

高等学校教学参考书

岩石的物理学 基础

ОСНОВЫ ФИЗИКИ
ГОРНЫХ ПОРОД

何修仁 译

中国矿业大学出版社

高等学校教学参考书

岩石物理学基础

〔苏〕B.B.勒热夫斯基

Г.Я.诺维克 著

何修仁 黄土芳 译

中国矿业大学出版社

高等学校教学参考书

岩石物理学基础

[苏] B.B.勒热夫斯基 Г.Я.诺维克 著

何修仁 黄士芳 译

中国矿业大学出版社 出版

江苏省新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张12.25 字数302千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数: 1—1000册

ISBN 7-81021-040-8

TD·24 定价: 2.45元

内 容 简 介

《岩石物理学基础》包括岩石力学、岩石声学、岩石热力学、岩石电动力学和放射性物理学等内容，主要介绍有关岩石技术物理性质的基本概念，阐明在应力场、热场和电场作用下岩石内部发生的物理现象，分析研究采矿物理过程与岩石性质和状态的依赖关系。同时也介绍岩石物理参数和岩体性质的评价方法，为有用矿物开采、运输、选矿等方面的生产技术决策提供可靠的物理技术保障。

岩石物理学是苏联在 60 年代新发展起来的一门学科。本书是苏联矿业学院物理工程、矿井建设、采矿、选矿等专业的教材。

本书可作为煤炭、冶金高校师生的教学参考书，亦可供科研、设计及有关工程技术人员参考。

责任编辑 吴秀文

译 者 的 话

岩石物理学是一门基础科学与采矿科学之间的边缘学科，它的产生和发展，引起了人们的重视。鉴于我国迄今尚没有一本系统地论述有关岩石物理学方面的著作，我们认为，向读者翻译并推荐这本《岩石物理学基础》是有意义的。

本书作者之一，B.B 勒热夫斯基是苏联科学院院士、莫斯科矿业学院院长，近二十多年来，他在苏联高等教育改革过程中一直致力于岩石物理学方面的研究，于 60 年代创立和发展了这一学科，并且在莫斯科矿业学院创立了物理工程系。

这本书集中反映了苏联在 1963~1984 年间在岩石物理学方面所取得的研究成果。

本书根据原书的第四版本翻译而成。全书共四章，前三章由何修仁译，第四章由黄士芳译。由于我们水平有限，翻译中难免有误，请读者批评指正。

译 者 1987 年 4 月于沈阳

前 言

在《1981~1985年以及1990年以前苏联社会与经济发展基本方针》中指出,国民经济中采矿生产的改进,是与推广使用新的物理和化学方法开采加工矿岩、综合开发地下资源、合理地利用矿物资源、扩大有用矿物开采范围、提高矿山企业产量和生产率、创造新的工艺以及采矿综合机械化与自动化密切相关。

不认真研究采矿生产的物理过程,不了解矿岩的物理性质,解决上述所有问题是不可能的。

现代采矿工程技术人员应当很好的分析在矿岩中发生的物理现象,并了解在采矿实践中利用岩石性质的原理。

目前,岩石物理学发展的特点是,一方面深入分析在岩石中物理过程的实质;另一方面以岩石作为复杂的地质对象,研究其相互作用,决定岩石的性状。

研究人员现在不仅注意研究相对均质的固体岩块(试块),而且注意研究在天然条件下的岩体各要素。

研究已受采矿工程影响的岩体,即松动岩体,同样具有现实意义。

本书与1978年版本的区别,在于它循序渐进地探讨了岩石试块、原岩体和松动岩体的物理性质。这种研究方法符合由简到繁地研究物质的原则。

作者力求具体地阐述所研究的现象的物理实质,明确地指出岩石性质在解决采矿工程技术问题中的意义,并有以数值形式表达的物理数据。

绪 论

岩石物理学是研究解决采矿生产课题中关于岩石技术物理性质、岩石中发生的物理过程、岩石性质变化规律以及如何利用这些性质和原理的一门学科。

60年代就已经形成采矿科学的独立学科——岩石物理学，它为研究岩石开辟了新的途径，即将岩石作为地质学的物体，采矿生产与物理研究的对象同时进行研究。

研究的方向、方法及对象决定了岩石及物理过程在其他学科中的地位。

按研究对象，岩石物理学接近地质学科，即结晶学、矿物学和岩石学。不了解矿物组成、岩石的结构和构造特征及其赋存条件，不可能研究岩石物理性质和有充分依据地解释在岩石中发生的物理现象。所以岩石物理学要利用地质学科中有关岩石组成、结构、成因及其产状方面的资料。

按研究方法，岩石物理学又近似于固体物理学，即从现代固体物理学的角度解释和研究岩石的现象和性质，并利用固体物理学的数学手段和实验方法。

然而，与固体物理学相比较，岩石物理学研究的对象更为广泛、更为复杂，在更大程度上取决于随机因素。实际上不可能同时考虑所有因素的发生规律及其影响。因此在岩石物理学中广泛地应用随机理论和数学统计等手段；利用实验获得的规律性及相关性。而在岩石中的物理现象则用现象学加以解释。

岩石物理学的研究方向与采矿科学是一致的。岩石物理学也是要解决改进采矿生产问题，通过掌握岩石性质去挖掘提高劳动生产率的潜力。

众所周知，通常将采矿生产表示为以下连续的工艺过程，即钻孔、爆破、装岩、运输、贮存、矿石的初破碎及磨碎直到最后

选矿。有用矿物开采的各个阶段与不同机械和设备对岩石的作用有密切关系。当机械设备参数与岩石物理特征匹配条件最佳时，采矿工程便会取得最佳效益。

由于岩石性质变化幅度太大，所以只有具备相应的、能提供有关岩体性质、组成及状态信息的测试仪器时，采矿设备才会有更高的工作效率。因此，还必须研究岩石状态及物理过程的监测方法。

岩石的物理参数并非常量，它们可以受人们控制。譬如，加热、冷却、岩石中充填液体。给岩石通电流时，岩石性质便会变化。于是，提出研究岩石受上述作用时的后果问题。

由此，便引出了以下岩石物理学的理论和实践课题：

1. 岩石物理性质的研究，其中包括：

在设计矿山企业及规划企业生产时，确定供计算已有矿山设备的工作制度和生产率所必须的岩石技术物理参数；

确定岩石组成与结构为变量、受外部条件作用时的岩石物理性质变化规律。

2. 研究岩石中的物理过程，其中包括：

研究开采、加工岩石的新方法，阐明这些方法的使用范围，计算其效益；

研究采矿生产新工艺的实质；

建立采矿生产过程中岩石组成、状态及行为的监测系统。

根据与岩石相互作用的物理场特点，岩石物理学可分为以下几部份：

岩石力学 —— 研究岩石力学性质及在开采矿床过程中，岩石在力学作用下出现的力学现象（其中包括地压）；

岩石声学 —— 研究弹性振动波在岩石中的传播和吸收，以及与弹性波有关的所有物理过程；

岩石热力学 —— 研究岩石中因自然和人为因素引起的热性质及热过程；

岩石电动力学和放射性物理学 —— 研究岩石中的电、磁、无线电波和核辐射的性质和现象。

根据历史资料分析可知，在大自然的物体中，最先研究的物理参数之一是磁性参数。

磁铁矿 Fe_3O_4 最简单的磁性是在中国、古希腊和埃及首先发现的。1640 年在瑞士开始使用罗盘获得关于勘探磁铁矿体的信息。

伽里略 (1590 年) 进行的在重力作用下自由落体的研究是研究岩石密度这一性质的开端。

18 世纪法国学者库伦在土力学方面的著作为岩石力学性质研究与发展奠定了基础。

后来，预测地震的设想发展到研究弹性波在地壳中的传播规律，即出现了地震学 (玛利, 1954 年)。然后，采用地震法找矿 (施密特, 1888 年)。

随后，对岩石物理性质的广泛研究，引起了地球物理学者的注意。基于对岩石性质的研究，应用地球物理学得以发展，解决了有用矿物勘探问题。

在 20 世纪中叶，在采矿生产中对岩石物理性质还尚未给予应有的重视。采矿人员仅仅利用了极有限的物理力学性能。19 世纪在俄国 B.И. 库尔久莫夫, П.А. 米尼亚耶夫开始研究岩石物理力学性质。同时 B.М. 谢韦尔金院士最先将“岩石”这一术语引用到习惯用语中。

地下开采工程的发展要求研究掘进巷道时岩石的应力、应变。M.М. 普罗托季亚科诺夫最先提出地压理论，是他最早系统地研究岩石强度性质。1926 年他首先根据岩石坚固性创立了至今在采矿工程中仍被普遍应用的岩石分级。

苏联的 П.М. 秦巴列维奇、Г.Н. 库兹涅佐夫、Н.А. 崔托维奇、Л.И. 巴隆、M.М. 普罗托季亚科诺夫 (小)、И.А. 图尔恰尼诺夫继承了岩石力学性质和在地压条件下岩石变形的研究工作。

目前，在这方面进行研究的有：哈萨克斯坦科学院院士 Ж.С.叶尔札诺夫、Ю.А.韦克斯勒教授、И.В.巴克拉绍夫教授、С.В.库兹涅佐夫教授及其他许多学者。

研究在各种条件下用机械、工具、以及爆破进行破碎岩石问题的有：П.А.雷宾德尔院士、К.В.鲁宾涅依特教授、Л.А.史立涅尔教授、Н.Г.东布罗夫斯基教授。现在，А.Н.贝隆、Б.Н.库图佐夫、А.Н.哈努卡耶夫等教授及其他许多苏联研究工作者继承了上述学者们的研究工作。为解决采矿工程课题所需的其他岩石性质方面的原始数据都取自地球物理学。

譬如热性质研究，首先用于揭示地壳中的热场，然后研究地球物理勘探的热力方法，最后，开展用热力方法加工和破碎岩石方面的研究工作。在这方面，目前正在进行研究工作的有：А.П.德米特里耶夫、Ю.Д.佳季金、С.А.贡恰罗夫及其他学者。

1918 年在 П.П.拉扎列夫与 И.М.古布金院士领导下开始对库尔斯克磁力异常地区进行岩石磁性的研究。

Г.Н.甘布尔采夫院士进行了岩体地震研究，并在苏联提出了地震勘探的新方法。

在岩石放射性研究方面，В.И.韦尔纳茨基和 А.И.札博罗夫斯基院士以及其他学者们均有很大贡献。

1924 年，Д.Д.彼得罗夫斯基在岩石电测方面进行了广泛而系统的研究。Д.И.扎博罗夫斯基、А.Г.塔尔霍夫、В.Н.达赫诺夫、М.П.活拉罗维奇和 Э.И.帕尔霍缅科进行了这方面的理论研究工作。

М.П.通科诺戈夫、Ю.И.普罗塔索夫教授及其他学者对电测学以及电力法对岩石作用问题发表了科学著作。

到 60 年代，无论从研究的岩石和有用矿物种类的数量，还是从已确定的物理参数的数量来看，研究工作还不尽完善，在这些研究中还没有对岩石性质资料进行综合分析。

1962 年，В.Н.科布拉诺娃的著作问世，在该著作中针对石

油和天然气的勘探和开采综合了岩石物理性质（岩石物理学）。

同年，B.B.勒热夫斯基首次建立了岩石物理学及物理过程的基本原理。

H.B.梅利尼科夫院士对岩石物理学研究与发展有很大贡献。现在，在岩石物理学领域进行大量研究工作的有：莫斯科矿业学院岩石物理实验室和物理工程系、苏联科学院地下资源综合开发研究所、苏联科学院科尔斯克分院矿业研究所、全苏矿山测量研究所、列宁格勒矿业学院、卡拉岗达工学院、乌克兰工学院地质力学研究所及其他研究部门。

随着对采矿生产日益发展的要求，通过对岩体内物理过程的研究，将促进岩石物理学的不断发展。只有当采矿工程技术人员熟悉岩石物理性质，掌握预测和控制岩石物理性质的方法，了解岩石的物理作用原理时，才有可能提高采矿生产的效率，适应采矿生产日益发展的需要。

目 录

译者的话

前言

绪论

第一章 岩石物理学的基本定义.....(1)

(一) 矿物和岩石.....(1)

1.1 矿物和岩石的结构与组成.....(1)

1.2 开采对象——岩石、岩体、松动岩石、岩块.....(8)

(二) 关于岩石技术物理性质及物理过程

的一般概念.....(10)

2.1 岩石技术物理性质的分类与基础技术

物理参数.....(10)

2.2 矿物组成和岩石结构对岩石性质的影响.....(16)

2.3 岩石中的物理过程.....(19)

2.4 外部场对岩石性质的作用.....(21)

2.5 采矿生产的物理过程.....(22)

2.6 确定岩石技术物理参数的实验方法.....(23)

2.7 岩石的物理性质分类.....(29)

第二章 岩石试块的技术物理性质和物理过程.....(32)

(三) 岩石试块的力学性质.....(32)

3.1 概述.....(32)

3.2 岩石的密度.....(32)

3.3 岩石中的应力和应变.....(34)

3.4	岩石的弹性	(38)
3.5	岩石组成与结构对其弹性的影响	(40)
3.6	岩石的塑性与流变性	(45)
3.7	岩石试块的强度	(50)
3.8	矿物组成与岩石结构对强度的影响	(59)
3.9	岩石试块的声学性质	(64)
(四)	采矿工艺的岩石综合参数	(69)
4.1	岩石的坚固性	(69)
4.2	岩石的脆性和塑性	(70)
4.3	岩石的硬度	(72)
4.4	岩石的韧性、可碎性和磨蚀性	(73)
(五)	岩石试块的水力性质	(75)
5.1	岩石中液体和气体的成分	(75)
5.2	液体和气体在岩石中的流动	(79)
(六)	岩石试块的热性质	(82)
6.1	热的传导与聚集	(82)
6.2	岩石的热容量	(86)
6.3	岩石的导热性与等温性	(87)
6.4	热膨胀	(91)
6.5	岩石中的热应力	(93)
(七)	岩石试块的电磁性质	(95)
7.1	电极化	(95)
7.2	矿物和岩石极化的特殊情况	(97)
7.3	介电常数	(99)
7.4	岩石的电化学活性	(102)
7.5	电导性	(104)
7.6	介电损耗	(108)
7.7	磁性	(111)
7.8	岩石试块的放射性	(114)

(八) 外部场对岩石力学性质的影响.....(117)

8.1 湿度的影响 (物质场) (117)

8.2 压力的影响 (122)

8.3 弹性振动对岩石的作用 (127)

8.4 热场的作用 (128)

8.5 电场与磁场的作用 (134)

8.6 辐射作用 (138)

(九) 外部场对岩石热性质和电磁性质的影响.....(139)

9.1 湿度的影响 (139)

9.2 压力的影响 (143)

9.3 热场的作用 (145)

(十) 岩石性质间的相互关系、岩石的说明书和月球岩石的性质.....(156)

10.1 岩石性质间相互关系的概述 (156)

10.2 矿物组成变化时岩石性质的相互关系 (159)

10.3 岩石结构变化时岩石性质的相互关系 (163)

10.4 外部场变化时岩石性质的相互关系 (168)

10.5 岩石技术物理参数之间的多重相关性 (169)

10.6 岩石性质相互关系的意义 (172)

10.7 根据技术物理参数编制岩石说明书 (173)

10.8 月球岩石的物理性质 (178)

第三章 岩体与松动岩石的技术物理性质和物理过程.....(182)

(十一) 岩体的结构、组成及状态.....(182)

11.1 岩体内岩石结构和组成的主要特性 (182)

11.2 岩体内岩石的物理状态 (185)

11.3 岩体内岩石的弹性振动 (190)

11.4	岩体内电磁波的传播	(191)
11.5	岩体结构、组成及状态的研究方法	(195)
11.5.1	野外地球物理方法	(196)
11.5.2	钻孔法研究	(205)
(十二)	岩体内岩石的技术物理参数	(207)
12.1	岩体内岩石物理性质的研究方法	(207)
12.2	岩体内岩石技术物理参数分析	(216)
12.3	开采时岩体内的特殊现象	(222)
(十三)	松动岩石的结构、组成及状态	(225)
13.1	松散岩石的分类	(225)
13.2	松散岩石结构的几何参数	(226)
13.3	决定岩石松动特性的因素	(231)
(十四)	松动岩石的技术物理参数	(233)
14.1	力学参数和采矿工艺参数	(233)
14.2	松散岩石的热性质和电磁性质	(238)
14.3	岩体内松散岩石的性质	(240)
14.4	被破坏岩石的超极限变形和加载特征	(241)
14.5	冻结岩石	(245)
14.6	岩石的抗冻性	(247)
第四章	采矿生产的物理过程	(249)
(十五)	岩体开挖的准备过程	(249)
15.1	岩体疏干	(249)
15.2	岩石弱化	(251)
15.3	岩石加固	(254)
(十六)	岩石的机械破碎、粉碎和运输	(256)
16.1	岩石破碎功	(256)
16.2	岩石破碎难度指标	(259)
16.3	机械法凿岩及其可钻性	(260)

16.4	岩石的爆破与可爆性	(266)
16.5	岩石的开挖、机械剥离与可挖性	(272)
16.6	工作面岩石的二次机械破碎过程	(275)
16.7	破碎机和磨矿机内有用矿物的粉碎和磨碎过程	(276)
16.8	岩石运输过程	(279)
(十七)	非机械法和组合法破碎岩石	(283)
17.1	热力法凿岩	(283)
17.2	热力法破碎岩石大块	(287)
17.3	热力机械组合法凿岩	(290)
17.4	电磁法破碎岩石	(291)
17.5	电热机械组合法破碎岩石	(298)
(十八)	地压和地热状态的管理方法	(302)
18.1	地下巷道支护	(302)
18.2	露天矿和矸石场的边坡稳定	(309)
18.3	防止煤和瓦斯突出的措施	(310)
18.4	矿井热温状态	(312)
(十九)	选矿和地层开采工艺	(314)
19.1	选矿方法	(314)
19.2	钻孔(地层开采工艺)法采矿	(319)
(二十)	采矿作业时监控岩体状态和工艺参数	
	的物理过程	(324)
20.1	岩石性质—信息源	(324)
20.2	对巷道和围岩体的应力状态、稳定性和破坏性的 监控	(325)
20.3	岩体内包体和危险地带的探测	(331)
20.4	岩体内危险动力现象的预报	(333)
20.5	有用矿物的质量及鉴定	(337)

20.6	有用矿物成分的测定和监控	(342)
20.7	湿度的监测	(347)
20.8	对一些生产工序的监控	(349)
结论		(353)
参考文献		(355)
附录		(359)
附表 1	矿物的基本力学参数平均值	
附表 2	矿物的基本电热参数平均值	
附表 3	矿物的弹性模量和声学参数	
附表 4	煤、岩的力学参数均值	
附表 5	岩石的声学参数	
附表 6	某些煤层的渗透性	
附表 7	岩石的水力性质	
附表 8	岩石的热性质	
附表 9	矿物的热变温度	
附表 10	矿物的熔化温度 $T_{\text{м}}$ 和溶解热量 $Q_{\text{м}}$	
附表 11	岩石的电性质 (电场频率不超过 10^5 Hz)	
附表 12	岩石的采矿工艺参数	
附表 13	某些岩石的磨蚀性 (按Л.И.巴隆方法确定)	
附表 14	岩石的磨蚀性 (按Л.А史立涅尔方法测定)	
附表 15	不同牌号煤的工艺性质	
附表 16	煤和坚硬包体的力学参数平均值对照表	
附表 17	天然裂隙性对采矿工艺过程的影响	
附表 18	一些煤田和矿区的煤的普氏系数 f	
附表 19	标准装药爆破时的炸药的单位岩石的消耗量	
附表 20	抗磁性、顺磁性和铁磁性矿物	
附表 21	普氏岩石坚固性分级表	
附表 22	岩石破碎难度分级表	
附表 23	岩石可钻性分级表	