



教育部高等学校地矿学科
教学指导委员会采矿工程专业规划教材



丛书主编 古德生

岩石力学

赵文 主编

ROCK MECHANICS



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会
采矿工程专业规划教材

岩石力学

主 编 赵 文
副主编 曹 平 章 光

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩石力学/赵文主编. —长沙:中南大学出版社,2010.6
ISBN 978-7-5487-0044-9.

I. 岩... II. 赵... III. 岩石力学—高等学校—教材
IV. TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 123195 号

岩石力学

主编 赵文

责任编辑 刘辉

责任印制 文桂武

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

印 装 长沙市利君漾印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 18 字数 441 千字

版 次 2010年7月第1版 2010年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-0044-9

定 价 35.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

编委会委员

(按姓氏笔画为序)

王志国(河北理工大学)
张 飞(内蒙古科技大学)
余贤斌(昆明理工大学)
毛市龙(北京科技大学)
赵 文(东北大学)
曹 平(中南大学)
章 光(武汉理工大学)

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会
采矿工程专业规划教材

编 审 委 员 会

丛书主编

古德生

编委会委员

(按姓氏笔画为序)

王新民	伍法权	李夕兵	杨 鹏	吴 超
吴立新	张明旭	陈建宏	周科平	赵跃民
赵 文	侯克鹏	姚书振	殷 昆	高永涛
黄润秋	廖立兵			

序

.....

站在 21 世纪全球发展战略的高度来审视世界矿业，可以清楚地看到，矿业作为国民经济的基础产业，与其他传统产业一样，在现代科学技术突飞猛进的推动下，也正逐步走向现代化。就金属矿床开采领域而言，现今的采矿工程科学技术与 20 世纪 90 年代以前的相比，已经不可同日而语。为了适应矿业快速发展的形势，国家需要大批具有现代采矿知识的专业人才，因此，作为优秀专业人才培养的重要基础建设之一——教材建设就显得至关重要。

在 2006—2010 年地矿学科教学指导委员会（以下简称地矿学科教指委）的成立大会上，委员们一致认为，抓教材建设是本届教学指导委员会的重要任务之一，特别是金属矿采矿工程专业的教材，现在多是 20 世纪 90 年代出版的，教材更新已迫在眉睫。2006 年 10 月 18~20 日在中南大学召开了第一次地矿学科教指委全体会议，会上委员们就开始酝酿采矿工程专业系列教材的编写拟题；之后，中南大学出版社主动承担该系列教材的出版工作，并积极协助地矿学科教指委于 2007 年 6 月 22~24 日在中南大学召开了“全国采矿工程专业学科发展与教材建设研讨会”，来自全国 17 所院校的金属、非金属矿床采矿工程专业和部分煤矿开采专业的领导及骨干教师代表参加了会议，会议拟定了采矿工程专业系列教材的选题和主编单位；从那以后，地矿学科教指委和中南大学出版社又分别在昆明和长沙召开了两次采矿工程专业系列教材编写大纲的审定工作会议。

本次新规划出版的采矿工程专业系列教材侧重于金属矿

床开采领域。编审委员会通过充分地沟通和研讨，在总结以往教学和教材编撰经验的基础上，以推动新世纪采矿工程专业教学改革和教材建设为宗旨，提出了采矿工程专业系列教材的编写原则和要求：①教材的体系、知识层次和结构要合理，要遵循教学规律，既要有利于组织教学又要有利于学生学习；②教材内容要体现科学性、系统性、新颖性和实用性，并做到有机结合；③要重视基础，又要强调采矿工程专业的实践性和针对性；④要体现时代特性和创新精神，反映采矿工程学科的新技术、新方法、新规范、新标准等。

采矿科学技术在不断发展，采矿工程专业的教材需要不断完善和更新。希望全国参与采矿工程专业教材编写的专家们共同努力，写出更多、更好的采矿工程专业新教材。我们相信，本系列教材的出版对我国采矿工程专业高级人才的培养和采矿工程专业教育事业的发展将起到十分积极的推进作用，对我国矿山安全、经济、高效开采，保障我国矿业持续、健康、快速发展也有着十分重要的意义。

中南大学教授
中国工程院院士
教育部地矿学科教指委主任



2008年8月

前 言

.....

本书是教育部地矿学科教学指导委员会规划的采矿工程专业系列教材之一。

岩石力学是采矿工程专业的核心课程，是矿业科学的理论基础。本书比较全面地介绍了岩石力学学科的基本概念、基本理论和工程应用等相关知识。

课程的学时根据各学校的教学计划安排，课时以 40 ~ 60 学时为宜，并建议安排相应岩石力学实验 4 ~ 6 学时。

本书既可作为采矿工程、土木工程、交通工程、水利工程、地质工程等专业的教材，也可作为高等院校、科研院所和工程部门科技工作者的参考书。

本书由东北大学赵文教授担任主编，中南大学曹平教授、武汉理工大学章光教授任副主编。教材编写分工如下：东北大学赵文教授编写绪论和第 6 章，河北理工大学王志国教授编写第 1 章，中南大学曹平教授编写第 2 章，武汉理工大学章光教授编写第 3 章及附录，内蒙古科技大学张飞教授编写第 4 章，昆明理工大学余贤斌教授编写第 5 章，北京科技大学毛市龙副教授编写第 7 章。全书由赵文统稿。

由于编者水平所限，书中不当之处恳请读者和各方面专家批评指正。

编者
2010 年 5 月

绪 论	(1)
第 1 章 岩石的物理力学性质	(4)
1.1 概述	(4)
1.2 岩石的物理性质	(5)
1.3 岩石的力学性质	(12)
1.4 岩石的流变性质	(33)
1.5 岩石的强度理论	(42)
第 2 章 岩体的力学性质	(55)
2.1 岩体的结构面与结构体	(55)
2.2 岩体的结构类型	(62)
2.3 岩体的破坏机理及破坏判据	(63)
2.4 岩体的强度特征	(67)
2.5 岩体的变形特性	(70)
2.6 岩体的动力学特性	(78)
2.7 岩体的水力学特性	(82)
2.8 岩体的热力学特性	(88)
2.9 岩体质量评价及其分类	(90)
第 3 章 地应力及其测量	(104)
3.1 概述	(104)
3.2 地应力的成因和影响因素	(106)
3.3 地应力场的一些基本特征	(109)
3.4 高地应力区的若干特征	(112)
3.5 地应力测量方法	(114)
第 4 章 露天矿边坡	(127)
4.1 概述	(127)
4.2 影响露天矿边坡稳定性的主要因素和边坡破坏形式	(129)
4.3 边坡稳定性分析	(134)
4.4 露天矿边坡加固治理	(142)

第 5 章 井巷地压	(145)
5.1 概述	(145)
5.2 巷道围岩应力分布	(147)
5.3 围岩与支架的力学模型	(166)
5.4 变形地压计算	(169)
5.5 平巷散体地压计算	(177)
5.6 竖井地压	(181)
第 6 章 采场地压及其控制	(184)
6.1 概述	(184)
6.2 空场法地压	(188)
6.3 崩落法地压	(191)
6.4 充填法地压	(192)
6.5 采场地压控制方法	(193)
6.6 采空区处理	(200)
6.7 岩爆及其控制	(201)
第 7 章 岩石工程支护及治理	(205)
7.1 支护概述	(205)
7.2 井巷维护原则	(206)
7.3 支架和锚索支护	(209)
7.4 喷锚支护	(220)
7.5 监测与治理	(238)
附录 A 岩石室内力学实验	(246)
附录 B 岩体现场力学试验	(261)
附录 C 赤平地质投影方法	(270)
参考文献	(274)



绪 论

0.1 什么是岩石力学

1. 岩石力学的基本概念

岩石力学(rock mechanics)是研究岩石的力学性状和岩石对各种物理环境的力场产生效应的一门理论科学,是力学的一个分支,同时它也是一门应用科学。

岩体力学(rockmass mechanics):岩体力学是固体力学的一个分支,它研究岩体在力场作用下的强度、变形与破坏,以及与其相关的岩体稳定性问题。

2. 岩石分类

岩石是组成地壳的基本物质,它是由矿物或岩屑在地质作用下按一定的规律聚集而成的自然体,如花岗岩、大理岩、石灰岩等。

按成因把岩石分为三大类:岩浆岩、沉积岩、变质岩。

①岩浆岩:岩浆冷凝而形成的岩石,具有强度高、均质等特性。

②沉积岩:母岩经搬运、沉积而形成的岩石,它具有层理性与各向异性。

③变质岩:原岩在高温、高压下及化学性流体的影响下发生变质而形成的岩石,其性质和变质程度有关。

3. 岩石和岩体的区别

岩石:从地壳岩层中切割出来的岩块。

岩体:岩体是地质体,它的形成与漫长的地质年代有关,它是一定工程范围内的自然地质体,经过各种地质运动,内部含有构造和裂隙。岩体具有多样复杂的特性,即使是由相同物质组成的岩体,其力学特性也可能有很大的差异。

岩体的特点:不均质性、地质体、时间因素影响、环境因素影响、含有缺陷。

岩石与岩体的区别:岩体是非均质各向异性体;岩体内部存在着初始应力场;岩体内含有各种各样的裂隙系统,处于地下环境,受地下水等因素的影响。

岩石结构:岩石矿物颗粒的大小、形状、表面特征、颗粒相互关系、脉结类型等。

岩石构造:岩石的组成部分在空间排列的情况,如岩石的层面构造、层理构造等。

岩石力学是20世纪50年代初期新兴的一门学科,它的发展与现代化大生产是分不开的。随着生产的发展,对自然界能源的开采利用以及各项工程建设的进行,例如,采矿、水利、水电、土木工程、交通以及国防建设等,都出现了各种有关岩体稳定性的问题,但是,由于人类对岩体稳定性的认识不足,在一定程度上工程建设带有一定的盲目性,国际上一些大型水坝和岩质边坡、大型的地下洞室以及矿床开采等工程都出现了重大的工程事故,最为著名的、影响力最大的是1963年意大利的瓦杨坝发生大滑坡,我国也曾发生过大的事故。

◆ 意大利的瓦杨坝发生大滑坡:坝弦长160 m,坝高达265 m,1963年10月9日深夜,

水库左岸的托克山坡突发推测速度约 25 m/s 的高速滑坡, 3000 万 m^3 的水被挤出, 注入下游峡谷, 造成 2500 人死亡, 数百名现场人员殉职。

◆ 山西大同马脊梁煤矿: 顶板是厚 50 m 以上的硬砂岩, 采空区距地面 56 ~ 106 m 时, 不易滑落, 1975 年 9 月 18 日, 当采空区面积达 15 万 m^2 时顶板突然滑落, 由于空气突然压缩, 井口喷出 300 m 高的烟尘, 地面建筑物摇晃, 地面塌陷约 7 万 m^2 , 地震台测到了 3.2 级的地震。

瓦杨坝整个边坡发生的大滑动造成极大的社会影响, 然而对其原因包括当时缪勒 (Muller) 在内的世界许多学者研究未有定论。后来, 经过专家学者深入调查和研究, 最终找到了滑坡的原因, 原来水库边坡岩体含有裂隙、结构面和断层, 因下雨和水压力浸泡发生大规模的滑坡。在当时, 主要是把所研究岩体——岩石看成是理想的弹性体, 忽视了岩体在地质运动中的变化。

随着采矿、水利、水电、土木工程、铁路、公路以及国防建设的发展等, 出现了岩质边坡、大坝、地下洞室等, 其安全性、稳定性和我国的经济建设息息相关。人们对岩石的认识及研究工作逐渐深入。因此, 需要对岩石力学理论和实践进行深入的研究。

0.2 岩石力学的发展

岩石力学最早源于采矿工程, 20 世纪以前, 岩石力学处于萌芽阶段。我国明末科学家宋应星在 1637 年编著的《天工开物》中记有大量的开采情况。后来西欧一些国家在 19 世纪也有一些研究。20 世纪初至 50 年代, 人们借助土力学的研究成果解决岩石力学问题, 出现了相似材料和光弹模拟方法。奥地利地质力学学会的出现, 以及 1957 年法国的塔罗勃 (J. Talobre) 所著《岩石力学》的出版, 标志着岩石力学开始进入发展期。20 世纪 60 年代以后, 岩石力学发展较快, 无论是从理论和实验手段方面都形成了完整的体系, 特别是随着电子计算机的出现, 更加推动了岩石力学的发展。

岩石力学是目前国内外研究的热门学科之一, 国际上, 1962 年成立了国际岩石力学学会 ISRM (International Society for Rock Mechanics), 简称“ISRM”, 网址: <http://www.isrm.net/>, 从 1966 年起国际岩石力学学会每 4 年举行一次国际岩石力学大会, 分别在葡萄牙的里斯本 (1966)、日本东京 (1995 年)、法国巴黎 (1999 年)、南非约翰内斯堡 (2004 年)、葡萄牙的里斯本 (2007 年) 举行, 2011 年将在中国北京召开第 12 届国际岩石力学大会。岩石力学的研究工作与矿业、交通、水利等发展密切相关。英国、法国、俄罗斯、葡萄牙、美国、加拿大、澳大利亚、南非、日本等国家在岩石力学研究方面取得了很大的成绩。

国内, 中国岩石力学与工程学会 (Chinese Society for Rock Mechanics and Engineering, 简称 CSRME) 于 1985 年成立, 每两年召开一次全国岩石力学与工程大会, 至 2008 年已开了十届。随着中国经济的高速发展, 特别是在能源、交通、基础设施建设、水利工程等领域的空前发展, 如三峡工程、南水北调、西气东输、青藏铁路等大型工程的建设, 中国的岩石力学的研究和发展已上升到一个前所未有的高度。如今, 岩石力学的研究成为方兴未艾的科学, 有着广阔的发展前景。国内岩石力学领域的主要专业杂志有《岩石力学与工程学报》、《岩土力学》、《岩土工程学报》、《地下空间与工程学报》等十多种科技期刊。

0.3 岩石力学的研究内容

- ①岩石和岩体的物理力学性质。
- ②岩石的破坏机制和强度准则。
- ③工程岩体的稳定性分析。
- ④岩体的加固和处理技术。

0.4 岩石力学的研究方法

岩石力学的研究方法包括科学实验、理论分析和模拟计算。

(1) 科学实验, 包括实验室和现场实验

- ①实验室: 岩石性质试验, 相似材料模拟等。
- ②现场: 原始试验, 现场观测。

(2) 理论: 采用岩石力学理论分析

(3) 模拟计算

采用计算机软件借助飞速发展的计算机技术, 对复杂的岩石力学问题进行模拟计算, 这是岩石力学研究中十分有用的强大工具, 现代的岩石力学研究已离不开模拟计算。

岩石力学是一门科学, 它要求研究人员除掌握岩石力学的基础理论和有关知识外, 还必须通晓所服务部门的有关工程知识, 只有这样才能取得理论与实践相结合的研究成果, 解决工程实践问题。

0.5 岩石力学的展望

尽管岩石力学发展很快, 但是工程方面遇到的问题也越来越复杂, 如深部开采、岩爆问题、海底隧道、核废料存储、灾害预测与防治等方面面临许多问题, 需要更加深入的理论体系来支撑。随着高新技术的发展和新的测试技术的出现如遥感技术、三维地震 CT、声发射和微震监测等技术的应用丰富了岩石力学的研究手段, 加速了岩石力学的发展。

岩石力学是一门应用性很强的学科, 各工程领域对岩体的要求也不一样。另外, 岩石的力学性质差异极大, 每一种岩石、每一个地区的岩石都不完全一样, 这就要求岩石力学理论必须与工程实际密切结合。

随着大型计算机的出现和发展, 以及并行机的广泛应用, 岩石力学数值模拟方法成为解决岩石力学问题的非常重要的手段。

另外, 岩石力学与环境保护的关系显得越来越重要, 建立环保的理念, 把可持续发展融入到岩石力学的理论之中, 这是将来我们必须要做的一件事。

第1章 岩石的物理力学性质

1.1 概述

1. 岩石与岩体

岩石(rock)是由各种造岩矿物或岩屑在地质作用下按一定规律组合而形成的多种矿物颗粒的集合体,是组成地壳的基本物质。由于岩石中常含有节理和裂隙等结构面(discontinuities),因此岩石力学中将岩石分成岩块(rock block)和岩体(rock mass)。为与自然状态下的岩体有所区别,岩石是指从岩体中取出的、无显著结构面的块体物质,有时又称岩块,例如,由钻探获得的岩芯;用爆破或其他方式获得的岩石碎块、岩样等,实验室的试件是岩块的一种。我们平时所称的岩石,在一定程度上都是指的岩块。岩体是相对于岩块而言的,是指地面或地下工程中范围较大的、由岩块(结构体)和结构面组成的地质体。总之,广义的岩石是岩块和岩体的泛称,而狭义的岩石则专指岩石块体(或称岩石材料)。本章内容所涉及的岩石主要指岩石块体。

2. 影响岩石物理力学性质的因素

岩石根据其成因可分为:岩浆岩、沉积岩、变质岩三大类。由于各种岩石所组成的矿物成分、结构构造和成岩条件的不同,对岩石的物理力学性质有很大影响。

岩石是多种矿物的集合体,一般由长石(正长石、斜长石)、石英、云母(黑云母、白云母)、角闪石、辉石、橄榄石、方解石、白云石、高岭石、赤铁矿等称为造岩矿物的矿物构成。它们在岩石中所占份量,依岩石成因而异。一般来说,含硬度大的粒柱状矿物(如长石、石英、角闪石、辉石等)越多时,则岩石强度越大;含硬度小的片状矿物(云母、绿泥石、蒙脱石和高岭石等)越多时,则岩石强度越小。

岩石依其成因不同,组成岩石的矿物颗粒间的结合方式则不同,从而使岩石具有不同的结构与构造。岩石的结构与构造是影响岩石力学性质的根本因素。

岩石结构是指岩石中矿物颗粒的大小、形状、表面特征、颗粒相互关系、胶结类型特征等。根据岩石的结晶程度,岩石可分为结晶岩和非结晶岩两类,因而岩石颗粒间连接方式分为结晶连接和胶结连接两类。

结晶连接是矿物颗粒通过结晶相互嵌合在一起,如岩浆岩、大部分变质岩和部分沉积岩都具有这种连接。它通过共用原子或离子使不同晶粒紧密接触,一般强度较高。但不同晶体结构对岩石性质的影响不同。根据生成条件冷凝速度不同,结晶颗粒的大小则有所不同,可分为等粒状结构(颗粒大小近于相等)、不等粒状结构和斑状结构。一般来说,结晶颗粒小且具有等粒状结构的岩石,抵抗外载荷能力大,即强度高;结晶颗粒大的岩石,如斑状结构由于晶体内部或晶体间含有较多的缺陷(如解理、位错、双晶、裂隙等),其强度降低。

胶结连接是矿物颗粒通过胶结物连接在一起,如沉积岩碎屑之间的连结,这种连接的岩

石的强度取决于胶结物的成分和胶结类型。岩石矿物颗粒结合的胶结物质有硅质、铁质、钙质、泥质等。一般来说,硅质胶结的岩石强度最高,铁质和钙质胶结的次之,泥质胶结的岩石强度最差,且抗水性差。从胶结类型看,沉积岩可具基质胶结、接触胶结、孔隙胶结结构。基质胶结的岩石碎屑(颗粒)为胶结物包围,其强度由胶结物决定。接触胶结只是在颗粒接触处有胶结物存在,因此一般胶结不牢,强度较低,透水性较强。孔隙胶结,胶结物完全或部分地充填于颗粒孔隙之间,一般胶结较牢固,所以岩石强度及透水性主要由胶结物性质及充填程度决定。

岩石构造是指岩石中不同矿物集合体之间及其与其他组成部分之间在空间的排列方式及充填形式。如岩浆岩中的流线、流面、块状构造,沉积岩中的层理、页片状构造,变质岩中的片理、片麻理和板状构造等等。这些都会对岩石物理力学性质产生影响,如块状构造岩石表现出宏观上各向同性特征;云母片岩、片麻岩、页岩等层状构造岩石,则表现出宏观力学性质的各向异性。

3. 岩石物理力学性质的研究内容

岩石的基本物理力学性质是岩体最基本、最重要的性质之一,也是岩石力学学科中研究最早、最完善的内容之一。岩石物理力学性质是岩石力学研究的基础,它不仅是岩石力学分析的重要依据,而且可以提供岩石工程设计施工和岩石数值计算的基本参数。

岩石物理力学性质包括物理性质和力学性质。岩石由固体、液体和气体三相介质组成。其物理性质是指因岩石三相组成部分的相对比例关系不同所表现出来的物理性质。与工程密切相关的岩石物理性质有密度、孔隙率、水理性质等。岩石的力学性质主要指:在各种类型载荷作用下,它们的变形特征,出现塑性流动和发生破坏的条件。岩石的力学性质包括变形特性、强度特性和强度准则。表征岩石力学性质的参数:变形特性参数有岩石的变形模量、弹性模量、切变模量、泊松比和流变性等;强度特性参数有岩石抗拉、抗弯、抗剪、抗压等强度。这些参数通常采用岩石试件进行室内试验的方法获得。

本章主要叙述岩石基本物理性质的参数及获得这些参数的试验方法。并在此基础上,着重讨论了岩石的单轴抗压强度、抗拉强度、剪切强度、三轴压缩强度以及各种受力状态相对应的变形特性与试验方法。最后介绍作为判别岩石是否破坏的各种强度理论。

1.2 岩石的物理性质

岩石的物理性质(physical properties of rock)是指由岩石固有的物质组成和结构特征所决定的密度、颗粒密度、孔隙率等基本属性。影响岩石力学性质的物理、水理性质包括内容较多,但与工程密切相关的有岩石的密度、孔隙性、渗透性、软化性、膨胀性等。

1.2.1 岩石的密度

岩石密度(rock density)是指单位体积岩石的质量,单位为 kg/m^3 。岩石的密度又可分为块体密度和颗粒密度。

1. 块体密度

块体密度(或岩石密度)是指单位体积岩石(包括岩石孔隙体积)的质量。根据岩石试样的含水状态不同,可分为天然密度、饱和密度和干密度。天然密度 ρ 是指岩石块体在天然含

水状态下的单位体积的质量；饱和密度 ρ_{sat} 是指岩石块体在饱和水状态下单位体积的质量；干密度 ρ_d 是指岩石块体在 105 ~ 110℃ 温度下干燥 24 h 后单位体积的质量。在未说明含水状态时一般指岩石的天然密度。在一般条件下，三者数值相差不大。各种块体密度可下式表示：

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{m}{V} \\ \rho_{\text{sat}} = \frac{m_{\text{sat}}}{V} \\ \rho_d = \frac{m_s}{V} \end{array} \right. \quad (1-1)$$

式中： m ——岩石试件的天然质量，kg；
 m_{sat} ——岩石试件的饱和质量，kg；
 m_s ——岩石试件的干质量，kg；
 V ——试件的体积， m^3 。

岩石块体密度取决于组成岩石的矿物成分、孔隙性及含水状态，也与其成因有关。岩石密度大小可在一定程度上反映出岩石的力学性质情况。通常岩石密度越大，则它的性质就愈好，反之愈差。

岩石块体密度试验可采用量积法、水中称量法或蜡封法。凡能制备成规则试件的各种岩石，宜采用量积法。除遇水崩解溶解和干缩湿胀性岩石外均可采用水中称量法。不能用上述方法测定的岩石宜采用蜡封法。

2. 颗粒密度

岩石颗粒密度 ρ_s 是岩石固相物质的质量与其体积的比值。其公式为

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-2)$$

式中： m_s ——岩石固相部分质量(岩石试件在烘箱中烘至 105℃ 保持恒温、恒重时，岩石固体质量)，kg；

V_s ——岩石试件固相部分体积(不包括岩石孔隙体积)， m^3 。

岩石颗粒密度是在试验室中用比重瓶法测定的。

几种岩石块体密度和颗粒密度见表 1-1。

表 1-1 几种岩石的块体密度、颗粒密度、孔隙率

岩石名称	块体密度(10^3 kg/m^3)	颗粒密度(10^3 kg/m^3)	孔隙率 $n(\%)$
花岗岩	2.6 ~ 2.7	2.5 ~ 2.84	0.5 ~ 1.5
粗玄岩	3.0 ~ 3.05		0.1 ~ 0.5
流纹岩	2.4 ~ 2.6		4.0 ~ 6.0
安山岩	2.2 ~ 2.3	2.4 ~ 2.8	10.0 ~ 15.0
辉长岩	3.0 ~ 3.1	2.7 ~ 3.2	0.1 ~ 0.2
玄武岩	2.8 ~ 2.9	2.6 ~ 3.3	0.1 ~ 1.0

续表 1-1

岩石名称	块体密度 (10^3 kg/m^3)	颗粒密度 (10^3 kg/m^3)	孔隙率 $n(\%)$
砂岩	2.0 ~ 2.6	2.6 ~ 2.75	5.0 ~ 25.0
页岩	2.0 ~ 2.4	2.57 ~ 2.77	10.0 ~ 30.0
石灰岩	2.2 ~ 2.6	2.48 ~ 2.85	5.0 ~ 20.0
片麻岩	2.9 ~ 3.0	2.63 ~ 3.07	0.5 ~ 1.5
大理岩	2.6 ~ 2.7	2.6 ~ 2.8	0.5 ~ 2.0
石英岩	2.65	2.53 ~ 2.84	0.1 ~ 0.5
板岩	2.6 ~ 2.7	2.68 ~ 2.76	0.1 ~ 0.5

1.2.2 岩石的孔隙性

岩石依其生成原因和生成条件不同,可能含有形状、体积不同的孔隙和裂隙。如岩浆岩按其生成深度、岩浆凝固条件以及所含气体的排逸条件,含有不同体积的三度空间孔隙。对沉积岩则取决于结构特征。此外在岩石中还存在着各种原生的、构造的、卸荷的、风化的规模不等的面状裂隙。把岩石所具有的孔隙和裂隙特性,统称为岩石的孔隙性。

岩石孔隙性通常用孔隙率(percentage of porosity)大小表示。岩石孔隙率 n 为岩石试件中孔隙总体积与岩石试件总体积之比,即

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中: V_v ——岩石中孔隙的总体积, m^3 ;

V ——岩石试件的总体积, m^3 。

孔隙率分为开口孔隙率和封闭孔隙率。两者之和称为总孔隙率,上式中的 n 即为总孔隙率。试件中与大气相通的孔隙体积占试样总体积的百分比称为开口孔隙率 n_k ,可按式计算

$$n_k = \frac{V_k}{V} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中: V_k ——岩石中开口孔隙的体积, m^3 。

试件中不与大气相通的孔隙体积占试样总体积的百分比称为封闭孔隙率 n_c ,可用总孔隙率减去开口孔隙率获得,即

$$n_c = n - n_k \quad (1-5)$$

一般提到岩石孔隙率指总孔隙率,几种岩石的孔隙率列于表 1-1 中。

孔隙率是反映岩石致密程度和岩石力学性能的重要参数,孔隙率越大,岩石中的孔隙和裂隙就越多,岩石的力学性能就越差。

岩石孔隙性指标一般不能实测,只能通过有关指标换算求得。如总孔隙率也可以根据岩石块体干密度和颗粒密度计算

$$n = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \times 100\% \quad (1-6)$$