

任德惠 编著

缓斜煤层 采场压力分布规律 与合理巷道布置

TD823.21

工业出版社

内 容 提 要

本书着重论述了缓斜煤层回采工作面压力分布规律。作者根据多年的现场实测和实验室相似模拟的研究,在矿压理论的基础上,提出了回采工作面在固体介质中运动的压力传播的力学模型。根据采场压力分布规律,将回采工作面前后方顶板压力分布状态,划分成八个区域。作者在引用各种力学理论的基础上,分析了开采层底板的受力情况,认为:当回采工作面前方的支承压力为非均匀荷载时,传递在底板岩层中压力显现区的应力曲线为斜交椭圆图象。

书中在阐明缓斜煤层采场压力分布规律的基础上,着重论述了采动压力和巷道位置的关系,并提出了确定合理巷道位置和支架结构的计算方法。

本书可供煤矿地下开采的工程技术人员,设计人员以及煤矿院校地下开采专业的师生参考。

缓斜煤层采场压力分布规律

与合理巷道布置

任德惠 编著

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $3^{5/8}$

字数 92 千字 印数 1—3,500

1982年2月第1版 1982年2月第1次印刷

书号15035·2448 定价0.60元



序 言

在采矿过程中,岩体受采动影响,改变了原始应力状态,引起岩体变形、离层、移动、破坏和冒落等矿压显现规律。人们利用上述规律采取相应的技术措施,达到有效地控制顶板的目的,获得安全和较好的技术经济效果。显而易见,矿山压力与矿井开拓部署、巷道布置、井巷支护、顶板管理、地面建筑保护和资源回收等,都有直接关系。因此近几十年来矿山压力一直为各国采矿学者所重视,并认为它是矿山工程的基础理论之一。

随着岩石力学、土力学、断裂力学和弹塑性理论等近代应用力学在矿压研究中不断的应用,矿压理论的研究有了很大的发展和提高。但是,由于地质构造千变万化,以及开采过程中岩层移动、变形的复杂性和“不可见性”,因而还不可能用一种矿山压力理论来解决所有矿山的生产实际问题。目前,只能在一定的地质和生产技术条件下,近似地应用某一种矿压理论;而在另一种地质和生产技术条件下,又只能近似地应用它种矿压理论。到目前为止,矿山压力理论的状况就是如此。鉴于此,在研究某一特定条件下的矿山压力时,应将现场观测、实验室研究和理论分析三者结合起来,才能获得比较好的效果。

回采工作面是矿井生产的中心,在综合机械化采煤广泛发展的今天,回采工作面矿压显现和支架的关系,理所当然地为各国矿压研究者特别重视。巷道位置的合理选择是改善巷道维护状况的治本措施,因此也是矿压研究中十分重要的课题。井下各类巷道则是矿井生产的动脉,这些巷道维护的好坏主要取决于矿山压力的影响程度。因此,应根据矿山压力显现规律,合理选择巷道位置、支护型式,进行支架结构计算,达到减轻采动压力影响,改善巷道维护条件,这些问题都是矿压理论急待解决的关键问题。

本书主要内容是作者几年来对上述问题在现场进行矿山压力观测和实验室相似模拟研究所得的成果。作者对缓斜煤层采场压力分布规律做了详细分析后,提出了回采工作面在固体介质中运动时形成压力传播的力学模型。根据采场压力分布规律,将回采工作面前后方顶板压力分布状态,划分成八个区域。在引用各种力学理论的基础上,分析了开采层底板的受力情况。作者认为:当回采工作面前方的支承压力为非均布荷载时,传递在底板岩层中压力显现区内的应力曲线为斜交椭圆图象。

在阐明缓斜煤层采场压力分布规律的基础上,着重论述了采动压力与巷道位置的关系,提出了确定合理巷道位置和支架结构的计算方法。

本书写作过程中鲜学福、马心校、谢晋洋和罗方杰等同志曾给予很大的帮助,特表谢意。

目 录

序言

第一章 采场矿压的传播	1
第一节 概述	1
第二节 回采工作面矿压显现	6
第三节 采场矿压传播	18
第二章 采场周围压力分布规律	24
第一节 回采工作面上覆岩层的运动	24
第二节 回采工作面前后方的压力分布	35
第三节 回采工作面两侧（左右方）压力分布	47
第四节 开采层底板岩层内的应力分布	55
第三章 附加应力计算	59
第一节 岩体应力	59
第二节 极坐标内平面问题的基本微分方程	61
第三节 计算附加应力的依据	67
第四节 在煤柱集中压力作用下的附加应力	70
第五节 附加应力的影响深度	76
第四章 采动压力与巷道位置关系	79
第一节 采动压力对巷道的影响	80
第二节 巷道受单侧采动压力影响及预防措施	82
第三节 巷道受双侧采动压力影响及预防措施	90
第四节 回采工作面与巷道方位	94
第五章 选择合理巷道位置	98
第一节 工作面前方巷道位置	98
第二节 开采层底板的巷道位置	101
第三节 在采空区底板岩层中的巷道位置	103
第四节 两层煤同时开采的合理错距	108
参考文献	110

第一章 采场矿压的传播

煤层开采后，在回采空间上方形成梁或拱，以承受上覆岩层的重量，并将其荷载传递到工作面前方煤壁和后方采空区冒落的矸石上，于是在前方煤壁和采空区矸石上形成支承压力。这种支承压力随着工作面的推进连续向前传递。本章将具体讨论回采工作面推进时，采动压力连续向前传播的情况。

第一节 概 述

地壳内岩体，未采动前处于原始应力平衡状态；因采矿工作开掘了各类巷道，这就破坏了原始应力状态，使巷道周围的岩层应力在一定区域内重新分布。由于巷道周围岩石的性质和强度不同，巷道的断面和形状以及其他一些影响因素的不同，所以巷道周围产生的变形、移动和破坏的程度也不一样。一般情况下，巷道开掘后，直接位于巷道上方的一部分岩层的支承点就发生移动。采空区上部的岩柱重量就转移到巷道两侧，使巷道两侧荷载增加形成应力集中，如图1-1所示。

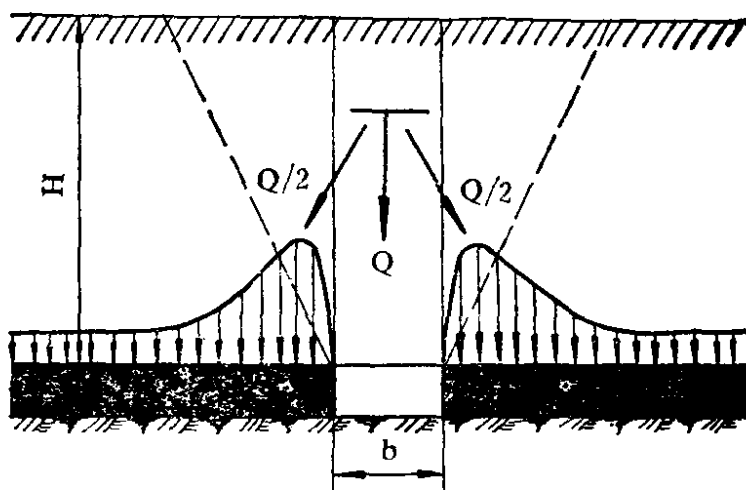


图 1-1 巷道两侧集中应力的形成

如果巷道上方单位长度的岩柱重量为:

$$Q = b\gamma H \quad (1-1)$$

式中 b ——巷道宽度, 米;

γ ——上覆岩层平均容重, 吨/米³;

H ——巷道顶板距地表深度, 米。

则巷道每侧所增加的荷载应为:

$$Q/2 = b\gamma H/2$$

实际上巷道上方岩层并非松散体, 而是既互相连续又有裂隙的, 构造上比较复杂的非均质岩体。因此巷道两侧所增加的荷载不能完全依此计算。现场实测和实验室研究的结果表明, 巷道周边形成的应力集中, 宜用集中系数表示, 此值一般在2~4之间。当集中应力超过巷道围岩的极限强度时, 将导致巷道周围岩层变形、裂隙、破坏和垮落, 这就是巷道开掘后通常要支护的最基本原因。

人们从长期的井下生产实践中知道, 由于矿山压力的作用经常会发生巷道支架折损、底鼓、片帮和顶板垮落等现象。然而如何确切地掌握矿山压力显现规律和准确地计算出矿山压力大小, 以便采取措施防止事故发生, 并在一定条件下利用这种地压为生产服务, 各国学者一直在不断地努力研究和探索。至今, 现有的矿山压力理论还不能认为已经较好地回答了这个问题。

采场矿压理论, 是在巷道矿压理论的基础上发展起来的。与巷道矿压相比, 采场矿压显现有它自己的特点。在长壁工作面, 由于顶板管理方法不同, 矿压显现也就各异。当顶板周期性垮落时, 采场的矿压显现也相应地作周期性的变化。回采工作面不断向前推进, 采空区面积逐渐扩大, 采动压力也随之连续传播。回采引起的围岩移动区及移动的剧烈程度也远远超过一般巷道。这些特点增加了研究回采工作面矿山压力显现的复杂性。

采场矿山压力, 一是研究回采工作面围岩与支架的力学关系, 以便为采场的支架选型提供理论依据; 二是研究采场周围压力的分布, 即研究回采工作面前后方、左右两侧和顶底板岩层压

力分布的状态；三是研究采动影响的范围及其压力分布规律，为寻求合理巷道位置、煤柱尺寸和采止线提供确切依据。关于采动影响的范围及其分布规律做系统的研究国内尚不多见。这个问题是生产中常见的实际问题。采动压力对巷道影响的研究，之所以没有引起足够的重视，是人们习惯于单纯地采取维护措施；即使巷道受采动压力影响严重到无法维修时，就再选位置重新开掘巷道。这种做法在生产中是屡见不鲜的。但是，根据采动影响的范围及其分布规律正确地选择巷道位置往往为人们忽视。巷道位置选择不当不仅使维修费大量增加，而且留大量煤柱，增加资源损失。例如松藻矿务局打通煤矿系近水平近距煤层〔1〕，煤层倾角0~13°，赋存稳定，鱼跳背斜贯穿井田中部。煤系地层全厚74.4米，可采及局部可采三层。各层煤均富含瓦斯，有自然发火倾向，8#煤层为突出层，其埋藏特征见表1-1。

打通煤矿各煤层特征 表 1-1

层 号	平均厚度 (米)	层间距 (米)	顶底板岩层性质	备 注
6#	0.85	5.00 6.00 22.00	泥岩、粉砂岩、砂质页岩	局部可采
7#	0.90		泥岩、粉砂岩、细砂岩	全区可采
8#	2.60		细砂岩、粉砂岩	主采层
11#	0.75		砂质泥岩、粉砂岩	不可采

该矿设计年产量60万吨，采用立井、斜井和平硐综合开拓，开拓布置如图 1-2 所示。主斜井装备皮带运输机。副斜井和立井供进风、排矸、上下人员、运输材料设备及敷设管线用。全井田分+350米及±0米两个水平开采。斜井和立井的井底标高为+350米，由主要大巷贯通。平硐布置在背斜轴部作为全矿井的回风水平，并以平硐为界南北各分三个盘区，每个盘区走向长1000米左右，倾斜长约1000~1400米。盘区内各层设中间上山，溜眼与盘区石门相连并贯穿各煤层。工作面长120米，成对布置，中间巷道出煤兼进风，两侧平巷回风和运料。

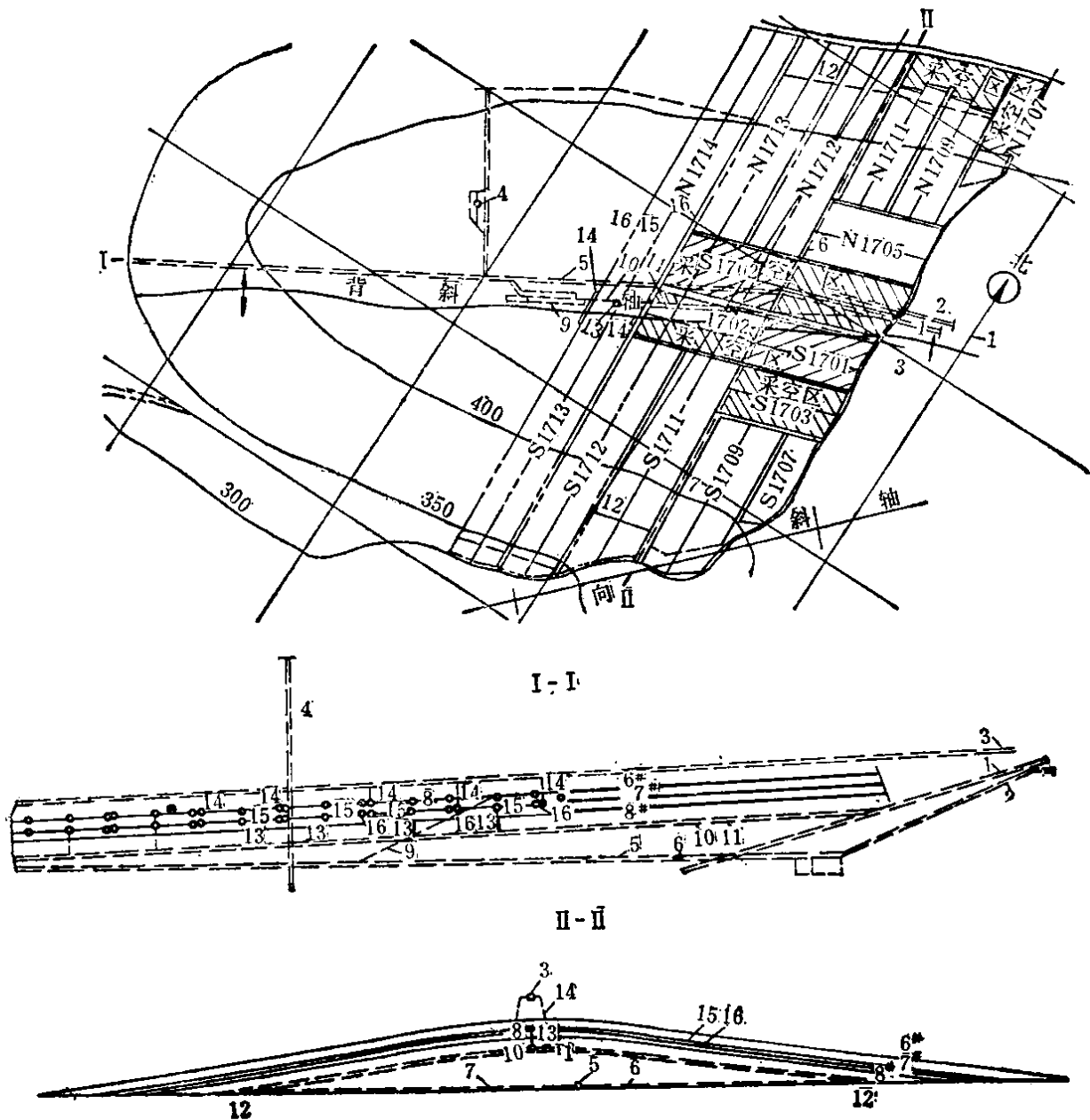


图 1-2 打通煤矿开拓布置平面、剖面图

1—主斜井；2—副斜井；3—总回风平硐；4—副立井；5—+350米水平主要运输大巷；6—北盘区石门；7—南盘区石门；8—7*层轨道上山；9—穿层上山；10—集中皮带巷；11—岩石轨道巷；12—边界大巷；13—分区溜煤眼；14—回风眼（工作面回风巷至总回风平硐）；15—工作面运输巷；16—工作面回风巷

从背斜轴部向两侧依次回采，先采6*、7*层，后采8*层。从整个井田看，盘区是前进式。盘区内每对工作面的回采是从上向下也为前进式。工作面回采是从两翼向中间上山相向后退。由于采用了“两进一退”开采，所以有些巷道（或上山）必须长时间

的维护在支承压带中，这是造成巷道破坏严重，不易维护的主要原因。

投产后由于南北盘区开采，回风平硐和布置在各煤层中的上山及中巷，相继遭到不同程度的破坏。随着开采面积扩大，巷道地压显现剧烈，底鼓，垮碯，两帮挤出，如图1-3所示。据统计，巷道维修周期仅半年左右，坑木消耗为0.3~0.5米³/千吨，工耗8~10工/千吨。在现场实测调查的2213米长巷道的状况如表1-2，其中1122米遭到破坏，占51%，严重影响矿井生产。

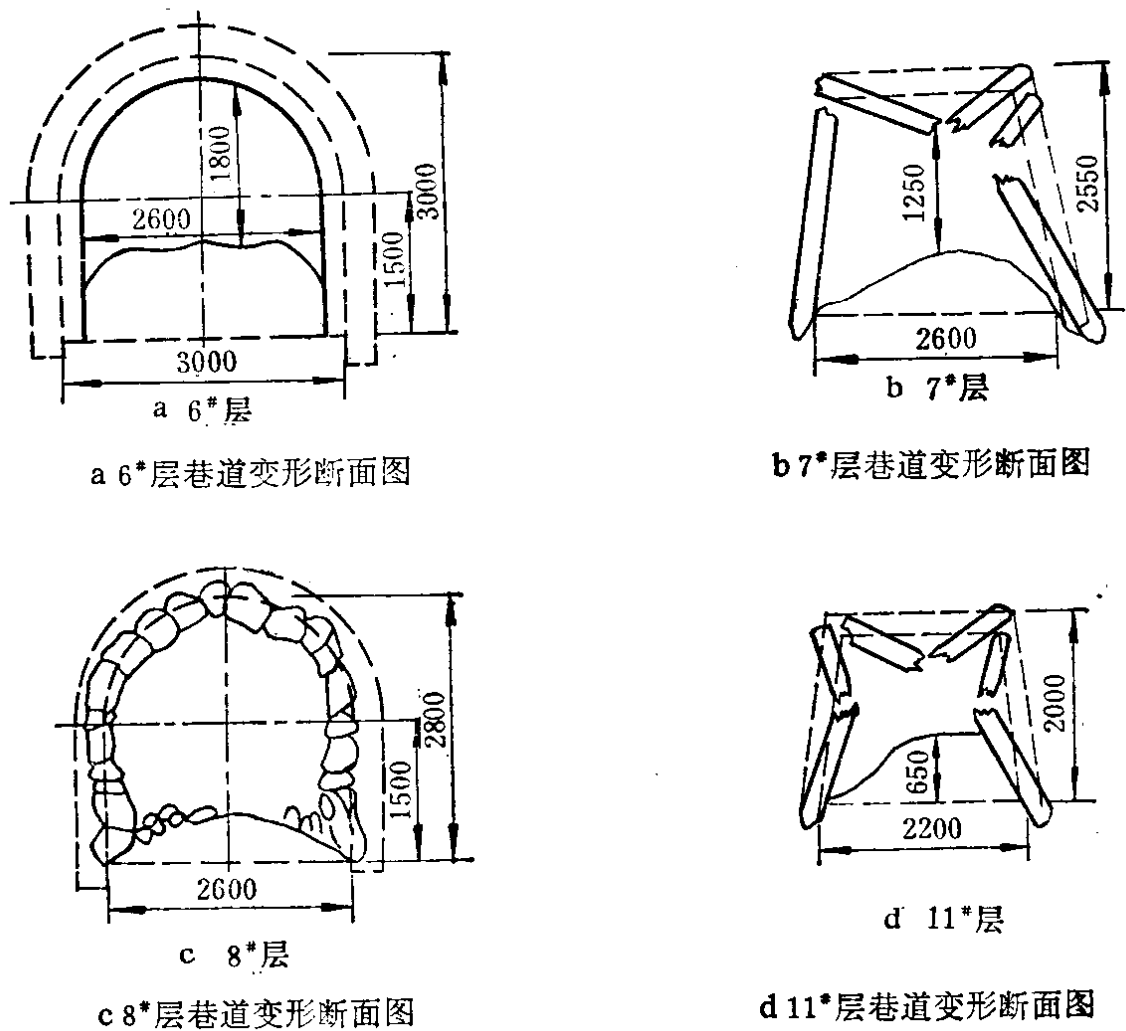


图 1-3 打通煤矿各层上山巷道变形断面图

又如开滦唐山矿南翼是主要产煤区，煤层倾角5°，开采两层煤，生产集中，机械化程度高。岩石大巷为该区的咽喉，但位置不合理，采动压力影响大。当上部煤层开采时，大巷遭到严重破坏，被迫停产抢修。南桐矿务局东林煤矿的采准巷道，是用混凝

巷道破坏统计 表 1-2

项目	巷道名称 总回风平硐	6#层上山		7#层上山		8#层上山		11#层上山		合计
		北盘区	南盘区	北盘区	南盘区	北盘区	南盘区	北盘区	南盘区	
调查长度 L (米)	725	268	253	241	232	210	134	150	—	2213
破坏长度 L _H (米)	290	268	163	111	30	173	32	55	—	1122
百分比 L _H /L %	40	100	64	46	13	82	24	37	—	51

土装配式支架，回采前巷道完好，在工作面推进时由于采动压力影响，使巷道遭受破坏。类似情况的矿井还有阜新五龙矿、阳泉四矿、新汶禹村矿和淮南九龙岗矿以及乐山沫江煤矿等等。它们都是由于巷道位置选择不合理而受采动压力影响较大，使巷道破坏，维护费显著增加，甚至严重影响矿井生产。可见掌握矿山压力显现规律，特别是了解采场周围压力分布状态，对选择合理巷道位置具有十分重要的意义。

第二节 回采工作面矿压显现

为了探讨回采工作面矿山压力显现规律，各国学者做了大量地现场实测、实验室研究和理论分析工作。目前在采场压力理论方面有不少假说，但都是在给定的条件下，从不同观点阐述采场和围岩中矿山压力的显现。为了分析采场周围压力分布状态，对回采工作面矿压的几种假说^{〔2〕}和国内目前研究状况作一简单介绍。

一、压力拱假说

早在1879年，罗马学者里特教授首先提出了压力拱假说，十九世纪末至二十世纪初，德国学者恩格塞尔、法国学者发伊奥尔、俄国学者普罗托吉亚柯诺夫教授等，都就拱的形成进行了试验和理论研究。

压力拱假说的实质是：开掘在任何岩层中的巷道，由于重力

作用顶板岩层发生破碎变形，形成一稳定的自然平衡拱。自然平衡拱承受拱面以上的全部岩层重量，且将全部荷载由拱脚传递给巷道两帮而引起围岩变形和底鼓等现象。巷道支架所受的荷载，只是拱面以下有限断面内破碎岩石的总重量。

后来许多学者做了大量研究工作，又将压力拱假说推广到回采工作面，即把长壁工作面的采出空间视作一条巷道，两个拱脚分别在煤壁前方和采空区冒落的矸石上，如图1-4abc所示。矿压力学模型就是由此建立的。普氏提出了回采工作面支柱压力的计算方法，对于单体支柱，其荷载为：

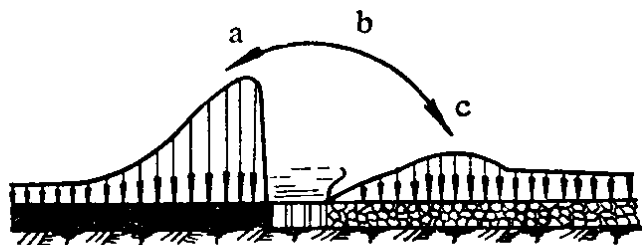


图 1-4 回采工作面的压力拱

如图1-4abc所示。矿压力学模型就是由此建立的。普氏提出了回采工作面支柱压力的计算方法，对于单体支柱，其荷载为：

$$P_x = \frac{\gamma(a^2 - b^2)}{naf} \quad (1-2)$$

式中 n ——顶板单位面积上的支柱数；
 a ——拱宽的一半，米；
 b ——支柱距工作面煤壁的距离，米；
 f ——普氏岩石硬度系数。

工作面前方压力拱脚区，普氏建议按下式计算：

$$S = 0.26 \cos \alpha \sqrt{\frac{ah_a}{f}} \quad (1-3)$$

式中 h_a ——压力拱高度，米；
 α ——煤层倾角，度。

显然，普氏提出的采场压力 (P_x) 的计算，与开采深度和支架刚性无关。这与实际情况是不符合的。

近年来，随着矿山压力理论研究及现场观测的不断发展，人们对采场压力显现的认识也不断深入。总结各方面的研究成果，对压力拱假说做如下评论：

1. 压力拱并不是在所有岩层中唯一的表现形式。支架压力

取决于一系列的矿山地质条件及技术条件，其中起主要作用的是巷道围岩性质、支架特征及结构形式。在采煤工作面，由于顶底板岩性和管理方法不同，支架形式和特征以及回采工艺等的差异，可能形成不同的力学系统，远非压力拱理论所能概括和阐明的。

2. 压力拱假说认为，作用在支架上的压力是拱内岩石的重量，与支架特性和开采深度无关，显然是与实际情况不符。实践证明，矿山压力显现与开采深度有关，不仅压力值变动很大，且规律也有变化。

3. 当其他条件相同时，矿山压力现象在很大程度上决定于支架特性。在一定条件下，支架受压经过一段时间后，可以是恒压，也可以随时间延长压力不断增加。压力拱假说所给的计算公式与支架特性无关，这是不确切的。

4. 对于坚硬的层状岩石，如硬质砂岩，无论是采场或是巷道都不能形成拱，更谈不上使用压力拱理论了。

二、悬臂梁假说

悬臂梁假说是1867年提出的，它的主要代表有苏联的斯列萨列夫，欧洲的非列普斯和富林特等人。悬臂梁假说认为：回采工作面顶板为层状岩体，其工作状况可以近似地视为“梁”，如图

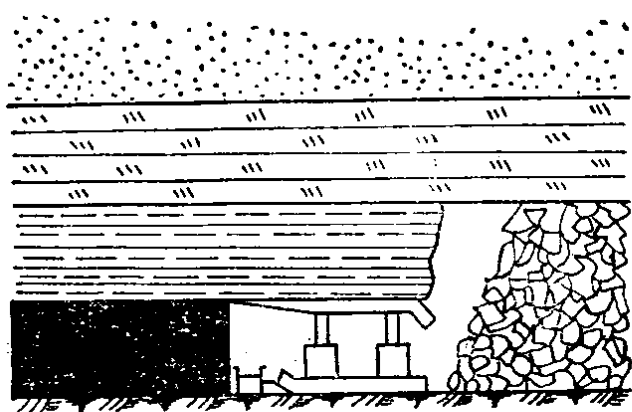


图 1-5 工作面顶板成悬臂梁

1-5 所示。当工作面顶板未冒落时，直接顶承受均布荷载，相当于两端固定的双支梁。顶板垮落后则成为悬臂梁。如果顶板为许多岩层组成，则形成彼此相互作用的一组悬臂梁。这样就可以用材料力

学理论计算顶板压力。如果顶板是粘结岩层，在一般情况下支架所承受的顶板压力，总比岩柱重量 γh 要小。因此斯氏给出了一个导出容重 γ' 的概念。然而这种假想的导出容重是难以确定

的。而且把各层顶板垮落后的跨度视作等长和连续介质，也是不符合实际的，一般是顶板垮落跨度自下向上逐渐减小。

同压力拱假说一样，悬臂梁假说未考虑顶板岩层与支架之间的作用关系，只是孤立地研究顶板压力，从而降低了该假说的实用价值。

三、预生裂隙假说

比利时学者拉巴斯于1951年在列日召开的国际矿山压力学术会议上提出了预生裂隙假说。这种假说是在芬涅尔巷道压力理论的基础上发展起来的。拉氏认为：煤系地层为层状沉积岩，由于地质构造而形成层理、节理、裂隙及断层等，因而属于非粘结性不连续介质，并为假塑性变形，与松散介质的假塑性相似。这样，岩层移动使巷道本身变形，岩层压力使巷道支架受压。随着采掘工作的进行，在采空区周围形成破坏区。

回采工作面从开切眼开始不断向前推进，采空区暴露面积随之增加，于是在直接顶板中形成预生裂隙（在工作面前方及边界煤柱上也出现此裂隙），使直接顶弯曲并从受压状态中解脱出来。预生裂隙在上覆岩层内，随着工作面推进逐渐扩大，以致最后直达地表，构成一平行于回采工作面的弧形面，并滞后于回采工作继续向前发展，如图1-6。与此同时，煤层底板也产生类似现象。

拉氏认为，支承压力不是由于拱引起的，而是类似悬梁的岩层作用的结果。他还指出，既然有了变形，岩层一定会体积膨胀，从而构成了支架的压力。

根据拉巴斯的观点，每棵支柱承受三种荷载：上覆岩层重量；由直接顶板破碎膨胀后引起的压力；老顶的作用力。由此给出工作面每棵支柱的最大压力为：

$$P_{\max} = ll'h\gamma\cos\alpha + \frac{1}{10} l' \left(\frac{aH}{b} \gamma\cos\alpha + \frac{a}{2} P \right) \quad (1-4)$$

式中 l ——支柱排距，米；

l' ——支柱间距，米；

- h ——直接顶垮落高度，米；
 H ——距地面深度，米；
 α ——煤层倾角，度；
 γ ——岩石容重，吨/米³；
 P ——岩石均匀膨胀时产生的垂直面压力。

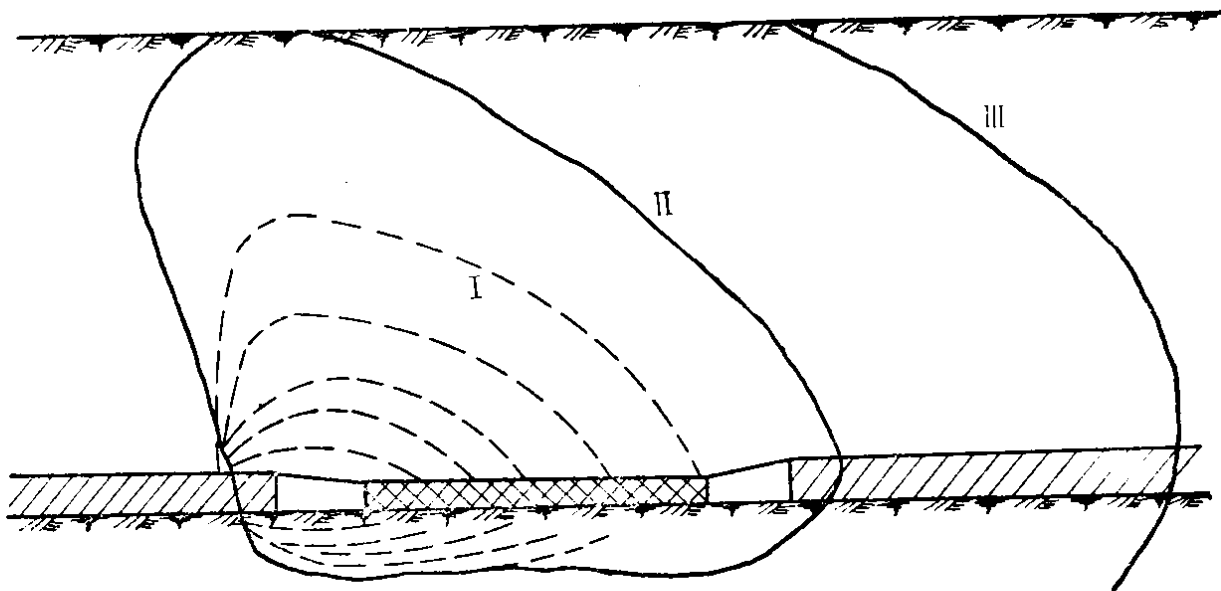


图 1-6 预生裂隙假说

I—应力降低区；II—应力升高区；III—影响区

预生裂隙假说认为岩体是层状非连续体，具有假塑性变形特征，以及由此而阐明的工作面周围岩体内应力分布、变形及破坏状况等，都具有一定的实际意义。这种假说比悬臂梁假说有所发展。但是预生裂隙假说还不能概括井下生产中所有可能发生的情况。如在坚硬的砂岩或石灰岩中开掘巷道，不但不发生所谓“预生裂隙”，甚至根本不支护，巷道本身也不发生任何垮塌现象。

拉巴斯没有充分的实际资料和试验数据，证明其假说中提到的三个区的界线，在计算中也没有对顶板及支架的相互作用提出任何论点。因而该假说的实用价值也受到限制。

四、铰接梁假说

铰接梁假说是在悬臂梁假说的基础上发展起来的。苏联学者库兹涅佐夫，根据现场观测和实验室相似材料模拟试验，对围岩及支架的相互作用、采空区围岩移动规律提出了新看法。他认为

不能用介质力学的方法去解决采场矿山压力问题。假说的实质是：当工作面回采后，其上覆岩层的破坏可分为两个带，即靠近采空区的不规则垮落带和上面的规则移动带，如图1-7所示。不规则垮落带内的岩层，由于受到裂隙的破坏而分裂为许多单个的岩块，这些岩块可自由的垮落到采空区中而互不阻碍。规则移动带内的岩层，虽然也破裂成一段段的层状岩块，但是每一层内的岩块之间仍保持一定的联系，形成了一条多环节的铰链，规则地在采空区上方下沉，而没有单个岩块垮落的现象。

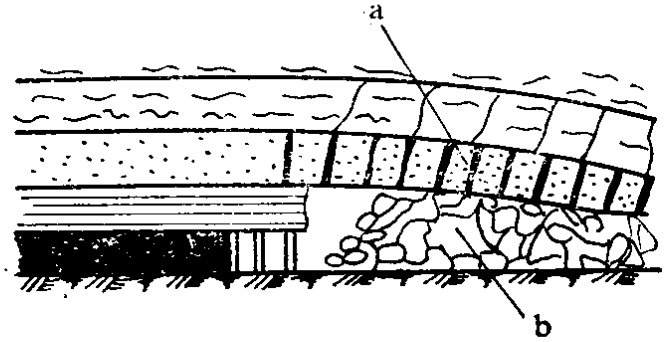


图 1-7 铰接梁假说

a—规则移动带； b—不规则垮落带

假说指出，岩层的规则移动和不规则垮落，取决于岩块之间是否保持上述的铰链连接。形成铰链的条件取决于顶板垮落岩层的厚度和该岩层垮落的自由空间高度。

根据上述假说提出了确定各带岩层总厚度的计算公式。

假说认为，规则移动带中的悬梁与其相邻岩块间的相互作用，以及它和不规则垮落带中悬梁间的相互作用，决定了采场支架的受力情况。支架可能处于两种不同工作状态，即给定荷载和给定变形状态。假说还提出了两种计算支架强度和可缩性的方法。

这种假说对采场周围的力学活动特性作了较详细的阐明，特别是关于支架和围岩相互力学作用的分析是比较切合实际的。

但是上述假说只考虑了采场顶板的局部活动，只考虑了应力状态造成的后果，未考虑造成采空区上方岩层移动的原因及其应力状态。同时也有人认为，关于岩层按铰链方式活动的假设过分理想化了，因而降低了这一假说的实用价值。

五、台阶下沉假说

台阶下沉假说，是苏联学者秦巴列维奇提出的。它与预生裂隙假说有许多共同点。该假说从巷道周围存在低应力区出发，进

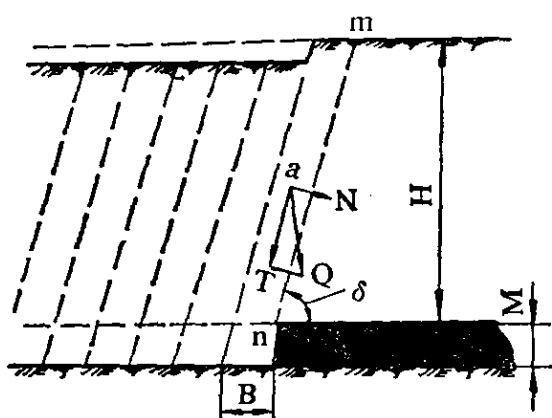


图 1-8 台阶下沉假说

一步提出由于产生倾斜裂缝，则在开采层的上覆岩层中形成台阶式下沉的岩层条带，如图 1-8 所示。

秦氏指出，若将上覆岩层视为均质，并认为低应力区的上界为地面，而用垮落法管理顶板时，则顶板每垮落一次都形成下沉岩石条带 a 。沿平面

mn 存在着凝聚力和摩擦力。如果使条带滑动力等于：

$$T = \gamma B H \sin \delta \quad (1-5)$$

条带沿着 mn 面的抗滑阻力为：

$$N \tan \beta = \gamma B H \cos \delta \tan \beta \quad (1-6)$$

显然，只有当岩石条带与煤层夹角 δ 等于岩层内摩擦角 β 时才能平衡。实际上是不可能的，因此必须架设支架，以承受下降条带的部分重量。

则单位面积上的支架反力为：

$$Q = \gamma H (1 - \tan \beta \tan \delta) \quad (1-7)$$

式中 B ——岩石条带宽度，米；

H ——距地表深度，米；

δ ——岩石条带与煤层夹角，度；

β ——岩层内摩擦角，度。

显然，秦氏把岩层运动的几何形状过分绝对化了，认为顶板岩层都以相等的条带沿一定倾斜面滑动，这实际上是不存在的。因而，这种假说和由它引出的计算公式，也无法普遍用于实际。

六、楔形假说

该假说是1955年苏联学者鲁宾涅依特提出的，其实质如图