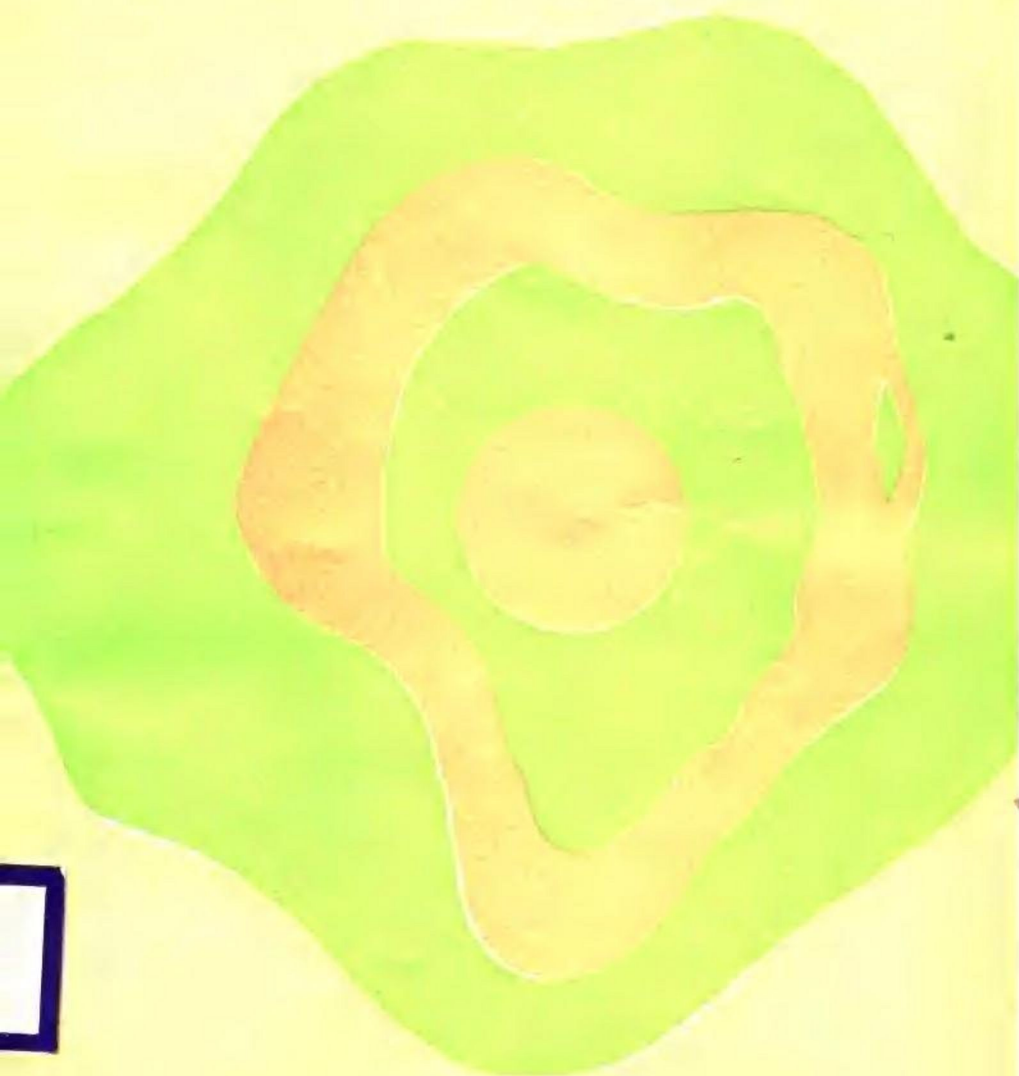


矿山压力原理与计算

第一版 1981年12月第1次印刷 1981年12月第1次印刷



矿山压力原理与计算

〔苏〕A. A. 鲍里索夫

王庆康 译 平寿康 校

煤炭工业出版社

译者的话

为了进一步发展采矿工业，保证生产安全，大幅度地增加产量，减少物质损失，提高经济效益，最重要的问题是研究岩体（包括矿体）在开采过程中发生的物理-力学过程的一系列规律。认识和掌握了这些自然规律，才能在复杂的采矿环境中作出正确的决策。

本书就是阐述在地下采掘过程中岩体内发生的物理-力学过程的实质及其规律的，如围岩与支架、回采工作面与矿柱相互作用的过程及规律。根据上述过程的实际规律，导出了计算矿山压力和支架的可靠方法。此外，还探讨了利用物探手段，预测矿山压力显现和一些地质隐伏构造的方法；研究了利用现代量测和通讯技术，以及电子计算机建立采集、传输、加工矿山压力显现信息的自动化系统等问题。

该书是以作者和他领导下的列宁格勒矿业学院层状矿田开采方法教研室多年从事的现场研究及实验室研究成果为基础，并总结了苏联所有各采矿研究所的研究成果而写成的。其主要特点是，进行了大量的立体模型试验，结合现场研究方法，提出了接近实际的正确概念，指出了过去由任意假设和推测而提出并曲解了的物理意义和概念。

众所周知，随着科学技术的发展，各个学科不断地完善和变得精确。关于矿山压力问题是属于矿山岩石力学（或矿山岩石与岩体力学）的学科。各国已趋于使用这种统一的术语作为学科的名称。该书的原名为《矿山岩石与岩体力学》。但是由于我国曾长期使用矿山压力这个术语，已为广大工程技术人员所熟知，

为了适应这种现状，便于读者们由书名就能了解书的内容，所以把该书名称改为《矿山压力原理与计算》。

最后应当指出，该书所阐述的问题，对采矿生产和科学研究工作，具有很大的现实意义和参考价值。

译 者

1985.11

目 录

译者的话

第一篇 矿山岩石力学问题和矿山岩石性质	1
第一章 矿山岩石和岩体（矿体）力学的发展	1
第一节 在采掘生产条件下产生的物理过程	1
第二节 矿山压力	3
第三节 矿山物理学	5
第四节 矿山岩石和岩体力学	7
第五节 主要问题	10
第二章 有关矿山岩石力学性质的问题	12
第一节 矿山岩体结构和岩体类型	12
第二节 矿山岩石分类	14
第三节 关于矿山岩石力学性质的问题	20
第四节 对天然条件下矿山岩石力学特性的评价	22
第二篇 采区巷道掘进和维护时的矿山岩石力学	29
第三章 矿井（矿山）支架的类型和工作方式	29
第一节 矿山支架	29
第二节 矿山支架的分类	30
第三节 支架的工作特性	31
第四节 支架的工作方式	34
第四章 在不受采动影响的平巷中，矿山岩石的 变形和破坏过程	35
第一节 问题的实质和课题的提出	35
第二节 支架特性对支架反力值及其分布的影响	37
第三节 巷道周边区岩石破坏特征的研究	40
第四节 巷道周边区的矿山岩石向塑性状态过渡的问题	46
第五节 以连续介质力学为基础的矿山压力假说	49
第六节 以实验为基础的一些矿山压力假说	65

第五章	受采场影响的回采平巷中矿山岩石的变形和破坏过程	105
第一节	支承压力对回采平巷的影响	105
第三篇	用长壁采煤法开采单一煤层时矿山岩体中的力学过程	110
第六章	开采缓倾斜煤层时固结性层状岩石中的力学过程	110
第一节	等效跨距	110
第二节	直接顶的变形和破坏过程	112
第三节	老顶的变形和破坏过程	116
第四节	老顶支撑能力的计算	120
第五节	在稳定运动状态中直接顶与老顶的相互作用	122
第六节	主要生产对缓倾斜煤层顶板下沉的影响	125
第七节	用全部顶板垮落开采时, 固结性层状岩石的变形和破坏的一般特征	129
第七章	缓倾斜煤层中采场围岩和支架相互作用的力学过程	134
第一节	概述	134
第二节	支架与围岩相互作用原理	135
第三节	支架支承元件的压入量计算	138
第四节	普通支架支柱之间距离的确定	140
第五节	普通支架初撑力的确定	141
第六节	初次垮落前直接顶和放顶支架的支撑能力计算方法	142
第七节	老顶变形阶段中支架的计算	147
第八节	恒阻式支架的计算方法	153
第九节	在老顶沉落阶段中支架的计算	154
第十节	自移液压支架的计算	157
第八章	开采急倾斜煤层时矿山岩石的变形和破坏过程	160
第一节	在自重影响下倾斜梁的变形和破坏过程	160
第二节	急倾斜煤层全部垮落走向长壁工作面中顶板的变形和破坏特点	162
第三节	急倾斜煤层中矿山压力的计算特点	165

第四节	掩护支架上的载荷计算	168
第五节	急倾斜煤层中支承压力分布特点	173
第四篇	用长壁采煤法开采煤层群时的矿山岩体力学	
	原理	176
第九章	支承压力	176
第一节	支承压力的作用	176
第二节	支承压力的研究	177
第三节	支承压力显现的一般特征	184
第四节	支承压力的动压现象	189
第五节	关于支承压力的参数	192
第十章	支承压力的计算	193
第一节	对支承压力现有计算方法的分析	193
第二节	初次垮落前顶板变形期间支承压力的计算	198
第三节	稳定运动状态下的支承压力计算方法	205
第四节	顶板缓慢下沉时, 支承压力的计算	208
第五节	支承压力的控制	216
第十一章	煤层上方采空	219
第一节	在上方采空时, 对下部岩层中的变形和应力过程的研究	221
第二节	上方采空时, 下部岩层中的变形和应力过程特征	223
第三节	煤层上方采空	226
第四节	在开采上方已采空的煤层时, 矿山岩石力学的特点	229
第十二章	煤层下方采空	234
第十三章	采区平巷的合理位置	241
第一节	基本原理和影响区	241
第二节	危险区	246
第三节	平巷下方采空	247
第四节	平巷上方采空	250
第五篇	用长壁和短壁采矿方法时, 矿柱的变形和破坏过程	257
第十四章	矿柱分类及矿柱与围岩相互作用原理	257
第十五章	房间矿柱工作状态的研究	261
第一节	概述	261

第二节	矿井条件下矿柱工作状态的研究	262
第三节	用模型方法研究矿柱的工作状态	266
第四节	矿柱岩石强度极限与其高宽比的关系	269
第五节	均质模型中房间矿柱上的载荷分布	270
第六节	非均质模型中房间矿柱上的载荷分布	275
第七节	房间矿柱工作的主要特点	277
第十六章	房间矿柱的计算	279
第一节	对现有房间矿柱计算方法的评价	279
第二节	房间矿柱中的应力计算	286
第三节	根据矿柱与上覆岩石变形的相容性, 计算房间矿柱上 载荷的方法	293
第四节	按允许应力计算矿柱的简化方法	308
第五节	循环式布置条状矿柱的计算	309
第十七章	人工矿柱上的载荷计算	311
第十八章	阶段煤(矿)柱的计算	320
第一节	阶段(条带)煤柱的受载和变形特点	320
第二节	煤柱与围岩的相互作用	325
第三节	计算煤柱边缘区的支撑能力	326
第四节	受压阶段煤柱的计算	330
第五节	采空区边界处煤柱的工作和计算特点	334
第六篇	使用各种不同的采矿方法时, 矿房顶板的变形和破 坏过程	337
第十九章	矿房顶板变形和破坏过程的研究与计算	337
第一节	概述	337
第二节	用顶柱支护矿房的顶板表面变形方程	338
第三节	矿房中顶板和支架的变形计算方法	342
第四节	无支架支护矿房顶板稳定性的计算方法	345
第七篇	用物理探测法预测矿山岩石变形, 岩石破坏和地质 变动的方法	348
第二十章	用物理探测法预测矿山压力的显现	348
第一节	回采工作面顶板变形的预测方法	349
第二节	老顶沉落的预测	356

第三节	在沿空掘巷和沿空护巷时, 矿山压力显现主要参数的预测方法	359
第四节	回采工作面前方顶板地质变动的预测方法	362
第五节	矿山压力显现信息的采集和加工系统	367
结束语		373
参考文献		376

第一篇 矿山岩石力学问题和 矿山岩石性质

第一章 矿山岩石和岩体 (矿体)力学的发展

在战后的年代中,采矿和地下工程建设的迅速发展,各种形态矿产品(气体,液体燃料和其它等)利用量的增加,采矿生产大幅度的增长,以及与开采深度增大和开采更加复杂矿田有关的采矿发展前景等,都推动了矿山物理学和矿体力学——矿山岩体力学问题的研究。

由于采掘生产,以及整个矿田或一些个别井田的开采,使一些物理过程在赋存有矿田的岩石圈某一地段内传播,这一岩石地段就是矿山岩体。矿山岩体是多种多样的,并且多数都有复杂的构造。矿山岩体的特征可以按下列一些不同参数区分:构造,地质破坏,非均质性,含水量,瓦斯含量。有时也按石油含量,有用矿物赋存深度,矿山岩石性质,地热增温率和其它参数进行区分。

第一节 在采掘生产条件下产生的物理过程

一般情况下,开采矿田会在矿山岩体中引起一些组合物理过程,但也常有化学过程。

进行采掘时,在矿山岩体内经历的物理过程可划分为:

1. 开始开采矿田前,矿体内发生的过程。
2. 矿田或一些个别部分预处理的过程。
3. 在矿山企业生产时期矿体内发生的过程。
4. 在矿山企业结束时期矿体内发生的过程。

属于开始开采矿田前矿体内发生的过程有:力学、水力、气

体动力、热力、辐射和其它等过程。

属于矿田预处理的过程有：煤层注水，矿田疏干，弱岩加固，含水岩石冻结，岩石解冻，用普通炸药或原子能爆破方法使岩石松裂和其它等过程。

属于矿山企业生产时期矿体内发生的过程有：生产工艺过程，采掘前矿体内发生的全部物理过程，以及包括矿山巷道表面部分岩石的风化作用等一系列的附加过程。但是，在采掘期间这些过程的状态会发生很大的本质变化。属于生产工艺过程范围的有：钻孔，掘进矿山巷道，支设支架，机械破碎，用普通炸药和原子能爆破方法破碎矿山岩石，用水射流冲刷煤层，进行充填等过程。

由于采掘深度的增加和范围的扩大，开采更加复杂的矿田，以及使用露天和井工同时开采矿田的新方法，可使一些组合过程的比重增加。例如：煤和瓦斯，岩石和瓦斯的突然喷出（机械力、气体动力和热力的综合作用）；煤层下部采空（机械力、气体、水力和其它过程的综合作用）等。

这些过程不仅能改变各区内的矿山岩石力学性质，而且还能改变其物理性质。例如，支承压力区和卸压区，除岩石的密度、强度和变形特性以外，还能改变其磁通性、导电性、声学和其它一些性质。

在进行爆破或发生地震时，在这些过程中还附加有一些波动现象，如顶板、矿柱和巷道壁的震动和振荡现象。

矿体内发生的每个过程的显现特征，特别是这些过程的数量，迭加和相互作用都根据具体条件而变化。由于矿田（井田或采区）的预处理过程，如疏干，排放瓦斯，煤层注水，人工加固岩石，煤层上部和下部采空等过程，会使所有的显现现象变得更加复杂。

其中一些过程可呈单调变化，能够用静力学方程描述，另一些具有动力学显现特征，第三种可能有混合特征，某些则具有无规律的，偶然性的特征，是一些显现特征发生变化的过程。

因为这些过程的范围和强度常取决于人的活动，人可以任意地改变过程的显现条件，改变开采方法及其参数，采掘的推进速度，煤层群中的煤层开采方式和顺序，顶板管理方法等，所以这些过程不是纯自然过程，使它们的流程愈加复杂。

矿山企业结束时期矿体内发生的过程也是由上述一些过程不同的组合而成的。

应当特别强调，上述一些过程是在三维空间中发生的，也就是所有研究的问题都是空间问题。

换句话说，一般情况下，在采掘生产时，不仅过程的流程在变化，而且岩石本身的状态也常发生变化：坚硬岩石可以出现蠕变，过渡到塑性状态；无裂隙的岩石可以被裂隙切割；碎块岩石可以被固结；干燥岩石成为含水的；松散岩石变成流沙状。与此相反，含水量大的岩石也可以被疏干等等。

所有上述情况，以及进行现场研究的极端困难性，也给实验室试验和发展理论提供科学依据，带来了复杂性。

第二节 矿 山 压 力

研究多种形式介质的学科和这些复杂及组合介质中一些过程的学科还不成熟，尚处于发展阶段，就连广泛采用的名称也未得到统一。

在不同的年代，曾提出过下列一些术语：“矿山压力”，“矿山压力理论”，“矿山压力学说”，“矿山岩石力学”，“地球力学”，“矿山岩石和岩体力学”，“矿山地球力学”。

其中最早和使用最广泛的术语是“矿山压力”。在苏联和国外出版了很多著名学者的关于矿山压力的著作^[65]，召开过很多各种会议，发表过数千篇文章，出版了《矿山压力专有名词》等。

但是，直到今天，还在继续争论“矿山压力”术语的定义问题。一些学者主张，用岩石变形对支架的影响来定义矿山压力^[74]；另一些学者主张，用矿山岩石对支架的力学作用来定义；

第三种主张，是由巷道周围岩石变形而引起的有关现象，即它是随时间而变化的过程^[65]；第四种——广义的定义是岩石内的力（即应力），而狭义定义是作用在人工和天然支撑物（矿柱，顶板，边缘带和其它等）每点上的各力总和，这时，支撑物上所受的力就是由这种合力而形成的^[8]。一些国外学者们也提出了近似后者的论述。

在全苏科学院的名词术语中，将矿山压力定义为“矿山巷道周围岩石中的力”。这个定义并不成功，因为它没有说清楚，是什么样的力，为什么只是巷道周围岩石中的力，而不是传给巷道支架上的力或距巷道相当远的岩石中的应力。

这个定义是Л.Д.舍维亚可夫定义的第一部分，矿山压力是矿山巷道周围岩石中的力；在具有这种力的条件下，为了消除巷道变形，就要求支设支架。

同样与定义的第一部分一样，这个定义的第二部分也是不确切的。因为在固结性岩石中从巷道掘进开始，到支设支架和进入工作状态时，这种岩石在发生弹性变形的同时，一直发生着不可逆的蠕变，所以实际上支架并不能消除巷道变形。

因此，Л.Д.舍维亚可夫的定义从总体上来说是不能令人满意的。

以上所述的“矿山压力”术语及一些定义表明，无论是作为描述在矿山岩体（矿体）中发生的物理过程的总合，还是作为研究这些物理过程的科学定义，都是不够确切的。

但是，由此不能认为，“矿山压力”这个术语可以废除。相反，还是非常需要的。在广义上，矿山压力是矿山岩石中的应力（应力张量），而在狭义上它是作用在岩石与人工和天然支撑物（煤柱、支架、顶板、边缘带）的交界处每一点上的各力之和。

“矿山岩石力学”这个术语是П.М.秦巴列维奇在1934年采用的。在1948年В.Д.斯列萨列夫^[65]和П.М.秦巴列维奇^[74]使用这个名称作为书名出版了著作。

П.М.秦巴列维奇提出的定义为：矿山岩石力学是一门应用

知识，是研究开采有用矿物矿田时矿山岩体中发生的一些力学现象方面的一门学科^[74]。他指出，矿山岩石力学的任务是阐明两个基础性问题：矿山岩石的可采性和矿山压力。

显然这个定义存在着缺点：例如把采矿力学的范围只限于开采矿田方面，但是在定义中把这门学科的应用范围限于矿山岩体中力学现象方面，还是正确的。

并且，它没有包括与力学过程有关的一些岩石性质和矿体中的现象。因此，在《矿山压力专有名词》中采用过下述定义：矿山岩石力学是研究关于矿山岩石物理-力学性质和采掘生产时岩石中发生的现象的学科。这里把学科的应用范围扩大了，而且此范围又取决于采掘生产。这样把岩石的物理性质和所有的现象都包括在“矿山岩石力学”术语中，其中有些并不属于力学方面的，使得定义变得不合适了。

由于上述一些定义存在着缺点和这个学科的进一步发展，而出现了一些新术语：“地球力学”、“矿山岩石和岩体力学”、“矿山地球力学”。

“地球力学”术语象行星力学一样，是指研究地球的力学。很遗憾，它反映不出所说的采掘生产时矿山岩石的力学，此外，这个术语很窄，除力学性质和过程以外，它不包括任何其它的物理性质和过程。

H.B.米里尼可夫院士注意到，“矿山岩石力学”术语缺少普遍性的概念。他提出了下述定义^[56]：矿山岩石力学是采矿科学的一个基础部分，它研究矿山岩石和岩体的性质和状态，并考虑固体，液体和气体的态相和原岩应力状态，以便找出破坏岩石和控制矿山压力，以及确定暴露面积稳定性的合理方法。

在这段叙述中，正确地强调了矿山岩石力学学科是整个采矿科学的基础部分。

第三节 矿山物理学

矿山岩石力学的现有全部定义不恰当的原因是，这门学科很

早就已超出了力学的范围。范围更宽的新兴学科——矿山物理学（或矿体物理学）已经出现，并且发展得很迅速。

矿山物理学是研究特殊的介质，即各种不同矿山岩石的组合，岩石中的作用场，在采掘影响下发生的变化和物理过程。换句话说，矿山物理学是研究各种各样的复杂的物理介质，即岩体、岩体的运动规律、采掘生产时岩体中发生的过程及其作用场。

矿山物理学的主要目的是深入认识矿体，为有效的解决矿体利用和开采问题建立科学依据。

前面讲过，矿体中的条件和采掘生产时矿山岩体中发生的物理过程的组合是复杂的，多种多样的。矿体中过程的流程条件是不稳定的，以及组成岩体的岩石也经常沿事先预计的大致方向产生变形和破坏。

任何其它一门学科都不研究这样特殊的介质，因此，虽然矿山物理学具有很大的实用意义，但是它并不只是应用学科。

矿山物理学与其它学科，如地球物理学、勘探地球物理学、固体物理学的区别不只是目的和任务不同，首先是它所研究介质中的变化速度有很大差别，其次是一些物理过程的组合及其显现也不相同。这些物理过程是由自然力，人为活动形成的条件和力所引起的。

现在有用“矿山岩石物理学”术语代替“矿山物理学”的趋向。但前者不能包括岩体中发生的物理过程，也不能反映与采掘有关的范围，因此，这种代替是不恰当的。

实际上，矿山岩石物理学应是矿山物理学中的一个部分，它是在原岩条件下和用试块（在实验室条件下）研究矿山岩石的物理性质。目前，矿山物理学已经增加了很多分支：矿山岩石力学，矿山岩石破碎，矿山岩石物理学，水力学，气体动力学，声学，热学和其它等。

在矿山物理学方面，苏联有很多的高等院校和科学研究所进行着科学研究工作，发表了大量的文章和著作，培养出许多专门

人材。

列宁格勒和莫斯科矿业学院培养 矿 山 物 理科技人员已有数年，其专门化有：矿山岩石物理学，声学，爆破破岩，矿山岩石力学，岩石的无线电内视学和矿山热物理学。成功地开设了一些新课程：采矿生产物理过程，采矿过程物理模拟，矿山岩石和岩体物理学及矿山岩石和岩体力学，矿山岩石声学和其它等课程。

矿山物理学进一步发展的主要方向应当是综合研究采矿生产及其伴随而引起的一些物理过程。如果不考虑这些主要过程的共同作用，只限于研究矿山岩石力学中的一些问题，要进行正确地开采是不可能的。随着开采深度的增加和复杂的新矿田投入开采，考虑物理过程组合的意义将日益增大，并将促使矿山物理学的内容进一步发展，以及应尽快采用更多的各种物理探矿方法，以便监测，预测，控制，预防限制和消除各种物理过程。

第四节 矿山岩石和岩体力学

矿山岩石和岩体（矿体）力学是研究专门介质（即矿山岩体）中发生下列过程的规律和原理的一门基础学科：应力、变形、位移和破坏等过程，以及在采掘生产时上述过程与其它物理过程的相互联系和相互结合〔15〕。

矿山岩石力学的发展与其它很多学科（弹性理论、材料力学、固体物理学、塑性和蠕变理论等）、技术和工艺学等有密切关系。

矿山岩石和岩体力学完全象矿山物理学一样，它的主要目的是深入认识矿体，为有效地解决开采和利用矿体建立科学基础，寻求控制矿体中过程的新方法和新手段，开采矿体的新方法和新系统，使矿山岩体性质按预定的方向发生改变，大幅度地提高采矿生产（其中包括矿山建设）的经济效益，创造保证劳动安全的条件，制定保证矿山企业生产安全条件的方法，研制预测，监测和控制力学过程，以及与其有关的其它物理过程的自动化系统。

在名词方面，最合适的术语本来应该是“矿山力学”，可惜，这个术语已被占用。“矿山岩石和岩体力学”这个术语已够

准确，而更加简明的名称是“矿体力学”，它应用在开采和利用矿体的范围中是完全合适的。

列宁格勒矿业学院培养出来的学者Б.И.博基（1902年）、М.М.普罗托季亚科诺夫（1907年）等人给矿山岩石力学的发展奠定了基础。以后，В.И.斯列萨列夫教授对矿山岩石力学的进一步发展，特别是总结国外的一些研究成果方面，作出了很大贡献。

目前，矿山岩石和岩体力学已经成为矿山物理学的主要分支。这是因为，在多数矿山地质条件下，岩体中的力学过程是各种物理过程组合的最终表现。此外，在形成采矿工业的最初阶段时，力学过程是妨碍采掘生产的经常性因素，因此，对它的研究比其它过程开始的早。这样，矿山岩石和岩体力学的发展就决定了矿山物理学其它分支的发展。

把力学过程与其它物理过程分离是不正确的。相反，必须把本采区（矿井或矿山的井田，矿块，阶段，区段）范围内发生的所有过程联系在一起，进行分析。但是，在以力学过程为主的情况下，做某种程度的抽象，是允许的。

一般在地下开采条件下，所有的开采坑道，特别是回采工作面和采区平巷不仅受本采区内的采掘工作及其物理过程的影响，而且还受相邻采区或距它相当远煤层（金属矿体，矿脉）中发生过程的影响。巷道的相互影响半径可达数百米（200~300m），有时还大得很多（例如，由大规模爆破、矿山冲击和其它过程引起的微震现象）。

根据显现强度和范围，矿山岩石力学中所分析的现象可能是各种各样的：从单一的和局部小范围的变化过程到变化很快的过程，有时快速变化过程波及的范围很大，甚至带有非常危险的特征。经常，这些过程可以是混在一起的，也可以是分开的，可以是相互影响的，也可以是相互制约的，以及对其它过程的显现可以具有激发性。

学者们高度评价矿山岩石和岩体力学的贡献，但是，要用具