

# 裂隙岩体在受荷条件下的声学特性研究

赵明阶

(重庆交通学院河海建筑工程系 重庆 400074)

**博士学位论文摘要** 自60年代超声波测试技术应用到岩石工程领域以来,已经成功地用于岩石、岩体和土体动弹性参数测试、岩体结构分类、参数确定以及岩体质量评价等问题,因而得到岩土工程界的广泛重视,并已进行了大量的理论与实验研究。在应用中用声速确定岩体的完整性系数,作为岩体质量分级的一个重要指标,已纳入了我国工程岩体分类国家标准;但目前的研究基本上是沿声速和衰减两个参数而展开的,对于岩石和岩体的声学特性与应力状态的相关性、对于与应力状态相关联的加载和卸载过程、对于声波信号中的信息如何应用等等,还是尚未解决的问题,因而目前的声波测试还难以解决声波与岩石力学特性相关的较复杂问题,这就阻碍了超声波测试技术在岩土工程领域的更广泛的应用。为此本文重点研究裂隙岩体在受荷条件下的声学特性理论模型,研究声波信号处理技术的新方法。通过大量的实验验证和对声波波形记录的数值分析,系统地揭示了微裂隙岩石和裂隙岩体在加卸荷过程中的声学特性。其主要工作如下:

(1) 通过分析岩石中裂隙的性态和对岩体中裂隙的界定,从宏观角度将含裂隙岩石视为连续介质,推导了超声波在其中传播时的声速及衰减与弹性参数的理论关系;然后就岩石中裂隙在自由应力状态下对超声波传播的影响进行了详细的分析;最后运用裂隙的边界元数值分析结果对岩石超声波与应力的相关性进行探讨。

(2) 将岩石视为包含随机分布、具有一定开度且无充填物的微裂隙的各向同性体,运用断裂力学理论推求出岩石在单轴、三轴加、卸荷全过程的本构模型;运用岩石变形特性、空隙率、等效弹性参数及波速、衰减之间的关系提出等效模型,建立了岩石在加卸荷过程中声速及衰减与应力的理论关系;为了检验模型的正确性,对砂岩、大理岩、花岗岩、灰岩和玄武岩等5种岩石及石膏模型进行了加卸荷条件下的声波测试实验研究,其结果与模型预测有较好的一致性。

(3) 在对裂隙岩体建立宏观简化模型的基础上,研究了裂隙岩体的等效弹性参数及其在未受到外部荷作用时的声速和衰减系数;考虑裂隙闭合效应分析裂隙的变形特性,并由此建立裂隙岩体在不同受荷条件下的声学特性的理论模型。通过对两种裂隙分布的石膏模型的实验研究,证实了该理论模型能有效地模拟裂隙岩体的声学特性。

(4) 采用小波变换理论对声波信号进行时-频域分析。将声波信号分解成不同频带通道的小波分量,通过对各小波分量的频域分析,提出了对应力较敏感的加权波谱参数;并利用这种处理技术研究了岩石(体)在受荷条件下波谱参数随应力的变化规律,并说明以小波分析为基础定义的波谱参数在分析裂隙岩石和岩体的声学特性与应力相关性方面的重要理论意义和应用价值。

(5) 运用损伤力学理论研究了岩石的损伤力学特性,建立了岩石强度与超声波速之间的指数关系式;并通过对混凝土和重庆砂岩的实验数据的拟合证实了这种指数关系的存在。针对目前在隧道工程中广泛采用的Q系统围岩分类以及岩石工程中RMR工程岩体分类,利用现存的统计结果将岩体的超声波速与岩体质量指数Q、岩体分类指数RMR及Hoek-Brown准则联系起来,建立了用岩体超声波速进行岩体分类以及对岩体强度参数和变形参数的估测方法。通过对三峡工程永久船闸高边坡岩体的应用,发现由超声波预测的力学参数与直接采用RMR分类系统和Hoek-Brown准则估计的岩体力学参数基本吻合。从而表明应用超声波预测岩体力学参数是完全可行的。

**关键词** 声学特性, 裂隙岩体, 加荷, 卸荷, 强度和变形参数, 岩体分类, 波信号处理, 小波

## A STUDY ON ULTRASONIC PROPERTIES OF CRACKED ROCKMASS UNDER LOADING AND UNLOADING

Zhao Mingjie

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

1998年9月30日收到来稿。

作者 赵明阶 简介: 男, 1967年生, 1998年6月在重庆建筑大学建筑工程学院岩土工程专业获博士学位, 导师是朱可善教授和吴德伦教授; 现在重庆交通学院河海建筑工程系从事岩土力学方面的教学与科研工作。