

全国煤炭高职高专（成人）“十一五”规划教材

煤矿特殊开采技术

李德忠 主编

Meikuang Teshu Kaicai Jishu



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

煤矿特殊开采技术

主 编 李德忠

副主编 杜俊林 连传杰 王治根

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书为全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材。

全书共八章,分别讲述了岩层与地表移动的基本规律与预计方法,“三下”压煤安全采煤技术,承压水体上安全采煤技术,深部矿井开采技术特点,大倾角煤层采煤技术实例,复采技术实例,煤炭地下气化技术,开采沉陷的观测技术。

本书可作为煤炭高职院校或成人高校采矿工程专业的教材,也可供从事与矿业工程有关的技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿特殊开采技术/李德忠主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2008.5

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 81107 - 978 - 4

I. 煤… II. 李… III. 煤矿开采—高等学校:技术学校—教材 IV. TD823.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 063756 号

书 名 煤矿特殊开采技术

主 编 李德忠

责任编辑 孙建波 何 戈

责任校对 周俊平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 12.75 字数 316 千字

版次印次 2008年5月第1版 2008年5月第1次印刷

定 价 20.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材 建设委员会成员名单

主任:李增全

副主任:刘咸卫 胡卫民 刘发威 仵自连

委员:(按姓氏笔画为序)

牛耀宏 王廷弼 王自学 王宪军

王春阁 石 兴 刘卫国 刘景山

张 军 张 浩 张贵金 李玉文

李兴业 李式范 李学忠 李维安

杜俊林 陈润叶 周智仁 荆双喜

贺丰年 郝巨才 唐又驰 高丽玲

彭志刚

秘书长:王廷弼 李式范

副秘书长:耿东锋 孙建波

煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材 煤矿开采技术专业编审委员会成员名单

主 任:胡卫民

副主任:李学忠 杜俊林 张吉春

委 员:(按姓氏笔画为序)

吕建青 张占斌 张 浩 张登明

李德忠 杨红涛 胡海峰 赵济荣

姬 婧 贾琇明 曾 旗 蒋金泉

漆旺生

前 言

本书为全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材。

中国煤炭学会煤炭职业教育分会先后多次召开教材编写会议,邀请全国各地专家教授规划教材,审查教材编写提纲,确定教材编写单位。

本书由安徽理工大学李德忠教授、杜俊林高级工程师,山东科技大学连传杰教授,国投新集集团王治根高级工程师编写。绪论由李德忠编写,第一章由连传杰编写,第二、第三、第四、第五、第六、第七、第八章由李德忠、杜俊林、王治根编写。为提高教材质量,特邀专家、教授十多人对本书初稿做了认真的审阅,并提出了很多宝贵的意见;在教材编写过程中,部分生产单位提供了丰富的资料。在此,向他们表示衷心的感谢!

本书受编写人员水平及编写时间限制,缺点和错误在所难免,恳切希望读者批评指正。

编 者

2008年1月

目 录	
绪 论	1
第一章 岩层与地表移动的基本规律与预计方法	4
第一节 开采引起的岩层移动	4
第二节 地表移动盆地及其特征	10
第三节 地表移动盆地的空间分布和时间过程	24
第四节 地表移动变形的预计方法——概率积分法	31
第五节 地表移动与变形参数	44
复习思考题	47
第二章 “三下”压煤安全开采技术	48
第一节 建筑物下压煤安全开采技术	48
第二节 铁路下安全采煤	63
第三节 水体下安全采煤	71
第四节 减小覆岩破坏和地表移动变形的开采技术措施	91
复习思考题	108
第三章 承压水体上安全采煤	109
第一节 概述	109
第二节 影响底板突水的主要因素	113
第三节 底板突水预测及防治方法	122
复习思考题	131
第四章 深部矿井开采技术特点	132
第一节 深部矿井开采综述	132
第二节 深矿井井田开拓	137
第三节 深矿井开采的矿压控制	138
第四节 冲击地压及预防	141
第五节 深矿井开采的地热和瓦斯控制	157

复习思考题·····	158
第五章 大倾角煤层采煤技术实例·····	159
复习思考题·····	163
第六章 复采技术实例·····	164
复习思考题·····	169
第七章 煤炭地下气化·····	170
第一节 煤炭地下气化原理·····	170
第二节 煤炭地下气化方法及工艺系统·····	172
第三节 评价及发展前景·····	177
复习思考题·····	178
第八章 开采沉陷的观测技术·····	179
第一节 地表沉陷监测技术·····	179
第二节 岩体移动及破坏监测技术·····	183
第三节 井筒变形监测技术·····	189
第四节 建(构)筑物变形监测技术·····	191
参考文献·····	194

绪 论

煤矿特殊开采研究的主要内容是具有特殊技术要求的煤矿开采,主要指建筑物下开采、铁路下开采、水体下开采以及承压水体上开采,即人们习惯简称为“三下一上”开采,以及其他条件下的特殊开采技术。

一、“三下一上”开采现状

(一) 建筑物下开采

建筑物下开采是指那些不适合搬迁的城镇、工厂、居民区、村庄等所压煤层的开采,其中包括井筒煤柱的回收。要做到既采出资源,又要保护地面建筑物。采取的措施主要是在井下开采时采取一些不同于普通的开采方法,以减少地面移动与变形,另外对地面的建筑物或构筑物采取加固与维修的方法,使其所受的采动影响和破坏程度在其本身允许的范围之内。这在国内外都取得了诸多成功的经验。

波兰,从1950年开始进行建筑物下采煤试验,其产量占总产量的40%~45%。

前苏联在建筑物下采煤取得了丰富经验,编制了30多个煤矿和金属矿保护建筑物免受采矿有害影响的保护规程及指南。

英国在建筑物下开采一律不留保安煤柱,只对井筒和绞车房留保安煤柱开采。

从1902年德国对城市和建筑物下采煤就开始用水沙充填法回采重要建筑物下的保安煤柱。例如埃森采了九个煤层总厚达10.2 m。

法国和保加利亚分别用水沙充填和风力充填在建筑物下进行开采。

我国建筑物压煤的问题比较普遍,如肥城、唐山、新密、两淮、本溪、徐州、连韶等都压着大量的煤炭资源。目前全国已有近百个矿井,数百个工作面进行了建筑物下的开采。鹤壁、本溪、抚顺、枣庄、东庞、冷水江、利民、里兰、东罗、红茂等都在各种建筑物下进行了成功的开采。如抚顺胜利矿用充填条带法在石油一厂下开采了厚达16.6 m的煤层,蛟河矿用陷落条带法在城镇下开采,以及资江在一俱乐部下开采、利民矿在村庄下开采、里兰矿在合山市下开采等。

(二) 铁路下开采

铁路下开采系指铁路干线与支线下所压煤层的开采。矿区专用线下开采已不存在问题。过去对铁路的保护也是采用留设矿柱的方法,目前对铁路煤柱的开采已取得了足够的经验。如波兰在铁路干线和具托姆车站下进行了开采,采厚达20 m,车站普遍下沉了3 m,最长达3.7 m;乌克兰顿巴斯煤田5条铁路下压煤3.68亿t,从1961就开始回采;德国的鲁尔煤田有一半以上的铁路线受开采影响,鲁尔煤田在铁路下开采已有几十年的历史;印度苏丹迪矿用水砂充填方法于1971~1975年首次开采ADR—AGOMOH铁路干线煤柱,煤厚为7.5 m;日本于1966~1967年在北海道地区清水泽煤矿的铁路干线和铁路桥下采煤,煤厚2.4 m,采后地表最大下沉速度达8 mm/日,用限速方法获得成功。

我国支线下开采效果良好,如焦李、三万、薛枣、娄邵等;干线下开采的不多,在鸡西麻山、滴道两矿的林口——密山干线下开采获得成功。本溪在沈阳—丹东的干线下试采。还有枣庄在邹坞车站下,阜新在露天剥离站下,开滦及平顶山、涟邵在铁路桥下,南桐局在三万线的板塘隧道下开采都取得成功。随着超长钢轨的使用,铁路下开采仍有大量的工作要做。

(三) 水体下开采

水体下开采包括地面水体下和地下水体下的开采。地面水体包括江河湖海、水库池塘、沼泽洪区、灌区水田、山沟小溪以及地表沉降区积水等。地下水体包括表土层的砂层水、顶板灰岩中的岩溶水、砂岩含水层及老窿水等。

水体下开采的关键是如何确定防水和防砂煤岩柱的高度,此上限到地面的垂高,就是安全开采深度。

水体下开采主要是防止覆水和泥沙溃入井下,有时还要保护地面水体,如水库、堤坝等。水体下开采通常用疏干、排放、隔离等措施,使资源尽量采出,还要减少排水费用,保护水体。

前苏联已在一些较大河流下采出了千百万吨的煤炭;日本、英国、加拿大和智利等国家海下开采经验丰富。

我国在淮河下、微山湖下、资江河漫滩下采煤也取得了不少的经验。

(四) 承压水体上开采

承压水体上开采指可采煤层以下的承压水体上的煤层开采,即受基盘岩溶水威胁煤层的安全开采。

我国华北太行山以东石炭二叠系地层的基盘,就是含有丰富岩溶水的奥陶系石灰岩。如山东的淄博、肥城,河北的井陘,安徽的两淮矿区,湖南的思口,斗笠山,广西合山等都存在受基盘岩溶水威胁的煤层开发问题。底板突水是承压水体上煤层开采的主要威胁。解决底板突水与井下开采的安全问题是承压水体上开采的主要任务。我国在井陘、峰峰、王凤等地成功地进行了承压水体上的开采;匈牙利受底板承压水的威胁也很严重,因此积累的经验较多。

二、矿床“三下一上”开采的特点

(一) 与一般开采方法的区别

1. 具有特殊的技术要求

“三下一上”开采既要采出资源,又要保护地面建筑物和构筑物(如水坝、铁路等),同时还要防止上覆水体与下伏水体溃入,保证生产安全,因而在技术上有特殊的要求。

2. 研究岩层范围大

既研究上覆岩层受采动影响后的移动变形特性,又要研究下伏岩层的移动变形规律。上覆岩层可直达地表,下伏岩层在采动后所波及的范围也可达 80 m 以远的距离。

(二) 综合性边缘学科

矿床“三下一上”开采是一门综合性的边缘学科,发展很快。它综合了水文地质、构造地质、矿山测量、矿山压力、岩体力学、土木建筑、开采方法以及岩体探测技术等学科的内容,形成自身的一套理论体系。

(三) 本学科发展的意义

到目前,我国不包括村庄在内,仅城镇、建筑物下压煤达 78 亿多吨,铁路下和水体下压

煤各为 19 亿多吨、水体上压煤 17 亿多吨,总共压煤达 133 亿多吨。到现在已采出 6 亿多吨,其中建筑物下、铁路下各采出 1.25 亿 t,水体下采出 1.97 亿 t,水体上采出 1.48 亿 t,现在每年平均采出 3 000 多万吨煤炭,还有其他被压的矿物资源。

煤矿“三下一上”开采还是一门新生的学科,在理论上、技术上还很不成熟,其中有不少课题还正在探索之中,所以还需做大量的科学研究工作。

(四) 学科发展简史

(1) 在国际上本学科始于 19 世纪末,第二次世界大战后得到迅速发展,到 20 世纪 60 年代初已成为一门独立的学科。其发展大致有两个阶段。

19 世纪末到第二次世界大战期间为初始阶段,采矿业刚刚涉及“三下”开采问题,人们依实测资料提出了地表下沉的经验公式。

第二次世界大战后到现在为迅速发展阶段。自从 1957 年波兰学者李特·威尼申提出随机介质理论后,本学科产生质的飞跃,从理论上奠定了基础;到了 20 世纪 60 年代,由于计算机的应用,解决了复杂繁重的计算问题,使得理论与实践结合更为紧密,把手算难于解决的计算问题变成了现实,因此在实践中得到迅速的应用,同时进一步促进了学科的发展;70 年代联邦德国的克拉茨将有限元法应用到本学科,使其应用范围扩大,计算精度提高。

(2) 我国是在解放后才开始涉足这一领域的。1959 年后刘宝琛、刘天泉等第一批留波博士回国,将随机介质理论著作译成中文,把波兰在城市下开采的先进技术和经验带回国内。后来刘宝琛院士又在水平煤层开采的基础上,发展了倾斜煤层开采后地表移动的时间过程理论;1965 年邹国铨教授提出了负指数法,在国内应用较为广泛;1981 年,何国清教授提出了威布尔函数法;之后有学者提出了跨学科研究方式,将环境经济学、采矿学、开采沉陷学、数学、力学及计算机等联系起来。总的来讲,矿床“三下一上”开采这门学科在我国的发展特点是起步晚,起点高,发展快,目前仍在蓬勃向前发展。

另外,深部矿井开采技术,大倾角煤层采煤技术,复采技术,煤炭地下气化等特殊技术也均在积极探索实践中。

第一章 岩层与地表移动的基本规律与预计方法

地下煤层被采出后,形成了人为空间,岩体内部原有的力学平衡状态被改变,上覆岩层将不同程度地受到变形和破坏。当开采面积达到一定范围之后,岩层移动和变形将扩展到地表,地表移动和变形将影响到位于开采影响范围内的建筑物和各类构筑物,会改变它们原有的状态,甚至产生破坏。同样,位于移动岩体内的井巷工程将受到开采影响甚至遭受破坏。

第一节 开采引起的岩层移动

因采煤引起采空区周围甚至地表的岩层移动、变形和破坏的现象与过程称为岩层移动。岩层移动是十分复杂的物理力学现象,其特性取决于地质因素和采矿因素的综合影响。其中最主要的是:岩石的结构、力学性质及含水性;煤层的倾角、厚度与埋深;采煤方法及开采范围大小。现对有足够埋深的近水平煤层长壁全部垮落法开采条件下围岩的应力状态和上覆岩层的破坏与移动过程进行说明。

一、充分采动区、岩石压缩区、最大弯曲区和底板隆起区

长壁工作面从开切眼回采后,随着采煤工作面的不断推进,工作面至开切眼的跨度逐渐增加,当跨度达到一定距离后,在自重和上覆岩层的作用下,煤层之上的直接顶岩层依次产生离层、弯曲、断裂,最后垮落于煤层底板之上。

直接顶初次垮落后,随着采煤工作面的继续推进,直接顶将不断地垮落。直接顶之上的基本顶岩层则沿层面的法线方向移动、离层、弯曲,进而产生断裂。当采空区范围达到一定的尺寸后,由下而上的岩层移动逐渐发展到地表,在地表形成一个比井下开采范围大得多的下沉盆地。因采煤引起的岩层移动波及地表而使地表产生移动、变形和破坏的现象和过程称为地表移动。

由于开采影响,采空区上方一部分岩层重量将由工作面前方和采空区周围的未采煤体承担,从而引起采空区周围岩体内的应力重新分布,在煤体内形成应力增高区(支承压力区)、应力降低区(卸压区)和原岩应力区。

根据岩层移动的形式、变形特性和引起移动的原因,在移动过程终止后的顶板岩层内可划分为三个特征区(图 1-1):充分采动区 I(减压区)、最大弯曲区 II 与 II' 和岩石压缩区(支承压力区 III、III')。

充分采动区 COD 位于采空区中部上方,该区内的岩层垮落与沉降已趋于停止,但范围仍随开采范围扩大而不断增加。岩层移动过程结束后,此区内上部下沉的岩层仍平行于它的原始层位,层内各点的移动向量与煤层法线方向大致一致,在同一岩层内的移动向量彼此相等,达到该地质和开采技术条件下的最大限度。随着采空区范围扩大,各点的移动值不再增加。

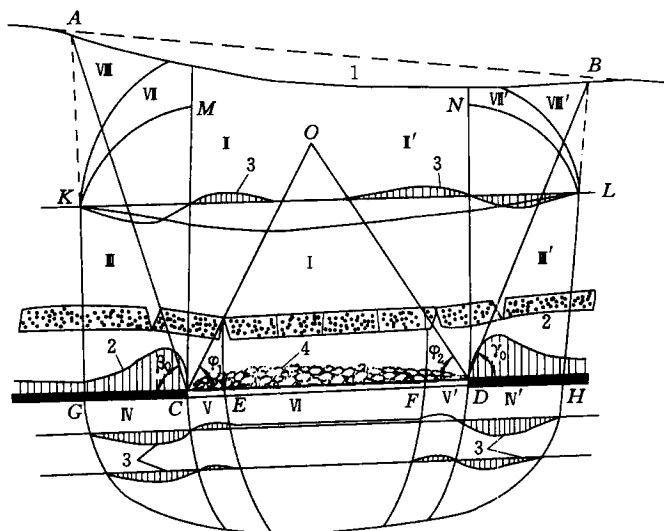


图 1-1 开采影响范围内应力影响带的划分示意图

- 1——地表下沉曲线;2——支承压力分布曲线;3——岩层面法向岩石变形曲线;4——垮落带;
 I——充分采动区;II、II'——最大弯曲区;III、III'——顶板压缩区;
 IV、IV'——底板压缩区;V、V'——底板不均匀隆起区;VI——底板均匀隆起区

充分采动区顶点 O 的位置取决于煤层埋藏深度和采空区的尺寸。开采尺寸较小时,上覆岩层内充分采动区小,充分采动区顶点 O 的位置就低;相反,若开采范围较大,充分采动区的范围就大。充分采动区的顶点可能会达到或超出地表,使地表达达到充分采动。

顶板压缩区位于实体煤上方 $CMKG$ 和 $DNLH$ 范围内。煤体内的支承压力按照衰减和扩展的规律,不仅在煤层底板岩层中传播,而且也在顶板岩层中一定范围内传播,在顶板岩层中同样形成应力增高区、应力降低区和原岩应力区。顶板压缩区是受顶板支承压力作用而形成的。

位于支承压力区内的煤体和岩层因压力增高而产生一定的垂向压缩变形,将导致上部岩层沉降,因此,在支承压力影响范围内,自地表以下的各岩层均表现出不同程度的下沉变形。上部岩层的下沉值是自身的压缩值和其下各岩层压缩量的叠加。因此,距地表愈近,其下沉值也就愈大。

在充分采动区 I 和顶板压缩区 III 、 III' 之间是最大弯曲区 II 和 II' ,此范围内岩层向下弯曲的程度最大,在岩层内产生沿层面方向的拉伸和压缩变形。由于岩石的抗压强度大于抗拉强度,弯曲区岩层层面上将出现较多的拉伸裂隙,甚至使岩层断裂。

煤层底板岩层内的应力也发生相应变化。未采煤体下方支承压力区内的岩石受到压缩,形成底板压缩区 IV 和 IV' 。

在应力降低区范围内,应力最低点位于采空区边界附近,向采空区中间方向应力逐渐恢复。当采空区的范围足够大,岩层移动过程结束后应力又接近于正常压力 γH 。

由于卸压影响,原来受支承压力压缩的岩层体积发生膨胀,同时,还要受水平方向的压缩,这将导致采空区底板岩层中出现底鼓区, V 、 V' 为底板不均匀隆起区, VI 为底板均匀隆起区。底板岩层沿层面法向方向的变形见图 1-1 中的曲线 3。

二、垮落带、断裂带和弯曲带

长壁工作面开采条件下采用全部垮落法管理顶板时,从煤层直接顶板开始,由下向上依次垮落、断裂、离层、弯曲,经过若干时间后终止移动,在地表一定范围内形成下沉盆地。根据采矿工程的需要,对移动期间和移动稳定后的上覆岩层,按其破坏程度不同,自下而上大致可划分为三个不同的开采影响带:垮落带、断裂带和弯曲带(图 1-2)。

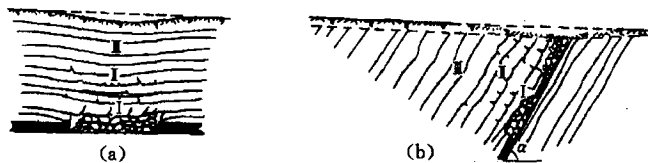


图 1-2 上覆岩层移动分带示意图

I——垮落带; II——断裂带; III——弯曲带

(一) 三带的形成

1. 垮落带

由采煤引起的上覆岩层破裂并向采空区垮落的岩层范围称为垮落带。很多情况下,垮落带是由直接顶垮落后形成的。垮落带岩层的破坏特点如下:

(1) 分带性:在垮落带内,从煤层往上岩层破碎程度逐渐减小。根据垮落岩块的破坏和堆积状况,垮落带可分为不规则垮落带和规则垮落带两部分。在不规则垮落带内,岩层完全失去原有的层位,在靠近煤层附近的岩石破碎、紊乱;不规则垮落带上部是规则垮落带,该带内的岩块堆积排列较整齐。

垮落带岩块由于不能传递水平力,因此,该带不能将其上的岩层重量一端传递给煤壁,另一端则由采空区支撑。生产期间,控顶范围内垮落带岩层重量应由支柱和支架支撑。

(2) 碎胀性:由于垮落带岩石破碎成块,岩块之间孔隙增大,体积膨胀。生产期间,垮落后的直接顶岩层的碎胀系数一般可达到 1.3~1.5。由于碎胀,随着垮落带高度的增加,未垮落顶板岩层下方的自由空间将变得愈来愈小,最终垮落过程将自行停止。

垮落带内岩块间间隙较大,连通性好,矿井水、水砂、瓦斯和泥浆容易通过。

(3) 可压缩性:垮落岩石间的孔隙随着时间增长和开采范围的加大,在上覆岩层压力作用下,在一定程度上可得到压实,压实后的碎胀系数仍大于 1。

(4) 垮落带高度取决于采厚、上覆岩层的岩性、碎胀系数和煤层倾角。对于中(倾)斜及以下的煤层,当直接顶厚度较大能充满采空区时,垮落带的高度可由式(1-1)估算。

$$H_k = \frac{M}{(k-1)\cos\alpha} \quad (1-1)$$

式中 H_k ——垮落带高度,m;

M ——煤层采高,m;

α ——煤层倾角;

k ——岩石碎胀系数,岩石的碎胀系数取决于岩石性质,坚硬岩石碎胀系数较大,松软岩石碎胀系数较小(表 1-1)。

表 1-1 岩石的碎胀系数 k

岩石名称	碎胀系数 k	
	初始(刚破碎)	残余(压实后)
碎煤	<1.20	1.05
泥质页岩	1.40	1.10
砂质页岩	1.60~1.80	1.10~1.15
硬砂岩	1.50~1.80	

当直接顶的厚度较小不能充填满采空区时,靠近煤层的基本顶可能进入垮落带。生产期间基本顶能否进入垮落带取决于直接顶的厚度、基本顶的分层厚度和顶板岩层垮落后的碎胀系数。

2. 断裂带

垮落带上方一定范围内的岩层在保持其原有层状的前提下产生断裂或裂缝,且具有导水性,能使其上覆岩层中的地下水流向采空区。这部分导水断裂岩层的范围称导水断裂带。

断裂带岩层的破坏特点是:

(1) 垮落带之上的各分层岩层在弯曲下沉过程中,若承受的拉应力大于其抗拉强度,则岩层层面上将出现垂直于层面的拉伸裂隙。当裂隙深度较大时,岩层发生整体断裂,失去连续性,但仍保持其原有的层状特征。

(2) 各岩层之间产生平行于层面的离层,离层裂隙的宽度靠下部较大,靠上部较小。产生离层的主要原因是岩层间力学性质差异较大,岩层向下弯曲移动不同步所致。

(3) 断裂带中的岩层分布着大致平行于层面和垂直于层面的裂隙,这些裂隙相互沟通,明显地降低了岩层的隔水性能。断裂带中的岩层一般情况下能够导水,我国习惯上将其称为导水断裂带。

(4) 断裂带随开采空间扩大而向上发展,当开采空间扩展到一定范围后,断裂带高度达到最大,开采范围继续扩大时,断裂带高度不再发展,并随时间推移,岩层趋于稳定,断裂带上部裂隙逐渐闭合,其高度也随之降低。

(5) 厚煤层第一分层以下的分层开采时,断裂带高度上升,但上升的幅度较初次采动大为减小。

3. 弯曲带

断裂带上界至地表称为弯曲带,其岩层移动的特点是:

(1) 带内岩层在自重作用下产生沿层面法向方向的弯曲,在水平方向处于双向受压状态,一般情况下具有隔水性,当岩性较软时,隔水性能更好。

(2) 该带内的岩层移动过程是连续和有规律的,并保持整体性和层状结构。

(3) 弯曲带上方地表一般形成地表下沉盆地,盆地边缘往往要出现张裂隙,根据地表变形的大小,裂隙深度差别较大,一般裂隙宽度向下渐窄,至一定深度后闭合消失。

以上划分的三个岩层移动带,在开采近水平或缓(倾)斜煤层时表现得比较明显。另外,尽管各带的特征明显不同,但带间的界面是逐渐过渡的。根据顶板管理方法、采空区大小、采厚、岩石性质及开采深度不同,上覆岩层中的上述三带不一定同时存在。当开采的煤层埋深较浅而采厚又较大时,有可能没有弯曲带,而采用充填法处理采空区时,只有断裂带和弯曲带。

(二) 上覆岩层“三带”的空间形态

上覆岩层“三带”的空间形态主要与开采煤层的倾角有关(图 1-3)。

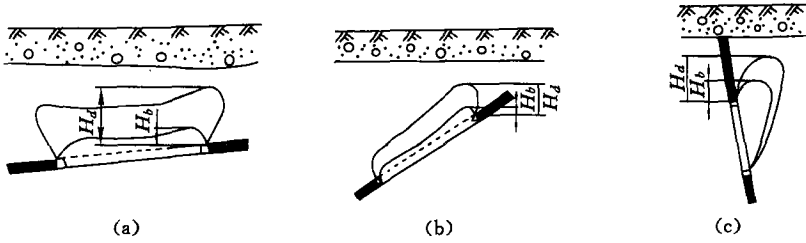


图 1-3 垮落带、断裂带和弯曲带的空间形态

(a) $0^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$ 煤层; (b) $36^\circ \leq \alpha \leq 54^\circ$ 煤层; (c) $55^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 煤层

1. 水平、缓(倾)斜煤层开采时($0^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$)

垮落带呈大致对称的枕形(中间微凸、平或微凹),边界一般在采空区边界内。除了特别坚硬的岩层以外,断裂带两端边界往往超出开采边界,呈马鞍形,中间较低,两端较高,最高点位于采空区倾斜上方[图 1-3(a)]。

垮落带、断裂带和弯曲带沿走向和倾向均为基本对称的下沉盆地。

2. 倾斜煤层开采时($36^\circ \leq \alpha \leq 54^\circ$)

随着煤层倾角加大,采空区上部垮落的岩块沿着煤层底板向下滑动或滚动,充填到采空区下部。采空区上部未垮落的岩层不能很快得到支撑,因而继续离层、断裂、破碎和垮落,从而导致采空区上端垮落带高度大于下端。与此相反,由于采空区下部未垮落的岩层很快得到下滑岩块支撑,垮落带高度较小。

垮落带为不对称的平枕或拱枕,但边界仍在采空区边界内,上方略大于下方。断裂带呈上大下小的不对称凹形枕,上部的轮廓大致呈抛物线,马鞍形消失或残留不明显,与采空区边界齐或略偏外[图 1-3(b)]。弯曲带沿倾向不对称下沉,上山方向较下山方向下沉量大。若走向开采长度大,则沿走向一般仍为对称下沉。

3. 急(倾)斜煤层开采时($55^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$)

开采倾角较大的急(倾)斜煤层时,由于垮落带岩块滚动下滑加剧,迅速充填采空区下部空间,限制了该处垮落带和断裂带向上发展。另一方面,在采空区上部边界煤柱悬空,逐次片帮、碎裂、抽冒,使垮落带和断裂带上边缘急剧向上发展,以致大大超过采空区上边界[图 1-3(c)]。垮落带呈耳形或上大下小的不对称拱形。断裂带形状与垮落带类似。

(三) 垮落带与断裂带的高度

1. 影响垮落带和断裂带高度的主要因素

垮落带与断裂带的高度与上覆岩层的岩性结构、煤层倾角、采高及厚煤层分层次数、采空区范围大小和采煤方法等因素有关。

采用长壁垮落法开采后,垮落带、断裂带高度计算多采用经验公式,这些公式是根据大量的钻孔和巷道观测资料采用数理统计方法获得的,计算时要注意适用条件。垮落带和断裂带的高度与上覆岩层的岩性及结构有密切关系。

(1) 顶板岩性

当直接顶和基本顶都比较坚硬条件下,岩层垮落后块度大,碎胀系数也大。基本顶由

于坚硬而下沉缓慢,下沉量小,使垮落过程充分发展,垮落带和断裂带高度较大,两带高度之和可达到采厚的18~28倍。

当直接顶和基本顶都比较松软破碎时,由于顶板稳定性差,采空区回柱放顶或移架后能迅速被垮落岩块填满,在垮落发生和发展过程中,覆岩下沉量较大,开采空间和已垮落的空间由于覆岩下沉而不断缩小。因此,垮落过程不能充分发展,垮落带和断裂带的高度均较低,一般为采厚的9~12倍。

垮落带和断裂带高度比较小的另一种情况是靠近煤层的岩层比较坚硬,且垮落后碎胀系数较大,而之上的岩层较软且易于弯曲,此时,开采空间易于填满,再加上上位软岩层的迅速下沉,导致垮落过程不充分。

当直接顶为软弱岩层,而基本顶为坚硬岩层时,直接顶易垮落,而基本顶不易弯曲下沉,垮落带的高度受直接顶和基本顶厚度控制。

(2) 煤层倾角

煤层倾角对垮落带和断裂带的影响十分显著。煤层倾角之所以能引起两带高度变化,主要由于垮落岩块随倾角加大在采空区发生运动。采空区垮落的岩块有三种状态:

煤层倾角小于 35° 时,垮落岩块就地堆积。此时,同一采空区内各个部位的垮落带和断裂带上边界离煤层的高度基本上是相等的。

煤层倾角在 $35^{\circ}\sim 54^{\circ}$ 时,垮落岩块下滑到采空区下部,导致采空区上端的垮落带和断裂带高度大于采空区下端的垮落带和断裂带高度。

煤层倾角大于 54° 时,垮落的岩块及煤向下滚动,使采空区下部垮落的发展高度很小,上部发展高度很高,而且影响到采空区上部煤柱。

(3) 采高及厚煤层分层次数

一次采全高或分层初次开采时,垮落带和断裂带的高度与采高呈近似线性关系。水平至倾斜厚煤层分层开采或近距离煤层群重复开采条件下,垮落带和断裂带高度的增加量随分层次数增加而递减。

(4) 采空区范围大小

当采空区范围足够大时,垮落带和断裂带得到充分发展,反之两带的高度发展将受到限制。

(5) 采空区处理方法

我国通常采用的顶板管理方法有全部垮落法、充填法和煤柱支撑法,不同的顶板管理方法引起两带的高度明显不同。

我国普遍采用全部垮落法管理顶板,这种处理采空区的方法使上覆岩层破坏发展得最充分,上覆岩层发生弯曲、离层、断裂、垮落等破坏,并达到一定高度。

用充填法处理采空区时,上覆岩层仅仅遭受开裂性破坏,一般不发生垮落性破坏。因而,断裂带高度也就明显降低。

用煤柱支撑法处理采空区时,两带高度介于上述的两种方法之间。

2. 垮落带与断裂带高度的确定

采用长壁垮落开采时可参考垮落带与导水断裂带高度的计算公式(见水体下安全采煤)。

3. 现场观测