

应用声发射技术检测坝基渗流

M. H. Hung B. Q. Zhang M. C. Wang
(美国) (中国) (美国)

[摘要] 本文研究了渗流引起的声发射(AE)现象。通过三种土样制成的试件(直径11.4cm,高27.6cm)在实验室进行不同条件的渗流试验,并记录声发射信号。对AE信号进行时域与频域分析的结果表明:AE强度随渗流速度的上升而增加。对某一给定流速,颗粒大的土样中产生的AE强度大些。并且,用声发射信号的电压阈值比用记录的AE次数来表示AE强度更恰当。

关键词 声发射 渗流 大坝 堤坝 安全探查 监测 室内试验 分析 波的传播

1 前言

坝体及坝基的过量渗流是大坝破坏的决定性因素。美国Teton坝失事后,全美开展了一场大坝安全的深入调查。调查初期,只限于表面查看是否存在因过量渗流和由局部边坡破坏引发的沉陷变形而造成的渗流通道。表面查看方法只能发现外观破坏,不可能探测处于初发阶段的破坏。一种可能探测后者的方法是声发射(AE)技术,因受压地层中的水流会产生声波信号。其实,AE技术不仅能探测破坏信号,还能定出破坏位置。AE技术也可用作堤坝的安全监测,以避免或减少溃堤产生的淹没损失。本研究旨在探索有关渗流引发的AE现象的一些重要因素。

2 试验土样

试验用了三种粒径的土样,其级配分别为:1号砂砾土样4.76~9.50mm(4#筛),2号砂砾土样3.36~4.76mm(4#~6#筛)和3号砂砾土样2.38~3.36mm(6#~8#筛)。这些土样来自石灰岩碎石,且呈磨圆状颗粒。此石灰岩碎砾的比重为2.74。试样尺寸为高27.6cm,直径11.4cm。试样分五层制备,每层都精心压实至0.8的孔隙率。

3 试验设备

试验设备由三部分组成,分别为渗透仪及其供水系统,换能器探头及模拟信号控制系统,计算机信号采集及分析系统。整套试验装置的示意图如图1所示。

供水系统由两个水箱及一台渗透测试仪组成。两水箱串成一体,但放在不同高度处。上水箱用来存放自来水并使气泡溢出,下水箱存放供实验用的无气水。渗透仪内装试验土样,去气的水从下向上游经试样,同时监测渗流产生的AE信号。探头与模拟信号控制系统,用于信号测试、放大、滤波及转换声波与水压力信号。模拟信号控制系统含有一台两通道前置放大器,两台单通道模拟式滤波器和一个隔音箱。信号采集与分析系统是一个计算机控制的DAQ系统,由Goldstar OS-90209 20MHz示波器(用来监视模拟信号)、HP35665A动态信号分析仪及具有MATLAB数据处理软件的PC机组成,后二者构成了主要分析系统。

4 室内试验与分析

每个土样作 4 个渗流速度的渗透试验,并确定渗流速度与水力坡降两渗流参数。监测到的声发射活动用 MATLAB 软件分析其两大特征——振幅与频谱。通过对后者的适当分析,并与土样参数相联系总结,建立经验性关系。

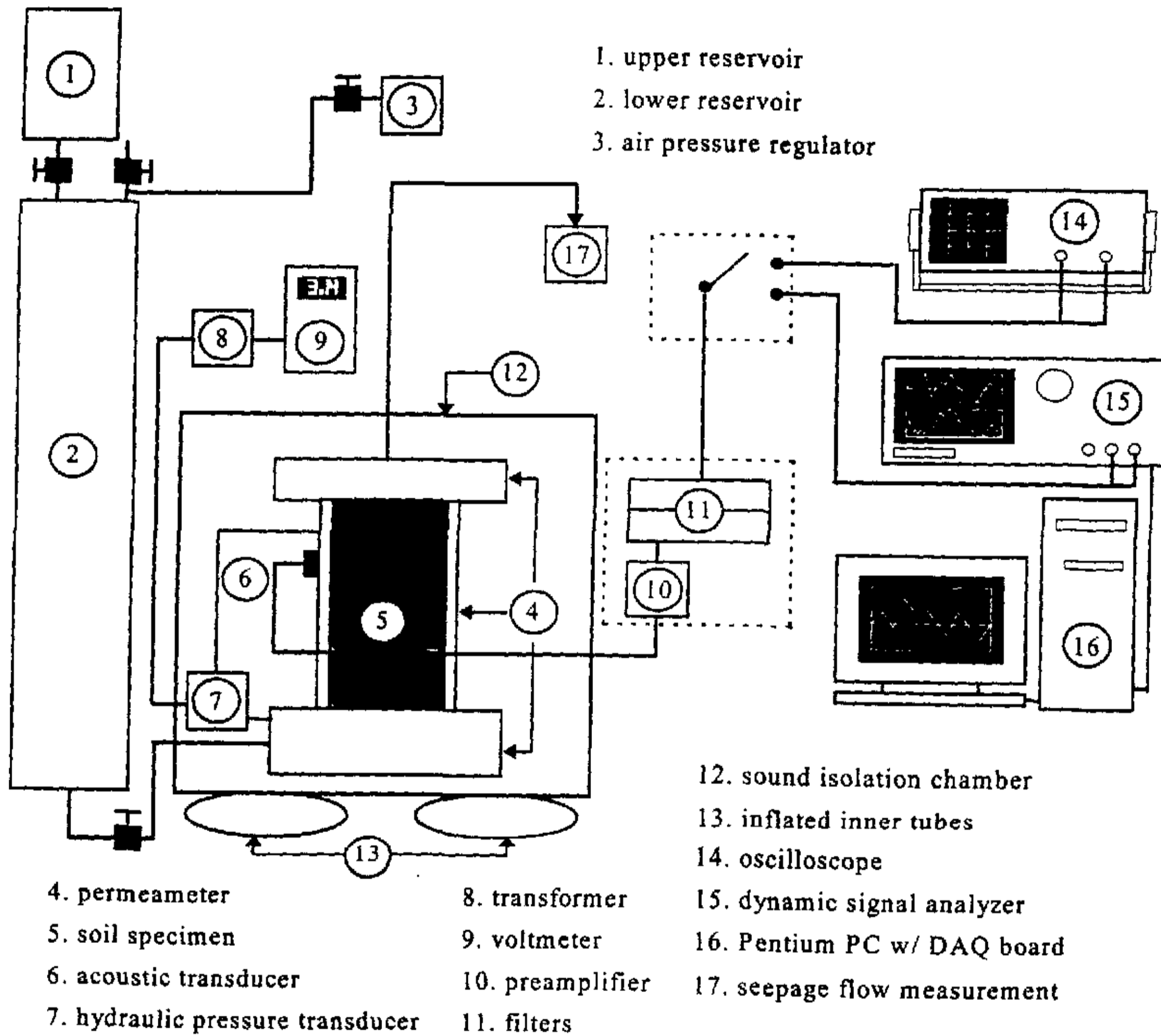


图 1

5 结果与讨论

分析后的 AE 活动用 AE 次数及超过某电压阈值的百分比两种统计曲线来表示。对给定的渗流速度,最粗粒径土样的 AE 次数与电压阈值的关系见图 2。它是从连续 514 次记录(每次含有 1024 点)的数据获得的,数据量如此大,结果具有足够代表性。这组数据的总采集时间约为 8.03 秒。从图 2 看出,每个渗流速度对应的 AE 次数—电压阈值曲线都呈钟形,且上升段比下降段陡。另外,随着渗流速度上升,曲线下盖的面积增大,并向右平移。各渗流速度对应的曲线位置较近,难于选择合适的电压阈值来建立 AE 次数与渗流速度之间的明显关系。三种试样都表现了这种渗流速度对 AE 活动的影响趋势。图 3 显示了三种试样的渗流速度与大于 7mV 电压阈值的 AE 次数之间的关系曲线,表明在所研究的试样粒径范围内及给定的

渗流速度下,AE 次数随土样粒径的减小而减少。

AE 次数通常用来量化渗流问题中声发射记录(见文献 1~3)。由于声发射次数取决于记录设备所采用的电压阈值,人们难于对比不同的渗流问题研究中观测到的 AE 现象,除非预知各研究中所用设备的监测频率范围及电压阈值。另外有可能将大于某阈值但振幅不同的多次 AE 作为一次 AE 记录下来。考虑到这些缺点,我们用电压阈值及超过该阈值的 AE 活动次数的百分比来描述监测到的 AE 活动。因为渗流引发的各次 AE 的强度变化很大,应用电压阈值与超阈值的 AE 百分比之间的关系比应用总 AE 次数能更好地统计表示 AE 活动。图 4 给出了对应于最粗粒径土样及不同渗流速度的这种关系,同前,明显看出 AE 活动随渗流速度下降而减少。

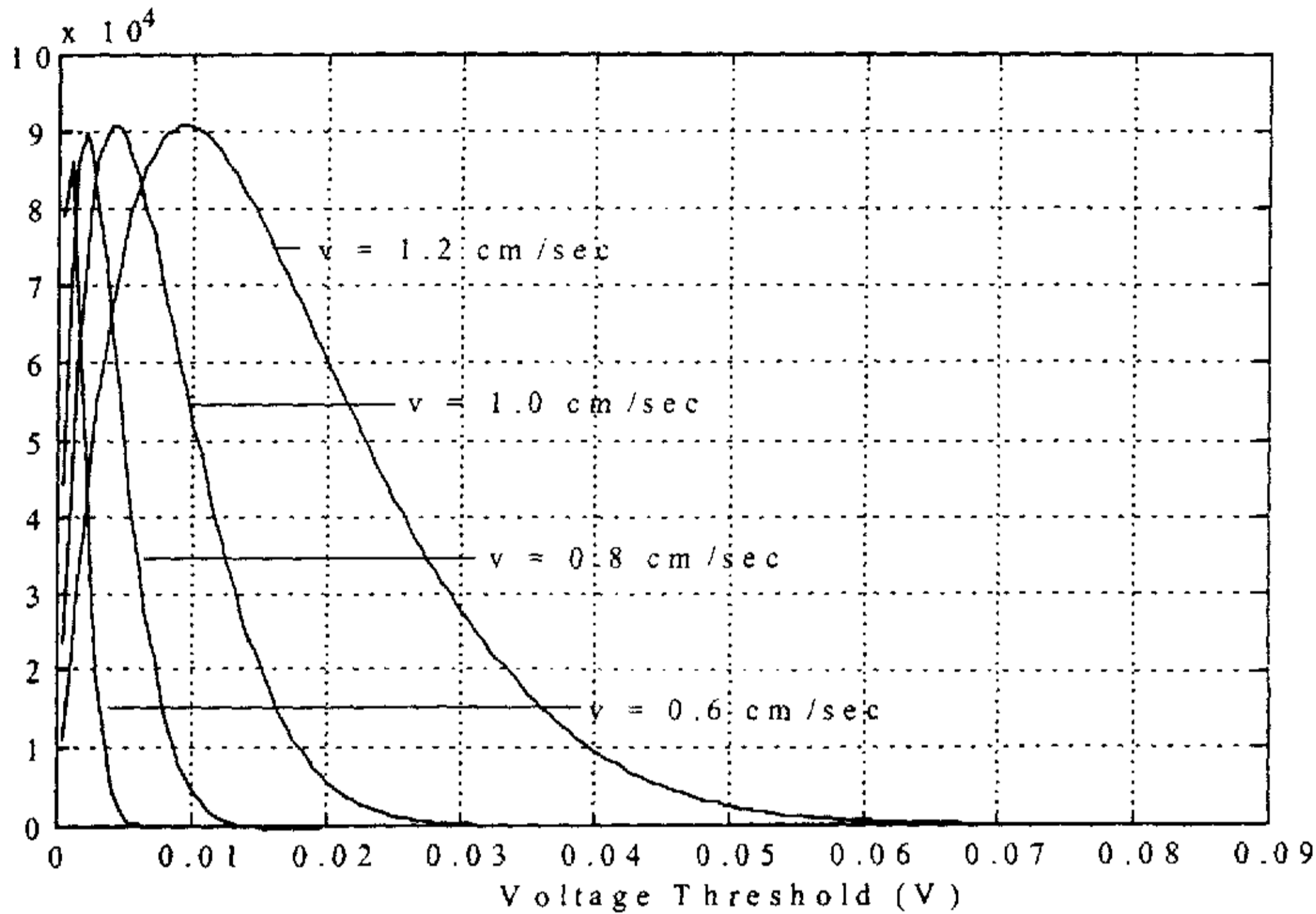


图 2

图 5 给出对应三种土样的电压阈值与渗流速度之间的关系曲线。再一次表明:对给定渗流速度,AE 活动随土样粒径的减小而减少;对给定粒径的土样,AE 活动随渗流速度增大而增加。

在较大粒径土样中观测到较大强度的 AE 活动之现象,可用土样中存在较大尺寸的孔隙通道供水流通过来解释。当水流通过较大孔隙通道时,对于同一渗流速度,也具有较大的雷诺数。随着雷诺数增加,渗流的流态可由层流到渐变流,再变成紊流状态,而在渐变流与紊流中的杂乱混沌现象可产生更多的 AE 活动。图 3 及图 5 显示了当渗流速度增大时,AE 活动增加的现象,并且低速阶段增加较慢,高速段增加更明显。AE 活动随渗透流速增加的现象直接跟水流能量的增加有关。

由图 3 中三条 AE 次数与渗流速度的关系曲线均可看出,在高速区 AE 增加趋势随流速增大而变慢的现象。一种可能性的解释是,AE 次数会随 AE 波形与采样速率而变化。正常条件下,最大 AE 次数不会大于 $\frac{1}{2}$ 的样本总数,所以监测到的最大 AE 次数受到采样过程的限制。按照这个思路,用 AE 次数表示渗流引发的 AE 活动不如用电压阈值表示 AE 活动。

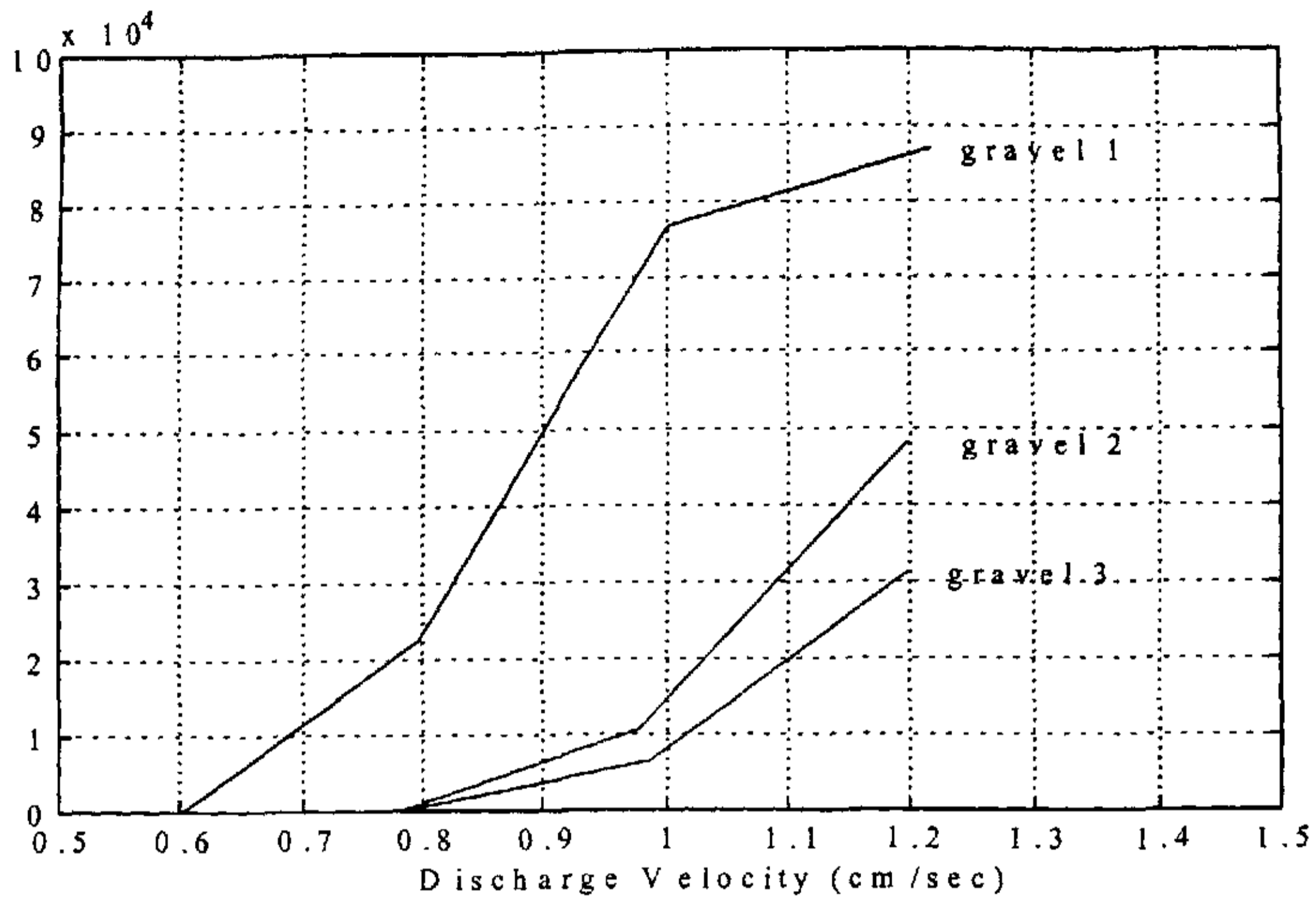


Figure 3 Ringdown Counts at 7 mV Voltage Threshold vs. Discharge Velocity for Three Test Gravels

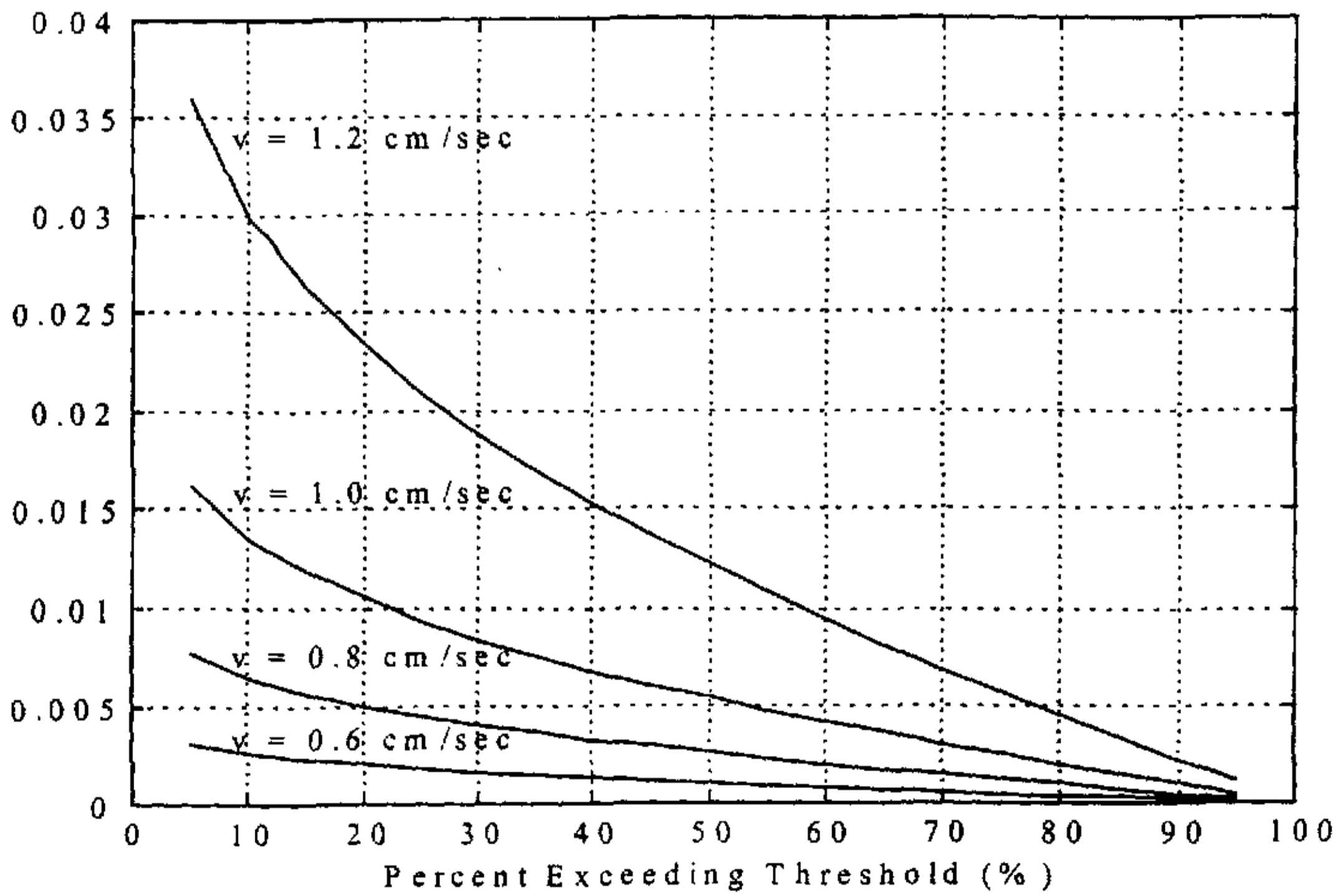


Figure 4 Voltage Threshold vs. Percent Exceeding Threshold for Coarsest Gravel Subjected to Different Discharge Velocities

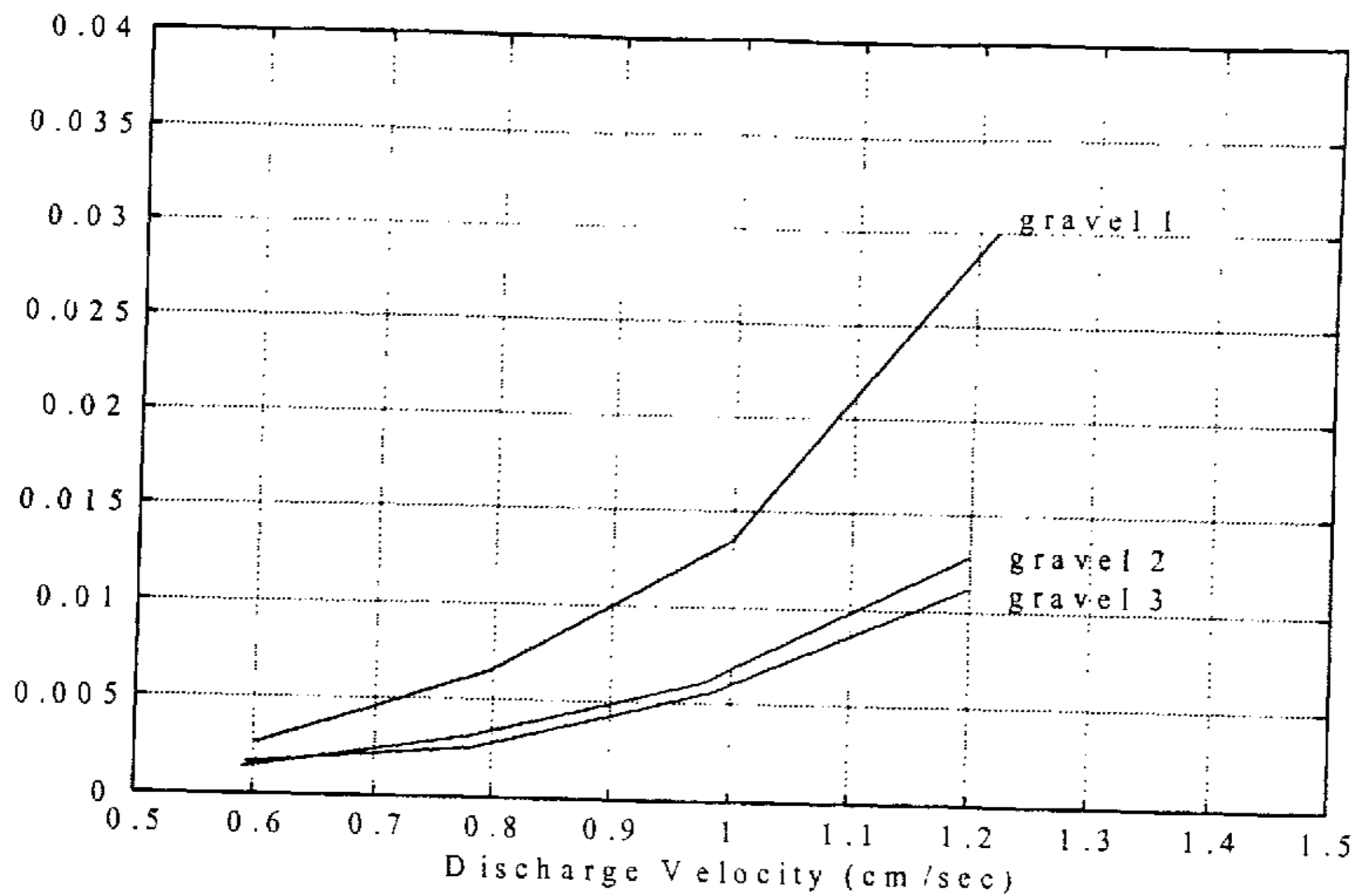


图 5

6 总 结

本文研究了石灰岩砾石土样中渗流引发的声发射活动。土样一共分为三种不同粒径。被监测到的 AE 活动经分析后,分别用 AE 次数及电压阈值表示。试验结果表明,对给定粒径的土样,AE 活动随渗流速度的增大而增加。对给定渗流速度,AE 活动在较大粒径土样中更强。另外,用电压阈值比用 AE 次数表示 AE 活动更恰当。

参 考 文 献

- [1] R. K. Miller and P. McIntire, Editors. *Nondestructive Testing Handbook*, Second edition, American Society for Nondestructive Testing, 1987, pp. 312-345.
- [2] C. J. Buck and R. J. Walters, 'Acoustic Emission Generation from Water Flow through Granular Soils', *Proceedings of the 22nd Symposium on Engineering Geology & Solis Engineering*, Boise, Idaho, Feb. 1986, pp. 138-154.
- [3] R. M. Koerner, W. M. McCabe, and L. F. Baldivieso, 'Acoustic Emission Monitoring of Seepage', *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division*, Vol. 107, No. GT4, 1981, pp. 521-526.

应用声发射技术检测坝基渗流

作者：[M. H. Hung](#)，[B. Q. Zhang](#)，[M. C. Wang](#)
 作者单位：[M. H. Hung, M. C. Wang\(美国\)](#)，[B. Q. Zhang\(中国\)](#)

相似文献(10条)

1. 学位论文 武晋文 花岗岩热破裂实验研究 2008

高温岩体地热是一种新的清洁能源,高温岩体地热资源的开发涉及许多基础学科与技术学科,如地学、热力学、岩体力学、深部钻井技术、材料科学、地球深部的测试技术等。在开发地热的过程中需要解决的问题多多,大深度打钻孔、打钻后钻孔的变形、水压致裂和致裂后裂缝的稳定工作,钻孔与裂隙的贯通、人工储留层的设计以及储留层的温度场控制等问题仍待研究。高温下岩体的破裂称作热破裂,为了实际工程应用的需要,必须要研究岩石在三轴应力和高温状态下的破裂规律。

针对以上问题,论文采用高温三轴应力声发射实验,以及声发射实验和渗透性实验、细观CT扫描实验、其他相关研究的对比研究,对岩石在三轴应力下的热破裂规律进行了研究,得到相应研究成果如下:

- 利用“200kN伺服控制高温高压岩石三轴试验机”进行了大尺寸(Φ200×400mm)花岗岩试样在高温恒定三轴应力(轴压860kN,围压1150kN)下的声发射特征实验,主要成果有:
 - 通过噪声实验,确定了声发射实验中的噪声,分析了噪声发射的特征参数大小及变化规律。
 - 声发射的产生是由于岩石内部局部应力(能量)的积累、释放造成的,在压力和温度作用下岩石内部结构发生了明显的变化,花岗岩发生热破裂的门槛温度为110℃-120℃左右。
 - 在实验的第一个阶段(常温(24℃)到60℃)产生的声发射主要是在三轴压力下,原生裂隙调整调整造成的,不是由岩石热破裂产生的。实验中段260℃附近声发射比较剧烈,能量比较集中,岩石内部的结构发生了较大的破坏,或者形成了较大的贯通裂隙。
 - 恒定三轴压力下随着温度的升高,岩石的声发射现象即破裂规律可分为5个阶段:常温(24℃)到60℃,岩石原生裂隙整合阶段;60℃到120℃,热破裂前声发射静默阶段;120℃到260℃,热破裂声发射阶段;260℃到340℃,大规模热破裂后声发射静默阶段;340℃以后,二次热破裂开始阶段。原岩状态下高温岩体的热破裂是一个持续不断的能量集聚和释放的交替过程。
- 声发射实验结果与同等实验条件下的渗透性实验进行了对比研究,声发射实验结果与声发射实验后试样切片的细观CT实验进行了对比研究,声发射实验结果与其他相关研究结果进行了对比研究,主要成果有:
 - 渗透率的变化和岩石内部各个阶段产生的热破裂裂纹、渗流通道和渗流网络的特点有关,对这些特点进行了详细探讨。实验中出现的“跳跃”和“回吸跳跃”现象的产生是由于渗透通道的堵塞造成的。
 - 通过声发射实验和渗透性实验的对比,声发射规律和渗透性规律存在一致性,得出了岩石的破裂规律。根据渗透性实验,在所测温度范围内破裂过程可分为三个阶段:常温到120℃,低渗透无热破裂阶段;120℃到260℃,渗透性增加频繁热破裂阶段;260℃到 300℃,渗透性增大无热破裂阶段。渗透性规律比声发射规律存在滞后性。
 - 提出了岩石热破裂的三个模型:微小裂纹、单一的宏观裂隙和裂隙网络,对三个模型在热作用下的变化规律和特点作了论述。实验中真实的岩石热破裂是这三个模型一个或者几个的组合。
 - 通过细观CT实验和陈颀[14]所做工作验证了以上提出的一系列结论的正确性。

2. 期刊论文 李俊平,余志雄,周创兵,戴跃华,孟刚,陈从新,刘才华,LI Jun-ping,YU Zhi-xiong,ZHOU Chuang-bing,DAI Yue-hua,MENG Gang,CHEN Cong-xin,LIU Cai-hua 水力耦合下岩石的声发射特征试验研究-岩石力学与工程学报2006,25(3)

在单轴压缩条件下,分别讨论了4种岩石在考虑渗流和不考虑渗流条件下的声发射特征.研究表明:在低应力阶段,岩石几乎没有声发射活动,渗流对声发射活动无影响;一般在达到其强度的60%~80%左右、临近破坏时,声发射活动才显著增加;加渗流和卸渗流的瞬间均产生较大的声发射事件,从稳定渗流到卸渗流一般接收不到明显的声发射信号;岩石破坏的声发射过程分为4个部分,即初始区、剧烈区、下降区和沉寂区;在破坏时,声发射信号的主频分布较宽,其中不加渗流时低频成分所占的比例超过了50%,坚硬岩石主频的最大值较破坏前、后急剧增大;加渗流或长期浸泡(130 h左右)时低频成分所占的比例超过了60%~80%,软化岩石主频的最大值较破坏前后变化不大;岩石的声发射主频与岩石的强度有关,强度越高,主频也越高;随着应力的增加,有些岩石的声发射主频最大值有增大的趋势.

3. 学位论文 张春华 石门揭煤过程中围岩的力学特征数值模拟 2007

石门揭煤过程中围岩的力学特征,是一个及其复杂和富有挑战性的研究课题,是力学、材料和工程等学科的研究热点和难点之一。在石门揭煤过程中,由含瓦斯煤岩破坏而导致的煤与瓦斯突出,是煤炭开采过程中一种复杂的工程突发灾害,是保证煤矿安全正常生产和矿业发展亟待解决的重大问题之一。因此,作为含瓦斯煤岩突出机理研究的理论基础,研究巷道围岩的力学特征,研究含瓦斯煤岩破裂过程中瓦斯气体与煤岩固体的耦合作用机理,对于人们进一步深入认识石门揭煤过程中含瓦斯煤岩的突出机理并采取相应的防治措施具有重要的理论意义和工程实用价值。

实验室试验和现场测试作为研究含瓦斯煤岩破坏过程最为直接的手段,对其破坏过程方面研究的发展起了决定性作用。然而,由于受人力、物力、财力和安全等因素的制约,含瓦斯煤岩的破坏试验,渗流演化试验和现场测试工作往往受到限制。理论解析通过对材料进行简化,运用数学和力学研究方法,对其破坏过程的应力与应变关系,透气性与压力关系及诱发的声发射等进行解析,为研究含瓦斯煤岩的力学特征提供了重要途径。然而,限于目前数学、力学等的发展水平,解析方法还难以解析煤岩材料内部微破裂之间以及煤岩破裂过程中瓦斯气体与煤岩固体的耦合作用问题。数值方法为研究含瓦斯煤岩的破坏过程提供了重要手段。基于煤岩材料的细观结构特征和细观基元的本构关系,将统计随机分布理论和计算力学相结合,可实现对石门揭煤过程中围岩的力学特征分析;细观损伤力学由于对材料的“损伤”赋予了真实的几何形象和具有力学意义的损伤演化方程,为研究石门揭煤过程中围岩力学特征提供了力学理论基础;而煤层瓦斯渗流力学的迅猛发展又可实现对煤岩变形破裂过程中煤层瓦斯流动的仿真模拟。此外,计算机硬件及计算力学的飞速发展,为从细观结构层次上研究研究石门揭煤过程中围岩力学特征提供了强有力的数值计算工具。

因此,本文首先从煤岩材料的细观结构和渗流特征出发,采用Weibull随机统计分布理论引入材料的非均匀性,提出了细观基元的弹性损伤本构关系,同时,考虑煤岩损伤演化过程中透气性的变化,引入煤岩透气系数一应力作用方程。在此基础上,考虑煤岩损伤过程的时间因素影响,引入细观基元蠕变损伤本构方程,分析石门向煤层步步推进时的地应力、瓦斯压力以及煤岩力学性质等综合作用下诱发煤岩突出破裂过程中应力场、变形场和声发射的演化过程。

其次,应用岩石破裂固气耦合RPA-C2D⁺-Flow数值系统对石门揭煤诱发的煤与瓦斯突出从裂纹诱发、扩展、贯通到抛出的突出全过程进行了系统的模拟研究,分析了地应力、瓦斯压力以及煤岩力学性质等综合作用下诱发煤岩突出破裂过程中应力场、变形场、渗流场以及声发射的演化过程进行了模拟研究。此外,有针对性地研究了煤体发生突出的条件,假定其它参数值不变,仅改变煤层中的瓦斯压力,对石门揭煤时煤与瓦斯突出情况进行模拟,模拟结果揭示出有效降低煤层中的瓦斯压力是防止煤与瓦斯突出的有效途径之一。

4. 期刊论文 江进辉,郭琴琴,周创兵,李俊平,余志雄,戴跃华,孟刚,陈从新,刘才华,JIANG Jin-hui,GUO Qin-ling,ZHOU Chuang-bing,LI Jun-ping,YU Zhi-xiong,DAI Yue-hua,MENG Gang,CHEN Cong-xin,LIU Cai-hua 大理岩受压声发射研究-中国农村水利水电

2005,*(11)

在单轴压缩条件下,分别研究分析了天然含水、浸水饱和和施加渗流岩石的声发射特性.研究表明:在低应力阶段,渗流不能引起AE活动.一般在单轴压力达到岩石强度的60%~80%、临近破坏时,加渗流和停止渗流的瞬间均会产生较大的AE事件,从稳定渗流到停止渗流一般接收不到明显的AE信号;岩石在荷载作用下的变形破裂特性与该过程中的声发射现象紧密相关.从平均意义的能量和形变角度分析,得出平均能量和平均形变在试件破裂过程中的变化是同步的,浸水饱和和岩石较天然含水岩石的平均能量小、平均形变大的结论,并根据岩石破裂损伤机理给以解释.

5. 学位论文 马卫荣 塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏深度酸化压裂技术研究 2005

酸化压裂是碳酸盐岩油藏增产的重要措施,在现场得到了广泛应用。碳酸盐岩储层常发育有裂缝和溶洞,其流体滤失机理与均质油藏或一般裂缝性油藏的流体滤失存在明显的差异。酸液在井筒和裂缝流动时的温度场和速度场模拟是进行酸液就地性能参数计算的前提。酸液体系是酸压施工中最为重要的材料,研究适宜于高温深层的酸液体系是确保酸压施工成功的关键。另外,借助于各种手段全面进行压后评估是分析酸压压裂效果、提高后续酸压压裂工程设计水平的基础。上述内容有机地构成了塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏深度酸化压裂技术研究的主要内容。

本文根据塔河油田缝洞型油藏酸压的实际需要,开展缝洞型油藏酸压设计理论和酸液体系的研究,取得了以下主要成果:

- 考虑压裂液沿天然裂缝和基质的渗透,建立了有限裂缝性地层压裂液滤失解析计算模型;
- 基于缝洞型碳酸盐岩储层所表现出的三重介质渗流特征,建立了三重介质压裂液滤失模型,给出了模型的解析解;
- 建立了酸蚀蚓孔的增长模型、酸液在蚓孔内流动反应模型,提出了考虑蚓孔的酸液滤失计算方法;
- 建立了井筒温度场数值计算模型,引入裂缝溶洞型油藏流体的滤失计算方法,改进了裂缝内酸液的温度场计算模型;
- 研制了针对高温深层酸压需要的高粘度胶凝酸液体系和低摩阻乳化成酸液体系,在塔河油田的酸压施工中取得成功应用;
- 采用压后压力降落分析、产量历史综合分析、不稳定试井评价和声发射裂缝监测的综合评价技术,进行了酸压施工后的综合评估分析。

通过论文对塔河油田缝洞型油藏酸化压裂技术研究,获得了一些有益的结论:

- 大量的压裂液是在压裂初期滤失进入地层,并主要经由天然裂缝滤失掉,裂缝性油藏压裂液滤失计算中应考虑天然裂缝的影响;
- 三重介质压裂液滤失模型较好地反映了滤失的压裂液在缝洞型储层中的流动特性,并可推广应用于解决多重介质的滤失及渗流问题;
- 酸液主要通过蚓孔滤失,酸蚀蚓孔的长度又是影响酸液滤失的主要因素;适当提高酸液粘度能减缓酸蚀蚓孔的增长速度,以有效降低酸液的滤失;
- 改进的全三维裂缝及近缝地层温度分布数值计算模型,可更好地用于缝洞型油藏的酸化压裂设计;
- 研制的性能良好的高粘度胶凝酸液体系和低摩阻乳化成酸液体系,能满足塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩储层深度酸化压裂改造的需要;
- 采用压后压力降落分析、产量综合评价、不稳定试井分析评估、声发射地面裂缝监测等综合评价酸压裂缝状况,有利于客观准确地分析压裂裂缝参数。

6. 期刊论文 来兴平 暴雨入渗对复合岩体塌陷区结构失稳的影响-北京科技大学学报2002,24(6)

利用位移、应力、能量耦合监测技术,分别对渗流大小、沉降量、声发射特征参数等之间的关系进行统计,全面分析渗流对坚硬复合岩体支护的塌陷区围岩结构动力失稳的影响.研究表明,在渗流的作用下,塌陷区不稳定程度加剧,通过声发射监测特征参数可以初步分析渗流与塌陷区结构失稳之间的演化关系.

7. 学位论文 何钊 石门揭煤煤岩力学特性分析与数值模拟 2009

煤与瓦斯突出一直是煤矿生产中的主要灾害,一旦事故发生很可能导致严重的人员伤亡和财产损失。要防治煤与瓦斯突出,首先要对含瓦斯煤岩体破裂过程中的固流耦合作用进行研究,这对于深入认识突出机理并进而采取正确有效的防治措施,有着至关重要的意义。由于现场观测和实验室试验会受到人力、物力、财力和安全等因素的制约,而目前的数学、力学发展水平又使得解析方法难以得到解析解,因此数值方法便成为首选。

因此,本文首先从理论上剖析含瓦斯煤岩体的物理结构和力学特性、煤岩体内瓦斯渗流规律和特点、以及煤岩体与其内部瓦斯的相互影响和相互作用;随后,建立煤与瓦斯突出的固流耦合数学模型,并且应用岩石破裂过程分析系统——RPA2D-Flow,对石门揭煤过程进行了系统的模拟研究。通过对诸如,煤层瓦斯压力不同、煤体强度不同、煤层倾角不同等多组不同条件下的石门揭煤过程进行模拟试验研究,从横向、纵向对比分析了含瓦斯煤岩体破裂过程中应力场、变形场、以及声发射的演化过程,总结其中的规律性以期对工程实践有所指导。

8. 期刊论文 陈兵,吴科如,姚武 水泥基材料损伤自诊断机理声发射研究-同济大学学报(自然科学版)2004,32(7)

采用声发射与电阻技术对碳纤维混凝土基材料上在单轴受压和三弯曲荷载下内部损伤进行了监测.研究表明,在三弯曲荷载下,碳纤维混凝土上的荷载-温度曲线与试件的电阻和声发射事件数存在良好的对应关系.对于碳纤维水泥基复合材料,其导电率主要依赖分散于水泥基体中相互搭接的碳纤维的渗流网络.材料内部的损伤引起相互搭接的渗流网络破坏,而使材料电阻增大.因此,在整个加载过程中,体系的电阻反映了材料内部的损伤.另一方面,通过声发射信号的分析,可以鉴定材料内部损伤的机理.

9. 学位论文 郭彦双 脆性材料中三维裂隙断裂试验、理论与数值模拟研究 2007

岩体中原生裂隙的起裂、扩展和贯通演化特性、破裂模式及其对工程岩体强度及渗流特性的影响一直为工程地质界、岩石力学界和相关工程界所重视。由于三维裂隙岩体问题的复杂性,以往的研究大多将三维问题简化为二维问题来研究,并取得了较为系统的研究成果。但是裂隙岩体的二维简化模型往往会失去许多裂纹扩展与贯通过程的三维信息。因此,近年来三维裂隙岩体的断裂损伤机理及其力学特性的研究逐渐成为裂隙岩体工程领域的重要课题之一,对于裂隙岩体工程的设计、施工和长期稳定性的维护具有极其重要的指导作用。对于地质地质学科和地球物理研究领域也具有一定理论意义。

针对三维裂隙岩体试验模拟材料的选材问题,在总结以往试验材料的基础上,研制出两种不同的脆性材料,一种是透明性良好的低脆脆性聚酯树脂材料,其抗压比可达1.5,优于以往的其他模拟材料,该材料属于均质材料,并可清晰地观察到试样内裂纹扩展的三维状态;另一种是类岩石材料,其脆性程度非常好,抗压比可达1/23。

分析了岩体在断裂过程中的裂隙效应和裂隙的维数效应及裂隙萌生的基本力学模式,给出了单轴压缩条件下几种新生裂纹的定义,如:翼裂纹、反翼裂纹、包壳式翼裂纹和孔壳状裂纹等。采用室内宏、细观力学试验研究了不同脆性材料中三维裂纹萌生、扩展及其贯通的演化过程。采用透明树脂材料的试验结果表明,三维裂隙起裂、扩展是以包壳式翼裂纹为主要扩展模式的;并在实验中获得了一些以往研究中所未观察到的裂纹扩展模式,如穿缝裂纹、花瓣状裂纹等。对于不透明的真实岩石及类岩石材料,在单轴压缩状态下,试样破裂后可以清楚地观察到包壳式翼裂纹的扩展,但无法在这类材料中区分到其他形式的裂纹。此外,材料的均匀性将影响含三维裂隙的最终断裂形态。含三维裂隙的均匀树脂试样最终以穿缝破坏为主的,但在类岩石材料试样却是以穿切断裂的。这样,可根据岩体表面上的断裂迹线与预制裂隙方位之间的关系确定岩体内三维裂隙的赋存状态,为确定裂隙岩体的锚固方式提供参考。采用三维声发射定位技术研究了类岩石材料中内置裂隙单轴压缩条件下的断裂模式及其声发射特征,提出三维裂隙起裂强度的判定方法,并可判定三维裂纹稳定扩展与失稳扩展状态,为工程检测岩体裂隙破裂的演化状态提供一种新解决方案。此外,还讨论了一定条件下三维裂隙面积和密度对岩体强度的影响。

在单轴压缩荷载作用下,裂隙深度比d/d₀为裂隙深度;d₀为试样的厚度)直接影响三维裂纹的扩展过程和断裂模式。实验结果表明:在单轴压缩荷载作用下,当裂隙深度比d/d₀≤0.6时,岩石中表面裂隙(非穿透裂隙)的扩展模式与穿透裂隙扩展模式有着本质的不同,反翼裂纹模式成为试样破裂的主导方式,且反翼裂纹的起裂位置并不在预制裂隙尖端处,而是预制裂隙端部附近的某一区域;次生的翼裂纹只在试验后期出现。当d/d₀≥0.6时,表面裂隙以主要翼裂纹模式断裂。在砂岩试样亦观察到类似的现象。声发射定位结果亦支持了这一全新的试验现象,并且表明裂纹的起裂是从试样的内部开始的。此外,对于表面裂隙,表面裂隙倾角α对岩样的起裂应力影响很显著。

根据经典的脆性断裂力学理论和弹理论,研究了三维裂隙扩展的最大拉应力准则,推导单轴压缩条件下考虑I-II-III完全复合型三维裂隙前端连点的应力状态的计算公式,讨论了裂隙边界上各点的最大拉应力、破裂面弯角和扭角的变化情况,用数值方法确定了破裂面的起裂位置及起裂方向。理论分析结果与实验结果取得了很好的一致性。脆性材料的断裂过程可看成是构成材料的表征体元VEE(representative volume element)损伤累积的过程。在数值计算中,基于快速拉格朗日方法,利用FLAC3D中的PISH语言编制了考虑材料体元参数软化模型的数值计算程序,模拟了三维裂隙扩展过程。数值模拟结果表明,以往将裂隙扩展简化为二维问题进行分析研究,会失去许多三维裂隙扩展的重要信息,如三维裂纹扩展面的扭折,三维裂纹贯通模式等。借助于三维裂纹的数值模拟可以清楚地了解三维裂纹扩展及贯通的全貌,以弥补三维裂隙断裂试验与理论研究的不足,为进一步研究三维裂隙断裂的本质提供一定的参考价值。

10. 会议论文 张宝森,齐洪海,李国力,邓宇 利用声发射技术预报堤防工程险情 2006

本文概述了声发射技术,并论述了利用声发射技术预报堤防险情的可行性;利用声发射技术预报险情,就是通过利用先进监测技术对堤防工程运行状态进行实时监测和监控,超前预测到险情及险情变化,为堤防工程管理和防汛抢险提供科学依据.现场试验证明,从柳园口闸下游采集到的声发射信号图像来看,渗漏的发生几乎与声发射信号同步,从而可以断定用声发射技术可以采集到微弱的渗漏声发射信号图像。

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_260819.aspx

下载时间：2010年5月27日