

<<周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性>>

图书基本信息

书名：<<周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性>>

13位ISBN编号：9787030356871

10位ISBN编号：703035687X

出版时间：2012-10

出版时间：科学出版社

作者：许江

页数：129

版权说明：本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问：<http://www.tushu007.com>

<<周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性>>

内容概要

《周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性》以试验手段为依据,采用理论与试验相结合的研究方法,研究了单调及周期荷载作用下岩石的宏观变形及损伤特性、岩石损伤破坏过程中的声发射特性及其CT细观损伤演化规律,并结合相关试验结果,运用非线性理论进行了系列有益的探讨。

《周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性》可供地质、采矿、岩土工程及相关领域的科研人员、工程技术人员、研究生和高年级本科生参考使用。

书籍目录

前言第1章 绪论1.1 背景及意义1.2 研究进展1.2.1 岩石损伤力学研究进展简介1.2.2 周期荷载作用下岩石宏观变形规律及损伤特性研究进展1.2.3 基于声发射及CT的岩石损伤检测研究进展1.2.4 非线性科学在岩石力学中的应用研究进展1.3 本书主要内容第2章 周期荷载作用下岩石的宏观变形特性2.1 试验概述2.1.1 加载设备2.1.2 岩样制备2.1.3 岩样SEM图像及基本物理性质2.2 单调加载条件下岩石的宏观变形特性2.2.1 变形特性2.2.2 破坏特征2.3 周期荷载作用下岩石的宏观变形特性2.3.1 变形特性2.3.2 破坏特征第3章 基于声发射的岩石损伤破坏规律3.1 试验概述3.1.1 声发射系统3.1.2 消噪措施3.1.3 其他措施3.2 单调加载条件下岩石的声发射特性3.2.1 声发射参数3.2.2 不同条件下单调加载岩石声发射特征比较3.3 周期荷载作用下岩石的声发射特性3.3.1 不同条件下周期荷载岩石声发射特征比较3.3.2 周期荷载作用下岩石损伤破坏声发射规律3.3.3 岩石声发射的Felicity效应3.3.4 岩石破坏过程中卸载时的AE活动性3.4 岩石破坏过程的声发射三维定位及影响因素分析3.4.1 定位试验概述3.4.2 定位试验结果第4章 岩石变形破坏过程的细观损伤演化分析4.1 试验概述4.1.1 试验设备与岩样参数4.1.2 CT扫描数据与试样密度关系4.2 单调加载变形破坏的CT细观试验4.2.1 CT数据分析4.2.2 力学关系4.3 循环荷载作用下岩石变形破坏过程CT实时扫描4.3.1 加、卸载路径及CT扫描点选择4.3.2 试验结果4.4 循环荷载作用下岩石CT细观损伤演化分析4.4.1 CT图像分析4.4.2 试验分析4.4.3 损伤演化分析第5章 岩石损伤破坏过程的非线性特征5.1 从无序到有序——耗散结构理论对岩石损伤破坏规律的解释5.1.1 岩石破坏过程中耗散结构的形成机制5.1.2 用耗散结构理论解释周期荷载作用下岩石损伤破坏规律5.2 岩石破坏过程的突变5.2.1 试验过程中加载系统的突变5.2.2 岩石损伤演化过程中的突变5.3 岩石损伤破坏过程中的分形和混沌5.3.1 分形与混沌5.3.2 相空间重构5.3.3 岩石损伤破坏过程中AE序列关联维数演化分析5.3.4 声发射时间序列的混沌特征5.4 采动影响下采场边坡位移的非线性分析5.4.1 变形与位移分形5.4.2 岩质边坡位移的非线性分析.....第6章 结论参考文献

章节摘录

第1章 绪论 1.1 背景及意义 岩石在单调加载条件下的力学特征已为多数人所认识,而在复杂加载路径与受荷历史情况下的力学机制方面的研究却相对较少,其中,周期荷载(本书即指循环荷载,下同)是最常见也是最简单的力学现象之一。

岩石在周期荷载作用下的疲劳现象很少引人注目,但这一现象对于岩土工程稳定却十分重要[1]。在岩土工程施工及其工程运营阶段,经常会遇到周期性循环荷载的作用,由于未能掌握周期性荷载作用下的岩土体失稳破坏规律而引发重大灾害的例子不少,如广为熟知的意大利Vajont水库岩坡滑动、法国Malpasset拱坝坝基位移导致整个拱坝坍塌、中国梅山连拱坝坝基(花岗岩)滑动等灾害的形成都涉及了岩体在周期性荷载作用下的长期稳定性问题[2~4]。

此外,三峡水库蓄水以来,三峡地区微震活动频度明显增加,库区大小地震上千次,崩塌滑坡4000多处。

微震活动主要集中在巫山 秭归 长阳一带,强度虽未突破正常状态,但地震周期性作用造成的库岸松散堆积物、塌岸和局部滑移也会危及部分居民点的安全,而且三峡库区是否发生强震仍然是相当长时间内需要特别关注和预防的关键问题。

因此,开展对周期性荷载作用下岩石的非线性变形特征及损伤演化规律的研究既是岩石力学与工程领域的专家学者所关注的前沿课题之一,同时也有助于正确认识岩体在周期性荷载作用下的破坏机理,进而科学地评价工程岩体的长期稳定性[1~4]。

其研究成果特别对解决诸如三峡水利枢纽工程、南水北调工程等国家能源工程及西部大开发建设中存在的包括大坝坝基、水库及其库岸边坡、库区道路和路堑边坡、库区港口等在反复排、蓄水过程中的长期变形和稳定性以及岩体在频繁发生的不可预料的地震荷载作用下的响应等在内的问题具有重要的科学意义和广泛的推广应用前景。

众所周知,岩石(体)是赋存于自然界中的十分复杂的介质,它是天然地质作用的产物,是自然界中多种矿物的集合体,不同岩石(体)在其形成的过程中经历了不同的地质作用,包括地应力变化、各种风化作用以及人类各种营力的作用,这些作用的综合使各种岩石甚至是同一种岩石的成分和结构特征都各有差异,从而使岩石呈现明显的非线性、不连续性、不均质性和各向异性等特征[5]。可见,岩石(体)较其他人工材料的力学属性有很大的复杂性,全面认识它们的力学属性有很大难度。

走出这一困境的一条有效途径是运用非线性理论来研究复杂的岩石(体),将岩石(体)或岩石工程看做一个由多因子、多层次组合而成的,具有很强不确定性和随机性的复杂系统,利用非线性理论研究岩石变形与损伤过程中的演化规律或对岩石力学系统所表现出的非线性特征进行分析。

所以,岩石力学的重要研究领域之一就是在传统研究方法的基础上综合利用非线性科学相关理论,正确、深入地认识岩石的上述特征和比较正确地把握岩石在各种荷载作用下,以及在各种因素影响下的动、静态力学响应。

除了岩石介质的复杂性以外,我们更应该看到,岩石(体)在自然界或实际工程中具有复杂的受载路径与受载历史,然而迄今为止,这方面的研究成果并不多。

在岩石的复杂受载路径与受载历史中,周期荷载的疲劳过程是最常见也是最简单的力学现象,并且与岩石的单调荷载方式密切相关,因此,周期荷载的疲劳问题研究可以作为复杂受载路径与受载历史下岩石力学研究的“重要突破口”。

疲劳是指材料或结构在循环荷载的反复作用下性能逐渐劣化直至失稳破坏的过程。

土木工程领域对疲劳问题的研究始于20世纪20年代,主要包括钢结构、混凝土、土体和岩石几个方面,对钢结构、混凝土的疲劳研究较多,而随着大规模交通建设,高速公路、飞机跑道、过江隧道、铁路等的地基土体疲劳问题逐渐引起人们的重视。

然而岩石领域疲劳问题的研究国内外开展很少,一方面由于大家对这方面的研究没有引起普遍注意;另一方面由于岩石的离散性很大,为疲劳研究工作带来了很大困难[4]。

本书研究内容是为了深入认识岩石在单调及周期性循环荷载条件下的变形、损伤规律与破坏机制,为解决公路、铁路基础及其路堑边坡、隧道、大坝坝基、露天采矿边坡平台、矿山周期性顶板来压

<<周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性>>

、岩石的钻进和岩体的抗震等工程的长期稳定性，并针对三峡库区面临频繁地震活动以及周期蓄、排水而带来的重大工程实际和理论问题而提出。

国内外在有关岩石宏、细观损伤破坏及周期荷载作用下岩石的变形方面已有不少研究成果，但并未见到不同条件下岩石变形基本阶段及其相应特征点的系统性的周期荷载试验研究成果，也未见到周期荷载下岩石损伤演化规律与非线性特征的系统研究成果以及有关岩石的多级疲劳损伤与破坏的CT细观研究方面的报道。

因此，结合非线性理论系统地开展周期荷载作用下岩石的变形与损伤演化规律方面的研究不仅具有重要的工程指导意义，也具有较高的理论研究价值。

1.2 研究进展 本书以试验手段为依据，采用理论和试验相结合的研究方法，研究内容涉及单调及周期荷载下岩石的变形与损伤检测及其非线性特征等诸多方面，由于岩石在单调加载条件下的力学试验是岩石力学常规试验，不再赘述，其研究进展主要体现在试验手段的更新上（如CT方法、声发射法等），故结合具体检测方法予以探讨。

本书将简要介绍岩石的损伤力学基础及研究进展，重点介绍周期（循环）荷载作用下岩石宏观变形特性及损伤破坏规律，基于声发射及CT细观试验的岩石损伤破坏以及非线性科学在岩石力学中的应用等方面的研究进展。

参考文献主要以近10年文献为主，重点是近5年来的文献，兼顾10年前有影响的研究成果。

1.2.1 岩石损伤力学研究进展简介 岩石可视为一种非均质的多相复合结构，而且存在大量的天然缺陷，且这些缺陷的分布完全是随机的。

岩石在受到外界力作用以后，弥散在岩石内部的微缺陷不断变化，在部分区域内出现贯通，进而形成宏观裂缝导致岩石失稳破坏。

岩石的破坏过程是非常复杂的，如果只是单纯地用经典弹塑性力学或断裂力学的方法来描述，将难以获得理想的结果，因此，有必要将损伤理论引入到对岩石的研究中。

岩石的损伤过程可以看做是连续的，并且在很小的应力、应变下就已发生，至于外界力作用以前就存在的缺陷可以作为初始损伤处理。

岩石损伤力学着重考察的是损伤对材料宏观力学性质的影响以及材料的损伤演化过程和规律。

这与传统破坏理论只注重变形至破坏的起点-终点式的研究方式截然不同，损伤力学的研究方法使得对岩石力学特性的认识更加深刻和全面 [6]。

关于岩石类材料损伤力学的研究，文献 [7] ~ [9] 中已经进行过总结，文献 [9] 侧重于岩石损伤力学的起源、经典理论以及当时的研究成果，而文献 [7] 则更多关注岩石断裂及损伤力学的最新成果、研究动态和发展现状。

一般认为，岩石损伤力学模型的研究方法从其立足点和研究尺寸大致分为微观的、细观的和宏观的三类。

微观模型是在分子、原子层次上研究材料的物理过程以及物质结构对损伤的影响，然后用经典或用量子统计力学方法来推测其宏观力学效应。

微观的方法因理论不够完善，且统计量太大，使之仅能定性而有限度地预测某些损伤现象 [9]，而且由于微观涉及的尺度较小，目前的试验手段还满足不了。

因此到目前为止，对岩石等脆性材料的损伤理论研究主要集中在宏观和细观两个尺度范围内 [10]。

宏观损伤模型即通常所说的连续介质损伤力学（CDM），基于宏观尺度上的连续介质力学与不可逆热力学理论，把包含各种缺陷的材料看成是一种有“微损伤场”的连续体，引进了在物体内连续变化的损伤变量来描述损伤状态，然后在满足力学、热力学基本公设和定理的条件下，唯象地确定损伤体的本构方程和损伤演化规律。

Krajcinovic [11] 运用热力学等理论对岩石类脆性材料的本构方程进行了较为全面的研究。

Ortiz [12] 提出了建立在微裂纹损伤基础上的连续损伤模型，该模型被Yazdani等 [13] 加以发展和推广。

Costin [14] 提出了建立在微裂纹损伤基础上的连续损伤模型，其等效宏观损伤标准表征微裂纹的扩展。

Marigo、Lemaitre、Murakami、Shen、邵建富等也提出了不同的连续介质损伤力学模型 [8]。

<<周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性>>

近年来,各向异性损伤理论及各类耦合模型[15,16]的建立已成为CDM的核心和发展前沿。

细观模型,略去了某些损伤的物理过程细节,从颗粒、晶体、孔洞等细观结构层次研究各类损伤的形态、分布及其演化特征,从而预测物体的宏观力学特征。

细观损伤力学的一方面主要是研究细观损伤结构与力学之间的定量联系。

较多的是以数值方法或者分析方法去分析一个确定的体积 V ,确定体积内含有一个或几个孔洞或者裂纹,然后假设损伤材料是由这样的确定体积堆筑而成[8]。

Gurson[17]假设基体为刚塑性体,对确定体积中有孔洞情况进行了系统的研究。

Nemat-Nasser等[18,19]假设基质为各向同性弹性体对确定体积中有裂纹情况采用分析方法进行了研究建模。

Tu等[20,21]对脆弹性体裂纹处于各向异性的情况进行了研究建模。

细观损伤力学的另一个方面主要是研究细观损伤结构的演化和发展,其中比较热门的是用统计物理数学理论研究细观损伤的演化和发展,俗称统计细观损伤力学[8]。

严格说来,用统计方法进行岩石类材料的损伤研究是把微观、细观和宏观结合起来的一种方法,统计损伤方法的最大优点是模型简洁、计算量小、模型参数易于取得。

所以,岩石统计损伤模型在最近10年中得到大量关注[7],三种统计模型得到发展:基于连续损伤力学统计模型[22]、微元统计模型[23]和网络统计模型[24]。

同时,岩石统计损伤理论在工程中也得到很好应用[25,26],而基于岩石统计损伤理论的有限元软件RFPA则被越来越多的人所认识和使用。

总之,在岩石损伤理论和应用研究中,微观、细观、宏观理论均得到发展,但微观理论的应用受到限制,而细观和宏观损伤模型理论和应用的发展则更深入一些。

由于岩石材料力学性质的复杂性,目前还没有哪种损伤本构模型能够精确地对其进行表达,任何一种方法都只是一种近似。

所谓模型的“精确”,只是模型对客观实际的某种程度能够接受的“逼近”,目前,理论分析中的岩石损伤模型越来越复杂,参数越来越多,而工程应用中则更多注重参数较少、计算简单、应用方便。此外,由于岩石损伤过程的复杂性,对其进行准确的宏观描述往往比较困难,不得不借助统计分析以及非线性分析等手段[6]。

1.2.2 周期荷载作用下岩石宏观变形规律及损伤特性研究进展 对周期性循环荷载作用下岩石类材料的宏观变形特性方面的研究,最初主要体现在对混凝土材料方面的研究,并初步形成了一些较为成熟的理论和试验方法,其研究对象从单轴压缩到多轴压缩,从压缩、弯曲到拉伸、劈裂和抗剪,从等幅、变幅到随机等[27~30]。

而对岩石材料,其相关方面的研究成果却相对较少,Grover、Dehlinger和McClure最早开展了岩石的疲劳试验,Burdin、Hardy和Chrdin、Hardy和Chugh、Hainmson和Kin、Attewell和Farmer、Cain和Peng均对岩石的疲劳问题进行了试验研究[1]。

近年来,葛修润、蒋宇等[3,4]对循环荷载作用下岩石的变形与疲劳破坏做了一些系统的研究工作,如其与Müller于1983年指出在循环荷载作用下的岩石不可逆变形发展存在着三个阶段,提出以变形来度量岩体的强度和破坏,于1987年又提出了循环荷载作用下岩石是否发生破坏与应力门槛值有关,并认为岩石疲劳门槛值接近常规屈服值。

山下秀等[31]做了单轴压缩转移试验,得出了疲劳破坏和蠕变破坏变形上的相似性。

McCall等[32]将由不同成分组成的非均匀材料模型的宏观弹性性质与许多细观的滞回弹性单元联系起来,基于滞后细观特性弹性单元的假设,讨论了准静态应力-应变状态方程等,岩石的滞后非线性弹性的基本原因在于岩石含有大量诸如裂纹、孔洞等细观结构特征,这些细观弹性单元控制了准静态的状态方程和弹性波的响应。

Holcomb[33]对辉绿岩和花岗岩进行了循环差应力试验,当差应力大于或等于破坏强度的85%时,体积膨胀,这是非弹性行为的表现,在某些方面,它们又显示更典型的准弹性行为,由闭合的滞回曲线证明了岩石的记忆性。

Tutuncu等[34]在循环单轴应力状态下,对饱和沉积岩的频率和应变振幅效应进行了研究,在经过4种不同饱和溶液浸泡过的Berea砂岩中均观测到应力-轴向应变曲线较大的滞回环,还探讨了在沉积的

<<周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性>>

颗粒状岩石中衰减的机制,即衰减的黏滑滑动和颗粒接触黏着滞后,孔隙空间中饱和液体的类型与在颗粒接触中对 σ - ϵ 曲线滞后有一个较大的影响。

刘云平等 [35] 研究了在频率为0.05~4Hz的循环应力作用下大理岩、砂岩的衰减、弹性(杨氏)模量、泊松比的动态响应。

席道瑛等 [36] 在频率为0.05~4Hz时,对干燥、饱水、饱泵油和泵油加沥青4种类型的砂岩、大理岩进行了垂直层理和平行层理两个方向的正弦波加载试验,研究了饱和砂岩的各向异性和非线性黏弹性行为。

陈运平等 [37, 38] 通过对饱和砂岩和大理岩的循环荷载试验,分析了饱和岩石在循环荷载下的应力-应变滞回曲线、瞬时泊松比的“X”形变化曲线,以及弹性模量随应变振幅的增加而减少等滞后现象,探讨了饱和岩石在循环荷载下的滞后和衰减现象的微观机理,并研究了不同孔隙流体和不同性质的岩石在循环荷载试验条件下应力-应变曲线的细微差异。

Bagde等 [39] 利用MTS816岩石力学试验系统对静、动态循环单轴荷载作用对砂岩力学特性及其损伤的影响展开了研究。

许江等 [40, 41] 利用MTS815岩石力学试验系统对不同加载速率、不同含水状态、不同应力水平等不同试验条件的循环荷载作用下岩石滞回曲线演化规律等展开了深入系统的讨论。

周尚志等 [42] 根据岩石类材料裂纹形成阶段的疲劳曲线(S-N),描述疲劳发展的损伤演变方程,提出了疲劳裂纹扩展的数值计算方法;建立了扩展阶段中裂纹尺寸与荷载循环次数之间的关系,从而将裂纹萌生与扩展这两个独立过程纳入一个统一的理论体系。

樊秀峰等 [43] 对砂岩在循环荷载作用下的疲劳损伤特性进行实时超声波速的跟踪研究,研究结果表明:穿透砂岩试样的横向超声波速随着荷载的循环次数发生明显的三阶段衰减,即初始迅速衰减、稳定衰减与临近破坏的急速衰减三个阶段。

王德玲等 [44] 认为塑性应变的累积是低周疲劳破坏的主要原因,并在岩石疲劳试验的基础上建立了岩石疲劳扰动模型。

此外,Zhang等 [45]、Kowalski [46] 也对岩石的疲劳问题进行了研究。

随着大量工程实践和理论研究的深入,关于周期性循环荷载作用下岩石类材料非线性弹塑性特征及损伤的研究大致经历了极限理论阶段和过程理论阶段 [4]:所谓极限理论阶段即采用唯象学描述方法,以宏观试验为基础,重点关心的是循环荷载作用下岩石破坏时一点的应力、应变状态与外界因素之间的关系;所谓过程理论阶段是以整个循环加载过程中各点状态为研究对象,从其损伤破坏的演变和发展,损伤破坏机理,损伤裂纹的发生和扩展这些更为本质的方面去探讨循环荷载作用下岩石类材料的破坏问题,进而提出相关的损伤与断裂理论。

以上研究成果表明,岩石在周期性循环荷载作用下的强度和变形规律与常规试验条件下的强度和变形规律有显著的不同,强度方面表现出劣化性,破坏强度低于常规峰值试验强度;在变形方面则表现为记忆性,破坏点的位置受到常规应力-应变全过程曲线的控制 [4, 47]。

但是,需要注意的是,以上所述“非线性弹塑性特征”大多仅研究了岩石在周期循环荷载过程中的塑性滞回特性,并未深入涉及广义的非线性科学理论范畴,而应用非线性理论对周期性循环荷载下岩石的变形与损伤规律进行研究则是本书的主要研究内容之一。

1.2.3 基于声发射及CT的岩石损伤检测研究进展 岩石损伤的检测方法有光学显微镜法、扫描电子显微镜法(SEM)、声波探测法、红外辐射探测法、声发射法、CT方法以及传统的力学性能测试法等。

例如,许江等 [48] 采用带有加载装置的光学显微镜进行了砂岩在不同加载阶段的损伤裂纹分析。

赵永红等 [49] 对含预制缺陷的大理岩平板施加单轴压缩,在扫描电子显微镜下即时观察并记录了试件表面微破裂的发育及演化过程。

中国矿业大学岩石混凝土破坏力学重点实验室以及清华大学先后与日本岛津制作社合作研发了SEM加载试验系统,可在各种温度、各种荷载下实时观测试样表面的损伤演化情况,即边加载边观测。

通过这些研究,可以捕捉到岩石在损伤演化过程中表面微观结构的变化,有助于对岩石损伤机理的分析 [6]。

蒲传金等 [50] 通过测试爆破前后的声波速度变化情况,研究了5种不耦合装药结构爆破对孔壁岩石的

<<周期荷载作用下岩石非线性变形与损伤特性>>

损伤情况，并得出了一些有益的规律，可为边坡开挖、隧道掘进和石材切割爆破等提供参考。Luong等 [51] 进行了岩石破裂过程中的红外辐射现象的观测研究，并把内部损伤所引起的热能作为研究的参数，从作用过程的力-热耦合出发，分析了损伤过程和破坏机理。

.....

版权说明

本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问:<http://www.tushu007.com>