

CAICHANG ZHIJIA WEIYAN GUANXI JI YINGYONG

采场支架围岩 关系及应用

潘立友 王彦伦 王春秋 曹庆伦 张海峰 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

采场支架围岩关系及应用

潘立友 王彦伦 王春秋 曹庆伦 张海峰 著

中国矿业大学出版社

前 言

综合机械化是采煤现代化的主要标志,我国煤矿综合机械化开采已获得较大发展,取得了较丰富的经验。实践证明,回采工作面使用液压支架后的顶板控制能力大为增强,但若对支架选型不当、工作阻力计算不合理以及对支架的管理不善,顶板控制问题仍是影响工作面安全和效益的关键难题。

综采工作面的顶板控制问题突出地表现在支架与围岩的适应性上,当支架围岩关系处于良好状态时,支架对顶底板的适应性强,顶板事故率就低,工作面能实现高产高效。支架对顶板的适应性主要表现在液压支架的架型及主要参数,支架在不同煤层赋存条件下的适应性及控制顶板技术是综采使用成功与否的关键。

综采面支架对围岩的适应能力可归结为支架与围岩的相互作用力和分布的配合程度。在围岩方面主要为顶板载荷、底板的抗压入能力,在支架方面主要表现为提供的支护能力,具体表现在梁端支撑力、切顶力、支撑力和掩护作用。这些能力主要由支架的主要支护参数和架型来决定。

对于综采工作面的端头顶板控制,由于条件复杂多变及要求提供较大的工作空间,因此可使用多种特殊支护结构及方式。对于高产高效工作面,要求快速移动超前支护设备,尽量研制机械化程度高的端头和超前顺槽支架。

近 20 多年来,随着液压支架的大量使用和推广应用,我们在矿山围岩与支架关系、支架合理架型与煤层赋存条件的关系、底板岩层的控制技术、不同煤层条件下支架(柱)合理工作阻力的确定、不同支护形式下的顶板管理方法、单体液压支柱和综采工作面矿

压观测方法等方面做了大量的研究和工程实践工作,并取得了一些研究成果,现整理成书,期望它对我国煤矿顶板控制方面有所帮助。

参加本书编写的人员还有张志峰、张文革、田志超、孔令峰、李成林、姜世元、陈理强。

本书的编写出版,得到了许多专家、学者及现场工程技术人员的支持。中国科学院院士宋振骐教授多年来从研究思想上给予启迪;山东矿机集团吴突卫研究员对综采支架的结构与顶板适应性给予了指导和建议;华永芳高级工程师对书稿的编写给予指导,并提出宝贵意见;山东矿机集团公司、兖矿集团公司、开滦(集团)公司、肥城矿业集团公司、泰安市国华科技机电设备有限公司等单位提供了大量实测资料;山东科技大学为这些成果的取得创造了良好的研究条件,在此向他们一并表示感谢。

本书不妥之处,敬请读者批评指正。

著者

2008年3月

目 录

1 绪论	1
1.1 矿山压力与矿山压力显现	1
1.2 采场上覆岩层运动的基本规律	3
1.3 采场支承压力分布规律	7
1.4 支架围岩关系研究的主要内容	16
2 松软底板控制	25
2.1 底板岩层控制研究现状	25
2.2 松软底板侵入理论	26
2.3 实测研究	34
2.4 底板分类	36
2.5 松软底板控制技术	39
3 支架围岩关系研究	42
3.1 支架围岩关系的基本理论	42
3.2 支架有效支撑能力的确定	61
3.3 基于煤岩赋存条件的支架选型研究	81
4 端头与超前区域支架围岩关系及应用	149
4.1 巷道围岩压力(应力)分析	149
4.2 巷道围岩破坏过程数值模拟研究	153

4.3	工作面端头和平巷支护现状	167
4.4	综放(采)端头和平巷机械化支护	177
5	采煤工作面支护形式及顶板管理	183
5.1	木支柱支护及顶板管理	183
5.2	金属摩擦支柱支护与顶板管理	190
5.3	单体液压支柱支护与顶板管理	196
5.4	悬(滑)移支架支护与顶板管理	198
5.5	单体组合支架支护与顶板管理	211
5.6	组合悬移液压支架与顶板管理	217
5.7	综采支护与顶板管理	226
5.8	工作面冒顶的处理方法	233
5.9	综放与顶板管理	237
6	采场矿山压力监测	241
6.1	概述	241
6.2	采场矿压监测常用仪器	245
6.3	单体液压支柱采场矿压监测	263
6.4	综采工作面矿压监测	270
6.5	综放条件下顶煤运移规律实测	291
6.6	超前支承压力分布的观测	292
6.7	浅埋煤层支承压力分布的实测方法	296
	参考文献.....	297

1 绪 论

1.1 矿山压力与矿山压力显现

1.1.1 矿山压力的概念

在煤岩层中开掘巷道和进行回采工作称为对煤岩层的采动。采动后,在煤岩层中形成的空间称为采动空间。采动空间周围的岩体(包括顶板、底板及两帮的岩层),统称为围岩。

煤岩层采动前,一般都在覆盖层重力、构造运动作用力等地质力的作用之下,处于三向受力的原始平衡状态。煤岩层采动后,由于支承条件的改变,其原始平衡状态即遭破坏,各岩层边界上的作用力及分布在各点的应力(包括大小及方向)随之改变。

采动后重新分布于围岩各个层面边界上的力及岩层中各点的应力将促使该部分岩体产生变形或遭到破坏,从而向已采空间运动。采动后作用于岩层边界上或存在于岩层之中的这种促使围岩向已采空间运动的力(即采动后促使围岩运动的力),称为矿山压力。

显然,按此概念定义的矿山压力,既是指分布于岩层内部各点的应力,又包括了作用于围岩任何一部分边界上的外力。

1.1.2 矿山压力显现的概念

采动后,在矿山压力的作用下通过围岩运动与支架受力等形式所表现出来的矿山压力现象,称为矿山压力显现。

采动过程中,矿山压力显现的基本形式包括围岩的明显运动与支架受力两个方面。

巷道围岩运动包括以下几种形式：

(1) 两帮运动：主要指巷道两帮的弹性变形、裂隙扩展、两帮岩体扩容后产生的塑性破坏与塑性流动，以及两帮岩体向着采动空间内的移动(包括两帮鼓出、片帮等缓慢移动，以及煤或岩体突出、在动压冲击下的高速移动)，如图 1-1 中(a)、(b)所示。

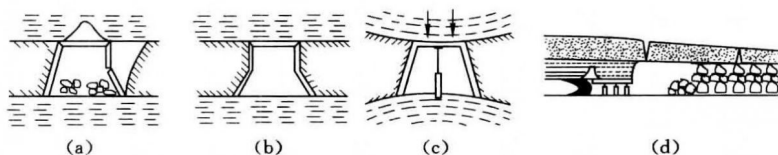


图 1-1 矿山压力显现的基本形式

(a) 冒顶、片帮；(b) 两帮鼓出；(c) 顶底板移近；(d) 顶板下沉与支架承载

(2) 顶板运动：指巷道及工作面顶板岩层的弯曲下沉、裂断破坏以及破碎岩石的冒落[图 1-1 中(a)、(d)]。

(3) 底板运动：指巷道及工作面底板岩层的鼓起、隆起、层理滑移及裂断破坏等[图 1-1 中(c)]。

矿山压力显现的第二个基本形式是支架受力，主要包括：支架承受载荷的大小、支架变形程度、支架压折等现象[图 1-1 中(d)]。

1.1.3 矿山压力与矿山压力显现的关系

研究与实践充分证明，矿山压力的存在是客观的、绝对的，它存在于采动空间的周围岩体中。但矿山压力显现则是相对的、有条件的，是矿山压力作用的结果。然而，围岩中有矿山压力存在却不一定有明显的显现，因为围岩的明显运动本身就是有条件的，只有当应力达到其强度后才会发生。支架受力也是如此，它不仅取决于围岩的明显运动，而且还取决于支架对围岩运动的抵抗程度。

1.2 采场上覆岩层运动的基本规律

1.2.1 直接顶和基本顶

采动引起的上覆岩层的运动是采场中矿山压力显现的根源。

由于上覆岩层的岩性、厚度、层位关系及构造情况不同,因此,上覆岩层运动规律也不同。

矿山压力及其控制研究中所指的上覆岩层,即为需控岩层的范围,包括直接顶和基本顶。

所谓直接顶,是指能在采空区不规则冒落、不能向煤壁前方和采空区矸石上永久传递力的,其作用力必须由支架全部承担的那部分岩层的总和,如图 1-1(d)所示。

所谓基本顶,是指岩层自身能形成平衡结构、能保持向煤壁前方和采空区矸石上传递力的,其运动对采场矿压有明显的影响、作用力无需支架全部承担的那部分岩层。

也有学者把直接顶与基本顶定义为:在煤层上面、有一定强度,并会随煤层放顶而冒落的岩层叫直接顶。常见的直接顶岩层有页岩、砂页岩等。在直接顶上面、强度比较大、厚度较大,大面积暴露后才冒落的岩层叫基本顶。常见的基本顶岩层有砂岩、砂砾岩、石灰岩等。这是从地质学角度来定义的。

1.2.2 上覆岩层的基本运动规律

1.2.2.1 “三带”的形成

长壁工作面煤层采出后,煤层上的顶板要垮落一部分去充填采空区,这一部分岩层一般称为垮落带岩层(相当于直接顶);在采空区,随着未垮落岩层的沉降,自由空间的高度越来越小,直到不满足垮落的几何条件,此刻,下位裂隙岩层带就会形成一种平衡结构,若该结构的运动对采场矿压有明显的影响,则该部分岩层相当于基本顶,有些学派称裂隙岩层带为裂隙带(值得注意的是,裂隙带中包括基本顶,但不一定全部属于基本顶);裂隙带上直至地表

为缓沉带,缓沉带的运动被认为对采场矿压无明显的影响。

1.2.2.2 对采场矿压有明显影响的上覆岩层范围

采场一般位于地下数百米乃至上千米的深度,开采实践表明,有些矿井以每平方米1~2根的单体支柱就能支护住采动空间,说明对采场矿压有明显影响的上覆岩层范围是有限的。

通过对国内外有关资料的研究,特别是对我国开滦矿区和大屯矿区深孔布网的研究,得出一般采场的需控岩层厚度范围为采高的6~8倍。

1.2.2.3 直接顶的运动规律

(1) 直接顶的垮落

采场从开切眼推进到一定距离后,直接顶将垮落。从开始推进到直接顶岩层初次垮落完成为止,这个阶段称为直接顶初次垮落阶段。

(2) 直接顶厚度

在一般顶板条件下的采场,只要采空区有自由空间,顶板就可能冒落,且冒落直接顶厚度为:

$$M_z = \frac{h - S_A}{K_A - 1} \quad (1-1)$$

式中 h ——采高,m;

M_z ——直接顶厚度,m;

K_A ——岩层垮落后的碎胀系数, K_A 为1.15~1.5,一般采场为1.25~1.35;

S_A ——未垮落岩层在触矸处的沉降量,m, S_A 为(0.1~0.5) h ,一般采场为(0.25~0.3) h 。

将这些数据代入式(1-1),可得 M_z 大约为(2~3) h 。

以上这些经验数据来源于我国北京、大同、开滦、大屯、徐州、肥城等矿区的实地测量结果。

在坚硬顶板采场基本顶初次来压前,式(1-1)中的 $S_A = 0$,显

然,式(1-1)变为:

$$M_z = \frac{h}{K_A - 1} \approx (2.58 \sim 4)h \quad (1-2)$$

即直接顶厚度将比正常推进阶段大 1.5~2 倍。

以岩层为中心的传递岩梁理论还提出了一套厚煤层及近距离煤层直接顶厚度的计算方法。

1.2.2.4 基本顶的基本运动规律

· 基本顶的基本运动包括初次来压与周期来压。

直接顶初次垮落后,随着采场的继续推进,直接顶进入正常垮落阶段,基本顶此刻开始发生离层、弯曲沉降、断裂,最后回转下沉,引起工作面压力的急增,这个阶段称为基本顶初次来压阶段。

初次来压完成以后,采场进入正常推进阶段。此阶段基本顶岩梁将随跨度的不断增加而发生断裂、回转下沉和引起工作面来压,此阶段来压称为周期来压。周期来压的强度一般较初次来压小,它由直接顶板厚度和岩梁本身的力学、几何参数决定。此阶段的一个重要的参数是基本顶的周期来压步距。

两个推进阶段的顶板运动如图 1-2 所示。

在一般情况下,周期来压步距为初次来压步距的一半。

1.2.2.5 关键层理论

在直接顶上方存在厚度不等、强度不同的多层岩层。实践表明,其中一层至数层厚硬岩层在采场上覆岩层活动中起主要的控制作用。将对采场上覆岩层局部或直至地表的全部岩层活动起控制作用的岩层称为关键层。前者称为亚关键层,后者称为主关键层。也就是说,关键层的断裂将导致全部或相当部分的上覆岩层产生整体运动。覆岩中的亚关键层可能不止一层,而主关键层只有一层。采场上覆岩层中的关键层一般为相对厚而坚硬的岩层。采场上覆岩层中的关键层有如下特征:

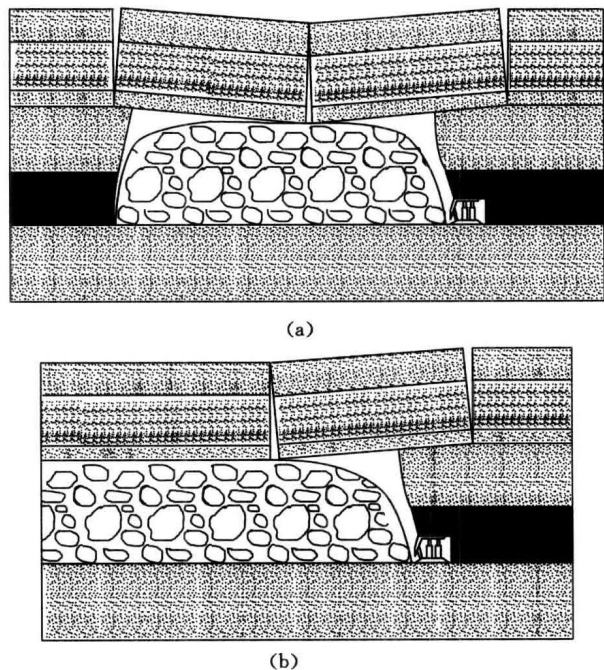


图 1-2 基本顶初次来压与周期来压示意图

(a) 基本顶初次来压; (b) 基本顶周期来压

- (1) 几何特征: 相对其他同类岩层单层厚度较厚。
- (2) 岩性特性: 相对其他岩层较为坚硬, 即弹性模量较大, 强度较高。
- (3) 变形特征: 关键层下沉变形时, 其上覆全部或局部岩层的下沉量同步协调。
- (4) 破断特征: 关键层的破断将导致全部或局部上覆岩层的同步破断, 引起较大范围内的岩层移动。
- (5) 承载特征: 关键层破断前以“板”(或简化为“梁”)的结构形式作为全部岩层或局部岩层的承载主体, 破断后则成为砌体梁

结构,继续成为承载主体。

关键层理论的提出实现了矿山压力、岩层移动和地表沉陷、采动煤岩体中水与瓦斯流动研究的有机统一,为更全面、深入地解释采动岩体活动规律与采动损害现象奠定了基础。

1.3 采场支承压力分布规律

1.3.1 支承压力及其显现

煤层采出后,在围岩应力重新分布的范围内,作用在煤层、岩层和矸石上的垂直压力称为支承压力。显然由此定义的支承压力分布范围将包括高于和低于原岩应力的整个区域。

在单一自重应力场条件下,采场周围岩体上的支承压力来源于上覆岩层的重量。假设煤及岩层水平赋存,并将采场上覆岩层简化为图 1-3 所示多层的组合岩梁结构,则在支承压力影响范围内,距煤壁 x 处煤层单位面积上承受的压力(σ_y)值可以近似看成是上覆各岩梁在该处作用的总和,即:

$$\sigma_y = \sum_1^n m_i \gamma_i + \sum_1^n m_i \gamma_i L_i C_{ix} \quad (1-3)$$

式中 σ_y ——距煤壁 x 处煤层上的支承压力;

n ——直接作用于该处的传递岩梁数目(或称为直接覆盖岩梁数),也就是在该处上方未出现离层的岩梁数;

m_i ——各传递岩梁厚度;

γ_i ——各传递岩梁的平均容重(体积力或体积质量);

L_i ——各传递岩梁的跨度;

C_{ix} ——各传递岩梁。

式(1-3)表明,煤壁前方各处的支承压力都可以看成是下列两部分作用的合成:

(1) 直接覆盖岩梁的单位重量,即 $\sum_1^n m_i \gamma_i$ 。这部分作用力

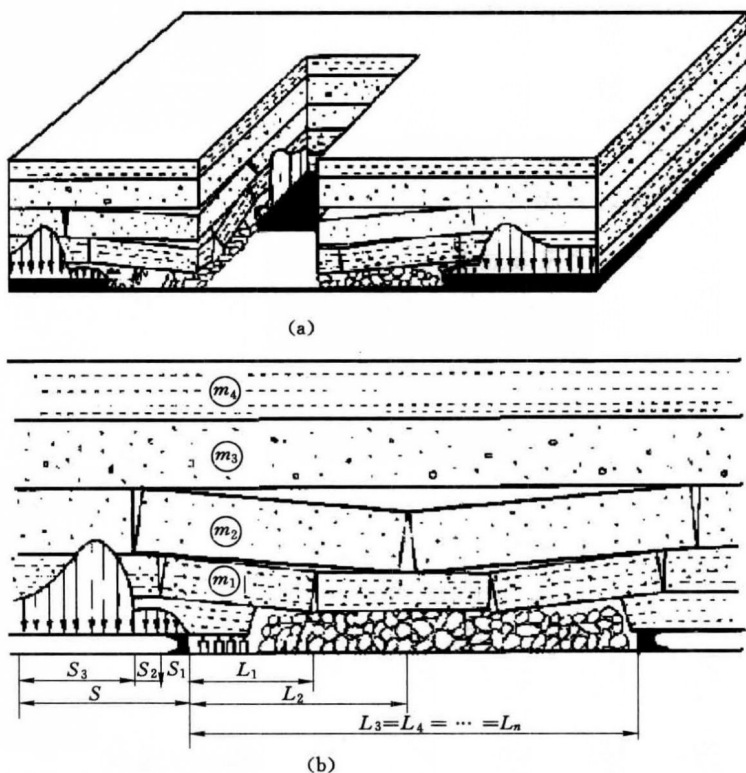


图 1-3 上覆岩层运动状态与支承压力分布

(a) 上覆岩层运动状态; (b) 支承压力分布

与直接覆盖岩层总厚度成正比。

(2) 直接覆盖岩梁悬跨度部分传递至该处的作用力, 即 $\sum_1^n m_i \gamma_i L_i C_{ix}$ 。这部分作用力在分配比率不变的情况下, 与各传递岩梁的厚度和跨度成正比。

在支承压力作用下发生的煤层压缩和破坏, 相应部位的顶底

板相对移动以及支架受力变形等现象统称为支承压力的显现。支承压力显现可以在采煤工作面和邻近的巷道中观测到。在采煤工作面可以看到的现象有煤壁的片塌和底板鼓起等。在超前巷道中,除了两帮煤壁的压缩和片塌外,顶底板移近和支架受力等压力显现也都是比较容易观测到的。

支承压力的存在是绝对的。支承压力的显现是支承压力作用的结果,就其显现的形式和程度而言,则是相对的、有条件的。因为,只有当煤层承受的压力值达到其扩容破坏的强度极限时才会发生明显压缩和破坏。而巷道支架受力或变形,不仅取决于煤层破坏后顶底板的相对移动,而且与支架对顶底板运动的抵抗程度有关。

总之,尽管支承压力的存在是支承压力显现的基础,但是不能简单地说有支承压力就一定有支承压力显现,更不能说支承压力显现最明显的地方,就一定是压力高峰所在的部位。在生产现场经常会出现支承压力大小和支承压力显现强度不一致,甚至截然相反的情况。

1.3.2 采场支承压力分布的基本规律

在工作面中部沿走向作一剖面,如图 1-4 所示,采煤工作面前后方支承压力的分布可分为四个区域,即工作面前方的原岩应力区(A)、应力增高区(B)、工作面后方的应力降低区(C)和应力稳定区(D)。

在工作面采空区沿倾斜作一剖面,当工作面一侧为实体煤,煤体上支承压力的分布规律如图 1-4 的 A 和 B 区;另一侧为煤柱和上一个工作面的采空区。因此,即在采空区存在应力降低区 C,煤柱上存在高应力区 B_2 ,以及上一个工作面采空区的压力稳定区 D。

1.3.3 关于两个应力场的理论

1.3.3.1 煤层上支承压力分布的构成及内外应力场的概念

研究证明,对应不同的开采深度和煤层强度条件,采场周围煤

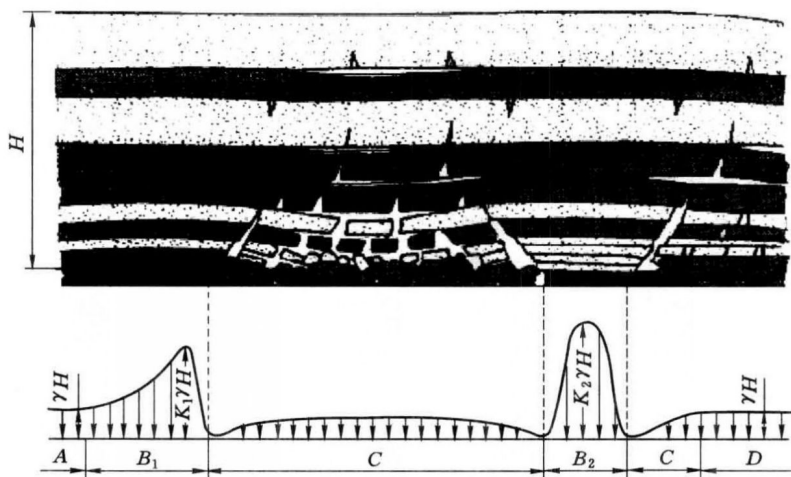


图 1-4 已采区及其两侧煤柱的应力分布

A——原岩应力区； B_1 、 B_2 ——应力增高区；

C——应力降低区；D——应力稳定区

层上支承压力分布可能有以下三种情况：

(1) 单一的弹性分布[图 1-5(a)]。这种分布的特点是压力高峰在煤层边缘，随与煤壁距离增加按负指数曲线规律递减。在从煤壁开始的整个分布范围内，煤层都处于弹性压缩状态。如果以图 1-6 所示的无冲击倾向煤层全应力应变曲线表达煤层破坏全过程，则该范围内煤层处于曲线中的弹性变形阶段(即 AB 线段)，所承担的压力与其弹性压缩变形量成正比。

此时，由于煤层边缘未遭破坏，覆盖岩层间保持了较高的接触应力，很难沿层面剪切滑移，这就决定了采场上覆各岩梁间的离层不可能深入到煤壁前方。因此，各岩梁的断裂只能在煤壁处发生，而且在岩梁断裂时，煤壁前方的巷道中除了可能观测到顶板反弹现象之外，将看不到顶底板移近等明显压力显现。

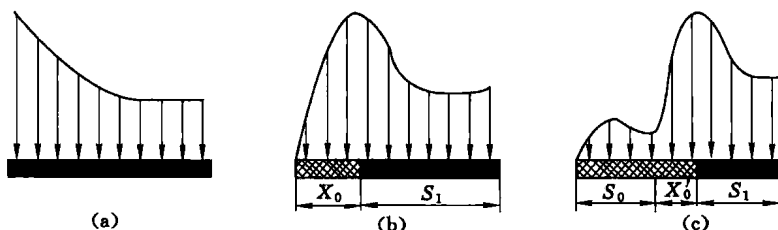


图 1-5 不同阶段支承压力的分布规律

(2) 出现塑性破坏区的分布[图 1-5 (b)]。该分布由塑性区(X_0)及弹性区(S_1)两个部分构成。其中弹性区煤层处于弹性变形状态,其压力分布是一个高峰在弹塑性交界处并向纵深发展逐渐下降至原始应力值的曲线,各部分压力与该处煤层的压缩成正比。相反,塑性区煤层已遭破坏,处于图 1-6 所示的全应力应变曲线中的 CDE 段(即塑性流变阶段)。显然,进入该状态的煤层,如果没有水平应力的约束(除非压力完全解除),其变形都将会继续扩展。因此,足够的水平应力是该部位煤层在一定压力下能保持稳定的条件。

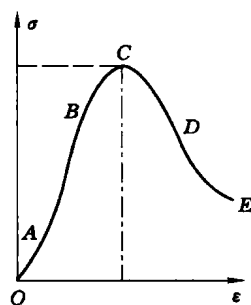


图 1-6 无冲击倾向煤的全应力应变曲线

鉴于从煤壁开始向纵深发展的各部位阻止煤层继续变形的水平应力逐渐增加,塑性区范围内煤层承载能力已大幅度下降,而且处于极不稳定的状态,因此,若上覆岩梁弯曲沉降及岩梁间接触应力消失,则这种状态为各岩梁间的层面剪切破坏和深入煤壁前方断裂创造了条件。

(3) 出现内应力场的分布[图 1-5(c)]。这种分布的主要特点是岩梁深入塑性区断裂,原来完整的应力场以岩梁断裂线为界,明