

岩
体
力
学

岩体力学

重庆建筑工程学院
同济大学 编



中
国
建
筑

高等学校试用教材

00132

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

岩 体 力 学

重庆建筑工程学院
同 济 大 学 编

中国建筑工业出版社

本书阐述了岩体力学的基本原理，测试技术及在地下建筑工程和岩基、边坡工程方面的应用，并注意了反映国内外现代科学成果。

全书共分十章，分别介绍了岩石（岩块）的基本物理力学性能，岩体的基本力学性能，碎块体力学基础，岩体的初始应力状态，围岩的二次应力状态，围岩压力理论，有限单元法的应用，现场量测与模拟试验，岩体稳定性分析。结束语中介绍了岩体力学发展前景书末附有两个附录（相似原理和试验数据处理）和参考文献。

本书可作为高等工业院校地下建筑专业和工程地质（建工类）专业的试用教材，研究生的参考书；土木、水利、地质、采矿等有关专业的参考书，同时也可供工程技术人员、科研和设计人员参考。

高等学校试用教材
岩 体 力 学
重庆建筑工程学院 编
同 济 大 学

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：17¼ 字数：420 千字
1981年10月第一版 1981年10月第一次印刷
印数：1—6,500册 定价：1.80元
统一书号：15040·4131

21162/18

前 言

岩体力学是研究岩体的力学性能、力学现象及其规律的一门科学，也是工程地质和应用力学的一门边缘学科。在地质、采矿、水利电力、地下建筑、铁路交通以及国防工程等部门，都会涉及和应用到岩体力学的理论知识。国外对岩体力学的大量研究工作开始于本世纪五十年代末期。我国建国以来，特别是一九六〇年以来，随着社会主义建设的发展，岩体力学的研究工作也获得了很大的发展，积累了丰富的实践经验。

本书由重庆建筑工程学院朱敬民，同济大学孔宪立、程鸿鑫编写：第一、九章和附录一由程鸿鑫执笔；第三、四、十章和结束语由孔宪立执笔；第五、六、七、八章和附录二由朱敬民执笔；第二章由程鸿鑫、孔宪立共同执笔。最后由朱敬民全面整理和修改，并由孔宪立主审。

在编写过程中结合我们的教学实践，吸取了兄弟院校教材中的许多优点，并注意了加强基础理论和反映国内外现代科学成果，对有关岩体力学的基本理论作了较详细的叙述，并增加了一些新的内容，例如，有限元法在岩体力学中的应用，碎块体力学基础等。书末列有参考文献，可供查阅。考虑到这本教材既要适用于地下建筑专业，又能适用于工程地质（建工类）专业，并使这两专业的研究班亦能参考使用，故在教材内容上有所增加和深入。书中用小号字排印的章节，大学普通班可不讲授，不同专业可根据具体要求和学时数，选用不同章节。

本教材的编写提纲曾寄请国内有关高等院校、勘察、设计和科研单位征求意见，得到了许多宝贵意见，并惠寄资料；又承薛玺成、赵树德、李树昌、李舜、郑颖人、徐振远、左国华、张继芳、方平同志审阅初稿，提出了修改意见。我们在此谨表示衷心感谢。

由于时间仓促，水平有限，教材中不妥甚至错误之处，敬请读者指正。

编 者

一九七九年九月

主 要 符 号

γ ——岩石容重	p_s ——岩体自重引起的水平初始应力
Δ ——岩石比重	力
n ——孔隙比	p_0 ——岩体平均垂直初始应力
R_o ——岩石单轴抗压强度	p_a ——洞室周边上的支撑力
R_t ——岩石抗拉强度	λ ——侧压力系数
τ_0 ——岩石抗剪强度	r_a ——洞室半径
ε_e ——弹性应变	R_p ——塑性区边界半径
ε_p ——塑性应变	$\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}$ ——岩体中的径向正应力、切向正应力及剪应力
ε ——应变	$\sigma_{re}, \sigma_{\theta e}$ ——弹性区的径向正应力、切向正应力
u ——孔隙水压力	$\sigma_{rp}, \sigma_{\theta p}$ ——塑性区的径向正应力、切向正应力
E_0 ——岩石变形模量	φ ——艾雷应力函数
E_e ——岩石弹性模量	H ——洞室的平均埋深
E_d ——岩石动弹性模量	k ——应力集中系数
G ——剪切模量	K ——安全系数
μ ——岩石泊松比	f_{kp} ——岩石坚固性系数
μ_d ——岩石动泊松比	m ——米
v_p ——弹性波纵波速度	cm ——厘米
v_s ——弹性波横波速度	mm ——毫米
c ——岩石粘结力(内聚力)	kg ——公斤
φ ——岩石内摩擦角	T ——吨
η ——软化系数	
k_0 ——单位弹性抗力系数	
p_s ——岩体自重引起的垂直初始应力	

目 录

前言

主要符号

第一章 绪论..... 1

第一节 岩体的基本概念..... 1

一、岩石(岩块)和岩体的基本概念..... 1

二、岩体结构的基本概念..... 2

三、岩体的分类..... 3

第二节 岩体力学的任务..... 4

第三节 岩体力学的研究方法..... 5

第二章 岩石的基本物理力学性能..... 7

第一节 岩石的基本物理与水理性质..... 7

一、岩石的重量指标..... 7

二、岩石的孔隙性..... 8

三、岩石的水理性质..... 8

第二节 岩石的变形特性..... 9

一、岩石在单向压力作用下的变形特性..... 9

二、岩石的弹性和塑性..... 11

三、岩石在三向压力作用下的变形性质..... 14

四、岩石的变形能..... 15

五、岩石的流变性..... 15

六、岩石的力学介质模型..... 16

第三节 岩石的强度特性..... 18

一、岩石的单向抗压强度..... 18

二、岩石的单向抗拉强度..... 21

三、岩石的剪切强度..... 23

四、岩石的三向压力强度..... 24

第四节 岩石的强度理论..... 24

一、单元体的应力状态和莫尔应力圆..... 24

二、莫尔强度理论..... 26

三、格里菲斯强度理论..... 28

第三章 岩体的基本力学性能..... 30

第一节 岩体结构面分析..... 30

一、结构面的概念..... 30

二、结构面的分类..... 30

三、岩体破碎程度的分类..... 31

四、结构面的几何特征..... 34

第二节 结构面的变形特性..... 34

一、节理的法向变形..... 35

二、节理的切向变形..... 37

第三节 结构面的力学效应..... 43

一、单节理和多节理的力学效应..... 43

二、当 $c = 0$ 时节理面的力学效应..... 45

第四节 岩体的应力-应变分析..... 46

一、岩体的应力-应变($\sigma-\epsilon$)曲线..... 46

二、现场岩体的变形模量..... 47

第五节 岩体力学性能的现场测试..... 48

一、岩体的变形试验..... 48

二、现场岩体直剪试验..... 52

三、现场三轴强度试验..... 55

第四章 碎块体力学基础..... 57

第一节 碎块体力学特征..... 57

第二节 碎块体模型..... 58

一、岩块的排列..... 58

二、接触力和应力..... 59

第三节 碎块体力学理论..... 60

一、应力的传递..... 60

二、楔体力学效应..... 61

三、单坡力学效应..... 64

第四节 外荷载作用下碎块体地基中

的应力分布..... 65

一、静力荷载作用..... 65

二、动力荷载作用..... 68

第五节 碎块体破坏..... 68

一、沿节理面产生的破坏..... 69

二、岩块-节理破坏..... 72

第五章 岩体的初始应力状态..... 74

第一节 自重应力..... 74

第二节 构造应力..... 76

第三节 影响岩体初始应力状态的因素..... 77

一、地形和地质条件对自重应力的影响..... 77

二、地震应力..... 78

三、水压力和热应力..... 79

第四节 侧压力系数..... 79

一、弹性岩体的侧压力系数..... 79

二、海姆静水压力假设..... 80

三、无粘结力松散岩体的侧压力系数..... 81

第六章 围岩的二次应力状态	83	第四节 松散岩体围岩压力的计算	153
第一节 弹性理论的基本方程	84	一、浅埋洞室松动压力的计算	153
一、平面问题的基本方程	84	二、普氏理论	155
二、平面问题的极坐标方程	88	三、太沙基理论	158
三、平面弹性力学问题的复变函数解	92	四、特殊情形下围岩压力的计算	159
第二节 厚壁圆筒的弹性理论解	97	五、围岩压力的空间问题	162
第三节 深埋圆形洞室的二次应力状态	99	第五节 竖井和斜井围岩压力的计算	164
一、侧压力系数 $\lambda = 1$ 时圆形洞室的二次应力状态	100	一、井筒围岩破碎状况	164
二、侧压力系数 λ 为任意值时圆形洞室的二次应力状态	101	二、竖井围岩松动压力的计算方法	164
三、圆形洞室的弹性变形	105	三、斜井围岩松动压力的计算方法	165
第四节 深埋非圆形洞室的二次应力状态	107	第六节 松动压力的塑性理论分析	166
第五节 深埋非圆形洞室二次应力状态的复变函数解法	112	第七节 塑性变形压力的计算	169
一、椭圆形洞室的二次应力状态	112	一、岩层处于初始弹性状态和侧压力系数等于 1 时洞室的计算	170
二、正方形和矩形洞室的二次应力状态	115	二、岩层处于初始弹性状态和侧压力系数较小情况下的计算	173
三、直墙拱形洞室的二次应力状态	120	三、岩层处于初始塑性状态下洞室的计算	175
第六节 浅埋圆形洞室的二次应力状态	121	第八节 围岩压力的经验公式	175
第七节 二孔问题和正交各向异性岩体	124	一、铁路隧道围岩压力经验公式	176
一、二孔问题	124	二、《岩石地下建筑技术措施》中的围岩分类	176
二、正交各向异性岩体	125	三、太沙基的地层压力分类	176
第八节 深埋圆形洞室二次应力状态的弹塑性分析	127	四、比尔鲍曼的顶部地层压力分类	176
一、侧压力系数为 1 时的塑性区	127	第八章 有限单元法	178
二、侧压力系数为任意值时的塑性区边界	133	第一节 平面应变分析	179
三、圆形洞室的塑性变形	134	一、应力-应变关系	179
第九节 松散岩体中的应力	136	二、位移模式	179
第十节 半平面体中的应力	139	三、应力矩阵及刚度矩阵	180
一、集中力作用下半平面体的应力	139	四、荷载矩阵	183
二、集中力作用下平面体的位移	141	第二节 各向异性岩体的分析	186
三、集中力作用下圆板的应力	143	第三节 弹塑性分析	189
第七章 围岩压力理论	146	第四节 岩体不连续性的模拟	191
第一节 围岩的变形和破坏	146	一、“无张力”分析	191
第二节 围岩压力分类	149	二、非抗张性节理系	193
一、松动压力	149	三、断层	193
二、塑性变形压力	149	第五节 节理单元模型	194
三、冲击压力	150	第六节 工程实例	195
四、膨胀压力	150	第九章 现场量测与模拟试验	198
第三节 影响围岩压力的因素	151	第一节 岩体应力量测	198
一、地质方面的因素	151	一、应力解除法	198
二、工程方面的因素	152	二、应力恢复法	204
		第二节 围岩变形量测	207
		第三节 围岩压力的量测	209

一、量测仪器	209	五、岩基的加固措施	238
二、用压力盒量测围岩压力的方法	211	第三节 岩坡稳定性分析	239
第四节 弹性波测试	212	一、边坡的应力分布	239
一、基本原理	212	二、岩坡破坏型式的分类	242
二、主要测试仪器与测试方法	213	三、岩石崩塌的力学稳定分析	243
三、弹性波测试的应用	214	四、平移滑动的力学稳定分析	243
第五节 模拟试验	219	五、转动滑动	249
一、概述	219	六、岩块流动	249
二、模拟试验的相似材料和试验技术	219	七、边坡岩层的曲折	250
三、光测弹性法	221	八、岩质边坡的加固措施	251
第十章 岩体稳定性分析	224	结束语——岩体力学发展前景	252
第一节 洞室围岩稳定性分析	224	一、岩体力学的发展概况	252
一、洞室围岩稳定的概念	224	二、岩体力学今后研究的趋向	253
二、围岩的整体稳定性计算	224	附录一 相似原理	257
三、围岩局部稳定计算的平面课题	225	一、基本概念	257
四、洞室围岩的加固措施	227	二、相似必需具备的条件	257
第二节 岩基稳定性分析	228	附录二 岩体力学试验数据处理	261
一、岩基中的应力分布	228	一、误差分析	261
二、岩基上基础的沉降	231	二、试验公式的作法	265
三、岩基的承载能力	234	参考文献	267
四、岩基的抗滑稳定	237		

第一章 绪 论

第一节 岩体的基本概念

一、岩石（岩块）和岩体的基本概念

岩石和岩体是岩体力学的直接研究对象。要学习和研究岩体力学，首先要建立岩石（岩块）和岩体的基本概念。什么是岩石？由工程地质学可知，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形成的自然体。例如，我们通常所见到的花岗岩，石灰岩，片麻岩，这些都是指一定成因类型的具有一定矿物成分及结构构造的岩石。岩石可由单种矿物所组成（例如纯洁的大理岩由方解石所组成），而多数的岩石则是由二种以上的矿物所组成，例如花岗岩主要由石英，长石，云母三种矿物所组成。按照成因，岩石可分为三大类：岩浆岩、沉积岩和变质岩。

岩浆岩是岩浆冷凝而形成的岩石。绝大多数的岩浆岩是由结晶矿物所组成，由非结晶矿物组成的岩石是很少的。由于组成岩浆岩的各种矿物的化学成分和物理性质较为稳定，它们之间的联结是牢固的，因此岩浆岩通常具有较高的力学强度和均质性。

沉积岩是由母岩（岩浆岩、变质岩和早已形成的沉积岩）在地表经风化剥蚀而产生的物质，通过搬运、沉积和硬结成岩作用而形成的岩石。组成沉积岩的主要物质成分为颗粒和胶结物。颗粒包括各种不同形状及大小的岩屑及某些矿物。胶结物常见的成分为钙质、硅质、铁质以及泥质等。沉积岩的物理力学特性不仅与矿物和岩屑的成分有关，而且与胶结物的性质有很大的关系，例如硅质、钙质胶结的沉积岩胶结强度较大，而泥质胶结的沉积岩和一些粘土岩强度就较小。另外，由于沉积环境的影响，沉积岩具有层理构造，这就使得沉积岩沿不同方向表现出不同的力学性能。

变质岩是由岩浆岩、沉积岩甚至变质岩在地壳中受到高温、高压及化学活动性流体的影响下发生变质而形成的岩石。它在矿物成分、结构构造上具有变质过程中所产生的特征，也常常残留有原岩的某些特点。因此，它的物理力学性能不仅与原岩的性质有关，而且与变质作用的性质及变质程度有关。

岩石的物理力学性能的指标是在试验室内用一定规格的试件进行试验而测定的。这种岩石试件是由钻孔中获取的岩芯或是在工程范围内用爆破以及其他方法所获得的岩石碎块经加工而制成的。这种所采集的标本或岩芯仅仅是自然地质体中间的岩石小块，称为岩块。岩块就成了相应岩石的代表。我们平时所称的岩石，在一定程度上都是指的岩块，于是这两个概念也就不严格加以区分了。因为岩块是不包含有显著弱面的较均质的岩石块体，所以通常都把它作为连续介质及均质体来看待。

那末，什么是岩体呢？我们所指的岩体是在一定工程范围内的自然地质体，它经历了漫长的自然历史过程，经受了各种地质作用，并在地应力的长期作用下，在其内部保留了

各种永久变形的形象和各式各样的地质构造形迹，例如假整合、不整合、褶皱、断层、层理、节理、劈理、隐微裂隙等，所以都把岩体称之为多裂隙岩体。由此可见，岩体是受到各种性质的软弱面切割而形成的综合体，由于软弱面的存在，岩体的强度要远低于岩石强度。因而对于设置在岩体上或岩体中的各种工程所关心的岩体稳定问题来说，起决定作用的是岩体强度，而不是岩石强度。例如，在以往的围岩压力研究中，曾有人错误地认为洞室的稳定是取决于围岩应力与岩石强度之间的矛盾。但许多工程实践表明，在某些岩石强度很高的围岩中，仍然会产生大规模的变形和破坏，分析其原因则是由于围岩的整体强度不够，即由于岩体中存在着弱面而造成强度不足，由此使人们逐渐认识到，影响洞室稳定的矛盾，不是岩石强度与围岩应力之间的矛盾，而是岩体强度及围岩应力之间的矛盾。所以，岩体与岩石（岩块）是既有联系，又有区别的两个概念；岩块是组成岩体的基本单元，而岩体则是指天然埋藏条件下、系由岩块组成的通常包含有一种以上弱面的复杂地质体。我们就不仅要深入研究岩石的物理力学性能，而且要研究岩体的物理力学性能。

二、岩体结构的基本概念

岩体是地质历史的产物，是在长期的成岩及形变过程中形成了它们的结构。岩体结构包括两个基本要素：结构面和结构体。结构面就是上述的弱面，即岩体内具有一定方向，延展较大，厚度较小的两维面状地质界面，包括物质的分界面和不连续面。它是在地质发展历史中，尤其是地质构造变形过程中形成的。被结构面而分割形成的岩块，四周均被结构面所包围，这种由不同产状的结构面组合切割而形成的单元块体就称为结构体。也有称其为岩块。

结构面是岩体的重要组成单元。岩体的好坏，与结构面的性质有密切关系，结构面成因类型不同，结构面的结合力就大不相同。结构面按其成因可分为：

（1）沉积结构面：如层面、层理、假整合面、不整合面等。

（2）岩浆结构面：如岩浆岩的流层，流纹，冷却收缩而形成的张裂隙，岩浆岩体与围岩的接触界面等。

（3）变质结构面，如片理、板理、剥理等。

（4）构造结构面、指在不同构造应力下所产生的各类结构面，如压性、张性、扭性、张扭性、压扭性等结构面。

（5）次生结构面：如风化裂隙，冰冻裂隙，重力卸荷裂隙等。

结构面的强度取决于它的特性，即它的粗糙度及充填物的性质。其中，构造结构面在岩体结构类型划分时，常起着主导作用。在研究结构面时，一方面要注意结构面的强度、密度及其延展性，另外还需注意结构面的规模大小和它们相互之间的组合特性。

结构体就是被结构面所围的完整岩石，或是有隐微裂隙的岩石。结构体也是岩体的重要组成部分，在研究结构体时，首先要弄清结构体的岩石类型及其物理力学属性，然后根据结构面的组合确定结构体的几何形态和大小，以及结构体之间的镶嵌组合关系等。结构体的不同形态称为结构体形式，常见的单元结构体有块状、柱状、板状体以及菱形、楔形、锥形体等。

岩体结构是由结构面的发育程度及组合关系，或是结构体的规模及排列形式而决定的。岩体结构类型的划分反映出岩体的不连续性和不均一性特征。常见的结构体类型有块状结构镶嵌结构，层状结构，碎裂结构，层状碎裂结构以及松散结构等。

岩体强度就是指岩体结构的强度，它是包含有结构体强度和结构面强度的一个综合指标通常需要进行现场原地测试而确定，但这种测试工作较为复杂，费用高、时间长。岩石强度虽然只是反映了结构体的强度，不能全面反映岩体强度，但也是一个不可缺少的基本参数，对于评价岩体强度具有一定的参考价值，特别是当岩体中结构面为稀少的不连续面时，也即岩体的完整性良好时，岩体强度就与岩石强度相近。此外，岩石强度测定较为方便，积累的数据也多，所以当前工程设计中仍广泛采用，把它作为评价岩体稳定性的标准之一。关于岩体力学强度的特性，将在后面（第三章）中进行讨论。

三、岩体的分类

要对岩体进行分类，首先要对岩石进行分类。岩石按其成因分为三类（岩浆岩、沉积

岩石质量指标（RQD）分类

表 1-1

岩石质量指标(RQD)	100~90	90~75	75~50	50~25	25~0
岩石质量描述	很好的	好的	一般的	差的	很差的

岩体结构类型及其特征

表 1-2

岩体结构类型	岩体地质类型	主要结构体形式	结构面发育情况	工程地质评价
块状结构	厚层沉积岩 火成侵入岩 火山岩变质岩	块状 柱状	节理为主	岩体在整体上强度较高，变形特征上接近于均质弹性各向同性体。作为坝基及地下工程洞体具有良好的工程地质条件，在坝肩及边坡条件虽也属良好，但要注意不利于岩体稳定的平缓节理
镶嵌结构	火成侵入岩 非沉积变质岩	菱形 锥形	节理比较发育 有小断层错动带	岩体在整体上强度仍高，但不连续性较为显著。在坝基除局部处理后仍不失为良好地基，在边坡过陡时易崩塌形式出现，不易构成巨大滑坡体在地下工程若跨度不大，塌方事故很少
碎裂结构	构造破坏强烈岩体	碎块状	节理，断层及 断层破碎带交叉，劈理发育	岩体完整性破坏较大，强度受断层及软弱结构面控制，并易受地下水作用影响，岩体稳定性较差。在坝基要求对规模较大的断层进行处理，一般可做固结灌浆，在边坡有时出现较大的塌方，在地下矿坑开采中易产生塌方、冒顶、要求支护紧跟，对永久性地下工程要求衬砌
层状结构	薄层沉积岩 沉积变质岩	板状 楔形	层理，片理节理 比较发育	岩体呈层状，接近均一的各向异性介质。作为坝基，坝肩，边坡及地下洞体的岩体稳定与岩层产状关系密切，一般陡立的较为稳定，而平缓的较差，倾向不同，也有很大差异，要结合工程，具体考虑，但这类岩体在坝肩，坝基边坡破坏事故出现很多
层状碎裂结构	较强烈褶皱及破碎的层状岩体	碎块状 楔形	层理，片理、 节理、断层，层间错动面发育	岩体完整性破坏较大，整体强度降低软弱结构面发育，易受地下水不良作用稳定性很差。不宜选作高混凝土坝，坝基，坝肩，或要求处理，边坡设计角较低，地下工程施工中常遇塌方，永久性工程要求加厚衬砌
散体结构	断层破碎带 风化破碎带	鳞片状 碎屑状 颗粒状	断层破碎带， 风化带及次生结构面	岩体强度遭到极大破坏，接近松散介质，稳定性最差。在坝基及人工边坡上要作清基处理，在地下工程进出口处也应进行适当处理

岩、变质岩)这在前面已作了简述。岩石的工程分类有很多种,至今也没有一个理想的分类方案,其中最简单的是按岩石的单轴饱和抗压强度 R_b (详见第二章有关内容)进行分类,将岩石分为坚硬岩石 ($R_b \geq 800 \text{ kg/cm}^2$); 中等坚硬岩石 ($R_b = 300 \sim 800 \text{ kg/cm}^2$) 和软弱岩石 ($R_b < 300 \text{ kg/cm}^2$)。

岩体的分类方法是很多的,大多数的岩体分类都注重于岩体的完整性,因为这是影响岩体稳定性的最重要的因素。在具体评价指标方面,有的是以修正了的岩芯采取率方法为基础的,这就是岩石质量指标 (RQD),它是根据大于或等于 10cm 的岩芯段的累计岩芯采取率为基础计算的,其分类见表 (1-1)。有的分类是以弹性波在岩体中的传播速度或者是采用声速比 $(V_m/V_0)^2$ (V_m 和 V_0 分别为自然岩体和完整试样的纵波波速) 作为分类的指标,日本在这方面下了不少功夫, (详见第九章)。有的分类则不仅重视岩体中裂隙的间距,而且注意切割体 (即结构体或岩块) 的大小和形态。它们都在不同的工程目的中被应用。

中国科学院地质研究所根据多年的工程实践,从岩体结构的角度提出了岩体结构分类 (参见表 1-2)。该分类的特点是考虑到各类岩体的地质成因,在定性分类上突出了岩体的工程地质特性,这是具有我国特点的分类。在我国不少为专门工程目的岩体分类,例如为建造地下隧道和洞室的围岩分类 (铁路隧道规范分类,建委岩石地下建筑技术措施分类等),都是建筑在岩体结构分类基础上的。

第二节 岩体力学的任务

岩体力学是研究岩体在各种不同受力状态下产生变形和破坏的规律,并在工程地质定性分析的基础上,定量地分析岩体稳定性的一门学科。

岩体力学的任务是什么?要了解岩体力学的任务,必须了解岩体力学的工程实践中所起的作用,以及工程实践对于岩体力学所提出的要求。

岩体力学是在五十年代初期新兴的一门学科。与土力学相比,它的历史是很短的、它的发展是与现代化大生产的发展分不开的。随着大生产的发展,在对自然界能源的开采和利用以及在各项工程建设中,例如采矿、水利、水电、土木工程,铁路交通以及国防建设等,都出现了各种有关岩体稳定性的课题。由于对岩体的稳定性认识不足,在一定程度上带有盲目性,一些大型水坝和岩质边坡,大型的地下洞室以及深部采矿等工程,都出现了重大的工程事故,究其原因,都是与各种受力状态下的岩体失稳分不开的。这就引起了人们对岩体力学的重视。目前,现代化工程的规模正在逐年增大,例如坝高已接近 300 米,隧道和矿山坑道的开挖深度已超过了 3000 米,随之对工程建设的责任性也相应增大,为了使得工程建设达到安全可靠,经济合理,就必须对岩体稳定性问题作出定量的评价,甚至某些重大工程由于岩体稳定性问题没有解决,迫使工程不能进行下去。岩体力学对工程实践所起的作用也逐步被人们更深刻地理解,同时,岩体力学毕竟是一门年轻的学科,在很多方面是不够成熟的,特别是由于岩体是自然地质体,影响岩体稳定性的各种因素之间关系很复杂,自然界本身又是千变万化的,它们中间的很多规律性尚未得到充分认识。这就迫使我们去进一步探索和研究。正是由于工程实践的需要,二十多年来,岩体力学得到了高速度发展。目前,在试图解决各种岩体稳定性问题的时候,不仅要有现代化的实验设备

和方法——这是取得有关岩体第一性资料的必要手段，而且要有先进的理论指导和现代化的计算方法，才能有效地综合各种成果，求得接近于实际的答案。

由此，岩体力学的具体任务，可以大致归纳为以下几个方面：

1. 熟悉地质因素，对工程地质所得定性研究成果的分析和应用；
2. 岩石和岩体的物理力学性能的研究；
3. 为研究岩体稳定性所需要的各种测试方法的研究，包括岩石的物理力学性能测试，现场岩体的大型力学试验，岩体中应力和应变的量测技术，模型模拟试验以及岩体稳定性的长期观测等各方面；
4. 在不同的力作用下，岩体中应力与应变的分布规律以及岩体与工程建筑物相互作用的研究；
5. 影响岩体稳定性的各种因素和作用力，定量评价岩体稳定性的理论以及现代化计算方法的研究；
6. 关于加固岩体的工程措施与处理技术的研究。

限于篇幅，本书不可能对上述内容作全面详细的论述，只能择其基本部分进行阐述。

第三节 岩体力学的研究方法

如前所述，岩体力学是一门新兴的学科，它又是一门边缘学科。为了能用力学的观点对自然存在的岩体进行性质测定和理论计算，为具体的工程建设服务，岩体力学必须采用科学实验与理论分析紧密结合的方法。

岩体力学中的科学实验是岩体力学研究工作的基础。进行岩石和岩体的物理力学参数测定，以及进行各项现场和室内的模型和原型试验，是建立岩体力学中概念和理论的物质基础。现在，从事于岩体力学的工作者为了更好地获得这个第一性资料，广泛地采用现代探测新技术。事实证明，每当采用新的技术对岩体进行科学实验而获得成功时，我们对于岩体的性能的基本认识也就前进了一步。因此，岩体力学的科学实验必须用最先进的测试手段来武装。

必须指出，我们现在所应用的理论是在前人所建立的基础上的，例如弹性理论，塑性理论，松散介质力学理论等，这些理论对于岩体的适用性要受到实践的检验。由于一定的理论是在一定的假设条件下建立的，它与复杂多变的自然岩体之间总是存在一定的差距，理论的适用性总是要受到一定的限制，因此，在应用理论时就要注意它的适用性。目前在岩体力学中尚有不少问题应用现有理论知识仍然不能得到完善的解答，还只能凭借实践中所获得的经验来进行处理，这在目前仍然是很需要的，但这些经验（经验公式）的作用决不是阻碍和放弃理论的发展，而是要促进理论的发展。

现代计算技术正在飞速发展，电子计算机的问世和应用将会在技术上引起一场大革命。电子计算机也必然应用于岩体力学，这是因为不仅有复杂的岩体力学问题要利用电子计算机来进行计算，而且因为岩体作为自然体它所反映的性能是多变的，带有一定的概率性，大量的科学实验数据和成果也需要利用电子计算机来进行统计和处理。因此，电子计算机对岩体力学是十分有用的工具。

还需指出，岩体是个天然地质体，它经历了漫长的自然历史过程。各类岩体有它的地

质成因，也经受了各种地质构造变动过程，各种结构面就是在这个过程中形成和演变的。岩体力学的研究脱离不开工程地质的定性研究，各类不同力学性质结构面的形成也是与地质力学的研究成果分不开的，因此，研究岩体力学还要求具备一定的工程地质和地质力学的知识。

岩体力学又是一门应用性很强的学科，因此，在应用岩体力学知识解决具体工程问题的时候又必须与工程的设计与施工保持密切联系和相互配合。岩体力学应该为设计与施工提出有利于岩体稳定的方案，又能为新的设计和施工方法提出岩体稳定的理论根据，尽管要完全做到这一点是困难的，但是应该向这方面努力。

第二章 岩石的基本物理力学性能

第一节 岩石的基本物理与水理性质

一、岩石的重量指标

岩石的重量指标是选择建筑材料、计算边坡稳定、围岩压力等重要的计算指标。岩石由固体、水、空气等三相组成，具有比重、容重等指标。

(一) 比重 (Δ):

岩石的比重就是指岩石固体实体积的重量与同体积水的重量之比值。所谓岩石固体实体积，就是指不包括孔隙体积在内的实在体积。

岩石的比重可在实验室进行测定，其计算公式为：

$$\Delta = \frac{G}{V_o \cdot \gamma_w} \quad (2-1)$$

式中 Δ ——岩石的比重；

G ——绝对干燥的体积为 V_o 时的岩石重量 (g)；

V_o ——岩石固体实在体积 (cm^3)；

γ_w ——水的容重 (g/cm^3)。

岩石的比重取决于组成岩石的矿物的比重。因此，那些含有比重较大矿物的岩石，如基性岩和超基性岩，一般具有较大的比重；而那些含有比重较小的矿物的岩石，如酸性岩，比重就较小。一般当已鉴定出岩石的矿物成分后，岩石的比重就可以粗略地进行估计，例如石灰岩的比重与方解石的比重相近，砂岩的比重接近于石英。

(二) 容重 (γ):

单位体积的岩石的重量称为岩石的容重，所谓单位体积就是包括孔隙体积在内的体积。岩石的容重可分为干容重和湿容重：干容重 (γ_o) 就是单位体积岩石绝对干燥后的重量。湿容重 (γ) 就是天然含水或饱水状态下的容重。

$$\gamma_o = \frac{G_1}{V} \quad (2-2)$$

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (2-3)$$

式中 γ_o ——岩石的干容重 (g/cm^3)；

γ ——岩石的湿容重 (g/cm^3)；

G_1 ——岩石试件烘干后的重量 (g)；

G ——岩石试件的重量 (天然含水或饱水) (g)；

V ——岩石试件的体积 (cm^3)。

在一般情况下，岩石干容重和湿容重的数值差别不大。但对于某些粘土质岩石，区分干湿容重具有重要的意义。岩石的容重取决于岩石的矿物成分，孔隙及含水量。当其他条件相同时，岩石的容重在一定程度上与埋藏深度有关，靠近地表的岩石容重往往较小，而深层的致密的岩石一般具有较大的容重，其数值与比重较接近。多孔性岩石（如浮石及某些火山熔岩）孔隙性很大，容重可能小于1.0，因而可浮于水上。

二、岩石的孔隙性

岩石的孔隙性系指岩石的裂隙和孔隙发育程度，其计算指标为孔隙度（ n ），即岩石试件内各种裂隙、孔隙的体积总和对于试件总体积之比。孔隙度可以从岩石的比重（ Δ ）及干容重（ γ_c ）来计算：

$$n = \frac{\Delta - \gamma_c}{\Delta} \times 100\% \quad (2-4)$$

有时，岩石的孔隙性还可以用孔隙比（ e ）表示。所谓孔隙比是指岩石试件内各种裂隙、孔隙的体积总和对于试件内固体矿物颗粒的体积之比。它与孔隙度 n 之关系为：

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (2-5)$$

岩石的孔隙性对岩石的其他性质有显著的影响。一般来说，随着岩石孔隙度的增大，一方面削弱了岩石的整体性，使得岩石的容重和强度随之降低，透水性增大；另一方面由于孔隙的存在，又为各种风化营力大开方便之门，加快风化速度，从而进一步增大透水性和降低力学强度。

三、岩石的水理性质

某些岩石比重、容重、孔隙比以及吸水率指标

表 2-1

岩石名称		比重	容重(g/cm ³)	孔隙比(%)	吸水率(%)
岩 浆 岩	花岗岩	2.50~2.84	2.30~2.80	0.04~0.92	0.10~0.92
	正长岩	2.50~2.90	2.40~2.85		0.47~1.94
	闪长岩	2.60~3.10	2.52~2.96	0.25~3.00	0.30~0.48
	辉长岩	2.70~3.20	2.55~2.98	0.29~1.13	
	辉绿岩	2.60~3.10	2.53~2.97	0.40~6.38	0.22~5.00
	玢岩	2.60~2.84	2.40~2.80		0.07~1.65
	斑岩	2.62~2.84	2.70~2.74	0.29~2.75	0.20~2.00
	粗面岩	2.40~2.70	2.30~2.67		
	安山岩	2.40~2.80	2.30~2.70	1.09~2.19	0.29
	玄武岩	2.60~3.30	2.50~3.10	0.35~3.00	0.31~2.69
沉 积 岩	凝灰岩	2.56~2.78	2.29~2.50	1.50~4.90	0.12~7.45
	砾岩	2.67~2.71	2.42~2.66	0.34~9.30	0.20~5.00
	砂岩	2.60~2.75	2.20~2.71	1.60~2.83	0.20~12.19
	页岩	2.57~2.77	2.30~2.62	1.46~2.59	1.80~3.10
变 质 岩	石灰岩	2.48~2.85	2.30~2.77	0.53~2.00	0.10~4.45
	片麻岩	2.63~3.01	2.30~3.05	0.70~4.20	0.10~3.15
	片岩	2.75~3.02	2.69~2.92	0.70~2.92	0.08~0.55
	石英岩	2.53~2.84	2.40~2.80	0.50~0.80	0.10~1.45
	大理岩	2.80~2.85	2.60~2.70	0.22~1.30	0.10~0.80
	板岩	2.68~2.76	2.31~2.75	0.36~3.50	0.10~0.95

(一) 岩石的吸水性:

岩石的吸水性系指岩石在一定的试验条件下(一定试样大小、压力大小)吸入水分的重量对岩石的干重量之比。岩石的吸水性指标以吸水率为常见。

岩石吸水率就是岩石试件在大气压力下吸入水的重量(G_w)与岩石干重量(G_s)之比值。

$$\omega = \frac{G_w}{G_s} \quad (2-6)$$

岩石的吸水率的大小,取决于岩石所含孔隙、裂隙的数量、大小、开闭程度及其分布情况,并且还与试验条件有关。例如据有关单位试验表明,整体岩石试件的吸水率要比同一岩石的碎块试样吸水率小,随着浸水时间的增加,吸水率也会有所增大。

表(2-1)列出了某些岩石的比重、容重、孔隙比、吸水率等指标。

(二) 岩石的透水性:

地下水存在于岩石孔隙、裂隙之中,而且大多数岩石的孔隙裂隙是连通的,因而在一定的压力作用下,地下水可以在岩石中通过(渗透)。这种岩石能被水透过的性能称为岩石的透水性。岩石的透水性大小不仅与岩石的孔隙度大小有关,而且还与孔隙大小及其贯通程度有关。

衡量岩石透水性的指标为渗透系数(K)。一般来说,完整密实的岩石的渗透系数往往很小。岩石的渗透系数一般是在钻孔中进行抽水或压水试验而测定的。

第二节 岩石的变形特性

一、岩石在单向压力作用下的变形特性

在对岩石进行室内试验研究中,有三种简单应力状态的基本试验:单向拉伸,单向压缩和扭转(纯剪),由于试验技术的困难,目前所得到的单向拉伸和扭转的试验资料很少,而岩石的单向压缩试验资料则较多。因此,岩石变形特性的研究,主要是通过岩石的压缩试验而获得的。

为了研究岩石在外力作用下的变形规律,研究岩石变形和施加压力的函数关系,就应通过试验把随着外力的增长而相应产生的变形情况记录下来。把应力与应变数值在坐标系统中用图表示,这样就获得了岩石的应力-应变曲线。

根据对各种岩石进行综合系统试验的结果,岩石的应力-应变曲线大致有如下四种类型(图 2-1):直线型,下凹曲线型,上凹曲线型和 S 型。这些曲线的性质一般取决于岩石的矿物组成和结构、构造情况。

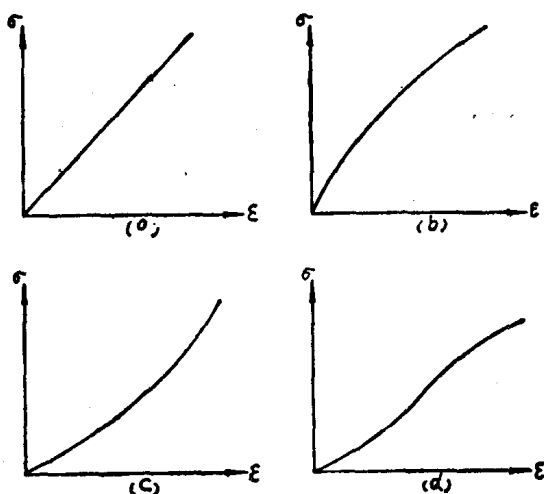


图 2-1 岩石在单向压力下,进行适当缓慢和连续加荷条件下的应力(σ)-应变(ϵ)曲线类型
(a)直线型(弹性);(b)下凹型(弹性);(c)上凹型(弹性);(d)S型(弹塑性)