 全陷	15.6	采掘正常
本溪煤矿	1-2 号, 1.5~2.0 7-8 号, 3.6	10~15	119	33.1	砂岩、砂质页 岩、页岩、煤互 层	长壁 全陷	60~72	采掘正常
永定庄煤矿	9 号, 1.3 11 号, 1.9~3.5	3~4	26	9.7	坚硬中、粗砂 岩, 砂质页岩	房柱式 采煤法	180	采掘正常, 煤 层松软, 漏水, 局部冒顶
杜儿坪煤矿 东二下山盘区	7 号, 0.9 8 号, 4.0	2~5	20.5	5.1	砂岩、灰岩、 页岩互层	长壁 刀柱	12	采掘正常
官地煤矿西 一采区	2 号, 2.3 6 号, 1.85	3~8	47	25.4	灰页、砂岩、 页岩	长壁 刀柱	36	采掘正常
北京门头沟 煤矿	5 号, 1.6~2.2 2 号, 2.0~2.4	15~45	75	31~38	砂岩、页岩	长壁 全垮	6	采掘正常