

矿山压力 与岩层控制

高召宁 主编

 煤炭工业出版社

矿山压力与岩层控制

主 编 高召宁
副主编 孟祥瑞 赵光明
刘钦节 杨德传

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山压力与岩层控制/高召宁主编.--北京:煤炭工业出版社,2018

ISBN 978-7-5020-5806-7

I. ①矿… II. ①高… III. ①矿山压力 ②矿山—岩层移动—岩层控制 IV. ①TD3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 201509 号

矿山压力与岩层控制

主 编 高召宁
责任编辑 徐 武 赵金园
责任校对 孔青青
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898(总编室) 010-84657880(读者服务部)
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 13 字数 306 千字
版 次 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷
社内编号 8686 定价 39.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书系统地介绍了矿山压力和岩层控制的基本理论与基础知识，以及矿山压力和岩层控制的研究方法。本书内容广泛，系统性、理论性和实践性较强。反映了国内外多年来在研究矿山压力和岩层控制方面所取得的研究成果和生产实践经验。本书可作为采矿工程专业的教材使用，也可供从事地下开采的科学研究、设计和现场生产的工程技术人员参考。

前 言

自 20 世纪 50 年代矿山压力与岩层控制课程建立以来，在理论研究与工程实践两方面都取得了长足进展，已经形成了比较完整的理论体系及成套控制技术，推动了采矿技术的发展。

本书在阐明矿山压力基本概念及主要影响因素的基础上，着重阐述了矿山压力理论、煤层上覆岩层基本顶活动破坏规律、上覆岩层关键层活动规律，以及直接顶的稳定性、采场支架与围岩的相互作用、采场周围应力分布规律，同时也进一步阐述了软岩巷道的围岩压力及控制与深部巷道的围岩压力及控制的基本概念和理论。

本书吸收了陈炎光、钱鸣高、石平五、许家林、任德惠、陆士良等教授主编的教材和蒋金泉、刘长友、曹胜根、方新秋等教授的专著精髓，同时为了在教学中体现矿山压力与岩层控制的新的发展领域，在编写过程中注意吸收矿山压力与岩层控制的新理论、新技术、新方法，既反映了我国研究矿山压力与岩层控制所取得的科研成果和生产实践经验，也扩充开辟了适合当前矿山压力与岩层控制的新研究领域。

本书编写提纲是通过院、系以及课题组反复研讨后确定的。在初稿编写完成后，特邀学院相关教授进行了全面评审，提出了许多宝贵的意见，在此一并表示衷心的感谢。

由于编写人员水平及时间限制，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

本书为安徽理工大学研究生核心课程建设资助项目（2016HX002）。

目 录

第一章 绪论	1
第二章 矿山压力理论	7
第一节 概述	7
第二节 压力拱假说	8
第三节 预成裂隙假说	11
第四节 铰接岩块假说	13
第五节 松散介质假说	16
第六节 一般梁的假说	17
第七节 砌体梁假说	22
第八节 传递岩梁假说	23
第九节 弹性基础梁假说	30
第三章 基本顶的断裂形式及初次断裂步距	37
第一节 基本顶“板”内的应力分析	37
第二节 基本顶岩层的破断	39
第三节 基本顶的初次破断步距	44
第四章 基本顶稳定性分析	50
第一节 基本顶初次断裂后的砌体梁平衡	50
第二节 砌体梁全结构模型的受力分析	53
第三节 砌体梁结构的关键块及其稳定性分析	57
第五章 直接顶及其稳定性分析	63
第一节 基本顶初次断裂前直接顶高层分析	63
第二节 基本顶变形失稳对直接顶稳定性的影响	64
第三节 直接顶的刚度分析	70
第四节 采场支架与围岩体系的刚度分析	74
第六章 采场支架与围岩的相互作用	78
第一节 液压支架受力及适应性分析	78
第二节 基本顶运动对支架围岩关系的影响	82

第三节 采场支架与围岩相互作用原理	84
第四节 采场直接顶对支架与围岩关系的影响	87
第七章 采场周围应力分布	91
第一节 层面支承压力分布规律	91
第二节 采场底板应力分布规律	100
第三节 采场顶板应力分布规律	106
第四节 采场围岩应力分区及其预测	109
第八章 采场岩层移动与控制	112
第一节 岩层移动引起的采动损害概述	112
第二节 岩层控制的关键层理论	113
第三节 采场上覆岩层移动规律	117
第四节 采场上覆岩层移动控制技术	126
第九章 软岩巷道的围岩压力及控制	131
第一节 软岩的基本属性	131
第二节 软岩的工程分级	140
第三节 软岩巷道的围岩变形规律和压力特征	144
第四节 软岩巷道支护的基本原则	151
第五节 软岩巷道的支护措施和方法	159
第六节 巷道底鼓机理	165
第七节 巷道底鼓的防治	171
第八节 巷道围岩注浆加固技术	176
第九节 巷道支架架后充填	182
第十章 深部巷道的围岩压力及控制	191
第一节 深部巷道围岩压力特征	191
第二节 开采深度与巷道围岩变形的关系	192
第三节 巷道失稳的极限深度	195
第四节 深部巷道的围岩控制	196
参考文献	199

第一章 绪 论

一、矿山压力与岩层控制的概念

矿山压力与岩层控制是采矿工业的基础学科。矿山压力与岩层控制以矿山岩石力学为基础，与矿山工程、采矿工艺理论和实践密切结合，是具有一定特色的岩层控制理论和工程实践体系的基础理论学科与工程技术学科互相交叉、互相渗透的独立的分支学科。

地下岩体在开挖以前，原岩应力处于平衡状态。开掘巷道或进行回采工作时，破坏了原始的应力平衡状态，引起岩体内部的应力重新分布，直至形成新的平衡状态。这种由于矿山开采活动的影响，在巷洞周围岩体中形成的和作用在巷洞支护物上的力定义为矿山压力，在相关学科中也称为二次应力或工程扰动力。在矿山压力作用下，会引起各种力学现象，如岩体的变形、破坏、塌落，支护物的变形、破坏、折损，以及在岩体中产生的动力现象。这些由于矿山压力作用使巷洞周围岩体和支护物产生的种种力学现象，统称为矿山压力显现（简称矿压显现）。在大多数情况下，矿压显现会对采矿工程造成不同程度的危害。为使矿压显现不致影响采矿工作正常进行和保障安全生产，必须采取各种技术措施把矿压显现控制在一定范围内。对于有利于采矿生产的矿压显现，也应当合理地利用。所有减轻、调节、改变和利用矿山压力作用的各种方法，均称为矿山压力控制。

上述三个基本概念既反映矿山压力与岩层控制课程的体系，也涵盖了矿山压力与岩层控制课程的主要内容。

二、影响矿山压力的主要因素

矿山压力的影响因素是多方面的、复杂的。研究矿压显现与影响因素的关系是探讨矿山压力基本规律的关键，也是寻求矿压控制方法和采取技术措施的主要依据。总的说来，影响矿山压力的主要因素可分为地质因素和生产因素两大类。

（一）地质因素

1. 岩石物理力学性质

科学研究与生产实践证明，对矿山压力显现起主要作用的是岩石物理力学性质，一般情况下，可以根据岩石物理力学性质来判断矿山压力的显现概况及应采取的技术措施。

如长壁工作面中，若基本顶岩层坚硬，抗压和抗拉强度较高，开采后大面积悬露不垮落，当达到应力极限时，有可能产生强烈的周期来压。相反，若基本顶是岩石强度较低的砂质页岩，则可能周期来压强度较弱。据现场实测，顶板下沉量与岩石强度关系极大，岩石强度越低时，顶板下沉量越大。

岩石物理力学性质对巷道压力的显现影响也非常明显。若把巷道开掘在坚硬的砂岩或石灰岩中，巷道维护容易。如果巷道围岩是强度比较低的泥质页岩、铝土页岩等，当受到

采动影响后，即产生较大的围岩移动，压力显著，则巷道维护困难。

2. 开采深度

开采深度直接影响原岩应力的大小，同时也影响开采后巷道或工作面周围岩层内支撑压力的大小。从这个意义上讲，开采深度对矿山压力具有绝对的影响。但对矿山压力显现的影响则不尽相同。

开采深度对巷道矿山压力显现的影响可能比较明显，如在松软岩层中开掘巷道，随着深度的增加，巷道围岩的“挤、压、鼓”现象将更为严重。据德国有关资料统计，当开采深度达 1400 m 以上时，估计有 30% 的巷道不能采用现有的维护方法。这是因为随着深度增加，巷道围岩的变形与支架上承受的压力都将增加。岩层受重力而变形，它所积聚的能量与深度的平方成正比。因此，对有冲击矿压危险的矿井，随着开采深度的增加，发生冲击矿压的次数和强度都将显著增加。国内外的经验都已证明，在一般条件下，一定的开采深度是出现冲击矿压的一个必要条件。

开采深度对采场顶板压力大小的影响并不突出，因而对矿山压力显现的影响也不明显，尤其是对顶板下沉量的影响更为不明显。主要应视煤层采高、直接顶和基本顶的力学性质、厚度等因素而定。随着开采深度增加，支撑压力必然增加，从而导致煤壁片帮及底板鼓起的概率增加，由此也可能导致支架载荷增加。

3. 煤层倾角

煤层倾角对矿山压力显现的影响也很大。从生产实践中可以证明，近水平煤层的矿山压力显现要比倾斜和急倾斜煤层剧烈。因为影响顶板下沉的力，主要采自上覆岩层的重量。在近水平煤层中，上覆岩层的重量几乎垂直作用在岩层面上，引起顶板岩层下沉的力就是上覆岩层的总重量。而在倾斜煤层中，引起顶板岩层下沉的力则仅是垂直于层面上的分力，这个分力随煤层倾角的增大而减小。

4. 断层、裂缝、节理等

节理和裂缝的存在对岩石强度有显著影响，主要是节理和裂缝会在岩体内部形成弱面，岩石首先沿弱面破坏，使岩石极限强度降低。如某煤矿的无烟煤试样，在没有明显的裂缝时，其单向抗压强度为 40 MPa，而当有裂缝存在时，单向抗压强度降低到 10 MPa 以下。

节理和裂缝的存在对岩石抗拉强度的影响更大，有时裂缝的存在会使岩石几乎完全失去抗拉能力。工作面的局部冒顶有时也是裂缝或节理引起的。断层的存在可以改变顶板冒落的一般规律，而使顶板沿断层切下，引起工作面的突然冒顶和来压。当巷道掘进到断层区时，一般也出现比较大的围岩变形，支护十分困难。因此，断层、裂缝、节理对顶板的完整性有极不良的影响，顶板的自稳时间与稳定面积都显著降低。

(二) 生产因素

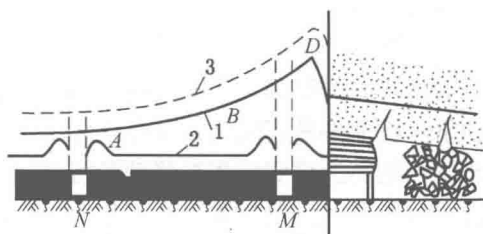
影响矿山压力的生产因素是人为的，只要掌握矿山压力显现规律，就可以控制和改变这些影响因素。主要是巷道位置、开采程序、支护方式、顶板控制方法及工作面推进速度等。

1. 巷道位置

巷道开掘后，破坏了岩体原岩应力状态，在巷道两侧形成集中应力。由于围岩性质和

强度不同,其周围产生的变形、移动及破坏的形式也不一样。因为巷道宽度不大,应力集中小,一般可以采用适当支护形式来保持围岩平衡,使巷道处于稳定状态。

如果巷道位置处于工作面采动压力影响范围内,如图 1-1 中 M 所示。由于采动压力连续传递作用于巷道上,使其承受压力比未受采动影响区(如图 1-1 中 N)增大许多倍。这是井下各类巷道产生严重变形和破坏的主要原因。要减轻巷道受压变形和破坏的原则性措施,一是在空间上使巷道躲开支承压力的强烈作用区;二是在时间上开掘巷道时避开支承压力的强烈影响期。



1—回采支承压力的; 2—掘巷支承压力的; 3—叠加压力

图 1-1 单侧煤柱受压状况

2. 开采程序

由于开采程序不同,矿山压力显现规律亦有差异。如图 1-2 所示为位于底板岩层内的上山巷道且上部煤层工作面跨越上山开采,不留保护煤柱,左翼工作面先回采到上山附近停采,然后右翼工作面跨越上山回采到左翼工作面停采线附近处停采,保留停采煤柱。

当右翼工作面跨采影响期间,上山巷道要受两侧采动引起的支承压力的叠加影响,致使巷道变形破坏,维护困难。

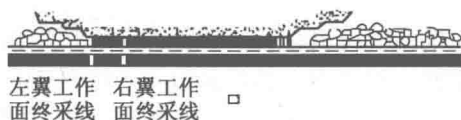


图 1-2 受采动影响的跨上山开采底板巷道

如果煤层群开采时,一般情况下,上部煤层回采后可以减轻下部煤层压力。若是上部煤层开采后留有煤柱,给下层开采带来困难。

3. 支护方法

围岩与支架是相互作用的统一力学体系。巷道支架的结构与力学性能对矿山压力显现的影响很大。当围岩压力与支架的反作用力趋于平衡时,巷道即可保持相对稳定,否则即处于不稳定状态。支架阻力提高,围岩移动减小。若支架载荷增加,而强度和可缩性不够时,将引起支架破坏。

支架形式亦可改变矿山压力的显现。如在采动影响强烈的回采巷道内,用矿用工字钢刚性支架,不但会出现严重的顶板下沉现象,而且两帮围岩移动也较大;若采用具有一定可缩性的 U 型钢支架或锚索网支护时,围岩移动量将会显著减小,巷道基本上处于稳定

状态。

在采煤工作面中，支架的力学特性对直接顶板的移动、离层及冒落有着十分重要的意义。如在破碎顶板条件下，为了加强对刚暴露顶板及机道上方顶板的维护，采用支掩式掩护支架的维护效果要比采用支撑式液压支架的维护效果好得多。因此，应根据顶板的下沉量及压力大小，选择合理的支架结构和强度。

4. 顶板控制方法

在采煤工作面中采用不同的顶板控制方法，其矿山压力显现也不一样，应根据顶板类别而采用相适应的顶板控制方法。

5. 工作面推进速度

采煤工作面推进速度对矿山压力的影响主要表现在时间因素方面。在一定条件下，顶板下沉量随时间而增加，如果工作面推进速度慢，采煤工作面顶板状态将会变差，而且维护困难，在采动压力影响范围内的巷道顶底板相对移动量将会加大，巷道压力显现将会变得剧烈。因此，提高工作面推进速度，可以改善采煤工作面顶板状态和巷道维护状况。

影响矿山压力显现的因素虽然很多，但在具体条件下，起主要作用的可能是一个或几个，因此我们在工作中一定要抓住主要影响因素。根据生产中当前和长远需要采取有效措施，才能取得良好的效果。如研究巷道布置问题，首先应考虑煤柱支承压力影响，选择应力降低区布置巷道。

三、矿山压力与岩层控制的研究方法

矿山压力与岩层控制采用了理论分析、实验室试验、现场监测等性质不同的研究方法。这三者各有侧重，在研究问题时往往将三种方法配合使用，相辅相成得出全面、准确的结论。

(一) 理论分析

首先是岩体结构分析，根据地质信息和采矿工程条件抽象出力学模型：一般可分为结构模型、模糊模型和混合模型三种类型。然后是数学力学分析，计算应力、应变分布及破坏条件；主要的数学工具有：经典数学理论、模糊数学理论、随机数学理论和近代数学理论。主要研究方法：

(1) 解析分析方法。通过力学模型，利用平衡条件、本构方程、变形条件、破坏判据和边界条件求解其应力、变形和破坏条件。

(2) 数值分析方法。包括有限元法、差分法、边界元法、结构单元法等，这类分析主要给出应力和应变分布，以及应力、位移、速度等特征值。

(3) 模糊分析、概率分析、随机分析、灵敏度分析、趋势分析等方法。这类分析方法往往更符合矿业科学目前的研究现状。

(4) 近代数学、力学和计算机科学方法。近年来，许多学科如断裂力学、损伤力学、分形几何、分叉、混沌、突变理论等，渗透到矿业科学领域，推动矿山压力与岩层控制学科的发展。

(二) 实验室试验

实验室试验研究目前主要有以下三方面内容：

(1) 岩石物理力学性质研究, 包括岩石抗压、抗拉、抗剪变形性质试验; 岩石流变试验、三轴试验和利用刚性压力机进行岩石变形破坏全过程的试验。

(2) 利用相似材料模型进行模拟研究, 在平面模拟实验装置基础上, 进一步发展立体模拟实验台。也可利用光弹性模型进行模拟研究。

(3) 在实验室条件下研究支架的整体性能和有关参数, 建成具有先进水平的大型自移式液压支架试验装置, 卧式和立式, 单架及多框架多功能巷道支架试验台。

(三) 现场监测

采场主要监测顶底板移近量、支架阻力、活柱下缩量 and 顶板破碎度; 巷道主要监测顶底板移近量、支架变形、围岩应力分布和岩层内部移动规律。采用微震仪、地质雷达、电磁辐射监测仪、可弯曲光导纤维岩层窥视仪、红外线钻孔探测摄像仪等观测仪表。先进的红外遥感、遥控和自动监测、计算机数据处理逐步取代现场人工操作。

四、矿山压力与岩层控制研究的发展状况

自 20 世纪 50 年代矿山压力与岩层控制体系建立以来, 理论与工程实践两方面都取得了长足进展, 岩层控制系统包括采场围岩控制和巷道围岩控制。

1. 采场围岩控制理论与实践的发展

(1) 采场上覆岩层砌体梁结构力学模型及“关键层理论”。采场上覆岩层形成结构的特点及其形态一直为采矿工作者所重视, 研究分三个过程。20 世纪 60 年代初至 70 年代末, 正式提出上覆岩层开采后呈砌体梁平衡的结构力学模型, 为采场给出了具体的边界条件, 也为论证采场矿山压力控制参数奠定基础。在此基础上, 提出岩层断裂前后的弹性基础梁力学模型及各种不同支撑条件下板的力学模型, 为基本顶来压预报提供理论依据。对坚硬岩层承受载荷及变形规律的分析, 导致了“关键层”理论的研究, 由此可以进一步修正采场来压规律, 判断上覆岩层内部裂隙分布、离层区位置和识别对地表破坏起主导作用的岩层。

(2) 砌体梁平衡的关键块研究及“S-R”稳定。砌体梁力学模型是一个大结构, 其中主要影响采场顶板控制的是离层区附近的几个岩块即关键块体。因此, 在研究砌体梁结构的前提下, 重点分析了关键块的平衡关系。由此提出了砌体梁关键块的滑落与转动变形失稳条件, 即“S-R”稳定条件。砌体梁关键块的分析为采场直接顶的上部提供了边界条件, 为分析直接顶稳定性奠定了基础。

(3) 采场支架—围岩关系研究及整体力学模型的建立。“支架—围岩”关系的研究体现在单体支柱工作面顶板事故的防治, 液压自移支架的架型、合理支护阻力, 防治液压自移支架端面顶板的冒落。在中厚煤层开采的采高条件下, 一直视直接顶为“似刚体”, 影响支护参数选择的是“ $P-\Delta L$ ”类双曲线关系, 即支架工作阻力与顶板下沉量的关系曲线。放顶煤开采时, 由于直接顶不再是“似刚体”, 因此进一步研究提出“松脱体压力”与“回转变形压力”的概念, 论证了由于直接顶的变形致使砌体梁对直接顶的回转变形载荷有可能被破碎了的直接顶所吸收, 从而影响在该情况下的“ $P-\Delta L$ ”类双曲线关系, 最终建立采场整体力学模型。

(4) 采场矿山压力与支护质量监测。采矿工程环境恶劣, 地质条件复杂多变, 及时地

进行监测是采场安全生产的根本保证。我国自 20 世纪 80 年代开始大规模进行采场顶板与支护质量监测，使采场顶板事故大幅度减少，取得了良好的社会、经济效益。目前已研制出一系列的监测仪表并开发出了支护质量监控软件。

2. 巷道围岩控制理论与实践的发展

(1) 巷道布置改革及无煤柱护巷技术。我国对巷道受采动影响期间的围岩分布及矿压显现规律进行了深入研究，查明了地质及生产技术因素对巷道矿压显现的影响，掌握了巷道从开始掘进到开采工作结束巷道被废弃的全过程中，巷道围岩变形随时间、空间的变化规律。在采准巷道矿压理论指导下，形成了完善的巷道合理布置系统。在分析开采引起的围岩应力重新分布规律的基础上，研究沿空巷道一侧煤柱边缘带的应力重新分布和支架与围岩关系，掌握无煤柱护巷机理，推进无煤柱护巷技术。同时，发展整体浇注式巷旁充填技术，为扩大应用沿空留巷开辟了广阔前景。

(2) 研究巷道支架与围岩关系采用先进支护技术。在以变形压力为主的巷道围岩中，为了适应巷道复杂的围岩压力和变形特征，研究巷道支架的合理性能和结构形式，既能有效地抑制围岩变形，又能与围岩变形相互协调，减少支架损坏和改善巷道维护。为此，研制了适用于不同条件的 U 型钢、工字钢结构可缩性支架，完善了辅助配套设施，发展了支架壁后充填。锚杆支护与传统的支护观念不同，是在围岩内部对围岩加固，形成一个整体承载结构，利用围岩的自撑能力的一种支护手段。在原有的树脂锚杆基础上，重视应用小直径锚杆，发展可拉伸锚杆、桁架锚杆、预应力锚索，推广“锚—梁—网”组合锚杆、“锚杆—棚子”联合支护、锚注支护。

(3) 软岩巷道围岩控制理论与实践的发展。自 20 世纪 70 年代以来，矿压研究工作者有计划地开展了软岩巷道支护技术科技攻关。对软岩巷道围岩控制的基础理论、软岩的岩性分析及工程地质条件、围岩变形力学机制、巷道支护设计、施工工艺及监测进行全面系统研究，取得的主要成果有：①依照软岩的定义，软岩可分为膨胀性软岩、高应力软岩和节理化软岩；②软岩具有软化临界载荷和软化临界深度两个基本力学属性；③软岩巷道变形力学机制可分为三大类，即物化膨胀类、应力扩容类和结构变形类；④软岩巷道支护必须允许围岩进入塑性状态，并以达到最大塑性承载力为最佳，同时，其巨大的塑性能必须以某种形式释放出来；⑤最佳支护时间的力学含义是最大限度地发挥围岩稳定塑性区的承载能力而又不出现松动破坏的时刻；⑥针对软岩的类别和变形力学机制，发展了锚喷网支护技术、U 型钢支护壁后充填技术、防治底鼓封闭支护技术、围岩爆破卸压和注浆加固技术。

(4) 巷道围岩控制设计决策及支护质量与顶板动态监测。依据巷道围岩稳定性分类及巷道支护形式与合理支护参数选择专家系统，预测巷道围岩稳定性类别，预计围岩移近量、选择支护形式、确定支护参数。实行巷道支护质量与顶板动态全过程监测，通过施工过程中的现场监测、信息反馈，不断修正支护设计和调整支护参数，使巷道围岩控制逐步由经验判断和定性评估向定量分析和科学管理转化。

第二章 矿山压力理论

任何一种科学理论在未得到实验确证之前均表现为假设学说或假说。矿山压力假说即指人们对矿山压力现象内在联系的科学推测或概括。

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, 以及对采场上覆岩层运动的观测和支护技术的发展, 使得人们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”假说和“岩体预成裂隙”假说。

第一节 概 述

一、矿山压力理论的建立基础

矿山压力理论是在无数的假说中发展起来的, 矿山压力假说是采矿科学发展的重要形式, 是探索采场上覆岩层活动规律与矿山压力的关系、弄清矿山压力及其显现规律的有效途径。

矿山压力假说在建立时, 一般都历经这样的步骤: 首先, 观察和收集实际资料; 其次, 分析整理所积累的资料, 提出假说的基本观点; 再次, 根据假说的基本观点, 建立分析模型, 进行数学力学分析推演, 一方面为确定假说中各基本参数间的关系, 另一方面为矿山生产提供指导; 最后, 通过一定方式进行检验。

基本观点的提出是最重要的, 它一般包括下述内容:

首先, 是对研究对象基本属性的认识, 如对采场周围岩体属性的认识, 有的侧重岩体的连续性特征, 有的则侧重节理、断层等构造影响的非连续性特征。

其次, 是对研究对象基本状态的认识, 或把现象稳定在某一阶段, 从瞬间平衡状态来认识矿压现象, 如压力拱假说; 或考虑到现象发生的时间过程, 从发展变化状态中来考察矿压现象, 如传递岩梁假说。

最后, 就是对现象发生和发展规律的认识, 有的假说只推测性地描述现象发生发展的基本过程; 有的则直接说明现象发生发展的因果关系。二者同属对现象的规律性认识, 但所反映的本质程度不同, 前者肤浅, 后者深刻。原始阶段或初级阶段的假说多以第一种方式出现, 如 19 世纪的压力拱假说和某些关于岩层移动的假说。

矿山压力假说形成之后, 一方面因假说具有一定的科学根据, 将对矿井生产起一定的指导作用; 另一方面由于假说是对客观规律的一种假定性说明, 尚未或未能完全得到实践的证明, 可能是正确的, 也可能是错误的。因此, 科学的矿山压力假说必须接受实践的检验, 随着科学技术的发展, 逐步转为确实可靠的理论。

在矿山压力假说发展过程中，应该充分重视不同假说间的争论和交流。矿山压力现象是极其复杂的，多种不同的假说同时并存，有利于从各个不同的部分、不同的侧面探索矿山压力的规律性，互相启发、互相补充，集思广益，更全面、更深刻地揭示矿山压力现象的本质，促进矿山压力理论的发展。

辩证地学习和认识现存的矿山压力假说，不仅能够促进矿山压力理论的进一步发展，而且对矿山压力控制的实践工作也会起到一定的指导作用。

二、几种主要矿压假说

矿山压力理论是在科学技术飞速发展和开采方法不断改进的基础之上逐步建立和发展起来的。早期的矿山压力理论由于开采方法落后，一般具有如下特点：

(1) 由于开采方法的局限性（如房柱式、仓储式开采），采场矿山压力理论基本建立在巷道地压理论的基础上，两者无本质差别。

(2) 矿山压力理论的建立，起初是以经验为基础，较多地偏重于矿山压力显现方面的描述，由于测试手段不完善，所以假说具有片面性和局限性。

随着采矿工业的不断发展，开采方法和研究手段也有了巨大的发展和变化。由于近代应用力学（如岩土力学、弹塑性力学、结构力学、计算力学等）的不断发展并应用于矿山压力研究之中，进入 20 世纪 50 年代以来，随着长壁工作面开采技术的发展，以及采场上覆岩层运动的观测和支护技术的发展，使得人们对采场上覆岩层运动时的结构形式有了新的认识，使近代矿山压力理论有了突破性的发展。

一般地说，缓倾斜煤层采煤工作面的矿山压力理论，包括以下几个方面的假说：①压力拱假说；②双支梁假说；③悬臂梁（悬板）假说；④预成裂隙假说；⑤铰接岩块假说；⑥台阶下沉假说；⑦松散介质假说；⑧楔形假说；⑨砌体梁假说；⑩传递岩梁假说；⑪弹性基础梁假说；⑫板结构假说；⑬关键层；⑭复合关键层；⑮组合关键层；⑯短砌体梁；⑰台阶岩梁；⑱应力壳假说。

所有假说都是从不同观点、不同侧面阐述采场顶底板岩层在不同条件、不同介质、不同工艺阶段和不同开采方式等因素下，矿山压力显现的规律与特征。

第二节 压力拱假说

压力拱（也称自然平衡拱）假说，是最早的矿压假说。从它形成到现在已有一个多世纪的历史了，为矿山压力的研究及发展奠定了基础。时至今日，压力拱假说仍有不少拥护者，尤其是在欧洲国家。

早在 1885 年法国学者法依奥尔（Fayol）根据观测和实验提出岩层移动拱形说，认为岩层移动形式是塌陷式的，移动所波及的地区具有圆拱形状，当力学作用消失后，因为岩石碎胀将充满拱内的自由空间，圆拱将保持自己的稳定性。

此后，苏联、捷克、英国、比利时、法国和德国等学者都就拱的形成以及在采场中的应用进行了试验和理论的研究。

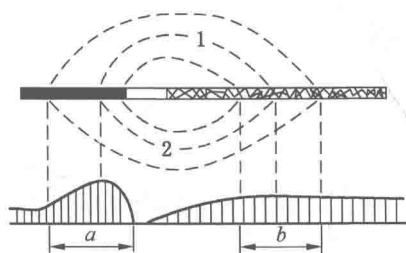
压力拱假说认为：“开掘在任何岩层中的巷道，由于重力作用，顶板岩层将发生破坏

变形，形成一稳定的卸载拱”。拱承受拱面以上全部岩石的重量，并将全部载荷经由压力拱的拱脚传递到巷道两帮岩石，进而引起巷道两帮鼓出及底板隆起等围岩变形，巷道支架所受的载荷是拱面以下已经破碎的有限断面内的岩石的总重量。

按照上述巷道内成拱假说，在长壁工作面中从开切眼起，其上方已形成了压力拱。随着采煤工作面推进，由于采空区不断扩大，压力拱的跨度也将随之增大。此后，如果工作面继续向前推进，则原有的压力拱将被破坏，但此时在回采工作空间上方，由于岩层自然平衡的结果却又形成一个新的压力拱，新压力拱的特点是：拱的一个支撑点在工作面前方煤体内，形成了前拱脚 a ，而另一个支撑点在采空区内已垮落并逐渐压实的矸石上或采空区的充填体上，形成了后拱脚 b ，如图 2-1 所示。随着工作面的推进，前、后拱脚也将向前移动。在两个拱脚处形成应力增高区，工作面则处于应力降低区。由于在工作面顶板中存在一个减压区，因此，采煤工作面的支架仅承受压力拱内的岩石重量。

在底板中也存在压力拱，所不同的是，由于底板岩体重力的作用，拱内的岩体变形和破坏通常都比较小。

采场压力拱的宽度，随工作面推进速度、煤层厚度及围岩强度的增大而增大。为了减少支架所受的压力，应当尽量缩小压力拱的宽度范围。图 2-2 为普氏提出的采煤工作面支柱压力计算方法。



1—顶板内压力拱轴线；2—底板内压力拱轴线；

a —前拱脚； b —后拱脚

图 2-1 采煤工作面压力拱假说

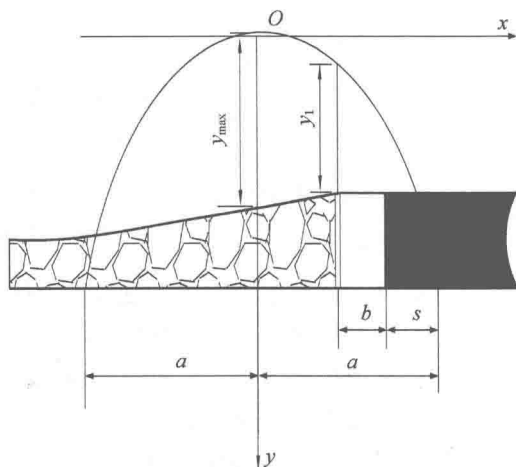


图 2-2 采场压力拱计算

对于采煤工作面最后一排单体支柱所受的最大压力有：

$$P_x = \left[\frac{a}{f} - \frac{(a-b-s)^2}{af} \right] \gamma \quad (2-1)$$

式中 f ——岩石的普氏坚固性系数；

a ——拱宽的一半，m；

b ——支柱到工作面煤壁的距离，m；

γ ——上覆岩体的平均容重， kN/m^3 。

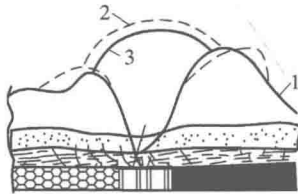
普氏还建议用式 (2-2) 计算工作面前方压力拱脚区宽度：

$$s = 0.26 \cos \alpha \sqrt{\frac{aH}{f}} \quad (2-2)$$

式中 H ——开采深度, m;
 α ——煤层倾角, ($^{\circ}$)。

除上面所提到的情况外,对采场压力拱还有若干不同的解释。德国学者希普特罗对采场压力拱作过较为全面的阐述,如图 2-3 所示。希普特罗认为:

- (1) 在工作面及其附近的顶板中存在着压力拱。
- (2) 在压力拱内为卸载区,卸载区也同时能在底板中形成。
- (3) 通常在工作面前方 15 m 的距离内形成拱脚最大压力带,在工作面附近压力逐渐减小。同时,在采空区中,充填体或冒落的矸石开始压缩的 15 m 内形成另一拱脚的最大压力区,在这两个最大压力区的拱中心形成驼峰状的压力分布,两侧高,中间低。
- (4) 利用全部垮落法管理顶板时,压力拱陡峭且比较高;用充填法时则拱平缓且拱高小。
- (5) 拱的高度和宽度仅取决于煤层厚度(采高)、顶板管理方法和顶板岩石性质。
- (6) 压力拱是非对称性的,并且沿工作面的长度方向没有表现。



1—支承压力分布曲线; 2—采用全部垮落法管理顶板; 3—采用充填法管理顶板

图 2-3 希普特罗采场压力拱的分布

除上述以外,还有不少研究人员以压力拱理论为基础,分析与采场压力显现有关的问题和现象,但所有解释与上面提到的并无本质区别。

近年来,矿山压力理论研究及现场观测不断发展,研究手段日趋完善,人们对采场压力显现规律的认识不断深化。总结各方面的研究成果,对压力拱假说作以下评价:

- (1) 压力拱假说比较简明地阐述了采场围岩卸载的原因,探讨了围岩平衡状态及其范围,对采煤工作面前后支承压力的形成及回采工作空间处于卸压区进行了一些解释。
- (2) 压力拱在巷道中并不是唯一的表现形式,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,支架特性及结构形式。在采煤工作面,由于煤层顶底板岩性、顶板管理方法、支架形式及特性、回采工艺等的差异,可能形成不同的复杂的力学结构,这远非压力拱理论所能概括和阐明的。
- (3) 压力拱假说认为,支架压力来源于拱内岩石的重量,与支架特性无关。这显然与实际情况不符。实践证明,在地质和开采条件不变时,支架压力在很大程度上取决于支架特性。在一定条件下,支架受压经一段时间后,可以保持恒压,有的还会随时间增长,压力不断增加。

- (4) 坚硬的层状岩石,如硬质砂岩,无论是在采场还是在巷道,都不可能形成拱,这