

顶板垮落对回风巷环境瓦斯 运移及爆炸影响的研究

付明明 著

北 京

冶金工业出版社

2018

前 言

瓦斯爆炸是常见的矿井灾害事故，破坏性巨大，给煤矿正常生产带来非常大的麻烦。矿山安全专业的不少专家学者对瓦斯爆炸进行了深入研究，但是因其反应机理十分复杂，采空区瓦斯爆炸事故尚未得到彻底根除，特别是在来压过程中，瓦斯的运移和爆炸规律还有待进一步研究。

本书分析了顶板垮落机理、瓦斯爆炸机理、采空区三带及火源影响因素后，着重从周期性垮落顶板对采空区瓦斯运移影响的角度出发，采用实验室相似模拟和计算机数值模拟的方法，针对不同周期来压步距和不同顶板垮落方式的现场情况，在实验模型中对采空区三带顶板垮落瓦斯运移规律进行了反复实验，得出了一些相关结论，为回风巷侧采空区瓦斯的治理提供了实验和理论依据。

通过对实验现象及数据的分析，掌握了不同垮落形式、不同垮落步距条件下的顶板垮落对回风巷侧采空区环境中瓦斯运移影响规律后，可以有针对性地制定顶板来压时，回风巷侧采空区瓦斯的治理风量、风速及其他相关的综合治理措施。这对于防止瓦斯矿井开采来压过程中瓦斯浓度的超限及瓦斯爆炸事故，有重要的指导意义和实用价值。

本书在编写过程中，得到了滨州学院李甲亮教授和河北工程大学崔景昆、杨永辰教授的指导，并由滨州学院提供了出版资助，在此表示衷心的感谢！

鉴于作者水平有限，书中不当之处，诚请读者批评指正。

作 者

2017年9月

目 录

1 绪论	1
1.1 课题研究的背景	1
1.2 国内外的研究现状	2
1.2.1 国外研究状况	2
1.2.2 国内研究状况	2
1.3 课题的研究内容和方法	3
1.3.1 研究的主要内容	3
1.3.2 研究方法	3
1.4 技术路线	4
1.5 研究的意义	4
1.6 研究目标	5
1.7 可行性分析	5
1.8 本章小结	5
2 顶板垮落和瓦斯爆炸机理的简要分析	7
2.1 顶板垮落机理	7
2.1.1 采场覆岩运动的基本特征	7
2.1.2 采场覆岩结构及力学性质分析	12
2.1.3 顶板垮落对瓦斯流场的影响	13
2.2 瓦斯爆炸反应方程式	14
2.3 瓦斯爆炸产生的能量	15
2.4 瓦斯爆炸所需要的条件	15
2.5 本章小结	16
3 采空区三带的划分和煤炭自燃形成火源的机理研究	17
3.1 采空区自燃“三带”分布和煤炭自燃的位置	17

3.2 采空区自燃影响因素	19
3.2.1 采空区“三带”分布规律分析	19
3.2.2 煤炭自燃是瓦斯爆炸的火源	23
3.2.3 煤炭自燃的过程	24
3.3 顶板垮落影响下, 瓦斯的涌动与火源点的关系	27
3.3.1 向工作面方向的瓦斯	27
3.3.2 向采空区方向的瓦斯	28
3.4 本章小结	28
4 顶板垮落对回风巷侧三带瓦斯影响的实验室相似模拟	30
4.1 实验室相似模拟的介绍	30
4.1.1 相似实验要遵循的三个相似规律	30
4.1.2 本实验要采用的模拟相似比的情况介绍	31
4.2 相似模拟实验的设计	32
4.2.1 实验的目的	32
4.2.2 实验的手段	32
4.3 实验的展开及原始数据的记录	37
4.3.1 实验准备	37
4.3.2 实验数据的记录	39
4.4 小结	65
4.4.1 在窒息区范围内比较	66
4.4.2 弱渗流区	70
4.4.3 强渗流带内	72
4.5 瓦斯运移过程中浓度变化及与火点相遇的情况	72
4.5.1 在窒息带内	73
4.5.2 弱渗流带	73
4.5.3 在强渗流带内	74
4.6 本章小结	74
5 顶板垮落时采空区瓦斯移动规律数值模拟	76
5.1 FLUENT 软件及其功能介绍	76
5.1.1 Fluent 软件结构	76

5.1.2 用 FLUENT 程序求解问题的步骤	78
5.2 现场地质条件的数值模拟参数设计说明	78
5.2.1 采空区模型及网格划分	78
5.2.2 瓦斯流动的 FLUENT 数学模型	79
5.2.3 动网格设置	80
5.3 模拟过程及结果	83
5.3.1 10m 垮落步距瓦斯流场数值模拟	83
5.3.2 15m 垮落步距瓦斯流场数值模拟	86
5.3.3 20m 垮落步距瓦斯流场数值模拟	90
5.3.4 25m 垮落步距瓦斯流场数值模拟	92
5.4 本章小结	94
6 结论	95
参考文献	96

1.1 课题研究的背景

伴随着世界经济的高速发展,煤炭资源的重要地位日益突出,国际市场对煤炭的总需求量逐年攀升。但不幸的是,随着煤炭产量的逐年攀升,我国的煤炭行业矿难事故也是更加的频繁,伤亡人员数目也是愈加的惊人,特别是重大矿难事故的伤亡人数和矿难发生次数仍然是相当惊人。

纵观近几十年的矿难事故,从调查总结分析可以看出,瓦斯事故在全部矿难事故中占有很大的比例,特别是在群死群伤的重大事故中占有很高的比例。

在煤矿生产过程中,伴随着诸多灾害事故,其中瓦斯灾害居于首位,掘进过程中经常发生瓦斯超限及瓦斯爆炸等事故。根据国家安全生产监督管理总局事故查询网站的数据显示,自2000年1月1日至2016年7月,共计发生瓦斯爆炸970起,死亡8873人。惨剧不断发生,一次又一次的重大矿难事故,给数万个家庭造成了无法弥补的伤痛,给社会造成了巨大的经济损失,产生了较大的负面影响^[1,2]。

为了减少矿难事故的发生,国家煤矿安监总局严格要求煤矿认真贯彻执行各项安全规程条例,加大管理力度,要求所有生产矿井配备完善的安全监控设施和紧急救援设备。同时不断增大资金投入,加大科研力度,力求从根源上控制矿难的发生。特别是针对瓦斯爆炸引起的矿难,更是作为首要研究的内容。不断地尝试利用采矿学、流体力学、燃烧与爆炸学等方面的专业知识,结合现场情况分析研究采空区瓦斯爆炸的成因,力求找到瓦斯爆炸的根源,并制定出相应的对策,从而在根源上减少或者杜绝瓦斯事故的发生。

立足上述研究方向,本书在总结前人研究的基础上,从新的方向对采空区瓦斯爆炸的原因及影响因素和影响程度做初步的实验研究。理论分析表明,由于顶板在垮落过程产生的空气冲击波对采空区瓦斯的运移影响很大,对于瓦斯爆炸有着非同一般的影响,所以本书从顶板垮落过程对于采空区瓦斯爆炸的影响这一角

度入手, 展开实验研究。

1.2 国内外的研究现状

1.2.1 国外研究状况

美国 R. A. Cortese 教授在实验室中研究瓦斯在矿井中的传播时, 发现瓦斯和煤尘在障碍物存在的情况下, 火焰传播速度增加, 火焰的温度也有了较大的升高。前苏联的 E. K. 萨文科系统地总结得出井下空气冲击波在垂直、转弯管道中传播的变化特征, 并且应用高等数学的知识将现象转换成了具有指导意义的经验公式。

1.2.2 国内研究状况

河北工程大学杨永辰教授在 2002 年 12 月《煤炭学报》上《关于回采工作面采空区瓦斯爆炸机理的探讨》一文中, 阐述了采空区瓦斯爆炸机理, 提出了三点新的认识: (1) 导致采空区瓦斯爆炸的唯一火源因素是采空区遗留煤炭的自燃发火; (2) 煤炭自燃是由于煤炭堆积自燃发火的正反馈作用所致; (3) 瓦斯爆炸的动力源是煤炭燃烧时产生的火风压^[3]。在 2007 年 7 月, 他在《煤炭学报》上《采煤工作面特大瓦斯爆炸事故原因分析》一文中提出: 回采工作面顶板垮落过程中, 采空区深部所积聚的大量瓦斯被挤出, 瓦斯背离采空区, 向工作面方向移动过程中浓度发生变化, 可能会达到爆炸浓度范围, 此时正好遇到了弱渗流区域的着火点, 因而产生瓦斯爆炸事故^[4]。

北京矿业大学王家臣教授在 2006 年 12 月《采矿与安全工程学报》上《顶板垮落诱发瓦斯灾害的理论分析》一文中指出, 在顶板垮落过程中, 岩石相互撞击, 摩擦生热从而导致岩体温度升高, 通过气流的相互传递作用, 气流温度升高达到了瓦斯爆炸的温度, 而且持续时间大于其感应期^[5]。2007 年 3 月, 他在《采矿与安全工程学报》上《顶板垮落诱发瓦斯灾害的实验研究》一文中还指出: 顶板垮落时岩石间的相互摩擦与撞击所导致的火花可以成为引起采空区瓦斯爆炸的火源^[6]。

河南理工大学李化敏教授在 2007 年 11 月《煤炭工程》上《采空区顶板垮落与瓦斯涌出关系的模拟实验研究》一文中, 通过实验分析了在不同地质条件(煤层倾角不同、来压范围不同)的情况下, 老顶垮落和瓦斯涌出量之间的关

系^[7]。2009年4月,他在《矿冶工程》上《顶板周期来压与采场瓦斯涌出关系的研究》一文指出在周期来压过程中,工作面瓦斯涌出量增加的原因有二:(1)工作面顶板垮落挤压采空区瓦斯向工作面方向移动;(2)工作面超前支承压力挤压煤体瓦斯,使煤体瓦斯往工作面方向移动^[8]。

1.3 课题的研究内容和方法

1.3.1 研究的主要内容

本书在借鉴前人相关研究内容的基础上,结合课题本身的特点,欲从以下几个角度研究顶板垮落过程对瓦斯爆炸的影响:

(1) 理论探讨和实验研究采空区顶板在不同垮落方式、不同来压步距垮落时,采空区三带中瓦斯受到顶板挤压后,瓦斯流体场沿工作面推进方向和背离工作面推进方向的变化。

(2) 理论探讨和实验研究采空区在不同垮落方式、不同来压步距垮落时,采空区三带中瓦斯在顶板煽动作用下,在离层三角形区域瓦斯的回流现象,以及回流瓦斯场的变化。

(3) 试探性地研究采空区在不同垮落方式、不同来压步距垮落时,导致的三带中瓦斯流动,观测和记录在变化过程中与采空区弱渗流带区域中自燃所形成的火源相遇的情况,以及相遇后能否导致瓦斯爆炸的概率。

1.3.2 研究方法

针对上述研究内容,本着尊重科学严谨求实的实验态度,结合现有的实验室条件和技术软件条件,采用了以下几种研究方法:

(1) 从力学和矿压角度,深入理解顶板垮落过程,建立力学模型。分析随工作面的不断推进,采空区面积不断扩大的情况下,顶板的垮落形态及其机理。

(2) 自行研制试验台,在实验室用相似模拟的方法,模拟不同来压步距、不同顶板垮落方式下的顶板垮落所引起的瓦斯流体场的变化,及时观测记录试验数据和现象,整理分析数据,总结现象所映射的规律。

(3) 用Fluent软件进行数值模拟。根据要模拟的实际地层条件参数,用Fluent对瓦斯的运移和变化情况进行数值模拟,根据得出的数据,进行深入研究。

1.4 技术路线

技术路线如图 1-1 所示。

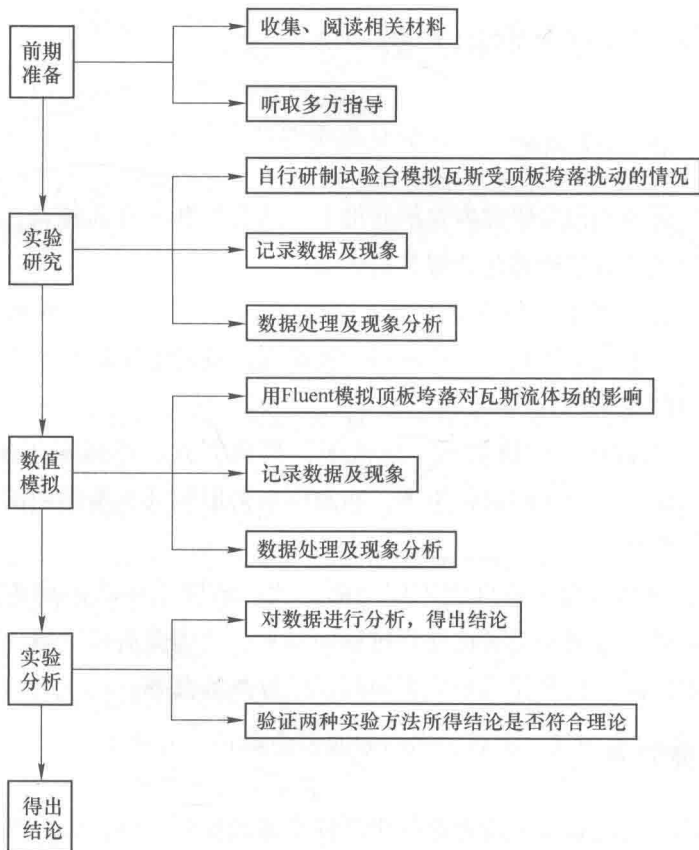


图 1-1 技术路线图

1.5 研究的意义

自煤矿开采有史以来, 瓦斯爆炸这一破坏性大机理复杂的灾害就一直困扰着煤矿的安全生产。研究学者们虽然对瓦斯爆炸的预测和防治进行了大量的试验研究, 研究成果也在一定程度上对瓦斯的防控起到了一定的作用, 但是瓦斯事故还是时有发生。这表明对于瓦斯爆炸这种灾害的许多本质性的东西, 目前

还没有研究透彻,导致瓦斯爆炸的原因以及瓦斯爆炸过程的诸多机理仍需认真研究探讨。为了真正实现安全生产,避免带血的生产,减少瓦斯爆炸事故给社会和家庭造成的恶劣影响,减少给国家和人民造成的损失,本书从矿山压力和瓦斯爆炸相结合的角度来研究顶板垮落对采空区三带中瓦斯爆炸的影响,是非常有意义的。

1.6 研究目标

通过理论分析、实验室相似模拟以及 FLUENT 数值模拟等研究方法和手段,在已经明确的煤炭自燃位置(是在采空区弱渗流带与两巷的交叉点位置)的基础上,力求深入研究得出,在顶板垮落的扰动下,采空区瓦斯浓度的变化情况以及瓦斯的运移轨迹和规律,争取能够分析出在顶板垮落时,采空区瓦斯绕过顶板远端回旋到顶板上方的变化过程,从中发现瓦斯流体场的变化,以及在变化过程中与自然发火点的相遇情况,争取确定出在什么具体条件下(例如在何种来压步距、何种顶板垮落方式、产生了何种现象),顶板垮落可以对采空区三带中瓦斯的运移产生明显影响,以及浓度变化瓦斯能否与火源相遇。

1.7 可行性分析

首先,在当前理论研究条件下,利用已经较为成熟的矿压知识和公认的力学知识建立模型,研究顶板垮落对瓦斯流场的影响,从理论分析的角度来展开是可行的;其次,利用 5mm 厚的有机玻璃制作一个长度、高度、宽度可调,底部是泡沫加工体的密封性试验台是可行的;再次,FLUENT 模拟软件应用很普遍,而且模拟效果和可靠性都是经过较多的流体实验验证的,没有什么困难;最后,本课题所选的方向是,在参考前人文献的基础上,有自己的创新,不存在整套理论体系及相关实验完全的生搬硬套,具有一定的研究意义。综上所述,本研究从选题到试验方法都具有可行性。

1.8 本章小结

本章从研究背景、国内外的研究状况、研究内容、采用的研究方法、采取的技术路线、要达到的目标以及可行性等几个方面,简要阐述了主要研究内容是

“采空区瓦斯受到顶板垮落影响后，采空区三带中不同区域的瓦斯流体场的运移和变化将会不同，其浓度范围和运移方向也在发生变化，当达到爆炸范围又运移到弱渗流区域火源处时，便会发生爆炸”这一课题，以及该课题所要研究的机理和诸多相关问题，为下文的展开做好了统领和引导。

2 顶板垮落和瓦斯爆炸机理的简要分析

2.1 顶板垮落机理

2.1.1 采场覆岩运动的基本特征

当采区煤层被开采以后，便形成了无支撑的空间，煤层的上覆岩层及底板岩层失去支撑和载荷，受力发生改变，岩体内部未采动前的力学平衡状态遭到破坏。因此，煤层之上的岩层和底板岩层的运动状态，由原来的静止状态转为不再静止，开始产生一定的移动、变形和破坏，直至达到新的受力平衡。这样的变化过程便称之为岩层移动。

以俯视角度看工作面走向范围的区域：回采工作面从开切眼向前推进，煤层不断被采出，形成空间区域逐渐变大。在此过程中，首先将引起直接顶的变化。一般情况下，直接顶随着采煤工作的进行，随之而冒落。而老顶由于岩性相对较硬，力学平衡结构相对较稳定，尚未发生冒落。但是随工作面的推进，直接顶悬空面积越来越大，当采空区面积达到一定的范围后，沿工作面的推进长度达到顶板的极限垮距时，直接顶岩层在自身重力及其上覆岩层载荷的作用下，第一次大面积垮落，称为直接顶的初次冒落。其标志为：直接顶垮落高度大于 $1 \sim 1.5\text{m}$ ，范围超过工作面长度的一半。在这个过程中，由于老顶（老顶岩块较大，硬度较高，岩性较坚硬）的强度较大，因此并没有随着直接顶的垮落而垮落，而是继续呈悬臂状态，此时可以将老顶视为一端由煤壁支撑、另一端由边界煤柱支撑的固定梁。随工作面的推进，老顶弯矩不断增长，产生的变形和破坏程度逐渐增大，当老顶之上的覆岩载荷大于老顶岩石间的内聚力和内摩擦力时，其内聚力和内摩擦力不足以维持其平衡形态，老顶顶板达到强度极限时，将形成断裂^[9]。断裂过程中，由于煤层上覆岩层的物理（力学）性质不同，所以呈现了多种的断裂形态，有压缩引起的横向拉伸破坏（“压裂破断”）；有压缩而引起的“X 剪切破坏”；还有沿 45° 角方向的破坏；以及“O”形破坏形态。在多数情况下，呈现

为采用长壁式采煤方法时,采煤工作面布置开切眼后,随着开采工作的进行,向前推进一段距离后,煤层上方的顶板失去下方的支撑,开始破坏。最初时刻,老顶可以视为是矩形,在矩形的中央及两个长边形成平行于矩形长边的断裂线 I_1 和 I_2 ,然后再从矩形短边形成断裂线 II ,伴随着断裂线的延伸发展,与最初时刻形成的断裂线 I_1 、 I_2 相通,最终其他相邻的位置的岩块会沿前面两条线 I 和 II 回转,将顶板分成一块一块的结构 1、2,分块线为 III 。中部垮落的老顶接触直接顶冒落的矸石后,垮落减慢。从俯视角度看,老顶初次破断后的形状呈椭圆状,如图 2-1 (a) 所示。随着工作面的继续推进,顶板出现周期性垮落,断裂线也周期性地出现,如图 2-1 (b) 和图 2-2 所示。

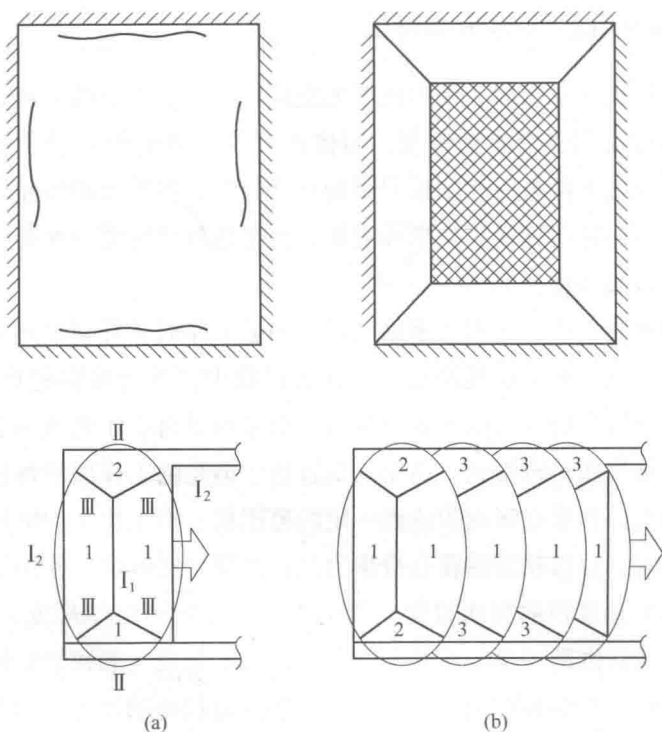


图 2-1 顶板破断形态

老顶的第一次断裂称之为老顶初次来压。之后会呈现随着工作面每推进一定距离后就会垮落一次。这一距离称之为周期来压步距。不同煤层顶板对应不同的初次来压步距和周期来压步距。但当老顶垮落后,老顶之上的岩层便随之产生向下的移动和弯曲,并向上延续。在经过一段时间后,破断所造成的影响将波及地表,引起地表的下沉,在下沉停止后,地表将形成一个沉陷盆地。这个沉陷的盆

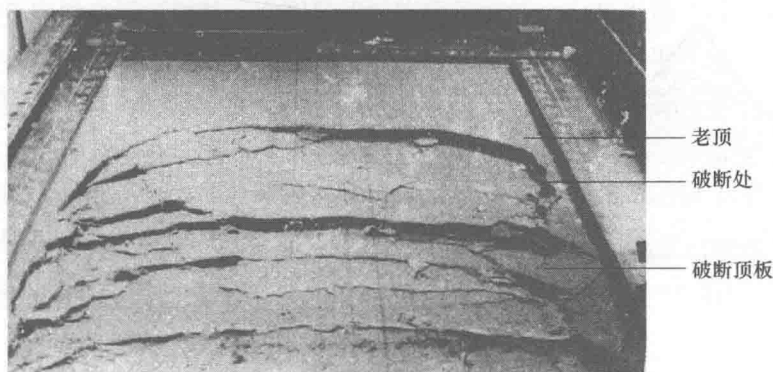


图 2-2 顶板周期垮落

地比井下作业面的采空区大得多。由实际现场观测所得的资料,总结出在岩层移动过程终止后,形成具有明显特征的分带,自下而上是冒落带、裂隙带、弯曲下沉带,三带的特征是移动、变形、破坏^[10]。

2.1.1.1 冒落带

煤层被采出后,直接顶垮落后充填采空区。如果直接顶比较薄,部分基本顶也可能垮落充填采空区,称之为冒落带。冒落带有以下两种特征:

(1) 不规则性:在顶板极为坚硬的情况下,顶板会出现规则冒落。在一般的情况下,顶板冒落没有规律,岩块破碎的程度不同,破断后岩块的形状不规则,因此又叫做不规则冒落带。在不规则冒落带的上部,由于岩块的垮落呈层状,相对比较整齐,所以又叫规则冒落带。

(2) 碎胀性:冒落的碎块之间有大量的空隙,体积比原来增大。但是垮落过程会使这种空隙变小,最后小到一定程度就不再变化。随着岩层倾角的不同、停留的高度也不同,碎胀系数的取值也不同。由于煤层存在倾角,直接顶板冒落后形成堆积安息角可能比水平煤层的安息角要小(如图 2-3 所示安息角 $\beta < \alpha$),即直接顶板冒落后形成的碎石充填有效高度较低,不能充填煤层采场采空后的整个空间,碎石不能很好地接顶。因此,在必要情况下应采取措施,在采空区铺设挡板,保证直接顶板垮落后形成的安息角较大,使得垮落岩块能够很好地接顶,起到支撑作用。

冒落带的高度计算时要考虑采高、倾角、岩性以及碎胀系数等多方面因素,而具体到各个矿井时,由于地质条件不同,还应结合实际情况进行合理取值。冒落带高度的计算公式如式(2-1)。

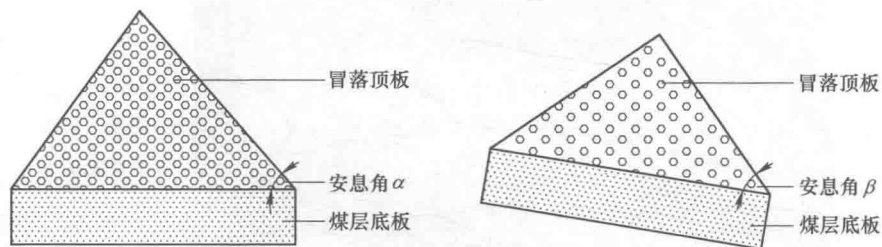


图 2-3 煤层倾角对顶板垮落安息角的影响比较

$$h = \frac{m}{(k - 1) \cos \alpha} \quad (2-1)$$

式中 h ——垮落带高度；

m ——煤层采高；

k ——岩体碎胀系数；

α ——矿层倾角。

用上述公式计算的冒高，总结多个矿井的数据后发现，一般为采高的 3~5 倍。当然也存在特殊情况：有时会很小，在垮落过程中看不到冒落岩块的高度；有时会较大，冒落高度会超出最大经验值。

2.1.1.2 裂隙带

垮落带以上的岩层在遭受破坏的过程中，虽然也产生了裂隙，但仍保持原有的层状结构，排列比较整齐，完整性较好，不发生冒落，称为裂隙带。

通常情况下，冒落带上部与裂缝带下部之间无明显界限。裂隙带的高度是不固定的，一般情况下，会随着采煤机推进距离的增大而增大，但增大不是没有限度的，在达到极限高度后，会随着切眼到工作面距离的增大而降低。产生这种特殊现象的原因是，断裂位置上部岩层的受力情况变化了，在侧向受到了压力，使得岩块相互靠近，裂隙逐渐减小。视岩性的不同，裂隙的延展长度和发育情况不同，从而导致了裂隙带的高度不同。

2.1.1.3 弯曲下沉带

三带中位于最上方的是弯曲下沉带，在这一带内的岩层，变化特点不同于下方的两带，只产生整体性的盆底似的弯曲沉降，而并不产生裂隙，但是其移动变形范围可达地表。

这一带内的岩层移动整体性和层状结构保持完好,不会出现裂隙,也不产生离层现象。在这一带内岩石受力也是多种的,导致岩层跟着产生了多种变形,有拉伸也有压缩。这一带内没有间隙,隔水效果比较好。当工作面位置的标高绝对值除以煤层的采出厚度,所得值小于 20 或工作面距离地表小于 100m 时,此时可能没有完全下沉带。

由于这一带内的岩层移动下沉,导致在地表形成了一个盆地。它破坏了地表耕田、建筑物、构筑物等,造成了非常严重的破坏,对生产和生活影响较大,所以要研究对地表盆地采取有效措施,在不影响煤矿正常生产地情况下,减少其破坏。

在地层条件不同、采煤方法工艺不同时,三带出现的情况也不同。有时可能会全部出现,有时则部分出现,有时则都不显现,但是都不显现的情况少见。

需要特殊强调的是,在煤层顶板垮落过程中,由于老顶及其以上的岩层岩性不同,老顶的垮落时间与工作面推进的长度不同而有所不同,起初在工作面推进一定距离后,煤层上方仅在数米范围内的老顶发生破坏,开始变形移动,产生裂隙,逐渐在一定的长度和厚度范围内发生断裂;之后工作面继续推进,在已垮落的顶板上方和前方(沿工作面推进方向为前)继续重复上述的过程。但是在这个重复的过程中,产生了如图 2-4 所示的三角形区域。当三角形区域之上的顶板随工作面推进继续破坏时,三角形区域将受到其上顶板垮落时的挤压,将会不同程度地被压实,三角形区域随之消失,在整个工作面推进过程中,三角形区域出现被压实的现象是周期性的,针对特定的地质条件,还将呈现出特定的状况。

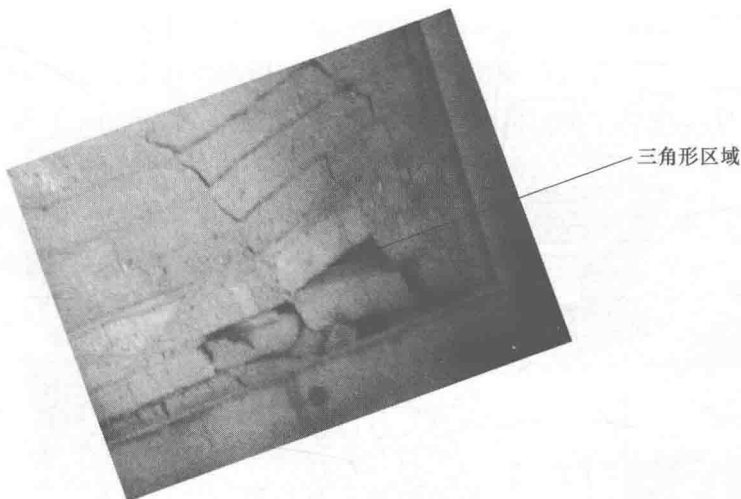


图 2-4 顶板垮落三角区域

2.1.2 采场覆岩结构及力学性质分析

在应力重新分布后,将原岩应力变化不超过 5% 的区域称为原岩应力区(或者成为稳压区)。对应力重新分布后原岩应力变化超过 5% 的区域,根据切向应力的大小,又将变化区域分为增压区和减压区。增压区为该区域内切向应力大于原岩应力的区域,又称为支撑压力区;减压区是指该区域内切向应力小于原岩应力的区域,也称为应力降低区。经现场实测和理论分析后,可以得出区域的大体范围,沿工作面推进方向,煤壁前方的原岩应力范围是:大于 15m 的区域,原岩应力变化小,基本不受采动影响;在煤壁 5~15m 范围内,是裂隙较为发育的区域,原岩应力变化较大,超过 5%,属于增压区,受采动影响较大;在煤壁到煤壁前方 5m 范围内是压力降低区。同时要指出的是,煤壁后方采空区范围内,压力区域的分布和前方呈对称式分布,周期来压前的采空区范围是压力升高区,来压步距之外的采空区范围是压力降低区,在压力降低区以外的采空区方向是稳压区。随着周期来压的出现,在垮落范围内应力变化相对减小,是不稳定的区域。工作面继续向前推进,采空区垮落岩石被压实,应力变化减小到 5% 以下,属于原岩应力区,趋于稳定,也称为采空区稳定区域。煤壁前方和后方都是呈周期性出现的波浪式前进的动态过程。对整个上覆岩层直至地表的整体运动描述主要表现如图 2-5 所示。

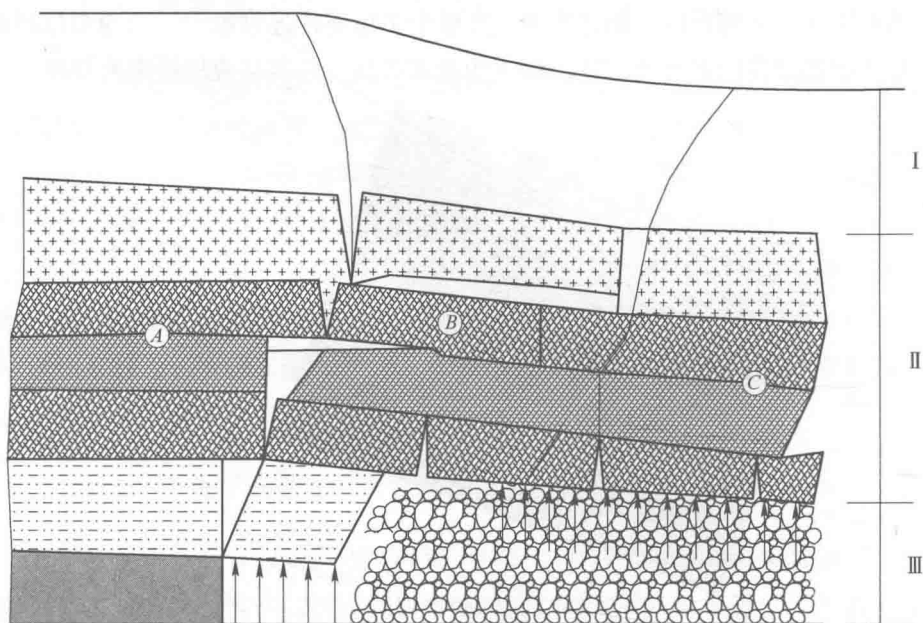


图 2-5 采场覆岩整体运动特征分区图