

高等学校规划教材

矿山压力及其控制

(修订本)

钱鸣高 刘听成 主编

煤炭工业出版社

ISBN 7-5020-0504-8/TD·460

书号：3281 定价：5.55元

高等学校规划教材

矿山压力及其控制

(修订本)

钱鸣高 刘听成 主编

煤炭工业出版社

(京)新登字 042 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了回采工作面和采区巷道矿山压力及其控制的基本理论和基本知识,并扼要地介绍了实验室和现场矿山压力研究方法。书中较全面的反映了我国煤炭部门研究矿山压力及其控制方面所取得的科研成果和生产实践经验,适当介绍了可借鉴的国外技术和经验。本书主要作为煤炭高等院校采矿工程专业的教材,也可供从事地下开采的科研、设计和现场工程技术人员参考。

本书经采矿工程教材编审委员会主持的审稿会议审查通过。

责任编辑:刘泽春

高等学校规划教材
矿山压力及其控制
(修 订 本)

钱鸣高 刘听成 主编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街 21 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 787×1092mm^{1/16} 印张 21^{1/2}

字数 540 千字 印数 6,566—10,195

1991 年 3 月第 1 版 1992 年 9 月第 2 次印刷

ISBN 7-5020-0504-8/TD·488

书号 3281

定价 5.55 元

修 订 说 明

本书自1984年初版问世以来，作为煤炭系统高校的专业教材，已应用6年，在此期间编者广泛收集了读者对本书的意见，再加上在此期间矿山压力的科学研究及生产技术有了长足发展，对原来属于基本概念的内容也应有一定的修正与补充。因此，自去年开始，在许多同志的支持与帮助下，对本书作了较为全面的修订。

由于教材必须遵循少而精、理论联系实际和突出“三基”内容等原则，因此不可能把所有的最新研究成果编纂进去，而是力求把在层状矿体开采中所出现的岩体力学基本概念交待清楚，并使其深入浅出。为此，全书仍然保持了原有教材的基本体系，补充了与基本概念有关的新内容。为了使初学者在概念上不致混淆，全书没有过多地介绍有关学术争论的内容。

全书由原作者钱鸣高，刘听成、王庆康及赵宏珠各自按其初版时负责的章节进行修改，由钱鸣高及刘听成任主编，王庆康同志参加了全书的定稿工作。

在此，对修编此教材过程中广为提供意见的教师与同学表示真诚的感谢。

必须指出，书中仍有可能出现不妥与错误之处，欢迎读者批评指正，以便今后再版时加以完善。

编 者
1990年末

ABA26/02

符 号 表

<i>A</i> ——面积, 支护强度, 系数;	<i>k</i> ——系数;
<i>B</i> ——距离, 宽度, 系数;	<i>l</i> ——长度, 距离;
<i>C</i> ——内聚力, 常数, 系数;	<i>m</i> ——高度, 震级;
<i>D</i> ——直径, 距离, 强度指标;	<i>n</i> ——孔隙率, 数目, 系数;
<i>E</i> ——弹性模量, 敏感度;	<i>p</i> ——支护强度;
<i>F</i> ——面积, 合力, 支撑力;	<i>q</i> ——均布载荷, 阻力;
<i>H</i> ——深度, 高度;	<i>r</i> ——半径, 相关系数;
<i>I</i> ——指数, 水力坡度;	<i>t</i> ——时间, 厚度;
<i>J</i> ——断面距;	<i>u</i> ——水平位移量;
<i>K</i> ——曲率, 厚度比, 体积模量; 系数;	<i>v</i> ——速度;
<i>L</i> ——长度, 距离, 指数;	\bar{x} ——平均值;
<i>M</i> ——弯矩, 高度, 厚度, 质量, 震级;	<i>y</i> ——距离;
<i>N</i> ——正压力, 夹紧力;	α ——角度, 系数, 长宽比, 相似比;
<i>P</i> ——载荷, 力;	β ——角度, 系数, 受力比;
<i>Q</i> ——剪力, 重量, 载荷, 流量;	γ ——容重, 剪应变;
<i>R</i> ——岩石强度, 半径, 裂隙类型, 反力, 阻力;	Δ ——差值;
<i>S</i> ——距离, 移动量, 下沉量, 均方差;	<i>e</i> ——应变量;
<i>T</i> ——水平力, 剪切力;	$\dot{e} = \frac{de}{dt}$, “.” 微分符号;
<i>U</i> ——移近量, 速度, 指数;	η ——标准下沉量, 软化系数, 粘性系数, 刚度系数;
<i>V</i> ——体积, 速度, 指数;	θ ——角度;
<i>W</i> ——垂直位移量, 距离, 载荷;	λ ——侧压系数;
<i>X</i> ——距离, 煤柱宽度;	μ ——泊松比, 系数;
<i>Y</i> ——距离, 函数, 变量;	π ——圆周率;
<i>Z</i> ——垂距, 常数, 支撑力;	ρ ——密度, 曲率半径;
<i>a</i> ——距离, 常数;	ρ' ——视密度;
<i>b</i> ——厚度, 距离, 常数;	σ ——正应力;
<i>c</i> ——系数, 常数;	τ ——剪应力;
<i>d</i> ——直径;	Φ ——直径, 转角;
<i>e</i> ——孔隙比, 自然对数的底;	φ ——摩擦角;
<i>f</i> ——系数;	ω ——吸水率, 自由度。
<i>h</i> ——厚度, 高度;	
<i>i</i> ——倾斜度;	

目 录

绪 论	1
第一章 矿山岩石和岩体的基本性质	9
第一节 矿山岩石的基本概念	9
第二节 岩石的物理性质	10
第三节 岩石的变形性质	15
第四节 岩石的强度性质及测定方法	25
第五节 岩石的破坏机理和强度理论	32
第六节 有关岩体的基本概念	39
习 题	55
第二章 矿山岩体内应力的重新分布	57
第一节 岩体中的自重应力与构造应力	57
第二节 岩体中的弹性变形能	61
第三节 “孔”周围的应力分布	63
第四节 围岩的极限平衡与支承压力分布	72
第五节 支承压力在底板岩层中的传播	74
习 题	77
第三章 回采工作面上覆岩层活动规律及其分析	79
第一节 概述	79
第二节 老顶岩层的稳定性	80
第三节 老顶初次破断时的极限跨距	84
第四节 裂隙体梁的平衡	90
第五节 直接顶的稳定性	93
第六节 回采工作面上覆岩层移动概况	95
第七节 回采工作面上覆岩层岩体结构分析	101
第八节 老顶岩层破断时在岩体内引起的扰动	107
习 题	113
第四章 回采工作面矿山压力显现基本规律	115
第一节 概述	116
第二节 老顶的初次来压	116
第三节 老顶的周期来压	118
第四节 顶板压力的估算	120
第五节 老顶来压的预测预报	122
第六节 回采工作面前后支承压力的分布	125
第七节 影响回采工作面矿山压力显现的主要因素	126
习 题	134
第五章 回采工作面顶板控制及支护方法	135
第一节 基本概念	135

第二节	回采工作面顶板岩层组成分类	137
第三节	单体支架	142
第四节	液压支架	150
第五节	回采工作面支架与围岩的关系及其基本参数的确定	153
第六节	单体支架支护方法分析	160
第七节	支撑式液压支架支护方式分析	168
第八节	掩护式液压支架支护方式分析	172
第九节	支撑掩护式液压支架支护方式分析	178
第十节	液压支架的端面顶板冒落及其防治	183
	习 题	186
第六章	采区巷道矿压显现及其控制	187
第一节	采区巷道变形与破坏	187
第二节	采区巷道矿压显现基本规律	192
第三节	采区巷道矿压控制原理	199
第四节	采区巷道保护基本措施	203
第五节	采区巷道支护	213
	习 题	233
第七章	煤矿动压现象及其控制	235
第一节	冲击矿压	235
第二节	顶板大面积来压	253
	习 题	261
第八章	回采工作面和采区巷道矿山压力研究方法	262
第一节	矿压现场观测工作概述	262
第二节	矿山压力现场观测方法	263
第三节	矿山压力实验室研究方法	282
第四节	矿山压力观测数据整理与分析	287
	习 题	308
附录	用PC-1500袖珍机整理液压支架工作面观测数据的计算程序	309
	参考文献	333

绪 论

一、矿山压力及其控制的基本概念和学习本课程的意义

地下岩体在受到开挖以前,由于自重引起的应力(通常称为原岩应力)是处于平衡状态。当开掘巷道或进行回采工作时,破坏了原来的应力平衡状态,就会引起岩体内部的应力重新分布。它表现为巷洞周围煤、岩体产生移动、变形甚至破坏,直到煤、岩体内部重新形成一个新的应力平衡状态为止。在此过程中,巷洞本身或安设在其中的支护物会受到各种力的作用。这种由于在地下煤岩中进行采掘活动而在井巷、洞室及回采工作面周围煤、岩体中和其中的支护物上所引起的力,就叫做“矿山压力”(简称“矿压”,有些文献中称为“地压”(1)、“岩压”等等)。

在矿山压力作用下,会引起各种力学现象,如顶板下沉,底板臃起,巷道变形后断面缩小,岩体破坏散离甚至大面积冒落,煤被压松产生片帮或突然抛出,支架严重变形或损坏,充填物受压缩,以及大量岩层移动地表发生塌陷等等。这些由于矿山压力作用,使围岩、煤体和各种人工支撑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,矿压显现会给地下开采工作造成不同程度的危害。为使矿压显现不影响正常开采工作和保证生产安全,必须采取各种技术措施加以控制,包括对巷道及回采工作空间进行支护,对软弱或破碎的煤岩进行加固,用各种方法使巷道或回采工作空间得到卸压,对采空区进行充填,或用人为的方法使采空区顶板按预定要求冒落等等。此外,人们对矿压的控制不仅在于消除和减轻矿压对开采工作造成的危害,还包括有效地利用矿压的自然能量为开采工作服务。例如,依靠矿压的作用压松煤体以减轻落煤工作,借助采空区上覆岩层压力去压实已冒落的矸石以形成自然再生顶板等等。所有这些人地调节、改变和利用矿山压力作用的各种措施,叫做“矿山压力控制”(简称“矿压控制”)。

研究矿压显现规律及其各种控制方法的基本目的,是为了保证生产安全和取得良好的经济效益。进而言之,学习本课程对煤矿开采的意义表现在以下几方面。

1. 保证安全和正常生产

据多年统计,在煤矿的各种自然灾害中,顶板事故造成的人员伤亡几乎占井下所有事故死亡人数的一半。这类事故小至个别岩块掉落,大至工作面大冒顶,无不与对矿压显现规律的掌握程度以及采取的控制手段是否正确有关。由于顶板事故频繁或巷道维护状况极差,影响井下正常运输、通风和行人,都会给生产带来极大危害,甚至难以进行正常生产,这些都迫使人们必须重视矿压显现规律的研究和其控制问题。

2. 减少地下资源损失

在开采过程中,为了保护巷道或进行回采工作面顶板管理,常常留设各种煤柱(护巷煤柱,采区隔离煤柱,房间煤柱,“刀柱”等)。据统计,煤柱造成的损失平均占矿井可采储量的20~40%,这是造成煤炭损失的主要根源。此外,在发生大、中型冒顶事故时也会引起煤炭损失。所以研究矿压显现规律,减少顶板事故,选择合理的煤柱尺寸,甚至在某些情况下完全取消煤柱,就有可能大大减少煤炭资源损失。

3. 改善地下开采技术

地下开采技术的进步与对矿压显现规律的深刻认识和矿压控制手段的改善有密切关系。例如，自移式液压支架的应用促成了采煤综合机械化的实现，反之，开采技术的变化和开采难题的解决又往往要求以矿压控制问题的解决为必要前提。例如，开采深度增加使矿压显现更为剧烈，并带来了一系列新的矿压控制问题，只有不断解决这些问题才能使未来复杂条件下的开采工作得以顺利进行。这些都说明随着开采条件日益困难和新技术的发展要求更深入地研究矿压显现规律及其新的控制方法。

4. 提高采煤经济效果

为了维护巷道和管理顶板，每年要消耗大量人力、物力。例如，一般矿井的巷道维修人员约占井下生产工人的10~20%，而且为了进行矿压控制，全国煤矿每年要消耗大量的坑木、金属支护材料、水泥和其他材料。这些都会明显地增加开采费用，使吨煤成本上升。如果由于矿压控制不善而发生各种顶板事故，则还可能造成人员伤亡，生产中断，这就给全矿井带来更大的经济损失。

综上所述可知，掌握矿压显现规律，研究矿压控制的有效方法，对煤矿生产有十分重要的意义。因此，《矿山压力及其控制》这门课程在地下采煤学术领域中，占有很重要的地位。

二、矿压及其控制的研究历史简况

采矿工业是一切工业的先行部门，一向被誉为“工业之母”。许多国家发展工业的经验表明，发展工业离不开采矿。然而在早期的采矿工作中，人们只能从现象上去认识矿压的显现形式，真正开始矿压的研究不过几十年的历史。就世界范围来说，对矿压及其控制的研究大致可分为以下几个发展阶段。

1. 对矿压的早期认识阶段

我国是世界上采矿最早的国家之一。明代末年所出的《天工开物》一书中，已具体地记述了用立井开采及在井下进行支护和充填的情况。说明我国在采矿事业发展的初期，人们就已认识到矿压的危害和需要加以控制。

随着采矿规模日益扩大，经常出现矿井内顶板冒落、巷道堵塞或地表塌陷等事故，迫使人们不得不重视和研究矿压问题。例如，欧洲国家对矿压的认识大约开始于15世纪。据文献记载，15世纪时，英国曾发生过由于开矿造成地表破坏而引起诉讼的事件。中世纪时，欧洲一些国家中因地下开采发生破坏庙宇及城市供水的事件增多，开始出现了防止采矿工作破坏地表的协定（1487年）。到19世纪30年代以后，在比利时、德、法等国家，为了防止地面房屋建筑遭到破坏，也曾提出过一些确定保护煤柱的方法。

2. 建立矿压早期假说的阶段

19世纪后期到20世纪，可看作是矿压研究的第二阶段。此阶段的特点是利用某些比较简单的力学原理解释实践中出现的一些矿压现象，并提出了一些初步的矿压假说。其中最具有代表性的是认为巷道上方能形成自然平衡拱的所谓“压力拱假说”及有关的分析计算。在这个阶段中，对巷道围岩破坏机理和支架所受的岩石压力大小也开始进行了初步的理论研究。尽管这时提出的一些理论和假说本身尚存在许多不足之处，而且只能在比较局限的条件下应用，但它在矿压研究的发展进程中曾起过重要的历史作用。此外，这个阶段中还提出了以岩石坚固性系数 f （普氏系数）作为定量指标的岩石分类方法，并曾获得广泛应

用，至今也未完全失去其意义。

这个阶段，在研究岩层和地表移动理论方面，通过精确的仪器测量，开始认识到地表建筑物的损坏不仅仅是由于地表下沉，而且是由于水平移动的结果。此外，为了进一步掌握矿山岩体变形随时间、空间而变化的规律，除在地面观测外，还开始在井下巷道中进行了岩石移动观测。

3. 以连续介质力学为理论基础的研究阶段

20世纪30年代至50年代是这个阶段的代表时期。由于开采深度和开采规模加大，开始感到仅仅研究巷道周围局部地区岩石状况变化的理论和方法（如拱形理论、建筑力学方法等），已不能充分反映开掘巷洞所引起的围岩中应力变化的真实过程，于是开始把巷道周围直到地表的整个岩体当作连续的、各向同性的弹性体来进行研究和建立假说。即用弹性理论研究矿山岩石力学问题，并推出了在自重作用下计算原岩应力的有关公式，研究了由于开掘各种形状的垂直和水平单一巷道而引起的自然应力场的变化。其中典型的例子之一是用弹性理论解决了圆形巷道周围的应力分布问题。以后又研究了岩体非均质性和各向异性对理想弹性体的影响，以及把岩层看作是具有不同变形特性的弹性介质，进一步研究岩体层理性的影响。此外还用连续介质力学方法研究了岩层移动问题。

在进行理论研究的同时，研究矿压的实验手段也获得了发展。其中应用较广的是利用相似材料进行的相似模型研究方法，其次是利用光敏材料进行的光弹性模拟方法。

在这个阶段中，矿压控制手段取得了一些新的突破，其中较有代表性的如井下巷道中开始采用U形钢拱形可缩性金属支架（1932年，德国），回采工作面中开始采用摩擦式金属支柱（20世纪30年代，德国等），煤矿中开始应用锚杆支架（1940年，美国），以及采煤工作面中出现第一架自移式液压支架（50年代初，英国）等。矿井支护技术的这些进步，为以后煤矿中矿压控制技术的现代化奠定了基础。

4. 矿压研究的近代发展阶段

这个阶段主要是指60年代至今的近20~30年。在这个时期内矿压研究在以下几方面取得了新的进展。

(1) 在理论研究方面，除了继续应用连续介质力学方法研究有关矿压问题外，进一步发展了考虑岩石真实特性的各种理论研究。其中最重要的是把岩体看作是受到各种性质的弱面切割的多裂隙介质，于是使矿压的基本研究对象——岩体，具有了与一般固体所不同的力学特征。从这个观点出发引用相关学科中现代研究成就的结果，出现了一系列边缘学科分支和方法，如利用断裂力学理论研究裂隙岩体而提出了所谓岩石断裂力学，它对采矿工程中的岩石破碎问题和研究冲击矿压机理有密切关系，近年来还提出用岩体的损伤模型来描述岩石破坏过程，并可对岩体的稳定性作定量分析；又如在把岩体看作是碎块集合体的基础上，借助颗粒力学理论，根据对碎块体进行实验研究的结果，提出了所谓岩石块体力学，它可以研究不规则块体的相互平衡和运动，再如在把工程岩体看作是被结构面和工程开挖面（悬露面）共同切割的块体所组成的群体的前提下，提出了所谓块体稳定理论，它利用力学中分析刚体运动的方法，通过对几何可移块体进行稳定性分析，可以预测开挖面上可能遇到的不稳定岩块，并在开挖过程中对它及时进行加固。

考虑岩石真实特性的理论研究的另一个发展，是把岩体变形看作是与时间有关的岩石流变特性的研究。由于将流变理论引入岩石力学的结果，提出了所谓岩石流变学，它可以

考虑围岩应力场随时间的变化,岩体内应力的释放,岩石流变的扩容现象,岩石膨胀的机理,以及推算某些岩体经过长时间以后的强度和变形特性,这些研究工作对于服务年限很长的巷道,尤其是位于软岩中的巷道的维护有重要意义。

在研究方法方面值得提出的是在现代计算机技术基础上发展起来的一些新的数值分析方法,如有限元法,边界元法,离散元法等等,这些方法可以在考虑岩体复杂力学属性的基础上去分析巷洞周围岩体中的应力变化和位移分布,确定其稳定性等等,使矿压理论研究有可能获得更符合实际的数值解答。

另外,在地表岩层移动研究方面,在进行大量现场观测和掌握了不同条件下岩层移动基本规律的基础上,建立了更为完善的因开采造成的地表移动和变形值的计算和预测方法,以及开展了开采工作引起的煤层上覆岩层运动机理及其有关规律的研究。

(2) 在应用研究方面,配合地下开采技术和支护技术的发展,进行了不同煤层条件下采用不同支护类型的回采工作面中矿压显现规律的研究,开展了采用煤柱护巷和无煤柱护巷的各类巷道中的矿压显现规律的研究,以及进行了为解决有冲击矿压、煤和瓦斯突出危险煤层开采的有关研究,从而为改善回采工作面矿压控制,合理布置和维护巷道,以及保证安全生产,提供了科学依据。

(3) 在实验研究方面,结合各类研究课题的需要,改善了进行现场观测和实验室研究的各种仪器和设备,广泛发展了包括力学、电学、声学、光学、磁学、放射性测定等各种常规的和新的测试手段和方法,开展了对岩石和岩体各种力学特性的实验室研究和现场研究,包括利用三轴试验机 and 刚性试验机对岩石三轴强度和残余强度特性进行的研究,这些都为进一步开展理论研究,提供了必要的原始数据和资料。

除此之外,在矿压控制方面,进一步改善了巷道支护技术。如发展大断面、大缩量和高支撑力的可缩性金属支架,广泛应用锚喷支护,发展了树脂锚杆、快凝水泥锚杆、可伸长锚杆和其他新型锚杆,开始采用注浆方法加固不稳定煤层和围岩。回采工作面中的自移式液压支架日趋完善,架型增多,适用范围扩大。对过去难以控制的坚硬顶板,通过高压注水、超前爆破等手段,比较有效地避免了在采空区中突然大面积冒落所造成的危害。对井下冲击矿压的预测和控制的效果也大为提高。因此,在这个阶段中,人们对矿压的控制日趋有效,使采煤效率和井下工作的安全程度得到很大提高。

三、矿山岩石力学的特点及其研究范围和方法

随着矿压研究的广泛发展和不断深入,人们越来越多地认识了岩石的力学性质和开采过程中岩体内所发生的自然力学现象和规律,在此基础上逐渐形成了一个新的学科分支——矿山岩石力学。所谓矿山岩石力学是研究自然和采动影响所造成的矿山应力场中,有关矿山岩体和矿山工程结构的强度、稳定性和变形的科学^[2]。它既可看作是力学的一个应用学科,又属于采矿科学的一个组成部分。目前采矿工业或从某种程度上说能源开发中许多重要问题的解决都离不开矿山岩石力学。

岩石力学萌芽于采矿工程,但是作为研究各种岩石的力学性质及其有关应用问题的一个学科来说,它并非在采矿部门中独立形成,而是伴随与岩石开挖有关的水利、工程地质、铁路交通、地下建筑、国防建设等许多工程部门的发展而逐渐形成的。所以,矿山岩石力学与这些部门中的同类学科有共同的理论基础和类似的研究方法。然而,矿山岩石力学与上述工程部门中的同类学科相比,又有自己的特点,这表现在:

1) 其它工程部门在地下开挖的巷硐大都在离地表不深的地点,而采矿工程的作业地点常在地下几百米深处。目前我国煤矿最大开采深度已达千米,国外煤矿最深已达1450m(联邦德国),而金属矿山的采深有的达二、三千米以上。由于深部岩石的应力状态和变形、破坏特性与浅部岩石往往有所不同,使矿山岩石力学遇到的问题更为复杂。

2) 地下开采过程中安设的人工支护大多是服务年限不长或维护时间较短的临时结构物,只要求它在开采期间能保证生产的安全,而且许多工程结构物还可以随采随废。所以某些计算的精度、安全系数以及岩体加固标准等可以远远低于其他部门的要求;

3) 由于采矿作业地点必须服从于有用矿物的自然埋藏地点,使得选择地下工程建筑物的位置往往受很大限制。此外,其他工程部门中研究的对象多是开挖后即不再转移的地下硐室或隧道,而矿井的采掘工作面是不断移动的,这就要求矿山岩石力学必须考虑难以预见的复杂地质变化对工程结构带来的影响。由于大面积开采还会引起采空区上方大量岩层移动和破坏,研究这些岩层的运动、破坏和平衡规律及其控制方法,是矿山岩石力学的重要课题,这也是区别于其他应用性岩石力学学科的重要内容。

应当指出,对于煤矿开采来说,由于遇到的主要是层状岩体(岩层)的运动、破坏和平衡问题和对控制方法的研究,因此近年来在某些文献^[3]中也把与研究层状矿体开采有关的岩石力学称之为岩层力学(strata mechanics)和岩层控制(strata control)。

矿山岩石力学的研究目的,主要在于通过理论研究、实验研究和现场观测,系统地查明各种矿山地质条件下的矿压显现规律,研究控制矿压的理论和防止矿压危害的措施,并按照矿山岩石力学原理,改善矿井设计、施工和生产工作,以保证在安全、经济的原则下最大限度地采出地下资源。

矿山岩石力学的研究内容很多,主要包括以下一些方面:

- 1) 矿山岩石的物理性质;
- 2) 矿山岩石的力学性质,包括在实验室或现场条件下测定岩石的基本力学参数等;
- 3) 岩石破坏机理和岩石强度理论;
- 4) 地下原岩体中应力状态和巷硐周围岩体中应力重新分布的规律;
- 5) 岩体中应力测试问题;
- 6) 开采后岩体变形、破坏和移动的规律;
- 7) 巷道和回采工作面中矿压显现规律;
- 8) 正常开采时和特殊情况下各种矿压控制手段和方法;
- 9) 矿山岩石力学实验室研究手段和方法;
- 10) 矿压假说和理论。

矿山岩石力学研究采用了现场观测、理论分析和实验室试验等性质不同的研究方法。这三者各有优缺点,因此在研究同一问题时往往将这三种方法互相配合,通过不同研究方法所得结果的相互补充和验证,可以保证被研究的问题得到更为完整和可靠的结果。

四、我国地下采煤领域中矿压研究概况

建国以来,我国煤炭部门围绕改革采煤方法和巷道布置,以及配合改善回采工作面和巷道的矿压控制,开展了大量的矿压研究工作,并取得了许多有价值的成果,主要表现在以下几方面:

1. 矿压现场研究

我国早在50年代中期就开始进行回采工作面顶底板移近量和支柱受载观测。60年代初期,为了配合推广摩擦式金属支柱和金属铰接顶梁,以及推广应用无密集放顶,大规模地开展了回采工作面矿压现场观测研究。70年代至80年代,随着我国积极进行回采支护的更新换代,即以液压支架和单体液压支柱代替木材或摩擦金属支柱,又先后在几百个工作面中进行了矿压现场观测研究,初步掌握了单体液压支柱,支撑式、掩护式和支撑掩护式液压支架对不同地质条件的适应性,研究了回采工作面新型支架的工作性能和合理参数,并在此基础上进行了我国主要矿区回采工作面顶板分类的研究,提出了我国的《缓倾斜煤层工作面顶板分类》,为合理进行回采工作面矿压控制和支架选型提供了科学依据。此外,近10年来,我国在倾斜和急斜煤层中也进行了一定数量的矿压现场观测研究,促进了急斜煤层中采煤方法和回采工艺,尤其是顶底板管理和支护工艺的改革。

除了回采工作面的矿压现场观测外,还对一般岩层、松软岩层及应用锚杆支护的各种巷道进行了井下矿压观测,促进了软岩巷道的支护改革和锚杆支护的推广应用。从70年代后期至今,为了配合无煤柱护巷的应用,许多矿井广泛进行了沿空巷道和跨巷开采条件下的巷道矿压观测,查明了采动影响下回采巷道中的矿压显现规律以及开采工作对底板中岩石巷道的影 响。这些成果对于选择合理的巷道位置,改善巷道维护,确定合理的煤柱尺寸,以及推行无煤柱护巷,都起了良好作用。

为了进一步研究开采引起的回采工作面上覆岩层移动和破坏的规律,弄清采空区上方形成的冒落带、裂隙带的高度,查明上覆岩层运动机理和回采工作面周围应力重新分布规律,以及上覆岩层移动与工作空间顶板下沉和支架受载的关系,部分矿区在井下巷道内或通过地面打深钻孔,设置深部测点,进行岩层内部移动规律的观测研究。为了查明巷道附近煤层或岩体内的矿压显现规律,曾利用声波仪、钻孔应力传感仪、钻孔油压枕等测压仪器探测了巷道周围松动圈的范围和岩体内的应力状态。有些矿区为了解决坚硬难冒落顶板的管理,铁路下、建筑物下和水体下采煤,水力采煤,以及开采有冲击矿压、煤和瓦斯突出危险的煤层等问题,曾采用地音仪进行采空区矿压显现观测,利用微震仪监测顶板动态,用钻孔电视设备观测岩层移动、难冒落顶板人工爆破处理效果和开采后顶板的断裂、离层、垮落情况,以及利用其他地球物理探测手段进行有关的矿压研究。通过以上一系列矿压现场观测研究,对防治我国煤矿井下冒顶事故,改善顶板安全状况起到了良好作用。在西山、开滦、枣庄、铜川等矿区,依靠矿压显现的现场观测,还成功地进行了回采工作面周期来压的预测和预报,实现了矿压研究直接为煤矿生产服务的目的。

值得指出的是随着矿压现场研究的进行,现场观测方法和手段也有了很大发展,目前已有上百种国内研制和生产的地下岩体工程测试仪器及设备,观测仪器已由过去单一的机械式扩大到利用电学、声学、光学、磁学等多学科技术的综合应用,观测方式也正在从人工就地读数逐步向遥控和自动监测过渡,并且开始利用计算机进行观测数据的处理和分析。

2. 矿压控制

我国从1973年开始发展自移式液压支架,这是我国煤矿开始实现现代化的一个重要标志,也是我国回采工作面矿压控制的重大进展。至1988年我国已拥有综采设备近450套,并开始在大倾角煤层(达 55°)中应用综采设备。随着单体液压支柱、液压切顶墩柱在我国的应用,也使普通机械化工作面的顶板管理水平提高了一大步。目前我国已使用单体液压支

柱约200万根,单体液压支柱工作面已有一千余个,并将逐步把摩擦支柱工作面改为单体液压支柱工作面。

长期以来,坚硬难冒落顶板的管理是矿压控制中的一个难题。80年代以来,我国开展了利用高压水对顶板进行预处理的研究〔4〕,通过压裂和软化岩体,改变坚硬顶板的物理力学性质和开采后的岩层运动规律,取得了明显效果。1986年又在大同矿务局云岗矿坚硬厚砾岩的顶板条件下,用注水弱化顶板和强制顶板冒落的办法,结合使用装有抗冲击大流量安全阀的每架阻力7200kN的支撑掩护式液压支架,成功地完成了综合机械化采煤试验,工作面经历了老顶初次来压和20多次周期来压考验,取得了良好技术经济效果,使我国对坚硬难冒落顶板的控制技术开始进入国际先进水平。

在巷道矿压控制方面,近十余年来推行了先进的锚喷(锚杆)支护,目前已成为我国统配煤矿中应用比重最高的巷道支护形式。近几年来巷道可缩性金属支架的应用也日益广泛,发展了适用于不同条件的多种架型,颁布了《巷道金属支架系列》,使我国巷道金属支架的应用进一步系列化和科学化。此外,随着无煤柱护巷的推广,开始采用多种类型的巷旁支护,并在有条件的矿井积极发展整体浇注巷旁充填技术。

在矿压控制方面值得指出的是,随着计算机技术的发展,为了充分利用专家经验和先进知识,并在理论化和系统化的基础上便于为广大工程技术人员使用,从80年代后期起我国煤炭部门也开始了采矿应用专家系统的研制,并已初步研制出长壁单体支柱工作面顶板控制设计专家系统和巷道支护形式和参数选择专家系统。无疑,这对提高我国煤矿岩层控制的技术水平和使顶板管理和支护工作进一步科学化和合理化具有重要意义〔5〕。

3. 矿压理论研究

在理论研究方面,我国煤炭部门的矿压工作者多年来进行了大量的工作。1981年以来先后召开过5次《煤矿采场矿压理论与实践讨论会》,反映出我国煤炭部门矿压理论研究在回采工作面矿压显现规律、工作面上覆岩层破坏机理和运动规律、回采工作面围岩应力分布、支架与围岩相互作用,以及坚硬顶板条件下和急斜煤层条件下的矿压显现特征等方面都取得了新的进展。其中对工作面上覆岩层运动规律的理论研究,特别是“砌体梁”理论的提出,受到了国内外同行学术界的重视。以后有些研究者又按照板的理论建立了采空区上方岩板破坏的力学模型,查明了老顶破坏机理和破坏规律,其成果已能用于工作面矿压监测和对坚硬顶板的控制。除此之外,还有许多研究人员在弹性基础梁、悬臂梁、多种支承条件下的薄板、松散介质的压力拱及用能量原理作为支护判据等方面提出了不少新的见解,促进了煤矿矿压理论研究的发展。

近年来,在矿压理论研究中还广泛应用了数值分析和数值模拟方法,如用有限元、边界元、离散元等方法计算采掘工作面周围应力和位移的分布和变化,研究直接顶的稳定性,并用于“支架-围岩”相互作用的研究,分析不同类型支架或不同支护方式对围岩的支护效果等,都取得了较好效果。

关于巷道矿压理论研究方面,在综合分析大量巷道矿压现场观测资料和巷道围岩变形影响因素的基础上,提出了我国《缓倾斜、倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类》,研究了巷道顶底板移近量的预计问题,进行了煤柱极限平衡区宽度和应力分析计算,结合无煤柱护巷提出了沿空留巷的力学模型和研究了无煤柱条件下巷道支架与围岩的相互作用。此外,针对我国存在大量松软岩层的情况,研究了软岩巷道变形破坏的特征、机理和其控制

原理。

4. 矿压实验室研究

在实验室研究方面,我国从50年代中期就开始了全国主要煤田煤系岩石物理力学性质研究。1980年制订出我国煤炭部门统一的《煤和岩石物理力学性质试验规程》,1987年经修订后又作为部颁标准正式发布了《煤和岩石物理力学性质测定方法》。到目前为止,除大量进行了岩石抗压、抗拉、抗剪和变形性质的常规试验外,也进行过岩石流变试验、三轴试验和利用刚性压力机进行的岩石力学性质研究。为了开展大型试件的实验室研究,1987年我国煤炭部门又建成了YA-500型液压真三轴试验装置,其垂直和水平方向最大压力可达5880和3430kN,利用该装置曾进行过大型煤样(400×400×400mm)的三轴和单轴压缩试验,得到了全程“应力-应变”曲线,利用该装置也可研究试样的尺寸效应和进行其他有关的矿压实验室研究工作。

在模拟研究方面,利用相似材料模型进行的矿压问题研究有了很大发展。曾进行过回采工作面上覆岩层运动和矿压显现规律,液压支架与围岩相互作用,巷道支护形式选择,锚杆作用机理,巷道变形破坏和底臌机理,巷旁支护的力学特性,急斜煤层矿压显现,开采近距煤层的相互影响,煤层底板承压水对开采工作的影响等多种类型课题的研究,取得了许多有价值的成果。近几年来又进一步发展了用立体模拟实验装置进行的相似材料模型研究,这对查明老顶破断规律,回采工作面周围岩层压力分布,煤层底板应力分布,煤层及顶板内部的应力场、位移场以及煤层顶板运动的空间关系方面起到了良好作用。此外,我国煤炭部门还利用光弹性模型从矿压角度进行过改革采煤方法和改善巷道布置的研究,以及进行过锚杆支护机理和无煤柱护巷条件下的矿压研究。

为了在实验室条件下研究支架的整体性能和有关参数,我国煤炭科研部门在1975年就建成了具有先进水平的大型自移式液压支架试验台。80年代以来,为了配合煤矿巷道支护改革,又先后在部分研究单位和煤炭院校中建成了卧式和立式的巷道支架试验台,这些装置为研制新型支架和改善其性能提供了有效的实验手段。

我国地下采煤领域中在矿压研究方面所取得的成就,是在有关上级的领导下,由煤炭科研部门、煤炭院校及广大煤矿工程技术人员和工人共同努力的结果。但应看到,与国内其他有关部门和世界先进水平相比,我国煤炭部门的矿压研究工作还有较大差距,今后必须根据我国煤炭工业技术发展和煤矿生产实践的需要,继续大力开展矿压及其控制的研究工作,不断提高研究水平,逐步形成比较完整的、适应于煤矿生产建设需要的矿山岩石力学的科学体系,为我国煤炭工业早日实现现代化做出更大的贡献。

第一章 矿山岩石和岩体的基本性质

第一节 矿山岩石的基本概念

岩石是组成地壳的基本物质，它由各种造岩矿物或岩屑在地质作用下按一定规律（通过结晶联结或借助于胶结物粘结）组合而成。

自然状态下的岩石，按其固体矿物颗粒之间的结合特征，可以分为固结性岩石、粘结性岩石、散粒状岩石、流动性岩石（如流砂）等。所谓固结性岩石是指造岩矿物的固体颗粒之间成刚性联系，破碎后可以保持其一定形状的岩石。在煤矿中遇到的大多是固结性岩石，常见的有砂岩、石灰岩、砂质页岩、泥质页岩、泥岩、粉砂岩等，比较少见的有砾岩、泥灰岩等。所以对于采矿工程，重点是研究固结性岩石的有关性质。

按照岩石的力学强度和坚实性，常把矿山岩石分为坚硬岩石和松软岩石。一般将饱水状态下单向抗压强度大于5MPa的岩石叫做坚硬岩石，而把低于该值的胶结岩石（如泥岩，泥质页岩，泥灰岩，硅化粘土等）称为松软岩石（实践中又往往把单向抗压强度小于10MPa的岩石看作是松软岩石）。松软岩石具有结构疏松，视密度小，孔隙率大，强度低，遇水易于膨胀及有明显流变等特点。从矿压控制的角度来看，这类岩石往往会给采掘工作造成很大困难。

按照岩石的构成特征，可以区分出岩石的结构和岩石的构造这两个概念。

岩石的结构是指决定岩石组织的各种特征的总合，通常是指岩石中矿物颗粒的结晶程度，矿物或岩石碎屑颗粒的形状和大小，颗粒之间相互连结的状况，以及胶结物的胶结类型等特征。

组成岩石的物质颗粒大小差异程度，决定着岩石的非均质性。颗粒愈均匀，岩石的力学性质也愈均匀。颗粒大小也影响到岩石的力学性质，一般来说，组成岩石的物质颗粒愈小，则该岩石的强度愈大。

对于煤矿中常见的碎屑沉积岩来说，根据岩石结构可分为以下几种：

- 1) 砾状结构——指由粒径大于2mm的岩石碎屑胶结而成的碎屑结构类型，如砾岩；
- 2) 砂质结构——指粒径变化在2~0.05mm之间的碎屑结构类型，如砂岩；
- 3) 粉砂质结构——指粒径变化在0.05~0.005mm之间的碎屑结构类型，如粉砂岩、页岩等；
- 4) 泥质结构——指粒径小于0.005mm的碎屑结构类型，如泥岩、粘土岩等。

岩石的构造是指岩石中矿物颗粒集合体之间，以及它与其他组成部分之间的排列方式和充填方式。从矿山岩石力学观点来看，最重要的是以下几种构造：

- 1) 整体构造——岩石的颗粒互相严密地紧贴在一起，没有固定的排列方向；
- 2) 多孔状构造——岩石颗粒彼此相接并不严密，颗粒之间有许多小空隙（微孔）；
- 3) 层状构造——岩石颗粒互相交替，表现出层次叠置现象（层理）。

岩石的构造特征对其力学性质有明显影响，如层理的存在常使岩石具有明显的各向异