

国家重点基础研究发展计划(973计划)项目资助(2010CB226805)

煤矿围岩控制

窦林名 邹喜正 曹胜根 编著
陆菜平 牟宗龙 岑传鸿

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目资助(2010CB226805)

煤矿围岩控制

窦林名 邹喜正 曹胜根 编著
陆莱平 牟宗龙 岑传鸿

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤矿围岩控制/窦林名等编著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2010. 3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0606 - 0

I. ①煤… II. ①窦… III. ①煤矿—围岩变形—控制 IV. ①TD326

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 027956 号

书 名 煤矿围岩控制
编 著 窦林名 邹喜正 曹胜根 陆莱平 牟宗龙 岑传鸿
责任编辑 姜志方
责任校对 杜锦芝
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 徐州中矿大印发科技有限公司排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×960 1/16 印张 19 字数 360 千字
版次印次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷
定 价 28.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

序 言

我国煤矿中,因顶板事故而死亡的人数,一直居各种事故死亡人数之首。近年来,煤矿顶板事故约占全部事故死亡人数的40%。

顶板事故按力学原因有压、漏、推三类,需要支架的支、护、稳三种性能来解决。保证所需支、护、稳性能的支架参数,基本上可通过控顶(围岩)设计来确定;但日常生产中支架的参数是否达到设计的要求,还有与正常生产有关的一些顶板(围岩)动态,则必须通过日常监测来获得。可见,为保证安全而正常地进行生产工作,生产前必须进行合理的控顶(围岩)设计,生产过程中必须进行支护质量与顶板(围岩)动态的监测。这两方面正是科学管理顶板(围岩)的内容。生产实践表明,只要认真做好设计与监测工作,就能最大限度地消除顶板(围岩)的灾害。本书是在介绍采场与巷道顶板(围岩)事故的机理与预防措施的基础上,阐述控顶(围岩)设计与日常监测有关的内容。

本书是四年制本科煤矿开采专业的教材,也是煤矿安全生产技术管理工作人员的重要参考书。

作 者

2010年1月

目 录

第一编 采场顶板控制及监测

第一章 采场顶板控制的基本知识	3
第一节 顶板与底板.....	3
第二节 岩石的物理性质.....	4
第三节 岩石的力学性质.....	5
第四节 垮落带与裂隙带.....	7
第五节 采场上覆岩层活动规律的假说.....	8
第六节 垮落带岩层的确定	13
第七节 顶板事故基本类型及其对支架性能的要求	15
第八节 液压支架的性能	15
第九节 单体支架的性能	17
第十节 采场顶板的科学管理	24
第二章 采场顶板事故及预防	25
第一节 顶板事故分类	25
第二节 压垮型冒顶的机理及预防措施	26
第三节 漏冒型冒顶的机理及预防措施	31
第四节 推垮型冒顶的机理及预防措施	36
第五节 综合类型冒顶的机理及预防措施	40
第六节 对采场支架的基本要求	52
第三章 预防冒顶事故的采场控顶设计	55
第一节 概述	55
第二节 综采工作面控顶设计	57
第三节 综放工作面控顶设计	63
第四节 单体支柱工作面控顶距的确定	68
第五节 单体液压支柱工作面控顶设计	70

第六节	有关厚层难冒顶板工作面控顶设计的若干问题	76
第七节	有关确定 L_{ki} 与 L_{zx} 的若干问题	80
第八节	某矿 1022 单体液压支柱工作面控顶设计	84
第九节	某综采工作面控顶设计	100
第十节	某综放工作面控顶设计	113
第四章	顶板状态参数与采场支护参数	126
第一节	顶板状态参数	126
第二节	采场支护参数	129
第三节	支护参数与顶板状态参数的关系	131
第五章	支护质量与顶板动态监测	133
第一节	概述	133
第二节	综采工作面支护质量与顶板动态监测	134
第三节	单体液压支柱工作面支护质量与顶板动态监测	141

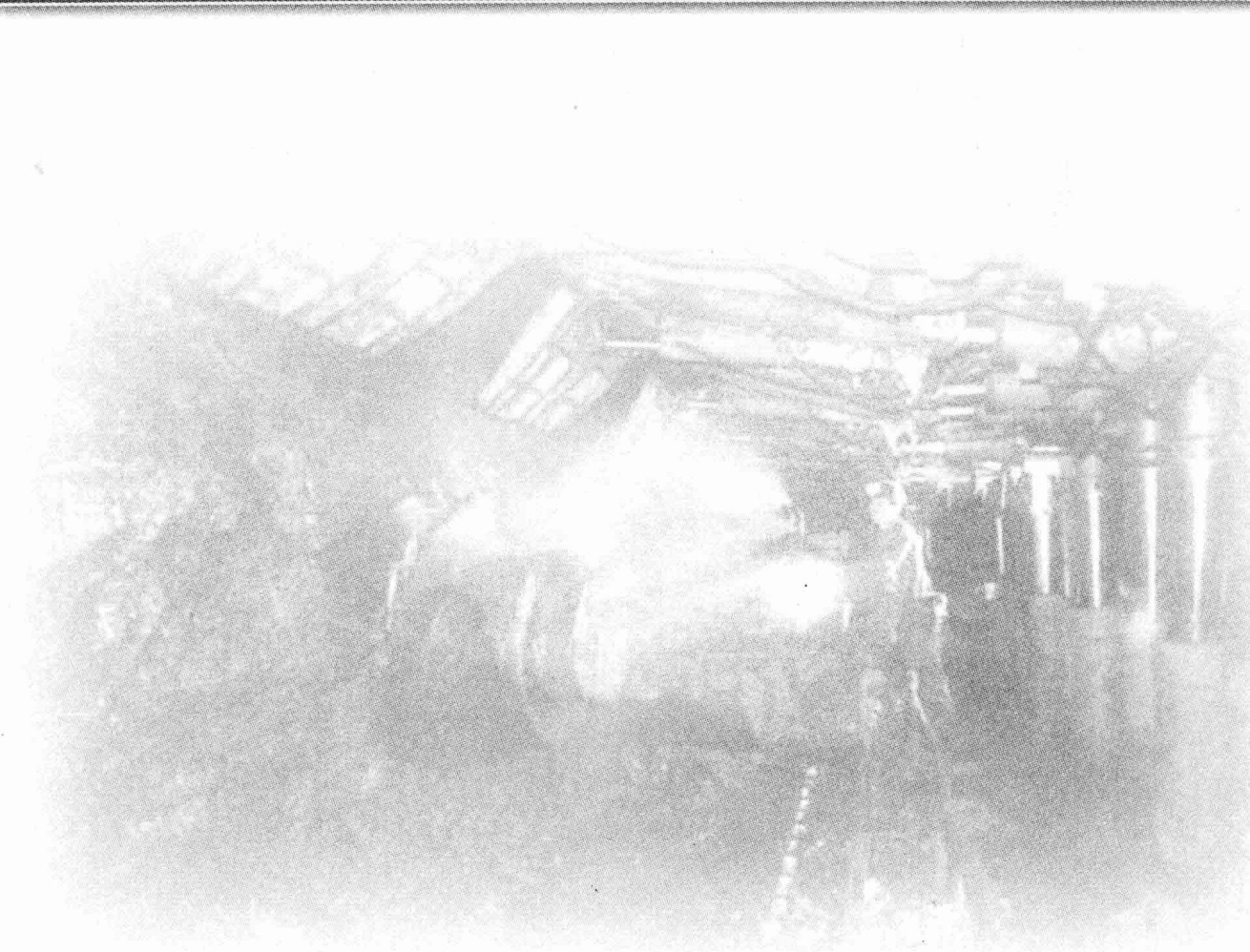
第二编 巷道顶板事故及监测

第一章	巷道矿压显现一般规律	151
第一节	巷道围岩应力及变形规律	151
第二节	采动影响巷道矿压显现规律	158
第二章	巷道顶板事故影响因素	169
第一节	概述	169
第二节	顶板岩层力学性质及冒落特征	173
第三节	巷道顶板事故影响因素	175
第三章	棚式支架巷道顶板事故分析	178
第一节	棚式支架巷道顶板事故基本形式	178
第二节	压垮型冒顶事故的机理及预防措施	179
第三节	推垮型冒顶事故的机理及预防措施	191
第四节	漏冒型冒顶事故的机理及预防措施	195
第五节	综合类型冒顶事故的机理及预防措施	199
第四章	锚杆支护巷道顶板事故分析	205
第一节	锚杆支护巷道冒顶基本形式	205
第二节	整体压冒型冒顶事故的机理及预防措施	207
第三节	松漏冒型冒顶事故的机理及预防措施	216
第四节	挤压破裂型冒顶事故的机理及预防措施	225

第五章 掘进工作面的临时支护和架间支护	231
第一节 掘进巷道临时支护.....	231
第二节 棚式支架架间支护和防倒装置.....	236
第六章 巷道支护设计	240
第一节 巷道围岩控制原理.....	240
第二节 无煤柱护巷.....	241
第三节 巷道卸压.....	245
第四节 棚式支架支护设计.....	254
第五节 锚杆支护设计.....	262
第六节 软岩巷道围岩变形规律及其支护技术.....	278
第七章 巷道支护质量监测	286
第一节 棚式支架支护质量监测.....	286
第二节 锚杆支护质量检查和监测.....	288
第三节 锚杆支护巷道顶板离层界限值的确定.....	290
参考文献	295

第一编

采场顶板控制及监测



第一章 采场顶板控制的基本知识

第一节 顶板与底板

在地下煤层中采煤时,称煤层上面的岩层为顶板。顶板又可分为直接顶与老顶。

众所周知,直接顶是较软(强度小)的岩层,老顶是较硬(强度大)的岩层。但是,岩层的硬与软不仅与岩石的强度有关,还与岩层厚度的大小有关。例如,岩石强度较大的砂岩,如果岩层厚度很小,则这个砂岩层的强度较小、较软;反之,岩石强度较小的砂页岩,如果其岩层厚度较大,则这个砂页岩层的强度较大、较硬。因此,我们建议用下述观点来判别老顶与直接顶。

可以把厚度大于 1.5~2.0 m、较坚硬的岩层称为老顶(实质上是牢顶),老顶主要是砂岩、石灰岩与砂砾岩。厚度小于 1.5~2.0 m、较软弱、下面又无老顶的岩层则是直接顶,直接顶主要是页岩与砂页岩。多数情况下煤层上面既有直接顶又有老顶,如图 1-1-1 所示。有时,煤层上面没有直接顶,直接就是老顶。

实践表明,采煤后顶板岩层是按分层由下而上依次逐个向下运动的。分层可能是同一岩性的一个岩层,可能是同一岩性较厚岩层中的一部分岩层;也可能是由下“硬”上“软”不同岩性岩层组成的岩层组,此时软岩层为硬岩层的附加岩层,硬岩层为本分层的基础岩层(分层中只有一个岩层时,它本身就是基础岩层)。

当分层包含岩层组时,作为基础岩层的硬岩层只有一个岩层,而作为附加岩层的软岩层则可能有几个岩层。

分层的属性(老顶或直接顶)由基础岩层的属性确定。基础岩层是老顶则为老顶分层,基础岩层是直接顶则为直接顶分层。分层(及其基础岩层)的层位,按惯例由下而上排列,即第一层直接顶分层(第一层直接顶)、第二层直接顶分层(第二层直接顶)等,第一层老顶分层(第一层老顶)、第二层老顶分层(第二层老

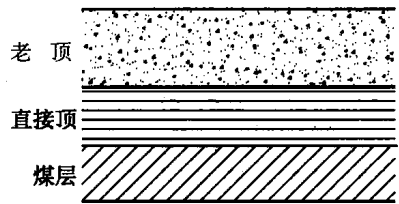


图 1-1-1 煤层上面有直接顶和老顶

顶)等。

在煤层和直接顶(或老顶)之间,有时存在一层厚度小于0.5 m、随采随冒的软弱岩层,叫做伪顶,常见的伪顶有碳质页岩、泥质页岩等。

伪顶冒落下来后,有时将它抛弃到采空区内,有时则随着采落的煤炭一起运出采场。如果采取抛弃到采空区内的方式,则控顶设计时直接顶厚度应包括伪顶厚度。如果是随煤炭运出采场,则控顶设计时煤层采高应包括伪顶厚度。此外,在考虑采场支架或支柱的高度时,煤层采高也应包括伪顶厚度。

当老顶分层基础岩层厚度大于4 m时,则该老顶分层为厚层难冒顶板。

与煤层顶板相对应,采煤时称煤层下面的岩层为底板。直接在煤层下面的岩层叫做直接底。

顶板控制主要是管好直接顶和老顶。直接底过于软弱时,会给顶板控制带来一定的困难。

第二节 岩石的物理性质

与顶板控制关系较大的岩石物理性质有岩石的容重(现一般称为体积力)、碎胀性及软化性。

岩石的容重是指单位体积(包括空隙体积)岩石的重量,煤矿中常见岩石的容重见表1-1-1。

表 1-1-1 煤矿中常见岩石的容重

岩石种类	容重/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$
石灰岩	22~26
砂岩	20~26
页岩	20~24
煤	12~14

岩石破碎以后的体积将比整体状态下的体积大,这个性质称为岩石的碎胀性;岩石的碎胀性用岩石的碎胀系数 K (岩石破碎膨胀后的体积与岩石处于整体状态下体积的比值)表示。岩石破碎后,在其自重和外加载荷的作用下会逐渐被压实,体积随之减小,碎胀系数比初始破碎时相应地变小;破碎岩石被压实后的体积与破碎前原始体积之比称为岩石的残余碎胀系数,以 K' 表示。煤矿中常见岩石的碎胀系数见表1-1-2。

表 1-1-2 煤矿中常见岩石的碎胀系数

岩石名称	碎胀系数 K	残余碎胀系数 K'
硬砂岩	1.5~1.8	—
砂质页岩	1.6~1.8	1.1~1.15
黏土页岩	1.4	1.1
碎煤	<1.2	1.05

岩石浸水后,强度明显降低,通常用软化系数 η_c 表示水对岩石强度的影响程度。软化系数 η_c 是水饱和岩石试件的单向抗压强度与干燥岩石试件单向抗压强度的比值。软化系数 η_c 愈接近于 1,表明岩石的软化性愈小。表 1-1-3 为煤矿中几种常见岩石的软化系数值,由该表可见,各种岩石的软化系数都小于 1,说明岩石都具有软化性。

表 1-1-3 煤矿中常见岩石的软化系数值

岩石名称	干试件抗压强度/MPa	水饱和试件抗压强度/MPa	软化系数
石灰岩	13.1~202.6	7.6~185.4	0.58~0.94
砂岩	17.1~245.8	5.6~240.6	0.44~0.97
页岩	55.8~133.3	13.4~73.6	0.24~0.55

第三节 岩石的力学性质

岩石是兼有弹性与塑性的材料。岩石受力后既可能出现弹性变形,也可能出现塑性变形,而且弹性变形与塑性变形往往同时出现。与顶板控制关系较大的岩石的力学性质是岩石的强度。

岩石试件在单向压缩时所能承受的最大压应力值叫做岩石的单向抗压强度;岩石试件在单向拉伸时所能承受的最大拉应力值叫做岩石的单向抗拉强度;岩石试件所能承受的最大剪应力值叫做岩石的抗剪强度。我国若干煤田顶底板岩石的单向抗压、单向抗拉和抗剪强度见表 1-1-4。

应当指出,岩石试件在三向压应力作用下所能承受的最大轴向应力值称为岩石的三向抗压强度;岩石三向抗压强度比单向抗压强度大得多。煤矿中常见煤、岩的三向抗压强度见表 1-1-5。

表 1-1-4 我国若干煤田顶、底板岩石强度值

岩石种类	单向抗压强度/MPa	单向抗拉强度/MPa	抗剪强度/MPa
石灰岩	52.9~157.8	7.7~13.8	9.8~30.4
砾岩	80.4~94.0	4.0~11.76	6.6~26.4
砂砾岩	6.9~121.5	2.8~9.7	7.0~28.8
细砂岩	103.9~143.0	5.5~17.6	17.4~53.4
中砂岩	85.7~133.3	6.0~14.0	13.3~36.5
粗砂岩	56.8~123.5	5.4~11.6	12.4~30.4
粉砂岩	36.3~54.9	1.3~2.4	6.86~11.5
砂质页岩	39.2~90.2	3.9~11.8	20.6~29.9
页岩	18.6~39.2	2.7~5.4	15.6~23.3
煤	4.9~49.0	2.0~4.9	1.08~16.2

表 1-1-5 煤矿中常见煤、岩三向抗压强度

岩石种类	不同围压(MPa)作用下岩石的抗压强度/MPa								
	0	9.8	19.6	29.4	39.2	49.0	58.8	78.4	151.9
白云质石灰岩	156.8		274.4		372.4			558.6	
石英砂岩	158.5	218.9	210.8	251	305.3	354.7			
砂岩	67.6								475.3
砂页岩	58.8						377.3		
硬煤	19.6					166.6		406.7	

根据实验研究,岩石在不同受力状态下的各种强度值,一般符合下列由大到小的顺序:三向等压抗压强度,三向不等压抗压强度,双向抗压强度,单向抗压强度,抗剪强度,单向抗拉强度。

还应当指出,以上所论述的岩石强度都是指岩石试件的强度,而顶板岩层则是一个岩体,由于岩层中存在裂隙、层理和弱面,所以岩体的强度比岩石强度小得多,有人认为只有岩石强度的 1/20~1/5。

此外,要提到的还有岩石的蠕变特性。蠕变是指岩石在应力不变的条件下,应变随时间延长而增加的现象。

第四节 垮落带与裂隙带

一个采煤工作面,在煤被采出后,通常在靠煤壁处用支架维护出一个不大的采空空间作为工作空间(包括机道、人行道与材料道等,如图 1-1-2 所示),多余的采空空间就是采空区。

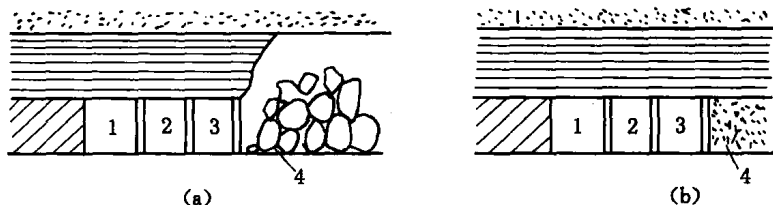


图 1-1-2 工作空间与采空区处理

(a) 全部垮落法; (b) 充填法

1——机道; 2——人行道; 3——材料道; 4——采空区

我国煤矿采空区的处理基本上是采用全部垮落法,即让采空区上方部分顶板自然垮落下来(有时需人工强制其垮落);个别情况下也有用矸石充填采空区的,这种处理采空区的方法叫做充填法(如图 1-1-2 所示)。本书基本上是论述用垮落法处理采空区时顶板的活动规律及其控制方法,因此书中只要未说明用充填法处理采空区,那就意味着是用垮落法处理采空区。

在煤层中采煤并用全部垮落法处理采空区后,采空空间上方顶板岩层自下而上形成垮落带、裂隙带与弯曲下沉带,如图 1-1-3 所示。与采场生产关系密切的是垮落带与裂隙带。垮落带岩层(包括直接顶和老顶)是指不支撑就会垮落的那部分岩层;裂隙带岩层(主要是老顶,直接顶很厚时也包括直接顶)在其断裂、旋转、下沉及触矸过程中,岩块间能够互相挤紧,从而形成能够承受载荷的平衡结构,并把自身及附加岩层的重量施加到采空空间周围的岩体及冒矸之上。



图 1-1-3 采空区上方岩层划分为“三带”

众所周知,为保证采场安全而正常地进行生产,采场支架的支撑力至少应能支撑住垮落带岩层的重量,支架的可缩量应能适应垮落带或裂隙带岩层的下沉。因此,实践中确定垮落带岩层及其厚度是个非常关键的问题。

应说明一点,采场控顶中垮落带与裂隙带的涵义及其划分,与“三下”采煤中

垮落带、裂隙带与弯曲下沉带的涵义及其划分不尽相同,请勿混淆。

第五节 采场上覆岩层活动规律的假说

采煤后,采场支架及采场围岩所受到的力叫做矿山压力。为探索采场上覆岩层活动规律与矿山压力的关系,人们提出了一些假说。

一、压力拱假说

压力拱假说是由德国人哈克(W. Hack)和吉里策尔(G. Gillitzer)于1928年提出的。此假说认为,在采煤工作空间上方,由于岩层自然平衡的结果而形成了一个“压力拱”。拱的一个支撑点是在工作面前方煤体内,形成了前拱脚a,而另一个支撑点是在采空区内已垮落的矸石上或采空区的充填体上,形成了后拱脚b,如图1-1-4所示。随着工作面的推进,前、后拱脚也将向前移动。a、b均为应力增高区。在前、后拱脚之间,无论在顶板或底板中都形成了一个减压区,采煤工作面处于应力降低区,支架只承受压力拱内部分岩石的重量。

压力拱假说对采煤工作面前后的支承压力及采煤工作空间处于减压范围做出了粗略的但却是经典的解释,而对于此拱的特性、岩层变形、移动和破坏的发展过程以及支架与围岩的相互作用,并没有做任何分析。

二、悬臂梁假说

悬臂梁假说是由德国的施托克(K. Stoke)于1916年提出的,后得到英国的弗里德(I. Friend)、前苏联的格尔曼等的支持。此假说认为,工作面和采空区上方的顶板可视为梁,它一端固定于岩体内,另一端则处于悬伸状态。当顶板由几个岩层组成时,形成组合悬臂梁。悬臂梁会弯曲下沉,当悬伸长度很大时,会发生有规律的周期性折断,从而引起周期来压。

此假说可以解释工作面近煤壁处顶板下沉量小,支架载荷也小,而距煤壁越远则两者均大的现象。同时也可以解释工作面前方出现的支承压力及工作面出现的周期来压现象。

根据上述观点,提出了各种计算方法,但由于并未查明开采后上覆岩层的活

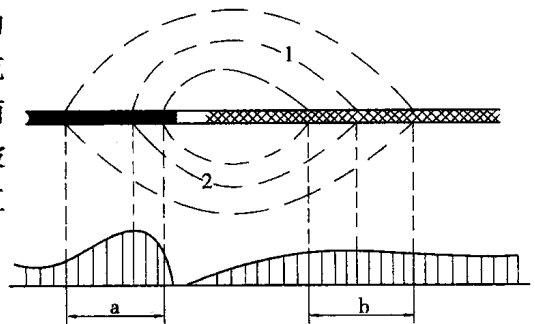


图 1-1-4 采煤工作面压力拱假说

a——前拱脚;b——后拱脚;
1——顶板内压力拱轴线;2——底板内压力拱轴线

动规律,因此仅凭悬臂梁本身计算所得的顶板下沉量和支架载荷与实际所测得的数据相差甚远。

三、铰接岩块假说

铰接岩块假说由前苏联库兹涅佐夫于1950~1954年提出。此假说认为,工作面上覆岩层的破坏可分为垮落带和其上的规则移动带。垮落带分上下两部分,下部垮落时,岩块杂乱无章;上部垮落时,则呈规则的排列,但与规则移动带的差别在于无水平方向有规律的水平挤压力的联系。规则移动带下部岩层的厚度不小于其下自由空间高度,岩块间可以相互铰合而形成一条多环节的铰链(即三铰拱式平衡),并有规则地在采空区上方下沉而不垮落(如图1-1-5所示)。

此假说对支架和围岩的相互作用做了较详细的分析。假说认为,工作面支架存在两种不同的工作状态。当规则移动带(相当于老顶)下部岩层变形小而不发生折断时,垮落带岩层(相当于直接顶)和老顶间就可能发生离层,支架最多只承受直接顶折断岩层的全部重量,这种情况称支架处于“给定载荷状态”。当直接顶受老顶影响折断时,支架所承受的载荷和变形将随规则移动带下部岩块的下沉不断增加,直到岩块受已垮落岩石的支撑达到平衡为止,这种情况称为支架的“给定变形状态”。

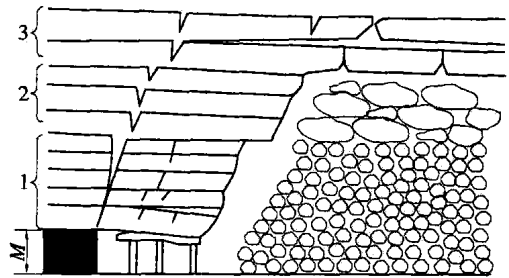


图 1-1-5 铰接岩块假说

- 1——不规则垮落带;2——规则垮落带;
3——裂隙带(规则移动带)

铰接岩块假说正确地阐明了工作面上覆岩层的分带情况,并初步涉及岩层内部的力学关系及其可能形成的“结构”。但此假说未能对铰接岩块间的平衡条件做进一步探讨。

四、预成裂隙假说

预成裂隙假说由比利时学者 A·拉巴斯于20世纪50年代初几乎与铰接岩块假说在同一时期提出,假塑性梁是此假说中的主要组成部分。事实上,此假说是从另一侧面解释了破断岩块的相互作用关系。此假说认为,由于开采的影响,采煤工作面上覆岩层的连续性遭到破坏,从而成为非连续体。在采煤工作面周围存在着应力降低区、应力增高区和采动影响区。随着工作面推进,三个区域同时相应地向前移动,如图1-1-6所示。其中,Ⅰ为应力降低区;Ⅱ为应力增高区,

包围面 S_E 上的剪应力达最大；III 为采动影响区。

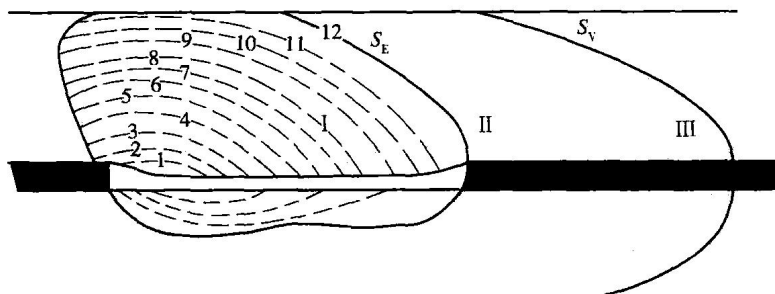


图 1-1-6 预成裂隙假说

由于开采后上覆岩层中存在各种裂隙,这些裂隙有可能是由于支撑压力作用而形成的,它可能是平行于正压应力的张开裂隙,也可能是与正压应力成一定交角的剪切裂隙,从而使岩体发生很大的类似塑性体的变形,因而可将其视为“假塑性体”。这种被各种裂隙破坏了的假塑性体处于一种彼此被挤紧的状态时,可以形成类似梁的平衡;在自重及上覆岩层的作用下,将发生明显的假塑性弯曲;当下部岩层的下沉量大于上部岩层时,就产生离层(如图 1-1-7 所示)。

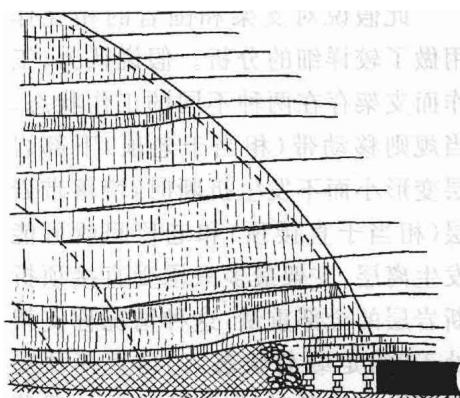


图 1-1-7 顶板岩层的假塑性弯曲

此假说认为,为了有效地控制顶板,应保证支架有足够的初撑力和工作阻力,并应及时支撑住顶板岩层,使各岩层及岩块之间保持挤紧状态,借助于彼此之间的摩擦阻力,阻止岩层破断岩块之间的相对滑移、张裂与离层。

五、我国学者在岩体结构力学模型上的发展

我国学者钱鸣高院士在总结铰接岩块假说及预成裂隙假说的基础上,以及在大量生产实践及对岩层内部移动进行现场观测的基础上,于 20 世纪 70 年代末 80 年代初提出了岩体结构的“砌体梁”力学模型,从而发展了上述有关假说。

“砌体梁”结构认为:采场上覆岩层的岩体结构骨架是覆岩中的坚硬岩层,可将上覆岩层划分为若干组,每组以坚硬岩层为底层,其上部的软弱岩层可视为直接作用于骨架上的载荷。随着工作面的推进,采空区上方坚硬岩层在裂隙带内