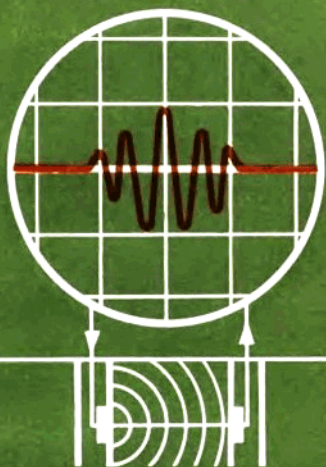




矿压的监测 与研究

〔苏〕 B.C.雅姆希柯夫

刘 昕 成 译

煤炭工业出版社

矿压的监测与研究

〔苏〕 B. C. 雅姆希柯夫

刘听成 译



炭工业出版社

D

435451

内 容 简 介

本书是为“采矿生产的物理过程”专业的高等学校学生编写的，并经苏联高教部批准作为教科书。

书中叙述了自然条件下及进行采矿工作时岩体的性质、状况和其中发生的过程的有关理论和研究方法；论述了巷道附近岩体中应力、矿山压力显现、动力过程和现象、支架与围岩的相互作用，以及岩体移动的研究和检测方法 及 相应的仪器设备，提出了研究和预测煤层破坏和岩体裂隙性，查明夹层和喀斯特溶洞，以及圈定有用矿物矿体边界的方法和手段的基础。

本书可供矿业院校采矿和机械化及工程物理专业师生学习使用，也可供科研、设计及生产部门的工程技术人员参考。

责任编辑：孙 辅 权

В. С. ЯМЩИКОВ
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ
ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВ

Москва Издательство «недра» 1982

矿 压 的 监 测 与 研 究

刘 听 成 译

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850×1168¹/₃₂

印张9⁸/₁₆

字数249千字

印数1—1,540

1987年5月第1版

1987年5月第1次印刷

书号15035·2840 定价1.90元

译 者 的 话

地下采煤过程中,巷道周围的煤、岩内会出现复杂的力学现象,同时,随着开采地点的转移,地下开采的工作对象——煤层和岩体,本身又会出现多种变化,诸如煤层厚度增加或变薄,煤层因断层而错位,煤层中出现大型坚硬夹杂物,煤层和岩体中出现陷落柱、黄矸带或其他空洞,这些都影响到开采工作的正常进行。为了安全和顺利地进行生产工作,需要掌握这些现象的规律,并加以有效地监测和控制。

本书是苏联新问世的岩石力学书籍中,系统地研究岩体及其中发生的有关现象的监测和控制的一本专著。它以现代技术为基础,较全面地介绍了矿山岩石和岩体物理力学性质以及有关参数的研究方法,母体应力状态的研究方法,开采时出现的矿压显现、岩体移动和各种动力现象的监控,以及矿山岩体中出现的其他现象,如岩体中结构非均质性、煤层厚度变化、喀斯特溶洞和空穴以及巷道附近危险水源和火源等的透视检测方法。书中不仅介绍传统的研究方法,还着重介绍了许多以物理学新成就为基础的新的研究方法,其中涉及到机械方法,电学方法,磁学方法,电磁学方法,热物理方法,核物理方法,地震方法和透射检测法等一系列新的检测手段和方法,同时介绍了所采用的相应仪器和设备。

本书的内容比较新颖,其中有许多研究方法和观测仪器过去在我国应用较少或尚未应用,因此本书对我国从事岩石力学研究工作的人员很有参考价值。

本书在翻译过程中,译者对所发现的少量公式中的错误作了查证和订正,但限于个人水平,书中尚难免有疏漏之处,敬请读者予以指正。

1986年3月

序 言

在“1981~1985年及至1990年期间苏联经济和社会发展的基本方向”中指出,为了解决苏联的经济问题和社会问题,加快经济的发展,提高社会生产效益,必须保证进一步加快科学技术的进步。其必要的条件是创造和在生产中应用完全新的技术、新材料和先进工艺。在采矿生产中,完成上述任务的基础是了解矿山岩石的物理性质和开采矿床时母体*中所发生的过程。

研究矿山岩石和岩体包括三个阶段:

1) 勘探:目的是获得基本的原始资料,以便为开发矿床和设计矿井取得依据;

2) 补充勘探:目的是为设计矿井和规划采矿工作的发展远景而进一步查明原始矿山地质资料;

3) 生产研究和监控:目的是预测进行建井、准备和开采工作的条件和矿井开采过程中保持安全生产的条件。

生产研究和监控(地学监控),对有效地规划和管理采矿工作来说是必需的。

长期以来,矿业中研究矿山岩石的基本方式,是对由岩芯或岩块制成的岩石试件进行实验室试验。在选择矿床开采的工艺参数和选择机械化设备时,以及对采矿岩体中发生的过程进行长期预测时,常以上述方法获得的资料作为原始资料。

近几十年来,由于开采有用矿床时强化了生产过程,采矿工作向更深的水平过渡,象矿山压力加大和以各种形式出现的岩体移动,冲击矿压及煤、岩石和瓦斯突出,有用矿物自燃等现象的发生可能性也大为增加。在这些条件下,为了有效地管理矿井,要求经常为技术部门提供有关矿山岩体状况和可能发生的动态的情报资料。所以,在矿井中经常要对受采动影响的岩体动态组织系

* 本书提到的“母体”系指岩体和煤体的总称。——译者注

统的现场观测，研究母体中矿山岩石的性质和状况，以及在采矿时进行监测工作。通过这种研究所得到的资料，可以在满足采矿生产达到经济、安全和合理利用资源的条件下，对采矿工作实现有效和长期的规划和管理。

关于石材性质的最早概念，人类在其发展初期就已获得。然而长时期内，在探讨各种岩石的性质时，仅限于对岩石性质作对比性的评价（较坚固的，较松软的，较硬的等等）。在十八世纪，建立了矿物和岩石性质的定量评价法。

在十九世纪后半叶至二十世纪初，开始在岩石试件上系统地研究矿山岩石的强度性质。在组织这项研究进行科学论证方面，俄国学者M. M. 普罗托季亚科诺夫教授起了杰出的作用。

在此以前，德国多尔特蒙德煤矿中也对受采动影响的地表移动进行过很详细的观测，这些成果曾作为保安煤柱计算方法的基础。在二十年代，苏联对各种有用矿床的矿山岩体移动组织了系统的仪器观测。

在二十至三十年代，苏联和其他国家研究了母体中的矿山岩石强度特性和弹性特征，以及巷道中的矿山压力显现。论证和制定了最初的研究矿山岩石应力状态的方法（卸载法和地震声法）。

在三十年代至四十年代，利用周边测点研究了巷道附近岩体变形和破坏过程。建立了间接研究巷道表面上岩石的力学性质和工程物理性质的快速测定法。

战后年代，在矿山生产过程中进行的研究和监控获得了很大的发展。此期间制定了研究支架与围岩相互作用的方法，利用钻孔内深部测点去研究岩石，论证了新的测定矿山岩石应力的方法（各种方案的卸载法，以及超声法、电测法和其他方法）。

在五十年代，研究了瓦斯动力现象、冲击矿压和矿山岩石冒落方面的问题。苏联在地震声法（声测法）的基础上，建立了预测煤和瓦斯突出和其他矿压显现形式的第一批井下观测站。

广泛地利用六十年代地球物理学所取得的成就，不仅可以证

明有可能应用声场、电场、无线电波场、放射场和其他物理场去研究矿山岩石的性质和状态，岩体和煤层的破坏程度，查明夹层和含水带，检测矿山岩石中的破坏和研究其中发生的过程，而且也研制了适合于矿业所需的仪表和建立了监测方法的基础。六十年代末，苏联的煤矿中应用了整套的矿山地球物理方法和研制了预测冲击矿压的仪表。在此期间研究了在进行采矿工作时有效地控制和预测的方法及所需仪表。

七十年代初，苏联论证和建立了第一批对矿山巷道附近岩体的状态进行长期监控的系统。

在制订和广泛地应用矿业中的研究和监控方法和手段方面，苏联学者М. С. 安济费洛夫、А. В. 道库金、Г. Н. 库兹涅佐夫、Г. Н. 涅斯切连柯、И. М. 彼图霍夫、В. В. 热日夫斯基、Е. М. 谢尔格也夫、М. А. 沙朵夫斯基、И. А. 屠尔昌宁诺夫、Е. И. 舍姆雅金等人起了很大的作用。在采矿科学的这个领域中，全苏矿山地质力学和矿山测量科学研究所 А. А. 斯柯钦斯基矿业研究所、金属矿科学研究所、苏联科学院矿业研究院西伯利亚分院、列宁格勒矿业学院、国立莫斯科大学、О. Ю. 希米德特地球物理研究所，以及乌克兰科学院地质工程力学研究所等部门的全体人员作出了巨大的贡献。

书中叙述了矿业和应用地球物理学中所应用的实验研究方法和地学监控的基础。本书包括三大部分，其中详细地论述了在岩石试件上和在母体中研究矿山岩石性质的方法和手段，进行采矿工作时矿山岩体状况和巷道附近母体中发生的过程的研究方法和手段，以及矿山岩体的透射检测。

本书的内容以有用矿物开采和矿井建设工艺、矿山岩石和采矿生产过程中的物理学领域中的有关知识为基础。

作者向与自己一起工作的同事们为编写本教材所给予的帮助表示感谢，并向评阅者——顿涅茨工学院矿山大地力学教研室全体人员和科学博士 М. П. 童柯诺戈夫教授所提的有助于提高本教材质量的宝贵意见致谢。

目 录

序 言

第一篇 矿山岩石和岩体物理性质的确定

第一章 基本概念和定义	1
第一节 实验、量测和监控	1
第二节 准备和进行量测实验的程序	3
第三节 作为研究和监控对象的矿山岩石和岩体	4
第四节 实验结果的评价	6
第二章 矿山岩石试件的力学性质研究	12
第一节 矿山岩石的力学性质	12
第二节 矿山岩石实验室试验的准备工作	13
第三节 矿山岩石单轴抗压、抗拉、抗剪和抗弯强度的确定	14
第四节 土壤强度特性的研究方法	22
第五节 体应力状态下岩石强度参数的确定	24
第六节 矿山岩石变形特性的确定	27
第七节 矿山岩石流变特性的确定	31
第八节 矿山岩石强度和变形性质的动态研究	36
第九节 矿山岩石物理-技术指标的快速评定法	39
第三章 试样的力学试验技术	42
第一节 试验用的压力机	42
第二节 高压下研究矿山岩石的设备	46
第三节 用于土壤试验的仪器	49
第四节 量测变形的仪器	49
第五节 记录变形的仪器	53
第四章 母体中矿山岩石力学指标的研究	56
第一节 现场试验法	56
第二节 利用试样仪评定矿山岩石强度指标	56

第三节	钻孔内的试验	60
第四节	矿山岩体的大尺寸试验	63
第五节	土壤承载能力的评定	66
第六节	在实验硐室内和进行采矿工作时的试验	69
第五章	矿山岩石物理参数的确定	72
第一节	矿山岩石试样的声学性质研究方法	72
第二节	岩体的声学研究方法	78
第三节	电磁参数的研究方法	84
第四节	热物理参数的确定	91
第五节	核物理研究方法	94
 第二篇 母体应力状态研究及开采时有关过程的控制		
第六章	母体应力状态研究方法	100
第一节	概述	100
第二节	利用母体卸载在暴露表面上量测应力	101
第三节	钻孔中岩芯卸载法	104
第四节	应变传感器	115
第五节	利用变形仪的钻孔法	121
第六节	利用应力传感器的钻孔法	128
第七节	利用钻孔张裂法确定母体中应力	134
第八节	研究矿山岩体应力状态的声学方法	136
第九节	研究岩体应力状态的电学和磁学方法	141
第十节	研究岩体应力状态的热学方法和放射性测定法	145
第十一节	残余变形的研究	146
第十二节	确定岩体中全应力张量的综合方法	149
第七章	矿压显现和矿山岩体移动的监控	151
第一节	概述	151
第二节	巷道附近岩体状况的评估	152
第三节	利用测点进行的矿压显现研究	161
第四节	矿山巷道表面位移的监控	168
第五节	根据勘探钻孔测井资料预测巷道顶板稳定性	173
第六节	矿山巷道附近岩体状况监控系统的建立原则	175
第七节	有用矿床地下开采时岩体移动的研究	178

第八节 露天矿岩体移动的监控	183
第八章 支架与岩体相互作用的监控	186
第一节 支架上载荷的量测方式	186
第二节 测力仪参数的选择	187
第三节 测力计	189
第四节 测力支架	194
第五节 支架上载荷的间接确定法	196
第九章 进行采矿工作时动力现象的预测和监控	199
第一节 煤矿中的瓦斯动力现象及其预测类型	199
第二节 煤层和钾盐层突出危险的预测方法	200
第三节 煤和瓦斯突出预防措施的效果的监控	212
第四节 冲击矿压的预测	214
第十章 矿山岩体中爆破和冲击过程的研究	221
第一节 爆破和冲击过程中变形和应力的量测	221
第二节 量测地震参数的仪器	227
第三节 爆破的地震作用的评估	232
第四节 矿山岩石破坏过程的研究	233

第三篇 矿山岩体的透射检测

第十一章 岩体中结构非均质性的查找	235
第一节 结构非均质性的确定方法	235
第二节 定位法	236
第三节 阴影法	241
第四节 母体的测井研究	244
第五节 煤层中坚硬夹杂物的查找	247
第六节 煤-岩分界位置的监控	249
第七节 喀斯特溶洞和空穴的查找	251
第八节 巷道附近危险水源和火源的透射检测	255
第九节 支架背后空间缺陷探测法	258
第十节 偏斜钻孔孔底位置的查找	261
第十二章 矿山岩体裂隙性的研究方法	266
第一节 裂隙性的地质研究法	266
第二节 打钻孔时裂隙性的研究	271

第三节	钻孔的水力试验	272
第四节	电测法和磁测法	274
第五节	声测法	276
第六节	岩体裂隙性的有效监控	282
第十三章	煤层的透射检测	284
第一节	煤层厚度和结构的确定	284
第二节	煤层质量指标的研究	285
第三节	预测煤层地质破坏的地球物理方法	287
结 束 语		294
参考文献		295

第一篇

矿山岩石和岩体物理性质的确定

第一章 基本概念和定义

第一节 实验、量测和监控

在科学认识的分类中，可以划分出两个基本级别：经验认识和理论认识。理论认识是科学认识发展过程中较高的级别，它以科学理论的形式使知识达到了高度的综合。

经验认识主要是各种事实和有关被研究现象情报的积累过程。这种情况下广泛地进行观察、量测，进行各种各样的实验，对知识进行初步的系统整理（以表格、示意图和图形的形式表示）。

经验认识的基本方法是实验。在进行实验的过程中，研究人员要和物质对象——处于一定条件下的客体——打交道，并利用一些研究手段。在实验以前要先提出某一种假说、想法，并对被研究问题的历史状况和有关理论进行初步研究。将实验结果与理论前提进行对比，以便对实验结果作出评价。整理这些结果也是用理论方法进行。

理论的形成是以实验开始，又以实验而告终的。实验过程中发现研究结果与理论资料有偏差，可以成为发展和完善理论的促进因素。

实验是以观察、量测或监控的形式实现。在进行观察时，被研究对象是在自然条件下，即在不受观察者任何影响的情况下接受研究。但观察并不是消极的直观。观察者并不是简单地接受进

入其视野中的一切，而是有目的地选择他所感兴趣的对象，利用自己的全部知识和经验，去提炼出所需要的对象的特点和性质。科学观察的特征是计划性和系统性。

所谓量测，就是用试验方式获得被测的量与作为比较单位的数值之间数量关系的过程。

所谓监控，是指确定对象状态（性质）与事先给定的标准（要求）之间是否相符合的过程。合理的监控系统形式如下：接收被监控的参数——将此参数与标准量相比较——形成和提出对结果的判断。

由此可见，与量测不同，量测的主要结果是被量测的量的定量特征，它是用数字表示的，而监控的主要结果是受控对象的定性特征，它是用判断表示的。

如果不仅要求确定对象的状态与给定标准的不相适应，而且要确定不适应的范围，这种方式的监控称为技术诊断。

量测包括被研究对象、辨认系统、方法、手段和测定结果。辨认系统的作用在于将被研究对象等同于某一种模型，这里所说的模型是指处于相应于一定范围的某种状况下的被研究对象的形式概念。通过选择应当量测的所有量值，就可以解决这个问题。

量测方法是指为了定量描述被研究对象所必需的作业顺序。这种描述可以以被决定的量测或统计性的量测为基础。在前一种情况下，由被研究对象发送的信号是已决定的，即当多次重复量测时，如果不考虑由于量测工具性能不稳定而发生的误差的话，存在的是同一种结果。

当处于统计性量测时，由被研究对象发送的信号是有偶然性的，并且认为，或者是被研究对象本身具有统计性质，或者是当被研究对象具有决定性时，由它发送到仪器输入端的信号伴随有对量测结果有重大影响的噪音。

量测的手段是仪器。借助于仪器将量测结果变成数字或函数的形式。在前一种情况下利用指针式仪器、数字指示器、数字打印机，而在后一种情况下是用电子射线管、自记器和其他装置。

研究人员由于进行试验的结果而获得有关对象的一定的信息。所谓信息是指应当由信息源传递给研究人员的所有一切。包含在信息内的报道称为情报。在评价某一事件时,不确定性越大,在形成信息时选择的自由就越大,以及信息中应包含的情报数量也越多。

第二节 准备和进行量测实验的程序

准备和进行量测实验包括以下阶段:

确定量测任务;

分析原始情报;

确定对实验结果的要求;

选择量测方法、整套仪器(包括辅助仪器)和量测手段;

进行量测;

选择量测结果的整理方法和算法;

分析量测结果的误差。

在确定量测任务的过程中,要仔细研究所得情报的应用范围,在此基础上确定物理量及其参数,这些参数应当由于进行量测实验和整理所得情报的结果而获得。直接或间接地量测这些参数的可能性是在准备和进行量测实验的以后几个阶段中才能表现出来。

在分析原始情报时,对被研究物理量随时间和空间的变化程度和变化特征进行初步评价。除了为此目的利用一般物理规律以外,在此以前原始条件下进行量测而得到的资料有很大意义。

在头两个阶段中所得到的有关实验研究对象的初步资料,可以确定对象、被研究量和被量测的参数所要求的模型,以及确定输出信号概念的形式。而且,正确选择被量测的参数,有助于为论证所得结果的精度最高提出根据。

最后两个阶段是在完成量测以后进行。

准备和进行量测实验的补充阶段是量测手段的设计和计算。

准备和进行量测实验还应满足以下要求:确定必要的和足够

的情报，以便在最佳试验次数、最佳量测点数和在最佳时间内评定对象的性质和状态。

量测和监控的可能性和有效性是用分辨率（精细程度）和量测的精度这样一些特征来评价的。

量测精度反映了量测结果与被测定量的真实值的近似程度。

分辨率——这是某种方法或仪器区别在空间上、时间上和物理性质上很接近的对象和过程的一种能力。从数量上说，分辨率可用对象之间的最小距离、对象和过程之间最小的时间间隔或物理性质之间的最小差异表示出来。这些情况下，这种对象或过程可以分别记录下来。

第三节 作为研究和监控对象的矿山岩石和岩体

研究和监控的目的是获得有关矿山岩石和岩体物理性质、结构和状态的一定情报。

应当把“矿山岩石”和“矿山岩体”这两个概念加以区分。

矿山岩石——这是岩石学上同类的或似同类的地质体，它是由一定的矿物组总合而成。矿山岩体是邻接地埋藏在一起或一个包含在另一个之中的某几种矿山岩石的总合。矿山岩体从岩石学上讲或从地质相来说可以包括非同类的岩体。

在矿业和建筑的应用性课题中，常把矿山岩体理解为包围在矿山巷道周围的尺寸较大的地质体或作为建筑物基础的地质体。

矿山岩体是由不同类的岩层组成，并被裂隙分割为形状和尺寸不同的岩块。岩体的各个岩块之间的自然联系是根本不同的。每个岩块内部可区分出尺寸较小的似同类的组成岩块，它可看作是级别较低的节理。因而，在岩体中可区别出初级的结构岩块（结构体），它常归入到“矿山岩石”的概念中。

从以上观点出发，在岩石埋藏地点（处于母体中）的矿山岩石的性质和矿山岩体的性质应当独立地进行研究。

矿山岩石的资料对于矿山岩体的资料来说是初步的。矿山岩石的性质可以在实验室的岩石试样上进行研究和在母体中（或者

有时称为在现场条件下,在自然埋藏条件下)进行研究。

对于均质各向同性的连续介质可以认为, 矿山岩石和被研究地段范围内矿山岩体的性质是相同的。

非均质性是矿山岩体最重要和最一般的性质之一, 在地质力学和工程地质中对非均质性给予了足够的重视。

矿山岩石和岩体的自然非均质性可按下列方法进行分类:

Ⅳ级非均质性——真实晶体的非均质性, 晶格存在缺陷, 位错等;

Ⅲ级非均质性——结构体范围内矿山岩石成分和结构的非均质性, 化学成分和矿物成分、颗粒形状和尺寸的差异, 微裂隙;

Ⅱ级非均质性——在一个自然小分层、分层范围内矿山岩体结构和成分的非均质性, 包括宏观裂隙, 存在小的构造地质变位;

I级非均质性——大范围岩体的非均质性, 包括地质相的变化, 构造地质断裂, 风化带, 卸载, 热液变化作用。

在进行采矿工作时, 岩体中会出现人为原因而造成的非均质性(例如, 矿山巷道周围的应力场, 由于爆破而造成的裂隙)。

从实践的观点看, 非均质性这个因素的意义, 仅仅与非均质性尺寸与作用对象(实验的作用范围)参数之间的对比关系有关。

把实验作用区尺寸 L_0 与非均质性线性尺寸 L 的比作为矿山岩体非均质程度的指标, 可以区分出三种情况:

1) 似均质(等值均质)介质, 其特征是比值 $L_0/L > 10$ 。例如, 如果在对岩石试样进行强度试验时, 矿山岩石中具有Ⅳ级非均质性或在岩石自然埋藏条件下具有Ⅲ级非均质性, 就会遇到这种情况;

2) 非均质介质(非均质性的出现是用肉眼就可看见的, 有规律的), 其特征是比值 $L_0/L < 10$, 即非均质性的尺寸不小于实验的作用区;

3) 非均质性仍起作用的(统计非均质的)介质, 其特征是

比值 $L_0/L \approx 10$ 。存在这种非均质性（例如，岩样试验时的Ⅲ级非均质性，现场研究时的宏观裂隙）会导致量测结果的偶然性波动（分散）。在整理这些结果时必须应用数学统计方法。

真实岩体可以是具有上述非均质性类型的所有三种介质的结合。这就决定了岩石试样中和岩体中矿山岩石性质的差异（比例效应），为了进行研究和监控必须选择最佳的条件（取样的步距，实验作用区的尺寸及其他）以及在评价实验资料时应用统计分析。

第四节 实验结果的评价

物理量的量测结果所提供的是其近似值，即具有误差。

所得结果对被测定量的真值的近似程度，可用绝对误差 Δx 来表示其特征：

$$\Delta x = \bar{x} - a \quad (\text{I.1})$$

式中 a ——被测定量的真值；

$\bar{x}$ ——被测定量的平均值（平均算术值）；

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

n ——独立量测的次数；

x_i ——被测定量中某次测得的值。

在数学统计中，利用偶然量的数学期望 m_x 代替“真值”的概念。

除了绝对误差之外，量测的精度还可以用相对的无量纲量——相对误差 δ_x 和导出误差 β_{np} 来表示：

$$\delta_x = \frac{\bar{x} - a}{\bar{x}} 100\% \quad (\text{I.2})$$

$$\text{和} \quad \beta_{np} = \frac{\bar{x} - a}{a_m} \quad (\text{I.3})$$

式中 a_m ——有条件地选取的值（例如，待求量可能值的上限）。

仪器的精确程度是按导出误差来确定其标准，因为随着被测