

岩质高边坡爆震特性的试验研究

33-37 林 鹏

王克成

卓家寿

TV554-16

(河海大学 南京 210098) (西安理工大学 西安 710048) (河海大学 南京 210098) TV223.1

摘要 基于爆震是异于地震的“源问题”的研究思路,并运用随机信号处理技术和谱分析方法对李家峡水电站岩质高边坡开挖爆破现场爆震测试资料进行系统的分析和整理,建立了爆震资料数字化采集的模数转换模型,完成了数字化采集的程序设计,给出了爆震加速度的衰减规律和经验公式,总结出岩质高边坡爆震的时域和频域特性。

关键词 岩质高边坡 爆破震动 数字化采集 源问题 频谱分析 李家峡水电站

对于岩质高边坡的动力响应及稳定分析,就其输入系统来说,主要有天然地震及开挖爆破振动两大类。相对而言,对于各类结构的抗震问题,国内外的研究较后者要广泛而深入,因此,系统抗地震的研究方法及成果无疑对开挖爆破问题的研究有着重要的借鉴作用。但是,必须指出,开挖爆破具有明显的特殊性,作者认为其主要区别在于抗震问题属于波场散射问题,而开挖爆破属于源问题。

爆震现场测试研究是研究岩体动态响应和认识输入-系统-输出本质特征最重要和最直接的手段,而且也是建立和检验计算模型的重要依据。但是,由于现场爆破测试工作常受到测试设备、现场条件、资金以及测试成果的分析技术等诸多条件的限制,虽然从 20 年代起,国外就开始了爆震测试研究,但正式问世的成果还较少,无法满足实际研究需要。这方面的研究主要集中在爆破地震效应^[1,2]、爆炸波的传播规律^[1,3]和爆炸波的波谱分析^[4]三个方面。

当前国内外对岩坡在爆破冲击下的动力特性的研究甚少,远远不能适应生产实践的需要,是急待开拓的研究领域。对系统在爆

破冲击作用下的输入、输出、系统三者进行综合测试及分析研究有着重要的意义。

1.1 弹性波及其传播

从波动力学可知,在均质各向同性体内部,存在着纵波(p)和横波(s_H, s_r)两类体波,其波速分别为 v_p, v_s 。

$$\begin{cases} v_p = \sqrt{\lambda + 2G/\rho_{\text{岩}}} \\ v_s = \sqrt{G/\rho_{\text{岩}}} \end{cases} \quad (1)$$

式中 λ, G 为拉密常数; $\rho_{\text{岩}}$ 为介质密度。 v_p, v_s 仅与介质的物理特性有关。但是,对于岩坡中由于开挖爆破所产生的爆震波来说,远比上述典型波传播问题复杂得多。

1.2 爆震波的特点

在工程实践中,由于大多数爆破是由一系列毫秒延迟的群包起爆组成的,因各个传播途径和延迟时间的不尽相同,导致了波群的相互干扰和重叠到达,更增加了爆震波的复杂性。就工程观点而言,所关心的是最终的波形记录所提供的动力参数。

综合当前的研究结果,爆震波有以下特点。

a. 波动参数的幅值随着爆心距的衰减符合^[5]

$A \propto X^{-n}$ 或 $A \propto \rho^n$ (2)
式中 X 为爆心距; ρ 为包含药量的综合参数, ρ 与 W/X 有关, W 为单响药量。

b. 爆炸振动时间历程短, 衰减快, 是一瞬态随机振动的过程。

许多研究表明^[4], 爆破震动与天然地震之间的频谱特性差异很大。一般说来, 爆破震动能量集中在较高的频域内(10~150Hz), 而天然地震则大部分集中在10Hz以内。

对于小规模钻孔和毫秒延迟微差爆破, 其震动波的振动频域较宽, 而且能量主要集中在较高频成分中。由于各类工程爆破的目的和施工条件不同, 其振动的卓越频率也不同, 工程爆破的频率主要集中在10~60Hz之间。

2 爆震测试及其分析

爆震测试技术的发展与测试仪器的开发应用等有着密切的关系。近二三十年来, 随着爆震研究的深入, 爆震测试工作被国内外的学者所重视, 并进行了大量的测试研究, 对随机振动进行信号处理, 成为爆震测试的主要方面。

2.1 爆震现场测试

为了弄清岩质高边坡开挖爆破冲击下的动力特性, 结合李家峡水电站左坝肩爆破开挖施工, 由西安理工大学组织, 对现场进行了大规模的爆震测试工作。根据现场地形、地质条件, 选定了测线和测点, 并紧密配合左坝肩高边坡开挖爆破, 共进行了13次现场爆震测试, 取得了大量的实测记录。这些记录包括各测点水平振动加速度、垂直振动加速度和动应变。

2.2 数据采集

在应用计算机进行资料分析研究时, 爆震记录的数据采集是关键的一步。数据采集首先必须保证原始资料的真实性, 采集的结果应能准确地反映原始资料的主要特征及规律。

现场施工爆破测试是一项极为复杂的工作, 它受到诸多因素的制约。因此, 为了消除震动记录波形中含有的干扰和杂波成分, 根

据近爆区爆破震动响应的频率特征^[4], 本文在数据回放采集过程中, 采用低通滤波器进行滤波。通过试验对比, 以80Hz作为低通滤波的截止频率是比较合适的, 保留80Hz以下滤波后的波形能如实地反映原震动波形的基本特征。

尽管目前有许多动态信号分析仪可供我们进行数据处理之用, 但是这些仪器的功能都是靠固化了的分析软件来实现的, 虽能得到爆震的振动波形和初步的分析结果, 但却无法得到所需的数据采集的数字化结果。因此, 数字化采集过程已成为进行波谱分析中的一个实际障碍。为此, 在仔细研究了动态分析仪的编码系统和数据结构之后, 结合二进制编码理论, 编制了一套能够进行数码转换的计算机数字化计算程序BVDIG。这样, 可将历次的爆震现场测试记录经过计算机处理, 实现爆震资料的数字化采集。其结果将用于数值分析研究之中。

BVDIG程序在各种采样频率下对各种二进制编码系统(原码、补码、反码)的数字信号进行数据采集和实现数字化, 程序框图如图1所示。

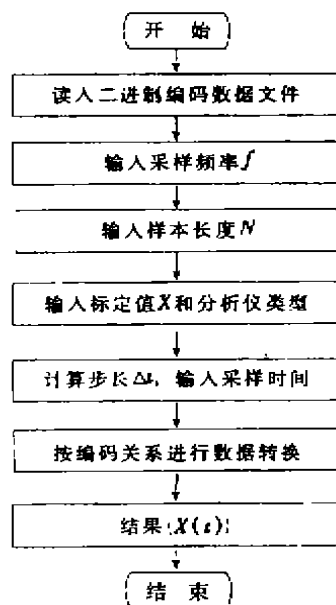


图1 BVDIG程序框图

数模转换模式

$$A_i = \begin{cases} \text{ASC}(x_i(t)) & \text{原码} \\ \text{ASC}(x_i(t)) - 2^7 & \text{反码} \\ \text{ASC}(x_i(t)) - 2^8 & \text{补码} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $\text{ASC}(x_i(t))$ 是动态分析仪编码系统的二进制 ASCII 代码。

对振动数据的数字化采集是完成把振动波连续的代码模拟量转换为离散数字量的工作。图 2 为某一用 BVDIG 程序所得的数字化波形与原波形的比较示例(图中纵坐标以标准自由落体加速度为单位, $g_n = 9.81\text{m/s}^2$), 说明本文的爆震资料的数据重建工作是成功的, 再现了爆震的原始波形。

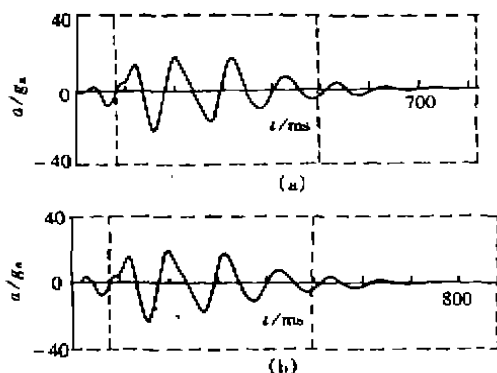


图 2 数字化波形与原波形比较
(a)原波形;(b)数字化波形

2.3 爆震资料分析

爆破时测点的振动是一种非确定性的随机振动, 其复杂的振动信号由不同频率的谐波叠加而成。对于实测的爆破振动数据通过时间域内的分析, 可以得到其振幅、持续时间、波形特征等时域内的信息, 而对频域内的信息(振动信号中的频率成分、频率分布, 各频率的幅值分布等)却一无所知。这些只能通过频谱分析得到。

为了分析爆震特点, 对所测的部分爆震加速度记录进行波谱分析, 得到 Fourier 谱和功率谱。以 1992 年 6 月 21 日 4# 测点现场实测加速度记录分析为例, 图 3 为测点加速度

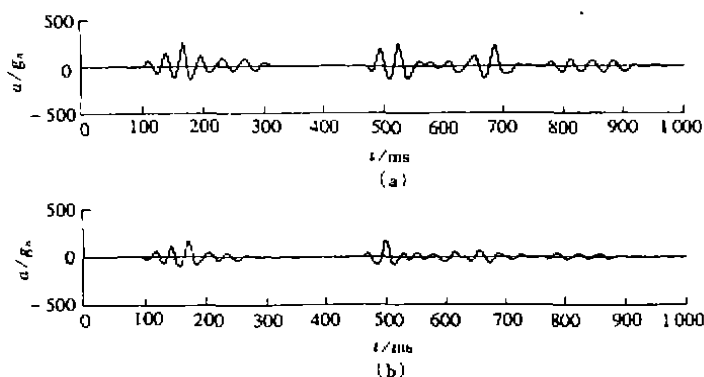


图 3 4# 号测点加速度记录
(a)水平向;(b)垂直向

记录(以 g_n 为单位), 图 4 和图 5 分别为相应的 Fourier 谱和功率谱。从这些图中可以看出, 爆震加速度具有频域宽且富于高频成分(主要集中在 $40 \sim 70\text{Hz}$ 之间)的特点, 而从能量谱显示出波载能量的优势频率频域较窄(集中在 $20 \sim 50\text{Hz}$ 之间)。应当指出的是, 如果两个测点恰好分别处于断层的两侧, 则其频谱具有明显的差异, 这体现了断层对振动响应的影响。由谱分析可知, 爆震波与地震波相比具有高频特征, 特别与局部地质构造有密切关系; 爆震在传播过程呈衰减态势, 系统具有吸收较高频率的能力, 恰似一个滤波器。

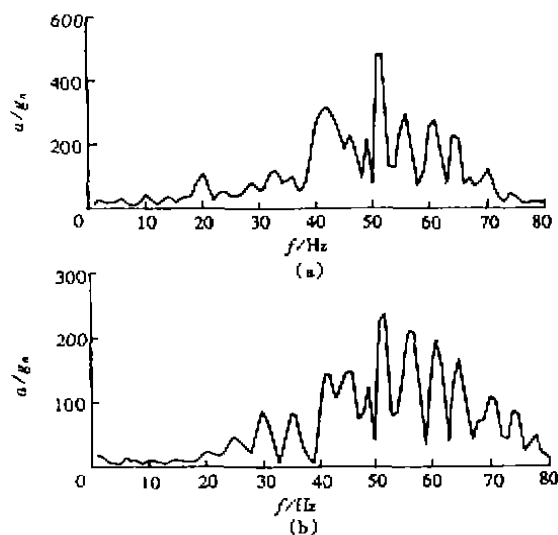


图 4 4# 测点加速度 Fourier 谱
(a)水平向;(b)垂直向

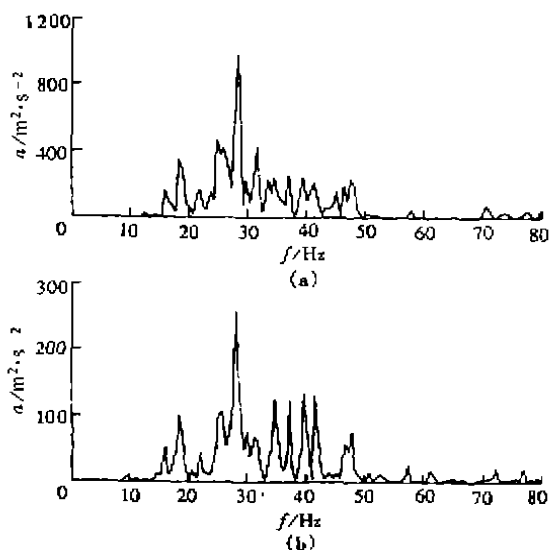


图5 4#测点加速度功率谱
(a)水平向;(b)垂直向

2.4 爆震衰减规律研究

为了弄清爆破振动的衰减规律,认识爆震特征,利用现有的爆震测试资料,试图寻求加速度响应与爆心距 X 之间的关系,其结果缺乏统计关系,以曲线拟合可得衰减公式: $A_0 = KX^{-n}$;衰减关系曲线如图6所示。从图中可知,几条曲线的拟合公式中的 K, n 值变化范围较大,说明爆心距 X 并不是唯一的影响因素,应把单响药量 W 也视为一主要参数。

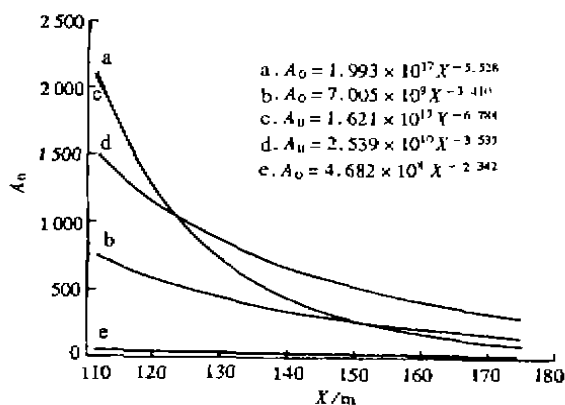


图6 加速度随爆心距衰减的拟合曲线

以 W 表示单响药量, X 表示爆心距, A_0 表示振动加速度幅值,取 $A_0 = K\rho^n$, $\rho = W^{1/m}/X$;分别取 $m = 2, 3, 4$,对测点测试记录进行回归分析(结果如附表所示),所得结果

取为

$$A_0 = 319.159\rho^{2.112} \quad (4)$$

其衰减规律曲线见图7。可以认为,当前常用的 $\rho = W^{1/3}/X$ 作为主要爆震特征参数是可行的,在此基础上的 K, n 值仍将受到地形、地质构造介质等诸多因素的影响,需判定一个适当的范围。

附表 回归分析比较

ρ	K	n	相关系数 r
$W^{1/2}/X$	9.452	1.384	0.934
$W^{1/3}/X$	319.159	2.112	0.967
$W^{1/4}/X$	11.770	2.857	0.953

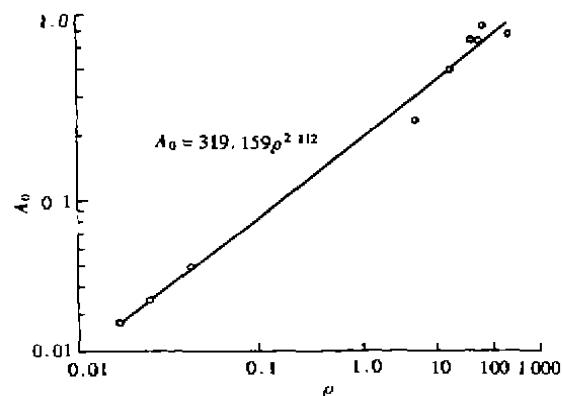


图7 推荐的加速度随爆心距衰减曲线

3 岩质高边坡开挖爆震的主要特征

众所周知,爆破振动是多随机变量随机过程。随机振动即存在其随机性又存在其统计规律性。但对于岩质高边坡开挖爆破而言,因每经过一次爆破,不仅系统(保留岩体)的几何形状将产生明显变化,且由于爆震作用必将引起系统自身构造及其物理力学性质的变化,这就增加了对施工开挖爆震主要特征认识的困难。

由李家峡水电站左坝肩有限次开挖爆震加速度响应的时域及频域分析结果,可得出岩质高边坡爆震的几个主要特征。

a. 时域特征。爆震响应与地震相比具有短历时性,总药量大,延时将加大,一般不超过 $2 \sim 3$ s;随爆震距加大,加速度峰值有衰

减趋势,而未发现随高程增加响应增强的现象;爆震响应与其传播路径,特别是软弱层及断层面密切相关。爆震响应振动加速度幅值的衰减公式见式(4)。

b. 频域特征。爆震响应与地震相比,富有高频成分,且有竖向振动优势频率高于水平振动优势频率的趋势;爆震响应测点的振动频率一般在 10~60 Hz 之间;从功率谱分析,爆炸波多具有两个优势频率带:20~30 Hz 和 40~50 Hz,随爆震距加大,其优势频率有增加趋势。根据现有资料分析,李家峡水电站岩质高边坡前几个振动主频为 9.53 Hz, 14.41 Hz, 19.51 Hz, 24.31 Hz, 31.02 Hz, 46.26 Hz。

4 结 语

本文基于爆震为“源问题”的研究思路,结合实际工程,进行了开挖爆破冲击下岩坡

的动力特性现场试验和研究分析,并把系统在爆破冲击作用下的输入、输出、系统三者综合考虑,为研究岩质高边坡动态响应和认识输入-系统-输出本质特征提供了宝贵和直接的资料。

参考文献

- 1 张雪亮.爆破地震效应.北京:地震出版社,1981
- 2 M. 巴特.地球物理学中的谱分析.北京:地震出版社,1985
- 3 Hennegh J Dr Sa. The dynamic of explosion and its use. New York: Elsevier Scien Publishing Co Amstendaum OXFORD, 1979
- 4 李国豪.工程结构抗爆动力学.北京:地震出版社,1985
- 5 Li D L. Vibration from blasting rock. London: OXFORD University Press, 1960

(收稿日期:1996-05-21 编辑:熊水斌)

+++++
(上接第 27 页)

淡水回潮内陆河,扩大了内河航运能力。小清河可直航济南,相当于增加三条胶济铁路运量;通过南北胶莱河连通,实现胶州湾与渤海湾的直航,缩短绕成山头航程 600 km;水库大坝可结合公路、铁路建设,缩短环莱州湾路程 200 km;黄河水源饵料丰富,海湾水库将变成两个养殖场,上层为淡水养殖,下层为海水养殖,咸淡水混合处是海产品洄游产卵的好地方,年养殖量可达 60 亿 kg;海湾水库可容纳大量泥沙,水库淤满后可造地 66.7 万 hm^2 ,可为山东省提供土地后备资源。

b. 不利的方面。海湾水库引入高含沙量黄河水,势必加重内河淤积,抬高排涝水位,增加涝灾面积;水库向外海排沙,势必影响黄河河口的淤积;水库蓄水切断了制盐业海水资源,淡化了深层卤水;水库蓄水,减少了入海淡水量,对海洋生态有影响,海洋生物不能交换。

5 结 语

a. 基于山东及华北地区干旱缺水状况,

及未来国民经济发展的需水要求,充分利用黄河及内河汛期水沙资源修建莱州湾特大型水库,具有长远的现实意义。

b. 莱州湾水库是化洪水为淡水资源,向海洋要淡水,围海造潮的人工滩涂开发工程。水库建成后,将成为山东及华北的重要水源。水库集供水、防洪、防潮、航运、水产、造地于一体,是富国利民、造福子孙后代的好事。

c. 莱州湾水库系多目标综合利用工程,该工程规模巨大,涉及多门学科,需要系统研究莱州湾地质与水文;研究以淡压咸的可能性及蓄淡排咸技术;研究水库枢纽布置、结构形式及筑坝技术;研究水库兴建对水环境的影响及综合效益分析。

国外的经验可以借鉴,只要将以上四个问题研究透彻,就可尽早为宏观决策提供依据。

(收稿日期:1996-05-22 编辑:马敏峰)