

Meikuang Weiyari  
Kongzhi Yu Jiance

# 煤矿围岩控制与监测

窦林名

邹喜正

曹胜根

陆菜平

编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

# 煤矿围岩控制与监测

编 著 窦林名 邹喜正  
曹胜根 陆莱平  
主 审 岑传鸿 汪理全

中国矿业大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

煤矿围岩控制与监测/窦林名等编著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2007. 2

ISBN 978-7-81107-595-3

I. 煤… II. 窦… III. ①煤矿—围岩变形—控制  
②煤矿—围岩变形—监测 IV. TD326

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 023678 号

**书 名** 煤矿围岩控制与监测

**编 著** 窦林名 邹喜正 曹胜根 陆菜平

**责任编辑** 耿东锋 杨传良

**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** 14.5 **字数** 353 千字

**版次印次** 2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

**定 价** 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 应用型本科教材编写委员会

**主 任** 朱开永

**副主任** 范中启 冯平安

**编 委** 沈通生 汪理全 柳昌庆 邸治乾 武 增

梁士杰 曾蒲君 李志聃 欧泽深 徐全海

史丽萍 杨胜强 王启广 李壮福 张双全

陈增强 王东权

## 前 言

我国煤矿中,因顶板事故而死亡的人数,多少年来一直居各种事故死亡人数之首,只有极个别年份与瓦斯事故而死亡的人数相当。本书要解决的就是预防发生顶极事故问题,对采矿工程专业的学子,这无疑是一门非常重要的课程。

实践表明,只要领导重视,狠抓技术与管理,完全可能降低顶板事故的百万吨死亡率。例如,原煤炭部自1985年开始狠抓这项工作,至1996年煤炭部被撤销,部属大型煤矿顶极事故的百万吨死亡率由1.8减小到0.36。在这段时间中,技术上在采场大力推广应用液压自移支架与单体液压支柱,在巷道大力推广应用U形钢可缩支架及锚杆支护;管理上制定了许多控制措施与指标并大力推广应用“支护质量与顶极动态监测”新技术,把顶板管理工作由经验型推进到科学型。有关内容,本书中都有反映,而且在一些方面还有所发展。

本书是按四年制本科采矿工程专业的要求编写的。由于学时的限制,一些只为定性用的力学推导,只保留其结论而不介绍其过程,这样做一点也没有降低解决实际问题的水平。此外,本书在紧密与生产实践相结合方面,可能做得更好一些。

作 者

2006年12月

# 目 录

## 第一篇 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	6
第五节 采场上覆岩层活动规律的假说	7
第六节 垮落带岩层的确定	11
第七节 顶板事故基本类型及其对支架性能的要求	13
第八节 液压支架的性能	13
第九节 单体支架的性能	15
第十节 采场顶板的科学管理	21
第二章 采场顶板事故及预防	23
第一节 顶板事故分类	23
第二节 压垮型冒顶的机理及预防措施	24
第三节 漏冒型冒顶的机理及预防措施	28
第四节 推垮型冒顶的机理及预防措施	32
第五节 综合类型冒顶的机理及预防措施	35
第六节 对采场支架的基本要求	44
第三章 预防冒顶事故的采场控顶设计	47
第一节 概述	47
第二节 综采工作面控顶设计	48
第三节 单体支柱工作面控顶距的确定	52
第四节 单体液压支柱工作面控顶设计	53
第五节 初放阶段的顶板控制	57
第六节 采场控顶设计示例	58
第四章 顶板状态参数与采场支护参数	71
第一节 顶板状态参数	71

第二节	采场支护参数 .....	73
第三节	支护参数与顶板状态参数的关系 .....	75
<b>第五章</b>	<b>支护质量与顶板动态监测 .....</b>	<b>76</b>
第一节	概述 .....	76
第二节	综采工作面支护质量与顶板动态监测 .....	76
第三节	单体液压支柱工作面支护质量与顶板动态监测 .....	82

## 第二篇 巷道顶板事故及监测技术

<b>第一章</b>	<b>巷道矿压显现一般规律 .....</b>	<b>91</b>
第一节	巷道围岩应力及变形规律 .....	91
第二节	采动影响巷道矿压显现规律 .....	97
<b>第二章</b>	<b>巷道顶板事故影响因素 .....</b>	<b>105</b>
第一节	概述 .....	105
第二节	顶板岩层力学性质及冒落特征 .....	107
第三节	巷道顶板事故影响因素 .....	109
<b>第三章</b>	<b>棚式支架巷道顶板事故分析 .....</b>	<b>112</b>
第一节	棚式支架巷道顶板事故基本形式 .....	112
第二节	压垮型冒顶事故的机理及预防措施 .....	113
第三节	推垮型冒顶事故的机理及预防措施 .....	123
第四节	漏冒型冒顶事故的机理及预防措施 .....	126
第五节	综合类型冒顶事故的机理及预防措施 .....	130
<b>第四章</b>	<b>锚杆支护巷道顶板事故分析 .....</b>	<b>136</b>
第一节	锚杆支护巷道冒顶基本形式 .....	136
第二节	整体压冒型冒顶事故的机理及预防措施 .....	137
第三节	松漏冒型冒顶事故的机理及预防措施 .....	146
第四节	挤压破裂型冒顶事故的机理及预防措施 .....	153
<b>第五章</b>	<b>掘进工作面的临时支护和架间支护 .....</b>	<b>159</b>
第一节	掘进巷道临时支护 .....	159
第二节	棚式支架架间支护和防倒装置 .....	164
<b>第六章</b>	<b>巷道支护设计 .....</b>	<b>168</b>
第一节	巷道围岩控制原理 .....	168
第二节	无煤柱护巷 .....	169

第三节	巷道卸压·····	172
第四节	棚式支架支护设计·····	180
第五节	锚杆支护设计·····	190
第六节	软岩巷道围岩变形规律及其支护技术·····	205
<b>第七章</b>	<b>巷道支护质量监测·····</b>	<b>214</b>
第一节	棚式支架支护质量监测·····	214
第二节	锚杆支护质量检查和监测·····	216
第三节	锚杆支护巷道顶板离层界限值的确定·····	219
<b>参考文献</b> ·····		<b>222</b>



# 第一篇 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(指牢固的顶板)。

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性的强度有关,还与岩层厚度的大小有关。例如,岩性强度较大的砂岩,如果岩层厚度很小,则这个砂岩层的强度较小、较软;反之,岩性强度较小的砂页岩,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,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,见图1-1-1。有时,煤层上面没有直接顶,直接就是老顶。

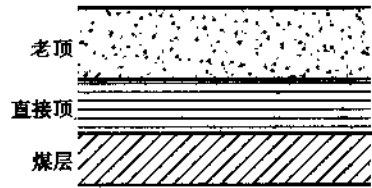


图 1-1-1 煤层上面有直接顶和老顶

实践表明,采煤后顶板岩层是按分层由下面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),依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)等等,第一层老顶分层(第一层老顶)、第二层老顶分层(第二层老顶)等等。

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。

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。

顶板管理主要是管好直接顶和老顶。直接底过于软弱时,也会给顶板管理带来一定的困难。

## 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(现一般称为重力密度)、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
粘土页岩	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  $\eta_r$  表示水对岩石强度的影响程度。软化系数  $\eta_r$  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  $\eta_r$  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。

表 1-1-4 我国若干煤田顶、底板岩石的强度值

岩石种类	抗压强度/MPa	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

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;岩石的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 1-1-5 煤矿中常见煤、岩的三向抗压强度

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			475.3
砂岩	67.6								
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五分之一至二十分之一。

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,见图 1-1-2),多余的采空空间就是采空区。

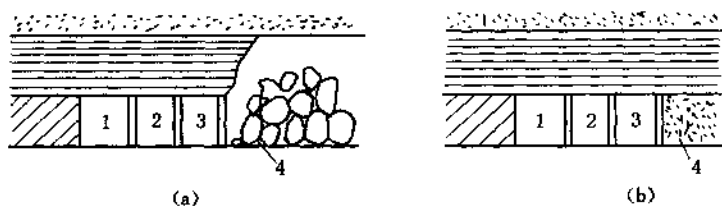


图 1-1-2 工作空间与采空区处理  
(a) 全部垮落法;(b) 充填法  
1—机道;2—人行道;3—材料道;4—采空区

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(见图 1-1-2)。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,见图 1-1-3。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。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。



图 1-1-3 采空区上方岩层划分为“三带”

应当说明一点,采场控顶中垮落带与裂隙带的含义及其划分,与“三下”采煤中垮落带、裂隙带与弯曲下沉带的含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。

最早的采场矿山压力假说当推压力拱假说与悬臂梁假说。进入 20 世纪 50 年代,随着长壁工作面开采技术的发展、采场上覆岩层运动的观测以及支护技术的发展,对采场上覆岩层运动时的结构形式有了新的认识,此时提出的矿山压力假说当推铰接岩块假说以及岩体预成裂隙假说。

### 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,工作面则处于应力降低区。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,采煤工作面的支架只承受压力拱内的岩石重量。

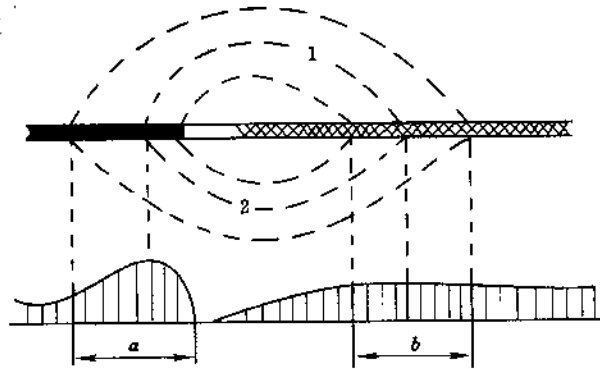


图 1-1-4 采煤工作面压力拱假说

$a$ ——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

压力拱假说对采煤工作面前后的支撑压力及采煤工作空间处于减压范围做出了粗略但是经典的解释,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。在悬臂梁弯曲下沉后,受到已垮落岩石的支撑,当悬伸长度很大时,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撑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活动规律,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。规则移动带岩块间可以相互铰合而形成一条多环节的铰链,并有规则地在采空区上方下沉(如图1-1-5所示)。

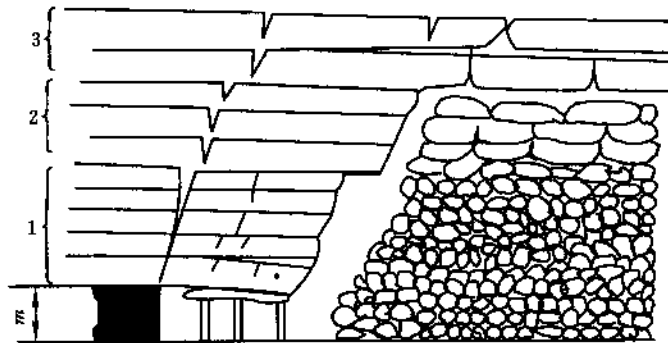


图 1-1-5 铰接岩块假说

1——不规则垮落带;2——规则垮落带;3——裂隙带

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取决于规则移动带下部岩块的相互作用,载荷和变形将随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”。铰接岩块间的平衡关系为三铰拱式的平衡。

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碎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。在采煤工作而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  $S_F$  上的剪应力达最大;Ⅲ为采动影响区。



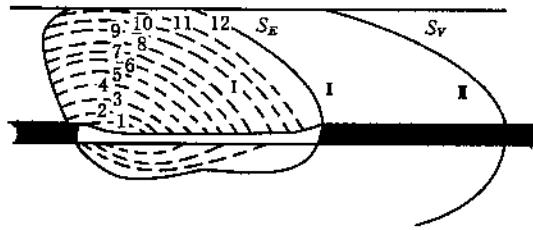


图 1-1-6 预成裂隙假说

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。

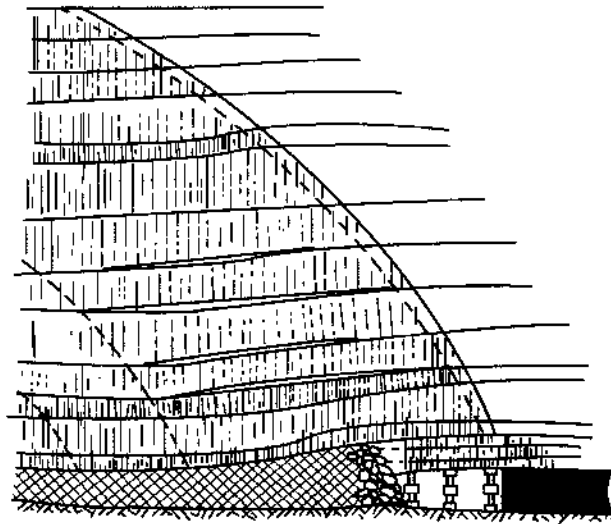


图 1-1-7 顶板岩层的假塑性弯曲

此假说认为,为了有效地控制顶板,应保证支架具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”结构是基于采动岩体移动的如下特征而提出的:

(1) 采动上覆岩层的岩体结构的骨架是覆岩中的坚硬岩层,可将上覆岩层划分为若干