

岩体力学习题集及题解

张汉兴 肖庆生 编著

Y T I X X t J J t J

一九八三.十

序 言 一

岩体力学是一门新兴的学科。在我国与其它学科，如材料力学、土力学、弹性力学相比更为年轻。岩体力学正处在迅速发展的时期，在许多理论方面还很不成熟，不完善。但由于我国工程建设的发展，迫切需要岩体力学的理论知识，去解决一些工程实践的问题。所以，近年来，我国从事岩体力学的工作者编著了很多这方面的书籍，对学科理论的发展和对工程建设服务都具有重要的意义。

现在《岩体力学习题集及题解》的出版，是很值得欢迎的。据我所知，从事矿山工程、水电工程、铁路工程及国防工程等方面的技术人员迫切需要习题集，帮助他们学习和巩固理论知识和应用于实际。当然，对于大专学生更是必需的。所以，本书对人才的培养，对“四化”建设将起到重要的作用。

本书作者张汉兴、肖庆生同志广泛地收集了教材和有关科研单位招考研究生的试题，再结合他们自己的教学经验，编写了这本《岩体力学习题集及题解》。既有基本理论提示，又有典型例题和题解，这对读者是极其宝贵的书籍，对培养解题和理论联系实际的能力都有很大的帮助。

我们必须注意到，目前在岩体力学的理论方面，有着不同的学派，不同的观点，当然就会有不同的解题方法。因此，在学习和阅读本书的过程中应有所创造和发挥，不要把例题看成是死的公式。应当把它看成是引导，启发和开扩思路的有力帮助。如果读者在学习过程中能有所发现，有所创新，就更增添了本习题集的出版意义。

我们可以满怀信心的指出，由于我国采矿、水电、铁路交通等工程事业的发展，以及各方面科学技术人员的努力，岩体力学的理论与实践将会得到更快的发展。

中国科学院地学部副主任、

副研究员 孙玉科

1983年3月

15492/57

序 言 二

岩体力学是力学的一个分支。它是研究岩体在各种天然的或人为的运营作用下的变形，破坏规律以及工程稳定性等问题的一门应用学科。考察这一学科的发生、发展的历史，归根到底是建立和应用自己的理论和方法，力求定量地预测和解决与岩体工程建设或生产活动密切相关的岩体稳定和岩体反应的问题（例如边坡、坝基、地下洞室稳定及矿山地压控制等）。

在我国，近二十年来，岩体力学研究得到了蓬勃发展，在广大科技人员和生产工作者的努力下，运用现有的理论，方法和经验，已成功地解决了国民经济中的一系列重大岩体力学课题。完全可以预见，在我国四个现代化的伟大建设中，岩体力学一定会在今后发挥更大的作用。

由于我国的各工科院校现在还没有正式设置岩体力学专业，各部门的岩体力学专业人员目前还主要靠相近专业的毕业生得以补充。因此，对这些专业的学生授予必要的和正确的岩体力学专业知识就是一项很重要的工作。但岩体力学还不是一门很成熟的学科。它的研究对象——作为地质岩体及其特性又是很复杂的。所以，现阶段岩体力学的理论，方法及其应用也是各种各样的，还很难找到一种公认的统一模式。

目前，国内外已编著了适用于不同对象的许多种版本的岩体力学教科书和专著，有关学术会议和刊物更是雨后春笋。但是，至今还没有一本与之相适应的，既具有一定理论基础，又以丰富的工程课题为资料的岩体学习题集和题解。为此，张汉兴、肖庆生同志对此作了初步大胆的尝试。他们广泛地收集了国内外岩体力学教科书中的例题和习题，专业科技文献中的计算方法，和高等院校，科研单位历年来招收研究生的岩体力学试题，以及工程设计部门解决岩体工程稳定性具体课题的一部分计算实例，编著了这本《岩体学习题集及题解》。力求比较全面地、系统地、和客观地介绍现代岩体力学研究领域中的观点，常用的和较新的理论及方法。

当然，由于这些习题的来源是四面八方，往往反映了十分不同的观点及方法，它们多数是从不同角度在不同具体条件下的实用方法而已。此外，许多习题的提法或解法是有相当的局限性的。有时为了解题的方便，甚至忽略了某些主要因素。因此，绝不能把它们当成是有普遍意义的标准答案。但是，可以认为：这些习题及解法，可以给有关专业的学生提供练习的机会和提高解题技巧的机会，以及给师生和有关专业技术人员在思考问题时受到一定的启发，因此，本书对教学和学习都具有一定的参考价值。

中国科学院武汉岩体土力学研究所

副所长、副研究员 朱维申

1983年2月

前 言

岩体力学是六十年代才迅速发展起来的一门崭新的边缘学科。它与矿山工程、水利工程、铁路交通运输、地下厂房建设以及国防工程的发展关系十分密切。现代岩体工程的开挖,为岩体力学提出了日益增多的新课题。为了评价上述岩体工程的稳定性和定量做好科学预测,需要更进一步的建立和发展已较成熟的新理论和新方法,所以岩体力学是一门理论性和应用性很强的学科。

岩体力学是研究岩体在各种不同的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。

近几年来,国内外岩体力学的各种专著和高等院校岩体力学教材相继出版问世。但是,作为与教科书相适应的岩体学习题集,迄今为止,尚未见到较为完整的一书。这不但为岩体力学教学带来了困难,而且使广大奋战在岩体工程第一线的工程技术人员在学习提高方面感到不便。他们迫切地要求编写一本《岩体学习题集》,以满足他们研讨学习岩体力学时的要求。使岩体力学为“四化”发挥更大的作用是本书出版的宗旨。

本书主要参阅了国内外出版的岩体力学专著和教材。并且广泛地收集了国内各科研单位和高等院校岩体力学研究生试题,以及作者多年来从事岩体力学教学中所编写的岩体学习题集。

中国科学院地学部副主任、中国地质学会工程地质专业委员会副理事长兼秘书长、副研究员孙玉科,中国科学院武汉岩体土力学研究所副所长、中国力学学会岩体土力学专业委员会副主任委员、副研究员朱维申审阅了全书,并为本书写了序言,作者向他们致以深切的谢意。同时对积极为本书出版的《工程师之友》编辑部以及提供资料的单位和个人表示衷心的感谢。

由于我们编写时间仓促,水平有限,本书中不妥甚至错误之处,敬请读者指正。

作 者

1983年4月

目 录

第一章 岩石和岩体的物理力学性质	(1)
§ 1—1 基本内容	(1)
§ 1—2 典型例题详解	(7)
§ 1—3 习题	(26)
第二章 岩石的强度理论	(31)
§ 2—1 基本内容	(31)
§ 2—2 典型例题详解	(35)
§ 2—3 习题	(55)
第三章 岩体动力学及原岩应力测量	(58)
§ 3—1 基本内容	(58)
§ 3—2 典型例题详解	(66)
§ 3—3 习题	(84)
第四章 围岩应力状态及其变形的计算	(88)
§ 4—1 基本内容	(88)
§ 4—2 典型例题详解	(101)
§ 4—3 习题	(122)
第五章 岩质边坡稳定性计算	(128)
§ 5—1 基本内容	(128)
§ 5—2 典型例题详解	(139)
§ 5—3 习题	(162)
第六章 采场地压的计算	(166)
§ 6—1 基本内容	(166)
§ 6—2 典型例题详解	(172)
§ 6—3 习题	(182)
第七章 围岩支护的理论计算	(186)
§ 7—1 基本内容	(186)
§ 7—2 典型例题详解	(195)
§ 7—3 习题	(209)
附录：国内科研单位和高等院校硕士研究生岩体力学试题中概念题及问答题	(215)
参考文献	(220)

第一章 岩石和岩体的物理力学性质

§ 1—1 基本内容

岩石和岩体都是岩体力学的直接研究对象。但在岩体力学中，这是两个既有联系又有区别的两个基本概念。

所谓岩体就是指在一定的地质条件下，含有诸如节理、裂隙、层理和断层等地质结构面的复杂地质体。而岩石就是指岩块，在一般的情况下，不含有地质结构面。

基于上述，因此，岩石和岩体的力学性质也是不同的，前者可在实验室条件下进行，而后者一般在野外现场试验场地完成。从实验的精确度来看，后者接近岩体实际情况，反应了岩体的实际强度，前者相差甚远。

一、岩石的物理性质

岩石的基本物理性质包括：比重 Δ ，容重 γ ，孔隙度 n ，孔隙比 e_v 。岩石的吸水性包括：含水量 W_d ，吸水率 W_a ，饱和吸水率 W_p 以及饱和系数 K_c 等。其基本的计算公式：

1、**比重** 岩石的比重系岩样在 105°C 烘箱中烘干至恒重时，固体矿物重量与 4°C 时同体积水的重量的比值（图 1—1）。其计算公式：
$$\Delta = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad (1-1)$$

式中： W_s —岩样在 105°C 烘箱中烘干至恒重时固体矿物的重量，克； V_s —岩样固体矿物质的体积，厘米³； γ_w — 4°C 时水的密度，其值为 $1.0\text{克}/\text{厘米}^3$ 。

2、**容重** 单位体积岩石的重量。又可分为干容重 γ_d 、饱和容重 γ_{sot} 和天然容重 γ 。其计算公式：

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma}{1 + W_d} \quad (1-2)$$

$$\gamma_{sot} = \frac{W_{sot}}{V} \quad (1-3)$$

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (1-4)$$

式中： W_s —干燥岩石的重量，克； V —岩石的体积，厘米³； W_{sot} —饱和水岩石的重量，克； W —天然含水量状态下岩石的重量，克。

3、**岩石的孔隙度和孔隙比**

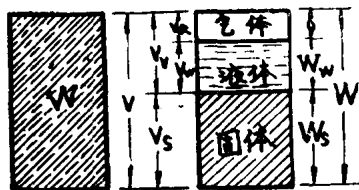


图 1—1

孔隙度 n ：是岩石样品中孔隙的体积与整个岩石样品总体积的比值。其计算公式：

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\Delta \gamma_w}\right) \times 100\% \quad (1-5)$$

式中： V_v —岩样中孔隙的体积，厘米³。

孔隙比：岩石试件中空隙的体积与其固体矿物质体积的比值。

$$e_v = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\Delta \gamma_w}{\gamma_d} - 1 = \frac{n}{1 - n} \quad (1-6)$$

4、含水量 岩石试样中水的重量与固体矿物质重量的比值。其计算公式：

$$W_d = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中： W_w —岩样中水的重量。

5、吸水率 岩样在大气压力下吸入水的重量与其固体矿物质重量的比值。其计算公式：

$$W_a = \frac{W_{w1}}{W_s} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中： w_1 —岩样在大气压力下入水的重。

6、饱和吸水率 岩样在150个大气压或真空状态下吸入水的重量与其固体矿物质重量的比值。其计算公式：

$$W_p = \frac{W_{w2}}{W_s} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中： W_{w2} —岩样在150个大气压或真空状态下吸入水的重量。

7、饱和系数 K_c 岩石吸水率与饱和吸水率的比值。其计算公式：

$$K_c = \frac{W_a}{W_p} (\%) \quad (1-10)$$

8、岩石的水力传导性 水在岩体的裂缝中流动，服从于达尔西定律，其流动规律：

$$\text{层流：} V = K J \quad (1-11)$$

$$\text{紊流：} V = K' J^\alpha \quad (1-12)$$

式中： V —地下水的流速； K —层流条件下岩体的水力传导系数； K' —紊流条件下岩体的水力传导系数； J —实际水力梯度； α —非线性度指数，紊流时 $\alpha = 0.5$ ，层流时， $\alpha = 1.0$ 。

二、岩石的力学性质

岩石的力学性质包括岩石的强度特性及变形特性。而岩石的强度特性包括岩石的单向抗压强度，岩石的单向抗拉强度，岩石的剪切强度以及岩石的三向压力强度等。

岩石的变形特性则指在各种应力状态下的应力与应变的关系，岩石内部贮存的应变能；

岩石的流变性能以及岩石所表现的塑性和弹性性能。

1、岩石的强度 岩石的强度系指岩石在外力作用下，其抵抗破坏的能力。

(1) 岩石的抗压强度 岩石的单向抗压强度系指岩石在单向压力下抵抗破坏的能力。在压力试验机上，加载直至试件破坏。然后按公式计算：

$$S_c = \frac{P}{A} \quad (1-13)$$

式中： S_c —岩石单向抗压强度， Kg/cm^2 ； P —试件破坏时的最大荷载， Kg ； A —试件横截面积， cm^2 。

如试件高度与试件边长或直径不等时，折算成立方体试件的抗压强度。

$$S_c = \frac{9 S'_c}{7 + (2d/h)} \quad (1-14)$$

式中： S'_c —高试件的抗压强度， Kg/cm^2 ； h —试件高度， cm ； d —试件边长或直径， cm 。

(2) 岩石的抗拉强度 岩石单向抗拉强度系指岩石在单向拉力作用下其抵抗拉伸破坏的能力。

岩石单向抗拉强度的测定方法有直拉法和劈裂法(图1—2)

直拉法的计算公式〔图1—2(a)〕：

$$S_t = \frac{P}{A} \quad (1-15)$$

式中： S_t —岩石抗拉强度， Kg/cm^2 ； P —岩石拉伸破坏时的荷载， Kg 。

劈裂法的计算公式〔图1—2(b)〕：

$$S_t = \frac{2P}{\pi d t} \quad (1-16)$$

式中： d —岩石试件的直径， cm ； t —岩石试件的厚度， cm 。

(3) 岩石的三向抗压强度 岩石的三向抗压强度系指岩石处于三向受压时，其抵抗破坏的能力。

进行岩石的三向抗压强度试验，要用三轴压力试验机。当二个主侧向压力相等时，叫假三轴试验；当侧向压力不等时，叫真三轴试验。

当侧向压力增加时，岩石的三向抗压强度亦提高，它与侧向压力的关系：

$$S_o = S_c + K \sigma_a \quad (1-17)$$

式中： S_o —岩石三向抗压强度， Kg/cm^2 ； σ_a —侧向压力， Kg/cm^2 ； K —系数，

$$K = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (1-18); \quad \varphi \text{—内摩擦角。}$$

(4) 岩石的抗剪强度 岩石的抗剪强度系指岩石抵抗剪切破坏的能力。当前，广泛地采用倾斜压模剪切法。

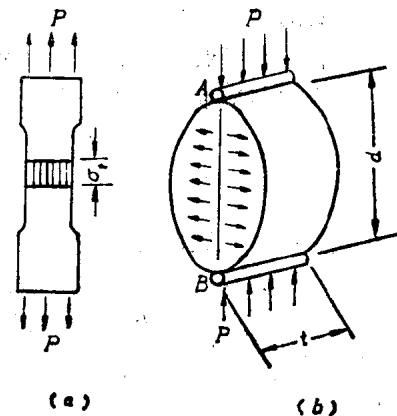


图 1—2

在发生剪切破坏时，作用在岩石剪切破坏面上的剪切应力 τ 和压应力 σ_n 的公式（图 1—3）：

$$\tau = \frac{T}{A} = \frac{P}{A} \sin \alpha, \sigma_n = \frac{N}{A} = \frac{P}{A} \cos \alpha \quad (1-19)$$

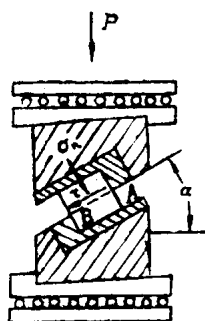


图 1—3

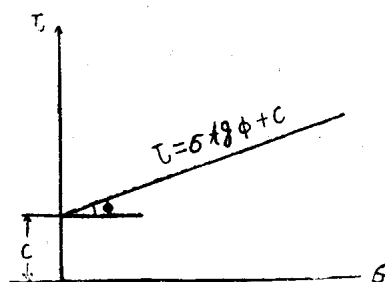


图 1—4

岩石的抗剪强度的计算公式（图 1—4）：

$$\tau = \sigma \tan \phi + C \quad (1-20)$$

式中： τ —岩石的抗剪强度， Kg/cm^2 ； σ —作用在岩石横截面的正应力， Kg/cm^2 ； C —岩石的凝聚力， Kg/cm^2 。

2、岩石的变形特征 变形模量 E 是单轴压缩条件下的轴向压缩应力与轴向应变之比。

当应力与应变为直线关系，如图 1—5 所示时，则：

$$E = \frac{\sigma_i}{\epsilon_i} \quad (1-21)$$

式中： E —试样的变形模量，公斤/厘米²； σ_i —应力应变关系线上任一点的轴向应力，公斤/厘米²； ϵ_i —对应于 σ_i 的轴向应变。

当应力应变关系为 S 型曲线时，变形模量为一变量，此时应分别确定出初始模量，切线模量和割线模量。初始模量是应力应变曲线在原点的切线斜率；切线模量是应力应变曲线直线段的切线斜率；割线模量是应力应变曲线原点到某一特殊应力点的连线的斜率，（图 1—6）。即：

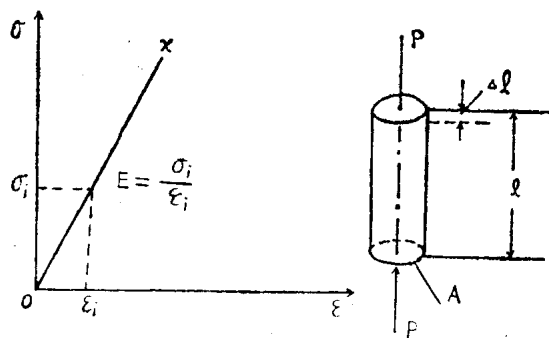


图 1—5

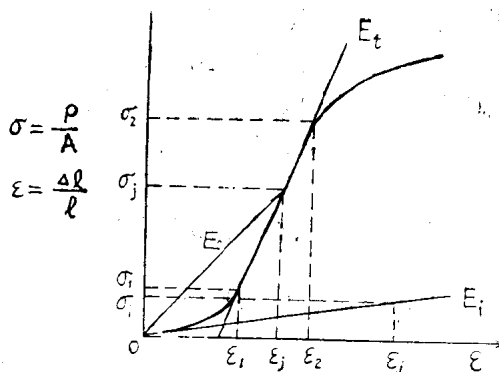


图 1—6

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad (1-22)$$

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (1-23)$$

$$E_s = \frac{\sigma_j}{\varepsilon_j} \quad (1-24)$$

式中：\$E_i\$—初始模量；\$\sigma_i\$—原点处切线上任一点的轴向应力；\$\varepsilon_i\$—对于\$\sigma_i\$的轴向应变；\$E_t\$—切线模量；\$\sigma_2 - \sigma_1\$—直线段切线上任两点的应力差；\$\varepsilon_2 - \varepsilon_1\$—对应于\$\sigma_2 - \sigma_1\$的应变差；\$E_s\$—割线模量；\$\sigma_j\$—原点至试样开始破裂点的连线上任一点的轴向应力；

\$\varepsilon_j\$—对应于\$\sigma_j\$的轴向应变。

泊松比是试样在单轴压缩条件下横向应变与轴向应变的比值。按照定义：

$$\mu = - \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} \quad (1-25)$$

式中：\$\mu\$—泊松比；\$\varepsilon_x\$—横向应变；\$\varepsilon_z\$—轴向应变。

在大多数的情况下，横向应变和轴向应力的关系以及轴向应变和轴向应力的关系，多为曲线（图1-7），即泊松比是随着轴向应力的增加而增大。因此，在岩体力学中通常取应力应变曲线的直线段，按下式计算泊松比：

$$\mu = - \frac{\varepsilon_{x2} - \varepsilon_{x1}}{\varepsilon_{z2} - \varepsilon_{z1}} \quad (1-26)$$

式中：\$\varepsilon_{x1}\$—对应于轴向应力\$\sigma_1\$的横向应变；\$\varepsilon_{x2}\$—对应于横向应力\$\sigma_2\$的横向应变；\$\varepsilon_{z1}\$—对应于轴向应力\$\sigma_1\$的轴向应变；\$\varepsilon_{z2}\$—对应于横向应力\$\sigma_2\$的轴向应变。

剪切弹性模量\$G\$与\$E\$、\$\mu\$的关系式：

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (1-27)$$

三、岩体的力学性质

1、岩体的单向抗压强度 在野外现场测定岩体的单向抗压强度，可在测定强度的地点开挖试坑，并在试件上安装试验设备，如图1-8所示。

试验时，千斤顶施加垂直荷载直至破坏为止（图1-8）

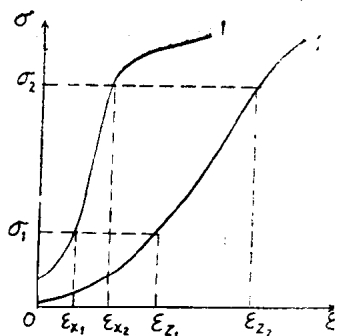
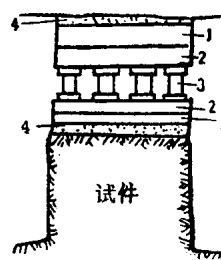


图1-7



1-8

$$S_c = \frac{P}{A} \quad (1-28)$$

式中：P—破坏时的荷载，kg；A—试件的横截面积， cm^2 。

2、岩体准岩体强度

$$\text{准岩体抗压强度 } S_{mc} : S_{mc} = K S_c \quad (1-29)$$

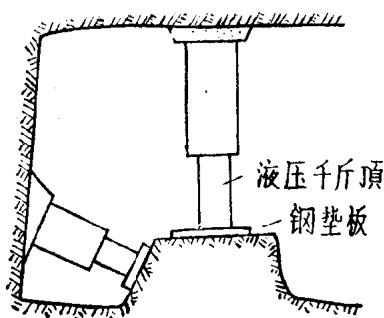
$$\text{式中：} K \text{—龟裂系数；} K = \left(\frac{V}{U} \right)^2 \quad (1-30)$$

式中：V—岩体中弹性波传播速度；U—岩石试样中弹性波传播速度。

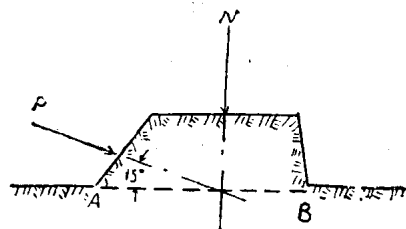
$$\text{准岩体抗拉强度 } S_{mt} : S_{mt} = K S_t \quad (1-31)$$

3、岩体抗剪强度

施加于试件的载荷P，沿AB剪切破裂面破坏，则作用在AB面上的剪应力 τ 和正应力 σ （图1-9）：



(a)



(b)

图1-9

$$\tau = \frac{P \cos 15^\circ}{A}, \quad \sigma = \frac{N + P \sin 15^\circ}{A} \quad (1-32)$$

$$\tau = \sigma \tan \varphi + C$$

式中：A—剪切面面积； σ —施加的垂直应力； τ —岩体抗剪强度。

4、岩体变形模数 经过反复加载卸载试验，得到岩体的应力应变曲线，如图1-10所示。

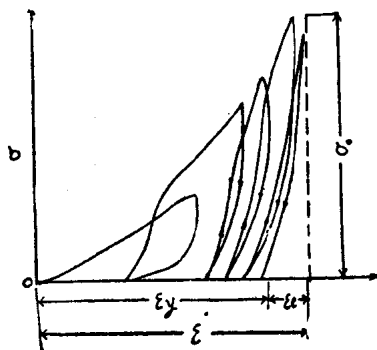


图1-10

总的变形： $\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_y$

式中： ϵ_e —弹性变形； ϵ_y —永久变形。

$$E_e = \frac{\sigma_0}{\epsilon_e} \quad (1-33)$$

式中： E_e —岩体弹性模量。

$$E_D = \frac{\sigma_0}{\epsilon_e + \epsilon_y} \quad (1-34)$$

E_D —岩体的变形模量。

应用刚性垫板法测岩体变形模量：

装置如图 1—11 所示。垂直位移与所施加载荷之间按弹性力学布辛涅斯克公式：

$$W = \frac{1}{2\gamma} \frac{P(1-\mu^2)}{E_D} \quad (1-35)$$

式中：W—垂直位移，cm； γ —垫板半径，cm；P—千斤顶施加载荷 $P = \rho \pi r^2$ ，kg； ρ —单位面积上平均压力。

应用弹性波法测定岩体的动弹性模量，其动弹性模量 E_d 的计算公式：

$$E_d = \rho V_p^2 \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \quad (1-36)$$

$$E_d = 2\rho V_s^2 (1+\mu) \quad (1-37)$$

$$\mu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (1-38)$$

式中： E_d —岩体动弹性模量； μ_d —岩体动泊松比； ρ —岩石的密度； V_p —岩石纵波传播速度； V_s —岩石横波传播速度。

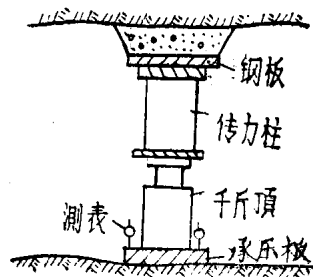


图 1—11

§ 1—2 典型例题详解

1、某岩样试件，测得容重 $\gamma = 1.9 \text{ kg/cm}^3$ ，比重 $\Delta = 2.69$ ，含水量 $\omega_d = 29\%$ ，试求该岩样的孔隙比 e_v ，孔隙度 n ，饱和度 S_r 和干容重 γ_d 。

解：孔隙比 e_v ：

$$e_v = \frac{\Delta(1+\omega_d)}{\gamma} - 1 = \frac{2.69(1+0.29)}{1.9} - 1 = 0.83$$

$$\text{孔隙度：} n = \frac{e_v}{1+e_v} \times 100\% = \frac{0.83}{1+0.83} \times 100\% = 45.3\%$$

$$\text{饱和度：} S_r = \frac{G_\omega}{e} = \frac{2.69 \times 29\%}{0.83} = 94\%$$

$$\text{干容重：} \gamma_d = \frac{\Delta}{1+e} = \frac{2.69}{1+0.83} = 1.47 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

上述指标，也可利用三相图进行计算，若从已知条件 $\gamma = \frac{\omega}{V}$ 入手，则可先假设 $V = 1$ ，

然后推算出三相重量及体积，按各物理指标的定义，即可将各指标求得：

设 $V = 1 \text{ cm}^3$ ，则按容重定义： $W = V \times \gamma = 1.9 \text{ g}$

按含水量定义: $W_{\omega} = \omega_d V \gamma_s = 0.29 W_s$

按三相图: $W_{\omega} + W_s = W$

即 $0.29 W_s + W_s = 1.9$

故 $W_s = \frac{1.9}{1.29} = 1.47 \text{ g}$

$W_{\omega} = W - W_s = 1.9 - 1.47 = 0.43 \text{ g}$

按比重定义: $V_s = \frac{W_s}{\Delta} = \frac{1.47}{2.69} = 0.547 \text{ cm}^3$

水的容重: $\gamma_{\omega} = 1 \text{ g/cm}^3$

$V_{\omega} = \frac{W_{\omega}}{\gamma_{\omega}} = 0.43 \text{ cm}^3$

因而, $V_a = V - (V_s + V_{\omega}) = 1 - (0.547 + 0.43) = 0.022 \text{ cm}^3$

$V_v = V_{\omega} + V_a = 0.43 + 0.023 = 0.453 \text{ cm}^3$

至此, 所有各物理量均已求得, 即可由定义得:

$$\varepsilon_v = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.453}{0.547} = 0.83$$

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% = \frac{0.453}{1} \times 100\% = 45.3\%$$

$$S_r = \frac{V_{\omega}}{V_v} \times 100 = \frac{0.43}{0.453} \times 100 = 94\%$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{1.47}{1} = 1.47 \text{ g/cm}^3$$

2、某岩样测得其容重 $\gamma = 2 \text{ 克/厘米}^3$, 天然含水量为 $W_d = 24\%$, 及比重 $\Delta = 2.71$, 试计算该岩样的孔隙度 n , 孔隙比 ε_v , 水下容重 γ' 及饱和度 S_r 。

解: 先计算干容重: $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + W_d} = \frac{2}{1 + 0.24} = \frac{2}{1.24} = 1.61 \text{ 克/厘米}^3$

孔隙度按公式: $n = 1 - \frac{\gamma_d}{\Delta \gamma_{\omega}} = 1 - \frac{1.61}{2.71} = 0.40 = 40\%$

孔隙比按公式: $\varepsilon_v = \frac{\gamma_{\omega} \Delta - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{2.71 - 1.61}{1.61} = 0.68$

水下容重按公式: $\gamma' = \frac{\Delta - \gamma_{\omega}}{1 + \varepsilon_v} = \frac{2.71 - 1}{1 + 0.68} = 1.02 \text{ 克/厘米}^3$

饱和度按公式: $S_r = \frac{W_d \Delta}{\varepsilon_v \gamma_{\omega}} = \frac{0.24 \times 2.71}{0.68 \times 1} = 0.96$

3、求地面以下Z处水面上岩石颗粒间的压力 P_z ，已知外部荷载 $q = 1.5\text{kg/cm}^2$ ，地下水的深度如图1—12所示，地下水面上1米处为饱和的毛细管区，这里毛细管孔隙 $Z = 3\text{m}$ ，在此范围内是均质的土层， $\varepsilon_v = 0.86$ ， $\Delta = 2.70$ 。

解：土的饱和容重按公式计算：

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{sat}} &= \frac{\Delta}{1 + \varepsilon_v} + \frac{\varepsilon_v \gamma_w}{1 + \varepsilon_v} = \frac{2.70}{1 + 0.86} \\ &+ \frac{0.86 \times 1}{1 + 0.86} = 1.45 + 0.463 = 1.913\text{g/cm}^3 \\ &= 0.00191\text{kg/cm}^3\end{aligned}$$

则地面以下Z处的压力 P_z ：

$$P_z = \gamma H_1 + (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) H_2 + q = 100 \times 0.00191 + 200 (0.00191 - 0.001) + 1.5 = 1.87\text{kg/cm}^2$$

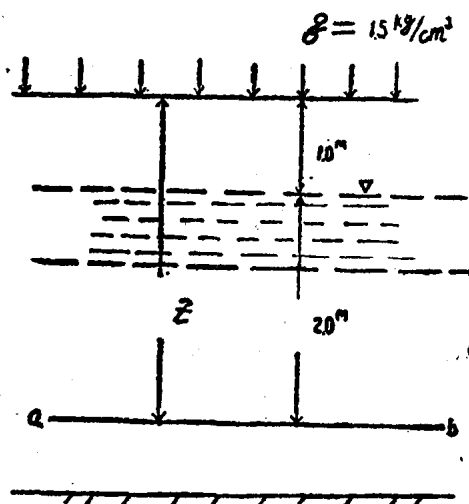


图 1—12

4、设岩石的容重 $\gamma = 0.0025\text{kg/cm}^3$ ，孔隙度 $n = 2.5\%$ ，求其密度及比重〔10〕

解：在岩石力学中，岩石的比重指的是试件重量与不包括孔隙的试件体积之比。设 n 、 γ 及 Δ 分别为岩石的孔隙度，容重及比重，则按如下关系式：

$$n = \frac{\Delta - \gamma}{\Delta} \times 100 \quad \text{或} \quad \Delta = \frac{\gamma}{1 - \frac{n}{100}}$$

$$\text{故岩石的比重为：} \Delta = \frac{0.0025}{1 - \frac{2.5}{100}} = 2.564 \times 10^{-3}\text{kg/cm}^3$$

岩石的密度是用密度系数D来估算的，D值由下式确定：

$$D = \frac{\gamma}{\Delta} = \frac{0.0025}{2.564 \times 10^{-3}} = 0.975$$

5、有一组共三块试件，每块边长为 $5 \times 5\text{cm}$ ，高度为 12cm 。试验测得试件的破坏受压荷载分别为 $P_1 = 6000\text{kg}$ ， $P_2 = 6200\text{kg}$ ， $P_3 = 6500\text{kg}$ 。试求该岩石试件的抗压强度。

解：（1）首先计算高试件的抗压强度 S'_c

$$S'_{c1} = \frac{P_1}{A} = \frac{6000}{5 \times 5} = 240\text{kg/cm}^2,$$

$$S'_{c2} = \frac{P_2}{A} = \frac{6200}{5 \times 5} = 248\text{kg/cm}^2,$$

$$S'_{c3} = \frac{P_3}{A} = \frac{6500}{5 \times 5} = 260\text{kg/cm}^2.$$

$$\text{则 } S'_c = \frac{1}{3} (S'_{c1} + S'_{c2} + S'_{c3})$$

$$= \frac{1}{3} (240 + 248 + 260) = 249 \text{ kg/cm}^2$$

(2) 再计算岩石试件的单向抗压强度

$$S_c = \frac{9 S'_c}{7 \times (2d/h)} = \frac{9 \times 249}{7 + 2 \times 5/12} = 286 \text{ kg/cm}^2$$

6、在岩石力学中，测定岩石的抗拉强度，目前常用的是劈裂法，其计算公式为 $S_t = \frac{2P}{\pi d t}$ 。拟请证明上式。

证：一、基本假设

(1) 半无限大板；(2) 受集中力 P 作用；(3) 板厚为一个单位厚度。

现在考虑应力函数：

$$\phi = A \gamma \theta \sin \theta \quad (1)$$

式中：A—常数。

将应力函数代入极坐标平面问题的基本微分方程：

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial \gamma^2} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial}{\partial \gamma} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \left(-\frac{\partial^2 \phi}{\partial \gamma^2} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \phi}{\partial \gamma} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} \right) = 0$$

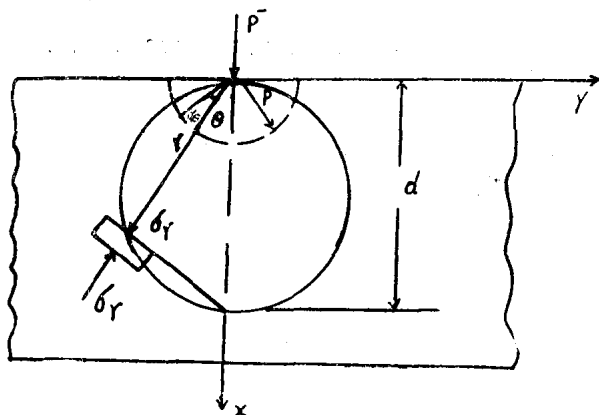


图 1—13

证明能满足该基本微分方程。

将应力函数代入下式：

$$\sigma_r = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \phi}{\partial \gamma} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2}, \quad \sigma_\theta = \frac{\partial^2 \phi}{\partial \gamma^2}, \quad \tau_{r\theta} = -\frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{1}{\gamma} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \right) \quad (2)$$

$$\text{便得到： } \sigma_r = \frac{2A}{\gamma} \cos \theta, \quad \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0 \quad (3)$$

现在来说法求出应力函数中的A值：

以O为中心，画出一个任意半径 ρ 的半圆柱如图 1—13所示。将此半圆柱取出。则由

(3) 式可知有径向应力 $\sigma_r = \frac{2A}{\rho} \cos \theta$ 。同时，在O点有集中力 P 作用。

由平衡方程: $\Sigma F_x = 0$

$$2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sigma_r) \times \cos \theta \times \rho \times d\theta = -P$$

$r = \rho$

将 σ_r 代入得: $4A \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \theta d\theta = -P, A = -\frac{P}{\pi}$

将 A 代入 (3) 式得: $\sigma_r = -\frac{2P}{\pi} \frac{\cos \theta}{r}$

$$\sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0 \quad (4)$$

如果以 x 轴的某点为中心作一个圆, 以 d 为直径, 半圆含有直角, 且 $r = d \cos \theta$, 代入 $d =$

$$\frac{r}{\cos \theta}, \frac{1}{d} = \frac{\cos \theta}{r}, \text{ 则有:}$$

$$\sigma_r = -\frac{2P}{\pi d}, \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0 \quad (5)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{2} = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{P}{\pi d}$$

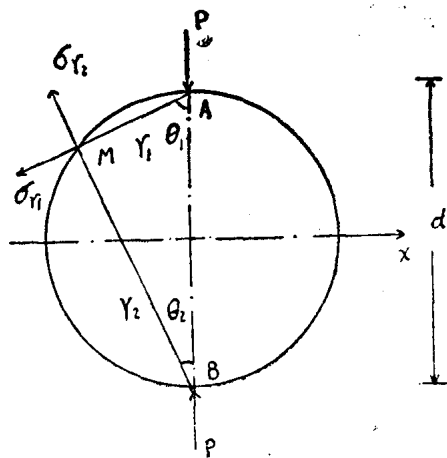


图 1—14

二、假设圆盘受压, 如图 1—14 所示:

1、直径为 d ; 2、厚度为 1 个单位; 3、两端受到相等反向集中力 P 作用。

下面分析圆盘的受力状态:

A 点 P 产生的径向应力: $\sigma_{r1} = -\frac{2P}{\pi} \frac{\cos \theta_1}{r_1} = -\frac{2P}{\pi} \frac{1}{a}$

B 点产生的径向应力: $\sigma_{r2} = -\frac{2P}{\pi} \frac{\cos \theta_2}{r_2} = -\frac{2P}{\pi} \frac{1}{a}$

$$\therefore \frac{\cos \theta_1}{r_1} = \frac{\cos \theta_2}{r_2} = \frac{1}{a} \quad \text{故} \quad \sigma_{r1} = \sigma_{r2} = -\frac{2P}{\pi d}$$

由图 1—14 可知: $\sigma_{r1} \perp \sigma_{r2}, \tau = 0, \sigma_{r1}$ 和 σ_{r2} 是 M 点的两个主应力。从应力状态分析可知:

如果平面应力状态下两个主应力相等, 则过 M 点与图面垂直的任何平面都是主平面。而且主平面上的主应力都是同一值: $-\frac{2P}{\pi d}$

这就说明: 采用上述假定的结果, 在圆盘圆边上的任意一点都有等值的法向应力存在, 但实际上圆盘的边介不受外力。

为了符合实际情况, 只有假定在整个园板周边上加有一个分布均匀的拉应力 $\frac{2P}{\pi d}$, 这时在园板的每一点产生各向均匀拉应力, 把这个应力叠加到前面每一个 P 力产生的应力上去, 结果是: 由后面假定得到的边介拉力与前面假定得到的边介压力刚好抵消, 符合边介上无

外力分布的条件。

则圆板内每一点应力由以下几部分组成：

(1) A点P产生的应力；(2) B点P产生的应力；(3) 各向均匀拉力 $\frac{2P}{\pi d}$ 产生的应力。

三、现在求盘中任意一点N的应力 σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} ，如图1—15所示。

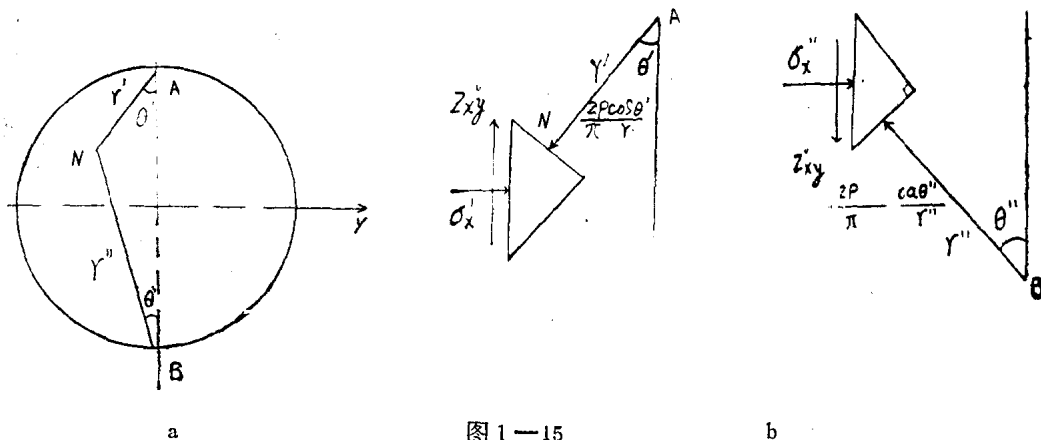


图1—15

在N点选取一个单元体如图1—15(b)所示，则斜截面上的应力：

$$\begin{aligned}\sigma'_x &= -\frac{2p}{\pi} \frac{\cos \theta'}{\gamma'} \sin^2 \theta', & \sigma''_x &= -\frac{2p}{\pi} \frac{\cos \theta''}{\gamma''} \sin^2 \theta'', \\ \tau'_{xy} &= \frac{2p}{\pi} \frac{\cos \theta'}{\gamma'} \cos \theta' \sin \theta', & \tau''_{xy} &= -\frac{2p}{\pi} \frac{\cos \theta''}{\gamma''} \cos \theta'' \sin \theta''\end{aligned}\quad (6)$$

这些应力同均匀拉应力叠加：

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{2p}{\pi d} - \frac{2p}{\pi} \left(\frac{\cos \theta'}{\gamma'} \sin^2 \theta' + \frac{\cos \theta''}{\gamma''} \sin^2 \theta'' \right) \\ \tau_{xy} &= \frac{2p}{\pi} \left(\frac{\cos^2 \theta' \sin \theta'}{\gamma'} - \frac{\cos^2 \theta'' \sin \theta''}{\gamma''} \right)\end{aligned}\quad (7)$$

同法，再取二单元体得：

$$\sigma_y = \frac{2p}{\pi d} - \frac{2p}{\pi} \left(\frac{\cos^3 \theta'}{\gamma'} + \frac{\cos^3 \theta''}{\gamma''} \right)$$

在x轴上， $\theta' = \theta'' = 0$

$$\sigma_x = \frac{2P}{\pi d} \quad \tau_{xy} = 0 \quad (8)$$

如果圆盘不是单位厚度，其厚度为t，则y=0，x轴平面上其应力为：